

爆破技术基础

姜彦忠 编



中国铁道出版社

爆破技术基础

姜彦忠 编著

中 国 铁 道 出 版 社

1994年·北京

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本书对炸药的基本常识,起爆方法及器材、土石方爆破。爆破安全技术、岩石爆破机理等问题做了通俗、简明、实用的阐述。

读者对象:基本建设各部门从事工业建筑、土石方爆破工程的技术人员、教学人员、领工员、爆破工。

爆破技术基础

姜彦忠 编著

*

中国铁道出版社出版

(北京市东单三条1号)

责任编辑 刘启山 封面设计 陈东山

各地新华书店经售

北京市燕山联营印刷厂印



开本: 787×1092 毫米 1/32 印张: 7.375 插页: 1 字数: 160 千

1994 年 9 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数: 1—3 000 册

ISBN7-113-01756-8/TU·383 定价: 7.40 元

序

改革开放以来，国民经济建设迅猛发展。爆破技术的应用已深入到各种建设部门，不仅是矿山、水利水电和铁路交通等系统大量采用爆破技术去解决基本建设中的工程问题，在城市、工厂企业的拆迁和改建中已广泛地采用了城市控制爆破技术。据说全国从事爆破作业的人员有六十多万人，队伍是庞大的。但是近年来爆破专业文献和参考资料却远远跟不上现实发展的需要，这是值得爆破工程界和科研教学界同行予以重视的问题。

姜彦忠同志多年来对工程爆破事业的发展给予了很大的关注，利用工作之余，结合实践经验，收集整理了许多资料，本着重实践而不轻视理论的原则，编写了这样一本有较高实用价值的《爆破技术基础》，供同行参考应用，值此出版发行之际，特为作序介绍。

冯叔瑜

一九九二年五月十一日

ABE-11/59 03

前 言

在土石方工程施工中，经常采用爆破方法，来代替人工或机械开挖土石，加快施工进度。而且在某些特定条件下（整体岩石开挖或人工与机械不可能施工的地方），它还是唯一的一种施工作业方法。爆破作为一门科学也和其他学科一样有一个认识发展的过程。

我国是黑火药的诞生地，也是世界上爆破工程发展最早的国家。由于黑火药的发明和使用，人们才有可能利用大量廉价的能源代替人力劳动，创造人类的幸福生活和物质财富。也正是火药的发明给现代炸药的理论 and 实践开辟了发展的道路。在这以前我们的祖先均用收缩破裂法，这种方法是用火将岩石加热后，泼水使其迅速冷却和收缩，在岩石中引起应力，从而造成开裂，再用大锤钢纤和楔子破开岩石。

大量推广和使用爆破法使其为国民经济建设服务，是在19世纪化学工业发展起来之后。由于新品种炸药（如硝酸铵）发明问世，对爆破工程起了重大促进作用，为爆破工程的发展开辟了广阔的前景。

新中国成立后在党的领导下，爆破技术得到广泛的应用和发展，早在1956年就成功地进行了三次空前规模的大量爆破，共用炸药一万六千多吨，爆破土石方九百多万立方米，最大的一次装药量达1167t，这是当时世界上规模最大的爆破，同年又在内昆线第一次成功地采用了定向爆破的施工方法。到1959年大爆破与定向爆破得到了大量的应用和推广，丰富

了爆破技术经验，提高了设计理论和施工技术水平，培养了一大批技术人材。

近十几年来国内外在爆破理论、爆破工艺、爆破技术方面都有了新的发展和提高，例如为了适应土石方施工机械化，大力发展了深孔法爆破。为了避免对围岩的破坏和超欠挖，大力试点并推广了预裂和光面爆破。为拆除城市旧建筑中的混凝土或钢筋混凝土结构物，国内外实践证明用控制爆破法拆除这些圬工，是一种最有效的快速安全施工方法。例如：我国铁道部于1979年改造长大线上盖县铁路大桥时，成功地进行了大规模控制爆破，该桥施工环境复杂，与行车密度很大的下行桥相距3.3米，在不影响行车和周围安全的情况下，将数百立方米混凝土（含钢筋混凝土）爆成碎块，收到了事半功倍的效果。在起爆方法和起爆材料方面也同样得到了发展和提高（例如，现在推广使用的继爆管和诺尼耳起爆系统等）

