

开采论文集



煤炭科学研究院北京开采研究所

开 采 论 文 集

1

水体下、建筑物下、铁路下采煤

*

煤炭科学研究院北京开采研究所编辑出版

煤炭工业出版社印刷厂印刷

*

字数150千字 印数1—3,000册

1980年9月北京第一次印刷

前 言

为活跃学术空气，搞好学术交流，促进科研水平的提高，我所决定自1980年创办学术性刊物《开采论文集》。

《开采论文集》主要登载我所科研人员撰写的科学论文，研究报告等。此外，还将围绕我所专业方向和课题任务，组织专题讨论，报导国内外研究动向。

本刊第一期集中选编了特采室的12篇文章，组成专辑。今后将广泛征集支架、矿压、特采、仪器仪表、电算应用等各方面的论文，酌情出版专辑或综合性文集。

本刊编辑工作由所学术委员会负责，不定期出版，在煤炭系统内部发行，并可与国内外有关单位交换。

为了把刊物办好，衷心希望得到全所同志的支持，并欢迎读者多提宝贵意见。

煤炭科学研究院北京开采研究所

一九八〇年六月

目 录

水体下采煤的实践与认识——出席第十届世界采矿会议报告·····	刘天泉 (1)
试论“三下”采煤的综合开采技术体系·····	刘天泉 (7)
决定水体下采煤可能性和安全度的因素·····	吴满才 (21)
松散弱含水层下留设“煤皮”煤柱安全开采的可能性·····	吴满才 文学宽 (30)
数理统计及地层结构分析法在水体下采煤中的应用·····	郑世燕 刘修源 文学宽 (36)
地表移动盆地任意剖面移动和变形的计算·····	仲惟林 (44)
用岩性综合评价系数P确定地表移动的基本参数·····	耿德庸 仲惟林 (52)
应用矩形格网图计算倾斜煤层地表下沉盆地任意点的移动和变形·····	朱仁诒 (70)
计算地表下沉盆地内任意剖面的移动和变形的源程序及其应用 ·····	杨秀英 战洪学 焦传武 (89)
应用有限单元法计算分析受采动影响建筑物的附加应力 ·····	焦传武 孙建平 杨家桂 杨秀英 (105)
用有限单元法计算和分析条带开采法的地表移动及煤柱稳定性规律·····	耿德庸 (115)
“三下”采煤技术的发展现状·····	刘天泉 (133)

水体下采煤的实践与认识

——出席第十届世界采矿会议报告

刘天泉

我国地域辽阔,煤田多,分布广,生成时代差异大,地质及水文地质条件复杂。随着煤矿生产建设的飞速发展,许多矿区出现水体下采煤问题,并广泛地开展了水体下采煤的科学试验研究工作,取得了可喜的成果,其中规模较大的有淮河下采煤、滨海(渤海)、滨湖(微山湖)地区含水砂层下采煤及矿区地表下沉区积水下采煤等等。通过上述科学试验及生产实践,我国煤矿水体下采煤的规模由小到大,条件由简单到复杂,技术措施由单一到多样,正在形成一套适合我国煤矿特点的规律性认识和开采方法。

我国煤矿水体下采煤技术的发展特点是,采深采厚比值小,开采方法多样化,技术措施因地制宜,采后效果较好。

从深厚比看,当河床与煤系基岩之间无粘土层或河床与煤系基岩之间仅有含水砂层,并采用全部垮落方法开采时,深厚比最小为30~40,一般为50~60。采用充填方法开采时,深厚比为15~20(表1),安全深厚比大小取决于基岩中隔水岩层所占比例的大小。当河床与煤系基岩之间有粘土层,并采用全部垮落方法开采时,深厚比最小为5~8,一般为10~30;采用充填方法开采时,深厚比甚至减少到3~4(表2)。安全深厚比大小除与基岩中隔水岩层厚度有关外,主要取决于煤系基岩上覆粘土层的厚度。

河床与煤系基岩之间无粘土层的水体下采煤实例

表 1

水体类型	矿 名	采厚(米)	采煤方法及顶板管理方法	煤岩柱高度(米)	柱高采厚比	涌 水 量 (米 ³ /小时)
召 河 沟	包头大磁矿	2.5	单一长壁全陷法	60	24	30.7
清 河	阜新清河门矿	1.0	"	37~47	37~47	淋 水
马 牛 河	北票三宝三井	1.8	"	100	56	正 常
阔家沟河	鸡西小恒山矿二井	1.2	"	44~45	37~38	60
小 汶 河	新汶张庄矿	1.8	"	52.1	55	正 常
东 南 河	新汶禹村矿	2.8	走向长壁水砂充填法	24	8.6	"
小 汶 河	新汶张庄矿	1.8	"	12.6	7.0	0.5

从开采方法看,采煤方法有单一长壁、倾斜分层人工假顶长壁、仓房式、急倾斜煤层的沿走向推进的伪倾斜柔性掩护支架等。顶板管理方法有全部垮落、水砂充填、矸石充填及留煤柱支撑顶板等。

从技术措施看,根据水体的特点,分别采用:

1. 保留相应的安全煤柱。例如防水安全煤柱和防砂安全煤柱。
2. 选择适当的开采方法。例如,对于急倾斜煤层,采用小阶段、长走向、间歇式开采方法,对于急倾斜直立煤层,除了上述措施外,还采用人工强制放顶方法;对于缓倾斜厚煤层,

