

文章编号: 1674-9669(2015)02-0136-07
DOI: 10.13264/j.cnki.ysjskx.2015.02.025

稀土原地浸矿区地下水污染风险评价方法研究

何书^{1,2}, 陈飞^{1,2}, 江文才¹, 薛国栋¹, 袁子婷¹

(1. 江西理工大学资源与环境工程学院, 江西 赣州 341000; 2. 江西省矿冶环境污染控制重点实验室, 江西 赣州 341000)

摘要:在综合解析稀土矿区水文地质特征、原地浸矿工艺特征,以及地下水水源地的基础上,构建了地下水脆弱性、污染源和地下水价值的综合评价耦合模型,提出了针对离子型稀土原地浸矿区地下水污染风险评价的多指标评价方法,确定了系统的地下水污染风险评价指标体系.利用构建的评价方法,以我国南方某离子型稀土矿区为例,进行了地下水污染风险评价,确定了主要污染风险区域.结果表明,地下水污染风险评价分级与实际地下水水质观测的污染程度基本吻合,所建方法是合理有效的.

关键词:离子型稀土矿区;地下水污染;风险评价;污染源;原地浸矿

中图分类号:P345;X523 **文献标志码:**A

Risk assessment of groundwater pollution in the in-situ leaching mining area of rare earth

HE Shu^{1,2}, CHEN Fei^{1,2}, JIANG Wencai¹, XUE Guodong¹, YUAN Ziting¹

(1. Jiangxi University of Science and Technology, School Resources Environmental Engineering, Ganzhou 341000, China;

2. Jiangxi Key Laboratory of Mining & Metallurgy Environmental Pollution Control, Ganzhou 341000, China)

Abstract:Based on the comprehensive analysis of hydrogeological features in rare earth mining area, in-situ leaching mining characteristic, and groundwater source, integrated multi-index models including groundwater intrinsic vulnerability, contaminant sources and the value of groundwater are constructed to evaluate the risk of groundwater pollution in ion-absorbed rare earth mining area and a groundwater pollution risk evaluation index system is developed. The models are applied to the assessment of groundwater pollution risk of a ion-absorbed rare earth mining area in southern China as a case study. The results indicate that the classification of evaluation indexes of groundwater pollution risk fits well with the level of actual observation of groundwater pollution in this rare earth mining area, and the method is reasonable and effective.

Key words:ion-absorbed rare earth mining area; groundwater pollution; risk assessment; contaminant source; in-situ leaching mining

随着原地浸矿工艺在离子型稀土矿开采中的推广应用,由此引起的地下水污染问题日益凸显,这是目前稀土开采面临的最难解决的环境问题之一^[1].由于地下水自净能力较差,一旦遭受污染,难以有效恢复^[2].

因此,在稀土矿区开展地下水污染预防和监管工作是非常必要的.地下水污染风险评价是地下水污染防治的重要手段,通过对稀土矿区地下水污染风险评价,能够有效评估稀土开采对矿区地下水污染的风险大

收稿日期:2014-11-03

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2012BAC11B07);江西省青年科学基金资助项目(2010GQC0049);国家级大学生创新训练项目(201310407006)

作者简介:何书(1978-),男,副教授,主要从事水文地质与工程地质等方面的研究, E-mail:769844918@qq.com.

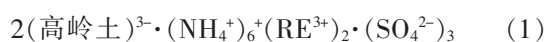
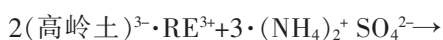
小,为地下水有效监管提供必要的理论和方法基础^[3-4]。近十年来,国内针对特定污染源,如矿山废水、垃圾填埋场、有机污染场地、土壤残留农药等,开展了大量的地下水污染风险评价研究工作,取得了丰硕成果^[5-13]。现有研究综合考虑地下水脆弱性和污染源对地下水污染风险的影响,一些研究在此基础上还考虑了地下水价值、水源保护地、环境生态危害等要素,然后将各要素的评价结果加以叠加,以获得风险评价分级^[14-16]。由于地质条件的复杂性以及污染源和污染物质的多样性,地下水污染风险评价还没有一套公认的通用评价方法、评价模型和指标体系,国内外尚处于不断探索之中^[17]。目前,我国南方离子型稀土矿区主要采用原地浸矿工艺开采,由于浸矿过程中会向矿床注入大量浸矿液,从而不可避免地会对矿区及周边地表水和地下水环境造成重要影响^[18-19]。然而,目前尚无专门针对稀土原地浸矿区地下水污染风险评价的方法,因此,开展稀土矿区地下水风险评价方法的研究具有重要的理论和现实意义。

