

全磷渣胶结充填对环境的影响及其资源化利用

甘蕾, 李夕兵, 范昀, 石英

中南大学资源与安全工程学院, 长沙 410083

摘要 通过对不同年份全磷渣充填区域渗滤水中污染物含量进行测定和分析, 探索全磷渣胶结充填后渗滤水中各离子含量随时间的变化规律。研究表明, 充填体渗滤水的 pH 值随着时间的增加逐渐趋于中性; 未充填之前, 磷石膏浸出液中总磷浓度高达 3979 mg/L, 形成充填体后充填体渗滤水中总磷浓度变为 1.3 mg/L, 经过一定时间的地下水淋滤作用后, 总磷浓度降至约 0.3 mg/L; 此外, 充填体渗滤水中 Zn、Fe、Cr、Mn、Ba、As 等元素的含量随充填时间的推移明显降低, 且保持在相对较低的水平。但充填体中的部分 F 和 Pb 能溶出到渗滤水中, 其溶出迁移机理及固化技术有待进一步研究。总体来说, 相对磷石膏地表堆存, 全磷渣胶结充填可以较好地固结磷石膏中大部分污染物, 有着广阔的工业推广价值和前景。

关键词 全磷渣胶结充填; 充填渗滤水; 固结作用

工业固体废弃物磷石膏的地表堆存对环境有潜在的负面影响, 全磷渣胶结充填利用磷石膏作为充填骨料, 可以很大程度上解决磷石膏地表堆存问题。但是, 磷石膏被充填至井下后是否会对环境造成污染这一问题尚未得到重视和详细研究。磷石膏 (PG) 是工业湿法生产磷酸时产生的一种固体废弃物, 常含有游离磷酸、磷酸盐、硫酸盐、氟、重金属等杂质, 部分磷石膏还有一定的放射性^[1]。随着固废问题的日益凸显, 磷石膏地表堆存引起的土壤及水体污染问题引起了学者的广泛关注^[2]。段先前等^[3]以地表水和地下水 III 类水质标准作为参考, 发现贵州某磷石膏堆场附近水体中总磷 (TP) 的含量为 17.2~1579 mg/L, 氟 (F) 含量为 6.13~232.8 mg/L, 两者含量严重超标。蔡榆等^[4]研究发现磷石膏尾矿库周边土壤表面 Zn、Cu、Hg、Ni 等重金属元素的浓度皆高于贵州省土壤背景值。由于磷石膏中残留的磷酸能使环境 pH 值下降, 增强了环境中金属离子的溶解度, 从而造成环境污染扩大化^[5]。

近 10 年来, 大量研究开始关注磷石膏的二次资源化利用, 包括利用磷石膏改善水泥胶凝时间、作为天然石膏替代品用于建材和筑路行业、利用其含有的氮、磷等营养元素用作土壤改良剂等^[6-8]。然而, 经过二次开发利用的磷石膏副产品仍然存在对环境的潜在危害。研究表明, 磷石膏用作土壤改良剂时, 被修复土壤中重金属元素的含量明显高于原生含量。在磷石膏修复的土壤中, 一些金属元素如 Fe、Cu、Al、

Mn、Ni 等经过雨水及水体的淋溶、浸泡作用, 可能会对地表及地下水造成重金属污染^[9]。磷石膏中的这些杂质很大程度上限制了磷石膏的大规模二次资源化利用, 以至于目前约 85% 的磷石膏仍采用建坝或者露天地表堆存的办法进行处理^[10], 成为制约中国磷肥工业可持续发展的瓶颈。

