

无煤柱开采

李 栖 凤 主 编

煤 炭 工 业 出 版 社

内 容 提 要

本书在总结我国应用无煤柱开采技术的基础上,比较系统地介绍了无煤柱开采的基本原理和矿压显现规律,沿空掘巷、沿空留巷和跨采无煤柱护巷的经验和技术措施,以及不同条件下各种形式的无煤柱开采系统。重点总结了我国在沿空留巷支护、无煤柱开采时通风管理、瓦斯防治和防止煤炭自然发火等方面的经验,对我国应用无煤柱开采的矿山地质条件进行了评述和分析,并论述了有关无煤柱开采经济效益和分析方法问题。

本书主要供煤矿生产、设计和科研部门的工程技术人员阅读,也可作为矿业院校师生的参考书。

责任编辑:金 连 生

无 煤 柱 开 采

李栖凤 主编

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平里北街21号)

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850×1168¹/₃₂ 印张13¹/₈插页1

字数346千字 印数1—3,250

1986年8月第1版 1986年8月第1次印刷

书号15035·2789 定价2.20元



编写说明

近些年来，无煤柱开采技术在我国煤矿得到很大发展。不少矿井在应用无煤柱开采的实践中获得了良好效果，也取得了许多宝贵经验。但从全国范围来看，无煤柱开采的发展还不平衡，对推行无煤柱开采技术中存在的一些难题尚未得到很好解决。为了总结和交流我国无煤柱开采的技术经验，很有必要编写本书，供煤炭系统的广大工程技术人员参考。

本书于1983年4月由煤炭工业部技术咨询委员会开始组织编写，1984年8月在北京进行了审阅、修改和定稿。由于编写人员水平所限，书中缺点和错误难免，恳请读者批评指正。

本书编写过程中曾得到煤炭工业部技术咨询委员会、生产司、技术发展司等单位的大力支持和帮助。我国开滦、峰峰、阳泉、舒兰、鸡西、鹤岗、徐州、淮北、丰城、淄博、枣庄、焦作、平顶山、鹤壁、义马、白沙、六枝、铜川、澄合、窑街、南桐、永荣、广旺、芙蓉、渡口及梅田等局矿的同志为本书提供了大量资料，在此一并表示感谢。

编 者

1984年8月

目 录

概 述	1
第一章 矿压显现一般规律及无煤柱开采的基本原理	7
第一节 煤体边缘地区矿压显现特征	7
第二节 沿煤层倾斜矿压显现规律及应用沿空巷道 的合理性	11
第三节 沿煤层走向矿压显现规律及应用沿空留巷 的可能性	23
第四节 煤层底板中的矿压显现规律及应用无煤柱开采 的合理性	32
第二章 沿空掘巷	44
第一节 沿空掘巷的基本方式及适用条件	44
第二节 沿空掘巷的矿压显现	48
第三节 薄及中厚煤层沿空掘巷技术措施	56
第四节 厚煤层开采时的沿空掘巷	62
第三章 沿空留巷	69
第一节 沿空留巷的基本方式及适用条件	69
第二节 沿空留巷的矿压显现	75
第三节 沿空留巷的经验和技术措施	83
第四节 沿空留巷与沿空掘巷的技术经济比较	89
第四章 跨采无煤柱护巷	94
第一节 跨越平巷回采	94
第二节 跨越上(下)山回采	106
第三节 其他跨越回采的无煤柱护巷	116
第五章 采空区内形成巷道及煤柱回收	119
第一节 在采空区内形成巷道	119
第二节 在采空区边缘恢复老巷	122
第三节 在采空区内掘进巷道	124

