

# 南水北调中线潮河段地基处理技术

黄宝德<sup>1</sup>, 王永平<sup>2</sup>

(1. 中国人民武装警察部队 水电第七支队, 湖北 武汉 430200; 2. 中国人民武装警察部队 水电第三总队, 四川 成都 611130)

**摘要:**南水北调中线工程是我国特大型跨流域调水工程, 其中潮河段设计单元总长 45.847 km。根据潮河段的地质结构状况, 为确保工程地基稳固, 设计单位在沿线分别采用强夯、挤密砂石桩、CFG 桩、水泥土填筑等措施对地基进行加固处理。介绍了潮河段地基处理采用的相关技术。

**关键词:**南水北调; 潮河段; 地基处理

**中图分类号:** [TV91]; TV8; TV52

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1001-2184(2016)04-0053-03

## 1 工程概况

南水北调中线一期工程是我国特大型跨流域调水工程, 其输水总干渠自湖北省丹江口水库的陶岔, 经河南、河北两省到达北京市, 全长 1 274 km, 一期工程年调水量约 95 亿 m<sup>3</sup>。

潮河段设计单元总长 45.847 km, 其中建筑物长 603 m, 明渠长 45.244 km。根据南水北调中线潮河段的地质结构状况, 为确保工程地基稳固, 设计单位在沿线分别采用强夯、挤密砂石桩、CFG 桩、水泥土填筑等措施对地基进行加固。

强(重)夯、挤密砂石桩、土挤密桩的目的是为了处理湿陷性黄土或砂土液化问题。CFG 桩(水泥粉煤灰碎石桩)、水泥土填筑则是为了提高地基承载力。通过加固处理, 取得了良好效果。

## 2 所采取的地基处理技术

### 2.1 强夯施工

(1) 施工要求。强夯主要对渠道 142+755~143+790 段及梅河倒虹吸进出口贴坡段湿陷性黄土进行加固处理。单击夯击能有 2 000 kN·m 和 3 000 kN·m 两种。施工时保证强夯点位偏差小于 5 cm, 夯锤保持垂直, 其倾斜度不大于 30°, 严格控制夯锤提升高度和夯实遍数, 以保证渠堤基础中砂壤土干密度 ≥ 1.65 g/cm<sup>3</sup>, 砂层相对密度大于 0.7。

锤重及夯击点布置: 强夯夯点为三角形布置, 间距 5.5 m。强夯参数: 先用单击夯击能 3 000 kN·m, 锤重 20 t, 底面直径 2.5 m, 落距 15 m; 夯击数及遍数: 采取 10 击 3 遍, 第一遍夯点按正

三角形布置, 中距 6.5 m, 第二遍夯点在第一遍夯点之间布置, 第三遍满堂布置, 最后一遍夯锤落距可降低至 4~6 m。各遍夯击间隔 3~4 周。

(2) 强夯施工中易出现的问题。施工中易出现的问题: 夯击次数不足、落距不够, 夯锤落地时不平稳造成错位或坑底倾斜过大等。为此, 制定的预防措施为: ①强夯开始时检验夯锤起吊点是否处于重心。②夯击时落锤应保持平稳, 夯位正确。如错位或坑底倾斜过大, 及时用壤土将坑底整平重新夯击。③严格控制最后两击的平均沉降量。夯击土坑下陷深度用水准仪测量控制, 必要时进行整平。

(3) 强夯质量控制。①测量放样时, 用测量仪器按照施工图纸准确放出主要控制点, 用钢卷尺放样布孔, 夯击点位偏差小于 5 cm。②夯击时夯锤保持垂直, 倾斜度不大于 30°。③施工过程中按设计要求检查每个夯点的夯击次数和每击的夯沉量。④强夯参数及夯后地基的物理力学指标必须符合设计要求。当强夯后达不到设计要求时, 应补夯或采取其他补救措施。⑤强夯后, 将地基土的物理力学指标检验安排在强夯完工半个月后进行。检验的物理力学指标: 干容重、湿陷系数、承载力和压缩模量。按施工图纸或监理人指示进行标贯和探坑检查, 检查频度为每 1 000~2 000 m<sup>2</sup> 取样一组, 各测一孔一坑。

