

主 编 杨国梁 郭东明 曹 辉

现代爆破工程

 煤炭工业出版社

现代爆破工程

杨国梁 郭东明 曹 辉 主编

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

现代爆破工程/杨国梁,郭东明,曹辉主编.--北京:煤炭工业出版社,2018

ISBN 978-7-5020-6856-1

I. ①现… II. ①杨… ②郭… ③曹… III. ①爆破技术
IV. ①TB41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 201504 号

现代爆破工程

主 编 杨国梁 郭东明 曹 辉
责任编辑 徐 武 赵金园
责任校对 陈 慧
封面设计 王 滨

出版发行 煤炭工业出版社(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)
电 话 010-84657898(总编室) 010-84657880(读者服务部)
网 址 www.cciph.com.cn
印 刷 北京建宏印刷有限公司
经 销 全国新华书店

开 本 787mm×1092mm¹/₁₆ 印张 15³/₄ 字数 373 千字
版 次 2018 年 10 月第 1 版 2018 年 10 月第 1 次印刷
社内编号 20180999 定价 46.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,本社负责调换,电话:010-84657880

内 容 提 要

本书共 8 章，主要包括爆破工程概论、炸药爆炸基本理论、爆破器材、岩石爆破机理、掘进爆破技术、露天爆破技术、建（构）筑物拆除爆破技术、特种爆破技术与爆破安全。章末附有复习思考题，便于学生掌握所学知识。

本书可作为高等院校采矿工程、岩土工程、桥梁工程、隧道工程等专业的本科生和研究生教材，也可供水利水电、城市建设、公路工程、铁路工程等专业的师生及工程技术人员参考。

前 言

随着我国经济建设的发展,爆破技术得到了广泛的应用,各种爆破新方法、新技术层出不穷,极大地促进了这门学科的发展。本书编写宗旨在于为岩土工程相关学科培养工程爆破技术人才教学服务,力争反映国内外爆破技术最新成就和教学内容课程体系改革成果。岩土爆破工程的教学目的,在于使学生在掌握本专业基础理论的基础上,加强在实用爆破技术及工程设计等方面的能力培养。要求掌握各种爆破技术的基本原理、方案设计和施工技术,了解该学科的发展趋向和研究前沿,并通过实践培养一定的设计和科研能力。在编写过程中,借鉴了经典教材的优点,以爆破技术的基本理论和基本原理为重点,结合工程实践,深入浅出,既介绍先进技术和理论研究成果,又充分考虑到工程应用现状,以达到理论联系实际,为爆破工程服务的目的。

近年来爆破技术发展迅猛,各种爆破新技术不断涌现,爆破技术水平日趋成熟,这些都需要反映在新的教材里,才能有利于学生掌握最先进的爆破技术,以更好地为生产实际服务。本教材致力于从爆破理论研究和工程实践中吸取成熟的最新理论和先进技术成果,充实教学内容,突出现代特色。

本书由杨国梁、郭东明、曹辉主编,参加编写的还有硕士研究生李旭光、毕京九。本书共分8章,具体编写分工如下:第1、6、7章由杨国梁编写,第4、5章由郭东明编写,第2、8章由曹辉编写,第3章由李旭光、毕京九编写。全书由杨国梁负责统稿和定稿。

编者水平有限,书中难免有不妥和疏漏之处,敬请读者批评指正。

编 者

2018年7月

目 录

1 概论	1
1.1 爆破工程发展现状	1
1.2 爆破工程的特点及分类	6
1.3 爆破工程学科内容	9
2 炸药爆炸基本理论	11
2.1 爆炸的基本特征	11
2.2 炸药的氧平衡及爆轰产物	13
2.3 炸药的热化学参数	17
2.4 炸药的起爆与感度	22
2.5 炸药的爆轰理论	29
2.6 炸药的爆炸性能	32
复习思考题	39
3 爆破器材	40
3.1 工业炸药	40
3.2 起爆器材	53
3.3 起爆方法	66
复习思考题	75
4 岩石爆破机理	76
4.1 岩石的基本性质及其分级	76
4.2 爆炸作用下岩石破坏原理	84
4.3 装药量计算原理	93
4.4 影响爆破作用的因素	98
复习思考题	106
5 掘进爆破技术	107
5.1 掏槽爆破方法	107
5.2 掘进爆破设计	116
5.3 光面爆破与预裂爆破技术	123
5.4 定向断裂控制爆破	133

5.5 掘进爆破实例	138
复习思考题	144
6 露天爆破技术	146
6.1 露天台阶爆破	146
6.2 露天硐室爆破	164
6.3 露天爆破实例	174
复习思考题	183
7 建（构）筑物拆除爆破技术	184
7.1 拆除爆破原理与设计	184
7.2 高耸构筑物拆除爆破	187
7.3 建筑物拆除爆破	197
7.4 水压爆破拆除技术	206
复习思考题	210
8 特种爆破技术与爆破安全	211
8.1 聚能爆破	211
8.2 爆炸加工	218
8.3 爆炸合成新材料	225
8.4 油气井爆破	230
8.5 爆破安全	233
复习思考题	244
参考文献	245

1 概 论

1.1 爆破工程发展现状

1.1.1 爆破器材的发展

炸药的发明和应用,对人类社会文明和发展起了十分重要的作用,人们利用炸药爆炸能量代替繁重的体力劳动,创造了大量的物质财富、促进了社会进步。早在公元7世纪,我们的祖先就发明了火药,但是直到1627年,匈牙利首先使用黑火药进行了矿山采掘爆破。1857年至1870年欧洲修建的仙尼斯铁路隧道长12.2 km,就是采用爆破方法开挖的。