第四节	煤柱回收及老区复采	127
第六章	沿空巷道的支护	142
第一节	沿空留巷的巷内基本支护	143
第二节	沿空留巷的巷内加强支护	146
第三节	沿空留巷的巷旁支护	156
第四节	沿空留巷支护几个问题的分析	184
第五节	巷道与工作面连接处的支护	213
第六节	沿空掘巷的支护特点	216
第七章	无煤柱采场的通风	220
第一节	采空区气体流动规律	220
第二节	无煤柱与留煤柱采场通风的特点	225
第三节	无煤柱采场的通风系统	233
第四节	无煤柱采场的通风管理	237
第八章	高瓦斯煤层的无煤柱开采	248
第一节	采空区瓦斯流动与浓度分布理论简介	248
第二节	高瓦斯煤层无煤柱开采	252
第三节	煤与瓦斯突出煤层的无煤柱开采	266
第四节	无煤柱采场降低瓦斯涌出量的措施	272
第五节	高瓦斯煤层试验无煤柱开采的注意事项	277
第九章	易自燃煤层的无煤柱开采	279
第一节	无煤柱与留煤柱采场内自然发火的对比	279
第二节	无煤柱采场自然发火的监测和预报	293
第三节	无煤柱采场自然发火的预防	299
第十章	无煤柱开采系统	317
第一节	走向长壁无煤柱开采系统	318
第二节	倾斜长壁无煤柱开采系统	344
第三节	厚煤层无煤柱开采系统	353
第十一章	应用无煤柱开采的矿山地质条件	370
第一节	我国应用无煤柱开采矿井的主要矿山地质特征	371
第二节	我国现有生产矿井推行无煤柱开采的矿山地质 条件分析	377
第三节	我国无煤柱开采的发展前景	380

第十二章 无煤柱开采经济效益分析	386
第一节 无煤柱开采的企业经济效益分析	387
第二节 无煤柱开采的国民经济效益分析	399
结束语	403
主要参考文献	409

概 述

无煤柱开采是合理开发煤炭资源，改善巷道维护，减少巷道掘进量，有利于矿井安全生产和改善矿井技术经济效果的一项先进的地下开采工艺。推行无煤柱开采，不仅对生产矿井进行技术改造、缓和采掘关系和延长矿井寿命具有现实意义，而且也是使煤炭企业改善安全条件和技术经济指标，增产、增盈减亏的重要途径之一。

从世界范围来看，无煤柱开采技术正在一些主要产煤国家，如苏联、英国、联邦德国、法国、加拿大、比利时、日本、罗马尼亚、波兰、捷克斯洛伐克等都进行了不同程度地推广和应用，同时还开展了许多试验和研究工作，取得了丰富的经验和成果。

我国的无煤柱开采最早可追溯到建国初期，大体上经历了以下三个发展阶段：

1. 五十年代的自发应用阶段。无煤柱开采的雏型早在五十年代初期就开始出现，最初是在一些薄煤层中采用矸石带代替煤柱来维护上区段运输顺槽，而后作为下区段工作面的回风顺槽，如枣庄、淄博、鸡西、峰峰等矿区都有应用。1952年峰峰四矿在厚煤层倾斜分层顶层和底层试掘沿空回风顺槽成功，又为我国缓倾斜厚煤层沿空掘巷开创了先例。

尽管我国煤矿在五十年代初就有了无煤柱护巷的实践，但当时并没有形成“无煤柱开采”工艺这种技术思想，更谈不到为这种技术寻求理论依据和建立完整和系统的技术体系。

2. 六十年代进行初期试验的阶段。六十年代初期，我国部分矿井开始有计划地取消区段煤柱的试验。例如，石咀山二矿在1963~1964年间，曾经取消运输大巷的护巷煤柱，并把回风顺槽的煤柱宽度缩小到3 m左右，试验取得了成功。西山杜儿坪矿

1965年4月在九尺煤层（16号煤）中进行了沿空掘巷试验，把原来宽20m的顺槽煤柱缩短为2~3m；阳泉矿区于1966年1月在丈八煤层中进行了缩小顺槽煤柱的试验都获得了成功。又如，1966年3月淮南谢一矿在A₃和B₇煤层曾沿上阶段采空区掘进风巷，并进行了短期矿压观测，也取得了较好的护巷效果。峰峰矿务局从1963年起，各生产矿井先后在大煤工作面采用单巷布置，对回风运料巷实行沿空掘巷，有的矿对工作面的开切眼采用沿空掘巷或沿空留巷，以取消采区隔离煤柱，在个别采区还试验了工作面间隔回采（跳采）的工艺系统。这说明当时无煤柱开采工艺的改革已在我国煤矿中开始兴起，但由于某种原因未能做到认真总结和推广。

