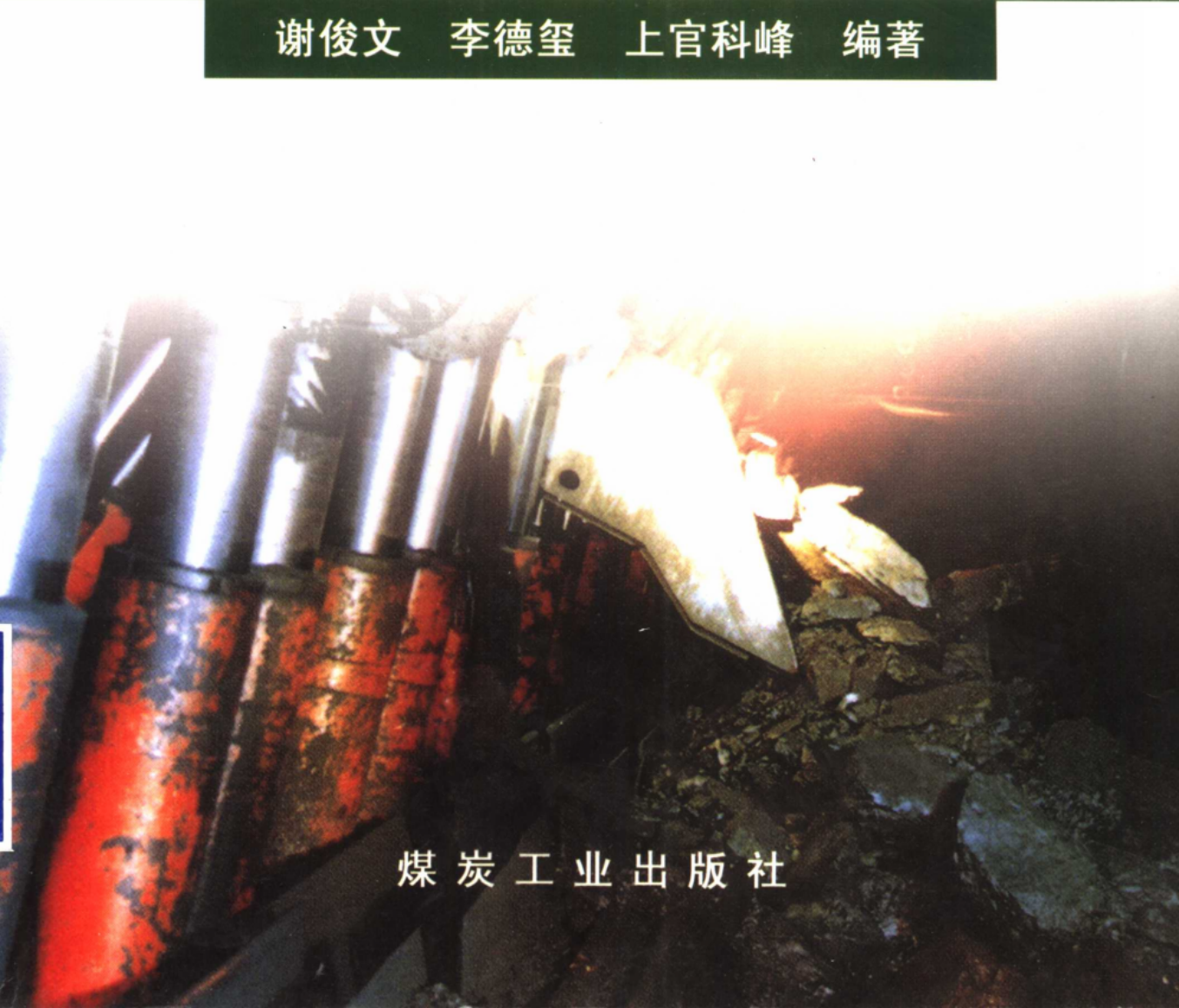


急—倾斜厚煤层 高效综放长壁开采技术

谢俊文 李德玺 上官科峰 编著



煤炭工业出版社

责任编辑：郑发科 王智英
赵冰 申浩

封面设计：于春颖

ISBN 7-5020-2639-8



9 787502 026394 >

ISBN 7-5020-2639-8/TD823.21

社内编号：5410 定价：38.00 元

急-倾斜厚煤层高效综放 长壁开采技术

谢俊文 李德玺 上官科峰 编著

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

急-倾斜厚煤层高效综放长壁开采技术/谢俊文, 李德玺, 上官科峰编著. —北京: 煤炭工业出版社, 2005

ISBN 7-5020-2639-8

I. 急… I. ①谢…②李…③上… III 急-倾斜厚煤层采煤法: 倾斜长壁采煤法 N. TD823.21

中国版本图书馆CIP数据核字 (2005) 第018334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

北京密云春雷印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 787mm×1092mm $1/16$ 印张 15

字数 350 千字 印数 1—1,500

2005年5月第1版 2005年5月第1次印刷

社内编号 5410 定价 38.00 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

序

长壁综采放顶煤技术的发展，已成为缓倾斜厚煤层矿井集中生产实现高产高效的有効途径。我国厚煤层资源丰富，但 35° 以上煤层占到17%，这样的厚煤层的开采方法多因倾角的限制，无法使用高效开采方法，因而使得开采这类煤层的矿井普遍存在用人多、效率低、效益差的问题。探索一种高产、高效、低耗、安全的适应于此类厚煤层的长壁综放开采技术，具有重大而深远的意义。

