


徐文彬 宋卫东 著 |

GAONONGDU JIAOJIE CHONGTIAN
CAIKUANG LILUN YU JISHU

高浓度胶结充填 采矿理论与技术

 冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

T0833.34
7

国家自然科学基金 (51504256)

国家“十二五”科技支撑计划 (2013BAB02B04)

高浓度胶结充填采矿 理论与技术

徐文彬 宋卫东 著

北 京

冶金工业出版社

2016

内 容 提 要

本书系统阐述了高浓度胶结充填采矿法所涉及的基本理论与技术问题,内容主要包括:高浓度胶结充填材料特征指标、高浓度胶结充填料浆输送、高浓度胶结料浆固结硬化机制、高浓度嗣后充填采场稳定性分析、高浓度胶结充填体与围岩作用机理、高浓度胶结充填采场稳定性控制技术及应用。

本书可作为采矿工程本科高年级学生的专业课教材,适合采矿工程、资源开发与规划、固体资源综合利用、矿业工程等专业的师生使用,也可供从事采矿科研、矿山设计以及现场生产等工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

高浓度胶结充填采矿理论与技术/徐文彬,宋卫东著. —北京:
冶金工业出版社, 2016. 1

ISBN 978-7-5024-7150-7

I. ①高… II. ①徐… ②宋… III. ①胶结充填法—矿山开采
IV. ①TD853. 34

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016) 第 021090 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcb@cnmp.com.cn

责任编辑 李维科 美术编辑 彭子赫 版式设计 孙跃红

责任校对 李 娜 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-7150-7

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;固安华明印业有限公司印刷

2016 年 1 月第 1 版, 2016 年 1 月第 1 次印刷

169mm × 239mm; 14 印张; 272 千字; 213 页

48.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街 46 号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

前 言

采用高浓度全尾砂胶结充填地下空区是解决极厚深埋矿体、矿柱回采时贫化率高、损失率大、“三下”资源开采安全性低以及深部岩体地压控制难等问题的有效途径。充填成本高一直是制约胶结充填法应用的主导因素，且随着选矿技术的提高，全尾砂组成中细颗粒含量比重增加，颗粒级配越来越细，对胶结充填体强度影响越来越大，直接导致同等条件下的胶结充填体强度急剧降低，因而很难达到维护采场安全的要求。选择合理的充填体强度不仅要满足维持采场与围岩的力学作用平衡，同时还要避免充填体强度过剩而造成的充填成本浪费。水化反应不仅与胶结材料性能息息相关，同时还受充填材料级配影响，细颗粒含量越多，颗粒比表面积越大，与水化反应的接触面越广，所需的水化反应周期相应变长。因此加强对超细或较细全尾砂胶结材料的料浆制备、输送，料浆的固结硬化机理及其与围岩强度匹配等方面的研究，有利于高浓度胶结充填采矿理论与技术的推广与应用。

随着矿山选矿技术的提高以及国外大型无轨设备的引进，国内一些千万吨级规模的矿山开始设计并投资建设，这对高浓度胶结充填理论和技术发展提出了更高的要求，特别是针对超细或细粒级尾砂料浆制备、输送、固结硬化成岩机制、胶结充填体强度选定以及采场开采规模与地压控制等方面。

本书基于著者及合著者多年积累的研究成果基础上完成，全面系统地总结了当今国内外高浓度胶结充填采矿理论与技术的研究进展及所面临的问题与挑战；基本形成了表征全尾砂充填材料及其主要特征的指标体系；揭示了高浓度全尾砂胶结料浆自流输送特性及全尾砂胶

结料浆固结硬化机理；并对井下阶段嗣后充填采场稳定性及控制技术进行了分析；揭示了胶结充填体与围岩作用机理，研究结果在大冶铁矿、程潮铁矿以及马钢和睦山铁矿、招远大尹格庄金矿等矿山得到了成功应用。

