

doi: 10.3969/j.issn.1005-7854.2020.02.019

磷矿山开采对黄柏河东支的影响研究

王海军^{1,2} 张长锁¹ 赵旭林¹ 鄢正华¹

(1. 北京矿冶科技集团有限公司, 北京 100160;

2. 东北大学, 沈阳 110004)

摘 要: 从黄柏河东支流磷矿山绿色开发要求出发, 基于地表水环境系统和矿业开采的耦合影响作用, 开展了磷矿山开采对黄柏河东支的水环境的影响研究。通过定量和定性分析, 在磷矿山开采过程中对黄柏河东支的各种影响因素中, 矿井涌水(占比为 43.19%)、尾渣淋溶水(占比为 15.51%)、矿废石淋溶水(占比为 14.64%)和生产废水(占比为 10.84%)为磷矿山开采对黄柏河东支水环境的主要影响因素, 尤其是矿井涌水携带的总污染物量大, 影响占比接近 50%。该研究影响分析为黄柏河东支水环境的治理提供有力指引支撑。

关键词: 磷矿山开采; 耦合作用影响; 影响分析

中图分类号: TD87

文献标志码: A

文章编号: 1005-7854 (2020) 02-0105-05

Influence of phosphate mine mining on the east branch of Huangbai river

WANG Hai-jun^{1,2} ZHANG Chang-suo¹ ZHAO Xu-lin¹ YAN Zheng-hua¹

(1. BGRIMM Technology Group, Beijing 100160, China; 2. Northeastern University, Shenyang 110004, China)

Abstract: Based on the requirements of the phosphate mine green development in the east branch of Huangbai river basin and the coupling effect of surface water environment system and mining, the impact of phosphate mine mining on the water environment of the east branch of Huangbai river was studied. Based on the quantitative and qualitative analysis, it is found that the influence of phosphate mine mining on the east branch of Huangbai river is mainly reflected in mine gushing water (43.19%), leached water of dressing tailings (15.51%), leached water of surface rock storage yard (14.64%), production waste water (10.84%). Furthermore, the mine gushing water, in phosphate mining has a great influence (nearly 50%) on the water environment of the east branch of Huangbai river. The impact analysis provides a strong guidance and support for water environment management in the east branch of Huangbai river.

Key words: phosphate mining; coupling interactions; impact analysis

黄柏河流域蕴藏着丰富的磷矿资源, 资源储量达 30 亿 t (其中基础储量 6.59 亿 t), 占湖北省保有磷矿资源储量的 62.8%^[1-2]。经过多年发展, 黄柏河流域的磷矿开发的格局发生了很大变化, 开发主体向大企业集中, 矿山生产规模明显扩大, 保有矿体埋藏加深, 一般在地表下 200 m 以上, 开采技术条件复杂, 对采掘技术要求高。目前生产矿山

多采用平硐溜井开拓、斜坡道开拓方式, 井下运输多采用机车轨道运输、无轨运输方式; 采矿方法主要采用房柱法, 需保护性开采地段采用条带法^[2]。

黄柏河流域的磷矿山开采规模将进一步扩大, 磷矿的开发利用会有更高层次的要求, 矿山开采必须走一条可持续发展的科学之路; 必须坚持以国家产业政策和市场为导向, 以企业为主体, 以科技进步和技术创新为动力, 以保障国内需求、建设现代化矿山为目标, 以提高精细磷化工、资源综合利用水平为重点, 走科技含量高、经济效益好、资源消耗低、环境污染少的循环经

收稿日期: 2019-09-16

第一作者: 王海军, 咨询工程师、一级建造师、高级工程师, 博士研究生, 采矿工程专业, 致力于采矿设计、研究工作, E-mail: wnacky@163.com

济之路。为实现磷产业的总量速度合理、结构优化、技术创新、节能减排和绿色开发的发展目标,必须开展磷矿山开采对地表主水系——黄柏河东支水环境的影响因素研究。

1 黄柏河东支概况

1.1 黄柏河东支水功能区划分

依据《水功能区划分技术大纲》和《水功能区划分标准》(GB 50594—2010)的要求和黄柏河流域的现实情况,将黄柏河流域东支水功能一级区划分为源头保护区。

东支源头至两河口,该区域水资源是宜昌市城区等市城市生活用水和工农业生产用水重要水源地。根据历史习惯和宜昌市黄柏河流域水资源保护条例的规定,将该区域划分为源头水保护区。黄柏河流域东支水功能一级区划如表1所示。

表1 黄柏河流域东支水功能一级区划表

Table 1 First division table of east branch water function in Huangbai river basin

