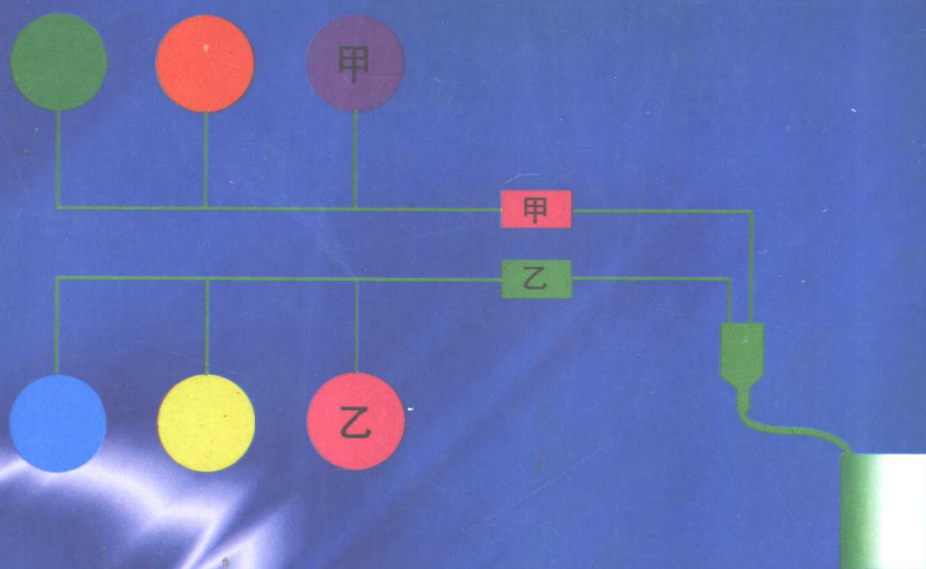


国家自然科学基金 资助项目
国家杰出青年科学基金

高水固结充填采矿

孙恒虎 刘文永 等著



机械工业出版社

Td853.34

9971189

国家自然科学基金
国家杰出青年科学基金

资助项目

高水固结充填采矿

孙恒虎 刘文永 著
黄玉诚 杨宝贵
刘华生 毛信理 审校



机械工业出版社

本书全面地总结了最近几十年金属矿山充填采矿法和充填材料、工艺、技术等方面在国内所取得的主要成就和进展。系统地阐述了高水固结充填采矿的充填材料、工艺、理论和方法,这是作者多年的主要研究领域和研究成果。本书的基本内容是:高水材料的生产、配比和性能;高水固结充填材料的力学特性及其制备、贮存、输送等系统的设计、检测与控制;高水固结充填采场力学模型的构建,采场结构参数设计以及采场稳定性分析;高水固结充填采矿的技术经济分析。

本书可作为矿山设计和研究人员以及从事现场工作的工程技术人员的学习参考资料,也可作为矿山院校师生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

高水固结充填采矿/孙恒虎等著. —北京:机械工业出版社,1998.12

国家自然科学基金、国家杰出青年科学基金资助项目

ISBN 7-111-06668-5

I. 高… II. 孙… III. 金属矿开采:地下开采-胶结充填法 N. TD853.34

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 28381 号

出版人:马九荣(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:熊万武 版式设计:张世琴 责任校对:魏俊云

封面设计:姚学峰 责任印制:王国光

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1998年12月第1版第1次印刷

850mm×1168mm¹/₃₂·11印张·289千字

001—500册

定价:24.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换



前 言

国内外采用分级尾砂低浓度胶结充填的黄金、有色、黑色冶金矿山以及化学和核工业矿山都普遍存在着充填体强度低、养护周期长、充填效率低、充填成本高,充填废水污染环境等问题,采用全尾砂高浓度胶结充填工艺又存在着一次投资过大、压滤脱水、贮存造浆和泵压工艺设备复杂,输送难度大等经济技术问题。自1985年以来,作者及其领导的课题组,瞄准矿山充填技术领域这些难题,在高水材料及高水固结充填采矿工艺方面进行了深入地研究,较好地解决了上述技术难题。为了适应资源、环境、作业条件对工艺的要求,为了矿业可持续发展,这一技术在矿业工程应用范围前景广阔。然而,高水材料作为一种新材料,高水固结充填采矿作为一种新工艺,在科学上和应用技术上都还存在着许多有待探索的问题。