本书获得了国家自然科学基金（项目批准号：51504256）和国家“十二五”科技支撑计划（课题编号：2013BAB02B04）基金资助。在本书撰写过程中，王家臣教授、侯运炳教授、杨宝贵教授给予了各种帮助和关心；北京科技大学王东旭博士、张春月博士、吴姍博士等提供了书中部分章节技术资料，同时还提出了许多建设性的修改意见，谨在此表示衷心感谢！

由于作者水平所限，书中不足之处，恳请读者批评指正。

著 者

2015年11月

目 录

1 绪论	1
1.1 胶结充填采矿技术应用现状	1
1.1.1 国内胶结充填采矿技术应用现状	1
1.1.2 国外胶结充填采矿技术应用现状	3
1.2 胶结充填理论研究现状	3
1.2.1 高浓度料浆流变特性	3
1.2.2 胶结充填系统	5
1.2.3 胶结充填体与围岩作用机制	11
1.2.4 胶结充填体强度理论	12
1.3 胶结充填理论与技术关键难题	13
1.3.1 超细全尾砂界定概念	14
1.3.2 崩落法与充填法联合开采技术	15
1.3.3 胶结充填体与围岩作用关系	16
1.3.4 大规模胶结充填采矿技术地压控制技术	17
1.3.5 胶结充填法应用成本	18
2 高浓度胶结充填材料特征指标	19
2.1 全尾砂材料特征参数指标体系	19
2.1.1 全尾砂粒径级配特征指标	19
2.1.2 料浆流动性和稳定性指标	20
2.1.3 料浆流变特性指标	21
2.1.4 全尾砂沉降特性指标	22
2.1.5 胶结充填体强度指标	22
2.1.6 胶结材料化学成分特性	23
2.2 全尾砂材料特征参数测试结果与分析	23
2.2.1 全尾砂材料化学成分测试结果与分析	23
2.2.2 全尾砂材料物理特性参数测试结果与分析	25
2.2.3 全尾砂粒径分形特征参数测试结果与分析	26
2.3 全尾砂材料各特征参数相关性	27

2.4 胶结充填体强度特性及其影响因素权重分析	30
2.4.1 实验材料与方法	30
2.4.2 实验方案设计	31
2.4.3 胶结充填体强度影响分析	31
3 高浓度胶结充填料浆输送	36
3.1 胶结充填料浆流变特性	36
3.1.1 胶结料浆特性	36
3.1.2 胶结料浆流变模型	39
3.2 胶结料浆输送阻力计算	41
3.2.1 管道输送阻力计算基本理论	41
3.2.2 沿程阻力计算	41
3.2.3 局部阻力计算	42
3.2.4 阻力损失经验公式分析	43
3.3 胶结料浆输送参数计算	45
3.3.1 临界流速计算	45
3.3.2 临界管径计算	46
3.3.3 通用管径计算	47
3.3.4 管壁厚度计算	47
3.4 胶结充填系统选择与优化	48
3.4.1 胶结充填工艺选择	48
3.4.2 地表充填系统优化	48
3.4.3 充填管道网络设计	50
3.4.4 料浆自流输送指标验算	52
3.4.5 料浆流变特性分析	58
3.5 管道输送模拟分析	60
3.5.1 料浆输送管道建模	61
3.5.2 料浆流速分布规律	61
3.5.3 管道压力分布规律	62
3.5.4 料浆浓度对自流输送的影响	64
3.5.5 料浆流量对自流输送的影响	67
3.6 工业应用及效果	68
3.6.1 工程应用实例之一——高浓度全尾砂胶结充填	68
3.6.2 工程应用实例之二——高浓度煤矸石胶结充填	70

