

# 郑家坡铁矿矿渣堆存对地下水环境影响评价<sup>\*</sup>

张建伟<sup>1</sup> 郭秀岩<sup>2</sup> 王锡魁<sup>1</sup>

(1. 吉林大学; 2 山东省地质科学试验研究院)

**摘 要** 在考虑矿山周围基本条件的基础上,选取 13 项地下水环境评价因子,对郑家坡铁矿第四系孔隙水和基岩水的环境质量现状进行了评价。化验结果显示,该 2 种水现状水质属极差。矿渣室内浸溶试验显示其浸溶液环境质量良好。通过渗水试验得出其土层入渗系数为 0.007 7 m/d。矿渣堆存对地下水环境影响的综合评价结果为较小。

**关键词** 矿渣 地下水 环境现状 浸溶试验 渗水试验 环境影响评价

## Assessment of the Environment Impact of the Mine Waste Disposal in Zhengjiapo Iron Mine on Groundwater

Zhang Jianwei<sup>1</sup> Guo Xiuyan<sup>2</sup> Wang Xikui<sup>1</sup>

(1. Jilin University; 2 Shandong Academy of Geological Sciences)

**Abstract** The assessment of the environmental actuality of quaternary pore water and bedrock water was made by selecting 13 environment assessment factors according to the basic conditions surrounding the mine. The chemical results show that the water quality of these two kinds of water is worst. The mine waste indoor lixiviation test indicates that the water quality of lixiviation liquor is good. The permeability coefficient of soil is 0.007 7 m/d according to the permeability test. It is concluded that the mine waste disposal has a small impact on the groundwater environment.

**Keywords** Mine waste, Groundwater, Environmental actuality, Lixiviation test, Permeability test, Environmental impact assessment

矿山已成为我国重要的环境污染源<sup>[1-2]</sup>。矿山开发过程中,对地下水的破坏和污染比较严重<sup>[3-4]</sup>。采矿产生的矿渣废弃物,造成大量有害物质沉积地表并通过各种途径进入含水层<sup>[5-6]</sup>,污染地下水,造成矿山生态环境破坏<sup>[7]</sup>。

郑家坡铁矿为新建矿山,位于山东省昌邑市卜庄镇辖区内,面积为 1.49 km<sup>2</sup>。矿体呈层状、似层状,以单斜形式平行排列或斜列产出。矿床是以铁为主,伴有钴、硫、铜、镍、硒、锰、铬的综合矿床,设计开采标高为 -80 ~ -320 m,设计可采量为 2 205.51 万 t,平均品位为 29.8%,矿山服务年限为 29 a。

在充分考虑矿区周围地形地貌和环境水文地质条件以及矿层厚度与埋深等因素的基础上,对地下水的环境现状进行评价,并据此做出矿渣堆存对地下水环境的影响评价<sup>[8-9]</sup>。

### 1 地下水环境现状评价

#### 1.1 评价因子及标准

选择 pH、总硬度、矿化度、硫酸盐、氯化物、硝酸盐、亚硝酸盐、氟化物及汞、砷、铬(六价)、镉、铅等

13 项作为评价因子。

评价标准采用国家《地下水质量标准》(GB 14848-93),以Ⅲ类水(生活饮用水)质量标准为依据(见表 1)。

表 1 地下水质量标准

项 目		mg/L	
项 目	类水标准	项 目	类水标准
pH	6.5~8.5	F <sup>-</sup>	1.0
总硬度	450	Hg	0.001
矿化度	1 000	As	0.05
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	250	Cr <sup>6+</sup>	0.05
Cl <sup>-</sup>	250	Cd	0.01
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (以 N 计)	20	Pb	0.05
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (以 N 计)	0.02		

