

广元市渔洞河水利枢纽工程地质条件研究

陈 飞 何后敏 蒋崇玉

四川省内江水利电力勘察设计院有限公司 四川 内江 641099

摘 要：岩溶水库工程地质条件复杂，成库条件要求较高。在分析渔洞河水利枢纽区域稳定、库区和坝址枢纽区基本地质条件的基础上，分别对区域稳定性、库岸稳定、岩溶渗漏以及枢纽区建筑物存在的主要工程地质问题及天然建筑材料进行工程地质研究与评价，并提出初步处理建议。

关键词：岩溶水库；工程地质；渔洞河水库；岩溶渗漏

引言

为保证水利工程建设任务的顺利开展，需要对工程现场和周边环境进行全面勘察^[1]，了解地区工程地质条件，为工程设计与施工方案的编制提供依据^[2-3]。若地质勘察结果中显示存在不良地质，则需尽量避开，重新选址，从而保证工程建设任务的顺利开展，提高工程的施工质量和经济效益^[4]。本次主要通过区域稳定、水库工程地质条件、枢纽主坝区工程地质条件及天然建筑材料等几个方面的研究与评价，为水利枢纽的设计技工依据。

1 区域稳定

工程区在大地构造单元上处于扬子准地台四川台坳川北台陷北缘。在区域构造上处于大巴山龙门山台缘褶皱带与龙门山地槽之间（见图1）。地质构造以地台构造特征为主，兼有地槽构造的特点，褶皱、断裂比较发育^[5]。龙门山断裂带北东段主要由平武—青川断裂、茶坝—林庵寺断裂、江油—广元断裂组成。在150km范围内主要控制性断裂有龙门山断裂带、西乡断裂、成都-略阳断裂、哈南-稻蛙子—毛坡里断裂。

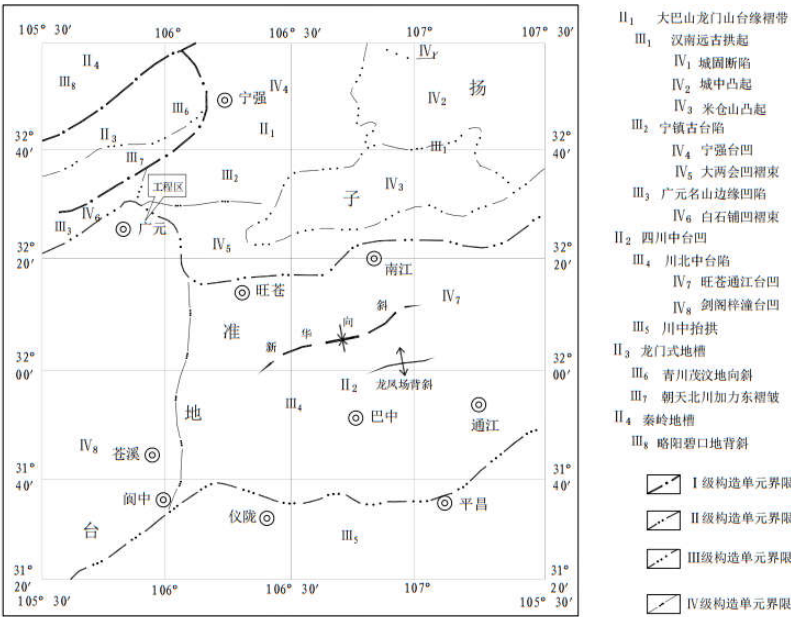


图1 区域地质构造图

工程区内截至2024年尚无 $M_s \geq 4.7$ 级的破坏性地震记载，自1970年来仅有零星的中小地震活动发生，地震活动水平较低，显示工程场地及其附近的构造环境相对较稳定。

作者简介：陈飞，1981年出生，男，重庆，工程师，硕士、主要研究方向：水利水电工程地质方面。

有史料记载以来，工程场地及其附近未发生过中强性破坏地震，对工程场地造成影响的主要是来自外围地区发生的中强性破坏地震。

坝址区未来50年超越概率10%的地震烈度值分别为7.0度，相应的基岩水平峰值加速度值分别为 90cm/s^2 （见表1）；据《中国地震动参数区划图》（GB 18306—

