

判断堤坝渗漏来源的环境同位素法

巴金福¹, 詹沪成², 张博³

(1. 青海黄河中型水电开发有限责任公司, 青海 西宁 810008; 2. 河海大学岩土工程科学研究所, 江苏 南京 210098;
3. 中国水电顾问集团西北勘测设计研究院, 陕西 西安 710065)

摘要:为了判断黄河上游某水电站右坝坝后渗水的主要来源,对库水、坝后渗水、附近地表水以及渗流观测孔内的地下水进行了水样采集和环境稳定同位素氘和氧-18分析。结果表明,黄河因其发源于海拔较高的内陆地区,其同位素较其他水体明显贫化。坝后渗水的同位素组成与上游库水有着明显差异,而与当地降水形成的地表水同位素类似,由此断定渗漏水并非来自库水渗漏,而是降水入渗补给,不会对坝体安全造成影响。观测孔中地下水具有比较悬殊的同位素特征,仅有少数观测孔受到库水的影响,说明该水电站坝体具有较好的抗渗性能。

关键词:环境同位素;堤坝;渗漏

中图分类号:TV223.4

文献标志码:B

文章编号:1006-7647(2014)S2-0001-03

环境稳定同位素氘(D)和氧-18(¹⁸O)是存在于水分子中的天然示踪剂,在堤坝渗漏的研究中得到了广泛应用并取得了很大的进展^[1-7]。根据D和¹⁸O的分馏机制以及T的衰变规律,通过比较渗漏水、大气降水、库水、地下水等水体的同位素特征,得出它们之间的水力联系,以此判断堤坝渗漏水来源,寻求渗漏途径,为解决堤坝工程安全问题提供参考依据。

1 环境同位素法

根据中子数的差异,氢有3种同位素,氕(¹H),氘(²H或D),氚(³H或T),氧的同位素有8种,其中最常见的是¹⁶O,¹⁷O,¹⁸O。天然水分子是这些原子的各种不同组合,如H₂¹⁶O,H₂¹⁸O,H₂¹⁷O,HD¹⁶O,HD¹⁸O等。由于这些水分子的原子组成不同,因而具有不同的物理化学性质。质量较大的水分子优先在液相水中富集,而质量相对较小的水分子则更容易留在气相水中。各同位素原子以不同比例分配于不同物质或物相中的现象,即同位素分馏现象。

D和¹⁸O是天然水中最主要的2种稳定同位素,也是目前同位素水文学中最常用的两种同位素。通常用D和H和¹⁸O和¹⁶O的比值来表征这2种稳定同位素在水中的相对含量,但是由于这种比值在时间和空间上的差异极小,因此国际上通常采用Craig^[8]定义的标准平均海水SMOW(standard mean

ocean water)作为标准来计算样品与标准水之间的偏差,即δ值,表示为

$$\delta = \frac{R_{\text{样品}} - R_{\text{标准}}}{R_{\text{标准}}} \times 100\% \quad (1)$$

式中: $R_{\text{样品}}$ 是样品的稳定同位素比值,即D/H或¹⁸O/¹⁶O; $R_{\text{标准}}$ 为标准水的稳定同位素比值。

不同的水体由于经历了不同的物理化学过程,水中稳定同位素的δ值也会有很大差异,如蒸发水汽中轻同位素更加富集从而δ值较小,地表水经过长时间蒸发之后重同位素会逐渐富集。Craig^[8]根据全球降水资料,统计得出δD和δ¹⁸O之间具有线性关系,该线性关系称为全球大气降水线(GMWL):

$$\delta D = 8\delta^{18}O + 10 \quad (2)$$

D和¹⁸O是水中的天然示踪剂,利用其分馏规律以及降水同位素中δD和δ¹⁸O的线性关系,就可以判断不同水体之间的相互关系,如确定地下水与地表水的联系,判断堤坝渗漏水来源等。

大型的堤坝工程往往建在较大的河流之上,河水发源地较远,由于降水同位素具有纬度效应、大陆效应、高程效应等^[9],库水的稳定同位素特征与当地的降水具有明显差异。通过对比渗漏点周围不同水体的同位素特征,就能准确地判断渗漏水的来源。若渗漏水并非来自于库水,则表明堤坝不存在严重渗漏问题,反之则需要及时采取相应的防渗措施。

2 工程概况

黄河上游某水力发电站,其坝体为混凝土面板堆石坝,坝顶长约355 m,坝顶宽10 m,坝高约100 m。上游坝坡坡比为1:1.4,设有混凝土防浪墙;下游坝坡坡比为1:1.71,设有之字形上坝公路。水电站主体工程包括混凝土面板堆石坝、左岸表孔溢洪道、左岸中孔泄洪洞、左岸引水发电系统和坝后厂房。

