

充填采矿

第十二届加拿大岩石力学讨论会文集

原子能出版社

88年1月7日

82

74.3382
3124

充 填 采 矿

第十二届加拿大岩石力学讨论会文集

R. A. 福特 等著

王 鉴 王宗棠 译
王生德 陈 炎

有色冶金设计研究所图书馆

葛友怡赠

一九八七年
十二月廿四日

原子能出版社

译 者 的 话

1978年5月23日至25日，加拿大国家岩石力学委员会、劳伦梯安大学及坎布里昂应用技术及工艺学院主办了第十二届加拿大岩石力学讨论会。加拿大矿冶学会把讨论会上的20篇文献编辑成“充填采矿”(Mining With Backfill)出版。该书介绍加拿大、美国、澳大利亚一些矿山应用充填法采矿的工艺状况和研究成果，在一定程度上反映了当前国际上充填采矿的水平。我们将本书译出，以供国内从事矿山开发的科研、设计、生产的广大采矿专业人员参考，也可供大专院校教学、情报研究、生产技术管理的有关科技人员参考。

在翻译过程中，曾得到《有色矿山》编辑部及有关同志的支持和帮助，在此表示感谢。

原 序

鉴于作为地压支护介质的充填料的重要性，目前人们对该课题的兴趣，以及自1973年澳大利亚讨论会以来在该领域所取得的许多进展，特为第十二届加拿大岩石力学讨论会选编了这本《充填采矿》文集。

讨论会选在萨德伯里召开，就有可能通过安排到国际镍金属公司及鹰桥镍矿业公司的矿山去进行会前参观，让代表们对一些会议论文的应用情况作现场考察。

讨论会第一天回顾了加拿大和其它国家的充填采矿工艺的技术水平，第二天则探讨充填采矿技术的研究方向及革新。会上提供了共20篇文献。讨论会以热烈的小组自由讨论而结束。

把第十二届加拿大岩石力学讨论会的论文集印成加拿大矿冶学会(CIM)的专册出版，我们相信这些文章将对广大读者有所裨益。

J. C. 威尔逊

目 录

第一部分 工艺现状

福克斯矿充填采矿实践与技术的评论·····	(2)
斯特拉思科纳矿胶结充填实践·····	(24)
国际镍金属公司桦树矿 108 深孔回采法采场的充填 系统·····	(37)
芒特艾萨矿采场充填的发展·····	(50)
不伦瑞克12号矿开采的充填实践·····	(71)
国际镍金属公司安大略分公司充填采矿法的进展·····	(89)
布利登金属公司胶结尾矿充填法·····	(102)
深部金矿的充填支护系统——脱水机原型和经济分析·····	(117)
诺兰达矿业公司利用胶结充填法回采矿柱·····	(138)
埃尔多拉多核能公司比弗洛吉矿充填法采矿实践的 评论·····	(158)
美国亚利桑那州马格马矿水砂充填系统·····	(172)

第二部分 研究与革新

充填体稳定性的测定·····	(194)
用模拟法预测垂直走向矿柱回采过程中充填料的 稳定性·····	(217)
锌公司和新布罗肯希尔联合公司所属矿山矿柱回采时的 充填研究·····	(238)

尾矿充填——一种新方法·····	(267)
水力充填料的原地脱水性能·····	(283)
水砂充填的动电脱水·····	(303)
胶结充填中细磨艾萨矿炉渣在高炉渣-水泥比时的 凝硬性·····	(318)
鹰桥镍矿业公司用炉渣作充填料中的胶结剂·····	(329)
充填料的渗透率及其在矿山充填实践中的重要性 ·····	(346)

第一部分 工 艺 现 状

福克斯矿充填采矿实践与 技术的评论

R. A. 福特*

摘 要

福克斯 (Fox) 矿使用分段深孔空场法回采, 然后进行水砂充填。该矿自1966年开始建设, 1970年建成投产。在这段期间内, 为使矿柱回采获得成功和贫化最小, 按照岩石力学研究提供的控制和改进生产的参数, 进行了大量的关于充填型式的试验。

