

光面爆破新技术

蔡福广 编著

341
330
2

光面爆破新技术

蔡福广 编著

中国铁道出版社

1994年·北京

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本书全面论述了光面爆破技术的起源、应用和发展,对国内外光爆机理的理论研究和光爆施工的成就,进行了客观地、辩证地总结和介绍。在光爆机理方面,以实际资料为基础,以现场施工为依据,由浅入深、紧密联系实际地进行了阐述,并有作者的独到见解。在光爆最关键的参数选择方面,作者将自己长期从事地下光爆研究和实践的丰富经验加以总结,首次将原来光爆装药量控制靠经验确定、上升到科学理论计算的全新阶段。

本书可供各种隧道及地下工程、地面边坡工程的科研、设计、施工等科技人员及专业师生参考、使用。

光面爆破新技术

蔡福广 编著

中国铁道出版社出版

(北京市东单三条14号)

责任编辑 王俊芳 封面设计 王毓平

各地新华书店经售

北京顺义燕山印刷厂

开本: 787×1092 毫米 1/32 印张: 8.75 字数: 366 千

1994 年 2 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数: 1—4000 册

ISBN7-113-01561-1/TU·336 定价: 6.80 元

序

近年来，光面爆破技术在我国得到了突飞猛进的发展。使用单位之多、推广面之广、施工量之大，在世界上已名列前茅。但全面系统总结我们自己的经验，详细介绍这方面的情况，理论联系实际指导光爆施工的书却为数甚少。济南军区司令部设计研究院蔡福广主动承担了这一任务，是值得庆幸的。通观全书内容，我认为有以下特点：

全面论述了光爆技术的起源、应用和发展，对光爆的前景和未来进行了热情洋溢的估价。对国内外光爆机理的理论研究和光爆施工成就，进行了客观地、唯物辩证地总结和介绍，为我们开阔了眼界，打开了视野，说明该书有很好的思想性。

理论联系实际。光爆技术是集岩石力学、井巷工程、固体力学、爆破力学、断裂力学于一身的一门边缘科学。理论水平较高，学起来困难大。但作者在介绍光爆机理时没有一开始就讲很深的理论问题，反而以实际资料为基础，以现场施工为依据，由浅入深，循序渐进，紧密联系实际地进行了阐述，使读者学而不厌，做到了理论和实践的统一。

作者从事地上地下光爆研究和实践已近 20 年，光爆施工井巷几十万米，在光爆施工组织、管理和光爆参数选择计算方面有着丰富的经验。他把国内外先进经验和自己多年创造的成功经验以及科研成果及时恰当地进行了总结和反映。所以，该书在内容上的取舍有很好的先进性。

光面爆破作为一门边缘科学，即一种地下及地面岩石掘

ABA31/05

进的新技术，从一问世就倍受有识之仕青睐。三十多年来，光面爆破在国内外隧道及地下工程与地面工程的建设中，取得的成就是有目共睹的，综合效益是巨大的。

然而，纵观其发展历程，不光有前面所述的辉煌，也有些部门，由于开始不理解而在推广应用中出现反复和曲折的。

我认为，在今后推广应用光爆过程中，有条件的可以发展、提高、创新。有的则应总结过去成功的经验，接受不利的和失败的教训。更重要的是能在推广应用中坚持不懈，持之以恒。

与其他技术和学科一样，光爆在发展过程中，也迫切需要科学的理论加以正确引导。需要在大量的实践中及时总结出新鲜经验。需要不断提高与创新为其注入活力。同时，光爆的发展还需要有强大的推动力。而《光面爆破新技术》这本书的出版，对光面爆破这一边缘学科以更高的速度健康全面地向前发展，无疑可以起到正确引导、总结新鲜经验、注入活力和给予强有力的推动作用。

刘清泉

1993年9月27日

目 录

第一章 绪 论	(1)
第二章 光面爆破的基本特点	(4)
第一节 光面爆破的基本概念	(4)
第二节 光面爆破的形成及特点	(5)
第三节 光面爆破的发展及应用范围	(8)
第三章 光面爆破时岩石的受力机理	(12)
第一节 有效的组织应力	(12)
第二节 不偶合系数	(16)
第三节 导向孔的作用	(18)
第四节 受力机理	(31)
第四章 光面爆破各种参数的选择与确定	(36)
第一节 确定光爆参数的原则	(36)
第二节 光爆参数的选择与确定	(36)
第五章 光面爆破装药量的计算与控制	(44)
第一节 基本依据	(44)
第二节 装药量的计算与控制	(45)
第三节 装药量计算注意事项及其 适用范围	(49)
第四节 经验装药量计算式	(51)
第六章 光面爆破的掏槽与布孔	(53)
第一节 掏槽	(53)
第二节 布孔与起爆顺序	(88)
第七章 光爆作业面的开挖形式	(106)