全磷渣胶结充填是近年来依据固体废弃物固化/稳定化处理技术 (solidification/stabilization, S/S) 开发的可以大量消耗磷石膏的新方法。该方法利用磷石膏作为充填骨料, 辅以黄磷渣、水泥熟料、生石灰等作为胶凝活性材料, 与水混合成充填料浆, 充填料浆经泵送至采空区, 形成能满足后续采矿活动强度的胶结体。该技术的开发和利用不仅可以提高矿石回采率, 减少贫化率, 并能有效控制地压, 防止地质灾害的发生, 为磷石膏资源化利用提供了一种有效途径^[11]。但是充填所带来的环境污染问题并没有受到足够的重视。目前防治因固废资源化利用带来的二次污染问题已经受到了国内外学者的广泛关注^[12-13]。董雯红等^[14]研究了用粉煤灰胶结充填的煤矸石复垦场地的重金属含量, 充填场地 Cu、Zn 浓度要高于比照土壤。Jiao 等^[15]发现用尾砂胶结充填厂附近的地下水体未受到明显污染。因此, 研究了全磷渣胶结充填渗滤液中污染成分的主要来源及其成分, 探究磷石膏经固化稳定化胶结充填后, 在地下水系的淋溶作用下, 其中污染物含量随时间的渗滤规律和特征, 以了解充填活动对区域地下水水质的影响。

收稿日期: 2016-09-27; 修回日期: 2016-11-08

基金项目: 中南大学创新驱动项目 (2015CX005, 2015CX016)

作者简介: 甘蕾, 硕士研究生, 研究方向为环境岩土工程, 电子信箱: icygan@csu.edu.cn; 李夕兵 (通信作者), 教授, 研究方向为岩石破碎及岩石动力学, 电子信箱: xbli@mail.csu.edu.cn

引用格式: 甘蕾, 李夕兵, 范昀, 等. 全磷渣胶结充填对环境的影响及其资源化利用[J]. 科技导报, 2017, 35(13): 84-89; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2017.11.013

1 取样及分析方法

1.1 样品采集

为了综合反映目前全磷渣胶结充填区域地下水受充填体中污染成分的影响,液体样品取自2007—2015年不同年份充填的矿房充填挡墙周围的渗滤水,现场取样如图1所示。每个采样点取3个平行样品,每个样品100 mL。采样所用PP塑料瓶需要先用硝酸润洗。取样后在部分液体样品中立即加入1+1硝酸,使其酸化至pH<2之后冷冻保存。在充填料浆制备点对浆体进行采样,待浆体静置15 min后,取上清液并用0.45 μm聚醚砜微孔膜过滤,滤液中各离子含量作为全磷渣胶结充填渗滤水离子含量初始对照值。磷石膏及胶凝材料均取自某磷矿充填站制浆厂,现场取样时将表层部分去除,分别取3 kg固体样品封存于聚乙烯密封袋中带回。



图1 充填渗滤水现场取样

Fig. 1 Field sampling of backfilling leachate

1.2 污染物测定方法及评价指标

本研究选取指标包括:pH值、总磷(TP)、硫(S)、氟(F)、锌(Zn)、铅(Pb)、铁(Fe)、六价铬(Cr)、锰(Mn)、钡(Ba)、砷(As)等。在采样现场,pH和F分别用Ohaus ST320 pH计和PF-202-C氟离子电极测定。其他离子的测定在取样后7 d内在实验室进行。根据《国家水和废水监测分析方法》,水中硫的含量选用铬酸钡紫外分光光度法(紫外分光光度计的型号为Shimad2U UV-1800)测定;渗滤水中总磷的含量利用钼锑抗分光光度法测定;重金属元素的浓度均通过ICP分析得到。按照国家地质矿产行业《地下水水质标准》(DZ/T

0290—2015)中的III类水质作为水质评价标准,对渗滤水水质进行评价。

2 实验研究

2.1 污染源分析

磷石膏和胶凝材料中污染成分的浸出是全磷渣充填技术对地下水体污染的主要作用机制。通过浸出毒性实验,了解磷石膏及胶凝材料在水体浸泡作用下可能溶出的有毒有害物质成分及含量,可为充填体渗滤液中各成分的分析提供参考依据,同时浸出实验结果也可以反映出全磷渣胶结充填体中可溶出污染物的潜在含量。因此选用水平振荡法,利用去离子水作为提取剂对磷石膏和黄磷渣进行浸出毒性实验,实验步骤如下。

