

四川老河坝磷矿区水化学特征及水质评价

向 刚,张华湘

(贵州省地矿局 104 地质大队,贵州 都匀 558000)

摘要: 为了研究老河坝磷矿区水化学特征及水质现状,采用 Piper 三线图和统计学方法研究了水化学特征,采用熵权密切值法对矿区地表水、地下水和矿坑水进行了水质综合评价,并与综合指数法评价结果进行了对比。结果表明:不同化学指标在不同水体中具有不同的浓度含量与统计特征,但水化学类型较稳定,为 $\text{HCO}_3\text{-Ca}\cdot\text{Mg}$ 型或 $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ 型水,表现出典型的补给区水化学类型。水质综合评价表明矿区现状水质达到良好-优良级别,适于饮用,建议采用地表水和地下水作为矿区供水水源。但在矿山开采后,矿区水环境会受到一定程度的影响,需采取一定的保护措施,防治矿区水质污染。

关键词: 水化学特征;水质评价;熵权密切值;水文地质;水资源;水污染;统计分析

中图分类号: P641 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2011)04-0125-05

Water Hydrochemical Characteristics and Water Quality Assessment Based on Entropy Weighted Osculating Value Method in Laoheba Phosphorite Mine Field in Sichuan

XIANG Gang, ZHANG Hua-xiang

(Geological Brigade 104 of Guizhou Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Duyun 558000, China)

Abstract: The paper presents the assessment for hydrochemical characteristics with Piper diagram and statistical methods to assess the impacts of mining on the water quality and water environment. The entropy weighted osculating value method is also used to assess the water quality in the study area. Results indicate that statistical characteristics of various indices are different in different water bodies. The concentrations of indicators of water bodies rely on the environment where water bodies lie. The main water chemistry type is $\text{HCO}_3\text{-Ca}\cdot\text{Mg}$ or $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ type, which indicates the excellent conditions of recharge area for water runoff. Water quality assessment shows that the water quality in the study area lies between good quality and excellent quality conditions which is suitable for drinking. However, protective measures are needed for water quality protection, for the mining activities would have great impacts on the water quality.

Key words: hydrochemical characteristics; water quality assessment; entropy weighted osculating value; hydrogeology; water resources; water pollution; statistical analysis

1 研究背景

矿区水资源合理开发利用一直是矿区水文地质研究领域十分关注的问题之一。唐要安等^[1]基于水资源复合系统理论,从矿区水资源、经济发展、生态环境和人口人文指标出发,提出一套综合评价指标体系,并采用层次分析法对矿区水资源可持续利用情况进行综合评价。合理开发利用矿区水资源是促进矿区经济、生态和人口和谐发展的关键之一。矿区水化学特征及其质量关乎到矿区居民的身体健康,而且

工程中还常常根据矿区水化学特征判断矿井水源^[2]。矿山的开发会对矿区水化学特征及与之密切相关的水环境产生影响,如水质恶化、水化学成分发生变化、地面塌陷等等。国内许多学者已注意到这个问题,开展了相关的研究。如韩程辉和刘文生^[3]、潘妍妍和赵存^[4]采用模糊综合评判法分别对矿区矿井水水质进行了综合评价,栾利香^[5]、杜玉龙等^[6]分别对矿区水化学特征进行了研究。崔先伟等^[7]、杨子林等^[8]研究了涪源县饮用地下水水化学特征,进行了水质评价,并采用 PHREEQC 研究了地下水水化学形成机制。

收稿日期: 2011-06-15 修回日期: 2011-06-30 网络出版时间: 2011-07-23
网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20110723.1707.037.html>
基金项目: 国家自然科学基金(40772160); 四川省马边县老河坝磷矿区二坝矿段磷矿勘探(T51120081203019873)
作者简介: 向 刚(1983-),男,湖北荆门人,助理工程师,主要从事矿山水工环地质勘查及环境影响评价工作。E-mail: gzdkj104@163.com

目前,用于水质评价的方法很多,如模糊综合评判法^[3-4]、集对分析法^[9]、水质指数法^[10-11]、密切值法^[12-14]、TOPSIS 法^[15]等。国内外学者对水质评价方法也进行了较为深入的研究。王涛等^[16]针对模糊综合评判法中权重的确定进行了专门的研究,认为基于综合权重法和熵权法的评价结果较为合理。吴健华等^[17]对比研究了综合评价法、模糊综合评价法和改进密切值法在水质评价中的优缺点,认为改进密切值法简便易行,评价结果合理。吴健华和李培月^[18]研究了密切值法评价水质过程中不同数据处理方式对评价结果的影响。认为基于熵权的密切值法是众多密切值法中最合理的评价方法。