4	高浓度胶结料浆固结硬化机制	83
4.1	实验材料	83
4.2	实验过程与方法	85
4.2.1	实验过程	85
4.2.2	实验方法	86
4.3	实验结果与分析	87
4.3.1	水化产物物相分析	87
4.3.2	水化产物电镜扫描分析	91
4.3.3	尾砂级配对强度影响分析	95
4.3.4	胶结剂类型对强度的影响	96
4.3.5	胶结充填体 28d 强度发展模型	98
4.3.6	胶结充填体长期强度发展模型	105
5	高浓度嗣后充填采场稳定性分析	111
5.1	充填采场围岩破坏特征	112
5.2	充填采场围岩稳定性分级	114
5.3	充填采场开采扰动全过程分析	115
5.3.1	相似材料模型实验	116
5.3.2	开采扰动全过程数值分析	122
5.4	充填采场致灾机理	127
5.4.1	数值分析模型建立	127
5.4.2	数值分析过程描述	127
5.4.3	数值结果分析	128
5.5	充填采场失稳演化模式	130
5.6	充填采场稳定性计算方法	132
5.6.1	矿柱承载计算	132
5.6.2	矿柱安全系数	133
5.6.3	顶板安全厚度计算	133
5.7	充填采场破坏准则	135
5.7.1	顶板安全厚度影响因素分析	135
5.7.2	矿柱安全系数分析	136
6	高浓度胶结充填体与围岩作用机理	139
6.1	胶结充填体三轴压缩能量耗散分析	140
6.1.1	实验方法	140

6.1.2	变形破坏特征分析	142
6.1.3	能耗特征分析	149
6.2	硬岩采场上覆岩层稳动规律	155
6.3	采场充填体与围岩响应特征	157
6.3.1	采场围岩能量等价原理	157
6.3.2	充填体与顶部围岩力学响应特征	158
6.3.3	充填体与侧向围岩力学响应特征	160
6.4	胶结充填体强度匹配动态设计方法	161
6.4.1	采场充填体强度影响因素	161
6.4.2	胶结充填体强度匹配设计及应用	162
7	高浓度胶结充填采场稳定性控制技术及应用	168
7.1	采场工程地质条件	168
7.1.1	矿区交通位置	168
7.1.2	工程地质特征	169
7.1.3	矿山开采状况	169
7.1.4	矿区水文地质	170
7.2	采场地压显现宏观调查	170
7.2.1	地压显现宏观规律调查	170
7.2.2	巷道破坏机理分析	171
7.3	充填采场底部结构稳定性分析	174
7.3.1	底部结构巷道群开挖方案设计	174
7.3.2	底部结构巷道群开挖参数确定	176
7.4	充填采场巷道控制技术	181
7.4.1	充填采场巷道控制技术理论	181
7.4.2	原巷道控制方案分析	181
7.4.3	充填采场巷道控制措施	182
7.5	充填采场控制措施	185
7.5.1	探测充填采场空区	185
7.5.2	优化采场开采顺序	190
7.5.3	优化采场出矿管理	194
7.6	充填采场稳定性监测	195
7.6.1	监测目的与原则	195
7.6.2	监测钻孔及断面类型	196

7.6.3 监测结果与分析	198
7.7 和睦山铁矿高浓度胶结充填技术应用	200
7.7.1 充填体强度选择	200
7.7.2 现场充填实践	202
参考文献	205

1 绪 论

1.1 胶结充填采矿技术应用现状

1.1.1 国内胶结充填采矿技术应用现状

我国尾砂充填技术的应用开始于 20 世纪 60 年代中期。自 1964 年从瑞典为凤凰山铜矿引进分级尾砂充填（未设砂仓）技术之后不久，长沙矿山研究院与凡口铅锌矿合作建成了我国第一个尾砂充填系统，此后相继研究出并成功推广应用于全尾砂胶结充填、废石胶结充填、赤泥胶结充填、高水固化胶结充填和膏体泵送胶结充填等工艺和技术。

从充填工艺与技术的发展过程来看，可概括为 4 个发展阶段。

第一阶段是 20 世纪 50 年代以前，采用的废石干式充填工艺，其目的主要是进行废弃物处理。废石干式充填采矿法是 20 世纪 50 年代初期到中期国内采用的主要采矿方法之一，在有色金属矿床和黑色金属矿床地下开采中运用较广，后随着回采技术的发展，废石充填因其效率低、生产能力小和劳动强度大而被逐渐淘汰，到 1963 年其在有色矿山担负的产量仅占 0.7%。