第一节	选择开挖方法应考虑的因素	(106)
第二节	大断面光爆掘进的几种开挖方法	(109)
第三节	中小型断面的光爆开挖方法	(119)
第八章	光面爆破的凿岩作业	(123)
第一节	凿岩机械概述	(123)
第二节	光爆钻孔的基本技术与技巧	(128)
第三节	控制错台提高光爆平整度	(133)
第九章	光面爆破的起爆及其起爆手段	(135)
第一节	起爆火具	(135)
第二节	电雷管起爆简介	(139)
第三节	导爆索起爆简介	(140)
第四节	非电导爆系统在光爆中的应用	(142)
第十章	预裂爆破	(150)
第一节	应力波与气体压力在预裂爆破 中的作用机理	(150)
第二节	预裂爆破	(162)
第三节	地下工程的预裂爆破及线形开挖	(166)
第十一章	特殊形式及特殊部位的光面爆破	(179)
第一节	轮廓线钻孔法	(179)
第二节	缓冲爆破法	(181)
第三节	组合光爆法	(185)
第四节	特殊部位的光面爆破	(187)
第十二章	地面工程深孔预裂爆破	(193)
第一节	概述	(193)
第二节	主要参数的确定	(194)
第三节	钻孔精度对预裂壁面的影响	(210)
第四节	工程实例	(211)
第十三章	光面爆破安全管理及技术规定	(217)

第一节	安全与管理	(217)
第二节	光爆常见质量事故的预防与处理	(221)
第三节	险石的排除	(226)
第四节	有关规定及技术标准	(226)
第十四章	光面爆破的发展动向与展望	(234)
第一节	光面爆破发展动向	(234)
第二节	光面爆破发展展望	(244)
附录一	岩石坚固系数表	(248)
附录二	岩石坚固性分级	(259)
附录三	坑道内有害气体允许浓度表	(261)
附录四	国内外常用光爆参数及光爆专用 炸药表	(262)

后 记

参考文献

第一章 绪 论

光面爆破（以下简称“光爆”）这门边缘学科，是50年代后期在瑞典兴起的。随后，即传入美国、英国、芬兰和日本等许多国家。60年代中到70年代初，在我国的许多专业、许多部门以及部队开始全面推广使用。不仅取得了巨大的经济效益和其它综合效益，而且保证安全，因此倍受有关专业科技专家的高度重视和青睐。

光面爆破在各国的推广应用，是隧道及地下、地面岩石工程掘进和开挖史上的一场大革命。它和传统的普通爆破相比，是一个很大的飞跃。可以预言，在未来相当长的时间里，光面爆破将不断地得到推广应用和发展。

近年来，光面爆破的发展日新月异。在理论上，不断取得新的突破，实践中，不断取得新的成就。但是，到目前为止，我国有关的专业书籍仅将其作为一项技术简单介绍，尚无全面、系统论述的材料。而本书旨在弥补国内这一欠缺，力求能系统地、深入浅出地从理论到实践阐述光面爆破这门科学。

在地下坑道工程、水电工程、隧道工程、冶金矿山工程、铁路工程、公路工程、煤炭工程、地面岩石工程等专业的科研、设计、施工、管理等人员中，迫切需求一本适应光面爆破这一科学的发展，并将其最新成果、经验和最新理论系统介绍的书籍，以满足诸方面之用。本书结合实际，汇集国内外近年来的综合成就和发展动态，力求在这一领域内，给读者带来较多的帮助、启迪和未来信息。

本书分十四章，并附有围岩分类表及坑道内有害气体允

许浓度表等工具性资料。书中除用适当的篇幅论述隧道及地下工程光面爆破以外，还对属于光爆范畴的地面深孔预裂爆破进行了详细介绍。

过去，人们习惯于把光面爆破当成一项单纯的边缘技术分枝来看待、来研究，在很大程度上忽略了它应有的地位。从某种意义上讲，影响了它的发展与提高。事实上，它是集岩石掘进及岩石力学、工程爆破学等诸多科学于一体的一门很深的很有发展前景的“综合性工程光面爆破科学”——简称“光面爆破学”。本书则在此先为其搭个框架，并希望从事光爆及有志于光爆研究的学者同仁，在今后的工程设计、施工、科研、教学中，努力提高、发展、创新、完善这一相对较新的边缘科学。

