

编著 李晋平 李洪武

潞安矿区厚煤层 高效安全残采技术

中国矿业大学
北京
图书馆
CIP
数据
2010.12
ISBN 7-5626-3150-1
I. ①潞
II. ①李
III. ①潞
IV. ①T
②F
③F
④F
⑤F
⑥F
⑦F
⑧F
⑨F
⑩F
⑪F
⑫F
⑬F
⑭F
⑮F
⑯F
⑰F
⑱F
⑲F
⑳F
㉑F
㉒F
㉓F
㉔F
㉕F
㉖F
㉗F
㉘F
㉙F
㉚F
㉛F
㉜F
㉝F
㉞F
㉟F
㊱F
㊲F
㊳F
㊴F
㊵F
㊶F
㊷F
㊸F
㊹F
㊺F
㊻F
㊼F
㊽F
㊾F
㊿F
GAOXIAOANQUANCANCAIJISHU

煤炭工业出版社

潞安矿区厚煤层高效安全 残采技术

编著 李晋平 李洪武

煤炭工业出版社

• 北 京 •

前 言

我国是一个厚煤层开采大国，厚煤层开采煤量占总产量的40%~50%，厚煤层的开采技术经济状况对我国煤炭行业的生产和经济状况有举足轻重的影响。与潞安矿区一样，这些厚煤层开采矿井也存在着大量的残余煤柱和小块段煤。与中厚及薄煤层不同，厚煤层的煤柱和不规则块段煤储量大，该部分资源的回收对延长矿井寿命，提高衰老矿井的经济效益作用显著。因此如何安全高效地回收矿井厚煤层残煤，提高资源回收率，是我国厚煤层矿区必须解决的重要问题。

潞安矿区主采煤层为3号煤，煤层厚4~7.84m，平均6.30m。1989年以前，3号煤层主要采用分层长壁开采；1989年，矿区开始在王庄矿进行综放开采试验，此后长壁综放开采在矿区得到广泛的应用，目前综放开采已成为矿区该煤层开采的主要方法。长期以来，矿区各矿井遗留了大量的煤柱和小块段煤量，其储量约占矿区厚煤层储量的20%以上。对于衰老矿井，煤柱及小块段煤量占可采储量的比重更大。

对于厚煤层煤柱与边角煤的回收，国内主要采用原始的高落式硐室采煤法，资源回收率低，安全性差。潞安矿业集团公司为了提高矿区资源回收率，实现厚煤层残煤的安全高效开采，1998年与煤炭科学研究总院北京开采研究所合作在石圪节煤矿进行了“应用高效机械化回收残采区的试验研究”、“残采工作面沿空掘巷技术的试验研究”，采用轻放开采回收煤柱与边角煤，同时在残采面进行沿空掘巷，成功地解决了石圪节煤矿残采问题，实现了矿井的可持续开采。2001年、2002年与中国矿业大学在常村煤矿、王庄煤矿合作完成的“综放大断面沿空留巷技术研究”、“综放开采J型通风系统治理高瓦斯涌出的关键技术”等项目为

潞安矿区采用大、小断面沿空留巷，实现无煤柱开采奠定了基础，为残采工作面采用无煤柱开采提供了技术保证。2003 年与中国矿业大学、煤炭科学研究总院太原分院及北京开采研究所在五阳煤矿合作完成的“短壁综合机械化开采工艺与安全保障技术研究”项目开发了连续运输系统，确定了短壁开采的合理参数，并在五阳煤矿进行了工业性试验，为潞安矿区厚煤层边角煤与煤柱回收提供了新方法。2006 年与煤炭科学研究总院北京开采研究所合作完成的“潞安矿区厚煤层安全高效残采技术研究”对厚煤层残采技术进行了系统的研究，提出了适于潞安矿区厚煤层安全高效残采的方法。

本书是在石圪节煤矿从事厚煤层残采技术研究与实践多年，在残采方法、工作面布置、设备选型以及巷道煤柱留设等方面积累了丰富的实践经验，结合上述项目研究成果，编著了本书。鉴于作者水平所限，书中难免尚有不妥之处，望广大读者批评指正。在此，对于为本书提供资料的单位及相关工程技术人员和引用资料的作者，表示衷心感谢。