该水电站右坝坝后一处平台上发现明显渗漏,来源不明,渗漏水较清澈。根据现场勘查与调研,对于坝后渗漏的原因有2种看法:一种是因为当地降水,另一种是存在绕坝渗流或坝体渗漏。前一种渗漏对大坝安全没有太大威胁;但如果是第二种情况,大坝存在渗漏与导水通道,则对大坝的长期稳定安全有着严重的影响,必须对渗漏部位进行及时处理,以防止运行过程中发生事故。

3 样品采集及分析

为了进一步确定渗漏水的实际来源,对大坝周围相关水体样品进行了采集。在渗水点处采集了1个水样品,对右坝的6个渗流观测孔 OH2、OH4、OH6、OH10、OH12、OH14(图1)分别进行了地下水样采集,另外还采集了1个上游库水样品,以及水电站附近受当地降水补给的孟达沟水样。所有样品均用100 mL 聚乙烯瓶采集。采集样品前,先用样品将瓶冲洗2次,完成后及时将瓶口密封并确保瓶中无气泡,以减少因同位素分馏引起的分析结果误差。为了确保样品的可靠性,先后两次开展样品采集工作,两次采样共得样品18个。

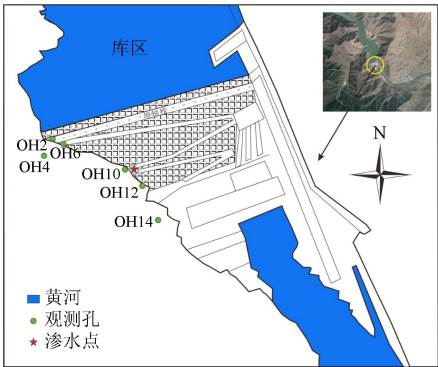


图1 某水电站俯视图及渗漏点、观测孔位置

所有样品同位素值 δD 、 $\delta^{18}O$ 的测定均在河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室完成,测定 δD 和 $\delta^{18}O$ 时使用的仪器型号为MAT-253,结果采用VSMOW标准, δD 和 $\delta^{18}O$ 的分析精度分别为 $\pm 0.2\%$ 和 $\pm 0.01\%$ 。为了减小误差,对每个样品均进行3次同位素值的测定,采用3次测定结果的平

均值代表该样品的同位素组成,结果见表1。

表1 样品同位素分析结果

取样地点	$\delta D/\%$		$\delta^{18}O/\%$	
	第一次采样	第二次采样	第一次采样	第二次采样
库水	-7.74	-7.77	-1.077	-1.087
孟达沟	-5.45	-5.58	-0.876	-0.913
渗漏水	-5.66	-5.56	-0.894	-0.879
OH2 观测孔	-7.35	-7.31	-1.031	-0.993
OH4 观测孔	-7.23	-7.39	-0.997	-1.009
OH6 观测孔	-6.03	-6.13	-0.913	-0.917
OH10 观测孔	-5.56	-5.58	-0.877	-0.887
OH12 观测孔	-5.57	-5.54	-0.895	-0.869
OH14 观测孔	-7.01	-7.03	-0.974	-0.973

4 坝后渗水来源分析

根据样品同位素测试结果,得到如图2所示的样品 $\delta D \sim \delta^{18}O$ 关系图,图2中的直线为全球大气降水线GMWL。由图2可以看出,所有样品的同位素组成都分布在大气降水线附近,表明它们的最终来源均为大气降水。上游库水为黄河水,黄河发源于青藏高原的巴颜喀拉山脉,属于内陆地区且海拔较高,由于降水同位素的大陆效应和高程效应,黄河水同位素值明显低于其他水体,重同位素贫化,因此分布在图2的左下方。而渗漏水的 $\delta D \sim \delta^{18}O$ 关系点位于右上方,同位素远比库水富集,说明渗漏水并非来自库水的渗漏,而是来自于其他水源。孟达沟是水电站附近一条小型的地表径流,主要来自于当地的大气降水,它的同位素组成基本能够代表当期的降水。从图2可以看到,孟达沟水同位素与渗漏水较为接近,表明渗漏水与当地降水之间有着密切联系,渗漏水来自于当地降水。

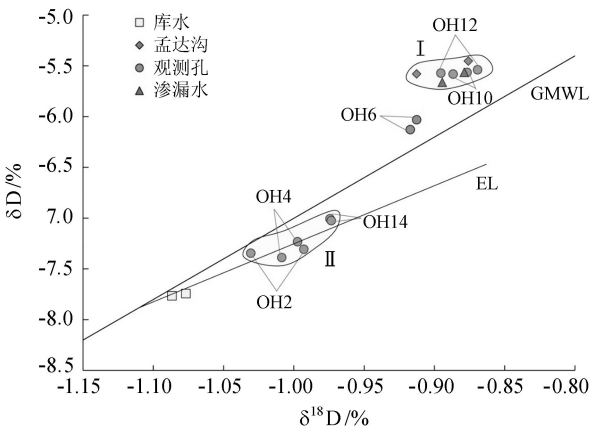


图2 所有样品 $\delta D \sim \delta^{18}O$ 关系

从图2还可以看出各观测孔水样的 $\delta D \sim \delta^{18}O$ 关系点分布范围较大,各孔具有比较悬殊的同位素特征。观测孔OH10和OH12的同位素与渗漏水、孟达沟水同位素一起分布在较小的范围内(区域I),说明这两个观测孔中的水主要来自于当地降

