

南 华 王庆华 赵显文 著

综放特厚顶煤 破坏机理研究



煤炭工业出版社

河南省国际合作项目(104300510033)

河南省教育厅科技攻关项目(133014)

综放特厚顶煤破坏机理研究

Research on Mechanism of extremely Thick
Top Coal's Failure in fully Mechanized
Sublevel Mining Workingface

南 华 王庆华 赵显文 著

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

综放特厚顶煤破坏机理研究/南华, 王庆华, 赵显文著.
—北京: 煤炭工业出版社, 2010
ISBN 978-7-5020-3659-1

I. ①综… II. ①南…②王…③赵… III. ①厚煤层-综
合机械化掘进-放顶-煤矿开采-研究 IV. ①TD327.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 059494 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 850mm × 1168mm^{1/32} 印张 5
字数 126 千字 印数 1—1,000
2010 年 6 月第 1 版 2010 年 6 月第 1 次印刷
社内编号 6469 定价 15.00 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

以豫西目前开采的二1特厚煤层为原始条件,在实验室试验的基础上,通过不同顶煤厚度的对比相似模拟试验及理论分析,把特厚煤层顶煤的变形、破坏过程在工作面推进方向上划分为初始压缩及塑性变形区、强烈压缩及破坏区、顶煤短梁回转及支架作用区,把工作面上方顶煤划分为顶板破坏层、短梁结构层和支架作用层。同时建立了特厚顶煤三层结构的力学模型,并利用模拟统计的方法,对特厚顶煤破碎产生重要作用的综放支架进行了研究,并得出了支架各参数对顶煤破碎的影响规律。

本书适合从事矿业、安全科学与工程领域的工程技术人员及科研工作者阅读,也可作为大专院校师生的教学参考书。

前 言

我国厚煤层储量极为丰富，约占已探明储量的 45%。历年来，我国厚煤层开采的煤量占总产量的 40% ~ 45%，这一现实使我国的综放技术具有良好的应用空间。综放开采技术顺利实现了安全生产条件下的高产高效，与同等条件下的综采分层工作面相比，其产量和效率都可提高 3 ~ 13 倍，而成本可降低 30% ~ 50%，这一优势在煤炭供应紧张的形势下更为突出。应该说，综放开采在技术和经济方面的特大优势，对促进我国煤炭工业的发展起了重要作用。

顶煤能否充分破碎，是特厚煤层综放开采能否取得成功的关键。特厚煤层放顶煤开采顶煤受力、变形、破坏、运移过程有其特殊性。首先，顶煤的破坏受力不同，针对一般厚煤层，顶煤的破坏主要是在超前支承压力峰值区附近完成的（顶煤在此范围内形成较多的贯通裂隙），而顶板回转和支架的反复支撑仅起辅助作用。而对于特厚煤层，随着煤层厚度的增加，顶煤下部受到来自于超前支承压力的破坏作用越来越小，且支架对顶煤的支撑范围又有限，因此顶板回转破煤作用尤为重要；其次，超前支承压力大小和分布与厚煤层有较大差异，由于一次采出厚度的激增，上覆岩层结构的改变，顶煤变形、破碎过程与普通厚煤层截然不同；另外，采放比较小的厚煤层在综放开采放煤过程中，顶煤很难形成结构。而有关理论研究和实践证明，特厚煤层放煤过程中形成的顶煤结构对顶煤的顺利放出有很大的影响。

本书以豫西目前开采的二 1 特厚煤层为原始条件，在实验室煤样破碎特性试验、顶煤位移、应力及顶煤破碎效果现场实测试验的基础上，通过不同顶煤厚度的对比相似模拟试验及理论分析，指出特厚煤层顶煤的变形、破坏过程在工作面推进方向上划

分为初始压缩及塑性变形区、强烈压缩及破坏区、顶煤短梁回转及支架作用区；揭示了工作面煤壁前方特厚顶煤中的应力变化规律；提出了工作面上方特厚顶煤破碎的“三层结构”理论，并根据各自的特点建立了相应的力学计算模型。最后，利用特厚顶煤“三层结构”的破碎机理，对改善给定条件下特厚顶煤破碎的综放支架，利用模拟统计的方法进行了研究，得出支架各参数对顶煤破碎的影响规律，并在现场有一定范围的应用。

