ICS 27.140
P 59
备案号：J712—2007

DL

中华人民共和国电力行业标准

P

DL/T 5388 — 2007

水电水利工程
天然建筑材料勘察规程

Code of natural building material investigation for hydropower and water resources project

2007-07-20发布

2007-12-01实施

中华人民共和国国家发展和改革委员会 发布

目　次

前言 …… II
1　范围 …… 1
2　规范性引用文件 …… 2
3　术语和定义 …… 3
4　基本规定 …… 7
5　砂砾料勘察 …… 11
6　土料勘察 …… 16
7　石料勘察 …… 24
8　勘察报告 …… 31
附录 A（规范性附录）　勘察试验成果整理 …… 34
附录 B（规范性附录）　天然建筑材料质量技术要求 …… 40
附录 C（规范性附录）　土的分类 …… 52
附录 D（资料性附录）　常见含碱活性成分的岩石及碱活性判定标准 …… 58
附录 E（规范性附录）　混凝土天然掺合料的活性评价标准 …… 60
附录 F（资料性附录）　天然建筑材料勘察常用表（格式） …… 61
条文说明 …… 73

前　言

根据国家发展和改革委员会办公厅《关于印发2006年行业标准项目计划的通知》（发改办工业［2006］1093号）的要求，对SDJ 17—1978进行了修订，并更名为《水电水利工程天然建筑材料勘察规程》。

SDJ 17—1978《水利水电工程天然建筑材料勘察规程》于1978年9月首次颁发试行，随着水电水利工程建设规模的加大，坝高的不断增加，新坝型的发展，勘测设计和施工技术水平的提高，对天然建筑材料的种类、数量和质量提出了新的要求，为适应水电工程建设的需要，对SDJ 17—1978进行修订也是十分必要的。

修订后的标准与原标准相比，补充和修改的主要内容如下：

——增加了术语和定义、基本规定、勘察报告等；

——在基本规定中增加了天然建筑材料勘察工作的布置原则；

——在土料勘察中增加了风化土料、特殊土料，石料勘察中增加了开挖石料（渣料）、混凝土天然掺合料等的勘察内容及其质量技术要求；

——补充了天然建筑材料料场选择原则的内容；

——修改了各勘察级别工程地质测绘和图件的比例尺；

——修改了初查、详查勘察级别勘察储量的倍比关系；

——增加和修改了部分天然建筑材料的质量技术指标；

——增加了条文说明。

本标准实施后代替SDJ 17—1978。

本标准的附录A、附录B、附录C、附录E是规范性附录。

本标准的附录D、附录F是资料性附录。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由水电水利规划设计总院归口，并负责解释。

本标准起草单位：水电水利规划设计总院，中国水电顾问集团昆明勘测设计研究院、中南勘测设计研究院、西北勘测设计研究院、成都勘测设计研究院。

本标准主要起草人：王惠明、王文远、顾仲平、张应海、李文纲、徐柏林、李开德、李跃、田见亮、曹树祥、李小泉、侯红英。

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化中心（北京市白广路二条一号，100761）。

1 范　　围

本标准规定了水电水利工程天然建筑材料勘察内容、方法和质量技术要求。

本标准适用于大、中型水电水利工程天然建筑材料勘察。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GBJ 145　土的分类标准

GB 50123　土工试验方法标准

GB 50287　水力发电工程地质勘察规范

DL/T 5151　水工混凝土砂石骨料试验规程

DL/T 5185　水电水利工程地质测绘规程

DL/T 5351　水电水利工程地质制图标准

3 术语和定义

下列术语和定义适用本标准：

3.0.1

天然建筑材料　natural construction materials

指天然产出的可应用于水电水利工程建设的砂砾料、土料和石料等。

3.0.2

人工骨料　artificial aggregate

指开采的石料经过机械破碎、筛分、冲洗而制成的混凝土骨料。

3.0.3

粗骨料　coarse aggregate

指粒径大于等于 5mm 的混凝土骨料。

3.0.4

细骨料　fine aggregate

指粒径小于 5mm 的混凝土骨料。

3.0.5

风化土料　weathered soil

指可用作防渗体的土状或碎块状并仍保留母岩结构构造特征的全风化土层。

3.0.6

碎（砾）石土料　debris（gravelly）soil

指粒径大于 5mm 颗粒的质量占总质量的 20%～60%的宽级配砾类土。

3.0.7

混凝土天然掺合料　concrete natural admixtures

指用于混凝土中以改善混凝土性能或减少水泥用量的天然的具有活性的材料。

3.0.8

碱活性骨料　alkali-reactive aggregate

指可与水泥或混凝土中的碱离子发生化学反应并产生体积膨胀的骨料。

3.0.9

分散性土　dispersive soil

指在低含盐量水中（或纯净水中）离子相互的排斥力超过了相互吸引力，导致土体的颗粒分散的黏性土。

3.0.10

细度模数　fineness modulus（FM）

评价砂粗细程度的一项指标，用筛分试验中孔径小于 5mm 各号筛的累计筛余百分率的总和除以 100 来表示。

3.0.11

粒度模数　grain modulus（GM）

评价砾石粗细程度的一项指标，用筛分试验中孔径大于 5mm 各号筛的累计筛余百分率的总和除以 100 来表示。

3.0.12

表观密度　density

骨料颗粒单位体积（包括颗粒内封闭孔隙）的质量。

3.0.13

堆积密度　piling density

骨料在自然堆积状态下单位体积的质量。

3.0.14

有用层　available layer

指质量技术指标能满足水电水利工程天然建筑材料要求的岩土层。

3.0.15

无用层　unavailable layer

指质量技术指标不能满足水电水利工程天然建筑材料要求的岩土层和有害夹层。

3.0.16

剥采比　rate of stripping

是天然建筑材料料场的无用层剥离量与有用层开采量的比值。

3.0.17

平均厚度法　average thickness method

指用储量计算范围内的总面积乘有用层的平均厚度的方法。

3.0.18

平行断面法　parallel section method

指相邻两断面面积平均值乘断面间平均距离，求出两断面间的分段储量，然后总和各分段的储量的方法。

3.0.19

三角形法　triangular method

将勘探点联成三角形网点，各三角形面积乘以其三顶点平均厚度，分别求得三角形部分储量，然后总和各三角形的储量的方法。

3.0.20

不均匀系数　coefficient of uniformity

以限制粒径（d_{60}）与有效粒径（d_{10}）之比值表示土中颗粒级配均匀程度的一个指标。

3.0.21

曲率系数　coefficient of curvature

反映颗粒级配优劣程度的一个参数，以相应于颗粒大小分配曲线上粒径累积质量占总质量30%的粒径平方值除以限制粒径与有效粒径的乘积所得的比值。

3.0.22

击实试验　compaction test

用标准击实方法，测定土的密度和含水率的关系，以确定相应击实功能时土的最大干密度与最优含水率的试验。

3.0.23

最优含水率　optimum moisture content

指击实试验所得的干密度与含水率关系曲线上峰值点所对应的含水率。

4 基 本 规 定

4.0.1 为了统一水电水利工程天然建筑材料勘察内容和质量技术标准，明确各勘察级别的精度要求，保证勘察成果质量，制定本标准。

4.0.2 天然建筑材料勘察任务是查明各种天然建筑材料的分布、储量、质量、开采和运输条件，为工程设计提供依据。

4.0.3 应结合工程设计阶段和设计方案的需要，因地制宜地开展天然建筑材料的勘察工作。

4.0.4 天然建筑材料的勘察工作应根据勘察任务书要求进行。勘察任务书应明确设计阶段、设计方案、天然建筑材料勘察级别、种类、需要量和质量要求等。

4.0.5 勘察单位在开展野外工作之前，应全面搜集和分析已有的地质资料，进行现场踏勘，了解勘察范围内的自然条件和工作条件；依据勘察任务书要求，按 4.0.6 的要求编制天然建筑材料勘察大纲。

4.0.6 天然建筑材料勘察大纲应包括下列内容：

1 工程概况、建筑物类型、枢纽布置，设计要求的天然建筑材料的种类及其需要量和质量要求。

2 勘察阶段、勘察级别和工作条件。

3 地形地质概况和前阶段的勘察成果。

4 勘察方法和计划工作量。

5 计划进度和完成日期。

6 人员安排和设备。

7 勘察成果及质量保证措施等。

4.0.7 天然建筑材料料场选择应遵守下列原则：

1 按照技术上可行、经济上合理、尽可能减少对环境产生不

4 基 本 规 定

4.0.1 为了统一水电水利工程天然建筑材料勘察内容和质量技术标准，明确各勘察级别的精度要求，保证勘察成果质量，制定本标准。

4.0.2 天然建筑材料勘察任务是查明各种天然建筑材料的分布、储量、质量、开采和运输条件，为工程设计提供依据。

4.0.3 应结合工程设计阶段和设计方案的需要，因地制宜地开展天然建筑材料的勘察工作。

4.0.4 天然建筑材料的勘察工作应根据勘察任务书要求进行。勘察任务书应明确设计阶段、设计方案、天然建筑材料勘察级别、种类、需要量和质量要求等。

4.0.5 勘察单位在开展野外工作之前，应全面搜集和分析已有的地质资料，进行现场踏勘，了解勘察范围内的自然条件和工作条件；依据勘察任务书要求，按 4.0.6 的要求编制天然建筑材料勘察大纲。

4.0.6 天然建筑材料勘察大纲应包括下列内容：

1 工程概况、建筑物类型、枢纽布置，设计要求的天然建筑材料的种类及其需要量和质量要求。

2 勘察阶段、勘察级别和工作条件。

3 地形地质概况和前阶段的勘察成果。

4 勘察方法和计划工作量。

5 计划进度和完成日期。

6 人员安排和设备。

7 勘察成果及质量保证措施等。

4.0.7 天然建筑材料料场选择应遵守下列原则：

1 按照技术上可行、经济上合理、尽可能减少对环境产生不

利影响的原则，先近后远，先水上后水下，大小料场相结合。

2 不占或少占耕地、林地，确需占用时，应保留还田、还林土层。

3 应避免因料场的开挖而影响建筑物布置、安全及危及边坡稳定；宜避免与工程施工发生干扰。

4 宜避免因洪水、围堰挡水或初期蓄水而被淹没。

5 宜有较好的开采和运输条件。

6 当施工开挖渣料质量符合要求时，宜优先利用开挖渣料。

4.0.8 天然建筑材料勘察级别应划分为普查、初查和详查，各勘察级别与各勘察设计阶段的对应关系应符合 GB 50287 的规定。

4.0.9 天然建筑材料各勘察级别均应开展地质测绘与调查工作。地质测绘比例尺应符合表 4.0.9 的要求。

表 4.0.9 天然建筑材料各勘察级别地质测绘比例尺

勘察级别	测绘比例尺	
	平面图	剖面图
普查	1:10000～1:5000	
初查	1:5000～1:2000	1:2000～1:1000
详查	1:2000～1:1000	1:1000～1:500

4.0.10 普查级别的勘察内容，应符合下列要求：

1 勘察工作宜在规划工程场地 40km 范围内进行。

2 了解勘察范围的地形地貌、地层岩性、周边环境条件。

3 了解勘察范围内可用的天然建筑材料种类、分布位置、质量，估算其储量。

4.0.11 初查级别的勘察内容，应符合下列要求：

1 初步查明砂砾料和土料的层次、各层的厚度、物质组成及颗粒级配，夹层的分布及性质，地下水位，上覆无用层厚度等；对石料应初步查明地层岩性，夹层分布，矿物与化学成分，风化

分带，结构面发育程度及充填物，覆盖层厚度，喀斯特发育特征等。

2 初步查明各种天然建筑材料的储量和质量，各料场的开采和运输条件。

3 各种天然建筑材料初查储量应达到设计需要量的2.5倍～3.0倍。

4.0.12 详查级别的勘察内容，应符合下列要求：

1 查明砂砾料和土料的成因、结构、层次、物质组成、颗粒级配，夹层的空间分布与性质，地下水位，上覆无用层厚度等。

2 查明石料的岩性、矿物和化学成分、结构特征，夹层的空间分布，风化分带，结构面发育程度及充填物性质，覆盖层厚度，喀斯特发育程度等。

3 查明各种天然建筑材料的储量、质量，各料场的开采、运输条件，并应考虑开采对环境的不利影响。

4 各种天然建筑材料详查储量应达到设计需要量的1.5倍～2.0倍，并应满足施工可开采储量的要求。

4.0.13 当需要对详查级别的勘察成果进行复查时，或当需要补充论证天然建筑材料的储量和质量时，复查或补充勘察工作的内容和精度应符合详查级别的勘察要求。

4.0.14 天然建筑材料勘察工作的布置，应遵守下列原则：

1 遵循由面到点，由地面到地下，由近到远的原则，先进行地质调查与测绘，然后再因地制宜地综合利用各种勘探手段。

2 当采用物探手段时，应根据地形和岩土物性条件选择物探方法。

3 应根据料场情况、岩土特性和勘察级别，选择勘探方法。对水上砂砾料和土料，宜以坑探、井探为主，钻探为辅；水下砂砾料宜以钻探为主；石料宜以洞探、钻探为主，坑探为辅。

4 勘探剖面应根据地形地貌和地质条件布置，宜沿岩相和岩性变化大的方向布置。勘探点应采用先疏后密，逐步增加并形成

网格状。

5 取样组数和试验项目应根据天然建筑材料的种类、用途、料场面积、均一性和勘察级别等确定。

4.0.15 应配合进行有关的专门试验，并收集试验资料。还应收集有关天然建筑材料开采和使用情况的资料。

4.0.16 野外工作结束后，应及时编制天然建筑材料勘察报告，阐明各料场的储量、质量、开采和运输条件，并附必要的图件。

5 砂砾料勘察

5.0.1 料场按地形地质条件分为三类：

Ⅰ类：分布面积广阔，有用层厚度大且稳定，上覆无用层微薄或零星分布。

Ⅱ类：多呈带状分布，有用层变化不大，普遍分布有上覆无用层；或者是分布广阔，有用层厚度也大，但其中细微的相变却十分频繁，甚至层间尚有明显的无用夹层出现。

Ⅲ类：面积狭小，岩性层次结构复杂，相变大的料场。

5.0.2 料场地质测绘应符合下列规定：

1 测绘比例尺应符合 4.0.9 的规定。

2 测绘范围应包括勘探范围和料场开采及可能的影响区。

3 测绘内容和技术要求应符合 DL/T 5185 的规定。

4 一般按初查、详查两阶段分别进行测绘；根据需要和可能，亦可合并进行。

5.0.3 料场勘探应符合下列规定：

1 勘探网点布置应符合下列规定：

1）应采取逐渐加密的原则，勘探网点间距应符合表 5.0.3 的规定。

2）勘探坑、井、孔的深度，应揭穿有用层或至基岩顶板；当水下部分的有用层厚度较大时，则坑、井、孔深度应达最大开采深度以下 1m 左右，必要时，布设少量控制性钻孔，以揭穿整个有用层厚度。

2 勘探方法应符合下列规定：

1）勘探方法应按料场特性与勘察级别确定。水上部分，宜采用坑槽探、井探、钻探及物探等方法；水下部分，则以钻探为主；根据需要，可布置少量沉井式井探等

表 5.0.3 砂砾料料场勘探网点间距表 m

料场类型	勘察级别			备注
	普查	初查	详查	
Ⅰ类	每一料场布置 3～5 个勘探点；物探剖面 2～3 条	220～300	100～200	对Ⅱ类料场，在详查阶段，可根据层次变化或局部相变的频繁程度，在勘探网中心地带布设加密勘探点的纵横剖面各一条
Ⅱ类		100～150	50～100	
Ⅲ类		＜100	＜50	

方法，以校对钻孔取样成果。

2）为了确保钻孔试验样品的取样质量，勘探钻孔口径不宜小于 168mm；根据需要，尚可选用 196mm 以上的较大口径钻探。

3 勘探点描述可包括下列内容：层位名称，颗粒组成及泥（黏、粉粒）、砂、砾、蛮石的大致含量，砂的矿物成分和砾石的岩石成分、风化程度和形状，密实度，夹层或透镜体特征，胶结程度与厚度；并记录勘探时地下水位及相应的河水位，取样地点、深度与编号等。

5.0.4 料场试验取样应符合下列规定：

1 试验样品应具代表性，取样组数不应少于表 5.0.4 的规定；每单层取样组数，初查不应少于 3 组，详查不应少于 6 组。

表 5.0.4 砂砾料取样组数最小值

料场储量 $\times 10^4 m^3$	勘察级别			备注
	普查	初查	详查	
＜10	3	6	10	＞$50\times10^4 m^3$ 的Ⅱ类冲积砂料及风化砂，初查和详查取样组数宜在表中所列基础上增加 30%
10～50	6	10	15	
50～100	9	15	25	
＞100		30	40	

2 取样间距应符合下列规定：

1）单层厚度为 2m～10m 的，应每 2m～3m 取一组；单

层厚度大于 10m 的，可 3m～5m 取一组。

2）根据有用层相变情况，可适当增加或减小取样间距。当有用层为相变较大、储量丰富、相变频繁的 II 类冲积砂料，以及结构多变的风化砂层，取样间距可适当加密；有用层岩相相对稳定的，可适当增加取样间距。

3）当混合砂砾料场中的砂层厚度大于 0.5m 时，应单独取样。

4）水上、水下应分别取样。

3 样品取样应采用刻槽法、吊桶抽取法、全坑法或全孔法，并符合下列规定：

1）刻槽断面宜为 30cm×40cm，其中最小宽度和深度应大于粒径长轴的 2 倍；大孤石就地测量不予刻取。

2）全孔法孔径应不小于 168mm。

3）样品数量应根据试验需要和颗粒成分而定。对超量样品，应以四分法缩取。现场筛分样品应不少于 500kg，当大于 150mm 的粗粒含量较多时，可适当多取；室内试验样品，砾石（除去大于 80mm 的）应不少于 200kg，砂不应少于 10kg；坝壳填料的大型试验样品数量，按具体情况而定。

5.0.5 混凝土用砂砾料与土石坝坝壳填筑用砂砾料及反滤料试验项目，应分别符合表 5.0.5-1 和表 5.0.5-2 的规定。对主体建筑物使用的混凝土用天然砂砾料的碱活性试验工作，应符合 7.3.5 的要求。

5.0.6 试验成果整理应符合附录 A 的规定。

5.0.7 质量技术指标应符合附录 B 中 B.1 的规定。

表 5.0.5-1　混凝土用砂砾料试验项目一览表

序号	试验项目	勘察级别					
		普查		初查		详查	
		砂	砾石	砂	砾石	砂	砾石
1	颗粒分析	*	*	*	*	*	*
2	天然密度	—	—	*	*	*	*
3	堆积密度	—	—	*	*	*	*
4	砾石（混合、分级）紧密密度	—	—	*	*	*	*
5	表观密度	—	—	—	+	+	+
6	吸水率	—	—	*	+	*	+
7	含泥量	—	—	*	*	*	*
8	岩石（矿物）成分含量	—	—	—	*	—	*
9	针片状颗粒含量	—	—	+	—	+	—
10	云母含量	—	—	+	—	+	—
11	膨胀率	—	—	—	*	—	*
12	软弱颗粒含量	—	—	+	*	+	*
13	活性骨料成分及含量	—	—	+	+	+	+
14	有机质含量	—	—	+	+	+	+
15	硫酸盐及硫化物含量（换算成 SO_3）	—	—	+	—	+	—
16	水溶盐含量	—	—	—	+	—	+
17	冻融损失率	—	—	+	*	+	*
18	黏土块（球）及黏土膜含量	—	—	+	+	+	+
19	轻物质含量	—	—	+	+	+	+

注："*"表示试验组数与取样组数相等的应做项目；"+"表示试验组数按需要而定的应做项目；"—"表示免做项目。

表 5.0.5-2　土石坝坝壳填筑用砂砾料及反滤料试验项目一览表

序号	试验项目	勘察级别					
		普查		初查		详查	
		砂料	砾石料	砂料	砾石料	砂料	砾石料
1	颗粒分析	*	*	*	*	*	*
2	天然密度	—	—	+	+	+	+
3	紧密密度	—	—	*	*	*	*
4	堆积密度	—	—	*	*	*	*
5	表观密度	—	—	+	+	+	+
6	含泥量	—	—	*	*	*	*
7	自然休止角	—	—	+	+	+	+
8	剪切	—	—	+	+	+	+
9	渗透系数	—	—	+	+	+	+
10	渗透比降	—	—	+	+	+	+
11	固结压缩	—	—	—	—	+	+

注："*"表示试验组数与取样组数相等的应做项目；"+"表示试验组数按需要而定的应做项目；"—"表示免做项目。

6 土 料 勘 察

6.1 一 般 土 料

6.1.1 料场按地形地质条件分为以下三类：

Ⅰ类：场地面积大；地形平缓完整；有用层厚度大且稳定，土层成因类型、结构单一；下伏层埋深大；剥离层薄。

Ⅱ类：料场面积较大；地形起伏较完整；土层成因类型较复杂；有用层层次较多，结构及厚度较稳定或呈有规律变化；开采范围内下伏层表面较平整；剥离层较薄。

Ⅲ类：料场面积小；地形不完整；有用层层次多，土层成因类型、岩性、结构复杂，厚度变化大，夹有无用层；开采范围内下伏层表面起伏大；剥离层较厚。

6.1.2 工程地质测绘应符合下列规定：

1 测绘比例尺应符合 4.0.9 的规定。

2 测绘范围应包括勘探范围及与料场开采等有关的影响区。

3 测绘内容及技术要求应符合 DL/T 5185 的要求。

6.1.3 料场勘探应符合下列规定：

1 料场勘探布置应符合下列规定：

1）勘探网点间距应符合表 6.1.3 的规定。

表 6.1.3 勘探网点间距 m

料场类型	勘察级别		
	普查	初查	详查
Ⅰ类	每一料场随机布置 3～5 个勘探点	200～400	100～200
Ⅱ类		100～200	50～100
Ⅲ类		<100	<50

2）各勘探点应揭穿有用层以下 0.5m～1.0m，或至地下水水面；当有用层较厚时，勘探深度应超过最大开采深度。

2 勘探方法宜采用坑探、井探为主，槽探为辅，必要时采用钻探、洞探。

3 勘探点的地层应按成因类型及结构不同进行分层。应分层描述土层的成因类型及土的统一分类名称、颜色、结构、颗粒组成及目估含量、砾石的岩矿成分与风化程度、土质的均一性、潮湿状态、塑性状态、厚度等；夹层的性质和厚度；植物根系等杂质含量及分布；剥离层和无用层的物质组成、厚度；应记录地下水水位及其浸润线高度、取样位置、编号、高程等，并应标注在展示图或柱状图的相应位置上。

4 细粒土的分类和定名应符合 GBJ 145—1990 的要求，见附录 C 中表 C.8 和图 C.1；细粒土的简易分类见表 C.9；土的基本代号见表 C.10。

6.1.4 料场试验取样应符合下列规定：

1 土样应具代表性。

2 宜采用刻槽法取样。

3 应分区、分层取样。必要时应分层混合取样。单层（分层混合）常规试验扰动样取样组数应符合表 6.1.4 的规定。

表 6.1.4 单层（分层混合）常规试验扰动样取样组数

料场（分区）规模 km^2	勘察级别		
	普查	初查	详查
<0.10	3～6	3～5	5～7
0.10～0.30		5～7	7～9
0.30～0.50		7～9	9～11
0.50～0.80		9～11	11～13
>0.80		>12	>14

