

大坝坝基岩石性状变化的评价

杨光中 彭汉兴

(河海大学新技术开发公司 ,江苏 南京 210098)

摘要 :大坝建成蓄水 ,坝址自然环境发生剧变 ,有利于库水中有机质的富集 ,致使下层库水弱酸性化和含侵蚀 CO_2 .库水在向坝基运移过程中 ,与坝基岩石间产生物理化学作用 .钾、钠、硅、铝等元素是组成岩石的基本成分 ,它们在坝基水中的大量迁移是评价坝基软岩性状变化(软化、泥化)的重要依据 .少数坝基胶状析出物化学成分中 , SiO_2 和 Al_2O_3 含量高达 50% 以上 ,水中 SiO_3^{2-} 含量也丰富 ,说明坝基局部地段软岩性状发生了变化 .

关键词 软岩 ;大坝 ;水质 ;化学潜蚀

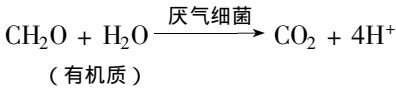
中图分类号 :TV697.2+5 ;P641.69 文献标识码 :A 文章编号 :1000-1980(2001)06-0079-04

大坝建成蓄水后 ,水工建筑物周边自然环境发生剧烈变化 .在库水压力作用下 ,坝基少量渗漏问题不大 ,但所造成的水与岩石之间 ,水与帷幕、混凝土之间的相互作用却长期存在 .它可能引起基础夹层和断层裂隙中充填物的软化、泥化或化学潜蚀(包括对帷幕、混凝土的侵蚀)、机械管涌等问题 ,从而影响坝基的稳定性和帷幕的防渗性能 ,国内外均有因化学潜蚀而引起大坝出现失稳以至溃坝的报导 ,故需引起重视 .

1 库水环境及水质特征

库水与原来的河水相比 ,水环境发生了明显的变化 ,就地球化学环境来说 ,表层水仍处于氧化环境 ,但下层库水已处于还原环境 .在水库蓄水初期 ,大片土地被淹没 ,大量有机物和可溶性无机盐进入库内 ,同时库面水温增高 ,蒸发加剧 ,透明度提高 ,浮游生物及其他生物的繁衍得到加强 ,尤其在气候湿润的环境下 ,库底常有大量有机物富集 .水中化学耗氧量(COD)可作为有机质含量的指标 ,新安江水库上层水中 COD 值不大 ,其底部 COD 值达 15 mg/L ,是库面水的 10 倍 ,说明库底水中有机质含量丰富 .从水质特征看(表 1)上层库水与河水水质相近 ,为中性或弱碱性水 ,不含或很少含侵蚀 CO_2 ;中下层库水 ,多为弱酸性的含侵蚀 CO_2 的低矿化度水 ,水的 pH 值在 6.1~6.6 间 ,侵蚀 CO_2 含量 10~30 mg/L ,矿化度小于 0.1 g/L^[1] ,此对帷幕、混凝土常具酸性或碳酸型侵蚀 .中下层库水中 , Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 含量不多 ,前者仅 10~20 mg/L ,底层库水中含有 H_2S 气体 .

中下层库水呈弱酸性主要是由水中碳酸含量所决定 ,碳酸的主要来源是有机质的分解 :



反应过程中还可释放出还原态物质 H_2S 和 CH_4 等 .水库底部有机质的富集有利这一反应的进行 ,但由于库底处于低温、缺氧的还原环境 ,有机质分解不完全 ,因而库底水中 CO_2 含量受到一定限制 .

2 坝基水质及环境特征

坝基水质成分是库水与岩石、帷幕、混凝土间相互作用的产物 .虽然峡谷区坝基范围有限 ,但坝基水质成分复杂 ,除一般的主要离子成分外(见表 1)还有分子、气体、胶体成分 ,以及有机质成分 .

气体成分中常见有 H_2S 、 CH_4 以及 CO_2 .坝基排水孔的水中有 H_2S 气冒出时 ,表现为臭蛋气味十分明显 ,新安江大坝坝基个别排水孔的水中 H_2S 最大含量达 4.0 mg/L .丹江口大坝 21# 坝段的 5、6 号扬压力孔内既有

臭蛋味的气体又有可燃性气体冒出.对气体作定量分析,其中饱和烃(甲烷 CH₄、乙烷 C₂H₆ 等)占 11.38% ~ 23.4% ,其余为硫化氢和氮气等.取水样作微生物培养分析,发现水中有硫酸盐还原型细菌存在,正是此类细菌的作用,引起脱硫酸作用,使 SO₄²⁻ 还原生成 H₂S 气体.