曾经采用水泥-尾砂比为1:30的混合物作充填料, 并用掘进巷道的废石及地面采石场的砂砾作为补充, 以减少水泥费用。根据实践经验及矿柱回采前后用多簧应变计对围岩应力分布情况广泛监测的结果, 决定用非胶结充填代替胶结充填。1976年采用了这一措施, 在爆破技术、回采顺序及矿块尺寸方面稍有改变。

到目前为止, 已有22个采场及10个间柱采充完毕, 回采率达到85—90%, 贫化率很小。

本文叙述了充填系统的规划、试验和设计, 及其在希里特戈登 (Sherritt Gordon) 公司福克斯矿七年的采矿实践中的进展。

* R. A. 福特 (Ford) 是希里特戈登矿业公司福克斯矿矿山总工程师。

前 言

属希里特戈登矿业公司所有和经营的福克斯矿位于曼尼托巴省，北纬 56° 以北，里恩湖镇(town of Lynn Lake)西南30英里处。里恩湖位于温尼伯城北面696英里，550航空英里处。矿区是希里特公司人员用地球物理方法于1961年首先发现的。

矿山于1966年开始开发，1970年投入生产，年生产能力约100万吨。到目前为止，已生产矿石700万吨，每作业日平均产量为3000吨。现在保有矿石储量830万吨，铜品位为1.8%，锌品位为2.1%。

地 质

福克斯矿的矿体产于太古代火山带中部的块状硫化矿矿床中。矿带呈层状透镜体，走向北东 65° ，倾向北西，倾角 70° 。沿走向平均长1000英尺，厚度变化于15英尺至150英尺之间。

矿体为变质火山熔岩、火山灰及火山碎屑所包裹。矿石为细粒状黄铁矿及磁黄铁矿，并且黄铁矿多于磁黄铁矿，以及伴生具有经济价值的黄铜矿和闪锌矿。

闪锌矿含量以沿边缘部分及矿体上部的西端为最高。黄铜矿含量在中心部分较高，并随深度的增加而增高，而闪锌矿含量则相应减少。在平面上，富闪锌矿的矿带围绕富黄铜矿的矿带呈等倾斜褶皱出现，并受剪切分力作用而变长。假如把矿体看成翻转的，那么从富锌的顶部到富铜的底部可以把硫化矿分成区域，并覆盖于热液变质脉上。

构造上盘的最下部是中间体及长石矿物的碎屑交替互换，并伴有次生的燧石层。上盘的蚀变带包含黑云母-金云母，堇

青石-直闪石及石英-绢云母片状共生体。这些矿物被认为是由上部覆盖的相应的碎屑层蚀变生成的。构成的下盘由一层不连续的石英-绢云母片麻岩所标出。这一岩层突然中断而埋于中间体至镁铁质碎屑层序之下。在这些碎屑之下是厚层块状及枕状玄武岩岩流，它是矿区岩层下部界限的标志。

采 矿 方 法

福克斯矿采用一断面为 18×13 英尺，延深到2300水平以下，井深为2343英尺的五格竖井。它用来提升岩石、材料、人员并兼作进风用。在2000水平以下的矿体是通过一条坡度为15%，断面 13×15 英尺的斜坡道进行开采。现时斜坡道已掘到2400水平。

在2000水平以上，爆破下来的矿石从采场用4立方码柴油铲运机铲运，经一个中央溜矿井借重力下放到2100水平的 42×48 英寸颚式破碎机。2000水平以下的爆下矿石，从采场用4立方码铲运机装入26吨柴油卡车经斜坡道向上运至2000水平的卸矿点，通过中央溜矿井自重下放到2100水平的破碎机。

矿石在破碎到5英寸以后，用36英寸宽的皮带运输机运至2200水平的箕斗装矿仓上部的中间矿仓，再用8吨底卸式箕斗提升到地面。

矿山采用两段排水系统从2300及1200水平排水。两处均安装有相同的设备，即两台马瑟(Mather)与普拉特(Platt)多叶片10级水泵，排水量400加仑/分。

在采用分段空场、事后充填的采矿方法时，炮孔直径为2英寸。放矿水平或主水平的垂高间距是400英尺，但是2000水平以下的除外（见图1）。在主水平之间开有三个分段，其