45° 左右煤层（暂称其为急-倾斜煤层）“支架-围岩”系统不稳定是公认的。在此类条件下要实现安全高效长壁综放开采，是长期未解决的难题。主要表现为：采场覆岩活动剧烈，煤层倾角直接影响工作面设备的稳定性；目前为止尚无适应这类长壁综放开采要求的设备；工作面生产尚无可借鉴的工艺技术；工作面顶煤冒落、设备下滑伤人。靖远煤业有限责任公司完成的《急-倾斜厚煤层高效综放长壁开采技术》为我国大倾角应用综放开采提供了成功经验。

本书主要由煤炭生产一线的工程技术、科研人员编著，它系统地总结和阐述了在靖远王家山煤矿急-倾斜大倾角煤层的长壁综放开采技术的实践和科研成果，从理论研究、设备研制、巷道及工作面布置、矿压显现规律、回采工艺以及安全保障技术等方面进行了全面的论述，拓宽和促进了综放开采技术的应用领域。本书适合于煤炭工程技术人员和科研人员学习使用，希望它对大家能有所裨益，并能为煤炭企业的高产高效发挥其应有的作用。

钱鸣高

2004年12月

前 言

在漫长的煤炭生产历史进程中，实现煤炭安全、高产、高效开采的技术途径始终围绕着采煤方法改革和技术装备改良而进行。其中，煤层倾角是选择采煤方法和开采技术的重要因素，也是矿井实现安全高产高效的客观基础。我国对煤层的赋存条件依据倾角划分为三个类别，即：煤层倾角在 25° 以下为缓倾斜煤层；煤层倾角介于 $25^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 之间为中倾斜煤层；煤层倾角在 45° 以上为急倾斜煤层；另外，通常还将 8° 以下的煤层称为近水平煤层。

综合机械化放顶煤开采技术是我国上世纪煤炭开采的重大技术进步成果，该项技术是以厚煤层长壁式工作面开采为基础而发展起来的，近年来在全国许多矿区得到迅速推广和应用，取得了良好的经济效益和社会效益。我国厚煤层资源丰富， 35° 以上煤层占到17%。然而，大倾角、急-倾斜（ $38^{\circ}\sim 49^{\circ}$ ）厚煤层的开采方法多因倾角的限制，使得开采这类煤层的矿井普遍存在用人多、效率低、效益差的问题，探索一种高产、高效、低耗、安全的适应于此类煤层的长壁综采开采技术，具有重大而深远的意义。

靖远矿区是我国西部甘肃省重要的煤炭生产基地，该矿区王家山煤田煤层赋存以大倾角、急-倾斜特厚煤层为主，多年来此类煤层的开采大多采用传统的金属网假顶倾斜分层和水平分段采煤方法，而这些采煤方法都存在着生产效率低、成本高、万吨掘进率高和安全性差等问题，影响和制约了矿井高产高效的建设和发展。随着矿井向集约化生产方向发展，突破传统的开采技术，采用长壁综放开采实现矿井高产高效，成为王家山矿集中生产技术改造的关键。但要在急-倾斜特厚易燃煤层实现长壁综放开采就必须解决关键设备和配套技术问题。

针对大倾角、急-倾斜特厚煤层的开采技术难题，靖远煤业有限责任公司立项并组织实施了国家经贸委第二批国家重点技术改造“双高一优”项目到项计划、甘肃省科技重点攻关科研重点攻关——《急-倾斜厚煤层长壁综放开采技术研究》。该项目包括2个大课题及8个子课题。该课题从2000年开始，先后历时4年完成并取得丰硕成果，基本解决了倾角 45° 左右厚煤层机械化长壁综放开采的主要技术难题，为急-倾斜厚煤层高效开采探索出一条成功之路，具有广阔的推广前景和应用价值。同时该项目属具有自主知识产权的原始创新，获得国家实用新型专利授权7项，研究成果达到国际领先水平，先后获得甘肃省科学技术

进步一等奖、国家安全生产科技成果一等奖、中国煤炭工业科学技术特等奖和煤炭工业十大科学技术成果奖。

本书以《急-倾斜厚煤层长壁综放开采技术研究》为背景,系统地从大倾角综放煤层开采基础理论研究、设备研制、巷道及工作面布置、矿压显现规律、回采工艺以及安全保障技术等方面进行了全面的阐述和总结,是一部集急-倾斜(倾角 $38^{\circ}\sim 49^{\circ}$)、特厚(13.5~23m)、易燃等多种复杂性于一体的煤炭开采技术方面的专著,也是靖远煤业公司广大工程技术人员和职工,在这一难采煤层安全高效开采技术探索实践中所积累丰富经验的总结和集体智慧的结晶。希望通过本书的介绍,能够为推动我国类似煤层条件下安全高效开采技术进步和发展提供可借鉴的技术思路、技术装备与配套方案、开采方面的实践经验,为我国煤炭工业技术升级起到一定的示范作用。

本书可供煤矿工程技术人员、管理干部使用,也可供科研、设计部门的有关人员和院校师生学习参考。

在本书出版之际,特别感谢国家经贸委、甘肃省科技厅从项目立项到实施过程中给予的支持和指导,感谢中国科学院宋振骥院士、中国工程院钱鸣高院士、谢和平院士的指导,感谢煤炭技术委员会主任尚海涛的支持与指导,同时感谢西安科技大学、中国矿业大学(北京校区)和参与项目完成的单位及全体成员。本书在编写过程中得到了西安科技大学贫东风教授、程文东高级工程师、北京科技大学王金安教授等同志的大力帮助,西安科技大学索永录教授对全书进行了审定,在此一并表示衷心地感谢。

