

梅山连拱坝两岸坝基水质特性及评价

高正夏¹, 成小锋¹, 徐军海¹, 张百川², 郑开发²

(1. 河海大学土木工程学院, 江苏 南京 210098; 2. 安徽省梅山水电站, 安徽 金寨 233000)

摘要:对梅山连拱坝两岸坝基的水质监测和现场水 pH 值测试资料进行分析, 对比库水和坝基地下水的水质特征, 认为该坝在发生渗漏后采用帷幕、固结灌浆以及坝基预应力钢束锚固等加固措施效果明显。拱廊道内大流量排水孔中的水主要来自库水, 拱廊道内部分排水孔水中 K^+ , Na^+ 含量较丰富, 是坝基水和岩石作用的产物, 应引起重视。

关键词:连拱坝; 水质; 渗流; 梅山水电站

中图分类号: TV642.5+2

文献标识码: A

文章编号: 1006-7647(2003)05-0031-03

1 工程及地质概况

梅山水电站大坝主体为连拱坝, 坝顶高程 141.27 m, 最大坝高 86.24 m, 由 15 个墩和 16 个拱组成, 4~12 号墩在河床中, 两端各接重力坝, 右端重力坝与溢洪道之间用空心重力坝连接。大坝全长 443.5 m。水库正常蓄水位 128.0 m, 汛限制水位 125.27 m。

坝址岩性大部分为细粒碱性长石花岗岩, 呈肉红色, 主要矿物成分为正长石、斜长石、石英。坝址两岸有几组断层通过: 右岸 15 号拱台下的 F_1 , 14 号墩基础及拱台下的 F_2 和 F_3 , 均为近东西向断层, 并向河床延伸, 成为渐进尖灭裂隙, 影响 11 号、12 号、13 号墩基础; 左岸 1 号、2 号墩和拱台基础下的 F_{15} , 3 号、4 号墩基础下的 F_{24} 和 F_{38} , 均为近北东向断层。

工程运行多年后, 于 1962 年在右坝肩发生大量渗漏, 扬压力升高, 岩体发生轻微滑移。渗水点多集

中于 14~16 号拱内, 一般是沿北北东向陡倾角节理渗出, 渗水量达 70 L/s。在 14 号墩左侧 1 个钻孔观测得知, 当时坝基扬压力增高甚大, 该孔往外射水, 水平射程达 11 m^[1]。随后采用帷幕、固结灌浆以及坝基预应力钢束锚固等加固处理措施。

在左岸也发现 4 号墩基础排水孔水位随库水位升降, 其主要通道是坝基向库内延伸的 F_{58} 断层及破碎带。后采用水泥和丙凝帷幕灌浆。20 世纪 90 年代以来, 大坝经多次高水位的检验, 运行正常。其中 1991 年 7 月库水位达 135.75 m (已接近百年一遇水位 135.95 m), 超过正常蓄水位 7.75 m。

2 库水及坝基水质特征

2.1 库水水质特征

库水及坝基代表性水质特征见表 1。

a. 自库面至库底, 水的 pH 值由大到小。库面水多为碱性、弱碱性水 (pH 值 7.5~9.0), 中部为弱碱

表 1 库水及坝基代表性水质特征

取样地点	pH 值	含量/(mg·l ⁻¹)					水化学类型
		侵蚀 CO ₂	K ⁺ + Na ⁺	Ca ²⁺	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	
库水表面	7.59	4.65	17.00	7.51	48.38	/	HCO ₃ ·SO ₄ - Ca·K + Na
库水面下 15 m	7.56	10.47	22.38	8.80	67.73	/	HCO ₃ - K + Na·Ca·Mg
库水面下 30 m	7.51	4.65	16.25	6.80	58.05	/	HCO ₃ - K + Na·Ca·Mg
13 号拱廊道-1 孔	7.17	5.81	19.13	25.89	167.70	/	HCO ₃ - Mg·Ca
13 号拱廊道-13 孔	10.02	/	49.63	9.23	9.68	50.75	CO ₃ - K + Na
13 号拱廊道-34 孔	7.84	5.82	127.25	31.86	383.76	9.52	HCO ₃ ·CO ₃ - K + Na·Ca
14 号拱-17 孔	10.07	/	107.13	4.77	161.25	31.72	HCO ₃ ·CO ₃ - K + Na
2 号拱-3 孔	10.40	/	55.50	6.45	80.60	15.99	HCO ₃ ·CO ₃ - K + Na
3 号拱-5 孔	11.12	/	30.16	11.25	29.03	31.85	CO ₃ - K + Na·Ca
4 号墩-4 孔	10.66	/	49.0	8.60	29.03	34.89	CO ₃ - K + Na
4 号拱-15 孔	7.09	4.75	57.38	26.76	238.64	/	HCO ₃ - K + Na·Ca

