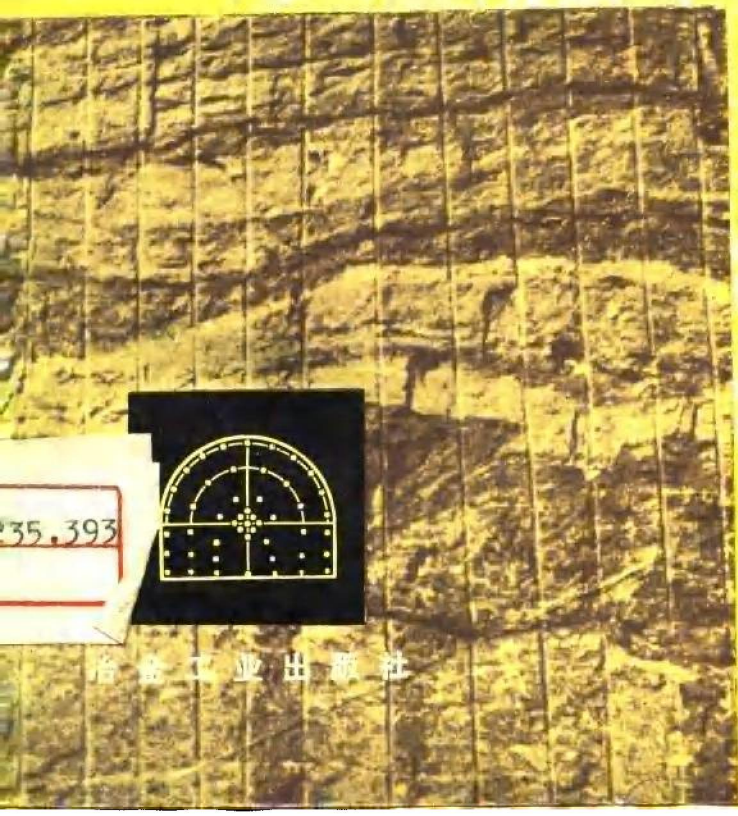
光面爆破

GUANGMIAN BAOPO



235.393

冶金工业出版社

光 面 爆 破

马鞍山矿山研究院地下采矿研究室

冶金工业出版社

前　言

光面爆破是一项先进的爆破技术，特别是喷锚支护在井巷工程中广泛使用以后，这项新技术得到了迅速发展。光面爆破与喷锚支护相结合，可以增强围岩自身承载能力，提高喷锚支护的作用。实践证明，光面爆破是符合多快好省原则具有极大发展前途的一项新技术。

1965年以来，我国冶金矿山和其他部门在试验研究和推广应用光面爆破这一新技术中取得了成功的经验并与锚杆-喷射混凝土支护相结合形成了一套新的施工工艺，在地下工程建设中获得了显著的效果。

毛主席教导我们："我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国"。为了适应冶金工业发展的需要，进一步普及、推广、发展光面爆破新技术，我们在总结冶金矿山已有经验的基础上，参考了国内其他部门的先进经验和国外的有关资料，编写了这本小册子，供有关同志参考。

由于我们缺乏实践经验，掌握资料有限，很可能有错误和不当之处，欢迎读者批评指正。

编　者

一九七七年三月

目　录

前　言

第一章　什么是光面爆破…… 1

第二章　光面爆破作用原理…… 6

第三章　光面爆破的技术要点……12

第一节　周边眼的合理布置……12

第二节　光面爆破对炸药的要求……19

第三节　装药集中度和空气间隙（或间隔）装药结构……21

第四节　周边眼的起爆……24

第五节　创造良好的自由面……26

第四章　光面爆破施工设计……28

第一节　光面爆破的应用条件与质量检验标准……28

第二节　光面爆破的实验组织与要求……29

第三节　光面爆破参数的选择与确定……34

第四节　光面爆破施工设计……36

第五章　光面爆破施工操作技术……44

第一节　周边眼的质量要求与实施方法……44

第二节　周边眼爆破要求与措施……47

第六章　光面爆破应用实例……63

一、梅山铁矿粗破碎硐室……63

二、光面爆破在开滦煤矿的试验与应用 ……68

三、沙田竖井光面爆破 ……78

四、滁县铜矿新建竖井 ……82
五、瑞典地下石硐油库建设……84
结　语……91
附　菱形直线掏槽……93

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

第一章　什么是光面爆破

光面爆破是通过一系列措施对开挖工程周边部位实行准确凿岩，进而达到控制岩体开挖轮廓的一种爆破技术。在起爆顺序上，周边眼最后爆破，爆破后，能较精确地把设计断面内的岩石崩落下来，沿设计周边眼连线形成爆裂面，同时围岩固有的整体性、稳定性不因爆破遭到明显破坏。光面爆破效果的突出标志，是在平整的围岩壁面上完整保留着清晰可见的半面炮眼痕迹（见图1-1）。

