

# 渡槽基础不整合地层岩溶地质缺陷 处理方案与决策

孙思施<sup>1</sup> 张晓卿<sup>2</sup> 张涛<sup>2</sup>

(1. 湖北水总水利水电建设股份有限公司,湖北 武汉 430010;  
2. 宜昌市东风渠灌区管理局,湖北 宜昌 433002)

**【摘要】** 本文针对蜘蛛洞渡槽不整合地层岩溶地质缺陷,提出不同处理方案,分析各方案在安全、造价、工期等方面的利弊,进行对比,选定处理方案圆满解决问题。本文中特殊地质缺陷的处理方案体现了处理方法的创新性,可为渡槽基础地质缺陷处理提供借鉴。

**【关键词】** 渡槽;地基;缺陷;处理;技术

中图分类号: TV641

文献标志码: B

文章编号: 1005-4774(2017)07-0033-05

## Treatment scheme and decision-making of karst geology defects in aqueduct foundation discordance formation

SUN Sishi<sup>1</sup>, ZHANG Xiaoqing<sup>2</sup>, ZHANG Tao<sup>2</sup>

(1. Hubei Shuizong Water Resources and Hydropower Construction Co., Ltd., Wuhan 430010, China;  
2. Yichang Dongfengqu Irrigation District Authority, Yichang 433002, China)

**Abstract:** In the paper, different treatment schemes are proposed, advantages and disadvantages of different plans in the aspects of safety, cost, duration, etc. are analyzed and compared, and treatment scheme is selected for successfully solving the problem aiming at karst geology defects in Zhizhudong aqueduct foundation discordance formation. In the paper, treatment schemes of special geology defects embody the innovation of the treatment methods, thereby providing reference for treating aqueduct foundation geology defects.

**Keywords:** aqueduct; foundation; defect; treatment; technology

### 1 项目概况

蜘蛛洞渡槽拆除重建工程位于宜昌市夷陵区,是宜昌市东风渠灌区总干渠上的咽喉建筑物,设计流量为 $14.0\text{m}^3/\text{s}$ ,满槽过流能力为 $16.8\text{m}^3/\text{s}$ 。蜘蛛洞渡槽9号基础开挖至设计高程154.88m过程中,发现基坑下发育一条近南北向贯穿基坑的溶洞,宽 $0.6\sim 2.1\text{m}$ ,顶部高程 $154.00\sim 155.00\text{m}$ ,底部高程 $151.00\sim$

$153.00\text{m}$ ,坡度 $12^\circ$ ,向南(河床下游)出基坑,洞壁光滑,溶洞顺砂岩与砾岩界面发育。

因地质情况变化,重新组织补充地勘。通过地质钻孔、地质雷达和电磁波穿透测试,查清该区域均为沉积岩,岩层产状倾角较小,不整合面属陆相剥蚀,除溶蚀外,无其他褶皱、断裂等不良地质条件;该渡槽地基下部南北向贯穿发育岩溶为受岩性控制的层间洞隙,规模不大;9号基坑开挖面高程 $138.00\text{m}$ 以下再无大

的溶洞空腔,穿过地基岩溶发育层位后,岩溶不发育,不存在深层岩溶问题。需对该不整合地层岩溶地质缺陷进行慎重处理,以确保工程安全。

## 2 处理方案与结构计算

### 2.1 溶洞扩挖+充填灌浆+扩大承台方案(下称方案一)结构计算

9号槽墩为渡槽30mT梁第三跨基础,槽墩为双肢排架,下部实心墩结构,排架总高43.5m,实心墩高8.5m,为该渡槽最高排架。原设计为明挖扩大基础,建基面为154.885m(地面高程约162.00m),基础底面实际开挖尺寸为12.2m×13.8m(顺槽向×垂直槽向)。