间用倾斜的人行材料天井连通。在各水平的下盘，与矿体走向平行并距下盘矿体接触面50英尺处，开凿脉外平巷。该平巷供作出入通道、探清矿体形态为目的的金刚石钻探施工场地，以及在主水平作主要运输平巷之用。

矿体沿走向分为100英尺宽的矿房及45英尺宽的矿柱，其垂高均为400英尺。为了方便上部采场及矿柱的回采，采场可在阶段巷道以上40英尺处展开，使随后采场的放矿漏斗修筑在充填体中。漏斗也可以设在矿石中，但须留临时底柱，这些底柱待开采下部采场时一并回采。

2000水平以下，由于岩层条件不好，矿房及矿柱高度减为200英尺，放矿漏斗均开凿在岩石中。设计考虑每下降200英尺把矿房和矿柱位置交替变更，这样就减少了回采底柱所需的采准工程量。继而第一步骤矿房宽度也减为75英尺，使它等于矿柱平面上的尺寸。从斜坡道开凿的平巷尺寸与2000水平以上的相同。

沿每一个矿柱的中心线开凿穿脉直到上盘。由这些穿脉在矿体与岩石接触带开凿凿岩巷道，使它与横向切割平巷连通。虽然要根据岩层情况来确定，但是切割平巷通常布置在采场最宽部位并切穿矿体全厚度。按采场整个垂高钻凿一个5英尺直径的切割井。

目前，主水平及斜坡道以外的掘进均用双臂或三臂柴油台车打眼，用铲运机装运。分段巷道的开凿用气腿凿岩机打眼，用卡沃310型自动装运机装运。2英寸直径的落矿炮孔用装于台架或三轮或四轮气动台车上的BBC120F凿岩机打眼。

原来，矿山采用每周7个工作日，每日3个班的工作制度。1976年3月减为每周5个工作日的制度。1977年矿山部门（包括职员）的采矿效率为20吨/人班，全矿全员效率（包

括职员) 为11吨/人班。

福克斯矿充填料的矿物成分

1973年作过锌最终尾矿的显微镜分析。这些浮选尾矿经脱去细粒部分以后送井下作充填料。锌浮选尾矿主要由单体的硅酸盐脉石(54.1%);黄铁矿(32.5%)及磁黄铁矿(10.0%)组成。尾矿中含的铜和锌大部分呈单体的闪锌矿(0.4%)及黄铜矿(0.1%)。单体的脉石主要是石英、金云母、云母、绿泥石及滑石。金属含量的重量百分比是铜0.09%, 锌0.38%。1977年锌浮选尾矿平均含铜0.13%, 含锌0.31%。因此, 目前充填料比1973年的充填料实际上含有较多的黄铜矿及较少的闪锌矿。

根据铁和硫的原子量计算出上述样品中的铁含量的百分比是22%。最近几个月尾矿中的铁含量已接近32%。假设黄铁矿与磁黄铁矿的比例不变, 则近来尾矿中黄铁矿含量应为50%, 磁黄铁矿应为15%。所以, 除了闪锌矿及黄铜矿外, 充填料中的全部硫化物含量约为65%, 而硅酸盐脉石含量则下降。

胶结充填

希里特戈登矿业公司研究和发展部于1967年初首先研究了用作采场充填料的尾矿的稳定性。对上下盘岩石及矿带的初步评价表明, 它们具有适应深孔采矿法的足够的稳固性。但是采准的设计布置是足够灵活的, 如果一旦围岩不太稳固时, 可以改用充填法回采。研究部门的研究目的在于确定从试验厂来的黄铁矿多于磁黄铁矿的尾矿是否会氧化, 是否密实到足以用作下一步回采的良好基础, 正如充填法所要求的

那样。

曾经把一个脱泥的尾矿试样在压力送风的干燥炉中加热，使之湿润并让干燥炉排出的气体通过一个气体处理连续装置。试验结果表明，即使是在88℃的高温，黄铁矿的氧化程度也很小，可以忽略不计。这说明在环境温度较低的矿山，如果矿坑水中不存在催化这一反应的物质时，那末氧化作用几乎是不存在的。