1) 取适量磷石膏和黄磷渣,分别用研钵研细后自然风干或置于30℃烘干箱中烘干,过筛后备用。

2) 按照液体的体积(mL)与固体的质量(g)之比为10:1的比例计算所需浸取剂(去离子水)的体积,将浸取剂分别加入聚乙烯瓶中并搅拌,使其混合均匀。并且每组做3组平行试验。

3) 盖紧瓶盖并固定在水平振荡器上,速率设定在(110±10)次/min,振幅为40 mm,在室温下振荡24 h后取下,静置30 min。

4) 用滤膜孔隙直径为0.45 μm的针头式过滤器过滤上清液,固相干燥留存放在干燥器中。待收集全部滤出液后,即为浸取液。

5) 对浸取液进行相关离子含量的分析,得到实验结果如表1所示。

2.2 不同年份充填体渗滤水中污染成分的迁移转化规律

为了反映充填体渗滤水本身的水质,使取样点水体具有足够的代表性,在每个充填挡墙周围取3个点分别进行取样,且取样点尽量靠近充填挡墙。测得的污染指标含量平均值作为该年份污染指标的实际浓度值,以减少因为取样误差及其他条件对结果带来的影响。不同年份充填体渗滤水中污染指标浓度平均值如表2所示,初始值指充填前充填料浆中各污染组分的对应含量。

表1 全磷渣胶结充填原料毒性浸出液中污染物浓度

Table1 Experimental results of toxicity leaching test of PG-cemented backfill material

原料	pH值	污染物浓度/(mg·L ⁻¹)								
		F	TP	Zn	Pb	Fe	Cr	Mn	Ba	As
磷石膏	2.28	0.93	3979	0.20	0.08	3.40	0.04	1.50	0.06	0.20
胶凝材料	12.59	7.94	23	—	0.02	0.30	0.01	—	0.09	0.01

注:—表示该元素含量低于仪器检测限。

表2 不同年份充填体渗滤水中污染物浓度

Table 2 Composition of pollutants in leachates at different backfilling years

充填年份	pH值	污染物浓度/(mg·L ⁻¹)								
		F	TP	Zn	Pb	Fe	Cr	Mn	Ba	As
2007	8.30	6.24	0.27	0.02	0.03	0.06	0.03	0.02	0.09	0.04
2008	—	8.62	—	0.03	0.02	0.05	0.02	0.02	0.06	0.03
2009	7.80	11.44	0.54	0.04	0.05	0.08	0.05	0.02	0.08	0.05
2010	8.60	10.55	0.21	0.05	0.30	0.03	0.05	0.01	0.05	0.09
2011	8.30	14.00	0.12	0.04	0.10	0.09	0.05	0.01	0.02	0.02
2012	8.50	17.14	0.31	0.20	0.20	0.10	0.07	0.02	0.04	0.06
2013	8.80	19.34	0.57	0.08	0.20	0.08	0.05	0.01	0.02	0.04
2014	9.60	20.97	0.74	0.02	0.01	0.06	0.02	0.02	0.02	0.04
2015	12.20	21.84	1.00	0.06	0.08	0.04	0.02	0.30	0.06	0.05
初始值	12.30	9.73	1.32	—	—	0.10	0.40	—	0.20	—
III类水质参考值	6.50~8.50	≤1.00	≤0.50	≤1.00	≤0.01	≤0.30	≤0.05	≤0.10	≤1.00	≤0.01