中益矿业发展有限公司于 2007 年获得了四川省马边县老河坝磷矿区探矿权,磷块岩矿体规模为中型。矿区开采后,人类活动的干扰将会改变矿区的水化学特征和水环境质量。要了解采矿活动对矿区水环境的影响,对矿区地下水和地表水的水化学特征进行研究、对水质进行评价就显得非常重要和有意义。

2 研究区概况

老河坝磷矿区,位于四川省马边彝族自治县西南,距县城 42 km,属沙垭乡和烟峰乡管辖,其中二坝矿段探矿权面积 5.12 km²,见图 1。老河坝磷矿区地处四川盆地西南边缘,区内高山深谷纵横,地势起伏较大。研究区东部沿老河坝断层剥蚀形成山间谷地;西部由褶皱博罗构成的山脊,形成西高东低的地形。南、北两侧受冲沟切割,地段较西部低。

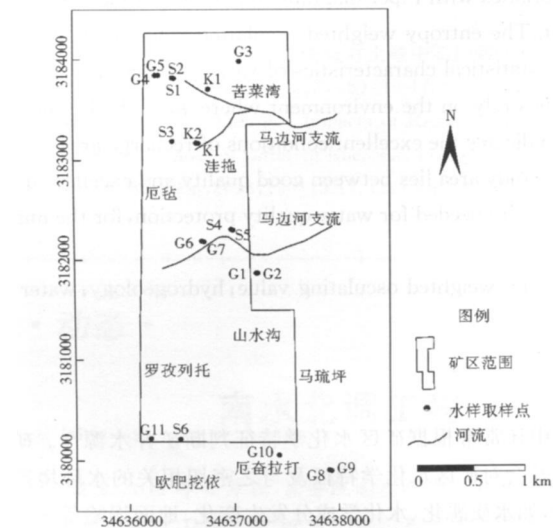


图 1 研究区位置及水样点分布
Fig. 1 Study area and sampling locations

研究区属热带季风气候区,由于西部高山的屏障作用,来自盆地温暖潮湿空气受阻后,在区内形成多雾多雨的气候。据马边县气象局气象观测资料,区内年平均气温为 16.9℃,最高月平均气温 25.2℃,最低月平均气温-2.3℃;雨量充沛,年降雨量 1 052.3 mm,8 月降水量最多,降水量为 256.4 mm,1 月最少,降水量为 4.2 mm。矿区属长江流域,地表水系较发育。矿区从南往北依次有欧肥依打、山水沟、苦菜湾依打三条溪沟从西往东径流,河流切割较深,最低侵

蚀基准面高程为 700 m,河床宽 3~8 m,常有各种砾径的石块堆积,局部可见河漫滩,三条溪沟最后都汇入马边河。其中矿区中部山水沟溪沟流量最大,最大流量达到 3.2 m³/s,平均流量 0.95 m³/s。矿区北部苦菜湾依打溪沟水量最小,最大流量达到 0.05 m³,平均流量是 0.0175 m³,南部欧肥依打水位于两者之间。马边河位于矿区东部,最后汇入长江,水量平均为 26 m³/s,在汛期水量最高能达到 100 m³/s。区内地下水类型主要为碳酸盐岩类岩溶水、碎屑岩基岩裂隙水及松散岩类孔隙水,主要以泉的形式出露地表。水化学类型为 HCO₃-Ca·Mg 型或 HCO₃-Ca 型,地下水总体流向由北西至南东。

3 资料与方法

3.1 取样与分析

根据勘探项目需要,于 2008 年 8 月至 11 月在研究区内共取水样 20 件,其中地表水样 6 件(水样编号以 S 表示),地下水样 11 件(水样编号以 G 表示,全部为矿区内出露的泉水),矿坑水样 3 件(水样编号以 K 表示),取样点分布见图 1。全部水样进行了水质物理化学指标分析,化验项目主要包括主要离子组分(K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺、HCO₃⁻、CO₃²⁻、SO₄²⁻、Cl⁻)、水温、透明度、色度、气味、总硬度、总溶解固体(TDS)、pH、游离 CO₂。样品从取样、送样、保存到化验均按标准严格管理,采样和化验操作过程按照《生活饮用水标准检验方法》中所规定的方法进行。其中,水温和 pH 由于容易受到外界因素的影响,采用便携式 pH 计和温度计在野外测量,K⁺、Na⁺测试方法为火焰原子吸收分光光度法(GFU 2202),Ca²⁺、Mg²⁺测试方法为 EDTA 滴定法,总硬度为 Ca²⁺、Mg²⁺离子含量的总和,SO₄²⁻、Cl⁻测试方法为离子色谱法(HLC2601),HCO₃⁻、CO₃²⁻测试方法为酸碱滴定法。

