

# 大爆破条件下岩质边坡稳定问题

王鸿渠 陈建平

(土木建筑工程系)

## 摘 要

本文第一部分论述了岩体中软弱结构面是影响爆破边坡稳定性的决定性因素,并提出了评价爆破边坡稳定性的方法。

第二部分论述了爆震裂缝的起因及影响因素,并认为爆震裂缝的产状与爆破作用方向有密切关系,最后提出了避免爆震裂缝对边坡稳定影响的途径。

## The Stability Problem of Rockslopes Under Blasting Conditions

Wang Hong-chu Chen Jian-Ping

### Abstract

The first part of this paper considers the soft structural surface of rock masses to be a determinative factor which influences the stability of slopes, and proposes the evaluation method for the stability of rockslopes under blasting conditions.

The second influence factors of blasting crack, and considers that the orientation of blasting crack is in relation to the direction of blasting operation, finally proposes the procedure to avoid the blasting crack influencing the stability of rock slopes.

## 一、前 言

在矿山、水利、铁路及公路等工程中,经常应用大爆破技术作为破碎或开挖岩石的一种手段。影响爆破效果,特别是影响爆破后岩质边坡稳定性的因素是很复杂的,岩体结构特征是最重要的内因,爆破作用力是最重要的外因,它比一般开挖方法的破坏力大得多。工程中若不考虑这些内外因素共同作用的影响,任意使用大爆破技术,那就会对开挖边坡带来失稳的不良作用,因此,加强爆破工程地质研究,确保爆破后边坡的稳定性是很重要的。近十年

来，我们在北京十余条新建的山区公路工程中，大量进行生产性爆破理论研究的同时，还着重研究了地质条件对爆破工程的影响和爆破作用对岩体破坏及边坡稳定的影响。从而根据不同的地质条件，提出相应的合理的爆破方法，充分利用有利的地质条件，避免和改造不利的地质条件，使数百个爆破工点都取得了较好的稳定的靠山边坡，保证了路基使用质量。

### 一、岩体结构特征对爆破边坡稳定性的影响

根据药包的球形爆炸作用原理，药包在无限介质内爆炸时，将在瞬间产生巨大的静压力和动压力，这种巨大的爆破作用力将使药包周围的介质产生各种不同程度的变形、破坏和振动现象，这些现象随着距离药包中心越远而逐渐消失。若使药包处于有限介质内，人为地创造或利用自然界一定的临空自由面条件，使介质产生变形、破坏和抛掷现象，并形成漏斗状的爆破坑，工程爆破就是利用这个原理而达到挖方的目的。爆破坑的形状、大小及边坡稳定性，不仅与药包量的大小、炸药性能，临空面的数量、临空面所处的地形边界条件等有关，而且还直接与介质的性质有关。对于岩石爆破来说，介质就是岩体。我们知道，自然条件下的岩体，并非单一的连续体，而是具有复杂的内在结构（即存在结构面切割现象）的不连续、不均一的地质体。因此，爆破作用力对岩体的变形和破坏规律，以及爆破漏斗的形状、大小和边坡稳定性等，不仅受岩石的物理力学性质影响，而更重要的是受岩体结构特征（主要是结构面）的控制。

我们曾对北京某公路250公里线段内路基边坡进行了调查，结果是在全部边坡不稳定的路段中，有70%以上是未经爆破而主要是由于岩体结构条件不良所引起的，在30%与大爆破有关的不稳定路段中，与岩体结构不良有关的又占 $\frac{2}{3}$ 以上。根据这一调查和多年对爆破边坡的观察分析认为，岩体结构特征既决定着岩体的物理力学属性，又直接控制着岩体的稳定性，而岩体中的软弱结构面是影响岩体稳定最主要的因素。

#### （一）结构面在爆破过程中的力学作用特征及结构面的分类

岩体中由于存在结构面，使爆破过程中岩体的变形，破坏机制与完整均一的介质不同。归纳起来，结构面在岩体爆破过程中具有如下力学作用特征：

1. 岩体内结构面的存在，控制着岩体的变形和破坏规律，降低了岩体强度。岩体内普遍存在着不同成因类型不同发育特征的结构面，其中有的结构面贯穿了整个爆破岩体，有的则穿插于爆破岩体之中。这些结构面就是岩体内已存在的破坏面，当岩体处于受力状态时，它们必然对岩体的变形和破坏机制起控制作用。即岩体受力后，且所受之力小于岩石的力学强度时，则岩体的变形主要表现为结构面的压缩变形或沿结构面的剪切变形，而岩体的破坏主要表现为沿贯穿结构面的剪切滑移，或沿未贯穿结构面尖端扩展性破裂。这样，就宏观岩体来说，结构面的存在降低了岩体的强度。

2. 岩体内结构面的存在，将影响或控制着爆破鼓包的发育形状和鼓包内能量的分配情况，削减了爆炸鼓包内气体的膨胀作用。药包在岩体内爆炸时，在瞬间产生高温高压的爆炸产物，给岩体以巨大的准静压力，并沿最小抵抗线方向膨胀形成不同形状的鼓包和气囊，促使岩体变形、破坏和抛掷。必须指出，这一作用在工程爆破中是主要的，因为常用的硝酸铵炸药和铵油炸药的膨胀作用所含的能量约占总爆能的80%以上，而爆炸冲击波所含的能量只