按最不利工况及满槽水运行工况进行计算,每30m跨,空槽自重4363.38kN,满槽水重3250.80kN。

按最高9号排架为例,验算基底压应力,调整基础尺寸后,经计算设计计算基面平均应力达184.38kPa,最大地基应力为210.50kPa、最小地基应力为158.26kPa,远小于基础处理后的砾岩承载力1MPa,满足要求。

### 2.2 灌注桩+承台设计方案(下称方案二)结构计算

灌注桩直径1.2m,用C30混凝土,Φ25Ⅲ级钢筋。即  $E = 30 \times 10^6 \text{ kN/mm}^2$ ,  $I = 1.018 \times 10^{11} \text{ mm}^4$ 。

桩长为14.8m,其中嵌岩深度为14.8m。

#### 2.2.1 灌注桩的纵向稳定性验算

计算单根桩基最底部承台以下(深度14.8m)桩底的临界荷载  $P_{kp}$ :

$$P_{kp} = \frac{\pi^2 EI}{(0.7L)^2} = \frac{3.14^2 \times 30 \times 10^6 \times 1.018 \times 10^{11}}{(0.7 \times 14800)^2}$$

$$= 2.81 \times 10^{11} \text{ kN} > 3301 \text{ kN}$$

远远大于所承受的垂直荷载。

#### 2.2.2 单桩验算

按照承载桩的工作原理,为安全考虑,计算时不考虑桩四周岩体对桩的摩擦作用。

计算结果:

$$Q_{sk} = u \sum q_{ski} L_i = 3.14 \times 1.2 \times (180 \times 14.8)$$

$$= 10037.95 \text{ kN}$$

$$Q_{rk} = \xi_k f_{rk} A_p = 23524.25 \text{ kN}$$

$$Q_{uk} = 23524.25 + 10037.95 = 33562.20 \text{ kN}$$

式中  $q_{sk1}$ ——强风化硬质岩极限侧阻力标准值,取180kPa;

$f_{rk}$ ——弱风化硬质岩极限端阻力标准值,取20MPa;

$u$ ——桩身周长。

竖向单桩特征值:

$$R = \frac{1}{K} Q_{uk} = 0.5 \times 33562.20 = 16781.10 \text{ kN}$$

因满槽水时,槽身、墩帽、墩柱、承台、灌注桩垂直总重为19659kN,按照竖向轴心作用情况计算:

4根灌注桩直径均为1.2m,单根桩受压:

$$N_{\max} = 19659/4 = 4914.75 \text{ kN} < R = 16781.10 \text{ kN}$$

灌注桩承载力满足要求。

#### 2.2.3 灌注桩配筋验算

每根灌注桩最大弯矩为1007.49kN·m,按照偏心受压  $M_{\max} = 1007.49 \text{ kN} \cdot \text{m}$ ,  $N = 3301 \text{ kN}$ ,  $e = 0.3 < B/6$ ,故其配筋可按小偏心受压构件考虑。选用24Φ25 ( $A'_s = 11780 \text{ mm}^2$ ),满足最小配筋率0.6%的要求。

## 3 处理方案比选及决策

### 3.1 施工安全性比较

#### 3.1.1 方案一危险源评价

方案一仅需人工配合小型灌浆机具设备等施工,不需大型施工机械设备或爆破等作业,施工安全影响因素仅有高边坡、电击、坠物打进等风险。按照工程风险评价LEC法来评价作业条件,公式为

$$D = L \cdot E \cdot C$$

式中  $L$ ——事故可能性(分值0.1~10分);

$E$ ——暴露的频繁程度(分值0.5~10分);

$C$ ——事故造成的损失后果(分值1~100分);

$D$ ——危险性。

综合评价方案一危险源:

高边坡坠落: $D = 1 \times 6 \times 15 = 90$ , 可容许风险(2级)。

触电: $D = 0.5 \times 3 \times 15 = 22.5$ , 可容许风险(2级)。

物体打击: $D = 1 \times 6 \times 7 = 42$ , 可容许风险(2级)。

综合上述三项累计得分 154.5 分。

### 3.1.2 方案二危险源评价

方案二需要大型灌注桩施工设备辅助施工,如灌注桩施工中遇到贯通溶洞,则机械钻进需更改为人工挖孔,采用风镐或爆破等人工作业方式,施工安全影响因子有高边坡坠落、物体打击、触电、爆炸、坍塌、机械伤害等。

