

控制爆破工程学

赵 福 兴

西安交通大学出版社

控制爆破工程学

赵 福 兴

西安交通大学出版社

内 容 提 要

本书是在系统总结控制爆破实践经验和科研成果的基础上编写而成的。主要介绍城市和工矿区内改建和扩建工程中的控制爆破技术。全书共九章。第一至三章，主要介绍爆破方面的基本知识和介质破碎机理；第四章，主要阐述控制爆破的几种原理以及为应用这些原理而采取的主要措施；第五至七章，分别介绍各种类型建筑物控制爆破拆除的设计、施工、安全防护及工程实例；第八章，水压控制爆破；第九章，控制爆破的安全验算与措施。

本书可作为高等院校土木建筑类专业的教材，也可供有关工程技术人员参考。

控制爆破工程学

赵 福 兴

责任编辑 王新安

西安交通大学出版社出版

(西安市咸宁路23号)

西安双桥头印刷厂印装

陕西省新华书店发行 各地新华书店经售

开本 87×1092 $1/32$ 印张 8.75 字数 183 千字

1988年4月第1版 1988年10月第1次印刷

印数：1-5000册

ISBN7-5605-0060-9/TB·4

定价： 1.95元

目 录

前 言

第一章 绪 论 (1)

§ 1—1 概述 (1)

§ 1—2 控制爆破工程学的任务 (3)

§ 1—3 控制爆破工程学的研究动向 (7)

第二章 爆破材料 (10)

§ 2—1 炸药的概念与分类 (10)

§ 2—2 几种常用工业炸药的特性 (13)

§ 2—3 炸药的爆炸特性与测定方法 (21)

§ 2—4 起爆器材 (27)

第三章 脆性介质在爆炸力作用下的破坏机理 (37)

§ 3—1 概述 (37)

§ 3—2 爆炸应力波 (39)

§ 3—3 脆性介质爆破破坏机理 (51)

§ 3—4 药量计算原理 (65)

第四章 控制爆破的基本原理 (72)

§ 4—1 引言 (72)

§ 4—2 等能原理与药量计算 (75)

§ 4—3 微分原理与爆破参数的确定 (85)

§ 4—4 失稳原理与临界炸毁高度的计算 (92)

§ 4—5 缓冲原理与装药结构 (100)

第五章 大型块体和板体的控制爆破 (110)

§ 5—1 引言 (110)

§ 5—2	大型混凝土块体的破碎性爆破	(110)
§ 5—3	大型块体的切割爆破	(117)
§ 5—4	板体爆破拆除	(128)
§ 5—5	整平控制爆破	(130)
§ 5—6	无声破碎剂的切割与解体技术	(143)
第六章	高层建筑物的控制爆破拆除	(150)
§ 6—1	概述	(150)
§ 6—2	爆破方案的选择	(151)
§ 6—3	高层楼房控制爆破的技术设计	(155)
§ 6—4	爆破网路设计	(161)
§ 6—5	高层建筑物爆破拆除的施工与 安全防护	(169)
§ 6—6	工程实例	(170)
第七章	高耸建筑物的控制爆破拆除	(179)
§ 7—1	概述	(179)
§ 7—2	高耸建筑物控制爆破设计	(180)
§ 7—3	爆破拆除高耸建筑物中的几个 力学问题	(188)
§ 7—4	高耸建筑物控制爆破的施工与安全	(200)
第八章	水压控制爆破	(203)
§ 8—1	水压爆破的基本原理	(203)
§ 8—2	水压爆破设计	(205)
§ 8—3	水压爆破的施工技术	(213)
§ 8—4	水压控制爆破的工程实例	(215)
第九章	控制爆破的安全验算与措施	(228)
§ 9—1	爆破空气冲击波	(228)

§ 9—2	爆破震动效应	(235)
§ 9—3	爆破飞石及防护	(252)
§ 9—4	爆破噪音	(254)
§ 9—5	爆破毒气	(257)
§ 9—6	高压电网和射频电源的安全距离	(259)
附 1	水压爆破的药量计算	(263)
主要参考文献		(271)

第一章 绪 论

§ 1-1 概 述

一提起爆破，人们往往有一种谈虎色变之感！脑子里顷刻便浮现出：响声如雷，硝烟滚滚，山崩地裂，乱石横飞的可怕景象。这主要是由于过去技术、设备等条件的限制，爆破所产生的冲击波、震动和飞石等对周围的人畜、设备和建筑物的安全都带来了极大的威胁所致。因此，那时爆破只用于荒山旷野，人口稀少和无重要建筑设施的地方，从不敢涉足于人口稠密的城镇。

