金属矿或类似金属矿地下开采的地表稳定性（一）

——普通房柱法或小采区房柱法

法国巴黎高等矿业学校采矿教授
岩石力学研究中心主任 E. Tincelin

目　录

1．地表稳定性的概念：有限稳定性与暂时稳定性
1.1 在稳定的保护矿柱范围内部分回采引起的覆岩移动
1.2 地表和覆岩永久的与非限定的稳定性并不总是研究部分回采的目的
2．普通房柱法、稳定矿柱和均匀下沉矿柱的尺寸及其中心距的计算
2.1 岩石破坏的准则
2.2 稳定矿柱和均匀下沉矿柱的计算
3．普通房柱法回采的保护矿柱及其布置原则
4．普通房柱法采区的监视和特殊预防措施
4.1 保护矿柱的监视
4.2 下沉矿柱采区的监视
5．普通房柱法使用范围
6．一般尺寸的和缩小尺寸的小采区房柱法
6.1 两种小采区房柱法的定义
6.2 缩小尺寸的小采区房柱法的应用
7．祖德雷维尔铁矿的缩小尺寸的小采区房柱法试验
7.1 覆岩力学性质
7.2 小采区及矿柱尺寸的选择
7.3 矿石力学性质、试验的原因及结果
8．缩小尺寸的小采区宽度的确定
8.1 研究的问题
8.2 直接顶板稳定性的研究，拱高的确定
9．缩小尺寸的小采区之间矿柱宽度的确定
9.1 矿柱中应力分析
9.2 矿柱中变形测量
9.3 在围压作用下，矿石破坏后的力学特性
9.4 计算矿柱的原则及计算顺序
9.5 小采区稳定性的控制
10．普通房柱法采区自然冒落
10.1 自然冒落现象的解释
10.2 几点看法
结论—小采区房柱法和普通房柱法的应用条件比较
附录：房柱法开采稳定性的近似计算

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

这项研究工作主要根据洛林铁矿区的试验。此外还考虑到在下述矿山进行的计算与测量工作。

如拉尔让蒂安尔（Largentière）铅锌矿，卢盖特（Rouquette）铝土矿，阿库塔（Akouta）铀矿，苏蒙特（Soumont）铁矿，石膏、水泥原料、氯化钠等几个地下开采的矿山。

这些矿山采用普通房柱法，所开采的矿床几乎全是缓倾斜矿床（倾斜角低于15°），矿层厚度为3～6米，埋藏深度一般不超过300米。

只有苏蒙特矿山（卡尔瓦多斯Calvados）采用普通房柱法开采，至今已经七十年了，矿层厚度6米，倾角为30°，现阶段覆盖层厚为50～500米。

因此，对本文得出的结论不加以验证就用于煤矿或深部开采的矿山的作法是轻率的。

1．地表稳定性的概念：有限稳定性和暂时稳定性

研究地表稳定性主要在于：

1）保护矿柱，以便防止地表下沉引起地面建筑的破坏；

2）防止覆岩中存在或流动的水侵入井下；

3）避免对地下工程施加禁止的和无法控制的荷载。这种荷载是由于有时采用使覆岩移动的采矿方法而产生的。

目前，无论是对地表，还是覆岩，我们都不能确切地指出其允许移动量（容许变形）。对于地面建筑物，许多作者曾多次指出了破坏程度与建筑物的长度和地表的相对变形的关系，英国煤炭局三十多年前在煤矿中得出的数据如图1所示。

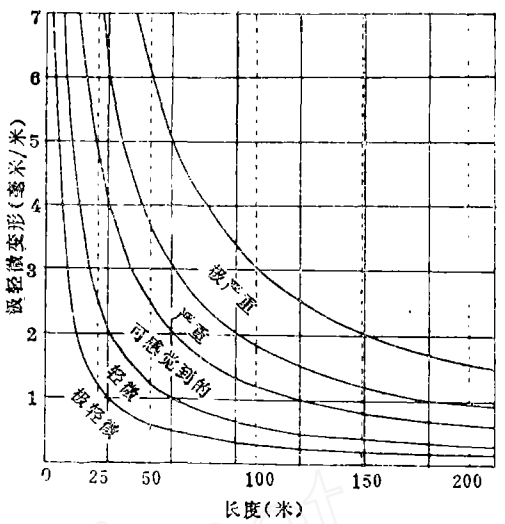


图1　建筑物破坏程度与其长度及地表相对横向变形之间的关系

值得注意的是对建筑物构成主要危险的变形不是因地表下沉产生的垂直变形，而是由先膨胀后收缩的横向变形。图1中的纵座标表示相对的横向变形。

当然，这些图表还要加以改进，使之符合新的需要，因为城市规划的技术数据和市民的心理反应也随之变化了。然而，当时这些数据是有价值的，而现在需要强调的是在危险判据中有两点没有明确的反映出来。

