

PENGZHANGTUQUDAOANQUANJIANCEJISHUJICHENGGUOFENXI

膨胀土渠道安全监测技术及成果分析

谢向荣 杨爱明 主编

马能武 李双平 郑敏 副主编

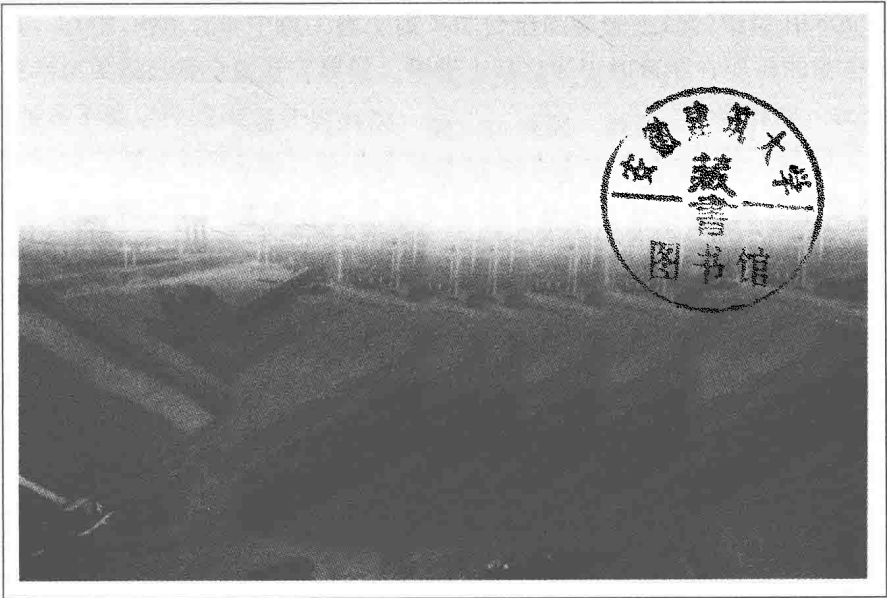


PENGZHANGTUQUDAOANQUANJIANCEJISHUJICHENGGUOFENXI

膨胀土渠道安全监测技术及成果分析

谢向荣 杨爱明 主编

马能武 李双平 郑敏 副主编



图书在版编目(CIP)数据

膨胀土渠道安全监测技术及成果分析 / 谢向荣,
杨爱明主编. —武汉: 长江出版社, 2017.9

ISBN 978-7-5492-5355-5

I. ①膨… II. ①谢… ②杨… III. ①膨胀土—渠道—
安全监测—研究 IV. ①TV698.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 239615 号

膨胀土渠道安全监测技术及成果分析

谢向荣 杨爱明 主编

责任编辑: 蔡梦轩

装帧设计: 蔡丹

出版发行: 长江出版社

地 址: 武汉市解放大道 1863 号

邮 编: 430010

网 址: <http://www.cjpress.com.cn>

电 话: (027)82926557(总编室)

(027)82926806(市场营销部)

经 销: 各地新华书店

印 刷: 武汉市首壹印务有限公司

规 格: 787mm×1092mm 1/16

14.75 印张 300 千字

版 次: 2017 年 9 月第 1 版

2017 年 12 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5492-5355-5

定 价: 38.00 元

(版权所有 翻版必究 印装有误 负责调换)

前 言

南水北调中线工程是缓解我国北方水资源严重短缺、优化水资源配置、改善生态环境的重大战略性基础设施,是关系我国经济、社会和生态协调发展的重大工程,是一项长距离、跨流域、跨地区且包含众多不同技术特点和要求的特大型调水工程。其南起丹江口水库陶岔进水闸,北至北京市团城湖和天津市外环河,线路总长约 1432km,除北京、天津段采用地下管涵外,其余均采用新开挖渠道输水。

膨胀土是一种具有特殊性质的土,其处理技术难度、处理工程量和投资都比较大,是南水北调中线工程面临的关键技术问题之一。南水北调中线一期工程总干渠沿线涉及到膨胀土问题的渠段较长,涉及范围广、条件复杂,任何局部的边坡失稳、衬砌结构的破坏都将可能影响渠道正常输水。

根据党中央、国务院的决策部署,南水北调中线工程 2012 年已经进入加快建设的高峰期和关键期。其中,南水北调中线工程全线 387 公里的膨胀土(岩)渠段和 600 多公里填方渠道或半挖半填渠段已经全面开工建设。膨胀土(岩)渠道和高填方渠道的安全问题非常复杂,仍存在很多不确定性的风险,面临诸多复杂的技术难题,亟需研究解决。2012 年科技部启动了国家科技支撑计划项目“南水北调中线工程膨胀土和高填方渠道建设关键技术与示范”。该项目共包括 7 个课题,其中课题七开展了膨胀土渠道安全监测技术研究、填方渠道安全监测技术研究、渠道安全预测预警技术研究、渠道安全监测信息集成及可视化安全监测预警系统研究,由长江勘测规划设计研究有限责任公司、南水北调中线干线工程建设管理局、长江水利委员会长江科学院及中国水利水电科学研究院等单位完成。本书是课题七的研究成果之一。

全书共五章。第一章研究介绍了膨胀土渠道变形监测专项技术;第二章研究介绍了膨胀土渠道安全监测方案;第三章研究介绍了渠道安全监测信息集成及可视化;第四章研究介绍了膨胀土渠道安全监测成果分析;第五章进行了成果展望。

