

宝泉水库大坝渗水浅析

刘孔凡 刘晓黎

(黄委会勘测规划设计研究院科研所, 郑州, 450003)

摘 要 根据 1996 年对宝泉水库库水和坝体廊道内渗流水及白色结晶物的化学分析结果, 浅析大坝坝体和坝基渗水的化学成分及含量, 结果表明: 宝泉库区水对混凝土无侵蚀性, 库水经坝体后有碱性物质被水溶出, 其主要成分有 KOH、NaOH、Ca(OH)₂。

关键词 水库; 大坝; 渗水

中图分类号 TV698.12

0 前言

宝泉水库是一座以灌溉为主, 结合发电, 兼顾防洪的中型水库。宝泉水库大坝位于河南省辉县市西部峪河峡谷出口处上游 1.5km 处, 坝址控制流域面积 538.4km², 多年平均径流量 1.01 亿 m³。大坝为浆砌石坝, 系由普通硅酸盐水泥砂浆砌片麻岩、石英砂岩块石组成。目前坝高 91.1m, 挡水坝段坝顶高程 252.1m, 溢流坝段堰顶高程 244.0m, 总库容 4458 万 m³, 工程等别为三等, 工程规模为中型, 大坝按 3 级建筑物设计。坝基出露地层为太古界登封群片麻岩及其脉岩类, 一般表层 0~3m 为强风化, 3~10m 为弱风化, 10m 以下为微风化及新鲜岩体。坝基岩石以花岗片麻岩为主, 有少量的角闪片麻岩。

宝泉水库自 1973 年 7 月开工, 1974 年 4 月开始基础混凝土回填和坝体砌筑, 分三期施工, 于 1994 年 6 月竣工验收, 历时 21 年。目前存在的问题之一是: 大坝坝体及坝基总渗漏量约 8L/s, 坝体廊道内及下游坝面凡有渗水的地方均可以看到白色结晶物; 由于渗漏水对坝体的溶蚀、冲蚀, 致使坝体排水孔多有堵塞, 排水不畅。

本文根据 1996 年对宝泉水库库水和坝体廊道内渗流水及白色结晶物的化学分析成果, 浅析大坝坝体和坝基渗水的化学成分及含量, 为解决宝泉水库大坝渗漏问题提供论证。

1 水质分析成果

1.1 水质分析测试结果及其分类

水质分析测试结果和水的物理化学特征分类^[1]见表 1。

表 1 各种水样类型水质分析结果简表

测试项目		库水均值	地下水 均值	坝体基础 涌水均值	坝体渗水			坝基、坝体 混合渗水
					最大值	最小值	均值	
K ⁺		0.7	3.3	1.5	89.1	12.3	36.3	1.4—25.8
Na ⁺		2.2	20.6	4.3	65.3	6.6	22.7	3.3—13.3
Ca ²⁺		52.0	182.2	60.3	157.5	18.6	88.8	22.3—46.2
Mg ²⁺		16.3	29.9	17.9	5.41	0	1.5	1.5—16.7
Cl ⁻		3.7	6.2	3.8	24.8	3.0	7.3	0.5—4.5
SO ₄ ²⁻		25.9	453.1	21.3	65.0	17.5	32.1	33.0—42.7
HCO ₃ ⁻	(mg/L)	197.8	183.0	255.8	0	0	0	0—175.4
CO ₃ ²⁻		0	0	0	51.0	18.0	32.0	6.0—10.5
OH ⁻		0	0	0	156.4	8.1	76.1	0—18.3
游离 CO ₂		3.7	9.5	7.4	0	0	0	0
侵蚀性 CO ₂		0	0	0	0	0	0	0
可溶性 SiO ₂		5.0	—	—	18.3	5.7	9.7	—
溶解性总固体		215	787	238	582	130	337	144—202
总硬度	以 CaCO ₃	196.8	578.3	223.6	401.4	49.6	227.9	61.7—184.0
总碱度	计(mg/L)	162.3	150.2	209.8	518.0	53.8	277.3	71.3—153.9
pH		8.1	7.9	7.7	12.5	11.2	11.9	8.3—11.4
水的分类		弱碱性水	中性水	中性水				
		微硬水	极硬水	微硬水				
		淡水	淡水	淡水				
采样组数		3	2	3			13	2

