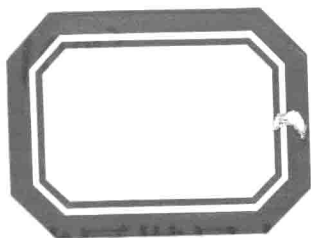


杨永康 著

特厚煤层大采高综放采场 覆岩移动规律及 围岩控制研究



煤炭工业出版社



高综放采场覆岩 移动规律及围岩控制研究

杨永康 著

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

特厚煤层大采高综放采场覆岩移动规律及围岩控制研究/
杨永康著. --北京:煤炭工业出版社, 2014

ISBN 978-7-5020-4475-6

I. ①特… II. ①杨… III. ①特厚煤层—大采高—放顶
煤开采—岩层移动—研究②特厚煤层—大采高—放顶煤开采—
围岩控制—研究 IV. ①TD823.25

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 063253 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 7

字数 174 千字

2014 年 4 月第 1 版 2014 年 4 月第 1 次印刷

社内编号 7307 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 提 要

本书介绍了作者在对特厚煤层大采高综放首采工作面第一手观测资料收集、分析的基础上,以特厚煤层大采高综放采场覆岩移动规律及围岩控制为研究内容,针对大采高综放开采技术发展要求,采用现场实测、理论分析、实验室相似模拟试验、数值模拟等方法,对大采高综放覆岩移动及矿压特征的工作面长度效应、采厚效应、采高效应和埋深效应进行研究;对特厚煤层大采高超长综放工作面合理支护强度给出了确定方法;对特厚煤层大采高综放采场矿压进行实测。

本书可供大专院校采矿工程、岩土工程专业本科生和研究生阅读,也可供从事煤矿设计、生产的技术人员参考。

序 一

值此《特厚煤层大采高综放采场覆岩移动规律及围岩控制研究》一书出版发行之际，我向作者及其所有参与本书编辑的同志们表示衷心祝贺。

20 世纪 80 年代以来，我国创造性地成功开发了综放和大采高（采高大于 3.5 m）两种采煤工艺；到 90 年代，已达到了高产高效的世界领先水平，在围岩控制理论及支架装备等方面都有了较成熟的成果；进入 21 世纪之后，随着我国中西部地区大开发，采矿界创造性地将综放和大采高两种采煤工艺综合起来，试验成功了大采高综放开采技术。

杨永康博士在深入总结我国和我所多年综放开采和大采高围岩控制现场观测和实验研究成果的基础上，运用理论分析、数值计算、相似模拟和现场观测的方法，系统研究了“综放采场覆岩移动规律及围岩控制”。作者在书中较完整地阐述了大采高综放采场覆岩移动及矿压特征的工作面长度效应、采厚效应、采高效应和埋深效应，研究了大采高综放采场支承压力、屈服破坏垮落范围、岩层移动等随工作面长度、采厚、采高、埋深、推进距离的变化规律。对特厚煤层大采高超长综放工作面合理支护强度、矿压实测进行了详细的论述，得到了大采高综放工作面支架—围岩关系，创造性地提出了“需控岩柱”的概念，同时，研究出防止煤壁片帮和端面顶板冒漏的台阶煤壁采煤工艺。

纵观全书，作者的研究成果丰富和完善了放顶煤开采的理论体系和实践内涵，对促进特厚煤层大采高综放开采技术的进一步

发展起到了积极的推动作用。

我愿将此书推荐给全国同行，愿它能成为继续深入研究大采高放顶煤开采理论技术的实用性专著，更期望此书为促进我国特厚煤层开采技术进步发挥作用。

太原理工大学教授

靳钟法

2013 年 11 月 28 日

序 二

煤炭是我国的主要和基础能源,其中厚煤层开采是实现煤炭高产高效开采的主体。据估计,在我国已探明的煤炭储量中,厚煤层占45%以上,因此研究厚煤层安全高效开采技术具有重要意义。大采高开采技术和综采放顶煤技术自20世纪80年代初推广至今已有30余年,对于一些特厚煤层,结合两种采煤工艺特点,发挥各自优势,实现大采高综放开采是特厚煤层开采技术的发展方向。但是我们也应看到,特厚煤层大采高综放技术围岩控制理论研究相对薄弱,上覆岩层运动规律研究较少,这会制约该技术的发展。

