

国家自然科学基金项目 (51404270)

中央高校基本科研业务费专项资金项目 (2011QZ06)

错层位巷道布置 矿山压力与 围岩控制

■ 王志强 张玉波 张俊文 著



煤炭工业出版社

国家自然科学基金项目 (51404270)

中央高校基本科研业务费专项资金项目 (2011QZ06)

错层位巷道布置矿山压力与 围岩控制

王志强 张玉波 张俊文 著

煤炭工业出版社

·北京·

图书在版编目 (CIP) 数据

错层位巷道布置矿山压力与围岩控制 / 王志强, 张玉波, 张俊文著. -- 北京: 煤炭工业出版社, 2015
ISBN 978-7-5020-4833-4

I. ①错… II. ①王… ②张… ③张… III. ①煤矿开采—巷道布置—矿山压力 ②煤矿—巷道围岩—围岩控制
IV. ①TD822 ②TD326

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 060786 号

错层位巷道布置矿山压力与围岩控制

著 者 王志强 张玉波 张俊文
责任编辑 张江成
责任校对 李新荣
封面设计 王 滨

出版发行 煤炭工业出版社 (北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)
电 话 010-84657898 (总编室)
010-64018321 (发行部) 010-84657880 (读者服务部)
电子信箱 cciph612@126.com
网 址 www.cciph.com.cn
印 刷 煤炭工业出版社印刷厂
经 销 全国新华书店

开 本 787mm × 1092mm¹/₁₆ 印张 12 字数 285 千字
版 次 2015 年 4 月第 1 版 2015 年 4 月第 1 次印刷
社内编号 7688 定价 36.00 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, 电话: 010-84657880

内 容 提 要

采煤方法是煤矿生产与采矿学科发展的主题和中心,吸纳和应用现代高新技术的先进采煤方法,将促进煤矿生产向安全、经济、高采出率的方向发展,推动采矿学科的不断进步。本书在介绍厚煤层错层位巷道布置采全厚采煤法与三段式回采工艺的基础上,对包括巷道与工作面在内的整个采场矿山压力显现规律进行了详细阐述。该采煤法具有煤炭采出率高、安全性好、利于巷道的掘进与维护优点。书中还列举了错层位巷道布置采全厚采煤法在三种典型地质与回采技术条件下的应用成果。

本书可供煤矿工程技术人员、管理人员使用,也可作为相关科研机构科研人员、高等院校师生的参考书。

前 言

采煤方法是煤矿生产与采矿学科发展的主题和中心。1998 年为了解决放顶煤开采技术存在的煤炭采出率低、易自然发火、瓦斯积聚等问题，中国矿业大学（北京）赵景礼教授先后发明了专利技术——“厚煤层错层位巷道布置采全厚采煤法”（专利号 ZL98100544.6）及“厚煤层全高开采的三段式回采工艺”（专利号 ZL200410039575.0）。该专利技术突出表现在上覆岩层已垮落区布置卸压巷道，使回采巷道形成三维立体化设计，进一步丰富了巷道设计理论与矿山压力控制理论。

目前，错层位立体化巷道布置采全厚采煤法，可以分别用负煤柱、零煤柱和留煤柱的形式，全面取代国内现有平面设计的综放巷道系统，这是中国矿业大学（北京）在厚煤层放顶煤开采领域占据国内外技术领先地位的一项重要技术支撑。

在专利技术的试验与推广中，对于综放完全无煤柱开采，以多项负煤柱开采工程实例，突破了原煤炭部“九五”攻关项目中确定的 5 m 煤柱即为无煤柱的界限，实现了厚煤层综放的完全无煤柱开采，大幅度提高了煤炭资源回收率，为今后推广完全无煤柱开采提供了成功范例；在涉及防倒、防滑的较大倾角煤层综放开采中，普遍地使用了错层位巷道布置采全厚采煤法这一发明专利，突破了原煤炭工业部《综合机械化放顶煤开采技术暂行规定》第五条中“关于 35° 以上煤层应使用水平分层综放的规定”，显著提高了综放开采的技术经济效益与煤炭采出率；在与俄罗斯专家合作治理华丰煤矿冲击地压的工作中，结合应用错层位负煤柱技术，取得了冲击地压防治技术的根本性变革，解决了该矿的冲击地压灾害，实现了“有震无灾”。

笔者之一自 2003 年攻读硕士研究生开始，师从于赵景礼教授，开始接触并逐步深入研究错层位巷道布置采全厚采煤法。对于笔者而言，该技术具有特殊的意义，在该技术的研究过程中，先后顺利戴上了硕士帽与博士帽。在博士后工作站期间，笔者跟随莫斯科国立矿业大学的巴图金娜与巴图金两位教授在新汶华丰矿开展区域动力规划研究动力灾害的发生机理与防治技术，

最终得到了错层位巷道布置系统可有效降低动力灾害这一重要结论。这一研究成果对于我国普遍面临的深部开采具有重要的价值。

值此赵景礼教授当选为俄罗斯自然科学院外籍院士之际,笔者有幸完成书稿并出版,谨以此书向赵景礼教授表示祝贺!