工业炸药威力大而价格便宜,近一个世纪发生了两个重大的变革,一是硝化甘油炸药和硝铵炸药的发明和使用,二是含水硝铵类炸药的诞生,两次变革都从实用上、安全上、经济上推动了工程爆破技术的进步和发展,逐步形成了现代工程爆破技术。1867年瑞典人诺贝尔发明了以硅藻土为吸收剂的硝化甘油炸药,并发明了火雷管;同年,瑞典化学家德理森和诺尔宾首次研制成功了硝铵炸药。1870年,欧洲修建长14.9 km的圣哥达隧道时,使用了可钻直径35~40 mm炮眼的风钻和含70%硝化甘油的炸药,这标志着隧道钻爆技术进入到现代工程爆破时代。20世纪以来,爆破器材和爆破技术又有了新的进展。1919年,出现了以泰安为药芯的导爆索;1927年,在瞬发电雷管的基础上研制成功秒延期电雷管;1946年,研制成功毫秒延期电雷管;20世纪50年代初期,铵油炸药得到了推广应用;1956年,库克发明了浆状炸药,解决了硝铵炸药的防水问题,随后发明了乳化炸药;20世纪80年代,研制和推广了导爆管起爆系统,同时美国IRECO公司在世界上首次研究开发成功了露天现场混装乳化炸药技术。混装车运往爆破现场的爆破材料只是原材料或半成品,只是在装填炮孔时才敏化成为爆破剂。在完善和提高传统的电力起爆和非电起爆方法的同时,近年来又开发了电子雷管,具有安全性好、延时精度高(延时时间可按照1 ms量级进行编程设定)的特点,已在各个国家普遍生产和使用。

新中国成立初期,只有3个品种的铵梯炸药和秒延期雷管,1959年生产出抗水型铵梯炸药,1960年开始生产毫秒电雷管,1966年开始生产铵油炸药。1970年以后,在研制和引进的基础上开始生产浆状炸药、乳化炸药和水胶炸药,同时开发生产了非电导爆系统。目前我国工业炸药的品种比较齐全,有胶质炸药、铵梯炸药、铵油炸药(包括改性铵油炸药、膨化硝铵炸药)、浆状炸药、水胶炸药、乳化炸药、液体炸药及工业耐热炸药等。1999年开始了BCJ系列“散装乳化炸药装药车”研制开发工作,已先后研制成功了4种型号的中小直径乳化炸药现场混装车。我国的起爆材料在满足和保证工程爆破需要的同时,在品种、质量和精度上得到不断提高。目前已有适用于各种工程条件下的导火索、导爆索、瞬发电雷管、毫秒延期电雷管、非电导爆雷管等不同规格的系列产品。国内也有电子雷管试制产品,其延时间隔5 ms,有63个段别,今后都将在工程爆破中起到重要的作用。

1.1.2 爆破技术的发展

工程爆破行业的变革带来的是爆破技术的发展和 innovation。青藏铁路建成通车、长江三峡工程混凝土围堰爆破拆除、溪洛渡水电站大坝拱肩槽开挖等大型爆破工程取得成功,一个又一个工程爆破技术科研成果得到鉴定,特别是“精细爆破”理念的酝酿与提出,生动地记录了爆破工程领域近年来所取得的丰硕成果。

1. 围堰爆破拆除工程

三峡工程三期碾压混凝土围堰的爆破拆除是科技进步和工程密切结合的成功范例,也是多种爆破技术和先进爆破器材综合应用的成功实践。该工程进行了大量的科学研究和试验,在2003年碾压混凝土围堰浇筑前,经过多方论证,提出了建拆一体化的设计理念,将堰体硐室爆破药室和堰体排水廊道相结合,建设施工时预置3排354个集中药室和1排376个水平断裂孔。

为了确保爆破成功,工程建设和科研单位进行了大量的研究和模型试验,对爆破器材、爆破振动及水击波、爆破涌浪的影响、安全防护措施等进行了研究,为设计提供科学依据;研制了适合于地面制备站-混装车生产工艺和具有高爆速、高威力、高抗水性能的新型混装乳化炸药;在国内首次大规模采用了混装乳化炸药长距离管道输送、速凝材料堵塞、数码电子雷管起爆、深水气泡帷幕防护等先进技术;成功地使用了超声波驱鱼等技术,有效地避免了爆破对白鲟、达氏鲟和胭脂鱼等珍贵鱼类及其他水中生物的影响,体现了工程建设与生态保护的协调一致。

爆破采用电子雷管毫秒延时顺序起爆技术,精确控制3排集中药室、1排断裂孔、堰块间切割孔的起爆次序和时差,确定堰体逐块在其自身重力和两侧水压力作用下向上游一侧倾倒的拆除方案。该工程设计爆破炮孔(药室)总数达1022个,现场混装的乳化炸药总装药量为191.3t,数码电子雷管959个段别,计2506发。爆破总延期时间为12.888s。

