

复杂地质条件下大型闸桥结合工程地基处理技术与实践

陈朝旭^{1,2} 叶俊荣^{1,2} 唐清华¹ 魏波玲³

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

摘要: 由于水闸和交通桥对承载力、不均匀沉降的设计要求不同, 大型闸桥结合工程需要进行协调布置和地基处理才能满足安全运行要求。本文以都江堰市二号拦河闸工程项目为例, 通过有限元计算多方案比选提出设置水闸和交通桥结构缝, 调整桥梁上部结构, 同时对溶槽部位桥墩基础采用骑马式承台, 灌注桩桩底后压浆和增设高压旋喷桩等处理方式, 成功解决了深溶槽、岩层陡变等复杂地质条件下大型闸桥不均匀变形控制难题, 可为类似工程提供借鉴。

关键词: 拦河闸; 深溶槽; 桩底后压浆; 高压旋喷

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.21.083

Foundation treatment technology and practice on large scale sluice at the complex geological conditions

Chen Zhaoxu^{1,2}, Ye Junrong^{1,2}, Tang Qinghua¹, Wei Boling³

1. Changjiang Survey, Planning and Design Co.

2. National Dam Safety Engineering Technology Research Center

3. Chengdu Dujiangyan Tourism Group Limited Liability Company

Abstract: Due to the different design requirements of bearing capacity and uneven settlement, the large scale sluice-bridge engineering project should coordinately arrange and deal with foundation to meet the requirement of safe operation. Based on the NO.2 Barrier Dam at Dujiangyan City, this paper comparatively proposes structural joints between sluice and bridge, adjusts top bridge structure, and arrange horse-riding type bearing platform for the foundation of bridge piers. Consequently, the finite element calculation is adopted to comparatively investigate the differences between the grouting piles and high-pressure rotary spray piles, which successively solves the engineering problems of uneven deformation at the complex geological conditions.

Key words: Barrier dam; Deep solution groove; Post Grouting at Pile Bottom; High-

pressure rotating

一、工程概况及地质条件

(一) 工程概况

都江堰二号拦河闸工程为大(2)型工程, 正常蓄水位697m, 最大过闸流量3730m³/s, 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, 并兼顾都江堰市2.5环交通功能。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。闸顶交通桥宽29m, 双向6车道交通桥和双向2车道有轨电车通行, 桥长332m。

(二) 工程地质条件

工程区位于龙门山褶皱束与川西台陷两个三级大地构造单元接壤地带, 工程区地质条件复杂, 主要地层分布为:

①回填卵石(Q₄^{ml}): 松散, 偶见漂石, 卵石含量为50~55%, 充填物为青灰色中砂、粗砂, 含少量粘粒和粉粒。

②冲积卵石(Q₄^{al+pl}): 松散~稍密, 漂石含量为20~30%, 卵石含量为50~60%, 充填物为青灰色粗砂。

③含泥细砂(Q₄^{al+pl}): 细砂含砾70~80%, 其余为粉质黏土, 细砂主要成分为石英、云母为主。主要以透镜体的形式在局部桥墩分布, 分布于含卵石粉质黏土中。

④含泥砾石(Q₄^{al+pl}): 含砾一般50~60%, 粉质黏土占30~40%, 含少量卵石, 主要存在于砾岩凹腔中。

⑤含砾粉质黏土(Q₄^{al+pl}): 可塑, 以粘粒为主, 砾石磨圆度较差, 含量15~30%, 粒径2~20mm, 偶见卵石, 含量约为5%。

⑥软塑或流塑状粉质黏土(Q₄^{al+pl}): 主要为粉质黏土, 极少含杂质, 无固态物质, 难以取到原状样, 孔内物质主要以细颗粒为主, 力学性能差。普遍存在于砾岩凹腔中及溶槽深部。

⑦含卵石粉质黏土(Q₄^{al+pl}): 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。

⑧含砾细砂(Q₄^{al+pl}): 细砂60~70%, 砾石15~20%, 卵石5%左右, 还有少量泥质物。砾石、卵石磨圆度好, 一般直径小于5cm。

二、工程区地基处理特点及难点

(1) 根据《城市轨道交通桥梁设计规范》, 区间

桥梁墩台基础的总沉降量不应大于50mm，对跨度 $\leq 40\text{m}$ 的相邻桥墩，其工后沉降量之差不应超过20mm。有轨电车交通桥沉降变形控制严格，地基处理要求高。