作者

2006 年 7 月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 提高资源回收率的重要意义	1
第二节 国内外残采技术发展现状	4
第二章 潞安矿区概况	14
第一节 潞安矿区地层	15
第二节 潞安矿区煤层分析	16
第三章 厚煤层残采方法研究	23
第一节 连掘工艺短壁工作面一次采全高采煤法	24
第二节 巷柱式放顶煤采煤法	29
第三节 连掘工艺短壁工作面放顶煤采煤法	33
第四节 履带行走式支架方案	43
第五节 短壁放顶煤工作面回收煤柱方案	52
第六节 连续采煤机房柱式采煤法	62
第七节 连掘机房柱式采煤法	67
第八节 轻型支架放顶煤开采	70
第九节 潞安矿区厚煤层安全高效开采方案	76
第四章 应用轻放开采技术残采实践	78
第一节 工作面概况	78
第二节 巷道布置及生产工艺	81
第三节 采煤方法和回采工艺	85
第四节 循环作业及劳动组织	89

第五节	顶板管理及支架说明书	92
第六节	通风系统	96
第七节	辅助运输系统	100
第八节	工作面矿压显现特征	104
第九节	安全保障技术措施	110
第十节	技术经济效益分析	113
第五章	应用连掘机房柱采煤法残采试验	117
第一节	试验区域概况	117
第二节	工作面布置方案设计及参数确定	119
第三节	主巷支护参数设计	127
第四节	工作面设备布置	133
第五节	开采工艺流程	135
第六节	短壁机械化开采矿压监测	138
第七节	短壁机械化开采安全保障技术	143
第八节	实施效果分析	161
第六章	潞安矿区综放开采无煤柱护巷技术	165
第一节	潞安矿区综放开采区段煤柱合理尺寸	166
第二节	潞安矿区综放开采沿空掘巷技术	180
第三节	综放开采沿空留巷岩层控制理论研究	191
第四节	潞安矿区综放开采沿空留巷技术	210
第七章	残采工作面沿空掘巷技术的试验研究	222
第一节	回采巷道围岩稳定性观测研究	223
第二节	护巷煤柱稳定性数值模拟计算	238
第三节	残采沿空巷道围岩支护	244
参考文献		248

第一章 绪 论

第一节 提高资源回收率的重要意义

一次能源是指为人类提供能量的天然性物质，它包括煤炭、石油、天然气、水能等等，但主要指矿产资源。目前，世界各国使用的能源主要是一次能源。据统计，一次能源各国的需求量比例如表 1-1 所示。

在我国，煤炭、石油、一次电力（水电、核电等）和天然气是主要一次能源。我国能源利用现状是能源结构以煤炭为主，煤炭在一次能源消费结构中所占比重约为 67.9%。我国能源利用与发达国家之间的差距大，我国人均能源量或人均能源消费量都是很低的，人均拥有煤炭的可采储量为 101t，为世界平均值的 40%，在现已勘探的世界煤炭储量中，美国和前苏联各占世界煤炭储量的 23.2%，中国占 11.0%，澳大利亚占 8.8%，德国占 7.7%，其他国家共占 26.2%，石油、天然气的平均可采量则更低。但是，我国能源资源利用的浪费和破坏却又十分严重。煤炭等矿产资源的大量开发利用，保证了国民经济的快速发展，但是快速的经济增长也增加了对矿产资源的索取，导致在开采过程中造成大量的矿产资源浪费。目前，资源开采过程中的浪费问题已经成为制约中国经济发展的重要因素之一，也引起了国际社会的广泛关注。