随着爆破技术的发展，它的应用越来越广泛（如用爆破法夯实、整平、加工金属产品，焊接等）。在环境和生态保护成为很大的国际问题的时代，采用危害因素较少的爆破工艺是极其重要的。因而爆破技术的发展远景是令人鼓舞的。但是爆破工程在我国发展较迟缓，特别是在爆破理论、量测技术和计算中一些参数的确定方法仍处在探索阶段。此外爆破与工程地质的关系乃是至关重要的问题，但对它的研究则还不够完善。为推广爆破技术和促进爆破技术的发展，为此，我在收集大量资料的基础上，结合自己的工作实践，编写了本书，与同行们共同探讨。

本书共分六章内容，系统、全面地叙述了炸药、爆破方法、爆破理论等技术基础知识，既有理论分析，又注重实践

总结，并列举了铁路爆破的例子供借鉴。在编写中，力求做到简明扼要、通俗易懂、便于实用。

这本书在编写整理过程中，得到了铁科院铁建所、石家庄铁道学院铁道工程系的指导和帮助。在我国爆破工程界享有崇高声誉的铁道部科学研究院老专家、研究员冯叔瑜先生仔细审阅了全书初稿并热心为之作序。还得到了闫墨灿、张奇男等同志的大力协助，在此谨向他们表示衷心感谢。由于作者水平有限，缺点错误在所难免，欢迎读者批评指正。

作 者

1992年5月1日

目 录

第一章 炸 药	(1)
第一节 炸药的基本概念.....	(1)
一、爆炸现象.....	(1)
二、炸药爆炸的三要素.....	(2)
三、炸药分类.....	(3)
四、对炸药的基本要求.....	(4)
第二节 炸药爆炸性能.....	(4)
一、炸药的爆速.....	(5)
二、炸药的爆力.....	(7)
三、炸药的猛度.....	(9)
四、炸药的殉爆距离	(10)
五、炸药的敏感度(感度)	(11)
六、炸药的安定性	(16)
第三节 炸药的热化学性质	(18)
一、炸药的氧平衡	(18)
二、炸药的爆热	(21)
三、比容的理论计算	(27)
四、炸药的爆温	(28)
第四节 常用炸药	(31)
一、单体炸药	(31)
二、混合炸药	(33)
第二章 炸药的起爆与传爆原理	(48)
第一节 炸药的起爆	(48)
一、热能起爆	(48)
二、摩擦撞击起爆	(49)

三、爆炸冲能起爆	(50)
第二节 炸药爆轰及稳定传爆	(50)
一、爆炸反应传播特征	(50)
二、稳定传爆条件	(58)
三、影响稳定传爆的因素分析	(65)
第三章 起爆方法及器材	(74)
第一节 非电力起爆法	(74)
一、火雷管起爆法	(74)
二、导爆索起爆法	(83)
三、导爆(传爆)管起爆法	(90)
第二节 电力起爆法	(93)
一、电 雷 管	(93)
二、电 线	(102)
三、电 源	(104)
四、电力起爆	(107)
第四章 土石方爆破	(114)
第一节 药包计算原理	(114)
一、爆破漏斗的形成	(114)
二、药包分类及药量计算	(118)
第二节 炮眼法	(123)
一、炮位选择与布置	(124)
二、装药量计算	(126)
三、装药、堵塞、起爆	(128)
第三节 药 壶 法	(129)
一、炮眼位置的选择	(130)
二、药量计算	(131)
三、药壶制作	(132)