注:—表示该元素含量低于仪器检测限。

3 结果分析与讨论

3.1 渗滤水酸碱度演化趋势

作为衡量水质的基本指标,酸碱度是水质评价的重要参数,也是最直观最容易判断水体质量的一个指标^[16]。磷石膏本身作为一种强酸性固体废弃物,在与胶凝材料产生水化反应后使得充填体趋向于偏碱性。并且由于酸碱度会影响存在于水体中污染物的形态^[17],因此首先需要了解渗滤水酸碱度随时间的演化趋势。由表1可知,磷石膏的pH值为2.28,这是因为磷石膏中游离的磷酸导致其水溶液呈强酸性;胶凝材料浸出液pH值为12.59,这使得胶结剂整体水溶液呈碱性,pH值范围在12~14。根据实验室测定结果,磷石膏与黄磷渣等按4.5:1的配比与水混合形成浓度为50%的充填料浆,产生酸碱中和反应之后的充填料浆呈碱性,pH值在10~13,即制浆点的pH值。从表2数据中可以看出,2015年新充填矿房充填挡墙附近充填渗滤水的pH值明显高于其他年份水样,达到12.2。当充填料浆进入井下后,随着充填体自体泌水过程的结束以及胶结体水化反应和固结反应的完成,流经充填体的渗滤水pH值会趋于中性,如图2所示。同时,渗滤水的碱度会随着时间的推移逐年降低,这说明充填体水化反应完成后,经长时间渗流作用,流经充填体的渗滤液中的pH值会保持在9以下,虽然随着时间仍有少量的OH⁻溶出,但是渗滤水pH值仍能满足《地下水水质标准》中III类水质的标准。

3.2 TP的迁移转化规律

作为磷肥工业生产中的固体废弃物,磷石膏中磷元素的含量比较高,且大部分都是可溶性磷^[18]。研究表明,磷石膏堆中不同深度渗滤水中TP浓度变化范围在1000~4000 mg/L,而磷石膏堆中央积水中TP的浓度高达63362 mg/L,高浓度的磷含量成为磷石膏露天地表堆存最主要的环境问题之一^[19]。一般认为在封闭的水体中磷的含量达到0.05 mg/L即可引起水体富营养化^[20]。因此,磷作为衡量水体污染的一个重要指

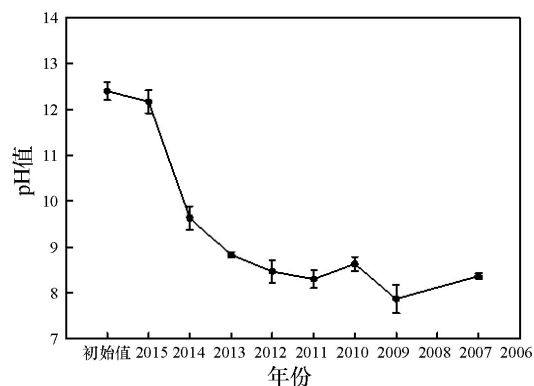


图2 充填渗滤水pH值随时间变化趋势

Fig. 2 Leachate pH value changing with time

标,需要引起足够的重视。通过浸出毒性实验可知,胶凝材料中TP含量为23 mg/L,而磷石膏中TP含量则高达3979 mg/L。磷石膏与黄磷渣等混合形成充填浆体后,渗滤液中TP的含量为1.32 mg/L。这表明,磷石膏中的几乎所有可移动性TP都被固定在胶凝产物或者胶凝形成的晶格中^[21]。由图3可知,经过长时间溶出作用,TP的含量随着时间的推移逐渐降低至1 mg/L左右,表明充填体对磷元素有持续的固定作用,使固化后的磷不易溶出到充填渗滤水中。

3.3 F的迁移转化规律

氟(F)的原子半径极小,具有较强的电负性,从而很容易获得一个电子成为还原态F⁻。同时它也可与其他原子的未成对电子配对形成共价键。因此,充填渗滤水中游离的F离子很容易与井下水体和磷矿石中的一些矿物质及金属离子发生反应,从而矿化F离子形成CaF₂、MgF₂、NaF等无机氟化物^[22]。