第二阶段是 20 世纪 60 年代，在此期间主要采用水砂充填工艺。1965 年，锡矿山南矿首次采用尾砂水力充填采空区，有效地控制了大面积地压活动，从而减缓了地表下沉。其后湘潭锰矿为了防止矿坑内因火灾，开始采用碎石水力充填工艺。到 80 年代后，60 余座有色金属（含黄金）、黑色金属矿山广泛推广应用分级尾砂充填工艺与技术，如铜录山铜铁矿、山东招远金矿、凡口铅锌矿、安庆铜矿、张马屯铁矿、三山岛金矿等。

第三阶段是 20 世纪 60 ~ 70 年代，采用尾砂胶结充填技术。随着对充填材料特性和两相流输送理论的大量试验与研究，逐渐解决了生产中出现的跑浆、料浆离析以及充填体强度低等问题，促进了胶结充填技术的发展。70 年代后期，人们开始探索实现高浓度充填技术的途径，学者们进行了利用全尾砂（未分级）作为充填材料的研究。20 世纪 80 年代，由于细砂胶结充填兼有胶结强度和适于管道输送的特点，其工艺与技术日臻成熟，运用该充填法的矿山越来越多，如凡口铅锌矿、小铁山铅锌矿、黄沙坪铅锌矿等 20 多座矿山。

第四阶段是 20 世纪 80 ~ 90 年代，出于降低采矿成本和环境保护等原因，发

展成高浓度充填、膏体充填和全尾胶结充填等技术。在凡口铅锌矿成功开发试验了全尾砂胶结充填工艺，并于 1990 年建成了我国第一个全尾砂胶结充填系统，尾砂利用率达 90% 以上。1994 年，膏体充填试验成功并在金川镍矿建成了第一套膏体充填系统，标志着我国胶结充填技术迈上了一个新的台阶。1999 年又在铜录山铜矿建成了第二套全尾砂膏体充填系统。2006 年，会泽铅锌矿引进了深锥浓浆机，建成了输送管路长达 4000m 的全尾砂膏体充填系统。

对于高水固结尾砂充填采矿新工艺的研究，中国矿业大学北京研究生院首先在鹤壁矿务局和开滦矿务局进行上向和下向进路回采试验并取得成功，逐步在焦家金矿、招远金矿和南京铅锌银矿等矿山推广应用。充填料浆制备系统如图 1-1 所示，胶结充填室内自动监控系统如图 1-2 所示。