本书由谢向荣、杨爱明、马能武、李双平、郑敏、马瑞、程翔、张文胜、吴瑕、张斌、冯小磊、向巍等编著。

本书的出版得益于“南水北调中线工程膨胀土和高填方渠道建设关键技术与示范”项目组众多专家的指导,特别是项目总负责人钮新强院士以及课题研究团队的辛勤工作,在此谨致以衷心的感谢。书中可能存在的错误和不足之处,恳请读者予以指正。

编者

2016 年 11 月于武汉

目 录

第 1 章 膨胀土渠道变形监测专项技术	1
1.1 变位式分层沉降技术	1
1.1.1 国内外沉降监测的主要方法	1
1.1.2 膨胀土渠道渠基的变形特点及监测要求	6
1.1.3 变位式分层沉降监测系统的开发研制	7
1.3.5 线体材料的性能研究	15
1.2 渠坡三维变形监测技术	37
1.2.1 渠坡变形监测方法	37
1.2.2 三维激光扫描仪	40
1.2.3 三维激光扫描数据采集方案	46
1.2.4 三维激光扫描精度对比分析	52
1.2.5 三维激光扫描数据处理方法	59
第 2 章 膨胀土渠道安全监测方案	70
2.1 膨胀土渠道特点	70
2.1.1 膨胀土特性	70
2.1.2 膨胀土的若干工程问题	71
2.1.3 膨胀土挖方渠坡特点	72
2.1.4 膨胀土填方渠坡特点	73
2.1.5 膨胀土渠基特点	74
2.2 膨胀土渠道安全监测要求	75
2.3 膨胀土渠道安全监测项目的选择	76
2.4 膨胀土渠道监测断面和测点布置原则	79
2.5 膨胀土渠道安全监测方法的选择	79
第 3 章 渠道安全监测信息集成及可视化	88
3.1 安全监测自动采集方案	88

3.1.1	国内外安全监测自动化现状	88
3.1.2	测量控制单元的比选	89
3.1.3	监测数据的实时通信方案	93
3.1.4	试验段安全监测自动化系统设计	98
3.2	安全监测数据管理技术	117
3.2.1	监测数据的种类及特点	117
3.2.2	监测数据库管理系统总体设计研究	123
3.2.3	监测数据库管理系统的开发	126
3.2.4	试验段监测系统与中线工程自动化系统数据库兼容性分析	134
3.3	膨胀土渠道安全监测可视化系统开发	135
3.3.1	安全监测可视化技术的发展	135
3.3.2	渠坡变形三维表达技术	140
3.3.3	安全监测可视化的应用需求分析	152
3.3.4	安全监测可视化系统的设计	153
3.3.5	膨胀土渠道安全监测可视化系统的开发	160
3.4	渠道安全监测信息综合管理系统集成方案	185
3.4.1	渠道安全监测信息综合管理系统设计	186
3.4.2	渠道安全监测信息综合管理系统的顶层设计	188
第4章	膨胀土渠道安全监测成果分析	189
4.1	变形特征分析	189
4.1.1	表面位移	189
4.1.2	深部位移	195
4.1.3	渠基回弹	199
4.2	原因量与变形效应量分析	201
4.2.1	施工对膨胀土变形的影响分析	201
4.2.2	降雨及水位对膨胀土变形的影响分析	204
4.2.3	通水初期膨胀土变形规律分析	208
4.3	膨胀土变形规律	210
4.4	渠基渗压监测分析	210
4.5	加固措施对膨胀土变形的效果分析	214
第5章	成果展望	226
参考文献		227

第1章 膨胀土渠道变形监测专项技术

1.1 变位式分层沉降技术

1.1.1 国内外沉降监测的主要方法

沉降监测是变形监测项目的重要内容,包括表面沉降监测和内部沉降监测。

表面沉降监测最常用的方法是大地测量法,静力水准仪、三维垂线坐标仪和竖直传高仪等在特定情况下也被广泛采用,随着科学技术的不断发展,三维激光准直系统、卫星大地测量方法也被逐步采用。内部沉降监测主要采用安装埋设传感器的方法进行,目前已得到广泛应用的有多点位移计、电磁沉降仪、弦式沉降仪、水管式沉降仪、横梁式沉降仪、干簧管式沉降仪,另外,利用测斜仪水平埋设进行垂直沉降监测的方法也在许多工程中被采用。