作者简介: 高正夏(1964—), 男, 江苏泰兴人, 副教授, 博士研究生, 主要从事地下水资源及地质工程研究。

性、中性水,下部为弱酸性水,库底水 pH 值最小值为 6.34,水中侵蚀性 CO₂ 达 15.4~17mg/l,故下层库水为具有酸性和碳酸型侵蚀的水。

b. 库水为低矿化度水,水中离子含量一般在 100mg/l 以下, K⁺ + Na⁺ 含量多在 10~30 mg/l 之间, Ca²⁺ 含量一般不超过 10 mg/l, HCO₃⁻ 含量一般在 40~50 mg/l 之间,个别达 90 mg/l。

c. 水库表层为重碳酸、硫酸-钾钠型水,库底水则为重碳酸钾钠型。

2.2 坝基地下水水质特征

在两岸坝基渗流观测孔于 1991~1992 年及 1998~1999 年间采取 28 个水样,进行水质分析。

a. 以碱性、强碱性水为主, pH 值在 8.5 以上,极大值为 12.65(3 号拱-5 孔)。少数为中性、弱碱性水,水中侵蚀 CO₂ 含量一般在 10 mg/l 以下,个别达 62.79 mg/l(13 号拱-12 孔)。

13 号拱廊道排水量最多,共设 38 个流量观测孔,占全坝基 2/3。经现场水 pH 值实测,廊道内 2 排排水孔水质特征不同(表 2)。山坡侧除 4 个排水量较大的孔(1, 3, 32, 33 孔)水 pH 值为中性、弱碱性外,其余为碱性、强碱性水。河床侧除 4 个孔(17, 18, 20, 21 孔)水为碱性、强碱性外,其余无论排水量大小,水质均为中性、弱碱性。22 孔排水量仅 7 ml/min,水 pH 值为 7.21,为中性水。不排水的 24 孔,水 pH 值为 7.88,为弱碱性水。

表 2 13 号拱廊道排水孔水 pH 值和流量

山坡侧			河床侧		
孔号	pH 值	流量 /(ml·min ⁻¹)	孔号	pH 值	流量 /(ml·min ⁻¹)
1	6.95	1265	16	7.94	13
2	11.64	3	17	11.85	/
3	8.22	74	18	9.02	2
4	10.67	7	19	7.62	8
5	10.18	6	20	9.64	/
6	9.01	/	21	10.6	6
7	8.25	4	22	7.21	7
8	9.94	/	23	7.05	11
9	11.25	72	24	7.88	/
10	9.56	12	25	7.27	307
11	10.37	31	26	7.46	80
12	10.15	19	27	7.81	229
13	11.05	59	28	7.97	60
14	8.55	15	29	7.72	129
15	9.05	8	30	7.94	139
31	11.05	/	34	7.98	619
32	7.86	129	35	7.98	78
33	7.82	53	36	8.17	16
37	/	/	38	8.17	/

