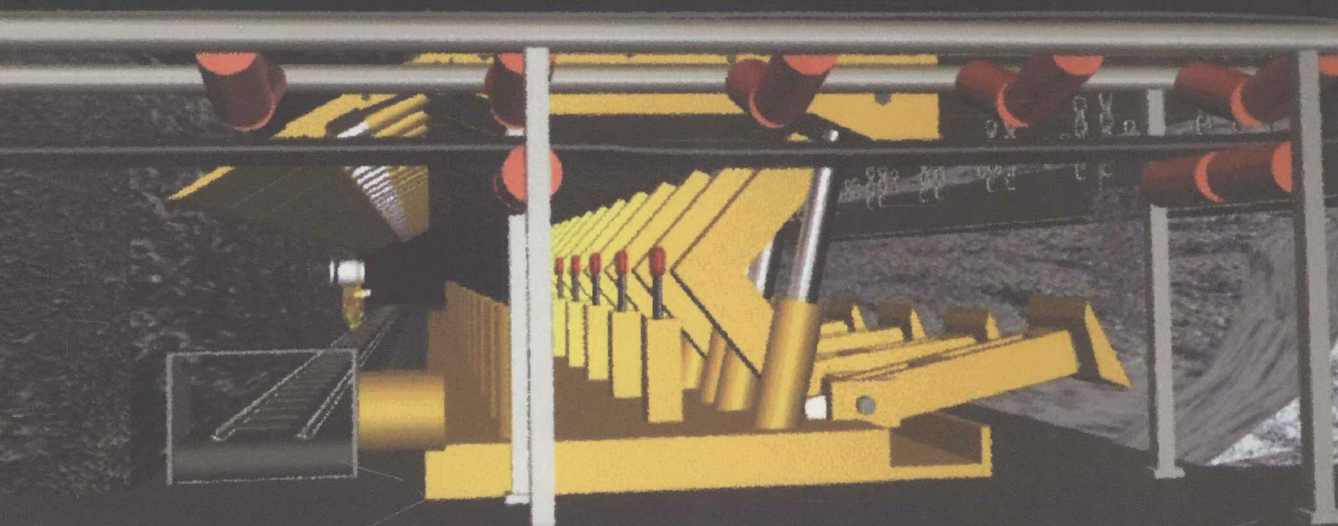




充填采煤 方法与技术

CHONGTIAN CAIMEI FANGFA YU JISHU

袁伟昊 袁树来 暴庆保 焦学锋 编著

 煤炭工业出版社

充填采煤方法与技术

袁伟昊 袁树来 暴庆保 焦学锋 编著

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

充填采煤方法与技术 / 袁伟昊等编著. -- 北京:
煤炭工业出版社, 2012

ISBN 978-7-5020-4015-4

I. ①充… II. ①袁… III. ①充填法-采煤方法
IV. ①TD823.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 034568 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
煤炭工业出版社印刷厂 印刷
新华书店北京发行所 发行

*
开本 787mm × 1092mm¹/₁₆ 印张 16¹/₂
字数 386 千字

2012 年 4 月第 1 版 2012 年 4 月第 1 次印刷
社内编号 6838 定价 40.00 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

本书系统、全面地阐述了充填采煤的方法与技术，主要内容包
括充填采煤技术概述、充填材料分类及特性、水力充填采煤法、高水材料充填采煤法、膏体（似膏体）充填采煤法、综合机械化固体充填采煤法及其他充填采煤法。

本书可供煤矿工程技术人员阅读、使用，也可供相关院校师生参考。

前 言

充填开采法的应用，在我国历史悠久。1957 年煤矿充填开采产量比重达 15.58%，1963 年在有色金属矿山坑内开采中，采用充填开采的矿物产量占矿石产量的 0.7%。近几十年来，充填开采法在金属矿山获得普及，目前，国有重点有色金属矿山充填开采比重已达 68%，但在煤矿却没得到推广普及。金属矿的成功经验证明，现代充填采矿法是一种采出率高、贫化率低的采矿方法，能适应任何困难的开采条件，特别在地表不允许破坏和有自燃倾向的矿床开采中，具有不可替代的作用。

为减少煤炭开采对环境造成的破坏，钱鸣高院士等煤炭科研工作者提出煤矿绿色开采的概念，倡导在煤矿采用充填开采等方法解决资源开发与环境之间日益突出的矛盾。许多煤炭企业先后进行了水砂充填、矸石充填、膏体充填工业型试验，并取得成功。但充填开采方法在煤矿的使用减少表明，煤矿充填开采存在的困难还很多，因此，我国煤矿如何借鉴金属矿山成熟的充填技术和经验，研究和发展与其矿床开采技术条件及矿山特点相适应的充填开采方法，是今后需要解决的重大课题。

