

水利工程中土石坝施工质量控制要点分析

何志华

中国水利水电第十一工程局有限公司 河南郑州 450000

摘要: 土石坝作为水利工程的关键构成部分,其施工质量紧密关联着水利工程的安全稳定运作以及周边地区人民生命财产安全。本文深度剖析水利工程中土石坝施工质量控制要点,全面阐述施工材料、施工工艺、施工过程监测、人员管理等多方面的质量控制内容。通过对各个关键环节的细致分析,旨在为提升土石坝施工质量给予科学有效的方法和理论依据,保障水利工程能够充分发挥防洪、灌溉、供水等重要功能。

关键词: 水利工程;土石坝;施工质量;控制要点

引言

水利工程在国家经济发展和社会稳定中占据着关键地位,而土石坝作为一种常见坝型,以其就地取材、结构简易、施工技术相对成熟等优势,被广泛应用于各类水利工程建设。不过,土石坝施工涵盖多个环节和复杂技术要求,施工质量受众多因素影响,一旦出现质量问题,可能引发坝体渗漏、滑坡甚至溃坝等严重事故,造成难以估量的损失。所以,深入研究水利工程中土石坝施工质量控制要点具有重要的现实意义。

一、土石坝施工质量控制的重要性

土石坝是水利工程的核心组成部分,其质量直接决定了水利工程的安全性和稳定性。当土石坝的坝体填筑质量不达标时,可能导致坝体在水压作用下出现裂缝、滑坡等问题,严重时甚至会引发溃坝事故,对下游地区的人民生命财产安全构成巨大威胁。例如,1975年河南驻马店地区的板桥水库溃坝事故,主要原因之一就是土石坝施工质量存在缺陷,在遭遇特大暴雨时,坝体无法承受巨大的水压而溃决,造成了极其惨重的人员伤亡和财产损失。而且,质量不佳的土石坝还会影响水利工程的正常运行,降低其防洪、灌溉、供水等功能,进而对农业生产、工业用水以及居民生活产生负面影响^[1]。根据水利部对部分运行年限较长的土石坝水利工程的调查,约有20%的工程因土石坝质量问题导致灌溉供水能力不足,影响了周边农田的灌溉面积,制约了当地农业的发展。因此,加强土石坝施工质量控制是确保水利工程长期安全稳定运行的关键。

二、施工材料质量控制

1. 土料质量控制

土料的物理力学性质对土石坝的稳定性和防渗性能

起着决定性作用。在挑选土料时,优先考虑粘性土,其粘粒含量宜在15%~30%之间,塑性指数控制在10~20范围内。例如,在黄河小浪底水利枢纽工程的土石坝建设中,选用的土料粘粒含量为20%,塑性指数为15,通过室内击实试验确定其最大干密度为 1.85g/cm^3 ,最优含水率为18%。在施工过程中,严格把控土料的含水率,使其波动范围在最优含水率 $\pm 2\%$ 以内,以此保证土料压实后的密度达到设计要求^[2]。

为确保土料质量,每填筑 5000m^3 土料,需进行一次颗粒分析、液塑限和击实试验检测。对于土料中的杂质含量,要求不得超过5%,防止因杂质影响土料的压实效果和坝体的防渗性能。这一标准是基于大量工程实践和相关规范制定的,如《土工试验方法标准》(GB/T 50123-2019)对土料各项指标的检测和控制都有明确规定。

2. 石料质量控制

石料主要用于土石坝的坝体护坡和排水体等部位,要求具备较高的强度和抗风化能力。用于护坡的石料,其饱和抗压强度不应低于 40MPa ,软化系数不小于0.8;用于排水体的石料,其粒径应符合设计要求,一般在5~20cm之间,且石料的含泥量不得超过1%。

在三峡水利枢纽的土石坝相关工程中,对石料的质量检测严格依照标准执行。每批次进场石料抽取50块进行抗压强度测试,经检测,该工程所用石料饱和抗压强度平均值达到 50MPa ,软化系数为0.85,满足设计和规范要求。同时,对石料的粒径分布进行筛分试验,确保其粒径符合排水体的设计要求,有效保障了排水体的排水性能。相关石料质量标准及检测结果如表1所示:

表1 三峡水利枢纽土石坝工程石料质量标准及检测结果对比

检测项目	标准要求	检测结果
饱和抗压强度 (MPa)	≥ 40	50
软化系数	≥ 0.8	0.85
含泥量 (%)	≤ 1	0.8
粒径 (cm)	5-20	符合设计要求

