

稀土矿山地下水过水通道探测与封堵技术研究

刘强^{1,2}, 尹琼^{1,2}

1. 江西理工大学资源与环境工程学院, 江西 赣州 341000

2. 江西理工大学矿冶环境污染防控江西省重点实验室, 江西 赣州 341000

摘要：在稀土矿开采过程中使用的硫酸铵、碳酸氢铵等浸矿化学药剂在渗滤作用下进入地下水中，会对矿山地下水环境造成污染。为了有效的防止污染地下水进入地下水系统中，需对地下水的渗流通道进行有效封堵。首先对稀土矿山地下水过水通道进行探测，在地下水分布位置布设测线，采用天然电场选频法对测线上的地下水过水通道进行探测，得到了稀土矿山地下水过水通道分布的空间位置，提出在过水通道分布区段内布设注浆孔，在过水通道分布区段外不布设注浆孔的注浆思路。最后采用湖泥水泥浆液对地下水进行封堵，并提出了具体封堵方案。研究结果为稀土矿山地下水的有效治理提供了依据。

关键词：稀土矿山；地下水；过水通道；天然电场选频法

Research On Detection And Plugging Technology Of Groundwater Passage In Rare Earth Mine

Liu Qiang^{1,2}, Yin Qiong^{1,2}

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

2. Jiangxi Key Laboratory of Environmental Pollution Control in Mining and Metallurgy, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou, Jiangxi 341000

Abstract：Leaching chemicals such as ammonium sulfate and ammonium bicarbonate used in rare earth mining enter groundwater under the action of percolation, which will cause pollution to the groundwater environment in mines. In order to prevent polluted groundwater from entering the groundwater system effectively, it is necessary to seal the seepage channel of groundwater effectively. First of all, the underground water passage of rare earth mine was detected, and the measuring line was laid at the distribution position of the underground water passage. The frequency selection method of natural electric field was used to detect the distribution space of the underground water passage of rare earth mine. The grouting idea of laying grouting holes in the distribution section of the water passage and not laying grouting holes outside the distribution section of the water passage was proposed. Finally, lake mud cement slurry is used to seal the groundwater, and the concrete sealing scheme is put forward. The research results provide a basis for the effective treatment of groundwater in rare earth mines.

Keywords：rare earth mine; ground water; water passage; natural electric field frequency selection method

在20世纪70年代，稀土开采逐渐兴盛，对国家经济发展起了重要推动作用。但同时，由于早期采矿技术不发达，稀土矿开采过程中主要使用硫酸铵、碳酸氢铵等浸矿化学药剂，这些药剂在渗滤作用下容易进入地下水中，对水环境造成污染^[1-2]。目前，稀土矿山地下水防治主要采用土壤改良技术、植被恢复技术和微生物修复技术^[3]。或者采用清污分流、人工防渗等地下水控制措施^[4]。但是这些措施不能对有效的对地下水进行控制，这就需要先确定地下水的过水通道分布，通过确定的地下水的过水通道位置，才能准确的封堵地下水。基于此，一些学者采用了天然电场选频法探对地下水过水通道的位置进行判断^[5-8]。因此，采用天然电场选频法对稀土矿山地下水渗漏通道进行探测，并对探测结果进行分析。根据分析结果，提出稀土矿山地下水封堵方案，以期为类似矿山的地下水探测和治理提供实践经验。

一、矿山地下水过水通道探测

通过水文地质分析，在地下水分布区域采用TR-2型选频仪进行区域地下水的探查工作。测量时，金属探头接收的测点AB间的电场信号，在表头读出所测的AB之间的电位差值。根据现场情况布置了一条测线，测量点距AB=2m，极距L=10m。具体

测量方法见图1。

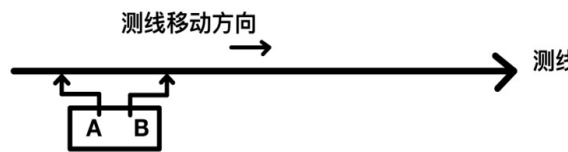


图1 测量方法

基金项目：江西省自然科学基金面上项目（项目编号：20202BAB203016）

作者简介：刘强（1983—），男，汉族，湖北随州人，地质工程博士，江西理工大学地质工程系讲师，研究方向为矿山地下水探测与治理。

通过天然电场选频仪用不同频率探测到的静态信息（稳定的电位差）的分析研究，得到地下不同深度岩土层的电阻率值，同时得出不同深度存在的地下水过水通道，分析出地下水过水通道分布范围，根据分析结果绘制出地下水过水断面图（见图2）。