### 2.2 挤密砂石桩施工

(1) 施工要求。挤密砂石桩桩径为 0.6 m, 桩间距 2 m, 正三角形布置, 深入非液化层 0.5 m, 采用 DZ75 型振动锤, 套管直径为 550 mm 配活瓣桩

收稿日期: 2016-07-12

尖进行施工。施工时桩位水平偏差不大于0.3倍套管外径,套管垂直度偏差不大于1%。

砂石桩填充材料含泥量不大于5%,最大粒径不大于50 mm,施工前进行成桩挤密试验以确定桩间距、测定桩间土的液化,施工时由外向内施工,均匀分布,逐步加密,及时夯填。

(2) 挤密砂石桩施工工艺。施工工序见图1。

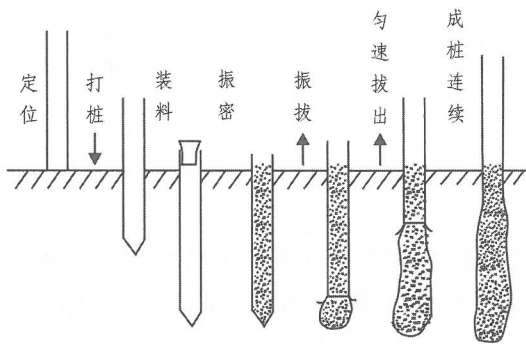


图1 挤密砂石桩施工工序图

(3) 挤密桩施工易出现的问题: 桩体倾斜、点位偏移、成孔深度不够、孔径不足、出现空桩、断桩、填料质量差等。为此, 制定的预防措施为: ①每根桩施工前严格控制桩机沉管的垂直度达到规范要求。②对测量已放点的位置进行圈点固定保护, 不得私自移动。③严格按照设计图纸要求控制每根桩的成孔深度, 施工前做好相应的标记, 配合质检人员及监理人员做好复核检查。④严格控制碎石料最大粒径不大于40 mm、含泥量不大于5%的要求。

(4) 挤密桩施工质量控制。①在各施工程序中, 其关键是施工中水、电、料的控制, 即下沉挤密过程和投料与提管过程。②振动挤密过程是保证成桩质量的关键, 必须通过工艺性试验确定振挤次数、电机的工作电流和留振时间等参数, 每次投入砂量及挤密后提升高度是保证成桩质量的前提。为保证质量, 本着“少吃多餐”的原则进行加料, 每次提升高度以套管桩尖不离开碎石面为宜, 以防塌孔、缩径、断桩的发生。③正式施工时, 要严格按照试验确定的砂石灌入量、桩管提升高度、速度、振密挤压次数和留振时间、电机的工作电流等施工参数进行施工, 以确保碎石挤密桩桩身的均匀性和连续性。④应保证起重设备平稳, 导向架与地面垂直, 垂直偏角不应大于1.5%, 成孔中

心与设计桩位偏差不应大于50 mm, 将桩径偏差控制在 $\pm 20$  mm以内, 桩长偏差不大于100 mm。⑤碎石灌入量不应少于设计值, 如不能顺利下料时, 可适量往管内加水, 情况严重时可采用气举法。⑥提升和反插速度必须均匀, 反插深度由深到浅。⑦为尽量减少桩间土的隆起, 应采用隔行跳打的方式施工。⑧振动成桩至地面时应向下复振1 m, 确保地表不产生缺碎石的凹桩。⑨桩管按照设计桩深配焊, 并于桩管上附焊长度标记, 用以控制桩深及反插幅度。⑩桩管沉至设计深度后, 在投入填料起拔桩管的同时, 应敲击桩管确认填料落入孔内后方可继续拔管投料。⑪桩管拔出地表后, 桩顶若堆积填料, 必须及时反插桩管将填料压入孔内。

