

UDC

中华人民共和国国家标准



P

GB/T 51295 – 2018

钢围堰工程技术标准

Technical standard of steel cofferdam engineering

2018 – 04 – 25 发布

2018 – 12 – 01 实施

中华人民共和国住房和城乡建设部
国家市场监督管理总局

联合发布

中华人民共和国国家标准

钢围堰工程技术标准

Technical standard of steel cofferdam engineering

GB/T 51295 - 2018

主编部门：中华人民共和国住房和城乡建设部

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 1 2 月 1 日

中国计划出版社

2018 北 京

中华人民共和国国家标准
钢围堰工程技术标准

GB/T 51295-2018

☆

中国计划出版社出版发行

网址: www.jhpress.com

地址: 北京市西城区木樨地北里甲11号国宏大厦C座3层

邮政编码: 100038 电话: (010) 63906433 (发行部)

三河富华印刷包装有限公司印刷

850mm×1168mm 1/32 5.625 印张 143 千字

2018年11月第1版 2018年11月第1次印刷

☆

统一书号: 155182·0385

定价: 34.00 元

版权所有 侵权必究

侵权举报电话: (010) 63906404

如有印装质量问题, 请寄本社出版部调换

中华人民共和国住房和城乡建设部公告

2018 第 79 号

住房城乡建设部关于发布国家标准 《钢围堰工程技术标准》的公告

现批准《钢围堰工程技术标准》为国家标准,编号为 GB/T 51295—2018,自 2018 年 12 月 1 日起实施。

本标准在住房城乡建设部门户网站(www.mohurd.gov.cn)公开,并由住房城乡建设部标准定额研究所组织中国计划出版社出版发行。

中华人民共和国住房和城乡建设部

2018 年 4 月 25 日

前 言

根据住房城乡建设部《关于印发〈2015 年工程建设标准规范制订、修订计划〉的通知》(建标〔2014〕189 号)的要求,标准编制组经广泛调查研究,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,编制了本标准。

本标准共分 6 章和 1 个附录,主要技术内容是:总则、术语和符号、基本规定、设计、钢围堰施工及质量检验、监测等。

本标准由住房城乡建设部负责管理,由广州市市政集团有限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,请寄送广州市市政集团有限公司(地址:广州市环市东路 338 号银政大厦,邮政编码:510060)。

本标准主编单位、参编单位、主要起草人和主要审查人:

主 编 单 位:广州市市政集团有限公司

江苏德丰建设集团有限公司

参 编 单 位:广东省交通规划设计研究院股份有限公司

中铁大桥局集团有限公司

中铁大桥勘测设计院集团有限公司

中铁一局集团有限公司

中交基础设施养护集团有限公司

上海重远建设工程有限公司

华南理工大学

中国铁建港航局集团有限公司

中铁二十五局集团有限公司

重庆建工第九建设有限公司

中国建筑技术集团有限公司

主要起草人:安关峰 梁立农 黄旺明 万田保 徐 宏
陈双全 孙 樟 李向阳 刘添俊 刘吉福
曹 洪 潘 泓 梁 豪 邓汉权 毛宗原
于海祥 谢卓雄 黄森华
主要审查人:马 焜 傅立容 王树林 顾宽海 汤劲松
杨少军 李友明 周勇军 杨永清 李 松

目 次

1	总 则	(1)
2	术语和符号	(2)
2.1	术语	(2)
2.2	符号	(3)
3	基本规定	(7)
4	设 计	(10)
4.1	一般规定	(10)
4.2	方案设计	(11)
4.3	设计计算内容	(14)
4.4	结构分析	(19)
4.5	稳定性验算	(26)
4.6	构件计算	(45)
4.7	钢板桩围堰构造设计	(49)
4.8	钢套筒围堰构造设计	(49)
4.9	钢吊箱围堰构造设计	(50)
4.10	钢管桩围堰构造设计	(51)
5	钢围堰施工及质量检验	(53)
5.1	一般规定	(53)
5.2	钢板桩围堰施工	(53)
5.3	钢套筒围堰施工	(57)
5.4	钢吊箱围堰施工	(61)
5.5	钢管桩围堰施工	(62)
5.6	质量检验	(63)
6	监 测	(72)

6.1 一般规定	(72)
6.2 监测内容与方法	(72)
6.3 数据处理与应用	(77)
6.4 监测管理	(78)
附录 A 荷载与作用	(79)
本标准用词说明	(92)
引用标准名录	(93)
附:条文说明	(95)

Contents

1	General provisions	(1)
2	Terms and symbols	(2)
2.1	Terms	(2)
2.2	Symbols	(3)
3	Basic requirements	(7)
4	The design	(10)
4.1	General requirements	(10)
4.2	Project design	(11)
4.3	The calculation content of design	(14)
4.4	Structural analysis	(19)
4.5	Check calculation of stability	(26)
4.6	Component calculation	(45)
4.7	The structural design of steel sheet pile cofferdam	(49)
4.8	The structural design of steel boxed cofferdam	(49)
4.9	The structural design of steel hanging cofferdam	(50)
4.10	The structural design of steel pipe pile cofferdam	(51)
5	The construction and quality inspection of steel cofferdam	(53)
5.1	General requirements	(53)
5.2	The construction of steel sheet pile cofferdam	(53)
5.3	The construction of steel boxed cofferdam	(57)
5.4	The construction of steel hanging cofferdam	(61)
5.5	The construction of steel pipe pile cofferdam	(62)
5.6	Quality inspection and acceptance	(63)

6	The monitoring	(72)
6.1	General requirements	(72)
6.2	The content and method for monitoring	(72)
6.3	Data processing and application	(77)
6.4	The monitoring and management	(78)
Appendix A	Load and action	(79)
	Explanation of wording in this standard	(92)
	List of quoted standards	(93)
	Addition;Explanation of provisions	(95)

1 总 则

1.0.1 为规范钢围堰工程技术,做到安全适用、经济合理、确保质量,制定本标准。

1.0.2 本标准适用于钢围堰工程的设计、施工、监测及质量验收。

1.0.3 钢围堰工程的设计、施工、监测及质量验收,除应符合本标准外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 钢围堰 steel cofferdam

在涉水工程建设中,为建造永久性构筑物而修建的挡土或挡水的临时性围护钢结构。包括钢板桩围堰、钢套筒围堰、钢吊箱围堰、钢管桩围堰和其他形式钢围堰。

2.1.2 钢板桩围堰 steel sheet pile cofferdam

使用钢板桩逐根(组)插打,钢板桩之间相互咬接,必要时内加支撑体系及封底,通过挡住外侧水土形成施工空间的钢围堰。

2.1.3 钢套筒围堰 steel boxed cofferdam

使用钢板及其加劲构件制造的无底围护结构,必要时内加支撑体系及封底,通过挡住外侧水土形成施工空间的钢围堰。可分为单壁、双壁以及单双壁组合式钢围堰。

2.1.4 钢吊箱围堰 steel hanging box cofferdam

使用钢板及其加劲构件制造、悬吊在水中的有底围护结构,必要时内加支撑体系及封底,通过挡水形成施工空间的钢围堰。可分为单壁、双壁以及单双壁组合式钢围堰。

2.1.5 钢管桩围堰 steel pipe pile cofferdam

使用钢管桩逐根插打,钢管桩之间可以相互咬接,必要时内加支撑体系及封底,通过挡住外侧水土形成施工空间的钢围堰。

2.1.6 封底 bottom sealing

对钢围堰底部浇筑符合设计厚度要求混凝土的施工作业。

2.1.7 内支撑 strut

钢围堰内用于传递和平衡钢围堰侧壁压力保持围堰侧壁稳定的构件。

2.2 符 号

2.2.1 材料性能:

- c ——土黏聚力;
- e ——围堰底土体天然孔隙比;
- E ——支撑材料的弹性模量;
- E_c ——锚杆的复合弹性模量;
- E_m ——注浆固结体的弹性模量;
- E_s ——锚杆杆体的弹性模量;
- f_t ——混凝土的抗拉强度设计值;
- f_y ——钢材的屈服强度;
- φ ——土内摩擦角。

2.2.2 作用效应及承载力:

- C ——围堰结构水平位移、围堰周边建(构)筑物和地面沉降的限值;
- C_{kd} ——作用标准值组合的位移、沉降等效效应设计值;
- E_a ——主动土压力合力;
- E_p ——被动土压力合力;
- F_{fk} ——钢套筒围堰侧壁总摩阻力标准值;
- F_h ——围堰结构计算宽度内的弹性支点水平反力;
- F_w ——水浮力标准值;
- F_{w1} ——流水压力标准值;
- F_{w1} ——静水压力合力;
- ΣF_{id} ——动水压力、风荷载、波浪力、冰压力等可变荷载合力;
- G_1 ——钢围堰自重标准值;
- G_2 ——围堰上部其他结构自重标准值;
- G_c ——封底混凝土自重;
- G_s ——围堰底土的颗粒比重;
- M_{pl} ——每米宽度最大弯矩的标准值;

- M_r ——计算底面以上堰体背后水平荷载对计算底面处产生的倾覆力矩标准值；
- $M_{RL,k}$ ——抗隆起力矩标准值；
- M_{sk} ——围堰的容许弯矩标准值；
- $M_{SL,k}$ ——隆起力矩标准值；
- M_t ——堰体内填料对围堰计算底面处产生的抵抗力矩标准值；
- P_h ——围堰结构计算宽度内的法向预加力；
- P_p ——锚杆的预加轴向拉力值或支撑的预加轴向压力值；
- P_s ——分布土抗力；
- P_{sk} ——围堰构件嵌固段上的围堰内侧土抗力标准值；
- P_{wk} ——承压水层顶部的水压力标准值；
- q ——围堰外河床或地面的附加分布荷载标准值；
- Q_1 、 Q_2 ——锚杆循环加荷或逐级加荷试验中($Q-s$)曲线上对应锚杆锁定值与轴向拉力标准值的荷载值；
- R_{ad} ——偶然组合下结构构件的承载力设计值；
- R_{kd} ——抗滑力、抗浮力、抗滑力矩、抗倾覆力矩、锚杆极限抗拔承载力等平衡作用标准值组合的效应设计值；
- R_{ud} ——基本组合下结构构件的承载力设计值；
- S_{ad} ——承载能力极限状态下作用偶然组合的效应设计值；
- S_{kd} ——滑动力、抗浮力、滑动力矩、倾覆力矩等不平衡作用标准值组合的效应设计值；
- S_{ud} ——承载能力极限状态下作用基本组合的效应设计值；
- u_a ——土条滑弧面上的水压力；
- γ ——土层的天然重度；
- γ_w ——水的重度标准值；
- σ_{kd} ——作用标准组合的正截面压应力和斜截面的主压应力限值；
- τ_1 ——桩基钢护筒与封底混凝土的粘结力；

- τ_2 ——钢围堰与封底混凝土的粘结力；
 τ_3 ——钢板桩及钢管桩与入土深度范围内土层的摩阻力。

2.2.3 几何参数：

- A_c ——注浆固结体的截面面积；
 A_n ——基底净面积，应扣除钢护筒面积；
 A_p ——锚杆杆体的截面面积；
 b_a ——围堰结构计算宽度；
 D_0 ——钢管外径；
 h ——计算工况下的围堰开挖底面至围堰顶深度；
 h_i ——封底混凝土厚度；
 h_w ——围堰内外水头差；
 l_0 ——受压支撑构件的长度；
 l_a ——锚杆长度；
 l_f ——锚杆自由段长度；
 L ——最短渗流路径流线总长度；
 R ——重心位置到围堰背水面脚趾力矩；
 R_w ——浮力合力重心到围堰背水面脚趾力矩；
 s ——锚杆或支撑的水平间距；
 S_1 ——所有桩基钢护筒与封底混凝土接触面积；
 S_2 ——钢围堰与封底混凝土接触面积；
 S_3 ——钢板桩及钢管桩围堰入土深度范围外侧接触面积之和；
 t ——围堰结构入土深度；
 t' ——围堰在最下道支撑以下部分的深度；
 t_s ——钢管壁厚；
 v ——围堰构件在分布土抗力计算点使土体压缩的水平位移值；
 v_b ——挡土构件在围堰底处的水平位移值；
 v_R ——围堰构件在支点处的水平位移值；

V_c ——基底净体积,应扣除钢护筒部分;

z ——计算点距围堰顶的深度;

α ——锚杆倾角或支撑仰角。

2.2.4 计算系数及其他:

f ——围堰底与土的摩擦系数;

i ——围堰底土的渗流水力坡度;

$i_{cr,i}$ ——围堰底土体的流土临界坡度;

k_R ——围堰结构计算宽度内弹性支点刚度系数;

k_s ——土的水平反力系数;

K ——安全系数;

K_{s0} ——钢套筒围堰下沉系数;

K_i ——第 i 个圆弧滑动体的抗滑力矩与滑动力矩的比值;

m ——锚杆道数;

m_z ——土的水平反力系数的比例系数;

n ——划分土条的个数;

N_q, N_c ——地基土的承载力系数;

α_R ——支撑松弛系数;

λ ——支撑不动点调整系数;

γ_0 ——围堰结构重要性系数;

ψ_v ——计算系数。

3 基本规定

3.0.1 钢围堰应根据现行国家标准《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153 规定的设计原则,采用以概率理论为基础的极限状态设计方法,按分项系数的设计表达式进行设计。

3.0.2 钢围堰工程实施前应研究主体工程的设计和地形地质及水文勘察资料,并进行必要的补充勘察和现场调查及相关资料的收集。

3.0.3 钢围堰应满足下列功能要求:

1 保证围堰周边建(构)筑物、地下管线、道路、堤岸的安全和正常使用;

2 保证围堰内主体结构的施工方便与安全。

3.0.4 钢围堰工程应根据主体工程实际情况进行专项设计,并根据主体结构的施工工期规定其设计使用年限。

3.0.5 钢围堰结构安全等级划分应符合表 3.0.5-1~表 3.0.5-3 的规定。

表 3.0.5-1 钢板桩、钢管桩围堰安全等级划分

围堰安全等级	主体工程安全等级	平面尺寸 $A(\text{m}^2)$	围堰高度 $H(\text{m})$	围堰水深 $h_w(\text{m})$	围堰深度范围 砂层、淤泥层 厚度 $h_s(\text{m})$	使用年限 (a)	失事后果
一级	一级	$A \geq 500$	$H \geq 10$	$h_w \geq 8$	$h_s \geq 5$	> 2	特别严重
二级	一级或二级	$100 \leq A < 500$	$5 \leq H < 10$	$4 \leq h_w < 8$	$3 \leq h_s < 5$	1~2	严重
三级	三级	$A < 100$	$H < 5$	$h_w < 4$	$h_s < 3$	< 1	一般

表 3.0.5-2 钢套箱围堰安全等级划分

围堰安全等级	主体工程安全等级	平面尺寸 $A(m^2)$	围堰高度 $H(m)$	围堰水深 $h_w(m)$	刃脚以上覆盖层厚度 $h_s(m)$	使用年限 (a)	失事后果
一级	一级	$A \geq 500$	$H \geq 20$	$h_w \geq 15$	$h_s < 3$	> 2	特别严重
二级	一级或二级	$100 \leq A < 500$	$10 \leq H < 20$	$8 \leq h_w < 15$	$3 \leq h_s < 6$	1~2	严重
三级	三级	$A < 100$	$H < 10$	$h_w < 8$	$h_s > 6$	< 1	一般

表 3.0.5-3 钢吊箱围堰安全等级划分

围堰安全等级	主体工程安全等级	平面尺寸 $A(m^2)$	吊箱高度 $H(m)$	浪高 $h_w(m)$	使用期水位差 $\Delta H(m)$	使用年限 (a)	失事后果
一级	一级	$A \geq 500$	$H \geq 12$	$h_w \geq 3$	$\Delta H \geq 5$	> 2	特别严重
二级	一级或二级	$100 \leq A < 500$	$8 \leq H < 12$	$1 \leq h_w < 3$	$3 \leq \Delta H < 5$	1~2	严重
三级	三级	$A < 100$	$H < 8$	$h_w < 1$	$\Delta H < 3$	< 1	一般

注：1 钢围堰结构安全等级按主体工程安全等级、围堰规模、水文地质条件、使用年限及失事后果等所确定等级中的最高级别定级；

2 当二级、三级围堰有特殊要求而采用新型结构时，其结构设计级别可提高一级。

3.0.6 钢围堰设计时，水位、风、波浪重现期及设计波高累积频率应符合表 3.0.6 的规定。

表 3.0.6 钢围堰风、波浪及水位重现期

水位重现期(a)	风重现期(a)	波浪重现期(a)	设计波高累积频率标准 $F(\%)$
20	20	20	5

注：水位、风、波浪重现期、设计波高累积频率可结合实际工程重要性、施工工期长短、施工具体季节、气象复杂程度、失事后果严重性进行专题论证后确定。

3.0.7 钢围堰原材料、构件、半成品和成品的质量应符合国家现

行有关标准的规定,并应满足设计要求。

3.0.8 钢围堰宜采用 B 级以上钢材,封底混凝土强度等级不宜低于 C25。

3.0.9 钢围堰施工时应建立健全质量管理体系,制订各项施工管理制度。

3.0.10 钢围堰施工及使用期间应进行监测。

3.0.11 钢围堰工程应根据设计文件及主体工程的施工组织设计编制专项施工方案,并应经审批后方可实施。

3.0.12 对气象、水文、航运等建设条件复杂的大型、深水钢围堰工程的设计方案和施工方案应通过专家论证,必要时应采用模型试验验证。

4 设计

4.1 一般规定

- 4.1.1 钢围堰设计应包括方案设计、结构与构造设计。
- 4.1.2 钢围堰结构应进行承载能力极限状态和正常使用极限状态两类极限状态设计。
- 4.1.3 计算作用在围堰结构上的土压力时,应根据围堰结构与土体的位移情况和采取的施工措施等因素确定土压力计算模式,分别按静止土压力、主动土压力、被动土压力及与围堰侧向变形条件相应的土压力计算;计算水压力时,宜根据地下水的渗流条件和水文条件合理确定地下水位。
- 4.1.4 钢围堰在高度方向上宜采用等强度概念分节设计。
- 4.1.5 钢围堰应根据其施工和使用的长短、环境腐蚀类型等因素进行防腐设计。
- 4.1.6 在季节性冻土地区,围堰结构设计应根据冻胀、冻融对围堰结构受力和围堰侧壁的影响采取相应的措施。
- 4.1.7 钢围堰设计的抽水水位和速率应综合施工进度安排、结构的安全性及经济性等因素经计算确定。
- 4.1.8 土压力及水压力计算、土的各类稳定性验算时,土压力和水压力的分算、合算方法及相应的土的抗剪强度指标选取应符合下列规定:

1 对地下水位以上的黏性土、黏质粉土,土的抗剪强度指标应采用三轴固结不排水抗剪强度指标 c_{cu} 、 φ_{cu} 或直剪固结快剪强度指标 c_{cq} 、 φ_{cq} ;对地下水位以上的砂质粉土、砂土、碎石土,土的抗剪强度指标应采用有效应力强度指标 c' 、 φ' ;

2 对地下水位以下的黏性土、黏质粉土,可采用土压力、水压

力合算方法；此时，对正常固结和超固结土，土的抗剪强度指标应采用三轴固结不排水抗剪强度指标 c_{cu} 、 φ_{cu} 或直剪固结快剪强度指标 c_{cq} 、 φ_{cq} ，对欠固结土，宜采用有效自重压力下预固结的三轴不固结不排水抗剪强度指标 c_{uu} 、 φ_{uu} ；淤泥、淤泥质土等饱和软黏土宜采用三轴不固结不排水抗剪强度指标 c_{uu} 、 φ_{uu} ；

3 对地下水位以下的砂质粉土、砂土和碎石土，应采用土压力、水压力分算方法；此时，土的抗剪强度指标应采用有效应力强度指标 c' 、 φ' ，当砂质粉土，缺少有效应力强度指标时，也可采用三轴固结不排水抗剪强度指标 c_{cu} 、 φ_{cu} 或直剪固结快剪强度指标 c_{cq} 、 φ_{cq} 代替，对砂土和碎石土，有效应力强度指标 φ' 可根据标准贯入试验实测击数和水下休止角等物理力学指标取值；土压力、水压力采用分算方法时，水压力可按静水压力计算；当地下水渗流时，宜按渗流理论计算水压力和土的竖向有效应力；当存在多个含水层时，应分别计算各含水层的水压力；

4 当有可靠的地方经验时，土的抗剪强度指标可根据室内、原位试验得到的其他物理力学指标，按经验方法确定。

4.1.9 双排钢板桩内部填料应进行压实，压实后填料的内摩擦角宜通过试验确定，在没有试验数据时，可按现行行业标准《重力式码头设计与施工规范》JTS 167—2 的规定取值。

4.1.10 当需进行地下水控制时，应根据场地工程地质和水文地质条件、围堰周边环境要求及支护结构形式选用截水、降水、集水明排方法或其组合。地下水控制设计应满足围堰周边建（构）筑物、地下管线、道路等沉降控制值的要求。地下水控制设计和施工可按现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 的规定执行。

4.2 方案设计

4.2.1 钢围堰方案设计应与其制造、运输、施工和拆除等工序结

合,应明确加工方案、运输方案、施工方案和拆除方案。

4.2.2 钢围堰设计应满足主体结构要求,并应符合下列规定:

1 围堰侧壁与主体结构的净空间和地下水控制应满足主体结构及其防水的施工要求;

2 当采用锚杆时,锚杆的锚头及腰梁不应妨碍主体结构施工;

3 当采用内支撑时,内支撑及腰梁的设置应便于主体结构及其防水的施工,上下道支撑宜设置剪刀撑。

4.2.3 钢围堰设计应规定围堰结构各构件施工顺序及其相应的围堰开挖深度。

4.2.4 钢围堰设计文件应包括计算书、工程数量表、设计说明、总平面布置图、单个围堰平面图、纵剖面图、横剖面图、构件大样图、监测点布置图、地质剖面图、围堰安装施工流程图及相关配套施工图纸。

4.2.5 钢围堰顶部设计高程比设计最高水位应高出 0.5m~1.0m,海域施工的围堰顶部高程尚应计入相应等级波浪重现期最大波浪高度一半的影响。

4.2.6 钢围堰设计选型应包括下列因素:

1 主体结构形式及其施工方法;

2 工程场地的地质、水深、水位及水流速度、冬季冻融及冰凌的影响、河床在施工过程中冲刷深度的影响,海域尚应计入潮汐、波浪的影响;

3 河床覆盖层厚度、承载能力、透水性和土体侧摩阻力等;

4 围堰结构施工工艺的可行性和经济性;

5 施工场地条件、施工设备、施工季节、施工工期及进度安排;

6 通航要求、环保要求、施工风险、结构的安全性及经济性等因素。

4.2.7 钢围堰设计时可按表 4.2.7 中的适用条件进行选型。

表 4.2.7 各类钢围堰的适用条件

项目	钢板桩围堰	钢套箱围堰	钢吊箱围堰	钢管桩围堰
覆盖层	覆盖层较厚的浅水水域	覆盖层较薄或地基承载力较高,基础底标高位于河床内或略高于河床	河床存在较厚的软弱土层,或基础底面距离河床面较高	河床覆盖层含有大量漂、砾石或存在水下障碍物,其他类型钢围堰下沉困难;并适用于河床为砂类土、黏性土、碎(卵)石类土和风化岩等水中深基坑开挖防护施工
水流条件	流速较小,小于 2m/s	可适用于较大流速,大于 2m/s	可适用于较大流速,大于 2m/s	流速较小,小于 2m/s
水深	水深宜控制在 10m 以内	水深宜控制在 40m 以内,深水低桩承台均可采用	适用于水深较大的高桩承台或构筑物	水深宜控制在 15m 以内
钢材用量	较少	相比钢板桩围堰,用钢量要大	相比钢板桩围堰,用钢量要大	用钢量介于钢板桩围堰与钢套箱、钢吊箱围堰之间
适用的构筑物	低桩承台,围堰外形可根据基础外形而相应采用矩形、圆形、圆端形,并根据水位或基坑深度及地质情况设置内部支撑或锚杆	水中低桩承台,围堰外形可根据水流速度、基础平面形状、水深情况选择圆形、矩形、圆端形;根据围堰下沉深度、下沉难易程度、荷载情况选择单壁、双壁或单双壁组合式	深水高桩承台,围堰外形可根据水流速度、基础平面形状选择圆形、矩形、圆端形;单壁、双壁结构的选择应根据水压差及支撑情况确定	低桩承台,围堰外形可根据基础外形而相应采用矩形、圆形、圆端形,并根据水位或基坑深度及地质情况设置内部支撑或锚杆
制造难度	制作简单,难度较小	制作复杂,难度相对较大	制作复杂,难度相对较大	制作难度介于钢板桩围堰和钢套箱、钢吊箱围堰之间

4.2.8 对特殊情况,根据实际工程要求,可采用组合钢围堰,包括单双壁竖向组合钢围堰、钢板桩与钢套筒平面组合围堰、钢板桩与钢管桩平面组合围堰、钢管桩与钢套筒平面组合围堰等形式。

4.3 设计计算内容

4.3.1 钢围堰结构应按下列两种设计状况进行极限状态设计:

1 短暂状况应做承载能力极限状态设计和正常使用极限状态设计;

2 偶然状况应做承载能力极限状态设计。

4.3.2 承载能力极限状态设计时应按下列情况计算分析:

1 钢围堰结构构件或连接因超过材料强度而破坏,或因过度变形而不适于继续承受荷载,或出现压屈、局部失稳;

2 钢围堰结构和土体发生整体倾覆或滑动;

3 钢围堰底因隆起而丧失稳定;

4 钢围堰底土体持力层因丧失承载能力而破坏;

5 锚杆因土体丧失锚固能力而拔动;

6 地下水渗流引起的土体渗透破坏;

7 钢围堰抗浮或抗沉失效;

8 钢围堰浮运时失稳下沉。

4.3.3 正常使用极限状态设计时应按下列情况计算分析:

1 钢围堰结构变形过大影响主体结构正常施工的或造成周边建(构)筑物、地下管线、道路等不能正常使用的;

2 因地下水位下降、地下水渗流或施工因素而造成的土体变形引起周边建(构)筑物、地下管线、道路等不能正常使用的;

3 影响主体结构正常施工的地下水渗流或钢围堰渗(漏)水。

4.3.4 作用分类及组合应符合下列规定:

1 作用在钢围堰上的重力及其冲击力、土压力、风力、静水压力、动水压力、波浪力及施工荷载等,应按不同工况进行组合,并按按其最不利组合,结合实际工况进行结构计算。各种作用应按本

标准附录 A 取值。

2 钢围堰结构设计采用的作用应分为永久作用、可变作用、偶然作用三类,其分类应符合表 4.3.4-1 的规定。

表 4.3.4-1 作用分类

作用分类	作用名称
永久作用	结构重力
	附属设备和附属结构重力
	土压力
	静水压力
	浮力
	预加力
可变作用	流水压力
	冲击力
	风荷载
	温度作用
	冰压力
	波浪力
	靠船力
	施工临时荷载
偶然作用	船舶或漂流物撞击力

注:设计中计入的其他作用可根据其性质按本表进行分类。

3 钢围堰结构应按作用分类就其出现的最不利组合进行计算。

4 结构设计应计算结构上可能同时出现的作用,按承载能力极限状态、正常使用极限状态进行作用组合,并按下列原则取其最不利组合效应进行设计:

1)当只在结构上可能同时出现的作用时,宜进行组合。当

结构需做不同受力方向的验算时,则应采用不同方向的最不利的作用组合效应进行计算。

- 2) 当可变作用的出现对结构或结构构件产生有利影响时,该作用不应参与组合。实际不可能同时出现的作用或同时参与组合概率很小的作用,宜按表 4.3.4-2 的规定不计入其参与组合。

表 4.3.4-2 可变作用不同时组合

作用名称	不与该作用同时参与组合的作用
冰压力	流水压力、波浪力、船靠力
船靠力	冰压力

4.3.5 当钢围堰结构按承载能力极限状态设计时,对短暂设计状况应采用作用的基本组合,对偶然设计状况应采用作用的偶然组合,并应符合下列规定:

1 基本组合下,钢围堰结构构件或连接因超过材料强度或过度变形的承载能力极限状态设计,应满足下列公式要求:

$$S_{ud} \leq R_{ud} \quad (4.3.5-1)$$

$$S_{ud} = \gamma_0 S \left(\sum_{i=1}^m \gamma_{Gi} G_{ik}, \gamma_{Q1} \gamma_L Q_{1k}, \psi_c \sum_{j=2}^n \gamma_{Lj} \gamma_{Qj} Q_{jk} \right) \quad (4.3.5-2)$$

$$S_{ud} = \gamma_0 S \left(\sum_{i=1}^m G_{id}, Q_{1d}, \sum_{j=2}^n Q_{jd} \right) \quad (4.3.5-3)$$

$$R_{ud} = R_u(f_d, a_d) \quad (4.3.5-4)$$

式中: S_{ud} ——承载能力极限状态下作用基本组合的效应设计值,采用永久作用设计值与可变作用设计值相组合;

γ_0 ——钢围堰结构重要性系数,对安全等级为一级、二级、三级的围堰结构,其结构重要性系数分别不应小于 1.1、1.0、0.9;

$S(\cdot)$ ——作用组合的效应函数;

γ_{Gi} ——第 i 个永久作用的分项系数;

G_{ik} 、 G_{id} ——第 i 个永久作用的标准值和设计值;

- γ_{Q1} 、 γ_{Qj} ——分别为最大的 1 个和第 j 个可变作用分项系数；
 Q_{1k} 、 Q_{1d} ——最大的可变作用标准值和设计值；
 Q_{jk} 、 Q_{jd} ——作用组合中除最大的可变作用外的其他第 j 个可变作用的标准值和设计值；
 ψ_c ——在作用组合中除最大的可变作用外的其他可变作用的组合值系数；
 γ_{Lj} ——第 j 个可变作用的结构设计使用年限荷载调整系数；
 R_{ud} ——基本组合下结构构件的承载力设计值；
 $R_u(\cdot)$ ——基本组合下构件承载力函数；
 f_d ——材料强度设计值；
 α_d ——几何参数设计值，当无可靠数据时，可采用几何参数标准值。

2 偶然组合下，钢围堰结构构件或连接因超过材料强度或过度变形的承载能力极限状态设计，应满足下列公式要求：

$$S_{ad} \leq R_{ad} \quad (4.3.5-5)$$

$$S_{ad} = S \left(\sum_{i=1}^m G_{ik}, A_d, (\psi_{f1} \text{ 或 } \psi_{q1}) Q_{1k}, \sum_{j=2}^n \psi_{qj} Q_{jk} \right) \quad (4.3.5-6)$$

$$R_{ad} = R_a(\gamma_f, \gamma_a, f_k, \alpha_k) \quad (4.3.5-7)$$

式中： S_{ad} ——承载能力极限状态下作用偶然组合的效应设计值， S_{ad} 为永久作用标准值与可变作用某种代表值及一种偶然作用设计值相组合；与偶然作用同时出现的可变作用可根据观测资料和工程经验取用频遇值或准永久值；

A_d ——偶然作用的设计值；

ψ_{f1} ——最大的可变作用频遇值系数；

$\psi_{f1} Q_{1k}$ ——最大的可变作用频遇值；

ψ_{q1} 、 ψ_{qj} ——最大的和第 j 个可变作用的准永久值系数；

$\psi_{q1} Q_{1k}$ 、 $\psi_{qj} Q_{jk}$ ——最大的和第 j 个可变作用的准永久值；

R_{ad} ——偶然组合下结构构件的承载力设计值；

$R_a(\cdot)$ ——偶然组合下构件承载力函数；

γ_f ——结构材料、岩土性能的分项系数；

γ_a ——结构或构件几何参数的分项系数；

f_k ——材料强度标准值；

a_k ——几何参数标准值。

3 作用标准值组合下，钢围堰整体滑动、钢围堰底隆起失稳、钢围堰构件嵌固段推移、锚杆拔动、钢围堰结构倾覆与滑移、钢围堰抗浮或抗沉失效、土体渗透破坏等稳定性计算和验算，应满足下式要求：

$$\frac{R_{kd}}{S_{kd}} \geq K \quad (4.3.5-8)$$

式中： R_{kd} ——抗滑力、抗浮力、抗滑力矩、抗倾覆力矩、锚杆极限抗拔承载力等平衡作用标准值组合的效应设计值；

S_{kd} ——滑动力、浮力、滑动力矩、倾覆力矩等不平衡作用标准值组合的效应设计值；

K ——安全系数。

4.3.6 正常使用极限状态计算应符合下列规定：

1 当钢围堰结构按正常使用极限状态设计时，应根据不同的设计要求，采用作用的频遇组合、准永久组合或标准组合，对构件的抗裂应力、裂缝宽度、挠度、位移、沉降进行验算，使各项计算值不应超过国家现行相关标准的相应限值；

2 作用标准组合下，钢围堰结构水平位移、钢围堰周边建(构)筑物和地面沉降等应满足下式要求：

$$C_{kd} \leq C \quad (4.3.6)$$

式中： C_{kd} ——作用标准值组合的位移、沉降等效应设计值；

C ——钢围堰结构水平位移、钢围堰周边建(构)筑物和地面沉降的限值。

4.3.7 短暂状况构件应力计算应符合下列规定：

1 标准组合下,钢围堰结构中的构件尚应按下列公式进行短暂状况的应力计算:

$$S_{kd} \leq \sigma_{kd} \quad (4.3.7-1)$$

$$S_{kd} = S \left(\sum_{i=1}^m G_{ik}, \sum_{j=1}^n Q_{jk} \right) \quad (4.3.7-2)$$

式中: S_{kd} ——作用标准组合的效应设计值,各种作用采用标准值时,不计入荷载组合系数;

σ_{kd} ——作用标准组合的正截面压应力和斜截面的主压应力限值。

2 抗疲劳计算应分析有无疲劳荷载并采用实际的疲劳应力幅,其结果应符合国家现行相关标准规定。

4.4 结构分析

4.4.1 结构分析应符合下列规定:

1 应根据钢围堰的具体施工工艺进行制造、运输、施工、使用和拆除等各个施工阶段的结构分析计算,确保结构安全;

2 结构分析中采用的基本假定、模型和边界条件、参数的选择,应能反映结构施工过程和使用中的实际受力状态,其精度应能满足结构设计要求;必要时,应采用三维空间结构模型进行分析计算;

3 钢围堰结构受力分析可按线弹性理论进行,当结构的变形不能被忽略时,应计入各类非线性对结构受力的影响;

4 当钢围堰结构按平面结构分析时,应按围堰各部位的开挖深度、周边环境条件、地质条件等因素划分设计计算剖面;对每一计算剖面,应按其最不利条件进行计算;

5 钢围堰结构设计时,应根据工程经验分析判断计算参数取值和计算分析结果的合理性。

4.4.2 钢围堰结构应对其吊装、运输、安装、使用、拆除等全寿命过程进行下列等工况结构分析,并按下列工况中最不利作用效应进行围堰结构设计:

- 1 围堰开挖至围堰底时的工况；
- 2 围堰封底工况；
- 3 围堰封底后抽水完成工况；
- 4 对支撑式和锚拉式围堰结构，围堰开挖至各支撑或各层锚杆施工面时的工况；
- 5 在主体结构施工过程中的换（拆）撑工况；
- 6 对水平内支撑式围堰结构，围堰各边水平荷载及边界条件不对称的各种工况；
- 7 对双排及格型钢板桩围堰的填土或注水拆除工况；
- 8 对双壁钢围堰浮运、吊装、接高、下沉等工况。

4.4.3 钢围堰分析计算时，其断面的受力分析计算图式可按周边每单位长度钢围堰受力为单元，可不计入相邻单元之间的作用力，并根据结构的具体形式与受力、变形特性等按本标准第 4.4.2 条中各种不利工况采用下列方法分析：

1 支撑式围堰结构，可将整个结构分解为围堰结构、内支撑结构分别进行分析；围堰结构宜采用平面杆系结构弹性支点法进行分析；内支撑结构可按平面结构进行分析，围堰结构传至内支撑的荷载应取围堰结构分析时得出的支点力；对围堰结构和内支撑结构分别进行分析时，应计算其相互之间的变形协调；

