

LAOCAIKONGQU SHANGFANG JIANZHU DIJI
BIANXING JILI JIQI KONGZHI

[国家自然科学基金资助项目50004008]

老采空区上方建筑地基 变形机理及其控制

郭广礼 著

中国矿业大学出版社

LAOCAIKONGQU SHANGFANG JIANZHU DIJI
BIANXING JILI JIQI KONGZHI

责任编辑 姜志方

封面设计 肖新生

LAOCAIKONGQU SHANGFANG JIANZHU DIJI BIANXING JILI JIQI KONG



ISBN 7-81070-433-8



9 787810 704335 >

ISBN 7-81070-433-8 / TU·8 定价: 19.50 元

老采空区上方建筑地基 变形机理及其控制

郭广礼 著

中国矿业大学出版社

内容简介

本书针对废弃老采空区地表建筑利用问题,系统地研究了老采空区破裂岩体的性质、岩体结构及其“活化”变形机理,提出了老采空区上方建筑地基稳定性分析研究的工作方法、老采空区地基沉降与变形预测方法、地基处理技术、建筑物结构抗变形措施和建筑物基础沉降与内力监测方法,并介绍了新庄孜矿选煤厂、五阳热电厂等老采空区上方建设大型工业建筑物的工程实例。

本书适用于从事工程勘查、矿山开采沉陷、矿区建设和建筑物保护等专业的工程技术人员及大专院校相关专业的师生阅读、参考。

责任编辑 姜志方

责任校对 杜锦芝

图书在版编目(CIP)数据

老采空区上方建筑地基变形机理及其控制/郭广礼著.
徐州:中国矿业大学出版社,2001.10
ISBN 7-81070-433-8

I.老… II.郭… III.采空区—地基变形—控制
IV.TU475

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 079023 号

中国矿业大学出版社出版发行

(江苏徐州 邮政编码 221008)

出版人 解京选

江苏徐州新华印刷厂印刷 新华书店经销

开本 787×1092 1/16 印张 9.5 字数 235 千字

2001 年 10 月第 1 版 2001 年 10 月第 1 次印刷

印数 1~1000 册 定价:19.50 元

前 言

地下开采使岩层内部的原始应力平衡状态受到破坏,造成岩层和地表移动及应力重新分布,形成了采空区次生岩体结构,达到岩体系统内部新的平衡和相对稳定。岩层移动和变形改变了上覆岩土层的工程地质性质,形成了采空区破损岩体地基条件;即使在开采结束后经过长时间自然压实后,开采引起的地下空洞、离层、裂缝和垮落区的欠压密、空隙中饱水等现象(问题)依然存在,在各种内外因素(如地应力、地下水、地面建筑荷载等)作用下,这种采空区次生岩体结构的系统相对平衡状态可能再次被打破,产生应力再分布,造成破裂岩体和地表的二次移动和变形,此过程称为老采空区的“活化”。老采空区的“活化”是影响老采空区地表利用和造成老采空区上方新建建筑物破坏的关键问题。

在废弃老采空区上方建设时,影响建筑物安全的因素主要包括两方面:其一是建筑物荷载诱使老采空区产生“活化”沉降导致建筑物破坏;其二是由于老采空区破裂岩体强度弱化或其他地质原因导致其自身失稳及“活化”而产生地基移动和沉降。以往的实践表明,由于废弃老采空区破裂岩体地基工程性质的复杂性,在老采空区上方建设的各类建筑物,有些是安全的,有些则损坏了;在废弃老采空区上建设的居民住宅还可能带来严重的心理恐慌,感觉生活中的每一刻都有可能发生地面沉降。这就给我们提出一系列的问题:何种条件的废弃采空区地表适宜建筑?适宜建设何种建筑物?应采取何种经济合理、技术可行的地基处理和结构抗变形措施?废弃老采空区破裂岩土体地基的潜在沉降或建筑荷载作用下残余沉降规律及如何估算等。这些问题严重制约了废弃采空区地表的建筑利用,是目前迫切需要解决的理论和实际问题。

本书从研究废弃老采空区采动破裂岩体物理力学性质入手,研究废弃采空区岩体结构和变形特征,进而研究常见的长壁和柱式开采老采空区“活化”机理和地表残余沉降和变形规律,在此基础上提出老采空区地表残余沉降预测方法、采空区地基处理技术和建筑物结构抗变形措施;基于工程实例研究和总结同行专家工程实践经验,提出了进行老采空区上方工程建设地基稳定性研究和处置工作程序和方法。

造成采空沉陷问题最严重的是煤炭地下开采,煤矿老采空区现存面积最大并最具开发利用潜力。因此,本书研究老采空区上方建筑问题主要是针对煤矿地下老采空区,当然其成果对其他金属、非金属矿产资源开采老采空区地面利用有一定的参考价值。鉴于我国人口稠密,矿区开采强度大,矿区建设用地资源极度紧张,因此希望本书的出版能够促进废弃采空区塌陷土地建筑开发利用,促进矿区经济和环境建设与发展。

