

井筒与工业广场煤柱开采

吕泰和 主编



煤炭工业出版社

前 言

在煤矿生产和建设中，必然要遇到如何回采井筒与工业广场煤柱问题。随着煤炭产量的不断增大，我国每年报废矿井也随之增多，因此，研究安全回采井筒与工业广场煤柱，是煤矿生产建设中一项具有长远和现实意义的重要综合性技术。不断发展、完善及运用这项综合性技术，对合理开发与利用煤炭资源、减少储量损失、挖掘生产潜力、延长矿井寿命及保证安全生产，具有重要作用。

为总结交流我国十多年来回采井筒与工业广场煤柱的实践经验及科研成果，并推动这一技术继续不断地发展，满足煤矿生产建设的迫切需要，在我们多年实际从事这项科学技术研究的基础上，编写了《井筒与工业广场煤柱开采》一书，愿能起到预想的作用。

本书由吕泰和同志主编，周国铨同志主审。第二章由王世道同志编写，其余各章由吕泰和同志编写，其中陈文仁同志和李子华同志也参加了部分编写工作。

本书在编写过程中，承蒙长期与我们协作的许多矿务局和煤矿的大力支持，并提供了大量可贵资料，在此表示衷心感谢。

由于井筒与工业广场煤柱开采，涉及的技术专业范围较广，作者水平有限，书中有不妥之处，恳请读者批评指正。

目 录

第一章 概论	1
第一节 研究井筒与工业广场煤柱开采的意义	1
第二节 研究对象的分类	2
第三节 研究对象的技术要求	3
第四节 国外研究现状	4
第五节 我国研究现状	8
第六节 井筒与工业广场煤柱开采技术的发展趋势	9
第二章 地表移动变形的计算	11
第一节 地表移动变形计算的基本原理	12
第二节 主断面上的计算公式	15
第三节 多工作面回采时的计算公式	26
第四节 地表移动和变形的计算方法	29
第五节 参数的求取方法	42
第六节 与其它计算方法的关系	47
第三章 覆岩移动与变形	51
第一节 简述	51
第二节 覆岩的竖向移动	57
第三节 覆岩竖向变形	62
第四节 覆岩的水平移动及变形	68
第五节 倾斜岩层的移动及变形	69
第六节 控制覆岩移动和变形的原则	70
第四章 井筒变形计算	75
第一节 简述	75
第二节 高斯影响函数法	76
第三节 概率积分法	83
第四节 柯赫曼斯基与柯瓦尔契克计算方法	95
第五节 积分格网法	99
第六节 弹性介质计算法	100
第七节 非弹性介质计算法	102
第八节 计算平面问题的有限单元法	104
第九节 井壁变形及受力状态计算	115
第十节 结论	120
第五章 特殊条件下的覆岩移动与井筒破坏	122
第一节 简述	122
第二节 急倾斜煤层开采引起断层稳定性计算	125
第三节 缓倾斜煤层开采引起覆岩滑动位移分量计算	133
第四节 防滑技术措施	135

第五节 计算实例.....	136
第六章 采动引起矿压显现规律	145
第一节 简述	145
第二节 矿压显现与顶底板岩性的关系.....	145
第三节 巷道围岩应力分布状态.....	146
第四节 采场周围的支承压力带与卸压带.....	150
第五节 开采空间顶底板岩层移动量.....	153
第六节 泥质覆岩的膨胀.....	157
第七节 控制采场周围压力显现的基本原则.....	157
第七章 地面建筑物与井上下主要设备的保护	159
第一节 简述.....	159
第二节 工业广场地面建筑物的保护.....	159
第三节 绞车的调整与维修.....	164
第四节 扇风机的调整和维修.....	166
第五节 井架的调整.....	168
第六节 罐道的调整与维修.....	168
第七节 罐道梁变形与加固维修.....	173
第八节 排水与压风管路保护.....	175
第九节 电缆保护.....	177
第十节 地面装车系统调整措施.....	177
第八章 井筒保护	178
第一节 概述.....	178
第二节 井筒保护的技术要求.....	178
第三节 井筒变形与破坏规律.....	179
第四节 井壁破坏的判定准则.....	182
第五节 开采方案的选择.....	185
第六节 开采工作面过井筒的技术保护措施.....	193
第七节 井壁保护.....	198
第八节 井底车场内的工程结构保护.....	202
第九章 条带开采法	206
第一节 概述.....	206
第二节 煤柱的极限承载能力.....	207
第三节 煤柱群的分担荷载.....	211
第四节 开采宽度内顶板岩层的稳定性与强度检算.....	212
第五节 条带开采设计.....	220
第六节 计算实例.....	221
第十章 岩体与井壁附加应力及变形测定.....	237
第一节 简述.....	237
第二节 岩体平面问题的应力与变形测定.....	237
第三节 测定岩体应力的钻孔变形法.....	241
第四节 井壁变形测定及附加应力状态计算.....	247
第五节 斜井变形及附加应力监测.....	256

第六节	传感器的选择与埋设技术要求·····	257
第七节	测定实例·····	260
第八节	岩体的超声波测定·····	275
第十一章	井筒与工业广场煤柱开采实例 ·····	283
第一节	急倾斜竖井煤柱开采·····	283
第二节	井筒穿过煤层的保安煤柱开采·····	307
第三节	斜井与工业广场煤柱开采·····	320
第四节	结束语·····	330

第一章 概 论

第一节 研究井筒与工业广场煤柱开采的意义

煤炭是我国主要能源，随着国民经济稳步地向前发展，对煤炭的需求量必然日趋增大。为了满足国家日益发展的需要，煤炭工业不仅要建设新的大型现代化矿井增加煤炭产量，而且还要充分进行老矿井挖潜，最大限度地解放“三下”（建筑物下、水体下、铁路下）压煤量，增加可采储量，延长矿井服务年限，经济合理地提高煤炭资源回收率。这也是增加煤炭产量的另一条重要技术途径，具有很大的经济意义。