表 1 大坝库水及坝基水化学特征

Table 1 Chemical characteristics of water in some reservoirs and foundations

	取样地点	pH	侵蚀 CO ₂	K ⁺ + Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	总硬度 (德国度)
			(mg·L ⁻¹)							
丹江口	下层库水	7.75	-	1.25	39.3	1.94	8.10	113.00	-	5.94
	灌 9-4	8.04	2.29	95.00	44.90	20.40	2.30	460.00	-	3.70
	灌 26-7	8.50	-	164.00	6.41	3.40	55.60	372.00	-	1.68
	灌 28-9	8.03	-	94.50	18.80	11.90	13.50	333.00	-	1.92
梅 山	下层库水	6.34	15.40	8.14	8.80	3.60	11.00	43.30	-	2.05
	13(拱廊道)1	7.23	4.65	6.50	26.62	17.42	16.40	154.80	-	7.73
	13(拱廊道)12	7.43	62.79	68.75	31.53	4.25	12.40	257.90	-	5.38
	13(拱廊道)34	8.0	11.63	112.75	36.43	5.95	10.00	345.74	-	6.47
新安江	下层库水(水下 50 m)	7.30	6.00	1.15	16.00	2.00	4.30	54.20	-	2.38
	排 2-C ₃	5.15	50.50	-	2.00	1.80	3.78	6.10	-	0.28
	灌 7-4	7.08	-	3.94	23.34	7.65	4.25	114.07	-	5.10
	灌 24-1	11.59	-	80.59	154.13	2.00	7.49	10.07	67.38	22.02
石 塘	库水	7.23	5.63	3.24	2.38	0.42	4.23	5.44	-	1.50
	中 16-10	7.99	2.58	12.22	23.00	0.48	3.22	45.67	-	12.40
	灌 7-1	10.57	-	14.66	20.25	0.05	5.16	-	19.44	10.10

注 灌 9-4 为灌浆廊道 9 坝段 4 号排水孔,灌 24-1 孔为 5 年平均值.

坝基水的酸碱度(pH)变化大,可从 5.15 ~ 12.6.部分坝基排水孔水中胶体含量较丰富,丁达尔现象明显,常在排水孔口形成红色、黑色和白色或间以锈黄、黄褐等过渡色的胶状析出物.经 X 射线衍射分析,多数是不产生衍射峰的非晶质胶体,但有的析出物,仍可分析出石英、长石、高岭石等细粉粒矿物.从化学成分看,既有正胶体,如 Fe(OH)₃、Al(OH)₃、CaCO₃ 等,又有负胶体,如 SiO₂、MnO₂ 等^[2].其中多数是铁、锰、钙等元素组成的胶体,硅、铝成分一般甚少(表 2),但少数析出物中硅、铝、丰富.铁、锰主要来自库底水和岩石裂隙面上沉淀物,钙主要来自混凝土和帷幕水泥石,因而对岩石性状变化影响甚微.但硅、铝是组成岩石的主成分,因而,硅铝的多量迁移,则与岩石性状变化密切相关.

表 2 部分大坝坝基排水孔口胶状析出物化学成分

Table 2 Chemical components of colloidal sludge from drain boreholes in some dam foundations

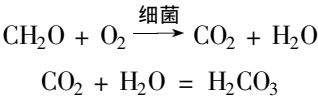
坝 址	排水孔号	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	烧失量	析出物特征	%	备 注
新安江	灌 4-6	4.00	75.90	1.17	0.36	0.06	-	19.20	棕红色		右岸坝基
	灌 3-2	29.89	30.74	5.78	9.92	-	0.20	-	棕红色		右岸坝基
	灌 16-2	37.63	7.14	12.61	22.43	0.55	0.45	21.52	灰黑色		河床坝基
	排 11-2	59.57	7.34	6.47	9.85	1.35	0.31	17.71	浅棕黄色		河床坝基
石塘	中 16-8	28.21	13.05	5.88	13.21	0.32	7.49	29.78	白色		河床坝基
	中 16-4	30.19	8.55	10.92	15.81	0.59	7.55	22.49	黑色		排水沟内
丹江口	灌 28-4	3.58	0.49	1.39	50.35	0.63	0.24	42.69	白色		河床坝基
	灌 28-10	11.47	48.63	15.37	1.11	0.25	0.104	21.74	红色		排水沟内
	灌 30-10	56.52	22.89	-	5.01	-	-	-	褐黄色		排水沟内
安砂	A' ₄	47.09	10.17	8.48	12.04	0.41	4.95	16.09	黑带红		基岩裂隙

坝基水环境特征 就化学潜蚀而言,主要指坝基水所处的地球化学环境,坝基水质反映了这种特征.岸坡坝基水力坡降大,径流通畅,坝基水多处于氧化环境.以新安江大坝为例,右岸坝基水力坡降高达 1.12,除 3[#]、4[#] 坝段外,多数排水孔为常年不排水或季节排水,水呈弱酸性或中性,溶解氧含量也高,最高可达 5.6 mg/L,说明岸坡坝基地下水多数处于氧化环境.河床坝基水则与岸坡坝基水所处环境恰好相反,排水孔水中含 H₂S,说明多处于还原或弱还原地球化学环境.从酸碱环境看,坝基水处于弱酸至强碱环境.

