

煤矿地层控制

〔美〕 S.S. 彭



1
煤炭工业出版社

译者说明

煤矿地层控制，通常称为顶板管理，是矿井设计与生产必需考虑和解决的一项重要问题。目前，这方面的专著不多，而系统反映西方主要采煤国家这方面的书籍就更为少见。

《煤矿地层控制》一书全面总结了美国以及欧洲近期的经验。书中从基础理论到实际应用，从井下巷道布置到地面沉陷规律，从各种地层应力现象的描绘到实用计算，涉及的内容相当广泛。这本书的特点是：以岩石力学和地层原始应力及其变化为基础，比较系统地讨论了岩层控制问题。本书论证充分，概念明确；在实用上着重于定量分析，而且计算方法简单，便于应用；在具体措施上介绍了最新的方法、手段和监测技术。书中阐述的顶板分类、巷道设计、支护方式、地表沉陷等问题，以生产实践为依据，理论和应用并重，从中可以看到美欧在地层控制上的现代水平及其特点，因此此书是值得参考与借鉴的。

本书是由原煤炭工业部规划设计院副总工程师曹肇球同志推荐的，在译校过程中他还作了具体的指导。此外中国矿业学院钱鸣高同志对译稿也作了详细的审校工作。对于他们的帮助，在此表示深切的谢意。

书中的前言及第3~7章为高博彦同志所译，第1、2章及第8~12章为韩持同志所译。因水平所限，不妥之处，敬希读者提出批评指正。

译者

一九八三年

前 言

顶板控制或地层控制问题与采煤事业同样历史久远，可以追溯到美国建国初期。但是，令人相当诧异的是，至今仍然没有关于这一学科的教科书。鉴于采煤工程师对此要求的日益增长，以及一九七三年能源危机以后采矿工程学科入学人数的增加，清楚地表明很需要这种教科书。在一九六九年颁发的《煤矿保健与安全条例》和一九七四年颁发的《改善采矿技术纲领》中倡议开展大规模的研究工作后，使得煤矿地层控制领域又有了巨大的进展。地层控制技术迅速地成为现代科学的一个组成部分。

《煤矿地层控制》一书概括了煤矿井下地层控制的各个主要有关问题，并着重讨论了各种地层控制理论与技术的应用。具备一定材料力学知识的读者，了解和应用这些技术并不困难。书中还附有大量图表，也易于读者阅读和理解。本书虽主要用作大学生和研究生的教科书，但对从事煤矿地下开采设计和生产管理的工程师也有所裨益。

全书共十二章。第一章为绪论。第二章评论了井下开采布署和顶板控制的当前实际情况和常见的地层控制失效现象。然后开始逐章论述矿井地层控制的工艺技术。工艺论述是由岩石特性和原始应力这两个在地层控制工艺中最基本部分开始的（第三章）。第四章论述开采前顶板控制工艺，包括如何利用地质资料制定开采规划，特别是井巷布置。直到目前为止，这个要素在井巷布置中仍未得到应有的注意。本章通过两个例子说明它具有明显的重要性。第五章论述了各种单条及多条巷道周围以及顶板梁周围的应力分布。着重说明了极限边缘应力分布等值线的用途，其次是各种应力的成因。第六章概括了顶板锚固方式中普通（张力式）顶板锚杆和树脂（非张力式）锚杆的各个要素。第七章提出了为了保持井下巷道的稳定性，进行煤柱合理尺寸设计时所需的步骤

和资料。由于良好的地层控制是顺利进行长壁或短壁采煤的关键，故在第八章中详细地论述了长壁和短壁采煤中地层控制的诸要素。美国用前进式的开采方法少于2%，后退式开采应用的最广泛。随着煤产量的增加，长壁开采方法不断得到推广。此外，为了对采矿环境有清醒的认识，地表的沉陷问题正在日益受到重视。由于这一课题的美国文献很少，故第九章“地表沉陷”的大部分资料是取自欧洲的经验，主要是英国的经验。但也尽量包括美国各种文献所列举的情况。其它课题，如煤炭突出（第十章）、木支架，让压拱、顶板锚栓桁架和开缝管支护（第十二章），也包括在内。一般用于测定应力-应变数据或荷载-变形数据的工具，在第十一章也作了论述和介绍。

煤矿井下的条件是经常变化的，因此本书所引用的数据不可能包括所有变化的情况。此外，由于在美国有使用公制度量衡系统的趋向，所以列举数据中使用了公制和英制两个系统，但有时也只用一个系统表达。

.....