### 2.3 水泥粉煤灰碎石桩施工

为解决建筑物基础地震液化问题, 在倒虹吸进口渐变段、检修闸、管身斜坡段、节制闸及出口渐变段等部位基础设置直径500 mm的水泥粉煤灰碎石桩(CFG桩)进行处理。

#### 2.3.1 施工技术

(1) 水泥粉煤灰碎石桩施工工艺。该工程采用长螺旋钻管内泵压混合料灌注的施工方法施工, 其施工工艺流程为: 原地面处理→测量放线→长螺旋钻机就位→钻进至设计深度→停钻→泵送混合料→均匀拔钻至桩顶→封顶→机具移位。

(2) 施工方法。水泥粉煤灰碎石桩由水泥、粉煤灰、碎石、砂、外加剂加水拌和形成的混合料灌注而成, 水泥粉煤灰碎石桩采用长螺旋钻孔、管内泵压混合料成桩工艺, 桩体强度不小于 $10 \text{ N/mm}^2$ 。施工顺序采用隔桩跳打。①钻机就位后, 用钻机塔身的前后和左右的垂直标杆检查塔身导杆, 校正位置, 使钻杆垂直对准桩位中心, 确保CFG桩垂直度容许偏差不大于1%。②混合料搅拌要求按配合比进行配料, 拌和时间不得少于1 min。控制好混合料的加水量和坍落度。在泵送前混凝土泵料斗应备好熟料。③钻进成孔。钻孔开始时, 关闭钻头阀门, 向下移动钻杆至钻头触及地面时启动马达钻进。一般应先慢后快, 这样实施既能减少钻杆摇晃, 又容易检查钻孔的偏差, 以便及时纠正。在成孔过程中, 如发现钻杆摇晃或难钻时应放慢进尺, 否则易导致桩孔偏斜、位移, 甚至使钻杆、钻具损坏。当钻头到达设计桩长预

定标高时,在动力头底面停留位置相应的钻机塔身处作醒目标记,将其作为施工时控制孔深的依据。待动力头底面达到标记处的桩长即满足设计要求。施工时还需考虑施工工作面的标高差异并作相应的增减。④灌注及拔管。CFG桩成孔到设计标高后,停止钻进,开始泵送混合料,当钻杆心充满混合料后开始拔管,严禁先提管后泵料。成桩的提拔速度宜控制在 $2\sim 3\text{ m/min}$ ,成桩过程宜连续进行,应避免因后台送料慢而导致停机待料。灌注成桩完成后,桩顶采用湿黏土封顶进行保护。施工中每根桩的投料量不得少于设计灌注量。⑤移机。当上一根桩施工完毕、钻机移位,进行下一根桩的施工。根据轴线或周围桩的位置对需施工的桩位进行复核,保证桩位准确。

### 2.3.2 CFG桩施工中应注意的事项

(1)长螺旋钻孔、管内泵压混合料成桩施工在钻至设计深度后,应准确掌握提拔钻杆的时间,混合料泵送量应与提拔管速度相配合,遇到饱和砂土或饱和粉土层时不能停泵待料。

(2)施工桩顶标高宜高出设计标高不少于 $0.5\text{ m}$ 。桩顶设 $50\text{ cm}$ 保护桩长,桩基加固完成 $7\text{ d}$ 后开挖至设计标高,截去保护桩长后铺设褥垫层。褥垫层铺设时先铺设 $30\text{ cm}$ 厚碎石,褥垫层两侧端以片石护砌。

(3)施工垂直度偏差不应大于 $1\%$ ;桩位偏差不应大于 $0.4$ 倍桩径。

(4)清土和截桩时,不得造成桩顶标高以下桩身断裂和扰动桩间土。

(5)褥垫层铺设宜采用静力压实法。当基础底面桩间土的含水量较小时,也可采用动力夯实法,夯填度(夯填后的褥垫层厚度与虚铺厚度的比值)不能大于 $0.9$ 。

## 2.4 水泥土回填

在黄水河、梅河倒虹吸等河道建筑物基础部位设计了水泥土回填。回填水泥土所用的水泥为 $42.5\#$ 普通硅酸盐水泥,将水泥和土拌和均匀,掺量重量比符合设计要求,压实度不小于 $98\%$ ,所掺土料为中、重粉质壤土,有机质含量不大于 $5\%$ ,水溶盐含量不大于 $3\%$ ,将混合料含水量控制在土料最优含水量的 $-2\%\sim +3\%$ 偏差范围内。

