



综放开采 小煤柱护巷技术研究

ZONGFANG KAICAI
XIAOMEIZHU HUHANG JISHU YANJIU

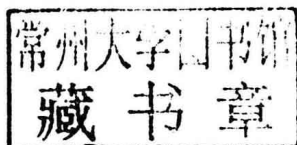
孟秀峰 著



煤炭工业出版社

综放开采小煤柱护巷技术研究

孟秀峰 著



煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

综放开采小煤柱护巷技术研究 / 孟秀峰著. -- 北京: 煤炭工业出版社, 2014

ISBN 978 - 7 - 5020 - 4363 - 6

I. ①综… II. ①孟… III. ①煤矿开采—无煤柱护巷
IV. ①TD322②TD822

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 269569 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
北京市郑庄宏伟印刷厂 印刷
新华书店北京发行所 发行

*

开本 850mm × 1168mm¹/₃₂ 印张 6

字数 136 千字

2014 年 5 月第 1 版 2014 年 5 月第 1 次印刷

社内编号 7195 定价 20.00 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 摘 要

本书首先阐述了综放开采小煤柱护巷和沿空留巷技术研究现状。然后,以具体工程为研究背景,对无煤柱护巷技术进行了理论分析和数值分析,得到小煤柱护巷与沿空留巷两种护巷方式各自特点。最后,以小煤柱护巷支护理论为基础,对小煤柱护巷巷道支护设计及护巷小煤柱注浆加固技术进行论述。

本书可供采矿工程技术人员使用,也可作为大专院校采矿工程、安全工程的本科生、研究生的参考书。

前 言

煤炭是我国的主要能源，分别占一次能源生产和消费的76%和69%，在未来相当长的时期内，我国仍将保持以煤为主的能源消费结构。目前，作为建设节约型社会和实施可持续能源战略的重要举措，煤炭资源的合理开采利用、煤炭资源回收率的进一步提高，以及生态环境保护已经成为我国煤炭工业研究与发展的主要方向。

在我国，厚煤层储量丰富，每年通过井工开采的厚煤层产量占全国煤炭产量的40%~50%。起初，厚煤层开采的主要方法为分层开采，由于开采技术落后，开采工序复杂，各种事故频发；同时，对地质条件的适应性相对较差，使煤炭的实际回收率较低，未能充分发挥厚煤层的储量优势。随着国内外学者对厚煤层开采技术研究的逐步深入，厚煤层综放开采技术在我国的应用日趋成熟，已成为高产高效矿井重要的生产技术之一。煤炭资源的回收率大幅度提高，但仍存在煤柱损失煤量大、工作面端头区域支护难度大等问题。安全高效开采厚煤层关系到国计民生，关系到我国煤炭能源健康、可持续发展，因此，有关厚煤层安全高效开采技术的研究与应用具有重要现实意义。

无煤柱开采技术包括沿空掘巷和沿空留巷。其中，根据煤层赋存情况、地质条件和所采取的技术措施不同，沿空掘巷又可分为以下三种形式，即完全沿空掘巷、留小煤柱护巷、保留部分老巷断面掘巷方式。无煤柱开采技术是一种能够在减少巷

道掘进量、提高资源回收率的基础上,保证工作面安全高效生产的一项先进的地下开采工艺。推进无煤柱开采,有利于实现厚煤层安全高效开采,对生产矿井进行技术改造、缓和采掘关系和延长矿井寿命具有现实意义。

本书以实际工程为研究背景,在对比沿空掘巷小煤柱护巷及沿空留巷这两种无煤柱护巷技术适用性的基础上,对沿空掘巷小煤柱护巷技术在实际中的应用进行了研究,分析了沿空掘巷小煤柱护巷巷道围岩的变形和破坏特征,阐述了小煤柱护巷巷道支护理论和设计,介绍了护巷小煤柱注浆加固工艺技术,进而形成了系统的综放开采小煤柱护巷技术。通过对现场应用情况的调查分析,综放开采小煤柱护巷技术能够保证厚煤层综放工作面的安全生产,有效提高煤炭资源的回收率。

