

地下工程爆破百问

DIXIA GONGCHENG BAPOU BAIWEN

时传礼 编著

中国铁道出版社

2003年·北京

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本书以问答形式简明扼要地回答了地下工程爆破施工中经常遇到的一些问题包括工程地质常识、爆破理论基础、常用爆破方法及特殊部位爆破、爆破器材管理、爆破效果分析、爆破灾害控制及安全管理等。

图书在版编目(CIP)数据

地下工程爆破百问/时传礼编著. —北京: 中国铁道出版社, 2003.4
ISBN 7-113-05186-3

. 地... . 时... .
.TU94

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 00000 号

书 名: 地下工程爆破百问

著作责任者: 时传礼

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)

策 划 编 辑: 傅希刚

责 任 编 辑: 傅希刚 编辑部电话: (010) 51873142

封 面 设 计:

印 刷: 北京

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/32 印张: 5.25 字数: 千字

版 本: 2003 年 4 月第 1 版 2003 年 4 月第 1 版

印 数: 1~4 000 册

书 号: ISBN 7-113-05186-3/TU94

定 价: 12.00 元

版权所有 侵权必究

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。

联系电话: (010) 63545969

序

在国防工程施工的掘进爆破开挖中，多年来一直沿用着以老带新、边干边学的爆破手培训模式，且这一模式在近期内也很难改变。而基层官兵的不断更新循环，却从很大程度上制约了爆破技术水平的提高。如何在有限的时间内，最大限度地让官兵了解、掌握地下工程掘进爆破的开挖技术，是我们时常思考的一个问题。基层官兵也一直想有一本简易适用的爆破技术指导方面的资料，《地下工程爆破百问》或许能满足官兵的这一要求。

《地下工程爆破百问》一书，即是第二炮兵司令部工程部全体同志和工程部队广大官兵多年来爆破施工、管理经验的总结，也是吸收地方隧道等地下工程爆破开挖经验的结晶。它以问答的形式，回答地下工程爆破开挖中经常遇到的一些技术难题，使读者能一目了然，可以直接找到解决问题的答案。只要读者在施工实践中认真钻研，融会贯通，定会很快提高地下工程爆破开挖技术水平。

爆破技术间一门半理论半实践的科学，随着实践活动的不断发展，爆破理论也必将会逐步完善。希望广大官兵将实践中的经验、体会，及时总结，并连同书中不足之处一同告知我们，以求推动地下工程爆破技术的发展。

第二炮兵司令部工程部

2003年3月

前 言

地下工程掘进爆破，是地下工程施工任务的重要组成部分，它在很大程度上制约着施工任务的完成和施工质量的提高，也是控制施工安全的重要环节。随着地下工程建设的迅速发展，对爆破工作人员的技术素质提出了越来越高的要求。因此，提高爆破操作人员的基础理论知识和基本操作技能刻不容缓。

目前各类爆破教材不少，有的施工部队还制作了坑道掘进爆破软件，但从我们下部队了解到的情况看，这些都远远不能满足地下工程建设的需要，也不能满足方便、实用、便于记忆、容易掌握的要求。这正是我们以问答方式编写这本小册子的出发点。它力求结合部队施工实际，简明扼要，能给干部、战士一点帮助。

目前部队在地下工程掘进爆破中使用的爆破器材比较单一：炸药主要是 2 号岩石硝铵炸药和乳化炸药；雷管主要是毫秒塑料导爆管、火雷管；起爆器材主要是导火索、导爆索、火雷管。电雷管、半秒、秒延期雷管很少使用。所以本小册子即从这一实际出发，基本上没有牵涉电雷管、大爆破、台阶爆破、药壶爆破、拆除控制爆破的内容，以求更为简洁、实用。

但本小册子所列内容，也基本上是铁路、公路以及水电工程建设中隧道（洞）爆破开挖中的常用内容，因此，它对地方隧道爆破施工人员也有一定参考价值。

在本书编写过程中，参考并选用了爆破界先辈、同行的一些资料，在此向他们表示衷心的感谢！

因本人才疏学浅，实践经验不多，加之时间较为紧张，在编写过程中，难免有不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