采用分层间歇开采方法；对于地质、采煤条件复杂的煤层，采用充填开采方法或条带开采方法。

河床与煤系基岩之间有粘土层的水体下采煤实例 表 2

水体类型	矿 名	采 厚 (米)	采煤方法及顶板管理方法	煤岩柱高度 (米)		柱高采 厚比	涌水量(米³/小时)
				基 岩	粘土层		
红 色 沟	峰峰黄砂矿	3.2	倾斜分层长壁假顶下行陷落	31	2	10	正 常
兴 隆 沟	阜新新邱四矿	1.8~2.5	单一长壁全部陷落	52	0.5	10~14	最大为104, 稳定为40
和 村 沟	峰峰通二矿	5.1	倾斜分层长壁假顶下行陷落	40	10	10	正 常
排 洪 沟	枣庄柴里矿	8.0	同 上	37	35	9	正 常
寺 弯 河	鹤壁张庄矿	5.5	同 上	29	27	10	正 常
不 牢 河	徐州大黄山矿一号井	5~6	同 上	20	10	5~6	无明显变化
废 黄 河	徐州新河矿卧牛井	4~5	同 上	28~30	15	8~10	无明显变化
稻 田 河	平顶山三矿	3.3 (两层煤)	走向长壁全部陷落	46	8	13	无明显变化
绵 河	井陘四矿胜利斜井	2.3	倾斜分层长壁上行水砂充填	2.5~5.0	5	3~4	1
淮 河	淮南李咀孜矿	2.9	伪倾斜柔性掩护支架	50	20	38	正 常
淮 河	淮南毕家岗矿	5.5	倾斜分层长壁假顶下行陷落	170	2	31	正 常

水体下开采的一般原则是，先采深部，后采浅部；先采远处，后采近处；先采隔水层厚的地点，后采隔水层薄的地点；先采条件简单的地点，后采条件复杂的地点，逐渐接近水体。在特别困难的条件下，采用分井田或分采区隔离开采的方法。

3. 采用可能的水文地质及工程地质措施。例如，地面防漏、防渗工程，河流改道工程及其他的减少地面水和地下水补给来源的工程。

4. 对地下水预先疏干或降低水位后开采。

从开采后的效果看，绝大多数在水体下采煤矿井的涌水量不大(30~50米³/小时以下)。在有第四纪粘土层覆盖的条件下，河下采煤的矿井涌水量增加很少。在没有第四纪粘土层覆盖的条件下，特别是煤系基岩内又缺乏隔水层，当深厚比小于50时，河下采煤的矿井涌水量显著地增加。

我国煤矿水体下采煤的科学试验及生产实践表明，实现水体下安全和合理开采，关键在于正确地、合理地设计安全煤柱。

众所周知，在设计安全煤柱时，过去一般采用“深厚比法”或“计算法”。所谓深厚比法，就是以采深采厚比值作为煤柱尺寸的唯一依据。事实说明，这种方法忽略了覆岩的结构及岩性特征对水体下采煤的有利作用的一面，往往使设计的煤柱尺寸偏大。所谓计算法，就是采用计算冒落带、导水裂缝带的高度，并加上一定的保护层厚度，作为安全煤柱的最小尺寸。这种方法虽然在一定程度上考虑了岩性的因素，但对覆岩的结构特征缺乏具体分析，煤柱尺寸仍然达不到合理的程度。

近年来，我们运用煤层覆岩破坏规律及地层结构分析方法，总结出一种比较合理的设计安全煤柱的新方法，这就是既考虑水体的类型和地层结构特征，又考虑覆岩冒落带、导水裂缝带高度的综合分析计算的设计方法。采用这种方法设计煤柱，不仅可以减少安全煤柱的尺寸，而且能够确保水体下采煤的安全生产。

根据新的方法设计安全煤柱，可分四个步骤进行：

第一步应划分两种概念的安全煤柱。

1. 防水安全煤柱(H_水)。在保留防水安全煤柱的条件下，矿井涌水量基本上不增加。防

水安全煤柱的最小高度等于导水裂缝带高度加上5~30米高度的保护层 ($H_{保}$)，即 $H_{水} \geq H_{裂} + H_{保}$ 。例如图 1 所示。

2. 防砂安全煤柱 ($H_{砂}$)。在保留防砂安全煤柱的条件下，矿井涌水量略有增加，或只是短期性增加。防砂安全煤柱最小高度等于冒落带高度加上 2~15 米高度的保护层 ($H_{保}$)，即 $H_{砂} \geq H_{冒} + H_{保}$ 。例如图 2。

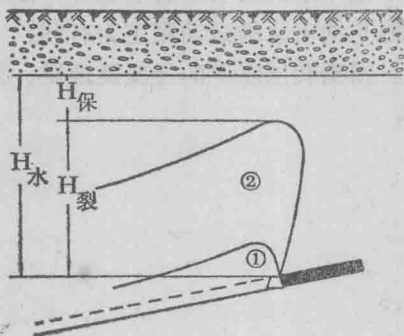


图 1 防水安全煤柱的构成

①—冒落带；②—导水裂缝带

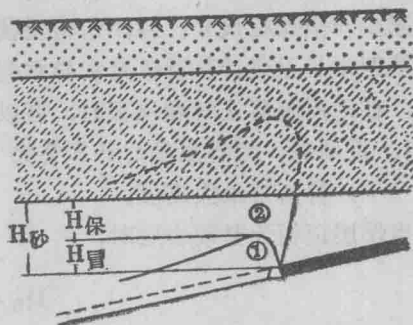


图 2 防砂安全煤柱的构成

①—冒落带；②—导水裂缝带

第二步要区分不同类型的水体。根据我国煤矿的经验和条件，应分别 7 种常见的水体：

1. 单纯的地面水体。主要看水体规模和水体底部有无第四纪粘土层及其厚度。在薄粘土层及无粘土层的大规模水体情况下，例如江、河、湖、海等水体，或在水体规模小，但水体本身需要保护的情况下，例如渠道、水库等，应保留防水安全煤柱，反之可保留防砂安全煤柱。

