

P59

备案号: J91—2001

DL

中华人民共和国电力行业标准

P

DL/T 5129—2001

碾压式土石坝施工规范

**Specifications for rolled
earth—rockfill dam construction**

2001—02—12 发布

2001—07—01 实施

中华人民共和国国家经济贸易委员会 发布



中华人民共和国电力行业标准

P

DL/T 5129—2001

碾压式土石坝施工规范

**Specifications for rolled
earth—rockfill dam construction**

主编单位：中国水利水电科学研究院

批准部门：中华人民共和国国家经济贸易委员会

批准文号：国经贸电力〔2001〕125号

前 言

本标准是根据原电力工业部科技司技综 [1996] 40 号文“关于下达 1996 年制定、修订电力行业标准计划项目（第一批）的通知”的要求进行修订的。

原水利电力部曾于 1958 年颁发《碾压式土坝暂行施工技术规范》，并于 1962 年修订颁发，1983 年再次修订颁发 SDJ213—1983《碾压式土石坝施工技术规范》。十余年来，我国土石坝建设有很大发展，工程规模和技术难度都居世界前列，施工综合机械化方面有长足的进步，工程的管理体制也已改革。本标准修订的目的在于总结施工中的经验，使其适应当前的技术进展和体制改革的需要，并代替 SDJ213—1983。

这次修订的主要内容有：强化现代综合机械化施工的内容，淡化人力施工的内容；适应扩大筑坝材料使用范围的新进展，增加堆石料、砾石土风化料防渗体、建筑物开挖渣料等料物施工要求的内容；压实机具方面，突出振动碾的作用及应用经验；补充土工合成材料等新材料的应用；补充施工质量检验的新技术；补充条文说明。

混凝土面板堆石坝和沥青混凝土防渗土石坝的施工都有专门标准，应与本标准配套使用。

本标准的附录 A、附录 B、附录 C、附录 D 都是标准的附录。

本标准归口单位：电力行业水电施工标准化技术委员会

本标准主编单位：中国水利水电科学研究院

本标准参编单位：中国水利水电第五工程局、中国水利水电第十四工程局、陕西省水电工程局、南京水利科学研究院。

本标准主要起草人：蒋国澄、刘令瑶、柏树田、杜永明、
庄德威、苗树英、司洪洋、金诚和、
周晓光

本标准由电力行业水电施工标准化技术委员会负责解释。

目 次

前言

1 范围	6
2 引用标准	7
3 总则	8
4 测量	9
5 导流与度汛	12
6 坝基与岸坡处理	15
7 坝料复查与使用规划	18
8 施工试验与坝料加工	23
9 坝料的开采与运输	26
10 填筑	30
11 结合部位处理	37
12 反滤排水设施与护坡	39
13 安全监测	42
14 施工质量控制	44
附录 A (标准的附录) 坝料加工处理	50
附录 B (标准的附录) 碾压试验	53
附录 C (标准的附录) 压实质量检验与管理	58
附录 D (标准的附录) 本标准的用词说明	70

1 范 围

本标准给出了碾压式土石坝施工的技术要求和安全监测、质量控制等内容。

本标准适用于1、2、3级碾压式土石坝的施工，4、5级土石坝应参照执行。坝高超过70m的碾压式土石坝，不论等级均应按本标准执行。

对于200m以上的高坝及特别重要和复杂的工程应作专门研究。

2 引用标准

下列标准所包含的条文，通过在本标准中引用而构成为本标准的条文。本标准出版时，所示版本均为有效。所有标准都会被修订，使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

- GB6722—1986 爆破安全规程
- GB50201—1994 防洪标准
- GB50290—1998 土工合成材料应用技术规范
- DL/T5128—2001 混凝土面板堆石坝施工规范
- SD220—1987 土石坝碾压式沥青混凝土防渗墙施工规范
- SDJ12—1978 水利水电枢纽工程等级划分及设计标准（山区、丘陵区部分）
- SDJ17—1978 水利水电工程天然建筑材料勘察规程
- SDJ217—1987 水利水电枢纽工程等级划分及设计标准（平原、滨海部分）（试行）
- SDJ218—1984 碾压式土石坝设计规范
- SDJ336—1989 混凝土大坝安全观测技术规范
- SDJ338—1989 水利水电工程施工组织设计规范（试行）
- SL52—1993 水利水电工程施工测量规范
- SL60—1994 土石坝安全监测技术规范
- SL62—1994 水工建筑物水泥灌浆施工技术规范
- SL169—1996 土石坝安全监测资料整编规程
- SL174—1996 水利水电工程混凝土防渗墙施工技术规范
- SL237—1999 土工试验规程

3 总 则

- 3.0.1** 为了反映近年来土石坝施工技术的重大进展，对 SDJ213—83《碾压式土石坝施工技术规范》进行修订，以适应当前土石坝建筑的需要。
- 3.0.2** 土石坝的级别应按照 GB50201、SDJ12、SDJ217 中的有关规定确定。
- 3.0.3** 本标准按 SDJ218 的规定按坝高划分为高、中、低坝。
- 3.0.4** 施工单位应根据合同文件、监理工程师签发的施工图纸，本标准及有关现行标准，编制施工组织设计和施工技术措施，报监理工程师审批后，作为组织施工的依据。
- 3.0.5** 应积极推广使用通过试验和鉴定的各项新技术、新工艺、新材料、新设备。
- 3.0.6** 应根据工程规模、进度和质量等要求，结合具体情况，选择适应的机型，尽量使其配套成龙，提高机械化施工水平，并应加强机械设备的管理和维修，使其保持良好的状态。
- 3.0.7** 土石坝施工除应符合本标准外，尚应符合现行国家和行业标准的规定。

4 测 量

4.0.1 开工前，在监理工程师主持下，勘测设计单位应将勘测设计阶段引用和测设的**平面控制点**、高程控制点、主要建筑物轴线方向桩和起点、坝址附近地形图等有关测量资料向施工单位交底，现场交接各类控制点，并对坝区原设控制点进行复查和校测，并补充不足或丢失部分。原测量控制网精度不符合本标准要求，或妨碍建筑物施工以及受爆破震动影响，均应重新测设施工控制网。

4.0.2 根据勘测阶段的控制点成果，施工单位须建立满足施工需要的坝区施工控制网，对三等以上精度的控制网点以及坝轴线标志点，应设置强制归心观测墩，并应报请监理工程师复测审核。施工控制网以坝体控制为主，同时须满足重要建筑物的控制要求。

在坝轴线两端、坝体以外，不受施工、滑坡或爆破等影响的适当地点，测设永久性标石，并标明桩号，架设标架。

4.0.3 平面控制的测设精度规定如下：坝轴线长度大于等于500m的1、2级坝首级控制网应符合三等测角网精度要求，坝轴线、副线应符合四等测角网精度要求，坝轴线长度小于500m的1、2级坝以及3级坝，其首级控制网应符合四等测角网精度要求，坝轴线、副线的测设应符合五等测角网精度要求；4、5级坝可按五等测角网精度要求。测角网可用相应等级的测边网、边角网代替。三、四、五等平面控制网，可用相应等级的导线网代替。各等级平面控制网主要技术要求应符合 SL52—1993 中表 2.2.4、表 2.2.6 和表 2.2.7 的规定。

4.0.4 首级高程控制的测设精度规定如下：1、2级坝应符合三等，3级坝应符合四等，4、5级坝应符合五等水准测量精度要求。高程控制网应与国家水准网相连接。各等级水准测量的主要

技术要求应符合 SL52—1993 中表 3.2.1 的规定。

4.0.5 高程控制测量可利用光电测距三角高程测量技术，结合平面控制测量，将平面控制网布设成三维控制网。替代三、四、五等水准的光电测距三角高程测量，可采用单向、对向和隔点设站法进行。

4.0.6 坝体周围设置的平面和高程控制点，必须分别编号，绘制平面图标示。控制点必须妥善保护，定期校核（每年可复测 1 次~2 次）。建网一年后或大规模土石开挖结束后，必须进行 1 次复测；发现控制点有位移迹象时，须及时复测。标桩破坏、遗失，应立即补设。若坝区遭受烈度 5 度以上地震时，对全测区的控制点应全面校测，并沿用原有编号，不得任意修改。

4.0.7 平面和高程控制点（包括观测用的起测基点和工作基点）的位置应符合下列要求：

- 1 在建筑物轮廓线以外，不妨碍施工，引测方便；
- 2 不会被水淹没的基岩、平地或平缓的坡地；
- 3 不受爆破、开挖施工影响和不发生崩塌、无岩溶影响、不风化破碎的岩石；
- 4 不发生隆起、沉降、蠕变和不受冻融影响的土层。

4.0.8 施工放样应以预加沉降量的土石坝断面为标准。

4.0.9 开工前，应施测坝基原始纵横断面，放定坝脚清基（考虑富裕宽度）及填筑起坡的边线。零点桩号从左岸开始，施工桩号应与设计采用的桩号一致。施测时，可按下列要求进行：

- 1 纵断面测量。沿轴线按设计图设置里程桩，一般宜用整数。桩距以 20m~50m 为宜。坝端岸坡、渐变段和地形变化较大地段，桩距可适当加密，并相应施测横断面。高坝或坝宽较大时，应加测平行坝轴线的纵断面。

- 2 横断面测量。施测范围以超出坝基（包括铺盖）上下游边线 20m~50m 为宜。如坝轴线为圆弧曲线，则横断面应为径向。

在坝体填筑过程中，必须对各种坝料进行测量放线，并将填

筑边线测量结果绘在断面图中。

横断面图比例尺，若供填筑坝体收方及作为竣工资料用，以**1:200 为宜；若为便于测边放桩**，则宜采用 1:500。

3 开始填筑前，应测绘清基地形图和横断面，按清基完成后的地形设填筑起坡桩。为防止填土时掩埋标桩，距清基边界桩和填筑起坡桩以外一定距离，可加引桩。

4 坝体削坡前应定出放样控制桩，削坡后应施测断面，并与相应的设计断面比较。

4.0.10 坝区开挖和坝体填筑施工过程中，应定期进行纵横断面进度测量，各类填筑料界限应加以区分，并将施测成果绘制成图表，应按 SL52—1993 中 5.3 及 6.4 计算出有效方量。

4.0.11 每个施工阶段结束时，宜测设坝址附近施工区域地形图一次，为下一阶段施工提供资料。

4.0.12 各项测量工作施工单位应有专人负责，监理工程师及时检查。坝区所设控制网点，须经校测检查无误后方可引用；施工过程中坝体各部放完的样桩，亦须不定期抽查，并加强管理，发现问题，应立即复测订正。

4.0.13 施工期间所有施工定线、进度、工程量、竣工等测量原始记录、计算成果和绘制的图表，特别是隐蔽工程的资料，均应及时整理、校核、分类、整编成册，妥为保存。一个合同项目的工程全部完工后，施工单位应负责将上述资料及地面控制网点全部移交监理工程师，监理工程师按合同（协议）要求，分期或一次移交给建设单位。

4.0.14 宜采用先进测量仪器。对测量仪器应及时维护保养，定期检验校正。

5 导流与度汛

5.1 一般规定

5.1.1 中、高坝施工期一般可分为初期导流、坝体施工期临时度汛及导流泄水建筑物封堵后坝体度汛三个阶段，导流建筑物等级划分及各阶段的洪水标准按 SDJ338 的有关规定执行。

5.1.2 施工导流、截流及度汛，施工单位应根据合同文件，制订施工技术措施，编制施工计划，报请监理工程师审批。

施工单位可对围堰结构和截流设计进行优化，报请监理工程师审批。

5.1.3 施工期间，必须保证导流建筑物和泄水建筑物的正常运用，加强水文、气象预报工作，并考虑非常情况下的临时处理措施，确保工程及下游地区安全。

5.2 施工导流

5.2.1 导流工程的施工必须按计划进行，特别是导流泄水建筑物和截流后无法继续施工的工程必须如期建成，并进行验收。

5.2.2 导流建筑物与永久建筑物相结合部分的施工应满足永久建筑物的设计要求。

5.2.3 采用原河床导流时，应尽量减少后期工程量，但不能过分束窄河面宽度，以防止河床下切过深和对纵向围堰的冲刷；如有通航要求，尚需满足航运条件。

截水槽回填或防渗墙完成后，如需在其上导流，应有保护措施。

5.2.4 导流泄水建筑物的进出口与截流围堰之间应有足够的距离。布置在导流泄水建筑物出口附近的施工临时设施亦应有足够的防冲安全距离和设防高程。

5.2.5 在围堰地基和两岸接头范围内，不得任意堆放弃渣。应做

好围堰地基处理，保证围堰填筑质量。

5.2.6 采用隧洞、涵管或明槽导流时，必须防止被木料、冰凌等漂浮物堵塞；过水前应将上游可能被冲走的临时排架、电杆等一律拆除。

5.2.7 导流建筑物过水部分的开挖与衬砌，必须保证体型、平整度、高程和断面尺寸符合设计要求，确保分流和避免截流时增大落差，并避免水流对导流建筑物的破坏。

5.3 截 流

5.3.1 截流前必须将位于分流工程内的临时围堰全部拆除至规定高程，不得欠挖。

5.3.2 截流时刻的选择，取决于围堰、导流建筑物和库内工程的施工进度以及水文、气象等因素，考虑围堰或坝体有足够的施工时间，保证能在汛前达到安全度汛高程。

5.3.3 截流方法、龙口位置及宽度的选择，应根据截流流量综合考虑河床冲刷性能、地形、施工条件等因素予以确定。对难度较大的截流工程，应进行水力学模型试验。

5.3.4 应建立统一的截流指挥机构，按批准的计划组织截流。截流前，应对有关工程及准备工作进行验收。对宽河床应进行预进占，以形成截流龙口，减少截流工程量。

5.3.5 截流抛投料物的准备应有充分的备用量。截流开始后应快速连续施工。合龙过程中随时测量龙口水力特征值，适时改换抛投料物种类、强度和改进抛投技术，使能在计划时间内顺利合龙，并保证龙口段上升速度高于上游水位上升速度，并预留安全超高。合龙后，应对戗体及时加高、培厚和闭气。

