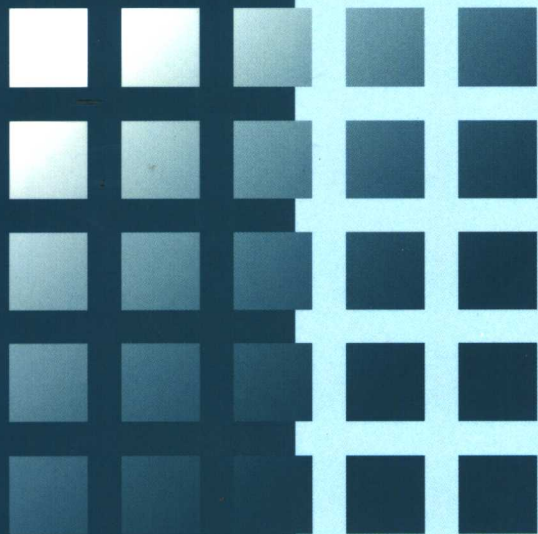




控制爆破理论与实践

CONTROLLED BLASTING THEORY
AND PRACTICE

袁绍国 张 飞 姬志勇 杨占峰 编著

 天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

控制爆破理论与实践

Controlled Blasting Theory and Practice

袁绍国 张飞 姬志勇 杨占峰 编著



内 容 提 要

本书共分9章,第1章简介了控制爆破的发展简史、定义和作用以及控制爆破的基本类型。第2章介绍了控制爆破的5个基本原理。第3章介绍了控制爆破的设计和计算方法。第4至第6章详细介绍了楼房、烟囱、基础等建筑、构筑物的拆除控制爆破。第7、8章介绍了水压爆破和聚能爆破两种特殊爆破方法的原理和应用。第9章介绍了特种爆破及其应用。

本书可以供科研人员、工程技术人员和高等院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

控制爆破理论与实践/袁绍国等编著. —天津:天津大学出版社,2007.2

ISBN 978-7-5618-2398-9

I. 控... II. 袁... III. 预裂爆破 IV. TB41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 020356 号

出版发行 天津大学出版社
出 版 人 杨欢
地 址 天津市卫津路 92 号天津大学内(邮编:300072)
电 话 发行部:022-27403647 邮购部:022-27402742
网 址 www.tjup.com
短信网址 发送“天大”至 916088
印 刷 天津泰宇印务有限公司
经 销 全国各地新华书店
开 本 185mm × 260mm
印 张 10
字 数 250 千
版 次 2007 年 2 月第 1 版
印 次 2007 年 2 月第 1 次
印 数 1 - 2 000
定 价 16.00 元

前 言

控制爆破技术自从二十世纪五六十年代发展起来以后,便极大地拓展了爆破的应用领域,把过去只有在荒山野外才能进行的爆破成功地应用到了特殊环境(如城镇居民区、厂房内)、特殊条件(如高温、高压)、特殊要求(如爆炸加工的精度要求、建筑物爆一部分留一部分)下以及特殊介质(除岩石外,还包括混凝土、砖、冰、金属、冻土等)中进行。

本书的作者在控制爆破教学、科研工作之余,经常参加包头市科大爆破公司的工程爆破设计和施工指导,具有丰富的实践经验,有感于不吐不快的体会,基于前人的理论知识及工作经验,并结合自己的实践,在控制爆破技术讲义的基础上,编写了此书。

本书共分9章,主要介绍控制爆破的基本原理、设计与计算方法、楼房厂房的拆除爆破、高耸建筑物的拆除爆破、基础的拆除爆破、水压爆破、聚能爆破和特种爆破技术等。

除了系统地介绍前人的爆破理论知识之外,根据作者多年的实践经验,本书增加了一些新的内容,如:一座楼房的复合定向倾倒(两个倾倒方向呈 90°);非圆筒形烟囱倾倒爆破的定向原理及其实施;土埋基础(不开挖侧沟)的爆破方法及药量计算;实体结构高耸建筑物(如各种雕像、艺术造型等)的拆除方法;炮弹销毁等特种爆破;低矮楼房拆除爆破的注意事项;爆破事故反分析等。

另外,书中的大部分实例都是作者亲自参与设计和施工指导的爆破工程。

本书可作为采矿工程专业爆破工程课程之后的选修课教材,也可供爆破工程技术人员参考。

编写过程中,研究生陈军、王宗国、张欣做了大量的文字输入、图形绘制工作,特别是王宗国对非圆筒形烟囱倾倒爆破的定向原理做了深入的专题研究,他们对本书的成书付出了不少的辛苦,在此深表谢意!