就本书特色而言，读者不难发现以下几个方面。

一、能够满足读者在广度和深度方面的需要

较全面地系统地把这一学科从起源、试用到各国的应用与发展，特别是我国的推广应用与发展情况，作了较详细的阐述。对国内外几十年光爆实践的宝贵经验、不同时期的各种理论——特别是有代表性、有创建性的经验和理论，本着取其精华和促进光爆发展的原则，进行了发掘和整理。不仅对光爆作了一般理论、技术要点和工程实践的阐述，更注重立足于本学科国内外发展的最前沿的动态，阐述近年来大量的、有突破性的理论和实践，以满足高层次读者的需要。

二、总结实践经验以升华科技理论

作者结合十多年的研究与实践，除了注意理论和实践的紧密结合外，书中在光面爆破装药量的计算与选择、特殊部位的光爆、参数选择以及光爆的发展与展望等章节中，揉进

了作者研究和公开发表的一些文章。包括：《光面爆破装药量计算初探》、《关于光面爆破装药量计算问题》、《慎重爆破拱脚侧墙脚》、《光爆的发展动向》、《光面爆破最佳装药量的选择与计算》、《光爆在地下工程中的应用与体会》等内容的精髓以及近年来研究而未公开发表的成果。这在一定程度上，既丰富了光爆的研究内容，又使原来光爆装药量控制靠经验确定，上升到理论公式计算的新阶段。

书中光爆机理的分析研究和数学力学模型的建立，应力组织说的提出，都可以对揭示光爆机理予以补充。并通过对光爆工程的研究，客观地指出了光爆在理论与实践上目前的难点、需要解决的问题以及将来发展的方向。

三、指出光爆的发展方向

光面爆破也怕走入迷途，也需要继续发展。如果认为有了掘进机，光爆就不需要发展或可以放慢发展速度，这种想法是片面的。掘进机发展了，光面爆破同样需要发展。掘进机的某些缺点（如在硬岩中切削刀具成本较高）可能正是光面爆破的优点；而光面爆破的某些缺点（如掘进的循环性问题）也是掘进机的优点。光爆在很多领域的很多优点是掘进机很难取代的，例如地面深孔预裂爆破和深孔光面爆破，而掘进机的很多优点包括在很多领域的作用，光爆也不好取代。因此，都需要发展，都需要完善，都需要创新。深孔光面爆破的掘起，就是光爆发展的一种尝试和继续。有时，为了适应工程建设发展的需要，甚至可以尝试一种光爆与部分断面掘进机互补的发展路子。目的只有一个，加快岩体工程建设速度，降低成本，提高质量。

第二章 光面爆破的基本特点

第一节 光面爆破的基本概念

光面爆破亦称密眼小炮爆破。通过合理地选择各种参数、严格控制装药量、科学布置各种眼孔、按照一定的顺序起爆装药以及利用岩石抗拉强度远远低于其抗压强度的特性，可以有效地组织爆破应力。根据施工图纸的要求，在隧道及地下工程掘进爆破后，成形规整，表面光滑。在爆后，要求成形的轮廓线以外的岩石不受扰动和破坏，尽可能地保持围岩自身强度。这种人为控制的爆破方法，就叫做光面爆破，简称“光爆”它是一种先进的科学的爆破方法。

坑道掘进爆破后，要求设计轮廓线内的岩石很好地破碎，而轮廓线之外的岩石完好地保存下来，光面爆破的施工方法，就可以将这两个方面的要求很好地统一起来。

在实际作业中，坑道毛洞并不那么理想，往往不需要破坏的部位破坏了，而需要破坏的部位则保留了，形成了超(欠)挖现象。产生的主要原因有四个方面：

1. 岩石本身的脆性和结构的不均匀，诸如节理、层理、裂隙、断层、各种软硬夹层；
2. 受岩石种类的变化、软硬程度、破碎程度和岩矿物质排列方向不同的影响；
3. 受钻孔距离、深度、最小抵抗线厚度（以下简称抵抗线）、角度不同的影响；
4. 装药密度、装药数量和破坏力的大小、方向不易