图 1-1 充填料浆制备系统

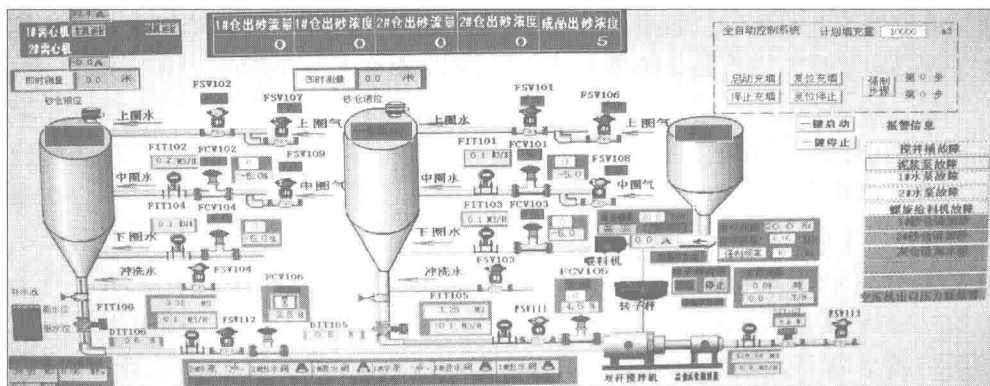


图 1-2 胶结充填室内自动监控系统

1.1.2 国外胶结充填采矿技术应用现状

胶结充填最早出现在 20 世纪 30 年代,加拿大原诺兰达公司霍恩(Horn)矿用粒状炉渣和脱泥尾矿加入磁黄铁矿组成胶结充填料;加拿大泰克柯明柯公司苏里文(Sullivan)矿用地表砾石、掘进废石、重介质尾矿和硫化物尾矿作为胶结充填料;前苏联库茨巴斯煤田用低标号混凝土充填窒息内因火灾,但因种种原因这些探索均未能得到推广应用。直到 1957 年加拿大原鹰桥公司哈迪(Hardy)矿用分级尾砂加硅酸盐水泥作为胶结充填料试用成功,才使胶结充填技术达到生产实用阶段。1960 年加拿大国际镍公司开始试验用波特兰水泥固结水砂充填料的技术,并于 1962 年在 Froot 矿投入生产使用。1969 年芒特爱萨铜矿首次采用水泥胶结充填回采底柱,同时进行了水泥替代品的研究。全尾砂胶结充填技术首先在德国、南非取得成功,随后在前苏联、美国和加拿大等国得到应用。此后几十年时间里,这一技术的发展非常迅速,在国外充填法应用较广。

加拿大地下矿山充填技术从 20 世纪 30 年代开始,普遍用冲积砂作为充填料,到 40 年代末广泛采用选厂冲积尾砂进行充填。50 年代中期到末期,用尾砂胶结充填浇面作为出矿底板,采用分层水砂充填代替劳动强度大且灵活性差的方框支架采矿法。80 年代初加拿大地下开采的金属矿山中,用充填法的比例为 35%~40%。1985~1991 年加拿大在充填材料、充填工艺方面的研究取得了很大的成就。相继采用块石胶结充填、高浓度管道输送充填、膏体充填等,不仅提高了矿山的综合生产能力、降低了充填成本,而且改善了井下的生产环境。

南非的许多矿山在 20 世纪 80 年代初期开始应用胶结充填工艺,整个 80 年代是南非充填工艺发展最快时期,主要有废石胶结充填、脱泥尾砂胶结充填等,并开始进行高浓度管道充填和膏体充填的研究和应用。

1.2 胶结充填理论研究现状

1.2.1 高浓度料浆流变特性

物料在管道中不同位置的流动状态,依流速可大致分为“结构流”、“层流”和“紊流”,输送特性不同于两相流的运动规律。当料浆浓度达到一定程度时,料浆变得很黏,沿管道输送特性发生很大的变化,料浆的运动状态呈现“柱塞”整体移动,管道沿程阻力损失与流速关系变得更复杂。国内外研究证实,管道输送高浓度(膏体)料浆时的雷诺数远低于从层流过渡到紊流的雷诺数,高浓度料浆流变模型宜采用 Hershel-Bulkley 模型,简称 H-B 模型。

研究高浓度料浆的流变性能是当今充填理论的重要研究课题,传统的流体力学理论已不适合研究高浓度料浆流变性能,流变学主要研究材料在应力、应变、温度、辐射等条件下与时间因素相关的变形和流动的规律,20 世纪 20 年代主要

运用在橡胶、塑料、石油等材料中。高浓度（膏体）料浆流变特性的研究内容主要包括料浆流变模型、屈服应力、黏度和触变性等。

料浆在剪切力的作用下，切变率和切应力间的关系简称流型，切变率与切应力呈线性关系的流体称为牛顿体；把切变率与切应力呈非线性关系的流体称为非牛顿体。高浓度（膏体）料浆属于非牛顿体，根据流变特性，不同非牛顿体可分为宾汉姆体、伪塑性体、膨胀体和具有屈服应力的伪塑性体等。