#### 1.2 评价方法

采用国家《地下水质量标准》中所规定的环境质量评价分法。

(1) 单项组份评价,按标准所列分类指标,划分

<sup>\*</sup> 国家自然科学基金(编号:40772151),山东省自然科学基金(编号:Y2006E03)。

张建伟(1980—),男,吉林大学地球科学学院,博士研究生,130061 吉林省长春市建设街 2199 号。

组份所属质量类别,不同类别标准值相同时,从优不  
从劣。

(2)对各类别按表 2 规定分别确定单项组份评  
价分值  $F_i$ 。

表 2 地下水环境质量评价单项组份评分标准

类 别					
$F_i$	0	1	3	6	10

(3)采用下式计算综合评价分值

$$F = \sqrt{(\overline{F_i}^2 + F_{\max}^2) / 2},$$
$$\overline{F_i} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F_i,$$

式中, $\overline{F_i}$ 为单项组份评分值  $F_i$ 的平均值; $F_{\max}$ 为各单  
项组份评分值  $F_i$ 的最大值; $n$ 为项数。

(4)根据  $F$  值,按表 3 划分地下水质量标准级  
别。

表 3 地下水环境质量分级

级 别	优	良	良好	一 般	较 差	极 差
$F$	<0. 80	0. 80 ~ 2. 50	2. 50 ~ 4. 25	4. 25 ~ 7. 20		>7. 20

1.3 地下水现状评述

(1)第四系孔隙水环境质量评述。在工作区内  
取孔隙水样 7 件,并分别作了全分析和污染分析。  
结果表明(表 4),综合评价分值为 7. 54 ~ 8. 18,全  
区第四系孔隙水环境质量属极差;地下水化学类型  
主要为 Cl- Na 型,其次 Cl · SO<sub>4</sub> - Na · Mg 型;地下  
水中超标 ( 类水质量标准 ) 组份主要为矿化度、  
NO<sub>2</sub><sup>-</sup> 和总硬度,超标 1. 5 ~ 3. 5 倍;其它汞、砷、铬  
(六价)、镉、铅等毒性物质均低于 类水质量标准。  
区内第四系孔隙水不宜作为饮用水源。

表 4 第四系地下水质量评价结果

序号	水样位置	综合评分 $F$ 值	评价结果
1	SH <sub>2</sub>	7. 88	极差
2	SH <sub>3</sub>	7. 54	极差
3	SH <sub>4</sub>	7. 54	极差
4	SH <sub>5</sub>	7. 88	极差
5	SH <sub>6</sub>	7. 62	极差
6	ZKA <sub>3</sub>	8. 18	极差
7	ZKA <sub>12</sub>	8. 18	极差

(2)基岩水环境质量评述。在钻孔 ZKA<sub>3</sub> 和  
ZKA<sub>12</sub> 取 2 个基岩水样。测得地下水中主要组分含  
量及质量评价结果见表 5、表 6。

可以看出,基岩水中主要组分离子含量均高于  
类水质量标准;地下水综合评价分值为 7. 85 ~

8. 09,基岩地下水环境现状极差;超标组份主要为矿  
化度和总硬度;地下水化学类型为 Cl- Na · Mg 型。

表 5 基岩水中主要组分一览 mg/L

项目组分	ZKA <sub>3</sub>	ZKA <sub>12</sub>
总硬度	8 868. 49	12 436. 69
pH	7. 84	6. 84
矿化度	23 421. 52	35 771. 97
K <sup>+</sup>	31. 40	39. 10
Na <sup>+</sup>	5 425. 00	8 400. 00
Ca <sup>2+</sup>	1 440. 48	2 075. 34
Mg <sup>2+</sup>	1 280. 32	1 761. 94
Cl <sup>-</sup>	12 986. 43	19 413. 71
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1 981. 85	2 098. 34
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	237. 37	1 961. 18
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2. 00	4. 80