为此,本研究以我国南方典型离子型稀土矿区地下水为研究对象,通过对矿区水文地质条件、原地浸矿工艺及污染物质的综合解析,构建典型离子型稀土矿区地下水风险评价模型,研究专门针对稀土原地浸矿污染源的多指标评价方法,为离子型稀土原地浸矿区地下水污染风险识别和地下水防控提供决策依据。

1 原地浸矿区地下水污染源及污染途径分析

1.1 污染源及污染物分析

南方离子吸附型(简称离子型)稀土矿主要赋存于裸露地表的风化花岗岩或火山岩风化壳中,矿床厚度一般在5~30 m,位于地下水位之上^[20]。目前主要采用原地浸析采矿工艺进行开采,其基本方法是在矿床顶部布设一系列浅井(或浅槽),将能交换稀土离子的电解质溶液注入矿体中,如硫酸铵或硫酸氢铵,溶液中的氢离子(H^+)和铵离子(NH_4^+)与矿体中的稀土离子发生交换解析作用,以硫酸铵作为溶浸剂的化学反应式为^[21]:



式(1)中: RE^{3+} 为稀土阳离子。

富含氨氮(NH_4^+)和硫酸根(SO_4^{2-})的母液在原有地下水位之上形成饱和径流带,并依靠母液层之下岩层相对较弱的渗透性形成流向集液沟池的定向流,从而完成浸析过程。原地浸矿实践表明,浸矿母液收集率一般在90%左右,未能收集到的部分母液残留于

稀土矿床之中或直接进入地下水水体中,母液成为矿区地下水系统长期的污染源,母液中大量氨氮和硫酸根成为地下水的主要污染物。对南方主要稀土原地浸矿区地下水水质调查表明,矿区附近居民水井水质出现明显恶化,氨氮严重超标。原地浸矿的一个重要特点是,浸矿过程是持续的,浸矿液的注入是大剂量的。稀土浸矿过程中一般将延续2~3 a,甚至更长年限,每吨稀土产品所消耗硫酸铵量高达5~8 t,一些稀土矿区甚至超过10 t。在浸矿过程中,由于没有采取任何针对地下水污染防治的措施,污染物将大量进入地下水中。即便浸矿完成后,大量的氨氮离子将残留在矿体之中,并将随着大气降水进入地下水水体中。

1.2 污染途径分析

根据原地浸矿的工艺特点,污染物主要以以下几种方式进入地下水系统中。第1种方式:稀土母液直接通过矿床底板进入地下水水体中,分2种情况,一是矿区风化层厚度较大,基岩埋深较大,浸析过程主要发生在风化层上部的矿体之中,浸矿时母液中的污染物首先进入下部全风化层及半风化层,然后进入下覆基岩裂隙水中;二是风化层厚度不大,矿床底板离未风化的基岩较近,母液可直接通过裂隙进入基岩裂隙水体中。第2种方式:采场集液沟池发生向下渗漏,母液进入地下水水体。第3种方式:渗入地下的污染物在下游转入地表水中,或者集液沟池中母液渗漏进入矿区附近的地表水中,从而首先污染地表水,污染物随地表水迁移到更远的地方,造成地表水体两侧的地下水遭受污染。由此可见,离子型稀土原地浸矿区地下水的污染途径是多方面的,给污染范围的确定带来困难。

2 稀土矿区地下水污染风险评价方法的构建

2.1 稀土原地浸矿区地下水污染风险影响因素分析

如前所述,原地浸矿区的地下水污染源主要是稀土矿床中原地注入的大量浸矿液,浸矿液通过矿床底部的岩土体渗入地下水水体,或从集液沟池中渗漏进入附近地表水体,然后发生侧渗进入地表水体附近的地下水系统之中。因此从污染源这个角度,地下水污染风险主要与稀土采场浸矿液的注入方式、污染物的特性、矿区附近地表水体的规模及运动特征、污染物在地表水体中的沿程稀释程度等密切相关。

地下水脆弱性的主要影响因素包括矿区及周边地区的地层岩性、构造特征、地形地貌、地下水运动特征以及距离污染源的远近等。地下水脆弱性的高低决定着地下水的易污性,即脆弱性高的地区地下水更容易遭受污染。

