

韶关电厂濠湮灰场4号坝漏水路径示踪分析

樊哲超^{1,2}, 毛海涛¹

(1. 重庆三峡学院 土木工程学院, 重庆 404100; 2. 重庆交通大学 水利水运工程教育部重点实验室, 重庆 400074)

摘要: 运用温度电导率等示踪方法对广东韶关电厂濠湮灰场4号坝段漏水路径进行调查, 通过几个观测孔多方面数据(包括温度、电导率、地下水位、地下水流速等示踪数据)的相互验证, 结果证实, 补给路径在上游流场从ZK4孔到ZK8孔向外伸展, 呈弧形补给漏水点; 降水在库区垂直入渗, 沿初期坝与第一级子坝搭接处向上流动, 最终在71.00 m高程处出露形成漏水点。

关键词: 温度; 电导率; 示踪方法; 观测孔; 地下水流向; 地下水流速; 漏水点

中图分类号: TU42 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672 1683(2015) 01- 0083-04

Leakage path tracing of No. 4 dam section in Mengli ash yard of Shaoguan power plant

FAN Zhe chao^{1,2}, MAO Hai tao¹

(1. Department of Civil Engineering, Chongqing Three Gorges University, Chongqing 404100, China;

2. Key Laboratory of Hydraulic and Waterway Engineering of the Ministry of Education,

Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract: Leakage path of No. 4 dam section in Mengli ash yard of Shaoguan power plant was investigated using the tracing method of temperature and electrical conductivity. Through the verification of temperature, electrical conductivity, groundwater level, and groundwater flow velocity in several observation boreholes, the results suggested that the recharge path extends from ZK4 borehole to ZK8 borehole in the upstream flow field and forms the arc supply leakage point, and precipitation infiltrates vertically into the dam, flows upward along the contacting zone between the initial dam and first sub dam, and forms the leakage point at the elevation of 71.00 m.

Key words: temperature; electrical conductivity; tracing method; observation borehole; groundwater flow direction; groundwater flow velocity; leakage point

1 问题的提出

广东韶关电厂濠湮灰场在每级坝形成的库区放满灰渣后, 先在灰渣表面干砌0.5~0.6 m厚的块石, 再在块石顶回填当地的残积土(以粉土为主), 然后再在上面修筑子坝, 目前共有初期坝、第一级子坝和第二级子坝, 目前坝顶高程为83.00 m。为加速坝体的排水固结, 在子坝底部布置了直径250 mm的塑料管作为水平排渗滤管(图1), 再由集渗井和混凝土管把积水排至后坡坝面排水沟。该灰场1998年基本停运并开始覆土。2004年6月, 电厂输送灰渣到该灰场堆放。7月10日上午在4号坝体坡后排水管正上方71.00 m高程处发现直径约40 cm的漏水孔, 漏水带出大量黄泥, 并

出现塌方和沉陷现象, 随后两天内漏水孔不断扩大, 渗漏量达50.5 L/min^[1]。

为调查渗漏的原因, 以过漏水点、垂直坝轴线的剖面为中心, 布置了2排共8个观测孔(图2)。第一排3个观测孔ZK1至ZK3的孔距15 m, 位于76.00 m高程处; 第二排5个观测孔位于高程81.00 m处, 且以ZK6孔为中心, 两边对称排列, 其中ZK5、ZK7孔距ZK6孔20 m, ZK4和ZK5、ZK8和ZK7孔间距均为30 m。

2 示踪分析

2.1 坝段漏水机理初探

2004年6月, 电厂输送灰渣到该灰场堆放。由于灰场自

收稿日期: 2014-04-05 修回日期: 2014-10-29 网络出版时间: 2014-12-03

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20141203.1407.031.html>

基金项目: 国家自然科学基金项目(51309262); 重庆市教委科学技术研究项目(KJ1401018); 重庆交通大学国家内河航道整治工程技术研究中心暨水利水运工程教育部重点实验室开放基金资助项目(SLK2013B02)