占总爆能的 20% 以下。岩体的抗膨胀作用能力不仅取决于岩石的力学强度，更重要的是取决于岩体内是否存在结构面、结构面的产状与爆破作用方向之间的关系，以及影响结构面本身力学性质的其它因素（如结构面的张开宽度、表面光滑程度、充填物性质及潮湿状态、胶结性质）等。因此，当药包在岩体内爆炸时，若岩体内存在结构面（尤其是当结构面的产状与爆破作用方向处于不利条件时），则爆破鼓包的膨胀压力，首先产生结构面的压缩变形，或沿结构面的剪切变形，使气腔内的高压迅速降低；同时由于岩体内结构面发育的差异性及结构面组合与临空面的关系，产生了爆破过程中沿结构面剪切变形的差异性，或由于岩体沿结构面被鼓包膨胀作用所撑开，或高压气体直接沿较大的结构面空隙冲出岩体，因而岩体中的结构面还严重地影响或控制着爆破鼓包的发育形状和鼓包内能量分配情况。

3. 岩体内结构面的存在影响着爆破冲击波的传播。药包在岩体内爆炸时，除产生鼓包膨胀作用外，还产生强烈的冲击波，引起岩体振动，并以波的形式向四周传播。当岩体内存在结构面时，由于结构面物质的刚度与岩块物质的刚度有明显的差别，使得冲击波在传播过程中遇到结构面时会产生波的吸收、折射和反射，结果使波能大量减少或完全被阻隔而不能继续向前传播。

在大理石的杆件试验中指出，在同样的条件下，不通过冲击波的临界间隔（毫米）主要取决于填充间隔中的材料性质，如下表

阻隔爆炸冲击波的临界间隔

充填材料名称	空 气	含水量 30% 的粘土	水	干砂
临界间隔（毫米）	>32	8	4	3

高速摄影指出，阻隔材料为空气时，能的传递不通过冲击波经过空气，而是借助于第一杆件的碎块对第二杆件端部的冲击。由上述可知，结构面的张开程度和充填物质，对于结构面的隔波作用有着密切关系。

综上所述，岩体中结构面的存在，降低了岩体强度，控制着岩体的变形和破坏规律，严重地影响或控制着爆破鼓包的发育形状和鼓包内能量的分配情况，促使气腔卸荷，造成冲击波被吸收、折射和反射，甚至起隔波作用。结构面在爆破过程中的这一系列作用，严重地影响到爆破破坏的扩展深度，控制着爆破漏斗的形状、大小及边坡稳定性，控制着爆破岩石碎块的形状和大小等。因此，岩体中的结构面直接影响着爆破设计参数（如单位耗药量  $K$  值）的确定、药包位值的布置和爆破方法的选择等。

岩体中结构面的成因及发育特征是各不相同的，它们对爆破作用的影响程度也各不相同。我们根据结构面对岩体爆破作用（主要是对爆破边坡稳定性）的影响程度，将结构面分为控制性结构面和非控制性结构面。

所谓控制性结构面，是指相对爆破地段的岩体来说，对岩体的强度、变形和破坏，鼓包的膨胀作用、冲击波的传播及边坡稳定性等都有重要影响或起控制作用的那些结构面。这些结构面的发育特征是：延展较长、有的张开且表面光滑平整或具有错动擦痕，有的充填泥质物质，有的具有软弱夹层。如张开的或经过错动的层理面，各种成因的软弱夹层（尤其是薄

层软弱夹层), 延展长、连续性好的构造裂隙或卸载裂隙, 具有断层泥或糜棱岩的断层, 不整合面, 岩浆岩与围岩之间的接触面等。从力学特征来说, 这些结构面是岩体内的软弱破坏面, 因此, 我们统称其为软弱结构面。它们常为爆破作用的边界, 常成为爆破漏斗的边坡面, 或滑坡、坍塌作用的滑动面。

所谓非控制性结构面, 是指相对爆破地段岩体来说, 对岩体强度、变形和破坏、鼓包的膨胀作用、冲击波的传播及边坡稳定性等有一定程度的影响, 但不能起控制作用的那些结构面。

这类结构面的发育特征是: 延展短、连续性差、张开不大或闭合。如风化裂隙、劈理、片理、局部发育的构造裂隙等。这些结构面的发育程度对爆破碎块的块度和形状, 单位耗药量 $K$ 值, 爆破效果等都有重要影响。

(二) 软弱结构面的产状与爆破作用方向之间的关系对爆破漏斗破坏范围的影响

在爆破工程中最经常遇到的软弱结构面是岩层层理和大型构造裂隙。结构面的走向与爆破作用方向(即最小抵抗线 $W$ 的方向)之间有着密切关系, 这种关系强烈地影响到爆破破坏作用的范围、破坏扩展方向和位置以及抛掷方向。由湖南向家溪公路 $15^b+474.1$ 至 $15^b+530.8$ 地段的平面图(如图1)中可以看出, 在整个药包布置区域内, 岩层走向一致, 但由于地形的变化, 使最小抵

