

气举反循环采矿方法单井试验及应用探讨

周团正, 杨述起, 王自强, 张西坤

(河北建设勘察研究院有限公司, 河北 石家庄 050031)

摘要:湖南道县一个矿区, 铁锰矿体储量约 2200 万 t。由于复杂的水文地质和工程地质条件, 从 20 世纪 70 年代发现后, 一直没有开采。笔者通过多年大直径工程井的实践经验, 查阅国内外资料后, 提出了钻井-气举反循环法试开采的方法, 并在现场进行了单孔开采试验, 获得了比较满意的效果。以该矿体 II 号矿为例, 介绍了钻井-气举反循环法采矿的适用条件、工艺过程以及试采情况, 并就以后大面积开采提出了若干技术措施。

关键词: 钻井; 机械破岩; 气举反循环法; 采矿; 可采量

中图分类号: P634.5; TD8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2008)06-0019-04

Test on Air-lift Reverse Circulation Mining Method in Single Well and Discussion on the Application/ZHOU Tuan-zheng, YANG Shu-qi, WANG Zi-qiang, ZHANG Xi-kun (Hebei Construction Investigations Institute Co., Ltd, Shijiazhuang Hebei 050031, China)

Abstract: There are about 22 million tons reserves of iron manganese ore body in a mining area in Hunan. According to the complicated hydrogeology and engineering geology conditions, a method of drilling air-lifting reverse circulation was put forward and single well test was made with satisfied result received. The paper introduced the mining process and production test with the field case.

Key words: well drilling; mechanical rock-breaking; air-lift reverse circulation; mining; recoverable resources

气举反循环排渣的方法, 是根据水井钻孔和石油钻井开采法, 最初由美国矿山局和美国能源部提出的, 并进行了研究和工业试验。目前, 气举反循环排渣方法广泛应用于大直径工程井的施工中。20 世纪 90 年代至今, 长江上几乎所有的深水基础桥桩都是采用这种工艺方法施工的。该方法用于地下矿产的开采在国内目前还是个新课题, 是否能取得较好的经济技术效益, 主要取决于矿体的物理特性和围岩的物理力学性质。同时, 在工艺、设备等系统配套上还需进行深入的研究与发展。

根据湖南道县矿体特殊的赋藏条件, 我们采取了此法并进行了探采试验。经过前期的抽采试验, 基本达到了预期目的。

1 工程概况

该矿区位于道县县城东南 20 km, 属丘陵山区。矿区山脉主要呈南北走向, 总的地形南高北低, 南部岩石裸露地表, 溶蚀作用强, 具典型的岩溶地貌。北部地形平缓, 多为第四系残坡积物及河床堆积物覆盖。西部有潇水支流车子江由南向北贯穿矿区, 河面宽 50 m, 年最大流量 16.2164 m³/s, 最小流量 0.2675 m³/s, 属季节性间歇河流。

2 矿区地质条件

根据《湖南省道县矿区铁锰铅锌矿初步勘探地质报告》(湖南省 409 地质队, 1980) 揭示, 矿区出露地层有第四系、三叠系、石炭系、泥盆系等, 主要由泥盆系组成, 出露面积约占 65%。本区矿体为铁锰铅锌矿体, 地质报告中表明矿体是氧化矿床, 属于溶洞堆积, 是古风化壳通过地表水、地下水长期风化淋滤和冲积作用而形成的, 它的构造特点是呈粒状和蜂窝状, 有不同程度的胶结。埋藏于地表 170 m 以下。矿体长 2020 m, 宽 80~440 m, 厚 1.46~74.4 m, 平均厚 21.65 m。是本区的主要工业矿体。矿体沿走向基本上由 2 个连续的大透镜体组成。

矿区内水系发育, 长年性河流有 4 条, 其中对矿体开采影响较大的是车子江。据 1979 年资料统计, 贫水期含水岩组的岩溶泉流量总和为 4691 m³/h, 说明矿区地下水储量十分丰富, 矿区水文地质条件复杂。另外, 矿体上下没有隔水层, 开采时本含水岩组的溶洞裂隙水会直接灌入矿坑。

3 矿体开采工程地质条件评价

综上所述, 该矿区水文地质条件及工程地质条件复杂, 如采用常规凿井方法进行井巷施工将遇到

收稿日期: 2008-04-01

作者简介: 周团正(1974-), 男(汉族), 河南人, 河北建设勘察研究院有限公司基础工程公司副经理, 水文地质及工程地质专业, 从事大口径工程井施工与研发工作, 河北省石家庄市建华南大街 58 号。