随着生产发展的需要，尤其是在第二次世界大战之后，许多工厂、建筑物乃至整个城市被战争所破坏。为了在废墟上重建家园，这就给爆破工作者提出了一系列新课题，要求进一步研究新的爆破技术，让危险性很大的爆破从旷野进入城市，去拆除那些废旧的楼房、大型混凝土基础、以及那些用人工或机械难以搬运和破碎的建筑块体，让爆破听从人们指挥，这就是近三、四十年逐渐发展起来的一门新兴科学——控制爆破工程学。

二次世界大战后，苏、德、日等国为了拆除战争遗留下来的废弃建筑物，曾采用了某些属于控制爆破的方法。60年代，美国、日本、瑞典等国已将爆破技术用于城市建筑物的

拆除和水利、铁路、矿山的建设中。进入70年代，对爆破机理、施工技术、爆破器材等的研究都有了很大的发展。使爆破冲击波、震动、飞石和噪音等有害影响能控制在要求的范围之内，从而扩大了爆破技术的应用范围。近年来，已推广到拆除数十层的高楼大厦，开凿大型船闸，高能加工，大地震后的抢救等方面。

目前，在美国、苏联、日本及西欧等国都成立了专门的控制爆破公司。欧洲已有40多个专门组织，他们用控制爆破专门拆除高大的水塔、烟囱以及数十层的高楼大厦。如美国一爆破公司，1975年用微差起爆技术，在巴西圣保罗市中心的繁华商业区，拆除了一幢32层的高楼大厦，周围建筑物、管线网、人员均安然无恙。

在我国，控制爆破技术不论是理论研究方面，还是生产应用方面都得到飞速发展。50年代，用控制爆破进行了铁路路基开挖，同时也进行了一些高难度的控制爆破工程。如用控制爆破法拆除高达120m的钢筋混凝土烟囱。进入60年代，除了铁路、公路已推广应用了光面爆破、预裂爆破之外，在水利上相继成功地进行了河北东川口，广东南水等十几座大型水利枢纽的定向爆破筑坝。南水爆破一次用药量为1394吨，按预定方向堆石100万方。使我国定向爆破筑坝技术跃居世界先进行列。到了70年代后期，控制爆破又有了长足的发展。从山区旷野发展到城市，从开山劈石发展到建筑物的控制爆破拆除。1976年工程兵学院运用控制爆破拆除了天安门广场两侧总面积为12000m²的三座大楼。1985年，陕西省力学学会用控制爆破技术拆掉西安钢厂的大片厂房和三座50多米高的烟囱及一个35m高的钢筋混凝土水塔；同时用水压控

制爆破技术拆掉了上料仓。同年，用控制爆破技术在要求极为严格的西安火车站拆除了旧的地下道，使交通未受任何影响。充分显示了控制爆破具有速度快、经济效益高、劳动强度低等优点。

现在人们又将控制爆破技术用于十分精细的作业领域之中。在我国，西安市中心医院等单位，用控制爆破技术“拆除”了人体内的膀胱结石，创造了高难度、极精细的控制爆破新技术。

近年来，控制爆破技术发展很快，不仅向深度发展，而且还向其他很多领域发展。高能爆破加工也很快发展起来。如爆炸成型、爆炸焊接、爆炸消除残余应力等等。在这方面，我国也居于世界先进国家之列。

控制爆破是一项新技术，随着四化建设的飞速发展，它将显示出更大的作用。可以预料，在我们这个发明火药的故乡，控制爆破理论和施工技术的研究，也将作出新的成就。

§ 1-2 控制爆破工程学的任务

前述已初步勾画出控制爆破工程学的雏形，它是指通过一定的技术措施，严格控制爆炸能量的释放和介质的破碎过程，并使爆破时的声响、震动、破坏范围及破碎物的飞散等都能被严格地控制在指定的范围之内，即对爆破效果和爆破危害都能按人的意愿予以控制的一种新型爆破技术。诸如定向爆破、光面爆破、预裂爆破、城市拆除爆破等，均属于控制爆破的范畴。

在生产实践中，控制爆破已得到了广泛的应用。为了说

明控制爆破工程学的任务，首先介绍爆破设计中的一些实际问题。

图1-1所示，为一需要拆除的工业水塔。他东面12m处是一正在供热的锅炉房；西面15m处是一高压输电线(不能停电)；北面8m处有一排平房；30m处是职工食堂；只有南面为空地。塔高35.44m，为钢筋混凝土结构。如图1—1(a)、(b)所示。