S.S. 彭

一九七八年五月

于美国西弗吉尼亚莫干顿

目 录

1 绪论	1
1.1 地层控制的定义	1
1.2 地层控制设计中的一些限制因素	2
1.2.1 房柱式开采法	2
1.2.2 长壁和短壁开采法	4
2 煤矿井下的开采布置和地层控制	5
2.1 导言	5
2.2 房柱式开采法	8
2.2.1 典型采区布置	8
2.2.2 顶板支护	10
2.3 长壁开采法	14
2.3.1 典型盘区布置	14
2.3.2 顶板支护	17
2.4 短壁开采法	20
2.4.1 典型盘区布置	20
2.4.2 顶板支护	23
2.5 地层控制失效类型	25
2.5.1 煤柱	26
2.5.2 巷道	27
2.5.3 顶板冒落	28
2.5.4 冒顶后的清理费用	36
3 岩石特性和原始应力	39
3.1 导言	39
3.2 岩石的基本特性	39
3.3 岩石试验方法	41
3.4 岩石破坏的准则	49
3.4.1 最大拉应力和压应力准则	50
3.4.2 库仑准则	51

3.4.3	摩尔准则	51
3.4.4	格利费茨理论	53
3.5	岩石状态	55
3.5.1	侧限压力	55
3.5.2	水	57
3.5.3	时间	57
3.5.4	温度	60
3.6	原始应力源及其计算	62
4	顶板的稳定性及其分类	66
4.1	导言	66
4.2	地下特征	67
4.2.1	直接顶板的厚度和物理特性	69
4.2.2	岩性变异	69
4.2.3	构造变异	73
4.3	地表特征	76
4.3.1	航测地貌	76
4.3.2	河谷	77
4.3.3	表土厚度	77
4.4	开采布署中的顶板危险条件分类	78
4.5	探测地质变异的地震法	82
5	井下单条巷道和多条巷道的设计	93
5.1	均质材料	93
5.1.1	单条巷道	93
5.1.2	多条巷道	101
5.2	非均质和各向异性材料	108
5.2.1	单条矩形巷道	108
5.2.2	多条矩形巷道	112
5.3	直接顶板和矩形巷道	113
5.3.1	直接顶板的特征	113
5.3.2	顶板跨度设计	114
6	顶板锚杆	121
6.1	导言	121

6.2 集中锚固式或张力式锚杆	122
6.2.1 锚头类型	122
6.2.2 涨壳式顶板锚杆的安装	127
6.2.3 锚固力	129
6.2.4 锚杆及附件	131
6.2.5 布置方式	135
6.2.6 顶板锚固理论	136
6.2.7 锚杆破坏的机理	142
6.2.8 井下顶板锚杆的全部受载过程	143
6.3 全长锚固式或非张力式树脂锚杆	146
6.3.1 安装	147
6.3.2 锚固力	150
6.3.3 树脂锚固理论	151
6.3.4 树脂锚杆的破坏机理	152
6.3.5 拉拔试验的应力分析	153
7 煤柱	160
7.1 导言	160
7.2 煤柱荷载	161
7.2.1 开采前的荷载	161
7.2.2 采矿引起的支承压力	162
7.3 煤柱内的应力分布	165
7.4 煤柱强度	170
7.4.1 巷道煤柱	170
7.4.2 边界煤柱	178
7.5 煤柱、底板和顶板的相互作用	179
7.5.1 不同作用荷载引起的应力	180
7.5.2 底板和顶板的承载能力	183
8 长壁和短壁开采中的地层控制	192
8.1 影响盘区布置的因素	192
8.2 前进及后退式长壁开采	193
8.3 长壁工作面的布置	194
8.4 岩层力学	198