井筒与工业广场压煤问题，是属于综合体系煤柱开采的研究，也是开拓“三下”采煤的新领域。这一煤柱开采主要影响矿井生产的中枢系统，其包括矿井地面主要建筑结构与装备、井筒结构与其内装备和井底车场内工程结构与装备三大系统。

随着开采煤层深度的加深和开采煤层数的增多，井筒与工业广场煤柱的压煤量也越来越大。据不完全统计，风井煤柱压煤量一般为数万吨到数百万吨；主、副井与工业广场压煤量则达到数百万吨，甚至到数千万吨，见表 1-1。例如，我国新建成的大型矿井兴隆庄煤矿，主、副井与工业广场煤柱的压煤量为 3934.9 万 t；铁法矿区大兴煤矿主、副井与工业广场煤柱的压煤量则达到 5400 万 t。由此可见，全国煤矿井筒与工业广场煤柱的压煤量相当可

表 1-1

矿 名	煤 柱 类 型	煤柱压煤量(万t)
兖州兴隆庄煤矿	主、副井及工业广场	3934.90
兖州兴隆庄煤矿	风 井	943.30
淮北朱仙煤矿	主、副井及工业广场	2482.00
淮北朱仙煤矿	风 井	96.00
开滦东欢坨煤矿	主、副井及工业广场	4060.00
龙 东 煤 矿	主、副井及工业广场	433.00
鹤岗峻德煤矿	主、副井及工业广场	1573.00
红阳煤矿一井	主、副井及工业广场	1269.70
红阳煤矿一井	西风井	148.80
铁法大兴煤矿	主、副井及工业广场	5400.00
铁法大兴煤矿	风 井	400.00
邢台东庞煤矿	主、副井及工业广场	2282.80
邢台东庞煤矿	风 井	231.50
平顶山十三矿	主、副井及工业广场	1831.00
平顶山十三矿	风 井	361.00
滕南蒋庄煤矿	主、副井及工业广场	666.50
滕南蒋庄煤矿	风 井	322.40
淮南潘一矿	主、副井及工业广场	2818.00
辽源西安煤矿	主、副井及工业广场	1100.00
开滦赵各庄煤矿	风 井	1000.00

观，而且每个生产矿井都存在最后回收井筒与工业广场煤柱问题，或在生产过程中先部分回收这一煤柱问题。近些年来，特别是一些老矿区，矿井报废的对数日益增多，而且日趋严重。因此，对井筒与工业广场煤柱开采技术的研究既量大面广，又难度较大，有很重要的技术经济意义。

井筒与工业广场综合体系煤柱开采，系指要利用矿井的原有井筒和其它主要生产系统，来回收自身的保护煤柱，显然其技术难度比单体结构煤柱开采要大得多。然而，这些压煤量离井口最近，一般煤层稳定，开拓和开采都十分方便，运输距离短，耗电量少，吨煤成本低；另外，开采井筒与工业广场煤柱，能够减缓矿井紧张的采掘关系，提高资源回收率，减少煤炭的积压和浪费。若从技术上不采用原有生产系统来回收自身煤柱，就势必另建新井和生产系统来开采，或用原有系统进行少量开采，这都会造成资金或资源的严重浪费。

由上述可见，研究解决井筒与工业广场煤柱开采的技术问题，势在必行，而且必须解决在生产问题大量出现之前，开拓“三下”采煤新的技术领域，为满足国家对煤炭的需求量服务。

第二节 研究对象的分类

讨论井筒与工业广场煤柱的分类问题，主要按照技术特征来分。由于所有矿井地面工业广场的建筑结构及其主要设备基本相同，其都可归为建筑物下采煤问题，只是部分重要设备的保护是属于新问题；另因井底车场煤柱自然包含在井筒煤柱内，故井筒与工业广场煤柱的分类，主要按井筒的类型来划分。这样技术问题便于归类解决，能在较短的时间内，完善井筒与工业广场煤柱开采技术。

井筒煤柱开采一般按井型可分为两大类，即竖井与工业广场煤柱开采和斜井与工业广场煤柱开采。在竖井与工业广场煤柱开采中，按照开采煤层的赋存条件，又可分急倾斜与倾斜（包括水平煤层）煤层井筒与工业广场煤柱。在急倾斜煤层的开采条件下，竖井和开采煤层相互位置关系，一般只有两种情况：一种竖井位于开采煤层的底板岩层内，如图 1-1 所示；另一种情况是竖井穿过急倾斜开采煤层，如图 1-2 所示。上述两种情况，第一种是多数，第二种是少数。显然在第二种情况下，给自身保护煤柱的安全回收，在技术上造成很大的困难。另在特殊的地质构造条件下，有较大的断层构造切割井筒和急倾斜煤层（图 1-3），这样煤柱的开采就会引起断层上盘岩体发生滑动，井筒结构会产生错动破坏，故使研究对象更