2.2 地下水污染风险评价方法的构建

2.2.1 评价指标的选择

地下水污染风险评价需要综合考虑影响地下水的脆弱性和污染源特性、地下水价值 3 个方面.目前国内对地下水脆弱性的评价,主要采用 DRASTIC 模型,该模型在国内外的应用最为广泛.但是,DRASTIC 模型作为一种标准化模型,本身存在着诸多缺陷.在评价过程中,若直接利用标准模型,包气带类型、含水层类型与土壤类型 3 因子出现相互叠加、相互影响,造成评价结果的不可靠^[2].因此,在实际的应用过程中,需要根据评价对象进行进一步的改进.在本次研究中,结合稀土矿区原地浸矿工艺的特征及其影响范围,在综合分析典型离子型稀土矿区水文地质条件以及评价参数的可获取性的基础上,以 DRASTIC 模型为基础,提出相应的评价指标体系.由于稀土矿区污染物主要通过采场下渗和污染河流侧渗进入地下水系统中,污染物随持续注入的浸矿液和采场周边的地表水迁移,净补给量对地下水的脆弱性影响甚微,在此不加以考虑.典型离子型稀土原地浸矿区采场及周边地下水类型多为孔隙-裂隙含水系统,因此不单独考虑土壤类型因子,而是将其融入到含水层岩性和包气带介质类型因子之中.另外,由于水力传导系数一般难以获得,特别是采场下伏基岩,即便进行抽水试验也难以获得其准确值,因此在此不加以考虑.为此,本次研究拟选取地下水埋深、含水层岩性、包气带介质类型、地形坡度及矿床下伏岩土体的岩性特征等 5 个参数作为地下水脆弱性评价的指标.

地下水污染源的参数评价指标选择则相对复杂一些,从构成上看,稀土原地浸矿区污染源可视为由

原地浸矿采场构成的持续面状污染源和遭受污染的地表水(主要是溪流)线状污染源共同构成.采场面状污染源是主要的污染源,污染物直接下渗污染采场周边一定范围的区域,污染范围的大小与浸矿液注入量、持续时间以及采场浸析层下部的岩土体渗透性息息相关.尽管地表水线状污染源本身也是被污染的水体,但由于地表水与地下水具有水力联系,当地下水位相对地表水位较低时,地表水补给地下水从而造成地下水的污染.根据污染源的特点,选取浸矿液注入量、浸矿的持续时间和地下水系统与污染源的水力联系及空间关系等 3 个参数作为评价指标.

南方离子型稀土矿区多处低山丘陵地带,周边存在村庄的可能性很大,地下水是村民的唯一的饮用水水源,地下水的污染将直接威胁到附近村民的饮用水安全.调查表明,村民主要开采松散介质孔隙水或基岩浅部裂隙水作为饮用水,开采地层层位包括潜水含水层和承压含水层,矿区附近的潜水井遭受污染的可能性极大.矿区潜在污染区的影响范围内,村庄规模和是否拥有可替代水源是影响污染区地下水的最主要的因素.为此,地下水价值评价将基于原地浸矿采场与当地饮用地下水系统之间的空间分布关系进行分级评价.

2.2.2 评价指标的评分体系及权重

1)地下水脆弱性指标.地下水脆弱性参数的分级以 DRASTIC 模型为基础,根据我国离子型稀土的主要产区南方稀土矿区的地形地貌及地质特征,确定其参数评分办法(表 1).对评分体系中前 4 个指标参考标准模型权重,矿床下部岩体土体的岩性特征(L)的权重按标准模型中的水力传导系数处理,经归一化处理后,得各指标权重值(见表 2).

表 1 地下水脆弱性指标的评分体系

地下水埋深(D) /m		含水层岩性(A)		地形坡度(T) /%		包气带岩性(I)		矿床下伏岩土体的岩性特征(L)	
范围	评分	类型	评分	坡度百分比	评分	类型	评分	特征描述	评分
0~1.5	10	块状页	2	0~2	10	承压层	1	节理不发育、岩体完整	2
1.5~4.6	9	变质岩、火成岩	3	2~6	9	淤泥/黏土	3	较完整、块状结构	3
4.6~9.1	7	风化火成岩	4	6~12	5	火成岩、砂岩	5	节理较发育、较破碎	6
9.1~15.2	5	薄层状砂岩、灰岩、页岩	6	12~18	3	半风化火成岩	7	节理发育、岩体破碎	8
15.2~22.9	3	块状砂岩	6	>18	1	砂砾石层	8	裂隙发育、基岩中存在断层与裂隙水相通	9
22.9~30.5	2	块状灰岩	6	/	/	玄武岩	9	强风化土层、岩体极为破碎、散体结构	10
>30.5	1	砂砾石岩	8	/	/	岩溶灰岩	10	/	/
/	/	玄武岩	9	/	/	/	/	/	/
/	/	岩溶发育灰岩	10	/	/	/	/	/	/

注:“/”指无该项内容.

