

● 崔梦庚 译 李鸿昌 校

煤层无煤柱开采

[苏] Ю. Л. 胡金

М. И. 乌斯基诺夫

А. В. 布拉依采夫等



中国矿业大学出版社

TD823.5

H-419

高等学校教学用书

煤层无煤柱开采

[苏] Ю.Л.胡金 М.И.乌斯基诺夫

А.В.布拉伊采夫等

崔梦庚译 李鸿昌校

中国矿业大学出版社

730553

(苏)新登字第 010 号

内 容 提 要

本书以翔实的资料为基础,通过理论研究和现场资料的分析对比,对苏联煤层无煤柱开采工艺系统作了全面的介绍。本书对这一工艺系统的发展过程、工艺变革和其发展前景作了完整的科学论证。

本书适于煤炭工业科技工作者、矿业院校师生及煤矿生产工作者使用。

责任编辑:周立吾 朱明华

高校教学用书

煤层无煤柱开采

[苏] Ю.Л.胡金 М.И.乌斯诺夫 А. В.布拉伊采夫 等著

崔梦庚 译 李鸿昌 校

中国矿业大学出版社出版

(江苏省徐州市中国矿业大学内)

新华书店经销 中国矿业大学印刷厂印刷

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 8.37 字数 211 千字

1991 年 12 月第一版 1991 年 12 月第一次印刷

印数: 1-3000 册

ISBN 7-81021-596-5

TD.115

定价: 2.20

译 者 的 话

煤层无煤柱开采的成功实践表明，它具有无可比拟的优越性，成为井工开采发展历史上具有革新意义的创举。

采用无煤柱工艺系统开采煤层消除了准备巷道围岩的应力集中的危险，以实用的采煤技术和工艺方案，大量减少巷道的掘进和维护工作量；避免煤损；在降低煤岩、瓦斯突出、冲击危险和内因火灾的危险性的前提下，为采煤工作提供了安全生产条件。

煤层无煤柱开采方法通过留巷作区段准备使回收煤柱工艺得到发展。不留煤柱护巷极大地降低了围岩的位移。留巷无煤柱开采使吨煤掘进率大为降低，并从根本上改善了回采区段的通风状况。

本书作者以翔实的资料为基础，通过理论研究和工程实践的大量对比分析，对无煤柱开采作了全面的论述。是苏联煤层无煤柱开采工艺的总结。本书对这一工艺的发展过程、有关的工艺变革，以及这一工艺发展前景作了完整的科学的论证，同时提出了这一工艺需要进一步完善的建议。

煤层无煤柱开采的方法在我国的应用中取得十分可观的社会和经济效益。为了进一步推动无煤柱开采工艺普遍应用和进一步的发展，翻译和介绍《煤层无煤柱开采》一书，仍具有现实意义和参考价值。

全书共分六章：采用煤层无煤柱开采的合理性；无煤柱支护准备巷道的岩石力学基础；沿空留巷开采煤层的工艺系统；沿空掘巷和回收临时煤柱的开采工艺；通风、瓦斯抽放与地下火灾的防治；煤层无煤柱开采的效果和发展前景。

改革采煤方法，提高煤炭产出率是当前我国煤炭工业技术改

革的重要内容，相信随着我国煤炭科学与技术发展，必定会在完善人工隔离物、基本支架、加强支架的承载能力和可缩结构方面取得进展，从而使煤层无煤柱开采工艺得到进一步发展。

本书读者对象为从事采矿专业的工程技术人员、科研人员 and 高等学校师生。

本书出版过程中得到中国矿业大学采矿系和煤炭工业矿山压力情报中心站许多同志的关心和帮助，对此谨致谢意。译者水平有限，书中不妥之处尚希读者指出，以便修正。

译 者

1990年10月

前 言

《1981~1985年和到2000年期间经济和社会发展基本方针》向煤炭工业提出大幅度增加煤炭生产的任务。这一文件指出，在提高劳动生产率，改善安全劳动和技术条件，保证从矿藏中回收更多的有益矿物储量的前提下，应依靠进一步发展井工生产。

在各国实践中，通用的煤矿煤层的准备和开采工艺是利用预留和不回收的煤柱保护准备巷道。这样做，准备巷道开掘量大、维护费用高，丢失煤炭资源，以及瓦斯因素使工作面产量受到限制，煤炭和材料运输工作复杂，且存在煤炭自燃以及煤和瓦斯突出、冲击地压的矿压动力显现的危险。

