

# 浅谈振冲碎石桩加固软基试验与应用

张国庆, 陆世彪, 王舜, 刘宁

(中国人民武装警察部队水电第八支队, 四川成都 611130)

**摘要:**振冲碎石桩加固软土地基形成复合地基,以提高其承载力,增强整体稳定性,减少沉降量,同时还能显著增强其抗震能力。以西藏多布水电站泄洪闸地基处理工程为例,介绍了振冲碎石桩加固软土地基的现场试验,并对加固效果进行了检测分析和探讨。

**关键词:**振冲碎石桩;软基;应用;多布水电站

**中图分类号:**TV553;TV52;TV53+8.3;TV223;TU472

**文献标识码:** B

**文章编号:**1001-2184(2015)04-0026-04

## 1 概述

多布水电站为西藏自治区“十二五”能源发展规划重点项目,是尼洋河综合治理与保护控制性工程,电站位于西藏自治区林芝县境内,距林芝地区行署所在地八一镇约28 km,川藏公路从左岸通过,交通相对便利。

该工程的主要任务为在保护生态环境的基础上,以发电为主,兼顾灌溉,采用闸坝式开发方案。工程枢纽主要由河床砂砾石复合坝、左岸泄洪闸、左岸引水发电系统等建筑物组成。坝顶高程为3 079 m,最大坝高27.5 m。电站装机容量为4×30 MW,单机引用流量206 m<sup>3</sup>/s,4台机共引水824 m<sup>3</sup>/s。电站属Ⅲ等中型工程,主要建筑物为3级,次要建筑物为4级,临时建筑物为5级。工程区地震基本烈度为Ⅶ度,地震设防烈度亦为Ⅶ度。

左岸坝段结构物下部主要由冲积含砾粗中细砂层、冲积含块石砂卵砾石层、冲积中细砂层以及冰水堆积含块石砂卵砾石层等组成,级配差且与地表潜水、承压水贯通,水量丰富,渗透压力非常大。其中泄洪闸等建筑物基础存在中粗砂层,厚度为18 m左右,该层承载力为300~350 kPa,需要采用振冲碎石桩进行加固作为安全储备,总工程量约8 400 m。

坝址区地貌表现为“峡谷”地形特征,河流流向为NE66°,主流偏左岸,河谷呈“U”形,平水期河水位高程为3 054~3 056 m,水深约3~4 m,谷宽158~187 m。

主要发育有现代河谷Ⅲ级阶地,峡谷进出口

发育漫滩及Ⅰ级堆积阶地。左岸山顶高程为4 935 m,相对高差1 880 m;基岩多分布在高程3 200 m以上并构成高山斜谷地貌。右岸为一凸向左岸的条形山梁,呈“鼻状”,即临河侧山体相对宽厚,向内侧逐渐缩窄。

坝址区以燕山晚期——喜马拉雅期二长花岗岩( $\gamma_{35-6}$ )和第四系(Q)地层为主,左岸上游出露有二叠系上统(P2)地层。

坝址区河床和左岸阶地均为覆盖层,河床区深厚覆盖层厚度为52.6~190 m,整体呈左岸厚、右岸薄特征,基岩顶板以40°左右坡度由右岸斜插向左岸。左岸台地覆盖层厚度变化范围为251.2~359.3 m,平均厚度为300.5 m。基岩顶板高程变化范围为2 730.9~2 830.2 m,由左岸向右岸略有变高趋势,基岩面凸凹不平,左岸台地中部位置出现了两个较深凹沟,推测为古河道。左岸覆盖层厚度超过350 m,为巨厚层覆盖层。

## 2 设计参数

设计要求复合地基承载力特征值为400 kPa;现场生产试验的单桩载荷试验承载力特征值为750 kPa;采用含泥量小于5%的卵砾石等硬质材料,不使用已风化及易腐蚀、软化的石料。填料粒径宜为20~80 mm,最大粒径不大于100 mm。填料级配经现场试验确定,不宜使用单级配填料,填料应为良好级配。