表 2 地下水脆弱性指标的权重

参数	地下水埋深(D) /m	含水层岩性(A)	地形坡度(T) /%	包气带岩性(I)	矿床下伏岩土体的岩性特征(L)
权重	0.29	0.18	0.06	0.29	0.18

2)污染源评价指标.由于稀土原地浸矿主要污染物相对单一,主要为氨氮离子和硫酸根,因此不将其毒性作为矿区污染源的评价指标.为此,选择对地下水污染风险影响较大的几个参数作为评价指标,分别为浸矿液注入量、浸矿的持续时间和地下水系统与污染源的水力联系及空间关系 3 个参数作为评价指标.浸矿液注入量主要指每日注入矿体中的矿液,代表污染物在一定时间累积的强度,每日注入的量越大,地下水污染风险越大.基于对南方地区矿床规模及原地浸矿工艺的特征调查,确定其注入的量的大小及其评分,取 5~10 分作为评价分值.原地浸矿的持续时间是指自开始浸矿到进行污染风险评价时

的时间,持续时间越长,注入矿床的浸矿液也越大,污染物在矿床下伏地层中的累积时间越长,累积的量越大,则进入下伏含水层的可能性越大,该指标为动态指标,评分取值在 7~10 之间.地下水系统与污染源的水力联系是指待评价的地下水系统与污染源之间是否有水力联系以及水力联系程度的高低,若地下水系统与污染源及其直接污染的含水系统没有水力联系,则该系统不可能遭受污染,若该系统与污染源有水力联系,且相聚越近,遭受污染的风险则越大,评价分值取 1~10 之间.污染源的评分体系详见表 3.基于层次分析法,对污染源各评价指标进行权重确定,结果见表 4.

表 3 地下水污染源指标的评分体系

浸矿液注入量 $I/(t \cdot d^{-1})$		原地浸矿的持续时间 $/a$		地下水系统与污染源的水力联系及空间关系	
范围	评分	范围	评分	关系描述	评分
<0.5	5	<1	7	无水力联系,相聚甚远	1
0.5~1.0	6	1~2	8	有一定水力联系,分处不同地下水子系统,地势相对较高,相聚较远	2
1.0~1.5	7	2~3	9	有一定水力联系,分处不同地下水子系统,位于污染源迁移方向的下游	3
1.5~2.0	8	>3	10	有水力联系,污染源位于该地下水系统范围之内,地下水系统位于污染物迁移方向的上游	5
2.0~2.5	9	无	无	水力联系紧密,污染源位于该地下水系统范围之内,位于污染物迁移方向的下游,距离较远	8
>3.0	10	无	无	水力联系紧密,污染源位于该地下水系统范围之内,位于污染物迁移方向的下游,距离较近	10

表 4 地下水污染源指标的权重

参数	浸矿液注入量 $I/(t \cdot d^{-1})$	原地浸矿的持续时间 $/a$	地下水系统与污染源的水力联系及空间关系
权重	0.1	0.1	0.8

3)地下水价值评价指标.鉴于离子型稀土矿区内地下水价值主要涉及到矿区附近居民的饮用水问题,为此,根据浸矿采场与居民饮用地下水水源的空间关系分为 3 级:若浸矿采场位于饮用地下水水源范围之外,则赋予评级分值为 1;若浸矿采场位于饮用地下水水源范围之内,但处于地下水流的下游地区,则赋予分值为 5;若浸矿采场位于饮用地下水水源范围之内,且处于地下水流的上游地区,则赋予分值为 10.分值越高,表明地下水污染风险越高.

2.2.3 地下水污染风险多因素综合评价方法

综合选取地下水脆弱性、地下水污染源和地下水价值等 3 个一级指标,各一级指标再分设二级指标,各二级指标权重在前文中已确定,依据专家打分法,确定地下水脆弱性、地下水污染源和地下水价值 3 个

一级指标的权重分别为:0.3、0.6 和 0.1.地下水污染风险概率与这 3 个指标相关,污染风险综合评价指数按下式计算:

$$I=w_1 \times D_1+w_2 \times D_2+w_3 \times D_3$$

(2)

式(2)中: I 为地下水风险评价指数; w_1 、 w_2 、 w_3 分别为地下水脆弱性评价指标、地下水污染源评价指标、地下水价值评价指标的权重; D_1 、 D_2 、 D_3 分别为地下水脆弱性评价指标、地下水污染源评价指标、地下水价值评价指标的评分值.