杨永康博士近年来进行了大采高综放开采技术的学习、研究。攻读博士学位期间,运用相似模拟、数值模拟试验和现场矿压观测等多种手段,较系统地研究了大采高综放采场围岩控制方面的理论,初步构建了特厚煤层大采高综放覆岩移动及围岩控制的理论框架,对指导大采高综放开采具有重要意义。

我深信本书的出版将受到广大采矿专家、学者、同行的欢迎,其研究成果比较系统,丰富了大采高综放开采的理论成果,尤其是大采高综放覆岩的移动规律等方面。因此,我愿意为此书做序,并向相关专业人员推荐此书,使其成为指导工程实际决策的理论与实用性专著。

中国矿业大学(北京)教授 **王家臣**

2013年12月4日

前 言

近年来,我国围绕大采高和放顶煤开采技术,在矿压显现规律、煤岩变形破坏、覆岩移动规律及支架-围岩关系等方面,开展了大量研究工作。实践证明,大采高综采开采 3.5~6.0 m 赋存稳定的厚煤层和综放全厚一次开采 5~14 m 的厚及特厚煤层是成功的。

对于煤层厚度大于 14 m 的特厚煤层,如果能结合综放开采和大采高综采两种采煤工艺的优点,将底层采高从目前的最大 3.5 m 提高到 3.5~7.0 m,可以满足一次采全厚 6~25 m 特厚煤层的技术要求,也符合《煤矿安全规程》的相关规定,对于实现矿井的安全、高效开采意义重大。因此,研究大采高综放一次采全厚 14~25 m 特厚煤层是综放开采技术的研究方向。

由于特厚煤层开采强度大,工作面经常出现压死支架等煤岩失稳灾变现象。少数特厚煤层大采高综放实际生产过程中发现围岩活动范围大,经常出现支架被压死、顶板动压、顶板异常响声、煤壁片帮等问题。

关于底层采高大于 3.5 m、实现综放一次全厚开采大于 14 m 特厚煤层的覆岩移动规律、围岩控制、现场实测、理论研究及实践经验等方面的文献很少,未查到底层割煤高度超过 3.5 m、实现一次全厚开采超过 14 m 的大采高综放开采工程应用的成套技术方面的研究成果。大采高综放开采工艺能否成功推广应用,发挥高产、高效和低耗的技术优势,其关键技术首先涉及采场覆岩移动规律。

2008 年康天合教授承担了山西焦煤集团斜沟煤矿大采高综放开采技术研究课题。针对斜沟煤矿的煤层赋存条件进行了不同工作面长度、不同采厚、不同采高的相似模拟试验研究。在课题

研究过程中,我们深刻认识到,大采高综放开采技术的发展必须有合理的围岩控制理论给予指导。

厚煤层开采技术的发展逐渐呈现工作面长度增长化、一次采出煤层厚度增厚化、采高增大化、埋深逐渐增加的发展趋势。鉴于此,本人在康天合教授的指导下开始从事采场覆岩移动及围岩控制方面的研究工作。

本人以斜沟矿大采高综放首采工作面第一手的观测资料为实践依据,研究了特厚煤层大采高综放采场覆岩移动规律及围岩控制。本书共分7章内容。分别介绍了大采高综放采场覆岩移动及矿压特征的工作面长度效应、采厚效应、采高效应、埋深效应,以及特厚煤层大采高超长综放工作面合理支护强度确定、矿压实测等内容。