作者简介: 樊哲超(1979-), 男, 湖北荆州人, 副教授, 博士, 主要从事岩土体渗流测试研究。E-mail: fanzhechao@163.com

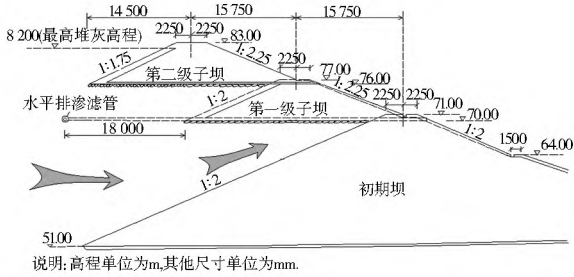


图 1 濠湮灰场剖面设计图

Fig. 1 The profile design graph of Mengli ash yard

1998 年停运后地表排水系统尚未恢复, 采用原有的坝体内排水系统排除积水, 排水能力不足, 造成坝体内浸润线抬高, ZK4 孔水位最高, 为 71.83 m, 4 号坝段水位见图 2。浸润线在下游边坡的出逸点也随之抬高, 坝体下游边坡所承受的动水压力和土压力也进一步加大。

据调查, 第一级子坝实际施工中, 限于当时的施工条件, 采用了边放灰边施工的方法, 坝基灰渣为饱和灰渣, 坝基土体不够密实, 子坝与初期坝的搭接处也就成为整个坝体的最薄弱点, 在高水压力作用下, 该搭接处极可能发展为渗漏通道。

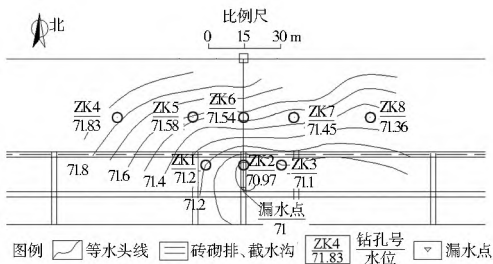


图 2 4 号坝段等水头线

Fig. 2 Contour map of water level at No. 4 dam section

2.2 温度示踪分析

温度示踪分析的依据水与岩土相比, 其热传导系数和比热的差别显著, 因此在渗漏水流流过的部位及其附近区域, 温度场会发生异常, 据此可以辨识出渗漏区域范围^[24]。

2004 年 7 月 20 日上午 10 时在钻孔和坝周围的水文点进行温度测试, 结果见表 1。

表 1 温度汇总

Tab. 1 Summary of temperature in different boreholes

位置	ZK1	ZK2	ZK3	ZK4	ZK5	ZK6	ZK7	ZK8	漏水点
低温异常/℃	23.3	22.5	22.4	22.2	23.3	22.6	21.1	21.3	22.3
异常位置/m	65	67	67	64	67	67	67	67	71

从表 1 中很容易看出, 不同钻孔中温度异常的位置相近, 特别是大多位于 67 m 处, 反映了渗漏的层位; 相对于 ZK4、ZK5、ZK6 孔的最低温度, ZK7、ZK8 孔的低温更低一些, 说明漏水点主要是受到 ZK7、ZK8 孔地下水的入渗补给。漏水点的温度高于入渗温度主要是由于沿渗漏方向其埋深越来越浅, 因此温度有一定幅度的升高。

图 3 为 4 号坝段温度场分布图, 可以看出, 在 ZK6 至 ZK8 孔一侧的温度梯度较大, 反映渗流速度较大, 说明出渗

的补给源主要是在 ZK6 至 ZK8 孔一侧。ZK4 孔的温度也存在异常。各孔温度曲线见图 4, 由各孔的温度异常位置可以看出, 渗漏异常的层位大概在 67 m 高程左右, 温度异常最低的是 ZK7、ZK8 两孔。

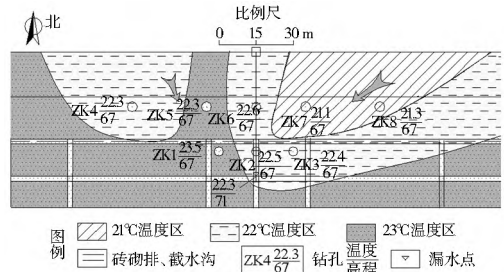


图 3 4 号坝段温度场

Fig. 3 Temperature field at No. 4 dam section

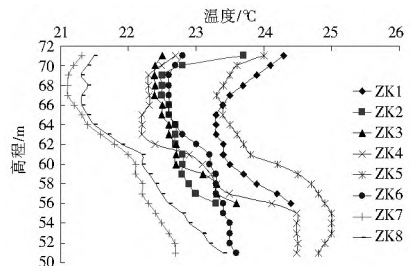


图 4 各孔温度曲线

Fig. 4 Temperature curves in different boreholes

2.3 电导率分析

低电导率的大气降水及地表水补给灰场坝段地下水, 经过水岩作用后其电导率有所提高, 电导率大小主要与水流的滞留时间相关, 因此地下水电导率值的大小可作为判断水流补给源及补给方向的一个依据^[5-7]。