2）各勘探点应揭穿有用层以下 0.5m～1.0m，或至地下水水面；当有用层较厚时，勘探深度应超过最大开采深度。

2 勘探方法宜采用坑探、井探为主，槽探为辅，必要时采用钻探、洞探。

3 勘探点的地层应按成因类型及结构不同进行分层。应分层描述土层的成因类型及土的统一分类名称、颜色、结构、颗粒组成及目估含量、砾石的岩矿成分与风化程度、土质的均一性、潮湿状态、塑性状态、厚度等；夹层的性质和厚度；植物根系等杂质含量及分布；剥离层和无用层的物质组成、厚度；应记录地下水水位及其浸润线高度、取样位置、编号、高程等，并应标注在展示图或柱状图的相应位置上。

4 细粒土的分类和定名应符合 GBJ 145—1990 的要求，见附录 C 中表 C.8 和图 C.1；细粒土的简易分类见表 C.9；土的基本代号见表 C.10。

6.1.4 料场试验取样应符合下列规定：

1 土样应具代表性。

2 宜采用刻槽法取样。

3 应分区、分层取样。必要时应分层混合取样。单层（分层混合）常规试验扰动样取样组数应符合表 6.1.4 的规定。

表 6.1.4 单层（分层混合）常规试验扰动样取样组数

料场（分区）规模 km^2	勘察级别		
	普查	初查	详查
<0.10	3～6	3～5	5～7
0.10～0.30		5～7	7～9
0.30～0.50		7～9	9～11
0.50～0.80		9～11	11～13
>0.80		>12	>14

4 防渗土料常规试验每组取样数量不应少于 50kg。超重样品应拌匀后用四分法缩取。

5 天然含水率和天然密度取样试验应符合下列规定：

1）普查时，可不单独布置天然含水率取样。

2）初查和详查应布置天然含水率及天然密度取样试验。测试天然含水率的取样坑宜占探坑计划开挖总数的40%，每个取样坑应每 1m～2m 取一组天然含水率试验样品。测试天然密度的试验坑，宜占天然含水率取样坑的 1/4，每个试验坑宜间隔 2m 做一组天然密度试验。应边勘探边进行天然含水率和天然密度取样试验。

6.1.5 防渗料土样常规试验项目应符合表 6.1.5 的规定。

表 6.1.5 防渗料土样常规试验项目

序号	试验项目		勘察级别		
			普查	初查	详查
1	天然含水率		±	+	+
2	天然密度		±	+	+
3	颗粒分析		*	*	*
4	液限		*	*	*
5	塑限		*	*	*
6	膨胀		±	+	+
7	收缩		±	+	+
8	崩解		±	+	+
9	击实		*	*	*
10	击实土	剪切	*	*	*
11		压缩	*	*	*
12		渗透系数	*	*	*
13		渗透坡降	±	±	+
14	有机质含量		±	+	+
15	烧失量		±	+	+

表 6.1.5（续）

序号	试验项目	勘察级别		
		普查	初查	详查
16	水溶盐含量	±	+	+
17	黏土矿物成分	±	+	+
18	化学成分	±	+	+
19	分散性试验	±	+	+

注：1. “*”表示试验组数与试样组数相同的应作项目；
“+”表示试验组数视需要而定的应作项目；
“±”表示试验项目视需要而定。
2. 碾压式土石坝心墙和斜墙防渗土料可不作击实土的崩解性试验。

6.1.6 土料质量技术要求应符合下列规定：

1 土石坝防渗土料质量技术要求应符合附录B中B.2.1的规定。

2 接触黏土料质量技术要求应符合附录 B 中 B.2.2 的规定。

3 槽孔固壁土料质量技术要求应符合附录 B 中 B.2.3 的规定。

6.1.7 土的分散性单项指标评价可按附录B中B.2.4的规定确定。

6.2 碎（砾）石类土料

6.2.1 料场按地形地质条件分为以下两类：

Ⅰ类：料场面积大，地形较平缓，有用层厚度大且较稳定，土的成因类型单一，成分、结构较简单。

Ⅱ类：料场面积较小，地形起伏，土的成因类型较复杂，有用层厚度、成分和结构变化较大。

6.2.2 料场地质测绘应符合 6.1.2 的规定。

6.2.3 料场勘探应符合下列规定：

1 勘探网点间距应符合表 6.2.3 的规定。

表 6.2.3 勘探网点间距

m

料场类型	勘察级别		
	普查	初查	详查
Ⅰ类	每一料场布置3~5个勘探点	100~200	50~100
Ⅱ类		<100	<50

2 勘探方法应以坑探、井探及钻探为主，槽探、洞探为辅。

3 勘探点应描述碎（砾）石类土的成因类型，粗、细料（以粒径 5mm 为界）大致含量，粗料的粒度成分、岩石成分、风化程度，细料的颜色、粒度成分、潮湿状态、可塑性、黏粒的大致含量；应根据粒度变化情况进行分层；并应记录取样位置及编号。

4 碎（砾）石类土的分类应符合附录 C 的规定。

6.2.4 料场试验取样应符合下列规定：

1 取样组数不得少于表 6.2.4 的规定。

表 6.2.4 碎（砾）石类土料取样组数

料场储量 $\times 10^4 m^3$	勘察级别		
	普查	初查	详查
<50	3~6	15	20
>50		20	30

2 应分层取样。层厚小于 5m，土性变化较大时，宜 1m~2m 取样一组；层厚大于 5m，土性较简单时，可 2m~4m 取样一组；必要时可进行上、下层混合取样。

3 宜采用刻槽法或吊筐抽取法。

4 取样数量应满足试验要求，常规试验取样数量不宜少于 300kg。

5 天然含水率和天然密度取样试验应符合 6.1.4 的规定。

6.2.5 试验内容应符合表 6.2.5 的规定。试验成果整理应符合附录 A 的规定。

表 6.2.5 碎（砾）石类土料试验项目

序号	试验项目			勘察级别		
				普查	初查	详查
1	天然含水率			*	*	*
2	天然密度			+	+	+
3	颗粒分析			*	*	*
4	分散性试验			*	*	*
5	液限			*	*	*
6	塑限			*	*	*
7	膨胀			±	+	+
8	收缩			±	+	+
9	崩解			±	+	+
10	击实			±	+	+
11	击实试验后	直剪		±	+	+
12		压缩		±	+	+
13		三轴		±	+	+
14		渗透	渗透系数	±	+	+
			渗透坡降	±	+	+
15	有机质含量			±	+	+
16	烧失量			±	+	+
17	水溶盐含量			±	+	+
18	化学成分			±	+	+
19	黏土矿物成分			±	+	+

注："*"表示试验组数与取样组数相等的应作项目；"+"表示试验组数按需要而定的应作项目；"±"表示视需要而定的项目。

6.2.6 碎（砾）石类土料质量技术要求应符合附录 B 中 B.2.5 的规定。

6.3 风化土料

6.3.1 料场按地形地质条件分为以下两类：

Ⅰ类：地形基本完整；母岩岩性和全风化层较均一；全风化土层岩性、结构简单；厚度大、分布稳定或呈有规律变化；无用夹层较少；水文地质条件简单。

Ⅱ类：料场面积小；地形起伏；母岩岩性、结构复杂或虽岩性单一，但风化不均一；全风化土层岩性、结构和厚度变化大；无用夹层较多；水文地质条件较复杂。

6.3.2 料场工程地质测绘应符合 6.1.2 的规定。

6.3.3 料场勘探应符合下列规定：

1 勘探布置应符合下列规定：

1）勘察网点间距应符合表 6.3.3 的规定。

表 6.3.3 勘探网点间距

m

料场类型	勘察级别		
	普查	初查	详查
Ⅰ类	每一料场随机布置 3 个～5 个勘探点	100～200	50～100
Ⅱ类		<100	<50

2）各勘探点应揭穿有用层至强或弱、微风化层顶板以下 1.0m 或至地下水水面。当有用层较厚时，其勘探深度应超过最大开采深度。

2 勘探方法应符合 6.2.3 中 2 的规定。

3 勘探点的地层应按成因类型不同进行分层。分层描述内容除应符合 6.2.3 中 3 的规定外，尚应重点描述风化土料母岩的地层、岩性、岩层产状、单层厚度、风化程度及均一性和成层性。全风化土层的颜色、岩性、结构、颗粒组成、潮湿状态和塑性状态、厚度等；夹层的性质、厚度、颜色、状态、颗粒组成及目估含量、粗颗粒的硬度特征等。

4 风化土料分类和定名应符合附录 C 中表 C. 4～表 C.9 的规定；土的基本代号应符合表 C.10 的规定。

6.3.4 料场试验取样应符合下列规定：

1 土样应具代表性。

2 宜在探坑中采用刻槽法取样。

3 应分区、分层和分层混合分别取样。单层（分层混合）取样数量应符合表 6.1.4 的规定。

4 取样数量应满足试验要求。常规试验取样数量不宜少于150kg。超重样品应拌匀后用四分法缩取。

5 天然含水率和天然密度取样试验应符合6.1.4中5的规定。

6.3.5 防渗料土样常规试验项目应符合表 6.1.5 的规定。详查时，主料场土样试验尚应符合下列规定：

1 应进行大型击实功能选择试验，击实试验同时测定砾石的破碎率。

2 必要时可进行天然含水率随时间和深度变化的试验。

6.3.6 风化土料作防渗体的质量技术要求应符合附录 B 中 B.2.1 的规定。

6.4 特 殊 土 料

6.4.1 本标准所指特殊土料仅包括膨胀土和红黏土。

6.4.2 特殊土料的勘探、取样和试验应符合 6.1.1～6.1.5 的要求，质量评价应满足下列规定：

1 膨胀土作为土石坝防渗体时，质量技术指标应按工程要求作专门试验论证。

2 红黏土作为土石坝防渗料的质量技术指标除黏粒含量、塑性指数外，其余应符合附录 B 中表 B.5 的规定。用于高坝时应作必要的技术论证。

7 石 料 勘 察

7.1 堆 石 料

7.1.1 料场按地形地质条件分为以下三类：

Ⅰ类：地形完整，沟谷不发育，岩性单一，岩相稳定，没有无用夹层，断裂、喀斯特不发育，风化层及剥离层较薄。

Ⅱ类：地形不完整，沟谷较发育，岩性岩相较稳定，没有或少有无用夹层，断裂、喀斯特较发育，风化层及剥离层较厚。

Ⅲ类：地形陡峻，沟谷发育，岩性岩相变化较大，夹无用层，断裂、喀斯特发育，风化层及剥离层厚。

7.1.2 工程地质测绘应符合下列规定：

1 测绘比例尺应符合 4.0.9 的规定。

2 料场地质测绘的内容和技术要求应符合 DL/T 5185 的规定。

3 料场工程地质测绘范围应包括料场开采区及开挖影响区。

4 详查阶段工程地质测绘尚应查明料场开挖边坡的岩土结构、软弱夹层等主要结构面的分布与性质，评价边坡稳定性，提出边坡开挖与防护措施的建议。

7.1.3 料场勘探应符合下列规定：

1 勘探网点间距应符合表 7.1.3 的规定。初查级别每条勘探剖面上不应少于 2 个钻孔；详查级别每条勘探剖面上不应少于 3 个钻孔或平洞。

表 7.1.3 堆石料料场勘探网（点）间距 m

料场类型	勘察级别		
	普查	初查	详查
Ⅰ类	利用天然露头，必要时每个料场布置 3～5 个勘探点	250～350	150～250
Ⅱ类		150～250	100～150
Ⅲ类		<150	<100

2 勘探方法可以平洞、钻探为主，物探、坑探、竖井为辅。控制性钻孔或平洞应揭穿有用层或拟开采底板线以下 5m～10m。

3 勘探点应描述岩层名称、岩性、产状、构造、岩石块度、风化程度、喀斯特与充填物、岩心获得率与岩石质量指标（RQD）等，并记录取样位置、高程及编号等。

4 在喀斯特地区进行石料场勘探时，应特别重视喀斯特发育程度和剔除量。

7.1.4 料场试验取样应符合下列规定：

1 取样应具有代表性。初查级别应对代表性的岩性进行取样，各类代表性岩性的试样组数均不应少于 3 组。详查级别应在 1～3 个勘察剖面上的有用层中按不同岩性、不同风化层分别取样，试样组数均不应少于 5 组；勘探剖面以外所揭露的有用层，均应取 1 组试样。

2 取样应在钻孔岩心中选取或在平洞、坑槽、竖井内凿取。

3 取样规格和数量应满足试验要求。

7.1.5 试验项目应符合表 7.1.5 的规定。

表 7.1.5 堆石料原岩试验项目

序号	试验项目	备 注
1	密度（天然、干、饱和）	
2	饱和吸水率	
3	抗压强度（干、饱和、冻融）	冻融抗压强度视需要而定
4	弹性模量	
5	岩石矿物成分、化学成分	堆石坝坝高超过 100m 时
6	冻融损失率	视需要而定
7	硫酸盐及硫化物含量（换算成 SO_3）	

7.1.6 堆石料质量技术要求应符合附录 B 中表 B.12 的规定。

7.2 砌 石 料

7.2.1 料场分类应符合 7.1.1 的规定。

7.2.2 料场地质测绘除应符合 7.1.2 的规定外，详查级别的地质测绘，尚应通过剖面实测查明层状结构岩体的单层厚度，或通过节理裂隙调查统计查明块状结构岩体的结构面间距。

7.2.3 料场勘探应符合 7.1.3 的规定。

7.2.4 取样应符合 7.1.4 的规定。

7.2.5 试验项目应符合表 7.2.5 的规定。

表 7.2.5 砌石料原岩试验项目

序号	试验项目	备注
1	密度（天然、干、湿）	
2	饱和吸水率	
3	抗压强度（干、饱和、冻融）	冻融抗压强度视需要而定
4	弹性模量、泊松比	
5	岩石矿物、化学成分	
6	线胀系数	视需要而定
7	冻融损失率	
8	硫酸盐及硫化物含量（换算成 SO_3）	

7.2.6 砌石料岩体结构面间距应满足砌石料形状要求，其他质量技术指标应符合附录 B 中 B.3.2 的规定。

7.3 人 工 骨 料

7.3.1 料场分类应符合 7.1.1 的规定。

7.3.2 料场地质测绘应符合 7.1.2 的规定。

7.3.3 料场勘探应符合下列规定：

1 勘探网点间距应符合表 7.3.3 的规定。初查级别每条勘探剖面上不应少于 2 个钻孔；详查级别每条勘探剖面上不应少于 3

个钻孔。

表 7.3.3 人工骨料料场勘探网点间距

m

料场类型	勘察级别		
	普查	初查	详查
Ⅰ类	利用天然露头，必要时每个料场布置3～5个勘探点	200～300	150～200
Ⅱ类		150～200	100～150
Ⅲ类		100～150	50～100

2 勘探方法应按料场特性和勘察级别确定，以钻探、洞探为主，坑槽探、物探为辅。控制性钻孔或平洞应揭穿有用层或拟开采底板线以下 5m～10m。

3 勘探点应描述岩层名称、岩性、产状、无用夹层，断层、裂隙发育及夹泥情况，风化程度、喀斯特及充填物等，并记录地下水位、取样位置和编号、岩心获得率与 RQD 等。

4 在喀斯特地区进行人工骨料料场勘探时，应特别重视其喀斯特发育程度和剔除量。

7.3.4 取样应符合下列规定：

1 取样应具有代表性。初查级别应对代表性的岩性进行取样，各类代表性岩性的试样组数均不应少于 3 组。详查级别应在 2～3 个勘探剖面上的有用层中按不同岩性、不同风化层分别取样，试样组数均不应少于 5 组；勘探剖面以外所揭露的有用层，均应取 1 组试样。

2 取样应在钻孔岩心中选取或在坑槽、探洞壁凿取。

3 取样规格和数量应满足试验要求。

4 对岩石碱活性试验取样，应分层进行，不应缺层，每分层取样组数不宜小于 2 组。

7.3.5 原岩试验项目应符合表 7.3.5 的规定。除常规试验外，尚应进行碱活性试验。常见含碱活性成分的岩石参见附录 D 中 D.1 的规定，岩石碱活性判定应按 DL/T 5151 的规定执行，参见附录

个钻孔。

表 7.3.3 人工骨料料场勘探网点间距

m

料场类型	勘察级别		
	普查	初查	详查
Ⅰ类	利用天然露头，必要时每个料场布置3～5个勘探点	200～300	150～200
Ⅱ类		150～200	100～150
Ⅲ类		100～150	50～100

2 勘探方法应按料场特性和勘察级别确定，以钻探、洞探为主，坑槽探、物探为辅。控制性钻孔或平洞应揭穿有用层或拟开采底板线以下 5m～10m。

3 勘探点应描述岩层名称、岩性、产状、无用夹层，断层、裂隙发育及夹泥情况，风化程度、喀斯特及充填物等，并记录地下水位、取样位置和编号、岩心获得率与 RQD 等。

4 在喀斯特地区进行人工骨料料场勘探时，应特别重视其喀斯特发育程度和剔除量。

7.3.4 取样应符合下列规定：

1 取样应具有代表性。初查级别应对代表性的岩性进行取样，各类代表性岩性的试样组数均不应少于 3 组。详查级别应在 2～3 个勘探剖面上的有用层中按不同岩性、不同风化层分别取样，试样组数均不应少于 5 组；勘探剖面以外所揭露的有用层，均应取 1 组试样。

2 取样应在钻孔岩心中选取或在坑槽、探洞壁凿取。

3 取样规格和数量应满足试验要求。

4 对岩石碱活性试验取样，应分层进行，不应缺层，每分层取样组数不宜小于 2 组。

7.3.5 原岩试验项目应符合表 7.3.5 的规定。除常规试验外，尚应进行碱活性试验。常见含碱活性成分的岩石参见附录 D 中 D.1 的规定，岩石碱活性判定应按 DL/T 5151 的规定执行，参见附录

D 中表 D.2。

表 7.3.5　人工骨料原岩试验项目

序号	试验项目	备注
1	密度（天然、干、湿）	
2	饱和吸水率	
3	孔隙率	
4	抗压强度（干、饱和）	
5	岩石矿物、化学成分	
6	冻融损失率	视需要而定
7	硫酸盐及硫化物含量（换算成 SO_3）	
8	岩石碱活性试验	
9	抗拉强度	
10	弹性模量、泊松比	

7.3.6　混凝土用人工骨料质量技术指标应符合附录 B 中 B.3.3～B.3.5 的规定。

7.4　开挖石料（渣料）

7.4.1　勘探工作应结合工程建筑物勘察进行，并按材料相应用途、勘察级别进行补充勘探，勘探网点间距应符合相应种类勘察级别的要求。

7.4.2　取样与试验应在工程建筑物勘察取样试验的基础上，根据材料的实际用途和相应勘察级别要求进行补充，取样数量和试验项目应符合相应种类各勘察级别的精度要求。

7.4.3　开挖石料（渣料）的质量技术指标，应符合相应种类的质量技术要求。

7.4.4　开挖石料（渣料）的储量按设计开挖量中的可利用部分考虑。

7.5 混凝土天然掺合料

7.5.1 料场按地形地质条件分为以下两类：

Ⅰ类：料场面积较大；地形较完整；岩性、结构和厚度基本稳定或有规律变化；地质构造不发育；剥离层较薄。

Ⅱ类：料场面积小；地形起伏；岩性、结构和厚度不稳定或相变大；夹无用层；剥离层较厚。

7.5.2 工程地质测绘应符合 7.1.2 规定。

7.5.3 料场勘探应符合下列规定：

1 勘探网点间距应符合表 7.5.3 的规定。

表 7.5.3 勘探网点间距

m

料场类型	勘察级别		
	普查	初查	详查
Ⅰ类	利用天然露头，必要时布置 1 个～3 个勘探点	100～200	50～100
Ⅱ类		<100	<50

2 各勘探点应揭穿有用层以下 1.0m。当有用层厚度较大时，其勘探深度应超过最大开采深度。对厚度大的有用层，应布置部分控制孔。

3 勘探方法以钻探和洞探为主，辅以坑、槽探。

4 勘探点应描述下列主要内容：岩层名称、岩性、岩层产状及变化；风化程度及均一性；夹层的性质、厚度及分布规律；无用层厚度线率统计；地质构造发育特征；物理地质现象；地下水类型、性质；泉水类型、流量、性质等；上覆和下伏无用层的地层时代、岩性及接触关系；岩心获得率与 RQD；记录地下水水位、取样位置、高程及编号等。

7.5.4 料场试验取样应符合下列规定：

1 样品应具代表性。

2 应分区、分层取样。单层常规试验样品取样组数应符合表7.5.4的规定。

表 7.5.4 单层常规试验样品取样组数

料场规模 km^2	勘察级别		
	普查	初查	详查
<0.10	1～3	3～5	5～7
0.10～0.20		5～7	7～9
>0.20～0.30		7～9	9～11

3 样品可在坑、槽探及平洞中或其他剖面上用刻槽法采取；也可在钻孔岩心中取样。

4 应按岩层成因及不同风化程度分别取样。

5 取样数量应满足试验要求。常规试验样品，每组取样数量不宜少于 50kg。

7.5.5 室内试验项目应符合表 7.5.5 的规定。

表 7.5.5 混凝土天然掺合料试验项目

序号	试验项目	勘察级别			备注
		普查	初查	详查	
1	薄片鉴定	*	+	+	1. 表中符号含义同表 6.1.5。 2. 化学分析项目包括：SiO_2、Al_2O_3、Fe_2O_3、CaO、MgO、SO_3、Na_2O、K_2O、烧失量、可溶性硅酸和铝酸。 3. 全风化层混凝土天然掺合料应做 5 组～10 组现场含水率和密度试验。
2	密　度	±	+	+	
3	化学分析	*	*	*	
4	水泥胶砂 28d 抗压强度比试验	*	*	*	
5	火山灰性试验	*	*	*	

7.5.6 混凝土天然掺合料质量技术要求应符合附录 B 中 B.3.6 的规定。

7.5.7 混凝土天然掺合料的活性指标评价标准见附录 E。

8 勘 察 报 告

8.1 一 般 规 定

8.1.1 天然建筑材料勘察报告由正文、附图组成。

8.1.2 正文的文字应简练、条理清晰、分析有据、结论明确。

8.1.3 附图的编制要求应符合 DL/T 5153—2006 的规定。

8.2 正 文 编 写

8.2.1 普查级别的天然建筑材料勘察成果应在相应勘察阶段的工程地质勘察报告正文中加以说明，其内容应包括勘察工作概况、料场的分布及其地形地质情况、各料场的质量和估算储量，说明各规划工程天然建筑材料条件、初查级别天然建筑材料勘察工作的建议等。

8.2.2 初查级别天然建筑材料勘察报告正文应说明工程概况、勘察任务要求、勘察工作经过、完成的勘察工作项目、工作量和主要成果，按天然建筑材料的种类，分别阐明各料场的位置、地形地质条件、储量、质量、开采条件、运输条件、结论和详查级别勘察工作的建议等。