常用的普通爆破法则与此相反。由于没有对周边炮眼的炸药爆破作用实行有效的控制，致使炮眼附近的围岩遭受强烈破坏，岩面凸凹不平，大量爆破裂隙延伸到围岩深处，严重影响围岩的完整和稳定，甚至引起局部冒落。从而给施工和使用带来一系列复杂问题。

综上所述，光面爆破与普通爆破相比较，其特点是：周边轮廓线较精确地符合设计要求，岩壁平整规则，围岩较完整稳定，肉眼几乎查看不到爆破裂隙，原有的构造裂隙也不因爆破影响而有明显扩展。

由于光面爆破具有上述特点，因而在技术经济上具有很大优越性：

1．与锚杆喷射混凝土支护相配合，正逐步形成一套多快好省的地下工程施工的新工艺。

锚杆和喷射混凝土相结合的新型支护形式——锚喷支护，是二十世纪初才发展起来的新型支护形式。它的出现可

拱 顶

侧 墙

图 1-1　滁县铜矿某调车场光面爆破实况

以说是井巷支护工程的革命。广泛推广应用锚喷支护，对于进一步贯彻毛主席关于“开发矿业”的伟大指示，多快好省地进行矿山建设，具有重大意义。锚喷支护的特点是：锚喷

支护和岩石紧密结合在一起并和岩石一起承受荷载（地压），把岩石这种荷载转化为结构，从而保证地下工程稳定可靠。因此，爆破后能否保持围岩完整，形成规则的轮廓面，对锚喷支护的施工和效果都是十分重要的，有时甚至是必不可少的条件。光面爆破就能满足这一要求。所以近些年来，通过生产实践，总结群众经验，冶金、煤炭和其他部门已在大型、重要和不良岩石的工程以及大型水封石硐油库中逐步推广光面爆破和锚喷支护的配套应用。由于采用光面爆破，在施工中甚至可以取消全面支护，仅用锚喷局部加固。

2．避免落石危险，施工安全。

浮石冒落是井巷施工中直接威胁人员安全，影响施工速度的一个重要因素。产生浮石和导致冒落的原因，一方面与岩体的物理力学性质或结构构造有关，另方面外界作用的因素也不容忽视，其中尤以爆破作用对围岩的破坏和形成不平整的壁面而出现的应力集中，常常是产生浮石，导致引起围岩局部冒落的重要因素。光面爆破能使爆破作用对围岩产生的不利影响控制到很小的程度。

从冶金系统矿山看，有些实例很有说服力。镜铁山铁矿卷扬硐室，梅山铁矿粗破碎硐室和金山店铁矿粗破碎硐室都是跨度10米以上高边墙的大硐室，施工中采用光面爆破，从未发生较大岩块掉落现象（及时安设锚杆或使用喷射混凝土支护也起了重要作用）。某铁矿－200米水平运输巷道部分开掘在稳定性较差的岩石中，用普通爆破法掘进时，浮石冒落严重，用木棚临时支护，掘进速度缓慢；改用光面爆破后，由于取消了木棚支架和专职安全工从而简化了工艺，保障了安全，使掘进速度提高一倍以上。

3．减少超挖，省工省料，提高工程质量和速度。

光面爆破能将超挖率控制在5～10%以下，从而减少了出碴、支护工作量，减轻了运输系统的负担，降低了原材料的消耗。由于光面爆破后壁面平整，还能减少巷道的通风阻力和水工隧洞的水头损失。实施光面爆破，对凿岩爆破的操作和质量方面均有较高要求，有利于施工队伍提高施工组织管理和操作技术水平。