2 锚拉式围堰结构，可将整个结构分解为围堰结构、锚拉结构（锚杆及腰梁、冠梁）分别进行分析；围堰结构宜采用平面杆系结构弹性支点法进行分析；作用在锚拉结构上的荷载应取围堰结构分析时得出的支点力；

3 悬臂式围堰结构宜采用平面杆系结构弹性支点法进行分析；

4 当有可靠经验或受力及边界条件复杂时，或对围堰精确分析计算时，应采用空间结构分析方法进行围堰结构整体分析或采用结构与土相互作用的分析方法对围堰结构和土体进行整体分析。

4.4.4 内支撑结构分析应符合下列规定：

1 水平对撑和水平斜撑应按偏心受压构件进行计算；支撑的轴向压力应取支撑间距内挡土构件的支点力之和；腰梁或冠梁应按以支撑支座的多跨连续梁计算，计算跨度可取相邻支撑点的中心距；当拼接点按铰接计算时，钢梁（腰梁或冠梁）受压计算长度宜取相邻支撑点中心距的 1.5 倍，现浇混凝土腰梁或冠梁的支座弯矩可乘以 0.8~0.9 折减调幅系数，跨中弯矩应相应增加；

2 矩形支护结构的正交平面杆系支撑可分解为纵横两个方向的结构单元，并应分别按偏心受压构件进行计算；

3 平面杆系支撑、环形杆系支撑可按平面杆系结构采用平面有限元法进行计算；在建立的计算模型中，约束支座的设置应与支护结构实际位移状态相符，内支撑结构边界向支护结构外位移处应设置弹性约束支座，向支护结构内位移处不应设置支座，与边界平行方向应根据支护结构实际位移状态设置支座；

4 内支撑结构应进行竖向荷载作用下的结构分析；当设有立柱时，在竖向荷载作用下内支撑结构宜按空间框架计算，当作用在内支撑结构上的竖向荷载较小时，内支撑结构的水平构件可按连续梁计算，计算跨度可取相邻立柱的中心距；

5 竖向斜撑应按偏心受压杆件进行计算；

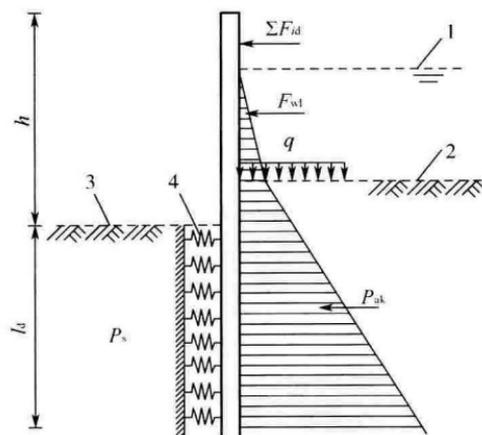
6 立柱截面的弯矩应包括竖向荷载对立柱截面形心的偏心弯矩；对单向布置的平面支撑体系，尚应包括支撑轴向力的 1/50 的横向力对立柱产生的弯矩；土方开挖时，应计入作用于立柱的侧向土压力引起的弯矩；

7 当有可靠经验时，宜采用三维结构分析方法对支撑、腰梁与冠梁、挡土构件进行整体分析。

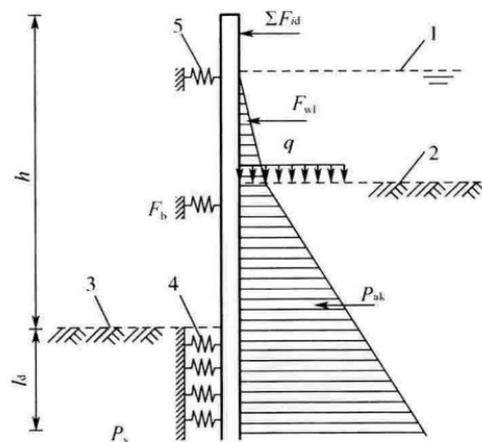
4.4.5 当采用平面杆系结构弹性支点法时（图 4.4.5），应符合下列规定：

1 主动土压力、水压力、风荷载、波浪力等可按本标准附录 A 的规定确定；

- 2 土抗力应依据分布土抗力做积分计算确定；
- 3 内支撑和锚杆对围堰结构的约束作用应按弹性支座计算。



(a)悬臂式围堰结构



(b)支撑式围堰结构或锚杆式围堰结构

图 4.4.5 弹性支点法计算

1—计算水位；2—河床或地面；3—围堰底；

4—计算土反力的弹性支座；5—由锚杆或支撑简化而成的弹性支座

4.4.6 作用在挡土构件上的分布土抗力应符合下列规定：

1 分布土抗力可按下列公式计算：

$$P_s = k_s v + P_{s0} \quad (4.4.6-1)$$

2 围堰构件嵌固段上的内侧土抗力应满足下列公式要求，当不满足时，应增加围堰构件的嵌固深度或取 $P_{sk} = E_{pk}$ 时的分布土压力：

$$P_{sk} \leq E_{pk} \quad (4.4.6-2)$$

式中： P_s ——分布土抗力(kPa)；

k_s ——土的水平反力系数(kN/m^3)，应按本标准第4.4.7条的规定取值；

v ——围堰构件在分布土抗力计算点使土体压缩的水平位移值(m)；

P_{s0} ——初始分布土抗力(kPa)，可按本标准附录A中公式(A.1.3-1)或公式(A.1.3-5)计算，应将式中 P_{ak} 用 P_{s0} 代替、 σ_{ak} 用 σ_{pk} 代替、 u_a 用 u_p 代替，且不计 $2c\sqrt{K_a}$ 项；

P_{sk} ——围堰构件嵌固段上的围堰内侧土抗力标准值(kN)，按公式(4.4.6-1)在嵌固段做积分计算；

E_{pk} ——围堰嵌固段上的被动土压力标准值(kN)，按本标准附录A中公式(A.1.3-3)或公式(A.1.3-6)在嵌固段做积分计算。

4.4.7 围堰内侧土的水平反力系数可按下列公式计算：

$$k_s = m_z (z - h) \quad (4.4.7-1)$$

$$m_z = \frac{0.2\varphi^2 - \varphi + c}{v_b} \quad (4.4.7-2)$$

式中： m_z ——土的水平反力系数的比例系数(kN/m^4)，宜按桩的水平荷载试验及地区经验取值；缺少试验和经验时，可按式(4.4.7-2)计算；

z ——计算点距围堰顶的深度(m)；

h ——计算工况下的围堰开挖底面至围堰顶深度(m)；

c, φ ——土的黏聚力(kPa)、内摩擦角($^\circ$)；

v_b ——挡土构件在围堰底处的水平位移值(mm),当此处的水平位移不大于10mm时,可取 $v_b=10\text{mm}$ 。

4.4.8 当进行内支撑结构分析时,应符合下列规定:

1 支撑的轴向压力应采用由挡水、土构件传至内支撑结构的水平荷载;

2 当内支撑作为施工平台时,内支撑结构自重尚应计入施工荷载;

3 当温度改变引起的内支撑结构内力不可忽略不计时,应计入温度应力;

4 当内支撑立柱下沉或隆起量较大时,应计入内支撑立柱与挡土构件之间的差异沉降产生的作用。

4.4.9 内支撑和锚杆对围堰结构的作用力应按下列公式确定:

$$F_h = k_R(v_R - v_{R0}) + P_h \quad (4.4.9-1)$$

当采用锚杆或竖向斜撑时:

$$P_h = P_p \cos \alpha b_a / s \quad (4.4.9-2)$$

当采用水平对撑时:

$$P_h = P_p b_a / s \quad (4.4.9-3)$$

当采用不预加轴向压力的支撑时:

$$P_h = 0 \quad (4.4.9-4)$$

当采用锚杆时:

$$P_p = 0.75 N_k \sim 0.9 N_k \quad (4.4.9-5)$$

当采用支撑时:

$$P_p = 0.5 N_k \sim 0.8 N_k \quad (4.4.9-6)$$

式中: F_h ——围堰结构计算宽度内的弹性支点水平反力(kN);

k_R ——围堰结构计算宽度内弹性支点刚度系数(kN/m);

v_R ——围堰构件在支点处的水平位移值(m);

v_{R0} ——设置锚杆或支撑时,支点的初始水平位移值(m);

P_h ——围堰结构计算宽度内的法向预加力(kN);

P_p ——锚杆的预加轴向拉力值或支撑的预加轴向压力值(kN);

α ——锚杆倾角或支撑仰角($^{\circ}$);

b_a ——围堰结构计算宽度(m),取单位宽度;

s ——锚杆或支撑的水平间距(m);

N_k ——锚杆轴向拉力标准值或支撑轴向压力标准值(kN)。

4.4.10 支撑式围堰结构的弹性支点刚度系数宜通过对内支撑结构整体进行线弹性结构分析得出的支点力与水平位移的关系确定。对水平对撑,当支撑腰梁或冠梁的挠度可忽略不计时,计算宽度内弹性支点刚度系数可按下列公式计算:

$$k_R = \frac{\alpha_R E A b_a}{\lambda l_0 s} \quad (4.4.10)$$

式中: λ ——支撑不动点调整系数:支撑两对边围堰的土性、深度、周边荷载等条件相近,且分层对称开挖时,取 $\lambda=0.5$;支撑两对边围堰的土性、深度、周边荷载等条件或开挖时间有差异时,对土压力较大或先开挖的一侧,取 $\lambda=0.5\sim 1.0$,且差异大时取大值,反之取小值;对土压力较小或后开挖的一侧,取 $(1-\lambda)$;当围堰一侧取 $\lambda=1$ 时,围堰另一侧应按固定支座计算;对竖向斜撑构件,取 $\lambda=1$;

α_R ——支撑松弛系数,对混凝土支撑和预加轴向压力的钢支撑,取 $\alpha_R=1.0$,对不预加轴向压力的钢支撑,取 $\alpha_R=0.8\sim 1.0$;

E ——支撑材料的弹性模量(kPa);

A ——支撑截面面积(m^2);

l_0 ——受压支撑构件的长度(m);

s ——支撑水平间距(m)。

4.4.11 锚拉式围堰结构的弹性支点刚度系数应符合下列规定:

1 弹性支点刚度系数宜通过基本试验数据按下式计算:

$$k_R = \frac{(Q_2 - Q_1) b_a}{(s_2 - s_1) s} \quad (4.4.11-1)$$

式中: Q_1 、 Q_2 ——锚杆循环加荷或逐级加荷试验中($Q-s$)曲线上对

应锚杆锁定值与轴向拉力标准值的荷载值(kN);对锁定前进行预张拉的锚杆,取循环加荷试验中在相当于预张拉荷载的加载量下卸载后的再加载曲线上的荷载值;

s_1 、 s_2 ——(Q-s)曲线上对应于荷载为 Q_1 、 Q_2 的锚头位移值(m);

s ——锚杆水平间距(m)。

2 当缺少试验数据时,弹性支点刚度系数可按下列公式计算:

$$k_R = \frac{3E_s E_c A_p A_c b_a}{[3E_c A_c l_f + E_s A_p (l_a - l_f)]s} \quad (4.4.11-2)$$

$$E_c = \frac{E_s A_p + E_m (A_c - A_p)}{A_c} \quad (4.4.11-3)$$

式中: E_s ——锚杆杆体的弹性模量(kPa);

E_c ——锚杆的复合弹性模量(kPa);

A_p ——锚杆杆体的截面面积(m^2);

A_c ——注浆固结体的截面面积(m^2);

l_f ——锚杆的自由段长度(m);

l_a ——锚杆长度(m);

E_m ——注浆固结体的弹性模量(kPa)。

3 当锚杆腰梁或冠梁的挠度不可忽略不计时,应计入梁的挠度对弹性支点刚度系数的影响。

4.4.12 结构分析时,按荷载标准组合计算的变形值不应大于按本标准第4.3.6条确定的变形控制值。

4.5 稳定性验算

4.5.1 钢板桩、钢套筒、钢管桩等钢围堰稳定性验算应包括整体稳定、抗倾覆、抗隆起、抗滑移、抗流土、抗管涌、抗突涌、抗下沉、抗上浮等稳定性验算。

4.5.2 钢套筒、钢板桩、钢管桩等悬臂式及锚拉式钢围堰的整体

- q_j ——第 j 条土条上的附加分布荷载标准值(kPa),当水位高于地面时应计入地面以上部分水压力;
- u_a ——第 j 条土条滑弧面上的水压力(kPa),当可不计入渗流作用时,对地下水位以下的砂土、碎石土、砂质粉土,围堰外可取 $u_a = \gamma_w h_w$;滑弧面在地下水位以上或对地下水位以下的黏性土,取 $u_a = 0$;
- W_j ——第 j 条土条的自重标准值(kN),按天然重度计算;
- θ_j ——第 j 条滑弧中点的法线与垂直面的夹角($^\circ$);
- c_j 、 φ_j ——第 i 条土条滑动面上土的黏聚力(kPa)、内摩擦角($^\circ$);对多层土,不同土层分别取值;
- m ——锚杆道数;
- θ_k ——滑弧面在第 k 层锚杆处的法线与垂直面的夹角($^\circ$);
- α_k ——第 k 层锚杆的倾角($^\circ$);
- P_k ——第 k 层锚杆在滑动面以外的锚固段的极限抗拔承载力标准值与锚杆杆体受拉承载力标准值($f_{ptk} A_p$)的较小值(kN);
- $s_{r,k}$ ——第 k 层锚杆的水平间距(m);
- ψ_v ——计算系数;
- φ_c ——第 k 层锚杆与滑弧交点处土内摩擦角($^\circ$);
- f_{ptk} ——预应力钢筋抗拉强度标准值(kPa),当锚杆杆体采用普通钢筋时,取普通钢筋的抗拉强度标准值;
- M_p ——水压力、波浪力、风力等标准值引起的滑动力矩(kN·m);
- R_i ——第 i 个滑动圆弧半径(m)。

2 当挡土构件底端以下存在软弱下卧层时,整体稳定性验算滑动面中应包括由圆弧与软弱土层层面组成的复合滑动面。

4.5.3 钢套箱围堰应进行整体及局部抗倾覆验算,钢板桩、钢管桩围堰应进行局部抗倾覆验算,并应符合下列规定:

1 钢套箱围堰整体抗倾覆应以背水面脚趾为中心(图 4.5.3-1)按下式计算:

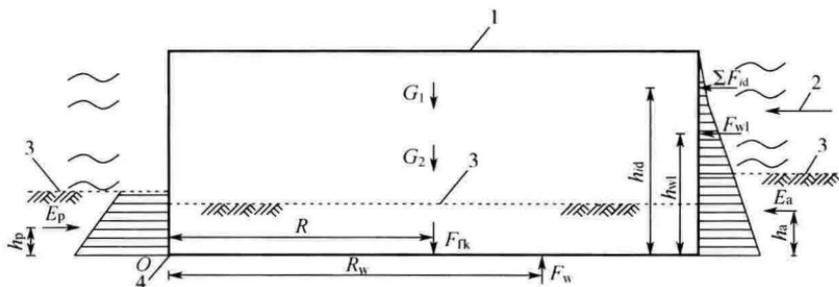


图 4.5.3-1 钢套箱围堰整体抗倾覆稳定性验算图
1—钢套箱围堰；2—水流方向；3—河床或地面；4—围堰脚趾

$$\frac{(G_1 + G_2 + F_{fk})R - F_w R_w + E_p h_p}{E_a h_a + F_{wl} h_{wl} + \sum F_{id} h_{id}} \geq K \quad (4.5.3-1)$$

式中： K ——抗倾覆稳定系数，取 1.5；

G_1 ——钢围堰自重标准值(kN)；

G_2 ——围堰上部其他结构自重标准值(kN)，包括围堰结构内腔中预灌注的混凝土及其他起稳定作用的自重等；

E_a 、 E_p ——钢围堰外主动、被动土压力合力标准值(kN)；

F_{fk} ——钢围堰与土层的摩擦力合力标准值(kN)；

F_{wl} ——钢围堰受到的静水压力合力标准值(kN)；

F_w ——钢围堰受到的水浮力标准值(kN)，当围堰底位于透水上层上时，计入波浪浮托力的影响；

$\sum F_{id}$ ——动水压力、风荷载、波浪力、冰压力、系缆力等可变荷载合力标准值(kN)；

h_a ——围堰结构底端与 E_a 作用点的距离(m)；

h_p ——围堰结构底端与 E_p 作用点的距离(m)；

h_{wl} ——围堰结构底端与 F_{wl} 作用点的距离(m)；

h_{id} ——围堰结构底端与 $\sum F_{id}$ 作用点的距离(m)；

R ——重心位置到围堰背水面脚趾力矩(m)；

R_w ——浮力合力重心到围堰背水面脚趾力矩(m)。

2 悬臂式围堰结构局部抗倾覆(图 4.5.3-2)应按下式计算:

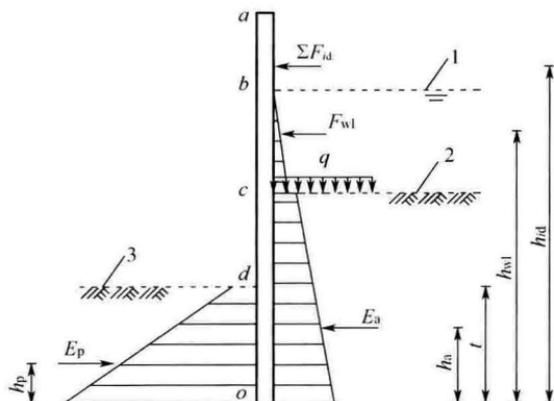


图 4.5.3-2 悬臂式围堰结构抗倾覆稳定性计算图

1—计算水位;2—河床或地面;3—围堰底

$$\frac{E_p h_p}{h_{id} \Sigma F_{id} + h_n E_a + h_{wl} F_{wl}} \geq K \quad (4.5.3-2)$$

式中: K ——抗倾覆稳定安全系数,一、二、三级安全等级围堰分别取 1.35、1.3、1.25。

3 支撑式或锚拉式钢板(管)桩、钢套筒围堰结构局部抗倾覆应以最下道支撑(或锚拉点)为转动轴(图 4.5.3-3)按下列公式计算:

1)单撑(单锚)围堰结构:

$$\frac{E_p a_p}{a'_{id} \Sigma F_{id} + a_n E_a + a_{wl} F_{wl}} \geq K \quad (4.5.3-3)$$

2)多撑(多锚)围堰结构:

$$\frac{E_p a_p}{E'_a a_n + F'_{wl} a_{wl} + \Sigma F'_{id} a'_{id}} \geq K \quad (4.5.3-4)$$

式中: K ——抗倾覆稳定系数,一、二、三级安全等级围堰分别取 1.35、1.3、1.25;

E'_a ——围堰最下道支点以下的主动土压力合力标准值

(kN);

E_p ——被动土压力合力标准值(kN);

F'_{wl} ——围堰最下道支点以下的静水压力合力标准值(kN);

$\Sigma F'_{id}$ ——围堰最下道支点以下的动水压力等可变荷载合力标准值(kN);

a_a 、 a_p ——围堰外侧主动土压力、内侧被动土压力合力作用点至支点的距离(m);

a_{id} ——支撑或锚杆作用点与 ΣF_{id} 或 $\Sigma F'_{id}$ 作用点的距离(m);

a_{wl} ——支撑或锚杆作用点与 F_{wl} 或 F'_{wl} 作用点的距离(m)。

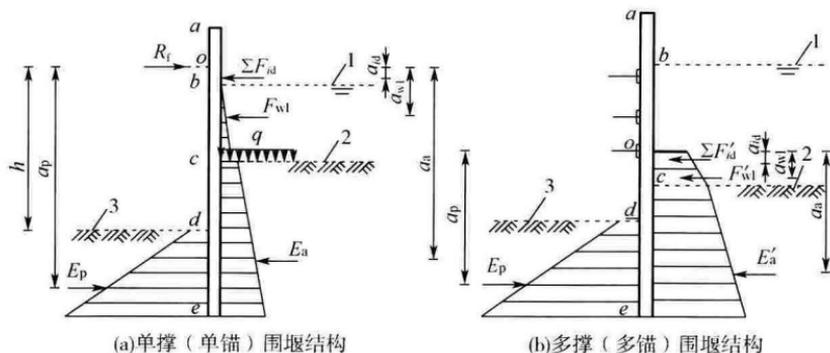


图 4.5.3-3 支撑式或锚拉式钢板(管)桩、
钢套箱围堰局部抗倾覆稳定性验算图

1—计算水位;2—河床或地面;3—围堰底

4 悬臂式双排钢板桩围堰局部抗倾覆(图 4.5.3-4)应按下式计算:

$$\frac{E_p h_p + G'R}{h_{id} \Sigma F_{id} + h_a E_a + h_{wl} F_{wl}} \geq K \quad (4.5.3-5)$$

式中: K ——抗倾覆稳定安全系数,取 1.3;

G' ——围堰及上部其他结构自重与浮力的合力标准值(kN);

R ——围堰及上部其他结构自重与浮力的合力作用点距前

排桩的距离(m)。

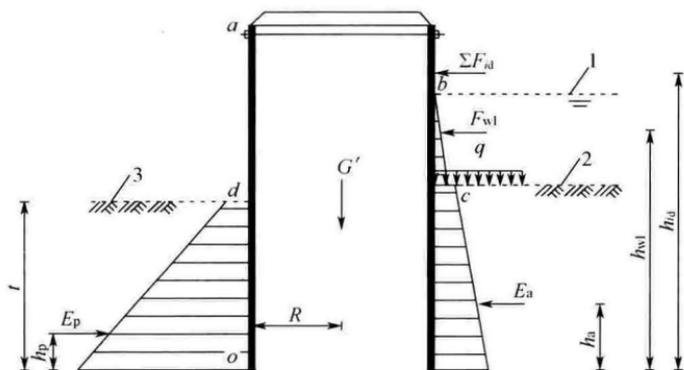


图 4.5.3-4 悬臂式双排钢板桩围堰结构抗倾覆稳定性计算图

1—计算水位；2—河床或地面；3—围堰底

4.5.4 钢套筒、双排钢板桩等结构抗滑移稳定性应符合下列规定：

1 钢套筒围堰整体抗滑移(图 4.5.4-1)应按下列公式计算：

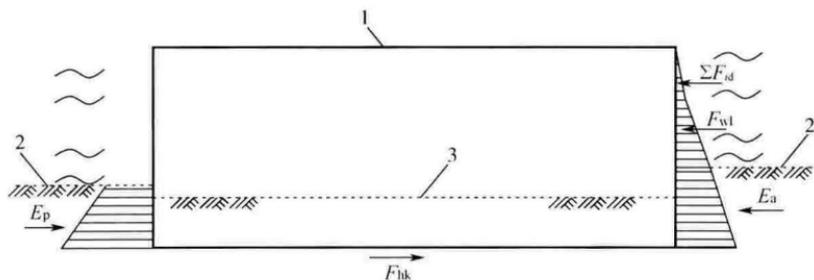


图 4.5.4-1 钢套筒围堰结构抗滑移稳定性计算图

1—计算水位；2—河床或地面；3—围堰底

$$\frac{E_p + F_{hk}}{\sum F_{id} + E_a + F_{wl}} \geq K \quad (4.5.4-1)$$

$$F_{hk} = (G_1 + G_2 - F_w) f \quad (4.5.4-2)$$

式中： K ——水平抗滑移安全系数，取 1.3；

E_a 、 E_p ——钢围堰外侧主动、被动土压力合力标准值(kN)；

准值(kN)；

c 、 φ ——计算滑动面上土的黏聚力(kPa)、内摩擦角($^{\circ}$)。

4.5.5 双排钢板桩围堰内部剪切稳定性应按下列公式进行验算(图 4.5.5),并确定堰体的宽度,宽度初值可取双排钢板桩围堰高度的 0.9 倍~1.2 倍:

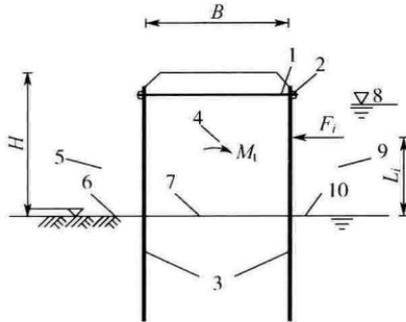


图 4.5.5 双排钢板桩围堰内部剪切稳定验算图

1—拉杆;2—围堰;3—拉森钢板桩;4—回填土;5—内侧(背水面);
6—开挖面;7—计算底面;8—水位;9—外侧(迎水侧);10—泥面

$$\frac{M_t}{M_r} \geq K \quad (4.5.5-1)$$

$$M_t = \frac{1}{6} \gamma_i b_a B^2 H \left(3 \tan^2 \varphi_i - \frac{B}{H} \tan^3 \varphi_i \right) \quad (4.5.5-2)$$

$$\gamma_i = \frac{\sum \gamma_{it} h_{it}}{H} \quad (4.5.5-3)$$

$$M_r = \sum F_i L_i \quad (4.5.5-4)$$

式中: K ——内部剪切稳定安全系数,宜取 1.65;

M_t ——堰体内填料对围堰计算底面处产生的抵抗力矩标准值($\text{kN} \cdot \text{m}$);

M_r ——计算底面以上堰体背后水平荷载对计算底面处产生的倾覆力矩标准值($\text{kN} \cdot \text{m}$);

F_i ——作用于围堰迎水侧水平力合力标准值(kN);

L_i —— F_i 作用点至计算底面的距离(m);

B ——围堰体宽度(m);

b_a ——计算单位宽度(m);

H ——堰体计算底面至顶部的距离(m);

γ_t ——堰体内填料的平均重度(kN/m³);

γ_{ti} ——第 i 层填料的重度标准值(kN/m³);

h_{ti} ——第 i 层填料的高度(m);

φ_t ——堰体内填料的内摩擦角(°)。

4.5.6 钢板桩、钢套箱、钢管桩等钢围堰抗隆起稳定性应根据钢围堰深度分为按地基承载力法与圆弧滑动面法验算,并应符合下列规定:

1 钢围堰在进行清底到封底混凝土施工前,当采用 c 、 φ 值进行抗隆起稳定性验算时(图 4.5.6-1),应按下列公式计算:

$$\frac{\gamma_{02}tN_q + cN_c}{\gamma_{01}(t+h') + q} \geq K \quad (4.5.6-1)$$

$$N_q = e^{\pi \tan \varphi} \tan^2(45^\circ + \varphi/2) \quad (4.5.6-2)$$

$$N_c = (N_q - 1)/\tan \varphi \quad (4.5.6-3)$$

式中: K ——抗隆起稳定性安全系数,一、二、三级安全等级围堰分别取 1.8、1.6、1.4;

γ_{01} ——围堰外地表至围堰底各土层天然重度标准值的加权平均值(kN/m³);

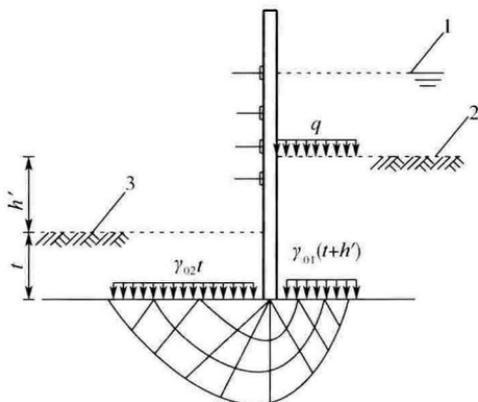
γ_{02} ——围堰内坑底至围堰底各土层天然重度标准值的加权平均值(kN/m³);

t ——围堰结构入土深度(m),当围堰结构底面以下有软弱下卧层时,围堰底的抗隆起稳定性验算部位应包括软弱下卧层,软弱下卧层的抗隆起稳定性可按公式(4.5.6-1)验算,式中 γ_{01} 、 γ_{02} 应取软弱下卧层顶面以上土的重度, t 以 D 代替;

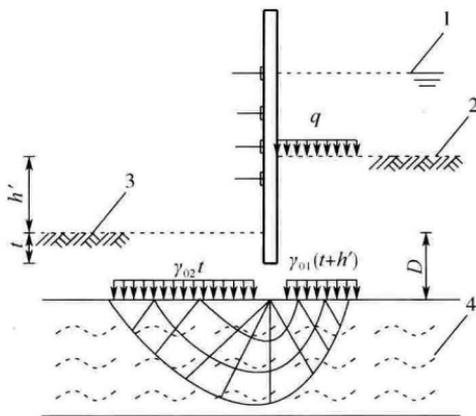
h' ——围堰外河床或地面与围堰内坑底的距离(m);

q ——围堰外河床或地面的附加分布荷载标准值(kPa),当水

位高于河床或地面时应计入河床或地面以上的水压力；
 N_q 、 N_c ——地基土的承载力系数；
 c 、 φ ——围堰底的地基土黏聚力(kPa)、内摩擦角($^{\circ}$)。



(a)无软弱下卧层



(b)有软弱下卧层

图 4.5.6-1 钢围堰地基承载力法抗隆起稳定性验算图

1—计算水位；2—河床或地面；3—围堰底；4—软弱下卧层

2 钢围堰在进行清底到封底混凝土施工前,当采用 τ_0 值进行抗隆起稳定性验算时(图 4.5.6-1),应按下式计算:

$$\frac{\gamma_{02} t + \tau_0 N_c}{\gamma_{01} (t + h') + q} \geq K \quad (4.5.6-4)$$

式中: K ——抗隆起稳定性安全系数,一、二、三级安全等级围堰分别取 1.6、1.5、1.4;

N_c ——地基土的承载力系数, N_c 取 5.14;

τ_0 ——由十字板试验确定的总强度(kPa)。

3 带有内支撑的钢围堰在进行清底到封底混凝土施工前,当采用 c 、 φ 值按圆弧滑动模式绕最下道内支撑(或锚拉)点的抗隆起稳定性验算时(图 4.5.6-2),应按下列公式计算:

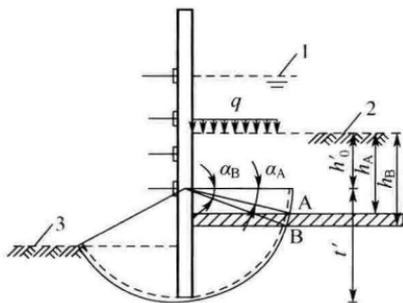


图 4.5.6-2 钢围堰圆弧滑动法抗隆起稳定性验算图

1—计算水位;2—河床或地面;3—围堰底

$$\frac{M_{RL,k}}{M_{SL,k}} \geq K \quad (4.5.6-5)$$

$$M_{RL,k} = M_{sk} + \sum_{j=1}^{n_2} M_{RL,kj} + \sum_{m=1}^{n_3} M_{RL,km} \quad (4.5.6-6)$$

$$M_{SL,k} = M_{SL,kq} + \sum_{i=1}^{n_1} M_{SL,ki} + \sum_{j=1}^{n_4} M_{SL,kj} \quad (4.5.6-7)$$

$$M_{RL,kj} = \int_{\alpha_A}^{\alpha_B} [(q_{1fk} + \gamma' t \sin \alpha - \gamma h_A + \gamma h'_0) \sin^2 \alpha \tan \varphi + (q_{1fk} + \gamma' t \sin \alpha - \gamma h_A + \gamma h'_0) \cos^2 \alpha K_a \tan \varphi + c] t'^2 d\alpha \quad (4.5.6-8)$$

$$M_{\text{RL},km} = \int_{\alpha_A}^{\alpha_B} [(q_{2fk} + \gamma t' \sin \alpha - \gamma h_A + \gamma h'_0) \sin^2 \alpha \tan \varphi + (q_{2fk} + \gamma t' \sin \alpha - \gamma h_A + \gamma h'_0) \cos^2 \alpha K_a \tan \varphi + c] t'^2 d\alpha \quad (4.5.6-9)$$

$$M_{\text{SL},kq} = \frac{1}{2} q t'^2 \quad (4.5.6-10)$$

$$M_{\text{SL},ki} = \frac{1}{2} \gamma t'^2 (h_B - h_A) \quad (4.5.6-11)$$

$$M_{\text{SL},kj} = \frac{1}{2} \gamma t'^3 \left[\left(\sin \alpha_B - \frac{\sin^3 \alpha_B}{3} \right) - \left(\sin \alpha_A - \frac{\sin^3 \alpha_A}{3} \right) \right] \quad (4.5.6-12)$$

$$K_a = \tan^2 (\pi/4 - \varphi/2) \quad (4.5.6-13)$$

$$\alpha_A = \arctan \left[\frac{h_A - h'_0}{\sqrt{t'^2 - (h_A - h'_0)^2}} \right] \quad (4.5.6-14)$$

$$\alpha_B = \arctan \left[\frac{h_B - h'_0}{\sqrt{t'^2 - (h_B - h'_0)^2}} \right] \quad (4.5.6-15)$$

式中: K ——抗隆起稳定性安全系数,一、二、三级安全等级围堰分别取 2.2、1.9、1.7;

M_{sk} ——围堰的容许弯矩标准值(kN·m/m);

$M_{\text{RL},k}$ ——抗隆起力矩标准值(kN·m/m);

$M_{\text{SL},k}$ ——隆起力矩标准值(kN·m/m);

$M_{\text{RL},kj}$ ——围堰外最下道支撑以下第 j 层土产生的抗隆起力矩标准值(kN·m/m);

$M_{\text{RL},km}$ ——围堰内开挖面以下第 m 层土产生的抗隆起力矩标准值(kN·m/m);

$M_{\text{SL},kq}$ ——围堰外地面荷载产生的隆起力矩标准值(kN·m/m);

$M_{\text{SL},ki}$ ——围堰外最下道支撑以上第 i 层土产生的隆起力矩标准值(kN·m/m);

M_{SLkj} ——围堰外最下道支撑以下、开挖面以上第 j 层土的隆起力矩标准值($kN \cdot m/m$)；

α_A, α_B ——对应土层层顶和层底与最下道支撑连线的水平夹角(弧度)；

γ ——对应土层的天然重度(kN/m^3)；

l' ——围堰在最下道支撑以下部分的深度(m)；

c, φ ——滑裂面上地基土的黏聚力(kPa)、内摩擦角(弧度)，对多层土，不同土层分别取值；

h'_0 ——最下道支撑距河床或地面的距离(m)；

h_A, h_B ——对应土层的层顶和层底埋深(m)；

q_{1fk} ——围堰外对应土层的上覆土压力标准值(kPa)；

q_{2fk} ——围堰内对应土层的上覆土压力标准值(kPa)；

n_1 ——围堰外最下道支撑以上的土层数；

n_2 ——围堰外最下道支撑以下至围堰底的土层数；

n_3 ——围堰内开挖面以下至围堰底的土层数；

n_4 ——围堰外最下道支撑至开挖面之间的土层数。

4 带有内支撑的钢围堰在进行清底到封底混凝土施工前，当采用十字板试验确定土的总强度 τ_0 时，钢围堰抗隆起稳定性验算(图 4.5.6-3)应以围堰最下道支撑或围堰底为转动轴心按下列公式计算：

$$\frac{M_{sk} + \tau_0 l_{ABC} R_t}{(q + \gamma h') b^2 / 2} \geq K \quad (4.5.6-16)$$

$$b = \sqrt{R_t^2 - l'^2} \quad (4.5.6-17)$$

式中： K ——抗隆起稳定性安全系数，一级、二级、三级安全等级围堰分别取 1.5、1.4、1.3；

l_{ABC} ——滑动圆弧 ABC 的长度(m)；

R_t ——滑动圆弧半径(m)，取最下道支撑点至围堰结构底端的距离 l' ，当无支撑时取围堰坑底至结构底端的距离 l ；

l ——最下道支撑至坑底的距离(m)；

- b ——滑动圆弧 BC 对应的水平宽度(m);
 h' ——围堰外河床或地面与围堰内坑底的距离(m);
 τ_0 ——由十字板试验确定的总强度(kPa)。

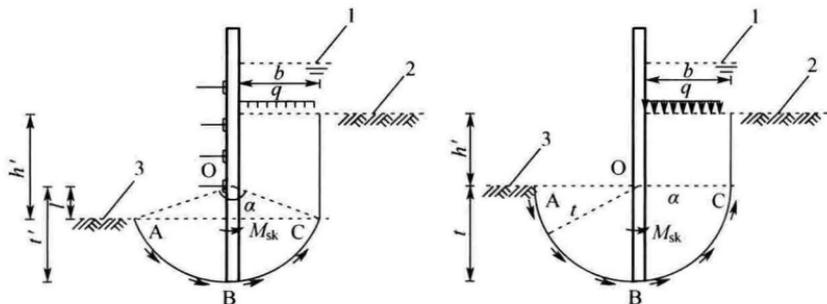


图 4.5.6-3 钢围堰圆弧滑动法抗隆起稳定性验算图

1—计算水位;2—河床或地面;3—围堰底

4.5.7 围堰的嵌固深度除应满足本标准第 4.5.2 条~第 4.5.6 条的规定外,对悬臂式围堰,尚不宜小于围堰深度的 80%;对单撑(单锚)围堰,尚不宜小于围堰深度的 30%;对多撑(多锚)围堰,尚不宜小于围堰深度的 20%。