1.2 水质分析结果浅析^[2]

(1)pH 值、OH⁻

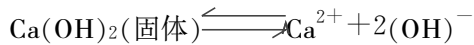
一般来说,天然水的 pH 值在 6.5~8.5 之间,极少含有 OH⁻ 离子。宝泉 23 组水样中,库水、地下水、坝体基础涌水的 pH 值均属正常,不含 OH⁻ 离子。而坝体渗水的 pH 值在 11.2~12.5 之间为强碱性水,并有 OH⁻ 离子存在,其含量为 8.1~156.4mg/L。说明库水经坝体渗出后水质碱性增强,有氢氧化物溶解于水中。

(2)K⁺、Na⁺

天然水中 K⁺、Na⁺ 来源于岩盐的溶解或火成岩的风化。K⁺ 应该比 Na⁺ 少。因为 Na⁺ 为动物所排泄,但不为植物所吸收。K⁺ 则为植物所吸收,还参与土壤造岩作用。所以,在淡水中 K⁺ 一般不大于 20mg/L,如果 K⁺ 含量大于 20mg/L 或大于 Na⁺ 含量,则说明水体有被污染的可能。库水的 K⁺ 含量为 0.7mg/L,Na⁺ 含量为 2.2mg/L;地下水的 K⁺ 含量为 3.3mg/L,Na⁺ 含量为 20.6mg/L;坝体基础涌水的 K⁺ 含量为 1.5mg/L,Na⁺ 含量为 4.3mg/L(库水、地下水、坝体基础涌水的数据为均值,以下相同)。上述三种类型水的 K⁺、Na⁺ 含量均属正常。坝体渗水水样的 K⁺ 含量为 12.3~89.1mg/L,均值为 36.3mg/L;Na⁺ 含量为 6.6~65.3mg/L,均值为 22.7mg/L;K⁺ 含量均值大于 20mg/L 且大于 Na⁺ 含量均值。说明库水经坝体渗出后,水体被污染,有氢氧化钾和氢氧化钠溶解于水中。

(3)Ca²⁺、Mg²⁺

天然水中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 主要来自岩石风化,在淡水中一般 Ca^{2+} 含量大于 Mg^{2+} 的含量,库水的 Ca^{2+} 含量为 52.0mg/L , Mg^{2+} 含量为 16.3mg/L ;地下水的 Ca^{2+} 含量为 182.2mg/L , Mg^{2+} 含量为 29.9mg/L ;坝体基础涌水的 Ca^{2+} 含量为 60.3mg/L , Mg^{2+} 含量为 17.9mg/L ;坝体渗水的 Ca^{2+} 含量为 $18.6\sim 157.5\text{mg/L}$,均值为 88.8mg/L , Mg^{2+} 含量为 $0\sim 5.41\text{mg/L}$,均值为 1.5mg/L ,说明库水经坝体后, Ca^{2+} 含量整体增加, Mg^{2+} 含量减少。从水泥石本身的成分去初步分析:硅酸盐水泥熟料的四种矿物成分,经水化作用后,生成氢氧化钙、水化硅酸钙、水化铝酸钙、水化铁酸钙等水化产物。硬化后的水泥石是晶体、胶体、未完全水化的颗粒、游离水分及气孔等组成的不均质的结构体。当水泥石处于水中时,氢氧化钙会被水溶解,直至溶液的浓度达到饱和时,溶液中存在着下列沉淀—溶解平衡:



若环境水是流水,溶解的氢氧化钙被水冲走,则难以达到饱和浓度,氢氧化钙将不断被溶解。而溶解的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 在不断被流动的渗水带走的过程中吸收空气中 CO_2 反应生成白色 CaCO_3 沉积在流路上。宝泉大坝廊道内随机取出的三组结晶物,放至 1:1 盐酸溶液中,瞬间即有大量白色 CO_2 气体冒出,结晶物随之消失,即为例证。这就是坝体渗水 Ca^{2+} 含量均值大于库水,个别渗水水样 Ca^{2+} 含量小于库水的原因。坝体渗水 Mg^{2+} 含量减少的原因可能是 Mg^{2+} 在 $\text{pH} > 10$ 时极易形成氢氧化镁沉淀,而沉积在流路上了。

(4) Cl^{-}

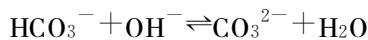
天然水中 Cl^{-} 主要来自岩盐,也可能来自动物排泄物。库水的 Cl^{-} 含量为 3.7mg/L ;地下水的 Cl^{-} 含量为 6.2mg/L ;坝体基础涌水的 Cl^{-} 含量为 3.8mg/L ;坝体渗水的 Cl^{-} 含量为 $3.0\sim 24.8\text{mg/L}$,均值为 7.3mg/L 。说明库水经坝体后氯化物含量稍有增加。

(5) SO_4^{2-}

在天然水中, SO_4^{2-} 主要来自矿物(石膏、芒硝等)的溶解。库水的 SO_4^{2-} 含量为 25.9mg/L ;地下水的 SO_4^{2-} 含量为 453.1mg/L ;坝体基础涌水的 SO_4^{2-} 含量为 21.3mg/L ;坝体渗水的 SO_4^{2-} 含量为 $17.5\sim 65.0\text{mg/L}$,均值为 32.1mg/L 。说明库水经坝体后硫酸盐含量整体增加。

(6) CO_3^{2-} 、 HCO_3^{-}

CO_3^{2-} 、 HCO_3^{-} 在水中,主要以 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 构成碳酸盐水,由于溶解度不大,故在水中绝对含量不高,只有在 Na^{+} 存在时,才可能使矿化作用加强,而生成碳酸钠水。库水、地下水、坝体基础涌水的 CO_3^{2-} 含量均为零, HCO_3^{-} 含量分别为 197.8mg/L 、 183.0mg/L 、 255.8mg/L 。坝体渗水的 CO_3^{2-} 含量为 $18.0\sim 51.0\text{mg/L}$,均值为 32.0mg/L , HCO_3^{-} 含量为零。这是因为在水溶液中存在着下列平衡:



当溶液中 OH^{-} 离子浓度增大时,平衡向生成 CO_3^{2-} 方向移动, HCO_3^{-} 转化为 CO_3^{2-} ,所以,库水经坝体后水中 HCO_3^{-} 减少而 CO_3^{2-} 增加。

(7) 游离 CO_2

库水的游离 CO_2 含量为 3.7mg/L ;地下水的游离 CO_2 含量为 9.5mg/L ;坝体基础涌水的游离 CO_2 含量为 7.4mg/L ;坝体渗水的游离 CO_2 均为零。这是因为当水的 pH 值大于 8.3 时,水中不存在游离 CO_2 ,而库水经坝体后水的 pH 值增大,所以,坝体渗水的游离 CO_2 均

为零。

(8)侵蚀性 CO₂

宝泉工区 23 组水样的侵蚀性 CO₂ 均为零。

(9)可溶性 SiO₂

天然水中一般都含有可溶性 SiO₂,可溶性硅酸在水中的含量一般为 1~20mg/L。当水的 pH 值大于 7 时,主要以 SiO₃²⁻ 存在,库水的可溶性 SiO₂ 含量为 5.0mg/L;坝体渗水水样的可溶性 SiO₂ 含量为 5.7~18.3mg/L,均值为 9.7mg/L。说明库水经坝体后可溶性 SiO₂ 含量稍有增加。

