

UDC

中华人民共和国行业标准



P

CJJ/T 7-2017

备案号 J 720-2017

最新标准 全网首发

城市工程地球物理探测标准

Standard for urban engineering geophysical exploration



资源下载QQ群：61754465

2017-08-23 发布

2018-02-01 实施

中华人民共和国住房和城乡建设部 发布

中华人民共和国行业标准

城市工程地球物理探测标准

Standard for urban engineering geophysical exploration

CJJ/T 7 - 2017

批准部门：中华人民共和国住房和城乡建设部

施行日期：2 0 1 8 年 2 月 1 日

中国建筑工业出版社

2017 北 京

中华人民共和国行业标准

城市工程地球物理探测标准

Standard for urban engineering geophysical exploration

CJJ/T 7 - 2017

*

中国建筑工业出版社出版、发行（北京海淀三里河路9号）

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京同文印刷有限责任公司印刷

*

开本：850×1168毫米 1/32 印张：8½ 字数：228千字

2018年1月第一版 2018年1月第一次印刷

定价：**60.00**元

统一书号：15112·30193

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题，可寄本社退换

（邮政编码 100037）

本社网址：<http://www.cabp.com.cn>

网上书店：<http://www.china-building.com.cn>

中华人民共和国住房和城乡建设部 公 告

第 1652 号

住房城乡建设部关于发布行业标准 《城市工程地球物理探测标准》的公告

现批准《城市工程地球物理探测标准》为行业标准，编号为 CJJ/T 7-2017，自 2018 年 2 月 1 日起实施。原行业标准《城市工程地球物理探测规范》CJJ/T 7-2007 同时废止。

本 标 准 在 住 房 和 城 乡 建 设 部 门 户 网 站 (www.mohurd.gov.cn) 公开，并由我部标准定额研究所组织中国建筑工业出版社出版发行。

中华人民共和国住房和城乡建设部

2017 年 8 月 23 日

前 言

根据住房和城乡建设部《关于印发〈2014 年工程建设标准规范制订、修订计划〉的通知》(建标 [2013] 169 号文) 要求, 编制组经过广泛调查研究, 认真总结实践经验, 参考有关国际标准和国外先进标准, 并在广泛征求意见的基础上, 修订了《城市工程地球物理探测规范》CJJ/T 7-2007。

本标准主要技术内容是: 1. 总则; 2. 术语、符号和代号; 3. 基本规定; 4. 直流电法; 5. 电磁法; 6. 浅层地震法; 7. 高精度磁法; 8. 高精度重力法; 9. 放射性测量法; 10. 温度测量法; 11. 振动测试法; 12. 水域探测法; 13. 井中探测法; 14. 地基基础检测; 15. 成果报告。

本标准修订的主要技术内容是: 1. 第 5 章电磁法, 删除了原音频大地电场法、原甚低频电磁法, 原可控源音频大地电磁测深法改为电磁测深法; 2. 第 6 章浅层地震法, 原瑞雷波法改为面波法, 增加了微动勘探法; 3. 第 10 章温度测量法, 增加了红外热像法和大体积混凝土测温法; 4. 第 12 章水域探测法, 在原水声探测法基础上, 原水下地形探测法改为声纳测深法, 增加了侧扫声纳法、水域地震法、水域直流电法和水域磁法; 5. 第 13 章井中探测法, 合并原声波测井和原地震波测井为弹性波测井, 原钻孔电视改为钻孔全景光学成像, 磁测井单列一节, 增加了管波探测法; 6. 第 14 章地基基础检测, 在原基桩动测法基础上, 增加了灌注桩成孔(槽)质量检测、基桩钢筋笼长度检测、地下连续墙检测、复合地基检测和既有基础探测; 7. 增加了现附录 E 孔径检测系统检校方法和现附录 F 高精度测斜仪检校方法。

本标准由住房和城乡建设部负责管理, 由正元地理信息有限责任公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建

议，请寄送正元地理信息有限责任公司（北京市顺义区机场东路国家地理信息科技产业园，邮编：101300）。

本标准主编单位：正元地理信息有限责任公司

本标准参编单位：上海岩土工程勘察设计研究院有限公司

中航勘察设计研究院有限公司

上海申丰地质新技术应用研究所有限公司

建设综合勘察研究设计院有限公司

天津市勘察院

最新标准 全网首发



北京市勘察设计院有限公司

水利部长江勘测技术研究所

广州市城市规划勘测设计研究院

广东省地质物探工程勘察院

沈阳地球物理勘察院

深圳市市政设计研究院有限公司

上海市地质调查研究院

河南省地球物理工程勘察院

西安中交公路岩土工程有限公司

资源下载QQ群：61754465

中铁第五勘察设计院集团有限公司

厦门精图信息技术有限公司

山东正元地球物理信息技术有限公司

武汉科岛地理信息工程有限公司

河北天元地理信息科技工程有限公司

本标准主要起草人员：李学军 黄永进 刘金光 赵竹占

李学文 魏岩峻 蔡克俭 杨占东

陈昌彦 谢昭晖 王永 苏强

胡绕 葛如冰 陈鸿 张善法

高建华 李书华 卢贵清 刘运平

李勃 郭莹 杨槐 李才明

乔志勇 王 勇 夏金儒
本标准主要审查人员：徐佩芬 杨 进 孙云志 李志华
戴呈祥 戚 辉 宁俊栋 薛国强
陈 达 刘文连 曾宪强

目 次

1	总则	1
2	术语、符号和代号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	5
2.3	代号	7
3	基本规定	8
4	直流电法	12
4.1	一般规定	12
4.2	自然电场法	15
4.3	充电法	16
4.4	电剖面法	19
4.5	电测深法	20
4.6	高密度电阻率法	22
4.7	激发极化法	25
5	电磁法	27
5.1	一般规定	27
5.2	电磁测深法	27
5.3	电磁剖面法	30
5.4	瞬变电磁法	31
5.5	探地雷达法	33
5.6	核磁共振法	36
6	浅层地震法	39
6.1	一般规定	39
6.2	反射波法	40
6.3	透射波法	42

6.4	折射波法	44
6.5	面波法	46
6.6	微动勘探法	49
7	高精度磁法	52
7.1	一般规定	52
7.2	仪器设备要求	52
7.3	数据采集	52
7.4	资料处理与解释	55
8	高精度重力法	58
8.1	一般规定	58
8.2	仪器设备要求	58
8.3	数据采集	59
8.4	资料处理与解释	60
9	放射性测量法	62
9.1	一般规定	62
9.2	仪器设备要求	62
9.3	数据采集	63
9.4	资料处理与解释	64
10	温度测量法	65
10.1	一般规定	65
10.2	红外热像法	65
10.3	地温测量法	67
10.4	大体积混凝土测温法	69
11	振动测试法	72
11.1	一般规定	72
11.2	基础强迫振动测试法	72
11.3	微振动测试法	75
11.4	振动衰减测试法	77
12	水域探测法	81
12.1	一般规定	81

12.2	声纳测深法	81
12.3	侧扫声纳法	84
12.4	水域地震法	86
12.5	浅地层剖面法	87
12.6	水域直流电法	90
12.7	水域磁法	91
13	井中探测法	93
13.1	一般规定	93
13.2	电测井	96
13.3	弹性波测井	97
13.4	电磁波测井	100
13.5	磁测井	100
13.6	井间层析成像	103
13.7	放射性测井	104
13.8	钻孔全景光学成像	105
13.9	超声成像测井	106
13.10	管波探测法	107
13.11	其他探测方法	108
14	地基基础检测	110
14.1	一般规定	110
14.2	基桩动测	110
14.3	灌注桩成孔(槽)质量检测	114
14.4	基桩钢筋笼长度检测	117
14.5	地下连续墙检测	120
14.6	复合地基检测	123
14.7	既有建(构)筑基础探测	124
15	成果报告	127
附录 A	城市工程地球物理探测方法的适用范围	128
附录 B	电阻率法装置形式及装置系数计算方法	134
附录 C	地震仪校验方法	140

附录 D 基础强迫振动测试法动力参数计算方法·····	142
附录 E 孔径检测系统检校方法·····	150
附录 F 高精度测斜仪检校方法·····	151
本标准用词说明·····	152
引用标准名录·····	153
附：条文说明·····	155

最新标准 全网首发



资源下载QQ群：61754465

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms, Symbols and Codes	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	5
2.3	Codes	7
3	Basic Requirements	8
4	Direct Current Electrical Methods	12
4.1	General Requirements	12
4.2	Self-potential Method	15
4.3	Charging Method	16
4.4	Electrical Profiling Method	19
4.5	Electrical Sounding Method	20
4.6	Multielectrode Resistivity Method	22
4.7	Induced Polarization Method	25
5	Electromagnetic Methods	27
5.1	General Requirements	27
5.2	Electromagnetic Sounding Method	27
5.3	Electromagnetic Profiling Method	30
5.4	Transient Electromagnetic Method	31
5.5	Ground Penetrating Radar Method	33
5.6	Nuclear Magnetic Resonance Method	36
6	Shallow Seismic Exploration Methods	39
6.1	General Requirements	39
6.2	Reflection Wave Method	40
6.3	Transmission Wave Method	42

6.4	Refraction Wave Method	44
6.5	Surface Wave Method	46
6.6	Microtremor Exploration	49
7	High-accurate Magnetic Survey	52
7.1	General Requirements	52
7.2	Instrument and Equipment Requirements	52
7.3	Data Acquisition	52
7.4	Data Processing and Interpretation	55
8	High-accurate Gravity Survey	58
8.1	General Requirements	58
8.2	Instrument and Equipment Requirements	58
8.3	Data Acquisition	59
8.4	Data Processing and Interpretation	60
9	Radioactive Survey	62
9.1	General Requirements	62
9.2	Instrument and Equipment Requirements	62
9.3	Data Acquisition	63
9.4	Data Processing and Interpretation	64
10	Temperature Measurement Methods	65
10.1	General Requirements	65
10.2	Infrared Thermography	65
10.3	Geotemperature Measurement	67
10.4	Temperature Measurement of Mass Concrete	69
11	Vibration Test Methods	72
11.1	General Requirements	72
11.2	Forced Vibration Test	72
11.3	Micro Vibration Test	75
11.4	Vibration Attenuation Test	77
12	Geophysical Detection Methods in Water Area	81
12.1	General Requirements	81

12.2	Sonar Sounding	81
12.3	Side Scan Sonar Method	84
12.4	Seismic Exploration in Water Area	86
12.5	Sub-bottom Profiling Method	87
12.6	Direct Electrical Detection in Water Area	90
12.7	Magnetic Method in Water Area	91
13	Borehole Geophysical Methods	93
13.1	General Requirements	93
13.2	Electrical Logging	96
13.3	Elastic Wave Logging	97
13.4	Electromagnetic Wave Logging	100
13.5	Magnetic Logging	100
13.6	Cross Borehole Tomography	103
13.7	Radioactivity Logging	104
13.8	Borehole Panoramic Optical Imaging	105
13.9	Ultrasonic Imaging	106
13.10	Tube Wave Detection	107
13.11	Other Methods	108
14	Foundation Detection	110
14.1	General Requirements	110
14.2	Pile Dynamic Test	110
14.3	Inspection of Bored Pile Drilling or Trenching Quality	114
14.4	Inspection of Reinforcement Cage Length in Foundation Pile	117
14.5	Inspection of Underground Diaphragm Wall	120
14.6	Inspection of Composite Foundation	123
14.7	Existing Foundation Detection	124
15	Result Report	127
Appendix A Scope of Application of Urban Engineering Geophysical Exploration and Test		128

Appendix B	Common Devices and Coefficient Calculation of Direct Current Electrical Methods	134
Appendix C	Check and Calibration of Seismograph	140
Appendix D	Calculation Table of Dynamic Parameters Calculation of Forced Vibration Test	142
Appendix E	Calibration Method of Bore Diameter Detection System	150
Appendix F	Calibration Method of Clinometer	151
	Explanation of Wording in This Standard	152
	List of Quoted Standards	153
	Addition: Explanations of Provisions	155

1 总 则

1.0.1 为规范和统一城市工程地球物理探测的技术要求，发挥地球物理探测技术优势作用，保证探测成果质量，提高经济效益，制定本标准。

最新标准 全网首发

1.0.2 本标准适用于城市建设工程规划、勘察、设计、施工、管理、运维及减灾防灾和环境保护中的地球物理探测。

1.0.3 城市工程地球物理探测，除应符合本标准外，尚应符合国家现行有关标准的规定。



资源下载QQ群：61754465

2 术语、符号和代号

2.1 术 语

2.1.1 地球物理探测 geophysical exploration

通过观测、分析和研究各种物理场的变化规律，探查地质构造、寻找矿产资源和解决工程、环境评价等相关问题的间接勘查方法，简称为物探。

2.1.2 工程地球物理探测 engineering geophysical exploration

解决建设工程中有关工程地质、水文地质问题和进行环境评价的地球物理探测方法，简称为工程物探。

2.1.3 城市工程地球物理探测 urban engineering geophysical exploration

城市建设工程规划、勘察、设计、施工、管理、运维及减灾防灾和环境保护治理中的地球物理探测。

2.1.4 电阻率法 resistivity method

是根据岩石等介质导电性的差别，研究岩石等介质电阻率的变化，进行地质勘探的一组直流电法的方法，包括电测深法、电剖面法、高密度电阻率法等。

2.1.5 高密度电阻率法 multielectrode resistivity method

通过电极阵列技术同时实现电测深和电剖面测量，获得二维或三维的电阻率分布进而研究解决相关问题的电阻率法，又被称为电阻率影像法。

2.1.6 电磁测深法 electromagnetic sounding method

通过观测同一测点不同频率的电场和磁场的比值，研究不同深度地电断面情况的电磁法，属于频率域电磁法。按电磁场源不同，它分为天然场源方法和人工场源方法，如：声频大地电磁测深法是天然场源方法，可控源音频电磁法是人工场源方法。

2.1.7 瞬变电磁法 transient electromagnetic method (TEM)

利用不接地回线或接地线源向地下发射一次脉冲而激发电磁场，在一次脉冲磁场间歇期间利用线圈或接地电极观测地下介质中的二次感应涡流场，从而探测地下介质电性分布特征的一种电磁法，属于时间域电磁法。

2.1.8 探地雷达法 ground penetrating radar method (GPR)

通过研究高频电磁波在介质中的传播速度、介质对电磁波的吸收以及电磁波在介质分界面的反射等，解决相关问题的一种电磁波法。

2.1.9 核磁共振法 nuclear magnetic resonance method (NMR)

利用地磁场中地下水中氢原子核与周围介质的弛豫特性差异，用拉摩尔频率的交变电流脉冲对地下水激发，原子核系统吸收电磁能量而产生核磁共振。在电流脉冲间歇期间，观测和研究核磁共振信号的变化规律，进而探测地下水的方法。

2.1.10 脉冲矩 pulse moment

核磁共振法中发射的交流电流的幅值与电流持续时间的乘积。

2.1.11 面波法 surface wave exploration

利用人工震源激发产生的弹性波在介质中传播，通过分析所接收记录的瑞雷面波的频散特性，解决有关地质问题的方法。

2.1.12 微动勘探法 microtremor exploration

借助专门仪器设备观测天然微动信号，通过分析、处理和提取面波的频散信息，反演获得地下横波速度变化规律，进而探查地质结构的方法。

2.1.13 地球物理 CT 技术 geophysical computerized tomography

根据人工场源空间分布而构建地下介质物理参数图像，进而进行地质问题研究的方法技术，分为弹性波 CT、电磁波 CT、电阻率 CT。

2.1.14 射线正交性 ray orthogonality

弹性波 CT 中以弹性波射线交角的正弦值表示、衡量 CT 反演可靠性的一个指标。

2.1.15 射线密度 ray density

弹性波 CT 反演计算时划分的网格单元内通过射线的条数，是衡量 CT 反演可靠性的一个指标。

2.1.16 TVG 增益曲线 time voltage-gain curve (TVG)

水声探测时声波接收机的电压增益随时间变化的曲线。

2.1.17 基桩动测 pile dynamic testing

通过对桩的应力波传播特性的测定和分析来评价桩的完整性，推算桩的承载力、桩侧和桩端岩土阻力及打入桩应力的一类检测方法。

2.1.18 高精度磁法 high accurate magnetic survey

总精度高于 5nT 的磁测方法。

2.1.19 高精度重力法 high accurate gravity survey

总精度高于 $25 \times 10^{-8} \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ 的重力测量法。

2.1.20 温度测量法 temperature measurement

通过观测、研究温度场变化规律，解决有关问题的方法。

2.1.21 红外热像法 infrared thermography

利用红外热像装置将物体表面的温度分布拍摄成可视图像，进行各种分析的方法。

2.1.22 大体积混凝土 large volume concrete

混凝土结构物实体最小几何尺寸不小于 1m 的大体量混凝土，或预计会因混凝土中胶凝材料水化引起的温度变化和收缩而导致有害裂缝产生的混凝土。

2.1.23 放射性测量法 radioactive survey

利用专门的仪器，通过测量、分析和研究放射性元素的射线强度或射气浓度，寻找放射性矿床、与放射性元素共生的稀有元素、稀土元素和多金属元素矿床的一种物探方法，也是用于地质构造探查、环境评价的一种手段。

2.1.24 井中探测法 borehole geophysical exploration

借助专门仪器，通过测量钻孔孔壁及其周围岩石的物理参数或钻孔参数来研究并解决有关地质问题，或观察钻孔孔壁进行相关评判的地球物理方法。

2.1.25 管波探测法 tube wave detection

通过在钻孔井液中激发产生管波，接收并记录其经过井液和孔旁岩土体传播的振动波形，探测孔旁一定范围内的岩溶、洞穴、软弱夹层及裂隙带发育分布的方法。

2.2 符 号

- A —波的振幅；
- a —波的峰值；
- c —桩身波速；
- D —直径；
- d —孔径或槽宽；
- E_d —动弹性模量；
- f —频率；
- Δf —频率差；
- f_0 —检波器固有频率；
- G_d —地基动剪切模量；
- $H_{\text{测}}$ —测点高程；
- H_0 —磁正常场的水平分量；
- $\Delta H'$ —磁异常场水平分量模差；
- h —深度或距离；
- I —电流强度；
- K —电阻率法的装置系数；
- K_p —孔或槽的垂直度；
- L —发射线框边长或桩长、桩身缺陷位置；
- l —间距；
- M_c —正常场磁场强度；
- M_{cd} —磁场强度日变改正值；

最新标准 全网首发



资源下载QQ群：61754465

M_{ch} ——磁场强度高度改正值；
 M_0 ——磁场总场强度平均值或总基点磁场强度值或异常起算点磁场强度值；
 M_r ——基点磁场强度值；
 M_s ——磁场强度观测值；
 ΔM ——磁场强度异常值；
 N ——噪声电平；
 R ——地球平均半径，取 6371000m；
 R_m ——最低限度的信噪比；
 ΔR ——充电法相邻等位线径向增量；
 r ——基础当量半径或测点距振源距离；
 r_1 ——第一菲涅尔带半径；
 S ——面积；
 S_0 ——基础的底面积；
 S_E ——建筑立面外墙饰面层空鼓总面积；
 T ——周期；
 T_c ——改正后的地温值；
 T_s ——实际测量地温值；
 ΔT ——年气温变化影响改正值；
 t ——时间；
 Δt ——时间差；
 ΔU ——测量电位差；
 V ——地下水流速；
 V_R ——瑞雷波相速度；
 V_s ——视 S 波速度；
 v ——弹性波波速；
 $X、Y、Z$ ——三个方向的磁场强度分量值；
 x ——距离；
 Z_0 ——磁正常场的垂直分量；
 ΔZ ——磁异常场的垂直分量；

α ——方位角；
 α_e ——地基能量吸收系数；
 β ——地形视倾角；
 β_t ——波长深度转换系数；
 δ_a ——绝对误差；
 δ_M ——均方相对误差；
 ϵ ——介电常数；
 ϵ_F ——外墙饰面层的空鼓率；
 η ——最小可分辨电平；
 λ ——波长；
 μ_d ——动泊松比；
 ξ_v ——计算的岩体完整性系数；
 ρ ——密度；
 ρ_s ——视电阻率。

2.3 代 号

CT——computer tomography 层析成像或计算机扫描成像
 F-K——frequency-wavenumber domain filtering 频率波数域
 滤波
 GNSS——Global Navigation Satellite System 全球导航卫星系
 统
 SPAC——spatial autocorrelation method 空间自相关法
 TVG——time voltage gain 时间电压增益
 WGS-84——World Geodetic System 1984 1984 全球大地坐标
 系统

3 基本规定

3.0.1 城市工程地球物理探测应具备下列条件：

- 1 被探测对象与其周围介质间应存在足够的物性差异；
- 2 被探测对象应具有一定规模，能产生可被观测的地球物理异常场；
- 3 干扰因素产生的干扰场应相对有效异常足够小，或能被识别；
- 4 工作现场应具备足够空间，能布置探测装置和开展现场探测工作。

3.0.2 城市工程地球物理探测工作原则应符合下列规定：

- 1 工作前应通过方法试验，选用有效的探测方法技术和数据采集参数；
- 2 工作时宜从已知到未知，从简单到复杂；当单一方法多解时，宜采用多种方法进行综合探测；
- 3 工作时应收集和利用已有的地质、水文地质、地球物理、勘察、设计、施工及运营等资料。

3.0.3 城市工程地球物理探测的方法选择宜符合本标准附录 A 的规定，可用于解决下列主要问题：

- 1 地层结构、风化层分带及基岩形态探测；
- 2 断裂、破碎带及裂隙密集带探测；
- 3 软弱地层、冻土层和砂砾石层探测；
- 4 水底地形、地层结构和水下障碍物、抛石、沉船、管线探测；
- 5 地下水、地热及场地热源体探测；
- 6 地下洞穴、岩溶、采空区、障碍物、管线及隐蔽工程探测；

- 7 滑坡、地面塌陷及环境污染探测；
- 8 隧道施工超前预报及砌衬壁厚、拱顶脱空探测；
- 9 地基基础检测及基础设施运维检测；
- 10 场地、岩土层物性参数和钻孔岩土参数测试；
- 11 文物古迹探测；
- 12 建筑节能缺陷检测；
- 13 其他符合本标准第 3.0.1 条规定条件的问题。

3.0.4 城市工程地球物理探测工作程序宜包括接受任务、工作准备、测量放线、数据采集、资料处理与解释、编写成果报告和成果提交等。

3.0.5 城市工程地球物理探测接受任务应签订合同书，明确责任。合同书内容宜包括任务编号、工程名称、工作地点、工作范围、工作任务、技术要求、工作期限、应提交的成果资料、预计工作量以及有关责任等。

3.0.6 城市工程地球物理探测的工作准备应包括资料收集、现场踏勘、仪器检校、方法试验和技术设计书或施工方案编写，并应符合下列规定：

1 资料收集时，应收集和整理测区范围内相关的工程概况、测量、地质、地球物理及工程设计、施工和运营资料等；

2 现场踏勘应了解工作环境条件、地形地貌情况，核实已收集资料的可利用程度；

3 仪器检校应按操作说明书进行，确认投入的仪器设备性能状态良好；

4 方法试验应确认探测方法的有效性和适应性；

5 技术设计书或工作方案应在方法试验基础上编写，经批准后使用。

3.0.7 城市工程地球物理探测技术设计书或工作方案应包括下列主要内容：

1 工作的目的、任务、范围、期限和测区位置等；

2 探测工作布置图；

3 方法选择及依据、技术要求、工作方法有效性分析、现场工作的布置及工作量估算等；

4 与地质、测量、设计、施工、管理等其他专业的配合；

5 仪器、设备、材料、车辆等资源配置；

6 施工组织及施工进度计划；

7 作业质量、安全及环境保证措施；

8 拟提交的成果资料；

9 关键的问题与对策。

3.0.8 城市工程地球物理探测的工作布置应符合下列规定：

1 布置测网时，测网密度应根据探测目标规模确定；

2 布设测线时，测线宜通过或靠近已知点布设，测线长度宜覆盖探测目标，探测目标上的探测点数不得少于3个。

3.0.9 城市工程地球物理探测工作测线起讫点、基点、转折点、异常点、地形突变点以及其他重要的物理点，应测量其平面位置和高程。

3.0.10 城市工程地球物理探测的测量工作应符合下列规定：

1 测量精度应符合现行行业标准《城市测量规范》CJJ/T 8的相关规定；

2 水域探测时，测量的探测点高程应根据水位或潮位的变化进行校正；

3 探测工作使用的比例尺，不应小于同阶段、同工程的岩土工程勘察所使用的比例尺。

3.0.11 城市工程地球物理探测仪器设备及其附件应满足性能稳定、构件牢固可靠、防潮、抗震和绝缘性能良好的要求。探测仪器应在检校的有效期内，并应定期保养，探测前应对仪器设备进行检查调试。

3.0.12 各种探测仪器应正确操作和使用，并应由具备相应专业能力的人员进行维护。

3.0.13 城市工程地球物理探测应按技术设计书或探测方案实施工作程序，完整采集、及时处理探测数据，按任务要求提交成果

资料。

3.0.14 城市工程地球物理探测的原始记录应齐全完整、数据真实，电子记录应进行备份。

3.0.15 城市工程地球物理探测工作应建立质量保证体系，应实行全过程质量控制。

3.0.16 城市工程地球物理探测的质量检查应符合下列规定：

1 质量检查应根据具体探测方法选择检查方式；

2 检查点应均衡分布、随机选取，异常和可疑地段应重点检查；

3 在资料审核时应提交质量检查资料。

3.0.17 当城市工程地球物理探测原始数据经质量检查不合格时，应分析原因，制定措施，调整工作方案后再行探测。

3.0.18 城市工程地球物理探测资料处理不得使用未经检查或检查不合格的探测数据。

3.0.19 城市工程地球物理探测资料解释应在分析各项物性资料的基础上，利用各种已知资料，从已知到未知，先易后难、点面结合，定性指导定量。

3.0.20 城市工程地球物理探测宜采取相应的综合探查手段核查探测结果。

3.0.21 城市工程地球物理探测作业安全应符合现行国家标准《岩土工程勘察安全规范》GB 50585 的相关规定。

4 直流电法

4.1 一般规定

4.1.1 直流电法应根据探测要求和应用条件，按本标准附录 A 选用自然电场法、充电法、电剖面法、电测深法、高密度电阻率法或激发极化法。

4.1.2 直流电法仪器的主要技术指标应符合下列规定：

- 1 输入阻抗应大于 $20\text{M}\Omega$ ；
- 2 供电端、测量端插头与外壳之间的绝缘电阻应大于 $100\text{M}\Omega/500\text{V}$ ；
- 3 极化补偿范围应达到 500mV ；
- 4 电位差测量允许误差应为 1.0% ，分辨率应达到 0.1mV ；
- 5 电流测量允许误差应为 1.0% ，分辨率应达到 0.1mA ；
- 6 对 50Hz 工频干扰抑制应大于 40dB 。

4.1.3 电性参数测定应符合下列规定：

- 1 同一地电类型的测点应统一进行参数测定；
- 2 不具备参数测定条件的场地，可根据电测深曲线或电测井资料推求电性参数。

4.1.4 直流电法的现场工作和数据采集应符合下列规定：

1 当多台仪器在同一场地同时工作时，不同供电单元间的距离不应小于最大供电极距的 5 倍。

2 电极应与电线连接可靠，安置位置应准确，接地应良好；现场工作时可采取并联电极、浇盐水等措施改善接地条件。

3 供电电流应稳定，同一观测条件下两次电流测量值的相对误差应小于 1.0% 。

4 测量电极应使用同一类电极，高密度电阻率法宜使用不锈钢电极或铜电极，自然电场法、激发极化法应使用不极化

电极。

5 现场出现下列测点时应进行重复观测：

- 1) 读数困难、极化不稳定或存在明显干扰的测点；
- 2) 异常突变点、曲线畸变点；
- 3) 电测深曲线不正常脱节的接头点；
- 4) 测线接头点。

6 对曲线上的特征点、畸变段及有疑义的测段，应进行自检观测。

7 当利用电阻率法进行接地电阻测量时，应同时测量接地处地层的电阻率。

4.1.5 重复观测应符合下列规定：

- 1 重复观测时应改变供电电流；
- 2 重复观测值不得超过允许误差；
- 3 应取重复观测值的算术平均值作为最终的基本观测值。

4.1.6 自检观测应符合下列规定：

1 自检观测时，应改变供电电极的接地条件或重新布极，并应改变供电电流；

2 当经自检观测证明基本观测确实有误时，应采用自检观测数据作为基本观测数据。

4.1.7 当现场发现漏电时，应查明原因并消除后，按序返回重新观测，直至连续 3 个点的观测值与原观测值之差在 5% 以内为止。漏电检查应符合下列规定：

1 当开工、收工和曲线发生畸变时，应对仪器、电源、电线进行漏电检查；

2 对电测深法 $AB/2$ 大于 500m 时的每个测点应进行漏电检查；

3 电剖面法每个剖面的最后一个测点应进行漏电检查；

4 电线位于潮湿地区时或有疑问的异常区（点）应进行漏电检查。

4.1.8 直流电法应采用重复观测方式进行质量检查。质量检查

应符合下列规定：

- 1 质量检查点应随机抽取、分布均衡，异常点或有疑问点应重点检查；检查量不宜少于 5%；
- 2 质量检查应在不同日期进行；
- 3 质量检查后可按下列公式计算均方相对误差：

$$\delta_M = \pm \sqrt{\frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n \delta_i^2} \quad (4.1.8-1)$$

$$\delta_i = 2 \frac{|\Delta U_i - \Delta U'_i|}{\Delta U_i + \Delta U'_i} \times 100\% \quad (4.1.8-2)$$

式中： δ_M ——某个检查点（站）的均方相对误差；

n ——某测点（站）的观测数据个数；

δ_i ——第 i 个参加评定的单个极距的相对误差；

ΔU_i ——第 i 个极距的基本观测值（mV）；

$\Delta U'_i$ ——第 i 个极距的检查观测值（mV）。

4.1.9 质量评价应符合下列规定：

- 1 当因地表、浅地层湿度变化，视电阻率数据出现系统偏差时，应将其剔除后再进行评价，剔除点数不得超过 1%；
- 2 当因地电干扰，视电阻率的原始数据或系统观测数据出现奇异点时，可将其剔除后再评价，剔除点数不得超过 1%；
- 3 检查统计的均方相对误差不得超过 5%；
- 4 对经过评价不合格的，应分析原因，调整方案后重新观测。

4.1.10 资料处理与解释应符合下列规定：

- 1 成果图件绘制应符合下列规定：
 - 1) 应根据任务要求，绘制剖面图、曲线图、平面剖面图等成果图件；
 - 2) 绘制的图件应进行 100% 的检查；
 - 3) 同一测区的同类图件应采用相同的比例尺。
- 2 资料解释应符合下列规定：
 - 1) 应研究不同介质的电性特征及变化规律；

- 2) 应结合相关资料和工作条件, 分析研究和判断目标异常;
- 3) 应研究目标异常的特征, 确定异常体的性质及其平面位置、埋深和形态等。

4.2 自然电场法

4.2.1 自然电场法可用于地下水流向探测、含水层划分、污染区调查、地热普查、地质构造调查, 也可用于堤坝、基坑渗漏探测。

4.2.2 自然电场法的应用条件应符合下列规定:

- 1 应具有氧化—还原电化学作用或地下水渗透、扩散作用及其他作用, 能够形成电位差异;

- 2 被测对象的有用信号应能够有效地从干扰背景中分辨出来;

- 3 干燥地区或干扰严重且难以克服的地区, 不宜采用自然电场法。

4.2.3 自然电场法的观测应根据实际情况合理选择采用电位观测方式、梯度观测方式或环形观测方式。

4.2.4 正式施测前, 宜布设控制剖面; 布设测网时, 应按工作性质选择测网密度。

4.2.5 当现场观测发现曲线的异常段、突变点、可疑点时, 应进行重复观测。重复观测的最大绝对误差不应大于 5mV。

4.2.6 自然电场法的电位观测应符合下列规定:

- 1 电位总基点应选择在自然电位平稳的正常场地段;

- 2 分基点应选择在自然电场稳定且交通便利处;

- 3 电位法观测时, 仪器和固定电极应放在测站附近; 梯度法观测时, 测量电极距宜等于观测点距, 并应保持在一个测区中仪器上连接的测量电极顺序固定不变;

- 4 各基点之间在开工和完成测区工作总量的 50% 时, 应进行电位联测, 两次观测的绝对误差不得超过 5mV, 超过时的基

点应多次联测，不稳定的基点应重复观测；

5 确定地下水径流方向时，可采用环形观测方式。

4.2.7 自然电场法的电极及埋设应符合下列规定：

1 电极的极差应稳定，且开工前和收工后均应测定；开工前极差不应大于 12mV，收工时极差不应大于 5mV；

2 同一测线多段剖面观测时，相邻剖面重合测点不应少于 2 个；

3 电极应编号使用，安置应接地良好；在观测过程中，不得变换电极的先后次序或改变极性；

4 电极在测点上安置困难时，可沿垂直测线方向移动，但移动距离应小于点距的 1/5；

5 电极不应安置于流水旁，其周围亦不应有金属物体扰动，电极的引出线头不得与土壤、杂草等接触；电极安置困难以致接地电阻过大时，应采取改换电极、浇水等措施改善接地条件。

4.2.8 自然电场法可采用平均绝对误差进行质量评价，原观测与检查观测之间的平均绝对误差不得大于 5mV，单个点的绝对误差不得大于 15mV；绝对误差 δ_i 可按下式计算：

$$\delta_i = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n |\Delta U_i - \Delta U'_i| \quad (4.2.8)$$

式中： ΔU_i ——第 i 点原始观测电位差值 (mV)；

$\Delta U'_i$ ——第 i 点检查观测电位差值 (mV)；

n ——检查点数。

4.2.9 自然电场法应按任务要求编绘自然电场异常曲线图及推断解释中形成的成果图，成果图可分为曲线图、平面剖面图、平面等值线图、地质平面剖面解释图等。

4.3 充 电 法

4.3.1 充电法可用于探测地下低电阻体的平面展布、地下水的流速流向、水下埋设物体，也可用于堤坝、基坑渗漏探测以及地下构筑物或基桩钢筋笼长度检测。

4.3.2 应用条件应符合下列规定：

- 1 目标体应有良好的天然或人工露头；
- 2 目标体应为低电阻体；
- 3 应具备良好的接地条件，且极化稳定；
- 4 目标体与围岩的导电性应相对稳定；
- 5 测区内应无明显的工业电干扰。

4.3.3 充电法可根据需要选择使用电位法或梯度法测量方式。现场工作布置应符合下列规定：

1 供电电极、测量电极应按设计要求地点布置，且接地良好；

2 充电点应布设在探测目标体上或与目标体连通，且具备充电条件；

3 无穷远供电电极与测区的距离不应小于测区对角线长度的 5 倍；

4 梯度法测量时，应保持测量电极顺序、距离一致；

5 电位法测量时，测量电极应布置在无穷远供电电极的相反方向；

6 电位法测量因接地条件影响而需改变测量电极位置时，可沿垂直测线方向上移动，但移动距离不得超过点距的 1/10。

4.3.4 数据采集应符合下列规定：

1 应在供电电流稳定后进行电位差测量，并宜每次测量前后各观测一次供电电流，电流变化不得大于 2%；

2 现场充电电极宜为正极，且宜保持测区内供电电极的极性不变；

3 测区内测量电极接线应一致，并应记录观测值的正负；

4 电位法与梯度法应单独进行，不得采用换算值。

4.3.5 测定地下水流向流速应符合下列规定：

1 宜以放射状布置 8 条或 12 条测线，各方位夹角应相等；

2 充电电极应布置含水层中部，无穷远电极、测量电极应布在预计水流上游；

3 测量点距不得大于含水层埋深的 1/2；

4 盐化时，应在盐化前观测获得正常场的等位线，并应保持盐化程度恒定。

4.3.6 探测低阻体时宜在低阻体范围内加密测点。基坑渗漏探测的供电电极正极应布在围护结构外，负极应布在围护结构内；探测堤坝、基坑渗漏时，测量电极宜使用不极化电极。同一剖面分段观测时，连接处应有重叠，且重叠点不应少于 3 个。

4.3.7 充电法的重复观测可改变电流，但不得改变接地位置。重复观测在参加统计的一组观测值中，最大值与最小值之差相对二者算术平均值应满足下式的规定：

$$2\left(\frac{\Delta U_{\max} - \Delta U_{\min}}{\Delta U_{\max} + \Delta U_{\min}}\right) \times 100\% \leq \sqrt{2n} \times 5\% \quad (4.3.7)$$

式中： ΔU ——观测的电位差值或其经对应供电电流归算后的数值 (mV)；

n ——重复观测次数（不包括舍去超差数据的次数）。

4.3.8 质量评价的最大均方误差 δ_M 不得大于 5.0%，并按下列公式计算：

$$\delta_M = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\delta_i}{T_i}\right)^2}{2n}} \times 100\% \quad (4.3.8-1)$$

$$\delta = \left(\frac{\Delta U}{I}\right) - \frac{\Delta U'}{I'} \quad (4.3.8-2)$$

$$T = \frac{\left(\frac{\Delta U}{I}\right) + \frac{\Delta U'}{I'}}{2} \quad (4.3.8-3)$$

式中： ΔU 、 $\Delta U'$ ——分别为原始观测和检查观测的电位差 (mV)；

I 、 I' ——分别为原始观测和检查观测的供电电流 (mA)；

n ——参加统计的检查点数。

4.3.9 资料处理与解释应符合下列规定：

1 绘制的成果图可包括曲线图、平面等值线图、平面剖面图。

2 测定地下水流速、流向时，应以等位线移动速度最大的方向确定地下水流向，并计算流速；需要地形改正时，应计算改正后的流速；流速 V 可按下列公式计算：

$$V = \frac{\Delta R}{\Delta t} \quad (4.3.9-1)$$

$$V_c = \frac{V}{\cos \beta} \quad (4.3.9-2)$$

式中： V ——地下水流速（m/s）；

ΔR ——相邻等位线位移的增量（m）；

Δt ——增量 ΔR 相对应的时间间隔（s）；

V_c ——地形改正后的地下水流速（m/s）；

β ——流向方向等位圆线的地形视倾角（°）。

3 探测低阻体时，应在确定异常后区分正常场和异常场，并根据绘制的平面剖面图推断其形态。

4 探测渗漏时，可根据观测值异常推断可疑渗漏范围。

4.4 电剖面法

4.4.1 电剖面法可用于研究地下地电断面横向电阻率变化，探查地下富水区、溶洞、断层及倾向、裂隙发育带、岩性界线等以及地下管线、地下洞穴或采空区等。

4.4.2 电剖面法应根据探测要求和工作条件，按本标准附录 B 选择装置形式，并应符合下列规定：

1 对称四极剖面法的供电电极应根据不同探测目标的埋深合理选取并应满足：供电极距宜为探测对象顶部埋深的 4 倍～6 倍，测量极距不应小于探测对象的顶部埋深且不宜大于供电极距的 1/3；

2 联合剖面法的 AO 不应小于探测对象顶部埋深的 3 倍，测量极距不应大于其 1/3；

3 中间梯度剖面法的测量区间应位于供电电极距中部且在 $1/3$ 极距范围内；当采用多线观测时，旁测线距主测线的距离不应大于供电电极距的 $1/5$ ；

4 偶极剖面法的偶极间距应大于探测目标埋深的3倍，供电偶极宜与测量偶极等长度；

5 复合对称四极装置的供电电极距比值应根据探测目的及场地地电条件，由现场试验确定。

4.4.3 工作布置应符合下列规定：

1 应布设多条测线追踪探测对象走向，测线宜垂直探测目标的可能走向；

2 每条测线的单个异常上测点不应少于3个；

3 应至少有3条测线通过目标异常。

4.4.4 现场工作应符合下列规定：

1 中间梯度装置改变供电电极位置时，应进行不少于2个测点的重复观测；

2 异常特征点部位，应加密测点或变换电极距进行观测；

3 目标异常应追踪完整，未追踪完毕宜增加工作量。

4.4.5 电剖面法的质量检查量不得少于10%，质量评价应符合本标准第4.1.9条的规定。

4.4.6 每天现场工作结束后，应将原始记录妥善保管，并应进行备份。

4.4.7 资料处理与解释应符合下列规定：

1 成果图件应包括地电断面图、平面等值线图、平面剖面图、剖面地质解释图；

2 解释应结合相关资料划分异常或异常带，推断异常性质，确定异常的平面位置；根据相关资料条件，可推断异常的埋深、规模。

4.5 电测深法

4.5.1 电测深法可用于划分地层，探查地下断层、裂隙发育带、

岩溶、采空区和富水区，测定场地地下不同深度岩土层视电阻率参数。

4.5.2 电测深法应根据任务要求和工作条件，按本标准附录 B 选择装置形式。

4.5.3 工作布置应符合下列规定：

1 测点间距应小于探测目标埋深的一半，异常上的测点不宜少于 2 个；

2 同一电性单元的装置方向应保持不变。

4.5.4 电极距的选择应符合下列规定：

1 最大供电电极距 AB 应满足探测深度的需要；最小供电电极距 AB 应满足资料解释的需要；

2 测量电极距 MN 与相应的供电电极距 AB 可采用等比或非等比形式，测量电极距 MN 与相应的供电电极距 AB 之比值不应大于 $1/3$ ；

3 三极或联合测深中的无穷远极应位于测量偶极的中垂线上，无穷远距离宜大于最大 AO 或 $A'O'$ 的 5 倍；因条件限制不能垂直布设无穷远极时，应增大无穷远极距离，最远可增至供电点与记录点间距 AO 或 $A'O'$ 的 10 倍；

4 五极纵轴测深的供电电极距 L 应大于 2 倍～3 倍探测目标的埋深，测量极距应为 $L/30 \sim L/40$ 。

4.5.5 现场作业遇障碍物时，可在 $1/2$ 线（点）间距的范围内移动测线（点）。

4.5.6 布置测站应远离高压线、变压器等大型电力设施。工作电源、仪器应分开放置，仪器的绝缘电阻应大于 $2M\Omega$ 。

4.5.7 现场工作时，供电导线与测量导线应分开敷设。

4.5.8 测量电极宜使用不极化电极。当使用非不极化电极时，应在极化补偿稳定后开始观测。

4.5.9 供电电极应垂直地面插入安置，当采用多电极供电时，电极应以接地点为中心呈环形或垂直放线方向线形对称布置，环形半径或线形长度应小于 $AB/2$ 的 $1/20$ 。

4.5.10 电测深法应现场即时计算视电阻率值，并草绘电测深曲线图。完整的电测深曲线应符合下列规定：

1 曲线首支应能追索出第一层渐近线；

2 当以无穷大电阻率值的高阻电性层为底部电性标志层时，曲线尾支渐近线应呈 45° 上升；

3 当以有限电阻率值电性层为底部电性标志层时，进入曲线尾支渐近线应有明显的拐点。

4.5.11 每天现场工作结束，应将原始记录妥善保管，并应进行备份。

4.5.12 质量检查与评价应符合本标准第 4.1.8 条、第 4.1.9 条的规定。

4.5.13 进行资料解释前，应对电测深曲线进行圆滑处理，首尾支渐近线、主要电性标志层应反映明显。

4.5.14 资料解释应在分析研究曲线类型、斜率、渐近线、极值点、拐点、局部畸变点基础上，推断目标异常的性质、平面位置、埋深、规模。

4.5.15 电测深法的成果图应主要包括电测深曲线、地电断面图、平面剖面图、剖面地质解释图。

4.6 高密度电阻率法

4.6.1 高密度电阻率法可用于城市地质灾害调查、工程选址、地下断层定位、地下水勘探、堤坝隐患探测、地下污染范围的圈定等。

4.6.2 使用的仪器设备应符合下列规定：

1 仪器应具有即时采集、显示功能，以及对电缆、电极接地、系统状态和参数设置的监测功能；供电方式应为正负交变的方波；

2 多芯电缆应具有良好的导电和绝缘性能，芯线电阻不应大于 $10\Omega/\text{km}$ ，芯间绝缘电阻不应小于 $5\text{M}\Omega/\text{km}$ ；

3 电极阵列的接插件应具有良好的弹性簧片和防水性能；

4 集中式和分布式的电极切换器应具有良好的一致性。

4.6.3 工作布置应符合下列规定：

1 装置形式可根据任务要求和场地条件，按本标准附录 B 选择；

2 应根据分辨力要求，选定点距、线距，异常部位应加密；电极极距和隔离系数应根据探测目标的深度、规模确定，最大隔离系数应使探测深度不小于目标埋深；

3 实施滚动观测时，每个排列伪剖面底边应至少有 1 个数据重合点；当底边出现 2 个点以上的空白区时，应在成果图中标明或减小探测深度；

4 测线两端的探测范围应处于选用装置的有效范围之内，测线两端超出测区的长度不宜小于装置长度的 $1/3$ ；

5 同一排列的电极宜呈直线布置，电极位置与设计位置的偏离沿跑极方向不宜大于该极距的 $1/10$ ，沿垂直跑极方向偏离不宜大于该极距的 $1/5$ ，并应记录偏离的电极位置；

6 改善硬化地面电极接地条件时，不得破损地面结构或地下设施。

4.6.4 当地形坡度大于 15° 时，应测量电极点坐标及高程。

4.6.5 数据采集应符合下列规定：

1 现场应在极化稳定和建立恒稳电流场后，测试供电方波周期和确定滤波器截止频率；遇强电干扰时，应加大供电电流提高信噪比；

2 复杂条件下，应采用两种不同装置形式观测，但不得相互替代观测数据；

3 每种装置观测的坏点数不应超过 1% ；意外中断恢复观测时，重复观测点数不应少于 2 个；

4 偶极装置及井间、三维观测时，应观测电压、电流值后计算视电阻率值；远电极极距 OB 应大于 $5OA$ ；

5 现场观测时，应记录排列位置，并应注明特殊环境因素。

4.6.6 现场观测数据应及时存储，并应记录现场条件。

4.6.7 质量检查应符合下列规定：

- 1 可选择两层或两列进行重复观测；
- 2 可采用相邻排列重合部分电极、采用同一供电测量方式，通过散点观测检查异常点数据。

4.6.8 资料处理应符合下列规定：

- 1 数据预处理时可进行数据平滑、滤波处理；
- 2 建立初始模型时，可采用伪剖面法、反投影法；
- 3 反演成像时，应将正演获得的理论值与相应的实测值相减获得残差值，再利用反演计算获得电阻率的分布；

4 资料分析应符合下列规定：

- 1) 剖面分析时，应根据单个成像剖面资料，分析确定出剖面中的电性结构；
- 2) 对比分析时，应根据不同成像剖面资料对比，分析确定剖面中规模基本相同或相似的电性结构；
- 3) 应在分析确定电性结构基础上，结合其他有关资料综合推断电性异常。

4.6.9 对于数据突变点、畸变点，可结合相邻测点数值进行修正。

4.6.10 地形校正时，除应对测点在断面中的位置进行归正外，还应对观测数据进行装置系数修正。

4.6.11 绘制电阻率断面图应设置色标，同一场地的色标应一致。

4.6.12 对于具备地质资料的测段宜进行正演计算，获得其余测段的解释依据资料。

4.6.13 资料解释应符合下列规定：

1 成果图应主要包括电阻率断面图、平面剖面图、平面剖面地质解释图；

2 有钻孔资料的测段，应结合地层电性资料对反演计算进行约束；

3 地质条件复杂时，可通过钻孔电阻率测试，校核高密度

电阻率法测试结果；

4 应结合其他相关资料，识别判定电阻率断面图的假异常。

4.6.14 数据处理及成果解释，宜结合钻探或其他探测成果修正深度转换系数或解释深度。

4.7 激发极化法

4.7.1 激发极化法可用于探测地下金属埋设物、探测地下水、圈定油气污染区，也可用于探测地下断层、裂隙、岩溶等。

4.7.2 激发极化法应用条件应符合下列规定：

1 探测对象与围岩间有明显的激发极化性质差异；

2 在地形切割剧烈、覆盖层厚度较大且电阻率低及无法避免游散电流干扰的地区不宜布置激发极化法工作。

4.7.3 激发极化法工作可根据需要选择使用电测深装置、电剖面装置或充电装置，装置形式应按本标准附录 B 选择。

4.7.4 所使用的仪器性能指标应符合下列规定：

1 极化率测量分辨率应达到 0.1%；

2 延时与积分的时间应可调，且允许相对误差为 1.0%；

3 极化率叠加次数不应小于 2，且可调；

4 应具有占空比为 1:1，供电周期为 4s、8s、16s、32s 的标准供电制式；

5 供电时间精度不应小于 1.0%。

4.7.5 工作布置与数据采集应符合下列规定：

1 激发极化法可按电测深法、电剖面法或充电法进行布置，测量电极应使用不极化电极；

2 现场宜采用短导线方式，并通过试验了解工作区域的激电特征，确定供电周期、断电延时；

3 工作时，宜采取减小供电电极距、供电导线与测量导线分离等措施；

4 应采用供大电流激发，且供电电流变化不应大于 5.0%；

5 二次场的电位差值应大于 0.5mV；

6 仪器的调零工作应在规定的供电时间内完成,不得延长;

7 在计算取得视电阻率、视极化率基础上,应根据任务目的不同,选择计算观测衰减度、视激发比、衰减时或偏离度等参数;

8 出现下列情况之一时,应进行重复观测和检查观测:

- 1) 断电后某一瞬间的二次场电位差小于 0.5mV ;
- 2) 采用短导线方式直读视极化率时,二次正向供电与反向供电所测出的视极化率的平均值之差,正常时超过 0.1% 或干扰较严重时超过 0.2% ;
- 3) 在观测读数的前后,发现有明显的干扰;
- 4) 视激发比值大于或接近于衰减度值。

4.7.6 重复观测检查数值的取舍应符合下列规定:

1 参与算术平均值计算的一组视极化率值中,最大值与最小值之差不得大于 5.0% ;参与算术平均值计算的一组视激发比值中,最大值与最小值之差不得大于 7.0% ;

2 误差超限的观测数据可舍去,但舍去数不应超过观测数的 10% ;当出现超差过大的数据时,应停止观测,待查明原因并经处理后方能继续工作。

4.7.7 激发极化法在异常区可采用相对误差进行质量评价,在背景区宜采用均方相对误差进行质量评价。观测参数的相对误差、均方相对误差不得大于允许误差。

4.7.8 资料处理与解释应符合下列规定:

1 成果图应主要包括实际材料图、各参数等值线断面图、平面剖面图、测深曲线、平面剖面地质解释图等;

2 资料解释时应以电性异常为基础,结合其他有关资料做出综合推断;找水时,可依据半衰时等多个参数的探测结果,评价富水性。

5 电 磁 法

5.1 一 般 规 定

5.1.1 电磁法应根据工作条件和探测要求,按本标准附录 A 选用电磁测深法、电磁剖面法、瞬变电磁法、探地雷达法或核磁共振法。

5.1.2 电磁法作业前应检查、校正仪器,确认仪器性能状态良好,并通过方法试验,确定有效的工作参数。

5.2 电磁测深法

5.2.1 电磁测深法可用于探测地下岩溶、洞穴、采空区,寻找地下水,测定地层电阻率,探测基底起伏和构造形态、产状及断裂展布,判定岩性分布。

5.2.2 电磁测深法可分为主动源方法和被动源方法,其应用条件应符合下列规定:

1 地层间或被探测目标体与周围介质间应有明显的电性差异;

2 目标体有足够的规模可以分辨;

3 测区内电磁噪声比较小,各种人文干扰不严重;

4 地形开阔、平缓,接地条件良好。

5.2.3 使用的仪器主要性能指标应符合下列规定:

1 应具有良好的屏蔽性能,仪器的各观测道应具有良好的 consistency;

2 频率范围不应小于 $0.1\text{Hz}\sim 100\text{kHz}$;

3 通道与屏蔽层的绝缘电阻应大于 $10\text{M}\Omega$;

4 输入端灵敏度应达到 $0.1\mu\text{V}$;