## 3 现场试验

### 3.1 试验桩参数及布置

现场振冲碎石桩布置1个试验区,试验桩按4根×5根布桩,共布置20根试验桩进行振冲填

料加密试验,将试验区由第六闸室调整至第一闸室,孔距调整为2.5 m,孔径为1.26~1.38 m,等

边三角型布置(图1)。

### 3.2 试验工艺

表1 振冲试验施工技术参数表

| 类别 | 造孔水压<br>/MPa | 造孔电流<br>/A | 风压<br>/MPa | 加密水压<br>/MPa | 加密电流<br>/A | 留振时间<br>/s |
|----|--------------|------------|------------|--------------|------------|------------|
| 数量 | 0.5~1.2      | 120~220    | 0.15~0.3   | 0.5~0.8      | 130~140    | 12~15      |

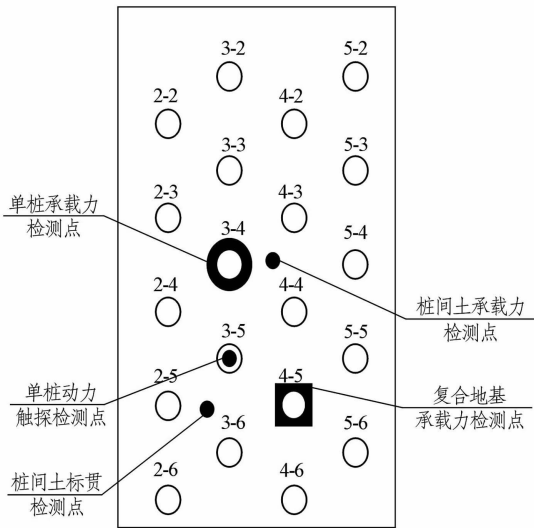


图1 振冲碎石桩平面及检测点布置示意图

振冲碎石桩施工主要是利用ZCQ-132振冲器的振动和水冲、风冲成孔,填以砂卵石骨料,借振冲器的水平振动振密填料,形成碎石桩体,与周围土构成复合地基,提高承载力达到加固的目的。

#### (1) 场地平整及放线定位。

对场区地表进行平整与清理,同时查清可能存在的地下或地上障碍物并做相应的清理处置,以免发生事故。确保现场施工道路的通畅,对振冲供水管路、电缆、排污沟、集污坑、碎石料场、照明设施等进行合理、统一的布置。

场地平整后,由测量人员根据控制点进行现场放线,建立现场施工控制网。振冲施工桩位本着边施工、边布设、边校核的原则进行,所有施工孔位均进行统一编号。施工前,用测量仪器放出每一根桩的中心点位置。桩位标识采用插小木棍的方式,可以避免施工过程中出现漏振、错振、重复振的现象。

#### (2) 振冲器造孔。

该试验制桩采用排打法施工,吊车就位时保证平整稳固,确保施工中不发生倾斜、位移。然后

起吊振冲器对准桩位,开启供水泵,待振冲器下端喷水口出水后启动振冲器。施工前,对振冲施工机具进行试运行,检查水压、电压和振冲器空载电流是否正常。

将振冲器缓慢、稳妥地吊起,对准桩位缓慢下降振冲器至离地面30 cm以内,启动空压机供风,启动清水泵供水,待振冲器下端射水口出水的水压、水量达到稳定时启动振冲器,拉紧防扭绳索。待振冲器内的偏心块达到额定转速时,下放振冲器,使其贯入土中进行造孔。

造孔过程中,振冲器始终保持悬垂状态,以保证垂直成孔。当电流值超过电机额定电流时,减速或暂停振冲器下沉或上提振冲器,待电流值下降后再继续向下造孔。

由于该地层渗透性强,砂层本身不液化,施工至6~8 m,10~12 m时常遇孔口不返水现象,故在振冲器导杆上加了4根 $\varphi 40$ 水管以加大供水量,直至孔口返水正常,确保造孔成功。