很大困难,主要表现在:

(1) 矿体埋藏在当地侵蚀基准面 203 m 标高以下,矿坑涌水量 $>5000 \text{ t/h}$,给矿体疏干排水带来极大困难;

(2) 矿体为强氧化矿石,矿石结构、构造比较复杂,开采时易发生垮帮、冒顶和坑道变形,难以支护;

(3) 矿体直接与顶底板灰岩、溶洞裂隙、含水层接触,易发生突水;

(4) 主要工业矿体顶板灰岩上覆为大片第四系冲积、残坡积层,开采排水时,地面容易发生塌陷及造成淹井事故。

4 气举反循环工艺原理及开采方案确定

4.1 气举反循环排渣工艺原理介绍

气举反循环排渣工艺的原理见图 1:借助空气压缩机,将压缩空气送入到孔内液面以下(深度为 H_0 的风管)的混合器(钻杆风包)中,并经混合器进入到钻杆内管,在内管中充气形成密度小于原孔内液体的气水混合液。混合液携带钻进中产生的岩粉上升,经内管、排渣管到泥浆池而完成气举反循环全过程。

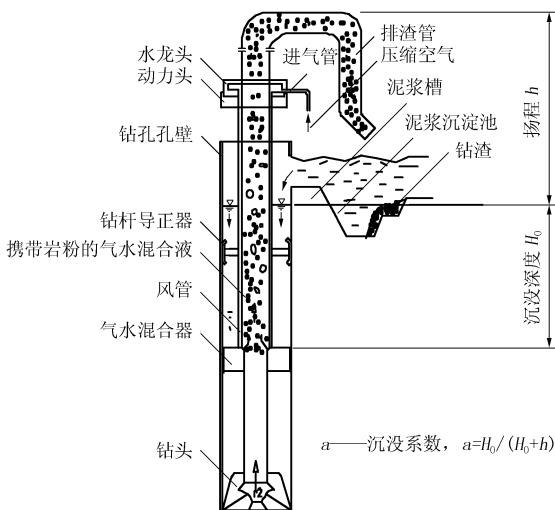


图 1 气举反循环排渣原理图

一般说,为保证有效循环,要求空气混合器(空气进入点)有一定的沉没系数(即沉没比:混合器潜入水下深度与混合器以上钻具长度之比)。实践表明,为了获得的升水效率(指有效水功率 PQ 与空压机功率之比, P 为空气进入点的压力, Q 为气举时的扬水量)保证有效的循环,其沉没比应在 0.5 ~ 0.8 之间(此时升水效率变化在 0.25 ~ 0.4 之间),合理的气液比为 1.5 ~ 2.0 之间。

在沉没比合理时,气举反循环携渣量为 260

m^3/h 左右(与所选空压机排气量、排气压力有关),并可 将 15 cm 左右的矿石直接携带出地面。

4.2 开采方法的确定

针对本矿区的主要特点,须采用与普通井工开采方法有明显区别的技术措施和方法进行施工,以改善施工的客观条件。我们采用了钻井-气举反循环排渣法开采矿体。即利用机械钻孔破碎围岩及矿体,利用气举反循环由钻井液携带岩渣及矿渣经由钻杆排至孔口,从而达到采矿的目的。

采矿工艺流程为:井位确定→钻井锁口施工→矿体顶板基岩段钻井施工→矿体顶板基岩段钻井永久支护→矿体段钻井法开采。

4.2.1 井位确定

矿石可开采量的大小主要取决于矿石的松散固结程度及矿体的厚度,即矿石愈松散易坍塌、矿体厚度愈大其垮塌半径愈大,则其可开采量也就愈大。根据气举反循环排渣法开采工艺的特点,井位选择在矿体矿石松散、厚度大、不存在其它稳定岩石夹层、矿体顶板围岩较完整而稳固、稳定的部位。