5.4 度 汛

5.4.1 截流后，应控制工程进度，保证围堰和大坝在汛前达到度汛要求。

5.4.2 各年汛前，应根据确定的当年度汛洪水标准，制定度汛技

术措施，并于汛前逐项检查落实。

5.4.3 大坝施工期间，必须保证按照施工总进度要求，达到**度汛的形象面貌**，严禁降低度汛安全标准。

5.4.4 坝体施工期，汛前需按临时断面填筑时，其断面应有正式设计，并满足安全超高、稳定、防渗及顶部宽度能适应抢筑子围堰等要求。临时断面的坝坡必要时应作适当防护。

5.4.5 施工期间，当遭遇非常洪水、大坝或泄洪设施的技术状况恶化、使工程的安全受到威胁时，必须及时向上级防汛机构准确报告险情，并提出紧急处理措施，进行紧急处理。

5.4.6 当封堵导流泄水建筑物时，应审慎确定封堵时间。封堵前应对包括土石坝在内的全部枢纽建筑物的水下部分（包括导流建筑物）进行蓄水安全鉴定和中间验收。制订封堵的施工方案与技术措施，报请监理工程师批准。封堵应严格按设计要求进行，保证施工质量。

5.4.7 在坝区内，应根据施工期间降雨强度及地基的可能渗漏量，建立排水系统，以保证及时排水。

6 坝基与岸坡处理

6.0.1 坝基与岸坡处理工程为隐蔽工程，必须按设计要求并遵循有关规定**认真施工**。

6.0.2 施工单位应根据合同技术条款要求以及有关规定，充分研究工程地质和水文地质资料，制定相应的技术措施或作业指导书，报监理工程师批准后实施。

6.0.3 清理坝基、岸坡和铺盖地基时，应将树木、草皮、树根、乱石、坟墓以及各种建筑物等全部清除，并认真做好水井、泉眼、地道、洞穴等处理。

坝基和岸坡表层的粉土、细砂、淤泥、腐殖土、泥炭等均应按设计要求和有关规定清除。对于风化岩石、坡积物、残积物、滑坡体等应按设计要求和有关规定处理。

6.0.4 坝区范围内的地质勘测孔、竖井、平洞、试坑等均应按图逐一检查处理，并经监理工程师主持验收，记录备查。

6.0.5 坝肩岸坡的开挖清理工作，宜自上而下一次完成。对于高坝可分阶段进行，但应提出保证质量和不影响工期的措施。清除出的废料，应全部运到坝外指定场地。

6.0.6 凡坝基和岸坡易风化、易崩解的岩石和土层，开挖后不能及时回填者，应留保护层，或喷水泥砂浆或喷混凝土保护。

6.0.7 坝基与岸坡处理和验收过程中，应系统地进行地质描绘、编录，必要时进行摄影、录像和取样、试验。

对于非岩石坝基，应布置方格网（边长 50m~100m），在每个角点取样，检验深度一般应深入清基表面 1m。若方格网中土层不同，亦应取样。对地质情况复杂的坝基，应加密布点取样检验。

6.0.8 坝基和岸坡处理过程中，如发现新的地质问题或检验结果与勘探有较大出入时，应报监理工程师。

6.0.9 设置在岩石地基上的防渗体、反滤和均质坝体与岩石岸坡接合，必须采用斜面联接，不得有台阶、急剧变坡，更不得有反坡。岩石岸坡开挖清理后的坡度，应符合设计要求。对于局部凹坑、反坡以及不平顺岩面，可用混凝土填平补齐，使其达到设计坡度。

非黏性土的坝壳与岸坡接合，亦不得有反坡，清理坡度按设计规定进行。

6.0.10 防渗体部位的坝基、岸坡岩面开挖，应采用预裂、光面等控制爆破法，使开挖面基本上平顺。严禁采用洞室、药壶爆破法施工。

必要时可预留保护层，在开始填筑前清除。

6.0.11 防渗体和反滤过渡区部位的坝基和岸坡岩面的处理，包括断层、破碎带以及裂隙等处理，尤其是顺河方向的断层、破碎带必须按设计要求作业，不留后患。

6.0.12 对高坝防渗体与坝基及岸坡结合面，设置有混凝土盖板时，宜在填土前自下而上一次浇筑完成。如与防渗体平行施工时，不得影响基础灌浆和防渗体的施工工期。应做好防裂止水，对出现的裂缝应做好补强封闭处理。

6.0.13 灌浆法处理地基时，水泥灌浆应按照 SL62 进行，化学灌浆可参照该标准进行。灌浆工作除进行室内必要的灌浆材料性能试验外，必须在施工现场进行灌浆试验，以确定施工工艺及灌浆技术参数，并通过检查孔以论证灌浆效果。

砂砾石层灌浆处理后，应清除表层至灌浆合格处，方可与防渗体或截水墙相连接。

6.0.14 所有灌浆工作，应与水库蓄水过程相协调。

6.0.15 砂砾类坝基明挖截水槽时，应遵守下列规定：

1 开挖断面应符合设计要求，并满足施工排水的需要。

2 开挖、填筑过程中，必须排除地下水与地表径流。应配备足够的排水设备，并保证排水的电力供应。为使排水计算尽可能接近实际，必要时可对地层渗透系数值进行复查。

3 排水时应防止地基和基坑边坡的渗透破坏。

6.0.16 防渗体如与基岩直接结合时，岩石上的裂隙水、泉眼渗水均应处理。填土必须在无水岩面进行，严禁水下填土。

6.0.17 插入防渗体内的现浇混凝土防渗墙与水下浇筑的墙体，必须结合良好，混凝土墙体的缺陷必须处理。

6.0.18 人工铺盖的地基按设计要求清理，表面应平整压实。砂砾石地基上，必须按设计要求做好反滤过渡层。

6.0.19 利用天然土层作铺盖时，应按设计要求复查土的物理性质、渗透系数、渗透稳定性，对厚度、长度、分布是否连续，以及根孔结构等亦应查明。凡不能满足设计要求的地段，应采取补强措施或做人工铺盖。

凡已确定为天然铺盖的区域，严禁取土，施工期间应予保护，不得破坏。

6.0.20 人工或天然铺盖的表面均应根据设计要求设置保护层，以防干裂、冻裂及冲刷。

6.0.21 天然黏性土作为坝基和岸坡时，应根据设计要求进行清理和处理。

天然黏性土岸坡的开挖坡度，应符合设计规定。必要时可预留保护层，在开始填筑前清除。

6.0.22 坝基中软黏土、湿陷性黄土、软弱夹层、中细砂层、膨胀土、岩溶构造等，应按设计要求进行处理。

6.0.23 混凝土防渗墙施工，应遵守 SL174 的规定。对于大型工程和特殊地层构造的工程，应进行施工试验，以确定施工工艺、技术参数和施工设备。

6.0.24 有关岩石锚固、地基振冲、强夯加固、高压喷射灌浆等施工，均应按有关标准执行，并进行必要的现场试验。

7 坝料复查与使用规划

7.1 坝料复查

7.1.1 施工单位对勘测设计单位所提供的各料场勘察报告和可资利用的枢纽建筑物开挖料的调查试验资料应进行核查。对合同文件中选定的各种料源的储量和质量，应辅以适量的坑探和钻孔取样复核。如达不到 SDJ17 的要求时，应及时报告监理工程师。

7.1.2 施工期间如发现有更合适的料场可供使用，或因设计施工方案变更，需要开辟料源或扩大料源时，应进行补充调查。其调查、试验的项目和精度应符合 SDJ17 详查级的有关规定。

7.1.3 料源复查的内容如下：

1 覆盖层或剥离层厚度、料层的地质变化及夹层的分布情况。

2 料源的分布、开采及运输条件。

3 料源的水文地质条件与汛期水位的关系。

4 根据料场的施工场面、地下水位、地质情况、施工方法及施工机械可能开采的深度等因素，复查料场的开采范围、占地面积、弃料数量以及可用料层厚度和有效储量。

5 进行必要的室内和现场试验，核实坝料的物理力学性质及压实特性。

7.1.4 对枢纽建筑物开挖料的复查或补充调查工作，应根据材料可能填筑的顺序，在开始填筑前完成。其复查内容如下：

1 可供利用的开挖料的分布、运输及堆存回采条件。

2 根据枢纽工程的地质、地形条件，复查主要可供利用的建筑物开挖料的工程特性。

3 复查有效挖方的利用率。

7.1.5 黏性土、砾质土的复查要求：

1 重点复查天然含水率及其随季节的变化情况、颗粒组成

(砾质土应复查大于 5mm 的粗颗粒含量和性质)、土层情况、储量、覆盖层厚度和可开采土层的厚度。

2 压实特性，即最大干密度、最优含水率、砾质土的破碎率。

3 物理力学性质，如天然干密度、比重、液塑限、压缩性、渗透性、抗剪强度等。

4 复查方法：黏性土采用手摇钻或坑探取样；砾质土用坑探取样。布孔间距一般为 50m~100m。沿钻孔或坑深每 1m 应测定含水率一组，并同时鉴定土质和现场描述。对其他复查项目可在坑内取代表样进行试验。

对宽级配砾质土可按地层情况，分别采用混合取样和分层取样，以了解砾质土在粗细级配范围内的物理力学性质变化情况。

5 当土料黏粒含量偏大或含水率偏高时，宜补充进行必要的现场碾压试验，判定土料的施工性能。

7.1.6 软岩、风化料场应复查风化土层岩性变化情况、料场范围、可利用风化层的厚度、料场储量。应分层取样与沿不同深度混合取样，测定其在标准击实功能下的级配、小于 5mm 含量、最大干密度、最优含水率、渗透系数等，以了解软岩及风化料性质的变化情况以及用作防渗体或坝壳料的适宜性，确定风化料可开采深度，并通过现场碾压试验加以验证。

7.1.7 砂砾料场应复查级配、小于 5mm 含量、含泥量、最大粒径、淤泥和细砂夹层、胶结层、覆盖层厚度、料场的分布、水上与水下可开采的厚度、范围和储量以及与河水位变化（或汛期）的关系、天然干密度、最大与最小干密度等，并取少量代表样做比重、渗透系数、抗剪强度、抗渗比降等物理力学性能试验。

复查方法用坑探进行，方格网布点，坑距一般采用 50m~100m。

7.1.8 石料场应重点复查岩性、断层、节理和层理、强风化层厚度、软弱夹层分布、坡积物和剥离层及可用层的储量以及开采运输条件等。并取代表性试样进行物理力学特性试验。

复查方法可用钻孔、探洞或探槽进行。

7.1.9 天然反滤料场应重点复查颗粒级配、含泥量、**软弱颗粒含量、颗粒形状**和成品率、淤泥和胶结层厚度、料场的分布与储量、天然干密度、最大与最小干密度等，并取少量代表样做比重、渗透系数、渗透破坏比降等性能试验。

对人工制备的反滤料场也应对其质量和数量进行复查。

7.1.10 对于已确定使用的每个料场，均应设置若干固定基桩，并在地形图上标明位置，作为料场规划、开采和补充调查的依据。

料场调查地形图的比例尺一般可采用 1/1000~1/2000，根据需要可适当放大或缩小。

7.1.11 施工前对料场的实际可开采的总量进行规划时，应考虑料场调查精度，料场天然密度与坝面压实密度的差值，以及开挖与运输、雨后坝面清理、坝面返工及削坡等损失。其与坝体填筑数量的比例一般为：土料 2.0~2.5（宽级配砾质土取上限）；砂砾料 1.5~2.0；水下砂砾料 2.0~2.5；石料 1.2~1.5；天然反滤料应根据筛取的有效方量确定，但一般不宜小于 3.0。

7.1.12 料场复查报告内容应包括料场地形图、试坑与钻孔平面图、地质剖面图（当地质情况简单时可省略）、含水率、地下水位随季节变化情况、试验分析成果、代表性坝料样品、有效开采面积、实际可开采数量的计算书、料场全部或部分坝料与建筑物可利用开挖料适用于填筑坝体某一部位的说明书与应否加工处理的结论，并说明开采和运输条件等。