浆体产生屈服应力的原因是由于悬浮液中的黏性细颗粒在水中发生物理化学作用形成了具有一定抗剪切能力的絮网状结构，产生屈服应力的料浆浓度与细颗粒的粒径和含量有关，颗粒越细或含量越高，出现屈服应力的浓度也越低；屈服应力值和剪切时间、剪切速率有关；屈服应力值大小与受力状态有关，如果输送料浆受到剪切作用，则其三维絮网状结构受到破坏，测得的屈服应力便为动态屈服应力；如果在测定前料浆没有受到剪切作用，只是由于很小的应力导致测定装置的转子发生转动，该值便为静态屈服应力。静态屈服应力要大于动态屈服应力。对于浆体的管道输送，动态屈服应力值更加准确和适用。

黏度反映了料浆流动时本身内摩擦角的大小，是流体分子微观作用的宏观表现，产生黏度的主要原因有：分子不规则运动的动量交换；分子间的附着力形成的切应力。对非牛顿体，黏度要用两个或三个参数来表述，一般情况下，学者们常用“表观黏度”和“有效黏度”来评价料浆流动的难易程度。

表观黏度 μ_a 为：

$$\mu_a = \tau / \left(\frac{du}{dy} \right) \quad (1-1)$$

式中 τ ——屈服应力，Pa；

$\frac{du}{dy}$ ——剪切速率， s^{-1} 。

牛顿体的表观黏度与切变率无关，宾汉姆体和伪塑性体的 μ_a 随切变率的增加而减小，即流体出现“剪切稀化”特性；膨胀体则相反，随切变率的增加而表现出“剪切硬化”特性。

宾汉姆体和伪塑性体的有效黏度 μ_e 分别为：

$$\mu_e = \eta \left(1 + \frac{\tau_0 D}{6v\eta} \right) \quad (1-2)$$

$$\mu_e = K \left(\frac{3n+1}{4n} \right)^n \left(\frac{8v}{D} \right)^{n-1} \quad (1-3)$$

式中 η ——刚度系数或塑性黏度系数， $Pa \cdot s$ ；

τ_0 ——屈服应力，Pa；

D ——管径，m；

v ——平均流速， m/s ；

K ——稠度系统或 H-B 黏度, $\text{Pa} \cdot \text{s}$;

n ——流动指数。

浆体产生黏性的内因众多,与固体颗粒的大小、分布、浓度、固体颗粒与液体分子间的动量交换等因素相关。

非牛顿体在输送过程中还表现触变性,流体触变性是指在给定的剪切速率和温度条件下,切应力随时间而减小,即表观黏度随切应力时间的持续而减小。其原因是切应力正在逐渐破坏流体静止状态时的絮状三维网结构,剪切速率越高,破坏的过程越快。具有触变性的流体,搅动时变稀(剪切稀化),而静止时变稠,表现在流动曲线上为一触变环,即剪切速率降低时的曲线与剪切速率增加时的曲线不重合,下行曲线偏向剪切速率轴一侧,触变环所围成的面积表示触变性的大小。对于浆体来说,触变性受颗粒大小和形状的影响。

流变性能与料浆的浓度有关,金川的试验证明,随着料浆浓度的增高,其流变特性是逐渐发生变化的,当浓度超过“临界流态浓度”时,料浆性质发生质的变化,从非均质的固、液两相流转变为似均质的结构流。不同高浓度的料浆,流变模型不同,金川的高浓度料浆属于宾汉姆型。通过间接方法可知,与普通料浆输送相比,高浓度料浆输送过程中不产生离析,对管壁磨损更小,这是由于高浓度胶结充填体与管壁间形成了一层水泥浆膜,料浆呈“柱塞”状流动时,颗粒间不发生相对速度,只有润滑层的速度有变化,如图 1-3 所示。