综合评价方案二危险源:

高边坡坠落: $D = 1 \times 6 \times 15 = 90$ , 可容许风险(2级)。

触电: $D = 0.5 \times 3 \times 15 = 22.5$ , 可容许风险(2级)。

物体打击: $D = 1 \times 6 \times 7 = 42$ , 可容许风险(2级)。

爆炸: $D = 1 \times 3 \times 15 = 45$ , 可容许风险(2级)。

坍塌: $D = 1 \times 6 \times 15 = 90$ , 可容许风险(2级)。

机械伤害: $D = 1 \times 6 \times 7 = 42$ , 可容许风险(2级)。

综合上述六项累计得分 331.5 分,如可机械钻孔,则为五项,累计得分 286.5 分。

## 3.2 工程造价比较

综合对比两种方案造价,分别列出详尽的工程量及参考类似项目单价,具体工程造价对比见表 1。

表 1 工程造价对比

项目	单位	单价	方案一		方案二	
			数量	总价	数量	总价
沟槽石方明挖	m <sup>3</sup>	83	44.8	3726		
C20 埋石混凝土回填	m <sup>3</sup>	353	255.8	90331	112	39558
灌浆造孔	m	126	115.5	14572		
灌浆	m <sup>3</sup>	299	22.9	6854		
Φ200PVC 花管(外包土工织物)	m	300	15.0	4500	15	4500
钻造 φ1200 桩孔(岩石)	m	1200			62	74400
φ1200 灌注桩 C30 混凝土	m <sup>3</sup>	520			95	49608
C30 承台混凝土	m <sup>3</sup>	520			288	149500
钢筋	t	6500	5.6	36305	25	162500
减少墩柱 C30 承台混凝土	m <sup>3</sup>	520	-35.8	-18590	-72	-37180.00
合计				137699		442886

经过详细计算,方案一工程造价为 13.77 万元,方案二工程造价 44.29 万元。

## 3.3 施工工期比较

### 3.3.1 溶洞扩挖+充填灌浆+扩大承台基础处理方案工期

方案一施工工序为,先组织人工清理已揭示的 1 号溶洞内充填黏土及洞壁杂质并冲洗干净(工期 1 天),再浇筑基础埋石混凝土(工期 1 天),然后基面凿毛(工期 0.5 天),绑扎承台钢筋(工期 1 天),浇筑承台混凝土(工期 1 天),钻孔、灌浆(工期 13 天,其中钻

15 个孔 126m,预计 10 天,灌浆 3 天),灌浆质量检查须安排在浆液凝结后 7 天。该方案完成基础处理到上部可施工,需累计工期 24.5 天。

### 3.3.2 灌注桩+承台基础处理方案工期

方案二施工工序为,先乌卡斯钻机钻孔(工期 11.5 天,参考类似岩层工程,钻机每小时预计钻进 30cm,累计 4 孔共 60m,需 8.5 天,考虑移机等 1 天,清孔及灌注 2 天),灌注桩质量检测(工期 7.5 天,需待最后一孔完成 7 天后实施,其中基础埋石混凝土在期间可施工)。该方案完成基础处理到上部可施工,需累计

工期 19 天。

方案一施工较为简单,无需另行调用大型钻机,施工质量全程可控。方案二灌注桩难度主要集中在钻孔上,受下部裂隙及溶洞影响,极有可能存在基础漏浆问题,一旦漏浆严重将影响施工方案,由钻机钻进改为人工挖孔,则该方案施工工期将不可控。

