

工程爆破新技术

何广沂 著

中国铁道出版社

2000年·北京

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本书是作者在大量爆破工程实践的基础上,总结归纳出一系列的具有普遍意义的工程爆破技术,这些技术有较强的先进性、实用性和科学性。主要内容包括拆除爆破、电气化铁路既有线扩堑石方控制爆破、深孔松动控制爆破、露天深孔水压爆破、水下爆破、导爆管非电起爆以及聚能爆破等。书中各章还穿插了大量工程实例,以供参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程爆破新技术/何广沂著. —北京:中国铁道出版社, 2000.8
ISBN 7-113-03769-0

. 工... . 何... . 爆破技术 . TB41

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 27204 号

书 名: 工程爆破新技术

作 者: 何广沂

出版发行: 中国铁道出版社 (100054, 北京市宣武区右安门西街 8 号)

责任编辑: 安鸿逵

封面设计: 陈东山

印 刷: 北京市燕山印刷厂

开 本: 850× 1168 1/32 印张: 10.875 插页: 1 字数: 287 千

版 本: 2000 年 8 月第 1 版 2000 年 8 月第 1 次印刷

印 数: 1~4000 册

书 号: ISBN 7-113-03769-0/TU·627

定 价: 26.30 元

版权所有 盗印必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

自 序

“工程爆破”包括的爆破范围和内容极其广泛和丰富，而“工程爆破新技术”仅是前者的精华所在。但要指出的是，作者非编者，不是把他人的精华汇总起来命名为“工程爆破新技术”。客观地讲，作者撰写的《工程爆破新技术》一书，是作者本人研究和实践的成果，大部分内容与读者初次见面，有的是部级科研项目，是新技术、先进技术。这些成果大多数经过了专家技术鉴定，具有或国内先进、或国内领先、或国际先进、或国际领先水平，并获得了科技进步奖；有的还被联合国中国国家分部评为“发明创新科技之星”奖；有的已获专利；有的经评选已上国际互联网，在世界范围内交流；有多篇成果论文被国际爆破会议选中发表；有的被评为国家级爆破方面的工法。

为了使读者对“新技术”有初步的了解和认识，下面将扼要地介绍本书的内容和特点。

本书共分七章。

第一章拆除爆破，书中对风枪打眼拆除烟囱、水塔、楼房等建筑物予以从略，而仅限于水压爆破拆除各种构筑物，其中着重介绍作者研究并成功用于实践的药量计算公式及国内一次大型水压爆破。在这一章中还介绍采取独特的深孔爆破和集团装药爆破拆除构筑物的典型实例。

第二章电气化铁路既有线扩堑石方控制爆破安全快速施工技术的研究与应用，内容新颖，技术先进，将对今后电气化铁路既有线扩堑石方控制爆破提供新的经验。

第三章深孔松动控制爆破，在复杂的环境条件下，舍弃风枪小爆破的传统方法，而采取钻机钻孔深孔松动控制爆破，达到既安全又快速的爆破效果。

第四章露天深孔水压爆破，提高了炸药能量利用率，降低单耗，改善爆破效果，是对常规深孔爆破发展质的变革和创新。

第六章导爆管非电起爆新技术，这是作者结合洞室松动控制爆破研究开发的一种爆破新技术，其中侧重介绍作者研究并成功地用于实践的导爆管非电起爆技术的五个发展阶段。

第七章聚能爆破，因作者曾肩负着特殊的任务，对“聚能弹”结构原理设计进行了较长时间的研究，并把聚能弹应用于工程，称为“聚能爆破”，取得了令人满意的效果，尤其对多年冻土地带的爆破显示威力，这对修建青藏铁路将发挥着十分重要的作用。

书中最后介绍了笔者撰写的国家级两个爆破工法，这对爆破技术人员从事深孔和洞室松动控制爆破无疑地起到一定的积极作用。

本书显著的特点是作者写自己的研究成果，天生不足的是面比较窄，对工程爆破概念来说是不全面的，但力求有深度、力求“精”和“新”、力求先进、力求对读者深入研究爆破技术有所帮助。如能达到这样目的，那将是作者最大的心愿。