本书第4章由南华、王庆华、赵显文共同编写，其余各章由南华编写。在本书的完成过程中，得到了河南理工大学周英教授、李德海教授、李化敏教授、勾攀峰教授等的具体指导，在此，作者对他们表示深切地感谢。同时还要感谢在研究过程中提出宝贵建议的美国工程院院士 Syd. Peng、孟宪锐老师、马念杰老师、窦林名老师、高明中老师、杨天鸿老师、尤明庆老师、杨双锁老师等，另外，特别感谢苏承东教授级高工、徐涛博士、袁瑞甫博士、郭保华博士、徐学锋博士、李宝富博士等，是他们无私的帮助，促进了本书研究工作的顺利完成。书中引用了大量的参考文献，在此向所有论著的作者表示由衷的感谢。

由于作者水平有限，书中难免有疏漏和欠妥之处，敬请读者不吝指正。

著 者

2010年3月

目 次

1 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 综放开采研究现状及存在的问题	3
1.3 研究内容及方法	18
2 特厚煤层顶煤的实验室破碎特性研究	19
2.1 研究对象的原始条件	19
2.2 煤的实验室力学及破碎特性试验	22
2.3 小结	36
3 特厚顶煤破碎的数值试验研究	37
3.1 RFPA ^{2D} 简介	37
3.2 数值模拟计算的参数选取	39
3.3 数值计算结果分析	39
3.4 小结	51
4 特厚顶煤破碎、运移的现场测试研究	52
4.1 测试内容、方法及装置	52
4.2 测试结果分析	56
4.3 小结	80
5 特厚顶煤破碎的对比相似模拟试验研究	82
5.1 相似模拟试验研究目的	82
5.2 相似模拟试验原始条件	82

5.3	相似模拟试验设备	82
5.4	相似模拟试验设计	83
5.5	相似模拟试验结果分析	86
5.6	相似模拟材料容重对强度的影响	99
5.7	小结	103
6	特厚顶煤破碎、运移机理分析	105
6.1	特厚顶煤破坏运移规律的综合分析	105
6.2	顶板破坏层顶煤的损伤变形理论分析	107
6.3	短梁结构层顶煤的力学分析	112
6.4	支架破坏层顶煤的破坏机理分析	116
6.5	短梁结构对顶煤放出过程的影响分析	122
6.6	小结	122
7	综放支架对特厚顶煤破碎、运移作用的模拟统计研究	124
7.1	影响排序及最佳组合	125
7.2	综放支架初撑强度与顶煤采出率的关系	127
7.3	综放支架顶梁长度与顶煤采出率的关系	128
7.4	综放支架掩护梁角度与顶煤采出率的关系	133
7.5	小结	138
8	结论与展望	140
8.1	主要结论	140
8.2	展望	142
	参考文献	144

1 绪 论

1.1 引言

放顶煤开采的实质是实现工作面煤炭和顶部煤炭同时采出。顶部煤炭的开采是依靠矿山压力作用,使其自行破碎和冒落,并自行流动和放出。放顶煤开采法由来已久,法国等国家于 20 世纪 40 年代末 50 年代初即开始使用放顶煤开采法^[1~3]。

随着我国国民经济的快速稳定发展,目前,我国已成为全球第一大煤炭生产国,第二大能源消费国,第三大能源生产国,全国煤炭产量大幅增长,原煤产量由 2002 年的 14.2 亿 t 增加到 2009 年的 29.6 亿 t,增长了 108.4%,年均煤炭产量增长 13.55%。因此,煤炭在我国国民经济和社会发展中具有重要的基础地位作用^[4~6]。近 30 年来,我国以煤为主的一次性能源生产和消费结构没有发生根本变化,煤炭占一次性能源生产和消费总量的 66.1%~76.2%,石油占 15.2%~23.8%,天然气占 1.9%~3.4%,水电占 3.1%~8.2%^[7]。在《中国可持续能源发展战略》研究报告中,中国科学院和中国工程院的 20 多位院士一致认为,在未来几十年内,煤炭仍将是我国的主要能源和重要的战略物资,到 2050 年,煤炭所占比例不会低于 50%。总之,在今后相当长的时期内,无论从资源供给年限来说,还是从一次性能源生产和消费结构来说,煤炭仍将是我国的主要能源。

中国煤炭工业协会及中国煤炭工业网公布的有关资料表明,2008 年我国煤炭产量为 27.16 亿 t,同比增加 1.93 亿 t,增长 7.65%。其中,山西、内蒙古、陕西等 8 个省区煤炭产量超过亿吨,神华集团、中煤能源、大同煤矿等 35 家大型煤炭企业产量超过 1000 万 t,神东等 13 个大型煤炭基地产量超过 20 亿 t。

