

电力起爆技术

水利电力部电力建设研究所

水利电力出版社

电力起爆技术

水利电力部电力建设研究所

水利电力出版社

内 容 提 要

本书系统地总结了水利水电建设爆破施工中的电力起爆技术。书中围绕爆破中的安全和准爆这一中心问题，介绍了电雷管的构造和性能、电爆网路的几种基本型式、网路的联结方式和计算方法等，并结合工程实例着重讲述了电爆网路的设计和施工。最后，根据实践经验，分析了瞎火拒爆的原因，提出了安全准爆应采取的措施。

本书可供从事水利水电建设的爆破工人、工程技术人员使用，亦可供高等和中等水利水电专业院校的工农兵学员和教师参考。

本书系由黄绍钧、钱瑞五、汪雍熙三同志执笔。

电 力 起 爆 技 术

水利电力部电力建设研究所

水利电力出版社出版

（北京德胜门外六铺炕）

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

1977年5月北京第一版

1977年5月北京第一次印刷

印数 00001—8280 册 每册 0.40 元

书号 15143·3268

毛主席语录

路线是个纲，纲举目张。

在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。

我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

AB 1/1

前 言

在毛主席的无产阶级革命路线指引下，我国的社会主义革命和社会主义建设取得了一个又一个的伟大胜利。

水利电力战线的形势一派大好。广大革命群众以阶级斗争为纲，坚持党的基本路线，坚持无产阶级专政下继续革命，在无产阶级文化大革命中，阶级斗争和路线斗争的觉悟大大提高，正遵照毛主席“工业学大庆”和“农业学大寨”的指示，意气奋发，团结战斗，满怀信心地夺取我国社会主义革命和社会主义建设新的更大的胜利。

为了加速我国水利电力建设的发展，我们根据国内水电工程爆破施工的经验，编写了这本《电力起爆技术》。本书初稿写成后，曾征求了有关科研、生产单位的意见，特别是听取了许多有实践经验的工人同志们的意见，反复进行了修改。我们在这里要向对本书提供宝贵意见和帮助的铁道部铁道科学研究所土建所爆破室，水电部东北电管局 211 工程指挥部，水电部第二、第四、第七、第十一和第十四工程局，山西省水利局等单位表示衷心的感谢。

由于我们对马、列和毛主席著作学得不够，阶级斗争和路线斗争觉悟不高，施工经验不多，分析问题的能力差，书中缺点和错误在所难免，热诚地欢迎大家批评指正。

作 者

1976年6月于北京

目 录

前 言

概 述.....	1
第一章 工业电雷管的结构及其灼热理论简述.....	4
第二章 工业电雷管的特性和成组准爆条件.....	15
第三章 电爆网路的联结方式及其计算方法.....	31
第四章 几种基本的网路型式讨论.....	39
第五章 关于使用交流电源起爆.....	45
第六章 电爆网路设计.....	55
第七章 电爆网路施工.....	81
第八章 瞎火拒爆原因分析和安全准爆措施.....	127
附录 1 电雷管有关特性参数的测定方法.....	137
附录 2 国外毫秒和秒延期电雷管的作用时间.....	145

概 述

在工农业生产中，广泛利用炸药进行地上、地下和陆地或水下的土石方爆破施工。

要使工业炸药依着人们的意愿爆炸做功，通常需借助于工业雷管（或导爆索）的爆炸冲击激发起爆。

在爆破工程实践中，常采用的药包爆炸起爆方法，有火花起爆法、导爆索起爆法和电力起爆法等几种。有时，在电力起爆中，辅以导爆索线路起爆。

电力起爆法在工程的爆破施工中得到了极为广泛的应用。它的特点是：可以按照爆破的基本原理和施工要求进行顺序间隔爆破（使用毫秒或秒延期电雷管）；可以一次起爆大量药包；以及在某种施工条件下，利用这种方法取得较好的作业条件和良好的爆破效果。譬如，隧洞、闸井等开挖时的顺序间隔爆破和光面爆破；明渠、溢洪道以及大坝和厂房基础的开挖控制爆破；水利水电建设中的定向爆破筑坝；紧急防汛工程中炸堤坝缺口；农业上的移山填沟造田，等等，都采用电力起爆法起爆炸药，以实现各项施工要求。到目前为止，在我国水利水电建设上，用电力起爆法一次起爆药量（分段秒延期间隔爆破）已达到1600吨，相应一次爆落土石方量接近200万立方米。