作者通过《高水固结充填采矿》专著的撰写,旨在总结、介绍有关高水材料及高水固结充填采矿工艺。本书既是高水材料及其新工艺的研制、开发、应用的总结,同时也是对实际研制和生产实践中所提出的新问题进行的探索和总结。及时总结这一技术和工艺理论,必将促进国内外充填采矿的进一步发展,必将推动该项技术在地下工程、地基加固、注浆堵漏,以及建筑、水利、公路等工程领域的应用。

《高水固结充填采矿》一书是国家自然科学基金和国家杰出青年科学基金资助项目研究工作的总结,它是作者所著已经出版的《高水速凝材料及其应用》一书的姊妹篇,是该书的深入、提高和发展。高水材料被看作是充填材料领域的一大突破,高水固结充填采矿新工艺被专家誉为充填采矿的一场革命。该工艺技术的广泛应用,必将带来巨大的社会效益和经济效益。

本书首次系统、全面地以出版专著的形式介绍了高水固结充填采矿所用的高水材料及添加后所形成的高水固结充填材料的性能、生产制造、形成机理;充填材料的贮存、制备、输送、控制系统;采场充填采矿工艺,充填力学等。书中还用一定的篇幅介绍了当今国内外充填采矿的新方案、新材料、新工艺和新理论,为便于阅读,书中适当地介绍了充填采矿领域的分类(组)特点及有关术语,并列举了图、表、实例等加以说明,因而可读性和实用性强。本书在体系的构成,内容的取舍,图表的设计,论述及评价等各个方面,都立足于作者多年室内实验、现场实践、分析研究之基础上,强调了作者个人的观点、看法和认识,因而书中可能会出现一孔之见和欠成熟之处,甚至会存有错误。期盼各位读者不吝斧正,并提出宝贵意见,以便再版和向海外发行时修改。

在本项目完成和本书的撰写出版过程中,得到了山东省黄金集团公司招远金矿、焦家金矿、铜陵化工集团新桥硫铁矿、上海梅山铁矿、山东莱芜铁矿、白银有色公司小铁山矿、大厂矿务局高峰、铜坑锡矿以及金川、凡口、安庆、东乡、大姚、武山等有色矿山企业的大力协助。在提供书面资料、打字、整理插图和校对等方面得到了盖光举、徐维瑞、李春玲、赵福收、于树智、刘晓阳、郑娟荣等同志的热情帮助。如果没有他们的支持、协助和出色工作,本书也无法如期交付出版。此外,本书的出版还承蒙机械工业出版社的支持和中国矿业大学(北京校区)的鼓励和关怀。在此一并致以由衷地感谢!

本书所用专业名称及符号

C	—	CaO
S	—	SiO ₂
A	—	Al ₂ O ₃
F	—	Fe ₂ O ₃
M	—	MgO
H	—	H ₂ O
$\bar{C}$	—	CO ₂
$\bar{S}$	—	SO ₃
C—H—S	—	硅酸盐凝胶
AFt	—	钙矾石
XRD	—	X 衍射分析
TG	—	差热分析
DT	—	热重分析
EDA	—	能谱分析
SEM	—	扫描电镜