2003年2月17日

目 录

第一章 爆破器材及起爆方法

1. 炸药是怎样爆炸的？炸药爆炸时的威力有多大？ 1
2. 炸药会燃烧吗？为什么炸药不慎着火不能用消防砂灭火？ 2
3. 地下工程常用的炸药有哪些？各有什么特点？ 3
4. 为何工业炸药多以硝酸铵为主要成分？粉状硝酸铵类炸药
为何会硬化？ 3
5. 浆状、水胶、乳化炸药有何异同？这些炸药为何要加水？ 4
6. 炮烟中有哪些有毒物质？有什么危害？ 5
7. 什么是炸药的敏感度？使用炸药为何要了解其敏感度？ 6
8. 实际工作中主要应掌握哪些炸药敏感度的指标？ 7
9. 药包直径影响爆炸威力吗？为何直径过小时炸药会拒爆？ 9
10. 炸药的密度在工程应用中有什么意义？ 10
11. 什么是炸药的爆力？ 10
12. 什么是炸药的猛度？ 11
13. 地下工程常用的雷管有哪几种？各用于什么场合？ 12
14. 导火索、导爆管、导爆索三者的主要区别是什么？
各用于什么场合？ 13
15. 塑料导爆管的主要性能有哪些？ 13
16. 导爆管网路的联接方式有哪些？怎样正确联接导爆管
网路？ 15
17. 使用火雷管起爆应注意哪些问题？如何确定导火索长度？ 16
18. 使用导爆索应注意哪些问题？ 17
19. 为什么地下工程施工中时常发现没有爆炸的导爆索残段？
对它们应怎样处理？ 18

第二章 爆破工程地质

20. 爆破为什么还要考虑工程地质问题？ 20

21. 岩石主要分为哪几大类？	20
22. 什么是地质构造？与爆破有密切关系的地质构造 主要有哪些？	22
23. 地下工程掘进爆破人员主要应了解岩石的哪些物理力学 特性？	23
24. 岩石的主要物理力学特性的含义是什么？	25
25. 影响岩石爆破性的主要因素有哪些？	27
26. 岩石坚固性系数（普氏系数）意义是什么？现在为什么 已不大使用？	29
27. 军队与国家、铁路系统的围岩分类方法的主要区别是 什么？	30
28. 岩体层理对爆破作用的影响主要有哪些？	30
29. 有哪些措施可预防掘进爆破引起的塌方等地质灾害问题？	31
30. 水文地质对钻孔爆破有哪些影响？	32
31. 如何理解炸药与岩石匹配的概略意义？	32

第三章 爆破理论知识

32. 什么叫集团装药和条形装药？它们各用于什么场合？	34
33. 药包在无限介质中爆破，岩石有什么破坏特点？	34
34. 什么叫自由面？它在爆破中有什么作用？	35
35. 什么叫最小抵抗线？怎样利用最小抵抗线原理搞好爆破？	36
36. 什么叫爆破漏斗？爆破漏斗由哪些要素构成？	38
37. 什么叫爆破作用指数？如何根据它对爆破进行分类？	38
38. 什么是装药量的理论计算式？如何利用该式原理计算 药量？	39
39. 什么叫炮孔密集系数？它对爆破有什么影响？	41
40. 如何确定单位炸药消耗量 K 值？	42
41. 自由面对炸药单耗有什么影响？	43
42. 什么叫不偶合装药？它有什么作用？	44
43. 什么是管道效应？有哪些措施可以防止其不利影响？	44

44. 炮孔中的起爆雷管装在什么位置好？	45
45. 药装好后为什么还要填塞？	46
46. 怎样保证填塞质量？	48

第四章 坑道掘进掏槽爆破

47. 地下工程掘进的炮孔如何分类？	50
48. 地下工程掘进为什么要掏槽？常用什么掏槽方式？	50
49. 直眼掏槽有什么优缺点？	52
50. 直眼掏槽在设计与施工方面，重点应掌握哪些技术要点？	54
51. “密”是什么意思？如何理解“密”的概念？	54
52. “平”是什么意思？如何才能钻凿出互相平行的掏槽孔？	56
53. “深”、“抛”是什么意思？	57
54. “隔”是什么意思？起爆雷管为什么要隔段使用？	58
55. “药”是什么意思？	60
56. 掏槽究竟掏多大为好？	60
57. 垂直眼掏槽经常出现什么问题？如何解决？	61
58. 怎样分析直眼掏槽的掏槽效果？	62
59. 斜眼掏槽有什么优缺点？适用于什么场合？	64
60. 小断面浅眼斜眼掏槽爆破的炮孔怎样布置？	64
61. 大断面中深眼斜眼掏槽爆破的炮孔怎样布置？	67