当苏联矿井开采向更大深度延伸和广泛使用高产能力的综采设备时，这一工艺存在的根本缺点尖锐地突出起来。在这种情况下，用煤柱保护准备巷道就成为将生产提高到新的技术水平和进一步提高井下安全作业的主要障碍。在顿巴斯煤层的准备和开采中广泛利用矸石带取代煤柱保护准备巷道的做法，同样因为砌矸石带的繁难而不能保证问题的解决，仅在开采薄煤层条件下尚能应用。

当前，基于学者和现场人员的创造性的合作，原则上已制订出新的开采工艺。这一工艺已综合地解决了开采煤层的效益与安全问题；它的基础是把回采准备巷道布置在煤层和采空区边沿上的卸压带，进行无煤柱护巷，大多没有矸石带，只选用相应结构和参数的支架。

无煤柱准备和开采煤层的工业性开发工作正在进行。与此同时还在着手进行有关无煤柱准备巷道的矿压、通风、瓦斯抽放以及支护与维护等问题的研究。

在推行这一方法的时候，结合无煤柱工艺的岩石力学和技术原理及其优越性等做了大量的试验研究工作，因此，于短期内使各矿区煤矿的无煤柱准备和开采能得到工业性应用。1981年无煤柱开采比重超过煤炭工业全部开采量的50%。经验证明，无煤柱开采具有很高的经济效益和技术上的合理性。

尽管无煤柱开采具有重要性和在全国范围内有很大的应用规模，但依然有许多的实际资料未加系统整理和总结（回采巷道的维护与支护问题除外），因此，还难于恰当地解决多种情况下的无煤柱开采的工艺问题（工艺系统的选择、开掘巷道的顺序和期限、通风布置、制止内因火灾等）。

编写本书的目的是弥补上述阙如。作者期望本书会对煤炭公司所属矿区和设计部门的工作人员的工作实践有所补益。

绪言和结论部分别由 Ю.Л.胡金、М.М.乌斯基诺夫、К.А.阿尔达谢夫、Н.П.巴仁等执笔；第一章由 К.А.阿尔达谢夫、Н.П.巴仁、М.И.乌斯基诺夫、Е.Т.普罗雅夫金、М.И.谢列丹科执笔；第二章由 К.А.阿尔达谢夫、Н.П.巴仁执笔；第三章和第四章由 А.В.布拉依采夫、Ю.Л.胡金、П.М.特鲁欣、М.М.穆库谢夫、Е.Т.普罗雅夫金、Ю.И.卡里莫夫、В.Н.烈夫丘克、М.И.谢列丹柯、М.И.乌斯基诺夫、执笔；第五章由 А.В.布拉依采夫、П.М.特鲁欣、Ю.И.卡里莫夫、М.М.穆库谢夫、М.И.乌斯基诺夫执笔；第六章由 Н.П.巴仁、К.А.阿尔达谢夫、А.В.布拉依采夫执笔。

目 录

1. 采用煤层无煤柱开采的合理性

- 1.1 向煤层无煤柱开采过渡的依据 (1)
- 1.2 煤层无煤柱开采发展历史 (5)
- 1.3 煤层无煤柱开采现状 (18)

2. 无煤柱支护准备巷道的岩石力学基础

- 2.1 选择巷道维护方法和手段的主要依据 (29)
- 2.2 长壁式开采系统的沿空留巷 (32)
- 2.3 沿空掘巷及其维护 (47)
- 2.4 在采空区内掘进和维护的巷道 (53)
- 2.5 倾斜煤层维护巷道的特点 (56)
- 2.6 各种无煤柱开采系统的巷道无维修支护条件 (59)

3. 沿空留巷开采煤层的工艺系统

- 3.1 概述 (63)
- 3.2 薄及中厚煤层走向长壁柱式开采 (68)
- 3.3 薄及中厚煤层仰斜长壁开采 (82)
- 3.4 薄及中厚煤层俯斜长壁开采 (84)
- 3.5 倾斜分层开采缓斜厚煤层 (91)
- 3.6 在采空区内掘巷的煤层开采 (100)
- 3.7 沿空留巷的卸载方法 (105)
- 3.8 在留巷内应用加强支架 (108)
- 3.9 用高强度小缩量支撑体(砌块)保护回采巷道 (126)