本书的出版得到了山西省科技攻关(工业)项目(2011032101504)、矿山灾害预防控制国家重点实验室培育基地开放基金、山西省高等学校科技创新项目(2013112)、国家自然科学基金项目(51174141)、太原理工大学引进高层次人才科研启动项目(tyut-rc201308a)和山西省高校优秀青年学术带头人计划项目(No.2012)的资助。

本书的顺利完成,首先归功于康天合教授的悉心指导。靳钟铭教授和王家臣教授在百忙中审阅了书稿,提出许多中肯的修改意见,并欣然为本书作序。李建胜高工、常卫总工程师对编写本书现场数据实测部分给予了大力支持。宋选民教授、贾喜荣教授对书稿内容提出了宝贵建议。季春旭硕士和李晨阳硕士对书稿进行了校对。在此,向他们表示衷心感谢!

由于本人水平有限,不足之处在所难免,恳请广大专家、学者不吝批评指正。

杨永康

2014年1月

目次

1 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 厚及特厚煤层开采技术发展现状	1
1.3 厚煤层开采覆岩移动规律及围岩控制研究现状	13
1.4 特厚煤层大采高综放采场覆岩移动规律及 围岩控制研究	28
1.5 研究对象及研究内容	32
2 大采高综放采场覆岩移动及矿压特征的工作面 长度效应	33
2.1 现场实测分析	34
2.2 相似模拟试验研究	39
2.3 工作面长度方向复合压力拱分析	52
2.4 数值模拟研究	54
2.5 本章小结	64
3 大采高综放采场覆岩移动及矿压特征的采厚效应	66
3.1 覆岩移动及矿压特征的采厚效应理论分析	67
3.2 大采高综放工作面支承压力采厚效应解析	71
3.3 相似模拟试验研究	73
3.4 数值模拟研究	100
3.5 本章小结	113
4 大采高综放采场覆岩移动及矿压特征的采高效应	116

4.1	覆岩移动及矿压特征的采高效应理论分析	117
4.2	相似模拟试验研究	118
4.3	数值模拟研究	141
4.4	煤壁稳定控制理论及技术	148
4.5	本章小结	151
5	大采高综放采场覆岩移动及矿压特征的埋深效应	154
5.1	覆岩移动及矿压特征的埋深效应理论分析	155
5.2	数值模拟研究	160
5.3	本章小结	167
6	特厚煤层大采高超长综放工作面合理支护强度确定	169
6.1	试验方案	170
6.2	不同因素对控顶区顶煤下沉量的影响规律	172
6.3	各因素对控顶区顶煤下沉量的综合影响规律	174
6.4	斜沟煤矿 13 号煤层综放工作面合理支护强度 的确定	175
6.5	本章小结	176
7	特厚煤层大采高综放采场矿压实测研究	178
7.1	现场采矿技术条件	178
7.2	矿压观测内容及方法	180
7.3	监测结果及其分析	181
7.4	工作面支架异常压力事故原因分析及开采 建议	186
7.5	支架工作阻力的适应性分析	187
7.6	本章小结	194
	参考文献	196

1 绪 论

1.1 引言

能源是一切生产和生活的基础，国民经济的发展需要能源的增长来维持。中国是能源开采大国，也是能源消费大国，能源消费量占世界总消费量的 10% 以上。煤炭是我国的主要能源，在一次能源开采和消费结构中分别占 76.3% 和 68.9%（其中井工开采的煤炭产量约占煤炭总产量的 95%），并且这一状况在今后相当长时间内不会改变，因此煤炭开采在我国能源战略中将长期处于主导地位。

世界煤炭储量的 1/3 以上为厚煤层，在我国已探明的煤炭储量中厚煤层占 45% 以上，产量也相应为我国原煤总产量的 50% 左右。按照厚煤层定义，井工开采时单层煤厚超过 3.5 m 为厚煤层，单层煤厚超过 8 m 则为特厚煤层。山西、陕西、内蒙古、宁夏、甘肃、新疆等地广泛赋存单层煤厚超过 14 m 的特厚煤层，新疆乌鲁木齐矿区部分煤层厚度可达 70 m，适宜的厚及特厚煤层开采技术显得举足轻重。特厚煤层的开采方法及开采过程中的围岩控制技术一直是世界采矿界探讨的课题。厚及特厚煤层的开采方法主要有分层开采、大采高开采和放顶煤开采。

