

采场周围 岩体控制

〔苏〕 C.H.科米萨罗夫 著
乔福祥 译 平寿康 校

煤炭工业出版社

内 容 提 要

本书综合分析了复杂地质条件下改善和提高缓倾斜煤层回采工艺的有效性。书中专门论述了在围岩-采场-液压支架系统中,用有限单元法在电子计算机上计算力学过程参数的研究;在不同采矿工艺技术条件下岩体变形的规律性,给出了分析和实验的结果。为改善和提高缓倾斜煤层回采工艺的有效性,书中提出了用工艺和采矿技术的方法主动作用于岩体的富有创造性的关于液压支架结构设计的建议。

本书可供煤炭工业部门的科研、设计单位和现场广大工程技术人员阅读,也可供矿业院校师生参考。

责任编辑:伊 烈

С.Н.КОМИССАРОВ

УПРАВЛЕНИЕ МАССИВОМ ГОРНЫХ ПОРОД
ВОКРУГ ОЧИСТНЫХ ВЫРАБОТОК

Издательство «Недра», 1983

采场周围岩体控制

[苏]С.Н.科米萨罗夫著

乔福祥译 平寿康校

*

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787×1092mm¹/₃₂

字数195千字

1988年7月第1版

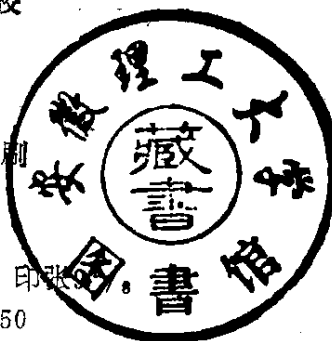
ISBN7-5020-0001-1/TD·2

书号2915

印数1—1,350

1988年7月第1次印刷

定价2.30元



译 者 的 话

苏联在矿山压力研究方面拥有雄厚的力量，并达到了较高的水平。C.H.科米萨洛夫所著的《采场周围岩体控制》一书，基本上反映了苏联一、二十年来在缓倾斜薄和中厚煤层回采工作面矿山压力研究上的动向和新成果。

作者用很大的篇幅，详细阐述了使用有限单元法解决回采工作面矿山压力实际问题的广泛可能性和现实性。这是电子计算机技术在各门迅速推广使用和矿山压力领域中兴起的一股正确的潮流。

书中对液压支架使用于不稳定顶板条件下存在的实际问题进行了分析，并从支架结构革新着手，提出了几种具体的架型结构以加强对煤帮顶板（即无立柱空间顶板）的控制。这是本书颇具特色的另一重要方面。译者在1975~1976年的科研工作中，也碰到过类似的难题，因此对这个问题的解决方法更具有敏感性和兴趣。

苏联学者C.H.科米萨洛夫所著的《采场周围岩体控制》一书，内容丰富，撰写严谨，理论性很强，实际资料众多。

作者首先对支架与围岩的相互作用关系、采场矿山压力的梁（板）假说的几种基本计算方法作了扼要的评述，然后提出自己用有限单元法研究采场矿山压力问题的依据，较详细地说明了有限单元法在采场矿山压力应用方面的计算技巧问题。

其次，作者对岩体组成，开采深度、煤层厚度，岩石力

学性质、岩石裂隙性和工作面长度等地质和生产技术因素对缓倾斜薄和中厚煤层液压支架工作面矿山压力显现的影响程度作了计算,并将其与实测资料作了分析比较。C.H.科米萨洛夫认为,选择回采工作面合理的推进方向,保证无立柱空间顶板最大程度的稳定,是改善回采工作面技术经济指标的关键。作者通过对支架与围岩相互作用关系的研究,指出苏联现用的几种支撑式液压支架与不稳定顶板的煤层条件不相适应;提出了在顶板岩层块状垮落的条件下,应能将支架工作阻力合力作用点向煤壁方向移近,以保证无立柱空间新暴露的顶板面积不超过其许可的极限稳定时间内所达到的暴露面积的意见

最后,介绍了矿山压力计算分析结果在液压支架结构改进上的具体实施。书中提出了不卸载或带压移架的实施方式,以及支架顶梁上载荷合力作用位置和大小可以调节的两类新型液压支架结构,并介绍了它们的样机工业性试验所取得的控制顶板的良好效果。