当然,由于作者水平所限,特别是书中一些新内容被实践检验的机会不多,难免存在这样那样的错误和不妥之处,敬希读者批评指正。

编者

2006年11月

目 录

第1章 绪论	(1)
1.1 控制爆破的发展简况	(1)
1.2 控制爆破的作用和定义	(2)
1.3 控制爆破的基本类型	(4)
第2章 控制爆破基本原理	(8)
2.1 等能原理	(8)
2.2 微分原理	(8)
2.3 失稳原理	(9)
2.4 缓冲原理	(11)
2.5 防护原理	(13)
第3章 控制爆破设计及计算原理	(24)
3.1 控制爆破设计原理和方法	(24)
3.2 控制爆破计算参数的选择	(26)
3.3 炮孔布置与分层装药	(30)
3.4 控制爆破的药量计算及有关计算公式	(32)
第4章 楼房厂房拆除爆破	(37)
4.1 概述	(37)
4.2 楼房厂房拆除爆破原理和方案	(37)
4.3 楼房厂房拆除爆破的技术设计	(41)
4.4 楼房厂房拆除爆破的施工和安全防护	(46)
4.5 楼房厂房拆除爆破工程实例	(47)
第5章 高耸建筑物拆除爆破	(54)
5.1 概述	(54)
5.2 高耸建筑物拆除爆破设计	(54)
5.3 高耸建筑物拆除爆破工程实例	(61)
第6章 基础和地坪拆除爆破	(79)
6.1 概述	(79)
6.2 基础拆除爆破设计	(80)
6.3 切割爆破设计	(84)
6.4 地坪拆除爆破设计	(84)
6.5 基础拆除爆破实例	(86)
第7章 水压爆破及其应用	(94)
7.1 概述	(94)
7.2 水压爆破原理和特点	(95)
7.3 水压爆破应用于拆除建筑物时的荷载特点和优缺点	(97)

7.4	水压爆破装药量计算公式	(98)
7.5	水压爆破设计与施工	(100)
7.6	水压爆破工程实例	(104)
第8章	聚能爆破及其应用	(112)
8.1	炸药爆炸的聚能原理	(112)
8.2	射流形成过程的流体力学理论	(113)
8.3	影响聚能爆破威力的因素	(117)
8.4	聚能爆破的应用	(122)
8.5	聚能爆破工程实例	(128)
第9章	特种爆破	(132)
9.1	钻杆爆破	(132)
9.2	销毁爆炸危险品	(134)
9.3	疏通爆破	(138)
9.4	高温爆破	(140)
9.5	冻土爆破	(146)
9.6	破冰爆破	(147)
9.7	爆破反分析	(150)
参考文献		(153)

第1章 绪论

1.1 控制爆破的发展简况

利用炸药的能量做功,从而达到一定目的的工程爆破,已有几百年的历史了。20世纪以来,工程爆破的应用范围已深入到国民经济建设的各个领域,爆破规模已达到了一次起爆药量以万吨计的程度。人们普遍认为,爆破是工程施工中的一种特殊方法,是人力和机械所不能胜任的一种非同寻常的施工方法。

长期的爆破实践表明,工程爆破虽然能完成工程的设计目标,但是伴随药包爆炸时爆破作用的发生,周围环境的人员、设备和各种设施的安全,都受到冲击波、地震波和个别飞散碎块的极大威胁。例如:空气冲击波可以导致一定距离内的人畜伤亡,建筑物和设施被摧毁;地震波能使地面和地下的建筑物被震倒和破坏;个别飞石则可能击伤较远距离的人和物。因此,长期以来工程爆破只限于在荒山旷野、人烟稀少和无重要建筑物的地区使用,而在必须对城镇附近的工程进行爆破时,只有采取消极的迁避措施才可进行,致使工程爆破的应用范围受到很大的限制。

爆破器材新品种的发展,特别是第二次世界大战以后,许多城市、工厂和建筑物被战争破坏,各国经济的迅速恢复和发展、大量工业设施的重建和改建,这就给爆破工作者提出了一系列的新课题。随着科学技术的发展,爆破技术的应用范围不断扩大,工程爆破进入国民经济建设的各个领域,使危险性很大的爆破方法从旷野进入城市和工厂。这就是近四十年来由于爆破技术的进步,而发展起来的控制爆破技术。

控制爆破是国内外从20世纪50年代开始,60年代以来才迅速发展起来的一项新型爆破技术。早在第二次世界大战后,日、德等国为拆除战争遗留的废弃建筑物和构筑物,曾采用了某些属于控制爆破的措施。随着适用于控制爆破的新炸药品种和微差爆破技术的出现,到60年代,美、日、瑞典、丹麦等国已将控制爆破应用于城市建筑物、桥墩、基础的拆除,隧道的开挖和公路的改建等工程中。进入70年代,控制爆破在破碎机理、所用能源、施工技术与实际应用等方面都有很大程度的发展,相继研制成功了以各类燃烧剂、易燃气体为能源的控制爆破,以水为介质传递炸药能量的水压爆破等。它们能使爆破震动、飞石和噪声等危害程度限制在规定的范围内。因而,控制爆破的应用范围日益扩大,近几年,它已经被应用到拆除超高大建筑物和结构复杂的构筑物、开挖海底隧道、清除近岸礁石、抢救地震后的受难人员等方面,并收到了质量好、速度快、费用低等显著效果。

如美国一家控制爆破公司,从1960年到1980年间,共进行过3 000余次拆除爆破。1975年,该公司在巴西圣保罗市繁华的商业区内,采用控制爆破在5.5 s内炸毁了一座32层的钢筋混凝土结构大楼,而周围建筑物、管线网、人员均安然无恙。该公司还曾拆除过难度较大的一

个海面上高达 55 m 的雷达塔(要求爆后质量 2 860 多吨的塔身定向倾倒,并浮于水面,以便于打捞)。1977 年,罗马尼亚地震后,奥地利派出的控制爆破工作队,在距坍塌物下面的受难人员仅 40 cm 处进行控爆,安然无恙地救出了受难人员,有效地加快了抢救工作。

我国在控制爆破的研究和施工方面,居世界先进国家之列。早在抗日战争时期,就曾使用某些控制爆破技术炸毁敌人的部分工事和进行过其他工程的拆除。

20 世纪 50 年代初期,辽宁弓长岭铁矿、华铜铜矿和杨家杖子钼矿等曾采用控制爆破来加深掘进掏槽和控制井下硐室的周边整齐性。

1956 年,在武汉长江大桥龟、蛇山桥头石方开挖工程中,曾使用控制爆破施工方法。为保证既有铁路线的运输畅通和爆破工点附近房屋建筑的安全,分别采取了控制爆破规模和装药数量与相应的防护措施,对工程任务的顺利完成起到一定的作用,不过当时大多以采取有效的防护措施为主。

