

大坝填筑施工技术在水利水电工程中的研究与应用

侯振芳

浚县水利局，河南省鹤壁市，456250；

摘要：水利水电工程是国家基础设施建设的重要组成部分，在防洪减灾、水资源调配、清洁能源供应等方面发挥着不可替代的作用。文章系统探讨大坝填筑施工技术在水利水电工程中的关键应用要点，分析了施工过程中常见的典型问题，并深入研究了相应的质量控制措施。通过全面梳理与论证，旨在为大坝建筑工程的科学施工与有效管理提供理论参考与实践指导。

关键词：大坝填筑施工技术；水利水电工程；应用

DOI：10.69979/3060-8767.25.11.044

引言

大坝作为水利水电枢纽的主体建筑物，其安全性与稳定性至关重要。大坝填筑施工是指利用土石等材料进行分层填压构筑坝体的过程，该技术广泛应用于土石坝等多种坝型建设。填筑施工质量直接影响大坝的防渗性能、结构稳定性和耐久性。随着工程建设规模不断扩大和技术要求日益提高，对大坝填筑施工技术的研究与应用提出了更高标准。深入分析填筑技术的应用要点，识别施工中的常见问题，并建立有效的质量控制体系，对于保障工程安全、提升建设效益具有重大现实意义。

1 大坝填筑施工技术在水利水电工程中的应用要点

1.1 填筑材料的选择与制备技术

工程中需根据坝型设计要求、当地材料资源状况以及经济合理性原则进行综合比选。常见的填筑材料包括黏土、砾石、碎石、风化料以及人工掺合料等。选择过程中，需重点评估材料的级配特性、最大干密度、最优含水量、渗透系数、抗剪强度等关键指标。防渗体材料应优选低渗透性的黏性土，而坝壳支撑体则可选用透水性较好的砂砾料。材料制备技术则涉及开采、筛分、破碎、掺合等一系列工艺。对于天然料场，需进行详细的勘察试验，确定可用料层的分布与性质。开采时应分层或分区进行，避免杂质混杂。对于级配不良的材料，需通过破碎或掺配工艺进行调整，使其满足设计级配曲线要求。含水量控制是制备环节的重中之重，过高或过低的含水量均会影响压实效果，通常需通过翻晒、洒水等方式将材料含水量调整至最优含水量附近。

1.2 分层填筑与摊铺平整技术

分层填筑是指将填筑材料按一定厚度分层进行铺

料和压实，其核心在于控制每层的铺筑厚度。铺层厚度需根据压实机械的性能、材料性质及压实度要求确定，过厚会导致下部压实不足，过薄则降低施工效率。摊铺平整作业旨在使每层填料表面平整均匀，避免出现高低不平、集料分离等现象。施工中通常采用进占法或后退法进行铺料，使用推土机、平地机等机械进行摊铺整平。摊铺过程中应严格控制铺料方向与次序，尽量使材料均匀分布，减少粗细骨料离析。对于不同分区的大坝，如心墙、反滤层、坝壳等，应协调各区的填筑进度，保持均衡上升，避免出现过大的高差，从而减少不均匀沉降和裂缝产生的风险。精细化的摊铺平整为后续压实作业创造了良好条件，是提升填筑质量的重要环节。

1.3 碾压压实技术与工艺参数控制

碾压压实是填筑施工的核心环节，其目的是通过机械碾压使填料颗粒重新排列紧密，减少孔隙比，从而提高坝体的密实度和力学性能。压实技术的关键在于选择合适的压实机械及其工作参数。常用压实机械包括振动碾、气胎碾、羊足碾等，需根据材料类型进行选择。黏性土宜选用羊足碾或气胎碾，无黏性土则更适合振动碾。工艺参数控制涉及碾压遍数、行驶速度、碾压轨迹搭接宽度以及振动碾的振幅和频率等。碾压遍数需通过现场试验确定，确保达到设计压实度。行驶速度应保持匀速，过快会削弱压实效果。碾压轨迹应有足够搭接，避免漏压。对于振动碾压，振幅和频率的设置需与材料特性相匹配。施工中还需严格控制填料含水量，使其接近最优含水量，以获得最佳压实效果。规范的压实工艺能有效提高坝体的抗剪强度、减小变形、增强抗渗能力。

1.4 接缝与结合面处理技术

大坝填筑过程中不可避免地会产生各种施工接缝和结合面，如分层之间的水平施工缝、坝体与岸坡或混

混凝土结构的结合面、不同填筑区之间的纵向接缝等。这些部位是结构的薄弱环节，若处理不当易成为渗漏通道或引发不均匀沉降。接缝处理技术至关重要。对于水平施工缝，在铺筑新一层填料前，需对已压实的层面进行刨毛处理，清除表面浮松物质，并适当洒水湿润，以确保新旧层间良好结合。坝体与岸坡或刚性建筑物的结合面是防渗的关键部位，通常需开挖成一定坡度或设置齿槽，并采用接触黏土或高塑性土进行仔细填筑压实。不同填筑区之间的接缝，应采用台阶式搭接或斜坡接触，并保证反滤层的正确设置。所有接缝处理都应加强质量控制，进行重点碾压和检测。良好的接缝处理能有效保证坝体的整体性和防渗系统的连续性。