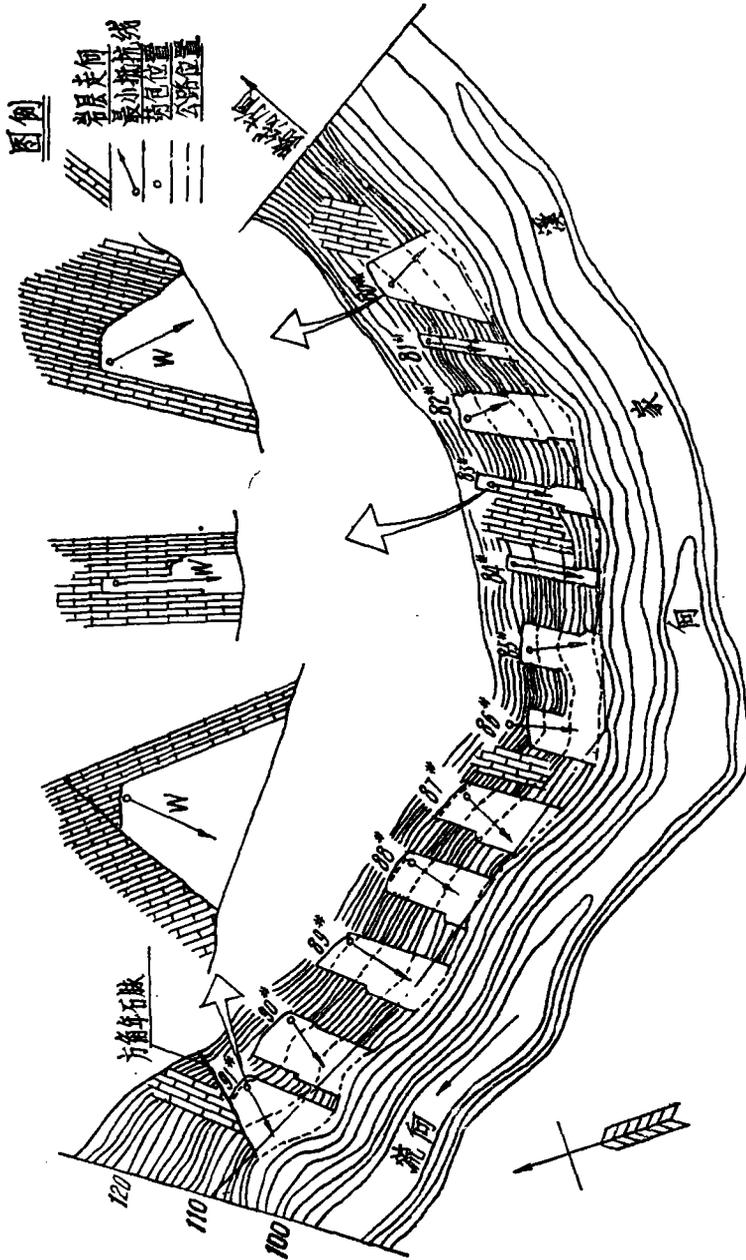


图1 湖南向家溪公路爆破平面图

抗线的方向由 91\* 向左方向作用, 逐渐经过 84\*、83\* 过渡到向右方向作用。91\* 至 87\* 五个药包的最小抵抗线都与药包左方的岩层走向相交, 使破坏作用向左方扩展, 从药包中心向左方扩大达 12 米, 超过一个  $W$  值。而在药包的右方甚至接近药包洞室的岩层仍然未破坏, 使爆破岩块完全沿层理面推出, 形成光滑的顺层边坡面。随着地形的变化, 当爆破作用方向与岩层走向平行时, 即出现十分典型的现象, 在药包左右两侧的岩层均未被破坏, 爆破岩块完全沿药包附近, 甚至由与药包接触的岩层层面推出, 形成药包附近破坏宽度仅 1 至 2 米, 口宽仅 2 至 4 米的窄槽, 如图 1 中 81\*、83\*、84\* 药包。85\*、82\* 和 80\* 等药包因地形的变化, 其最小抵抗线的作用方向恰好与 91\* 至 87\* 各药包的作用方向相反, 是在药包的右方与