为适应充填采煤发展的需要，我们编写了《充填采煤方法与技术》一书。本书是在总结我国煤炭科研工作者充填采煤理论和实践的基础上，根据煤炭矿床开采技术条件及矿山特点编著而成的。全书共 7 章，从不同的角度对充填采煤的方法、原理、技术、设备进行了论述，试图为我国煤矿探索和应用充填开采技术提供借鉴。

本书是集体智慧的结晶，总体构思由袁伟昊提出，袁伟昊、袁树来、暴庆保、焦学锋撰写，袁树来统编。

本书编写过程中参阅了大量近年来发表的相关科技文献，融入了《综合机械化固体废物充填采煤方法与技术》（缪协兴等著，中国矿业大学出版社，2010 年 12 月）、《深井矿山充填理论与管道输送技术》（王新民等编著，中南大学出版社，2010 年 12 月）、《当代胶结充填技术》（孙恒虎等编著，冶金工业出版社）等编著者的研究成果，在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中，吴永亮、杨毅作了大量的资料收集、文字编辑、图表制作工作，在此表示衷心感谢。

因编者学识与水平所限，错误与不足之处在所难免，衷心期盼同行专家、读者批评斧正。

编 者

2011 年 10 月于北京

目 次

1 绪论	1
1.1 我国煤炭资源及其开采历史	1
1.2 煤炭开采问题及其成因分析	3
1.3 充填采煤技术特点及方法分类	4
1.4 传统充填技术与现代充填技术	6
1.5 充填采煤技术展望	17
2 充填材料分类及特性	19
2.1 充填开采对充填料的要求	19
2.2 常用充填材料的分类及特性	20
2.3 充填骨料	21
2.4 胶凝材料	31
2.5 改性材料	48
3 水力充填采煤法	53
3.1 充填系统及其确定	53
3.2 水砂充填采煤法	67
4 高水材料充填采煤法	77
4.1 高水材料的物理力学特性	77
4.2 高水材料的水化硬化机理	81
4.3 高水材料的稳定性能	83
4.4 高水固结充填体的力学特性	88
4.5 高水巷旁泵充填技术	104
4.6 超高水材料采空区充填开采技术	119
5 膏体（似膏体）充填采煤法	128
5.1 膏体（似膏体）充填采煤法的分类及特点	128
5.2 膏体充填材料	131
5.3 膏体泵送充填系统	139
5.4 膏体自流输送充填系统	152
5.5 充填管道输送系统的优化设计	165

5.6	矿山应用1（新汶矿业集团孙村煤矿煤矸石似膏体自流充填绿色开采技术）	171
5.7	矿山应用2（太平煤矿充填支架综采工作面设备配套与工艺）	176
6	综合机械化固体充填采煤法	181
6.1	综合机械化固体充填采煤技术的定义及特征	181
6.2	综合机械化固体充填采煤系统布置	182
6.3	综合机械化固体充填与采煤工艺	196
6.4	综合机械化固体充填采煤关键设备	198
6.5	综合机械化固体充填采煤设备的选型与总体配套	206
6.6	矿山应用	213
7	其他充填采煤法	225
7.1	巷采充填采煤法	225
7.2	炮采工作面充填方法	228
7.3	采空区膏体条带充填技术	236
7.4	覆岩离层分区隔离注浆充填技术	237
7.5	条带开采垮落区注浆充填技术	238
7.6	厚煤层巷内预置充填带无煤柱开采技术	239
7.7	风力充填	246
	参考文献	251

1 绪 论

1.1 我国煤炭资源及其开采历史

我国煤炭资源丰富,品种齐全,适用于动力用煤的煤种尤其丰富,如气煤、长焰煤、不黏煤、褐煤、无烟煤等储量较大。但缺点是难选煤多,高灰、高硫煤的比重大。图 1-1 所示为我国煤炭资源不同聚煤期的分布比例,图 1-2 所示为我国各级含硫煤资源储量分布比例。截至 2002 年年底,我国探明可直接利用的煤炭储量为 188.6 Gt,地下深度 1000 m 以内的储量已超过 110 Gt,列于美国、俄罗斯之后,居世界第三位,可以保证开采上百年。另外,包括 331.7 Gt 基础储量和 687.2 Gt 资源量在内的共计 10000 多亿吨的资源,可以留待后人勘探开发。2000 年全球煤炭探明可采储量分布如图 1-3 所示,我国煤炭资源储量分布如图 1-4 所示。

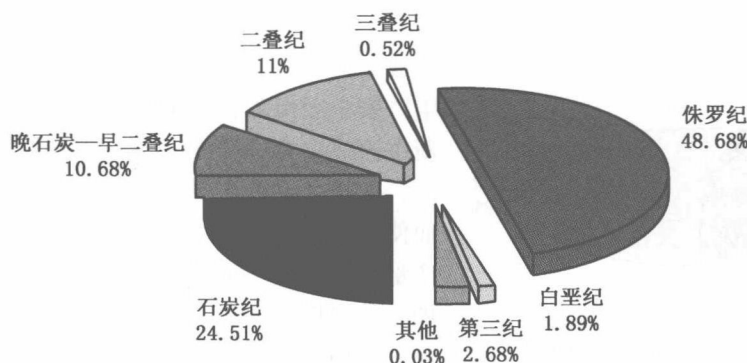


图 1-1 我国煤炭资源不同聚煤期分布比例

我国是世界上最大的煤炭生产国和消费国,也是世界上少数几个以煤为主要能源的国家之一。在我国的能源生产和消费结构中,煤炭一直占主导地位,煤炭产量占全国一次能源生产总量的 70%~75%,是我国经济发展的重要支柱。表 1-1 所列为 1997 年世界各国各种能源消耗占能源总消耗的比例。

