

# 纪村大坝坝基水化学环境评价

翟立群<sup>1</sup> 柯庆清<sup>2</sup>

(1.河海大学土木工程学院,江苏南京 210098;2.福建省莆田湄洲湾北岸水务局,福建莆田 351146)

**摘要:**对纪村大坝多年坝基水质观测资料的深入分析,以及对水化学环境变化的评价,结果表明坝基多次工程处理效果明显。酸性库水对坝基红层已不具侵蚀性,但应防治坝前淤泥层水及两侧土坝坝体水对红层的侵蚀。

**关键词:**大坝;紫红色粉砂岩;水质;坝基

中图分类号:TV64.X824 文献标识码:A 文章编号:1000-1980(2002)06-0070-04

## 1 工程概况

纪村水电站是一引水式水电站,大坝由混凝土重力坝和两岸接头的均质土坝组成,最大坝高22.50m,混凝土坝长66.42m,共分8个坝段,其中1#和8#坝段为右、左土坝混凝土挡墙。坝基主要为白垩纪紫红色粉砂岩,简称红层。红层由碳酸盐胶结,岩性软松,断裂裂隙发育。根据坝址基坑统计,断层达28条,裂隙251条,地质条件复杂,部分裂隙渗透性好。在电站运行5个月后即发现6#~8#坝段坝基渗漏量明显增大,坝基压力超设计值;以及部分坝基出现软化问题<sup>[1]</sup>。在此后电站停运,并发现大坝上游900m处黄铁矿化带附近库水呈现酸性-强酸性,水pH最低测值为2.90,SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>含量达736.40mg/L,侵蚀CO<sub>2</sub>含量达106.50mg/l(1980~1981年),故库水对混凝土有强酸性、碳酸性以及弱的结晶性侵蚀。同时,在大坝“廊道观测孔内发现大量气体,经灭火试验和石灰水变浑试验,证实了主要是二氧化硫<sup>[2]</sup>。为此进行了多年的临时补强、永久补强及完善化处理工程,延长坝前混凝土铺盖,增设防渗墙及铺盖廊道,形成了“三位一体”的防渗体系(图1)。铺盖廊道内设排水孔。此外,在铺盖前的渠道内,修建两道高1~2m的堤坝(图2)堵水,以利坝前水工建筑物的维修。

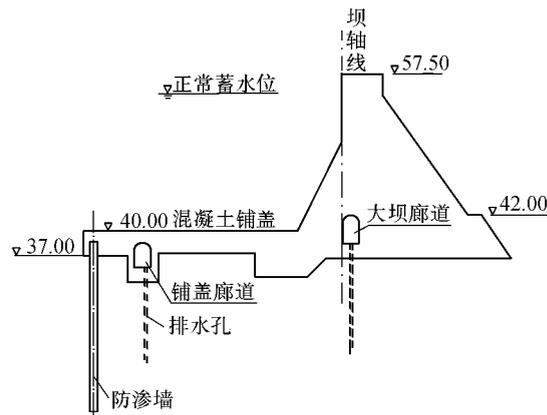


图1 纪村大坝坝体横断面

Fig.1 Cross section of Jicun Dam

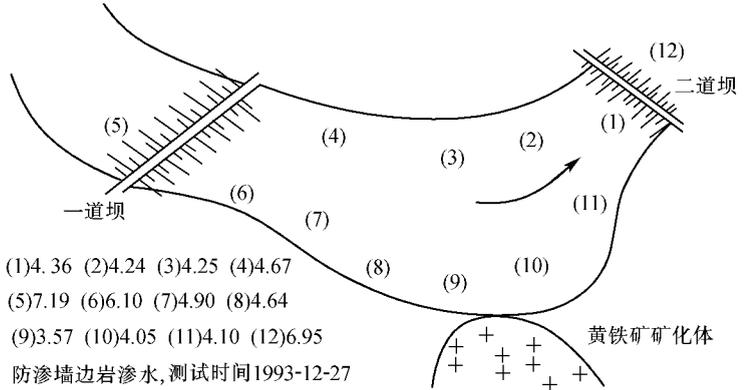


图2 停运期库水pH值现场测试点平面布置

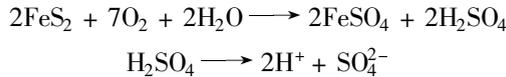
Fig.2 Plan arrangement of pH value monitoring points of reservoir during inoperative period

鉴于主要由侵蚀性水质引起的地质问题,自1993年第一次大坝安全定期检查以来,对库水以及坝基水质进行了系统而定期的监测,尤其在第一次定检期间(1993~1994一个水文年内),9次取样进行水质分析,并进行现场水pH值的系统测试,随后坚持每年二次定期分析,积累了丰富的分析资料。