由表1可知,磷石膏和胶凝材料毒性浸出液中F离子浓度分别为0.93 mg/L和7.94 mg/L,可见充填体中的F离子主要

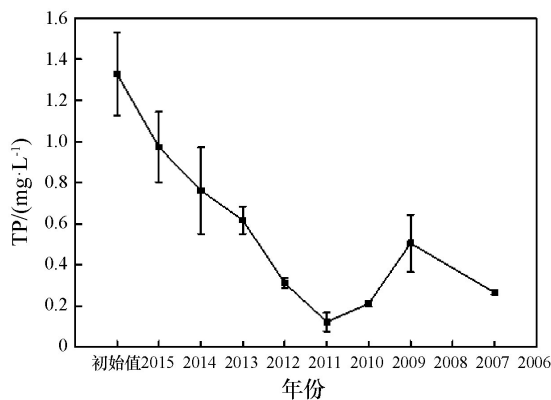
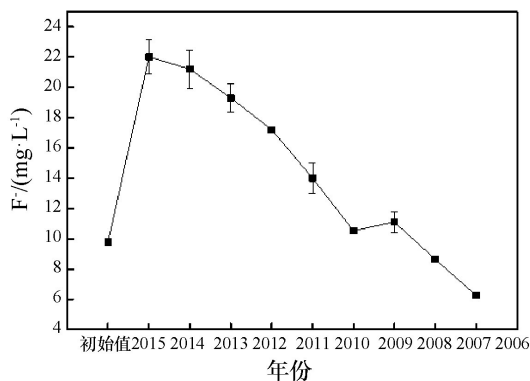


图3 渗滤水中TP浓度随充填年份的变化趋势

Fig. 3 TP concentrations with different backfilling times

来源于胶凝材料。在充填料浆中,可溶性F的初始含量较低,只有9.7 mg/L,但是新充填矿房(2015年充填)附近充填渗滤水中F含量比较高,达到21.8 mg/L。充填初期渗滤水中F离子浓度的增加,可能跟水化反应过程有关。水化过程中,本来固定在磷石膏和胶凝材料晶格中的氟因水化反应的进行暂时释放出来,造成渗滤水中F离子浓度的上升。但是随着水化反应的进行,F离子能结合钙离子生成难溶性的CaF₂,从而降低渗滤水中F离子的含量。随着充填时间的推移,各年份充填渗滤液中F的浓度逐渐降低(图4)。经过8年的溶出作用,F在渗滤水中的浓度降到6.24 mg/L,但是仍比地下水III类标准1.00 mg/L高。这表明,除了一部分F离子以难溶氟化物的形式固化在充填体中之外,还有一部分F离子可能随着流经充填区域的地下渗滤水溶出,并且溶出延续时间较长。因此需要对F离子含量及动态变化规律进行持续监控。

图4 充填渗滤水中F⁻随充填年份的变化趋势Fig. 4 Content of F⁻ vs backfilling time

3.4 重金属元素在渗滤水中的迁移转化规律

重金属元素是一种重要的地下水环境污染物质,其含量影响着地下水体的安全。磷石膏中含有的重金属元素在胶凝材料的胶结作用下形成充填体后,通过溶解、沉淀、凝聚、络合、吸附等作用,可以不同的化学形态存在于充填体中,并表

现出不同的活性^[24]。而全磷渣充填体经过地下水及矿井水体的淋溶、浸泡作用后,这些重金属污染物可能会渗出到渗滤液中,从而对充填区域地下水环境产生潜在的影响。

水体中重金属元素的吸附溶解规律受到盐度、氧化还原反应条件、pH值、天然或人工合成的强络合剂的使用及微生物活动等综合作用的影响^[25]。因此每种重金属元素在充填体渗滤水中的含量变化趋势也不尽相同。通过浸出毒性实验可知,磷石膏中Fe和Mn元素的初始含量分别为3.4 mg/L和1.5 mg/L。与胶凝材料形成充填料浆后,充填料浆中Fe元素的含量降低至0.1 mg/L,而Mn元素未检出,这说明Fe和Mn元素都能被很好地固结在充填体中。并且随着时间的推移,固结的Fe和Mn元素在渗滤水中的浓度都较低,基本能满足国家标准要求,这说明Fe和Mn的长期固结效果良好。重金属元素Zn、Cr、Ba以及类金属As的浓度值在2007—2015年期间无明显变化趋势,并且其浓度值均在0~0.1 mg/L波动。除Cr、Ba在充填站制浆点的初始值含量相对较高之外,进入充填区域完成水化固结后,重金属元素Zn、Cr、Ba、As等在渗滤水中的浓度也降到了一个相对比较稳定的水平,均在地下水III类水质规定的标准之内,表明这些重金属元素对地下水环境的影响较小。但是,Pb在水体中含量变化波动较大,这可能和Pb在磷石膏中原生含量的变动有关^[26]。Pb在各年份充填体附近的渗滤水中的含量都高于III类水质规定的标准值0.01 mg/L,因此全磷渣胶结充填过后渗滤水中的Pb浓度需要得到持续监控,充填体中Pb的溶出机理和迁移至地下水系的过程还有待进一步研究。