8.4.1	支承压力区及其起因	198
8.4.2	岩层活动状态	201
8.5	工作面自移式液压支架	216
8.5.1	自移式液压支架的种类	216
8.5.2	自移式液压支架的主要部件	221
8.5.3	自移式液压支架的设计	227
8.5.4	各种自移支架的比较	240
8.6	短壁工作面盘区的设计及岩层力学	253
8.6.1	盘区设计	253
8.6.2	岩层力学	254
8.6.3	工作面自移支架	257
9	地表沉陷	261
9.1	导言	261
9.2	过程描述理论	261
9.2.1	槽形沉陷	261
9.2.2	影响下沉的因素	262
9.3	连续力学理论	270
9.3.1	弹性理论	270
9.3.2	弹-塑性理论	272
9.4	槽形沉陷的判定	275
9.4.1	下沉剖面	276
9.4.2	水平位移或应变	284
9.4.3	下沉剖面的坡度和曲率	288
9.5	下沉的测量技术	293
9.5.1	地表移动的观测	293
9.5.2	地表下岩层移动的测量	295
9.5.3	岩层的移动	298
9.6	地表的破坏	301
9.6.1	连续性岩层扰动	301
9.6.2	非连续性岩层扰动	304
9.7	预防地面设施损坏的措施	306
9.7.1	建筑物的防护	307
9.7.2	有控制的井工开采方法	313

10 煤和瓦斯突出	317
10.1 煤炭突出的起因和现象	317
10.2 煤炭突出的控制	321
10.2.1 煤炭突出的预防	322
10.2.2 煤炭突出的预测	324
10.2.3 煤炭突出的防治方法	335
10.3 瓦斯突出	335
11 仪器仪表	337
11.1 导言	337
11.2 荷载测量仪表	337
11.2.1 液压枕或压力盒	337
11.2.2 荷载传感器	339
11.3 应力测量仪器	340
11.3.1 液压枕	340
11.3.2 钻孔变形	341
11.3.3 钻孔穿过法	344
11.3.4 钻孔刚性包体法	347
11.4 变形测量装置	353
11.4.1 会合量长度计	353
11.4.2 钻孔用长度计	354
11.5 应变量测定装置	358
11.6 长壁和短壁工作面测量装置	360
11.6.1 支承压力	360
11.6.2 支架阻力	362
11.6.3 顶底板会合量	362
11.6.4 顶板的倾斜度	364
11.6.5 底板和煤层的强度	364
12 特殊支架	367
12.1 木支护	367
12.1.1 木支柱	367
12.1.2 木垛	370
12.1.3 其它支护形式	373
12.2 让压拱形支架、喷射混凝土和混凝土衬砌	374

12.2.1	让压拱形支架和环形支架	374
12.2.2	喷射混凝土和混凝土衬砌	381
12.3	顶板和巷壁的加固方法	384
12.3.1	巷壁锚杆、钢带箍或钢丝绳箍	384
12.3.2	矿用密封剂	385
12.3.3	木锚杆加固	386
12.4	顶板锚杆桁架	388
12.5	开缝管支护	393
12.6	顶板锚杆在四岔式巷道交叉点上的布置方式	397

1 绪 论

1.1 地层控制的定义

从一个煤矿的地层剖面来看，在未开拓之前，剖面中各处的岩石均处于原始平衡状态。一旦加以开拓，例如在煤层中开凿一条巷道，巷道周围的煤层和岩层的平衡状态就遭到破坏。此时由于顶板岩石失去了下面的支撑，底板岩石也不再承受来自上方的荷载，而且巷道两侧（煤壁）的煤层也失去了约束，所以围岩和煤层都有向巷道内变形的趋势。如果此时不采取任何人为的支护措施，暴露的顶、底板及煤壁将会塌落。何时塌落，则取决于岩石的物理特性和所处的具体条件。

地层控制是一门研究岩体从一个平衡状态过渡到另一平衡状态的特性的科学。这门科学为设计既安全又经济的支护系统，以防止或控制顶、底板和煤层的塌落提供了依据。

保持原始构造平衡状态的最简单办法是，在开凿井巷之后设法立即加以刚性支撑，不使围岩产生变形。另一种办法是采用一种可缩性^①支撑，即在所掘巷道变形时，支架也随之变形而不加阻止。在这两种极端状态之间产生了多种支护形式，每一种支护形式都能为“支护-巷道”系统提供一个平衡条件。因而，地层控制问题就成为结合开采活动确定既安全又经济的最佳支护形式的问题。