我国煤炭生产已有六七千年的历史,是世界上发现、利用煤炭较早的国家之一。在 2000 多年前,煤与焦炭在我国已作为商品交易;在西汉(公元前 206—公元 25 年)炼铁遗址中,已用煤及煤饼炼铁;明朝(1368—1664 年)已对煤的外形、性质、分类、产地、用途和用法等做了精辟的分析与论述。新中

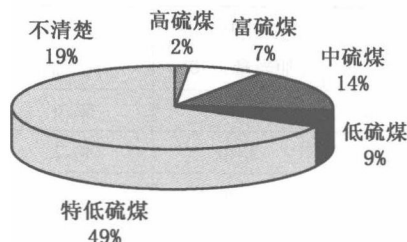
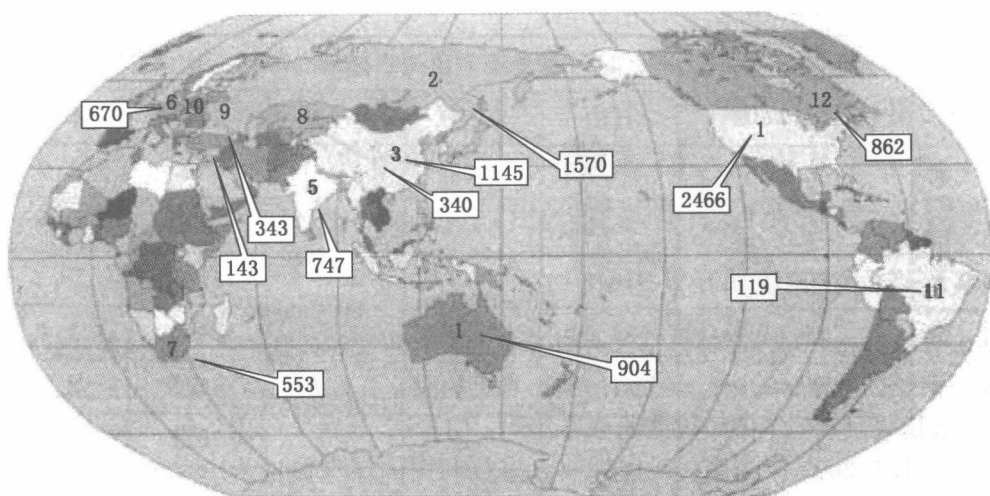


图 1-2 我国各级含硫煤资源储量分布比例



单位: 10^8 t

1—美国; 2—俄罗斯; 3—中国; 4—澳大利亚; 5—印度; 6—德国; 7—南非;
8—哈萨克斯坦; 9—乌克兰; 10—波兰; 11—巴西; 12—加拿大

图 1-3 2000 年全球煤炭探明可采储量分布

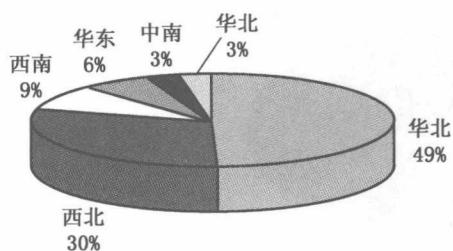


图 1-4 我国煤炭资源储量分布

国成立前, 中国煤炭产量低下, 技术落后, 工人生产安全无保障, 到 1949 年年产量仅 37.49 Mt; 新中国成立后, 党和政府十分重视煤炭工业生产, 作出了发展煤炭工业的一系列重大决策, 从而使煤炭产量倍增, 质量提高; 2010 年我国煤炭产量达到 3.24 Gt, 居世界第一位, 但经过洗选加工的原煤仅为 20% 左右。除去炼焦、造气等用煤外, 用于直接燃烧生产和热能的动力用煤约占

原煤总产量的 4/5。在今后相当长的时期内, 为适应国民经济迅速发展的需要, 我国原煤的产量还将大幅度增加。预计“十二五”末, 我国煤炭生产将达到 3.7 Gt, 2020 年将达到 4.4 Gt。

表 1-1 1997 年世界各国各种能源消耗占能源总消耗的比例

国 家	能源消耗总量 (油当量)/ 10^8 t	各种能源消耗占能源总消耗的比例/%				
		石 油	天然气	原子能	煤 炭	水 力
日本	5.06	52.6	11.6	16.5	17.7	1.6
德国	3.40	40.2	20.9	12.9	25.5	0.5
法国	2.44	37.6	12.8	41.8	5.4	2.4
意大利	1.58	59.7	30.7	—	7.1	2.5
英国	2.25	36.2	34.3	11.3	18.0	0.2
加拿大	2.27	36.0	29.7	9.4	11.7	13.2