4 结论

全磷渣胶结充填技术的应用在很大程度上减少了磷石膏等工业废料中一些有害成分的溶出,缓解了因为磷石膏地表堆存问题而带来的环境污染问题。本研究通过毒性浸出实验以及对不同年份全磷渣胶结充填渗滤水中各元素含量的测定分析,得出以下结论。

1) 随着时间的推移,全磷渣胶结充填体固结后渗滤水的pH值会趋于中性。磷石膏中TP含量较高,但经过胶凝材料胶结形成充填体后,全磷渣充填渗滤水中TP含量随着时间的推移明显减少。

2) 充填体渗滤水中的F离子主要来源于胶凝材料,经过水化反应,部分F离子能被固结在充填体中。充填渗滤水中大部分金属元素都能被较好地固结在充填体中,且在渗滤水中的含量会随时间逐渐降低。但Pb在渗滤水中的浓度高于标准要求。因此全磷渣胶结充填过程中有关F、Pb的溶出机理及其固化稳定技术有待进一步研究。

3) 全磷渣胶结充填技术作为一种S/S技术,可以较好地固化/稳定原本残留于工业固体废弃物磷石膏中的大部分有害成分,相对于磷石膏地表堆存的处理方法而言为磷石膏二次资源化利用提供了一个相对环保安全的方法和思路。

参考文献 (References)