3. 七十年代至今的发展阶段。1976年以后，我国重新开始重视无煤柱开采技术。1977年煤炭部在兖州召开了有关无煤柱开采的技术座谈会，为宣传、试验和应用无煤柱开采打开了局面。1979年和1981年又先后在淮北和资兴召开了第二次和第三次无煤柱开采技术座谈会，1982年还在宜宾召开了全国高沼气、易自燃煤层无煤柱开采技术论证会。

在煤炭工业系统各级领导的重视下，近几年我国无煤柱开采有了很大发展，许多煤矿做了大量工作，并在煤炭系统部分院校如中国矿业学院、西安矿业学院、阜新矿业学院、焦作矿业学院、山东矿业学院以及重庆大学等单位的配合下，开展了许多井下现场观测研究或进行各种实验室研究和理论研究，取得了可喜的成果。在此期间，由于引进和借鉴了国外无煤柱护巷的技术经验，以及许多矿井通过生产试验和应用，取得了丰富的经验和第一性资料，又进一步提高了对无煤柱开采优越性的认识，使我国无煤柱开采得到了前所未有的发展。这主要表现在以下几个方面：

1. 采用无煤柱开采的矿井数量有明显增长。在六十年代，如果说全国只有少数几个矿井试验无煤柱护巷，那么到1982年，全国已经有54个矿务局、216个矿井和572个工作面应用了无煤柱

开采，总共多采出煤炭916多万 t。据初步统计，其发展情况见下表。

近几年应用无煤柱开采的数量增长情况

年 度	无煤柱护巷类型	局 (个)	矿 井 (个)	工作面 (个)	进尺或长度(万m)	多回收煤量 (万t)		无煤柱开采产量(万t)
1981	沿空掘巷	30	—	—	10.5	219	550	
	沿空留巷	28	—	—	8.5	112		
	跨巷回采	20	—	—	—	219		
1982	沿空掘巷	42	134	311	18.1	417	916	5700
	沿空留巷	38	106	261	11.3	154		
	跨巷回采	31	82	—	—	345		
1983	沿空掘巷	40	133	287	17.6	383	839	6100
	沿空留巷	34	98	268	11.2	160		
	跨巷回采	24	68	—	—	296		

从无煤柱开采的产量情况来看，据初步推算，1981年我国无煤柱开采的产量约占统配和重点煤矿地下开采产量的10%，1982年和1983年约占15~20%，而据1984年上半年报表统计为25%左右。可见从八十年代以来，我国无煤柱开采的产量正在逐年以较快的速度增长。以矿务局来说，目前鸡西、淄博、淮北、兖州、萍乡、永荣、枣庄、峰峰、阳泉、铜川等矿务局的许多矿井已实现了全矿井无煤柱开采，无煤柱开采的产量已分别占各局总产量50%左右，有的矿务局还要更多些。

2. 无煤柱开采的应用范围日益扩大，应用类型增多，技术水平不断提高。过去无煤柱开采主要在薄煤层中应用，现在在中厚及厚煤中也大量采用，并且也不限于在缓倾斜煤层，如六枝煤矿、太平煤矿等在急倾斜煤层中应用也获得成功。近几年来，在一部分条件比较复杂的矿井中，应用无煤柱开采又获得了良好效果。例如，枣庄柴里煤矿在开采易燃厚煤层的五个分层全部采用沿空掘巷，窑街矿务局在易燃特厚煤层中用沿空掘巷从顶板到底板共开采了八个分层。此外，南桐、六枝、丰城、白沙等矿务局开采有沼气突出的中厚煤层，淮北杨庄煤矿在3m厚的煤层中用

沿空留巷，以及开滦唐家庄、范各庄煤矿在综采工作面试验大断面沿空留巷和沿空掘巷都获得成功，这说明我国无煤柱开采技术水平在不断提高。从无煤柱护巷类型来看，不仅是取消了大巷煤柱、上山煤柱，而且取消了区段煤柱、阶段煤柱和采区隔离煤柱，以至少数矿井开始过渡到全矿井无煤柱开采的系统。这些情况说明，我国无煤柱开采技术已在实践中得到了较大的发展。