根据上述情况，曾经确定在充填料中加入一些增强剂来提高强度。为此做了一系列的试验。在尾矿矿浆中加入1%至5%的普通水泥、无水石膏及熟石膏来提高黄铁矿充填料的强度。试验结果表明，要使充填料有足够的强度和内聚力，任何上述胶结料需要加入的最低量为3%。

1968年经井下掘进及金刚石钻孔资料证明，只要回采完毕后就尽快充填，用分段空场法回采确属可行。

加拿大拉法吉水泥公司 (Cement Lafarge Ltd.) 被委托进行一项实验室研究项目，以确定不同比例的水泥及分级过的尾矿混合物的物理特性及强度。此项试验于1968年开始，用试验厂提供的尾矿作研究，并一直继续进行到1973年，改用生产厂的充填料。

经过上述项目的研究，得出以下的观察结果和结论。

1. 渗透速率随时间的增长和水泥含量的增加而下降 (图 2 a)。
2. 使用矿坑水作混合剂对水泥-尾矿充填料的抗压强度的不利影响很小 (表 1)。
3. 水泥-尾矿混合料的强度随时间推移及水泥量的增加而增加 (图 2 b)。
4. 用尾矿-水泥砂浆来胶结骨料比单独用水泥-尾矿砂

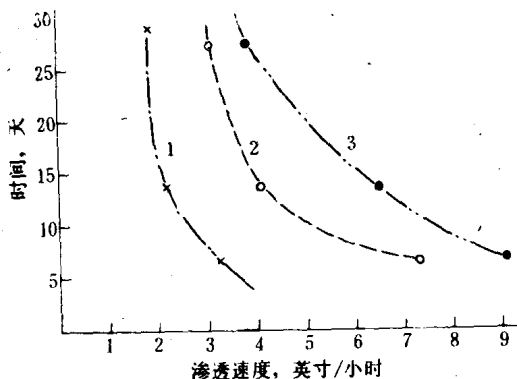


图 2a 渗透速率曲线，显示水泥含量及时间增加的变化情况

- 1 —— 1:15水泥-尾矿平均渗透速率=2.4英寸/小时；
 2 —— 1:20水泥-尾矿平均渗透速率=4.8英寸/小时；
 3 —— 1:30水泥-尾矿平均渗透速率=6.5英寸/小时。

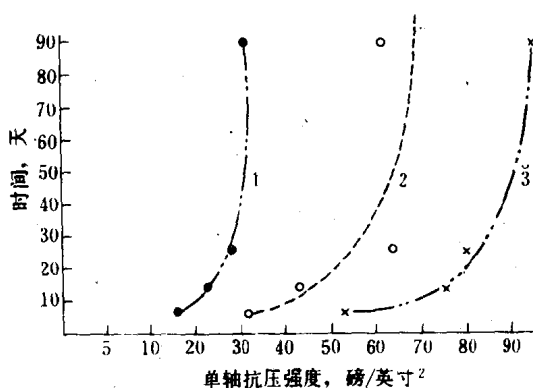


图 2b 抗压强度曲线，显示水泥含量及时间增加的变化情况

- 1 —— 水泥与尾矿比1:30； 2 —— 水泥与尾矿比1:20； 3 —— 水泥与尾矿比1:15。

表 1 2 英寸立方体强度(磅/英寸²)

水泥: 尾矿——1:2.75				
水分——65.9%				
流量——112%				
混 合 水	养 护 水	14 天	28 天	90 天
矿 坑 水	矿 坑 水	2920	3210	3660
蒸 馏 水	矿 坑 水	3050	3460	3730
蒸 馏 水	蒸 馏 水	3160	3300	3800