在作者的研究过程中,得到了何国清教授、杨舜臣教授、邓喀中教授、缪协兴教授等老师的具体指导和热情关怀。在现场调研、试验和技术总结中,得到了课题组的李志聃教授、岳建华教授、乔志春副教授、吴侃教授、周鸣工程师、谭志祥讲师等的热情帮助和积极合作。淮南矿务集团生产工程处、新庄孜矿选煤厂筹备处、五阳热电厂筹备处、选煤设计研究院、淮北煤

炭建设公司等单位的许多技术人员对作者的现场研究给予了热情支持和帮助。在此作者表示深切的感谢。

由于作者经验和水平有限,本书难免有疏漏和欠妥之处,敬请读者不吝指正。联系地址:江苏徐州中国矿业大学环境与测绘学院,E-mail:guogl@cumt.edu.cn

郭广礼

2001年3月于江苏徐州

目 录

第 1 章 绪论	(1)
§ 1-1 矿山开采沉陷和废弃老采空区“活化”	(1)
§ 1-2 废弃老采空区对地表建筑利用的潜在威胁	(2)
§ 1-3 废弃老采空区上方建筑及处理研究现状	(2)
第 2 章 废弃老采空区形态与常用采矿方法简述	(5)
§ 2-1 老窑和小窑老采空区	(5)
§ 2-2 现代煤矿采空区	(8)
§ 2-3 金属和非金属矿采矿方法简介	(12)
第 3 章 采空区岩体结构和破裂岩体物理力学性质	(17)
§ 3-1 采空区覆岩移动破坏基本规律	(17)
§ 3-2 废弃地下采空区岩体结构特征	(23)
§ 3-3 采空区破裂岩体物理力学性质	(26)
§ 3-4 长壁采空区破裂岩体残余碎胀性空间分布规律	(30)
第 4 章 老采空区覆岩稳定性和“活化”机理	(35)
§ 4-1 部分开采采空区覆岩结构和沉陷特征	(35)
§ 4-2 老采空区残留煤柱稳定性分析	(39)
§ 4-3 老采空区残留空洞稳定性分析	(42)
§ 4-4 长壁老采空区覆岩“活化”机理和特征	(47)
第 5 章 建筑荷载作用下长壁采空区地基沉降规律	(52)
§ 5-1 建筑荷载对地下老采空区“活化”的影响	(52)
§ 5-2 长壁采空区上方建筑物地基沉降规律物理模拟研究	(56)
§ 5-3 长壁老采空区上方建筑物地基沉降规律数值模拟研究	(59)
§ 5-4 建筑荷载对老采空区“活化”影响的综合分析	(65)
第 6 章 采空区建筑场地研究计划和方法	(66)
§ 6-1 采空区建筑场地研究的一般程序	(66)
§ 6-2 采空区建筑场地研究的资料要求	(68)
§ 6-3 采空区场地研究的现场技术方法和措施	(69)
§ 6-4 老采空区场地地基稳定性论证报告内容	(75)
第 7 章 老采空区上方地表沉降预测方法	(79)
§ 7-1 小窑和老窑采空区上方的地表沉降预测	(79)
§ 7-2 基于随机介质理论的长壁老采空区上方残余沉降预测方法	(80)
§ 7-3 老采空区上方地表沉降数值预测方法	(83)

§ 7-4 老采空区上方地表或建筑物地基沉降的灰色预测方法	(86)
§ 7-5 老采空区地基沉降预测预报的稳健统计方法	(94)
第 8 章 浅部老采空区地基处理技术和措施	(96)
§ 8-1 部分开采老采空区地基处理方法	(96)
§ 8-2 浅部长壁老采空区地基处理方法	(99)
§ 8-3 浅部老采空区的注浆加固机理	(100)
§ 8-4 老采空区破裂岩体注浆加固效果的影响因素	(101)
§ 8-5 采动破裂岩体注浆加固效果检测技术	(105)
§ 8-6 新庄孜矿选煤厂主厂房局部地基注浆加固实例研究	(107)
第 9 章 老采空区上方建筑物变形控制和监测	(112)
§ 9-1 概述	(112)
§ 9-2 建筑物损害预防和控制的设计措施	(113)
§ 9-3 老采空区上方建筑物基础沉降和内力监测技术	(117)
第 10 章 老采空区上方建设大型工业建筑群案例	(124)
§ 10-1 淮南新庄孜矿选煤厂建设工程	(124)
§ 10-2 潞安五阳热电厂建设工程	(135)
参考文献	(141)

第1章 绪 论

§ 1-1 矿山开采沉陷和废弃老采空区“活化”

