

综放工作面顶板 大面积异常来压防治技术

ZONGFANG GONGZUOMIAN DINGBAN
DAMIANJI YICHANG LAIYA FANGZHI JISHU

王富奇 苗素军 齐方跃 等 编著



煤炭工业出版社

综放工作面顶板大面积 异常来压防治技术

王富奇 苗素军 齐方跃 等 编著

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

综放工作面顶板大面积异常来压防治技术 / 王富奇等编
著. -- 北京: 煤炭工业出版社, 2014

ISBN 978-7-5020-4492-3

I. ①综… II. ①王… III. ①综采工作面—顶板压力—
防治 IV. ①TD822

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 072635 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 787mm × 1092mm¹/₁₆ 印张 16
字数 376 千字
2014 年 1 月第 1 版 2014 年 1 月第 1 次印刷
社内编号 7324 定价 46.00 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

作者基于矿山压力与岩层控制理论,分析了顶板异常矿压显现特征,揭示了综放工作面顶板大面积异常来压机理;利用模糊数学方法,结合综放工作面顶板大面积异常来压影响因素,对顶板大面积异常来压进行危险性评判;实现了综放工作面顶板异常来压的监测与预警。研究综放工作面顶板大面积异常来压预防技术和治理措施并应用于现场,保证了安全生产,取得了显著的经济效益和社会效益。

本书可供矿业工程、固体力学、结构工程与岩土工程等专业领域的广大科技工作者及师生参考。

编写人员名单

主 编	王富奇	苗素军	齐方跃		
编写人员	黄福昌	倪兴华	孙洪江	陈 勇	张广文
	许 义	吕建为	王恒志	邢士军	郑有雷
	王义然	刘 健	辛忠玉	谢强珍	杨 立
	张法启	曲延伦	陈 岭	骆念海	左金忠

前 言

越来越多的煤矿已经进入深部开采，与高地应力等相关的关键技术问题，成为进一步开发利用深部煤炭资源的战略性重大课题。深部高地应力对开采活动的影响，导致源于开采强度提高后的工作面顶板大范围运动，形成了“异乎寻常”的矿山压力显现。以综采放顶煤、大采高开采和无煤柱护巷技术为代表的一系列先进的采煤技术，得到了广泛应用与长足发展，从而使长壁工作面的开采强度急剧提高。

20 世纪 80 年代初期，我国开展综合机械化放顶煤开采技术试验研究工作。目前，综合机械化放顶煤开采已成为煤矿实现安全高效现代化建设，以及集约化生产的主要技术途径之一。

综采放顶煤工作面致使纵向与横向的覆岩运动范围远大于综采工作面，强矿压显现已经超出直接顶与基本顶范围，高位坚硬岩层破断运动所引发的采动应力场、覆岩空间结构演化规律更加复杂。大规模、高强度的开采扰动不仅导致垮落带覆岩剧烈运动，也使周围采空区中已经存在的空间平衡结构发生进一步失稳，上覆未断裂的岩层将与工作面协同运动、破断，从而诱发煤岩动力灾害。从 1999 年至 2007 年间，仅兖州矿区便发生了多起顶板岩层大面积异常来压事故，造成了巨大的经济损失，严重制约着煤炭安全生产。

随着开采强度的提高，主关键层断裂失稳诱发的煤岩动力灾害不仅影响井下采掘工作面安全生产，更对地表造成影响。类似问题的解决需建立在对覆岩空间结构形成与失稳，以及煤岩动力破坏机制研究的基础上。

钱鸣高等建立的“砌体梁”与“关键层”理论，以开采引起的岩层运动为研究重点，对基本顶至主关键层的岩层运动进行统一研究，为研究煤矿采动覆岩结构的形成与失稳提供了理论依据，是矿压理论的重大发展，也为揭示覆岩破裂运动诱发煤岩动力灾害的机理提供了有力支持。姜福兴、窦林名等提出了覆岩空间结构的概念并研究了其演化规律，根据采空区的边界条件进行结构分类研究，拓展了传统的矿压研究范围。

然而，以往的研究范围多局限于单一工作面距离采空区较近的基本顶岩

层，以及煤层前方几十米范围的支承压力区域。对于多工作面回采形成的大面积采空区，相邻采空区覆岩能否形成相互作用的空间结构，主要取决于两者之间的煤柱宽度。大煤柱能够有效地隔离采空区覆岩裂隙的联系，而当工作面之间的煤柱小于一定值时，工作面之间覆岩将会形成协同运动，形成相互作用的空间结构。

