

塑料导爆管

陈嘉琨 范钦文 高耀林 著

国防工业出版社

塑料导爆管

陈嘉琨
范钦文 著
高耀林

国防工业出版社

内 容 简 介

本书阐述了塑料导爆管的各项性能、起爆和传爆的物理过程、导爆管起爆法的爆破网路及其正确的使用技术,简要叙述了导爆管的挤塑、混合药粉加料、产品质量检测,对无损多路安全传爆元件、安全起爆元件和特殊性能的导爆管也作了扼要介绍。

本书可供从事爆破器材生产、使用的工厂、矿山、工程单位、科研部门和学校中的工程技术人员参考。

塑 料 导 爆 管

陈嘉琨

范钦文

高耀林

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

850×1168 $1/32$ 印张 $8\frac{3}{8}$ 220千字

1987年9月第一版 1987年9月第一次印刷 印数: 001—700册

统一书号: 15034·3249 定价: 1.90元

前 言

塑料导爆管是一种新型起爆器材,几年来迅速地得到了推广,已成为工程爆破中使用的主要起爆器材品种之一,形成具有我国特色的导爆管起爆法。

近来《爆破器材》等刊物陆续发表了一些有关塑料导爆管的工作原理、性能及使用技术方面的文章,不同文章的作者看法不尽相同。目前尚未见到系统介绍塑料导爆管的完整材料。由于塑料导爆管的迅速推广,生产、使用、研究工作都迫切需要较系统地介绍塑料导爆管的工作原理、性能、使用方法、工艺原理、生产技术及展望其技术发展前景的材料。出于这种考虑,我们把研究工作和参加实际工程爆破中积累的资料运用爆炸物的爆炸变化理论知识、高分子材料和高分子工艺理论方面的知识整理成这本书,取名《塑料导爆管》。希望它能对当前生产、科研、教学起到一定的促进作用,为我国爆破器材现代化尽一份力。

本书共分五个部分,第一部分即为第一章概述;第二部分包括第二、三、四章,着重介绍塑料导爆管工作原理和性能;第三部分包括第五、六章,介绍使用方法;第四部分为第七、八、九章,介绍工艺及检测方法;第五部分为第十章,介绍发展方向。其中第一、四、六章由高耀林执笔,第二、三、九章由范钦文执笔,第五、七、八、十章由陈嘉琨执笔。全书内容是在肖学忠教授指导下由三人共同研究定稿的。

考虑到从事爆破器材生产、使用、研究方面的读者由于工作性质不同,参考的侧重不一样,因而各章的内容具有相对的独立性。

本书采用中华人民共和国法定计量单位。考虑到在工程计算及运用中大量使用工程单位的历史,故本书中在涉及到指标数据

时除用法定计量单位外还标明工程单位或在括号内标明工程单位。

黄人骏副教授对全书进行了认真审定，并提出了许多宝贵的修改意见。肖学忠教授在百忙中也对书稿进行了审定。书中火花阴影照像图片是李洪志教授提供的。华东工学院描图室为本书的出版给予热情的帮助。在这里对他们表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，书中错误在所难免，欢迎读者批评指正。

作 者

目 录

第一章 绪论	1
§ 1 起爆方法概述	1
§ 2 塑料导爆管	3
§ 3 塑料导爆管非电起爆系统	3
§ 4 塑料导爆管起爆法	5
第二章 塑料导爆管性能	11
§ 1 外观	11
§ 2 爆速和爆压	13
§ 3 起爆感度	14
§ 4 使用安全性	16
§ 5 电性能	17
§ 6 强度	19
§ 7 使用性能	23
§ 8 长期贮存性能	26
第三章 塑料导爆管的传爆过程	30
§ 1 塑料导爆管的稳定传爆	30
§ 2 影响稳定传爆过程的主要因素	42
第四章 塑料导爆管起爆过程	62
§ 1 起爆过程	62
§ 2 影响起爆过程的因素	76
第五章 组合件的工作性能	91
§ 1 组合雷管的构成	91
§ 2 组合雷管的时间精度	95
§ 3 组合件的工作可靠性	114
§ 4 导爆管的使用、保管注意事项	123
第六章 爆破网路	125
§ 1 爆破网路的基本类型	125