7.2 坝料使用规划

7.2.1 坝料的使用规划，应根据坝型、料场地形、施工方法、导流方式和施工分期等具体条件，并按照施工方便、投资经济、保证质量、不占或少占耕地以及在施工期间各种坝料综合平衡的原则进行编制。

7.2.2 必须充分利用符合设计要求的建筑物开挖料；将符合设计

要求的各种坝料按不同施工阶段分别确定其填筑部位，使用时必须研究开挖、取料和填筑进度的配合及质量管理的措施。应提高开挖料直接上坝的比例。

7.2.3 在坝料使用程序上，应考虑建筑物开挖料、料场开采料与坝体填筑之间的相互关系，并考虑施工期间河水位与流量的变化以及由于导流而使上游水位升高的影响。在枯水季节可多用河滩料场。应有计划地保留一部分近坝料场供合龙段填筑和度汛拦洪的高峰填筑期使用。

7.2.4 在河道开采砂砾料时，开挖程序及时段安排应考虑河道泄洪顺畅及堤防安全。

7.2.5 宜根据料场高程、位置、填筑部位作统一规划，合理使用料场。减少过坝和交叉运输等造成的干扰。

7.2.6 填筑强度较高的土石坝，宜选择施工场面宽阔、料层厚、储量集中的大料场作为施工的主料场，其他料场配合使用，并考虑一定数量的备用料场。

7.2.7 根据总体布置要求，需在料场内布置施工场地、修建临时性建筑物时，应在施工组织设计及施工技术措施中统一考虑安排，但不得影响料场后续使用。

7.2.8 对黏性土、砾质土的使用规划，应优先选用土质均匀，含水率适当的料场，并考虑将天然含水率较高的料场用于干燥季节，天然含水率较低的料场用于多雨潮湿或低温季节。

7.2.9 对砂砾料的使用规划，应将筑坝料场及筛选混凝土骨料和反滤料场统一安排。料场需要进行水下开采时，应根据开挖设备的机械性能以及在汛期便于防洪和撤退等施工条件进行规划。

对筛余料应通过技术经济比较后作综合利用。

7.2.10 堆石料场应优先选用岩性单一，剥离层较少，开采和运输条件较好，施工干扰少的料场。

7.2.11 必须做好反滤料的料源规划，其数量和质量应有可靠保证，并应有储备。反滤料及过渡料宜在天然料场筛选，也可采用人工制备。

7.2.12 坝料规划应使用合同规定的坝料加工、储存和弃料场地。应分别设置弃料和可利用料的存放场地。可用料应根据地形条件分层存放或回采，严禁弃料随意堆放。

坝料加工与储存场地应做好排水。

8 施工试验与坝料加工

8.1 施 工 试 验

8.1.1 坝料施工试验的内容包括：复核设计**确定的有关技术指标**及施工工艺和各种参数，提出有关质量控制的技术要求和检验方法，制定有关的施工技术措施。必要时可提出修改或补充意见，报监理工程师审批。

8.1.2 施工试验的项目，一般有土料、砂砾料及石料的碾压试验；石料场的爆破试验；坝料加工试验；以及混凝土防渗墙、基础灌浆、坝基加固处理、排水减压井和其他施工试验。

8.1.3 1、2级坝和100m以上的高土石坝工程必须在主体工程开工前完成有关施工试验项目。

施工试验应编制试验大纲和试验计划，报请监理工程师批准后实施。

8.1.4 坝料的碾压试验应选择具有代表性的坝料在专门试验场进行。

碾压试验按附录B的规定进行。对特殊土石料，如砾质土、风化料、软岩料、红土等应制定专门的试验计划，进行施工试验。

堆石料碾压试验宜与堆石料爆破试验同时进行。

在碾压试验的复核试验中取一定数量的样品，进行物理力学性试验，与原试验室试验进行对比分析。

8.1.5 堆石料的爆破试验工作，应在具有代表性的料场进行。试验前应根据石料场的地质、地形条件和设计提出的堆石料块径与级配进行爆破设计。通过爆破试验选择最优的爆破方法和参数以及施工机械与火工材料。

每场爆破试验后，应测量爆破堆积的石料数量、级配和最大块径，并描绘堆积情况，以便判断爆破效果。

爆破试验时，必须严格遵守 GB6722 的规定。

8.1.6 砾质土、风化料应选择有代表性的区域进行开采工艺试验，测定土料级配和含水率情况，并以开采混合后的土料进行碾压试验，以优选开采工艺。

8.1.7 对于软岩堆石料，应选择有代表性的地段，进行开采工艺和碾压试验，确定开采工艺和填筑参数，测定压实后软岩料的级配、干密度和含水率，并宜按此在试验室做复核试验，测定各项特性指标。

8.1.8 采用人工掺合料的工程应根据室内试验成果，在现场进行掺合工艺和碾压试验，以确定掺合工艺、碾压机械、填筑方法和各种参数。

8.1.9 防渗土料的含水率高于或低于施工含水率的上下限值时，应按附录 A 提示的方法进行含水率调整的工艺试验。

8.2 坝料加工

8.2.1 坝料加工的目的是进行土石料含水率与级配的调整，以满足各种坝料的施工和设计要求。坝料加工的项目有黏性土含水率的调整、人工掺合料的制备、反滤料的筛选、砾质土和建筑物开挖料的加工处理等。

8.2.2 防渗土料的含水率调整工作应在坝外进行，调整方法按工艺试验成果确定。

8.2.3 砾质土的颗粒级配必须符合设计要求。其超径颗粒经碾压后仍不破碎的，少量的可在料场剔出，数量较多时应通过筛选。如细料不足时，可采用人工掺料方法进行调整。

8.2.4 人工掺合料的制备，必须编制工艺规程，一般采用粗细料按比例分层平铺，立面或斜面挖掘拌和均匀的方法。掺合级配应符合设计要求。配制过程中严格控制铺料厚度，并对含水率按规定予以调整。铺料时应使运料车辆始终在粗粒料上行驶，料堆顶层必须是土料。

人工掺合料配制的场地应设置排水系统，配制的料堆应采取

防雨措施。配制工作宜在旱季进行。

8.2.5 人工掺合料的加工场地与规模，应根据各期填筑需用量进行规划，配制工作应列入施工计划，以便与填筑工期相配合，掺合料应有一定的备用数量。

8.2.6 坝址附近缺少天然反滤材料时，应根据设计提出的各种反滤料的粒径要求，从砂砾料中筛选配制，也可用爆破块石料、地下洞室开挖渣料经破碎、筛选、掺配成所需的人工反滤料。

8.2.7 加工好的各种反滤材料经检验合格后，应分别堆放在干净的场地上，并采取有效措施，防止泥水和土块等杂物混入。堆料时应避免颗粒分离。如有分离，应经过处理后，才可使用。堆存的反滤料应标明编号、规格、数量、检验结果及拟铺筑的工程部位。

9 坝料的开采与运输

9.1 坝料开采

9.1.1 坝料必须在符合设计要求的料场或建筑物开挖区及堆料场内采运，不合格的材料不得上坝。

9.1.2 应根据施工组织设计进行场地布置。布置时应充分考虑不同高程、不同施工阶段、不同施工坝段的运输路线。

9.1.3 开采工作面的划分应与施工条件及填筑强度相适应。必要时，应划定备用开采工作面，供调节使用。

9.1.4 在坝料开采之前应作好下列工作：

- 1 划定料场的边界线并埋设界桩。
- 2 清除树根、乱石及妨碍施工的一切障碍物。
- 3 分区分期清除覆盖层或山坡堆积物 and 不符合设计要求的风化层等。清除物应运到指定地点堆放。
- 4 排除料区积水。

9.1.5 选择开采方式时，应考虑坝料性质、料场地形、开采机具、料层分布、料层厚度、黏性土（砾质土）天然含水率大小及水文地质等因素，确定采用立面开采或平面开采（包括斜面开采）。

料层较厚而上下层土料性质不均匀时，宜采用立面开采；对于砾质土或坡、残积风化料宜采用斜面与立面相结合的混合开采。

9.1.6 防渗土料开采时，应符合下列要求：

1 除在料场周围布置截水沟防止外水浸入外，并应根据地形、取土面积及施工期间降雨强度在料场内布置排水系统，及时宣泄径流。排水沟应保持畅通，沟底随料场开挖面下挖而降低。对位于山坡的砾质土料场，要充分利用原有溪沟，进行必要的加固，改善后作为排水通道。采料时应避免堵塞，防止泥石流的发

生。

2 当料场在土料天然含水率接近或小于控制含水率下限时宜采用立面开挖，以减少含水率损失；如天然含水率偏大，宜采用平面开挖，分层取土。

3 在冬季施工中，为防止土温散失，应采用立面开挖，工作面宜避风向阳，并选用含水率较低的料场，必要时可采取备料措施。

4 雨季施工时，应优先选用含水率较低的料场，或储备足够数量的合格土料，加以覆盖保护，保证合格土料及时供应。开挖作业区排水应通畅，开挖底面应有一定坡度，以利排水。

5 应根据开采运输条件和天气等因素，经常观测料场含水率的变化，并作适当调整。料场含水率的控制数值与填筑含水率的差值应通过试验确定。

9.1.7 砂砾料开采可采用水下、水上分别开采或水上、水下混合开采方式。水下开采深度较大时，可采取降低地下水位或引流改道等措施变水下为水上开采。

如用采砂船开采时，宜在静水中开采。

9.1.8 堆石料开采应符合如下要求：

1 石料开采应根据设计要求、料场地形、地质条件、水文地质特点、爆破试验参数以及总方量、日上坝强度、装运机具等进行爆破设计。

2 石料开采方法，宜采用深孔梯段微差爆破法和（或）挤压爆破法；在地质、地形和安全条件允许的情况下，亦可采用洞室爆破法。爆破参数应通过试验确定。

梯段爆破和洞室爆破均宜采用分层台阶开采。爆破时应注意观测，调整爆破参数，保证石料开采质量的稳定性。

爆破后的超径石料宜在料场处理。

3 开采过程中，应保持石料场开挖边坡的稳定。

4 石料开采工作面数量配合储存料的调剂应满足上坝强度要求。

5 应根据 GB6722 编制安全施工细则。为确保安全，应优先采用非电导爆管网络。如采用电爆网络时，应充分注意雷电和量测地电对安全的影响。

9.1.9 选用开采机具与方法时，应考虑以下因素：

- 1 坝料性质和料层厚度。
- 2 坝体填筑工程数量和填筑强度。
- 3 料场地形和作业条件。
- 4 挖、装、运机具的配套。

9.1.10 土砂料场开采结束后，应做好水土保持和环境保护工作，石料场应根据情况对危岩进行处理。

9.2 坝料运输

9.2.1 运输方式的选择应考虑坝型、坝区地形、运距远近及运输机具等因素。主要运输方式宜采用自卸汽车直接上坝。运输方式应注意挖、装、运、卸四个环节的配合，组织好机械化联合作业，提高机械效率。

9.2.2 选用运输机具时，应考虑下列因素：

- 1 坝体总工程量、坝料性质和上坝强度。
- 2 坝区地形、料场分布及运距等。
- 3 运输设备应与开采、填筑设备和施工条件相配套。
- 4 当填筑土料含水率较高时，宜选用对坝面压强较小的运输机具。

9.2.3 运输道路的规划和使用，应根据运输机械类型、车辆吨级及行车密度等进行，并考虑以下原则：

- 1 根据各施工阶段工程进展情况及时调整运输路线，使其与坝面填筑及料场开采情况相适应。运输路线不宜通过居民点。
- 2 根据施工计划，结合地形条件，合理安排线路运输任务，尽量提高线路利用率。
- 3 充分利用地形，尽可能使重车下坡或减少上坡。宜充分利用坝内堆石体的斜坡道作为上坝道路，以减少岸坡公路的修

建。

4 运输道路应尽量采用环形线路，减少平面交叉，交叉路口、急弯、陡坡处应设置安全装置。

5 必须加强道路养护工作。对泥结碎石路面，应经常保持路面平整，适时洒水，保持排水通畅。

6 运输道路通过原有桥涵时，应事先验算，并在必要时采取加固措施。

7 施工期场内道路规划宜自成体系，并尽量与永久道路相结合。

8 场内施工道路应设置照明设施，保持夜间行车安全。

9.2.4 运输道路的路宽、路基、路面、坡度、弯道半径、线路布置、视距、排水等均应与运输设备性能相适应，满足坝料填筑强度及其他运输工作量的要求。汽车运输时，一般可采用泥结碎石路面或混凝土路面。

10 填 筑

10.1 一 般 规 定

10.1.1 坝体建筑必须在坝基、岸坡及隐蔽工程验收合格并经监理工程师批准后，方可填筑。

坝体各阶段填筑前，施工单位应提出施工计划和方案，经监理工程师审批后实施。

10.1.2 筑坝材料的种类、石料品质、级配、含水率、含泥量、超径与软弱颗粒及其相应填筑部位、压实标准、质检取样结果均应符合设计要求和本标准规定。

10.1.3 坝体各部位的填筑必须按设计断面进行，应保证防渗体和反滤层的有效设计厚度。建基面凹凸不平时，防渗体应从低处开始填筑。

10.1.4 不影响行洪的坝体部位可先行填筑，横向接坡坡度应符合设计要求。

10.1.5 防渗体填筑时，应在逐层取样检查合格后，方可继续铺填。反滤料、坝壳砂砾料和堆石料的填筑，应逐层检查坝料质量、铺料厚度、洒水量，严格控制碾压参数，经检查合格后，方可继续填筑。