3.10	浇注刚性充填带维护巷道	(130)
3.11	回采巷道不翻修条件下的支架和断面	(136)
4.	沿空掘巷和回收临时煤柱的煤层开采工艺	
4.1	概述	(141)
4.2	沿空掘巷开采薄及中厚煤层	(142)
4.3	沿空掘巷开采缓倾斜厚煤层	(161)
4.4	沿空掘巷的采准工作次序	(176)
4.5	沿空掘巷的断面和方法	(178)
4.6	沿空巷道的支护和护巷方法	(181)
4.7	运输煤炭、材料和设备的特点	(192)
4.8	回收临时煤柱的煤层开采工艺	(193)
5.	通风、沼气抽放与地下火灾的防治	
5.1	区段通风和沼气抽放	(201)
5.2	预防无煤柱开采的内因火灾	(211)
6.	无煤柱开采煤层的效果和发展前景	
6.1	采用无煤柱护巷方法的范围和技术经济指标	(224)
6.2	无煤柱护巷方法和维护参数的选择	(226)
6.3	有计划地将矿井改为无煤柱开采和先进的护巷 规程实例	(232)
6.4	无煤柱方法开采煤层的经济效益评价	(238)
6.5	无煤柱护巷的改进途径及其发展远景	(245)
✓ 结 论		(253)
参考文献		(257)

1. 采用煤层无煤柱开采的合理性

1.1 向煤层无煤柱开采过渡的依据

在国内外迄今的地下开采煤层都沿用一种传统工艺，利用留在采空区内的保安煤柱保护准备巷道，以避免矿山压力的有害影响。

从长壁后退式和前进式采煤法示意图 1 中可以看出，其特点是均有区段煤柱，利用双巷准备出回采区段，在回采工作面后方形成煤柱，以保障巷道工作状态。

利用煤柱保护准备巷道的采准工作已经广泛应用于 200~300 m 采深的矿井。通常，这种矿井煤层沼气含量低，没有动力显现和大量集中的矿山压力。

这种条件下，大多数矿山地质条件的准备巷道留 15 m 宽的煤柱能够做到维护期内不翻修。同样情况下用煤柱护巷的采准工艺则会造成回采平巷掘进量大（达 20~25 m / 1000 t），区段内运输和通风系统复杂，更主要地是会因采深的加大而在后续区段内形成动压显现的条件。

近 15~20 年我国煤田的开采技术状况发生根本变化。强化煤炭开发使井下开采深度迅速增加，在 1970~1972 年，（促使各煤田开始广泛使用无煤柱工艺，顿巴斯采深 1100~1200 m，伯绍尔煤田采深 600~700 m，库兹涅茨和卡拉干达煤田采深 500~600 m。预料，近年内全部煤田的开采深度还要增加 150~200 m）在这个期间各矿要广泛使用高效的回采综合机械化机组，有效应用这些的设备将使回采工作面推进速度提高到 100~

150 m / 月，使用综机设备也从根本上提高了对通风和运输工作的要求。

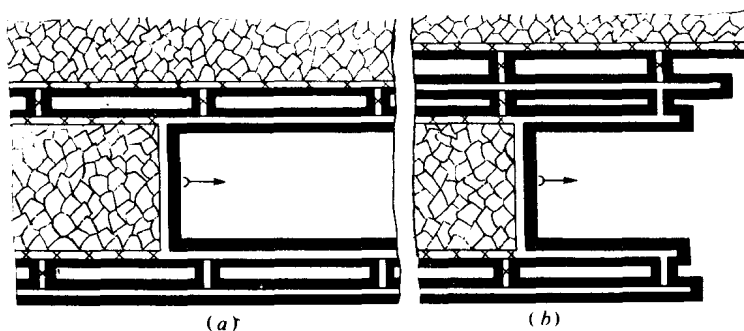


图1 留巷道煤柱的后退式(a)和前进(b)开采方法

随着开采深度的增加煤层沼气含量、煤和沼气突出，以及冲击地压的危险性急剧增长。例如，沃尔库茨克煤田深度 300 m 煤层的沼气含量为 $10 \sim 12 \text{ m}^3 / \text{t}$ ，深度 500 m 为 $18 \sim 20 \text{ m}^3 / \text{t}$ ，800 m 为 $25 \sim 30 \text{ m}^3 / \text{t}$ ，而该深度范围内相对沼气涌出量相应为 $10 \sim 12$ 、 $28 \sim 30$ 和 $50 \sim 60 \text{ m}^3 / \text{t}$ 。就沼气因素而言，当前该煤田的全部矿井均属高沼气矿井，各开采煤层为有煤和沼气突出威胁或危险。1950 年在煤田 350 m 深处发生过煤和沼气突出，迄 1967 年共发生煤和沼气突出 235 次，其中 106 次发生在准备巷道，突出平均强度为每次沼气 5000 m^3 左右，煤约 60 t。深度超过 500 m 处的冲击地压据记载有 29 次。