在此条件下，用人工或机械化方法拆除、不仅耗资多，而且难度也十分大，主要是0.7m厚的双层钢筋混凝土水箱底板难以用人工打碎，于是便选用了爆破的办法。但是，用爆破的办法就必须严格地控制倒塌方向，如若偏离指定的正南方向，那将会砸毁锅炉房或砸断输电线，给生产带来很大损失；如果向北倒塌，后果将不堪设想。同时倒前的爆破冲击波和倒塌落地后所引起的地震，都必须严加控制，以防引起周围建筑物的破坏。

又如，图1-2所示的是一座砖混结构的四层楼房。其加固角柱为 $70 \times 70 \text{cm}^2$ 的钢筋混凝土柱，屋顶为钢筋混凝土人字屋架。东西长60m，南北宽10.1m。地处城市交通要道，东侧2m处有一低压输电线通过，10m处有一商店；南侧5m处有一自行车棚，16m处有一幢五层楼房；西南角6m处和正西面8m处各有办公楼一座；西北角0.8m处有一通讯电缆通过；北侧不到15m处便是交通要道——环城南路。今欲拆掉，另建高楼。用人工拆除，工期太长，不许可，而且这 $70 \times 70 \text{cm}^2$ 的立柱用人工方法破碎其难度相当大，只好用爆破的办法，但爆破就要对周围这些单位的设施不能有任何损坏。

以上二例对爆破所提出的一些要求是具有普遍意义。具

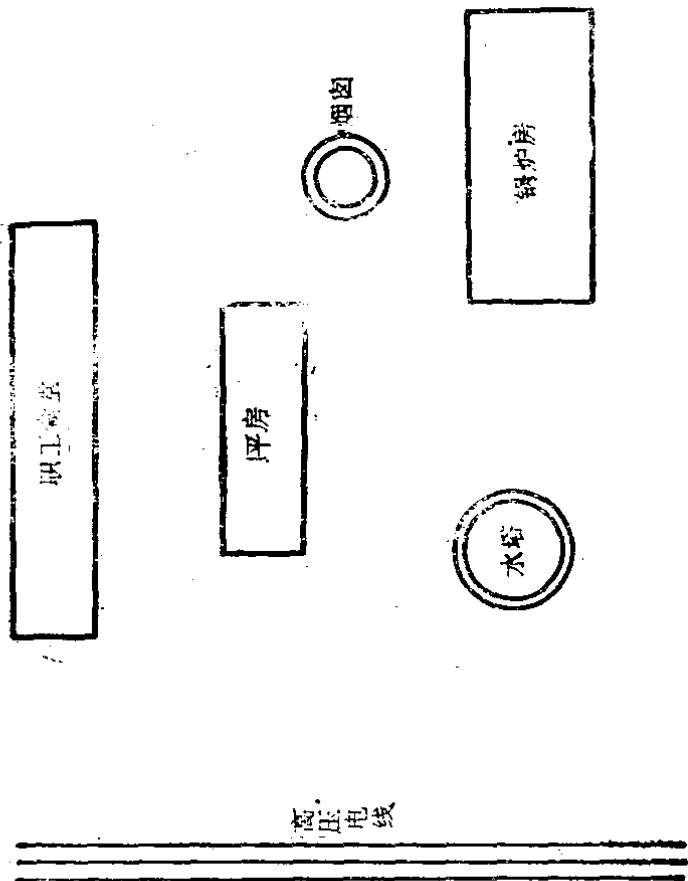
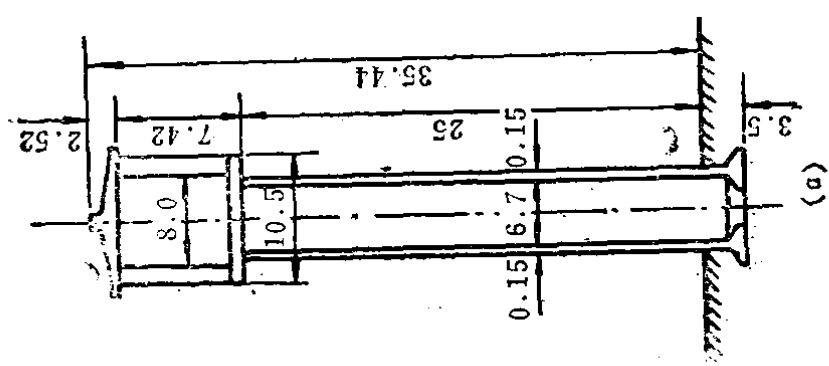


