

陈亚杰 赵兵文 等 著

综合机械化 膏体充填采煤技术



煤炭工业出版社

责任编辑：成联君
编 辑：王 晨
封面设计：王 超

ISBN 978-7-5020-4040-6



9 787502 040406 >

定价：28.00元

综合机械化膏体充填采煤技术

陈亚杰 赵兵文 等 著

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

综合机械化膏体充填采煤技术/陈亚杰等著. -- 北京:
煤炭工业出版社, 2012

ISBN 978 - 7 - 5020 - 4040 - 6

I. ①综… II. ①陈… III. ①综合机械化掘进 - 充填
法 - 采煤方法 IV. ①TD823.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 079552 号

煤炭工业出版社 出版
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)

网址: www.cciph.com.cn

北京房山宏伟印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 787mm × 1092mm¹/₁₆ 印张 11

字数 248 千字 印数 1—2 500

2012 年 6 月第 1 版 2012 年 6 月第 1 次印刷

社内编号 6863 定价 28.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 本社负责调换

内 容 提 要

本书以冀中能源峰峰集团有限公司小庄煤矿为实例，全面阐述了膏体充填的综合机械化采煤技术和充填技术两大方面的内容，还介绍了膏体充填理论的基础知识和发展情况，并就充填质量管理、成本控制及效益分析作出明确说明。本书对全国“三下”采煤，尤其是村庄下压煤开采和煤矿实现减沉绿色开采具有重大参考价值。

本书作为综合机械化膏体充填采煤的指导用书，可供煤矿的管理人员、相关工程技术人员参考学习。

序

煤炭工业是我国的基础产业，煤炭工业的稳定发展是国民经济持续稳定的前提。尽管煤炭资源相对较为丰富，但分布极不均衡，个别地区存在资源匮乏的局面，即使是东部资源较为丰富的老矿区同样面临资源枯竭的严峻现实。如何充分利用矿区现有的资源，挖掘矿井的储量潜力，是实现矿区可持续发展的重大问题。就目前东部矿区的现实，解放“三下”（建筑物下、铁路下和水体下）压煤是最为直接的途径。据不完全统计，我国目前“三下”压煤总量在 $200 \times 10^8 \text{ t}$ 以上，加之留设煤柱而无法开采的区域，储量相当可观，个别矿井的“三下”压煤量已达可采储量的 75% 以上。在保证地面建筑物安全的前提下，进行“三下”压煤的开采将延长矿井的服务年限，提高资源回收率，是老矿挖潜的有效途径。

建筑物下压煤开采的主要技术手段为条带开采和充填开采，我国长期以来主要采用条带法开采，尽管解决了部分煤柱的开采问题，但条带法的采出率仅为 40% ~ 60%，资源损失严重。充填法开采不仅可解放“三下”压煤、减少开采造成的地表沉降和破坏、保护矿区生态环境，同时还可有效地提高资源回收率、消除煤矿生产的次生灾害、实现煤矸石等固体废物资源化利用，是煤矿绿色开采技术的重要组成部分。经过近 10 年的探索与实践，充填法开采已得到了大家的认同，已初步形成了以固体、膏体和高水材料为充填体的不同充填工艺，取得了良好的效果。

解放建筑下压煤的问题，既关乎企业当前的经济效益，又涉及企业的可持续发展，因此，峰峰集团非常重视充填开采在本矿区的应用。由于充填开采改变了原有的采煤工艺，各种充填工艺又有自身的特点和适用条件，涉及充填材料、充填工艺、充填成本、地表减沉效果等多方面的因素，为充分利用充填技术解决本矿区的“三下”压煤问题，在小屯矿南旺村保护煤柱进行了厚煤层长壁工作面综合机械化膏体充填不迁村开采的研究与试验。自 2007 年以来已经采用充填法回采 4 个工作面，并在 2010 年开始在顶分层充填体下进行底分层工作面的充填开采，并获得成功，从而为本矿区解放“三下”压煤提供了一种有效的开采技术。