译者愿意指出,本书由现已六十余岁、矿压现场实测研究经验丰富的世界著名采场矿山压力专家C.T.库兹涅佐夫审定,使本书质量得到保证。

众所周知,矿山压力是采矿科学基础理论的重要组成部分。采场周围岩体控制,既是煤矿日常生产技术管理的重要工作,又是安全生产的中心环节之一。我国煤炭科学技术,一九七八年以来又重新出现了繁荣景象,全国煤炭产量逐年增长。译者正是在这种情况下,以愉快的心情尽可能挤出一切时间,完成了本书的翻译工作的,现将其奉献给我国尚不能阅读俄语文献的读者,期望能在我国的高校教学工作、矿压科学研究工作和现场生产技术管理方面起到有益的

作用。

译者深深感谢平寿康博士在本书审校过程中对我的帮助。本书在翻译上可能存在的缺点和问题，恳请读者批评指正。

译 者

一九八六年十二月

作 者 序

开采深度的日益增长和矿山地质条件的日趋复杂，是煤层地下开采的一个特征。适时研究不良条件下的采煤工艺和适当的采煤技术是一个十分迫切的课题。为能解决好这个课题，应该以具有回采工作面周围岩体的力学过程和活动规律性的高深知识作为基础。岩体的构造-力学特征和原始应力状态、岩体的物理-力学和工艺性质、采煤系统和矿田准备方法，预先规定着这个复杂系统的力学状态。为使在不良采矿、地质条件下达到回采工作面的计划产量，必须寻求更为有效和经济的方法以及控制岩体力学状态的手段。

在煤系地层发生力学过程的参数计算理论的创建过程中，问题的复杂性（介质的不均一性、具有软弱夹层、岩体具有不同状态的分区、采矿地质条件的多样性和岩石的不同分类），使研究人员不得不选择在某种假定的边界条件下的计算方法，来研究岩体中某一部分的应力-变形状态（例如支承压力区、煤层的采场部分和底板岩石中应力场的计算；支承压力区内、煤层的采场部分和底板岩石中变形和位移的确定，此外还有弯曲带中的位移和变形的确定；液压支架顶梁和底座的接触压力计算等）。这就使研究人员得不到下列参数：沿层面方向的位移和应力的连续性，顶板岩石中的拉应力以及煤层在支承压力带中的沉降和弯曲等。许多建议的计算方法和理论求解方式，都不能解释工作面煤壁附近和采场宽度中的围岩大移近量问题。研究液压支架组成要素与围

岩相互作用所采用的分析法的基本假设，没有将支架-围岩-煤层看作一个统一的系统，即具有各自刚度的、几何要素的和受力参数的支架顶梁、底座与围岩、煤层的共同作用。同时，围岩与煤层依据围岩物理力学性质、开采深度、煤层厚度以及其它因素在变形，从而改变采场断面的形状。

在综合考虑矿山地质、采矿技术和工艺等影响因素的条件下，对煤系地层的力学状态作出估计的基础上，寻求开采缓倾斜煤层矿山压力控制的有效方法和手段时，需要有一个可靠的和可信的分析与计算，就是关于岩体的应力-变形状态和长壁工作面支护方式及其相互作用的分析 and 计算。数值分析法，特别是有限单元法在较大程度上适合于上述课题的研究和适应所研究的介质特点。在计算中，这种方法可以反映岩体的原始应力状态及其构造特征——层理性、不均质性、具有软弱夹层、层面等高线、各向异性、岩体的裂隙性和在煤层回采时岩体内发生的力学过程（丧失连续性、形成岩块和局部破坏等）。有限单元法的优点在于能模拟应力和变形之间任意关系形式，并且能够模拟与岩体相互作用的支架这种地下工程结构物。

请读者注意本书提出的使用有限单元法确定综合机械化回采工作面周围岩体的力学过程参数的论据，同时更要注意，开采缓倾斜薄及中厚煤层在使用全部垮落采煤法的综采长壁工作面的条件下，实际提出的问题和这些问题的解决。

在上述条件下，研究并解决有效的采煤工艺和技术问题的基本思想，在于利用回采工作面周围岩体应力-变形的变化规律，研究回采工作基本工艺参数的计算方法，以及使用新型液压支架来控制围岩的力学状态的新原则。所以，本书是在使用有限单元法的基础上，论述回采工作面周围岩体的