四、装药与堵塞	(134)
五、药包起爆	(134)
第四节 深孔爆破法	(134)
一、概 述	(134)
二、梯段要素	(136)
三、参数选择	(136)
四、施工操作	(141)
五、出现不良效果的情况及处理方法	(143)
第五节 光面爆破和预裂爆破	(143)
一、概 述	(143)
二、光面爆破	(145)
三、预裂爆破	(148)
四、预裂和光面爆破在路堑施工中的比较	(152)
第六节 洞室法爆破	(153)
一、洞室爆破的类型	(154)
二、洞室爆破的设计内容	(156)
三、洞室爆破的主要参数选择	(158)
四、洞室法爆破设计用的主要公式	(159)
五、药包布置	(168)
六、施工设计要点	(174)
第七节 铁路爆破实例	(176)
一、爆破方案的选定	(177)
二、设计原则	(177)
三、设计计算	(177)
四、爆破施工(略)	(179)
五、技术经济指标完成情况	(179)
六、爆破实例	(180)

第五章 爆破安全技术	(184)
第一节 爆破安全距离的计算.....	(184)
一、地震波安全距离计算.....	(184)
二、空气冲击波安全距离计算.....	(185)
三、个别飞石安全距离计算.....	(186)
第二节 爆破安全注意事项.....	(188)
一、爆破材料的保管.....	(188)
二、爆破材料的装卸和运输.....	(189)
三、路基土石方一般爆破施工.....	(189)
第三节 盲炮处理.....	(191)
第六章 岩石爆破机理	(193)
第一节 爆炸应力波的基本知识.....	(193)
一、爆炸应力波的传播及应力应变.....	(193)
二、应力波的反射.....	(198)
第二节 岩石的坚固性及分级.....	(202)
第三节 岩石爆破机理.....	(205)
一、爆轰气体产物膨胀推力破坏理论.....	(206)
二、应力波反射破坏理论.....	(207)
三、气体推力和反射应力波共同作用理论.....	(209)
第四节 单个药包爆破作用的分析.....	(211)
一、单个药包在无限介质中爆破机理分析.....	(211)
二、单个药包在单个自由面附近的爆破 机理分析.....	(214)
第五节 工程地质及地形条件对爆破作用的 影响简述.....	(219)
一、地形条件对爆破作用的影响.....	(219)
二、岩石性质对爆破作用的影响.....	(222)

第一章 炸 药

第一节 炸药的基本概念

炸药是一种不稳定的化合物或混合物，是一种危险品，如果处理不当往往会造成严重的事故，但炸药也有一定的安定性，只要我们充分认识它的性质，严格遵守操作规程，事故仍是可以避免的。

炸药的定义是：凡在外能作用下，能发生化学爆炸的物质叫炸药。

一、爆炸现象

炸药在外能（即冲击、摩擦、热能）作用下，瞬时释放出能量的过程叫爆炸。爆炸是我们日常生活中容易遇到的一种现象，它在自然界中普遍存在着，小到原子，大到太阳，爆炸现象到处可见。如火山爆发、闪电、原子爆炸、放鞭炮等。

爆炸的一般特征是对爆炸地点周围的介质瞬时和急剧地增高压力，并因介质的振动而发生声响。

在自然界中，尽管有各式各样的爆炸现象，但按其作用的本质来说可分为两大类：

（一）物理爆炸

液态二氧化碳制成的无烟爆破筒以及锅炉、高压罐、自行车胎爆炸等均属于物理爆炸。物理爆炸的实质是仅发生物态的急剧转化，而物质的分子组成在爆炸前后并未改变。

（二）化学爆炸

其特征是物质在瞬间产生急剧的化学反应，生成大量的高压气体，放出大量的热量，并对周围介质作机械功。在爆炸前后，物质的分子组成发生了变化。炸药的这种爆炸就属于化学爆炸。

二、炸药爆炸的三要素

（一）放热反应

炸药在爆炸瞬间释放出相当大的能量，它是对周围介质作功的物质基础，也是能使反应独立地（不需外能补充）高速进行的首要因素。显而易见，假如是吸热反应，则必须从外部补充能量才能维持反应的继续进行，故不具备爆炸的特征。