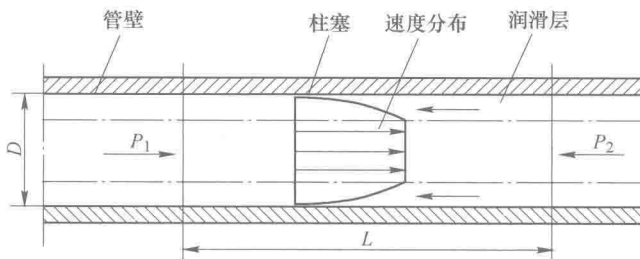


图 1-3 结构流动力模型与速度分布

影响高浓度料浆输送阻力的因素众多,灰砂比、输送速度、输送压力、粒径以及级配等。

1.2.2 胶结充填系统

1.2.2.1 胶结充填系统概述

最近 20 年来,关于充填系统的基础理论研究有了更为深入的进展,充填工艺和设备水平都有了显著提高。在国家政策越来越强调资源节约和环境友好的大背景下,越来越多的矿山采用相关充填采矿方法,故充填技术进步飞速,尤其以胶结充填类型为主的充填方式的推广应用为多。现今虽无统一的胶结充填分类方

法和命名,但一般以惰性材料级配和料浆浓度为主线进行分类,故当代胶结充填可分为细砂胶结充填和粗砾胶结充填两类。其中,细砂胶结充填包含低浓度尾砂胶结充填、高水速凝尾砂胶结充填、全尾砂高浓度胶结充填和全砂土似膏体胶结充填等。粗砾胶结充填有低强度混凝土充填、块石砂浆胶结充填、碎石水泥浆胶结充填等。此外,在煤炭矿山系统中出现了新式的冻结充填。不同的矿床地质条件,采用不同的充填方法,所以上述方法在采矿工程中的应用是很广泛的。新生事物的发展总是有它的有利方面,胶结充填工艺也是如此,它的推广使用给矿山开采带来了诸多的利好。胶结充填使矿山生产的安全性得到了保障,稳固了回采工作面,降低了围岩产生岩爆的可能性;使矿山生产的经济效益得到提高,不仅能够降低采矿成本,更大大降低了开采的贫损指标;还使得开拓的废石、选矿的废料得以有效利用。也正是由于胶结充填为矿山安全、环保、经济地开采提供了保障,才能被广泛推广应用,围绕胶结充填也提出了很多值得研究的课题,引领着新时代采矿新技术的前进目标。

在胶结充填系统中,绝大多数是以水力输送的方式将充填料或者料浆利用自重或者泵压送至采场(采空区)。水力输送有着很多的优点,包括输送能力大、方法便捷、所需空间少、环保性好、易于实现自动化甚至数字化等。目前,在两相流或多相流理论的基础上,辅以流体动力学的相关研究成果,我国在管道输送技术方面有了长足的进步。而且伴随矿山越来越向深部开采的趋势,胶结充填显得尤为重要,对于其输送理论和方法的研究也迫在眉睫。

仔细研究和分析胶结充填系统的发展历程及方向,我们对于当代胶结充填系统的特点有较为清晰的认识:

(1) 充填料种类丰富多样。不同的充填方式,其物料组分不同。有的组分较为简单,如砂石、块石、土壤等,也有组成成分较多,外加各种添加剂的,如物料组分有分级尾砂、全尾砂、棒磨砂、水泥、磷石膏和冶炼炉渣等,添加剂有速凝材料、石灰石等。

(2) 充填系统中所用物料的粒径大小不等,数值范围较广。每种物料的最小粒径基本接近于零,而其最大值则各有不同。例如:尾砂充填粒径最大值为0.1mm,砂浆充填粒径最大值为10mm,水砂充填粒径最大值为80mm。

(3) 充填料浆的质量浓度变化也比较大。对于不同的固体物料,浓度大小是有要求的,因为浓度太小不能保证充填体的强度,太高则在输送过程中易堵管。下面给出几种充填方式的参考质量浓度:水砂充填一般取40%,上下可浮动10%左右;尾砂充填料一般取75%左右,变化区间不大;膏体充填则会高些,一般取80%左右,上下可浮动5%。