表 1-1 (续)

国 家	能源消耗总量 (油当量)/ 10^8 t	各种能源消耗占能源总消耗的比例/%				
		石 油	天然气	原子能	煤 炭	水 力
美国	21.44	39.0	26.5	8.6	24.5	1.4
印度	2.60	31.9	8.5	1.0	56.2	2.4
中国	9.05	20.5	1.9	0.4	75.4	1.8
合计	50.09	39.8	23.2	7.3	27.0	2.7

1.2 煤炭开采问题及其成因分析

1.2.1 煤炭开采问题

煤炭开采在为社会建设和消费提供能源的同时也对生态环境造成巨大的破坏。煤炭开采过程中产生的有毒有害气体对水资源、土地和空气都造成不同程度的污染破坏,其主要表现形式有以下 3 个方面。

1. 煤矿开采对水资源的破坏

(1) 煤炭开采过程中,人为疏干排水和采动形成的导水裂隙对煤系含水层的自然疏干,导致地下水位大面积、大幅度下降,矿区主要供水水源枯竭,地表植被干枯,自然景观破坏,农业产量下降,严重时可引起地表土壤沙漠化。

(2) 开采造成地表及地下水污染。矿井水、矸石堆淋溶水、选煤废水等普遍含有煤粉、岩粉悬浮物及可溶性的无机盐类。在我国西部、黄淮地区,矿井水矿化度较高,而南方矿井含硫高,矿井水多呈酸性。据统计,2000 年全国煤矿的废水及污水排放量达到 2.745 Gt,其中,矿井水 2.3 Gt,工业废水 0.35 Gt,选煤废水 0.05 Gt,其他废水 0.045 Gt。这些废水的排放对地表河、海、水库等水资源污染较严重,并会使矿区土地贫化,使植被受到污染,严重影响农业可持续发展。

2. 煤矿开采造成土地资源的破坏

井工开采以地表塌陷和矸石山压占为主,而露天开采则以直接挖损和外排土场压占为主,据估算,全国平均采出万吨煤开采沉陷地在 0.2 hm^2 以上。全国已有开采沉陷地 $0.45 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 以上,分布于华东、华北、西北、西南、华中等省区。山西省 1949—1998 年共生产原煤 56 亿多吨,地面塌陷破坏面积达 $7 \times 10^4 \text{ hm}^2$,其中 40% 是耕地。

煤炭生产过程中,矸石排放量一般为原煤产量的 8% ~ 20%,平均约为 12%。以 2010 年为例,生产原煤 3.24 Gt,煤矿年均排放矸石约 0.4 Gt。目前全国大、中型煤矿有矸石山 1500 多座(不包括近 80000 个乡镇及个体小煤矿堆积的矸石山),矸石堆放量达 3 Gt 以上,占地面积约 $2.6 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。按 2010 年排矸量 0.4 Gt 计算,年新增占地将接近 741 hm^2 ,这将进一步加剧我国可耕地资源短缺的局面。例如,平顶山矿区在过去的 40 年中,排放矸石积存量 39 Mt,形成 31 座矸石山,占地 98 hm^2 ,其中 77.5% 为可耕地,按当地平均种植水平,每年减产粮食 626 t。

另外,据统计,全国正在自燃的矸石山约 200 座,自燃过程排出大量有害气体,如 SO_2 、 CO_2 、 H_2S 、氮氧化合物和烟尘等,污染空气,形成酸雨,污染水源和土地,抑制植物生长,危及人类健康。

3. 煤矿开采产生大量有毒有害气体

地下矿层中赋存的大量有毒有害气体，如 CH_4 、 CO 、 CO_2 、 SO 、 SO_2 、 H_2S 等，由于开采，经矿井通风风流并携带大量粉尘排入大气中。我国煤矿每年排入大气中的 CH_4 约为 10 Gm^3 ，排放的粉尘约为 $40 \times 10^4 \text{ t}$ ，这不仅对矿区环境造成了严重污染，而且造成尘肺病患者达几十万人。

综上所述，煤炭开采所带来的问题若得不到有效解决，在未来几十年内，随着煤炭产量和能源总需求量的不断增长，煤炭资源开采所带来的矿区安全和生态环境问题将更为严重，人类的生存和社会发展环境将受到严重威胁。

