

岳家河水库大坝渗流与结构安全分析

王志兵

湖北省漳河土木工程设计院 湖北荆门 448000

摘要: 岳家河水库大坝是一项重要的水利工程, 为确保其结构安全, 需要进行渗流与结构安全分析。渗流分析是为了评价大坝周围渗水对结构稳定的影响。通过地质勘察和水文地质资料的收集, 确定岩体的透气性和水文特征。结构安全分析评价大坝的结构强度和稳定性。本文主要从这两方面进行了详细的阐述。

关键词: 水库; 结构; 渗流; 安全

Analysis of dam seepage and structure safety of Yuejiahe Reservoir

Zhibing Wang

Hubei Zhanghe Civil Engineering Design Institute, Jingmen, Hubei 448000

Abstract: The Yuejia River Reservoir dam is an important water conservancy project that requires the analysis of seepage and structural safety to ensure its structural integrity. Seepage analysis is conducted to evaluate the impact of seepage on the stability of the dam structure. This involves collecting geological surveys and hydrogeological data to determine the permeability and hydrological characteristics of the rock mass. Structural safety analysis, on the other hand, assesses the structural strength and stability of the dam. This paper provides a detailed exposition of these two aspects.

Keywords: Reservoir; Structure; Seepage; Safety

一、大坝防渗体系

岳家河水库细石砼砌石重力拱坝, 防浪墙顶高程 558.60m, 坝顶高程 557.60m, 最大坝高为 69.90m, 其中底部 22.3m 高为 C20 埋石混凝土垫, 上部 47.6m 高为细石砼砌石拱坝, 坝顶长 67.11m, 宽 2.5m。

为了便于坝体浇筑和简化施工组织, 岳家河水库大坝坝体未设灌浆、排水廊道, 坝体防渗主要靠自身砌筑工艺和质量来保证。施工时, 为控制施工质量, 在坝体离上游面 2.5m 范围内强化之类检查, 每砌筑 3~5m 高度即对坝体进行钻孔压水试验, 不合格时立即进行坝体补强灌浆, 坝体防渗标准为 $q < 3lu$ 。

1. 坝地质情况及防渗处理

岳家河大坝坝基为茅口组灰岩, 深灰色, 厚层状构造, 粉晶结构。岩心较完整, 方解石脉、条带及团块发育。

施工时, 两岸开挖深度 6~10m, 河床段开挖深 14m, 河床建基面高程 487.7m。坝基开挖揭示的地质情况为: 河床段建基面岩面新鲜完整, 构造不发育; 两岸基坑岩石较新鲜, 但构造裂隙及小断裂较发育。

建坝时, 对于左坝肩初露的裂隙, 采用挖除和填塞的方法进行处理, 即沿着裂隙面方向在底部形成一个坑槽, 槽宽不小于 0.8m, 深度不小于 1m, 坑槽开挖面凿成粗糙面, 在回填砼塞, 对其过深的切割面采用局部固结灌浆并用锚杆加固。坝体砌筑前先浇一层 C20 埋石砼垫层, 坝基垫层厚 22.3m,

两岸坝肩垫层厚 2.0m, 垫层与坝肩的结合面利用固结灌浆孔进行接触灌浆。坝基及坝肩开挖完毕, 垫层砼浇筑厚, 进行固结灌浆, 灌浆孔深 5.0m, 孔距 3.0m, 呈梅花形布置。并对两岸坝肩裂隙密集带的破损岩体进行固结灌浆。

大坝坝肩及坝基防渗主要采用帷幕灌浆, 在坝体上游侧设一道防渗帷幕, 并通过重力墩延伸至两坝肩, 帷幕灌浆孔距 3.0m, 河床段帷幕深 25m, 两岸深 24~45m。根据灌浆后压水试验, 坝基渗透系数 $q < 3lu$, 满足规范要求。

2. 引水建筑物地质情况

压力引水隧洞置于左岸, 长 3.2km, 穿越地层为茅口组, 栖霞组及石炭系。压力引水隧洞围岩为 II、III 类, 地下水活动较轻微, 无大的断层破碎带, 主要结构面为 NE、NW 组节理裂隙及层面, 但由于隧洞沿线埋深较大, 节理裂隙逐渐尖灭, 岩体较新鲜完整。

