

# 高含水率湿陷性黄土地基处理技术研究

王克铭

建研地基基础工程有限责任公司山东分公司

DOI: 10.12238/jpm.v4i6.6029

**[摘要]** 我国的湿陷性黄土广泛分布于全国各地, 在施工过程中会引起基础的湿陷变形, 为了防止其突发灾害, 影响到建筑的正常运营, 需要对其进行加固处理。在水利水电工程中, 挤压桩法作为一种减少黄土湿陷的常用方法, 具有施工周期短、成本低、受力少等优点, 但因黄土地基条件不同, 其施工效果也存在很大差异。鉴于目前有关规范对其适用范围没有明确规定, 本课题结合南村水库工程, 对其在低含水量情况下处理坝基及坝肩的试验数据进行了分析, 得出其适用含水量等参数, 并对其处理方案及合格评定标准进行了修正, 经实践证明符合规范要求, 可为类似湿陷性黄土地基的处理提供参考。

**[关键词]** 湿陷性黄土;地基处理;素土挤密桩;灰土挤密桩

## Research on foundation treatment technology of high water content collapsible loess

Wang Keming

Shandong Branch of Jianyi Foundation Engineering Co., Ltd.; Jinan, Shandong, 250014

**[Abstract]** China's collapsible loess is widely distributed all over the country, which will cause the collapsible deformation of the foundation in the construction process. In order to prevent its sudden disasters and affect the normal operation of the building, it is necessary to reinforce it. In water conservancy and hydropower projects, extrusion pile method, as a common method to reduce loess collapsibility, has the advantages of short construction period, low cost and less stress. However, due to the different conditions of loess foundation, the construction effect is also very different. In view of the current specification on the applicable scope of specification, the project, the test data of dam foundation and dam shoulder under the condition of low water content, the applicable water content parameters, and the treatment scheme and conformity assessment standard were revised, the practice proved to meet the specification requirements, can provide reference for the treatment of similar collapsible loess foundation.

**[Key words]** collapsible loess; foundation treatment; plain soil compacted pile; ash soil compacted pile

在中国的西北、华北等地, 都有大量的湿陷性黄土。因其易崩塌和变形, 在部分区域的建设过程中, 极易造成人员撤离、明显沉降、建筑物破坏和溃散性雨水淋湿等问题, 给工程安全带来了极大的威胁。大部分水利工程在正常使用过程中, 往往会与水环境发生直接接触, 由于不均匀的沉降, 更易发生坍塌、变形等灾害。近年来, 随着我国社会经济的发展, 水利工程投资的增加, 人们意识到对坝基进行加固处理的必要性, 并对其进行了深入的研究。

### 1 概述

#### 1.1 工程概况

南村水库位于黎城县桂花村北部, 南村东侧的一条黄土沟壑中, 坝址上控制流域面积 10.1 平方公里, 库容 130 万立方米, 为 IV 级小 (1) 型水库, 具有重要的水文地质意义。拦河坝是一座碾压式均质土坝, 坝体长度 235.0 米, 最高坝高 26.4 米; 土坝左坝肩上 QPL 3 低液限粉土厚度 3~5 m, 下面是 QPL 2 低液限粉土, 湿陷深度 14 m, 属于自重力湿陷地 II-IV 类; 右坝肩上 QPL 3 的低液限粉土厚度为 3~5 米, 下面是 QPL 2 的低液限粉土, 属于自重力湿陷地 IV 级, 湿陷水深在 12 米左右。坝基为 Qp12 型低液限粉土和低液限粘性土, 属于二类自重湿陷土, 湿陷水深 7.5 m 左右。

## 2 地基处理方法

在湿陷性黄土区进行工程施工时,需要对自然黄土区进行加固处理。对于高含水量的湿陷性黄土,目前已有多种方法可供选择,但应针对不同区域的具体条件及构造特征,选择较为有效的方法进行处理。通常的步骤是:首先,在勘察阶段,对土体进行现场采样,然后,以试验所得土样的各项性能数据为依据,对其进行归类分析,从而确定该地区的土质属于非自重湿陷性或自重湿陷性黄土。在此基础上,对工程工期、可利用的技术条件、设备状况等进行了经济分析与对比。在此基础上,根据工程实际情况,选取最佳的加固方案,以保证加固后的地基既能达到设计要求,又能达到设计要求。在我国,采用了垫层、挤灰土桩、桩基、强夯法、原土翻夯法和预浸水法等多种加固技术。在这篇文章中,主要选择了原土翻夯、素土挤密桩与灰土挤密桩法3种地基处理方案,对它们进行了对比[II]。

