

振冲碎石桩在黄金坪水电站坝基处理中的应用

谷江波, 刘永波, 闵勇章

(中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司, 四川 成都 610072)

摘要:黄金坪水电站坝基砂层透镜体分布范围较大、厚度较大且不均匀、开挖难度大,设计决定采用振冲碎石桩进行处理。振冲碎石桩可通过对软弱地基进行置换及挤密形成复合地基以提高地基变形和承载力,改善地基的不均匀性,减少不均匀沉降并有效防止地基地震液化。在振冲桩施工过程中,采用复勘后分区处理,既节约了投资,又保证了处理效果,达到了预期的目的。

关键词:砂层透镜体;振冲碎石桩;复合地基;分区处理;黄金坪水电站

中图分类号:TV7;TV223.3;TV223.2;TV553

文献标识码:B

文章编号:1001-2184(2015)增2-0084-04

1 概述

黄金坪水电站位于大渡河上游河段,系大渡河干流水电规划“三库22级”中的第11级电站,是以发电为主的二等大(2)型工程。电站采用水库大坝和“一站两厂”的混合式开发,枢纽建筑物主要由沥青混凝土心墙堆石坝、1条岸边溢洪道、1条泄洪(放空)洞、左岸大厂房引水发电建筑物和右岸小厂房引水发电建筑物等组成。水库正常蓄水位高程为1476 m,相应水库库容为1.28亿 m^3 ,最大坝高85.5 m,壅水高度73 m,电站总装机容量为850 MW。

黄金坪水电站坝基河床覆盖层结构复杂,砂层透镜体厚度较大,分布较广、开挖难度大,其承载力、压缩模量及抗剪强度低且有液化的可能,故选择振冲碎石桩进行加固,以防止液化,提高其承载力和抗变形能力。振冲碎石桩是以潜水电机带动偏心块使振冲器产生高频振动,同时,通过振冲器尖端喷嘴喷射出高压水流,在边振边冲的联合作用下,将振冲器沉到土中的设计深度。经清孔后,从地面向孔中分段填入适量碎石,每段填料均在振动作用下被振挤密实,在达到设计所要求的密实度后提升振冲器,如此重复填料和振密,在土体中由下而上制作成一根大直径、密实的碎石桩体。该桩与原地基土一起构成复合地基,使承载力提高,沉降减少^[1]。

2 基本地质条件

黄金坪水电站工程区位于松潘-甘孜地槽褶

皱系巴颜喀拉冒地槽褶皱带与扬子准地台内的康滇地轴过渡部位,地处鲜水河断裂带、龙门山断裂带和安宁河~小江断裂带、金汤弧形构造带的交接复合部位,区域地质构造背景复杂。外围区域断裂带发育历史悠久,规模宏大,北西向鲜水河断裂带和北东向龙门山断裂带分别具有发生8级潜在地震的危险性。工程区内的危险性主要受鲜水河断裂南东段以及龙门山断裂带西南段地震活动的波及影响。坝址区50 a超越概率10%基岩水平峰值加速度为220 cm/s^2 ,对应的工程区地震基本烈度为Ⅷ度。

坝址区河谷两岸基岩裸露,河谷呈较开阔的“U”型谷。谷坡自然坡度左岸为45°~55°。枯水期河水面宽75~90 m,河谷相对开阔。坝址区属高山宽谷地貌,临河坡高大于600 m,水流湍急。坝址左岸上游约500 m发育有叫吉沟泥石流,沟床切割较深,常年流水;坝址右岸下游约400 m发育有龙达沟泥石流,为季节性沟谷。坝址区无区域性断裂通过,地质构造以次级小断层、挤压破碎带、节理裂隙、岩脉为特征。

据勘探资料,坝基(开挖后高程1399 m)河床覆盖层深厚,一般厚度为56~130 m,最厚达133.92 m;层次结构复杂,自下而上总体分为3层:

第①层。漂(块)卵(碎)砾石夹砂土($fglQ_3$):分布于河床底部,厚29.44~81.57 m,顶面埋深46~57.8 m,均位于1396 m高程以下。

第②层。漂(块)砂卵(碎)砾石层(alQ_4^1):分布于河床覆盖层中部和左岸河漫滩,厚20.3~

收稿日期:2015-03-08

46 m, 顶面埋深 0~25.12 m。②层中有②-a、②-b、②-c、②-d 砂层分布, 其中②-c 和②-d 分布于 1 399 m 高程以上, 坝基开挖时被完全挖除。②-a、②-b 呈数个透镜体分布在坝轴线及下游部位(图 1), 其中②-a 厚度为 0.5~6.9 m, 顶板埋深为 7.49~25.5 m, 顶板分布高程为 1 373.5~1 391.51 m, 底板分布高程为 1 371.3~1 391.01 m, 为含泥(砾)中~粉细砂; ②-b 厚度为 0.2~6.24 m, 顶板埋深为 0~14.25 m, 顶板分布高程为 1 384.75~1 399 m, 底板分布高程为 1 381.9~1 398.77 m, 为含泥(砾)中~粉细砂。坝基开挖时②-a 层完全保留、②-b 层少部分被挖除(图 1)。

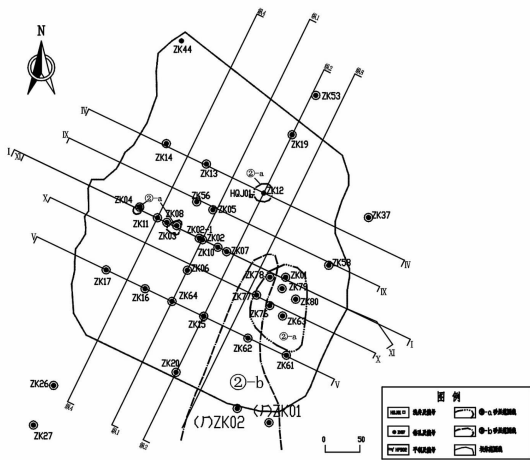


图 1 坝址覆盖层中②-a、②-b 层平面分布图

第③层。漂(块)砂卵砾石(alQ42): 分布于河床表部, 厚 13~25.12 m。③层中有③-a、③-b 砂层分布, 均分布于 1 396 m 高程以上, 坝基开挖时被完全挖除。

3 坝基工程地质问题分析

3.1 坝基抗滑稳定

黄金坪水电站坝基覆盖层结构总体较密实, 粗颗粒基本构成骨架, 其抗剪强度较高, $\varphi = 30^\circ \sim 32^\circ$, 但河床覆盖层中②-a、②-b 等砂层分布较广, 厚度较大且埋藏较浅, 其承载、抗变形和抗剪强度均较低, 当外围强震波及影响时因砂土动强度降低可能引起的地基剪切变形对坝基抗滑稳定不利。

3.2 坝基变形

上述坝基覆盖层地基具多层结构, 持力层主要为第②、①层, 少部分为第③层, 总体为漂(块)

卵砾石层, 粗颗粒基本构成骨架, 结构较密实, 其允许承载力 $[R] = 0.5 \sim 0.55 \text{ MPa}$, 变形模量 $E_0 = 40 \sim 45 \text{ MPa}$, 其承载和抗变形能力均较高, 可满足基础承载变形和抗滑稳定要求。但由于覆盖层结构不均一, 坝基②-a、②-b 砂层分布较广, 厚度较大, 埋藏较浅, 为中~粉细砂, 其承载力和变形模量均较低, 对覆盖层地基的强度和变形性能影响较大, 存在不均匀变形问题。

3.3 砂层液化

坝基河床覆盖层中分布有②-a、②-b 砂层和其它零星砂层透镜体, 厚度为 0.2~6.24 m, 相对 1 399 m 高程建基面埋藏深度为 0~27.7 m, 为含泥(砾)中~粉细砂。