《综合机械化膏体充填采煤技术》一书基于小屯矿厚煤层长壁工作面综合机械化膏体充填的生产实际与研究成果，系统介绍了膏体充填在小屯煤矿的

应用,涉及充填开采技术及充填技术方面的多个领域,包括以矸石为骨料的膏体材料物理力学性能和材料匹配、管道输送与充填装备、工艺流程与系统控制、顶板管理与矿压显现、材料质量控制与地表减沉效果等多个方面,以及在生产实际中容易出现的问题及处理方法。既是对小屯矿南旺村保护煤柱进行了厚煤层长壁工作面综合机械化膏体充填不迁村开采的研究与试验课题研究成果的总结,也是对膏体充填采煤技术经验的介绍。

充填开采是解放“三下”压煤、提高资源回收率的需要,是保护矿区生态环境的需要,也是煤矿可持续发展的需要。目前我国煤矿的膏体充填已基本形成了泵送和自流两种充填形式,如何提高膏体充填的生产效率是煤炭企业非常关注的问题,《综合机械化膏体充填采煤技术》介绍的支架配套设计问题、充填材料配比问题、充填质量控制问题均有自己的认识与创新,对提高煤矿膏体充填的技术水平,对目前充填技术的应用和推广也同样具有重要的意义。

煤炭资源不可再生,稳定的煤炭生产也是我国经济发展的保证,随着人们对生存环境要求的提高,国家对环境保护的重视,不破坏环境的煤矿开采技术将是未来的主导方向,充填开采正是环境协调的绿色开采技术,尽管充填开采技术尚有许多不完善的地方,充填开采中也有许多问题有待今后的研究中得以解决,本书对膏体充填技术的介绍将推动充填技术的进步与应用,也是煤矿“三下”采煤设计可采取的技术途径,具有重大参考价值。

王金华

2012年4月12日

前 言

我国是世界产煤大国,煤炭资源丰富,煤炭是我国的主要能源,占一次性能源消耗量的70%。据统计,我国目前建筑物下压煤 94.68×10^8 t,铁路下压煤 23.91×10^8 t,水体下压煤 19.05×10^8 t(建筑物下、铁路下、水体下称“三下”)。长期以来,我国“建下”压煤开采主要采用条带法、村庄搬迁等方式,条带法的采出率仅为40%~60%,资源浪费严重;中厚煤层开采的75%是靠村庄搬迁来完成的。

此外,我国以矸石为主的煤炭开采和洗选过程中的废弃物,是目前排放量最大的工业固体废弃物之一,目前已累计堆积 34×10^8 t,占地约 1.3×10^4 ha,而且还正在以每年约 1.3×10^8 t的速度增加。矸石长期堆存,占用大量土地,污染水质,且自燃后生成 H_2S 、 SO_2 等有害气体,污染空气、水源和土地,构成了对生态和环境的损害。同时,煤矿开采可造成地表沉陷,破坏原有的地形、地貌,对地表生态、植被破坏尤为严重,甚至形成低洼积水坑或沼泽地,使耕地变成不毛之地。目前,我国采矿业每年占用和破坏的土地约达 3.4×10^4 ha,其中仅煤炭开采每年形成的地面塌陷就约达 3×10^4 ha,累计已达 50×10^4 ha。

冀中能源峰峰集团有限公司(以下简称峰峰集团)是国家520家重点企业之一,国家重要的煤炭基地,年产原煤3000多万吨,所在的峰峰矿区有50多年开采历史,“三下”压煤量大面广,严重制约矿井生产的接续。截至2006年,全矿区13个井田“三下”压煤 3.588×10^8 t,占矿区总工业储量的53.4%,其中村庄建筑物下压煤 2.75×10^8 t,占全部“三下”压煤的76.7%。如何解放村庄压煤是一个十分重要又迫切需要解决的难题,关乎峰峰集团的可持续发展。为此,峰峰集团与中国矿业大学、徐州中矿大贝克福尔科技有限公司合作,在小屯矿开展厚煤层长壁工作面综合机械化采后矸石膏体充填不迁村开采南旺村保护煤柱的研究与试验,探索解放村庄等煤柱的技术新途径。项目自2007年实施以来取得了重大进展,至今已经用矸石膏体充填综采法采完4个工作面,达到了设计充填开采的预期效果,2008年12月28日,中国煤炭工业协会组织有关专家在北京对峰峰集团完成的“村庄下矸石膏体充填综采技术研究”项目进行科技成果鉴定,鉴定委员会认为,该项研究成果在解决村庄及建筑物下压煤综合机械化矸石膏体充填开采技术方面达到国

