

环境同位素示踪方法研究新安江右坝肩绕坝渗流

陈建生, 刘建刚, 董海洲, 陈亮

(河海大学土木工程学院, 南京 210098)

[摘要] 通过分析新安江右坝区环境水中的同位素 ^2H , ^{18}O , ^3H 以及温度与电导分布, 研究新安江右坝存在的绕坝渗流场。环境同位素数据证实了右坝肩基岩中存在着绕坝渗漏, 排水廊道中的排水既有边坡降雨入渗, 又有库水的绕坝肩补给, 排水廊道扇形孔中的渗水完全来自于绕坝肩的库水渗漏。 3E_1-1 扬压力升高的原因是由于F0断层渗漏造成的结果, 但6坝段和7坝段下部的F1断层基本上不存在渗漏, 灌浆廊道G7-4排水孔中渗水中的 ^3H 高达19.54 TU, 证实该渗漏水来自坝后区的降雨补给。右坝肩观测孔R3和R6等孔中发现绕坝库水成分, 环境同位素数据同时证实了人工示踪方法得到的结论。

[关键词] 环境同位素; 绕坝渗流; 大气降水; 水库

[中图分类号] P641.3 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2004)01-0057-07

1 前言

利用环境同位素分析方法研究大坝渗漏是近20年发展起来的同位素水文学中一个重要的研究内容, 根据不同水体环境同位素之间存在的差异, 并利用大气降水中稀有同位素的高程效应、纬度效应等, 通过比较库水、当地降水、地下水与渗漏水之间的同位素特征, 可以准确区分出地下水的补给来源, 分析绕坝渗漏。

新安江大坝在30多年的运行中, 右坝肩坝后观测孔R4, R5, R16孔的水位始终低于库水位10m左右, 并与库水位的涨落相一致, 而右坝肩的其他观测孔水位始终高于库水位。对R4, R5, R16孔的水位低, 与库水位相关性好的现象有3种不同的看法, 一种看法是由于帷幕防渗效果差造成的; 另一种看法是由于降水入渗补给引起的; 第三种观点认为存在绕坝肩渗漏通道。由于其他观测孔的水位均高于库水位, 弄清右坝肩是否存在库水绕坝肩的渗漏是补强加固设计和获得加固效果的关键, 但这一问题长期以来一直存在争议^[1-3]。另

外, 灌浆廊道3#坝段 3E_1-1 孔的扬压力偏高也一直得不到完美的解释。为此, 进行了环境同位素 ^2H , ^{18}O , ^3H 分析, 水样包括: 库表面水、库水面下30m处水(库水深30)、尾水、观测孔水、排水孔水、扇形孔渗水、集中渗漏水等, 结合温度、电导、库水位与排水量分析以及现场试验等, 证实了新安江水利枢纽右坝肩存在绕坝渗漏, 对灌浆廊道3#坝段 3E_1-1 孔扬压力偏高的原因也有了新的正确认识。

2 右坝肩水文地质条件分析

2.1 地质概况

新安江大坝坝址位于紫金滩倒转背斜的反常翼上, 坝址右岸及部分坝基(1—5坝段)出露泥盆系上统西湖组地层, 厚度达到240m。岩性为石英砂岩、含砾石英砂岩及石英砂岩夹页岩。页岩的矿物成分为石英、白云母、水白云母, 其次为高岭石、石蜡石及蒙脱石。这种矿物特征决定了页岩夹层遇水尤其是浸水后, 易软化及泥化, 从而改变岩体的水文地质及工程地质特征。大坝施工过程中,

[收稿日期] 2003-03-26; **修回日期** 2003-06-16

[基金项目] 国家自然科学基金重点资助项目(50139030)

[作者简介] 陈建生(1955-), 男, 江苏泗阳县人, 博士, 南京河海大学教授, 博士生导师

分别在两岸高程 142 m 和 175 m 处开挖了缆机平台，改变了坝址两岸的自然边坡地形。据调查，右岸 142 平台，曾挖深 30 余米，并形成了约 $2 \times 10^4 \text{ m}^2$ 的地表汇流面积。平台低洼处芦苇丛生，局部常积水，平台的形成对大气降水的人渗补给非常有利。