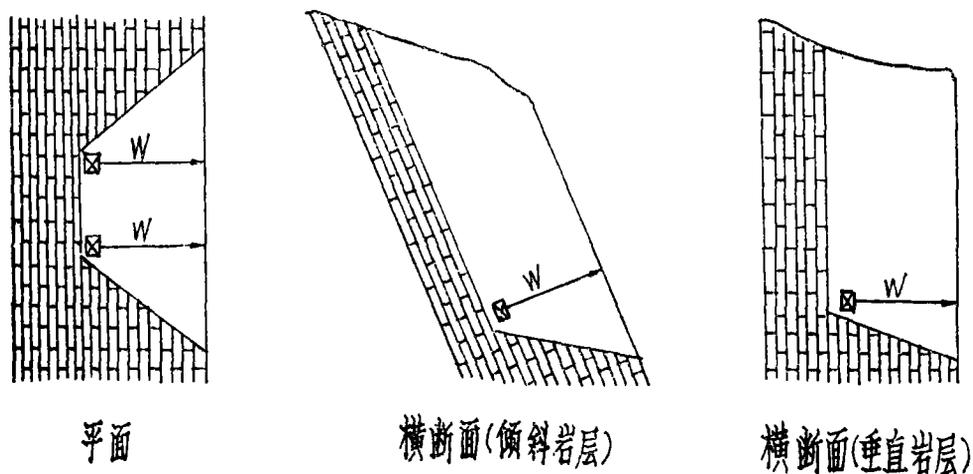


图 2

岩层走向相交, 其爆破结果也完全与前者相反, 爆破的扩展方向不是在药包的左方, 而是在药包的右方, 爆破岩块也完全沿与药包接触的层理推出。

由上述资料可知, 结构面走向与爆破作用方向有密切关系, 严格地控制着爆破岩体破坏的扩展方向和沿纵向发展的爆破漏斗的形状、大小, 以及爆破岩块的抛掷方向。一般有如下规律:

1. 当爆破作用方向与结构面的走向垂直时(如图 2), 爆能发挥作用最大, 药包外侧岩体被破坏切断, 药包内侧岩体破坏轻微, 爆破漏斗表现为顺层开挖, 爆破岩块的抛掷方向与最小抵抗线方向一致, 对定向无影响。

2. 当爆破作用方向与结构面的走向平行时(如图 3), 爆能发挥作用最小, 药包两侧岩体均不会受到破坏和切断, 仅有沿药室洞壁附近的岩体被推出, 形成极狭窄的纵向槽形爆破漏斗。爆破岩块的抛掷方向与最小抵抗线方向一致, 对定向无影响, 但岩块抛出较远。

3. 当爆破作用方向与结构面走向斜交时(如图 1 中 91\*、80\* 等药包)

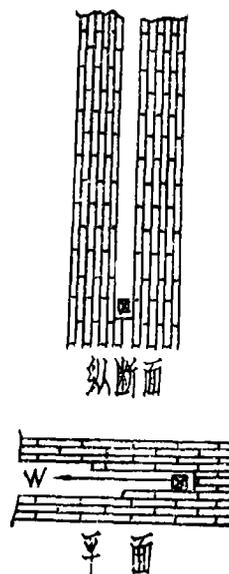


图 3

炮)，爆能发挥介于前两者之间，最小抵抗线与结构面走向在哪一侧相交，则该侧岩体即被破坏和切断，另一侧岩体未被破坏，且爆破岩块沿药包附近的结构面推出，抛掷方向与最小抵抗线方向不一致，对定向有影响。

### (三) 软弱结构面的产状与爆破边坡稳定性的关系

事实上，只有当炸破作用方向完全垂直软弱结构面时，爆能才能最充分地发挥作用，且爆破漏斗的形状是以爆破作用方向为轴而互相对称的。但是，由于地形的变化及路线走向和路基断面设计的要求，使得公路爆破的作用方向经常不是与岩体内软弱结构面完全垂直，而是随结构面的产状、路线的走向及地形等三者关系的相互变化而改变的。因此，爆破边坡的形状和稳定性不仅与软弱结构面的走向有关，也与其倾向及倾角有关。根据对大量大爆破边坡的调查，发现有如下规律：

1. 当结构面的产状水平或倾向内倾时（如图4），则爆破边坡的形状和稳定性主要取决于岩石的力学强度和结构面的密集程度。当岩石强度高且结构面不发育时，一般能形成稳定的陡边坡，甚至能形成倒坡或半山洞。

2. 当结构面的倾向外倾时，则爆破边坡的稳定性主要取决于结构面走向线与边坡面走向线间的交角（锐角）大小和相应结构面的倾角大小。

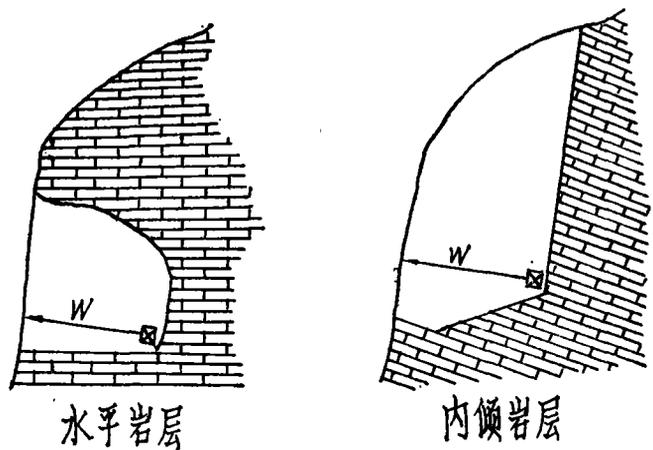


图 4

我们曾根据大量大炮、小炮、

人工开挖或自然条件下等所形成的边坡调查资料绘入图5中。由图5看出，一共176个不稳定边坡点都处于 $\beta_0$ 曲线和相应的软弱结构面所包围的范围内，在 $\beta_0$ 曲线之外开挖的边坡都是稳定的。经整理， $\beta_0$ 曲线是一条抛物线，其方程如下：