本书的完成和出版,得到了相关企业和同行大力支持和帮助,撰写过程中借鉴了相关专家、学者的研究成果,在此深表感谢。限于作者水平,书中疏漏及不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

作 者

2014年3月

目 录

1	绪论	1
1.1	综放开采无煤柱护巷技术简介	1
1.2	小煤柱护巷技术研究现状	2
1.3	沿空留巷技术研究现状	14
1.4	小煤柱护巷技术研究工程背景	28
2	小煤柱护巷与沿空留巷技术理论分析	32
2.1	综放工作面矿压显现的基本规律	32
2.2	综放开采小煤柱护巷理论分析	35
2.3	综放开采沿空留巷理论分析	52
2.4	小煤柱护巷与沿空留巷的对比分析	63
3	小煤柱护巷与沿空留巷技术数值分析	68
3.1	FLAC ^{3D} 程序简介	68
3.2	数值模拟模型的建立	74
3.3	综放开采小煤柱护巷的数值分析	75
3.4	综放开采沿空留巷的数值分析	87
3.5	小煤柱护巷与沿空留巷数值分析	92
4	综放开采小煤柱护巷支护理论	94
4.1	小煤柱护巷工作面端头支护理论	94
4.2	小煤柱护巷回采巷道支护理论	103
5	小煤柱护巷巷道支护设计	123
5.1	小煤柱护巷巷道支护的重要性	123
5.2	小煤柱护巷支护设计	124

5.3 小煤柱护巷技术的推广应用	143
6 护巷小煤柱注浆加固技术	145
6.1 注浆加固技术概述	145
6.2 护巷小煤柱注浆加固机理分析	148
6.3 护巷小煤柱注浆加固工艺技术	153
6.4 护巷小煤柱注浆加固效果	158
 参考文献.....	 172

1 绪 论

1.1 综放开采无煤柱护巷技术简介

我国厚煤层约占煤炭探明储量的 44%，储量丰富。每年通过井工开采的厚煤层产量占全国煤炭产量的 40% ~ 50%，厚煤层开采技术的应用对改善煤矿的实际生产有着积极的意义。20 世纪 80 年代以前，我国对厚及特厚煤层主要采取分层开采，大采高整层开采技术只在部分 5 m 以下的厚煤层应用。整层开采的工序复杂，技术落后，开采过程中各种事故频发，同时采煤技术与装备对地质条件的适应性相对较差，煤炭的实际回收率较低，没能充分发挥厚煤层的储量优势。

20 世纪 50 年代初，苏联、南斯拉夫、法国等国家开始应用放顶煤采煤技术。通过对国外放顶煤开采技术的学习和借鉴，1982 年我国开始进行综采放顶煤采煤技术的试验研究工作。第一个综采放顶煤工作面于 1984 年 6 月在沈阳蒲河矿正式投入生产，从此综采放顶煤采煤技术开始在我国推广，在平顶山、潞安、阳泉、郑州、晋城、兖州等矿务局应用的缓倾斜特厚煤层综采放顶煤采煤法，均取得了良好的经济效益；急倾斜特厚煤层水平分段放顶煤采煤法先后在窑街矿务局、平庄矿务局、乌鲁木齐矿务局、辽源矿务局得到了应用。

在过去推行的放顶煤开采技术中，需要在上下区段工作面之间留设相应的区段煤柱，煤柱的宽度为 10 ~ 20 m，加上端头未放出的顶煤，工作面的煤炭损失率相对较高。为提高厚煤

层采出率,延长矿井寿命,取得良好的技术经济效益,无煤柱护巷综放开采技术的应用势在必行。

无煤柱护巷开采技术包括沿空掘巷和沿空留巷。其中,根据煤层赋存情况、地质条件和所采取的技术措施不同,沿空掘巷可分为3种形式,即完全沿空掘巷、留小煤柱掘巷、保留部分老巷断面掘巷。

