金属矿或类似金属矿地下开采的地表稳定性(二)

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

5. 普通房柱法使用范围

上述说明最终稳定的结构要求矿柱和矿房有适宜的尺寸，这些尺寸取决于许多因素，这些因素之间相互影响，使得回采率显著地降低。

此外，存在着另外一些影响矿柱稳定性的因素。这些因素是由于岩石的类型不同而形成的。这里还没有考虑到岩石的变质现象和老化现象。

当我们很清楚了解在空气或水中发生变质的岩石时，就应该避免在此处留矿柱。

然而我们对岩石老化现象了解的很少，这种岩石突然被施加一个应力场。这种应力场与长年作用的应力场是不一样的。

这种岩石的力学性质（单轴抗压强度和弹性模量）随时间而减弱。

在图表13中，我们给出了单轴抗压强度的变化，这种强度值是由横向穿过矿柱的大直径钻孔中取样测定的。取样地点是在六〇年前掘进的边界矿柱内的一个矿柱，其高度为7米，断面 $8 \times 8\ m^2$。

由图可见，在矿柱中心具有一个比边缘高的强度。

在矿柱横向钻孔中取出的四十五个试样中，我们得到：

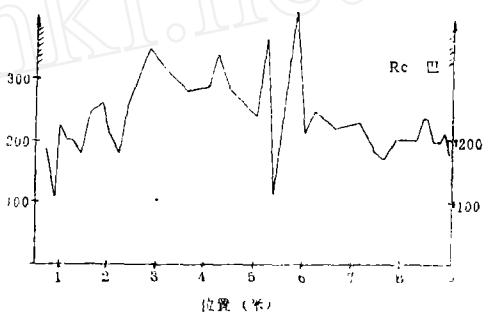


图13 横向穿过矿柱的钻孔ppl

在整个矿柱上的平均抗压强度 $R_c = 24.3 \times 10^6$ 帕；标准偏差 $= 6.2 \times 10^6$ 帕。

在矿柱面1上：

从0～2 m的平均抗压强度，$R_c = 20.9 \times 10^6$ 帕，试验次数 $= 12$，标准偏差 $= 2.3 \times 10^6$ 帕。

在矿柱面2上：

从0～2 m的平均抗压强度，$R_c = 20.6 \times 10^6$ 帕，试验次数 $= 12$，标准偏差 $= 4.3 \times 10^6$ 帕。

在矿柱的中间部位上：

从2～6 m的平均抗压强度 $R_c = 27.8 \times 10^6$ 帕，试验次数 $= 21$，标准偏差 $= 5.8 \times 10^6$ 帕。

在矿柱的边缘处除了 R_C 降低外，还出现 $\frac{R_E}{R_C}$ 比值的不正常的降低。这表明弹性极限

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

R_E值也同样受到老化影响，这一点是很重要的。

鉴于我们知识水平，我们还不能够说老化现象可应用到所有的岩石上，以上举出的仅是洛林铁矿的例子。

上述所有的影响因素，毫无疑问还应加上岩石老化因素，有时还要考虑岩石变质因素，这些因素将对普通房柱法的保安矿柱长期间的稳定性产生影响。所有这些因素也同样地作用在留下的均匀下沉矿柱上。但是作用的结果不一样。实际上，只是在有限的时间内，研究矿柱的稳定性，即仅考虑在开采中的人身安全问题。

相反地，在矿柱尺寸不合理的情况下，稳定矿柱或下沉矿柱都有同样的危险：自然陷落。

当论述顶板岩层的性质和有裂隙岩石性质之后，在第十章中，我们再讨论这个重要的问题。

值得注意的，还有一些新露出的，没有变质（它的裂隙方向规整）的硬岩，并处在不大的应力场的作用下（深度不大），可以考虑使用普通房柱法。遗憾的是这种特殊情况是相当少的。

从所有这些应用范围中得出结论，每当可能的情况下，我们将尽量利用所有手段来研究开采方法。这种方法能够在保安矿柱的支撑范围内避免使用其他矿柱。除了特殊情况外，我们也不提倡留下沉矿柱。

