

# 水利施工中的土石坝施工技术探讨

张立均 张先配 韩 露

泗洪县水利工程有限公司 江苏 宿迁 223900

**摘要：**随着水利工程建设规模不断扩大，土石坝以其取材便利、适应性强等优势成为水利工程的常用坝型。本文深入探讨水利施工中的土石坝施工技术，系统分析其优缺点。土石坝具有施工成本低、操作简便、周期短及施工便捷等优势，但存在坝体自重大、施工难度高、受气候影响大及环境破坏严重等不足。研究重点剖析坝基处理、土石料开采运输、坝体填筑等关键施工技术，并展望新型材料应用、智能化设备普及及施工管理数字化转型等创新发展趋势，旨在为提升土石坝施工质量与效率，推动水利工程建设提供理论与实践参考。

**关键词：**水利施工；土石坝；施工技术

**引言：**在水利工程建设领域，土石坝作为重要坝型，广泛应用于防洪、灌溉、发电等项目，对区域水资源合理调配和社会经济发展意义重大。然而，土石坝施工技术涉及多学科知识与复杂工艺，其施工质量直接关乎工程安全与效益。随着水利工程建设规模持续扩大、技术标准不断提高，深入研究土石坝施工技术，明确其优势与局限，探索关键技术要点及未来发展方向，有助于优化施工方案、保障工程长期稳定运行，对推动水利工程建设具有重要的现实意义。

## 1 水利施工中的土石坝施工技术的优点

### 1.1 施工成本低

土石坝施工成本低的优势主要源于其就地取材的特性。在水利工程建设中，土石坝可充分利用工程所在地周边的土石料资源，大幅减少材料采购、运输和加工费用。例如，在西南山区某水库建设中，当地石料丰富，施工团队直接开采周边山体石料用于坝体填筑，相较于混凝土坝需从百公里外采购水泥、骨料，仅材料运输成本就降低了60%以上。同时，由于无需复杂的材料加工流程，如混凝土的搅拌、配比调试等，进一步节省了人力和设备成本。据统计，在同等规模水利工程中，土石坝的材料成本通常比混凝土坝低30%-50%，总造价可降低20%-35%，这使得土石坝在资金有限的水利项目中极具竞争力，能有效减轻工程建设的资金压力。

### 1.2 操作较为简单

土石坝施工技术操作简单，主要体现在其施工工艺和设备使用的常规性上。土石坝施工过程中，常用的挖掘、运输、碾压等工序，均可采用市面上常见的工程机械完成，如挖掘机、自卸卡车、振动碾等。这些设备操作原理易懂，普通施工人员经过短期培训，便能熟练掌握操作技巧。在小型土石坝建设中，施工团队仅需对当

地工人进行基础的设备操作和施工流程培训，就能快速组建施工队伍开展工作。与混凝土坝施工相比，无需专业技术人员进行复杂的模板搭建、混凝土浇筑振捣及养护等精细操作，也无需严格把控混凝土配合比等技术参数，降低了施工对专业技术人员的依赖，使施工过程更易组织和管理，极大地简化了施工难度，提高了施工效率。

### 1.3 施工周期短

土石坝施工周期短得益于其简单的施工工艺和灵活的施工组织方式。土石坝施工可利用当地材料快速开展，减少了材料筹备时间，且多道工序能够并行作业。例如，在北方某河道治理工程中，为应对汛期，需快速修建土石坝防洪。施工过程中，同时开辟多个土石料开采点和坝体填筑作业面，采用多班组轮班作业模式，实现土石料开采、运输、填筑同步进行。通过合理安排施工流程，原本预计4个月的工期缩短至2个月，及时完成防洪任务。此外，土石坝施工无需像混凝土坝那样等待混凝土凝固养护，可连续进行填筑作业，进一步缩短了施工时间，使其在应急水利工程和工期紧张的项目中具有显著优势，能快速发挥工程效益。

### 1.4 施工过程更便捷

土石坝施工对场地和环境条件的适应性强，使其施工过程更为便捷。无论是地形复杂的山区，还是地质条件较差的软土地基区域，土石坝均可通过相应工程措施顺利施工。在山区水利工程中，即便地形崎岖，也可利用当地地形条件，采用定向爆破等方式获取土石料，简化运输流程。与混凝土坝施工相比，土石坝无需搭建复杂的模板和支撑体系，减少了大量模板制作、安装和拆除工作。在施工过程中，若遇到设计变更或局部调整，土石坝可通过简单调整土石料填筑方式和位置实现，无需像混凝土坝那样进行复杂的结构拆除和重建<sup>[1]</sup>。