表 6 基岩裂隙水质量评价结果

序号	水样位置	综合评分 $F$ 值	评价结果
1	ZKA <sub>3</sub>	7. 85	极差
2	ZKA <sub>12</sub>	8. 09	极差

2 矿渣堆放量和浸溶试验

2.1 矿渣堆放量

铁矿每年产出废碴约 56. 41 万 t,其中废石为 8  
万 t,干选废石为 8. 4 万 t。因采用采后充填采矿方  
式,投产初期井下尚不能形成完整的采空区<sup>[10]</sup>,故  
在此期间生产的尾砂和渣石需作暂时堆存,其中尾  
矿渣经一定的技术处理,有 24. 49 万 t 用于井下采  
空区回填,即临时堆放场地的废渣为每年为 31. 92  
万 t。

2.2 矿渣浸溶试验

郑家坡铁矿渣石主要为含石榴黑云透辉变粒  
岩、黑云变粒岩类。经对所取矿渣作室内浸溶试验,  
在 24, 48, 72 h 浸溶条件下(蒸馏水浸溶),浸溶液中  
As, Hg, Cr<sup>6+</sup> 等微量元素均低于检出限(表 7、表 8),  
而常规组分含量变化则较为明显。随着浸溶时间的  
延长,各组分含量呈现出低 - 高 - 低的变化规律,浸  
溶液水化学类型亦由 HCO<sub>3</sub> · Cl- Na 型变为 HCO<sub>3</sub>  
- Na 型。

矿渣浸溶液主要组分含量变化曲线图(图 1)表  
明,矿渣在浸溶液条件下,72 h 之后浸溶液组分含  
量趋于稳定。通过上述浸溶试验可以发现,浸溶时  
间不同,浸溶液水化学组分含量有所变化,但稳定含  
量大都低于国家地下水 类水质量标准,仅 NO<sub>2</sub><sup>-</sup> 含  
量稍高,为 0. 045 mg/L。经综合评价,矿渣浸溶液  
质量良好。

表 7 矿渣浸溶液常规组分含量 mg/L

时间 /h	24	48	72
Cl <sup>-</sup>	16.31	17.40	13.05
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	15.00	15.00	17.50
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	55.72	67.45	64.52
F <sup>-</sup>	0.15	0.20	0.25
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0.045	0.045	0.05
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<0.40	0.51	0.43
全硬度	13.91	19.47	16.66
矿化度	135.19	151.26	149.71

表 8 矿渣浸溶液微量元素含量 mg/L

时间 /h	24	48	72
As	0.007	0.008	0.011
Hg	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1
Cd <sup>2+</sup>	<0.006	<0.006	<0.006
Pb	<0.005	<0.005	<0.005
Zn	<0.05	<0.05	<0.05
Cu	<0.05	<0.05	<0.05
Cd	<0.002 5	<0.002 5	<0.002 5

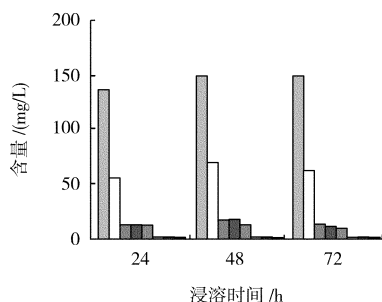


图 1 矿渣浸溶液组份变化

■-矿化度; □-碳酸盐; ■-硫酸盐; ■-全硬度  
■-氯化物; ■-氟化物; ■-硝酸盐; ■-亚硝酸盐

### 3 土层渗水试验

#### 3.1 试验场地和时间

通过渗水试验可以测定垂直渗透系数,了解矿区内包气带土的渗水性和防污能力<sup>[11-12]</sup>,以便预测矿渣在地面堆放后可能对水环境造成的影响。试验场地位于郑家坡村西 1 000 m 处(见图 2),试验时间总计为 360 min。

#### 3.2 试验装置和结果

试验采用双环法,试坑开挖 0.2 m,内环直径 0.25 m,外环直径 0.5 m,铁环高 0.4 m,内外环直径比  $r$  为 2。分别向内外环注水,使内外环水层保持在 10 cm 高度,并记录内环渗水量,直至其稳定,并稳定渗流延时 2~4 h。为防止冲刷,环内铺垫 3 cm 厚砂砾石层。实验装置见图 3。计算得出<sup>[13]</sup>其包气带地表土层入渗系数为 0.007 7 m/d。

