

隧道爆破现代技术

齐景嶽 刘正雄 编著
张儒林 卿光全

中国铁道出版社

1995年·北京

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本书是为了提高钻爆法开挖隧道的掘进速度,爆破质量与降低造价而编著的,反映了近年来隧道爆破的新技术。共分为九章:第一章概论;第二章爆破工程地质;第三章隧道爆破器材及起爆方法;第四章隧道掏槽爆破技术;第五章隧道光面爆破技术;第六章隧道爆破的设计;第七章特殊条件下的隧道爆破技术;第八章隧道爆破质量评价;第九章隧道爆破量测技术。

隧道爆破现代技术

齐景嶽 刘正雄 编著
张儒林 卿光全

*

中国铁道出版社出版发行

(北京市东单三条 14 号)

责任编辑 刘启山 封面设计 赵敬宇

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本:850×1168 毫米 1/32 印张:10.375 字数:273 千

1995 年 8 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数:1—3000 册

ISBN7-113-01971-4/TU·427 定价:19.60 元

序

在“掘进机与钻爆法,孰优?”这个热门话题的讨论中,隧道工程师们取得了共识,尽管掘进机在许多国家已被广泛使用,从长远的观点看,钻爆法也仍然是修建岩石隧道的主要方法。

用钻爆法修建隧道,其施工速度,机械化水平,乃至工程質量无不受制于爆破技术。可以说,隧道工程技术的水平在很大程度上同爆破技术相关。

在爆破方面至少有两个问题经常困扰着工程师们:

一是如何提高炮眼利用率。

采用重型机具实行综合机械化施工时,为了减少辅助作业时间,须采用深孔爆破。在这种情况下,爆破后留下的深深的残眼会弄得施工组织者十分狼狈。

二是如何控制开挖轮廓和爆破振动对地层的扰动。

这一点对施工环境特别是对隧道工程的质量有着决定性的影响。在软弱围岩隧道工程中,“控制爆破”技术往往是工程成败的关键。离开了开挖轮廓和爆破振动的控制,保护围岩,利用围岩自承能力的“新奥法”(NATM)原则就无从谈起。

这就是说,一方面要求充分发挥炸药的能量,另一方面则要对这种能量进行有效的控制。现代爆破技术的发展使得我们有可能解决这些难题。这方面的工作成果和进展集中地反映在呈献给读者的这本《隧道爆破现代技术》书中。

常常说,爆破不仅是一门技术,而且还是一种“艺术”。本书作者长期从事爆破工程实践,在工作中积累了丰富的经验。这就使本书具有鲜明的工程背景,也正是其水平和实用价值之所在。

隧道工程师们一直想有一本从理论和实践角度上全面论述爆破技术的书。《隧道爆破现代技术》的出版或许会满足他们的愿望。

作为在历史上发明了火药的伟大民族中的成员,中国工程师理应对现代爆破技术的发展作出应有的贡献。当然,在这方面新的探索仍在继续,文章并没有做完。我们只有锲而不舍地努力实践,深入研究,才能使隧道爆破技术不断发展。日臻完善,成为一门真正的科学技术。

王建宇^①

1994年10月于成都

^① 王建宇研究员,铁道部科学研究院西南分院院长,中国土木工程学会隧道及地下工程学会副理事长,中国岩石力学和岩石工程学会常务理事,博士研究生导师。

前 言

隧道和地下工程在国民经济建设中有着重要的作用。无论是铁道、交通、水利、水电、矿山等均少不了它。随着国家建设事业的迅速发展,隧道工程建设越来越需要解决多快好省的问题。为此,除配备先进的机械设备外,还要解决隧道现代爆破技术问题。爆破开挖是建设隧道的第一道工序,它的成败与好坏直接影响到围岩的稳定,以及后续工序的正常进行和施工速度,因此,隧道爆破是隧道建设的非常重要的组成部分。