例如：可以限制矿柱的可能变形，甚至由于充填料，还能加强矿柱的稳定性。但是这种充填增加开采的费用，对于开采那些价值不高的矿石，在经济上是不能允许的。人们可以完全不用留矿柱。例如：当适合于小采区房柱法情况下，可以采用这种采矿方法。主要是通过直接顶板在规定的高度上冒落方法完成矿房的开采。

在这些冒落的采区之间，留下一些坚固的矿带，它们构成保安矿柱，并且由冒落的岩石充填而加固这些矿柱。

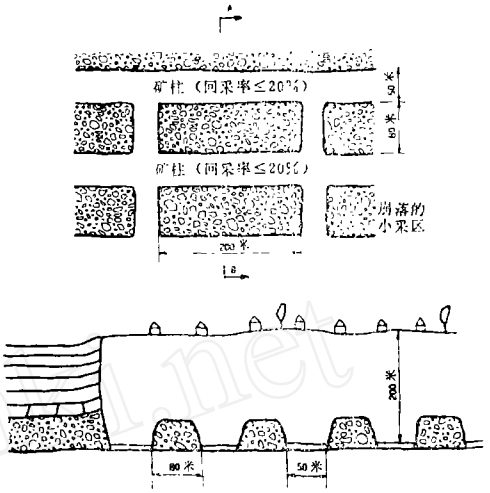


图14　普通小采区法的矿柱
A—B横断面

七十五年来，洛林铁矿一直使用这种技术。各种金属矿山也在很长时间从来一直使用这种技术。实际上，在金属矿山很长时间以来，对于透镜矿体全面开采，没有引起地表的任何变化，反而限制了井下工程的压力。

在下一章里，我们将会看到几乎在所有各种岩石的开采中都使用这种方法，甚至是在那些禁用普通房柱法的软岩石开采中也用这种方法。唯一的限制是回采区（和崩落区）的直接顶板必需能够冒落。我们不能只考虑分隔小采区（崩落的小采区）的矿柱稳定性问题，而且必须有冒落区存在，因为冒落对稳定性来说，是必不可少的先决条件。

我们将看到，新改进的小采区采矿方法，对安全、工作环境和劳动生产率都带来了许多益处。

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

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

在洛林铁矿、特别是在岩石强度不大的矿山，或者由于泥灰岩存在可能随着时间引起开采困难的矿山，七十多年以来，就想用一般尺寸的小采区房柱法（图14）代替普通的房柱法。

这种一般尺寸的小采区房柱法主要是用极限宽度为L的岩层的冒落的方式进行回采。在已采区和冒落的小采区的上部，形成冒落拱。如果对宽度L估算的很准确，冒落拱的顶部不会接近地表。

在回采的矿层之间，留下一些坚固的矿带，这些矿带中仅有几条联络巷道，回采的矿量很少。这些坚固的矿带，应该有一个足够的宽度λ，以承受整个覆盖岩层的重量。

问题是在于确定L和λ。过去在洛林铁矿，通过分析多年来（五十多年来）采空的小采区没有引起地表的任何下沉情况，得出经验公式来确定L和λ。

其数据是：$L \leqslant 0.4H$

$$\lambda \geqslant 0.2H + 12$$

在洛林铁矿覆盖层厚度H为120米和230米之间的情况下，证实了这些经验公式是可行的。

如果能够全部采出冒落的小采区内的矿石，它的回采率是：

$$\tau = \frac{L}{L + \lambda} \approx \frac{0.4H}{0.6H + 12}$$

这个公式是不完善的，因为它没有考虑到有关的岩石力学性质，而且随开采深度增加，回采率略有提高。

当H = 100米时，τ = 55%

当H = 230米时，τ = 61%

对于这种结果的解释可能是由于矿柱强度增加的缘故。矿柱的强度增加比其宽度增加快，实际上在总结经验公式时，有关覆盖层高度变化方面的数据不足，而产生误差。

直到现在，按照经验公式确定的尺寸的保安矿柱还没有出现塌陷或不能承载的迹象。此外这个规则还限制了在矿柱中掘进的巷道的暴露面积（20%）。地表下沉一直是很小的，并与宽度为λ的矿柱下沉是一致的，这种矿柱将小采区分开。该种方法回采率比普通房柱法的回采率要高。