1.2 厚及特厚煤层开采技术发展现状

1.2.1 分层开采技术

分层开采是传统的厚煤层采煤方法，即将厚煤层分成若干中厚分层，每个分层用半机械化或机械化方法采出。这种采煤方法工艺成熟，具有设备投资少、一次采高小、瓦斯治理技术相对成

熟、覆岩及地表实现缓慢下沉等优点。但随着煤矿开采技术和装备水平的提高,其缺点也越来越明显:成倍增加巷道掘进率,成本高、产量低,下分层巷道位置的选择和维护都十分困难,搬家费用成倍增加,也增大了煤柱损失量;分层间人工假顶材料消耗大、工序复杂、劳动效率低;下分层回采时采空区积水和瓦斯不易处理;采空区反复扰动,由于矿压作用,多次启封采空区容易引起煤炭自燃;如果采用下分层放顶煤,则容易引起混矸,煤与矸石界面难控制,影响采出率。20 世纪 80 年代以后,随着开采技术的发展,传统的分层开采方法已经逐渐被淘汰。

1.2.2 大采高开采技术

20 世纪 70 年代,国外开始研究、应用大采高综采技术及装备。1970 年,德国采用贝考瑞特垛式支架回采了热罗林矿 4 m 厚煤层;20 世纪 70 年代末,波兰研发设计了两柱掩护式大采高支架 P10MA 系列,使用效果较好;1980 年,德国研发出最大高度为 6 m 的 G550-22/60 掩护式支架,在威斯特伐伦矿进行现场工业性试验,取得成功后该支架曾出口到南斯拉夫,在现场取得良好效果;1983 年,美国开始采用大采高综采回采怀俄明州卡邦县 1 号矿 Hanana No. 80 厚煤层,采高达 4.5~4.7 m,取得单班生产日产量 3600 t,两班生产日产量 5000 t,三班生产日产量达 6200 t,工作面工效达 210~360 t/工的好成绩,实现了该矿井高产高效;1993 年开始,捷克的 LAZY 矿不断改进 DBT 公司的大采高支架,将采高从 4 m 增加到 6 m,在较破碎顶板条件下,工作面最高单产达 8000 t/d,正常条件下单产达 7500 t/d。苏联、日本、澳大利亚、英国等也使用大采高开采技术。

20 世纪 70 年代末期,我国开始采用大采高开采技术。1978 年,开滦范各庄煤矿从德国引进 G320-20/37、G320-23/45 等型号的大采高液压支架及相应的采煤、运输设备,用于开采厚度为 3.3~4.5 m、倾角为 10°条件下的 7 号煤层,工作面最高月产达到了 94997 t,月产平均达到了 70819 t,是我国当时的最高水

平。与此同时,我国开始自主研发大采高液压支架及采煤机等配套设施。1980年,邢台东庞矿采用国产BYA329-23/45型两柱掩护式液压支架及配套大采高综采设备,在开采厚度为4.3~4.8m的煤层中进行工业试验,试验期间最高月产达 12×10^4 t,平均月产 6.3×10^4 t;1984年,西山矿务局官地矿使用我国自主研发的BC520-2/47型支掩护式支架、MXA-300/45型无链牵引采煤机等,在18202工作面进行工业性试验,在Ⅱ级3类顶板及采高4.0m条件下,该面3个月采煤 11.2×10^4 t;1986年,东庞矿采用国产BY3200-23/45型两柱掩护式液压支架及配套大采高设备,在2702工作面成功进行工业性试验;1988年东庞矿在试验基础上,进一步研发采高达5m的BY3600-25/50型两柱掩护式支架,在4.8m采高情况下,最高月产达 14.2×10^4 t,平均月产 10.4×10^4 t;20世纪80年代至90年代初期,先后在开滦、西山、铜川、兖州、徐州等矿区采用大采高开采方法,但采高均未超过5m。