无煤柱护巷开采技术是一种先进的地下开采技术,这种技术的应用能够减少巷道掘进量,使巷道更容易维护,为煤矿安全生产和改善矿井生产的技术经济效益创造了有利的条件。推广无煤柱护巷开采技术,不仅对生产矿井进行技术改造、缓和采掘关系紧张和延长矿井寿命具有现实意义,而且也是煤炭企业改善安全生产条件和技术经济效益的重要途径之一。

目前,就综放开采而言,留小煤柱掘巷和沿空留巷较为可行,作者根据自身的研究成果,分析了这两种无煤柱护巷技术各自的特点,阐述了小煤柱护巷的巷道支护理论与支护设计等内容。

1.2 小煤柱护巷技术研究现状

1.2.1 我国小煤柱护巷技术研究进展

1. 小煤柱护巷技术理论研究

马其华等基于目前深井开采过程中采用沿空掘巷技术对减少煤炭资源损失和保证矿井的安全高效生产的重要性,研究提出了深井小煤柱护巷机理以及沿空巷道的支护技术。为科学合理地确定煤柱尺寸,保证沿空巷道的稳定,研究了沿空巷道的围岩应力分布规律、小煤柱护巷机理以及高强锚杆支护。从理论上证明了采用小煤柱护巷及高强锚杆支护方式能够有效地保证深井沿空巷道的稳定。现场试验结果表明,采用高预紧力、

强力锚杆 + 强力锚索 + 强力钢带的联合支护方式,可显著提高沿空巷道围岩的稳定性。

张科学等针对深部煤层群沿空掘巷具体生产地质条件,采用理论分析、数值计算及现场试验相结合的方法,得出深部煤层群沿空掘巷护巷煤柱合理宽度的确定方法,即从上区段采空区侧向支承应力分布规律和煤柱应力分布、巷道围岩应力分布、巷道围岩变形与煤柱宽度的关系及护巷煤柱宽度的理论计算5个方面综合考虑护巷煤柱的宽度,尤其充分考虑了下层煤回采对上层煤沿空掘巷护巷煤柱宽度大小留设的影响。现场试验结果表明,该方法确定的煤柱宽度科学、可靠,为深部煤层群沿空掘巷护巷煤柱合理宽度的确定提供了科学依据,改善了深部巷道维护困难的局面,提高了煤炭资源采出率。

王永等对窄煤柱沿空掘巷煤柱稳定核区理论进行了研究,阐述了窄煤柱沿空掘巷的实质,运用岩层控制理论,提出窄煤柱沿空掘巷煤柱稳定核区概念,以煤柱稳定核区的大小作为煤柱稳定性的一个判据,同时给出选取窄煤柱合理宽度的数学公式,并辅以数值计算方法对该理论进行验证。模拟结果证明,选取巷道塑性破坏区半径的4倍范围作为沿空掘巷窄煤柱的宽度是合理的。

赵国贞等针对沿空掘巷围岩的力学环境和支护特点,在分析巷道上覆岩层结构和巷道围岩结构稳定性的基础上,建立影响巷道围岩稳定性的各因素间相互关系的沿空掘巷围岩结构力学模型,通过对方程求解和规律分析,揭示了综放沿空掘巷围岩变形控制机理。研究结果表明,在小煤柱两侧分阶段注浆加固,形成由小煤柱、顶煤、顶板构成的超静定悬臂梁结构,可以促使顶板断裂线的位置从实体煤侧向邻近工作面的采空区侧移动,减小煤柱载荷,从而达到减小巷道变形、增强巷道围岩