际领先水平。该矿于2010年开始在顶分层充填体下进行底分层工作面矸石膏体充填开采，获得成功。小屯矿的实践证明长壁工作面采后膏体充填综合机械化采煤技术的开发应用，是煤炭工业贯彻落实科学发展观、实现绿色采煤的重要举措，具有“高安全性、高采出率、环境友好”的基本特征，膏体充填技术是解放“三下”压煤的技术途径，是一种新的绿色采矿技术，也是采矿技术的重要发展方向。

《综合机械化膏体充填采煤技术》一书的基本内容正是上述成果的概括与总结，本书系统总结了小屯煤矿膏体充填的综合机械化采煤技术和充填技术两大方面的内容，还介绍了膏体充填理论的发展情况，对全国“三下”采煤，尤其是村庄下压煤开采和煤矿实现减沉绿色开采具有重大参考价值。

全书的整体构思、统稿和审定由陈亚杰、赵兵文负责。主要编写人员有陈亚杰、赵兵文、谢德瑜、邵太升、张党育、成光星、张步勤、李玉泉、史泽坡。此外，白志辉、郭兰杰、杨建军、翟来军、祁军良、李海、杨孟新、王巨光、王光国、王桂梅、刘建立、吕树泽、张云英、袁立军、宋正廷、梁香过、张书田、范子国、郝志会、唐银平、常广田等同志也参加了部分章节的编写。

编写中引用了一些单位和个人发表的文献资料，在此对其作者表示由衷的感谢。由于时间仓促，书中疏漏之处在所难免，欢迎读者不吝指正。

目 次

1 研石膏体充填发展及技术特点	1
1.1 膏体充填技术发展历程	1
1.2 煤矿膏体充填技术特点	2
1.3 煤矿膏体充填关键技术	3
2 膏体充填基础知识	6
2.1 膏体充填的概念	6
2.2 膏体充填料基本特性	6
2.3 充填材料的几个计算公式	6
2.4 膏体充填料的流变性	8
2.5 膏体充填料主要特性检测概述	13
2.6 分层度及其作用	14
2.7 影响膏体强度的相关因素	15
2.8 添加剂对充填材料配比效果的影响	16
2.9 膏体管路输送断流及堵管	17
2.10 充填试验室常备设备	18
3 小屯煤矿概况	22
3.1 矿井概况	22
3.2 矿井地质条件	22
3.3 开采条件评价	27
3.4 膏体充填实验区	28
4 小屯矿研石膏体充填技术	33
4.1 膏体充填原材料选择及其配比试验	33
4.2 膏体充填系统能力	41
4.3 膏体充填材料用量	42
4.4 充填站与充填钻孔	44
4.5 工作面充填方法	47
5 充填系统设计	49
5.1 充填工艺流程	49

5.2 控制系统	57
6 小屯矿矸石膏体充填综采技术	61
6.1 充填综采设备	61
6.2 采煤方法及回采工艺	70
6.3 顶板控制	77
6.4 循环作业方式与劳动组织	79
7 膏体充填管路输送	81
7.1 小屯矿膏体充填泵送管路输送系统	81
7.2 膏体输送的管输特征	85
7.3 膏体自流输送破管和堵管	92
7.4 泵送充填管道输送事故案例分析	95
7.5 充填管道输送系统的优化设计	100
7.6 尾浆和尾水的处理	104
8 膏体充填采场岩层移动及矿压显现	105
8.1 膏体充填开采矿压显现及地表沉陷因素	105
8.2 煤矿矸石膏体充填直接顶的控制	109
8.3 膏体充填工作面矿压监测	113
8.4 工作面顶底板移近量观测分析	119
8.5 充填体及顶底板岩层钻孔窥测	122
8.6 充填开采沿空留巷	126
8.7 充填开采地表沉降实测分析	129
9 质量管理	137
9.1 充填材料对膏体充填质量的影响	137
9.2 充填工艺对膏体充填质量的影响	140
9.3 控制膏体充填质量的主要措施	144
9.4 采场充填准备及工作制度	146
10 成本控制及效益分析	149
10.1 现行财税政策和手段	149
10.2 降低充填成本的途径	151
10.3 膏体充填经济效益	152
10.4 膏体充填采煤的社会效益	155
11 充填采煤技术的意义与发展趋势	157
11.1 充填采煤技术的意义	157
11.2 充填采煤的前景展望	160