目前,对一般岩石隧道而言,除用传统的矿山法爆破开挖外,隧道掘进机也在许多国家获得应用。但是,就已有的大多数工程实践来看,隧道掘进机也和一切事物一样,并非尽善尽美,到处适用。而且,由于掘进机在坚硬岩石中开挖隧道时效率不高,以及它固有的设备投资巨大,动力消耗量大,部件大而笨重,运输组装困难等问题,加上硬质合金刀具、开挖方向的控制等技术上的困难等问题一直未完全解决。因此,经过综合分析,大多数人都认为掘进机会完全取代矿山法而用于隧道掘进。

现在,可以说在可预见的年代里,钻爆法仍将是隧道掘进的主要手段。虽然我国也在引进掘进机,但是根据我国的国情,钻爆法与掘进机在相当长的时间里将同时并举。而且,在岩石隧道掘进机及高压射水等新的岩石开挖技术进一步发展的同时,隧道爆破技术也会随着岩石爆破技术的进步而不断改进。

钻爆法由于对地质条件适应性强,开挖成本低。因而特别在坚硬岩石隧道、破碎岩石隧道掘进中及大量的短隧道施工中,即使将来掘进机在技术上更完善了以后,也仍会是主要的施工方法。

为提高钻爆法开挖隧道的掘进速度,提高爆破质量,降低造

目 录

第一章 概 论	1
第一节 隧道爆破技术的发展.....	1
第二节 炸药的爆炸作用.....	5
第三节 岩石爆破的破岩机理.....	6
第四节 隧道爆破的基本概念.....	8
第二章 爆破工程地质	10
第一节 岩石的性质	10
第二节 岩石的工程分级	24
第三节 炸药与岩石阻抗匹配试验	30
第四节 地质条件对隧道爆破作用的影响	34
第三章 隧道爆破器材及起爆方法	40
第一节 隧道爆破常用炸药	40
第二节 起爆方法与器材	45
第四章 隧道掏槽爆破技术	67
第一节 小断面浅眼掏槽爆破技术	67
第二节 大断面中深眼掏槽爆破技术	76
第三节 全断面深眼掏槽爆破技术	82
第四节 竖井掏槽爆破技术	94
第五章 隧道光面爆破技术	99
第一节 光面爆破的定义与分类.....	100
第二节 光面、预裂爆破的作用机理	103
第三节 影响光面爆破效果的因素.....	108
第四节 光面、预裂爆破的主要参数	112
第五节 光面、预裂爆破的设计方法	113

第六章 隧道爆破的设计	139
第一节 导坑爆破设计.....	139
第二节 分部开挖爆破设计.....	147
第三节 软岩隧道减轻地震动控制爆破设计.....	152
第四节 断层破碎带控制爆破设计.....	174
第五节 中硬岩、硬岩全断面深眼爆破设计	183
第六节 隧道爆破的设计程序.....	208
第七章 特殊条件下的隧道爆破技术	211
第一节 瓦斯隧道爆破技术.....	212
第二节 隧道等差爆破技术.....	227
第三节 运营隧道侧向水沟爆破技术.....	236
第四节 城市地下工程减轻地震动控制爆破技术.....	247
第八章 隧道爆破质量评价	255
第一节 光面爆破技术经济效益分析.....	255
第二节 影响隧道爆破质量的因素.....	257
第三节 隧道爆破质量检验标准.....	260
第四节 隧道爆破质量检验方法.....	264
第九章 隧道爆破量测技术	266
第一节 炸药爆速及雷管延期时间的量测.....	270
第二节 爆破对隧道围岩的扰动破坏.....	278
第三节 爆破对隧道围岩扰动范围的量测.....	280
第四节 隧道爆破质点振动速度的量测.....	288
第五节 隧道爆破空气冲击波的量测.....	297
第六节 爆破对隧道围岩稳定影响的其它量测.....	308
参考文献	319

第一章 概 论

第一节 隧道爆破技术的发展

一、原始的隧道开挖方法

最原始的隧道开挖方法是：用木柴烧热开挖面的岩石，随后再用冷水浇上去，造成岩石碎裂。这种开挖隧道的方法甚至解放前我国云南个旧锡矿仍时有采用。显然，这种落后的方法开挖效率是很低的。