## 2 水利施工中的土石坝施工技术的缺点

### 2.1 坝体自重很大

土石坝由大量土石料堆砌而成，导致坝体自重极大。巨大的自重对坝基承载能力提出严苛要求，一旦坝基处理不当，极易引发坝体不均匀沉降，致使坝体出现裂缝，甚至造成坝体整体失稳，威胁水利工程安全。且坝体自重产生的应力长期作用于坝基，易使坝基变形、破坏，增加工程潜在风险与后续维护成本。

### 2.2 规模大、施工难度高

土石坝工程通常规模庞大，填筑方量巨大，施工需协调大量人力、物力和机械设备，施工组织管理难度大。施工中，确保土石料质量均匀、控制填筑厚度与含水量、保障压实度达标等环节困难重重。不同土石料场材料性质差异大，若处理不当，易造成坝体填筑质量不均，影响坝体强度与稳定性，且各工序衔接复杂，易延误工期、降低质量。

### 2.3 施工受气候影响大

土石坝施工中，土石料含水量直接影响填筑质量，而气候因素对其影响显著。降雨会使土石料含水量剧增，过于泥泞无法正常填筑压实，导致工程停工，连续降雨还可能引发地质灾害。高温天气则使土石料水分快速蒸发，变得干燥松散，难以压实，严重影响施工进度与坝体质量，增加施工不确定性与成本。

### 2.4 环境影响较为严重

土石坝施工对环境破坏明显。大规模土石料开采会破坏植被、损毁山体，引发水土流失，破坏生态平衡。施工过程中产生的粉尘、噪声等污染物，严重影响周边大气环境与居民生活质量。此外，坝体蓄水后改变河流原有水文条件，影响鱼类洄游、产卵和栖息，破坏水生生态系统，威胁区域生物多样性。

## 3 水利施工中的土石坝的施工技术分析

### 3.1 坝基处理技术

坝基处理是土石坝施工的关键基础工作，其质量直接决定坝体的稳定性与使用寿命。施工前，需借助地质雷达探测、钻探取芯等技术，全面掌握坝基地质状况，包括土层分布、岩石风化程度、地下水活动规律等信息，为制定处理方案提供科学依据。针对不同地质条件，需采用相应处理技术。软土地基常采用换填法，如某沿海土石坝工程，挖除5米深淤泥质软土后，换填碎石和中粗砂，有效提升地基承载力；强夯法适用于砂土、粉土，通过重锤夯击提高地基密实度，但需精准控制夯击能量与遍数，避免土体结构受损；桩基础法则用于承载能力差的深厚软土地基，某山区水库土石坝采用20-30

米长钢筋混凝土灌注桩，将坝体荷载传递至深层基岩，增强坝基稳定性。

### 3.2 土石料开采与运输技术

土石料开采与运输是土石坝施工的重要环节，直接影响坝体填筑质量与施工进度。开采前，需对土石料场进行详细勘察，通过现场取样和室内试验，测定土石料的颗粒级配、含水量、压缩性等指标，结合储量、开采条件和运输距离，制定科学开采规划。开采过程中，针对不同土石料特性采用对应工艺。粘性土料多采用分层平采法，每层厚度控制在0.5-1米，保证土料性质均匀；石料常使用深孔梯段微差爆破技术，精准控制炮孔参数，减少超径石和细料。同时，建立实时质量监测机制，剔除不合格材料。运输环节重点防止土石料离析与水分变化。对易离析的砾质土料分层装载，控制装载高度；根据天气采取防护措施，高温时洒水保湿，雨天用篷布遮盖。借助GPS优化运输路线，采用“定车、定人、定路线”管理模式，提高运输效率，降低成本，确保土石料高效、优质送达施工现场。

### 3.3 坝体填筑技术

坝体填筑是土石坝施工的核心工序，其质量直接关乎坝体强度、防渗性能及整体稳定性。施工遵循“水平分层、分段流水、均衡上升”原则，每层填筑厚度依据压实设备性能与土石料特性确定，一般振动碾压实粘性土料时，层厚控制在30-40厘米，砂性土料则可增至40-50厘米。填筑前，需彻底清理填筑面，清除浮土、杂物与积水，并对下层表面进行3-5厘米深度的刨毛处理，以增强层间结合力。土石料含水量是关键控制指标，需维持在最佳含水量 $\pm 2\%$ 范围内，常通过翻晒或加水调节。如在高温干旱地区施工，可采用夜间加水闷料、白天填筑压实的方式，确保含水量稳定。压实环节中，设备选型与操作至关重要。羊角碾适用于粘性土料，通过羊角的揉搓挤压提升压实度；振动碾则对砂性土料和堆石料效果显著，利用振动使颗粒重新排列密实。施工时，控制碾压速度不超过4千米/小时，碾压遍数经现场试验确定，一般为6-8遍。每层压实后，按每200-400平方米一组，采用环刀法、灌水法等检测压实度，达标后方可进行下一层填筑<sup>[2]</sup>。