3 水与岩石间的相互作用

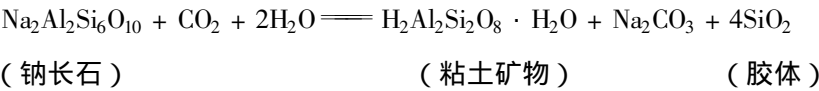
库水作为一种溶液,在向坝基渗透过程中,必然导致水与岩石间的相互作用,促使水中富集或失去某些成分,即产生元素的富集和迁移,同时也改变了岩石的性质和成分,一系列的化学和物理化学反应,即称之为水文地球化学作用。坝基水处于弱酸、氧化的地球化学环境将加剧这一作用的进行,强碱环境虽有利于岩石中 SiO_2 、 Al_2O_3 的分解,但径流滞缓又制约这一作用的进行。

坝基水处于氧化环境有利于水中有机质的氧化、分解,导致水中侵蚀 CO_2 含量丰富,即:



一些岸坡坝基水中 CO_2 含量可达 60 mg/L 以上(见表 1),并出现弱酸性水,即是这一反应的产物。

硅酸盐、铝硅酸盐矿物是多数岩石的主成分,其水解速度是缓慢的,但在碳酸的参与下,水解速度加快,硅酸盐矿物晶格表面之阳离子(K, Na, Ca, Mg)易被水中 H^+ 取代,使其分解成土。以钠长石为例^[2]即

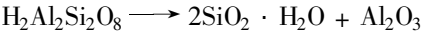


钾、钠是长石类铝硅酸盐矿物中的重要组成,长石类矿物又是结晶岩(岩浆岩、变质岩)中的主成分,它的迁移与岩石性状变化密切相关。丹江口水电站大坝坝基为变质闪长岩、变质辉绿岩,部分坝基排水孔水中 $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 含量丰富,可达 100 ~ 200 mg/L,而库水含量不到 5 mg/L。经室内分别测试钾、钠成分,坝基排水孔水中 Na^+ 占 95% 以上,而库水中则以 K^+ 为主。基岩化学成分分析也是以 Na_2O 为主,强风化的辉长辉绿岩 K_2O 含量仅 0.5%, Na_2O 达 5.0%,相差达十倍。新鲜岩石分别为 1.0% 和 6.25%;从分布上,排水孔水中 $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 含量多的主要位于左岸。经分析,坝基地下水中 $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 主要来源于未拆除的左岸上游围堰风化石,这方面的监测仍在进行中。

梅山水电站坝基为花岗岩,13# 拱内排水量大,其中 34# 孔平均值达 570 mL/min(1998 年),水中 $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 含量 112.75 mg/L,是库水 13.8 倍。坝基水中 $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 来自基岩,此说明局部地段坝基水对岩石的侵蚀强度是大的,应积极采取防治措施。

坝基一些强碱性排水孔水中 $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 的富集,则是由于钾钠组成的易溶盐,易在缓径流或滞水环境下富集,新安江大坝灌 24-1 孔水即是此例。

铝硅酸盐类矿物的分解过程中, SiO_2 多呈胶态淋失,部分呈离子态迁移, Al_2O_3 则呈胶态淋失,即:



少数坝基排水孔水或孔口析出物中,硅、铝成分的迁移提供了佐证。如新安江大坝坝基析出物化学成分分析样共 42 个,其中 SiO_2 、 Al_2O_3 之和为主成分的 5 个样(见表 1), SiO_2 含量最高可达 59.57%, Al_2O_3 最高含量可达 12.61%。两个样中, SiO_2 、 Al_2O_3 总量已超过 50%,分别达 50.24% 和 66.04%。析出物经 X 射线衍射分析,为不生产衍射峰的非晶质凝胶,硅、铝以胶态迁移也是化学潜蚀的产物。多年水质监测成果表明,右岸坝基多为弱酸性与中性水,其中灌 7-4 孔水中 SiO_3^{2-} 含量最高达 12.75 mg/L,较库水高 4.75 mg/L;其次为灌 3-2 孔,含量 9.50mg/L;其余多与库水相近,河床及左岸坝基水 SiO_3^{2-} 较丰富,是库水的 2.4 ~ 3.3 倍^[3]。

