

普岔河水库坝址工程地质问题论证分析

田凯

遵义市水利水电勘测设计研究院有限责任公司

摘要: 针对普岔河水库坝址区地质条件复杂, 河床覆盖层深厚, 岩性不均一, 卸荷裂隙发育, 崩塌、滑坡堆积体分布, 存在裂隙型绕渗、岩体完整性差及边坡稳定性差等问题。该文从地形地貌、地层岩性、地质构造、物理地质现象和岩溶水文地质条件等方面, 通过地质测绘、钻孔及平硐等勘察资料和室内试验成果分析, 结果表明, 坝址区拱坝方案最优。工程地质问题的论证分析, 为水库枢纽布置及坝基、坝肩和两岸防渗加固处理提供详细地质资料及建议。

关键词: 覆盖层深厚; 卸荷裂隙; 拱坝; 普岔河水库

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2023.08.063

一、概况

普岔河水库位于晴隆县中营镇龙向村境内, 距县城约110km。坝址以上流域面积15.1km², 正常蓄水位1035.0m, 总库容537万m³, 属IV等小(1)型水库。挡水建筑物为碾压混凝土拱坝, 最大坝高88m, 坝前抬高水位55m。工程任务是集镇供水、农村人畜饮水及农田灌溉^[1]。在水库地质勘察中, 结合普岔河流域水资源合理开发规划, 遵循技术可行性、效益最大化、整体与具体相结合综合考虑原则^[2-3], 对坝址区工程地质条件及地质问题进行全面分析和反复论证, 为合理选定坝型和不良地质问题处理提供详实的地质资料与论证结果^[4], 确保设计方案在技术、经济等方面与工程实际具有较好匹配性能^[5]。

二、坝址区工程地质条件

(一) 地形地貌

坝址位于普岔河下游河段, 河流流向S60~63° E, 沿线无大的跌坎和河湾分布; 河床高程980~985m, 平均比降11‰~80‰, 宽20~30m, 水面宽4~7m, 深0.3~1.0m。左岸1050m高程以下多为陡坡或陡岩, 临河岸稍缓, 坡角约40°, 1050m以上为斜坡或陡坡地形; 右岸1055m高程以下为斜坡至陡坡地形, 坡角40~55°, 1055m高程以上地形陡峻, 为陡崖或倒悬。坝址区河谷为基本对称“V”型结构。

(二) 地层岩性

河床覆盖层厚7.9~29.7m, 为砂卵砾石、淤泥质、粉质黏土, 淤泥质粉质黏土含量为50%, 块碎石含量40%; 岸坡分布0~45.0m不等崩塌堆积, 为块石、巨块石及孤石及少量碎石、黏土; 基岩为三叠系下统永宁镇组第一段T₁yn¹, 按岩性分为四层: T₁yn¹⁻⁴薄层、中厚层灰岩, 厚度31.0m, 分布1050m高程以上; T₁yn¹⁻³薄层、中厚层泥质灰岩, 厚度28.0m, 分布1020~1050m高程; T₁yn¹⁻²含钙质、砂质泥岩, 间夹泥灰岩, 泥灰岩间断出现, 厚度一般0.5~3m, 分布1020m以下; T₁yn¹⁻¹薄层、中厚层灰岩, 厚度115.0m, 分布坝址上游及河床深部。

(三) 地质构造

中营向斜横切坝址河谷, 轴向为N45~75° E, 长度大于600m, 轴部地层为T₁yn¹⁻⁴, 两翼为T₁yn¹⁻³~T₁yn¹⁻¹, 岩层产状南东翼为N40~45° E/NW∠5~7°; 北西翼为N40~45° E/SE∠22~80°, 往上游岩层倾角越陡。受构造影响, 坝区小断层(f1、f2)及裂隙(I、II、III组)较发育, 各特征见表1。

(四) 物理地质现象

(1) 覆盖层及岩体风化。坝址区岩体风化带见表2。

表1 主要结构面特性统计表

编号	产状	宽度/cm	延伸长度/m	充填物	结构面性质	发育位置
f1	N55~70° E/SE∠65~80°	5~10	60		逆断层	下游右岸
f2	N50~60° W/SW∠42°	5~15	100		逆断层	右岸
I	N55~70° E/SE∠65~80°	0.5~35	1~6	岩屑、方解石、泥质	张性, 裂面起伏粗糙呈锯齿状	左右岸
II	N40~50° E/SE∠75~80°	1~5	0.5~2.5	方解石、泥质, 偶见溶蚀	压性, 平直稍粗糙	左右岸
III	N60~80° W/NE∠70~80°	0.1~1.5	1~3	岩屑夹黏土	压扭性	斜切河向