$$\beta_0 = \frac{\theta^2}{50} + \beta_0 \quad (1)$$

公式(1)中：

$\beta_0$ ——稳定边坡的临界倾角（度）；

$\theta$ ——软弱结构面的走向线与边坡面走向线间的交角（锐角）（度）；

$\beta_0$ ——最小临界倾角，一般为8至12度。

公式(1)说明了在外倾(或顺向)边坡中，结构面与边坡面间的交角 $\theta$ 值及相应结构面的倾角 $\beta$ 值共同决定着边坡的稳定性。当 $\theta$ 值接近于零度（即结构面与边坡面接近平行）时，稳定边坡的临界倾角 $\beta$ 值越小（即接近8至12度），因此边坡不易稳定；当 $\theta$ 值逐渐增大时， $\beta$ 值也相应增大，边坡越趋稳定；当 $\theta$ 值大于60度时，该结构面对边坡稳定无影响。

在生产中应用公式(1)时，需同时测定软弱结构面的实际倾角 $\beta$ 值和相应结构面与边坡

面间的交角  $\theta$  值，再根据公式(1)计算  $\beta_0$  值。

当  $\beta < \beta_0$  时，该软弱结构面对边坡稳定无影响，此时爆破边坡多数是稳定的。

当  $\beta \geq \beta_0$  时，则软弱结构面控制着边坡稳定性，多数情况下爆破边坡是不稳定的，只有当  $\beta$  值等于或大于设计边坡时，爆破岩体沿软弱结构面抛出，软弱结构面成为较稳定的开挖边坡面。

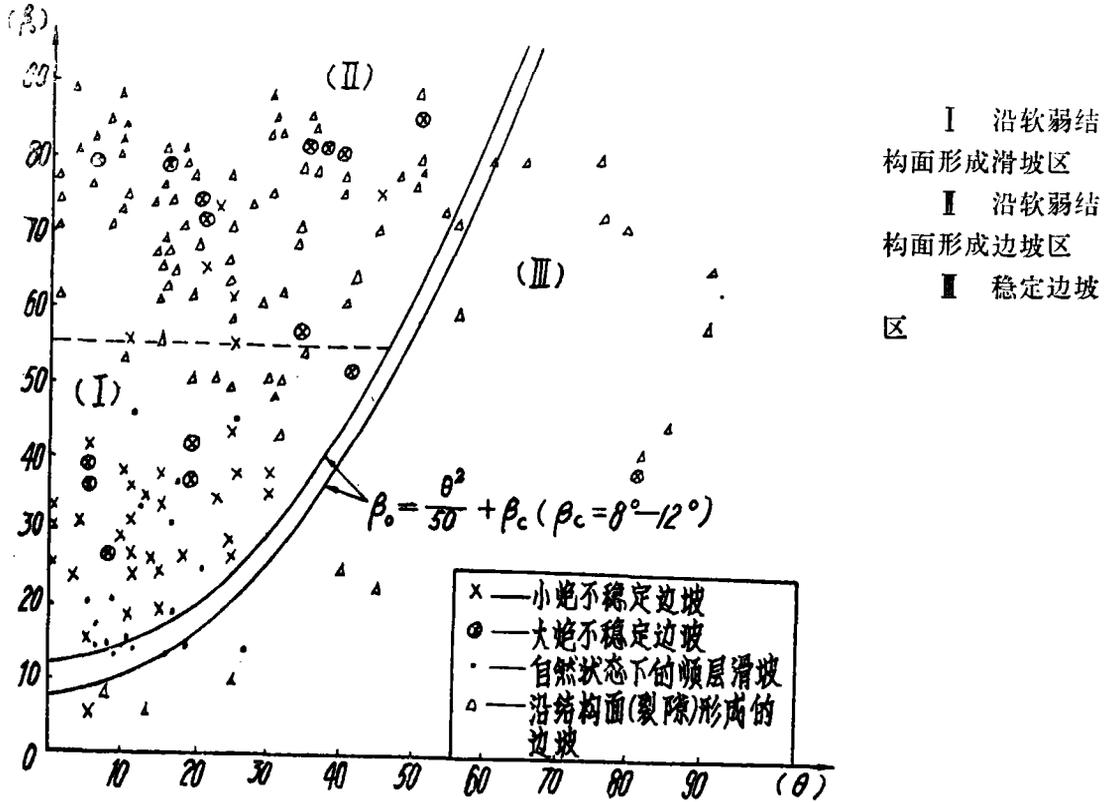


图 5

由此可知，岩体中只有  $\beta > \beta_0$  的软弱结构面才是影响和控制爆破边坡稳定性的关键因素，我们称这类结构面为最危险的软弱结构面。因此，爆破工程地质的头等重要的任务是要调查爆破工程地段是否存在这种最危险的软弱结构面，并评价其对爆破作用和爆破边坡稳定的具体影响。当设计路基边坡内存在这种最危险的软弱结构面时，一般不应采用中小型大爆破开挖法，且应考虑加固边坡稳定的措施或改变路线设计方案。

