

《金属矿膏体充填理论与技术》

书籍信息

版次：1

页数：

字数：

印刷时间：2015年10月27日

开本：16开

纸张：

包装：精装

是否套装：否

国际标准书号ISBN：9787030459275

编辑推荐

《金属石膏体充填理论与技术》兼顾学术性和资料性，可供从事采矿工作的科研人员、高等院校相应专业的教师、矿山设计人员以及从事矿山生产的工程技术人员参考；也可作为采矿工程专业等相关学科研究生教材。

内容简介

《金属石膏体充填理论与技术》全面系统地阐述了金属石膏体充填理论与技术，包括膏体充填材料性质、膏体主要性能、尾砂浓密脱水、膏体制备和膏体管道输送理论与工艺，以及膏体充填物料计量与控制系统等内容。《金属石膏体充填理论与技术》兼顾膏体充填基础理论、工艺技术及装备，并反映了近十年来膏体充填技术在国内外金属矿山应用的新进展。

作者简介

目录

目录

序

前言

第1章绪论1

1.1胶结充填技术面临的主要问题2

1.1.1充填成本居高不下2

1.1.2尾砂脱水速度慢3

1.1.3充填料浆制备质量差4

1.1.4管道输送过程中磨损与堵塞严重4

1.2膏体充填的基本概念5

1.2.1泌水率与饱和率6

1.2.2颗粒级配7

1.2.3基于颗粒级配的膏体体积浓度计算8

1.2.4从屈服应力角度探讨膏体定义8

1.3膏体充填技术的发展历史10

1.4膏体充填技术应用与研究现状12

1.4.1膏体充填材料12

1.4.2尾砂浓密技术14

1.4.3膏体搅拌技术15

1.4.4膏体输送技术16

1.4.5自动控制技术16

1.5膏体充填的技术优势18

1.6膏体充填发展趋势21

1.6.1基础理论的发展趋势21

1.6.2工艺技术的发展趋势22

1.6.3专用设备的发展趋势23

参考文献23

第2章膏体充填材料及其配比25

2.1膏体充填原材料25

2.1.1尾砂26

2.1.2粗骨料28

2.1.3水泥及其替代品30

2.1.4膏体化学添加剂36

2.2膏体充填材料物理性质43

2.2.1粒级组成44

2.2.2比表面积47

2.2.3相对密度48

2.2.4容重49

2.2.5孔隙率49

2.2.6浓度50

2.2.7沉降性51

2.2.8渗透性52

2.3膏体材料配比56

2.3.1确定膏体材料配比的原则56

2.3.2不同采矿方法对充填体强度的要求57

2.3.3流动性的要求59

2.3.4充填材料的级配要求59

参考文献63

第3章膏体主要性能及其影响因素65

3.1膏体流动性能及其影响因素65

3.1.1塌落度及扩展度65

3.1.2稠度67

3.1.3流动度68

3.1.4膏体流动性的影响因素及其规律69

3.2膏体流变性质及其影响因素73

3.2.1膏体流变学基本概念73

3.2.2膏体流变模型76

3.2.3膏体流变性能测试仪	77
3.2.4膏体流变性的影响因素	80
3.3膏体凝结性能及其影响因素	85
3.3.1凝结时间	85
3.3.2抗压强度	89
3.3.3收缩与膨胀	93
参考文献	96
第4章尾砂浓密脱水原理	99
4.1高分子絮凝剂作用机理	99
4.1.1高分子絮凝架桥模式	99
4.1.2不同类型絮凝剂作用机理	101
4.2尾砂动态浓密半工业模拟试验	103
4.2.1半工业实验平台研制	103
4.2.2尾砂浓密半工业试验方案及其步骤	106
4.2.3尾砂浓密底流浓度影响规律	109
4.2.4浓密机内尾砂浓度宏观分布特征	111
4.3尾砂重力浓密理论	116
4.3.1静态沉降理论	116
4.3.2动态沉降理论	121
4.4尾砂过滤脱水理论	128
4.4.1过滤的关键参数	129
4.4.2非压缩过滤的基本方程	132
4.4.3压缩过滤的基本方程	135
4.5尾砂浓密性能理论表征	137
4.5.1影响尾砂浆沉降浓密的参数	137
4.5.2尾砂沉降特性	138
4.5.3尾砂压缩特性	143
4.5.4尾砂浓密性能表征实例	148
4.6膏体浓密机耙架扭矩计算模型	151
4.6.1浓密机内部散体区域划分	151
4.6.2耙架受力分析	153
4.6.3复杂结构搅拌耙架扭矩计算模型	155
参考文献	159
第5章尾砂浓密脱水工艺与设备	161
5.1絮凝剂制备与添加	161
5.1.1絮凝剂溶解原理	161
5.1.2絮凝剂溶解设备	162
5.1.3絮凝剂制备与添加应用实例	163
5.2尾砂浓密脱水工艺	164
5.2.1一段脱水工艺	165
5.2.2二段脱水工艺	167
5.2.3多段联合脱水工艺	169