针对综放工作面顶板大面积异常矿压显现问题，需要从理论上深入探讨采空区顶板岩层大面积异常运动的规律，并在实践中进一步开展综放工作面顶板大面积异常来压预防技术及治理措施的研究。因此开展综放工作面顶板大面积异常来压防治技术研究，具有重要的理论意义和实用价值。

现基于矿山压力与岩层控制理论，分析得到顶板异常矿压显现在多种因素共同作用下，其所具有的普遍性、突发性、迅猛性，以及极强的破坏性、可预防性等特征；揭示了综放工作面顶板大面积异常来压的机理；综合分析影响顶板异常来压的坚硬厚层覆岩结构、采空区面积见方、开采强度、顶板裂隙承压水、煤岩层相变等因素，提出了综放工作面顶板大面积异常来压危险性评判的模糊数学方法；介绍了综放工作面顶板异常来压的监测与预警；对综放工作面顶板大面积异常来压防治技术进行了阐述。在煤矿现场应用以上研究成果，取得了良好效果，为类似矿区综放顶板大面积异常来压的防治，起到重要参考作用。

本书的出版得到了综采放顶煤技术“泰山学者”建设工程专项经费资助。

囿于作者水平，书中错误及不当之处，敬请读者朋友批评指正。

作 者

2013 年 11 月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 煤炭资源及开采技术现状	1
第二节 兖矿集团综放开采技术现状	5
第二章 综放工作面顶板运动一般规律	8
第一节 采场上覆岩层结构理论	8
第二节 综放工作面覆岩运动一般规律	20
第三节 综放工作面顶板三带运动规律	22
第三章 综放工作面顶板大面积异常来压类型与特征	39
第一节 开采设计不合理导致顶板大面积异常来压	39
第二节 坚硬厚层覆岩空间结构运动导致顶板大面积异常来压	40
第三节 地质构造诱发顶板大面积异常来压	43
第四节 采空区面积“见方”导致顶板大面积异常来压	44
第五节 覆岩富水型综放工作面顶板异常来压	45
第六节 多因素诱发综放工作面顶板异常来压	46
第七节 综放工作面顶板大面积异常来压特征	47
第四章 综放工作面顶板大面积异常来压机理分析	50
第一节 顶板大面积异常矿压显现的机理研究现状	50
第二节 工作面异常来压的顶板大面积滑落机制	51
第三节 工作面异常来压的顶板大面积回转机理	58
第四节 采空区上覆厚层坚硬岩层的空间结构作用原理	60
第五节 大面积异常来压的顶板空间结构演化机制	63
第六节 综放工作面顶板大面积异常来压机理	68
第五章 综放工作面顶板大面积异常来压影响因素	69
第一节 地质因素影响顶板大面积异常来压	69
第二节 设计因素影响顶板大面积异常来压	101
第三节 开采因素影响顶板大面积异常来压	109

第六章 综放工作面顶板大面积异常来压危险性评判·····	114
第一节 模糊综合评判法简介·····	114
第二节 工作面异常来压评价指标及关系·····	122
第三节 工作面异常来压危险性评价步骤·····	123
第四节 工作面异常来压危险性评价方法·····	124
第七章 综放工作面顶板大面积异常来压的监测与预警·····	127
第一节 综放工作面顶板运动规律的常规矿压观测·····	127
第二节 微地震监测系统及其工作原理·····	165
第三节 顶板大面积异常来压综合监测与预警·····	172
第八章 综放工作面顶板大面积异常来压防治技术·····	179
第一节 综放工作面开采设计预防顶板大面积异常来压·····	179
第二节 深孔爆破预裂断顶技术预防顶板大面积异常来压·····	183
第三节 水压致裂预裂断顶技术预防顶板大面积异常来压·····	190
第四节 上覆岩层超前探放水技术预防顶板大面积异常来压·····	195
第五节 综放工作面支护设计预防顶板大面积异常来压·····	209
第六节 综放工作面顶板大面积异常来压的治理·····	214
第九章 综放工作面顶板大面积异常来压防治技术的现场应用·····	219
第一节 赵楼煤矿 1306 综放工作面顶板异常来压危险性评判 ·····	219
第二节 微震监测系统预警赵楼煤矿顶板大面积异常来压·····	226
第三节 老巷充填预防顶板异常来压·····	228
第四节 坚硬顶板预裂断顶技术预防济三煤矿顶板异常来压·····	234
第五节 探放水技术预防东滩煤矿顶板异常来压·····	238
第十章 综放顶板大面积异常来压防治技术的应用效果·····	243
参考文献·····	245