1958 年,东北工学院井巷爆破教研室在国内首次应用定向爆破技术拆除钢筋混凝土烟囱,并首次成功地采用了 $800 \sim 1\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$ 高温控制爆破。

1959 年,我国成功地进行了河北东川口水库定向控制爆破筑坝,五个硐室的总装药量为 192.7 t,总爆土石方量 $13.5 \times 10^4\text{ m}^3$,其中上坝的土石方量为 $8.5 \times 10^4\text{ m}^3$ 。

二十世纪六七十年代,在采掘工程、水利电力工程、铁路工程、公路工程中,已推广应用光面爆破、预裂爆破以及缓冲爆破等控制爆破技术。

近年来在机械加工中,爆炸成型、爆炸切割、爆炸复合、爆炸压接等控制爆破技术水平得到了迅速的提高。

控制爆破拆除工程也引起了普遍的重视和全面推广。1973 年,北京铁路局采用控制爆破拆除了旧北京饭店约 $2\,200\text{ m}^2$ 钢筋混凝土结构的地下室,保证了周围建筑群、交通和人员的安全。1976 年,中国人民解放军工程兵工程学院曾运用控制爆破,安全地拆除了天安门广场两侧总面积达 $1.2 \times 10^4\text{ m}^2$ 的三座大楼,这标志着大规模城市控制爆破拆除工程已进入一个新的阶段。1979 年,铁道部第四勘测设计院应用水压控制爆破,安全拆除了长 5.7 m、宽 3.6 m、高 2.7 m、壁厚 0.5 m 的钢筋混凝土高压滤水罐。80 年代第一个春天,我国将控制爆破技术应用到高难度、高精度的人体疾病治疗,即通过控制爆破去除膀胱结石,至今已治愈数十例,效果良好。1982 年湖北省爆破学会在高达 221 m 的武汉市龟山彩色电视塔的基础开挖工程中,运用微差控制爆破开挖了近 $8\,000\text{ m}^3$ 岩石,确保了距爆源仅 8 m 的二频道发射塔、周围建筑群及 100 m 处长江大桥的安全。

控制爆破对减轻劳动强度、加快施工进度和保证安全方面等起了重要作用,因此在 1978 年的全国科学大会上,控制爆破作为新的技术成就,获得了国家的奖励,从此得到了迅速发展。目前这项技术已逐步深入到国民经济建设的各个领域,全国各地先后组成了控制爆破的专业组织,许多爆破工作者也在不断地为需要使用控制爆破技术的工程提供技术咨询、技术设计和施工的技术服务工作,积极地为我国国民经济建设贡献力量。

1.2 控制爆破的作用和定义

1.2.1 控制爆破的作用

大家知道,控制爆破与过去乱石横飞、破坏性极大的其他工程爆破相比较,在技术上有着

本质的区别,它是以保证爆破工点附近人和物的安全为首要任务,因而得以从人烟稀少的荒山僻野进入人口稠密、房屋鳞次栉比的城镇和工厂。控制爆破技术的发展极大地开拓了工程爆破的应用领域,它不仅可以在居民点和城镇闹市区进行爆破作业,还能在工厂厂房和其他建筑物内部进行室内的爆破作业,从而解决了长期以来需要花费很多劳动力,付出很高劳动强度才能完成的工程施工问题。它既能有效地缩短工程施工期限,又能节约工程费用,具有明显的经济效益。

许多工程实例足以说明控制爆破技术在工程施工中的巨大作用,例如:

①一座高数十米的砖结构烟囱,用人工拆除,仅搭脚手架一项,就得花费大量材料和人工,需半月左右才能完成。而采用控制爆破,只需少量机械和人工,2~3天之内就可完成拆除工作,包括按指定方向倾倒和清理废渣。特别是对于钢筋混凝土结构的烟囱,用人工拆除时,不仅效率非常低,而且有着极大的危险性。

②一座铁路或公路桥梁,如果某一桥墩损坏,必须拆除重建,在拆除旧桥墩的工作中,费工、费时是可以想象的。采用控制爆破则只需将桥梁顶起,高出桥墩表面0.5 m左右,在墩身钻孔爆破,极短时间内便可将桥墩拆除。

③工厂厂房内,有的机械设备需要更新,拆除其旧钢筋混凝土或素混凝土基座时,用人工凿除是非常困难的,如果用控制爆破拆除,工效可以提高30~40倍,并可以做到不影响厂内其他机器的运转和正常的生产活动。

④人们曾在电视屏幕上看到国外闹市区一座高层楼房;一声闷响后,随即冒出尘烟,缓缓地塌了下去,几分钟后,烟散尘净,高楼便不复存在,而邻近楼房则安然无恙。这样的高层建筑物的控制爆破拆除方法,在国内外都是可以经常见到的。不难想象,这种高层钢筋混凝土框架结构物,如用通常的人工或机械清除,不但费工费时,而且人身安全也难以保证。

从上述实例可以看到,控制爆破技术的应用范围是十分广泛的,爆破的规模可大可小,随工程量的需要而定。在讲求经济时效的现代社会,作为独特的施工方法,其作用和意义是非常大的。