本书的出版得到了铁道部人事司的大力支持，特此致谢。

由于水平的限制，希望读者对书中的错误提出批评指正。

作 者

2000 年春

作者小传

何广沂，1938年11月19日出生于天津市。1959年8月离津就读于中国科学技术大学近代力学系爆炸专业，1964年7月毕业工作至今。一直从事爆破理论与应用研究，获国家、省部级科技进步奖多项，撰写四部爆破专著，发表论文数十篇，其中有三篇发表在国际爆破会议上，三次出国考察爆破和出席国际爆破会。曾著报告文学《技高胆大铸辉煌》一书，1999年4月由天津百花文艺出版社出版。1986年被评为有特殊贡献的中青年国家级专家，1989年被评为教授级高级工程师，1991年享受国务院特殊津贴，1993年获全国五一劳动奖章，1995年被评为全国劳动模范，作为中央国家机关特邀代表出席了2000年全国劳模先进工作者表彰大会，现今仍在工程爆破这块土地上辛勤耕耘。

目 录

第一章 拆除爆破.....	(1)
第一节 集团装药拆除爆破.....	(1)
第二节 深孔松动控制爆破拆除旧桥台	(23)
第三节 水压爆破	(30)
第二章 电气化铁路既有线扩堑石方控制爆破 安全快速施工技术	(56)
第一节 电气化铁路既有线扩堑石方控制爆破 安全快速施工技术研究应用概况	(56)
第二节 高边坡深路堑扩堑爆破实例	(79)
第三节 深路堑扩堑石方控制爆破及高边坡 光面爆破实例	(89)
第四节 靠近电气化铁路的洞室松动控制爆破 实例.....	(100)
第三章 深孔松动控制爆破.....	(113)
第一节 深孔松动控制爆破设计原则.....	(113)
第二节 铁路既有线扩堑深孔松动控制爆破实例.....	(118)
第三节 城市中公路路堑扩堑石方深孔松动控制 爆破实例.....	(133)
第四节 青岛火车站站前广场深孔松动控制爆破 开挖.....	(145)

第四章	露天深孔水压爆破.....	(156)
第一节	露天深孔水压爆破的产生.....	(156)
第二节	应用试验.....	(158)
第三节	爆压测试.....	(172)
第五章	水下爆破.....	(181)
第一节	水下爆破的基本概念.....	(181)
第二节	严寒季节大型水下深孔爆破实例.....	(188)
第六章	导爆管非电起爆新技术.....	(205)
第一节	洞室松动控制爆破基本概念.....	(205)
第二节	洞内外控制微差爆破.....	(218)
第三节	洞外大间隔等微差爆破.....	(227)
第四节	几个段别的同段位高段别控制微差爆破.....	(243)
第五节	两个段别的同段位高段别控制微差爆破.....	(246)
第六节	同段位高段别控制秒延期爆破.....	(268)
第七章	聚能爆破.....	(279)
第一节	聚能弹基本原理及设计.....	(279)
第二节	穿孔试验.....	(290)
第三节	实际应用.....	(300)
附录	国家级两个爆破工法.....	(308)
附录一	深孔松动控制爆破工法.....	(308)
附录二	洞室松动控制爆破工法.....	(318)

第一章 拆除爆破

我国从 70 年代开始，对旧建（构）筑物的拆除，常采取控制爆破的方法，或称“城市拆除爆破”，拆除施工既快速又安全、既经济又减少对环境干扰。

城市拆除爆破，无论对旧的高楼大厦、烟囱、水塔还是对各种旧的构筑物的拆除，通常采取人工风枪打眼。在整个拆除爆破施工中，风枪打眼，占用时间长，对环境造成一定的污染。所谓“污染”，是指风枪打眼产生的粉尘和噪声。城市拆除爆破，由于种种原因，很少或者说没有采用湿式打眼，千篇一律干式打眼，于是粉尘滚滚，污染了空气和环境；如数支风枪同时作业，产生的噪声远远超标（140 dB），使得四邻不安，影响了人身健康。即便如此，有些构筑物，例如国防工事的拆除，由于工事结构钢筋纵横交错，打眼十分困难，费时、费工、费料；又如浆砌片石的构筑物，打眼卡钎，好不容易打完眼，爆破时用药少产生“漏气”现象，用药多容易产生飞石。对上述两类类似的构筑物的爆破拆除，如采取人工风枪打眼，不但占用时间长，而且爆破效果差，也很不经济。采取什么方法来解决这一难题呢？笔者研究开发并在实践中获得成功的“集团装药爆破”、采用潜孔钻机打眼的“深孔爆破”和国内最大的一次水压爆破等，解决了这一难题。这三项成果可以说是对城市拆除爆破的发展、创新。本章将分三节着重介绍爆破设计、药量计算、施工工艺、安全防护措施和取得的成果。