当地下有用矿物被采出后,上覆岩层的原始平衡状态遭到破坏,周围岩体产生应力集中、移动变形、离层、裂缝、甚至破坏垮落,岩层的移动和变形从采区向周围扩展,岩层移动传播到地表,产生地表移动和变形,岩层和地表的移动变形过程将持续发展到所有被采动岩层都达到新的力学平衡为止。这个过程称为“矿山岩层和地表移动”,或“矿山开采沉陷(mining subsidence)”^[1]。

作为各类地下采矿工程的副效应,对开采沉陷的研究已有相当长的历史了。而在各种矿体开采沉陷现象中,地下煤炭开采所引起地表沉陷问题占了大多数。由于开采沉陷研究的重要性,各国矿山工程技术人员投入了大量的时间、技术和经费来进行该项研究。前苏联、波兰、德国、澳大利亚、英国、加拿大、日本和美国等国家,对开采沉陷的理论和控制技术都进行了深入的研究,并取得了丰硕的成果。我国对开采沉陷的研究工作是从新中国成立以后开始的。经过几十年的努力,也已取得了很大的成绩,积累了丰富的经验,达到了国际先进水平,部分研究成果处于国际领先水平。

随着社会的进步和科技的发展,有关开采沉陷的新问题不断被提出,推动现在和将来开采沉陷研究向深度和广度发展。废弃老采空区的“活化”和残余沉降、矿山废弃土地利用等问题,就是矿山开采沉陷研究的重要新方向之一。

地下开采使岩层内部的原始应力平衡状态受到破坏,造成应力重新分布,上覆岩体形成采动次生岩体结构,达到岩体系统内部新的平衡和相对稳定。在受到地应力、外力或岩体材料强度衰减等因素作用或其联合作用下,这种岩体系统平衡将再次被打破,产生应力再分布,造成岩层和地表的再次移动、变形,此即老采空区的“活化”。老采空区的“活化”是影响老采空区地表利用和造成老采空区上方新建建筑物破坏的关键问题。

根据大量实测、模拟和理论研究成果表明,地下矿体开采后上覆岩层中存在一定的岩体结构,如长壁开采过程中断裂带岩体形成的动态砌体梁式平衡结构。根据现场勘察、相似材料模拟和离散元数值模拟结果表明,在开采结束很长时间岩层和地表移动稳定后,在老采空区覆岩中的各种岩体结构依然存在,不同的采矿方法、采场布置和覆岩条件形成的岩体平衡结构也不相同;由于这些处于相对平衡状态的岩体结构的存在,伴随采动岩体结构形成的空洞、裂缝、离层和破碎岩块欠压密现象也一直存在,这是造成老采空区“活化”的基本根源。因此,研究老采空区的“活化”机理和规律,必须从研究老采空区覆岩结构特点入手。

在未全部开采(如房柱法、条带开采或穿巷开采法等)的废弃采区,采空区顶板垮落、煤柱坍塌,或煤柱压入较软弱的底板,由此造成的上覆岩层抽冒、移动破坏、地面沉陷在开采滞

后几十年或者(甚至)上百年后都可能发生,沉陷量和出现时间难以准确预测。我国许多老矿区有几百年的采矿历史,古代和近代的采矿方法远没有现在这样高采出率和高效率,采煤方法主要为老式的巷柱式、房柱式或钟形矿硐式等,由于不充分开采和围岩的非充分变形,导致老采区的欠充填空洞(矿硐)长期存在,形成“活化”和塌陷沉降的隐患,对地面建筑物构成极大威胁。

在采用全部开采法(如长壁垮落开采)的采区,上覆岩层移动和地表沉陷随开采推进基本上同时发生,其沉陷量和沉陷时间能够较准确地预测出来。但由于采空区边缘的欠充填空洞、垮落岩块的欠压密和覆岩中离层裂缝的存在,使得开采后的多年中,在受到外来载荷作用或干扰时,老采空区地表仍将有一定的残余沉降发生。

§ 1-2 废弃老采空区对地表建筑利用的潜在威胁

地下开采结束以后,虽然经过长时间的自然压实,开采后形成的地下空洞、岩体中的离层、裂缝和垮落岩块的欠压密、孔隙中饱和水等现象(问题)仍将长期存在。在采空区上方修建建筑物、地震活动、邻区开采、多煤层开采、强排地下水以及废弃老采空区中围岩和矿柱的强度弱化等,都可能打破覆岩中原来的相对应力平衡状态,形成采空区及其覆岩的二次移动和变形,最终导致地面出现不平衡沉降、倾斜岩体沿层面或断层面产生滑动变形、空洞垮落引起地面突然塌陷等现象,进而导致地面建(构)筑物沉降、局部开裂、倾斜等破坏,突然性的塌陷可能造成严重人员伤亡和财产损失。