2007 年全国原煤产量为 25.23 亿 t, 同比增加 1.92 亿 t, 增长 8.2%。其中国有重点煤矿原煤产量为 12.4 亿 t, 同比增加 1.21 亿 t, 增长 10.8%; 国有地方煤矿原煤产量为 3.24 亿 t, 同比增加 400 万 t, 增长 1.3%; 乡镇煤矿原煤产量为 9.59 亿 t, 同比增加 6700 万 t, 增长 7.5%。三大类煤矿累计原煤产量占全国的比重分别为 49%、13%、38%^[8]。

2004 年全国共建成 177 个高产高效矿井, 其中 167 个为井工开采的煤矿, 分布于我国的 15 个省(区), 这些高产高效矿井总产量为 5.6121 亿 t, 原煤平均工效为 12.82t/工。除黑龙江省, 其他各省(区)均有矿井采用综采放顶煤开采技术, 使用该技术的高产高效矿井达到 74 个, 占全国高产高效矿井总数的 41.8%。在中国煤炭工业协会公布的 2005 年中国煤炭工业企业 100 强前 10 强的企业中, 除山西煤炭运销总公司和黑龙江龙煤矿业(集团)有限责任公司外, 兖矿集团有限公司、大同煤矿集团、山西焦煤集团、平顶山煤业集团等 8 个以煤炭生产、销售为主业的集团公司, 均有矿井采用综采放顶煤采煤法。山东兖州矿业集团公司东滩煤矿采用的综采放顶煤工艺, 2005 年全年生产原煤 753.18 万 t, 实现利润 14.69 亿元, 经济效益位居全国第一名。2007 年 3 月, 我国首个具有自主知识产权的年产 600 万 t 的自动化、信息化采煤工作面在东滩煤矿 1303 工作面正式投入生产, 这标志着我国放顶煤装备和开采技术达到了世界先进水平。由此可见, 综放开采具有较明显的技术和经济优势, 是我国厚煤层矿区实现集约化生产、建设高产高效矿区(矿井)的重要技术途径。

我国厚煤层储量极为丰富, 约占已探明储量的 45%, 且近年来我国厚煤层开采的煤量占总产量的 40%~45%^[9], 这一现实使我国的综放技术具有良好的应用空间。综放开采技术顺利实现了安全生产条件下的高产高效: 综放工作面不断创造和保持着我国长壁工作面高产高效的最高纪录; 综放工作面与同等条件下的综采分层工作面相比, 其产量和效率都可提高 3~13 倍, 而成

本却降低 30% ~ 50%，这一优势在煤炭供应紧张的形势下更为突出。应该说，综放开采在技术和经济方面的特大优势，对促进我国煤炭工业的发展起了重要作用。目前，综放开采技术已得到广泛应用，成为厚煤层的主要开采方法。

顶煤能否充分破碎，是特厚煤层综放开采能否取得成功的关键。特厚煤层放顶煤开采顶煤受力、变形、破坏、运移过程有其特殊性。首先，顶煤的破坏受力不同，针对一般厚煤层，顶煤的破坏主要是在超前支承压力峰值区附近范围内完成的（顶煤在此范围内形成较多的贯通裂隙），而顶板回转和支架的反复支撑仅起辅助作用。而对于特厚煤层，随着煤层厚度的增加，顶煤下部受到来自于超前支承压力的破坏作用愈来愈小，且支架对顶煤的支撑范围又有限，因此顶板回转破煤作用尤为重要。其次，超前支承压力的大小、分布和厚煤层有较大差异，由于一次采出厚度的增加，上覆岩层结构改变、顶煤变形、破碎过程与普通厚煤层截然不同。另外，放采比较小的厚煤层综放开采放煤过程中，顶煤很难形成结构。初步理论研究和实践证明：特厚煤层放煤过程中形成的顶煤结构对顶煤的顺利放出会产生较大威胁。因此，本书针对豫西目前开采的二 1 特厚煤层，对特厚煤层放顶煤开采时的顶煤破碎过程、破碎机理进行了研究。