流域	水资源利用分区	功能区名称	范围		水质目标	区划依据
			起始点	长度/km		
长江	黄柏河水系	东支源头水保护区	源头-两河口	130.4	GB3838—2002 标准Ⅱ类	主要供水水源地

1.2 黄柏河东支水环境现状评价

目前,根据水质监测的数据评判,黄柏河东支水质污染有逐年加剧之势。上游的矿山开发及其他生产性项目的增加,更加重了黄柏河小溪塔段的污染。宜昌市城区段黄柏河水质呈明显下降趋势,主要污染物为总氮、粪大肠菌群、五日生化需氧量、总磷等,城区的污染源主要是生活污水和少量企业的工业废水^[3-4]。

2 磷矿山开采对黄柏河东支水环境的影响

磷矿山开采过程中所排放的废石、矿坑水及尾渣对黄柏河流域所造成的水污染是不可忽视的环境问题^[5]。矿山开采对水的污染总体上为点源污染,主要包括直接污染与间接污染两种形式。直接污染主要是由矿坑涌水、选矿废水、废石和尾渣淋溶水对水环境污染来实现,间接污染是由于地表水水位降低所导致的塌陷,使污水借助塌陷裂隙渗入或者回灌地下造成影响^[6]。

基于对地表水环境系统和矿业开采的认知,磷

矿山开采对黄柏河东支的水环境影响可按图1框架进行分析。

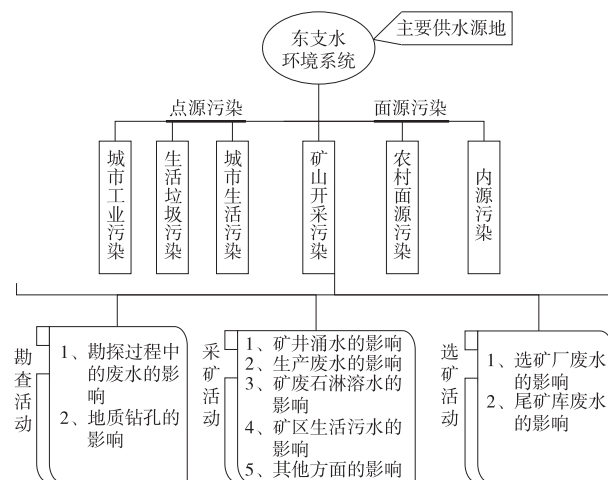


图1 水环境影响因素体系示意图

Fig. 1 Water environment influencing factors system schematic diagram

3 磷矿山开采对黄柏河东支水环境影响分析

3.1 矿山地质勘探对黄柏河流域水环境的影响分析

1) 地质勘探过程中,洗孔废水汇聚到附近的河流或随雨水一起进入到河流之中会携带污染物进入到地表水环境,并产生影响。2) 地质钻孔如穿透含水层,会形成通达矿层的导水通道,导致的地下涌水量的增加会改变地下水的承压环境,导致地下涌水增加。

3.2 矿山开采对黄柏河流域水环境的影响分析

磷矿山的采矿活动对黄柏河流域水环境质量体系的影响,主要体现在地表水的汇入和地下水排出汇入的两个层次,其中地表水的汇入具体表现在矿、废石堆场的溶淋水、矿区生活废水等,地下水的排出汇入具体表现在地下水涌出、生产废水的汇集排出等。矿山的采矿活动是工序复杂的建设活动,为实现矿山采矿活动对黄柏河东支影响的评价,将矿山采矿活动进行细化分类,本研究采用采矿作业产污源进行影响评价。

3.2.1 采矿方法方面的影响

目前所采用的采矿方法均属于空场采矿法的范畴。随着回采工作的进行,磷矿山的采空区暴露面积将不断增大,当采空区范围超过允许暴露面积时,随着暴露时间的增加,可能会引起地下岩层较强烈的地压活动,进而影响到隔水层的稳定和地表

的移动、塌陷,造成地下涌水量的增加或突然增大,进而影响到黄柏河流域的水环境体系。磷矿山采矿方法形成的采空区对黄柏河东支水环境的影响主要体现在:采空区的地压活动影响到隔水层的破坏,造成地下水涌入采空区的水量突增;空区暴露面积增大导致涌水面积增大,引起地下涌水量增加。