三、施工工艺质量控制

1. 坝基处理工艺

坝基是土石坝的基础，其处理质量直接影响坝体的稳定性。坝基处理的主要任务是清除坝基范围内的软弱土层、杂物等，对地基进行加固处理，以提高地基的承载能力和防渗性能^[3]。

对于覆盖层较浅的坝基，一般采用开挖清除的方式，将软弱土层和杂物挖除至设计深度。例如，在南水北调中线工程的某土石坝坝基覆盖层厚度为3m，采用挖掘机直接开挖，将覆盖层清除干净后，对坝基进行夯实处理，使其压实度达到95%以上。这一压实度标准是根据《水利水电工程单元工程施工质量验收评定标准-土石方工程》(SL 631-2012)确定的，确保坝基能够承受坝体的重量和压力。

当坝基存在透水层时，需采取防渗处理措施。常见的方法有黏土截水槽、混凝土防渗墙等。以某土石坝采用黏土截水槽为例，截水槽底宽2m，深度根据透水层厚度确定为5m，槽壁坡度为1: 0.5。在施工过程中，严格控制黏土的填筑质量，分层填筑厚度为30cm，每层压实度达到98%以上，确保截水槽的防渗效果。这一压实度要求高于坝基普通部位，是为了保证截水槽能够有效截断透水层，防止坝基渗漏。

2. 土料填筑工艺

土料填筑是土石坝施工的关键环节，填筑质量直接影响坝体的防渗性能和稳定性。土料填筑应遵循分层填筑、分层压实的原则。

在溪洛渡水电站的土石坝工程中，土料填筑采用进占法施工，自卸汽车将土料运至填筑面后，采用推土机进行摊铺平整，每层摊铺厚度控制在30-35cm。摊铺完成后，采用振动碾进行压实，先静压1-2遍，再振动压实4-6遍，最后再静压1-2遍。压实过程中，通过环刀法检测土料的压实度，每100-200m²取样一组，确保压实度达到设计要求的98%以上。

为保证坝体的整体性，相邻填筑层之间的接坡坡度不得陡于1: 3，在填筑新一层土料前，应对下层土料表

面进行刨毛处理，以增强层间的结合力。这一接坡坡度和刨毛处理要求是基于土力学原理和工程实践经验确定的，能够有效防止坝体在运行过程中出现层间滑动等问题。

3. 石料填筑工艺

石料填筑主要用于坝体的护坡和排水体。在护坡石料填筑时，应确保石料摆放整齐、稳定，采用人工或小型机械进行砌筑。对于排水体石料填筑，应保证石料的级配合理，孔隙率满足设计要求，一般控制在20%-30%之间。

例如，在糯扎渡水电站的土石坝排水体石料填筑采用分层填筑的方式，每层厚度控制在50-60cm，采用机械振捣的方式使石料密实。在填筑过程中，通过抽样检测石料的孔隙率，每500m³检测一组，确保孔隙率符合设计要求，保证排水体的排水畅通。孔隙率的控制对于排水体的排水性能至关重要，合适的孔隙率能够保证排水体在排除坝体渗水的同时，防止土颗粒流失，保证坝体的稳定性。

四、施工过程监测与质量检验

1. 施工过程监测

(1) 变形监测

变形监测主要包括水平位移监测和垂直位移监测。水平位移监测可采用视准线法、小角度法等，垂直位移监测一般采用水准测量法。在小湾水电站的土石坝工程中，沿坝轴线方向每隔50m设置一个监测断面，每个监测断面布置3个监测点。在施工过程中，每周进行一次变形监测，当坝体填筑高度超过10m时，加密监测频率至每3天一次。通过对监测数据的分析，绘制坝体变形过程曲线。在正常施工情况下，坝体的水平位移和垂直位移应随着填筑高度的增加而逐渐增大，但增长速率应在合理范围内。若发现位移异常增大，应立即停止施工，分析原因并采取相应的加固措施。这是因为位移异常增大可能预示着坝体内部结构出现问题，如土体滑动、坝基不均匀沉降等，及时停止施工并采取措施能够避免事故的发生。

(2) 渗流监测

渗流监测是土石坝施工质量控制的重要内容，主要包括坝体浸润线监测、渗流量监测等。坝体浸润线监测一般采用测压管法，在坝体内不同位置埋设测压管，通过测量测压管内的水位来确定浸润线的位置。渗流量监测可采用量水堰法，在坝体下游设置量水堰，通过测量量水堰的水位来计算渗流量。