#### (3) 填料。

造孔及清孔后即用装载机向孔内填料。每一振冲点所需的填料量根据地基土要求达到的密实程度和振冲点间距通过现场试验确定。为了能顺利地填入、振密,填料不宜过猛,每批不宜加填太多,遵循“少吃多餐”的原则。

#### (4) 振密。

依靠振冲器的水平振动力,将填入孔中的石料不断挤向侧壁土层中的同时挤密填料,直到满足设计要求。桩体加密质量采用加密电流、留振时间、加密段长度作为控制标准。

用无线振冲施工监控仪和电流控制柜同时对加密电流和留振时间进行监视并随时进行调控。

加密自孔底开始,逐段向上。振冲器每次上提30~50 cm,逐段做好振密搭接,以防漏振。

## 4 试验成果分析

### 4.1 桩体试验成果

本次试验设振冲桩20根,实际完成工程量

为318 m,共完成填料410.2 m<sup>3</sup>,成桩平均直径为1.28 m。

表2 试验桩成果统计表

| 序号 | 孔号  | 实际孔深<br>/m | 时间<br>/min | 填料<br>/m <sup>3</sup> | 造孔水压<br>/kPa | 造孔电流<br>/A | 风压<br>/kPa | 加密电流<br>/A |
|----|-----|------------|------------|-----------------------|--------------|------------|------------|------------|
| 1  | 1-2 | 16         | 156        | 20.3                  | 0.7          | 130        | 0.2        | 130        |
| 2  | 1-3 | 16         | 217        | 19.8                  | 0.8          | 130        | 0.2        | 130        |
| 3  | 1-4 | 16         | 175        | 20.1                  | 0.8          | 120        | 0.2        | 130        |
| 4  | 1-5 | 16         | 175        | 20.2                  | 0.8          | 130        | 0.2        | 130        |
| 5  | 1-6 | 16         | 164        | 20.1                  | 0.8          | 120        | 0.2        | 130        |
| 6  | 2-2 | 16         | 99         | 20.3                  | 0.8          | 135        | 0.2        | 130        |
| 7  | 2-3 | 16         | 110        | 20.5                  | 0.8          | 186        | 0.2        | 130        |
| 8  | 2-4 | 16         | 187        | 20.1                  | 0.8          | 110        | 0.2        | 130        |
| 9  | 2-5 | 16         | 172        | 20.5                  | 0.8          | 125        | 0.2        | 130        |
| 10 | 2-6 | 15         | 120        | 22.5                  | 0.6          | 190        | 0.2        | 130        |
| 11 | 3-2 | 16         | 165        | 20.3                  | 0.8          | 199        | 0.2        | 130        |
| 12 | 3-3 | 16         | 167        | 20.3                  | 0.8          | 120        | 0.2        | 130        |
| 13 | 3-4 | 16         | 141        | 20.7                  | 0.8          | 130        | 0.3        | 130        |
| 14 | 3-5 | 16         | 162        | 22                    | 0.8          | 140        | 0.2        | 130        |
| 15 | 3-6 | 15.5       | 89         | 20                    | 0.8          | 190        | 0.2        | 130        |
| 16 | 4-2 | 16         | 140        | 20.6                  | 0.8          | 140        | 0.3        | 130        |
| 17 | 4-3 | 16         | 240        | 20.8                  | 0.8          | 130        | 0.2        | 130        |
| 18 | 4-4 | 16         | 183        | 20.5                  | 0.8          | 130        | 0.2        | 130        |
| 19 | 4-5 | 15.5       | 182        | 20.1                  | 0.8          | 185        | 0.2        | 130        |
| 20 | 4-6 | 16         | 465        | 20.5                  | 0.8          | 190        | 0.2        | 130        |
| 合计 |     | 318        |            | 410.2                 |              |            |            |            |