在设计最适宜的支护系统时，常常使用岩石力学的基本原理。每种支护系统都要按应力（力）和应变（位移）的分布情况进行结构分析（本文所用“结构”一词系指巷道和煤柱的空间布置——译者），这种结构分析可使用相应的强度理论来确定支护

① 原文为yield support，根据我国煤矿习惯，按其原意译为可缩性支撑——编辑注。

系统的稳定性。然而，煤矿井下的结构分析不同于那些可选择制造材料的土建结构分析，因为采矿设计师对井下的结构要素（即岩石）和结构位置没有选择的余地。凡井下采煤的场所均需加以支护。因此，结构要素的特性是无法改变的，只能按实际存在的情况来决定。由于采煤一般要在很大的区域内进行，而岩石特性和岩层构造在此区域内可能变化很大，故确定和选择具有代表性的岩石特性作为结构设计的依据是个相当困难的课题。

对每种支护系统进行结构分析之后，就可以根据各种组合结构的稳定性、费用效果、与其它开采作业的适应性等因素选择最适宜的支护系统。

1.2 地层控制设计中的一些限制因素

为了确保井下巷道结构的稳定，设计师必需按岩石的物理力学原理确定出：

1. 全矿开拓布置——巷道、煤柱和盘区的相互位置 和相互作用；
2. 巷道的数量、形状和大小；
3. 煤柱的数量、形状和大小；
4. 提供结构稳定性或控制冒落（例如长壁工作面采空区的冒落和地表的沉陷）的最佳支护系统。

煤矿井下巷道结构布置的主要作用是，为了到达采区以及为使煤炭运至地面提供最安全又经济的通道，因而在全部开采活动中必需考虑利用岩石力学解决地层控制问题。在一般采矿作业中，通常包括三个子系统：回采、运输和通风。把这些子系统和地层控制结合考虑时就会出现一些限制，以致有时其中一些因素成为决定性的因素，而使岩石力学方面的因素完全被忽视了。

1.2.1 房柱式开采法

回采

1. 由于连续采煤机（美国在房柱式开采法中逐渐广泛使用

连续采煤机——译者) 的长度为30~40英尺以上, 故在架设临时支架以前, 工作面一般会超过最后一架永久性支架以外的最大允许距离(约20英尺)。这样, 从暴露顶板到架设支架之间的这段时间就会加长, 然而, 对于一些较软的顶板来说, 为了防止顶板离层和冒落却需要立即支护。

2. 为了使连续采煤机能够顺利通行, 工作面处顶底板间允许架设临时支架的数量是受到限制的。

3. 截割式连续采煤机掘出的巷道断面是矩形的, 而钻掘式连续采煤机掘出的巷道断面是椭圆形的。其次, 大多数连续采煤机不能切割顶底板岩石, 因此巷道的最大高度在绝大多数情况下等于煤层的厚度。

运煤

1. 工作面需要留有足够的空顶距供梭式矿车通行或安装皮带运输机。

2. 为了安全起见, 所有供梭式矿车通行或供安装皮带运输机的巷道都应采用永久性支护。

通风

1. 巷道的最小数量(用以确定巷道间煤柱的宽度)或巷道的最小宽度, 是按达到最后一条开拓石门时所需的风量决定的。达到最后一条开拓石门时的风量和工作面的风量在1969年颁布的《煤矿健康与安全条例》中均有规定。为此, 进风巷道必需与回风巷道彼此隔绝。

2. 在开凿煤柱间的巷道或煤房时, 通常是用顺煤壁悬挂风幛的方法形成通向工作面的进风流。至最后一条开拓石门的距离越大, 到达工作面的入风量就越小。因此, 为了保持工作面的送风量, 不与石门相交的允许最长距离是按通风的要求确定的。石门间的距离是构成煤柱的三个尺寸之一。

3. 顶底板间的临时支架阻碍风流通过, 故应尽量减少。

1.2.2 长壁和短壁开采法

回采

1. 支架组的长度（指自移支架顶梁长度——译者）应满足这样的要求：提供足够的无支柱空间距以使采煤机、运输机和操作人员通行。对长壁工作面来说，无支柱空间距应在6.3~8英尺之间。而短壁工作面（专指美国一种独特的工作面，详见第2章的2.4节——译者）则在8~16英尺之间。