1.2 综放开采研究现状及存在的问题

1.2.1 国内外放顶煤采煤法的发展过程

放顶煤开采法由来已久，法国等国家于 20 世纪 40 年代末 50 年代初即开始采用放顶煤开采法。1957 年，苏联首次在库兹巴斯煤田采用放顶煤开采法，借助 KTY 型掩护式液压支架开采倾角 $5^{\circ} \sim 18^{\circ}$ 、厚 9 ~ 12m 的厚煤层，工作面先采顶部煤，铺底网，然后沿煤层底板开采。在工作面向中间煤层打眼爆破，崩酥中间煤体，并通过 KTY 型支架顶梁上的天窗放入工作面输送机将煤运出工作面。后因工艺复杂、金属材料消耗量大、效果不理想而未能大量推广。

1963 年, 法国利用当时使用的节式支架改造成的带“香蕉”型尾梁的液压支架, 与采煤机和输送机配套, 组成综采设备, 于 1964 年在布朗齐矿区试验成功。之后, 英国、法国等国家都相继引进了这一技术, 并且对此进行了广泛的试验和研究。由于技术上的原因, 欧洲使用综放技术并没取得很好的技术经济指标, 再加上社会因素的影响, 20 世纪 80 年代中期以后, 国外放顶煤技术开始萎缩, 到 20 世纪 90 年代初, 国外只有极少数矿井仍在使用放顶煤开采^[1~2]。

目前, 除俄罗斯、印度和土耳其等少数国家仍在使用和研究放顶煤开采技术外^[10~12], 中国已成为世界上主要应用长壁放顶煤开采技术的国家。放顶煤开采技术在国外逐渐衰落的主要原因有以下几个方面:

(1) 适合放顶煤开采的资源枯竭。法国煤炭储量为 127 亿 t, 厚煤层储量仅占 8.5%, 经过 80 余年的开采, 适合放顶煤开采的厚煤层越来越少。

(2) 欧洲矿井煤炭开采成本过高, 能源市场被天然气、核能所挤占, 煤矿被迫减产或关闭。目前, 欧洲原主要产煤国已成为世界主要煤炭进口国。

(3) 放顶煤开采在技术上存在一些缺点和不足, 如煤炭采出率低、瓦斯容易积聚、采空区煤炭自然发火、支架性能较差等许多技术问题都没有得到很好解决, 限制了综放开采的广泛应用。

(4) 环境保护要求愈来愈严格。井下粉尘浓度标准美国规定为 $2\text{mg}/\text{m}^3$, 英国规定为 $11\text{mg}/\text{m}^3$, 德国规定为 $20\text{mg}/\text{m}^3$ 。而放顶煤开采粉尘浓度一般高达 $1000 \sim 1500\text{mg}/\text{m}^3$, 采用煤层超前注水和喷雾降尘等措施后, 仍难以达到国家规定标准。同时采用综放开采时, 在支架后方采空区进行充填较困难, 从而造成地表沉陷, 并对地面自然生态环境产生严重影响。

我国的综放开采大体上可分为 3 个时期^[13]:

探索阶段 (1982—1990 年)。这一阶段结束的标志是阳泉一

矿 8603 长壁综放工作面月产突破 14 万 t, 它证明了综放开采确实能实现高产高效。我国从 1982 年开始研究引进综放开采技术, 并于 1984 年在沈阳矿务局蒲河矿首先进行了全部国产设备缓倾斜长壁综放工作面的试验。由于试验地点的条件较差, 虽然试验取得了很多经验, 对我国综放技术的进一步完善有很重要的借鉴作用, 但这一阶段, 综放开采在难采煤层中的突破却很不够。

逐渐成熟阶段 (1990—1995 年)。综放开采步入成熟阶段的标志是: ①兖州矿务局兴隆庄矿工作面单产突破 300 万 t/a, 初步显示了综放工作面高产高效的巨大潜力; ②难采煤层综放开采技术有了重大突破。这个时期综放开采取得的主要成果有:

(1) 工作面高产高效工艺取得了重大进展。综放工作面最高单产 1994 年为 273 万 t/a, 1995 年为 315 万 t/a, 1996 年为 350 万 t/a, 1997 年为 410 万 t/a, 并且出现了一批年产 200 万 t 以上的工作面, 统计表见表 1-1。

表 1-1 1994—1997 年综放高产工作面的单产统计表
Tab. 1-1 Fully mechanized sublevel caving face's production
from 1994 to 1997