5.3国内外重力浓密设备及其性能	170
5.3.1立式砂仓	171
5.3.2普通耙式浓密机	173
5.3.3高效浓密机	175
5.3.4膏体浓密机	182
5.4国内外过滤设备及其性能	194
5.4.1过滤设备的分类	194
5.4.2带式真空过滤机	196
5.4.3陶瓷过滤机	198
5.4.4立式全自动过滤机	200
5.4.5尾砂浓密脱水与过滤脱水方式的比较	203
5.5膏体浓密工程实例	204
5.5.1膏体浓密机结构	205
5.5.2尾砂一段浓密工艺	208
5.5.3浓密效果	208
参考文献	208
第6章膏体搅拌理论	210
6.1膏体搅拌机理及主要影响因素	210
6.1.1膏体搅拌机理	210
6.1.2膏体搅拌主要影响因素	211
6.2膏体搅拌均匀性评价	214
6.3双轴卧式搅拌机结构参数分析	216
6.3.1搅拌臂	216
6.3.2搅拌机叶片布置	220
6.3.3搅拌筒长宽比	222
6.3.4搅拌转速	223
6.3.5容积利用系数	224
6.3.6搅拌能力	225
6.4搅拌功率计算及其影响因素	226
6.4.1搅拌功率计算	226
6.4.2搅拌功率与塌落度之间的关系	227
6.4.3搅拌功率与流变特性之间的关系	228
6.5搅拌低效区及其消除方法	229
6.5.1搅拌低效区现象	229
6.5.2搅拌低效区的消除方法	229
参考文献	231
第7章膏体搅拌工艺与设备	233
7.1膏体搅拌工艺分类及特点	233
7.1.1间歇式膏体搅拌工艺	233
7.1.2连续式膏体搅拌工艺	234
7.1.3连续式与间歇式搅拌工艺之间的区别	235
7.2国内外膏体搅拌设备及其性能	236

- 7.2.1混凝土搅拌机237
- 7.2.2金属矿山粗骨料膏体连续搅拌机243
- 7.2.3细骨料膏体搅拌机250
- 7.2.4其他新型搅拌机255
- 7.3膏体制备工程实例259
 - 7.3.1全尾浆体高速活化搅拌实例259
 - 7.3.2全尾-碎石高浓度卧式搅拌工程实例260
- 参考文献262
- 第8章膏体管道输送理论263
 - 8.1现有膏体管流阻力计算方法263
 - 8.1.1基于两相流理论的阻力计算方法263
 - 8.1.2基于流变学理论的阻力计算方法268
 - 8.2膏体管流阻力的试验测试及影响因素271
 - 8.2.1管流阻力的实验测试方法271
 - 8.2.2膏体管流阻力的影响因素281
 - 8.3膏体触变性对其管流阻力的影响284
 - 8.3.1膏体触变模型构建284
 - 8.3.2管流阻力时间变化特征286
 - 8.3.3试验现象分析287
 - 8.4管壁滑移条件下膏体管流阻力的计算288
 - 8.4.1膏体管壁滑移机理289
 - 8.4.2膏体管内滑移流动分析290
 - 8.4.3膏体管壁滑移速度模型推导292
 - 8.4.4考虑管壁滑移效应的管流阻力计算292
 - 8.4.5管流阻力计算模型适应性分析294
 - 8.5系统启动过程中膏体管流阻力的计算296
 - 8.5.1试验现象分析296
 - 8.5.2停泵再启的阻力模型298
 - 8.5.3工程实例分析300
 - 8.6膏体管道输送的数值模拟技术301
 - 8.6.1数值模拟的基础理论301
 - 8.6.2数值模拟软件及应用现状303
 - 8.6.3膏体管道输送数值模拟实例304
 - 参考文献314
- 第9章膏体管道输送工艺设备及其系统维护316
 - 9.1膏体自流输送工艺316
 - 9.1.1深井矿山自流输送的两种模式317
 - 9.1.2非满管流动的管道破坏机理318
 - 9.1.3满管自流输送原理319
 - 9.1.4满管流输送技术措施320
 - 9.1.5满管自流输送优化实践325
 - 9.2膏体管道泵压输送工艺327