5 输入阻抗应大于 $10\text{M}\Omega$ 。

5.2.4 现场工作布置应符合下列规定：

1 场源、测线、测点应远离干扰源；因电磁测深数据异常或失去连续性，应加密测点；

2 单场源电偶极宜平行于测线布置，方向误差应小于 5° ；

3 测线线距及测点点距应符合异常分辨率要求；

4 磁偶极应平放，电偶极的接地电阻不应大于 200Ω ，或供电电流不得小于 10A 。

5.2.5 测量电极的接地电阻不应大于 $2\text{k}\Omega$ ，在高阻区宜采用多电极并联、电极四周垫土、浇水等措施改善接地条件。

5.2.6 观测装置的敷设可采用十字形装置、L形装置、T形装置或斜交装置，斜交装置的斜交角应大于 70° ，方位偏差均应小于 1° 。

5.2.7 数据采集应符合下列规定：

1 观测前的测试宜包括噪声测试、增益测试、电极比较、极性比较等；

2 可控源频率电磁测深法可以选择标量、矢量或张量测量方式；

3 同一测点上电磁场的观测需连续进行，应选择干扰背景比较平静的时间记录；

4 观测中宜采用全频段采集，最低频率能够满足探测深度要求；

5 观测过程中，应根据信号的强度大小，实时调整增益大小；

6 观测时应实时监视各道变化，发现记录道反向、饱和、干扰严重时，应及时补测；

7 应实时监视分析视电阻率、相位曲线质量，不符合要求时应重测。

5.2.8 质量检查与评价应符合下列规定：

1 检查观测点宜在干扰较小的地段随机选取；

2 检查观测应布置在与观测点相同的位置，布极方向及极

距与正常观测时一致；

3 检查观测获得的视电阻率曲线和相位曲线应与原测试曲线形态相似或一致，对应幅值应接近，最大均方相对误差不得大于 10.0%；

4 不合格的测深点数不得大于总检查测深点数的 20%。

5.2.9 资料处理应符合下列规定：

1 应依据地质及其他物探资料，分析、对比电磁测深曲线，判断视电阻率、相位曲线的极化模式，并以此进行数据编辑和曲线平滑；极化模式选择错误的频点应予调整；

2 一条曲线上编辑剔除的频点不得超过总频点数的 15%，连续剔的频点不得超过 3 个，剩余的频点应在整条曲线上均匀分布，曲线形态完整，且不存在畸变现象；

3 平滑后的曲线首支频点频率不应低于 200Hz，曲线尾支应反映深部电性标志层；

4 对于数据点连续性差、标准偏差大的点，应对照相邻曲线反复进行平滑，平滑曲线形态应符合测区内曲线变化的规律；

5 应对有静态位移的视电阻率曲线及有地形影响的曲线进行校正。

5.2.10 定性解释应符合下列规定：

1 应分析、对比测区内的曲线类型，总结相同类型曲线分布特征和规律；

2 当测区内或附近有钻孔电测井资料时，应依据其推断地电结构，并宜进行孔旁测深曲线正反演，研究电性层与地层的对应关系，确定测区地电模型；

3 应绘制定性解释图件，分析断面电性结构特征，总结总纵向电导变化规律，确定电性主轴方向，对测区成果作出定性解释。

5.2.11 定量解释应符合下列规定：

1 应在定性解释基础上进行定量解释，在定量解释中修正定性解释，两者互相结合；

2 宜在简单一维反演的基础上,结合电磁测深曲线特征,确定定量解释方法;

3 反演理论曲线应与实测视电阻率、实测相位曲线拟合,两者形态一致、数值接近;

4 二维正反演宜在已知资料的约束条件下进行。

5.2.12 成果图件应主要包括定性解释图件、定量解释图件和综合解释图件,并应符合下列规定:

1 定性解释图件应主要包括视电阻率曲线类型图、视电阻率断面图、相位断面图,以及要求的平面等值线图;

2 定量解释图件宜包括电性标志层的等深图、等厚图,以及反映电性变化的剖面图等;

3 综合解释图件宜包括地质—地球物理综合地质解释图。

5.3 电磁剖面法

5.3.1 电磁剖面法可用于探查地下金属管线及其他地下导电性、导磁性埋设物,也可用于探查地下断层、岩溶、空洞、采空区等。

5.3.2 电磁剖面法根据地质条件和探测要求可选择使用大定源回线法、偶极剖面法。探查地下管线时,应符合现行行业标准《城市地下管线探测技术规程》CJJ 61 的相关规定。

5.3.3 使用的仪器主要性能指标应符合下列规定:

1 发射动态范围不宜低于 140dB,频率范围应满足 0.1Hz~200kHz,最大发射磁矩应与探测深度相匹配;

2 接收应增益可调,有效动态范围不低于发射动态范围,且具有选频功能。

5.3.4 偶极剖面法的收发距选择应符合下列规定:

1 当探测深度小于或等于 6m 时,应固定使用一个通过试验确定的收发距;

2 当探测深度大于 6m 时,可分别采用几个不同的收发距。

5.3.5 数据采集应符合下列规定:

1 采用大定源回线装置工作时，应利用大回线的均匀一次场，通过小回线在大回线内外测线上逐点观测；

2 偶极剖面法应使用固定间距的发收线圈同步沿测线移动，可采用水平线圈法或虚分量振幅法进行观测；

3 利用管线仪探测地下金属管线时，应符合现行行业标准《城市地下管线探测技术规程》CJJ 61 的相关规定。

5.3.6 应采用重复观测进行质量检查，检查观测曲线与原始观测曲线的形态应相似或相同，且观测值的均方相对误差不应大于 15%。

5.3.7 资料处理解释应符合下列规定：

1 采用虚实分量法解释时，应先进行定性解释，确定异常范围、走向长度、倾斜方向等；在定性解释基础上，选择干扰影响较少的光滑曲线进行定量解释；

2 采用振幅比—相位差法解释时，可对异常进行实、虚分量转换，制作平面图后，再按先定性后定量的方法进行解释；

3 可采用几个发收距或几个相应的频率的资料进行介质电导率和厚度的定量计算；

4 成果图可包括实际材料图、电压曲线、电磁响应曲线或平面等值线图；探测地下金属管线时，探测成果应符合现行行业标准《城市地下管线探测技术规程》CJJ 61 的相关规定。

5.4 瞬变电磁法

5.4.1 瞬变电磁法可用于探查地下地质构造、埋设物、岩溶、洞穴、采空区等，也可用于水文地质、工程地质、环境地质调查与监测以及考古勘探等。

5.4.2 使用的仪器主要技术指标应符合下列规定：

1 发射动态范围不宜低于 140dB；

2 通道灵敏度应达到 $0.5\mu\text{V}$ ；

3 等效输入噪声应小于 $1\mu\text{V}$ ；

4 对 50Hz 工频干扰抑制能力不应小于 60dB。

5.4.3 瞬变电磁法应根据工作条件和探测任务选择使用重叠回线装置、中心回线装置、偶极装置、大定源回线装置等。

5.4.4 工作布置应符合下列规定：

1 布设激励源宜避开铁路、地下金属管道、高压线、变压器、输电线等，敷设线框时的剩余导线不宜过长，并应呈“之”字形铺于地面并应远离测区，发射线框与接收线框的间距宜通过实地试验选择；

2 接地线源长度应视探测深度和观测的信号强度确定；回线发射的线框边长 L 可根据其与最大发射电流强度 I 、探测深度 h 的关系按下列公式计算：

$$h = 0.55 \left(\frac{L^2 I \rho_{sl}}{\eta} \right)^{1/5} \quad (5.4.4-1)$$

$$\eta = R_m N \quad (5.4.4-2)$$

式中： h ——中心回线装置估算极限探测深度（m）；

L ——发射回线线框边长（m）；

I ——发射电流强度（A）；

ρ_{sl} ——上覆地层电阻率（ $\Omega \cdot m$ ）；

η ——最小可分辨电平（dB）；

R_m ——最低限度的信噪比；

N ——噪声电平（dB）。

3 布设精测剖面时，应垂直于异常走向且通过异常中心，且宜与测线重合，剖面长度应覆盖异常范围，点距大小应能够完整反映异常细节。

5.4.5 数据采集应符合下列规定：

1 时窗大小等观测参数应通过试验确定；

2 现场观测值应在噪声电平以上；

3 应在测区内均匀布置干扰水平观测点，并根据观测结果对全区按强、中、弱三级分区；

4 应根据测点上的干扰水平选择叠加次数；

5 当曲线出现畸变时，应查明原因后重复观测，或加密测

点，并做详细记录；

6 每个测点观测完毕，应对数据或曲线进行检查，确认合格后方可搬站。

5.4.6 质量检查与评价应符合下列规定：

1 系统的质量检查应在相同点位、不同时间、重新布设线框独立进行，并应根据质量检查结果绘制质量检查对比曲线和误差分布曲线；

2 单个测点的观测、重复观测和检查观测曲线的形态和幅值应一致，且各观测道的最大均方相对误差不应大于 10.0%；

3 一条测线或测区检查的最大均方相对误差不应大于 15.0%。

5.4.7 资料处理与解释应符合下列规定：

1 可对数据进行滤波处理和发送电流切断时间影响的改正处理；

2 应计算和绘制视电阻率、视纵向电导断面图，也可计算视时间常数等；

3 应根据响应时间特征和剖面曲线类型划分背景场及异常场，确定地电模型和异常；

4 应根据观测资料处理结果进行定性解释和异常的半定量、定量解释，编制平面剖面地质解释图。

5.5 探地雷达法

5.5.1 探地雷达法可用于道路路面、隧道、洞室衬砌质量检测，也可用于隧道施工超前预报、混凝土内部钢筋分布与缺陷探查、道路路基病害探测、堤坝隐患探测、地下洞穴探测、地下管线探测以及环境污染调查等。

5.5.2 应用条件应符合下列规定：

1 功率反射系数应大于 0.01；

2 目标体在探测深度或距离范围内，其尺寸应满足探测分辨率的要求；

3 测区内不应存在大范围金属构件，或通过处理可以消除其干扰；

4 场地不应存在高导电屏蔽层；

5 单孔或跨孔探测时，钻孔中不得有金属套管。

5.5.3 使用的仪器主要技术性能指标应符合下列规定：

1 应具有多种实时监测显示方式；

2 应具有信号叠加功能；

3 系统增益不应小于 150dB，计时误差不应大于 1.0ns。

5.5.4 工作布置应符合下列规定：

1 测线、测网布设方案应根据探测目标体埋深和规模、地质地球物理条件、天线类型，通过现场试验确定；

2 测网密度大小应能覆盖探测目标，目标体异常上的测点数不应少于 3 个；测线宜穿过已有钻孔或与其他方法测线重合布设；

3 硐室衬砌质量检测时，应沿硐室走向分别在拱顶、拱肩、拱腰布设测线。

5.5.5 探地雷达法应通过现场试验，了解测区内有效波和干扰波的分布规律，确定采样率、记录时窗、发射电压等系统采集参数。

5.5.6 探地雷达法应根据试验结果，结合探测深度及分辨率要求，选择中心频率天线。当多个频率的天线均能满足探测深度要求时，应选择相对较高频率的天线。

5.5.7 探地雷达法可选用剖面法、宽角法进行观测，亦可根据探测需要进行透射法和钻孔雷达探测。

5.5.8 探测分辨率、探测距离或深度的估算应符合下列规定：

1 宜取波长的 1/4 作为垂向分辨率，取第一菲涅尔带半径作为横向分辨率；第一菲涅尔带半径 r_f 应按下式计算：

$$r_f = \sqrt{\lambda h / 2} \quad (5.5.8)$$

式中： r_f ——第一菲涅尔带半径（m）；

λ ——雷达波波长（m）；

h ——目标体埋深或距离 (m)。

2 探测距离或深度可用雷达方程估算,也可利用获得的介电电磁波速度和目标体双程走时换算。

5.5.9 数据采集应符合下列规定:

1 工作前应按试验结果,设置仪器工作参数,并可根据现场条件测试介电常数、推测电磁波速度;

2 探测条件复杂时,应选择两种或两种以上不同中心频率的天线分别测试,相互对比探测结果;

3 现场工作时,可根据干扰情况、雷达图像效果,及时调整采样率和记录时窗;

4 连续测量时的天线移动速度应均匀,并与仪器的扫描率相匹配;使用分离天线测量时,应通过调整天线距离使来自目标体的反射信号最强;天线取向宜使其极化方向与目标体长轴或走向平行;

5 测试中应详细记录干扰影响或异常点位置;重点异常区应重复观测,重复性较差应查明原因;

6 使用测量轮时,在测试之前应进行标定;测试过程中宜按规定进行标注校对。

5.5.10 质量检查和评价应符合下列规定:

1 提供检查和评价的雷达资料应经过初步编辑,编辑内容可包括测线号、里程桩号、剖面深度等;

2 检查观测的图像应与原始观测图像的形态与位置基本对应;

3 检查发现雷达图像有疑义或记录时窗未满足要求时,应调整参数后重新观测。

5.5.11 资料处理应符合下列规定:

1 预处理应进行桩号校正,删除无用道;增益调整时曲线不得出现拐点;

2 消除背景干扰可采用带通滤波、小波分析、点平均、道平均方法;

3 突出反射波边界拐点可使用反褶积、小波分析方法；

4 压制多次反射波可使用反褶积方法，反褶积的反射子波宜采用最小相位子波；

5 在确定无同倾角的有效层状反射波时，可采用 $F-K$ 倾角滤波法消除倾斜层干扰波；

6 可采用时间偏移或深度偏移方法消除叠加干扰，深度偏移宜使用实测的电磁波速度；

7 当信噪比较低时，不宜进行反褶积、偏移归位。

5.5.12 资料解释应符合下列规定：

1 参与解释的雷达图像应清晰；

2 应根据地质情况、电性特征、被探测目标体的性质和规模进行综合分析。反射法应识别和剔除干扰，通过对雷达反射波波形、能量强度、初始相位等特征识别和分析，确定异常的性质和范围；透射法可根据图像有无能量阴影，或有无二次波叠加特征判断异常，也可采用阴影交汇、二次波形态及发射和接收相对位置进行定量解释；

3 成果图应包括雷达测线布置图、雷达剖面图像、成果解释剖面图。

5.6 核磁共振法

5.6.1 核磁共振法可用于直接寻找地下水，确定含水层的深度、厚度，还可用于堤坝渗漏探测。

5.6.2 核磁共振法应根据地质条件和探测任务采用不同的测深方式，探测深度大于 150m 或环境噪声大于 1500nV 的强电磁干扰条件下不宜使用地面核磁共振法。

5.6.3 核磁共振仪器发射单元和接收单元的主要技术指标应符合下列规定：

1 发射单元主要技术指标应符合下列规定：

1) 频率范围应为 0.5Hz~4kHz；

2) 调谐器容量不应小于 60mF；

- 3) 瞬时最大输出不应小于 300A 和 3000V;
- 4) 最大发射脉冲能量不应小于 36kJ;
- 5) 脉冲矩应满足 $100\text{A} \cdot \text{ms} \sim 18000\text{A} \cdot \text{ms}$ 。

2 接收单元主要技术指标应符合下列规定:

- 1) 带通滤波宽度不应小于 100Hz;
- 2) A/D 转换器不应低于 16bit;
- 3) 噪声水平应小于 $10\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ 。

5.6.4 核磁共振法可进行单个测点布置。

5.6.5 在工作范围内, 应准确测量地磁场强度, 磁场强度实地测量的绝对误差应小于 10nT。

5.6.6 在进行全程地面核磁共振法测量前, 应利用测得的地磁场强度换算出激发频率初值后, 发射相应频率电流脉冲, 进行不少于 5 个脉冲矩的测量试验, 经频率分析确定激发频率。确定用作全程核磁共振测量的激发脉冲频率与接收到的信号频率差值应小于 1Hz。

5.6.7 核磁共振法应根据探测深度要求以及电磁噪声干扰的强弱和方向, 可选择正方形、圆形或 ∞ 字形的线圈敷设方法。

5.6.8 各测量仪器单元间及设备间应正确连接, 系统设备应接地良好。

5.6.9 核磁共振法在开始测量前应选择测量信号范围、记录长度、脉冲持续时间、脉冲矩数量、叠加次数等参数, 并应符合下列规定:

1 测量信号范围在能够测得环境噪声水平时, 可按不低于 4 倍环境噪声水平进行选择; 在未得到环境噪声水平时, 亦可选定某值作为测量范围; 在测量过程中, 发现不当可修改, 但应重新开始全程测量;

2 记录长度应根据实际探测需要确定; 脉冲持续时间由程序控制, 可在 5ms~100ms 之间选择;

3 脉冲矩数量应根据探测深度范围内分层数量和测量时间确定;

4 叠加次数应根据探测质量要求和测量时间选择；对于新区工作的叠加次数可按表 5.6.9 选择。

表 5.6.9 核磁共振法信号采集的叠加次数

环境噪声 (nV)	不同信号数值时的叠加次数		
	30nV	100nV	300nV
200	64	32	16
500	128	64	32
1000	256	128	64

5.6.10 核磁共振法数据采集应先进行线圈阻抗测量，并从最小脉冲矩开始到最大脉冲矩结束，按确定的脉冲矩数量和叠加次数完成一个完整的地面核磁共振测深点的测量。

5.6.11 核磁共振法应通过放大因子测定、环境噪声监视、叠加噪声和叠加信号监视、叠加相位观察和频率变化，对测量质量进行监控。

5.6.12 核磁共振法获得的参数应包括核磁共振信号初始振幅、平均衰减时间和初始相位。

5.6.13 核磁共振法信号应经过零时外延、化为标准观测值、噪声滤波等预处理后，进行反演解释。

5.6.14 在资料处理时，除应提供仪器存储的数据文件外，还应提供记录工区位置、高程、文件名、天线形状、电磁干扰及其分布特点、周围岩性、地层、地形、水文地质等内容的外业记录。

5.6.15 核磁共振法资料的反演解释应符合下列规定：

1 在资料反演处理之前，应根据线圈的形状和大小、激发频率（拉摩尔频率）、地磁场的倾角、最大探测深度、大地电阻率等测量条件和测量技术参数进行计算，构建反演所需要的矩阵文件；

2 选择信号长度、滤波时间常数及正则化系数进行资料反演。

5.6.16 核磁共振法提供的成果图件应主要包括含水量直方图、衰减时间常数直方图、测深断面图以及含水量分布图等。

6 浅层地震法

6.1 一般规定

6.1.1 浅层地震法根据地质条件和探测要求,可按本标准附录 A 选择使用反射波法、透射波法、折射波法、面波法或微动勘探法。

6.1.2 浅层地震勘探应使用多道数字地震仪,其主要性能和技术指标应符合下列规定:

- 1 A/D 转换器不宜低于 24bit;
- 2 动态范围不宜低于 120dB;
- 3 仪器采样率可调,最小采样间隔不应大于 $50\mu\text{s}$;
- 4 应具有良好的道一致性,各道振幅相对误差不应大于 10.0%,相位绝对误差不应大于采样间隔的一半;
- 5 通频带宜为 0.5Hz~4000Hz;
- 6 主机面板各端口宜采用标准接口。

6.1.3 浅层地震法的电缆、检波器应符合下列规定:

- 1 电缆不得有破损、断道、串道、短路等故障;
- 2 应选择相应主频的高灵敏度检波器,并符合下列规定:
 - 1) 各检波器相位绝对误差不应大于采样间隔的一半;
 - 2) 各检波器振幅相对误差不应大于 10.0%;
 - 3) 绝缘电阻应大于 $10\text{M}\Omega$ 。

6.1.4 检波器的安置应符合下列规定:

- 1 检波器应与大地或井壁耦合良好,硬化地面安置时,可采取橡皮泥、特制胶泥、熟石膏、金属检波器靴等方式实现耦合;
- 2 当检波器置入水中时,应使用防水检波器或水听器;
- 3 应按设计的位置安置检波器,位置最大偏差不应大于道

间距的 $1/3$;

4 使用水平检波器时,应保持检波器水平度,灵敏轴应垂直于测线走向,并平行于水平激震的主作用力方向;使用垂直检波器时,检波器应垂直,灵敏轴垂直测线方向,且取向一致。

6.1.5 使用的震源应符合下列规定:

1 可使用爆炸、锤击、落重、电火花、空气枪或超磁等震源;

2 震源应能激发所选工作方法需要的主频地震脉冲,能量可控并符合探测深度要求;

3 使用爆炸机时其性能应安全可靠,并具备记时回路触发功能;

4 锤击震源和落重震源应操作方便、重复性好;

5 记时信号延迟时差不应大于 0.5ms 。

6.1.6 地震仪的地震道一致性校验、触发开关误差校验应符合本标准附录 C 的相关规定。

6.2 反射波法

6.2.1 反射波法可用于探测基岩埋深,划分松散层和基岩风化带;探测断裂、破碎带等地质构造,辅助评价断裂的活动性;探测河床沉积泥砂厚度,探测地下含水层、洞穴、采空区、沉陷带、孤石、构筑物、大口径管道或箱涵等。

6.2.2 反射波法的应用条件应符合下列规定:

1 探测目标与周围介质之间存在明显的波阻抗差异;

2 探测目标应有一定规模,几何尺寸不宜小于有效波长的 $1/4$ 。

6.2.3 反射波法宜选用满足所需频段的宽频地震检波器和更宽频的震源。

6.2.4 反射波法各道检波器的安置条件应一致,且应与大地耦合良好。

6.2.5 反射波法应采用展开排列法确定观测有效反射波的最佳

窗口。

6.2.6 反射波法的测线布设应符合下列规定：

1 测线宜呈直线布置，受场地条件限制时，可布置成非纵测线；

2 地形坡度大于 15° 时，应实测激发点和检波点的位置及高程。

6.2.7 反射波法可采用简单连续观测系统、间隔连续观测系统、多次覆盖观测系统或展开排列观测系统。当地层结构简单时，可采用单道等偏移距观测系统。

6.2.8 反射波法应根据试验结果并结合场地的地震地质条件，选择合适的震源、激发能量。对于倾斜地层，应在地层下倾方向激发、上倾方向接收。采用垂直叠加增强信号时，应防止近道数据溢出。

6.2.9 水域反射波法时的接收排列和震源应实施定位。

6.2.10 反射波法的质量检查与评价应符合下列规定：

1 原始记录上不得有强烈的干扰背景，且能可靠追踪反射波震相；

2 检查应采用重复观测方式，检查量不应小于总工作量的 5%，复测记录应无明显变化及异常，反射同相轴无明显位移；

3 水域反射波法可采用检查测线与主测线相交方式进行复测，相交处复测记录的反射波相位应无明显位移。

6.2.11 反射波法的资料处理应包括预处理、抽道集、静校正、速度分析、动校正、滤波、叠加等过程，并应符合下列规定：

1 应绘制观测系统图，并应注明空炮、废炮及测线经过的主要地物标志；

2 应整理表层静校正所需的测点坐标、高程、井深、低速带厚度及速度等资料；

3 应根据各记录道的波形、振幅及振动延续度进行地震波的对比；在断层发育区，宜采用多相位对比；

4 所使用的速度参数可通过地震测井或浅层折射波法获得。

6.2.12 资料解释时,可根据钻孔资料和地质资料,确定地层层位与波组之间的关系,进行波组对比追踪。

6.2.13 反射波法的成果图应主要包括反射波原始记录、时间剖面、时深转换剖面以及推断解释地质剖面或平面图。

6.3 透射波法

6.3.1 透射波法可用于通过测试岩土体原位波速,计算岩土体动弹性参数,划分岩土性质,判别地基砂土液化,也可用于进行岩土体质量评价。

6.3.2 透射波法的应用条件应符合下列规定:

1 孔中透射时,应具备检波器与孔壁耦合的可靠贴壁装置或者井液;

2 测试面透射时,布置激发点和接收点的表面应平整。

6.3.3 依据工作场地条件及探测目的不同,透射波法可采用单孔透射、跨孔透射或者测试面透射工作方式。

6.3.4 使用的仪器设备应包括信号采集仪、传感器(检波器)、激震装置,并应符合下列规定:

1 信号采集仪可使用地震仪或声波测试仪,其主要技术指标应符合下列规定:

1) 土体测试时的最小采样间隔不应大于 0.2ms,岩体测试时的最小采样间隔不应大于 50 μ s;

2) 触发误差、放大器相位误差均不宜大于 5 个采样间隔,累计误差不应大于 8 个采样间隔。

2 传感器(检波器)在水中使用时应防水,其主要技术指标应符合下列规定:

1) 主频应满足 10Hz~100Hz;

2) 阻尼系数应满足 0.65~0.70;

3) 电压灵敏度不应小于 200mV/cm \cdot s⁻¹。

3 激震装置应有效,且激震方式、激发能量应满足穿透距离要求。

6.3.5 弹性波 CT 的观测布置应符合下列规定：

- 1 每个 CT 剖面的所有激发点和接收点应在同一个平面上；
- 2 跨孔 CT 成像的井间距不宜大于钻孔深度的 $1/2$ ；钻孔深度超过 30m 时，应进行孔斜校正；
- 3 探测与钻孔平行的条带状目标时，应在钻孔间的地面连线上布置观测点，增加观测数据；
- 4 点距应根据探测目标物规模选取，宜为 0.2m~5.0m；当采用不等间隔点距时，应以弹性波射线有效覆盖和正交为原则。

6.3.6 波速测试的现场工作应符合下列规定：

- 1 单孔透射的测试孔应垂直，可采用地面激震或孔中激震，检波器应固定在预定深度处，测点间距不宜大于 3m；
- 2 跨孔透射的测试孔应与震源孔布在一条直线上，土层孔距宜取 2m~5m，岩层孔距宜取 8m~15m，测点间距不宜大于 2m；孔深大于 15m 时，应测量孔斜和倾斜方位；
- 3 测试面透射时宜采用单发多收方式，排列长度应根据测试面的大小确定，接收点数不应少于 5 个；
- 4 采用水平叩板方式激发横波时，木板长向中垂线应对准孔口或测线；采用斜插叩板方式时，斜插端延长线应对准孔口或测线；跨孔测试采用剪切波锤时，宜采用一次成孔的钻孔；使用锤击震源时应防止连击。

6.3.7 进行弹性波 CT 资料处理时，划分的单元数不应超过数据采集的有效炮·检对数。

6.3.8 单孔和跨孔波速测试的资料处理应包括读取走时、计算波速、绘制钻孔波速测试成果图表等。

6.3.9 测试面透射波法的资料处理应符合下列规定：

- 1 应根据不同接收距离和初至时间，绘制走时曲线；依据时距曲线斜率，计算表面各区域直达波速度；
- 2 应对不同区域或者不同岩性段的多个测点速度结果进行统计分析，求取各个区域或者不同岩性段各自的平均速度；

3 根据任务要求可绘制波速分区图进行分区评价,编制横波或纵波速度计算成果表。

6.3.10 根据透射波法测试的横波速度,可按工程要求计算岩土体弹性参数,为划分岩土性质、判别地基砂土液化和进行岩土体质量评价,提供依据。

6.3.11 质量检查与评价应符合下列规定:

1 抽检不少于5%的炮检对进行重复观测,复测旅行时的最大均方相对误差不应大于5.0%;

2 原始记录存在下列缺陷之一者应为不合格记录:

1) 同一记录上相邻两道或者10%以上道为坏道;

2) 不能可靠地读取直达波旅行时间。

6.3.12 提交的成果应主要包括测试工作布置图、测试波形图、推断解释剖面或平面图,以及计算的岩土体动弹性参数。

6.4 折 射 波 法

6.4.1 折射波法可用于探测基岩埋深,划分松散沉积层序和基岩风化带;探测潜水面深度和含水层分布;探测断层、破碎带等地质构造;根据折射波速度评价岩土体质量,为计算弹性模量提供参数;进行滑坡等地质灾害调查,以及采空区、溶洞探测等。

6.4.2 应用条件应符合下列规定:

1 被探测界面的下伏地层波速应大于上覆地层的波速,或者局部虽然有低速层,但检波器排列范围内能够接收到返回地面的折射波;

2 被探测界面起伏应相对稳定,且具有延续性;

3 工作中应避开强振动干扰,无法避开时应停止工作。

6.4.3 使用的仪器设备应包括地震仪、检波器及电缆、震源装置和触发装置,地震仪的主要技术指标应符合下列规定:

1 记录长度可选,每道样点不应小于1024个;

2 放大器折合到输入端噪声不应大于 $1\mu\text{V}$;

3 各地震通道间相位误差不应大于2个采样间隔。

- 6.4.4** 实施折射波法应根据纵波、横波类型和任务要求,选用相应的震源。震源触发信号延迟时差不应大于2个采样间隔。
- 6.4.5** 使用的检波器固有频率不宜大于60Hz,各道检波器之间的固有频率漂移不应大于10%,灵敏度变化不应大于10%。
- 6.4.6** 各道检波器的安置条件宜一致,且应符合下列规定:
- 1 检波器周围的杂草等应予清除,风力过大时,宜采用掩埋方式安置检波器;
 - 2 在水田、沼泽、浅滩安置检波器时,可使用加长尾锥;
 - 3 检波器与电缆连接的极性应正确,防止短路、漏电或接触不良等故障。
- 6.4.7** 正式工作前应通过方法试验,确定压制干扰波的措施,选择激发接收方式、仪器工作参数及观测系统。
- 6.4.8** 测线布置应符合下列规定:
- 1 测线宜按直线布置;当需测线转折时,同一排列内检波器应在一条直线上,转折点应安排在排列端部,并应布置重叠观测点;
 - 2 探测高倾角的目的层时,选择的测线方向应使临界角与视倾角之和不大于 90° ;
 - 3 河谷环境工作时,测线宜垂直河流或顺河流布置,当河谷较狭窄或折射波相遇段较短时,可斜交河流布置测线;
 - 4 测线布置时宜避开旁侧影响;
 - 5 横波折射法遇目的层横向变化较大时,应通过试验确定横波极性分裂特征,确定测线方向。
- 6.4.9** 选用的观测系统应能够连续对比追踪目的层的折射波,实现完整对比或不完整对比。观测系统选择应符合下列规定:
- 1 观测表面、被探测界面平缓,且地层结构简单时,可采用单边观测系统;
 - 2 采用相遇观测系统时,相遇段内接收来自同一折射界面折射波的检波点不应少于4个;
 - 3 采用追踪观测系统时,两支时距曲线中接收同一界面折射波检波点的重叠数不应少于3个;

4 需要布置非纵测线观测系统时,测线应穿过纵测线或钻孔、基岩露头,测线长度应根据最大偏移距、震源能量大小确定。

6.4.10 水域折射波法工作可选择水底或水中固定接收排列、漂浮电缆固定激震的观测方式,接收排列和震源均应实时定位。

6.4.11 质量检查与评价应符合下列规定:

1 检查同一排列的互换道或排列间相同折射波的时间差,时间差经校正后不得大于 3ms;

2 抽检时宜采用重复观测方式,抽检量不应少于测线总长度的 5%,复测波速的最大均方相对误差不应大于 15%,折射界面深度相对误差不应大于 10%。

6.4.12 资料处理应符合下列规定:

1 应根据波形和振幅的相似性、相位一致性以及旅行时、视速度,采用单相位或多相位对比方式,进行互换道、连续道的波的对比;

2 可利用原始记录或依据干扰情况进行处理后读取波的初至时间;

3 应绘制综合时距曲线,绘制时距曲线时,应对旅行时读数进行校正。

6.4.13 资料解释应符合下列规定:

1 应区分单支时距曲线、相遇时距曲线计算各折射界面的波速,波速计算方法可根据观测系统不同进行选择;

2 解释时应依据钻孔或物性资料,确定折射界面与地质界面的对应关系,推断水平方向上的岩性变化,低速带与断层破碎带的对应关系可通过原始记录上的振幅衰减、波形变化确定。

6.4.14 成果图应主要包括综合时距曲线剖面图、推断解释剖面或平面图。

6.5 面 波 法

6.5.1 面波法可用于探查覆盖层厚度,划分松散地层沉积层序,

划分基岩风化带,探测断层、破碎带、地下洞穴、地下管道(廊)及地下建(构)筑物等,计算地基土动力参数,评价地基加固效果等。

6.5.2 面波法应根据工作条件和探测要求选择使用稳态或瞬态工作方式。稳态面波法应采用稳态面波仪和稳态激振设备,瞬态面波法可采用多道数字地震仪,并应符合下列规定:

1 仪器放大器的通频带应满足采集面波频率范围的要求。

2 各检波器应具有相同的频响特性,固有频率应满足探测要求;检波器固有频率 f_0 应按下列式估算:

$$f_0 \leq \beta_1 \cdot \frac{V_R}{H} \quad (6.5.2)$$

式中: f_0 ——检波器固有频率 (Hz);

H ——需要探测的最大深度 (m);

V_R ——探测深度范围内预计平均瑞雷波相速度的最小值 (m/s);

β_1 ——波长深度转换系数。

3 可根据勘探深度和工作方式的不同,采用瞬态或稳态震源。

6.5.3 面波法应结合探测目的和已知资料,通过试验确定观测系统布置方式、采集参数和激发方式。现场工作布置应符合下列规定:

1 应视探测对象赋存状态布置成测线或测网;

2 多道瞬态面波法宜采用向前滚动观测方式,测线、测点布设应符合现行行业标准《多道瞬态面波勘察技术规程》JGJ/T 143 的相关规定;

3 稳态面波法观测应采用变频可控震源单端或两端激发,调整两个检波器间距和偏移距进行接收,取得不同频率的多种组合面波记录;测点间距应根据探测任务和场地条件确定,每条测线或每个探测目标测点不得少于 3 个。

6.5.4 稳态面波法的数据采集应符合下列规定:

1 激振器的安置应与地面紧密接触，并使其保持竖直状态；
2 工作时，应根据探测对象和任务要求选择相应固有频率的检波器，同一排列的检波器之间的固有频率差不应大于 0.1Hz，并应竖直安置并与地面紧密接触；

3 采用等幅振动信号时，检波点距应小于探测深度所需波长的 1/2，最小偏移距可与检波点距相等；

4 观测频率间隔应通过试验选择；

5 重要异常及发现曲线畸变时应重复观测。

6.5.5 瞬态面波法的数据采集应符合下列规定：

1 采用重锤震源时应根据需要加不同材质的垫板；

2 检波点距或道间距应小于探测深度所需波长的 1/2，检波器排列长度应大于预期面波最大波长的 1/2；

3 仪器应设置全通状态；遇地层情况变化时，应及时调整观测参数；

4 多道瞬态面波法采样间隔的选择，应符合现行行业标准《多道瞬态面波勘察技术规程》JGJ/T 143 的相关规定；

5 重要异常及发现畸变曲线时应重复观测。

6.5.6 质量检查与评价应符合下列规定：

1 原始记录道特别是瞬态面波法的近源道不应出现削波，不应出现坏道；

2 检查工作量不应小于总工作量的 5%，检查记录与原记录波形应相似，频散曲线特征无明显改变；

3 频散曲线拐点和曲率变化的位置应无明显位移。

6.5.7 资料处理与解释应符合下列规定：

1 应剔除明显畸变点、干扰点，并将全部数据按频率顺序排列；

2 应区分面波和体波，并绘制频散曲线即相速度—频率曲线；

3 应结合钻探等资料判断曲线的拐点和曲率变化，求取对应层的瑞雷波相速度，并根据换算的深度绘制速度—深度曲线；

4 应结合已知资料求得瑞雷波相速度与横波速度对应关系后，利用瑞雷波相速度换算横波速度；

5 利用面波法换算深度、动力参数时，应首先利用已知资料标定。

6.5.8 成果图应主要包括典型记录、频散曲线或速度—深度曲线、推断解释剖面或平面图。

6.6 微动勘探法

6.6.1 微动勘探法可用于地层分层和地下孤石、洞穴、塌陷、采空区、断裂构造探测，也可用于横波波速测试、考古勘探等。

6.6.2 微动勘探可分为微动测深法和微动剖面法。

6.6.3 正式工作前，应进行台阵各套数据采集系统的一致性检查，台阵中各套仪器应具有相位一致性和振幅一致性。

6.6.4 观测台阵中各套数据采集系统应同步记录数据，单次记录时间不宜少于 15min。

6.6.5 使用的仪器设备应包括数据采集系统（拾震器、记录仪）及数据处理软件，并应符合下列规定：

1 拾震器应采用垂直分量、速度型传感器，自然频率不宜大于 2Hz，电压输出灵敏度不应小于 $2\text{V} \cdot \text{cm/s}$ ；

2 记录仪应自带内置卫星导航定位信号接收装置，且具有实时时间校正和多台传感器同步、连续记录功能；模/数转换不宜低于 24 位，采样率不应大于 10ms，动态范围不宜小于 128dB；

3 采用低通滤波功能的多通道放大器，其通道幅值一致性偏差不应大于 1%，通道相位一致性偏差不应大于最小采样间隔的一半，折合输入端的噪声水平应低于 $1\mu\text{V}$ ，电压增益应大于 80dB；

4 在工作频率范围内，台阵中各套采集系统的一致性不应小于 98%，采集与记录装置宜采用多通道数字采集和存储系统；

5 现场实时预处理软件应具有频散曲线反演计算、二维微

动横波视速度剖面计算功能，数据处理软件应具有空间自相关分析（SPAC）或频率—波数（F-K）域分析功能；

6 记录仪应有足够的数据存储容量，且具备低功耗性能。

6.6.6 外业工作程序应符合下列规定：

1 应进行仪器检验和一致性测试；

2 应确定台阵形式，并根据探测深度确定观测半径并测量各观测点的位置；

3 应设置仪器参数后进行微动观测，设置参数包括放大倍数、采样率；

4 应进行微动数据的回放检查，记录数据有效且合格后方可进入下一点工作。

6.6.7 仪器检验应按说明书进行，一致性测试时应将全部仪器放置到同一点处，同步记录不应少于 10min，通过计算各套仪器的功率谱、功率谱之比、相干系数和相位差，评价仪器的一致性。

6.6.8 微动测深法宜选择圆形台阵或组合的圆形台阵形式。圆形观测台阵应至少在圆心及其内接三角形的顶点分别布设观测点，三角形顶点上的观测点可沿圆周整体平移。

6.6.9 微动测深法的观测半径可根据探测深度估算确定，也可据实测频散曲线的反演计算结果进行调整。探测深度小于或等于 100m 时，观测半径不宜小于探测深度的 1/10；探测深度大于 100m 时，观测半径宜为探测深度的 1/3~1/5。

6.6.10 微动剖面法应沿剖面布设观测点，通过各观测点的微动测深实现剖面探测。

6.6.11 微动测深法的数据处理，宜采用 SPAC 法或 F-K 法，从微动数据中提取出瑞雷波相速度频散曲线，经频散曲线反演获得台阵下方介质的横波速度结构，再进行推断解释地层结构。

6.6.12 微动剖面法可在微动记录中提取出瑞雷波相速度频散曲线后，计算视 S 波速度 V_s ，通过对剖面上各点的 V_s 值进行内插，绘制视 S 波速度剖面图后进行地质构造推断解释，视 S 波速

度 V_x 应按下式计算：

$$V_{x,i} = \left(\frac{t_i \cdot V_{R,i}^4 - t_{i-1} \cdot V_{R,i-1}^4}{t_i - t_{i-1}} \right)^{1/4} \quad (6.6.12)$$

式中： V_R ——瑞雷波相速度 (m/s)；

t ——时间 (s)。

6.6.13 微动勘探成果应包括探测点实测频散曲线图、横波速度结构图、视 S 波速度剖面及地质解释成果图。

最新标准 全网首发



资源下载QQ群：61754465

7 高精度磁法

7.1 一般规定

7.1.1 高精度磁法可用于具有铁磁性的地下管线探测、地下埋设物（爆炸物）探测、考古调查、水下磁性物体探测、构造破碎带探测等。

7.1.2 高精度磁法的有效性宜根据已知条件拟定简单模型，经正演计算进行评估。

7.2 仪器设备要求

7.2.1 高精度磁法仪器的技术指标和性能应符合下列规定：

1 仪器的分辨率应达到 0.1nT ，磁场测量精度不应低于 1nT ；

2 日变观测仪器应与工作使用的仪器匹配；

3 同一测区、同一工作目的或测量相同参数的仪器，其型号宜一致。

7.2.2 在每一测区正式施工前和工作结束后，均应对使用的仪器的噪声水平、一致性、系统误差等进行测定或校验，其精度应满足设计要求。

7.2.3 出工前应检查仪器设备，确认附件齐全完好、电池电压正常、可用内存容量充足，时钟误差不应大于 1s 。

7.3 数据采集

7.3.1 高精度磁法总精度应根据探测要求、探测对象的规模及干扰因素确定，采用磁场观测均方误差值来衡量，磁测总误差不应大于 5nT ，磁测总均方误差不应大于目标体引起最小异常极大值的 $1/5$ 。

7.3.2 设计时因某项精度较低,可通过提高其他项精度而达到总精度要求。误差分配可按表 7.3.2 执行。

表 7.3.2 磁测误差分配

磁测 总误差 (nT)	现场观测均方误差 (nT)					各项改正均方误差 (nT)			
	总计	操作 及点位	仪器 一致性	仪器 噪声	日变 改正	总计	正常场	高度	基点
5	4.36	2.65	2.0	2.0	2.0	2.45	1.0	1.0	2.0
2	1.56	1.1	0.7	0.5	0.7	1.212	0.7	0.7	0.7
1	0.87	0.7	0.3	0.3	0.3	0.497	0.28	0.28	0.3

注:操作及点位误差中,含点位不重合、探头高度不准、探杆倾斜等误差。

7.3.3 高精度磁法的测区范围应覆盖探测目标,根据任务要求、场地地质及地球物理特征、目的物大小布设测网和网格密度。测线间距不应大于最小探测目标体长度的 1/2,异常上测点不应少于 3 个。

7.3.4 高精度磁法应通过基点或日变站观测测区的地磁场值。基点或日变站的布设及观测应符合下列规定:

1 基点或日变站应布设于磁场平静区域,在半径 2m 及高差 0.5m 范围内磁场变化不应超过设计总均方误差的 1/2;

2 基点或日变站应远离建筑物和铁路、厂房、高压线等工业设施布设,且附近没有铁磁性干扰体;

3 基点宜同步日变观测,联测日变站的地磁场,观测时间不应少于 2h,读数间隔不宜大于 20s,选择地磁场变化不大于 2nT 的时间段取观测平均值作为该点的地磁场值;

4 基点、日变站均应测定坐标和高程。

7.3.5 定量计算磁异常时应布设精测剖面。精测剖面布设应符合下列规定:

1 剖面应呈直线,其方向应垂直异常走向,或通过异常值点、已知钻孔、与其他探测方法测线重合布设;

2 剖面两端宜延至正常场内;

3 剖面的点距应根据定量解释要求确定。

7.3.6 观测参数可根据任务要求、探测目标物的形状及埋深，选择观测磁场垂直分量、总场强度、总场垂直梯度或水平梯度，有条件宜进行多参量观测。

7.3.7 仪器操作应符合下列规定：

1 操作人员不得随身带有任何磁性物品；

2 观测过程中不得旋转探头；垂向梯度测量时，两探头的联线不得偏离垂线 10° ；水平梯度测量时，两探头的联线偏离水平线不得大于 10° ，偏离测线的方位误差不得大于 10° ；

3 水上磁测时宜选择木船，并清除船中可移动的铁磁性物体，采取措施减少固定铁磁物体的磁干扰。

7.3.8 仪器校对点应远离磁性干扰体，选在磁场梯度较小且出工收工方便处布设；观测时，应保持点位、探头高度在观测前后一致，且观测值经日变改正后的闭合差不应大于 2 倍观测均方差；校正点位应设立标志。

7.3.9 数据采集应符合下列规定：

1 同一测区每次观测时应保持探头高度一致，误差不得大于 10%；

2 测区边缘发现有意义的异常时，宜追踪观测；相邻两测点读数波动较大时，应加密测点观测；相邻两测线的异常明显变化时，应加密测线；

3 遇有磁性干扰物时应避开，无法避开时应做备注；

4 观测中仪器发生故障时，应检查排除，并对发生故障前的测点按序返回测量，直到确认正常后方能继续工作；

5 观测点位应准确，水域磁测宜采用 GNSS 进行同步定位，遇波浪时还应进行潮位观测；

6 磁暴期间应停止观测，日变扰动梯度大于 2.0 nT/min 时段的观测数据应作废。

7.3.10 磁参数宜根据目的物的材质、邻近测区同性物体的磁参数、场区地球物理特征、现场试测综合确定，也可通过目的物露

头、标本测定磁参数。

7.3.11 质量检查与评价应符合下列规定：

1 高精度磁法检查量不应低于3%，精测剖面的检查量应达到10%，且检查点数不应少于30个；

2 计算均方相对误差时，舍弃点数不得大于检查点数的1%；

3 水域磁测应通过同一测线的重复测量进行质量检查和评价；

4 在磁场平稳区内质量检查可采用同点位、同台仪器、同探头高度和不同观测时间的“三同一不同”方式。

7.4 资料处理与解释

7.4.1 高精度磁法在测区范围内或剖面长度内正常场变化超过规定误差限值时应进行地磁场正常梯度改正，在测点与总基点的高差超过高度改正的误差限值时应进行地磁场垂向梯度改正，并应符合下列规定：

1 磁场正常场改正应利用国际地磁基准场 IGRF 模型给出的高斯系数进行计算，最小改正值为 0.1nT ；

2 磁场强度高度改正应利用下式计算改正值，最小改正值为 0.1nT ：

$$M_{\text{ch}} = \frac{3M_0}{R} H_E \quad (7.4.1)$$

式中： M_{ch} ——磁场强度高度改正值（nT）；

M_0 ——测区磁场总强度平均值（nT）；

R ——地球平均半径，取 6371000m ；

H_E ——测点高程（m）。

7.4.2 日变改正应采用当天的日变观测数据，可用日变观测仪器与工作仪器对接进行，也可用计算机处理完成。改正计算应按下式进行，最小改正值为 0.1nT ：

$$M_{\text{cd}} = M_s - (M_d - M_r) \quad (7.4.2)$$

式中: M_{cd} ——日变改正后测点磁场强度绝对值 (nT);

M_s ——测点上的磁场强度观测值 (nT);

M_d ——日变站的磁场强度观测值 (nT);

M_r ——日变站的基本磁场强度 (nT)。

7.4.3 各项改正和磁异常值的计算应精确至 0.1nT。磁异常值应按下列式计算:

$$\Delta M = M_{cd} + M_{ch} - M_c - M_0 \quad (7.4.3)$$

式中: ΔM ——磁异常值 (nT);

M_{cd} ——日变改正后测点磁场强度绝对值 (nT);

M_{ch} ——磁场强度高度改正值 (nT);

M_c ——正常场磁场强度改正值 (nT);

M_0 ——总基点磁场值或异常起算点磁场值 (nT)。

7.4.4 资料解释的准备工作应符合下列规定:

- 1 应明确异常解释的要求;
- 2 应编制基础图件及解释图件;
- 3 应整理收集的测区及邻区有关地质、物化探和建筑设施资料;
- 4 应整理收集的目标体磁性数据并分析其变化特征和规律。

7.4.5 成果图件编制应符合下列规定:

- 1 应绘制仪器性能试验的各项记录曲线;
- 2 应绘制日变观测曲线图和检查观测误差分布图;
- 3 应编制日变站(基点)标志说明并附必要的照片;
- 4 应绘制磁场剖面平面图;
- 5 应绘制磁场平面等值线图;
- 6 应编绘解释推断成果图。

7.4.6 定性解释应符合下列规定:

- 1 应进行异常对比;
- 2 应分析确定异常性质,并推断异常平面位置和形态;
- 3 可通过开挖工作量验证异常,分析引起异常的原因,并排除干扰体引起的异常。

7.4.7 定量解释应符合下列规定：

- 1** 应在定性解释的基础上，进一步分析数据质量、异常特征，推断异常几何形态及磁化特征，确定待求的参量；
- 2** 所选计算剖面应符合理论推导预设条件，异常曲线应有足够的背景正常场；
- 3** 应针对异常特点和已知条件，选择相应的计算方法；
- 4** 应结合定性解释结果，对比、分析定量计算结果，并确定其可靠性和误差范围。

8 高精度重力法

8.1 一般规定

8.1.1 高精度重力法可用于岩性接触带、断层、岩体边界、覆盖层厚度、空洞、古墓探测，也可用于浅层岩土体密度测定。

8.1.2 工作布置应符合下列规定：

- 1 布置的测线应覆盖探测目标范围；
- 2 测点间距应小于异常宽度的 $1/2 \sim 1/3$ ，反映异常的测点不应小于 4 个；
- 3 测线间距不应大于目标地质体在地面上投影长度的 $1/2 \sim 1/3$ ；

4 设置基点应符合探测要求。

8.1.3 精测剖面的布设应符合下列规定：

1 精测剖面应在最能反映异常特征、干扰最小且利于进行定量计算的地方布置；

2 应垂直于异常走向或通过已知钻孔或与其他地球物理探测方法测线重合并呈直线布置；

3 两端应延伸至正常（背景）场内；

4 点距及精度要求应视定量解释的需要而定。

8.1.4 高精度重力法应采用均方误差评价观测精度。

8.2 仪器设备要求

8.2.1 高精度重力法仪器主要技术指标应符合下列规定：

1 标称重力加速度精度不应小于 $10 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ ；

2 标称重力加速度分辨率应达到 $5 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。

8.2.2 重力仪格值宜在国家级重力仪格值标定场上标定，采用基线法标定时，计算选取的合格独立观测数据不得少于 6 个。

8.2.3 重力仪应进行静态、动态试验进行零漂检验。静态、动态试验应符合下列规定：

1 静态观测地点应无振动干扰，环境温度应稳定，温度变化不应大于 1°C ，观测时间不宜小于1h，且应按固定时间间隔读数，读数时间间隔不宜大于10min；

2 动态试验观测测点不得少于2个，且测点间重力差明显，观测应采用单次往返方式。

8.2.4 重力仪应通过一致性试验检查观测精度。一致性试验测点数不应小于10个，且测点间具有明显的重力差。

8.3 数据采集

8.3.1 数据采集应符合下列规定：

1 观测时应点位准确，实地偏差不应大于0.5m；

2 当相邻两测点读数相差较大时，应加密测点；相邻两测线的异常出现明显变化时，应加密测线；

3 现场应记录重力读数时间和读数、地面或测点桩与仪器底边的距离、仪器内温、外界干扰描述、地貌描述等；

4 发现异常应进行重复观测。

8.3.2 测地工作应符合下列规定：

1 应测量每一个重力点的平面坐标和高程；

2 地下高精度重力测量时，除应测量点位的平面坐标和高程外，还应对平硐各处截面进行位置和高程的测量；

3 在靠近建筑物或采用仪器墩进行高精度重力测量时，应测量其相对位置、形状、大小等；

4 测量采用的平面坐标和高程系统宜与当地平面坐标和高程系统相一致。

8.3.3 岩矿标本的采集应符合下列规定：

1 岩矿标本的采集应具有代表性且应均匀分布；

2 在精测剖面上应沿剖面采集标本；

3 岩矿标本应在新鲜露头和岩芯上采集；

4 每种岩矿的标本采集数量不应少于 30 块, 主要岩矿石的标本不应少于 50 块;

5 每块标本重量不应小于 150g。

8.4 资料处理与解释

8.4.1 资料处理应符合下列规定:

1 室内所有计算应进行复算, 重要常数和计算方法应经过审查确认后使用;

2 重力值、布格改正值、地形改正值和纬度改正值的计算应取至 $1 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, 复算误差不应大于 $1 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$;

3 用于布格改正的高程, 复算结果相差不应大于 5.0mm;

4 地形改正计算时, 读图所得各扇形块平均高程或高程节点网的误差应符合工程实际要求;

5 计算布格重力异常, 各单项数值应按四舍五入原则进行取舍, 计算值应取至 $1 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$;

6 基、测点观测结果的计算应符合下列规定:

1) 控制基点观测结果应验算算术平均, 并计算基点边重力增量和基点网平差;

2) 测点观测结果的计算应验算平均读数。

8.4.2 数据改正计算的总精度和各项精度分配应符合表 8.4.2 的规定。

表 8.4.2 高精度重力测量数据改正计算的
总精度与各项精度分配

布格重力异常总精度 ($\times 10^{-8}$ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)	重力观测精度 ($\times 10^{-8}$ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)	布格改正精度 ($\times 10^{-8}$ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)	地形改正精度 ($\times 10^{-8}$ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)	纬度改正精度 ($\times 10^{-8}$ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)	高程精度 (m)	平面坐标精度 (m)
≤ 40	≤ 25	≤ 15	≤ 25	≤ 5	≤ 0.08	≤ 0.2

8.4.3 重力异常的推断解释应符合下列规定:

9 放射性测量法

9.1 一般规定

9.1.1 放射性测量法可用于圈定采空区范围，查找隐伏断裂构造、地下水源、放射性岩体，也可用于滑坡勘查及放射性环境评价。

9.1.2 放射性测量法可根据工作条件和探测要求选择使用伽玛测量法、氡测量法。进行地面放射性测量时，应避免扰动土、沼泽地、田埂和地下潜水面接近地表的地段。放射性测量法不适用于水域工作。

9.1.3 放射性环境评价时，可采用标准源或模型对仪器进行标定；用于相对测量时，可通过计数率估算结果。

9.1.4 放射源的使用、运输、保管以及室内外放射性观测应符合现行国家标准《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》GB 18871 和《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》GB/T 14583 的相关规定。

9.2 仪器设备要求

9.2.1 伽玛射线测量仪器的主要技术指标应符合下列规定：

- 1 测量范围应满足 $0 \sim 1000 \mu\text{R/h}$ ；
- 2 能量阈值不应大于 50keV ；
- 3 灵敏度不应小于 $1 \mu\text{R/h}$ ；
- 4 连续工作 8h 后，任两次读数的相对误差不应大于 10% 。

9.2.2 氡测量仪的主要技术指标应符合下列规定：

- 1 测量范围应满足 $3\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3} \sim 100000\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ ；
- 2 本底不应大于 1cpm ；
- 3 灵敏度不应小于 $0.9\text{cpm} \cdot \text{Bq}^{-1} \cdot \text{m}^{-3}$ ；