年度	综放工作面 个数/个	综放工作面最高 产量/(万 t · a ⁻¹)	年产百万吨以上工作面	
			个数/个	比例/%
1994	242	273	53	44.75
1995	244	315	65	6.66
1996	240	350	72	47.18
1997	239	410	76	48.38

(2) 放顶煤液压支架由仿造发展到自创, 并进而定型。

(3) 综放开采在“三软”、“大倾角”(30°左右)、“高瓦斯”等难采煤层有了突破。实践表明: 在难采煤层, 综放工作面的年产量也能突破百万吨。

(4) 提出了提高采出率、防治瓦斯、防治自燃和防尘的一

些措施，并进行了大规模试验，取得了一些成果。

(5) 综放开采理论研究有了很大进步，对岩层控制、支架-围岩关系、顶煤可放性、放煤工艺、平行作业等都有了较多研究。

(6) 1994 年我国制定了“综合机械化放顶煤开采技术暂行规定”，综放开采从此走向正规。

技术成熟和推广阶段（1996 年起）。从 1996 年到现在，国家加大了对综放开采技术研究的投入。由于综放开采巨大的技术、经济和社会效益，使煤矿生产企业对综放开采重大技术难点有了认识。同时，综放开采的安全优势也被公认，1995 年煤炭工业科教兴煤大会上确定了把综放开采技术定为“九五”期间煤炭行业重点攻关和推广的五项技术之首，原煤炭工业部还将综放开采技术的几个问题定为“九五”期间煤炭工业重点科研攻关项目，这些措施使得综放开采技术的发展有了一个很好的外部环境，在不长的时间内得到了快速发展。

2007 年平朔井工矿工作面最高月产已高达 78 万 t，直接工效在 300t/工以上。所以综放开采不仅是不稳定厚煤层合理的开采方法，而且也是稳定厚煤层建设高产高效矿井的有效技术途径之一。

1.2.2 中国综放开采技术的研究现状及存在的问题

综放开采技术在我国经过了 20 余年的发展。在这段时期内，我国的煤炭科技工作者在综放工作面矿山压力显现规律^[1~4,14~33]、瓦斯和煤尘治理^[34~42]、火灾预防^[43~52]等方面，均进行了较系统和深入的研究，使综放开采技术顺利实现了安全生产条件下的高产高效。综放技术的创新具体体现在以下几个方面：

1) 实现了高产高效^[13~14]

综放工作面实现高产高效是我国多年来采用综放开采取得的最突出的成就，它集中体现了综放开采在技术和经济方面的巨大优势，对促进我国煤炭工业的发展起了重要作用。综放工作面高

产高效的特点是：

(1) 采煤方法的改革是取得高产高效的主要原因，即使使用由其他类型设备改造而成的综合机械化设备（没有大幅度增加设备投入），也能得到比分层综采要高的技术经济效益。

(2) 工作面高产高效是全矿井在不减产的情况下，减少工作面数量，简化生产环节，减少井上、井下辅助工人数，使矿井处在减人提效的良性循环中。

(3) 综放开采降低了资源的浪费，减少了材料、动力、人力的消耗。

(4) 综放开采减轻了工作面工人的劳动强度，保证了工人的生命安全。

2) 研制了多个系列的综采关键设备^[13-22]

在综放技术发展的初级阶段，放顶煤支架基本上是模仿国外的，由于这些类型的支架都存在一些重要的缺陷，在我国都没有得到较大发展。随着新型低位放顶煤支架的研制成功，我国放顶煤支架架型逐渐统一定型，并陆续推出了几种新的低位放顶煤支架架型，如兖州煤业集团与北京煤矿机械厂联合研制开发的ZF-800型低位放顶煤液压支架。该支架采用高强度合金钢板制作，工作阻力为6800kN，并配套使用大流量阀组，移架速度高达15s/架，能与采煤机的牵引速度（9m/min）相匹配。在此基础上，形成了我国特有的放顶煤支架系列，取得了良好的技术、经济效果。我国设计的放顶煤支架大多数具备以下特点：