8.2.3 详查级别天然建筑材料勘察报告正文应包括绪言、各料场情况和结论等。

1 绪言应包括工程概况、任务要求、勘察过程、工作内容、完成工作量和主要成果。

2 各料场的情况，应按种类分别说明下列内容：

1）料场概况、位置、至工程场址距离；

2）地质条件应包括地形地貌、土层结构、成因类型、层次及各层的厚度、空间分布、组成物质；岩性及成层

组合特性、矿物成分、结构特征、风化程度、断裂构造发育程度及充填情况、水文地质条件、喀斯特发育特征等；

3）采用的勘探方法、布置形式、勘探点间距；

4）取样方法、组数、试验项目和试验成果汇总；

5）储量计算方法、计算边界和储量计算汇总；

6）无用层厚度、有用层厚度、开采条件、运输条件等。

3 结论应包括不同种类储量和质量评价，各料场开采条件和运输条件的评价，推荐选择料场和适宜的开采料区，下步工作建议等。

8.2.4 当进行天然建筑材料复查或补充勘察工作时，所编写的天然建筑材料勘察报告正文包括目的、工作内容、完成工作量、试验成果汇总、储量计算汇总、质量评价、开采条件、运输条件和结论意见等。

8.3 附 图 编 制

8.3.1 天然建筑材料勘察报告的附图应符合表 8.3.1 的规定。

表 8.3.1 天然建筑材料勘察报告附图

序号	图 名	普 查	初 查	详 查	复 查
1	天然建筑材料产地分布图	√	√	√	+
2	天然建筑材料料场综合地质图	+	√	√	+
3	天然建筑材料料场地质剖面图	+	√	√	+

注："√"表示应提交的附图；"+"表示视需要提交的附图。

8.3.2 天然建筑材料产地分布图可包括下列内容：

1 料场编号、名称、种类。

2 主要建筑物位置、交通路线、城镇居民点、耕地、林场。

3 各料场概况一览表，包括料场编号、名称、勘察级别、料场面积、无用层和有用层的平均厚度、无用层体积、有用层储量、距工程场址距离等。

8.3.3 天然建筑材料料场综合地质图应包括下列内容：

1 地形地貌、土层的成因类型、岩层名称与产状、主要断裂构造的分布及其产状、物理地质现象、耕地、林场范围及其他标志。

2 勘探点、取样点及其编号、物探剖面线、地质剖面线。

3 储量计算范围线及储量计算汇总表。

4 不同种类试验成果汇总表。

5 质量分区界线。

8.3.4 天然建筑材料料场地质剖面图应包括下列内容：

1 土层与岩层的分界，土层的成因类型、厚度，岩层名称、主要断层、风化分带、地下水位。

2 枯水期和洪水期的河水位及观测日期。

3 勘探点编号、高程、深度、取样位置及编号。

4 无用层和有用层厚度。

5 储量计算范围线及质量分区线。

6 剖面方向、相交剖面及编号。

附 录 A
（规范性附录）
勘察试验成果整理

A.1 一 般 规 定

A.1.1 应及时整理，以便发现问题，利于校正和补充试验。

A.1.2 按料场种类，分区、分层、水上、水下分别整理汇总，特殊项目的试验成果应单独进行整理。

A.1.3 列入整理的试验成果，其试验方法应相同。经分析，应剔除显然不合理（或特别离散）的数值。

A.1.4 各项试验成果应计算出算术平均值或加权平均值，列出上包线、下包线，必要时还应列出上包平均线或下包平均线。

A.1.5 除了绘制常用曲线，亦可按材料特性及工程需要，另绘专门性关系曲线。

A.1.6 天然建筑材料勘察常用表（格式）参见附录 F。

A.2 储 量 计 算

A.2.1 天然建筑材料储量计算应根据地形地质条件、勘察级别、勘探点布置情况选用平均厚度法或平行断面法、三角形法，并选用另一种方法进行校核。

A.2.1.1 平均厚度法适用地形平缓，有用层厚度比较稳定、勘探点布置均匀时，或勘察级别低、勘探点比较少的料场。

A.2.1.2 平行断面法适用于地形有起伏、有用层厚度有变化的料场。

A.2.1.3 三角形法适用于勘探点布置不规则的料场。

A.2.2 河漫滩砂砾石水上、水下储量计算中水位的选择宜以枯水

期水位为标准，严寒地区宜以平水期水位为标准。当无上述资料时，也可采用勘探水位。

A.2.3 储量计算边界的圈定，应符合下列规定：

A.2.3.1 有用区边界应在勘探控制范围及试验成果基础上，结合地形地貌和地质条件，分区分层，综合分析，合理确定。当需要计算勘探范围边界以外的有用层储量时，外延至勘探控制范围以外的边界线距离不得大于勘探孔（坑）距离的$\frac{1}{2}$。

A.2.3.2 砂砾料、土料有用层的上、下界限应以有用层顶底板各扣除 0.2m～0.3m 为界，石料应扣除 0.5m～1.0m。当勘探孔（坑）未揭穿有用层时，应以实际勘探深度为界；石料场的计算底界可根据地质和开采条件，适当放宽。

A.2.3.3 计算深度较大的水下砂砾料有用层储量时，其下限应以最大开挖深度为界。

A.2.3.4 无用层可按实际厚度计算，砂砾料和土料有害夹层的计算厚度应比其实际厚度大 0.2m～0.3m，石料应比其实际厚度大 0.5m～1.0m。

A.2.4 混凝土用天然砂砾料应按下列公式计算净砾石储量、净砂储量和砾石分级储量：

$$\text{净砾石储量}=\frac{\text{砂砾石储量}\times\text{砂砾石天然干密度}\times\text{含砾率}}{\text{砾石堆积密度}}\ (\mathrm{m}^3)$$

$$\text{净砂储量}=\frac{\text{砂砾石储量}\times\text{砂砾石天然干密度}\times\text{含砂率}}{\text{砂堆积密度}}\ (\mathrm{m}^3)$$

$$\text{砾石分级储量}=\frac{\text{净砾石储量}\times\text{砾石堆积密度}\times\text{分级含砾率}}{\text{分级砾石堆积密度}}\ (\mathrm{m}^3)$$

A.3 砂 砾 料

A.3.1 颗粒级配整理与计算

A.3.1.1 土石坝坝壳填筑用砂砾料的颗粒级配整理

A.3.1.1.1 各个粒径组含量（以质量计，下同）百分数，一般采用平均值；如层次结构复杂，而各段或各层的颗粒成分变化较大，应进行加权平均计算。

A.3.1.1.2 取横坐标为对数的半对数表，以颗粒直径为横坐标，累积筛余百分数为纵坐标，绘制砂砾石级配曲线。

A.3.1.2 混凝土骨料用砂砾料的颗粒级配整理

A.3.1.2.1 各个粒径组含量的算术平均值计算：

$$\overline{B} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} b_i \qquad (A.1)$$

式中：

$\overline{B}$ ——各个粒径组含量的算术平均值；

b_1，b_2，…，b_n——第 1，2，…，n 个取样段或层某一粒径组含量；

n——试验组数。

A.3.1.2.2 各个粒径组含量的加权平均值计算：

$$B=\sum_{i=1}^{n} \frac{b_i m_i}{m_i} \qquad (A.2)$$

式中：

B ——某一粒径组的加权平均含量；

b_1，b_2，…，b_n ——第 1，2，…，n 个取样段或层某一粒径组含量；

m_1，m_2，…，m_n——第 1，2，…，n 个取样段或层厚度。

A.3.1.2.3 将砂砾混合料换算成砾石和砂的总含量，并分别计算各粒径组砾石（砂）含量百分数。

$$X=\frac{a_i \times 100}{b} \qquad (A.3)$$

式中：

X ——某粒径组砾石（砂）含量百分数；

a_i ——砂砾混合料中某一料径组砾石（砂）含量；

b ——砾石（砂）总含量。

A.3.1.2.4 以颗粒直径为横坐标（砂的取对数），累计筛余百分数为纵坐标，绘制级配曲线。

A.3.2 细度模数计算

A.3.2.1 砂的平均粒径

$$\bar{D}=0.5\sqrt[3]{\frac{a_1+a_2+a_3+a_4+a_5}{11a_1+1.37a_2+0.171a_3+0.02a_4+0.0024a_5}} \quad (A.4)$$

式中：

$\bar{D}$ ——砂的平均粒径，mm；

$a_1+a_2+a_3+a_4+a_5$ ——孔径 0.158、0.315、0.63、1.25、2.5mm 各筛分计筛余百分数。

A.3.2.2 砂的细度模数

$$FM=\frac{A_{2.5}+A_{1.25}+A_{0.63}+A_{0.315}+A_{0.158}}{100} \quad (A.5)$$

式中：

FM ——砂的细度模数；

$A_{2.5}+A_{1.25}+A_{0.63}+A_{0.315}+A_{0.158}$ ——孔径 2.5、1.25、0.63、0.315、0.158mm 筛上累计筛余百分数。

A.3.2.3 砾石的粒度模数

$$GM=\frac{A_{80}+A_{40}+A_{20}+A_5+5\times100}{100} \quad (A.6)$$

式中：

GM——砾石的粒度模数；

$A_{80}+A_{40}+A_{20}+A_5$ ——分别为孔径 80、40、20、5mm 各筛上累计筛余百分数。

A.3.3 其他资料整理与计算

a_i ——砂砾混合料中某一料径组砾石（砂）含量；

b ——砾石（砂）总含量。

A.3.1.2.4 以颗粒直径为横坐标（砂的取对数），累计筛余百分数为纵坐标，绘制级配曲线。

A.3.2 细度模数计算

A.3.2.1 砂的平均粒径

$$\bar{D}=0.5\sqrt[3]{\frac{a_1+a_2+a_3+a_4+a_5}{11a_1+1.37a_2+0.171a_3+0.02a_4+0.0024a_5}} \quad (A.4)$$

式中：

$\bar{D}$ ——砂的平均粒径，mm；

$a_1+a_2+a_3+a_4+a_5$ ——孔径 0.158、0.315、0.63、1.25、2.5mm 各筛分计筛余百分数。

A.3.2.2 砂的细度模数

$$FM=\frac{A_{2.5}+A_{1.25}+A_{0.63}+A_{0.315}+A_{0.158}}{100} \quad (A.5)$$

式中：

FM ——砂的细度模数；

$A_{2.5}+A_{1.25}+A_{0.63}+A_{0.315}+A_{0.158}$ ——孔径 2.5、1.25、0.63、0.315、0.158mm 筛上累计筛余百分数。

A.3.2.3 砾石的粒度模数

$$GM=\frac{A_{80}+A_{40}+A_{20}+A_5+5\times100}{100} \quad (A.6)$$

式中：

GM——砾石的粒度模数；

$A_{80}+A_{40}+A_{20}+A_5$ ——分别为孔径 80、40、20、5mm 各筛上累计筛余百分数。

A.3.3 其他资料整理与计算

A.3.3.1 对影响混凝土质量的指标，如砾石的针片状颗粒、软弱颗粒和活性骨料，当含量较高、变化较大、试验组数较多时，应采用加权平均值计算：

$$A=\sum_{1}^{n}\frac{G_i b_i m_i}{b_i m_i} \qquad (A.7)$$

式中：

A——某一粒径的针片状颗粒、软弱颗粒或活性骨料加权平均值含量；

G_1，G_2，…，G_n——第 1，2，…，n 个取样段或第一粒径组针片状颗粒、软弱颗粒或活性骨料含量；

b_1，b_2，…，b_n——第 1，2，…，n 个取样段或层某一粒径组含量；

m_1，m_2，…，m_n——第 1，2，…，n 个取样段或层厚度。

A.3.3.2 关于土石坝坝壳填筑用砂砾料及砂料的抗剪强度指标和渗透系数整理，可参照附录 A.4 的规定。

A.4 土　料

A.4.1 土料颗粒级配整理应符合下列规定：

A.4.1.1 各级粒径组含量（以质量计，下同）百分数，可采用算术平均值；如土层结构复杂，各层的颗粒组成变化较大，应进行加权平均值计算。

A.4.1.2 取横坐标为对数的半对数表，以颗粒直径为横坐标，累计筛余百分数为纵坐标，根据算术平均值或加权平均值绘制土料级配曲线图，并整理出上、下包络曲线。

A.4.1.3 应根据土层情况，分区、分层整理。

A.4.2 天然含水率试验成果整理应符合下列规定：

A.4.2.1 必要时可编制料场或分区天然含水率随深度变化曲线

图及天然含水率随季节变化曲线图。

A.4.2.2 应统计分区、分层的天然含水率算术平均值。

A.4.3 土料的渗透系数和抗剪强度指标整理方法应符合 GB 50287 的规定。

A.4.4 土料的物理力学指标试验成果整理，可按 GB 50123 的规定执行。

A.4.5 土料的其他质量技术指标，可采用算术平均值计算；当试验值离散性较大时，应计算加权平均值。

A.4.6 应绘制土在击实试验后干密度与渗透系数关系曲线。取纵坐标为对数的半对数纸，以干密度为横坐标，渗透系数平均值和大值或小值平均值为纵坐标，绘制 $K-\rho_d$ 曲线。必要时可以击实功能或击数为横坐标，击实土的最大干密度和最优含水率为纵坐标，依据整理的不同功能下击实土的最大干密度与最优含水率平均值资料，绘制 $\rho_{dmax}-N$，$\omega_{op}-N$ 关系曲线图。

A.5 石　料

A.5.1 岩石物理力学性质试验成果整理应符合下列规定：

A.5.1.1 岩石物理力学性质试验成果宜根据料场的岩性特征，按不同岩性、不同风化程度分别进行整理。

A.5.1.2 密度、孔隙率、吸水率、抗压强度、冻融损失率等指标，应计算其平均值，列出最大、最小值；硫酸盐及硫化物含量应换算成 SO_3 计算其平均值，列出最大、最小值。

A.5.2 混凝土人工骨料轧制试验应符合下列规定：

A.5.2.1 颗粒级配整理应符合 A.3.1 的规定。

A.5.2.2 粗、细骨料的细度模数、粒度模数，细骨料平均粒径计算应符合 A.3.2 的规定。

A.5.3 岩石碱活性试验成果整理可按 DL/T 5151 的规定执行。

附 录 B
（规范性附录）
天然建筑材料质量技术要求

B.1 砂 砾 料

B.1.1 混凝土用细骨料（砂）质量技术要求应符合表 B.1 和图 B.1 的规定。

表 B.1 混凝土用细骨料（砂）质量技术指标

序号	项目		指标	备注
1	堆积密度		≥1.50g/cm³ 为宜	
2	表观密度		≥2.50g/cm³	
3	云母含量		≤2%	如遇特殊环境，可考虑放宽到 5%
4	含泥量（黏、粉粒）	≥C_{90}30 和有抗冻要求的	≤3%	一般不允许存在黏土块、黏土薄膜；如有则应做专门试验论证
		<C_{90}30	≤5%	
5	活性骨料含量		详见附录 D	
6	硫酸盐及硫化物含量（换算成 SO_3）		≤1%	
7	水溶盐含量		≤1%	
8	有机质含量		浅于标准色	
9	轻物质含量		≤1.0%	
10	细度	细度模数	2.0~3.0 为宜	
		平均粒径	0.29mm~0.43mm 为宜	

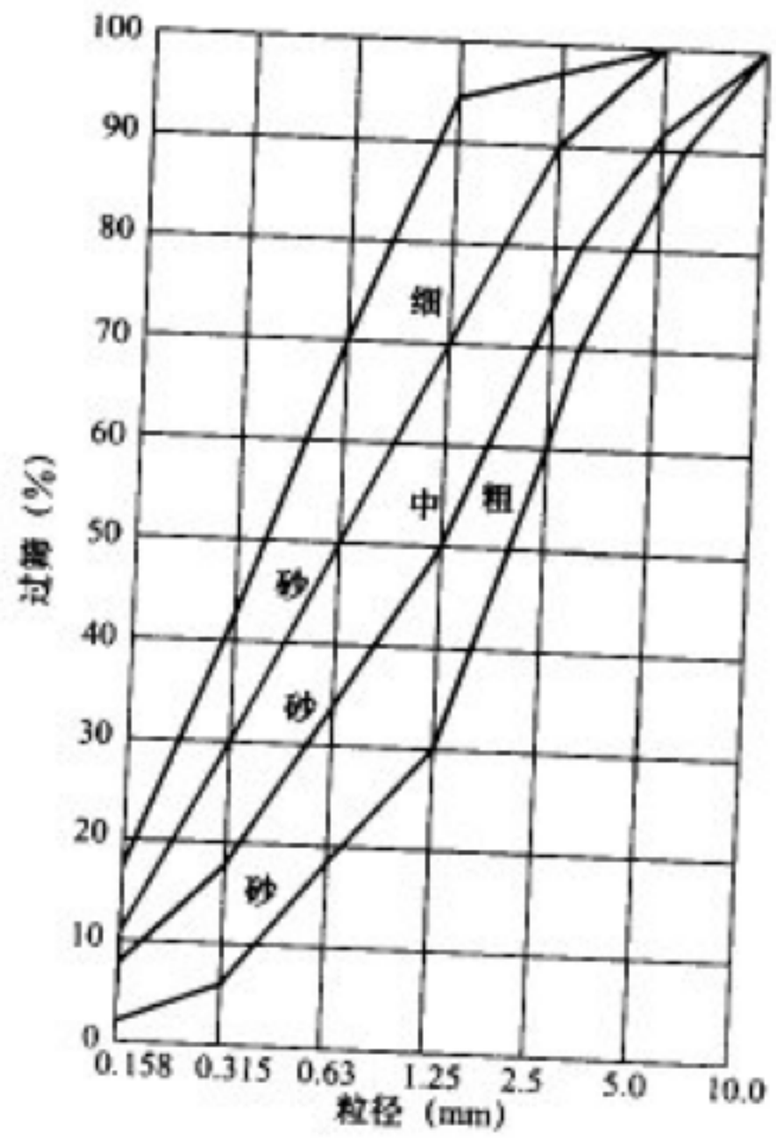


图 B.1　砂级配曲线图

B.1.2　混凝土用粗骨料（砾石）质量技术要求应符合表 B.2 的规定。

表 B.2　混凝土用粗骨料（砾石）质量技术指标

序号	项　目		指标	备　注
1	混合堆积密度		≥1.60g/cm³	
2	表观密度		≥2.55g/cm³	
3	吸水率	无抗冻要求的	≤2.5%	
		有抗冻要求的	≤1.5%	
4	冻融损失率		≤10%	
5	针片状颗粒含量		≤15%	
6	软弱颗粒含量	≥C_{90}30 和有抗冻要求的	≤5%	
		<C_{90}30	≤10%	

表 B.2（续）

序号	项　目	指标	备　注
7	含泥量	≤1%	不允许存在黏土球块、黏土薄膜；如有则应做专门试验论证
8	活性骨料含量	详见附录 D	
9	硫酸盐及硫化物含量（换算成 SO_3）	≤0.5%	
10	有机质含量	浅于标准色	
11	轻物质含量	不允许存在	

B.1.3　坝壳填筑用砂砾料质量技术要求应符合表 B.3 的规定。

表 B.3　坝壳填筑用砂砾料质量技术指标

序号	项　目	指　标	备　注
1	砾石含量	5mm 至相当 3/4 填筑层厚度的颗粒宜大于 60%	渗透系数应大于防渗体的 50 倍。 干燥区的渗透系数尚可小些；其含泥量亦可适当增加
2	相对密度	碾压后≥0.85	
3	含泥量（黏、粉粒）	≤10%	
4	内摩擦角	碾压后≥30°	
5	渗透系数	碾压后，大于 1×10^{-3}cm/s	

B.1.4　反滤层用料的质量技术要求见表 B.4。

表 B.4　反滤层用料的质量技术指标

序号	项　目	指　标
1	不均匀系数	≤8
2	颗粒形状	无片状、针状颗粒
3	含泥量（黏粉粒）	≤5%
4	渗透系数	≥5.0×10^{-3}cm/s
5	对于塑性指数大于 20 的黏土地基，第一层粒度 D_{50} 的要求：当不均匀系数 C_u≤2 时，D_{50}≤5mm；当不均匀系数为 2≤C_u≤5 时，D_{50}≤5mm～8mm	

B.2 土　　料

B.2.1　土石坝防渗土料质量技术要求应符合表 B.5 规定。

表 B.5　土石坝防渗土料质量技术指标

序号	项　目	细粒土料质量技术指标		风化土料质量技术指标
		均质坝土料	防渗体土料	防渗体土料
1	最大粒径			＜150mm 或碾压铺土厚度的 2/3
2	击实后＞5mm 碎、砾石含量			宜为 20%～50%，填筑时不得发生粗料集中、架空现象
3	＜0.075mm 细粒含量			应＞15%
4	黏粒（＜0.005mm）含量	10%～30%为宜	15%～40%为宜	＞8%为宜
5	塑性指数	7～17	10～20	＞8
6	击实后渗透系数	＜1×10^{-4}cm/s	＜1×10^{-5}cm/s，并应＜坝壳透水料的 50 倍	
7	天然含水率	在最优含水率的－2%～＋3%范围为宜		
8	有机质含量（以质量计）	＜5%	＜2%	
9	水溶盐含量（指易溶盐和中溶盐总量，以质量计）	＜3%		
10	硅铁铝比（SiO_2/R_2O_3）	2～4		
11	土的分散性	宜采用非分散性土		

B.2.2　接触黏土料的质量技术要求应符合表 B.6 的规定。

表 B.6 接触黏土料的质量技术指标

序号	项目		指标
1	颗粒组成	>5mm	<10%
		<0.075mm	>60%
		<0.005mm	不应低于 20%~30%
2	塑性指数		>10
3	最大粒径		20mm~40mm
4	SiO_2/Al_2O_3		2~4
5	渗透系数		$<1\times10^{-6}$cm/s
6	允许坡降		宜>5
7	有机质含量		<2%
8	水溶盐		<3%
9	天然含水率		宜略大于最优含水率
10	分散性		宜采用非分散性土

B.2.3 槽孔固壁土料质量技术要求应符合表 B.7 的规定。

表 B.7 槽孔固壁土料质量技术指标

序号	项目		指标
1	颗粒组成	>0.075mm	<10%
		<0.005mm	>30%
		<0.002mm	>15%
2	塑性指数		>17
3	SiO_2/Al_2O_3		3~4
4	pH 值		>7
5	活动性指数		<1
6	有机质含量		<1%

B.2.4 土的分散性单项评价指标可按下列规定确定。

B.2.4.1 针孔试验评价土的分散性应符合表 B.8 的规定。

表 B.8 针孔试验评价土的分散性标准

类别	水头 mm	在某一水头下的试验持续时间 min	最终流量 mL/s	流出水的混浊情况	最终孔径 mm
分散性土	50	5	1.0～1.4	混浊	≥2.0
	50	10	1.0～1.4	较混浊	>1.5
过渡型土	50	10	0.8～1.0	稍混浊	≤1.5
	180	5	1.4～2.7	较透明	
	380	5	1.8～3.2	较透明	≥1.5
非分散土	1020	5	>3	稍透明	<1.5
	1020	5	<3	透明	1.0