- 9.2.1 泵压输送工艺的优点327
- 9.2.2 泵压充填对膏体充填料的要求328
- 9.2.3 膏体充填泵选型原则328
- 9.3 国内外膏体泵压输送设备及其性能329
 - 9.3.1 往复式活塞泵330
 - 9.3.2 往复式隔膜泵340
 - 9.3.3 浆体其他输送设备346
- 9.4 充填管道布置方式347
 - 9.4.1 充填钻孔347
 - 9.4.2 管道系统348
 - 9.4.3 管道布置形式优化349
- 9.5 管道失效模式及其防护措施351
 - 9.5.1 堵管原因分析及其防护措施351
 - 9.5.2 充填管道爆管原因分析351
 - 9.5.3 管道磨损规律与预防措施354
- 9.6 膏体充填管道减阻技术358
 - 9.6.1 水环减阻358
 - 9.6.2 振动减阻358
 - 9.6.3 外加剂减阻361
- 9.7 膏体充填管道清洗技术363
- 参考文献365
- 第10章 膏体充填过程自动控制366
 - 10.1 膏体充填工艺流程概述366
 - 10.1.1 尾砂浓密工艺流程366
 - 10.1.2 粗骨料制备流程367
 - 10.1.3 水泥添加流程368
 - 10.1.4 膏体搅拌流程369
 - 10.1.5 膏体管道输送流程369
 - 10.2 膏体充填过程计量与控制设备370
 - 10.2.1 散体物料计量设备370
 - 10.2.2 散体物料输送与控制设备376
 - 10.2.3 浆体计量与控制379
 - 10.2.4 物位计382
 - 10.2.5 管道压力计386
 - 10.2.6 阀门387
 - 10.3 充填系统控制算法与实现393
 - 10.3.1 工业自动化控制系统的分类393
 - 10.3.2 主要控制回路395
 - 10.3.3 工艺控制算法397
 - 10.3.4 执行器399
 - 10.4 膏体充填自动控制工程实例402
 - 10.4.1 新疆某铜矿膏体充填自动控制系统402

10.4.2赞比亚某铜矿膏体充填自动控制系统405

参考文献408

第11章国内外膏体充填工程实例409

11.1国内工程实例409

11.1.1云南某铅锌矿410

11.1.2新疆某铜矿412

11.1.3云南某铜矿415

11.1.4甘肃某镍矿417

11.2国外工程实例420

11.2.1中色谦比希铜矿420

11.2.2坦桑尼亚Bulyanhulu金矿424

11.2.3加拿大Williams金矿426

11.2.4瑞典Garpenberg矿427

11.2.5智利El Toqui矿429

11.2.6爱尔兰Lisheen铅锌矿432

参考文献433

附录膏体充填领域著名厂商名录434

前言

媒体评论

在线试读部分章节

第1章绪论

矿业是我国国民经济的基础和支柱产业之一，我国矿山类企业达12万家，其中就业人员2100万人，全国工业总产值的30%来自矿产资源，矿业对促进我国国民经济发展起到不可估量的作用。但是，采矿工业在为人类提供原材料的同时，也不可避免地产生大量固体废弃物，其中尾砂的排放量在工业固体废弃物总量中占据**位，比例高达29%。我国现有尾矿库约12655座，尾砂积存总量超过80亿t，成为诱发环境污染、泥石流、尾矿库溃坝等事故的严重隐患。同时，地下矿山开采产生了大量的地下采空区，我国矿山采空区

体积累计超过250亿m³，相当于三峡水库的容量。采空区是诱发井下岩石冒落和地表塌陷的主要原因。综上所述，尾矿库和采空区是金属矿山的两大危险源，处理不当将给人民生命财产安全和生态环境带来巨大的威胁。