3.2.2 矿山生产作业方面的影响

基建期施工生产废水主要产生于石料冲洗、混凝土搅拌与养护过程,所含污染物主要为 SS,建设期掘进废石临时堆存于工业场地内废石堆场,遇雨产生的淋溶水如不进行处理直接外排,也会对黄柏河东支水环境造成污染。投产后,水污染源主要为矿井井下涌水和工业场地地面生产生活废水。开掘、破碎、爆炸均涉及到炸药的使用,炸药使用过后 1~2 h 内,生产用水水质极度恶化,污染物增加明显,会对黄柏河东支水环境造成污染。

3.2.3 矿山矿石转运、排弃废石方面的影响

黄柏河地区的磷矿主要由胶磷矿和其他脉石矿物——石英、斜长石、岩屑、黏土等以及少量碳酸岩、褐铁矿等组成。胶磷矿中磷酸盐矿物的水溶性虽然较差,但在酸性雨水的不断淋溶下,可加速溶解,从而由颗粒态磷变成岩溶性溶解磷。磷矿废弃地裸露的磷矿层和堆土场,极易发生风化淋溶,是水域中持久性磷污染源,废弃磷矿产生的污染物主要通过降雨淋溶形成的地表径流向外界传输,降雨期间入湖河流水质总磷(TP)是非雨期间的 20~80 倍。

3.2.4 矿山其他开采活动方面的影响

矿山开采生产的生活废水、地面施工废水及粉尘也会对黄柏河东支流域产生影响。

3.3 矿山选矿活动对黄柏河流域水环境的影响

选矿在正常情况下废水全部循环利用,对水体不产生污染影响,但在事故排放时,对黄柏河中部的局部区域和下游 5~10 公里范围内的污染影响是存在的。黄柏河东支流域磷矿开采的含磷废石和尾渣堆场,重介质选矿的小于 0.5 mm 的细粒级粉矿和大于 15 mm 的尾渣堆场,极易发生风化淋溶,是水域中持久性磷污染源。

4 磷矿山开采对黄柏河东支水环境影响程度量化分析

磷矿山开采影响因素的水量 Q 及携带污染物的浓度 C 均存在很大差别,为更好地采取有效措施,需要对其进行统一分析,找出磷矿山开采过程

中的主要影响因素。本研究选用如下的影响因素等价模型,如式(1)所示:

$$E_c = \frac{Q_i \times C_i}{Q_j \times C_j} \quad (1)$$

E_c —相对影响权重,无量纲常数; Q_i — i 因素水量, m^3 ; C_i — i 因素污染物浓度, mg/m^3 ; Q_j — j 因素水量, m^3 ; C_j — j 因素污染物浓度, mg/m^3 。

4.1 矿井涌水与生产废水

黄柏河东支流域的磷矿山均采用地下开采的方式,矿井涌水及生产环节的废水汇集到井下水仓,即使影响程度在污染源处存在各种差别,但在水仓内汇集后污染物浓度均趋于一致,因此影响程度可统一分析,只是在水量 Q 上存在差别。基于这个观点,对于矿井涌水与生产废水的影响权重分析可体现在水量 Q 的差别。

4.2 矿井涌水与淋溶水(矿石转运、废石堆场和尾渣堆场)

矿井涌水量与淋溶水的水量差别在 2~3 个数量级,但淋溶水短时的污染程度明显高于矿井涌水的污染程度。本研究认为,矿井涌水与淋溶水的相对影响权重取为 $E_c > 10$ 。

4.3 矿井涌水与生活废水、其他废水

矿井涌水量相对于生活废水及其他废水水量相差悬殊,磷矿山的生活废水及其他废水对比矿井涌水的影响程度相对偏小, $E_c > 10^5$ 。

4.4 磷矿开采排放源强度

基于对黄柏河东支流域磷矿山地下涌水量统计及影响因素等价模型对比分析,磷矿山各影响因素的排放源强度^[7-8]为:

1) 矿山涌水量(含生产用水): $1.93 \sim 5.21 m^3/(a \cdot t)$;

2) 淋溶水(矿石转运、废石堆场和尾渣堆场): $2.48 \times 10^{-2} \sim 4.65 \times 10^{-2} m^3/(a \cdot t)$, 影响当量为 $0.25 \sim 0.47 m^3/(a \cdot t)$;

3) 不对选矿厂进行量化;