第五章 光面（预裂）爆破

62. 什么叫光面爆破？它主要有哪些制约参数？	70
63. 如何选择光面爆破的炸药品种和装药结构？	70
64. 如何优化选择周边孔孔距 E 和抵抗线 W ？	72
65. 如何选择合适的不偶合系数？	73
66. 如何确定光面爆破的起爆方式？	73
67. 什么叫导向孔？它有什么作用？	74
68. 光面爆破钻孔的“准、直、齐、平”是什么意思？	75
69. 影响光面爆破效果的主要因素有哪些？	76

70. 什么叫预裂爆破？它与光面爆破相比有什么特点？	77
71. 实施光面（预裂）爆破应掌握哪些技术要点？	78

第六章 扩大孔（即辅助孔）爆破及爆破方案的制定

72. 选择开挖方法主要应考虑哪些因素？	80
73. 爆破方案设计主要有哪些步骤？	81
74. 爆破设计文件的内容有哪些？	81
75. 如何确定炮眼直径？	82
76. 如何确定炮眼数量？为何扩槽孔、二周边孔、二台孔、底孔 要适当加密？	83
77. 如何确定炮孔深度？	84
78. 如何计算及分配装药量？	85
79. 确定装药结构主要应考虑哪些因素？	87
80. 怎样确定深孔爆破的段间隔时间？	88
81. 如何安排起爆顺序？	89
82. 软弱围岩爆破时主要应注意什么？	89

第七章 几个特殊部位的爆破 89

83. 如何实施台阶爆破？	91
84. 较浅、小的建筑排水沟开挖如何爆破？	93
85. 较大池（坑）开挖应掌握哪些技术要点？	94
86. 如何进行二次爆破？	95
87. 地坪或墙脚局部欠挖（很小量）时，能否用裸露爆破法 爆破？	96
88. 掘进断面由小变大时，应注意哪些爆破技术措施？	97
89. 掘进断面由大变小时，应注意哪些爆破技术措施？	98
90. 混凝土（钢筋混凝土）被复结构的切割爆破如何设计？	99
91. 混凝土（钢筋混凝土）被复结构的切割爆破应 重点注意哪些事项？	104

第八章 爆破灾害及爆破安全技术

92. 什么是爆破地震？它有什么特点？	105
93. 怎样估计爆破对附近建筑物的破坏情况？	106
94. 如何根据建筑物的安全要求确定一次允许齐爆药量？	107
95. 爆破地震强弱与哪些因素有关？	109
96. 如何减轻爆破地震的危害？	110
97. 爆破空气冲击波会产生怎样的危害？如何防止？	111
98. 控制爆破飞石有哪些主要措施？	113
99. 国家《爆破安全规程》对飞石的防护是如何规定的？	115
100. 爆破有害气体是怎样产生的？如何预防？	116
101. 爆破器材加工应注意哪些安全事项？	117
102. 什么情况下禁止装药、放炮？	117
103. 装药、放炮应注意哪些安全事项？	118
104. 怎样处理盲炮？	119
105. 坑道掘进爆破中还应注意哪些安全事项？	120
106. 险石排除的安全要求和方法是什么？	121
107. 爆破器材管理应注意哪些安全事项？	121
108. 爆破器材的运输应注意哪些安全事项？	122
109. 人工搬运爆破器材时应遵守哪些规定？	123
110. 爆破器材的销毁应注意哪些事项？	124

第九章 坑道掘进爆破效果的分析与评价

111. 盲炮是怎样产生的？如何预防？	126
112. 迟爆是怎样发生的？如何预防？	127
113. 带炮是怎样产生的？如何预防？	128
114. 冲天炮是如何产生的？如何预防？	128
115. 什么叫“戴眼镜”？怎样处理？	129
116. 什么叫“挂门帘”？怎样处理？	129
117. 光面爆破中可能产生的爆破缺陷还有哪些？	130