由于采矿方法、技术水平、覆岩性质和结构等情况的差异,老采空区及其覆岩的破坏情况、受力状况是极其复杂的,因此废弃老采空区“活化”具有隐蔽性、复杂性、突然性和长期性等显著特点。“隐蔽性”主要是指老采空区位于地下深处,其特征一般难以弄清,其“活化”过程难以直接观察。“复杂性”是指老采空区的“活化”受多种自然和人为因素影响,其“活化”机理、过程及其对地表的影响规律非常复杂。“突然性”是指许多存在较大残留矿硐的浅部老采空区,其失稳破坏常常是突然性的,塌陷的时间难以准确估计。“长期性”是指老采空区“活化”是一个长期的过程,可能在采后几年至几十年内、甚至上百年后发生,也可能是长期的缓慢变形过程;在发生过明显“活化”的老采空区仍有再次“活化”的可能。如房柱式开采的老采空区下沉可能在开采完以后许多年才发生,一半以上的下沉是在采后 50 年或更长的时间内发生;有报道苏格兰一个报废矿 118 年后发生了地表下沉破坏^[2]。1960 年 11 月波兰维利奇卡盐矿(Wieliczka)的地表某处突然塌陷,造成地面建筑物全部被毁,事后查明,该处地下 70 m 深处在 140 年前进行过采矿,采出矿体约高 22 m、长 36 m、宽 28 m。

许多地下老采空区由于年代久远,缺少必要的文献记载,具体位置不详,给人们的生产和生活带来了极大的危害,其中发生在城市中的则带来最直接的危害,常给当地居民生命财产带来严重的破坏。在许多老矿区,由于发生过多起地面突然塌陷造成损害的事例,老采空区给居民带来的心理恐慌更为可怕,感觉似乎生活中每一刻都有可能发生地面沉降。

§ 1-3 废弃老采空区上方建筑及处理研究现状

在国内外,废弃老采空区的地面沉降问题同样早就引起了人们的重视,有许多文献和报

道^{[2]~[10]}介绍和讨论了废弃采煤场之上的沉陷问题、地基处理和建筑物保护问题。美国有30个州出现了废弃采空区地面沉降问题,其中地下开采量最大的宾夕法尼亚、西弗吉尼亚、肯塔基、俄亥俄和伊利诺斯等五个州沉陷问题最为突出;R. E. 格雷和 R. W. 普鲁恩通过对匹兹堡煤层下沉的研究^[2],指出报废矿(房柱式开采)的地表下沉发生时间无疑受岩层和煤柱破坏速度及其他因素的影响,地表变形预期会随着覆岩厚度的增加而减少,但统计结果认为房屋的破坏程度实际上与覆岩厚度没有明显关系;实例(覆岩厚度 75~14 m)表明覆岩的厚度再大未必一定能保证地面不会发生下沉^[2]。

为保证部分开采(如房柱式开采、条带开采)时地表的长期稳定性,许多现代采矿专家对矿柱、矿场设计方法进行了深入研究和改进,使得部分开采控制覆岩移动技术更加可靠;但许多技术落后地区和地方小矿没有严格的采矿设计,仍在大量采用老式的或不可靠采矿方法,形成了新的老采空区塌陷隐患,并在许多地区造成了严重的采空区塌陷损害事件。

随着我国煤炭工业生产和矿区建设的发展,矿区土地资源破坏、建设用地紧张的问题日益突出。而开发利用废弃老采空区土地,对于提高矿区土地利用率、缓解矿区土地资源紧张局面是一种有效的途径。许多矿区开始了塌陷区土地资源的开发利用工作,在废弃采空区上方地表兴建建筑物的事例也日趋增多,有一般性工业厂房和民用建筑群,也有兴建或扩建大型电厂、选煤厂、储煤建筑物等。但是,由于没有或缺少对老采空区“活化”研究和采取一些必要的技术措施,老采空区上方土地开发也产生了一系列严重的问题,如新建建(构)筑物出现开裂、沉陷、变形,地表塌陷,设备因基础变形而无法正常使用等,或由于大大增加的地基处理费用和复杂的技术措施造成建设项目财政困难和难于实施。

实践表明,老采空区上方土地通过地基稳定性技术论证并采取一定措施后可作为一般建筑用地使用,甚至可以作为大型建筑物用地。例如:淮北岱河矿在充填的煤矸石基础上建房;淮南新庄孜煤矿在老采空区上方建设大型洗煤厂^{[8],[9]},其主厂房的西南角直接位于采动破碎基岩区上方,裂隙发育带上界面距地表仅 15 m;潞安五阳矿在采空区附近修建坑口电厂^[11];徐州也在老采空区上方进行电厂扩建^[12];太旧高速公路通过大面积老采空区上方^[13]等等。