11.3 膏体充填采煤目前存在的主要问题.....	161
参考文献.....	163

1 矸石膏体充填发展及技术特点

1.1 膏体充填技术发展历程

所谓膏体充填就是把煤矿附近的矸石、粉煤灰、炉渣、劣质土、城市固体垃圾等固体废物在地面加工成无临界流速、不需脱水的浆体,利用充填泵或重力作用通过管道输送到井下,适时充填采空区的采矿方法。21 世纪中国煤矿研究发展膏体充填的根本目的是借助这种特殊的开采方法(技术)解放村庄下、铁路下、水体下和承压水上(简称“三下一上”)压煤、提高煤炭资源采出率、控制地表沉陷、保护矿区生态环境和地表建(构)筑物不受或少受开采损害、实现矸石等固体废物资源化利用。

膏体充填是 1979 年德国在格伦德铅锌矿首先发展起来的第四代先进充填技术。

世界上有记载有计划的矿山充填已经有近百年的发展历史,经历了废石干式充填,水砂充填,低浓度胶结充填,高浓度充填、膏体充填 4 个发展阶段。

第一阶段,20 世纪 40 年代以前,以废矸石式充填为代表,充填的目的是处理废弃物。如澳大利亚塔斯马尼亚芒特莱尔矿和北莱尔矿在 20 世纪初进行的废石干式充填;加拿大诺兰达公司霍恩矿在 20 世纪 30 年代将粒状炉渣加磁铁矿充入采空区;中国 20 世纪 50 年代初期废石干式充填成为金属矿山的主要采矿方法之一,1955 年在地下开采的有色金属矿山中废石干式充填占 38.2%,在黑色金属矿山地下开采中达到 54.8%。废石干式充填主要问题是其效率低、生产能力小和劳动强度大,满足不了采矿工业发展的需要,自 20 世纪 50 年代以后废石干式充填所占比重逐年下降,1963 年中国有色金属矿山废石干式充填只有 0.7%。

第二阶段,20 世纪 40~50 年代,以水砂充填为代表。水砂充填在国内外煤矿一度作为解决地表开采沉陷,保护建(构)筑物的主要方法,曾经得到比较广泛的应用。世界上水砂充填最先进、应用最好的是波兰。1967 年波兰水砂充填法采煤占到总产量的 50.2%,目前,水砂充填法产煤量仍占波兰煤炭产量的 10%~20%。波兰以水砂充填为主,配合协调开采等措施,成功进行了卡托维兹(Katowice)、比托姆(Bytom)等城市下采煤。波兰吴杰克(Wujek)煤矿是欧洲最大的水砂充填矿井,年产量 220×10^4 t/a,水砂充填产煤量占 70%,充填管线最长达 4.5 km。典型的水砂充填工作面布置在卡托维兹市国际铁路车站下,工作面煤壁长 214 m,走向长 2000 m,采高 3.2~3.5 m(煤层厚度 7 m 左右,分 2 个分层开采),煤层倾角 $4^\circ \sim 6^\circ$,采深 700 m,采用综合机械化采煤,液压支架为带铰接尾梁和爬梯的支顶掩护式,其中尾梁由固定在掩护梁上的立柱支撑,采煤机割煤以后,立即用圆木架棚,液压支架顶梁作用在圆木棚架下面支护顶板,支架后面每 3.5~4.2 m 为一个充填步距,充填区由圆木棚架和木点柱支护,用木点柱与编制塑料布作隔离墙,水砂充填料的水砂比为 1:1,一天一个正规循环,两班采煤,一班充填,工作面煤炭产量 3500 t/d,年产量超过 100×10^4 t/a。中国也是世界上最早应用水砂充填的国