§ 2 实现微差爆破的方法	128
§ 3 爆破网路联接	146
§ 4 爆破网路设计及联接中应注意的几个问题	159
第七章 原材料及工艺原理	162
§ 1 选择管材的依据	162
§ 2 混合药粉的成分选择	174
§ 3 炸药的粉碎	180
§ 4 粉体炸药的定量加料	184
§ 5 管壁材料的性能分析	190
§ 6 挤管工艺原理	197
第八章 塑料导爆管的生产过程及质量控制	201
§ 1 塑料导爆管的生产工艺流程 (热涂法)	201
§ 2 混合药粉的质量控制	202
§ 3 管壁质量、尺寸的控制	212
§ 4 不正常工艺现象的处理	221
第九章 产品质量检验	223
§ 1 质量检测	223
§ 2 测试方法	226
第十章 特种导爆管及安全起爆、传爆装置	235
§ 1 引言	235
§ 2 高强度耐热导爆管	238
§ 3 复合壁导爆管	246
§ 4 安全起爆、传爆元件	248

第一章 绪 论

§ 1 起爆方法概述

炸药已被广泛地应用于国民经济的各个部门，因为炸药的爆炸具有巨大的作功能力。而炸药能量的释放是和起爆方法分不开的。在爆破工程中，通常采用某种起爆器材和相应的起爆方法使炸药准确、可靠地发生迅猛的爆炸反应。使用炸药的环境条件不同，相应的起爆方法就不一样，应用的起爆器材也各不相同。在塑料导爆管问世之前，炸药的起爆方法根据使用器材的不同分为电雷管起爆法（又叫电力起爆法）、导爆索起爆法、火雷管起爆法（又叫火花起爆法）三种。常用的起爆器材包括火雷管、导火索、电雷管及导爆索等。

电雷管起爆法是利用电能首先使电雷管起爆，然后再引起炸药爆炸的方法。这种起爆方法的优点是成本较低；电雷管联接的网路可同时起爆多个炮孔装药；利用毫秒延期电雷管或微差起爆器与瞬发电雷管配合可实现微差爆破；爆破网路联接的状况及电雷管的质量情况可用仪表进行检查。因而电雷管起爆法在爆破工程中得到广泛地应用。但是，普通电雷管易受杂散电流影响；电雷管组成的爆破网路所起爆的炮孔数目受起爆电源能量的限制；在起爆前还需复杂的准备工作（如爆破网路电流强度的计算、雷管脚线的联接、电路的检查等），有时，在水眼爆破时还需增加防水防潮的辅助措施，从而使这种起爆方法在爆破工程中的应用受到一定程度的限制。

导爆索起爆法是利用雷管的爆炸，首先引爆导爆索，然后由导爆索组成的网路爆炸再引起炸药爆炸的方法。这种起爆方法理论上能够同时起爆任何数量的炮孔装药；通过导爆索和继爆管的配

合可实现微差爆破；导爆索的起爆与传爆不受杂散电流的影响，能在杂散电流较大的机械化露天矿山或无瓦斯地下矿山爆破作业中应用；导爆索沿炮孔装药全长敷设，可实行炮孔装药的同时起爆，提高爆破效果，同时因炮孔无雷管，而可完全消除在往炮孔内装药或处理瞎炮时发生爆炸事故的危险。但是，这种起爆方法同电雷管起爆法相比也存在某些缺点：导爆索网路联接完毕后，只能凭外观检查网路的联接质量，特别是敷设在炮孔内的导爆索，经过装药和堵塞等操作之后有无损坏，则无法进行检查；在井巷爆破作业中，网路易受冲击波的破坏而使传爆可靠性下降；同时，导爆索起爆法的成本较高，约比电雷管起爆法高70%。