3. 开展了有关无煤柱开采的研究工作。在推行无煤柱开采的过程中，不少局、矿的研究所在煤炭院校的配合下，开展了无煤柱护巷条件下矿压显现规律的井下观测和室内模拟试验研究，得到了大量的有关无煤柱开采时围岩移动、支架受载，以及支承压力分布规律的观测资料，对进一步查明和论证无煤柱护巷的机理和改善巷道维护提供了科学依据。同时，为了解决高沼气、易自燃煤层应用无煤柱开采问题，进行了瓦斯、漏风、煤层自燃规律的井下观测和防治措施的研究，取得了有价值的成果。为了解决沿空巷道特别是沿空留巷的支护问题，近二、三年来部分矿井、煤矿机械厂和矿业院校开展了回采巷道金属可缩性支架的设计、实验室研究和井下试验。在实验室条件下，还在相似材料模型上进行了无煤柱开采时的矿压显现规律，以及利用气流相似模拟和电模拟进行了无煤柱和留煤柱条件下采场空气流动规律（风压分布、风流方向、风速大小）等方面的研究。此外，为了推广和使用无煤柱开采技术，查明无煤柱开采对矿井的经济效果，近几年还开展了无煤柱开采的经济效益的分析研究。

通过近几年来我国矿井的大量实践，可以认为无煤柱开采具有以下一些主要优点：

1. 有利于合理开发煤炭资源，提高煤炭回采率。由于无煤柱开采可以不留或少留煤柱，故大大提高了煤炭回采率。据多数矿井的经验，无煤柱开采一般可使采区回采率提高10~20%，有些矿井甚至提高25~30%。如阳泉四矿应用沿空掘巷和取消上（下）山煤柱后，使采区回采率由原来的50~60%提高到92~94.5%，柴里煤矿由60%提高到85%。回采率的提高相当于增加

矿井的储量，延长了矿井寿命，如阳泉四矿回采率提高后使可采储量增加2000多万吨，预计可使矿井寿命延长11年。

2. 有利于改善巷道维护。回采巷道由于受采动影响，巷道受压变形严重，维护困难，使劳动条件恶化，生产也不安全，这是长期未能解决的难题。应用无煤柱开采后，使许多矿井的巷道维护状况都有不同程度改善。如铜川东坡矿应用沿空掘巷后，使井巷失修率由原来的10.1%下降为1.11%，鸭口矿使回采巷道维修量降低了25%，基本上消灭了“爬行巷道”，为回采工作面正常生产创造了良好条件。萍乡高坑矿在应用沿空留巷时，还取得了在回采过程中巷道基本上无需维护的良好效果。

3. 有利于降低巷道掘进率。应用无煤柱开采时，根据所采用的无煤柱护巷类型的不同，可在不同程度上减少巷道掘进量，因而可以降低巷道掘进率。根据对现有无煤柱开采系统的分析，一般情况下，沿空掘巷可使巷道掘进率降低5~10%，沿空留巷可降低25~33%，而有些矿井降低的幅度高达40%以上。如在舒兰矿务局吉舒五井，由于采用沿空留巷，使巷道掘进率降低45%左右。巷道掘进率的降低，减少了巷道掘进量，可从根本上改善矿井采掘接替紧张的局面。

4. 有利于矿井安全生产。由于无煤柱开采大量减少了煤炭损失，故在很大程度上消除了自然发火的根源和机率。据鹤岗新一矿统计，自1955年投产以来，井下发火达43次，而在推行无煤柱开采以后，几年内都未发生过自然发火。舒兰矿务局至1980年底开采了39个无煤柱工作面，没有工作面出现过高温自然发火征兆。枣庄柴里矿从推行无煤柱开采三年多来，也未发生过自然发火。

无煤柱开采对降低沼气涌出和沼气突出也有明显作用。据研究，在正确进行通风管理的情况下，无煤柱工作面回风流中的瓦斯含量与留煤柱工作面相比可以减少30~50%。沿采空区掘进风巷时，可以减少煤体中瓦斯涌出量。在我国六枝矿区，掘进时由于采用沿空掘巷而有效地解决了煤和沼气突出问题，保证了安全

生产。

5. 有利于改善矿井技术经济指标。由于无煤柱开采存在上述的一些优点，即多回收煤炭资源，节约支护材料，降低巷道维护费，减少掘进费用等，故导致矿井经济效果的改善。根据对13个矿务局15个典型矿井和采区所作的无煤柱开采经济效益分析，与留煤柱相比，沿空掘巷和沿空留巷随各矿具体情况不同，可使吨煤成本分别降低0.6~2元和0.45~4元，使矿井取得了良好的经济效益。