但是，这种一般尺寸的小采区房柱法，对地表稳定性和回采率来说可能带来一些严重的缺点。

a）当L = 0.4H时，冒落拱的高度还是一个未知数。但是经常引起不透水层破坏。而这个岩层可以有效地防止井下涌水。

在洛林铁矿，防水岩层是含云母泥灰岩（图15）。所以，在井下工程中，由于涌水，花费大量排水费用(大量的电能消耗)，也给工人和设备的使用增添了许多不利条件。

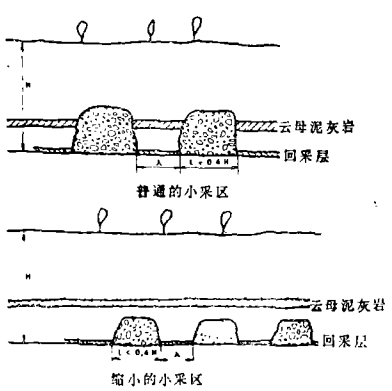


图15　一般尺寸的小采区房柱法
缩小尺寸的小采区房柱法

b）当宽度L = 0.4H时，对于回采宽度为L的普通的房柱法来说也是相当大的，从而带来类似于大尺寸（宽度大于L）回采工作面上出现的困难。尤其是岩石压力大的情

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

况，困难更大。

为了避免这两个缺点（井下涌水和地压大），我们提出修改一般尺寸的小采区房柱法，即减小L和λ的数值。从而使得冒落拱的高度减少。

这样，我们希望不再破坏云母泥灰岩，即不破坏防水层。而且由于已采区移动岩层高度减小，使得在回采区中采矿工程承受的压力降低。这种宽度L和λ减小的普通小采区房柱法称为缩小尺寸的小采区房柱法。为了完善缩小尺寸的小采区房柱法，我们同时使用两种技术：

a）在几个矿山的井下进行不同阶段的大量测定（地表下沉，间隔小采区的矿柱的变形和冒落拱的高度）。因为相邻近小采区开采之后，不能够接近矿柱，因此，经常要求远距离测量。

b）研究一种计算方法，这种计算方法可以预计随着矿房宽度L变化的冒落拱高度，以及随着L变化的矿柱的宽度λ。

对照现场的观测和预测结果，可以较快地完善这种新技术。

在本文中，我们叙述了在祖德雷维尔矿所获取的结果。同时，还注意到巴泽伊(Bazailles)矿和塞鲁维伊（Serrouville）矿的缩小尺寸小采区房柱法取得的满意结果。

6.2.缩小尺寸的小采区房柱法的应用

由于缩小尺寸的小采区房柱法避免井下涌水，并且显著降低了安全矿柱以外采矿工程的地压，因此在开采很软的岩石时，这种方法能够有效的使采矿工程承受如普通房柱法产生的应力。

图16表示普通房柱法的构成要素及回采原则，其回采率一般为85%左右，甚至达到90%。但是在一些开采困难的矿山，由于作用在矿体上的恒定荷载和周期荷载而损失大量的矿石，其回采率仅达到50%或60%，此外回采不安全，费用高。如果使用缩小尺寸的小采区房柱法尽管回采率同样是60%，但是生产安全，费用低。因此，所谓的一般尺寸的小采区房柱法，不仅仅是用在安全矿柱的回采，而且在普通房柱法不适用的情况下，可以代替普通房柱法。