从图 5 中可见, ZK4 孔的电导率值 (568 $\mu\text{s}/\text{cm}$) 明显高于同排其它各孔 (470 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 左右, ZK6 孔为 503 $\mu\text{s}/\text{cm}$), 结合温度异常, 说明其补给来源与排泄通道异于其它孔, 与漏水点的相关性较小。而 ZK1 和 ZK3 孔的电导率值 (接近 500 $\mu\text{s}/\text{cm}$) 较 ZK2 孔高 (475 $\mu\text{s}/\text{cm}$), 说明这两孔的地下水滞留时间长, 也就是渗透流速小。图 6 可见 ZK4、ZK5、ZK6 孔都存在一个电导率台阶, 其变动高程在 66~67 m 左右, 说明在此附近的地质存在不同性质的含水层, 而此高程附近是一个跳跃点, 对应着可能的渗漏层位。

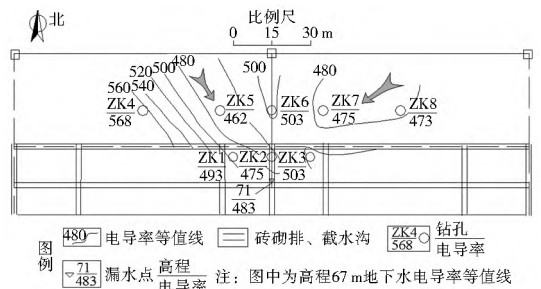


图 5 4 号坝段电导率等值线

Fig. 5 Contour map of electrical conductivity at No. 4 dam section

2.4 坝体密度探测

使用 $\gamma\gamma$ 核子密度探头在现场钻孔中进行孔周围地层密

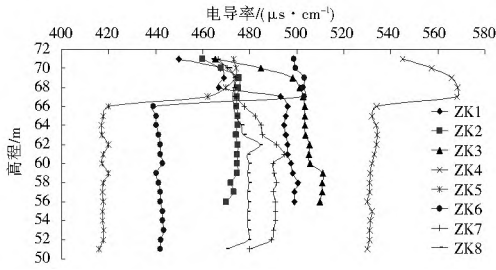


图 6 各孔电导率曲线

Fig. 6 Electrical conductivity curves in different boreholes

表 2 各孔地层密度测定结果

Tab. 2 The stratum density in each borehole

孔号	ZK1	ZK2	ZK3	ZK4	ZK5	ZK6	ZK7	ZK8
疏松 高程/m	68, 72~ 73	69, 72~ 73	60~ 61, 68, 72~ 73	64, 72~ 74	73~ 75	59~ 70, 73~ 76	73~ 75	整孔

2.5 渗流速度测试

当投入钻孔内的示踪剂随水流达到稳定,示踪剂在稀释水柱内被均匀混合,滤水管的轴线垂直正交含水层的水流流线,含水层的水流连续均匀稳定的通过滤水管,无垂向水流时,渗透流速可由下式计算^[12-14]:

$$V_f = \frac{\pi(r_1^2 - r_0^2)}{2r \cdot \alpha \cdot t} \ln \frac{N_0}{N_1} \quad (1)$$

式中: V_f 为地下水渗透流速(m/d); r_1 为井内半径(m); r_0 为探头半径(m); t 为两次测量时间间隔(d); α 为流场畸变系数; N_0 为 t_0 时刻的示踪剂记数率; N_1 为 t_1 时刻的示踪剂放记数率。

测量结果(表 3)显示,所有钻孔水平流速均较大,均大于 10^2 m/d,说明坝体整体材料松散、粗颗粒含量多;下排钻孔 ZK2 孔的平均流速比其它两孔的流速大一个数量级,说明在 ZK2 位置附近存在渗流通道;上排钻孔中 ZK4 至 ZK5 孔的平均渗透流速比同高程处的 ZK6 至 ZK8 孔小一倍左右,说明在 ZK6 至 ZK8 孔一侧存在渗流通道;上排钻孔 ZK4 至 ZK8 孔水平流速普遍比下排钻孔 ZK1 至 ZK3 孔的流速大,说明下排钻孔 ZK2 不在主渗流通道上,ZK2 孔的渗透流速远小于主渗流通道的渗透流速。