1.1 在稳定的保护矿柱范围内进行部分回采引起的覆岩移动

当矿床一开始回采起时，除非大面积的未开采矿床外，地表总会有一些反应。在实践中，人们仅满足于回采率和保持允许变形的保护矿柱的几何形状（对住房、涌水、或开采过程中巷道的应力）。

为了验证地表变形，只需计算部分回采后的永久矿柱的弹性变形（垂直变形）。这些变形反映地表岩石下沉程度。

设一种矿石具有如下性质：

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

弹性模量 $E = 5000 \cdot 10^6$ 帕

泊松比 $\nu = 0.2$

矿层厚度为 7 米，埋深为 200 米。如果覆岩比重是25000牛顿/米^3，那么，回采层顶板上的垂直应力为：

$$\sigma_Z = 5 \cdot 10^6 \text{帕}$$

稳定性的计算表明：矿床回采率 50 % 时，将计算出由于掘进切割矿柱的巷道引起的地表下沉量。

切割矿柱之前，因覆岩而引起的岩层下沉为（三向受压）：

$$6.3\text{毫米} = 7 \cdot \frac{\sigma_z}{E}\left(1 - \frac{2\nu^2}{1-\nu}\right)$$

切割矿柱之后，面积回采率 $\tau = 50\%$ 岩层下沉为（单向受压，矿房中不能阻止矿柱膨胀）：

$$14.0\text{毫米} = 7 \cdot \frac{\sigma_z}{E} \times \frac{1}{1-\tau}$$

因此，在矿柱切割之后，地表岩层下沉量：

$$14.0 - 6.3 = 7.7\text{毫米}$$

随着矿柱的延缓下沉以及顶板和底板被挤压已经下沉了 8 毫米的地段还会继续下沉。因此，在一个时期，稳定的矿柱还很容易能使地表下沉1～2厘米，甚至更多些。

这种幅度的下沉对多数建筑物是没有危险的。相反，要保持大型发动机组的轴线或一组焦炉的轴线平直，就会发生问题。

可见即使在保护矿柱中局部的回采，也要把开采过程中地表变形情况记录下来。

稳定性概念包括如下两个方面：

a．地表岩石相对变形低于规定的界限。这种界限是根据要保护的建筑物和设备的性质确定的。

b．在开采过程中，这种变形以一定的速度演变（如：0.05毫米/天）。在采完之后，变形逐步减小直至停止。矿柱下沉速度及其上部地面沉降速度保持不变，则予示了保护矿柱潜在的不稳定。

变形速度随时间而加快（加速变形）往往表明冒落即将发生（如果没有其它原因，如附近有采掘作业）。这方面的情况将在第 4 章中论述。

1.2 地表和覆岩的永久和非限定稳定性并不总是研究部分回采的目的

在大多数情况下，地表和覆岩的稳定仅仅是个暂时目的。

例如，要求矿柱在必要时期内保持其结构不变。然后，由于采区结束地面上没有需要保护的建筑物，矿柱是否稳定无关紧要。同样，水浸入井下对人和设备及采矿工人都是很大的障碍。在这种情况下，还可以再建立一个临时稳定结构（指在开采期间），然后，容许出现不稳定性，以至于发展成冒落，把涌水引入用房柱法回采的扁豆形矿体的采空区中。值得注意的是：在一些金属矿山中，由于顶板岩石很硬，含水量太大，不能冒落顶板。因而限制采用房柱法（部分回采）。因此，人们力图留可均匀下沉的矿柱（即有屈服变形的矿柱一译者注，下同）。当然，在一定范围内，有限稳定的矿柱回采率比暂时稳定的矿柱，明显降低。