2. 单纯的松散层水体。主要看松散层中砂层的层数、厚度、位置及富水性。在单层砂位于松散层底部且厚度较大，富水性强的条件下，应保留防水安全煤柱，反之应保留防砂安全煤柱。在松散层厚度较大（例如80米以上）、含水砂层层数多、且强含水砂层位于上部或中部，其底部为富水性弱、厚度小的砂层的条件下，可保留防砂安全煤柱，反之应保留防水安全煤柱。

3. 单纯的基岩水体。主要看煤层顶面至基岩水体底面的距离。当两者的法线距离大于导水裂缝带高度时，可不采取其他措施。当两者的法线距离小于导水裂缝带高度时，应采取先疏后采或边采边疏等措施。

4. 地面水、松散层水二者联通性好的水体。在松散层较薄的条件下，可按单纯的地面水对待，在松散层较厚的条件下，则按单纯的松散层水体对待。

5. 松散层水、基岩水二者联通性好的水体。一般在浅部开采时，可按松散层水体对待，在深部开采时，则按单纯的基岩水体对待。

6. 地面水、基岩水二者联通性好的水体。一般在浅部开采时，按地面水对待，在深部开采时，可按单纯的基岩水体对待。

7. 地面水、松散层水、基岩水三者联通性好的水体。一般在浅部开采时，可按松散层水体对待，在深部开采时，可按单纯的基岩水体对待。

第三步要研究分析由所采煤层至水体间的全部地层的结构特征。所谓地层结构分析，就

是分析按岩性及其力学性质划分的全部地层在空间的分布方式和相互关系，即地层的层次、透镜体及构造破坏等的宏观特点。按照地层结构的特点，安全煤柱及其上覆岩层（包括水体），可分为单一结构、复合结构、封闭结构及覆盖结构等。不同的地层结构，对井田、采区及工作面的水文地质条件、覆岩破坏特征及水体下采煤的开采方法选择等方面有不同的影响。单一结构的地层，一般有利于地下水的运动及岩层破坏，因此，除隔水性好的地层以外，安全煤柱尺寸应该大一点。复合结构的地层，一般不利于地下水的运动及岩层破坏，因此，可以减少安全煤柱尺寸。封闭结构及覆盖结构的地层对阻止地下水的运动则更为有利。

第四步是正确计算冒落带和导水裂缝带的最大高度。根据我国煤矿的经验及地质、采煤条件，在采用陷落法管理顶板时，有以下几种计算公式：

1. 缓倾斜、倾斜煤层的计算公式

（1）冒落带最大高度，

当煤层顶板为坚硬岩层时，

$$H_{\text{冒}} = \frac{100M}{2.1M + 17} \pm 2.5$$

当煤层顶板为中硬岩层时，

$$H_{\text{冒}} = \frac{100M}{4.7M + 19} \pm 2.2$$

当煤层顶板为软弱岩层时，

$$H_{\text{冒}} = \frac{100M}{6.2M + 32} \pm 1.5$$

当煤层顶板为风化软弱岩层时，

$$H_{\text{冒}} = \frac{100M}{7.0M + 63} \pm 1.2$$

（2）导水裂缝带最大高度，

当煤层覆岩为坚硬岩层时，

$$H_{\text{裂}} = \frac{100M}{1.2M + 2.0} \pm 8.9$$

当煤层覆岩为中硬岩层时，

$$H_{\text{裂}} = \frac{100M}{1.6M + 3.6} \pm 5.6$$

当煤层覆岩为软弱岩层时，

$$H_{\text{裂}} = \frac{100M}{3.1M + 5.0} \pm 4.0$$

当煤层覆岩为风化软弱岩层时，

$$H_{\text{裂}} = \frac{100M}{5.0M + 8.0} \pm 3.0$$

式中 M ——累计采厚，米，

± 2.5 等——计算中误差。

缓倾斜、倾斜煤层最大冒落带、导水裂缝带高度分布如图 3 所示。

2. 急倾斜煤层的计算公式

(1) 当煤层顶板为中硬岩层时, 冒落带最大高度为,

$$H_{\text{冒}} = (0.4 \sim 0.5) H_{\text{裂}}$$

导水裂缝带最大高度为,

$$H_{\text{裂}} = \frac{100Mh}{7.5h + 293} \pm 7.3$$

(2) 当煤层顶板为坚硬岩层时, 导水裂缝带最大高度为,

$$H_{\text{裂}} = \frac{100Mh}{4.1h + 133} \pm 8.4$$

式中 M ——累计采厚, 米;

h ——回采阶段垂高, 米。

急倾斜煤层冒落带, 导水裂缝带高度分布如图 4 所示。

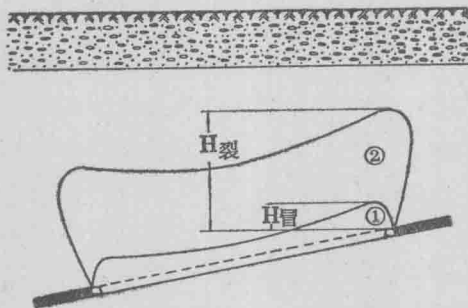


图 3 缓倾斜、倾斜煤层、冒落带、导水裂缝带高度分布示意图
①—冒落带; ②—导水裂缝带

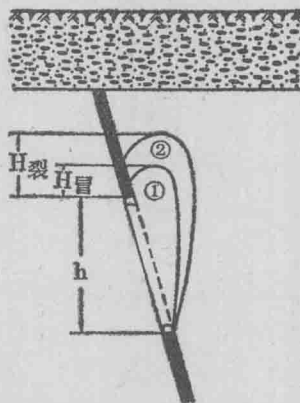


图 4 急倾斜煤层冒落带、导水裂缝带高度分布示意图
①—冒落带; ②—导水裂缝带

实现水体下安全开采应引起高度重视的一个问题是要从技术上消除发生溃水、溃砂、溃泥事故的一切可能性。根据国内外经验, 在浅部开采时, 由于下列原因容易产生溃水、溃砂、溃泥事故:

1. 开采方法不当和局部集中超限采煤。在这方面最突出的是在水体下开采急倾斜煤层时, 由于采用了容易引起所采煤层本身沿采空区上边界发生抽冒的采煤方法 (例如沿倾斜下放的掩护支架采煤方法), 容易破坏防水煤柱导致产生地表塌陷坑。或者是虽然采用了合理的采煤方法, 但是不按规定采块内的储量开采, 造成超高、超限采煤时, 也容易破坏防水煤柱并导致产生地表塌陷坑。此外, 在浅部开采并用水力采煤方法时, 由于水枪落煤量难以控制, 也容易破坏防水煤柱并导致产生地表塌陷坑。

2. 地质资料不清和采掘中遇到地质构造破坏及风化破碎岩层。地质资料不清时, 实际上无法控制安全煤柱, 基岩表面起伏不平, 并有断层等, 也有可能在局部地点出现安全煤柱偏小的情况, 这是开采浅部煤层需要十分注意的问题。

3. 安全煤柱尺寸太小。在浅部开采时,煤柱尺寸太小,即小于相应的导水裂缝带和冒落带高度,则容易造成溃水、溃砂、溃泥事故。即使是在浅部掘进巷道时,当掘进迎头至水体的距离小于5~10米时,也可能出现溃水、溃砂、溃泥事故。

4. 发生非均衡冒顶及对冒顶处理不当。在浅部掘进和回采时,由于岩层松软及技术措施不当,容易发生非均衡冒顶,即在局部地点煤层顶板冒落的范围发展得很高。对这种情况如果处理不当,冒顶现象可能发展到与水体联通。因此,遇到这种冒顶时,要及时封闭冒顶区,重开绕道,才能继续回采或掘进。

试论“三下”采煤的综合开采技术体系

刘天泉

在煤矿生产过程中，一般都在建筑物下、铁路下、水体下保留煤柱不采。这不仅造成大量煤炭资源的积压、浪费，而且造成矿井不能合理进行开采。特别是在埋深大，煤层数多的矿区，压煤量更是相当惊人。据我国某矿区统计，仅一个工业广场煤柱压煤量就达7000~9000万吨，相当于一个中型矿井的全部储量。为了满足煤炭工业生产建设发展的需要，改变资源的积压、浪费现象，近二、三十年来，许多产煤国家都开展了“三下”采煤的科学研究试验工作，并取得了良好的结果。国内外煤矿在“三下”采煤方面获得的成果，特别是近年来波兰在城市工业建筑物下采煤方面的进展，给大量解放“三下”压煤展示了广阔的前景。

“三下”采煤的实践表明，保护效果的取得，一方面依靠开采技术措施，另一方面则依靠建筑物的加强、加固及铁路维修技术措施。对于水体下采煤，则是一方面依靠地层的结构特点，另一方面依靠采煤技术措施。随着科学技术的发展，建筑物加强、加固技术，铁路维修技术及地层结构规律的运用水平不断提高，保护效果愈来愈好。但是，地面各类建筑物的加强、加固、维修技术及地层结构规律的作用总是有一定的限度的，而且有的是难以实现的。例如，通过建筑结构措施就难防止某些结构物的倾斜和下沉；某些铁路站线起垫后会带来一些不利因素；某些地层结构的有利因素较少等等。因此，开采技术措施就成为提高保护效果的根本性措施。最近，我们根据国内外“三下”采煤的经验，总结出综合开采技术体系这个方法，并认为有必要把它作为“三下”采煤的主要开采技术措施，这对于我们今后开展“三下”采煤工作是具有重要现实意义的。

一、综合开采技术体系的依据和基础

综合开采技术体系是人们在全面认识、掌握和利用地表移动、覆岩破坏、岩层附加应力、地层结构及水文地质规律，广泛进行“三下”采煤的科学试验和生产实践基础上创造和形成的一整套解放“三下”压煤的开采技术措施。国内外的实践证明，它能够有效地减轻和限制开采对地表和岩层的影响，保护建筑物、铁路不会受严重损害，水体不危及矿井，甚至在必要时保护水利资源。

所谓综合开采技术体系，就是在解决每一个具体的“三下”采煤问题时，要全面考虑和正确处理下列相互关系：

- (1) 井上井下的关系；
- (2) 上下煤层的关系；
- (3) 本煤层与全部煤层的关系；
- (4) 柱内开采与柱外开采的关系；
- (5) 岩层附加应力、移动与破坏间的关系；
- (6) 岩层动态应力、变形与静态应力、变形的关系；
- (7) 煤层与岩层的关系；

(8) 松散地层与基岩地层的关系;