随着矿井高产高效技术研究的深入,人们普遍认识到高产高效大采高工作面是矿井高产高效的基础,大采高工作面的优势越来越得到认可,大采高开采技术迎来新的发展阶段,工作面采高突破5m,部分工作面采高已经达到6m、7m,日产量普遍超过万吨,个别工作面的产量达到千万吨、效率达到并超过国际水平,成为国际一流的大采高工作面(表1-1)。1997年,神华东胜矿区补连塔煤矿使用ZY6000/25/50型掩护式大采高液压支架,1999年创月产 42×10^4 t,日产 3.04×10^4 t的全国纪录,后来又使用德国生产的WS1.7型两柱掩护式液压支架,2000年1月产煤 51×10^4 t,2月产煤 54×10^4 t。2002年,晋城煤业集团开始研究适合晋城矿区的大采高开采技术,2003年与郑州煤机厂合作研制的ZY8600/25.5/55型两柱掩护式大采高液压支架最高月产达 67×10^4 t,随后又研制使用了ZY9400/28/62型两柱掩护式大采高液压支架,工作面年产达到8Mt水平,最高日产达

到 2.7×10^4 t。2003 年,大同煤矿集团等研制使用了 ZY9900/29.5/50 型四柱支撑掩护式液压支架及配套设备,在四老沟矿平均煤厚 4.75 m 的“两硬”条件下,最高月产达 31.55×10^4 t。2003 年,补连塔煤矿 32201 工作面单面年产原煤 9.24 Mt,工作面采高为 4.5~4.8 m;2004 年,神华上湾煤矿 55101 工作面单面年产原煤超过一千万吨,最大采高 6 m。2004 年,晋城寺河煤矿 2306 工作面使用的 ZY9400/28/62 型支架平均采高为 6.0 m,最大高度为 6.2 m。2005—2009 年,神东矿区大采高综采的采高经历了 5.0~7.0 m 的发展历程。为了提高厚度大于 6.0 m 煤层的资源回收率和开采效率,2009 年,补连塔煤矿 22303 工作面(目前世界上采高最大的综采工作面)开展采高 7.0 m 的综采工业性试验,取得了较好效果。

表 1-1 我国某些特厚煤层大采高工作面参数与设备配套统计

工作 面	平均煤 厚/m	采高/ m	平均埋 深/m	工作面 长度/m	支架额定工作 阻力/kN	平均月 产量/ 10^4 t
寺河煤矿 2301 工作面	6.22	4.50	305.2	224	8638	44.6
寺河煤矿 2306 工作面	6.36	6.00	315.5	220.3	9400	46.3
赵庄煤矿 1301 工作面	4.60	4.60	539.6	220	12000	37.9
康家滩煤矿 88101 工作面	5.67	4.00	177.4	207	8638	38.5
长平煤矿 4303 工作面	5.86	5.86	245.3	225	12000	38.96
大柳塔煤矿 12205 工作面	3.57	3.50	88.2	230	7625	23.9
活鸡兔井 21303 工作面	6.00	3.20	79.0	240	7645	41.7
上湾煤矿 51101 工作面	7.40	5.30	82.0	240	8638	45.2
上湾煤矿 55101 工作面	7.10	6.00	115.5	300	10800	97.89
补连塔煤矿 22303 工作面	7.55	6.80	234.1	301	16800	

实践表明,绝大多数大采高工作面均实现高产高效,取得较好的技术经济效果。一般情况下,其主要的经济技术指标优于分

层综采工作面，在条件合适的情况下，也要优于综放工作面，因此大采高技术在我国发展比较迅速。在合适的煤层条件下，如倾角小、硬度大、厚度为 3.5 ~ 7.0 m、顶底板较平整、地质构造简单、工作面生产能力要求较大的煤层，采用大采高开采具有独特的技术优势。其技术优势主要表现在以下几个方面：