本书前5章,对错层位巷道布置采全厚采煤法的矿山压力理论研究成果与围岩控制方法进行了介绍与说明,包括巷道布置与回采工艺、安全性分析、错层位巷道不同搭接结构的顶板力学模型、上覆岩层运动的特点以及错层位巷道布置的矿山压力显现规律。

在第6章中,应用错层位巷道布置采全厚采煤法矿山压力理论研究成果,在确保控制好采场围岩的基础上,解决了镇城底煤矿8号煤层综放开采的煤炭采出率低的问题,华丰煤矿4号煤层6.2 m厚大倾角煤层上巷冲击地压的防治问题,以及官地矿中厚8号(部分残煤)与中厚9号近距煤层的安全合采问题。

本书的成稿得到了中国矿业大学(北京)资源与安全工程学院、力学与建筑工程学院土木工程博士后流动站的领导与老师的关心和指导,在此表示衷心感谢。本书的部分成果是在与许多煤矿合作中取得的,在此感谢西山煤电集团及其所辖官地矿、镇城底矿,山东新汶集团及其所辖华丰煤矿的领导与技术人员的大力支持。

本书中的部分计算机数值模拟实验由马学京硕士与朱丙龙硕士完成,室内相似模拟实验由学术团队集体完成,在此一并表示感谢。

由于笔者水平有限,缺点和错误在所难免,敬请批评指正。

作者

2015年1月

目 录

1 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 厚煤层开采方法研究现状	2
1.3 长壁工作面开采矿压理论研究现状	15
1.4 本章小结	19
2 厚煤层错层位巷道布置采全厚采煤法	20
2.1 厚煤层错层位巷道布置	20
2.2 回采工艺特点	24
2.3 安全性分析	28
2.4 本章小结	33
3 错层位巷道布置采全厚采煤法顶板力学模型	34
3.1 采场顶板的力学模型	34
3.2 煤柱承载与稳定性研究	36
3.3 基本顶断裂前后的弹性薄板力学模型	45
3.4 本章小结	66
4 错层位巷道布置覆岩运移特征	68
4.1 覆岩破坏的发育特征	68
4.2 覆岩破坏的发育规律	70
4.3 覆岩破坏和地表破坏的连通性	70
4.4 影响导水断裂带发育的主要因素	71
4.5 错层位巷道布置采全厚采煤法覆岩运移规律	72
4.6 本章小结	81
5 错层位巷道布置采场矿山压力显现规律	82
5.1 错层位巷道力学模型与支护	83
5.2 错层位巷道布置工作面矿山压力显现规律	86
5.3 错层位顶煤破碎机理与运移规律	95
5.4 本章小结	101

6 错层位巷道布置采全厚采煤法的应用	102
6.1 镇城底矿 8 号煤层错层位巷道布置	102
6.2 华丰煤矿 4 号煤层错层位巷道布置	122
6.3 官地矿近距残煤复采 8 号、9 号煤层错层位巷道布置	138
6.4 本章小结	179
参考文献.....	180

1 绪 论

1.1 概述

煤炭是我国能源的主体,在《国家能源中长期发展规划纲要(2004—2020年)》明确指出“坚持以煤炭为主体,电力为中心,油气和新能源全面发展的能源战略”。近年来我国经济发展实际情况也表明,国民经济的快速发展对煤炭的需求日益增加,在我国一次能源消耗中煤炭约占70%的比重,预计2050年仍将保持50%以上。因此,受资源条件、经济状况和科技发展等因素影响,煤炭在当前及今后相当长的一段时间内始终是我国最主要的一次能源。与世界人均煤炭资源相比,我国人均占有量尚不到世界平均水平的1/2。有关部门曾对现阶段进行预测得出,国民经济年均增长7%,煤炭需求将每年增长2000万t。然而近年来的煤炭生产情况大大超过了这个预测,具体如图1-1所示。