控制。

前两个原因，是客观存在的，不能改变它；对于后两个原因，则可以采取相应的技术措施，控制钻孔距离、钻孔深度、抵抗线厚度、钻孔角度、装药密度、装药数量和炸药爆力的大小、分布方向，以便控制超、欠挖现象。这就是光面爆破要做的工作。也是研究光面爆破要达到的目的。

实现光面爆破的方法很多，概括起来可分为四种类型，这四种类型尽管叫法不同，方法各异，可都属于光面爆破范畴。

1. 轮廓线钻孔法；
2. 缓冲爆破法；
3. 预裂爆破法；
4. 周边爆破法，也叫成型爆破法或修边爆破法。

人们常说的光面爆破，一般是指周边爆破法。这种方法的基本步骤是：先起爆掏槽炮，再依次起爆掏槽扩大炮、扩大炮、二周边炮、最后起爆周边炮（也可采用分部开挖法）。它是人们用得最多，最普遍和最熟悉的一种方法。本书着重介绍的就是这种光面爆破方法。

第二节 光面爆破的形成及特点

一、光面爆破的形成

在一项爆破工程中，当被爆下的岩石排除之后，这项工程的成果就被长期保留了下来。在露天工程中的是边坡轮廓，在地下工程中的是拱顶和侧墙轮廓。以电站引水隧道为例，爆破后形成的不光滑轮廓会长期对水流产生较大阻力，因而使水的能量受到损失。在采矿工程、地下仓库和防空洞室中，

会因此而增加维修费用和其他施工工序的难度，围岩强度也会随之减弱。

除了采矿工程中的采准巷道以外，其他地下工程多系永久性建筑，例如，地下厂房、地下坑道、电站、指挥所和油库等重要地下工程。这类工程在竣工之后，如果还需要处理拱顶和侧墙的大块险石，并进一步采取其他安全措施，就会带来不少麻烦，并且会提高工程成本。另外，从结构上考虑，也应根据岩石的特性，对所爆破的地下洞室断面给以充分重视。当采用混凝土被覆时，混凝土结构将把拱顶和侧墙封死，故一旦竣工，就很难检查。在这类地下结构中，对爆破要求是很高的，应尽量接近设计断面。拱顶和侧墙超挖应尽可能小，尤其是拱顶，以免造成岩块松动。

无论爆破那种类型的地下工程，造成了超欠挖都是不利的。欠挖，要重新修复，无疑是一种浪费；超挖、更是不利，除需用昂贵的混凝土或其他材料充填外，关键是严重影响洞室围岩稳定。因此，需要更科学的爆破方法来代替传统的普通爆破。

50年代初期，瑞典的哈格卓普（Hagthorpe）、达尔博格（Dahlborg）、基尔斯特罗姆（Kihlstrom）、伦得博格（Lundborg）与兰基弗斯（Langefors）等人首次进行了“光面爆破”，也叫周边爆破。以后在美国，由荷姆斯（Holmes）作了进一步的发展，使岩壁能达到如刀切般的光滑，并且围岩基本不受破坏。随着光面爆破的发展，相继应运而生了“预裂爆破”（也包括原来的“轮廓线钻孔法”）等爆破方法，这些方法可统称为“光面爆破”。

二、光面爆破的特点

光面爆破无疑是一种科学的爆破方法。它的适用范围很

广，优越性很多，本书主要以各种地下坑道、隧道及地面岩石工程等为背景加以介绍。前面已经讲到，应用光面爆破技术爆破的坑道成型规整，符合设计轮廓线要求，有利于围岩稳定，不产生或很少产生炮震裂缝。因此，在国内外受到有关行业的高度重视，其基本特点为：

1. 坑道成型规整、光滑，接近于设计轮廓线的要求，受力性能好，应力分布均匀，有利于围岩稳定，自身支撑力强，可提高防护能力。

2. 对坑道围岩的炮震扰动范围明显减小，相应的炮震裂缝少。可有效地减少应力集中引起的塌方。减少落石和危险断面，减少事故，避免人员伤亡。改善作业环境，增加施工的安全性，并能减少放炮后的排险时间，直接或间接地提高施工速度。特别是在石质不良地段，效益更为显著。