表2 坝址区岩体风化分带表

位置	覆盖层(m)	强风化厚度(m)		弱风化厚度(m)	微风化(m)	说明
河床	7.4~29.7	3.0~4.0		12~15	12~15	两岸岩体强风化层裂隙发育, 多张开充填黏土, 弱风化层裂隙中等发育, 多闭合或逐渐尖灭。
左岸	0~8	泥岩段	4.0~6.0	13~17	13~17	
		灰岩泥灰岩段	3.0~4.0	11~13	11~13	
右岸	0~45	泥岩段	6.0~8.0	13~16	13~16	
		灰岩泥灰岩段	5.0~7.0	12~15	12~15	

(2) 危岩体。坝址区主要分布危岩体Dr1、Dr2、Dr3:

Dr1位于左岸, 分布高程1010~1045m, 高约35m, 宽10~50m, 厚5~15m, 方量约1.2万m³;

Dr2位于下游左岸, 分布高程985~1015m, 高

20~30m, 宽10~35m, 厚5~15m, 方量约0.4万m³;

Dr3位于下游右岸, 分布高程1010~1055m, 高10~45m, 宽5~40m, 厚2~30m, 方量约2.2万m³。

(3) 崩塌堆积体。坝区主要堆积体及滑坡分布统计见表3。

表3 坝区主要堆积体及滑坡分布统计

编号	分布位置	距坝址距离 (km)	分布高程 (m)	规模	组成物质及状态	影响评价
D1	下游右岸	0.08	962-1070	90.3万m ³	巨石、大块石、碎块石夹黏土, 局部为孤石, 结构松散。	离坝址较近, 施工期间对布置于其下方的建筑物、交通等影响较大; 水库运行期若失稳对水库运行及大坝安全影响大。
D2	右坝肩	坝址区	991-1051	8.0万m ³	巨石、块石、碎块石夹黏土, 局部为孤石, 结构较松散。	基础开挖将对其进行清除, 对水库运行无影响。
D7	左岸	坝址区	982-991	0.6万m ³	块石、碎块石夹黏土, 结构松散。	基础开挖需清除, 对水库运行及大坝安全影响较小。
HP1	下游右岸	0.08	974-1027	4.5万m ³	块石、碎块石夹黏土, 结构松散。	D1堆积体上游侧, 对坝址稳定无影响, 但离坝址较近, 失稳对水库运行及大坝安全影响较大。

注: D代表堆积体, HP代表滑坡

(五) 岩溶水文地质条件

(1) 岩溶

T_{1yn}¹⁻³、T_{1yn}¹⁻⁴灰岩、泥灰岩层岩溶发育, 发育有溶洞K1、岩溶泉KS3、KS4等, 岩溶管道大多延伸短、规模较小; 受下部泥岩层等阻隔, 在接触带有泉点S4、岩溶泉KS4出露, 地下水多经各溶隙或岩溶管道径流、排泄补给坝区河流。T_{1yn}¹⁻²层钙质砂质泥岩为相对隔水岩组。T_{1yn}¹⁻¹灰岩层岩溶发育, 分布有K5~K7管道岩溶系统, 泉点S1、岩溶泉KS2及吊水岩, 经河床钻孔揭露, T_{1yn}¹⁻¹层水位稳定, 孔内未揭露有大的岩溶形态, 钻孔压水透水率低, 未见深部岩溶发育。

(2) 水文地质

地下水类型主要有①孔隙水埋藏于松散堆积层孔隙中, 以河床及近河两岸覆盖层为代表; ②基岩裂隙水主要埋藏于T_{1yn}¹⁻²碎屑岩组的强弱风化带, 水量少且不稳定, 与季节关系大; ③裂隙溶洞水的主要含水层为T_{1yn}¹⁻¹, T_{1yn}¹⁻³、T_{1yn}¹⁻⁴灰岩、泥灰岩层, 地下水多沿层面、裂隙、溶洞等排泄补给河水。