1.2.2 控制爆破的定义

必须说明,目前无论在国内还是国外,对于控制爆破的含义均缺乏一致的认识。有的人认为,这种爆破多用于城市环境,便叫做城市爆破;有的人认为,它主要是用来拆除旧的建筑物和构筑物,因此应该叫做拆除爆破;还有的人则扩大控制爆破的内容,把深孔爆破中的光面爆破、预裂爆破也叫做控制爆破。

从爆破学科来说,控制爆破和常规爆破是有区别的。比如,在拆除楼房时,常规爆破法可不考虑倒塌方向、范围以及地震波、空气冲击波和飞石危害等,而控制爆破则必须考虑上述因素。

概括起来,控制爆破可作如下定义:根据工程要求和爆破环境、规模、对象等具体条件,通过精心设计,采用各种施工与防护等技术措施,严格地控制爆炸能的释放过程和介质破碎过程,既要达到预期的爆破破碎效果,又要将爆破范围、方向以及爆破地震波、空气冲击波、噪声和破碎物飞散等的危害控制在规定的限度之内,这种对爆破效果和爆破危害进行双重控制的爆破,称为控制爆破。

归纳起来,控制爆破应包含以下几方面的内容。

①控制被爆体的破碎程度。对于大多数的被爆体,通常要求爆后“碎而不抛”或“碎而不散”,甚至要求“宁裂勿飞”,即形成龟裂型松动爆破。在拆除建筑物或构筑物时,要求控制被爆体在原地坍塌或就近坍落。在开采建筑石材和饰面石材时,则要求切割成缝,成型后与原岩脱离。

②控制爆破的破坏范围。控制爆破的破坏范围必须严格与设计尺寸相符,其误差不得超过设计规定值,做到准确定位,即爆上留下(或爆下留上)、爆左留右(或爆右留左)、爆前留后(或爆后留前)及爆边留中(或爆中留边)等。换言之,控制爆破应有高水平的爆破设计和施工工艺,做到准确地、整齐地切割预爆部位,同时保持保留部位完整无损。

③控制被爆体的坍塌方向。对于高大建筑物或构筑物(高层框架结构、烟囱、水塔),爆破后要求倒向指定的方向,避免在坍塌过程中危及附近建筑群或管、线、网设施。在铁路或公路旁边坡进行爆破时,还必须控制爆堆的堆积形状和范围,以免影响车辆正常行驶。

④控制爆破的危害作用。通过合理选用控爆参数、起爆工艺与加强防护技术等措施,将爆破地震波、空气冲击波、噪声和飞石等的危害作用严格地控制在允许的范围之内,确保爆区周围人和物的安全。

明确地说,能够满足上述全部或几个主要条件的爆破,才能称为控制爆破,这也是不同于常规的工程爆破的主要区分条件。

1.3 控制爆破的基本类型

根据工程爆破的主控目的和要求,基本上可把冶金、铁路交通、水利电力、建筑材料、城市建设、地质探矿以及国防工程等部门中常用的控制爆破,归纳成以下几种类型。

1.3.1 三定控制爆破

三定控制爆破是指定向、定距和定量的控制爆破。如以控制爆堆抛散方向为主要目的,则可简称为定向爆破。

三定控制爆破常用于水利电力工程中的定向爆破筑坝。此时,不仅对爆破方向应严加控制,而且对爆堆质心的抛掷距离和抛至坝体范围内的爆方量(即上坝土石方量)亦需要控制。聚能切割爆破、穿甲爆破以及建筑物、构筑物定向拆除爆破等,均属于定向控制爆破。

1.3.2 四减控制爆破

四减控制爆破是指爆破过程中以及爆破后减少爆破地震波、空气冲击波、飞石和噪声的控制爆破。当主控目的为减少地震波的破坏作用时,可简称为减震爆破。同理,当主控目的分别为减少空气冲击波、飞石和噪声的危害作用时,可分别称为减冲爆破、减飞爆破和减声爆破。

在城市构筑物、建筑物等拆除爆破工程、路基开挖工程、露天矿永久边坡的爆破工程中,常用四减控制爆破或减震控制爆破。

四减控制爆破的最终目标是四无爆破(即无震动、无冲击波、无飞石和无噪声)。在使用工业炸药和高能燃烧剂爆破的条件下,四无爆破难以实现。因而在爆破器材和爆破方法方面,应另辟蹊径。武汉工业大学(原武汉建材学院)、北京建材科学研究院等单位研制成功的静态爆破剂(亦称胀裂剂、静态破碎剂),可以实现四无爆破。同时,静态爆破剂可以和工业炸药联合

使用,取长补短,充分发挥动、静两态爆破的作用。

1.3.3 成型控制爆破

成型控制爆破是指爆破后被爆介质的分离体或金属等形成一定的几何形状和尺寸的控制爆破。在进行建筑石材和饰面石材的开采、某些金属板材的加工、航天工程特殊形壳体的加工以及光学萤石、冰洲石、水晶、宝石等保护晶体的开采时,均可采用成型控制爆破。

根据原岩自由面数目和成缝切割方向之不同,常见的花岗岩、大理石、汉白玉等石材成型控制爆破,又分下列几种亚类:

$$\begin{array}{l} \text{单向成缝控制爆破} \left\{ \begin{array}{l} \text{立孔成缝控制爆破} \\ \text{平孔成缝控制爆破} \end{array} \right. \\ \text{多向成型控制爆破} \left\{ \begin{array}{l} \text{一平一立双面成型控制爆破} \\ \text{一平二立三面成型控制爆破} \\ \text{一平三立四面成型控制爆破} \end{array} \right. \end{array}$$