表 3 各孔流速测试结果

Tab. 3 Seepage velocity in each borehole

孔号	ZK1	ZK2	ZK3	ZK4	ZK5	ZK6	ZK7	ZK8
平均流速 ($m \cdot d^{-1}$)	0.06	0.22	0.02	0.23	0.22	0.4	0.53	0.62
最大流速 ($m \cdot d^{-1}$)	0.18	0.57	0.04	0.76	1.3	2.9	1.2	1.8
峰值位置 /m	68	68~ 71	无	61~ 67	61~ 65	65	63~ 65	61~ 70

根据渗流速度测试结果进行断面渗流量的计算公式如下:

$$Q = \iint_S v \, ds \quad (2)$$

式中: Q 为流量; S 为渗漏的过流断面; v 为断面上对应的渗透流速。

度的测定,其原理是基于 γ 射线与周围地层产生的散射效应^[8-9]。安装了放射源的这种探头,发射 γ 射线穿过地层,散射效应是主要作用过程,而且散射到探头上 γ 射线的强度与岩层的密度是成比例的^[10-11]。

根据坝体密度测定结果(表 2)可知,坝体在许多层位存在不同程度的疏松,但大部分钻孔在 72~ 73 m 高程处存在疏松现象,说明这段疏松与渗漏有着密切的联系。而 ZK8 整孔和 ZK6 孔大部分都存在松散现象,在水力坡降较大的情况下,两孔处很容易形成管涌,并发展成集中渗漏。

因为各钻孔数据在平面上是离散的,因此在平面上按每个孔的控制区域划分单元体,分别在每个钻孔深度上对流速进行积分,然后再对每个钻孔的控制区域内进行加权累加。将公式(2)转换为计算机模型进行计算^[15],计算结果为 $Q = 56.4$ L/min,略大于漏水点实测流量 50.5 L/min,说明在钻孔区域的渗流可能还存在着另外的排泄通道。

3 结论

灰场渗漏路径为降水在库区垂直入渗,沿初期坝与第一级子坝搭接处向地表流动,最终在漏水点 71 m 高程处出露。主渗流通道的空间分布呈扇形,在上游为 ZK4 到 ZK8 孔向外延伸,渗漏区域较广,而向下游渗流过程中逐渐集中,并顶穿覆盖层,形成漏水点。

ZK4 孔渗流特性存在异常,虽然分析认为该孔和漏水点的相关性小,但是其渗流特性的异常如果不加以进一步的研究,可能会发展出类似的漏水点,需要给予关注。

参考文献(References):

[1] 陈亮. 孔中测渗技术与系统设计[D]. 南京: 河海大学, 2004. (CHEN Liang. Study on borehole seepage investigation and measurement system design[D]. Nanjing: Hohai University, 2004. (in Chinese))

[2] PLATA A. Detection and prevention of leaks from dams[M]. M eppel: A A Balkema publisher, 2002: 85-89.

[3] 董海洲, 陈建生. 利用孔中温度场分布确定坝体渗透流速的热源法模型研究[J]. 水文地质工程地质, 2003(5): 40-43. (DONG Hai zhou, CHEN Jian sheng. Model research of heat source method by using water temperature distribution in borehole to determine seepage velocity of dyke[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2003(5): 40-43. (in Chinese))

[4] 段珣. 基于温度示踪法的坝体渗漏探测研究[J]. 科学技术与工程, 2014, 14(9): 140-143. (DU AN Xun. Study on detection dam leakage with temperature tracer method[J]. Science Technology and Engineering, 2014, 14(9): 140-143. (in Chinese))

[5] 陈建生, 董海洲. 坝体渗漏探测示踪新理论与技术研究[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 104-105. (CHEN Jian sheng, DONG Hai zhou. Study on new theory and technology of tracing meth