由于作者水平所限,书中难免有不妥之处,敬请广大读者批评指正。

著 者

2005年4月18日

目 录

序 前言

§ 1 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 急-倾斜厚煤层开采技术发展及现状	3
1.3 急-倾斜厚煤层综放开采的主要技术难点	7
1.4 急-倾斜厚煤层综放开采技术主要研究内容与方法	11
1.5 王家山矿急-倾斜厚煤层高效综放长壁开采技术研究与实践的 主要成果和效益	14
§ 2 急-倾斜厚煤层高效综放长壁开采巷道及工作面布置优化	18
2.1 王家山矿44407综放开采试验工作面基本条件	18
2.2 采煤方法分析选择	20
2.3 工作面基本布置方式的优化	21
2.4 工作面主要参数分析优化	23
2.5 采准巷道系统优化布置	23
2.6 工作面圆弧段参数分析确定	25
2.7 巷道断面及支护方式	27
§ 3 急-倾斜厚煤层高效综放工作面矿压显现规律	29
3.1 急-倾斜煤层开采矿压显现特殊性及对开采影响	29
3.2 工作面矿山压力监测方法	30
3.3 工作面矿压显现规律	33
3.4 回采巷道压力及变形规律观测研究	39
§ 4 急-倾斜厚煤层高效综放长壁开采矿山压力控制技术基础研究	43
4.1 相似材料模拟实验研究	43
4.2 矿山压力与控制的损伤力学分析	52
4.3 数值模拟计算分析研究	59
4.4 采场围岩活动和破坏特征综合分析和认识	75

§ 5 急-倾斜厚煤层综放工作面顶煤运动和放出规律	77
5.1 综放工作面顶煤破碎放出研究	77
5.2 大倾角综放工作面顶煤运动变形规律观测研究	80
5.3 急-倾斜走向长壁综放面顶煤与覆岩运移数值计算分析	86
5.4 急-倾斜厚煤层综放工作面顶煤运移和放出特点	106
§ 6 急-倾斜厚煤层综放开采主要设备配套技术	108
6.1 引言	108
6.2 急-倾斜煤层综放工作面主要设备配套原则	109
6.3 急-倾斜特厚煤层综放面主要设备性能要求分析	110
6.4 主要设备配套的空间位置关系	113
6.5 主要设备技术性能配套关系	114
6.6 主要设备及其配套关系的试验	117
6.7 主要设备适用性评价	120
§ 7 急-倾斜厚煤层综放开采成套液压支架	126
7.1 大倾角综放面液压支架工作状况的特殊性	126
7.2 基本支架	127
7.3 端尾支架	140
7.4 过渡支架	146
7.5 端头支架	149
§ 8 急-倾斜厚煤层走向长壁综放开采回采工艺	155
8.1 回采工艺技术难点分析	155
8.2 回采工艺基本方式	156
8.3 回采工艺方式和参数的分析试验及优化	160
8.4 工作面端头支护技术	162
8.5 回采工艺关键技术	163
8.6 影响工作面回采工艺的主要因素及解决方法	169
8.7 工作面采出率主要影响因素	170
§ 9 急-倾斜厚煤层高效综放开采安全保障技术	172
9.1 急-倾斜厚煤层高效综放工作面自然灾害特点	172
9.2 44407 综放工作面通风方案选择与优化	176
9.3 工作面自然发火防治技术	181
9.4 工作面瓦斯防治技术	197
9.5 工作面粉尘防治技术	201
9.6 工作面安全监测监控技术及安全信息网络控制技术	206

§ 10 急-倾斜厚煤层高效综放开采的管理模式	209
10.1 国内外煤炭生产管理模式概况	209
10.2 工作面生产管理环境特点和管理模式设计原则	210
10.3 工作面“三线二量”生产管理模式	211
10.4 工作面“三线二量”生产管理模式构成与方法	212
§ 11 急-倾斜厚煤层高效综放开采技术研究试验的基本经验与前景展望	224
11.1 44407 综放面工业性试验的主要成效	224
11.2 研究的主要结论	224
11.3 经验体会	225
11.4 前景展望	226
参考文献	228

§ 1 绪 论

1.1 引言

煤层倾角是影响煤层开采难度高低的关键因素之一。急-倾斜厚煤层由于其倾角处于急倾斜和倾斜的过渡阶段,现有的倾斜缓倾斜厚煤层开采方法和急倾斜厚煤层开采方法都很难适用,因此急-倾斜厚煤层的安全高效开采方法一直是采矿界公认的国际性高难度技术问题。寻求急-倾斜厚煤层的安全高效开采方法一直是我国煤炭科技工作者孜孜探索的重大科学技术课题之一。

王家山煤矿急-倾斜厚煤层高效综放长壁开采集急-倾斜(煤层倾角 $38^{\circ}\sim 49^{\circ}$)、厚(煤层厚度 $13.5\sim 23\text{m}$)、易燃等多种复杂性于一体,技术难度大,要求高,是一项高难度技术课题。