4.2.2 钻井锁口施工

开钻前,先构筑一段扩大的钢筋混凝土井筒——锁口,以维护井口稳定、承受载荷并保证最小沉没深度(见图 2)。

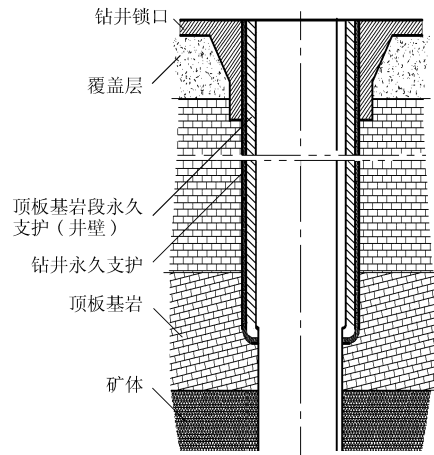


图 2 锁口示意图

4.2.3 矿体顶板基岩段钻井施工

本矿体顶板基岩段钻井井径定为 2.2 m,采用 GYD-400 型全液压钻机施工,该钻机性能参数为:适应地层为冲积层~中硬岩,钻孔直径(一次成孔) 4.0 m,驱动扭矩 230 $\text{kN}\cdot\text{m}$,钻速 0 ~ 8 ~ 16 r/min ,提升力 3000 kN ,加压行程 3500 mm,钻杆内径 301 mm,钻杆长度 3500 mm,辅助吊车额定吊重 50 kN ,总功率 210 kW ,主机总质量 50 t(不含泵站),外形

尺寸(长×宽×高)7300 mm×5200 mm×8500 mm, 循环方式为气举反循环,空压机额定排风量 22 m³/min,空压机额定排气压力 1.2 MPa,空压机额定功率 132 kW。

为提高钻进效率和保证钻孔垂直度,采用配重块加压、减压钻进的施工方法。

钻孔泥浆及泥浆循环设施:钻孔过程中,泥浆主要起临时支护孔壁、冷却钻头、冲洗孔底和携带钻屑的作用。第四系土层(含下伏基岩强风化带)已采用钻井锁口进行永久支护,其余钻孔施工所揭露的地层均为稳定基岩,故在此段地层中可采用清水做为泥浆循环液进行钻孔施工。

4.2.4 矿体开采

当矿体顶板基岩段钻井永久支护工作完成后,在井筒内采用钻井法继续向下钻进施工,当钻孔揭露矿体顶板围岩进入矿体后,由钻井阶段转入采矿阶段。此时孔内泥浆液面可能会降至与矿体含水层水头相当的位置,由于孔内水头的下降,为达到预计的开采强度(30 m³/h),需调整送风量使其达到预定的参数要求。在钻头向下不断钻掘的过程中,由于矿体的矿石多为粉状、砂粒状,松散多孔,易坍塌、垮帮,在钻井冲洗液的冲刷搅动及水的浸泡下,造成侧壁矿体大量坍塌、崩落到井底,并随之被钻头重复破碎、搅动、钻掘,进而被抽吸到地表。

5 可开采量估算

5.1 单井开采

矿体开采施工中矿体向孔内崩落、坍塌的演变过程如图 3 所示。

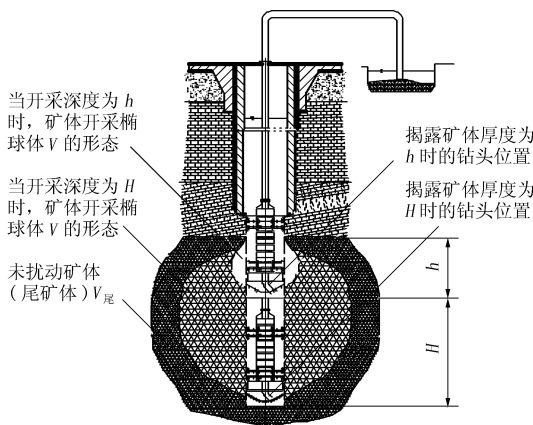


图 3 单井开采示意图

当钻孔揭露矿体一定深度 h 后,崩落矿石受重力作用流至井底,经钻头破碎后经钻杆被抽吸到地表。随着钻孔侧壁矿石的不断崩落,其上部或外周

覆盖的矿体随矿石的放出而向下运动,其所占有的空间体积是一近似椭球体,把这个椭球体叫做可开采椭球体 V 。随着可开采椭球体内的矿石不断崩落至井底,被井底钻头不断地破碎抽吸到地表,从而形成开采循环。在钻井法开采过程中,椭球体 V 中的水平面上的矿体颗粒愈靠近钻孔中心线,其流动的速度愈大,因此各水平面上矿石向钻孔孔底运动的轨迹近似一抛物线,形成开采漏斗。当钻孔揭露矿体深度 h 到达一定限度并趋于稳定时,其可开采椭球体的横向发展也会趋于稳定,表明矿体可开采椭球体内的矿石已趋于开采枯竭。此时矿体可开采量近似于开采椭球体的体积,其体积与开采揭露矿体的厚度 h 、矿体的内摩擦角 φ 值成正比。