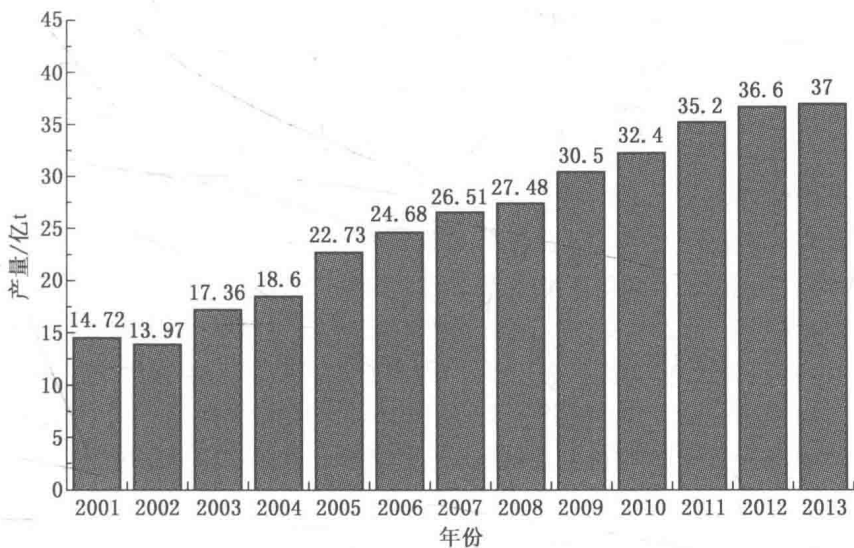


图1-1 中国煤炭历年产量

由图1-1可见,2002年煤炭产量为13.97亿t,2003年产量虽然增至17.36亿t,但缺口仍然较大,致使一些地方冬季储煤严重不足,甚至造成一些电厂由于缺少能源而被迫停机限电。2004年,全国煤炭市场煤价持续走高,市场紧俏,最终导致在夏季就出现较大范围的限电区域。2006年,煤炭产量再创新高。市场的需求以及煤炭生产的丰厚利润,促使煤矿超能力生产,导致煤质下降,煤炭采出率降低,安全隐患增加。据煤炭工业协会统计,2007年我国煤炭产量达到26.51亿t,2013年我国煤炭产量达到37亿t,平均年增

长量为 1.77 亿 t。

20 世纪 90 年代, 我国的原煤生产工效体现出成倍增长的特点, 但是煤炭资源的损失同样也在增加, 采区采出率整体表现出下降趋势。这主要是由于厚煤层的采出率下降引起的。1990—2000 年间薄煤层采出率有显著提高, 从 84.05% 提高到 89.77%; 中厚煤层采出率稳中有升, 从 79.58% 增至 79.73%; 而厚煤层采出率出现下降, 由 75.81% 降低到 75.37%, 并因此而导致综合采出率下降, 由 78.08% 降至 77.97%。这里仅是原国有重点煤矿的统计数据, 连同地方煤矿的统计在内, 资源损失更大, 采出率进一步降低。

我国厚煤层储量丰富, 厚煤层储量在我国煤炭储量中约占 44%, 其产量约占原煤产量的 45%, 煤层倾角小于 15° 的占 80.38%, 煤层厚度大于 3.5 m 的占 43.17%, 很多矿井赋存 3.5~6.0 m 的煤层, 且均为主采煤层。厚煤层的开采技术和开采效益, 对我国的煤炭开采技术和煤炭企业的发展起着至关重要的作用。因此, 提高厚煤层采出率对我国煤炭综合采出率的提高具有深远影响。历史上, 我国开采厚煤层的方法主要有 3 种, 即分层开采、放顶煤开采, 以及大采高整层开采。

从 20 世纪 80 年代初期, 我国开始试验研究放顶煤开采。相对于曾作为我国主导技术的分层综采方法而言, 综合机械化放顶煤开采方法具有高产、高效的特点。由于在厚煤层开采方面, 综合机械化放顶煤开采技术有着其他开采方法无法相比的技术、经济优势, 因此这一技术在我国得到了广泛的推广应用。目前, 仅综合机械化放顶煤工作面在我国保守来看就有 200 个以上。但是, 区段间留设护巷煤柱以及端头过渡支架不放顶煤, 严重制约了综合机械化放顶煤采煤方法采出率的进一步提高。

目前, 国内关于小煤柱留设尺寸的研究工作已日趋成熟, 然而厚煤层一次采全高条件下的煤柱留设尺寸不可能一味减小。传统意义上煤柱留设的目的包括维护巷道稳定性、安全回采, 以及确保地表下沉不超过允许的临界值。煤柱留设的宽度一般需要考虑 2 个问题, 一是留设煤柱的几何尺寸(宽高比)应保证煤柱具有长期的稳定性, 二是由煤柱间隔的两个工作面不会对地表移动产生叠加影响。如果护巷煤柱选择不当, 不仅造成巷道返修率高、维护费用大, 而且还会大大影响煤矿的安全生产和矿井的技术经济指标。

目前, 煤炭工业发展中面临的突出矛盾和问题主要有煤炭资源回收率问题、安全保障问题、环境污染问题、经济效益问题、全面协调和可持续发展问题。其中, 提高煤炭资源回收率是煤炭资源合理开发利用, 以及煤炭工业集约化发展的重要课题, 也是发展节约型社会, 解决能源紧缺的关键所在。因此, 如何确保在安全、高效回采条件下进一步提高煤炭的采出率, 将是改善我国目前煤炭工业现状的主要方向。

1.2 厚煤层开采方法研究现状

1.2.1 厚煤层倾斜分层长壁下行垮落采煤法

我国在厚煤层倾斜分层走向长壁下行垮落采煤法的发展中积累了丰富的经验。从 1950 年推行长壁式采煤方法开始, 就在厚煤层中试验分层开采。阳泉矿区先后试验了用煤皮假顶与木板假顶分层开采丈八煤, 后改用竹笆假顶, 1953 年使用金属网假顶开采成功。1954 年, 大同矿区在坚硬顶板下顺利实现了金属网假顶下开采厚煤层。1974 年, 开滦唐山矿采用金属网假顶综合机械化采煤获得成功。从此, 厚煤层分层综采工艺不断发展, 在全国各大矿区得到广泛应用, 为综采放顶煤开采奠定了基础, 为进一步革新采煤方