水形成的地表水的入渗,几乎不受库水影响。而 OH2、OH4、OH14 同位素组成(区域Ⅱ)与其他孔相比更加接近库水同位素,略比库水富集,表明它们主要来自于库水的渗漏,同时可能受到一定程度的蒸发而沿着蒸发线 EL 分布。OH6 观测孔的同位素值处于区域Ⅰ与区域Ⅱ之间,表明该观测孔内的水可能来自二者的混合,既有来自上游水库的水,也有当地降水入渗的成分。

根据上述分析可以得出结论,右坝坝后的渗漏水并非来自库水,主要是当地降水出渗,因此不会对坝体安全构成威胁。观测孔内地下水同位素差异较大,表明坝体抗渗性能较好,仅有部分观测孔中有来自于库水的补给。

5 结 语

环境同位素法能够快速有效地应用于堤坝渗漏来源的调查中,具有较好的应用前景。渗漏水与孟达沟水的同位素值较为接近,并与库水同位素差异较大,表明渗漏水主要来自当地降水,并非来自库水渗漏。各个观测孔中地下水的同位素特征表明,孔中地下水主要受到降水的入渗补给,仅有少数观测孔受到库水的影响,说明该水电站坝体具有较好的抗渗性能。

利用同位素方法虽然可以确认坝后渗水并非来自库水,但是如果需要确定渗漏水具体的补给路径,

则要利用其他方法进一步作出判断。

参考文献:

[1] 陈建生,董海洲,李兴文,等. 新安江右坝裂隙岩体渗流同位素示踪研究[J]. 水科学进展,2001,12(3):336-342.

[2] 陈建生,董海洲. 采用环境同位素方法研究北江大堤石角段基岩渗漏通道[J]. 水科学进展,2003,14(1):57-61.

[3] 陈建生,杨松堂,刘建刚,等. 环境同位素和水化学在堤坝渗漏研究中的应用[J]. 岩石力学与工程学报,2004,23(12):2091-2095.

[4] 陈建生,董海洲,陈亮,等. 用环境氢氧同位素示踪方法研究新安江大坝渗漏[J]. 核技术,2005,28(3):239-242.

[5] 叶合欣,陈建生,李兴文. 同位素水文学示踪法在探测堤坝渗漏研究中的应用[J]. 西部探矿工程,2006,18(5):28-31.

[6] 付兵,陈星辰,陈斌. 同位素示踪技术在堤坝渗漏检测中的应用[J]. 水利技术监督,2007,15(4):65-67.

[7] 王松. 水化学和同位素分析在探测堤坝渗漏中的应用[J]. 云南电力技术,2012,40(2):92-94.

[8] CRAIG H. Isotopic variations in meteoric waters [J]. Science,1961,133:1702-1703.

[9] DANSGAARD W. Stable isotopes in precipitation [J]. Tellus,1964,16(4):436-468.

(收稿日期:2014-09-28 编辑:胡新宇)



· 简讯 ·

《2014 年联合国世界水资源开发报告》简介

2014 年 3 月,联合国教科文组织出版了《2014 年联合国世界水资源开发报告》(*The United Nations World Water Development Report 2014*),由联合国粮食及农业组织、联合国环境规划署、联合国人类住区规划署、联合国工业发展组织和世界银行分别负责论证和起草该报告的不同分支主题,同时该报告还受益于联合国水机制众多正式成员及合作伙伴的相关工作成果。《2014 年联合国世界水资源开发报告》分为两卷:第 1 卷是“水资源和能源”,宏观探讨目前及今后一段时期人类在水资源开发、利用和管理中存在的一些问题及其与能源之间的复杂关系;第 2 卷是“直面挑战”,提供来自全球的 13 个案例,介绍各地在应对水资源和能源问题中的一些典型做法。编者致力于提供一个以基本事实为依据、以均衡中立为价值导向的综合报告,期望其能够代表当前人类对水资源和能源认识的最新水平,呼吁加强水资源和能源的综合管理,弱化经济增长对水资源的依赖,改善经济发展的可持续性。这是联合国推出的第 15 份《联合国世界水资源开发报告》,也是首次以年度报告的形式编撰,同时《联合国世界水资源开发报告》的年度主题将与世界水日的主题相一致,以扩大宣传活动的影响力。

(楚行军供稿)