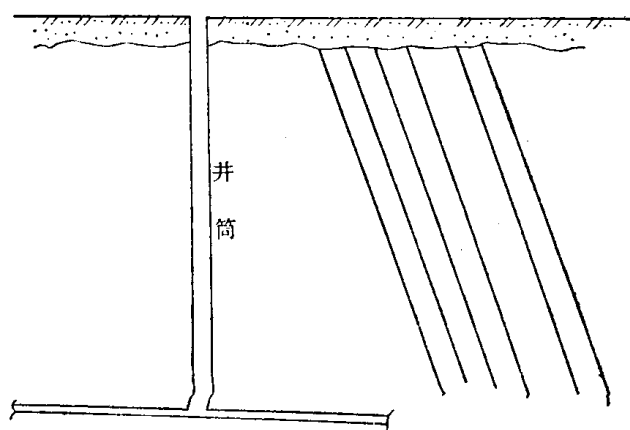


图 1-1

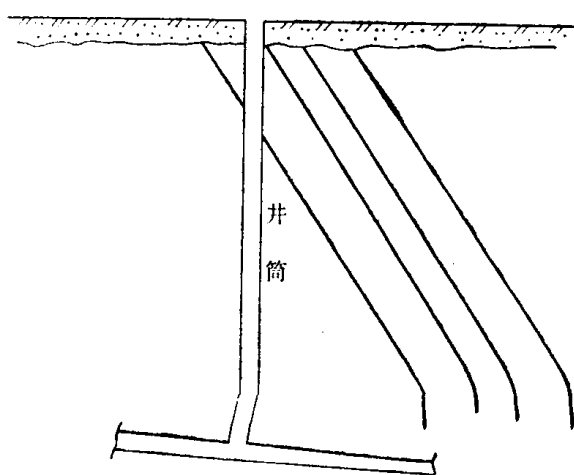


图 1-2

加复杂化。

在倾斜或水平煤层开采中，竖井与开采煤层的相互位置关系，一般有两种情况：一种是井筒不穿过开采煤层，位于开采煤层上方覆岩内，如图 1-4 所示，这种情况是极少数；另一种是竖井穿过开采煤层，井底车场位于底板岩层内，如图 1-5 所示，这种情况是多数。此外，在特殊地质构造情况下，有较大的断层构造切割井筒与倾斜开采煤层，如图 1-6 所示。对于这种情况，也增加了开采煤柱的技术难度，此时要特别防止采动引起的断层滑动。

斜井与工业广场煤柱开采，以反斜井为最典型，即井筒与开采煤层成反倾斜，斜井位于开采煤层上方覆岩内，而井底车场位于开采煤层内，如图 1-7 所示。一般情况下，斜井位于开采煤层的底板岩层内。

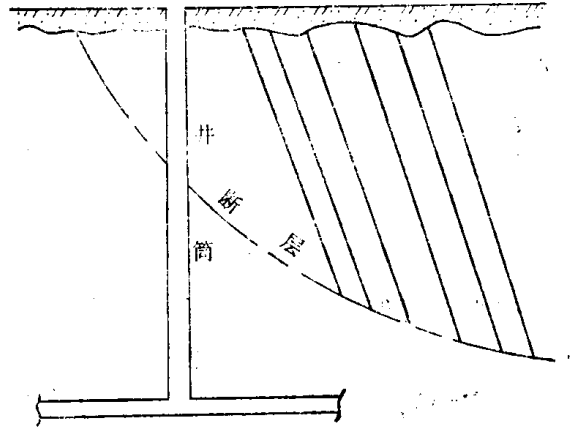


图 1-3

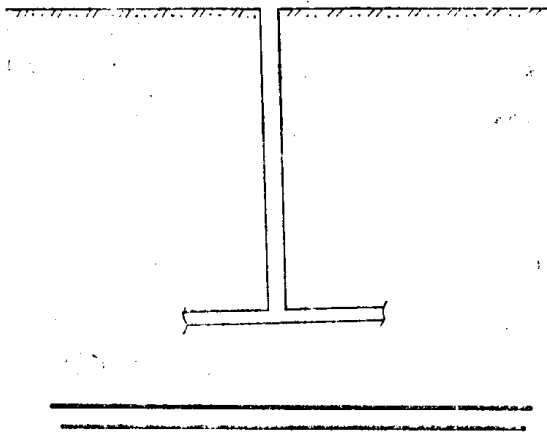


图 1-4

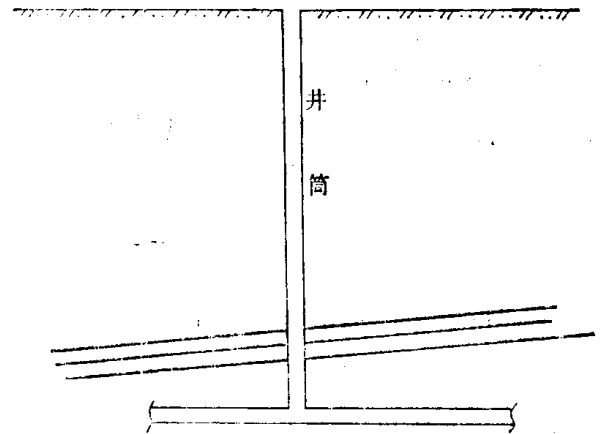


图 1-5

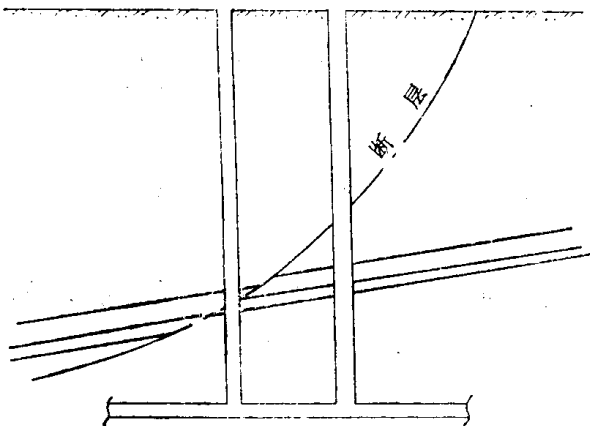


图 1-6

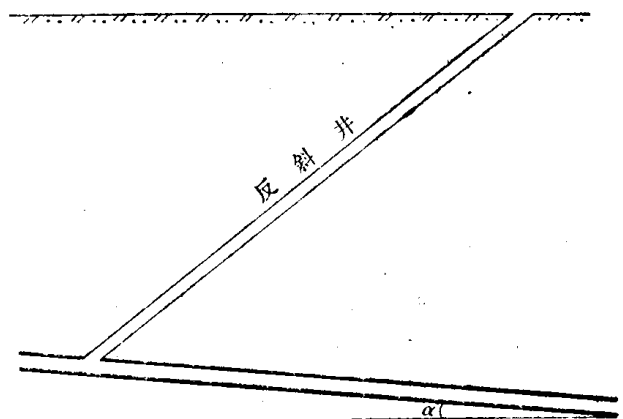


图 1-7

第三节 研究对象的技术要求

井筒与工业广场煤柱开采，要引起地面工业广场各种建筑结构、构筑于岩体内的井筒结

构和井底车场内的大巷、硐室工程结构三大系统发生变形和破坏。由于这三大系统各有特点,互不相同,故称为综合体系煤柱开采的研究。

井筒与工业广场煤柱开采技术的研究,主要考虑在煤柱开采影响过程中,对三大系统的安全保护技术措施的研究。由于保护范围由地表扩展到井下,保护对象又具有多科性,就必然使解决此问题的技术向综合体系发展。