法提供了技术支持。

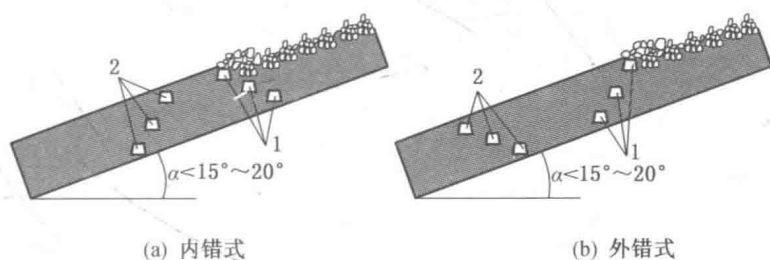
倾斜分层长壁采煤法是我国长期应用的一种厚煤层采煤方法。通常把近水平、缓倾斜及中倾斜厚煤层用平行于煤层层面的斜面划分为若干个 $2.0 \sim 3.0 \text{ m}$ 的分层，然后逐层开采。根据煤层倾角不同，可以采用走向长壁或倾斜长壁两种采煤方法。

分层间一般采用下行开采顺序，垮落法处理采空区，上分层开采后，以下的各分层在已垮落的顶板下开采。为确保下分层开采安全，上分层一般要铺设人工假顶或形成再生顶板。

1.2.1.1 回采巷道布置

在同一区段范围内，上、下两个分层同时开采时，称为“分层同采”，反之，称为“分层分采”。分层分采可分为两种形式，一种是在同一区段内，待上分层全部采完后，再掘进下分层的回采巷道，而后回采；另一种是在同一采区内，待各区段上分层全部采完后，再掘进下分层的回采巷道并回采，俗称“大剥皮”。

厚煤层分层开采的回采巷道布置如图 1-2 所示，图 1-2 中厚煤层分 3 个分层。



1—上分层运输巷；2—下分层回风巷

图 1-2 厚煤层分层开采回采巷道布置

1. 倾斜布置

如图 1-2 所示，各分层平巷是按 $25^\circ \sim 35^\circ$ 角呈斜坡式布置，一般适用于倾角小于 $15^\circ \sim 20^\circ$ 的煤层，这种布置方式有利于从分层运输平巷向下溜煤。

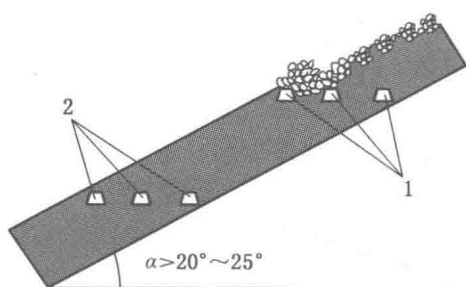
上分层运输巷与下分层回风巷之间常留有煤柱，其尺寸视煤层厚度、倾角、煤质松软程度等因素而定，一般情况下不小于 15 m ，或更大一些。

相对于中下分层工作面长度，倾斜布置又分为内错式和外错式。内错式布置的中下分层平巷内错 $0.5 \sim 1$ 个巷道宽度，使工作面变短，煤柱加大，巷道在采空区下方沿假顶掘进，巷道容易维护，但也容易向上漏风。

外错式布置是将中下分层平巷置在上分层平巷的外侧，位置处于上分层煤柱侧向固定支承压力明显影响范围内，这使平巷维护困难，并且在在中下分层工作面的上、下出口处没有人工假顶，导致采煤和支护较为困难，这种布置方式应用较少。

2. 水平布置

分层平巷水平布置如图 1-3 所示，各分层平巷布置在同一水平标高上，煤柱呈平行四边形。这种布置方式有利于材料运输、行人和通风。分层运输平巷处于上分层采空区下方，压力小，易于维护。但分层回风平巷位于煤柱下方，承受固定支承压力作用，维护比



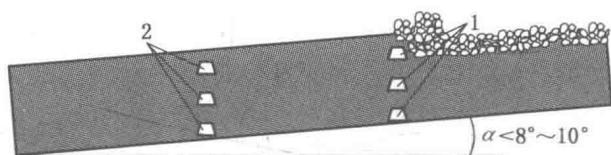
1—上分层运输平巷；2—下分层回风平巷

图 1-3 分层平巷水平布置

较困难。对于煤柱尺寸，应注意使上、下分层平巷间的垂距不小于 5 m，因此，一般用于倾角大于 $20^{\circ}\sim 25^{\circ}$ 的煤层，否则煤柱太大。