第一节 集团装药拆除爆破

目前，国内外对城市中一般构筑物进行爆破拆除时，多采取人工风枪打眼放炮的办法，一般是在炮眼内装延长药包，这种装

药结构可称为“延长装药”。对于类似防空洞、碉堡等容器型构筑物的爆破拆除，常采取水压爆破，其装药结构是非延长药包，而是集中装药，是一个药包或多个药包，笔者称之为“集团装药”。采取这种装药结构对构筑物拆除，称为“集团装药拆除爆破”。在城市中对于非容器状的浆砌片石结构的构筑物的爆破拆除，在条件允许的情况下，也可以采取集团装药爆破拆除。

把集团装药应用于浆砌片石结构的构筑物的拆除爆破是一种独特的方法，为城市拆除爆破技术增添了一项新的内容。这种独特方法的特点是不必风枪打眼，把一个或数个药包埋置于经过设计计算的位置，经覆盖防护后即可放炮，从而大大地提高工效，缩短工期，减少干扰，并且经济技术效果比人工风枪打眼的方法要好得多。这种集团装药拆除爆破方法，经实践证明，是很有发展的。

一、集团装药拆除爆破的设计特点

集团装药实际上就是集中药包。集中药包是以球形或正立方体为特征的。凡高度不超过直径4倍的圆柱体，或最长边不超过其他最短边4倍的直角六面体，都属于集中药包。这也是集团装药与一般的延长装药不同之处。集团装药的最小抵抗线 W 往往大于1m，每个药包装药几千克至几十千克，而不像拆除爆破中一般人工风枪打眼的最小抵抗线 $W < 1\text{m}$ ，每个炮眼只装几十克至数百克炸药。这是第一个特点。第二个特点是，集团装药设计的药包数量少，拆除一般的构筑物只需要布置几个至十几个药包，但每个药包所爆破的方量是较大的。

由于集团装药拆除爆破中，每个药包的装药量与风枪打眼延长药包相比，药量过大，因此，设计时除了要考虑到达到预期的爆破目的外，还必须充分注意到有效地控制破坏范围、飞石抛散距离以及爆破振动的影响。

(一) 药包布置

首先根据被拆除的构筑物的高度、宽度和其他结构尺寸，选

取单层药包方案或多层药包方案，然后根据结构平断面图确定药包的数量和位置。

集团装药拆除爆破的药包数量要比人工风枪打眼的药包数量少得多，爆破能否达到目的和确保四周的安全，选定合适的药包位置至关重要。药包应布置在构筑物内部适当位置，也可以根据结构力学分析，在构筑物的破坏要害部位布置药包，破坏其稳定性，达到拆除的目的。

要达到被拆除的构筑物爆破介质松动、破碎均匀而不飞散的目的，则药包埋设位置垂直方向的抵抗线 W_H 应大于水平方向的抵抗线 W_L ，其比值拟为：

$$W_L / W_H = 0.6 \sim 0.8 \quad (1-1)$$

如果公式 (1-1) 比值过小，即药包埋置的垂直深度过大，爆破结果可能在水平方向仅炸出一个孔洞，而顶部仅开裂，达不到全部松动均匀破碎的目的，给清碴带来困难；如比值过大，则表明药包垂直埋置深度相对变浅，在此方向的爆破作用较大，爆破时可能出现抛掷石块，而水平方向抵抗线 W_L 相对增大，这个方向被拆除的构筑物有可能炸不开，仅出现裂缝，也达不到松动、均匀破碎的目的。通过爆破实践，笔者认为，药包埋设的位置，其水平方向的抵抗线 W_L 与垂直方向的抵抗线 W_H 之比值为 0.6 ~ 0.8 为宜。