1 应分析引起异常的原因，推断异常体的位置、形状和产状；

2 应分析异常体的其他特征和异常的强度、梯度等；

3 异常体出露时，应根据地下介质密度分析解释异常体的延展情况；

4 定量计算应在定性解释的基础上进行。

8.4.4 成果资料应主要包括实际材料图、布格重力异常平面图、典型剖面图和剖面平面图、平面剖面地质解释图以及其他形式的相关成果图表。

- 4 连续工作 8h 后，计数相对误差不应超过 15%。

9.3 数 据 采 集

9.3.1 伽玛测量法的现场施工应符合下列规定：

1 出工前应检查仪器性能，确认仪器工作状态正常，并标定仪器；

2 现场测量方式应与标定方式一致；同一条测线宜由同一个人用同一台仪器一次完成测量；

3 测量时仪器探头应紧靠测点位置，待读数稳定后，应读取 3 个~5 个数据，并取其算术平均值作为观测值。

9.3.2 氡测量法的现场施工应符合下列规定：

1 直接进行大地氡气测量时，测区应有表土层，厚度不宜小于 300mm；氡气收集器的埋藏深度不应小于 300mm，并应有防止大气渗入的措施；

2 取样间接测量时，土壤样品的取样深度应大于 300mm，岩石取样应取到原岩；

3 氡气的摄取时间及取样过程应按仪器说明书进行；

4 两次氡气测量的时间间隔不应小于 4h；

5 建筑场地土壤氡气浓度测量应符合现行国家标准《民用建筑工程室内环境污染控制规范》GB 50325 的规定。

9.3.3 放射性测量法在异常区应加密测点，连续异常点不应少于 3 个。

9.3.4 放射性测量的主要异常段应进行重复观测。重复性较差时，应进行多次观测，舍去最大值和最小值后取平均值作为观测值。

9.3.5 放射性测量质量检查应采用重复测量方式。重复测量前后的曲线形态相似、位置一致。

9.3.6 现场应记录每个观测点附近的地貌、岩性、构造、环境等信息，遇人工污染时应注明，并说明污染性质。

9.3.7 同时进行伽玛测量和氡测量时，两者测点位置应一致。

9.3.8 地下硐室、厂房的空气氡气浓度测量应采用定期与不定期相结合的检测方法，并应按国家现行标准《地下建筑氡及其子体控制标准》GBZ 116 的规定确定监测频率和选定监测点。

9.3.9 环境氡测量应符合现行国家标准《环境空气中氡的标准测量方法》GB/T 14582 的规定。

9.3.10 环境核辐射检测评价工作应符合现行国家标准《环境核辐射监测规定》GB 12379 的规定。

9.4 资料处理与解释

9.4.1 放射性测量工作结束后，应及时进行数据处理、资料汇总、综合整理、汇编各种综合图件等资料整理工作。资料处理应符合下列规定：

- 1 应编制仪器的工作日志和绘制各种仪器性能检查曲线；
- 2 伽玛测量应计算伽玛照射量率，并应统计伽玛照射量率变化或绘制变化曲线；需要时可计算有效平衡系数或铀伽玛当量含量；
- 3 应检查观测数据并采用数理统计方法计算放射性背景值，大于 2 倍背景值的观测值可定为异常；
- 4 绘制剖面和平面对等值线图；
- 5 测量结果可根据需要采用表格的形式表示；
- 6 参与地质解释的异常应符合重复性好、地质控制因素明显、分布有一定规律的特点。

9.4.2 放射性测量法的资料解释应符合下列规定：

- 1 应研究异常的分布规律和特征，分辨异常性质并排除假异常及人工污染等因素的影响；
- 2 因观测条件变化引起观测数值的变化时，应在进行多次观测查明原因后再进行解释；
- 3 环境检测的结论应明确。

9.4.3 放射性测量成果应主要包括测量曲线图、平面对等值线图、平面剖面图、平面剖面地质解释图、观测数据表。

10 温度测量法

10.1 一般规定

10.1.1 温度测量法可用于建筑物结构安全监测、保温性能检测以及温度场监测与评价等。

10.1.2 温度测量法可分为红外热像法、地温测量法、大体积混凝土测温法。

10.1.3 根据被测对象特点、任务要求、温度范围及现场条件的不同，温度测量可选择接触式测温方式或非接触式测温方式。

10.2 红外热像法

10.2.1 红外热像法可用于建筑物外墙饰面质量、渗漏检测，建筑物外围护结构的保温隔热缺陷检测，构筑物浅表层空壳、风化、裂缝、剥落缺陷检测。

10.2.2 应用红外热像法的应用条件应符合下列规定：

- 1 被测墙面与红外热像仪之间应通视、无遮挡；
- 2 被测目标体应无强光反射；
- 3 被测目标体表面应无明显积水。

10.2.3 红外热像仪的主要性能指标应符合下列规定：

- 1 测温范围宜满足 $-20^{\circ}\text{C}\sim+100^{\circ}\text{C}$ ；
- 2 测温分辨率不应低于 0.1°C ；
- 3 测温精度不应低于 2% ；
- 4 热像像素宜大于 320×240 ；
- 5 可见光像素应与热像素匹配。

10.2.4 同一工程同时使用多台仪器红外热像仪时，应进行一致性试验，各台仪器间的测温偏差不应大于 0.5°C 。

10.2.5 红外热像法检测宜在低风速、无雨的环境条件下进行。

10.2.6 检测前,宜根据检测目的和工作需要,调查并收集待测目标体的建筑材料、几何数据等相关资料,查看相邻建筑物的屋顶、消防楼梯、露台和窗台等可利用的位置。

10.2.7 红外热像法应根据被检测建筑的高度和宽度、相邻建筑的高度和宽度、检测角度和距离,结合调查收集获得的资料,现场确定检测的最佳位置后实施。现场检测应符合下列规定:

1 应选择目标物表面拍到最少反射物的角度,垂直视角不宜超过 45° ,水平视角不宜超过 30° ;

2 应在相同部位拍摄红外热谱图和可见光照片,数量各不应少于 2 幅张,缺陷部位红外热谱图的数量宜相应增加;

3 拍摄距离宜控制在 10m~50m 范围内,大于 50m 拍摄时宜使用长焦镜头,10m 距离内拍摄时宜使用广角镜头;

4 建筑物各立面均应分区域拍摄,上下或左右相邻图像之间应有部分重合。

10.2.8 现场检测时,可采用敲击法、拉拔试验或其他辅助检测方法验证确认缺陷。

10.2.9 红外热像图的预处理应符合下列规定:

1 读取正常部位温度,去除正常部位色块;

2 读取干扰部位温度,去除墙面污染等形成的假脱粘空鼓色块;去除空调、采暖设备等干扰热源部位色块;

3 根据温度梯度确定空鼓部位与正常部位边界;

4 当拍摄垂直视角大于 45° 时,应修正温度场、温度梯度;当拍摄水平视角大于 30° 时,应修正红外热像图的视角。

10.2.10 红外热像法应根据拍摄图像尺寸与实际对象尺寸的比对关系,计算外墙饰面单块空鼓部位面积后,统计每个区域的空鼓部分面积,计算每个立面外墙饰面层空鼓面积,应按下式计算外墙饰面空鼓率:

$$\epsilon_E = \frac{S_E}{S} \times 100\% \quad (10.2.10)$$

式中: ϵ_E ——外墙饰面层的空鼓率(%),精确到 1%;

S_E ——建筑立面外墙饰面层空鼓总面积 (m^2), 精确到 $1m^2$;

S ——建筑立面外墙饰面层净面积 (m^2), 精确到 $1m^2$ 。

10.2.11 建筑物渗漏检测可根据红外热图像, 按本标准第 10.2.10 条的方法计算渗漏面积。渗漏水源判定可结合目测、导电性测试等其他手段进行。

10.2.12 建筑物外围护结构热工缺陷检测前宜采用表面式温度计在所检测的围护结构表面测出参照温度, 并以此调整红外热像仪的发射率, 使红外热像仪的测定结果等于参照温度; 同一个部位的拍摄间隔不宜小于 6h, 且数量不应少于 4 幅。缺陷的分析判断应符合下列规定:

1 当异常部位与正常部位温度差大于 $0.5^{\circ}C$ 时, 可判断为热工缺陷, 并应按本标准第 10.2.10 条计算缺陷面积;

2 判断缺陷原因时可根据搜集的围护结构资料, 采用内窥镜、取样等方法进行。

10.2.13 红外热像法检测除应提供缺陷的区域、面积、空鼓率外, 还应分析缺陷原因, 并提出维修处理建议。

10.3 地温测量法

10.3.1 地温测量法可用于测量土壤、水域、岩土的温度, 以及进行表层地热、场地热源的调查, 还可用于工业热力管道、热交换工程的调查。

10.3.2 地温测量仪器宜选用电阻温度计、直读式温度计、深水温度计等, 其主要技术指标和性能应符合下列规定:

1 温度测量范围应满足 $-20^{\circ}C \sim 100^{\circ}C$;

2 温度测量的分辨率应大于 $0.01^{\circ}C$;

3 温度测量相对误差不应大于 $0.25^{\circ}C$;

4 仪器线路与外壳间的绝缘电阻不宜小于 $2M\Omega$ 。

10.3.3 在精度要求较低的特殊区域, 也可采用红外温度测量仪。

10.3.4 地温测量仪器的检校应符合下列规定：

- 1 地温测量仪器应定期进行检定或校准；
- 2 测区地温测量范围宜在地温测量仪器检校变化范围之内。

10.3.5 地温测量可采用放射网点法、规格网点法或离散网点法布置观测网，并应符合下列规定：

- 1 放射网点法可用于探测等轴状目标体，应以目标体中心为测线基点，呈放射状布置测线，测线之间的角度宜为 30° 或 45° ；

- 2 规格网点法的测量基线应平行于所探测目标体的走向，测线宜垂直于基线，等间距排列；

- 3 离散网点法在测量范围内宜分布均匀，垂直于所探测目标体走向方向上的测点应加密。

10.3.6 地温测量宜在浅孔中进行，孔深不宜小于 1.0m，并应避免对测量精度有直接影响的干扰热源体布置；探测地下热力管道时，可按探查要求改变测点深度。

10.3.7 地温测量宜每天分固定时段观测，观测频次应按工作要求确定，并做好记录。

10.3.8 地温测量发现数据异常点时，应进行重复观测，剔除畸变值后取算术平均值作为该点的观测值。

10.3.9 可根据实际定期对测区内各点地温进行重复观测。

10.3.10 地温测量宜对测量结果进行气温年变化影响的改正。在工作少于 10d 或地形、地层岩性、地表状况较简单时，也可采用统计法取各测点重复观测值的几何平均值作为该测区的地温值。地温改正值应按下式计算：

$$T_c = T_s + \Delta T \quad (10.3.10)$$

式中： T_c ——进行气温年平均影响改正后的地温值（ $^\circ\text{C}$ ）；

T_s ——实际测量地温值（ $^\circ\text{C}$ ）；

ΔT ——年气温变化影响改正值（ $^\circ\text{C}$ ）。

10.3.11 地温测量的资料解释应符合下列规定：

- 1 定性解释应在搜集、分析测区地形、地质、物化探、钻

探等成果基础上，对编制图件进行异常解释，区分地温正常场和异常场，定性判断地温异常源的性质、规模、特征等；

2 定量解释应在定性解释基础上，通过特征点法、数值模拟法或物理模拟法，定量解释地温异常的范围、埋深、形态等；

3 综合解释应利用定性、定量解释成果，结合地质及现场情况，遵循由已知到未知原则，根据工作任务的要求，分析地温场异常原因，给出综合地质解释，绘制综合平面解释图，必要时提出验证意见。

10.3.12 地温测量成果图件宜包括实际材料图、地温测量剖面图、地温测量平面等温线图、地温测量综合剖面图、地温—时间曲线图。

10.4 大体积混凝土测温法

10.4.1 大体积混凝土测温法可用于厚度超过 1m 且一次浇筑完成的混凝土施工中的温度监测。

10.4.2 大体积混凝土测温的仪器应符合下列规定：

1 温度测试仪器应具有时间设置功能，并具有温度和时间参数的显示、储存、处理功能；

2 温度传感器应耐压，绝缘电阻宜大于 $500\text{M}\Omega$ ；

3 温度传感器的测试范围应满足 $-20^{\circ}\text{C} \sim +120^{\circ}\text{C}$ ；

4 温度传感器测试精度不应低于 0.5°C 。

10.4.3 大体积混凝土浇筑体内监测点的布置，应以反映出混凝土浇筑体内最高温升、里表温差、降温速率及环境温度为原则。测点布置宜符合下列规定：

1 监测点的布置范围应以所选混凝土浇筑体平面图对称轴线的半条轴线为测试区，在测试区内监测点宜按平面分层布置；

2 在测试区内，监测点的位置与数量可根据混凝土浇筑体内温度场的分布情况及温控的要求确定，沿最不利位置应布有测点；

3 在基础平面对称轴线上，当混凝土厚度均匀时，测点平

面间距宜为 10m~15m, 且不少于 4 处; 混凝土变深点、边缘、角部、中部及积水坑、电梯井等部位应布置平面测点;

4 每个平面测点其竖向宜布置 3 个~5 个测点, 采用竖向等间距, 分别位于混凝土的表层、中心、底层及中上、中下部位;

5 表层温度测点宜布置在表面以内 30mm~80mm 处; 底层的温度测点, 宜布置在混凝土浇筑体底面以上 200mm~300mm 处;

6 测试区域内宜同时安置 2 个~3 个保温层内部温度监测点及 2 个~3 个环境温度监测点;

7 对于采用水冷却法的大体积混凝土, 测点应布置在相邻两冷却水管的中间位置, 并应在冷却水管进出口处分别布置温度测点。

10.4.4 温度传感器的安装与保护应符合下列规定:

1 温度传感器可采用有线或无线信号传输。采用有线传输时, 应做好导线的绑扎和看护, 免遭混凝土浇捣时损坏; 采用无线传输信号时, 其传输距离应能满足现场测试要求, 同时应避免对其他通信设施造成不良影响;

2 温度传感器安装前, 应在水下 1m 处浸泡 24h 不损坏;

3 温度传感器接头安装位置应准确, 固定牢固, 并与结构钢筋及固定架金属体绝热;

4 温度传感器的引出线宜集中布置, 并加以保护;

5 温度传感器周围应进行保护, 混凝土浇筑过程中, 下料时不得直接冲击温度传感器及其引出线; 浇捣时, 振捣器不得触及温度传感器及引出线。

10.4.5 大体积混凝土监测频次应符合下列规定:

1 在混凝土浇筑后 7d 内, 每昼夜不宜少于 24 次; 以后按每昼夜 6 次~8 次进行监测;

2 混凝土入模温度的监测频次不应少于 2 次。

10.4.6 大体积混凝土浇筑体里表温差应符合表 10.4.6 的规定,

降温速率不应低于 $2.0^{\circ}\text{C}/\text{d}$ 。

表 10.4.6 大体积混凝土里表温差控制值表

混凝土厚度 (m)	≤ 1.5	$1.5 \sim 2.5$	≥ 2.5
里表温差 ($^{\circ}\text{C}$)	≤ 20	≤ 25	≤ 28

10.4.7 大体积混凝土温度监测周期不宜低于 14d。当混凝土的降温速率和里表温差达到要求，且混凝土中心温度与环境最低温度之差连续 3d 小于 25°C 时，可停止监测。

10.4.8 大体积混凝土温度测控成果资料应包括每天的监测速报、结束时的成果报告。

11 振动测试法

11.1 一般规定

11.1.1 振动测试法可用于测试各类场地地基、建筑基础及结构的动力学参数，也可用于寻找不明振动源。振动测试法可选择基础强迫振动测试法、场地微振动测试法或振动衰减测试法。

11.1.2 振动测试使用的计量器具应按检定要求定期检定，确保其在计量检定周期的有效期内。

11.1.3 振动测试法使用的速度型传感器技术指标应符合下列规定：

- 1 阻尼系数应满足 $0.65 \sim 0.70$ ；
- 2 电压灵敏度应达到 $30\text{V} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-1}$ ；
- 3 最大可测位移不应小于 0.5mm 。

11.1.4 实施振动测试时应收集建筑场地的工程勘察资料、地下管线资料，并了解建筑场地及其邻近的干扰振源。

11.1.5 现场测试时，测试仪器设备应有防风、防雨雪、防日晒和防摔等保护措施。测试场地应避开干扰振源，测点布设应避开水泥路面、沥青路面和地下管线等。

11.2 基础强迫振动测试法

11.2.1 基础强迫振动法可用于天然地基和人工地基的动力特性测试，为周期性振动的机器基础抗振和隔振设计提供动力参数。

11.2.2 天然地基和人工地基的强迫振动测试提供的动力参数应包括地基抗压、抗剪、抗弯和抗扭刚度系数、地基竖向和水平回转向第一振型以及扭转向的阻尼比、地基竖向和水平回转向以及扭转向的参振总质量。

11.2.3 振动测试的基础应分为明置和埋置基础；对埋置基础，

其基础四周的回填土应分层夯实，回填土的压实系数不宜小于 0.9。

11.2.4 测试前还应收集机器的型号、转速、功率，设计基础的位置和基底高程，采用桩基时的桩型、桩径、桩长和桩位平面图。

11.2.5 强迫振动测试的激振设备应符合下列规定：

- 1 采用机械式激振设备时，工作频率宜为 3Hz~60Hz；
- 2 采用电磁式激振设备时，激振力不宜小于 2000N。

11.2.6 传感器宜采用竖直和水平方向的速度型传感器，其通频带还应满足 2Hz~80Hz 的要求。

11.2.7 测试仪器应采用多通道数字采集和存储系统，其主要技术指标应符合下列规定：

- 1 各通道幅值一致性偏差不应大于 3.0%；
- 2 通道相位一致性偏差不应大于 0.1ms；
- 3 折合输入端的噪声水平应低于 $1.0\mu\text{V}$ ；
- 4 电压增益应大于 80dB；
- 5 A/D 转换器位数不宜小于 16bit。

11.2.8 数据分析装置应具有频谱分析及专用分析软件功能，具备相应的数据存储空间，并应具有抗混淆滤波、加窗及分段平滑等功能。

11.2.9 测试基础应置于设计基础工程的邻近处，其土层应与设计基础的土层一致，并应符合下列规定：

1 块体基础的尺寸应为 $2.0\text{m} \times 1.5\text{m} \times 1.0\text{m}$ ，其数量不宜少于 2 个；当块体数量超过 2 个时，超过部分的基础可改变其面积或高度；

2 测试基础制作应密实、平整，尺寸准确，混凝土强度等级应高于 C15；当采用机械式激振设备时，地脚螺栓的埋置深度不应小于 400mm；

3 桩基础应符合现行国家标准《地基动力特性测试规范》GB/T 50269 的有关规定。

11.2.10 基坑坑壁至测试基础侧面的距离应大于 500mm；坑底应保持测试土层的原状结构，坑底面应为水平面。

11.2.11 激振设备的安装应符合下列规定：

1 安装机械式激振设备时，应将地脚螺栓拧紧，在测试过程中螺栓不应松动；当进行竖向振动测试时，激振设备的竖向扰力应与基础的重心在同一竖直线上；当进行水平振动测试时，水平扰力宜在基础沿长度方向的轴线上；

2 安装电磁式激振设备时，其竖向扰力作用点应与测试基础的重心在同一竖直线上，水平扰力作用点宜在基础水平轴线侧面的顶部。

11.2.12 传感器的布设应符合下列规定：

1 竖向振动测试时，应在基础顶面沿长度方向轴线的两端各布置一个竖向传感器；

2 水平回转振动测试时，应在基础顶面沿长度方向轴线的两端各布置一个竖向传感器，在中间布置一个水平向传感器；

3 扭转振动测试时，传感器应同相位对称布置在基础顶面沿水平轴线的两端，其水平振动方向应与轴线垂直。

11.2.13 基础强迫振动测试的数据采集应符合下列规定：

1 幅频响应测试时，在共振区外激振设备的扰力频率间隔不应大于 2Hz，在共振区内激振设备的扰力频率间隔应小于 1Hz，共振时的振幅不宜大于 150 μ m；

2 现场应监视输出的振动波形，待波形为正弦波时方可进行记录。

11.2.14 数据处理应符合下列规定：

1 频谱分析应利用简谐波，各通道采样点数宜取 1024 个～4096 个，采样频率应符合采样定理，并宜加窗函数进行预处理；

2 参数计算应按本标准附录 D 的相关规定进行；

3 幅频响应曲线绘制应符合下列规定：

1) 应绘制竖向振动时的基础竖向振幅随频率变化的幅频响应曲线；

- 2) 应绘制水平回转耦合振动的基础顶面测试点的水平振幅随频率变化的幅频响应曲线, 以及基础顶面测试点由回转振动产生的竖向振幅随频率变化的幅频响应曲线;
- 3) 应绘制扭转振动的基础顶面测试点在扭转扰力矩作用下的水平振幅随频率变化的幅频响应曲线。

11.2.15 基础强迫振动测试的测试成果应包括各种幅频响应曲线和规定的各种动力学参数。

11.3 微振动测试法

11.3.1 微振动测试法可用于建筑场地微振动测试, 为建筑物抗振和隔振设计提供场地的卓越周期和微振动幅值, 也可用于寻找不明振动源, 评估振动源的影响程度及范围。

11.3.2 设计等级为甲级的建筑场地均应进行微振动测试, 测试点数量应根据设计需要、建筑重要性、地基复杂程度确定。

11.3.3 当拟建建筑物为高层建筑物或精密仪器厂房时, 宜对该场地同时进行地面和地下微振动测试; 当为环境振动影响进行测试时, 宜对地面或受影响的场地、建(构)筑物进行微振动测试。

11.3.4 微振动测试系统应符合下列规定:

- 1 通频带应满足 $0.5\text{Hz} \sim 40.0\text{Hz}$; 信噪比应大于 80dB ;
- 2 低频特性应稳定可靠, 系统放大倍数不应小于 10^6 ;
- 3 测试系统应与数据采集分析系统相匹配。

11.3.5 微振动测试法的传感器通频带应满足 $0.5\text{Hz} \sim 25.0\text{Hz}$ 的要求, 也可选用频率特性和灵敏度满足测试要求的加速度型传感器。地下微振动测试应使用严格密封防水传感器, 防水耐压能力应大于 1MPa 。

11.3.6 微振动测试法使用的放大器应符合下列规定:

- 1 当采用速度型传感器时, 放大器应符合本标准第 11.2.8 条的规定;

2 当采用加速度型传感器时,应采用多通道适调放大器。

11.3.7 工作布置应符合下列规定:

1 测点与既有建筑物距离应大于该建筑物高度的 2/3;

2 测点可选在天然土地基上及波速测试孔附近,也可直接利用波速测试孔;

3 测点数量应满足工程需要,但每个场地的测点数量不应少于 3 个;

4 传感器应沿东西、南北、竖向三个方向布置;传感器与平整地面紧密接触,且相互间距不应大于 1.0m;

5 地下微振动测试时,测点深度应满足工程需要。

11.3.8 数据采集应符合下列规定:

1 当记录微振动信号时,在距离观测点 100m 范围内应无人为振动干扰,测试时间应选择场地环境干扰最低的时间进行;当为环境振动影响测试时,宜在周围振动影响最大、最繁杂的期间进行测试;

2 记录微振动信号时,应根据所需频率范围设置低通滤波频率和采样频率,采样频率宜取 50Hz~100Hz,每次记录时间不应少于 15min,记录次数不应少于 2 次,相邻两次测试间隔不应小于 10min;

3 在人为振动干扰强烈的地段应重复测试,重复测试应隔日进行。

11.3.9 数据处理应符合下列规定:

1 处理前,应先分析检查测试曲线进行,辨别记录中的干扰信号,选择信噪比较高的记录进行处理。

2 数据处理应利用简谐波作幅频谱或功率谱分析,每个样本数据不应少于 1024 个点,采样间隔应取 10ms~20ms;频域平均次数不宜少于 32 次。

3 场地卓越周期应根据卓越频率确定,并应按下式计算:

$$T = \frac{1}{f} \quad (11.3.9)$$

式中： T ——场地卓越周期（s）；

f ——卓越频率（Hz）。

4 卓越频率应按幅频谱或功率谱图中最大峰值所对应的频率确定；当幅频谱或功率谱图中出现多峰且各峰的峰值相差不大时，可在频谱或功率谱分析的同时，进行相关分析确定。

5 场地微振动应排除人为干扰信号影响，取实测微振动信号的最大幅值为场地微振动幅值。

11.3.10 微振动测试工作成果应包括测试资料的数据处理方法及分析结果、微振动时程曲线、幅频谱或功率谱图、测试成果表。

11.4 振动衰减测试法

11.4.1 振动衰减测试法可用于振动沿地面衰减的测试，为机器基础的振动和隔振设计提供地基动力参数，也可用于寻找不明振动源，评估振动源的影响程度及范围。

11.4.2 应用条件应包括下列内容：

1 设计的车间内同时设置低转速和高转速的机器基础，且需计算低转速机器基础振动对高转速机器基础影响时；

2 评价振动对邻近的精密设备、仪器、仪表或建（构）筑物等产生有害影响时；

3 监测环境振动，确定振动烈度、评估振动源的影响程度及范围时。

11.4.3 振动衰减测试可采用现场振动设备、附近的动力机器、行进中的汽车、火车及施工振动等作为振动源。当现场附近无上述振源时，可采用机械式激振设备作为振源。

11.4.4 进行基础测试时，应保持基础的测试状态与工作状态相一致。

11.4.5 使用的加速度型传感器频响范围应满足 $0.1\text{Hz} \sim 1\text{kHz}$ ，电荷灵敏度应达到 $10\text{PC}/\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。

11.4.6 激振设备、传感器的安装应分别符合本标准第 11.2.11

条、第 11.2.12 条的规定。

11.4.7 振动衰减测试法的工作布置应符合下列规定：

1 测点应沿设计要求进行布置，不应设在浮砂地、草地、松软的地层或冰冻层上，宜保持各测点的埋置条件一致。

2 基础测试时，测点布置应符合下列规定：

- 1) 当测点距基础边缘小于或等于 5.0m 时，点距宜为 1.0m；
- 2) 当测点距基础边缘大于 5.0m 且小于或等于 15.0m 时，点距宜为 2.0m；
- 3) 当测点距基础边缘大于 15.0m 且小于 30.0m 时，点距宜为 5.0m；
- 4) 当测点距基础边缘 30.0m 以外时，点距宜大于 5.0m；
- 5) 测试半径应大于基础当量半径的 35 倍，基础当量半径 r_0 应按下式计算：

$$r_0 = \sqrt{\frac{S_0}{\pi}} \quad (11.4.7)$$

式中： r_0 ——基础当量半径 (m)；

S_0 ——测试基础的底面积 (m^2)。

3 建(构)筑物的测点宜设在室外不超过 0.5m 以内的地面或建(构)筑物上，或者室内地面中央等振动敏感处。

11.4.8 当评估振动源的影响程度及范围时，测线上的基点传感器布置应符合下列规定：

1 当振动源为动力机器基础时，可将传感器置于沿振动波传播方向测试的基础轴线边缘上；

2 当振动源为行进中的汽车时，可将传感器置于行车道沿外 0.5m~1.0m 处；

3 当振动源为行进中的火车时，可将传感器置于距铁路轨外 0.5m~1.0m 处；

4 当振动源为行进中的地铁时，可将传感器置于地铁轴线地面投影位置；

5 当振动源为锤击预制桩时,可将传感器置于距桩边 0.3m~0.5m 处;

6 当振动源为重锤夯击土时,可将传感器置于夯击点边缘外 0.5m~1.0m 处;

7 当振动源为地下振动施工时,可将传感器置于振源地面投影位置;

8 当追溯不明振动源时,可将传感器置于呈圆形放射状位置。

11.4.9 现场测试工作应符合下列规定:

1 当进行周期性振动衰减测试时,激振设备的频率除应采用工程对象所受的频率外,还应进行各种不同激振频率的测试;

2 现场测试时,应记录传感器与振源之间的距离和激振频率。

11.4.10 数据处理应符合下列规定:

1 测试后有关动力学参数可按本标准附录 D 的相关规定计算。

2 绘制曲线图应符合下列规定:

1) 当进行周期性振动衰减测试时,应绘制由各种激振频率测试的地面振幅随距振源的距离而变化的曲线图 (A_r-r 曲线);

2) 当进行环境振动监测时,应绘制各监测点的最大质点振动速度或最大质点振动加速度随距振源的距离而变化的曲线图 ($V-r$ 曲线或 $A-r$ 曲线)。

3 地基能量吸收系数可按下式计算:

$$\alpha_{\text{吸}} = \frac{1}{f} \cdot \frac{1}{r_0 - r} \ln \frac{A_r}{A \left[\frac{r_0}{r} \xi_0 + \sqrt{\frac{r_0}{r} (1 - \xi_0)} \right]} \quad (11.4.10)$$

式中: $\alpha_{\text{吸}}$ ——地基能量吸收系数 (s/m);

f ——激振频率 (Hz);

r_0 ——基础当量半径 (m);

r ——传感器与振源的距离 (m);

A ——测试基础的振幅 (m);

A_r ——距振源的距离为 r 处的地面振幅 (m);

ξ_0 ——无量纲系数, 其值可按现行国家标准《动力机器基础设计规范》GB 50040 的有关规定采用。

4 进行环境振动监测时, 可根据各监测点的最大质点振动速度或最大质点振动加速度确定场地的振动烈度。

11.4.11 振动衰减测试的成果应包括整理的参数表、不同激振频率测试的地面振幅随距振源的距离而变化的曲线 (A_r-r 曲线), 当进行环境振动监测时, 还应包括场地振动烈度评价结果。

12 水域探测法

12.1 一般规定

12.1.1 水域探测法可用于探测水底地形、水下障碍物、地层结构及隐伏断裂构造等。水域探测法可分为声纳测深法、侧扫声纳法、浅地层剖面法、水域地震法、水域电法、水域磁法。

12.1.2 水域探测应根据现场情况和勘探目的布设测线、测网。布设测线宜通过已有的勘探钻孔，采用多种方法综合探测时，同一测线宜采用统一的测线桩号。

12.1.3 水域探测测线的测量应符合下列规定：

1 走航式测线测量定位应采用 GNSS 实时动态测量方法，固定测线测量定位可选用全站仪及卫星定位等方法；

2 测量精度应符合现行行业标准《城市测量规范》CJJ/T 8 的有关规定；

3 作业期间应观测并记录水位变化。

12.1.4 水域探测法现场工作时，作业船应保持每条剖面定向和匀速航行。测线转移时，应统一作业船转弯方向，不宜右转弯转移。

12.1.5 水域探测法应在探测过程中实时监控记录质量。对于不符合要求的测点（线）应及时进行补测或重测。

12.2 声纳测深法

12.2.1 声纳测深法可用于探测水库、河道、湖泊或浅海区的水下地形，以及探测水下障碍物等。

12.2.2 声纳测深法可分为单点测深、多波束测深两种方法，在水下地形较为复杂时宜采用多波束测深。

12.2.3 测线定位应采用 GNSS 实时动态测量方法。

12.2.4 测深仪应配有相应通信接口，可与 GNSS 接收机对接提供定位信息，且吃水深度范围可调，发射功率应可动态调节。

12.2.5 测线布设应符合下列规定：

1 主测线应垂直于水下地形等深线总方向或岸线布设，可布设成平行线或 45° 斜线；当河道水下地形较平坦时，测线可顺河流方向布置；

2 河道或库区两岸剖面桩之间的距离相对误差应小于 1.0% ；

3 测线间距应根据要求的比例尺决定，可按表 12.2.5 确定；

表 12.2.5 测线间距

测区	图上测线间距 (mm)	
	重点水域	一般水域
内河、湖泊、水库	10~15	15~20
浅海	≤ 30	

4 应根据工程的实际需要布置检查测线，检查线宜垂直于主测线，长度宜不小于主测线总长度的 5% ；

5 探测定位点最大间距在平面图上不应大于 10.0mm ；

6 利用 GNSS 测量时，测得的 WGS-84 坐标应转换为测图或施工所用的坐标系。

12.2.6 现场工作应符合下列规定：

1 探测前，测量船宜与水位站、验潮站及定位观测站校对时间，水位观测应在测前 10min 开始，测后 10min 结束；

2 每次测深前后应在测区对测深仪进行现场比对，当水深小于或等于 20m 时，可用声速仪、水听器或者检查板对测深仪进行校正，直接求得测深仪的总改正数；当水深大于 20m 时，可采用水文资料计算深度改正数，并应测定因换挡引起的误差；

3 当对既有模拟记录又兼有数字记录的测深仪检验时，应同时校对比较模拟信号及数字信号，检验结果应以模拟信号

为准；

4 测深仪换能器应安装在距测量船船首 $1/3 \sim 1/2$ 船长处，避免航行时产生气泡和旋涡的影响；

5 当使用机动船测深时，应根据需要测定测深仪换能器的吃水改正数；当改正数小于 0.05m 时，可不改正；

6 测深仪记录速度应与测量船只的航速相匹配，记录的回波信号应能清晰反映水底地貌；

7 检查线与主测线相交处，在图上 1mm 范围内水深点的深度比对互差应符合表 12.2.6 的规定；

表 12.2.6 深度比对互差

水深 H (m)	深度比对互差 (m)
≤ 20	≤ 0.4
> 20	$\leq 0.02H$

8 应实时观测水位的变化并予以记录。

12.2.7 没有平面位移或平面位移可忽略的情况下，声纳测深法的深度误差应符合表 12.2.7 的规定。

表 12.2.7 深度误差限值

水深 H (m)	深度误差限值 (m)
≤ 20	0.2
> 20	$0.01H$

12.2.8 补测和重测应符合下列规定：

1 当出现下列情况之一时，应进行补测：

- 1) 测深仪的回波信息中断或模糊不清，且水下地形复杂；
- 2) 测深仪零信号不正常、无法量取水深；
- 3) 连续漏测 2 个以上定位点或断面的起、终点及转换折点未定位；
- 4) 导航定位仪器精度自检不合格时段；
- 5) 定位点号与实测记录不符，且无法纠正。

2 当出现下列情况之一时, 应进行重测:

- 1) 深度比对超限点数超过参加比对总点数的 20%;
- 2) 确认有系统误差, 但又无法消除或改正。

12.2.9 资料整理应符合下列规定:

1 应通过内业工作进行资料的整理, 内业工作内容应包括各项外业手簿的整理和校验、水位基准面的测量与确定以及测深手簿、测深记录的检查与校核;

2 探测的数据应经过校正, 水下地形图绘制精度应符合现行行业标准《城市测量规范》CJJ/T 8 的有关规定;

3 按测线序号并结合定位坐标编制探测成果报表, 成果报表应包括探测工区、测量日期、测量船、测线号、点位序号、坐标及水深值以及水声时间剖面图、水下地形图或等高线图。

12.3 侧扫声纳法

12.3.1 侧扫声纳法可用于水下地形地貌探测, 也可用于非掩埋的水下构筑物、管线、沉船等水下障碍物的搜索定位, 还可用于水下构筑物的表面破损程度探测。

12.3.2 应用条件应符合下列规定:

- 1 探测区水流较为平稳, 水深不宜小于 2.0m;
- 2 探测区水底应存在一定的起伏或水底物体存在声纳反射率差异。

12.3.3 仪器设备应符合下列规定:

- 1 应配有相应通信接口, 可与 GNSS 接收机对接提供定位信息;
- 2 声纳频率范围不宜小于 100kHz~1200kHz;
- 3 拖鱼应集成压力传感器、方向传感器;
- 4 换能器船首方向波束角不应大于 2°。

12.3.4 测线布置应符合下列规定:

- 1 主测线应平行地形线(岸线)或构造总体方向布设;
- 2 相邻测幅应重叠, 重叠部分宽度不应小于测幅宽度

的 10%；

3 应布设联络测线，测线长度不应小于主测线长度的 5%，且应至少布置一条横跨整个测区的联络测线。

12.3.5 现场工作应符合下列规定：

1 正式工作前，应在典型水域进行试验，确定声纳频率、拖鱼拖曳方式、拖鱼入水深度、测幅宽度等参数；

2 作业前应测量和记录拖鱼与 GNSS 接收机的相对位置；

3 浅水区作业时，宜采用拖鱼固定拖曳方式，拖鱼与水底距离应大于测幅宽度的 10%，深水区作业时可采用拖鱼固定或拖缆拖曳方式；

4 测量船应尽可能保持匀速、直线航行，航速不应大于 5km/h，测量过程中不得随意停船或倒车；

5 作业时，偏航距不应大于测线间距的 25%或测幅宽度的 10%。

12.3.6 质量检查与评价应符合下列规定：

1 每天工作完成后应检查班报记录与数据记录的一致性 & 完整性；

2 应结合航迹图及侧扫声纳条幅图，检查测幅之间重叠程度及漏测情况，对漏测区域应进行补测；

3 检查测线宜布置在测幅重叠区，数据采集参数应与原始测量时一致。

12.3.7 资料处理与解释应符合下列规定：

1 数据处理软件应具备对数据进行拖鱼位置、航速、倾斜等校正，生成水底声纳条幅图；

2 在全覆盖测量时，应对各声纳条幅图进行拼接，绘制声纳图像与平面地形图的镶嵌图；

3 对水底地貌进行解释，包括沙堤、水下河谷等地形的定位，基岩与覆盖层的识别，管道、电缆、水下构筑物的形态特征描述，异常区域的长度及面积计算等；

4 成果资料应包括航迹图、侧扫声纳条幅图、侧扫声纳镶

嵌图、地貌解释图、文字描述等。

12.4 水域地震法

12.4.1 水域地震法可用于探测水库、河道、湖泊或浅海区的水下地形，也可用于探测水下地层结构及分布特征、隐伏断裂构造等。

12.4.2 使用水域地震法的工作条件应符合下列规定：

- 1 被探测地层与相邻地层之间具有波阻抗差异；
- 2 进行水下地层分层时，被探测地层应有一定厚度，且介质均匀、波速稳定；
- 3 水深不宜小于 2.0m。

12.4.3 使用的仪器设备应符合下列规定：

- 1 地震仪应具备连续触发采集功能；
- 2 激发可选用炸药、空气枪、电火花或机械冲击等震源；
- 3 检波器应采用水听器。

12.4.4 测线布置应符合下列规定：

- 1 主测线应平行于桥梁、大坝等建筑物轴线，或垂直于水下地形等深线总方向或岸线，或垂直于地质构造走向，或垂直于探测目标体走向，联络测线方向应与主测线垂直；
- 2 有钻孔时测线应通过勘探钻孔布设；
- 3 测线间距应符合本标准第 12.2.5 条的规定，布设联络测线时应按设计要求进行。

12.4.5 测量定位应符合下列规定：

- 1 走航式地震反射波法测线应采取导航措施，宜采用 RTK 实时动态测量对实际航迹进行监控；
- 2 剖面测量时，在所用地形图上平面测量误差应小于 2mm，高程测量误差应小于 0.5m，河道或库区两岸剖面桩之间的距离测量相对误差应小于 1.0%。

12.4.6 作业前，应在测区内典型水域进行试验，选择最佳的激发、接收及仪器采集参数。数据采集应符合下列规定：

1 水域地震法探测可采用固定排列观测方式或走航式观测方式；反射波法可选用多次覆盖观测系统，折射波法可选用单重或多重追逐相遇观测系统；

2 沉放震源时的深度应根据具体条件确定，走航式观测时震源深度应保持一致；

3 水听器可随漂浮电缆固定在水下 1m~5m 的深度范围内，且深度应一致，采用固定排列观测方式时也可放置于水底；

4 采用固定排列观测方式的观测船和激发船应抛锚定位，并将排列固定于缆绳上。作业时应监测有无溜锚导致船体移动，当排列尾部摆动超过 10° 时，排列尾部应抛锚固定；

5 走航式测量时，测量船在航行过程中宜按测线保持定向行驶，实际航迹偏离不应大于设计测线间距的 $1/4$ ；航速宜为 5km/h 左右，且应保持船速稳定；

6 严禁在作业船航行的上游使用炸药震源激发；

7 在河道、水库、湖泊中工作时，每天开始工作时和结束工作时各测量一次水面高程；工作期间，水位涨落变化大于 0.3m 时，应固定时间间隔测量水位变化，并绘制水位随时间变化的曲线；

8 在海域宜选择在平潮期工作。

12.4.7 外业资料的质量控制应符合下列规定：

1 水中直达波及水底反射应清晰可见，连续性较好；

2 航迹偏离设计测线较远时应实施重测；

3 探测检查线与主测线相交处，水深点的深度比对互差应符合本标准表 12.2.6 的规定。

12.4.8 资料处理及提交的成果资料应符合本标准第 6.2 节、第 6.4 节的相关规定。

12.5 浅地层剖面法

12.5.1 浅地层剖面法可用于水下地形探测、水底地层结构探测、水下障碍物、水下的管线探测，也可用于探测水底地质构造。

12.5.2 应用条件应符合下列规定：

1 被探测地层与相邻层之间应具有可产生水声反射的波阻抗差异；

2 进行水下地层分层时，被探测地层应有足够厚度，且介质均匀、波速稳定；

3 被探测目的层以浅应无卵砾石，或卵砾石呈零星分布；

4 水深不宜小于 2m。

12.5.3 探测仪器由声源、接收换能器（水听器）和记录器三部分组成。记录器应具有 TVG 增益调节及总增益、对比度和门限调节功能，声源、接收换能器的主要技术指标应符合下列规定：

1 水深小于 50m、松散沉积层厚度小于 25m 时的分辨率宜小于 0.5m，水深大于或等于 50m、松散沉积层厚度为 25m～50m 时的分辨率应小于 1.0m；

2 深度小于 25m 的浅层探测振荡次数应达到 360 次/min，深度达到 50m 的深层探测振荡次数应达到 180 次/min；

3 声源频带应满足 50Hz～15kHz，接收换能器频带应满足 20Hz～10kHz；

4 接收换能器灵敏度不应低于 $1000\mu\text{V}/\text{Pa}$ ；

5 接收放大器增益应达到 150dB。

12.5.4 工作布置应符合下列规定：

1 主测线应平行于桥、大坝等建筑物轴线，或垂直于水下地形等深线总方向或岸线，或垂直于地质构造走向，或垂直于探测目标体走向，联络测线方向应与主测线垂直；

2 测线间距应符合本标准表 12.2.5 的规定，联络测线布设位置应符合设计要求；

3 测地工作应符合本标准第 12.4.5 条的规定。

12.5.5 仪器的安装应符合下列规定：

1 现场作业应采用载重量适宜且噪声小的平底船；

2 舷挂式发射换能器与接收换能器应按前发后收顺序挂于船中后部同一侧，并根据探测深度选择确定收发距；

3 电磁脉冲或电火花声源与接收换能器分别拖曳于船尾部一侧或两侧，并应水平放置；

4 机械式震源设备应安装于船只前部，接收阵列应安置于船身一侧；

5 接收换能器（水听器）入水深度应视波浪大小而定；水面平静时的入水深度宜为 0.5 m；

6 接收记录设备宜安置在船只操纵控制室内。

12.5.6 工作前应连接收发系统和数据采集工作站系统，接通电源后进行运行自测试。在导航系统中输入测区范围线，布设计划测线。

12.5.7 数据采集应符合下列规定：

1 测量船在航行过程中宜按设计测线保持定向行驶，实际航迹偏离不应大于设计测线间距的 1/4；

2 测量过程中不得随意停船，航速宜为 5km/h；当探测细小目标体时，可相应减小航速；

3 水位测量应符合本标准第 12.4.6 条第 7 款的规定；

4 作业过程中应观察记录剖面的面貌及背景噪声的变化情况，不得随意改变确定的作业参数；确需要改变作业参数时应做记录；

5 现场应实时记录测线号、探测起止时间、时标、水深、航速、周围环境及特殊情况处理过程等；

6 检查线与主测线相交处水深点的深度比对互差应符合本标准表 12.2.6 的规定。

12.5.8 资料处理与解释应符合下列规定：

1 数据处理方法应包括基本增益和基本补偿、TVG 可变增益、水底散射压制、多次波压制、水中噪声消除以及数字化滤波等。

2 剖面上反射界面划分应符合下列规定：

1) 同一层组反射应连续、清晰，并可区域性追踪；

2) 层组内反射结构、形态、能量、频率等应相似，且应

与相邻层组有显著差异；

3) 主测线与联络剖面相同层组的反射界面应能闭合。

3 当水深小于 20m 且使用分体式换能器时，应通过路径校正，消除发射换能器与接收换能器偏移造成的深度误差。

4 应根据水下地层速度模型进行时深转换，计算各层厚度。

5 剖面解释应经过追踪反射界面、划分反射波组、分析反射波组特征后进行，并应与相关钻探资料相结合。

12.5.9 探测成果应包括探测工区平面图及测线布置图、探测区水深等值线图或水下地形图、水声时间剖面图、地质推断解释成果图等。

12.6 水域直流电法

12.6.1 水域直流电法可用于水下地层结构、隐伏构造探测及水下岩溶或空洞探测。

12.6.2 应用条件应符合下列规定：

1 被探测地层与相邻层之间应具有明显电阻率差异；

2 被探测地层应有一定厚度，且介质均匀、电阻率应稳定。

12.6.3 使用的仪器设备应符合本标准第 4.6.2 条的有关规定。

12.6.4 测线布置应符合下列规定：

1 主测线应平行于桥、大坝等建筑物轴线，或垂直于水下地形等深线走向或岸线，或垂直于地质构造走向，或垂直于探测目标体走向；在主测线垂直方向上可布置联络测线；

2 剖面测量时，在所用平面地形图上坐标测量误差应小于 2mm。河道或库区两岸剖面桩之间的距离相对误差应小于 1.0%。

12.6.5 现场工作应符合下列规定：

1 应对探测所用电缆进行漏电、漏水检查，存在表皮破损的电缆不得在水上使用；

2 水深小于 10m 的浅水区，电缆可漂浮于水面或沉于水下固定深度，也可悬于水面上固定高度；当水深较大时，宜将电

缆沉于水底进行测量，并收集水底地形资料；

3 电极宜采用铅电极，电极在水中的深度应保持一致；

4 电缆布设及收取时应采取措施保护接头，防止进水；

5 由于流水作用造成测线漂移时应进行返工。

12.6.6 原始资料质量检查与评价应符合本标准第 4.1.9 条、第 4.6.7 条的规定。

12.6.7 资料处理应符合本标准第 4.1.10 条、第 4.6.8、第 4.6.13 条的规定。

12.7 水域磁法

12.7.1 水域磁法可用于探测沉船、水底电缆、金属管道等水下铁磁性物体，也可用于水下地质构造探测和水下考古。

12.7.2 使用水域磁法的工作条件应符合下列规定：

1 被探测地层或目标物与相邻层之间存在磁导率差异；

2 被探测地层或目标物具有一定的规模。

12.7.3 水域磁法可选用光泵式磁力仪、质子磁力仪、水下磁探头。仪器的精度应满足设计要求，并应在工作前进行精度检验，多台仪器同时投入工作时还应进行一致性检验。

12.7.4 测线间距、测试点距应根据工作任务确定。

12.7.5 磁测可分总场测量、分量测量，探测水下管道时宜观测多个磁分量。

12.7.6 日变观测仪器的采样间隔应符合日变改正误差的要求。日变站应选在陆地上磁场平稳、无磁性干扰的区域，日变站可作为校正点。每个日变站可控制的磁测范围应根据试验确定。

12.7.7 现场工作应符合下列规定：

1 水域磁法宜在静水中测量，海域工作时宜在平潮期进行；

2 磁力仪应放置在无铁磁性船只上，观测人员应“去磁”，走航式磁测可采用“船拉船”或“岸拉船”等方式进行；

3 测量定位宜采用 RTK 实时动态测量，可与磁力仪采用时钟同步；

4 测量船航速应保持匀速，磁力仪宜按船速及设计点距设置时间采样间隔；

5 观测过程中如遇仪器受振可能导致仪器性能发生突然变化时，应立即回到事故前测点上做重复观测，必要时应回到校正点上做重复观测，以检查仪器性能，当确认仪器性能正常后方可继续观测；

6 当测线有较大偏移时，应进行重复观测；

7 遇到磁暴或磁扰较大时应停止工作。

12.7.8 质量检查与评价应符合本标准第 7.3.11 条的规定。

12.7.9 资料处理与解释应符合本标准第 7.4 节的规定。

最新标准 全网首发



资源下载QQ群：61754465

13 井中探测法

13.1 一般规定

13.1.1 井中探测法可用于在钻孔中测定相关物性参数、岩体完整性、探查井壁及其周围构造，区分岩性、划分地层，以及测定井径与井斜变化、检测地基基础。

13.1.2 井中探测法可包括电测井、弹性波测井、电磁波测井、磁测井、井间层析成像、放射性测井、钻孔全景光学成像、超声成像测井、管波探测法等。工作时应根据条件，通过现场试验选择适宜的方法、仪器设备，确定观测装置及工作参数。

13.1.3 所使用的仪器设备除井下设备应耐压、抗震且防水外，其他性能指标应符合下列规定：

- 1 深度测量误差不应大于 0.5%；
- 2 仪器设备的绝缘性能应符合下列规定：
 - 1) 地面仪器之间及其对地、绞车集流环对地、供电电源对地的绝缘电阻应大于 $10\text{M}\Omega$ ；
 - 2) 电缆缆芯对地、电极系各电极之间、井下仪器线路与外壳之间的绝缘电阻应大于 $2\text{M}\Omega$ 。

13.1.4 现场测试应符合下列规定：

- 1 测井电缆长度标记应符合下列规定：
 - 1) 新电缆使用前，应选择井中进行不少于 5 次的承重伸拉试验，待电缆伸长稳定后做固定的深度标记；
 - 2) 深度标记间隔应与深度比例尺相适应，长度相对误差不应大于 0.2%；
 - 3) 每年或每测 1000m 井段应对测井电缆的抗拉强度、防水等性能进行一次检查，防止电缆拉伸强度等性能随时间发生改变。

2 测试钻孔（套管）内径不应小于 75mm；每孔施测前，应利用与下井仪器的直径、长度相当的重锤进行探孔。

3 测井的深度比例尺宜与钻孔柱状图的比例尺一致，且同一测区宜采用同一深度比例尺；详测孔段应增加大比例尺；一种方法测井曲线在同一测区的横向比例尺应保持一致。

4 应根据地质资料、试验测井数据或曲线确定横向比例尺；当曲线记录出现超值时，在超值井段应附辅助曲线。

5 原始测井数据或曲线应准确标记深度，并应符合下列规定：

- 1) 需要分次、分段测井时，主要数据或曲线衔接处应至少重复测量一个深度标记；
- 2) 对有零线的测井记录，应在数据或曲线的首末两处记录零线位置；对无零线的测井记录，应在曲线的首末两处标出横坐标的参考基线。

6 连续测井方法在记录测井曲线时电缆的升降速度应保持恒定，升降速度应保证深度准确、数据清晰，可按表 13.1.4 选择。

表 13.1.4 测井电缆升降速度限值

测井方法	不同深度比例尺的升降速度限值 (m/min)		
	1 : 200	1 : 100	1 : 50
电测井（不含微电极系）	20	10	5
微电极系电测井、井径测量	10	6	3
声波、放射性、温度、 电磁波、磁测井	5	3	2
钻孔全景光学成像、超声成像测井	以观察清晰为宜		
井间层析成像、弹性波测井	按工作要求确定		

7 井温测量、井液电阻率测井及钻孔全景光学成像宜在电缆下放时开始记录，其他测井方法均可在提升电缆时开始记录。

8 松散地层测井时，应在完孔后及时安装塑料套管，并在

孔壁与塑料套管之间充填水泥砂浆或水砂。

13.1.5 质量检查与评定应符合下列规定：

1 检查应设在有疑义的钻孔或异常段上并应有足够的检查长度；

2 两次观测除曲线或图像应有良好的相似性和重复性，并应符合下列规定：

- 1) 视电阻率幅度相对误差不应大于 5.0%；
- 2) 自然电位测井基线校正后自然电位曲线的幅度绝对误差不应大于 2.0mV；
- 3) 自然伽玛测井幅度相对误差不应大于 7.5%；
- 4) 声波测井声速或时差的相对误差不应大于 5.0%；
- 5) 井中流体测量观测数据的误差不应大于仪器的出厂规定；
- 6) 温度测井基本测量与检查测量的平均绝对误差不应大于 0.5℃；
- 7) 井径测井基本测量与检查测量的平均绝对误差不应大于 5mm；
- 8) 井斜测量在顶角大于 5°的井段的顶角测量平均绝对误差不应大于 0.5°，方位角测量的平均绝对误差不应大于 4°；
- 9) 电磁波测井基本测量与检查测量的绝对误差不应大于 3dB；
- 10) 井间层析成像走时或场强的重复观测相对误差不应大于 3.5%，检查观测的最大均方相对误差不应大于 5%。