火雷管起爆法，是利用点燃导火索产生的火焰使火雷管起爆并通过火雷管的爆炸引起炸药爆炸的方法。这种起爆方法的优点是，操作简便易行，成本较低。其缺点是不能组成一次起爆多个炮孔装药的网路，仅适用于炮孔数量不多的爆破作业，并且不能实现炮孔间的微差起爆；在爆破工作面点火使安全性较差；导火索的燃烧使工作面的有毒气体和烟雾量增多，因而无法进一步增加炮孔数及降低点火的可靠性；起爆前无法用仪表检查准备工作的质量。火雷管起爆法目前虽然应用较广泛，但主要用于浅眼和裸露药包的爆破中，而且在有瓦斯或矿尘爆炸危险的矿井中禁止使用。

以上这些起爆方法在爆破工程中虽然获得了广泛的应用，但由于其本身的缺点，跟不上爆破技术的发展。为了使起爆技术进一步安全、经济、简便，并能适应各种控制爆破技术，七十年代出现了一种新型的非电力起爆法——塑料导爆管起爆法。

塑料导爆管起爆法所采用的主要起爆器材为塑料导爆管，它与雷管及其它元件配套组成新型的非电起爆系统。这种新型的起爆方法是通过导爆管在雷管（也可以是火帽、电火花等）的作用下起爆，使管内形成稳定传播的爆轰波，利用爆轰波的能量起爆与导爆管相组合的雷管，然后再引起炸药爆炸。

§ 2 塑料导爆管

塑料导爆管是一根内壁涂敷有极薄层炸药粉的塑料空心软管，其结构如图 1-1 所示。普通导爆管的外径为 3mm，内径为 1.4mm 左右，涂敷在内壁上的炸药粉通常为奥克托今（或黑索今）等猛炸药、适量铝粉及少量工艺附加物组成的混合药粉，每米导爆管所涂敷混合药粉的药量为 14~18mg 左右。

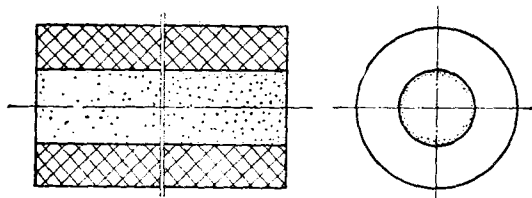


图1-1 塑料导爆管结构

导爆管起爆以后，管内将产生爆轰波，并以约 2000m/s 的速度在管内稳定传播。从外观上来看，管中爆轰波的传播似一闪光在软管中通过，而管壁没有任何破损。导爆管通常在火焰和碰撞的作用下不能被起爆，而且经扭曲、打结后仍能正常作用。

导爆管本身不具有猛炸药的性质，在一般条件下导爆管出口端部的爆轰波能量不能直接起爆炸药。因而在爆破工程中须与雷管配合使用。

塑料导爆管非电起爆系统

使用塑料导爆管为传爆元件，并与雷管及其它元件构成的起爆系统称为塑料导爆管非电起爆系统。

1. 系统组成

塑料导爆管非电起爆系统由下列各元件组成，

(1) 塑料导爆管

为系统的主体件，用来传播稳定的爆轰波。

(2) 雷管

雷管与导爆管相组合，当雷管受导爆管中爆轰波的激发而发生爆炸时，可具有两种作用：用于起爆炸药，此时称为起爆作用；用于起爆与雷管相联的多根导爆管，此时称为传爆作用。由于雷管的起爆及传爆作用，这样就可实现多个炮孔装药的一次起爆（或者获得多点冲击波信号源）。在爆破工程中，由于对传爆作用和起爆作用的时间延期要求不同，因而导爆管所配用的雷管可选用瞬发雷管、毫秒延期雷管及秒延期雷管。

（3）激发装置

用来提供起爆导爆管的起始激发能源，其主要装置形式有下列几种：

a. 雷管 可采用不同类型的雷管作为激发装置（有时称起激发装置作用的雷管为激发雷管）。当雷管与导爆管相联接时，通过雷管的爆炸侧向起爆导爆管。

b. 火帽 将火帽装入金属传火管的火台上，通过机械作用击发火帽时，轴向起爆插入传火管中的导爆管。

c. 电火花激发装置 该装置使插入导爆管内腔中的两金属电极在强电场作用下产生火花放电，从而轴向起爆导爆管。

（4）塑料卡口塞和塑料连接块

塑料卡口塞用来组合导爆管和雷管，其结构如图 1-2 所示。塑料卡口塞的细颈部分插入雷管，其 D 值由配用雷管的内径而定，长度 L 值应保证配用雷管的延期时间精度。