家之一。1901 年扎赉诺尔煤矿开始应用水砂充填。1952 年以后水砂充填逐渐在抚顺、扎赉诺尔、阜新、鹤岗、辽源、蛟河、井陉、新汶等推广应用。1957 年水砂充填采煤量达 1117×10^4 t, 占全国煤炭产量的 15.58%。1965 年锡矿山南矿首次采用尾砂水力充填。20 世纪 70 年代后, 由于水力充填开采需要脱排水, 系统复杂、成本高等原因, 逐渐减少, 目前中国煤矿已经基本不用。

第三阶段, 20 世纪 60~70 年代, 以低浓度尾砂胶结充填为代表。由于非胶结的水砂充填体无自立能力, 难以满足采矿工艺高回采率和低贫化率的需要, 在水砂充填工艺得以发展和推广应用以后, 开始发展采用尾砂胶结充填技术。代表矿有澳大利亚芒特艾萨矿, 20 世纪 60 年代采用低浓度尾砂胶结充填工艺回采底柱。20 世纪 70 年代中国凡口铅锌矿、招远金矿和焦家金矿率先应用细砂胶结充填。目前, 中国有 20 多座金属矿山应用细砂胶结充填。

第四阶段, 20 世纪 80~90 年代, 以高浓度、膏体充填为代表。1979 年德国在格伦德铅锌矿为了克服低浓度胶结充填泌水严重等, 在世界上首次试验成功膏体充填技术。膏体充填技术在德国试验成功以后, 逐渐在南非、英国、美国、摩洛哥、俄罗斯、加拿大、澳大利亚、葡萄牙、坦桑尼亚、土耳其等世界主要采矿国家的金属矿山得到发展和应用。1991 年德国矿冶技术公司与鲁尔煤炭公司合作, 把膏体材料充填技术应用到沃尔萨姆煤矿, 充填长壁工作面后方的垮落采空区, 控制开采引起的地表下沉和处理固体废弃物, 试验工作面煤层厚度 1.5 m, 采深 1000 m, 所用膏体充填材料由粉煤灰、浮选矸石、破碎岩粉等制成, 无水泥, 物料的最大粒径小于 5 mm, 质量浓度达到 76%~84%。中国 1994 年在金川有色金属公司二矿区建成第一条膏体泵送充填系统, 以后有铜录山铜矿、湖田铝土矿、喀拉通克铜矿等也建设了膏体充填泵送系统。

从“三下一上”采煤的需要出发, 应该说传统的水砂充填(包括水力破碎矸石充填)、膏体充填在技术上都能够解决“三下一上”开采, 实现不迁村采煤, 但是膏体充填具有更大的技术优势, 是中国煤矿 21 世纪“三下一上”采煤的主要技术发展方向。

1.2 煤矿膏体充填技术特点

1.2.1 膏体充填突出的技术特点

(1) 浓度高。一般膏体充填材料质量浓度大于 75%, 目前最高浓度达到 88%。而普通水砂充填材料浓度低于 65%, 如我国阜新矿区水砂充填水砂比, 新平安矿为 2.7:1~5.3:1, 新邱一坑为 1.2:1~2.1:1, 高德八坑为 2:1, 质量浓度小于 50%。

(2) 流动状态为柱塞结构流。普通水砂充填料浆管道输送过程中呈典型的两相紊流特征, 管道横截面上浆体的流速为抛物线分布, 从管道中心到管壁, 流速逐渐由大减小为零, 而膏体充填料浆在管道中基本是整体平推运动, 管道横截面上的浆体基本上以相同的流速流动, 称之为柱塞结构流。