目 录

前言

本书所用专业名称及符号

第一章 充填采矿概论	1
第一节 充填采矿法分组及其应用	1
第二节 充填工艺沿革	35
第三节 高水固结充填研究现状	40
第二章 充填采矿工艺进展	46
第一节 充填工艺理论的进展	46
第二节 胶结充填采矿工艺	74
第三节 高水固结充填采矿工艺	94
第三章 高水材料	105
第一节 高水材料的熟料矿物组成、配料计算及原 材料分析	106
第二节 高水材料的生产	127
第三节 高水材料的水化硬化机理	134
第四节 高水材料硬化体的物理化学特性	146
第五节 高水材料硬化体的力学特性	149
第六节 高水材料硬化体的微观分析及风化机理	154
第四章 高水固结充填材料及其特性	170
第一节 水泥及其替代品的胶结充填材料	170
第二节 高水固结充填材料	183
第三节 高水固结尾砂浆体流变特性及主要 影响因素	217
第四节 高水固结尾砂充填材料的力学特性	222
第五节 高水固结充填体的蠕变特性	229

第五章 高水固结充填系统	235
第一节 高水固结充填系统示例	235
第二节 高水固结充填系统设计概要	240
第三节 高水固结充填系统的检测与控制	255
第六章 高水固结充填采场力学模型	276
第一节 弹性基础板结构力学模型的建立	276
第二节 垂直载荷作用下板的挠曲变形	277
第三节 假顶的内力分析	288
第七章 采场稳定性分析及假顶结构参数的设计	295
第一节 硬支弱板结构进路	295
第二节 软支弱板结构进路	305
第三节 软硬支混合结构进路	309
第四节 三种进路结构假顶的稳定性比较	313
第五节 假顶结构参数的设计	319
第六节 小结	328
第八章 高水固结充填采矿的技术经济效果评价	330
第一节 技术经济评价的原则和方法	330
第二节 技术经济分析实例	333
第三节 高水固结充填采矿的社会效益	338
参考文献	340
编后语	344

第一章 充填采矿概论

第一节 充填采矿法分组及其应用

按照回采时的地压管理方法,硬岩地下采矿方法通常可分为空场采矿法(或自然支撑采矿法)、崩落采矿法和充填采矿法(或人工支撑采矿法)三大类。其中充填采矿法在近半个世纪内得到了长足的进步和更加广泛的应用。究其原因,一方面是由于随着开采深度的增加和开采条件的日益复杂,更加需要维护采场的稳定,提高资源的回收率以及满足环境条件等方面的要求;另一方面在充填理论、工艺、设备和设施等方面也有了迅速的发展和令世人瞩目的成就,因而提供了实现充填采矿法巨大变革的可能性。

充填采矿法是指随着回采工作面的推进,随即用充填材料充填在地下采矿后所形成的空嗣,充填作业是回采过程中必不可少的一道工序。填充所形成的充填体,其主要作用是:形成回采时的工作平台,支撑矿体上下盘岩石,提高矿柱的承载能力,控制岩移并为二步骤回采创造条件。当采用胶结充填建造人工矿柱时,充填体的自立和强度便是决定二步骤回采能否进行的前提。为了继续采矿,充填作业就不再局限于回采作业的小循环内,而是构成由回采和充填这两个作业环节所组成的大循环内,因而分段空场事后充填,阶段空场事后充填,VCR 法事后充填,留矿采矿法事后充填和房柱采矿法事后充填等,均应划入充填采矿法的范畴。对于仅仅是为了维护采空区,不是为了采矿而实行充填的方法,可称之为处理采空区,它不能混同于前面所指的充填采矿法,因为这时充填作业只是处理采空区的一种手段,并非采矿方法回采中的一道工序,无论充填还是不充填都不致于影响矿山生产储备矿量的平衡和采矿生产。当然,用充填处理采空区,其充填技术及其工艺是与充填

采矿法基本相同的,因此,可将其视为与充填采矿法有联系的问题而加以评述。

根据所采用的充填材料和输送方式的不同,可将充填采矿法分为:用矿车、风力或其它机械输送干充填料充填采空区的干式充填采矿法;用水力管道输送选厂尾砂、山砂、河砂、炉渣、棒磨砂、碎石等充填料充填采空区的水力充填采矿法;用水泥及其代用品或其它胶凝材料与选厂尾砂等配制成具有胶结性质的充填材料填充采空区的胶结充填采矿法。上述各种采矿方法,就其回采方式不同又可分组。同组的采矿方法虽可采用不同的充填材料和输送方法,但其采场基本结构形式,采切工程布置,回采工艺过程均大同小异。现按回采方式分组,列于表 1-1 中。