二、炸药与凿岩机的发展

黑火药在其发明之初主要用于军事。正式用在隧道开挖上则是公元 1627 年 Kasper Weinde 首先在匈牙利，使用黑火药进行了岩石矿山巷道爆破。那时，还没有钻机，而是手工打眼，塞进黑火药，再行起爆。

直到 1863 年，意大利人 Sommineller 发明了风动凿岩机，才开始使用风钻进行隧洞开挖。同时火药也开始做成药卷形式使用。在 1857 年至 1870 年，欧洲修建的仙尼斯铁路隧道，长 12233m，就是采用的这种开挖方法。风钻的发明，使得隧道爆破技术产生了划时代的飞跃。但是黑火药爆破效率不高，而且很不安全。炸药的发展相对来说缓慢一些。从 1846 年提炼出硝化甘油到 1875 年诺贝尔制成胶质炸药，几乎用了 30 年时间。

到 1870 年，在欧洲修建长 14912m 的圣哥达隧道时，隧道钻爆技术更趋完善进步了。在该隧道由于使用了可钻 35~40mm 直径炮眼的风钻，及含硝化甘油 70% 的炸药，使隧道掘进速度创造

了日进 7.3 m,月掘进 171m 的高速度记录。

一百多年来,钻眼技术的发展虽然缓慢,但是有了显著的进步。最初的钻机每小时只能钻进 0.5~0.6m 炮眼。直到 1910 年 Bohler 等人改进了钻机,风压提高到 3~5 个大气压,活塞直径由 55mm 加大到 120mm,冲程达 400mm。最重型的钻机重量达 250kg,钻眼速度提高到 4m/h。现在,现代化的钻车上安装有各种类型的推进器,钻眼效率已达到每小时 120m 以上。

炸药的品种虽然日益增多,但主要仍分属两大系统:硝化甘油系炸药及硝酸系炸药。这些炸药至今仍是国内外隧道爆破的炸药。

铵油炸药虽然加工简单,成本低。但因在地下工程中使用它会产生大量有害气体。特别是铵油炸药受潮后,它爆炸后产生的有害气体量更会成倍增加。因此,在隧道爆破中没有获得广泛推广使用。

三、隧道光面爆破技术的试验与发展

通常的隧道开挖爆破,常使开挖限界以外的围岩完整性受到破坏,爆破轮廓不平整,产生许多一直伸入岩体内部的裂隙,并会造成相当大的超挖。这种本来不合理的情况,长期以来在岩石爆破技术中,却理所当然地为人们所默许,并被归咎于猛炸药的使用,或是岩石状况欠佳,而忽视了爆破技术本身的原因。因此,这样的爆破效果虽然不好,却认为是不可避免的。

50 年代初期,经过瑞典的 Hagchorpe、Dahlborg 在一个地下建筑工程中的试验;硝化甘油公司物理研究所和斯托霍姆港务局合作的一些岩石试验;Langefors 和 Lundborg 的树脂玻璃模型试验;瑞典皇家要塞管理处,硝化甘油公司与阿特拉斯公司类似的试验等,都分别得到了一些有关光面爆破技术的初步结论。同时,正研制出最初的光面爆破专用炸药。这些就是为寻求爆破后岩面平整的最初技术研究活动。所以,光面爆破首先是在地下工程施工中,配合实验室模型试验研究,得到应用和发展起来的。

这项技术迅速得到了加拿大和美国,以及世界其它国家的重

视。地下工程光面爆破的成功经验,还引起人们在需要保持高边坡稳定的露天开挖工程中研究改善爆破技术的兴趣。1957年美国科罗拉多的矿山,在分离矿石时采用了预裂法。此后更具有生命力的预裂爆破法,在许多国家发展得更为迅速。

1958年在加拿大的杂志上首先发表了有关预裂爆破的文献报导。1959年修建尼亚加拉水电站工程时,更成功地应用和发展了预裂爆破技术。特别是美国的 D. K. Holmes 主持的大量试验研究工作,发展了建筑工程预裂法,并在 1961 年出版的美国密苏里大学编印的《国际采矿研究论文集》上,R. S. Paine 与 H. E. Clark 最先共同发表了预裂爆破机理的研究成果及参数设计计算方法,接着,预裂爆破也被应用于各种地下工程的开挖施工中。

