

农田灌溉用小型水库土石坝施工关键技术研究

郑海东

河南豫水设计海外工程有限公司 河南 郑州 450016

摘要: 小型水库作为我国农田水利基础设施体系的关键节点,在保障农业灌溉、调节区域水资源、防洪抗旱等方面发挥着不可替代的作用。土石坝因其结构简单、就地取材、造价低廉、适应性强等优势,成为小型水库建设中最常用的坝型。然而,受限于投资规模、技术力量及管理水平,小型土石坝在施工过程中常因关键技术把控不严而埋下质量与安全隐患。本文以服务农田灌溉的小型水库土石坝为研究对象,系统梳理其施工流程,并聚焦于料场规划与土料处理、坝基与岸坡处理、填筑压实控制、防渗体施工以及质量检测与安全监测等五大核心环节深入剖析各环节的技术要点。研究表明,强化全过程精细化管理,严格遵循规范要求,并积极应用适宜的新技术、新工艺,是确保小型土石坝施工质量、提升工程安全性和耐久性的根本途径。本研究旨在为小型农田水利工程的建设者、管理者提供理论参考与实践指导,助力国家乡村振兴与粮食安全战略的实施。

关键词: 小型水库;土石坝;农田灌溉;施工技术;质量控制;防渗处理

引言

水是农业的命脉。在我国广袤的农村地区,降水时空分布不均,季节性干旱频发,严重制约了农业生产的发展和国家粮食安全。小型水库(通常指总库容在10万立方米至1000万立方米之间的水库)作为“五小水利”工程的核心组成部分,以其灵活的布局、较低的投资门槛和显著的综合效益,成为解决农田“最后一公里”灌溉难题的有效手段。它们能够拦蓄雨洪、调节径流,在作物需水关键期提供稳定水源,极大地提升了农业生产的抗风险能力和综合效益。在众多坝型中,土石坝凭借其相对要求较低、可充分利用当地材料(如土、砂、石)、施工机具简单、便于组织群众施工等突出优点,占据了小型水库坝型的绝对主流地位。进入新时代,国家高度重视农田水利基础设施的现代化改造与新建。《“十四五”水安全保障规划》等政策文件明确提出要加快实施小型病险水库除险加固,并科学推进新建小型水源工程建设。在此背景下,如何在有限的投资条件下,高质量、高效率地完成小型土石坝的施工,确保其长期安全稳定运行,成为一个兼具理论价值和重大现实意义的课题。深入研究并掌握其施工关键技术,不仅是保障工程本身安全的基石,更是实现水资源高效利用、支撑现代农业发展的关键所在。

1 农田灌溉用小型土石坝的特点与施工难点

在探讨具体技术之前,必须清晰认识此类工程的独特属性,这是制定有效施工方案的前提。

1.1 工程特点

农田灌溉用小型土石坝工程呈现出鲜明的“小而精”

与“简而难”并存的特征。其规模小、总投资有限,这从根本上决定了其无法效仿大型工程的建设模式,必须在经济性与安全性之间寻求最佳平衡点。为了最大限度地降低成本,筑坝材料几乎全部依赖库区附近的料场,这种就地取材的方式虽然节约了运费,却带来了材料物理力学性质(如颗粒级配、含水率、塑性指数等)可能存在较大变异性的问题,给全过程的质量控制构成了严峻挑战。尽管其功能主要定位于服务周边农田灌溉,看似单一,但其重要性却不容小觑,一旦发生失事,将直接导致下游大片农田绝收,甚至威胁村民生命财产安全,社会影响极为恶劣^[1]。此外,这类工程的施工队伍往往由地方水利部门组织或委托当地施工队承建,专业化程度普遍不高,施工人员对技术规范的理解和执行力参差不齐。同时,施工工期还常常受到农时的严格制约,有效作业时间短,有时不得不在非理想气候条件下抢工,这些因素都极大地增加了施工组织与管理的复杂性。

1.2 主要施工难点

基于上述工程特点,小型土石坝的施工过程面临着一系列特有的难点。首当其冲的是材料质量控制难题,如何在资源有限的条件下,对来源复杂、性质多变的土石料进行有效筛选、处理和动态监控,确保其各项指标满足设计要求,是贯穿始终的挑战。其次,基础处理工作极易被忽视或简化,尤其是在赶工期的压力下,对坝基和岸坡的清理、压实、防渗处理等基础性工作做得不彻底,为后期可能出现的渗漏、不均匀沉降乃至滑坡等地质灾害埋下了深重隐患。再者,压实度难以保证也是一个普遍性问题,合适的压实机具选择困难,加上现场