第一章 绪 论

第一节 煤炭资源及开采技术现状

随着世界经济的快速发展,全球能源需求的不断增加,煤炭工业也取得了突飞猛进的发展,满足了世界经济发展对煤炭日益增长的需求。

一、世界煤炭资源及开采技术现状

世界煤炭资源非常丰富,煤炭是世界储量最丰富的化石燃料。目前,世界煤炭储量约为 1.083 Tt,按当前的煤炭消费水平计算,可供开采 200 多年。然而,世界各地的煤炭资源分布并不均衡,煤炭主要集中在北半球,世界煤炭资源的 70% 分布在北半球北纬 30°~70°之间。其中以亚洲和北美洲最为丰富,分别占全球地质储量的 58% 和 30%,欧洲仅占 8%,南极洲数量很少^[1]。拥有煤炭资源的国家大约 70 个,其中储量较多的国家有中国、俄罗斯、美国、德国、英国、澳大利亚、加拿大、印度、波兰和南非。

世界上第一个综合机械化采煤工作面于 1954 年在英国诞生,综采装备在 20 世纪 60 年代逐渐发展成熟。20 世纪 70 年代,各国创造出很多安全高效新纪录。20 世纪 80 年代、90 年代安全高效纪录不断被刷新。德国的恩斯多尔夫矿用本国文克夫公司生产的 51500 型电牵引采煤机,在工作面长 335 m、采高 3 m 的工作面日产煤 11560 t,法国的拉乌弗矿用 AS 公司生产的 EI-2000 型采煤机,日产煤 22249 t。1995 年 8 月,澳大利亚的新南威尔士犹兰矿使用艾克夫公司生产的 EDW-450/1000L 型电牵引采煤机,在工作面长 250 m、平均采高 2.9 m 的综采工作面创造出日产煤 34130 t 的纪录。1995 年,英国的塞尔比矿用 AM500 型采煤机产煤 10 Mt^[2]。现阶段世界先进采煤国家高效矿井煤炭开采技术特点如下:

(1) 矿井高度集中生产,一矿一面,井型为 3~4 Mt,年工作日 250 d,工作面平均月产 0.3 Mt,日产 10000 t 以上。采煤队在籍员工 30~40 人,工作面生产班 7~9 人。全矿用工达 300~400 人,工作面的效率达 300~400 t/工,员工工效超过 30 t/工。

(2) 大功率成套设备投入使用,采煤机总体功率超过 1000 kW,采高可达 7 m,大修周期 2~3 d,可采煤 4~6 Mt。

(3) 工作面推进长度最长可达到 5280 m,一般也能达到 2000~3000 m。

(4) 工作面综合开机率高,例如美国设备开机率高达 97%。

(5) 工作面设备的配套合理化。

(6) 工作面监控设备齐全,自动化程度高,安全设施好。

二、中国煤炭资源及开采技术现状

中国煤炭资源总量达 5.9 Tt,与美国、俄罗斯两国不相上下。但能作为规划设计的实际依据是探明储量,特别是可供建井用的精查储量。中国煤炭资源勘探程度较低,主要分

布在华北和西北地区，虽然煤炭储量绝对值位列全球前茅，但煤炭在我国一次能源消费中的比例高达 70%，高出全球平均水平的 1 倍^[3-6]。中国煤炭资源的赋存条件复杂，开采技术多样化。

（一）薄煤层开采技术现状

目前，全国已探明的薄煤层可采储量约为 6.15 Gt，约占煤炭总可采储量的 20.4%。四川省薄煤层储量占比 60%，山东省占 54%，黑龙江省占 51%，贵州省占 37%，河南、山西、内蒙古、河北、吉林等省份也有丰富的薄煤层资源。由于薄煤层开采空间小、效率低、工人劳动强度大、安全事故多、经济效益低下，致使大量薄煤层煤炭资源处于搁置状态，回采产量占总产量的比重只有 10.4%，远低于储量所占的比重。产生上述现象的关键原因在于缺乏适应性好、生产效率高的薄煤层综采技术装备。

20 世纪 50 年代，薄煤层开采主要采用炮采工艺；60 年代开始试验深截煤机掏槽，爆破落煤；70 年代，薄煤层机组得到较大发展，分别研制出不同类型的刨煤机，包括钢丝绳牵引刨煤机、全液压驱动刨煤机和刮斗刨煤机等；1974 年，研制成功了 BM-100 型薄煤层滚筒采煤机；90 年代开始引进国外的螺旋钻采煤机，用于开采薄煤层。目前，我国薄煤层综合机械化开采主要有 3 种技术途径：滚筒采煤机、刮板输送机和液压支架配套的采煤机综采机组；刨煤机、刮板输送机和液压支架配套的刨煤机综采机组；螺旋钻机组^[3,7]。薄煤层综合机械化开采的主要配套设备特点如下：