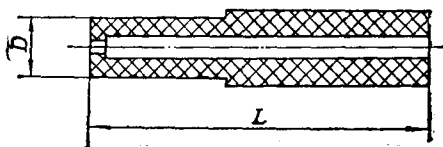


图1-2 塑料卡口塞

塑料连接块用于固定与导爆管相组合的雷管和被侧向起爆的多根导爆管。图 1-3 所示为供联接 8 根导爆管用 的塑料连接块。连接块中间空腔内插入与导爆管相组合的雷管，四周孔中插入导

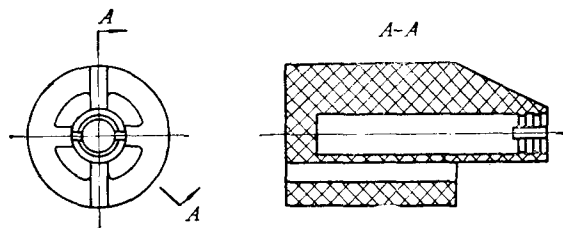


图1-3 塑料连接块

爆管，雷管被引爆后能可靠地起爆导爆管。塑料连接块可具有不同的结构形式，各种形式的连接块联接导爆管的根数也不一样。用捆扎物作为联接元件代替连接块时，可将导爆管均布在雷管壁周围，然后用捆扎物捆扎，这种联接方式同样能使导爆管可靠地起爆。

2. 组合雷管

在实际使用中，事先要将一定长度的导爆管、塑料卡口塞及雷管组合成一体，构成组合雷管。图 1-4 为组合雷管的结构图。在组合雷管中，与雷管相组合的导爆管端必须开口，以保证爆轰波对雷管的激发作用；导爆管另一端则要封口，防止异物进入管腔。组合雷管用于传爆作用时，称为组合传爆雷管；用于起爆炸药时，称为组合起爆雷管。

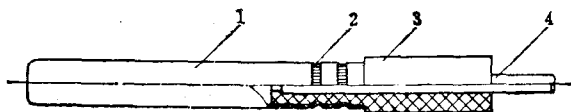


图1-4 组合雷管

1—瞬发雷管或毫秒延期雷管；2—卡印；3—塑料卡口塞；4—塑料导爆管。

§ 4 塑料导爆管起爆法

1. 爆破网络的构成及其作用过程

根据爆破工程要求，将组合雷管通过连接元件按一定形式联成网络，并将接受外界初始激发能源的端线作为网络的起爆端。

当起爆端在激发装置作用下被起爆时，爆轰波沿网路进行传递，最终起爆各炮孔装药。这种联接网路即为爆破工程中的爆破网路。最基本的爆破网路如图 1-5 所示（参见图 6-1 图例）。图中

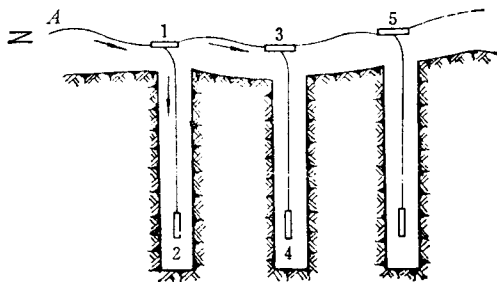


图1-5 爆破网路

A表示激发装置的位置，与雷管1相组合的导爆管作为爆破网路的起爆端。当爆破网路的起爆端被起爆后，管内爆轰波沿起爆端按箭头所示方向稳定传播。雷管1在爆轰波作用下起爆，并导致与该雷管相联接的导爆管起爆。这时爆轰波将分别向两个方向沿导爆管传播（箭头所示）：一个方向传向第一个炮孔中的雷管2；另一方向传向雷管3。雷管2在爆轰波作用下起爆，使炮孔装药爆炸，而雷管3便重复雷管1的作用过程。网路其余部分依此重复，使所有炮孔中的雷管均在导爆管所传播的爆轰波作用下起爆。