(9) 开采影响的破坏性与地层、建筑物、结构物抗破坏能力间的关系。

应用综合开采技术体系解决“三下”采煤具体问题时,为了达到正确处理上述各种关系,必须充分利用采煤引起的岩层和建筑物构件的应力变化、岩层和地表的整体移动、覆岩破坏、地层结构及水文地质等方面的规律。这些规律是综合开采技术体系的基础。它们主要是:

1. 覆岩破坏和地表变形的有限性

在一定的深度和面积上用陷落法开采层状煤层时(无论单层和多层),在所采煤层顶板至地表的岩层内,一般由下而上顺序地出现冒落带、导水裂缝带和整体移动带。实测结果及理论分析表明,冒落带和导水裂缝带的发展有一定的范围和局限性,它会在相应的高度上消失。在冒落带和导水裂缝带上面为整体移动带。当岩层和地表处于整体移动带时,地表和岩层只产生连续变形。这种连续变形具有连续、缓慢出现的特点,与建筑物、铁路、水体的某些特征是相适应的。例如,面积较小的建筑物会产生整体移动,粘性密实的土、岩层固有的渗透性在受到一定的开采影响时不会被破坏。只有在浅部开采厚煤层的条件下,地表才会产生非连续变形。例如出现塌陷漏斗、塌陷井、塌陷台阶、大开裂等等。采用充填方法开采时,地表连续变形的特点更加突出。

从矿区地表移动实测资料及现有各种预计公式可以看出,地表和岩层变形与开采深度成某种反比关系。即在其他条件相同的情况下,开采深度愈大,地表变形值愈小;开采深度愈小,地表变形值愈大。因此,在一定的深度上(例如用陷落法开采时400米以下,用充填法开采时200米以下)开采一个分层时,是可能将地表变形值限制在建筑物许可变形值的要求以内的。

2. 均匀下沉与不均匀下沉

实测资料表明,地表下沉盆地中央区及在某些情况下,推进工作面上方地表的下沉基本上是均匀的,近似于单纯的垂直下沉,变形值很小,而地表下沉盆地边缘区的下沉则是不均匀的,并伴随较大的变形。在开采数个煤层的情况下,地表移动盆地中央区的下沉值虽然会产生迭加,而其他变形值却不会明显地迭加(表1)。因此,在煤层开采面积大大超过地面建筑物面积的情况下,即建筑物能够完全位于下沉盆地的中央区,只要开采一个煤层时地表的变形值小于建筑物的允许变形值,开采其余煤层也是完全可能的。

波兰兹柯达重型设备制造厂下采煤实测结果

表 1

序号	煤层编号	开采层数	地表各测点最大下沉值(毫米)				地表各测段最大倾斜值(毫米/米)		
			24	6	22	41	24~25	6~7	41~42
1	504	1	404	358	283	467	1.54	1.60	1.80
2	504, 506	2	666	608	539	800	1.67	1.08	2.86
3	504, 506, 507	3	1061	990	887	1212	2.21	2.00	3.38
4	504, 506, 507, 510 I	4					2.46	1.87	3.80
5	504, 506, 507, 510 I, 510 II	5	1898	1883	1734	2036	2.16	1.85	3.29
6	504, 506, 507, 510 I, 510 II, 501	6	2475	2640	2600	2710	0.58	0.55	1.10

3. 动态变形与静态变形

地表下沉和变形是随着时间的增加而逐渐形成的，达到最大值的时间过程的长短决定于采深、岩性、采煤方法、开采面积、采动次数、推进速度等一系列因素。在开采边界的上方，地表移动完全稳定以后，各种变形值达到最大值（静态变形），在推进的工作面上方，地表的变形值（动态变形）仅为静态变形值的11~90%（表2）。因此，只要在建筑物下面不形成永久性开采边界，在开采引起的动态变形影响下，地表和建筑物的变形值将会是较小的。

动态变形与静态变形的比例关系

表 2

矿 名	开采煤层 编 号	最大水平变形（毫米/米）			最大曲率（毫米/米 ² ）			最大倾斜（毫米/米）		
		动 态	静 态	动态 静态(%)	动 态	静 态	动态 静态(%)	动 态	静 态	动态 静态(%)
枣庄柴里矿	3 号 层	+3.3	+7.6	43.4	+0.30	+0.50	60.0	11.0	21.7	50.7
	第一分层	-5.0	-13.7	36.5	-0.50	-0.70	71.4			
"	3 号 层	+7.8	+20.4	38.2	+0.50	+1.48	33.7	28.0	37.9	73.8
	第二分层	-10.0	-23.0	43.5	-0.70	-1.13	61.9			
"	3 号 层	+9.6	+22.0	43.6	+0.60	+1.25	48.0	28.0	31.4	89.1
	第三分层	—	-20.9	—	-0.80	-1.07	74.7			
鹤壁二矿	大 煤	—	—	—	-0.016	+0.144	11.0	-1.5	-3.5	44.0
鹤壁八矿	"	7.7	8.8	88.0	—	—	—	35.0	17.0	20.6
峰峰通二矿 7210面	"	21.6	57.8	37.5	2.9	11.4	25.5	46.0	94.3	48.8
峰峰通二矿 0250面	"	6.6	12.5	52.8	0.7	1.2	56.0	25.0	37.6	66.6
峰峰五矿 5272面	"	—	—	—	0.2	0.3	59.6	5.8	7.4	78.5
焦作冯营矿	"	+9.6	+13.7	70.0	—	—	—	—	—	—