国外尤其是美国,各主要采煤的州都成立了处理采空区沉陷问题的专门机构,并有专门处理老采空区地基的岩土公司(如 The Judy Company)^[14],在调查研究房柱式老采空区、地基处理等方面有比较丰富的经验。澳大利亚有在 100 年和 150 年历史的房柱式老采空区上建设大型医院和楼房的实例报道^{[15],[16]}。在抗变形建筑设计方面,美国和英国采取的措施是将建筑物设计成柔性结构或刚性结构。英国 CLASP(地方专用方案协会)曾提出了一套柔性结构建筑物系统,效果较好^[17];刚性建筑是其基础通常由厚板或由厚抗剪切墙强化的混凝土排基组成,但采用刚性设计保护建筑物可能使它的造价大大增加。

对有关文献^{[18]~[22]}的分析可知,国外的老采空区问题大多为针对局部开采的房柱法废弃矿区问题,研究的方法主要采用调查统计方法,缺乏较深入的理论研究;采取的处理措施主要包括全部充填采空区支承覆岩、采用灌注柱法或深桩基局部支承覆岩、水诱导沉陷法等;处理后的地面主要用于开发建设居民区等。对应用长壁开采法形成的老采空区的地基稳定性问题和地基处理等方面基本没有进行系统研究和工程实例。

国内有一些文献讨论了老采空区的探测、地基稳定性评价和处理问题,如采用高分辨率地震技术探测老采空区位置^[23];以建筑物荷载影响深度和采空区垮落断裂带发育高度不相

互重叠来分析地基稳定性和确定建筑物的层数^[24],在老采空区上方应设计和研究特种结构住宅^[25]等。颜荣贵等运用随机介质理论以矿山地表的三维问题对厂房建筑的最终稳定的地表移动和变形值进行了预计,结果与地表实测结果基本相符^[10]。对于在老采空区上方进行建设,仅仅考虑地面附加建筑物荷载对老采空区稳定性的影响是远远不够的,老采空区自身的稳定性及其“活化”也是影响地面建筑物安全的主要因素。国内也有采用注浆充填老采空区建设工业建筑的实例,如阳泉固庄煤矿装车站、本钢电焊厂等。在老采空区上建设大型厂房的实例有本钢特钢厂厂房(四跨单层厂房,老采区采厚 2.3 m、采深 759~799 m)、本溪热电厂主厂房(框架结构,老采空区采深 320~440 m),由于采深较大,不存在老采空区“活化”的影响,均按常规进行了设计^[10]。

在地面动、静载荷作用下,老采空区是否能保证长时期的稳定?在什么条件下可能产生“活化”?“活化”后地面可能产生多大的不均匀移动量?如何采取工程技术措施来控制或抵抗采空区“活化”造成的不均匀沉降以保护建筑物安全?这些问题无论是在理论研究还是在实践研究方面均有待于进一步做大量的工作。

第2章 废弃老采空区形态与常用采矿方法简述

§ 2-1 老窑和小窑老采空区

绝大多数现代正规矿井均采用高效率的正规采矿方法,这些方法在许多文献中都有详细的介绍。而对于我国普遍存在的、老采空区问题比较严重的老窑和小矿,所采用的采煤方法多为技术落后的、低效率的采煤方法,其造成的老采空区地基失稳隐患更为严重。

我国有非常悠久的用煤历史,最早可追溯至先秦时期;到唐代,已开始形成煤炭的规模开采。1955年河南省鹤壁某煤矿发现了宋代采煤遗址,遗址南北长约250 m,东西宽约200 m^[26]。发现有已残的圆形立井一处,直径约2.5 m,井筒深46 m;发现已残的巷道6条,其中,立井底部南北巷道一条,残长约10 m,顶高2.1 m,宽2 m;东西运输巷道一条,和立井巷道南端连接;由东西运输巷道向南开掘的巷道4条,共长500 m,高1 m,上宽1 m,下宽1.4 m;发现工作面10处,其中8处位于向南开掘的4条巷道的两侧。另2处位于立井北面,最大的深约50 m,宽约30 m。

根据考古发现和历史文献记载,古代采煤时井巷的基本布置方式是:

- ① 同时开凿两个井筒和俗称“正窝路”和“风路”的两条主要大巷。
- ② 开掘沿煤层倾斜方向的上山或下山以及与运输大巷平行的平巷。
- ③ 再开掘俗称“窝路”的斜坡和各种小巷,把煤层分割为若干小块。在斜坡尽头,布置称为“塘”的工作面。工作面之间留置煤柱并互相串通。目前许多地方小窑的井巷布置仍基本采用这种方式。

纵观我国采煤历史,从古代老窑到现代的一些私人小窑,其基本特征是:大多位于煤田的浅部边缘地带,开拓系统简单;无完整的地质、采矿资料,开采随意性较大;矿井采深较小,一般在200 m以内;开采后形成的采空区形态不规则。老窑和小窑常见的采煤方法和残存采空区形态可概括为以下几种^{[26],[27]}。