应力-变形状态的，同时综合考虑实际的地质条件、采矿技术和工艺因素的影响，以及采用以岩体构造特征、岩石具有线性蠕变和解决平面应变、三维空间问题为特点的计算方法。这种方法可以更加全面地计算回采工作面周围岩石的变形和移动过程参数以及支撑式液压支架与围岩的相互作用，且考虑到工作面和围岩自然弱面的不同空间方位引起的回采工作面周围岩体应力-变形状态的变化；并且可以确定回采工作合理的发展方向。上述综采工作面周围岩体的变形规律，可用以确定支撑式液压支架与岩体的相互作用。主动控制无立柱空间上方顶板岩石的力学状态的液压支架结构系统和工作原则，对使用采煤机和刨煤机开采缓倾斜薄及中厚煤层是有意义的。

迄今为止，积累了大量的广泛的关于合理控制液压支架回采工作面围岩力学状态的资料。作者取得的补充性认识，扩大和加深了关于采场周围岩体控制过程的现有概念，提出了得以实施的有效方法和手段。

作者在研究工作中，得到教授、技术科学博士A.C.布尔恰科夫多年的指导和帮助；技术科学博士C.T.库兹涅佐夫在审定本书手稿时提出了宝贵意见和修改建议。作者在此表示衷心的感谢。

目 录

译者的话

作者序

第1章 提高支撑式液压支架缓倾斜煤层开采工艺

有效性研究的简要分析..... 1

1.1. 影响综合机械化开采缓倾斜煤层有效性的因素..... 1

1.2. 岩体-采场-支架系统中确定力学过程参数的理论
和实验研究..... 8

1.3. 用有限单元法计算回采工作面周围岩体的力学过程参数的根据..... 17

第2章 有限单元法计算岩体-采场-液压支架系统

的力学过程参数的方法基础..... 28

2.1. 概述和回采工作面周围岩体应力-变形状态计算方法的实质..... 28

2.2. 选择回采工作面周围岩体研究范围尺寸的根据和岩体研究范围的单元划分..... 30

2.3. 沉积岩中的软弱夹层和连续介质破断在计算系统中的模拟..... 34

2.4. 考虑岩石蠕变性的计算方法..... 41

2.5. 计算系统中岩石垮落带的模拟..... 45

2.6. 有限单元法研究回采工作面周围岩体力学状态的方法和计算系统..... 55

2.6.1. 概述..... 55

2.6.2. 研究目的、任务和工作量..... 58

2.6.3. 有限单元法分析岩体力学状态的方法

和内容	59
-----------	----

第3章 缓倾斜煤层综合机械化长壁工作面矿山

压力显现的分析	77
---------------	----

3.1. 回采工作面矿山压力显现与基本的矿山地质、采矿技 术和工艺因素的关系	77
3.1.1. 岩体构成	78
3.1.2. 开采深度	86
3.1.3. 煤层厚度	92
3.1.4. 围岩的物理力学性质	99
3.1.5. 裂隙性	101
3.1.6. 工作面长度	104
3.1.7. 开采深度对每种支架型号、尺寸、适用煤层厚 度范围的影响	114
3.2. 矿山压力显现与回采工作面推进方向的关系	119
3.3. 顶板岩石初次垮落时的回采工 作面周围岩体应力-变形 状态的计算	136
3.4. 回采工作面周围考虑应力和应变的弹塑性分 布的估计	143

第4章 支撑式液压支架与回采工作面周围岩

体相互作用的分析	148
----------------	-----

4.1. 在计算系统中模拟支撑式液压支 架结构的方式方法	148
4.2. M87M液压支架顶梁与顶板岩石的相互作用	151
4.3. M105支架的顶梁和底座 与围岩的相 互作用的研究	156
4.4. 在无立柱空间上方有效控制顶板岩石力学状态的支架 结构的根据	160
4.5. 改善支撑式液压支架控制顶板岩石的 力学状态的主要意见	171