10.1.6 坝面施工应统一管理、合理安排、分段流水作业，使填筑面层次分明，作业面平整，均衡上升。

10.1.7 填筑过程中，应保证观测仪器埋设与监测工作的正常进行，采取有效措施，保护埋设仪器和测量标志完好无损。

10.1.8 软黏土地基上的土石坝和高含水率的宽防渗体及均质土坝的填筑，必须按设计要求控制填土速度。

10.2 填 筑 施 工

10.2.1 当气候干燥、土层表面水分蒸发较快时，铺料前，压实

表土应适当洒水湿润，严禁在表土干燥状态下，在其上铺填新土。

对于中高坝防渗体或窄心墙，凡已压实表面形成光面时，铺土前应洒水湿润并将光面刨毛，对低坝洒水湿润即可。

10.2.2 防渗土料的铺筑应沿坝轴线方向进行，铺料应及时，宜采用定点测量方式，严格控制铺土厚度，不得超厚。防渗土料的铺筑宜增加平地机平整工序。

10.2.3 防渗体土料应用进占法卸料，汽车不应在已压实土料面上行驶。砾质土、风化料、掺合土可视具体情况选择铺料方式。

10.2.4 汽车穿越防渗体路口段，应经常更换位置，不同填筑层路口段应交错布置，对路口段超压土体应予以处理。

10.2.5 防渗体土料宜采用振动凸块碾压实。碾压应沿坝轴线方向进行。如特殊部位只能垂直坝轴线方向碾压时，在铺料和碾压过程中，质检人员应现场监视，严禁铺料超厚、漏压或欠压。

10.2.6 防渗体分段碾压时，相邻两段交接带碾迹应彼此搭接，垂直碾压方向搭接带宽度应不小于 0.3m~0.5m；顺碾压方向搭接带宽度应为 1m~1.5m。

10.2.7 心墙应同上下游反滤料及部分坝壳料平起填筑，跨缝碾压。宜采用先填反滤料后填土料的平起填筑法施工。

斜墙宜与下游反滤料及部分坝壳料平起填筑，斜墙也可滞后于坝壳料填筑，但需预留斜墙、反滤料和部分坝壳料的施工场地，且已填筑坝壳料必须削坡至合格面，经监理工程师验收后方可填筑。

10.2.8 如防渗体填筑过程中出现“弹簧”、层间光面、松土层、干土层、粗粒富集层、或剪切破坏等，应根据具体情况认真处理，并经监理工程师验收后，始准铺填新土。

10.2.9 防渗体的铺筑应连续作业，如因故需短时间停工，其表面土层应洒水湿润，保持含水率在控制范围之内。如需长时间停工，则应铺设保护层。复工时予以清除，经监理工程师验收后，方可填筑。

10.2.10 防渗体及反滤层填筑面上散落的松土、杂物应于铺料前清除。

10.2.11 防渗料、砂砾料、堆石料的碾压施工参数应通过碾压试验确定。

10.2.12 振动碾工作重量宜大于 10t，振动频率 20Hz~30Hz，行驶速度不应超过 4km/h，并应定期检查振动碾的工作性能。

10.2.13 均质坝或砂砾料坝壳，在铺筑护坡垫层料之前，应按设计断面进行整坡。

10.2.14 反滤料的填筑，应遵守本标准 12.1 的规定。

10.2.15 坝壳料的填筑应遵守下列规定：

1 坝壳料宜采用进占法卸料，推土机应及时平料，铺料厚度应符合设计要求，其误差宜不超过层厚的 10%。坝壳料与岸坡及刚性建筑物结合部位，宜回填一条过渡料。

2 超径石宜在石料场爆破解小、填筑面上不应有超径块石和块石集中、架空。

3 坝壳料应用振动平碾压实，与岸坡结合处 2m 宽范围内平行岸坡方向碾压，不易压实的边角部位应减薄铺料厚度，用轻型振动碾压实或用平板振动器及其他压实机械压实。

4 碾压堆石坝不应留削坡余量，宜边填筑、边整坡、护坡。

10.2.16 斜墙和心墙内不应留有纵向接缝。

10.2.17 黏性土、砾质土、风化料、掺合料纵横向接缝的设置应符合下列要求：

1 防渗体及均质坝的横向接坡不宜陡于 1:3.0，需采用更陡接坡时，应提出论证，经监理工程师批准后方可实施。

2 随坝体填筑上升，接缝必须陆续削坡，直至合格面方可回填。

3 防渗体及均质坝的接缝削坡取样检查合格后，必须边洒水、边刨毛、边铺料压实，并宜控制其含水率为施工含水率的上限。

10.2.18 砂砾料、堆石及其他坝壳料纵横向接合部位，宜采用台

阶收坡法，每层台阶宽度不小于 1m。

10.2.19 填体填筑面应布置有效的洒水系统，供水量**应满足施工要求**。防渗土料宜用洒水车喷雾洒水。

10.3 雨 季 填 筑

10.3.1 分析当地水文气象资料，确定雨季各种坝料施工天数，合理选择施工机械设备的数量，以满足坝体填筑进度。

10.3.2 加强雨季水文气象预报，提前做好防雨准备，把握好雨后复工时机。

10.3.3 心墙坝雨季施工时，宜将心墙和两侧反滤料与部分坝壳料筑高，以便在雨天继续填筑坝壳料，保持坝面稳定上升。

10.3.4 心墙和斜墙的填筑面应稍向上游倾斜，宽心墙和均质坝填筑面可中央凸起向上下游倾斜，以利排泄雨水。

10.3.5 防渗体雨季填筑，应适当缩短流水作业段长度，土料应及时平整、及时压实。

10.3.6 降雨来临之前，应将已平整尚未碾压的松土，用振动平碾快速碾压形成光面。

10.3.7 对于心墙和斜墙坝，在防渗体填筑面上的机械设备，雨前应撤离填筑面，停置于坝壳区。

10.3.8 做好坝面保护，下雨至复工前，严禁施工机械穿越和人员践踏防渗体和反滤料。

10.3.9 防渗体与两岸接坡及上下游反滤料必须平起施工。防渗体填筑及雨后复工时，应将含水率超标和被泥土混杂和污染的反滤料予以清除。

10.3.10 雨后复工处理要彻底，首先人工排除防渗体表层局部积水，并视未压实表土含水率情况，可分别采用翻松、晾晒或清除处理。严禁在有积水、泥泞和运输车辆走过的坝面上填土。

10.3.11 砂砾料和堆石料雨天可以继续施工，但须防止料物被泥沙污染。

10.4 负温下填筑

10.4.1 在负温下施工，应特别加强气温、土温、风速的测量、气象预报及质量控制工作。施工前应详细编制施工计划，做好料场选择、保温、防冻措施以及机械设备、材料、燃料供应等准备工作，并报监理工程师审批。

10.4.2 负温下填筑范围内的坝基在冻结前应处理好，并预先填筑 1m~2m 松土层或采取其他防冻措施，以防坝基冻结。若部分地基被冻结时，须仔细检查。如黏性土地基含水率小于塑限，砂和砂砾地基冻结后无显著冰夹层和冻胀现象，并经监理工程师批准后，方可填筑坝体；非经处理不准填筑。

10.4.3 负温下露天土料的施工，应缩小填筑区，并采取铺土、碾压、取样等快速连续作业，压实时土料温度必须在 -1°C 以上。当日最低气温在 -10°C 以下，或在 0°C 以下且风速大于 10m/s 时，应停止施工。

10.4.4 负温下填筑要求黏性土含水率不应大于塑限的 90%；砂砾料含水率（指粒径小于 5mm 的细料含水率）应小于 4%。

10.4.5 负温下填筑，应做好压实土层的防冻保温工作，避免土层冻结。均质坝体及心墙、斜墙等防渗体不得冻结，否则必须将冻结部分挖除。砂、砂砾料及堆石的压实层，如冻结后的干密度仍达到设计要求，可继续填筑。

负温下停止填筑时，防渗料表面应加以保护，防止冻结，在恢复填筑时清除。

10.4.6 填土中严禁夹有冰雪，不得含有冻块。土、砂、砂砾料与堆石，不得加水。必要时采用减薄层厚、加大压实功能等措施，保证达到设计要求。如因下雪停工，复工前应清理坝面积雪，检查合格后方可复工。

10.5 非土质材料防渗体的施工

10.5.1 土工膜

利用土工膜作为防渗体时，应按照 GB50290 的有关规定执行，并应符合下列要求：

1 所选用**土工膜物理、力学**特性、变形性能及渗透系数，均应符合设计要求。

2 黏结剂的选择及与土工膜的黏结强度，必须符合设计要求，黏结强度应由试验测定，黏接缝的宽度不应小于 10cm，已黏结好土工膜应予保护，防止受损。黏结质量应进行检查。

3 土工膜防渗斜墙铺设前，基础垫层必须用斜坡振动碾将坡面碾压密实、平整，不得有突出尖角块石。

4 土工膜防渗斜墙的现场铺设应从坝面自上而下翻滚，人工拖拉平顺，松紧适度。

5 土工膜防渗斜墙铺设后应及时喷射水泥砂浆或回填防护层，避免土工膜受损。

6 土工膜防渗心墙宜采用“之”字形布置，折皱高度应与两侧垫层料填筑厚度相同。土工膜施工速度应与坝体填筑进度相适应。

7 土工膜防渗心墙两侧回填材料的粒径、级配、密实度及与土工膜接触面上孔隙尺寸应符合设计要求。

8 土工膜防渗心墙与两侧垫层料接触，在土工膜铺设前，垫层料边坡应人工配合机械修正，并用平板振动器振平，不得有尖角块石与其接触。

9 应采取工程措施确保施工机械跨越土工膜时不使其受损。

10 土工膜与地基、岸坡的连接及伸缩节的结构型式，必须符合设计要求。

11 根据地基岩性与基础防渗处理措施不同，土工膜与地基的连接应将土工膜分别埋入混凝土底座 防渗墙顶部或锚固槽内，两岸岩坡连接宜采用将土工膜埋入混凝土齿墙内的连接形式。

12 成立专业施工队，施工人员经培训合格后方可上岗。

- 13 加强现场检查，发现土工膜损坏、穿孔、撕裂等，必须及时补修，经监理工程师检查同意后方可覆盖。
- 10.5.2** 沥青混凝土防渗心墙、斜墙的施工应按照 SD220 执行。
- 10.5.3** 混凝土面板堆石坝施工应按照 DL/T5128 执行。

11 结合部位处理

11.0.1 必须重视防渗体与坝基（包括齿槽）、两岸岸坡、溢洪道边墙、**坝下埋管及混凝土齿墙**等结合部位的填筑。

11.0.2 截水槽回填应遵守下列规定：

1 必须在槽基处理完成，将渗水排除，进行地质描述，并经监理工程师验收后方可回填。

2 槽基填土应从低洼处开始，填土面宜保持水平，不得有积水。

3 槽内填土厚度在 0.5m 之内，可采用轻型压实机具薄层碾压，填土厚度达 0.5m 以上时，填土方可采用选定的压实机具和碾压参数压实。

11.0.3 铺盖的填筑应符合下列规定：

1 铺盖地基处理完成，经监理工程师验收后方可填筑。

2 铺盖在坝体内与心墙或斜墙连接的部分，应与心墙或斜墙同时填筑。坝外铺盖的填筑，应于库内充水前完成。

3 铺盖完成后，应及时按设计要求铺设保护层，已建成铺盖内不准打桩、挖坑、埋设电杆等。

11.0.4 防渗体与坝基结合部位填筑：

1 对于黏性土、砾质土坝基，应将表面含水率调整至施工含水率上限，用凸块振动碾压实，经监理工程师验收后始可填土。

2 对于无黏性土坝基铺土前，坝基应洒水压实，经监理工程师验收后始可根据设计要求回填反滤料和第一层土料。

第一层料的铺土厚度可适当减薄，含水率应调整至施工含水率上限，宜采用轻型压实机具压实。

11.0.5 防渗体与岸坡结合部位填筑：

1 防渗体与岸坡结合带的填土宜选用黏性土，其含水率应调

整至施工含水率上限，选用轻型碾压机具薄层压实，局部碾压不到的边角部位可使用小型机具压实，**严禁漏压或欠压。**

2 防渗体结合带填筑施工参数应由碾压试验确定。

3 防渗体与其岸坡结合带碾压搭接宽度不应小于 1.0m。

4 如岸坡过缓，接合处碾压后土料因侧向位移，若出现“爬坡、脱空”现象，应将其挖除。

5 结合带碾压取样合格后方可继续铺填土料。铺料前压实合格面应洒水或刨毛。

11.0.6 防渗体与混凝土面或岩石面结合部位填筑：

1 填土前，混凝土表面乳皮、粉尘及其上附着杂物必须清除干净。

2 在混凝土或岩石面上填土时，应洒水湿润，并边涂刷浓泥浆、边铺土、边夯实，泥浆涂刷高度必须与铺土厚度一致，并应与下部涂层衔接，严禁泥浆干涸后铺土和压实。泥浆土与水质量比宜为 1:2.5~1:3.0，宜通过试验确定。