2.2 排水量与库水相关性

库水位与排水量之间的关系分析发现，灌浆廊道的排水量与库水位的相关关系并不十分明显，而排水廊道排水量与库水位之间的关系呈相关。

在 142 平台进行铺盖之前的 1993—1995 年，对不同季节的库水位与扇形孔排水量进行了测定，分析发现，在扇形孔的 5 个排水孔中，1PS2 和 1PS5 两个孔与库水位的相关性分别为 85% 和 77%，参见图 1 和表 1，其余 3 个孔的排水量除了与库水位有关外，还受到边坡降雨很大的影响。

在 142 平台进行铺盖以后，1PS3 和 1PS5 孔中边坡降雨的成分基本上没有了，参见表 2 和图 2。

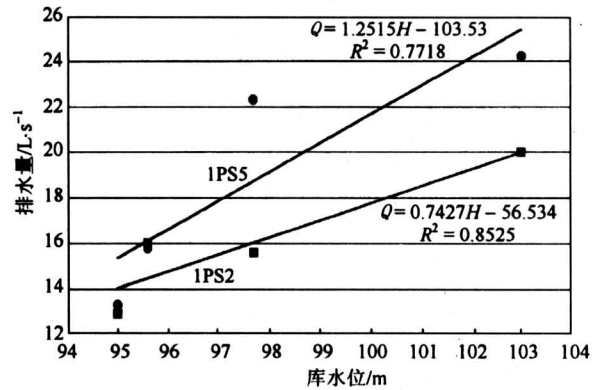


图 1 扇形孔排水量与库水位之间的相关性 (1993—1995)

Fig.1 Relativity between reservoir water table and leakage capacity of drainage holes (1993—1995)

表 1 142 平台铺盖前排水廊道扇形孔中的电导、流量与库水位之间的关系

Table 1 The relativity of water electrical conductivity and flux between reservoir water table in drainage holes before No.142 platform

日期 库水位/m	1993-05 95.6		1993-11 103		1995-03 97.7		1996-01 95	
	流量/L·s ⁻¹	电导率/mS·m ⁻¹	流量/L·s ⁻¹	电导率/mS·m ⁻¹	流量/L·s ⁻¹	电导率/mS·m ⁻¹	流量/L·s ⁻¹	电导率/mS·m ⁻¹
库水		7.1		6.7		6.0		5.6
排水孔 c1	51.2	3.5/3.0	51.2	3.9	47.2	3.8	40.9	2.0
排水孔 c2	16	7.2/5.0	20	5.9	15.6	7.6	12.9	4.0
排水孔 c3	160	3.0/2.8	240	3.1	211	3.4	345	1.15
排水孔 c4	150	3.0/3.3	200	3.1	172	3.0	229	1.1
排水孔 c5	15.8	7.9	24.2	8.1	22.3	6.4	13.3	6.2

表 2 水样中²H, ¹⁸O, ³H 分析结果 (2002 年 11 月)

Table 2 ²H, ¹⁸O, ³H analytical data, Nov. 2002

取样点	R2	R3	R5	R6	9# 渗漏点	10# 渗漏点	R14	R21	R22	R26	G1-1
$\Delta^{18}\text{O}/\%$	-0.68	-0.68	-0.69	-0.76	-0.67	-0.69	-0.87	-0.80	-0.70	-0.73	-0.68
$\Delta^2\text{H}/\%$	-5.53	-5.20	-5.56	-5.20	-5.88	-5.84	-6.33	-5.90	-5.72	-5.63	-5.83
库水含量	≥ 0.35	≥ 0.67	≥ 0.32	≥ 0.67	坡水	坡水	坡水	坡水	≥ 0.17	≥ 0.26	≥ 0.07
³ H/TU	13.56 ± 4.13	9.36 ± 3.99	7.20 ± 3.58	1.47 ± 3.74	1.94 ± 3.56	5.15 ± 3.56	9.42 ± 4.13	9.73 ± 3.46	7.27 ± 3.62	13.99 ± 3.22	2.31 ± 3.09
温度/℃	15.6	16.4	16.8	17.1	15.3	15.3	15.3	14.8	15.2	15.6	16.2
电导率/mS·m ⁻¹	10.0	10.2	6.8	4.5	8.9	9.4	5.0	4.4	1.8	4.1	14.0
取样点	G2-3	G3-3	G4-4	1PS-3	1PS-5	库表面水	尾水	库水深 30	1P6-1	3P6-3	G7-4
$\Delta^{18}\text{O}/\%$	-0.68	-0.66	-0.65	-0.67	-0.7	-0.64	-0.65	-0.68	-0.72	-0.68	-0.64
$\Delta^2\text{H}/\%$	-5.94	-5.66	-5.70	-4.68	-4.84	-5.02	-4.85	-4.86	-4.58	-4.71	-4.74
库水含量	≥ 0	≥ 0.23	≥ 0.19	库水	库水	库水	库水	库水	坝后降雨	坝后降雨	坝后降雨
³ H/TU	7.54 ± 3.13	3.84 ± 3.49	< 0.50	3.53 ± 3.43	1.45 ± 3.31	8.01 ± 3.34	4.81 ± 3.19	5.98 ± 3.33	8.35 ± 2.95	15.03 ± 3.08	19.54 ± 3.17
温度/℃	14.8	14.1	13.5	17.2	16.9	17.5	15.8	11.2	12.8	15.3	13.9
电导率/mS·m ⁻¹	9.8	6.7	7.7	8.1	8.1	8.1	7.8	7.9	11.4	8.9	13.1