2 大坝填筑施工技术在水利水电工程应用中的常见问题

2.1 填筑材料质量不均匀与变异性问题

材料质量不均匀是大坝填筑中频繁出现的问题之一，天然料场通常存在层理变化和成分波动，若勘察不详尽或开采时混入不同性质的土层，会导致填料物理力学指标离散性大。开采过程中若未按设计要求分区分层开挖，或使用爆破工艺不当造成级配劣化，都会加剧材料的不均匀性。材料在堆场储存时，若未按要求分层堆放或防护措施不到位，引起含水量变化或杂质混入。运输和摊铺过程中，特别是对于粗粒料，易发生粗细颗粒离析，造成局部区域细料集中或粗料集中，影响压实均匀性和渗透稳定性。

2.2 压实度不足与压实均匀性差问题

导致压实度不足的原因包括铺层过厚、碾压参数不当、含水量控制不佳以及碾压遍数不够等。当铺层厚度超过压实机械的有效影响深度时，下层材料往往得不到充分压实。碾压机械选择不合理，例如对黏性土使用静压式光轮压路机而未采用振动碾或羊足碾，导致压实功不足。填料含水量偏离最优含水量范围是另一个关键因素，过干会使颗粒间摩阻力增大难以压实，过湿则会产生孔隙水压力阻碍密实。碾压遍数不足或行驶速度过快也会导致压实不充分。压实均匀性差表现为坝体局部区域密度高低不一，通常由摊铺不平、碾压轨迹搭接不够、漏压以及材料离析引起。这些问题会降低坝体的整体强度和变形模量，增大运行期的沉降量，并可能形成渗漏薄弱区。

2.3 防渗体系失效与渗透破坏风险

防渗体系失效是重大安全隐患，常见问题包括防渗

体材料不合格、接缝处理质量差、以及因不均匀沉降导致防渗体开裂等。防渗体材料若渗透系数达不到设计要求，或施工过程中发生离析、分层，会形成渗流通道。心墙与岸坡接触带、与基座连接处、以及分层施工缝是防渗的薄弱环节，若清理不彻底、压实不密或结合不良，易成为集中渗漏路径。施工过程中若各区填筑高差控制不当，或因地基变形导致差异沉降，拉裂防渗体。渗透破坏表现形式多样，如管涌、流土等，一旦发生，发展迅速，后果严重。

2.4 边坡稳定性与变形控制问题

施工期边坡失稳源于填筑速率过快、坡比过陡、或排水措施不力。当填筑速度超过地基土的固结排水速度时，孔隙水压力积聚，有效应力降低，引发滑坡。填筑体自身的临时边坡若设计过陡或压实不足，也存在失稳风险。变形控制问题主要表现为沉降量过大或不均匀沉降。沉降过大由于压实度未达标、地基处理不完善或填筑荷载过大引起。不均匀沉降则通常与地基条件变化、填筑材料不均、或填筑厚度差异有关。过大的或不均匀的沉降不仅影响大坝外观和运行，更导致防渗体开裂、附属结构损坏，甚至威胁大坝安全。

3 大坝填筑施工技术在水利水电工程应用中的质量控制

3.1 建立健全材料质量检验与认证体系

建立一套贯穿料场勘察、开采、运输、直至进场使用的全过程材料检验与认证体系，在料场使用前进行详细的勘察试验，全面掌握料源的空间分布与力学指标，为材料分区和使用提供依据。开采过程中，实施定期的抽样检测，监控材料的级配、含水量、塑性指数等关键参数的变化，确保开采料质量稳定。材料进场时，设置专门的质检岗位，对每批进场材料进行外观检查和抽样复试，不合格材料坚决拒收。对于重要部位的填料，实行认证管理制度，即对合格料源进行标识，确保其可追溯性。现场设置规范的备料区，不同规格材料分类堆放，采取覆盖或洒水等措施保持含水量稳定。通过系统化的材料管控，从源头上杜绝质量隐患。

3.2 实施填筑施工全过程实时监测

对填筑施工的每一个环节进行实时、连续的监测，是动态控制质量的有效手段。监测内容应覆盖铺料厚度、碾压参数、含水量变化等关键指标。在摊铺作业时，采用插钎法或激光测距等方法，随机抽查铺层厚度，确保符合设计要求。为碾压机械安装智能监控系统，实时记