在煤柱开采过程中,对于地面工业广场的主要建筑结构和设备,必须按《规程》*提出的保护级别的技术要求,确保其在采动影响过程中,安全正常使用和运转;对于构筑于岩体内的井筒结构,要防止出现较严重的压缩、拉伸、错动和扭曲破坏,及其容许外的偏斜变形,确保井筒有足够的使用断面和提升系统安全正常运转;对于井底车场的工程结构和设备,亦必须确保安全正常使用和运转。概括起来的技术总要求是:计划开采煤柱回收完后,其三大系统继续具有正常的使用和运转功能。

按照井筒与工业广场煤柱开采的技术要求,就必须打破原来的开采程序和方向,在实际生产容许的条件下,统筹设计整个煤柱的开采方案,选择最佳开采程序和方向。这是因为不同的开采措施,会引起地表、覆岩内部和保护对象的不同变形与破坏。因此,解决井筒与工业广场煤柱开采问题的技术关键,是优选最佳开采方案。

就解决井筒与工业广场煤柱开采问题的基础技术理论知识来说,不仅要掌握开采引起的地表移动与变形规律,而且还需要掌握采动引起覆岩内部的变形与破坏规律,采场周围压力显现规律及覆岩内工程结构与地面建筑结构的技术保护措施。这些规律和技术保护措施的研究,必须结合开采工艺来进行,才能够获得更好的实用价值和效果。

第四节 国外研究现状

井筒与工业广场煤柱开采的试验,早在30多年前德国和比利时就进行过。本世纪的60年代以来,波兰、苏联、联邦德国和英国等进一步地发展了这一开采技术,获得了许多成功经验,开采实例见表1-2。

一、国外井筒与工业广场煤柱开采的技术特点

从表1-2中的开采实例看出,国外井筒与工业广场煤柱开采,具有以下技术特点:

(1) 从所采煤层和井筒位置的空间关系上来看,大致分为三种情况:第一种是井筒穿过开采煤层;第二种是井筒位于所有开采煤层的上方;第三种是井筒位于所有开采煤层的一侧。

(2) 从采动对井筒的影响范围来看,可分为井筒全部受采动影响,如图1-8a、b所示;仅井筒上部分受采动影响,如图1-9所示。

(3) 从地质和水文条件来看,大多数的井筒与工业广场煤柱开采,其地质和水文条件都较为简单。若开采井筒穿过含水层的井筒煤柱时,则需要在采前必须对井壁采取技术加固措施,使其不仅能抗变形,而又能防透水。

(4) 从煤层的赋存条件来看,大多数为缓倾斜煤层,地质构造也较简单。急倾斜煤层条件下的竖井与工业广场煤柱开采实例极为少见。

(5) 从井筒功能来看,大多数为风井或辅助井筒煤柱开采,少数为主、副井煤柱开采。

*《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程》,煤炭工业出版社,1986年。

表 1-2

井 名	矿 别	井筒功能	煤 层	煤层倾角 (°)	采 深 (m)	井筒与煤层关系	最大单层 厚 度 (m)	累积采厚 (m)		采煤方法与顶板管理	开采时间 (年)	
								层 数	层 数		国 别	国 别
施蒙井	哈伦巴矿	副 井	406	6	360	井筒穿过开采煤层	3.5	6.15	1	长壁水砂充填	1962~1975	波 兰
四号井	波 兰 矿	通风、充填、上下人	506 504	20	450	井筒穿过开采煤层	3.3	5.2	2	长壁水砂充填	1968~1976	波 兰
夫瓦德斯瓦夫井	普斯特洛夫斯基煤矿	主 井	620		540	井筒穿过开采煤层	1.4~1.7			长壁水砂充填	1969~1977	波 兰
南风井	卡托维茨矿	风 井	416	5~8	645	井筒在开采煤层上部	2.5	2.5	1	长壁水砂充填	1964~1978	波 兰
杨、马利亚井		主 井	艾利施卡	14	363	井筒穿过开采煤层	1.25			长壁局部充填	捷克斯洛伐克	
二号井	红十月一矿	风 井	查 理	缓倾斜		井筒穿过开采煤层	1.54~1.80	1.54~1.8	1	长壁跨落条带(近井处)	1965~1966	捷克斯洛伐克
贺海井	贺海内格个矿	主 井		6~12		井筒穿过开采煤层	1.17~1.25	13.7	8	带状充填风力充填 (近井处)	1963~1968	捷克斯洛伐克
李文斯克一 扎别列瓦林井		主、副井		3~5	130~230	井筒穿过开采煤层	1.2	2.84	3	长壁跨落	1971	苏联
二号井			L ₈	20~40	80~92	井筒穿过开采煤层	1.3~1.5	1.3~1.5	1	长壁跨落	1971	苏联
北风井	9~15号矿			10		井筒在开采煤层上部	3.0~4.5	3.0~4.5	1	长壁跨落	1969~1970	苏联
三号井	维斯特伐利亚矿				920~990		1.0~1.2	9.3	6	长壁风力充填	联邦德国	
二号井	埃·马利斯矿		共 6 层		887	井筒穿过开采煤层					1952~1979	联邦德国