2.1.1 “树枝式”采煤

遇见煤层后,就开掘一些沿煤层巷道,不分走向、倾向,见煤就挖,无煤就停,以掘进代替采煤,采煤巷道形成放射的树枝形。采煤空洞多为任意折线状弯曲的坑道;局部顶板好时的采空区较大,为似圆形。由于采空巷道宽度小,顶板可能残留数十年至数百年时间而不垮落。

2.1.2 “挂牌式”采煤

沿煤层走向掘进主巷,每隔一定距离沿倾向开上、下山,在上、下山两侧回采,采空区形状多呈似圆形,其面积视顶板情况而定,从几十平方米到上百平方米不等,就像在主巷上挂的牌子一样,如图2-1所示。

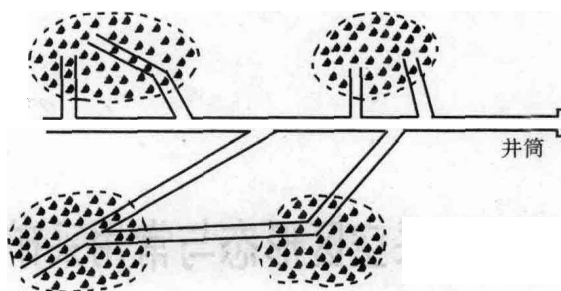


图 2-1 “挂牌式”采煤

2.1.3 残柱式采煤法

井筒穿到煤层后,沿着煤层的走向开掘主要运输平巷;再在已经控制的煤层里,开掘许多纵横交错的巷道,把煤层分割成许多方形或长方形的煤柱。然后从边界往后退,顺次采各个煤柱,如图 2-2 所示。煤柱的大小,要根据煤层厚度及倾角大小来确定。一般是 $10\text{ m} \times 10\text{ m}$ 或 $10\text{ m} \times 15\text{ m}$ 。每采一块煤柱时,就在这一块煤柱里再做些纵横交错的巷道,把煤柱又分成几个小块煤柱。这样把巷道中的煤采了出来,那些小煤柱残留在采空区支承顶板。这种采煤法回采率有 $20\% \sim 50\%$ 。

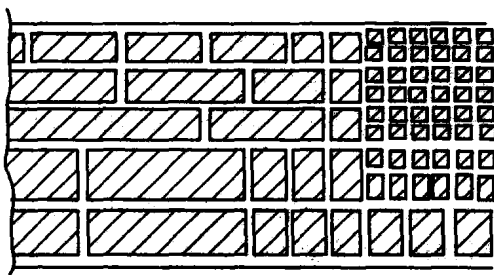


图 2-2 残柱式采煤

2.1.4 房柱式采煤法

沿着煤层走向开掘主要运输巷道的同时,把和主巷平行前进的配风巷做出来。在这些配风巷的上部,开掘一些煤房,利用短工作面进行采煤。煤房的宽度一般为 $3 \sim 5\text{ m}$ 。煤房和煤房间要留 $2 \sim 3\text{ m}$ 的煤柱,以代替支柱来支撑顶板的压力。煤房的长度一般在 30 m 左右。图 2-3 为常见的几种房柱式采煤方法。

2.1.5 巷柱式采煤法

在矿井生产水平上沿煤层走向开掘主巷,然后每隔一定距离沿倾向掘上下山形成采区,在上下山中每隔一定距离沿煤层走向掘平巷即采煤面,掘至一定深度后停止,然后边后退边开采巷道两侧的煤层,开采宽度视顶板条件而定,一般为 $3 \sim 5\text{ m}$ 。相邻采煤巷(面)之间留下一定宽度的煤柱(煤柱宽 $2 \sim 3\text{ m}$)隔离和支承顶板。