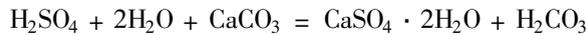
## 2 库水水质特征

电站是引渠道来水发电,当冬季渠道维修期间电站停运,坝前库水位多在 40.0~42.0 m.除此之外为电站运行期,库水位 54.0 m 上下,水深 14 m 左右.多年来水质资料表明(表 1),运行期库水多为弱碱性水,水化学类型多为 HCO<sub>3</sub>-Ca·Mg 型,侵蚀 CO<sub>2</sub> 含量为 0~5.35 mg/L,SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 含量仅 4.00~7.00 mg/L.这说明在运行期库水不存在侵蚀性,库水产生强侵蚀性仅发生在停运期间.

自 1993 年以来,停运期库水 pH 最低测值为 3.57,一般在 4.00~6.00,主要为酸性水.从现场实测资料看(图 2),水 pH 最低值位于黄铁矿化带处,水中 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 含量高达 230.00 mg/L.随着远离黄铁矿化带,水 pH 值逐渐增大,SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 含量相应减少,此说明库水呈酸性、强酸性是由于黄铁矿氧化的产物,即



大坝廊道排水孔内 SO<sub>2</sub> 气体的冒出,是由于黄铁矿经氧化后富含 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 的酸性水进入坝基,在还原环境下,经脱硫酸作用(在缺少有机质的条件下)形成 S<sup>2-</sup>,当 S<sup>2-</sup> 遇氧时,即形成 SO<sub>2</sub> 气体.停运期间坝前库水甚浅,有利库底黄铁矿化带的氧化,它随着时间的延长,氧化作用得以加强,故至停运后期水质酸性化更强,水面可见死鱼漂浮.水中有机质的富集与分解有利侵蚀 CO<sub>2</sub> 的形成,促使含量丰富.二道坝后(见图 2(12)处)水质与坝前相比有明显变化,水 pH 值增大(6.95),已为中性水,水中 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 含量减少了 70.00 mg/L, Ca<sup>2+</sup> 含量则增加近 18.00 mg/L(表 1),此是酸性库水渗透过程中,含有硫酸的库水与红层中碳酸钙、混凝土相互作用的结果.反应式为



故二道坝为改善大坝坝前库水水质起到了重要的作用.

表 1 纪村大坝库水和坝基水质分析成果(1993.12~1999.7 平均值)

Table 1 Analyzed results of water quality for Jicun Reservoir and Dam foundation

取样地点	pH 值	总硬度 (me·L <sup>-1</sup> )	侵蚀 CO <sub>2</sub> (mg·L <sup>-1</sup> )	K <sup>+</sup> + Na <sup>+</sup> (mg·L <sup>-1</sup> )	Ca <sup>2+</sup> (mg·L <sup>-1</sup> )	Mg <sup>2+</sup> (mg·L <sup>-1</sup> )	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg·L <sup>-1</sup> )	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg·L <sup>-1</sup> )	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (mg·L <sup>-1</sup> )	说明
库水	二道坝前	5.96	1.74	2.56	24.16	22.37	7.60	96.06	36.43	
	二道坝后	6.95	2.28	12.10	37.0	44.13	0.96	169.6	9.15	
	矿体附近	3.57	2.71	15.39	95.25	32.21	13.01	310.0		
铺盖廊道	0+31.5	6.36	1.43	19.29	6.20	18.87	6.88	5.86	92.15	停 运 期
	0+46	7.20	2.59	2.23	15.83	44.86	4.25	10.66	175.18	
	0+72.3	10.71	1.84		41.58	33.67	2.22	6.33	28.63	
	0+98.5	7.11	6.64	2.24	52.33	109.65	14.21	4.00	519.63	
大坝廊道	增 2	9.54	0.54		22.03	7.11	2.22	21.26	31.78	8.68
	B5-2	8.88	0.51		4.00	6.97	1.23	5.73	62.75	23.15
	检 3	7.78	1.70	3.77	18.42	30.47	2.52	10.02	108.77	
库水	表层	8.0	0.75	2.48	11.38	10.02	2.93	12.65	51.63	
	0+31.5	6.77	0.62	32.23	10.50	9.30	2.11	8.75	50.0	
	0+46	7.67	1.96		26.13	30.86	5.05	5.45	172.53	
	0+72.3	10.22	0.63		46.63	11.60	1.34	5.1	5.21	50.75
	0+98.5	8.24	2.68		42.50	43.76	6.06	7.07	237.68	10.57
大坝廊道	增 2	9.34	0.46		23.38	7.07	1.27	18.57	30.64	12.69
	B5-2	9.42	0.31		45.75	4.16	1.39	4.10	24.18	44.30
	检 3	8.27	1.62		33.63	28.08	2.14	20.95	123.36	