1.3.4 光稳控制爆破

光面和稳定控制爆破是指爆破后岩体的切割面(或称爆裂面)具有一定的平整度以及能保持原岩体本身稳定性的控制爆破。此种类型爆破在露天矿永久边坡爆破、铁路和公路的路堑及边坡爆破、井下巷道、峒室及隧道爆破工程中,有着很大的推广价值。国内外所采用的光面爆破、预裂爆破、缓冲爆破等,均属于这一类型的控制爆破。

1.3.5 拆除控制爆破

目前,国内外常见的拆除控制爆破主要用在以下几个方面。

①大型块体的切割和解体,常见的有厂房内设备基础,各种建筑物、构筑物的基础以及桥梁、墩台、码头船坞、桩基、孤石的拆除。此类爆破的特点是材质不一,形状多样,环境复杂。

②钢筋混凝土框架结构的拆除,对此类结构物的爆破,往往受到场地条件的限制,因而常常采用原地坍塌、定向倾倒和折叠倒塌等爆破方式。

③建筑物、构筑物的拆除,常见的有楼房、群体建筑、烟囱、水塔、跳伞塔等的拆除,一般采用定向倾倒、单向或双向折叠倒塌以及原地坍塌等爆破方式。

④金属结构物的拆除,如桥梁、船舶(沉船、废旧船等)、钢柱、钢管、大型钢锭等的拆除爆破均属于此类型。

⑤高温凝结物的拆除,常见的有高炉、平炉和炼焦炉中凝结块和炉瘤等的拆除爆破。

⑥地坪的拆除,常见的有混凝土路面、地坪、飞机跑道和停机场等的拆除爆破。

⑦其他工程的拆除爆破。

1.3.6 联合控制爆破

在上述的几种爆破类型中,很显然,成型控爆、光面和稳定控爆以及定向、定距、定量控爆,均属于提高和改善爆破质量方面的控制爆破;而减震、减冲、减飞和减声控爆,则属于减小爆破危害方面的控制爆破。在实际爆破工程中,经常会遇到既要求控制爆破质量,同时在安全上又有严格要求,即要求减小乃至基本消除爆破危害的情况。因此,不仅有单一型的控制爆破,而

且联合控制爆破更为多见。例如,在露天矿二次破碎工程中的定距减飞控制爆破;石材开采工程中的成型减震控制爆破;城市建筑物、构筑物等拆除工程中的定向四减控制爆破等。

1.3.7 特殊控制爆破

在日趋复杂的工程爆破实践中,有时必须满足某一项或某几项特殊要求,此类控制爆破称为特殊控制爆破。举例如下。

1. 抛松控制爆破

在峒室或深孔爆破工程中,对同一个被爆体要求一侧抛掷,另一侧松动破碎,此种类型的控爆称为抛松控制爆破。

抛松控制爆破多用于矿山的露天剥离扩建工程。在这种情况下,被爆体的一侧往往有工业场地、建筑物、管线网及住宅区等需要进行保护。该保护侧的岩石只准原地松动破碎,不允许出现飞石、滚石等危害现象。例如江西铁山垅钨矿、辽宁海城滑石矿的露天剥离扩建工程中百吨级炸药的抛松控制爆破,均属于此类。

2. 高温控制爆破

在被爆体高于常温下所进行的控爆称为高温控制爆破。根据被爆体温度之不同,高温控制爆破又可分成以下三种亚类,即低高温控制爆破($50 \sim 200\text{ }^{\circ}\text{C}$)、中高温控制爆破($200 \sim 500\text{ }^{\circ}\text{C}$)、超高温控制爆破($> 500\text{ }^{\circ}\text{C}$)。

高温控制爆破可用于高硫矿床的开采、石油井的爆破、高温凝结物的爆破、发电厂结焦爆破以及高炉、平炉、硅铁炉和炼焦炉的修炉及处理炉瘤等。

高温控制爆破在安全上要求很严格,每次控制爆破,必须做到“安全、隔热、准爆”。

3. 水下岩塞控制爆破

水下岩塞控制爆破是指在天然湖泊或在已建成的水库中,通过控制爆破将水下岩塞一次爆通形成进水口的爆破方法。按照爆后岩渣处理方式之不同,水下岩塞控制爆破可分为两种,即集渣式岩塞控制爆破和泻渣式岩塞控制爆破,如图 1-1,图 1-2 所示。

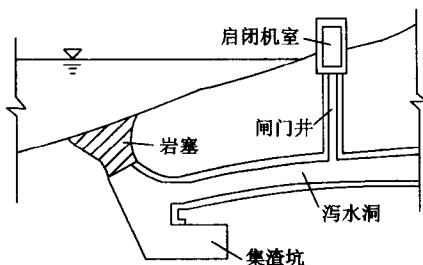


图 1-1 集渣式爆破形式

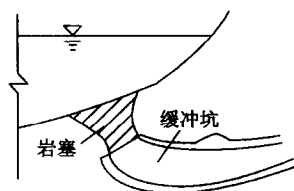


图 1-2 泻渣式爆破形式

水下岩塞控制爆破的基本特点之一,就是此类爆破是在水和岩石两种不同介质的交界处进行的。因此,它同单纯陆地爆破或水下爆破既有相同之处又有所区别。水下岩塞控爆在爆破时除产生爆破地震波、空气冲击波之外,还产生水中冲击波、气泡脉冲、波浪以及水气岩渣混合体的冲击作用。由此可见,进行水下岩塞控爆时对岩塞附近的水坝、闸门等水工建筑物及隧洞等必须采取有效的安全防护措施。此外,水下岩塞控爆必须将岩塞一次爆通,成形良好,否则,会给工程处理带来很大的困难。