118. 炮眼利用率低的原因是什么？怎样克服？	130
119. 爆破后为什么会产生大块？怎样预防？	131
120. 为什么爆后的炸药单耗往往偏高？	133
121. 目前国内对坑道掘进质量检验评定的标准主要有哪些？	134
122. 怎样正确理解各质量标准用语的涵义？	138
参考文献	159

第一章 爆破器材及起爆方法

1. 炸药是怎样爆炸的？炸药爆炸时的威力有多大？

炸药的爆炸,属于化学爆炸。炸药的特点是具有很高的化学潜能及足够高的敏感度。在通常条件(常温、常压)下,炸药也有化学反应,但极其缓慢,缓慢到难以察觉,放出的热量都扩散到环境中去了,炸药不容易发生爆炸。而一旦受到强烈的外界刺激,例如雷管起爆,剧烈的撞击、摩擦、加热等等,炸药的化学反应速度加快,就会引起爆炸。炸药爆炸实质上是一种反应速度极高的化学反应。一般工业炸药爆炸速度为 $2\,500 \sim 7\,000 \text{ m/s}$; 爆炸瞬间放出大量热量,一般为 $3\,300 \sim 6\,000 \text{ kJ/kg}$; 生成大量气体,一般为 $600 \sim 1\,000 \text{ L/kg}$ 。由于反应速度非常快,生成的气体来不及扩散就被迅速加热,因而形成 $2\,300 \sim 4\,300$ 的高温, $2\,200 \sim 23\,300 \text{ MPa}$ 的高压。高温、高压的爆炸、生成气体的急速膨胀,对周围介质产生强烈的作用,使炸药表现出巨大的爆炸威力。

炸药爆炸的威力有多大?从能量上来讲,以常见的2号岩石硝铵炸药为例,其爆炸时放出的热量为 $3\,700 \text{ kJ/kg}$,如果全部转化成用来升高物体的功,则可将 10 t 重的物体举高约 370 m 。当然,实际工程爆破中,炸药的极大部分能量都白白“浪费”掉了,真正用来破碎岩石及进行有效抛掷(抛掷爆破时)的能量占炸药总能量的百分比,松动爆破仅为 $15\% \sim 25\%$,而抛掷爆破更少,一般仅占 $3\% \sim 6\%$ 左右。可见,如何改善爆破条件及提高炸药能量利用率,是爆破人员的一个极为重要的课题。其重要性不仅表现在经济上,更在于改善爆

破效果及减轻爆破危害,因为“浪费”掉的炸药能量中有相当大的比例转化成了空气冲击波、爆破噪声、爆破地震、飞石等爆破危害。

从功率上来讲(仍以 2 号岩石硝铵炸药为例),1 个直径 32 mm,质(重)量 150 g 的普通药卷,理论爆炸功率为 1.4×10^7 kW,相当于一个普通火力发电厂发电能力的数十倍。如此巨大的功率,才是炸药爆炸具有巨大威力的根本原因。

炸药的威力通常用爆力和猛度表示。

2. 炸药会燃烧吗?为什么炸药不慎着火不能用消防砂灭火?

炸药的化学反应除上面讲的缓慢分解和爆炸外,还有燃烧。三种形式的主要区别在于反应速度不同。常温、常压下的热分解速度极慢,人们难以察觉;燃烧的速度较快,一般从每秒数厘米至每秒数米不等;爆炸速度最快,达每秒数千米。不同条件下,炸药的反应形式不同,条件变了,三种形式之间可以互相转化。认识到这一点,对于安全、正确地使用炸药是非常重要的。

例如,用火点硝铵炸药,一般不易点燃,但若火焰温度较高或点燃时间较长,就能点燃。当炸药与灯泡、暖气片、热水管等热源长时间接触且通风不良时,还会自行燃烧(由热分解转化为燃烧)。炸药堆积量大,又处于封闭环境时,燃烧产生的热量散发不出去,更会加速其反应速度,由燃烧转化为爆炸。因此,炸药的堆放必须远离热源、火源;热加工的炸药必须充分冷却后才能包装、贮存;炸药库房必须有良好的通风条件。