根据近几年来我国应用无煤柱开采所取得的经验和其未来的发展，煤炭工业部于1981年12月制订和颁发了《关于推行无煤柱开采的暂行规定（试行）》，要求在条件合适的煤层中推行。这表明，我国已正式将无煤柱开采作为改善煤炭地下开采工艺的一个既定的技术政策，因而必将对我国进一步广泛应用无煤柱开采和开展无煤柱开采的科学研究和试验起到很大的推动作用。

第一章 矿压显现一般规律及 无煤柱开采的基本原理

为了弄清无煤柱开采的基本原理，必须了解采场周围尤其是煤体边缘地区的矿压显现特征。本章在前人研究的基础上，着重介绍煤体边缘地区、沿煤层倾斜和走向矿压显现规律，以及底板岩层中支承压力传递规律，以便为无煤柱开采奠定理论基础，并为选择合理巷道位置、停采线、煤柱尺寸等提供依据。

第一节 煤体边缘地区矿压显现特征

一、采场压力的传播

众所周知，当工作面回采后，采空区上覆岩层的重量就通过拱或梁传递到工作面的前方、两侧的煤体以及后方采空区的冒落矸石上，于是在回采工作面周围的煤体或煤柱上，引起比原岩应力高得多的支承压力。这种支承压力的影响范围很广，据现场实测和实验室的研究结果表明，在缓倾斜煤层中，工作面前方受采动影响的范围可达百余米，如舒兰吉舒矿为150m，芙蓉白皎矿和开滦唐山矿均为120m，南桐东林煤矿和松藻打通煤矿为90余米。在回采工作面两侧（左、右方），受采动影响范围较小，据现场实测一般为20~40m左右，如宝轮院煤矿为28m，在实验室做相似材料模拟研究也得到了相近的数据。如果将回采工作面周围所形成的支承压力按等值连线，则可得出如图1-1所示的回采工作面周围压力分布状态。由此得到启示：当回采工作面向前推进时，可视为在固体介质中运动，回采后的采空区就是工作面推过后的运动轨迹。由于回采工作面不断向前推进，所以在采场周围所引起的采动压力也是连续向前传递的，如图1-2所示。既然采动压力传递是随着工作面推进向前移动，那么在靠工作面前方就将