3.2 研究方法

本文水质评价主要使用基于熵权的密切值法^[12-14]进行水质评价。方法简要介绍如下。

3.2.1 密切值法

密切值法是一种将样本进行优劣排序从而确定其所处等级的方法,该方法是将各监测点及评价标准中的等级标准值作为评价点,在其中找出虚拟水质最优点和虚拟水质最劣点,通过计算各评价点到虚拟最优点和虚拟最劣点的距离,进一步计算密切值,密切值的排序即反应了各样本优劣的排序^[12]。利用密切值法评价水质,通常需要经过以下几个步骤^[12-13]。

① 根据水质分析结果和水质评价标准,建立初始矩阵。设有 m 个水样,每个水样有 n 个评价指标。设水样分析结果为 c_{ij} , $i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n$ 。将水质等级评价标准(p 个等级)对应的 n 个评价指标也当成实测样本,这样就构成了 $(m+p)$ 个样本与 n 个指标的初始矩阵 $(c_{ij})_{(m+p) \times n}$ 。

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \cdots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \cdots & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{(m+p)1} & c_{(m+p)2} & \cdots & c_{(m+p)n} \end{bmatrix}_{(m+p) \times n}$$

由于初始矩阵中各评价指标的量纲、数量级及指标优劣的取向存在很大差异,故需对初始矩阵的数据做规范化处

理^[13-14]。

$$r_{ij} = \begin{cases} c_{ij} / [\sum_{i=1}^{(m+p)} c_{ij}^2]^{\frac{1}{2}} & \text{(正向指标)} \\ -c_{ij} / [\sum_{i=1}^{(m+p)} c_{ij}^2]^{\frac{1}{2}} & \text{(逆向指标)} \end{cases} \quad (1)$$

由此求得无量纲的环境矩阵 $R = (r_{ij})_{(m+p) \times n}$ 。

② 构建虚拟的最优水质点和最劣水质点。令 $r_j^+ = \max\{r_{1j}, r_{2j}, \dots, r_{(m+p)j}\}, j \in \{1, 2, \dots, n\}$; 令 $r_j^- = \min\{r_{1j}, r_{2j}, \dots, r_{(m+p)j}\}, j \in \{1, 2, \dots, n\}$ 。则点 $G = \{r_1^+, r_2^+, \dots, r_{(m+p)}^+\}$ 为虚拟水质最优点, $B = \{r_1^-, r_2^-, \dots, r_{(m+p)}^-\}$ 为虚拟水质最劣点。

③ 计算各评价点的密切值。采用欧式距离计算待评价点(r_{ij})与虚拟最优监测点($(r_{ij})G$)的距离 $d_{i,G}$ 和虚拟最劣监测点($(r_{ij})B$)的距离 $d_{i,B}$ 。其中 w_j 为各指标的权重, 采用熵权法确定。

$$\begin{cases} d_{i,G} = \sqrt{\sum_{j=1}^n w_j [r_{ij} - (r_{ij})_G]^2} \\ d_{i,B} = \sqrt{\sum_{j=1}^n w_j [r_{ij} - (r_{ij})_B]^2} \end{cases} \quad (2)$$

由此, 按照下式计算可以得到最优密切值:

$$E_i = \frac{d_{i,G}}{\min\{d_{i,G}\}} - \frac{d_{i,B}}{\min\{d_{i,B}\}} \quad (3)$$

④ 实测样本点的水环境质量评价。根据 E_i 的大小对各水样和分级标准进行排序, 并根据其所处的相对位置确定水样的水质级别。处于I级分界线前面的为I级水质, 处于I级和II级分界线之间的为II级水质, 处于II级和III级分界线之间的为III级水质, 以此类推可以确定各水样的水质情况。

3.2.2 熵权的确定

将由 m 个评价点与 n 个指标构成的初始环境矩阵 $C = (c_{ij})_{m \times n}$ 采用下式进行标准化处理^[14]。由此可得标准化矩阵 $Y = (Y_{ij})_{m \times n}$

$$Y_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sum_{i=1}^m y_{ij}} \quad 0 \leq Y_{ij} \leq 1 \quad (4)$$