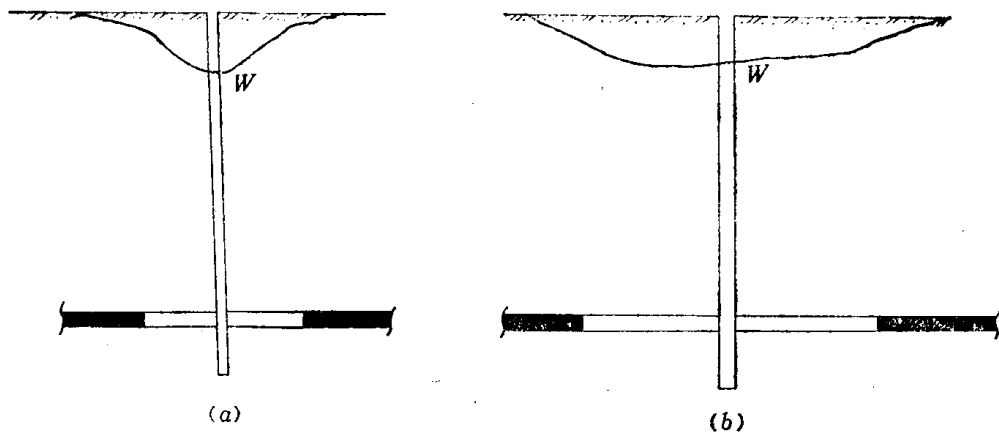


图 1-8

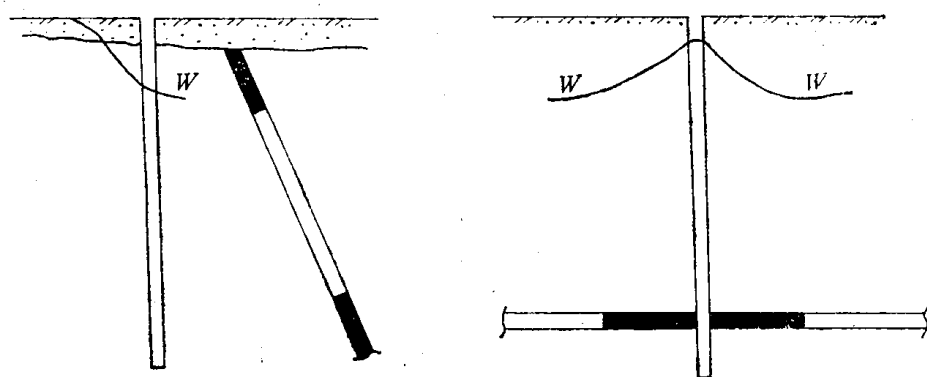


图 1-9

(6) 从井筒煤柱内煤层的开采顺序来看，先采上层而后采下层，逐层回采，也有先易（先采薄的和深的）后难（后采厚的和浅的），不按煤层上、下顺序开采。

(7) 从技术要求来看，煤柱采完后，仍然保持井筒、井底车场和地面主要生产系统的原有功能。

二、井筒与工业广场煤柱的开采方法

从国外井筒与工业广场煤柱开采经验表明，在制定煤柱开采方案时，必须区别以下三种情况。

(一) 竖井穿过开采煤层

在所采煤层顶、底附近没有需要保护的巷道和硐室工程结构，或这些岩体内的工程结构离所采煤层顶、底板的距离足够大时，开采井筒煤柱的技术难度就小些。开采这种类型的煤柱，尽管有许多可能的方法，如图 1-10a、b、c、d、e、f、g、h、i、j 所示，但其必须共同遵守以下原则：