药包布置的主要参数：

$$a = (1 \sim 1.25) W \quad (1-2)$$

$$b \geq W_1 + W_2 \quad \text{或} \quad b > R \quad (1-3)$$

式中 a ——药包间水平距离 (m)；

b ——上下层药包垂直距离 (m)；

W ——药包的水平方向最小抵抗线 (m)；

W_1 ——上层药包水平方向最小抵抗线 (m)；

W_2 ——下层药包水平方向最小抵抗线 (m)；

R ——下层药包的爆破作用半径 (m)。

(二) 装药量计算公式

笔者与朱忠节先生在《拆除爆破新技术》一书中研究推出的打眼放炮法的药量计算公式 $Q = f(q_1 A + q_2 V)$ ，是适用于最小抵抗线 $W = 1\text{ m}$ 的，而集团装药拆除爆破的 $W > 1\text{ m}$ ，所以不能采用上述公式计算药量。

爆破基本原理指出，集团（集中）药包在土壤、岩石介质中起爆后炸成的坑堑，往往具有倒立圆锥体的漏斗形状。许多爆破工作者根据自己的经验和理论分析，提出了许多不同形状的爆破漏斗计算公式。例如法国军事工程师沃班（Vanban）在 1669 年首先提出爆破漏斗的形状是倒立的正圆锥体；1871 年，豪柔（Hauser）根据沃班的这个建议，计算爆破漏斗的体积为

$$V = \frac{1}{3} r^2 W = \frac{1}{3} W^3 = W^3$$

他在药量计算公式中用 K 表示爆破漏斗单位体积的炸药消耗量，于是得出最简单的装药量计算公式：

$$Q = KW^3$$

理论和实践都证明，抵抗线在一定范围的爆破，相似规律存在，装药量的一般计算公式可用下式表示：

$$Q = Kf(n)W^3 \quad (1-4)$$

式中 Q ——集中药包的用药量（kg）；

W ——药包的最小抵抗线（m），其范围应为 $1.0\text{ m} < W < 15\text{ m}$ ；

$f(n)$ ——爆破作用函数；

K ——与岩石的结构和物理力学性质有关的单位用药量（ kg/m^3 ）， K 值选取参考表 1-1，表内数值以国产 2 号岩石炸药为标准。

对于工程爆破，根据爆破要求达到的不同目的和集团药包形成的漏斗坑大小，把药包分成四种类型，即松动药包、减弱药包、标准抛掷药包、加强抛掷药包，并用 n 值的大小来区分。

单位用药量 K 值

表 1-1

岩石名称	岩石等级	K 值 (kg/m ³)	岩石名称	岩石等级	K 值 (kg/m ³)
砂		1.8~2.0	砾岩和钙质砾岩	~	1.35~1.65
密实的或潮湿的砂	~	1.4~1.5		砂质砂岩、层状砂岩、泥灰岩	~
重砂黏土		1.2~1.35	钙质砂岩、白云岩、镁质岩		~
坚实黏土		1.2~1.5			
黄土	~	1.1~1.5	石灰岩、砂岩	~	1.5~2.4
白垩土		0.9~1.1	花岗岩、片麻岩	~	1.8~2.55
石膏、泥灰岩、蛋白石	~	1.2~1.5	玄武岩、安山岩	~	2.1~2.7
			石英岩		1.8~2.1
裂纹的喷出岩、重质浮石		1.5~1.8	斑岩	~	2.4~2.55
贝壳石灰岩	~	1.8~2.1			

“n”称做爆破作用指数，其定义是：爆破漏斗底部半径 r 与最小抵抗线 W 的比值，即 $n = r/W$ 。

当 $n = 1$ 时，能够形成标准抛掷爆破漏斗，将 $f(n) = f(1) = 1$ 代入公式(1-4)，得出标准抛掷爆破药包药量计算公式为：

$$Q = KW^3 \quad (1-5)$$

用 K 表示松动爆破的单位体积耗药量，通过试验得知 $K = (0.33 \sim 0.42)K$ ，则松动爆破的松动药包药量计算公式为：

$$Q = KW^3 \quad (1-6)$$

公式(1-5)和公式(1-6)类似豪柔公式。

当 $n > 1$ 时，形成加强抛掷漏斗。

在各国进行洞室（集团药包）大爆破中，计算抛掷爆破的抛掷药包的药量计算公式各不相同，但主要区别是爆破作用函数 $f(n)$ 的形式不同，表 1-2 列出了各国采用的抛掷爆破的抛掷药包药量计算公式。