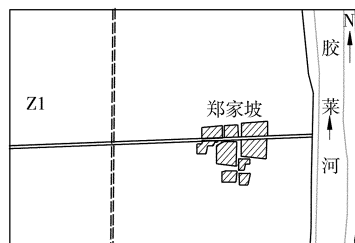


图 2 试验场地

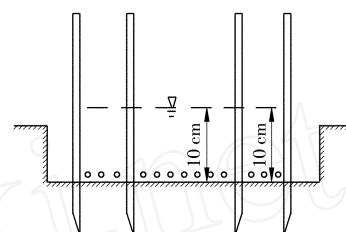


图 3 渗水实验装置

## 4 结 论

(1)按生活饮用水标准,区内浅层孔隙水、中深层裂隙水水质均极差。在未采取措施的情况下,矿山开发对松散岩类孔隙水水环境有一定的影响,对深部裂隙岩溶水水环境影响较大。矿山实施排堵结合的方法可减少孔隙水的影响。

(2)矿渣浸溶液环境质量良好;地表粉质粘土层入渗系数为 0.007 7 m/d,垂直渗透性差,隔水防污能力强。

(3)经综合评价,矿山开发过程中,在降雨淋溶条件下,矿渣暂时堆存对区域地下水环境影响较小。

## 参 考 文 献

- [1] 武 强. 我国矿山环境地质问题类型划分研究[J]. 水文地质工程地质, 2003, 30 (5): 107-112.
- [2] 张 梁. 我国矿山生态环境恢复治理现状和对策[J]. 中国地质矿产经济, 2002, 15 (4): 25-31.
- [3] 周连碧, 张 梅. 浅谈铁矿开采水土保持与生态环境保护[J]. 矿冶, 2007(1): 78-81.
- [4] 彭 林, 陈艳梅, 孙彦霞. 生态脆弱区某铁矿采选项目生态恢复措施探讨[J]. 水土保持研究, 2007, 14 (5): 10-12.
- [5] 刘荣芳, 陈鸿汉, 王延亮, 等. 某油田地下水污染特征分析[J]. 地下水, 2007, 29 (3): 62-66.
- [6] 于 新, 马志抒, 金 速, 等. 抚顺矿区地下水污染研究[J]. 水文地质工程地质, 2007, 34 (2): 93-95.
- [7] 孙秀红, 钱振华, 尤红军, 等. 铁矿开采业的生态保护对策——阜新市典型铁矿生态问题解析[J]. 环境保护科学, 2002(5): 41-43.
- [8] 郝佐格 D J, 福斯格伦 F M, 卢共平, 等. 如何评价矿山废弃物对地下水和地表水的潜在影响[J]. 国外金属矿山, 1992(2): 57-60.

(下转第 181 页)

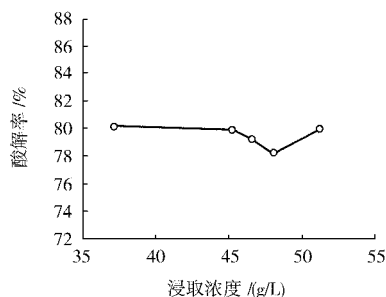


图 10 浸取浓度对酸解率的影响

从图 10 可看出,浸取浓度对酸解率的影响也不明显,浸取浓度低,水量太大,则稳定性差,有早期水解的危险;浓度高,浸取速度太慢,降低固相物的溶解速率,从而降低酸解率。综合考虑,浸取浓度取 50 g/L。

## 2.2 水解

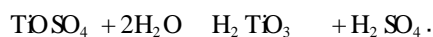
将酸解后的滤液进行化学成分分析,结果见表 2。

表 2 硫酸钛液 ( $\text{TiOSO}_4$ ) 主要化学成分及浓度 g/L

成 分	$\text{TiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{MgO}$	Fe
浓 度	55.73	39.29	18.67	12.60