表 1 主要化学指标统计分析结果

Table 1 Statistical analysis results for main chemical parameters of samples

水类型	统计指标	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺ + Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	总硬度	TDS	pH	游离 CO ₂
地表水	最大值	44.9	16.7	3.6	3.0	35.8	200.1	3.0	175.9	275.4	8.0	10.4
	最小值	32.0	7.7	0.6	1.8	8.0	117.2	0.0	111.7	172.5	7.8	0.0
	平均值	39.3	11.0	1.9	2.5	16.5	150.5	0.7	143.3	223.4	7.9	5.0
	标准差	5.5	3.2	1.1	0.6	9.9	29.3	1.2	21.7	33.6	0.1	3.3
地下水	最大值	61.0	22.0	9.3	4.0	40.2	231.9	1.8	223.7	358.5	7.9	20.9
	最小值	28.8	2.5	0.1	1.0	7.9	92.1	0.0	92.1	142.8	7.5	5.1
	平均值	37.7	14.3	3.3	2.5	20.0	157.4	0.2	153.5	236.3	7.7	9.1
	标准差	8.8	5.9	3.1	0.8	10.0	41.7	0.6	39.3	62.4	0.1	4.7
矿坑水	最大值	48.0	17.8	5.2	2.6	21.0	217.8	0.0	193.4	312.2	7.6	17.6
	最小值	35.3	11.7	0.8	2.0	8.4	140.4	0.0	136.1	209.3	7.4	10.6
	平均值	41.6	15.3	3.6	2.3	16.1	188.8	0.0	166.8	267.7	7.5	14.2
	标准差	6.4	3.2	2.4	0.3	6.8	42.2	0.0	28.9	52.8	0.1	3.5

Piper 三线图是一种最有实用价值的图示法, 在许多研究论文中都得到了广泛的应用^[19]。本文中对地表水、地下水和矿坑水分别采用 Aquachem 4.0 绘制了 Piper 三线图, 以研究其水化学类型特征及其酸碱性变化, 见图 2 至图 4。对

式中: $y_{ij} = \begin{cases} c_{ij} / (c_{ij})_{\max} & A_j \text{ 为正向指标} \\ (c_{ij})_{\min} / c_{ij} & A_j \text{ 为负向指标} \end{cases}$

再根据斯林公式计算^[15], 可得 j 项指标的信息熵值 e_j 。

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m Y_{ij} \ln Y_{ij} \quad (5)$$

式中: k - 与系统评价点 m 有关的常数, 计算公式为: $k = (1nm)^{-1}$ 。

信息熵越小, 说明各评价点的某指标的检测值的差距越大, 该指标在水质评价中所起的作用也越大。则 j 项指标的权重 w_j 为:

$$w_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^n (1 - e_j)} \quad (6)$$

4 结果与讨论

4.1 水化学特征

不同化学指标在不同水体中具有不同的浓度含量与统计特征。文中采用 Excel 分别计算了地表水、地下水和矿坑水的基本统计指标, 结果见表 1。由表 1 可知, 对比不同水体中的各种化学指标, 除 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 CO_3^{2-} 和 pH, 其余指标在矿坑水样中含量要稍高于其在地表水和地下水中的含量, 这主要由于矿坑开挖改变了地下水环境条件, 在人为的影响下, 其含量略有升高。地下水中的 Ca^{2+} 、 CO_3^{2-} 和 pH 要低于其在地表水中的含量, 而其余指标则高于在地表水中的含量。这主要由于尽管地表水处于开放环境中, 但由于其所处地理位置偏僻, 其受自然条件以及人类活动的影响程度不高, 而地下水基本处在恒温条件下, 其在含水层系统中与周围含水层介质的作用比较稳定, 因而地下水中大多数化学指标含量要高于地表水。总体而言, 矿区内各种水体中化学指标含量不高, 均未超过地下水质量标准中的二类水标准, 在一定程度上代表了该地区的化学指标背景值。

比图 2 至图 4, 可以发现, 不管是地表水、地下水还是矿坑水, 水化学类型均为 $HCO_3-Ca \cdot Mg$ 型或 HCO_3-Ca 型水, 这表明矿区水文条件和地质地质条件良好, 水体径流条件优越, 水化学类型为典型的补给区水化学类型。由 Piper 图菱

形区域对比分析可知, 研究区水体化学元素碱土金属离子超过碱金属离子, 弱酸根超过强酸跟, 且碳酸盐硬度超过 50%, 这表明研究区主要含水层中富含 CaCO_3 等, 具有典型的岩溶含水系统特征。这与水质分析及钻探等资料也十分吻合。

评价了水样水质, 并于密切值法评价结果相比较, 以验证密切值法的可靠性。这些计算结果见表 2。

表 2 水质评价结果

Table 2 Assessment results of samples

水样 编号	水源 类型	密切 值	综合 指数 评价 结果	水样 编号	水源 类型	密切 值	综合 指数 评价 结果
S1	地表水	3.05	I	G5	地下水	5.11	I
S2	地表水	4.80	I	G6	地下水	0.65	I
S3	地表水	2.17	I	G7	地下水	3.30	I
S4	地表水	0.92	I	G8	地下水	1.26	I
S5	地表水	2.47	I	G9	地下水	8.89	II
S6	地表水	4.65	I	G10	地下水	4.72	I
G1	地下水	6.52	I	G11	地下水	3.66	I
G2	地下水	3.50	I	K1	矿坑水	6.16	I
G3	地下水	0.00	I	K2	矿坑水	2.39	I
G4	地下水	2.94	I	K3	矿坑水	4.56	I