(1) 确定支架额定工作阻力时，不按必须满足6倍采高岩石重量的传统要求进行，只需与同类条件下分层开采的支架额定工作阻力相当即可。

(2) 由于双输送机、低位放煤支架放煤时产尘较小，丢煤也较少，也更能适应放顶煤工作面高产的要求，我国当前设计制造的放顶煤支架一般均为双输送机、低位放煤支架。

(3) 放顶煤工作面的特点是支架的顶板就是被破坏了顶煤，架间及架前均容易漏煤。因此，我国设计的放顶煤支架具备

带压移架和承载移架的能力。

(4) 顶煤冒落后，一般会有部分大块煤（或放煤时散落的顶煤）自然成拱。因此，我国设计的放顶煤支架都具有二次破煤机构和破坏散煤成拱的机构。

为适应高产高效的需要，综放工作面前后刮板输送机、采煤机、工作面运输巷带式输送机，都应采用大功率、大运量、高强度设备。我国已成功开发出 30 余种不同型号的电牵引采煤机，装机总功率已达 1200kW，牵引速度为 7.7 ~ 9m/min，调度速度已达到 15m/min。我国大运量重型刮板输送机的功率可达 1400kW，并使用双速电机，过煤量已达 600 万 t。同时，我国已开发了多种大运量多点驱动的可伸缩带式输送机，最大铺设长度可达 3000m，且软启动问题也已得到解决。

3) 提高采出率的研究取得了成效^[13,23,25~33]

由于我国大多采用全部垮落法管理顶板，所以丢弃在采空区的煤炭很难被回收。而煤炭作为不可再生资源，使综放开采保持较高的煤炭采出率尤为重要，且《煤炭安全规程》第六十八条的修改也充分体现了国家对综放开采煤炭采出率的重视。从理论上讲，我国绝大多数缓倾斜厚煤层矿井采用的长壁分层下行垮落采煤法，可以取得较高的采出率，但实际上，由于开采时的厚度损失（含煤层厚度变化的损失和分层工艺难以控制的损失）、煤柱损失及局部地质构造损失等原因，相当多数矿井的采区采出率只能达到 60% ~ 70%。引进综放开采后，一部分人认为顶煤与顶板的密切结合，会使综放开采顶煤采出率和含矸率都难以控制。事实上，综放开采在损失部分残煤的同时，由于其整层开采的特点可以免去大部分煤厚变化的损失和局部小地质构造的损失，避免了分层开采难以控制的损失。

考虑到储量和产量统计中实际存在的误差，我国在提高采出率和提高采出率统计的准确性方面做了大量工作，这些工作主要包括：

(1) 考虑到放煤损失是放顶煤开采中煤炭损失最多的环节，

我国对采空区散体煤岩运动规律进行了大量研究,并通过选择最佳放煤参数和放煤方式的方法来确定放煤工艺,以求实现最小的放煤损失。最近,中国矿业大学王家臣教授提出的“介质流”理论也为选择最佳放煤参数和放煤方式,并为确定放煤工艺提供了新的思路。

(2) 通过改进工作面初采和末采技术,改进和完善过渡支架、端头支架的放煤功能等措施,以提高初采、末采及工作面两端的顶煤放出率。

(3) 综放开采有利于加大采区设计参数,因此可以通过加大工作面长度和走向推进长度等措施来提高工作面的相对采出率。

(4) 根据综放开采特点,推广了无煤柱开采。

(5) 加强储量管理和采出量统计管理,严格确定煤厚(加强钻探要求),并采用先进技术准确统计煤炭采出量、含矸率、灰分、水分等指标,以提高采出率数据的准确性。

(6) 加强放煤管理,提高工人多放煤的积极性。

应该指出:目前所采用的提高综放开采采出率的有效措施并没有在所有的综放工作面实现,尤其是在那些煤质较硬、自然条件复杂的少数工作面,采出率还比较低。因此,顶煤能否充分破碎仍是取得较高顶煤采出率的必要条件。

4) 综放工作面瓦斯治理成果丰富^[34~41]

由于放顶煤工作面一次采全高,产量大,瓦斯的绝对涌出量增加,容易导致瓦斯超限以及潜在的瓦斯灾害,瓦斯问题成为制约放顶煤技术在我国推广应用的一个重要问题。近年来,通过对综放工作面瓦斯来源分析、瓦斯涌出特征分析、影响瓦斯涌出量的因素分析等工作,提出以瓦斯抽放、巷道排放为主,优化通风、加强监控监测及日常管理的综放工作面瓦斯治理措施,并取得了明显成效。在瓦斯预测、瓦斯异常带超前判识,尤其是在瓦斯抽放相关技术研究及应用方面,取得了长足进步,表1-2和表1-3分别为2006年国有重点煤矿瓦斯抽采情况和2006年瓦斯抽采量超过5000万 m^3 的煤炭企业。