### 2.1 原土翻夯法

原土翻夯法是指对湿陷性黄土地基进行开挖处理,将基底之下具有湿陷性的黄土全部挖出,或者挖到能满足工程规范要求的深度,然后用原土回填夯实[3,4]。在原有土层上进行夯击,一方面可以减少基础上的附加压力引起的湿陷,从而消除了黄土的湿陷性;二是增加地基承载能力。原土翻夯方法具有广泛的应用前景,不管是在自重湿陷性黄土上,还是在非自重湿陷性黄土上,都可以获得很好的改善地基土性的效果[5]。

在地下水埋深超过1-3m的情况下,采用原土翻夯法或原土翻夯法,可用于地下水埋深超过1-3m的区域。根据该项目的特性,在III类区域,采用11.0-16.0m的下限,在池底2.5m的基础上进行加固,以满足原土夯实的要求。III区原土翻夯的施工工艺比较简单,而且对周边农户的影响也比较小,所以原土翻夯可以被用来作为本工程III区地基处理的建议方案,地基处理压实系数不低于0.95,深度不超过3m。

### 2.2 素土挤密桩法

在工程实践中,钻孔灌注桩是最常用的一种桩基。随着我国社会经济的快速发展,在湿陷性黄土地区,钻孔灌注桩得到了越来越多的应用。但是,由于受到重力、湿陷性地层负摩阻力等因素的限制,其桩长比较长,从而导致了其存在着两个方面的不足,即:施工性价比不高,施工难度大。在地下水埋深5-15m的情况下,可采用挤土桩方法对处于地下水埋深的湿陷性黄土进行加固。

未经处理的基础土体孔隙率高,高压缩性大,湿陷大,承载力差;不致密的湿陷性黄土,每天的渗透速率可以达到几十cm甚至几m,具有快速渗透的特点。在设置了挤密桩之后,桩周土的密度增加,并且由于挤密桩的作用,土壤的防水和隔水性得到了提高,使得地基土具有不透水或弱透水的特征,与此同时,下卧层的土层也不会从上往下浸没,因此可以实现降低孔隙率、降低压缩性、提高承载力、提高抗剪强度、降低或消除湿陷性的目的[6,8]。

此法可就地取材,不需开挖回填,技术经济效益显著。近年来,甘肃地区广泛应用了挤压素土桩法,即先对地基的沉降量进行充分的预处理,然后进行钻孔灌注桩的施工。通过这种预处理方法,从工程整体上来说,施工难度大大降低,在缩短桩长的同时,也实现了较小的经济投资[9,10]。在这篇文章中,

主要选择了原土翻夯、素土挤密桩与灰土挤密桩法3种地基处理方案,对它们进行了对比[11,12]。

### 2.3 灰土挤密桩法

在地基预处理建设的发展历程中,50年代中期,我国西北黄土区曾进行过大规模土桩挤密方法的试验,并与实际工程相结合,对试验结果进行了验证。1960年代中期,基于土桩挤密技术的理论与实践,针对西安地区深埋混泥土的难题,又在1970年代初,逐步在陕甘、晋、豫西一带推广开来。

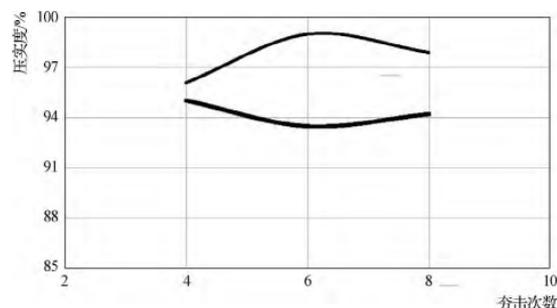


图1 4m深度不同夯击次数与压实度关系曲线

## 3 素土挤密桩试验方案

在坝基和坝肩处理中,根据坝址周围的具体条件,在坝基和坝肩处理中,选用了坝基和坝肩影响不大的挤土桩。治理区域为左岸坝肩、左岸坝基台和右岸坝肩。按初始桩径0.5米,桩距1.4米,按等边三角形布设。桩孔中的黄土地填充物必须达到15毫米以上,桩身土壤的密实度必须达到98%以上,桩间土壤的平均密实度必须达到93%以上(最小密实度必须达到88%以上)