3. 垂直布置

分层平巷垂直式布置如图 1-4 所示，各分层平巷沿垂直方向呈重叠式布置，煤柱呈近似矩形。这种布置方式在煤层倾角小于 $8^{\circ}\sim 10^{\circ}$ ，特别是在近水平厚煤层条件下，可减小煤柱尺寸，分层平巷受支承压力的影响也较小，易于维护。同时，下分层平巷沿上分层平巷铺设的假顶掘进，容易掌握掘进方向。



1—上分层运输平巷；2—下分层回风平巷

图 1-4 分层平巷垂直式布置

在图 1-4 中，回采巷道可以双巷布置，也可以单巷布置，沿空掘巷。

图 1-5 为分层开采内错式巷道布置示意图，下分层回采巷道与上分层两巷内错一巷布置，由于避开了两侧实体煤产生的支承压力影响，因此对巷道的掘进与维护有利。

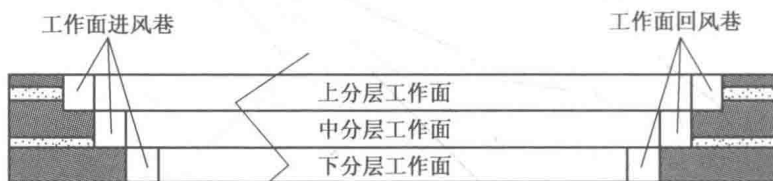


图 1-5 分层开采内错式巷道布置示意图

1.2.1.2 采煤方法参数

1. 倾斜分层厚度

根据我国目前技术条件，由于受人工挂金属铰接顶梁和支设单体液压支柱限制，采用普采工艺时分层厚度一般在 2 m 左右，最大不超过 2.4 m；采用综采工艺时一般为 3 m 左右，最大不超过 3.5 m。特厚煤层采用分层综放工艺时，分层厚度一般可达 12 m 左右。

由于煤层厚度常发生变化，而人工假顶或再生顶板的下沉量都较大，必须保证底分层要有足够的采高，使采煤机在该分层上正常工作。为控制分层采高，有的矿井开采第一分层时，在开切眼、上下平巷，以及工作面每隔 30 ~ 50 m，向底煤方向钻孔探测煤层厚

度,以决定分层数和分层采高。

2. 工作面长度

分层开采的工作面长度确定方法与单一长壁采煤法相同,但要考虑增加铺网工序和网下作业带来的困难,可略短一些。由于厚煤层多有自然发火倾向,为防止煤层自燃,工作面必须加快推进速度,要保证有足够的月进度。因此,工作面不宜过长。

1.2.1.3 倾斜分层下行垮落采煤法工艺特点及应用

1. 顶分层采煤工艺特点

顶分层采煤工作面的顶板是煤层的原生顶板,底板是煤层,采煤工艺与中厚煤层长壁采煤法基本相同。为了隔离顶分层开采后垮落的矸石与煤层,并为下分层安全开采创造条件,顶分层开采时增加了为下分层铺设人工假顶或形成再生顶板的工作。

我国煤矿中采用的人工假顶主要有竹笆或荆笆假顶、金属网假顶或塑料网假顶。

1) 竹笆或荆笆假顶

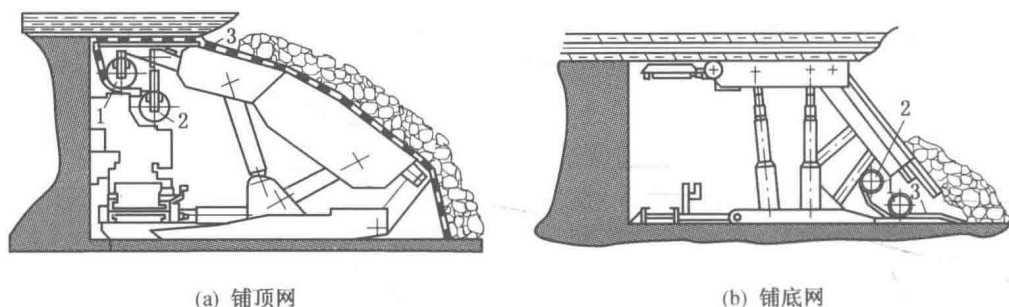
我国有些矿区,特别是南方的一些矿区,就地取材,采用竹笆或荆笆作为人工假顶材料。竹笆是用竹片或细竹竿经铁丝编织而成的笆片,宽 $0.7\sim 1.0\text{ m}$,长 $2.2\sim 2.4\text{ m}$ 。荆笆是用荆条交织编成的笆片。竹笆或荆笆假顶只能在底板上铺设,一般沿工作面倾斜由下向上铺设,笆片之间相互搭接,搭接处用铁丝连接,接头要固定在底梁上,以防笆片滑落。当垮落在采空区中的矸石具有较好的胶结性能时,也可不用底梁而改铺双层笆片。除最下部的一个分层外,每一分层都需铺设。竹笆或荆笆假顶的整体性较差,强度较低,假顶下允许的悬顶面积较小,易腐烂失效,故逐渐应用较少。