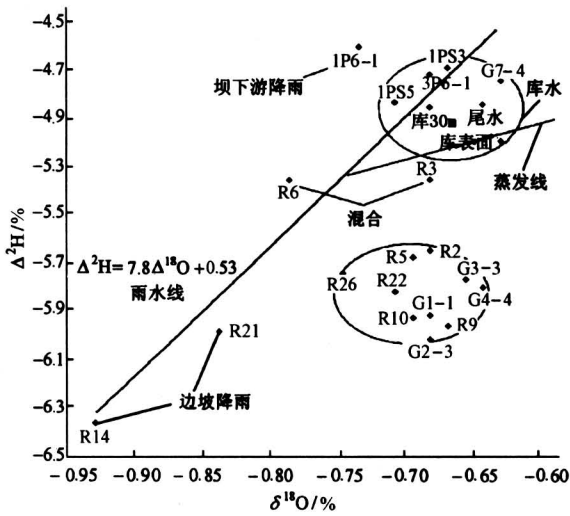


图 2 新安江坝址区雨水线与水样分布图

Fig.2 Distribution of $\Delta^{18}\text{O}$ and $\Delta^2\text{H}$ in water samples of Xin' anjiang dam region and local meteoric water line

3 右坝肩环境同位素分析

3.1 应用环境同位素分析地下水补给水源的基本原理

3.1.1 利用降水线确定大气降水补给水源 1961 年 Craig 根据全球降水资料, 经统计得到 $\Delta^2\text{H}$ 和 $\Delta^{18}\text{O}$ 关系为^[4]

$$\Delta^2\text{H} = 8\Delta^{18}\text{O} + 1.0. \quad (1)$$

原地质矿产部水文地质工程地质研究所, 根据 1985—1993 年中国大气降水同位素监测网 20 多个台站的稳定同位素数据分析, 总结了我国大气降水稳定同位素分布特征, 我国大气降水线方程为^[5]

$$\Delta^2\text{H} = 7.74\Delta^{18}\text{O} + 0.648. \quad (2)$$

笔者根据当地降雨水样分析数据得到的新安江库区的雨水线为

$$\Delta^2\text{H} = 7.83\Delta^{18}\text{O} + 0.532, \quad (3)$$

该雨水线与我国的大气降水方程很接近。根据这条雨水线方程, 可以分析判断新安江右坝肩不同渗漏水的补给源。

3.1.2 蒸发和水岩、水气相互作用对环境水同位素含量的影响 蒸发会使环境水同位素成分偏离雨水线方程, 偏离的程度可以用氘盈余 ($d = \Delta^2\text{H} - 7.83\Delta^{18}\text{O}$) 来表示, 当恰好落在雨水线上时, $d = 0.783\%$, 而落在雨水线右下方, 表明 $d > 0.783\%$, 落在雨水线左上方, 表明 $d < 0.783\%$, d 值

的大小等于 $\Delta^2\text{H} - \Delta^{18}\text{O}$ 的关系图上降水线在 $\Delta^2\text{H}$ 轴上的截距, 反映地区的蒸发程度。

岩石与地下水间发生 ^{18}O 同位素交换, 使地下水中 ^{18}O 含量增加, 称为 ^{18}O 漂移。右坝肩钻孔内的地下水都发生了不同程度的 ^{18}O 漂移。