### 3.4 防渗处理技术

防渗处理是保障土石坝安全运行的关键，直接影响工程防渗性能与使用寿命。常见防渗措施包括防渗心墙、防渗斜墙和土工膜铺设，需依据工程地质条件、坝型及运行要求合理选择。防渗心墙多采用粘土、膨润土等材料，设于坝体中部，通过截断渗流路径发挥防渗作

用。施工时严控材料含水量与压实度，如某土石坝工程中，高塑性粘土心墙每层压实度达98%以上，并在与坝壳料结合处设过渡层防渗漏。防渗斜墙位于坝体上游面，常用混凝土、沥青混凝土等，施工需保证坡度与平整度，减少上游渗流量。土工膜凭借优异防渗性应用广泛，铺设前需平整坝坡、清除尖锐物，膜间采用热熔焊接，焊接宽度不小于10厘米，并通过充气试验检测质量。

### 3.5 排水设施施工技术

排水设施是土石坝安全运行的重要保障，通过降低坝体浸润线、减少渗透压力，提升坝体稳定性。其主要分为坝体排水体和坝基排水设施，施工质量直接影响排水效果。坝体排水体常见堆石棱体和贴坡排水两种形式。堆石棱体一般设置于坝体下游坡脚，由粒径30-80厘米的块石分层砌筑，石块相互嵌挤形成排水通道，同时在与坝体土料接触处设置反滤层，防止土颗粒流失；贴坡排水适用于中小型土石坝，在坝坡表面铺设土工布作为反滤层，上覆砂砾石，施工时需确保其与坝坡紧密贴合。坝基排水设施主要包括排水沟和排水孔。排水沟用于拦截坝基表面渗水，断面尺寸依渗水量确定，多采用浆砌石或混凝土浇筑；排水孔深入坝基内部，常按梅花形布置，孔径约10厘米，孔内安装滤水管防止堵塞。

## 4 水利施工中的土石坝施工技术的创新与发展趋势

### 4.1 新型材料的研发与应用

新型材料的研发与应用为土石坝施工带来变革。高强度、高耐久性的土工膜凭借优异防渗性能，逐渐替代传统材料，其抗老化、抗穿刺能力强，能适应坝体变形，延长防渗系统寿命。新型土工格栅通过特殊工艺制成，与土石料结合后，显著增强坝体整体性和稳定性，有效抑制裂缝产生。此外，生态环保材料得到广泛关注，利用工业废料制成的护坡材料，既满足工程需求，又减少资源消耗与环境破坏，实现社会效益与生态效益的统一，成为未来土石坝施工材料的重要发展方向。

### 4.2 智能化、自动化施工设备的应用

智能化、自动化设备的应用推动土石坝施工向高效

精准发展。智能碾压设备搭载先进传感器和控制系统，可实时监测压实度、碾压遍数等参数，自动调整施工参数，确保压实质量均匀稳定，减少人工干预，提升施工效率。无人运输车辆借助无人驾驶技术，能在复杂环境下安全高效运输土石料，实现24小时不间断作业，降低人力成本与安全风险。无人机测绘技术快速获取施工现场地形地貌信息，为施工方案制定和进度管理提供数据支持，使施工管理更加科学、精准，引领土石坝施工进入智能化时代。

### 4.3 施工技术与管理的数字化转型

施工技术与管理的数字化转型是土石坝施工发展的必然趋势。数值模拟技术通过建立三维模型，对土石坝施工全过程进行模拟分析，预测坝体变形、渗流等情况，提前优化施工方案，规避风险。建筑信息模型（BIM）技术整合施工各环节信息，实现进度、质量、成本的动态监控与管理，提高施工协同效率。物联网技术将施工现场设备、材料、人员等信息互联互通，通过智能终端实时掌握施工动态，实现精细化管理<sup>[3]</sup>。

## 结束语

土石坝施工技术在水利工程建设中占据关键地位，其优缺点并存，影响着工程的质量、成本与效益。随着水利工程建设要求不断提高，坝基处理、防渗排水等传统施工技术需持续优化，新型材料、智能设备及数字化管理等创新趋势也为发展带来新契机。未来，需进一步深入研究与实践，攻克技术难题，充分发挥土石坝施工技术优势，推动水利工程建设迈向更高水平，为水资源合理利用与社会经济可持续发展提供坚实保障。

## 参考文献

- [1]王胜男.浅谈水利施工中土石坝施工技术的应用[J].科技创新与应用,2015(24):213-214
- [2]李良琦.水利工程土石坝坝体施工技术要点[J].建筑技术开发,2021,48(11):161-162.
- [3]曹向荣,张国银.水利施工中土石坝施工技术的应用探讨[J].低碳世界,2021,11(04):126-127.