2. 自移式液压支架应能很容易地越过由于采煤机采煤后出现在顶底板上的台阶或坑穴。

运输

1. 支架和工作面间的无支柱空间距离应足以使运输机和梭式矿车自由通过。

2. 支架应能在采煤机切割之后推移运输机。

通风

1. 必需保持足够的有效通风面积。

2. 采空区需加以隔离，以防止漏风，并防止采空区的瓦斯混入新鲜风流。

2 煤矿井下的开采布署和地层控制

2.1 导 言

由于美国煤矿井下开采布署和地层控制措施主要基于实践经验，所以在讨论各种理论和原理之前需要介绍一下这方面的情况和存在的问题。

图2.1.1是一幅已开采七年的煤矿井下开采布置图。井底水平有17条平行的开拓巷道或平巷，平巷之间和边缘平巷外侧均留有安全煤柱。每条平巷经一定间隔用石门与相邻平巷连接。平巷和石门两侧未开采的煤层部分即为巷道煤柱。巷道煤柱的用途是支承覆盖岩层的荷载和保护平巷及联络巷道。平巷宽13.5英尺。各平巷和各石门之间的煤柱中心距均为100英尺。有些煤柱是菱形的（60°角），有些是方形的。采用何种形状取决于开拓时采区皮带运输机的位置。井底平巷的北端有10条东西向的平行平巷（图中标以西1和东1）。其它平巷（西2、东2）则开凿于南端。

10条平行平巷中的一条主要平巷（南2主巷）自东1主巷以距井底平巷5300英尺的中心距向南开凿。南3主巷以同样的方式自西1主巷开凿。这样就在井底平巷的两侧留出了一个未开采的大煤柱，煤柱的尺寸为宽2400英尺，长3500及4500英尺，用来保护井筒和地面设施，以免受到塌陷破坏。所有开采作业均在煤柱区以外进行。

东1和西1主巷的北部采用房柱式开采。1RT、2RT、1LT和3LT采区已全部采完。围绕采区西侧和北侧保留的两条平巷是通风平巷，作为回风巷，排出由采空区渗出的污浊空气。6LT的煤也将接近采完。6LT和4LT之间的四个小采区各包括6个平行的煤房，小采区用90英尺宽的分界煤柱相互隔开。6LT1，6LT2