新安江大坝右岸坝基为石英砂岩夹薄层页岩,河床及左岸坝基(8# ~ 26# 坝段)为砂岩,砂岩岩性坚硬,少量硅、铝成分的迁移,对岩性强度影响甚微。右岸薄层页岩为一软弱夹层,在有页岩分布的部分排水孔内出现塌孔淤堵,孔内淤积物最厚可达 27.27m(灌 3-9),灌 2-3 孔连续扫孔 11 d,孔深曾扫至 29.56 m,但后又淤至原孔深 27.05 m。上述成果与资料表明,新安江大坝右岸坝基局部地段存在硅、铝元素被迁移,软弱夹层出现软化现象,其程度有待查明。

石塘坝址区基岩岩性为单一的侏罗系上统火山碎屑岩,河床部位为晶屑熔结凝灰岩,两岸为晶屑凝灰岩。岩体风化较剧,左坝肩表层具约 2 m 厚的全风化带,右坝肩表层为强风化带。坝基消力池导墙廊道内少数析出物中硅、铝含量较多, SiO_2 含量在 28% ~ 31%; Al_2O_3 含量 5% ~ 11%,水样经多次分析,其中可溶性 SiO_2 含量始终是库水的 1 倍以上,均值达 11.86 mg/L,说明坝基个别地段硅、铝迁移明显。析出物的 X 射线衍射成

果表明,析出物中存在石英、长石、高岭石等矿物,这是细粒物质的迁移,成果表明坝基岩层既存在化学潜蚀,又存在机械潜蚀,以前者为主,后者含量甚少,为此,对坝基局部地段岩石性状的变化,正进一步加强观察。

安砂大坝为混凝土宽缝重力坝,坝址岩层为一套浅变质的碎屑岩,主要为石英岩、石英砂砾岩,其中夹千枚岩化细砂岩,呈薄层状展布,风化相对强烈,是坝基岩体中的软弱夹层,化学成分中 SiO_2 含量 48% ~ 67%, Al_2O_3 含量 19% ~ 33%,铁、锰含量甚少,前者仅 0.08% ~ 4.27%,后者小于 0.02%。坝基个别析出物样中,经 1989 年、1996 年、1997 年 3 次分析,硅、铝含量丰富,在宽缝中基岩裂隙渗水处的析出物,其 SiO_2 含量达 47.08%, Al_2O_3 含量 8.48%,两者之和达 55.5%,成为析出物中的主要成分,此与坝基软弱夹层化学成分相近,说明坝基局部化学潜蚀作用突出,经 X 射线衍射分析析出物中含有石英和粘土矿物,此表明坝基同时存在机械管涌。

4 结 语

a. 坝基软岩在水的长期浸泡作用下,可导致岩石性状的变化,坝基排水孔水质成分的形成是坝址环境下水岩间相互作用的产物,排水孔水中钾、钠以及硅、铝的迁移量是评价坝基岩石性状变化的重要依据。

b. 坝基环境下水岩间进行的水文地球化学作用是受坝基水所处地球化学环境特征所制约,氧化环境有利于水中有机质完全分解,使水中 CO_2 和氢离子含量增加,加剧了水岩间的相互作用。

c. 坝基水岩作用导致的化学潜蚀作用常伴随机械潜蚀的进行,在坝基化学潜蚀作用过程中,由于胶粒的凝聚迁移,它可携带岩石中粘粉级颗粒(粘粒也是带电荷的胶粒)在排水孔口沉淀,此是坝基软岩性状进一步恶化的标志,应引起重视。

参考文献:

- [1] Peng Hanxing, Environment water action around dam site in Wan-zhe mountainous area of China[A]. 7th International AEG Congress[C], A. A. Balkema publishers, 1994. 2583 ~ 2589.
- [2] 李学礼. 水文地球化学[M]. 北京: 原子能出版社, 1988. 57 ~ 61.
- [3] 马晓辉. 新安江大坝坝基页岩状变化[J]. 河海大学学报(自然科学版), 1999, 27(4): 101 ~ 106.

Evaluation of Rock Characteristic Change of Dam Foundation

YANG Guang-zhong, PENG Han-xing

(New Technical Corporation, Hohai Univ., Nanjing 210098, China)

Abstract: After completion of a dam, the natural environmental change at the dam site helps the enrichment of organic materials in the reservoir, resulting in the generation of erosive CO_2 in the lower layer of the water. In the transferring process of the erosive water toward the dam foundation, physiochemical reaction occurs between the water and the rock of the dam foundation. The elements of potassium, sodium, silicon, and aluminum are the basic components of the rock, the transference quantity of which in dam foundation water is an important basis for the evaluation of changes (softening and argillazation) of the soft rock in the dam foundation. The contents of SiO_2 and Al_2O_3 are more than 50% in some colloidal sludge from the dam foundation and the content of SiO_3^{2-} in water is abundant, indicating the characteristic change of the soft rock in some sections of the dam foundation.

Key words: soft rock; dam; water quality; subsurface corrosion