2) 金属网假顶

金属网假顶一般用 $12\sim 14$ 号镀锌铁丝编织而成。为加强网边的抗拉强度,常用 $8\sim 10$ 号铁丝织成网边。常见的网孔形状有正方形、菱形及蜂窝形等。网孔尺寸一般为 $20\text{ mm}\times 20\text{ mm}$ 或 $25\text{ mm}\times 25\text{ mm}$ 。金属网假顶强度较高,柔性大、体积小、重量轻,便于运输和工作面铺设,且耐腐蚀、使用寿命长,铺设一次可服务几个分层。因此,金属网假顶在分层工作面得到了广泛应用。由于菱形网在承载性能方面优于相同直径铁丝编成的经纬网,菱形网使用较多。普采和炮采工作面的金属网要人工铺设,综采工作面的金属网可以人工铺设或由机械铺设。金属网可沿工作面底板铺设,也可沿工作面顶板铺设。人工铺顶网时,紧跟采煤机割煤后暴露的顶板,将金属网沿平行于工作面的方向展开,用铁丝与原先的金属网连成一体。金属网长边搭接,短边对接。长边用 12 号或 14 号铁丝单丝或双丝每隔 80 mm 或 100 mm 连一扣,连好网后移液压支架或挂梁支柱。与铺底网相比,铺顶网可以同时服务于上下分层工作面的顶板管理,顶板较破碎的情况下效果明显。铺顶网工作面放顶时,金属网将采空区与工作空间隔开,可阻挡采空区矸石窜入工作面,工作面的浮煤均位于金属网下,不与顶板矸石混杂,在下分层开采时,这些煤可一同采出。

在综采工作面利用液压支架机械化铺设金属网工艺技术有了很大发展。机械化铺网有两种方式,第一种是铺设顶网,一般是在液压支架的前探梁或顶梁下增设托架,如图1-6所示。将金属网卷装在托架上,网从托梁前端绕过后被紧压在顶板上,当液压支架前移时,网卷自行展开,一卷网铺完后再换装上新网卷,并将新网的网边与旧网的网边连接。在支架托梁下方手工完成联网工作,铺设的顶网长边垂直于工作面倾斜方向。图1-6a中网卷2为架间网,其宽度与支架宽度相等,网卷1为架中网,其宽度比网卷2窄约 0.5 m ,

两网互相搭接。铺顶网方式的主要缺点是联网工作必须在靠近煤壁的托梁下方由手工完成,联网效率较低。由于网在靠近煤壁处下垂,当采高较低时,托梁下方没有足够的空间安置金属网卷,或金属网卷妨碍采煤机顺利通过。



1、2—网卷; 3—金属网
图1-6 液压支架机械化铺网

第二种是利用液压支架铺底网。支架后端掩护梁下(有的支架则在支架底座前端)安设有架间网及架中网的网卷托架,前后排网卷交错间隔安放,网片长边搭接150~200 mm,短边搭接约500 mm,支架前移时,网卷在底板上自行展开,如图1-6b所示。联网工作在掩护梁下进行,与采煤工作互不干扰。

目前,已在国产液压支架上设计机械压扣式联网机构,可取消手工联网,实现铺联网全部机械化。

3) 塑料网假顶

塑料网假顶是由聚丙烯树脂塑料带编织而成,其铺设方法与金属网假顶基本上相同。塑料网带宽13~16 mm,厚度为0.8~0.9 mm,塑料网网片通常有5.6 m×0.9 m和2.0 m×0.9 m两种尺寸。塑料网较轻,质量只有相同面积金属网的1/5左右,具有无味、无毒、阻燃、抗静电、柔性大、耐腐蚀等优点,进一步降低成本后,将具有广泛推广应用价值。

4) 再生顶板

顶分层开采后,含泥质成分较高的直接顶垮落后,在上覆岩层的压力作用下,加上顶分层回采时向采空区注水或灌浆,采空区的垮落矸石经过一段时间后就可重新胶结成为具有一定稳定性和强度的再生顶板。下分层即可在再生顶板下直接回采,不必铺设人工假顶。再生顶板形成的时间和整体性与岩层的成分、含水性、顶板压力等因素有关,一般至少需要4~6个月,有的甚至需要一年的时间。上下分层采煤工作面的滞后时间应大于上述时间。

顶分层开采期间为形成再生顶板,需要增加向采空区注水或灌黄泥浆工作。国外有的矿井采取向采空区浇灌化学胶结剂的方法,以促进再生顶板形成和提高其整体性。再生顶板提高了劳动生产率,降低了采煤成本,改善了顶分层下各分层的安全条件,故在条件适宜时,应充分利用。