2015), 枢纽区 50年超越概率10%地震动峰值加速度为0.10g, 相应地震基本烈度为Ⅶ度。按NBT35098—2017《水电工程区域构造稳定性勘察规程》的评定标准, 工程区区域稳定性较好。

表1 地震危险性概率分析结果

地震动参数	50年超越概率				100年超越概率
	63%	10%	5%	3%	2%
烈度	5.8	7.0	7.4	7.6	8.0
基岩水平峰值加速度 (cm/sec ²)	27	90	122	149	214

2 水库工程地质条件

坝址位于高坑口, 水库为树枝状峡谷水库, 水库正常蓄水位598.00m, 相应库容2690万m³, 总库容2830万m³, 渔洞河主库回水长约6.0km, 左岸黄家岩沟支库回水长约1.5km。两岸主要由三叠系的白云岩、灰岩和页岩组成, 山体雄厚。

2.1 岩溶渗漏问题

水库岩溶渗漏^[6]是工程的关键技术问题之一, 许多工程由于岩溶渗漏严重影响了建筑物的正常效能以及水资源的合理开发运用。20世纪70年代以前全国发生的1000宗工程事故中, 其渗漏事故有317宗, 占事故总数的31.7%^[7], 可见渗漏对工程影响较大。水库渗漏不可避免, 只要能将渗漏量控制在河流平水期流量的1%~3%的范围之内, 就能保证水库的正常运行。

库区两岸山体宽厚, 海拔高程均在1000m以上。组成水库周边的岩体为三叠系中统雷口坡组(T₂l)白云岩、白云质灰岩、灰岩; 嘉陵江组(T₂j)白云质灰岩、白云岩、厚层灰岩、灰质角砾岩; 三叠系下统铜街子组(T₁t)灰质页岩、泥质页岩夹灰岩; 飞仙关组(T₁f)燧石灰岩及硅质岩、炭质页岩。两岸山体宽厚, 相对高差460~700m, 岩体强风化带厚8~15 m, 弱风化带厚30~60m, 风化、卸荷带岩体渗透性中等, 新鲜岩体渗透性较弱(详见表2), 属微弱透水岩体。

表2 坝址钻孔透水系数统计表

地层 分段	补XZK05 (左) 轴线		补XZK01 (河床) 轴线		补XZK04 (右) 轴线		补XZK03 (河床) 轴线		补XZK06 (河床) 轴线	
	底板埋深 (m)	透水吕荣 (Lu)	底板埋深 (m)	透水吕荣 (Lu)	底板埋深 (m)	透水吕荣 (Lu)	底板埋深 (m)	透水吕荣 (Lu)	底板埋深 (m)	透水吕荣 (Lu)
中透水	45	11~69	36	12~54	42	16~48	27	13~58	31	14~79
弱透水	61	1.2~7.1	52	1.4~8.0	58	2.5~9.2	42	1.5~9.1	67	2.8~9.8
微透水	82	--	79	0.5~0.9	79	0.5~0.8	90	0.6~0.8	100	0.6~0.9

水库无区域性断层通过, 不存在水库沿断裂向库外渗漏问题。

水库库盆封闭条件较好, 不存在向低邻谷渗漏、沿岩溶通道和断裂渗漏等问题。

2.2 岸坡稳定性

渔洞河主库回水长约6.0km, 左岸黄家岩沟支库回水长约1.5km, 主、支库库岸线总长15.0km, 覆盖层库岸长6.831km, 占总长的45.54%; 基岩库岸长8.169km, 占总长的54.46%。覆盖层主要为崩坡积块碎石土、残坡积碎石土和坡洪积砾石土, 基岩主要以三叠系白云岩、白云质灰岩、灰岩、燧石灰岩、硅质岩、炭质页岩为主。

库区有2段欠稳定段。主库右岸桩号右0+620~0+920段, 长300m, 存在塌岸的可能, 塌岸宽度150m, 塌岸高度130m, 体积约8.38万m³; 主库左岸桩号左4+580~5+180段, 长600m, 存在塌岸的可能, 塌岸宽度25.0~30.0m, 塌岸高度15.0~20.0m, 体积约1.6万m³。以上2段覆盖层库岸在水库蓄水后对水库安全运行可能产生不利影响, 建议采取工程措施处理。