利用式(2)计算所得的地下水污染风险指数越高,表明地下水可能遭受污染的风险就越高,反之风险越低.地下水污染风险评价的目的在于能够对不同污染风险程度的地区进行区划,以便提出具有针对性的地下水污染防治对策.基于以上评价方法及评分体

系,在地下水污染风险评价过程中,结合地下水系统论的观点,以相对独立的地下水系统作为评价对象,地下水系统的划分则依据实际水文地质条件具体决定。

由于各评价指标的分值均在 1~10 之间取值,本次研究将风险等级划分为 4 级:风险评价指数 $I < 3$,则风险等级为低,定为Ⅰ级;风险评价指数 I 在 3~5 之间,风险等级为中等,定为Ⅱ级;风险评价指数 I 在 5~7 之间,风险等级较高,定为Ⅲ级;风险评价指数在 8~10 之间,风险等价为高,定为Ⅳ级。

2.2.4 地下水污染风险分级的有效性分析

地下水污染风险分级仅能体现评价区域可能遭受污染的程度,不能说明实际的污染程度。但是,对评价方法的有效性进行分析是必要的,这是评价方法应用于地下水污染区划的前提。地下水污染风险分级方法是否合理有效,需要通过对具有代表性的稀土原地浸矿区进行详细的地下水污染状况的调查和评价,并与风险评价结果进行对比分析,以检验该方法的有效性和合理性。若实际情况与风险分级不相吻合,应当进一步分析存在的原因,不断完善评级方法的评价体系,以确保评级方法合理有效。所选择的稀土矿区应是经历了较长时间开采,以确保污染物到达可能污染的地区。尽管如此,由于污染物在地下水系统中的迁移转化具有长期性和复杂性,实际的水质调查分析结果在不同污染风险级别中的体现只具有相对性,地下水的污染是一个动态的污染过程。

3 应用实例

3.1 研究区概况

研究区为南方某离子型稀土原地浸矿区,地貌属低山丘陵地形,地形东高西低,沟谷纵横发育(见图 1)。稀土矿赋存于玄武岩风化壳中,全风化矿层厚 8~10 m,矿床下部基岩裂隙发育,连通性好,矿石呈松散土状,质地极疏松,透水性较好。稀土原地浸矿区位于研究区主干河道某支流的上游,距离主干河道约 1 km,地表水与地下水水力联系紧密,支流主要由地下水和矿山排水补给。区内村庄密布,人口众多,地下水为区内居民唯一饮用水来源。区内地下水由上部第四系的松散岩类孔隙含水系统和下部侏罗系基岩裂隙含水系统共同构成。第四系松散岩类孔隙水主要沿地表河系两侧分布,多为潜水,地下水水位埋深一般为 0.5~2.0 m。基岩裂隙含水系统位于松散孔隙含水系统的下部,以风化带网状裂隙水为主,地下水水位埋深一般为 2~5 m,山麓地带可达 10 m。基岩裂隙水多呈层状分布,与上覆松散岩类孔隙水与较强水力联系。区内地下水与地表水分水岭基本一致,水力坡度与地形坡度基本相近。该矿采用原地浸矿工艺开采稀土,开采时间超过 3 a 以上,浸矿液使用浓度为 2 %~2.5 %硫酸铵溶液,硫酸铵 pH 值在 4.5~5.0 左右,母液收集率约 85 %,日耗硫酸铵约 10 t。