2. 大型水电开挖爆破工程

溪洛渡水电站大坝拱肩槽开挖总方量约为400万 m^3 ,开挖高度为210m,开挖轮廓面积约为4.4万 m^2 ,工程规模大;大坝拱肩槽地质构造复杂,柱状岩石节理裂隙发育、层间层内错动带密集,开挖轮廓面呈扇形扩散的扭面结构,爆破成型难度大。通过精心设计和对钻机改进,形成了大坝拱肩槽开挖精细爆破施工的专用设备,实现了单孔精确定位、个性化爆破装药设计施工工艺。同时贯彻精细爆破理念,建立了以质点振动速度、岩石声波、钻孔窥视、平整度和超欠挖检测的爆破效果定量评价方法。拱肩槽开挖形成的基础面光滑平整,平整度、半孔率整体达到优秀水平,爆破对岩石的损伤得到有效控制。

在三峡工程地下电站Ⅱ层岩锚梁部位开挖时,爆破设计采用了定位导向施工技术,采用钢管定位措施,使钻孔控制标准化,岩锚梁平均超挖控制在2cm以内。

向家坝地下厂房岩锚梁光面爆破半眼痕率:Ⅱ类围岩100%,Ⅲ类围岩99.2%,Ⅳ类围岩90%~97.3%;岩壁无欠挖,平均超挖仅2.9cm;不平整度为0~4cm;排炮台坎一般不大于5cm,光爆孔孔间距偏差为0~4cm;由爆破和围岩卸荷造成的影响深度为0.2~0.7m。

向家坝地下厂房岩锚梁预裂爆破半眼痕率:Ⅱ类围岩98.9%,Ⅲ类围岩94.5%,Ⅳ类围岩87.6%;岩壁无欠挖,平均超挖0~10cm;不平整度为0~8cm;排炮台坎一般不大于15cm;预裂孔孔间距偏差为0~7cm;由爆破和围岩卸荷造成的影响深度为0.7~0.9m。

3. 冻土和隧道掘进爆破工程

青藏铁路格拉段全长 1142 km, 于 2001 年 6 月 29 日开工, 2005 年 10 月全线铺通, 2006 年 7 月 1 日正式通车, 这是世界上海拔最高的铁路。

青藏铁路建设要解决高原地区、高含量冰冻土爆破和环境保护三大难题。铁道科学院对高含冰量冻土爆破参数、高效钻孔机械以及爆破器材进行了系统研究, 提出了一套比较完善的设计施工方法和保护冻土原有的热学和力学状态的施工措施。在海拔 4700 m 以上的昆仑山口高含冰量冻土岩石路堑开挖中, 在北施工区用 38 天完成了 69000 m³ 的岩体开挖, 在南施工区用 14 天完成了 21000 m³ 的冻土开挖。

青藏铁路风火山段的隧道爆破掘进工程, 是世界上海拔最高的高原永久冻土隧道, 隧道长 1329 m, 隧道通过部位轨面海拔 4905 m。铁路建设施工单位因地制宜地采用上下导坑平行作业全断面开挖方法, 合理选择爆破参数, 达到了良好的爆破效果。为了减少爆破气体引起的温度升高, 他们采用了含盐炮泥填塞的装药结构, 有效控制了爆后温度效应。

石太铁路客运专线太行山隧道是近年来完成的最长的铁路隧道。太行山隧道全长 27.8 km, 2005 年 6 月 11 日开工, 工程采用了长隧短打, 11 个工作面同时施工, 克服了复杂的地质结构、围岩变化不稳定、通风排烟等难题。2008 年 1 月 12 日太行山隧道胜利贯通, 它标志着我国铁路隧道建设又上了一个新台阶。

青藏铁路西格段二线工程东起西宁, 横穿柴达木盆地、万丈盐桥后到达格尔木。其间关角隧道全长 32.6 km, 是目前国内在建的最长的高原隧道, 隧道进出口高程在 3300 m 以上, 铁路建设者采取了多种有针对性的工程措施。

4. 露天矿山生产爆破工程

露天深孔台阶爆破技术的发展表现为大孔径钻机, 高精度、高可靠性导爆管雷管、数码电子雷管的广泛应用, 并采用混装车装药, 钻机的数据采集和计算机模拟技术等。

(1) 露天深孔台阶爆破技术已在各矿山广泛应用。南芬铁矿采用大区多排深孔毫秒爆破技术, 创造了单次装药 300 t、爆破矿岩 81 万 t 的纪录。2005 年 3 月 30 日太钢峨口铁矿采用大区多排深孔毫秒爆破, 炮孔总数 871 个, 使用炸药 398.7 t, 爆破矿岩 130.3 万 t, 取得了良好的爆破效果。西安太堡露天煤矿采用逐孔毫秒延期爆破, 布设爆破孔 1285 个, 总装药 480 t。

(2) 高台阶抛掷爆破技术开始在中国露天煤矿应用。神华准能公司黑岱沟露天矿引进大型迈步式拉斗铲, 自 2007 年下半年开始采用高台阶抛掷爆破-拉斗铲倒堆采矿工艺。台阶高 45 m, 台阶宽 60 m, 采用 70°倾斜钻孔, 钻孔直径为 310 mm, 采用现场混装重铵油炸药、高精度导爆管雷管逐孔起爆技术, 一次爆破装药量为 900~1500 t, 抛掷率达 30%。

(3) 乳化炸药现场混装车装药爆破技术在大型矿山推广应用。炸药现场混装车是集炸药原材料运输、现场混制、装填为一体的设备。20 世纪 80 年代后期, 南芬露天铁矿和德兴铜矿等率先在国内实现了乳化炸药现场混制装药机械化, 近年来混装车已在中型和地下矿山逐步推广应用。