2003年在王家山煤矿试验研究完成的“急-倾斜厚煤层高效综放长壁开采技术研究”课题,是国家煤炭工业技术委员会、甘肃省2003年科技攻关计划(甘科计(2003)31号文)立项的重点项目,也是靖远煤业有限责任公司继攻克高瓦斯、突出煤层、坚硬特厚煤层之后,再次冲击复杂难采煤层,发掘资源优势,并转换为市场竞争优势的重大技术创新项目,以该课题为前提条件和关键技术的靖煤公司王家山煤矿集中生产技术改造项目,也备受国家有关部委和省政府的高度重视和大力支持,分别列入2002年国家重点技术改造项目和甘肃省211工程。

靖远煤业有限责任公司王家山煤矿位于甘肃省白银市平川区王家山镇,矿井井田东西走向长 8.5km ,倾斜宽 3.5km ,面积约 25km^2 ,矿井地质储量 3.8亿t 。成煤时期为中晚侏罗纪,含煤八层,主采二、四两层,平均煤厚分别为 13.98m 和 14.79m ,为倾斜($25^{\circ}\sim 45^{\circ}$)和急倾斜($45^{\circ}\sim 72^{\circ}$)煤层。煤炭分类为弱粘煤和不粘煤,是“三低一高”的优质环保动力煤和民用煤。矿井1550水平以上的浅部,设计采用五对井型为(30~45)万 t/a 的独立片盘斜井群开拓,分别从1982年末至1992年先后建成投产,矿井设计生产能力180万 t/a 。矿井属低瓦斯矿井,煤尘具有爆炸性,爆炸指数为 36.33% ,自然发火期3~5个月,最短为28天。1990年以来,实际生产能力在100万 t/a 以上,最高年产量为127.9万 t/a 。

靖远煤业有限责任公司王家山煤矿采用小型片盘斜井群开拓,布局“小、密、散”,井田走向短,水平储量少,服务年限最多可维持5~10年左右,各井接续问题日益突出,工作面搬家频繁,造成矿井万吨掘进率居高不下、能耗高、资源浪费、生产成本低、效益差,已不能适应现代化矿井生产的需要。

为解决王家山煤矿目前生产分散和各井接续面临脱节的问题,优化开拓中深部井田,实现集约化生产,提高矿井安全生产和综合效益,靖远煤业有限责任公司通过技术经济论证后,对矿井进行了技术改造,将四对片盘斜井优化为一对集中斜井,利用四号斜井并筒延深开拓全井田,设计生产能力150万 t/a 。王家山煤矿集中生产技术改造项目正在积极实施

之中。

为了贯彻实施“十五”产业结构调整规划,加大企业技术改造力度,加快企业技术进步和产业升级步伐,为应对我国加入世贸组织后的激烈市场竞争的新形势,根据国家产业政策和当前结构调整需要,着力解决重点行业结构调整存在的突出问题,国家经贸委于2001年组织编制了第二批国家重点技术改造“双高一优”(高新技术产业化、高新技术改造传统产业、优化重点产品和技术结构)项目导向计划。王家山煤矿矿井技术改造项目经过充分的技术经济评价后,2001年被国家经济贸易委员会列为国家重点技术改造“双高一优”项目导向计划(国经贸投资[2001]1000号文)。2002年王家山煤矿集中生产技术改造项目被国家经济贸易委员会、国家发展计划委员会列为国家重点技术改造项目计划,获得第七批国债专项资金支持(国经贸投资[2002]408号文)。2002年王家山煤矿矿井技术改造项目又被甘肃省政府列为省“211调产工程”技术改造项目(甘政办发[2002]54号文)。

王家山煤矿集中生产技术改造是甘肃省煤炭行业的一项国家级“双高一优”项目。技术改造内容利用现有设施,对井下提升、通风、防灭火、供电等生产系统进行系统改造,合理优化矿井的开拓布局,通过装备大倾角长壁综放工作面改革采煤方法。该项目总投资18328万元,改造完成后,将实现合理集中生产,采煤机械化率100%,原煤工效将提高到10t/工。

“急-倾斜厚煤层高效综放开采技术研究”是实现王家山煤矿技术改造项目目标的关键。从王家山煤矿高产高效建设和可持续发展的全局战略高度看,该技术研究具有基础性和决定性的重大作用。该项目被国家煤炭工业技术委员会列为重点技术攻关项目,被甘肃省列为“211工程”之一,旨在集中解决困扰王家山煤矿可持续发展的35°~55°大倾角厚煤层高效安全开采的技术难题,为该矿深部开拓、布置优化、合理集中生产、改善生产环境奠定基础,为建设高产高效矿井、实现跨越式发展创造条件。

王家山煤矿急-倾斜厚煤层走向长壁综合机械化放顶煤开采具有大倾角(工作面倾角38°~49°)、大放高(放顶煤高度12.9m)的特点。项目的容量大、涉及面广、技术难度高、经济风险大。针对其中的关键技术,项目研究分为了8个子课题:

- (1) 急-倾斜厚煤层高效综放开采“三机”研制及配套技术研究。
- (2) 急-倾斜厚煤层高效综放开采液压支架研制。
- (3) 急-倾斜厚煤层高效综放开采巷道及工作面布置优化设计研究。
- (4) 急-倾斜厚煤层高效综放回采工艺研究。
- (5) 急-倾斜厚煤层高效综放开采顶煤运移规律研究。
- (6) 急-倾斜厚煤层高效综放开采矿压显现规律研究。
- (7) 急-倾斜厚煤层高效综放开采安全保障技术研究。
- (8) 急-倾斜厚煤层高效综放开采工作面管理模式研究。