B.2.4.2 孔隙水溶液试验评价土的分散性，应按图 B.2 的规定确定。

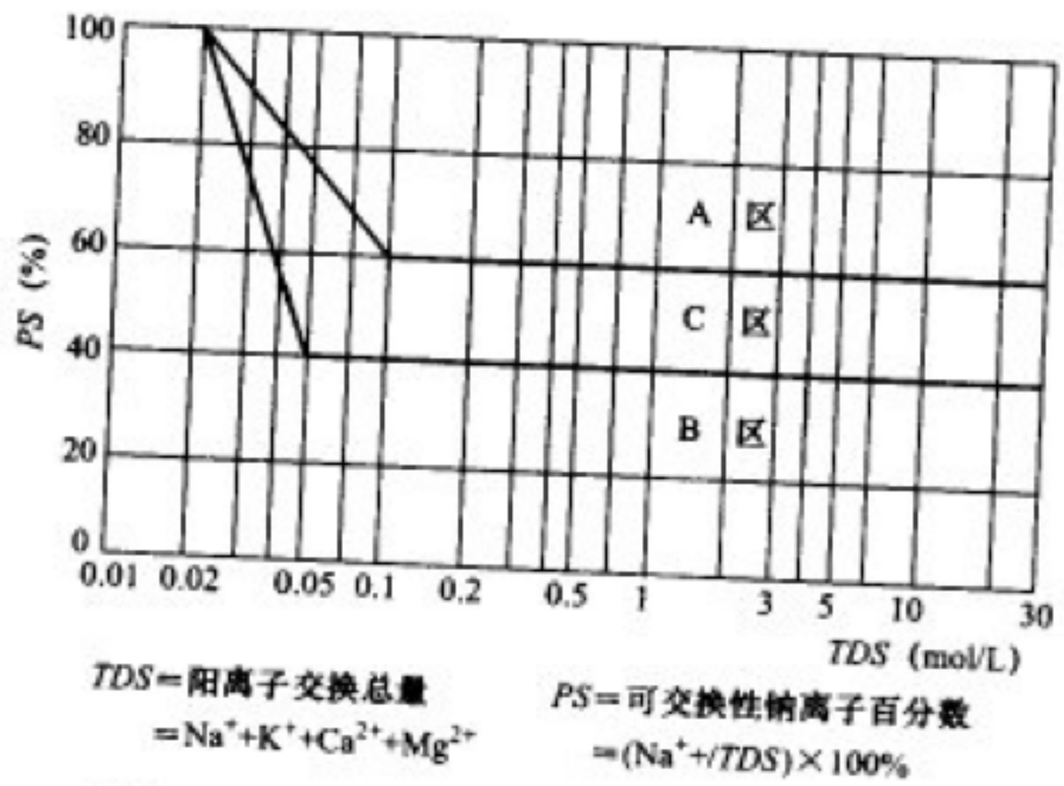


图 B.2 孔隙水溶液试验评价土的分散性图

A 区—分散性土；B 区—非分散性土；C 区—中间状态土

B.2.4.3 土块试验评价土的分散性应符合表 B.9 的规定。

表 B.9　土块试验评价土的分散性标准

类　别	浸水后土块特征
分散性土	土块水解后混浊，土很快扩散到整个量杯底部，水呈雾状，经久不清
过渡型	土块水解后四周有微量混浊水，但扩散范围很小
非分散性土	无分散出胶粒的反应，土块水解后在量杯底以细颗粒状平堆，水色清，或稍混浊后很快又变清

B.2.4.4　双比重计试验评价土的分散性应符合表 B.10 的规定。

表 B.10　双比重计试验评价土的分散性标准

类　别	分散度（D）
分散性土	>50%
过渡型土	30%～50%
非分散性土	<30%

$$分散度\ D=\frac{不加分散剂时小于0.005mm颗粒含量}{加分散剂时小于0.005mm颗粒含量}\times 100\%$$

B.2.5　碎（砾）石类土料作防渗体时，质量技术要求应符合表 B.11 的规定。

表 B.11　碎（砾）石类防渗土料质量技术指标

序号	项目	指　标
1	>5mm 粒径含量	不宜>50%（对高坝，应为 20%～50%），填筑时不得发生粗料集中、架空现象
2	<0.075mm 粒径含量	不应<15%
3	黏粒含量	全级配中宜不低于 6%～8%
4	最大颗粒粒径	不宜>150mm 或不超过碾压铺土层厚 2/3
5	塑性指数	>6
6	渗透系数	击实后<1×10^{-5}cm/s，并应小于坝壳透水料的 50 倍（允许比降宜为 2～3）
7	有机质含量（按质量计）[a]	<2%
8	水溶盐含量	<3%

表 B.11（续）

序号	项目	指　标
9	天然含水率 或填筑控制含水率	与最优含水率接近，变化幅度宜在-2%～+3%范围内
10	SiO_2/R_2O_3	2～4
a　有机质含量用计量法测定。		

B.3　石　　料

B.3.1　堆石料原岩质量技术要求应符合表 B.12 的规定。

表 B.12　堆石料原岩质量技术指标

序号	项　　目		指　标
1	饱和抗压强度 MPa	坝高≥70m	>40
		坝高<70m	>30
2	冻融损失率 %		<1
3	干密度 g/cm^3		>2.4
4	硫酸盐及硫化物含量（换算成 SO_3） %		<1

B.3.2　砌石料原岩质量技术要求应符合表 B.13 的规定。

表 B.13　砌石料原岩质量技术指标

序号	项　　目		指　标
1	饱和抗压强度 MPa	坝高≥70m	>40
		坝高<70m	>30
2	冻融损失率 %		<1
3	天然密度 g/cm^3		≥2.4
4	硫酸盐及硫化物含量（换算成 SO_3） %		<0.5

表 B.11（续）

序号	项目	指　标
9	天然含水率 或填筑控制含水率	与最优含水率接近，变化幅度宜在-2%～+3%范围内
10	SiO_2/R_2O_3	2～4
a　有机质含量用计量法测定。		

B.3　石　　料

B.3.1　堆石料原岩质量技术要求应符合表 B.12 的规定。

表 B.12　堆石料原岩质量技术指标

序号	项　　目		指　标
1	饱和抗压强度 MPa	坝高≥70m	>40
		坝高<70m	>30
2	冻融损失率 %		<1
3	干密度 g/cm^3		>2.4
4	硫酸盐及硫化物含量（换算成 SO_3） %		<1

B.3.2　砌石料原岩质量技术要求应符合表 B.13 的规定。

表 B.13　砌石料原岩质量技术指标

序号	项　　目		指　标
1	饱和抗压强度 MPa	坝高≥70m	>40
		坝高<70m	>30
2	冻融损失率 %		<1
3	天然密度 g/cm^3		≥2.4
4	硫酸盐及硫化物含量（换算成 SO_3） %		<0.5

表 B.13（续）

序号	项　　目	指　标
5	饱和吸水率 %	不应大于 10
6	线胀系数 1×10^{-6}/℃	宜小于 8

B.3.3　混凝土人工骨料原岩质量技术要求应符合表 B.14 的规定。

表 B.14　混凝土人工骨料原岩质量技术指标

序号	项　　目	指　标	备　注
1	饱和抗压强度 MPa	>40	高强度等级或有特殊要求的混凝土应按设计要求确定
2	冻融损失率 %	<1	
3	硫酸盐及硫化物含量（换算成 SO_3） %	<0.5	

B.3.4　人工轧制混凝土用细骨料（砂）质量技术要求应符合表 B.15 的规定。

表 B.15　人工轧制混凝土细骨料（砂）质量技术指标

序号	项　目	指　标	
		常态混凝土	碾压混凝土
1	表观密度 g/cm^3	>2.55	
2	堆积密度 g/cm^3	>1.50	
3	孔隙率 %	<40	
4	云母含量 %	<2	
5	泥块含量	不允许	
6	碱活性骨料成分	有碱活性骨料成分时，应做专门试验论证，指标应符合附录 D 中表 D.2 的判定标准	

表 B.15（续）

序号	项 目		指 标	
			常态混凝土	碾压混凝土
7	硫酸盐及硫化物含量（换算成 SO_3） %		≤1	
8	有机质含量		不允许	
9	平均粒径 mm		0.36～0.50 为宜	
10	细度模数		2.4～2.8 为宜	2.2～3.0 为宜
11	石粉含量 %		6～18 为宜	10～22 为宜
12	饱和面干的含水率 %		≤6	
13	坚固性 %	有抗冻要求的混凝土	≤8	
		无抗冻要求的混凝土	≤10	

B.3.5 混凝土用人工粗骨料质量技术要求应符合表B.16的规定。

表 B.16 人工轧制混凝土粗骨料质量技术指标

序号	项 目	指 标		备 注
		常态混凝土	碾压混凝土	
1	表观密度 g/cm^3	>2.55		
2	堆积密度 g/cm^3	>1.60		
3	孔隙率 %	<45		
4	吸水率 %	≤2.5 抗冻要求的混凝土<1.5		
5	冻融损失率 %	<10		

表 B.16（续）

序号	项目		指标		备注
			常态混凝土	碾压混凝土	
6	针片状颗粒含量 %		≤15		经试验论证，可放宽至25%
7	软弱颗粒含量 %		<5		
8	泥块含量		不允许		
9	含泥量 %	D20、D40 粒径级	≤1		
		D80、D150（D120）粒径级	≤0.5		
10	碱活性骨料成分		符合附录 D 中表 D.2 的判定标准		有碱活性骨料成分时，应做专门试验论证
11	硫酸盐及硫化物含量（换算成 SO_3） %		≤0.5		
12	有机质含量		浅于标准色		当深于标准时，应进行混凝土强度对比试验
13	粒度模数		宜采用 6.25～8.30		
14	坚固性 %	有抗冻要求的混凝土	≤5		
		无抗冻要求的混凝土	≤12		
15	压碎指标		≤20		

B.3.6 混凝土天然掺合料质量技术要求应符合表 B.17 的规定。

表 B.17　混凝土天然掺合料质量技术指标

序号	项　　目	指　　标
1	三氧化硫含量	<3%
2	水泥胶砂 28d 抗压强度比（*R*）	≥62%或应满足设计要求
3	火山灰性试验	合格或应满足设计要求
4	烧失量	<10%

附 录 C
（规范性附录）
土 的 分 类

C.1 混凝土用料土的分类

C.1.1 混凝土骨料粒组分类应按表 C.1 确定。

表 C.1 混凝土骨料粒组分类

粒组名称		粒径 mm
蛮石		>150
砾石	极粗	150~80
	粗	80~40
	中	40~20
	细	20~5
砂粒	极粗	5.00~2.50
	粗	2.50~1.25
	中	1.25~0.63
	细	0.630~0.315
	微细	0.315~0.158
	极细	0.158~0.075
粉粒	粗	0.075~0.010
	细	0.010~0.005
黏 粒		<0.005

C.1.2 混凝土粗骨料（砾石）的分类应按表 C.2 确定。

表 C.2 砾 石 的 分 类

名 称	砾的含量 %			
	>80mm	>40mm	>20mm	>5mm
极粗砾石	>50			
粗砾		>50		
中砾			>50	
细砾				>50

C.1.3 混凝土细骨料（砂）的分类应按表 C.3 确定。

表 C.3 砂 的 分 类

名 称	颗粒含量 %						
	>5mm	>2.5mm	>1.25mm	>0.63mm	>0.315mm	>0.158mm	>0.075mm
极粗砂	<5	>50					
粗砂	<3		>50				
中砂	0			>50			
细砂	0				>50		
微细砂	0					>50	
极细砂	0						>50

C.2 筑坝填料土的分类

C.2.1 土的粒组分类应按表 C.4 确定。

表 C.4 土 的 粒 组 划 分

粒组统称	粒组名称	粒 径 d mm
巨粒组	漂石（块石）组	$d>200$
	卵石（碎石）组	$200\geq d>60$

表 C.4（续）

粒组统称	粒组名称		粒 径 d mm
粗粒组	砾粒（角砾）	粗 砾	$60 \geqslant d > 20$
		中 砾	$20 \geqslant d > 5$
		细 砾	$5 \geqslant d > 2$
	砂 粒	粗 砂	$2.0 \geqslant d > 0.5$
		中 砂	$0.50 \geqslant d > 0.25$
		细 砂	$0.250 \geqslant d > 0.075$
细粒组	粉 粒		$0.075 \geqslant d > 0.005$
	黏 粒		$d \leqslant 0.005$

C.2.2 巨粒土和含巨粒土的分类按表 C.5 确定。

表 C.5 巨粒土和含巨粒土的分类

土类	粗组含量		土代号	土名称
巨粒土	巨粒含量 75%～100%	漂石粒＞50%	B	漂石
		漂石粒≤50%	Cb	卵石
混合巨粒土	巨粒含量 50%～75%	漂石粒＞50%	Bbi	混合土漂石
		漂石粒≤50%	Cb Si	混合土卵石
巨粒混合土	巨粒含量 15%～50%	漂石含量＞卵石含量	SiB	漂石混合土
		漂石含量≤卵石含量	SiCb	卵石混合土

C.2.3 当土中砾粒组的质量大于总质量的 50%时，称为砾类土。砾类土的分类按表 C.6 确定。

表 C.6 砾 类 土 分 类

土类	粒组含量		土代号	土名称
砾	细粒含量＜5%	级配：$C_u \geqslant 5$ $C_c=1 \sim 3$	GW	级配良好砾
		级配：不同时满足上述要求	GP	级配不良砾
含细粒土砾	细粒含量 5%～15%		GF	含细粒土砾
细粒土质砾	细粒含量 ＞15%，≤50%	细粒为黏土	GC	黏土质砾
		细粒为粉土	GM	粉土质砾

C.2.4 当土中砾粒组的质量小于或等于总质量的 50%，称为砂类土，砂类土的分类按表 C.7 确定。

表 C.7 砂 类 土 分 类

土类	粒组含量		土代号	土名称
砂	细粒含量 <5%	级配：$C_u \geq 5$，$C_c=1 \sim 3$	SW	级配良好砂
		级配：不同时满足上述要求	SP	级配不良好砂
含细粒土砂	细粒含量 5%～15%		SF	含细粒土砂
细粒土质砂	细粒含量 >15%，≤50%	细粒为黏土	SC	黏土质砂
		细粒为粉土	SM	粉土质砂

C.2.5 当土中细粒组的质量大于或等于总质量的 50%，且粗粒组的质量小于总质量的 25%时，称为细粒土；当粗粒组的质量为总质量的 25%～50%时，称为含粗粒的细粒土。

C.2.6 细粒土的分类和定名按图 C.1 和表 C.8 确定。测量液限时采用质量 76g，锥角为 30° 的液限仪，锥尖入土深度为 17mm 时对应的含水率。

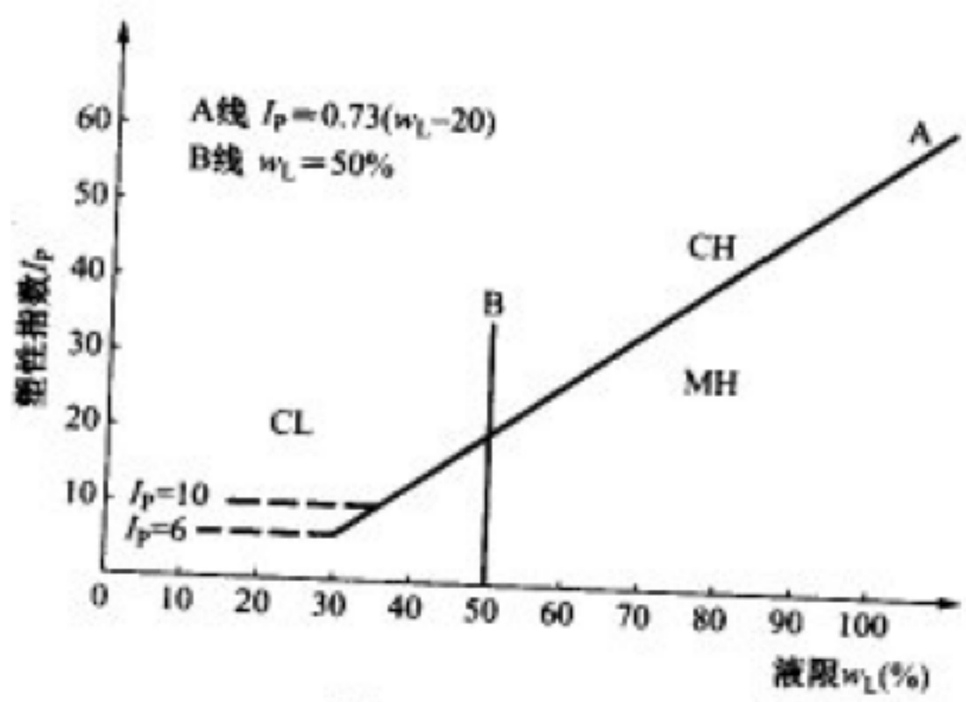


图 C.1 塑性图

表 C.8 细粒土的分类

土的塑性指数在塑性图中的位置		土代号	土名称
塑性指数 I_P	液限 w_L		
$I_P \geqslant 0.73$（w_L-20）和 $I_P \geqslant 10$	$w_L \geqslant 50\%$	CH	高液限黏土
	$w_L < 50\%$	CL	低液限黏土
$I_P < 0.73$（w_L-20）和 $I_P \geqslant 10$	$w_L \geqslant 50\%$	MH	高液限粉土
	$w_L < 50\%$	ML	低液限粉土

C.2.7 细粒土的简易分类按表 C.9 确定。

表 C.9 细粒土简易分类

半固态时干强度	硬型～可塑态时的手捻感和光滑度	土在可塑态时		软塑～流塑态时的摇振反应	土代号
		土条可搓成最小直径 mm	韧性		
低～中	粉粒为主，有砂感，稍有黏性，捻面较粗糙，无光泽	>3 或 3～2	低～中	快～中	ML
中～高	含砂粒，有黏性，稍为滑腻感，捻面较光滑，稍有光泽	2～1	中	慢～无	CL
中～高	粉粒较多，有黏性，稍有滑腻感，捻面较光滑，稍有光泽	2～1	中～高	慢～无	MH
高～很高	无砂感，黏性大，滑腻感强，捻面光滑，有光泽	<1	高	高	CH

C.2.8 土的基本代号应符合表 C.10 的规定。

表 C.10 土的基本代号

名 称	代 号	名 称	代 号
漂石（块石）	B	黄土	Y
卵石（碎碎石）	Cb	膨胀土	E
砾（角砾）	G	红黏土	R

表 C.10（续）

名　称	代　号	名　称	代　号
砂	S	级配良好	W
粉土	M	级配不良	P
黏土	C	高液限	H
细粒土（C 和 M 合称）	F	低液限	L
混合土（粗细粒土合称）	SI		
有机质土	O		

表 C.10（续）

名　称	代　号	名　称	代　号
砂	S	级配良好	W
粉土	M	级配不良	P
黏土	C	高液限	H
细粒土（C 和 M 合称）	F	低液限	L
混合土（粗细粒土合称）	SI		
有机质土	O		

附 录 D
（资料性附录）
常见含碱活性成分的岩石及碱活性判定标准

D.1 常见含碱活性成分的岩石可按表 D.1 规定确定。

表 D.1 常见含碱活性成分的岩石

岩类	岩石名称	碱活性成分
岩浆岩	安山岩 英安岩 流纹岩 凝灰岩 粗面岩 松脂岩 珍珠岩 黑曜岩 玄武岩	酸性—中性火山玻璃、隐晶—微晶石英、鳞石英、方石英
	花岗岩 花岗闪长岩	应变石英、微晶石英
	火山熔岩 火山角砾岩 凝灰岩	火山玻璃
沉积岩	硅质岩 石英砂岩 硬砂岩	微晶、隐晶质石英、玉髓、蛋白石、燧石、碧玉、玛瑙 微晶石英、应变石英 微晶石英、应变石英、喷出岩及火山碎屑岩屑
	硅藻土 碧玉 燧石	蛋白石 玉髓、微晶石英 蛋白石、玉髓、微晶石英
	碳酸盐岩	含有黏土质矿物的灰质白云岩或白云质灰岩、硅质灰岩或硅质白云岩
变质岩	板岩 千枚岩	玉髓、微晶石英
	片岩 片麻岩	微晶石英、应变石英
	石英岩	应变石英

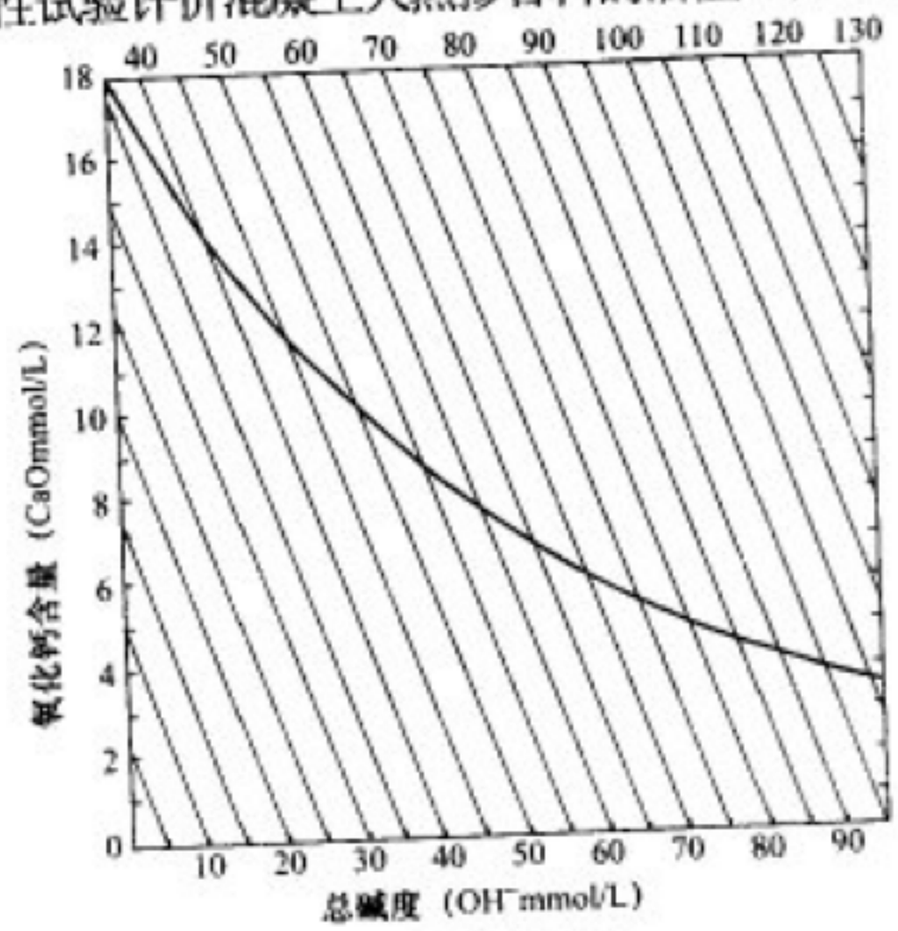
D.2 岩石碱活性判定标准应符合表 D.2 的规定。

表 D.2 岩石碱活性判定标准

试验方法	判定标准
岩相法	无碱活性矿物成分时判定为非碱活性骨料；有碱活性矿物成分时判定为具潜在碱活性危害可能，应进行其他试验进一步鉴定
化学法	当 $R_c>70$，$S_c>R_c$ 或 $R_c<70$，并 $S_c>35+R_c/2$，具潜在碱活性危害，应进行砂浆长度试验进一步鉴定
砂浆棒快速法	14d 膨胀率<0.1%，为非活性骨料；14d 膨胀率>0.2%，为具有潜在危害性反应活性骨料；14d 膨胀率介于 0.1%～0.2%之间，应结合现场记录、岩相分析、观测时间延至 28d 后的测试结果或开展其他辅助试验等综合评定
砂浆长度法	当半年膨胀率>0.1%或 3 个月膨胀率>0.05%（无半年膨胀率资料时才有效）为具潜在碱活性危害
岩石圆柱体法（碳酸盐岩）	当试件浸泡 84d 膨胀率>0.1%时具有潜在碱活性危害，必要时应进行混凝土试验以作出最后评定
混凝土棱柱体法	试件一年的膨胀率≥0.04%时具有潜在碱活性危害；<0.04%时为非碱活性骨料
注：R_c 为碱度降低值（mmol/L）；S_c 为滤液中的二氧化硅浓度（mmol/L）。	