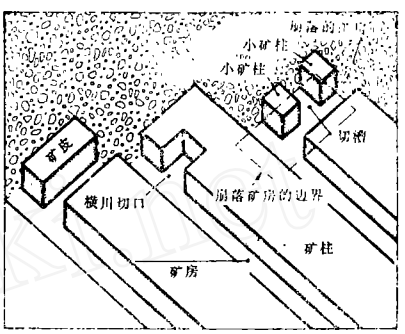


图16　普通房柱法

7．祖德雷维尔铁矿的缩小尺寸的小采区房柱法试验

7.1．覆盖岩层的力学性质

祖德雷维尔矿开采L_4层铁，又称为黑色矿层（含矽质铁矿石的矿层），矿层厚度为3.4米，埋藏深度为200米至230米之间。

覆盖岩层以黑色岩层底板算起，其深度为220.5米，它包括：

a）铁矿层，其上层位于183米，厚度为37.5米，由泥灰岩和含铁层交替组成。最厚的铁矿层为5米厚的灰色矿层，它的底板位于被开采的黑色矿层底板之上12米处。铁矿层处于阿阿林代岩层之中。

b）10米厚的云母泥灰岩层，其底板位于183米处，它也是阿阿林代岩层的一部分。

c）在云母泥灰岩层上部，首先是下巴柔阶石灰岩层，接着是上巴柔阶石灰岩层，然后，再往上是巴通阶（中侏罗世）岩层。这些厚的含有自然裂隙的岩层由硬的和相当

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

硬的岩石组成的。最靠近云母泥灰岩层的石灰岩层，尽管是硬的和很坚硬的，但是其内含有喀斯特水。

本研究目的之一是通过试验确定缩小尺寸的小采区的尺寸，这些小采区的冒落拱高度不能达到183米的深度，即不能达到云母泥灰岩层（防水层）。

7.2. 小采区及矿柱尺寸的选择

祖德雷维尔铁矿的小采区宽度按下列经验公式计算：

$$L = 0.4H = 0.4 \times 200 = 88\text{米}$$

这些小采区原来的上部高度是50或60米，为了不达到云母泥灰岩层，应该保持低于其一半的高度，即25米或30米，我们认为需要限制宽度L以便达到稍低最大宽度 $L = 0.4H$ 的一半。对于缩小尺寸的小采区宽度采用L = 30米。这时小采区回采率达60%左右，相当于一般尺寸的小采区的回采率。因此有：

$\frac{38}{38+\lambda} = 60\%$，即$\lambda \cong 26$米。

图17是祖德雷维尔铁矿缩小尺寸的小采区房柱法。

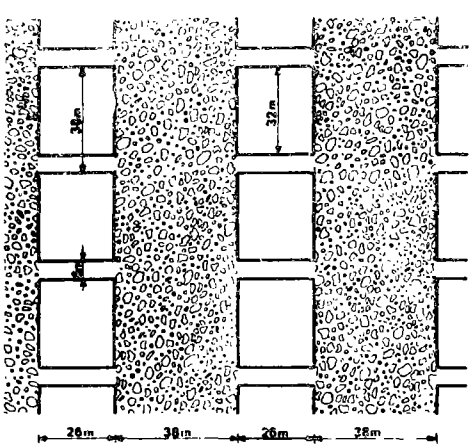


图17 缩小尺寸的小采区房柱法每个矿柱回收率16%

矿柱总回收率60%。

小采区回收率$\frac{38}{38+26} \approx 60\%$。

矿柱宽度$\lambda = 26$米，由于回采工作与通风的要求，在矿柱中横向掘进几条巷道。考虑到这些巷道对矿柱的回收率最大为16%。由1977年开始缩小尺寸的小采区房柱法试验至今仍在进行着。

7.3. 矿石力学性质，试验的原因及结果

巴黎高等矿业学校岩石力学研究中心对该矿的铁矿石作了单向抗压试验，试件的高宽比为2。其结果如表2。

表2

试件	平均抗压强度 R_C 10^6帕	标准偏差 10^6帕	弹性极限 R_E 10^6帕
N°1	10.6	1.2	4.8
N°2	11.0	1.9	6.2
N°3	14.8	6.6	6.6
N°4	12.4	5.7	5.6
总平均值	12.4		5.8

这些数据表明该矿的铁矿石很软，而洛林矿区铁矿石的平均抗压强度

$R_C = 22 \times 10^6$帕，在220米深度的自重应力$\sigma_Z = 5.5 \times 10^6$帕，几乎等于该矿层的弹性极限。这些数据说明不能采用普通房柱法。实际上，在2.2.2节的表1中已经表明了不等式$R_E \geqslant 2pgH$和说明普通房柱法是不能令人满意的。