(4) 爆破优化设计和计算机模拟技术在大型露天矿的开发应用。南芬露天矿以采矿总成本为目标函数, 以破碎度等为约束条件建立了爆破优化数学模型, 合理分配各车间的成本指标, 用非线性规划法求解, 为钻孔爆破优化参数提供依据。水厂铁矿对露天矿台阶爆破条件下的爆区地形和地质构造特征、钻孔岩石的物理力学性质、炸药爆炸性能进行了综合分析, 在此基础上建立的 Blast-Code 模型, 可以由计算机自动地完成爆破设计, 并可进行破碎效果和爆堆形态的预测。

5. 地下矿山爆破工程

2005年3月28日,北京矿冶研究总院与华锡集团合作,根据广西南丹铜坑矿矿体情况,采用局部充填、强制崩落、强采强出、封闭覆盖的综合开采方案,成功地进行了一次装药量为150 t的地下大爆破。在第一爆区采用以线形、环形、方形等不同形式的阶段束状密集深孔为主的爆破方案,局部采用中深孔和小硐室爆破;同时采用预裂降震、柔性阻波墙、实时监测等手段,有效地控制了爆破有害效应。采用20段毫秒雷管起爆,起爆总延迟时间2 s,爆破崩落面积为6500 m²,崩落矿量77万t。爆破后临近井巷工程、设施和构筑物及地表民房等均未造成任何破坏。

6. 硐室爆破工程

硐室爆破广泛地应用于各种建设工程。由于硐室爆破具有成本低、施工机具轻便、施工速度快等优点,硐室爆破在矿山、铁道、水利水电、公路等建设工程中获得了广泛应用。

陕西柞水县大西沟铁矿剥离工程,位于海拔1500 m的秦岭山脉,地形陡峭,坡度多在50°~60°,于2005年6月28日实施爆破,一次爆破总装药量为963 t,爆破方量122万m³,抛掷率达到57.68%,爆破效果达到设计技术要求。

宁夏大峰煤矿硐室爆破工程位于宁夏北部贺兰山脉腹地的汝箕沟矿区。大峰煤矿是瓦斯影响较为严重的高危矿井之一,地下煤炭自燃已近百年,矿井废弃后地下煤层持续自燃,火区面积继续扩大,产生大量一氧化碳、二氧化碳等有害气体,不安全因素和危险性高,施工难度大。硐室爆破采用以条形药包为主、集中药包为辅的布药方式,设计硐室开挖总长度为8900 m,开挖工程量为24500 m³,一次装药量5400 t,爆破岩石体积为632.9万m³,是中国近15年来装药量超过5000 t硐室爆破工程。2007年12月20日实施爆破,爆破后山头下落近40 m,爆破效果良好。

7. 城镇建筑物拆除爆破

近年来,中国城镇建筑物拆除控制爆破技术有了较大发展,其主要特点是爆破拆除的烟囱、冷却塔等构筑物高度高,高层建筑物,结构多样化;爆破拆除的施工环境复杂,环境保护意识的强化对爆破拆除有害效应控制的要求越来越高。

为贯彻国务院节能减排的战略决策,全国要关停一大批20世纪70年代、80年代改扩建的火力发电机组,包括25万kW的机组,相应的一批高烟囱和冷却塔采用爆破方法拆除。据不完全统计,到目前采用爆破方法拆除150 m以上的高烟囱已超过10座,90 m高的冷却塔10余座。

为了控制结构的倒塌范围,不少工程已采用双向或是大量单向多缺口的折叠爆破拆除方案,减少了建筑物倒塌范围,有效地控制了塌落着地产生的振动。武汉市王家墩商务区两栋19层框剪结构大楼采用了双向三折的爆破方法,爆堆不超过原建筑占地范围6 m,效果十分理想。为解决爆破所产生的粉尘污染,广东宏大爆破工程有限公司研制开发“活性水”“活性雾”,采用“活性泡沫”浸没塌落的建筑,通过“活性雾”的方式包围捕捉扬尘,减尘降尘技术达到国际先进水平。其研究成果已成功应用于广州天河城两塔楼爆破拆除工程、青岛远洋宾馆爆破拆除工程,均获得了良好的减尘效果。

8. 爆炸加工技术

爆炸加工是利用炸药爆炸时所释放的能量,对金属毛料或半成品进行加工的一种方法,它是近几十年发展起来的一种新的金属加工方法。爆炸加工所涉及的领域很多,传统

的爆炸成型、爆炸焊接、爆炸硬化、爆炸消除残余应力、爆炸切割技术在不断延伸扩展，可以说在一些加工工艺上形成了一套完整的生产技术和规范。据不完全统计，全国各种爆炸加工技术及产品的年总产值已超过 100 亿元。

爆炸焊接是已经很成熟的焊接工艺，广泛地应用于各种标准化的复合金属材料生产。各种标准的不锈钢复合板、钛钢、锆钢复合材料已经广泛地用于化工设备、舰船、航空航天、军工、机械、冶金产业中。

利用爆炸产生的高温高压条件新发展的加工技术——爆炸合成或分解材料新工艺，如爆炸粉末烧结、爆炸改性、爆炸热处理、肉类冲击波嫩化、植物纤维冲击破碎等，标志着爆炸技术应用发展的新领域。同时，传统的爆炸成型技术也正在应用于地下深层油井的整形与修补，连铸结晶器的精密成型，爆炸焊接也向着超厚、超薄、超大、材料多样化（如脆性材料）发展。新兴的爆炸烧结技术正用于精细陶瓷、快淬合金的研究，爆炸合成的金属间化合物、金刚石、氮化硼、C-B-N 超硬材料，通过爆炸改性的化学触媒、光触媒材料等，这都提出了许多爆炸加工的发展方向，也提出了许多有待研究的爆炸力学与其他学科交叉的理论与技术问题。