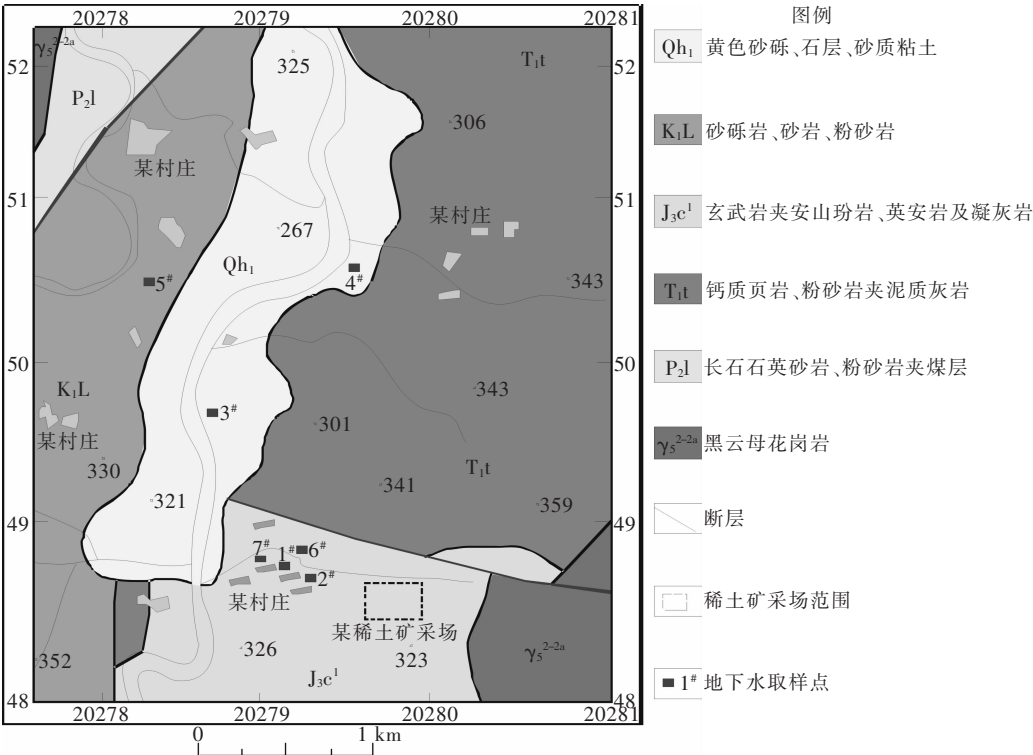


图 1 研究区地质图

3.2 地下水污染风险综合评价与分析

根据区内地形地貌及水文地质条件,将研究区分为 6 个子区,作为地下水污染分级对象.结合原地浸矿区的浸矿液注入量、浸矿持续时间以及各子区与浸矿区污染源的水力联系及空间关系,分别对各区域的地下水脆弱性、地下水污染源和地下水价值进行了赋值和计算.利用式(2)进行地下水风险综合评价指数的计算,确定风险级别,得出该区地下水风险评价结果,计算结果详见表 5.最后根据综合评价结果,在地质图的基础上编绘地下水污染风险分级图(见图 2).由图 2 可知,污染风险等级最高的地区为离稀土浸矿区最近的①号区域,风险评价等级为Ⅳ级,表明该区域地下水遭受污染的风险极大.④号区尽管距离浸矿区有一定距离,由于浸矿污染物可通过地表水系迁移,该区域正好处于地表水系附近,且地下水系统与地表水之间有着良好沟通,因此该区域污染的风险也较高,风险级别为Ⅲ级.因此,从地下水污染源及污染途径的角度分析,以上风险评价结果是合理的.为进一步验证评价方法的可靠性,本次研究对该区多处地

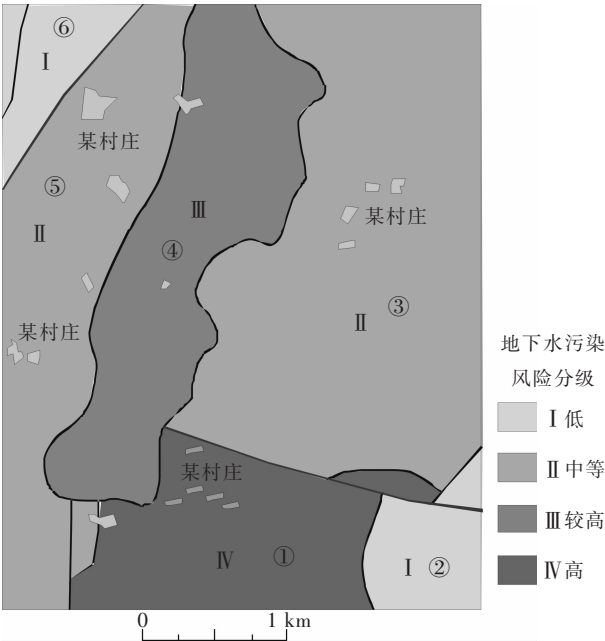


图 2 研究区地下水污染风险分级图

下水出露点进行了调查取样分析,以验证风险评价结果的可靠度,部分分析结果见表 6.