我国自1971年以来,相继在辽宁211工程、江西玉山七一水库及黑龙江210等工程中,成功地进行了水下岩塞控制爆破。世界上,挪威、法国、瑞士等国采用此法较多。特别是挪威的天然湖泊多,近70年以来,已完成了300多个水下岩塞控爆工程,其中最深的岩塞位于水下85 m,并成功地采用了双岩塞控制爆破。

4. 医疗控制爆破

应用于人体疾病的临床医疗方面的控制爆破,称为医疗控制爆破。

1980年春,西安市中心医院与兵器工业部204所合作,经过百余次空间和动物体内试验,在国内外首次应用控制爆破排除了人体内的膀胱结石。1984年4月,又成功地用控爆排除了直径大于3 cm的膀胱结石。目前,正对肾结石及胆道、胆囊结石等采用医疗控制爆破进行深入研究。

5. 急救控制爆破

应用于紧急情况下的急救、救生和救灾等方面的控制爆破,称为急救控制爆破。

近几年来,急救控制爆破技术的发展非常迅速。例如,在地震救灾时,采用定向穿孔(洞)药包或穿孔弹爆开已坍塌的墙壁或梁柱等,安全而迅速地救出受灾人员。又例如,在海上遇险时,可将平时叠放保存的控爆救生圈(衣、筏)迅速投入水中,并启动起爆拉索,使该救生圈(衣、筏)内某些易产生大量气体的化合物(如碳酸盐类可产生大量的 CO_2 ,金属氢化合物产生大量的 H_2 ,等)瞬时释放出大量气体充满救生圈(衣、筏),急救落水人员。

在救火紧急情况下,可采用控爆方法瞬时爆开墙、梁、柱、板等以及必要时瞬时打开保险柜锁及门锁等。控爆气体发生装置灭火器和控爆干粉灭火器使用灵便,应急性强,在交通不便及水源不足处更为有用。

6. 疏松控制爆破

应用于疏通管道、溜井或漏斗口堵塞、疏松粉体结块物以及疏浚河道等方面的控制爆破,称为疏松控制爆破。

在采矿工程中,经常会出现放矿溜井或放矿漏斗堵塞事故,运用控制爆破技术可以安全有效地处理堵塞溜井的事故。在航道工程中,可用控制爆破法疏浚河道、炸除暗礁及冰排等。当化工原料散体氯化钠堆结成块时,疏松控爆能使它迅速地疏松开来。

此外,还有用于人工爆炸合成金刚石等方面的合成控制爆破以及用于军事和国防工程中的军工控制爆破和特工控制爆破等。

控爆类型还不限于上述几种,有许多控制爆破法尚在不断地改进与创新之中。

第2章 控制爆破基本原理

2.1 等能原理

根据爆破对象、条件和控爆要求,优选控爆参数(包括最优的孔径、孔数、孔距、排距和炸药单耗等),采用合适的装药结构、起爆方式及炸药品种,以期达到每个炮孔所产生的爆炸能量与破碎该孔周围介质所需的最低能量相等,使介质只产生一定宽度的裂缝或原地松动破碎,而无剩余的能量造成危害,这一原理,称为等能原理。

爆炸能量是炸药爆炸后所放出的全部能量。炸药爆炸对外的做功过程,就像一特殊“热机”工作过程一样,其化学潜在能在爆炸反应的瞬间转化为热能,然后靠爆炸气体的膨胀,热能又转化为对外界作用的机械功。单位炸药爆炸能

$$A = Q_v \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right) \quad (\text{J/kg}) \quad (2-1)$$

式中: Q_v 为单位炸药爆热, J/kg ; T_1 为爆炸反应结束瞬间爆炸气体的温度; T_2 为爆炸气体膨胀后的温度。

根据等能原理要求,炸药周围被破坏的介质只是原地松动破碎,即只形成一些割裂性的裂缝。因此,岩石介质破坏所需能量就等于介质中新表面形成所需的能量。如裂纹表面能用 Φ 表示,则裂纹扩展单位面积所需能量为 2Φ 。若炸药周围岩石介质破坏后形成的裂纹表面积为 S ,则需要的能量总和为 $2S\Phi$ 。

按上述的定义,等能原理可用下面数学表达式来描述:

$$QQ_v \eta (1 - T_2/T_1) = 2\Phi S \quad (2-2)$$

式中: Q 为炮孔装药量, kg ; η 为爆炸能利用系数,该值与孔网参数、装药结构、起爆方式等因素有关,由实验确定。

2.2 微分原理

控制爆破的微分原理是对爆炸某一目标所需的总装药量进行分散化与微量化处理,故亦称为分散化与微量化原理。“多打孔,少装药”是控制爆破工人对分散化、微量化原理的形象而通俗的说明。换言之,它是将总装药量“化整为零”,合理地、微量地装在分散的多炮孔中,通过分批微差多段起爆,既达到爆破质量的要求,又显著地降低爆破危害的目的。

如果要求采用等能原理控爆后,炸药周围的介质只产生裂缝、原地松动破坏,则当一次药量较大且比较集中时,这一点是很难做到的。在这种情况下,距炸药一定距离范围内的岩石介

质往往会受到过度的破坏,产生塑性变形,有时还会出现抛掷现象,只有在距药包较远处,岩石介质才只形成裂纹,而没有过大的破坏。另外,炸药过于集中,容易形成地震波,降低了炸药能量的利用率。微分原理的应用,就是要消除那些由于炸药量过于集中而造成的不良效应。因此,可以说,微分原理是以等能原理为基础,将药量微分化,亦即将爆炸能量微分化,从而达到控制爆破目的。