1.1.1.1 大地测量法沉降监测

大地测量法沉降监测包括传统几何大地测量方法和现代卫星大地测量方法。

传统几何大地测量方法进行沉降监测的主要手段是几何水准测量和三角高程测量。

几何水准测量是利用一条水平视线,并借助水准尺,来测定地面两点间的高差,由已知点的高程推算出未知点的高程,由于该方法作业简单,精度高,目前已被广泛应用。

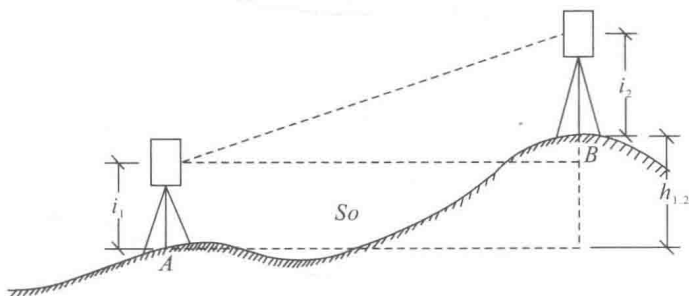


图 1.1-1 三角高程测量原理示意图

在高边坡、峡谷地区,几何水准测量方法受地形条件影响,作业难度大,一般采用三角高程测量法。三角高程测量通过观测两点间的水平距离和天顶距(或高度角)求得两点间的高差,基本原理如图 1.1-1 所示,A、B 为地面上两点,自 A 点观测 B 点的竖直角为 $\alpha_{1.2}$, S_0 为两点间水平距离, i_1 为 A 点仪器高, i_2 为 B 点觇标高,则 A、B 两点间高差为: $h_{1.2} = S_0 \tan \alpha_{1.2} + i_1 - i_2$ 。

当两点距离大于 300m 时,应考虑地球曲率和大气折光对高差的影响,为了提高三角高程测量的精度,通常采取对向观测竖直角,推求两点间高差,以减弱大气垂直折光的影响。

卫星大地测量基本原理是测量出已知位置的卫星到用户接收机之间的距离,然后综合多颗卫星的数据推求接收机的具体位置,目前已广泛用于地面点位置的高精度测定,从而进行平面位移和沉降监测。美国 GPS 以其廉价、方便、全天候的优势迅速在全球普及,成为大地测量定位的常规技术,另外用于卫星大地测量的还有俄罗斯的 GLONASS、欧洲的伽利略全球卫星导航定位系统(Galileo),尤其是我国的北斗卫星导航系统(BeiDou Navigation Satellite System,英文缩写 BDS)发展迅速,应用越来越广。

1.1.1.2 静力水准法沉降监测

静力水准法沉降监测是利用液体在管路内的联通原理,测量两点间或多点间相对高程变化。通过在被测建筑物等高的部位安装相同规格的静力水准仪,形成测量多点相对高程变化的静力水准系统。静力水准法可用于大坝、核电站、高层建筑、基坑、隧道、桥梁、地铁等建筑的垂直位移和倾斜监测。

静力水准仪的贮液容器用通液管相互完全连通,贮液容器内注入液体,当液体液面完全静止后系统中所有连通容器内的液面应同在一个大地水准面上,此时测读每一容器的液位,即初始液位值分别为: H_{10} 、 H_{20} 、 H_{30} 、 H_{40} 、……、 H_{i0} ;假设被测物体测点 1 作为基准点,测点 2 的地基下沉,测点 3 的地基上升,测点 4 的地基不变,等等,当系统内液面达到平衡静止后形成新的水准面,则各测点连通容器内的新液位值分别为: H_1 、 H_2 、 H_3 、 H_4 、……、 H_i ;各测点液位变化量分别计算为: $\Delta h_1 = H_1 - H_{10}$ 、 $\Delta h_2 = H_2 - H_{20}$ 、 $\Delta h_3 = H_3 - H_{30}$ 、 $\Delta h_4 = H_4 - H_{40}$ 、……、 $\Delta h_i = H_i - H_{i0}$;选定测点 1 为基准点,则其他各测点相对基准点的垂直位移(沉降量)为: $\Delta H_2 = \Delta h_1 - \Delta h_2$ 、 $\Delta H_3 = \Delta h_1 - \Delta h_3$ 、 $\Delta H_4 = \Delta h_1 - \Delta h_4$ 、……、 $\Delta H_i = \Delta h_1 - \Delta h_i$,其中计算结果: ΔH_i 为正值表示该测点地基相对测点 1 抬高, ΔH_i 为负值表示该测点地基相对测点 1 沉降,若测点 1 为稳定不动点或其垂直位移变化可通过水准测量等方法进行测量,则可以观测计算各测点的绝对垂直位移(沉降量);如果知道两测点间的水平距离 L ,则可计算两测点间相对倾斜的变化。静力水准系统工作原理见图 1.1-2。

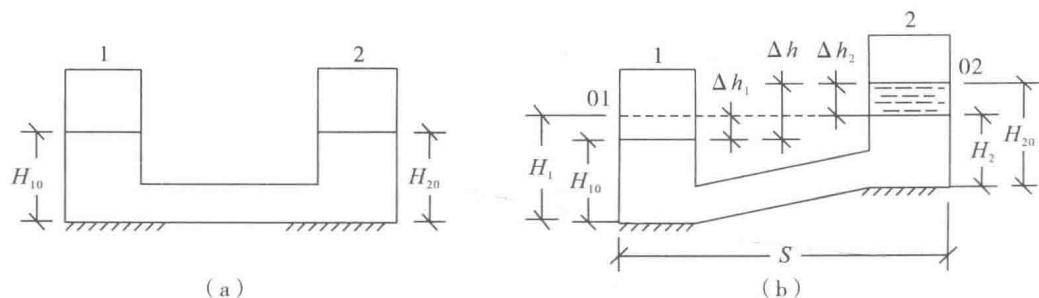


图 1.1-2 静力水准系统工作原理示意图

静力水准仪液位值可以通过目测或安装液位传感器的方法读取,将传感器接入自动测

量单元采集数据,通过有线或无线通信与计算机连接,可实现自动化观测。

1.1.1.3 多点位移计法沉降监测

多点位移计也叫多点变位计,是在同一钻孔中沿其长度方向设置不同深度的测点,测量各测点沿径向的位移,适用于各种建筑物基础及岩土工程,如隧洞、厂房、洞室、边坡、坝基等基岩不同深度变形监测。

