

软硬相间溶蚀深槽复杂地质条件下大型水闸地基处理

陈朝旭^{1,2} 叶俊荣^{1,2} 魏波玲³ 崔冬冬⁴

1. 长江勘测规划设计研究有限公司; 2. 国家大坝安全工程技术研究中心
3. 成都都江堰旅游集团有限责任公司; 4. 南水北调中线水源有限责任公司

摘要: 针对大型水闸工程深溶槽、软硬突变地基和软土夹砂卵石层等复杂地质工程难题, 本文结合都江堰市城区河段二号拦河闸工程, 提出了水气联动液振冲碎石桩与基岩开挖置换填土以及高压旋喷联合地基处理, 有效提升地基承载力、避免不均匀沉降, 成功解决了深溶槽、软硬突变地基和软土夹砂卵石层等复杂地质工程难题, 具有良好的指导意义和经济效益。

关键词: 拦河闸; 地基处理; 振冲碎石桩; 高压旋喷

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2023.20.078

Foundation treatment on large scale sluice at the complex geological conditions with soft-hard interbed helk

Chen Zhaoxu^{1,2}, Ye Junrong^{1,2}, Wei Boling³, Cui Dongdong⁴

1. Changjiang Survey, Planning and Design Co., Ltd.

2. National Dam Safety Engineering Technology Research Center

3. Chengdu Dujiangyan Tourism Group Limited Liability Company

4. South-to-North Water Diversion Central Water Source Co.

Abstract: Aimed at the complex geological engineering problems about deep solution groove and site interbedded with soft and hard soil, this paper proposes the hydraulic vibro-replacement stone column, the filling replacement and the high-pressure rotating, which effectively improves the bearing pressure on foundation and avoids nonuniform settlement at the the No.2 Barrier Dam Project at Dujiangyan City. Such method could provide a reference for similar projects with good guidance and economic

benefits.

Key words: Barrier Dam; Foundation disposal; Vibration replacement stone column; High-pressure rotating

一、引言

大型水闸工程闸孔数量多、闸底板面积大, 地基承载力及不均匀沉降等工程难题对闸坝工程安全运行提出了更高要求, 尤其是遭遇深溶槽、软硬突变地基和软土夹砂卵石层时, 地基处理极为复杂^[1-3]。本文结合都江堰市城区河段二号拦河闸工程, 对比分析振冲碎石桩、高压旋喷桩、钻孔灌注桩等方法, 成功解决了深溶槽、软硬突变地基和软土夹砂卵石层等复杂地质条件下大型水闸地基处理难题, 可为类似工程提供借鉴。

二、工程概况及地质条件

(一) 工程概况

都江堰市二号拦河闸工程为大(2)型工程, 主要功能为改善上游河段水生态环境、水景观, 促进城区经济社会可持续发展, 并兼顾城区双向交通功能。工程等别为II等, 主要建筑物为2级, 次要建筑物为3级。设计洪水标准为50年一遇, 校核洪水标准为100年一遇。



图1 拦河闸典型断面图

（二）工程地质条件

根据工程区地质勘察成果，闸址区表层连续分布冲积卵石（Q4al+p1）层，厚度1.9m~11.3m，靠近两岸堤防段逐渐变厚，漂石含量为20~30%，卵石含量为50~60%，充填物为青灰色粗砂；含砾粉质黏土（Q4al+p1）在冲积卵石层以下普遍分布，厚度0.8~43.9m，以粘粒为主，砾石含量15~30%，粒径2~20mm，偶见卵石，含量约为5%；含卵石粉质黏土（Q4al+p1）在闸址区少量分布，粉质黏土含量60~70%，卵石20~30%，偶含漂石，局部含有少量细砂及风化岩屑。

三、工程区地基处理特点及难点

根据地质勘察成果，工程区地基处理特点及难点如下：

（1）闸址表层出露冲积卵石层及砾岩，闸区左半部分存在流塑状溶蚀深槽（承载力仅30kPa）。闸底板深溶槽、软硬突变地层出露，地基处理难度高。

（2）冲积卵石层及砾粉质黏土层极易增加振冲造孔难度，振冲碎石桩施工困难。

（3）施工场地有限、施工程序复杂，不同程序地基处理相互交叉干扰，施工组织协调难度大。

四、究闸址区地基处理方案对策研究

（一）方案初选

根据工程地质条件，地基处理选取振冲碎石桩、高压旋喷桩和钻孔灌注桩方案进行综合比较^[4-5]。

振冲碎石桩：操作简单、施工进度快、工期短及造价低，适用于处理粉土、粉质黏土、素填土、松砂等地基，可提高地基承载力、减少沉降量。经计算分析，闸址区含砾粉质黏土层采用40%置换率处理后满足要求。