由于相同原因，崩落顶板的普通房柱法也是不适用的，至少是很困难的。只有在$R_E \geqslant 2pgH$条件下，才能采用崩落顶板的普通房柱法。

总之，在祖德雷维尔铁矿，不论普通房柱法，还是崩落顶板的普通房柱法的试验，都以失败而告终。因此我们建议使用缩小尺寸的小采区房柱法。在祖德雷维尔铁矿，经过4年多试验，已经完全取得成功。主要表现是：

——井下采场和巷道的涌水消失了。这

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

表明小采区的宽度L＝38米时，它的冒落拱高度没有达到云母泥灰岩层。顶板随着小矿柱的崩落而冒落。

——地压显著降低，开采容易，工作安全。

——总回采率达到63%左右。

——矿工的劳动生产率由60吨/人-班，提高到130吨/人-班以上。

在回采区的地表面积将达到30万平方米情况下，没有发现任何地表下沉的现象。

8．缩小尺寸的小采区宽度的确定

在祖德雷维尔铁矿，巴泽依铁矿和塞鲁维伊铁矿的试验得出满意的结果。但是小采区和矿柱的宽度的确定是凭经验，可否摆脱经验，在每种情况下计算L和λ值呢？下面将叙述由测定L值出发，在这方面研究的情况。

8.1．研究的问题

提出的问题受到许多条件的限制：

1．在多数情况下，都要求确定冒落拱的高度，不能达到某一个覆盖岩层的高度。因为这个覆盖岩层对于所有的上覆含水岩层起着防水隔层的作用。

2．L值的大小必需足以引起冒落。

小采区的稳定性主要取决这种冒落。因为冒落的岩石将处于宽度为λ的矿柱的周围区，而矿柱周围的岩石受到强烈的扰动，可能不再是弹性的，甚至于处于破坏状态。但是只要这个区由于充分的冒落而被挤紧的话，它就起着很重要的支撑作用和对矿柱中心起着一种有效的箍紧作用。

3．必需尽可能减少宽度L值，以便使冒落拱高度达到最小，因此岩层的高度（或厚度）也达到最小。该岩层的重量作用在小采区内的采矿工程上。当回采的矿石（或某顶板）很软，甚至不能承受回采过程产生的压力时，这种限制条件是绝对必要的。

上述三种互相矛盾的限制条件，在某些情况下可以确定它们相差的距离，但是不能取得解决的办法。实际上，开采问题还没有解决，我们花费大部分时间研究和得出这三个限制条件中哪个条件更优先的结论。

通过分析研究回采层的直接顶板的力学性质解决了这个问题，问题在于给定的宽度L条件下，当开采矿层时，检查直接顶板是否破坏。因而要确定这些不同岩层破坏而达到的高度。考虑到岩石碎胀后，这种高度能否将冒落拱几乎充满，另外还要考虑这个高度是否在一个硬岩或厚岩层之内，而这个岩层的上面就是我们要保护的防水岩层。

8.2．直接顶板稳定性的研究，拱高的确定

8.2.1．计算原理和结果

为了研究直接顶板岩层的稳定性，我们假设小采区的上部岩层没有塌陷。有一个小采区，宽度为L，上部岩层B_1，B_2，B_3……B_n（图18）。已知每个岩层的力学性质和几何尺寸，特别是已知每个岩层厚度，弹性模量，泊松比，抗压强度和弹性极限等，我们试图计算这些岩层的稳定性。计算原理和详细过程见“锚杆支护原理和作用方式”一文，该文发表在1978年第二期《矿山工业杂志》采矿副刊锚杆支护专集中。

把这些计算用于祖德雷维尔铁矿的缩小尺寸的小采区房柱法，岩层B_1，B_2，B_3 B_4及B_5的几何尺寸和力学性能如表3。

我们再简要地回顾一下计算的原理，这种计算分别考虑受到水平推力N_1，N_2，N_3，及自重作用下复合弯曲岩层中每一个岩层，水平推力N_1，N_2，N_3是由于自重应力的水平分量产生的，它在岩体中起主导作用，尤其是小采区存在使水平分量增大。问题在于