13.1.6 井中探测法的资料处理与解释应符合下列规定：

1 钻孔深度应以孔口为深度零点，深度比例尺宜与钻孔柱状图的比例尺一致；

2 绘制综合测井曲线图时，应对符合深度误差要求的曲线在相邻深度记号内平差，每个平差点一次平差不得大于 1mm；

同一张图中所有曲线绘制的深度坐标应一致，并按各自的横向比例尺分别绘出参数坐标并注明曲线名称；

3 解释推断应根据测井资料和各种测井曲线的分层特征，对不同参数曲线进行综合对比，结合地质、钻探等有关资料，对钻孔剖面按物性和地质结构分层；

4 对于声速测井、伽玛—伽玛测井和密度测井，应在把全孔划分为若干个声速或密度不同的大层，并求得对应的平均波速和平均密度值后，再划分薄层；

5 钻孔全景光学成像或超声成像测井应根据观察结果对井壁地质现象进行直观描述，并确定出裂隙、断层、软弱夹层等的倾角、倾向及厚度；在顶角大于 5° 的斜孔中求取产状时还应利用井径、井斜测量等资料进行校正；

6 井斜测量应绘制钻孔在水平面和垂直面上的投影图；

7 对同一钻孔进行的电测井、声波测井、放射性测井、井液测井、井温测量、井径测量等方法，其测井曲线均应绘制在一张综合测井解释图上；钻孔全景光学成像应以文字形式描述钻孔的地质结构、岩性产状和分布；地震波测井应根据整理和计算出的数据，将波速曲线、相关参数值与其他曲线绘制在同一张图上；其他测井方法所得资料可单独成图或列表，但其成果均应以文字形式反映到综合井曲线解释图上。

13.2 电 测 井

13.2.1 电测井可用于测定地层和地下水的电性参数，确定含水层位置和厚度，区分咸淡水，测量钻孔中含水层之间的联系等。

13.2.2 应用条件应符合下列规定：

1 钻孔中应无金属套管且有井液，有绝缘套管时应密布小孔以使管内孔液与管外孔液导通；

2 被探测目的层相对上下层应存在电性差异，目的层应具有足够厚度；

3 孔壁应光滑，且应不坍塌、不掉块。

13.2.3 现场工作应符合下列规定：

1 电测井的电极系、电极距应根据探测任务要求和不同测区的地球物理条件，经试验后确定；

2 电流测井应减小线路电阻及地面电极的接地电阻，并确保恒压供电，记录电流曲线时应检查并确定增量方向；

3 自然电位测井应采用不极化电极；使用金属重锤时，测量电极与重锤距离不应小于 2m。

13.3 弹性波测井

13.3.1 弹性波测井可用于测定岩土层的弹性波波速、岩体的完整性和风化程度，计算岩体的弹性力学参数，评价固结灌浆效果等；也可应用于探测既有建筑的地下桩身完整性和桩身长度。弹性波测井可分为声波测井、地震波测井。

13.3.2 应用条件应符合下列规定：

1 测试钻孔井壁应光滑，不坍塌、不掉块，测试段应无金属套管；破碎地层的孔段可放置塑料套管；

2 声波测井的测试段应有井液，且井液浓度不大；测试段的纵波波速应高于井液波速，并具有足够厚度；

3 波速测试钻孔井壁地层层次不宜过多，并具有足够厚度；测试横波波速时宜为裸孔，如有塑料套管，管外空间应事先注入水泥砂浆或用水砂充填。

13.3.3 仪器设备应符合下列规定：

1 声波测井应使用一发双收探头。发射和接收换能器的谐振频率应一致，谐振频率在 10kHz~50kHz 之间；接收换能器应采用灵敏度不低于 $3000\mu\text{V}/\text{Pa}$ 的水听器，记录仪器 A/D 转换器应不小于 16 位、采样间隔应不大于 $0.1\mu\text{s}$ 、频带应宽于 10kHz~50kHz。

2 纵横波波速测试应采用带推靠装置的三分量探头，三分量之间正交放置，其横波检波器应采用固有频率不大于 15Hz 的水平速度检波器，纵波检波器应采用水听器或固有频率不大于

40Hz 的垂直速度检波器；采用的速度检波器灵敏度不应小于 $0.25\text{V} \cdot \text{s}/\text{cm}$ ，采用的水听器接收灵敏度不应小于 $3000\mu\text{V}/\text{Pa}$ 。

13.3.4 现场工作应符合下列规定：

1 现场工作之前应先检查井壁、井深，清除松动岩块，详细、准确记录套管的安装情况；

2 声波测井应符合下列规定：

1) 测试前后均应对记录仪器进行标定和对零检查；

2) 探头下井前应在钢套管中进行校验；

3) 一发双收探头源检距的选择应以到达接收探头的初至波是沿孔壁地层的滑行折射波为原则；

4) 两个接收探头之间间距、测点间距的选择应满足分层和曲线分辨率的要求；

5) 应从井底开始自下而上进行测试，测点间距不大于 0.2m ；

6) 宜针对不同岩性，采集多组新鲜完整的岩芯、岩块，在室内测试其岩块纵波波速。室内进行波速测试的岩芯、岩块两端应打磨平整，测试面相互平行，测试前宜在清水中浸泡 24h 后沥干；

3 波速测试可根据现场条件选择地面激发、井中接收，井中激发、地面接收或井中激发井中接收的工作方式，并应符合下列规定：

1) 应从井底开始自下而上进行，测点间距宜为 $0.5\text{m} \sim 2.0\text{m}$ ；

2) 宜按地质分层测试单一层的波速；

3) 测试横波时，接收探头应贴壁，并应进行正反方向激发，同一测点接收探头不得旋转、移位；

4) 用于固结灌浆效果检测时，应有灌浆前和灌浆后的实测对比曲线；

5) 进行质量检查时，检查观测点应分布在不同井段，相对误差应小于 5.0% 。

13.3.5 资料处理与解释应符合下列规定：

1 声波测井资料处理与解释应符合下列规定：

- 1) 应采用两个接收道的时差计算各测试点的波速，并绘制波速—深度曲线。应结合地质或岩土情况，将波速—深度曲线上波速不同的测试段进行波速层划分，采用算术平均值作为波速层的岩体波速。
- 2) 利用声波波速计算岩体完整性系数时，对于同一场地的同类岩性，应使用新鲜完整岩块测定的同一纵波波速。岩体完整性系数 ξ_v 可按下式计算，并应按表 13.3.5 进行评价：

$$\xi_v = (V_p/V_{pr})^2 \quad (13.3.5-1)$$

式中： V_p ——岩体纵波波速（m/s）；

V_{pr} ——新鲜完整岩块的纵波波速（m/s）。

表 13.3.5 岩体完整程度分类

完整程度	完整	较完整	完整性差	较破碎	破碎
完整性系数 (ξ_v)	$\xi_v > 0.75$	$0.75 \geq \xi_v > 0.55$	$0.55 \geq \xi_v > 0.35$	$0.35 \geq \xi_v > 0.15$	$\xi_v \leq 0.15$

2 波速测试资料处理与解释应符合下列规定：

- 1) 用三分量检波器在孔中接收，拾取波至时间时，横波应采用水平速度检波器记录的波形；纵波应采用垂直速度检波器记录的波形；采用水听器在孔中接收时，纵波应采用水听器记录的波形。
- 2) 波速层的划分，应结合地质或岩土情况，按时距曲线上具有不同斜率的折线段确定。
- 3) 每一波速层的纵波速度或横波速度 v 应按下式计算：

$$v = \frac{\sqrt{h_2^2 + x^2} - \sqrt{h_1^2 + x^2}}{t_2 - t_1} \quad (13.3.5-2)$$

式中： v ——波速层的纵波速度或横波速度（m/s）；

h_2 ——波速层底深度（m）；

h_1 ——波速层顶深度（m）；

t_2 ——纵波或横波传播到波速层底面的时间 (s);

t_1 ——纵波或横波传播到波速层顶面的时间 (s);

x ——激发板中点或激发点到孔口的距离 (m)。

4) 利用每一波速层的实测纵波速度、横波速度可按下式分别计算地基动剪切模量 G_d 、动弹性模量 E_d 、动泊松比 μ_d :

$$G_d = \rho v_s^2 \quad (13.3.5-3)$$

$$E_d = \frac{\rho v_s^2 (3v_p^2 - 4v_s^2)}{v_p^2 - v_s^2} \quad (13.3.5-4)$$

$$\mu_d = \frac{v_p^2 - 2v_s^2}{2(v_p^2 - v_s^2)} \quad (13.3.5-5)$$

式中: ρ ——波速层的质量密度 (kg/m^3);

v_s ——波速层的横波波速 (m/s);

v_p ——波速层的纵波波速 (m/s)。

13.4 电磁波测井

13.4.1 电磁波测井可用于单个钻孔中划分地层、区分含水层,也可确定钻孔岩层中裂隙、溶洞、松散层的位置等。

13.4.2 应用条件应符合下列规定:

1 钻孔中应无金属套管;

2 钻孔应井壁光滑,不坍塌、不掉块。

13.4.3 电磁波测井可使用测井探头或天线系统,并应具有保持探头或天线系统紧贴井壁的装置。

13.4.4 现场工作时应根据地质地球物理条件和精度要求选择一个或多个工作频率,工作频率不宜小于 20MHz。

13.4.5 资料处理解释时可根据任务要求计算视电导率、视介电常数,编绘测井曲线。

13.5 磁测井

13.5.1 磁测井应在单个钻孔中进行,可用于对具有磁性差异的

孔旁岩土层划分,测定地下连续墙或基桩钢筋笼长度,评判全配筋钻孔灌注桩和预制桩桩长,检测钻孔的钢套管连接及完好程度等。磁测井可分为三分量磁测井、垂直分量磁测井、磁化率测井、磁梯度测井。

13.5.2 应用条件应符合下列规定:

1 测试钻孔应井壁光滑,不坍塌、不掉块;当钻孔周围存在软弱土层时,宜在钻孔中安装塑料管,塑料管内径不应小于90mm;除应用于检测钻孔的钢套管外,测试段应无铁磁性金属套管。

2 检测灌注桩钢筋笼长度时,钻孔内径不宜小于90mm,且孔深应超出钢筋笼底部3m以上;当钻孔位于桩外时,其到桩边距离不宜大于1.0m。

13.5.3 仪器设备应符合下列规定:

1 三分量磁测井仪器设备在投入使用前,应进行检查与校验,测定静态重复性:Z轴差值不应大于10nT,Y轴差值不应大于20nT,深度累计误差不应超过0.2%;

2 垂直分量测井自动记录深度使用的深度编码器的深度分辨率不应小于10mm,仪器测量范围应达到 $-99999\text{nT} \sim +99999\text{nT}$,并宜具有实时显示磁场垂直分量—深度曲线、磁场垂直分量梯度—深度曲线的功能;

3 磁化率测井仪应按操作说明书进行刻度,刻度点在刻度曲线上应均匀分布,刻度范围应超过工区钻孔岩芯磁化率值。

13.5.4 现场工作应符合下列规定:

1 测试前应检查确认测试孔通畅;

2 井下仪器下井前应检查确认其工作正常、防水密封良好后,进行现场刻度;

3 磁场垂直分量测井宜按不大于0.1m的测点间距从下往上或从上往下测量;

4 三分量磁测井的垂直分量平均绝对误差不应大于250nT,水平分量平均绝对误差不应大于450nT;

5 磁化率测井原始测量与检查测量的曲线形态应一致或相似,异常幅度的平均相对误差不应大于5%;

6 应及时换算或测量目标体底界的标高,误差不应大于0.05m;

7 井下仪器提出孔口后应冲洗干净,工作结束后应拆除接线、包好电源线、擦干仪器。

13.5.5 资料处理与解释工作应符合下列规定:

1 ΔZ 、 $\Delta H'$ 应分别采用下列公式计算:

$$\Delta Z = Z - Z_0 \quad (13.5.5-1)$$

$$\Delta H' = H - H_0 = \sqrt{X^2 + Y^2} - H_0 \quad (13.5.5-2)$$

式中: X 、 Y 、 Z ——磁场强度的三个方向的分量值 (nT);

Z_0 、 H_0 ——正常场的垂直分量和水平分量 (nT);

ΔZ 、 $\Delta H'$ ——磁异常垂直分量和水平分量模差 (nT)。

2 资料解释应遵循先定性、后定量的原则,定性解释应符合下列规定:

- 1) 分析各种干扰因素对观测结果的影响,并估计其影响程度及在异常上所能反映的特征;
- 2) 根据钻孔在地面磁异常上的位置,钻孔岩芯的磁性资料,结合岩土体的磁化特征,说明井中磁特征的一致性。

3 定量解释宜在定性解释的基础上进行,并应符合下列规定:

- 1) 分析资料的质量,根据资料掌握的情况确定定量解释的程度;
- 2) 根据所需解决的地质任务及钻孔施工条件,选择相应的资料计算整理方式;
- 3) 必要时可对资料进行加工、改正后再进行计算;
- 4) 定量解释应以 ΔZ 为主,结合 $\Delta H'$ 进行。

13.5.6 成果应主要包括目标体的底界标高、综合解释剖面图和单孔 ΔZ 、 ΔH 曲线。

13.6 井间层析成像

13.6.1 井间层析成像可用于探查井间地质构造、岩溶洞隙、断裂、破碎带等不良地质的发育、分布及连通性，也可用于进行岩土分层、基坑渗漏水探测。井间层析成像可分为井间弹性波层析成像、井间电磁波层析成像、井间电阻率层析成像。

13.6.2 应用条件应符合下列规定：

1 探测目标体与周围介质间应存在弹性、电性或电磁性差异；

2 探测目标体应位于探测钻孔之间，其规模大小与成像单元具有可比性；

3 井深不应小于井间距的 1.5 倍；

4 对水平分辨要求较高的探测任务，可在井间的地表处补充加发射、激发点或观测点；

5 应结合探测目标体的特点、井壁质量、泥浆条件、井间距离和成像精度等选用成像方法。

13.6.3 仪器设备应符合下列规定：

1 弹性波层析成像井下震源或地表震源的激发能量应能够在观测井产生足够的信号强度，且不破坏钻井套管；检波器应为带有放大器的水听器，其接收通频带应足够宽；记录仪器应具有垂直叠加功能，采样间隔不应大于井间最小走时的 1%；

2 电磁波层析成像设备应具有频率扫描、双频观测功能；发射机瞬间输出功率不宜小于 10W；接收机输入端噪声水平应低于 $0.2\mu\text{V}$ ，测量范围应宽于 20dB~140dB，动态范围不应低于 100dB、测量误差不应大于 3dB，信号增益控制宜有指数增益功能，模数转换器不应小于 16 位且具有信号叠加功能；发射天线宜为半波偶极天线，接收天线宜为半波偶极天线或鞭状天线。

13.6.4 外业工作应符合下列规定：

1 弹性波层析成像段应无金属套管且有井液，宜等间距激发、等间距接收，且间距不应大于探测目标体的尺寸；

2 电磁波层析成像段应为裸眼井，对井壁完整性差或者土层中的钻井应安装塑料套管，发射机与接收机的悬挂电缆处应有相应的绝缘绳和滤波器，并应使用重锤下放天线；现场宜实施双频观测，工作频率应由现场试验确定；每个剖面在完成一次完整的观测后，发射井和观测井应互换后实施第二次测量，以实现井间观测数据的完整采集；

3 电阻率层析成像钻孔应为静充水条件下的裸眼井；二极法观测的两个远电极应有良好的接地条件，距观测剖面的距离应为井间距的 5 倍以上；在井间和两井连线外侧的地表宜同时布设地表测量电极。

13.6.5 资料处理应符合下列规定：

1 弹性波层析应抽取共激发点道集，拾取初至时间，并宜交替采用共接收点道集、共激发点道集检查初至拾取的准确性；当井深大于 5m 时，宜进行井斜校正；成像区域宜按正方形剖分，边长应等于激发点间距、接收点间距的最小值；

2 成像的影像宜采用伪彩色色块、等值线方式；同一工区应采用相同的色谱、色标，当存在多条剖面首尾相连时，可将方向相同或相近的剖面连接在一起，形成影像剖面；

3 成果应包括影像图、地质解释剖面图，同一剖面或测线的影像和地质解释剖面图应绘制在同一张图件中。

13.7 放射性测井

13.7.1 放射性测井可用于测定钻孔中岩层的放射性活度，推断岩体密度，确定岩层中裂隙、溶洞、松散层的位置以及地下水流速流向等。

13.7.2 放射性测井现场工作应符合下列规定：

1 应检查确认仪器设备工作正常后，在目的层井段上观测统计起伏，观测时间应大于测井时所选用时间常数的 10 倍，根据统计起伏情况选择横向比例尺、最佳提升速度和最小的时间常数；统计起伏相对误差不超过 5.0%；

2 伽玛—伽玛测井时，有密度刻度器的应在井场标定曲线的横向坐标，无密度刻度器标定时，应视为视密度测量；

3 对于直接显示密度数值的测井仪，应定期进行校核；测量受井孔影响时，还应进行井径校正；

4 密度测井选用的源强应使计数率能压制自然伽玛的干扰，主要目的层段应大于自然伽玛平均幅值的 20 倍，同时应标注使用的放射源名称。

13.7.3 同位素示踪法应根据已知测井资料和任务要求选择测量点位和确定同位素投放量，现场工作应符合下列规定：

1 每次工作前应检查仪器并开机预热不少于 10min，并应记录地面本底和装源后底数；

2 进行多点位同位素测量时，应先深后浅；钻孔具有多个含水层时，应采用钻孔分隔器分层测试；各点位投放同位素后应作搅拌；

3 同位素测量应按确定的投放量投放同位素；测量完毕，应立刻在现场清洗投放器和探测器，清洗后应利用仪器检查确认达到环保要求。

13.8 钻孔全景光学成像

13.8.1 钻孔全景光学成像的适用范围应符合下列规定：

1 可在钻孔中观测地层岩性、岩石结构，进行地质分层；观测孔壁岩溶洞穴、软弱夹层、裂隙发育、岩体破碎等地质现象；测定地层、断层、裂隙的倾向、倾角和厚度等产状要素及裂隙的密度、开闭程度；观察孔内套管的安装情况及完整性；

2 可在灌注桩钻芯法检测孔中观察孔壁混凝土浇筑质量，及空洞、裂隙、离析等缺陷的位置与程度；

3 可在预制管桩内壁观察各种破碎、断裂、裂隙等缺陷的程度与位置，观察接桩质量，评价桩基质量；

4 可用于地下管道内窥，檢視管道内的淤积、管道内壁破损、腐蚀等。

13.8.2 钻孔全景光学成像宜在干孔、清水孔或管中进行。当孔中、管中水质透明度不足时，应采用清水循环冲洗并加沉淀剂澄清。观测钻孔井壁时，观测段不可有套管。

13.8.3 钻孔全景光学成像仪器设备应符合下列规定：

1 摄像机分辨率不应低于 500 万像素，彩色低照度应达到 0.1lux；

2 摄像角度宜为 360° ，方位精度应达到 1° ；

3 深度或距离计数精度应大于 0.1m。

13.8.4 钻孔全景光学成像现场工作应符合下列规定：

1 摄像应记录工程名称、孔号或井号、工作日期等参数；

2 图像显示的深度相对误差不应大于 0.5%，与电缆标记的绝对误差不应大于 100mm，每隔 500mm 应进行一次校正；

3 记录的图像应清晰可辨，且能读出罗盘显示的方位；

4 检测混凝土预制管桩的桩身完整性时应在清孔深度内全程检测；

5 成像可相片与连续影像相结合，也可对异常部位静止拍摄影像。连续拍摄时的摄像机移动速度不宜大于 30m/min。

13.8.5 钻孔全景光学成像的数据处理应符合下列规定：

1 钻孔全景光学成像图像宜展开、拼接成分段连续的图片，横向应按从左到右按北、东、南、西、北方向展开，并标注方位；垂向应标注深度或高程；

2 钻孔全景光学成像宜计算地层、断层、裂隙的产状；

13.8.6 用于地下管道内窥检视应符合现行行业标准《城镇排水管道检测与评估技术规程》CJJ 181 和《城镇供水管网漏水探测技术规程》CJJ 159 的相关规定。

13.9 超声成像测井

13.9.1 超声成像测井可用于判定断层及软弱夹层的倾向、倾角和厚度，探测孔壁裂隙、溶洞的分布，也可用于检测桩基成孔质量。

13.9.2 超声成像测井应在无套管、有井液的钻孔中进行。

13.9.3 使用的仪器设备应符合下列规定：

1 用于探测地质结构的超声波波长宜小于需分辨的裂隙的宽度，发射波束角宜小于 2° ，方位角精度不应小于 0.2° ，深度传感器精度不应小于 0.2mm；

2 用于检测大直径桩基成孔质量的超声波的波长宜小于 30mm，发射波束角宜小于 5° ，方位角精度不应小于 1° ，深度传感器精度不应小于 1mm。

13.9.4 现场工作应符合下列规定：

1 井下仪器应在下井前进行检查确认工作正常，符合下井要求；

2 深度比例尺应依据岩层倾角的大小，孔洞、裂隙、断层的规模，软弱夹层的厚度以及观测精度确定。

13.9.5 数据处理应符合下列规定：

1 图像宜展开、拼接成分段连续的图片；横向从左到右按北、东、南、西、北方向展开，并标注方位；垂向标注深度或高程；

2 应计算地层界面、断层、裂隙的产状；

3 用于检测大直径桩基成孔质量时，宜计算平均孔径、倾向、倾角、垂直度等。

13.10 管波探测法

13.10.1 管波探测法可用于探测钻孔旁一定范围内的溶洞、溶蚀裂隙、软弱夹层等不良地质体，也可用于灌注桩、预应力管桩的桩身质量检测和灌注桩的持力层质量检测。

13.10.2 管波探测法应在单个钻孔中进行，其应用条件应符合下列规定：

1 测试钻孔井壁应光滑，不坍塌、不掉块；

2 测试孔段应无金属套管，破碎地层的孔段可放置塑料套管；

3 测试孔段应有井液，且井液比重不应大于 $1.2\text{g}/\text{cm}^3$ 。

13.10.3 仪器设备应符合下列规定：

- 1 发射换能器应采用低频孔中换能器，单次发射能量不应小于 10J；
- 2 接收换能器应采用灵敏度不小于 $3000\mu\text{V}/\text{Pa}$ 的水听器；
- 3 记录仪器频带不应小于 $100\text{Hz}\sim 3000\text{Hz}$ ，A/D 转换器不应小于 16bit。

13.10.4 现场工作应符合下列规定：

- 1 现场工作之前应先检查井壁、井深，清除松动岩块，详细、准确记录套管的安装情况；
- 2 应采用收发换能器距离恒定、测点间距恒定的自激自收观测系统；进行基桩检测时，测点间距应不大于 50mm；其他探测的测点间距不宜大于 100mm；
- 3 应以收发换能器连线中点作为记录点，宜自下而上逐点进行测试；
- 4 测试记录的采样间隔不应大于 $20\mu\text{s}$ ，记录长度不应小于 25ms。

13.10.5 资料处理与解释应符合下列规定：

- 1 数据处理时不得进行道间振幅平衡，可去除信号的直流零漂；频率滤波时其通带宜为 $300\text{Hz}\sim 2000\text{Hz}$ ；
- 2 各测点的测试曲线应采用相同的显示增益，可采用伪彩色剖面形式；
- 3 同一钻孔的多次测试时间剖面应绘制在同一成果图件中；
- 4 解释时应在分层并确定其深度基础上，判定钻孔不良地质体或桩身缺陷、成桩质量；
- 5 用于桩位岩溶勘察时，可按现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的相关规定提供建议桩端高程，并标注于成果图中。

13.11 其他探测方法

13.11.1 井径测量、井温测量、井中流体测量、井斜测量等其

他井中探测方法可用于测定钻孔井径、桩孔直径及其变化情况，测定钻孔井液温度，测量地下水运动状态，测定钻孔倾斜情况、垂直度、岩土体横向形变等。

13.11.2 应用条件应符合下列规定：

- 1 井径测量应在无套管的钻孔中进行；
- 2 井温测量应在有井液的钻孔中进行；
- 3 井中流体测量应在无套管或有漏管的钻孔进行，测量钻孔应用清水循环冲洗；
- 4 井斜测量应在无套管的钻孔或安装测斜管的钻孔中进行。

13.11.3 现场工作应符合下列规定：

1 井径测量前后宜在井场校验仪器，至少应有 3 个不同直径的校验记录，误差不得超过 5mm；每次测量时，仪器进入套管后应测一段套管的内径；

2 井温测量应在电缆下放时作正式测量，提升时做重复观测；施测前应检验井温仪，并用精度不低于 0.1℃ 的温度计校验液体的温度，校验时不应少于 4 个温度改变值；

3 井中流体测量时，井壁应干净，孔隙不被泥浆、岩粉等堵塞；

4 井斜测量仪器在施测前应在校验台上校验一次，每次井下仪器下井前应在井场用罗盘或倾斜仪和简单的顶角测量进行校验及挂零的测试；井斜测量发现井斜变化较大应加密测点；每测 5 个点应对 1 个点进行检查测量；同一钻孔中分段测量井斜时，在其衔接处至少应有 2 个重合测量点。

13.11.4 其他井中探测方法应绘制相应的测井曲线，并应根据曲线变化特征，结合参数计算进行解释判断。

14 地基基础检测

14.1 一般规定

14.1.1 地基基础检测可分为基桩动测、灌注桩成孔（成槽）质量检测、钢筋笼长度探测、地下连续墙检测、复合地基检测和既有建（构）筑基础探测。

14.1.2 实施检测前，应收集与检测目标有关的设计资料，并踏勘现场工作条件。

14.2 基桩动测

14.2.1 基桩动测宜包括建筑工程基桩的动力响应测试，测试方法可分为低应变反射波法、高应变动测法和声波透射法，其适用范围应符合下列规定：

1 低应变反射波法可用于各种混凝土预制桩、灌注桩和钢桩的完整性检测；

2 高应变动测法可用于预制桩和灌注桩的基桩竖向抗压极限承载力和桩身完整性检测；

3 声波透射法可用于直径不小于 600mm 的混凝土灌注桩的桩身完整性检测。

14.2.2 基桩检测数量、桩头处理以及桩身完整性评价标准应符合现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 的相关规定。

14.2.3 所使用的仪器设备应符合下列规定：

1 低应变反射波法的激振设备宜选用力锤或力棒，并应根据具体情况选择其材质和重量；

2 高应变动测法测量力信号的应变传感器，在 $1000\mu\text{s}$ 范围内的非线性误差不应大于 1.0%；测量速度信号的加速度传感

器，在 1Hz~3kHz 范围内的灵敏度变化不应大于 5.0%，在冲击加速度量程范围内非线性误差不应大于 5.0%；

3 声波透射法使用的径向换能器谐振频率应满足 30kHz~50kHz，并应满足在 1MPa 水压下不漏水。

14.2.4 低应变反射波法的力棒或力锤激振操作应符合下列规定：

1 实心桩的激振点应尽量在桩顶中心，空心桩的激振点宜为桩壁厚的 1/2 处；

2 力棒激振时，应自由下落，不得连击。

14.2.5 低应变反射波法检测前的桩顶处理应符合下列规定：

1 被检测桩应凿去浮浆至混凝土新鲜面，除去破损部位，桩头宜剔至设计标高；

2 当桩顶裸露横截面过小时，应采取措施拓展截面面积；

3 在激振及传感器安装部位，应打磨平整。

14.2.6 低应变反射波法测量传感器的安装应符合下列规定：

1 传感器与桩顶面垂直并应粘接牢固；

2 传感器安装位置宜距桩中心 1/2~2/3 半径处，且距桩的主筋宜不小于 50mm。

14.2.7 低应变反射波法的现场检测工作应符合下列规定：

1 检测参数应通过现场试测设定；

2 每根桩的检测波形应有良好的一致性，其重复检测不应少于三次；

3 对直径大于 800mm 的桩应进行不少于两个点的多次检测；

4 对有缺陷的桩应改变检测条件多次检测，相互验证。

14.2.8 利用低应变反射波法进行桩身完整性分析应以时域曲线为主，频域分析为辅，并结合岩土工程勘察资料、施工记录等综合分析判定。

14.2.9 低应变反射波法的桩身波速平均值应按下列方法确定：

1 当已知桩长，桩底反射明显时，选取不少于 5 根 I 类桩，

桩身波速平均值应按下列公式计算：

$$c_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n c_i \quad (14.2.9-1)$$

$$c_i = \frac{2L \times 1000}{\Delta t} = 2L \cdot \Delta f \quad (14.2.9-2)$$

$$\left| \frac{c_i - c_m}{c_m} \right| \leq 5\% \quad (14.2.9-3)$$

式中： c_m ——桩身波速平均值（m/s）；

c_i ——第*i*根受检桩的桩身波速计算值（m/s）；

L ——测点下桩长（m）；

Δt ——时域信号第一峰与桩底反射波峰间的时间差（ms）；

Δf ——幅频曲线的桩底相邻谐振峰间的频差（Hz）；

n ——参加波速平均值计算的基桩数量（ $n \geq 5$ ）。

2 当桩身波速平均值无法按本标准第 14.2.9 条第 1 款确定时，可根据本地区相同桩型及施工工艺的其他桩基工程的实测值，并结合桩身混凝土的骨料品种、强度等级及实践经验综合确定。

14.2.10 低应变反射波法的桩身缺陷位置 L_x 应按下列公式计算：

$$L_x = \frac{1}{2000} \cdot \Delta t_x \cdot c = \frac{1}{2} \cdot \frac{c}{\Delta f_x} \quad (14.2.10)$$

式中： L_x ——传感器安装点到桩身缺陷处的距离（m）；

Δt_x ——时域信号第一峰与缺陷反射波峰间的时间差（ms）；

Δf_x ——幅频曲线所对应缺陷的相邻谐振峰间的频差（Hz）；

c ——受检桩的桩身波速值（m/s）。

14.2.11 利用低应变反射波法进行桩身完整性评价时，对于超过有效检测长度范围的超长桩、桩身截面渐变或多变的桩、检测推算桩长与实际提供桩长资料明显不符的桩以及实测时域信号复杂且无规律而无法判别的桩，宜结合其他方法检测结果进行综合

分析。

14.2.12 高应变动测法使用的重锤应材质均匀、形态对称、锤底平整，高径（宽）比不得小于1，可采用筒式柴油锤、液压锤或蒸汽锤，但不得使用杆式柴油锤或振动锤。检测基桩承载力时，锤的重量应大于单桩竖向抗压承载力特征值的2.0%。

14.2.13 高应变动测法检测前的工作准备应符合下列规定：

1 桩顶面应平整，桩头高度应满足安装锤击装置和传感器的要求，并能使锤击装置沿被检桩轴向架立，且锤重心应与桩顶对中；

2 新接桩头顶面应平整且垂直于被检桩中轴线，其中轴线应与被检桩中轴线重合，桩头截面积宜与桩身截面积相同；

3 在桩顶面应铺设锤垫，锤垫宜由10mm~30mm厚的木板或胶合板等匀质材料制作，垫面大小宜按桩顶面积确定。

14.2.14 高应变动测法工作时应至少安装冲击力和冲击响应传感器各两个，传感器应紧贴桩身表面，安装面应密实、平整。响应传感器的量程宜大于预估最大冲击加速度的一倍以上。

14.2.15 高应变动测法检测承载力时，应实测被检桩的贯入度，单击贯入度宜控制在2mm~6mm之间。桩的贯入度可用精密水准仪等光学仪器测定。进行承载力分析计算前，应选取符合计算要求的曲线，并结合地质条件、设计参数，对实测波形特征定性检查后进行计算。

14.2.16 利用高应变动测法检测应进行单桩承载力的统计和单桩竖向抗压承载力特征值的确定，并应进行桩身完整性判定。

14.2.17 声波透射法工作前应埋设声波检测管，且工作条件应符合下列规定：

- 1 被检桩的混凝土龄期不应小于14d；
- 2 声测管内应注满清水；
- 3 应量测声测管外壁间的净距离。

14.2.18 声波透射法的现场工作应符合下列规定：

- 1 测点距离应为100mm~300mm，收发换能器应以同一高

度同步升降；

2 应现场读取声时、首波峰值和主频值，并实时显示和记录接收信号的时程曲线；

3 在对同一根桩的各剖面测试中，应保持声波发射电压和仪器设置参数不变；

4 对可疑点应进行复测，确定其缺陷位置和范围可采用加密平测点或采用斜测及扇形扫测等办法。

14.2.19 利用声波透射法检测应通过数据分析进行桩身完整性类别判定。

14.2.20 基桩动测法的检测报告应符合下列规定：

1 低应变反射波法的检测报告中应包括桩身完整性描述、缺陷的位置及桩身完整性类别判定，并附有桩位图和时域曲线图等；

2 高应变动测法的检测报告应包括实测曲线拟合所选用的各单元桩土模型参数、拟合曲线、土阻力沿桩身分布图、承载力数据；

3 声波透射法的检测报告应包括声速—深度曲线、波幅—深度曲线、桩身完整性类别判定结果。

14.3 灌注桩成孔（槽）质量检测

14.3.1 灌注桩成孔质量检测宜包括桩孔（槽）壁垂直度、孔径（槽宽）、孔（槽）深及沉渣厚度的检测。

14.3.2 检测时应结合成孔（槽）条件、地形特征，根据检测要求可使用超声波法或接触式仪器组合法。

14.3.3 超声波法成孔（槽）质量检测的现场工作应符合下列规定：

1 检测孔径（槽宽）不应大于 5.0m；

2 检测前，应利用护筒直径或导墙的宽度作为标准距离标定仪器系统；标定应至少进行 2 次；标定完成后应及时锁定标定旋钮，在该孔（槽）的检测过程中不得变动；

3 检测工作应在清孔（槽）完毕，孔（槽）中泥浆内气泡基本消散后进行；

4 仪器探头宜对准护筒（导墙）中心轴线；

5 检测中探头升降速度不宜大于 10m/min；

6 应正交 $X-X'$ 、 $Y-Y'$ 两方向检测，直径大于 4m 的桩孔、支盘桩孔、试成孔及静载荷试桩孔应增加检测方位；

7 应标明检测剖面 $X-X'$ 、 $Y-Y'$ 走向与实际方位的关系；

8 连续跟踪监测时间宜为 12h，每间隔 3h~4h 监测一次，比较各次实测孔径（槽宽）曲线、孔（槽）深等参数的变化，得出合理的结论；

9 现场检测的图像应清晰、准确；当不满足要求时，应降低泥浆中的砂泥比重后，重新检测。

14.3.4 接触式仪器组合法成孔（槽）质量检测的现场工作应符合下列规定：

1 检测设备应由孔径检测系统、高精度测斜仪和沉渣测定仪组成。

2 接触式仪器组合法采用的各种仪器设备，应具备标定装置；标定装置应经计量检定合格。

3 钻孔灌注桩成孔孔径检测，应符合下列规定：

1) 钻孔灌注桩成孔孔径检测，应在钻孔清孔完毕后进行；

2) 孔径检测系统进入现场检测前应按本标准附录 E 的规定进行检校；检校完毕后恒定电流源电流和量程，或仪器常数及起始孔径在检测过程中不得变动；

3) 孔径检测应自孔底向孔口连续进行；检测中探头应匀速上提，提升速度不应大于 10m/min；孔径变化较大处，应降低探头提升速度；

4) 检测结束时，应根据孔口护筒直径的检测结果，检查仪器的测量误差，必要时应重新标定后再次检测。

4 钻孔灌注桩成孔垂直度检测，应符合下列规定：

1) 钻孔灌注桩成孔垂直度检测应采用顶角测量方法；

- 2) 成孔垂直度检测可在钻孔清孔完毕、未提钻的钻具内进行；高精度测斜仪外加扶正器后，也可在孔径检测完成后进行成孔垂直度检测；
 - 3) 高精度测斜仪进入现场检测前应按本标准附录 F 的规定进行检校；
 - 4) 成孔垂直度检测应避免明显扩径段；
 - 5) 检测前应进行孔口校零，检测应自孔口向下分段进行，测点间距不宜大于 5m，在顶角变化较大处应加密检测点数，必要时应重复检测。
- 5 沉渣厚度检测应符合下列规定：
- 1) 成孔、槽的沉渣厚度检测，宜在清孔（槽）完毕后，灌注混凝土前进行；
 - 2) 沉渣厚度检测可采用电阻率法检测，并绘出孔深—泥浆视电阻率曲线；
 - 3) 沉渣厚度检测应至少进行 3 次，取 3 次检测数据的平均值为成孔（槽）的沉渣厚度值。

14.3.5 超声波法成孔（槽）质量检测数据计算应符合下列规定：

1 超声波在泥浆介质中传播速度 v 应按下式计算：

$$v = 2(x_0 - x') / (t_1 + t_2) \quad (14.3.5-1)$$

式中： v ——超声波在泥浆介质中的传播速度（m/s）；

x_0 ——护筒直径或导墙宽度（m）；

x' ——两方向相反换能器的发射（接收）面之间的距离（m）；

t_1 、 t_2 ——对称探头的实测声时（s）。

2 孔径（槽宽） d 可按下式计算：

$$d = l + c \cdot (t_1 + t_2) / 2 \quad (14.3.5-2)$$

式中： d ——实测孔径或槽宽（m）；

l ——两方向相反换能器的发射（接收）面之间的距离（m）；

c —— 超声波在泥浆介质中的传播速度；

t_1 、 t_2 —— 对称探头的实测声时 (s)。

3 孔 (槽) 垂直度 K_p 可按式计算：

$$K_p = (E/L) \times 100\% \quad (14.3.5-3)$$

式中： E —— 孔 (槽) 的偏心距 (m)；

L —— 实测孔 (槽) 深度 (m)。

14.3.6 接触式仪器组合法成孔质量检测数据的计算应符合下列规定：

1 孔径 d 可按式计算：

$$d = D_0 + k \times \Delta U / I \quad (14.3.6-1)$$

式中： D_0 —— 起始孔径 (m)；

k —— 仪器常数；

ΔU —— 信号电位差 (V)；

I —— 恒定电流源电流 (A)。

2 桩孔垂直度 K_p 可按式计算：

$$K_p = \{d/2 - \phi/2 + \sum l_i \times \sin[(\theta_i + \theta_{i-1})/2]\} / L \quad (14.3.6-2)$$

式中： d —— 孔径或钻具内径 (m)；

ϕ —— 测斜探头或扶正器外径 (m)；

l_i —— 第 i 段测点距 (m)；

θ_i —— 第 i 个测点实测顶角 ($^\circ$)；

θ_{i-1} —— 第 $i-1$ 个测点实测顶角 ($^\circ$)；

L —— 实测桩孔深度 (m)。

14.4 基桩钢筋笼长度检测

14.4.1 基桩钢筋笼长度检测宜包括建筑工程基桩钢筋笼长度的检测与评价、钢筋笼桩的桩长核验检测。检测时应根据现场条件可使用充电法或磁测井法。使用充电法的桩头应有暴露的钢筋，使用磁测井法的桩周应无其他铁磁性干扰体。

14.4.2 工作前应对照设计确定检测方案，对于承受抗拔力和水

平力较大的桩、施工质量有疑问的桩以及设计方认为重要的桩，应重点检测。

14.4.3 基桩钢筋笼长度检测结果的验证应符合下列规定：

1 当对检测结果有异议时，可采用桩两侧成孔方法进行验证；

2 当检测结果不符合设计要求时，应分析原因，提出验证建议方案。

14.4.4 充电法使用的仪器设备应符合下列规定：

1 使用深度编码器自动记录深度，深度分辨率不应小于 50mm；

2 可检测深度不应小于 150m；

3 发射电压应大于 140V；

4 发射功率应大于 140W；

5 应具有电池反接保护、电池过放保护的功能；

6 宜具有实时显示深度—电位曲线以及深度—电位梯度曲线的功能。

14.4.5 充电法现场工作应符合下列规定：

1 钻孔布置应符合下列规定：

1) 钻孔宜设置在距灌注桩外侧边缘不大于 0.5m 的土中，且钻孔中心线应平行于桩身中心线，即孔桩距沿桩的纵向保持不变；钻孔也可设置在灌注桩中心的混凝土中，且钻孔中心线应平行于桩身中心线；

2) 钻孔内径宜为 60mm~90mm，钻孔深度宜大于钢筋笼底设计长度 3m；

3) 当钻孔周围存在软弱土层时，为防止塌孔，宜在钻孔中设置带滤网或壁上有孔的塑料（PVC）套管，套管内径宜大于 60mm。

2 当地下水位较深时，宜在钻孔中或套管内外注满清水。

3 现场检测步骤应符合下列规定：

1) 应将供电电极正极连接在钢筋笼的某根钢筋上，负极布置在不小于 5 倍钢筋笼设计长度处接地；

- 2) 一测量电极宜设置在桩顶某根钢筋上, 另一测量电极通过深度编码器放入钻孔中;
- 3) 应实时接收信号显示和记录深度—电位曲线, 宜同时显示深度—电位梯度曲线;
- 4) 当发现钢筋笼长度与设计长度不符时, 应进行复测核定钢筋笼底端位置。

14.4.6 充电法检测数据的分析和判定应符合下列规定:

1 钢筋笼底端位置应按下列方法综合判定:

- 1) 根据深度—电位曲线确定时, 应取曲线的拐点对应的深度位置;
- 2) 根据深度—电位梯度曲线确定时, 应取曲线的极值点对应的深度位置。

2 按本条第 1 款所述方法判定基桩中钢筋笼长度, 绝对误差不应大于 0.5m。

14.4.7 磁测井法使用的仪器设备应符合下列规定:

1 井中磁力仪应符合下列规定:

- 1) 磁敏元件转向差应小于 300nT;
- 2) 分辨率应达到 50nT;
- 3) 数字输出更新速度不应小于 3 次/s。

2 井下探管应符合下列规定:

- 1) 井下仪器适应孔斜不宜大于 20° ;
- 2) 测量井深不宜小于 150m;
- 3) 探管耐水压应大于 1.5MPa。

14.4.8 磁测井法的现场工作应符合下列规定:

1 钻孔宜设置在距灌注桩外侧边缘不大于 0.5m 的土中, 且钻孔中心线应平行于桩身中心线, 即孔桩距沿桩的纵向保持不变; 钻孔也可设置在灌注桩中心的混凝土中, 且钻孔中心线应平行于桩身中心线;

2 钻孔内径宜为 90mm, 钻孔深度宜大于钢筋笼底设计长度 3m;

3 当钻孔周围存在软弱土层时,为防止塌孔埋管,宜在钻孔中设置塑料(PVC)套管,套管内径宜大于60mm;

4 应检查钻孔或塑料(PVC)管的畅通情况,井下探管应能在全程范围内升降通畅;

5 现场检测步骤应符合下列规定:

- 1) 将探管放入测试孔中,以100mm~250mm的采样间距从下往上或从上往下进行垂直分量磁场强度的测量;探管宜匀速移动且速率不宜大于25cm/s;
- 2) 现场记录数据并绘制深度—磁场垂直分量曲线,有条件时宜实时记录和显示曲线;
- 3) 每根受检桩记录的有效实测曲线不应少于2条;
- 4) 实测曲线特征应能反映钢筋笼位置的特征,当发现钢筋笼长度与设计长度不符时,应进行复测,重复探测曲线应具有良好的重复性、波形基本一致;
- 5) 应及时换算或实测钢筋笼底界标高。

14.4.9 磁测井法定量解释桩身钢筋笼底端深度应符合下列规定:

1 根据磁场垂直分量—深度曲线确定时,取磁场垂直分量—深度曲线深部由小于背景场的极小值转变成大于背景场值的拐点所对应的深度位置;

2 根据磁场垂直分量梯度—深度曲线确定时,取磁场垂直分量梯度—深度曲线最深的明显极值点所对应的深度位置;

3 判定钢筋笼长度的绝对误差不宜大于0.5m;

4 桩长核验检测时,可依据钢筋笼长度检测结果推测实际桩长。

14.4.10 成果报告应包括钢筋笼底界标高、受检桩的探测数据、综合解释剖面图和单孔 ΔZ 、 ΔH 曲线。

14.5 地下连续墙检测

14.5.1 地下连续墙检测宜包括成槽检测和墙体质量检测,成槽

检测内容宜包括槽壁垂直度、槽宽、槽深及沉渣厚度；墙体质量检测宜对墙体完整性作出评价。成槽检测时可使用超声波法，墙体质量检测时可使用声波法。

14.5.2 成槽检测使用的超声波法检测仪器设备应符合下列规定：

- 1 检测精度不应低于 0.2% 满量程；
- 2 测量系统发射功率不应小于 5W；
- 3 检测通道至少为二通道；
- 4 记录方式宜为数字式。

14.5.3 成槽现场检测应符合下列规定：

1 超声波法检测前，应利用导墙的宽度作为标准距离标定仪器系统，标定应至少进行 2 次；

2 仪器探头宜对准导墙中心轴线；

3 宜正交 $X-X'$ 、 $Y-Y'$ 两方向检测，在两槽段端头连接部位可做三方向检测；

4 应标明检测剖面 $X-X'$ 、 $Y-Y'$ 走向与实际方位的关系；

5 现场检测的图像应清晰。

14.5.4 成槽检测的数据处理应符合下列规定：

1 可按本标准第 14.3.5 条的相应规定，计算超声波在泥浆介质中传播速度、槽宽、槽壁垂直度；

2 记录图应符合下列规定：

1) 应有明显的刻度标记，能准确显示任何深度截面的槽宽及槽壁的形状；

2) 应标记检测时间、设计槽宽、检测方向及槽底深度。

14.5.5 墙体质量检测的仪器设备应符合下列规定：

1 声波发射与接收换能器的谐振频率宜为 30kHz~50kHz；水密性应满足 1MPa 水压不渗水；

2 声波仪应具有实时显示和记录接收信号的时程曲线以及频率测量或频谱分析功能，声时测量分辨力应大于 0.5 μ s，声波幅值测量相对误差应小于 5%，系统频带宽度不应小于 1kHz~

200kHz, 系统最大动态范围不应小于 100dB。

14.5.6 墙体质量的现场检测应符合下列规定:

1 发射与接收声波换能器应以相同标高或保持固定高差同步升降, 测点间距不宜大于 250mm;

2 应实时显示和记录接收信号的时程曲线, 宜同时显示频谱曲线及主频值;

3 应以两根为一个检测剖面进行全组合, 分别对所有检测剖面完成检测;

4 在墙身质量可疑的测点附近, 应采用加密测点, 或采用斜测、扇形扫测进行复测, 进一步核定墙身缺陷的位置和范围;

5 在同一幅墙段的各检测剖面的检测过程中, 声波发射电压和仪器设置参数应保持不变;

6 使用的测试管应有足够的刚度, 需要测斜时宜采用内径不小于 50mm 的专用测斜管。

14.5.7 墙体质量检测数据处理时, 可按下列公式分别计算各测点的声时 t_c 、声速 v 、波幅 A_p 及主频 f , 并绘制声速—深度(v - z)曲线和波幅—深度(A_p - z)曲线, 可绘制主频—深度(f - z)曲线:

$$t_{ci} = t_i - t_0 - l' \quad (14.5.7-1)$$

$$v_i = \frac{l'}{t_{ci}} \quad (14.5.7-2)$$

$$A_{pi} = 20 \lg \frac{a_i}{a_0} \quad (14.5.7-3)$$

$$f_i = \frac{1000}{T_i} \quad (14.5.7-4)$$

式中: t_{ci} ——第 i 测点声时 (μs);

t_i ——第 i 测点声时测量值 (μs);

t_0 ——仪器系统延迟时间 (μs);

l' ——几何因素声时修正值 (μs);

l' ——每检测剖面相应两声测管的外壁间净距离 (mm);

v_i ——第 i 测点声速 (km/s);

A_{pi} ——第 i 测点波幅值 (dB);

a_i ——第 i 测点信号首波峰值 (V);

a_0 ——零分贝信号幅值 (V);

f_i ——第 i 测点信号主频值 (kHz), 也可由信号频谱的主频求得;

T_i ——第 i 测点信号周期 (μs)。

14.5.8 地下连续墙检测时, 可利用设计槽深与实测槽深之差, 间接估算成槽的槽底沉渣的厚度。

14.5.9 地下连续墙抽检后, 宜与抽芯法结合, 对墙体混凝土强度、墙底沉渣厚度、墙底岩土层性状和墙体完整性作出判定。

14.6 复合地基检测

14.6.1 复合地基检测宜包括复合地基增强体的桩身完整性检测、复合地基的波速测试。

14.6.2 复合地基增强体的桩身完整性检测可采用低应变反射波法, 检测内容应包括判定桩身缺陷的程度及位置。低应变反射波法应在桩端表面对称布置 2 个~4 个检测点, 每个检测点记录的有效信号数不宜少于 3 个。

14.6.3 复合地基的波速测试可采用多道瞬态面波法, 检测内容宜包括评价地基均匀性, 判定砂土地基液化, 提供动弹性模量等动力参数。实施多道瞬态面波法应符合下列规定:

1 检波器排列布置应符合下列规定:

- 1) 宜采用线性等道间距排列方式, 震源应在检波器排列以外延长线上激发;
- 2) 道间距应小于最小测试深度所需波长的 $1/2$;
- 3) 检波器排列长度应大于预期面波最大波长的一半, 且大于最大检测深度;
- 4) 偏移距的大小, 应根据任务要求通过现场试验确定。

2 应根据绘制的面波频散曲线分层后, 反演计算横波层速度和层厚; 具备条件时, 宜绘制横波速度等值图。

3 检验地基加固效果时，应进行处理前后对比测试，并保持加固前后测点测线一致。

14.7 既有建（构）筑基础探测

14.7.1 既有建（构）筑基础探测宜包括建（构）筑物下既有基础完整性探测、摩擦桩的入土深度探测。探测方法可使用单孔地震透射波法。

14.7.2 使用单孔地震透射波法的工作条件应符合下列规定：

1 在待测基础或建筑物旁有钻孔；

2 钻孔应安装塑料套管，钻孔深度应超出待测基础底部5m，待测基础与钻孔之间距离不宜大于2m。

14.7.3 使用的仪器设备的井下部分应耐压、抗震且防水，仪器设备的其他性能和技术指标应符合下列规定：

1 接收换能器宜采用灵敏度不低于 $3000\mu\text{V}/\text{Pa}$ 的多道等距水听器，工作道数不宜小于12道，道间距不应大于0.5m；

2 仪器的A/D转换器不应小于16位，采样间隔不应大于 $25\mu\text{s}$ ，通频带应宽于 $100\text{Hz}\sim 4000\text{Hz}$ ；

3 宜使用小锤激振，并宜激发出高频振动。

14.7.4 测试孔布置与孔内套管安装应符合下列规定：

1 测试孔应设置在待测基础外侧边缘不大于2m处的土中；待测基础为桩基时，测试孔中心线应平行于桩身轴线；

2 测试孔宜采用液压操纵的钻机，并配置扶正稳定器的钻具，成孔内径不宜小于75mm；

3 测试孔深度应达到预估桩底标高以下5m，垂直度偏差不应大于0.5%；

4 套管内径应大于井中检波器外径；

5 套管应下端封闭、上端加盖，管内无异物，套管连接处应光顺过渡，管口高出地面或水面不应小于0.5m；

6 当测试孔深度大于30m时，应进行垂直度或孔斜测量。

14.7.5 现场工作应符合下列规定：

1 测试前,应检查套管内的通畅情况,清除障碍,且应在套管内注满清水;因套管管径小于钻孔孔径而出现套管外空间时,宜在套管内外注满清水;

2 激振点宜布置在有待测基础相连的承台表面;承台浅埋时,宜使用钢钎打入地下并接触承台顶面,钢钎直径不宜小于40mm;无承台或承台埋藏较深时,激振点可在有待测基础相连的柱体底部布置,测试前应清除激振点附近的砂浆批荡;

3 孔中水听器接收排列底端应沉放至管底,向上逐点移动,至接收排列顶端到达孔口结束;每次移动前激发、接收一次;排列移动间隔宜为水听器间距的1/2;

4 应根据现场情况,设定滤波通带;

5 应准确记录激振点与测试钻孔之间空间关系。

14.7.6 资料处理与解释应符合下列规定:

1 应综合利用波速、波幅、频率和钻孔资料;

2 资料处理应在记录编辑后拾取初至时间,绘制时深曲线,识别曲线拐点;孔深大于30m时应进行孔斜校正;

3 资料解释时,应按任务要求进行入土深度计算、桩身完整性判定等。

14.7.7 基础入土深度 H_p 可按式计算:

$$H_p = \begin{cases} H_k & (L \leq 1\text{m}) \\ H_k - \frac{L \cdot V_c}{\sqrt{V_m^2 - V_c^2}} & (L > 1\text{m}) \end{cases} \quad (14.7.7)$$

式中: H_k ——初至时深度曲线拐点对应的深度 (m);

L ——测试孔与被测基础之间的水平距离 (m);

V_m ——基础介质的纵波波速 (m/s);

V_c ——周土介质的平均纵波波速 (m/s),宜实测求取。
无法求取时,可根据所对应周土介质按表 14.7.7 选取。

表 14.7.7 有关介质纵波波速

地层名称	水	淤泥质黏土	粉质黏土、 黏土	粉细砂、 砾砂	砾石
纵波波速 (m/s)	1450~1500	1300~1500	1500~1800	1700~1900	1800~2200