高压旋喷桩：适应性强、施工方便、工期短，适用于处理碎石土、粉土、黏性土、砂类等地基，可减少地基不均匀沉降，含砾粉质黏土层采用相当于36%置换率处理后满足要求。

钻孔灌注桩：可穿过不良土层支承于稳定土层或嵌固于基岩，承担建筑物竖向荷载，具有较高的安全度。经计算分析，灌注桩直径采用0.8m，间排距2.6m能满足要求。

三种地基处理方案均能满足承载力及不均匀沉降设计要求，其中钻孔灌注桩方案沉降变形最小、安全度最高，但投资费用最高、工期最长；高压旋喷桩方案对软

弱地层适应性最好，但工程投资比振冲碎石桩方案增加近2000万元。经对比分析后，振冲碎石桩方案因其具有设备简单、施工方便、经济快捷等优点，作为本工程的优先采用方案。

闸址基础物质结构复杂、颗粒级配悬殊，振冲器难以贯穿砂卵石层及砾粉质黏土层，在振冲碎石桩施工困难的部位调整为高压旋喷桩。

（二）地基处理方案

（1）水气联动液压振冲碎石桩

闸室、岸墙基础振冲碎石桩等边三角形布置，桩距1.5m，下游翼墙基础碎石桩等边三角形布置，桩距1.7m。闸室、岸墙地基经振冲碎石桩处理后要求复合地基设计承载力大于320kPa，设计单桩承载力大于550kN，复合地基压缩模量大于25MPa；下游翼墙经振冲碎石桩处理后要求复合地基设计承载力大于280kPa，设计单桩承载力大于480kN，复合地基压缩模量大于20MPa。

（2）高压旋喷桩

高压旋喷桩桩径1m，闸室、岸墙基础采用等边三角形布置，桩距1.8m，下游翼墙旋喷桩桩距2.0m。闸室、岸墙地基经高压旋喷桩处理后要求复合地基设计承载力大于320kPa，设计单桩承载力大于1200kN，复合地基压缩模量大于25MPa；下游翼墙经高压旋喷桩处理后要求复合地基设计承载力大于280kPa，设计单桩承载力大于1200kN，复合地基压缩模量大于20MPa。要求旋喷桩体抗压强度大于4.5MPa。

（3）砾岩开挖换填

软硬相间基础上的闸室底板极易产生不均匀沉降，结合现场碾压试验及三维有限元计算基岩出露区域闸底板以下3m范围内开挖后碾压回填砂卵石料，回填料碾压后承载力大于350kPa，压缩模量在20~25MPa，与周围振冲碎石桩复合地基压缩模量基本一致。

五、振冲碎石桩施工要点及效果检测

（一）振冲碎石桩施工要点

水气联动液压振冲碎石桩采用ZCQ-180振冲器，功率为180kW，造孔速度1~2m/min，每贯入0.5~1.0m应悬挂留振，且不少于10s；造孔水压控制在0.3~0.6MPa，造孔电流控制在220~240A；桩体填料要求性能稳定、级配良好的硬质碎石或卵石，粒径20~150mm，最大粒径不大于150mm。

(二) 振冲碎石桩效果检测及分析

通过对振冲碎石桩密实度进行检测，桩深5.9m~22.2m，桩深2.6m以下碎石桩均达到中密及以上。对振冲碎石桩进行单桩竖向抗压静载荷试验，在最大试验荷载1100~1650kN时，所测静载试验点位压力~沉降(P~S)线为平缓光滑曲线，比例界限点不明显，未出现陡降段，单桩承载力特征值560kPa~690kPa。典型Q~s曲线见图2。