充填采矿法将地表堆积固体废弃物回填到井下采空区，既可以提高井下采矿作业的安全性，又能防止地表塌陷，而且还可充分利用地表固体废弃物，成为矿山安全、高效、环保的采矿方法。充填采矿法已有近60年的发展历史，从*初的以处理废石为目的发展到后来的改善采场稳定性，该方法在现代采矿活动中所占的比重越来越大。按照充填工艺和充填材料的不同，充填采矿法从*初的干式充填，发展到水砂充填、胶结充填，再到膏体充填，每一个发展阶段都有其特殊的时代特征和技术特点。

20世纪40年代以前，采矿技术简单落后，人力劳动是矿山运转的主要动力。为降低劳动强度，很多矿山将井下废石就近填入采空区，成为充填采矿法的雏形。随着这种技术的发展，其附加优势逐渐显现，如能够较好地处理采空区，一定程度上控制地压等。在20世纪50年代以前，干式充填法在我国50%以上的有色金属矿山中都有应用，采出的矿石占总矿石量的1/3以上。但随着矿山开采规模的加大，干式充填法因工艺繁杂、劳动力需求大、作业成本高、采场充填时间长、矿石贫化率高、生产率低等缺点，已经逐渐适应不了采矿技术发展的需要。因而，从1956年以后国内干式充填所占的比重逐年下降，到1963年已经到了被淘汰的地步。

水砂充填技术是利用砂浆泵或自流方式将尾砂、炉渣、碎石等充填料以固-液两相流输送到井下充填采空区。1864年在美国宾夕法尼亚州的一个煤区进行了**次水砂充填以保护一座教堂的基础。1909年，南非的Village金矿尝试用水砂充填体来支护井筒和中段车场周围劣化的矿柱，后来发展到直接用水砂充填采空区来支护不稳固岩层。自1917年开始，在美国巴特山地区的一些矿山利用选厂尾砂进行水砂充填。1929~1932年，澳大利亚的Mount Lyell铜矿、赞比亚的Mulfulira铜矿和美国的Homestake金矿均有水砂充填的生产实践。由于水砂充填采矿法具有充填效率高、劳动强度低等优势，加拿大等国也逐渐进行了推广应用。我国从20世纪60年代开始引进水砂充填技术，1965年在锡矿山南矿首次采用水砂充填工艺，有效地减缓了地表下沉。水砂充填采用管道输送，改变了传统的充填料输送方式，对充填采矿技术的发展具有划时代的意义，为后续充填技术的发展提供了创新平台。但是，由于水砂比难以控制、混料不均、质量不稳定，加上水砂充填浓度低，导致从采场渗出的泥水污染巷道，清理工作量大、排水费用高，回采的安全问题和充填体压缩沉降问题均未得到很好的解决，由此导致其应用范围受到很大限制。

为了克服水砂充填的弊端，胶结充填技术应运而生，其采用碎石、河砂、戈壁集料或尾砂为骨料，与水泥或石灰类胶凝材料经拌和形成浆体，以管道泵送或重力自流方式输送到采场进行充填。胶结充填形成的充填体具有一定的强度。与水砂充填相比，胶结充填具有沉缩率低、井下排水量少、可有效控制围岩移动等优点。1953年加拿大鹰桥公司开始在上向分层充填采矿法中使用尾砂胶结体取代木板作为工作底板。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Frood矿投入实际应用。国外围绕充填材料特性和以两相流理论为基础的输送机理进行了大量的试验研究工作，使胶结充填技术在生产中获得日益广泛的应用。胶结充填目前仍是应用*为广泛的充填工艺，但是充填料浆依然存在离析且充填体沉降现象，采场需要脱水，充填强度低、成本高。