录碾压遍数、行驶速度、轨迹搭接以及振动碾的工作频率和振幅，并通过卫星定位技术生成碾压轨迹图，直观显示有无漏压、欠压区域。在施工区域设置多个含水量快速检测点，使用便携式含水量测定仪，随时监测填料含水量，指导洒水或晾晒作业。所有这些监测数据应实时传输至项目管理中心，一旦发现参数偏离允许范围，系统立即预警，施工人员可及时调整工艺。全过程监测变被动检验为主动控制，显著提升了一次成优率。

3.3 强化压实质量快速检测与反馈机制

压实度是填筑质量的核心，必须采用可靠、快速的检测方法并及时反馈结果以指导施工。传统的环刀法取样测定干密度虽精度高但耗时较长。应辅以无损检测技术作为补充和控制手段，例如核子密度湿度仪，可在短时间内获得压实度和含水量数据，实现大范围、高频次的检测。使用落锤式弯沉仪等设备评估填筑体的刚度均匀性。重要的是建立检测与施工的快速反馈闭环。检测人员在现场获取数据后，应立即进行初步分析，将结果反馈给施工负责人。对压实度合格区域及时确认，允许进行下一层填筑；对不合格点，立即标识并通知碾压班组进行补压，补压后复测直至合格。每日收工前汇总分析当日检测数据，评估整体压实质量趋势，为次日施工参数优化提供依据。快速反馈机制能有效避免大面积返工。

3.4 严格执行渗透性能专项检测与控制

针对大坝的防渗要求，必须对防渗体及其相关区域的渗透性能进行专项检测与控制。对于土质防渗体，除控制压实度外，应定期取样在实验室测定其渗透系数，确保满足低透水性要求。现场可采用双环渗水试验等方法在关键部位进行原位渗透测试。对反滤层材料，严格控制其级配和厚度，确保其保护防渗体免受渗透破坏的功能。施工过程中，重点关注所有接缝和结合面的质量。在这些部位增加检测点密度，必要时采用探地雷达等物探手段检查结合面的密实情况。在坝基、岸坡与防渗体接触处，进行注水或压水试验，验证接触带的防渗效果。渗透性能的检测应作为一道独立且强制性的验收程序，任何区域未通过渗透检验不得进行覆盖或后续作业。

3.5 完善施工记录与质量文档管理

详实、准确的施工记录与质量文档是质量追溯和责任判定的重要依据，也是工程竣工验收的必备资料。建立标准化的记录表格和文档管理系统，记录内容需涵盖所有质量控制环节。包括但不限于：材料出厂合格证及复试报告、铺层厚度检查记录、碾压参数监控数据、压实度检测报告、含水量测试记录、接缝处理影像资料、不合格项处理闭合记录等。所有记录应由专人负责，做到及时、准确、完整。推行电子化档案管理，利用信息技术将各类检测数据、现场照片、视频监控集成到统一平台，实现数据的便捷查询、统计和分析。定期编制质量评估报告，总结阶段性问题，预测潜在风险。完善的文档管理不仅服务于当前项目的质量控制，也为类似工程积累了宝贵的实践数据库。

4 结束语

综上所述，大坝填筑施工技术是一项复杂而系统的工程，其应用水平直接决定了水利水电工程的安全性与耐久性。在应用要点方面，材料选择与制备、分层填筑与摊铺、碾压压实工艺以及接缝处理构成了技术核心。有效的质量控制体系应立足于材料源头控制，强化施工过程实时监测，注重压实质量的快速检测与反馈，严格执行渗透性能专项检验，并辅以完善的文档管理。未来，随着新材料、新设备和新工艺的不断发展，大坝填筑技术将向着更加智能化、精细化和绿色化的方向演进。持续深化技术研究，优化管理模式，对于推动我国水利水电事业的高质量发展具有长远意义。

参考文献

- [1] 丁丹. 大坝填筑施工技术在水利水电工程中的应用 [J]. 科技资讯, 2024, 22(07) : 123-125.
- [2] 张龙. 水利工程施工中的大坝填筑施工技术要点探析 [J]. 工程技术研究, 2023, 8(18) : 108-110.
- [3] 贾丽清. 大坝填筑技术在水利工程施工中的应用 [J]. 山东水利, 2022, (01) : 49-50.
- [4] 窦金彪. 水利水电工程施工中的土方填筑施工技术 [J]. 中国科技投资, 2021, (05) : 123+125.
- [5] 龙雷. 尤议水利工程大坝填筑施工关键技术 [J]. 清洗世界, 2020, 36(08) : 95-96.
- [6] 张祥兵. 分析水利水电工程中的土石坝施工技术 [J]. 建材与装饰, 2020, (21) : 294+296.