素土挤密桩试验的目标:研究素土挤密桩的施工工艺,对其施工方法、分层填料厚度、分层夯击次数和桩距等施工参数进行优化,并进行原土含水量的改变对其挤密法和湿陷性治理的影响进行验证。本项目拟采用宇通重工集团YTQZ-220型压实机,对该压实机进行压实实验,确定该压实机的最大干密度和最佳含水量分别为1.69g/cm<sup>3</sup>和17.7%。实验分为两个区域,即大坝左岸高877米的平台区域和坝肩区。试验的流程是:场地平整→基面测量→布孔→锤击→填充物(控制填充物厚度)→夯击→开挖采样(2m、3m、4m)→分别进行桩间土和桩体土压实度的检测。

### 4 试验结果及分析

#### 4.1 坝基左岸台地

在填料厚度为20cm的时候,分别对2m、3m、4m深度的桩间土及桩体土取样检测,以检测数据为依据,绘制出了挤密桩不同夯击次数、不同桩体及桩间距时土料的压实度的关系曲线(4m深度不同夯击次数与压实度关系见图1)。

对坝基左岸877米高的平台进行了现场测试,结果表明,当土壤含水量为13~2%,铺设20cm厚,夯击6次后,桩身和桩间土达到了设计的密实度。

#### 4.2 左坝肩

当回填材料的含水量为15%时,压实性能达到了设计要求;在桩间土层中,因原土层含水量的差异,对桩间土层进行了多项压实试验。2018年6月8日,在桩间土含水量为8.51%~10.46%

的情况下,平均密实度为 88.02%;6月11日,在桩距为 1.4 m、桩间土含水量为 8.52%~10.02%的情况下,平均桩间土压实系数为 80.91%;6月17号,在桩间土含水量为 9.7%~12.5%的情况下,将桩间土的压实度调整到 1.2 m,得到了平均 89.93%的桩间土压实度。上述测试桩间土的压实度没有达到设计标准(如图 2 所示)。

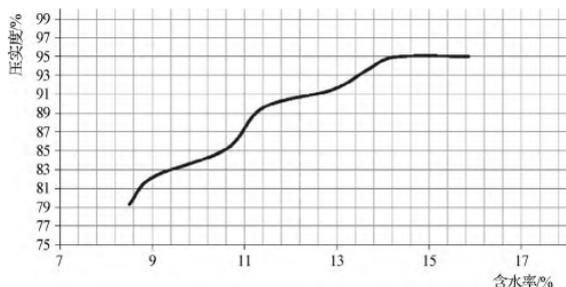


图 2 桩间土压实度与土体含水率的关系曲线

通过对左坝肩上压实试验,得出了导致挤密桩桩间土压实程度不符合设计要求的最大因素是原土含水量过低,二者之间基本上呈强烈的正相关性,其次是桩间距过大。

#### 4.3 湿陷性测试

7月6日至13日,试验室对左侧坝肩桩间距离 1.4 m 的桩间土样进行了测试,测试深度 3~13 m,7 m,9 m,10 m 3 处,在 200 kPa 荷载作用下,5 m、9 m 和 10 m 处的湿陷系数均超过 0.015。试验研究发现,在左坝肩湿陷黄土上,采用 1.4 m 的纯土挤密桩,尽管桩间土的平均密实度没有达到规范规定的要求,但在减少基础湿陷方面,其实际应用效果还是很明显的。

在 7 月 30 日到 8 月 6 日之间,试验单位对将桩间距调整为 1.2 m 的试验桩桩间土样展开了湿陷性试验检测,取土深度为 1~16 m,共检测了 16 个部位,16 个部位自重湿陷性全部消除,其中深度 1 m、5 m、7 m、8 m、9 m、10 m 六个部位的湿陷系数仍然大于 0.015。之后,对其进行了计算,在假设坝体填筑完成,蓄水饱和的坝体土的实际压重条件下,这 6 处土体的上覆荷载均未超过 200 kPa 及各自的湿陷初始压力,可将这 6 处土体虽然仍然具有湿陷性,但是土体湿陷性的危害基本消除。

