

## 阳朔田家河新建壅水闸工程地质条件分析与评价

廖伟 孙健森

广西水利电力勘测设计研究院有限责任公司, 广西 南宁 530023

[摘要]本壅水闸工程位于喀斯特强岩溶发育地区,岩溶地质问题较为复杂。采取地质测绘、钻探、物探等多种手段查明场地的地质条件,并对闸基稳定、抗滑、渗漏及渗透破坏等工程地质问题评价,并提出相应的处理措施建议。

[关键词]壅水坝;岩溶;渗漏;灌浆

DOI: 10.33142/hst.v5i2.5980

中图分类号: TV66

文献标识码: A

### Analysis and Evaluation of Engineering Geological Conditions of the Newly Built Backwater Gate of Tianjia River in Yangshuo

LIAO Wei, SUN Jiansen

Guangxi Water & Power Design Institute Co., Ltd., Nanning, Guangxi, 530023, China

**Abstract:** The backwater gate project is located in the area with strong karst development, and the karst geological problems are more complex. Take geological mapping, drilling, geophysical exploration and other means to find out the geological conditions of the site, evaluate the engineering geological problems such as gate foundation stability, anti sliding, leakage and seepage damage, and put forward corresponding treatment measures and suggestions.

**Keywords:** backwater dam; karst; leakage; grouting

#### 1 工程概况

工程位于美丽的桂林阳朔县,地处田家河下游河段,由于地势不高,常受田家河洪水侵袭,同时下游还受漓江洪水的顶托影响,洪涝灾害比较频繁。为抵御洪水保护人民群众的生命财产安全,提高阳朔县的旅游条件和经济发展,本工程拟在田家河布置3座壅水闸,型式为气动盾型闸门,采用单跨式的布置型式壅水闸,闸底坎高程与河床底相平,闸长与主水槽同宽,岸墙顶高程高于上游正常蓄水位0.3m,与左右岸景观绿地及上、下游护岸挡墙平顺相接,挡水高度为3~6m,库容分别为401万 $m^3$ 、159万 $m^3$ 、116万 $m^3$ ,根据《水利水电工程等级划分及洪水标准》(SL252-2017),拦河水闸永久性水工建筑物的级别,应根据其所属工程的等别进行确定,田家河1<sup>#</sup>~3<sup>#</sup>壅水闸工程等别均为IV级,相应水闸主要建筑物级别也均为4级,相应设计洪水标准采用20年一遇,校核洪水标准采用30年一遇。

#### 2 工程区地质条件

工程区地貌主要为河流侵蚀堆积地貌及岩溶地貌,河流侵蚀堆积地貌主要有河床、江心洲、田家河一、二级阶地,岩溶地貌主要有峰林、残峰等。

田家河1<sup>#</sup>壅水闸闸址位于矮山大桥上游约100m处,2<sup>#</sup>壅水闸闸址位于田家河现有九拱拦河坝下游约80m处,甲秀桥上游约300m处,3<sup>#</sup>壅水闸闸址位于现有田家河大桥上游约170m处,河道较弯曲,闸址区田家河两岸地形平缓,左岸及右岸30~40m范围内均为一级阶地,右岸

30~40m以外为二级阶地。一级阶地地面高程一般111~113m,主要为旱地,二级阶地地面高程一般113~115m,主要为村庄。

一级阶地上部为粉质粘土,稍湿,硬塑~可塑状,层厚约2~3m,右岸厚度较左岸大;中部为粉土、粉砂,松散状,层厚一般2.5~3m;下部为含泥砂卵石层,稍密状,层厚一般3~5m。二级阶地上部为粘土,硬塑状,下部含一定卵石,层厚约5.5~6.0m。河床中基岩零星露出,覆盖层为含泥砂卵石,层厚变化较大。河床中溶沟、溶槽发育,深度一般2~4m,沟槽内充填含泥砂砾石等。下伏基岩为厚层状白云岩,基岩面起伏较大,弱风化,为较硬岩。

根据地质测绘及区域地质资料,闸基无影响较大的断层发育,未发现错动第四系地层的迹象。岩层产状较稳定,呈北西走向,倾向南西,倾角较缓,但垂直节理较发育。

工程区地下水由松散堆积层孔隙潜水和岩溶裂隙水和溶洞水构成,地下水补给来源主要为大气降水,以田家河为基准面排泄。孔隙潜水主要赋存于第四系覆盖层的粉质粘土、粘土、砂卵石层中,接受大气降水的补给,向田家河、栗木河排泄,受降雨影响较大。岩溶裂隙、溶洞水:工程区溶沟、溶槽以及溶洞十分发育,岩溶裂隙、溶洞水主要赋存于白云岩、灰岩的溶洞、溶蚀裂隙中,与周围含水层连成一体,水量丰富,主要受大气降水补给。