14.7.8 桩身完整性类别应根据检测获得波列图的波形特征、波幅特征，结合地质条件、桩型、成桩工艺等资料，按表 14.7.8 进行综合判定。

表 14.7.8 桩身完整性判定特征

类别	时域波形特征	时域波幅特征
I	各测点首波斜率规则，桩底波列拐点明显	各测点首波幅值对称规则，幅值无突变
II	各测点首波波列图斜率基本规则，出现个别测点首波轻微延时，桩底波列拐点明显	各测点波列图首波幅值基本对称规则，幅值局部轻度变化，出现个别测点首波幅值略有降低
III	首波初至时间与波幅有明显异常，其他特征介于 II 类和 IV 类之间	
IV	各测点首波波列图斜率在某处有严重畸变，出现整段测点首波明显延时，桩底波列拐点不明显	测点波列图在某处首波幅值变化明显，首波幅值存在突变

14.7.9 探测成果应主要包括受检桩桩底标高及完整性评价、受检桩透射波波形—深度波列图。

15 成果报告

15.0.1 城市工程地球物理探测工作成果报告可分为探测成果报告、检测成果报告两种类型。

15.0.2 成果报告编写应内容完整，重点突出，立论有据，逻辑严谨，文字简练，结论明确，附图及附表等资料齐全。

15.0.3 采用多种探测方法完成工程探测任务时，应对通过各种方法所获得的所有资料进行综合解释和判断，编写综合探测成果报告；采用一种探测方法完成工程的一项或几项工作任务时，应编写单项（专题）探测成果报告。

15.0.4 完成阶段性探测工作后，可根据需要编写中间成果或阶段性成果报告，其结构可比探测成果报告简化。

15.0.5 探测成果报告的内容应主要包括工程概况、目的任务、地质及地球物理特征、工作方法与技术、资料处理与解释、成果分析、结论与评价以及问题与建议等。

15.0.6 检测成果报告内容应主要包括工程概况、目的任务、执行标准、抽样数量及原则、检测方法、资料分析判断、工程质量评价与建议等。

15.0.7 成果报告的插图、插表可包括工区位置图、方法原理图、典型曲线图或图像映像、对比分析图、工作量表、物性参数表、仪器技术因素、成果解释列表、测试数据列表、精度表等。成果报告的附图、附表应符合探测任务和探测方法的技术要求。

15.0.8 探测成果报告中应包括质量检查结果、探测结果验证的相关内容。

15.0.9 成果报告应经校核和审查批准后才能提交，并按有关规定进行归档。中间成果或阶段性成果报告，经校核后可在现场交付使用，但应说明其使用条件。

附录 A 城市工程地球物理探测方法的适用范围

表 A.0.1 城市工程地球物理探测方法的适用范围

适用范围 探测方法		地层结构、风化层分带及基岩形态探测	断裂、破碎带及裂隙密集带探测	软弱地层、冻土层和砂砾石层探测	水底地形、地层结构和水下障碍物、抛石、沉船、管线探测	地下水、地热及场地热源体探测	地下洞穴、岩溶、采空区、障碍物、管线及隐蔽工程探测
直流电法	自然电场法					●	○
	充电法		○		○	●	○
	电测深法	○	●	○	○	●	○
	电剖面法	○	○	●	○	○	○
	高密度电阻率法	●	●	●	●	●	●
	激发极化法	○	○	●	○	●	○
电磁法	电磁测深法	○	●	○			○
	电磁剖面法	○	●	○	○	○	●
	瞬变电磁法	○	●	○		○	○
	探地雷达法	●	●	●	●	○	●
	核磁共振法					●	

续表 A.0.1

适用范围 探测方法		地层结构、风化 层分带及基岩 形态探测	断裂、破碎带 及裂隙密集 带探测	软弱地层、冻土 层和砂砾石 层探测	水底地形、地层 结构和水下障碍 物、抛石、沉 船、管线探测	地下水、地热 及场地热源体 探测	地下洞穴、岩 溶、采空区、 障碍物、管线 及隐蔽工程探测
浅层 地震 法	反射波法	●	●	●	●		●
	透射波法	●	○		○	○	○
	折射波法		○	○	○	○	○
	面波法	●	○	●			○
	微动勘探法	●	●	●			●
高精度磁法			○		●		○
高精度重力法		○	○		○		○
放射性测量法			●	○			●
温度 测量 法	红外热像法						
	地温测量法					●	
	大体积混凝土测温法						○
振动 测试 法	基础强迫振动测试法						
	微振动测试法						
	振动衰减测试法						

续表 A.0.1

适用范围 探测方法		地层结构、风化 层分带及基岩 形态探测	断裂、破碎带 及裂隙密集 带探测	软弱地层、冻土 层和砂砾石 层探测	水底地形、地层 结构和水下障碍 物、抛石、沉 船、管线探测	地下水、地热 及场地热源体 探测	地下洞穴、岩 溶、采空区、 障碍物、管线 及隐蔽工程探测
水域 探测 法	声纳测深法				●		
	侧扫声纳法				●		
	水域地震法				●		
	浅地层剖面法				●		
	水域直流电法				●		
	水域磁法				●		
井中 探测 法	电测井	○		○	○	○	
	弹性波测井	○	○	○	○		
	电磁波测井	○	○	○	○	○	○
	磁测井		○	○	○		
	井间层析成像	○	●	○			○
	放射性测井	○			○		
	钻孔全景光学成像	○	○	○	○	○	○
	超声成像测井	○	○	○			
	管波探测法		○				●
	其他探测方法					○	

表 A.0.2 城市工程地球物理探测方法的适用范围

适用范围 探测方法		滑坡、地面塌陷及环境污染探测	隧道施工超前预报及砌衬壁厚、拱顶脱空探测	地基基础检测及基础设施运维检测	场地、岩土层物性参数和钻孔岩土参数测试	文物古迹探测	建筑节能缺陷检测
直流电法	自然电场法	○				○	
	充电法	○				○	
	电测深法	○	○			○	○
	电剖面法	○	○			○	○
	高密度电阻率法	○				●	○
	激发极化法	○				●	○
电磁法	电磁测深法					○	
	电磁剖面法					○	
	瞬变电磁法					○	○
	探地雷达法	●	●			●	
	核磁共振法					○	
浅层地震法	反射波法		○			●	○
	透射波法	○	○	●	●	○	○

续表 A.0.2

适用范围 探测方法		滑坡、地面塌陷及环境污染探测	隧道施工超前预报及砌衬壁厚、拱顶脱空探测	地基基础检测及基础设施运维检测	场地、岩土层物性参数和钻孔岩土参数测试	文物古迹探测	建筑节能缺陷检测
浅层地震法	折射波法	○	●	○	○	○	
	面波法	○	○	●	●	●	
	微动勘探法	○		○	●	○	
高精度磁法		○				●	
高精度重力法		○				●	
放射性测量法		●				●	
温度测量法	红外热像法		○				●
	地温测量法	○	○				
	大体积混凝土测温法						●
振动测试法	基础强迫振动测试法			●			
	场地微振动测试法			●	●		
	振动衰减测试法			●	●		
水域探测法	声纳测深法						
	侧扫声纳法						

续表 A.0.2

适用范围 探测方法		滑坡、地面塌陷及环境污染探测	隧道施工超前预报及砌衬壁厚、拱顶脱空探测	地基基础检测及基础设施运维检测	场地、岩土层物性参数和钻孔岩土参数测试	文物古迹探测	建筑节能缺陷检测
水域探测法	水域地震法						
	浅地层剖面法						
	水域直流电法						
	水域磁法		○			○	
井中探测法	电测井						
	弹性波测井						
	电磁波测井						
	磁测井						
	井间层析成像	○					
	放射性测井				○		
	钻孔全景光学成像			○	●		
	超声成像测井	○		○	○		
	管波探测法	○		○	●		
	其他探测方法	○		○	○	○	○

注：● 推荐方法；○ 可选方法。

附录 B 电阻率法装置形式及装置系数计算方法

B.1 电测深法

B.1.1 对称四极装置 (图 B.1.1) AB 与 MN 可等比或不等比向记录点 O 两侧移动。装置系数 K 可按下列公式计算:

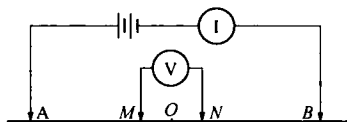


图 B.1.1 对称四极装置简图

$$K = \pi \frac{\left(\frac{AB}{2}\right)^2 - \left(\frac{MN}{2}\right)^2}{2\left(\frac{MN}{2}\right)} \quad (\text{B.1.1-1})$$

当 $(AB/2)/(MN/2) = n$ 时:

$$K = \frac{\pi}{2} \left(n - \frac{1}{n}\right) \cdot \frac{AB}{2} \quad (\text{B.1.1-2})$$

B.1.2 三极装置应符合下列规定:

1 单边三极装置 (图 B.1.2-1) A 极可向远离记录点 O 方向移动, MN 可对称于记录点 O 向两侧移动。装置系数 K 可按下列公式计算:

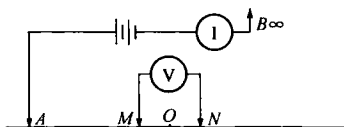


图 B.1.2-1 单边三极装置简图

$$K = \pi \frac{(AO)^2 - \left(\frac{MN}{2}\right)^2}{\frac{MN}{2}} \quad (\text{B. 1. 2-1})$$

当 $(AO)/(MN/2) = n$ 时:

$$K = \pi \left(n - \frac{1}{n}\right) \cdot AO \quad (\text{B. 1. 2-2})$$

2 联合三极装置 (图 B. 1. 2-2) AB 可向远离记录点 O 方向移动, MN 可对称于记录点 O 向两侧移动, C_∞ (无穷远极) 应分别接通 A 、 B 进行观测。装置系数 K 可按本标准公式 (B. 1. 2-1) 或公式 (B. 1. 2-2) 计算。

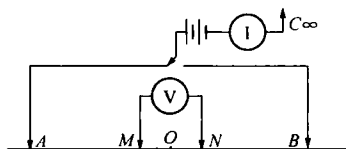


图 B. 1. 2-2 联合三极装置简图

B. 1. 3 偶极装置应符合下列规定:

1 轴向偶极装置 (图 B. 1. 3-1) 可单侧 (或分别向两侧) 移动 AB 或 MN 极。装置系数 K 可按下列公式计算:

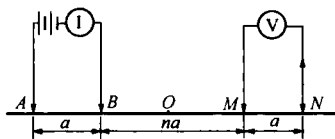


图 B. 1. 3-1 轴向偶极装置简图

$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN}} \quad (\text{B. 1. 3-1})$$

当 $AB = MN = a$, $BM = na$ 时:

$$K = \pi na (n+1)(n+2) \quad (\text{B. 1. 3-2})$$

2 赤道偶极装置 (图 B. 1.3-2) 可单侧 (或分别向两侧) 移动 AB 或 MN 极。装置系数 K 可按下列公式计算:

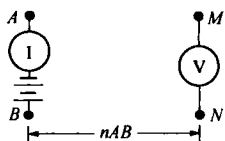


图 B. 1.3-2 赤道偶极装置简图

$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN}} \quad (\text{B. 1.3-3})$$

当 $AB = MN = a$, $AM = BN = na$ 时:

$$K = \frac{\pi a}{\frac{1}{n} - \frac{1}{\sqrt{n^2 + 1}}} \quad (\text{B. 1.3-4})$$

B. 1.4 五极纵轴装置 (图 B. 1.4) 可在 B_1AB_2 垂线上单侧向外移动 MN 极。装置系数 K 可按下列公式计算:

$$K = \frac{2\pi}{\frac{Y_2 - Y_1}{Y_1 \cdot Y_2} - \frac{1}{\sqrt{L^2 + Y_1^2}} + \frac{1}{\sqrt{L^2 + Y_2^2}}} \quad (\text{B. 1.4})$$

式中: $L = AB_1 = AB_2$; $Y_1 = AM$; $Y_2 = AN$ 。

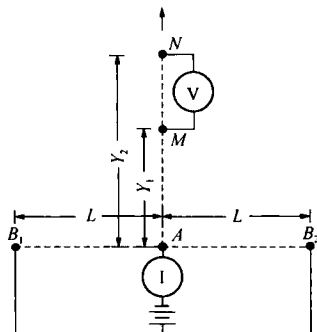


图 B. 1.4 五极纵轴装置简图

B.2 电剖面法

B.2.1 对称四极装置 (图 B.2.1) 应固定 AB 与 MN 极距, 沿剖面同步移动。装置系数 K 可按下式计算:

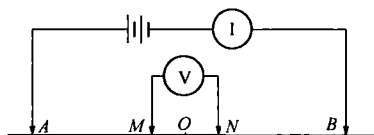


图 B.2.1 对称四极装置简图

$$K = \pi \frac{\left(\frac{AB}{2}\right)^2 - \left(\frac{MN}{2}\right)^2}{2\left(\frac{MN}{2}\right)} = \pi \frac{AM \cdot AN}{MN} \quad (\text{B.2.1})$$

B.2.2 复合对称四极装置 (图 B.2.2) 两对 AB 应与一对 MN 对称。装置系数 K 可按本标准公式 (B.2.1) 计算。

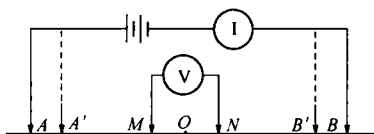


图 B.2.2 复合对称四极装置简图

B.2.3 联合剖面装置 (图 B.2.3) 应固定 AB 与 MN 极距, 沿剖面同步移动 AB 和 MN , C_{∞} (无穷远极) 分别接通 A 、 B 进行观测。装置系数 K 可按下式计算:

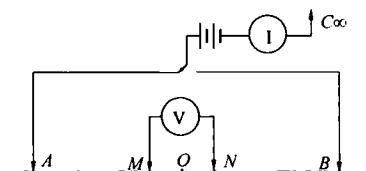


图 B.2.3 联合剖面装置简图

$$K = \pi \frac{(AO)^2 - \left(\frac{MN}{2}\right)^2}{\frac{MN}{2}} = 2\pi \frac{AM \cdot AN}{MN} \quad (\text{B. 2. 3})$$

B. 2. 4 偶极剖面装置应符合下列规定：

1 单侧偶极装置（图 B. 2. 4-1）应固定 AB 和 MN 极距，沿剖面同步移动 AB 和 MN。装置系数 K 可按下列公式计算：

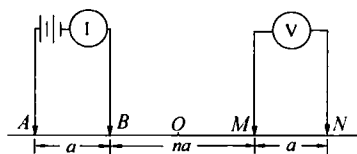


图 B. 2. 4-1 单侧偶极装置简图

$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN}} \quad (\text{B. 2. 4-1})$$

当 $AB=MN=a$ ， $BM=na$ 时：

$$K = \pi na(n+1)(n+2) \quad (\text{B. 2. 4-2})$$

2 双侧偶极剖面装置（图 B. 2. 4-2）应在 MN 两侧各布置一对 AB，各极应同时同步沿剖面移动，分别以 AB、A'B' 供电观测。装置系数 K 可按本标准公式（B. 2. 4-1）或公式（B. 2. 4-2）计算。

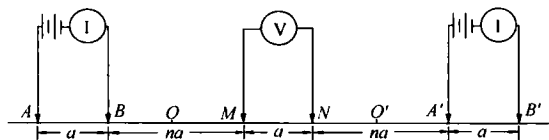


图 B. 2. 4-2 双侧偶极剖面装置简图

3 赤道偶极剖面装置（图 B. 2. 4-3）AB、MN 应相互平行并应与剖面垂直，各极应沿剖面同步移动。装置系数 K 可按下列

列公式计算：

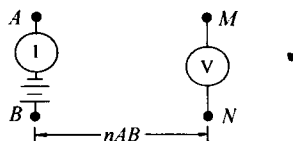


图 B. 2. 4-3 赤道偶极剖面装置简图

$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN}} \quad (\text{B. 2. 4-3})$$

当 $AB=MN=a$, $AM=BN=na$ 时：

$$K = \frac{\pi a}{\frac{1}{n} - \frac{1}{\sqrt{n^2 + 1}}} \quad (\text{B. 2. 4-4})$$

B. 2. 5 中间梯度装置 (图 B. 2. 5) 应在剖面 (或测段) 两端固定 AB 电极, 并应在 AB 中部 $1/3$ 部位移动 MN 观测。装置系数 K 可按下式计算：

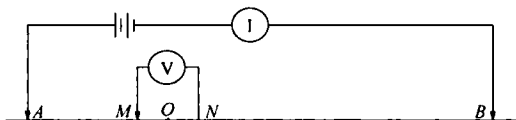


图 B. 2. 5 中间梯度装置简图

$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN}} \quad (\text{B. 2. 5})$$

附录 C 地震仪校验方法

C.1 地震道一致性校验方法

C.1.1 地震道一致性校验应在现场系统进行。

C.1.2 校验场地宜选择平整、开阔地带，地面应无植被、杂物等风吹草动干扰，附近 50m 范围内应无车辆、人畜等人为干扰。

C.1.3 检波器应布置在校验场地的一端。布置检波器的地表土应为密实土层，检波器安插接触的土层内不得含直径大于 10mm 的卵、碎石，确保每个检波器与地面有良好、相同的耦合效果。检波器宜以 50mm 的间距布置，所有检波器的布置范围不应超过 2m。

C.1.4 锤击点应布置在场地的另一端，锤击垫板下不宜有虚土。锤击点和检波器距离不宜小于 30m。

C.1.5 校验前应检查检波器夹子和大线的连接情况，确保夹子之间没有短接，也不得接触潮湿地面。应检查整个系统的其他接线情况，确保无误。在检波器布置的小范围内，应确保大线没有覆盖在检波器上，避免大线的偶然晃动产生干扰。

C.1.6 校验时应在人工锤击激发地震波后，记录地震信号。锤击得到的有效地震记录不宜少于 3 个。

C.1.7 当记录中有不正常道时，应查找原因。可通过和正常道互换检波器，判断检波器的故障；如原道仍不正常，可互换大线或者调换大线接头，判断大线；也可通过万用表测量电阻，判断检波器或大线；如果大线、检波器均正常，应由专业人员检修地震仪。

C.1.8 对于所有道均正常的地震记录，应在读取其初至走时和初至后第一波峰的峰值，或读取记录中最大波峰的走时和峰值后，计算该记录地震走时（振幅）的平均值和各道走时（振幅）

相对于平均值的偏差。

C.1.9 当所有记录中各道走时最大偏差小于 1.5 ms 时,可判定该地震仪系统相位一致性合格。当所有记录中各道振幅差最大偏差小于 15% 时,可判定该地震仪系统振幅一致性合格。

C.2 触发开关误差校验方法

C.2.1 触发开关误差校验可采用零偏移法在室内进行。

C.2.2 校验前应在地震仪上连接好一个检波器、锤击开关和电源。并应固定好检波器,使其不受其他外力扰动。

C.2.3 校验前应设置超前采样时间,并应根据实际工作需要,设置相应的采样间隔。

C.2.4 校验时可用锤击开关轻轻叩击检波器顶部,触发记录单道振动信号,并读取初至时间。对于同一个采样间隔,宜连续测试 10 次。

C.2.5 当各次测试记录中最大初至走时不超过 5 个采样间隔时,可判定触发开关误差满足要求。若各次测试记录的走时基本固定于一个数值时,该走时值可作为系统误差,在实际探测时应进行扣除。

附录 D 基础强迫振动测试法动力 参数计算方法

D.1 动力参数计算

D.1.1 应在 $A_z - f$ 幅频响应曲线上, 选取共振峰峰点和 $0.85 f_m$ 以下不少于 3 个点的频率和振幅, 按下列公式计算地基竖向阻尼比:

$$\zeta_z = \frac{\sum_{i=1}^n \zeta_{zi}}{n} \quad (\text{D. 1. 1-1})$$

$$\zeta_{zi} = \left[\frac{1}{2} \left(1 - \sqrt{\frac{\beta_i^2 - 1}{\alpha_i^4 - 2\alpha_i^2 + \beta_i^2}} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{D. 1. 1-2})$$

$$\alpha_i = \frac{f_m}{f_i} \quad (\text{D. 1. 1-3})$$

$$\beta_i = \frac{A_m}{A_i} \quad (\text{D. 1. 1-4})$$

式中: ζ_z ——地基竖向阻尼比;

ζ_{zi} ——由第 i 点计算的地基竖向阻尼比;

f_m ——基础竖向振动的共振频率 (Hz);

A_m ——基础竖向振动的共振振幅 (m);

f_i ——在幅频响应曲线上选取的第 i 点的频率 (Hz);

A_i ——在幅频响应曲线上选取的第 i 点的频率所对应的振幅 (m)。

D.1.2 变扰力和常扰力时的块体基础竖向振动的参振总质量, 应分别按下列公式计算:

$$m_z = \frac{m_0 e_0}{A_m} \cdot \frac{1}{2\zeta_z \sqrt{1 - \zeta_z^2}} \quad (\text{D. 1. 2-1})$$

$$m_z = \frac{P}{A_m (2\pi f_{nz})^2} \cdot \frac{1}{2\zeta_z \sqrt{1 - \zeta_z^2}} \quad (\text{D. 1. 2-2})$$

$$f_{nz} = \frac{f_m}{\sqrt{1 - 2\zeta_z^2}} \quad (\text{D. 1. 2-3})$$

式中： m_z ——块体基础竖向振动的参振总质量（t），包括基础、激振设备和地基参加振动的当量质量， m_z 取值不应大于基础质量的2倍；

m_0 ——激振设备旋转部分的质量（t）；

e_0 ——激振设备旋转部分质量的偏心距（m）；

P ——电磁式激振设备的扰力（kN）；

f_{nz} ——基础竖向无阻尼固有频率（Hz）。

D. 1. 3 变扰力时，地基的抗压刚度 K_z 和抗压刚度系数 C_z ，应分别按公式（D. 1. 3-1）和公式（D. 1. 3-2）计算；常扰力时，地基的抗压刚度 K_z 和抗压刚度系数 C_z ，应分别按公式（D. 1. 3-3）和公式（D. 1. 3-2）计算：

$$K_z = m_z (2\pi f_{nz})^2 \quad (\text{D. 1. 3-1})$$

$$C_z = \frac{K_z}{A_0} \quad (\text{D. 1. 3-2})$$

$$K_z = \frac{P}{A_m} \cdot \frac{1}{2\zeta_z \sqrt{1 - \zeta_z^2}} \quad (\text{D. 1. 3-3})$$

$$f_{nz} = f_m \sqrt{1 - 2\zeta_z^2} \quad (\text{D. 1. 3-4})$$

式中： K_z ——地基抗压刚度（kN/m）；

C_z ——地基抗压刚度系数（kN/m³）。

D. 1. 4 应在 $A_{xq} - f$ 曲线上选取第一振型的共振频率（ f_{m1} ）和频率为 $0.707f_{m1}$ 所对应的水平振幅，并按公式（D. 1. 4-1）和公式（D. 1. 4-2）分别计算变扰力和常扰力地基水平回转向第一振型阻尼比：

$$\zeta_{xq1} = \left\{ \frac{1}{2} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{A}{A_{m1}} \right)^2} \right] \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (\text{D. 1. 4-1})$$

$$\zeta_{x\varphi_1} = \left\{ \frac{1}{2} \left[1 - \sqrt{1 + \frac{1}{3 - 4 \left(\frac{A_{m1}}{A} \right)^2}} \right] \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (\text{D. 1. 4-2})$$

式中: $\zeta_{x\varphi_1}$ ——地基水平回转向第一振型阻尼比;

A_{m1} ——块体基础水平回转耦合振动第一振型共振峰点水平振幅 (m);

A ——频率为 $0.707f_{m1}$ 所对应的水平振幅 (m)。

D. 1. 5 变扰力和常扰力时的基础水平回转耦合振动的参振总质量 $m_{x\varphi}$, 应分别按公式 (D. 1. 5-1) 和公式 (D. 1. 5-2) 计算:

$$m_{x\varphi} = \frac{m_0 e_0 (x_1 + h_3)(x_1 + h_1)}{A_{m1}} \cdot \frac{1}{2\zeta_{x\varphi_1} \sqrt{1 - \zeta_{x\varphi_1}^2}} \cdot \frac{1}{r^2 + x_1^2} \quad (\text{D. 1. 5-1})$$

$$m_{x\varphi} = \frac{P(x_1 + h_3)(x_1 + h_1)}{A_{m1} (2\pi f_{n1})^2} \cdot \frac{1}{2\zeta_{x\varphi_1} \sqrt{1 - \zeta_{x\varphi_1}^2}} \cdot \frac{1}{r^2 + x_1^2} \quad (\text{D. 1. 5-2})$$

式中: $m_{x\varphi}$ ——基础水平回转耦合振动的参振总质量 (t), 包括基础、激振设备和地基参加振动的当量质量, 当 $m_{x\varphi}$ 大于基础质量的 1.4 倍时, 应取 $m_{x\varphi}$ 等于基础质量的 1.4 倍;

x_1 ——基础第一振型转动中心至基础重心的距离 (m);

h_1 ——基础重心至基础顶面的距离 (m);

h_3 ——基础重心至激振器水平扰力的距离 (m);

r ——基础回转半径 (m);

$\zeta_{x\varphi_1}$ ——地基水平回转向第一振型阻尼比;

A_{m1} ——块体基础水平回转耦合振动第一振型共振峰点水平振幅 (m);

f_{n1} ——基础水平回转耦合振动第一振型无阻尼固有频率 (Hz)。

D. 1. 6 地基的抗剪刚度和抗剪刚度系数, 应分别按公式

(D. 1. 6-1) 和公式 (D. 1. 6-2) 计算。基础水平向无阻尼固有频率时, 可按常扰力处理。

$$K_x = m_{xp} (2\pi f_{nx})^2 \quad (\text{D. 1. 6-1})$$

$$C_x = \frac{K_x}{A} \quad (\text{D. 1. 6-2})$$

式中: K_x ——地基抗剪刚度 (kN/m);

C_x ——地基抗剪刚度系数 (kN/m^3);

f_{nx} ——基础水平向无阻尼固有频率 (Hz)。

D. 1. 7 地基的抗弯刚度和抗弯刚度系数应分别按下列公式计算。基础回转无阻尼固有频率时, 可按常扰力处理。

$$K_\varphi = J (2\pi f_{n\varphi})^2 - K_x h_2^2 \quad (\text{D. 1. 7-1})$$

$$C_\varphi = \frac{K_\varphi}{I_0} \quad (\text{D. 1. 7-2})$$

式中: K_φ ——地基抗弯刚度 ($\text{kN} \cdot \text{m}$);

C_φ ——地基抗弯刚度系数 (kN/m^3);

$f_{n\varphi}$ ——基础回转无阻尼固有频率 (Hz);

J ——基础对通过其重心轴的转动惯量 ($\text{t} \cdot \text{m}^2$);

I_0 ——基础底面对通过其形心轴的惯性矩 (m^4)。

D. 1. 8 变扰力和常扰力时的地基扭转向阻尼比 ζ_ψ , 应分别按下列公式计算:

$$\zeta_\psi = \left\{ \frac{1}{2} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{A_{x\psi}}{A_{m\psi}} \right)^2} \right] \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (\text{D. 1. 8-1})$$

$$\zeta_\psi = \left\{ \frac{1}{2} \left[1 - \sqrt{1 + \frac{1}{3 - 4 \left(\frac{A_{m\psi}}{A_{x\psi}} \right)^2}} \right] \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (\text{D. 1. 8-2})$$

式中: ζ_ψ ——地基扭转向阻尼比;

$A_{m\psi}$ ——基础扭转振动共峰点水平振幅 (m);

$A_{x\psi}$ ——频率为 $0.707 f_{m\psi}$ 所对应的水平振幅 (m)。

D. 1. 9 基础扭转振动的参振总质量应按下列公式计算:

$$m_{\psi} = \frac{12J_1}{l^2 + h_1^2} \quad (\text{D. 1. 9})$$

式中： m_{ψ} ——基础扭转振动的参振总质量 (t)，包括基础、激振设备和地基参加振动的当量质量 (t)；

J_1 ——基础对通过其重心轴的极转动惯量 ($\text{t} \cdot \text{m}^2$)；

l ——基础长度 (m)；

h_1 ——基础高度 (m)。

D. 1. 10 地基的抗扭刚度和抗扭刚度系数应分别按下列公式计算：

$$K_{\psi} = J_1 \cdot \omega_{n\psi}^2 \quad (\text{D. 1. 10-1})$$

$$C_{\psi} = \frac{K_{\psi}}{I_1} \quad (\text{D. 1. 10-2})$$

式中： K_{ψ} ——地基抗扭刚度 ($\text{kN} \cdot \text{m}$)；

C_{ψ} ——地基抗扭刚度系数 (kN / m^3)；

I_1 ——基础底面对通过其形心轴的极惯性矩 (m^4)。

D. 2 各种系数和转换参数计算

D. 2. 1 由明置块体基础测试的地基抗压、抗剪、抗扭刚度系数，用于机器基础的振动和隔振设计时，应进行底面积和压力换算，其换算系数应按下式计算：

$$\eta = \sqrt[3]{\frac{A_0}{A_d}} \cdot \sqrt[3]{\frac{P_d}{P_0}} \quad (\text{D. 2. 1})$$

式中： η ——与基础底面积及底面静应力有关的换算系数；

A_0 ——测试基础的底面积 (m^2)；

A_d ——设计基础的底面积 (m^2)，当 $A_d > 20\text{m}^2$ 时，取 $A_d = 20\text{m}^2$ ；

P_0 ——测试基础底面的静应力 (kPa)；

P_d ——设计基础底面的静应力 (kPa)；当 $P_d > 50\text{kPa}$ 时，取 $P_d = 50\text{kPa}$ 。

D. 2. 2 测试基础埋深作用对设计埋置基础地基的抗压、抗弯、

抗剪、抗扭刚度的提高系数，应分别按下列公式计算：

$$\alpha_z = \left(1 + \left(\sqrt{\frac{K'_{z0}}{K_{z0}}} - 1 \right) \frac{\delta_d}{\delta_0} \right)^2 \quad (\text{D. 2. 2-1})$$

$$\alpha_x = \left(1 + \left(\sqrt{\frac{K'_{x0}}{K_{x0}}} - 1 \right) \frac{\delta_d}{\delta_0} \right)^2 \quad (\text{D. 2. 2-2})$$

$$\alpha_\varphi = \left(1 + \left(\sqrt{\frac{K'_{\varphi 0}}{K_{\varphi 0}}} - 1 \right) \frac{\delta_d}{\delta_0} \right)^2 \quad (\text{D. 2. 2-3})$$

$$\alpha_\psi = \left(1 + \left(\sqrt{\frac{K'_{\psi 0}}{K_{\psi 0}}} - 1 \right) \frac{\delta_d}{\delta_0} \right)^2 \quad (\text{D. 2. 2-4})$$

$$\delta_0 = \frac{h_1}{\sqrt{A_0}} \quad (\text{D. 2. 2-5})$$

式中： α_z ——基础埋深对地基抗压刚度的提高系数；

α_x ——基础埋深对地基抗剪刚度的提高系数；

α_φ ——基础埋深对地基抗弯刚度的提高系数；

α_ψ ——基础埋深对地基抗扭刚度的提高系数；

K_{z0} ——明置测试块体基础的地基抗压刚度 (kN /m)；

K_{x0} ——明置测试块体基础的地基抗剪刚度 (kN /m)；

$K_{\varphi 0}$ ——明置测试块体基础的地基抗弯刚度 (kN · m)；

$K_{\psi 0}$ ——明置测试块体基础的地基抗扭刚度 (kN · m)；

K'_{z0} ——埋置测试块体基础的地基抗压刚度 (kN /m)；

K'_{x0} ——埋置测试块体基础的地基抗剪刚度 (kN /m)；

$K'_{\varphi 0}$ ——埋置测试块体基础的地基抗弯刚度 (kN · m)；

$K'_{\psi 0}$ ——埋置测试块体基础的地基抗扭刚度 (kN · m)；

δ_0 ——测试块体基础的埋深比；

δ_d ——设计块体基础的埋深比；

h_1 ——测试块体基础的埋置深度 (m)。

D. 2. 3 由明置块体基础测试的地基竖向、水平回转向第一振型和扭转向阻尼比，用于动力机器基础设计时，应分别按下列公式计算：

$$\zeta_z = \zeta_{z0} \cdot \xi \quad (\text{D. 2. 3-1})$$

$$\zeta_{x\varphi_1}^* = \zeta_{x\varphi_1^{(0)}} \cdot \xi \quad (\text{D. 2. 3-2})$$

$$\zeta_{\psi}^* = \zeta_{\psi^{(0)}} \cdot \xi \quad (\text{D. 2. 3-3})$$

$$\xi = \frac{\sqrt{m_r}}{\sqrt{m_d}} \quad (\text{D. 2. 3-4})$$

$$m_r = \frac{m_0}{\rho A_0 \sqrt{A_0}} \quad (\text{D. 2. 3-5})$$

式中: ζ_{x1} ——明置测试块体基础的地基竖向阻尼比;

$\zeta_{x\varphi_1^{(0)}}$ ——明置测试块体基础的地基水平回转向第一振型阻尼比;

$\zeta_{\psi^{(0)}}$ ——明置测试块体基础的地基扭转向阻尼比;

ζ_z^* ——明置设计基础的地基竖向阻尼比;

$\zeta_{x\varphi_1}^*$ ——明置设计基础的地基水平回转向第一振型阻尼比;

ζ_{ψ}^* ——明置设计基础的地基扭转向阻尼比;

ξ ——与基础的质量比有关的系数;

m_0 ——测试块体基础的质量 (t);

m_r ——测试块体基础的质量比;

m_d ——设计块体基础的质量比。

D. 2. 4 测试基础埋深作用对设计埋置基础地基的竖向、水平回转向第一振型和扭转向阻尼比的提高系数, 应分别按下列公式计算:

$$\beta_z = 1 + \left(\frac{\zeta_z^*}{\zeta_{z0}} - 1 \right) \frac{\delta_d}{\delta_0} \quad (\text{D. 2. 4-1})$$

$$\beta_{x\varphi_1} = 1 + \left(\frac{\zeta_{x\varphi_1}^*}{\zeta_{x\varphi_1^{(0)}}} - 1 \right) \frac{\delta_d}{\delta_0} \quad (\text{D. 2. 4-2})$$

$$\beta_{\psi} = 1 + \left(\frac{\zeta_{\psi}^*}{\zeta_{\psi^{(0)}}} - 1 \right) \frac{\delta_d}{\delta_0} \quad (\text{D. 2. 4-3})$$

式中: β_z ——基础埋深对竖向阻尼比的提高系数;

$\beta_{x\varphi_1}$ ——基础埋深对水平回转向第一振型阻尼比的提高系数;

β_{ψ} ——基础埋深对扭转向阻尼比的提高系数;

ζ'_{x0} ——埋置测试的块体基础的地基竖向阻尼比；

$\zeta'_{x\varphi 0}$ ——埋置测试的块体基础的地基水平回转向第一振型阻尼比；

$\zeta'_{\varphi 0}$ ——埋置测试的块体基础的地基扭转向阻尼比。

D. 2. 5 由明置块体基础测试的竖向、水平回转向和扭转向的地基参加振动的当量质量，当用于计算机器基础的固有频率时，应分别乘以设计基础底面积与测试基础底面积的比值。

附录 E 孔径检测系统检校方法

E.0.1 孔径检测系统的检校应在专用标定架上进行。标定架应定期检定。

E.0.2 标定架刻度误差不应大于 1mm。

E.0.3 检校应符合下列规定：

- 1 系统应在连接完毕后打开电源，检查确认设备工作正常；
- 2 应按从小到大，从大到小的顺序，分别将四条测臂置于标定架不同直径 D 的刻度点，记录仪器每次测量值 d ；
- 3 应将各次的直径测量值数据组，按最小二乘法拟合出下式的 $D \sim d$ 线性方程：

$$d = D_0 + k \times D \quad (\text{E.0.3})$$

式中： d ——仪器测量值（mm）；

k ——仪器常数；

D_0 ——起始孔径（mm）。

- 4 应将方程求出的仪器常数及起始孔径输入记录仪；
- 5 应将测臂置于标定架不同直径刻度点 3 次，分别记录各次仪器测量值；
- 6 应将上述 3 次标准直径分别代入线性方程，计算出方程的测量值；

7 应对不同标准直径，比较方程测量值与仪器测量值的差值。

E.0.4 应根据上述标定的结果，评价仪器测量值与方程测量值之差，满足精度要求表明仪器工作正常，可以用于检测。否则，应重新检校仪器常数及起始孔径，若精度仍不满足要求，应返厂维修。

附录 F 高精度测斜仪检校方法

F.0.1 高精度测斜仪应在专用校验台上检校，校验台应定期检定。

F.0.2 校验台应安放在四周空旷、半径 2m 范围内没有磁性材料的场所。

F.0.3 校验台倾角误差不应大于 $30'$ 。

F.0.4 检校操作应符合下列规定：

1 应采用 $2''$ 精度经纬仪将校验台调准到垂直轴铅垂位置；

2 应采用测角器校正校验台上顶角刻度盘；

3 应将测斜仪安置于校验台，任意选择一个倾角 ($0^\circ \sim 15^\circ$ 范围内) 进行测试，记录仪器输出顶角值，重复进行 2 次。

F.0.5 应评价每组测试结果的精度，均满足要求表明仪器正常，可用于检测。否则，应重新检校，若精度仍不满足要求，应返厂维修。

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《动力机器基础设计规范》GB 50040
- 2 《地基动力特性测试规范》GB/T 50269
- 3 《民用建筑工程室内环境污染控制规范》GB 50325
- 4 《岩土工程勘察安全规范》GB 50585
- 5 《环境核辐射监测规定》GB 12379
- 6 《环境空气中氡的标准测量方法》GB/T 14582
- 7 《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》GB/T 14583
- 8 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》GB 18871
- 9 《地下建筑氡及其子体控制标准》GBZ 116
- 10 《城市测量规范》CJJ/T 8
- 11 《城市地下管线探测技术规程》CJJ 61
- 12 《城镇供水管网漏水探测技术规程》CJJ 159
- 13 《城镇排水管道检测与评估技术规程》CJJ 181
- 14 《建筑桩基技术规范》JGJ 94
- 15 《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106
- 16 《多道瞬态面波勘察技术规程》JGJ/T 143

中华人民共和国行业标准

城市工程地球物理探测标准

CJJ/T 7 - 2017

条文说明

编制说明

《城市工程地球物理探测标准》CJJ/T 7-2017 经住房和城乡建设部 2017 年 8 月 23 日以第 1652 号公告批准、发布。

本标准是在《城市工程地球物理探测规范》CJJ 7-2007 的基础上修订而成的，上一版的主编单位是山东正元地理信息工程有限责任公司，参编单位是建设综合勘察研究设计院、浙江省工程物探勘察院、上海岩土工程勘察设计研究院有限公司、上海申丰地质新技术应用研究所有限公司、上海市岩土工程检测中心、中国地质大学（武汉）、北京勘察技术工程有限公司、天津市勘察院、水利部长江勘测技术研究所、西安中交公路岩土工程有限责任公司、核工业北京地质研究院、山东正元建设工程有限责任公司、江苏海安智能仪器有限公司，主要起草人是李学军、赵竹占、周凤林、黄永进、孙振波、靳洪晓、魏岩峻、陈德海、陈达、李大心、徐贵来、孙云志、蔡克俭、杨玉坤、张善法、刘运平、李书华、刘勇、景朋涛。本次修订的主要技术内容是：

1. 第5章电磁法，删除了原音频大地电场法、原甚低频电磁法，原可控源音频大地电磁测深法改为电磁测深法；
2. 第6章浅层地震法，原瑞雷波法改为面波法，增加了微动勘探法；
3. 第10章温度测量法，增加了红外热像法和大体积混凝土测温法；
4. 第12章水域探测法，在原水声探测法基础上，原水下地形探测法改为声纳测深法，增加了侧扫声纳法、水域地震法、水域直流电法和水域磁法；
5. 第13章井中探测法，合并原声波测井和原地震波测井为弹性波测井，原钻孔电视改为钻孔全景光学成像，磁测井单列一节，增加了管波探测法；
6. 第14章地基基础检测，在原基桩动测法基础上，增加了灌注桩成孔（槽）质量检测、基桩钢筋笼长度检测、地下连续墙检测、复合地基检测和既

有基础探测；7. 增加了现附录 E 孔径检测系统检校方法和现附录 F 高精度测斜仪检校方法。

本标准修订过程中，编制组进行了广泛调查研究，总结了我国城市工程地球物理探测的实践经验，同时参考了国外先进技术法规、技术标准。

为便于广大施工、监理、设计、科研、学校等单位有关人员在使用本标准时能正确理解和执行条文规定，《城市工程地球物理探测标准》编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明，对条文规定的目的、依据及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

目 次

1	总则	161
2	术语、符号和代号	162
2.1	术语	162
2.2	符号	164
2.3	代号	164
3	基本规定	165
4	直流电法	168
4.1	一般规定	168
4.2	自然电场法	169
4.3	充电法	169
4.4	电剖面法	170
4.5	电测深法	171
4.6	高密度电阻率法	171
4.7	激发极化法	172
5	电磁法	175
5.1	一般规定	175
5.2	电磁测深法	175
5.3	电磁剖面法	177
5.4	瞬变电磁法	180
5.5	探地雷达法	181
5.6	核磁共振法	184
6	浅层地震法	190
6.1	一般规定	190
6.2	反射波法	190
6.3	透射波法	193

6.4	折射波法	194
6.5	面波法	195
6.6	微动勘探法	196
7	高精度磁法	200
7.1	一般规定	200
7.2	仪器设备要求	200
7.3	数据采集	202
7.4	资料处理与解释	203
8	高精度重力法	204
8.1	一般规定	204
8.2	仪器设备要求	204
8.3	数据采集	204
8.4	资料处理与解释	205
9	放射性测量法	206
9.1	一般规定	206
9.2	仪器设备要求	206
9.3	数据采集	206
9.4	资料处理与解释	207
10	温度测量法	208
10.1	一般规定	208
10.2	红外热像法	208
10.3	地温测量法	210
10.4	大体积混凝土测温法	212
11	振动测试法	215
11.1	一般规定	215
11.2	基础强迫振动测试法	215
11.3	微振动测试法	219
11.4	振动衰减测试法	220
12	水域探测法	225
12.1	一般规定	225

12.2	声纳测深法	225
12.3	侧扫声纳法	226
12.4	水域地震法	227
12.5	浅地层剖面法	228
12.6	水域直流电法	228
12.7	水域磁法	229
13	井中探测法	230
13.1	一般规定	230
13.2	电测井	231
13.3	弹性波测井	231
13.4	电磁波测井	232
13.5	磁测井	233
13.6	井间层析成像	233
13.7	放射性测井	233
13.8	钻孔全景光学成像	234
13.9	超声成像测井	234
13.10	管波探测法	234
13.11	其他探测方法	240
14	地基基础检测	241
14.1	一般规定	241
14.2	基桩动测	241
14.3	灌注桩成孔(槽)质量检测	243
14.4	基桩钢筋笼长度检测	244
14.5	地下连续墙检测	249
14.6	复合地基检测	250
14.7	既有建(构)筑基础探测	250
15	成果报告	257

1 总 则

1.0.1 本条阐明了制定本标准的目的。随着技术的进步与不断发展，物理探测技术解决问题的能力不断提高，地球物理技术在国民经济建设中发挥着越来越明显的作用，并且成为工程勘察与测试的重要手段。特别是近年来一些新技术方法的出现和传统方法解决城市建设问题的应用不断扩大，并取得明显效果，进一步丰富了地球物理探测技术体系，扩大了物理探测技术解决问题的深度和广度。为了规范、统一现有城市工程地球物理探测技术方法的工作技术要求，推进城市工程地球物理探测技术的合理使用，保证探测成果质量，提高经济效益，制定本标准。

1.0.2 本条规定了本标准的适用范围。采用地球物理探测技术，针对性地解决城市工程建设中的探测问题，为城市规划、勘察、设计、施工、管理、运维、减灾防灾和环境保护提供可靠的科学资料。

1.0.3 本标准是城市工程地球物理探测技术应用的专业技术标准，与岩土工程勘察、水文地质、环境监测与评价、质量检测、城市测量、工程测量等工作密切相关，因此在实际工作中会涉及相关的技术标准等。所以，本条明确规定，城市工程地球物理探测除应符合本标准外，尚应符合国家现行有关强制性标准的规定，如：《岩土工程勘察规范》GB 50021、《城市轨道交通岩土工程勘察规范》GB 50307、《市政工程勘察规范》CJJ 56 等有关地球物理探测的规定。

2 术语、符号和代号

2.1 术 语

2.1.1 地球物理探测（简称物探）利用的物理场源有电场、磁场、电磁场、地震波或弹性波场、温度场、重力场、放射源等，包括天然场和人工场，可探查的目的物或目标体包括地层、破碎带、断层、含水层、洞穴、人工埋设物等。但是物探并不是直接揭露目标体或目的物，而是根据物性差异和地质规律综合解释和推断，是一种间接的勘探手段，具有单一方法的多解性和应用条件的局限性，需要对探测结果进行佐证或验证。

2.1.2 工程地球物理探测即工程物探，是以研究地下物理场（如重力场、电场等）为基础的。不同的地质体在物理性质上的差异，直接影响地下物理场的分布规律。通过观测、分析和研究这些物理场的变化，并结合有关地质资料，可判断与岩土工程勘察有关的问题，也可提供有关参数计算。

2.1.3 城市工程地球物理探测是指地球物理探测技术方法在城市工程规划、勘察、设计、施工、管理、运维、减灾防灾和环境保护中的应用。经过多年的发展，多种物探手段在实际中发挥了作用，其中不乏出现的一些新的技术，如瞬变电磁法经过改进接收线圈、改变发射参数，可以用于解决相关问题；管波探测法经过实际应用证明是目前在钻孔中可以较好探测岩溶、破碎带的方法。

2.1.5 高密度电阻率法的基本原理与传统的电阻率法完全相同，所不同的是在观测中设置了较高密度的测点，现场测量时，只需将全部电极布置在一定间隔的测点上，然后进行观测。由于使用电极数量多，而且电极之间可以自由组合，这样可以提供更多的地电信息，使电法勘探能像地震勘探一样使用覆盖式的测量方

式。相对地讲，成本较低、效率高是其显著特点。

2.1.7 瞬变电磁法的基本原理就是电磁感应定律。衰减过程一般分为早、中和晚期。早期的电磁场相当于频率域中的高频成分，衰减快，趋肤深度小；而晚期成分则相当于频率域中的低频成分，衰减慢，趋肤深度大。通过测量断电后各个时间段的二次场随时间变化规律，可得到不同深度的地电特征。

2.1.9 核磁共振是原子核的一种物理现象，指具有核子顺磁性的物质选择性地吸收电磁能量。氢核是地层中具有核子顺磁性物质中丰度最高、磁旋比最大的核子。除油层、气层外，水中的氢核是地层中氢核的主体。核磁共振找水方法就是通过测量地层水中的氢核来直接找水。

2.1.11、2.1.12 本标准中面波法是指主动源的面波法，而微动勘探法是利用天然的微动作为振动源，通过提取面波实施勘探的方法。

2.1.14 射线正交性以弹性波射线交角的正弦值表示，用来衡量弹性波 CT 反演可靠性，射线交角越接近直角，表示反演结果的可靠性越高。

2.1.17 在基桩动测法中，包括低应变反射波法、高应变动测法和声波透射法。

2.1.21 目前，红外热像法已应用愈加广泛，可以现场检测建筑外墙湿作业饰面材料粘贴质量、建筑外围护结构热工缺陷、屋顶渗漏、建筑外围护气密性、港工大体积混凝土表层缺陷、工业装置衬里损伤、工业装置保温效果确认、公路沥青路面铺装质量等建设工程施工质量。

2.1.22 大体积混凝土一般在水工建筑物里常见，如混凝土重力坝等。大体积混凝土特点是结构厚实、混凝土量大、工程条件复杂，一般都是地下现浇钢筋混凝土结构，施工技术要求高，水泥水化热较大，可超过 25℃，易使结构物产生温度变形。大体积混凝土除了最小断面和内外温度有一定的规定外，对平面尺寸也有一定限制。因为平面尺寸过大，约束作用所产生的温度力也愈

大，如采取控制温度措施不当，温度应力超过混凝土所能承受的拉力极限值时，则易产生裂缝。

2.1.24 其中钻孔全景光学成像又称为钻孔电视。

2.1.25 人工激震后在液体填充的孔内及孔壁上广义的瑞雷波沿孔的轴向传播的波，形象地称之为管波。管波探测法正是利用这种管波的传播特性对孔中桩位的岩溶等地质体进行探测的方法。

2.2 符 号

列出了本标准使用的主要符号。

2.3 代 号

列出了本标准使用的主要代号。

3 基本规定

3.0.1 城市工程地球物理探测涉及的方法技术很多,按所利用的物理场源分为直流电法、电磁法、浅层地震法、磁法、重力法、地温测量及放射性测量六类方法,按工作条件分为陆上探测、水上探测和井中探测三类。而地球物理探测方法的物理基础就是介质中存在许多物理性质不同的地质体或分界面,它们在空间产生了天然物理场(包括重力场、地磁场、地热场及放射性辐射场等)或人工物理场(包括人工电流场、电磁场、人工地震波的时间场、弹性位移场)的局部变化(即产生异常场)。因此派生出了直流电法、电磁法、地震(弹性波)法、磁法、重力法、温度测量、放射性测量、地球物理测井等方法。

如何选择利用地球物理探测技术方法解决实际问题,应该具备一定的工作条件,因此在实际中,要使用地球物理探测方法解决问题,首先要分析工作条件具备情况。本条明确了地球物理探测应用的条件,也就是说只有在前提条件具备时才可以选择使用地球物理探测方法。

常见岩土介质的主要物性无论是密度、弹性波纵波速度、电阻率、介电常数、温度、放射性、磁性等,其差异还是较为明显的。但是仅有物性差异不够,因为分辨能力以及方法本身对工作空间条件、环境条件的要求也是不一样的。

3.0.2 本条规定了地球物理探测方法工作原则要求。每一种地球物理探测方法在应用时都不是万能的,都有其局限性。但是,还要认识城市工程地球物理探测工作具有如下特点:

1 干扰强且干扰因素多,诸如电、磁、震动、电磁波等对各物探方法都构成干扰。

2 场地小且不规则,测线、网布置受到限制。

3 解决的工程任务繁杂、多样，在城市中有许多任务要物探去解决，有的甚至不符合物探工作的常规，如非开挖工地在顶管过程中受阻，急需物探给指条“明路”，且十分火急，物探工作该怎么做等。

4 任务急且要求高，在城市建设的众多工地中往往会出现各种问题，急切探测结果，而且精度越高越好。

3.0.3 大量实践证明，利用地球物理探测方法解决实际问题，无论在效率上、经济上，还是在获得信息量上都具有明显的优势。但是任何一种问题的性质和具备的工作条件不同，选择使用的方法也不相同。本条规定了城市工程地球物理探测应用的范围，所列举的12种主要问题，已经实践证明能够利用相应的地球物理探测方法来解决，但应该指出的是在地下工程中往往会遇到本标准未列出的其他各类疑难而有待解决的问题或有待查清的目体，这就要靠物探工程师运用扎实的理论基础，利用先进的仪器设备通过试验研究达到解决工程问题的目的。

3.0.4 本条规定了城市工程地球物理探测的基本程序，包括：接受任务（委托）、工作准备、测量放线、工作布置与数据采集、资料处理与解释、成果编绘和成果验收。这是探测工作的基本程序，利于实施科学化管理和确保工作质量。

3.0.6 本条规定了在接受任务后的准备工作。探测人员应与有关专业技术人员共同收集资料和现场踏勘，研究探测任务、工作计划和已有资料的解释成果，并组织进行仪器检校、方法试验，编制技术设计书。技术设计书应进行审批。

3.0.7 技术设计是地球物理探测准备工作的重要组成部分。本条规定了技术设计书应包括的主要内容。

3.0.8 本条规定了城市工程地球物理探测的工作布置要求。

3.0.9 在城市工程地球物理探测有时需要测地工作配合，为此特别提出了对一些特殊点位的测量要求。

3.0.10 对于城市工程地球物理探测，对在有测量要求时如何实施测量及精度作了规定。

3.0.11 仪器设备是城市工程地球物理探测的工具，是获得可靠信息和提高工作效率的基本保证，是确保探测顺利进行的必备条件。因此，本条规定了性能稳定、构件牢靠的要求，适应工作环境的温度和湿度条件的仪器设备方能投入实际应用，这是对仪器设备的基本要求。并且对于探测仪器设备，做到定期检验校正，经常维护保养，使其保持良好性能状态。

3.0.12 对于仪器设备的操作和使用作了规定，并且要求维修和操作人员应该具备相应的能力。

3.0.13 本条规定了探测单位应按技术设计组织实施探测工作，正确运用工作程序，内、外业紧密结合，并与地质、钻探等工作密切配合，及时采集、处理探测数据，完整提交有关探测成果资料。特别规定在采用新技术、新方法时，应验证其原理的正确和效果的可靠。