同样，到 1970 年库兹涅茨煤田的大多数煤层沼气含量已达到 $25 \sim 30 \text{ m}^3 / \text{t}$ 。此时，该煤田的许多煤层的深度已超过 300 m，属于有煤和沼气突出及冲击地压危险或受威胁的煤层。库兹巴斯各矿，特别是开采厚煤层因采用留煤柱工艺导致煤柱自燃而发生大量火灾。

卡拉干达煤田的煤层沼气含量很高，目前平均约 $30 \text{ m}^3/\text{t}$ 。在进行开采的 26 个矿井中有 15 个矿井煤层有煤和沼气突出危险。矿区中大部分煤层有自燃发火倾向。

煤层沼气含量的增加使准备巷道的掘进和回采工作更趋复杂。目前采用的通风系统和抽放沼气方法是根据用煤柱保护回采平巷的开采系统的特点决定的，并不能保证回采工作面在采用新技术后产量的必然提高，也不能保障开采的安全条件。在许多情况下，工作面上部会有沼气的局部积聚，浓度达 10%，在开采千吨煤炭大约 15 m 抽放钻孔的条件下，回采地段的抽出率不超过 35%。尽管采用先进的掘进工艺，高沼气含量仍是准备巷道掘进速度的抑制因素，同样也会使回采工作面的生产受到不良影响。

众所周知，预防煤和沼气突出以及冲击地压的有效措施之一是在近距煤层群内开采保护层。然而，在采用留煤柱的条件下，此举很少奏效，相反会经常导致工作安全状况恶化。原因是煤柱在围岩岩层内形成应力集中，在近距煤层内构成异常危险带。

一般说来，开采近距煤层群留煤柱会对位于其上下方相邻煤层的区段开采效益和安全产生不良影响，实践表明，这种说法并不夸张。由于开采深度已延伸至 500~600 m，应力集中带也扩大到 120~150 m，这些带内的回采工作面和准备巷道的顶板稳定性严重恶化，顶板移动和底臃增强，支架载荷增大。结果巷道不能使用，需多次翻修，回采工作面产量下降，采场冒顶。

随着开采深度的增加和矿压显现的加剧，受煤柱保护的准备巷道的维护条件也复杂起来。这种情况必然需要大量使用繁重和不安全的手工操作。例如，正在使用的准备巷道的平均维护工作量是：伯绍尔煤田各矿为 80 km，总支出 900~1000 万卢布（占煤炭成本的 17~20%）；库兹巴斯各矿维护的巷道占巷道总长的 50~60%，支出 4000 万卢布；莫斯科煤田每年翻修回采平

巷 60~70 km。

巷道维护条件恶化的原因是早先在浅部遗留下的宽 10~15 m 煤柱大多遭破坏,而巷道未受到采动的破坏影响。随着深度 H 的增加,导致岩体总应力的增高和煤层两帮支承压力带的扩大,即从深度 250~300 m 的 30~35 m 扩大到深 600~1000 m 的 100~120 m,为有效保护巷道也需增加煤柱 b 的宽度,500~600 m 深应不小于 30~35 m,800~1000 m 深应不小于 45~50 m (图 2)。留上述尺寸的煤柱在技术上是困难的,大多数情况充其量只能提高到 15~20 m,但这不能做到有效地维护巷道,因而煤柱的煤损大幅度增加,1966 年伯绍尔煤田各矿为 18.2%,库兹巴斯各矿为 19.4%,卡拉干达各矿则为 26.5%。