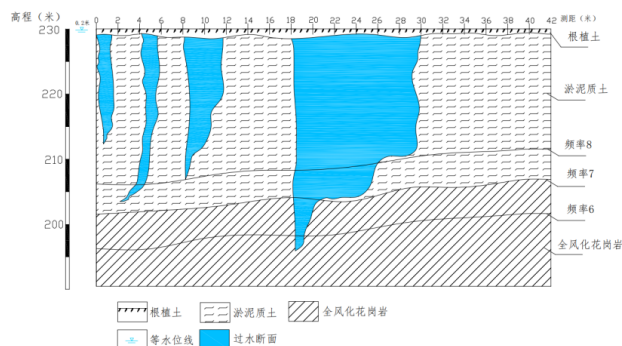


图2 过水通道分布断面图

通过探测结果分析，在测线上分布有4段地下水过水通道带，在测线0m ~ 1.8m 范围内，地下水过水带的分布深度在地下0.83m ~ 17.67m 左右。在测线4m ~ 6m 范围内，地下水过水带的分布深度在地下0.83m ~ 26.5m 左右。在测线8m ~ 12m 范围内，地下水过水带的分布深度在地下1.28m ~ 23.1m 左右，在测线18m ~ 30m 范围内，地下水分布宽度较宽，地下水过水带的分布深度在地下0.78m ~ 34.01m 左右。

二、矿山地下水封堵方案

（一）注浆孔布设

注浆孔直径取75mm，注浆管半径取标准值25mm^[9]。结合现场地下水过水通道分布情况，注浆孔主要布设在过水通道分布范围内，过水通道分布范围外不布设注浆孔，主要注浆堵水设计钻孔的孔深控制在20 ~ 35m 之间。注浆孔的分布图见图3。

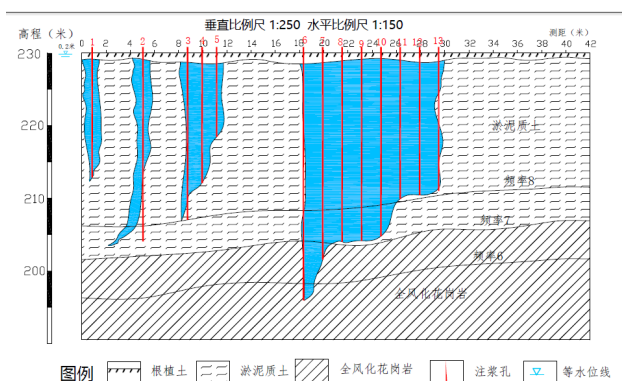


图3 注浆孔分布示意图

（二）浆液配比

浆液的配制一般按由浓到稀的原则来确保配置，以确保注浆效果达标^[10]。注浆浆液采用湖泥水泥浆液^[11]，湖泥要求不含直径大于0.5mm 的大颗粒，泥浆分布均匀，配制的基浆比重在1.2g/cm³左右时，漏斗粘度在17s 以上。采取的浆液配比为：湖泥基浆密度尽量控制在1.15 g/cm³~1.30 g/cm³，水泥加量为50 ~ 200kg/m³。

（三）注浆压力

以静水位为零点，现场施工时取注浆层段底部静水压力的2.0 ~ 2.5倍为注浆压力设计值。测线钻孔注浆压力设计值的计算结果详见表1。

表1 测线注浆孔的注浆压力

注浆孔数	注浆压力设计值 /MPa	注浆孔数	注浆压力设计值 /MPa
1	0.36	8	0.52
2	0.54	9	0.52
3	0.46	10	0.52
4	0.36	11	0.40
5	0.24	12	0.40
6	0.64	13	0.38
7	0.58		

（四）注浆扩散半径

浆液扩散半径根据施工时的经验值来设计，通常情况下，在中细砂层、粉质黏性土中，扩散半径取0.5 ~ 0.8m，在中粗砂、砂卵石层中取0.8 ~ 1.2m；在断层破碎带，则取1.5 ~ 2.0m。稀土矿山注浆主要在淤泥质土中，故取浆液扩散半径 R=0.8m。

（五）单孔浆液注入量

单孔浆液注入量的由公式（1）进行计算确定。

$$Q = \pi \cdot R^2 \cdot L \cdot n \cdot \beta \quad (1)$$

其中 R 为浆液扩散半径 m；L 为过水断面深度，m；n 为土层孔隙率，取0.05；β 为浆液的有效充填系数，取0.9。由公式计算可知，单孔注浆量与扩散半径、注浆段深度、土层有效空隙率还有浆液性质密切相关，单孔注浆量的计算结果详见表2。