研究针对急-倾斜厚煤层综放开采技术这一世界性难题,进行了多项原始创新研究,取得了丰富的成果。所研制的专用设备和工作面巷道布置都达到了较高技术水平,其中7种特殊技术或装置申报了国内实用新型专利,并获得国家专利局授权。

王家山煤矿急-倾斜厚煤层走向长壁高效综放开采技术与工业试验的成功,标志着我国急-倾斜厚煤层走向长壁高效综放开采设备及工艺趋于成熟。它成功地拓展了煤炭地下开采综放设备及工艺的应用范围,为我国大量赋存的急-倾斜厚煤层的开采探索了一条成功

之路,具有广泛的推广应用价值。它极大地丰富了我国和世界的煤炭开采技术,推动了我国煤炭科技事业及煤炭工业的发展,对我国煤炭资源的开发具有深远的影响,对加速我国西部大开发、发展西部和实现全面小康社会的战略目标具有重要的意义。试验的成功不仅获得了显著的经济效益,而且具有重大的社会意义。

本书内容包括急-倾斜厚煤层高效综放开采的技术难题研究目的、方法、技术路线、科学技术基础研究、关键技术,将分别从工作面下段采用圆弧段过渡形式布置、液压支架的防倒防滑装置、采煤机操作制动可靠性及提高装煤效果技术、前后部刮板输送机的特殊结构及适用于急-倾斜工作面的防滑技术、端头支护技术、采煤与放煤工艺研究、矿压显现规律研究等方面阐述,并研究与急-倾斜厚煤层长壁综合机械化放顶煤开采技术紧密相关的关键技术。

1.2 急-倾斜厚煤层开采技术发展及现状

1.2.1 急-倾斜煤层含义

煤层倾角是影响采煤方法选择和矿井开拓部署的关键因素之一。长期以来,按照煤层倾角的大小,我国一直将煤层划分为三个类别,即 25° 以下的煤层为缓倾斜煤层; $25^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 的煤层为倾斜煤层; 45° 以上的煤层为急倾斜煤层。另外,通常还将 12° 以下的煤层称为近水平煤层。

世界主要产煤国家,如前苏联、德国、波兰等早先也曾将煤层按倾角划分为上述三类,后来随着采煤机械化技术的发展,将煤层按倾角划分为四类,即: $<18^{\circ}$ 为缓倾斜煤层, $19^{\circ}\sim 35^{\circ}$ 为倾斜煤层, $36^{\circ}\sim 55^{\circ}$ 为次急倾(大)斜煤层, $56^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 为急倾斜煤层。美国则划分得更细,即: $0^{\circ}\sim 10^{\circ}$ 为近水平煤层, $10^{\circ}\sim 22^{\circ}$ 为缓倾斜煤层, $22^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 为中倾斜煤层, $40^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 为急倾斜煤层, 60° 以上为近直立煤层。

可见,煤层按倾角的分类并不是一成不变的。随着科学技术的发展和新材料、新装备、新工艺的出现,煤层按倾角的分类也会推陈出新。

特厚煤层采用放顶煤采煤方法是适应我国现状的一种先进采煤技术,缓倾斜煤层、特别是十几度以下的特厚煤层综采放顶煤已达到很高的产量,其整体技术水平已达到国际先进水平, 60° 以上急倾斜特厚煤层采用水平分段放顶煤已成为共识,然而 45° 左右的煤层采用走向长壁综放开采在技术上存在一系列特殊的难点,这些难点都是国内外尚未完全解决的问题。

国内外研究表明, 35° 是冒落矸石的自然安息角,在大倾角煤层长壁工作面,冒落直接顶不可能在原地停留堆积,而沿倾斜向下滚落,形成采场控顶区后方下部填满,上部悬空的不同充填特征,影响到顶板破断后运动; 35° 以上时,工作面底板岩层会发生滑移破坏,底板一旦破坏,由于煤层倾角大于破坏矸石的自然安息角,也会向下滑移,而且破坏滑移区还可能向上蔓延,从而引发工作面支护系统失稳,导致生产和安全事故。因此,20世纪90年代前后,根据工作面顶底板围岩破坏特征和支架-围岩系统稳定性控制特点,我国采煤界一些学者提出了“大倾角煤层”的概念。无疑,这是对这类煤层开采特点的一个基本的科学认识的提高,也是采煤机械化由缓斜向倾斜再向更大倾角煤层发展的必然结果。

究竟什么是大倾角煤层,到目前采矿界还没有公认的很明确的解释和统一的定义。从现有的文献来看,“大倾角煤层”一般多指 $35^{\circ}\sim 55^{\circ}$ 倾角的煤层,跨我国现行的煤层按倾角