(10)溶解性总固体

溶解性总固体是指水中溶解的盐类和可能存在的有机物、可通过滤器的微小不溶物、胶体等。库水的溶解性总固体为 215mg/L;地下水的溶解性总固体为 787mg/L;坝体基础涌水的溶解性总固体为 238mg/L。坝体渗水的溶解性总固体为 130~582mg/L,均值为 337mg/L。廊道内坝体排水孔接水时间比较长(滴水量小,将瓶放在滴水处,过一段时间再取,此时早已溢水)的渗水水样,其溶解性总固体含量远大于库水;而个别渗水水样由于其渗水量小、积水历时时间长或采样点远离上游面、渗水流程长等原因可能有部分物质沉淀在流路上,使得溶解性总固体含量小于库水。

若弃去溶解性总固体偏大值和最小值后,均值为 294mg/L,按坝体总渗流量约 8L/s 计算,一年内坝体渗水带走的溶解性总固体量即达 19.93t。当然,这种计算是十分粗略的。但足以说明大坝坝体的渗漏和溶蚀是不可忽视的。

综上所述,库水经坝体渗出后,化学成分和含量发生了改变,pH、OH⁻、K⁺、Na⁺、Ca²⁺、溶解性总固体等增大,HCO₃⁻ 转化为 CO₃²⁻,游离 CO₂ 减为零,其主要原因是库水经坝体后,混凝土中的部分碱物质被水溶出。坝体溶解渗滤出来的物质越多,混凝土结构中的缝隙越多,时间越长,对坝体耐久性的影响也就越大。

1.3 关于库水和坝体渗出水对混凝土腐蚀性的评价

根据《水利水电工程地质勘察规范》(1993 年送审稿)中的腐蚀性判定标准(见表 2)判定,宝泉库水对混凝土无腐蚀性。坝体渗出水对混凝土有溶出型中等腐蚀。

表 2 库水和坝体渗出水腐蚀性判定表

腐蚀性类型	分解类			分解结晶复合类	结晶类
	溶出型	一般酸性型	碳酸型	硫酸镁型	硫酸盐型
腐蚀性特征判定依据	HCO ₃ ⁻	pH 值	侵蚀性 CO ₂	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻
单 位	mmol/L		mg/L	mg/L	mg/L
库水水样均值	3.242	8.1	0	16.28	25.86
坝体渗出水水样均值	0	11.9	0	1.5	32.1
规定的无侵蚀性标准	>1.07	>6.5	<15	<1000	<250

2 结语

(1)按《水利水电工程地质勘察规范》判定宝泉库区水对混凝土无侵蚀性;坝体渗出水对混凝土有溶出型中等腐蚀。

(2)库水经坝体渗出后,化学成分和含量发生改变的主要原因是库水经坝体后,混凝土中的部分碱性物质被水溶出;其主要化学成分有 KOH 、 NaOH 、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 。

(3)坝体廊道内及下游坝面有渗水处的白色结晶物主要是 CaCO_3 。

(4)库水及基础廊道底部排水孔涌水,无论在 pH 值还是其它方面,非常接近,一方面说明排水孔与库水连通性较强(原坝基帷幕不连续),另一方面说明在低水位时补作帷幕灌浆很有必要。

参考文献

- 1 地质部水文地质工程,地质技术方法研究队·水文地质手册·北京:地质出版社,1985:586~589
- 2 铁道部第一勘测设计院·工程地质试验手册·北京:中国铁道出版社,1984

Preliminary Analysis for the Seepage Water of the Dam of Baoquan Reservoir

Liu Kongfan Liu Xiaoli

(*Reconnaissance, Planning, Design and Research Institute
of Yellow River Conservancy Commission, Zhengzhou, 450004*)

Abstract According to the chemical analysis for the water in Baoquan reservoir, the seepage water and the white crystalline matters in the corridor of the dam, this paper presents the preliminary analysis for the chemical composition and contents of the seepage water of the dam and dam foundation. The results that the water in the reservoir has no erosion to concrete. The basic hydroxides in the dam will strip when the reservoir water passes the dam. The main composition of the basic hydroxides includes KOH , NaOH , $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Keywords reservoir; dam; seepage water