安徽某铜矿在部分竖井、马头门和调车场应用光面爆破后，超挖量由20～30%降低到3%。开滦煤矿赵各庄矿在预定要衬砌的平巷和斜井中试验应用光面爆破，并配合采用锚喷支护，获得了良好的效果，减少了出碴量30%，缩短掘进循环时间，掘进速度提高了20～30%。某铁路线蜀河隧道采用旧施工法时超挖量达25%，后来应用凿岩台车和光面爆破，超挖量显著降低，衬砌工作因减少了回填工作量，速度提高了三倍。国外资料也有类似的介绍，由于减少隧道的超挖而节省的费用，几乎是爆破成本的四倍；日本在一个隧洞应用光面爆破的试验表明，超挖率由23.8%降低到8.5%，混凝土额外浇灌量由77.3%减少到27.5%。

表1-1为光面爆破与普通爆破技术经济效果比较表。

当然，光面爆破还存在一些问题，这些问题是：周边眼数多，其凿岩质量要求较高，需要一些专用的爆破器材，如小直径药卷、导爆线、毫秒电雷管等，由于缺少合适的专用炸药，其爆破工艺较复杂，在特定情况下光面爆破工艺还不够完善，对光面爆破的岩石破裂机理的研究很少等等。应当指出，这些问题并不构成妨碍推广应用的主要原因，只要坚持不懈地努力通过生产实践和科学试验研究是可以逐步得到解决的。

光面爆破与普通爆破技术经济效果比较表 表 1-1

岩体情况	爆破方法	围岩稳定状态	开挖轮廓面成形和平整质量	爆破超挖量	喷锚支护	现浇混凝土衬砌	以普通爆破法为基准		
							凿岩直接费	爆破直接费	掘支(砌)速度
坚硬稳定完整	光面	无松石	优良	无	不用支护或喷混凝土防护	不用，或作防护用，不需回填	+5～10%	-3～6%或+5～10%（用导爆线）	略低或相等
	普通	松石较少	良好	少量	可不用支护或喷混凝土防护	可不用，或作防护用，需少量回填			
中硬稳定性一般或欠佳	光面	很少有小松石	优良	无	单一支护，有时需联合支护	用，不需回填，常需临时支护	+5～10%	-3～6%或+5～10%（用导爆线）	相等或稍高
	普通	有大松石有时局部冒落	较差	较多	有时可用喷混凝土单一支护，常用联合支护	用，需回填，常需临时支护			
松软破碎带裂隙很发育	光面	有少量松石很少局部冒落	一般良好	很少	联合支护	用，局部少量回填，需少量临时支护	+5～10%	0～-3%或+8～12%（用导爆线）	高些
	普通	易局部冒落甚至大冒顶	不好或很坏	很大	加大参数的联合支护，甚至不能用	用，大量回填，大量临时支护			

第二章　光面爆破作用原理

光面爆破技术日益发展，应用范围不断扩大，并已获得较好的技术经济效果。但是对于为什么会得到“光面”效果，至今尚没有一个公认的理论。这是因为岩石爆破机理是一个十分复杂的问题，已有的理论也不够成熟，因此尚需进一步研究探索。

模拟试验的高速摄影和生产实践表明，目前有关光面爆破岩石破碎机理在定性方面的分析，有一些还是符合实际的，对生产实践有一定指导意义，为此，在本章中对爆破时岩石破碎机理作一简要介绍。

光面爆破是在普通爆破法基础上发展起来的。在介绍光面爆破作用原理之前，先介绍一下普通爆破法岩石破碎机理。

按常用的岩石爆破理论（以动力破坏为主的弹性理论）分析单个药包爆炸引起岩石的破碎过程（见图2-1）：药包在岩石中爆炸瞬间产生高温高压气体，它以冲击波（压缩应力波）的形式作用于药包周围的介质（岩石）上，并以药包为中心，以每秒数千米的速度向四周作径向传播。由于爆炸瞬间气体的压力峰值极高，可达几万个大气压，因而与药包邻接的一部分岩石被粉碎，形成一个粉碎圈（见图2-1）。此后应力波急剧衰减，岩石处于三向受压状态，由于其三向极限抗压强度较大，因此，粉碎圈的范围是很小的。