地下水也可与水中的 CO_2 发生同位素交换, 使地下水的同位素成分偏离雨水线方程。

3.2 新安江右坝肩各渗漏水补给源分析

3.2.1 灌浆廊道的排水主要为边坡降雨 从图 2 很容易看出, 灌浆廊道 G1-1, G2-3, G3-3, G4-4 孔中的渗漏水与右坝肩的观测孔 R2, R5, R10, R22, R26 中的水落在雨水线的右下部同一区域内, 这表明该区域的渗漏水应该为同一来源的水——边坡降雨与库水的混合区。而灌浆廊道中库水的比例在 (0~23)% 之间, 主要为边坡降雨补给, 由于水中的氘值较低, 地下水在岩层中的滞留时间较长, 在几年到几十年, 尤其是 G4-4 孔, 该水是来自于核爆之前的, 年龄超过 50 a, 所以该孔的排水量与库水位的变化存在较弱的相关性。环境同位素分析表明, 灌浆廊道水中的同位素氘与右坝肩观测孔中的基本一致, 同时 ^{18}O 向正的方向漂移表明水岩间发生了相互作用。

3.2.2 排水廊道扇形孔的来源为库水绕坝渗漏 排水廊道扇形孔 1PS3 和 1PS5 中的渗漏水与库水在 $\Delta^2\text{H} - \Delta^{18}\text{O}$ 散点图上落在相同的区域 (图 2), 说明它们为相同的补给源。这 2 个孔底部为 55 m 高程左右, 渗水来自 2 坝段和 3 坝段灌浆廊道下部的 F0 断层的渗漏, 因为灌浆廊道排水孔的深度为 20~45 m, 低于排水廊道扇形孔底部的高程, 而右坝肩帷幕延伸段底部仅为 60 m 高程, 也就是说在右坝肩 60 m 高程附近存在库水绕坝肩的渗漏, 所以扇形孔中的渗水来自库水绕坝渗漏。

3.2.3 R9, R10 孔附近两渗漏点水主要是边坡降雨入渗补给 在右坝肩坝后区观测孔 R9 和 R10 附近存在 2 个集中渗漏点 (图 2)。渗漏点水的 $\Delta^2\text{H}$ 分别为 -5.88% 和 -5.84%, 水的来源显然属于边坡降雨, 水中的 ^3H 值分别为 1.94 ± 3.56 TU 和 5.15 ± 3.56 TU, R9 渗漏点渗水的年龄较长, 大约为 5~15 a 时间, 而 R10 渗漏点渗水的平均年龄小于 5 a。这 2 处渗漏水中库水的成分很少, 但当库水位很高时, 渗漏水中库水的成分将增加。 $\Delta^{18}\text{O}$ 分别为 -0.67% 和 -0.69%, 从图 2 上这 2 个点的位置可以发现, 地下水中的 ^{18}O 发生了明显

的正漂移,其中R9渗漏水点漂移的更远一点,这与该渗水的平均滞留时间长有关。

3.2.4 R14和R21孔底部的水完全是当地山坡降雨入渗补给。右坝肩142平台经过进行混凝土覆盖之后,降雨基本上不能直接补给到平台的下部基岩,右坝肩基岩的主要补给来自于更高山坡降雨的补给。R6位于雨水线的右上方,有一点负漂移,说明坡水中的CO₂含量较高,CO₂中的¹⁶O置换了水中的¹⁸O。孔内的水不存在绕坝渗流部分。

3.2.5 坝后区降雨通过F1断层补给排水孔G7-4

虽然G7-4,3P6-3,1P6-1这几个孔的排水与库水落在 $\Delta^2\text{H}-\Delta^{18}\text{O}$ 散点图的同一区域,但由于这几个孔水的³H值高达19.54 TU,15.3 TU,8.35 TU,而库水底部和尾水中的³H值仅为 5.98 ± 3.33 TU和 4.81 ± 3.19 TU,显然渗漏水不可能通过断层F1直接来自库水的渗漏,这2个孔中的³H值分别为 15.03 ± 3.08 TU和 8.35 ± 2.95 TU,属于坝后区附近的降雨,而且水属于近期的降雨补给。因此F1断层的渗漏水既不是来自库水,也不是来自于边坡水或绕坝渗漏,而是来自于坝后的降雨。