表 5 地下水污染风险的综合评价及分级结果

评价区代号	地下水脆弱性	地下水污染源	地下水价值	评价总分值	地下水污染风险级别
	评分	评分	评分		
①	9.18	10	10	9.754	Ⅳ
②	6.06	2.8	1	3.598	Ⅱ
③	6.66	2.8	5	4.178	Ⅱ
④	8.70	4.4	10	6.250	Ⅲ
⑤	7.43	2.8	10	4.909	Ⅱ
⑥	3.72	2.8	1	2.896	Ⅰ

表 6 研究区地下水水质分析结果对比表/(mg·L⁻¹)

取样点 序号	取样点所处污染 风险区域(等级)	硫酸盐 (SO ₄ ²⁻)	氨氮 (NH ₄ ⁺)	亚硝酸盐 (NO ₂ ⁻)	硝酸盐 (NO ₃ ⁻)	pH 值	挥发酚	六价铬	铁(Fe)	总硬度 (CaCO ₃)
1	Ⅳ	19.45	1.260	0.021	2.237	6.26	0.035	0.045	0.320	440.3
2	Ⅳ	19.61	1.385	0.019	1.380	5.55	0.079	0.015	0.262	420.3
3	Ⅲ	18.33	0.602	0.015	0.422	6.70	0.018	0.031	0.414	80.07
4	Ⅲ	18.31	0.518	0.018	0.055	6.86	0.036	0.022	0.254	60.05
5	Ⅱ	17.05	0.298	0.007	0.049	6.85	0.017	0.015	0.414	400.3
6	Ⅳ	20.31	1.464	0.008	3.621	6.20	0.003	0.037	0.031	370.5
7	Ⅳ	21.55	1.534	0.015	2.365	6.57	0.007	0.041	0.274	360.5
地下水质量标准(Ⅲ)		≤250	≤0.2	≤0.02	≤20	6.5~8.5	≤0.002	≤0.05	≤0.3	≤450

分别对地下水污染风险等级为Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ级的区域进行了取样调查,共选择了 7 个地下水出露点,其中 1 个位于⑤号区,2 个位于④区,4 个位于①区,表 6 列出硫酸根、氨氮、硝酸盐、亚硝酸、pH 值、总硬度、挥发酚、铁及六价铬等 9 个指标的分析结果.由表 6 可知,调查区的地下水氨氮浓度明显偏高,在靠

近浸矿区的地下水 pH 值也偏高,另外挥发酚的浓度均超出了地下水质量标准Ⅲ类水的限值,是否由稀土浸矿引起需要进一步深入研究,其余指标未出现明显的异常.另外,稀土浸矿区各取样点的氨氮浓度随取样点到浸矿区距离的增加,浓度逐渐减小,位于浸矿区附近地下水污染风险等级为Ⅳ级的地区水样氨氮

浓度达 1.385 mg/L,与地下水质量标准的Ⅲ类水界限值相比,高出数倍,污染较为明显,而位于Ⅱ级地区的氨氮浓度仅为 0.298 mg/L,与Ⅲ类水界限值相近,污染不明显.不同地下水污染风险等级区地下水 pH 值亦有明显差别,距离浸矿区近的风险等级为Ⅳ级的地区,pH 值偏小,总体呈酸性,远离浸矿区,受原地浸矿的影响随之较小,pH 值趋于中性.水样中硫酸盐浓度并未出现明显的偏高,未对水质造成实质的影响,这可能与硫酸根较强的迁移性有关,在稀土矿区浸矿期间不排除硫酸盐浓度偏高的可能,需进一步加强监测.由此可见,该区地下水污染风险等级较高的地区,主要污染物氨氮浓度也较高,且 pH 值也较高,说明依据上述地下水污染风险评价方法的评价结果与实际地下水水质调查分析的结果是基本吻合的,评价方法是合理和有效的.

3.3 地下水污染防治建议

基于研究区离子型稀土原地浸矿工艺,以及稀土矿床所处的地质环境特征,结合上文构建的地下水污染风险分级评价体系,为研究区域的地下水污染防治提出几点建议:①进一步优化原地浸矿工艺,减少浸矿液和母液在浸矿过程中的下渗迁移;②加强对集液沟池的管理,增强沟池的防渗能力,避免溶液下渗污染地下水,同时避免未经处理的废水直接进入矿区附近的地表水体;③加强浸矿区周边地下水及地表水的水质监控,及时掌握污染状况,以便为污染防控提供必要数据和资料.