4. 下沉和变形的平面和空间分布特征

在一定的开采深度内，地表出现的下沉盆地和岩层内部的弯曲沉降带，在水平面上的变形分布特征是：盆底平坦，无明显变形，土层密实度基本上无变化等。盆地两侧的内边缘区受压缩，一般不产生张口裂缝，土层密实度增加；外边缘区受拉伸，容易产生张口裂缝，土层密实度减小。在垂直面上，不同深度上下沉降盆地的范围愈来愈小，各个岩层的拉伸变形段不是上下重迭的。同时，采空区上方岩、土层的移动方向总是指向采空区（图1）。因此，岩层内各种因受拉伸引起的裂缝能够形成挤压闭合状态。

5. 建筑物对下沉的适应性与对变形的不适应性

建筑物下，铁路下采煤的大量实践表明，地表的单纯垂直下沉对建筑物基本上不产生有害影响，只有地表倾斜、曲率、水平移动、水平变形才对建筑物产生损害。而地表下沉盆地中央区最终是基本上不出现倾斜、曲率、水平移动和水平变形的。如果能使建筑物位于下沉盆地的中央区，其损害程度将会是十分轻微的。

6. 建筑物的强度和岩(土)层的隔水性

建筑物下采煤的实践表明，各种建筑物能够不同程度地承受开采引起的地表变形值，对于经过专门加强和加固的新旧建筑物，其抵抗变形的能力就更加大一些。因此，只要把地表变形值限制在一定范围内，在建筑物下开采就会是可能的，安全的。

水体下采煤的经验表明，位于导水裂缝带以上的岩层和土层，在承受一定的下沉和变形后(例如土层承受水平变形值6~10毫米/米，页岩、泥岩承受水平变形值1.5~6.0毫米/米)，其固有的隔水性质不会破坏，特别是各种粘性密实土层，甚至在变形值很大或出现非连续变

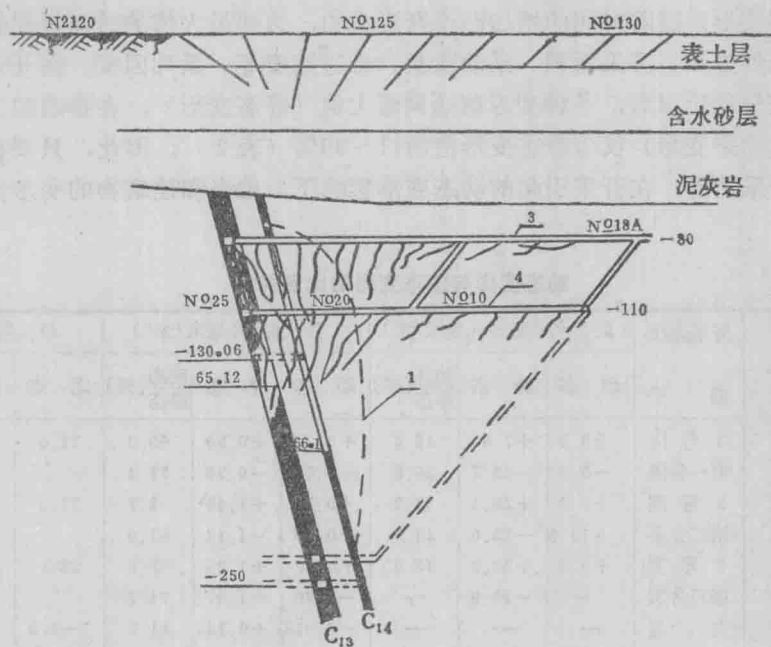


图 1 淮南孔集矿西四采区C₁₃槽工作面上覆岩(土)层移动轨迹实测结果

形时，仍然具有隔水能力。而位于冒落带以上的砂、泥和软岩，则不会形成溃入井巷现象。

总之，综合开采技术体系是把建筑物、铁路和水体所在的煤岩柱连同建筑物、铁路和水体一起作为一个综合体来对待，并认为这个综合体具有一定的基本性质，这种基本性质是决定开采技术措施的根本出发点。

二、建筑物下、铁路下采煤综合开采技术体系的主要原则

随着“三下”采煤的普遍展开，条件简单的、零散的单个建筑物煤柱越来越少，为了适应城市工业区密集建筑群下采煤的需要，除了广泛研究和大量采用适应地表变形的建筑物代替旧有的抗变形能力小的建筑物以及采用新的有效的加固维修旧有建筑物的方法以外，大力发展综合开采技术体系是从根本上减少开采引起的地表变形的重要问题。

解决建筑物下、铁路下采煤的综合开采技术体系的主要原则是：

1. 全柱开采

地表移动规律表明，地表不均匀下沉和地表变形最大值都出现在地表下沉盆地的边缘区。其原因在于，每一个开采边界形成以后，就会引起地表的各种变形，而且随着时间的增加，地表变形由动态进入静态，并达到最大值。因此，井下每出现一个永久性开采边界，地表就出现一个较大的变形带。所谓全柱开采，就是在整个城市、整个工厂、整个车站、线路、整个井筒煤柱范围内，一层一层地进行大面积全面开采，并在煤柱内不形成开采边界，以最大限度地减少开采对地面建筑物的有害影响。

为了实现全柱开采，最根本的是要求柱内不出现永久性开采边界。为此，必须实行长工作面开采。具体设计时，首先要圈定地面建筑物的保护范围及其在各个煤层的煤柱边界，然

后在全柱范围内采用长工作面进行开采，以达到在煤柱范围内不形成永久开采边界的目的。

长工作面开采，就是利用长工作面形成的地表下沉盆地中央区变形值很小的特点，使建筑物总是位于地表下沉盆地的中央区，以免受开采影响的损坏。但是，应该注意的是，下沉盆地中央区的最终静态变形值虽然很小，但在工作面推进过程中，仍然会出现动态变形，只有在动态变形值小于建筑物允许变形值的情况下，采取这一措施才是适宜的。此外，还应考虑地下潜水位的高低。当地下潜水位较高时，地表下沉后，潜水将会对建筑物产生有害影响。