压缩应力波以药包为中心向四周放射传播过程中，迫使

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

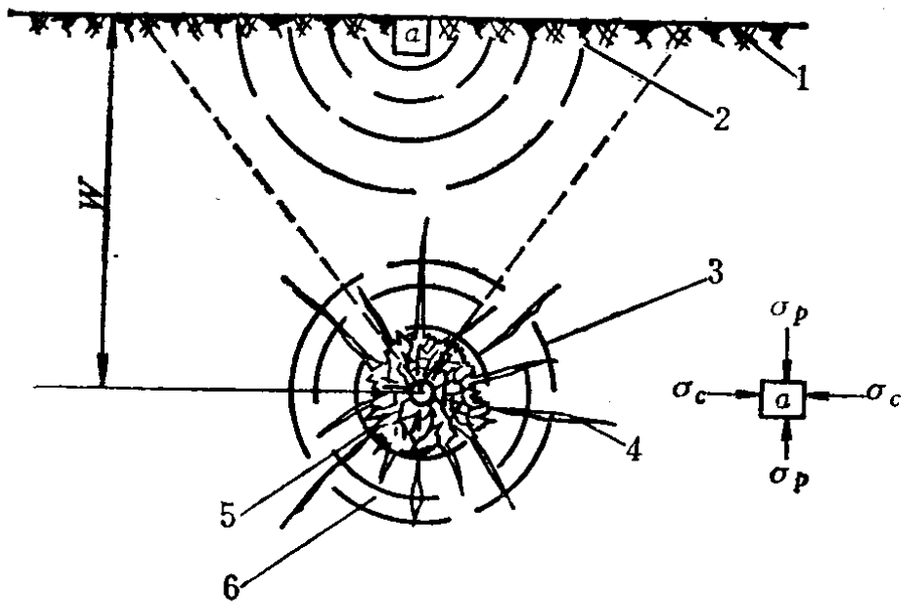


图 2-1 爆破载荷作用下岩石破碎机理

1—自由面；2—拉断裂缝；3—环状裂缝；4—径向裂缝；5—粉碎圈；6—破碎圈

岩石质点作径向位移，从而产生切向拉伸，当拉伸应力大于岩石的极限抗拉强度时，则岩石发生断裂，因而在药包周围产生一系列径向裂缝（见图2-1）。随着爆炸气体的逸散，以及温度和压力下降，在药包中心形成一个应力降低区，被强烈压缩的岩石即行卸载，岩石质点向药包中心位移，因而在岩石中产生切向压缩和径向拉伸，当这个拉伸应力超过岩石的极限抗拉强度时，岩石便被拉断，而在药包周围形成一些环状裂缝。这些径向裂缝和环状裂缝构成了岩石的裂缝圈（见图2-1）。就整个爆破破坏范围来说，裂缝圈也是不大的。

当压缩应力波自药包中心向外传播达到自由面以后，产生反射，压缩波反射成拉伸波，由自由面向药包中心传播。由于自由面处岩石处于双向应力状态，其抗拉强度比多向为低，当反射拉伸波应力大于该处岩石的极限抗拉强度时，则

岩石被拉断，在自由面附近形成一系列拉断裂缝(见图2-1)。在最小抵抗线(W)合适时，从自由面处所产生的裂缝将和药包周围的裂缝贯通一起，在爆炸时气体膨胀的作用下，把所破碎的岩石抛出原岩体形成一个爆破漏斗(如图2-1虚线所示)。

光面爆破是靠周边多个炮眼联合作用的结果。为了方便起见，现取两个炮眼进行分析，以说明周边炮眼之间贯穿裂缝的形成，并如何沿设计轮廓爆落。如图2-2，假定A、B为两个平行炮眼，它们的连线是巷道设计轮廓线的一段。当采用柱状装药同时起爆时，各爆源产生的压缩应力波呈圆柱状向四周传播，当两个应力波相遇时，便发生应力波的叠加，同时由此而产生切向拉伸应力，其最大拉应力将发生在两个炮眼轴线连线中点，因此裂缝首先在此处开始，然后再向炮眼壁扩展，形成光面爆破的开裂面。当两个炮眼间距抵抗线和装药量合适时，两炮眼轴面上（见单元体1）所产生的拉应力刚好克服岩石的抗拉强度，而获得平整的拉断裂缝。此时在两个炮眼连线上方的围岩（见单元体2），受到斜向向上的压力作用，由于该部岩石处于多向受力状态，其强度很高，将不被破坏。两炮眼连线下部的岩石（见单元体3），则