1.2.2 成因分析

造成上述煤炭开采问题的原因尽管是多方面的，但究其主要因素，则与我国井工开采顶板控制的方法有关。

我国井工开采顶板控制的方法，目前以长壁垮落顶板控制法最为普遍。

长壁垮落顶板控制方法便于实现机械化、高产，操作方便，适用于厚、中、薄各种煤层，是新中国成立以来我国煤矿开采主导顶板控制方法。这种方法着重考虑回采中顶板灾害对于回采空间的危害，而少于考虑开采后岩层下沉运动对于环境、生态、建筑物等的破坏，结果造成对人类生存环境的严重破坏，因此垮落顶板控制法的使用条件与改进途径是一个十分迫切并值得研究的重大课题。我国煤炭科研工作者近年来提出并实践了充填采煤技术以解决此控制法的弊端。

1.3 充填采煤技术特点及方法分类

1.3.1 充填采煤技术特点

近几十年来，充填开采在金属矿山的推广应用获得长足进步，但在煤矿还没有得到广泛使用，这与煤矿采用充填开采的特殊条件密不可分。与金属矿充填开采相比，煤矿充填开采的特点主要表现在以下方面。

(1) 采煤生产能力与充填生产能力不均衡。

众所周知，充填开采中，采矿和充填互相制约，不继续采矿就无处充填，不充填也就不能采矿，使得由采矿和充填这两个作业环节组成的回采作业大循环共同决定矿井的开采。因此，只有实现采矿和充填的均衡，充填技术才有生命力，才会在矿山有效应用。

事实上，采煤生产能力与充填生产能力的均衡问题非常突出，即目前充填生产能力与采煤生产能力无法相匹配。与金属矿山炮采工艺相比，煤炭地下采矿法早就实现综合机械化，即落煤、装煤、运煤、支护和放顶 5 道工序全部采用机械化作业，出现了工作面年单产百万吨以上甚至千万吨的地下特大型煤矿。因此，煤矿的充填技术必须适应高产高效的发展。但是目前的充填能力一般无法与高产高效的采煤技术相匹配。

(2) 煤炭生产过程中产生的废弃物与充填材料供需不均衡。

金属矿山一般采用掘进废石、尾砂（占矿石开采量的 50% ~ 99%）、冶炼炉渣等废弃物作为充填料，完全解决了充填材料供需均衡的问题。同金属矿相比，煤矿自身工业废弃物比例小，煤矿的矸石一般仅为煤炭开采量的 15% 左右，采空区全部充填难以解决充填材料来源困难的问题。因此，寻找丰富低廉的合适充填材料满足回填空间的要求，解决充填材料供需均衡问题是充填采煤方法成功应用的一个必要条件。

(3) 充填成本与采矿效益均衡问题。

充填开采与其他开采方法相比，最大限度地采出了地下煤炭资源，保证了安全生产，增加了矿山经济效益。但充填开采需要增设充填设备，增加充填工序，矿山必须为此支出充填成本。就我国煤矿目前充填而言，只有当充填成本小于因开采引起的土地破坏和村庄搬迁赔偿费用时，充填成本与采矿效益才实现均衡，充填技术才会在煤矿得到有效应用。

研究表明，村庄每户压煤量越大（如厚煤层条件），充填开采较村庄搬迁开采的适应性就越差。

充填开采在薄及中厚煤层的密集建筑物条件下（此时每户压煤量相对较小）的适应性要好于在厚煤层的非密集建筑条件下的适应性。

(4) 煤系地层采后岩层移动与破坏规律复杂，充填作业时空受限。

金属矿脉及其顶底板一般都属于硬岩，矿石被采出后留下的地下空间在相当长时间内可以保持稳定，因此，其充填的空间非常规则和完整，而且充填的顶板岩体运动控制十分简单，基本可以实现采矿与充填作业的分离，充填与采矿作业相互干扰较小。而煤炭资源分布在层状沉积岩层中，采用长壁垮落法开采时采空区覆岩随采随垮，难以维护充填所需的空间与通道，而顶板岩体运动控制也困难，可进行充填作业的时间极短。煤矿充填与采矿作业相互干扰严重。

1.3.2 充填采煤方法分类

充填开采是煤矿绿色开采技术体系的主要内容之一，因其对岩层扰动小，具有控制岩层移动与地表沉陷的作用，是解决煤矿开采环境问题和“三下一上”（建筑物下、铁路下、水体下和承压含水层上）压煤开采问题的有效途径。近百年来，国内外煤炭企业和科研单位为了控制地表沉陷并实现在建筑物下采煤，逐渐发展并形成包括充填开采、联合开采、协调开采、条带开采、房柱式开采和离层区注浆开采等多种开采方法。

煤矿充填开采方法按充填介质类型及其运送时的物相状态，可以分为水砂充填、膏体充填、矸石充填、高水材料充填。

按照运送充填材料动力不同，可分为自重充填、风力充填、机械充填、水力充填。自重充填，即利用充填料的自重沿管、槽或巷道将充填料送至采空区；风力充填，即利用压缩空气为动力沿管道或借助风力充填机将充填料运送至采空区；机械充填，即利用专用投掷机将充填物料抛至采空区。上述3种方法的充填料一般都是干的固体松散废弃物，所以又统称为干式充填。水力充填，是利用水为动力沿管道将充填料充入采空区。水力充填按充填料浆的浓度大小，又可分为低浓度充填、高浓度充填和膏体充填。按充填料浆是否胶结，煤矿充填开采又可分为胶结充填、非胶结充填。