第5章 液压支架工作面矿山压力显现在矿井现场和实验室相似材料模型上的试验研究	177
5.1. 缓倾斜煤层长壁工作面矿山压力显现的研究结果（罗斯托夫矿务局的矿井）	177
5.2. 在相似材料模型上研究矿山压力显现的主要结果	192
5.2.1. 实验室研究结果（对深井№229工作面）	192
5.2.2. 共青团真理报矿井№130工作面实验室研究结果	195
5.3. 分析法、实测法和实验室研究结果的比较	201
第6章 缓倾斜煤层综采长壁工作面对顶板岩石力学状态产生主动作用的支护工艺过程的研究	204
6.1. 能保证主动作用于顶板岩石力学状态的新型液压支架结构	204
6.2. КΠБС支架顶梁与顶板岩石相互作用的分析和支架主要参数的确定	215
6.3. КΠБС支架样机实验室模型试验、试验台和现场试验的主要结果	218
6.3.1. 实验室研究	218
6.3.2. КΠБС液压支架样机的试验台试验	220
6.3.3. КΠБС支架样机的矿井试验	221
6.4. 液压支架在试验台上和井下的试验	223
6.5. 开采缓倾斜不稳定顶板煤层采场液压支架支护的特点	232
第7章 缓倾斜煤层开采工艺的改善	238
7.1. 有效的开采工艺参数依据的基本原则	238
7.2. 为有效工艺参数提供依据的计算方法	239
7.3. 有效的工艺参数的论证	248
结 论	272
参考文献	276

第1章 提高支撑式液压支架缓倾斜煤层 开采工艺有效性研究的简要分析

1.1. 影响综合机械化开采缓倾斜煤层有效性的因素

为了较好地利用设备和提高综合机械化回采工作面的产量，特别是在不良采矿地质条件下，必须综合考虑和确定矿山地质、采矿技术、工艺和组织中每一个因素的影响程度，有根据地估计岩体-支架系统的力学状态。影响综合机械化回采工作有效性的基本因素，可分类如下。

1. 矿山地质；

1) 赋存条件——开采深度，煤层（煤层群）的厚度和倾角，直接顶、老顶和底板分层的总厚度；

2) 煤、岩和软弱夹层的物理力学性质——比重，内聚力和内摩擦系数，在不同方向上的变形、强度和流变特性以及尺寸因素对它的变化规律，裂隙性，开采深度，含水性，瓦斯性，加载程度和速度；煤在未压碎区中的抗切割阻力性能；煤层与顶、底板接触处的摩擦系数；岩石的碎胀系数和胶结性；

3) 岩体结构特征——软弱夹层的位置和类型；离层面的间距；主要原生节理裂隙和采动裂隙的赋存要素（裂隙倾角、倾向方位角和裂隙间距）；垮落带和相关沉降（块体系统）带的存在。

2. 采矿技术：回采工作面液压支架的架型；采煤机（刨煤机）类型；采煤机的截深；工作面推进速度；支架的液压支柱特性；沿工作面长度每架液压支架的宽度；支架移动步距；沿长壁工作面支架的布置方式；顶板遮盖系数；支架的结构和受力参数。

3. 技术工艺：采煤系统（回采工作面的推进方向）；工作面长度；采煤机的工作方式；移架方式；工作面中间巷道的存在；破顶或破底的厚度；护顶或丢底煤皮的厚度；在矿田用单水平开拓和准备时区段的垂高；支架分节移动的工艺顺序；支架的技术工艺制度。

4. 生产组织：每昼夜采煤班的数目和每班工作时间；长壁工作面的工作组织。

矿山地质、采矿技术、工艺和组织等许多因素的综合影响决定着煤层的采矿工艺性质（煤在压碎区中的抗切割阻力性能）和顶板岩石的性质（稳定性、可垮落性和可控性）。为定量地评价顶板岩石状况，使用了以下一些准则：围岩的相对移近量和速度；顶板冒落高度和裂隙特性；顶板冒落、台阶和裂隙系数，或用统一的分级指标〔8〕来估计顶板出现这些破坏的参数。

上述的因素和性质会影响到回采工作面周围岩体中发生的力学过程的参数，即变形过程、应力重新分布、破坏、液压支架与围岩相互作用等等。合理地控制这些过程，可以为实行煤层的有效开采创造条件。这里来分析凭采矿技术和工艺因素的作用以控制回采工作面周围岩体状态的可能性。