稳定性的目的。加固后的煤柱强度为原来的 4 倍时最佳。加固参数应用于实践,工业性试验效果显著,巷道围岩变形得到明显控制。

郑西贵等对掘采全过程沿空掘巷小煤柱应力分布进行了研究,基于理论分析、FLAC^{3D} 数值模拟及现场工程实践的方法,研究了不同宽度护巷煤柱沿空掘巷掘采全过程的应力场分布规律,分析了煤柱宽度对沿空掘巷煤柱和实体煤帮应力演化的影响。提出确定沿空掘巷合理煤柱宽度时,不仅要考虑掘巷扰动影响,还应将本工作面的超前采动影响作为一个重要影响因素。研究结果表明,仅考虑掘巷扰动影响时,沿空掘巷煤柱宽度应大于 6 m,此时掘巷稳定后围岩变形量较小;当考虑超前采动影响时,煤柱增加到 8 m 以上不仅对控制回采期间沿空掘巷两帮变形量的作用不再显著增加,反而会使顶底板变形量增大,因此合理的护巷煤柱宽度为 8 m。

李广兴等针对漳村煤矿 2105 工作面回风巷小煤柱动压巷道煤岩体比较破碎、巷道围岩应力比较高、顶板容易产生离层破坏、支护非常困难的特点,采用了改进的高预应力长、短锚索组合支护系统,该系统具有锚固深度大、预应力水平高等特点。矿压监测表明,巷道变形显著减小,解决了破碎顶板小煤柱动压巷道的难题。

陈科以利民煤矿 09113 工作面为例,采用力学计算得出了合理的小煤柱宽度,并通过数值模拟,分析了沿空掘巷上区段工作面煤体内应力变化以及小煤柱煤巷变形破坏规律,最终确定出合理的小煤柱宽度并应用于工程实践。

柏建彪通过数值计算分析,研究了综放沿空掘巷围岩变形及小煤柱的稳定性与煤柱宽度、煤层力学性质及锚杆支护强度之间的关系。他提出一个新观点,即高强度锚杆支护的小煤柱

是沿空掘巷围岩承载结构中的一个重要组成部分,针对不同煤层条件确定了相应的小煤柱合理宽度,并将研究成果成功地应用于工程实践。

赵明强以祁东煤矿 3246 工作面为例,从煤巷两帮煤体应力和极限平衡理论、极限平衡非圆形巷道的圆形标准化理论方面对祁东煤矿现场进行方案设计,对现场有较强的指导意义,具有一定的推广应用价值。

常聚才以谢桥矿 1151(3) 综放面为例,采用现场实测、FLAC^{3D}数值模拟及理论计算的综合研究方法,对综放采场沿空掘巷的合理布置进行了深入研究。通过对机巷下侧煤体沿倾向应力测试,获得煤体沿倾向应力变化规律;同时采用 FLAC^{3D}数值软件分析了不同煤柱宽度(3 m、5 m、7 m、10 m、15 m 和 20 m)的应力场、位移场及破坏场特征,获得不同煤柱宽度时巷道的力学特征;在现场实测及数值模拟成果基础上,通过计算,得出了区段煤柱的合理尺寸。工程实践表明,该方法确定的煤柱尺寸科学、可靠,为综放开采巷道的合理布置及护巷煤柱参数的合理确定提供了科学依据。

肖亚宁等提出了沿空巷道三维锚索支护技术,结合王庄煤矿沿空掘进 5218 回风巷的生产地质条件,建立相似材料试验模型和数值计算模型,通过分析表面位移和围岩应力分布特征,对沿空巷道三维锚索支护时巷道围岩的变形规律进行了研究。研究表明,三维锚索支护技术能促进巷道顶板压力拱的形成,提高压力拱拱角处的承载能力。当载荷增加至 1.4 MPa 时,三维锚索支护巷道顶底相对移近量是普通支护的 76.7%,两帮相对移近量仅是普通支护的 66.7%。计算表明,三维锚索支护巷道顶底相对移近量最大值是普通支护的 55.20%,巷道两帮相对移近量最大值是普通支护的 52.05%。

该研究结果在王庄煤矿 5218 回风巷支护实践中取得了成功。回采期间,采用三维锚索支护段巷道顶底板移近量最大值是普通锚网索支护的 58.14%,两帮相对移近量前者是后者的 49.34%。