2．普通房柱法稳定矿柱和均匀下沉矿柱的尺寸及其中心距的计算

2.1 岩石破坏的准则

不管采用什么样的计算方法来计算不再回收的矿柱，都必须选择和确定矿柱，顶、底板及其组成岩石的破坏准则。

如果采用比较全面的计算方法（例如，用有限元法计算每个点的应力），就应该绘制矿层，直接顶板及底板中每种岩石的强度

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

特性曲线。在摩尔圆中这些强度特性曲线往往类似抛物线。它与表示单向抗压强度的摩尔圆相切。

如果计算矿柱平均应力的一般公式满足要求，那么，就应该把平均应力与极限抗压强度对比。

假设，σ_m 表示矿柱中平均压应力，τ 为回采率，H为覆盖层厚度。

应该是：$\sigma_m < R$

$$\sigma_m = \rho g H \frac{1}{1-\tau}$$

式中：R—极限抗压强度；

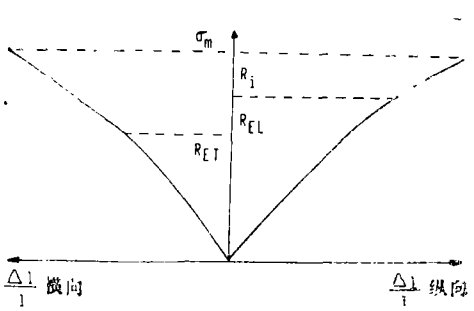
ρ—覆盖层岩石的比重；

g—重力加速度。

关于R，采用瞬时抗压强度 R_C 是不会有问题的。

当 $R_E < \sigma_m < R_C$ 时（见附录），大部分岩石都产生一种延缓变形，变形结束时致使岩石破坏。

R_E 取材料最低的平均弹性极限，由岩石纵向变形和横向变形的实验中得出的。经常由应力—横向应变曲线的分析中得出（见图2）。



R_{EL}——由纵向变形得出的弹性极限；

R_{ET}——由横向变形得出的弹性极限；

$\frac{\Delta l}{l}$纵向——纵向应变；

$\frac{\Delta l}{l}$横向——横向应变

图2

通过对房柱法大量的采空区分析和测定永久矿柱的实际断面（这些矿柱经过较长一段时间后倒塌），才能近似计算导致矿柱破坏的应力。

在洛林铁矿区，我们用粗略的方法（当然倒塌矿柱的实际断面积误差较大）得出某些情况下矿柱破坏的应力，当：

$$\sigma_m > R_E - K\varepsilon_E$$

式中：ε_E—R_E的标准偏差；

K—系数，洛林铁矿为1。

另外，我们得出苏蒙特铁矿K=0.7，卢盖特铝矿K=0.8。在还没有掌握更多的情况下，对其它岩石的计算除了岩盐之外都选用K=1。

当$R_E - \varepsilon_E < \sigma_m < R_E$时，

我们观察到，有些采区要经过很长时间才会冒落，而且总是在该采区采完之后。

目前，大多数采区仍然保持完好，其中有些采区已安置了测量矿柱下沉的仪器。在每个安置测量仪器的采区中，记录了很长时间内矿柱下沉的恒定速度（见图3）。其中有三个采区安置了顶板下沉仪，测试表明在冒落前数天，下沉速度的指数有所上升。

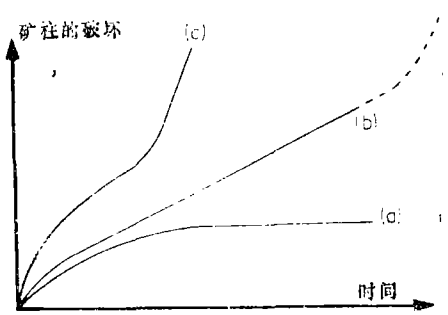


图3 单向受压矿柱的破坏曲线

曲线（a）—稳定矿柱；曲线（b）—无立刻破坏危险的矿柱，但发展下去有破坏的危险，如虚线段；曲线（c）—可能很快破坏的矿柱

根据上述的讨论，关于破坏准则，可以得到如下概念：

——稳定的矿柱：如果采用单向压缩的

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

破坏准则，当$\sigma_m < R_E - K\varepsilon_E$且K = 1时，矿柱就是非限定稳定。

它的强度特性曲线是抛物线，它有一个以$R_E - \varepsilon_E$为直径的密切圆。这条近似的特性曲线仅仅在原点的附近有效。

——可均匀下沉矿柱由R_E定义的破坏准则来确定矿柱的断面时，这种矿柱必然是下沉矿柱（有屈服变形的矿柱）。

这些破坏标准是平均的弹性极限减去K倍标准偏差或者是平均弹性极限，因此稳定性计算，特别是用有限元法计算是在弹性范围内有效的。我们将研究矿柱几何形状以便能够消除顶板以外处的塑性区和破裂区。在巷道顶板中可以对松动的冒落拱进行支护。

Tijani 先生已经对稳定矿柱和均匀下沉矿柱的基本概念作了更为科学性的介绍（见附录）。

2.2 稳定矿柱和均匀下沉矿柱的计算

在实践中，我们采用简单公式进行计算，它考虑了回采层中不同岩层的力学性质及顶、底板的性质。还必须用有限元法计算应力分布。这种做法对矿柱四周巷道的稳定性及规定支护的数量提供资料。为了解决这些问题，这是唯一的有效方法，可以得出包括矿柱细长比的结果。

然而，简单计算已经提供了所研究的近似答案并能迅速调整和改正计算过程中的计算结果，以便注意直到现在还被忽视的某些因素。

以某矿山为例，开采层厚度为6米，最大埋藏深度为200米。

矿石平均瞬时单向抗压强度

$R_C = 37.0 \cdot 10^6$帕

矿石平均单向抗压弹性强度

$R_E = 16.5 \cdot 10^6$帕

R_E的标准偏差$\varepsilon_E = 5.5 \cdot 10^6$帕

覆岩比重$\rho g = 2.5 \cdot 10^4$牛顿/米^3

为了获得有限稳定性，容许回采率：

$$\tau_{稳定} \leqslant 1 - \frac{\rho g H}{R_E - \varepsilon_E} \quad 及 \rho g H = 5 \cdot 10^6 帕$$