施工时, 根据有压隧洞的特点和各不同洞段的实际情况, 分别采用了喷水泥砂浆、喷锚支护、混凝土衬砌方式保证洞室安全。

调压井、压力管道段出露厚层瘤状灰岩, 为顺向坡, 岩层倾角与地形坡度一致, 边坡整体稳定。

3. 引水建筑物结构布置

引水建筑物包括深式进水口, 压力引水隧洞, 调压井和压力管道,

设计引水流量 $8m^3/s$ 。

隧洞进口布置在大坝上游左岸山坡上, 距离坝肩约 40m。

进水口由喇叭口段、闸门井段、渐变段及启闭机平台等组成。进口底板顶高程为 525.00m, 喇叭口顶板和两侧分别以椭圆曲线和斜坡缩至 2.4m×2.4m 的方形断面; 喇叭口前布置一道 3.3×3.8m (宽×高) 倾角 60° 的拦污栅, 喇叭口后为闸门井; 闸门井采用竖井与塔组合的形式, 在高程 545.00m 以下为竖井, 高程 545.00 至 559.00m 为塔式; 门后渐变段长 6m, 断面由 2.4m×2.4m 渐变为 2.4m 的圆形压力隧洞, 压力隧洞全长 3.2km。压力隧洞后接调压井和压力管道。

4. 渗流安全评价

引水隧洞在现场检查时位于库水位之下, 洞内充满水流, 无法进入观测。根据对隧洞周边围岩的调查, 结合现场管理人员的日常巡视情况。综合确定, 引水洞洞身情况良好, 无漏水情况, 衬砌整体完好, 洞内长期有水流动, 基本无泥沙淤积, 洞身与周边围岩结合较为紧密, 无渗水。岳家河水库为细石砼砌石重力拱坝, 大坝砌筑质量较好, 坝基开挖至新鲜基岩, 并采用帷幕灌浆及固结灌浆的处理方式, 施工质量符合设计要求, 现场检查坝体、坝基和坝肩未发现明显渗水现象, 大坝防渗效果较好。引水洞洞身情况良好, 无漏水情况, 衬砌整体完好, 洞内长期有水流动, 基本无泥沙淤积, 洞身与周边围岩结合较为紧密, 无渗水。经以上测定, 岳家河水库大坝从渗流角度综合分析, 大坝渗流评定为 A 级。

5. 大坝坝肩稳定分析

根据岳家河初步设计报告资料和施工开挖资料, 大坝左右坝肩岩体比较新鲜、完整, 影响坝肩岩体的主要构造是裂隙和层面。

8.1-4 坝肩稳定计算面

	左坝肩			右坝肩		
	底裂面	侧裂面	下裂面	底裂面	侧裂面	下裂面
编号	f1	层面	临空面	平水面	层面	临空面
走向	NE	NE	/	/	NE	/
倾向	SE	SE	/	/	SE	/
倾角	28°	54°~60°	/	/	54°~60°	/
充填性	方解石脉	闭合	/	/	闭合	/
发育程度	较发育	较发育	/	/	较发育	/
f	0.6	0.65	/	0.65	0.65	/
c	0.04	0.05	/	0.04	0.05	/

由于坝址右坝肩无缓倾角的裂隙及其他构造面, 坝肩岩

体滑动不存在明显的底裂面, 为偏于安全, 荷载特殊组合时取底裂面为水平面。

大坝稳定分析采用刚体极限平衡法进行拱座稳定分析计算。并用抗剪断公式进行核算。

$$K = \frac{\sum (Nf' + cA)}{\sum T} \geq [K]$$

式中, K——抗滑稳定安全系数;

[K]——抗滑稳定的允许的最小安全系数;

N——垂直于滑动面的法向力;

T——沿滑动面方向的滑动力;

f'——抗剪断摩擦系数;

c'——抗剪断凝聚力;

A——计算滑动面的面积;

(1) 计算工况

工况一(设计工况): 水库设计洪水位及相应的尾水位和设计正常温升等。

工况二(校核工况): 水库校核洪水位及相应的尾水位和设计正常温升等。

(2) 计算荷载

① 拱坝传给滑移体的力系;