由于一次性能源的煤炭储量有限，而随人类社会的发展，其需求成倍增长，将最终将导致资源枯竭。而阻止资源枯竭的两种可行性方法是实行资源替代和进行技术改革。

实现不可再生资源——煤炭资源的可持续开采利用：一是要

表 1-1 世界主要国家、地区一次能源需求比例

	石 油	一次能源需求量, 折石油/ $1 \times 10^6 \text{ t}$					一次能源需求的结构比例/%				
		天然气	煤炭	原子能	水力	合计	石油	天然气	煤炭	原子能	水力
北美	1047	652	581	219	58	2557	40.9	25.5	22.7	8.6	2.3
美国	883	555	543	198	26	2205	40.0	25.2	24.6	9.0	1.2
中南美	219	84	21	3	44	371	59.0	22.6	5.7	0.8	11.9
欧洲	755	400	348	246	52	1801	41.9	22.2	19.3	13.7	2.9
德国	132	72	81	44	2	331	39.9	21.8	24.5	13.2	0.6
法国	96	34	14	102	6	252	38.1	13.5	5.6	40.5	2.3
英国	78	83	35	25	1	222	35.1	37.4	15.8	11.3	0.4
意大利	93	56	13	—	4	166	56.1	33.7	7.8	—	2.5
前苏联	182	483	171	53	19	908	20.0	53.2	18.8	5.8	2.2
俄罗斯	126	327	109	32	14	608	20.7	53.8	17.9	5.3	2.3
中东	215	158	6	—	1	380	56.6	41.6	1.6	—	0.2
非洲	116	47	89	4	5	261	44.5	18.1	34.1	1.5	1.9
亚太地区	929	242	913	126	45	2255	41.2	10.7	40.5	5.6	2.0
日本	259	67	92	82	7	507	51.1	13.2	18.1	16.2	1.4
中国	200	19	511	4	19	753	26.6	2.5	67.9	0.5	2.5
韩国	100	17	37	27	1	182	55.0	9.4	20.3	14.8	0.5
台湾省	40	6	24	10	1	81	49.4	7.4	29.6	12.3	1.3
印度	95	21	150	3	7	276	34.4	7.6	54.3	1.2	2.5
全世界合计	3463	2066	2129	651	224	8533	40.6	24.2	25.0	7.6	2.6

强化技术管理，各级矿领导严格执行煤炭工业技术政策，尽量做到不丢煤，少丢煤，提高回采率；二是开采过程中要做到合理布局，选择适宜的采煤方法，优劣、难易和厚薄应搭配开采；三是加强煤柱和边角煤以及风化带等处的煤炭资源的回收。矿井残煤是客观存在的，尤其是对于矿井可采储量日渐减少的衰老矿井，加强残煤的开采对于延长矿井服务年限具有重要的意义，残煤的复采是每个矿井开采到一定时期的一项重要资源开采政策。目前我国，有相当一部分矿井，由于开采时期长，开采强度大，致使矿井可采储量迅速减少，适合综采（或综放）的正规块段储量已面临枯竭。因此如何挖掘矿井潜力，充分利用煤炭资源，提高采出率已成为衰老矿井的重要任务，而提高衰老矿井采出率关键在于对残煤的回收。

根据我国矿井开采特点，矿井残煤主要来自3个方面：一是矿井留设的各种保安煤柱；二是因地质条件复杂，在布置回采工作面时，受各种保安煤柱、现有开采技术及其他各方面因素的影响，而出现的较难开采的不规则边角煤；三是工作面开采过程中遇构造（大断层、大陷落柱等复杂地质构造）时，工作面不能向前推进而留下的残采工作面。这些残煤体，虽然块段面积小，但数量多，每一个块段，少则几百吨，多则几千吨，甚至上万吨，在每个矿井中都占有相当的比例。由于每个矿井均有发展、衰老的过程，因此矿井残采问题是每个矿井都必须面对的问题。

我国是一个厚煤层开采大国，厚煤层开采煤量占总产量的40%~50%，厚煤层的开采技术经济状况对我国煤炭行业的生产和经济状况有举足轻重的影响。与潞安矿区一样，这些厚煤层开采矿井也存在着大量的残余煤柱和小块段煤。与中厚及薄煤层不同，厚煤层煤柱和不规则块段煤储量大，该部分资源的回收对延长矿井寿命，提高衰老矿井的经济效益作用显著。因此如何安全高效地回收矿井厚煤层残煤，提高资源回收率，是我国厚煤层矿区必须解决的重要问题。

第二节 国内外残采技术发展现状

由于煤炭是不可再生资源，国内外对如何经济安全并最大限度采出煤炭进行了持续不断的研究与实践。采煤方法从最原始的柱式人工开采，已发展为以机械化长壁开采为主，短壁机械化开采为辅的多种机械化开采并存的现代开采体系；资源回收率不断提高，由原先的 10% 左右提高至当前的 60%~70%，但由于煤柱、边角煤等残煤的存在，受当前采煤方法（一般均需留煤柱护巷）影响，矿井资源回收率的进一步提高受到了限制。特别是随着矿井采深的不断加大，矿井各类煤柱越来越大，矿井残煤损失不断增加。因此为了解决此类问题，国内外部分生产矿井，特别是衰老矿井为延长矿井寿命，尽量多回收煤炭资源，在矿井残煤回收方面进行了大量有益的探索与实践。