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

表 3

岩　　层	厚度(米)	抗压强度 R_C(巴)	弹性极限 K_E(巴)	弹性模量 E(巴)	泊松比
B_1(泥灰岩)	1.0	10×10^6	5.5×10^6	$5,000\times10^6$	0.25
B_2(品位低的矽质矿石)	2.3	11×10^6	5.2×10^6	$8,000\times10^6$	0.2
B_3(泥灰岩)	2.0	10×10^6	5.5×10^6	$5,000\times10^6$	0.25
B_4(泥灰岩)	3.0	10×10^6	5.5×10^6	$5,000\times10^6$	0.25
B_5(灰色岩层)	5.0	25×10^6	12.0×10^6	$10,000\times10^6$	0.2

宽度为L的小采区的矿壁上方的互相嵌入的呈复合弯曲的岩层。使用内窥镜经常观察，发现B_1，B_2，B_3岩层彼此间各自独立弯曲，甚至于存在空隙，即所谓的岩层面之间的分离裂隙。

此外，在同样大的跨度（此外L＝38米）下，很可能存在着一些大致垂直切割每个岩层的自然裂隙。因此，这些岩层不能承受水平拉力。弯矩只产生压应力。剪应力使得被裂隙切割的岩体单元滑动。当使用这些计算的原理时，我们发现5米厚岩层B_5（灰色岩层）构成为冒落拱的顶部。

所有的下部岩层都受到比单向抗压强度R_C大得多的压应力，如果在这种情况下，冒落拱顶一定位于在回采的黑色岩层底板以上11.70米处，而冒落的岩石必然充满整个冒落拱。事实上8.3米厚的岩层（$B_1+B_2+B_3+B_4$）被破坏，因此自然冒落。这些岩层的实体比重为2.50左右，而松散比重为1.8，略高于爆破后岩石的比重1.6。实际上，在本身重量作用下，沿10米以上厚度的冒落，必然有一个下沉，在冒落拱中整个破坏岩层的高度近似为：

$$8.3\times\frac{2.5}{1.8}=11.5\text{米}$$

可见几乎完全充填了冒落拱。在祖德雷维尔铁矿使用这种方法，当L＝38米，λ＝26米时，其结果如下：

——当大矿柱的宽度λ＝26米，高度12米左右，则得到非常有利的高宽比：

$$\frac{12}{26}=0.46。$$

——冒落拱的顶部处于距回采层底板12米处。而防水的云母泥灰岩层位于37.5米高度，二者相差距离很大。

——当矿柱高宽比为0.46时，由于矿柱两侧冒落拱的冒落，几乎完全实现自动充填。

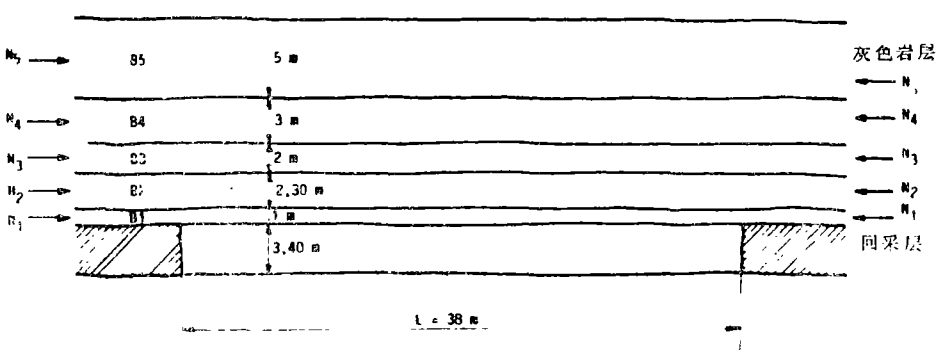


图18　祖德雷维尔铁矿小采区上部的岩层

在其他采用缩小尺寸的小采区的矿山中，以及在使用一般尺寸的小采区的德鲁瓦托蒙（Droitaumont）矿中的使用同样的计算方法。在德鲁瓦托蒙矿，根据计算得出冒落拱高度为50米左右，而通过打钻证明了在50米处确有一个岩层，它构成冒落拱的顶部，并且由于岩层的厚度及力学性质，使该岩层有足够的强度。德鲁瓦托蒙矿的覆盖岩层厚度为170米，相应的小采区宽度为60米。