$$\tau_{稳定} \leqslant 55\%$$

为了获得暂时稳定性（下沉矿柱），容许回采率：

$$\tau_{下沉} \leqslant 1 - \frac{\rho g H}{R_E} \quad 及 \rho g H = 5 \cdot 10^6 帕$$

$$\tau_{下沉} \leqslant 70\%$$

但是不能不加思考的直接应用上面数字计算的结果（这些结果与有限元计算稍有不同，见附录），还应该考虑以下影响因素。

2.2.1 影响因素：采矿工艺上的限制。

生产实践中掘进矿柱周围的巷道时，经常是改变巷道的有效宽度并倒圆矿柱角。

超宽经常达到规定宽度的5%。由于矿柱角处清理量大，最初超宽增大，容许巷道实际超宽平均为10%。这个数值在每种情况下都应该是准确的。

例如：

b = 巷道宽度（图4）

a = 正方形矿柱边长

$$\tau = \frac{(a+b)^2 - a^2}{(a+b)^2} = \frac{b(b+2a)}{(a+b)^2}$$

·如果我们不考虑超宽，假设宽度b = 6米，事先估计的回采率$\tau = 55\%$，则正方

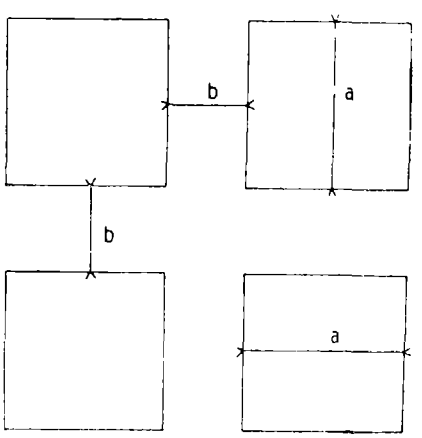


图4

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

形矿柱的边长 a = 12.2米

·如果考虑到0.60米的超宽（6米的10%），回采率低于或等于55%，那么所设计的矿柱边长：

a = 13.5米，或14米

因此，矿柱的中心距为：

14 + b = 20米

众所周知，矿工尽最大努力也只能掘进6.5米或6.6米宽的巷道，并且仍会破坏矿柱角。当 b = 6米，a = 12米时，回采率为55%。而 b = 6米，a = 14米时，回采率 τ = 51%。

由于偶然的情况和采矿工艺上的限制(超宽清理作业)，回采率可达55%。

采用同样的方法计算下沉矿柱的回采率。当 b = 6米，a = 9米时，回采率不是70%。而是低于或等于64%

2.2.2 影响因素：邻近采区回采施加的超荷载

保护矿柱外部邻接区一般都是塌落区。

我们知道：塌落区边界应力明显大于覆岩自重应力。因此，应该在房柱法回采区域周围预留一些边界矿柱来抵制增高的应力。

尽可能切割边界矿柱是绝对必要的（见图5）。

目前根据经验公式确定矿柱宽度 l

$$l = 12\sqrt[3]{h}\left[1+\left(\frac{\rho gH}{RE}\right)^{2/3}\right]$$

式中：h—矿柱高度。

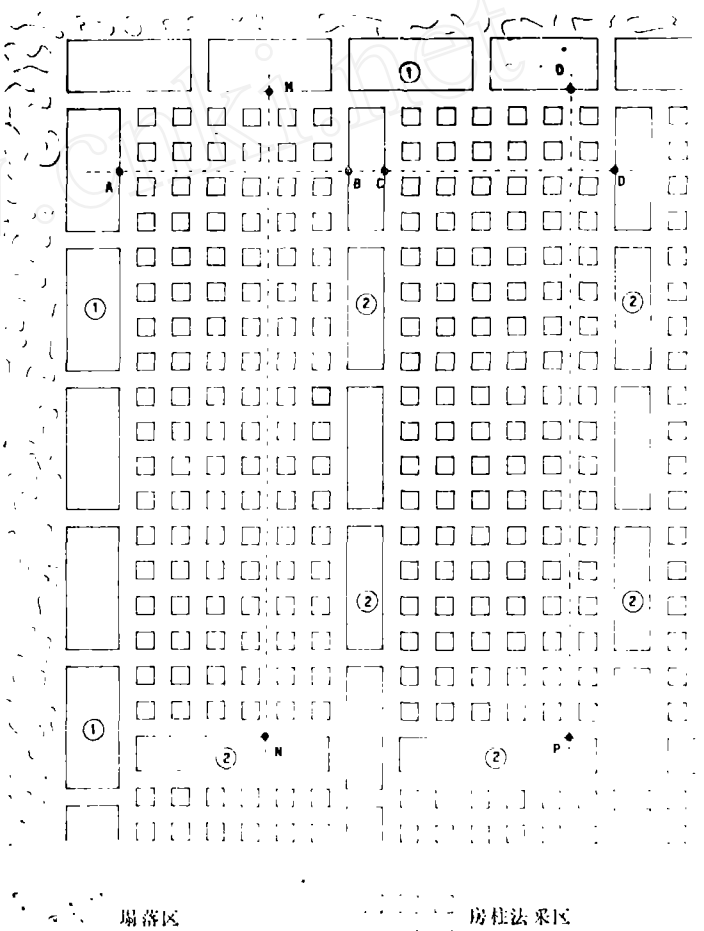
$\frac{\rho gH}{R_E}$—自然应力与单向抗压强度（按弹性极限确定的）的比例。