### 2.4.1 施工过程

(1)挖除预留的 $20\sim 30\text{ cm}$ 厚保护土层,清

除杂质土至设计高程后进行联合验收,检查开挖后的基槽底部高程是否满足设计要求。保证开挖边坡的稳定性,如坡度设计、打桩设置挡板临时支护等措施。

(2)拌制水泥土:根据设计要求,按土重量的百分比掺入 $42.5\#$ 普通硅酸盐水泥(土为粘性土或粉质粘土,土重按 $1.5\text{ t/m}^3$ 计算),拌制机械采用 $1\text{ m}^3$ 挖掘机或人工拌制,拌和不少于 $3$ 遍,要拌和均匀,颜色达到一致。大颗粒土人工辅助粉碎,保证最大颗粒土粒径小于 $5\text{ cm}$ ,水泥土随拌随用。

(3)水泥土运输:利用挖掘机开挖,放入施工场内,人工配合双胶轮车运输,人工摊铺回填。

(4)水泥土夯实:采用人工及机械两种方法相互配合进行夯实。第一层土因含水率呈饱和状,采用人工轻夯,避免扰动下层地基。虚铺土层厚度为 $20\text{ cm}$ ,第一层土体固结后,加强覆盖洒水保温养护 $1\text{ d}$ 。第二层仍为人工轻夯,虚铺土层厚度为 $20\text{ cm}$ ,加强覆盖洒水保温养护 $1\text{ d}$ 。第三层重夯采用蛙式打夯机夯实,分层厚度为 $30\text{ cm}$ ;夯实遍数应通过现场试验确定,一般不少于 $6\sim 8$ 遍,同时严格控制夯击遍数,避免过夯使已压实的土体被破坏。

### 2.4.2 水泥土质量控制

(1)施工中严格控制土的含水率,其以 $14\%\sim 18\%$ 为宜,对局部出现的弹簧土应及时清除。

(2)回填应分段依次施工,按一定的顺序保持均衡上升。应将层段间的回填土接缝处削成坡状或齿坎状,坡度不陡于 $1:3$ ,并对接缝处加强夯实,保证混合土的压实度。

(3)施工温度较低时应采取保护措施,加强覆盖保温,防止霜冻破坏土体结构;同时对已填筑完成的水泥土应洒水覆盖保温养护。

(4)填筑过程中,测量工作应同步进行,随时检查控制填土面高程及填土厚度;对水泥土层与层之间结合部的处理要符合规范规定,土面过光时要采取人工刨毛处理,保证层间结合牢固。

(5)水泥土压实指标:压实度 $\geq 98\%$ 。每层土填筑完成后进行土工试验,检测土的干密度,计算土的压实度,待其符合设计要求并经监理工程师签字确认后,进行上层土的回填。

(6)回填土应超出加固区以外每侧不少于 $50$

(下转第62页)

炮工和值班技术员复核检查,确认无误后撤离人员和设备,炮工负责引爆。

3.4 爆后的排烟与排险

每次爆破后,待洞内烟尘全部消散后爆破人员方可进入洞内进行检查。检查的内容主要包括:有无瞎炮、危石等情况。若无补炮,则及时通知解除警报,恢复洞内的车辆交通。

经检查一旦发现瞎炮,必须立即处理。处理瞎炮可视具体情况采用重新起爆法、打平行眼装药引爆法、掏空炮泥药包引爆法等方法。

3.5 爆后检查

龙落尾掺气坎是泄洪洞工程的重要结构部位且体型开挖复杂,其爆破质量的好坏直接影响后期衬砌混凝土的施工及洞室围岩稳定。因此,每次爆破后均由质量部组织技术部、测量队、钻爆班组进行爆后质量检查及效果评价,主