由于炸药微量化后,气体膨胀后的温度 T_2 会显著下降,故可近似地取 $T_2 = 0$ 。根据式(2-2),微分原理可用下式来描述:

$$Q, \eta dQ = 2\Phi dS \quad (2-3)$$

式中: dQ 、 dS 分别为对炸药量和破坏体新表面取微分;其他符号的意义与式(2-2)相同。

微分原理广泛用于市区内的一些建筑物的控爆拆除。天安门广场两侧,总建筑面积达 $1.2 \times 10^4 \text{ m}^2$ 的三座钢筋混凝土大楼的控爆拆除,就是运用微分原理的一个典范。该三座建筑物地处闹市、交通频繁的地区。工程兵科学巧妙地将质量达 439 kg 的总炸药量分散地装在 8 999 个炮孔中,平均每孔装药量为 48.8 g,有效地控制了爆破的危害作用。又如瑞典歌德堡市中一条繁华大街上有座大楼,楼前人流车流不断。爆破拆除该座大楼时,将 200 kg 炸药分散地装在 800 个炮孔中,平均每孔装药量为 250 g,分成 18 段微差起爆,爆后大楼原地坍落,周围建筑物安然无恙,交通未中断。1981 年,铁道部第四勘测设计院在武汉市葛店化工厂控爆拆除建筑面积 600 m^2 、高 21 m 框架式的楼房时,曾将 5.28 kg 总药量分散地装在 209 个炮孔中,每孔平均装药 25.3 g,分 4 段微差起爆,从而达到了预期的控爆效果。

2.3 失稳原理

在认真分析建筑物或构筑物的受力状态、荷载分布和实际承载能力的基础上,运用控制爆破将承重结构的某些关键部位爆松,使之失去承载能力,同时破坏结构的刚度,建筑物或构筑物在整体失去稳定性的情况下,通过其自重作用原地坍塌或定向倾倒,这一原理称为失稳原理。

当采用控制爆破拆除钢筋混凝土框架大楼时,根据上述的失稳原理,设计和施工时应当遵守下述几点原则。

①钢筋混凝土整体框架结构的控爆拆除方式可分为原地坍塌、折叠坍塌(倾倒)和定向倒塌等,其共同点是,均需形成相当数量的铰支和倾覆力矩。

铰支是结构的支撑立柱某一部位受到爆破,从而失去其支撑能力所形成的。

对于素混凝土立柱,一般只需对立柱的某一部位进行爆破,使之失去承载能力,立柱在自重作用下下移,造成偏心失稳,就能形成铰支。

对于钢筋混凝土立柱,则需要对立柱某一部分的混凝土进行爆破,使钢筋外露,钢筋在结构自重作用下失稳或发生塑性变形,失去承载能力,才能形成铰支。钢筋外露长度要依立柱内钢筋的布置形式来定。立柱内的钢筋一般分为孤立和整体布置两种形式。对于孤立布置的钢筋,可依靠其偏心失稳来形成铰支。单根立钢筋受压失稳的条件是

$$P > \frac{4 \times 10^{-4} \pi^2 EJ}{L^2} \quad (2-4)$$

式中: P 为钢筋所受的垂直压力, N; E 为弹性模量, Pa; J 为截面惯性矩, cm^4 ; L 为立钢筋的出

露长度, cm。

钢筋所受的压力可根据立柱的承载情况来估算, 这样, 便可从式(2-4)中解出立钢筋的出露长度

$$L_i > 2 \times 10^{-2} \pi \sqrt{\frac{EJ}{P}} \quad (2-5)$$

对于整体式布置的钢筋, 即使钢筋暴露较长, 也很难造成偏心失稳, 因此, 往往只依靠自重作用, 使钢筋内应力达到屈服极限, 产生塑性流动以致失稳, 形成铰支。在这种情况下, 就要特别注意破坏位置的选择了。通常, 为了形成倾覆力矩, 宜选用容易形成铰支的部位作为优先突破点, 而把整体式钢筋布置的立柱部位作为延续的铰支形成点, 因为这些部位在自重作用下不一定能形成铰支, 但在外力矩和自重的联合作用下却容易形成铰支。

实践得知, 结构的重力倾覆力矩可以从下述的方法中获得。

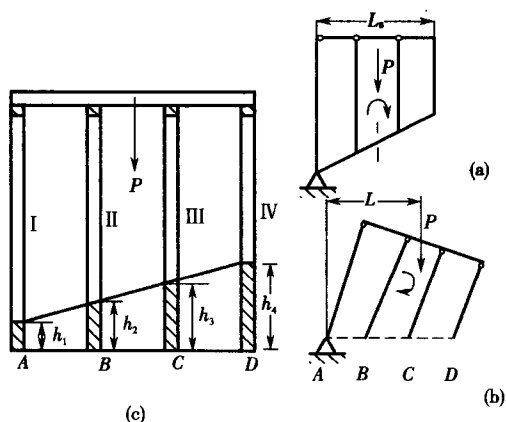


图 2-1 破坏高度不同时的倾倒示意图

P —自重; L_0 —框架宽度; $L_1 = L_0/2$

a. 在控爆倾覆方向上通过各立柱的破坏高度不同来形成倾覆力矩。由图示 2-1 可知, 承重立柱 I 至 IV 的破坏高度依次取 $h_1 < h_2 < h_3 < h_4$ 。在各立柱与顶板连接处, 均应适当地将混凝土炸松以形成铰支。同时起爆所有立柱, 由于各立柱下塌位移量不同, 框架将以立柱 I 的根部 A 点为支点, 在倾覆力矩作用下沿顺时针方向倾倒, 如图 2-1(a)、(b) 所示。

b. 用毫秒延时起爆技术, 使各个立柱按照严格的毫秒延时间隔依序起爆来产生倾覆力矩。由图 2-2 可见, 设承重立柱 A、B、C 和 D 的控爆破坏高度 h 相等, 但需按图中标出的毫秒延时间隔依序起爆。当柱 A 和柱 B