必须指出，上述临界倾角只反映一组结构面与边坡的相互作用，而没有反映多组结构面与边坡的相互作用。当岩体内出现两组或更多组结构面组合情况时，则各组结构面组合交线的产状与边坡面产状之间的关系，是影响边坡稳定的关键因素。

1. 当结构面组合交线的倾向与边坡面倾向成反向时（如图 6—a），则这些结构面及其组合对边坡稳定影响不大，爆破边坡基本稳定。

2. 当结构面组合交线的倾向与边坡面倾向成顺向时, 则会出现如下情况:

(1) 两组结构面的倾向都与边坡面倾向相同(如图 6—b), 则其边坡稳定性主要取决于与边坡面交角最小的那组结构面及两组结构面组合交线与边坡面的关系。具体评价时也用公式(1), 但  $\theta$  值取其中与边坡面交角最小的那组结构面的  $\theta$  值,  $\beta$  值取两组结构面组合交线的倾角值。

(2) 当两组结构面中只有一组结构面与边坡面同向, 而另一组结构面与边坡面反向时(如图 6—c), 则其边坡稳定性完全取决于两结构面组合交线的产状与边坡面的关系。具体评价时也用公式(1), 但  $\theta$  值取两结构面组合交线的垂线与边坡面走向线间的交角值, 而  $\beta$  值仍取该组合交线的倾角值。

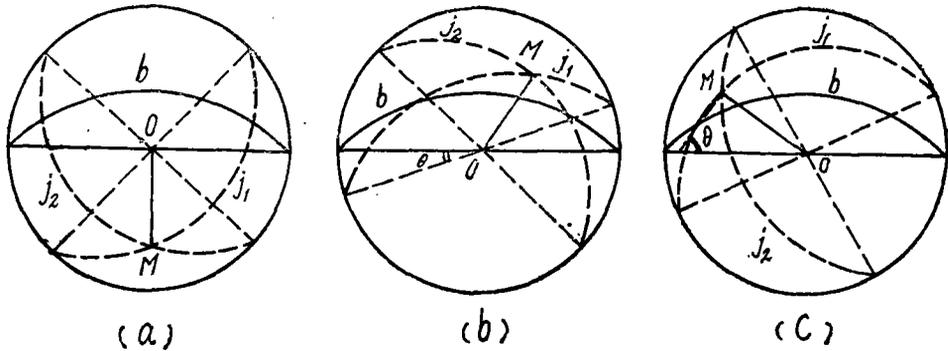


图 6

三组或多组结构面组合关系对边坡稳定影响的分析和评价与二组结构面组合关系的情况相似, 所不同的是组合交线增多了。三组结构面组合时有三条交线, 四组结构面组合时有四至六条交线, 更多组结构面组合时交线更多。无论组合交线有多少, 但各条交线对边坡稳定的影响各不相同, 我们在分析和评价时应选择最不利的交线作为依据。

前面着重强调软弱结构面的产状对爆破边坡稳定性的影响。事实上, 结构面的产状只是影响边坡稳定的重要因素, 而不是唯一因素, 其它凡影响结构面本身力学性质的诸因素, 如结构面的张开程度、光滑程度、胶结性质、充填物性质及其潮湿状态和结构面的延展性等, 都影响边坡的稳定性。

值得注意的是, 上述只是主要阐述了结构面与边坡面的产状关系对边坡稳定性的影响, 而没有说明结构面与边坡面所处的具体位值。这只能判别结构面对边坡是否产生稳定问题的可能性, 而不能最终确切地确认边坡究竟稳定否, 及可能坍塌体的分布范围。为解决这一问题, 我们在应用赤平极射投影图及公式(1)计算的基础上, 再利用爆破工点的大比例尺地形平面图和路线横断面图作底图, 将已判明的最危险的软弱结构面按同样比例尺画在底图的相应位值上, 这样, 该边坡的稳定程度及可能坍塌体的分布范围就可具体的确定了。

### 三、爆震裂缝与边坡稳定性的关系

在爆破过程中, 由于爆破鼓包及冲击波对岩体的伸张作用, 常在岩体中产生一些规模较大的张开裂隙, 此称为爆震裂缝。爆震裂缝实际上是岩体中的人工软弱结构面, 它的产状、

规模及距离爆破边坡的远近等，都与炮型、爆破药量的多少、爆能的集中程度、爆破作用方向以及岩体结构特征等有密切关系，搞清这些关系，对于避免和减轻爆震裂缝对边坡稳定性的影响是重要的。