为满足国民经济建设的需要，加强对全国爆炸加工行业的管理工作，规范行业的市场行为，促进我国爆炸加工行业可持续健康发展，中国工程爆破协会爆炸加工行业委员会于 2007 年 12 月 26 日在北京成立，开创了中国工程爆破爆炸加工的新局面。

9. 精细爆破

基于大量工程实践和理论研究工作，结合国内外爆破行业的技术发展现状，谢先启院士和卢文波教授提出了“精细爆破”概念。中国工程爆破协会于 2008 年 3 月 30 日在武汉组织召开了“精细爆破”研讨会，“精细爆破”作为一个有别于传统“控制爆破”的概念，它的适时提出意义十分深远，“精细爆破”代表了工程爆破技术发展的方向。

精细爆破是通过量化的爆破设计和精心的爆破施工，使炸药爆炸能量释放与介质破碎、抛掷等过程得到精密控制，既要达到预期的爆破效果，又要使爆破有害效应得到有效控制。

基于运动学和结构力学分析对高层框架结构楼房单向或多向折叠爆破、钢筋混凝土高烟囱定向或双向折叠爆破倒塌的控制，包括爆破缺口高度和范围的确定、缺口起爆时差等关键参数的选择和精确控制的设计理念、拱肩槽开挖工程中钻孔机具的改进和精确施工工艺、爆破器材的选型及爆破效果的评价方法的科学性都无疑是对精细爆破概念的最好诠释。

随着爆破理论研究的深化和相关技术的发展，特别是计算机技术的广泛应用、爆破器材的不断更新、检测技术的进步以及钻爆机具的改进，为精细爆破的实现提供了强有力的技术支撑，高质量的工程要求和环境保护的需要，将促使更多、更好的精细爆破施工实例的出现。

10. 抗震救灾中的爆破作业

2008 年 5 月 12 日在四川省汶川县发生的特大地震，是新中国成立以来破坏性最强、波及范围最广、救灾难度最大的一次地震灾害。地震震级达里氏 8 级，最大烈度达 11 度。灾区总面积 44 万 km^2 ，受灾人口 4624 万。地震灾害造成的巨大破坏，举国震惊，世人关注。人员伤亡惨重；房屋大面积倒塌，北川县城、汶川映秀等一些城镇几乎夷为平地；基础设施严重损毁，邻近公路、铁路受损中断，电力、通信、供水等系统大面积瘫痪；次生灾害多发；山体崩塌、滑坡、泥石流频发，阻塞江河形成较大堰塞湖。

排除高危目标隐患是灾区排险工作中的首要任务，高危目标采用爆破方法拆除，爆破

作业效率高，速度快。爆破拆除高危建（构）筑物与常规爆破拆除作业不同，是一种带有风险的排险作业，不能按常规的方法去组织实施，必须在最短的时间内拆除目标，且要保证爆破效果。爆破部位已经有很多的裂缝或破损，有的无法进行穿孔作业，爆破装药不得直接利用已有缝隙或死角，进行半裸露装药爆破和炮孔爆破。

据不完全统计，成都军区工程兵、南京工程兵学院、北海舰队陆战队、四川川投爆破工程有限公司、重庆市爆破公司、西南交通大学爆破公司、成都地区路桥工程公司的抗震救灾爆破作业队累计拆除高危建筑物一千多座，疏通导流爆破数千次，加宽、加深导流槽，尽快消除堰塞湖溃坝危险。

1.2 爆破工程的特点及分类

1.2.1 爆破工程的特点

工程爆破涉及的领域广阔、内容丰富、方法手段各异，且作业环境条件复杂，其基本特点可以归纳为以下几个方面：

（1）工程爆破是一种高风险的涉及爆炸物品的特种行业。首先，炸药和雷管等爆破器材是工程爆破作业中必不可少的物质保证，购买、运输、储存、使用炸药等爆炸物品是爆破工作者必然经常涉及的事情。其次，由于炸药爆炸是瞬时完成的，一项工程爆破通常是在几秒钟内完成且是不可重复的。

（2）工程爆破外部环境特定且复杂。工程爆破都是在特定的条件下进行的，其外部环境复杂且要求严格。如城市建筑物拆除爆破通常是在闹市区和交通要道地区内进行的，且与保留建筑物毗邻或结构相互连接，又有市政铺设的各种管道和线路，等等。在这样复杂的环境条件下进行拆除爆破，就会对爆破设计、防护、环保、施工扰民等环节提出了更高更难的要求。

（3）对爆破器材有特定的严格要求。尽管不同工程爆破使用的爆破器材品种会有所不同，但是对爆破器材的质量、性能等要求却是一致的。例如，大区微差爆破对雷管的准爆率和延时精度及炸药爆炸性能的可靠性等方面均有很高要求。

（4）工程爆破施工环节多而复杂。爆破工作者应首先熟悉被爆对象的工程地质、结构以及爆破要求，搜集有关资料；然后再着手设计施工，如钻孔、装药、爆破网路的连接、起爆、警戒、震动监测等诸多环节，每一个环节都必须精确，以获得良好的爆破效果和确保安全。