（二）反应速度快

由于反应速度快，反应的气体产物尚未来得及膨胀就被反应生成的热量加热到 $2000\sim 3000^{\circ}\text{C}$ ，并且这种高温气体几乎全部聚集在炸药爆炸前所占据的体积内，压力可达数十万大气压力，这就使反应产物具有很高的能量密度（即爆炸产物单位体积内的能量）。煤在空气中燃烧虽能生成 $2140\times 4.184\text{J/kg}^*=8953.76\text{kJ/kg}$ 的热量，然而因燃速慢，生成热量不断扩散于大气之中，能量密度仅达 $4.1\times 4184\text{J/kg}=171.544\text{kJ/kg}$ ，故不能形成爆炸。梯恩梯（三硝基甲苯）的爆热值虽然只有 $1010\times 4184\text{J/kg}=4225.84\text{kJ/kg}$ 。但一个普通梯恩梯药包的反应时间仅仅是几万分之一秒，气体产物来不及扩散就被加热至 3000°C 以上，能量密度高达 $1626\times 4184\text{J/}$

* 1千卡=4184J，下同。

$\text{kg}=6883.184\text{kJ/kg}$ 。这种高温高压和高能量密度的气体迅速膨胀，就形成了爆炸现象。

（三）生成大量气体

高速的放热反应虽然是炸药的必要条件，但还不是充分条件。有些化学尽管能放出巨大热量，但因没有生成大量气体而不产生爆炸现象。例如，铝热剂反应温度高达 3000°C ，因为只有固体产物而不发生爆炸。

由于气体具有很大的可缩性和膨胀性，在爆炸瞬间处于强烈的压缩状态，能够贮存极大的压缩能，因而在气体膨胀过程中可将炸药内能迅速地转变为机械功。由此可见，气体产物是炸药内能对周围介质作机械功的直接媒介。

炸药就是具备上述三要素的物质，通常由碳、氢、氧、氮等元素组成。一般工程中所用炸药的爆热为 $(600\sim1300)\times 4184\text{J/kg}=(2510.4\sim5439.2)\text{kJ/kg}$ 、爆温 $1000\sim4500^{\circ}\text{C}$ 爆速 $2000\sim7000\text{m/s}$ ，生成气体量 $600\sim1000\text{L/kg}$ 。

三、炸药分类

爆破工程中一般使用的炸药，按其使用特点和应用范围，可分以下三种类型：

（一）起爆药

起爆药的共同特点是感度（敏感度）高、加热、摩擦或撞击均易引起爆炸。在爆破工程中，起爆药主要用于制作起爆器材（火雷管和电雷管等）。属于此类炸药的有雷汞、氮化铅等）。

（二）猛性炸药

同起爆药相比，猛性炸药的感度较低，在使用时须用起爆药来起爆。猛性炸药的爆炸威力大，破碎岩石的效果好，它

是铁路、矿山等工程中最基本的常用炸药类型。

猛性炸药还可分为单体猛性炸药（例如梯恩梯、黑索金、硝化甘油等，其化学成分为单一化合物），以及混合猛性炸药（例如铵梯硝铵炸药、浆状炸药等，其组成由爆炸性成分和非爆炸性成分混合而成）两类。

（三）发射药

发射药的特点是它对火焰的感度极高，遇火能迅速燃烧，在密闭条件下可转为爆炸。此类炸药适用于军事上发射炮弹和火箭等。黑火药是发射药的一种，常用以制造导火索。

此外，炸药还可按化学成分、物理状态或应用范围等分类。

四、对炸药的基本要求

炸药的质量和性能对于爆破效果与安全均有很大影响，因此，应符合下列要求：

1. 爆炸性能良好，具有足够的威力。
2. 制造、运输和使用时的安全性可靠。
3. 理化性能稳定，在规定的贮存期限内（一般三个月到半年）不变质失效。
4. 生产工艺及操作比较简单而安全，便于大规模生产，成本低。
5. 原材料来源广泛。