如果煤层中含有厚度大于0.5 m的夹石层,且分布较稳定,位置对分层也较合适时,

也可利用它作为分层假顶。

如同一区段内采用上、下分层同采时,采煤工作面必须保持一定的错距。错距主要取决于上分层采过后顶板垮落及稳定状况,下分层工作面必须在上分层采空区顶板岩层垮落、运动基本稳定后才能超前掘进及回采,以确保生产的安全。通常下分层采煤工作面滞后时间不少于3~4个月。直接顶厚度较小,基本顶来压较强烈的工作面,应有较大错距,即要有较长的时间间隔;而直接顶厚度大、垮落密实、基本顶来压不明显的工作面,可适当缩短错距和间隔时间。第二分层以下的各分层工作面,由于上覆岩层是已垮落的岩体,错距也可适当缩短。在自然发火危险较严重的煤层中,采空区需要采取黄泥或粉煤灰灌浆等防火措施,工作面错距应适当加大,以满足防火技术措施与工艺的要求。而在应用再生顶板的工作面中,由于再生顶板的形成通常需要半年到一年以上的的时间,因此,一般不采用分层同采。

2. 假顶下采煤工艺特点

1) 假顶下的支护及顶网管理

在人工假顶或再生顶板下采煤时,顶板是已垮落的岩石,因此周期来压不明显,顶板压力比上分层小,顶板管理的关键是维护好破碎顶板。

假顶下护好破碎顶板的技术措施:选用浅截深采煤机,并及时支护。在单体液压支柱工作面,一般采用正倒悬臂错梁齐柱支护方式,割煤后及时挂梁支护。当工作面片帮严重时,为防止顶网下沉冒顶,要提前在煤壁预掏梁窝,挂上铰接顶梁,打贴帮柱进行超前支护。

我国有的煤矿采用Ⅱ型长钢梁组成对棚在采煤工作面交替迈步前移护顶,如图1-7所示,这种钢梁对金属网假顶有较好的整体支护性能,能及时支护裸露的顶板。在移梁时有相邻顶梁支护顶板,可较好解决中下分层顶网下沉及出现网兜等问题。

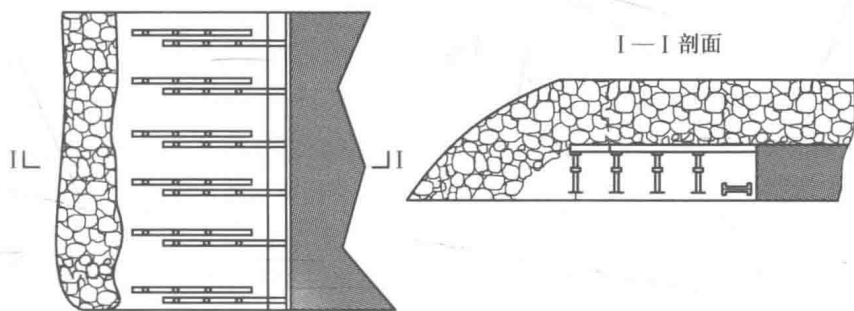


图1-7 Ⅱ型长钢梁对棚网下支护

对于假顶下的综采工作面,宜选用掩护式或支撑掩护式支架,并尽量缩小端面距。采煤机割煤后,应紧追采煤机擦顶移架,及时支护,其滚筒距顶网不应小于100 mm,以免在煤壁处出现网兜或割破顶网。发现金属网有破损时要及时补网。

2) 假顶下的放顶工艺

由于人工假顶或再生顶板易下沉,放顶时通常采用无密集支柱放顶。假顶在工作面放

顶线处下落时对工作面支架的牵动力较大,往往会造成支架倾斜、歪扭,甚至造成支架被大面积推倒的冒顶事故。因此,应注意加强工作面单体液压支柱的稳定性:一般可沿放顶线在最后一排支柱下支设单排或双排抬棚,或打斜撑,以抵抗金属网下落时对支架产生的水平推力。放顶时可用木斜撑顶网,使其缓慢下沉到底板。沿放顶线倒悬臂铰接顶梁的梁头容易挂破顶网,在放顶前应先用戴帽点柱将其替换。

初次放顶时应特别注意加强对顶网的管理,开帮进度不宜太大,工作面可架设适量的木垛、抬棚、斜撑等,以增加支架的稳定性。为防止金属网对支架产生过大的拉力,可先在底板上加铺一层底网,然后沿放顶线将顶网剪断,使顶网沿放顶线呈自然下垂状态。

1.2.1.4 厚煤层倾斜分层长壁下行垮落采煤法适用性评价

倾斜分层下行垮落采煤法有效地解决了缓倾斜及倾斜厚煤层开采时的顶板支护和采空区处理问题,有利于在此类煤层条件下实现安全生产,提高资源采出率及获取较好的采煤工作面技术经济指标。目前,这种采煤方法在我国已具有成熟的采煤工艺、巷道布置及工作面技术管理等方面的经验。用于分层工作面的机械化采煤、运输和支护设备在近年来已有较大发展,新型假顶材料的研制、假顶和再生顶板的管理技术、分层开采时的通风及防火技术均取得了显著进展。因此,这种采煤方法在一定历史时期是我国开采缓倾斜及倾斜厚煤层的主要方法。一些矿井应用这一采煤方法成功地开采了厚度达 15 m 的煤层,有的矿井采用倾斜分层金属网假顶下行垮落采煤法连续开采了 12~15 个分层,开采总厚度达 25~30 m。更为普遍的情况是用综采分层开采 6~7 m 的厚煤层,只采 2 个分层。在大同、兖州、阳泉、潞安、西山等矿区都曾取得良好的技术经济效益。较大的分层厚度可以减少分层数目,降低生产成本,有利于实现工作面高产。2000 年原国有重点煤矿年产 150 万 t 以上的 14 个综采队,平均采高为 3.47 m。因此,当煤厚 6~7 m 时,综采最好分两层,这一条件下采用新的采煤方法较容易实施。倾斜分层下行垮落采煤法主要适用于煤层顶板不十分坚硬,易于垮落,直接顶具有一定厚度的缓倾斜及倾斜厚煤层。