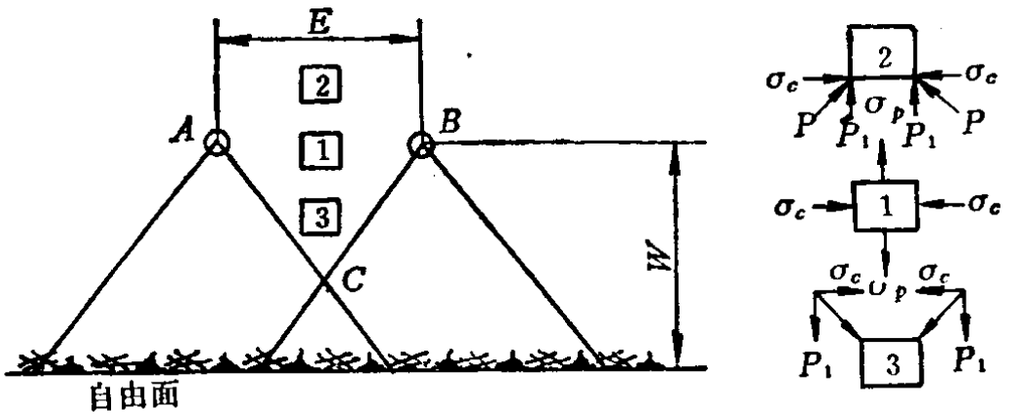


图 2-2　光面爆破作用原理

受到斜向向下的压力作用，这个力可分解为水平方向压力和向自由面的拉力，故将产生沿自由面的破碎并被抛离原岩体。

根据上述理论分析，周边眼光面爆破，除了必须合理地选择炮眼间距、最小抵抗线和装药量等参数外，周边眼同时起爆是极为重要的。生产实践表明，周边眼同时起爆的时间误差愈小愈好。导爆线比毫秒电雷管效果好，毫秒电雷管比秒差电雷管好。但国外也有用高速摄影证明两炮眼之间形成的开裂面，不是从两炮眼的轴线连线的中点开始，而首先是从眼壁开始，故光面爆破理论有待进一步研究。

随着光面爆破技术的发展，其理论问题越来越引起人们的注意。近年来，又出现了以爆炸气体静力作用为主的不偶合爆破理论（有的称之为“缓冲爆破”）。不偶合爆破是通过不偶合装药来实现的，并用不偶合系数（炮眼直径与药卷直径之比值）表示其装药状况。据此认为，当一个不偶合装药炮眼爆炸时，如其邻近有一个炮眼，则爆炸气体将向两炮眼连接面方向产生较大的应力集中，并在相当长的时间内作用在这个方向的眼壁上，于是最先从眼壁产生横向裂缝，而

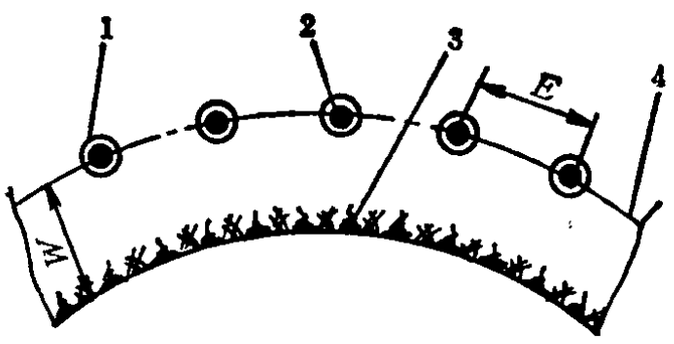


图 2-3　光面爆破不偶合装药图

1—装药眼；2—小直径药卷；3—自由面；4—预定切断面

药包爆炸产生的高温高压气体，致使既成的横向裂缝进一步扩展，形成平整的爆裂面，并由爆炸气体膨胀作功，将切断面下部的岩石抛离原岩体（见图2-3）。

这种理论的关键在于实施不偶合装药（空气间隙装药），使药卷与眼壁之间留有一定空气间隙，以减弱炸药爆炸后作用在眼壁上的初始冲量，使冲击波波头压力降低，因而可以消除或大大缩小眼壁周围的岩石粉碎圈。

国外的试验资料表明，药包爆炸直接作用在眼壁上的动压力随着装药不偶合系数的增加而降低(见图2-4)。当不偶合系数增加到一定值时，可使作用到眼壁上的压应力等于或小于岩石的极限抗压强度，则眼壁的岩石只能由压应力σ_c引起的拉应力σ_p来破坏，通常$\sigma_p=\left(\frac{1}{4}\sim\frac{1}{2}\right)\cdot\sigma_c$，由于岩石的极限抗拉强度一般仅为岩石的极限抗压强度的1/20～1/40。因此，在眼壁周围以外的岩石很容易受拉而破坏。所

