

软土地基处理技术在中小型水利工程中的实践与效益分析

白 净

内蒙古济禹水利工程建设有限公司 内蒙古 巴彦淖尔 015000

【摘要】：中小型水利工程属于农业生产安全保障体系、群众生产生活改善服务体系以及区域水资源平衡服务系统等不可或缺的重要基础设施，建设水平高低直接影响工程的稳定状况与使用寿命。软土地基因含水量高、孔隙比大、抗剪强度低、压缩性强，在中小型水利工程建设中经常出现，如果处理不当，容易造成地基沉降、结构失稳等问题，影响工程的正常运行。本文根据软土地基的主要特点，对适合中小型水利工程的常用处理技术进行了整理，通过具体的工程案例分析了技术应用要点，从经济、技术和社会效益三个方面来评价处理技术的应用效果，为同类工程的软土地基处理提供实践参考和理论依据。

【关键词】：中小型水利工程；软土地基；处理技术；工程实践；效益分析

DOI:10.12417/2811-0528.26.12.055

引言

软土地自身力学性能差，在水利工程荷载作用下容易出现不均匀沉降、地基承载力不够等现象，轻则造成渠道渗漏、闸室变形，重则造成堤坝溃决、泵站失稳，不但会影响工程的功能发挥，还会造成经济损失和安全隐患。因此，合理选择软土地基处理技术、规范施工流程、科学评价处理效果，就成为中小型水利工程建设的重要环节。本文结合工程实践，对软土地基处理技术的应用和效益进行了详细的分析，给中小型水利工程建设质量的提高提供一定的参考。

1 中小型水利工程软土地基的核心特性

1.1 含水量高

天然含水量一般为30%~70%，部分淤泥质软土含水量可达100%以上，远远大于普通黏性土，土颗粒结合力差，土体松软，可塑性强，易受外力作用而产生变形。

1.2 孔隙比大

一般为1.0~1.5，部分淤泥的孔隙比大于2.0，土体内有大量的充水孔隙，地基压缩性增大，在荷载作用下容易产生较大的沉降。三是抗剪强度低，软土地基的内摩擦角一般在5°到15°之间，黏聚力只有5到20kPa，不能承受上部结构荷载和水压力的作用，容易产生剪切破坏。

1.3 渗透性差

渗透系数一般在 10^{-6} ~ 10^{-8} cm/s之间，为低渗透性土，荷载作用下水分不易迅速排出，地基固结速度慢，施工周期长，容易出现孔隙水压力不能及时消散而引起瞬时失稳的情况。五是沉降时间长，软土地基沉降分为瞬时沉降、固结沉降、次固结沉降三个阶段，沉降过程可达数年，处理不当时，工后沉降会超出设计允许值，影响工程结构稳定。

因此，中小型水利工程软土地基处理的主要需求就是提高地基承载力、控制沉降量、缩短固结时间，选择技术成熟、施工简单、成本低的处理方案，实现工程实用性和经济性的统一。

2 中小型水利工程软土地基常用处理技术

2.1 置换法

置换法的核心就是挖除部分或者全部软弱土层，用强度大、压缩性低、渗透性好的填料来代替，提高地基的承载能力，减小沉降量，适用于软土厚度较小、荷载要求较低的中小型水利工程，如小型渠道、泵站基础、小型水闸等。

换填垫层法适合于软土厚度不大于3米的情况，施工时先对软土进行勘察，确定换填深度和范围，再挖除软弱土层，平整基坑底部后，分层铺设级配砂石、灰土、素混凝土等填料，每层铺设厚度控制在20—30厘米，用压路机或振动夯碾压密实，碾压后检测压实度，达到设计要求。该方法可以快速提高地基承载力，施工工期短，适合于小型水利工程的应急处理和基础加固。

抛石挤淤法适合于软土厚度大、含水量极高、呈流动状态的淤泥区，即河道疏浚、堤坝基础处理等。施工时根据软土稠度来确定抛石粒径，流动淤泥宜用30—50厘米的块石，最小粒径不小于15厘米，抛投顺序由中间向两侧或者一端向另一端推进，防止软土堆积。抛石完成后用重型压路机碾压，挤出残留的软土，提高抛石层的密实度，形成嵌固骨架作为持力层，改善地基力学性能。

2.2 排水固结法

砂井排水固结法是用打设砂井的方式，在软土中形成垂直的排水通道，配合地表砂垫层一起构成完整的排水系统。施工前先平整场地，铺设厚度为0.5~1.0米的级配中粗砂垫层并碾

压密实,再用振动沉管机或螺旋钻机打设砂井,砂井直径控制在30~50厘米,深度穿透软土层到硬土层,间距2~4米。砂井完成后,向孔内填砂并振捣密实,铺设土工布防止填土堵塞排水通道,然后进行加载预压,填土加载分级进行,预压期间观测沉降量和孔隙水压力,调整加载速度,直到沉降稳定。