多点位移计主要由锚固头、传递杆及其保护管、安装支架、位移传感器等组成,传感器可采用人工测读的机械式测微仪表,也可用远程传输的电测传感器,如电位器式位移计、差阻式位移计、振弦式位移计等。

当多点位移计竖直埋设于被测建筑物或岩土内部时,可以监测其沉降变形,如图 1.1-3 所示。当钻孔内各个锚固点部位产生位移时,经传递杆传到孔口部位的基准端,从而监测孔口基准端与各锚固点之间的相对位移。根据这一原理,当竖向多点位移计最深锚固点安装在变形范围之外,则可监测不同深度锚固点的绝对沉降变形;若最深锚固点处于变形范围之内,可监测被测建筑物或岩土的相对变形值,也可通过水准测量等方法观测孔口部位高程变化,推算各不同深度测点的绝对沉降变形。

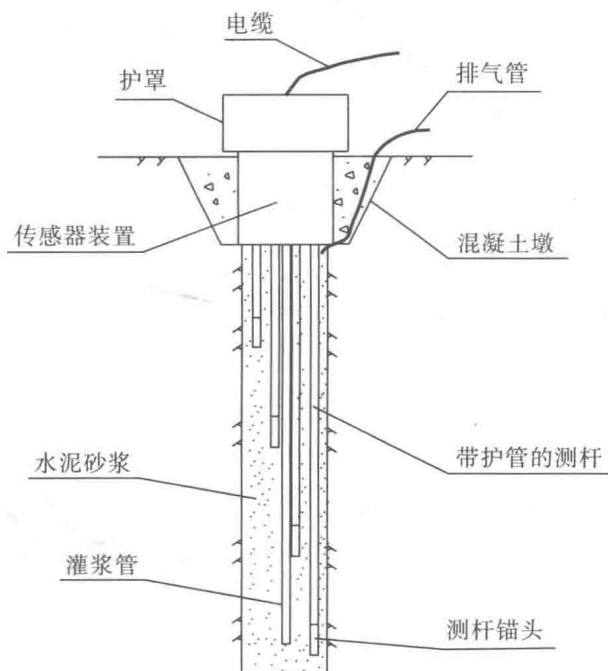


图 1.1-3 多点位移计

1.1.1.4 电磁沉降仪法沉降监测

电磁沉降仪由测头、测尺、沉降管、沉降环(磁环或铁环)组成,如图 1.1-4 所示。可精确量测土石建筑物的沉降与隆起变形。

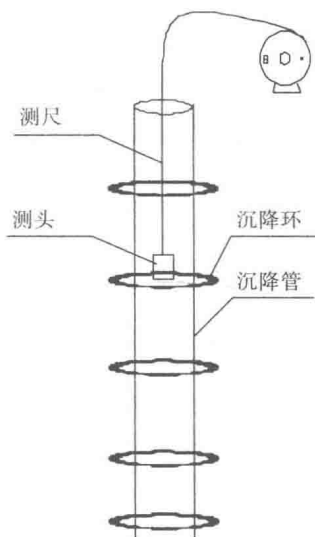


图 1.1-4 电磁沉降仪

沉降环与沉降管可在土石填筑过程中分层埋设,也可钻孔埋设,沉降环按设计需要沿沉降管每隔一定距离设置一个,当土体发生沉降或隆起时,沉降环随之变化。观测时,将测头沿沉降管放入,当测头靠近沉降环时,仪器发出声光报警,通过测尺读取沉降环所在部位的测尺读数,每个沉降环进程、回程各测读一次,取其平均值作为最终测值。

电磁沉降仪测量沉降环部位土体沉降变形有两种方法,分别为孔口标高法和孔底标高法。孔口标高法是每次测量时观测孔口高程,沉降环沉降量以孔口为基准计算;孔底标高法是以孔底为基准点,沉降环沉降量以孔底为基准计算,但应满足最下部沉降环埋设于相对稳定的部位。

1.1.1.5 弦式沉降系统沉降监测

弦式沉降系统由三部分组成:一个装满液体的软管、一支压力传感器和一个储液罐。软管的一端和压力传感器连接,这部分都埋在土里;软管的另一端和储液罐连接,储液罐安装在土方较高的稳固位置。弦式沉降系统适用于量测土石坝、高填土和软土地基等沉降较大的部位。

土体发生沉降或抬升时,传感器与储液罐之间高度随之发生变化,输液管中液体压力相应地增大或减小,由系统压力传感器测量其压力变化值,将压力变化值换算为水头值即为沉降量。

对高土石坝进行沉降监测时需将多个沉降系统串接起来,上方系统下部的沉降盒(传感器)可与下方系统的储液罐安装在同一水平面,形成以串行布置的沉降系列,串行沉降系列储液罐也应安装在稳定地表。

1.1.1.6 横梁式沉降仪法沉降监测

横梁式沉降仪包括横梁(沉降板)、横梁传递管、传递管保护套管、位移计传感器、位移计保护管、连接件等组成,采用在横梁间安装土体位移计的方法观测上、下横梁间土体的相对沉降。横梁式沉降仪法主要用于土石坝坝体、堤防等土中体内部的固结式沉降监测。