2.3 水库诱发地震

渔洞河水库蓄水库段的蓄水最大深度达61.46m, 岩性为层状的白云质灰岩、白云岩、灰质页岩、泥质页岩, 有规模很小的断层通过库区, 断裂为第四纪早—中更新世断裂, 无活动断裂直接横穿水库区, 处于地震活动水平微弱区。结合其区域地质背景、库坝区诱震环境因素及多种方法评估的结果, 结合库区所在的地震背景考虑, 综合评定其诱震最大震级应不超过3.0级, 烈度为Ⅴ度, 个别达Ⅵ度。

3 枢纽主坝区工程地质条件

3.1 本地质条件

坝址河段为较平直的V型斜向谷, 河水自北向南流(见图2)。该坝段河水面高程538.27m, 河水面宽22~24m, 河水深1.1~1.9m, 谷宽30~35m, 正常水位598m, 谷宽107~109m, 轴线河谷高宽比为1:1.72。

左坝肩高程610m以下大部分地形坡度为65°~88°, 属峻坡~悬坡地貌; 高程610m以上地形坡度为14°~24°, 属斜坡地貌。右坝肩高程550m左右(S202公路位置)以下地形坡度为25°~32°, 属斜坡~陡坡地貌; 高程550m以上高程610m以下地形坡度为49°~73°, 属峻坡~

悬坡地貌；高程610m以上地形坡度为35°~43°，属陡坡地貌。地表覆盖第四系含砾石粉质黏土、崩坡积块碎石土，厚0~4m。

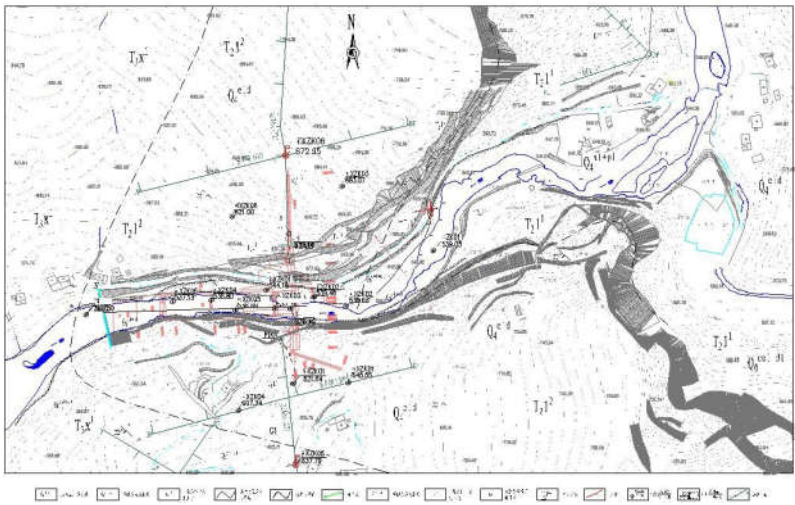


图2 坝址区工程地质平面图

坝址区出露地层为三叠系雷口坡组 (T_2l^2) 上段巨厚层白云岩。岸坡岩层产状较稳定，为 $S47^\circ E \angle 22^\circ SW$ ，为斜向坡，左岸倾向与坡向相反，右岸倾向与坡向相同。

f1：断层 $N80^\circ W \angle 80^\circ \sim 85^\circ NE$ ，断层破碎带宽5~8cm，断层上盘相对向下错动，断距15~20cm，为正断层。延伸大于100m小于1km。位于坝址轴线上游150~185m。

坝区节理裂隙比较发育

优势节理 $NE20^\circ \sim 62^\circ \angle NW70^\circ \sim 89^\circ$ 主要为卸荷节理，其节理裂隙缝宽7~11mm，主要为泥质充填，脉宽变化不大，脉壁起伏粗糙，节理裂隙间距约0.5~1m，延伸长度约3~20m。其余为裂隙闭合，脉壁起伏粗糙，节理裂隙间距约0.04~0.6m，延伸长度约3~50m。

地质测绘、平硐、竖井调查及孔内电视，均未发现有规模较大、延伸较远的平缓裂隙。

地下水类型主要为基岩裂隙水和岩溶水。基岩裂隙水主要埋藏于基岩裂隙中，受大气降水补给，以下降泉形式排泄于沟谷或河流。碳酸类岩溶水：研究区岩溶水一般为潜水，个别情况下有承压条件。水质主要为重碳酸钙镁水，对普通水泥无侵蚀性。