砂层液化初判: 上述砂层均为第四纪全新世 Q4 地层; 砂层粒径小于 5 mm 颗粒含量为 79.46%~98.59%, 质量百分率大于 30%, 其中粒径小于 0.005 mm 的颗粒含量百分率为 5%~8.28%, 小于相应地震设防烈度七度、八度和九度含量 16%、18% 和 20%; 判定为可能液化砂。

根据标贯复判: 砂层在七度、八度地震烈度条件下均有发生液化的可能。

根据相对密度复判: ②-a、②-b 在八度地震烈度条件下, 除个别黏土质砂层透镜体不液化外, 其余砂层均有发生液化的可能。

根据相对含水量、液性指数复判: 经对②-a、②-b 砂层物性指标进行计算, 其相对含水量为 1.19, 大于 0.9, 其液性指数 $I_L = 1.46$, 大于 0.75, 均存在发生液化的可能。

4 振冲碎石桩处理方案

4.1 试验桩布置

振冲碎石桩试验在设计选定的大坝左岸基础范围内进行, 试验区开挖高程不低于 1 400 m。

试验区分为 A、B 两个区, 分别位于砂层②-a、②-b。试验 A 区砂层埋深约为 32 m, 厚度约为 9 m, 试验 B 区砂层埋深约为 25 m, 厚度约为 6 m。两个区每区分别布置 13 个试验孔, 每个试验区孔距为 1.5 m 和 2 m, 试验孔成等边三角形布置, 设计孔深至第②-a、②-b 层砂层的底部, 设计桩径为 1 m。试验桩具体布置情况见图 2。

4.2 振冲区复勘孔施工

坝基振冲桩工程施工复勘孔的目的主要有: 勘察大坝基础覆盖层中砂层的位置、厚度、颗粒组

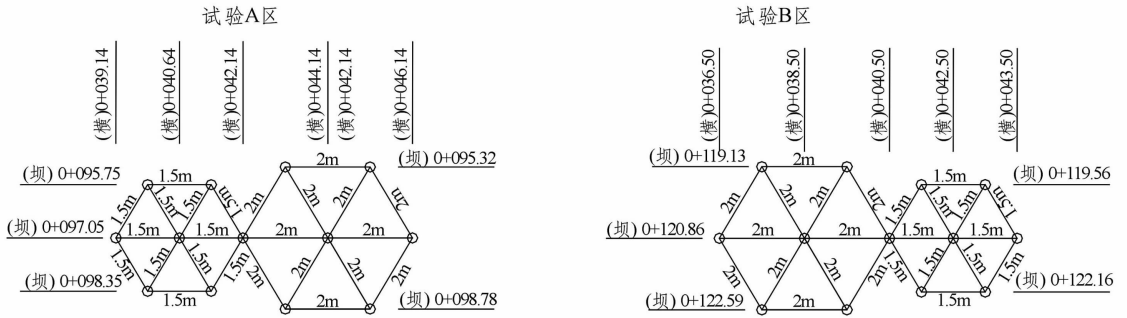


图2 振冲试验桩平面布置图

成等情况;作为设计勘探的补充资料,与设计给出的地质条件进行对比分析;更加合理的指导振冲区砂层处理的深度。

4.3 振冲桩孔位分区

根据复勘成果,将黄金坪水电站大坝振冲处理划分为8个区域,共计2873根桩,等边三角形布置。振冲碎石桩孔间距分为三种:振冲1区、9

区按2.5m×2.5m布置;振冲2区、4区、5区、8区按2.5m×2.5m布置;振冲6区、7区按1.8m×1.8m布置。实际孔深至砂层底部1m,成桩桩径为1m。振冲施工在设计提供的工作面1399.5m高程进行。