(1) 全柱开采。就是在全部井筒与工业广场煤柱的开采范围内，必须采用一个长工作面，或数个工作面组合成阶梯形开采工作面，以防止出现永久性开采边界影响。

(2) 对称开采法。就是在煤柱开采范围内的各个部分，从开采面积、采厚和出煤产量都做到基本上对称开采，以减小竖井的偏斜变形。

(3) 连续开采方法。就是开采工作面不长期停顿，使井筒结构产生的动态变形不发展到静态变形。

(4) 控制回采强度。即在同期内的开采厚度与开采工作面的推进速度不要太大，借以

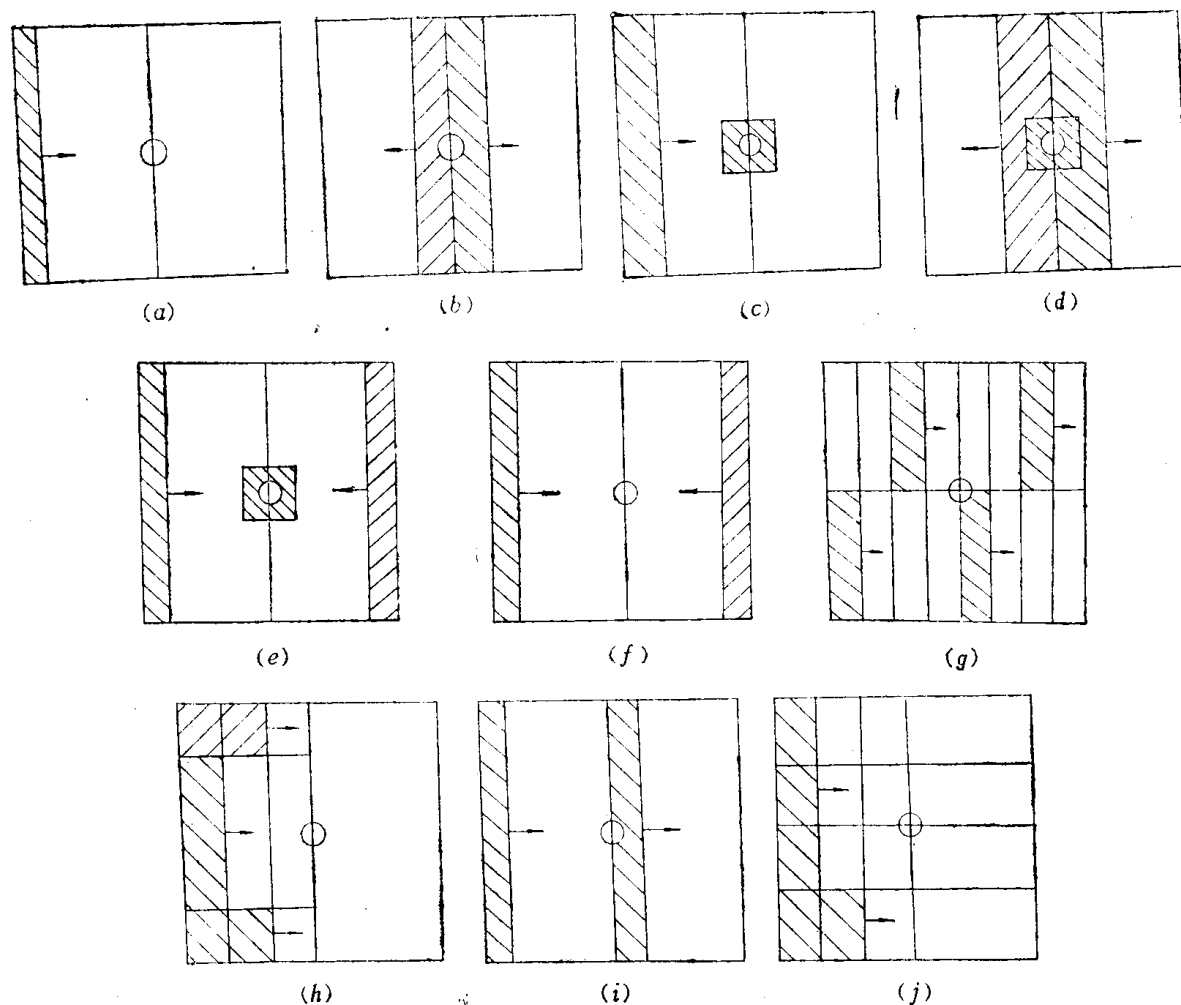


图 1-10

降低井筒结构及其装备的变形速度。

(5) 协调开采。就是在开采煤层的范围内，以保护井筒为中心，在各个开采块段之间，在时间和空间上进行协调，以抵消井壁内的部分变形值，减轻对井壁的损害。

(二) 竖井在开采煤层上方的开采方法

在竖井未穿过开采煤层的条件下，即井底车场位于开采煤层上方的顶板覆岩内。只要煤层顶板到井底车场内的硐室、巷道和水仓的底板法线距离，大于煤层开采引起的裂缝带高度，一般都会安全开采，其开采方法有下面几种：

(1) 由井筒中心的正下方处，用两工作面背向开采。

(2) 由井筒煤柱两侧边界，用两个工作面向井筒相向开采。这种方法一般采用的较少。

(3) 两个工作面，一前一后地跟随开采。

(4) 井筒煤柱中央和两侧的工作面，分别采用两个相反开采方向，如图 1-11 所示。

(三) 井筒在开采煤柱的一侧

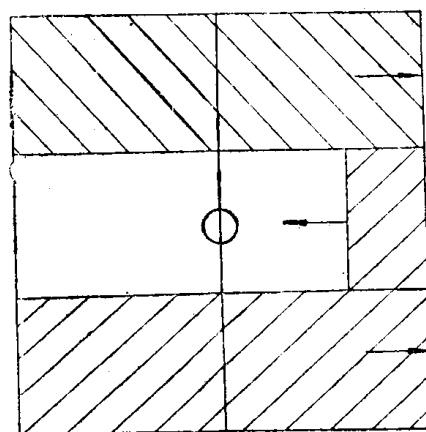


图 1-11

当竖井位于开采煤层一侧时,煤柱开采必然要引起井筒发生偏斜变形。在这种条件下,只有通过对称开采方法,才能防止井筒结构在采动影响过程中产生较大的扭曲变形。

第五节 我国研究现状

我国井筒与工业广场煤柱开采试验的研究,同国外先进国家相比起步较晚,在七十年代的中期才开始试验开采。但起点的技术难度较大,个别开采实例的技术难度,至今在国际上也是少见的。

例如,1977~1979年的淮南大通矿七号独井筒与工业广场煤柱开采,煤层倾角 75° ,五个煤层的累积开采厚度为9.3m,采用柔性掩护支架全冒落开采方法。开采范围内地质构造复杂,有大断层切割井筒与开采煤层群,如图1-12所示。这项试验研究,是在技术上完全掌握了急倾斜煤层开采引起断层滑动规律的基础上,成功地解决了这个技术难题。

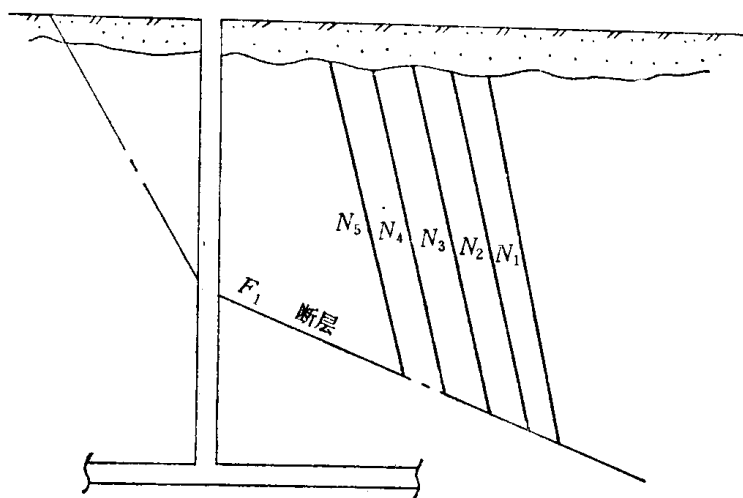


图 1-12

在继大通矿试验开采成功之后,九龙矿采用急倾斜条带开采方法,又成功地开采了主、副井与工业广场煤柱。这两矿试验开采的先后成功,对我国这一技术的发展起了推动作用。

我国在研究急倾斜煤层竖井与工业广场煤柱开采的同时,1980~1984年又在江西丰城矿务局的建新二井,成功地开采了反斜井与工业广场煤柱。于1986年底,在湖南牛马司矿的麻园村矿井,亦成功地开采了倾斜煤层条件下的井筒与工业广场煤柱(竖井穿过开采煤层)。

在10年的时间内,我国先后开采了几种有代表类型的主提升井与工业广场煤柱,详见表1-3。这些成功的开采实例,为我国井筒与工业广场煤柱开采技术的进一步发展和完善,提供了理论依据和实践经验。