3.2 坝址主要工程地质问题评价及处理建议

3.2.1 坝基岩体

大坝全部座落在白云岩体内(见图3)，基础岩体以弱风化为主。坝基岩体质量如表3所示，左岸、河床、右岸均坐落在 B_{III} 类岩体上，岩石抗压强度能满足81m高坝的要求。坝基岩体平缓裂隙不发育，不存在深层抗滑稳定问题。

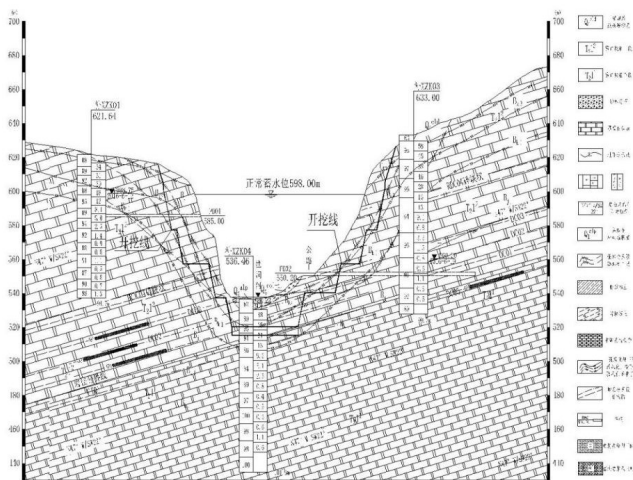


图3 推荐坝址工程地质剖面图

B_{III} 类岩体适宜做重力坝基础持力层，波速大于4000m/s的岩体只需对爆破松动部位的岩体结合坝基接缝灌浆进行适当的固结处理，波速小于4000m/s的岩体，应加强其整体性处理；对出露于坝基的岩溶软弱带表层应进行混凝土塞和适当的固结处理。

表3 坝基岩体工程地质分类表

坝基岩体工程地质分类	纵波速度 (m/s)	完整性系数	RQD (%) 值
B_{II}	5175 ~ 6232	0.70 ~ 0.86	76.8 ~ 83.9
B_{III1}	3815 ~ 5841	0.54~0.75	42.1 ~ 78.5
B_{III2}	3045 ~ 5136	0.45 ~ 0.69	23.5 ~ 64.6
B_{IV1}	2498 ~ 4045	0.18 ~ 0.43	22.4 ~ 54.6

3.2.2 卸荷带

受地质构造的影响，岩体裂隙相对较发育，在其内外

营力作用下,岸坡岩体风化卸荷强烈,且表现出明显的差异性。根据地质测绘和平硐结构面分析,结合平硐探测成果,在岸坡、山脊地段,强、弱风化带一般厚度为0~3.5m及25~40m;强卸荷带水平宽度一般0~15m,弱风化上带底界与强卸荷下限相当。在河床及深切河谷段,弱风化带厚度为20~35m。建议对建基面以下埋深小于30m的卸荷带部位应进行浅层固结灌浆处理,对距坝趾水平距离小于10m的部位应进行适当的深挖回填及固结灌浆处理。

3.2.3 断层

f₁断层位于坝址轴线上游150~185m,为一正断层。对坝基的应力传递、变形、防渗、渗压的控制无影响,不需进行处理。

3.2.4 岩溶渗漏问题

坝址区未发现大溶洞分布,坝线岩体呈随深度增加溶蚀减弱,透水性降低的特征,因此,坝线岩溶现象较弱。建议在施工中采取钻孔孔间电磁波CT等切实有效的物探手段测试隐伏岩溶的发育情况,进一步查明工程区可能存在的小型溶蚀性裂隙或小型隐伏岩溶通道,并在查明基础上采取针对性的封、堵、围、截、灌等综合防渗措施。

3.2.5 绕坝渗漏

坝基的渗漏减压应采取灌排结合,以排为主的处理方法。根据压水试验和渗透剖面平台以下岩体中等透水带埋深26.3~32.5m,弱透水带埋深49.6~60.3m,微透水带埋深大于60.0m,3Lu线铅垂深度46.0~55.7m。拟定帷幕灌浆进入3Lu线以下5.0m。两坝头帷幕延伸长度,左岸52m,或与地下厂房的防渗统一考虑,右岸82m。