一、国外残采研究现状

在国外，特别是发达的采煤大国，如美国、澳大利亚井工开采主要采用多巷道的长壁开采及房柱式开采，由于采用连续采煤机掘进或回采，对于边角煤及煤柱的回收主要采用连续采煤机回收。但连续采煤机适用条件为：①近水平煤层，煤层厚度 0.8~4.5m；②顶板中等稳定以上；③底板较平整，不太软，无积水；④煤质较硬；⑤煤层不易自燃。由于连续采煤机使用条件的限制，大量的保护煤柱以及边角煤等都不能进行回收。特别是对于煤层厚度大于 4.5m 的特厚煤层，除部分国家采用连续采煤机分层开采时，对残煤进行部分回收外，国外发达采煤国家基本上还处于空白。

二、国内残采技术发展现状

在我国，有相当一部分矿井已接近可采资源枯竭的地步，为了提高资源的开采利用率，或是在新的采区尚未准备出来而又要

满足矿井计划年产量的情况下，实行了不同程度、不同采煤工艺的残采活动。由于采煤工艺的特点不同，残煤开采方法主要有以下几种方式：炮采（包括炮采放顶煤）、高档普通机械化开采、综合机械化开采（包括综采放顶煤）。其中薄煤层以炮采为主；中厚煤层以炮采、高档普采为主；厚及特厚煤层以炮采放顶煤、高档普采放顶煤与综放开采为主。

在我国南方，比如福建永安地方煤矿，由于煤矿地质复杂或煤厚不稳定，无法进行正规长壁工作面回采，取而代之的是艰难的零星残采，其开采方法主要是炮采，采用小顺槽短壁式采煤法解决残采丢煤问题，即改变采面斜长与巷道布置方式，使其能满足开采构造复杂的煤层的需要，从而解决了丢煤严重的问题，提高了回采率，并且在永安的小溪、苔茹、下早等矿进行了试采，取得了成功。在这种情况下进行残采，由于无法进行高度机械化开采，因此工人劳动强度大，工作条件十分恶劣，而且安全性差、残采过程还是丢煤较严重、经济效益差。平庄矿务局元宝山矿具有一百多年的历史，矿井已进入萎缩期，残采成为矿井主要生产形式。由于残采工作面的特殊性，巷道的布置具有一定的局限性，元宝山四矿（煤厚 1.8~2.0m）对残采工作面巷道的布置进行了积极探讨，集中布置巷道，充分利用原有巷道，同时对上下山煤柱回收，进行沿空掘巷，取得了一定的成绩和经济效益。在新汶矿业集团公司鄂庄煤矿，利用房柱式耙装法回收 304 采区 4 煤层（平均厚 1.8m）上、下保护煤柱，并探索了相关的一系列开采措施，如工作面的布置、巷道的支护、开采顺序以及爆破落煤工艺的相关参数。经过近一年的实践，304 下山煤柱（11 万 t）回收比原计划提前半年完成，为及时封闭 304 下山采区创造了有利条件，共回收煤柱 9.8 万 t，月产量由 0.3 万 t 提高到 1.1 万 t，工作面占用人员大大减少，经济效益十分明显。但工作面块段及推进距离较小，搬家频繁；因受耙装机耙装范围限制及深孔爆破效果影响，工作面装煤不彻底，部分煤炭不能回收。

对于煤层厚度变化大，开采条件复杂的煤层，采用当前常用

的采法困难大，必须寻求新的采法。新汶矿业集团公司孙村煤矿与中国矿业大学合作研究的井下煤层气化在块段煤柱回收中的应用，已取得成功。2002年7月，一号、二号气化炉并入矿区煤气网络，取得了较好的经济效益。井下煤层气化的成功，为矿井残煤的回收提供了新的途径。

薄及中厚煤层由于煤层厚度小，残采工作面储量有限，一般采用投入较少的短壁炮采或房柱式开采，部分矿井在储量较大的残采面采用高档普采。由于采用落后的开采技术，工作面难以实现高效安全生产，采区资源回收率柱式开采一般低于50%。为了尽可能提高资源回收率，部分矿井在巷道布置（如沿空掘巷、沿空留巷）、煤柱尺寸与巷道支护方面进行了有益的探索，并取得了较好的效益。