矿房和煤柱区

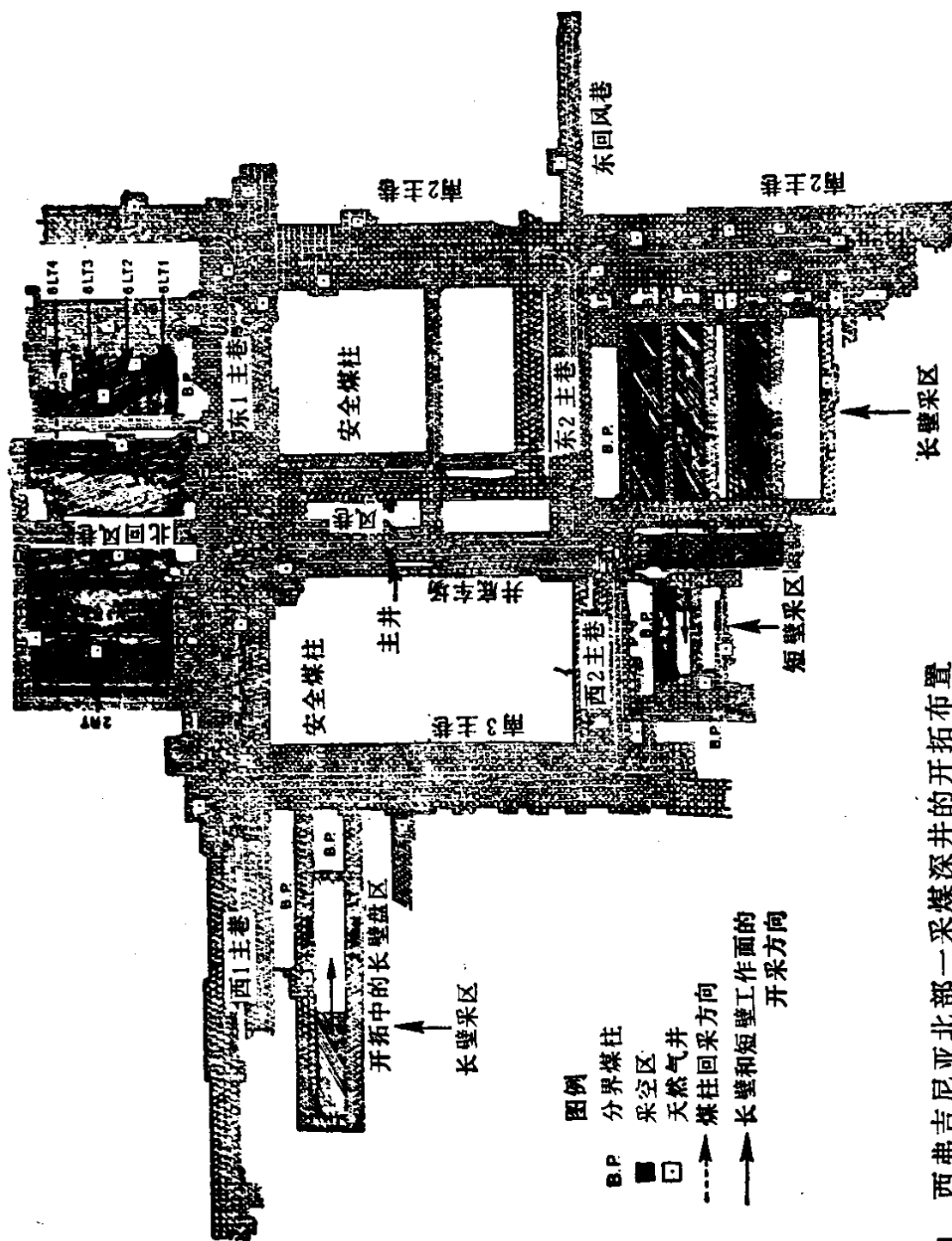


图 2.1.1 西弗吉尼亚北部一采煤深井的开拓布置

和 6LT3 均已采完。6LT4 的煤柱已回采了一半。在东 1 主巷和 6LT1 平巷之间留有 226 英尺宽的一个很大的分界煤柱，以保护东 1 主巷。这一采区内还有几处天然气井。美国西弗吉尼亚州规定，为保护天然气井还需至少留 200 英尺宽的方形煤柱。

南 3 主平巷的西部采用长壁后退式采煤法开采。西 1LT 采区包括 4 条平巷，均向西掘进 4500 英尺经通风平巷与西 2LT 采区连接。长壁工作面的长度为 450 英尺，从通风平巷向南 3 平巷后退开采。西 1LT 和西 1 主平巷之间留有 350 英尺宽的分界煤柱，以保护西 1 主巷。盘区内还留有一个 900 英尺宽的煤柱，以保护南 3 主平巷。

东 2 主巷的南部也采用后退式长壁开采法。盘区巷道包括 3 条平巷，自南 2 主巷向西掘进。前三个盘区宽 425 英尺、长 4550 英尺，已经采空。第四个盘区正在用后退式采煤法回采。东 2 主平巷和 1RT 之间留有一个大的分界煤柱，宽 400 英尺，盘区和南 2 主巷之间留有一个较小的宽 250 英尺的分界煤柱。

西 2 主巷的南部采用后退式短壁开采法。短壁盘区的尺寸为宽 200 英尺，长 1250 英尺。第 1 短壁盘区是用 1LT 和 2LT 盘区巷道切割出的。1LT 平巷包括 5 条平行平巷。已用房柱式开采法采空。2LT 平巷包括 3 条平行平巷，自南 3 主平巷向东掘进。

需要指出的是，由于地质条件总是变化的，故下列各种参数对不同矿井来说是不同的，甚至对同一矿井的不同采区也不相同。这些参数的范围为：

煤房和平巷的宽度	12~36英尺
巷道煤柱的宽度	20~150英尺
巷道煤柱的长度	40~200英尺
分界煤柱的宽度	
保护采区巷道用	25~200英尺
保护主巷用	100~400英尺
长壁盘区	
宽	250~700英尺