按充填位置，煤矿充填开采方法可分为采空区充填，即在煤层采出后顶板未垮落前的采空区域进行充填；垮落区充填，即在煤层采出后顶板已垮落的破碎矸石中进行注浆充填；离层区充填，即在煤层采出后覆岩离层空洞区域进行注浆充填。一般情况下，采空区充填宜采用高浓度或膏体的胶结充填，离层区充填和垮落区充填宜采用低浓度胶结充填。

按充填量和充填范围占采出煤层的比例，煤矿充填开采方法可分为全部充填与部分充填。全部充填开采即在煤层采出后顶板未垮落前，对所有采空区域进行充填，充填量和充填范围与采出煤量大体一致；部分充填开采，是相对全部充填而言的，其充填量和充填范

围仅是采出煤量的一部分。

充填采煤方法的分类如图 1-5 所示。

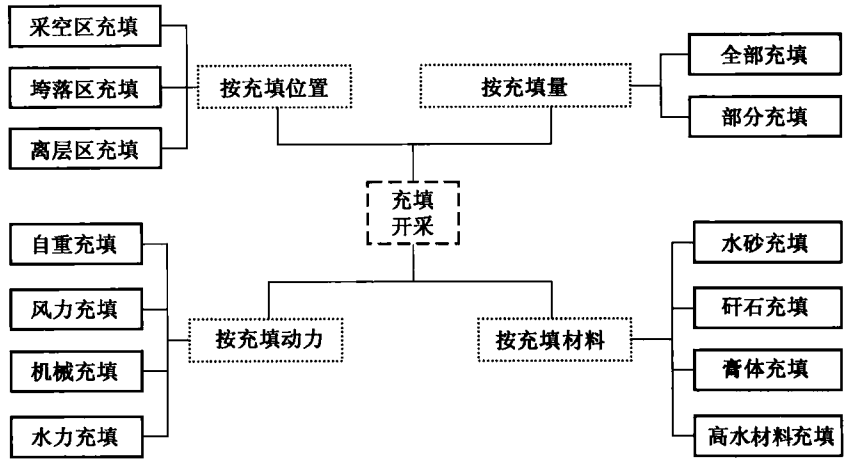


图 1-5 充填采煤方法分类

1.4 传统充填技术与现代充填技术

从我国煤矿充填发展过程来看，充填采煤技术可分为传统煤矿充填技术和现代煤矿充填技术。

1.4.1 传统煤矿采空区充填技术

1.4.1.1 水力充填

水力充填是采用水力输送方式，通过充填管路将充填料浆送入采空区进行充填的煤矿采空区充填工艺。

水力充填由于采用管道输送，故对充填材料的最大粒径有所限制，否则管道易被堵塞。同时要求充填材料遇水后不发生崩解，能够迅速沉淀，细料不能过多。常用的水力充填材料有碎石、砂卵石、山砂、河砂和工业废渣。水力充填采煤法在阜新、辽源、鹤岗、鸡西、淮南等矿区得到应用，并成功解决了“三下”采煤问题。

1.4.1.2 粉煤灰充填

我国从 1978—1979 年在山东新汶矿务局张庄煤矿进行了高浓度粉煤灰胶结充填随采随充试验，该试验在国内尚属首例，解决了粉煤灰脱水、流失、压缩沉降等关键技术问题，系统充填能力与河砂充填相比提高 50%，无堵管事故。

1.4.1.3 风力充填

风力充填采煤法是利用压缩空气的风压，将充填材料通过垂直管路输送到井下储料仓，然后由普通输送机输送到采空区风力充填机，风力充填机利用风压，通过充填管道将充填材料输送到采空区进行充填。风力充填的主要设备是风力充填机、空气压缩机、充填管和供水管等。

充填机一般设于距工作面 50 ~ 100 m 处。工作面风力充填的关键设备是与其相匹配的液压支架。该液压支架后部设有后梁和尾梁，用以维护充填空间和悬挂风力充填管。充填

工作一般是从充填管出口端开始，后退进行。充填时，充填体被挡板式掩护板隔离。充填前移后，充填体塌落并堆积成自然安息角，由此形成的空间在下次充填时，再予以充满。

1.4.1.4 矸石自重充填

当煤层倾角较大时，采用矸石自重充填法对采空区进行充填。该充填工艺就是用单轨吊车、齿轨车或卡轨车等新型辅助运输工具把矸石由掘进工作面直接运输、倾卸到采空区。

我国大多数煤田以倾斜或急倾斜煤层状态赋存，故当矸石置于采场上部煤层底板时，均不同程度地产生向下的滑动和滚动效应，且其趋势随煤层倾角的增大而增加。因而，从静力学的角度看，矸石自重充填要求煤层的最小倾角为

$$\alpha = \arctan f \quad (1-1)$$

式中 α ——煤层倾角；

f ——物体与斜面间摩擦系数。

实际上，硬度不同的岩石与岩层面间的摩擦系数是不同的，对于中硬岩石，摩擦系数的取值范围为 0.8~1.0。当煤层倾角 $\alpha \geq 45^\circ$ 时，即可满足自重充填的条件。由于充填材料在自重过程中滚动效应的增强，满足自重充填条件的倾角随之减少，为了取得较好的充填效果，煤层倾角要求不小于 30° 。