4.5.8 钢围堰应进行抗流土、抗管涌、抗突涌稳定性验算,并应符合下列规定:

1 钢围堰抗流土、抗管涌稳定性验算(图 4.5.8-1)应按下列公式计算:

$$\frac{i_{cr,t}}{i} \geq K_f \quad (4.5.8-1)$$

$$i = h_w / L \quad (4.5.8-2)$$

$$L = \sum L_h + \sum L_v \quad (4.5.8-3)$$

$$i_{cr,t} = \frac{G_s - 1}{1 + e} \quad (4.5.8-4)$$

式中: K_f ——抗流土、管涌稳定性安全系数,取 2.0;

i ——围堰底土的渗流水力坡度;

- h_w ——围堰内外土体的渗流水头(m),取围堰内外水位差;
 L ——最短渗流路径流线总长度(m);
 ΣL_h ——渗流路径水平段总长度(m);
 ΣL_v ——渗流路径垂直段总长度(m);
 $i_{cr,t}$ ——围堰底土体的流土临界坡度;
 G_s ——围堰底土的颗粒比重;
 e ——围堰底土体天然孔隙比。

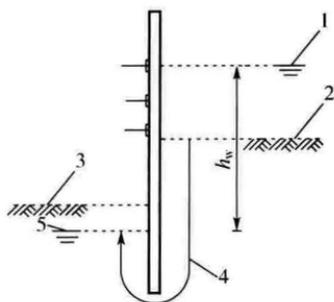


图 4.5.8-1 钢围堰抗流土、抗管涌稳定性验算图

1—计算水位;2—河床或地面;3—围堰壁;4—渗流路径;5—坑内水位

2 当开挖面以下存在承压含水层且其上部存在不透水层时,钢围堰抗突涌稳定性验算(图 4.5.8-2)应按下列公式计算:

$$\frac{\sum \gamma_i h_i}{P_{wk}} \geq K \quad (4.5.8-5)$$

$$P_{wk} = \gamma_w h_w \quad (4.5.8-6)$$

式中: K ——抗突涌稳定性安全系数,取 1.1;

γ_i ——承压水层顶面至围堰底间各土层的重度标准值(kN/m^3);

γ_w ——水的重度标准值(kN/m^3);

h_i ——承压水层顶面至围堰底间各土层的厚度(m);

h_w ——承压水层顶面承压水水头高度(m);

P_{wk} ——承压水层顶部的水压力标准值(kPa)。

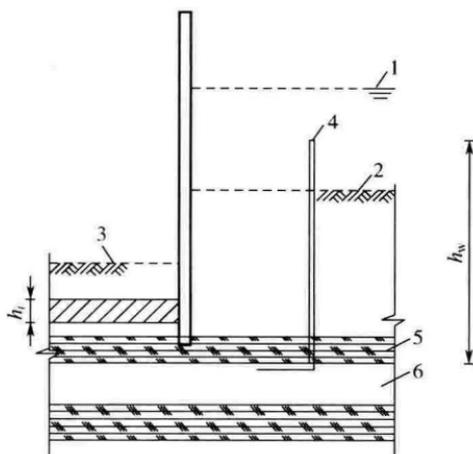


图 4.5.8-2 坑底土体的抗突涌稳定性验算图

1—计算水位；2—河床或地面；3—围堰底；
4—承压水测管水头；5—不透水层；6—承压水含水层

4.5.9 钢套箱围堰整体下沉稳定性验算应符合下列规定：

1 当钢套箱围堰内土体挖至刃脚以下、刃脚底面支撑反力为零时，可按下列公式计算下沉系数：

$$K_{s0} = \frac{G_1 - F_w}{F_{fk}} \quad (4.5.9-1)$$

$$F_{fk} = u(h_f - 2.5)q \quad (4.5.9-2)$$

式中： K_{s0} ——钢套箱围堰下沉系数，取值宜为 1.05~1.25；

G_1 ——钢套箱围堰自重标准值（包括外加助沉重量的标准值）（kN）；

F_w ——钢套箱围堰下沉中水浮力标准值（kN）；

F_{fk} ——钢套箱围堰侧壁总摩阻力标准值（kN）；

u ——钢围堰下端面周长（m）；

h_f ——钢围堰入土深度（m）；

q ——钢围堰外壁单位面积摩阻力标准值按土层厚度取加权平均值（kPa），其沿深度变化为距离地面 5m 范围

内按三角形分布,其下为常数。当缺乏资料时,可根据土的性质、施工措施按表 4.5.9-1 选用。

表 4.5.9-1 钢围堰下沉过程中与土层的摩阻力标准值

序 号	土 类	摩阻力标准值(kPa)
1	流塑状态黏性土	10~15
2	可塑、软塑状态黏性土	12~25
3	硬塑状态黏性土	25~50
4	砂性土	12~25
5	卵石	15~30
6	砾石	15~20
7	软土	10~12
8	泥浆套	3~5

注:1 必要时,摩阻力标准值可根据实测资料或实践经验确定;

2 泥浆套为灌注在堰壁外侧的触变泥浆,是一种助沉材料;

3 气幕减阻时,可按表中摩阻力乘 0.5~0.7 系数。

2 钢套筒围堰在软弱土层中下沉,当下沉系数大于 1.5 或在下沉过程中遇到特别软弱土层时,应按下列公式进行下沉稳定性验算(图 4.5.9):

$$K_{st,s} = \frac{G_1 - F_w}{F_{fk} + R_b} \quad (4.5.9-3)$$

$$R_b = R_1 + R_2 \quad (4.5.9-4)$$

$$R_1 = U \left(\alpha + \frac{b}{2} \right) f_{ak} \quad (4.5.9-5)$$

$$R_2 = A_1 f_{ak} \quad (4.5.9-6)$$

式中: $K_{st,s}$ ——下沉稳定系数,取 0.8~0.9;

F_w ——水浮力标准值(kN);

R_b ——钢套筒围堰端部刃脚、支撑和底梁下地基土的极限承载力之和(kN);

R_1 ——刃脚踏面及斜面下土的支撑力(kN);

- U ——侧壁外围周长(m);
- a ——刃脚踏面宽度(m);
- b ——钢套箱围堰刃脚入土斜面的水平投影(m);
- f_{ak} ——软弱土层极限承载力标准值(kPa),可按表 4.5.9-2 取值;
- R_2 ——支撑和底梁下土的支承反力(kN);
- A_1 ——支撑和底梁的总支承面积(m^2)。

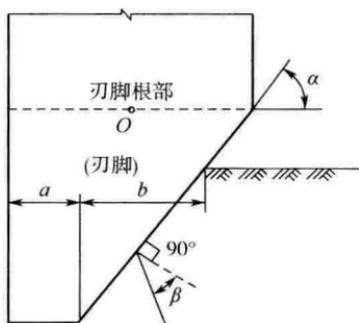


图 4.5.9 刃脚根部位置示意图

表 4.5.9-2 软弱土层极限承载力标准值(kPa)

土的种类	极限承载力标准值
泥炭	60~70
淤泥	80~100
淤泥质黏土	100~120

4.5.10 钢套箱、钢吊箱围堰在浮运过程中应验算横向和纵向稳定性。

4.5.11 钢围堰下沉到位后应进行各工况的竖向地基承载力验算,并应进行无底钢围堰封底混凝土下部的竖向地基承载力验算,应进行双排钢板桩桩底之间的地基承载力验算并应满足国家现行相关标准的要求,当不满足时应进行地基加固设计。

4.5.12 应根据河床、水流速度等情况,分别进行钢围堰冲刷计算及冲刷前、后的结构分析计算。

4.6 构件计算

4.6.1 钢围堰封底混凝土抗浮验算,根据实际可能出现的最高水位,应按下列公式计算:

$$K_f = \frac{G_c + F_1 + F_2}{F_w + P_{uc}} \quad (4.6.1-1)$$

$$F_w = \gamma_w h_w A_n \quad (4.6.1-2)$$

$$G_c = \gamma_c V_c \quad (4.6.1-3)$$

$$F_1 = \min(G_z, \tau_1 S_1) \quad (4.6.1-4)$$

$$F_2 = \min(\tau_2 S_2, G_R + \tau_3 S_3) \quad (4.6.1-5)$$

式中: K_f ——抗浮安全系数,宜取为 1.15;

F_w ——水的浮力标准值(kN);

P_{uc} ——波峰时的波浪浮托力(kN);

γ_w ——水的容重(kN/m³);

h_w ——围堰内外水头差(m);

A_n ——扣除钢护筒面积后基底净面积(m²);

G_c ——封底混凝土自重(kN);

G_z ——所有桩基钢护筒及桩基自重(kN);

G_R ——钢围堰自重(kN);

γ_c ——混凝土容重(kN/m³);

V_c ——基底净体积,应扣除钢护筒部分(m³);

τ_1, τ_2, τ_3 ——桩基钢护筒与封底混凝土的粘结力、钢围堰与封底混凝土的粘结力、钢板桩及钢管桩与入土深度范围内土层的摩阻力(kPa),应分别按表 4.6.1-1、表 4.6.1-2 取值,钢套箱围堰不计侧摩阻力;

S_1, S_2, S_3 ——所有桩基钢护筒与封底混凝土接触面积、钢围堰与封底混凝土接触面积、钢板桩及钢管桩围堰入土深度范围外侧接触面积之和(m²);

F_1 ——取 G_z 、桩基钢护筒与封底混凝土粘结力 $\tau_1 S_1$ 的最

小值(kN)；

F_2 ——取 $G_g + \tau_3 S_3$ 、钢围堰与封底混凝土粘结力 $\tau_2 S_2$ 的最小值(kN)。

表 4.6.1-1 钢护筒、钢围堰与封底混凝土之间的粘结力标准值 τ_1 、 τ_2 (kPa)

序 号	土 类	粘结力标准值 τ_1 、 τ_2
1	封底混凝土	100~200

表 4.6.1-2 钢板桩围堰、钢管桩围堰与土层之间的摩阻力标准值 τ_3 (kPa)

序 号	土 类	状 态	摩阻力标准值 τ_3
1	黏性土	$1.5 \geq I_L \geq 1$	15~30
		$1 > I_L \geq 0.75$	30~45
		$0.75 > I_L \geq 0.5$	45~60
		$0.5 > I_L \geq 0.25$	60~75
		$0.25 > I_L \geq 0$	75~85
		$0 > I_L$	85~95
2	粉土	稍密	20~35
		中密	35~65
		密实	65~80
3	粉砂、细砂	稍密	20~35
		中密	35~65
		密实	65~80
4	中砂	中密	55~75
		密实	75~90
5	粗砂	中密	70~90
		密实	90~105

4.6.2 承台施工过程中应进行封底混凝土抗沉验算,封底混凝土抗沉应满足下式要求:

$$\frac{F_1 + F_2 + F_w}{G_c + F_s + P_{ut}} \geq K_c \quad (4.6.2)$$

式中: K_c ——抗沉安全系数,宜取为 1.10;

F_s ——施工期作用在封底混凝土上的承台自重及施工期最大活荷载(kN);

P_{ut} ——波谷时方向向下的波浪力(kN)。

4.6.3 钢围堰封底混凝土厚度除应满足抗浮、抗沉验算要求外,尚应按下式对封底混凝土结构进行强度验算:

$$h_t = \sqrt{\frac{9.09M_{pl}}{bf_t}} + h_u \quad (4.6.3)$$

式中: h_t ——钢围堰水下封底混凝土厚度(mm);

M_{pl} ——每米宽度最大弯矩的标准值(N·mm);

b ——计算宽度(mm),取1000mm;

f_t ——混凝土的抗拉强度设计值(N/mm²),按现行国家标准《钢筋混凝土结构设计规范》GB 50010的规定取值;

h_u ——计入水下混凝土可能与围堰底泥土混掺的增加厚度(mm),宜取300mm~500mm。

4.6.4 支撑构件计算应符合下列规定:

1 混凝土支撑构件及其连接的受压、受弯、受剪等承载力验算应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010的规定;

2 钢支撑结构构件及其连接的受压、受弯、受剪、局部承压及平面内和平面外稳定、局部稳定和节点连接验算等应符合现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017的规定;

3 支撑的承载力计算应计入施工偏心误差的影响,偏心距取值不宜小于支撑计算长度的1/1000,且对混凝土支撑不宜小于20mm,对钢支撑不宜小于40mm。

4.6.5 支撑构件的受压计算长度应按下列规定确定:

1 水平支撑在竖向平面内的受压计算长度,当不设置立柱时,应取支撑的实际长度;当设置立柱时,应取相邻立柱的中心间距;

2 水平支撑在水平平面内的受压计算长度,对无水平支撑杆

件交汇的支撑,应取支撑的实际长度;对有水平支撑杆件交汇的支撑,应取与支撑相交的相邻水平支撑杆件的中心间距;当水平支撑杆件的交汇点不在同一水平面内时,水平平面内的受压计算长度宜取与支撑相交的相邻水平支撑杆件中心间距的 1.5 倍;

3 竖向斜撑应按本条第 1 款、第 2 款的规定确定受压计算长度。

4.6.6 预加轴向压力的支撑,预加力值宜取支撑轴向压力标准值的 50%~80%,并应与本标准第 4.4.9 条中的支撑预加轴向压力一致。

4.6.7 立柱的承载力计算应符合下列规定:

1 在竖向荷载作用下,当内支撑结构按框架计算时,立柱应按偏心受压构件计算;

2 开挖面以下立柱的竖向和水平承载力应按单桩承载力验算;

3 当内支撑结构的水平构件按连续梁计算时,立柱应按轴心受压构件计算。

4.6.8 立柱的受压计算长度应符合下列规定:

1 单层支撑的立柱、多层支撑底层立柱的受压计算长度应取底层支撑至基坑底面的净高度与立柱直径或边长的 5 倍之和;

2 相邻两层水平支撑间的立柱受压计算长度应取此两层水平支撑的中心间距;

3 立柱的基础应满足抗压和抗拔的要求。

4.6.9 钢套筒围堰堰壁与刃脚计算应符合下列规定:

1 堰壁应按工况进行竖向抗拉强度、水平向的总体和局部强度验算;

2 刃脚应进行向外、向内竖向弯曲和水平向内弯曲的强度验算。

4.6.10 锚杆构件设计计算应符合现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 的规定。

4.6.11 双排钢板桩围堰的强度计算时,内、外板桩可分别为各自独立的单排板桩,应按单排板桩计算拉杆最大拉力和板桩最大弯矩。

4.7 钢板桩围堰构造设计

4.7.1 钢板桩围堰按结构可分为单排、双排和格型钢板桩围堰。

4.7.2 钢板桩围堰可由钢板桩、围檩、支撑、立柱、封底混凝土等构件组成,各构件加工制作应满足设计要求。

4.7.3 钢板桩围堰支撑、立柱构造设计应符合现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 的规定。

4.7.4 钢板桩各项性能指标应符合现行国家标准《热轧钢板桩》GB/T 20933 的相关规定。

4.7.5 围檩、立柱宜采用型钢拼接,必要时型钢之间应增加连接缀板。大型圆形钢板桩围堰可采用钢筋混凝土围檩。

4.7.6 内支撑可采用钢管、型钢或桁架结构,布置应合理。支撑应稳定,必要时可设置剪刀撑或缀板等加强措施,或将若干支撑之间通过剪刀撑连接成整体。

4.7.7 异形桩可采用标准桩切割组焊。

4.7.8 钢板桩墙的抗弯刚度应根据钢板桩类型、锁扣的咬合及约束程度对钢板桩铭牌值折减。

4.7.9 钢板桩围堰内壁宜比基础承台宽 1.0m~1.5m。

4.8 钢套筒围堰构造设计

4.8.1 钢套筒围堰按结构可分为双壁钢套筒围堰和单壁钢套筒围堰。

4.8.2 钢套筒围堰可由侧板、围檩、内支撑、立柱和封底混凝土组成,构件加工制作应满足设计要求。

4.8.3 钢套筒围堰侧板可由壁板、竖向加劲肋、横向加劲肋或横向隔板组成。

- 4.8.4** 钢套箱围堰侧板的拼缝应连接可靠、严密、不漏。
- 4.8.5** 双壁钢围堰侧板的内、外壁板间应设置水平桁架或实腹式横隔板,必要时应设置竖向隔舱板,隔舱间应严密、不漏。
- 4.8.6** 双壁钢套箱围堰底部宜设置刃角,刃角宜采用混凝土填充密实。单壁钢套箱围堰侧板底部结构应进行适当加强。
- 4.8.7** 钢套箱围堰围檩、立柱、内支撑应符合本标准第 4.7.3 条、第 4.7.5 条、第 4.7.6 条的规定。
- 4.8.8** 当钢套箱围堰采用整体浮运就位时,干舷高度不宜小于 3.0m,浮运速度不宜大于 1.0m/s,并应验算其浮运时的浮体稳定性、拖航及顶推作用点的结构强度和刚度等。
- 4.8.9** 双壁钢套箱围堰水中定位的锚碇系统应进行专项方案设计,围堰定位时系缆点的局部结构应进行强度和刚度检算。
- 4.8.10** 当钢套箱围堰采用整体或整节段吊装就位时,应选择合理的吊装方式,并应进行吊装系统设计,吊装的计算荷载应计入冲击效应,冲击系数应取 1.1。吊耳、吊具的安全系数不应小于 3.0,工具索安全系数不应小于 5.0。
- 4.8.11** 钢套箱围堰内腔平面尺寸应根据围堰安装方法、定位精度及基础平面尺寸确定。
- 4.8.12** 钢套箱围堰设计宜设置下沉导向装置。

4.9 钢吊箱围堰构造设计

- 4.9.1** 钢吊箱围堰按结构可分为双壁钢吊箱围堰与单壁钢吊箱围堰。
- 4.9.2** 钢吊箱围堰结构可由底板龙骨、底板、侧板、内支撑、吊挂系统及封底混凝土等组成。
- 4.9.3** 钢吊箱围堰侧板及内外壁板的结构形式应符合本标准第 4.8.3 条~第 4.8.5 条的规定。
- 4.9.4** 钢吊箱围堰底板根据施工条件可选用钢结构底板或钢筋混凝土预制底板。

4.9.5 钢吊箱围堰侧板之间、侧板与底板之间的拼缝应连接可靠、严密不漏,侧板宜设置连通孔。

4.9.6 钢吊箱围堰内支撑应符合本标准第 4.7.6 条的规定。

4.9.7 钢吊箱围堰吊杆可采用精轧螺纹钢、钢吊带、型钢等多种形式,其力学指标应满足设计要求。

4.9.8 钢吊箱围堰底板顶面设计高程应根据承台底面高程及封底混凝土厚度确定。

4.9.9 钢吊箱围堰设计的内外水压差应综合施工计划、施工时间、汛期或涨落潮位、结构安全及经济性等因素经计算确定。

4.9.10 钢吊箱围堰应按吊装、浮运、下沉、封底、抽水、基础混凝土浇筑、拆除等主要工况进行设计计算。

4.9.11 钢吊箱围堰整体浮运就位、水中定位锚碇、整体或整节段吊装应符合本标准第 4.8.8 条~第 4.8.10 条的规定。

4.9.12 当小型或不采用整体吊装的钢吊箱围堰设计时,宜利用钻孔作业平台搭设围堰的拼装平台,并应利用钻孔桩钢护筒作为下放钢围堰的支撑桩。

4.9.13 钢吊箱围堰的吊挂系统可采用桩基钢护筒支撑、桩基中预埋立柱支撑等多种形式。预埋立柱的强度和刚度及预埋深度应满足受力计算要求。

4.9.14 钢吊箱围堰内腔平面尺寸应符合本标准第 4.8.11 条的规定。

4.10 钢管桩围堰构造设计

4.10.1 钢管桩围堰按锁口结构及构造可分为 C-O 型、I-C 型、[-I]型钢围堰。

4.10.2 钢管桩围堰结构可由锁口钢管桩、围檩、内支撑、封底混凝土等组成。

4.10.3 钢管桩的材质、性能和尺寸应符合产品的相应规定。钢管径厚比应满足下式要求:

$$\frac{D_0}{t_s} \leq 100 \frac{235}{f_y} \quad (4.10.3)$$

式中： D_0 ——钢管外径(mm)；

t_s ——钢管壁厚(mm)；

f_y ——钢材的屈服强度(MPa)。

4.10.4 钢管桩围堰锁口应符合下列规定：

1 应根据土层地质情况和止水要求确定锁口形式；

2 应对锁口采取可靠的止水处理措施；

3 锁口焊缝受力计算应符合现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 的规定，锁口焊缝计算长度宜取整个焊缝长度的 1/2。

4.10.5 钢管桩顶部和底部宜设置加强箍，并应采用与钢管桩材质相同的钢板满焊，加强箍的纵缝应和卷焊桩管的纵缝错开 90° ，加强箍的厚度与原管壁叠合后的径厚比不宜大于 40。

4.10.6 在锁口槽口下端可焊接一定坡度的挡板，防止插打过程中渣土进入锁口槽口部位。

4.10.7 钢管桩围堰转角部位可在其钢管桩外侧土层设计有效合理的加固方案。

4.10.8 当采用振动打桩时，应对钢管桩打入时的夹持点及帽头的受力进行验算。

4.10.9 钢管桩围堰围檩、立柱、内支撑制作布设和异形桩制作应符合本标准第 4.7.5 条～第 4.7.7 条的规定。

4.10.10 锁口钢管桩围堰内腔平面尺寸应符合本标准第 4.7.9 条的规定。

5 钢围堰施工及质量检验

5.1 一般规定

5.1.1 施工前应进行现场调查、收集资料、掌握现场情况,应核对设计文件、做好施工准备工作。

5.1.2 施工测量除应符合现行国家标准《工程测量规范》GB 50026 的规定外,尚应符合下列规定:

1 实行施工单位复核制和监理单位复测制,应填写相关记录;

2 对水中作业应测量主体结构位置处河床的地面线;

3 宽阔水域宜采用 GPS-RTK 测量系统。

5.1.3 施工前应对进场材料、构件进行检验和验收。

5.1.4 施工前应进行技术与安全交底。

5.1.5 钢围堰及其平台不得作为人员居住、生活的场所。

5.1.6 钢围堰就位后,钢围堰内外应设置安全可靠的扶梯及栏杆、逃生通道和安全警示标志,并应配备消防和救生器材。

5.1.7 当施工区域水流速度较大、航运条件复杂、易受船舶或漂浮物撞击时,应单独设置防撞设施、导航标志和警示装置。

5.1.8 钢围堰构件焊接应符合现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661 的规定。

5.2 钢板桩围堰施工

5.2.1 钢板桩打桩按打桩方法可分为锤击法、振动法、静压法。

5.2.2 钢板桩打桩方法宜根据地层条件和施工条件按表 5.2.2 选用。

表 5.2.2 钢板桩打桩方法适用表

项 目		锤 击 法				振动法	静 压 法	
		柴油锤	蒸汽锤	液压锤	落锤	振动锤	液压静压机	液压静压机 配合钻孔机
地层条件	软黏土	不适合	不适合	不适合	适合	适合	适合	适合
	黏土	适合	适合	适合	适合	适合	适合	适合
	砂土	适合	适合	适合	不适合	适合	适合	适合
	砾石	适合	适合	适合	不适合	适合	不适合	可以
	硬黏土	可以	可以	可以	不适合	可以	不适合	可以
施工条件	设备规模	大	大	大	小	大	中	大
	噪声	大	大	中	中	中	小	小
	振动	大	大	大	中	大	小	小
	耗能	大	大	大	小	大	中	中
	施工速度	快	快	快	慢	慢	中	中

5.2.3 钢板桩围堰施工前准备工作应符合下列规定：

- 1 应对钢板桩进行材质检验和外观检验,对焊接钢板桩尚应进行焊接部位检验；
- 2 应根据现场情况及地质条件对钢板桩打桩机选型；
- 3 钢板桩存放场地宜平整处理；
- 4 钢板桩在运输、存放时,应按插桩顺序堆码；
- 5 应根据土层地质情况和止水要求,确定钢板桩桩尖形式并加工制作。

5.2.4 钢板桩围堰施工应包括设置打桩定位轴线、安装导向架、插打试桩、钢板桩合拢、抽水挖土、内支撑安装、混凝土封底、主体结构施工、围堰拆除等关键工序。

5.2.5 当土层为黏土、砂土、砾土时,应进行钢板桩施工试桩,并根据试桩结果选择打桩机型号。

5.2.6 打桩定位轴线设置应符合下列规定：

- 1 宜取钢板桩的前边线；
- 2 必要时，定位轴线应向围堰外侧偏移；
- 3 应设置打桩起始点和终点，定位轴线观察点应设置在其延长线上；

4 当打桩定位轴线设置在水上时，宜设置临时脚手架或观测台。

5.2.7 导向架安装应符合下列规定：

- 1 导向架可分为单边式、夹紧式、整体式等结构形式；
- 2 应根据陆地或水域条件、钢板桩截面及长度确定导向架的结构形式；
- 3 陆地导向架宜采用夹紧式导向架；
- 4 导桩与钢板桩之间应设置导梁，宜采用型钢或格构式，并应有足够的刚度。

5.2.8 钢板桩插打前准备工作应符合下列规定：

- 1 插打前应复核围堰尺寸、钢板桩数量、打入位置、入土深度和桩顶高程等；
- 2 钢板桩起吊前，钢板桩槽凹部位应清理干净，锁口应修整；
- 3 插打钢板桩之前，应对打桩机、卷扬机及其配套设备、绳索等进行全面检查；
- 4 检查导向桩，导向桩应坚固、稳定。

5.2.9 钢板桩插打应符合下列规定：

- 1 第一根桩或角桩应位置正确，不得倾斜；
- 2 应采用卡板控制插打作业中的移动和转动。

5.2.10 钢板桩施打可采用单桩打入法或屏风式打入法，并应符合下列规定：

- 1 水上打桩应设置观测台和简易导向架；
- 2 当钢板桩发生倾斜度超标、变形过大、穿透力不足、锁扣脱开、沉放缓慢、桩身断裂或锁口开裂时，应采取的措施；
- 3 水中插打钢板桩应从上游依次对称向下游插打，对受潮水

影响的河流,应根据实际情况制订插打方案及安全防护措施;

4 钢板桩插打前应预设好合拢口位置,在合拢口两侧应根据施打情况提前调整钢板桩的垂直度和合拢口宽度。

5.2.11 钢板桩拼接与异形板桩制作应符合下列规定:

1 拼接时,两根同型号钢板桩应对正顶紧、夹持于牢固的夹具内施焊,并应焊接牢固;

2 在围堰的同一断面上钢板桩拼接接头不得大于 50%,相邻桩接头上下错开不应小于 2m;

3 当采用经过整修或焊接的钢板桩时,应采用同类型的短桩进行锁口通过试验,合格者方可使用。

5.2.12 内支撑系统安装应符合下列规定:

1 钢板桩插打完毕后,应根据设计要求分步进行围堰抽排水,或分层抽水开挖基坑,并按工艺要求安装围檩和支撑体系;

2 钢围堰各构件及支撑体系之间应可靠连接,支撑、围檩、钢板桩之间应贴合紧密,空隙处应采用钢板或垫木块抄垫;

3 内支撑系统各构件的加工与安装应符合设计要求,安装时应控制各构件平面位置及高程,内支撑系统宜在同一水平面上;

4 在内部支撑系统安装过程中,应加强对钢板桩桩顶位移、桩身变形和支撑轴力的检测,及时对监测数据分析反馈。

5.2.13 钢板桩围堰渗漏水处理可采取下列措施:

1 当钢板桩锁口漏水时,可在围堰外撒细木屑等细物或在围堰内用板条、棉絮等楔入锁口内嵌缝或对钢板桩锁口涂抹黄油处理;

2 陆地围堰基坑内可设置集水井,或基坑外采用搅拌桩或喷射桩止水帷幕或井点降水。

5.2.14 封底混凝土浇筑应符合下列规定:

1 封底混凝土浇筑前,应清除钢护筒外壁及围堰内壁表面杂质,混凝土封底的有效厚度不得小于围堰设计计算的最小封底厚度值;

- 2 封底混凝土的和易性与凝固时间应满足施工要求；
- 3 应在导管和周边特殊位置布设测量点，其余范围布设测量网格时，网格间距不宜大于 3m，在接近封底混凝土顶面时，测点应加密至 1m；
- 4 测量绳使用前应进行标定，测量砣应使用比重砣。

5.2.15 围堰拆除应符合下列规定：

- 1 围堰内支撑拆除应按从下往上的顺序逐层拆除；
- 2 每道支撑拆除前，应采用回填、注水或换撑等措施；
- 3 拆除时，应先拆除斜撑，再拆除较短的杆件，最后拆除纵横通长构件；
- 4 拆除支撑后，方可拆除围堰构件，拔出钢板桩。

5.3 钢套箱围堰施工

5.3.1 钢套箱围堰按施工工艺可分为现场组拼就位、异位组拼后整体运输吊装就位。

5.3.2 钢套箱围堰施工前准备工作应符合下列规定：

- 1 钢套箱围堰的施工方案应与设计方案同时确定，并按确定方案对套箱围堰在制造、运输、安装及使用过程中的受力情况进行分析计算；

- 2 钢套箱围堰制造应编制专项加工制造方案；

- 3 钢套箱围堰施工前应实测河床标高，对影响套箱围堰下沉着床的局部河床或其他障碍物应及时清除或整平。

5.3.3 钢套箱围堰应在工厂内分块制造，依次组拼成整体。其加工制造、质量及检验评定应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205、《组合钢模板技术规范》GB/T 50214 及《钢结构工程质量检验评定标准》GB 50221 的相关规定。

5.3.4 钢套箱围堰块段运输应符合下列规定：

- 1 套箱围堰分块尺寸应满足吊装、运输、堆放要求；

- 2 当采用陆路运输时，对不能细分的特殊构件运输应进行相

应的交通协调工作；

3 当采用船舶运输时，应按船舶装载要求进行堆放；

4 先拼装的围堰块段应堆放在上层，结构薄弱的块段应单独堆放，应采取防止围堰块段运输变形的措施；

5 围堰块段在汽车或船舶上堆放运输时，应采取捆绑措施。

5.3.5 钢套箱围堰现场组拼就位应包括钢套箱分块制作、侧板焊缝水密试验、现场分块拼装、内支撑安装、钢套箱水密试验、吊挂系统安装、底节围堰下沉、围堰分段接高、下沉着床、开挖、封底混凝土浇筑、主体结构施工、围堰拆除等关键工序。

5.3.6 钢套箱围堰现场分块拼装应符合下列规定：

1 围堰底节拼装支承平台应牢固，顶平面测量应找平；

2 发生变形的钢构件应在组拼前进行矫正；

3 围堰侧板试拼合格后，方可正式焊接块段拼缝；

4 围堰组拼应分区对称进行，并及时进行测量复核。

5.3.7 钢套箱围堰内支撑安装应符合下列规定：

1 围堰内支撑安装应按围堰侧板上放出内支撑中心线、安装内框梁和安装内支撑的顺序进行；

2 当内支撑安装时，应使水平撑杆中心在同一平面内，水平撑杆应顺直，避免偏心受压；

3 内支撑框梁应与围堰侧板密贴焊牢。

5.3.8 钢套箱围堰吊挂系统安装应符合下列规定：

1 主吊点应设置在围堰侧板竖向主肋或隔舱板上，通过吊杆与分配梁相连，吊杆可采用精扎螺纹钢或其他钢结构吊杆；

2 当采用液压提升装置整体下放时，液压控制系统应满足多点同步要求。

5.3.9 钢套箱围堰导向结构安装应符合下列规定：

1 中心线应与钢护筒径向一致，并应与钢护筒间留有空隙，形成滚动摩阻体系；

2 尺寸应根据护筒实测位置和倾斜度做调整。

5.3.10 钢套箱围堰异位拼装就位应包括分块分段工厂制造、下河滑道或码头处组拼、整节段船运或自浮拖航浮运、围堰分段接高、下沉着床、开挖、封底混凝土浇筑、主体结构施工、围堰拆除等关键工序。

5.3.11 钢套箱围堰异位拼装场地应能满足围堰整体出运要求。

5.3.12 当采用船台滑道整体下水浮运时，钢套箱围堰应符合下列规定：

1 应对滑道地基承载力进行检算，必要时应对滑道地基加固；

2 船台小车溜放的最低点水深应比围堰结构自浮时的吃水深度及小车高度之和大 1.5m；

3 钢围堰溜放的牵引装置应安全可靠，牵引力安全系数不应小于 1.5。

5.3.13 当采用气囊法坡道滑移入水时，钢套箱围堰应符合下列规定：

1 钢套箱围堰组拼用的钢支墩的高度不应大于气囊直径的 60%；

2 钢支墩间距应根据气囊布置方式进行摆放，并应满足围堰结构局部受力和场地地基承载力的要求；

3 气囊的工作高度不应小于 0.3m，承载力的安全系数应大于 1.5；

4 滑道的地基承载力应满足围堰拼装和滑移入水的受力要求；

5 滑道前沿水深应大于围堰入水后的自浮吃水深度 1.5m。

5.3.14 当采用浮吊装船运输时，钢套箱围堰应符合下列规定：

1 钢套箱围堰整体拼装场地宜选在能靠泊大型浮吊和运输船舶的码头或大型船舶的甲板上；

2 围堰整体吊装和运输方案应进行专项设计；

3 对长边较长的矩形或圆端形围堰，宜选用双主钩浮吊进行

吊装。

5.3.15 钢套箱围堰整体浮运应符合下列规定：

1 围堰整体浮运前应进行浮运航线的规划和调查，必要时可采取增浮措施减小吃水深度；

2 应对围堰整体浮运时的浮心、重心、定倾中心进行检算；

3 围堰在内河整体浮运的拖航速度不应大于 0.5m/s，拖轮的配置拖拉力应大于 1.5 倍的围堰拖航总阻力；

4 围堰在海上的拖航速度及拖轮配置应满足相关的海上拖航要求。

5.3.16 当钢套箱围堰采用船舶整体运输时，应对船舶甲板进行结构检算和加固。

5.3.17 钢套箱围堰下沉定位应符合下列规定：

1 围堰下沉前，应对围堰平面位置及垂直度进行复测，围堰顶面的定位控制点及标尺应标示明确；

2 围堰范围裸露岩面或坚硬土层应清理到围堰底口设计标高；

3 当双壁围堰隔舱内注水或浇筑混凝土时，各舱之间及舱内外的水头差、隔舱内混凝土浇筑速度和高度应控制在设计规定的范围之内；

4 当围堰采用吊挂系统整体下放时，各吊点之间应同步。

5.3.18 钢套箱围堰封底前应做好下列准备工作：

1 应清除钢护筒外壁及围堰内壁表面杂质；

2 围堰刃脚底口为岩层或浅薄覆盖层时，应先对围堰底口封堵；

3 围堰封底时，围堰内外应无水位差。

5.3.19 钢套箱围堰封底混凝土浇筑应符合本标准第 5.2.14 条的规定。

5.3.20 钢套箱围堰使用期间，应定期对围堰四周河床的冲刷情况进行测量；当冲刷深度超过设计规定时，应进行有效防护。

5.3.21 钢套箱围堰拆除应符合下列规定：

- 1 围堰拆除前，应先向围堰内注水或在侧板上开连通孔，内外水头差应为零；
- 2 围堰拆除应按从下往上、先支撑后侧板的顺序进行；
- 3 围堰拆除时，应采取防止损坏已建主体结构的措施，水下可不拆除的结构应保证通航安全。