(上接第55页) cm。对边角处机械无法夯实到位的地方应采用人工夯实密实。

(7)回填土结束后其顶面应高于设计高程10~20 cm,采用人工带线整平至设计高程。

3 结 语

在南水北调中线潮河段采用基础强夯、挤密砂石桩、CFG桩、水泥土填筑等措施对地基进行

要检测爆破后断面超欠挖情况、爆后光面爆破孔残孔、半孔率,孔间平整度、爆破粒径等参数。根据爆破效果及时调整、优化爆破参数,确保下一循环爆破质量。

4 结 语

地下洞室开挖的方法有多种多样,实际工程中究竟采用哪种开挖方法,应综合考虑工程地质与水文地质条件、基础类型、结构特点、周边环境对围岩稳定性的要求、施工季节、施工工期、使用期限等因素,做到因地制宜,因时制宜,合理设计、精心施工、严格监控。

作者简介:

于志强(1980-),男,河南新野人,工程师,学士,从事水利水电工程施工技术及管理工

王 伟(1984-),男,四川巴中人,工程师,学士,从事水利水电工程施工技术及管理工

(责任编辑:李燕辉)

加固,解决了渠道湿陷性黄土或砂土液化问题,提高了地基承载力,取得了良好效果,保证了南水北调中线渠道及建筑物的质量。

作者简介:

黄宝德(1976-),男,广西北流人,工程师,硕士,从事水利水电工程施工技术与管理工

王永平(1968-),男,陕西甘泉人,高级工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工

(责任编辑:李燕辉)

金沙江白鹤滩水电站可行性研究报告(枢纽部分)通过审查

2016年6月21~23日,根据白鹤滩水电站前期工作安排,水电水利规划设计总院在北京主持召开了金沙江白鹤滩水电站可行性研究报告(枢纽部分)审查会议。有关单位的领导、专家和代表参加了审查会议。会议特别邀请了中国工程院陈厚群院士、郑守仁院士、马洪琪院士、张超然院士和中国科学院张楚汉院士、陈祖煜院士以及国内有关水利、水电、航运等方面的专家参加审查会议。会议成立了由马洪琪院士为组长、由特邀专家和水电水利规范设计总院专家组成的审查专家组。郑声安院长主持会议,并对审查期间应重点关注的技术问题和下一阶段工作提出了明确的要求和意见。会前,部分专家和代表进行了现场查勘。会议听取了华东勘测设计研究院关于可行性研究报告(枢纽部分)主要设计成果的汇报,并分专业组进行了认真的讨论和审议。审查认为,报告达到了可行性研究阶段勘测设计工作内容和深度的要求,基本同意该报告。白鹤滩水电站是金沙江下游河段四个水梯级的第二个梯级,坝址位于四川省宁南县和云南省巧家县境内,距上游乌东德水电站约182 km,距下游溪洛渡水电站195 km。坝址控制流域面积43.03万km<sup>2</sup>,多年平均流量4 170 m<sup>3</sup>/s。水库正常蓄水位高程825 m,总库容206.27亿m<sup>3</sup>。电站装机容量16 000 MW,多年平均年发电量约619亿kW·h。工程属一等大(1)型工程,枢纽工程主要由混凝土双曲拱坝、泄洪消能建筑物及左右岸引水发电系统等组成,最大坝高289 m。白鹤滩水电站预可行性研究报告于2006年6月通过审查。可行性研究阶段,华东勘测设计研究院开展了大量的勘察设计研究工作,并联合科研单位进行了专项试验和专题研究,先后完成了70余项专题研究报告,其中正常蓄水位选择、坝址选择、枢纽布置、装机容量选择、施工总布置规划、工程防震抗震设计等专题报告先后通过专题审查。2014年1月,水利部批复了《金沙江白鹤滩水电站水土保持方案报告书》;2015年11月,环境保护部批复了《金沙江白鹤滩水电站环境影响报告书》。在上述勘测设计研究的基础上,华东院于2016年6月编制完成了《金沙江白鹤滩水电站可行性研究报告(枢纽部分)(送审稿)》。