注:流量观测日期为 1998-08-28; pH 值采用 1991~1992 年及 1998~1999 年的 2 次均值。

b. 水中 Ca²⁺ 含量 25~31 mg/l,是中下层库水

的 2~4 倍;水中 K⁺ + Na⁺ 含量一般在 30~60 mg/l 之间,少数孔水中含量达 100 mg/l 以上,13 号拱廊道 34 孔最大量达 141.75 mg/l,是库底水含量的 8.7 倍。

c. 坝基析出物出现在有排水的排水孔口或渗水点处。一般排水孔水质清澈。水流出孔口后形成析出物,是坝基地下水中胶体成分带出排水孔口后,与氧接触产生的沉淀物。集中出露在 13 号拱廊道和 4 号拱的部分排水孔口,其中以 4 号拱-15 孔口较多,析出物的颜色以红色为多(如 4 号拱-15 孔),其次有黑色和白色析出物。

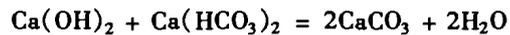
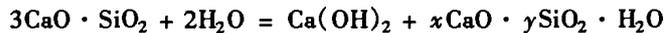
从 4 个样品的化学成分看,2 个样以 Fe₂O₃ 和 MnO₂ 为主,含量达 53% 以上;1 个样以 CaO 为主,含量达 50.64%;1 个样以 MnO₂ 为主,含量达 55%。其次为 SiO₂ 与 Al₂O₃,含量达 38.56%。

3 坝基水质评价

3.1 水 pH 值和水化学类型的评价

坝基下水 pH 值的大小与渗流状态密切相关。

大坝灌浆廊道内的排水孔位于帷幕之后,排水孔水 pH 值大小与坝基水-水泥石间相互作用的强度有关,水与水泥石作用的反应式为



碳酸钙水解反应式为



随着碳酸钙水解作用的进行,水中 OH⁻ 含量不断增加,水的碱性亦愈来愈大,在碱性环境中 HCO₃⁻ 进一步离解,使水中 CO₃²⁻ 富集,但碳酸钙是难溶矿物,其水解速度是极其缓慢的,只有在地下径流缓慢的条件下才能形成 pH 值较大的碱性或强碱性水,故坝基帷幕后出现此类水时表明坝基径流缓慢。径流愈慢碱性愈大。

同样坝基水出现以 CO₃²⁻ 或 OH⁻ 为主的水化学类型,是伴随碱性、强碱性水的形成而出现的,同样可作为坝基径流滞缓的标志。

从水 pH 值实测资料和水质分析成果看,两岸坝基地下水主要为 pH 值在 9 以上的碱性、强碱性水,反映出坝基径流滞缓,孔水位动态较稳定也为此提供了佐证,这是多年来工程处理的效果。但右岸 13 号拱廊道内以 34 孔为代表的河床侧和山坡侧 1 孔水为中性、弱碱性水,水 pH 和水化学类型均与库水相近,是坝基径流通畅的标志。左岸 4 号拱 15 孔也属此类型。

3.2 右岸坝基 13 号拱廊道水的补给来源

13 号拱廊道内 1 孔和 34 孔排水量最大。1 孔位

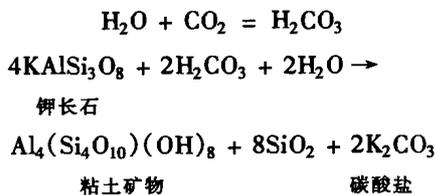
于廊道上游侧,邻近拱端,水质特征说明水的补给来自库水,其流量动态与库水位密切相关.34孔位于廊道下游侧,此孔水中含 H_2S ,邻近的河床侧排水量明显大于山坡侧,且河床侧下游排水孔水质特征与库水相近,说明34孔径流通畅,水来自库水补给,1991年汛期孔水位随库水位同步变化显著.地下径流仍主要受北北东向陡倾角节理制约,径流通畅带延伸方向与此基本一致.

3.3 坝基水中 K^+ , Na^+ 含量剧增机理

库水及山坡岩体水(16号拱-7孔)中 $K^+ + Na^+$ 含量不多,仅 $17.0 \sim 24.0 \text{ mg/l}$,但13号拱廊道内不少孔水中含量达 100.0 mg/l 以上,34孔达最大值 141.75 mg/l ,是同期库水的9~16倍.说明 $K^+ + Na^+$ 的迁移量较大.