我国厚煤层矿区多分布在东北、西北、华北和华东地区。厚及特厚煤层的采煤方法在引进欧洲倾斜长壁下行分层人工假顶（或上行充填）采煤法进行开采之前以“高落式”仓储式采法为主。20世纪70年代前，分层开采以炮采为主，自1974年在开滦矿务局唐山矿试验成功厚煤层倾斜分层下行垮落金属网假顶综合机械化采煤以后，先后在阜新、鹤壁、大同、潞安、晋城、阳泉、兖州、邢台、淮北、大屯、平顶山、义马、鹤岗等矿区得到推广，分层开采的综合机械化采煤工艺才有了长足的发展，最高月产15万t，最高年产达180万t。

20世纪80年代以前，我国开采厚煤层的正规采煤方法以分层开采为主，对部分5m以下的厚煤层采用大采高整层开采。由于开采方法的限制，不仅使厚煤层的储量优势没有得到充分发挥，反而因为其工序复杂、灾害事故多、对地质条件的适应性差等缺点，致使实际煤炭回收率低、采煤效益差。在借鉴国外厚煤层开采技术的基础上，我国从1982年开始进行缓倾斜特厚煤层一次采全厚综采放顶煤采煤工艺和装备的试验研究工作。1984年6月，由北京开采研究所和沈阳煤研所共同设计的第一个综放工作面在沈阳矿务局蒲河矿投入了试验。放顶煤液压支架是由北

京开采所和沈阳煤研所联合设计, 郑州煤机厂制造。该项目于 1986 年 9 月进行了鉴定。与此同时, 1986 年 3 月在窑街矿务局二矿进行了急倾斜特厚煤层水平分段综采放顶煤采煤法的工业性试验, 该项目由北京开采所承担, 窑街矿务局和郑州煤机厂协作, 试验取得圆满成功, 为急倾斜特厚煤层机械化开采开辟了新途径, 1986 年 7 月进行了技术鉴定, 1988 年和 1990 年该项目分获煤炭工业部和国家科技进步二等奖。自 20 世纪 90 年代起综放开采得到了迅速发展, 出现了潞安、兖州、阳泉等以综放开采为主的大型高产高效矿区。目前综放队最高年产量已超过 600 万 t, 2002 年兖矿集团兴隆庄煤矿、东滩煤矿综放队产量分别为 639 万 t 和 606 万 t。根据 2000 年统计数据, 超过 200 万 t 的煤矿已有 12 个。虽然综放工作面初期投资大, 但有利矿井高产高效建设且安全性好, 因此综放开采技术主要应用于正规工作面的开采, 也有部分矿井应用综放开采技术进行煤柱、边角煤的残采。

随着放顶煤开采技术在厚及特厚煤层开采中的优越性不断显现, 20 世纪 80 年代末, 这项技术已渗透到普采和炮采工艺中, 形成了单体支柱放顶煤、滑移支架放顶煤及悬移支架放顶煤等多种放顶煤开采方法。这些放顶煤开采方法初期投入少, 对地质条件适应性强, 在我国中小煤矿厚煤层开采中应用较为广泛, 部分大型矿井也应用这些放顶煤采煤方法回收边角煤与矿井煤柱。

残采区工作面与普通工作面相比有以下几个方面的不同:

(1) 工作面短, 而且不能等长布置, 工作面推进长度短、可采储量小, 导致工作面设备搬移频繁, 回采过程有增减工作面设备问题;

(2) 残采区开采时煤柱边缘不整齐, 巷道布置困难;

(3) 煤层及顶板破碎, 大多数巷道沿采空区布置, 巷道变形量大, 维护工程量大, 费用高, 维护困难;

(4) 工作面受邻近已采区或地质破碎带的不安全因素影响, 其矿压显现有别于长壁工作面, 一般较强烈;