3.0.14 原始记录是探测工作成果的一部分。本条规定了原始记录的填写、保护等要求。

3.0.15 要保证探测数据的可靠，作业单位应该建立质量管理与保证体系，根据不同方法的特点进行过程质量检查。

3.0.16 本条规定了城市工程地球物理探测工程的外业质量检查工作原则。

3.0.17 本条规定了城市工程地球物理探测外业质量检查及评定要求。实际工作中，这些要求必须满足。

3.0.18 本条是城市地球物理探测数据处理的规定，规定了不得使用未经检查或不合格数据进行处理、解释。

3.0.19 本条规定了探测资料解释的工作原则。

3.0.20 本条规定了应采取相应的综合探查手段，对探测结果进行核查。因为物理探测结果的多解性，要求采取核查方式，证明探测结果的可靠。

3.0.21 本条规定了地球物理探测施工作业期间，应该遵守有关安全规定，保证人身和仪器设备安全，并做到文明施工、保护环境和成果资料的安全保密。

4 直流电法

4.1 一般规定

4.1.1 本条规定了直流电法应按工作条件和探测任务选择方法及相应装置形式。直流电法分为自然电场法、充电法、电阻率法和激发极化法四大类，其中电阻率法包括电剖面法、电测深法、高密度电阻率法。

4.1.3 测区岩土层的电性参数测定一般可在面积性工作之前或同时进行。电性参数测定方法有：

1 标本测定法。采集足够大的新鲜标本，随采随测。标本的长宽厚大于施测时极距 AB 距的 2 倍。

2 电阻率测井法。有条件的测区进行电参数测井，必要时，专门打测井孔。

3 孔旁测深法。利用测区内及附近的钻孔进行孔旁电测深，以求得岩土层的电阻率参数。

4 露头小四极法。在地表较平坦的岩性露头区，以最大极距 AB 小于露头长度的 $1/2$ 和宽度的 $2/3$ 的对称四极法测定露头岩性的电参数。

4.1.5 视电阻率重复观测误差的计算公式 (1)：

$$\frac{\frac{\rho_s^{\max} - \rho_s^{\min}}{\rho_s^{\max} + \rho_s^{\min}}}{2} \times 100\% \leq 2\% \sqrt{n} \quad (1)$$

式中： ρ_s^{\max} ——保留的视电阻率最大值 ($\Omega \cdot m$)；

ρ_s^{\min} ——保留的视电阻率最小值 ($\Omega \cdot m$)；

n ——参加平均的 ρ_s 个数。

4.1.6 自检观测值与基本观测值的相对误差计算公式 (2)：

$$\frac{|A_a - A'_a|}{\frac{A_a + A'_a}{2}} \times 100\% \leq 3\% \quad (2)$$

式中： A_a ——基本观测值（mV）；

A'_a ——自检观测值（mV）。

4.2 自然电场法

4.2.1 在地下水流向流速的测定时，充电点与含水层直接连通意味着钻孔深度要超过含水层；测线布置 8 条时的各测线间夹角为 45° ，而布设 12 条时的夹角为 30° 。本条规定了自然电场法目前的适用范围。随着技术的研究和发展，其适用范围还可能增加。

4.2.4 自然电场法的测网布置应遵循一定的原则。在保证本条规定的前提下，普查时的线距宜为相应比例尺成图时 5mm～10mm 所表示的距离，点距为线距的 $1/2 \sim 1/4$ ；详查时观测点距宜为探测对象的埋深 $1/2 \sim 1/4$ 。剖面间距为点距的 2 倍～4 倍，但应有三条以上的剖面通过主要异常区。用电位法观测时，观测从测量电极的极差开始，然后依次沿测线观测各测点。当沿测线收线时，每隔 5 个或 10 个测点进行检查观测，回到测站后再次测量极差。依次转移至下一测线用相同的工作方法进行观测或同一个固定点 N 极可测数条甚至全测区各测点的自然电位差值；在测线较长或有游散电流影响时，可以分段进行观测，但在衔接处必须要有 3 个～5 个重复测点。用梯度法观测时，在每条测线上每测完 10 个～20 个测点观测一次极差，并对各测点进行极差校正。梯度法观测的记录点为 MN 的中心点，不允许将梯度换算成电位成果。

4.3 充 电 法

4.3.5 在地下水流向流速的测定时，所谓充电点必须与含水层直接连通意味着钻孔深度要超过含水层；测线布置 8 条时的各测

线间夹角为 45° ，而布设 12 条时的夹角为 30° 。

4.3.9 根据地下水流向流速观测资料绘制三种图件。绘制等位线图：盐化前所测得的各方位等位线距 R （充电点 A 在地面的投影 O 到各方位等位圆的距离）和等位圆增量 ΔR 可用不同的比例尺， ΔR 的比例尺可以放大，放大到既能清楚地反映出等位圆的变化特征又不使图幅过大为宜；绘制方位角 α 与增量 ΔR 关系曲线图：以各方位角 α 为横坐标，盐化后各方位上等位圆增量 ΔR 为纵坐标的直角坐标系，以测量电极固定 N 极所在方位角为坐标原点，在横轴上顺序排列各方位角，标出相应的 ΔR 值，并用线段连接起来，就成了方位角与增量 ΔR 关系曲线图；绘制同一方位角上的等位圆增量 ΔR 与不同观测时间 t 关系曲线图：以观测时间 t 为横坐标，等位圆增量为纵坐标，取其渐近线上 ΔR 值进行计算地下水流速。

充电法圈定良导体的形态，主要根据剖面平面图的异常带来确定，在等电位平面图上的等值线密集处接近于低阻地质体的边界线，可作为定性判断。当覆盖层较厚时，就无法确定边界线，只能展示大致形状。

4.4 电剖面法

4.4.1 本条规定了电剖面法的适用范围。

4.4.2 开展电剖面法的装置类型和电极距的选择原则。

4.4.3、4.4.4 电剖面法工作布置及资料完整性要求。

4.4.5 电剖面法质量检查观测：

1 应以一条剖面测线（剖面较长时可选其中一段）为单元，不得挑选个别点；

2 工作量不足 1 天的电剖面法工程，可在基本观测工作完成后即进行质量检查观测。

4.4.6 原始记录资料是电剖面法工作的基础，应编录整理并妥善保管。

在电剖面法外业施工的过程中，根据工程的大小建立内业

组，由专人或项目负责人兼职负责，做好原始资料的检查验收及转录存储工作。

4.4.7 本条是电剖面法的资料解释推断的基本要求。

4.5 电测深法

4.5.1 本条规定了电测深法的适用范围。在城市勘察中主要是针对某项工程测定地下岩土层电阻率参数，或通过对岩土层电阻率参数的测量来推断解释地下不同深度的岩土层情况及对地下地质体、埋设物的调查。

4.5.12 电测深法的质量检查时，观测采取如下方法：

以一条完整的测深曲线为单元，不能挑选个别极距点。由于地表状态改变而引起的小极距质量检查读数与原始观测读数相差较大时，小极距读数不计入质量检查均方相对误差的计算时，不计入计算的小极距不能超过3个。

工作量不足1天的电测深工程，在基本观测工作完成后即进行质量检查观测。

4.6 高密度电阻率法

4.6.1 本条规定了高密度电阻率法的适用范围。

4.6.2 本条是对开展高密度电阻率法工作仪器设备的基本要求。要求开展高密度电阻率法工作同时在一条（二维）或多条测线（三维）上以较小的等间距布设多根电极，分别以不同的电极和极距组合观测研究地下介质电阻率在断面或空间的分布。这就要求高密度电阻率法仪器除具备普通直流电测仪的功能外还能够利用程序控制在多电极排列中按设定的装置参数自动寻道“跑极”，逐点逐层测读计算视电阻率值并存储。

4.6.3 本条是高密度电阻率法工作布置的基本要求。

4.6.4 地形对高密度电阻率法观测数据的影响较大，地形校正时需要测线高程进行测量。一般测量地形起伏转折点的坐标及高程，有条件时可测量每个电极点的坐标及高程。

4.6.5、4.6.6 是高密度电阻率法数据采集工作的基本要求。

4.6.7 对高密度电阻率法工作量质量检查：

1 质量检查观测应以一个排列的全部或部分（不少于1层）层剖面为单元，不得挑选个别点。由于地表状态改变而引起的小极距层质量检查读数与原始观测读数相差较大时，小极距层读数不计入质量检查均方相对误差的计算时，不计入计算的小极距层不能超过3个。

2 工作量不足20个排列的高密度电阻率法工程，其工作质量可用重复观测读数代替质量检查观测进行评价。

4.6.8~4.6.14 高密度电阻率法资料处理解释的基本要求。资料处理及成果解释时，宜参照钻探或其他探测成果修正深度转换系数或解释深度。

4.7 激发极化法

4.7.1 本条规定了激发极化法的适用范围。

4.7.2 本条规定了激发极化法的应用条件。

4.7.3 本条规定了激发极化法工作装置选择的要求。

4.7.4 本条规定了激发极化法仪器设备的一般要求。

4.7.5 本条对激发极化法数据采集时的工作技术要求作了规定。使用对称四极装置观测，观测域不应大于供电极距 AB 的 $2/3$ ，测量极距 MN 不小于 $(1/50 \sim 1/30) AB$ ；有时可采用 $AB : MN = 3 : 1$ 或 $AB : MN = 5 : 1$ 的等比对称四极装置。工作时供电导线与测量导线应有一定距离，一般相距 $1.0\text{m} \sim 2.0\text{m}$ 。

在干扰较小的地区，二次电位差值不应小于 1.0mV 。但经改善接地条件确实无法满足时，允许适当放宽，但不得小于 0.3mV ，也不得在两个相邻极距上连续出现。在有明显干扰的地区，二次电位差值应根据干扰幅度适当增大，宜不小于干扰信号幅度的3倍。

4.7.6 规定了数据取舍要求。

4.7.7 对于不符合均方差质量评定的系统检查点数超过总系统

检查点数的 $1/3$ 时, 则被检查的测区或地段质量是不合格的, 应予以作废重测。但由于干扰等客观原因, 再次重测有困难时, 应补测有重要意义的异常区, 找出一定的规律后, 可作为参考资料上交。

当进行测深工作时, 每一极距测量完毕, 记录员应及时绘制参数曲线草图。曲线的横坐标均用模数为 6.25mm 的对数坐标表示 $AB/2$, 纵坐标除 ρ_s 曲线用同模数的对数坐标外, 其余参数选用适当比例尺的算术坐标。

4.7.8 本条规定了资料处理与解释方法。激发极化法绘制的参数等值线图一般有: ρ_s 、 η_s 、 ϵ 、 J_s 和 D 等值线断面图, 但因目前使用的激发极化仪类型较多, 对上交的正式图件应根据具体条件和成果报告的需要绘制图件。 η_s 、 ϵ 、 J_s 和 D 等值线断面图的横坐标用算术比例尺, 纵坐标可用对数比例尺, 也可用算术比例尺表示。

激发极化法找水的解释工作, 遵循从已知到未知, 先易后难的对比解释已有水文地质资料地区的曲线特征、异常程度, 研究其异常与地下水的关系, 用推理的方法, 结合电阻率法的解释结果, 作出对未知地区的地下水埋藏情况的推断。

目前所引用的表示二次场的激电参数 (η_s 、 ϵ 、 J_s 、 D 、 $S_{0.5}$) 与含水层的孔隙率、粒度、黏土含量和地下水类型等因素有关, 同时也受地表炭化程度、电极的影响, 故在分析资料时, 要分析各种干扰因素的作用。

应用激发极化法找水, 应正确地确定背景和含水异常值。并依据含水因素及水文地质资料和其他物探资料, 经过综合分析后估算含水层富水性。背景值: 不同测区有不同的背景值, 所以对每一个工程, 都要实测背景值 (M_0), 一般在已知不含水地层或干井旁测得 ϵ 、 J_s 、 D 、 $S_{0.5}$ (半衰减度) 数值来确定背景值的大小。异常值: 指大于背景值的相对幅度大小, 一般要连续出现两个极距以上才称为异常, 但有时反映薄层状含水层段或埋深较大的含水层, 可能出现一个极距的异常峰值。水文地质较好的

地区，当含水层埋藏深度在 200m 以上，选用极距大小与含水层分布对应一致时，可近似用 ϵ 异常峰值起始值来确定含水层顶底板的埋深，但有时也出现相当于异常峰值的半幅点。随着含水层段埋深加大， ϵ 异常峰值与含水层段顶底板埋深出现较复杂的关系。一般从测区内已知井中找出两者的对应关系，然后确定深部含水层段的异常位置。在相同的水文地质条件下，测区内没有电子导体的干扰，常用含水因素 (M_s) 值大小进行估算含水层富水性。含水因素 (M_s) 值的计算是在相同极距内，用 ϵ 或 J_s 实测曲线与横坐标所包围的面积数值来表示，其数值越大，则定性认为含水层越厚，富水性越好。地下水的涌水量与岩层含水性、储水条件、补给来源、渗透特征等因素有关，所以通过对水文地质资料和其他物探资料进行综合相关分析之后，才有可能对地下水的涌水量作出初步的评价。

5 电 磁 法

5.1 一 般 规 定

5.1.1 本标准所列电磁法包括电磁测深法、电磁剖面法、瞬变电磁法、探地雷达法和核磁共振法，根据探测任务和实际条件的需要，工作时可以进行针对性的选择。

5.1.2 本条规定了电磁法工作前，通过方法试验确定工作装置和工作参数的要求。

5.2 电磁测深法

5.2.1 电磁测深法是以电磁场为场源来研究地球内部电性结构的一种重要的地球物理手段。其基本原理是：依据不同频率的电磁波在导电介质中具有不同趋肤深度的原理，在地表测量由高频至低频的地球电磁响应序列，经过相关的资料处理来获得大地由浅至深的电性结构。电磁测深法，有天然场源的电磁测深法、可控源频率电磁测深法（简称频率测深法）及电导率成像法。该方法主要用于地下深部地质构造的探查，工程物探勘查中，主要是应用其高频段。电磁测深法主要用于探查地质构造、地下水及地下岩溶、空洞等。

5.2.2 本条规定了电磁测深法的应用条件。

5.2.3 本条规定了电磁测深法的仪器要求。

5.2.4 本条是现场工作布置的基本要求。

5.2.5 本条是对测量电极的规定，同时对高阻区域如何改善接地电阻进行了规定。

5.2.6 本条规定了观测装置敷设的要求。

十字形装置（见图 1）：两对电极以测点中心对称敷设，水平方向的两对电极（ E_x ， E_y ）和两磁传感器（以下简称磁棒）

分别按正北 (x) 正东 (y) 互相垂直敷设, 各自方位偏差不大于 1° , 水平磁棒 (H_x , H_y) 顶端距中心点 $8\text{m} \sim 10\text{m}$ 的位置。垂直磁棒 (H_z) 垂直向下误差不大于 1° , 埋设于方位角 225° , 顶端距中心点 10m 的位置在条件允许的地方, 均可采用这种敷设方式。

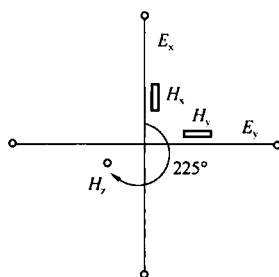


图1 十字形布极示意图

L形、T形和斜交装置: 是两对电极距不以测点中心为对称敷设的三种观测装置 (见图2~图4), 在施工中不适宜十字形敷设的条件下采用。现场布极时, 依试验确定或设计规定的电极长度布极, 电极按现场经纬仪实测水平距布设, 误差不要超过 1% , 两对电极应布设在同一水平面内, 确因测点周围地表起伏不平, 每对电极间相对高差与电极距之比不要超过 10% 。

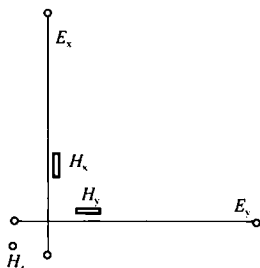


图2 L形布极示意图

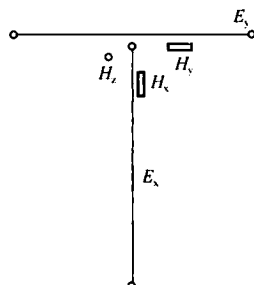


图3 T形布极示意图

5.2.9 本条是资料处理的基本要求。处理时,应依数据编辑结果,对视电阻率、相位曲线按极化模式分别进行计算机平滑;频点数据连续性差、标准离差大的测点,参照相邻点同类曲线形态、类型进行反复平滑,做到客观、合理,符合测区内曲线变化的一般规律;每个测点的曲线编辑、平滑后应提交相应的视电阻率及相位的曲

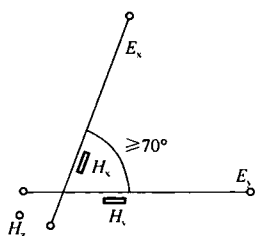


图4 斜交装置示意图

线和数据。按测线对平滑后曲线进行静态效应分析,根据分析结果对有静态位移的视电阻率曲线进行静校正。测区地形复杂、相邻测点间高差较大时,要对每个测点曲线进行地形校正。

5.2.10 本条是资料定性解释的基本要求。大地电磁测深资料解释中,定性解释既是初步的成果,也是非常重要的成果,其正确性关系到整个工程的成果质量。确定地电模型是定性解释的首要任务。为保证成果的正确性,一定要利用好测区钻孔,收集区内或附近的钻孔资料是非常重要的,利用孔旁测深曲线进行正反演工作。

5.2.12 本条规定了资料解释时绘制的各种图件,包括定性解释图件、定量解释图件和综合解释图件。作为工程物探的成果,综合解释图件是必需的,是工程的首要成果。定性解释图件、定量解释图件属过程资料。

5.3 电磁剖面法

5.3.1 本条规定了电磁剖面法的适用范围。该方法利用电磁感应原理观测地下介质产生的感应电磁场的空间分布规律,从而查明地下岩土层或其他地质体、地下埋设物的空间分布。特别适用于填绘电性横向分布不均匀的地质目标,包括废石堆、陡倾斜构造(如断层、裂隙带)和污染的地下水,同时,探查金属管线的应用也非常广泛。

5.3.2 本条明确了电磁剖面法的应用条件。电磁剖面法有大定源回线法与偶极剖面法两种观测方式。大定源回线法又可分为实虚分量法和振幅比—相位差法；偶极剖面法又可分为虚分量振幅法、水平线圈法和倾角法。各种测量方法的应用条件如下：

1 大定源回线法应用于水平或缓倾斜状良导地质体调查的详查方法，其中虚实分量法在地形平缓地区使用勘探深度较大，而振幅比—相位法对发射机与接收机的稳定性要求放宽，又由于省去较长的参考线，工作方便，观测效率高。

2 电磁偶极剖面法装置轻便，工作效率高，但勘探深度浅，主要用于初查阶段。其虚分量振幅法对虚分量进行绝对测量，属纯异常观测，受地形影响小，有利于发现异常，而水平线圈法属相对测量，对发射机与接收机稳定性要求不高，但地形影响大。

3 地下金属管线的探测仪器已非常成熟，专用的金属管线探测仪已有二十余年的发展史，一套金属管线探测仪分为发射机和接收机。探测时将发射机产生的交变电流信号输入发射线圈，使其周围产生电磁场，当地下存在金属管线时，金属管线在电磁场的激发下产生二次电磁场，用接收机的接收线圈接收二次电磁场，就可以发现地下金属管线。这种方法发射和接收一般都不需要接地（仅直接法时需接地），因此操作灵活方便，工作效率高，效果好，而且可根据需要灵活改变发射机和接收机的方位和位置，适应各种不同的情况，取得最佳接收效果。

5.3.4 偶极剖面法的收发距很重要。当极距很小时，二次磁场的相对异常小；随着收发距增加，二次磁场相对增加，相对异常增大；收发距过大时，异常变得复杂，且异常值变小，范围变宽；所以收发距选择应遵循本条的规定原则。

5.3.5 本条规定了电磁剖面法观测方法与技术要求。

1 大定源回线法，利用长方形或方形回线提供均匀一次场，利用小回线在大回线内外沿测线逐点观测，当观测的是垂直分量或水平分量的实部和虚部及它们的振幅、相位则称为实虚分量法，当观测两相邻水平接收线圈垂直分量的振幅比及相位差则称

为振幅比相位差法。

2 电磁偶极剖面法用固定间距的发收线圈同步沿测线移动进行观测，发射与接收线圈水平，参考信号取自发射线圈旁的一个固定线圈上的感应电压，用一次磁场归一化方法测量实虚分量的方法称为水平线圈法；发射线圈铅垂放置，参考线圈与发射线圈共面，而接收线圈与发射线圈正交，接收磁场垂直分量，与水平方向总场成 90° 的分量为虚分量振幅法。

3 地下金属管线的探测根据给地下管线施加交变电磁场的方式不同，又可分为直接法（图 5a）、夹钳法（图 5c）、感应法（图 5b）。无论采用直接法、夹钳法或感应法来传递发射机的交变电磁场，均会使地下金属管线被激发产生交变的电磁场，这磁场可被高灵敏的接收机所接收，根据接收机所测得的电磁场分量变化特点，对被探查的地下管线进行定位、定深。用管线仪定位时，可采用极大值法或极小值法。极大值法，即用管线仪两垂直线圈测定水平分量之差 ΔH_x 的极大值位置定位；当管线仪不能观测 ΔH_x 时，宜采用水平分量 H_x 极大值位置定位。极小值法，即采用水平线圈测定垂直分量 H_z 的极小值位置定位。两种方法宜综合应用，对比分析，确定管线平面位置。用管线仪定深的方法较多，主要有特征点法（ ΔH_x 百分比法， H_x 特征点法）、直读法及 45° 法，探查过程中宜多方法综合应用，同时针对不同情况先进行方法试验，选择合适的定深方法。

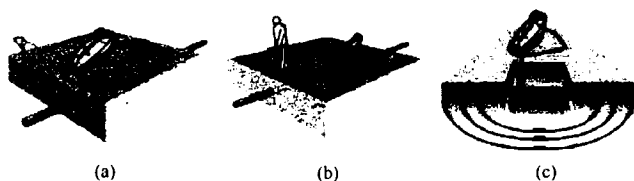


图 5 发射机施加信号的方法示意图

(a) 直接法；(b) 感应法；(c) 夹钳法

5.3.7 本条规定了资料处理的方法及成果的相关要求。一般工

作的成果图由参数剖面图、平面剖面图与等值线剖面图组成，而平面剖面图一般仅在面积性勘察工作中提交。地下管线探测的图表要求见现行行业标准《城市地下管线探测技术规程》CJJ 61。

5.4 瞬变电磁法

5.4.1 本方法利用不接地回线源或接地线源向地下发送一次脉冲电磁场，利用线圈或接地电极观测二次涡流磁场或电场，研究浅层至中深层的地电结构。主要用于寻找低阻目标体。可以用于构造探测、水文与工程地质调查、环境调查与监测以及考古等。

5.4.2 对瞬变电磁仪器技术指标要求作了规定。一次磁场强度与发射电流强度成正比，发射电流强度选择与探测深度有关。在实际工作中，由于场地限制以及探测深度不大，发射线圈不必要很大，一般靠增加发射电流强度来提高探测深度，因此本标准要求发射机最大输出电流强度应大于等于 3A。

5.4.3 瞬变电磁法有多种装置，本条规定了选择原则。瞬变电磁法有以下的常用工作方式、装置与观测参数：

1 剖面法的基本装置形式如下：

- 1) 重叠回线装置：接收与发射线圈为同一线圈，测量时沿测线移动，观测参数 V/I 或 B/I ；
- 2) 中心回线装置：发射线圈与接收线圈分离，但线圈中心重合，且发射线圈大于接收线圈，测量时同步沿测线移动，用接收线圈观测 V/I 或 B/I 。
- 3) 偶极装置：分离的发射线圈和接收线圈以固定间距同步沿测线移动，用接收线圈观测 V/I 或 B/I ；
- 4) 大定源回线装置：固定发射大线圈不动，在线圈内外沿测线移动接收小线圈，观测 1 或多个分量的 V/I 或 B/I 。

2 测深法的基本装置形式有中心回线装置与偶极装置，其装置形式与剖面法同类型装置相同。

5.4.4 本条规定了瞬变电磁法工作布置原则。

实际工作有接地线源和不接地回线源两种。根据中国地质大

学(武汉)等单位的工作实践证明,当发射电流为 $100\text{A}\sim 200\text{A}$ 时,用 $25\text{m}\times 25\text{m}$ 和 $50\text{m}\times 50\text{m}$ 的发射线圈可探测到 1000m 的深度,有的甚至更深。所以,对于工程勘测而言,若发射电流强度在 $5\text{A}\sim 30\text{A}$ 范围内,采用 $10\text{m}\times 10\text{m}\sim 50\text{m}\times 50\text{m}$ 的发射线框,能够探测 300m 深度。若用过大的线框,施工难度大、效率低。本标准提出了以发射电流与发射线框边长平方之积(发射矩)来衡量探测深度。敷设线框时,若线架上剩有残余导线,应将其呈之字形铺于地面,以免电线缠绕产生强烈的感应信号,一切紧挨回线的金属物体都会产生强烈的干扰信号,高压电力线的强干扰信号甚至可能损害测量电路。因此,回线布设应避开所有金属物体,远离高压电力线;供电回线要采用电阻小、绝缘性能好的导线,以便在有限的电源电压下可输出足够大的电流。本条还对需要布设精测剖面的要求作了规定。

5.4.5 本条规定了数据采集要求。其中时窗范围的确定,取决于测区内所需探测的目的体的规模及电性参数的变化范围,地电断面的类型及层参数,探测深度等因素,具体时窗范围应通过试验确定,如果最后的 3 个~5 个观测道读数为噪声电平,说明有用信号都已记录下来了;若最后的 3 个~5 个观测道读数超过噪声电平,应增大观测时窗范围;在选定了观测时窗范围后,在实际观测中遇到衰减很慢的异常,即时延长时窗范围重复观测,使有用信号能被完整记录下来。

因为不同观测点的噪声电平并不完全一致,为了确定各观测点晚期数据的观测精度,可在全区均匀布置干扰水平观测点。根据测点上的干扰水平选择叠加次数,以压制测区的干扰电磁信号,提高观测资料的信噪比。叠加次数的选取要兼顾数据质量和观测速度,所选取的最小叠加次数要使高于仪器噪声电平的有用信号能以足够大的信噪比被记录下来。

5.5 探地雷达法

5.5.1~5.5.11 对探地雷达法的适用范围、应用条件、仪器设

备、现场工作布置及质量检查作了规定，并对资料解释提出要求。

1 功率反射系数 p_r 计算公式为：

$$p_r = \left[\frac{\sqrt{\epsilon_{r1}} - \sqrt{\epsilon_{r2}}}{\sqrt{\epsilon_{r1}} + \sqrt{\epsilon_{r2}}} \right]^2 \quad (3)$$

式中： ϵ_{r1} ——围岩相对介电常数；

ϵ_{r2} ——目标体相对介电常数。

2 探地雷达法的工作方式目前主要有：

剖面法发射天线（T）和接收天线（R）以固定间距沿测线同步移动的一种测量方式。当发射天线与接收天线的间距为零，亦即发射天线与接收天线合二为一时，称为单元线形式，反之称为双天线形式。剖面法的测量结果常以时间剖面图像表示。该图像的横坐标表示天线在地表的位置；纵坐标为反射波双程走时，表示雷达脉冲从发射天线出发经地下界面反射回到接收天线所需的时间。这种记录反映测线下方反射界面的形态。

为了原位测量地下介质的电磁波速度，还可以采用宽角法或共中心点法观测方式。一个天线固定在地面某一点上不动，而另一天线沿测线移动，记录地下各反射界面的双程走时，这种测量方式称为宽角法；也可以保持两个天线中心位置不变的情况下，改变两个天线之间距离，记录反射波双程走时，这种测量方式称为共中心点法。当地下界面平直时，两种方式都可以用；反之采用共中心点法。探地雷达还有透射法或钻孔雷达等工作方式。

3 分辨率是分辨最小异常体的能力。分辨率分为垂向分辨率与横向分辨率。通常将雷达剖面中能区分最薄地层的能力称为垂向分辨率，一般取波长的 $1/4$ 作为垂向分辨率；探地雷达剖面中在水平方向上所能分辨的最小异常尺寸称为横向分辨率，通常取第一菲涅尔带半径作为横向分辨率。探测雷达能探测最深目标体的深度称为探测雷达的探测距离。探测距离与地下介质导电性、目标体几何形态及其与围岩的电性差异、探测雷达系统的性能、使用的天线频率有关。路面质量检测时一般选用频率为

200MHz~1.5GHz 的天线；洞室衬砌质量检测时宜选用高频天线，频率范围一般选用 400MHz~1.2GHz；探测混凝土内钢筋时多选用 900MHz~1.5GHz 的天线；探测道路和地下管线周边病害体时多选用 100MHz~400MHz 的天线；探测管线时应根据管线的埋深、材质和管径选用主频天线，一般选用 100MHz~400MHz 的天线；孔中探测应根据探测任务要求选用 100MHz~200MHz 的天线；探测时优先选择屏蔽天线测试，工作时根据实际情况采用多种中心频率天线组合。

4 探测深度估算：当探地雷达系统与使用的天线频率选定后，若地下介质的性质清楚，用雷达方程估算探测距离或深度。探地雷达方程如公式（4）：

$$Q = 10 \log \left(\frac{\eta_t \eta_r G_t G_r g \sigma \lambda^2 e^{-4\alpha\gamma}}{64\pi^3 \gamma^4} \right) \quad (4)$$

式中： η_t 、 η_r ——发射与接收天线的效率；

G_t 、 G_r ——入射方向与接收方向上的方向增益；

g ——目标体后向散射增益；

σ ——目标体的散射截面（ m^2 ）；

α ——介质的吸收系数；

γ ——天线到目的体的距离（m）；

λ ——为雷达波在介质中的波长（m）；

Q ——电磁波功率损耗。

5 电磁波速度的获得：利用介质电磁波速度 V 可用来把目标体双程走时 t 转换成目标体深度，介质电磁波速度有以下几种方法获得：

- 1) 估算方法：若地下介质相对介电常数 ϵ_r 已知，则 $V = C/\sqrt{\epsilon_r}$ ，可取 $C=0.3m/ns$ ；
- 2) 用宽面法或共中心点法原位测量获得；
- 3) 在已知地质剖面位置或通过钻孔剖面，用实测图像经标定获得；
- 4) 当实测剖面穿过点状目标体，或剖面垂直通过管状目

标体时，根据目标体形成双曲反射波同相轴经计算求得：

a. 由双曲同相轴一侧，距离为 x 的两点分别读出同相轴双程走时 t_1 与 t_2 ，则目标体深度 h 可由式 (5) 计算：

$$h = x / \sqrt{(t_1/t_2)^2 - 1} \quad (5)$$

b. 读取双曲线同相轴顶端的双程走时 t_y ，则介质电磁波速度 V 可由式 (6) 计算：

$$V = 2h/t_y \quad (6)$$

5) 利用穿透法测量地层电磁波速度。

5.6 核磁共振法

5.6.1 核磁共振方法 又称地面核磁共振测深 (MRS)。该方法应用核磁感应系统 (Nuclear Magnetic Induction System, 缩写为 NUMIS) 实现对地下水信息的探测，是一种解决与地下水有关的水文、工程、环境问题的十分有效的方法。

氢核在地磁场作用下，处在一定的能级上。如果以具有拉摩尔频率的交变磁场对地下水中的质子进行激发，则使原子核能级间产生跃迁，即产生核磁共振 (NMR)。在 SNMR 找水方法中，通常向铺在地面上的线圈 (发射/接收线圈) 中供入频率为拉摩尔频率的交变电流脉冲，交变电流脉冲的包络线为矩形。在交变磁场激发下，使地下水中氢核形成宏观磁矩。这一宏观磁矩在地磁场中产生旋进运动，其旋进频率为氢核所特有。在切断激发电流脉冲后，用同一线圈拾取由不同激发脉冲矩激发产生的 NMR 信号，该信号的包络线呈指数规律衰减。NMR 信号强弱或衰减快慢直接与水中质子的数量有关，即 NMR 信号的幅值与所探测空间内自由水含量成正比，因此构成了一种直接找水技术，形成了地面核磁共振找水方法。核磁共振测深法的特点：

- 1) 直接找水是 SNMR 方法的突出优点。SNMR 找水方法原理决定了该方法能够直接找水，特别是找淡水。在该方法的探测深度范围内，地层中有自由水存在，

就有 NMR 信号响应。反之,就没有响应。

- 2) SNMR 方法反演解释具有量化的特点,信息量丰富。在该方法的探测深度范围内,不打钻就可以确定出各含水层的深度、厚度、单位体积含水量和渗透性参数,并可提供各含水层平均孔隙度的信息。
- 3) 经济、快速也是 SNMR 方法的优点之一,完成一个 SNMR 测深点的费用仅为一个水文地质勘探钻孔费用的十分之一,可以快速地提供出水井位及划定找水远景区。
- 4) 方法的缺点是尚不能用来探测埋藏深度大于 150m 的地下水;此外,由于核磁共振找水仪的接收灵敏度高,故易受电磁噪声干扰,在电磁噪声干扰强的区段不能开展工作。

目前,核磁共振测深法可以测量参数和反演解释获得的水文地质参数见表 1。

表 1 地面核磁共振法实测和解释参数

SNMR 找水方法测量参数	SNMR 找水方法解释后获得的参数
信号初始振幅 E_0 (nV)	含水量 (有效孔隙度)
信号横向衰减时间常数 T_2^* (ms)	孔隙大小
信号纵向衰减时间常数 T_1 (ms)	渗透系数 (m/s)
信号的初始相位 φ_0 ($^\circ$)	含水层的导电性 (电阻率)

5.6.2 本条规定了地面核磁共振法的应用条件。

5.6.3 核磁共振测深法的仪器由以下几部分组成:

1 DC/DC 转换器单元 (电源转换单元):例如将 2 个蓄电池提供的 24V 电压转换为 430V,供发送机的交变电流发生器使用。

2 天线 (又称回线或线圈) 作为发射/接收天线。

3 发射/接收单元是 NUMIS 系统的核心。在计算机的控制下,发射机将其产生的拉摩尔频率的电流脉冲供入天线,形成激

发磁场；在发射电流脉冲间歇期间，接收机测量 NMR 信号，对其进行滤波、放大和数字转换模拟。接收机的灵敏度高，可以接收 nV 级的信号。

4 切换开关，它将外接天线在发射回路和接收回路之间进行切换。

5 调谐单元是用电容量不同的电容器把发射天线的频率调谐到拉摩尔频率。

6 微处理器控制各个部分的协调工作，通过接口接收计算机送来的数据指令，并将所测得的数据传给 PC 计算机进一步处理并显示。

7 计算机控制整个系统，记录原始数据，进行数据处理、显示和存储以及进行后续资料解释（反演）。

8 NUMIS 系统的主要软件有：测试软件、数据采集控制软件、解释软件。

5.6.4 本条规定了工作布置要求。

5.6.5 地下水中氢质子的旋进频率取决于地球磁场的强度。为了保证氢质子被激发（产生核磁共振），要准确地测定工作区的地磁场强度。

5.6.6 将测得的地磁场强度值 T (nT) 输入计算机，以便 NUMIS 系统用换算出的频率 f (Hz) $= 0.04258T$ (nT) 作初值，发射相应激发频率的交变电流脉冲，进行 5 个脉冲矩的测量，所产生的 NMR 信号被记录下来，对 NUMIS 系统所接收到的信号进行频率分析，并确定出包含在这个信号中的基准频率。如果在激发脉冲频率和所接收到的信号频率之间的差值小于 1Hz，测量就继续进行，而不改变激发频率。如果该差值大于 1Hz，则将所接收到的信号频率作为激发频率的新值。这种调整将反复进行，一直到获得稳定的频率值，即认为氢质子可被正确激发为止。

5.6.7 根据工区内待探查含水层的深度和含水量以及工区电磁干扰的强弱、方向，优化线圈形状和科学地敷设线圈。

1 优化线圈形状

NUMIS 系统配置有 300m 长的电缆，分别绕在 4 个线架上。从铺线方便和勘探深度角度，通常使用的线圈形状是每边长 75m 的正方形、直径为 100m 的圆形天线。

如果 NUMIS 系统测量到的环境噪声大于 1500nV，可以选择使用能够降低噪声水平的 ∞ 字形线圈。

2 线圈的敷设

线圈敷设应根据工区具体情况而定。当敷设 ∞ 字形线圈，视电磁干扰源类型和方向确定线圈的长轴方向。

5.6.8 各部件的连接顺序是：

1 接地连接。为了避免所有电磁兼容问题，仪器的两个部分应连接在一起，然后接地。如果 NUMIS 系统是安装在机动车上，应先将 NUMIS 系统连接到车上，再将车接地；

2 输电线。先连 DC/DC 一端，再连发送机一端；

3 控制线；

4 计算机 RS-232 线；

5 计算机电源线；

6 天线；

7 电瓶。

5.6.9 在开始测量之前，操作员还应选择以下参数并输入计算机。

1 测量范围

测量范围是 NUMIS 系统可以测量的最大值，这个范围可以在 500nV~60000nV 之间设置。通常情况下，环境噪声会比 NMR 信号大，测量范围取 4 倍的环境噪声值。若在某测点上尚未得到环境噪声值的大小，先采用 30000nV 作为测量范围，随后再作修改。每次修改测量范围，全部测量过程应重新开始。

2 记录长度

记录长度相对于所期望的 NMR 信号的衰减时间常数来确定。如果选择不当，不仅影响地质效果，而且降低工作效率。NUMIS 系统的记录长度在 100ms~1000ms 之间调节，通常把

250ms 作为记录长度的标准值。

3 脉冲持续时间

NUMIS 系统的脉冲持续时间是程序控制的，在 5ms ~ 100ms 之间选择，脉冲间歇时间为 30ms，但对于用平均衰减时间 T_2^* 确定标准的 NMR 测量来说，脉冲的持续时间置成 40ms 是最佳值。

4 脉冲矩的个数

进行 NMR 找水测量时，脉冲矩个数应当根据在勘探深度范围内希望分层的多少和测量时间来确定。对于一个完整的 NMR 测深点来说，脉冲矩个数通常选为 16。每个脉冲矩的值是由程序在 $30\text{A} \cdot \text{ms}$ 和 $9000\text{A} \cdot \text{ms}$ 之间自动选取的。

5 叠加次数

由于 NUMIS 系统的一次叠加 (10s) 包括：电容器充电、噪声测量、电流测量、信号测量和数据传输到计算机，因此，叠加次数的选择要兼顾测量质量和总的测量时间两个方面，叠加次数的多少取决于信噪比的大小。

如果测量中出现某次叠加的噪声振幅大于给定的测量范围，这次叠加被认为是“坏叠加”，它不参与平均值计算，该次叠加作废，但不会影响前后叠加的结果；对于每个脉冲矩的测量而言，只有噪声的振幅小于测量范围的“好叠加”次数达到了事先确定的叠加次数才算完成，这时程序便移到下一个脉冲矩的测量。

5.6.10 规定了数据采集要求。

5.6.11 规定了质量控制要求。

5.6.12 规定了获取参数要求。

5.6.14 资料处理的规定。

5.6.15 资料的处理前的准备的规定。

确定用于反演解释的矩阵类型。在资料反演之前，根据勘查区的测量条件和测量技术参数，计算形成一个矩阵，该矩阵涉及勘探地区的以下参数：

线圈的形状和大小；

频率（粗略估计值，如 2000Hz 或 2500Hz）；

当地地磁总场的倾角；

要求探测的最大深度，该参数影响对深度的分辨率和计算时间，其取决于天线（线圈）的尺寸和探测目标的深度；

大地的电阻率，其模型可以是均匀半空间或层状大地。大地电阻率将影响探测的深度。

NUMIS 配置的软件中提供了一些预先设置的矩阵文件。

若 NUMIS 软件中没有需要的矩阵，则要根据随 NUMIS 设备提供的计算矩阵的程序进行计算，为反演解释做好技术准备。

准备好用于反演的包括 NUMIS 实测数据的数据文件，根据数据文件调出实测数据或从软盘读入计算机。在反演开始之前，确定与反演有关的参数并输入计算机，其中有：

信号长度：反演解释时可使用在测量期间所选择的全部记录时段进行，也可选择较小的长度来进行。

滤波的时间常数（5ms~40ms）：原始数据被处理后可以重新计算其信号振幅和时间常数。

正则化系数：当反演解释有噪声的数据时，正则化用自动、手动进行。

形成 NUMIS 系统反演结果的文件。

6 浅层地震法

6.1 一般规定

6.1.1 浅层地震法是指利用人工地震波或天然地震波在地下介质中的传播特征,解决浅层地质问题的勘探方法,这里列出了常用的反射波法、透射波法、折射波法、面波法、微动勘探法。在条件复杂,探测要求高时,也可采用多种方法进行综合勘探,或采用多波探测方法。

6.1.2 浅层地震勘探所用的地震仪,通道数一般不少于12道。在ASTM中,也有特别指出可以采用单道的地震仪。事实上,地震仪道数的多少不是浅层地震强调的指标。尽管现在电子技术发展很快,新的地震仪已经采用了24位的A/D转换器,但是那些采用8位、10位A/D的地震仪在工程中仍有成功应用,因此为保证采集到有效信息,对A/D位数要求不低于16位、动态范围不低于120dB,是浅层地震仪的发展趋势。

6.1.3 本条规定了地震电缆、检波器的一般要求。

6.1.4 本条规定了检波器的安置要求。

6.1.5 本条规定了震源的要求。

6.2 反射波法

6.2.1 本条规定了反射波法的适用范围。

6.2.2 本条规定了应用反射波法应具备的基本条件。在实际应用中的地震映像法、陆地声纳法均是共偏移距反射波法,是在工作中因探测简便易行而对工作方法的形象称谓。

6.2.3 本条规定了反射波法仪器设备的要求。

对勘探仪器及配套设备的主要指标本条作了一些原则上的规定。随着电子技术的快速发展,仪器种类和型号不断更新,性能

逐渐提高。对仪器的选择可根据探测方法、探测深度和精度的要求掌握。但上述主要技术指标仍然是衡量的依据。

认真阅读仪器出厂操作说明书很重要。其操作说明书都写得相当详尽，包括可实现的方法、数据采集的程序、数据图形实时显示和数据的处理，以及仪器安全操作注意事项等。遵循说明书的指点，才能使用和保管好仪器，保障野外数据采集顺畅、数据质量可靠。

6.2.4 本条规定了检波器的安置要求。

6.2.5 规定了反射波法工作前开展试验的要求。对于反射波法，外业工作是数据采集的关键环节，必须保证外业工作各个环节的质量。首先，正式生产之前进行试验工作，确定观测系统及仪器生产因素，布置并测量地震测线（点），做好勘探的激发和接收，测定速度参数；然后按确定的工作参数进行外业生产；并对采集的外业原始数据进行检查、验收和评价。

工作之前，全面了解和分析测区的地形、地质和地球物理特征以及以前的技术成果，作为测试前的指导和参考。试验工作遵循由已知到未知，由简单到复杂的原则，试验地段应具有代表性，选择在物探工作区或测线通过已知钻孔，便于最大限度地了解工区的地球物理参数和特征。试验结果宜给出本测区物探工作可选用的技术参数、仪器参数、物性参数等，同时应明确提出具备条件的物探方法和技术。

展开排列观测系统适用于了解测区内有效波和干扰波的分布情况和振幅特征，选择最佳窗口，提供最佳偏移距和检波点距。

6.2.6 本条规定了反射波法测线布置要求。

1 测线网布置应根据任务要求、探测方法、被探测对象规模、埋深等因素综合确定。测网和工作比例尺以能观测被探测的目的体，并可在平面图上清楚反映探测对象的规模、走向为原则。

2 测线垂直于地层、构造和主要探测对象的走向，沿地形起伏较小和表层介质较为均匀的地段布置测线，有条件，测线与

地质勘探线和其他物探方法的测线一致，避开干扰源。

3 当测区边界附近发现重要异常时，将测线适当延长至测区外，以追踪异常。

4 在地质构造复杂地区，适当加密测线和测点。

5 测量测线端点、转折点、物探观测点、观测基点。

6.2.7 反射波法一般采用下列 3 种观测系统：

1 简单连续观测系统，适用于地震地质条件比较简单且激发点附近面波、声波干扰小的测区。

2 间隔连续观测系统，当测区地震地质条件较简单，但激发点附近面波、声波干扰较严重时，常采用此种观测系统，要求激发点与接收排列之间始终保持一定的间隔（称为等偏移）连续追踪。

3 多次覆盖观测系统（又称为共深度叠加观测系统），适用于地震地质条件比较复杂的地区，一般采用固定偏移距，端点式激发方式，最大偏移距和覆盖次数应通过试验选择。

单道等偏移观测系统的重要应用就是目前常说的地震映像法，但是地震映像方法在资料解释中运用多波对比进行综合解释，而非简单的反射波分析。

6.2.8 本条规定了现场工作时震源使用和垂直叠加措施的使用要求。

6.2.9 本条规定了反射波法水域工作要求。

6.2.10 本条对反射波法工作质量的检查与评价作了规定。

6.2.11、6.2.12 这两条是对反射波数据处理与解释的规定。解释包括以下主要内容：

1 辨识和追踪有效波同相轴和波的置换，应根据波形相似性、视周期相似性进行追踪，同时注意波形突变、振幅突变、视周期突变及同相轴分叉、合并、错动等特征。

2 根据波形特征和上下同相轴的相对时间关系，确定地层厚度变化和接触关系。

3 划分断层或破碎带的主要依据：（1）断点解释，根据同

相轴的错断、终止、扭曲、分叉、合并、相位转换、断面波、绕射波等标志识别断面。(2) 断点组合, 同一条断层在相邻剖面上的断点显示特征和性质应一致; 同一条断层相邻断点落差接近或有规律变化。(3) 对第四系松散地层中沉积构造及其他地质现象的解释, 应有地质数据或钻孔数据对比、佐证。

在资料解释中, 要注意充分搜集和利用有关物探和地质资料, 并且及时与地质等其他专业人员共同分析解释成果。

6.2.13 本条对提交的成果资料作了规定。

6.3 透射波法

6.3.1 在浅层地震勘探中, 透射波法是指利用地震透射波进行勘探的方法, 主要包括单孔和跨孔波速测试, 以及利用透射波走时进行反演的地震 CT 方法。利用透射波走时可以获取与速度有关的参数, 进行地质异常解释或者岩土体质量评价。在检波器耦合一致、各道振幅一致性检定满足要求时, 可以利用透射波的幅值测定震源和测点之间介质的能量衰减规律。

6.3.2 规定了开展透射波法应具备的基本条件。

6.3.3 透射波法观测布置比较灵活, 只要能够接收到对穿、透射地震波的观测方式均可采用。工作中要注意地层变化情况, 避免把折射初至波误作为透射波进行判断接收。

6.3.4 本条规定了透射波法仪器设备的要求。

6.3.5 弹性波 CT 是一种反演手段。目前地震透射波、折射波、反射波甚至面波等观测方式都可以进行层析成像反演处理。弹性波 CT 根据利用走时或能量等物理量不同, 分为速度 CT 和吸收系数(或衰减) CT, 应用最广、研究最多的是基于透射波的速度 CT。本条是对透射波速度 CT 野外实施的基本要求。

6.3.6 规定了利用透射波法进行单孔和跨孔波速测试的现场工作基本要求。

6.3.7 弹性波 CT 一般均用成熟的专业软件按相应步骤进行 CT 数据处理。进行反演应选择合适的反演方法, 包括奇异值分解

(SVD)、联立迭代重建法 (SIRT)、共轭梯度 (CG)、阻尼最小二乘 (LSQR) 等方法, 以及由这些方法改进而成的其他方法。对于划分的单元数 (未知数) 和有效炮·检对数 (方程数) 之间的关系, 是超定、欠定的关系, 超定时得到最小二乘意义下的解, 欠定时得到最小范数意义下的解。

6.3.8 本条规定了单孔法和跨孔法的资料处理内容和相关技术要求。

6.3.9 本条规定了采用透射波法进行地面、露头或洞壁等表面观测时, 其资料处理的基本要求。

6.3.10 本条规定了透射波法速度结果的应用范围。

6.3.11 本条规定了透射波法工作质量评价标准和质量抽检的重复观测要求。

6.3.12 本条规定了透射波法提交成果应包括的资料。

6.4 折 射 波 法

6.4.1 地震折射波法可用于许多勘察领域, 测定基岩埋深及断层、破碎带等地质构造, 进行地层划分, 也可以根据折射波速评价岩土体质量。

6.4.2 本条是折射波法对地质和地形条件的一般要求。常规的折射是基于地震波以超过临界角入射时, 沿接口地层滑行, 产生返回地面的折射波的基本理论。基于其他理论基础的某些特殊的折射数据处理手段, 如 H-W 反演, 或者折射 CT, 对地质、地形条件的要求较宽松。

6.4.3 本条规定了折射波法使用的仪器设备的要求。折射波法一般采用多道地震仪, 国外的技术法规中, 对于简单的地层条件和小规模的项目, 也可以采用单道地震仪进行折射波勘探。不论单道或者多道地震仪, 均宜有信号增强功能, 以便多次敲击叠加, 消除随机噪声, 提高信噪比。地震仪应校验合格, 满足工作要求。

6.4.4 本条规定了折射波法震源的有关要求。信号激发应根据

需要采用横波（剪切波）或者纵波激发装置。

6.4.5 本条规定了折射波法检波器性能参数的要求。

6.4.6 本条规定了折射波法检波器安置的要求。

6.4.7 本条规定了正式工作前应开展试验和试验内容及要求。折射波法的应用是建立在有效性试验的基础上的。通过试验确定仪器性能指标符合程度，参数设置满足工作要求情况，以及通过试验查找非正常记录质量段的原因。

6.4.8~6.4.10 规定了现场工作的基本注意事项，包括仪器检查、观测系统，以及震源和检波器的基本要求或注意事项。

6.4.11 本条规定了折射波法工作质量评价标准和质量抽检重复观测要求。

6.4.12、6.4.13 这两条主要规定了折射波法的数据处理内容，包括读取初至走时、绘制走时曲线和计算解释三个主要步骤。这些工作可以采用已经验证的商业软件进行，或者自行编程进行。折射波法的解释方法有多种，国内一般采用相遇时距曲线求取接口深度和速度，国外有不同版本的商业用折射处理软件，特别是进行折射 CT 处理解释，国内已有单位将这些方法应用于工程实践中。对于地表及接口起伏较小的水平层状介质，可以采用截距时间法或者交点法；对于复杂结构，宜采用多种方法综合求解，以提高解释精度和可靠性。

6.4.14 折射波法成果图件一般按任务要求提供。本条列出了可提供的一些基本图件。

6.5 面波法

6.5.1 本条规定了面波法的应用范围。各行业可利用面波法进行岩土工程勘察、检测。这里所列的类型基本覆盖了现在面波法应用的勘察、检测和监测的各个方面。但随着本方法技术的进步，其应用范围也会进一步得到拓展和延伸。

6.5.2 本条对面波法使用的仪器设备进行了规定。

6.5.3 本条规定了面波法现场工作布置的要求。

6.5.4、6.5.5 分别对稳态面波法和瞬态面波法的数据采集作了规定。面波的数据采集工作，直接关系到面波法工作的成败，没有高质量的第一手外业采集记录，后期的任何处理软件，都是无用的。

6.5.6 本条对面波法的工作质量检查与评价作了规定。

6.5.7 本条规定了面波法数据处理与解释的要求。在解释时明确提出应与钻孔或其他数据结合。理论和实践证明，频散曲线上的“之”字形（锯齿状）异常反映了地下弹性差异的分界面，速度曲线突变的深度往往是对应介质的接口深度，故可作为划分弹性差异的依据。

6.5.8 本条对面波法工作成果应包括的主要图件等作了规定。

6.6 微动勘探法

6.6.1 微动勘探是一种利用台阵观测技术采集天然源微动信号，并通过数据处理方法从中提取瑞雷波频散信息，再对其反演获得地下介质 S 波速度结构的天然源面波勘探方法。

微动探测具有无需人工源、不受勘探场地环境振动和电磁干扰影响、仪器设备轻便、勘探周期短、成本低的技术优势，尤其适用于传统物探方法很难开展工作的城市环境。由于不受浅层高速层屏蔽作用的影响，对深部低速层的分辨能力较高。

近年来在轨道交通勘察、城市地质调查工作中进行的微动探测，主要有土石界面探测、岩性界面划分，地下孤石、洞穴、塌陷、采空区、地裂缝/活断层等地质构造探测以及地层剪切波速测试等方面。

6.6.2 一般地，微动台阵形式有线形、L 形、十字形、圆形之分，推荐使用圆形。圆形台阵形式更能顾及各个方向和便于分析利用，台阵的形式和半径要因地制宜并根据勘探深度的要求进行试验选择。