由表 2 评价结果可知, 在现状条件下, 矿区水体水质达到良好 - 优良级别。全部水样水质综合评价结果均达到了 I 级或 II 级水平, 代表了该区水体的天然背景值或天然低背景值。现状条件下, 无论是地表水、地下水还是矿坑水, 人为污染均很小, 这与当地经济发展与人口状况密切相关。然而, 随着矿山开采活动的不断进行, 若不采取一定的保护措施, 矿区水环境必定会受到一定程度的影响, 尤其是地下水环境, 在矿山开发的影响下, 更容易受到破坏与污染。因此, 在矿山开发的同时, 应积极采取水环境保护措施, 避免因矿山开发导致的水环境破坏与污染。

对比基于熵权的密切值法评价结果和综合评价法评价结果可以发现, 除 G9 二者评价结果略有差别外, 其余水样评价结果均一致。仔细分析 G9 水质分析结果, 可以发现, 所选的用于综合评价的五个评价指标中, 总硬度和 TDS 均属于 II 级, 其余三个指标属于 I 级水。因此将其评价为 I 级水或是 II 级水均比较合理, 但是将其作为 II 级水对待, 对安全供水更保险。以上分析表明, 基于熵权的密切值法也是一种较为可靠的水质评价方法, 而且计算简便, 程序化后更易操作, 它为水质评价提供了一种备用的优选方法。

5 结论

为给矿区水资源合理开发利用提供理论支持, 本文通过野外取样, 实验室分析, 对四川老河坝磷矿区地表水、地下水和矿坑水的水化学特征进行了初步评价, 并采用基于熵权的密切值法对综合水质进行了评价, 将评价结果与综合指数法评价结果进行了对比。通过研究, 得到以下几点结论。

① 不同化学指标在不同水体中具有不同的浓度含量与统计特征。矿坑水样中各指标含量(除 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 CO_3^{2-} 和 pH)要稍高于其在地表水和地下水中的含量。地下水中的 Ca^{2+} 、 CO_3^{2-} 和 pH 要低于其在地表水中的含量, 而其余指标则高于在地表水中的含量。这与各种水体所处环境以及外界影响程度不同有关。总体而言, 矿区内各种水体中化学指标含量不高, 均未超过地下水质量标准中的二类水标

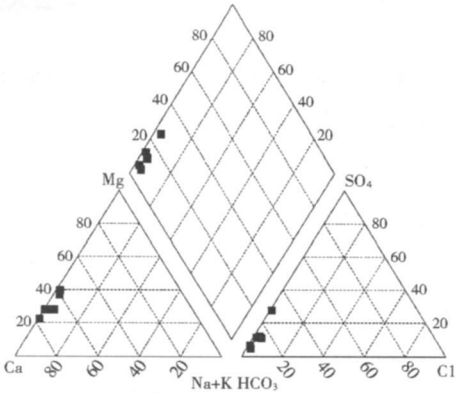


图 2 地表水水化学 Piper 图
Fig. 2 Piper diagram of surface water

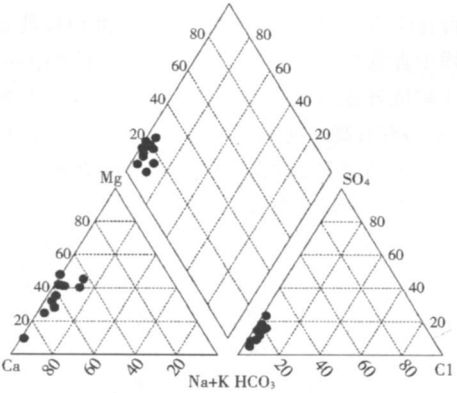


图 3 地下水水化学 Piper 图
Fig. 3 Piper diagram of groundwater

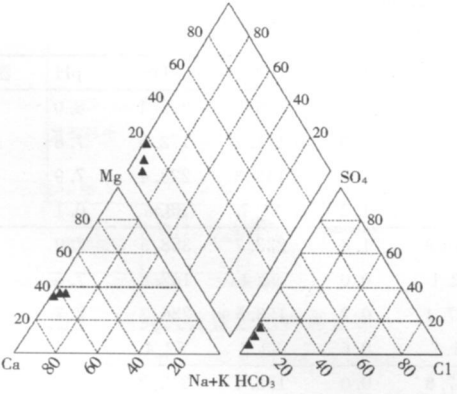


图 4 矿坑水水化学 Piper 图
Fig. 4 Piper diagram of mine water

4.2 水质综合评价

根据水质分析结果, 选取总硬度、TDS、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 和 pH 作为评价指标进行水质综合评价。按照式(1)至式(6)计算了各评价指标的熵权和各评价水样的密切值。根据密切值的排序, 确定了各水样的水质等级。同时采用综合指数法