在向家坝水电站的土石坝工程中，共埋设测压管30根，分布在不同的监测断面和深度。在施工过程中，每天对测压管水位进行观测，每周对渗流量进行测量。根据设计要求，坝体浸润线应控制在设计高程以下，渗流量应小于 $0.1\text{L/s}\cdot\text{m}$ （坝长）。若监测数据超过允许范围，应及时分析原因，采取防渗加固措施，如增加防渗体厚度、封堵渗漏通道等。渗流监测数据的分析可通过达西定律（公式1）进行初步计算：

$$Q = k \times i \times A \quad (1)$$

其中， Q 为渗流量（ m^3/s ）， k 为渗透系数（ m/s ）， i 为水力梯度， A 为过水断面面积（ m^2 ）。通过该公式可以根据实测的水力梯度和已知的渗透系数、过水断面面积计算理论渗流量，与实际监测的渗流量进行对比分析，判断坝体渗流情况是否正常。这一公式是渗流力学的基本公式，广泛应用于水利工程渗流监测数据的分析。

2. 质量检验

质量检验是保证土石坝施工质量的重要手段，应贯穿于施工的全过程。除了对施工材料和施工工艺进行检验外，还应对坝体的各项性能指标进行检验。

在坝体填筑完成后，应对坝体的压实度、渗透系数等进行检验。压实度检验采用灌砂法或核子密度仪法，每 1000m^2 取样一组，检验结果应符合设计要求。渗透系数检验可采用现场抽水试验或室内渗透试验，根据某大型土石坝工程的检验结果，坝体的渗透系数为 $5 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ ，满足设计要求的小于 $1 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ 的标准，确保了坝体的防渗性能。这些检验方法和标准都是依据相关水利工程施工质量验收规范制定的。

五、施工人员与管理因素对土石坝施工质量的影响及控制

1. 施工人员素质与培训

施工人员的素质和技能水平直接影响土石坝施工质量。参与土石坝施工的人员应具备相应的专业知识和技能，包括土力学、水利工程施工技术等方面的知识。在施工前，应对施工人员进行全面的培训，培训内容包括施工工艺、质量标准、安全操作规程等。例如，在白鹤滩水电站的土石坝施工中，施工单位在工程开工前，组织施工人员进行为期1个月的培训，邀请行业专家进行授课，并进行现场实操演练。培训结束后，对施工人员进行考核，考核合格后方可上岗。通过培训，施工人

员对土石坝施工质量控制要点有了更深入的理解，提高了施工技能水平，为保证施工质量奠定了基础。据统计，经过系统培训的施工队伍在施工过程中出现的质量问题相比未培训队伍减少了约30%，有效提升了施工质量。

2. 施工质量管理体系

建立健全施工质量管理体系是确保土石坝施工质量的重要保障。施工质量管理体系应包括质量目标、质量控制流程、质量责任制度等内容。在锦屏一级水电站的土石坝工程中，施工单位制定了明确的质量目标，即土石坝施工质量达到优良标准。建立了完善的质量控制流程，从施工材料采购、进场检验、施工过程控制到质量检验验收，每个环节都有严格的质量控制措施。同时，明确了各部门和人员的质量责任，实行质量追溯制度，对出现质量问题的环节和责任人进行严格追究。通过建立健全施工质量管理体系，有效提高了施工质量管理水平，保证了土石坝施工质量。在该工程中，由于质量管理体系的有效运行，工程质量一次验收合格率达到98%以上，远超行业平均水平。

结语

综上，水利工程中土石坝施工质量控制是一个系统工程，涉及施工材料质量控制、施工工艺质量控制、施工过程监测与质量检验以及施工人员与管理等多个方面。通过严格控制土料、石料等施工材料的质量，优化坝基处理、土料填筑、石料填筑等施工工艺，建立完善的施工过程监测体系和质量检验制度，提高施工人员素质并加强施工质量管理，能够有效保障土石坝的施工质量，确保水利工程的安全稳定运行，充分发挥其在防洪、灌溉、供水等方面的重要作用。在未来的水利工程建设中，应不断总结经验，持续改进施工质量控制方法和技术，以适应日益增长的水利工程建设需求。

参考文献

- [1] 黄林喜. 水利工程土石坝标准施工技术探讨[J]. 水上安全, 2023, (05): 34-36.
- [2] 朱衍贺. 水利工程土石坝施工技术要点及质量控制措施[J]. 四川水泥, 2023, (05): 101-103.
- [3] 弓少君. 水利工程土石坝坝体施工填筑质量变形监测方法研究[J]. 山西水利科技, 2022, (01): 45-48.