5.4 钢吊箱围堰施工

5.4.1 钢吊箱围堰按施工工艺可分为现场组拼就位、异位组拼后整体运输就位。

5.4.2 钢吊围堰施工前的准备工作、制造、拼装、内支撑安装、运输、下放、接高、封底混凝土浇筑、主体结构施工、围堰拆除施工应符合本标准第 5.3 节的相关规定。

5.4.3 钢吊箱围堰底板桩基预留孔的封堵施工应符合下列规定：

- 1 当围堰底板桩基预留孔采用弧形钢板封堵时，封堵钢板应根据钢护筒实测外径分块制作，并应采用角钢法兰接头螺栓连接；
- 2 应检查钢吊箱底板与钢护筒之间的缝隙，封堵前应清理干净钢护筒外壁和钢吊箱底板；
- 3 应由潜水员水下安装封堵钢板堵塞缝隙。

5.4.4 钢吊箱围堰混凝土封底施工应符合下列规定：

- 1 封底前应在围堰侧板上最低水位以下开设连通孔，当混凝土达到 90% 强度后，方可封堵连通孔及围堰内抽水；
- 2 封底混凝土应均衡浇筑，局部堆积高度不得超过吊杆的承载力。

5.4.5 封底混凝土达到设计强度后，方可进行钢吊箱体系转换。

5.4.6 钢吊箱围堰抽水时，应加强对围堰侧板和内支撑系统的观测。当侧板有渗漏时，应及时进行封堵。

5.4.7 钢吊箱围堰拆除应符合本标准第 5.3.21 条的相关规定。

5.5 钢管桩围堰施工

5.5.1 钢管桩打桩按打桩方法可分为锤击法和振动法,打桩方法的选择宜根据地层条件和施工条件按本标准表 5.2.2 选用。

5.5.2 钢管桩围堰施工前准备工作应符合本标准第 5.2.3 条的规定。

5.5.3 钢管桩围堰施工应包括设置打桩定位轴线、安装导向架、钢管桩吊运就位、钢管桩插打、钢管桩合拢、锁口防水处理、抽水开挖、内支撑安装、围堰混凝土封底、主体结构施工、围堰拆除等关键工序。

5.5.4 钢管桩的运输与堆放应符合下列规定：

1 堆放场地应平整、坚实、排水通畅；堆放的形式和层数应安全可靠；堆放顺序、位置、方向和平面布置等应便于后续施工；

2 吊运时吊点的位置应符合设计规定；

3 钢管桩运输与装卸不得损伤锁口。

5.5.5 钢管桩施工前试桩应符合本标准第 5.2.5 条的规定。

5.5.6 导向架安装应符合本标准第 5.2.7 条的规定。

5.5.7 钢管桩插打应符合下列规定：

1 钢管桩施打前,应设置测量观测点,控制其施打的定位；

2 钢管桩在施打前,其锁扣宜采用止水材料捻缝；

3 第一根钢管桩应缓慢打入,桩身的垂直度应控制在 0.5% 桩长以内;其他钢管桩的垂直度应控制在 1% 桩长以内;施打中应检查其位置和垂直度;当不满足要求时,应纠正或拔起重新施打；

4 锁口钢管桩应由围堰上游分两头插打、到下游合龙;施打完成后所有钢管桩的锁扣应闭合;当打桩困难时,可采用辅助措施下沉；

5 当插打钢管桩的土层中有孤石、片石或其他障碍物时,应与设计协商采取措施。

5.5.8 钢管桩接长、异形桩制作和钢管桩与锁口拼装焊接应符合

下列规定：

1 钢管桩桩身接长焊接应进行焊接工艺评定，并按焊接工艺评定确定的参数焊接；

2 钢管桩桩身接长应采用桩身内衬套对接焊接，锁口构件连接应采用对接焊接；

3 对接长的钢管桩，其相邻桩的接头位置应上下错开；

4 当同一围堰内采用不同类型的钢管桩时，应通过锁口将相邻桩连接；

5 钢管桩与锁口拼装焊接应在加工场内进行，应按设计要求及现行国家标准《钢结构焊接规范》GB 50661 和《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的相关规定进行。

5.5.9 围檩及内支撑安装应符合本标准第 5.2.12 条的规定。

5.5.10 锁口漏水应采取填塞黏土、锯末、防水袋等材料预防处理或采用防水袋注浆处理。

5.5.11 浇筑封底混凝土应符合本标准第 5.2.14 条的规定。

5.5.12 钢管桩围堰拆除应符合下列规定：

1 拆除前应进行换撑和监测准备工作；

2 围堰拆除应按从下游到上游，内支撑从下往上、先支撑再围檩，最后拔除钢管桩的顺序进行；

3 应按拆撑工况分阶段向堰内注水，使堰内外的水头差为零；

4 围堰拆除后应对河床及时进行复原。

5.6 质量检验

5.6.1 钢板桩围堰质量检验与验收应符合下列规定：

1 钢板桩进场应全数检验合格证和出厂检验报告。

检查数量：每一批。

检验方法：检查检验报告。

2 钢板桩外观质量不应有严重缺陷，外形尺寸应符合设计

要求。

检查数量:全数检查。

检验方法:观察或尺量。

3 拼接钢板桩端头间隙不应大于 3mm,断面错位不应大于 2mm。

检查数量:全数检查。

检验方法:尺量。

4 钢板桩围堰几何尺寸应符合设计要求。

检查数量:全数检查。

检验方法:观察或尺量。

5 钢板桩围堰使用期间不得漏水、涌水,否则应采取相应措施。

检查数量:全数检查。

检验方法:观察或尺量。

6 内支撑安装前应进行材料和几何尺寸检验。

检查数量:全数检查。

检验方法:观察或尺量。

7 内支撑安装质量标准应符合表 5.6.1-1 的规定。

表 5.6.1-1 内支撑安装质量标准

序号	项 目	允许偏差(mm)	检查数量	检验方法
1	围檩标高	±30	全数	测量检查
2	水平支撑允许挠度	$L/250$	全数	测量检查
3	两端支座中心位移(加力前)	20	全数	测量检查
4	两端支座中心位移(加力后)	50	全数	测量检查
5	侧向弯曲矢高	$L/1500$ 且 <10.0	全数	测量检查
6	横撑间允许偏差(高程)	±50	全数	测量检查
7	横撑间允许偏差(水平间距)	±50	全数	测量检查
8	支撑安装时间	设计要求	全数	检查施工记录
9	开挖超深	<200	全数	测量检查

注:L为支撑长度。

8 钢板桩围堰施工完成后,允许偏差及检验方法应符合表 5.6.1-2 的规定。

表 5.6.1-2 钢板桩围堰施工完成后允许偏差及检验方法

序号	项 目	容许误差	检查数量	检验方法
1	桩墙纵向长度	不大于 1 根钢板桩的宽度	打桩过程中适当时候,1 次;打桩完成时,1 次	利用钢卷尺等
2	与桩墙定位轴线距离	±100mm	打桩完成时:1 根/20 根与设计轴线不同的点	利用经纬仪、钢卷尺
3	偏离桩墙定位轴线的倾斜度	顶部和底部宽度差小于 1 根桩;小于或等于 1/100	打桩过程中,1 次;打桩完成时(在端部),1 次	利用经纬仪、铅垂线、倾斜仪等
4	钢板桩顶高程	不低于设计高程	打桩完成后所有桩	利用水准仪
5	锁扣脱开	—	所有桩	观察

9 围堰封底混凝土施工质量应符合表 5.6.1-3 的规定。

表 5.6.1-3 围堰封底混凝土质量标准

序号	检查项目	规定值或允许偏差	检查数量	检验方法
1	封底混凝土顶面高程(mm)	+50	至少各测量 4 处	采用测砵测量
2	混凝土强度(MPa)	在合格标准内	每 100m ³ 取样 1 次,总数不得少于 2 次;超过 1000m ³ 后,每 500m ³ 取样 1 次;最后一批混凝土应取样 1 次;每次取样应制作同条件养护和标准养护试块各至少 1 组	混凝土试块检测

续表 5.6.1-3

序号	检查项目	规定值或允许偏差	检查数量	检验方法
3	厚度(mm)	满足设计要求	至少核查 4 处	测量封底前泥面标高和封底后混凝土顶面标高
4	平整度(mm)	100	至少核查 4 处	采用测砣测量

5.6.2 钢套箱围堰质量检验与验收应符合下列规定：

1 钢套箱围堰节段拼装质量检验应符合下列规定：

- 1)拼装的组对焊缝应进行超声波探伤检验,当达到 B 级检测 II 级为合格。

检查数量:不少于 20%焊缝长度。

检验方法:探伤检验,见证检验,检查检验报告。

- 2)壁板及隔舱板组对焊缝应进行抗渗试验。

检查数量:全数检查。

检验方法:煤油渗透法检验,见证检验。

- 3)上下节内外壁板、竖向肋、隔舱板应对齐,并应焊接牢固。

检查数量:全数检查。

检验方法:测量、观察。

- 4)钢套箱围堰节段拼装允许偏差项目和检验方法应符合表 5.6.2-1 的规定。

表 5.6.2-1 钢套箱围堰节段拼装允许偏差和检验方法

序号	项 目		允许偏差	检查数量	检验方法
1	内侧平面尺寸	长、宽及直径	1/700	矩形每边不少于 2 处,圆形不少于 2 处	尺量
2		对角线	1/500	上、下口	尺量

续表 5.6.2-1

序号	项 目		允许偏差	检查数量	检验方法
3	顶平面 相对高差	井箱相邻点高差	10mm	矩形每边不少 于3处,圆形一周 不少于8处	测量
4		全节围堰 最大高差	20mm		测量
5	围堰侧板倾斜度		箱体高度的 1/200	不少于4处	测量
6	围堰轴线偏差		50mm	不少于4处	测量
7	壁板对接错台		1mm	全检	测量
8	水平环对接错台		2mm	全检	测量

2 钢套箱围堰下沉就位允许偏差和检验方法应符合表 5.6.2-2 的规定。

表 5.6.2-2 钢套箱围堰下沉就位允许偏差和检验方法

序号	项 目	允许偏差	检查数量	检验方法
1	围堰顶高程	±100mm	矩形四角及每边 中点,圆形纵横向 轴线点	测量
2	中心位置	箱体高度的 1/50	底、顶面各不少 于4处	测量
3	倾斜度	1/150	矩形每边2处, 圆形纵横向轴线点	测量检查
4	封底混凝土 顶面高程	+50mm	矩形四角及每边 中点,圆形纵横向 轴线点	测量
5	壁板隔舱混凝土 填筑高程	±100mm	每隔舱各2处	测量
6	封底混凝土 厚度	0~+50mm	矩形四角及每边 中点,圆形纵横向 轴线点	测量封底前泥 面标高和封底后 混凝土顶面标高

3 钢套箱围堰内支撑及封底混凝土的质量检验应符合本标准第 5.6.1 条的规定。

5.6.3 钢吊箱围堰质量检验与验收应符合下列规定：

1 钢吊箱围堰拼装质量检验除应符合本标准第 5.6.2 条的规定外，围堰吊杆及底板拼装允许偏差和检验方法尚应符合表 5.6.3 的规定；

表 5.6.3 钢吊箱围堰吊杆及底板拼装允许偏差和检验方法

序号	项 目	允许偏差	检查数量	检验方法
1	围堰顶高程	±20mm	矩形四角及每边中点，圆形纵横向轴线点	测量
2	吊杆在底板处的安装位置偏差	±50mm	不少于 4 处	尺量

2 钢吊箱内支撑质量检验应符合本标准第 5.6.1 条的规定；

3 钢吊箱围堰下沉就位及封底质量检验应符合本标准第 5.6.2 条第 2 款的规定。

5.6.4 钢管桩围堰施工质量检验与验收应符合下列规定：

1 钢管桩进场应全数检验合格证和出厂检验报告。

检查数量：每一批。

检验方法：检查检验报告。

2 拼接钢管桩端头间隙不应大于 3mm，断面错位不应大于 2mm。管节对口拼装时，相邻管节的焊接应错开 1/8 周长以上，相邻管节的管径、板边高差允许偏差和检验方法应符合表 5.6.4-1 的规定。

表 5.6.4-1 相邻管节的管径、板边高差允许偏差和检验方法

序号	项 目	允许偏差	检查数量	检验方法
1	$D \leq 700\text{mm}$	管径偏差 $\leq 2\text{mm}$	全数	管口：用钢卷尺测量； 管身：用游标卡尺或外卡尺或样板、塞尺测量

续表 5.6.4-1

序号	项 目	允许偏差	检查数量	检 验 方 法
2	$D > 700\text{mm}$	管径偏差 $\leq 3\text{mm}$	全数	管口:用钢卷尺测量; 管身:用游标卡尺或 外卡尺或样板、塞尺 测量
3	板厚 $\delta \leq 10\text{mm}$	相邻管节对口的板 边高差 $\Delta < 1.0\text{mm}$	全数	用高度尺测量
4	$10\text{mm} < \text{板厚}$ $\delta \leq 20\text{mm}$	相邻管节对口的板 边高差 $\Delta < 2.0\text{mm}$	全数	用高度尺测量
5	板厚 $\delta > 20\text{mm}$	板边高差 $\Delta < \delta/10$, 且 $\leq 3\text{mm}$	全数	用高度尺测量

注: D 为桩径。

3 钢管桩外观检验应包括表面缺陷、长度、直径、壁厚、垂直度、锁口形状等。对不符合要求的钢管桩经过整修或焊接后,应采用同类型的短桩进行锁口通过试验,合格后方可使用。成品钢管桩的质量检验标准应符合表 5.6.4-2 的要求,自制钢管桩的外形尺寸应符合表 5.6.4-3 的规定。

表 5.6.4-2 成品钢管桩的质量检验标准

序号	检查项目		允许偏差或允许值		检查数量	检 验 方 法
			单位	数值		
1	钢管桩外径、 断面尺寸	桩端	mm	$\pm 0.5\% D$	全数	桩端:用钢卷尺 测量; 桩身:用游标卡尺 或外卡尺或样板、塞 尺测量
		桩身	mm	$\pm 1\% D$		
2	矢高		mm	$< 1/1000L$	全数	用钢尺量
3	端部平整度		mm	≤ 2	全数	用水平尺量
4	端部平面与 桩中心线的倾斜值		mm	≤ 2	全数	用水平尺量

注: L 为桩长, D 为桩径。

表 5.6.4-3 自制钢管桩外形尺寸的允许偏差

序号	偏差部位	允许偏差(mm)	检查数量	检验方法
1	周长	$\pm 0.5\%$ 周长, 且不大于 10	30%	用卷尺测量单根管 不少于 4 个断面
2	管端椭圆度	$\pm 0.5\% D$, 且不大于 5	30%	用钢尺量
3	管端平整度	≤ 2	全数	用水平尺量
4	管端平面倾斜	小于 $\pm 0.5\% D$, 且不大于 4	全数	用水平尺量

注: D 为桩外径。

4 钢管桩采用多层多道焊缝焊接时,每道焊缝的起焊位置应错开,每道焊缝完成后应及时清除焊渣,每层焊缝焊接完成后进行外观检查。焊缝外观的允许偏差和检验方法应符合表 5.6.4-4 的规定。

表 5.6.4-4 焊缝外观的允许偏差和检验方法

序号	缺陷名称	允许偏差	检查数量	检验方法
1	咬边	深度不应超过 0.5mm, 总长度不得超过 焊缝长度的 10%	全数	钢直尺测量长度
2	超高	$\leq 3\text{mm}$	全数	焊缝检测尺测量
3	表面裂缝、 未熔合、未焊透	不允许	100%	目测
			10%	磁粉探伤
4	弧坑、表面气孔、 夹渣	不允许	全数	目测

5 锁口应满足通过性试验。

6 钢管桩围堰成型后施工验收应符合表 5.6.4-5 的规定。

表 5.6.4-5 钢管桩施工质量检验

序号	项目	允许偏差 (mm)	检查数量	检验方法	备 注
1	首节桩身 垂直度	0.5%L	全数	用吊线和钢 尺检查	打入到设计深 度一半时检测
2	桩身垂直度	1.0%L	全数	用吊线和钢 尺检查	—
3	钢管桩桩位	±15	全数	经纬仪	入桩位的钢管 桩应紧靠内导向 架,如不能紧靠 时,其间隙应小 于 20mm
4	桩顶高程	不低于 设计要求	全数	水准仪量测	—
5	齿槽平直度 及光滑度	无电焊渣 或毛刺	全数	用 2m ~ 3m 长桩段做通过 试验	—
6	桩长度	不小于 设计长度	全数	用尺量	—

注:L为桩长。

7 钢管桩围堰几何尺寸、位置应满足承台基础施工要求。

8 钢管桩围堰内支撑及封底混凝土的质量检验应符合本标准第 5.6.1 条的规定。

6 监 测

6.1 一 般 规 定

- 6.1.1 钢围堰使用中应进行监测,应采用巡视检查和仪器设备观测。
- 6.1.2 钢围堰监测应结合围堰设计、施工组织设计编制专项监测方案。
- 6.1.3 应根据工程特点和可能存在的主要安全问题设置监测项目,应能反映围堰的工作状况。监测断面和部位选择应具有代表性。
- 6.1.4 钢围堰在度汛期间应加强巡视检查。
- 6.1.5 当发现变形破坏、漏水严重、底部翻砂鼓水等异常情况时,应及时处理。

6.2 监 测 内 容 与 方 法

- 6.2.1 变形观测基准点、观测点应在钢围堰施工前布设。
- 6.2.2 钢围堰基准点位置应稳定、安全、可靠,且基准点数量不应少于2个。
- 6.2.3 钢围堰布设支撑前应测读所有变形观测和水位观测的初始值,且初始值应采取不少于3次的测回。
- 6.2.4 监测宜采用相同的观测路线和测试方法。
- 6.2.5 现场使用的测量仪器精度应满足要求,并应经专业计量部门检定合格。
- 6.2.6 钢板桩围堰及钢管桩围堰监测项目应按表6.2.6选择。

表 6.2.6 钢板桩与钢管桩围堰监测项目

监测项目	钢围堰的安全等级		
	一级	二级	三级
平面位置监测	应测	应测	应测
桩身倾斜及变形	应测	应测	宜测
立柱竖向位移	应测	宜测	可测
支撑(拉锚)轴力	应测	宜测	可测
支撑挠度	应测	宜测	可测
支撑温度	应测	宜测	可测
围堰内部水位	应测	应测	应测
围堰外部水位	应测	应测	应测
周边地面沉降	应测	应测	应测
周边建(构)筑物沉降	应测	应测	应测
周边管线沉降	应测	应测	应测

6.2.7 钢套箱围堰监测项目应按表 6.2.7 选择。

表 6.2.7 钢套箱围堰监测项目

监测项目	钢围堰的安全等级		
	一级	二级	三级
平面位置监测	应测	应测	应测
围堰结构垂直度	应测	应测	应测
堰壁变形	应测	应测	应测
立柱竖向位移	应测	宜测	可测
支撑轴力	应测	宜测	可测
支撑挠度	应测	宜测	可测
壁板或支撑温度	应测	宜测	可测
围堰内部水位	应测	应测	应测
围堰外部水位	应测	应测	应测

续表 6.2.7

监测项目	钢围堰的安全等级		
	一级	二级	三级
周边地面沉降	应测	应测	应测
周边建(构)筑物沉降	应测	应测	应测
周边管线沉降	应测	应测	应测

6.2.8 钢吊箱围堰监测项目应按表 6.2.8 选择。

表 6.2.8 钢吊箱围堰监测项目

监测项目	钢围堰的安全等级		
	一级	二级	三级
平面位置监测	应测	应测	应测
控制点高程测量	应测	应测	应测
侧向位移、倾角	应测	应测	应测
壁板变形	应测	可测	可测
吊杆应力	应测	可测	可测
支撑挠度	应测	应测	可测
支撑轴力	应测	应测	可测
壁板、吊杆、支撑温度	应测	应测	可测
围堰内部水位	应测	应测	可测
围堰外部水位	应测	应测	宜测
周边建(构)筑物沉降	应测	应测	可测

6.2.9 钢围堰周边建(构)筑物、地下管线的沉降监测及预警值应符合国家现行标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120 和《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497 的规定。

6.2.10 钢板桩与钢管桩围堰监测项目、监测方法、测点布置、监测频率和预警限值应符合表 6.2.10 的规定。

表 6.2.10 钢板桩与钢管桩围堰监测项目、监测方法、
测点布置、监测频率和预警限值要求

监测项目	位置或监测对象	监测方法	测点布置	监测频率			预警限值
				一般阶段	汛期阶段	抽水及拆撑阶段	
桩顶水平位移	钢板桩顶部	全站仪	矩形围堰角点及中点,圆形围堰测点均布并不少于4点	1次/2d	1次/1d	1次/1d	设计值
桩顶竖向位移	钢板桩顶部	水准仪		1次/2d	1次/1d	1次/1d	设计值
桩身水平位移	钢板桩桩身	测斜管、测斜仪	围堰长边中点,测点竖向间距 0.5m~1m	1次/2d	1次/1d	1次/1d	设计值
支撑轴力	内支撑杆件	钢弦应变计	轴力较大处	1次/2d	1次/1d	1次/1d	设计值
支撑挠度	内支撑杆件	水准仪、全站仪	内支撑1/2、1/4处	1次/2d	1次/1d	1次/1d	设计值
支撑温度	内支撑杆件	温度计	轴力较大处	1次/2d	1次/2d	1次/1d	设计值
堰外水位	河流水位	水位标尺	选1根桩	1次/1d	2次/1d	2次/1d	—
堰内水位	围堰内水位	水位标尺	选1根桩	1次/1d	2次/1d	2次/1d	—
立柱竖向位移	立柱顶部	全站仪	立柱顶部	1次/2d	1次/1d	1次/1d	设计值

6.2.11 钢套筒围堰监测项目、监测方法、测点布置、监测频率和

预警限值应符合表 6.2.11 的规定。

表 6.2.11 钢套箱围堰监测项目、监测方法、
测点布置、监测频率和预警限值要求

监测项目	位置或监测对象	监测方法	测点布置	监测频率			预警限值
				一般阶段	汛期阶段	抽水及拆撑阶段	
堰顶水平位移	钢围堰顶部	全站仪	矩形围堰角点及中点,圆形围堰测点均布并不少于4点	1次/2d	1次/1d	1次/1d	设计值
堰顶竖向位移	钢板桩顶部	水准仪		1次/2d	1次/1d	1次/1d	设计值
支撑轴力	内支撑杆件	应变计	轴力较大处	1次/2d	1次/1d	1次/1d	设计值
支撑挠度	内支撑杆件	水准仪、全站仪	内支撑1/2、1/4处	1次/2d	1次/1d	1次/1d	设计值
壁板温度	内外壁板	温度计	水温及内壁板水面以上1/2高度处不少于3点	1次/2d	1次/2d	1次/1d	设计值
堰外水位	河流水位	水位标尺	围堰长边中点处或圆形围堰任意一点处	1次/1d	2次/1d	2次/1d	—
堰内水位	围堰内水位	水位标尺		1次/1d	2次/1d	2次/1d	—
立柱竖向位移	立柱顶部	全站仪	立柱顶部	1次/2d	1次/1d	1次/1d	设计值

6.2.12 钢吊箱围堰监测项目、监测方法、测点布置、监测频率和预警限值应符合表 6.2.12 的规定。

**表 6.2.12 钢吊箱围堰监测项目、监测方法、
测点布置、监测频率和预警限值要求**

监测项目	位置或监测对象	监测方法	测点布置	监测频率			预警限值
				一般阶段	汛期阶段	抽水及拆除阶段	
堰顶水平位移	钢围堰顶部	全站仪	矩形围堰角点及中点，圆形围堰测点均布并不少于4点	1次/2d	1次/1d	1次/1d	设计值
支撑轴力	内支撑杆件	应变计	轴力较大处	1次/2d	1次/1d	1次/1d	设计值
支撑挠度	内支撑杆件	水准仪、全站仪	内支撑1/2、1/4处	1次/2d	1次/1d	1次/1d	设计值
壁板温度	内外壁板	温度计	水温及内壁板水面以上1/2高度处不少于3点	1次/2d	1次/2d	1次/1d	设计值
吊杆应力	吊杆	应变计	设计拉力最大的吊杆且不少于3根	1次/2d	1次/1d	1次/1d	设计值
堰外水位	河流水位	水位标尺	围堰长边中点处或圆形围堰任意1点处	1次/1d	2次/1d	2次/1d	—
堰内水位	围堰内水位	水位标尺		1次/1d	2次/1d	2次/1d	—

6.3 数据处理与应用

6.3.1 现场的监测资料应符合下列规定：

- 1 应使用正式的监测记录表格；
 - 2 监测记录应有相应的工况描述；
 - 3 监测数据应及时整理；
 - 4 对监测数据的变化及发展情况应及时分析和评述。
- 6.3.2 当观测数据出现异常时应分析原因,必要时应进行重测。
- 6.3.3 监测项目数据分析应结合其他相关项目的监测数据和自然环境、施工工况等情况及以往数据进行,并应对其发展趋势进行预测。
- 6.3.4 应绘制围堰位移(应力、水位)-时间曲线,并应符合下列规定:
- 1 当位移(应力、水位)-时间曲线趋于平缓时,应进行回归分析；
 - 2 当位移(应力、水位)-时间曲线出现反常急骤变化或位移超过预警值时,应分析原因,并应采取必要的安全措施。

6.4 监测管理

- 6.4.1 技术成果应包括当日报表、阶段性报告、总结报告。技术成果的内容应真实、准确、完整,并宜采用文字阐述与绘制变化曲线或图形相结合的形式反映。技术成果应按时报送。
- 6.4.2 应定期编写监测分析报告。
- 6.4.3 监测数据的处理与信息反馈宜利用专门的基坑工程监测数据处理与信息管理系统软件实现数据采集、处理、分析、查询和管理的一体化及监测成果的可视化。

附录 A 荷载与作用

A.1 永久作用

A.1.1 结构重力计算时,材料容重可按表 A.1.1 取用。

表 A.1.1 常用材料的容重

材料种类	容重(kN/m ³)
钢	78.5
钢筋混凝土	25.0~26.0
混凝土或片石混凝土	24.0
碎石	21.0
填土	17.0~18.0
填石	19.0~20.0

A.1.2 计算作用在围堰结构上的水平荷载时,应包括下列内容:

- 1 围堰内外土的自重(包括地下水或地表水);
- 2 围堰周边既有和在建的建(构)筑物荷载;
- 3 围堰周边施工材料和设备荷载;
- 4 围堰周边道路车辆荷载;
- 5 冻胀、温度变化、流水压力、冲击力、风荷载、冰压力、波浪力、靠船力及其他因素产生的作用。

A.1.3 作用在围堰结构上的土压力应符合下列规定:

1 围堰结构外侧的主动土压力强度标准值、围堰结构内侧的被动土压力强度标准值宜按下列公式计算(图 A.1.3):

1)对地下水位以上或水土合算的土层:

$$P_{ak} = \sigma_{ak} K_{a,i} - 2c_i \sqrt{K_{a,i}} \quad (\text{A.1.3-1})$$

$$K_{a,i} = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_i}{2} \right) \quad (\text{A.1.3-2})$$

$$P_{pk} = \sigma_{pk} K_{p,i} + 2c_i \sqrt{K_{p,i}} \quad (\text{A. 1. 3-3})$$

$$K_{p,i} = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi_i}{2} \right) \quad (\text{A. 1. 3-4})$$

式中： P_{ak} ——围堰结构外侧第 i 层土中计算点的主动土压力（水土压力）强度标准值（kPa），当 $P_{ak} < 0$ 时，取 $P_{ak} = 0$ ；

σ_{ak} 、 σ_{pk} ——围堰结构外侧、内侧计算点的土中竖向应力标准值（kPa）；

$K_{a,i}$ 、 $K_{p,i}$ ——第 i 层土的主动土压力系数、被动土压力系数；

c_i 、 φ_i ——第 i 层土的黏聚力（kPa）、内摩擦角（°）；

P_{pk} ——围堰结构内侧第 i 层土中计算点的被动土压力（水土压力）强度标准值（kPa）。

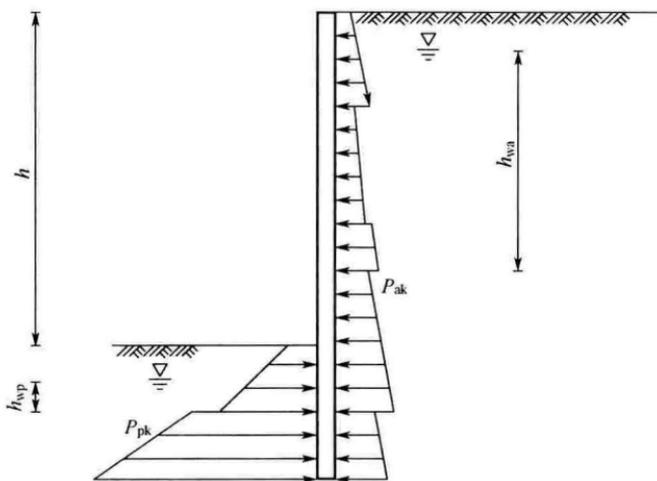


图 A. 1. 3 土压力计算

2) 对于水土分算的土层：

$$P_{ak} = (\sigma_{ak} - u_a) K_{a,i} - 2c_i \sqrt{K_{a,i}} + u_a \quad (\text{A. 1. 3-5})$$

$$P_{pk} = (\sigma_{pk} - u_p) K_{p,i} + 2c_i \sqrt{K_{p,i}} + u_p \quad (\text{A. 1. 3-6})$$

式中： u_a 、 u_p ——围堰结构外侧、内侧计算点的水压力（kPa）。

2 在土压力影响范围内,当存在相邻建筑物地下墙体等稳定界面时,可采用库仑土压力理论计算界面内有限滑动楔体产生的主动土压力,此时,同一土层的土压力可采用沿深度线性分布形式,围堰结构与土之间的摩擦角宜取零。

3 当需限制围堰结构的水平位移时,围堰结构外侧的土压力宜取静止土压力。

4 当有可靠经验时,可采用围堰结构与土相互作用的方法计算土压力。

A.1.4 对成层土,土压力计算时的各土层计算厚度应符合下列规定:

1 当土层厚度较均匀、层面坡度较平缓时,宜取邻近勘察孔的各土层厚度,或同一计算剖面内各土层厚度的平均值;

2 当同一计算剖面内各勘察孔的土层厚度分布不均时,应取最不利勘察孔的各土层厚度;

3 对复杂地层且距勘察探孔较远时,应通过综合分析土层变化趋势后确定土层的计算厚度;

4 当相邻土层的土性接近,且对土压力的影响可忽略不计或有利时,可归并为同一计算土层。

A.1.5 土中竖向应力标准值应按下列公式计算:

$$\sigma_{ak} = \sigma_{ac} + \sum \Delta\sigma_{ak,j} \quad (\text{A.1.5-1})$$

$$\sigma_{pk} = \sigma_{pc} + \sum \Delta\sigma_{pk,j} \quad (\text{A.1.5-2})$$

式中: σ_{ac} ——围堰结构外侧计算点由土及土中水自重产生的竖向总应力(kPa);

σ_{pc} ——围堰结构内侧计算点由土及土中水自重产生的竖向总应力(kPa);

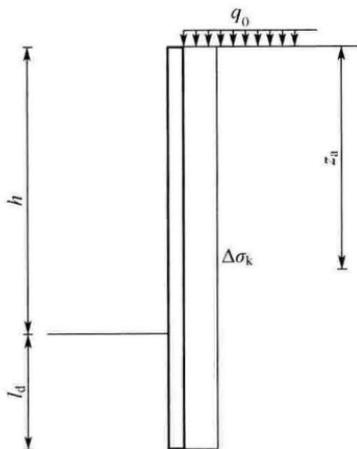
$\Delta\sigma_{pk,j}$ 、 $\Delta\sigma_{ak,j}$ ——围堰结构内外侧第 j 个附加荷载作用下计算点的土中附加竖向应力标准值(kPa)。

A.1.6 围堰结构内外侧均布附加荷载作用下的土中附加竖向应

力标准值应按下式计算(图 A. 1. 6):

$$\Delta\sigma_k = q_0 \quad (\text{A. 1. 6})$$

式中: q_0 ——围堰结构内、外侧均布附加荷载标准值(kPa),当水位高于地表时,应计入地表以上部分水压力。



图A. 1. 6 围堰外侧均布竖向附加荷载作用下的土中附加竖向应力计算

A. 1. 7 围堰结构内外侧局部附加荷载作用下的土中附加竖向应力标准值应符合下列规定:

1 对条形基础下的附加荷载(图 A. 1. 7)应按下式计算:

当 $d + a/\tan\theta \leq z_n \leq d + (3a + b)/\tan\theta$ 时:

$$\Delta\sigma_k = \frac{p_0 b}{b + 2a} \quad (\text{A. 1. 7-1})$$

当 $z_n < d + a/\tan\theta$ 或 $z_n > d + (3a + b)/\tan\theta$ 时,取 $\Delta\sigma_k = 0$ 。

式中: p_0 ——基础底面附加压力标准值(kPa);

d ——基础埋置深度(m);

b ——基础宽度(m);

a ——围堰结构外边缘至基础的水平距离(m);

θ ——附加荷载的扩散角($^\circ$),宜取 $\theta = 45^\circ$;

z_a ——围堰结构顶面至土中附加竖向应力计算点的竖向距离(m)。

2 对矩形基础下的附加荷载(图 A. 1. 7)应按下式计算:

当 $d+a/\tan\theta \leq z_a \leq d+(3a+b)/\tan\theta$ 时:

$$\Delta\sigma_k = \frac{p_0 bl}{(b+2a)(l+2a)} \quad (\text{A. 1. 7-2})$$

当 $z_a < d+a/\tan\theta$ 或 $z_a > d+(3a+b)/\tan\theta$ 时,取 $\Delta\sigma_k = 0$ 。

式中: b ——与围堰边垂直方向上的基础尺寸(m);

l ——与围堰边平行方向上的基础尺寸(m)。

3 对作用在地面的条形、矩形附加荷载,按本条第 1 款、第 2 款计算土中附加竖向应力标准值 $\Delta\sigma_k$ 时,应取 $d=0$ (图 A. 1. 7)。

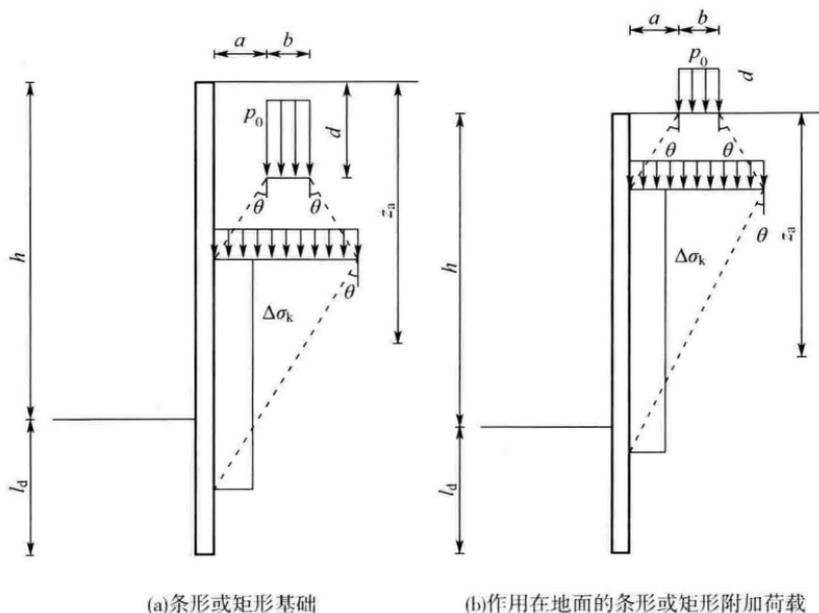


图 A. 1. 7 围堰外侧局布附加荷载作用下的土中附加竖向应力计算示意

A. 1.8 当围堰结构顶部低于地面,其上方采用放坡或土钉墙时,围堰结构顶面以上土体对围堰结构的作用宜按库仑土压力理论计算,也可将其视作附加荷载,并按下列公式计算土中附加竖向应力标准值(图 A. 1. 8)。

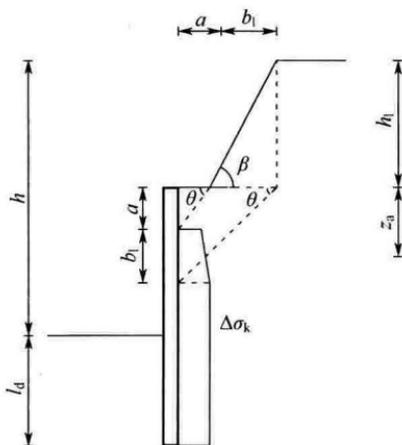


图 A. 1. 8 围堰顶部以上采用放坡或土钉墙时土中附加竖向应力计算示意

1 当 $a/\tan\theta \leq z_a \leq (a+b_1)/\tan\theta$ 时:

$$\Delta\sigma_k = \frac{\gamma h_1}{b_1} (z_a - a) + \frac{E_{ak1} (a + b_1 - z_a)}{K_a b_1^2} \quad (\text{A. 1. 8-1})$$

$$E_{ak1} = \frac{1}{2} \gamma h_1^2 K_a - 2ch_1 \sqrt{K_a} + \frac{2c^2}{\gamma} \quad (\text{A. 1. 8-2})$$