填土含水率控制在大于最优含水率 1%~3%，并用轻型碾压机械碾压，适当降低干密度，待厚度在 0.5m~1.0m 以上时方可用选定的压实机具和碾压参数正常压实。

3 压实机具可采用振动夯、蛙夯及小型振动碾等。

4 填土与混凝土表面、岸坡岩面脱开时必须予以清除。

5 防渗体与混凝土齿墙、坝下埋管、混凝土防渗墙两侧及顶部一定宽度和高度内土料回填宜选用黏性土，且含水率应调整至施工含水率上限，采用轻型碾压机械压实，两侧填土应保持均衡上升。

6 混凝土防渗墙顶部局部范围用高塑性土回填，其回填范围、回填土料的物理力学性质、含水率、压实标准应满足设计要求。

11.0.7 防浪墙基础与防渗体的结合部位的处理，应符合设计要求。

12 反滤排水设施与护坡

12.1 反 滤 层

12.1.1 反滤料的材质、级配、不均匀系数、含泥量及其铺筑位置和有效宽度均应符合设计要求。

12.1.2 反滤料压加工生产过程中应随机抽查检测并及时调整其级配。经验收合格后方可使用。

12.1.3 地基处理验收合格后，经监理工程师批准方可回填第一层反滤料。

12.1.4 在挖装和铺筑过程中，应防止反滤料颗粒分离，防止杂物与其他料物混入，反滤料宜在挖装前洒水，保持其湿润状态，以免颗粒分离。

12.1.5 反滤料铺筑必须严格控制铺料厚度。

12.1.6 与反滤料接触的过渡料的级配应符合设计要求，两者交界处超径石应清除。

12.1.7 对已碾压合格的反滤层应做好防护，一旦发生土料混杂，则必须即时清除。

12.1.8 反滤料压实过程中，应与其相邻的防渗土料、过渡料一起压实。反滤料宜采用自行式振动碾压实。

12.1.9 严禁在反滤层内设置纵缝。反滤层横向接坡必须清至合格面，使接坡反滤料层次清楚，不得发生层间错位、中断和混杂。

12.1.10 反滤料加工的数量与储存量应在考虑超填与其他损耗后满足坝体填筑进度和形象要求。

12.1.11 用土工织物作反滤层时，应按照 GB50290 的有关规定执行。其各项特性均应符合设计要求。

- 1 土工织物的拼接宜采用搭接方法，搭接宽度可为 30cm。
- 2 土工织物铺设前必须妥善保护，防止曝晒、冷冻、损坏、

穿孔、撕裂。

3 土工织物铺设应平顺、松紧适度、避免织物张拉受力及不规则折皱，并采取措施防止损伤和污染。

4 土工织物两侧回填坝料级配应符合设计要求，坝料回填过程中不得损伤织物。如有损伤必须修补。

5 土工织物的铺设与防渗体的填筑应平起施工，织物两侧防渗体和过渡料的填筑应人工配合小型机械施工。

12.2 排水设施

12.2.1 排水设施所用石料必须质地坚硬，其抗水性、抗冻性、抗压强度及排水能力应满足设计要求，应严格控制细粒含量和含泥量，不得超出设计允许范围。

12.2.2 施工中排水堆石体内可设置纵缝和横缝，宜采用预留平台方式逐层收坡。

12.2.3 排水设施外露表面，宜力求平整、美观。

12.2.4 坝内排水带和排水褥垫的地基，必须按设计要求进行处理，经监理工程师验收后，方可铺设。

12.2.5 坝内竖式排水体可与两侧防渗体平起施工。亦可先回填防渗体，然后将防渗体挖槽再回填排水体，但每层排水体回填厚度应不超过 60cm。

12.2.6 水平排水带铺筑的纵坡及铺筑厚度、透水性应符合设计要求。

12.2.7 坝内排水管路的地基必须夯实，排水管材、管径、间距及排水管路纵坡应符合设计要求。排水管滤孔及接头部位应仔细铺设反滤层。

12.2.8 减压井施工应符合下列要求。

1 减压井的位置、井深、井距、井径结构尺寸及所用滤料级配及其他材料均应符合设计要求。

2 减压井和深式排水沟的施工应在库水位较低时期内进行。钻孔宜用清水固壁。

3 减压井钻进过程中应进行地质描绘、绘制柱状图，如发现与原地层资料有较大出入，应提请监理**工程师及设计单位**研究处理。

4 钻孔结束经监理工程师验收后，方可安装井管，井管连接应顺直牢固，并封好管底，反滤料回填宜采用导管法以避免分离。

5 装好井管后，应做好洗井工作。洗井宜采用鼓水和抽水泵法，水变清后，再连续抽水半小时，如清水保持不变，即可结束洗井作业。

6 洗井后尚应进行抽水试验，测量并记录其抽降、出水量、水的含砂量以及井底淤积。

7 施工过程中和抽水结束后，必须及时做好井口保护设施。每眼井均应建立技术档案，并在工程验收以后移交管理单位。

12.2.9 坝体与山坡交界处的排水沟，其布置及断面结构型式和尺寸，应符合设计要求。

12.3 护 坡

12.3.1 砌筑护坡前，应进行坝坡修整，使之符合设计要求。

12.3.2 护坡石料须选用质地坚硬、不易风化的石料，其抗水性、抗冻性、几何尺寸均应满足设计要求。

12.3.3 护坡下垫层料级配与铺筑厚度应满足设计要求，铺筑块石或其他面层时，不得损坏垫层。

12.3.4 当采用块石护坡时，可采用机械或人工选石、堆码、整坡，宜与坝体填筑同步进行。

12.3.5 现浇混凝土护面宜采用无轨滑模浇筑，其厚度应符合设计要求，并须按设计要求分缝并做好排水孔。

12.3.6 草皮护坡应选用易生根、能蔓延、耐旱草类，无黏性土坡面上应先铺一层种植土，然后再种植草皮。草皮铺植后应洒水护理。

12.3.7 当采用抛石、混凝土预制块、水泥石等护坡型式及采用土工织物垫层时，均按照设计要求执行。

13 安全监测

13.0.1 土石坝监测仪器设备的埋设、安装、调试、施工期观测与资料整理分析等工作应按设计规定进行，并应符合 SL60 和 SL169 的各项规定。非土质防渗体土石坝的专门监测设施的安装、调试应按相应的设计要求进行。

13.0.2 土石坝安全监测项目应列入施工进度计划，由专职人员实施。施工期间应对已埋设的观测设施采取有效的安全防护措施，严防机械和人为损坏。如有损坏，应及时维修或补设，并登录备查。在观测仪器安装、埋设过程中，应尽量减少对坝体填筑质量的不利影响。

13.0.3 应认真做好观测仪器设备的标定、埋设、安装、调试等工作，保证仪器设备的埋设和安装质量，做好原始记录和图表，正确确定测读初始值或计算基准值，列出参考表，整理成完整的技术档案。

13.0.4 坝下游的观测房应随观测仪器的埋设而及时相应建成，并建好监测观测房自身位移的标点，以便及早取得观测资料。位移观测标点宜设在已设置的视准线上。宜设置临时观测房，取得早期观测资料，在条件具备时过渡到永久观测房，以保持观测资料的完整性。

13.0.5 坝面位移观测标点、基点等的埋设、安装和观测，应随坝的施工进度及时进行。可设置临时标点，并做好同相应永久标点的衔接。

13.0.6 土石坝施工期的安全监测工作，应由施工单位或专门监测单位负责，按设计和合同文件规定进行已埋设仪器设备的观测。观测资料应及时整理分析，定期提出报告，报监理工程师。遇暴雨、大洪水、地震或有异常现象等特殊情况，应增加测次，并将观测结果及时上报。

13.0.7 有施工期提前蓄水要求的土石坝，应在蓄水前对已埋设的仪器作全面观测，并设置渗流量观测设施。如限于条件，永久性观测设施无法提前设置时，宜设置临时性设施，以取得初期蓄水的渗流资料。

13.0.8 对设计规定的观测系统，如有变更和优化意见，应作出论证，报监理工程师。

13.0.9 施工期安全监测项目和测次可参照 SL60—1994 附录 A 的规定进行。观测时应同时记录观测断面处坝面的填筑高程。在水库蓄水时，应同时记录上下游水位。

混凝土内应变计等观测设备的测次按 SDJ336 的规定进行。

坝下游观测房的沉降与其顺河向位移的观测，应在相应高程内部观测仪器观测的同时进行，但测次可以略少。

13.0.10 各项观测仪器的测读，按其类型采用相应的测读仪表与测读方法。应严格遵守观测要求，正确操作，并按规定格式做好记录。

观测用仪表设备，应做好保养、检查、维护等工作，至少每年校验一次，并做好记录。

13.0.11 自动化观测仪器设备的设置、安装、调试、观测等，应按照专门规定进行。

13.0.12 工程竣工后，应将监测系统仪器的标定、埋设、安装及施工期观测等全部原始资料及整编分析报告，整理成册，提出竣工报告，经审查验收后正式移交。

在交接期间，各项观测工作不得中断。

14 施工质量控制

14.1 一般规定

14.1.1 在土石坝施工中必须建立健全质量管理体系。

施工单位必须设立在施工主要负责人领导下的专职质量检查机构，实行分级管理。施工单位的质量保证体系及有关质量管理的规定应报监理工程师审批后实施。

14.1.2 质量控制应按国家和行业颁发的有关标准、工程设计、施工图、合同技术条款的技术要求进行。

14.1.3 质量检查记录，是工程验收的重要依据，应及时进行汇总、编录、分析，并妥善保存，防止丢失，严禁掺假、涂改和自行销毁。

14.1.4 质量检查部门应参加施工期的验收工作，对隐蔽工程和工程关键部位，应详细记录工程质量情况，宜进行录像、照相或取原状样品保存备查。

14.1.5 施工过程中，出现的质量问题、处理结果和在现场做出的决定，必须由主管技术负责人签署，作为施工质量控制的原始记录。

当发生质量事故时，施工单位应立即向监理工程师提出书面报告，及时研究处理措施。

14.1.6 坝体压实质量应控制压实参数，并取样检测密度和含水率。检验方法、仪器和操作方法，应符合国家及行业颁发的有关规程、规范要求。

1 黏性土现场密度检测，宜采用环刀法、表面型核子水分密度计法。环刀容积不小于 500cm^3 ，环刀直径不小于 100mm 、高度不小于 64mm 。

2 砾质土现场密度检测，宜采用挖坑灌砂（灌水）法。挖坑灌砂（灌水）法试坑尺寸见附录 C 中 C2。

3 土质不均匀的黏性土和砾质土的压实度检测宜用三点击实法。三点击实试验按附录 C 中 C4 进行。

4 反滤料、过渡料及砂砾料现场密度检测，宜采用挖坑灌水法或辅以表面波压实密度仪法。挖坑灌水法试坑尺寸见附录 C，试样中最大粒径超过 80mm 时，试坑直径不应小于最大粒径的 3 倍，试坑深度为碾压层厚。

5 堆石料现场密度检测，宜采用挖坑灌水法，也可辅以表面波法、测沉降法等快速方法。挖坑灌水法测密度的试坑直径不小于坝料最大粒径的 2~3 倍，最大不超过 2m，试坑深度为碾压层厚。

6 黏性土含水率检测，宜采用烘干法，也可用核子水分密度计法、酒精燃烧法、红外线烘干法。

7 砾质土含水率检测，宜采用烘干法或烤干法。

8 反滤料、过渡料和砂砾料含水率检测，宜采用烘干法或烤干法。

9 堆石料含水率检测，宜采用烤干和风干联合法。

14.1.7 试验仪器校正与率定应按 SL237 有关规定进行。

14.1.8 质量控制的统计分析，宜应用数理统计方法，定出质量指标，用质量管理图进行质量管理。质量控制的统计分析按附录 C 中 C5 进行。

14.2 坝基处理质量控制

14.2.1 坝基处理过程中，必须严格按设计和有关标准要求，认真进行质量控制，并在事先明确检验项目、要求和方法。

14.2.2 坝体填筑前，应按本标准第 6 章中有关规定对坝基进行认真检查。

14.3 料场质量控制

14.3.1 各种坝料质量应以料场控制为主，必须是合格坝料才能运输上坝，不合格材料应在料场处理合格后才能上坝，否则应废

弃。

14.3.2 应在料场设置质量控制站，按设计要求及本标准有关规定进行料场质量控制，**主要内容包括：**

- 1 是否在规定的料区内开采，是否将草皮，覆盖层等清除干净。
- 2 坝料开采、加工方法是否符合规定。
- 3 排水系统、防雨措施、负温下施工措施是否完善。
- 4 坝料性质、级配、含水率（指黏性土、砾质土）是否符合设计要求。