4) 其他污水: $1.55 \times 10^{-2} m^3/(a \cdot t)$ 。

5 磷矿山开采的影响权重分析

对已有的定量分析,其数据采集及采用可能造成的误差。本研究采用定性与定量分析相结合的方法,选用层次分析法进行全部影响权重的总排序,将专家的认知与定量计算结合起来。

5.1 磷矿开采对黄柏河东支影响因素分析

磷矿山开采对黄柏河东支（最高层 A）的影响因素可以分为矿山地质勘探（B1）、矿山采矿（B2）和矿山选矿（B3）三个方面。地质勘探方面的影响主要是：勘探地表施工影响（C1）和地质钻孔影响（C2）。矿山采矿方面的影响主要是：矿井涌水影响（C3）、生产废水影响（C4）、矿废石淋溶水影响（C5）、矿区生活污水影响（C6）及其他影响（C7）。矿山选矿方面的影响主要是：选矿厂污水影响（C8）及尾渣堆场淋溶水（C9）。

5.2 建立层次结构模型

将影响黄柏河东支的因素进行条理化、层次化，按照目标层（最高层）、准则层（中间层）和因素层（最低层）理出递阶层次结构^[9]。明确各个层次的因素及其位置，并将它们之间的关系用连线连接起来，就构成了黄柏河东支影响因素的递阶层次结构模型，如图 2 所示。

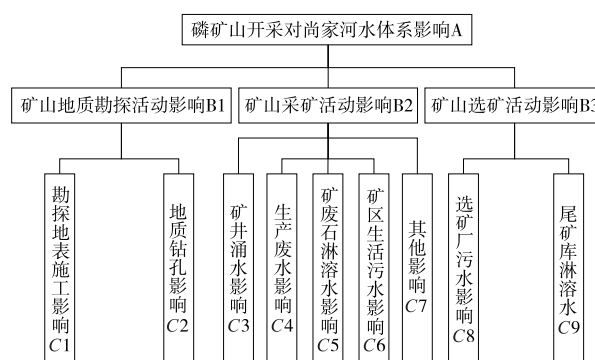


图 2 磷矿山开采对黄柏河东支影响因素的层次结构模型图

Fig. 2 Influencing factors of phosphate mine mining on the eastern branch of Huangbai river hierarchical model diagram

5.3 影响因素影响权重

确定层次结构模型后，选择多个专家进行打分。打分后，依据层次分析法的基本原理，对层次分析法模型进行计算。各因素影响权重如表 2 和图 3 所示。

表 2 各影响因素影响权重排序表

Table 2 Influencing factors weighted table

磷矿山开采对尚家河水体系影响 A	特征向量 (W_i)	最大特征根 ($\lambda_{\max}$)	一致性比例	权重/%
矿山地质勘探活动影响 B1	0.063 3	3.071 3	0.068 5	6.33
矿山采矿活动影响 B2	0.742 9			74.29
矿山选矿活动影响 B3	0.193 9			19.39
矿山地质勘探活动影响 B1	特征向量 (W_i)	最大特征根 ($\lambda_{\max}$)	一致性比例	权重/%
勘探地表施工影响 C1	0.333 3	2	0	2.11
地质钻孔影响 C2	0.666 7			4.22
矿山采矿活动影响 B2	特征向量 (W_i)	最大特征根 ($\lambda_{\max}$)	一致性比例	权重/%
矿井涌水影响 C3	0.581 3	5.372 4	0.083 1	43.19
生产废水影响 C4	0.145 9			10.84
矿废石淋溶水影响 C5	0.197 1			14.64
矿区生活污水影响 C6	0.043 6			3.24
其他影响 C7	0.032			2.38
矿山选矿活动影响 B3	特征向量 (W_i)	最大特征根 ($\lambda_{\max}$)	一致性比例	权重/%
选矿厂污水影响 C8	0.2	2	0	3.88
选尾渣堆场淋溶水 C9	0.8			15.51

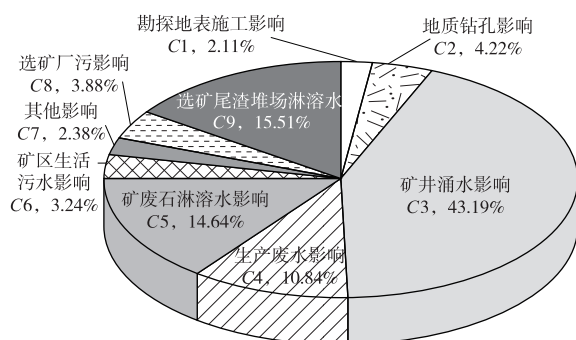


图 3 各影响因素影响权重图

Fig. 3 Influencing factors weighted diagram

由表 2、图 3 分析可知，在磷矿山开采过程中对黄柏河东支的各种影响因素中，矿井涌水（占比为 43.19%）、矿废石淋溶水（占比为 14.64%）、尾渣淋溶水（占比为 15.51%）和生产废水（占比为 10.84%）为磷矿山开采对黄柏河东支水环境的主要影响因素，影响总占比接近 85%。尤其是矿井涌水携带的总污染物量大，影响占比接近 50%，在磷矿山开采过程中要重点治理。