炸药燃烧是靠炸药本身的氧平衡条件来完成的,不是靠空气中的氧(靠空气中的氧不可能反应那么快),因此,炸药一旦着火,不能用消防砂灭火。

3. 地下工程常用的炸药有哪些？各有什么特点？

炸药按其成分和爆炸性能,通常分为四种主要类型。第一类称为起爆药,如雷汞、氮化铅、二硝基重氮酚等,这类炸药的特点是敏感度非常高,在撞击、摩擦、热能作用下极易起爆,主要用来制造雷管。第二类如梯恩梯、黑索金、硝化甘油等,称为单体猛炸药,它们都是具有爆炸性能的单一化合物,敏感度一般低于第一类炸药,而威力高于第一类炸药。它们常用作雷管中的加强药、导爆索的药芯及混合炸药中的敏化剂。第三类为混合猛炸药,地下工程中使用的多属这一类,如铵梯类炸药、铵油炸药、浆状炸药、乳化油炸药等等。由于它们直接用于爆破工程,用量大,因此,对它们的安全性提出了严格的要求,价格也较低。这类炸药又称为工业炸药或矿用炸药。第四类是发射药,特点是对火焰特别敏感,其反应形式主要是燃烧或爆燃,在密封条件下可转化为爆炸。如黑火药,工业上主要用来制作导火索的药芯。

我国现用的工业炸药主要是硝铵类炸药,即以硝酸铵为主要成分及氧化剂,加入一定量的可燃成分及敏化剂而制成的混合炸药。它又可分为干粉状(如铵梯炸药、铵油炸药、铵沥蜡炸药等)与含水状(如浆状炸药、乳化油炸药等)两类。后者具有较好的抗水性,但它的安全性较差,价格也较高,故已被抗水炸药如乳化炸药所取代。

4. 为何工业炸药多以硝酸铵为主要成分？粉状硝铵类炸药为何会硬化？

20世纪早期,人们偶然发现,硝酸铵不仅可以用作化肥,而且还是一种爆炸物质,可以用来配制炸药。硝酸铵由空气、水、煤(或重油)为原料制得,原料来源广,成本低,并且安全性好,因而以它为主要成分配制的各种炸药深受用户欢迎,目前

已完全取代了成本高、安全性差的硝化甘油类炸药。

作为炸药而言,硝酸铵的主要缺点是具有很强的吸湿性与结块性,因而粉状硝酸铵类炸药很容易吸湿和结块,以至失去松软状态而硬化。它也极易溶解于水,也易从空气中吸收水分,吸湿后爆炸性能变差。硝酸铵类炸药在贮存过程中,若水分超过 0.3%,温度由 32℃ 以下上升到 32℃ 以上,或由 32℃ 以上降至 32℃ 以下,则硝酸铵的结晶晶形发生改变,药卷也硬化。

硬化后的炸药,如硬化不严重,用手捏松后尚可使用。硬化严重的炸药,爆轰性能显著降低,容易产生半爆、爆燃甚至拒爆,不应继续使用,应按规定销毁或由炸药厂返修。

粉状硝酸铵类炸药含水率超过 3%,极易造成拒爆。

5. 浆状、水胶、乳化炸药有何异同 这些炸药为何要加水?

干粉状硝酸铵类炸药的主要问题是抗水性差。为此,在炸药中加入沥青、石蜡等憎水物质,可在一定程度上提高炸药的抗水性。但并不能从根本上解决问题。解决问题的根本出路在于研制新型抗水炸药。浆状炸药、水胶炸药、乳化炸药都是现代工业炸药中迅速发展起来的一些抗水硝酸铵炸药。

这些炸药的共同点是炸药中都含有大量(约 8% ~ 20%)的水。水在炸药中的作用有两个方面:其一,使炸药中大部分硝酸铵溶解于水,成为氧化剂的水溶液,因而使氧化剂与分散在炸药中的其他成分(可燃剂、敏化剂等)混合更为均匀,接触更加紧密,从而改变了炸药的爆炸性能。其二,在浆状炸药与水胶炸药中,水与炸药中的胶凝剂一起,使炸药成为胶冻状,因而使各成分之间分布得更均匀、更稳定,同时赋予炸药以抗水性——不再从外界吸水,炸药中的水分也不损失。但是,加入大量的水后,会使炸药的敏感度降低,因此,在浆状炸药和乳化炸药中都要加入敏化剂,以改善其起爆性能。