三、坝址区工程地质问题论证分析

(一) 建基面选择

覆盖层结构松散, 需清除, 可选T_{1yn}¹⁻²钙质砂质泥岩间夹泥灰岩, T_{1yn}¹⁻³、T_{1yn}¹⁻⁴薄至中厚层泥质灰岩、灰岩等岩体为建基面。

(二) 坝基承载力及压缩变形

坝基肩多位于弱风化或微新岩体内, 其中T_{1yn}¹⁻²含钙质砂质泥岩间夹泥灰岩、灰岩, 建议允许承载力1.5~2.5Mpa, 变形模量2.5~4.0Gpa; T_{1yn}¹⁻³泥质灰岩

建议允许承载力4~5Mpa, 变形模量5~6Gpa; T_{1yn}¹⁻⁴灰岩建议允许承载力4.5~6Mpa, 变形模量10~11Gpa。河床段基面置于T_{1yn}¹⁻²层, 基础岩体整体承载力较低, 抗变形性能差, 不能直接作为该工程拱坝坝基, 需采取专门工程处理。两肩基面置于T_{1yn}¹⁻²、T_{1yn}¹⁻³和T_{1yn}¹⁻⁴层内, 其中置于T_{1yn}¹⁻²层的基面面积占比约50%, T_{1yn}¹⁻³和T_{1yn}¹⁻⁴占比约50%, T_{1yn}¹⁻²层基础岩体整体承载力较低, 抗变形性能较差, 对坝肩承载力未能满足要求的部分需进行工程处理。T_{1yn}¹⁻³和T_{1yn}¹⁻⁴层位于坝肩中上部, 整体承载力较高, 抗变形性能较强, 不存在大的变形问题, 对局部风化较深部位以及溶蚀裂隙等采取深挖回填等处理措施后可达到设计要求; 同时, 为了提高坝基(肩)岩体整体性, 克服地基刚度不均一性, 需对坝基进行固结灌浆处理。

(三) 坝基抗滑稳定分析评价

根据坝址结构面赤平投影分析, 坝基抗滑稳定模式为岩层层面为底滑面, 顺河向发育的III组裂隙面作为侧向切割面, 但大坝下游无跌坎及深槽发育, 无明显的临空面, 坝基埋深较大, 坝基产生深层滑动的可能性不大。左坝肩抗滑稳定破坏模式: 以层面为底滑面、第I组(外倾)裂隙为侧滑面、第II组作为上游拉裂面, 层面(夹层)作为底滑面, 下游约90m处因河湾切割, 山体凹进、地形陡峻, 形成滑出面, 对左坝肩抗滑稳定不利, 需进行复核并采取措施处理。右坝肩抗滑稳定破坏模式: 以层面为底滑面、第III组(外倾)裂隙为侧滑面、第II组作为上游拉裂面, 下游陡壁为滑出面, 对坝肩抗滑稳定不利; 需对坝肩抗滑稳定进行复核。

(四) 坝肩边坡稳定分析

自然边坡：坝址为深切“V”型横向河谷，自然边坡高150m以上，岸坡以陡斜坡地形为主，局部见陡崖、倒悬岩腔；出露基岩为 T_{1yn}^{1-2} 钙质砂质泥岩夹泥灰岩、 T_{1yn}^{1-3} 泥质灰岩、 T_{1yn}^{1-4} 灰岩；坝轴线附近岩层平缓，以斜向坡为主，中营向斜横穿坝址区，无大的断层构造切割，但裂隙发育，在岸坡陡崖段形成较宽大的卸荷裂隙，分布有危岩体Dr1、Dr2、Dr3；坝线两岸坡除右岸1005~1055m高程段有堆积体D2分布外，其余覆盖层厚度多小于1m。现状坝线两岸陡岩受裂隙切割及卸荷作用存在危岩体、零星崩塌，中下部浅表松散覆盖层及堆积层存在零星滑塌，自然边坡现状稳定。

开挖边坡：①坝基：河床段最大开挖深度约33m，覆盖层开挖边坡高29.6m，因结构松散，在坝基开挖时应采取支护等措施处理。

②左坝肩：开挖边坡高约88m的岩质边坡，正面为斜向岩质边坡，上游侧逆向坡，下游侧顺向坡，坝肩受节理裂隙切割影响，在坝肩开挖过程中，有垮塌或严重掉块的可能，需采取放坡开挖，并及时进行合理支护处理；对顶部的强风化岩体，其稳定性较差，存在不稳定楔形体，开挖边坡极易掉块、滑塌等稳定问题，需做好支护处理，同时，左坝端有危岩体Dr1分布，对大坝施工和水库后期运行影响较大，建议开挖时应对危岩体进行清除。