值得注意的是必需了解紧靠着小采区矿

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

层上部的每个岩层的力学性质和厚度。为此，我们使用巴黎矿业学校岩石力学中心研制Saignofor装置，该种装置可以连续的测定钻孔经过的岩石的抗压强度。根据需要打钻孔，以便检查冒落拱的高度（见8.2.2）。

图19表明沿着整个钻孔的岩石抗压强度，该钻孔是在德鲁瓦托蒙矿山的小采区上部钻进的。钻孔在冒落拱中的标高为120米，测定出从120米标高到60米标高的岩石抗压强度。

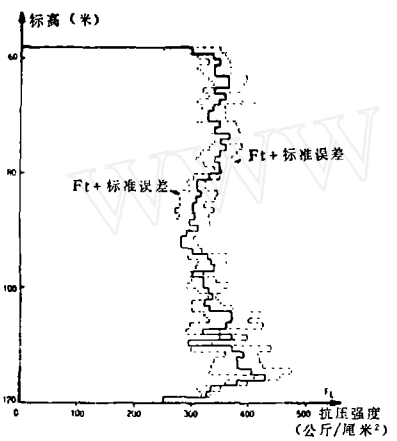


图19

8.2.2. 冒落拱高度的计算与测定结果的对比

为了证明推论，以及计算的有效性，我们在洛林铁矿的小采区上部打了两个钻孔。

1．在德鲁瓦托蒙矿打了第一个钻孔，该钻孔位于一般尺寸的小采区上部，按照经验公式计算小采区的宽度：

$L \leqslant 0.4H$，$H = 170$米。

按此计算，则小采区宽度为68米，由于其他原因采用60米的宽度，在20年前已经完成了这些小采区的回采工作。

2．在祖德雷维尔矿打了第二个钻孔，该钻孔位于缩小尺寸的小采区的上部，其宽度 $L = 38$米，$H = 220.5$米。该钻孔直径为30厘米，借助于密封的电子电视摄像机观察整个孔的情况，并把孔壁图象记录在磁带上。这些图像能够记录和表示出小于1毫米宽的裂隙。

由Samifer制成了这套观测装置，观测200米深的钻孔，只要几个小时就够了。可以清楚地看到冒落拱的顶部，以及冒落拱顶部与冒落岩石之间0.5至1米的空隙。观测的结果如下表：

	德鲁瓦托蒙矿	祖德雷维尔矿
H	170m	220.5m
L	60m	38.0m
h（从回采层底板算起的拱高）	47m	12.0m
h^1（剥落的最后空隙的高度	47m	20.0m
h/L	$\frac{47}{60}=0.78$	$\frac{12}{38}=0.32$
h^1/L	$\frac{47}{60}=0.78$	$\frac{20}{38}=0.53$

计算的结果与观测的数据相一致。

可以认为冒落拱顶部的稳定岩层随着时间而自然破坏失去稳定性，该稳定岩层是从上复岩层剥落下来的，毫无疑问，这是由于有关岩石老化的原因。实际上，在德鲁瓦托蒙矿，冒落拱已达20年之久，则h和h^1已经混淆一起了。而在祖德雷维尔矿的冒落拱顶部的剥落层面仅有一年的时间。

在计算中很容易考虑这个新的条件，实际上，拱顶是在一个较硬的特别是厚的岩层下面，有时上面是一些比较薄的岩层，由于厚岩层的惯性矩和抗压强度增大，这些薄岩层随着原岩层变形而变形。

这些较简便的计算得出的结果与观测是一致的，但是应该找出更精确的计算方法，这将是我们目前研究的课题之一。

（未完，待续）

译自法国《Industrie minérale les techniques》，1982，№2，90～97

王明利 译 辛洪波 校

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