从比较国内、外开采实例就可得出,我国井筒与工业广场煤柱开采技术难度较大。众所周知,“三下”开采技术的发展,同矿井开采技术水平的高低是密切相关的,特别是井筒与工业广场煤柱开采,选择最佳开采方案是技术关键,这样开采技术就起重要的作用。但是,由于我国小型矿井较多,生产能力小,采矿技术较落后,无法组织联合工作面来实现大面积开采,消除重复采动的多次变形影响,从而给地面建筑结构、井筒和井底车场的保护带来困难。

另外从自然条件相比,波兰、苏联和联邦德国等国家多数是缓倾斜煤层开采,地质构造也较简单。而且目前开采的多数为风井和辅助井煤柱,并用水砂充填或风力充填管理顶板。但我国煤炭资源丰富,煤层赋存条件多种多样,地质构造和水文条件都很复杂,且各有特点,给这一技术问题的解决增添了难度。从矿井的技术装备来看,我国绝大多数矿井都采用陷落法管理顶板,一般都不具备水砂充填或风力充填装备系统。另外,对于最后回收井筒与工业广场煤柱的报废矿井,一般从经济效益上考虑,也不愿再增设充填系统,这无疑也增加

表 1-3

井 名	矿 别	井筒功能	开采煤层	煤层倾角 (°)	采 深 (m)	井筒与开采煤 层的位置关系	最大单一 煤层采厚 (m)	累计采厚 (m) 层数	采煤方法与顶 板 管理 方法	开采 时间 (年)
七号井 筒	淮南大 通矿	主 井	共 5 层煤	75	80~330	井筒位于开采煤 层底板内, F ₁ 断层 切割井筒与开采煤 层	6.0	$\frac{9.3}{5}$	柔性掩护支架开 采	1977~ 1979
九号井 与新三井	淮南九 龙岗矿	主、副井	共 9 层煤	60~70	530~830	井筒位于开采煤 层底板内	6.0	$\frac{16.8}{9}$	急倾斜垮落条带 开采	1977~ 1981
西风井	平顶山 一矿	风 井	戊 ₈ 、戊 ₄			井筒穿过开采煤 层	2.0	$\frac{4.0}{2}$	长壁垮落法开采	1968~ 1969
建新二 井反斜井	丰城矿 务局上塘 矿	主、副井	B ₄	2~4	180~200	井筒位于开采煤 层上方井底车场位 于开采煤层内	2.4	$\frac{2.4}{1}$	长壁垮落法开 采、在井底车场处 条带开采	1980~ 1984
麻园村 矿井	湖南牛 马司矿	主 井	一层煤	26~30	80~276	井筒穿过开采煤 层	2.0	$\frac{2.0}{1}$	长壁垮落法开采 井筒处条带开采	1983~ 1986

了技术难度。由上述可见, 解决我国的井筒与工业广场煤柱问题, 确实要比国外一些采矿技术发达的国家要难得多。

研究我国井筒与工业广场煤柱开采技术, 学习和借鉴国际上的先进技术和经验, 尽快地提高我们在这一技术领域的水平是非常有益的。但必须坚持从我国的实际条件出发, 理论联系实际, 创出适合于我国具体情况的技术途径。如果照搬国外经验, 或坐等技术条件, 就会造成煤炭资源和资金的严重浪费。由表 1-3 中的我国主井与工业广场煤柱开采实例与国外相比, 不论技术难度和经济都是较先进的。

第六节 井筒与工业广场煤柱开采技术的发展趋势

对于老矿井, 随着我国井筒与工业广场煤柱开采技术的不断完善和发展, 用矿井的原有生产系统经济合理地采出自身保护煤柱, 是发挥老矿挖潜增加煤炭产量的必然发展趋势。但是, 从长远和宏观上来看, 只考虑上述一个方面是不够的。对于新矿井的建设, 在设计阶段就要预先全面考虑“三下”采煤技术措施, 把问题解解决于设计阶段, 这样更加经济合理, 达到技术上的良性循环。否则就会形成老问题还未解决完, 新问题又继续出现的恶性循环。这是科研与设计脱节的严重后果, 并阻碍了技术的全面发展和提高。

特别是井筒与工业广场压煤, 在设计阶段预先采取综合体系煤柱开采技术措施尤为重要。对于地面主要建筑结构与设备分别预先采取抗变形措施与基础的可调措施; 开凿井筒, 首先做好位置选择, 使其尽可能不穿过较大的断层构造, 过含水层处预先设置防水井壁; 不论井底车场位于开采煤层的上部或下部岩层内, 按技术要求离开所有开采煤层恰当距离, 防止将来煤柱开采所形成的裂缝带与支承压力带的破坏影响。在设计阶段预先采取措施, 既省经费而且技术效果又最好, 只要采用合理的开采方案设计, 就可安全采出井筒与工业广场煤柱, 将这一技术的难题解解决于设计之中, 这是技术发展的必然趋势。

波兰、苏联、联邦德国和英国等开采技术较先进的国家, 将教学、科研和设计三者紧密

地结合起来。从教学上将矿区抗变形建筑结构与一般的工业和民用建筑设计分开，设了新的专业，全面加强了这一边缘科学的基础理论知识教学，提高了这一技术领域科技与工程技术人员的技术素质。系统地总结了已有的科研技术经验，制定了矿区抗变形建筑结构和水工结构的专门设计规范，形成了新的较完整的技术体系。

上述问题正是我国在这一技术领域的严重不足，也是同国际先进水平最大的差距。这一问题应该提到目前教学、科研和设计体制改革的重要议题上来，否则就影响这一技术的继续发展和提高，并给煤炭工业向现代化发展带来影响，这也是从事这一技术领域研究工作的学者、教授和工程技术人员的主要任务。

第二章 地表移动变形的计算

井筒和工业广场煤柱的开采必然会给地面的建筑设施带来一定的危害。为了正确地估计井筒和工业广场煤柱的可采程度以及对建筑设施采取必要的保护措施,包括建筑物结构加固措施和地下开采措施,必须预计其地表的移动变形值。我国目前计算地表移动变形的方法有典型曲线法、负指数函数法、概率积分法、双曲函数法、积分网格法和威布尔函数等,其中前三种方法用得较多。有关文献对典型曲线法、概率积分法等已有详细论述,这里就不再重复。