毕宣可以某矿新 331 工作面合理小煤柱的宽度留设为例,采用数值模拟方法分别获得顶板下沉、底鼓、两帮的位移值。分析发现,当煤柱尺寸为 4.5 m 左右时,巷道各部分的位移已经趋于稳定。从矿山压力理论分析得出合理小煤柱尺寸为 4.0~4.5 m,根据经验公式可以求出该煤矿小煤柱的留设宽度为 4.5 m。综合分析可以确定,该煤矿护巷小煤柱的合理尺寸为 4.5 m。结果表明,用该研究方法确定合理的煤柱留设尺寸是相对比较准确的,在以后的实践中具有重要的参考价值。

贾双春研究了王庄煤矿 5109 孤岛工作面的小煤柱问题,该面风运两巷与采空区留 5 m 的小煤柱,在回采过程中,小煤柱裂隙极为发育,导致巷道变形,严重影响安全生产。因此,对 5109 风运巷小煤柱进行喷浆封闭和注浆,提高了小煤柱的完整性和承载能力,效果显著,为类似条件下巷道加固及变形控制提供了科学依据。

霍灵军等在王庄煤矿 4325 工作面回采期间,通过对其放水巷进行的矿压监测与研究,得出了 4325 工作面的矿压显现规律,对相邻 4327 工作面的矿压规律进行了预测,并在实际的回采过程中得到了验证,从而对小煤柱二次承压巷道的维护得出了一些经验性的结论。

吕国臣等通过对艾友矿 6415 工作面小煤柱开采采取的综合技术措施,解决了区段小煤柱易发火、回风流瓦斯超限的问题,证明了区段间留设小煤柱的采面巷道布置设计方案的合理性,为以后的采掘生产技术提供了借鉴。

2. 小煤柱护巷技术实践

我国在开展无煤柱开采技术时,进行了大量的小煤柱留设实践,并取得了丰富的研究成果,下面就相关的研究现状进行介绍。

1) 深井沿空巷道小煤柱护巷机理及支护技术

马其华等针对深井开采条件进行了小煤柱护巷技术实践。某矿一工作面煤层平均厚度 6.58 m,含 4 层夹矸;直接顶为易冒落的泥岩,平均厚 3.08 m;基本顶为细砂岩,厚 1.91 m;底板为细砂岩,厚 2.23 m;平均埋深 300 m;上一工作面已回采完毕,采用综采开采技术;4410 工作面区段回风平巷采用沿空留小煤柱护巷“高强”锚杆支护,沿底板掘进,巷道位置如图 1-1 所示。

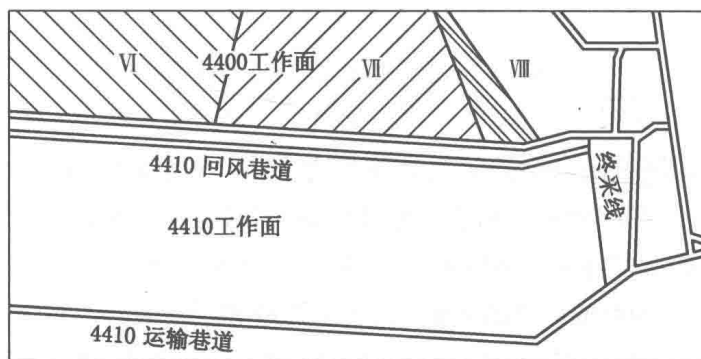


图 1-1 沿空巷道位置示意图

沿空侧小煤柱宽度为 4.0 m,巷道顶板和两帮均采用高强螺纹钢锚杆支护,排距 900 mm(图 1-2),顶锚杆为 $\phi 20 \text{ mm} \times 2400 \text{ mm}$,锚固长度 1.4 m,帮锚杆为 $\phi 20 \text{ mm} \times 2000 \text{ mm}$,锚固长度 1.0 m;每隔 3.6 m 在巷道中部布置一根锚索,钢绞线