根据位移计安装部位不同可以有不同的组合方式,图 1. 1-5 为糯扎渡水电站心墙堆石坝埋设单点横梁式沉降仪结构示意图。

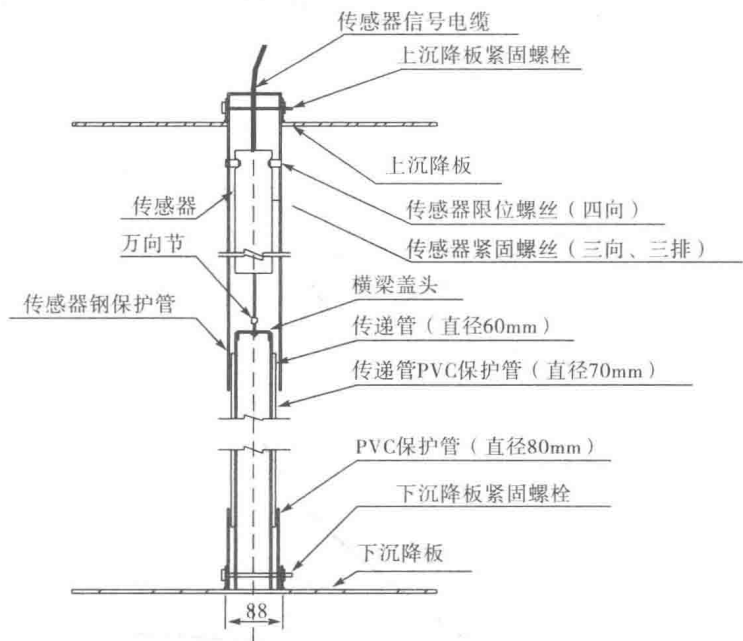


图 1. 1-5 横梁式沉降仪结构示意图

当上下横梁(沉降板)间土体发生沉降(压缩)或隆起(回弹)变形时,横梁(沉降板)带动传递管、位移计在保护管内运行,通过测量位移计测值变化,计算上下横梁(沉降板)间相对沉降变化量。

在土体内部不同高程连续埋设多组横梁式沉降仪,即上组下沉降板与下组上沉降板同部位、同高程埋设多组横梁式沉降仪,以底部基岩面(垫层面)为基准面(最下部横梁式沉降仪下沉降板埋设在基准面上),连续叠加多组横梁式沉降变化量,可获取不同高程土体相对基准面沉降量;也可以土体顶部为基准面(最上部横梁式沉降仪上沉降板埋设在土体顶部),每次观测时,通过大地测量法测量上部沉降板高程变化,连续叠加多组横梁式沉降变化量,可获取不同高程土体绝对沉降量。

1.1.1.7 竖直传高仪法沉降监测

竖直传高仪是长江空间信息技术工程有限公司(武汉)发明的一种用于将高程从一个水平面一次性传递到另一个水平面的高程传递仪器,其也可监测同一垂线上不同高程处两点之间高差及其变化。

竖直传高仪利用两根不同膨胀系数的丝杆(不锈钢丝/钢钢丝,不锈钢杆/铝杆)作为传递杆,根据两根丝杆的长度变化,可以消除温度对丝杆的影响量,从而精确测量不同高度处两点之间高差(即两点之间的长度)的变化。

竖直传高仪包括上装置、下装置、连接杆(丝)以及上、下高程连测装置。上、下装置安装在需进行高差监测的不同高程面的预留孔(或适于安装该设备的类似部位)上、下端,孔内安装连接杆(丝)连接上、下装置,在上、下装置上布置上、下高程连测装置,还可根据实际需要加装传感器,实现自动化观测。

竖直传高仪的读数装置安装在竖直传高仪下装置内,将用于高程传递的连接杆(丝)上端固定在上装置内,下端缠绕在附有指针的转轮上(若采用连接杆,则在接近转轮的连接杆下端位置续接一小段高抗拉强度的不锈钢丝,再连接到转轮上),下方加装重锤进行拉伸。当上、下装置间高差发生变化时,连接杆(丝)的长度随之发生对应变化,带动转轮上指针转动,通过指针所指的读数盘上刻度变化即为上、下装置间高差变化量。

1.1.2 膨胀土渠道渠基的变形特点及监测要求

1.1.2.1 膨胀土渠道渠基的变形特点

(1) 膨胀土特性

膨胀土是一种特殊性黏土,主要由强亲水性黏土矿物蒙脱石和伊利石组成,具有强亲水性、吸水显著膨胀、失水收缩和往复湿胀干缩变形的性质。主要表现为:

1) 膨胀性。指土的体积因不断吸水而增大的过程,它是黏土矿物与水相互作用的结果。反映土的膨胀性能指标有自由膨胀率和不同压力作用下的膨胀率。当膨胀率大于90%时为强膨胀土,小于40%时为非膨胀土,土的含水量越低,其膨胀性就越高。

2) 收缩性。由于水分减少而收缩变形是膨胀土的另一个重要特性,其变形大小以收缩系数表示。收缩系数的物理意义是指含水量减少1%时土样的竖向收缩变形,收缩系数大的土,其收缩变形量也大。