在生产实践中，长工作面的布置有以下几种方式(图2)：

(1) 单一长工作面。就是在煤柱内只布置一个工作面，这一般是在煤柱面积较小时采用(图2A)。我国某些煤矿目前采用的对拉工作面，就是单一长工作面的一种形式。

(2) 台阶状长工作面。就是在煤柱范围内布置几个互相错开的台阶状工作面，这一般是在煤柱面积较大时采用。为了消除超前工作面侧向开采边界的影响，各工作面之间的超前距应尽量小一些(图2B)。台阶状工作面中的各个工作面，如采用轮流回采方式，应保持相应的推进度。

(3) 分区阶梯状长工作面。当煤柱面积很大时，可把煤柱划分为若干区段，然后在每个区段内布置台阶状长工作面(图2C)。为了减少分区开采边界的影响，各分区之间的开采时间应根据地表移动规律，选择在邻区开采的动态变形未达到静态变形之前。

(4) 顺序开采工作面。就是按柱外开采的正常顺序，逐个工作面进行开采。由于没有消除开采边界的影响，一般只在采深大、采厚小时采用(图2D)。

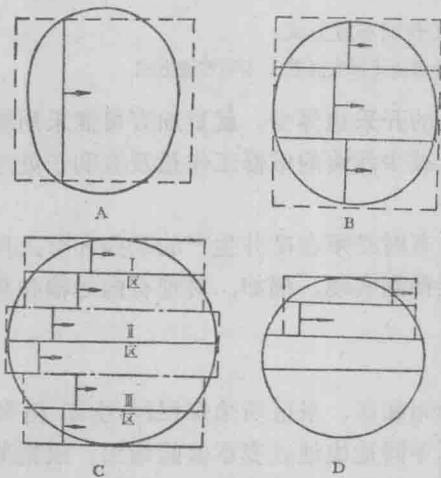


图2 长工作面的布置方式

为了实现全柱开采的原则，在断层两侧开采时，应注意上下对齐断层两侧的开采边界，不要造成多采或少采的现象(图3a)。在国外一些城市下采煤的矿井中，甚至在某些情况下采出一定的岩石(图3b)。

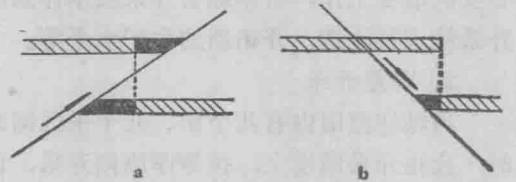


图3 断层两侧工作面布置方式

近年来，国外在城下采煤时，为了消除柱内无法避免的开采边界，提出在开采边界附近布置充填带的方法，即在采用长壁全陷方法开采煤柱时，沿采区最外的边界布置一个矸石充填或水砂充填的充填带，以减少开采边界引起的地表变形最大值。充填带宽度 L 可取为 $\sqrt{H}$ 的4~6倍(H ——采深)。据计算，采取这种方法后，地表倾斜、曲率及水平变形等最大值可减少 $1/4 \sim 1/3$ 。