- od to detect leakage from dam [M]. Beijing: Science Press, 2007: 104-105. (in Chinese)
- [6] 陈建生,董海洲.示踪法对小浪底坝区绕坝渗漏通道的研究[J].长江科学院院报,2004,21(2):14-17.(CHEN Jian sheng, DONG Hai zhou. Nature tracer method for studying leakage pathway of by-pass dam abutment of Xiaolangdi Reservoir[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2004, 21 (2): 14-17. (in Chinese))
- [7] 袁瑞强,宋献方,王鹏.白洋淀渗漏对周边地下水的影响[J].水科学进展,2012,23(6):751-755.(YUAN Rui qiang, SONG Xian fang, WANG Peng. Impacts of percolation in Baiyangdian Lake on groundwater[J]. Advances in water science, 2012, 23 (6): 751-755. (in Chinese))
- [8] 陈建生,董海洲,陈亮,等.黄壁庄水库副坝坝塌原因的同位素方法研究[J].河海大学学报,2004,32(5):542-545.(CHEN Jian sheng, DONG Hai zhou, CHEN Liang, et al. Study on collapse sink of Huangbizhuang secondary dam with isotope method[J]. Journal of Hohai University, 2004, 32(5): 542-545. (in Chinese))
- [9] 李樟苏.同位素技术在水利工程中的应用[M].北京:水利电力出版社,1990:195-197.(LI Zhang su. The application of isotope technology in hydraulic engineering [M]. Beijing: Water Resources and Electric Power Press, 1990: 195-197. (in Chinese))
- [10] 徐阳,张玮,肖伟华.核子密度仪在南水北调中线渠堤填筑质量检测应用效果分析[J].南水北调与水利科技,2007,5(1):155-157.(XU Yang, ZHANG Wei, XIAO Wei hua. The effect analysis of the surface moisture density gauge applied in South to North Water Transfers channel embankment Inspection [J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2007, 5(1): 155-157. (in Chinese))
- [11] 谢永涛,赵慧丽,赵飞扬.核子仪在秦沈高速铁路建设中的应用[J].铁道工程学报,2000(4):35-37.(XIE Yong tao, ZHAO Hu li, ZHAO Fei yang. Application of nuclear density apparatus in construction of Qin Shen high speed railway[J]. Journal of railway engineering society, 2000(4): 35-37. (in Chinese))
- [12] Ian D. Clark, Peter Fritz. Environmental Isotopes in Hydrogeology [M]. New York: Lewis Publisher, 1997: 25-35.
- [13] 林统,陈建生.基于质量守恒的示踪测速模型及实证[J].水文地质工程地质,2011,38(6):19-23.(LIN Tong, CHEN Jian sheng. The general tracing model of measuring flow velocity based on mass conservation[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2011, 38(6): 19-23. (in Chinese))
- [14] 樊哲超,陈建生,董海洲,等.广义示踪稀释模型中水平渗流计算公式再讨论[J].岩土工程学报,2006,28(4):432-435.(FAN Zhe chao, CHEN Jian sheng, DONG Hai zhou. Re discussion of generalized tracing dilution model for measuring seepage velocity in wells[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2006, 28(4): 432-435. (in Chinese))
- [15] Beckera M W, Georgianb T, Ambrosea H. Estimating flow and flux of ground water discharge using water temperature and velocity[J]. Journal of Hydrology, 2004, 296: 221-233.

(上接第 62 页)

- [11] GB/T 14848-93,地下水质量评价[S].(GB/T 14848-93, Quality standard for groundwater[S].(in Chinese))
- [12] 陈志恺.西北地区水资源及其供需发展趋势分析[M].北京:科学出版社,2004,1-35.(CHEN Zhi kai. Water resources and supply and the trends of the demand in Northwest China[M]. Science Press, 2004: 1-35. (in Chinese))
- [13] 李文鹏,郝爱兵.中国西北内陆干旱区地下水形成演化模式及其意义[J].水文地质工程地质,1999,26(4):28-32.(LI Wen peng, HAO Ai bing. The formation and evolution model of groundwater and its significance in inland Arid Basin, Northwest China[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 1999, 26(4): 28-32. (in Chinese))
- [14] 张宗祜,施得鸿,沈照理,等.应积极开展人类活动影响下地下水环境的演化及发展的研究[J].水文地质工程地质,1992,19(5):1-2.(ZHANG Zong hu, SHI De hong, SHEN Zhao li, et al. To carry out research on evolution and development of groundwater environment under the influence of Human Activities[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 1992, 19 (5): 1-2. (in Chinese))
- [15] 邓伟,何岩.论地下水对地表生态作用[J].地理科学,1993,13(2):161-168.(DENG Wei, HE Yan. Effect of groundwater on the surface ecology [J]. Scientia Geographica Sinica, 1993, 13 (2): 161-168. (in Chinese))
- [16] 张人权.水文地质学基础[M].北京:地质出版社,2011:10.(ZHANG Ren quan. Fundamentals of Hydrogeology [M]. Beijing: Geology press, 2011: 10. (in Chinese))