3) 膨胀与收缩的可逆性。膨胀具有吸水膨胀,失水收缩,再吸水再膨胀,再失水再收缩的变形特性,称之为土的膨胀收缩的可逆性,它是膨胀土的重要属性,由于这样的特性宜造成边坡及建筑物的变形、开裂。

(2) 渠基竖向膨胀力

由于膨胀土渠道渠基变形主要跟渠基膨胀土的竖向膨胀力有关,竖向膨胀力则与膨胀土中含水率增量、卸荷量等密切相关。

1) 膨胀土中含水量变化是产生膨胀与收缩的重要因素之一,当膨胀土处于干燥状态时,具有高的膨胀势,反之则低。

根据有关试验数据显示,浸水后,竖向膨胀力随含水率增量的变化规律大致可分为4个阶段,即初始线性增长阶段—过渡阶段—二次线性增长阶段—稳定阶段:(a)初始快速增长阶段,膨胀力主要是由表面浸水后迅速膨胀变形产生的;(b)过渡阶段,膨胀力的增长速率相对前一阶段降低,缓慢增长,是因为膨胀土属于黏性土,其渗透系数很小,在表层膨胀土浸水迅速膨胀以后,水分向试体内部渗透的速度迅速下降,使得后续竖向膨胀变形逐渐减弱;(c)在经过过渡

阶段的缓慢膨胀变形后,竖向膨胀力再一次开始线性快速增长,该阶段的膨胀力增长主要是由内部深层膨胀土的膨胀变形引起的,原因是此时水分以较为稳定的速率向土体内部缓慢渗透,引起土体发生整体膨胀变形,竖向膨胀力开始以近似稳定速率增长;(d)随着水分不断进入土体内部,膨胀土逐渐趋于饱和,膨胀变形逐渐趋于稳定,膨胀力也随之趋于稳定。

2)卸荷时,膨胀土竖向回弹变形增加,竖向膨胀力不断减小,二者呈线性或二次曲线性变化。

(3)膨胀土渠道渠基的变形特点

1)膨胀土渠道结构基本为沿渠道中心线对称布置,渠基在水平方向的变形不大,其变形在施工期主要为竖向膨胀力的变化和渠道卸荷引起的竖向变形,在运行期主要为通水水位变化或渠道底板渗水引起的垂直变形。

2)渠基在施工过程中可能存在反复胀缩变形的特点,主要是由于施工过程中天气的影响(如下雨和暴晒等),造成膨胀土渠道的干湿循环,使得渠道渠基存在反复胀缩变形的可能。

3)膨胀土的膨胀性随深度而变化,上部土体的膨胀量是下部土体的膨胀变形的累积结果,因此渠基沉降变形有分层分布的特点,从上到下,沿着深度的变化,沉降量变化趋势略有不同。理论上,从浅至深,沉降量应逐渐减小,同一深度处,渠基中心线到渠坡坡脚应逐渐减小。

4)因膨胀土显著的膨胀与收缩性,膨胀土渠道渠基变形量也较岩质基础的变形量大。

1.1.2.2 膨胀土渠道渠基变形监测要求

根据膨胀土渠道渠基的变形特点,其变形监测应能满足以下基本要求:

(1)膨胀土渠基竖向膨胀力主要受含水率影响,由于膨胀土较强的亲水性,含水率在膨胀土较深的部位仍会产生影响,因此对渠基的变形监测范围应能深入到膨胀土受含水率的最大影响范围,监测渠基的深层变形。

(2)渠基沉降变形有分层分布的特点,因此对渠基应能沿高程进行分层沉降监测,以监测到膨胀土各个层次的压缩变化情况。

(3)监测仪器应满足大量程的要求。

(4)在渠道通水运行后,渠基的变形将无法由人工测量的方式进行,因此应能实现渠基监测的自动化。

1.1.3 变位式分层沉降监测系统的开发研制

1.1.3.1 变位式分层沉降监测系统的基本思想及可行性分析

膨胀土遇水膨胀、失水收缩的特性导致土体结构很容易发生变化,在有裂隙存在的条件下,抗剪强度将会减小,膨胀土很容易对建筑物或渠道等工程造成安全隐患。南水北调中线工程沿线分布有较多的中、强膨胀黏土,为了掌握膨胀土渠道在施工和运行期间的变形情

况,结合其他观测资料进行综合分析,以判定其稳定性和有无变形开裂,作为施工控制和工程安全运行的依据,渠基内部土体分层沉降观测则是非常重要的监测项目之一。

目前土体分层沉降变形监测方法主要采用电磁沉降仪的方法,将磁感应沉降环预先通过钻孔的方式埋入地下待测各点位,当传感器通过磁感应沉降环时,产生电磁感应信号送至地表仪器显示,同时发出声光警报,获取该测点的沉降量。沉降环安装是否稳固是电磁沉降仪测值是否可靠的关键问题,因此对其安装要求较高,若沉降环发生脱落,则所测数据就不能代表该处土体的沉降变形。且由于只能竖向观测,不能满足竖向孔顶部被封住后分层沉降的监测要求。