14.3.3 各种坝料现场鉴别的控制指标与项目按附录 C 中 C3 规定进行。现场鉴别方法以目测为主，并取一定数量的代表样进行试验。

14.3.4 反滤料铺筑前应取样检查，规定每 200m³~500m³ 取一个样，检查颗粒级配、含泥量及软弱颗粒含量。对生产自动化程度高的工厂产品料取样次数可适当减少。如不符合要求和规范规定时，应调整加工和筛分系统或更换料源，重新加工，经检验合格后方可使用。

14.4 坝体填筑质量控制

14.4.1 坝体填筑质量应按本标准 10、11、12 章有关规定，检查以下项目是否符合要求：

- 1 各填筑部位的边界控制及坝料质量，防渗体与反滤料、部分坝壳料的平起关系。
- 2 碾压机具规格、质量，振动碾振动频率、激振力，气胎碾气胎压力等。
- 3 铺料厚度和碾压参数。
- 4 防渗体碾压层面有无光面、剪切破坏、弹簧土、漏压或欠压土层、裂缝等。
- 5 防渗体每层铺土前，压实土体表面是否按要求进行了处理。

6 与防渗体接触的岩石上之石粉、泥土以及混凝土表面的乳皮等杂物的清除情况。

7 与防渗体接触的岩石或混凝土面上是否涂浓泥浆等。

8 过渡料、堆石料有无超径石、大块石集中和夹泥等现象。

9 坝体与坝基、岸坡、刚性建筑物等的结合，纵横向接缝的处理与结合，土砂结合处的压实方法及施工质量。

10 坝坡控制情况。

14.4.2 防渗体压实控制指标采用干密度、含水率或压实度 (D)。反滤料、过渡料及砂砾料的压实控制指标采用干密度或相对密度 (D_r)。堆石料的压实控制指标采用孔隙率 (n)。

14.4.3 坝体压实检查项目及取样次数见表 14.4.3。

取样试坑必须按坝体填筑要求回填后，方可继续填筑。

表 14.4.3 坝体压实检查次数

坝料类别及部位		检查项目	取样（检测）次数
防渗体	黏性土	边角夯实部位	2~3 次/每层
		碾压面	1 次/100m ³ ~200m ³
		均质坝	1 次/200m ³ ~500m ³
	砾质土	边角夯实部位	干密度、含水率、大于 5mm 砾石含量
碾压面			1 次/200m ³ ~500m ³
反滤料		干密度、颗粒级配、含泥量	1 次/200m ³ ~500m ³ ，每层至少一次
过渡料		干密度、颗粒级配	1 次/500m ³ ~1000m ³ ，每层至少一次
坝壳砂砾（卵）料		干密度、颗粒级配	1 次/5000m ³ ~10000m ³
坝壳砾质土		干密度、含水率 小于 5mm 含量	1 次/3000m ³ ~6000m ³
堆石料 ^{*)}		干密度、颗粒级配	1 次/10000m ³ ~100000m ³

*) 堆石料颗粒级配试验组数可比干密度试验适当减少。

14.4.4 防渗体压实质量控制除按表 14.4.3 规定取样检查外，

尚必须在所有压实可疑处及坝体所有结合处抽查取样，测定干密度、含水率。在压实可疑处取样试验结果不作数理统计和质量管理图的资料。

14.4.5 防渗体填筑时，经取样检查压实合格后，方可继续铺土填筑，否则应进行补压。补压无效时，应分析原因，进行处理。

14.4.6 反滤料和过渡料的填筑，除按规定检查压实质量外，必须严格控制颗粒级配，不符合设计要求应进行返工。

14.4.7 坝壳堆石料的填筑，以控制压实参数为主，并按规定取样测定干密度和级配作为记录。每层按规定参数压实后，即可继续铺料填筑。对测定的干密度和压实参数应进行统计分析，研究改进措施。

14.4.8 进入防渗体填筑面上的路口段处，应检查土层有无剪切破坏，一经发现必须处理。

14.4.9 测密度时，若采用环刀法，应取压实层的下部。若采用挖坑灌砂法或灌水法，试坑应挖至层间接合面，试坑直径应符合14.1.6规定。

14.4.10 对堆石料、砂砾料，按14.4.3取样所测定的干密度，平均值应不小于设计值，标准差应不大于 $0.1\text{g}/\text{cm}^3$ 。当样本数小于20组时，应按合格率不小于90%，不合格干密度不得低于设计干密度的95%控制。

14.4.11 对防渗土料，干密度或压实度的合格率不小于90%，不合格干密度或压实度不得低于设计干密度或压实度的98%。

14.4.12 根据坝址地形、地质及坝体填筑土料性质、施工条件，对防渗体选定若干个固定取样断面，沿坝高每5m~10m取代表性试样进行室内物理力学性质试验，作为复核设计及工程管理之依据。必要时应留样品蜡封保存，竣工后移交工程单位。

对坝壳料也应在坝面取适当组数的代表性试样进行实验室复核试验。

14.4.13 雨季施工，应检查施工措施落实情况。雨前应检查防渗土体表面松土是否已适当平整和压实；雨后复工前应检查填筑面

上土料是否合格。

14.4.14 负温下施工应增加以下检查项目：

- 1 填筑面防冻措施。
- 2 坝基已压实土层有无冻结现象。
- 3 填筑面上的冰雪是否清除干净。
- 4 应对气温、土温、风速等进行观测记录。
- 5 在春季，应对冻结深度以内的填土层质量进行复查。

14.5 护坡和排水反滤质量控制

14.5.1 砌石护坡应检查下列项目：

- 1 石料的质量和块体的尺寸、形状是否符合设计要求。
- 2 砌筑方法和砌筑质量，抛石护坡块石是否稳定等。
- 3 垫层的级配、厚度、压实质量及护坡块石的厚度。

14.5.2 当采用混凝土板护坡时，应按设计要求控制垫层的级配、厚度、压实质量、接缝以及排水孔质量等。

14.5.3 铺筑排水反滤层前，应对坝基覆盖层进行下列试验分析。

1 对于黏性土：天然干密度、含水率及塑性指数；当塑性指数小于7时，尚需进行颗粒分析。

2 对无黏性土：天然干密度和颗粒分析。

从坝基覆盖层中取样，一般应在25m×25m的面积中取一个样；对于条形反滤层的坝基可每隔50m取一个或数个样。

14.5.4 在填筑反滤层过程中，取样次数按表14.4.3执行。在施工过程中，应对铺料厚度、施工方法、接头及防护措施等进行检查。

坝料加工处理

A1 低含水率土料的加水处理

A1.1 土料加水应使土料含水率**达到施工含水率**控制范围，并保持均匀。

A1.2 坝面洒水：

当坝面土层表面干燥，需补充水分时，可在坝面直接洒水。洒水方法宜用洒水车，以压力水和压缩空气混合以雾状喷出，使洒水均匀。洒水后宜用拖拉机牵引圆盘耙使其掺合均匀。

A1.3 土料场加水：

土料场加水是提高土料含水率的**最佳方法**，适宜于大面积的土料场和土料天然含水率较施工含水率低得较多的情况。采用这种加水措施，不仅减少了坝面施工工序，减少干扰，且易于控制土料含水率。具体的加水方式与开采方法、料场地形、土料性质有关。

1 筑畦灌水：当土场天然土料垂直渗透系数较大，地势平坦，且用立面开采时，可在土料场筑畦灌水。采用此法时，应预先在土场进行灌水试验，确定土场的可灌性、灌水深度、渗透时间（或灌水时间）、加水土层的有效厚度、土场加水后的平均含水率、灌水后可开采的时间等参数。

2 喷灌灌水：喷灌灌水系用喷灌机进行，适宜于地形高差大的条件。此法易于掌握，节约用水，喷灌时间应经试验确定。为保证喷灌效果，应保持天然地面不要扰动，以免破坏其渗透性。草皮等的清理可待加水后进行。用此法灌水后需等一定时间，才能使水分均匀。

3 表面喷水：在土料场喷水时，应随时辅以齿耙耕翻，使其

混合均匀。此法适合于砂壤土，轻、中粉质壤土以及用铲运机、推土机平面开采的条件。此外尚需有**较大面积的土料场**，以便部分土料场大量喷洒水，并有足够的停置时间，使其含水率渗透均匀，其余已加水的土料场可供开采，实现轮换作业。

A2 高含水率土料降低含水率的措施

A2.1 翻晒法：

土料天然含水率较高、且具有翻晒条件时，可以采用翻晒法降低含水率。对于当地用翻晒法降低含水率的效果，应预先进行翻晒试验，以确定翻土厚度、每天翻晒的适宜时间和翻晒的方法。

翻晒方法可采用农用犁进行。为使土料含水率均匀和加速翻晒过程，必须将土块耙碎。

翻晒合格的土料，应堆成土牛，并加防护。土牛在储备或使用期间，须经常检查，特别是雨前、雨中，应检查排水系统是否通畅，顶部有无因沉陷而形成的坑洼，防雨设施是否可靠等。

A2.2 掺料：

掺料的目的是通过掺入含水率低的土料，吸收含水率高的土料中多余的水分，使土料含水率重新调整，以满足施工含水率的要求。

掺料可用砾石、碎石、含水率较低的土料或风化岩石。掺料方法见 A3。

A2.3 综合措施：

当土料天然含水率稍高于施工含水率时，可在土料开挖、运输及装卸过程中采取措施降低含水率。如采用平面分层取土（用推土机、铲运机进行）、山坡溜土、皮带机运输等。当采用立面开采时，也可用向阳面开采或掌子面轮换开采等方法。

A3 防渗掺合料制备方法

A3.1 在土料中掺入一定数量的砂砾料时，可采取一层土料一层

砂砾料按比例逐层铺筑料堆，用挖土机立面开采混合或推土机斜面开采的混合方法制备掺合料。

掺合比例由设计确定。掺合料堆的各层厚度按下式计算

$$h_{\pm} = h_{\text{砾}} \times (\rho_{\text{砾}} / \rho_{\text{土}}) \times n \quad (\text{A1})$$

式中 h_{\pm} ——黏土层厚度，cm；

$\rho_{\text{砾}}$ ——砂砾料层干密度，g/cm³；

$\rho_{\text{土}}$ ——黏土层干密度，g/cm³；

$h_{\text{砾}}$ ——砂砾料层厚度（预先确定值），cm；

n ——黏土与砂砾料的比例，按质量计。

A3.2 铺料时，先铺砂砾料。铺料方法：铺砂砾料时用进占法卸料，铺黏土时用后退法卸料，使汽车始终在砂砾料层上行走，以避免轮胎对土料层的直接压实。

在铺料过程中，每层黏土和砂砾料取10~20个试样测定含水率和颗粒级配，以便进行质量控制。

A4 宽级配砾质土级配调整（剔除粗粒）方法

A4.1 料场处理：推土机推集料的同时，在推土机上配置多齿耙，耙除超径粗粒，这种方法主要适用于含超径石不多的料层。

A4.2 格条筛控制，对于超径粗粒较多的土料，可根据实际地形布置振动格条筛，筛除超径颗粒。

碾 压 试 验

现场碾压试验，是用合同文件规定的压实机械（或施工单位可能取得的压实机械）和选定料场的土石料，在施工现场，进行不同压实参数的坝料压实试验。

B1 试 验 目 的

- B1.1** 核实坝料设计填筑标准的合理性；
- B1.2** 确定达到设计填筑标准的压实方法（包括压实机械类型、机械参数、施工参数等）；
- B1.3** 研究填筑工艺。

B2 压实机械的选择

B2.1 压实机械的选择，有的由建设单位选择，并且在合同中明确规定了压实机械类型，有的由施工单位根据经验和可能取得的设备选择。

B2.2 选择压实机械时，应考虑以下因素：

- 1 坝料类别；
- 2 各种坝料设计压实标准；
- 3 各种坝料的填筑强度；
- 4 牵引设备；
- 5 气候条件；
- 6 机械修理及维修条件。

B3 碾 压 试 验

B3.1 压实参数和试验组合：

1 压实参数：压实参数包括机械参数和施工参数两大类。当压实设备型号选定后，机械参数已基本确定。施工参数有铺土（料）厚度、碾压遍数、行车速度、无黏性土和堆石的加水量、黏性土的含水率等。

2 试验组合：试验组合方法有经验确定法、循环法、淘汰法和综合法，一般多采用淘汰法。淘汰法又称逐步收敛法，此法每次只变动一种参数，固定其他参数，通过试验求出该参数的适宜值。同样，变动另一个参数，用试验求得第二个参数的适宜值，依此类推。待各项参数选定后，用选定参数进行复核试验。此种方法的优点是达到同等效果时的试验总数较少。