为了减少开采边界的影响，在分层开采厚煤层和煤层群时，可把上下分层(或煤层)中的开采边界错开一定距离，以减少地表变形值的累加。

波兰煤矿在白鹰矿冶联合公司及卡托维茨市中心区煤柱范围内实行全柱开采的工作面布置方式见图 4。

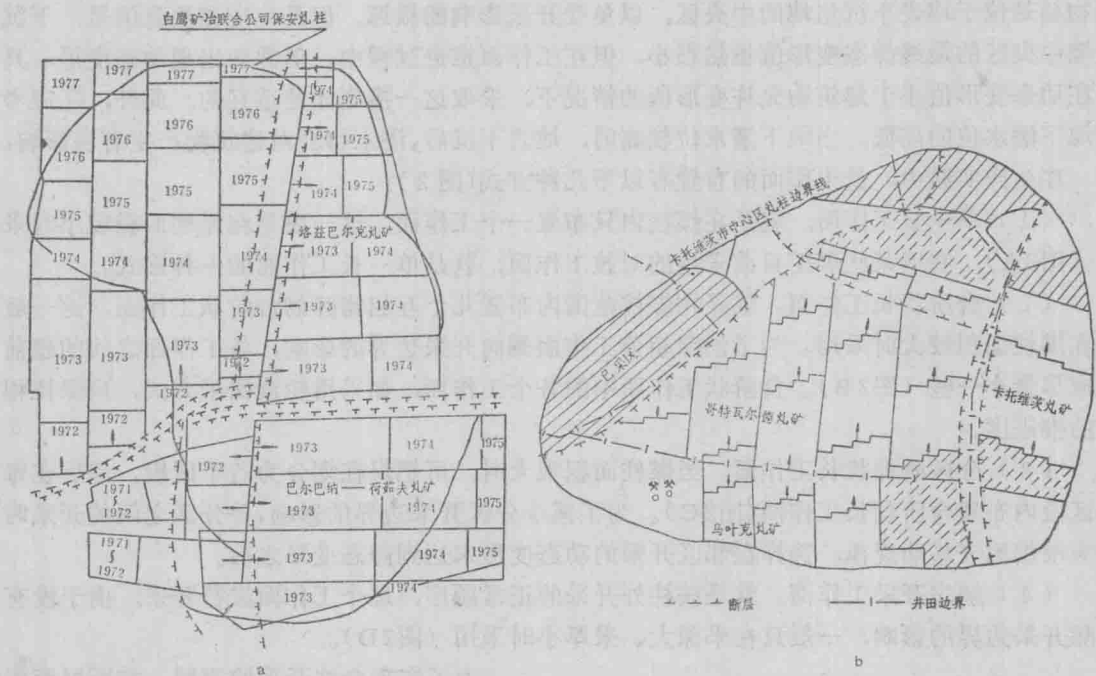


图 4 波兰煤矿保安煤柱全柱开采工作面布置方式

a—白鹰矿冶联合公司保安煤柱工作面布置方式；b—卡托维茨市保安煤柱工作面布置方式

铁路下采煤时，由于实行了全柱开采，煤柱范围内的开采边界少，就更加有可能采用顺坡的措施，即对线路不起垫到原有标高，从而可以大大减少线路的维修工作量及有利于处理站线下沉。

为了实现以全柱开采为中心的综合开采技术体系，有时必须在矿井生产的某些环节上作必要的准备工作，否则综合开采技术体系的原则就不能得到实现。例如，对现有的运输和提升系统进行改造，开拓新的生产水平等。

2. 等厚开采

当煤柱范围内有几个矿、几个采区同时开采，或者相邻矿、采区所采煤层层号不同时，应在开采厚度上，按等厚原则开采，以减少因采厚不同造成地表变形值的增加。根据地表移动规律，在煤柱范围内，每一处的采厚差别，实际上就是一个开采边界。因此，这种厚度差别应控制在地表建筑物的抗变形能力范围以内。按照国内外的经验，最多不应超过一个人工分层或2~3米。

为了实现等厚开采的原则，在生产实践中，当在同一个煤层内无条件实行全柱范围内的等厚开采时，可以安排不同煤层（或分层）的等厚开采，即同时开采的不同煤层的采厚应是相等的。

3. 同时开采

当煤柱范围内有井田边界或断层带时，应在井田边界或断层带两侧实行同时开采，以减少出现开采边界的不利影响。例如，波兰在开采比托姆城市煤柱时，由季米特洛夫、商别尔

克、洛兹巴尔克3个矿同时联合开采，完全消除了开采边界的不利影响。卡托维茨市中心区煤柱范围内有哥特瓦尔德、卡托维茨和乌叶克3个矿，也是进行同时联合开采的。卡托维茨——姆赫维茨火车站位于斯达什茨和卡托维茨两个矿的范围内，也实行了同时联合开采。特别是对于保护断层带上方的地面建筑物，采用在断层两侧同时开采的方法，是减少断层影响的唯一可行的措施。

4. 择优开采

地表移动观测资料及建筑物下采煤实践经验表明，地表下沉与采深的平方根近似地成反比关系。这种关系见下式：

$$W_{\max} = \frac{m}{a + b\sqrt{H}}$$

因此，加大采深可能在一定程度上减少地表的下沉值和变形值。

我国煤矿近年来对采动建筑物的附加应力实测结果还表明，在厚煤层分层开采的情况下，每采一个分层在建筑物上产生的附加应力不是以算术和累加，而是采完四个分层后建筑物上的附加应力仅相当于采一个分层时的0.84~1.32倍。从许多建筑物下采煤的实例中还可以看到，位于下沉盆地中央区的建筑物，在初次采动中出现的变形，有可能在再次采动中得到消除。例如，在开采厚煤层的第一分层时，建筑物上产生的张开裂缝，在开采第二分层时能够得到密合。由此可知，在初次开采时，如果能把地表变形值限制在建筑物允许范围以内，保持了建筑物免受损害，则以后多次开采时，同样有可能使建筑物免受损害。因此，当煤柱范围内有几个煤层时，不一定按照自上而下的开采顺序，而可以根据煤层的间距、预计的地表变形值和建筑物的抗变形能力等因素，选择采深较大和采厚较小的煤层首先开采。待取得必要的数据和经验后继续开采其他煤层。波兰近年来在开采重要的建筑物煤柱时，广泛地运用了这个原则(表3)，取得了良好的效果。由表3可以看出，波兰在建筑物下采煤中的择优开采，一般是先采较深部的、厚度较小的煤层，然后采较浅部的、厚度较大的煤层。例如兹柯达重型设备厂下深度最小(190米)、厚度最大(5.0~7.2米)的501号煤层，是在其下面四个煤层(五个分层)采完后才开采的。

波兰建筑物煤柱的开采顺序 表 3

矿 名	煤 柱 类 型	开 采 顺 序 (煤层编号由浅而深)						
		1	2	3	4	5	6	7
波 兰 矿	Ⅷ号井筒煤柱	506	504	510	507*	510*		
普斯特洛夫斯基矿	夫瓦德斯瓦夫井筒煤柱	620	610*					
斯达什茨矿	雅库布井筒煤柱	501	510	404 405合层*	405*	407—1*		
波 兰 矿	兹柯达重型设备厂煤柱	504	506	507	510	501		
波 兰 矿	巴托利安钢厂煤柱	504	509 510合层	501	507	504*		
波布勒克矿	波布勒克钢厂煤柱	509 510合层	501	507	504*			
斯达什茨矿	火车站煤柱	410	346	404 405合层	405	407—1*	501*	510*
华乌布什赫矿	铁路桥煤柱	436 437合层	430					

*计划开采的煤层

5. 协调开采

在条件许可的情况下，应该实行协调开采。所谓协调开采，就是在同时开采两个邻近煤