从 60 年代初期开始,在实验室模型试验和现场施工经验的基础上建立的光面爆破和预裂爆破技术,得到了更加广泛的推广。许多国家在花岗岩、片麻岩、砂岩、石灰岩、白云岩、片岩、页岩、泥岩等地质条件下,修建地下军事掩蔽部、工厂、电站、仓库、船坞、公路铁路隧道及路堑、水工隧洞、运河、矿山巷道及露天矿梯段爆破中,都大量采用了这一技术。同时,光面爆破和预裂爆破技术的研究也相应地逐渐深入。与这些爆破技术相关的岩石爆炸力学、爆破机理、爆破方法对围岩稳定性的影响等方面的研究,都取得了很大进展。目前,我国已大规模地应用了光面爆破、预裂爆破技术。

四、我国隧道爆破技术的发展

随着我国社会主义建设事业的蓬勃发展,隧道工程的建设发展迅速,至 1990 年年底,已建成的隧道累计总长约 2300km。这一业绩是十分引人关注的,足以使我国跻身于隧道大国的行列。从建国初期的黑火药爆破、油灯照明、人力运输到大瑶山隧道采用 80 年代新技术实现全断面综合机械化施工,我们自己在艰苦实践和创业过程中所积累的经验无疑是值得回顾和总结的。

钻眼爆破的工作质量与是否能实现隧道的快速、优质、高能、低耗、安全施工是紧密相连的,我国隧道施工破碎岩石的主要手段

是采用钻眼爆破。

1954 年以前多用人工打眼,在无水地段的扩大和挖底部位使用黑火药,但其效率低、不安全,且使用范围受到限制。

1955 年以后才改用有 62% 和 41% 的硝化甘油炸药和二号岩石硝铵炸药,并使用合金钻头、风动凿岩机、电雷管,从而使钻爆效果有较大的提高,炮眼利用率由 50~60% 提高到 80~85% 对爆破器材的消耗,掘进 1m 的耗时都有显著的降低,在布眼和掏槽方面,一般袭用煤矿经验采用斜眼掏槽,其型式有角锥中央掏槽,楔形掏槽,向上、向下掏槽和侧向掏槽。

50 年代后期,因斜眼掏槽受断面的夹制作用,一般眼深很难超过 2m。采用直眼螺旋掏槽,使导坑的进尺有较大的突破。60 年代官村坝隧道采用中空直眼掏槽,炮眼利用率达到 95~100%。1964 年梅子关隧道革新的布眼形式采用中空直眼与斜眼结合,并取得了较好的效果,曾在成昆线推广。

60 年代中期,光面爆破预裂爆破新技术开始在铁路边坡进行试验和应用,后又引伸到铁路隧道进行试验,首先是于 1966 年在蜜蜂箐 2# 隧道出口进行光面爆破试验,后来逐渐试验补充完善。至 1974 年,铁路隧道施工中,采用光面爆破技术就比较成熟了。光面爆破的应用,促使了开挖方案的改进,后来有了正台阶全断面开挖法,改善了开挖工作的条件。这一技术的应用控制了一般爆破方法施工中的超挖数量,改善了工程质量,并能减少衬砌工程量,有重要的技术经济价值。

70 年代后期,光面爆破技术又在普济隧道得到了新发展。80 年代,下坑隧道软岩进行半断面微台阶开挖的科研工作取得了经验,推进了隧道钻爆技术的发展及新技术的推广应用。

80 年代初,在成渝线金家岩隧道第一次获得了软岩大断面光面爆破试验的成功,相继在南岭特浅埋软岩隧道进行半断面开挖光面爆破技术的理论研究,并于 1981 年,在双线铁路雷公尖隧道硬岩深孔(5m)全断面(100m² 左右)一次爆破开挖成型;光面爆破、预裂爆破的试验成功,为大瑶山隧道的爆破施工打下了坚实的基