准,在一定程度上代表了该地区的化学指标背景值。水化学类型为 $\text{HCO}_3\text{-Ca}\cdot\text{Mg}$ 型或 $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ 型水,表明矿区水文条件和水文地质条件良好,水体径流条件优越,水化学类型为典型的补给区水化学类型。

② 水质综合评价表明矿区现状水质达到良好—优良级别,适于饮用,建议采用地表水和地下水作为矿区供水水源。在矿山开采后,矿区水环境会受到一定程度的影响,尤其是地下水环境,因此需采取一定的保护措施,防治矿区水质污染。

③ 基于熵权的密切值法是一种较为合理可靠的水质综合评价方法,具有计算简便,易于程序化等优点,具有较广阔的应用前景。

参考文献(References):

[1] 唐要安,刘芳芳,张海波. 矿区水资源可持续利用评价指标体系研究[J]. 矿业工程, 2007, 5(2): 46-49. (TANG Yao-an, LIU Fang-fang, ZHANG Hai-bo. Study of Target System for Assessment of Sustainable Use of Water Resource in Mining Area[J]. Mining Engineering, 2007, 5(2): 46-49. (in Chinese))

[2] 成春奇,徐龙. 临涣矿区水化学特征及在矿井水源判别中的意义[J]. 煤田地质与勘探, 1995, 23(1): 43-48. (CHENG Chun-qí, XU Long. Hydrogeochemical Characteristics of Groundwater Regime in Linhuan Mining Area and Their Uses in Determining of Mining Water Source[J]. Coal Geology & Exploration, 1995, 23(1): 43-48. (in Chinese))

[3] 韩程辉,刘文生. 模糊综合评判法在矿区地下水水质评价中的应用[J]. 矿业安全与环保, 2004, 31(5): 36-38. (HAN Cheng-hui, LIU Wen-sheng. Application of Fuzzy Comprehensive Judgement Method in Evaluation of Underground Water Quality in Mining Area[J]. Mining Safety & Environmental Protection, 2004, 31(5): 36-38. (in Chinese))

[4] 潘妍妍,赵存. 模糊评价法在潞安矿区水质评价中的应用[J]. 煤炭技术, 2010, 29(5): 10-12. (PAN Yan-yan, ZHAO Cun. Application of Fuzzy Evaluation Methods in Mine Water Quality of Luan Mine Area[J]. Coal Technology, 2010, 29(5): 10-12. (in Chinese))

[5] 栾利香. 新汶矿区地下水水化学特征及质量评价[D]. 青岛: 山东科技大学, 2006. (LUAN Lixiang. Chemical Characteristics and Quality Evaluation of Groundwater in Xinnven Coal Mine [D]. Qingdao: Shandong Univiersiyt of Science and Technology, 2006. (in Chinese))

[6] 杜玉龙,方维萱,柳玉龙,等. 东川因民矿区地下水—选厂水水化学特征及资源化影响因素[J]. 地球与环境, 2010, 38(4): 512-518. (DU Yu-long, FANG Wei-xuan, LIU Yu-long, et al. Hydrochemical Characteristics of Groundwater and Concentrating Mill Water Factors Affecting Transformation to Water Resources in the Yinm Mining Area, Dongchuna, Yunnan Province[J]. Earth and Environment, 2010, 38(4): 512-518. (in Chinese))

[7] 崔先伟,吴健华,李培月,等. 泾源县地下水演化及其地球化学模拟[J]. 南水北调与水利科技, 2010, 8(6): 42-45. (CUI Xian-wei, WU Jian-hua, LI Pei-yue, et al. Evolution and Geochemical Modeling of Groundwater in Jingyuan County [J]. South-to-North Water Diversion and Water Science & Technology,

2010, 8(6): 42-45. (in Chinese))

[8] 杨子林,李培月,吴健华,等. 泾源县饮用地下水水化学特征及水质评价[J]. 南水北调与水利科技, 2010, 8(5): 99-104. (YANG Zi-lin, Li Pei-yue, WU Jian-hua, et al. Hydrochemical Characteristics of Drinking Groundwater and its Quality Assessment in Jingyuan County[J]. South-to-North Water Diversion and Water Science & Technology, 2010, 8(4): 99-104. (in Chinese))

[9] 李培月,吴健华. 熵权集对分析法在地下水水质评价中的应用[J]. 宁夏工程技术, 2010, 9(1): 64-67. (LI Pei-yue, WU Jian-hua. Application of Set Pair Analysis Method Based on Entropy Weight in the Groundwater Quality Evaluation[J]. Ningxia Engineering Technology, 2010, 9(1): 64-67. (in Chinese))

[10] LI Pei-yue, QIAN Hui, WU Jian-hua. Groundwater Quality Assessment Based on Improved Water Quality Index in Pengyang County, Ningxia, Northwest China[J]. E-Journal of Chemistry, 2010, 7(S1): 209-216.