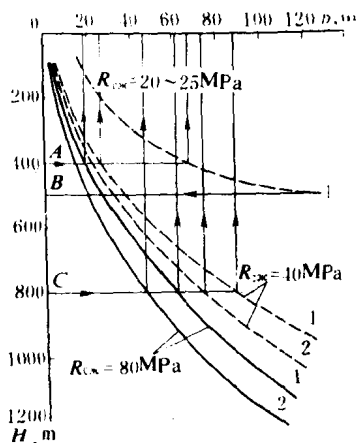


图 2 · 开采深度对维护准备巷道煤柱宽度的影响

1.—可缩性 200 mm 的木支架; 2.—可缩性 500 mm 的金属支架

由此看来,上述事实证明采用煤柱护巷的工艺是不合理的。它增加了掘进工作量,使巷道维护长度增加以及通风和地下运输

系统复杂化。这一方针不符合采矿工作集中化的要求，不能确保实施有关保护和合理利用资源的决定。

在当前条件下利用煤柱保护回采和准备巷道进行煤层的准备和开采的根本缺点是：

1. 为保证准备巷道无翻修支护，当采深转向 500~600 m 或更大时，煤柱尺寸应大于 30~35 m，对有些煤田则不应小于 45~50 m。这样做就不能合理地利用煤炭资源，显然，如果在浅部的煤柱损失不超过 10~20%，而在这些条件下煤柱损失会达到 25~30%。

2. 当采深转向更大时，为降低煤损而采用 15~20 m 的煤柱，就不能保障无翻修地维护准备巷道。由此，每年有 4500 km 左右的维护巷道需翻修，要占用 10~20% 的井下工人，巷道支护费用要占吨煤成本的 15~20%。

3. 大量开掘准备巷道，状况不佳，工作面正常通风困难，运输复杂化，回采工作面的准备进度缓慢，这些因素会经常阻碍高产和综采机组的有效工作。

4. 为保护准备巷道而保留煤柱，会在岩层中形成高应力集中带，从而使煤和沼气突出及冲击地压的危险性倍增；准备巷道维护条件恶化，开采相邻煤层时会造成冒顶。

由于利用煤柱护巷这一传统工艺存在的根本性缺点，当前已经提出一项极为现实的课题，即确立并在煤矿中广泛利用无煤柱护巷的新工艺。

1.2 煤层无煤柱开采发展历史

早在 50 年代，就已开始采用人工充填带代替煤柱，用来保护准备巷道以解决降低煤损和提高开采相邻的有突出和冲击危险煤层的安全等问题。充填带是用开掘取得的矸石在巷道的一侧或

两侧砌筑成的。然而，这种护巷方法只有在煤厚不大于 1~1.5 m、就地取得的矸石足可砌筑充填带时才可用。这种工艺需耗费大量劳力去掘进和维护巷道，使运煤运料以及回采和掘进工作面的通风复杂化。这些也恰是煤柱护巷特有的缺点。

用充填带护巷的无煤柱开采仅在顿涅茨煤田矿井的深部薄煤层条件下得到普遍应用。至于在其他煤田多数煤层要改用充填带是不合适的。

因此，对于广泛的采矿地质条件范围，研究新的地下煤层开采工艺便提到日程上来。根据这种工艺通过不留煤柱和不必建立充填带保护回采和准备巷道，即仅需考虑选择巷道相对于回采工作的合理布置及支护方式，所选择的支架结构和参数应能承受预期的矿压显现。因此，确立无煤柱回采巷道的可靠支护和确定支架及所需参数，以及各种工艺系统的适用范围业已成为可能将中厚及厚煤层矿井转向无煤柱开采，以及从根本上改善薄煤层无煤柱开采指标等方面的主要问题。

早在 30 年代莫斯科近郊、基泽尔和库兹涅茨煤田各矿井便有了不留煤柱、砌筑充填带开采煤层的局部经验。例如，库兹巴斯“基洛夫”矿早在 1937 年便用这种工艺开采马依耶洛夫煤层。该煤层厚 1.7~1.9 m，倾角 $6\sim 8^\circ$ ，仰斜条带式开采，条带间不留煤柱。

进行第一条带的回采准备工作时，在采区边界开掘通风斜巷。随着回采工作面的推进，在邻接煤体的边界处留下运输斜巷，用间距 0.8 m 的木棚支护，背严顶板，用两排密柱和木垛与冒落矸石隔开。运输斜巷宽 2 m。

用此法保护第一条带运输斜巷，此后在回采第二条带时作为回风斜巷。第二条带的运输斜巷同样在靠近煤体的边界处形成，其维护方法与第一条带相同。这样不需预掘准备巷道，便能形成走向长 300 m，阶段倾斜高度为 150~250 m 的采区。

该无煤柱开采工艺适用于良好的采矿地质条件——采深浅(60~100 m),顶板易冒落,坚硬底板。巷道在其整个服务期间一直处于良好状态,无维护费用。1947年库兹巴斯列宁矿区各矿的15个回采工作面采用了长壁法俯斜条带回采煤炭,煤层厚1.2~3 m,倾角6~10°,围岩稳定性与硬度不一。