(3) 料浆基本不沉淀、不泌水、不离析。膏体充填材料这个特点非常重要, 可以降低凝结前的隔离要求, 使充填工作面不需要复杂的过滤排水设施, 也避免或减少了充填水对工作面的影响, 充填密实程度高。而普通水砂充填, 除大部分充填水需要过滤排走以外, 常常还在排水的同时带出大量的固体颗粒, 其量高者达 40%, 只在少数情况下低于 15%, 产生繁重的沉淀清理工作。

(4) 无临界流速。最大颗粒料粒径达到 25 ~ 35 mm, 流速小于 1 m/s 仍然能够正常输送, 所以, 膏体充填所用的矽石等物料只要破碎加工即可, 可降低材料加工费, 低速输送能够减少管道磨损。

(5) 相同水泥用量下强度较高。可降低价格较贵的水泥用量, 降低材料成本。

(6) 膏体充填体压缩率低。一般水砂充填材料 (包括人造砂) 压缩率为 10% 左右, 级配差的甚至达到 20%, 水砂充填地表沉陷控制程度相对较差, 通常水砂充填地表沉陷系数为 0.1 ~ 0.2 (中国新汶矿区水砂充填地表沉陷系数为 0.13 ~ 0.17), 许多条件尚需要与条带开采结合, 留设条带煤柱才能够达到保护地表建筑物的目的。而膏体充填材料中固体颗粒之间的空隙由水泥和水充满, 一般压缩率只有 1% 左右, 控制地表开采沉陷效果好, “三下一上” 压煤有条件得到最大限度的开采。

需要指出的是, 由于受煤炭价格的限制, 具有巨大发展潜力的膏体充填只是最近几年才越来越得以重视。

1.2.2 煤矿膏体充填的主要特点

煤矿开采方法不同于金属矿山, 煤矿没有尾砂, 煤矿普遍采用壁式开采体系, 采煤与膏体充填紧密关联, 充填工作处理不当或延迟都将直接影响工作面煤炭生产, 所以, 煤矿膏体充填绝不是把发展比较成熟的金属矿山膏体充填技术向煤矿的简单引进。与金属矿膏体充填比较, 煤矿膏体充填的主要特点如下。

(1) 成本要求更低。目前煤矿可以接受的充填开采的吨煤增加成本是金属矿山充填可接受成本的一半左右。

(2) 煤矿膏体充填没有金属矿山那样有质量比较稳定的尾砂作集料, 煤矿附近能够用作充填的原材料常常是矽石、粉煤灰等固体废物, 物料成分复杂、变化大。

(3) 早期强度要求高。中国矿业大学根据不同条件, 提出全采全充法、短壁间隔充填法、长壁间隔充填法、垮落区充填法和离层区充填 5 种膏体充填方法, 其中, 减沉效果最好的全采全充法、短壁间隔充填法、长壁间隔充填法都是紧随回采工作面边采边充填, 充填工作是在充填区直接顶板保持完整的条件下进行的, 充填数小时以后膏体充填体必须有一定强度, 满足脱模条件, 能够实现自稳, 并对顶板有适当的支撑作用, 否则, 只能多工作面轮流采煤 - 充填才能够保证煤炭产量。

1.3 煤矿膏体充填关键技术

发展煤矿 “三下一上” 开采需要的膏体充填主要需要解决 4 个技术关键: 膏体充填材料配方及专用添加剂, 膏体料浆输送及装备, 膏体充填液压支架及三机配套, 膏体充填综采工艺及管理。

1.3.1 矽石膏体充填添加剂

矽石膏体充填添加剂集团公司从 2009 年初开始与科研单位, 经过上千次反复调试, 于 2009 年底研制成功了 MGJ-01、MGJ-02 液体矽石膏体添加剂。2011 年初又研制成功了 MGJ-03 液体矽石膏体添加剂达到和满足了充填开采需要, 达到预期目的。

添加剂的主要成分:

该添加剂有近 30 种原料构成, 其主要成分为早强剂 (进口产品)、超早强剂 (进口产品)、增黏剂、缓凝剂、微膨胀剂、悬浮剂、水化反应激发剂等组成, 全部选用国际国