浆状炸药价格低、安全性好、可塑性好,具有足够的威力和良好的抗水性,非常适合露天水孔爆破。一般的浆状炸药敏感度偏低,不能用 8 号雷管直接起爆,常用起爆弹起爆。

水胶炸药是 20 世纪 70 年代在原浆状炸药的基础上发展起来的一类含水炸药。它以甲基胺硝酸盐作为敏化剂(同时又是还原剂),并且比硝酸铵更易溶于水,从而使氧化剂和还原剂的耦合状况大为改善,获得更好的爆炸性能。水胶炸药爆炸性能好,抗水性强,可塑性好,使用安全,可用 8 号雷管直接起爆,可用于浅眼水孔爆破。水胶炸药的缺点是价格较贵。

浆状炸药、水胶炸药在部队地下工程中很少使用。

乳化炸药是 20 世纪 70 年代末含水炸药的最新发展产物。它与浆状炸药的主要不同在于乳化炸药的基质是油包水型的乳状液,其关键成分是乳化剂。水、油本是互不相容的,但在乳化剂的作用下可使它们互相紧密吸附,使炸药中还原剂(石蜡、柴油)构成的极薄油膜覆盖于氧化剂水溶液微滴的表面,形成油包水型粒子。这种粒子直径非常细微,一般只有 $2\ \mu\text{m}$ 左右,因而使氧化剂与还原剂的耦合程度增强,极有利于彼此间的反应。此外,“油包水”又使炸药具有了抗水性。乳化炸药除具有浆状炸药及水胶炸药的共同优点外,又比浆状炸药敏感度高,可用 8 号雷管直接起爆;比水胶炸药价格低,是一种很有前途的抗水炸药。

6. 炮烟中有哪些有毒物质?有什么危害?

工业混合炸药的配比,大体上都是按照零氧平衡确定的。从理论上讲,零氧平衡的炸药爆后产生的气体是二氧化碳、氮气和水蒸气。它们都是无毒的。

但是,由于炸药爆炸是一个非常复杂的物理化学过程,随炸药加工质量(粒度、混合均匀程度、水分含量、药卷密度等)

及爆破条件的变化,炸药的爆炸反应不可能十分理想,爆后总会不同程度地产生一些有害气体。它们主要是一氧化碳和氮的氧化物。

一氧化碳能阻止人体红血球吸收氧,造成人体缺氧。氮的氧化物能刺激人体黏膜组织,特别是伤害肺组织,造成肺水肿。人吸入这些气体中毒后,轻者头痛、恶心、呕吐,重者神志失常、昏迷不醒,严重时可以致命。因此,对地下工程使用的炸药的有毒气体生成量有严格限制,要求每 1 kg 炸药有毒气体生成量不许超过 100 L(以一氧化碳计),并且爆破后必须经过充分的通风,才能进入作业面。

7. 什么是炸药的敏感度?使用炸药为何要了解其敏感度?

炸药很容易发生化学反应,放出热量。但它又具有相对稳定性,如果没有任何外部能量的作用,可以保持相对平衡状态。炸药爆炸需要外部供给它一定的能量,这种外部能量叫起爆能。工业炸药的起爆能通常有以下三种形式:

(1)热能——如火焰、电热等。工业雷管多采用这种形式。

(2)机械能——通过撞击、摩擦等机械作用,使炸药分子间产生强烈的相对运动,并在瞬间产生热效应使炸药起爆。这种形式多用于武器。

(3)爆炸冲能——利用一部分炸药爆炸产生的爆轰波及高温高压气体产物的强烈冲击,使另一部分炸药爆炸,例如用雷管引爆工业炸药。爆炸冲击起爆,实质上类似于机械能起爆。

炸药在外界起爆能作用下起爆的难易程度叫炸药的敏感度,简称感度。感度越高的炸药在外界起爆能作用下越容易起爆,起爆这种炸药需要的起爆能越少。炸药的敏感度又分为热感度(爆燃点等)、机械感度(撞击感度、摩擦感度)与爆炸冲能感度(对混合炸药,常用殉爆距离表示)。