2.1.6 壁式采煤法

根据工作面长度的大小又可划分成长壁及短壁采煤法。其中短壁采煤法为我国许多地方小煤窑所广泛采用。图 2-4 为一种典型的走向短壁采煤法布置方式。

老窑和小窑在开采过程中,支护系统比较简单,虽然留下了许多残留煤柱来支撑上覆岩

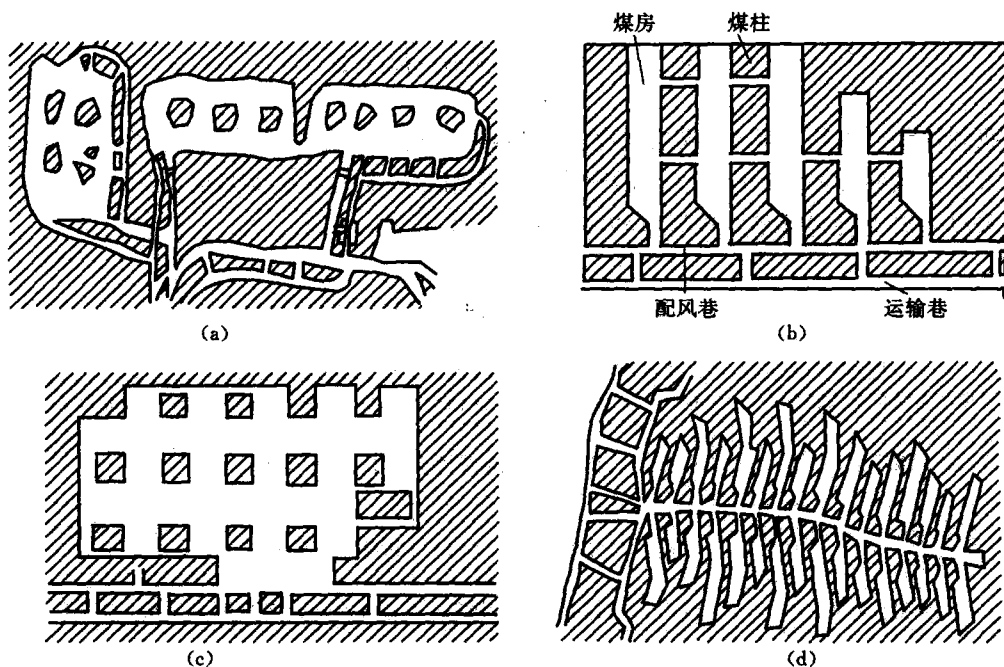


图 2-3 常见的几种房柱式采煤方法

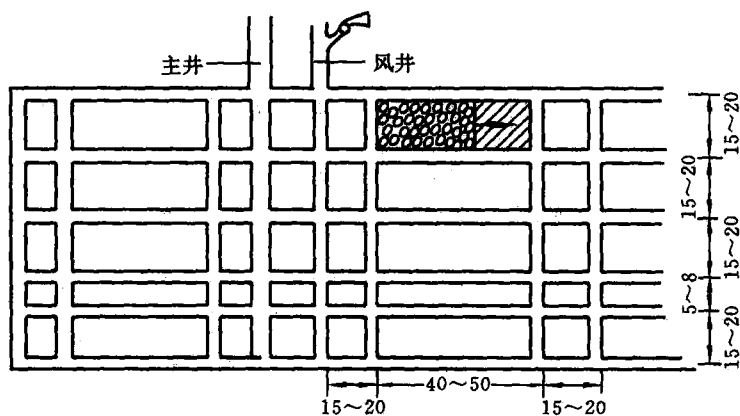


图 2-4 走向短壁采煤法工作面布置

体,但残留矿柱尺寸小、强度差,难于保持长期的稳定性。开采后形成的采空区大多不采取任何处理措施而任其自行垮落。由于残留煤柱大小不一,采空区范围小且无规则,导致上覆岩层破坏规律性差,开采空洞常常欠充填或垮落岩块压密程度差;由于采深较小,由各种原因导致的残留煤柱破坏和欠充填空洞垮塌,通常会造成地表的突然塌陷,而塌陷发生时间和持续时间难于估计,因此对地面安全影响极大。

§ 2-2 现代煤矿采空区

我国煤炭开发历史悠久,煤层赋存条件多样,促使我国现代的采煤方法多种多样,是世界上采煤方法种类最多的国家。我国现代煤矿常用的主要地下采煤方法及其特征见表 2-1。这些采煤方法主要包括壁式采煤法和柱式采煤法两大类。

表 2-1 我国现代煤矿的常用采煤方法^[26]

序号	采煤方法	体系	整层与分层	推进方向	处理	回采工艺	适应煤层基本条件
1	单一走向长壁采煤法	壁式	整层	走向	垮落	综、普、炮采	薄及中厚煤层为主
2	刀柱式采煤法	壁式	整层	走向或倾斜	刀柱	普、炮采	薄及中厚煤层为主,顶板坚硬
3	倾斜分层走向长壁下行垮落采煤法	壁式	分层	走向	垮落	综、普、炮采	缓斜、倾斜厚及特厚煤层为主
4	单一倾斜长壁采煤法	壁式	整层	倾斜	垮落	综、普、炮采	缓斜薄及中厚煤层
5	倾斜分层倾斜长壁下行垮落采煤法	壁式	分层	倾斜	垮落	综、普、炮采	缓斜厚及特厚煤层
6	倾斜分层长壁上行充填采煤法	壁式	分层	走向或倾斜	充填	炮采为主	缓斜、倾斜特厚煤层
7	放顶煤采煤法	壁式	整层	走向	垮落	综采	缓斜特厚煤层
8	水平分层、斜切分层下行垮落采煤法	壁式	分层	走向	垮落	炮采	急斜厚煤层
9	水平分段放顶煤采煤法	壁式	分段	走向	垮落	综采为主	急斜特厚煤层
10	掩护支架采煤法	壁式	整层	走向	垮落	炮采	急斜厚煤层为主
11	水力采煤法	柱式	整层	走向或倾斜	垮落	水采	不稳定煤层 急斜煤层
12	(传统)柱式体系采煤法	柱式	整层		垮落	炮采、机采	不正规条件 回收煤柱、特殊采煤