### 3.4 方案决策

溶洞扩挖+充填灌浆+扩大承台基础处理方案与灌注桩+承台基础处理方案在技术上均可行,现从施工安全、工程投资、施工进度等方面对比、决策。

**施工安全:**两方案施工安全最大的不同是涉及的危险源不一致,从危险源评价累计分上看,方案一为 154.5 分小于方案二的 286.5 分。方案一施工安全成熟可靠,涉及危险源少,且基本没有不可预见的施工风险因素,风险因子全程可控;方案二如不能顺利采用钻机钻孔,更改为人工挖孔后存在不可预见施工风险因素。同时,改用人工挖孔+爆破势必会对处于临近的双曲连拱老渡槽产生较大不确定性,安全风险远大于方案二。

**工程造价:**从工程造价上看,方案一工程造价为 13.77 万元,而方案二工程造价为 44.29 万元,较方案一多 30.52 万元。从造价方面比较,方案二明显不如方案一。

**工程工期:**如工程施工进展顺利,方案一需 24.5 天,较方案二 19 天工期多 5.5 天,方案二优于方案一。而一旦钻机钻进不顺利,则工期不可控。

综合比较后,从工程安全、工程投资、工程工期及施工难易程度多方面考虑,推荐采用可靠的、简便易行的、投资节省的溶洞扩挖+充填灌浆+扩大承台基础处理方案,即方案一作为 9 号槽墩的基础地质缺陷处理方案。

### 3.5 方案细化

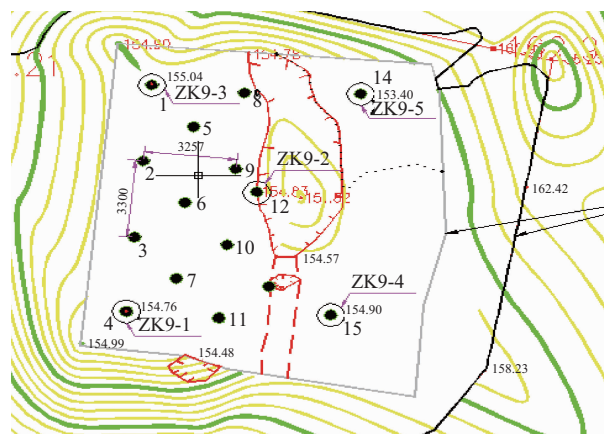
对已揭示的大溶洞人工清除充填物,顺溶洞方向在基础外 1m 处扩挖回填块石并用混凝土封堵,清除深度至溶洞底部宽度为 0.2m 时结束,清理完毕后冲洗回填 C20 埋石混凝土(回填面高程 154.885m);对 154.885~155.885m 高程段采取现

浇 C25 钢筋混凝土,满仓不立模板浇筑,增加承台面与基础四周岩面结合面积,以利于向四周岩体扩散应力,减小对下部基础应力。将下部溶腔处理完毕,浇筑 0.2m C20 混凝土,上部浇筑 1m 厚 C25 钢筋混凝土底板。下部配筋  $\Phi 25@200 \times 200$ ,单层双向布置。

待上部基础处理完成,混凝土达 7 天龄期后,开始钻孔灌浆,经对地质情况分析,溶洞下游侧岩石较完整,溶洞上游侧裂隙溶孔发育,目前揭示 9 号基础上游侧深度 9~14.5m 范围有夹泥现象,存在一组南北向溶洞,而地下水位较低,分析溶腔体积不大,总体倾向很陡。因此对上游侧灌浆孔位加深,1~7 号孔灌浆底部高程为 140.00m,8~15 号孔灌浆底部高程为 148.00m。

对裂隙溶孔以充填注浆为主,严格控制注浆压力,以水泥砂浆(砂细度模数 2.0 以下为宜)为主,浆液水灰比采用 0.6~0.8,掺入 4%~5% 膨润土,以改善流动性。