2 当 $z_a > (a+b_1)/\tan\theta$ 时:

$$\Delta\sigma_k = \gamma h_1 \quad (\text{A. 1. 8-3})$$

3 当 $z_a < a/\tan\theta$ 时:

$$\Delta\sigma_k = 0 \quad (\text{A. 1. 8-4})$$

式中: z_a ——围堰结构顶面至土中附加竖向应力计算点的竖向距离(m);

a ——围堰结构外边缘至放坡坡脚的水平距离(m);

b_1 ——放坡坡面的水平尺寸(m);

θ ——扩散角($^\circ$),宜取 $\theta=45^\circ$;

h_1 ——地面至围堰结构顶面的竖向距离(m);

γ ——围堰结构顶面以上土的天然重度(kN/m^3),对多层土取各层土按厚度加权的平均值;

c ——围堰结构顶面以上土的黏聚力(kPa);

K_a ——围堰结构顶面以上土的主动土压力系数,对多层土取各层土按厚度加权的平均值;

E_{ak1} ——围堰结构顶面以上土的自重所产生的单位宽度主动土压力标准值(kN/m)。

A. 1. 9 作用于围堰四周的静水压力可按下列公式计算:

$$u_a = \gamma_w h_{wa} \quad (\text{A. 1. 9-1})$$

$$u_p = \gamma_w h_{wp} \quad (\text{A. 1. 9-2})$$

式中: u_a 、 u_p ——围堰结构外侧、内侧计算点的水压力(kPa);

h_{wa} ——围堰外侧地下水位至主动土压力强度计算点的垂直距离(m);对承压水,地下水位取测压管水位;当有多个含水层时,应取计算点所在含水层的地下水位;

h_{wp} ——围堰内侧地下水位至被动土压力强度计算点的垂直距离(m);对承压水,地下水位取测压管水位。

A. 1. 10 水的浮力标准值可按下式计算:

$$F_w = \gamma_w V_w \quad (\text{A. 1. 10})$$

式中: F_w ——水浮力(kN);

V_w ——结构排开水的体积(m^3)。

A. 2 可变作用

A. 2. 1 流水压力计算应符合下列规定:

1 作用于钢围堰迎水面的流水压力 F_{w1} 可按下式计算:

$$F_{w1} = KA \frac{\gamma_w V^2}{2g} \quad (\text{A. 2. 1})$$

式中: F_{w1} ——流水压力标准值(kN);

- K ——形状系数,按表 A. 2. 1 取值;
 A ——阻水面积(m^2),计算至一般冲刷线处;
 V ——设计水流速度(m/s);
 g ——重力加速度(m/s^2)。

表 A. 2. 1 钢围堰形状系数

形 状	K
方形	1.5
矩形(长边与水流平行)	1.3
圆形	0.8
尖端形	0.7
圆端形	0.6

2 流水压力合理的着力点,假定在设计水位线以下 30% 水深处。

A. 2. 2 风荷载计算应符合下列规定:

1 施工阶段的设计风速可按下式计算:

$$V_{sd} = \eta V_d \quad (\text{A. 2. 2-1})$$

式中: V_{sd} ——不同重现期下的设计风速(m/s);

η ——风速重现系数,按表 A. 2. 2-1 选用;

V_d ——设计基准风速(m/s)。

表 A. 2. 2-1 风速重现期系数

重现期(年)	5	10	20	30	50	100
η	0.78	0.84	0.88	0.92	0.95	1

2 钢围堰上作用的风荷载,在风作用下钢围堰的静风荷载可按下式计算:

$$F_H = \frac{1}{2} \rho V_g^2 C_H A_n = \frac{\rho}{2} G_v^2 V_{10}^2 \left(\frac{z}{10} \right)^{2\alpha} C_H A_n \quad (\text{A. 2. 2-2})$$

式中: ρ ——空气密度(kN/m^3),取为 1.25;

V_g ——静阵风风速(m/s);

- α ——地表粗糙度系数,按表 A. 2. 2-2 取用;
- z ——围堰水面以上高度(m),按表 A. 2. 2-2 取用;
- G_v ——静阵风系数,按表 A. 2. 2-3 规定取用;
- C_H ——构件的阻力系数,按表 A. 2. 2-4 取用;
- A_n ——构件顺风向投影面积(m^2);
- V_{10} ——结构基本风速(m/s),为开阔平坦地貌条件下,地面上 10m 高度处,100 年重现期的 10min 平均年最大风速。

表 A. 2. 2-2 地表分类

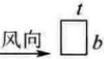
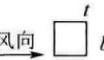
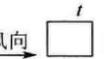
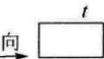
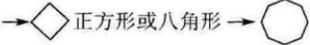
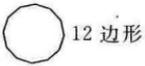
地表类别	地表状况	地表粗糙度系数 α	围堰水面以上高度 z (m)
A	海面、海岸、开阔水面、沙漠	0.12	0.01
B	田野、乡间、丛林、平坦开阔地及低层建筑物稀少地区	0.16	0.05
C	树木及低层建筑物等密集地区、中高层建筑物稀少地区、平缓的丘陵地	0.22	0.3
D	中高层建筑物密集地区、起伏较大的丘陵地	0.30	1.0

表 A. 2. 2-3 静阵风系数 G_v

地表类别	水平加载长度(m)		
	<20	60	100
A	1.29	1.28	1.26
B	1.35	1.33	1.31
C	1.49	1.48	1.45
D	1.56	1.54	1.51

注:水平加载长度为钢围堰全长。

表 A. 2. 2-4 钢围堰的阻力系数 C_H

截面形状	t/b	钢围堰的高宽比			
		1	2	4	6
风向 	$\leq 1/4$	1.3	1.4	1.5	1.6
风向 	1/3, 1/2	1.3	1.4	1.5	1.6
风向 	2/3	1.3	1.4	1.5	1.6
风向 	1	1.2	1.3	1.4	1.5
风向 	3/2	1.0	1.1	1.2	1.3
风向 	2	0.8	0.9	1.0	1.1
风向 	3	0.8	0.8	0.8	0.9
风向 	≥ 4	0.8	0.8	0.8	0.8
 正方形或八角形		1.0	1.1	1.1	1.2
 12 边形		0.7	0.8	0.9	0.9
 光滑表面圆形 若 $DV_0 \geq 6\text{m}^2/\text{s}$		0.5	0.5	0.5	0.5
 1. 光滑表面圆形, 若 $DV_0 < 6\text{m}^2/\text{s}$ 2. 有粗糙面或带凸起的圆形		0.7	0.7	0.8	0.8

3 作用在钢围堰的风荷载可按地面或水面以上 65% 钢围堰高度处的风速值确定。

A. 2. 3 温度作用计算应符合下列规定：

1 钢围堰当计入温度作用时，应根据当地具体情况、结构物使用的材料和施工条件等因素计算由温度引起的结构效应。

2 材料的线膨胀系数可按表 A. 2. 3 取用。

表 A. 2. 3 线膨胀系数

结构种类	线膨胀系数(以℃计)
钢结构	0.000012
混凝土和钢筋混凝土结构	0.000010

3 当计算钢围堰结构因均匀温度作用引起外加变形或约束变形时，应从受到约束时的结构温度开始，计入最高温度和最低有效温度的作用效应。

A. 2. 4 冰对钢围堰产生的冰压力计算应符合下列规定：

1 冰压力标准值应按下式计算：

$$F_i = m C_t b t R_{ik} \quad (\text{A. 2. 4})$$

式中： F_i ——冰压力标准值(kN)；

m ——钢围堰迎冰面形状系数，按表 A. 2. 4-1 取用；

C_t ——冰温系数，按表 A. 2. 4-2 取用；

b ——钢围堰迎冰面投影宽度(m)；

t ——计算冰厚(m)；

R_{ik} ——冰的抗压强度标准值(kN/m²)，取当地冰温 0℃时的冰抗压强度；当缺乏实测资料时，对海冰取 $R_{ik} = 750\text{kN/m}^2$ ；对河冰、流冰开始时，最高流冰水位取 $R_{ik} = 450\text{kN/m}^2$ 。

表 A. 2. 4-1 钢围堰迎冰面形状系数 m

迎冰面形状 系数	平面	圆弧形	尖角形的迎冰面角度				
			45°	60°	75°	90°	120°
m	1.00	0.90	0.54	0.59	0.64	0.69	0.77

表 A. 2. 4-2 冰温系数 C_i

冰温(°C)	0	-10 及以下
C_i	1. 0	2. 0

注:1 表列冰温系数可直线内插;

2 对海冰,冰温取结冰期最低冰温;对河冰,取解冻期最低冰温。

2 当冰块流向钢围堰轴线的角度 $\varphi \leq 80^\circ$ 时,钢围堰竖向边缘的冰荷载应乘以 $\sin\varphi$ 予以折减;

3 冰压力合力作用在计算结冰水位以下 30% 冰厚处。

A. 2. 5 波浪力大小计算应符合现行行业标准《港口与航道水文规范》JTS 145 的规定。

A. 2. 6 船舶荷载计算应按现行行业标准《港口工程荷载规范》JTS 144—1 的有关规定计算。作用在围堰结构上的船舶荷载应包括下列内容:

- 1 由风和水流产生的系缆力;
- 2 由风和水流产生的对围堰结构挤靠力;
- 3 船舶靠近围堰结构时产生的撞击力;
- 4 系泊船舶在波浪作用下产生的撞击力等。

A. 2. 7 施工临时荷载应根据采用的施工方法和工艺的实际情况确定。

A. 3 偶然作用

A. 3. 1 船舶或漂流物撞击力计算应符合下列规定:

1 位于通航河流或有漂流物的河流中的钢围堰,漂流物横桥向撞击力标准值可按下式计算:

$$F = \frac{WV}{gT} \quad (\text{A. 3. 1})$$

式中: F ——漂流物横桥向撞击力标准值(kN);

W ——漂流物重力(kN),根据河流中漂流物情况,按实际调查确定;

V ——水流速度(m/s)；

T ——撞击时间(s)，根据实际资料估计，在无实际资料时，取 1s。

2 内河船舶的撞击作用点应假定为计算通航水位线以上 2m 的钢围堰宽度或长度中点。海轮船舶撞击力作用点应根据实际情况确定。漂流物撞击力作用点应假定在计算通航水位线上钢围堰宽度的中点。

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

- 《混凝土结构设计规范》GB 50010
- 《钢结构设计规范》GB 50017
- 《工程测量规范》GB 50026
- 《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153
- 《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205
- 《组合钢模板技术规范》GB/T 50214
- 《钢结构工程质量检验评定标准》GB 50221
- 《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497
- 《钢结构焊接规范》GB 50661
- 《热轧钢板桩》GB/T 20933
- 《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120
- 《港口工程荷载规范》JTS 144—1
- 《港口与航道水文规范》JTS 145
- 《重力式码头设计与施工规范》JTS 167—2

中华人民共和国国家标准

钢围堰工程技术标准

GB/T 51295 - 2018

条文说明

编制说明

《钢围堰工程技术标准》GB/T 51295—2018,经住房和城乡建设部 2018 年 4 月 25 日第 79 号公告批准发布。

本标准制订过程中,编制组进行了认真细致的调查研究,总结了我国钢围堰工程设计、施工与质量验收实践经验,同时参考了国内外先进技术法规、技术标准。

为便于广大设计、施工、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,《钢围堰工程技术标准》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、根据以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	(101)
3	基本规定	(102)
4	设 计	(106)
4.1	一般规定	(106)
4.2	方案设计	(107)
4.3	设计计算内容	(110)
4.4	结构分析	(112)
4.5	稳定性验算	(118)
4.6	构件计算	(131)
4.7	钢板桩围堰构造设计	(147)
4.8	钢套箱围堰构造设计	(150)
4.9	钢吊箱围堰构造设计	(152)
4.10	钢管桩围堰构造设计	(153)
5	钢围堰施工及质量检验	(157)
5.1	一般规定	(157)
5.2	钢板桩围堰施工	(157)
5.3	钢套箱围堰施工	(163)
5.4	钢吊箱围堰施工	(163)
5.5	钢管桩围堰施工	(164)
6	监 测	(165)
6.1	一般规定	(165)
6.2	监测内容与方法	(165)
附录 A	荷载与作用	(166)

1 总 则

1.0.2 本标准适用于铁路、市政、公路、水利、港口、海洋等工程构筑物建造时使用的钢围堰临时工程。由于建造构筑物位置处的水文、地质、气象、航道等条件的不同,根据采用钢结构的围堰形式和施工方法,钢围堰可分为钢板桩围堰、钢套箱围堰、钢吊箱围堰、钢管桩围堰、其他钢围堰。其中其他钢围堰包括插板(型钢)钢围堰、混凝土底板吊箱围堰、钢筋混凝土底节的套箱围堰以及钢板桩、钢套箱、钢管桩组合形成的钢围堰。

3 基本规定

3.0.2 主体工程设计的相关资料不满足钢围堰设计要求时,应结合主体工程勘察资料和钢围堰的设计方案进行有针对性的补充勘察及现场调查,包括工程所在地的地形测量、地质勘察、水文勘察、工程环境与施工条件调查等内容。补充勘察应符合《岩土工程勘察规范》GB 50021的规定外,内容及深度应满足钢围堰设计与施工的要求。

3.0.3 钢围堰支护工程为主体结构地下部分的施工而采取的临时性措施。钢围堰支护首先应具有防止钢围堰的开挖危害周边环境的功能;其次,应具有保护工程自身主体结构施工安全的功能,应为主体地下结构施工提供正常施工的作业空间及环境、提供施工材料、设备堆放和运输的场地、道路条件,隔断钢围堰内外地下水、地表水以及保证地下结构和防水工程的正常施工。本条规定的目的是明确钢围堰支护工程不能只考虑本项目的要求和利益,而损害环境和相邻建(构)筑物所有权人的利益。

3.0.5 划分钢围堰安全等级综合考虑的主要因素有:影响围堰服务对象重要性的主体工程安全等级和使用年限;影响围堰规模的平面尺寸;影响围堰施工难度的围堰高度、施工水深、围堰深度范围砂层、淤泥层厚度;造成重大灾难和损失的失事后果等。据此对表 3.0.5-1~表 3.0.5-3 中主要指标说明如下:

(1)失事后果一栏很难用定量指标体现。《公路桥梁和隧道工程设计安全风险评估指南(试行)》(2010年9月)将失事后果按人员伤亡、经济损失及环境影响划分为5级。美国土木工程学会将失事后果按人员伤亡和经济损失划分为3级。英国土木工程学会按人员伤亡和经济损失划分为4级。俄罗斯等一些国家提出施工

期按成本分类划分等级。本标准参考《水利水电围堰设计规范》SL 645—2013 将围堰失事后带来的经济损失按其程度划为特别严重、严重和一般 3 级。

(2)使用年限指围堰服务对象的主体工程基础的施工年限。围堰挡水期越长,遭遇洪水及风浪破坏的风险则越大。目前,国内外大型桥梁基础施工期大约为 1 年~3 年,一般工程大约 1 年左右。因此,将 1 级围堰使用时间限定在 2 年以上,2 级围堰的使用时间限定为 1 年~2 年,3 级围堰的使用时间限定在 1 年以内。围堰的最危险工况一般出现在汛期及海上围堰工程的台风期。

3.0.6 水位、风速、波浪重现期、波高累积频率参考《水利水电围堰设计规范》SL 645—2013、《公路桥梁抗风设计规范》JTG/T D60-01—2004、《公路工程水文勘测设计规范》JTG C30—2015 等规范及实际工程案例(图 1)确定。

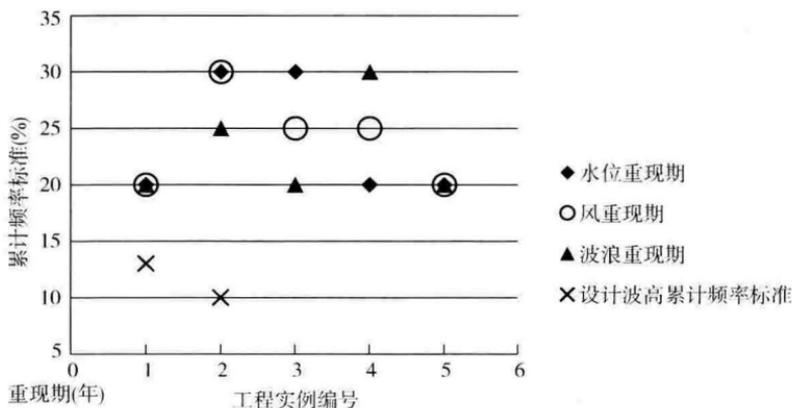


图 1 实际工程水位、风速、波浪重现期、波高累积频率案例

3.0.7 钢材质量应分别符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700、《低合金高强度结构钢》GB/T 1591、《桥梁用结构钢》GB/T 714 等的规定。结构用钢板的厚度和外形尺寸应符合现行国家标准《热轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差》GB/T 709 的

规定。当焊接承重结构为防止钢材的层状撕裂而采用 Z 向钢时,其材质应符合现行国家标准《厚度方向性能钢板》GB/T 5313 的规定。对耐腐蚀有特殊要求时,宜采用 Q235NH、Q355NH 和 Q415NH 牌号的耐候结构钢,其性能和技术条件应符合现行国家标准《耐候结构钢》GB/T 4171 的规定。

焊接材料手工焊接所用的焊条应符合现行国家标准《碳钢焊条》GB/T 5117 或《低合金钢焊条》GB/T 5118 的规定;自动焊或半自动焊用焊丝应符合现行国家标准《熔化焊用钢丝》GB/T 14957、《气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝》GB/T 8110、《碳钢药芯焊丝》GB/T 10045、《低合金钢药芯焊丝》GB/T 17493 的规定。埋弧焊用焊丝、焊剂应符合现行国家标准《埋弧焊用碳素钢焊丝和焊剂》GB/T 5293、《埋弧焊用低合金钢焊丝和焊剂》GB/T 12470 的规定。

紧固件材料中钢结构连接用 4.6 级与 4.8 级普通螺栓(C 级螺栓)及 5.6 级与 8.8 级普通螺栓(A 级或 B 级螺栓),其性能和质量应符合现行国家标准《紧固件机械性能 螺栓、螺钉和螺柱》GB/T 3098.1 的规定。C 级螺栓与 A 级、B 级螺栓的规格和尺寸应分别符合现行国家标准《六角头螺栓 C 级》GB/T 5780 与《六角头螺栓》GB/T 5782 的规定。

钢结构用大六角头高强度螺栓的材质和性能应符合现行国家标准《钢结构用高强度大六角头螺栓》GB/T 1228、《钢结构用高强度大六角螺母》GB/T 1229、《钢结构用高强度垫圈》GB/T 1230、《钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件》GB/T 1231 的规定。扭剪型高强度螺栓的材质和性能应符合现行国家标准《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副》GB/T 3632 的规定。

铆钉应采用现行行业标准《标准件用碳素钢热轧圆钢及盘条》YB/T 4155 中规定的 BL2 或 BL3 号钢制成。

3.0.8 考虑碳素结构钢和低合金高强度结构钢各牌号 A 级钢的 C、Si、Mn 等化学成分可不作为交货条件,冲击吸收能力和碳当量

都缺少明确规定,为确保钢围堰钢材的可焊接性和冲击韧性,防止焊缝出现裂纹和脆断,建议钢围堰采用 B 级以上结构钢材制造。

3.0.11 施工前应根据合同文件、设计文件、现场条件及钢围堰工程重点、难点和工艺特点,选择合理可行的施工方法,应合理配备适用的船机、设备、机具和劳动力等资源,布置施工场地总平面,并编制施工专项方案。

3.0.12 对于气象、水文、航运等建设条件复杂的大型、深水钢围堰工程,特别是位于外海的钢围堰,由于存在风暴潮、台风、大雾、雷暴等恶劣天气,气象和水文条件非常复杂,往往还要通航大型海轮,而且各海域之间情况差别很大,目前还缺乏系统的理论分析和经验总结。为保证复杂条件下钢围堰工程的安全性和可靠性,特制订本条文。

4 设 计

4.1 一 般 规 定

4.1.4 钢围堰在高度方向上荷载和作用的组合值是变化的。一般情况下,钢围堰顶面荷载和作用的组合值小于底面位置的组合值。为保证钢围堰设计的安全性,贯彻经济适用的原则,宜结合制造时的节段划分,在高度方向上采用不同的材料、尺寸和布置,以充分发挥材料的强度,提高材料的利用率,同时避免发生不同位置安全度差别较大的情况。

4.1.5 钢围堰虽然属于临时结构物,但当施工周期较长、使用环境腐蚀类型复杂、腐蚀等级较高时也应考虑其耐久性,并做相应的防腐设计。其防腐设计应贯彻适用、经济的原则,因防腐增加的费用不宜过高,可采用表面涂装、增加腐蚀余量等方法。

4.1.8 本条对各章土压力、土的各种稳定性验算公式中涉及的土的抗剪强度指标的试验方法进行了归纳并做出统一规定。因为土的抗剪强度指标随排水、固结条件及试验方法的不同有多种类型的参数,不同试验方法得出的抗剪强度指标的结果差异很大,计算和验算时不能任意取用,应采用与钢围堰支护结构开挖过程土中孔隙水的排水和应力路径基本一致的试验方法去获得计算指标。由于各章有关公式很多,在各个公式中一一指明其试验方法和指标类型难免重复累赘,因此,在这里做出统一说明,应用具体章节的公式计算时,应与此对照,防止误用。

根据土的有效应力原理,理论上对各种土均采用水土分算方法计算土压力更合理,但实际工程应用时,黏性土的孔隙水压力计算问题难以解决,因此对黏性土采用总应力法更为实用,可以通过将土和水作为一体的总应力强度指标反映孔隙水压力的作用。砂

土采用水土分算计算土压力是可以做到的,因此本标准对砂土采用水土分算方法。

按有效应力原理,土的抗剪强度与有效应力存在相关关系,也就是说只有有效抗剪强度指标才能真实地反映土的抗剪强度。但在实际工程中,黏性土无法通过计算得到孔隙水压力随钢围堰支护结构开挖过程的变化情况,从而也就难以采用有效应力法计算钢围堰支护结构的土压力、水压力和进行钢围堰稳定性分析。从实际情况出发,本条规定在计算土压力与进行土的稳定性分析时,黏性土应采用总应力法。采用总应力法时,土的强度指标按排水条件是采用不排水强度指标还是固结不排水强度指标,应根据钢围堰支护结构开挖过程的应力路径和实际排水情况确定。由于钢围堰支护结构开挖过程是卸载过程,钢围堰支护结构外侧的土中总应力是小主应力减小,大主应力不增加;结构内侧土中竖向总应力减小,同时,黏性土在剪切过程可看作是不排水的。因此认为,土压力计算与稳定性分析时,均采用固结快剪较符合实际情况。

淤泥、淤泥质土等饱和软黏土采用三轴不固结不排水抗剪强度能较好地反映其总强度,且计算结果偏于安全,在参考《建筑地基基础设计规范》GB 5007—2011、《深圳市基坑技术规范》SJG 05—2011 等规范的基础上,考虑到钢围堰安全性要求较高,因此淤泥、淤泥质土等饱和软黏土宜采用三轴不固结不排水抗剪强度指标。

对地下水位以下的砂土,可认为剪切过程水能排出而不出现超静水压力。对静止地下水、孔隙水压力可按水头高度计算。所以,采用有效应力方法并取相应的有效强度指标较为符合实际情况,但砂土难以用三轴试验与直剪试验得到原状土的抗剪强度指标,要通过其他方法测得。

4.2 方案设计

4.2.1 方案设计应综合考虑制造、运输、施工和拆除等各阶段的

需求,并根据工程特点初拟结构形式,根据相应行业的结构设计规范初拟构件尺寸、支撑梁间距及平面布置,绘制钢围堰总图,并初步确定制造、运输、施工和拆除方案。

4.2.2 钢围堰支护的另一个功能是提供安全的主体地下结构施工环境。其设计与施工除应保护支护结构周边环境安全外,还应满足主体结构施工及使用对支护结构的要求。

4.2.3 由于钢围堰支护工程具有开挖与其支护结构施工交替进行的特点,所以,其计算应按钢围堰开挖与支护结构的实际情况分各种工况进行计算,且设计计算工况应与实际施工工况相一致。大多数情况下,钢围堰开挖到底部时内力与变形最大;但少数情况下,钢围堰支护结构某构件的受力状况不一定随开挖进程是递增的,也会出现开挖过程某个中间工况的内力最大。设计文件中应指明钢围堰支护结构各构件施工顺序及相应的开挖深度,以防止在开挖过程中,未按设计工况完成某项施工内容就开挖到下部深度,从而造成本工况下的超挖。

4.2.6、4.2.7 钢围堰选型应考虑以下内容:

钢板桩围堰可分为单排、双排和格型钢板桩围堰,按照生产工艺可划分为冷弯和热轧,按照截面型式可分为 U 型、Z 型、直线型、组合墙型。钢板桩围堰一般情况下采用拉森型钢板桩。拉森钢板桩分Ⅳ型、Ⅴ型、Ⅵ型,最常用的是Ⅳ型拉森钢板桩。围堰内支撑体系,需要根据围堰的尺寸、深度选取钢管、工字钢或者 H 型钢进行支护。

钢板桩围堰一般采用单壁的矩形、圆形等结构形式,内部根据水位情况设置支撑,该围堰可重复使用,一般没有封底混凝土;施工简单、快捷,成本较低。但是,该围堰也有很大的局限性,其一,由于是拼装式结构,整体刚度较小,因此其抗水流及冲刷能力差,不宜于在流速较大的情况下使用;其二,由于其本身强度、刚度局限,在承台较深时,需设置强而密的支撑,对后续的承台及墩身施工干扰很大,因此,不宜在水位较高的情况下使用;其三,因为要重

复使用,不宜灌注封底混凝土,因此,在既要满足底部支撑力,又要满足较小渗流的情况下,对河床提出了较高的要求,因此,不宜在透水性强,承载力小的地层条件和河床覆盖层较薄的地质情况下使用。

钢套筒围堰按形状可分为圆形和矩形(圆端形),其中每种围堰又有单壁、双壁以及单双壁组合式。圆形围堰,由于在水压力作用下,只产生环向轴力,可不设内支撑,因此能够提供足够的施工空间;另外,由于其截面可以导流,因此抗水流能力强,适用于流速较大的深水河流的低桩承台的施工。矩形或圆端形围堰,可按承台的尺寸形状设计,相对圆形围堰,减少了围堰钢壁的用量以及封底混凝土的用量。但是由于该围堰需加设内支撑,给后续施工带来诸多不便;另外,其抗水流冲击能力和整体性较差,不宜在流速较大的河流中使用。单、双壁的构造主要是考虑钢围堰下沉和受力的需要而设计的,由于钢套筒围堰重量轻,在需要挖土较深的情况下仅靠自重难以下沉,需灌注配重混凝土,此时需设置双壁结构;如果下沉较浅,借自重可以下沉,可设计为单壁结构;如在满足下沉需要的前提下,又要节省材料,可设计成单、双壁组合式结构。

钢围堰结构形式的确定受多种因素的制约,如水文、地质、起重设备等。平面形状的确定主要受承台平面尺寸的影响以及水深的影响。经比较,当承台的平面尺寸长宽比小于1.5时,采用圆形围堰更为合理;在水深大于15m的情况下,若采用矩形围堰,需加设多层内支撑,施工空间难以保证,同时也大大增加了钢材的用量,此时采用圆形围堰更为合理。

钢吊箱围堰适用于承台底面距河床面较高,或承台以下为较厚的软弱土层且水深流急的环境条件。吊箱围堰就是悬吊在水中的有底套箱,在修建桥梁深水桩基时,可采用沉桩导向定位,吊箱就位固定后,在吊箱内灌注水下混凝土封底,即可浇筑承台混凝土。

钢管桩围堰是以带锁口的钢管桩代替钢板桩,通过导向框(导

向架)下沉到位;并可视作将双壁钢围堰化整为零,由各根管桩来穿过沉船、片石等水下障碍物的围堰。钢管桩相互间通过锁口相连构成的基础施工防水围堰的特点是:钢管桩截面惯性矩大,具有很强的抗弯能力,可大大简化围堰的内支撑体系,方便施工;同时,钢管桩的刚度和稳定性较好,可采用强制下沉方式,因此它更适用于有地下障碍物的地方使用。锁口钢管桩围堰综合了钢板桩围堰和双壁钢围堰的结构受力特点。

4.2.8 单双壁竖向组合钢围堰是采用单壁钢围堰和双壁钢围堰相组合的形式,主要适用于水位较深的工程。设计出发点考虑水位较深,上部水压力较小,采用单壁钢围堰;下部水压力较大,采用双壁钢围堰。通过合理增加内支撑等措施,来促使单双壁协同工作。但由于围堰高度较大,分节较多,相应施工技术较为复杂,目前国内相关的工程实例不多。

4.3 设计计算内容

4.3.1、4.3.2 根据现行国家标准《工程结构可靠性设计统一标准》GB 50153—2008 的规定,并结合钢围堰支护工程自身的特殊性,条文对承载能力极限状态与正常使用极限状态这两类极限状态在钢围堰支护工程中的具体表现形式进行了归类,目的是使工程技术人员能够对钢围堰支护工程各类结构的各种破坏形式有一个总体认识,设计时对各种破坏模式和影响正常使用的状态进行控制。

正常使用极限状态计算在构件设计中占有重要地位,尽管不像承载能力极限状态计算那样直接涉及结构的安全问题,但如果设计不好,也有可能间接引发结构的安全问题。

4.3.4 结构通常要同时承受多种作用。在进行结构设计时,无论是承载能力极限状态还是正常使用极限状态,均应考虑可能同时出现的多种作用的组合,求其总的作用效应,同时考虑到作用出现的变化性质,包括作用出现与否及作用出现的方向。

在构件进行承载力及稳定计算时,作用(或荷载)对结构构件的抗力均采用已考虑了分项系数的设计值;在多种作用(或荷载)情况下,应将各设计值效应进行最不利组合,并根据参与组合的作用(或荷载)情况,取用不同的效应组合系数。

作用(或荷载)可按不限于表 1 的规定组合。

表 1 作用组合

荷载分类	荷载名称	组合 1	组合 2	组合 3	组合 4	组合 5
永久作用	结构重力	√	√	√	√	√
	附属设备和附属结构重力	√	√	√	√	√
	土压力	√	√	√	√	√
	静水压力	√	√	√	√	√
	水浮力	√	√	√	√	√
	预加力	√	√	√	√	√
可变作用	流水压力	√	√	—	—	√
	冲击力	√	√	—	√	—
	风荷载	—	√	√	√	—
	温度作用	√	√	√	√	√
	冰压力	—	—	—	√	—
	波浪力	—	—	√	—	—
	施工临时荷载	√	√	√	√	—
船舶荷载	√	√	√	√	—	
偶然作用	船舶或漂流物撞击力	—	—	—	—	√

4.3.5 围堰结构的承载能力极限状态设计,按照可能出现的作用,将其分为基本组合和偶然组合。作用的基本组合是指永久作用设计值与可变作用设计值的组合,这种组合用于结构的常规设计,是所有围堰结构都应该考虑的。作用偶然组合是指永久作用标准值、可变作用代表值和一种偶然作用设计值的组合,视具体情况,也可不考虑可变作用参与组合。各行业标准的极限承载能力计算存在差异,在实际计算中应按各行业标准执行。

4.3.6、4.3.7 构件的抗裂、裂缝宽度和挠度计算,同属正常使用极限状态计算,它们之间有内在关系,在荷载取值上应相同。

钢围堰结构水平位移、钢围堰周边建(构)筑物和地面沉降的限值应按不影响主体结构正常施工,不影响建(构)筑物、地下管线、地下构筑物、道路等正常使用的要求确定,并应符合国家现行行业规范对其允许变形的规定。

构件应力计算实质上是构件强度计算,是对构件承载力计算的补充,在实际计算中应按各行业标准执行。

4.4 结构分析

4.4.1 钢围堰是一个由岩土与围堰结构组成,并相互作用的复杂结构体系。结构分析时应根据周边条件,合理确定结构模型与边界约束条件。在确定模型边界约束时应重点注意地形地质、荷载组合及施工条件对约束条件的影响。

地形地质引起的边界条件变化导致钢围堰各单元荷载及位移约束条件的不同,如钢围堰结构跨越地形变化(河床倾斜:一侧埋深较浅、一侧埋深较深)、地质变化(土质差异明显、岩面倾斜等)、水流冲刷(冲刷前后引起地形变化)。

荷载组合引起的边界条件变化包括:钢围堰结构受到由不同的永久荷载、可变荷载、偶然荷载组合的作用效应。荷载组合作用力直接作用于围堰结构,使其发生变形或产生位移。由于钢围堰结构平面尺寸较大,各单元荷载组合差异明显,引起荷载组合的边界约束条件也不同。如钢围堰的迎水面与背水面所受流水压力不同。

施工阶段引起的边界条件变化包括:钢围堰施工阶段改变可引起围堰各单元位移及荷载边界约束条件明显改变。如增加内支撑前与增加内支撑后、钢围堰抽水前与抽水后,单元位移、荷载边界约束条件不同。

围堰岩土结构体系的受力分析可按线弹性理论进行,但是当

结构的变形不能被忽略或体系材料进入了明显非线性阶段时,则应计入各类非线性对结构受力的影响。围堰体系主要包括岩土材料非线性、钢围堰结构非线性及边界约束方程非线性三个方面。岩土非线性包括土的大变形和材料黏弹塑性的本构等内容。具体来说土的变形特性除应该包括一定荷载下变形发展过程的固结问题和最终变形量的压缩问题外,还应包括土从加载至破坏全过程的应力与变形关系。土的变形特性随着土的特性(粒度、湿度、密度、结构)、应力特征、温度条件与时域条件等的变化会有复杂的表现。土的多孔多向性、非均质性、非连续性、非各向同性、黏摩共存性等使得土在本构关系所表现出黏弹塑性、剪切胀缩性、应力交叉性、弹塑变形耦合性以及它们共同组合影响的复杂性。因此,土的变形分析需在力学的基本原理和方法的基础上考虑土的多孔、松散介质的力学特性,运用非线性弹性模型($E-u$ 模型、 $K-G$ 模型等)、弹塑性模型(Cam-clay模型、“南水”模型、Lade-Duncan模型等)等定性、定量的方法来分析。在结构分析中应根据分析对象的特点进行必要的简化,选择与之对应的非线性本构模型。分析时应根据围堰周边岩土体特征并结合地区经验,合理取用。