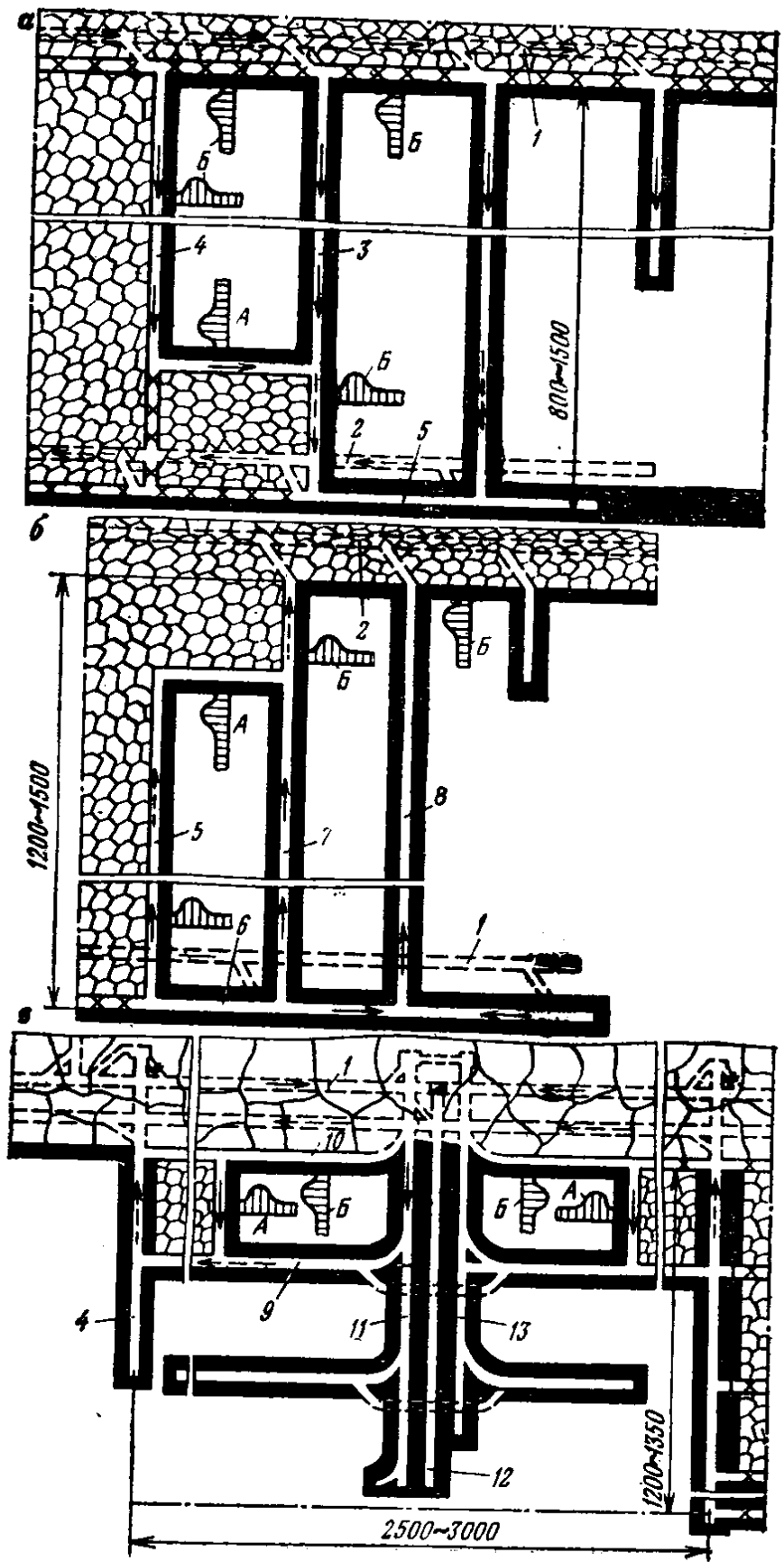
区段工艺系统的基本要素（采煤系统及其参数，开采顺序和方向，回采工作面的构成方法，顶板管理方法，液压支架的架型及其结构和工艺参数，采煤机的类型和截深，上或

下煤层已采等等)给回采工作面周围岩体中发生的力学过程以重要的影响。同时,属于主要的可控性参数有:煤壁片帮系数和深度,顶板岩石稳定性和底板承载能力,回采工作面与主节理裂隙方向的夹角,直接顶裂隙岩层的抗弯刚度,在煤层顶板中相互作用岩块的接触摩擦力,回采工作面周围岩体的应力-变形状态参数。