工程区岸坡主要为土质岸坡,岸坡坡高一般1.5~7m,坡度一般20~50°。岸坡上部坡面常竹林发育,坡度相对较缓;岸坡中下部受河水冲刷作用,坡度较陡,在河水

的长期冲刷淘蚀作用下,岸坡易出现塌岸等不良物理地质现象,但崩塌规模较小,工程区无较大规模崩塌、滑坡。工程区的主要不良地质作用为岩溶,基岩内溶槽、溶沟、溶洞较发育,根据勘探成果,岩溶发育程度主要受岩性和构造控制。工程区基岩主要为白云岩、白云质灰岩及灰岩,岩溶发育强烈。岩溶形态主要有溶洞、溶沟、溶槽、岩溶裂隙等。溶沟、溶槽主要发育在田家河河床中,深度一般2~9m,沟槽内主要填充含泥中粗砂、含泥砂卵石层等。工程区地面以下溶洞发育的高程主要为85~105m之间,溶洞总个数占79.5%,总洞高占84.4%。工程区溶洞洞径一般为0.2~12m,最大洞径达到18.5m,溶洞内主要充填含泥砂卵石、黄色软塑状泥质等,个别小溶洞及少量溶洞洞顶无充填。

本阶段对已有钻孔中遇到的溶洞进行了统计,统计结果见表1。整个场地钻孔遇洞率44.8%,总线岩溶率14.95%,整个场地岩溶发育等级为岩溶强烈发育。

在拟建壅水闸闸址处布置了物理勘探工作,主要探测手段为高密度电法及钻孔电磁波CT,根据物探专业提供的探测资料解释与成果分析,各闸址区场地岩溶较为发育,在拟建1#壅水闸闸址推测有1处可能发育充填型溶洞裂隙发育区和有8处岩溶裂隙发育区;在拟建2#壅水闸推测有8处可能发育充填型溶洞、裂隙发育区;在拟建3#壅水闸闸址推测有2处可能发育充填型溶洞、裂隙发育区。物探成果解释示意图见图1~2。结合物理勘探资料,推测在闸室范围内形成整体贯通性溶洞的可能性较小,局部溶沟、溶槽或溶洞可能会形成小范围的连通。

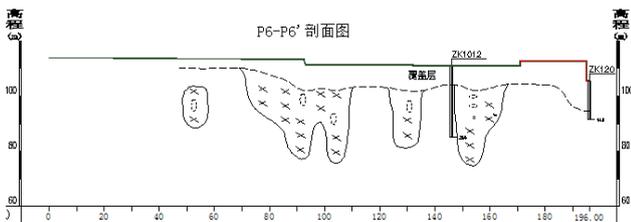


图1 闸址区高密度电法成果解释示意图

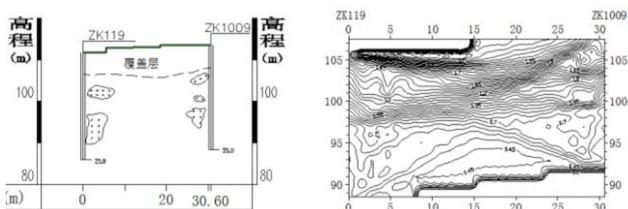


图2 闸址区电磁波CT成果解释剖面图及反演成果图

### 3 主要工程地质问题评价

#### a、承载力及闸基稳定性评价

河床覆盖层为松散含泥砂卵石层,厚度变化较大,下部基岩为弱风化白云岩,表层溶沟、溶槽发育。根据设计布置,壅水闸基础大部分以基岩为持力层,弱风化灰岩、

白云岩为较硬岩,岩体较为破碎,钻探岩芯RQD值总体较低,根据《水利水电工程地质勘察规范》(GB50487-2008)附录V,地基岩体类别为 $B_{IV}$ 类,工程性质较好,承载力满足要求;局部位于松散含泥砂卵石层及溶沟、溶槽充填物上,工程力学性质差,为保证地基强度,避免产生过大沉降及不均匀沉降,建议需挖除后用混凝土进行回填。下伏基岩溶洞发育,为防止溶洞对闸基稳定性产生不良影响,建议设计结合防渗对闸基范围内浅层溶洞采取封堵、灌浆等措施进行处理。