(2) 部分桩基处流塑状溶蚀深槽，地基承载力仅

30kPa，槽壁陡峭，溶槽形态复杂，稍有不慎灌注桩会出现半岩半土现象，施工难度大。

(3) 水闸和交通桥联合布置，地基处理覆盖面积广，各施工平台相互交叉干扰，施工组织协调难度极



图1 拦河闸钻孔灌注桩典型断面图

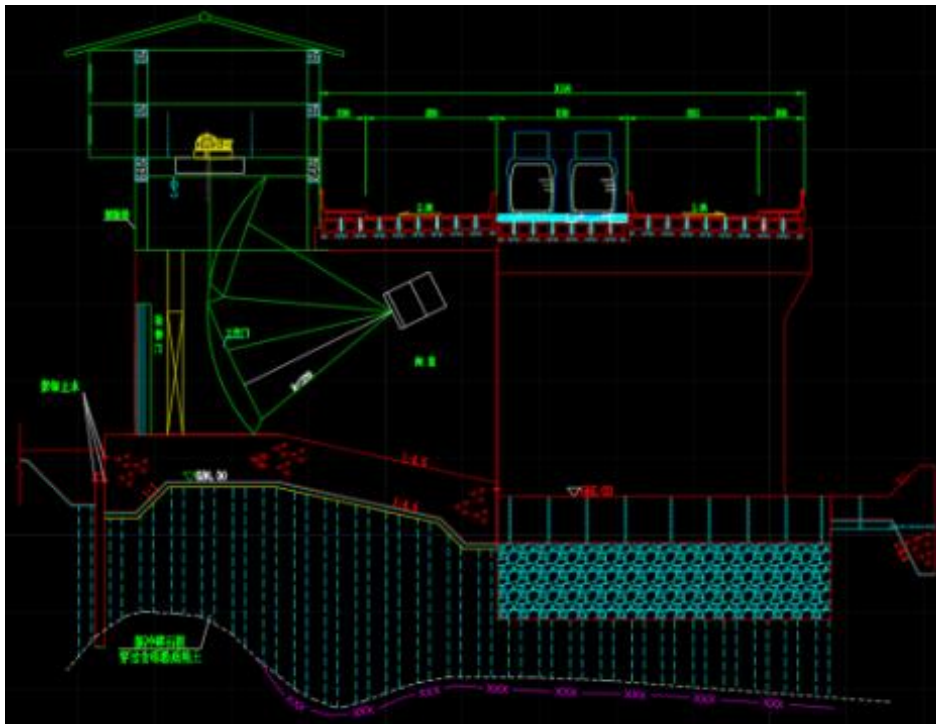


图2 拦河闸筏板基础典型断面图

高。

三、交通桥地基处理方案比选

(一) 方案布置

(1) 钻孔灌注桩

桥墩接钻孔灌注桩，标准桥墩为4根 $\phi 2.0\text{m}$ 桩基。

(2) 筏板基础

将钻孔灌注桩基础改为筏型基础^[2]，将筏型基础下置换5m砂卵石，并采用振冲碎石桩复合地基处理，基岩埋深较浅处振冲碎石桩至基岩，基岩埋深较深处，振冲碎石桩最大深度按27m控制。

(3) 扩大基础

将钻孔灌注桩基础改为扩大基础，将扩大基础置换5m砂卵石，其他与筏型基础相同。

(4) 三维有限元计算分析

按照实际地质条件建立模型见图3。根据振冲碎石桩复合地基检测和载荷试验成果，结合交通桥桥墩施工期荷载和运行期荷载，对桥墩应力和均匀沉降变形计算分析。

筏板基础与扩大基础前期总沉降量均超过4.5cm，有轨电车需待沉降稳定后，才能铺轨通行，时间存在不确定性，而且在监控沉降期间，有轨电车上部应进行预压，预压荷载应包括二期铺装及有轨电车荷载并应同时考虑1.5倍动力系数，施工过程较为繁琐。