钻孔注浆结合原地质勘察钻孔,共设计 3 排灌浆孔,排距 2m,孔间距 3m,钻孔直径 90mm,孔位呈梅花形布置,孔内预埋灌浆花管,具体布置如下图所示。孔深超过 9m 时,最大灌浆压力控制在 0.15~0.2MPa;孔深不足 9m 时,最大灌浆压力控制在 0.1~0.15MPa。当灌浆注入率小于 1L/min 后,持续灌注 10 分钟,封孔,结束灌浆。



蜘蛛洞渡槽 9 号基础灌浆孔位布置图

为防止基础处理对水文地质条件改变,特别是9号基础回填后对上游冲沟水流改道,控制地表水不能进入渡槽基础,在承台顶面布设导渗措施,利用基坑右侧下游天然溶腔通道排出基础渗水,采用 $\Phi 200$ PVC花管外包土工织物沿基础边缘布设连接南北溶洞口。

#### 4 结 论

按照上述确定的地质缺陷处理方案对9号基础地质缺陷在回填完理石混凝土及浇筑承台后,进行钻孔灌浆处理,钻灌浆孔共计15孔,其揭示

下部地质缺陷与该次地质钻孔、物探结论基本吻合;每孔详细灌浆数据详见表2。灌浆次数两次及以上、持续灌浆超过 $1\text{m}^3$ ,而灌浆压力始终为 $0\text{MPa}$ 的孔,暂停 $15\sim 30\text{min}$ 后,再次复灌;灌浆结束28天后,钻检查孔检查,布置2个检查孔钻进过程均无异常,芯样完整,钻孔完毕后,发现布置于ZG-1与ZG-8中间偏外侧JC-1孔口有持续往外返水现象,判定所灌浆液基本将基础下部裂隙、空腔等渗漏水通道封闭,但基础外围仍存在水体下渗现象。

表2 9号基础灌浆参数统计

孔号	灌浆顺序	孔底高程/m	孔深/m	孔径/mm	灌浆次数	封孔压力/MPa	累计注浆量/ $\text{m}^3$	备注
ZG-1	3	139.804	16.42	91	3	0.3	3.18	ZK9-3
ZG-2	7	139.724	16.50	91	1	0.3	0.69	
ZG-3	4	139.704	16.52	91	1	0.2	0.58	
ZG-4	6	140.144	16.08	91	1	0.3	0.02	ZK9-1
ZG-5	8	139.794	17.43	91	1	0.4	0.00	
ZG-6	9	139.784	17.44	91	1	0.4	0.00	
ZG-7	11	139.964	17.26	91	1	0.3	0.12	
ZG-8	5	147.664	8.56	91	1	0.2	0.96	
ZG-9	12	147.844	9.38	91	1	0.2	0.40	
ZG-10	15	147.024	10.20	91	1	0.2	0.38	
ZG-11	10	147.914	9.31	91	1	0.2	0.00	
ZG-12	14	147.224	10.00	91	1	0.2	0.73	ZK9-2
ZG-13	13	147.174	10.50	91	1	0.3	0.50	
ZG-14	2	147.914	8.31	91	1	0.2	1.07	ZK9-5
ZG-15	1	147.024	10.20	91	2	0.2	1.78	ZK9-4

注 灌注ZG-2时,ZG-5孔口冒浆;灌浆次数在2次及以上、持续灌浆超过 $1\text{m}^3$ ,压力为 $0\text{MPa}$ 的孔;其中累计注浆量已扣除钻孔孔径充填数量。

统计灌浆数据可知,灌浆量超过 $0.5\text{m}^3$ 的基本上都分布于基础外围,考虑基础溶蚀裂隙发育成因及产状,分析外围孔灌浆液向基础外漫溢程度,分析可知基础下部溶蚀裂隙及溶洞总体积为 $6.03\sim 7.5\text{m}^3$ ,占应力影响下部基础区域体积的不足1%,且不集中。