附 录 E
（规范性附录）
混凝土天然掺合料的活性评价标准

E.1 火山灰性试验评价混凝土天然掺合料的活性应符合图E.1的规定。



注1：图中斜曲线称40℃时氧化钙的溶解度曲线。

注2：溶解度曲线下方，火山灰性合格；溶解度曲线上方，火山灰性不合格，为混凝土弱活性天然掺合料。

图E.1 火山灰活性图

E.2 水泥胶砂28d抗压强度比（R）应按下式计算：

$$R=\frac{R_1}{R_2}\times 100$$

式中：

R ——水泥胶砂28d抗压强度比；

R_1 ——掺30%活性天然掺合料的水泥胶砂28d抗压强度；

R_2 ——未掺活性天然掺合料的水泥胶砂28d抗压强度。

附 录 F
（资料性附录）
天然建筑材料勘察常用表（格式）

F.1 试验成果汇总表

F.1.1 砂砾料颗粒级配试验成果汇总表

表 F.1 砂砾料颗粒级配汇总表

工程名称：
料场名称：

设计阶段：
勘察级别：

层次	取样深度 m	厚度 m	取样编号	试验编号	粒径 mm 含量 %											备注
					>150	150~80	80~40	40~20	20~5	5~2.5	2.5~1.25	1.25~0.63	0.63~0.315	0.315~0.158	<0.158	
第																
层	试验组数															
	平均值															
	上包线															
	下包线															

F.1.2 混凝土用砂砾料试验成果汇总表

表 F.2 混凝土砂砾料试验成果汇总表

工程名称：
料场名称：

设计阶段：
勘察级别：

层次	取样深度 m	取样编号	试验编号	密度 g/cm³								孔隙率 %		含泥量 %		黏土块（球）及黏土薄膜含量 %		软弱颗粒含量 %			针片状颗粒含量 %	冻融损失率 %	吸水率 %	活性骨料 %	轻物质含量	平均粒径 mm	细（粒）度模数	云母含量 %	膨胀率 %	硫酸盐及硫化物含量（换算成 SO_3）%	有机质含量（比色）	水溶盐含量 %
				天然	砾石表观	砾石堆积	分级堆积				砂表观	砂堆积																				
							150～80	80～40	40～20	20～5			砾石	砂	砾石	砂	砾石	砂	>40	40～20	20～5											
第																																
层	试验组数																															
	平均值																															
	最大值																															
	最小值																															

注：砾石针片状颗粒含量、冻融损失率、活性骨料应分级统计。

F.1.3 坝壳填筑用砂砾料试验成果汇总表

表 F.3 坝壳填筑砂砾料试验成果汇总表

工程名称：
料场名称：

设计阶段：
勘察级别：

层次	取样深度 m	取样编号	试验编号	密度 g/cm³				相对密度	含泥（黏、粉粒）%	自然休止角 °	内摩擦角 °	渗透		备注
				天然	紧密	堆积	表观					渗透系数 cm/s	临界坡降	
第														
	试验组数													
层	平均值													
	最大值													
	最小值													

注：必要时，应列出大值平均值或小值平均值。

F.1.4 土的物理性和颗粒级配试验成果汇总表

表 F.4 土的物理性和颗粒级配试验成果汇总表

工程名称：
料场名称：

设计阶段：
勘察级别：

土样编号	土样颜色	取土深度	天然状态土的物理性指标								比重	颗粒级配组成（颗粒粒径：mm）											小于5mm含量	小于0.075 mm含量	不均匀系数	曲率系数	分类名称	
			湿密度	干密度	孔隙比	含水率	液限	塑限	塑性指数	分类																	典型土名	分类符号
		h	ρ	ρ_d	e	w	w_L	w_P	I_P	—	G_S	>200	200～100	100～60	60～40	40～20	20～10	10～5	5～2	2～0.5	0.5～0.25	0.25～0.075	0.075～0.005	<0.005	<5	<0.075	C_u	C_c		
		m	g/cm³	g/cm³	—	%	%	%	—	—	—	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	—	—		
试验组数																													
平均值																													
上包线																													
下包线																													

F.1.5 防渗土料试验成果汇总表

表 F.5 防渗土料试验成果汇总表

工程名称：
料场名称：

设计阶段：
勘察级别：

层次	土的名称与符号	取样深度 m	取样编号	试验编号	天然含水率 %	天然密度 g/cm³		土粒比重	孔隙率 %	孔隙比	液限 %	塑限 %	塑性指数	收缩 %		膨胀			崩解		击实土击实功能 kJ/m³						有机质含量 %	烧失量 %	水溶盐含量 %	土的分散性	化学分析 %			SiO_2/R_2O_3	黏土矿物成分 %		
						湿	干							收缩率	缩限	自由膨胀率 %	膨胀率 %	膨胀力 kPa	崩解 %	时间	最大密度 g/cm³	最优含水率 %	渗透系数 cm/s	临界比降	抗剪强度 内摩擦角 °	抗剪强度 粘聚力 kPa	压缩系数 MPa⁻¹				SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3				
试验组数																																					
平均值																																					
最大值																																					
最小值																																					

F.1.6 固壁土料试验成果汇总表

表 F.6 固壁土料试验成果汇总表

工程名称：
料场名称：

设计阶段：
勘察级别：

土的定名	取样深度 m	取样编号	试验编号	土粒比重	砂粒含量 %	黏粒含量 %	胶粒含量 %	液限 %	塑限 %	塑性指数	化学分析 %								SiO_2/R_2O_3	pH 值	活动性指数	水溶盐含量 %	有机质含量 %	烧失量 %	备注
											SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	K_2O	Na_2O							
层次																									
试验组数																									
平均值																									
最大值																									
最小值																									

F.1.7 人工骨料原岩试验成果汇总表

表 F.7 人工骨料（原岩）物理力学性试验成果汇总表

工程名称：
料场名称：

设计阶段：
勘察级别：

编号	取样位置	岩性	加载方向与层理关系	密度 g/cm³			颗粒密度	饱和吸水率 %	孔隙率 %	弹性模量 GPa	泊松比	抗压强度 MPa		抗拉强度 MPa		冻融损失 %	硫酸盐及硫化物含量（换算成 SO_3） %	备注
				天然	干	湿						干	饱和	干	饱和			

F.2 储量计算表

F.2.1 平均厚度法储量计算表

表 F.8 平均厚度法储量计算表

料场（及区）名称：　　勘察级别：

编号	勘探点深度 m	无用层厚度 m		有用层厚度 m					料场面积 m^2	无用层体积 10^4m^3		有用层储量 10^4m^3					合计
				水上			水下					水上			水下		
		剥离层	夹层	第层	第层	第层	第层	第层		剥离层	夹层	第层	第层	第层	第层	第层	
平均									总计								

F.2.2 平行断面法储量计算表

表 F.9 平行断面法储量计算表

料场（及区）名称： 勘察级别：

断面编号	勘探点编号	无用层厚度 m	有用层厚度 m	断面面积 m^2			两断面平均面积 m^2			两断面间平均距离 m	无用层体积 10^4m^3		有用层储量 10^4m^3
				无用层		有用层	无用层		有用层				
				剥离层	夹层		剥离层	夹层			剥离层	夹层	
总计													

F.2.3 三角形法储量计算表

表 F.10 三角形法储量计算表

料场（及区）名称：　　　　　　　　　　　　勘察级别：

三角形编号	勘探点编号	无用层厚度 m		有用层厚度 m	平均厚度 m			三角形面积 m^2	无用层体积 10^4m^3		有用层储量 10^4m^3
		剥离层	夹层		无用层 剥离层	无用层 夹层	剥离层		剥离层	夹层	
合计											

F.2.4 净砾石、净砂储量计算表

表 F.11 净砾石、净砂储量计算表

料场（及区）名称：　　勘察级别：

砂砾石储量 10^4m^3	砂砾石天然密度 g/cm^3	含砾率 %	含砂率 %	砾石堆积密度 g/cm^3	砂堆积密度 g/cm^3	净砾石储量 10^4m^3	净砂储量 10^4m^3

F.2.5 净砾分级储量计算表

表 F.12 净砾分级储量计算表

料场（及区）名称：　　勘察级别：

净砾石总储量 10^4m^3	砾石堆积密度 g/cm^3	粒径组 mm	分级含砾率 %	分级砾石堆积密度 g/cm^3	砾石分级储量 10^4m^3
		>150			
		150～80			
		80～40			
		40～20			
		20～5			

F.3 天然建筑材料各料场综合成果汇总表

表 F.13 天然建筑材料各料场成果汇总表

料场名称	料场种类	勘察级别	距坝址距离 km	料场面积 m^2	试验成果			无用层平均厚度 m	有用层平均厚度 m	无用层体积 10^4m^3	有用层储量 10^4m^3	质量简评	备注
					级配	物理性质	力学性质						

注：本表附于料场分布图上，试验成果主要根据料场种类确实。

水电水利工程
天然建筑材料勘察规程

条 文 说 明

目　　次

4　基本规定 …… 75
5　砂砾料勘察 …… 79
6　土料勘察 …… 81
7　石料勘察 …… 114

4 基 本 规 定

4.0.1～4.0.2 这两条说明了天然建筑材料在水电水利建设中的作用和地位，以及天然建筑材料勘察工作的基本原则和基本任务。

天然建筑材料勘察是水电水利建设的基础工作之一，它关系到坝址选择、水工建筑物类型、施工总体布置和施工方案等。如果天然建筑材料勘察工作做得好，提供的勘察成果质量高，天然建筑材料选择得合理，将在水电水利建设中表现出巨大的社会效益和经济效益，否则，将给水电水利建设带来重大损失。

4.0.4 勘察任务书或合同是开展天然建筑材料勘察工作的依据和法规性文件。为了使天然建筑材料勘察工作能满足设计和施工的需要，凡涉及与天然建筑材料勘察工作有关的内容，均应在任务书或合同中明确说明或规定。

4.0.5～4.0.6 这两条规定了开展天然建筑材料勘察工作之前应编制相应的工作计划及编制的依据和内容。在编制工作计划之前，需全面搜集已有的资料，进行现场踏勘，了解地形、地质和交通条件，熟悉设计意图，使天然建筑材料勘察工作计划能符合实际、便于执行、满足勘察任务书或合同的要求。

4.0.7 该条规定了选择料场应遵守的原则：

1 环境保护是科学发展观的重要组成部分，是关系到国民经济可持续发展的重要因素之一，必须坚持环境保护与天然建筑材料开采并重的原则，要考虑因天然建筑材料开采对动植物生长的影响，要考虑料场开采后修复的可能性。

2 农业是国民经济的命脉，耕地是人类的宝贵资源，因此，在选择料场时要尽量做到不占或少占耕地、林地。确需占用时，要考虑还田、还林土层。

3 优先利用开挖渣料，这样做一是考虑挖填平衡的需要；二

是可以节约资源、节省人力和物力。

4 开采条件和运输条件包括下列内容：无用层开挖量小；料场地形、坡向有利于形成多个开采面，并能使开采量达到一定的规模，开采面有较好的施工作业条件，各开采面之间无干扰或干扰小；料场与工程场址的距离短；料场内有运输车辆周转的场地；料场内有能与上坝公路相连的交通道路。

4.0.8 该条规定了天然建筑材料的勘察精度级别。一般情况下，三个勘察级别可与规划、预可行性研究和可行性研究三个勘察设计阶段相对应，对此，在 GB 50287 中有明确的规定。在某些特殊的情况下，天然建筑材料的储量、质量将是决定坝址选择和坝型比较的重要因素，此时就不能按常规的步骤来安排天然建筑材料的勘察，可适当加深天然建筑材料的勘察深度。

4.0.9 本条规定各级别天然建筑材料勘察必须开展工程地质测绘工作。通过工程地质测绘，可以了解地貌形态、河流阶地的地质结构、类型，第四纪堆积物的成因类型，各类岩层的岩性、风化情况等，为分析评价各种天然建筑材料的质量和开展勘探、试验工作提供基本资料。在本次修订中，根据目前各单位工作的实际情况，对工程地质测绘和图件比例尺作了修改，详见表 1。

表 1 工程地质测绘和图件比例尺比较表

项目		初查		详查	
		SDJ 17—1978	本标准	SDJ 17—1978	本标准
测绘	平面测绘	1:10000～1:2000	1:5000～1:2000	1:50000～1:1000	1:2000～1:1000
	剖面测绘	1:5000～1:2000	1:2000～1:1000	1:2000～1:500	1:1000～1:500
图件	产地分布图	1:50000～1:25000	1:50000～1:25000	1:50000～1:10000	1:50000～1:10000
	综合地质图	1:10000～1:2000	1:5000～1:2000	1:5000～1:1000	1:2000～1:1000
	地质剖面图	1:5000～1:2000	1:2000～1:1000	1:2000～1:500	1:1000～1:500

4.0.10 该条规定了普查级别勘察工作的要求和精度。

1 根据近年来水电工程天然建筑材料勘察的实际情况，料场

选择的范围已扩大到 30km 以上，故条文规定，普查级别的勘察工作范围宜控制在比选场地 40km 内，与原标准相比，普查范围作了适当的调整。

2 普查级别的勘察工作主要是搜集已有的资料，包括该地区的工程地质资料和已建工程天然建筑材料勘察及使用情况，并对搜集的资料进行综合分析。

3 天然建筑材料质量一般是利用天然露头观察和搜集已有资料，综合分析确定。

4 天然建筑材料储量一般是利用料场地质图来估算。

4.0.11～4.0.12 这两条分别规定了初查与详查级别勘察工作的要求和精度，与 SDJ 17—1978 相比，主要对勘察储量与设计需要量的倍比关系进行了修改，详见表 2。因为现在水电水利工程的大坝越来越高，对天然建筑材料的需要量也相应增加，如仍按 SDJ 17—1978 的规定，在某些特殊地形地质条件下，勘察储量将难以满足要求，特别是西南地区心墙防渗土料。同时，适当调整勘察储量的倍比，也有利环境保护，并可减少相应的勘察工作量。

当工程规模大，或料源比较充足、料场条件比较好时，可选用小倍比。当选用小倍比时，为防止开采储量不能满足设计的要求，条文规定，勘察储量应同时满足施工可开采储量的要求。

表 2 勘察储量与设计需要量倍比关系表

勘察级别	倍比关系	
	SDJ 17—1978	本标准
初　查	3.0	2.5～3.0
详　查	2.0	1.5～2.0

4.0.13 天然建筑材料的复查或补充勘察工作，一般在下列情况下进行：

性质也基本相似，没有必要分段取样和试验。另外，分段取样和试验不但会增加取样、样品运输及试验的经费，也增加不必要的工作量。调研资料中，没有在单层内分段取样的工程实例。故本标准删去了要求在单层中分段取样的有关规定。

建材地质工作的主要任务之一是查明分区范围（如未进行分区，则应在料场范围）内各有用层的物理力学性质，所以应分区、分层取样试验，分层的厚度为单层取样的长度。必要时是指由两层及以上的有用层需混匀使用时，为查明性质不同的有用层混合后土料的物理力学性质，就应进行相邻分层不同型式组合的并层混合取样、试验，主要是基于施工实际的考虑。分层不同组合的厚度，为并层混合取样的长度。通过系统取样、试验，论证防渗土料的适用性，并提供完整和可靠的质量指标。

料场进行分区时，应根据其面积及有用料分层层数，按表6.1.4的规定取样。

5）本标准与原标准在料场初查和详查的取样要求与取样组数对比（见表5）可见：

a）有用层只有一层时，不论料场面积大小，本标准的取样组数均小于原标准规定的取样总组数最小值，但多大于其单层取样组数最小值。当有用层只有一层时，说明其岩性、结构简单，岩相稳定，土料的性质相似，取样组数应该可以适当减少。

b）有用层为两层情况下：当料场面积小于 $0.5km^2$ 时，本标准的取样组数多小于原标准规定的取样总组数最小值，但均大于等于单层取样组数最小值；当料场面积大于 $0.5km^2$ 时，则本标准的取样组数多大于原规程规定的取样总组数最小值。

c）不管料场面积大小，当有用层为三层或两层加混合样时，本标准的取样组数已接近或超过原标准规定的取样总组数最小值，并大于其单层取样组数最小

值较多。当有用层为四层时，本标准的取样组数已超过原标准规定的取样总组数最小值，且面积越大，超过组数越多，是正常的，也是本标准取样工作的基本要求。

d）由于要求分层取样，所以面积小、有用层层数多的料场取样组数会比面积大、有用层层数少的料场多。料场面积和有用层层数是决定取样组数的两要素，相比之下，有用层层数是主要的。说明本标准的取样原则，即以有用层层数为主，又兼顾料场面积，是合理的。

6）防渗土料的物理力学性指标，一般通过现场含水率和密度试验，并取扰动土样在室内进行其他项目（见表6.1.5）试验取得，基本不取原状样（主要是因样品数量不能满足试验项目和方法的要求，其次是原状取样较麻烦，耗工费时，不经济）进行常规项目试验。故本标准删去了要求在土层中取原状样的有关规定。

4　所取土样数量应满足试验项目和方法的要求。根据以往室内土工试验对扰动样品数量的要求，本标准修改为：防渗土料常规试验扰动土样，每组取样数量为50kg。为保证取样层所取土样的代表性，规定对超重样品应拌匀后用四分法缩取。

土样送达试验单位，必须附送样单。送样单内容应包括：工程及料场名称、试验项目、土样编号、取样位置及深度、土层代号、送样及提交成果时间等。

5　本款规定了天然含水率和天然密度取样试验要求。

天然含水率试验资料用于评价土料筑坝的适宜性及施工的难易程度，是土料的主要质量指标之一。天然密度是土料的基本物性指标之一，用它可换算土的干密度、孔隙比、孔隙率、饱和度等指标，并可用土料的上坝压实干密度（或标准击实功能下的最大干密度）与天然干密度指标，换算筑坝土料所需的自然方量。

表 5　本标准与原标准料场初查和详查的取样要求与取样组数比较

一、取样要求比较

原规程			本标准			备注	
取样总数按料场储量不同用最小值控制			按料场规模（面积）不同，用单层取样组数控制			原标准单层取样要求	本标准单层取样要求
勘察级别	初查	详查	勘察级别	初查	详查	1）分层取样。单层取样组数：初查≥3 组；详查≥5 组。 2）单层中分段取样：单层厚度 2m～10m，每 2m～3m 取样一组；单层厚度＞10m，每 3m～5m 取样一组	分层取样，单层取样组数根据料场面积大小确定
料场储量（$\times 10^4 m^3$）	最小组数		料场面积 km^2	单层（分层混合）取土样组数			
＜10	5	10	＜0.10	3～5	5～7		
10～50	10	15	0.10～0.30	5～7	7～9		
＞50	15	25	0.30～0.50	7～9	9～11		
			0.50～0.80	9～11	11～13		

二、取样组数比较

产地储量	原标准取样最小组数		有用层平均厚度	料场换算面积	有用层层数	本标准取样组数		说明
	初查	详查				初查	详查	
1. 设储量为 $40\times 10^4 m^3$（属 $10\times 10^4 m^3$～$50\times 10^4 m^3$）	10	15	为 10m 时	$40\times 10^4 m^3 \div 10\ m=4\times 10^4 m^2=0.04 km^2$	一层	3～5	5～7	$A<B$ 2 倍左右，但≥其单层取样组数最小值
			为 5m 时	$40\times 10^4 m^3 \div 5\ m=8\times 10^4 m^2=0.08 km^2$	二层	6～10	10～14	A 多$<B$，但≥其分层取样组数最小值

表 5（续）

产地储量	原标准取样最小组数		有用层平均厚度	料场换算面积	有用层层数	本标准取样组数		说明
	初查	详查				初查	详查	
1. 设储量为 $40\times10^4m^3$（属 $10\times10^4m^3\sim50\times10^4m^3$）	10	15	为 10m 时	（均<$0.1km^2$）	三层或二层加混合样	9～15	15～21	$A\geqslant B$，并≥其分层取样组数最小值
			为 5m 时		四层	12～20	20～25	$A>B$ 1～2 倍
2. 设储量为 $80\times10^4m^3$（属>$50\times10^4m^3$）	15	25	为 10m 时	$80\times10^4m^3\div10m=8\times10^4m^2=0.08km^2$（属<$0.1km^2$）	一层	3～5	5～7	$A<B$ 2～3 倍，但≥其单层取样组数最小值
					二层	6～10	10～14	$A<B$ 近 1 倍，但≥其分层取样组数最小值
					三层或二层加混合样	9～15	15～21	A 多<B，但≥其分层取样组数最小值
			为 5m 时	$80\times10^4m^3\div5\ m=16\times10^4m^2=0.16km^2$（属 $0.1km^2\sim0.3km^2$）	一层	5～7	7～9	$A<B$ 2 倍左右，但>其单层取样组数最小值
					二层	10～14	14～18	$A<B$，但>其分层取样组数最小值
					三层或二层加混合样	15～21	21～27	$A\geqslant B$，并>其分层取样组数最小值
					四层	20～28	28～36	$A>B$ 较多

表 5（续）

产地储量	原标准取样最小组数		有用层平均厚度	料场换算面积	有用层层数	本标准取样组数		说明
	初查	详查				初查	详查	
3. 设储量为 $120\times10^4m^3$（属 $>50\times10^4m^3$）	15	25	为 10m 时	$120\times10^4m^3\div10m=12\times10^4m^2=0.12km^2$	一层	5～7	7～9	$A<B$2～3 倍，但>其单层取样组数最小值较多
			为 5m 时	$120\times10^4m^3\div5\ m=24\times10^4m^2=0.24km^2$	二层	10～14	14～18	$A<B$，但>其分层取样组数最小值较多
				（属 $0.1km^2$～$0.3km^2$）	三层或二层加混合样	15～21	21～27	$A\geqslant B$，并>其分层取样组数最小值较多
4. 设储量为 $320\times10^4m^3$（属 $>50\times10^4m^3$）	15	25	为 10m 时	$320\times10^4m^3\div10\ m=32\times10^4m^2=0.32km^2$（属 $>0.3km^2$～$0.5km^2$）	一层	7～9	9～11	$A<B$ 2～3 倍，但>其单层取样组数最小值较多
					二层	14～18	18～22	$A\leqslant B$，但>其分层取样组数最小值较多
					三层或二层加混合样	21～27	27～33	$A>B$ 约 0.5 倍
					四层	28～36	36～44	$A>B$ 约 1.5～2 倍
			为 5m 时	$320\times10^4m^3\div5\ m=64\times10^4m^2=0.64km^2$（属 $>0.5km^2$～$0.8km^2$）	一层	9～11	11～13	$A<B$，但>其单层取样组数最小值 2 倍以上
					二层	18～22	22～26	A 多>B
					三层或二层加混合样	27～33	33～39	$A>B$ 1～2 倍