从表 2 中可看出,溶液中  $\text{TiO}^{2+}$  浓度虽较低,但溶液中的离子强度较高,也可保证水解的正常进行<sup>[7-8]</sup>。

钛液的水解机理十分复杂,但其化学反应式可以简单归结如下:



水解采用自生晶种法,将预热好的钛液加入到预热好的底水中,控制在沸点左右水解,水解时间为

3 h。之后过滤、洗涤、煅烧,得到微黄色的  $\text{TiO}_2$ ,化学成分分析结果见表 3。

表 3  $\text{TiO}_2$  产物主要化学成分及含量 %

成 分	$\text{TiO}_2$	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{V}_2\text{O}_5$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
含 量	98.42	0.81	0.294	0.256	0.0345

## 3 结 论

(1) 从试验结果看,用硫酸法对低含钛量的含钛高炉渣进行钛提取在技术上是完全可行的。

(2) 酸解的适宜条件为粒度 300 目,酸渣比 1.8 ~ 2.2,硫酸浓度 85% 左右,反应时间 40 min,熟化时间 4 h,熟化温度 160 °C 甚至更高,浸取温度 50 °C,浸取时间 8 h,浸取浓度 50 g/L。最高酸解率可达到 90%。

## 参 考 文 献

- [1] 彭 兵,易文质,彭 及,等.复杂硫酸盐溶液体系水解制取钛白的研究[J].湖南有色金属,1997,13(1):39-42.
- [2] 廖华栋.攀钢高钛型高炉渣渣钛分离试验研究[D].重庆:重庆大学,2006.
- [3] 唐明权.攀枝花钒钛铁资源的二次综合利用[J].冶金工程,2003(3):32-34.
- [4] 李大纲.高炉渣中有价组分选择性析出与解离[D].沈阳:东北大学,2005.
- [5] 赵俊学.冶金原理[M].西安:西北工业大学出版社,2002.
- [6] 裴润.硫酸法钛白生产[M].北京:化学工业出版社,1982.
- [7] 彭 兵,易文质,彭 及,等.攀枝花钢铁公司高炉渣综合利用的一条途径[J].矿产综合利用,1997(6):26-30.
- [8] 张树立,程晓哲,胡鸿飞.酸溶性钛渣酸解工艺研究[J].钢铁钒钛,2003,24(1):39-45.

(收稿日期 2009-01-21)

(上接第 165 页)

- [9] 张 红.北 河铁矿开采及环境保护[J].矿业快报,2003(2):7-9.
- [10] 翁哲伟.潘洛铁矿浅部小矿体地下开采系统方案的修改与实施[J].采矿技术,2007,7(1):18-19.
- [11] 周玉新,周志芳.矿山边坡地下水浸润线的简便计算[J].

矿冶工程,2004,24(3):18-20.

- [12] 胡国信,亚海斌,章臣平.新桥硫铁矿下盘边坡地下水分析及疏干排水[J].金属矿山,2001(9):12-14.
- [13] 薛禹群,朱学愚.地下水动力学[M].北京:地质出版社,1979.

(收稿日期 2009-01-23)

## ·信息苑· 国储局二次原铝收储仍为 29 万 t 涉 11 家铝厂

国储局二次收储电解铝招标会已经结束。经招标,价格确定为 12 490 元/t 和 12 500 元/t。其中,12 490 元/t 收储 18.5 万 t,12 500 元/t 收储 10.5 万 t,4 月 15 日之前入库。除去上次参与收储的 8 家铝厂以外,这次又新增加了陕西有色金属集团铜川鑫光铝业公司、四川启明星铝业有限责任公司、兖矿科

澳铝业公司 3 家铝厂。

据悉,其中有 14 万 t 原铝将从中国铝业公司收购。此次收购是国储局在不到 2 个月中的第 2 次收购,中国政府意在需求不振的情况下对国内炼厂进行扶持。

(路透 2009-02-23)