3.3 右坝肩基岩中存在绕坝渗漏

考虑到水岩相互作用已使¹⁸O发生了漂移,已经不能应用¹⁸O来确定降雨的高程,但可以采用²H来进行降雨分析。从图2可以清楚地看出,边坡降雨中的²H(R14为-6.33%,R21为-5.9%)与库水(库水表面为-5.02%,库水深30m为-4.86%,尾水为-4.85%)中的²H完全不同,说明他们的补给高程不同。而右坝肩观测孔中的²H程度不同地介乎二者之间,实际上右坝肩的水既有来自边坡的降雨,又有来自水库的绕坝渗漏水,二者在右坝肩发生了混合。混合水中库水所占的份额可用下式求出:

$$N_{rw}/N = 1/(1 + (N_{rw}/N_{mw})),$$

$$\frac{N_{rw}}{N_{mw}} = \frac{R - R_{mw}}{R - R_{rw}} \quad (4)$$

式中, N_{rw} 和 R_{rw} 为库水的水量和同位素比值, N_{mw} 和 R_{mw} 为坡水的水量和同位素比值, N 和 R 分别为混合水的水量和同位素比值。

计算结果见表2。可以看出,右坝肩观测孔中库水的成分占到了相当的比例,其中R2,R3,R5和R6孔达到了32%~67%,而1排扇形孔中的水完全来自库水,这证明了以前在右坝肩观测孔中

深部测定到的流向是正确的,扇形孔底部的高程约在55m,而右坝肩帷幕底部的高程为60m,显然在帷幕延伸段60m高程以下存在绕坝渗漏,多年来右坝肩存在绕坝渗流的争论终于被环境同位素数据证实。

3.4 3E₁₋₁孔扬压力升高的原因

示踪试验发现,3坝段排水孔中的渗漏水都来自于孔底附近,说明底部的压力大。将3E₁₋₁附近排水孔G3-3($\Delta^{18}\text{O} = -0.66\%$, $\Delta^2\text{H} = -5.66\%$, $^3\text{H} = 3.84 \pm 3.49$ TU)以及邻近2坝段和4坝段排水孔G2-3($\Delta^{18}\text{O} = -0.68\%$, $\Delta^2\text{H} = -5.94\%$, $^3\text{H} = 7.54 \pm 3.13$ TU),G4-4($\Delta^{18}\text{O} = -0.65\%$, $\Delta^2\text{H} = -5.7\%$, $^3\text{H} \leq 0.50$ TU)孔中的环境同位素值进行对比分析后发现,3E₁₋₁附近排水孔G3-3中的 $\Delta^2\text{H} = -5.66\%$ 低于邻近孔G2-3(-5.94%)和G4-4(-5.7%),说明该孔中来自库水的补给量大于2坝段和4坝段;G3-3孔中的³H为 3.84 ± 3.49 TU,低于边坡水(9 TU)和库水(5 TU),证明该水在地下停留的时间长。在3E₁₋₁孔的东侧约20m处存在一条穿过2坝段和3坝段基础的F0断层,产状N40°~60°E,倾角68°,断层破碎带充填岩屑和断层泥。也就是说,在3E₁₋₁孔深50~60m(高程10~20m)处可以揭露F0断层。扬压力偏高和孔中的²H偏低证明部分渗漏水来自库水通过F0断层及其裂隙直接补给,但经历的时间很长(大约3a),扬压力孔中的水量很小也证明了这点。由此可见,3E₁₋₁偏高的原因是由于灌浆处理的深度明显不够,没有将来自F0断层的渗漏截断,而近几年在断层上部进行的灌浆补强又将细微的裂隙堵塞,使排水不利,造成了灌浆处理后扬压力不但没有下降反而上升。低氡值说明渗漏的时间较长,大约为几年时间,所以与库水位的关系并不完全相关。

4 灌浆廊道排水孔底部温度电导分析

灌浆廊道1—4坝段探测到的温度与电导(图3)。在G2-4孔底存在12.5℃的低温,显然该低温是来自于库水渗漏的影响,库水经过F0断层渗漏到坝后区造成了F0附近的扬压力偏高和低温温度,灌浆廊道2坝段和3坝段的渗流量大也证明这个渗漏途径的存在。但通过对比分析很容易发现,2坝段和3坝段排水廊道的排水量远大于灌浆廊道的排水量(表3),由于灌浆廊道的帷幕和排水孔