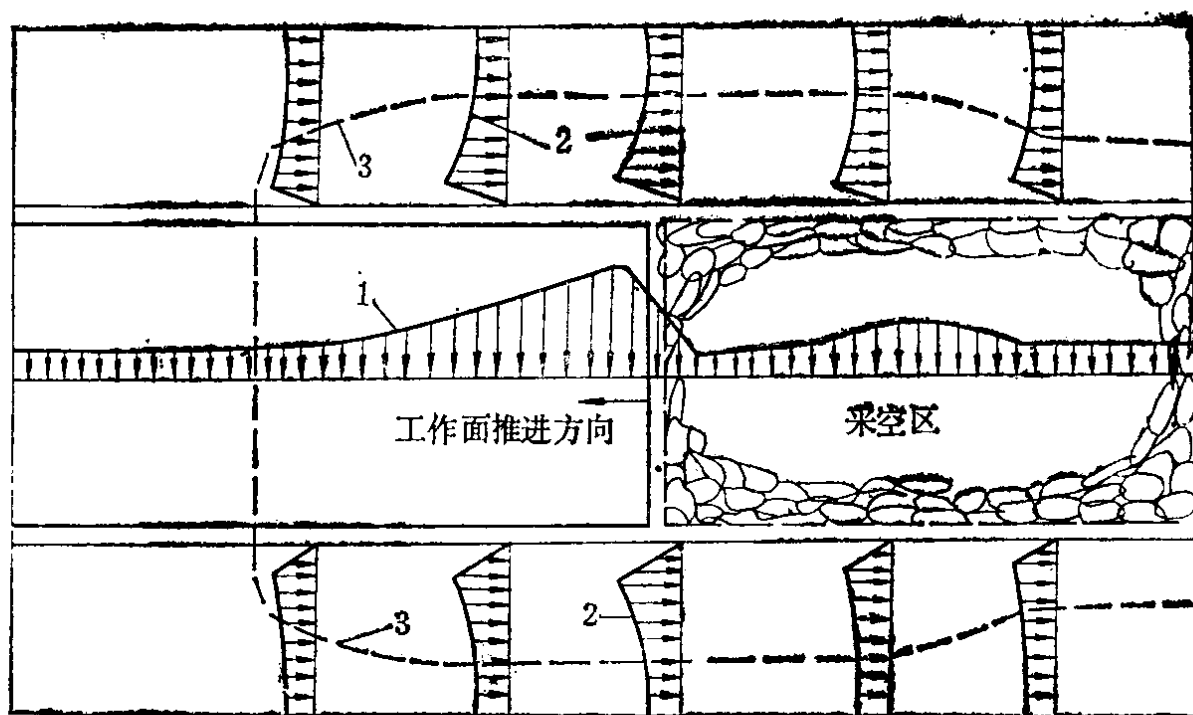


图 1-1 回采工作面周围压力分布

1—工作面前、后方压力分布曲线；2—工作面两侧压力分布曲线；3—采场周围压力影响线

始终存在一个压力高峰区，这个压力高峰区犹如一个压路机的压滚，随着工作面推进在其上方连续不断向前滚动。因此，在靠近工作面前方的巷道将承受很大的压力。在回采工作面两侧（左、右方）的一定范围内也受采动压力影响，且保持一定压力波形随回采工作面推进而向前移动。

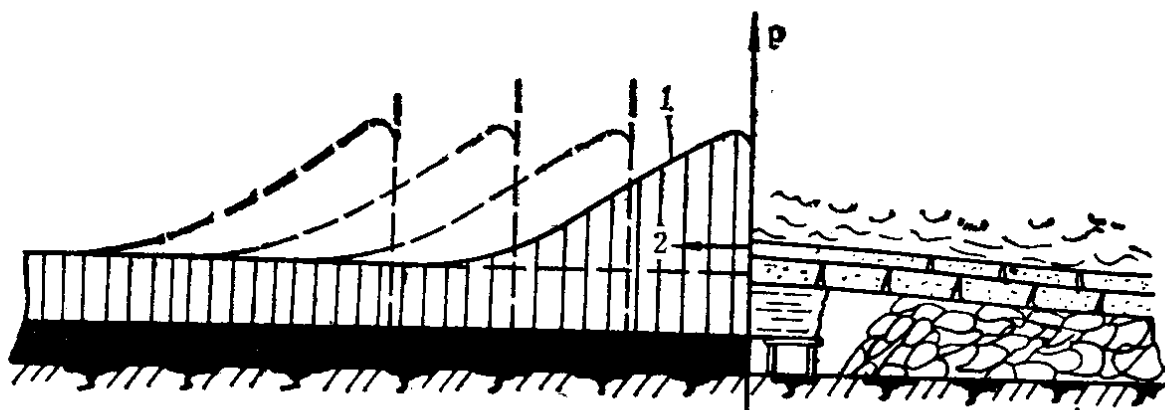


图 1-2 工作面前方支承压力连续传递示意图

1—压力传播影响线；2—工作面推进方向

迅速降低，应力高峰向煤体深部转移，达到新的平衡，而形成了支承压力。

据现场实测、实验室研究和理论分析表明，煤体边缘在支承压力作用下，按其变形特征可分为：

1. 小于原岩应力的松弛区段：靠边缘附近的煤体，可视为处于单向受力状态，其抗压强度较小，在高应力作用下，煤体已发生破坏，节理、裂隙比较发育。如果按压力特征分区，则松弛区段处于压力下降区内，该区的垂直应力比原岩应力 γH 小，如图1-4中 I 所示。松弛区段的宽度视煤层厚度、煤质软硬及围岩性质而不同，一般在 5 m 以内。