1. 刨煤机

刨煤机虽然具有可实现薄煤层综合机械化开采、工作时间利用率高、结构简单、维护方便的优点，但其局限性也比较突出：

- （1）对煤层可刨性程度判断缺乏科学性，使用效果不佳。
- （2）支护配套不协调，影响使用效果。
- （3）刨煤机自身的技术水平有待进一步提高。
- （4）受煤层厚度、倾角、顶底板条件、特殊地质构造的影响大，适应性差。

2. 螺旋钻采煤机

螺旋钻采煤机适宜开采围岩较稳定、厚度 0.4 ~ 0.8 m 的极薄煤层，也可用于边角煤开采、建筑物下采煤、煤柱回收和保护层开采。2003 年，新汶矿业集团从乌克兰引进的螺旋钻机，在潘西矿和南冶矿进行了前进式和后退式采煤工艺试验，单面单台钻机月产量达 5800 t，平均工效达 12 t/工。但螺旋钻机设备投资比较大，相邻钻孔之间要留煤柱，煤炭回收率较低，过岩能力较差。

3. 滚筒采煤机

我国薄煤层综合机械化开采技术的研究始于 20 世纪 60 年代，先后研制和发展了多种型号的较薄煤层滚筒采煤机，包括液压驱动、钢丝绳或链牵引采煤机及目前的多电机驱动、电牵引采煤机。其主要优点在于：

- （1）适应于煤层厚度变化较大的工作面。
- （2）适应煤层顶底板起伏变化。
- （3）适用于含有夹矸的煤层回采。
- （4）对工作面长度要求低。

但是由于开采空间狭小，采煤机截割部的装机功率、截割部的尺寸和强度受到很大限

制,致使提高薄煤层采煤机的破岩能力极其困难。

4. 支护设备

我国薄煤层液压支架设计、制造技术已经成熟,支架最小高度 0.5 m,形成了一系列适用于不同地质条件、不同配套设备的液压支架。但是支架的调高范围小,煤泥阻塞液压支架底座中档时会造成移架困难。

对于含硫化铁、硬夹矸的薄煤层开采,兖矿集团从 20 世纪 50 年代到 80 年代中期一直沿用炮采工艺。1987 年在唐村煤矿成功实施了“炮采机装”开采工艺,随后在兖矿薄煤层矿井得到迅速推广,并进一步完善。2007 年又在杨村矿、北宿矿分别试用了液压支架,取得了一定的成效,减轻了职工的劳动强度。2008 年,研究开发出薄煤层综合机械化安全高效开采的成套技术装备,该装备主要包括大功率强截割远程控制薄煤层滚筒采煤机(MG110/250-BW 型):能够割落硬结核,完成扫顶作业,过煤空间充裕,而且能够远程控制,实现分段接力遥控作业;大伸缩比、防啃底、高支撑效率、薄煤层液压支架(ZY2600/6.5/16 型两柱掩护式):液压支架伸缩比在 2 以上,工作阻力大于 2500 kN,不钻底,而且具有侧调功能;底置式防飘薄煤层刮板输送机(SGZ630/264 型):具有防飘功能,能够实现端部顺利装煤,而且满足过煤空间要求;薄煤层顺槽超前液压支架:支架支护强度足够(大于 0.18 MPa),能够顺利进行机械化操作,而且适应薄煤层开采的条件。2010 年,杨村煤矿薄煤层综采工作面达到了年产 0.6 Mt 水平,标志着煤层含硬夹矸难题已经攻克,最终实现了薄煤层工作面综合机械化开采。

(二) 中厚煤层综采开采技术现状

我国煤层地质条件复杂、开采困难、采出率较低。在中厚煤层开采中大部分煤层赋存条件困难,断层较多,尤其在快速过断层方面的技术还不够成熟,方法比较单一^[3,8-10]。