6 结论

1) 磷矿山开采对黄柏河东支水体影响主要在

地质勘探、采矿活动和选矿活动环节，集中体现在矿井涌水、生产废水、地表矿石废石堆场的淋溶水、选矿尾渣淋溶水、矿区生活污水及其他污水所带来的影响。

2) 通过定量的影响程度分析，在一定程度上保证了定量、定性分析的一致性和适用性，使定量、定性分析方法可靠。通过定量、定性分析，得出了磷矿山开采对黄柏河东支水环境影响因素的排放强度，矿井涌水、矿废石淋溶水、尾渣淋溶水和生产废水为磷矿山开采对黄柏河东支水环境的主要影响因素。

3) 通过定量、定性结合的分析方法，全面系统分析了磷矿山开采对黄柏河东支水环境影响，为黄柏河东支水环境的治理提供了有力的指引支撑，保证黄柏河东支水环境的治理做到有的放矢。

参考文献

- [1] 魏鹏. 我国磷矿分布特点及主要开采技术[J]. 武汉大学学报, 2011, 33 (2): 108-110.
WEI P. Main distribution features of phosphate ore and it's major mining technology in China [J]. Journal of Wuhan Institute of Technology, 2011, 33 (2): 108-110.
- [2] 严炜, 范建强, 陈葛成, 等. 湖北省磷矿资源的空间富集规律及其产业布局[J]. 地质找矿论丛, 2015, 30 (1): 103-110.
YAN W, FAN J Q, CHEN G C, et al. The spatial concentration of phosphorous mineral resources and industrial layout in Hubei province [J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 2015, 30 (1): 103-110.
- [3] 李小勇, 胡冰, 刘圣德, 等. 宜昌地区深部磷矿开发水文地质与数学模型初探[J]. 资源环境与工程, 2013 (6): 816-820.
LI X Y, HU B, LIU S D, et al. Preliminary study on hydrogeological and mathematical model of deep exploitation of phosphate ore [J]. Resources Environment & Engineering, 2013 (6): 816-820.
- [4] 周红英, 向坤, 阙红涛, 等. 宜昌市黄柏河水华成因及防治[J]. 湖北民族学院学报 (自然科学版), 2013, 31 (3): 357-360.
- ZHOU H Y, XIANG K, KAN H T, et al. To investigate the causes and prevention measures of Huangbai river bloom [J]. Journal of Hubei University for Nationalities (Natural Science Edition), 2013, 31 (3): 357-360.
- [5] 李琼, 刘佳, 李永凯. 黄柏河流域水库底泥内源磷释放对水质影响分析[J]. 人民长江, 2019, 50 (3): 60-65.
LI Q, LIU J, LI Y K. Effect of endogenous phosphorus release from reservoir bottom sediment on water quality in Huangbai River Basin [J]. Yangtze River, 2019, 50 (3): 60-65.
- [6] 毕雪, 杨梦斐, 田志福. 宜昌市黄柏河流域水污染特征及防治措施研究[J]. 水利水电技术, 2017, 48 (4): 99-103.
BI X, YANG M F, TIAN Z F. Study on water pollution characteristics of Huangbaihe River Watershed in Yichang and its control measures [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2017, 48 (4): 99-103.
- [7] 杨研, 邵学军, 周刚, 等. 地表水环境质量模型评价体系的建立及应用[J]. 清华大学学报 (自然科学版), 2015, 55 (2): 155-163.
YANG Y, SHAO X J, ZHOU G, et al. Assessment system for surface water environmental quality models [J]. Journal of Tsinghua University (Science and Technology), 2015, 55 (2): 155-163.
- [8] 惠泱河, 蒋晓辉, 黄强, 等. 水资源承载力评价指标体系研究[J]. 水土保持通报, 2001, 21 (1): 30-34.
HUI Y H, JIANG X H, HUANG Q, et al. Research on evaluation index system of water resources bearing capacity [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2001, 21 (1): 30-34.
- [9] 李辉, 杨振宏. 矿山地下水污染指标的主从递阶分析与评价[J]. 中国铝业, 2000, 24 (2): 10-12, 25.
LI H, YANG Z H. Principal and subordinate analysis and evaluation of groundwater pollution indexes in mine. china molybdenum industry, 2000, 24 (2): 10-12, 25.