表 1-1 充填采矿法分组表

类	组	典 型 方 案
充 填 采 矿 法	单层充填采矿法	1) 壁式垂直分条充填法 2) 连续垂直分条充填法 3) 连续倾斜分条充填法
	分层充填采矿法	4) 上向分层充填法 5) 上向进路充填法 6) 点柱式上向分层充填法 7) 削壁充填采矿法 8) 下向分层充填法
	分段充填采矿法	9) 无底柱分段充填法 10) 有底柱分段充填法
	阶段充填采矿法	11) 分段空场事后阶段充填法 12) 阶段空场事后阶段充填法 13) VCR 事后阶段充填法 14) 留矿采矿事后阶段充填法 15) 房柱采矿事后阶段充填法

充填采矿法适用的条件为:1) 矿体形态变化复杂,矿体厚度、

倾角变化大,分枝复合严重的矿体;2) 矿石和围岩均不太稳固的矿体;3) 地表需要保护的浅埋矿体;4) 矿床开采时,要求矿石损失贫化低,尤其在开采贵金属、稀有金属、有色金属富矿及铀矿床时;5) 开采深部矿床,三下(水体下、建(构)筑物下、铁路下)矿床以及有内因发火倾向等特殊条件下的矿床;6) 用充填方法处理采空区等。

近年来,随着充填工艺技术的进步,岩体支护和加固技术的革新,无轨采矿设备的兴起,在国内外硬岩矿床开采中,涌现出了许多充填采矿法的新方案,并已在生产中得到了成功地应用。

一、上向分层充填采矿法

上向分层充填采矿法不断更新采矿设备及工艺,不断变革采场结构和布置形式,实现了安全、高效、高强度。

在上向分层充填采矿法中,当矿石欠稳固时,使用锚杆、锚索和金属网喷射混凝土支护系统,对回采空间的矿岩进行预加固,同时实行采场控制爆破等技术,因而营造了一个十分安全和宽敞的作业空间,为大型无轨采矿设备的使用创造了条件。采场作业基本上实现了全盘机械化,从而步入了无轨采矿设备代替有轨设备、电耙、风动装运机和气腿凿岩机的新阶段,大大提高了采矿强度和生产率。

机械化上向分层充填法一般是按整个矿体或将矿体分为几个采场回采,采场间不留或只留少量永久性矿柱,回采工作面呈水平或梯段推进,采场分层矿量大,利于无轨采矿设备能力的发挥,充填可用脱泥尾砂,并在其上胶结铺面,因而矿块生产能力大,劳动生产率高。澳大利亚芒特·艾萨(Mount Isa)银铅锌矿,矿体厚 4~11m,走向长 100~800m,倾角 65°,矿体间距为 6~45m,矿体间相互平行,围岩和矿石条件不允许采用空场采矿法,故采用机械化上向分层充填法,如图 1-1 所示。用轻型钻机整体钎子凿岩,ST-5A 铲运机出矿,分级尾砂分段充填,采场顶板及上、下盘围岩视稳固程度,选用锚杆、金属网、锚索支护,采场(一个矿体)生产能力约 3000t/d。

当采用垂直走向布置采场时,可以盘区组织回采,以使回采分层的矿量多,并有利于高效无轨采矿设备能力的发挥,使这些设备为盘区内采场共同调剂使用,因而机械化程度高,采场生产能力大,设备利用率高。