分层开采的主要缺点是铺设假顶工作量大,巷道维护较困难,生产的组织管理工作较复杂,在开采易自燃煤层时,自燃问题比较严重,需采取特殊措施。随着采煤生产技术的发展,上述问题已在不同程度得到了解决。但是,由于该采煤方法一次采出厚度小,因此在厚煤层开采中无法实现单个工作面的高产高效。

1.2.2 大采高综采技术国内外研究现状

大采高一次采全厚采煤法是采用机械一次开采全厚达 3.5~6 m 的长壁采煤法,受工作面装备稳定性限制,可用于倾角较小的煤层;受采高的限制,一般采用综采工艺,如图 1-8 所示,我国一般采用沿顶布置回采巷道。



图 1-8 大采高综采示意图

大采高综采工作面一般装备成套设备,其特征是大功率采煤机、强力双中链刮板输送

机与双伸缩立柱掩护式液压支架相配套。

2002 年以来,我国晋城寺河煤矿开采倾角 $3^{\circ} \sim 5^{\circ}$ 、采高 5.5 m 的厚煤层,配套装备:SL-500 型电牵引采煤机,最大采高 5.6 m,截深 0.865 m,牵引速度 $0 \sim 31.8$ m/min,装机功率 1850 kW,总重 88 t;两柱支撑掩护式支架,支撑高度 2.55 ~ 5.5 m,架中心距 1.756 m,工作阻力 8638 kN,支护强度 0.74 ~ 0.91 MPa;PF4/1132 型刮板输送机,中部槽长 1.75 m,电机功率 700 kW,运输能力 2500 t/h。

2007 年,我国研制了最大支撑高度为 6.3 m 的 ZY10800/28/63 型液压支架,用于神东矿区采高为 6 m 的厚煤层开采,该支架如图 1-9 所示。

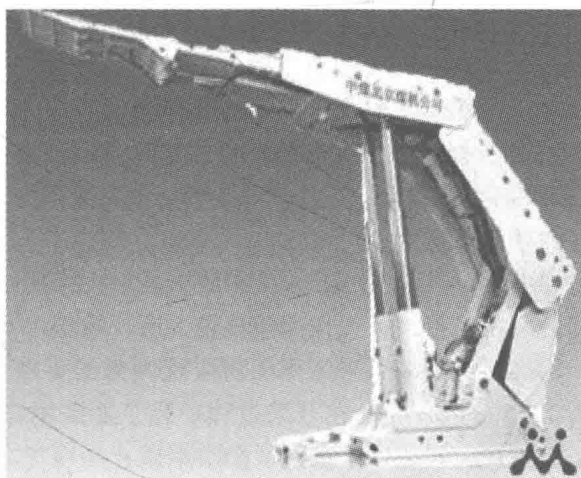


图 1-9 ZY10800/28/63 型液压支架

1.2.2.1 大采高综采工作面矿压显现特点

大采高综采长壁工作面开采后,垮落带高度随采高增大而增加。如垮落的直接顶岩层不能填满采空区,而在坚硬岩层下方出现较大的自由空间。折断后的基本顶岩层往往在靠近直接顶附近难以形成“砌体梁”式平衡,在其回转运动过程中往往对下位岩层和工作面支架形成冲击载荷,并在工作面前方的煤体中形成较高的支承压力,在工作面引起强烈的周期来压。因此,大采高综采工作面基本顶来压更为剧烈,局部冒顶和煤壁片帮现象更为严重,煤壁片帮深度随采高增大而增加。

1.2.2.2 大采高综采工作面工艺特点

大采高综采工作面采煤工艺过程与一般综采基本相同,但由于设备高度大、煤壁易片帮等特点,多采用走向长壁或俯斜长壁采煤法。与一般综采相比,大采高综采采煤工艺有以下特点。

1. 控制初采高度

为了有利于在开切眼中进行大采高液压支架、采煤机、输送机等设备的安装,开切眼的高度一般不宜超过 3.5 m,初采高度与开切眼高度一致。自开切眼开始,工作面保持初采高度推进,待直接顶初次垮落后,将采高逐渐加大至正常采高。若上、下回采巷道高度小于工作面初采高度,可在直接顶初次垮落前,沿平行于工作面方向,先将工作面两端