微动测深指单个勘探点，对台阵实测瑞雷波频散曲线（ V_r-f 曲线）进行反演，获得台阵下方介质的 S 波速度结构、并进行地

层划分的探测方法。

微动剖面方法是指沿测线进行的多点勘探。将探测点的 V_r-f 曲线转换成 V_s-H （视 S 波速度—深度）曲线，形成视 S 波速度剖面、进行构造解释的探测方法。

6.6.3 微动勘探对数据采集系统的一致性要求很高。因此正式工作前，需要进行台阵仪器的一致性检查，确保由拾震器（传感器）、记录仪组成的采集系统在有效工作频率范围内具有良好的相位和振幅一致性。具体做法是将测试用传感器集中摆放在稳定、平坦的场地上，同步采集微动数据 10min 左右，计算各套仪器实测数据的功率谱、功率谱之比、相干系数和相位差，当一致性大于 98% 时视为合格。如果发现有不合格的仪器系统，要替换后重新采集分析，直到达到要求为止。

6.6.4 微动信号来源于自然界自然现象如海浪、河水、风、气压变化等和人类活动引起的各类振动，具有随机性和振动源的不确定性。因此对采样的时间需要长一些，综合采样和效率的因素，规定了最低采样时间不应小于 15min。

6.6.5 本条的规定，是为了能够切实保证本方法的实际应用效果，对采集记录设备提出的一般性最低要求。

6.6.6~6.6.8 微动勘探的外业程序步骤。条文中规定了一致性的要求。观测台阵的形式，推荐使用最简圆形台阵（三角形），如图 6 所示。由七台仪器所组成，除圆心放置一台（ S_0 ）外，分别在两个同心圆上呈三角形均匀放置六台观测仪（ $S_1 \sim S_6$ ）。这个观测台阵可一次或分两次进行观测，每次观测至少用四台仪器（中心点及同一圆周上的三台仪器）。台阵中心点到圆周的距离称为观测半径 R 。布设圆形观测台阵：至少在圆心及其内接三角形的顶点布设四套仪器组成圆形观测台阵。

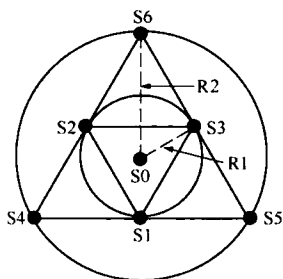


图 6 微动观测台阵示意图

观测半径 R ：圆形台阵的半径称为观测半径，与探测深度 H 有关。通常对于 $H < 100\text{m}$ 的台阵，探测深度最大可达观测半径的 10 倍； $H > 100\text{m}$ 时，探测深度达观测半径的 3~5 倍。除理论估算外，观测半径还需根据对实测频散曲线的反演计算结果，必要时进行调整。为满足探测深度要求，需采用图 6 所示的多重观测台阵进行组合观测。

圆形台阵上三个观测点的位置可沿圆周整体平移，以适应地形条件。在圆形台阵难以布设的场地，可变通选用 L 形、十字形台阵。

6.6.9 微动剖面勘探是为了满足二维勘探的需要，如探测采空区、断层等需要追踪地质构造的规模、产状等情况，它与单点勘探的野外方法基本一致，只是剖面观测需按一定间距沿剖面进行单点观测。工作可以是线，也可以有多条线组成“面”的勘察，从而了解区块下伏空间的 S 波速度分布。对地层破碎（含水）、采空区（空洞）等波速降低区域，由于其 S 波速度与周围介质有明显差异，用该方法可以探测并圈定速度异常体的边界。

微动剖面勘探观测点应沿剖面布设，这种方式的野外观测系统如图 7 所示。在完成第一点 S_1 观测即 S_1 、 A_1 、 B_1 、 B_2 和 $C_1 \sim C_3$ 七点组成的一次单点观测后，把观测点 S_1 、 A_1 、 B_1 、 C_1 的仪器分别搬到 S_2 、 A_2 、 B_3 、 C_3 上进行第二点观测，以此类推。这种工作方式在只用 7 台仪器的情况下，施工效率较高。

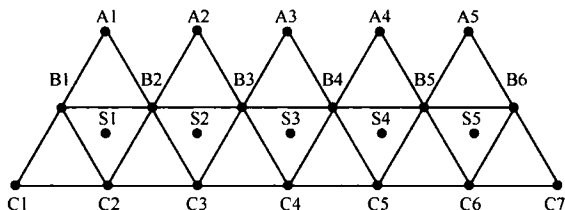


图 7 微动剖面观测系统示意图

6.6.11 微动测深的数据处理，一般采用空间自相关（SPAC）

法和频率—波数 (F-K) 法, 有理论证明, 空间自相关法的精度最高, 所以推荐采用此算法。但是当采用方向性敏感的圆形之外的台阵排列时, F-K 法可以指出震源的方向。据此, 还可以调整有利的排列方向。

通过数据处理, 微动测深还需进行反演计算, 得到地下介质的 S 波速度结构, 结合地质资料作出地质解释。

6.6.12 微动剖面法是单个测深法的集合。因为剖面法不需要进行反演, 但是, 由于频散曲线上的 V_r 值对于地层岩性的变化反应是不够灵敏的, 这就造成划分岩性分界面的困难。为此, 有经验的地球物理学者通过反复试算比较, 推出了与 S 波速度有关的、具有同样速度量纲的 V_x 速度表达式, 它既不是瑞雷波的速度, 也不是 S 波速度, 但可以更客观、直观地反应岩性变化, 从而对地质构造解释更为有利和方便。经实际的各种替换公式试算和实际检测数据的检验, V_x 值也最接近地层 S 波速度的真实值。

7 高精度磁法

7.1 一般规定

7.1.1 本条规定了高精度磁法的适用范围。如在城市地下管线探测中探查铁磁性材质的地下管道、战争年代遗留下的隐埋爆炸物、建设时期埋于地下的废钢渣；有铁磁性、陶器古墓的探测；圈定含磁性的岩体及构造破碎带等。

7.1.2 本条阐明了高精度磁测的准备工作：收集所需的资料；到测区进行踏勘，了解工作环境及干扰源分布；通过已知区试验工作选定方法技术；根据已知资料分析估计磁测效果或根据已知条件拟定简单模型，进行正演计算，评价高精度磁法的有效性等。

7.2 仪器设备要求

7.2.1 本条规定了进行高精度磁测时，对仪器及其性能的要求。

7.2.2 本条规定了施工前后应对使用仪器的噪声水平、一致性、系统误差等进行测定或校验。校验应在工作现场进行。具体方法如下：

1 噪声水平的测定，按如下方法进行：

- 1) 当有三台以上的磁力仪同时工作时，选择一磁场平稳而又不受人文干扰影响的地方，将各仪器的探头置于该区作秒级的同步日变观测，探头间距离大于 20m。各仪器取 100 个观测值，按公式 (7) 计算每台仪器的噪声均方误差值 S ：

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\Delta x_i - \overline{\Delta x_i})^2}{N-1}} \quad (7)$$

式中: S ——噪声均方误差值 (nT);

Δx_i ——第 i 个观测值 x_i 与起始观测值 x_0 的差 (nT);

$\overline{\Delta x_i}$ ——所有仪器同一时间观测差值的平均值 (nT);

N ——观测值总个数。

2) 当仪器不足三台时, 用单台仪器在上述磁场平稳地区作日变连续观测百余次。读数间隔 5s~10s, 按式 (8) 求 7 点滑动平均值:

$$\overline{x_i} = \frac{1}{7}(x_{i-3} + x_{i-2} + x_{i-1} + x_i + x_{i+1} + x_{i+2} + x_{i+3}) \quad (8)$$

用式 (9) 计算仪器的噪声均方误差值 S :

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \overline{x_i})^2}{N-1}} \quad (9)$$

式中: x_i —— i 时刻的观测值 (nT);

$\overline{x_i}$ —— i 时刻的滑动平均值 (nT)。

2 各仪器的一致性测定:

在工区磁场平稳区选择一条长约 100m 剖面, 点距 3m~5m, 各仪器分别在各观测点上观测读数 (每点观测多于两次), 计算仪器一致性均方误差, 其值要求不大于设计观测均方根误差的三分之二。仪器一致性均方误差 ϵ_1 用式 (10) 计算:

$$\epsilon_1 = \sqrt{\frac{\sum_{p=1}^N V_p^2}{M-N}} \quad (10)$$

式中: ϵ_1 ——仪器一致性均方误差 (nT);

V_p ——某仪器在 p 点的观测值与所有仪器在该点观测值的平均值之差 (nT);

M ——总观测次数 (等于各检查点上全部观测次数之和);

N ——测点数。

3 仪器系统误差的测定方法:

1) 在正常场区 (远离干扰) 设置 30 个~50 个点, 点距

20m~100m, 将所有参加生产的同类仪器共享一个探头, 依次在这些点上观测总场, 观测时应保持探头的极地方位、轴线方向、高度及操作员所站的方位相同。将日变改正后每台仪器所测结果按点号绘成同一比例的曲线图, 分析各仪器的系统误差。

- 2) 各仪器的系统误差用平均值来表示, 计算公式如式(11):

$$\delta_T = \frac{1}{N} \sum_{p=1}^N V_p \quad (11)$$

式中: δ_T ——各仪器系统误差 (nT);

V_p ——某仪器在第 p 点观测值与所有仪器在该点观测值的平均值之差 (nT);

N ——测点数。

各仪器的系统误差小于 1nT 为合格, 否则要查明原因, 重新进行调节和校验, 如仍达不到要求, 则停止使用, 重新校准。

7.3 数据采集

7.3.1 本条规定了磁测精度用磁场观测总误差来衡量。在城市工作中往往浅层干扰严重, 总均方误差不小于最弱有效异常的 1/5, 是基本要求。

7.3.2 本条规定了磁测总精度为野外观测均方误差及各项改正均方误差的总和。在设计时, 一般根据实际技术条件, 在保证总精度前提下, 通过提高某项精度和降低另一项精度的方法, 来保证总精度。

7.3.3 本条规定了高精度磁测的工作布置要求。

7.3.4 规定了基点布设的相关要求。

7.3.5 精测剖面布设的相关要求。

7.3.6 高精度磁法的磁测参量。水上磁测一般以观测总场为主。

7.3.7 规定了高精度磁法探测的仪器操作要求。

7.3.8 规定了仪器校对点的布设要求。

7.3.9 本条规定了高精度磁法数据采集的要求。

探头最佳高度的选择方法：按测区范围大小，在测区内选择一条（或若干条）对浅层干扰有代表性的典型剖面，点距 3m~5m，用 1m、1.5m、2m 不同探头高度各进行一次往返观测。分别计算三个不同高度的均方根误差，以探头高度为横坐标，以均方根误差为纵坐标，绘出误差随高度变化曲线。通常随高度增大，观测误差趋于减小并接近一恒定值，依此选出接近恒定值的最佳探头高度。探头高度一经确定，要在全区内保持不变。

7.3.10 高精度磁法的磁参数测定方法。

7.3.11 质量检查与评价的规定。

7.4 资料处理与解释

7.4.1 本条为高精度磁法进行地磁场正常梯度和垂向梯度改正的规定及其要求。

7.4.2 高精度磁法的日变改正要求。

7.4.3 高精度磁法的各项改正和磁异常值的计算要求。

7.4.4 高精度磁法资料解释时应做的准备工作。

7.4.5 高精度磁法应编制的图件及有关资料。

7.4.6 高精度磁法进行定性解释的方法及规定。

7.4.7 高精度磁法进行定量解释的方法及规定。

8 高精度重力法

8.1 一般规定

8.1.1 高精度重力法是重力勘探的一个新兴分支。它是指重力测量的精度和探测的对象引起的重力效应是以 $1 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 级的数值来度量的。因而弥补了经典重力勘探观测精度低和分辨能力差的弱点。它测量的对象, 规模和尺度都更小, 信息更微弱, 从而更适于在城市勘察中探测岩性接触带、断层、岩体边缘、覆盖层厚度、地下洞穴、古墓及地下水、地热资源等。

8.1.2~8.1.4 规定了高精度重力法的工作布置、精测剖面布设以及质量检查评价的要求。

8.2 仪器设备要求

8.2.1、8.2.2 规定了重力仪器技术性能和重力仪格值的测定要求。

8.2.3、8.2.4 规定了仪器静态、动态试验和一致性校验的要求。

8.3 数据采集

8.3.1 重力观测数据采集、地形改正的规定。

1 测点重力观测采用“基点—辅基点—基点—测点—基点”的方式进行。

2 地形改正半径一般采用近区 0~20m、中区 20m~200m、远区 200m 以远。

8.3.2 测地工作的规定。

8.3.3 岩矿标本采集的规定。

8.4 资料处理与解释

8.4.1 室内计算处理的要求。

8.4.2 计算的总精度及各项精度要求。

1 相对于总基点的布格重力异常值 (Δg_{Σ}) 按式 (12) 计算:

$$\Delta g_{\Sigma} = \Delta g_{\text{测}} + \Delta g_{\text{布}} + \Delta g_{\text{地}} + \Delta g_{\text{纬}} \quad (12)$$

式中: $\Delta g_{\text{测}}$ ——测点相对于总基点的重力值 (mgal);

$\Delta g_{\text{布}}$ ——布格改正值 (mgal);

$\Delta g_{\text{地}}$ ——地形改正值 (mgal);

$\Delta g_{\text{纬}}$ ——纬度改正值 (mgal)。

2 布格重力异常的总精度按式 (13) 计算:

$$\epsilon_{\Sigma} = \pm (\epsilon_{\text{测}}^2 + \epsilon_{\text{布}}^2 + \epsilon_{\text{地}}^2 + \epsilon_{\text{纬}}^2)^{1/2} \quad (13)$$

3 重力测量数据改正按如下方法进行:

1) 纬度改正公式 (14):

$$\Delta g_{\text{纬}} = 0.814 \cdot \sin 2\Phi \cdot L \quad (14)$$

式中: $\Delta g_{\text{纬}}$ ——该测点纬度改正值 (mgal);

Φ ——测区总基点的纬度值 ($^{\circ}$);

L ——测点到总基点的纬向距离 (m)。

2) 地形改正: 近区地形改正 (0~20m) 采用野外实测或地形图读图计算。中区地形改正 (20m~200m) 采用地形图读图或高程节点网计算。远区地形改正 (200m 以远) 一般采用高程节点网计算, 或者采用共用点法或抛物线双重内插法进行。

3) 布格改正公式 (15):

$$\Delta g_{\text{布}} = (0.308 - 0.0419\sigma_{\text{中}}) \Delta h \quad (15)$$

式中: $\sigma_{\text{中}}$ ——中间层密度 (kg/cm^3);

Δh ——测点与校准面间的高差 (m)。

9 放射性测量法

9.1 一般规定

9.1.1 放射性测量可分为两个大类：一类是天然放射性测量，主要有伽玛（ γ ）测量法（包括 γ 总量测量和 γ 能谱测量）、 α 测量法（包括射气测量、径迹测量、 α 卡法、活性炭法等）；另一类是人工核辐射测量方法，主要有X射线荧光法、中子活化法、光核反应法等。在解决城市工程勘察中的水文地质、工程地质与环境地质问题时，最主要和最实用的是其中的两种方法，即 γ 测量和氡气测量，其他的方法，如X射线荧光法、中子法等特殊的情况下也被采用。从应用的空间出发，天然放射性测量方法还可分为航空的、地面的（汽车的和徒步的）、井下的和水下的四大类方法，在城市勘探中最常用的是地面徒步方法。

9.1.2 扰动土（菜地、庄稼地、道路、田埂、沼泽地、建筑堆土等）是影响放射性测量的准确性的重要因素，因而在进行天然放射性测量时，应尽量避免这些地段。不同的放射性测量方法可能解决不同的工程地质问题。

9.1.3 放射性测量法在测量工作前的仪器标定。放射性模型一般直径取3mm~5mm，以保证模型达到饱和厚度。相对测量时，可以计数率与其他单位之间的关系来估算结果。

9.2 仪器设备要求

9.2.1 本条对伽玛（ γ ）射线测量仪器的技术指标作了规定。

9.2.2 本条对氡测量仪的技术指标作了规定。

9.3 数据采集

9.3.1 放射性伽玛（ γ ）测量仪器记录通常为单位时间的脉

冲数。

9.3.2 对于氡气测量，由于射气系数和扩散系数，受气象条件（大气压力、温度、湿度等）变化的影响较大，但这种变化往往是在表层（浅于 500mm），所以增加取气深度会减少气象因素对氡气变化的影响。

9.3.3 本条对放射性测量异常的最少点数作了规定。

9.3.4 本条对放射性测量法的观测值和重复观测作了规定。

9.3.5 本条对质量检查作了规定。

9.3.7 同时进行伽玛（ γ ）测量和氡测量时，要求保持两者测点位置一致主要是为了资料验证、对比和解释。

9.3.8~9.3.10 分别对地下硐室、厂房及环境监测评价的伽玛（ γ ）辐射检测、氡测量等作了规定。

9.4 资料处理与解释

9.4.1 由于放射性测量仪器易受环境变化（温度、湿度等）影响。仪器的性能检查是通过反映性能的曲线检查来实现的。

9.4.2 环境检测的结论应结合项目的要求与任务，依据相关国家标准、行业标准、规范给出客观的评价。

10 温度测量法

10.1 一般规定

10.1.1 规定了温度测量法的适用范围。

10.1.2 温度测量法主要包括用于建筑物外墙饰面质量检测的红外热像法、大体积混凝土施工测温及用于岩土、地热和工业热力管道等热源体探测的地温测量法。

10.1.3 接触式测温方式有热电阻、热偶电阻温度传感器及膨胀式温度计等，非接触式测温方式有红外热像仪、红外测温仪、光纤测温仪等。

10.2 红外热像法

10.2.1 建筑物外墙饰面材料如马赛克、瓷砖、水刷石等，因施工不当或年久失修，容易出现空鼓、脱落等缺陷，外墙饰面材料之间或与主体结构材料之间就会形成很薄的空气层，而空气层具有良好的隔热性能，饰面材料空鼓部分与结构材料之间的热传导很少，因此，存在空鼓的外墙在日照或外气温发生变化时，比正常墙面的温度变化大。例如日照时外墙表面温度升高，由于空鼓部位的热量未及时传导到饰面基底，所以空鼓缺陷部位的温度比正常部位温度低。红外热像是基于外墙表面温度变化来判断饰面工程的质量。

10.2.2 由于红外热像法是非接触式测温，要求墙面与仪器之间无障碍；墙面强光反射和明水对温度影响较大。

10.2.3、10.2.4 规定红外热像仪的精度指标和计量要求。

10.2.5 夏季最佳检测时间为：东立面 8：00～9：00、南立面 11：00～13：00、西立面 15：00～16：00、北立面 11：00～13：00；最佳检测时间段的选取，目的是为了突出外墙饰面层空

鼓部位与正常部位的温差，一般是选择立面受日照射量较大的时刻。低风速一般指风力 3 级以下。

10.2.6 检测前收集相关资料的目的是最大限度地掌握现场情况，避免误判，根据红外检测结果，进行综合分析，做到有的放矢，为进一步维修提供重要依据。收集资料包括以下内容：

1 建筑物的基本状况，含结构形式、饰面情况、建设与竣工时间、改建状况、历史沿革、产权单位等；

2 建筑物的相关竣工图纸、沉降及倾斜监测资料、维修记录等；

3 考察建筑物外墙有无渗漏、开裂、脱落、空鼓、发霉等外观状况和损坏情况，调查建筑物周边曾发生过基坑、打桩等影响房屋质量的施工情况；

4 调查建筑物方位、外墙附属物、立面朝向、日照情况、周边遮挡情况等；

5 调查建筑物的内部环境，如冷热水管、通风管道、燃气炉灶、空调及采暖设备使用等对外墙表面温度的影响状况；

6 调查给、排水管道走向，查看防水构造图，推测可能产生渗漏的水源等；

7 调查建筑物外墙、屋面、外飘窗、门窗洞口、阳台板等保温构造情况，必要时收集保温材料的热工计算书。

10.2.7 规定现场检测时的具体要求：

1 确定红外热像仪的最佳拍摄位置，仰角和水平角过大，影响检测精度或易造成误判；

2 报告附图中相同部位应同时提供红外热像图和可见光照片，便于判断缺陷位置、性质；通过缺陷部位的热像图对比，减少误判率；

3、4 一般来说，检测空鼓所需要的红外热像仪最小分辨温差应在 0.1°C 以内，墙面能分辨的最小测点直径宜为 50mm。红外热像仪的瞬时视域一般为 1mrad （毫弧度），望远镜镜头为 0.5mrad ；为了分辨最小测点，瞬时视域为 1mrad 的红外热像仪

应在 50m 以内。当检测墙面裂缝等小缺陷时，则需要更近距离拍摄，最好在视距 20m 左右进行拍摄。检测时应对各立面进行分区分块拍摄，并注意必要的重合，目的是避免遗漏部分区块。

10.2.8 敲击法是用锤子等工具敲击外墙饰面层，根据起壳之处发出声音与正常部位声音的变化，对起壳部位和程度进行评价，敲击调查必须是由具有丰富实践经验的人员进行；此外敲击调查还用于对红外热像无法测量的遮挡区域的检测。拉拔试验是用拉拔仪对外墙饰面粘接强度进行的定量检测。本条是用多种方法进一步检测缺陷性质和程度，以减少误判。

10.2.9 红外热像图上往往混杂着不同颜色的部分，如空调、晾晒衣物等，为了使分析结果更直观，需去除与空鼓无关的温度分布颜色；对空鼓部位与正常部位的边界进行修正，尽可能准确计算空鼓面积；对图像上倾斜的被检测对象要进行视角修正，以保持正面状态。

10.2.10 为了反映外墙饰面层空鼓等缺陷的范围、程度，需对每个立面的外墙空鼓率及单块空鼓部位的面积进行计算。

10.2.11 建筑物渗漏红外热像检测时采用多种方法，对检测结果进行综合分析，确定漏水水源。

10.2.12、10.2.13 建筑物外围护结构热工缺陷检测是在同一拍摄位置和角度，对同一部位的外墙面拍摄最佳检测时间段和无日照时的红外热像图，将两个时刻的红外热像图相减处理，这样就去除了非热工缺陷引起的干扰因素，提高了判定的精度。必要时采取内窥镜、取样等方法进一步确定热工缺陷性质，分析缺陷原因。

10.3 地温测量法

10.3.1 地温测量主要应用于水域、土壤表层及地下工业热力管道等热源体温度检测与监测，目的是进行热源渗漏检测、环境调查等。

10.3.2 本条规定了测温仪器设备的要求。

10.3.3 红外温度测量具有效率高的特点，对普查区域可采用。

10.3.4 本条规定仪器的校验要求。一般校验方法和要求为：

1 校验在不同温度的水中进行，用精度为 0.1°C 的水银温度计测量校验。

2 仪器测量的温度值与标准值之差小于 0.5°C 。

3 在每个测区开工前、后对仪器进行校验。仪器维修后还要进行校验。

10.3.5 根据探测目标体的走向、现场条件及探测目的等综合因素，确定地温测量的测线布置方式。

10.3.6 主要基于土壤或水域表层受太阳辐射热的影响较大，当深度在 1m 以下日变衰减非常小。当探测热力管道时，根据其埋深布置测点深度。

10.3.7~10.3.9 对数据采集要求作了规定。

10.3.10 第四系松散层对太阳辐射热的影响相对较小，但岩石的比热和地层所处的构造不同，岩性对 1m 深地温的影响还是存在的。地貌对地面温度的影响也是不可忽略的。因此，地温测量要注意地形、地层岩性、地表状况的复杂程度，尽可能消除其影响。

地表气温改正量 ΔT 可按式 (16) 计算：

$$\Delta T = T_0 \sin(2\pi t/T) \quad (16)$$

$$T_0 = (T_{\max} - T_{\min})/2 \quad (17)$$

式中： T_0 ——地表气温变化幅度 ($^{\circ}\text{C}$)；

T ——周期，其值取年；

T_{\max} 、 T_{\min} ——分别为年周期内地表气温的最高值和最低值 ($^{\circ}\text{C}$)。

10.3.11 资料解释首先是定性解释，在定性解释基础上进行定量解释，最终进行综合解释，综合解释成果图是对温度测量结果的综合解释，也是成果报告的主要图件。

10.3.12 本条所列地温测量图件可根据实际工作需要作必要简化。

1 实际材料图。实际材料图的内容包括：测区位置及范围；测网及编号；剖面位置及编号；基线网位置；测点布置剖面图等。

2 地温测量剖面图。绘制以横坐标为剖面线、纵坐标为地温测量值的二维曲线图，反映剖面上的地温变化情况。

3 地温测量平面等温线图。以测点的平面位置 x 、 y 为基点，各点地温测量值为 z ，按一定地温间距绘制地温平面等值线图。

4 地温测量典型剖面上的综合剖面图。以地形、地质及相关地质工程平面图为背景，以相同比例尺绘制各典型剖面的地温测量值，进行解释、推断成果及提出验证工程位置的综合剖面图。

5 地温一时间曲线图。以时间为横坐标，绘制地温测量异常点或特征点随某时间段变化的曲线图。

10.4 大体积混凝土测温法

10.4.1 高层建筑底板一般厚度超过 1m 且一次浇筑完成，属于大体积混凝土施工。水泥在水化过程中会产生大量的水化热，使混凝土内部温度升高；当温度升高到峰值后，温度开始下降，使混凝土产生温差应力；当拉应力超过了混凝土的极限抗拉强度时混凝土结构就会产生裂缝；裂缝一旦形成对混凝土结构的整体性、抗渗性及耐久性都有严重的影响。因此在大体积混凝土的施工过程中，通过监测混凝土内部不同位置的温度，从而采用合理的保温、保湿等养护措施，是防止大体积混凝土产生温差应力裂缝的有效方法之一。

对混凝土厚度小于 1m 的特殊情况，有可能因水化热产生有害裂缝时也要进行温度场测试。

10.4.2 大体积混凝土温度监测仪器的通道不少于 50 个，按每个测点 3 只传感器（上、中、下）计算，每个项目平面测点大约 16 个，可以满足测试要求。温度传感器的耐压主要是因为大体

积混凝土的厚度较大，所产生的压力相应较大。

10.4.3 测点基于以下因素布置：

1 由于混凝土底板的平面面积较大，整体布置测点数量较多，为了简化测点布置，采用对称轴线布置方式，以半条轴线代表整条轴线的温度监测值；

2 当平面形态复杂时，温度场的分布难以把握，监测到最不利点的温度变化，就能够控制好整个项目；

3 变深点、边缘、角部、中部及积水坑、电梯井等部位都是温度变化最不利点；

4 当混凝土厚度大于 3m 时，竖向最好布置 5 个测点；

5 表层测点一般以混凝土钢筋保护层厚度为准，但不宜太深，否则没有代表性；

6 防止传感器损坏或失准，所以布置 2 个~3 个；

7 减少冷却水管对测点的影响。

10.4.4 温度传感器的安装与保护是大体积混凝土温度测控中的重要环节之一，由于底板施工过程中的钢筋绑扎、混凝土浇捣等工序极易损坏温度传感器，因此温度传感器安装一般在钢筋绑扎完成后进行，传感器导线用 PVC 管集中穿行，并加强现场看护，防止振动棒浇捣时折断导线，万一发生导线折断及时进行补救，一旦混凝土浇捣完成时就无法弥补损坏的传感器。

10.4.5 为了控制大体积混凝土温差应力裂缝的产生，根据现行国家标准《大体积混凝土施工规程》GB 50496 的规定要求，大体积混凝土的入模温度冬天不低于 5℃，夏天不高于 30℃，一般混凝土入模后 3 天左右，温度达到峰值，维持 1 天~2 天，开始缓慢降温，而初期的温度控制非常关键，为了能够测量到入模温度及混凝土的升温、降温过程，因此第一周的监测频率要高一些；一周后处于降温过程，监测频率可适当降低。

10.4.6 降温速率是根据现行国家标准《大体积混凝土施工规程》GB 50496 第 3.0.4 条规定；表里温差是根据标准和测温经验给出的。

10.4.7 当混凝土的内部最高温度与环境温度之差小于 25°C 时，且降温速率小于 $2^{\circ}\text{C}/\text{d}$ ，里表温差符合规定要求时，即可停止测温。

10.4.8 监测速报包括各监测点的温度测试值、各平面监测点的里表温差、降温速率、报警及建议。成果报告包括：工程概况；测区技术要求；测点布置、仪器设备及现场监测；监测成果；结论与建议。

11 振动测试法

11.1 一般规定

11.1.1 本标准所指振动测试法包括基础强迫振动测试法、场地微振动测试法、振动衰减测试法，实际工作中应根据工程需要选择使用其中的一种或几种方法。

11.1.2 在测试工作中，按规定对测试使用的计量器具进行检定且有效。

11.1.3 本条对振动测试法所用的速度型传感器主要技术指标作了规定。

11.1.4 本条规定了振动测试时应该收集的资料。

11.1.5 本条对测试场地选择及测点的布设的一般原则作了规定。本条还规定了在现场工作期间，对测试仪器设备采取相应的保护措施要求。

11.2 基础强迫振动测试法

11.2.1 本方法适用于强迫振动测试天然地基和人工地基的块体基础的动力特性。由于天然地基和人工地基的测试方法，使用的设备和仪器，现场准备工作，数据处理等都完全相同。

地基动力参数是计算动力机器基础振动的关键数据，数据的选用与实际符合情况，直接影响到基础设计的效果，而测试方法不同，则由测试资料计算的地基动力参数也不完全一致，因此测试方法的选择，要与设计基础的振动类型相符合，如设计周期性振动的机器基础，需要在现场进行强迫振动测试。

11.2.3 明置基础的测试目的是为了获得基础下地基的动力参数，埋置基础的测试目的是为了获得埋置后对动力参数的提高效果。因为所有的机器基础都有一定的埋深，有了这两者的动力参

数,就可进行机器基础的设计。因此测试基础应分别做明置和埋置两种情况的振动测试。基础四周回填土夯实与否,直接影响埋置作用对动力参数的提高效果,在作埋置基础的振动测试时,四周的回填土一定要分层夯实,本次修订,规定回填土的压实系数不小于 0.9,压实系数为各层回填土平均干密度与室内击实试验求得填土在最优含水量状态下的最大干密度的比值。

11.2.4 模型基础除尺寸外,其他条件应尽可能模拟实际基础的情况。因此,了解这些设计内容,对于测试点的布设是非常重要的。测试点应尽可能布置在实际基础的标高和位置附近。

11.2.5 机械式激振设备的扰力可分为几档,测试时其扰力一般皆能满足要求。由于块体基础水平回转耦合振动的固有频率及在软弱地基土的竖向振动固有频率一般均较低,因此要求激振设备的最低频率尽可能低,最好能在 3Hz 就可测得振动波形,至高不能超过 5Hz,这样测出的完整的幅频响应共振曲线才能较好地满足数据处理的需要,而桩基础的竖向振动固有频率高,要求激振设备的最高工作频率尽可能的高,最好能达到 60Hz 以上,以便能测出桩基础的共振峰。电磁式激振设备的工作频率范围很宽,只是扰力太小时对桩基础的竖向振动激不起来,因此规定扰力不宜小于 2000N。

11.2.15 基础强迫振动测试的参数计算规定。

1 由 A_z-f 幅频响应曲线计算的地基竖向动力参数,其计算值与选取的点有关,在曲线上选不同的点,计算所得的参数不同。为了统一,除选取共振峰点外,尚应在曲线上选取三点,计算平均阻尼比 ζ_z 及相应的 K_z 和 m_z ,这样计算的结果,差别不会太大。对这种计算方法,要把共振峰峰点测准; $0.85f_m$ 以上的点不取,是因为这种计算方法对试验数据的精度要求较高,略有误差,就会使计算结果产生较大差异;另外,低频段的频率也不宜取得太低,频率太低时,振幅很小,受干扰波的影响,量波的误差较大,使计算的误差大。在实测的共振曲线上,有时会出现小“鼓包”,取用“鼓包”上的数据,则会使计算结果产生较

大的误差，因此要根据不同的实测曲线，合理地采集数据。根据过去大量测试资料数据处理的经验，按下列原则采集数据：

- 1) 对出现“鼓包”的共振曲线，“鼓包”上的数据不取；
- 2) $0.85f_m < f < f_m$ 区段内的数据不取；
- 3) 低频段的频率选择，不宜取得太低，要取波形好、量波误差小的频率。

有的试验基础（如桩基），因固有频率高，而机械式激振器的扰频低于试验基础的固有频率而无法测出共振峰值时，可采用低频区段求刚度的方法计算。但这种计算方法应要测出扰力与位移之间的相位角，其计算方法为（图8）：

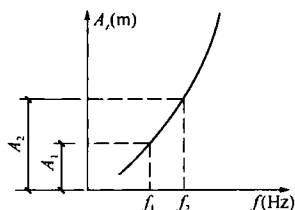


图8 共振峰未测得的 A_z - f 曲线

$$m_z = \frac{\frac{p_1}{A_1} \cos \varphi_1 - \frac{p_2}{A_2} \cos \varphi_2}{\omega_z^2 - \omega_1^2} \quad (18)$$

$$K_z = \frac{p_1}{A_1} \cos \varphi_1 + m_z \omega_1^2 \quad (19)$$

$$\zeta_1 = \frac{\tan \varphi_1 \left(1 - \frac{\omega_1}{\omega_z}\right)^2 \cdot \omega_z}{2\omega_1} \quad (20)$$

$$\zeta_2 = \frac{\tan \varphi_2 \left(1 - \frac{\omega_2}{\omega_z}\right)^2 \cdot \omega_z}{2\omega_2} \quad (21)$$

$$\zeta_z = \frac{\zeta_1 + \zeta_2}{2} \quad (22)$$

$$\omega_z = \sqrt{\frac{K_z}{m_z}} \quad (23)$$

式中： p_1 —— 激振频率为 f_1 时的扰力 (N)；

p_2 —— 激振频率为 f_2 时的扰力 (N)；

A_1 —— 激振频率为 f_1 时的振幅 (μm);

A_2 —— 激振频率为 f_2 时的振幅 (μm);

φ_1 —— 激振频率为 f_1 时扰力与位移之间的相位角, 由测试确定;

φ_2 —— 激振频率为 f_2 时的扰力与位移之间的相位角, 由测试确定。

2 由于水平回转耦合振动和扭转振动的共振频率一般都在十几赫兹左右, 低频段波形较好的频率大约在 8Hz 左右, 而 $0.85f_1$ 以上的点不能取, 则共振曲线上剩下可选用的点就不多了, 因此, 水平回转耦合振动和扭转振动资料的分析方法与竖向振动不一样, 不需要取三个以上的点, 而只取共振峰峰点频率 f_{m1} 及相应的水平振幅 A_{m1} 和另一频率为 $0.707f_{m1}$ 点的频率和水平振幅 A 代入的相应公式计算阻尼比 ζ_{ψ_1} 、 ζ_{ψ} , 而且选择这一点计算的阻尼比与选择几点计算的平均阻尼比很接近。

对于块体基础强迫振动测试的各种系数和转换参数计算也应该遵守本条的规定。

- 1) 由于地基动力参数值与基础底面积大小、基础高度、基底应力、基础埋深等有关, 而试验基础与设计的动力机器基础在这些方面都不可能相同。因此, 由试验基础实测计算的地基动力参数应用于机器基础的振动和隔振设计时, 要进行相应的换算后, 才能提供给设计应用。
- 2) 基础四周的填土能提高地基刚度系数, 并随基础埋深比的增大而增加, 因此, 将试验基础的埋深比换算至设计基础的埋深比, 进行修正后的地基刚度系数, 才能用于设计有埋置的动力机器基础。
- 3) 基础下地基的阻尼比随基底面积的增大而增加, 并随基底下静压力的增大而减小, 因此, 由试验资料计算的阻尼比用于设计动力机器基础时, 要将测试基础的质量比换算为设计基础的质量比后才能用于机器基础

的设计。

- 4) 基础四周的填土能提高地基的阻尼比, 并随基础埋深比的增大而增加, 因此, 应将试验基础的埋深比换算至设计基础的埋深比, 进行修正后的阻尼比, 才能用于设计有埋置的动力机器基础。
- 5) 基础振动时地基土参振质量值, 与基础底面积的大小有关, 因此, 由试验块体基础和桩基础在明置时实测幅频响应曲线计算的地基参振质量, 要换算为设计基础的底面积后才能应用于设计。

此外, 本条还规定了测试结果的具体内容, 特别是各种参数均以表格的形式整理计算和提供设计应用, 既能一目了然, 又便于今后积累资料。

11.3 微振动测试法

11.3.1 场地微振动是由气象变化、潮汐、海浪等自然力和交通运输、动力机器等人为扰力引起的波动, 经地层多重反射和折射, 由四面八方传播到测试点的多维波群随机集合而成。随时间作不规则的随机振动, 其振幅小于几微米。它具有平稳随机过程的特性, 其振动信号的频率特性不随时间的改变而有明显的不同, 它主要反映场地地基土层结构的动力特征。因此, 它可以用随机过程样本函数集合的平均值来描述, 如富氏频谱、功率谱等。本条规定了场地微振动测试法的适用范围。

11.3.2 建筑场地布置微振动测试点和进行微振动测试的基本要求。测点数量应根据设计要求、建筑重要性、地基复杂程度确定。当同一建筑场地有不同的地质地貌单元, 其地层结构不同, 场地微振动的频谱特征也有差异, 此时可适当增加测点数量。关于建筑重要性及地基复杂程度按现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的规定分类。

11.3.3 不同土工构筑物的基础埋深和形式不同, 要根据实际工程需要布置地下微振动观测点的深度; 在城市场地微振动观测

时, 交通运输等人为干扰 24h 不断, 地面振动干扰大, 但它随深度衰减很快, 一般也需要一定深度的钻孔内进行测试。

通常远处震源的微振动信号是通过基岩传播反射到地层表面的, 通过地面与地下微振动的测试, 不仅可以了解场地微振动频谱的性状, 还可了解场地微振动信号竖向分布情况和场地土层对微振动信号的放大和吸收作用。

11.3.4 场地微振动的周期为 0.1s~10.0s (分为长周期和短周期), 振幅一般在微米级, 因此要求场地微振动测试系统灵敏度高、低频特征好、工作稳定可靠; 信号分析系统应具有低通滤波、加窗函数以及常用的时域和频域分析软件。

11.3.5 用地基动力参数测试中常用的电动式速度传感器进行场地微振动测试虽然经济方便, 但在钻孔内进行场地微振动测试时, 这种速度型传感器固有频率很难做到 1.0Hz, 而且体积较大, 不得不放宽要求。近几年来已经逐步采用加速度传感器来进行场地微振动测试, 它的工作频率带可满足 0.1Hz~60.0Hz, 体积小, 容易密封, 可以直接测到场地微振动的速度、加速度。

11.3.7 测点选择的结果, 直接影响场地微振动的精确程度。如果测点选择不好, 微弱的振动信号有可能淹没于周围环境的干扰信号之中, 给场地微振动信号的数据处理带来困难。

建筑场地钻孔波速测试和场地微振动测试, 虽然目的和方法有别, 但它们都与地层覆盖层的厚度及地层的土性有关, 其地层的剪切波速 V_s 与场地的卓越周期 T 必然有内在的联系。场地微振动点布置于波速孔附近, 正是为了积累资料、探索其内在的联系。

测点三个传感器的布置是因为到有些场地地层具有方向性。如第四系冲洪积地层不同的方向有差异; 基层的构造断裂也具有方向性。因此, 要求沿东西、南北、竖向三个方向布置传感器。

11.4 振动衰减测试法

11.4.1 本条规定了振动衰减测试法的适用范围。

11.4.2 由于生产工艺的需要,在一个车间内同时设置有低转速和高转速的动力机器基础。一般低转速机器的扰力较大,基础振幅也较大,而高转速基础的振幅控制很严,因此设计中需要计算低转速机器基础的振动对高转速机器基础的影响,计算值与实际差异大小,还与这个车间的地基土能量吸收系数 α 有关,因此,事先应在现场做基础强迫振动试验,实测振动波在地基中的衰减,以便根据振幅随距离的衰减,计算 α 值,提供设计应用。设计人员应按设计基础间的距离,选用 α 值,以计算低转速机器基础振动对高转速机器基础的影响。

振动能影响精密仪器、仪表的测量精度,也影响精密设备的加工精度。如果其周围有振源,应测定其影响大小,当其影响超过允许值时,一定要对设计的精密仪器、仪表、设备等采取隔振或其他有效措施。

环境振动(工程施工、爆破、地基处理等)应进行科学的监测,以评价震害等级,采取措施进行控制,及时消除居民的惧怕心理。

11.4.3 利用已投产的锻锤、落锤、冲压机、压缩机基础的振动,作为振源进行衰减测定,是最符合设计基础的实际情况的。因振源在地基土中的衰减与很多因素有关,不仅与地基土的种类和物理状态有关,而且与基础的面积、埋置深度、基底应力等有关,与振源是周期性还是冲击性、是高频还是低频等多种因素有关,而设计基础与上述这些因素比较接近,用这些实测资料计算的 α 值,反过来再用于设计基础,与实际就比较符合。因此,在有条件的地方,尽可能利用既有投产的动力机器基础进行测定,只是在没有条件的情况下才现浇一个基础,采用机械式激振设备作为振源。如果设计的基础受非动力机器振动的影响,也可利用现场附近的其他振源,如公路交通、铁路等的振动。

11.4.4 由于振波的衰减,与基础的明置和埋置有关,一般明置基础,按实测振波衰减计算的 α 值大,即衰减快,而埋置基

础，按实测振波衰减计算的 α 值小，衰减慢。特别是水平回转耦合振动，明置基础底面的水平振幅比顶面水平振幅小很多，这是由于明置基础的回转振动较大所致。明置基础的振波是通过基底振动大小向周围传播，衰减快，如果均用测试基础顶面的振幅计算 α 值时，明置基础的 α 值则要大得多，用此 α 值计算设计基础的振动衰减时偏于不安全。因设计基础均有埋置，故应在测试基础有埋置时测定。

11.4.5 对仪器设备的规定。加速度传感器选用剪切结构的三向测振加速度传感器为好。

11.4.7 由于传感器放在浮砂地、草地和松软的地层上时，影响测量数据的准确性，因此不能布在这些地方。如无法避开，需要除草、整平，将松散土层夯实。

由于地基振动衰减的计算公式是建立在地基为弹性半空间无限体这一假定上的，而实际情况不完全如此。振源的方向不同，测的结果也不相同，因此，在实测试验基础的振动，在地基中的衰减时，传感器置于测试基础的方向，与设计基础所需测的方向相同。

由于近距离衰减快，远距离衰减慢，一般在离振源距离 10m 以内的范围，地面振幅随离振源距离增加而减小得快，因此，传感器的布点密一些。如在 5m 以内，每隔 1m 布置 1 个传感器，5m~15m 范围内，每隔 2m 布置 1 个传感器，15m 以外，每隔 5m 布置 1 个传感器。

11.4.8 关于各种不同振源处的振幅测试，传感器测点的布置位置，各个单位在测试时都不相同，由于测点位置不同，测试结果也不同。本条对各种不同振源规定了传感器放的测点位置，其目的是统一规定。

11.4.9 由于振动沿地面的衰减与振源机器的扰力频率有关，一般高频衰减快，低频衰减慢，因此，测试基础的激振频率选择与设计基础的机器扰力频率相一致。

11.4.10 振动衰减测试的数据处理的规定。

1 对同一种土、同一个振源计算的 α 值随距离的变化, 从图 9 中可以看出, α 不是一个定值。由于近振源处 (约 2 倍~3 倍基础边长), 振动衰减很快, 计算的 α 值很大, 到一定距离后 (图 9 中为 15m 以后), α 值比较稳定, 趋向一个变化不大的值, 不管用哪个公式计算都是这个规律。因此, 如果用一个平均的 α 值计算不同距离的振幅, 则得出在近距离内的计算振幅比实际振幅大, 而在远距离的计算振幅比实际的小, 这样计算的结果都不符合实际。试验中应按实测资料计算出 α 随 r 的变化曲线, 提供给设计应用, 由设计人员根据设计基础离振源的距离选用 α 值。在计算 α 值前, 应先将各种激振频率作用下测试的地面振幅随离振源距离远近而变化的关系绘制成各种曲线图。由曲线图即可发现测试的资料的规律性, 一般在近距离范围内, 振幅衰减快, 远距离振幅衰减慢。无量纲系数 ξ_0 与地基土的性质和振动基础的底面积大小有关, 其值可按现行国家标准《动力机器基础设计规范》GB 50040 的有关规定采用。

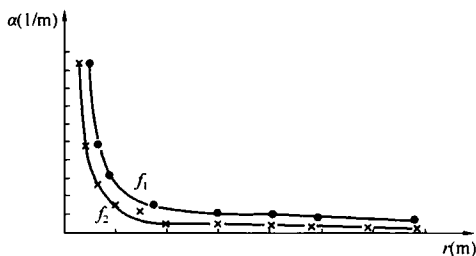


图 9 α 随 r 的变化曲线

2 场地振动地震烈度可参照表 2、表 3 确定:

表 2 地震烈度和质点振动最大加速度值的对应关系表

场地振动地震烈度	<6	6	7	8	9	>9
质点振动最大 加速度值 $\alpha(g)$	<0.05	0.05	0.10 (0.15)	0.20 (0.30)	0.40	>0.40

表 3 地震烈度和质点振动最大速度值的对应关系表 (C. B. 麦德维捷夫)

烈度	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V (cm/s)	<0.2	0.2~ 0.4	0.4~ 0.8	0.8~ 1.5	1.5~ 3.0	3.0~ 6.0	6.0~ 12.0	12.0~ 24.0	24.0~ 48.0	>48.0

12 水域探测法

12.1 一般规定

12.1.1 水域探测法泛指在水上采用各种地球物理手段进行探测, 解决工程问题的方法, 包括声纳测深法、侧扫声纳法、浅地层剖面法、地震、直流电法、磁法等, 由于探地雷达、大地电磁法等电磁类方法在水上应用不是很广, 故暂未列入其中。本条规定了适用范围。

12.1.2 钻孔资料可以辅助计算波速、进行时深转换、标定探测结果, 是水域声波、地震探测中的重要依据资料。

12.1.3 走航式测量过程中, 采用动态差分 GNSS 可以随时监控船只的航行轨迹, 并根据航行轨迹与预设航线之间的差异来实时调整航迹。固定测线一般采用全站仪或经纬仪前方交会法对测线进行定位布置, 确定测线的位置并采取抛锚等方式固定。利用 GNSS 测量前, 宜进行控制测量并建立 GNSS 控制网, 参考站与移动站之间的距离宜小于 5km。

12.1.5 水域作业需要实时测量与其配合, 现场进行原始数据的监控可以及时发现问题, 并及时进行纠正, 节约成本和工期, 提高工作效率。

水域施工作业前, 需事先与水文、航运、港监等部门取得联系, 制定相应的安全管理措施, 得到相关部门许可后方可作业。电缆漏电是重大安全隐患, 同时也会对成果质量造成影响。在水域进行爆破作业前, 应按标准制定详细的作业计划书, 报请单位安全管理责任人批准, 施工过程中现场安全工程师按计划书及操作规程监督执行。

12.2 声纳测深法

12.2.1 本条规定了声纳测深法的适用范围。

12.2.2 多波束测深法具有速度快、效率高、成像精度高等优点,实际应用中与单波束测深相比有较大的优势。

12.2.4 目前各种水下地形探测方法均采用动态差分式 GNSS 进行实时导航,故要求探测设备配备 GNSS 通信接口。

12.2.5 本条文对测线布置原则进行一些规定。测线布置应根据探测目的、技术要求、现场地形条件等综合分析后制定详细的方案。

12.2.6 江河水位及海洋潮水位均可能在短时间内存在较大涨落,将严重影响到探测成果的精度,本条规定水位测量的时间应全部涵盖探测时间,以便掌握探测过程中水位数据,绘制水位变化曲线,对水下地形、地层等信息进行深度校正。

探测仪器采用回声测距原理,深度根据公式 $h = V\Delta t/2$ 计算,水中声速 V 受温度、盐度及浓度多种因素影响,一般淡水中速度值通常为 1460m/s,海水中速度值通常为 1500m/s,变化范围可达 1400m/s~1600m/s,为保证精度,要进行声速校正。水中声速 V 一般可用式(24)计算:

$$V = 1450 + 4.206T - 0.0366T^2 + 1.137(S - 35) \quad (24)$$

式中: T ——水温 ($^{\circ}\text{C}$);

S ——含盐度 (‰)。

目前许多型号的测深仪都兼有模拟记录和数字记录功能,由于自动化成图的普及,数字信号的可靠度应有计量检验手段。为保证两种信号的一致性,要求检验测深仪时,对两个信号都要比较,确认数字信号的可靠性。

12.2.7 本条中的深度误差是指测量值与真实值之间的误差。

12.3 侧扫声纳法

12.3.1 本条说明了侧扫声纳法的适用范围。

12.3.2 本条说明了侧扫声纳法的应用条件。

12.3.3 本条规定了侧扫声纳法仪器设备的要求。

侧扫声纳法采用走航式测量方式,需要 GNSS 提供实时位

置信息，故应配有相应的通信接口。

在不同的拖曳方式时，拖鱼与 GNSS 接收机的相对位置会存在一定的差异，压力传感器及方向传感器可以提供拖鱼在水中的深度及姿态，为后期数据处理中进行校正提供重要依据。

12.3.4 侧扫声纳法 每条测线形成一个声纳条幅图，相邻条幅图之间应存在重叠区域，避免造成漏测。测线间距应根据条幅的宽度确定。

12.3.5 侧扫声纳的测幅宽度及探测精度与声纳频率、拖鱼与水底距离等参数有关，故应在正式工作开始前进行试验，确定在不同深度水域的测量参数。

12.3.7 侧扫声纳法数据可以反映水底地形地貌特征，据此对水中电缆、管线、沉船等障碍物进行定位，描绘其形态，并且可以根据位置信息对异常区的形态、规模进行测算。

对不同的条幅图进行拼接处理可以较为直观展示水底的全貌，与地形图镶嵌有利于综合解释。

12.4 水域地震法

12.4.1 本条说明了水域地震法在水域中的适用范围。

12.4.2 本条说明了水域地震法在水域中的应用条件。

水深小于 2.0m 时，水底反射波与直达波存在交叉混淆，难以明确区分，影响到探测效果和质量。

水域折射波法常采用炮检互换法，即水域设置炮点激发，陆域设置检波器接收的方式。

12.4.3 水域地震法中使用的数据采集仪器设备与陆地基本一致，技术参数要求相同。

采用走航式地震反射法时，震源以一定的时间间隔自动触发，要求地震仪具备连续采集的功能。

地震震源应根据地层特性、探测深度等条件来选择。炸药震源适于固定排列方式，电火花、空气枪、机械冲击等适于走航式排列方式。

12.4.6 在正式开始作业前,应在测区内典型水域进行试验,选择最佳的震源激发方式、接收传感器类型、偏移距及仪器采集道数、采样间隔等参数。

震源激发深度应进行精确测量,在走航式地震探测中震源激发深度应保持一致。在采用多道接收时,接收检波器间距及没入水下深度保持一致。为了保证探测精度,保持船速很重要。

12.5 浅地层剖面法

12.5.1 浅地层剖面法是利用声波的反射原理,发射探头向水底发射声波脉冲,接收探头接收来自水底和地层分界面的反射波,当测船航行时可获得连续的地层剖面记录,根据该记录可探测水底地形并进行水底地层分层。

12.5.2 在水库或河道探测淤积层时,当淤积物主要为淤泥黏土类物质,对水声勘探比较有利且不易产生二次波,探测深度较深,分辨率也高。

如果水底存在砂层或存在零星分布的卵砾石,由于反射系数较大,会产生二次或三次波,探测深度会受到影响。如果卵砾石粒径大于 20mm 或存在卵砾石层,则会产生散射现象不易得到下部地层的记录。

12.5.5 船的载重量主要与船航行过程中的稳定性有关;同时注意船的长度应符合发射与接收探头两者之间的安置距离。

12.5.8 浅部需作校正是由于发射探头与接收探头工作时形成的入射与反射角所造成的误差,据统计当水深小于 10m 时(当 $V=1500\text{m/s}$ 时)误差为 0.5m,当水深大于 15m 时,误差为 0.2m~0.3m。

12.6 水域直流电法

12.6.1 本条主要以水域高密度电法为例进行规定。

12.6.3 水域进行高密度电法测试仪器和设备的主要技术指标与陆地测试相同。

12.6.5 电缆可悬挂浮球使其漂浮于水面或水中一定深度，在峡谷地段或短距离剖面测量中，可以事先在测线位置布置一条钢丝绳，两段拉紧并固定牢靠，测量电缆捆绑于测线上方的钢丝绳上，电极垂吊于水中。