$$V \approx (0.5L/\text{tg}\varphi)^2 \pi L/3$$

式中: V ——单井矿体可开采量, m^3 ; L ——钻孔所揭露矿体厚度, m ; φ ——矿体内摩擦角。

5.2 相邻井开采

在此对相邻井开采时相邻井的开采形态做简要分析(如图 4 所示)。

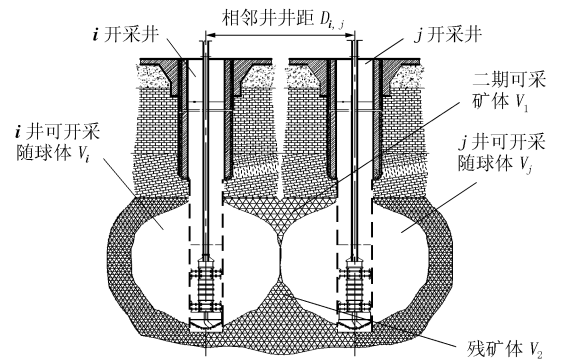


图 4 相邻井开采示意图

采矿吸渣初期,两个相邻井开采漏斗的可开采椭球体不相交也不相切。继续开采矿体,当相邻开采漏斗的椭球体 V 开始相切或相交时,此时相邻椭球体 V 外的顶部矿体 V_1 由于其下部矿体采空而会发生崩落。其崩落的矿体沿开采漏斗崩落至孔底,经钻头破碎抽吸至地表,可称矿体 V_1 为二期可采矿体。而相邻可开采椭球体外的底部矿体 V_2 为开采死角而不能被开采,可称矿体 V_2 为残矿体,其体积大小与相邻井可开采椭球体相交程度成反比关系。

通过上述分析,相邻井至少布置在可开采椭球体相切或相交时的位置较为经济,即相邻井井距小于相邻可开采椭球体横轴半径之和。

$$D_{i,j} = 0.5(L_i/\text{tg}\varphi_i + L_j/\text{tg}\varphi_j)$$

式中: $D_{i,j}$ ——开采井 i, j 的拟定井距, m ; L_i, L_j ——

开采井 i, j 的可开采矿体厚度, m ; $\text{tg}\varphi_i, \text{tg}\varphi_j$ ——开采井 i, j 的可开采矿体内摩擦角。

6 探采实验结果

现场实钻 1 号孔:孔径 2200 mm,覆盖层 -4 m,矿体顶板为 -172 m,矿体厚 68 m。矿体顶板以上基岩段采用球齿滚刀钻头全断面钻进,进入矿体后改用梳齿钻头。实测表明,单井的采矿量为 18~31 t/h,达到了预期效果。

7 结语

钻井-气举反循环排渣法开采矿体,无需开掘巷道和人员下井,可以避免冒顶和透水造成的事故,并可减少大量投资 and 环境污染。该采矿法在国内还是个新课题,湖南省这个铁锰矿比较适合这种采矿

方法。

现场探采井试验效果比较理想,基本达到了预期目的。下一步有待大面积开采后进一步验证单孔开采量和开采规模,摸索布井方式(包括井位、合理井距的设计)、井孔设计(井径、井深、支护方法等)、开采的合理参数等等。所以,单井试验仅仅是开始,以后还需要大量的科学实践、理论探讨,进一步完善这种采矿方法,使其尽快应用于生产实践。

参考文献:

- [1] 崔广心,王德民,等. 钻井法——特殊凿井[M]. 北京:煤炭工业出版社,1985.
- [2] 刁乃秋,杨晓波. 国外钻孔水力采煤法概述[J]. 水力采煤与管道运输,1992,(2).
- [3] 龚主华. 岩土工程施工方法[M]. 沈阳:辽宁科学技术出版社,1990.