(1) 资源回收率高。从 3.5 ~ 6 m 厚煤层的开采实践看，大采高综采工作面的煤炭采出率均在 90% 以上，且采出煤炭质量好，含矸率低。

(2) 大断面、多通道、低负压，通风阻力小，更适合瓦斯较大、通风距离长的煤层开采。

(3) 粉尘主要来源由机组割煤产生，只要加强机组内外喷雾，并利用抽放钻孔实施煤层注水，就会取得好的降尘效果。

(4) 设备少、回采工艺单一，劳动环境好，系统管理简单。

(5) 工作面设备可靠性高，采、装、运和支护设备综合开机率在 90% 以上，可实现一井一面集约化生产。

但是，由于采高的加大和设备的重型化，大采高开采存在以下问题：

(1) 煤壁片帮及由煤壁片帮引起的端面冒漏严重。

(2) 支架载荷大，要求支架重型化，以免导致支架被压死或损坏。

(3) 支架稳定性差。

(4) 对煤层厚度变化的适应性差。采高很难正好与煤层厚度相同，加之回采过程中，端面漏冒及操作不熟练等，往往会人为降低工作面采高，加快推进速度和提高产量，客观上造成煤层厚度损失。当煤层厚度变化加大或顶底板不平时，更易造成煤层厚度损失。

(5) 设备大型化、复杂化，设备维护量和设备管理难度大。

1.2.3 放顶煤开采技术

放顶煤开采是一种高产、高效的厚煤层回采方法。它在煤层

下部布置一个中厚采高的工作面进行机采，顶煤体是在支承压力作用下被压裂破碎后自然冒落放出，支架前后两个采煤场所组成了放顶煤工作面。

放顶煤开采的思路源于厚煤层开采初期的高落式采煤，即底煤用手镐破煤，然后用锤楔崩落上部的煤炭。20 世纪初，欧洲将房式和仓式放顶煤开采技术作为复杂地质条件下的一种特殊采煤方法。20 世纪 60 年代，随着液压支架的迅速发展，苏联、法国、南斯拉夫等采用放顶煤方法开采 4.5 ~ 8.5 m 厚煤层。20 世纪 70 年代，放顶煤技术沿着两条思路发展：一条是支架前布置一台输送机，尾梁封闭，顶梁前部或后部放煤的高位或中位放顶煤技术；另一条是支架前后布置两台输送机，放煤口为千斤顶带动可伸缩掩护板的低位放顶煤技术。20 世纪 80 年代中期以后，由于粉尘、自然发火、瓦斯灾害、采出率等关键技术没有得到很好解决，这一技术在国外没有得到系统的研究和推广。

我国 1982 年开始引进、研究综合机械化放顶煤开采技术（简称综放），经历了摸索（1984—1990 年）、逐渐发展（1990—1996 年）、技术成熟和大范围推广（1996 年至今）3 个阶段。

1984 年，我国运用国产 FY400 - 14/28 型综放支架，首次在沈阳浦河矿进行工业性试验，虽然试验并不理想，但其优越性及取得的经验教训很快在急倾斜厚煤层获得成功并推广应用；1987 年，平顶山一矿引进匈牙利 VHP 高位综放支架及全套综放设备在缓斜软煤中试验成功，但最高月产仅 6.5×10^4 t；1988 年 12 月，阳泉一矿运用掩护式中位开天窗 ZFS - 4400 型综放支架在中硬煤中试验效果良好；1989 年 9 月，潞安王庄煤矿运用国产高位开天窗放顶煤综放支架实施顶煤动压复注水措施，在中硬煤中取得平均日产 3067 t、最高月产 82800 t、工作面采出率 87.82%、回采工效 40.12 t/工的好成绩，首次显示了综放开采的高产高效，从而拉开了中硬煤综放开采技术推广应用的序幕。