长 8.3 m，直径 15.24 mm，树脂药卷锚固长度 1.5 m。

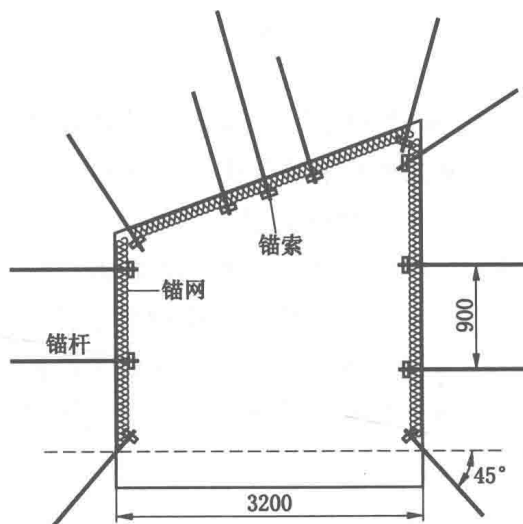


图 1-2 沿空巷道支护方式示意图

锚网带组合支护的组合构件为 W 强力钢带 (5 mm × 280 mm)；顶煤和两帮均配合使用金属经纬网作辅助支护，采空区侧的小煤柱采用 $\phi 18$ mm × 2000 mm 的 A3 圆钢锚杆支护，间排距为 1000 mm × 800 mm，在巷道掘进和回采期间，对巷道围岩变形进行了观测。根据对观测结果的分析，高强锚杆支护能提高围岩的力学参数，能够提供较高的支护阻力，可显著提高围岩及小煤柱的承载能力，并且具有较大的延伸率；允许巷道有一定的变形，大大减小了超前支承压力对巷道的影响，能有效地维护深井沿空巷道的稳定。

2) 大采深高地压大型矿井沿空掘巷实践

赵瑞红等针对大倾角工作面开采技术条件进行了小煤柱护

巷技术实践。长沟峪煤矿 -140 m 水平北二石门两翼 4 槽综采工作面为大倾角煤层,煤层倾角平均 30° ,煤层厚度在 0.2 ~ 3.5 m 之间,平均厚度 1.6 m,赋存较稳定。综采工作面的沿空帮在重力及采动应力的影响下容易失稳。同时,考虑沿空留巷不利于防治上区段的采空区积水,并且积水进入下区段综采工作面降低了底板与支架的摩擦因数,易导致综采设备下滑。因此, -140 m 水平北二石门两翼 4 槽综采工作面选择采用留小煤柱沿空掘巷的方式。

根据理论与工业实践,长沟峪煤矿大倾角煤层采用留 3 m 小煤柱沿空掘巷与留 4 m 小煤柱沿空掘巷相比,巷道顶部受力较小,位移量也较小,能够满足安全生产要求。留小煤柱沿空掘巷技术在长沟峪煤矿的成功应用不仅可以提高煤炭的采出率及矿井经济效益,而且可防止采空区向巷道内窜矸,避免了采空区积水流入巷道和工作面内,改善了沿空掘巷时的通风条件,可有效地保证工作面回采与掘进的安全顺利进行。

3) 东庞矿中厚煤层小煤柱沿空掘巷实践

陈龙等针对中厚煤层工作面开采技术条件进行了小煤柱护巷技术实践。河北冀中能源集团东庞矿二水平六采区 2610 工作面井下位置西与 2608 工作面相邻,东到东 29 钻孔附近,南到 2600 回风上山。走向长度 1409.8 ~ 1445.5 m,平均 1427.6 m,倾斜长度 134.2 ~ 208.8 m,平均 171.5 m,面积约 0.25 km^2 。2608 工作面回采完毕后,将进行 2610 工作面的回采工作,为了满足生产需求,及时接替 2608 工作面,2610 工作面上巷采用沿空掘巷,2608 工作面停采一个月,就开始进行 2610 工作面上巷沿空掘巷的掘进工作。因此,在上部相邻工作面停采仅一个月的情况下,2610 工作面上巷进行掘进,受动压影响是显著的。另外,2608 工作面的支架还没撤,撤架时间是在