水上测量时，一般借助悬浮物将大缆固定。水底测量时，一般在缆线上捆绑配重、在船速均匀的情况下缓缓沉入水底。

测试过程中应注意测试周边抛锚的铁船，尤其是大船，侧面的金属船只会对电流产生聚焦吸收作用，造成测试出现假异常。

12.7 水域磁法

12.7.1 本条对水域磁法在水域中的使用范围进行了规定。

12.7.3 因探测中需要进行日变观测校正，故一般至少需要同时使用 2 台磁力仪，对于多台仪器的观测精度和一致性应进行校验。

12.7.7 磁测工作船宜为木船或橡皮船等无磁性船只，如在江、海等需要动力的区域进行测试时，可以采用拖曳式将无磁性船只悬挂于动力船只后面。

13 井中探测法

13.1 一般规定

13.1.1 本条列出了井中探测法可以解决的主要工程问题。井中探测法包括以下方法：电测井，其中又分为电阻率测井（视电阻率、电流、三极侧向）和电化学活动性测井（自然电位、电极电位、激发极化）；弹性波测井，包括声波测井、地震波测井；电磁波测井；磁测井；放射性测井；超声成像测井；井间层析成像；其他测井方法和井中探测方法。

本次修订将原声波测井、地震波测井合并为现在的弹性波测井，增加了磁测井和管波探测法，并将钻孔电视替换为钻孔全景光学成像。

13.1.2 应用井中探测法的地球物理条件为：探测对象与周围介质之间有明显的物理性质差异，具有一定的规模，与测试钻孔距离不大，且物理异常有足够的强度并可为仪器所分辨，方法或仪器能抑制各种干扰，区分有用信号与干扰信号。方法的选择原则是安全、有效、高效。

13.1.3 本条对井中探测法所使用的仪器作了一般性的规定，不同方法的特殊要求在具体的方法中作规定。

13.1.4 本条为井中探测法现场工作的一般性规定，不同方法的特殊要求在具体的方法中再作规定：

1 测井电缆的质量直接影响测井电缆深度的丈量。而电缆长度的丈量与记数误差是造成测井误差的因素之一，故本款作了要求。

2 测试钻孔内径的规定是为了保证下井仪器可自如进出钻孔。下井仪器设备被卡在钻孔内是测井工作中较容易发生的事故，也是很难处理的事故。为了避免卡孔，本条要求在测井前应

先用探孔设备探孔。

3 测井电缆的升降速度对成果精度影响很大，故本款对电缆升降速度作了规定。

4 规定在提升电缆时正式测量是因为下放电缆时由于井液的浮力和井壁的摩擦阻碍，井下电缆不能保证拉直，这会造成测井曲线深度误差甚至出现错误。但在进行温度、井液电阻率测井及钻孔全景光学成像时，由于电缆下放会扰动井液，如果等提升电缆时再做正式记录，会使异常幅度变小或图像不清晰。因此，对这三种方法应在没有扰动的情况下，即下放电缆时进行正式测井，此时仍然应避免下井探头受阻而造成测井资料的错误。

13.1.5 本条为井中探测法质量检查与评定工作的一般性规定。

13.1.6 本条为井中探测法资料处理与解释工作的一般性规定，不同方法的特殊要求在具体的方法中再作规定。

13.2 电 测 井

电测井是最常用的测井方法之一，城市工程中一般采用直流电。主要用于划分地层、区分岩性，确定软弱夹层、裂隙和破碎带位置及厚度，确定含水层的位置、厚度，划分咸淡水界面，也可用于测试岩层电阻率。

电测井包括视电阻率测井、微电极测井、自然电位测井等常用手段。

13.3 弹性波测井

本节将原《城市工程地球物理探测规范》CJJ 7-2007 的声波测井和地震波测井合并。声波测井是研究井壁岩石声学性质的一组测井方法，包括声速测井、声幅测井和全波列声波测井。地震波测井主要用于测定地层波速。

13.3.2 本条主要规定了应用弹性波测井应满足的钻孔条件。本条主要强调如下条件：

1 金属套管对弹性波存在屏蔽作用，故要求测试段无金属

套管。

2 声波测井时，源距的选择原则是要保证到达接收探头的初至波是地层的折射波。要求最小源距的选择满足公式 (25)：

$$L_{\min} = 2S\sqrt{\frac{1+\beta}{1-\beta}} \quad (25)$$

$$\beta = \frac{C_w}{C_R} \quad (26)$$

$$S = \frac{D-d}{2} \quad (27)$$

式中： L_{\min} ——最小源距 (m)；

C_w ——井液声速 (m/s)；

C_R ——岩体最低声速 (m/s)；

D ——井径 (mm)；

d ——换能器直径 (mm)。

3 除横波的测试外，其他弹性波测井均需要井液耦合，且井液浓度不大，具备条件是采用清水。测试横波时，要求裸孔或塑料套套管外空间的充填是为了保证横波的接收。

13.3.3 本条规定了用于弹性波测井的仪器设备的特殊要求。

13.3.4 本条规定了现场施测时的要求。具体项目宜根据现场条件因地制宜。

13.3.5 本条规定了资料处理、解释工作的要求。本条采用的分层波速计算公式，能够消除触发延时的影响。

13.4 电磁波测井

电磁波测井是利用岩层、目标体之间对电磁波吸收和衰减性质的不同进行地质单元划分的，一般使用孔中雷达进行施测，也称为雷达测井。

当钻孔中有金属套管时，由于金属套管对电磁波的屏蔽作用，失去井中探测能力。

13.5 磁 测 井

本节主要对磁测井的应用作了规定。工程物探中主要采用垂直分量磁测井无损测定混凝土灌注桩钢筋笼长度、钢筋笼完整性评价等。

13.6 井间层析成像

13.6.1 井间层析成像也称为井间 CT 成像,已在工程物探中广泛应用并取得了良好效果。本节内容包括了现阶段主要使用的几种 CT 成像方法,即井间弹性波(含地震波、声波)层析成像、井间电磁波层析成像、井间电阻率层析成像。井间弹性波层析成像以走时反演波速影像的方式最为成熟,井间电磁波层析成像以波幅反演吸收系数的方式最为成熟。

13.6.5 初至时间拾取是弹性波层析成像的关键。在共激发点道集中拾取初至时间,观测同一激发点的不同排列之间的触发一致性,避免人为的拾取误差。在共接收点道集更加容易检查初至拾取的准确性。由于钻孔不同程度存在倾斜,当井间距小于 5m 时,钻孔倾斜将严重影响弹性波层析成像质量,故宜进行井间距校正。

井间层析成像反演计算的成果是井间波速、吸收系数、电阻率的影像,与真实的井间波速、吸收系数、电阻率的量值之间存在很强的对应关系,但不是等同关系。采用伪彩色图像、等值线等图示方式来展示井间波速、吸收系数、电阻率影像,既细致又不失规律性。同一工区采用相同的色谱、色标,具有可比性。色谱是指波速、吸收系数、电阻率等物性指标与颜色之间的对应关系。

同一剖面或测线的影像和地质解释剖面图绘制在同一张图件中,方便后续使用者审校。

13.7 放射性测井

放射性测井包括自然 γ 和 γ - γ 测井。主要优越性在于可在有

套管井段和下孔中进行。可用于划分地层，区分岩性，确定软弱夹层、裂隙和破碎带。 $\gamma\gamma$ 测井还可以测试岩层密度和孔隙度。

放射性测井有无套管时均可应用。但有套管时，要注意套管对射线强度的吸收效应。

13.8 钻孔全景光学成像

钻孔全景光学成像包含孔壁数字成像、孔内电视、管道内窥等，包括在勘察钻孔、基桩钻芯孔、管桩、管道中的应用。

13.9 超声成像测井

超声成像采用的是1MHz左右的超声波，它对泥浆和地层具有一定的穿透能力，主要用于确定钻孔中岩层、裂隙、破碎带、软弱夹层的位置及大致产状，也可用于检查灌浆质量、混凝土浇筑质量、粗测钻孔直径。

13.10 管波探测法

13.10.1 管波探测法是在钻孔中利用“管波”这种特殊的弹性波，探测孔旁一定范围内地质体的孔中物探方法，是“世界首创、中国创造”的物探方法，在解决桩位岩溶探测方面，效果独特。

经过国内十余家勘察设计单位，近十多年来在高速公路、高速铁路、高层建筑、城市轨道交通等领域数百项工程，超过五万例桩位岩溶勘察的实施验证，管波探测法已是一种同行业专家、学者公认的理论成熟、依据充分、勘探效果显著的孔中物探方法。应用地域包括广东、广西、江西、湖南、安徽、江苏、山东、辽宁等省、市、自治区，取得了良好的经济效益和社会效益，得到了同行业专家的高度认可。近几年，国内十余家勘察、设计、施工、检测单位，将管波探测法应用于桩基（含地下连续墙）质量检测、水文孔含水层位置确定、钻孔分层资料核准等，应用超万例，并取得丰富的经验和成果。

管波是一种在钻孔及其附近沿钻孔轴向传播的特殊弹性波。其绝大部分能量集中在以钻孔为中心、半径为半波长的圆柱形范围内，传播过程能量衰减慢、频率变化小。

前人对管波做过大量的研究与试验，Biot (1952) 和 Write (1956) 曾给出零频率时管波的波速 V_t 为：

$$V_t = \frac{V_l}{\sqrt{1 + \frac{\rho_l V_l^2}{\rho V_s^2}}} \quad (28)$$

式中： V_l — 钻孔中流体（井液）的纵波波速（m/s）；

ρ_l — 钻孔中流体（井液）的密度（g/cm³）；

V_s — 钻孔周围固体介质（岩土层）的横波波速（m/s）；

ρ — 钻孔周围固体介质（岩土层）的密度（g/cm³）。

现有管波探测法设备激发的管波，其中心频率在 700Hz 左右，实测的管波波速与式 (28) 计算结果一致。如钻孔内孔液为清水、周围固体介质为微风化石灰岩时，测得的管波波速约为 1350m/s~1420m/s 之间，约为清水纵波波速 1480m/s 的 0.90 倍~0.95 倍；如钻孔内孔液为清水、周围固体介质为黏土层时，测得的管波波速约为 250m/s，与黏土层的横波波速相当。

管波探测法实测资料证明，管波的能量与钻孔周围固体介质的横波波速呈现正相关关系，横波波速高则管波的能量强，横波波速低则管波的能量弱。当激发或接收探头处于溶洞附近时，直达管波能量几乎为零。当激发或接收探头处于软弱岩层、土层中时，直达管波的能量、波速显著降低。管波的能量由直达管波和反射管波的波幅确定。

在管波传播范围内的波阻抗差异界面处，管波产生反射。采用收发换能器距离恒定、测点间距恒定的自激自收观测系统进行测试，垂直时间剖面中所有的反射管波以倾斜波组形式呈现，倾斜波组斜率的倒数的 1/2 等于管波的波速，具体可见图 10。

管波探测法应用于岩溶地区嵌岩桩桩位岩溶探测，一般在桩位超前钻探或详细勘察阶段与钻探工作同期进行。它利用桩位中

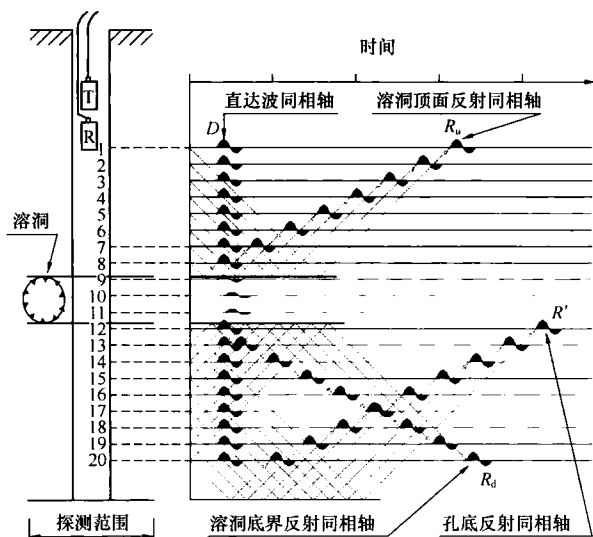


图 10 管波探测法观测到的波组示意图

心的一个钻孔，通过在孔液中激发管波，接收并记录其经过孔液和孔旁岩土体传播的振动波形，来探测孔旁一定范围内的岩溶、软弱岩层及裂隙发育带的发育和分布情况，可快速查明桩位范围内的地质情况、评价基桩持力层的完整性，指导基桩设计和施工，实测时间剖面与地质解释实例见图 11。其有效探测直径大于 2m，可分辨大于 0.3m 的孔旁岩溶、软弱岩层及裂隙发育带，定位误差小于 0.3m。管波探测法具有可靠性高、异常明显、分辨能力强、精度高、工期短、易于解释、仪器设备投资少、探测费用低等优点。

近几年来，管波探测法也应用于基桩检测等。一般在灌注桩钻芯法检测孔和灌注桩预埋塑料检测管中进行，探测桩身混凝土中空洞、夹泥、离析、裂隙等缺陷的位置与程度，评价桩身混凝土浇筑质量、桩底沉渣厚度、桩身与持力层结合情况。也可在预应力管桩的中心孔中进行，探测桩身缺陷的位置与程度，评价桩

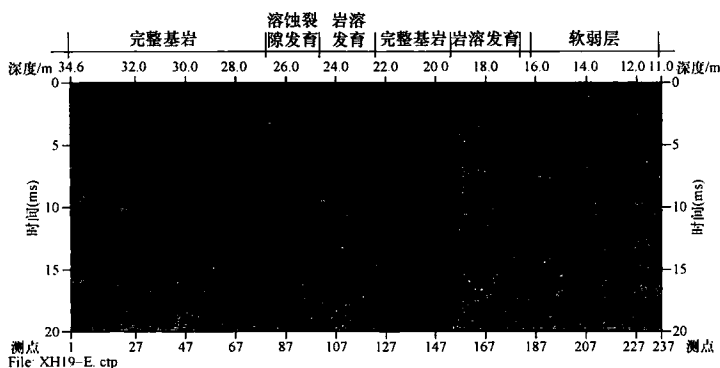


图 11 管波探测法实测时间剖面与地质解释实例

身质量。

13.10.2 本条主要规定了应用管波探测法的钻孔条件。本条主要强调如下条件：

1 金属套管对管波等弹性波均存在屏蔽作用，故要求测试段无金属套管；

2 管波探测法需要井液耦合。井液浓度过大将导致管波能量下降、波速降低，影响探测效果。

13.10.3 本条规定了用于管波探测法的仪器设备的要求。本条主要强调如下要求：

1 采用低频发射换能器以激发低频管波，保证有足够的波长，现有发射换能器激发的管波中心频率约为 700Hz 左右；

2 规定发射换能器单次发射能量，以保证有足够的能量穿透到孔旁岩土中；

3 规定记录仪器的通频带，以保证覆盖管波的频率范围。

13.10.4 本条规定了现场施测时的要求。本条主要强调如下要求：

1 采用收发换能器距离恒定、测点间距恒定的自激自收观测系统采集的垂直时间剖面易于解释。收发换能器距离一般为

600mm,测点间距的规定主要与分辨能力与空间采样率有关。

2 厚度大于 3m 的中、微风化岩层依然有桩基抗拔、桩侧摩阻力方面的利用价值,需要拔除金属套管后补测。

13.10.5 本条规定了资料处理与解释工作的要求。本条主要强调如下要求:

1 管波探测法的重要异常特征之一是管波能量差异,不能进行道间振幅平衡处理,否则将导致异常特征灭失。

2 各测点测试曲线采用相同的显示增益,突出显示管波能量差异这一重要异常特征。采用伪彩色剖面显示可更加清晰、完整显示各种波组。

3 同一钻孔往往存在多次测试,其时间剖面应绘制在同一成果图件中。

4 确定分层界面过程中,反射管波初至同相轴与直达管波初至同相轴的交点即为其出发点,该点一般也为直达管波和反射管波的能量、波速突变点;当反射管波的出发点不明确时,直达管波和反射管波的能量、波速突变点即为分层点。反射管波为倾斜波组;直达管波为水平波组,平行于井轴方向(时间为 0 处)。

对管波的分层进行地质解释,就是根据层内管波的能量、波速确定分层界面之间岩土层的类别及工程性质。桩位岩溶勘察应用中,孔旁岩土类别划分见表 4,灌注桩检测的桩身混凝土分类见表 5,桩底持力层划分参见表 4。

5 现行国家标准有规定:端承桩桩端以下应有三倍桩径并不小于 5m 的完整基岩。管波探测法应用于桩位岩溶勘察时,可以提供设计建议值。

表 4 岩溶区管波探测法孔旁岩土分类的地球物理特征表

孔旁岩土分类	管波异常特征
土层	1. 直达波速度低,波组到达时间长、能量微弱; 2. 无反射管波同相轴穿过

续表 4

孔旁岩土分类	管波异常特征
岩溶发育段	1. 直达波能量很弱或不可见； 2. 顶底界面反射波组能量强、频率低，在本段以外发育； 3. 顶底界面以外的反射波组穿过本段顶底界面进入本段后，能量突然消散
软弱岩层	1. 直达波速度变低、波组向下弯曲，能量很弱或不可见； 2. 顶底界面反射波组向外的一支能量强、频率低，向内的一支能量弱、频率低、速度低； 3. 顶底界面以外的反射波组穿过本段顶底界面进入本段后，能量突然变低、频率低、速度变低
溶蚀裂隙发育	1. 直达波速度稍低、波组向下弯曲，能量变弱； 2. 顶底界面反射波组能量低、频率较高、反射密集分布； 3. 顶底界面以外的反射波组穿过本段顶底界面进入本段后，反射能量突然变低
节理裂隙发育	1. 直达波速度高、能量较强； 2. 顶底界面反射波组在层内可见，能量强、速度高，并可能有多次反射； 3. 段内存在多组呈“八”字形的层内反射，层内反射能量低、频率高
完整基岩	1. 直达波速度高、能量强； 2. 顶底界面反射波组在层内能量强、速度高，并有多次反射；顶底界面反射无能量消散现象； 3. 段内无反射界面

表 5 管波探测法桩身混凝土分类的异常特征表

桩身混凝土分类	管波异常特征
严重缺陷混凝土	1. 直达波速度变低、波组向下弯曲，能量为完整混凝土的 25% 以下； 2. 顶底界面反射波组向外的一支能量强、频率低，向内的一支能量弱、频率低、速度低； 3. 顶底界面以外的反射波组穿过本段顶底界面进入本段后，能量突然变低、频率低、速度变低

续表 5

桩身混凝土分类	管波异常特征
一般缺陷 混凝土	1. 直达波速度稍低、波组向下弯曲，能量为完整混凝土的 25%~50%； 2. 顶底界面反射波组能量低、频率较高、反射密集分布； 3. 顶底界面以外的反射波组穿过本段顶底界面进入本段后，反射能量突然变低
轻微缺陷 混凝土	1. 直达波速度高、能量为完整混凝土的 75%以上； 2. 顶底界面反射波组在层内可见，能量强、速度高，并可能有多次反射； 3. 段内存在多组呈“八”字形的层内反射，层内反射能量低、频率高
完整混凝土	1. 直达波速度高、能量强； 2. 顶底界面反射波组在层内能量强、速度高，并有多次反射；顶底界面反射无能量消散现象； 3. 段内无反射界面

13.11 其他探测方法

本标准其他测井方法指井径测量、井温测量、井中流体测量、井斜测量等。其中可用于测定钻孔井径、桩孔直径，及其变化情况；井温测量通过测定孔液温度，评价含水层位置、地下水运动状态，也可用于测试灌浆和水泥固井时水泥回返高度；井中流体测量可用于确定含水层位置及厚度，测试地下水在钻孔中的运动状态和涌水量，在有利条件下，估算地下水渗透速度等；井斜测量测试钻孔的倾斜方位和顶角，评价钻孔的倾斜情况，在安装测斜管、采用高精度测斜仪时，可用于测定基坑、滑坡等的横向形变及形变方向、形变速率。井径、井斜测量成果又是各种测井方法校正及解释的基础。

14 地基基础检测

14.1 一般规定

本节规定了地基基础检测法的适用范围、方法选用要求,以及工作前收集相关资料等要求。

14.2 基桩动测

14.2.1 基桩动测法包括低应变反射波法、高应变动测法和声波透射法。低应变反射波法检测桩身完整性,目前在工程中应用较多的是反射波法,它根据取得的时程曲线或频域分析来判断缺陷部位的深度和性质,而且在比较准确算取工地的平均波速时,可以对桩长进行复验。

14.2.2 由于我国幅员广大,各地区的基桩、地质条件差异较大。加之成桩的质量受到施工工艺,桩的长径比,桩所处的地质环境等因素的影响,我国相继出台的交通部、铁道部和天津、上海、浙江、广东、深圳等省市的基桩动测规程,均对基桩的抽样比例有相应的规定,对桩抽检的比例也不同。本标准仅作一般的规定。

14.2.3 为保证有良好的测试仪器,要求在检测过程中使用的动测仪器设备,具有生产厂家的生产许可证,投入使用前应经计量检定合格,在各项参数指标达到要求后才可投入使用。

14.2.4~14.2.11 低应变反射波法测试信号的真实性和完整性对判断桩身完整性十分重要。由于桩顶激发时产生的直达面波和球面反射波等影响,故浅部的缺陷往往与激震点、仪器的分辨率有关,故应该力求波形重复性好,以避免误判。

桩身完整性的判定一般对Ⅰ和Ⅳ类桩较为容易,对Ⅱ、Ⅲ类桩的判别应综合缺陷桩的具体位置、地质环境、施工情况以及应

力波传播的特征来分析。必要时采用不同人、不同仪器重复测试,来共同分析判断或采用如取芯法辅助判别。而对于Ⅰ类桩中嵌岩桩无明显桩底反射时,要分析是由于桩底的岩性与桩身的波阻抗差异不明显,还是激振能量不够等原因。

14.2.12~14.2.16 高应变动测法的相关规定。

高应变测桩承载力在我国开展已有近30年的历史,但至今尚有许多值得探讨的影响因素。由于测试人员对该方法的理论基础、荷载传递机理以及桩土体系的受力状态的理解程度以及地区性动静对比试验资料的积累,极大地影响到拟合数据的准确度。因此,直到目前为止,该方法尚在进一步发展完善之中。而高应变动测提供的竖向极限承载力仅作工程桩设计的参考值。

激振锤的锤重,既要使桩侧阻、端阻得到充分发挥所需的位移且又不至于使桩头受损造成测试的失败。因此提倡重锤低落,对于长桩大桩采用较重的锤,才有可能得到较理想的信号,有利于桩极限承载力的正确判定。高应变测试的成功很大程度取决于每次锤击信号的质量以及动位移。而贯入度直接影响到桩的土阻力的发挥,因此在实际操作过程中要按本标准的有关规定确保力和加速度传感器的安装、锤重、锤击的落距等技术要求,使测得的承载力值最大限度反映客观实际状况。

在室内资料分析计算之前确认各锤信号的质量,选取符合要求的锤击信号进行分析。对两侧信号之一与力平均值的差值超过平均值的30%以上的,一般是由于锤击不规范因素造成,不应选取分析信号,更不能单侧力信号代替平均力信号。在进行实测曲线拟合时,土阻力的分段取值应根据被测工地的工程勘察资料,结合施工情况认真分析桩的受力状况。逐一对所选各参数综合比较判断。避免所拟合得到的承载力与实际桩—土模型产生较大的变异。

鉴于现有的相关标准已有相关要求。按现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106的有关规定,进行传感器安装以及桩头处桩截面积、桩身波速、桩材质密度和弹性模量等参数设定

和计算，对单桩承载力的统计和单桩竖向抗压承载力特征值的确定，以及进行桩身完整性判定。

14.2.17~14.2.19 声波透射法的相关规定。

声波透射法是在桩身中埋设一定数量的声测管，通过水耦合，声波从一管发射通过混凝土在另一管接收，测得声波通过某一界面混凝土介质的声时、声速和频率等声学参数，从而达到判别桩身完整性的目的。

为了使各测试剖面的检测结果具有可比性和精确的判定，要求对同一根桩各剖面检测中，一定保证各剖面声波发射电压和仪器各参数设置值的不变。

根据本方法所判定的桩身完整性类别是从声速、波幅值和PSD等参数作为依据，其实尚存许多影响混凝土质量的复杂因素，因此对于判为Ⅲ、Ⅳ类的桩要采用其他方法，如高应变法、钻孔取芯法验证，并结合地质背景和施工记录综合判定。

14.3 灌注桩成孔（槽）质量检测

灌注桩的质量问题，主要有成孔（槽）质量及桩身质量两方面。其中桩身质量问题，除应严格要求按施工规范进行混凝土浇筑外，近年来工程设计中，针对灌注桩均要求广泛采用动测方法进行检测。但如何保证在各种不同的地质条件下成孔质量问题，目前无论是施工部门还是设计部门，尚缺少应有的重视和有效措施。如何有效控制成孔（槽）质量，确保工程安全，就尤其重要。

检测时，根据建筑物的重要性、地基基础等级、地质条件复杂程度等因素确定检测实施方案。

超声波法成孔（槽）检测时，检测探头悬浮于泥浆中，与孔（槽）壁不发生接触，属非接触式检测方法。检测中，有时会出现记录信号模糊断续及空白，原因有多种，可能是仪器升降速度过快，因为超声波探头每分钟重复频率是固定的，探头行进过快，相当于拉长了测点的间距，降低了分辨精度；可能局部深度

范围内泥浆过稠，而探头超声波发射功率小，或灵敏度低造成反射信号弱；可能泥浆中气泡屏蔽了超声波；可能泥浆中存在悬浮物导致超声波的散射等等。因此，采用降低探头升降速度，或增大灵敏度及发射功率，检查不同深度泥浆的性能指标等手段。

接触式仪器组合法，系采用伞形孔径仪、专用测斜仪及沉渣测定仪分别检测成孔孔径、垂直度及沉渣厚度，是由多种仪器设备组合形成的检测系统。相对于超声波法，采用接触式仪器组合法检测时，各种仪器的检测探头应保持对孔壁或孔底的接触，属于接触式检测方法。

根据现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202，沉渣厚度可以采用沉渣仪或重锤测量，目前国内已经出现了多种沉渣厚度测定方法，主要有测锤法、电阻率法、电容法、声波法等。本标准规定只要是具有计量器具生产许可证的厂家生产的合格产品，并能在标定有效期内使用，其检测精度能够满足沉渣厚度的评价要求的仪器设备或工具，均可用于沉渣厚度检测。

14.4 基桩钢筋笼长度检测

14.4.1 工程桩的预期使用功能要通过单桩承载力实现，钢筋笼长度检测的目的是发现某些与设计不符的钢筋笼长度设置，为减少安全隐患、可靠判定工程桩质量服务。灌注桩钢筋笼的长度是根据荷载和弯矩的大小、桩周土物理力学性质、建筑物抗震设防烈度以及摩擦桩和端承桩类型等，按有关规范计算确定的。如果钢筋笼长度不能满足设计要求，应视作钢筋混凝土桩桩身完整性存在缺陷。

本条规定了检测方法适用范围和适用条件。充电法要求桩头有或能暴露钢筋，才能实施对钢筋笼的充电，如果上部结构已建设，暴露钢筋相对较麻烦，而且检测完毕后还要修补，则可采用磁测井法。磁测井法检测虽桩头无须暴露钢筋，但易受浅部桩周不相关的磁性体干扰，且磁测井探管价格较贵，检测前设置

PVC 管作为检测通道。因此,在具体选择检测方法时,根据现场条件,结合检测方法的特点,同时也要兼顾实施中的经济合理性,即在满足正确评价的前提下,做到快速、经济。

14.4.2 针对不同的基桩,检测方案有所不同,如果是委托方划定了重点检测对象,或者设计有特殊要求的桩,确定检测方案时要有针对性。

14.4.3 当检测结果不满足设计要求时,处理是比较复杂的,无法给出统一的处理方案。通常,因初次抽样检测数量有限,当抽样检测中发现钢筋笼长度不满足设计要求时,要会同有关各方分析和判断基桩钢筋笼整体的质量情况,如果仍存在疑点,应扩大检测。倘若初次检测的结果客观地反映了基桩中钢筋笼长度情况,则不要盲目扩大检测。因此,本条规定加强验证,确保检测结果可靠。

14.4.4~14.4.6 为利用充电法检测的有关规定。

充电法是对探测目标物体进行充电并测量目标物体周围电场,根据目标物体周围电场特征确定目标物体产状的一种物探方法。对使用的仪器作了基本要求,实际施工桩长没有超过 150m 的,因此检测深度 150m 基本上满足了钢筋笼长度检测要求。发射电压、发射功率为基本要求。功率大,形成的人工电场强,可提高信噪比,提高观测精度,提高钢筋笼长度检测的准确度。实时显示功能主要是了解现场检测情况,以使调整供电参数达到理想的测试效果。

为保证获得高质量测试信号而规定了现场检测时的相关技术措施。第一,观测点的人工电场强度是与距场源距离平方成反比,距离场源越远场值衰减越快,同时天然电场的干扰因素也不可忽视。通过模型桩上反复对比试验观测也可发现,观测孔距桩外侧边缘太远,测量信号弱质量较差、信噪比低,容易造成误判。大量的试验结果说明,在距桩外侧边缘不大于 0.5m 的孔中观测的数据质量高,信噪比高。以观测场的分布特征判定的钢筋笼长度与实际长度吻合。人工电场的分布特征是以钢筋笼中心轴

线对称分布,观测孔应根据人工电场的分布特征布置,以便提高钢筋笼长度测试精度。由于充电法检测灌注桩钢筋笼长度是通过测试孔作为检测剖面,而测试孔离钢筋笼的远近显著影响电异常形态,只有保持测试孔和钢筋笼相互平行,也即测试孔和钢筋笼的距离保持不变,且距离控制在1m之内,才有可能测得较理想的钢筋笼异常。其次,钻孔是测试探头的通道,目前我国生产的孔中探头的直径多数在25mm~40mm范围内,为了使探头在钻孔中畅通无阻,提出钻孔孔径要求。钢筋笼底部是两种导电性有显著差异介质的界面,测量钢筋笼长度的实质就是确定钢筋笼底部界面。为了利用场的分布特征确定不同导电介质的界面,需要对界面附近场的分布进行延伸观测。同时,为预防泥沙沉积孔底致使探头达不到预计的深度,观测数据不完整,钻孔底部预留一定空间,要求钻孔深度宜大于钢筋笼底设计长度3m。第三,在软弱土层分布区钻孔往往会形成塌孔,致使观测工作无法进行,PVC管就是起护壁作用。PVC管是绝缘体,为了有良好的导电通路,要在PVC管上打孔。此外,空气是绝缘体,使探头与孔壁绝缘,无法进行电场测量。水是良好耦合剂,为了构成良好的导电回路,在测量时孔中注满清水。为满足钢筋笼周围的人工电场分布规则、均匀。规定是对现场测量方法进行统一要求以便进行数据对比。根据现场观测的数据,对钢筋笼长度进行初步判断,如初判钢筋笼长度与设计不符时,查找原因并进行重复测量,确认测量数据可靠、正确。

关于检测数据的分析与判定。钢筋笼底界面是两种导电性有明显差异的介质界面,在深度-电位曲线上有可判读的拐点时,此拐点对应的深度应为钢筋笼底界面。如深度-电位曲线上拐点不清晰,但深度-电位梯度曲线上有可判读的极值点时,判定此极值点对应深度为钢筋笼底界面。如深度-电位曲线上没有拐点,深度-电位梯度曲线也没有可判读的极值点,需要增强人工电场,提高信噪比,进行测量。如仍不能获得满意的结果,就要结合其他检测方法综合判断。

14.4.7~14.4.9 为利用磁测井法检测的相关规定。

磁测井法是以磁化体磁场的数学理论为基础,主要通过井中测量不同磁化强度的磁性物体在地磁场中所引起的磁场变化,并研究这些磁场变化的空间分布特征、分布规律及与磁性物体间的关系,对磁性物体空间分布做出解释。钢筋笼、含有钢筋的建(构)筑物以及铁磁性岩矿石等是铁磁性物质,在其周围均形成很强的磁化场。井中每一观测点所测得磁场是各种物质磁化场叠加的结果。对于以研究钢筋笼长度为目的的磁测井法,钢筋笼形成的磁化场是测量研究的对象,其他铁磁性物体、岩石矿石等周围形成的磁化场就是干扰磁化场。干扰磁化场强度比钢筋笼磁化场更强时,钢筋笼的磁化场的分布特征被干扰磁化场掩盖,因此也就不能用磁测井法确定钢筋笼长度。

每一观测点的磁场是由该点地磁场以及磁性物体磁场叠加的结果,仪器测量范围在 $-99999\text{nT}\sim+99999\text{nT}$ 能满足我国任一地区磁测工作要求。磁场传感器的分辨率是保证磁测工作精度的基本要求。磁测井法为井内作业,磁场传感器的工作环境温度 and 耐压性能是测试工作的基本保证。测点的深度步距对检测结果影响较大,因此要求深度传感器具有较高的精度和分辨率。为确保测试数据的可靠性,要求能对测试数据现场实时监控和基本处理。

为了保证获得高质量的测试信号而提出的措施,说明如下:

1 钢筋笼感应磁场的强度与测试点到钢筋笼的水平距离密切相关,试验表明,钢筋笼磁场强度随测试距离的增加衰减极快。若测试孔设置在桩身外侧,当测试距离在 0.5m 以内时钢筋笼磁场信号较好。随测试距离的增大钢筋笼磁场强度迅速衰减,当测试距离达到 1m 时钢筋笼磁场信号衰减较为严重,钢筋笼底部位置磁异常不明显;若测试距离再加大,钢筋笼底反映将更不明显,加大识别难度,容易出现误判;当测试距离达到 2m 时,已很难分辨出钢筋笼底端位置,接近 3m 时,基本测试不到钢筋笼磁场信号。综合磁场信号强度、受检桩和测试孔的垂直度等因

素,测试孔与受检桩的距离不要超过 0.5m,且尽量远离非受检桩,确保受检桩钢筋笼信号影响最强,而非受检桩钢筋笼的干扰信号最弱。

若测试孔设置在桩身内部,磁场叠加比桩外测试时强烈,信号强度更高,数据更加清晰直观,钢筋笼底端磁异常位置更易于分辨。在桩中成孔宜尽量靠近桩中心,以确保测试孔不偏出桩外。对于桩径大于 2m 的大直径灌注桩,一般情况下钢筋笼的主筋数量及主筋直径均较大,能够产生较强的磁场信号,模型桩试验及工程实践表明,桩身内部钻芯孔距离主筋不大于 1m 时,钢筋笼底部能够出现明显的磁异常,测试结果较好。

由于测试距离对钢筋笼磁场信号的影响,只有控制好测试孔垂直度,保持测试孔和钢筋笼相互平行,使测试距离保持不变,才可能测得较理想的钢筋笼磁场强度曲线。受检桩桩长越长,其测试孔的垂直度就越难保证,若测试孔倾斜度过大影响检测效果,重新布置测试孔。

2 如果测试孔深度范围内存在软弱土层,可能会发生塌孔致使传感器无法到达孔底,或将传感器埋于孔底无法取出,因此有必要设置 PVC 管护孔。为防止管底返砂堵孔,PVC 管宜封底。为保证传感器在 PVC 管中的顺畅通行,PVC 管内径要匹配。

为保证钻孔垂直度,要由有熟练操作经验的机长进行操作,钻孔设备精心安装、认真检查。钻进过程中经常对钻机立轴进行校正,及时纠正立轴偏差,确保钻孔过程不发生倾斜、移位。设备安装后,进行试运转,在确认正常后方能开钻。

3 测试孔是测试探头的通道,目前主流的井中传感器直径一般在 40mm 左右,为保证探头在测试孔内顺畅通行,测试孔孔径不应小于 60mm。综合经济性及适用性、土层塌孔或局部缩孔等因素,一般可选用外径为 91mm~110mm 的钻头钻孔。为保证测试到清晰有效的磁异常数据,测试孔深度应至少大于钢筋笼底设计长度(或委托深度)3m,实际测试中往往在短时间内

就会由于孔底泥沙沉积而导致探头达不到预定深度，故测试孔设置深度宜比钢筋笼底设计长度（或委托深度）深 5m，该段内现场测试场值可作为背景磁场值。若钻孔深度较钢筋笼底不足 3m，常常由于磁场干扰，无法测得平稳的背景场值，导致无法准确判定钢筋笼底面位置。

4 采样间距设置过大，会造成检测结果分辨率降低，增大误差，100mm~250mm 的采样步距既能保证一定的测试精度，又能减少现场测试时间，可避免采样时间过长发生孔底泥沙堵孔，提高工作效率。数据采集时，人工拉线要尽量保证缓慢匀速，拉线过快会导致某些特定点磁场读数为 0，容易导致误判。为确保测试数据客观、真实、可靠，消除人为或仪器设备因素造成的偏离数据，采集多条实测曲线可以确保检测结论的准确性。初步测量如发现钢筋笼长度与设计长度不符时，分析原因，进行复测。只有采集到可靠的数据，才能得到正确的检测结果。

关于数据分析与判定。钢筋笼在地磁场的作用下产生磁化磁场，钢筋笼底部为磁介质分界面，该界面上部为铁磁性物质，下部为无磁性或弱磁性物质（素混凝土、岩土层），超过界面向下逐渐变为稳定的背景场，钢筋笼底部位置磁场发生剧烈波动，垂直分量强度急剧变化，出现由极小值转变成大于背景场的拐点，相应的垂直分量强度梯度曲线出现极值点，可以有效的分辨出钢筋笼的存在。但试验表明，实测过程中深度—垂直分量曲线的垂直分量拐点位置判读难度相对较大，同时深度—磁场垂直分量梯度曲线的垂直分量梯度值的灵敏度较高，极易受外界的磁场（包括地磁场和干扰磁场）影响，产生较大的波动变化，造成极值点不明显，加大极值点的判断难度。因此，在实际工程应用中，可同时结合两种曲线加以综合判定。

14.5 地下连续墙检测

本节规定了检测适用范围和检测内容，并对利用物探方法进行成槽检测和墙体质量检测的要求作了相应规定。

超声波法成槽检测时，检测探头悬浮于泥浆中，与槽壁不发生接触，属非接触式检测方法。本标准未将沉渣厚度列入超声波法成孔成槽检测内容，但可以利用设计槽深与实测槽深之差，间接估算槽底沉渣的厚度，但精度相对较低。检测中，有时会出现记录信号模糊断续及空白，原因有多种，可能是仪器升降速度过快，因为超声波探头每分钟重复频率是固定的，探头行进过快，相当于拉长了测点的间距，降低了分辨精度；可能局部深度范围内泥浆过稠，而探头超声波发射功率小，或灵敏度低造成反射信号弱；可能泥浆中气泡屏蔽了超声波；可能泥浆中存在悬浮物导致超声波的散射等等。因此，通常采用降低探头升降速度，或增大灵敏度及发射功率，检查不同深度泥浆的性能指标等手段。

墙体质量检测是采用声波透射波法。声波透射波法检测是利用声波的透射原理对墙体混凝土介质状况进行检测，类似于基桩动测的声波透射波法，因此仅适用于在灌注成型过程中已经预埋了声测管的地下连续墙。标定法测定系统延迟时间的方法是将发射、接收换能器平行放入清水中，逐次改变点源距离并测量相应声时，记录若干点的数据并做出时距曲线。声波透射波法检测评价的有关要求见现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106。

14.6 复合地基检测

本节为复合地基检测的相关规定。根据检测的内容不同，主要采用低应变反射波法、多道瞬态面波法，相关规定可以对照本标准第 6.5 节、第 14.2 节的内容。根据低应变反射波法的应用条件，对于碎石桩、粉喷桩，不能使用低应变反射波法，素混凝土桩、CFG 桩才可使用。

14.7 既有建（构）筑基础探测

在实际工程中常会产生由于工程管理的原因未能及时进行单桩低应变检测而灌注了承台和建筑物底板，也有的为了进一步查

明既有建筑物、大桥墩台下桩的质量及完整性，因此在无法直接在桩头激震的条件下，利用与桩头相连的混凝土体（承台、混凝土台板）所激发的应力波，通过激发桩顶上方的承台，利用承台与桩产生的纵波透射于桩侧，被旁侧孔中逐点向下移动的传感器接收，实现既有建筑物下基桩桩身长度的检测，并可根据旁孔中检测到的透射波波速异常对桩身缺陷部位和性质作出判断和描述，即单孔透射波法，又有称为旁孔透射波法。

所谓单孔透射波法，是利用在既有建筑物下混凝土灌注桩侧土中成检测孔，并在孔中利用三分量检波器检测由桩顶既有结构体激发所产生的纵波沿桩身向桩底传播，在波的传播过程中除了在桩身遇到波阻抗和桩底反射外，同时有部分应力波向桩侧土进行透射，利用应力波在桩身传播和波透射的特征规律和异常，从而通过旁孔井中传感器来检测桩身透射波首波的时间规律判断桩身完整性的井中物探方法，其工作原理如图 12 所示。

由于既有建筑物下方桩是隐蔽体，只能在桩顶上方的混凝土承台、柱或板处来激发应力波，被激发的应力波直接向桩身传播直至桩底，在桩身完整的条件下波到达桩身某一深度与其时间是波速的函数，当应力波在桩身中传至存在波阻抗的缺陷部位时，由于应力波在缺陷处波能量的吸收和损耗使透射波到达井中传感器的时间较正常混凝土慢，反映在首波往后移，而当应力波传至桩底向地层或嵌岩桩的沉渣透射时，由于土层波速远低于混凝土波速而反映在波列图中的首波波列形成明显的拐点，由此可以根据波列的陡缓及拐点确定桩底的部位和嵌岩桩桩底的属性。

单孔透射波法测试系统除了井中三分量传感和悬挂传感器的电缆线外，对其置于深层水中传感器的抗水压和电缆线的抗拉强度都有明确要求，而仪器所接收的从混凝土桩向地层土所透射的应力波，因此对仪器的要求比单道接收桩身反射波均有所不同和提高，对增益要求、A/D 转换等要求、孔中传感器要求、最小采样间隔要求，都是为了提高信噪比，提高观测精度，对激发能量的要求是为了保证测试结果可靠。要求的实时显示功能主要

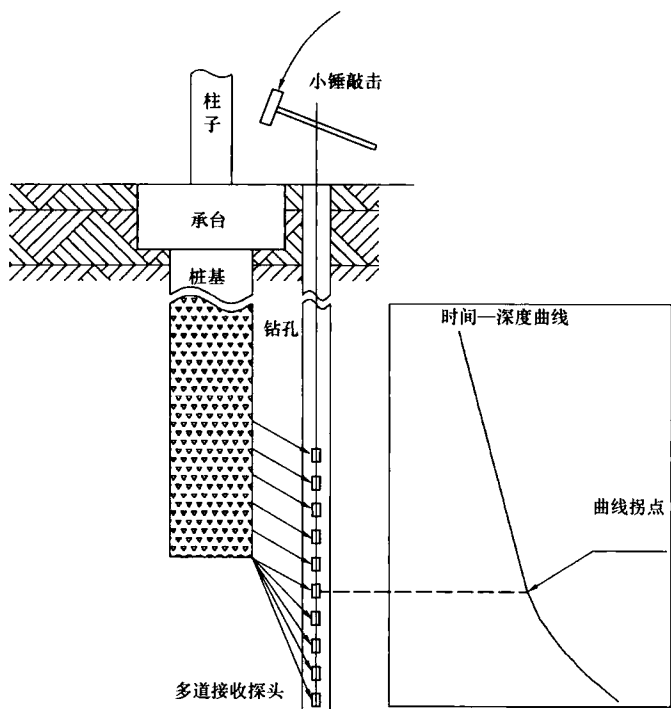


图 12 单孔透射波法工作原理示意图

是为了了解现场检测情况。目前许多探测单位均采用地震仪来完成此项工作。

本方法是采用在桩顶、桩顶承台或构筑物激震产生的应力波在桩身的传播，在传播过程中波向桩侧土的透射原理，从各测点所测得的首波来解释桩身完整性，因此力求要做到桩身与测试管的距离尽量靠近以减少波在透射到泥中所产生的误差，同时又要求桩与测试管的平行，而且当测试管埋设完成后往往出现因套管管径较小，而钻孔直径较大，达到 118mm，此时套管会与钻孔孔壁有较大的间隙，这对透射波向地层中传播的时间带来影响，

导致透射波初至时间的读取误差较大，因此当测试管放置完毕后，条件具备时可以采取套管内外注满清水方式，实现传感器与地层的耦合，也可以采用填料法将其与钻孔间填实再过几天的休止期后进行测试，等等，这样改善接收条件可以很大程度减少测试时间的误差。在我国南方地区地下水位较高时，观测条件会好些，而在北方地区地下水位一般较低，更需要注意。

从探测目的角度是要求桩侧钻孔平行距离进行成孔，这是为尽量减少计算实际桩长的误差角度出发，因此要求钻孔单位严格控制钻孔的垂直度，但是往往在实际钻进过程中很难保证钻孔的垂直度达到规程要求，为此在计算桩长时造成一定的解释误差，因而一般检测孔采用测斜管，因为如按钻孔的垂直度要求，当测试孔达到 30m 时，底部的水平偏差可达到 0.23m，按桩端土为砾石层计算误差约在 0.17m。

在成孔或下测试管后可能因水压和其他人为因素而造成测试孔破裂和堵管，故要求测试前采用直径大于 50mm 吊锤量测试管的深度和通畅，如出现吊锤不能放至设计测试孔深，或发生测试管脱节断裂等情况，应重新安装成孔。

现场检测是旁孔透射法的关键一步，是使它的信号真实可靠，它直接关系到成果的判断，因此首先要有效激发应力波，现场往往没有较好的条件，如桩头与桩身在接近地表承台处，那就要有目的地选择激振最佳点，如开挖表土，在承台顶部或在主柱以及梁板桩顶中心投影点等。在测试过程中，正常的完整桩波形初始斜率规律性好，因此对长桩可放宽到 0.5m~1.0m 一个测点，而对短桩或者发现有异常的部位，特别是在测试嵌岩桩的桩端沉渣处应加密采样，减小采样间距，一般把测点加密到 200mm~300mm。而实时显示是为了现场可以对测试数据质量和检测结果进行初步评判。初步测量如发现基桩桩身长度与设计长度不符时，应分析原因，进行复测，主要是确认所测结果是客观、真实、可靠的，消除人为疏忽或仪器设备工作状态有问题造成的不真实数据。只有测量数据是可靠的，分析结果才能正确。

由于本方法是通过桩头上方结构体的激振产生的应力波在桩身中传播，并在桩身外侧的平行检测孔中的传感器自下而上逐点检测桩的透射波，因此每个测点均可计算其该点距激振点的混凝土波速或深度，但当桩底部由于测试孔与桩身偏距较大，就应该将透射波在土层中的波速计算在内并加以校正，由此所得出的桩长更接近实际桩长。

资料解释在利用本方法判别桩身完整性类别时，主要根据各点的首波和深度波列图的斜率的规律性，分析相邻两测点的首波时间差以及桩身各测点首波的斜率的一致性：

当波列图上桩底拐点明显，拐点对应桩长与设计桩长相符，拐点以上深度各采样点首波初至时间—深度曲线上各相邻点斜率相同、波幅相近，拐点后相邻点首波斜率变缓且波幅变小属完好桩。当波列图各采样点中多个相邻点斜率明显变缓、脱节或某采样点开始整段斜率有规律变缓属缺陷桩。嵌岩良好的端承桩的桩底以后相邻点斜率变陡且波幅基本不变，反之在拐点后存在连续多点首波后移且波幅变小为桩底沉渣反映。

14.7.1 单孔透射波法是目前较为成熟的既有基础探测方法，还有其它方法也可用于既有基础探测，本标准尚不涉及。

单孔透射波法对定性判定既有建筑是桩基础还是浅基础具有很高的准确度。当既有基础为浅基础时，不宜用于测定基础质量。当既有基础为摩擦桩时，测定基桩入土深度具有较高的准确度。当测定桩身质量、桩底与持力层结合状况、基桩类型时，具有一定的准确度。

14.7.2 本条主要规定了应用单孔透射波法的条件。对钻孔深度的规定是为了保证可探测到基础和基桩的底部。待测基础与钻孔之间距离过大将导致较大误差。

14.7.3 本条主要规定了用于单孔透射波法的仪器设备的特殊要求。激发高频振动利于提高探测精度，使用小锤激振利于激发出高频振动。

14.7.4 本条主要规定了测试孔的布置与孔内套管安装规定。

14.7.5 本条主要规定了现场工作要求。主要强调激振点应与基础底部、桩基相连。激振点附近有砂浆批荡不利于激发高频振动。当单次激发能量不足时，可采用垂直叠加。测试时宜选用140Hz的高通滤波。

14.7.6 本条主要规定了资料处理、解释工作的要求。基桩入土深度计算公式根据探测原理推导。对于嵌岩桩，桩身与持力层波速差异不大，一般仅可判断基桩嵌入或未嵌入基岩。

桩身波速一般比较高，沿桩身旅行波组最先到达，其视速度等于桩身纵波波速。

当初至波组的视速度与同深度岩土层纵波波速相当时，则无沿着桩身混凝土旅行的波组，可判定为浅基础即非桩基础。浅基础的典型记录见图13，图中初至波组的视速度1730m/s，与同深度岩土层纵波波速相当。下部视速度为505m/s的波组为管波。初至波组与管波的交点深度即为浅基础的入土深度，图中标示约为2.75m。结果经过开挖验证符合实际。

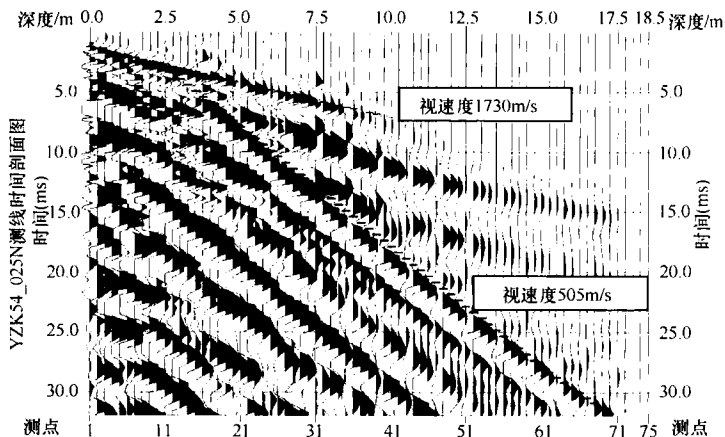


图13 浅基础的单孔透射波法典型记录

摩擦桩基础的典型记录见图14，图中深度2.5m~10m之间初至波组的视速度为4950m/s，视速度拐点深度10.5m，拐点以

下深度 12.5m~15m 之间初至波组的视速度为 1670m/s。第二组明显的波组视速度为 1750m/s，为沿桩侧土层旅行的直达波组。

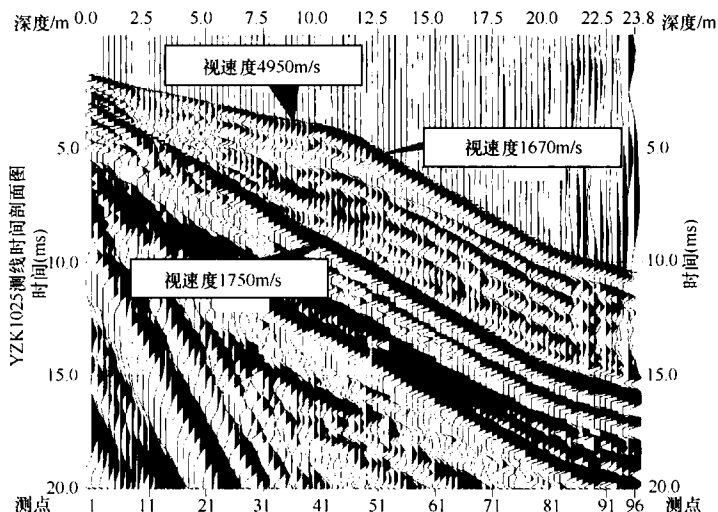


图 14 桩基础的单孔透射波法典型记录

基桩类型主要根据桩身波速推断，推断时可参考钻孔岩土分层及标贯击数等地质资料。基桩桩身完整性主要根据实测记录中的波组形态推断。桩底与桩底持力层的结合情况主要根据实测记录中的波组形态推断。对于嵌岩桩，当桩端出现明显上行波组时，可判定桩底与持力层的结合存在缺陷。

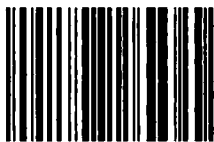
15 成果报告

本章规定了城市工程地球物理探测在工作完成后应编写成果报告及有关要求，特别强调：中间成果应经校核后可在现场交付使用，但应说明其使用条件。探测成果报告应经校核和审查批准后才能提交，并及时归档。探测成果报告要包括核查资料。

15.0.5 本条规定了探测成果报告一般应包含的内容与要求。

15.0.6 本条规定了检测成果报告一般应包含的内容与要求。由于测试类成果报告一般是对物性参数的测定或对某种对象质量的检测，涉及的内容相对比较简单，其内容与物探报告相比要简单，但应重点说明其执行的规范、标准，设计要求以及施工情况、抽样标准等。

15.0.8 本条规定了在成果报告中，不仅应包括检查资料，还应该包括相应的核查资料，在成果报告中也应该反映出核查工作和结果。



1 5 1 1 2 3 0 1 9 3

统一书号: 15112 · 30193
定 价: 60.00 元