② 滑移体自重, 岩石密度取 27kN/m³, 相关的抗滑动山体积则由地形图量算。

③ 库水压力, 作用于滑移体上游面的库水压力。被结构面所围限的上游坝踵以下岩体垂向断开面按承受全水头计算水压。

④ 结构面上的扬压力

⑤ 作用于滑移体上游面、侧滑面、底滑面的摩擦力。

(3) 计算成果

计算成果见表 8.1-5。

表 8.1-5 岳家河水库拱坝坝肩稳定分析(刚体极限平衡法)

合力	R	工况一		工况二	
		左坝肩 (MPa)	右坝肩 (MPa)	左坝肩 (MPa)	右坝肩 (MPa)
抗滑稳定安全系数	Kc	3.5	3.2	5.1	4.6

从上述结果可知, 在设计工况下, 左右坝肩抗滑稳定安全系数分别为 3.5, 3.2, 在校核工况下, 左右坝肩抗滑稳定安全系数分别为 5.1, 4.6, 均大于规范要求抗滑稳定允许的最小安全系数 3, 同时根据现场检查, 大坝左右坝肩均为发现裂缝、位移、沉降等安全隐患, 因此, 左、右坝肩拱座均处于稳定状态。重力墩顶厚 3m, 下游坝坡采用 1: 0.3, 重

力墩顺河向与垂直河向均开挖为台阶状,同时为保证重力墩的基础安全,其底部用1m厚C20砼作垫层,并布设锚杆。重力墩稳定计算仍采用上述抗剪断稳定公式计算,根据地质抗剪断摩擦系数资料取0.65,抗剪断凝聚力取0.8Mpa。计算得,重力墩在正常蓄水位工况下抗滑稳定系数为4.7,校核洪水位工况下抗滑稳定系数为3.5,均大于规范要求。根据现场检查,重力墩未发现明显裂缝、位移、渗水等问题,表明重力墩质量较好,处于稳定状态。

(4) 埋石混凝土垫稳定分析

岳家河水库大坝在510.0m以下22.3m厚的C20埋石混凝土垫,其稳定计算仍采用上述抗剪断稳定公式计算。根据地质抗剪断摩擦系数资料取0.65,抗剪断凝聚力取0.8Mpa。计算得,埋石混凝土垫在正常蓄水位工况下抗滑稳定系数为3.2,校核洪水位工况下抗滑稳定系数为3.7,均大于规范要求。同时,埋石混凝土垫平面形状为上大下小楔形结构,有利于埋石混凝土垫的稳定。根据现场检查,埋石混凝土垫为发现明显裂缝、渗水等问题,表明埋石混凝土垫处于稳定状态。

二、大坝结构安全评价

大坝变形小,没有产生趋势性的异常变化,坝体未出现明显的沉降;大坝强度满足规范要求,坝肩稳定满足规范要求,现场踏勘时坝体及坝肩未发现明显变形和裂缝,大坝结构安全较好。岳家河水库工程规模为小(1)型,工程等级为IV等,主要建筑物级别为4级。

1. 跌流计算

拱坝采用跌流消能,鼻坎高程为543.00m,由于挑流坎前缘只有14m,消能工计算时考虑向心收缩作用。

根据规范要求,将各级流量均进行计算。

(1) 跌流抛射距离计算

$$L_d = 2.3q^{0.54}z^{0.19}$$

式中: L_d ——射距, m;

z ——鼻坎至河床高差, m;

q ——单宽流量。

(2) 水舌冲击区上游水垫深度

$$T_d = 0.6q^{0.44}z^{0.34}$$

T_d ——护坦底板或水垫深度, m。

(3) 计算成果

有关计算长度和深度如下表 8.2-1。

表 8.2-1 跌流计算结果

岳家河	Q (m³/s)	B(m)	q (m³/s·m)	z (m)	Ld (m)	Td (m)	下游水深
20年	510.15	14.00	36.44	53.00	34.09	11.26	15.58
30年	582.68	14.00	41.62	53.00	36.62	11.94	16.75
300年	816.47	14.00	58.32	53.00	43.94	13.85	19.64