图 1-1

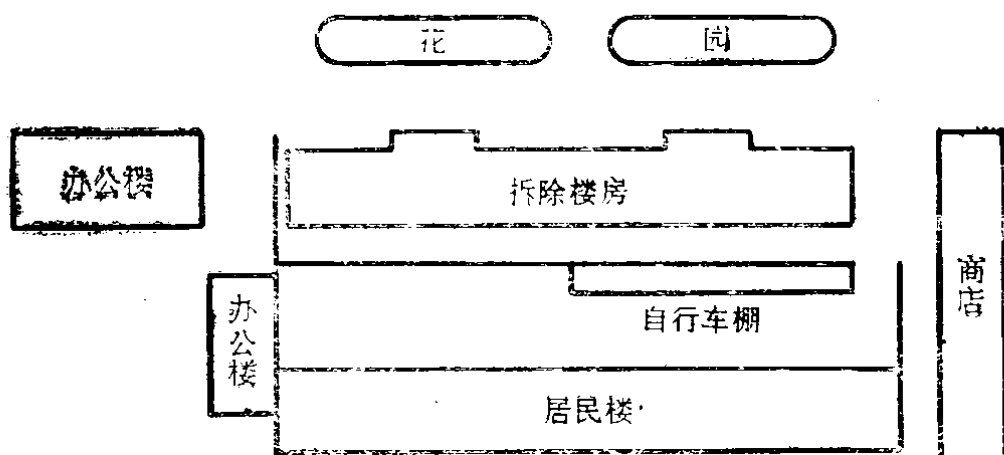


图 1-2

体有：

(1) 严格控制爆破的破坏范围。要求破坏能按人们的意愿进行，以保证爆破顺利完成。

(2) 严格控制爆破的抛掷和倒塌方向，以确保在倒塌过程中不砸坏其他建筑物。

(3) 严格控制爆破的块度和飞石范围，以保证人和物的安全，同时也有利于后期施工。

(4) 严格控制爆破冲击波和震动的影响，以保证周围其他建筑物的安全。

以上四项要求是将爆破可靠地控制在定时、定向、定量和定破坏范围的基本要求上。所以，如何确定爆破方案，如何准确地计算用药量，如何选择适宜的炸药品种与合理的起爆方式，将是爆破设计中十分重要的问题。

控制爆破工程学的主要任务是：研究介质在爆炸力作用下的破坏和运动规律，探索有效控制爆破所引起各种危害的手段，为合理进行爆破设计提供有关的基本理论和计算方法。

§ 1-3 控制爆破工程学的研究动向

控制爆破是一项新技术，由于生产的需要，而获得了飞速发展，解决了许多难度很大的工程问题，收到了明显的经济效益。但是还存在许多急待解决的问题。

1. 加强理论研究，克服理论研究落后于生产实践的状况

土岩爆破的理论研究工作，虽然经过了几百年的长期努力，但仍落后于工程实践，对在此基础上发展起来的控制爆破更是如此。迄今为止，在爆破机理方面还没有精确而统一的理论。所以，现有的药量计算公式，爆破参数的选择等等，多是出自设计者的经验，缺乏一套完整的理论指导。因此，在爆破施工中，为了确保安全，一直是以消极的防护为主要手段。所以，常因加强防护而增加了工程费用，以至使防护费用超过了爆破本身的工程费用，这在经济上是很不合理的。因此，要想从根本上解决这一问题；必须加强理论研究。

2. 研制新的爆破材料，提高爆破效果

现今的常规爆破都是以炸药作为能源，它的特点是在极短的时间内，突然释放出大量的能量，产生很大的摧毁力，同时也给周围带来很大的威胁。为此，人们一直渴望能研制出一种安全可靠的破碎剂。近年来，相继出现了燃烧剂、膨胀剂（即所谓的无声破碎剂）等，给安全生产带来很大的保证。但是，它们破碎介质的力量是缓慢增加，而且较小，因而破碎钢筋混凝土块体就有一定困难，用来拆除高大楼房和