注：说明栏中 A 为本标准的取样组数，B 为原标准规定应取土样总组数最小值。

1）根据调研资料，料场普查时，一般不布置天然含水率取样。当任务书或合同有要求时，应布置少量天然含水率取样。

2）虽然原标准没有天然含水率和天然密度取样试验的条文规定，根据调研资料，以往的大、中型水电站土料场初查和详查，都在现场实施上述两项取样试验。为此，在总结调研资料的基础上，本标准对料场初查和详查的天然含水率和密度取样试验坑的布置和数量、方法、要求等作了便于操作的具体规定。为了天然含水率试验资料具代表性，规定取样坑宜占探坑计划开挖总数的40%，在料场中宜分布均匀，也可沿勘探线布置。地质条件简单的料场，在取样坑中宜间隔 2m 取一组天然含水率试验样品；地质条件复杂的料场，如风化土料料场、红黏土料料场等，应每 1m 取一组天然含水率试验样品。为便于资料整理、分析，每个试验坑宜由地面算起，每 1m～2m 取一组天然含水率试验样品，直至坑底。为了天然含水率和天然密度试验资料真实可靠，强调应边勘探边进行试验。

6.1.5 本条对土料试验项目作了如下修订和补充:

1 本标准新增了普查级别中土样的常规试验项目。

2 由于土料中的结核含量不具普遍性，且以前很少作此项试验，如结核确实存在，也已统计在含砾量中，故不必进行专门试验；pH 值对评价防渗土料质量作用不太大，故本标准删去上述两项试验。

3 由于分散性黏土中可交换钠离子含量高，使土粒周围的水膜增厚，造成土粒间的斥力大于吸力，则黏土颗粒都处于分散状态，这种悬液易随渗透水流失，招致堤、坝管涌破坏，渗透水含盐量低时，情况更为不利。鉴于分散性土会给工程带来危害甚至造成严重后果，为了土石坝的防渗土料稳妥、可靠和大坝的安全，

以往料场初查和详查多要求对土样进行分散性鉴定。故本标准在土样应做试验项目中新增了土的分散性鉴定，组数和方法视需要而定。

4 根据调研资料，云南毛家村水库土石坝采用击实后基本不崩解的红黏土填筑防渗体，云南鲁布革水电站土石坝则采用击实后崩解性良好～较好的风化土料作防渗体。工程均安全可靠。工程实例说明：不论击实土崩解性好与差，均可放心用作土石坝的心墙和斜墙防渗体。由于此类坝型的防渗土料可不作崩解性试验论证，故备注中特别说明，碾压式土石坝心墙和斜墙防渗土料可不作击实土崩解性试验。

6.1.6 本条规定了土料的质量评价指标。本次修订中对质量评价指标作了补充和修订。

1 土石坝防渗土料质量技术要求作以下的修订和补充：

1）根据 SDJ 218—1984《碾压式土石坝设计规范》第3.1.4 条第一、二款规定，本标准将防渗体土料碾压后的渗透系数小于 1×10^{-4}cm/s，修改为击实（或碾压）后渗透系数$<1\times10^{-5}$cm/s；均质土坝渗透系数碾压后$<1\times10^{-3}$cm/s，修改为击实（或碾压）后渗透系数$<1\times10^{-4}$cm/s；有机质含量<1%，修改为有机质含量（以质量计）<2%，据调研资料，常用的防渗土料中，有机质含量一般都不会超标；将水溶盐含量修改为“水溶盐含量（指易溶盐和中溶盐，以质量计）”，土料中的易溶盐包括各种氯盐、重碳酸盐、碳酸钠、硫酸钠等，中溶盐主要是石膏。根据调研资料，常用的防渗土料中水溶盐含量一般都很低。

2）紧密容重，一般指骨料按规定方法颠实后单位体积的质量，用以表达土料概念不明确。土料可用最大干密度表述。pH 值为土料的酸碱度指标，对防渗土料质量评价作用不太大，故删去了紧密容重与 pH

值及其指标。

3）据研究得出的典型黏土矿物与硅铝比（SiO_2/Al_2O_3）和硅铁铝比（SiO_2/R_2O_3）的关系见表 6。由表中可见，土样的硅铝比和硅铁铝比>4 的黏土矿物，为具膨胀性强的蒙脱石。故本标准把 SiO_2/R_2O_3>2 统一修改为 2～4，也即宜采用矿物成分以高岭石、伊里石为主，性能较稳定的土料作防渗材料。

表 6　典型黏土矿物与硅铝比和硅铁铝比关系表

黏土矿物名称	高岭石	伊里石	蒙脱石	蛭石
SiO_2/Al_2O_3	2～2.2	3～3.2	>4	3～3.2
SiO_2/R_2O_3	-2.1	-2.9	>4	-2.9

4）经对国外已建 36 座坝高 100m 以上土石坝不同类型防渗土料施工资料统计表明：采用天然含水率比最优含水率低-2%～-6%（偏干）土料填筑的土石坝有 3 座，占 8.3%；天然含水率比最优含水率低-2%～高 3%土料填筑的土石坝有 27 座，占 75%；采用天然含水率比最优含水率高 4%～8%（偏湿）土料填筑的土石坝有 6 座，占 16.7%。根据 SDJ 218—1984 第 3.2.6 条的规定，本标准将质量指标中的天然含水率最好与最优含水率或塑限近似，修改为天然含水率宜控制在最优含水率-2%～+3%范围内，由定性指标修改为定量指标。

5）分散性黏土筑坝会出现大面积冲蚀破坏，或使堤坝发生突然的管涌破坏，导致严重后果，是工程性质差的一种土料，所以 SDJ 218—1984 第 3.1.5 条规定宜尽量避免采用分散性土填筑坝的防渗体。SL 274—2001《碾压式土石坝设计规范》第 4.1.8 条的规定中，只允许“三

级低坝可采用经改性处理的分散性黏土，选用的反滤料应经试验论证”。故在表 B.5 中新增应对土样进行分散性判定的规定，指标要求应用非分散性土。据已有资料，我国分散性土主要分布在西北和东北地区，国内目前没有采用分散性土筑坝的工程实例，国外采用分散性土填筑的低坝中失事的工程实例较多。

另外，我国西北和华北地区广泛分布的黄土主要由粉粒（0.05mm～0.005mm 颗粒一般占 50%～70%）组成，具有大孔隙和垂直节理特征，如利用筑坝，通过开挖破坏其原状结构，并在适当含水率下经机具碾压密实，质量指标能满足土石坝防渗料的基本要求。我国利用黄土成功建设的土石坝实例较多，坝型有分区坝和均质坝，多为中、小型工程，其中规模较大的有：甘肃文县碧口水电站心墙堆石坝，坝高 101.8m，库容 $5.21\times10^8m^3$，装机容量 300MW；陕西石头河水库心墙堆石坝，坝高 114m，库容 $1.25\times10^8m^3$，装机容量 21.5MW。

经对国内采用黄土填筑的 16 座均质坝统计表明：坝高多为 40m～60m，最高 73m。黄土的性质：塑限多为 17%～20%，均值 18.9%；塑性指数多为 11～13；最优含水率为 17%～20%，均值 18.4%；0.05mm～0.005mm 颗粒含量均值为 55%；<0.005mm 颗粒含量均值为 21.6%；渗透系数为 $1.5\times10^{-5}cm/s\sim7.1\times10^{-7}cm/s$，多为 $i\times10^{-6}cm/s$。

2 与较陡坝肩基岩接触部位的防渗土料，质量技术要求没有专门规定。根据近年的工程实践经验，本次修订中补充了相应的质量技术指标。总的要求是：要有较高的柔性，易于与岸坡结合，因此要用含水率略高于最优含水率的塑性较大的黏土，要求塑性指数大于 10。为从级配上予以保证，当最大粒径控制在 20mm 之内时，黏粒含量不应低于 20%；当最大粒径在 40mm 之内时，黏粒含量不应低于 30%。同时，小于 0.075mm 颗粒含量应大于 60%；大于 5mm 粒径少于 10%。

许多工程专门用一种塑性大的接触黏土，表 7 列出了日本一些工程的接触黏土料的特性。

表 7　日本工程接触黏土料特性

坝名	天然含水率 %	液限 w_L %	塑限 w_P %	塑性指数 I_P	最大粒径 D_{max} mm	<0.074mm 的含量 %
高濑	62	65	41	24	20	78
岩屋	35	61	27	34	55	52
下小鸟	—	—	—	—	50	15
濑户	40	63	40.2	22.8	40	50
三保	70	90	75	15	15	25
黑川	—	30.1	27.1	30	40	21.1
喜撰山	—	37	28.5	8.5	—	40~50
明神南原	25	41.7	27.1	14.6	4.8	32
寺内	16~17	42	28.6	13.4	25	44
油谷	—	34	23	11	38	30
新冠	17.5	43.8	26.4	17.4	50.8	20

3　槽孔固壁土料除应满足附录 B.2.4 条的基本要求外，在施工实践中应进一步作泥浆试验。若泥皮厚度和稳定性或其他指标在质量技术要求指标幅度下限时，建议掺合膨润土。

6.1.7　本条规定了土的分散性的质量评价指标，是本次修订中新增的内容。

目前一致认为常用的物理力学性指标无法鉴别土的分散性。双比重计试验、碎块试验、孔隙水可溶盐试验和针孔试验是目前室内鉴定分散性土的四种常用方法，简介如下：

1　双比重计试验。双比重计试验是对土样进行两次比重计试验测定黏粒（<0.005mm）含量。第一次用常规（加分散剂）方法（见 GB/T 50123—1999《土工试验标准》），第二次用不加分散剂方法，得出两次试验的黏粒含量，用下式求得分散度（D）：

$$D=\frac{\text{不加分散剂时小于0.005mm颗粒含量}}{\text{加分散剂时小于0.005mm颗粒含量}}\times 100\%$$

以此判别土的分散性。

2 碎块试验。碎块试验是一种在室内和野外都能进行的简单的分散性试验。试验方法是将 6mm～10mm 的土块放入装有蒸馏水的烧杯中，观察 5min～10min，看黏土粒转入胶体悬液的情况，可分为非分散性土、微分散性土、中等分散性土和强分散性土。

3 孔隙水可溶盐试验。方法是把土和蒸馏水拌和到接近液限的稠度，再用有过滤设备的真空吸水器抽出孔隙水样，测定孔隙水中的钙、镁、钠、钾四种金属阳离子总量，也称为 TDS，以每升摩尔（mol/L）计，并求出其中钠离子含量的百分数。

4 针孔试验。方法是在特制的针孔试验装置中将击实到要求干容重的土样，穿一直径为 1.0mm 的轴向细（针）孔，然后用蒸馏水进行渗流试验，观察在各种水头下针孔受水冲蚀情况。

一般认为上述四种方法中，以针孔试验鉴定土的抗冲蚀能力的直接方法较为可靠。如对糯扎渡水电站农场土料场主采区土料双比重计试验分散度较高的几组土样进行针孔试验验证，试验成果（见表 8）表明工程推荐主采区土料为非分散性土，可放心使用。

表 8 土料分散性试验成果

土样名称	分散性判别试验							备注
	物理性指标		针孔冲蚀试验				双比重计试验分散度	
	黏粒含量	塑性指数	水头	流速	试验最大坡降	分散性判别		
			H	V				
	%		cm	cm/sec	J		%	
TK53 混合料	15.3	14.3	102	0.16	25.5	非分散性	20.7	水色清，孔径不变
TK262 黏土料	39.7	19.6	102	0.127	25.5	非分散性	78.6	水色清，孔径不变
TK265 混合料	19.1	11.4	102	0.136	25.5	非分散性	76.9	水色轻微混浊，孔径不变

$$D=\frac{\text{不加分散剂时小于0.005mm颗粒含量}}{\text{加分散剂时小于0.005mm颗粒含量}}\times 100\%$$

以此判别土的分散性。

2 碎块试验。碎块试验是一种在室内和野外都能进行的简单的分散性试验。试验方法是将 6mm～10mm 的土块放入装有蒸馏水的烧杯中，观察 5min～10min，看黏土粒转入胶体悬液的情况，可分为非分散性土、微分散性土、中等分散性土和强分散性土。

3 孔隙水可溶盐试验。方法是把土和蒸馏水拌和到接近液限的稠度，再用有过滤设备的真空吸水器抽出孔隙水样，测定孔隙水中的钙、镁、钠、钾四种金属阳离子总量，也称为 TDS，以每升摩尔（mol/L）计，并求出其中钠离子含量的百分数。

4 针孔试验。方法是在特制的针孔试验装置中将击实到要求干容重的土样，穿一直径为 1.0mm 的轴向细（针）孔，然后用蒸馏水进行渗流试验，观察在各种水头下针孔受水冲蚀情况。

一般认为上述四种方法中，以针孔试验鉴定土的抗冲蚀能力的直接方法较为可靠。如对糯扎渡水电站农场土料场主采区土料双比重计试验分散度较高的几组土样进行针孔试验验证，试验成果（见表 8）表明工程推荐主采区土料为非分散性土，可放心使用。

表 8 土料分散性试验成果

土样名称	分散性判别试验							备注
	物理性指标		针孔冲蚀试验				双比重计试验分散度	
	黏粒含量	塑性指数	水头	流速	试验最大坡降	分散性判别		
			H	V				
	%		cm	cm/sec	J		%	
TK53 混合料	15.3	14.3	102	0.16	25.5	非分散性	20.7	水色清，孔径不变
TK262 黏土料	39.7	19.6	102	0.127	25.5	非分散性	78.6	水色清，孔径不变
TK265 混合料	19.1	11.4	102	0.136	25.5	非分散性	76.9	水色轻微混浊，孔径不变

表 8（续）

土样名称	分散性判别试验							备注
	物理性指标		针孔冲蚀试验				双比重计试验分散度	
	黏粒含量	塑性指数	水头	流速	试验最大坡降	分散性判别		
			H	V				
	%		cm	cm/sec	J		%	
TK137混合料	15.1	12.9	102	0.154	25.5	非分散性	45	水色清，孔径不变
TK139混合料	23.7	14.7	102	0.14	25.5	非分散性	34.1	水色清，孔径不变
TK221黏土料	24.1	14.5	102	0.164	25.5	非分散性	31.1	水色清，孔径不变
TK221混合料	14.4	13.4	102	0.138	25.5	非分散性	0	水色清，孔径不变

6.2 碎（砾）石类土料

6.2.1～6.2.2 鉴于宽级配的碎（砾）石类土地质成因类型复杂，堆积环境多变，土的粒度成分与颗粒组成多具不均一特点，因此料场类型划分两类较为合适。地质测绘中应充分考虑其不均一性，对料场进行分区，以便合理使用。

6.2.3 考虑到碎（砾）石类土的不均一特点，不同成因类型及地形特征等，勘探网（点）间距应适当加密，以满足不同勘察级别对精度的要求。

6.2.4 取样数量可按 SD 128—1984《土工试验规程》执行，碎（砾）石土成因各异，级配变化大，对物性试验宜按最大粒径 5～6 倍尺寸的试坑考虑，刻槽取样一般不少于 300kg，力学试验取样数量依项目而定。

6.2.6 以宽级配碎（砾）石土作为土石坝心墙防渗体已在多个在建工程中应用，其质量技术指标与原标准土坝防渗体土料质量技术指标相比有较大的区别，见表 9。

表 9　碎（砾）石类土料与原标准中土料质量技术要求对比

序号	项目	原标准 质量技术指标	本标准 质量技术指标
1	>5mm 粒径含量	无	不宜>50%（对高坝，应 20%～50%），填筑时并不得发生粗料集中、架空现象
2	<0.075mm 粒径含量	无	不应<15%
3	黏粒含量	15%～40%为宜	全级配中宜不低于 6%～8%
4	最大颗粒粒径	无	不宜>150mm 或不超过碾压铺土层厚 2/3
5	塑性指数	10～20	>6
6	渗透系数	碾压后<1×10^{-4}cm/s，并应小于坝壳透水料 50 倍	击实后<1×10^{-5}cm/s，并应<坝壳透水料的 50 倍（允许比降宜 2～3）
7	有机质含量（按质量计）	<1%	<2%
8	水溶盐含量	<3%	<3%
9	天然含水率或填筑控制含水率	与最优含水量或塑限接近者为优	与最优含水率接近，变化幅度宜在−2%～+3%范围内
10	SiO_2/R_2O_3	>2	2～4

根据国内外已建和在建工程统计，坝高在 100m 以上的高土石坝（表 10、表 11），从综合防渗与抗剪强度角度考虑，大于 5mm 粒径颗粒含量应大于 20%并小于 50%。这样的粗料含量可保证细粒部分能填满粗粒间的孔隙，使土料能得到有效的压实，由于粗粒的骨架作用和不低于 15%的小于 0.075mm 细粒含量使土体具有控制裂缝冲刷和较强的自愈能力，满足防渗和渗透稳定的要求；同时，粗料含量不低于 20%，可使土料又具有较低的压缩性和较高的抗剪强度，以满足高土石坝坝体变形和稳定的要求。小于 0.005mm 黏粒含量宜不低于 6%～8%，在级配保持连续，并重点加强反滤保护的条件下，黏粒含量在全级配中还可适当降低。土料的最大粒径一般控制在 150mm，最大达 200mm。塑性指数大于 6。渗透系数小于 1×10^{-5}cm/s。允许比降一般为 2～3。

表 10　国外坝高在 100m 以上的土石坝防渗土料的使用情况

坝名	国家	坝高 m	防渗材料	使用坡降	颗粒级配 %			最大粒径 mm	干密度 g/cm³		压实方法		渗透系数 cm/s	强度指标	
					>5mm	< 0.1mm	< 0.005mm		最大	实际	铺厚 cm	压实机械和碾压遍数		φ °	C 0.1MPa
努列克	前苏联	300	砾石土	2.0	25～50			200	1.6～2.0	1.7～1.8			1×10^{-6}		
罗贡	前苏联	325	碎石黏土								30	50t 汽胎碾			
奇科森	墨西哥	263	黏土页岩							1.9	25	7t 振动凸块碾		24～31	0
特里	印　度	261	混合料					200			40	15t 振动碾			
奥罗维尔	美　国	223	黏土掺砂卵石	1.7	45	27	10	75		2.2	25	91t 汽胎碾		14	0.3
买加	加拿大	244	冰碛土	3	35		13	200		2.15	25	胶胎碾每轮 11t	1×10^{-7}	34	0
鱼梁濑	日　本	112	风化泥质板岩	1.87	47	13	5	40					1×10^{-5}	31	0.4
高濑	日　本	176	黏土砂卵石		78	17		200	2.15	2.11			1×10^{-5}		

表 10（续）

坝名	国家	坝高 m	防渗材料	使用坡降	颗粒级配 %			最大粒径 mm	干密度 g/cm³		压实方法		渗透系数 cm/s	强度指标	
					>5mm	< 0.1mm	< 0.005mm		最大	实际	铺厚 cm	压实机械和碾压遍数		ϕ °	C 0.1MPa
特瑞利台	美　国	164	风化安山变质岩		64	27		75	1.8	1.76					
库嘎	美　国	158	滑石，风化岩		56			150	1.89	1.47～1.89			1×10^{-7}		
给帕茨	奥地利	153	黏土掺卵石	4.8	45	27	10	80	2.35	2.1	30	3 遍 40t 汽胎碾	2.5×10^{-7}	29	0.1
卡特	美　国	138	风化黏土						1.81	1.7				12	0.98
涅采华柯依特	墨西哥	137	风化砾石砂质黏土						1.73	1.65～1.75	20	4t 振动碾		22	0
御母依	日　本	131	黏土及风化花岗岩	1.6	55	13	6	150	1.87～1.95	2.05	20	20t 羊角碾 6 遍	1×10^{-5}	33	0.55
长野	日　本	128	坡积风化土						1.8～1.9				5×10^{-7}	31	0
七仓坝	日　本	125	角砾混合黏土										1×10^{-5}		

表 10（续）

坝名	国家	坝高 m	防渗材料	使用坡降	颗粒级配 %			最大粒径 mm	干密度 g/cm³		压实方法		渗透系数 cm/s	强度指标	
					>5mm	<0.1mm	<0.005mm		最大	实际	铺厚 cm	压实机械和碾压遍数		ϕ °	C 0.1MPa
谢尔庞桑	法　国	122	冰碛土风化石灰岩	2.0	54	38	20	75	1.8～1.9	1.91～2.03			$(0.1\sim1)\times10^{-6}$	34	0.3～0.6
恩母库崩	奥地利	116	风化花岗岩						1.95	1.86			2.9×10^{-6}	34.3	0.48
金字塔	美　国	116	风化页岩												
玉原	日　本	116	风化凝灰角砾岩										1×10^{-5}	30	0
勃老令	奥地利	112	坡积风化岩							1.68～2.56			5×10^{-9}	25.1	0.2～1.9
阿斯旺	埃　及	111	风化泥质板岩						1.91～2.37	1.89～1.92			$10\sim8\times10^{-9}$	16	0.6～0.7
水洼	日　本	105	风化页岩						1.84～1.94				$0.4\sim7\times10^{-7}$	35	0.14～0.9
樱桃谷	美　国	101	风化花岗岩						1.71	1.7			5×10^{-6}	27～30	0

表 10（续）

坝名	国家	坝高 m	防渗材料	使用坡降	颗粒级配 %			最大粒径 mm	干密度 g/cm³		压实方法		渗透系数 cm/s	强度指标	
					>5mm	< 0.1mm	< 0.005mm		最大	实际	铺厚 cm	压实机械和碾压遍数		ϕ °	C 0.1MPa
马特马克	瑞　士	115	人工混合冰积土	<2	36～50		4.5	100		2.3			$0.1\sim1\times10^{-5}$		
郭兴能	瑞　士	155	人工混合土	3.4	55	25	10	75	2.16	2.2			1×10^{-7}		
希尔恩溪	美　国	104		2	60～70			100							
泥山	美　国	119	砂卵石掺黏土		61		2	125	2.0				$0.1\sim1\times10^{-5}$		
手取川	日　本	153	风化岩及山黧堆积物		54.4	19.4		150		1.9					
菲尔泽	阿尔巴尼亚	165	黏土掺砂卵石	1.75	25～40		16	60		1.91			2×10^{-6}		
拉姆剛嘎	印　度	126	破碎黏土页岩	2						1.76	15		8×10^{-7}		