根据计算结果可知,岳家河水库跌流最近抛射距离为43.94m。

2. 冲坑计算

根据规范,冲刷坑最大水垫深度计算公式如下:

$$t_k = \alpha_1 q^{0.5} H^{0.25}$$

t_k ——最大冲坑水垫厚度, m;

q ——泄水建筑物出口断面的单宽流量, m³/(s·m),

如入水时有水流向心集中影响的,应乘以流量向心集中系数;

H ——上、下游水位差, m

α_1 ——基岩特性影响系数。

岳家河水库大坝下游基岩较为坚硬,完整性较好,基岩特性影响系数取1.0,按上述公式进行各级流量,成果见表 8.2-2。

表 8.2-2 冲坑计算结果

岳家河	q (m³/s·m)	H (m)	tk (m)	下游水深 (m)	冲坑深 (m)
20年	36.44	50.29	16.90	15.58	1.10
30年	41.62	49.46	17.99	16.75	0.99
300年	58.32	47.49	21.10	20.10	1.00

根据计算可知,最大冲坑深度为1.10m,冲坑坡比为0.03,下泄洪水不会影响大坝安全,现状检查冲坑较浅与计算结果基本一致,所以消能防冲结构安全满足要求。

3. 引水发电隧洞进口结构安全评价

隧洞进口结构布置,引水建筑物包括深式进水口,压力引水隧洞,调压井和压力管道,设计引水流量8m³/s。

隧洞进口布置在大坝上游左岸山坡上,距离坝肩约40m。进水口由喇叭口段、闸门井段、渐变段及启闭机平台等组成。进口底板顶高程为525.00m,喇叭口顶板和两侧分别以椭圆曲线和斜坡缩至2.4m×2.4m的方形断面;喇叭口前布置一道3.3×3.8m(宽×高)倾角60°的拦污栅,喇叭口后为闸门井;闸门井采用竖井与塔组合的形式,在高程545.00m以下为竖井,高程545.00至559.00m为塔式;门后渐变段长6m,断面由2.4m×2.4m渐变为2.4m的圆形压力隧洞,压力隧洞全长3.2km。压力隧洞后接调压井和压力管道。引水发电隧洞设计过流能力为8m³/s,至建成以来,电站运行正

常,隧洞过流能力满足电站发电需求,因此隧洞过流能力满足要求。为防止发生贯通式漏斗旋涡,进水口最小淹没深度应不小于下式计算值:

$$S = CVd^{1/2}$$

式中: S—最小淹没深度;

d—闸孔高度(m); d=2.4m。

V—闸孔断面平均流速(m/s), 取值 1.39m/s;

C—系数, 对称水流取 0.55。

经计算, 得 S=1.18m, 进水口闸孔顶部高程 527.40m, 加上最小淹没深度, 进水口最低水位应为 528.58m, 高程小于死水位 530m, 因此不会出现吸气旋涡。

引水发电隧洞进水口位于左岸茅口组中上部厚层状含生物屑灰岩和茅口组顶部薄层硅质岩内, 不存在不利于进水口整体稳定的不良地质构造, 现场检查, 进口竖井未发现倾斜、沉降、裂缝等不良情况, 因此, 进水口整体稳定满足要求。

三、结论

1.经复核, 大坝变形小, 没有产生趋势性的异常变化, 坝体未出现明显的沉降; 大坝强度满足规范要求, 坝肩稳定满足规范要求, 现场踏勘时坝体及坝肩未发现明显变形和裂缝, 大坝结构安全较好。

2.经复核, 下泄洪水不会影响大坝安全, 下游冲坑较浅, 消能防冲结构安全满足要求。

3.经复核, 引水发电隧洞进口结构安全满足规范要求。综上所述, 岳家河水库大坝结构安全评定为 A 级。

参考文献:

[1] 洞坪枢纽工程总体布置 [J]. 保庆顺,刘韵昆,黄桂林,沈培芬.湖北水力发电,2005(S1).

[2] 武汉市黄陂区大冲水库除险加固设计要领 [J]. 邓狮;李方成 ;张冬梅;-《武汉市第三届学术年会——两型社会与生态城市建设学术研讨会论文集》- 2008-11-01.

[3] 水力自控翻板闸门在拱坝上的应用 [J]. 陈孝炼.水利科技与经济. 2009,15(10).