对分层厚度、含水率等关键参数控制不当,极易导致压实度不足,使得坝体密实度不均,整体的抗剪强度和抗渗能力大打折扣。防渗体系作为坝体的生命线,其施工质量在小型工程中尤为不稳定,无论是黏土心墙还是混凝土防渗墙,都常因工艺粗糙、接缝处理不当、材料不合格等原因,形成潜在的渗漏通道。最后,全过程监管的薄弱是制约工程质量提升的瓶颈,专业监理和检测力量的缺失,使得施工过程中的隐蔽工程验收、单元工程质量评定等关键环节容易流于形式,难以形成有效的质量闭环。

2 土石坝施工关键技术环节剖析

针对上述难点,本文将施工过程分解为若干关键环节,并逐一进行技术剖析。

2.1 料场规划与土料处理技术

首先,必须对选定的料场进行详尽的地质勘探和系统的土工试验,全面查明土料的储量、空间分布规律以及核心物理力学指标,如最优含水率、最大干密度、渗透系数和抗剪强度等。在此基础上,应根据坝体不同部位(如防渗体、坝壳)的设计要求,对料场进行科学分区规划,明确各类材料的开采边界,做到心中有数。对于那些含有过多杂质(如树根、草皮、大块石)或颗粒级配不良的土料,绝不能直接上坝,必须进行必要的加工处理,常见的方法包括翻晒以降低过高含水率、洒水以增加过低含水率、破碎超径石以及过筛剔除杂质等^[2]。特别是用于构筑防渗体的心墙土料,对其塑性指数和黏粒含量的要求更为苛刻,必须进行精细处理。在整个过程中,含水率的实时控制是压实作业成功与否的生命线,应在料场或填筑面附近配备简易但可靠的含水率快速测定装置,一旦发现天然含水率偏离最优含水率 $\pm 2\% \sim 3\%$ 的合理范围,就必须立即采取调整措施,确保填筑材料始终处于最佳压实状态。

2.2 坝基与岸坡处理技术

“万丈高楼平地起”,坝基是整个坝体的根基,其处理质量直接关系到工程的百年大计。任何疏忽都可能在未来酿成无法挽回的后果。施工伊始,必须彻底清除坝基及两岸坡范围内的腐殖土、草皮、树根、乱石等一切有机和无机杂物,清理深度一般不应小于0.3米,以确保建基面坚实、平整、无坑洼。在清理过程中,若发现坝基存在软弱夹层、古河道、溶洞、断层破碎带等地质缺陷,绝不能视而不见,必须严格按照设计要求进行专门处理,常见的方法包括开挖后回填合格材料或进行灌浆加固等。对于黏性土心墙坝或斜墙坝而言,在坝轴线位置开挖防渗齿槽是切断坝底渗流路径的关键步骤,齿槽

必须嵌入相对不透水层,其深度、宽度和边坡都必须严格符合设计图纸,不得有任何妥协。完成清理和开挖后,应对建基面进行充分压实,并尽快开始主体填筑,避免长时间暴露在外被雨水浸泡软化或遭受人为破坏;若因故不能及时填筑,则应预留一定厚度的保护层,待填筑后再予以清除。

2.3 填筑压实控制技术

填筑压实是将松散土料转化为具有足够强度、稳定性和低渗透性的坝体的核心工序,堪称施工的灵魂所在。这一过程必须严格遵循分层填筑、分层压实的原则,严禁一次性堆填后进行压实的野蛮施工方式。每层铺土的厚度(即虚铺厚度)并非随意而定,而应根据所选用的压实机具类型,通过严谨的现场碾压试验来确定,通常不宜超过30厘米。压实机具的选择同样需要因地制宜,小型工程常用振动碾、蛙式夯或平板夯等设备,其中黏性土宜选用凸块碾或羊足碾以获得更好的揉搓效果,而非黏性土(如砂砾料)则更适合使用振动碾。正式大规模填筑前,必须在与实际坝基条件相似的场地进行现场碾压试验,通过系统调整铺土厚度、含水率、碾压遍数和机具行进速度等参数,找到最优组合,并以此作为后续施工的唯一依据^[3]。此外,坝体在分段、分块填筑时,各工作面之间必须形成平缓的斜坡状搭接,搭接长度不得小于1米,且绝对禁止出现垂直的“界沟”,新老填筑层的结合面应进行刨毛处理并洒水湿润,以确保层间紧密结合,形成一个完整的受力整体。