在长期的充填实践中，人们逐渐认识到在灰砂比确定的情况下，充填体的强度与料浆浓度在一定范围内呈正相关关系，也就是说充填浓度越高，对于充填体强度的增长越有利

。在同样强度要求下，提高充填料浆浓度能大幅度减少水泥用量，降低充填成本，并解决采场脱水等一系列的问题。充填料浆通常采用管道输送，由于普通胶结充填必须使用大量的水来改善充填料浆的输送性能，且多余的水无法及时排出，必然会降低充填体的质量。于是，减少充填用水的观念广泛被人们接受，提高充填料浆浓度成为充填技术发展的主线。在此思路的启发下，膏体充填技术应运而生。采用膏体充填，无疑是解决充填料浆浓度问题和降低充填成本的**方案。膏体充填技术经过多年不断的探索与实践，因其环保、节能、减排、安全、高效等优点已被世界上众多国家认可并应用（Belem et al.，2010；Fall and Nasir，2010；Grabinsky，2010）。膏体充填代表着矿山充填技术的发展方向，被誉为21世纪绿色开采新技术。

1.1胶结充填技术面临的主要问题

近年来，以尾砂为主要充填材料的胶结充填技术在我国进行了大量应用，但许多关键问题未能得到解决。因此，有必要系统总结胶结充填技术在我国的应用现状，并分析存在的问题，主要包括充填成本、尾砂脱水、充填料浆制备、管道输送等方面。

1.1.1充填成本居高不下

充填成本过高是充填采矿法推广应用过程中的主要技术瓶颈。在我国，充填费用居高不下的主要原因体现在两个方面，即胶凝材料费用高以及充填体强度设计过于保守。

首先，矿山所使用的胶结材料绝大多数为普通硅酸盐水泥或矿渣水泥，少量矿山掺入粉煤灰、赤泥、石灰等物料。据统计，在我国使用充填法开采的矿山中，充填成本占采矿成本的1/3左右，充填成本中胶凝材料又占80%以上（周少平等，2007）。昂贵的充填成本不仅给矿山造成很大的经济压力，而且严重制约了充填采矿法的发展。

其次，充填体强度设计偏于保守，是充填成本过高的又一重要原因。自从我国开始采用胶结充填技术以来，灰砂比一般都比国外高。我国充填料配比中，灰砂比一般采用1 8 ~ 1 4，水泥用量多为170 ~ 300kg/m³，而国外的水泥用量一般在2% ~ 7%。国内已有不少研究充填体性能的理论成果，但仍然缺少系统的现场监测资料，如不同条件下的分层充填、嗣后充填等现场充填体力学特性与稳定性，因而难以科学地设计充填体强度，造成了水泥耗量居高不下。

1.1.2尾砂脱水速度慢

尾砂脱水是水力充填技术中的重要工艺环节，目前主要包括地表脱水和井下滤水两种方法。其中，地表脱水工艺仍是发展主线，但由于配套设备较多，系统的可靠性及成本问题一直没有得到很好的解决。尽管井下滤水采用了各种措施，但仍然没有解决滤水速度慢的问题。

1.普遍采用立式砂仓，充填浓度难以得到保证

选厂尾砂排放浓度低，一般在20% ~ 30%。低浓度砂浆进入立式砂仓后，沉降脱水时间较长，无法实现连续进料、连续出料的方式，降低了立式砂仓的处理效率。较细的尾砂长时间地堆积在立式砂仓底，容易造成板结现象。同时，放砂浓度的影响因素繁多，要想保持稳定的放砂浓度，难度极大。另外，砂仓内容容易出现分层现象，在高度方向上形成上细下粗的分层，溢流水质难以保证。

2.井下脱水困难、采场难以接顶，采场安全无法保证

在普通胶结充填工艺中，由于充填浓度较低，料浆内含有大量的充填用水。这些水量已经超过了水泥水化反应的需水量，多余的水分必须通过渗滤排出充填体外。然而，全尾砂的粒级较细，渗透性能差，特别是超细尾砂，严重阻碍了料浆中的水分快速渗滤脱水。在爆破振动或地压急剧增大的条件下，饱含大量游离水的未硬化浆体可能振动液化，容易形成井下泥石流。另外，即使这些水分通过脱水设施缓慢渗出后，采场控顶距较高。几个采场的顶板贯通后，会引起地表下沉、区域地压上升，恶化了采区的安全生产环境，也不利于对地表沉降的控制。

3.采场脱水引起充填体质量下降

尽管不断地尝试各种脱水措施（主要指滤水管），但脱水速度慢，采场仍然大量积水。这些积水恶化了采场围岩稳定性，特别是高含泥围岩，引起采场大面积垮塌。滤出采场的水浸泡巷道，使得巷道严重变形，不得不进行多次补强支护。