施工期间渠道底板还未形成时,采用电磁沉降仪的方法可以满足监测需要。但在施工后期渠基底板开始封闭或运行期渠道通水时,电磁沉降仪这种只能在孔口观测的监测方法已不适用。鉴于膨胀土渠道分层沉降监测的重要性,急需一种监测仪器,该仪器埋入土体后不必穿出渠底板,能在土体中牵引至坡外进行监测,即可将深部土体发生沉降变形的测点的变形量传递至外部进行观测,达到变位式观测的目的。此外膨胀土变形通常量级较大,要求新的监测设备也要满足大量程需要。传统的分层沉降监测仪器多为人工观测,人工干预多,误差大,且不方便后期监测成果的管理分析,因此新的监测设备还要能实现自动化观测。

不锈钢钢丝绳作为监测线体已成功应用到了竖直传高及引张线式水平位移计监测装置中。在竖直传高仪中,不锈钢钢丝绳作为导体可实现不同高程面间高差的传递,并且已在国内多座大坝变形监测中得到应用,如三峡大坝、丹江口大坝、大黑汀水库大坝、万安电站大坝等,运行良好,均达到了设计精度,效果令人满意。鉴于此,课题组将不锈钢钢丝绳应用到变位式分层沉降监测系统中:将钢丝绳一端通过一定方式固定在需要测量沉降的土体处,土体位移带动钢丝绳上下伸缩,从而将该处位移量传递到钢丝绳末端,通过测量末端的伸缩值即可得到该土体的沉降量。不锈钢丝在竖直传高仪中成功应用,说明将其应用于试制变位式分层监测系统是可行的。

PVC管在电磁沉降仪、测斜等监测设备中均为重要组成部分。新设备中也可利用PVC管,大口径的套管一端开槽,实现小口径套管在大口径套管中的滑移,通过两种口径的大小套管交替连接、累计滑移,使分层沉降监测系统满足大量程的功能也是可行的。

拉线式传感器是一种可灵敏测得拉出线体长度的设备,通过将监测线体即不锈钢钢丝绳与拉线式传感器连接,不锈钢钢丝绳末端所反映的位移量则可通过此传感器获得,将传感器与测量控制系统相连接,即可实现分层沉降监测系统的自动化采集。

1.1.3.2 变位式分层沉降系统的工作原理及计算模型

变位式分层沉降系统由大套管、小套管、分线盘、连接环、不锈钢钢丝绳、观测柜、恒力拉线传感器组成。当土体发生沉降或回弹变形时,通过沉降条或沉降盘及土体对大小套管的握裹力,使得小套管在大套管的滑槽内滑动,带动钢丝绳上下滑动,通过与定位套管处钢丝绳连接的恒力拉线式传感器及读数仪获得相应点位的沉降变形量。其计算模型如下:

各测点变化的数学模型为：

$$\Delta H_{2\text{本}} = (L_{2\text{本次}} - L_{2\text{首次}}) - (L_{1\text{本次}} - L_{1\text{首次}});$$
$$\Delta H_{3\text{本}} = (L_{3\text{本次}} - L_{3\text{首次}}) - (L_{1\text{本次}} - L_{1\text{首次}});$$
$$\dots\dots$$

式中 $\Delta H_{2\text{本}}$ ——2#测点位移变化量,单位:mm;
 $\Delta H_{3\text{本}}$ ——3#测点位移变化量,单位:mm;……
 $L_{2\text{本次}} - L_{2\text{首次}}$ ——2#测点的本次测值减首次测值,单位:mm;
 $L_{1\text{本次}} - L_{1\text{首次}}$ ——1#测点(基准点)的本次测值减首次测值,为观测柜的位移量,单位:mm。
符号规定:正值表示下沉,负值为抬升。