础。隧道爆破技术又往前推进了一大步。1985年和1986年先后攻克了花果山隧道断层破碎带和大瑶山隧道九号断层的大断面控制爆破技术。这使我国的隧道爆破技术更完善更全面,达到了80年代的国际先进水平。

第二节 炸药的爆炸作用

炸药的爆炸反应是极为迅速的,爆速可达 $2000\sim 8000\text{m/s}$ 。一旦激起爆炸则在瞬间产生大量的高温、高压的爆生气体。 1kg 炸药含热量为 $(500\sim 1500)\times 4.1868\text{kJ}$,爆温可达 $2000\sim 4000^{\circ}\text{C}$,爆压可达数十万个大气压,反应时间为十万 $\sim$ 百万分之一秒,在极短的时间内释放出大量能量而对周围介质做功。

当一个药包在空气中爆炸时,由于能量的突然释放,而给周围空气介质一个强力冲击,这时可把炸药爆炸视为一个强振源,因而在空气中激起一个冲击波,此冲击波具有较高的波头压力,它具有很大的摧毁力,并以药包为中心向外传播。随着传播距离的增长,波头压力逐渐衰减。在药包附近爆炸生成气体紧跟着冲击波运动,所以此时此地的爆炸作用为冲击波和爆生气体的共同作用。随着距离的增大,由于爆生气体的传播速度低于冲击波的传播速度,而与冲击波相脱离,所以距药包较远的地方主要是受冲击波的破坏作用。

当药包在岩石中爆炸时,爆炸瞬间对周围岩石产生强烈冲击,则在岩体内产生冲击压力的传播,同时爆生气体的膨胀也对周围岩石施加巨大压力。因此可把炸药的爆炸作用分为两种形式,即冲击作用及爆生气体的膨胀作用。

冲击作用:属于动力作用,表现为炸药的猛度做功形式,它的大小主要取决于炸药的爆炸速度。

爆生气体的膨胀作用:可视为属于静力作用,表现为炸药的爆力做功形式,它的大小主要取决于炸药产生的爆热。

对于工程爆破来讲,上述两种作用是同时存在的,只是气体膨

胀做功的时间要比冲击作用为长。另外从岩石致碎原因来讲,随岩石性质不同,两种作用所占的地位也有所不同。例如在松软的岩层中(比如在土壤中),其破坏主要是由爆生气体起主要作用。相反,如果在坚硬的岩层中时,则爆炸的冲击作用在岩石破坏中占主要地位。因此,为了充分利用炸药的能量应根据不同的岩石性质选用不同品种的炸药。

第三节 岩石爆破的破岩机理

一、岩石爆破破岩机理

当炸药埋置岩石内部爆炸后(见图 1—1),瞬间对周围岩石产生强烈冲击,在岩体内产生冲击压力波,这是一个压缩应力波。紧靠药包围围的岩石直接受到炸药爆轰压力的作用,它的压力很高,可达几万至几十万个大气压,任何岩石都经受不住这样大的压力,将使药包周围内的岩石被击得粉碎,形成一个粉碎区。

在应力波以药包为中心向外传播的过程中,将迫使岩石质点(如图 1—1 中 M 点)做径向位移,假定该点所受压缩应力 σ_c ,则在该点切线方向上引起拉应力 σ_t 。人们知道,岩石属一种脆性材料,其抗拉强度远小于抗压强度的 $1/15 \sim 1/20$,所以岩石极易受拉破坏。当 M 点所引起的 σ_t 大于岩石的抗拉强度时,岩石被拉断,因此药包周围将产生一系列的放射状径向裂缝(如图 1—1),这种裂缝一直伸展到拉应力小于岩石的抗拉极限强度处为止。