随着水利电力事业的蓬勃发展，形势和任务对爆破工程施工方面的电力起爆的技术和安全，相应提出了更高和更为严格的要求。可是，需要指出的是，至今在施工现场还存在

着一些需要进一步解决的问题：由于起爆方面的原因，爆破结果满足不了当时其他环节施工的要求；瞎火拒爆药包需要处理，甚至于在某些环节上还涉及到施工人员的人身安全。这些问题深刻地反映了电力起爆工作中切实保障安全和准爆的重要性。分析产生某些问题的基本原因，很大程度上在于从事此项工作的同志，缺乏电力起爆技术的系统知识，没有在电爆網路的设计与施工的各个环节上采取保证从始至终做到安全和准爆的具体措施。基于社会主义生产建设的需要和发自内心的阶级感情，我们感到有责任积极地总结这方面的技术经验。这就是我们编写本书的目的所在。

本书共分八章，并有两个附录。全书从工业电雷管的结构及其灼热理论的一般简介开始，继之总结分析了国产电雷管的特性和准爆条件，电爆網路的联结方式和计算方法，电爆網路的基本型式讨论，交流电源的起爆问题，电爆網路的设计，电爆網路的施工，以及药包瞎火拒爆原因分析和安全准爆措施。其中，占着较大篇幅的是设计和施工方面的内容。设计和施工两章中所举的几个实例，多是大量爆破的工程实例，也是我们亲自参与设计或施工并由实践证明是成功的例子。

本书所讨论的中心问题，可以概括为“安全”和“准爆”四个字。电爆網路的设计与施工，都要力求达到“安全”和“准爆”。为此，应当以阶级斗争为纲，从政治思想、组织管理、执行安全规程规定，以及技术条件等各方面切实做好工作。

即使如此，在总结编写本书的过程中也深深感到有些问题（例如交直流准爆条件的分析，利用三相交流电源的起爆问题，药包瞎火拒爆的妥善安全处理等）犹待进一步进行大

量的试验研究和总结提高。

我们相信，随着人们的广泛实践和试验、不断的分析研究和总结提高，爆破工作的各项技术（包括电力起爆技术在内），必将在水利电力建设中进一步发挥应有的和更大的作用。

第一章 工业电雷管的结构 及其灼热理论简述

第一节 工业电雷管的类型和结构

工业炸药（如硝铵炸药、胶质炸药、梯恩梯等）通常是用雷管引爆的。雷管分普通雷管和电雷管。电雷管的结构是由电发火装置和普通雷管两部分所构成。

电雷管的电发火装置，通常有三类结构型式，即：金属桥丝炽热式发火装置、导电引燃药炽热式发火装置和火花式发火装置等，如图1-1、1-2、1-3所示。

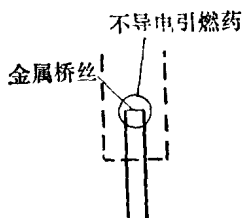


图 1-1 金属桥丝炽热式装置

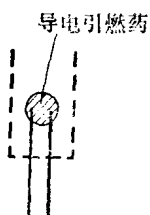


图 1-2 导电引燃药炽热式装置

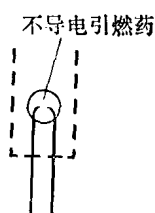


图 1-3 火花式装置

一、金属桥丝炽热式

这种发火装置是由联接在两脚线上的金属桥丝和引火头组成。当电流通过桥丝后，放出热量，使桥丝和引燃药变

热；当引燃药获得一定热量、达到一定温度后，产生强烈化学反应；引燃药燃烧，放出火焰，引爆雷管。

按照其桥丝的直径与长度不同，金属桥丝炽热式电雷管又可分为低电阻、中电阻和高电阻三种。低电阻的，桥丝直径比较粗，在50微米以上，电阻在0.5欧姆以下，它需要较大的点燃电流才能发火。中电阻的，桥丝直径在24~50微米间，电阻值为0.6~3.0欧姆或以上，它所需要的点燃电流比低电阻的小得多。高电阻的，桥丝直径与中电阻的相同，但却长得多（数十毫米，卷起呈螺旋状），电阻为50~100欧姆，因其电阻大，就相应需要高电压和大功率的电源才能点燃起爆。

二、导电引燃药炽热式

这种电发火装置是由两个电极和导电的引燃药所组成。引燃药有的做成块状，压在两电极之间，也有的做成硬引火头状，粘在电极上。引燃药的导电性，是由药粉中加入金属粉或研细的碳末（石墨）来达到的。带有金属粉的引燃药电感度大；带碳末的引燃药电感度小，不怕杂散电流。这种型式的电发火装置，其发火过程大体是：通入足够电压时，电阻瞬间迅速下降；接着电阻缓降，缓降速度取决于电压，电压越高，则时间越短；引火头燃烧，引爆电雷管。