1.4.1.5 矸石带状充填

矸石带状充填是沿工作面开切眼或推进方向，每隔一定距离垒砌一个矸石带来支撑顶板，以达到减少地表下沉的目的。矸石带状充填有人工砌筑矸石带和矸石袋充填 2 种。其减沉效果取决于垒砌的矸石带能否承受住上覆岩石的压力。矸石带的长轴方向尽量避免与地面建筑物的长轴方向正交，以避免地表扭曲变形对建筑物的影响。

在特定条件下，如薄煤层且夹矸较厚时，可采用矸石带状充填法，该方法可以减少矸石外运量，提高煤质和改善顶板控制。采用炮采工艺的薄煤层工作面、交通不便的边远地区，以及缺煤地区或煤层小于 0.8 m 的缓倾斜煤层及不稳定煤层均可采用此法。

1.4.1.6 传统煤矿采空区充填工艺特点

(1) 水力充填控制顶板、处理采空区的方法在我国有着广泛应用条件，地表减沉效果好于风力充填和矸石自重充填。水力充填回采工作面空气湿润且煤尘少，是特厚煤层开采、“三下”开采、极易自燃煤层开采的较好方法，可以减轻煤炭开采对地面建筑和设施的损害。但由于水力充填需要有专门的充填设备及足够的充填材料，从而使井下回采工序复杂、工作强度大及吨煤成本增高。

(2) 粉煤灰充填存在充填强度低，井下脱水，粉煤灰压缩率较大，井下排水污染环境等问题。

(3) 风力充填与水力充填相比，优点是充填系统较为简单，没有排水、排泥系统，利用矿井掘进矸石充填，可做到矸石不出井。缺点是设备（充填与动力）费用高，管路磨损快，耗电量大，充填密度不及水力充填。风力充填成本为水力充填成本的 1.7~2.5 倍，地表减沉效果不如水力充填。

(4) 自重充填改善了急倾斜近距离煤层开采的顶板控制，可以和多种采煤方法配合使用。充填设备简单，不需要专用设备，对充填材料的要求也不高，可就地取材，一般可将井下矸石或地面砂石材料直接送入采空区。充填后，采场压力降低，工作面可不采用密

集支柱和木垛支护。可不留护巷煤柱、采区隔离煤柱，并且不因煤厚变化而丢煤。但增加了采、运矸石系统和设备，充填成本高，降低回采工效，充填能力低，减沉效果不明显，不如水力和风力充填。

(5) 人工砌筑矸石带的带状充填，充填过程中如遇矸石料不足的情况，需要挑顶取料。挑顶取料减弱了顶板岩层的稳定性，增加了岩梁显著运动的空间，易造成直接顶、基本顶离层下沉。矸石袋充填的带状充填，可采用宽工作面掘进，将掘进后的岩石装袋后砌在巷旁，形成局部充填的矸石带，此充填方法可有效减少地表下沉及地表移动变形，但增加了工人的劳动强度，影响工作面的产量和推进速度。

不同煤矿的采空区充填减沉效果不同，水力充填的减沉效果最好，其次为风力充填、矸石自重充填、矸石带状充填，其地表下沉系数统计见表 1-2。我国部分传统充填采矿法实例见表 1-3。

表 1-2 不同充填方法的地表下沉系数统计

充 填 方 法	地 表 下 沉 系 数	充 填 方 法	地 表 下 沉 系 数
密实水力充填	0.05 ~ 0.08	矸石自重充填	0.45 ~ 0.55
水力充填	0.10 ~ 0.22	矸石带状充填	0.55 ~ 0.7
风力充填	0.4 ~ 0.5	条带开采充填	0.01 ~ 0.04

表 1-3 我国部分传统充填采矿法开采实例

采煤方法和充填方法	地 点	煤 层 条 件	保 护 对 象
倾斜长壁上行水力充填	抚顺胜利矿	倾斜特厚煤层	建筑物
走向长壁水力充填	新汶孙村矿等	缓倾斜厚、中厚煤层	河流
走向长壁水力充填	鸡西滴道九井	缓倾斜薄煤层	火车站、民房
走向长壁水力矸石充填	蛟河乌林立井	缓倾斜厚煤层	水稻田
走向长壁水力粉煤灰充填	新汶张庄矿	缓倾斜厚、中厚煤层	试验
走向长壁风力充填	辽源太信矿三井	缓倾斜厚、中厚煤层	地表
走向长壁风力充填	焦作演马庄矿	缓倾斜厚煤层	村庄
掩护支架矸石自重充填	淮南孔集煤矿	急倾斜中厚煤层	含水砂层
倾斜短壁自重充填	南京青龙山煤矿	急倾斜薄煤层	建筑物
倒台阶长壁矸石自重充填	四望峰煤矿	急倾斜薄煤层	建筑物