掌握力学过程进行的规律,并能定量地解决其参数对于有根据地选择合理架型是必要的。这一技术决定在实际工作中要考虑到岩体构成特征,回采工作面空间方位和推进方向,液压支架的参数和工作方式联系到采深的日益增加,采区采矿地质条件的逐渐恶化以及矿田单水平准备方法的扩大使用,上述必要性显得更为重要。液压支架推广使用于复杂采矿地质条件的采区,是综采工作面产量下降的原因之一。据顿巴斯煤炭科学研究院的资料,在支架尺寸与煤层厚度不相适应条件下使用综采设备,使回采工作面产量平均下降28%。使用液压支架的煤层倾角超过了该支架的技术性能,使回采工作面产量平均降低13.2%。顿涅兹矿区的矿井在不稳定顶板的回采工作面中,产量降低14.9%;其中使用M87 II型支架的工作面,产量降低21.8%。在有伪顶的条件下工作,产量减少1.25倍。据乌克兰社会主义加盟共和国煤炭部的统计,49.1%的长壁工作面在具有伪顶和不稳定顶板的条件下工作着。

地质破坏、突出危险性、煤尘危险性、煤的自然倾向性、含瓦斯性以及含水性等每一个因素都会使回采工作面产量平均下降7~20%。

在复杂的矿山地质条件下提高缓倾斜煤层开采的有效性,并在这种条件下研究采煤技术,只有在更深入地研究回采



工作面周围岩体的变形和力学状态的规律性以及液压支架与围岩的相互作用的基础上才有可能。同时必须排除不同的矿山地质、采矿技术和工艺因素对综采工作面工作指标影响的简单化估计。

缓倾斜中厚煤层所建议的开采工艺系统见图1.1和表1.1。在分析这个系统的基础上，可以得出这样的结论，就是在选择液压支架架型和尺寸以及确定顶板稳定性时，没有足够注意到上述的诸多因素，其中首先是开采深度的变化、顶板岩石的应力-变形状态、自然裂隙的空间方位等等。

例如，生产实践中拟定长壁工作面技术经济指标的计划时没有考虑如下的情况：在不同采煤系统条件下，短时(A)和长时(B)支承压力的分布范围和大小对区段的作用是不同的(图1.1)。短时支承压力随着回采工作面的推进而移动，它主要取决于煤层厚度、开采深度以及岩体的构成和性质。长时支承压力区在开采煤层层面上的延伸分布，方向来自本煤层的采空区和上水平的采空区；它由区段的开采时间、垮落岩石的压缩胶结程度、开采深度以及岩体构成-力学特征所决定。随着一个区段的开采，支承压力的大小是不同的，它给围岩的移近、无立柱空间顶板岩石的状态以及采煤机的工作方式等以很大的影响。

图 1.1. 长壁采煤系统和准备方式

a—沿倾斜向上开采；b—沿倾斜向下开采；c—沿走向开采；
1—主要岩石运输平巷；2—主要岩石回风平巷；3—运输机下山；4—回风下山；5—开切眼；6—进风集中顺槽；7—运输机上山；8—通风上山；9—盘区分段运输平巷；10—盘区分段回风平巷；11—盘区辅助下山；12—盘区运输机下山；13—盘区行人下山；A、B—采区煤柱中短时和长时支承压力

表 1.1

长壁采煤系统	方式 编号 〔49〕	综采设备 类 型	工作面 长度, m	截 深 m	层 厚 m	倾 角 (°)	开采深 度, m	顶板稳定性	采段长度, m	采段垂 高, m
仰斜向上开采	1	《Донбасс》	150	0.80	0.9~1.2	0~10	≤1200	中等	800~1500	140~260
	1	1KM97Д	150	≤0.07	0.75~1.3	0~10	≤1200	中等	800~1500	140~260
	1	K1MKC	200	≤0.10	0.95~1.95	0~10	≤1200	中等	800~1500	140~260
	2	AK	250	0.80	0.9~1.4	≤6	$\frac{600^*}{900}$	不低于中等	1500~3000	160~310
俯斜向下开采	2	AK	250	0.80	0.9~1.4	≤10	$\frac{600^*}{900}$	不低于中等	1500~3000	260~520
	3	KM87(Э,П)	180	0.63	1.1~1.9	0~10	≤900	从不稳定到稳定	1200~1500	210~260
	3	OKП, OKП70	150	0.63	1.9~3.5	0~10	≤900	从不稳定到稳定	1200~1500	210~260
	3	KM130	150	0.63	2.5~3.5	0~10	≤900	从不稳定到稳定	1200~1500	210~260
沿走向开采	5	《Донбасс》	150	0.80	0.9~1.2	3~18	≤900	不低于中等	1200~1500	
	5	KMK98	200	0.80	0.9~1.3	3~9	≤900	不低于中等	1200~1500	
	5	KM87Э	200	0.63	1.1~1.9	3~18	≤900		1200~1500	