钢围堰结构非线性可分为材料非线性、几何非线性、边界约束方程非线性。材料非线性指钢围堰的材料本构方程是非线性的,从而导致基本控制方程的非线性。在研究钢围堰的正常使用状态时,采用线性的方法来研究,但研究围堰的极限承载力等时,需采用非线性的本构关系进行研究,也就是考虑材料进入塑性阶段。几何非线性是指任何具有弹性的结构在外部和(或)内部作用改变时,结构都将发生弹性变形。变形后结构达到新的位置,形成新的平衡条件。因此对结构建立平衡状态方程,应该按照内部和(或)外部作用后的新位置来建立,也就是说建立平衡方程需考虑结构的变形状态,这样一来所有的结构实际上都是几何非线性的。对于一般结构由于在内外作用下,总体位移是微小的,结构变形引起的刚度变化对计算结果不会产生不能接受的影响。但是对有些

问题,采用不考虑变形影响来建立平衡方程,往往会得出与实际完全不符的结论,此时需考虑结构非线性的影响。边界约束方程非线性是指工程中常遇到某些支座或约束只能受拉或受压,而结构在内外作用下,这些支座或约束的状态开始并不能直接确定,需要通过试算才能确定。围堰结构中一旦有某些支座退出或参与工作,那么结构可能发生体系上的变化,开始建立的平衡方程显然不再适用,因此这类问题也是非线性问题,比材料和几何非线性问题更特殊。

钢围堰结构形式有圆形、圆端形、矩形。钢围堰结构为圆形、圆端形时,钢围堰在承压受力时与拱形类似,具有环向应力效应。当外部荷载不大,钢围堰变形较小时,环向应力效应对结构有利,按本标准计算设计偏保守;当外部荷载较大,钢围堰在受到较小应变即发生大变形时,环向应力效应对结构不利,此时应引起注意。钢围堰结构为矩形时,钢围堰转角处垂直的钢围堰面板间具有支撑力,按本标准设计计算偏保守。

由三维简化平面条形的过程不可避免地忽略钢围堰不同受力单元的荷载差异及结构强度差异,不利于从结构整体分析钢围堰的受力与变形。钢围堰结构仅从最不利情况进行整体设计,将导致材料及施工成本浪费。本标准可供从业人员对围堰结构局部及边界条件相对简单的围堰结构进行控制计算。对于边界条件复杂的大型围堰结构需要结合有限元分析计算,以保证围堰结构的安全、经济、合理。

为避免抗剪强度试验数据离散型较大所带来的设计不安全或不合理,需将土的剪切试验强度指标与其他室内及原位试验的物理学参数进行对比分析,判断其试验指标的可靠性,防止误用。当差异较大或缺少符合实际基坑开挖条件的试验方法时,应结合类似工程经验和相邻、相近场地的岩土勘察试验数据并通过可靠的综合分析判断后合理取值。缺少经验时,应取偏于安全的试验方法得出的抗剪强度指标。

钢围堰工程设计时,应考虑由于施工过程中对土的强度产生的多种影响因素,并根据地区经验对土的强度指标做必要调整:当进行围堰降水使土体产生固结,或因围堰内有工程桩基等对围堰支护结构的工作状态有利等因素存在时,计算相应的土压力所采用的抗剪强度指标一般不予调整。围堰内侧被动区加固处理时,加固区强度指标应根据试验或当地经验确定。对非饱和土,应考虑围堰施工过程中土层含水量变化对土的强度的影响。对硬黏土及泥岩、页岩,应注意围堰开挖暴露后可能发生的软化、崩解。对软土地区、暴露时间较长的围堰,应考虑软土强度随时间的变化。

4.4.2 钢围堰支护结构的有些构件,如锚杆和支撑,是随支护结构开挖过程逐步设置的,基坑需按锚杆或支撑的位置逐层开挖。支护结构设计工况,是指设计时拟定的锚杆和支撑与支护结构开挖的关系,设计好开挖与锚杆或支撑设置的步骤,对每一开挖过程支护结构的受力进行分析。因此,支护结构施工和开挖时,只有遵循设计的开挖步骤才能满足设计受力状况的要求。一般情况下,支护结构开挖到基底时受力与变形最大,但有时也会出现开挖中间过程或围堰内主体结构施工过程,支护结构变形和受力最大,支护结构构件的截面或锚杆抗拔力应按最不利情况确定。

4.4.3 钢围堰支护结构应根据具体形式与受力、变形特性等采用下列分析方法:第1款~第3款方法的分析对象为钢围堰支护结构本身,不包括土体。土体对支护结构的作用视作荷载或约束。这种分析方法将支护结构看作杆系结构,一般都按线弹性考虑,是目前最常用和成熟的支护结构分析方法。

支撑式围堰结构,按结构分解简化原则,首先将结构的挡土构件部分取作分析对象,按梁计算。挡土结构宜采用平面杆系结构弹性支点法进行分析。分解出的内支撑结构按平面结构进行分析,将挡土结构分析时得出的支点力作为荷载反向加至内支撑上。值得注意的是,将支撑式结构分解为挡土结构和内支撑结构分别独立计算时,在其连接处是应满足变形协调条件的。当计算的变

形不协调时,应调整在其连接处简化的弹性支座的弹簧刚度等约束条件,直至满足变形协调。

挡土结构端部嵌入土中时,土对结构变形的约束作用与通常结构支承不同,土的变形影响不可忽略,其不能看作固支端。锚杆作为梁的支承,其变形的影响同样不可忽略,也不能作为铰支座或滚轴支座。因此,挡土结构按梁计算时,土和锚杆对挡土结构的支承应简化为弹性支座,应采用本节规定的弹性支点法计算简图。

锚拉式围堰结构的分解简化原则与支撑式围堰结构相同。

悬臂式围堰结构是支撑式和锚拉式围堰结构的特例,对挡土支护结构而言,只是将锚杆或支撑所简化的弹性支座取消即可。

本条第4款是针对空间结构体系和针对围堰结构与土为一个整体的分析方法。

实际的围堰支护结构一般都是空间结构。空间结构的分析方法复杂,当有条件时,希望根据受力状态的特点和结构构造,将结构分解为简单的平面结构进行分析。但会遇到一些特殊情况,按平面结构简化难以反映实际结构的工作状态。此时,需要按空间结构模型分析。但空间结构的分析方法复杂,不同问题要不同对待,难以作出细化的规定。通常,需要在有经验时,才能建立合理的空间结构模型。按空间结构分析时,应使结构的边界条件与实际情况足够接近,这需要设计人员有较强的结构设计经验和水平。

考虑结构与土相互作用的分析方法是岩土工程中先进的计算方法,是岩土工程计算理论和计算方法的发展方向,但需要可靠的理论依据和试验参数。可在已有成熟方法计算分析结果的基础上用于分析比较,不能滥用。采用该方法的前提是要有足够的工程经验来把握。

4.4.4 实际工程中支撑、冠梁及腰梁、立柱、围护结构和围堰外土体等连接成一体并形成空间结构。因此,在一般情况下应考虑支撑体系在平面上各点的不同变形与围护结构的变形协调作用而优先采用整体分析的空间分析方法。但是,支护结构的空间分析方

法由于建立模型相对复杂,部分模型参数的确定也没有积累足够的经验,因此,目前将空间支护结构简化为平面结构的分析方法和平面有限元法应用较为广泛,有条件时宜采用空间有限元分析方法。

4.4.5~4.4.7 这几条是对弹性支点法计算方法的规定。由于土反力与土的水平反力系数关系采用线弹性模型,计算出的土反力将随位移 v 增加线性增长,但实际上土的抗力是有限的。如采用摩尔-库仑强度准则,则不应超过被动土压力,即以 E_{pk} 作为土反力的上限。计算土的水平反力系数的比例系数 m_x 值的经验公式(4.4.7-2),是根据大量实际工程的单桩水平载荷试验,按公式

$$m = \left(\frac{H_{cr}}{x_{cr}} \right)^{\frac{5}{3}} / b_0 (EI)^{\frac{2}{3}}, \text{ 经与土层的 } c, \varphi \text{ 值进行统计建立的。}$$

4.4.8 温度变化会引起钢支撑轴力改变,但由于对钢支撑温度应力的研究较少,目前对此尚无成熟的计算方法。温度变化对钢支撑的影响程度与支撑构件的长度有较大的关系,根据经验,对长度超过 40m 的支撑,认为可考虑 10%~20% 的支承内力变化。

目前,内支撑的计算一般不考虑支撑立柱与挡土构件之间、各支撑立柱之间的差异沉降,但支撑立柱下沉或隆起,会使支撑立柱与钢围堰结构之间、立柱与立柱之间产生一定的差异沉降。当差异沉降较大时,在支撑构件上增加的偏心距会使水平支撑产生次应力。因此,当预估或实测差异沉降较大时,应按此差异沉降量对内支撑进行计算分析并采取相应措施。

4.4.11 锚杆抗拔试验参照《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120—2012 附录 A 的规定进行。

4.4.12 变形包括支护周围土体变形,应根据土质、支护情况及当地经验采用合适的估算方法,本标准列出钢板桩的变形估算公式如下:

$$\delta_v = kah \quad (1)$$

式中: δ_v ——变形量(m);

k ——修正系数,对钢板桩取 $k=1.0$;

α ——地表沉降量与围堰开挖深度之比(%),可参照图 2 查取;

h ——围堰开挖深度。

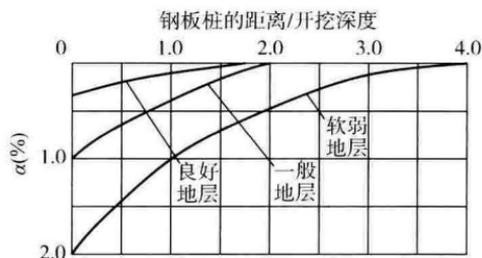


图 2 α 系数表

其他钢围堰结构形式可采用有限元进行变形量分析,确保结构变形值满足变形控制值。

4.5 稳定性验算

4.5.1 钢围堰的主要功能是抵抗围堰外部水、土压力并提供围堰内部干燥的工作平台或混凝土的外模。在设计计算时,应考虑钢围堰本体的制造、运输、下沉、混凝土封底,抽水、承台浇筑以及拆除等各种施工工况,应考虑每一种工况的荷载或作用及其传力途径、每一种工况的边界条件等对钢围堰稳定性进行验算。本标准结合相关行业规范,列出了一般钢围堰结构主要应考虑的稳定性问题,并提供了相应的简化计算公式及安全系数。考虑到钢围堰结构类型及施工工艺的多样性、作用及边界条件的复杂性,本标准不一定能涵盖所有稳定性验算要求,对特别复杂的钢围堰工程应开展专项研究,确保工程安全。

4.5.2 围堰结构整体稳定性验算模式,以瑞典条分法边坡稳定性计算公式为基础,因围堰结构的平衡性和结构强度已通过结构分析解决,在截面抗剪强度满足剪应力作用下的抗剪要求后,挡土构

件不会被剪断。因此,穿过挡土构件的各滑弧不需验算,即假定破坏面为通过围堰底以下的圆弧,以圆弧滑动土体为分析对象,分析平衡力矩。对于锚固式围堰结构在稳定力矩中加入了锚杆拉力对圆弧滑动体圆心的抗滑力矩项,假定滑动面上土剪力达到极限强度的同时,滑动面外锚杆也达到极限拉力。锚固段的极限抗拔承载力应按《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120—2012 第 4.7.4 条确定。

悬臂式围堰结构仅需把本条公式中与锚杆相关项目去除即可。双层钢板桩围堰整体稳定性验算可参照现行行业标准《格形钢板桩码头设计与施工规程》JTJ 293 执行。

钢围堰结构整体稳定验算参照《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120—2012 第 4.2.3 条及《港口工程地基规范》JTS 147-1—2010 第 6.3.3.1 条~第 6.3.4.1 条确定。不同规范的整体稳定安全系数取值见表 2。

表 2 不同规范整体稳定性安全系数

规范名称	上海市 《基坑工程技术规范》 DG/TJ 08-61—2010	《建筑地基 基础设计 规范》GB 50007—2011	《建筑基坑支 护技术规程》 JGJ 120— 2012	《深圳市 基坑支护 技术规范》 SJG 05—2011	《建筑基坑工 程技术规范》 YB 9258—97	《港口工程地 基规范》JTS 147-1—2010
安全系数	重力式 1.45, 放坡 开挖 1.3, 板 式 1.25	1.3	重力式 1.3, 放坡 1.3、1.25, 悬臂、锚拉 板式 1.35、 1.3、1.25	放坡、重 力式 1.2, 锚 拉板式、钢 板桩 1.35、 1.3、1.25	一般 1.1~ 1.2, 黏性 土不计渗 流 1.4	土坡及地 基稳定按圆 弧滑动简单 条分法 1.1~ 1.43

对于支撑式围堰结构的整体稳定性验算,各地区仍存在一定认识上的差异,如《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120—2012 并未对支撑式支挡结构做出整体稳定性验算的具体要求;上海地区基坑规范则认为:考虑支撑作用时,在支撑失稳破坏前,通常不发生整体破坏,因此仅对设一道支撑的基坑进行整体稳定验算,对于多

道内支撑时可不作验算,而天津地区规范则认为应考虑支撑作用;因此本次标准编制暂未列出支撑式围堰结构整体稳定性验算公式,各地区可结合本地区经验进行验算。

4.5.3 第1款:钢套箱围堰在进入河床深度较浅时,可能在横向外荷载的作用下发生整体倾覆。此时需进行钢围堰整体抗倾覆验算。钢围堰抗倾覆验算中可考虑钢围堰与土之间的摩擦力,以围堰脚趾为转动点计算时,摩擦力合力 F_{fk} 偏安全假定与重力共线。

结合不同规范的抗倾覆安全系数(表3)取值,建议一般情况下钢围堰结构整体抗倾覆安全系数不宜低于1.5。

表3 不同规范的抗倾覆稳定性安全系数

规范	《建筑边坡工程技术规范》 GB 50330—2013	《给水排水工程钢筋混凝土沉井结构设计规程》 CECS 137:2015	《沉井与气压沉箱施工规范》 GB/T 51130—2016	国家及各地方 基坑设计规范
安全系数	重力式挡土墙, 1.6(不计被动土抗力)	沉井,1.5	沉井与沉箱, 1.5	重力式约1.1~ 1.3

第2款:悬臂式围堰结构无撑无锚,完全依靠钢板桩、钢管桩等的入土深度保持围堰的稳定。一般用于开挖深度不大的围堰工程中。可变荷载合力、静水压力、主动土压力、被动土压力等对O点取力矩,要求抵抗力矩大于倾覆力矩。

第3款:对锚拉式及支撑式钢板(管)桩、钢套箱围堰,应以最下道支撑为转动轴心对局部抗倾覆进行验算。对多撑多锚围堰结构验算时应注意,主动土压力、静水压力、可变荷载等仅计算最下道支撑以下的部分。

针对第2款、第3款的抗倾覆验算,目前各地区基坑规范(表4)按其重要性,抗倾覆安全系数取值一般为1.15~1.25之间,考虑到钢围堰结构在水中施工难度较大,安全性要求较高,且各种作

用的变异性要大,因此适当提高安全度很有必要,局部抗倾覆验算参考《板桩码头设计与施工规范》JTS 167-3—2009 及《建筑地基基础设计规范》GB 50007—2011 等规范(表 4)及实际工程案例(图 3)拟定,一级、二级、三级安全等级围堰抗倾覆安全系数宜分别取 1.35、1.3、1.25。

表 4 不同规范抗倾覆稳定性安全系数

规范名称	《板桩码头设计与施工规范》 JTS 167-3—2009	《建筑地基基础设计规范》 GB 50007—2011	《建筑基坑支护技术规程》 JGJ 120—2012	《深圳市基坑支护技术规范》 SJG 05—2011
安全系数	1.35~1.86(施工阶段按分项系数法折算后的安全系数)	1.3	重力式 1.3, 单点支撑(锚拉)板式、双排桩 1.25、1.2、1.15	重力式 1.3, 单点支撑板式、双排桩 1.25、1.2、1.15

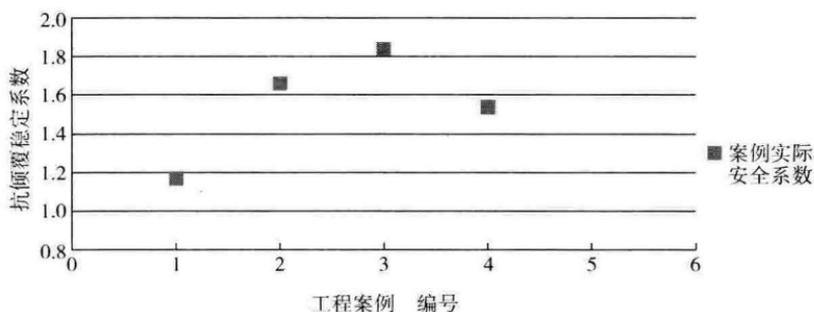


图 3 钢板(管)桩围堰工程抗倾覆稳定安全系数统计分布图

第 4 款:悬臂式双排钢板桩围堰结构的计算方法与基坑重力式挡土结构计算方法基本相同,由于这类围堰结构厚度一般较大,其自重对抗倾覆稳定性的有利作用不应忽略。参照表 4 拟定双排钢板桩围堰结构抗倾覆安全系数宜取 1.3。双排桩钢围堰除了按本条第 3 款验算抗倾覆稳定性外,尚应取拉杆位置作为转动轴心,按最不利工况进行抗倾覆稳定验算(图 4),具体计算可参照有关规定执行。

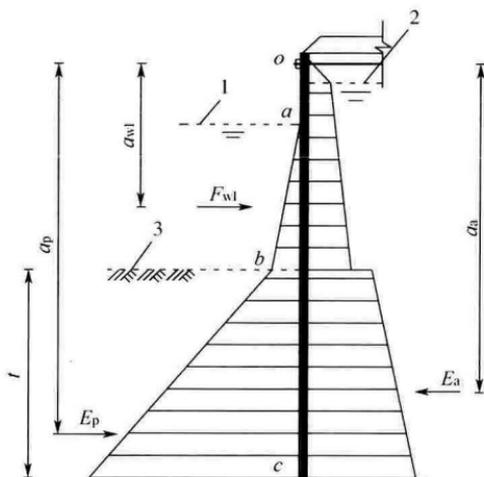


图 4 双排钢板桩围堰结构以拉杆为转动轴心抗倾覆稳定性验算示意图
1—堰内计算水位；2—双排钢板桩围堰内部计算水位；3—河床或地面

4.5.4 钢围堰水平受力不平衡时可产生水平滑动。当水平向力平衡时钢围堰处于稳定状态。

钢板桩、钢管桩围堰结构入土深度较大，一般不会发生整体滑动，考虑到钢套筒围堰入土深度较浅，故本条要求对其做整体抗滑移验算，其滑移稳定分析与水工沉井等结构基本类似。

围堰结构底与土的摩擦系数主要与钢套筒刃脚和接触土层的摩擦及土层本身性质有关，目前暂没有统一的取值标准，建议通过试验确定，当有类似工程经验时亦可按经验取值。本标准在编制过程对多种工程的摩擦系数取值进行了资料收集，详见表 5。

表 5 不同规范及文献摩擦系数取值表

规范名称	《铁路桥涵地基和基础设计规范》 TB 10002.5—2005	《顶管施工技术及验收规范(试行)》	《顶管施工技术》 (余彬泉等编著， 人民交通出版社， 1998年)	《盾构施工技术》 (陈馈等主编， 人民交通出版社， 2009年)
结构材料	一般为圬工结构	混凝土管或钢管	混凝土管或钢管	钢结构

续表 5

规范名称	《铁路桥涵地基和基础设计规范》 TB 10002.5—2005	《顶管施工技术及验收规范(试行)》	《顶管施工技术》 (余彬泉等编著,人民交通出版社,1998年)	《盾构施工技术》 (陈馈等主编,人民交通出版社,2009年)
摩擦系数	基底的摩擦系数,0.25(软塑黏土)~0.7(硬质岩)	管道表面与其周围土层之间的摩擦系数,0.2~0.4(湿土);0.4~0.6(干土)	顶管工程管与土的摩擦系数, $\tan \frac{\varphi}{2}$ (φ 为土层的内摩擦角)	土层与盾壳的摩擦系数, $\frac{1}{2} \tan \varphi$ (φ 为土层的内摩擦角)

从表 5 可以看出,摩擦系数与接触土层的性质密切相关,一般土层强度越高,摩擦系数也越大。钢结构与一般圬工结构相比由于表面性质不同,与土发生接触时摩擦系数略小。因此当无地区经验或试验资料时围堰结构底(钢刃脚)与土的摩擦系数可略保守取 $\tan \frac{\varphi}{2}$ 。

整体抗滑移安全系数参照《给水排水工程钢筋混凝土沉井结构设计规程》CECS 137:2015 等规范(表 6)及工程案例拟定。建议一般情况下钢围堰结构整体抗滑移稳定安全系数不应低于 1.3。

表 6 不同规范抗滑移稳定性安全系数

规范名称	《建筑边坡工程技术规范》 GB 50330—2013	《给水排水工程钢筋混凝土沉井结构设计规程》 CECS 137:2015	《沉井与气压沉箱施工规范》 GB/T 51130—2016
安全系数	重力式挡土墙,1.3	沉井,1.3	沉井与沉箱,1.3

悬臂式双排钢板桩围堰抗滑移验算参照了《干船坞设计规范》GB/T 8524—2011 第 9.1.8 条拟定,取桩底面作为计算滑动面,当前后板桩入土深度不同时,应取通过入土深度较浅的板桩桩底标高的水平面为计算滑动面,此时计算滑动面以下的板桩的抵抗作用不予考虑,只作安全储备。另外,尚应取围堰坑底面作为计算

滑动面进行验算。水平抗滑移安全系数参考《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120—2012 及《干船坞水工结构设计规范》JTJ 252—87 等(表 7)规定宜取大于 1.2。

表 7 不同规范水平抗滑移稳定性安全系数

规范名称	上海市《基坑工程技术规范》 DG/TJ 08-61—2010	《建筑基坑工程技术规范》 YB 9258—97	《建筑基坑支护技术规程》 JGJ 120—2012	《深圳市基坑支护技术规范》 SJG 05—2011	《干船坞水工结构设计规范》 JTJ 252—87
安全系数	重力式, 1.2; 基坑边长小于 20m, 取 1.0	重力式按库仑土压力水土分算, 1.1~1.2; 水土合算, 1.4	重力式, 1.2	1.2	设计组合, 1.2~1.3; 校核组合, 1.1~1.2

4.5.5 当对双排桩围堰迎水侧或背水侧进行计算时,由于填土的宽度有限,采用经典的土压力理论计算则高估了土压力值,过于保守,需要考虑有限宽度范围的土压力折减。本标准参考《格形钢板桩码头设计与施工规程》JTJ 293—98,采用柯敏思法计算填料的抵抗力矩,内部剪切稳定安全系数宜取 1.65。

4.5.6 钢围堰抗隆起稳定性验算大致分为两类,一类是按浅基础验算饱和软黏性土的极限承载力能否满足,另一类是以围堰底最下道支撑为圆心,以圆心至围堰底为半径的滑弧;对圆心点取力矩,以抗滑力矩与滑动力矩的比值验算稳定安全系数能否满足。

第 1 款、第 2 款:钢围堰抗隆起稳定性验算采用地基极限承载力的 Prandtl(普朗德尔)极限平衡理论公式,但 Prandtl 理论公式的有些假定与实际情况存在差异,具体应用有一定局限性。如:对无黏性土,当嵌固深度为零时,计算的抗隆起安全系数为零,而实际上在一定基坑深度内是不会出现隆起的。因此,当围堰嵌固深度很小时,不能采用该公式验算坑底隆起稳定性。

现行基坑规范对抗隆起安全系数的取值均有所不同。《基坑工程技术规范》DG/TJ 08-61—2010 与《建筑基坑支护技术规程》

JGJ 120—2012 中对抗隆起的计算都采用了 Prandtl 理论公式,抗隆起安全系数较大。《建筑基坑工程技术规范》YB 9258—97 与《深圳市基坑支护技术规范》SJG 05—2011 也是采用了 Prandtl 理论公式,但都是利用了十字板试验结果作为抗剪强度值,省去了 c 、 φ 值计算,故抗隆起安全系数取值较小。本标准分别提供了利用 c 、 φ 值和 τ_0 值的两种计算方法。按地基承载力进行抗隆起验算,参考国内相关规范(表 8)及实际工程案例(图 5)拟定,一级、二级、三级安全等级围堰,当采用 c 、 φ 值验算时抗隆起安全系数宜分别取 1.8、1.6、1.4,当采用 τ_0 值验算时抗隆起安全系数宜分别取 1.6、1.5、1.4。

表 8 不同规范抗隆起稳定性安全系数(地基承载力法)

规范名称	上海市《基坑工程技术规范》 DG/TJ 08-61—2010	《建筑地基基础设计规范》 GB 50007—2011	《建筑基坑工程技术规范》 YB 9258—97	《建筑基坑支护技术规程》 JGJ 120—2012	《深圳市基坑支护技术规范》 SJG 05—2011
地基承载力法安全系数	板式围堰 2.5、2.0、1.7 (采用 c 、 φ 值计算)	1.6 (采用 τ_0 值计算)	1.4 (采用 τ_0 值计算)	1.8、1.6、1.4 (采用 c 、 φ 值计算)	三级 1.2

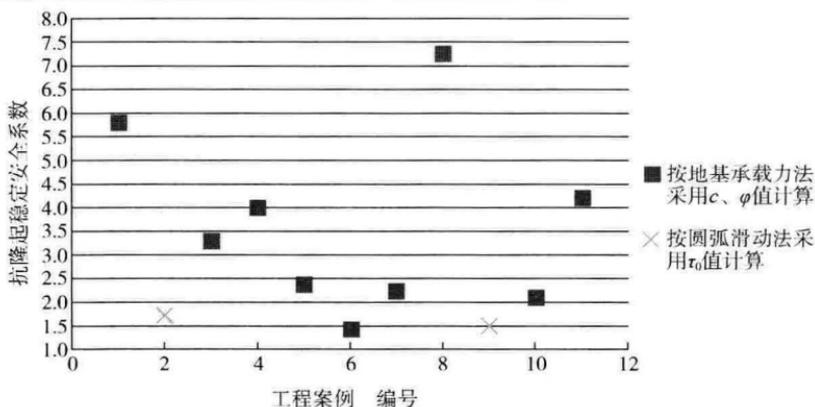


图 5 钢板(管)桩围堰工程案例抗隆起稳定安全系数统计分布图

第3款:内支撑钢围堰的圆弧滑动面验算模式参考《基坑工程技术规范》DG/TJ 08-61—2010的规定拟定,开挖面以下的围堰能起到帮助抵抗坑底土体隆起的作用,并假定土体沿围堰底面滑动,认为围堰底面以下的滑动面为圆弧,产生隆起的力为土体重量及地表荷载。抵抗滑动的力则为滑动面上的土体抗剪强度及围堰抗弯强度,在计算滑动面上的抗剪强度时采用公式 $\tau = \sigma \tan \varphi + c$ 。 σ 来源于土体重力等产生的竖向应力及水平向应力,滑动面上的水平侧压力值介于主动土压力和静止土压力之间,在开挖深度较大情况下,根据经验,近似地取主动土压力更合理。

第4款:采用十字板试验确定土的总强度的圆弧滑动面验算模式参考了《深圳市基坑支护技术规范》SJG 05—2011等规范拟定。十字板试验确定土的总强度相当于直接得知滑动圆弧上的土体抗剪强度。对滑弧上的抗剪强度进行积分即可得滑动面上的抗剪力矩,为了简化,计算公式中假定了滑弧上抗剪强度相同,故直接采用了滑弧长度计算。

现行规范中以 c 、 φ 值为计算参数求得的抗隆起安全系数均较大,而十字板试验抗剪强度求得的抗隆起安全系数相对较小。按圆弧滑动法抗隆起验算,参考国内相关规范(表9)及实际工程案例(图5)拟定,一级、二级、三级安全等级围堰,当采用 c 、 φ 值验算时抗隆起安全系数宜分别取 2.2、1.9、1.7,当采用 τ_0 值验算时抗隆起安全系数宜分别取 1.5、1.4、1.3。

表9 不同规范抗隆起稳定性安全系数(滑动圆弧面法)

规范名称	上海市《基坑工程技术规范》DG/TJ 08-61—2010	《建筑地基基础设计规范》GB 50007—2011	《建筑基坑工程技术规范》YB 9258—97	《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120—2012	《深圳市基坑支护技术规范》SJG 05—2011
滑动圆弧面法安全系数	支撑、锚拉板式围堰 2.2、1.9、1.7 (采用 c 、 φ 值计算)	1.4 (采用 τ_0 值计算)	1.3 (采用 τ_0 值计算)	支撑、锚拉板式 2.2、1.9、1.7 (采用 c 、 φ 值计算)	一级、二级 1.4、1.3 (采用 τ_0 值计算)

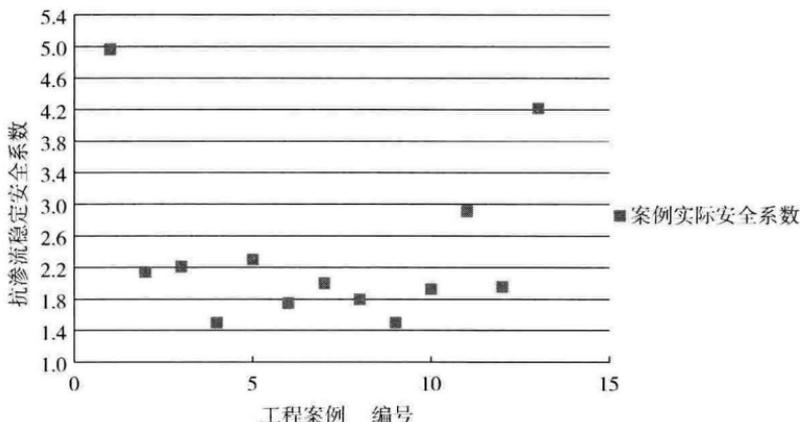


图 7 钢板(管)桩围堰工程案例抗渗流稳定安全系数统计分布图

2 围堰突涌验算指围堰底上部为不透水层,坑底下某深度处有承压水层,当水压大于上覆土层重力时发生突涌。围堰底抗突涌稳定性验算参照国内基坑规范(表 11),拟定抗突涌安全系数为 1.1。

表 11 不同规范确定的抗突涌稳定性安全系数

规范名称	上海市《基坑工程技术规范》 DG/TJ 08-61—2010	浙江省《建筑基坑工程技术规程》 DB33/T 1096—2014	《建筑基坑支护技术规程》 JGJ 120—2012	《深圳市基坑支护技术规范》 SJG 05—2011
安全系数	1.05	1.1	1.1	1.1

双排钢板桩围堰抗流土、抗管涌、抗突涌稳定性验算宜参照本条进行,当有可靠经验时亦可采用其他方法进行验算。

4.5.9 钢围堰入土过程要确保均匀下沉,保证平面高差不超过 20cm。围堰一般均要求切入河床良好的持力层。下沉系数表示钢围堰自重克服堰壁摩阻力下沉,当下沉系数为 1.0 时,钢围堰处于平衡状态;当下沉系数大于 1.0 时,钢围堰开始下沉,下沉系数

越大,下沉速度越快。下沉系数参考《地基与基础》第三版(顾晓鲁等编,中国建筑工业出版社,2003年)和《给水排水工程钢筋混凝土沉井结构设计规程》CECS 137:2015取值为1.05~1.25,位于淤泥质土层中取小值,其他土层中取大值。

当钢围堰下沉系数大于1.50或下沉过程中遇有软弱土层时,有可能会发生钢围堰突沉事故。为防止突沉或下沉标高难以控制,应进行下沉稳定验算。下沉稳定系数是衡量沉井是否会发生突沉或超沉的重要数据,当围堰下沉稳定系数 $K_{st,s}=1.0$,表明围堰地基已达到极限状态。下沉稳定系数不满足要求时,需提高 R_b (如进行地基加固,或考虑沉降差,按倾斜理论计算钢围堰内力)使下沉稳定系数降下来。

钢围堰外壁单位面积摩阻力标准值 q 沿深度变化为距离地面5m范围内按照三角形分布(图8),其下为常数。

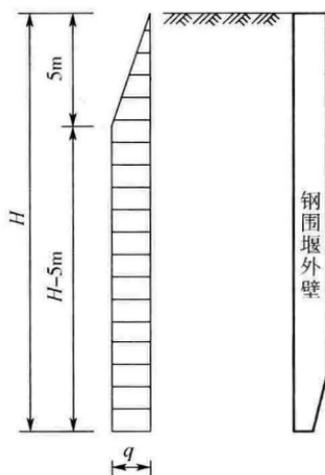


图8 摩阻力标准值 q 沿堰壁外侧分布

4.5.10 钢围堰浮体在浮运阶段的稳定倾斜角 ϕ (图9)不大于 6° ,并需满足 $\rho-l>0$ 的要求。 ϕ 应按下列公式计算:

$$\phi = \tan^{-1} \frac{M}{\gamma_w V (\rho - l)} \quad (2)$$

$$\rho = \frac{I}{V} \quad (3)$$

式中： ϕ ——钢围堰在浮运阶段的倾斜角；

M ——外力矩(kN·m)；

V ——排水体积(m³)；

l ——钢围堰重心至浮心的距离(m)，重心在浮心之上为正，反之为负；

ρ ——定倾半径(m)，即定倾重心至浮心的距离；

I ——钢围堰浸水截面面积对斜轴线的惯性矩(m⁴)；

γ_w ——水的重力(kN/m³)。

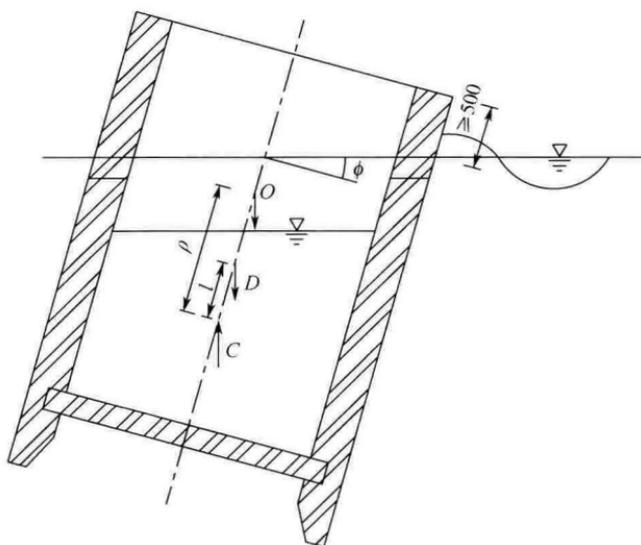


图9 水中浮运钢围堰(单位:mm)

D—重心；C—浮心；O—定倾中心

为保证浮式钢围堰的稳定性，钢围堰的倾斜角不得大于6°，不致产生施工不安全感。浮式钢围堰的稳定性验算可参阅《公路

桥涵施工技术规范》JTG/T F50—2011、《船舶静力学》(盛振邦、杨尚荣、陈雪深编著,上海交通大学出版社,1979年)及《船舶的完整稳性规则》[国际海事组织第18届大会1993年11月4日通过的A.749(18)决议的附件]。

浮运钢围堰水上运输可用浮运拖带法、半潜驳或浮船坞干运法。无运输经验时应应对下潜装载、船运和下潜卸载的作业阶段进行下列验算:

(1)半潜驳或浮船坞的吃水、稳性、总体强度、甲板强度和局部承载力;

(2)在风、浪、流作用下的船舶运动响应和浮运钢围堰自身的强度、稳定性等。

4.6 构件计算

4.6.1、4.6.2 封底混凝土抗浮、抗沉及强度验算应分阶段考虑,并注意各工况水位的不利情况。承台浇筑阶段与封底阶段相比,除应考虑围堰、封底混凝土自重等作用外,尚应考虑承台浇筑的自重对封底混凝土的影响。当向下的荷载大于水浮力时,应注意摩阻力的反向,并考虑抗沉的安全储备。波峰时的波浪浮托力计算可参考现行行业标准《港口与航道水文规范》JTJ 145的规定。