1.4.2 现代煤矿充填采煤技术

1.4.2.1 膏体充填采煤技术

膏体充填采煤技术就是把煤矿附近的煤矸石、粉煤灰、河砂、风积砂、工业炉渣、劣质土、城市固体垃圾等在地面加工制作成不需要脱水处理的牙膏状浆体，采用充填泵或重力加压，通过管道输送到井下，适时充填采空区的开采方法。

与金属矿山膏体充填相比，煤矿膏体充填开采具有如下特点：充填与采煤在同一个工作面，充填体构筑方法不同于金属矿山，煤矿需要发展专门膏体充填隔离支架；充填材料强度性能要求不同，煤矿充填数小时后就要求充填体承载；煤矿膏体充填原料主要是煤矸石、坑口电厂低质粉煤灰等，材料品质差，质量波动大。

典型的膏体充填系统由以下 3 部分组成：配料制浆系统、泵送系统和工作面充填子系统。配料制浆系统把煤矸石、粉煤灰、工业炉渣、胶结料和水配制成膏体充填料浆；泵送系统采用充填泵把膏体充填料浆通过充填管路由地面输送到井下采煤工作面；工作面充填子系统将膏体材料充填到后方采空区。典型的膏体充填系统如图 1-6 和图 1-7 所示。

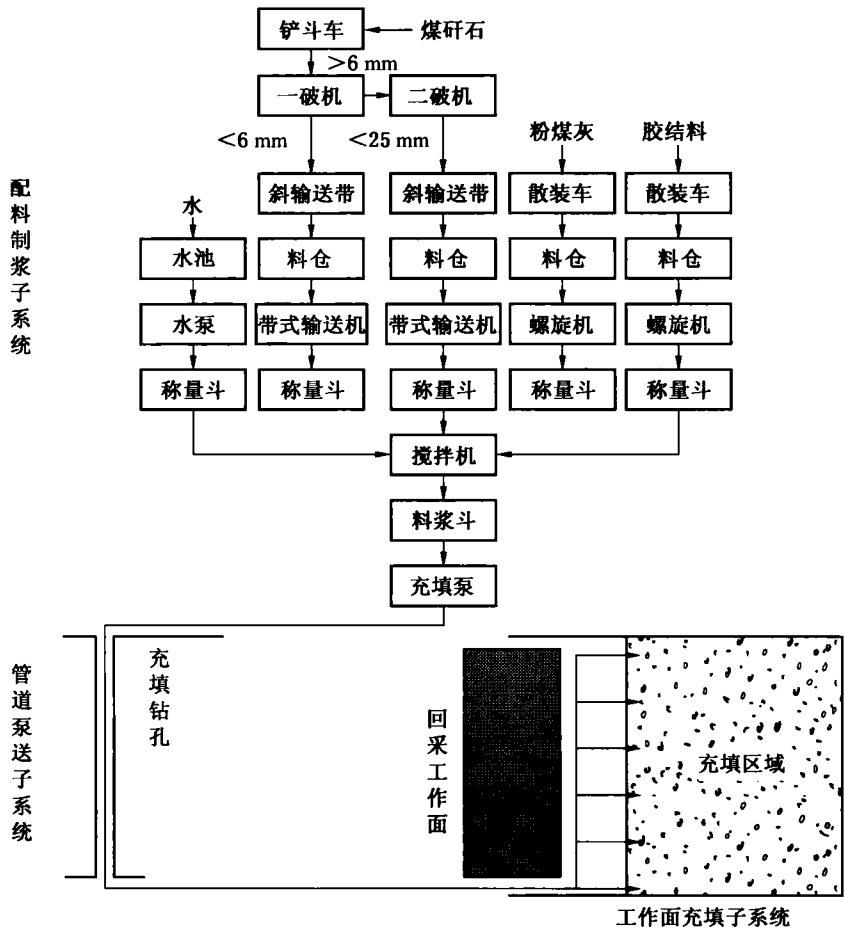


图 1-6 膏体充填系统

膏体充填具有料浆流动性好、密实度高、充填体强度高的优势，故其对岩层移动与地表沉陷的控制效果较好。但其充填系统初期投资较高，一般达 3000 万元左右；吨煤充填成本相对较高，一般达 60 ~ 100 元/t。膏体充填技术在金属矿山已经有近 30 年的发展历史，在煤矿应用最早始于德国，我国煤矿于 2004 年开始在峰峰、焦作、淄博等矿区开展膏体充填采煤试验研究和应用，表 1-4 所列膏体充填采煤技术在部分煤矿中的应用情况。