我国的洞室爆破，计算抛掷爆破的抛掷药包药量计算公式多采用前苏联的鲍列斯可夫公式，即

$$Q = Kf(n)W^3 = K(0.4 + 0.6n^3)W^3 \quad (1-7)$$

我国在几十年的爆破工程实践中，取得了丰富的经验，提出了一系列与之相配合的爆破参数和有关计算式，形成了中国的爆破设计计算系统。

各国采用的抛掷药包药量计算公式 表 1-2

公式的提出者	采用国家	f(n)的形式	药量计算公式
豪柔	前苏联, 比利时, 德国	n^3	Kn^3W^3
列布林	前苏联(加强抛掷药包)	$(0.09 + 0.91n)^3$	$K(0.09 + 0.91n)^3W^3$
布拉利汶	比利时	$0.2 + 0.8n^3$	$K(0.2 + 0.8n^3)W^3$
丹不留	英国, 法国, 意大利	$\frac{1}{1 + n^2} - 0.4$	$K \frac{1}{1 + n^2} - 0.4^3 W^3$
鲍列斯可夫	前苏联, 中国	$0.4 + 0.6n^3$	$K(0.4 + 0.6n^3)W^3$

采取集团药包的拆除爆破，与上述的松动药包爆破、标准抛掷药包爆破以及加强抛掷药包爆破均不相同，它要求爆破后介质充分松动、破碎均匀，便于清碴，但又不要出现碎块飞散现象。实践证明，上述药量计算公式(1-5)、(1-6)、(1-7)均不适于集团药包拆除爆破。为了严格有效地控制飞石的发生，笔者认为集团装药拆除爆破应属于减弱药包爆破类型，它的药量计算公式应从减弱药包计算公式中探讨。笔者从试验中发现，列布林学者提出的减弱药包药量计算公式比较适合，其药量计算公式为：

$$Q = Kf(n)W^3 = K \frac{4 + 3n}{7} W^3 \quad (1-8)$$

经笔者在拆除爆破中验证，采用公式(1-8)计算的集团药包药量可以达到爆破后被拆除的构筑物块度均匀，不产生抛掷碎块，确保周围建筑物的安全。

集团装药拆除爆破采用公式(1-8)计算装药量时，n值可选取为0.4~0.6，K值从表1-1中查出。

(三) 爆破振动的影响

由于集团装药拆除爆破每个药包装药量要比风枪打眼每眼装

药量多得多，一次起爆的总药量比风枪打眼一般的爆破也要多，所以爆破振动相对风枪打眼也要大，因此爆破设计时必须计算爆破振动速度，以便爆破前判断对拆除物四周的建（构）筑物及主要设施能否受到不利的影 响，并采取相应的可靠技术措施。

爆破振动速度计算公式为：

$$v = k \frac{Q^{1/3}}{R} \quad (1-9)$$

式中 v ——测试点的爆破振动速度 (cm/s)；

Q ——爆破时装药量 (kg)，对于群药包的同时起爆，按总装药量计算，对于分段微差爆破，按各段中起爆药量最大的那段计算；

R ——爆破中心至测点的距离 (m)；

k ——与传播地段土壤岩石的性质有关的系数，可查表 1-3；

——衰减指数，与地层的地质情况有关，可查表 1-3。

各种介质的 k 、 α 值 表 1-3

岩石特性	k	α
坚硬岩石	50 ~ 150	1.3 ~ 1.5
中硬岩石	150 ~ 250	1.5 ~ 1.8
软弱岩石	250 ~ 350	1.8 ~ 2.0

拆除物四周建（构）物的爆破振动安全性应满足安全振动速度的要求，主要类型的建（构）筑物地面质点的安全振动速度规定如下：

1. 土窑洞、土坯房、毛石房屋为 1.0 cm/s；
2. 一般砖房、非抗震的大型砌块建筑物为 2 ~ 3 cm/s；
3. 钢筋混凝土框架楼房、厂房为 5 cm/s；
4. 水工隧洞为 10 cm/s；
5. 交通隧洞为 15 cm/s；

