

土石坝填筑质量控制措施探讨

李亚洪

云南恒诚建设监理咨询有限公司

DOI:10.32629/hwr.v9i12.6712

[摘要] 土石坝因其结构适应性广、筑坝材料就地取材方便、经济效益显著等优势,成为国内外广泛采用的水坝形式,其填筑质量是影响坝体长期稳定与安全运行的核心因素。本文以开远市泸江水库粘土心墙风化料坝为实际案例,阐述填筑过程中在料场优选、材料处理、含水率调控、摊铺厚度、碾压工艺等关键环节所采取的质量控制方法。同时,结合坝基固结灌浆技术要求,对灌浆材料、钻孔施工、灌浆工艺及质量检查等方面进行了系统说明,对压实度检测、施工过程监控及特殊气候条件下的应对措施进行了重点分析,总结出一套适用于高土石坝填筑的质量控制体系。

[关键词] 土石坝; 填筑质量; 粘土心墙; 压实控制; 质量检测

中图分类号: TV541+.1 **文献标识码:** A

Discussion on quality control measures of earth rock dam filling

Yahong Li

Yunnan Hengcheng Construction Supervision Consulting Co., Ltd

[Abstract] earth rock dam has become a widely used dam form at home and abroad because of its wide structural adaptability, convenient local materials for dam construction, and significant economic benefits. Its filling quality is the core factor affecting the long-term stability and safe operation of the dam. Taking the weathered material dam with clay core wall of Lujiang reservoir in Kaiyuan city as an actual case, this paper expounds the quality control methods adopted in the key links of the filling process, such as the selection of material yard, material treatment, water content control, paving thickness, rolling process and so on. At the same time, combined with the technical requirements of dam foundation consolidation grouting, the grouting materials, drilling construction, grouting technology and quality inspection are systematically described, and the compaction detection, construction process monitoring and Countermeasures under special climate conditions are emphatically analyzed, and a set of quality control system suitable for high earth rock dam filling is summarized.

[Key words] earth rock dam; Filling quality; Clay core wall; Compaction control; Quality inspection

土石坝因其适应性强、施工简便、造价相对较低等优点,在水利工程中得到广泛应用。然而,土石坝的填筑质量受材料特性、施工工艺、环境条件等多种因素影响,若控制不当,极易引发渗漏、变形甚至溃坝等严重问题。开远市泸江水库拦河坝为粘土心墙风化料坝,坝高85.30米,总库容1155.69万立方米,属于中型水库,其填筑质量对工程安全至关重要。此外,坝基处理特别是固结灌浆施工质量,直接影响坝基的整体性与防渗性能,是确保坝体安全的基础。本文结合该工程实例,对土石坝填筑过程中的质量控制措施进行探讨。

1 料场选择与材料质量控制

1.1 料场勘察与优选

料场的科学选择是保障土石坝填筑质量的源头与基石。该

项工作绝不能局限于简单的就地取材,而必须进行系统性的勘察与综合比选。在泸江水库工程启动前期,设计单位便组织了大量地质勘探力量,对坝址周边潜在料源区进行了多轮详细的勘察。对于心墙所需的粘土料,勘探重点在于评估其天然含水率、颗粒组成、塑性指数、渗透系数以及矿物成分。对于坝壳使用的风化料,则着重分析其岩石风化程度、颗粒级配、抗压强度与软化特性。

1.2 材料分类与处理

从料场开采出的原生材料往往成分复杂且不均一,必须经过严格的分类与针对性处理,才能满足大坝不同部位对填筑料的特定要求。类似地,在坝基固结灌浆施工中,灌浆材料的质量控制同样至关重要。在泸江水库工程中,确立了明确的分料原

则: 心墙防渗体必须采用低渗透性、高塑性的优质粘土料, 其目标是有效阻滞库水渗流, 保障大坝渗透稳定; 而上下游坝壳的风化料则要求具备较高的抗剪强度和良好的排水性能, 以支撑坝体结构稳定并迅速消散孔隙水压力。施工伊始, 对于块径过大的风化料, 在料场装车时采用颚式破碎机或反击式破碎机进行破碎, 使其最大粒径符合填筑规范^[1]。对于粘土料, 经对料场复核, 存在天然含水率偏离最优含水率的情况, 采用提前在料场内挖通风沟的方式来降低含水率。

2 填筑施工工艺控制

2.1 摊铺与平整

摊铺与平整是填筑施工的基础环节, 其质量直接关系到后续碾压的均匀性与整体压实效果。在泸江水库大坝填筑土料过程中, 严格遵循分层摊铺的原则, 每一层的铺料厚度按碾压试验后确定的参数进行, 每层的铺筑宽度为35cm, 填筑压实厚度约三十厘米。为实现厚度的有效控制, 施工时采用测量标杆配合全站仪进行实时监测, 并由经验丰富的施工员使用钢钎进行查验, 避免出现超厚或厚度不足的区域。摊铺作业主要采用大型履带式推土机进行, 其优点是接地比压小, 行驶平稳, 能够有效减少对已压实层面的扰动。推土机将料堆推开后, 需进行精细平整, 这一工序通常由平地机完成^[2]。