- [1] Zirnea S, Lazar I, Foudjo B U S, et al. Cluster analysis based of geochemical properties of phosphogypsum dump located near bacau city in Romania[J]. Apcbee Procedia, 2013(5): 317-322.
- [2] Degirmenci N. Utilization of phosphogypsum as raw and calcined material in manufacturing of building products[J]. Construction & Building Materials, 2008, 22(8): 1857-1862.
- [3] 段先前, 韦俊发, 丁坚平. 贵州某磷石膏堆场岩溶渗漏污染分析[J]. 地下水, 2008, 30(1): 68-69, 118.
Duan Xianqian, Wei Junfa, Ding Jianping. Analysis on pollution of karst leakage in a phosphogypsum site in Guizhou[J]. Ground Water, 2008, 30(1): 68-69, 118.
- [4] 蔡榆. 贵州摆纪磷石膏尾矿库周边土壤重金属污染评价[J]. 科技创新与品牌, 2015(10): 66-67.
Cai Yu. Assessment of heavy metal pollution in soil surround the pendulum phosphogypsum tailings of Guizhou[J]. Sci-tech Innovations and Brands, 2015(10): 66-67.
- [5] Bolívar J P, Martín J E, García-Tenorio R, et al. Behaviour and fluxes of natural radionuclides in the production process of a phosphoric acid plant[J]. Applied Radiation & Isotopes Including Data Instrumentation & Methods for Use in Agriculture Industry & Medicine, 2009, 67(2): 345-356.
- [6] 谭明洋, 相利学, 李国龙. 磷石膏净化处理及其对水泥性能的影响[J]. 水泥工程, 2016(2): 17-18.
Tan Mingyang, Xiang Lixue, Li Guolong. Purification treatment of phosphogypsum and its effect on the properties of cement[J]. Cement Engineering, 2016(2): 17-18.
- [7] 王怀利, 高璐阳, 陈宏坤, 等. 我国磷石膏综合利用现状分析与展望[J]. 磷肥与复肥, 2016, 31(4): 32-34.
Wang Huaili, Gao Luyang, Chen Hongkun, et al. Analysis and prospect of phosphogypsum comprehensive utilization in China[J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2016, 31(4): 32-34.
- [8] Prasad M N V. Chapter 14-Resource potential of natural and synthetic gypsum waste[J]. Environmental Materials & Waste, 2016: 307-337.
- [9] 惠兴卫. 磷石膏用作土壤调理剂的实践[C]. 贵阳: 第三届全国磷复肥/磷化工技术创新(瓮福)论坛. 全国磷复肥/磷化工技术创新, 2011.
Hui Xingwei. The practice of phosphogypsum used as soil conditioner [C]. Guiyang: The Third National Phosphate & Compound Fertilizer/Phosphorus Chemical Technology Innovation Forum(Wengfu), Phosphate & Compound Fertilizer, 2011.
- [10] 钱文敏, 唐芬, 许中俊, 等. 云南磷石膏综合利用现状及次生环境问题[J]. 环境科学导刊, 2015(1): 58-60.
Qian Wenmin, Tang Fen, Xu Zhongjun, et al. The present situation of comprehensive utilization of phosphogypsum and its secondary environmental problems in Yunnan province[J]. Environmental Science Survey, 2015(1): 58-60.
- [11] 刘小力, 高忠民, 唐飞勇. 磷石膏充填采矿技术应用及经济环境效益评价[J]. 武汉工程大学学报, 2011, 33(3): 107-110.
Liu Xiaoli, Gao Zhongmin, Tang Feiyong. Application of phosphogypsum for cut-and-fill mining method and evaluation of its economic and environmental profits[J]. Journal of Wuhan Institute of Technology, 2011, 33(3): 107-110.
- [12] Villain L, Alakangas L, B Öhlander. The effects of backfilling and sealing the waste rock on water quality at the Kimheden open-pit mine, northern Sweden[J]. Journal of Geochemical Exploration, 2013, 134(134): 99-110.
- [13] Reed S M, Singh R N. Groundwater recovery problems associated with opencast mine backfills in the United Kingdom[J]. Mine Water & the Environment, 1986, 5(5): 47-73.
- [14] 董霁红. 矿区充填复垦土壤重金属分布规律及主要农作物污染评价[D]. 北京: 中国矿业大学, 2008.
Dong Jihong. Distribution of heavy metals in reclamation soils and their accumulation in crops[D]. Beijing: China University of Mining & Technology, 2008.
- [15] Jiao H Z, Wu A X, et al. The influence of cemented paste backfill on groundwater quality[J]. Procedia Earth & Planetary Science, 2011, 2(1): 183-188.
- [16] 黎勇, 钟格梅, 黄林, 等. 广西农村饮用水水质 pH 指标监测结果分析[J]. 应用预防医学, 2012, 18(3): 168-170.
Li Yong, Zhong Gemei, Huang Lin, et al. Analysis on pH monitoring results of drinking water quality in rural areas of Guangxi[J]. Journal of Applied Preventive Medicine, 2012, 18(3): 168-170.
- [17] 王亚平, 王岚, 许春雪, 等. pH 对长江下游沉积物中重金属元素 Cd、Pb 释放行为的影响[J]. 地质通报, 2012, 31(4): 594-600.
Wang Yaping, Wang Lan, Xu Chunxue, et al. The influence of pH on the release behavior of heavy metal elements Cd and Pb in the sediments of the lower reaches of the Yangtze River[J]. Geological Bulletin of China, 2012, 31(4): 594-600.
- [18] 范玉超, 王蒙, 邵伦伦, 等. 我国底泥重金属污染现状及其固化/稳定化修复技术研究进展[J]. 安徽农学通报, 2016, 22(13): 97-101.
Fan Yuchao, Wang Meng, Tai Lunlun, et al. Heavy metal-contaminated sediments in China: A review of current situation and solidification remediation[J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2016, 22(13): 97-101.
- [19] 刘锋, 王琪, 黄启飞, 等. 固体废物浸出毒性浸出方法标准研究[J]. 环境科学研究, 2008, 21(6): 9-15.
Liu Feng, Wang Qi, Huang Qifei, et al. Study on the standard methods of leaching toxicity of solid waste[J]. Research of Environmental Sciences, 2008, 21(6): 9-15.
- [20] Pérez-López R, Macías F, Cánovas C R, et al. Pollutant flows from a phosphogypsum disposal area to an estuarine environment: An insight from geochemical signatures.[J]. Science of the Total Environment, 2016, 553:42-51.
- [21] Pérez-López R, Nieto J M, López-Coto I, et al. Dynamics of contaminants in phosphogypsum of the fertilizer industry of Huelva (SW Spain): From phosphate rock ore to the environment[J]. Applied Geochemistry, 2010, 25(5): 705-715.
- [22] 杨丽. 磷尾矿充填体中有害元素的溶出行为研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2015.
Yang Li. Study on the dissolution behavior of harmful elements in PG tailings backfill[D]. Guiyang: Guizhou University, 2015.
- [23] 袁鹏, 谭建红, 官洪霞, 等. 磷石膏中有害杂质对环境影响的监测与评价[J]. 广东化工, 2013, 40(22): 124-125.
Yuan Peng, Tang Jianhong, Guan Hongxia. Monitoring and evaluation of the harmful effects on the environment of the impurities in phosphogypsum[J]. Guangdong Chemical Industry, 2013, 40(22): 124-125.
- [24] 李莉, 张卫, 白娟, 等. 重金属在水体中迁移转化过程分析[J]. 山东水利, 2010(1): 31-33, 36.
Li Li, Zhang Wei, Bai Juan, et al. Process analysis of transportation and conversion of heavy metals in water[J]. Shandong Water Resources. 2010(1): 31-33, 36.