开采厚度大于1.7 m的煤层时,运输斜巷沿采空区边缘留巷不破围岩,木棚支护,用排柱和木垛隔离冒矸维护。

1952年克麦罗沃矿区“南方”矿,回采倾角25~50°的克麦罗夫和沃尔柯夫煤层,采用不留区段煤柱和采全高方法回采煤炭(见图3 a)。

每一回采区段都掘有中间平巷做为上工作面的运输机道,并作为下工作面的备用出口。采区内的各区段同时开采。区段间超前15~20 m。在这范围内的中间平巷用木垛与上工作面冒落矸石隔开,用两排托棚加固支架。

中间平巷都敷设运输机轨道,以运输上段工作面的煤炭并作为下工作面运送支护材料,回采工作面利用中间平巷的进风实现掺新串联通风。

这一分段开采方法适用于沃尔柯夫6~7 m倾斜分层(图3 b)。每一倾斜分层厚3~3.5 m,分层开采——不留区段煤柱。第一分层开采后间隔2~3年采第二分层。在此期间灌过粘土浆的冒落岩石胶结再生成为稳定岩体。因此,开采下分层时不留中间煤皮。

“南方”矿实行不留区段煤柱开采不仅大幅度减少煤损,也极大地消除了煤炭自燃引起火灾的危险。在开采上部近距离克麦罗夫煤层时不留区段煤柱,使得开采层间距为2~7 m的沃尔柯夫煤层进展顺利。此外,阶段内工作面的同时开采可强化集中生产,用炮采、木支柱支护的工作面,产量达400~500 t/d。“沃尔柯夫”矿开采厚3.5~4.2 m,倾角8~12°煤层时也采用了类

似的准备和回采工艺。

库兹巴斯的奥辛尼柯夫矿区在 Б.В.柯瓦里丘克和 Н.П.巴仁领导下在“宏兴”矿做了大量的系统工作，提供了无煤柱开采和砌充填带复用巷道的可能性和参数。

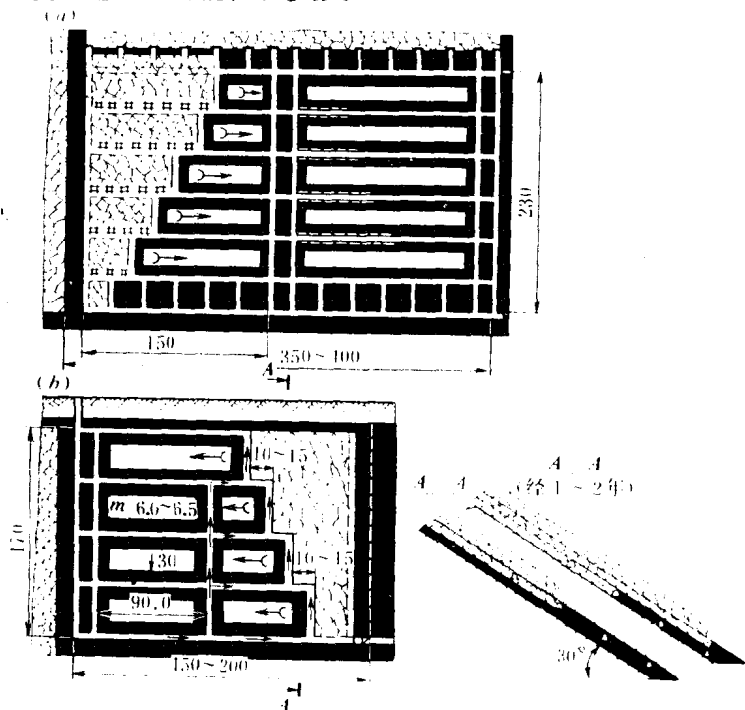


图3 “南方”矿不留区段煤柱采区布置

a——克麦罗夫倾斜煤层； b——分层回采沃尔柯夫倾斜煤层

该矿先前用 7~10 m 的煤柱保护平巷，但留煤柱仍不能保护巷道。因当时巷道在整个服务期间内支架受到增高矿压的影响，故需反复翻修。

留煤柱要在巷旁开掘辅助独头巷道（联络眼、顺槽、小眼）。开采有煤尘和瓦斯爆炸危险的煤层不宜有独头掘进面。此