水中 $K^+ + Na^+$ 含量剧增,与水-岩间的相互作用密切相关.坝基岩石(细粒花岗岩)中,矿物成分以正长石(含钾)、斜长石、石英为主,正长石或斜长石(含钠、钙)在具侵蚀性 CO_2 水的作用下可使矿物水解.

库底水中:



(上接第30页)长喉道量水槽的优点外,还具有观测方便、测量精度高、自动控制等突出优点.

现场测试结果表明,开发研制的固定式220VAC荧光数显、固定式24VDC太阳能荧光数显、固定式4.5VDC液晶数显和即插式液晶数显等多种自记式长喉道量水计,在不同流量条件下均具有较高的测流精度,绝大多数情况的累计水量相对误差在 $\pm 5\%$ 以内,其中最大累计水量相对误差为6.92%,完全可以满足灌区农用水量精度的要求.

参考文献:

- [1] 李家星,赵振兴.水力学[M].南京:河海大学出版社,2001.
- [2] Bos M G. Long-throated flumes and broad-crested weirs [M]. Martinus Nijhoff/Dr W. Junk Publishers,1985.
- [3] 范家炎,史伏初,郑浩杰.灌区量水设备[M].北京:水利电力出版社,1987.
- [4] Samani Z, Magallanez H. Simple flume for flow measurement in open channel[J]. J Irrig and Drain Engrg. ASCE, 2000, 126(2):127~129.
- [5] 吉庆丰,沈波.灌区量水设施研究开发进展[J].灌溉排水,2001,20(4):65~68.

(收稿日期:2002-10-21 编辑:傅伟群)

K_2CO_3 易溶解于水,使水中 K^+ 含量增加.同样,斜长石水解可使水中 Na^+ 增加.

4 结 语

a. 自1995年以来采取帷幕灌浆等工程处理后,观测孔水位明显降低且渗漏量减少,水力坡度亦较平缓,说明帷幕补强效果明显.

b. 右岸坝基13号拱廊道内大流量排水以及左岸坝基4号拱内常年排水(如15孔)主要来自库水,岸坡水补给量不大.

c. 坝基水中 $K^+ + Na^+$ 来源是坝基花岗岩中长石类矿物局部被分解的产物,邻近排水孔口的析出物中 SiO_2 和 Al_2O_3 含量较多,说明坝基岩石中硅、铝发生迁移,坝基部分软弱岩石受到腐蚀,应引起重视.

参考文献:

- [1] 柴军瑞,刘浩吾.高拱坝研究新进展[J].水利水电科技进展,2001,21(6):1~4.
- [2] 陈金水.福建砌石拱坝施工技术与经济分析[J].水利水电科技进展,2002,22(2):14~17.
- [3] 顾冲时,李雪红,吴中如.梅山连拱坝的变形性态研究[J].河海大学学报(自然科学版),2001,29(2):59~63.

(收稿日期:2002-10-31 编辑:傅伟群)

(上接第27页)

- [2] 冯绳武.民勤绿洲的水系演变[J].地理学报,1963,29(3):29.
- [3] 王涛.巴丹吉林沙漠形成演变的若干问题[J].中国沙漠,1990,10(1):35~41.
- [4] 韩德林.新疆人工绿洲[M].北京:中国海军科学出版社,2000.
- [5] 中国工程院西北水资源项目组.西北地区水资源配置、生态环境建设和可持续发展战略研究.中国工程科学[J].2003,5(4):12.
- [6] 刘东升.黄土与环境[M].北京:科学出版社,1985.
- [7] 钟德才.中国沙海动态演化[M].兰州:甘肃文化出版社,1988.
- [8] 朱震达,陈广庭.中国土地沙漠质荒漠化[M].北京:科学出版社,1994.
- [9] 李中锋,刘昌明,杨志峰,等.对中国水问题的哲学思考[J].科技导报,2002,23(9):39.

(收稿日期:2003-05-30 编辑:傅伟群)