2.2 含水率控制

含水率是影响土料压实性能最为敏感的关键因素, 其控制精度对能否达到设计压实度起着决定性作用。在泸江水库工程中, 对心墙粘土料的含水率控制尤为严格。施工前, 实验室通过标准的击实试验确定了各类土料的最优含水率, 作为现场控制的基准值。现场控制则遵循一个动态调整的过程。土料从料场运输至填筑面后, 质检人员会立即使用快速含水率测定仪或采用酒精燃烧法进行多点、快速的检测, 迅速掌握来料的含水率状况。若检测发现含水率低于最优值, 则组织洒水车进行雾化洒水, 并采用旋耕犁进行翻拌, 使水分均匀渗透, 必要时还需进行一定时间的焖料, 确保水分充分运移均匀。若含水率偏高, 则立即使用铧犁进行翻松晾晒, 利用日照和风力作用加速水分蒸发。在整个施工段内, 务求将含水率波动范围控制在最优含水率正负百分之二的狭窄区间内。

2.3 碾压工艺

碾压是赋予填筑体密实度和结构强度的核心工序。泸江水库大坝填筑主要选用32吨位的自行式振动碾作为碾压机具, 其激振力大、作用深度深, 效率高。正式大规模碾压前, 必须在现场选取代表性区域进行碾压试验段施工。通过试验段, 系统地验证并最终确定用于正式施工的碾压参数, 包括碾压设备的类型、振动碾的振动频率和振幅、碾压遍数、行驶速度以及松铺厚度等。在碾压作业过程中, 操作手必须严格执行经试验段确定的工艺参数。碾压路线遵循由边缘向中心、轮迹搭接有序的原则, 振动碾的行驶速度保持匀速慢行, 通常控制在每小时两至四公里之内, 以确保振动能量有足够的作用时间。对于碾压遍数, 不仅有总数要求, 更强调碾压的均匀性, 避免漏压和过压^[3]。

2.4 坝基固结灌浆施工工艺

坝基固结灌浆是增强坝基整体性与防渗能力的关键环节, 其施工需系统控制钻孔、冲洗、灌浆及封孔等工艺。钻孔时应依据地质条件选用合适钻机与钻头, 孔径一般不应低于56毫米, 检查孔等特殊孔孔径宜在76毫米以上, 孔位偏差须控制在10厘米内, 孔向与孔深需严格符合设计。钻进中若遇涌水、塌孔等异常, 须详细记录并及时报监理处理。成孔后需采用大水流或压缩空气进行钻孔冲洗, 确保孔底残留物厚度小于20厘米; 灌浆前还应使用压力水进行裂隙冲洗, 压力一般为灌浆压力的80%且不超过1兆帕, 直至回水清净。同时应在各序孔中抽取不低于5%的孔段开展简易压水试验, 以透水率吕容值评估岩体渗透性。灌浆方法可根据地质与工程要求灵活选用, 如全孔一次、分段或孔口封闭等工艺, 段长超过6米时宜分段进行, 单段长度通常为5至6米, 最长不宜超过10米。灌浆原则上采用单孔灌注, 对相互串通的孔可进行并联灌注, 但并联数不应超过3个, 且在软弱或敏感部位应避免多孔并联。灌浆结束的标准为在设计最大压力下注入率持续30分钟不大于每分钟1升。终灌后应及时封孔, 可采用导管注浆或全孔灌浆法, 封孔压力一般不低于2兆帕, 且灌浆持续时间需达到1小时以上。

3 压实质量检测与监控

3.1 现场检测方法

现场压实质量的检测是施工过程中最为频繁和关键的控制活动。在泸江水库大坝填筑中, 针对不同填料采用了多种检测方法并行互补的模式, 对于粘土心墙这类细粒料, 主要采用环刀法测定其湿密度和含水率, 进而计算压实度。操作人员会在碾压完毕的作业面上, 依据规范布点原则, 在一定面积内选取具有代表性的点位, 小心地将环刀垂直压入土体, 取出原状土样后立即密封, 送至现场试验站称重和烘干计算。对于坝壳区的粗粒风化料, 则普遍采用灌砂法进行密度检测。该方法需要在地面开挖一定尺寸的试坑, 将挖出的全部材料称重, 然后用标准砂填充试坑以测定其体积, 从而计算出材料的干密度。整个过程要求细致精确, 以避免体积量测误差。

3.2 实验室试验

现场检测获取的是压实度的即时数据, 而实验室试验则用于深入验证和评价填筑材料的内在工程性能。从施工现场获取的代表性样品会被及时送往具备资质的中心实验室进行一系列标准试验。击实试验是其中最基本也是最重要的试验之一, 通过该试验确定土料的最大干密度和最优含水率, 这两个指标正是现场压实质量控制的基准目标。渗透试验则专门用于评估心墙粘土料的防渗能力, 通过测定其渗透系数, 确保其能够有效阻隔库水渗透, 保障大坝的渗流稳定。压缩固结试验用于分析填筑体在未来坝体荷载作用下的沉降变形特性, 预测大坝的长期沉降量, 判断其是否在允许范围内。