平煤集团八矿 15 煤层的煤层倾角 30°,煤层平均厚度 3.5 m,随着综采工艺水平和综采设备制造技术的提高,该矿在大倾角中厚煤层进行一次采全高综采,工作面采长 180 m 以内,选择 ZZ4000-18/38 型支撑掩护式支架。试采期间的工作面单产平均 7.5×10^4 t/月以上,实现了矿井的安全高效生产,满足矿井设计产量 3 Mt/a 的要求。兖矿集团济宁二号煤矿在中厚(1.5~2.5 m)煤层开采方面,完成了中厚煤层高产高效工作面成套设备与开采工艺研究项目,试采期间累计生产原煤 89.6×10^4 t,最高日产煤 13454 t,平均日产煤 6867.2 t,各项指标均有所突破。以上生产实例标志着我国中厚煤层机械化高效开采整体水平先进,进一步完善和发展了综合机械化开采核心技术。

(三) 厚煤层大采高综放开采技术现状

1. 厚煤层大采高一次采全高

2006 年 6 月 10 日,我国第一套 6.2 m 大采高设备在晋城寺河矿 2307 工作面正式投入使用,最高日产煤达到 30125 t,年产达 10 Mt 以上。2011 年 10 月 28 日,在第十四届中国国际煤炭采矿技术交流及设备展览会上,郑州煤机集团展出了 ZY18000/32/70D 型大采高液压支架,山西平阳重工展出了 ZY17000/27/50D 型大阻力两柱放顶煤电液控制大采高液压支架。冀中能源东庞矿 2 号煤层厚度 3.9~5.0 m,平均厚 4.5 m,采用 ZY5000/25/50 型大采高支架,配套 6.5 m 大采高综采设备,工作面装机容量达到 7000 kW,实现了大采高综采设备在工作面大倾角、俯/仰采等复杂地质条件下的夹矸特厚煤层一次采全高的安全高效开采,为国内外相近条件的矿井提供了成熟的配套装备。2009 年底,首个 7 m

大采高采煤工作面安装在神东补连塔煤矿 22303 综采工作面,该工作面煤层平均厚 7.55 m,设计采高 6.80 m;选用 7LS7-629 型采煤机,装机功率 2330 kW,截深 0.865 m;选用 ZY16800/32/70 型液压支架、德国 DBT 公司的 3×1000 kW 型刮板输送机、德国 DBT 公司的 522 kW 转载机和 522 kW 破碎机。该工作面平均月产煤 107.3×10^4 t,实现了千万吨工作面综采成套技术装备的成功运行。2011 年 8 月,陕煤集团红柳林矿业公司投入使用 ZY18800/32.5/72D 型电液控制掩护式液压支架,再次刷新了工作阻力和采高的纪录。然而,大采高综采工作面的煤壁片帮控制问题日益凸显,加快推进速度、减少压力对煤壁的影响,从而更好地控制顶板,逐渐成为厚煤层大采高一次采全高开采技术的重点研究方向^[3,11,12]。

2. 厚煤层分层开采

综合机械化分层开采采煤工艺是我国厚及特厚煤层的主要采煤方法之一,在大中型矿井得到普遍采用,积累了较丰富的经验。大同矿区主要赋存的特厚煤层厚度一般在 7.0 ~ 8.0 m,煤峪口煤矿 11 号煤层 8810 下分层网下综采工作面,选用 ZF4600/19/30 型液压支架,配套 MG300/690 型采煤机和 SGZ-764/400 型刮板输送机,实现了厚煤层分层开采。平煤一矿井田范围内大部分区域为戊组复合厚煤层,形成了分层综采设备配套方案,其中利用 ZY2400-14/32 型两柱掩护式液压支架,配套 MXA380E 型电牵引采煤机和 LW-800/750 型侧卸式刮板输送机,年产煤达 2.01 Mt。

3. 厚煤层综放开采

综放开采技术起源于 20 世纪 50 年代的欧洲,我国自 20 世纪 80 年代引入综放开采技术以来,先后在沈阳、窑街、兖州、潞安、大同等多个矿区推广应用。目前我国综放开采技术已达到世界领先水平,工作面单产从 0.9 Mt/a 到 11 Mt/a 不等,形成了“三软”、“两硬”、大倾角、高瓦斯、易燃、边角煤、小块段、较薄厚煤层等典型开采模式。