(5) 残采区工作面被采空区包围, 工作面回风巷和工作面运

输巷沿空掘进时，采空区内的有害气体可能进入工作空间，给工作面安全生产带来困难和问题。

充分认识残采区开采的特殊性，有利于采煤方法的选择。所选择的采煤方法对残采区的这些特点应有较强的适应性。

目前我国回收厚煤层小块段及残余煤柱的方法主要有 3 类：高落式巷柱采煤法、短壁式分层开采、短壁式放顶煤开采。

高落式巷柱采煤是过去常用的回收厚煤层煤柱的采煤方法，而且，目前在许多矿井仍在使用，特别是中小型矿井。但是这种采煤法资源回收率很低（一般不高于 30%），难以实现机械化、工人劳动强度大、掘进率高、材料消耗大、通风系统不完善、安全状况差和事故较多等，已不宜继续推广使用。特别是这种采煤法回采率太低，对老矿井来讲，本身的储量较小，在采煤方法的选择时，应考虑尽量多地把有限的资源回收上来，以延长矿井寿命。另外，在安全上，高落式巷柱采煤法不能形成独立完善的通风系统，回采时长距离的独头局部通风机通风，安全上没有保障。

厚煤层分层开采在我国的厚煤层开采中曾被广泛应用，积累了丰富的生产和管理经验，取得了较好的技术经济效益。在 20 世纪 90 年代以前国内大部分厚煤层矿区也主要以这种采煤方法开采厚煤层。短壁式分层开采是在长壁分层开采的基础上发展而来的，与高落式相比，煤炭回收率有明显提高，安全和劳动条件有明显改善，然而，这种采煤方法工序比较复杂（需铺网），机械化水平较难提高，生产集中化程度较低，工作面单产低，效率差，而且巷道掘进工程量较大。对于残采工作面来讲，回采巷道沿空布置，采用无煤柱护巷技术，巷道变形量较大，掘进过多的巷道，一方面增加了巷道掘进量和掘进费用，另一方面巷道维护工作量和维护费用也将明显增加，加大了回采成本，并随着工作面长度变短，效益将越差。在顶板管理方面，分层开采需铺设金属网假顶，增加了生产工序和生产成本，加大了工人的劳动强度，降低了劳动生产率，因此，这种采煤方法近几年已逐步被高

产高效低耗的短壁放顶煤开采所取代。

短壁放顶煤开采主要包括短壁综放开采、单体支柱放顶煤开采和悬移及滑移支架放顶煤开采，单体支柱与悬移支架放顶煤开采法由于通过剪网开口人工放煤，一般放煤口之间间距为 1.0~1.5m，与低位综放开采相比存在放煤脊背损失的缺点；同综放工作面液压支架放煤相比，这种方法放煤口难以控制，安全性差，通常不能完全放煤，顶煤回收率低；且工作面支护强度低，支架或支柱稳定性差，工人劳动强度大，顶板事故多；但由于其初期投资少，在甘肃、辽宁、四川、新疆等省区有一定的应用。衰老矿井可采储量小，由于单体支柱放顶煤开采和悬移及滑移支架放顶煤开采存在回收率低、安全性差和工作面单产低的缺点，高效安全残采工作面不宜采用。

短壁放顶煤综采于 1986 年开始在我国窑街、新疆等矿区的急倾斜特厚煤层开采中先后进行试验并获得成功。随后抚顺龙凤矿也进行了用短壁综放技术开采倾斜特厚煤层阶段煤柱的试验，实践证明，短壁放顶煤综采是一种高产、高效、经济、安全和高回收率的回收厚煤层残采区的开采方法，其优点突出表现在：

(1) 对于赋存不稳定、厚度变化较大的煤层有较强的适应性。

(2) 与分层开采相比，生产集中化程度高，所需占用的设备数量较分层开采减少，设备成本及维修费用显著降低。同时，放顶煤工作面的储量比同样长度和推进距离的分层工作面要大，从而避免了工作面设备的频繁安装、拆卸与搬移，减少工作面的非生产时间，节省了搬家费用，工人的作业条件也相对稳定得多，有利于实现工作面稳产甚至高产。另外，由于放顶煤工作面可以有两个以上的出煤点，有利于提高工作面单产和劳动效率。

(3) 放顶煤综采工作面的巷道系统较分层工作面简单，掘进率低，巷道掘进费用低，材料消耗少。在残采区开采中，由于巷道均掘在已受采动影响的煤层内，巷道维护量较大，少掘巷道，可大大减少巷道的维护费用，降低生产成本。