3. 由于光爆成型规整，对于不少坑道（隧道、巷道更是如此），一般只作5~15cm的喷射混凝土支护。与普通爆破后的混凝土被覆（衬砌）相比，可相应的增大使用面积，更合理，更有效地利用空间，即提高空间利用系数。

4. 节约材料，降低工程造价。

- (1) 光面爆破与普通爆破相比，按经验装药量计算，可节省炸药15%左右。

- (2) 光面爆破爆后不留或很少留残孔，眼孔利用率较普通爆破高10%左右。

- (3) 由于光爆爆后坑道成型规整，超欠挖少，可减少出碴量15%左右，减少幅员修理工作量和扒碴、运碴时间，节省劳力，降低器材消耗，同时可大大降低劳动强度。例如，在铁道大秦线施工中，以19km隧道统计，若超挖10cm，就相当于多挖1km同断面隧道。

- (4) 坑道采用光爆后，可被覆可不被覆的坑道，原则上

不被覆，需要被覆的坑道，则可减少10%左右的块石回填量和8%左右的混凝土超灌量，可大大节省木材消耗，光面爆破与喷锚支护相结合比普通爆破与混凝土被覆的结合使用，每 m^2 可平均节约35%以上的资金。

5. 抗震性能好。根据开滦煤矿在唐山大地震后，对4515m光爆锚喷的巷道调查，震后完好率达95%。

第三节 光面爆破的发展及应用范围

一、光面爆破的应用与发展

50年代末和60年代初期，瑞典在地下爆破中就较多地采用了光面爆破技术。60年代初期到70年代初期的十年中，瑞典在地下爆破中广泛地采用了光面爆破技术。70年代初期，光爆这一技术已经成为一种标准的爆破方法。在瑞典，由于隧道和地下库房设施正在获得越来越多的新用途，保护围岩的光面爆破技术也就越来越显得重要。用粗枝大叶的普通爆破方法构筑地下设施所得来的经验教训，使之得出这样一个有关地下爆破的概念——隧道和地下库房设施应当作为建筑物来看待，其最终产品质量在很大程度上取决于所采用的爆破技术。因此，他们的地下工程委托单位和施工单位，都很重视制定正确的光爆规范。

在英国，由于日益增大的都市化和生活标准的提高，对水源、污物处理、电力分布以及运输系统提出了要求，从而也就对隧道工程和隧道建设提出了严格的标准。大约在1969年到1973年底的5年里，英国的硬岩隧道掘进进度每年平均有21km（13英里），预计到本世纪末可能增加到每年66km（41英里）以上。大部分隧道工程用于污物处理和水源，少

部分用于电力输送（电缆隧道）、瓦斯地下贮存、输送以及公共交通、地下油库、大型泵站等。由于目前英吉利海峡隧道的施工，英国本世纪末掘进的隧道工程，每年将远远超过原来的预计。

英国在隧道施工中碰到的岩石种类繁多，地质条件复杂。有坚硬的花岗岩、海绵状的片岩、变质岩、石灰岩、含瓦斯的煤系，也有经常含水的粘土和石灰石的混杂层，样样俱全。有时，在一条隧道工程中，会遇到上述大多数类型的岩石。为保证大量隧道工程的爆破质量，保证岩石变化频繁的工程的掘进安全，英国一直非常重视光面爆破技术。主要表现在：

1. 重安全、重质量不追求太大的进尺。

进尺的数量，随工程地质的变化而变化，根据岩石的软硬，洞室断面的大小，一次进尺在0.6m~5m不等。一般不搞单纯只要进尺的做法。

2. 为保证洞室围岩稳定，将超挖减少到最低限度。

控制超挖的两个基本原则是，精心钻孔和仔细控制周边部分爆破规模。

精心钻孔，即是极为细致地精心布置炮孔，标志清楚，慎重穿凿，误差严格限制在规定的范围以内。

控制爆破规模。一是沿轮廓线尽可能地少装药。用预裂爆破的方法，在主体爆破之前，将周边炮同时起爆，可沿周边形成一条规整地贯穿裂缝，达到限制超挖的目的，或用光爆法，精心设计周边孔深、孔距，根据不同石质采用不同的低密度炸药（见表2—1）。采用尽可能小的抵抗线厚度，按延期起爆顺序依次起爆，将主爆区和周边孔之间的岩石爆掉，以控制超挖。

3. 为保护深层围岩稳定和地面工程的震动，将爆破震动限制在允许的范围以内。