振冲孔位在施工过程中本着边施工、边布设、边校核的原则进行。

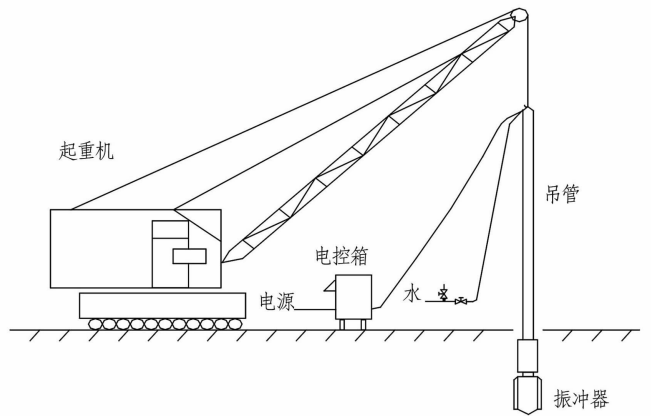
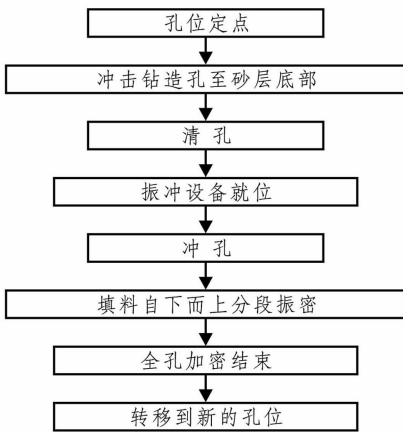


图3 振冲碎石桩施工流程示意图

4.4 振冲桩施工过程

根据前期试验振冲器无法直接贯入的情况,采用“冲击钻造引孔后振冲”的施工方法。振冲碎石桩施工程序见图3。振冲桩施工设备包括CZ-6D型冲击钻机、振冲器、50t履带吊、泵送输水系统、控制操作台等。

5 地基振冲处理后的效果分析

5.1 地基检测试验方法

(1) 动力触探试验。

动力触探原位测试试验主要是利用一定的落锤能量,将探头打入地基土层中,根据其打入一定深度的难易程度确定处理后的复合地基承载力特征值。

复合地基的承载力:根据桩、土应力及面积置换率确定。通过一定的原位测试手段(如动力触探,标准贯入等)分别确定桩及土的承载力,根据设计及现场施工情况确定面积置换率 m ,根据复合地基的荷载作用机理以及桩、土共同承担的上部荷载确定复合地基承载力标准值,计算公式如下:

$$f_{sp,a} = m \times f_{p,a} + (1 - m) \times f_{s,a}$$

式中 $f_{sp,a}$ 为复合地基的承载力特征值; m 为面积置换率; $f_{p,a}$ 为桩的承载力特征值; $f_{s,a}$ 为桩间土的地基承载力特征值。

(2) 标贯试验。

试验前应钻孔至试验地层的标高以上15cm,清孔后用标准贯入器并测量深度,以每分钟

15~30 击的速度贯入试验地层中。先打入 15 cm, 不记锤击数; 继续贯入 30 cm, 记录锤击数。若砂层较密实、贯入击数较大时, 也可记录小于 30 cm 进尺的锤击数然后将其换算成贯入 30 cm 的锤击数。

(3) 静载试验。

试验采用模拟建筑物地基竖向受荷实际工作条件的试验方法: 慢速维持荷载法。即逐级加荷, 每级荷载达到相对稳定后加下一级荷载, 直到试

验进行到满足试验规范的要求时方可终止加载条件, 然后分级卸荷到零。

5.2 检测及计算成果

基于试验成果, 根据《建筑地基基础设计规范》等得到的计算成果见表 1。在实施振冲碎石桩处理砂层地基后, 复合地基的抗剪强度、变形模量等物理力学特性均满足设计要求。标贯试验亦表明复合地基均为不液化土。