负指数函数法是在总结和分析我国一些矿区的地表移动观测资料的基础上,由岩移工作者周国铨-虞万波同志于1963年提出的。这是一种用经验公式来描述地表半个移动盆地的方法。如图2-1所示,坐标原点设在最大下沉点0上, x 轴指向煤柱上方。主断面上的地表下沉曲线方程为

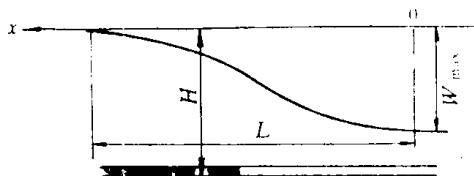


图 2-1

$$W(x) = W_{\max} \exp(-aZ^n) \quad (2-1)$$

其中
$$Z = \frac{x}{L} \quad (2-2)$$

式中 $W(x)$ ——坐标为 x 的地表点的下沉值, mm;

$W_{\max}$ ——实测的地表最大下沉值, mm;

$\exp$ ——自然对数底 e 的符号;

x ——地表点的坐标, m;

a, Z ——系数, 由实测资料求得;

L ——半个移动盆地的单位长度, 即最大下沉点到下沉为 10mm 的点的距离, m。

根据数学关系可以求出地表倾斜, 曲率、水平移动和水平变形的曲线方程。它们分别是

$$i(x) = \pm \frac{W_{\max}}{L} anZ^{n-1} \exp(-aZ^n) \quad (2-3)$$

$$k(x) = \frac{W_{\max}}{L^2} [a^2 n^2 Z^{2n-2} - an(n-1)Z^{n-2}] \exp(-aZ^n) \quad (2-4)$$

$$u(x) = B \cdot i(x) + W(x) \operatorname{ctg} \theta \quad (2-5)$$

$$\varepsilon(x) = B \cdot k(x) + i(x) \operatorname{ctg} \theta \quad (2-6)$$

$$B = \frac{b \cdot L \cdot \exp\left(-\frac{n-1}{n}\right)}{(n-1)^n \sqrt{\frac{an}{n-1}}} \quad (2-7)$$

式中 $i(x)$ 、 $k(x)$ 、 $u(x)$ 、 $\varepsilon(x)$ ——分别为地表点的倾斜、曲率、水平移动和水平变形;

b ——水平移动系数;

θ ——最大下沉角, ($^\circ$)。

对于水平煤层和倾斜煤层的走向主断面, 取 $\theta = 90^\circ$, 对于倾斜煤层的倾向主断面, 一般 $\theta < 90^\circ$, 这时 x 轴表示煤层的倾向方向。

公式 (2-3) 右端的正负号规定: 计算下山一侧和走向左侧半盆地时取 “+” 号, 计算上山一侧和走向右侧半盆地时取 “-” 号。

为了求取系数 a 和 n , 必须把公式 (2-1) 改为直线方程, 然后按最小二乘法求解。

负指数函数法作为一种不同于国外的计算方法自提出以来, 在不少矿区得以应用, 并按实测资料求得了抚顺、阜新、枣庄、合山、南桐、牛马司、平顶山等局矿的系数 a 、 n 值, 推动了我国 “三下” 采煤事业的发展。

根据多年来的应用也暴露了一些不足之处。本章作者于 1981 年起先后作了一些修改。下面将介绍这一内容。

第一节 地表移动变形计算的基本原理

地下煤层的采出破坏了岩体内部的应力平衡状态, 采空区的顶板岩层在自重及其上覆岩层的作用下向下弯曲、移动, 甚至冒落。随着采空区范围的扩大, 岩层内部的移动继续向上扩展, 直至出现地表的移动和变形。

几十年来国内外的开采实践、地表的实地观测以及实验室的研究表明: 采煤引起地表移动变形有其一定的规律性。根据目前对地表移动规律的掌握程度, 在计算地表移动变形中比较一致的基本论点有以下几点。

一、充分采动角原理

地下煤层大面积开采表明, 地表的下沉随着回采面积的增大而增大, 但是, 当回采工作面在走向和倾向上的尺寸超过某一定值 (称为临界尺寸) 时, 地表的下沉就不再增大。这时, 地表被充分采动, 而地表出现的最大下沉值称为充分采动条件下的最大下沉值。

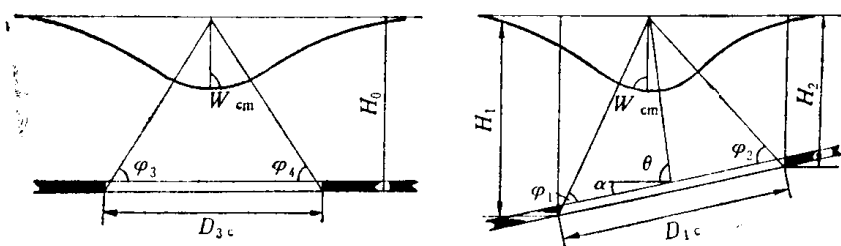


图 2-2

回采工作面的临界尺寸, 如图 2-2 所示, 由充分采动角 φ 来圈定。根据几何关系, 倾向和走向上的临界尺寸 D_{1c} 和 D_{3c} 可由以下公式计算而得。

$$D_{1c} = \frac{H_1 \operatorname{ctg}(\varphi_1 + \alpha) + H_2 \operatorname{ctg}(\varphi_2 - \alpha)}{\cos \alpha} \quad (2-8)$$

$$D_{3c} = H_0 (\operatorname{ctg} \varphi_3 + \operatorname{ctg} \varphi_4) \quad (2-9)$$

式中 H_1 、 H_2 、 H_0 ——分别为下山、上山和走向边界的开采深度, m;

α ——煤层倾角, ($^\circ$)。

由充分采动角所圈定的回采工作面的形状为一矩形。它的大小与采深有关, 且随采深的增大而增大。

二、线性原理