### (一) 爆震裂缝与炸药量及岩体结构的关系

对大量爆破边坡的观察得出，除在结构面不发育，岩石强度又较好的、较完整的岩体中没有爆震裂缝外，而在结构面较密集、岩体较破碎或岩石力学强度较低的岩体中一般都会因爆破而产生伸张裂缝，特别是在采用药量较多的抛掷爆破时尤为严重，有的远至距边坡 7 至 8 米以上。由经验得出，地面的爆震裂缝半径存在以下关系：

$$R = K_{裂} \sqrt[3]{Q} \quad (2)$$

公式(2)中：

$R$ ——爆震裂缝半径(米)；

$Q$ ——药包重量(公斤)；

$K_{裂}$ ——与岩体结构有关的系数，一般变化范围在 2 至 4 之间，岩体越完整，力学强度越高时， $K_{裂}$  值越小。

据调查，结构面较密集、岩石力学强度较低的岩体，如页岩、片岩、凝灰岩、火山碎屑岩、薄层泥质灰岩、薄层板岩以及裂隙密集带、风化带、断层破碎带等岩体中，爆破后极易引起爆震裂缝，此时若刷坡清理不彻底，极易引起落石、堆坍等病害。若在这些岩体中炸药用量越大时，炸震裂缝越多，规模越大，边坡越不稳定。所以遇到这些岩体时，应尽量不采用药量较多的抛掷爆破，而只可采用药量较少或药量分布均匀的小炮、深孔炮、药壶炮、猫洞炮以及抛坍爆破等，以减少爆震裂缝的产生，确保边坡稳定。

### (二) 爆震裂缝与爆能集中程度的关系

抛掷爆破集中药包群的共同作用是造成爆震裂缝的主要原因之一。由抛掷药包和单个药包的对比试验及两个药包中点地面介质所获得的速度计算得出，在水平边界条件下，集中药包群抛起的爆花土柱高度比单个药包高 80%，在两药包中间介质的速度要比单个药包顶点介质速度大 29%，这证明集中药包群中间具有大量富余能量，相当于增加了  $\frac{1}{4}$  至  $\frac{1}{3}$  的药包量。但是，在一般“模断面——最小抵抗线折线图”药包布值法中，这一巨大的富余能量没有充分利用，所以对边坡岩体起到较大的破坏作用，这就是造成抛掷爆破不稳定边坡率高的原因。

### (三) 爆震裂缝的产状及其与路线的关系

1. 爆震裂缝的走向：药包在半无限体内爆炸时，除在临空面形成抛掷漏斗外，还沿漏斗边缘形成同心圆似的环形裂缝，而其圆心在水平边界条件下，以药包中心为圆心，在倾斜边界条件下则以最小抵抗线的出口点与地面交点为圆心，炸破漏斗水平投影如图 7。

设垂直于等高线的漏斗半径为  $r_{上下}$ ，平行于等高线的半径为  $r_{左右}$ ，其大小按以下公式计算：

$$r_{上下} = nw(1 + \sqrt{A\alpha_{上}}) \cos \alpha \quad (\text{米}) \quad (3)$$

$$r_{左右} = 2nw \quad (\text{米}) \quad (4)$$

公式(3)、(4)中：

$n$ ——爆破作用指数；

$w$ ——最小抵抗线长度（米）；

$A$ ——崩坍系数， $A=0.06\sim 0.12$ ；

$\alpha_{上}$ —— $W$ 与 $R_{上}$ 之间的坡度， $\alpha_{上}\geq 10\sim 15$ （度）；

$\alpha$ ——自然地面坡度（度）。

由公式(3)、(4)得出， $r_{左右}$ 与地形坡度无关， $r_{上下}$ 随自然地面坡度的增加而减少，并小于 $r_{左右}$ ，这就使爆震裂缝的分布近似地成为一个平行于等高线的椭圆。所以，沿路线布置药包易产生平行于等高线和路堑边坡的爆震裂缝。

根据调查，在平坦地形和倾斜地形采用抛掷爆破时，各药包间的爆震裂缝的走向均平行于路线走向，而两头药包所产生的裂缝走向并不与路线平行，却与路线相交，交角一般小于30度（如图8-a）。可是在多面临空爆破中由于药包的作用方向平行于路线，且各药包不是同时起爆的，而是先两头后中间，这时两药包中间所产生的裂缝走向几乎与路线垂直，两头裂缝的走向与路线呈较大的交角，一般大于40度（如图8-b）。

进一步分析图(7)、(8)得出，爆震裂缝的走向是垂直于爆破作用方向的。所以爆震裂缝的走向与路线边坡的关系主要取决于爆破作用方向（ $W$ 方向），当药包的爆破作用方向垂直于路线时，形成与路线平行或交角很小的爆震裂缝，如抛掷爆破，这种爆震裂缝对边坡稳定影响很大；当爆破作用方向与路线平行时，形成与路线垂直或交角较大的爆震裂缝，如多面临空爆破，此爆震裂缝对边坡稳定影响不大。

2. 爆震裂缝的倾向和倾角：根据调查，无论抛掷爆破或多面临空爆破，所产生的爆震裂缝的倾向都与爆破作用方向一致，若为抛掷爆破时正好倾向路基，而倾角几乎一样，略陡于上破坏作用半径，通常大于40度。

由上述可知，由于抛掷爆破形成的爆震裂缝的走向与边坡面平行，倾向路基，倾角较陡（大于安息角），因此这组爆震裂缝亦是最危险的软弱结构面，常造成严格的坍塌病害，所以在生产中应尽量避免采用成群的抛掷爆破或使用时应严格控制，多留保护层，并做好地质调查工作。