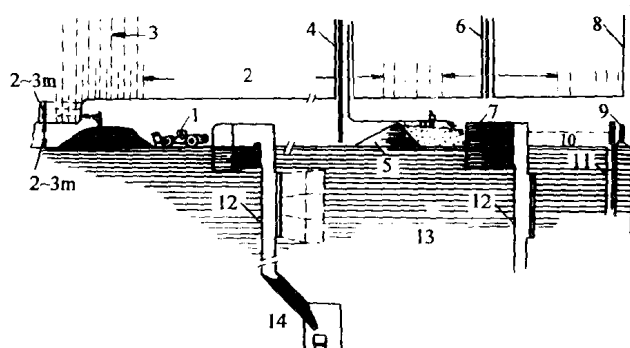


图 1-1 机械化上向分层充填法

- 1—ST-5A 矿运机 2—全部用锚杆锚固 3—锚索 4—充填天井
5—充填料挡墙 6—人行通风井 7—溜井隔墙 8—回风天井
9—滤水塔 10—充填废水 11—泄水井 12—溜矿井
13—充填体 14—漏斗井

当开采高品位或高价矿石时,降低矿石的损失与贫化就成为最突出的问题,因而第一步骤回采往往采用胶结充填。当作为改善矿岩受力性态和将充填体作为工作平台时,一般多用于式或水力充填。为改善设备运行条件和降低矿石二次贫化和损失,需在回采每分层时,在分层充填体的表面浇洒 0.2~0.3m 厚的混凝土或以灰砂比 1:5~1:8 的砂浆铺面,其厚为 0.3~0.5m。前者需养护 24h,后者需养护 1~3 天,才可转入下分层的作业。为给第二步骤回采创造条件。除需铺面外,还需随着分层的上采,在矿房两侧逐层构筑隔墙。建造隔墙可根据第二步回采要求,选用刚性的或柔性的。低标号水泥砂浆的灰砂比一般为 1:8~1:10,输送浓度[⊙]为

⊙ 本书所用“浓度”这个术语属于行业的习惯用语,按其实际含义应为“质量分数”。

60%~70%；国外尾砂胶结充填的灰砂比可降低到 1:20~1:30 左右,也收到了良好的充填效果。

由于微型铲运机的研制成功,使无轨采矿的最小采幅从 2m 下降到 1.1~1.5m,出现了薄矿脉机械化上向分层充填法、大矿块脉内斜坡道削壁充填采矿法和机械化水平分层削壁充填采矿法。

加拿大多姆(Dome)金矿成功地使用了薄矿脉机械化上向分层充填法。矿脉厚度从几厘米到 6m,平均 1.5m,矿脉倾角平均为 65°。在开采薄矿脉中,根据矿脉厚度的变化,多姆金矿对四种不同类型的运搬设备进行了选择、分析和经济性比较,其选择性曲线见图 1-2。

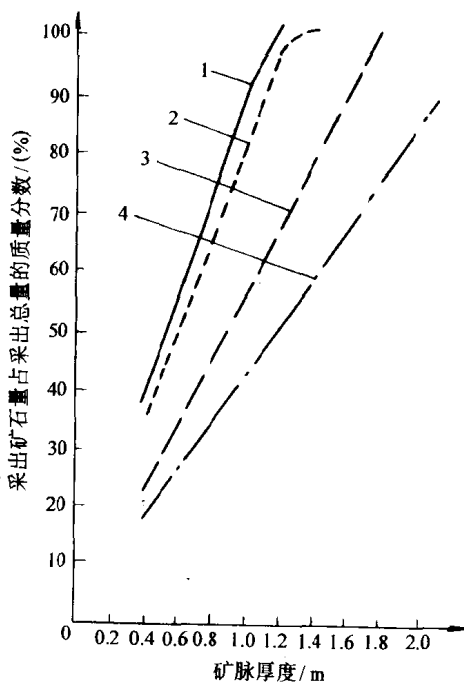


图 1-2 运搬设备选择性曲线

岩采用装在 Broart 自行台车上的 Secans36 钻机钻凿上向扇形炮孔,如图 1-3 所示。分层高为 7.7m,炮孔直径为 55mm,扇形孔排面向切割天井方向倾斜 65°,最小抵抗线 1.3m,一次爆三排炮孔。爆破后站在爆堆上撬顶和安装锚杆。原使用普通分层充填法时,用 Cavo310 型气动装运机或电耙出矿,用前者运搬,最小采幅需 2.4m,贫化率高;用后者,当运距超过 30m 时,耙矿效率急剧下降。故现选用 Jarvis clark 无线电遥控 Ts100E 电动铲运机出矿,每次沿走向推进 20m 长后,接着充填。在爆破眉线的下方架设木隔墙以阻挡充填料;在底板铺设直径 76mm 塑料排水管,在采场中央安装直径 300mm 带孔钢管,外包麻带布,用作泄水。将一根