塑料排水板排水固结法用塑料排水板代替砂井,适用于砂料缺乏的地区,施工速度快、造价低、对软土扰动小。塑料排水板是由聚丙烯或者聚乙烯芯板和无纺布滤膜组成,透水性好、过滤性好,施工时先铺砂垫层,用专用插板机将排水板插入软土中,控制插入深度和垂直度,防止断裂错位,排水板顶端埋入砂垫层不小于30厘米。加载预压流程和砂井排水固结法相同,处理后可加快软土固结速度,提高地基承载力。

2.3 复合地基法

复合地基法的核心就是通过软土地基上设置增强体,与地基土一起承担荷载,形成复合地基,从而大大提高地基的承载能力和稳定性,适用于软土厚度较大、承载要求较高的中小型水利工程,如小型水库大坝、泵站厂房基础等。该方法处理效果好、适用性强,常用类型有振冲砂石桩法和水泥土搅拌桩法。

振冲砂石桩法是用振冲器的振动和高压水冲击在软土中形成孔眼,填入粗砂、砾石、碎石等填料,振动密实后形成砂石桩,与周围软土组成复合地基。施工设备简单、操作方便、施工速度快,可以有效地挤密周围软土,提高复合地基的承载力,特别适合处理覆盖层较深的软弱地基。施工时根据工程要求确定砂石桩的直径、间距、深度,填料粒径控制在5—200毫米之间,振动密实过程由下往上分段进行,保证桩体密实度达到设计要求。

水泥土搅拌桩法用水泥作为固化剂,利用深层搅拌机械将水泥和软土充分混合,形成水泥土桩体,与地基土一起组成复合地基。该方法没有振动、没有噪音,对周围环境的影响小,造价低,适合于淤泥、淤泥质土等软土地基的处理。施工时应根据软土特性确定水泥掺量、桩长、桩径、间距,水泥掺量一般为软土干密度的10%~15%,桩径为50~70厘米,间距为1.2~2.0米。施工时要控制搅拌速度、提升速度,保证水泥与软土混合均匀,桩体成型后进行钻芯取样检测,28天无侧限抗压强度满足设计要求。

3 软土地基处理技术在中小型水利工程中的实践案例

3.1 案例一:罗家堡水库大坝软土地基处理实践

罗家堡水库是具有农业灌溉和供水综合效益的中型水利

工程,挡水建筑物为沥青混凝土心墙石渣坝,坝顶宽7米,坝底宽125.5米,最大坝高30.7米,坝顶轴线长203.4米。坝址设于肖家河河床,河床部分覆盖层厚度为35.1米,清除表面腐植土及淤泥质粉质黏土之后,坝基主要由粉质黏土、碎石土构成,土层含水率在33%—41%之间,压缩系数大,高压缩性、低强度、低承载力,如果不进行处理,容易造成大坝沉降、坝体裂缝等问题,影响工程安全运行。

根据工程地质条件和中型水利工程的承载要求,综合考虑施工成本、施工速度、处理效果,确定采用振冲砂石桩法对软土地基进行处理。施工前对坝基软土进行详细的勘察,确定振冲砂石桩参数,桩径1米,桩底至岩层顶面,在坝体主要受力区,桩体间距为1.5米×1.5米,在其他区域为1.8米×1.8米,共打设振冲砂石桩119203米,填料为粒径5~200毫米的粗砂、砾石、碎石混合料。

施工过程中严格控制施工流程,先平整施工场地,布置振冲设备,调试振冲器性能;再用振冲器的水平振动力和端部射水冲击力,以2米/分钟的速度将振冲器挤入地基至设计加固标高,形成孔眼;接着清孔,用高压水清洗孔眼内稠泥浆并排出孔外;最后向孔内逐步加入填料,振冲器由下向上逐段振动密实,直到达到设计顶高程,形成密实的砂石桩体。加强施工质量控制,定期对桩体密实度、桩长、桩间距进行检测,保证施工质量满足设计要求。

处理后检测结果表明,复合地基承载力比处理前提高80%以上,满足大坝承载要求,坝基沉降量控制在设计允许范围内,沉降速率逐渐减小并趋于稳定,桩体与周围软土结合紧密,形成稳定的复合地基,解决了软土地基高压缩性、低承载力的问题。工程运行至今,大坝没有出现沉降、裂缝等隐患,运行状况良好,充分证明了振冲砂石桩法在中型水利工程软土地基处理中是有效的。

3.2 案例二:小型泵站软土地基处理实践

小型灌溉泵站建在低洼平原地区,主要担负周边农田的灌溉工作,总装机容量为50kW,属于小型水利工程。泵站场地软土厚度为6~9米,为淤泥质粘土,天然含水量为45%~55%,孔隙比为1.3~1.5,抗剪强度低,地基承载力不够,不能满足泵站厂房和设备基础的承载要求,如果不处理,会造成泵站运行时出现基础沉降、设备倾斜等问题,影响泵站正常运行。