第二节 炸药爆炸性能

炸药的爆炸性能通常以爆速、爆力、猛度、感度等指标表示。正确的掌握这些性能，对炸药的使用、运输、储存及生产中的安全均有很重要的意义。

一、炸药的爆速

炸药爆炸时爆轰波在炸药内部传播的速度称爆速。(单位: m/s) 它是衡量炸药性能的重要指标之一。

爆轰传播的速度取决于炸药种类和它所处的条件(如炸药密度、药卷直径及起爆能的威力等)有关,在正常条件下,爆轰速度应当是一个常量,通常爆速越大,炸药的反应速度越快,它的效率就越大,所产生的爆压、爆温也越高。炸药的爆速一般为 2000~7000m/s(应当注意,爆速与化学反应速度是两个概念。爆速是爆轰波波阵面沿药包传播的快慢;化学反应速度是指单位时间内反应了的炸药质量)。

(一) 爆速计算

爆速与爆热关系较大,其关系式为

$$D = \sqrt{2(K^2 - 1)Q} \quad (1-1)$$

式中 D ——爆速 (m/s);

K ——绝热指数;

Q ——爆热 (1×10^{-7} J/g)。

炸药爆炸时,高温下气体产物的绝热指数为 $K = 1.2 \sim 1.25$ (一般用 1.2)。

(二) 爆速的测定方法

用理论计算的爆速总是在理想情况下得到的,与实际条件总有差距测定爆速的方法有多种,按其原理可分为导爆索(传爆线)法、电测法、高速摄影法三大类。但目前现场还是导爆索法用的较多,现介绍如下。

导爆索法也叫道特列斯法,它是较简单的测定方法。先将炸药装入铁管中(或用已制好的纸药卷),将铁管的两端封闭(见图 1-1),一端留有小孔,用以插入雷管,在铁管(或

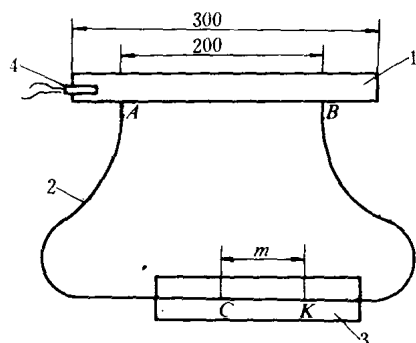


图 1-1 传爆线测定爆速示意图 (单位: mm)

1——炸药; 2——传爆线 (长 1m);
3——铝板; 4——雷管。

药卷) 上留有小孔 A 和 B, 用以插入传爆线, 在传爆线中点 C 处平放一块铝片。当雷管和炸药爆炸后、爆炸波先传到 A 点, 随即引起传爆线的一端爆炸, 并以已知传爆线速度 v_0 进行传播, 当药卷内的爆炸波到达 B 点时, 又引起传爆线的另一端爆炸。

从图 1-1 中可以看出, 由 A 点及 B 点发出的爆炸波, 运动方向是相对的, 显然必在中点 C 的右方 K 处相遇, 并留下显著的爆痕。根据爆炸波通过 ACK 与 ABK 路程所需的时间相等这一条件, 就可算出炸药的爆速。

$$\frac{ACK}{V_0} = \frac{AB}{D} + \frac{BK}{V_0} \quad (1-2)$$

$$\therefore ACK = AC + CK = 0.5 + m$$

$$BK = BC - CK = 0.5 - m$$

$$AB = 200 \text{ mm} = 0.2 \text{ m}$$

$$\therefore D = \frac{0.1 \times V_0}{m} \quad (1-3)$$

式中 D ——炸药的爆速 (m/s);

V_0 ——传爆线的爆速 (m/s);

m ——实际量得的长度 (m, 见图 1-1)。

导爆索长度应根据已知的爆速大致估算一下, 一般取 1