3.3 质量监控体系

一个高效运转的质量监控体系是确保所有质量控制措施得以落实的制度保障。泸江水库工程构建了多层次、全过程的立

体化监控网络。该体系的核心是施工单位内部的三检制,即施工班组初检、施工队复检、项目部专职质检员终检。每一层填筑料从进场、摊铺到碾压完毕,都必须通过这三道检查关口,确认合格后方可报请验收。在此基础上,监理单位行使独立的监督权,通过旁站监理、巡视和平行抽检等方式,对施工单位的质量行为和工程实体进行监督验证。业主单位则从宏观管理角度,组织定期的质量大检查和专项稽查,并对监理和施工单位的工作成效进行考核。所有检测数据、验收意见和问题整改通知均被实时记录和存档,形成了可追溯的责任链条。

3.4 固结灌浆质量检查

固结灌浆工程的质量检查宜采用检测岩体弹性波波速的方法,检测可在灌浆结束14d后进行。也可采用钻孔压水试验的方法,检测时间可在灌浆结束7d或3d后进行。检查孔的数量不宜少于灌浆孔总数的5%。工程质量合格标准为:单元工程内检查孔各段的合格率应达到85%以上,不合格孔段的透水率不超过设计规定值的150%,且不集中。对于检查不合格的孔段,应根据工程要求和不合格程度确定是否需对相邻部位进行补充灌浆和检查。

4 特殊条件下的质量控制

4.1 雨季施工措施

泸江水库工程所在地降水集中,为此项目部制定了极为详尽的雨季施工专项方案。对于料场,尤其是在建的开挖作业面,预先在其周边开挖了完整的环形截水沟和排水沟,有效引导地表径流远离料源区,防止雨水浸泡导致有用料含水率升高甚至失效。对于正在填筑的坝面,则形成了快速反应的作业流程。气象信息的获取至关重要,项目部与地方气象台建立了联动机制,尽可能避开中到大雨天气进行心墙等关键部位施工。在填筑现场,作业面始终保持微小的向外倾斜拱度,以利雨水迅速排走。同时,备足了大型防水雨布。当天气突变或降雨来临前,立即停止摊铺新料,并迅速组织人力将已摊铺但尚未碾压的作业面用雨布进行全面覆盖,防止雨水浸入。雨后复工前,必须由质检人员对表层土料的含水率进行系统检测。若仅表面轻微湿润,可通过犁耙翻松进行晾晒;若浸泡严重,则坚决将其作为不合格料清除出场^[4]。

4.2 低温施工控制

首先,在施工组织上进行调整,将填筑作业尽量安排在每日气温较高的时段集中进行,实行快节奏、短间隔的连续施工,确保从卸料、摊铺到碾压整条作业链紧密衔接,在上层土料覆盖前,

下层土料始终高于冰点。其次,是积极的保温手段。对于心墙粘土料这类对冰冻敏感的材料,在运输过程中采用保温篷布对运料车进行苫盖,减少运输途中的热量损失。在填筑现场,当白天气温较低时,对刚刚平整完毕待压的铺层,在碾压前也使用保温材料进行临时覆盖。

5 信息化管理在质量控制中的应用

在泸江水库这类中型水库工程建设中,信息化管理手段的应用显著提升了质量控制的精确性与工作效率。具体而言,在摊铺环节,通过在推土机等设备上安装高精度GPS定位系统与坡度控制系统,能够实时显示铲刀的高程与平面位置,操作人员可据此精确控制铺层厚度与平整度,有效避免了人为测量误差和超厚摊铺带来的碾压不实风险。在核心的碾压工序中,智能碾压监控系统发挥了至关重要的作用。该系统通过在振动碾上安装传感器,可以实时采集并传输碾压遍数、行驶速度、振动状态和压实计数值等关键参数至云端平台。管理人员通过电脑或移动终端即可全面掌握整个作业面的碾压进度与质量状况,系统会自动生成碾压轨迹图与遍数色谱图,对欠压或漏压区域进行精准报警,指令机手进行补压,彻底消除了以往依靠人工记忆和画线标识带来的不确定性。

6 结语

土石坝填筑质量控制是一个系统性强、技术要求高的过程。通过科学选料、严格施工、精准检测和全过程监控,可有效保障填筑质量,确保大坝安全稳定运行。泸江水库工程实践证明,只有建立健全的质量控制体系,才能为水利工程的长期安全提供坚实保障。

[参考文献]

- [1]李海斌.峡谷区心墙堆石坝填筑施工技术及其质量控制[J].甘肃水利水电技术,2024,(5):49-52.
- [2]葛少华.均质土石坝填筑施工工艺优化与质量控制研究[J].门窗,2025(8):187-189.
- [3]刘晓刚.水利水电工程混凝土面板堆石坝施工技术[J].工程建设与设计,2024(20):190-192.
- [4]李文通.水利工程土石坝施工技术要点及质量控制措施[J].户外装备,2023(8):316-318.

作者简介:

李亚洪(1980--),男,彝族,云南禄丰人,本科,高级工程师,研究方向:水利工程。