1.2.2 爆破工程的分类

工程爆破常用的分类方法主要有按药包形状分类、按装药方式与装药空间形状分类、按爆破技术分类 3 种分类方法。

1. 按药包形状分类

（1）集中药包法：当药包的最长边长不超过最短边长的 4 倍时，称为集中药包。集中药包起爆后产生的冲击波以均匀辐射状作用到周围的介质上。集中药包通常应用在硐室法爆破和药壶法爆破中。

（2）延长药包法：当药包的最长边长大于最短边长或直径的 4 倍时，称为延长药包。延长药包起爆后，爆炸冲击波以柱面波的形式向四周传播并作用到周围的介质上。延长药包常常应用于深孔爆破、炮眼爆破和药室中的条形药包爆破中。

（3）平面药包法：当药包的直径大于其厚度的 3 倍或 4 倍时，称为平面药包。人们通

常预先把炸药做成油毛毡或毛毯形状,应用时将其切割成块,包裹在介质表面,主要用于机械零件的爆炸加工。平面药包起爆后,大多数能量都散失到空气中,只是在与炸药接触的介质表面上受到爆炸作用,爆炸冲击波可以近似为平面波。

(4) 异形药包法:为了某种特定的爆破作用,可以将炸药做成特定的形状。其中应用最广的是聚能爆破法,它是将装药的一端加工成圆锥形的凹穴或沟槽,使爆轰波按其表面聚焦在它的焦点或轴线上,形成高能射流。这种药包可用来切割金属板材、大块岩体的二次破碎以及在冻土中穿孔等。

2. 按装药方式与装药空间形状分类

(1) 硐室法:又可分为集中装药硐室和条形装药硐室,这是大量土石方挖掘工程中的常用方法之一。该方法需要的施工机械比较简单,不受气候和地理条件的限制,工效高。

(2) 药壶法:即在普通炮孔底部,装入少量炸药进行不堵塞的爆破,使孔底部扩大成圆壶形,以求达到装入较多药量的爆破方法。药壶法属于集中药包类,适用于中等硬度的岩石,能在工程量不大、钻孔机具不足的条件下,以较少的炮孔爆破较多的土石方量。随着机械化施工水平的提高,药壶爆破的应用逐步在减少。

(3) 炮孔法:通常根据钻孔孔径和深度的不同,把孔深大于4 m、孔径大于50 mm的爆破称为中深孔爆破,反之称为浅孔爆破或炮眼法爆破。从装药结构看,这是属于延长药包一类,是工程爆破中应用最广、数量最大的一种爆破法。

(4) 裸露药包法:直接将炸药敷设在被爆破物体表面上并加简单覆盖的爆破作业,这是一种最简单最方便的爆破施工方法。这样的爆破法对于清除危险物、交通障碍物以及破碎大块岩石的二次爆破是简便而有效的。

3. 按爆破技术分类

(1) 定向爆破:使爆破后土石方碎块按预定的方向飞散、抛掷和堆积,或使被爆破的建筑物按设计方向倒塌和堆积的爆破。它的技术关键是要准确地控制爆破所要破坏的范围以及抛掷和堆积的方向与位置。

(2) 轮廓控制爆破:预裂和光面爆破是常用的轮廓控制爆破技术,其目的都是为了在爆破后获得平整的岩面,以保护围岩不受破坏。二者的不同在于预裂爆破是要在完整的岩体进行爆破开挖之前,施行预先的爆破,使沿着开挖部分和不需要开挖的保留部分的分界线裂开一道裂缝,用于隔断爆破作用对保留岩体的破坏,并在预裂爆破后形成新的平整岩面;光面爆破则是在主爆体爆破之后,利用密集钻孔和减弱装药进行的爆破,以求得到平整的坡面或轮廓面。

(3) 微差爆破:微差爆破是在相邻炮孔或排孔间以及深孔内以毫秒级的时间间隔顺序起爆的一种起爆方法。由于相邻炮孔起爆的间隔时间很短,先爆孔为相邻的后爆孔增加了新的自由面,以及由于爆破应力波在岩体中的相互叠加作用和岩块之间的碰撞,使爆破的岩体破碎质量、爆堆成型质量好,可以降低炸药单耗和地震效应。

(4) 特殊条件下的爆破技术:对于某种不常见的特殊情况,如森林灭火、抢堵洪水和泥石流、疏通河道、水下压缩淤泥地基等,用常规方法难以解决,或因时间紧迫以及工作条件恶劣而不能进行正常施工,这时需要我们采用新的爆破方案,认真进行设计计算和施工,以解决工程难题。

对于爆破工作者来说,掌握上述几种爆破方法并不困难,但要灵活运用这些方法去解

决工程中的各种复杂问题，却有相当的难度。一个合格的爆破工程师，首先要熟悉各种介质的物理力学性质、爆破作用原理、爆破方法、起爆方法、爆破参数计算原理、施工工艺方面的知识，同时还要掌握爆破时所产生的地震波、空气冲击波、飞石和破坏范围等爆破作用规律，以及相应的安全防护知识。

1.2.3 爆破工程的分级

爆破作业是一种高风险的涉及爆炸物品的特种行业，《民用爆炸物品安全管理条例》规定：国家对民用爆炸物品的生产、销售、购买、运输和爆破作业实行许可证制度。炸药和起爆器材的生产、储存、购买、运输、使用都必须遵守中华人民共和国《民用爆炸物品安全管理条例》和《爆破安全规程》（GB 6722—2014）的有关规定，爆破作业和爆破器材使用应当得到审批许可。