该比值总是小于1。否则，永久矿柱结构就不可靠。

实际上，用房柱法开采的矿山中，该比值几乎总是小于0.5。表1为不同H值的计算结果。

计算 l 的公式，可以得到几乎与实践相符合的结果，并应该用近似理论更确切地解释。

用上面推荐的经验公式计算作为保护矿



①边柱宽度 = l
②间柱宽度 = 2/3 l
AB = CD = 0.7H，MN = OP = 2H

图 5

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

边 柱 宽 度 l 表 1

H（米）	pgH 帕	$R_E=5\cdot10^6$帕				$R_E=10\cdot10^6$帕				$R_E=20\cdot10^6$帕				$R_E=40\cdot10^6$帕				$R_E=60\cdot10^6$帕			
		h（米）				h（米）				h（米）				h（米）				h（米）			
		3	4	5	6	3	4	5	6	3	4	5	6	3	4	5	6	3	4	5	6
100	2.5	28	31	33	36	24	27	29	30	22	24	26	27	20	22	24	25	19	21	23	24
200	5.0					28	31	33	36	24	27	29	30	22	24	26	27	21	23	24	26
300	7.5									26	29	31	33	23	25	27	29	22	24	26	27
400	10.0									28	31	33	36	24	27	29	30	22	25	27	28
600	15.0													26	29	31	33	24	27	29	30

注：根据观测和计算列出表1，只有$R_E\geq2pgH$时，永久矿柱才能存在。因此在表1中将不满足不等式的部分划成斜线。

柱的边界矿柱。在下沉矿柱的采区中，采区矿柱宽度为 $^3/_4\,l$。

应该强调指出在边柱中尽量少掘进巷道，而且这些巷道只能垂直边柱纵向轴。任何情况下，边柱中掘进的巷道面积都不应超过边柱面积的20%。如果必须沿边柱纵向轴掘进一条巷道和垂直该轴掘进一些巷道，就必须加宽边柱，其值为纵向巷道宽度的三倍。另外，纵向巷道应尽可能窄而低。

2.2.3 影响因素：确定岩石力学性质的误差，自然冒落的危险

确定岩石力学性质的误差基本上是由于标准偏差引起的测量结果分散造成的。尽管抗压试件的采样很仔细，但是，由于岩石结构在某些局部地方突然变化可能在实验室测量中未能发现。因此，必须在保护矿柱中预防这种危险，或者至少要控制一些局部范围内的危险。

错误确定岩石力学性质使矿柱尺寸不合要求。将造成最大的危险就是冒落。而且，在某些情况下，甚至在开采期间，所有矿柱可能会同时冒落（见第十章）。这种自然冒落，后果严重。因此，不仅要求矿柱尺寸符合规格，而且还要限制房柱法的采区面积，以便避免自然冒落。

我们将房柱法开采的临界区域用采区矿柱划分成次临界区（采区矿柱与边界矿柱相对）。采区矿柱之间的横向距离即次临界区域小于H（例如宽为0.7H）。采区矿柱之间纵向距离，即区段长为2H（见图5）。有关临界区域的论述见第十章。

在小矿柱采区中，采场矿柱的宽度等于边界矿柱宽度 l 的2/3。

采场矿柱的目的是：

——把矿柱法开采的区域划分成独立采区，以便限制采区内可能发生的冒顶。

——减小作用在永久矿柱上的压力。我们知道当矿柱支撑足够大面积时，即超过临界面积（以H为半径的范围），矿柱承受全部的荷载。因而提高矿柱的安全系数。

——避免采场矿柱与永久矿柱处于容易发生自然冒落的采区面积下。当开采面积达到以H为半径的范围及矿柱的平均应力大于R_E时，就会发生自然冒落。

在保护矿柱范围中，用采场矿柱划分房柱法采区是必要的。在下沉矿柱的采区中，仅能沿一个方向布置采场矿柱，例如沿分段平巷的保护矿柱方向。

2.2.4 影响因素：自然裂隙

如果所有或几乎所有的自然裂隙都是垂直的和水平的（大多数情况是缓倾斜的沉积矿层），可以忽略裂隙的影响。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