表2 测线注浆孔的注浆量

注浆孔数	设计注浆量 / m ³	注浆孔数	设计注浆量 / m ³
1	1.52	8	2.26
2	2.32	9	2.26
3	1.97	10	2.21
4	1.49	11	1.73
5	0.91	12	1.65
6	2.94	13	1.61
7	2.46		

（六）注浆结束标准

注浆结束标准^[12]为：当注浆压力达到设计压力，流量小于5L/min 时，持续20 ~ 30min 即可结束注浆。

（七）注浆效果检验标准

测线上地下水过水通道经过注浆处理后，为了检验堵水效果，可通过布置压水试验检查孔来检测是否达到设计要求的堵水效果，透水率 q 通常用来表示试验成果。根据相关规范可知，国内外地基工程防渗标准一般在1 ~ 5Lu，特殊情况高标准可达0.5Lu，低标准为10Lu。因此测线过水通道封堵后，要求压水试

验所得透水性 q 应在 $1 \sim 5L_u$ 范围内,即为堵水效果达标。

三、结语

稀土矿山地下水防治是稀土矿山生态修复中的重点,稀土矿山常年受到地表水、地下水以及外界人为、环境因素的影响,易产生地下水污染,滑坡等现象,如何对稀土矿山过水通道的位置进行探测和封堵,就成为矿山地下水防治的重要内容。论文利用天然电场选频法探测了稀土矿山地下水过水通道的分布位置,并根据分布位置提出封堵措施。可得出如下结论:

(一) 结合电位静态信息分析,在测线 $0m \sim 1.8m$ 、 $4m \sim 6m$ 、 $8m \sim 12m$ 、 $18m \sim 30m$ 等四个区段范围内存在地下水过水通道,过水通道分布深度在 $0.78 \sim 34.01m$ 之间。

(二) 结合稀土矿山地下水过水通道分布范围,采用湖泥水泥浆液进行注浆,注浆孔分布在过水通道区间内,过水通道区间外不进行注浆。

(三) 提出了稀土矿山地下水注浆封堵方案,对注浆孔的布设,注浆参数配比,注浆压力,注浆扩散半径,注浆量,注浆结束标准和注浆效果评价进行了设计。

参考文献:

- [1] 涂婷,王月,安达,等. 赣南稀土矿区地下水污染现状、危害及处理技术与展望 [J]. 环境工程技术学报, 2017,7(06):691-699.
- [2] 赵永红,张涛,成先雄. 离子吸附型稀土矿区土壤与水环境氮磷污染及防治技术研究进展 [J]. 稀土, 2020,41(01):124-132.
- [3] 罗才贵,罗仙平,苏佳,等. 离子型稀土矿山环境问题及其治理方法 [J]. 金属矿山, 2014(06):91-96.
- [4] 祝怡斌,周连碧,李青. 离子型稀土原地浸矿水污染控制措施 [J]. 有色金属(选矿部分), 2011(06):46-49.
- [5] 李高翔,杨天春. 天然电场选频法在灰岩区找水中的应用 [J]. 西部探矿工程, 2007,(9):123-125.
- [6] 彭月成,张伟峰. 天然电场选频仪在物探找水中应用实例 [J]. 河南水利与南水北调, 2009,(8):143-144.
- [7] 杨天春,申建平,黎光明等. 天然电场选频法在充水岩溶勘查中的试验与分析 [J]. 煤田地质与勘探, 2014,42(2):71-75.
- [8] 杨天春,张辉. 岩溶体的天然电场选频法异常成因研究 [J]. 湖南科技大学学报(自然科学版), 2013,28(4):22-27.
- [9] 张慧峰,吴建文,张恒. 已揭露高压地下水隧道注浆参数与工艺 [J]. 筑路机械与施工机械化, 2017,34(08):47-52.
- [10] 张杰,秦亮,刘龙卫. 帷幕注浆施工在地下水发育段的实用技术 [J]. 山西建筑, 2009,35(33):344-345.
- [11] 刘强,张可能,尹琼. 矿山帷幕注浆过程控制及注浆效果评价 [M]. 长沙:中南大学出版社, 2018, 65-66.
- [12] 张慧峰,吴建文,张恒. 已揭露高压地下水隧道注浆参数与工艺 [J]. 筑路机械与施工机械化, 2017,34(08):47-52.