表 11　我国西南地区坝高 100m 以上土石坝碎（砾）石类防渗土料特征表

名称	坝高 m	土料粒径 mm 及含量 %			天然含水率 %	液限 w_L %	塑性指数 I_p %	击实功能 kJ/m³	最优含水率 w_{op} %	最大干密度 g/cm³	天然干密度 g/cm³	SiO_2/R_2O_3	渗透系数 cm/s	改性措施
		>5	<0.075	<0.005										
瀑布沟	186	39～70	8～38	2.5～15	4.5～13	13～21	8～13	2740	5.5～6.3	2.19～2.23	2.06～2.17	3	1.06×10^{-5}～2.93×10^{-6}	掺细料
水牛家	108	16.5～59.0	22.9～68.5	2.3～17.4	10～28	17～35	8～17	604	7.5～16.5	1.75～2.19	1.6～1.9	3.75～4.07	1.55×10^{-6}～2.78×10^{-7}	
硗碛	143	18～56	12～37	4.5～17	7.5～18	17～21.5	12.7～18.6	862.5	8.9～14.2	1.85～2.1	1.63～1.87		3.82×10^{-6}～1.97×10^{-8}	
狮子坪	136	49～61	18.32～25	4.23～12	4～8.6	13.1～19.4	7.5～14.8	2740	6.2～7.5	2.1～2.24	/	3.22～3.61	5.3×10^{-6}～1.16×10^{-6}	
长河坝	240	20～63	19～45	4～18		28.0～47.0	9.5～24.0	1354	5.7～9.1	2.08～2.27			1.3×10^{-4}～3.4×10^{-7}	
双江口	312	25～45	39.2～51.5	8.4～10.4		27.0～38.0	8.0～14.0	2740	6.2～7.4	2.17～2.22			9.2×10^{-6}～7.7×10^{-7}	掺粗料
两河口	293	15～40.2	34.6～60	12.7～19.3		27.0～40.0	10.0～21.0	2740	6.7～8.7	2.10～2.27			$\ll 1\times10^{-6}$	掺粗料
毛尔盖	147	0～24	56～94	20～32		26.0～36.0	9.5～15.0	604	7.5～18.0	1.72～2.18			$\ll 1\times10^{-6}$	上、下层混合

6.3 风 化 土 料

风化土料是本标准新增加的土料料源。

风化土料指可用作防渗体的土状和碎块状全风化土层。国内外还赋予风化土料其他名称，如风化岩石、构造残积层、劣质岩石等，其主要特征是在外貌上仍保留着母岩的结构、构造（包括产状、节理、裂隙等）特征和存在部分母岩碎块，开挖料多为黏土质砾和碎砾石类土。

根据调研资料，岩浆岩、沉积岩和变质岩分布地区，在合适的条件下，均可发育成风化土料场，故料源广泛，所以一般在工程枢纽区附近可找到较为理想的风化土料场，有利于发挥土石坝就地取材和就近取材的优势。由于运距近，可大大节省资金，如天生桥一级水电站曾研究心墙堆石坝方案，坝高 185m，需防渗土料 $325\times10^4m^3$，原选择的心墙防渗料为运距达 30km～40km 的长山脚和十二份料场的高塑性南方红土，后经复查，建议选用近坝 5km 的林场土料场砂、泥岩风化料，经勘探试验及现场碾压试验论证，可用作防渗体。仅运距就可节省资金约达 5000 万元以上。又如我国已建成的鲁布格水电站，土石坝原选择的心墙土料为距坝址 13.7km 的鸡山土料场南方红土，天然含水率比最优含水率高 10%，必须翻晒、掺砾处理后才能使用。后选用了下寨土料场羊洞脚料区砂、页岩风化土料，储量和质量均能满足工程要求。料区距坝址约 3km，比鸡山土料场近 10km 多，运费可节约 300 万元，经济效益明显。另外，风化土料多属宽级配的土石混合料，在以往的筑坝经验中，以为是一种差的坝料而常常避免使用，故原标准中没有提及。但近年的试验资料及工程实践说明，风化土料与常规土料相比，具有以下特点：

1）一般在坝址附近就可找到，运距近，采用方便，造价低。

2）土料的天然含水率接近最优含水率和塑限含水率，可

克服其他种类土料大多需要调整处理含水率的弊病，施工较为方便。

3）级配良好，多为黏土质砾和粉土质砾，压实性好。

4）力学强度高，稳定性好，工程量小。

5）大多分布在山地，对居民、农田干扰小，破坏性小，环保简单。

鉴于上述的诸多优点，并已有用砂、页岩风化料修筑鲁布格水电站高坝（坝高 103.8m）的成功经验，且经济效益和社会效益明显，故风化土料现已成为多数水电站工程防渗体的首选料源。

6.3.1 调研资料表明：风化土料多为黏土质砾。由于岩石风化程度不均一，致使有用层厚度变化大，岩性、结构均一性差，这是风化料的一般规律。比照碎砾石类土料场的分类标准，可将料场类型按地形地质条件不同分为两类。实践表明，风化土料场多为Ⅱ类料场，且料场类型一般与面积大小无明显的因果关系，故料场分类中没有面积大小的划分标准。但对小面积的料场，为满足初、详查的勘探精度，确保勘察成果准确和可靠，规定均应按Ⅱ类料场布置勘探。故Ⅱ类料场中增加了料场面积小的分类标准。

风化土料中的无用夹层包括具一定厚度的强、弱、微风化的硬岩夹层，二叠系、三叠系等沉积岩中有机质含量高的风化土层等。

料场分类标准中增加了水文地质条件，这是因为风化土料场勘察常遇地下水问题。地下水的存在，对料场的勘探和土料的质量及开采、使用影响很大，故以往一般避而远之。实际上料场中有地下水存在并不可怕，关键是要查清地下水的类型、埋藏条件及动态变化，然后相应采取限制土料开采范围和深度等减少地下水影响的工程措施。

6.3.3 本条第三款强调勘探点的地层按成因类型不同进行分层，因为风化土层是风化土料场的主要有用层，其分层标准对工程地质测绘、地质描述和取样、试验、质量评价等有关系。

风化土料场的主要有用层为风化层，但一般还包含上覆其他成因的第四系松散层（多为坡、残积层），所以按成因不同，一般分为两层，即第四系松散层和风化土层。

6.3.4 本条规定了取样的一般原则。性质不均一的风化土料是风化土料场的主要有用层，还多分布有与其工程性质差异较大，以坡积层为主的第四系土层。风化土料主要分布在山坡地段，施工要求立采混匀使用，所以料场勘探除应查明各单层的性质外，还应查明分层不同型式组合的混合料质量指标。故第三款规定，除应分层取样外，还要进行分层混合取样。

6.3.5 本条规定，必要时，主干料场或主采区，应用代表性全料（勘探深度或拟采深度范围内不同成因的岩层，或同一成因类型地层的不同层次剥离除外的总厚度）作大型击实功能对比试验，目的是经过各种击实功能比较得出最大干密度和最优含水率，并用于选择施工的碾压设备和碾压参数。

6.3.6 本标准对风化土料用作土石坝防渗材料的质量技术要求作以下规定：

1 风化土料是土和风化岩石混合的砾石土。由于砾石风化程度不均，经室内击实和现场碾压试验，砾石含量变化较大，所以上坝土料中的允许含砾量指标应采用大于击实（或碾压）后的砾石含量。如鲁布革水电站下寨土料场羊洞脚料区砂页岩土样击实前（天然级配）$d \geqslant 5$mm 砾石含量一般为 60%～70%，击实后（864kJ/m^3 功能）$d \geqslant 5$mm 砾石含量减为 30%～40%，而其大坝填筑的质控指标确定：当砾石（≥5mm）含量<40%，细料（<0.1mm）含量为 30%～50%时，是理想的防渗土料。一般认为，土料中砾石含量太高，可能达不到防渗要求，如细料太多，则砾石不起骨架作用，压缩变形也大。有一定量的砾石存在可降低土料的压缩性，提高土料的抗剪强度。据国外已建 15 座坝高 100m 以上土石坝资料，防渗体土料中，粒径>5mm 的砾石含量：50%～60%的土石坝有 3 座，占 20%；50%～20%的土石坝有 10 座，占 67%；

风化土料场的主要有用层为风化层，但一般还包含上覆其他成因的第四系松散层（多为坡、残积层），所以按成因不同，一般分为两层，即第四系松散层和风化土层。

6.3.4 本条规定了取样的一般原则。性质不均一的风化土料是风化土料场的主要有用层，还多分布有与其工程性质差异较大，以坡积层为主的第四系土层。风化土料主要分布在山坡地段，施工要求立采混匀使用，所以料场勘探除应查明各单层的性质外，还应查明分层不同型式组合的混合料质量指标。故第三款规定，除应分层取样外，还要进行分层混合取样。

6.3.5 本条规定，必要时，主干料场或主采区，应用代表性全料（勘探深度或拟采深度范围内不同成因的岩层，或同一成因类型地层的不同层次剥离除外的总厚度）作大型击实功能对比试验，目的是经过各种击实功能比较得出最大干密度和最优含水率，并用于选择施工的碾压设备和碾压参数。

6.3.6 本标准对风化土料用作土石坝防渗材料的质量技术要求作以下规定：

1 风化土料是土和风化岩石混合的砾石土。由于砾石风化程度不均，经室内击实和现场碾压试验，砾石含量变化较大，所以上坝土料中的允许含砾量指标应采用大于击实（或碾压）后的砾石含量。如鲁布革水电站下寨土料场羊洞脚料区砂页岩土样击实前（天然级配）$d \geqslant 5$mm 砾石含量一般为 60%～70%，击实后（864kJ/m^3 功能）$d \geqslant 5$mm 砾石含量减为 30%～40%，而其大坝填筑的质控指标确定：当砾石（≥5mm）含量<40%，细料（<0.1mm）含量为 30%～50%时，是理想的防渗土料。一般认为，土料中砾石含量太高，可能达不到防渗要求，如细料太多，则砾石不起骨架作用，压缩变形也大。有一定量的砾石存在可降低土料的压缩性，提高土料的抗剪强度。据国外已建 15 座坝高 100m 以上土石坝资料，防渗体土料中，粒径>5mm 的砾石含量：50%～60%的土石坝有 3 座，占 20%；50%～20%的土石坝有 10 座，占 67%；

<20%的土石坝有 2 座，占 13%。根据 SDJ 218—1984 第 3.1.8 条有关砾石含量的规定，经综合考虑后，本标准风化土料质量指标中新增加碾压后粒径≥5mm 碎、砾石含量宜为 20%～50%，填筑时不得发生粗料集中、架空现象的质量指标。

土石坝使用风化土料作防渗料，多采用细粒（<0.075mm）含量作为防渗质量控制指标。一般认为，当砾石土中<0.075mm 颗粒<10%时，渗透系数就会>1×10^{-5}cm/s，而不适于作防渗体。而有关资料认为<0.075mm 细粒含量应在 20%左右比较合适。但鲁布革水电站大坝填筑所用砂、页岩风化料质量控制指标确定：细料（<0.1mm）含量在 30%～50%时最理想。根据国外 10 个水电站工程资料统计，防渗土料的细料（<0.1mm）含量为 11%～85%，均值为 24.4%，去掉最小值 11%和最大值 85%后，8 个防渗土料场<0.1 mm 含量为 15%～25%，均值为 18.5%。国内已建和在建水电站 20 个料场中<0.1 mm 含量为 30%～76.7%，均值为 53.4%。根据 SL 274—2001《碾压式土石坝设计规范》中第 4.1.10 条的规定：0.075mm 以下颗粒不应少于 15%，其条文说明中规定，一般要求小于 0.075mm 颗粒含量在 15%～20%以上。可见细粒含量指标范围值变化较大。据此，本标准风化土料质量技术指标中规定<0.075mm 细粒含量应>15%。

根据已有资料，国外已建坝高 100m 以上的土石坝中，有 7 座采用风化土料作防渗体，土料的最大粒径均值为 10cm～15cm。根据 SDJ 218—1984 第 3.1.8 条规定，用于填筑防渗体的砾石土，其最大粒径一般不超 10cm～15cm 或铺土厚度的 2/3。故本标准风化土料质量指标中新增的最大粒径规定为小于 15cm 或铺土厚度的 2/3。上坝土料的最大粒径超过碾压铺土厚度的 2/3，就会影响土料压实。

一般认为，上述三项指标就是根据土料颗分成果判定防渗土料的三要素。

2　已建和在建水电站 64 个风化土料场中，全料的塑性指数：

8～20 的料场有 52 个，占 81.3%；9～20 的料场有 51 个，占 79.7%；<8 的料场有 3 个，占 4.7%；>20 的料场有 9 个，占 14%。已建和在建水电站 50 个风化土料场中，全料的黏粒（<0.005mm）含量为 8%～27%的料场有 41 个，占 82%；10%～27%的料场有 39 个，占 78%；<8%的料场没有；>27%的料场有 9 个，占 18%。经综合分析后，本标准对风化土料作防渗体的土料质量技术要求中，将原标准中粒径含量 15%～40%修改成黏粒含量>8%为宜；塑性指数 10～20 修改为>8。

6.4 特 殊 土 料

6.4.1 具有特殊物质成分、结构和独特工程特性的土料称为特殊土料。特殊土料的种类较多，此节的特殊土料仅包括：

红黏土：指碳酸盐类岩石或基性喷出的玄武岩及沉积成因的泥、页岩等岩石，在亚热带温湿气候条件下，经风化作用形成富含铁铝氧化物，呈褐红色、红色或黄褐色的黏土。

膨胀土：富含亲水矿物并具明显吸水膨胀与失水收缩特征的高塑性黏土。

6.4.2 关于红黏土和膨胀土作为大坝防渗土料的说明：

1 我国南方地区广泛分布的红黏土，化学成分中 $SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$ 含量>80%，矿物成分以高岭石和伊利石为主，具黏粒含量和天然含水率高、天然干密度低、压实性差等与常规细粒土料质量指标差异较大的工程特性，用于大、中型水电工程的防渗体，需对改善填筑含水率、压实性和压缩性等措施进行试验论证。

1）云南、贵州、广东、广西等省已用红黏土建成多座土石坝。云南以礼河毛家村水库大坝（坝高 80.3m）是其中之一，该工程大坝防渗体采用小法嘎土料场洪积成因的次生低液限红黏土（位于特殊土塑性图的 A 线以上，不在红黏土的基本位置上），其天然含水率接近

于最优含水率和塑限，施工条件较好。由于对该土料的特性认识不足，施工初期按碾压试验确定的填筑干密度为 1.55g/cm^3，合格率 90%，含水率为 21%～24%，压实功能为 2000kJ/m^3 的较高填筑标准进行施工，坝面经常出现干松土层、光面、结合不良、雨后分层等不良现象，造成大面积返工的质量事故。后经对红黏土进行系统、深入研究和再次碾压试验，将填筑干密度降低为 1.50g/cm^3，填筑含水率提高到 24%～28%，压实功能降低为 864kJ/m^3，按合乎实际的较低压实标准进行施工，解决了上述施工中存在的质量问题。工程实践说明，此类红黏土不必要求较高的填筑标准，即能满足大坝稳定和防渗要求。该坝 1969 年建成发电，已安全运行 30 多年。其土料试验成果见表 12。

2）云南鲁布革水电站拦河大坝（坝高 103.8m）防渗体，原拟采用鸡山土料场白云岩风化的坡、残积高液限红黏土（位于特殊土塑性图的 A 线以下，在红黏土的基本位置上），试验成果见表 12，其天然含水率比塑限高 4.5%，比 625kJ/m^3 功能下击实土的最优含水率高 9.8%，需翻晒和掺砂、砾石改性处理后才能使用。由于调整土料的含水率，耗工费时，造价昂贵，所以大中型水电站使用的防渗土料有可供选择时，最好不用此类红黏土。该坝施工时，防渗土料改用近坝的砂页岩风化土料代替拟采用的红黏土掺白云岩风化砂砾石改性的砾质土。

2　黏土都具有遇水膨胀、失水收缩的特征，应达到一定程度才能称为膨胀土。常把自由膨胀率（F_s）＞40%、液限（w_L）＞40%、缩限（w_s）＜12%的土间接判定为膨胀土。膨胀土作为坝料，除失水会形成坚硬土块，开挖和施工均不方便外，对筑坝的影响主要表现在遇水膨胀，强度降低，导致滑坡，失水产生裂隙，

表12 红黏土的质量指标

料场名称	土料分层	天然含水率 %	天然干密度 g/cm³	流限 %	塑限 %	塑性指数	颗粒组成 含量 % 砾 粒径 mm >2	砂 2～0.05	粉粒 0.05～0.005	细粒 <0.1	黏粒 <0.005	渗透系数 cm/s	最优含水率 %	最大干密度 g/cm³	压缩系数（0.1 MPa～0.2 MPa）MPa⁻¹	试验组数	土的分类 按颗粒组成	土的分类 按塑性图
毛家村水库小法嘎土料场	$2h_1$	24～28/25	1.19～1.46	43	26	18	2	18	32		48	10.55×10^{-6}	24.2	1.60	0.15	12	含少量砾的黏土	CL
	$2h_2$	9.9～28/20	1.33～1.45	35	21	14	10	30	27		50	7.29×10^{-7}	17.6	1.81	0.13	7	砾质砂黏土	CL
	$2h_3$	24～34/30	1.32～1.76	45	27	19	1	17	32		33	6.12×10^{-6}	25.2	1.59	0.12	29	含少量砾的黏土	CL
	$2h_4$	23～29/26	1.55	46	26	19	4	15	29		52	7.31×10^{-7}	26.1	1.57	0.13	7	含少量砾的黏土	CL
	$2h_5$	29～63.5/31	1.37～1.45	48	27	21		13	31		56	5.52×10^{-7}	26.7	1.57	0.15	16	黏土	CL
	$2h_6$	21	1.50	38	23	14	10	23	29		38	5.52×10^{-7}	22.0	1.65	0.09	4	砾质黏土	CL

表 12（续）

料场名称	土料分层	天然含水率 %	天然干密度 g/cm³	流限 %	塑限 %	塑性指数	颗粒组成 砾 粒径 mm >2 含量 %	颗粒组成 砂 粒径 mm 2～0.05 含量 %	颗粒组成 粉粒 粒径 mm 0.05～0.005 含量 %	颗粒组成 细粒 粒径 mm <0.1 含量 %	颗粒组成 黏粒 粒径 mm <0.005 含量 %	渗透系数 cm/s	最优含水率 %	最大干密度 g/cm³	压缩系数（0.1 MPa～0.2 MPa）MPa⁻¹	试验组数	土的分类 按颗粒组成	土的分类 按塑性图
鲁布革水电站鸡山土料场	①层	22.1～77.3 45.3（661）	0.96～1.74 1.21（107）	38～84 57.2（124）	26～67 40.6（129）	8～31 16.5（129）	4（129）	10（129）	20（129）	92（129）	33～92 66（129）	5.02×10^{-7}（129）	27～49.2 35.8（36）	1.14～1.59 1.35（36）	0.12～0.32 0.19（27）		含少量砾的重黏土	CH
	②层	23.1～83.0 39.9（318）	1.01～1.54 1.30（47）	36～77 52（48）	23～53 35.7（48）	10～26 16.5（48）	4（48）	13（48）	23（48）	91（48）	22～93 60（48）	4.32×10^{-7}（48）	21.5～39.9 30.3（18）	1.27～1.63 1.46（18）	0.10～0.24 0.17（13）		含少量砾的重黏土	CH
	①+②层	22.1～83.0 43.7（979）	0.96～1.74 1.24（154）	36～84 55.8（177）	36～84 39.2（177）	8～31 16.5（77）	4（177）	11（177）	21（177）	92（177）	22～93 64（177）	4.65×10^{-7}（177）	21.5～49.2 33.9（54）	1.14～1.63 1.39（54）	0.10～0.32 0.18（40）		含少量砾的重黏土	CH

注 1：横线以上为试验指标范围值，以下括号外为平均值，括号内为试验组数。
注 2：无横线的指标为平均值。

故不是理想的防渗料。许多土石坝专著及规范都建议避免使用膨胀土作防渗料，必须采取时，应根据设计要求，进行专门论证，并采取相应工程措施。

据初步统计，我国 19 个省市有膨胀土分布。国内也有采用膨胀土筑坝且运行基本正常的工程实例，经对国内 20 座采用膨胀土筑坝的工程实例统计表明：

1）坝型大多为均质坝，少量为心墙坝，其中 16 座均质坝的坝高均小于 30m，采用强膨胀土填筑的均质坝，坝高为 10m～15.3m；4 座心墙坝坝高为 29.7m～67m。

2）调研资料中，国内、外没有大型水电水利工程和高坝采用膨胀土筑坝的实例。

7 石 料 勘 察

7.1 堆 石 料

7.1.1 石料场勘察工作布置、工作量大小与场地的地形地质条件复杂程度密切相关，本标准规定堆石料料场按地形完整性、岩性岩相稳定性、无用夹层数量、断裂及喀斯特发育程度、风化层及剥离层厚度等划分为三类。

7.1.2 石料场地质测绘是一项非常重要的工作，通过地质测绘可对料场地质情况有一个总体认识，同时也是料场勘察布置和取样试验的基础工作，可为勘探工作布置和取样试验提供依据，使勘探工作布置达到经济合理、取样试验全面而具代表性。因此，本次修订时增加了本条内容。具体的测绘内容应符合 DL/T 5185《水电水利工程地质测绘规程》的要求。

原标准未对料场开采人工边坡稳定性勘察与评价作具体规定，而料场开挖边坡一旦失稳将直接危及施工人员和设备的安全、砂石材料供应中断等，从而影响到工程的工期；同时，边坡地质条件与边坡稳定性是料场开采设计的基本条件。因此，本标准规定在料场详查阶段应结合料场勘探对开挖边坡进行勘察，并提出了具体要求。

7.1.3 由于高土石坝和面板堆石坝的应用，对堆石料的勘探要求应有所提高，但土石坝和面板堆石坝堆石料对软岩及破碎夹（泥）层等的要求与人工骨料相比要低，料场勘探要求也相应地低一些。为了能更好地把握料场的勘察精度，本标准规定堆石料勘探网（点）间距应符合表 7.1.3 的规定，各勘察级别的勘探网（点）间距较原标准提高了 1 个级别，并增加了初查每条剖面上不应少于 2 个钻孔（或平洞）、详查每条剖面上不应少于 3 个钻孔（或平洞）

的规定。

根据已有工程实例，在喀斯特发育地区，溶沟、石芽等地表岩溶和溶洞、溶缝等地下岩溶中的充填物对料场的储量、质量有较大影响，因此条文对此作了规定。有条件时，应尽量避免选用喀斯特发育的地段作为料源；无法避免时，应进行专门论证。

7.1.4 原标准规定石料初查时只取少量试样，无具体数量规定，不便操作；为满足初步查明并初步评价料场材料质量的要求，本条规定初查时应对代表性岩性进行取样，并增加了试样组数要求，目的是不致于详查时出现大的反复。国内部分工程已有利用风化料的成功经验，考虑风化层的利用，本条规定按不同风化层分别取样。

7.1.5 DL/T 5016—1999《混凝土面板堆石坝设计规范》第 6.1.4 条规定“1、2 级高坝的岩石室内试验项目应包括比重、密度（干、饱和）、饱和吸水率、抗压强度和弹性模量。高度 100m 以上的坝，宜作岩石矿物成分和化学成分分析”。本标准对堆石料试验项目的要求，在原标准表 14 的基础上增加了孔隙率、弹性模量、岩石矿物成分和化学成分等项。