因钢套筒围堰施工工法原因,钢套筒围堰与外侧原状土的粘结作用较弱,在抗浮及抗沉计算中偏安全考虑,忽略该部分摩擦力。故表4.6.1-1中仅提供钢板桩、钢管桩围堰结构与混凝土的粘结力取值,粘结力标准值结合现有工程经验(图10)宜取为100kPa~200kPa。施工时,钢吊箱围堰与桩基间基本采用拉压杆或桁架等进行连接,该处受力复杂,对封底混凝土抗浮、抗沉影响较大,宜采用有限元分析。

钢围堰为重要结构,一旦发生上浮与下沉,后果严重。抗浮安全系数结合各行业规范(表12)和现有工程经验(图11)宜取为1.15。抗沉安全系数结合现有工程经验(图12)宜取为1.10。

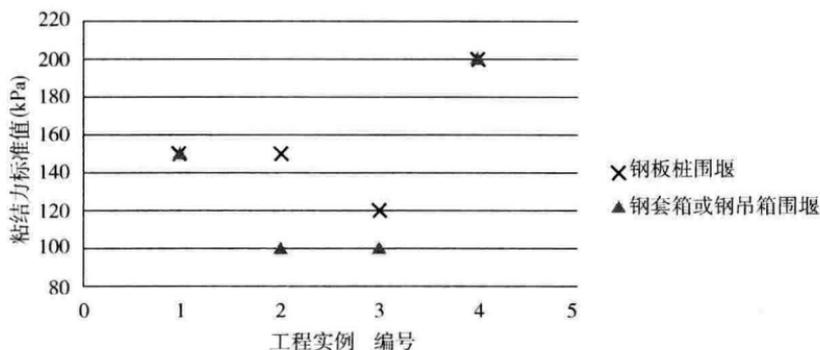


图 10 不同工程实例钢围堰与封底混凝土之间的粘接力标准值取值

表 12 不同规范对封底混凝土抗浮安全系数取值

规范名称	《沉井与气压沉箱施工规范》 GB/T 51130—2016	《给水排水工程钢筋混凝土水池结构设计规程》 CECS 138:2002	《地铁设计规范》 GB 50157—2013 (条文说明 11.6.3)	《水工挡土墙设计规范》 SL 379—2007
安全系数	1.15	1.15	上海地铁:1.1 广州、南京、深圳 和北京地铁:1.15	1.10

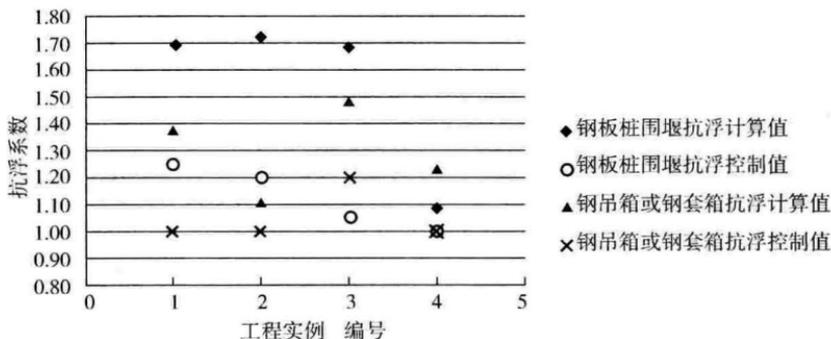


图 11 不同工程实例对封底混凝土抗浮系数取值

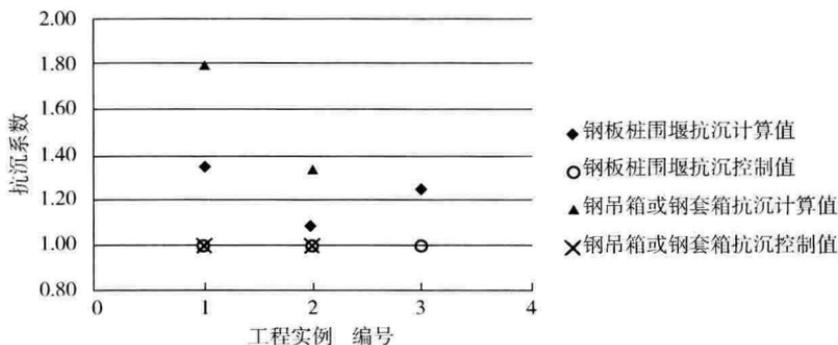


图 12 不同工程实例对封底混凝土抗沉系数取值

封底混凝土的主要作用是保证围堰封底抽水后提供主体结构的安全、不透水的环境,并保证第一次承台混凝土浇筑时封底混凝土不下沉,封底混凝土抗沉安全系数宜取为 1.10。

波谷时方向向下的波浪力计算可参考现行行业标准《港口与航道水文规范》JT545 的规定。

4.6.3 封底混凝土板视具体情况可按均布荷载作用下四边简支的单向或双向板进行验算,计算跨度按最大桩距或桩与围堰之间距离确定;也可按有限元进行计算。

封底素混凝土厚度计算公式采用现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 中有关矩形截面素混凝土受弯构件承载力公式,推导如下:

$$M \leq \frac{\gamma f_{ct} b h^2}{6} \Rightarrow h \geq \sqrt{\frac{6M}{\gamma f_{ct} b}} \quad (4)$$

式中: M ——弯矩标准值;

γ ——混凝土构件的截面抵抗矩塑性系数,可按下列公式计算:

$$\gamma = \left(0.7 + \frac{120}{h} \right) \gamma_m$$

γ_m ——混凝土构件的截面抵抗矩塑性影响系数基本值,可按

正截面应变保持平面的假定,并取受拉区混凝土应力图形为梯形、受拉边缘混凝土极限拉应变为 $2f_{tk}/E_c$ 确定;对于封底混凝土矩形截面, γ_m 取 1.55;

h ——封底混凝土厚度(mm):当 $h < 400$ 时,取 $h = 400$;当 $h > 1600$ 时,取 $h = 1600$;

f_{ct} ——素混凝土抗拉强度设计值,根据《混凝土结构设计规范》GB 50010—2010(2015年版),取 $f_{ct} = 0.55f_t$, f_t 为混凝土轴心抗拉强度设计值。

将各项取值代入,可得:

$$h \geq \sqrt{\frac{9.09M}{bf_t}} \quad (5)$$

考虑混凝土和泥土互相掺杂的封底附加厚度后,实际封底素混凝土厚度可按下式计算:

$$h \geq \sqrt{\frac{9.09M}{bf_t}} + h_u \quad (6)$$

封底混凝土板的边缘应按各行业现行规范进行冲剪验算,冲剪处的封底厚度应在设计图中注明,计算厚度应扣除附加厚度。

封底混凝土板的边缘处剪力较大,考虑到素混凝土强度较低,应进行冲剪验算。

4.6.4 构件初始偏心距的取值应根据施工控制的实际精度确定,参照《天津市建筑基坑工程技术规程》DB 29-202—2010 可取支撑计算长度的 2%~3%。

4.6.6 预加轴向压力可减小基坑开挖后支护结构的水平位移、检验支撑连接结点的可靠性。但如果预加轴向力过大,可能会使支撑结构产生反向变形,增大基坑开挖后的支撑轴力。根据以往的设计和施工经验,预加轴向力取支撑轴向压力标准值的 50%~80%较合适,但特殊条件下不一定受此限制。

4.6.9 钢套箱围堰堰壁与刃脚计算可按下述内容进行:

1 矩形钢套箱下沉过程中堰壁垂直方向的受力分析可按

列规定进行：

(1)当排水挖土下沉时，钢套箱底节假定支承在四个支点“1”上(图 13)，验算其竖向弯曲。

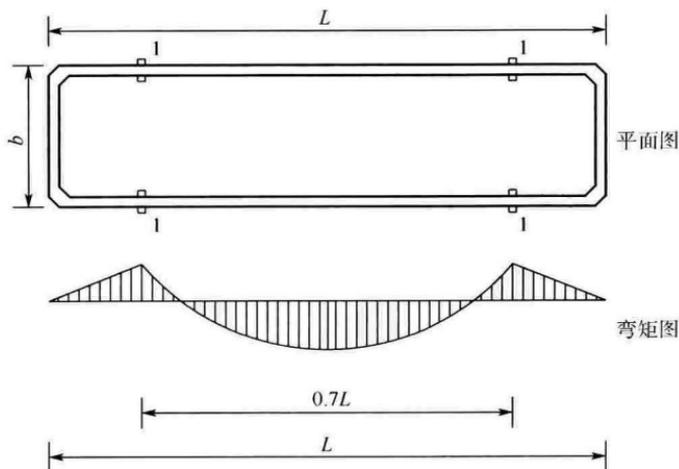


图 13 排水下沉的钢套箱(图中内支撑未示意)

(2)当不排水挖土下沉时，由于挖土不均匀，钢套箱底节假定支承在长边的中心支点“2”上或支承在短边两端的四角支点“3”上(图 14)，验算其竖向弯曲。

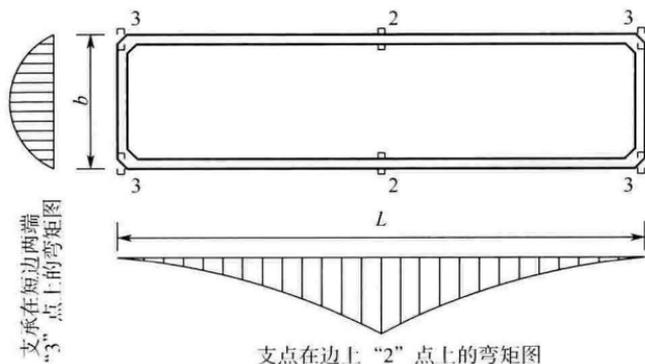


图 14 不排水挖土下沉的钢套箱(图中内支撑未示意)

(3)当钢套箱被四周土体摩阻力所嵌固而刃脚下的土已被挖空时,应验算堰壁竖向抗拉强度。

(4)等截面堰壁摩阻力可假定在河床面以下沿钢围堰埋深高度按三角形分布,即在刃脚底面处为零,在河床面处为最大。此时,最危险的截面在钢套箱埋深高度 $\frac{h^2}{2H}$ 处(图 15),最大竖向拉力 P_{\max} 为:

$$P_{\max} = \left(\frac{h}{2H}\right)^2 G_k \quad (7)$$

式中: G_k ——刚套箱围堰自重标准值。

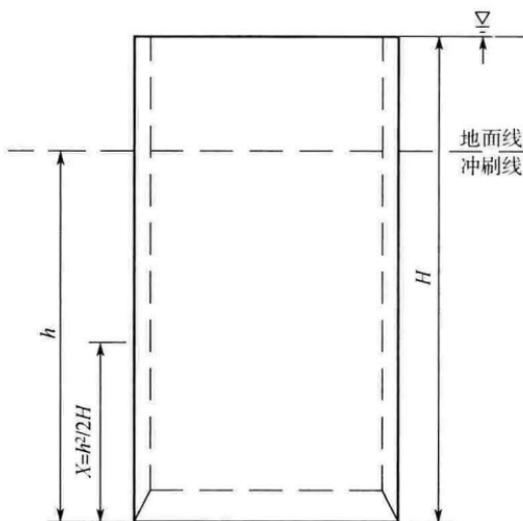


图 15 等截面堰壁竖向受拉计算图

2 矩形钢套箱下沉过程中堰壁水平方向的受力分析可按下列规定进行:

(1)钢套箱下沉至设计标高,刃脚下的土已被掏空,在水压力和土压力作用下把堰壁作为水平框架来验算。

(2)采用泥浆套下沉的钢套箱,泥浆压力大于水压力和土压力

等水平荷载时,堰壁压力应按泥浆压力计算;采用空气幕下沉的钢套箱,堰壁压力与普通钢套箱的计算相同。

(3)刃脚根部以上高度等于该处壁厚的一端堰壁的水平方向验算,除计入该段堰壁范围内的水平荷载外,尚应考虑由刃脚悬臂传来的水平剪力(图 16)。

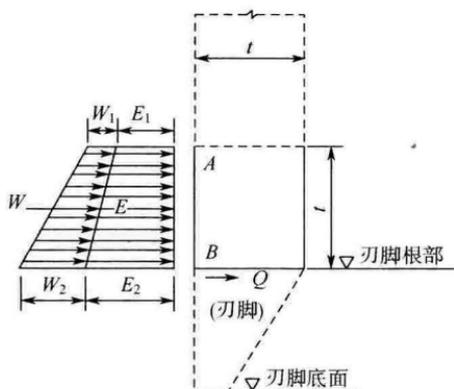


图 16 刃脚根部以上高度等于堰壁厚度的一段堰壁框架荷载分布图

作用在该段堰壁上的平均荷载 q 为:

$$q = W + E + Q \quad (8)$$

$$W = \frac{W_1 + W_2}{2} \cdot t \quad (9)$$

$$W_1 = \lambda h_1 \gamma_w \quad (10)$$

$$W_2 = \lambda h_2 \gamma_w \quad (11)$$

$$E = \frac{E_1 + E_2}{2} \cdot t \quad (12)$$

式中: q ——作用在堰壁高度 t 段上的均布荷载(kN/m);

W ——作用在堰壁高度 t 段上的水压力(kN/m);

W_1 ——作用在刃脚根部以上,高度 t 范围内截面 A 上的单位水压力(kPa);

W_2 ——作用在刃脚根部截面 B 上的单位水压力(kPa);

t ——堰壁厚度(m);

h_1 、 h_2 ——验算截面 A 和 B 距水面的高度(m);

λ ——折减系数,排水挖土时,井内无水压,井外水压视土质而定,砂类土 $\lambda=1.0$;黏性土 $\lambda=0.7$;不排水挖土时,井外水压以 100%计, $\lambda=1.0$,井内水压以 50%计, $\lambda=0.5$ 。

E ——作用在 t 段堰壁上的土侧压力(kN/m);

E_1 ——作用在刃脚根部以上,高度 t 处 A 截面的单位土侧压力(kPa);

E_2 ——作用在刃脚根部 B 截面的单位土侧压力(kPa);

Q ——由刃脚传来的水平力(kN/m),其值等于作用在刃脚悬臂梁上的水平力乘以分配系数 α , α 见本标准条文说明公式(28)。

W 作用点距离刃脚根部为 $\frac{W_2+2W_1}{W_2+W_1} \cdot \frac{t}{3}$, E 作用点距离刃脚根部为 $\frac{E_2+2E_1}{E_2+E_1} \cdot \frac{t}{3}$ 。根据公式(8)求出 q 值,即可按框架分析求刃脚根部以上 t 高度内截面作用效应。

(4)其余各段堰壁的计算,可按堰壁断面的变化将堰壁分成数段,取每一段中控制设计的堰壁(位于每一段最下端的单位高度)进行计算。作用在框架上的均布荷载 $q=W+E$ 。然后用同样的计算方法求得水平框架内截面的作用效应。

3 圆形或圆端形的无支撑钢套箱下沉过程中水平内力可按下列规定计算:

(1)当下沉区域土质均匀、不存在特别软弱的土质时,可按不同高度截取闭合圆环计算,并假定在互成 90° 的两点处土的内摩擦角差值为 $4^\circ \sim 8^\circ$ 。内力可按下列公式计算(图 17):

$$N_A = P_A r_c (1 + 0.7854 \omega') \quad (13)$$

$$N_B = P_A r_c (1 + 0.5 \omega') \quad (14)$$

$$M_A = -0.1488 P_A r_c^2 \omega' \quad (15)$$

$$M_B = -0.1366 P_A r_c^2 \omega' \quad (16)$$

$$\omega' = \frac{P_B}{P_A} - 1 \quad (17)$$

式中： N_A ——A 截面上的轴力(kN/m)；

r_c ——钢套筒堰壁的中心半径(m)；

N_B ——B 截面上的轴力(kN/m)；

M_A ——A 截面上的弯矩(kN·m/m)，以堰壁外侧受拉取负值；

M_B ——B 截面上的弯矩(kN·m/m)；

P_A 、 P_B ——堰壁外侧 A、B 点的水平向土压力(kN/m²)。

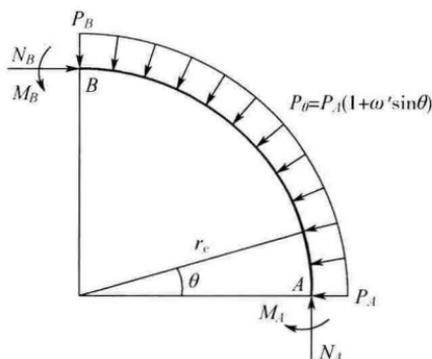


图 17 圆形无支撑钢套筒堰壁计算

(2) 当下沉区域有较厚的杂填土、土质变化复杂或钢套筒下沉深度内存在软弱土层可能发生突沉时，宜采用考虑钢套筒倾斜理论的分析方法计算内力。具体内力计算可参考《给水排水工程钢筋混凝土沉井结构设计规程》CECS 137:2015 附录 B。

(3) 单孔圆端形钢套筒(图 18)在下沉过程中，堰壁的内力可沿堰壁不同高度截取闭合环形按平面结构计算。计算时假定堰壁在同一水平环上的水、土压力 q 均匀分布，各截面的内力系数可按

表 13 取值。

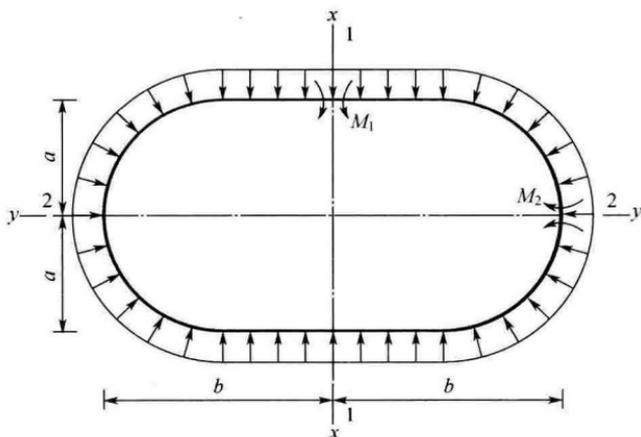


图 18 单孔圆端形无支撑钢套筒堰壁计算简图

表 13 圆端形平面框架内力系数

内力形式		a/b								
		1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	乘数
单孔	M_1	0	0.072	0.166	0.293	0.484	0.759	1.247	2.235	qa^2
	M_2	0	-0.045	-0.115	-0.227	-0.405	-0.741	-1.378	-2.821	qa^2

注:1 最大正弯矩 $M_{y\max}$ 在 $y = \frac{H_1}{q}$ 处;

2 弯矩 M 值,“+”表示里皮受拉;“-”表示外皮受拉。

4 钢套筒下沉过程中作为悬臂梁向外弯曲时刃脚的计算:

(1)参考《给水排水工程钢筋混凝土沉井结构设计规程》CECS 137:2015,假定刃脚内侧切入土中约 1m,而在水面以上或堰壁全部下沉就位后还露出一定高度,其受力图示见图 19。

(2)沿堰壁的水平方向取一个单位宽度,并按公式(9)、公式(12)的方法计算作用在刃脚上的水压力 W 和土侧压力 E ,其中

E_1 、 E_2 分别为刃脚上端和底面的土侧压力, W_1 、 W_2 分别为刃脚上端和底面的水压力。

在计算刃脚向外弯曲时, 参考《给水排水工程钢筋混凝土沉井结构设计规程》CECS 137:2015, 作用在刃脚外侧的计算侧土压力和水压力的总和不应大于静水压力的 70%, 否则就按 70% 的静水压力计算。

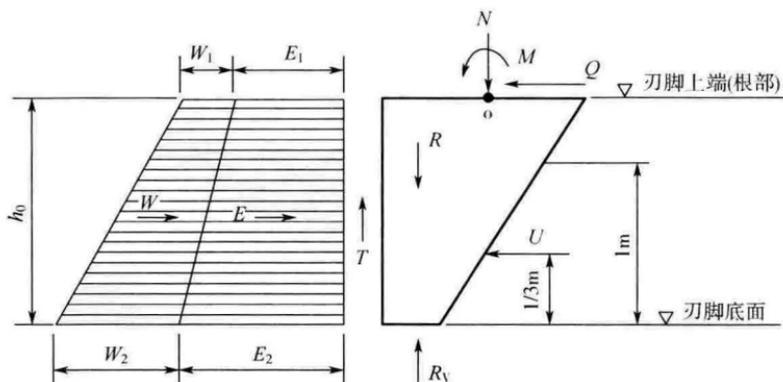


图 19 刃脚受力图示

(3) 作用在堰壁外侧单位宽度上的摩擦力 T 按下列公式计算, 取其较小值, 目的为求得反力 R_v (图 19) 最大值:

$$T = \mu E = \tan \varphi E = 0.5E \quad (18)$$

$$T = qA \quad (19)$$

式中: μ ——摩擦系数, $\mu = \tan \varphi$;

φ ——土内摩擦角, 一般土在水中的内摩擦角可采用 $26^\circ 30'$, $\tan 26^\circ 30' = 0.5$;

q ——土与堰壁间的单位摩擦力, 按本标准表 4.5.9-1 选用;

A ——钢套箱侧面与土接触的单位宽度上的总面积 (m^2), $A = 1 \times h_0 = h_0$ (h_0 为刃脚斜面的高度, 以 m 计);

E ——作用在堰壁上每米宽度的总土压力 (kN/m)。

(4) 刃脚底单位周长上土的竖向反力 R_v 可按下式计算

(图 20):

$$R_v = G - T \quad (20)$$

式中: G ——沿钢套箱外壁单位周长上的钢套箱重力, 其值等于该高度钢套箱的总重除以钢套箱的周长; 在不排水挖土下沉时, 应在钢套箱总重中扣去淹没水中部分的浮力;

T ——沿堰壁单位周长上钢套箱侧面总摩阻力。

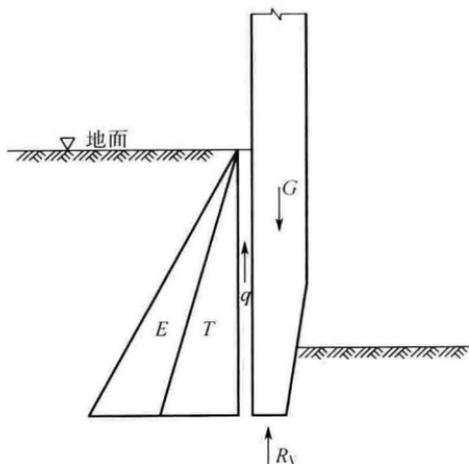


图 20 堰壁摩阻力 T 及刃脚下土的反力 R_v

刃脚下土的反力 R_v 的作用点计算(图 21): 假定作用在刃脚斜面上的土反力的方向与斜面上法线成 β 角, 为土反力与刃脚斜面的外摩擦角。

作用在刃脚斜面上的土反力分解成水平力 U 与垂直力 V_2 , 刃脚底面上的垂直反力为 V_1 , 则

$$R_v = V_1 + V_2 \quad (21)$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{fa}{\frac{1}{2}fb} = \frac{2a}{b} \quad (22)$$

式中： a ——刃脚踏面宽度(m)；

b ——刃脚入土斜面的水平投影(m)；

f ——竖直反力强度(kN/m)。

解以上联立方程式即可求得 V_1 和 V_2 。假定 V_2 为三角形分布，则 V_1 和 V_2 的作用点距刃脚外壁之距离分别为 $\frac{a}{2}$ 和 $a + \frac{b}{3}$ ，即可求得 V_1 和 V_2 的合力 R_v 的作用点。

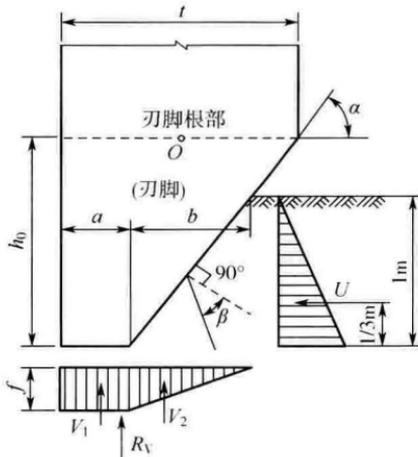


图 21 刃脚下土的反力 R_v 的作用点计算

(5)作用在刃脚斜面上的水平力 U 可按下式计算：

$$U = V_2 \tan(\alpha - \beta) \quad (23)$$

式中： α ——刃脚斜面与水平面所成的夹角($^\circ$)；

β ——刃脚斜面与土的外摩擦角，可取为土的内摩擦角，硬土可取 30° ，软土可取 20° ；

假定 U 为三角形分布，则 U 的作用点在距刃脚底面 $\frac{1}{3}$ m 高处。

(6)刃脚内填混凝土时重力 g 按下式计算：

$$g = \gamma_h h_0 \frac{t+a}{2} \quad (24)$$

式中： γ_h ——混凝土重度 (kN/m^3)，若不排水下沉，应扣除水的浮力；

h_0 ——刃脚斜面的高度 (m)。

(7)作用在刃脚外侧的摩阻力 T' 仍按公式(19)计算，但取其较大值，使刃脚弯矩最大。

(8)刃脚既视作悬臂梁，又视作一个封闭的水平框架，因此作用在刃脚侧面上的水平力将由两种不同作用来共同承担，其分配系数可按公式(28)、公式(29)计算。

(9)求得作用在刃脚上的所有外力的大小、方向和作用点以后，可求得刃脚根部处截面上每单位周长堰壁内的轴向压力 N 、水平剪力 Q 及对刃脚根部截面重心 O 点的弯矩 M (图 19)，并据此计算刃脚强度。

5 钢套箱下沉过程中作为悬臂梁向内弯曲时刃脚的计算：

(1)假定钢套箱沉到设计标高，刃脚下的土已挖空，作用在刃脚外侧的外力沿钢套箱周边取以单位周长计算，如图 22 所示。

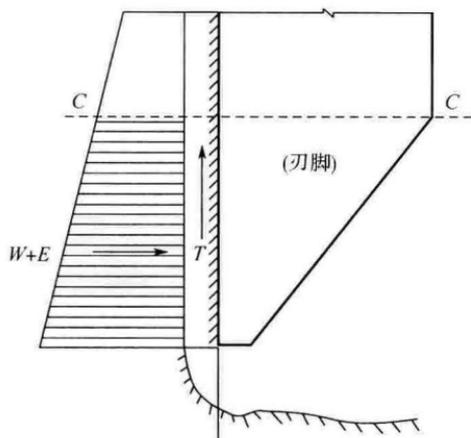


图 22 刃脚向内弯曲计算

(2)计算刃脚外侧的土压力和水压力。土压力按公式(12)计算;水压力计算:当不排水下沉时,堰壁外侧水压力按 100%计算,堰壁内侧水压力一般按 50%计算,也可按施工中可能出现的水头差计算;当排水下沉时,在透水不良土中,外侧水压力可按静水压力的 70%计算。这里土压力和水压力的总和不受悬臂梁向外弯曲时刃脚计算中规定的“不超过 70%的静水压力”的限制。

(3)由于刃脚下的土已掏空,故刃脚下的垂直反力 R_v 和刃脚斜面水平反力 U (图 22)均等于零。

(4)作用在堰壁外侧的摩阻力公式(18)和公式(19)计算,取较小值。

(5)刃脚重力 g 与公式(24)相同。

(6)根据以上计算的所有外力,可以算出刃脚根部处截面上每单位周长(外侧)内的轴向力 N 、水平力 Q 及对截面重心轴的弯矩 M ,并据此计算刃脚强度。

6 刃脚作为水平框架计算时,其水平方向的弯曲验算应符合下列规定:

(1)当钢套筒下沉到设计标高,刃脚下的土已被掏空时,刃脚将受到最大的水平力。图 23 表示刃脚上沿堰壁水平方向截取的单位高度水平框架,作用在这个水平框架上的外力计算与上述求算刃脚向内弯曲强度的方法相同。但水平向只分担作用在水平框架上的荷载,故作用在水平框架全周上的均布荷载为刃脚上的最大水平力乘以分配系数 β 。

作用在矩形钢套筒上的最大弯矩 M 、轴向力 N 及剪力 Q 可按下列近似公式计算:

$$M = \frac{ql_1^2}{16} \quad (25)$$

$$N = \frac{ql_2}{2} \quad (26)$$

$$Q = \frac{ql_1}{2} \quad (27)$$

式中： q ——作用在刃脚框架上的水平均布荷载(kN/m)；

l_1 、 l_2 ——钢套筒外壁的最大和最小计算跨径(m)。

根据以上计算的 M 、 N 和 Q ，设计刃脚。

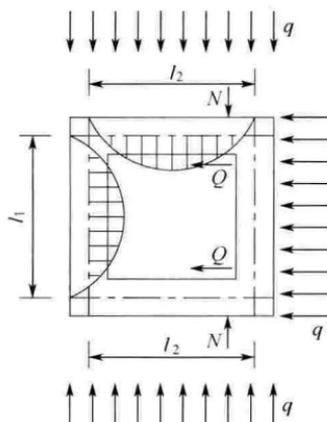


图 23 矩形钢围堰刃脚上的水平框架

(2)钢套筒刃脚上作用的水平力分配系数可按下列近似方法计算。

刃脚沿竖向视为悬臂梁，其悬臂长度等于斜面部分的高度。当内隔墙的底面距刃脚底面为 0.5m 或大于 0.5m 而采用竖向承托加强时，作用于悬臂部分的水平力可乘以分配系数 α ：

$$\alpha = \frac{0.1l_1^4}{h_1^4 + 0.05l_1^4} \leq 1.0 \quad (28)$$

式中： l_1 ——支承在内隔墙间的外壁最大计算跨径(m)；

h_1 ——刃脚斜面部分的高度(m)。

刃脚水平方向可视为闭合框架，当刃脚悬臂的水平力分配系数 α 时，作用于框架的水平力应乘以分配系数 β ：

$$\beta = \frac{h^4}{h_1^4 + 0.05l_2^4} \quad (29)$$

式中： l_2 ——支承在内隔墙间的外壁最小计算跨径(m)；

h_1 ——刃脚斜面部分的高度(m)。

4.7 钢板桩围堰构造设计

4.7.1 钢板桩按照截面划分有 U 型钢板桩、帽型钢板桩、直腹式钢板桩、组合式钢板桩(图 24)。

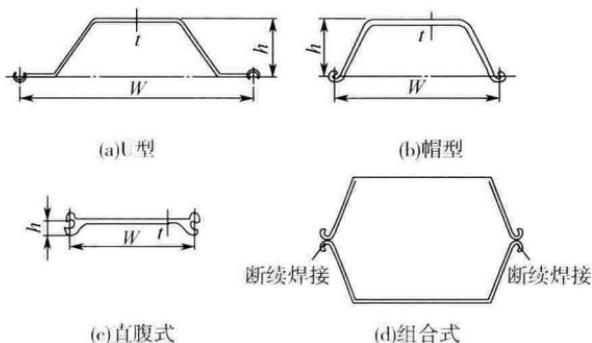


图 24 钢板桩截面形式

单排桩围堰是钢板桩围堰中最常见的形式,即依次插入钢板桩(或钢板桩与钢管、组合墙等组合结构)形成连续的墙体来承受和传递水平荷载的结构,单排桩围堰根据开挖深度可设计成悬臂钢板桩围堰、单层及多层支撑(锚)钢板桩围堰,图 25 所示为典型的单层钢板桩围堰。

一般在能设置支撑或拉锚的项目中优先采用单层钢板桩围堰结构形式。设计时,需确保钢板桩有足够的插入深度、足够的强度和刚度,且支撑体系满足强度、刚度及稳定性要求,封底混凝土满足强度要求。

双排钢板桩围堰是设置两排钢板桩,钢板桩之间填土(或砂),两排钢板桩之间通过围檩和拉杆连接而形成重力式的挡土、挡水体系。双排钢板桩主要用在没有条件设置支撑(拉锚)的场地中,如内河的截流围堰、水工结构的水域范围内围堰。图 26 所示为典型的双排钢板桩围堰。与单排桩设计相比,不但要设计钢板桩的

长度、验算其刚度及强度，而且需要设计双排桩之间的宽度、验算围堰的整体稳定性及内部剪切稳定性，同时需要设计拉杆及围檩。

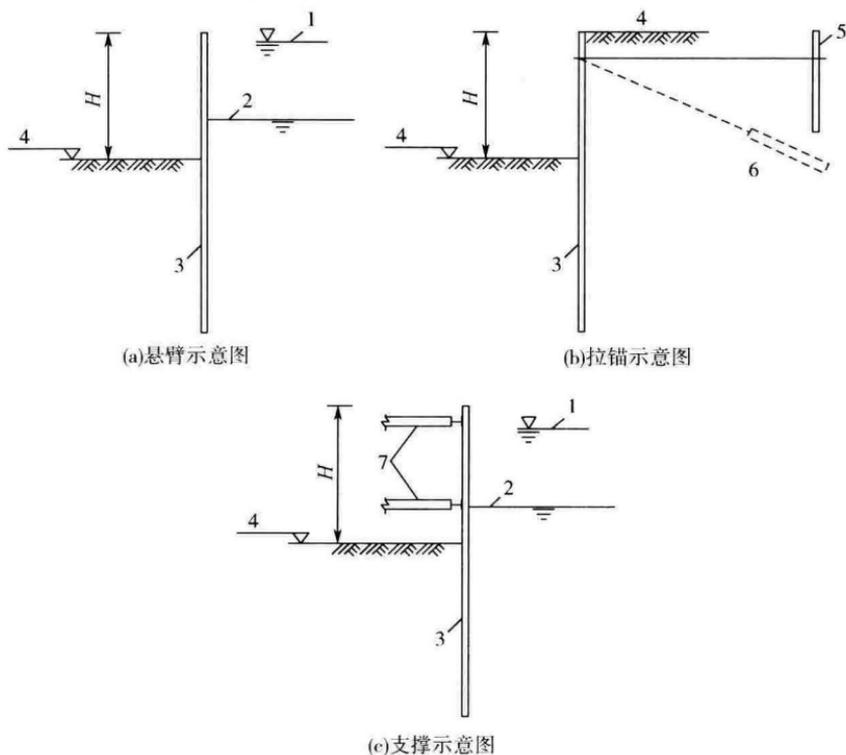


图 25 典型的单层钢板桩围堰

1—水位；2—泥面；3—拉森钢板桩；4—开挖面；5—锚桩；6—锚杆；7—支撑

双排钢板桩围堰填料应采用级配良好、摩擦角大的无黏性土，慎用排水不良的黏性土。堰体内软弱的淤泥宜进行换填或加固处理。为增加抗剪切能力，可采用土工织物袋装砂土回填。为减小堰体内的水头压力，可在背水侧设置排水孔。

格型钢板桩围堰(图 27、图 28)是由直线型钢板桩拼接而成的圆格型、鼓型的格体，格体之间相互连接，格体内填充砂、石料，在锁扣抗拉强度保证的前提下，依靠其自身的重力稳定性实现挡土、

挡水的功能。该类型围堰中的钢板桩不是抗弯构件,而是抗拉构件。通常用在大面积的水域围堰,且钢板桩入土深度受到限制,如基岩表面等。设计时,初步确定了格型的直径(宽度)时,需验算钢板桩的抗拉强度、格体内部剪切稳定,以及把格体作为重力式挡土墙看待而进行抗滑移、抗倾覆、圆弧滑动及地基承载力验算。格型围堰的设计可参照《格形钢板桩码头设计与施工规程》JTJ 293—98。