但是，当沉积层是倾斜时，或岩石地质构造应力是多变时，可以发现裂隙、节理及层理面等构成矿柱的弱面。

假设有一个裂隙面，它的法线与垂直线成α角，矿柱的平均垂直应力σ_v可分解成滑动面上法向应力和切向应力。

图6中的AB线裂隙面。

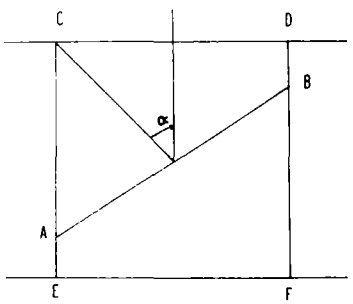


图6

如果ABCD部分能沿AB和CD滑动，矿柱就断裂。同样，如果ABFE同时沿AB和EF滑动，那么，这个矿柱就能整个毁坏。

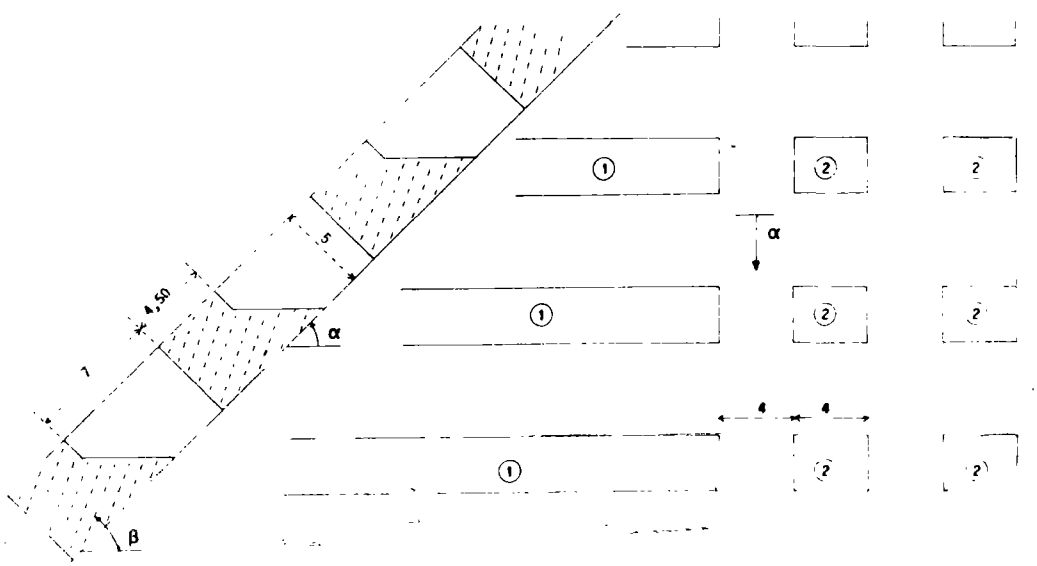
在压缩破坏没有使矿柱毁坏之前，应该检测是否达到滑动。条件假如达到了，就必须根据情况，寻求解决的办法。解决的方法很多，如：

a．有时，可以改变矿柱的形状或方向。使用倾斜角较大的平行的长矿柱（见图8）代替接触顶板的永久矿柱（见图7虚线断面）。在这些条件下，节理或裂隙，如AB再也不能截断（或很少截断）矿柱的侧面。实际上滑动被制止了。但是，这种方法并不总是可行的。

b．有时存在几组裂隙，在这些裂隙上有滑动。这时矿柱不可能有合适的几何形状。

因此，在开采期间，必须考虑在矿柱侧壁有相当密集的杆柱支护，随后充填它，阻止滑动可能产生。另外，这种辅助方法是比较经济的。还可采用小采区房柱法，该法能自然冒落充填（见第5章）。