[11] WU Jian-hua, LI Pei-yue, QIAN Hui. Groundwater Quality in Jingyuan County, a Semi-humid Area in Northwest China[J]. E-Journal of Chemistry, 2011, 8(2): 787-793.

[12] LI Pei-yue, WU Jian-hua, QIAN Hui. Groundwater Quality Assessment Based on Entropy Weighted Osculating Value Method[J]. International Journal of Environmental Sciences, 2010, 1(4): 621-630.

[13] 吴健华,李培月,卢慧蛟. 基于熵权的密切值法在内蒙古东胜煤田阿不亥普查区水质评价中的应用[J]. 环境科学与管理, 2010, 35(6): 178-181. (WU Jian-hua, LI Pei-yue, LU Hui-jiao. Application of Osculating Value Method Based on Entropy Weight in Water Quality Assessment of Dongsheng Coalfield Investigation Area in Inner Mongolia [J]. Environmental Science and Management, 2010, 35(6): 178-181. (in Chinese))

[14] 郭树宏,张江山. 基于熵权的改进密切值法在地面水环境质量评价中的应用[J]. 安全与环境学报, 2007, 7(3): 75-77. (GUO Shu-hong, ZHANG Jiang-shan. On the Application of Intimate Data Method Based on Entropy Authority to the Surface Water Environmental Quality Evaluation[J]. Journal of Safety and Environment, 2007, 7(3): 75-77. (in Chinese))

[15] 吴健华,李培月,宋宝德,等. 基于熵权的TOPSIS方法用于地下水质量综合评价[J]. 宁夏工程技术, 2010, 9(4): 326-329. (WU Jian-hua, LI Pei-yue, SONG Bao-de, et al. Application of Entropy Weighted TOPSIS Method in Groundwater Quality Assessment [J]. Ningxia Engineering Technology, 2010, 9(4): 326-329. (in Chinese))

[16] 王涛,魏亚妮,钱会. 权重对水质模糊综合评价的影响[J]. 南水北调与水利科技, 2010, 8(2): 87-90. (WANG Tao, WEI Ya-ni, QIAN Hui. Influence of Different Weights on Fuzzy Comprehensive Evaluation Method for Water Quality [J]. South-to-North Water Diversion and Water Science & Technology, 2010, 8(2): 87-90. (in Chinese))

[17] 吴健华,李培月,钱会,等. 地下水水质评价方法对比研究—以银川市宁化I 水源地为例[J]. 水资源与水工程学报, 2010, 21(2): 147-149. (WU Jian-hua, LI Pei-yue, QIAN Hui, et al. Comparative Analysis of the Evaluation Methods for Groundwater Quality—As a Case Study for the Ningxia Chemical (下转第 143 页)

4 基坑防渗稳定效果分析

① 防渗墙截渗效果分析。通过现场开挖检测,防渗墙

的均匀性、整体性、强度、渗透性均满足设计及相关规范要求。防渗墙水泥土 10 批试块 28 d 抗压强度平均值为 4.23 MPa,满足试块无侧向抗压强度不小于 1.0 MPa 的要求。防渗墙土体采用变水头渗透试验检测渗透系数,南线、西线、北线 3 组结果分别为 3.3×10^{-7} cm/s、 1.8×10^{-7} cm/s、 2.2×10^{-7} cm/s,均满足防渗墙抗渗系数 $K \leq A \times 10^{-6}$ cm/s 的设计要求。采用轻便触探对防渗墙的完整性及强度进行检测,结论是墙体完整性较好,桩身上部在探击范围内龄期 1~2 d 的强度均不小于 0.5 MPa,强度较高。

② 降水井降水效果分析。降水井施工时,根据观测井试验结果,同时考虑到护坦上封井难度较大以及防渗墙截渗效果较好,降水井施工方案略作调整,井距、井径基本不变,降水井布置、井深有所变化,井数由 26 口变为 24 口井,其中在底板及翼墙周边设置降水井 22 口(其中底板南北侧各 2 口深井,其余 18 口浅井),上下游护坦各 1 口深井,深井井底高程为-15 m,穿透 6 层土,进入第 ⑧ 层,浅井井底高程为-8.5 m,穿透 ⑥ 层土,进入第 ⑦ 层壤土。每口井配 5.5 kW 潜水泵抽水,实际最大出水量浅井 300 m³/d,深井 600 m³/d,实际单井平均出水量与计算值基本相符。