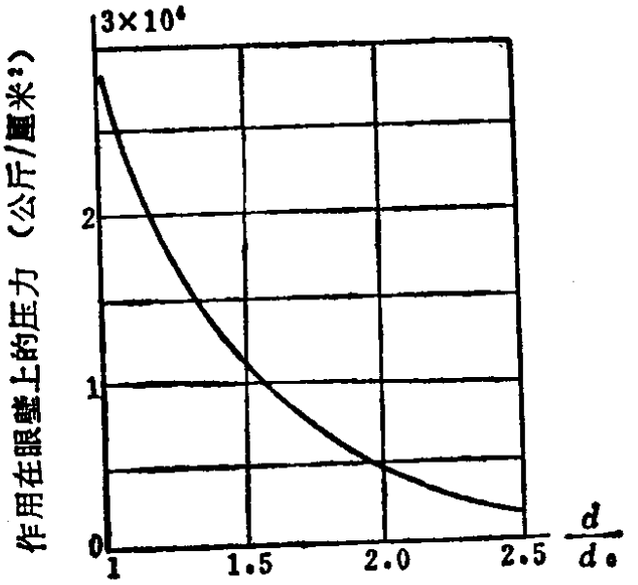


图 2-4　不偶合关系对眼壁压力的影响

d—炮眼直径；d_0—药卷直径

以，光面爆破中采用不偶合装药，可以减少岩石过分粉碎，并可以充分应用炸药的总能量来破坏岩石。

国外的模拟试验还表明，在两个平行的不偶合装药炮眼之间，增加一个平行的空眼，或使不偶合装药炮眼人为地造成向两炮眼连线方向的缺口，均能引导爆破裂缝向空眼或缺口方向发展，形成光面爆破所需要的平整开裂面。

根据上述理论分析，除了合理选择炮眼间距、最小抵抗线外，采用低猛度炸药，不偶合装药，导向空眼与堵塞炮泥等，对于实施光面爆破是重要的，并在生产实践中验证是有效的。

综上所述，本着实践第一的观点，凡是有利于实施光面爆破并符合实际的理论分析均应注重。事实上，光面爆破的岩石破裂过程是很复杂的，今后应在生产实践和科学实验中对冲击波及爆炸气体的作用，尽可能作全面综合地考察分析，进一步探索其规律性，发展光面爆破理论，更好地为生产服务。

第三章　光面爆破的技术要点

实现光面爆破，一般应掌握好以下技术要点：

1．合理布置周边炮眼，提高凿岩质量。

2．采用低猛度、低爆速、传爆性能良好的炸药。

3．采用足够小的装药集中度，小直径药卷与空气间隔装药结构。

4．周边眼同时起爆。

5．安排好开挖程序和起爆顺序，使周边眼爆破具有良好的自由面。

第一节　周边眼的合理布置

周边眼是指开挖断面上，沿断面周边最外层的一圈炮眼。对于巷道与硐室而言，目前能够控制实现光面爆破的主

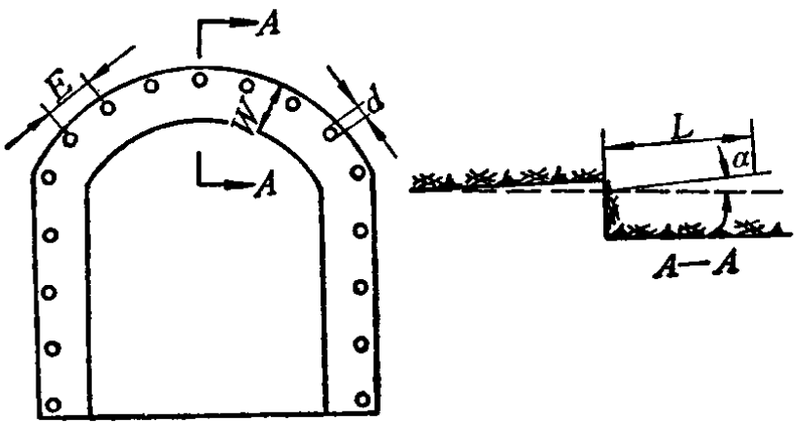


图 3-1　周边眼参数

d—炮眼直径；E—炮眼间距；W—最小抵抗线；L—炮眼深度；α—炮眼角度

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com