综放开采技术主要是提高放顶煤采出率技术,包括放顶煤开采设计、放顶煤支架选型、放顶煤工艺参数确定、放顶煤初采与收尾方法、区段平巷布置及煤柱尺寸确定、沿空掘巷和沿空留巷技术等。随着对综放开采围岩活动规律研究的深入,以及我国煤机装备水平的提高,将割煤高度 3.5 ~ 5.0 m 的综放开采定义为大采高综放开采。针对采煤高度加大后出现的技术难题,国家启动“十一五”科技支撑计划“特厚煤层大采高综放开采成套技术与装备研发”项目,针对大同煤矿集团有限责任公司塔山煤矿 14 ~ 20 m 特厚煤层大采高综放开采,研制成功年产 10 Mt 大采高综放开采技术及配套装备,研发成功 ZF15000/28/52 型四柱大采高综放液压支架,将放顶煤工作面机采高度增加至 5 m,一次采出厚度可达 20 m。配套全部国产装备的综放工作面,实现了工作面最高日产煤 50000 t,年产煤 6 ~ 10 Mt^[13]。目前我国在高端液压支架、重型输送机等装备核心技术方面已经居于国际先进水平,综采放顶煤开采技术及装备均处于国际领先地位。煤矿综合机械化开采所需的液压支架及其电液控制系统已实现国产化。由我国生产的成套综合机械化开采技术及装备已实现出口。我国在年产千万吨大采高综放工作面技术及装备方面取得了丰硕成果,大采高综放开采技术在国内外类似条件煤层开采中具有广泛的推广应用前景。

通过近 30 年的发展,综采放顶煤开采技术在我国厚及特厚煤层开采方面表现出了很好的适应性,已成为厚煤层安全高效开采的主要采煤方法之一。

(四) 充填开采技术现状

煤矿充填开采技术是解决矿山污染、资源浪费、地表塌陷的一种行之有效的技术,促进了绿色矿山的建设。该技术一般包括膏体充填采煤技术、矸石充填采煤技术、高水材料充填采煤技术、部分充填采煤技术^[3,14,15]。

济宁太平煤矿在 8309 区段成功实施了膏体充填开采,对 8311 工作面采空区实施全部充填法进行回采。采用综合机械化采煤工艺,配套 MG150/375 - W 型采煤机、ZC2000/16/24Z 型充填支架、SGZ630/264 型刮板输送机、SGD730/90 型转载机。该矿膏体充填开采基本工艺特征是地面造浆,充填泵加压,单管道输送,在顶板垮落前及时充填全部采空区,实现绿色开采。开滦集团唐山矿铁三区的地表建筑物多,利用矸石充填采空区对开采沉陷进行控制。充填设备为 ZZC7000/20/40 型四柱支撑式充填液压支架(带有压实机),与采煤机、刮板输送机、充填开采输送机、压实机配套使用。将地面矸石、建筑垃圾等固体废弃物通过地面充填站的投料孔向下直接投料,进入矸石缓冲仓,由矸石仓放入带式输送机等运输设备将其运输至充填工作面,借助自夯式充填综采液压支架等关键设备充填工作面采空区,依靠固体充填物料的支撑作用控制采空区的顶板岩层,达到减少顶板下沉和垮落的目的,实现建筑物下安全开采。

传统的充填采煤没有从采煤方法入手,因而始终难以解决充填的通道和空间问题。现在开发的固体废弃物(矸石等)直接充填置换“三下”压煤技术,就是从开采支护系统及工艺入手,做到采煤与充填综合机械化并行作业,既能实现安全高效绿色采煤,又能达到低成本、高效率充填^[16-21]。

第二节 兖矿集团综放开采技术现状

一、综放技术在兖矿集团的发展

1992 年,兖州矿区的第一个综放工作面试验成功。从 1996 年起,以 ZFS6200 - 18/35 型高工作阻力的“九五”攻关专用型放顶煤支架及配套设备作为矿区主体设备配套模式,对矿井高产高效生产发挥了重大作用,兖矿集团的高产高效综放开采成套技术与装备逐步达到了国际先进水平。该成套装备主要配套了 MGTY400/900 - 3.3D 型电牵引采煤机和大运量、高可靠性的 SGZ - 960/750 型刮板输送机。同时加大截割深度,优化工艺参数,针对矿区特点对采区与工作面进行总体设计,使各设备之间达到配套、协调与优化,充分发挥了系统的综合能力。“九五”期间的综放设备配套体现了选型先进、布局合理、运动关系协调、生产能力匹配、效率高、安全性能好和质量可靠性高的特点,实现回采工效 177.9 t/工,达到日产 10000 t、年产 3 Mt 以上,最高日产 20169 t,生产能力超过 5 Mt/a。