5 结语

从基坑开挖过程及基坑面成形的实际情况来看,基坑开挖顺利,土坡稳定,基坑面干燥,持力层保护较好,因此基坑截渗及降水效果较好,为后续施工安全及工程质量提供有力保障。本工程基坑截渗和降水设计可为南水北调其他泵站设计提供参考。

参考文献(References):

[1] 淮安市水利勘测设计研究院有限公司.南水北调东线第一期工程淮阴三站初步设计报告[R].淮安:淮安市水利勘测设计研究院有限公司,2005. (Huaian Surveying & Design Institute of Water Resources Co., Ltd.. The Tentative Design Report of Huaiying 3rd Pumping Station of the First Engineering of East Route Project of South-to-North Water Diversion[R]. Huaian: Huaian Surveying & Design Institute of Water Resources Co., Ltd., 2005. (in Chinese))

[2] 淮安市水利勘测设计研究院有限公司.南水北调东线第一期工程淮阴三站地质勘探报告[R].淮安:淮安市水利勘测设计研究院有限公司,2003. (Huaian Surveying & Design Institute of Water Resources Co., Ltd., The Geologic Prospecting Report of Huaiying 3rd Pumping Station of the First Engineering of East Route Project of South-to-North Water Diversion[R]. Huaian: Huaian Surveying & Design Institute of Water Resources Co., Ltd., 2003. (in Chinese))

[3] 姚学健,吴敬峰,张传鑫.南水北调东线田山倒虹吸基坑截渗技术[J].南水北调与水利科技,2007,5(4):4-6. (YAO Jian-xue, WU Jing-feng, ZHANG Chuan-xin. Deep Pit Seepage Technology Used in the Tianshan Inverted Siphon of the East Route to South-to-North Water Diversion Project [J]. South-to-North Water Diversion and Water Science & Technology, 2007, 5(4): 4-6. (in Chinese))

[4] 赵运臣,王超峰,胡斌.武汉高承压水区域深基坑降水的设计与施工[J].土工基础,2007,21(5):28-30. (ZHAO Yun-chen, WANG Chao-feng, Hu Bin. Dewatering Design and Construction Technology of the Deep Pit in the High Confined Aquifer Region in Wuhan [J]. Soil Engineering and Foundation, 2007, 21(5): 28-30. (in Chinese))

[5] 劳运邦,李彦海,李荣义,等.黄壁庄水库副坝的防渗与观测分析[J].南水北调与水利科技,2005,3(5):38-39. (LAO Dao-Bang, LI Yan-Hai, LI Rong-Yi, et al. Anti-Seepage Observation and Analysis of the Secondary Dam of Huangbizhuang Reservoir [J]. South-to-North Water Diversion and Water Science & Technology, 2005, 3(5): 38-39. (in Chinese))

[6] 黄影,赵坚,沈振中,等.两河口水电站地下厂房渗流控制布置方案研究[J].南水北调与水利科技,2009,7(3):35-37. (HUANG Ying, ZHAO Jian, SHEN Zhen-zhong, et al. Scheme of Seepage Control of Underground Powerhouse of Lianghekou Hydropower Station [J]. South-to-North Water Diversion and Water Science & Technology, 2009, 7(3): 35-37. (in Chinese))

[7] 王珊.岩土工程检测、试验与监测新技术应用手册[K].北京:中国科技文化出版社,2005. (WANG Shan. The Geotechnical Engineering Testing, Testing and Monitoring the New Technology Application manual [K] Beijing: China Science and Technology Culture Press, 2005. (in Chinese))

[8] 陈幼雄.井点降水设计与施工[M].上海:上海科技普及出版社,2004. (CHEN You-xiong. Well Point Dewatering Design and Construction [M] Shanghai: Shanghai Science and Technology Universal Press, 2004. (in Chinese))

(上接第 129 页)

Plant I Water Sources in Yinchuan City[J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2010, 21(2): 147-149. (in Chinese))

[18] 吴健华,李培月.多种密切值法在水质评价应用中的对比研究[J].水利科技与经济,2010,16(5):481-483. (WU Jian-hua, LI Pei-yue. Comparison of a Variety of Osculating Value Methods

in Water Quality Assessment [J]. Water Conservancy Science and Technology and Economy, 2010, 16(5): 481-483. (in Chinese))

[19] 钱会,马致远.水文地球化学[M].北京:地质出版社,2005. (QIAN Hui, MA Zhi-yuan. Hydrogeochemistry [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2005. (in Chinese))