③右坝肩：开挖边坡高约92m，正面为斜向岩质边坡，上游侧逆向坡，下游侧顺向坡，坝顶后缘边坡高陡，卸荷裂隙发育，强风化岩体稳定性较差，存在不稳定楔形体，开挖边坡极易掉块、滑塌等稳定问题，需对边坡做好支护处理，同时，右坝肩还分布D2堆积体，对大坝施工安全和水库后期运行安全影响大，需进行清除。

(五) 基础处理

(1) 裂隙处理：坝基内软质岩应预留保护层或开挖完成后及时进行封闭处理，对风化、溶蚀深槽等，应采取深（扩）挖、置换、回填砼等相应的工程处理措施；同时，对局部裂隙密集带及变坡较大地段应进行扩挖回填砼等处理，裂隙密集带清挖深度、宽度为发育带宽度的1.5~2倍。

(2) 基坑排水：河床覆盖层深厚，且多为松散的砂砾石、砂土以及淤泥质等组成，透水性强，基础开挖后，存在较突出的基坑涌水问题；对岸坡出露泉点采取引流至基坑外，并作防水与排水处理，确保施工安全。

(3) 固结灌浆：大坝基础岩性不均一，坝基岩体存在压缩变形问题，须对坝基肩采取固结灌浆处理，以改善岩体内发育的节理、裂溶隙等的刚度及增强地基整

体性，防止坝基（肩）应力分布不均匀，而导致坝体拉裂以至破坏。固结灌浆孔河床段平行于坝轴线布置，两坝肩垂直于坝轴线布置，坝轴线上游基岩孔深8.0m，坝轴线下游孔深为5.0m，共计470个孔，总进尺4147m（不包括帷幕兼固结孔）。

(4) 防渗帷幕灌浆：防渗边、底界接 T_{1yn}^{1-2} 相对隔水层并结合岩体透水率考虑，河床段底界接 T_{1yn}^{1-2} 相对隔水层弱透水率及0.6倍坝高综合控制，为接地式帷幕，综合工程特点其防渗标准采用 $q \leq 3Lu$ 。根据坝址区地形地质情况，两岸帷幕灌浆均应在灌浆平硐中实施，帷幕线总长约710m，总面积5.75万 m^3 ，左岸灌浆平硐长208m，右岸依托上坝交通洞，长302m，按双排布置，孔间距3m，排距1.5m，梅花型布置。

四、结论

(1) 坝基以钙质砂质泥岩夹泥灰岩、泥质灰岩等为主，因岩体均一性较差，裂隙较发育，存在不均一变形和压缩变形问题，需进行固结处理，且存在绕坝基肩裂隙型渗漏问题，需进行防渗处理。

(2) 坝址河谷为“V”形峡谷地形，左右岸地形高差大，坝顶以上地形陡峻，该段自然边坡存在由卸荷带裂隙、河床临空面、层面组合而成的不稳定地质体，坝基开挖时应先对施工区域的崩塌堆积、强卸荷带及危岩体等进行清除，并对高陡边坡进行锚固等工程防护措施。

(3) 河床覆盖层厚度大，基础开挖边坡稳定性极差，需加强支护处理措施；坝基开挖基坑涌水问题突出，需加强排水。

(4) 综合坝基岩体质量、开挖边坡及处理、地下水、防渗工程量等，同时结合水库规模、水工枢纽布置、建坝材料等因素综合分析比较，推荐碾压混凝土拱坝为推荐坝型。

参考文献

- [1] 遵义水利水电勘测设计研究院. 晴隆县普岔水库工程初步设计报告[R]. 2020.
- [2] 肖国贤. 德隆水库坝址工程地质条件分析及坝型优选[J]. 水利规划与设计. 2017(10) 138-140.
- [3] 刘军, 谭剑波. 马背水库坝址区工程地质条件分析与坝型优选[J]. 广西水利水电. 2017(6) 41-45.
- [4] 熊伟, 韩敏, 杨兰. 三岔水库坝址区工程地质问题论证分析[J]. 水利科技与经济. 2018, 24(8) 1-4.
- [5] 刘勇, 魏潇, 杨兰. 桃源水库坝址区工程地质条件论证与坝型优选[J]. 广西水利水电. 2018(3) 10-13.

作者简介：田凯（1989-），男，贵州铜仁人，工程师，硕士，主要从事水利水电工程地质。