从爆破网路的作用过程可看出，对于不同规模及不同类型的爆破工程所设计的爆破网路，其共同点是炮孔中的雷管用以起爆炮孔装药，并通过传爆雷管的作用实现任意炮孔装药的一次起爆。所不同的是，这些爆破网路的形式及作用过程中的时间延期各不一样。

为了便于爆破网路的设计，将爆破网路中的传爆线路分为以下两部分：

（1）传爆干线 爆破网路中组合传爆雷管之间相互联接的

线路（图 1-5 中 A-1-3-5 线路）。

（2）传爆支线 在具有传爆干线的爆破网路中组合起爆雷管构成的线路（图 1-5 中的 1-2、3-4 等线路）。

爆破网路中传爆支线联在传爆干线上，而传爆干线则可按不同方式联接。因此爆破网路按传爆干线的分布可呈串联、并联、环形联接以及混合联接等形式。

2. 传爆线路的时间延期

在爆破网路中，每一炮孔都对应应有从网路起爆端到炮孔中起爆雷管之间的传爆线路。例如，图 1-5 中第一个炮孔所对应的传爆线路为 A-1-2。该线路对应有一定长度的导爆管、传爆雷管 1、起爆雷管 2。为使炮孔装药起爆，必须保证传爆线路的传爆过程，该过程所需时间由爆轰波沿传爆线路传播所需时间以及传爆雷管和起爆雷管的作用时间所决定。当各炮孔所对应的传爆线路不同时，则各线路的时间延期就不一样。因此，各炮孔装药的起爆时间可由爆破网路控制。

当爆破网路中传爆雷管或起爆雷管选用不同段别的延期雷管时，传爆线路的作用过程中就相应存在延期雷管所对应的时间延期，各炮孔装药的起爆时间也就受到该时间延期的控制。另一方面，爆轰波在导爆管中的传播速度不高，因而也就需要考虑传播过程中的时间延期，这种延期称为导爆管的固有延期。对于爆速为 2000m/s 的导爆管，每米固有延期为 0.5ms 。由于导爆管存在这种固有延期，相邻炮孔即使在它们分别对应的传爆线路中具有相同的延期雷管，也会因各自传爆线路的长度差异而产生不同时起爆。在爆破网路中选用毫秒延期雷管作为传爆雷管或起爆雷管，以及控制传爆线路的长度，能够实现相邻炮孔装药的不同时起爆。也就是说，通过爆破网路的设计能够实现炮孔间的微差起爆。同样，当选用秒延期雷管作为起爆雷管时，可实现炮孔间的秒延期起爆。

图 1-5 所示爆破网路中，从网路起爆端起爆到第一个炮孔爆炸所需时间为爆轰波沿线路 A-1-2 传播时间及雷管 1、2 作用

时间的总和。同样，第二个炮孔所需时间为线路 A-1-3-4 传播时间及雷管 1、3、4 作用时间的总和。

两传爆线路长度相差不大时，由固有延期所引起的炮孔装药不同时起爆就可以不考虑。这时实现两炮孔间的微差起爆可按下述三种方法进行。

(1) 孔外延期 这种方法利用爆破网路中传爆雷管的时间延期而实现炮孔间的微差起爆。例如，图 1-5 中雷管 3 取 2 段毫秒延期雷管（延期时间为 25ms），雷管 1、2、4 为瞬发，则相邻两炮孔间微差起爆的间隔时间为 25ms。当改变传爆雷管的延期时间（选用不同段别的毫秒延期雷管），炮孔间微差起爆的间隔时间也随之而变。

(2) 孔内延期 利用炮孔中起爆雷管的时间延期实现炮孔间微差起爆。如果雷管 4 取 2 段毫秒延期雷管，其余雷管均为瞬发，这时也能获得 25ms 间隔时间的微差起爆。改变延期雷管的段别，微差间隔时间也同样随之而变。