B2.2 试验场地要求：

1 场地应平坦，地基坚实。

2 用试验料，先在地基上铺压一层，压实到设计标准（若是黏性土，其含水率应控制在最优含水率附近），将这一层作为基层，然后在其上进行碾压试验。

3 试验区面积：

黏性土每个试验组合不小于 $2\text{m} \times 5\text{m}$ （宽 \times 长，下同）；

砾石土、风化砾石土、砂及砂砾石每个试验组合不小于 $4\text{m} \times 8\text{m}$ ；

卵石、堆石料每个试验组合不小于 $6\text{m} \times 10\text{m}$ ；

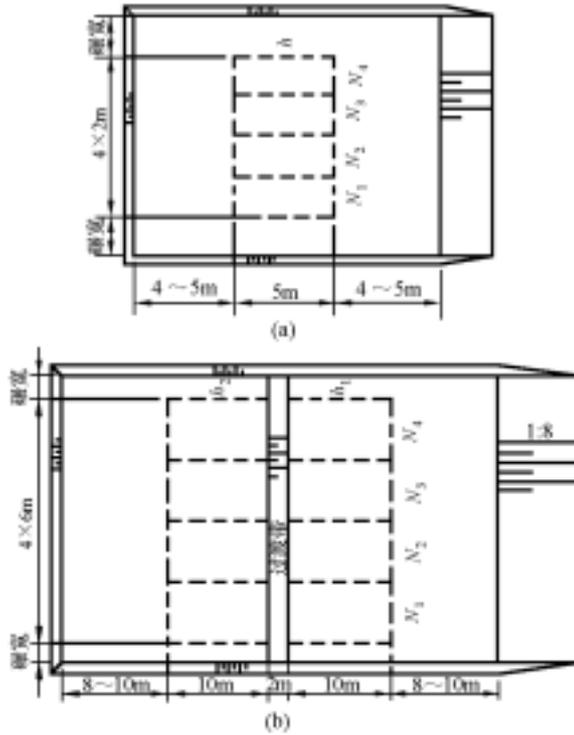
4 试验铺土（料）要求：

由于碾压时产生侧向抗压，因此，试验区的两侧（垂直行车方向）应留出一个碾宽。顺碾压方向的两端应留出 $4\text{m} \sim 5\text{m}$ （对碾压黏土而言）或 $8\text{m} \sim 10\text{m}$ （对碾压堆石料而言）作为非试验区，以满足停车和错车需要。

B3.3 场地布置：

一般试验可完成几个或十几个组合试验。淘汰法，每场只变动一种参数，一般一场试验布置 4 个组合试验；部分循环法，一场试验可以同时有 2 种或 2 种以上参数变动，一般一场布置 $8 \sim 12$ 个组合试验。

图 B1 是两种方法的碾压场地布置可供参考。



(a) 黏性土碾压场地布置（研究一种铺土厚度、一种含水率、不同碾压遍数压实效果）

(b) 堆石料碾压场地布置（研究两种铺料厚度、不洒水、不同碾压遍数压实效果）

图 B1 碾压场地布置

B4 现场描述与试验

B4.1 现场描述：

- 1 记录使用的运输设备、卸料方式及铺料方法；
- 2 对黏性土应观察振动凸块碾的工作状况、气胎碾车辙深度，有无黏碾、弹簧土、涌土、表面龟裂及压实后有无剪切破坏

现象；

- 3 对黏性土应检查上、下压实土层结合情况；
- 4 对于堆石料，应观察表面石料压碎及堆石架空情况；
- 5 各种料物应记录碾压前后的实际土层厚度。

B4.2 试验：

1 测定每一组合压实后的干密度、含水率及颗粒级配。检查方法按 SL237 有关规定和本标准 14.1.6 规定执行。

2 取样数量：

黏性土每一组合取样 10~15 个；

砾石土每一组合取样 10~15 个；

砂和砂砾料每一组合取样 6~8 个；

堆石料每一组合取样不少于 3 个，如果测定沉降量时，测点布置方格网点距 1.0m~1.5m。

B5 成果整理

B5.1 试验完成后，应将试验资料进行系统整理分析，绘制成果图表，编写试验报告。

1 黏性土应绘制不同铺土厚度时的干密度 (ρ_d) 与碾压遍数 (N) 关系曲线，绘制不同铺土厚度、不同碾压遍数时的干密度 (ρ_d) 与含水率 (ω) 关系曲线；

2 砾质土（包括掺合土），除按黏性土绘制相关曲线外，尚应绘制砾石 (>5mm) 含量与干密度 (ρ_d) 关系曲线；

3 无黏性土及堆石料应绘制不同铺料厚度时的干密度 (ρ_d) 与碾压遍数 (N) 关系曲线，绘制沉降量 (Δh) 与碾压遍数 (N) 关系曲线；

4 绘制最优参数（包括复核试验结果）情况下的干密度 (ρ_d)、压实度 (R_c)、孔隙率 (n) 的频率分配曲线与累计频率曲线。

B5.2 根据以上成果，结合工程的具体条件，确定各种坝料施工碾压参数和填筑标准。在试验报告中应提出以下结论：

- 1 设计标准的合理性；
- 2 与各种坝料相适应的压实机械和参数；
- 3 各种坝料填筑干密度控制范围；
- 4 提出达到设计标准的施工参数：铺土（料）厚度、碾压遍数、行车速度、错车方式 黏性土含水率及无黏性土堆石料的加水量等；
- 5 上下土层的结合情况及其处理措施；
- 6 其他施工措施与施工方法，如铺土、平土、刨毛等。

压实质量检验与管理

土石坝压实质量的检验方法应遵守 SL237、经部级鉴定的新技术和国际上公认的检测方法。施工单位可根据当地土料性质及现场快速测量的要求，制订若干补充规定。

C1 含水率测定

一般采用的含水率快速测定法有酒精燃烧法、红外线烘干法、电炉烘干法等。酒精燃烧法、红外线烘干法多适用于黏性土；电炉烘干法适用于砾质土，也可用于黏性土。

红外线烘干法、电炉烘干法与温度、烘烤时间、土料性质有关，用其快速测定含水率时，应事先与标准烘干法进行对比试验，以定出烘烤时间、土样数量，并用统计法确定与标准烘干法的误差。实际含水率按下式改正

$$W = W' \pm K$$

式中： W ——恒温标准烘干法测定的含水率；

W' ——各种快速法测定的含水率；

K ——相应的改正值。

C2 密度测定

C2.1 灌砂法

按 SL237 有关规定进行。

C2.2 灌水法

C2.2.1 仪器设备：

1 套环（带法兰盘）：

1) 直径 200mm、高 20cm（用于测量最大粒径小于 800mm 的堆

石密度)；

2) 直径 120cm、高 20cm (用于测量最大粒径小于 300mm 的漂石、堆石密度)。

2 测针 (水工模型试验用的水位测针)。

3 台秤；

1) 称量 1000kg，最小分度值 0.2kg；

2) 称量 500kg，最小分度值 0.2kg。

4 薄膜：厚度 0.1mm、柔性良好的聚乙烯塑料薄膜。

5 盛水容器。

6 温度计：量程 0℃~50℃，分度值 1℃；

7 其他：水准尺、铲土工具等。

C2.2.2 操作步骤：

1 将测点处的地面整平，并用水准尺检查。

2 按表 C1 规定的试坑尺寸，将相应直径的套环平稳地放置在试验点上。

表 C1 试坑尺寸与试样最大粒径关系

试样最大粒径 mm	试坑尺寸		套环直径 cm
	直径 cm	深度	
≤800	不小于 160	碾压层厚	200
≤300	90~120		120

3 将水位测针安装在套环上。

4 将大于套环内表面积的一层塑料薄膜置于套环内，沿环底、环壁紧密相贴。

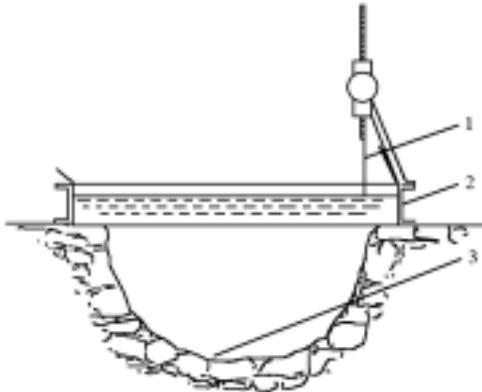
5 用盛水器向环内注水，记录每桶水质量，环内水深控制在 10cm~15cm，记录注水总质量 m_1 、水温 T 和环内水位 h_1 (即测针读数)。

6 排除环内水，取出塑料薄膜，按表 C1 规定，在套环内挖试坑。挖试坑应从中间向外扩展，在挖试坑过程中，不得碰撞套环和挤压坑壁，已松动的岩块应全部取出，称量试样干质

量 m_0 。

7 在挖好的试坑内，人工整平踩实坑底，将面积足够大的一层塑料薄膜置于坑内沿坑底、坑壁及套环壁松松地铺上，如图 C1 所示。

8 用盛水器向试坑内注水，记录每桶水质量，注水至环内水位 h_1 止（即测针读数），记录注入试坑内水的总质量 m_2 ，测量水的温度 T 。



1—水位测针；2—套环；3—塑料薄膜

图 C1 灌水法测密度试验

9 向试坑注水过程中，随时调整塑料薄膜，排除薄膜与试坑壁间的孔隙，使其靠紧坑底、坑壁及环壁。同时，要随时观察塑料薄膜有无刺破漏水现象，发现有刺破漏水处，应停止向试坑内注水，排除坑内的水，待修补好以后再按 7、8 款规定进行。

C2.2.3 计算：

1 按式计算试坑体积

$$V = \frac{m_2 - m_1}{\rho_w} + \Delta V \quad (C1)$$

式中： V ——修正后的试坑体积， cm^3 ；

m_1 ——套环内注水质量， g ；

m_2 ——套环加试坑内注水质量， g ；

ρ_w —— $T^\circ\text{C}$ 时水的密度 ($\rho_w \approx 1.0$), g/cm^3 ;

ΔV ——塑料薄膜的体积, cm^3 。

2 按式 C2 计算干密度

$$\rho_d = \frac{m}{V} \quad (\text{C2})$$

式中: ρ_d ——干密度, g/cm^3 ;

m ——试样干质量, g ;

V ——试坑体积, cm^3 。

C3 各种坝料现场鉴别项目与指标

各种坝料现场鉴别项目与指标见表 C2。

表 C2 现场鉴别项目与指标

坝料类别		鉴别项目与指标
防渗土料	黏性土	含水率, 黏粒含量
	砾质土	允许最大粒径, 砾石含量, 含水率
反滤料		级配, 含泥量, 风化软弱颗粒含量
过渡料		级配, 允许最大粒径, 含泥量
坝壳砾质土		小于 5mm 含量, 含水率
坝壳砂砾石		级配, 砾石含量, 含泥量
堆石	硬岩	允许最大块径, 小于 5mm 颗粒含量, 含泥量, 软岩含量
	软岩	单轴抗压强度, 小于 5mm 颗粒含量, 含泥量

C4 三点击实试验法

C4.1 三点击实试验法又称快速压实控制法。用此法进行现场检验时, 不需要测定含水率, 仅在测定密度后, 用测密度试验的土样作三种含水率的击实试验, 测定三个击实湿密度, 就可以确定填土的压实度 (D)、最优含水率 (w_{op}) 与填土含水率 (w_f) 的差值。此种方法的优点能较好地考虑土料压实性的变化。对于压实性变化较大的黏性土或砾质土宜用此法控制压实度。

C4.2 三点击实控制法（参见图 C2、图 C3）的操作方法¹⁾。

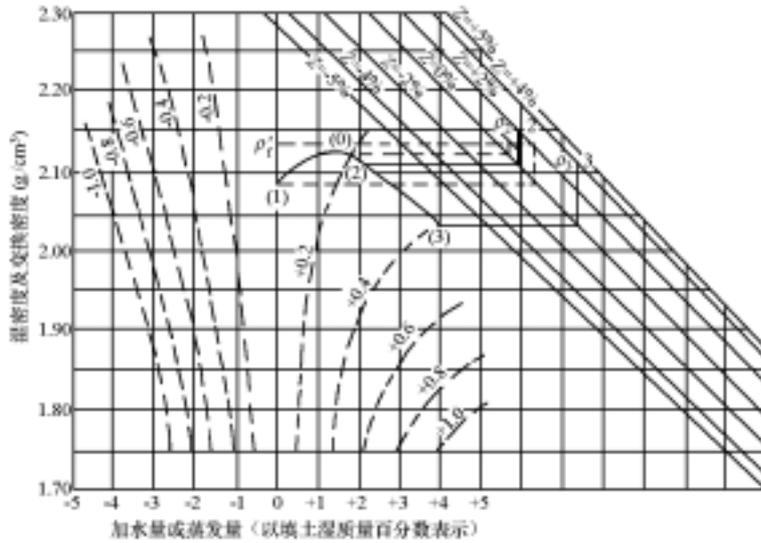


图 C2 三点击实控制图（一）

1 准备一张“三点击实控制图”。

2 测定填土密度 ρ_t ，其值标在横坐标为 0 的相应纵坐标 ρ_t 点上。

3 取 $<5\text{mm}$ 保持原有填土含水率的土样，用标准击实功能击实，得 ρ_1 ，并将该值标在三点击实控制图横坐标为 0 的相应纵坐标点 (1) 上。