由以上结论可知,利用地质钻孔、地质雷达及电磁波CT扫描等综合勘察、物探技术对该工程9号基础不整合接触溶蚀裂隙的地质缺陷成因推断准确,缺陷分布分析基本无误,缺陷影响范围分析正确,制定的溶洞扩挖+充填灌浆+扩大承台基础 (下转第71页)



不到位、抢险不及时,很可能造成垮坝失事的重大事故,后果不堪设想。

建立小型水库自动测报系统,实现小型水库的水雨情采集规范化、自动化,为决策和灾害评估等提供准确、及时和充分的依据。

在每座水库安装自动水位、雨量、图像监测系统。水位自动监测系统主要由水位传感器、雨量传感器、图像采集摄影机、远程遥测终端(RTU)、太阳能电源、保护装置、防雷接地等组成。

多功能遥测终端机不仅能够采集水位、雨量信息,还可采集图像、自身工作情况信息,如:工作电流、电压数据及现场设备箱安全数据。

前段采集数据直接接入武汉市水务信息化前期数据统一接收平台。区局工作人员只需要通过水务业务内网访问市水务统一信息化平台即可查看各水库水雨情数据。各水库负责人可以定时接收来自市水务信息化平台发送的水库水雨情短信。

#### 4.2 加强日常管养

平时应加强水库管养,避免坝顶上放置或行驶重量过大、振动力较大履带式车辆,严禁在坝上堆放杂物、晾晒粮草;保证坝体的纵横向排水沟完好畅通,确保坝面无积水,坝脚无冲坑;严禁在大坝管理和保护范围内进行爆破、打井、采石、采矿、挖沙、取土、修坟等危

(上接第 37 页)

处理方案经济、合理、有效。蜘蛛洞渡槽经过为期 1 年的紧张施工,现已建成投入使用,工程运行正常,9 号基础无任何异常。

## 5 展 望

随着施工技术不断创新和突破,渡槽基础地质缺陷处理技术在工程应用中得到进一步的普及和发展,今后如何针对特殊地质缺陷,选择合适的勘察手段及分析方式,确定选择合适的基础地质缺陷处理方案成为一个新的研究方向,该项目的处理方案为类似工程

害大坝安全的活动;严禁在坝体修建码头、渠道,在大坝管理和保护范围内修建码头、鱼塘,必须经大坝主管部门批准,不得影响大坝安全、工程管理和抢险工作。

区内小型水库现状运行管理单位均为当地村委会,技术管理单位为街道水利管理站。水库多由村委会承包给私人进行水产养殖,应通过合同限制和教育引导,限制过度投肥和超密度养殖,保障水体清洁。

## 5 总 结

武汉市江夏区小型水库的除险加固工作大部分已实施,在设计和施工阶段均积累不少经验。结合地区的地形、地质条件和运行管理要求,对水库渗漏、坝坡较陡、坝顶欠高、无反滤排水设施、输水管破损、溢洪道漏水等问题总结高效的加固处理措施。并结合环境影响因素,选择合适建筑材料和建构物结构型式。最后对小型水库的管养提出一些建议。对日后区内水库加固和管理有一定指导作用。◇

#### 参考文献

- [1] SL 189—2013 小型水利水电工程碾压式土石坝设计规范[S].北京:中国水利水电出版社,2014.
- [2] SL 106—2017 水库工程管理设计规范[S].北京:中国水利水电出版社,2017.

提供了较好的参考。◇

#### 参考文献

- [1] 张涛,孙思施,严江华.渡槽基础不整合地层岩溶地质缺陷勘察与分析[J].水利建设与管理,2016(9):46-52.
- [2] 麦骥,闫常赫,白雪飞.某不整合接触带地质特征及隧道工程实例分析[J].铁道标准设计,2014(z1):174-176.
- [3] 沈永炬,万鹏,王永涛.不整合带的岩土工程特征及应对措施浅析[J].科技致富向导,2010(7):232-232.
- [4] 张建锋,张兴听,贾城琿.地质雷达特征影像与岩溶不良地质现象的对应关系[J].市政技术,2015,33(3):163-165.