直径 51mm 塑料管与挡墙相联,导出已充填区内的溢流水。采空区用脱泥尾砂充填。该方法的采矿工效可达 11.4t/工班,每米炮孔崩矿量 1.81t。

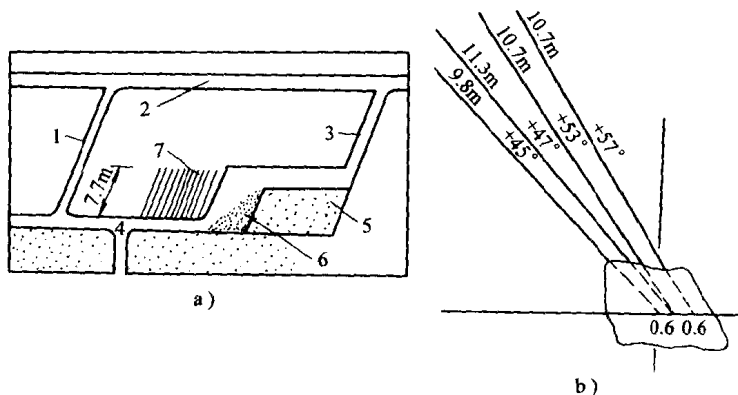


图 1-3 多姆金矿薄矿脉机械化上向分层充填法

a) 采矿方法示意图 b) 炮孔布置图

1—人行天井 2—1600 阶段平巷 3—切割天井 4—溜矿井

5—充填体 6—矿石爆堆 7—炮孔

中国金厂沟梁金矿在开采急倾斜极薄矿脉时,为提高开采强度,试验了一种技术上可行,安全上可靠,经济效益较高的大矿块脉内斜坡道削壁充填采矿法,见图 1-4。这种采矿方法的特点是:将矿脉总长划分为首采矿房(为梯形),接续矿房(为平行四边形,边长为设备最优运距的倍数)和终采矿房(为倒三角形)三部分。为了将铲运机和凿岩台车运至矿房,并为采场通风、行人和运料的需要,随上向回采在矿房回采充填过程中形成脉内顺路斜坡道。凿岩用 Mictomatic H102 型台车配 HE322 液压凿岩机或采用 YSP-45 型和 7655 型钻机,出矿采用 CT500HE 型铲运机。矿房生产能力达到 67t/d。

中国湘西金矿成功地试验了机械化水平分层削壁充填采矿法,其布置如图 1-5 所示。该矿为中低温热液充填金、锑、钨共生的石英脉状矿床,矿脉平均倾角 26° ,矿脉厚度 0.1~2.5m,单脉走

向长 50~500m, 倾斜延深 500~2000m。矿、岩的爆破性能均较好, 矿石脆性大, 爆破后易成无定形的碎块或粉矿。这种方法的特点是: 采用逆倾斜上向台阶式分层回采, 矿岩分次爆破, 应用定向抛掷爆破技术将本分层底板岩石爆力运搬至下分层, 并充填已采空区, 采用松动爆破技术崩落矿石。用 EHST-05 型电动铲运机出矿并辅助充填, 以实现充填与出矿作业的机械化和提高采矿强度。与该矿原用的普通削壁充填法相比, 采场的生产能力提高了 2 倍, 采矿工效提高了 1.42 倍, 采矿损失率和贫化率分别降低了 2% 和 8.3%, 采场充填率提高了 25%~35%, 利用定向抛掷爆破和铲运机辅助充填代替人工充填, 不仅大大提高了充填效率和充填质量, 而且显著地降低了工人的劳动强度, 并提高了采场作业的安全性。