的深度都比排水廊道的排水孔深，所以库水经过灌浆廊道帷幕以及排水孔后到达排水廊道排水孔的排水量不可能超过前排的排水量，而且 $\Delta^2\text{H}-\Delta^{18}\text{O}$ 数据证明扇形孔与灌浆廊道渗水的来源不同，扇形孔中的库水来自于绕坝肩渗流。当 142 平台被铺盖后，总的渗水量减少了，灌浆廊道 2 坝段减少得最明显，而 1[#]排水廊道 2 坝段减少得非常有限，这也说明存在库水绕坝渗漏的事实。由于灌浆廊道取样的 4 个孔的孔底高程分别为 50~10 m，都低于排水廊道扇形孔 1PS3, 1PS5 的孔底高程，而且温度、电导分析也证实了二者并不相关（见图 3），所以，可以排除库水直接绕过坝基渗漏到扇形孔的可能性。

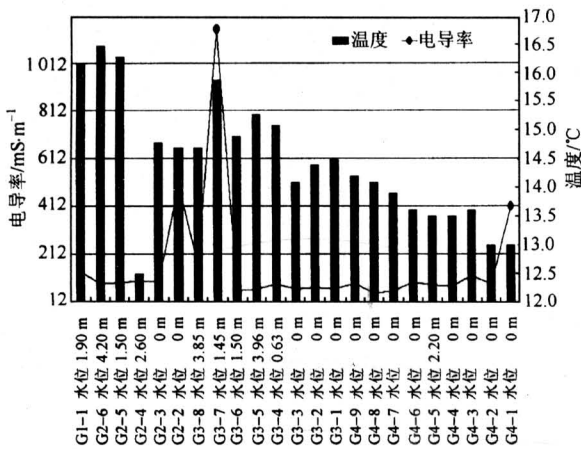


图 3 灌浆廊道 1—4 坝段排水孔孔底温度与电导分布 (2002 年 11 月)

Fig.3 Distribution of temperature and electrical conductivity in bottom of drainage wells in No.1—4 section of grouting corridor, Nov. 2002

5 现场试验验证

5.1 地下水流速流向分析

由于新安江右坝绕坝观测孔水位均高于库水几厘米到几十米不等，所以一直认为该区不存在绕坝渗流，但通过单井同位素示踪地下水流速流向仪测定出的渗流场分布却发现，当库水位为 103 m 高程以上时，观测孔深层（高程 100 m 以下）地下水的流向与浅层相反，是由库区补给坝后区的，1993 年 5 月、8 月和 12 月共进行了 3 次试验，结果基本相同，见图 4，而且在流向相反的孔中都存在向下的垂向流，最大的水平流速达到 0.1 m/d，大部分在 0.01 m/d 以下。由于当时很多专家认为在基岩中单孔中测定到的流向只能代表局部情况，否认了存在绕坝渗漏的结论，而是认为渗漏来自帷幕和大坝的基础。帷幕补强和 142 平台的铺盖工程从 1995 年起就一直在进行，直到所有的加固工程都结束后并未达到工程的效果，而且 2 坝段和 3 坝段的扬压力反而升高时，大家才真正认识到库水绕坝渗漏的存在。

5.2 连通试验分析

为了确定绕坝渗漏通道以及证实通过单井流向得到的渗流场分布，在有条件的地带可以进行孔与孔之间的连通试验。通过连通试验可以获得地下水的真实通道，地下水的实际流速、孔隙率、弥散系数、补给量等参数。连通试验条件较为苛刻，首先投放井与接收井必须同时揭露所要测定的含水层，而且 2 孔须钻在同一流线上，最大的偏差必须小于 30°，如井中存在垂向流，在接收孔为吸水性的含

表 3 灌浆廊道与排水廊道 2 坝段和 3 坝段历年排水量

Table 3 Drainage volume of No.2 and No.3 section in grouting corridor and drainage corridor m³/d

年份		1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
灌浆廊道	2 坝段	7.2	4.54	4.75	4.99	4.68	4.25	4	5.78	5	2.79	2.95
	3 坝段	7.18	6.44	1.87	2.3	4.89	5.13	5.05	5.53	5.35	5.34	6.12
1 [#] 排水廊道	2 坝段	20.84	19.77	19.56	21.72	19.98	17.22	15.59	19.4	17.99	14.4	16.06
	3 坝段	5.14	4.11	3.81	4.05	3.74	3.07	3.03	4.21	3.89	3.1	3.42