#### b、抗滑稳定性评价

闸基主要落于弱风化灰岩上,局部位于溶槽充填物地基上。水闸上下游水头差为1.5~3m,作用于闸身的水平推力较小,当建基面溶槽进行换填处理后,闸室沿建基面基本不存在抗滑稳定性问题。下伏基岩溶洞发育,但在闸室范围内形成整体贯通性溶洞的可能性较小,局部溶沟、溶槽或溶洞可能会形成小范围的连通,结合帷幕灌浆防渗及闸基封堵、灌浆处理后,沿溶洞充填物产生深层滑动的可能性较小。

#### c、闸基渗漏评价

闸室上下游水头差较小,现场压水试验结果显示,闸底基岩一般为弱~微透水,局部为中等透水性,但在溶蚀裂隙、溶沟、溶槽、溶洞发育处及充填的含泥砂砾石等为强透水性,岩石裂隙、岩溶发育带为闸基主要渗漏通道。为防止河水通过岩溶发育带等渗漏通道产生渗漏并可能造成的渗透破坏,建议对较浅的岩溶、沟槽清除砂卵石等充填物后回填混凝土,并对闸基采取帷幕灌浆的垂直防渗措施,由于岩溶发育,岩基下相对隔水层分布无规律,参照规范要求,帷幕灌浆处理深度宜为0.7倍的闸上最大水深。当灌浆深度范围内遇较深的岩溶沟槽、岩溶裂隙及溶洞时,建议灌浆深度需加深至沟槽及溶洞底板以下较为完整岩体中。

#### d、闸肩绕渗评价

根据闸肩钻孔揭露,闸肩从上至下为一级阶地上部粉质粘土,以中~弱透水性为主;一级阶地中部粉土、粉砂,中~弱透水性为主,局部为强透水性;下部一级阶地下部含泥砂卵石层,为强透水性。闸室上下游水头差较小,两岸闸肩可能产生少量绕渗,但产生严重的闸肩渗漏的可能性较小,可采取适当措施如布置刺墙、帷幕灌浆等对闸肩一定范围进行防渗处理。

#### e、渗透变形破坏评价

根据颗粒分析试验,一级阶地上部及中部粉质粘土( $Q_4^{a11-3}$ )及粉土、粉砂( $Q_4^{a11-2}$ )可判断其渗透变形类型为流土。根据流土型临界水力比降计算公式 $J_{cr} = (G_s - 1)(1 - n)$ ,利用孔隙率、比重等数据,取安全系数为2,则粉质粘土( $Q_4^{a11-3}$ )及粉土、粉砂( $Q_4^{a11-2}$ )这两层允许水力比降 $J_{允许}$ 分别为0.52及0.56。一级阶地下部( $Q_4^{a11-1}$ )、河床冲积( $Q_4^{a12}$ )及溶沟溶槽充填物为含泥砂卵石,根

表 1 闸室区岩溶发育情况统计表

	钻孔编号	孔深 (m)	溶洞高程 (m)									基岩进尺 (m)	单孔线岩溶率 (%)	钻孔遇洞率 (%)	充填物
			75-85m			85-95m			95-105m						
			个数	总洞高 (m)	线岩溶率 (%)	个数	总洞高 (m)	线岩溶率 (%)	个数	总洞高 (m)	线岩溶率 (%)				
新建 1# 壅水 闸	ZK102	13.5							1	1	14.71	6.8	14.71	36.4	砂砾石层
	ZK106、ZK118、 ZK119、ZK1007、 ZK1009、ZK1010	136										102.8	0		/
	ZK1008	25.5				2	3.4	17.8				19.1	17.8		含泥砂砾石
	ZK1011	25							1	4.4	19.6	22.5	19.6		含泥砂砾石
	ZK342	34.2							1	18.5	83.33	22.2	83.33		上部为细粉砂 夹卵砾石, 下部 为粉砂质粘土
	ZK343	25										20.1	0		/
新建 2# 壅水 闸	ZK104	15							1	3.3	35.48	9.3	35.48	60	可塑状黄色泥 质
	ZK120、ZK1012、 ZK1017	65.1										47.3	0		/
	ZK1013	30.3	1	13.2	63.16	2	5.4	25.84				20.9	89		含泥砂砾石
	ZK1014	26.8				1	7.02	35.28	1	4.98	25.03	19.9	60.3		含泥砂砾石
	ZK1015	25.3				1	2	15.38				13	15.38		上部空心, 下部 含泥砂砾石
	ZK1016	25.8				2	3.9	23.08				16.9	23.08		含泥砂砾石
	ZK344	25.5										18.5	0		/
ZK345	25.1							1	0.2	1.31	15.3	1.31	无充填		
新建 3# 壅水 闸	ZK1033	26				1	0.3	2.63				11.4	2.63	100	无充填
	ZK1034	25.8				2	7.3	41.48				17.6	41.48		含泥砂砾石层
	ZK1035	25.4				2	2.2	16.54				13.3	16.54		含泥砂砾石层
	ZK347	25.4							2	2.4	9.64	24.9	9.64		软塑状黄褐色 粘性土
	ZK348	25.5							1	0.3	1.18	25.5	1.18		流塑粘土