（四）避免爆震裂缝对边坡稳定影响的途径

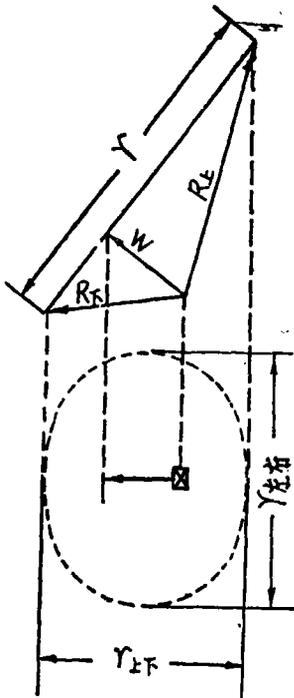


图 7

综上所述，欲减少或避免爆震裂缝对边坡稳定的影响，可有如下途径：

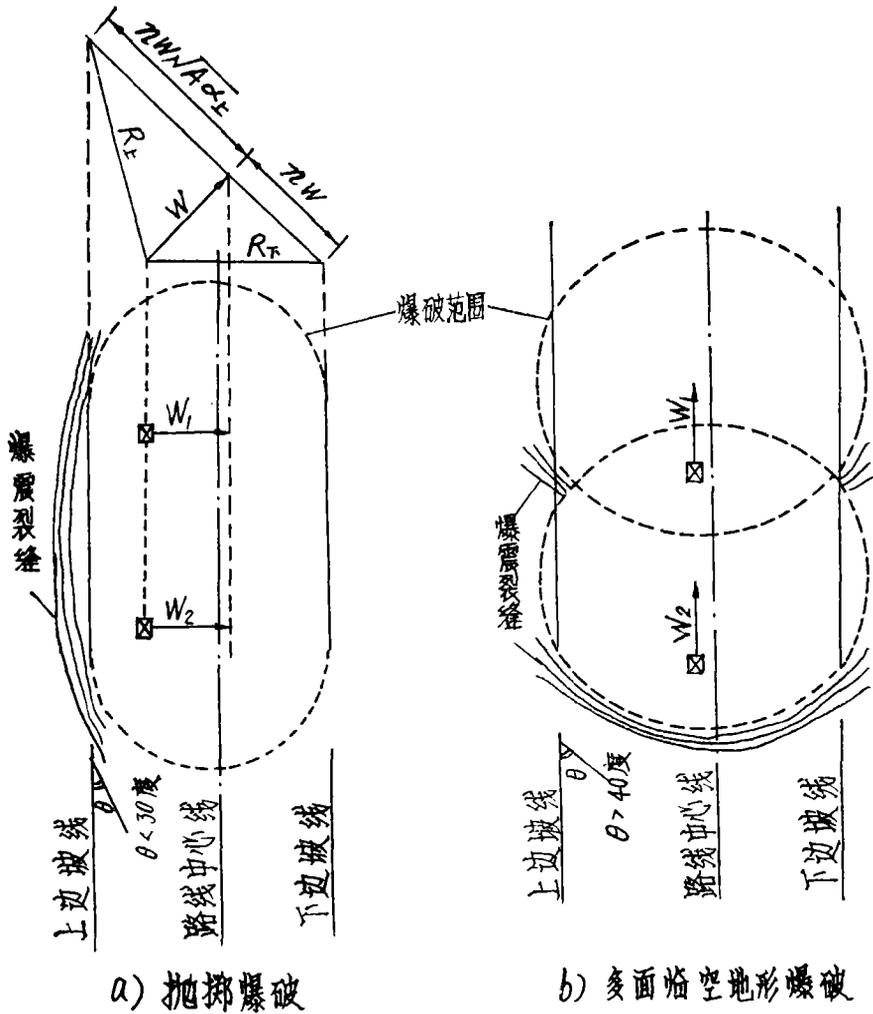


图8 在软弱岩体中爆破形成的爆震裂缝示意图

1. 岩石的力学强度高，最好岩石的极限抗压强度要大于 600 公斤/厘米，岩体中结构面要少；
2. 炸药用量要少，尽可能控制药包性质指数小于 2；
3. 爆破作用方向尽可能平行于路线；
4. 消除药包共同作用所产生的富余爆能。

#### 四、结束语

1. 实践证明，只要弄清楚地质条件对爆破边坡的影响和爆破作用对岩体破坏的规律，从而根据不同的地质条件采用不同的合理的爆破方法，爆破后的边坡质量是可以控制或得到保证的。

2. 研究认为,当岩体中存在最危险的软弱结构面时,或岩体强度较低,或岩体较破碎时,爆破后一般边坡不易稳定,所以在这些岩体中一般不宜采用大爆破施工方法。

### 参 考 文 献

1. 王鴻渠 陈建平, 爆破工程地质, 人民交通出版社, 1980年。
2. 北京工业大学土建系道桥教研室, 综合爆破对岩质边坡稳定性影响的研究, 1978年。
3. 交通部交通科学研究院, 公路石方综合爆破, 人民交通出版社, 1966年。
4. 中国科学院地质研究所, 岩体工程地质力学问题, 科学出版社, 1976年。