水层中往往接收不到示踪剂，新安江右坝就属于这种情况。

为了验证单井同位素示踪测定出的右坝区绕坝渗流通道，1996 年 1 月根据 R12 孔中流向分布补钻了 R26 孔，为了防止孔中上层向下的垂向流的

影响，R26 孔的 95 m 以上采用水泥护壁防渗漏的止水方法。R26 孔中的变化曲线如图 5 所示。实际渗流速度为 20 m/d (116 m 高程)，105 m 高程以下约 10 m/d，地层的渗透性呈上层大，下层逐渐变小。

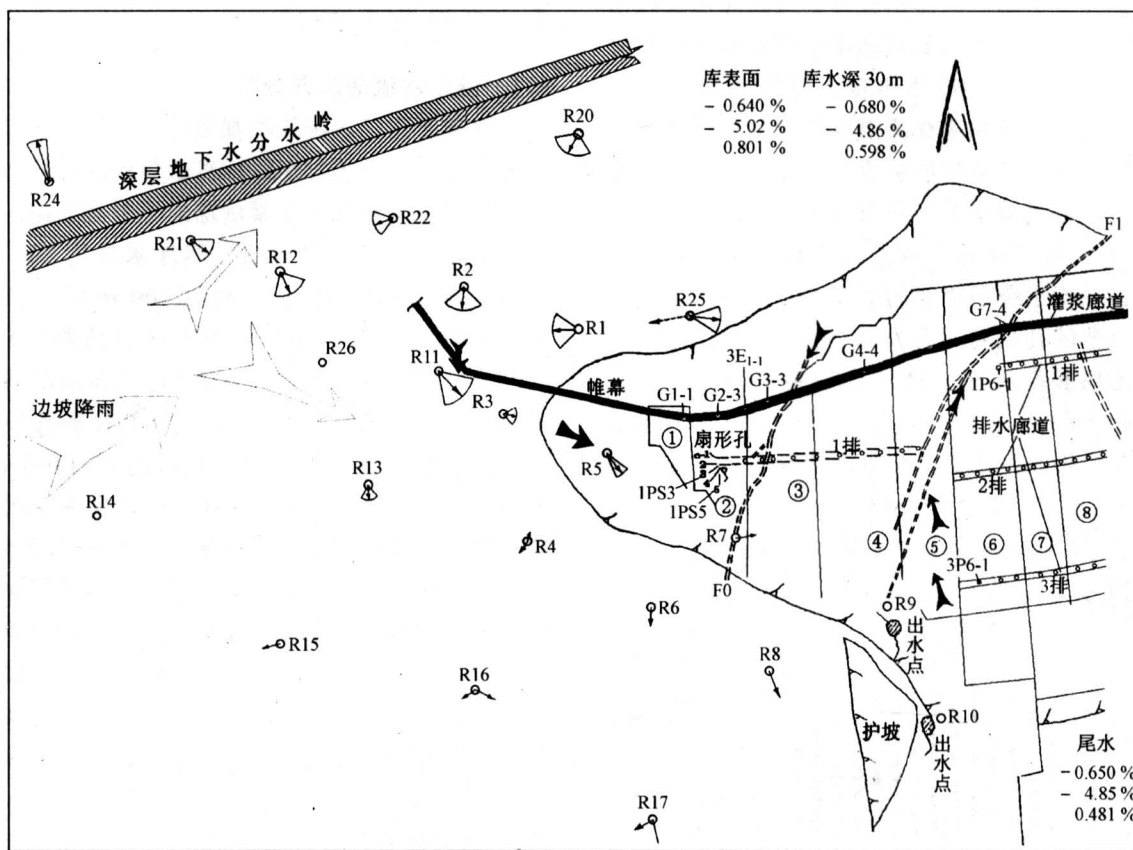


图4 新安江右坝肩地下水流速、流向、温度场以及环境同位素数据分布

Fig.4 Distribution of direction, velocity, temperature and isotope data in Xin' anjiang right abutment