开始向下塌落时, 框架即失去平衡, 形成重力矩; 柱 C 起爆后, 框架则以柱 D 根部为支点, 在倾覆力矩作用下沿逆时针方向倾倒, 如图 2-2(a) 所示。

c. 承重立柱的不同破坏高度与毫秒延时起爆相结合, 可以实现建筑物或构筑物整体的原地坍塌、定向倾倒、折叠倾倒等多种拆除形式。图 2-3 即为原地坍塌的控制爆破拆除示意图。西班牙卡迪茨城中心的医院, 须拆除主楼而保留两侧配楼。主楼和配楼之间有一条沉降缝相隔。利用上述的原则, 实现了主楼的安全控爆拆除。

②必须对整体框架承重立柱的一定高度的混凝土加以充分破碎, 造成在自重作用下偏心失稳。被控爆破碎的混凝土将脱离钢筋骨架, 当该骨架顶部承受的静压荷载超过其抗压强度极限或达到失稳临界荷载时, 立柱便失稳下塌。满足上述条件时的立柱底部破碎高度称为最小破碎高度 $h_{\min}$ 。此外, 承重立柱控爆破碎高度 h 还应满足框架倾倒瞬间有一定的触地冲量, 以保证框架的断裂和解体。根据铁道部科学研究院的经验, 钢筋混凝土框架结构承重立柱破坏高度

$$h = K(B + h_{\min}) \quad (2-6)$$

式中: h 立柱破坏高度, m; B 为承重立柱截面的最大边长, m; K 为与框架结构坚固程度和爆破

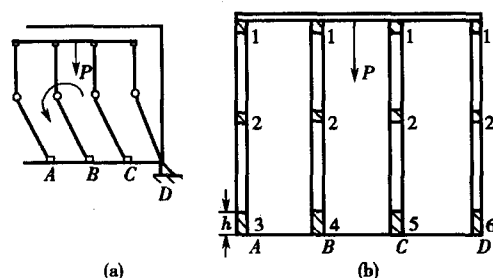


图 2-2 毫秒延时起爆倾倒示意图
(起爆顺序为 1 至 6)

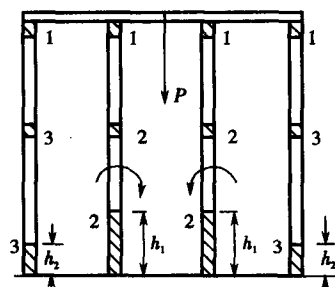


图 2-3 不同爆破高度和毫秒延时
起爆倾倒示意图
 h_1, h_2 —不同爆高; 1, 2, 3—起爆顺序

条件有关的系数, $K = 1.0 \sim 1.5$; $h_{\min}$ 为承重立柱底部最小破碎高度, m。

立柱形成铰支部位的控爆破碎高度

$$h_g = (1.0 \sim 1.5) B \quad (\text{m}) \quad (2-7)$$

③对于钢筋混凝土框架结构, 为确保失稳, 需将框架结构的刚度加以部分或全部破坏。凡妨碍倾倒的一切梁、柱、板、箍等, 必须在主爆之前预先切除。

2.4 缓冲原理

在优选适合控爆的爆破能源以及装药结构等的基础上, 缓和爆轰波的峰值压力对介质的冲击作用, 使爆破能量得到合理地分配与利用, 这就称为缓冲原理。

从爆破理论得知, 硝铵炸药在固体介质中爆炸时, 爆轰波的波阵面上压力可达 5~10 万个大气压。这一压力首先使紧靠装药的介质受到强烈压缩, 然后, 在装药半径 2~3 倍范围内, 由于爆轰波的峰值压力极大地超过了介质的动态抗压强度, 因此, 在该范围内的介质极度粉碎而形成粉碎区。此区虽然很小, 但消耗了相当大一部分爆炸能量, 而且微细粉碎的介质极易填充裂缝。这不仅阻碍爆炸气体向裂缝中扩张, 影响气楔的尖劈作用, 缩小了破坏范围和介质的破坏程度, 而且还造成爆炸气体的积聚。很显然, 积聚的爆炸气体是造成飞石、空气冲击波和噪声等危害的根源之一。由此可见, 粉碎区的形成, 既影响控制爆破的效果, 又不利于安全。因此, 在控制爆破中, 应根据缓冲原理, 采取相应的技术措施, 缩小或避免粉碎区的出现。

缓冲原理的实质, 就是通过某些手段, 延长爆破压力的作用时间, 从而降低炮孔中压力。设爆炸生成物的初始压力为 p_b , 经缓冲后作用于孔壁介质的压力为 p_t , 则称 p_b 与 p_t 之比值为缓冲比, 记为 f , 有

$$f = p_b / p_t \quad (2-8)$$

这里, p_t 可根据对破碎程度的不同要求来确定。

缓冲爆破的方法有很多, 可根据缓冲比, 亦即不同的缓冲要求来选用。常用的方法是“不偶合装药”, 即装入的药卷直径小于炮孔直径, 药卷周围留有环状空隙的方法。下面就不偶合装药在缓冲爆破中的应用情况进行讨论。