“十五”期间的国家技术创新项目“6 Mt 综放工作面设备配套与技术研究”,研制了 ZFS6800/18/35 型电液程序控制高效放顶煤液压支架,配套 ZFS7000/19/32 型排头支架、大运距/高可靠性工作面前后部刮板输送机、自移式转载机和长运距/大运量可伸缩带式输送机。2001 年 8 月,6 Mt 综放成套设备装备在兖矿兴隆庄煤矿 4326 工作面,达到了最高日产 24047 t,平均日产 20376 t,最高月产 631668 t,平均月产 570532 t,最高工效 369.39 t/工,平均工效 313 t/工的良好效果。在综放工作面设备配套研究方面,攻克了液压支架电液程序控制关键技术,实现了自动放煤、快速移架等效果,使工作面单产达到了

年产 6.84 Mt, 并具备了 8 Mt 的生产能力。

“十一五”期间, 在东滩矿 1303 综放工作面组织完成了“年产 6 Mt 自动化综放工作面高可靠性装备及系统技术研究”项目, 配置了 ZFY8500/21/40D 型两柱掩护式放顶煤中间支架, ZFG10800/22/38D 型四柱支撑掩护式放顶煤过渡支架。研制 ZFS7200/20/40 型大采高两柱掩护式放顶煤液压支架, 在兴隆庄矿 1308 工作面成功实施, 开发了世界首套放顶煤液压支架电液控制系统和基于神经网络的综放工作面自动化控制系统及自动化放顶煤工艺, 实现了综放工作面自动化生产。

进入 21 世纪, 兖矿集团本部厚煤层矿井已进入深部开采阶段, 尤其巨野煤田千米深井的赵楼煤矿, 在“十一五”末投产后高地压支护问题尤为突出, 为此, 兖矿集团加快了高支护阻力重型装备的研制与应用。“十二五”初期, 先后在赵楼、东滩、兴隆庄等矿井的 10 余个工作面配置了工作阻力从 $1.0 \times 10^7 \text{ N}$ 到 $1.2 \times 10^7 \text{ N}$ 的液压支架, 支架中心距达到 1.75 m, 进一步提升了支护装备水平, 适应矿井深部开采条件的变化, 增强了煤矿防御顶板灾害的能力^[22]。

二、综放工作面顶板大面积异常矿压显现

在我国煤炭总储量中, 有 73.2% 的储量埋深在 600 m 以下。随着煤炭资源的不断开发, 越来越多的矿井进入深部开采, 解决深部开采相关的高地应力等关键技术问题, 成为我国进一步开发、利用深部煤炭资源的重大战略课题。深部高地应力对开采活动的影响因素, 包括源于开采强度提高后的工作面顶板大范围运动, 形成异乎寻常的剧烈来压。近年来, 以综采放顶煤、大采高开采和无煤柱护巷技术为代表的一系列先进采煤技术在我国得到了广泛应用与长足发展, 从而使长壁工作面的开采范围、开采强度与推进速度急剧上升。小煤柱甚至无煤柱开采技术在综采放顶煤工作面的成功应用, 使纵向与横向层面上的覆岩运动范围远大于综采工作面, 强矿压显现已经超出直接顶与基本顶范围, 高位坚硬岩层破断运动所引发的采动应力场、覆岩空间结构演化规律更加复杂。大规模、高强度的开采扰动不仅导致垮落带覆岩剧烈运动, 并且周围采空区中已经存在的空间平衡结构也将进一步失稳, 上覆未断裂的岩层会与工作面发生协同破断运动, 从而诱发煤岩动力灾害^[23-25]。例如在山东兖州矿区、山东新汶矿区、淮北海孜煤矿及河南义马矿区等, 均存在上覆巨厚主关键层, 形成采空区顶板岩层大面积异常矿压显现。

近年来, 国内多家矿井相继出现了立柱压爆、液压缸变形等矿压显现异常的情况: 2000 年的鲍店煤矿 5308 综放工作面突然来压, 压死 23 个支架, 压坏 16 根立柱, 压坏四连杆 23 个, 并把架间管路切断, 给生产带来极大困难; 2001 年济宁三号煤矿 6301 工作面顶板大面积来压, 近 70 架支架被压死, 液压支架损坏严重, 支架立柱损坏 102 根, 四连杆机构中的前连杆损坏 33 件, 部分支架立柱柱窝开焊撕裂, 个别液压支架立柱底座穿透; 2000 年徐州矿务局张双楼煤矿 7107 综采工作面顶板压力异常增大, 安全阀开启率达 80% 以上, 部分立柱安全阀开启速度慢, 压力表显示支架最大工作阻力达 40 ~ 50 MPa, 两根立柱爆裂, 煤壁片帮深度达 1 ~ 3 m; 2004 年 9 月至 2006 年 12 月, 鲍店煤矿发生了 3 次矿震事故, 矿震产生的冲击波将密闭墙摧毁, 冲击波及抛出的密闭砖块导致人员伤亡, 南屯矿微震台及济宁地震台监测表明, 矿区矿震活动十分频繁。