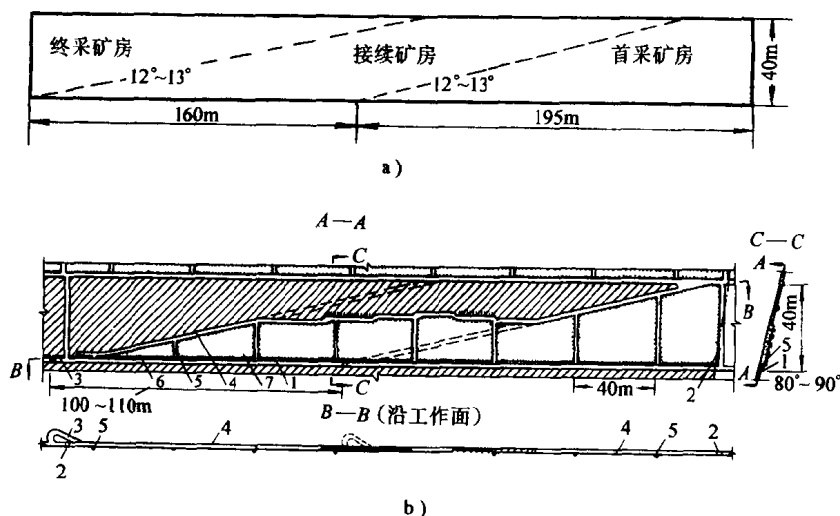


图 1-4 大矿块脉内斜坡道削壁充填法

a) 矿房划分示意图 b) 采矿方法

- 1—沿脉运输平巷 2—人行通风天井 3—联络斜坡道 4—沿脉斜坡道
5—顺路放矿溜井 6—人工混凝土假底 7—削壁碎石(充填体)

二、下向分层充填采矿法

在开采矿岩均不稳固的高品位富矿时, 下向分层充填采矿法在人工假顶, 采场结构上取得了新的突破。

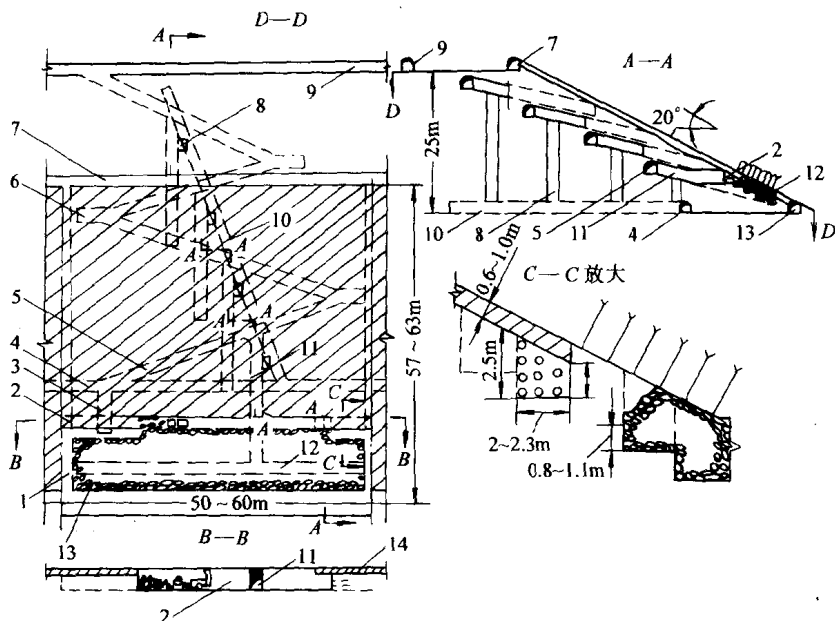


图 1-5 机械化水平分层削壁充填法

1—顺路天井 2—回采分层 3—铲运机维修硐室 4—22 中段底巷 5—斜坡道
6—转向硐室 7—21 中段沿脉平巷 8—溜矿井 9—21 中段底巷 10—22 中段
穿脉平巷 11—联络道 12—切割道 13—22 中段沿脉平巷 14—削壁炮眼