2.2.1 壁式采煤法^{[26],[28]}

壁式采煤法的特点是:回采工作面长度较长;工作面两端有可供运输、通风和行人的巷道;回采工作面向前推进时,必须不断支护;采空区要随工作面推进按一定方法及时处理;回采工作面内煤的运输方向与工作面煤壁平行。

壁式采煤法有多种分类。①按煤层厚薄不同,可分为整层(单一)开采和分层开采。②按工作面推进方向不同,可分为走向长壁采煤法和倾斜长壁采煤法。在分层开采中,由于分层的回采顺序和顶板管理方法不同,可分为下行垮落法和上行充填法等。在我国,开采倾斜和缓倾斜煤层时常采用单一(整层)走向长壁采煤法、单一(整层)倾斜长壁采煤法、倾斜分层走向长壁下行垮落采煤法、倾斜分层倾斜长壁下行垮落采煤法、倾斜分层走向长壁上行充填采煤

法、倾斜分层V形倾斜长壁充填采煤法和开采坚硬顶板煤层的刀柱采煤法等。开采急倾斜煤层时,有水平分层采煤法、倒台阶采煤法、仓储采煤法和掩护支架采煤法,这些都属于壁式采煤法。

壁式采煤法的采空区处理方式主要有全部垮落法、充填法和刀柱法三种。

全部垮落法处理采空区,就是当工作面从开切眼推进一定距离后,主动撤除采煤工作空间以外的支柱(或支架),使煤层顶板自然垮落;以后随着工作面推进,每隔一定距离就按预定计划回柱放顶;顶板垮落后的破碎岩块体积膨胀而充填采空区,可限制覆岩破裂区发育高度。全部垮落法处理采空区简单可靠、费用少,因此绝大多数煤层开采均采用全部垮落法处理采空区。图2-5为一般的长壁工作面全部垮落法处理采空区示意图。

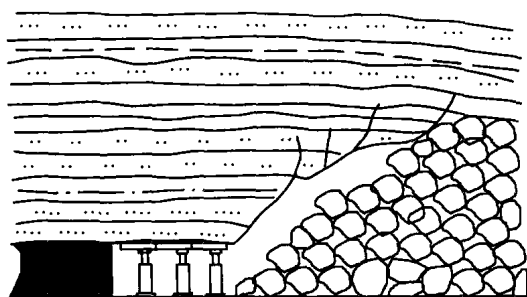


图 2-5 全部垮落法处理采空区

刀柱法管理顶板,就是在工作面每推进一定距离,留下一定宽度(4~6 m)的煤柱(即刀柱)支撑上覆坚硬顶板,如图2-6所示。主要适用于当煤层顶板极为坚硬时,而采用强制放顶垮落法有困难时的中厚煤层开采。其主要缺点是工作面搬家频繁,不利于机械化生产;目前除大同矿区部分煤矿采用外,其他地区极少采用。

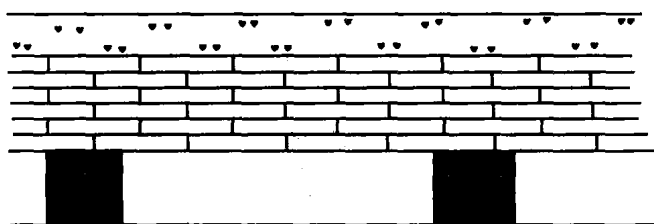


图 2-6 刀柱法处理采空区

充填法处理采空区,就是用砂子、碎石或炉渣等材料充填采空区,借以支撑顶板和围岩,防止或减少覆岩垮落和破坏的程度。根据充填方式不同,充填方法可分为自溜充填、机械充填、风力充填和水力充填等四种。自溜充填主要应用在倾斜煤层条件下。机械充填所用设备简单,对充填材料要求不严格,但充填能力低、充填质量差。风力充填适应性较强,充填能力大,但对充填料要求较严格,电耗大,管路磨损快,在我国应用很少。水力充填法就是利用水压将充填材料通过管路输送到采空区充填,这是我国主要采用的充填方法,在我国的扎赉诺尔、抚顺、阜新、辽源、新汶等矿区均有使用。

充填采煤法能:① 有效地防止顶板垮落,减少地表下沉;② 降低坑木消耗,可不留或少