[25] 王文涛. 水环境多种固相物质共存体系中各物质对Pb的吸附及pH值的影响研究[D]. 吉林: 吉林大学, 2009.
Wang Wentao. Study on the effect of various substances on the adsorption of Pb and pH value in water environment[D]. Jilin: Jilin University, 2009.

[26] 赵威, 席北斗, 赵越, 等. 简易填埋场垃圾渗滤液水溶性有机物对Pb(II)迁移转化特性的影响[J]. 环境科学研究, 2014, 27(5): 527-533.
Zhao Wei, Xi Beidou, Zhao Yue, et al. Effect of dissolved organic matter in simple landfill leachate on the dissolution and migration of Pb(II)[J]. Research of Environmental Sciences, 2014, 27(5): 527-533.

Study on environmental influence of PG cemented backfilling and utilization of full phosphorus slag

GAN Lei, LI Xibing, FAN Yun, SHI Ying

School of Resources & Safety Engineering, Central South University, Changsha 410083, China

Abstract Phosphogypsum (PG) is an industrial solid waste containing a large number of pollutants, and its surface stockpile has a potentially negative impact on the environment nearby. The PG-based cemented backfill can solve the problem to a great extent. However, the negative environmental impact might be transferred into the underground when PG-based cemented backfill is filled into tunnels of mine, which is still an open question. This paper studies the change of pollutant concentrations in the leachate of PG-based backfill. The results show that the pH value of the leachate tends to be neutral with time. Before backfilling, the phosphate concentration supernatant of PG solution is 3979 mg/L, and it decreases to 1.3 mg/L when PG is made into backfilling material. In the prolonged store underground, the phosphate concentration decreases to about 0.3 mg/L. On the other hand, the concentrations of Zn, Fe, Cr, Mn, Ba, As and other elements in the leachate significantly decrease in the leachate after being cemented. Some F and Pb can dissolve in the leachate indicates that the dissolution migration mechanism and the F, P solidification technology need to be further studied. In conclusion, compared to PG surface stockpile, PG-based cemented backfill can well solidify/stabilize the harmful pollutants in PG, which could be a promising industrial process for PG disposal.

Keywords PG-based cemented backfill; backfilling leachate; solidification/stabilization

(责任编辑 傅雪)