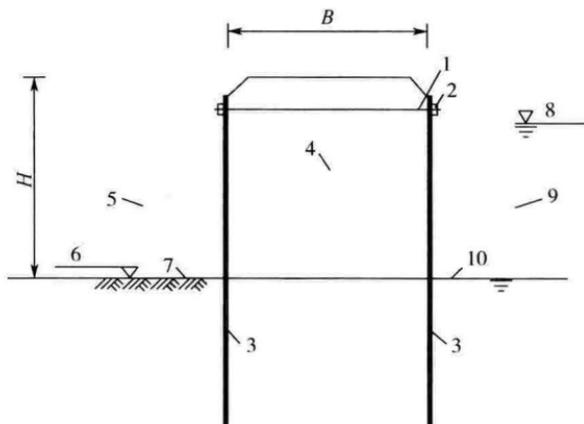


图 26 双排钢板桩

- 1—拉杆;2—围檩;3—拉森钢板桩;4—回填土;5—内侧(背水面);6—开挖面;
7—计算底面;8—水位;9—外侧(迎水侧);10—泥面

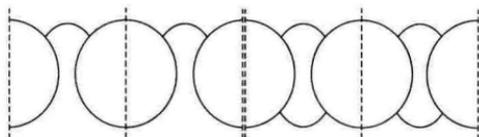


图 27 圆格型围堰壁

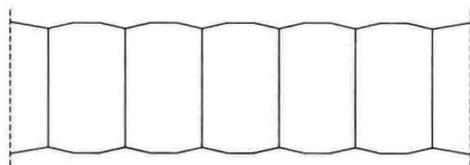


图 28 鼓型围堰壁

4.7.6 优化支撑布置可形成较大作业空间,宜避免采用大截面结构构件,应尽量减少对河床清理、水下混凝土封底以及主体结构施工的影响。

由于钢围堰处于江河等水中,需抵御涨落潮、水流冲击、施工船只停靠挤压等不利影响,还需具备一定的抵御漂浮物撞击能力,所以内支撑体系应具备较高的安全度,其整体稳定、局部稳定、构件节点的焊缝等连接均应按具有一定的安全储备进行设计。

内支撑可采用工字钢等型钢或钢管,各构件之间应连接可靠,同时支撑的布置应考虑其便于安装、拆除以及构筑物施工。

4.7.8 钢板桩墙的抗弯刚度在施工中是一个变化的值,其范围介于单根钢板桩抗弯刚度与理想桩墙抗弯刚度之间,不可直接选取钢板桩铭牌中桩墙的刚度作为设计参数,而需对其进行折减。同样,钢板桩墙的允许弯矩也不可直接选取钢板桩铭牌值,而应按照取钢板桩铭牌值的30%~70%进行折减。钢板桩变形小时,抗弯折减系数取小值,钢板桩变形大时,抗弯折减系数取大值。

钢板桩的刚度随着其变形增加而逐步从单根钢板桩刚度向理想桩墙刚度变化提高,因此设计时不可直接选取钢板桩铭牌中桩墙的刚度作为设计参数,需进行折减,否则计算出钢板桩变形量较实际偏小而不安全。同样,钢板桩的实际允许弯矩也低于钢板桩铭牌中桩墙的允许弯矩,因此根据钢板桩铭牌中桩墙的允许弯矩值进行设计也不安全。

4.8 钢套箱围堰构造设计

4.8.1 钢套箱围堰适用于承台底面低于河床的承台施工。侧板和封底混凝土是钢套箱围堰的主要阻水结构,可兼作承台侧模和底模。

钢套箱围堰一般有单壁套箱围堰和双壁套箱围堰两种,其结构的选定根据水压差及支撑情况等经计算比较后确定。当水压差大于10m以上时,一般选用双壁钢套箱围堰。

单壁钢套箱围堰或非圆形双壁钢套箱围堰均需根据计算设置

一层或多层内环梁和内支撑体系；当圆形双壁钢套箱围堰顶需要设置施工平台时，应根据施工荷载需要设置内环梁和内支撑体系。

双壁钢套箱与单壁钢套箱的比选参见表 14。

表 14 双壁钢套箱与单壁钢套箱的比选

方案名称	单壁钢套箱围堰	双壁钢套箱围堰
优点	<ol style="list-style-type: none"> 1. 用钢量小； 2. 加工简单； 3. 拼装方便 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 能自浮，可整体浮运定位及姿态调整； 2. 可通过隔舱水位调整围堰下沉时的重力； 3. 刚度大，可在岸上整体拼装后浮运至墩位； 4. 能适应深水、大流速、大尺寸承台； 5. 可兼作承台的防撞结构和钻孔施工平台
缺点	<ol style="list-style-type: none"> 1. 结构单薄，刚度小，易变形漏水； 2. 不能借助浮力进行定位、调整； 3. 深水、大流速，大尺寸承台以及入土较深的水中基础不适用 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 用钢量大； 2. 加工制造和拼装工序复杂； 3. 整体浮运时对航道和托航设备要求高

4.8.3 围堰侧板构造见图 29。

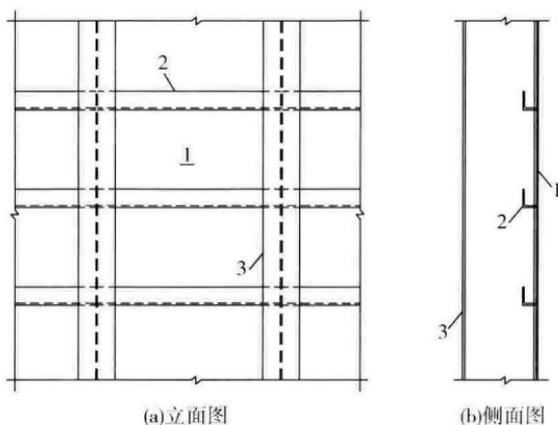


图 29 围堰侧板构造

1—壁板；2—横向加劲肋；3—竖向加劲肋

4.8.5 设置水平桁架或横隔板的目的是使内、外壁板组成整体共同受力。水平桁架腹杆一般采用型钢,并与横向隔板焊接,横隔板采用钢板加工制作,水平桁架间距不宜大于1.5m。围堰尺寸较大或围堰壁舱内需要浇筑混凝土时,围堰的双壁侧板内应设置竖向隔舱板,以对围堰壁舱进行分仓,并增加侧板的刚度。

4.8.6 双壁钢套箱围堰刃角构造大样可参见图30。

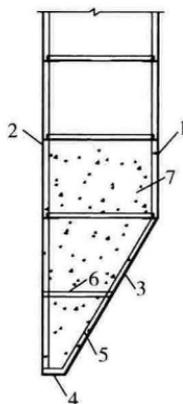


图30 双壁钢套箱围堰刃角构造图

1—内壁板;2—外壁板;3—刃脚壁板;4—刃脚底部封板;
5—壁板加劲肋;6—内外壁板连接桁架;7—刃脚填充混凝土

4.8.12 插打式钢套箱围堰的平面尺寸宜比基础平面尺寸大0.5m~1.0m,吸泥下沉式钢套箱围堰的平面尺寸宜比基础平面尺寸大0.8m~2.0m,围堰内壁作为模板、且围堰有精确定位措施时可大0.1m~0.2m。钢套箱围堰吸泥下沉容易产生平面偏差、扭转及倾斜,为确保模板、支架安装空间,故应放大尺寸;吸泥下沉式钢套箱围堰下沉深度越大,则取值越大。

4.9 钢吊箱围堰构造设计

4.9.1 钢吊箱围堰适用于承台底面高于河床的承台施工。侧板、

底板和封底混凝土是钢吊箱围堰的主要止水结构,可兼作承台施工模板。

吊箱围堰一般有单壁吊箱围堰和双壁吊箱围堰两种,其结构的选定根据水压差及支撑情况等经计算比较后确定。当水压差大于10m以上时,一般选用双壁钢吊箱围堰。

单壁钢吊箱围堰或非圆形双壁钢吊箱围堰均需根据计算设置一层或多层内环梁和内支撑体系;当圆形双壁钢吊围堰顶需要设置钻孔施工平台时,应根据钻孔施工需要设置内环梁和内支撑体系。

双壁钢吊箱与单壁钢吊箱的比选可参考表14。

4.9.3 钢吊箱围堰侧板可由壁板、竖向加劲肋、横向加劲肋或横向隔板组成。

4.9.14 钢吊箱围堰内腔尺寸宜比基础大0.1m~0.2m。围堰壁板作为承台模板时,应考虑围堰准确定位的条件以及对承台位置的影响。

4.10 钢管桩围堰构造设计

4.10.1 锁口钢管桩围堰适用于河床为砂类土、黏性土、碎(卵)石类土和风化岩等水中深基坑开挖防护施工。钢管桩围堰锁口构造有下列三种类型(图31~图33):

(1)**C-O型锁口钢管桩**:钢管桩外周两侧连接一小直径“C”型开口钢管锁口和一“O”型普通钢管锁口,相邻钢管桩间通过“C”型锁口与“O”型锁口间锁扣连接形成整体。

(2)**I-C型锁口钢管桩**:钢管桩的外圆周两侧连接有一工字钢和一小直径“C”型开口钢管锁口,相邻钢管桩间通过“C”型锁口与“**I**”型锁口间锁扣连接形成整体。

(3)**[-I型锁口钢管桩**:钢管桩的外圆周两侧连接有一工字钢锁扣和一对槽钢组合型钢“**[]**”型开口锁口,相邻钢管桩间通过两类锁扣连接形成整体。

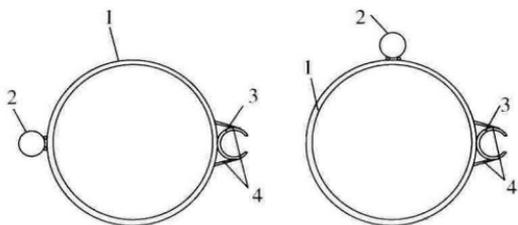


图 31 锁口类型 C-O

1—钢板桩；2—“O”型锁口；3—“C”型锁口；4—连接板

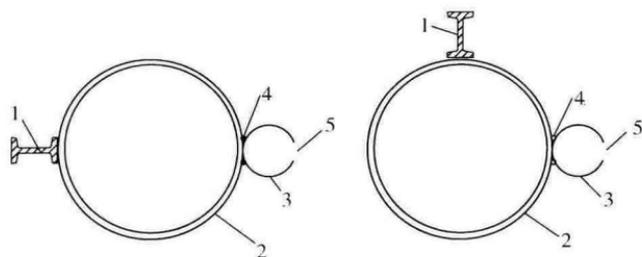


图 32 锁口类型 I-C

1—工字钢；2—大直径钢管；3—小直径钢管；4—钢筋；5—缺口

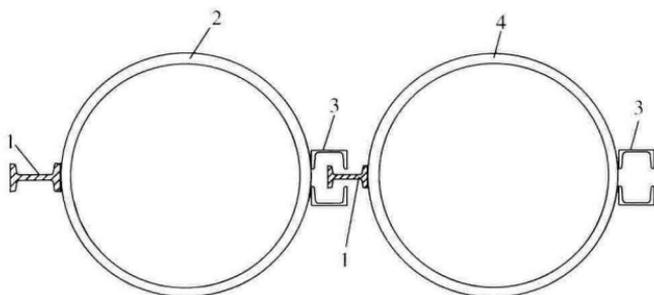


图 33 锁口类型 [-I]

1—工字钢；2—第一圆形钢管桩；3—槽钢；4—第二圆形钢管桩

4.10.3 钢管桩主要为圆形截面,限制钢管的径厚比是为了防止钢管桩在插打施工中发生局部屈曲。

4.10.4 锁口位置渗漏水应采取填塞棉絮、锯末、黏土混合物等防水材料预防处理,或采用防水袋注浆处理。

在水较深、流速较大地区,因锁口与周围水位连通,直接注浆则浆液会流入水中而无法固结,起不到止水作用。考虑防水效果好、施工方便,推荐采用防水布袋灌浆法。一般采用比锁口直径稍大,与锁口长度相等的防水布袋作为浆液的外包物,限制其外流。防水布袋套在注浆管的外面,随着注浆管一起放入锁口内,注浆管可采用硬塑料管,直径小于锁口尺寸,以易于插入为宜,可重复使用。防水布袋一般采用不透水油布加工而成,袋内一般采用低强度高流动性的水泥浆,可掺入膨润土、黏土等。防水布袋直径应比锁口稍大,其良好的柔度能保证锁口内被充分填充,达到良好的止水效果。

具体施工时,布袋安装应防止绞缠,且布袋长度需确保浆体一次性灌注到位;灌注过程应确保严格按试验浆体配比。灌注速度不宜过快,过程中要仔细观察浆体的稠度、灌注速度、防水布袋的变化等,发现问题时及时采取补救措施。

考虑到钢管桩嵌入基底以下深度和开挖后悬臂深度基本各占钢管桩长度一半左右,基坑底面以上部分焊缝是否渗漏水对基坑施工十分重要,插打过程中鉴于锁口接触形式,在钢管桩发生偏斜时已插打钢管桩锁口顶部焊缝受力最为不利,越往下受力越小,超过一半深度几乎不受影响。同时考虑到新插打钢管桩垂直度在打入深度一半时检查,打入深度小于 $1/2$ 时出现卡桩或者垂直度偏差大时,需要拔出钢管桩检查其锁口焊缝是否完好,调整钢管桩竖向位置重新插打。所以取焊缝计算长度为整条焊缝 $1/2$ 验算符合施工实际。

4.10.7 围堰角部外侧土体应加固设计。钢管桩围堰在转角处受力状态复杂,钢管弯矩和应力相对较大,因此应在转角位置的钢管

桩外侧地层进行注浆加固。根据地质情况,注浆管应设置在钢管桩外侧,转角处加固范围不宜小于3倍桩径。注浆材料应选择水下地基土层加固材料,通过注浆试验设计合理的注浆材料、注浆间距、注浆压力和注浆措施。

5 钢围堰施工及质量检验

5.1 一般规定

5.1.1 施工前应进行现场查勘并收集下列资料：

(1)工程所在地有关工程建设、环保、土地使用、城管以及巷道、港口、码头、道路使用等方面的规定；

(2)工程作业区内地下管线或架空线路，水生植物、养殖场、水下障碍物、污染物、居民区等，查明具体位置、分布范围及所属管理单位；

(3)施工水域过往船舶类型、数量、频率，以及对施工干扰程度；

(4)当地燃料、材料、电力与淡水等供应方式与条件以及临时用地条件；

(5)当地机械设备、劳动力使用条件和价格标准；

(6)同类工程及其钢围堰施工的相关资料。

5.1.5 钢围堰属于临时工程，其最主要的功能是满足主体工程施工的需要，其本身不具备人员居住和生活的功能。如果作为施工人员居住和生活的场所，势必带来火灾、高水位淹没、落水、雷击、用电等一些安全隐患，为保证人员安全和工程自身安全，特别规定钢围堰及其平台不得作为人员居住、生活的场所。

5.2 钢板桩围堰施工

5.2.1 本条明确了钢板桩打桩方法，其具体分类及应用见表 15。其中锤击法桩锤可采用柴油锤、蒸汽锤、落锤和振动锤。

表 15 打桩方法的分类和应用

项目	锤 击 法				振动法	静 压 法	
	柴油锤	蒸汽锤	液压锤	落锤	振动锤	液压静压机	液压静压机配合钻孔机
工作机理	蒸汽带动活塞循环运转造成桩锤强制下落	蒸汽带动 4 活塞循环运转造成桩锤强制下落	液压带动活塞循环运转造成桩锤强制下落	通过卷扬机使桩锤因自重而自由下落	桩锤的上下振动力	通过液压装置将相连的桩压入	液压产生压力
适用的钢板桩类型	所有类型	所有类型	所有类型	所有类型	所有类型	所有类型	所有类型

5.2.3 钢板桩可以利用液压锤、振动锤等打桩机具进行施工，但在人口密集区应采用液压锤以避免噪声和对其周围建筑物的损害。在施工过程中，应采用型钢导向架来控制钢板桩位置。

钢板桩施工一般可采用冲击锤、振动锤、静力压桩机，以及挖掘机改装的液压锤振动锤施工。需根据桩长、地质条件、周边环境来选取合适的打桩机械。由表 15 选定打桩方法后，可参照以下建议初选打桩设备型号。

冲击锤：锤重可按锤重与桩重比值选取，锤重与桩重（含桩帽重）一般可取：柴油动力锤或落锤选取 1 : 2 ~ 1.5 : 1，液压锤选取 1 : 1 ~ 1 : 2，蒸汽锤可选 1 : 5。

振动锤激振力：

$$F = 15 \times (L + 2M) / 100 \quad (30)$$

式中： F ——激振力(kN)；

L ——打桩深度(m)；

M ——桩质量(kg),振幅可参考图 34 选取。

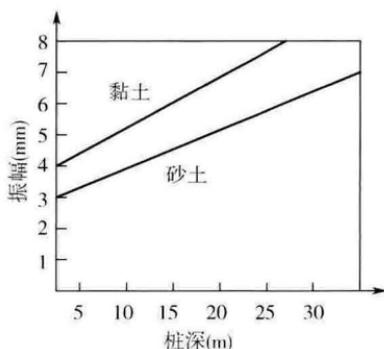


图 34 桩深与振幅关系图

静压桩机：目前多采用日本的静力压桩机，400 宽拉森桩采用 SA100 或 SA150 系列，压桩力分别为 100t 及 150t。500 宽拉森桩采用 SW100，600 宽拉森桩采用 SW150，压入力分别为 100t 及 150t。压桩力可通过桩土之间的摩阻力、锁扣之间的阻力进行计算，据此压桩力选用机械。当压入力不足时，该型机械可选配高压水减阻、安装钻头预钻孔。

挖掘机液压振动锤：该型设备打桩质量不易控制，垂直度较差，适用于打桩要求不高，桩长较短的工程。一般情况下，如采用 320 型挖机改装的可打设 6m、9m 桩，450 型可打 12m 桩、15m 桩，超过 15m 桩不适合使用该型设备。

5.2.6 由于土方回填产生的土压力可能导致钢板桩前斜，因此打桩定位轴线应向围堰外侧偏移 50mm~100mm。

5.2.7 通过设置导向架可以确保打桩时的稳定和打桩位置的准确。导向架可分为陆上导向架(图 35)和水上导向架(图 36)。在平行于钢板桩墙定位轴线两边，导桩间距宜为 2m~4m，导桩与钢板桩之间应设置导梁，宜采用型钢或格构式，并应有足够的刚度。导梁设置的位置应比钢板桩顶低 300mm~500mm，避免桩锤碰到

导梁。当采用夹紧式导向架时,两侧导梁间距应为钢板桩墙截面高度加 20mm~50mm。

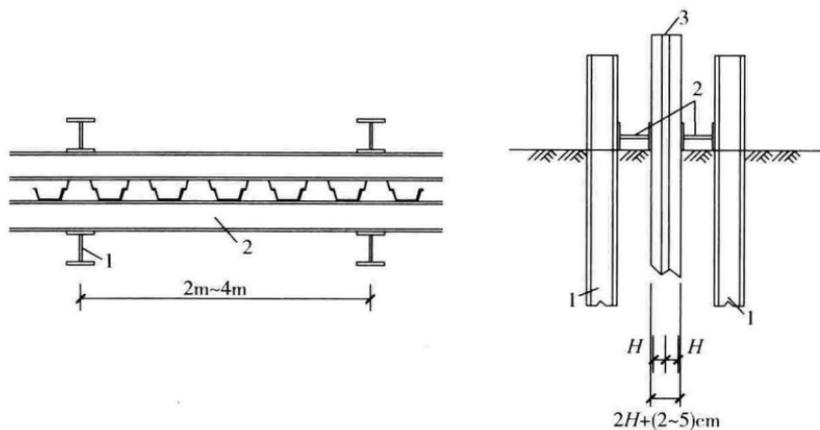


图 35 陆上打桩作业的导向架

1—导桩;2—导梁;3—钢板桩

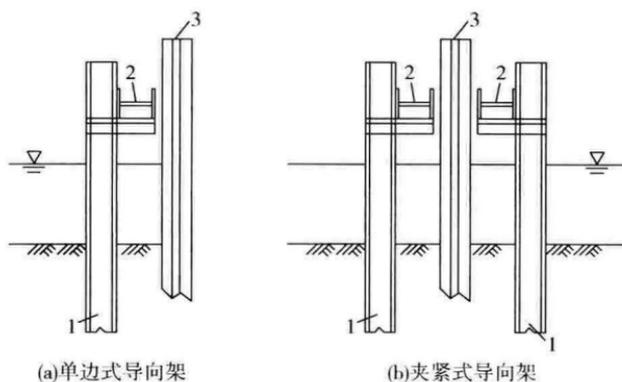


图 36 水上打桩作业的导向架

1—导桩;2—导梁;3—钢板桩

5.2.9 钢板桩插打平面与侧面参见图 37。

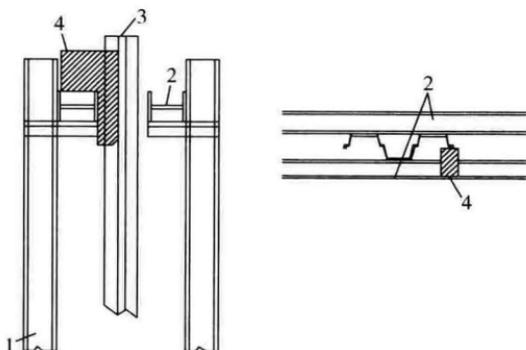


图 37 钢板桩的安装

1—导桩；2—导梁；3—钢板桩；4—卡板

5.2.10 本条第 4 款，钢板桩发生倾斜度超标、变形过大、穿透力不足、锁扣脱开、沉放缓慢、桩身断裂或锁口开裂时，可对应采取下列措施：

(1) 钢板桩倾斜度小于桩宽时，应采用绞车等工具将已倾斜钢板桩顶部朝反向拉纠正或采用屏风式打入法纠斜；

(2) 钢板桩倾斜度大于或等于桩宽时，应采用楔形钢板桩纠斜；

(3) 已打钢板桩与在打钢板桩一起下沉时，应对相邻钢板桩锁扣焊接或栓接；

(4) 钢板桩穿透力不足时，可采用大功率桩机或预先成孔或高压喷水等措施；

(5) 钢板桩发生锁扣脱开时，应采用冲洗清砂法或屏风式打入法等措施解决；

(6) 钢板桩发生桩身断裂或锁口开裂时，应更换钢板桩并应调整振动锤电流，控制激振力；

(7) 钢板桩变形过大时，可在钢板桩顶面以下适当位置，沿钢板桩内侧凹槽处设置型钢予以约束；

(8) 钢板桩沉放缓慢时，可采用原位反复插打或机械引孔措施。

单桩打入法指将 1 根或 2 根桩插打至正确位置,然后打至最终深度,如此重复直至最后一根桩打完。此法的优点是所需桩锤的功率小,缺点是钢板桩可能容易发生倾斜、扭转或曲折。屏风式打入法指首先将 20 根~30 根桩打入足够深度,使它们不需要导向架也能立稳,然后先在桩墙两端打入 1 根~2 根桩,再将中间的桩也打入相同深度。重复以上操作,将整个打桩工作分几次完成,最后将全部钢板桩打至最终深度。每次打桩的入土深度应限制在 2m~3m 内。此法的缺点是需要大型机具,且需要多次移动打桩机,因此任务繁重。此法适用于打桩精度要求高的工程,可以防止钢板桩倾斜、扭转和曲折。

5.2.13 目前钢板桩围堰渗漏水处理的止水方法有两种:

(1)国外使用的方法:①沥青填充材料,国外采用的材料有 Beltan、SIRO 88、Bitumen putty、ADKEA KM 系列等;②水溶性聚氨酯膨胀材料,国外采用的材料有 WADIT、DBP 4427561&EP0695832、ADKEA A30、ADKEA A50、ADKEA P201、Pilelock 等;③蜡和矿物油混合物材料 Arcoseal;④锁口焊接,这样将钢板桩完全与水隔绝,形成密闭隔水的墙体。

(2)国内常用的钢板桩止水填充材料有复合胶 I、复合胶 II 或者采用黄油、沥青、锯末等的混合物。

5.2.14 本条第 3 款规定的目的是掌握水下混凝土高度和流动情况,测点应加密至 1m 以防欠封或超封给施工造成不利后果。第 4 款规定测量铈应使用比重铈,使其能准确测定混凝土面标高。

5.2.15 钢板桩可按与打桩顺序相反的次序拔桩;当遇到拔不动的钢板桩时,应立即停拔检查,采取射水、振动等松动措施,不能硬拔;拔除的钢板桩应及时清除土砂,涂以油脂,对变形大的板桩应调直,完整的板桩应及时运出工地,堆置在平整场地上;钢板桩应分层堆放,每层堆放数量不应超过 5 根,各层之间应垫枕木,枕木间距宜为 3m~4m,上下层垫木应在同一垂线上,堆放总高度不宜超过 2m。

对桩尖打卷及锁口变形的桩,可加大拔桩设备能力,将相邻桩一并拔除,必要时可水下切割;使用振动锤拔桩时,桩锤各部机件、连接件应完好,电气线路、绝缘部分应良好,使用前应检查。

5.3 钢套箱围堰施工

5.3.2 当围堰范围内河床为光板岩面且岩面高程高于围堰刃脚底口设计高程时,可采用水下爆破方法或冲击钻机、水下挖槽机等设备清理整平围堰刃脚投影范围内的岩层,形成局部沟槽,以便围堰下沉着床;当围堰范围内河床面为软弱覆盖层时,可采用高压射水冲洗方法或挖泥机、吸泥机等设备将围堰刃脚投影范围内的覆盖层泥沙清除,以便围堰顺利下沉就位。

5.3.8 钢套箱围堰下放设施包括主吊点、吊杆及锚梁、液压控制系统、升降梁等吊挂系统,液压泵及液压千斤顶等应满足施工要求,液压控制系统应满足多点同步要求。

5.3.11 钢套箱围堰异位拼装时,钢套箱围堰异位分块分段拼装场地应选择能够满足围堰整体出运方式的场地,钢套箱围堰整体拼装宜采用钢支墩组成拼装平台进行分块组拼,钢支墩的高度及摆放位置应严格按钢围堰施工组织设计要求进行设置,钢套箱围堰应分区分块对称拼装,并选择合理的合拢口进行合拢,确保围堰拼装尺寸满足设计及规范要求。

5.4 钢吊箱围堰施工

5.4.3 由于水下操作不方便,极易造成钢吊箱底板与钢护筒之间空隙封堵不严、不实,因此在封底混凝土灌注前,潜水员水下检查,发现问题及时处理。

为保证封底混凝土与钢护筒握裹良好,要求对与封底混凝土接触的钢护筒外壁和钢吊箱底板进行清理。清理工作由潜水员进行,钢护筒外壁、钢吊箱底板水下清理采用钢刷完成。

5.4.4 封底混凝土的作用:一是增加围堰结构自重抵抗封底后高

水位时的浮力和低水位时的粘结力,二是防水渗漏,三是增加吊箱围堰钢底板的刚度。

5.4.5 钢吊箱围堰的体系转换是指当封底混凝土达到规定强度后,拆除吊箱围堰底板吊杆,将由吊杆承受的围堰底板荷载通过封底混凝土与钢护筒外壁间的粘结力转换至钢护筒上。体系转换时,注意桩顶标高以下钢护筒和拉压杆的加固焊接。

5.5 钢管桩围堰施工

5.5.2 钢管桩打桩设备可分为桅杆式、柱脚式、塔式和龙门式等结构形式。

5.5.5 打桩锤根据动力特性可分为落锤、蒸汽锤、柴油锤、液压锤和振动锤等。

5.5.6 钢管桩围堰正式施工前,应该在原址进行试桩,验证插打施工工艺的可行性、施工参数的合理性、施工组织的顺畅性及保证措施的可靠性。直线段插打试桩不少于3根。

5.5.9 焊接前应设置胎架等措施以保证钢管桩平直度符合要求,同时焊接过程中应采取措施减少焊接变形。

6 监 测

6.1 一 般 规 定

6.1.1 施工监控的目的,一方面是检验施工工艺的效果和设计的合理性,为今后改进同类工程设计和施工方法提供根据;另一方面是及时掌握钢围堰的受力和变形情况,通过监测可及时发现围堰和围檩、支撑可能出现的异常情况,以便及时采取应急措施。

6.2 监测内容与方法

6.2.6 每层支撑应在安装后设置支撑轴力监测设施。

6.2.8 应力监测可按壁板拼装、封底混凝土施工、钢吊箱抽水、基础施工四个阶段进行监测。对既有桥梁水中高桩承台加固时,临时栈桥或既有承台或墩柱需要进行沉降监测。

6.2.10 支撑应力按分级控制的原则,设置预警值、报警值、控制值。控制值取最不利荷载组合下最大应力的 80%,指在保证结构不产生破坏的前提下所允许达到的最大应力值;报警值取有限元模型计算值,指当变形过大或过快接近控制值时,采取必要措施、手段进行预防或防护的应力值;预警值按报警值的 80%取用,指施工顺利进行时的控制应力限值。预警值之前,正常施工;预警值到报警值之间增加观测频率;超过报警值时,参建各方应密切关注围堰状况,对发现的问题及时处理;当接近或超过控制值时,应停止施工,查明原因,采取措施排除影响因素后才能继续施工。

附录 A 荷载与作用

A.1 永久作用

A.1.2 作用在钢围堰结构上的土压力应考虑场地的工程地质条件、钢围堰结构相对于土体的位移、地面坡度、地面堆载、邻近建筑及施工设备的影响、地下或地表水位及其变化、钢围堰结构体系的刚度及施工方法等影响因素，土压力的计算可采用朗金土压力理论、库仑土压力理论或有限元理论。

实际上，土压力是挡土结构物与土体相互作用的结果，大部分情况下，土压力介于主动土压力和被动土压力之间。在影响土压力大小及其分布的诸因素中，挡土结构物的位移是关键因素，图 38 给出了土压力与挡土结构物位移间的关系，从图中可以看出，挡土结构物达到被动土压力所需的位移远大于导致主动土压力所需的位移。

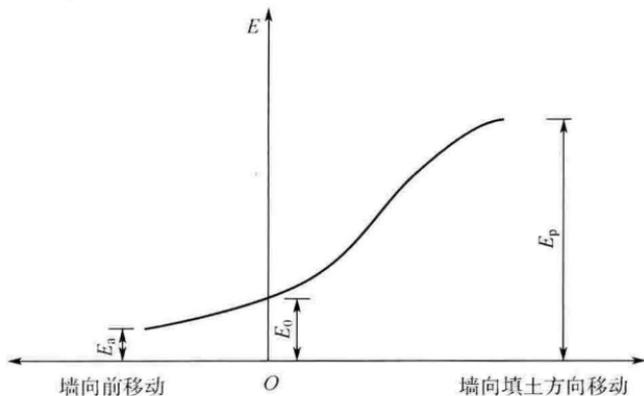


图 38 土压力与挡土墙位移的关系

自然状态土体内水平应力可认为与静止土压力相等。土体侧向应变会改变其水平应力状态。最终的水平应力随着应变的大小和方向可呈现出两种极限状态(主动极限平衡状态和被动极限平衡状态)之间的任何状况。钢围堰结构处于主动极限平衡状态时,受主动土压力作用,是侧向土压力的最小值,通常只需要较小的移动率 Y/H (水位位移/墙体高度)即可达到。钢围堰结构处于被动极限平衡状态时,受被动土压力作用,是侧向土压力的最大值,通常需要较大的移动率 Y/H 才能达到,具体见表 16。

表 16 围堰移动或转动达到极限平衡状态时的 Y/H 大小

土质类型和条件	移动率 Y/H	
	被 动	主 动
密实无黏性土	0.02	0.001
松散无黏性土	0.06	0.004
密实黏性土	0.02	0.010
松散黏性土	0.04	0.020

注: Y 为水平位移; H 为围堰高度。

静止土压力计算,对于不容许位移和位移限值很小的支护结构,在设计中要考虑承受静止土压力。静止土压力系数 K_0 值随土体密实度、固结程度的增加而增加。 γ 、 φ 的精确取值应通过试验确定,估算时见表 17。

表 17 土的重力密度及内摩擦角

名 称	重力密度 (kN/m^3)	内摩擦角 ($^\circ$)
湿黏土	17~19	25~35
干黏土	16~17	40~45
湿砂砾	19~20	25~35
干砂砾	18	35~45

续表 17

名 称	重力密度 (kN/m ³)	内摩擦角 (°)
湿砂	17~18	40
干砂	15~17	30~35

主动及被动土压力可采用朗金土压力或库仑土压力理论计算。考虑到朗金土压力计算方法的假定概念明确,与库仑土压力理论相比具有能直接得出土压力的分布,从而适合结构计算的优点,受到工程设计人员的普遍接受,因此本标准主动土压力及被动土压力均采用朗金土压力计算。朗金土压力计算时应注意在土层分界面上(图 39),由于相互土层的重力密度及抗剪强度指标不同,因此土压力的分布有突变:

a 点:

$$p_{a1} = -2c_1 \sqrt{k_{a1}} \left(\text{拉应力区不应考虑, 拉应力区高度 } h_0 = \frac{2c_1}{\gamma_1 \sqrt{k_{a1}}} \right) \quad (31)$$

b 点上(第一层土中):

$$p_{a2L} = \gamma_1 h_1 K_{a1} - 2c_1 \sqrt{k_{a1}} \quad (32)$$

b 点下(第二层土中):

$$p_{a2F} = \gamma_1 h_1 K_{a2} - 2c_2 \sqrt{k_{a2}} \quad (33)$$

c 点:

$$p_{a3} = (\gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2) K_{a2} - 2c_2 \sqrt{k_{a2}} \quad (34)$$

$$K_{a1} = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_1}{2} \right) \quad (35)$$

$$K_{a2} = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_2}{2} \right) \quad (36)$$

多层土中的朗金土压力计算,另一种更简化的计算方法则是将各层土的重力密度、内摩擦角按土层厚度进行加权平均:

$$\gamma_m = \frac{\sum \gamma_i h_i}{\sum h_i} \quad (37)$$

$$\varphi_m = \frac{\sum \varphi_i h_i}{\sum h_i} \quad (38)$$

然后近似地把它们当作均质土的抗剪强度指标求出土压力系数后再计算土压力。值得注意的是,计算结果与分层计算结构是否接近要视具体情况而定。

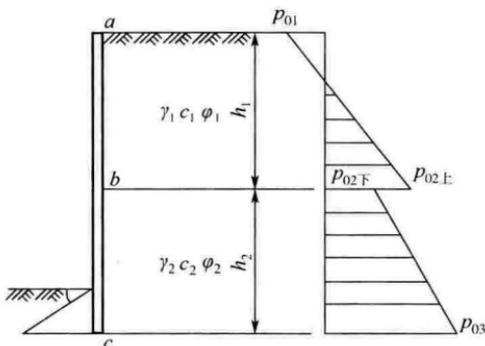


图 39 成层土的主动土压力计算

A. 1. 10 水的浮力可以按下列规定采用:基础底面位于透水性地基上的钢围堰,当验算稳定时,应考虑设计水位的浮力;当验算地基应力时,可仅考虑低水位的浮力,或不考虑水的浮力;基础嵌入不透水性地基的钢围堰不考虑水的浮力;作用在钢围堰底面的浮力,应考虑全部底面积;当不能确定地基是否透水时,应以透水或不透水两种情况与其他作用组合,取其最不利者。

A. 2 可变作用

A. 2. 1 本条参考了《公路桥涵设计通用规范》JTG D60—2015 第 4. 3. 8 条的规定。

A. 2. 2 本条参考了《公路桥梁抗风设计规范》JTG/T D60-01—2004 的规定。

A. 2. 3 本条参考《公路桥涵设计通用规范》JTG D60—2015 第 4. 3. 12 条的规定。

A.2.4 本条参考《公路桥涵设计通用规范》JTG D60—2015 第 4.3.11 条的规定。

A.2.5 波浪力有水平力和浮托力两种作用效应,计算比较复杂,具体应参考《港口与航道水文规范》JTS 145—2015 的规定。

A.2.6 靠船力大小的计算比较复杂,具体应参考《港口工程荷载规范》JTS 144-1—2010 的规定。

A.3 偶然作用

A.3.1 本条参考了《公路桥涵设计通用规范》JTG D60—2015 第 4.4.2 条的规定。位于通航河流中的钢围堰具有船舶撞击的风险,由于钢围堰施工及使用时间较短,是否需要考虑应根据风险的大小来研究确定。

当墙前波高大于 1m 时,应考虑波浪作用,但不考虑波浪对墙后地下水位的影 响。计算用的波要素及波浪力的标准值可按现行行业标准《海港水文规范》JTJ 213—98 及《防波堤设计与施工规范》JTJ 298—98 的有关规定执行。

S/N: 155182 · 0385



统一书号: 155182 · 0385

定 价: 34.00 元