7.1.6 根据近年来工程实践经验，随着堆石坝高度的不断增加，对堆石料原岩的强度也提出了新的要求，不同坝高特别是高坝堆石料对原岩的强度要求是不同的。因此，本标准将原标准附表 Ⅰ.12 中对岩石湿抗压强度的要求，修改为坝高 70m 以下时岩石饱和抗压强度应大于 30MPa、坝高大于或等于 70m 时应大于 40MPa。原标准石料质量技术要求软化系数大于 0.8，而统计的 18 个已建或在建面板堆石坝工程 20 个料场中，有 16 个料场岩石的软化系数的低值小于 0.8，多个工程实践证明重要的是岩石强度控制，鉴于已经规定了岩石饱和抗压强度最低要求，软化系数一项并无实际意义，因此，本次修订取消了对软化系数的规定。

7.2 砌 石 料

7.2.2 砌石坝上、下游面的面料一般采用形状规则的条石，作为开采条石的料场岩体需要有足够大的块度；坝体中部可采用形状不规则的块石，为增加坝体砌石含量，达到加大砌石体密度和减少胶凝材料用量，在施工吊装设备允许的条件下砌石块度一般愈大愈好。为评价料场开采成材条件和成材率，本条规定详查时应查明层状岩体的单层厚度、块状岩体的结构面间距，其目的是评价料场的成材条件和成材率。

7.2.5 坝体应力计算时需用到浆砌石体的变形（弹性）模量，而浆砌石体的变形（弹性）模量一般根据石料和胶凝材料的弹性模量采用经验方法计算确定。因此，本标准砌石料试验项目较原标准石料试验项目增加了弹性模量、泊松比、抗拉强度、线胀系数、岩石矿物和化学成分等项。高砌石坝坝体有限元计算中需用砌体的线胀系数指标，因此，本标准规定根据需要进行砌石料原岩的线胀系数试验。

7.2.6 SL 25—1991《浆砌石坝设计规范》第 2.1.1 条规定：砌体石料按其形状可分为毛石、块石、粗料石 3 种。毛石：无一定规则形状，块重应大于 25kg，中部厚不小于 15cm。块石：外形大致呈方形，上、下面基本平行且大致平整，无尖角、薄边，块厚宜大于 20cm。粗料石：棱角分明，六面大致平整，同一面最大高差不宜大于料长度的 3%，石料长度宜大于 50cm，高度、宽度不宜小于 25cm，长厚比不宜大于 3。石料标号分为 1000、800、600、500、400、300 等 6 级。因此，本条规定砌石料场岩体结构面间距应满足砌石料形状和质量要求，单块质量应大于 25kg。

原标准石料质量技术要求软化系数大于 0.8，鉴于已经规定了岩石饱和抗压强度最低要求，重要的是岩石强度控制，软化系数一项并无实际意义，因此，本标准取消了对软化系数的规定。不同坝高对砌石料的原岩强度要求不同，本标准分不同坝高对砌石

料的原岩饱和抗压强度规定了不同的要求。

7.3 人 工 骨 料

7.3.3 原标准第 21 条规定，人工骨料原料料场勘探参照石料有关规定进行。据调查的 32 个勘探料场资料，普查级别一般只进行了剖面测绘，个别进行了少量勘探；初查级别的平均勘探网（点）间距为 175m～267m；详查级别的平均勘探网（点）间距为 85m～190m。统计资料表明人工骨料料场的勘探比块石料料场勘探网（点）密度要大，本标准规定人工骨料勘探网（点）间距应符合表 7.3.3 的规定。

可溶岩地区喀斯特发育强度对储量和开采施工的难度均有影响，在有条件时，应尽量避免选用喀斯特发育的地段作为料场；无法避免时，应进行专门论证。本条强调在喀斯特地区进行石料场勘探时，应特别重视其喀斯特发育强度和剔除量。

7.3.4 原标准第 21 条规定，人工骨料原料料场勘探与取样参照石料有关规定进行，即初查时只取少量试样，无具体数量规定，不便操作。为满足初步查明并初步评价料场材料质量的要求，本条规定初查时应对代表性岩性进行取样，并增加了试样组数要求，目的是不致于在详查时出现大的反复。本条对人工骨料详查时取样也作了具体规定：岩石碱活性试验取样宜以钻孔岩心为主，如有已开采的采石场时，亦可在采石场开挖坡面取样。为使取样能代表整个开采区中各个开采层，规定采用全孔分层取样，以防漏判、错判。

7.3.5 本条规定了人工骨料试验项目要求。

原标准第 21 条规定人工骨料取样试验项目除同石料的以外，还应增加比表面积和颗粒形态两项试验。由于这两项试验应为轧制后的试验项目，故本标准删除了这两项试验。规定除做人工骨料原岩物理力学性质试验外，应特别重视岩石矿物、化学成分鉴定；如有碱活性成分时，应取样送有资质的试验单位进行碱活性

料的原岩饱和抗压强度规定了不同的要求。

7.3 人 工 骨 料

7.3.3 原标准第 21 条规定，人工骨料原料料场勘探参照石料有关规定进行。据调查的 32 个勘探料场资料，普查级别一般只进行了剖面测绘，个别进行了少量勘探；初查级别的平均勘探网（点）间距为 175m～267m；详查级别的平均勘探网（点）间距为 85m～190m。统计资料表明人工骨料料场的勘探比块石料料场勘探网（点）密度要大，本标准规定人工骨料勘探网（点）间距应符合表 7.3.3 的规定。

可溶岩地区喀斯特发育强度对储量和开采施工的难度均有影响，在有条件时，应尽量避免选用喀斯特发育的地段作为料场；无法避免时，应进行专门论证。本条强调在喀斯特地区进行石料场勘探时，应特别重视其喀斯特发育强度和剔除量。

7.3.4 原标准第 21 条规定，人工骨料原料料场勘探与取样参照石料有关规定进行，即初查时只取少量试样，无具体数量规定，不便操作。为满足初步查明并初步评价料场材料质量的要求，本条规定初查时应对代表性岩性进行取样，并增加了试样组数要求，目的是不致于在详查时出现大的反复。本条对人工骨料详查时取样也作了具体规定：岩石碱活性试验取样宜以钻孔岩心为主，如有已开采的采石场时，亦可在采石场开挖坡面取样。为使取样能代表整个开采区中各个开采层，规定采用全孔分层取样，以防漏判、错判。

7.3.5 本条规定了人工骨料试验项目要求。

原标准第 21 条规定人工骨料取样试验项目除同石料的以外，还应增加比表面积和颗粒形态两项试验。由于这两项试验应为轧制后的试验项目，故本标准删除了这两项试验。规定除做人工骨料原岩物理力学性质试验外，应特别重视岩石矿物、化学成分鉴定；如有碱活性成分时，应取样送有资质的试验单位进行碱活性

试验。对于具碱硅酸盐活性反应的骨料，可采用低碱水泥并添加一定比例的粉煤灰等，是抑制碱骨料反应的主要措施。如从经济考虑，或选择其他料源困难需采用碱活性骨料，应通过抑制骨料碱活性效能试验和抑制骨料碱活性反应的试验研究进行专门论证。

鉴于半个多世纪以来碱活性骨料反映在世界各地造成混凝土工程的严重破坏，部分工程因石料存在潜在危害性碱活性反应而不得不放弃运距较近的料场。例如：美国的布克坝建成 10 年后发生了较严重的碱骨料反应；加拿大魁北克省的博赫尔洛依斯水电站建成 10 余年以后陆续发现坝体因碱骨料反应而出现严重的地图状开裂，并导致坝体各部位发生不同程度的位移；向家坝水电站运距较近的雷口坡组 T_2^2 灰岩料场中，含泥云质泥晶灰岩、泥质泥晶云灰岩、泥晶云灰岩等，试验证明其存在碱碳酸盐活性反应，且不能进行有效抑制，不得不放弃，而选择运距较远的非碱活性的灰岩骨料料源。骨料的碱活性反应问题已引起了国内外工程技术人员的高度重视，目前国内外尚无有效抑制碱碳酸盐活性反应的方法。因此，本标准规定在料场初查时就应鉴定是否含有碱活性成分，并对含碱活性岩石的危害性研究作了具体规定。对于大型工程，除岩相法和化学法外，还应开展其他方法的碱活性试验；中型工程岩相法和化学法检验无碱活性成分时，可不再进行其他碱活性试验。

含碱活性岩石危害性的研究方法应采用岩相法，即野外鉴定出含碱活性成分岩石的种类，经磨片镜鉴确定骨料中是否具有碱活性成分；若有碱活性成分时，应进一步依序采用化学法或砂浆棒快速法、砂浆长度法或岩石圆柱体法、混凝土棱柱体法鉴定。这些检验方法引自 DL/T 5151—2001《水工混凝土砂石骨料试验规程》。岩石圆柱体法适用于碳酸盐岩骨料。

1）化学法：是取一定量的骨料和一定浓度的氢氧化钠反应，在规定条件下测定溶出的二氧化硅浓度（S_c）及

溶液的碱度降低值（R_c），以此判断骨料是否具有碱活性。当 $R_c>0.070$ 并 $S_c>R_c$，或者 $R_c<0.070$ 而 $S_c>(35+R_c/2)$ 时，试件可评为具有潜在危害反应，但不作为最后结论，还需进行砂浆长度法试验。本方法适用于含碳酸盐的骨料，也不能鉴定由于微晶石英或变形石英所导致的众多慢膨胀的骨料。

2）砂浆棒快速法：适用于潜在有害的碱—硅酸反应，尤其适用于检验反应缓慢或只在后期才产生膨胀的骨料。其方法是将石料破碎成规定的级配，按规定的砂浆配合比制成砂浆棒试件，测量基准长度后，将试件浸泡在 1mol/L 氢氧化钠溶液中，分 3d、7d、14d 分别测量试件长度。砂浆试件 14d 的膨胀率小于 0.1%，则骨料为非活性骨料；14d 的膨胀率大于 0.2%，则骨料为具有潜在危害性反应的活性骨料；14d 的膨胀率在 0.1%～0.2%之间时，需结合现场记录、岩相分析，或开展其他的辅助试验，或根据试件观测的时间延至 28d 的测试结果等进行综合评定。

3）砂浆长度法：是将石料样品破碎成不同粒径的砂，按规定质量百分比制成一定规格的砂浆试件，按规定温、湿度进行养护，按规定龄期测定其长度。当砂浆半年膨胀率低于 0.1%，或 3 个月膨胀率低于 0.05%（无半年膨胀率资料时才有效）时，则判为无潜在危害，否则判别为具有潜在危害性活性骨料。本方法适用于碱骨料反应较快的碱—硅酸盐反应和碱—硅酸反应，不适用于碱—碳酸盐反应。

碳酸盐岩产生碱活性反应通常具备三个方面的特征：① 有独特的结构，即细小的白云石晶体晶粒一般为 50μm，分散在更细粒的方解石和黏土矿物的基质中；② 有特定的矿物组成和成分；③ 含有一定数量的酸不溶残渣，其含量为 5%～25%。质地纯正

的石灰岩、白云岩是没有碱活性的。

4）岩石圆柱体法：适用于碳酸盐碱活性反应。其方法是在同块岩石具有不同岩性的方向上（岩石层理不清时，在三个相互垂直的方向上）各取一个试件，将试件加工成直径 9mm±1mm、长 35mm±5mm 的圆柱体，放入蒸馏水中恒温浸泡，测定试件基准长度，然后将测完基长的试件浸入 1mol/L 氢氧化钠溶液中，定期测量试样的长度。当浸泡 84d，试样的膨胀率大于 0.1%时，则判为具有潜在碱活性危害，不宜作为混凝土骨料。必要时应以混凝土试验作最后评定。

5）混凝土棱柱体法：适用于碱—硅酸反应和碱—碳酸盐反应。其方法是将石料样品破碎成一定级配的粗、细骨料，按粗细骨料的质量比 6:4、水灰比 0.42～0.45，通过外加 NaOH 溶液使水泥含碱量达到 1.25%，将试验所用材料制成 75mm×75mm×275mm 的混凝土棱柱体。以测定基准长度后算起，测量龄期为 1 周、2 周、4 周、8 周、13 周、18 周、26 周、39 周和 52 周的试件长度，以后半年测一次，测量的同时应观察试件有无裂缝、变形、渗出物及反应物等。当试件一年的膨胀率等于或大于 0.04%时，则判定为具有潜在危害性反应的活性骨料；膨胀率小于 0.04%，则判定为非活性骨料。

7.3.6 本条规定了人工骨料的质量技术要求。

由于高混凝土坝的修建，高强度等级混凝土的使用愈来愈多，对骨料的要求也更高，本标准补充了高强度等级和有特殊要求的混凝土用人工骨料，岩石单轴饱和抗压强度应按设计要求确定的规定。根据有关规范规定和工程实际经验，岩石单轴饱和抗压强度一般应大于 1.5 倍混凝土强度。

本标准所指的人工砂石粉含量是粒径小于 0.158mm 的颗粒

（即极度细砂、粉粒和黏粒）含量。通过调查已建和在建的 14 个水电站人工骨料使用情况，人工砂石粉含量和细度模数见表 13。其中石粉含量最小值为 6%，最大值为 20%；细度模数最小值为 2.5，最大值为 3.51。我国现行标准中 DL/T 5144—2001《水工混凝土施工规范》规定：人工砂石粉含量宜为 16%～18%、细度模数宜为 2.4～2.8。DL/T 5112—2000《水工碾压混凝土施工规范》规定：人工砂石粉含量宜为 10%～22%、细度模数宜为 2.2～2.9。

表 13　国内部分工程人工轧制混凝土细骨料（砂）细度模数、石粉含量统计表

工程名称	工程阶段	坝　型	坝高 m	细度模数	石粉含量 %
天荒坪	已建	上库：土石坝	72	2.69～2.88	11～19.4
		下库：面板堆石坝	92		
周公宅	已建	混凝土拱坝	126	2.82	12
碗米坡	已建	混凝土重力坝	75	2.85	13.65
五强溪	已建	混凝土重力坝	85.83	2.57	16.3
向家坝	施工前期	混凝土重力坝	161	2.82	11.75
溪洛渡	在建	混凝土拱坝	278	3.37～3.51	6.3～6.4
漫　湾	已建	混凝土重力坝	132	2.91	10.3
大朝山	已建	混凝土重力坝	120.5	2.87	8.9
				2.96～3.0	9～10
小　湾	在建	混凝土拱坝	292	2.90～2.91	12.28～12.48
天生桥一级	已建	面板堆石坝	180	2.71	17.1
东　风	已建	混凝土拱坝	163	2.7±0.2	12±2
龙滩	在建	碾压混凝土重力坝	192/216	2.5～2.8	16～20
三板溪	已建	面板堆石坝	185.5	2.76～2.83	10.0～13.5
乌江渡	已建	拱型混凝土重力坝	165	2.70～2.85	7.0～10.0

骨料的坚固性是指在气候、环境变化或其他物理因素作用下

抵抗破碎的能力，用采用硫酸钠溶液法 5 次循环后的质量损失率来表示。根据 GB/T 14685—2001《建筑用卵石、碎石》的规定，对于有抗冻、抗疲劳、抗冲磨要求或处于水中含腐蚀介质并经常处于变化区的混凝土，环境条件和使用条件较恶劣，坚固性要求较高，细骨料质量损失率不应大于 8%，其他条件下的混凝土细骨料质量损失率不应大于 10%；有抗冻要求，水位变化区和有腐蚀性介质作用下的混凝土，所使用的碎石或卵石的坚固性质量损失率不大于 5%，其他混凝土不大于 12%。

7.4 开挖石料（渣料）

7.4.1～7.4.3 充分利用枢纽建筑物开挖石料，不仅有利于降低工程造价，也有利于减少环境污染。我国近期完建的天生桥一级、广蓄上库、十三陵上库、天荒坪下库等混凝土面板堆石坝，凤滩扩机、广蓄下库、大朝山等工程混凝土人工骨料，都大量或部分利用了工程开挖石料，这是降低工程造价、减小环境影响、保证工程进度的重要途径。为查明工程开挖石料的可利用数量和材料质量，本标准规定应在枢纽建筑物勘察基础上按料场要求进行补充勘探和试验，并符合相应用途料的各阶段勘察精度要求。鉴于工程开挖石料用途不同，其质量技术要求亦不一样，本标准规定应符合相应用途料的质量技术要求。

7.4.4 工程设计开挖量中包括了不符合石料质量技术要求的部分，此外，开挖、运输和堆存等亦均存在一定的损耗。因此，本标准规定开挖石料（渣料）有效储量按设计开挖量中的可利用部分考虑，即应扣除不符合石料质量技术要求的部分，以及因开挖、运输和堆存等的损耗部分。

7.5 混凝土天然掺合料

本节是修订过程中新增的内容。

混凝土天然掺合料按成因不同可分为人工（如煤矸石、烧黏

土、烧页岩、粉煤灰、磷矿渣、铁矿渣等）和天然两类。混凝土天然掺合料磨成的细粉，按其掺入混凝土中的作用可分为：惰性（无活性）天然掺合料，如石灰岩、白云岩等，它们与水泥不起化学作用，属充填性天然掺合料，其主要作用是增加混凝土的和易性；活性天然掺合料，如火山灰、凝灰岩、火山碎屑岩、浮石、硅藻土和硅藻岩等，统称为火山灰质混合材料，属含有活性氧化硅（SiO_2）和氧化铝（Al_2O_3）为主要成分的天然矿物质材料，本身磨细加水拌匀不硬化，但在常温下与水泥及水混合能够发生水化反应，生成具有水硬性的化合物，因而可以改善混凝土的性能。对于混凝土掺合料，据报道国外已有用无活性岩粉的工程实例。我国云南澜沧江景洪水电站拟采用石灰岩粉与锰铁矿渣作为碾压混凝土的双掺合料。国内现多采用可作为胶凝材料的活性掺合料。混凝土天然掺合料的掺量由混凝土掺料试验确定。

GB 50287—1999 中第 5.9.1.1 款规定“应进行天然建筑材料详查。当需要时，应进行混凝土天然掺合料调查”。可见该规范中对天然建筑材料（此处是指砂砾料、土料和石料）的勘探精度要求很高，唯独对混凝土天然掺合料勘探精度要求甚低。而原标准则根本未提及。由于混凝土天然掺合料具有可减少混凝土水化热、抑制碱骨料反应、节约水泥、降低成本等诸多优点，故 20 世纪 80 年代初以来，云南省的大、中型水电站工程勘察设计，只要涉及混凝土的坝型，均要求进行混凝土天然掺合料勘察。为满足设计要求，以往是比照原标准中的土料和砂砾料勘察及 GB 2847—1981《用于水泥中的火山灰质混合材料》的质量技术要求进行天然掺合料的勘察、试验和质量评价的。本标准“混凝土天然掺合料”勘察的条文，是在总结以往勘探、试验、评价的基础上制订的。

7.5.3　混凝土的活性天然掺合料，不但有各种坚硬岩石～土状全风化层，还有其他黏、粉土（如硅藻土）等，所以要求勘探点地质编录时，应对岩石和土分别进行描述。

7.5.6　用于水泥中的活性天然火山灰质混合材料，GB 2847—

1981 规定：火山灰性必须合格；28d 水泥胶砂抗压强度比≥62%；SO_3（有害成分）含量<3%。用其作为混凝土的活性天然掺合料时符合上列前两项指标者，称为混凝土活性天然掺合料；反之，称为混凝土弱活性天然掺合料。目前用于混凝土中的活性天然掺合料尚无现行评定标准，主要参照 GB 2847—1981 中的技术要求进行品质鉴定。

由于已成功利用火山灰性不合格、28d 水泥胶砂抗压强度比只有 54%的云县棉花地料场弱活性凝灰质粉砂岩加工的岩粉作为混凝土掺合料（经试验论证后的质量控制指标详见表 14）浇筑的漫湾水电站混凝土重力坝已安全运行十多年，说明弱活性混凝土天然掺合料能满足大型水电站大坝混凝土设计指标要求。由于工程实例较少，在本次修订过程中，主要借鉴了漫湾水电站工程已使用的弱活性天然掺合料的质量指标，制订了天然掺合料的质量技术要求，并在表 B.17 中，水泥生产需满足的指标，水泥胶砂 28d 抗压强度比≥62%和火山灰性必须合格的后面分别加上“或应满足设计要求”的规定。

表 14　凝灰质粉砂岩掺合料的质量控制指标　　（%）

SO_3	MgO	$SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$	烧失量	含水率	细度	胶砂抗压强度比
≤3	≤5	≥70	≤10	≤3	≤10	≥54（28d）

以往多勘察活性天然掺合料作为混凝土掺合料，经 16 个活性天然掺合料料场资料统计，火山灰和多孔状浮石的火山灰性试验基本合格，水泥胶砂 28d 抗压强度比多≥62%，为活性天然掺合料，质量较好，但目前仅水泥生产厂家使用，尚无工程现场应用的实例；流纹岩、火山碎屑岩、凝灰岩、凝灰质粉砂岩、变质凝灰岩等，火山灰性试验大多不合格，水泥砂胶 28d 抗压强度比一般在 33.8%～62%间（多>40%），胶砂抗压强度比较低，表明掺合料的质量较差。目前少数工程中使用过（漫湾水电站大坝浇筑

的混凝土为单掺，掺量 20%左右；大朝山水电站碾压混凝土则用其与磷矿渣作双掺料）。绝大多数弱活性天然掺合料尚未有工程中应用的先例和经验。此类材料质量差异较大，其可掺性及掺量应经混凝土掺料试验论证后，本着技术上可靠、经济上合理的原则确定。

一般认为，能用作人工骨料的石灰岩和白云岩，也可作为混凝土无活性天然掺合料。

7.5.7 混凝土天然掺合料的活性试验简介如下：

1 火山灰性试验（方法及判定标准详见 GB 2847—1981 附录 A）：把掺 30%活性天然掺合料的水泥试样放入蒸馏水中，在 40℃恒温中放置 7d 后，测定滤液氧化钙含量与总碱度值，试验结果在火山灰活性图上判断活性天然掺合料的火山灰是否合格。若试验点落在图中曲线上方，则认为活性天然掺合料的火山灰性不合格，可延至 14d 后检测判定；若试验点落在图中曲线下方，则认为活性天然掺合料的火山灰性仍然合格。火山灰性试验指示了掺入水泥中的活性天然掺合料的活性成分是否足够与硅酸盐水泥中放出的石灰相化合。

2 水泥胶砂 28d 抗压强度比试验（方法详见 GB 2847—1981 附录 B）：试验样品由 162g（30%）活性天然掺合料，378g（70%）硅酸盐水泥和 1350g 标准砂组成。对比样品由 540g 硅酸盐水泥和 1350g 标准砂组成。分别测定试验样品的 28d 抗压强度 R_1 和对比样品的 28d 抗压强度 R_2。抗压强度比（R%）按下式计算

$$R\%=R_1/R_2\times100\%$$

按附录 E 中表 E.1 的规定评价混凝土天然掺合料的活性。