内认证的绿色环保材料,对环境、人员、水质、设备无污染,无腐蚀。

添加剂的主要作用:

(1) 该添加剂为液体,其优点在于便于操作或根据情况随时更改使用量,而且可实现人工或系统自动控制添加,粉剂则只要配比好,进入储料仓内就无法改变。

(2) 该添加剂能够与硅酸盐 32.5 号水泥、普通 42.5 号水泥配合使用,与普通 42.5 号水泥配合使用效果最佳,使用普通 42.5 号水泥泌水量小,上强度快,浆体合易性好;该添加剂的使用能够大幅度降低水泥使用量,根据气温情况,一般 $0.12 \sim 0.15 \text{ t/m}^3$ 就能够满足上强度要求。

(3) 由于早强、超早强成分、水化反应激发剂作用下,上强度快,能够在 $4 \sim 6 \text{ h}$ 达到初凝、移支架,起到支护顶板的作用, $4 \sim 6 \text{ h}$ 强度达到 0.5 MPa , 24 h 强度达到 $1 \sim 2 \text{ MPa}$ 以上, 7 d 强度达到 $6 \sim 8 \text{ MPa}$, 14 d 强度达到 10 MPa 以上,给正规循环作业赢得时间。

(4) 在缓凝成分的作用下,能够保证可泵送时间达 $2 \sim 3 \text{ h}$ 以上,给一般性事故的处理赢得时间,减少因浆体在管路里初凝而造成的堵管事故。

(5) 在增黏剂、悬浮剂的作用下,能够悬浮矽石颗粒不沉淀,浆体不泌水,不离析,保持浆体在输送过程中的合易性。

(6) 在微膨胀剂的作用下,浆体在反应凝固时,起微膨胀作用,在不影响强度的情况下,使浆体收缩率保持在 3% 之内,起到减少接顶间隙的作用,最大限度地减少地面沉降,保证充填效果,在实际观察中有 50% 以上达到无间隙直接接顶。

1.3.2 膏体充填泵

德国在率先发展膏体充填的同时,也发展了适应膏体充填的专用充填泵(也叫工业泵)。目前世界各国膏体充填泵主要来自德国普茨迈司特公司(Putzmeister)和德国施维英公司(Schwing)。我国膏体充填泵的制造技术发展很快,三一重工、飞翼股份等均有多种型号的膏体充填泵使用效果良好。

充填管路及阀件要求能快速拆装、耐高压、开闭可靠,操作更省力省时。由峰峰集团自主研发的一套液控高压闸板阀及软连接器在充填现场使用效果很好。

1.3.3 膏体充填液压支架及三机配套

膏体充填对综采液压支架的要求完全不同于水砂充填工作面液压支架,主要表现在:

第一,水砂充填达到充填空间以后,在数秒至数分钟的时间内即沉淀,沉淀后的砂粒便失去流动性,输送砂子的水经过滤排水系统排出;而膏体充填材料却不沉淀、不泌水,数小时内仍然保持流动状态,膏体中的水不需要滤排,主要依靠水泥水化反应固化。

第二,水砂充填物料隔离容易,而膏体充填料浆隔离困难。

第三,水砂充填物料对支架产生的侧向压力小,而膏体充填料浆对支架产生的侧向压力大。

研究膏体充填综采液压支架对膏体充填技术的发展与应用十分重要,能够解决好采煤与充填关系,解决好膏体浆液隔离的理想膏体充填综采液压支架可以实现:①缩短充填准备时间,提高充填有效时间;②提高充填率和地表沉陷控制效果;③减少充填辅助材料用量;④提高充填面煤炭单产;⑤减少充填开采相关设备投入,取消轮采工作面;⑥减少充填面准备工作量;⑦降低充填成本。

三机配套主要为了保证生产能力，有较高的循环产量。

1.3.4 膏体充填综采工艺及管理

膏体充填综采的环节多、工序多、相关紧密，要求有科学的管理措施和先进的管理系统，尽量减少不必要的相关工序环节，提高可靠性。比如矸石破碎可单独进行自动化程序控制，井下充填现场则要求操作严谨、及时准确、安全可靠。