#### 5 处理方案及标准的调整

在此基础上,结合原状土挤密桩的试验和湿陷测试的结果,参与单位对原状土挤密桩的设计方案等进行了专门的研究,并对处理方案和合格评定标准进行了合理的调整。对治理方案进行了调整:将左右两个坝肩的素土挤压桩的桩距分别从 1.4 米调整为 1.2 米;对桩间土样进行检验时,应按设计要求检验其压实度,如果检验结果达不到设计要求时,应按其试验频率 20%的标准检验其湿陷性。合格的判定标准:桩间土体的平均压实度和最小压实度、桩身的最小压实度达到了设计及规范的要求,即判定为合格。

当桩间土体和桩身的压实度未达到设计要求时,应根据湿陷性测试的测试结果,并结合各个位置土层的实际荷载来判断。完全消除了湿陷现象,即为合格;当自重的湿陷作用被彻底消除,且局部存在湿陷时,如果某一深度上的真实荷载小于

初始湿陷压力,则视为试验合格。5. 工程实践检验依据原有设计指标及实测参数,成功实现了南村水库坝基左岸平顶区无压桩成孔,因平顶区位于坝基河底,且含水量较高,经实测结果与原有设计指标相符。在调整后的桩间距设计参数以及合格判定标准的基础上,对南村水库左坝肩上的素土挤密桩桩间土压实度未达到标准的部位,按规定的频率对其进行了 4 次湿陷性测试,并与上覆荷载对比,综合判断其湿陷性已经被排除,达到了设计要求。

#### 6 结语

通过原土翻夯法、素土挤密桩法和灰土挤密桩法 3 种处理方案比较,灰土挤密桩对湿陷性地基土体承载力的提高效果更好,处理深度易于控制、环境影响小以及与其他工序作业同步兼容性较好,缩短施工工期,实现更高工程经济价值。鉴于高含水量的湿陷性黄土地基中,挤密桩沉管过程中极易产生孔洞收缩,结合工程建设对地基的要求、周边建筑物的安全以及技术支撑的经济性,本项目拟将挤密桩法应用于南村水库的地基加固。

#### [参考文献]

[1]余侃柱.调蓄水池湿陷性黄土地基特性及处理措施[J].水利规划与设计,2013(6):58-61.

[2]裴增壮,艾兵,阳佳林,等.湿陷性黄土地基处理方案比选与设计[J].建筑技术,2014,45(7):596-598.

[3]陈海军.兰州新区湿陷性黄土地基处理[J].西安科技大学学报,2014,34(2):204-209.

[4]赵永虎,米维军,孙润东,等.湿陷性黄土区公路涵洞地基处理措施效果研究[J].铁道工程学报,2017,34(1):6-10,74.

[5]卢森.大厚度湿陷性黄土挤密桩的施工工艺研究[J].中外建筑,2019(10):150-152.

[6]朱彦鹏,李亚胜,李京榜,等.挤密桩法处理自重湿陷性黄土地基的试验[J].兰州理工大学学报,2019(6):133-137.

[7]牛绍卿,李汇丽,魏建明.素土挤密桩处理湿陷性黄土地基效果检验[J].中国设备工程,2007(11):22-25.

[8]刘文涛,朱俊岩,刘岩,等.素土挤密桩在湿陷性黄土地基的应用[J].低温建筑技术,2016(4):147-150.

[9]陈香波,罗刚,何东进,等.不同成孔方式的素土挤密桩处理地基效果对比[J].施工技术,2016(45):31-34.

[10]蒋红英,鲁进步,苗天德.挤密桩消除黄土湿陷性的可靠度研究[J].岩土力学与工程学报,2003(22):2894-2898.

[11]JGJ 79—2012 建筑地基处理技术规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2012.

[12]GB 50025—2018 湿陷性黄土地区建筑标准[S].北京:中国建筑工业出版社,2018.

[13]GB 50487—2008 水利水电工程地质勘察规范[S].北京:中国计划出版社,2008.