(4) 放顶煤开采利用矿山压力使顶煤产生裂隙而在支架顶梁后端自由冒落,并随后放入工作面输送机内。一般情况下,放顶煤综采工作面利用矿压破落的顶煤约占总回采量的 65%以上,采煤机落煤量相对较少,因此,放顶煤综采消耗动力少,成本低。

(5) 残采区的四周均为采空区,受采动影响较大,应力集中系数较高,分层开采时的顶板管理比较困难。而根据对综放开采工作面多年的压力显现观测研究,由于顶煤在开采过程中的垫层作用,放顶煤工作面的矿压显现要明显弱于分层开采工作面,因此,应用放顶煤开采比分层开采更有利于保证安全生产。

鉴于短壁放顶煤综采对厚煤层残采具有良好的适应性,近年来国内厚煤层矿区、研究单位及煤机制造企业已开展“短壁工作面综放顶煤设备配套和采煤工艺”的研究,如兖矿杨村煤矿利用短壁采煤机、短壁输送机和轻放支架进行短壁厚煤层条带开采;潞安石圪节煤矿采用普通采煤机及轻放支架进行残采等。但由于上述研究主要集中于机械制造及配套设备上的研究,对于残采矿压显现规律及工作面长短对设备配套的影响等方面没有进行深入研究。特别是潞安矿区厚煤层残采综放技术的研究仅局限于普通综放开采设备,不能适应矿区内大量残采煤的高效安全开采,急需进一步深入研究。

三、潞安矿区厚煤层残采技术发展现状

潞安矿区主采煤层为 3 号煤,煤层厚 4~7.84m,平均 6.30m。1989 年以前,3 号煤层主要采用分层长壁法开采;1989 年,矿区开始在王庄矿进行综放开采试验,此后长壁综放开采在矿区得到广泛的应用,目前综放开采已成为矿区该煤层开采的主要方法。长期以来,由于矿区采用长壁开采,矿区各矿井遗留大量的煤柱和小块段煤,其储量约占矿区厚煤层储量的 20%以上。对于衰老矿井,煤柱及小块段煤占可采储量的比重更大。石圪节煤矿是潞安矿区开采厚煤层的老矿井,据 1996 年储量统计,石

圪节煤矿当时有可采储量 1151.90 万 t，其中残余煤柱和小块段煤的储量约为 684.55 万 t，占可采储量的 59.43%。近年来随着开采强度的增加，王庄、漳村、五阳等煤矿的煤柱及小块段煤占总储量的比例也不断增加。据 2002 年五阳煤矿不完全统计，全矿不规则边角煤和残余煤柱的可采储量高达 1373 万 t。

石圪节煤矿是具有 70 多年开采历史的衰老矿井，从 1998 年开始进行了 3 号厚煤层的残采试验，其中 1999~2002 年，利用残采技术共回收边角块段及煤柱产量达 285 万 t，较原有高落式巷柱采煤法多回收煤炭约 163 万 t，工作面单产比原有高落式采煤法提高 15 倍，回采工效提高 3.8~9 倍。石圪节 3 号煤层残采工作面采用轻放开采，工作面主要设备技术特征见表 1-2，根据实践经验，工作面长度为 80~120m 时最优，工作面刮板输送机前后机头采用平行布置，配双滚筒采煤机，中部进刀双向割煤。

表 1-2 石圪节残采工作面主要设备技术特征

序号	名称	型 号	数量	生产能力	电压
1	采煤机	4MG200 - W1	1 台	196~530t/h	1140V
2	刮板输送机	SGD - 630/220	2 台	450t/h	1140V
3	液压支架	ZFQ - 2500/16/24	60 架		
4	顺槽输送机	SGW - 40T	2 台	150t/h	660V
5	移动变电站	KSGZY - 500/6	2 台		
6	乳化液泵	MRB - 125/31.5	1 套		660V
7	喷雾泵	PB - 250/6.3	1 套		660V

五阳煤矿为解决边角煤，残余煤柱及村庄下压煤问题，与中国矿业大学、北京开采所合作研究短壁综合机械化开采技术，并将试验工作面确定在五阳煤矿 51 采区甘村保安煤柱及其附近。该项试验是在借鉴国外连续采煤机回收煤柱技术的基础上，结合高落式硐室采煤法的经验，利用 EBH/J-132Y 型高效掘进机掘