3.3 导流洞工程地质条件及评价

导流洞布置在大坝右岸,导流洞由闸室段、渐变段、隧洞段、出口段组成,轴线总长495.0m。隧洞上覆岩体有效厚度为0~107.7m。

隧洞穿过地层主要为三叠系中统雷口坡组(T_2l^2)上段巨厚层白云岩和三叠系雷口坡组下部(T_2l^1)下部薄一中厚层白云岩。岩层及主要构造线走向与洞轴线夹角大于60°,对稳定较为有利。

隧洞围岩分类,洞身围岩以Ⅲ、Ⅳ类为主,其Ⅲ类长234.0m,约占47.3%,Ⅳ类长234.0m,约占47.3%,Ⅴ类位于隧洞出口段,长27.0m,约占5.4%,围岩不稳定~局部稳定性差,对Ⅳ、Ⅴ类围岩的洞段应采用钢筋混凝土支护;Ⅲ类围岩的洞段,一般采用系统锚杆挂钢筋喷混凝土支护,局部岩体特别破碎的洞段配合适量的混凝土拱间隔支护。

导流洞堵头布置于(桩号导0+170)处。根据导流洞洞身段评价,堵头位于三叠系中统雷口坡组(T_2l^2)上段巨厚层微新白云岩地层,铅直埋深83m,属中硬岩类,总体属较完整~完整,节理裂隙较发育,属Ⅲ类围岩

段,适宜封堵。

4 天然建筑材料

本工程所需天然建筑材料主要有:混凝土粗、细骨料、堆石料、反滤过渡料和围堰土石料。按详细勘察精度对上阶段的高坑了、安家坪两个料场进行了复核勘察。

高坑口料场位于坝址区左岸,综合运距2.0km,料场地表局部裸露三叠系中统雷口坡组上段白云岩,储量满足要求。

根据钻孔岩芯样和料场刻槽取样试验成果:弱风化白云岩饱和抗压强度38.2~47.9MPa,软化系数0.65~0.71,属中硬岩类;微风化白云岩饱和抗压强度49.8~59.7MPa,软化系数0.72~0.75,属中硬岩~坚硬岩类,强度较高,抗软化能力较强。因此弱风化、微风化白云岩饱和抗压强度满足规程规范质量指标要求,可以用作坝体填筑材料;微风化岩体可加工做砂粗、细骨料。

安家坪料场距坝址区综合运距9.0km,料场地表裸露三叠系中统下统飞仙关组鲕状灰岩,储量满足要求。

根据刻槽取样试验成果:鲕状灰岩饱和抗压强度41.5~51.5MPa,软化系数0.66~0.73,属中硬岩类,饱和抗压强度大于规范要求40MPa,可以加工人工骨料,也可加工坝体填筑反滤过渡料、垫层料。

由于工程区防渗土料缺乏,围堰土石料建议利用开挖料,采用复合土工膜进行防渗。

结语:渔洞河水库工程的地质条件较为复杂,但经规划、可研和初步设计等阶段的勘察研究,基本地质条件已查明,对区域构造稳定、水库渗漏、枢纽工程岩体物理力学特性、坝基构造展布及性状、地下洞室围岩的稳定、建筑物高边坡的稳定,以及天然建筑材料的碱活性等关键性工程地质问题,都进行了深入系统的研究。通过经济、技术、施工综合比较后本阶段推荐碾压混凝土重力坝,具备兴建81m高坝的地形地质条件。

岩溶渗漏仍是岩溶水库的主要问题,后续施工时加强对隐伏岩溶的探测及处理措施对水库的建设至关重要。

参考文献

- [1]李健民.浙江省沐尘水库的主要工程地质问题[J].水利水电技术,2012,43(4):91~93.
- [2]姜德文.开发建设项目主体工程设计的水土保持评价重点与修正意见[J].中国水土保持,2010,10(9):11~14.
- [3]马佳茜.浅谈从工程地质方面分析岩石工程的应用[J].黑龙江科技信息,2014,9(30):117.
- [4]王毅.新民水库库区工程地质条件分析[J].黑龙江水利,2017,3(6):70~72.
- [5]陈建英,王云.四川盆地北部广元地区铀矿成因研究[J].四川地质学报,2019,39(3):417~421.