—— 诸多综放工作面支架被压垮的事实表明, 工作面上覆岩层的剧烈运动对工作面的危害

是巨大的，严重影响正常生产。煤层形态、煤层厚度、埋藏深度、水文及工程地质条件、煤层产状、地质构造、煤及围岩物理力学性质和化学性质等自然因素，以及开采方法、回采顺序、开采深度、采空区体积及其形态、采空区处理方法等人为因素的综合作用，是综放工作面顶板大面积异常矿压显现的原因。

综放工作面顶板大面积异常来压，是指来压强度异常高、影响范围广且易于诱发大型动力灾害的顶板运动。突出表现为生产过程中的矿山压力异常显现，即工作面煤壁严重片帮、架前大面积冒顶、支架损坏、大规模切顶、顶板台阶下沉、伴生煤与瓦斯突出等特征。由于顶板运动沿工作面推进方向不具周期性，因此仅依靠提高工作面支架的工作阻力不能控制顶板来压。综放工作面顶板大面积异常来压将严重威胁矿井安全生产，可造成巨大的经济损失。

第二章 综放工作面顶板运动一般规律

第一节 采场上覆岩层结构理论

采场上覆岩层结构理论研究主要集中在采场矿压及其控制,以及开采沉陷及其控制两个研究领域。进入20世纪50年代,随着长壁工作面开采技术、采场上覆岩层运动的观测技术,以及支护技术的发展,对采场上覆岩层运动时的结构形式有了新的认识。该时期提出的采场上覆岩层结构理论包括压力拱假说、悬臂梁假说、铰接岩块假说和预成裂隙假说。

一、国外采场上覆岩层结构理论研究

(一) 压力拱假说^[26]

压力拱假说是由德国人哈克(W. Hack)和吉里策尔(G. Gillitzer)于1928年提出的,在20世纪50年代前后,曾经得到很多人的拥护。比较有影响的是苏联学者、工程师Φ·许普鲁特提出的压力拱假说,压力拱假说模型如图2-1所示。

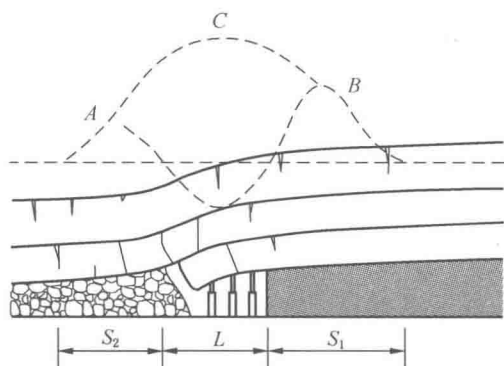


图2-1 压力拱假说模型

压力拱假说认为,在回采工作面空间上方,由于岩层自然平衡的结果而形成了一个“压力拱”。压力拱跨越整个采场(工作空间),前拱脚为工作面前方的煤体,后拱脚为采空区已垮落的矸石或采空区的充填体,随工作面推进,前后拱脚也将向前移动。压力拱切断了拱内外岩石应力的联系,承担了上部岩层的重量,并将其传递到拱脚A、B,从而形成支承压力区 S_1 、 S_2 ;在2个拱脚之间形成了一个减压区 L ,采场支架仅需承担压力拱 ACB 内的岩石重量。

压力拱假说的主要假设如下:

(1) 压力拱切断了拱内外岩石的联系,承担了上部岩层的重量,并将其传递至拱脚,从而形成支承压力。

(2) 采场支架仅仅承担拱内(即控顶区以上至拱边界处)岩石的重量。支架在一定的载荷条件下工作,因此支架上显现的压力大小与本身的承载力及其力学特性无关。

但是,压力拱假说还不能完善地解决许多矿山压力问题,因为:

(1) 压力拱假说中考虑的只是围岩的极限平衡状态(最终阶段),并未研究拱内岩石在力学作用下变形、移动与破坏的发展过程,也没有探讨矿山压力与时间的关系问题。

(2) 采矿的实际经验表明,矿山压力的大小不仅与岩石的物理-力学性质、巷道形状与大小、顶板暴露时间等因素有关,而且与支架本身的力学性质有关,但压力拱假说没有