烟囱还不行，这就需要研制经济、快速、破碎力大的新品种。

由于控制爆破所要破坏的对象是各式各样的，要获得良好的爆破效果，起爆技术必须随着改善（主要包括起爆器材和起爆次序）。因为控制爆破的起爆技术要比常规爆破复杂得多，需要精心研究。如在闹市区进行爆破时，要特别注意由广播电台、电视台等发出的射电；高压输电时的感应电流；地下电流导体等等所形成的杂散电流，它们都隐藏着早爆的危险。因此，采用电力起爆器材是很不安全的，这就要求研制非电起爆器材。近年来研制出的导爆管就是一种很好的非电起爆器材，但造价太高。又如，在拆除高层建筑物时，由于倾倒方向和坍落宽度都有一定要求，所以各部位破坏的先后次序和时间间隔都要严格地加以控制，才能达到预期效果。这些也需要进行大量的理论研究。

3. 加强起爆后被拆除建筑物受力状况的研究

紧密结合静力学和动力学来研究起爆后被拆除建筑物的受力状况及运动规律，以获得更好的爆破效果，是控制爆破研究的又一新动向。因为控制爆破当前应用最多的还是城市建筑物的拆除，如只有爆破方面的知识，而不考虑建筑物在起爆后自身倒塌过程中的静力学和动力学方面的问题，是很难达到预期效果的。如高耸建筑物——烟囱、水塔等的拆除是用炸药炸掉底部周长的 $1/2 \sim 2/3$ ，然后依靠自身的重量形成一个倾倒力矩而倒掉。这中间就有大量需要结合爆破而进行的力学计算问题，如开口大小和高度、失稳的条件、后坐力及运动中的解体等。这些都需要力学（理论力学、材料力学和结构力学等）方面的知识。

当前国内外是以直观的力学知识与工程爆破方面的经验作为设计依据，随着建筑物控制爆破拆除经验的积累及其力学模型的研究，将逐步形成一套优化的设计方法。

本书将着重讨论控制爆破的基本原理及各种类型建筑物——大型混凝土块体、楼房、水塔、烟囱及各种容器计建筑物等的控制爆破拆除技术。

第二章 爆破材料

当今开山劈石、修路、采矿、拆除大型建筑物等一切需要爆破的土石方工程，都采用炸药作为破碎介质的能源供给者。如常用的工业炸药有铵梯炸药、浆状炸药、乳化油炸药等等。但是，炸药在一般情况下是不会爆炸的，要爆炸必须借助于一定的外界激发能量，这种激发能量的供给者统称为起爆器材。主要有导爆索、雷管、导爆管等，没有这些起爆器材，炸药将无法起爆。炸药和起爆器材统称为爆破材料。

§ 2-1 炸药的概念与分类

一、炸药的概念

凡是稍受外力作用便会引起高速化学反应，并能产生大量气体和热量的物质称为炸药。这就是说，作为炸药必须具备以下一些基本条件：

1. 急速的化学反应

炸药定义的前半部分说明炸药在本质上是一种不够稳定的物质，在没有外界激发时，它可保持暂时和相对的稳定。然而一遇到足够大的外力作用，它就立即发生化学反应，当炸药某一部分发生化学反应后，其余部分则不需任何其他外界因素便可自行传播爆炸，其速度是十分快的。如一公斤的硝酸铵炸药，约在三万分之一秒的时间内，即可全部完成化学反

应。

2. 释放出相当大的热量

炸药爆炸是放热反应，热不仅是传播化学反应的媒介，也是做功的基础。由于反应十分迅速，所以能在极短的时间内释放出大量的热量。1kg的2号岩石硝铵炸药，爆炸后放出的热量为1000Kcal/kg，爆温高达2350℃。这是炸药产生破坏威力的主要能量来源。

3. 生成大量气体

炸药可以是固体、液体、胶质体等物质状态，一旦引爆后这种物质状态瞬间就会变成气体状态，而这种气体的体积要比原来的体积大得多。如2号岩石硝铵，爆炸后其生成气体的体积是原体积的900多倍。这些气体在自身产生的高温影响下，又急剧膨胀，这时便产生很大的压力，其压力可高达十万到几十万个大气压力。

二、炸药的分类

随着科学技术的发展，炸药的品种越来越多，性能日趋完善。为了区分炸药的种类，便于合理选用，特根据炸药的物理状态、组成和用途作如下分类：

1. 按物理状态分

(1) 固体炸药 这是一种结晶状的应用最广泛的炸药。如三硝基甲苯(梯恩梯)、黑索金、硝铵炸药等固体的单质混合炸药

(2) 液体炸药 液体的单质化合物或多种液体混合物。如硝化甘油、硝基乙二醇等。

(3) 多相炸药 这是一种固体与液体，固体与气体，或液体与气体所组成的炸药。如含硝化甘油和硝酸铵的胶质与