2.4 防渗体施工技术

防渗体是防止水库宝贵水资源通过坝体或坝基大量流失的关键屏障,其施工质量直接决定了工程的成败。对于黏土心墙或斜墙这类柔性防渗体,施工中必须坚持与两侧透水性较强的坝壳料平起填筑的原则,两者之间的高差应严格控制,一般不宜超过0.5米,以防侧向土压力过大导致防渗体发生变形甚至开裂。防渗土料的铺填与压实要求远比坝壳料更为精细,通常铺土厚度更薄,压实遍数更多,并且必须使用专用的小型压实机具(如气胎碾、小型振动板)进行作业,避免使用大吨位重型机械直接碾压,以免造成内部剪切破坏。与此同时,在防渗体与透水性坝壳料之间,必须按照设计要求铺设合格的反滤层,其作用是既能顺畅排出渗水,又能有效阻止防渗体中的细颗粒被水流带走,从而防止发生管涌等渗透破坏。若采用混凝土防渗墙或截水槽等刚性防渗形式,则需格外关注成槽的精度、清孔换浆的彻底性以及混凝土浇筑的连续性,任何一个环节的失误都可能导致墙体出现夹泥、断墙等致命缺陷,使防渗功能大打折扣。

2.5 质量检测与安全监测技术

“眼见为实，数据说话”。有效的质量检测与安全监测是验证施工质量、预警安全风险的最后一道防线，对于小型工程而言，其重要性无论如何强调都不为过。在施工过程中，必须建立常态化的质量检测机制，采用环刀法、灌砂（水）法等成熟方法，对每一层填筑土的干密度进行随机抽检，计算其压实度，确保其不低于设计规定的最低限值（通常要求 $\geq 96\%$ ），并与压实度检测同步进行含水率测定。对于反滤料、过渡料等关键部位的材料，还需定期抽样进行颗粒分析，验证其级配是否持续满足设计要求^[4]。在安全监测方面，除了建立日常、定期和特别时期的巡视检查制度，密切观察坝面有无裂缝、塌坑、渗水、隆起等异常现象外，即使对于小型工程，也应布设最基本的监测设施。例如，一个简单的量水堰可以精确观测渗流量的变化，几支测压管能有效监控坝体内部浸润线的位置，而几个水准点则可用于长期跟踪坝体的沉降情况。这些设施成本低廉，却能提供关乎工程安危的宝贵信息。所有检测和监测数据都必须进行系统记录、整编和趋势分析，以便及时发现潜在问题，为工程的安全评估和科学决策提供坚实的数据支撑。

3 技术展望

展望未来，随着科技的飞速进步和国家对农田水利投入的持续加大，小型土石坝施工技术必将迎来新的发展机遇。智能化施工将成为重要方向，通过探索应用北斗/GNSS高精度定位、物联网传感器等现代信息技术，有望实现对压实遍数、轨迹、含水率等关键参数的实时监控与自动记录，大幅减少人为干预，显著提升过程控制的精准度与可追溯性。绿色生态筑坝的理念也将日益深入人心，研究利用工程弃渣、建筑垃圾再生骨料等作为筑坝材料的可能性，在确保工程绝对安全的前提下，实

现资源的循环利用，最大限度地减少对自然环境的扰动。此外，推动标准化与模块化建设也是大势所趋，针对常见的小型土石坝型，研发标准化的设计与施工模块，不仅能简化复杂的建设流程，更能有效降低对施工队伍专业水平的过度依赖，从而在整体上系统性地提升我国小型农田水利工程建设质量与安全水平。

4 结语

本文系统研究农田灌溉用小型水库土石坝施工关键技术得出：施工质量不取决于某项“高精尖”技术，而是贯穿于从料场规划到质量检测的每个细微环节，全过程精细化管理是核心，五大关键技术环节相互依存、协同推进，实践中要结合小型工程特点采用经济实用手段，且人的因素是关键，需提升人员素养与责任意识。展望未来，随着科技进步与国家投入加大，小型土石坝施工技术迎来新机遇。智能化施工成重要方向，可实时监控关键参数；绿色生态筑坝理念深入人心，能实现资源循环利用；推动标准化与模块化建设可简化流程、降低对专业水平依赖。夯实小型农田水利意义重大，把握施工关键技术，方能让小型水库成为守护沃土、润泽良田的坚实屏障。

参考文献

- [1]刘进友.小型水库施工中的土石坝填筑施工技术[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(25):145-147.
- [2]接靖翔.水库施工中的土石坝填筑工艺优化[J].珠江水运,2024,(21):36-38.
- [3]王广文.小型水库建设中土石坝施工与管理[J].低碳世界,2022,12(05):124-126.
- [4]童耀元.小型水库建设中土石坝施工与管理措施分析[J].科技创新导报,2020,17(01):27+29.