4 结 论

1)结合离子型稀土原地浸矿区的水文地质和原地浸矿特征,构建了包括地下水脆弱性、污染源及地下水价值 3 个层次的地下水风险评价指标体系.

2)建立了基于地下水脆弱性评价、污染源评价及地下水价值评价相耦合的评价方法,并利用层次分析法估算了各指标的权重,确定了原地浸矿区地下水污染风险分级标准.

3)以南方某典型稀土原地浸矿区为例,采用构建的地下水污染风险评价方法,对该区进行了地下水污染风险分级,经现场水质调查表明,水质污染程度分布特征与地下水污染风险分级较为吻合,证明所建立的地下水风险评价方法是合理和适用的.

参考文献:

- [1] 高志强,周启星. 稀土矿露天开采过程的污染及对资源和生态环境的影响[J]. 生态学杂志,2011,30(12):2915-2922.
- [2] 金爱芳,李广贺,张旭. 地下水污染风险源识别与分级方法[J]. 地球科学(中国地质大学学报),2012,37(2):247-252.
- [3] 杨彦,于云江,王宗庆,等. 区域地下水污染风险评价方法研究[J]. 环境科学,2013,34(2):653-661.
- [4] 申利娜,李广贺. 地下水污染风险区划方法研究[J]. 环境科学,2010,31(4):918-923.
- [5] 孙法圣,程品,张博. 基于物理过程的矿区地下水污染风险评价[J]. 环境科学,2014,35(4):1285-1289.
- [6] 何仔颖,吴超. 尾矿库地下水污染风险评价体系研究[J]. 安全与环境学报,2011,11(4):121-125.
- [7] 张越男,李忠武,陈志良,等. 大宝山尾矿库区及其周边地区地下水重金属健康风险评价研究[J]. 农业环境科学学报,2013,32(3):587-594.
- [8] 梁冰,白国良,王岩,等. 露天开采对地下水的环境效应与风险预测[J]. 中国矿业大学学报,2007,36(3):315-319.
- [9] 孙法圣,程品,张博,等. 简易垃圾填埋场地下水污染风险评价[J]. 人民黄河,2014,36(5):76-78.
- [10] 寇文杰,陈忠荣,林健. 不同垃圾场类型地下水污染风险评价[J]. 人民黄河,2013,35(1):42-44.
- [11] 杨昱,姜永海,席北斗,等. 生活垃圾填埋场地下水污染风险分级方法研究[J]. 生态环境学报,2010,19(7):1704-1709.
- [12] 李春平,吴骏,罗飞,等. 某有机化工污染场地土壤与地下水风险评估[J]. 土壤,2013,45(5):933-939.
- [13] 杨悦所,Wang J L. 基于 GIS 的农业面源硝酸盐地下水污染动态风险评价(英文)[J]. 吉林大学学报(地球科学版),2007,37(2):311-318.
- [14] 王晓红,张新钰,林健. 有机污染场地地下水风险评价指标体系构建的探讨[J]. 地球与环境,2012,40(1):126-132.
- [15] 李小牛,周长松,周孝德,等. 污灌区浅层地下水污染风险评价研究[J]. 水利学报,2014,45(3):326-334.
- [16] 于云江,杨彦. 基于 GIS 的松花江沿岸某区浅层地下水污染特征及人群暴露风险评价[J]. 中国环境科学,2013,33(8):1487-1494.
- [17] 邵托娅,王金生,王业耀,等. 我国地下水污染风险评价方法研究进展[J]. 北京师范大学学报(自然科学版),2012,48(6):648-653.
- [18] 赵中波. 离子型稀土矿原地浸析采矿及其推广应用中的值得重视的问题[J]. 南方冶金学院学报,2000,21(3):179-183.
- [19] 邹国良,吴一丁,蔡嗣经. 离子型稀土矿浸取工艺对资源、环境的影响[J]. 有色金属科学与工程,2014,5(2):100-106.
- [20] 池汝安,田君. 风化壳淋积型稀土矿评述[J]. 中国稀土学报,2007,25(6):641-649.
- [21] 汤洵忠,李茂楠. 离子吸附型稀土矿原地浸析采矿法[J]. 矿业研究与开发,1997,17(2):1-4.
- [22] 滕彦国,苏洁,翟远征,等. 地下水污染风险评价的选址指数法研究综述[J]. 地球科学进展,2012,27(10):1140-1147.