## 3 铺盖廊道水质特征

铺盖廊道共设排水孔 41 个,以右侧为零点,按平距编号.据水质特征可将铺盖廊道底部基岩水划分为 3 个区段.

a. 右侧段以 0+31.5 及 0+46 排水孔为代表,水多为弱酸-中性水.其中 0+31.5 孔水 pH 值最小(5.90~6.48),且多小于坝前库水,水中侵蚀 CO<sub>2</sub> 和 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 含量丰富,分别可达 34.88 mg/L 和 128.09 mg/L,但 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>

含量少,最大仅 20.00 mg/L,而且是出现在运行期,即水中  $\text{SO}_4^{2-}$  含量运行期多,停运期少,说明此孔水并非受库水直接补给.在停运期,孔水位可高于库水位也提供了佐证.

0+31.5 孔水质弱酸性化的成因,主要是受右岸淤泥层水补给之故.右岸为迎水河岸,有利于渠道水带来的有机物质沉积于此,停运期即可看到大量含有有机物的淤泥沉积层.水质弱酸性化与含侵蚀  $\text{CO}_2$  丰富是由于淤泥中有机质的分解:



0+31.5 孔口高程较高,虽不排水,但从水质特征与邻近排水孔水相近(如 pH 值等)的特点看,反映出彼此间水力联系性好.经封孔试验证实,一孔受堵时,此段内其他排水孔水位则同步变化.但此仅影响至 0+46 孔,其左侧(即从 0+49 孔起)则不受影响,或影响甚微.0+46 孔为铺盖廊道中排水量最大的孔,一般排水量为 540 mL/min,最大可达 1440 mL/min(1998 年 3 月),更说明此段地下径流条件好.

b. 0+72.3 排水孔代表铺盖廊道中段排水孔 0+49 孔~0+87 孔水质特征,水 pH 值在 9.46~11.60 间,属碱性、强碱性水.水质特征基本稳定,水中  $\text{CO}_3^{2-}$  和  $\text{OH}^-$  含量丰富,前者 19.20~50.75 mg/L,后者 43.87~10.79 mg/L,水化学类型为  $\text{CO}_3 \cdot \text{OH} \cdot \text{K} + \text{Na} \cdot \text{Ca}$  型,或单一的  $\text{CO}_3 \cdot \text{K} + \text{Na}$  型.此种水质类型的形成是水与混凝土间缓慢作用的产物,说明地下径流缓慢,也是防渗墙防渗性能完好的反映<sup>31</sup>.

c. 0+98.5 孔常年排水,流量不大,但水质基本代表铺盖廊道左侧段排水孔水质特征.水 pH 值多在 6.90~8.50 间,多为中性、弱碱性水.0+98.5 孔水 pH 值与库水接近(见表 1),且水化学类型多为  $\text{HCO}_3 \cdot \text{Ca}$  型,说明水的补给来源主要是库水,地下径流条件较通畅,此反映出防渗墙防渗性能欠佳,防渗墙检查孔资料也证实这点.但由于排水,附近观测孔水位已达设计要求.

## 4 大坝廊道水质特征

大坝廊道水质监测点 4 个,水质类型可分为两类:

a. 碱性、强碱性水类,以增 2 和 B5-2 孔为例,分别位于大坝廊道 3# 和 5# 坝段.水 pH 值在 8.30~10.10 间(图 3).以 B5-2 为代表,水中  $\text{CO}_3^{2-}$  含量较丰富,最大可达 31.72 mg/L,成为阴离子中的主成分,水化学类型为  $\text{CO}_3 \cdot \text{K} + \text{Na}$  型,反映坝基径流缓慢,水中  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{SO}_4^{2-}$  含量也少,一般均小于 10 mg/L,水中  $\text{Ca}^{2+}$  含量少则反映地下水侵蚀强度微弱,以及  $\text{SO}_4^{2-}$  含量少均说明具侵蚀性的库水对坝基地下水已无影响.

b. 弱碱性水类,即检 3 孔、269 孔水,分别位于 7# 和 8# 坝段.水 pH 值多在 7.00~8.50 间,与 2#~6# 坝段排水孔水明显不同,也略低于同坝段铺盖廊道排水孔水 pH 值,水中  $\text{HCO}_3^-$  含量较丰富,在 110.00~160.00 mg/L 间,为阴离子中的主成分.检 3 孔水中常含有侵蚀  $\text{CO}_2$ ,含量为 2.20~14.95 mg/L.