“海峡两岸轨道交通建设与环境工程高级技术论坛”会议通知

时间:2008年11月4~7日

地点:浙江省杭州市新侨饭店(杭州市解放路226号)

主要议题:(1)以科学发展观为指导,总结交流两岸三地快速轨道交通建设领域在规划设计、施工建设、安全运营、降低造价、信息化智能化管理等方面的经验、教训和存在问题;(2)围绕资源节约、环境友好、减震降噪、安全便捷、辐射防护、以人为本的总体要求,交流在本领域的创新技术、核心技术、关键技术等方面的新成果;(3)交流在快速轨道交通建设中实现技术装备和施工机械现代化、国产化、产业化等方面的进展与成果;(4)交流在快速轨道交通建设中的工程风险防范与评估及环境工程、岩土工程等问题;(5)交流本领域中技术标准体系的建立制订与实施等方面的经验及其它相关课题。

主办单位:同济大学土木工程学院;上海申通地铁建设集团有限公司;上海隧道工程股份有限公司;上海市土木工程学会;上海市土木工程学会地下工程专业委员会;中国土木工程学会隧道及地下工程分会;中国土木工程学会城市轨道交通技术推广委员会;北京交通大学土木建筑工程学院;天津大学建筑工程学院;东南大学岩土工程研究所;浙江省土木建筑学会;浙江大学建筑工程学院;浙江省建筑业行业协会地下工程分会;杭州市地铁建设集团有限公司;浙江科技学院建筑工程学院。

承办单位:浙江省建筑业行业协会地下工程分会;杭州市地铁建设集团有限公司;浙江科技学院建筑工程学院;浙江省大成建设集团有限公司。

论文集、版面费及出版:应征论文请用 Word 格式以 A4 纸打印,提交电子文本和打印本(一式二份),每篇请勿超过 5 页,稿件可在 2008 年 7 月 31 日前分别投寄各地联络处及秘书处。来稿经专家审核录用者,将通知作者并需缴纳版面费,收费标准为每篇(5 页以内)人民币 980 元(港币 1100 元,新台币 3900 元),超页每页人民币 250 元(港币 280 元,新台币 1000 元)。录用论文将与特邀报告和专题报告集,由国家一级出版社出版。

特邀/专题报告及演讲:本次论坛已约请两岸三地本领域著名专家莅临大会作相关报告或演讲;日本东京地铁管理总局也应邀将派专家莅会演讲。部分专家报告/演讲预告如下:

孙 钧 地下铁道工程施工及运营中的安全管理与风险整治

莫若楫 铁路及城轨建设设计施工发包办法实务研讨
欧晋德 台湾高速铁路营运策略与目标
王振信 盾构施工对环境的影响
周文波 我国软土盾构隧道施工技术综述
傅德明 多线换乘地铁枢纽站工程技术
胡邵敏 台湾城市捷运工程新挑战
张嘉辉 何毅良 香港九广铁路东铁线发展工程某标段地下隧道建筑工程技术挑战

冯爱军 我国城市轨道交通发展调查问卷分析
黄宏伟 上海地铁建设中的动态风险管控
黄南辉 吴沛轸 陈鸿涛 地铁工程之风险管理
俞清瀚 轨道交通建设沿线近接施工影响测试与探讨
陈俊宏 钟毓东 台北捷运沿线禁限建管理制度与实例
方永寿 朱 旭 台北及高雄捷运大地工程困难案例
陈 健 南京长江隧道超大直径盾构掘进施工参数控制
会议注册费及预注册:正式代表每位人民币 1280 元,家属每位 600 元。凡在 2008 年 9 月 15 日以前预注册者,注册费按每位人民币 1100 元(港币 1200 元,新台币 4400 元)计。由于 11 月正值旅游旺季,欢迎与会者尽早预注册,以便预订房间。

预注册登记表请在论坛网站 <http://www.rttforum.cn> 下载。

会后考察可自由参加,费用另缴,每人约人民币 300 元。考察路线:杭州—余姚河姆渡文化遗址—杭州湾跨海大桥—杭州。

大陆、香港、台湾三地与会者,请分别向就近的联络处用 E-mail 办理预注册。

杭州联络处:(310005)浙江省杭州市湖墅南路 356 号锦绣大厦 706 室 浙江省建筑业协会地下工程分会 丁源萍 主任(0571-85979735;dyp5188@163.com)

香港联络处:香港九龙九龙塘达之路八十号又一城五楼 奥雅纳工程顾问 何毅良 副董事(852-25283031;albert.ho@arup.com)

台湾联络处:台北市南京东路四段 50 号 6 楼之 2 地工技术研究发展基金会 李碧霞 秘书(886-2-25772006;sino@geotech.org.tw)

秘书处:(310023)浙江省杭州市留和路 318 号 浙江科技学院建筑工程学院 轨交论坛 夏建中 院长(13858056598;xjz90815@163.com) 陶松全 教授(15925613053;zbtiao2008@163.com)