据工程类比法, 可判断其渗透变形类型为管涌, 建议允许水力比降  $J_{允许}=0.10\sim0.20$ 。

水闸上下游水头差较小, 沿水流方向闸室长约 15m, 渗径较长, 刺墙、防渗帷幕及消力池等亦能延长渗径, 因此产生的水力比降较小, 小于各土层的允许水力比降, 且闸基以岩基为主, 地基基本不会产生渗透变形破坏。

f、围堰稳定评价

田家河 1#、2#、3# 闸围堰均布置于田家河河床中, 工程地质条件基本相同, 河床覆盖层为含泥砂卵砾石, 松散状, 层厚变化较大; 1#、2# 闸处基岩零星出露, 3# 闸处基岩出露较多, 受水流冲刷河床基岩表层溶沟、溶槽较发育, 充填其中的含泥砂卵砾石层厚较厚, 最深可达到 6.4~8.6m; 下伏基岩中溶洞较为发育, 规模大小不一, 均多充填有软塑粘土及松散含泥砂砾石。围堰为柔性基础, 对地基承载力要求不高, 对河床中局部淤泥含量较高处可

采用抛石压密, 下伏基岩中发育的溶沟、溶槽及溶洞多有充填, 产成严重的地面塌陷现象的可能性较小; 由于河床含泥砂卵砾石透水性较强, 建议在围堰底部含泥砂卵砾石中开挖截水槽, 利用回填粘土进行防渗; 该地区河流丰水期水量大, 建议避开丰水期施工, 设置围堰后可能仍有部分河水沿岩溶裂隙渗入基坑, 影响基础施工, 需及时进行封堵, 并在基坑内开挖集水坑, 并加强基坑内的抽排水措施。

4 结语

广西喀斯特地貌分布较多, 由于岩溶的发育形态较为复杂, 在喀斯特地区修建工程常常会遇到较多的工程地质问题。本工程所在的桂林阳朔地区, 喀斯特峰从峰林岩溶地貌更是奇特且复杂。因抵御洪水在田家河上需修建壅水闸, 通过地质测绘、钻探及物探等手段, 查明闸址区均为强岩溶发育地带, 表层溶沟、溶槽及下部溶洞均较为发育, 存在闸基稳定、抗滑、渗漏及渗漏变形破坏等工程地质问题。

根据施工时的开挖揭露, 闸址区建基面岩沟、溶槽非常发育, 与前期的勘察成果基本一致, 现场开挖揭露见下图。



图3 现场开挖图

为保证地基强度及抗滑稳定, 对溶槽需清除松散充填物并用混凝土进行回填; 对于浅层溶洞则采取封堵、灌浆等措施进行处理。溶蚀裂隙、溶槽、溶洞为强透水性, 岩溶发育带为闸基主要渗漏通道, 为防止河水通过岩溶发育带等渗漏通道产生渗漏并可能造成的渗透破坏, 应对闸基采取帷幕灌浆的垂直防渗措施, 对闸基布置刺墙、帷幕灌浆等防渗措施。

#### [参考文献]

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 水利水电工程地质勘察规范:GB50487-2008[S]. 北京: 中国计划出版社, 2008.
  - [2] 中华人民共和国水利部. 水闸设计规范:SL188-2005[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005.
  - [3] 中华人民共和国水利部. 中小型水利水电工程地质勘察规范:SL55-2005[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005.
  - [4] 广西华蓝岩土工程有限公司. 广西壮族自治区岩土工程勘察规范:DBJ/T45-002-2018[S]. 北京: 工程建设标准化, 2018.
  - [5] 中国地震局地球物理研究所. 中国地震动参数区划:GB18306-2015[S]. 出版社: 中国标准出版社, 2015.
- 作者简介: 廖伟 (1990-) 男, 湖北洪湖市人, 广西水利电力勘测设计研究院有限责任公司工程师, 硕士, 主要从事水利水电工程地质勘察设计工作。