现场测试成果反映出大坝廊道两侧排水孔水 pH 值与土坝坝体水相近,两者水位动态变化亦具同步性.1999 年 4 月在左土坝左 1 孔投盐,经 16.5 d 8# 坝块内 269 孔反映明显,右土坝也做了同样的试验,这些成果均证实土坝坝体水补给大坝两侧坝基地下水.检 3、269 孔水质与同坝段铺盖廊道排水孔水相比,水 pH 值略低,且含侵蚀  $\text{CO}_2$  较多,以及 7#、8# 坝段大坝廊道排水孔水位多高于同坝段铺盖廊道排水孔水位,均说明不存在库水渗透过防渗墙补给大坝坝基地下水的可能性.

## 5 结 语

a. 停运期库水仍出现的酸性水,对混凝土、岩层中碳酸钙具强的酸性侵蚀.由于二道坝的修建,渗透过二道坝的库水,由酸性水变为中性、弱酸性水,加之防排水系统的完善化处理,停运期库水已不存在对坝基岩

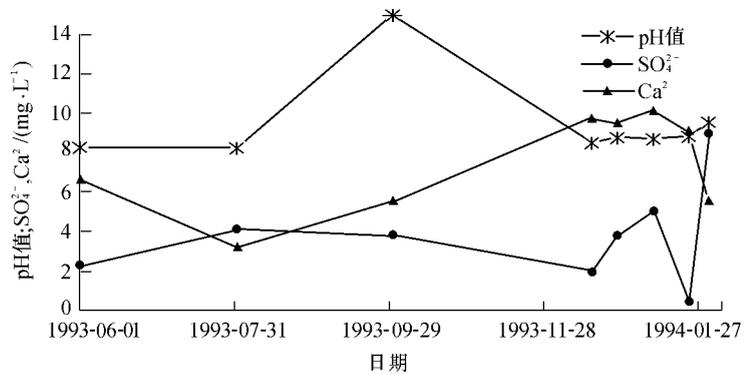


图 3 B5-2 孔水化学成分曲线

Fig.3 Curves of hydro-chemical components for hole B5-2

层的侵蚀。

b. 铺盖廊道右侧以 0+31.5 孔为代表的弱酸性水,其补给主要来自右岸淤泥层。由于此段基岩地下水径流条件较好,且具酸性及碳酸性侵蚀,排水量较大,反映出防渗墙存在缺陷,防渗性能衰减,应进一步搞好防渗措施。廊道中段以 0+72.3 孔为代表,水质特征反映防渗墙防渗性能完好。廊道左侧水质特征反映径流较通畅,但由于排水效果好,防渗墙后水位较低,不构成对大坝坝基的影响。

c. 大坝廊道两侧坝段排水孔水主要来自土坝坝体水的补给。排水孔水含侵蚀  $\text{CO}_2$ ,有的含量已接近对混凝土有腐蚀的国家标准(15 mg/L)。大坝廊道内排水孔水质特征是经过水岩间相互作用后的产物,现仍含有较多的侵蚀  $\text{CO}_2$ ,值得引起重视,7# 坝段坝基曾是出现问题的坝段,故应积极采取防渗措施,减少土坝坝体水的渗入。

参考文献:

- [1] 邢观献.对我国红层地层大坝工程安全措施的探讨[J].大坝与安全,1996(2):1~7.
- [2] 孙天锡.纪村坝基红层的化学侵蚀[J].水文地质工程地质,1983(6):17~19.
- [3] 彭汉兴.大坝坝基水质评价中几个问题的认识[J].大坝与安全,1996(1):9~13.

## Evaluation of hydro-chemical environment for Jicun Dam foundation

ZHAI Li-qun<sup>1</sup>, KE Qin-qing<sup>2</sup>

(1. College of Civil Engineering, Hohai Univ., Nanjing 210098, China;

2. Meizhou Bay North Bank Water Supply Bureau of Putian City, Fujian Province, Putian 351146, China)

**Abstract:** The analysis of the long term observed data of water quality of the Jicun Dam foundation and the evaluation of the variation of the hydro-chemical environment in the dam area show that many times of engineering treatment of the dam foundation implemented are effective, that the acid reservoir water does not corrode the red layer of the dam foundation, and that the corrosion to the red layer caused by the water from silted layer in front of the dam and the water from two sides of the dam body should be prevented.

**Key words:** dam; violet-red siltstone; water quality; dam foundation