分类法中的倾斜和急斜两类；但也有一些文献从回采工作面现场技术管理较难的角度，将 25° 左右的煤层称为“大倾角煤层”。从工作面顶底板围岩破坏特征和支架-围岩系统稳定性控制特点看，将倾角 $35^{\circ}\sim 55^{\circ}$ 的煤层称为“大倾角煤层”更为科学合理。从倾斜煤层的 35° 向急斜煤层的 55° 这一过渡区间的煤层恰好是采用走向长壁采煤法开采难度最大的煤层，特别是倾角在 $35^{\circ}\sim 55^{\circ}$ 这一过渡区间的特厚煤层的综放开采在国内外被公认为属于高难采矿技术领域，靖远煤业有限责任公司王家山煤矿所开采的煤层基本上就是倾角为 $35^{\circ}\sim 55^{\circ}$ 、厚度 $13\sim 23\text{m}$ 的煤层。但鉴于目前“大倾角煤层”还没有公认的规范统一的定义，本书仍以我国现行的按煤层倾角的三类划分法为基础，用“急-倾斜”特别表示煤层倾角为 $35^{\circ}\sim 55^{\circ}$ ，即从倾斜向急斜这一过渡区间。书中出现的“大倾角”可以认为与“急-倾斜”是等价的。

1.2.2 急-倾斜厚煤层开采技术发展

我国于1982年开始研究引进综采综放设备与技术，急倾斜大倾角特厚煤层开采技术发展过程大致可分为以下几个阶段：

(1) 80年代中期，一些开采急倾斜煤层的矿井如：开滦、鹤壁、沈阳、南桐矿、攀枝花以及北京等矿务局分别引进德国、英国、波兰、西班牙、前苏联等国的倾斜或急倾斜综采设备，均因设备不能适应所开采的煤层条件而未取得好的效果。

(2) 1984年煤炭科学研究总院北京开采所研制了适应于 $35^{\circ}\sim 55^{\circ}$ 煤层的ZYS9600-14/32型重型大倾角组合式液压支架，试制出样机，并经型式试验和台架 55° 转角试验合格，但未进行成套工业性试验。1984年运用国产FY400-14/28型综放支架在沈阳蒲河煤矿首次进行综放开采工业试验，试验效果虽然不够理想，但取得的经验教训在急-倾斜煤层中推广应用。1986年，当时的国家煤炭部，在制定煤炭工业“七五”发展规划时提出：“七五”期间应主要开发“三极（急）”（极厚、极薄、急倾斜）、“三软”（软顶、软煤、软底）、“二硬”（硬顶、硬煤）、“二大”（大倾角，大采高）等煤层应用的支架，在技术上要有所突破，而首先应解决倾角 55° 以内的长壁工作面的综采技术问题，对倾角更大的煤层应进一步研究合理的开采工艺及设备。从此，对急-倾斜设备及采煤方法的研制和试验进入了一个高潮阶段。1989年我国第一套大倾角液压支架ZYJ3200-14/32型研制成功，填补了我国 55° 以下大倾角煤层液压支架的空白，但经型式试验和技术鉴定后未推广使用；经改进后，ZYJ3200/14/32G型支架在沈阳红菱矿进行工业试验和技术鉴定，也未推广使用。

(3) 1986年，窑街二矿率先在 55° 、 20m 左右的特厚煤层中试验水平分段综放并获得成功。急倾斜煤层水平分层，是一种变复杂为简单的有效途径，窑街矿务局率先迈出了可喜的一步。之后，靖远矿务局王家山煤矿、燎源矿务局、平庄矿务局、乌鲁木齐矿务局和华亭县煤矿也相继采用这种采煤方法开采 45° 以上的特厚煤层，均取得了较好的技术经济效果。但这种采煤方法的工作面长度受煤层厚度限制，一般较短且经常变化，不利于生产和管理，产量和效率比长壁工作面低，不利于集约化生产和高产高效矿井建设。于是，急斜特厚煤层长壁综放成为一个研究方向，目前集中解决 55° 以下煤层的特厚煤层长壁综放开采设备与技术。

20世纪90年代后，随着我国综采放顶煤开采技术的日趋成熟，一些矿井逐渐开始在倾角 30° 左右的倾斜特厚煤层中试用综放开采技术。宁夏石炭井矿务局乌兰矿、黑龙江鹤岗峻德矿和河南平顶山矿务局十三矿等相继进行了 $30^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 倾角、 $8\sim 10\text{m}$ 厚度煤层的综采放顶煤开采试验，取得了一定成效。但支护的稳定性、可靠性仍未得到很好解决。

1992年石炭井矿务局乌兰矿在倾斜特厚煤层进行综放开采试验。试验工作面的倾角在 25° 以上,最大达 37° ,煤层厚度8m。工作面长60m。工作面采用ZFSB3200—16/28型放顶煤液压支架,上下两端各有2架ZTG3400—20/30型过渡支架,在运输平巷内布置一组ZTF8900—20/30型可放煤端头支架,采用MXP350型窄机身采煤机。前后输送机均采用SGD630/220型刮板输送机。试验取得了良好的技术经济效益,月产达到3万t,采煤工效19.4t/工,工作面采出率84.94%,采区采出率达到77%。随后,鹤岗矿务局南山矿、淮南新集矿、平顶山矿务局十三矿等煤矿相继采用国产设备进行了急-倾斜(最大 37°)特厚(6~8m)煤层综放开采试验并获成功。

(4) 1998年在华蓥山矿务局绿水洞矿投入使用的ZYJ2300/13/32大倾角支架,基本上从技术设备上(包括下端头支护)较完全地解决了大倾角中厚煤层走向长壁综采难题。为急-倾斜中厚煤层走向长壁综采技术的推广和急-倾斜特厚煤层走向长壁综放技术的研究奠定了基础。