(4) 一般情况下,矿山会选用依靠自重来输送料浆的方式,这样有利于降低成本。但对于长距离低高程的管路系统,必须通过安装泵来施加一定的压力。

(5) 充填料浆在输送过程中并不是一直处于正常的流动状态。影响回采的因素不同, 将使充填料浆输送发生改变。即便对于采空区, 不同时间不同地点, 它的体积不一样, 所需要料浆的量也会不一样, 需求少则输送耗时也会少很多, 但需求大的话, 耗时将明显增加。

(6) 料浆出口点会经常改变, 因为充填系统是为整个矿山或者多个回采空区输送料浆的, 它的变化范围是根据不同矿床形状、矿房位置以及回采进度来决定的。

(7) 对于充填系统, 我们一般认为是满管流输送, 但其实不然, 这是很难满足的条件。这也就致使料浆在输送过程中并不是理想的两相流流体, 而形成了固-液-气多相流, 其流动状态难以把握。

(8) 研究表明, 在固-液-气三相流的情况下, 管道内壁与料浆的摩擦会比较大, 磨损率较高。而磨损较大的地方, 一般在管道上部外侧的法向方向和下部转弯处的弯管外侧。

1.2.2.2 几种典型胶结充填系统简介

结合部分矿山现有充填系统的运行情况、工艺参数和经济指标, 给出以下三种较为典型的充填系统, 它们分别为全尾砂高浓度胶结充填系统、膏体泵送胶结充填系统和膏体自流输送胶结充填系统, 如图 1-4 ~ 图 1-6 所示。

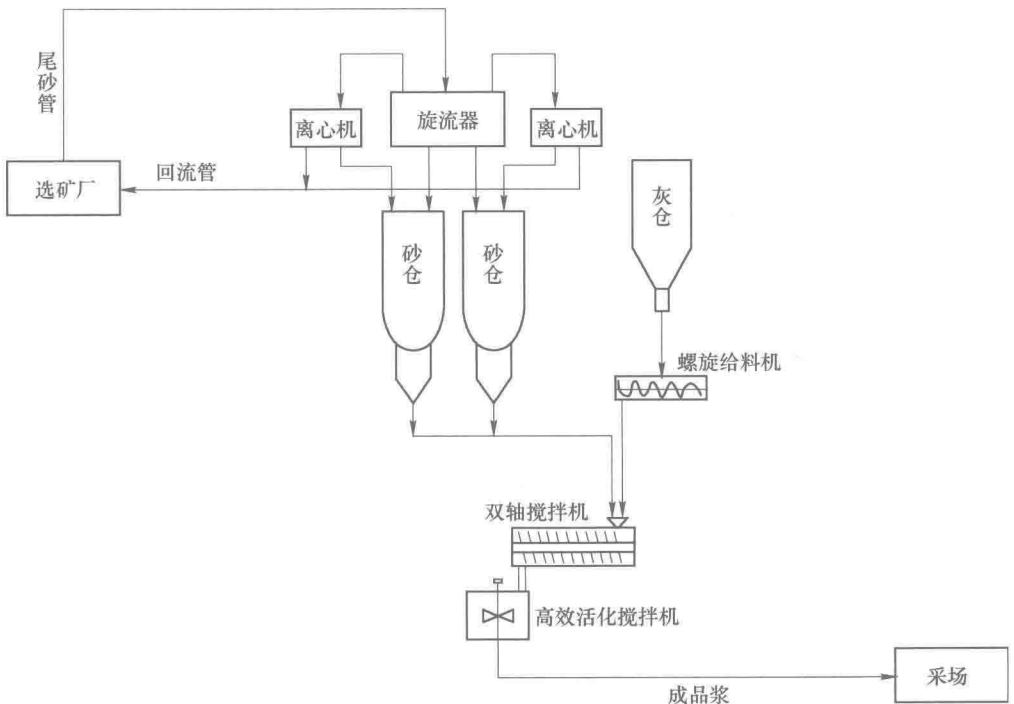


图 1-4 大冶铁矿高浓度胶结充填系统