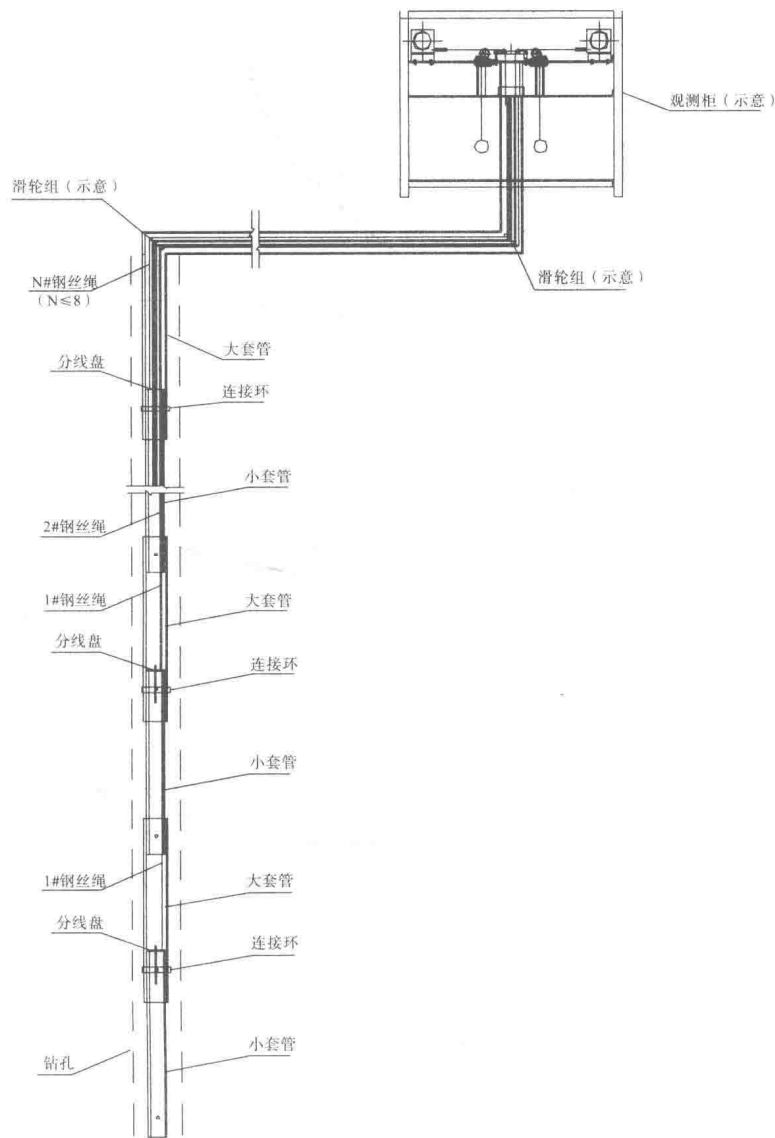


图 1.1-6 变位式分层沉降系统总体结构图

1.1.3.3 变位式分层沉降系统的设计

变位式分层沉降监测系统主要实现如下功能:能监测土体内部的不同高程处沉降或回弹变形情况;大量程,土体变形可通过线体反映至末端,实现变位式测量;满足大量程监测需求。鉴于此需求,变位式分层沉降系统的设计如下:

变位式分层沉降系统是一种监测土体分层沉降变形的测量装置,由大套管、小套管、分线盘、连接环、不锈钢钢丝绳、观测柜、恒力拉线传感器组成。

大套管(见图 1. 1-7)材质为 PPR($\Phi 63\times 5\text{mm}$),长度为 50cm,一端 45mm 处对称钻 $\Phi 6\text{mm}$ 螺旋孔,另一端 45mm 处向上开 $10\text{cm}\times 3\text{mm}$ 的槽。



图 1. 1-7 大套管

小套管(见图 1. 1-8)材质为 PPR($\Phi 50\times 4\text{mm}$),长度为 50cm,两端 45mm 处均对称钻 $\Phi 6\text{mm}$ 螺旋孔,一端横截面处对称钻孔 $\Phi 2\text{mm}$ 用于安装分线盘固定架。

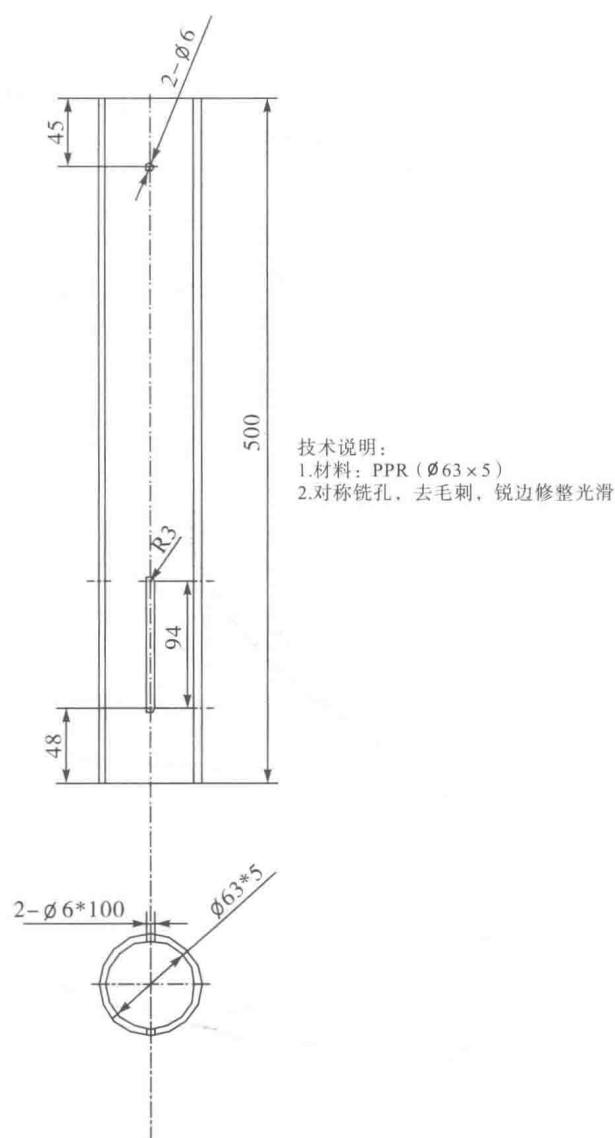


图 1.1-8 小套管

分线盘(图 1.1-9)为铝合金材料($\phi 38 \times 2\text{mm}$),盘中心开有 $\phi 20\text{mm}$ 圆孔,盘上 $\phi 30\text{mm}$ 处间隔 45° 开有 8 个 $\phi 4\text{mm}$ 圆滑小孔, $\phi 26$ 处间隔 180° 开有 2 个 $\phi 5\text{mm}$ 的螺旋孔并通过螺母与固定支架相连,固定支架为铝合金材料($50\text{mm} \times 6\text{mm}$),两端 2mm 处各开有 1 个 $\phi 2.5\text{mm}$ 的圆孔用于通过螺母将分线盘固定在小套管上,两端 12mm 处开有 2 个 $\phi 5\text{mm}$ 的螺旋孔并通过螺母与分线盘相连。