浆作充填料时强度稍高。这可能由于产生悬料及蜂窝作用所致。

5. 在低水泥含量的水泥-尾矿砂浆中增加水泥量只能稍稍增加容重。

6. 充填料在输送管路系统中输送时会产生破碎作用(表 2)。

7. 粗磨的物料能提高容重及渗透速率, 但强度稍有下降。

8. 水泥-尾矿砂浆的最大强度的75%可在最初的28天内获得。

9. 加入絮凝剂将降低水泥-尾矿混合料的容重, 因此随着渗透速率的增高水泥及尾矿的需要量将减少。然而, 载荷的承受力将有很大的下降(图 3a 及 3b)。

矿柱回采中水泥-尾矿充填料的应用

投产前, 希里特公司聘请 J.D. 史密斯工程联合有限公司总裁史密斯进行岩石力学研究, 用以弄清矿山几何形态及

表 2 筛分析筛上物累计百分比

网 目	加拿大水泥厂试验		福 克 斯 厂 试 验		
	1970年10月 样 品 (矿浆浓度 =75%固体)	1971年9月 样 品 (矿浆浓度 =68%固体)	充填料厂旋流 器底流1971年 12月 (矿浆浓度 =73%固体)	20-3采场尾矿 管线排出物 1971年12月 (矿浆浓度 =73%固体)	充填料厂旋流 器底流 1977年9月 (矿浆浓度 =72%固体)
+ 35			1.57	2.05	2.32
+ 48			5.66	7.32	7.24
+ 65			25.30	19.80	14.64
+ 70	14.1	15.6			
+100	28.4	29.1	47.10	38.04	25.95
+140	47.5	48.2			
+150			78.79	58.55	40.69
+200	64.2	71.2	87.85	75.46	62.96
-200	100.0	100.0	100.00	100.00	100.00

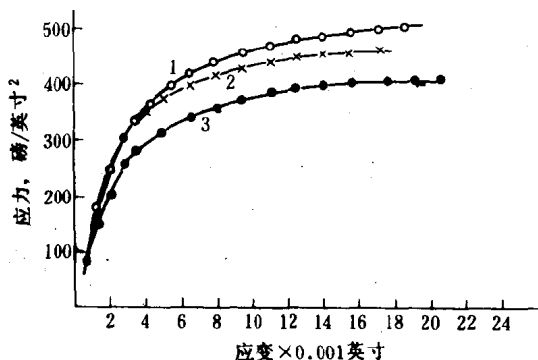


图 3a 应力应变曲线，显示因使
用絮凝剂变形阻力的减少

- 1——1:30水泥-尾矿不加絮凝剂时
的容重=123.7磅/英尺³；
- 2——1:30水泥-尾矿加Cyanafil-142
絮凝剂时，容重=119.3磅/英尺³；
- 3——1:30水泥-尾矿，加Nalco-81 CQ 4
絮凝剂时，容重=121.8磅/英尺³。

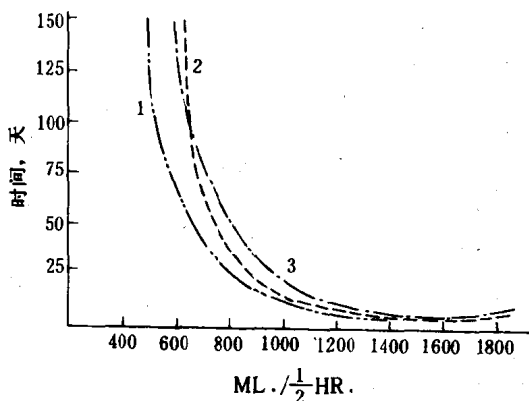


图 3b 圆筒渗透速率，显示因
使用絮凝剂而增加

- 1——1:30水泥-尾矿混合料，不加絮凝剂；
2——1:30水泥-尾矿混合料，加Cyanafil-142絮凝剂；
3——1:30水泥-尾矿混合料，加Nalco-81 CO₄絮凝剂。

确定能够成功地进行矿柱回采的准则。影响成功地进行矿柱回采的主要因素之一是，在不破裂情况下胶结充填体可能暴露的最大高度。史密斯假设胶结充填体的作用好似一个加强梁，它被沿间柱线引入到每一个分段上并插入底柱漏斗中，据此计算出其自由稳立的高度。把一些非胶结的物料充填到采场的中心以降低充填费用。

加拿大拉法吉水泥公司对 1:20 及 1:30 的水泥-尾矿混合料的物理特性及强度的研究成果给确定加在上面的载荷的承受能力提供了计算基础。据信有两个力作用于自由稳立的充填体上。第一个力是岩石向空区移动，产生的上下盘之间的闭合力。第二个力是同土壤力学原理一样，充填料自重作用于底柱及间柱梁上的压力。