《民用爆炸物品安全管理条例》规定，在城市、风景名胜区和重要工程设施附近实施爆破作业的，爆破作业单位应向爆破作业所在地设区的市级人民政府公安机关提出申请，提交《爆破作业单位许可证》和具有相应资质的安全评估企业出具的爆破设计、施工方案评估报告。实施爆破作业时，应由具有相应资质的安全监理企业进行监理。

1. 爆破工程分级

《爆破安全规程》（GB 6722—2014）规定，爆破工程按工程类别、一次爆破总药量、爆破环境复杂程度和爆破物特征，分 A、B、C、D 四个级别，实行分级管理。

根据《爆破安全规程》（GB 6722—2014）规定，将爆破工程分级列于表 1-1。

表 1-1 爆破工程分级

作业范围	分级计量标准	级 别			
		A	B	C	D
岩土爆破 ^a	一次爆破药量 Q/t	$100 \leq Q$	$10 \leq Q < 100$	$0.5 \leq Q < 10$	$Q < 0.5$
拆除爆破	高度 H^b/m	$50 \leq H$	$30 \leq H < 50$	$20 \leq H < 30$	$H < 20$
	一次爆破药量 Q^c/t	$0.5 \leq Q$	$0.2 \leq Q < 0.5$	$0.05 \leq Q < 0.2$	$Q < 0.05$
特种爆破 ^d	单张复合板使用药量 Q/t	$0.4 \leq Q$	$0.2 \leq Q < 0.4$	$Q < 0.2$	

注：a. 表中药量对应的级别指露天深孔爆破。其他岩土爆破相应级别对应的药量系数：地下爆破 0.5；复杂环境深孔爆破 0.25；露天硐室爆破 5.0；地下硐室爆破 2.0；水下钻孔爆破 0.1；水下炸礁及清淤、挤淤爆破 0.2。

b. 表中高度对应的级别指楼房、厂房及水塔的拆除爆破；烟囱和冷却塔拆除爆破相应级别对应的高度系数为 2 和 1.5。

c. 拆除爆破按一次爆破药量进行分级的工程类别包括：桥梁、支撑、基础、地坪、单体结构等；城镇浅孔爆破也按此标准分级；围堰拆除爆破相应级别对应的药量系数为 20。

d. 金属破碎爆破与爆炸加工、油气井爆破、钻孔雷爆等特种爆破按 D 级进行分级管理。

B、C、D 级一般岩土爆破工程，遇下列情况应相应提高一个工程级别：①距爆区 1000 m 范围内有国家一、二级文物或特别重要的建（构）筑物、设施；②距爆区 500 m 范围内有国家三级文物、风景名胜区、特别重要的建（构）筑物、设施；③距爆区 300 m 范围内有省级文物、医院、学校、居民楼、办公楼等重要保护对象。

B、C、D 级拆除爆破及城镇浅孔爆破工程，遇下列情况应相应提高一个工程级别：①距爆破拆除物或爆区 5 m 范围内有相邻建（构）筑物或需要重点保护的地表、地下管线；②爆破拆除物倒塌方向安全长度不够，需要折叠爆破时；③爆破拆除物或爆区处于闹市区、风景名胜区内时。

矿山内部且对外部环境无安全危害的爆破工程不实行分级管理。

2. 爆破作业单位分级

按照《爆破作业单位资质条件和管理要求》(GA 990—2012)规定,爆破作业单位分为非营业性爆破作业单位、营业性爆破作业单位。非营业性爆破作业单位指仅为本单位合法的生产活动需要,在限定区域内自行实施爆破作业的单位。营业性爆破作业单位是指具有独立法人资格,承接爆破作业项目设计施工和/或安全评估和/或安全监理的单位。

营业性爆破作业单位的资质等级由高到低分为:一级、二级、三级、四级,从业范围分为设计施工、安全评估、安全监理。爆破作业单位应当按照其资质等级承接爆破作业项目,非营业性爆破作业单位不分级。

3. 爆破作业人员

爆破作业人员指从事爆破作业的爆破工程技术人员、爆破员、安全员和保管员。

爆破工程技术人员指具有爆破专业知识和实践经验并通过考核,获得从事爆破工作资格证书的技术人员。爆破工程技术人员分为高级/A、高级/B、中级/C和初级/D。爆破工程技术人员只能承担相应等级及以下的爆破作业项目。爆破员、安全员和保管员不分级。

1.3 爆破工程学科内容

爆破工程主要研究爆破理论及其在岩石介质破碎、开挖,和城市拆除工程等领域的应用。随着经济建设的发展,爆破技术在国民经济建设和国防工程各部门得到了广泛的应用;各种爆破技术名目繁多,新方法新技术层出不穷,极大地促进了这门学科的发展,使爆破的含义已远远超出世人对其的传统理解和认识。

爆破的物质基础,包括爆破器材和施工机械等。常用工业炸药、起爆器材及其起爆方法,具体如电雷管起爆方法和非电导爆管起爆法的连接网络,这些都是实施各种爆破方法的物质条件;爆破工程施工中所涉及的钻孔、装药、挖运及其破碎机械等机械设备对改进施工条件、促进施工现代化具有重要影响。