4 取 3kg 小于 5mm 的湿土样加水 60cm^3 （即 $Z=2\%$ ），混合均匀进行击实，测得击实密度 ρ_2 ，标在该图斜线 $Z=+2\%$ 的相应纵坐标点 2 上，由点 2 引铅直线与 $Z=0\%$ 的斜线相交，再由相交点引水平线与横坐标 $+2\%$ 的纵线相交，其交点为点 (2)。

5 如果点 (2) 的纵坐标比点 (1) 大时，仍将原土样加水。

1) 对砾质土，击实试验应采用大、中型击实仪进行，所取保持原填土含水率的砾质土质量，应满足击实试验要求，加减水质量应按所取湿土质量百分数进行计算。

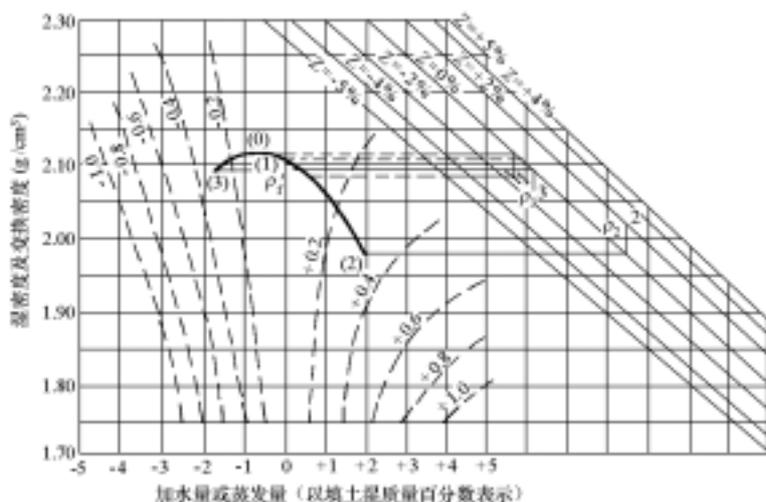


图 C3 三点击实控制图 (二)

取 3kg 湿土样加 120cm^3 水 (即 $Z=4\%$)，混合均匀进行击实，得击实密度 ρ_3 ，标在斜线 $Z=+4\%$ 的相应纵坐标点 3 上，由点 3 引铅直线与 $Z=0\%$ 的斜线相交，再由相交点引水平线与横坐标 $+4\%$ 的纵线相交，其点为点 (3)。见图 C2。

6 如果点 (2) 的纵坐标比点 (1) 小时，则将原土样干燥。取 3kg 湿土样使其水分减少 40cm^3 (即 $Z_1=-1.5\%$)，然后混合均匀进行击实，得击实密度 ρ_3 ，标在 $Z=-1.5\%$ 斜线的相应纵坐标点 3 上，由点 3 引铅直线与 $Z=0\%$ 的斜线相交，再由相交点引水平线与横坐标 -1.5% 的纵线相交，其点为点 (3)。见图 C3。

7 将点 (1) (2) (3) 连成光滑的曲线，确定其最大纵坐标点 (0)，即变换最大湿密度。

8 求压实度 D ，由 (0) 点引水平线与 $Z=0\%$ 斜线相交，由相交点作铅直线与 ρ'_t 点引出的水平线相交，查出此交点在斜线的读数。

$$\text{压实度 } D = 100 + (\text{斜线读数})\%$$

9 求密度比 C ，由点 (1) 引水平线与 $Z=0\%$ 斜线相交后，由相交点作铅直线与 ρ'_f 点引出的水平线相交，查出此交点在斜线的读数。

密度比 $C=100+(\text{斜线读数})\%$ 。

10 求最优含水率与填土含水率差值 ($w_{op}-w_f$)。

$$w_{op}-w_f=\Delta+Z_m$$

式中 Z_m ——最大纵坐标点 (即 (0) 点) 的横坐标；

Δ ——校正值，根据 (0) 点处于图中虚线间的位置查得。

11 为了留作记录，事后，烘干原土料，求得现场含水率 w_f ，则，

现场干密度 ($<5\text{mm}$) = 现场填土湿密度 ($<5\text{mm}$) / (1 + w_f)

试验室击实最大干密度 = 最大纵坐标 / (1 + w_f)

最优含水率 = $w_f + (1 + w_f) Z_m$

C4.3 三点击实试验控制图的数解法：

对于三点击实试验中加水的情况，可以用数解法求压实度 D 及最优含水率与填土含水率的差值，操作方法如下：

1 测定现场填土湿密度 (ρ_f)。

2 取小于 5mm 保持填土含水率的土样，以标准功能进行击实，测得其击实湿密度 (ρ_1)。因保持原填土含水率未加水，外加水率 $Z=0$ ，故其湿密度与变换湿密度 (ρ'_1) 相同。 $\rho'_1 = \rho_1 / (1+0) = \rho_1$ 。

3 取 3kg 小于 5mm 保持填土含水率的土样，加水 60cm^3 (即 $Z=0.02$)，混合均匀后，以标准击实功能击实，测得击实湿密度 ρ_2 。其变换湿密度 $\rho'_2 = \rho_2 / (1+0.02)$ 。

4 取 3kg 小于 5mm 保持填土含水率的土样，加水 120cm^3 (即 $Z=0.04$)，混合均匀后，以标准击实功能击实，测得击实湿密度 ρ_3 ，其变换湿密度 $\rho'_3 = \rho_3 / (1+0.04)$ 。

以变换湿密度 ρ' 为纵坐标，加水率 Z （以加水前湿土质量百分数表示）为横坐标，绘制 ρ' - Z 关系曲线，见图 C4。通过击实变换湿密度 ρ'_1 、 ρ'_2 、 ρ'_3 坐标点 A、B、C 三点的抛物线峰点的位置 M (Z_m, ρ_m) 为：

$$Z_m = \frac{4Y_B - Y_C}{2Y_B - Y_C}; \quad \rho_m = \rho'_1 + \frac{(4Y_B - Y_C)^2}{8(2Y_B - Y_C)}$$

$$Y_B = \rho'_2 - \rho'_1; \quad Y_C = \rho'_3 - \rho'_1$$

式中： Z_m ——最优含水率与填土含水率的差值，其正值表示填筑土料含水率偏低，负值表示填筑土料含水率偏高；
 ρ_m ——变换最大干密度。

压实度 $D = \rho_t / \rho_m$

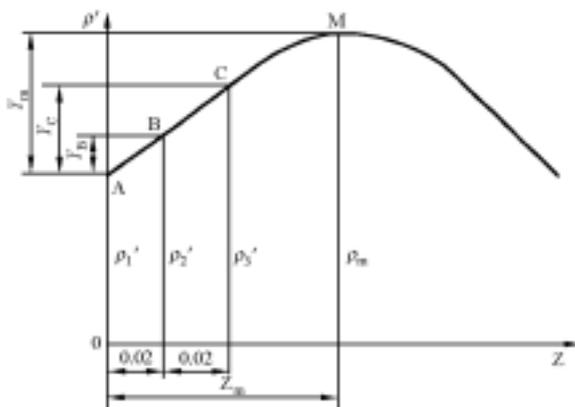


图 C4 ρ - Z 关系曲线图

C5 质量控制的统计分析

C5.1 质量统计数据：

质量数据的收集通常有两种方法，一是随机取样，另一种是系统取样。质量统计数据有以下几种。

1 子样平均值 \bar{X} ：

子样平均值又称算术平均值，是用来反映质量数据集中的位

置，计算式为：

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (C3)$$

式中： \bar{X} ——子样平均值；

X_i ——子样数据 ($i=1, 2, 3, \dots, n$)；

n ——样本容量。

2 子样标准差 σ 和离差系数 C_V ：

子样标准差反映质量统计数据的分散程度，其计算式如下：

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (C4)$$

或

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (C5)$$

当子样数 n 较多时，上两式计算结果相近，当子样数 n 较少时，则需采用式 (C5) 进行计算。

离差系数用来反映质量相对波动的大小，其计算式为：

$$C_V = \frac{\sigma}{\bar{X}} \quad (C6)$$

质量波动大小按表 C3 评价。

表 C3

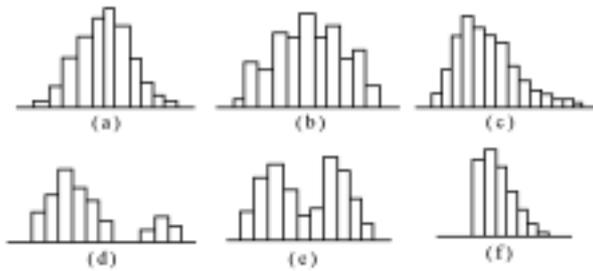
离差系数 C_V	$C_V < 0.1$	$0.1 \leq C_V < 0.2$	$0.2 \leq C_V < 0.3$	$0.3 \leq C_V < 0.4$	$C_V \geq 0.4$
离散性	很小	小	中等	大	很大

C5.2 质量控制的方法：

质量控制方法有：质量控制的直方图法、管理图法、排列图法、因果分析图法、相关图法等，最常用的方法是直方图法和管理图法。

1 质量控制直方图法：

a) 直方图法是反映产品质量在某一段时间内的静止状态，即静态分析方法。几种常见的典型直方图见图 C5。



(a) 对称形；(b) 锯齿形；(c) 偏峰形；
(d) 孤岛形；(e) 双峰形；(f) 绝壁形

图 C5 几种常见的典型直方图

b) 判断质量保证能力

将直方图的实际数据分布范围 B 与公差界限 T (即质量标准要求的界限) 比较, 可以看出数据分布是否都在公差范围内, 进而判断施工质量的波动情况。两者对比可分为图 C6 所示的六种情况。

1) B 和 T 的分布中心重合, 实际尺寸分布两边有一定余地, 此为理想的质量保证能力状态, 如图 C6 (a) 所示。

2) 中心稍有偏差, B 和 T 一端界限重合, 有超差的可能, 必须采取措施纠正偏差, 如图 C6 (b) 所示。

3) B 和 T 两端界重合, 质量数据太分散没有任何余地, 稍一不慎就会超差, 此时应提高施工质量, 以提高质量保证能力, 如图 C6 (c) 所示。

4) T 过分大于 B , 说明质量控制过严, 不经济, 应适当放松质量控制, 降低成本, 如图 C6 (d) 所示。

5) B 和 T 界限交叉, 中心过分偏移, 产生单边超差, 出现质量不合格, 此时应立即调整, 使分布移至中心, 避免再出现废品, 如图 C6 (e) 所示。

6) B 大于 T , 产生双边超差, 说明质量保证能力不足, 应立即采取措施提高质量保证能力, 消除系统性误差, 如图 C6 (f) 所示。

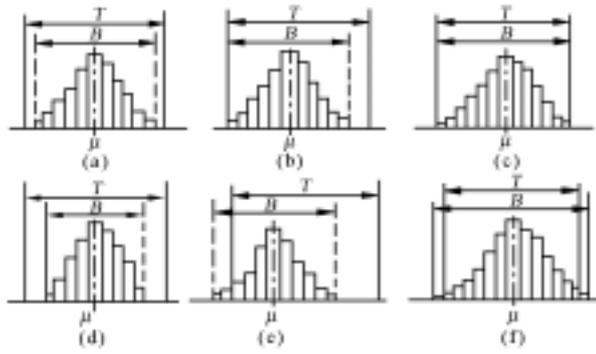


图 C6 直方图范围与标准比较

2 质量控制的管理图法：

在实际工程中，工程质量都是在动态的过程中形成的，而质量控制管理图则能够及时提出施工过程中质量状态的变化情况，使工程质量始终处于受控状态。

a) 管理图的一般形式如图 C7 所示，它由一直角坐标、三条直线和一条折线组成。横坐标表示样本编号（或取样日期），纵坐标表示质量特征值。三条直线中，上线叫控制上界限(UCL)、中线叫中心线(CL)、下线叫控制下界限(LCL)。控制界限是根据数据统计学原理，采用“三倍标准偏差法”计算确定的，即将中心线定在被控制对象的平均值上，以中心线为基准向上、向下各量 3 倍标准偏差，即为控制上限和控制下限。

b) 管理图的观察分析：

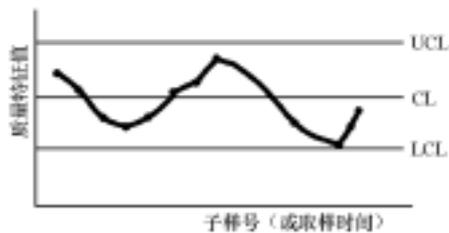


图 C7 管理图的一般形式

1) 施工处于控制状态:

点子是随机排列的,而且排列无缺陷;连续 25 个点以上处于界限内,或连续 35 个点中只有一个点超出控制界限,或连续 100 个点中只有两个点超出控制界限。

2) 施工处于异常状态:

点子连续在中心线一侧出现 7 个以上;7 个以上的点子连续上升或连续下降;点子出现周期性波动;5 个点子中至少有 2 个点子或连续 7 个点子中至少有 4 个点子在 $\pm 1.96\sigma$ 界线和控制界线之间时。

本标准的用词说明

- D1** 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”。
- D2** 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”。
- D3** 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应该这样做的：
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。
- D4** 表示有选择，在一定条件下可以这样做的：
采用“可”。