从表2中的数据可以看出:

(1)试验桩桩径为1.26~1.38 m,满足设计1.2 m桩径的要求;

(2)造孔时间为1.65~7.75 h,主要体现在造孔功效低;

(3)由于地质结构致密,造孔电流一般为130~200 A,对振冲器电机损坏较大,经常出现电机烧坏现象;

(4)由于砂层本身不易液化,故在造孔过程中,为了成孔,在施工导杆外加了4根40 mm直径的水管,1根40 mm直径的风管,以确保造孔质量。

#### 4.2 试验检测成果

根据规范要求,在试验桩施工完7~15 d后,在原位进行了以下检测项目:复合地基承载力检测1个点、单桩承载力检测1个点、桩间土承载力检测1个点、单桩重型动力触探1个、桩间土重型动力触探和桩间土标贯试验1个点等六项质量检测,检测结果表明:单桩竖向承载力特征值为942 kPa(图2),复合地基承载力特征值为451 kPa(图3),浅层平板载荷 $p-s$ 曲线见图4,桩间土承载

力特征值为380 kPa;检测结果还表明,碎石桩桩体连续,结构密实,质量良好。

#### 5 结 语

根据对多布水电站泄洪闸坝基采用振冲碎石桩加固的现场试验结果和随后进行的大面积加固实践可以得出以下结论:

(1)采取132 kW振冲器对处理该砂层、提高该砂层承载力至设计值总体上是可行的。

(2)根据试验检测结果判定,采取孔距2.5 m,等边三角形布置施工是满足设计对复合地基和单桩承载力要求的。

(3)因地层中砂卵石层结构面与设计值有所出入,导致部分孔在振冲造孔过程中出现了滞桩现象,故未能达到设计孔深。

(4)由于地层上部漏失量大,即便造孔过程中未遇到砂卵石层,但因造孔过程中不返水,极易抱管,导致振冲器设备埋在孔内,故需采取外加水管等有效措施进行处理。

(5)由于该砂层不易出现液化现象,故造孔过程中需要采取大水量配合风压将孔内废渣冲出

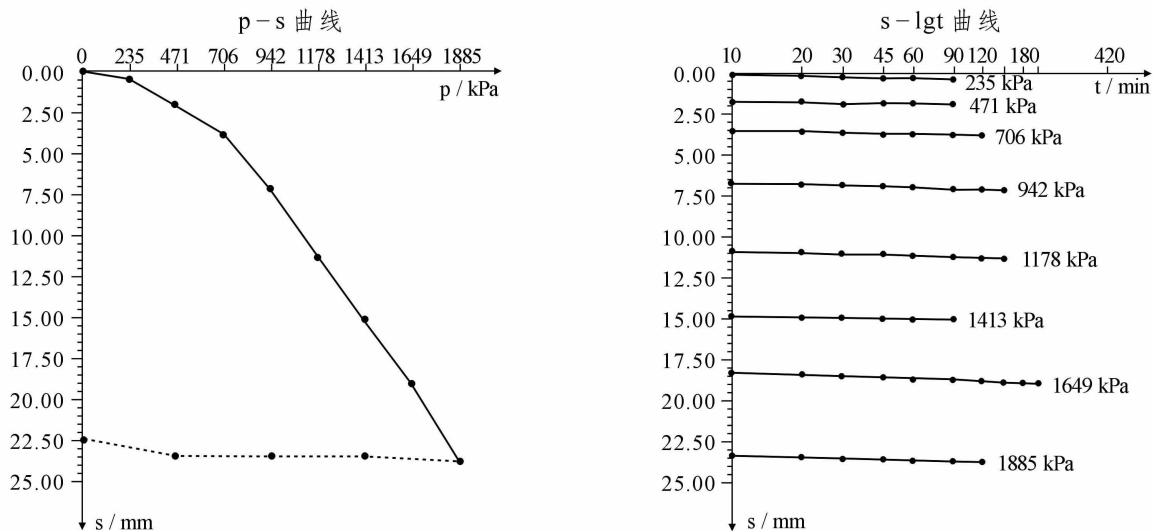


图2 单桩竖向静载试验 p-s、s-lgt 曲线图

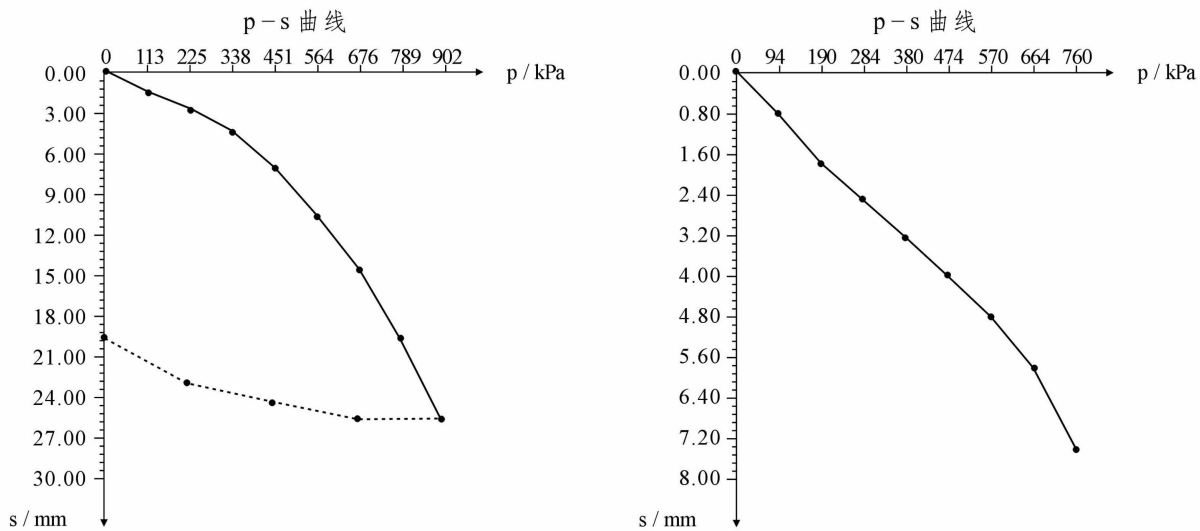


图3 单桩复合地基静载试验 p-s 曲线图

图4 浅层平板载荷沉降 p-s 曲线图

孔外,才能确保造孔成功。

(6)因采取风冲造孔,造孔孔径均达 1.26 m 以上,故填料量比设计量高出很多。

(7)根据试验过程资料看,该地层在 7.3 ~ 9 m 之间、10.5 m 以上存在砂卵石夹层,并且水量漏失严重,故需采取重复、来回慢速造孔进行处理,但振冲功效极低,成桩时间一般为 1.65 ~ 7.75 h,需要增加人员和设备投入。

(8)对试验造孔过程中的电流与标贯取芯资料进行分析得知,该地层含有砂卵石夹层,而且砂卵石厚度不均匀,甚至在不同深度存在个别块石,很难造孔至设计深度,最终决定采用电流进行桩深控制,如电流达 180 A 以上并持续半小时未有

振进趋势,终孔并制桩。

(9)由于该工程对砂层承载力特性要求较常规高,故建议在类似施工过程中,造孔采取风压、水压联动施工并备用外加水管,以确保造孔过程中的水压、水量、风压等指标满足施工需求。

作者简介:

- 张国庆(1977-),男,山西河津人,工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工作;
- 陆世彪(1986-),男,贵州都匀人,工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工作;
- 王 舜(1981-),男,重庆长寿人,工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工作;
- 刘 宁(1981-),男,河北石家庄人,工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)