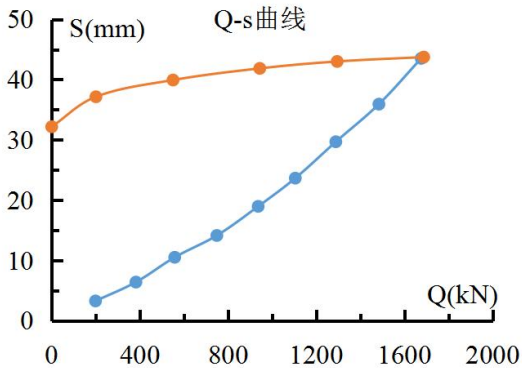


图2 单桩竖向抗压静载荷试验典型Q~s曲线

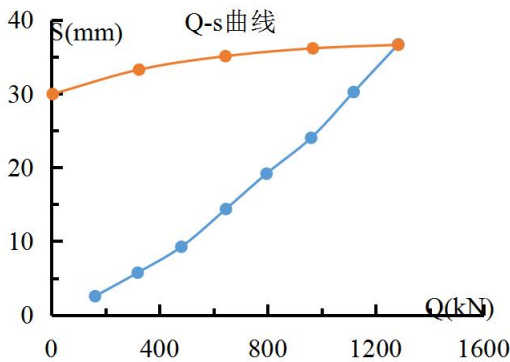


图3 单桩复合地基载荷试验典型Q~s曲线

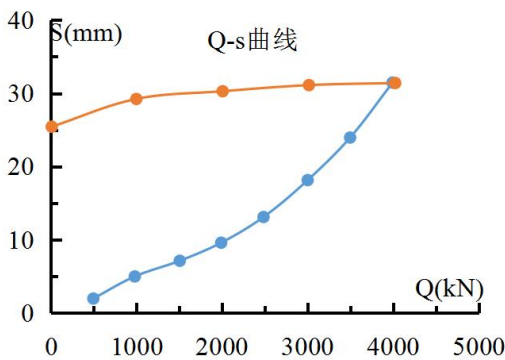


图4 多桩复合地基载荷试验典型Q~s曲线

对振冲碎石桩复合地基承载力进行检测，在最

大试验荷载1280~1660kN时，所测静载试验点位压力~沉降(P~S)线为平缓光滑曲线，单桩复合承载力特征值350kPa~390kPa，典型Q~s曲线见图3；多桩复合试验最大试验荷载3786~4000kN时，承载力特征值360kPa~480kPa，复合地基压缩模量25.08MPa~41.34MPa，典型Q~s曲线见图4。

六、高压旋喷桩效果检测

根据钻芯法检测旋喷桩结石抗压强度，强度推定值5.8MPa~8.6MPa，对试验桩进行单桩竖向抗压静载荷试验，最大试验荷载2402.6kN，单桩承载力特征值满足1200kPa；多桩复合试验最大试验荷载4000kN，多桩复合承载力特征值330kPa~380kPa，复合地基压缩模量27.12MPa~49.45MPa。

七、结论

二号拦河闸主体工程基本完工，根据安全监测分析报告，闸室、挡墙等主要建筑物监测变形、应力应变等物理量均未超过设计允许值，目前工程性态正常。

1. 普通振冲器可以处理含砾粉质黏土层，液压振冲器可以穿过5m内砂卵石层处理下部软弱层，含漂石的卵石层超过5m后，水气联动液压振冲器施工困难。

2. 高压旋喷桩在粉土质砾、粉土质砂、粉质黏土层可以形成连续的桩体，且桩体抗压强度达到4.5MPa以上。

3. 闸底板深溶槽、软硬突变地基，可采用开挖换填土，并严格控制回填料压缩模量，能有效解决闸室不均匀沉降变形，并节省投资。

参考文献

[1] 秦明海, 高大水等. 三峡库区开县消落区水环境治理水位调节坝设计. 人民长江. 2012 (12).

[2] 刘勇, 姚军平. 大功率液压振冲器与水气联动工艺在砂卵石坝体加固中的应用. 中国水利学会地基与基础工程专业委员会第十一次全国学术技术研讨会. 2011.

[3] 张伟, 刘岩等. 冲击引孔振冲桩深覆盖层液化地基处理应用. 中国水运. 2011 (1).

作者简介: 陈朝旭 (1980-), 男, 河南新密人, 高级工程师。

基金项目: 长江设计公司自主创新基金 (CX2020Z19, CX2021Z61)