(3) 孔内、外延期 利用炮孔中起爆雷管及传爆雷管的时间延期实现炮孔间微差起爆。取雷管 1、3 为 2 段毫秒延期雷管，2、4 为段别较高的同段毫秒延期雷管，两炮孔间微差起爆的间隔时间仍为 25ms。

3. 塑料导爆管起爆法的优缺点及其应用范围

塑料导爆管起爆法具有下列优点：

(1) 导爆管及其所配用的雷管没有电发火元件，因而不受地下杂散电流和空中雷电感应等影响。这种起爆方法在杂散电流较大的露天或地下矿山爆破作业中得到广泛应用。

(2) 组合雷管具有良好的抗水性能，而且爆破网路在水中能可靠地传爆，可为水下爆破提供理想的起爆方法。

(3) 爆破作业成本低。

(4) 爆破网路的设计、操作简便。

(5) 可以同时起爆任何数量的炮孔装药。既可用于小型爆破，也适宜于大型的深孔和中深孔爆破。

(6) 爆破网路联接形式多样, 实现炮孔间微差起爆的方法灵活, 且能准确控制炮孔间微差起爆的间隔时间, 可提高爆破效果。特别是在露天台阶深孔爆破作业中, 能实现多段炮孔微差起爆, 从而获得良好的减震效果。

这种起爆方法适于不同爆破环境下的作业, 可在不同类型的爆炸工程中广泛应用。目前, 在井巷掘进爆破、地下采矿场爆破、露天台阶深孔爆破、峒室爆破、水下爆破以及城市控制爆破中都得到了应用, 并能取得良好的爆破效果。但是, 由于还没有足够的实践经验, 普通的塑料导爆管非电起爆系统在具有瓦斯、矿尘爆炸危险的爆破作业中, 很少应用。

导爆管起爆法还可以同导爆索及电雷管起爆法联合使用。例如: 爆破网路中的传爆干线可用导爆索或电雷管网路代替, 也可以用导爆索代替组合起爆雷管。这种联合使用的方法能兼容导爆索或电雷管起爆法中的优点, 弥补导爆管起爆法的某一方面的不足。

塑料导爆管起爆尚具有以下几方面的不足:

(1) 组合雷管及爆破网路无法用仪表进行检查, 只能凭外观检查网路的质量情况。

(2) 爆破网路中存在传爆雷管, 这是一种不安全因素; 炮孔内有起爆雷管, 在装药或处理瞎炮时存在有爆炸事故的危险。

(3) 在分段装药的炮孔中, 每一分段装药都需要增加一个起爆雷管, 因而增加操作上的困难。

4. 塑料导爆管起爆法的发展

为了克服这种起爆方法的不足, 适应某些特殊爆破条件下的作业以及进一步适应爆破技术的革新, 塑料导爆管非电起爆系统进一步发展的方向有:

(1) 采用安全传爆元件

爆破网路取消传爆雷管, 利用安全传爆元件(例如多路传爆接头)进行网路联接。为满足孔外延期的要求, 还可设计出多路毫秒延期传爆接头。

（2）使用安全起爆装置

系统配用的起爆雷管具有极为敏感的起爆药，因而存在发生意外爆炸事故的危险。安全起爆装置（通常称为无起爆药雷管）中不存在起爆药，故代替普通起爆雷管和传爆雷管时将使系统的安全性能得到根本保证。

（3）研制特殊性能的塑料导爆管

在某些特殊条件下，例如具有流动性的水下爆破、浆状炸药及乳化炸药的起爆、多点同步冲击波信号源的获得、高温条件下的炸药起爆，以及在瓦斯、粉尘条件下的安全起爆等，需要有特殊性能的塑料导爆管。导爆管按所具有的特殊性能可分为如下几种：

- a. 高强度塑料导爆管；
- b. 耐高温塑料导爆管；
- c. 高精度塑料导爆管；
- d. 抗瓦斯、粉尘塑料导爆管。