(5) 2003年靖远煤业公司王家山煤矿在煤层倾角 $38^{\circ}\sim 49^{\circ}$ 、煤层厚度13.5~23m的易燃特厚煤层进行工作面倾斜布置的走向长壁综采放顶煤开采试验获得成功,较好地解决了大倾角特厚煤层走向长壁综放开采难题。

1.2.3 急-倾斜厚煤层开采技术研究状况

国内外研究表明, 35° 是冒落矸石的自然安息角,在大倾角煤层长壁工作面,冒落直接顶不可能在原地停留堆积,而是沿倾斜向下滚落,形成采场控顶区后下方下部填满、上部悬空的不同充填特征,影响到顶板破碎后运动。由于煤层倾角大于破坏矸石的自然安息角,底板一旦破坏,冒落直接顶也会向下滑移,而且破坏的滑移区还可能向上蔓延,从而引发工作面支护系统失稳,导致生产和安全事故发生,因此,这类煤层是国际上目前开采难度最大的煤层。

我国倾角 35° 以上的煤层的储量占总储量17%,在我国西部,约占30%以上。长期以来,在这种地质条件下,我国基本上采用非机械化开采煤炭,劳动强度大、效率低、安全性差。目前应先解决倾角 55° 以内的长壁工作面的综采技术难题。对倾角更大的煤层,应进一步研究合理的开采工艺及设备。

有的学者多年致力于急-倾斜煤层的矿压研究,作了大量的现场观测,提出了急-倾斜煤层顶板分类方案,推动了我国大倾角煤层开采技术的研究和应用。

随着条件好的容易开采的煤炭资源的枯竭和开采技术的进步,急-倾斜特厚煤层的长壁机械化开采技术难题的解决势在必行。新疆广泛赋存着急-倾斜特厚煤层;四川、福建、北京等省市和开滦、淮南、淮北、平顶山、徐州、鹤岗、鹤壁以及石炭井等矿区都有 35° 以上的煤层;特别是在甘肃省的煤炭储量中,煤层倾角大于 35° 的煤层占很大比重,其中窑街矿区的煤层倾角在 45° 以上的储量占39.6%,靖远王家山煤田中 35° 以上的煤炭储量占76.8%,华亭矿区 $37^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 倾角的煤层占总储量的12.48%。目前,急-倾斜煤层年产量占全国煤炭总产量的8%~10%,并呈逐年增加趋势,有的省(区)急-倾斜煤层的产量甚至占有很大比例,例如四川省煤炭产量的40%~50%来自于这类煤层。从检索到的有关大倾角的文献数量来看,也呈逐年大幅度上升趋势,这就说明对大倾角煤层开采的研究和应用越来越受到人们的重视。

开采大倾角煤层有过很多种方法。对较薄的以及中厚煤层而言,据不完全统计有:房

柱式采煤法、巷道放顶煤采煤法、仓储式采煤法、单一走向长壁采煤法、倒台阶采煤法、正台阶采煤法、斜台阶采煤法、伪斜小巷多短壁采煤法、俯伪斜水平分段密集支柱采煤法，俯伪斜掩护支柱采煤法等等，这些采煤法的机械化程度很低或手工开采，事故频发。

而对急-倾斜厚煤层和特厚煤层的开采，仍然有许多种方法。如倾斜分层走向长壁采煤法、水平分层采煤法、斜切分层采煤法、柔性掩护支架采煤法、仓储式（走向长壁）采煤法、仓储式（倾斜长壁）采煤法、巷柱式（落垛）采煤法、刀柱式采煤法、换相采煤法、水平分段简易液压支架铺网放顶煤采煤法、水平分段单体支柱结构铺网放顶煤采煤法以及近几年发展起来的巷道放顶煤采煤法等。开采巨厚急倾斜、大倾角煤层时，则采用了水平分段综放开采方法，如华亭煤矿的工作面装备及开采技术已类似一般的近水平特厚煤层综放开采了。

在上述采煤方法中，少数是把开采缓倾斜煤层的方法直接用在了急-倾斜煤层的开采上，而多数是煤炭科技工作者和工程技术人员针对不同的煤层赋存条件，结合对急-倾斜煤层开采技术的研究，因地制宜地发明创造出的采煤方法。其中，最典型的要数台阶式采煤法和伪倾斜柔性掩护支架采煤法，在教科书作为成熟的采煤方法中常有详细介绍。倒台阶采煤是国家煤炭部在我国第一个五年计划期间，向前苏联学习并在全中国大力推广的一种采煤方法。针对我国幅员辽阔、煤炭资源赋存条件千差万别，广大的煤炭科技工作者结合各个地区不同的煤炭地质条件，创造出了许多种采煤方法。其中最具代表性的是具有中国特色的伪俯斜柔性掩护支架采煤法。

又由于受较大的煤层倾角和顶板支护问题的困扰，上述这些采煤方法，劳动强度大、产量效率低、安全性差、采出率低。所以以液压支架为核心设备的综合机械化采煤方法的出现，为急-倾斜煤层的开采，引出了一条新径。

国外对急-倾斜煤层长壁综采的研究与试验，主要限于中厚煤层。20世纪70年代末，国外主要产煤国家（原西德、前苏联、英国、法国、波兰等），曾研制过急-倾斜煤层综采设备，使用到 $35^{\circ}\sim 62^{\circ}$ 煤层，因煤层倾角大，工作面设备故障多，工艺复杂，产量和效率较低，这几年的研究进展缓慢或基本停止。而急-倾斜厚煤层走向长壁综放以前还鲜见报道。