上面介绍的为了保护地面建筑物而进行的保护矿柱的计算，如果再考虑到所研究的



垂直断面　　垂直平面顶视投影

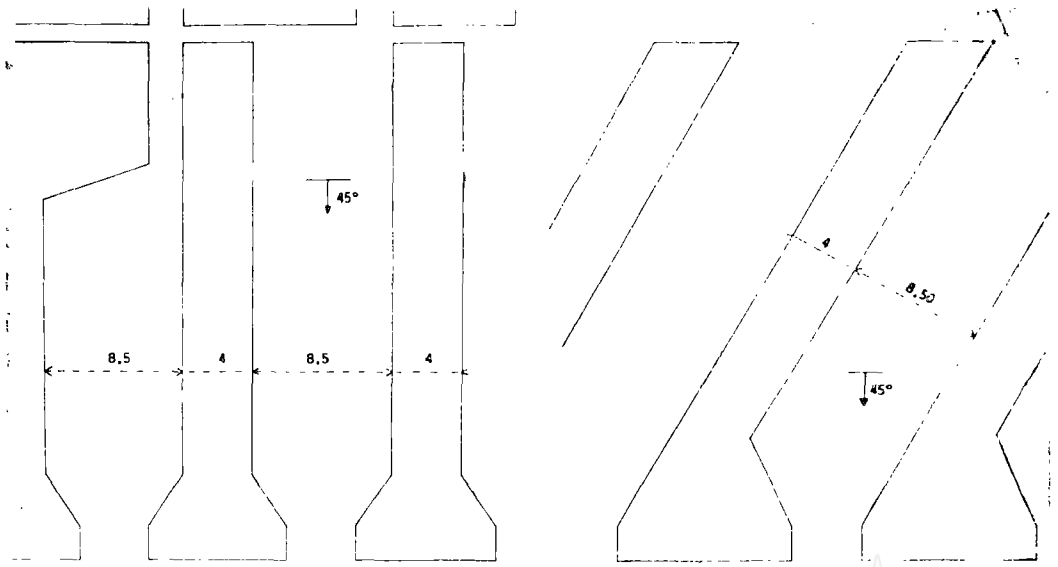
垂直断面上自然裂隙的方向

①尚未开采的纵向矿柱

②已采完的纵向矿柱——永久矿柱顶视平面总回采率=70%

图7

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



垂直平面顶视投影
纵向倾斜永久矿柱回采率＝70%
阿利马克开采法宽面掘进＋刮板运输
垂直平面顶视投影
工作面倾斜角为30°的纵向永久矿柱回采率＝70%
采用凿岩机掘进＋刮板运输

图 8

影响因素，必须导致较低的回采率。

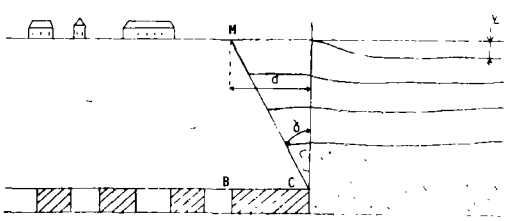
在以上研究的情况下，稳定矿柱的回采率可达45%左右，而均匀下沉矿柱可达60%左右。

现采用均匀下沉矿柱，获得的回采率较高，但是容易发生冒落。所以，在所有不必担心冒落及其后果（塌落、涌水及地面下沉和破坏）的矿山以及那些不能使用崩落采矿法的矿山，例如由于直接顶板坚硬，可以考虑采用均匀下沉矿柱。

将在第4章介绍，今后冒落是能够预知的，在开采阶段尽管有预测，但是如果发生冒落。我们可以采取一些预防措施，使人员和设备避免遭受冒落（甚至自然冒落）的危害。

3．普通房柱法回采的保护矿柱及其布置原则

布置原则取决于影响角γ（塌落角）（见图9）。该角确定地面上的M点，在M点之外，岩层下沉和岩石水平变形对建筑物均没有危险。



V＝地表下沉值

图 9

塌落角γ随覆盖层的性质、厚度和倾角而变化。

——在洛林铁矿，最大倾角50°，其覆岩厚度：

当H＝135米时　　γ＝10°

当H＝230米时　　γ＝20°

——在铝土矿，沿着平行于倾角大的方向的回采边界（覆盖层中含有大量的泥灰

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

岩），其覆岩厚度：

当H＝300米时　　γ＝30°

当H＝100米时　　γ＝10°

——在硬岩覆盖层的金属矿山，γ值往往很小，甚至有时为负值。

在煤矿及其它覆盖层粘结力不大的矿山（如：砂，塑性粘土），γ＝45°。

为了使用确保稳定性的专门方法确定采区界线，必须在从井下到地面的分层图上标出：

·地面保护区的界线（至M点处）；

·围绕着长度为d的区域适当扩大这个界线：

$$d = H\mathrm{tg}\gamma$$

在该区域之内的地下工程包括：

——在边界处，沿保护矿柱四周（边界矿柱之外是崩落区）布置宽度l＝BC的边界矿柱；

——从B点开始，布置一些能保证覆岩稳定性的专门的构筑物，此处指不回收的矿柱。

本章中所有塌落角γ的数值仅仅是对缓倾斜矿体而言（倾角低于150°）。

4．普通房柱法采区的监视和特殊预防措施

4.1　保护矿柱的监视

我们研究了有限稳定性的矿柱。根据破坏准则的计算，可以确定矿柱的尺寸。

以后，这些矿柱就能免遭由边柱传递的外部危害以及在计算采区矿柱时没有包括的偶然性的危害。

通过在数个矿柱附近测定其下沉值，希望对其计算及其决定进行验证。同时，还可以测定矿柱的水平膨胀情况。

由于矿柱的结构引起的下沉及膨胀都是受切割邻近矿柱的影响。换言之，在整个开采期间，人们观察到矿柱下沉及膨胀都是由于切割矿柱所造成的。

如果矿柱是稳定的，一旦回采阶段结束，就可以看到，下沉是随时间而逐渐减弱，直至最后达渐近值（见图3，曲线a）。

同样，我们还可以检查存在多年的保护矿柱的稳定性。如果数个矿柱的下沉在较长时间内（至少六个月）没有进展，就能确保该保护矿柱的稳定性。

相反，如果矿柱的下沉或膨胀随时间而增加，那么，所处的状态就如图3的曲线之－c、b。因此，保护矿柱不稳定，这就是均匀下沉矿柱的情况。

在正常情况下，由于保护矿柱范围内永久的矿柱能完全保证稳定性，人们可以进行前进式回采，或后退式回采。然而，矿柱交会处稳定性是人员安全的唯一问题。在这方面，关于交会处的服务年限（人员来往），后退式回采比前进式回采服务年限短。