与爆轰波冲击围岩的同时,高温高压的爆生气体也急剧膨胀,

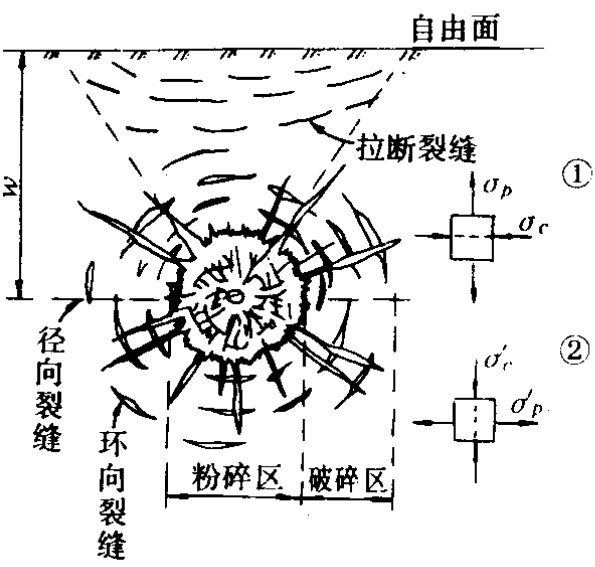


图 1—1 岩石爆破破岩过程图

从而加强了冲击破坏作用,加剧了裂缝的扩大与发展,同时迫使已破碎岩石做径向向前移动,但离药包较远一些的地方为原岩体而无处移动,这样将会在药包附近岩石内暂时储存一部份能量(称为弹性波)。随着时间的消逝,爆生气体的温度和压力迅速下降,在药包中心将形成一个应力降低区,被强烈压缩的岩石即行卸载,原储存的弹性能释放,这些原受压岩石便向药包中心处移动。在这岩石移动过程中,岩石发生切向压缩,在此压缩应力 σ_c 的作用下引起拉伸应力 σ_t ,当此拉应力超过岩石抗拉强度时,岩石被拉断,这样会在药包周围形成环状裂缝。这些径向裂缝和环状裂缝即构成了药包周围的破碎区。

当药包处于自由面附近时,(药包中心至自由面的最短距离称为最小抵抗线),压缩应力波自药包中心向外传播到自由面后,产生反射,压缩波反射成拉伸波,此时便有一个拉伸应力由自由面向药包中心传播,由于自由面岩石处于双向应力状态,其强度比三向应力状态为低,当反射的拉伸应力大于该处岩石的抗拉强度时,岩石则被拉断,在自由面附近的岩石形成一系列张拉裂缝。当最小抵抗线合适时,自由面所产生的裂缝和药包周围的裂缝贯通一起,在爆生气体膨胀做功的作用下将把已破碎的岩石抛出原岩体而形成一個爆破漏斗。

总结上述破岩过程可知,除在药包周围内为受压破坏以外,岩石的主要破坏是由于受拉而致。因此,为防止岩石的破碎除降低拉应力值以外,应尽量避免受拉状态。相反,为形成大体积破坏则应尽量造成受拉条件。自由面的存在改变了岩石所处的应力状态,并造成受拉破坏的条件,因此可利用岩石抗拉强度小的性质而获得大体积的破坏。

二、炸药爆炸理论

为了研究方便,通常将炸药爆炸时其能量转换出的有效机械功归纳为两类——爆破功和破碎功。

爆破功:与绝热膨胀功成正比。因此,爆破作用决定于爆热、爆

炸产物成分和其膨胀程度有关的炸药爆力。爆炸作用实际上与爆速完全无关,也就是说爆速不影响炸药爆破岩石的能力。

破碎功:炸药爆炸的破碎或击穿作用,冲击波波峰做功的部份。按爆轰流体动力学理论,它与爆轰波波峰的最大爆轰压力成正比。

$$\text{最大爆轰压力} \quad P = \frac{\rho_0 D^2}{4} \quad (1-1)$$

式中 P ——最大爆轰压力;

ρ_0 ——炸药密度;

D ——炸药爆速。

所以,最大破碎功与炸药密度和爆速的平方成正比。

对于满装填炸药的炮眼,炸药爆炸后,在炸药与岩体界面上产生的最高压力 P_m 可用下式表示:

$$P_m = \frac{2\rho v}{\rho v + \rho_0 D} P \quad (1-2)$$

式中 P_m ——在炸药与岩体界面上产生的最高压力;

ρ ——岩石的密度;

v ——岩体中的纵波速度;

ρ_0 ——炸药密度;