爆破理论,包括炸药及爆炸基本理论和岩石爆破机理等内容。炸药及爆炸作用的基本概念,阐述与爆破技术密切相关的炸药特性的感度及起爆传爆原理、氧平衡爆炸功及其炸药的主要性能;岩石爆破机理,则通过研究爆破作用下岩石破坏过程、爆破漏斗理论和成组药包作用,推出装药量计算原理,并深入分析包括工程地质在内的影响爆破作用的因素。爆破理论模型研究成果也为爆破过程数值模拟奠定了基础。

爆破技术,包括岩石爆破技术、建(构)筑物爆破拆除技术和特种爆破技术等内容。掘进爆破技术和台阶爆破技术的炮眼布置、爆破参数设计是爆破技术的核心,光面爆破、大区毫秒延时爆破和预裂爆破等技术构成了控制爆破技术的主要内容;烟囱水塔类高耸建筑物拆除技术、房屋类建筑拆除技术的爆破方案选择、控制原理和参数设计是拆除爆破的重点,基础地坪拆除技术、水压爆破技术和静态破碎等技术丰富了拆除爆破的方法;特殊形状药包的应用、金属破碎和切割技术、爆炸合成新材料、油气井爆破技术、软地基处理技术等特种爆破技术,进一步拓展了爆破技术的应用范围。

爆破安全,包括早爆、拒爆的预防和处理,爆破地震波效应及减震技术,空气冲击波、飞石及其防护技术,噪声、粉尘等环境危害的预防和减灾措施,以及相关的爆破测试技术等。

工程爆破主要研究内容，如图 1-1 所示。

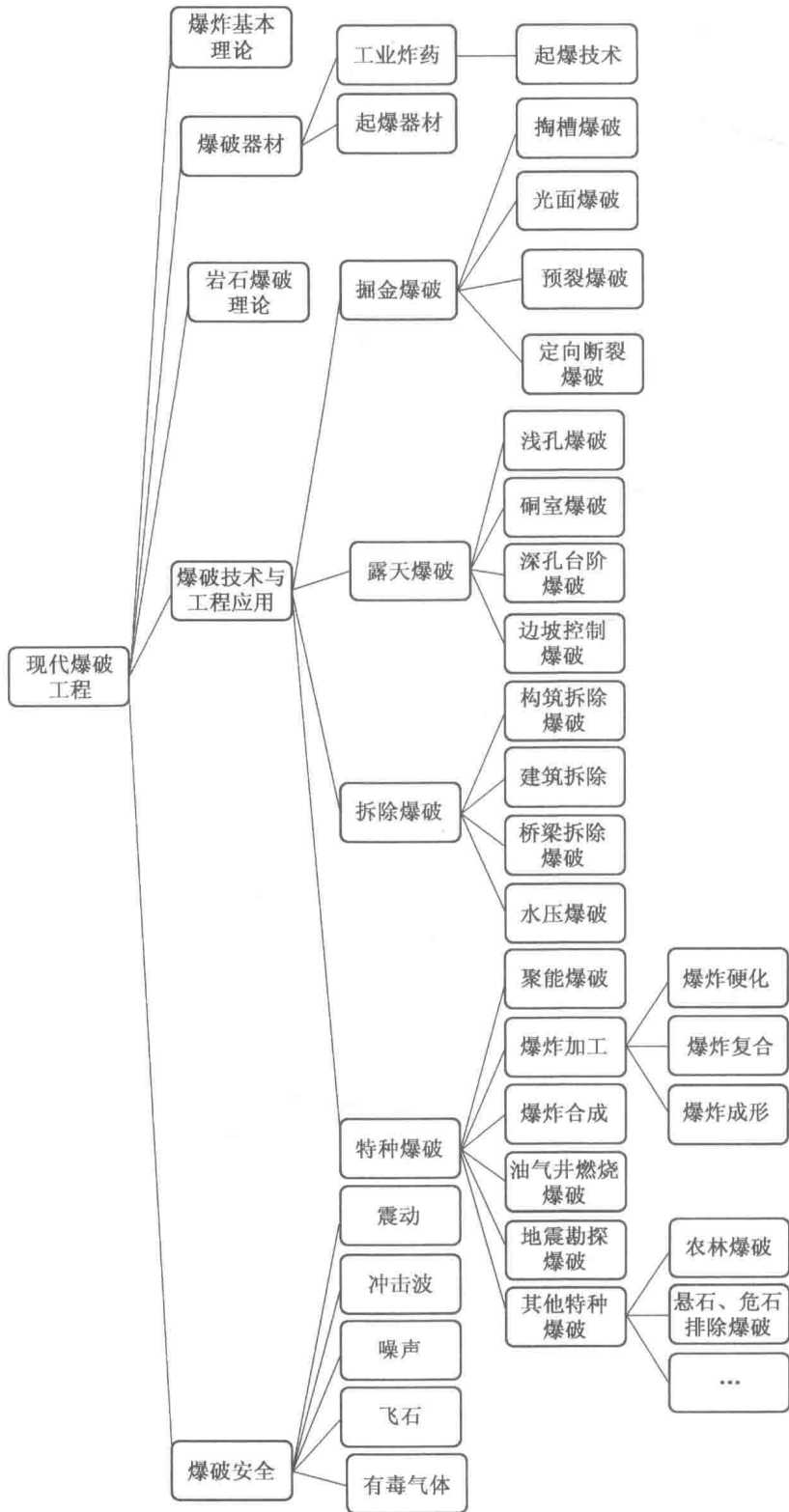


图 1-1 工程爆破主要研究内容