4.2　均匀下沉矿柱采区的监视

在均匀下沉矿柱采区中，必须采用后退式回采法。如人们所知，矿柱以等速下沉将持续很久（图3曲线b）。

另外，应该在矿柱切割面后边测定下沉随时间（至少在开采期间）变化的情况。

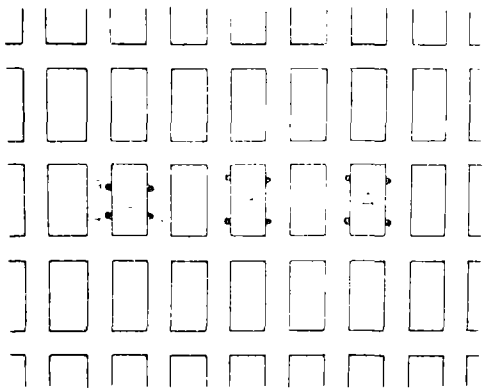
其实，在正常情况下采完之后，在下沉矿柱采区，至今所记录的下沉量已被明显超过。另外，经常容易出误差，这就是为什么我们要预防在后退式回采中可能发生的冒落，以便及时疏散人员和设备使之免遭危害。

我们得出：

——在均匀下降矿柱采区，矿柱下沉，而又达到冒落时下沉变化曲线图（见图10），值得注意是在回采最后阶段，矿柱下沉速度保持恒定，即0.4微米/天。

——两个均匀下沉矿柱的采区中矿柱下沉变化曲线图及达到冒落（见图11、12）。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net



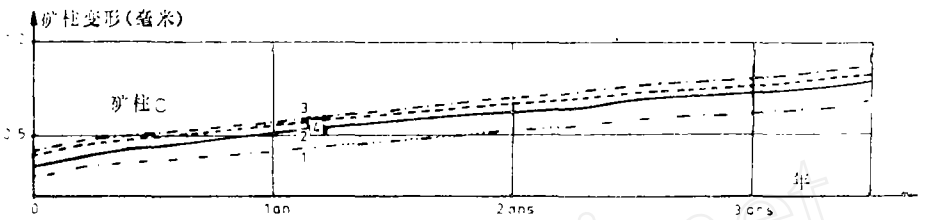


图10　Saizerais矿区没有冒顶危险的结构实例

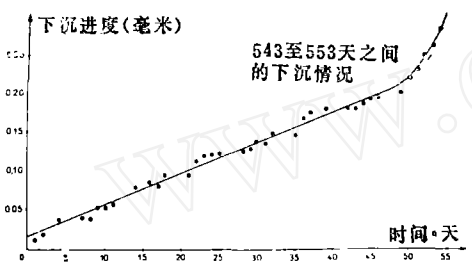


图11　Rochanvillers矿山下沉曲线图

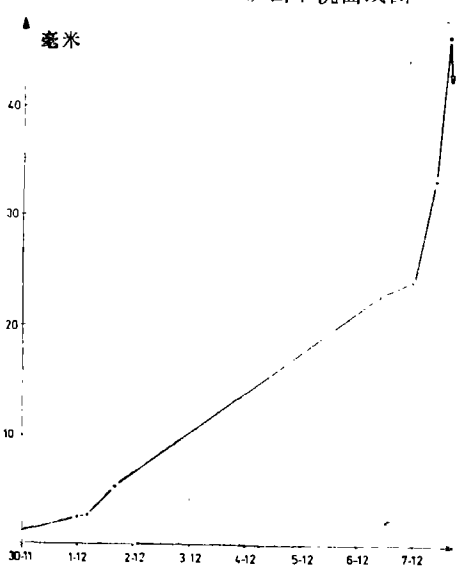


图12　1977年12月
Ferdinand—Quatier 26-27矿区下沉曲线图

所有这些曲线图都是在Samifer处的检测结果。

值得提醒的是：由于在Samifer安置了Syaleb（冒落警报器）检测器。所以，这些检测工作从此可以连续远距离的作业（见“Syaleb及其如何检测矿山冒顶？”一文，“采矿工业”杂志，1981，№9，669页）。

可以说，借助于Syaleb检测器，人们可以提前两、三天预测即将在永久矿柱的采区中发生的冒落。提前知道，采区顶板下沉，在较长时间内，矿柱下沉是等速的，为4.2微米/秒（见图11）。

冒落前数小时，下沉速度明显上升。例如，在另一矿山（图12），1977年12月发生的冒顶，七天前就预告了。下沉速度保持了24小时多的稳定，恒定值为206微米/小时，即近5毫米/天。最后加速阶段从早晨4点30分开始，到13点47分结束。所有的人员都已接到通知并已疏散数天了。

译自法国《industrie minerale les techniquest》，1982，№2，79～89

申　萍 译　辛洪波 校

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net