D ——炸药的爆速。

上式表明:同一种炸药在不同岩石中爆炸时,作用在炮眼壁上的最大压力也不同。岩石的波阻抗 ρv 越大,作用在炮眼壁上的最大压力 P_m 也越大。

第四节 隧道爆破的基本概念

在岩石爆破技术中,隧道和隧洞的掘进受到了特别的重视。

隧道爆破是单自由面条件下的岩石爆破,其关键技术是掏槽,其次是周边光面爆破。隧道爆破的原则是:先做出设计,在掌子面上布置炮眼,而后根据设计的炮眼深度和方向钻眼,然后根据设计装药量及起爆顺序将炸药及不同段别的雷管装入炮眼,待做好安

全防护工作后,联接网路并起爆。按照爆破顺序,最初的几个炮眼要形成一个槽腔。破岩深度取决于掏槽效果。成功的隧道爆破,应该是达到预定的进尺,掌子面较平整,岩碴块度适宜装运,轮廓壁面平顺,超欠挖在预定的范围之内,围岩稳定。

主要名词解释

掏槽即在开挖面的中部,钻一定数量的眼,并且超量装药,以破碎抛掷岩石,首先形成一个槽腔。增加自由面为其它炮眼的爆破创造条件。

光面爆破即在开挖轮廓线上布比普通爆破较为密集的炮眼,并采用装少量炸药的特殊装药结构,周边眼间距与抵抗线之比大致为 0.8,且在主爆体爆破后最后同时起爆,使岩体沿开挖轮廓线爆除,使围岩最大限度少受损伤的爆破技术。

预裂爆破与光面爆破相比,炮眼还要密一些,装药量也要多一些,爆破从开挖断面轮廓线开始,即是周边炮眼在断面上的所有其它炮眼爆破之前首先同时起爆,其工艺与光面爆破基本一样。当装药量和间距选择适当时,在各炮眼的爆破作用力相互作用下,使周边炮眼之间形成一连续的预裂破裂面,成为随后其余炮眼爆破所产生的爆破冲击波的屏障,使传到破裂面外侧围岩处的爆破作用力减到最小,以使围岩所受到的扰动和破坏达到最小程度。

循环进尺一次开挖爆破的隧道进尺。

炮眼间距同一并排同段号爆破两相邻炮眼的中心距离。

抵抗线药包中心至自由面的最小距离。

炸药单耗爆破 1m^3 岩石所需要的炸药量。

炮眼利用率实际循环进尺与炮眼深度之比。

掏槽眼开挖断面中部,最先起爆的一些炮眼。

扩槽眼随掏槽眼之后爆破的一部分炮眼。

周边眼周边轮廓线上的炮眼。

内圈眼紧挨周边眼的二圈眼。

底板眼隧道底边上的炮眼。

二台眼紧挨底板眼之上的炮眼。

第二章 爆破工程地质

岩土爆破工程与地质有着密切的关系。为使爆破工程达到预期的目的,就必须掌握爆破工程地质一般知识,以了解爆区的地形、地质、水文地质及物理地质等自然条件,全面考虑这些条件与爆破作用的关系问题。采取合理的爆破参数,适宜的炸药品种,使爆破达到良好的效果。并尽可能减小爆破对隧道围岩的破坏,保证围岩的安全与稳定。

本章将主要介绍岩石的性质、岩石的工程分级、炸药与岩石的阻抗匹配试验及地质条件对隧道爆破作用的影响。

第一节 岩石的性质

土壤和岩石是人类的工程活动的主要对象。它们有着共同的组成成份,但在物理性质上则有显著的区别。爆破工程常常遇到的是岩石。这里主要研究岩石分类、物理力学性质、影响岩石爆破性的因素。

一、岩石的成因分类及其特征

所谓岩石,就是由一种或数种矿物聚集而成的集合物。地壳上每一种岩石都有自己的物理性质和化学成份。通常按成因将岩石分为三大类,即:火成岩、沉积岩、变质岩。

(一)火成岩

火成岩是由埋藏在地壳下部深处的岩浆(熔融物质)上升冷凝或喷出地表形成的。

1. 火成岩的产状由岩浆凝结的环境所决定,可分为喷出的和