根据小型水利工程投资小、施工周期短的特点,对各种处理技术的经济性、实用性进行综合比较,确定采用水泥土搅拌桩法处理软土地基。施工参数确定为水泥掺量为软土干密度的12%,桩长穿透软土层到硬土层,桩径60厘米,桩间距1.5

米×1.5米,共打设水泥土搅拌桩320根。

施工过程中严格按施工规范操作,首先平整场地排除积水,调试深层搅拌桩机,然后将搅拌桩机就位,调整钻杆垂直度,下沉到设计深度后按需注入水泥浆,提升钻杆时继续注浆,控制搅拌速度25r/min、提升速度0.8m/min,使水泥和软土充分混合均匀,桩体施工完成后养护28天,用钻芯取样法检测桩体强度,保证无侧限抗压强度不小于1.5MPa,不合格桩体及时补桩处理。

处理完毕后对泵站地基进行检测,结果表明复合地基承载力为220kPa,满足泵站的承载要求,地基沉降量小于50mm,满足设计要求,泵站运行期间基础沉降无明显变化,设备运行正常,没有出现任何安全隐患。该案例说明,水泥土搅拌桩法施工方便、成本低、处理效果好,适合于小型水利工程软土地基处理。

4 软土地基处理技术在中小型水利工程中的效益分析

4.1 经济效益分析

中小型水利工程投资小,常用的软土地基处理技术如换填垫层法、水泥土搅拌桩法等施工设备简单、施工周期短、材料容易获得,比高端处理技术更能有效地降低施工成本。罗家堡水库用振冲砂石桩法处理,比传统的换填法施工成本低15%以上,工期缩短20%,减少人工、设备的投入。减少后期的维护成本,如果软土地基处理不好,在工程运行过程中容易出现沉降、渗漏、结构变形等问题,后期维修加固不但要花费大量的资金,还会对工程的正常使用造成影响。合理地软土地基进行处理可以防止这类问题的发生,减少后期的维修费用,降低工程运营成本。

4.2 技术效益分析

技术效益主要是解决软土地基隐患、提高工程施工质量、

促进技术推广应用三个方面。采用科学合理的处理技术可以改善软土地基的力学性能,提高地基承载力,控制沉降量,防止工程施工及运行中出现地基失稳、结构变形等隐患,保证工程技术性能达到要求。两个案例中处理后地基承载力均满足设计要求,沉降量都在允许范围内,较好地解决了软土地基高压缩性、低强度问题。高工程施工质量,软土地基处理是中小型水利工程施工的重要环节,软土地基处理技术的规范使用可以带动整个工程施工流程的标准化、规范化,提高工程整体施工质量,保证工程达到设计要求和使用寿命。

4.3 社会效益分析

社会效益主要是从保证工程安全、改善民生、促进区域发展三个方面来体现的。保证工程的安全,中小型水利工程具有灌溉、排涝、供水等功能,软土地基处理后工程稳定性明显提高,可以防止堤坝溃决、泵站失稳等安全事故的发生,保障人民群众的生命财产安全。改善民生,灌溉泵站、小型水库等工程处理后可以正常发挥灌溉和供水的功能,解决农田灌溉缺水的问题,提高农业生产条件,改善农村民生;排涝工程处理后可以有效地应对洪涝灾害,减少洪涝损失,保证群众生产生活稳定。

5 结论

软土地基处理技术是保证中小型水利工程建设质量与安全运行的重要手段,根据工程地质条件及建设要求,选择合适的换填垫层法、排水固结法、复合地基法等处理方法,规范施工过程,可改善软土地基的力学性能,提高地基承载力,控制沉降量,消除软土地基给工程带来的隐患。经由工程实践案例检验,振冲砂石桩法、水泥土搅拌桩法等技术,施工方便、成本低、处理效果好,适合中小规模水利工程软土地基处理,可以取得明显的经济效益、技术效益和社会效益。在实际工程中要根据软土的特性、工程规模、荷载要求等因素来选择处理技术参数,加强施工质量控制,保证处理效果达到要求。

参考文献:

- [1] 施文金,耿金平,李煜,等.水利工程软土地基处理技术及效果分析[J].中国新技术新产品,2026,(05):73-75.
- [2] 郑德良.水利工程施工中软土地基处理技术[J].建材发展导向,2026,24(05):49-51.
- [3] 郭道迁,于志多.水利工程中软土地基处理技术的比选与应用实例[J].水上安全,2026,(01):151-153.
- [4] 刘晓亚,肖骏.软土地基处理技术在水利工程施工中的应用研究[J].水上安全,2026,(01):163-165.
- [5] 简学兴.水利工程中软土地基处理技术与要点管理[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(32):190-192.