大倾角煤层倾斜布置走向长壁高效综放开采是近几年国内主要的研究方向之一。但因技术难度随煤层倾角增大而剧增，由于工作面的倾角大，工况复杂，给综放液压支架等提出了多方面的要求。

我国综合机械化放顶煤开采技术，经过20多年的发展，在设备配套、采煤工艺、矿压、顶煤破碎与放出规律、防灭火、防治瓦斯、防尘等安全技术、提高综放工作面采出率等方面，进行了大量的试验研究和科研攻关，取得了丰硕的科研成果，并公认达到国际先进水平。这一采煤方法从技术到装备主要是解决了两大领域的问题：一是缓倾斜煤层综放；二是倾角在 60° 以上的急倾斜煤层采用水平分段放顶煤。而在 $35^{\circ}\sim 55^{\circ}$ 的急-倾斜特厚煤层，放顶煤关键技术曾长期未能很好地解决。对这类煤层综放曾尝试过两种不同途径。

一是走向长壁综放，“支架—围岩”系统中支架上方从直接顶变为待放顶煤，它直接影响着支护系统的稳定性，主要问题是以支架为主的开采装备的严重下滑倒架。

二是与急倾斜煤层一样，采用水平分段综放采顶煤。该方法是分别沿煤层顶底板布置运输和回风两条巷道，工作面长度即为煤层的水平厚度。而这种采煤法，在每个分段上方靠近岩层底板的部分，有一个大块三角煤基本上是放不出的，这从根本上制约了煤炭的回

收率,如图1-1所示。此三角煤的损失随煤层倾角的减小而迅速增大。

近几年,我国的急-倾斜特厚煤层综放设备及技术虽在局部倾角达 $35^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 、煤厚10m以下进行过长壁高效综放开采的试验,并取得了一定成效,但就研究的广度和深度而言,仍在积极的探索之中,仍有许多复杂问题尚待解决。因而许多矿区正在致力于解决急-倾斜特厚煤层综放的关键技术。王家山煤矿急-倾斜特厚煤层综放技术的研究试验成功是这一领域的突破。

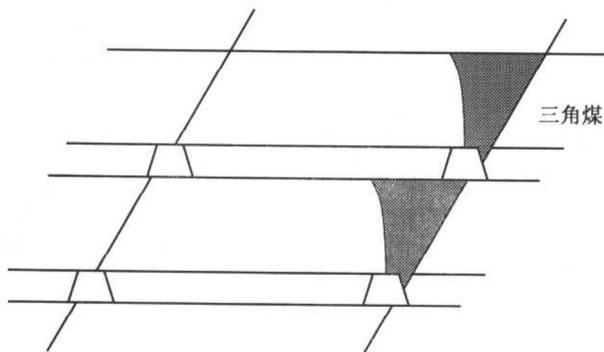


图1-1 急-倾斜特厚煤层水平分段
综放巷道布置及煤损示意图

1.3 急-倾斜厚煤层综放开采的主要技术难点

急-倾斜特厚易燃煤层高效综放开采技术难题长期以来没有解决。当前,我国急需解决这一问题。本次研究需要解决的技术难题概括起来有三大类,即如何使“支架-围岩”系统的随机不稳定得到有效控制;如何保证安全高效的采煤工艺;如何解决以防灭火、防治瓦斯及防尘为核心的安全保障技术。这三类问题相互影响,关系错综复杂,构成了一个动态的复杂的系统问题。王家山煤矿急-倾斜特厚煤层走向长壁综放研究的成功是大倾角煤层开采高难技术的突破。

王家山煤矿1978年建井,1982年开始陆续建成投产。井田东西走向,长8.5km,南北倾斜宽3.5km,面积 25km^2 。总地质储量3.8亿t。井田为一较陡的单斜构造,内有可采煤层2层,即二层煤和四层煤,煤层厚度分别为12.23m和24m,倾角 $25^{\circ}\sim 72^{\circ}$,煤层极易自燃,自然发火期3~5个月,最短28天。井田浅部沿走向自东向西划分为5个小井田,采用片盘斜井开拓,主斜井为箕斗提升,副斜井为串车提升。共用的总工业广场设在四号井,1、2、3、5号井提到地面的煤炭,经600mm轨距的架线电机车牵引3t底卸式矿车集中运至4号井储煤场的卸载坑,再进行筛选。矿井设计能力180万t/a,其中1、2号井各45万t/a、3、4、5号井各30万t/a。3号井井田已于1998年分别划归2、4号井。王家山矿井田分布如图1-2所示。

王家山煤矿现有小型群井开采布局为“小、密、散”,井田走向短,水平储量少,服务年限最多可维持5~10年,各井接续问题日益突出,工作面搬家频繁,矿井万吨掘进率居高不下,能耗高,资源浪费严重,生产成本低,矿井效益差,已不能适应现代化矿井生产和市场经济发展的需要。

为解决王家山煤矿目前生产分散和各井接续面临脱节的问题,优化开拓中深部井田,实现集约化生产,提高矿井安全生产和综合效益,决定将四对片盘斜井优化为一对集中斜井,利用现四号斜井并筒延深开拓全井田,设计生产能力150万t/a。

王家山煤矿经过多次采煤方法和工作面支护改革,已逐步形成了急倾斜煤层水平分段综采放顶煤和倾斜分层单体柱炮采两种采煤法。水平分段综放工作面长度15~30m,分段高