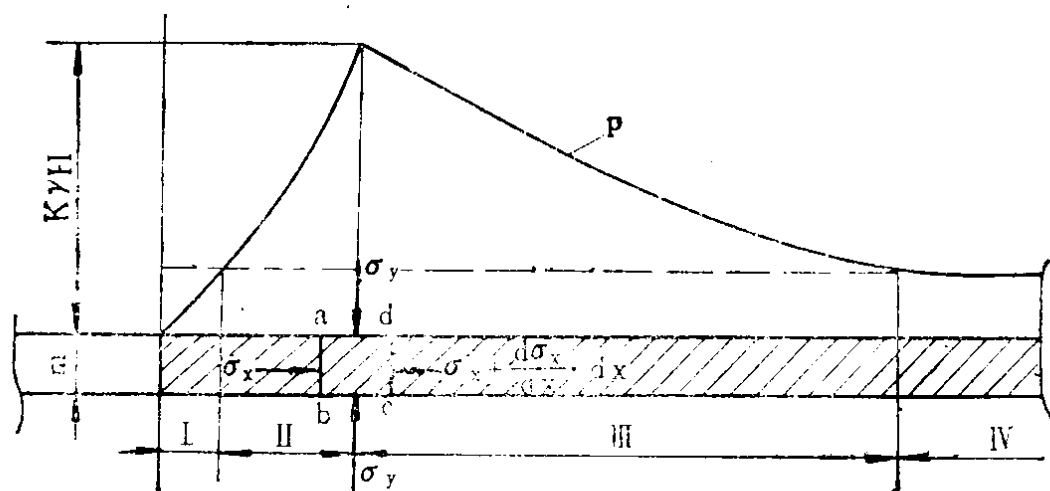


图 1-4 煤体边缘地区压力分布

I—小于原岩应力的松弛区段；II—塑性变形区段；III—弹性变形区段；
IV—原岩应力区段

2. 应力升高区段：从松弛区段往煤体深处，由于层面之间的摩擦力作用，致使煤体在水平方向的挤压力增加，由单向受力状态逐步过渡到双向以致三向受力状态。其抗压强度也逐渐加大，直至支承压力高峰，如图1-4中 II 所示。在该区段煤体中的应力已超过其弹性极限，煤体处于塑性变形状态。塑性变形区段的宽度取决于开采程度、回采引起的支承压力集中系数、煤层厚度和煤质软硬等因素，并随着工作面推进和采动影响时间的延续而发展，一般为 5~12m。

3. 弹性变形区段：从压力高峰处再深入煤体，支承压力随远离煤壁而逐渐递减，直至恢复到原岩应力，如图1-4中Ⅲ所示。从压力特征来看，弹性变形区段是由最大压力逐渐过渡到压力稳定的区段。尽管最大压力区附近的压力比正常压力大得多，但仍未超过煤体的弹性极限，故仍处于弹性变形状态。整个弹性变形区段的范围可由20~25m变化至35~40m。再进一步深入煤体（图1-4中Ⅳ），受采动影响极小，甚至可以忽略不计，一般视为处于原岩应力状态。

同样，在回采工作面两侧的煤体或煤柱上也要形成支承压力带。

第二节 沿煤层倾斜矿压显现规律及 应用沿空巷道的合理性

生产实践证明，井下各类巷道产生严重变形和破坏，主要是由于采动影响引起的支承压力所造成的。随着人们对支承压力显现规律认识的不断深入，只要有计划地采取防治措施，这种危害是可以大大减轻，甚至可以避免的。

支承压力的显现有一个发生、发展和消失的过程。在进行开采工作之前，地下岩层处于原岩应力平衡状态。煤层回采以后，由于采空区上覆岩层重量的转移，就在某些地区出现了比原岩应力高的集中应力，即所谓支承压力。随着开采面积逐渐扩大，支承压力也逐渐升高。但在采煤工作面后方较远的地区，由于采空区上覆岩层下沉，垮落矸石即逐渐被压实，暴露岩层又重新得到支撑，移动过程也逐渐结束，故该区又从高应力状态逐渐恢复到接近原岩层应力大小和分布比较均匀的压力稳定状态。因此，地下岩体中出现的高应力集中——支承压力，只是采动引起应力变化全过程中的一个特殊阶段，并不是在进行开采工作的任何时间和任何地点都始终存在的。

采动引起岩体应力变化的全过程，不仅符合“平衡-不平衡-新的平衡”的发展规律，而且在此发展过程中的“不平衡”阶