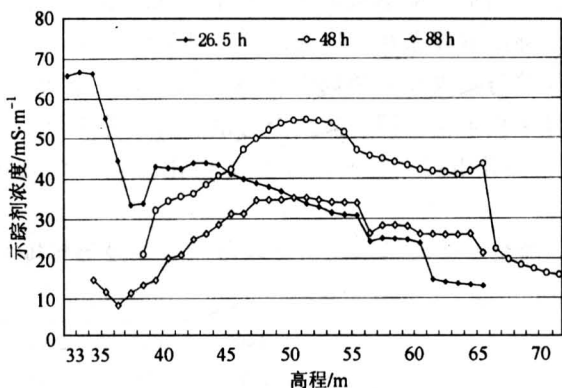


图5 R12→R26孔间连通试验时R26孔浓度变化曲线

Fig.5 Variation curve of tracer concentration in R26 well in terms of interconnection test between R12 and R26

由于在 R22 未发现异常，这与单孔测流向的结果相一致，由此可以推断帷幕后的主渗流通道应在 R11 至 R13 的连线中部偏 R11 处。由于 R13 中

的渗透系数极小 (0.0011 m/d)，孔位又偏离了主渗流通道，所以未能接收到示踪剂仍属正常。而 R11 在 113 m 高程以下被堵牢，仪器无法探测到深部示踪剂的运动情况。

R12→R26 孔的连通试验证明了一个非常重要的事实：在钻孔已揭穿的 76 m 高程以上的岩层中，与岩层走向正交的方向存在渗流，其实际流速达到 7~20 m/d (76~110 m 高程)。通过计算得到最大的岩体裂隙率为 0.67 %。由此可见岩层的隔水效果并不是设计初预计的那么好。

6 结论与建议

1) 新安江右坝肩存在明显的绕坝渗漏，渗漏深度在帷幕延伸段 60 m 高程以下。排水廊道中的排水既有边坡降雨又有来自库水的绕坝肩补给，排水廊道扇形孔中的渗水完全来自于绕坝肩的库水渗漏；

2) F1 断层的渗漏水既不是来自库水，也不是来自于边坡水或绕坝渗漏，而是来自于坝后的降水

入渗，并通过 F1 断层补给排水孔 G7-4；

3) $3E_{1-1}$ 孔水的补给源为库水，其扬压力偏高的原因是由于灌浆处理的深度明显不够；

4) 建议对 $3E_{1-1}$ 孔或者进行深部封堵，或者加深排水孔的深度，这样可以起到降低扬压力的作用。

参考文献

- [1] 周华文,赵新华. 新安江水电站大坝右岸基础存在的问题和综合处理工作思路 [J]. 大坝与安全, 2001, (3):22~23
- [2] 彭汉兴,宋汉周. 新安江水电站坝址环境水特征与作用 [J]. 水利学报,1994, (2):40~45
- [3] 周华文,何少云. 新安江大坝 2#、3# 坝段灌浆廊道排水系统改造 [J]. 大坝与安全,2001, (5):53~56
- [4] Eriksson E. Stable isotopes and tritium in precipitation [A]. Guidebook on Nuclear Techniques in Hydrology, 1983 Edition [M]. International Atomic Energy Agency, VIENNA, 1983. 19~33
- [5] Gat J R, Gonfiantini R. Stable isotope hydrology deuterium and oxygen-18 in the water cycle [M]. International Atomic Energy Agency, VIENNA, 1981

Environment Isotope Method to Investigate the Bypass Abutment Seepage Flow in Xin'anjiang Right Dam

Chen Jiansheng, Liu Jiangang, Dong Haizhou, Chen Liang

(Civil Engineering Academy of Hohai University, Nanjing 210098, China)

[Abstract] Environmental isotope 2H , ^{18}O and 3H , temperature and electric conductivity had been used to analyze bypass abutment seepage flow of Xin'anjiang right dam. Environmental isotope data on the right dam indicate the existence of bypass seepage flow in rock. The seepage water from the drainage gallery boreholes is not only from mountain precipitation but also from reservoir water that leak bypassing the right abutment. The reason of uplift cell $3E_{1-1}$ increasing is the result of the leakage from the fault F0. There is no seepage from reservoir to the grouted gallery through fault F1 under No.6 and No.7 dam section. Given the tritium is about 19.54 TU, the leakage water of G7-4 borehole comes from local precipitation of right dam. Part of reservoir water is proved to exist in the observation wells of right dam abutment. The data of environment also testified the result from the artificial tracer method.

[Key words] environment isotope; by-pass seepage; precipitation; reservoir