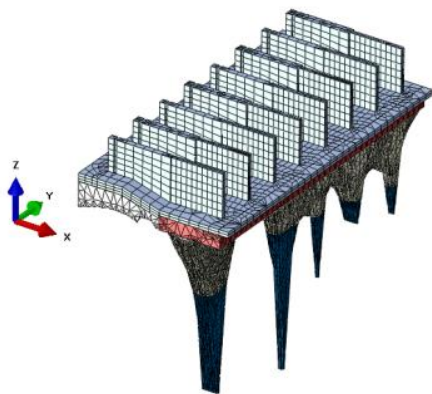


图3 闸室和桥墩网络图

(二) 方案确定

钻孔灌注桩方案：地质条件复杂，钻孔灌注桩需逐桩先导孔，施工难度增加、工期为6个月，但有轨电车梁体和下游侧汽车车道梁体，梁体架设完成后，即可铺装通行。

筏板基础方案：采用高压旋喷桩和振冲碎石桩复合地基、换填砂卵石，施工难度小，施工快，工期为4个月，但前期沉降量大，需待沉降稳定后才能铺设轨道，有轨电车通行时间会延后，同时在监测沉降期间，应根据实际荷载压重，施工程序繁琐，投资比钻孔灌注桩方案多2700万。

扩大基础方案：采用高压旋喷桩和振冲碎石桩复合地基、换填砂卵石、扩大基础，施工难度小，施工快，工期为4个月；但与筏板基础方案相似，前期沉降量

大，需待沉降稳定后才能铺设轨道，有轨电车通行时间会延后，同时在监测沉降期间，应根据实际荷载压重，施工程序繁琐，投资比钻孔灌注桩方案多2850万。

二号闸工程沉降变形控制要求严格，筏板基础和扩大基础均难以满足沉降要求，因此交通桥基础选择钻孔灌注桩处理较为稳妥。桥墩具体钻孔灌注桩具体布置为：桥墩下布置4根 $\phi 2.0\text{m}$ 桩基，采用骑马式承台桥墩基础避开溶槽，在溶槽以外布置单排 $\phi 2.0\text{m}$ 或双排 $\phi 1.5\text{m}$ 桩基。

四、交通桥地基处理对策研究

根据工程区地质勘察成果，为保证工程运行安全，采取对策如下：

对水闸和交通桥结构布置进行合理分缝，分别进行复合地基和桩基处理。为满足水闸闸室自身稳定和应力要求，闸室底板顺水流向25.5m，交通桥顺水流向20m，中间设5cm缝，其中利用闸室8.5m作为单向3车道车辆交通，20m交通桥布置有轨电车和另单向3车道车辆交通。

为节约施工工期，桥梁上部结构采用预制吊装预应力混凝土筒支小箱梁，并增加桥梁跨度，以及采取较大桩径，减少桩基数量，和采用骑马式承台避开溶槽布置桩基等方法。

为确保桩基受力安全，对灌注桩施工过程中出现漏浆、塌孔和出现半岩半土现象的灌注桩基础进行桩底后压浆，并对灌注桩周边布置等边三角形高压旋喷桩^[3]，高压旋喷桩钻孔位距离桩基边缘35cm，塌孔侧必须布置钻孔。

五、结论

1. 大型闸桥结合项目易对水闸和交通桥结构布置进行合理分缝，采取不同的地基处理较为合适。

2. 根据地基深溶槽、软流塑黏土分布情况，交通桥采用增大桩径减少桩基数量，并采用骑马桩避开溶蚀溶槽的结构形式，可以有效解决超深溶槽对交通桥的不利影响。

3. 如交通桥遇到溶槽形态复杂，槽壁陡峭等基岩持力层地面起伏剧烈情况，以及桩基施工中经常出现漏浆、塌孔等现象，可以对桩基采用桩底后压浆处理，较差地层桩周再增设高压旋喷桩处理，可以成功解决较差地质条件对交通桥的不利影响。

参考文献

- [1] 沈昊，陈照等. 闸站桥结合类城市综合，陡工程设计方案分析. 中国农村水利水电. 2014(1).
- [2] 解建超. 桩筏复合地基与桩筏复合结构工作特性对比研究. 中南大学. 2013.
- [3] 赵启华，唐清华. 破碎带上桩基后压浆技术应用. 交通科技. 2013(2).

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）