6. 矿山巷道：围岩不稳定有良好支护的为 10 cm/s；围岩中等稳定有良好支护的为 20 cm/s；围岩稳定无支护为 30 cm/s。

集团装药拆除爆破如果是多药包同时起爆，那么从每个药包到被保护物的距离相差不超过 10% 时，公式 (1-9) 中的 Q 为多个药包药量之和， R 为多个药包位置的几何中心至保护物间的距离；当距离相差超过 10% 时，应计算出等效距离 R 和等效药量 Q ，运用公式 (1-9) 校核振动速度时，应把 R 换成 R 、 Q 换成 Q 。

(四) 降振与安全覆盖防护

为了保证被拆除物四周建（构）筑物和设施的安全，首先要考虑的是降低爆破振动效应，应选用低威力、低爆速的炸药，采取微差起爆破，国内矿山一些工程爆破实践表明，与同时起爆相比，采取微差起爆，降振率平均约为 50%，分段延迟起爆，也可降低爆破振动。

为了有效地控制飞石，除了严格按前述要求进行药量计算和药包布设外，集团装药拆除爆破，埋设的药包，必须要用土回填捣固牢实，并加覆盖防护。覆盖应采取多种材料、多层覆盖，具体措施见工程爆破实例。如被拆除物附近有重要建（构）筑物时，除了覆盖物外，还应架设防护栅栏（排架）。

二、旧桥台集团装药爆破拆除实例

(一) 工程概况

河北省秦皇岛市为提高该市河北大街的交通运输通过能力，要将跨度为 10.5 m 的水门洞铁路旧立交桥拆除，以便修建跨度为 27 m 的铁路新的箱涵立交桥。由于铁路“给点”时间有限，为了争取工期，必须在极短日期内把原有旧桥台迅速拆除，立即顶进箱涵。为此，经研究决定采取爆破拆除旧桥台。施工时要保证铁路、公路正常运营，不得阻碍交通，爆破时要确保四周环境的安全。笔者有幸承担了爆破拆除的设计任务和现场施工技术指导。

水门洞铁路旧立交桥，其桥台为“U”型桥台，其结构系坚硬花岗岩块石加水泥砂浆砌成的。该桥台长 9.41 m，宽 5.4 m，高 7.5 m，其结构尺寸如图 1-1 所示。该桥台的胸墙和侧墙均为梯形结构，胸墙厚 1.0~2.7 m，侧墙厚 0.8~2.25 m，各部尺寸如图

1-3 所示。两个桥台合计砌石圬工约 500 m^3 。

图 1-1 桥台平面图 (单位: m)

图 1-2 侧墙、胸墙立面图 (单位: m)

该桥桥台上有通讯电缆通过, 距桥台 2.5 m 处有多路裸露电话线, 桥台两侧有商店、住宅和料场, 距桥台比较近, 详见旧立交桥周围环境图 1-3。

图 1-3 旧立交桥周围环境 (单位: m)

(二) 爆破设计

1. 药包布置

因桥台高 7.5 m, 故采取两层药包布置方案。第一层药包的水平面抵抗线 W_L 为 1.7 ~ 1.9 m。根据公式 (1-1), 水平方向抵抗线 W_L 与垂直 (药包埋深) 方向抵抗线 W_H 的比值为 0.6 ~ 0.8, 在此取 0.7, 则药包埋深 $W_H = \frac{1.7 \sim 1.9}{0.7} = 2.42 \sim 2.71$ m, 实际埋深 W_H 为 2.5 m。

根据公式 (1-2), 药包间距 $a = 1.25 W_L = 1.25 \times 1.7 = 2.125$ m, 实际间距 a 为 2.1 m, 则桥台上层 (第一层) 需布设 6 个药包,

1 号 2 号药包靠近胸墙, 抵抗线 W_L 为 1.9 m, 3 ~ 6 号药包靠近侧墙, 抵抗线 W_L 为 1.7 m。药包布设见图 1-2 和图 1-4。

第二层药包埋设位置的水平方向抵抗线, 侧墙处 W_L 为 2.5 m, 胸墙处 W_L 为 2.7 m, 因此第二层

药包的埋置深度, 即上下两层药包的垂直距离 $b(W_H)$, 按公式 (1-

图 1-4 第一层药包 (单位: m)