钢筋混凝土或金属网尾砂胶结充填人工假顶的试验成功,取代了昔日下向分层充填法的木材假顶,使得在开采矿岩均不稳固矿体的下向分层充填法,其劳动强度和支护费用都显著降低。

位于瑞典中部的加彭贝里(Garpenbery)铅锌矿矿体赋存在石英岩中。多金属矿体特别松软,矿体倾角 70° , 矿体最大厚度约 20m。原采用上向分层充填法,后由于地压增大,改用下向分层充填法。阶段高度 100m,分段高度 16.6m,分层高 4.15m,进路宽 4.5~5.0m。使用三机和双机台车钻凿直径 38mm、孔深 3.2m 的炮孔,每循环进尺 2.7m。爆下的矿石用 2.6m^3 前装机装入自卸汽车运往溜井,进路采完后,随即充填。充填前,在进路顶板悬挂好塑料充填管,沿进路长每隔 25~30m(进路沿走向布置时)构筑一道

木板挡墙并在其上开泄水口,建造挡墙用手工完成。进路底板留有30cm厚的一层碎矿石,为与充填体隔开,在耙平的碎矿层上铺一层聚氯乙烯塑料薄膜,以阻止充填料浆渗入碎矿石,影响选矿回收率。在塑料薄膜上铺一层焊接铁丝网,网度为15mm×15mm,以提高胶结充填体下表面的强度。在进路断面的三分之一高处以下,充填入灰砂比为1:4的尾砂胶结充填料,其抗压强度平均为4.83 MPa。剩余的空间部分

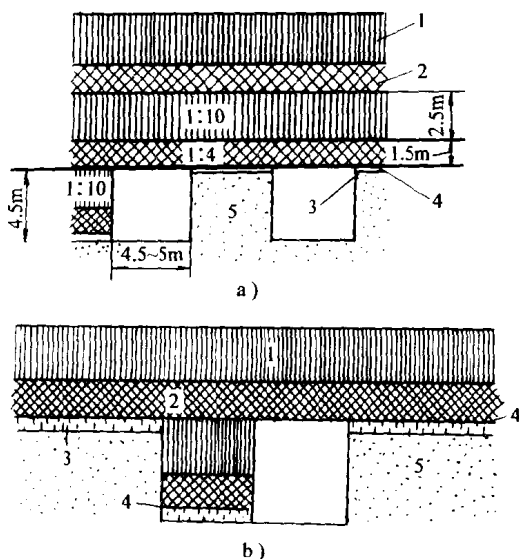


图 1-6 加彭贝里矿充填体结构

a) 横剖面 b) 纵剖面

1—1:10 混凝土 2—1:4 混凝土 3—残留矿石

垫层 4—塑料薄膜 5—暴露出的矿石

分则用灰砂比为1:10的充填料充填。图1-6为加彭贝里矿下向分层充填法充填体结构图。长期观察表明,人工假顶只在靠近裂缝处有小块冒落。为此,可在顶板插入直径20mm,长1.5mm的Cembolt快硬水泥卷锚杆或树脂锚杆。进路侧壁若需支护,也可使用锚杆加固。

加彭贝里矿对充填体内的变形和收敛特征以及充填料特性改进等方面进行了以下试验研究:1) 对每个采场充填体强度作为矿体厚度和预计收敛值的函数进行单独设计;2) 通过改变尾砂级配,能达到充填体强度特性和变形特性的改进;3) 通过充填料含水量最佳化和更精确地添加水泥和水,提高充填质量,降低其变异性;4) 通过实验室研究,提出了进一步改进加彭贝里矿充填工艺技术的要求。这些研究成果的应用,使得水泥消耗预计可降低