同时，采场滤水携带大量的水泥，使水泥流失，充填体质量下降。两次充填间隔过程中，采场大量积水导致尾砂出现离析现象，使得大量细泥飘浮在充填浆体表面，充填体强度波动范围大。为了保证采场安全，只有加大水泥用量，从而使充填成本大幅度上升。采场滤水也携带一些细泥，污染了井下作业环境，加大井下水仓清理工作量。

1.1.3 充填料浆制备质量差

在尾砂普通胶结充填技术中，充填料浆的制备工艺比较简单，且重视程度较低。实际上，充填料浆的搅拌过程存在设备适用性差、物料计量精度低等问题。

1. 搅拌设备的适用性问题

搅拌能力不足、搅拌叶片设计不合理、搅拌时间短、搅拌机扭矩过大，不能实现高浓度浆体正常搅拌，是井下充填体胶结效果不好的重要原因。与混凝土相比，充填物料粒级较细，含泥量难以控制，物料均匀分散难度高，水泥颗粒容易与尾砂聚集成团，难以达到真正的均质。在此条件下，水泥水化反应只发生在水泥絮团表面，不仅造成水泥的浪费，而且聚集的水泥颗粒和超细尾砂在尺度上相近，搅拌过程中出现尾砂包裹水泥的现象，现有的搅拌设备难以适用于胶结充填料浆搅拌。如何结合流体搅拌理论和制备理论来阐述胶结充填料浆的搅拌过程，以及研发专用的搅拌机，使水泥与尾砂充分混合，是胶结充填工艺亟待解决的问题。

2. 计量系统不准确，灰砂比、水灰比无法精确控制

在胶结充填工艺中，大部分采用湿式尾砂浆的形式加入。尾砂浆浓度难以精确控制，流量波动大，造成干尾砂流量不稳定。水泥的计量不准确，在线监测仪表精度差，使得连续充填过程中灰砂比、水灰比不易控制，进而无法保证充填质量，增加了充填成本。

1.1.4 管道输送过程中磨损与堵塞严重

料浆管道输送理论方面的研究一直停滞不前，两相流理论仍是充填管路设计的主要依据。在此条件下，管道布置的合理性必然受到影响，增加了输送系统管理维护的难度，增大了管道失效的概率。

1. 输送理论的滞后
完备及适用的管道输送理论是充填管网设计及优化的基础。目前在管道输送中仍多沿用固-液两相流方面的相关理论，由此得出的结论往往与实际情况相差悬殊。管道输送摩阻损失的计算，常用的计算公式主要是根据两相流理论及大量环管试验数据推导出来的，如金川公式、鞍山黑色金属矿山设计院公式等。该类公式主要考虑低浓度两相流的流动特点，公式涉及的参数侧重于单颗粒的沉降及悬浮等性质。同时，由于充填物料的差异性，所得结论普适性差，公式的适用范围受到限制（王海瑞等，2009）。上述理论缺陷，直接导致了管路设计过程中的不确定性，成为影响管输系统安全稳定运行的隐患。

2. 管道输送技术的问题

在浅井充填中，由于充填浓度较低，充填倍线大，垂直管道提供的势能基本上能够满足管道沿程阻力损失的要求。但在深井充填中，由于系统自身势能较大，系统充填倍线较小，会产生剩余压头。剩余压头是指理想状态下浆体在垂直管道上的**高度值与流动过程中浆体实际高度值（该高度产生的重力势能与管道磨损所消耗的沿程阻力损失值相等）之差值。的问题。剩余压头导致料浆无法满管输送，管壁磨损加剧，输送处于极不稳定的状态，甚至出现严重的“井喷”现象，使充填无法正常进行。如何经济有效地应用或化解系统剩余势能是目前胶结充填自流输送面临的主要问题。

3. 泵送设备适应性差
一般而言，普通胶结充填浓度低，流动阻力小，充填倍线较大，常采用管道重力自流输

送技术。但是，当自流输送无法实施时，也采用增压输送技术。目前，国内常采用普通渣浆泵或混凝土输送机在采场适当位置进行增

[显示全部信息](#)

本站所提供下载的PDF图书仅提供预览和简介，请支持正版图书。

[更多资源请访问www.tushupdf.com](http://www.tushupdf.com)