6 结 语

表 1 复合地基力学指标计算成果表

间距 /m	部位	变形模量 E_0 /MPa	压缩模量 E_s /MPa	承载力 $[f_k]$ /kPa	抗剪强度 φ_s	d /m	置换率 /m	n	复合地基 抗剪强度 $\varphi_{sp}/^\circ$	复合地基 压缩模量 E_{sp}	复合地基 承载力 F_{sp}	复合地基 变形模量 E_{op}
1.8	桩间土	27.4	26.8	273	37.3	1	0.28	4	35.7	49.3	481	34.2
	桩体	51.52		1 016	38							
2	桩间土	26	25.2	270	36.5	1	0.227	4	35.4	42.3	437	31.6
	桩体	50.52		1 006	38							
2.5	桩间土	22.1	20.4	263	34.1	1	0.145	4	33.8	29.3	377	27
	桩体	55.78		1 051	38							

(1) 黄金坪水电站坝基在特定的地质背景下, 河床覆盖层分布有规模较大的砂土层, 在地震、动力荷载或其它外力作用下, 可能存在砂土地震液化及地基变形等工程地质问题。

(2) 振冲碎石桩对砂土层等软弱地基的挤密效果与置换作用明显, 可有效解决软弱地基砂土液化问题、承载力问题及抗剪问题。黄金坪水电站坝基通过振冲碎石桩形成复合地基, 在承载力、压缩模量等方面较明显地提高并达到设计要求。

(3) 振冲碎石桩施工时, 根据复勘孔勘探成果, 对砂层等软弱地基进行了分区处理, 既达到了补充查明软弱地层空间展布的目的, 同时亦方便

了施工, 又节约了工程量。

(4) 黄金坪水电站采用振冲碎石桩处理坝基软弱地层, 既减少了坝基开挖的工程量, 又解决了基坑由于涌水量大而产生的施工难度大问题。

参考文献:

[1] 水电水利工程振冲法地基处理技术规范, DL/T5214-2005 [S].

作者简介:

谷江波(1976-), 男, 山西芮城人, 高级工程师, 硕士, 从事水电工程地质勘察技术工作;
刘永波(1981-), 男, 河南许昌人, 工程师, 学士, 从事水电工程地质勘察技术工作;
闵勇章(1981-), 男, 湖北孝昌人, 高级工程师, 学士, 从事水电工程地质勘察技术工作。
(责任编辑:李燕辉)

(上接第 37 页)

增加水涨式锚杆、设备优化改造、使用局部钢拱架、加强洞内洞外皮带机的联系等措施予以妥善解决。

(3) 加强协调管理工作。

监理部专门成立了洞外皮带机运行监理组, 一方面实现了洞内外现场监理工程师 24 h 跟踪作业, 及时协调解决掘进过程中皮带机出现的问题; 另一方面, 通过规范的管理, 大大提高了洞外连续皮带机的运行保障率, 有力地促进了 TBM 的顺利掘进。

3.5 TBM 施工信息的管理

在 TBM 施工和监理过程中, 对各种信息的采集和积累显得特别重要, 如地质、设备状况、开挖与支护状况、刀具、油料消耗、遇到的不良地质情

况与处理措施和结果、循环进尺、日进尺数据等, 这些资料和数据是合同管理的基础, 也是技术分析的基础, 监理工作要做得扎实、系统。

4 结 语

TBM 法施工在我国是最近二十多年出现的事情, 是地下工程工厂化施工模式, 其施工技术与监理工作的内容、方法、规律、措施等方面都具有其特点和不同要求, 监理工程师应加强对 TBM 施工管理知识的学习和再培养, 并应根据这些特点和不同要求实施监理, 尤其是 TBM 设备维修、TBM 穿越不良地质段的施工技术和监理, 以进一步促进 TBM 施工技术与管理的完善和发展。

作者简介:

李卫国(1972-), 男, 四川宣汉人, 副总经理, 高级工程师, 学士, 从事水利水电工程建设监理工作。
(责任编辑:李燕辉)