三、火花式

这种电发火装置是由两个电极和不导电的引火头所组成。这两个电极是由磨尖并略加弯曲的脚线做成的。引火头压装在电极中间，电极间距约为0.5~1.0毫米，其电阻在1兆欧以上。当对其输入足够高的电压时，便产生电火花，使

引火头发火，引爆雷管。

由于桥丝炽热式电发火装置，尤其是中电阻桥丝炽热式的电发火装置，制造上不甚困难，能制成大致均一的产品，长期贮存和在一定的振动作用下，性能较稳定，导通和检查电阻较简便，对起爆电源无特殊要求，使用时能做到安全，且能保证确切发火，所以，它在世界各国得到了广泛的应用。

电雷管的管体部分，与普通工业火雷管基本相同。一般生产6号和8号两种，且以8号为主。由于使用的管壳材料不同，又分金属管壳电雷管、纸壳电雷管，还有塑料壳电雷管。金属管壳又分铜壳、铁壳与铝壳等几种。由于点燃到爆炸作用时间上的差别，又分即发（瞬发）电雷管和延期电雷管（包括毫秒延期电雷管、秒延期电雷管）。延期电雷管由延期剂控制并区分段号，段号大，则延期时间较长。在管壳内，装正副两种起爆药。副起爆药压装在雷管的底部，正起爆药压装在副起爆药的上面，顶部常用加强帽压盖住，帽中心开一小孔。加强帽的作用是提高压装高敏感度起爆药时的安全性，降低雷管使用时的危险性，并在一定程度上保护起爆药不受潮，以及借此形成坚固的小室，以提高爆炸时的威力。

雷管的底部都加工成球形或锥形窝。窝穴是起使雷管所产生的爆炸波能够聚能的作用，有的称它为爆力集中穴。

雷管中的正起爆药，有雷汞、氯化铅、三硝基间苯二酚铅、二硝基重氮酚，等等。二硝基重氮酚的起爆能力稍逊于氯化铅，远超过雷汞，但外界对它撞击或摩擦的敏感性较氯化铅与雷汞都低，使用时，可大大减少危险性。以雷汞为起爆药的雷管，要注意避免潮湿，潮湿时易拒爆。受潮湿的雷

汞与金属铜壳和帽，能生成雷酸铜，雷酸铜比雷汞有更大的摩擦敏感性。氮化铅与雷汞不同，即使含水分达到30%，也能起爆，但在潮湿而含有二氧化碳的环境中，氮化铅会发生分解现象，生成氮氢酸，与铜化合而成低氮化铜或高氮化铜。高氮化铜非常敏感，即使在极轻微的机械作用下也非常危险。氮化铅对铁也可能发生作用，但对铝不发生作用。铝壳的电雷管，不能用于有瓦斯及矿尘爆炸危险的爆破工程。

第二节 国产工业电雷管概述

我国工业电雷管的发火装置多是桥丝（中电阻）炽热式的。康铜丝的电阻较小，镍铬丝的电阻较大；铜脚线者电阻较小，铁脚线者电阻较大。连同脚线在内，全电阻大小，视桥丝与脚线的材料而定。管体部分也与普通雷管大体相同。由于制作起爆药量不同，分为6号与8号两种，常用者为8号工业电雷管。按爆炸作用时间的不同，分即发（瞬发）电雷管和延期电雷管两种。延期电雷管又分微差毫秒延期电雷管和秒差延期电雷管。下面分别简单介绍各部分的结构。

一、电力发火装置

1.脚线：用铜线或镀锌铁线，直径为0.45~0.50毫米，长度一般为2米（特殊情况根据用户要求商定制作）。线皮用漆包浸蜡棉纱或塑料保护绝缘。

2.桥丝：康铜丝（铜Cu60%，镍Ni40%），直径40~50微米，50微米者居多，桥距长3~3.5毫米。也有镍铬丝（镍Ni65%，铬Cr15%，铁Fe20%）。桥丝焊接在一段相互绞拧在一起的金属脚线末端，构成电路。

3. 引火头：有纤维状硝化棉疏松引火头；硫氰化铅、氯酸钾与骨胶混合的，或硫氰化铅、氯酸钾与木炭等混合的硬引火头。后者的优点是可以紧密地沾附在桥丝上。

此外，电发火装置常用塑料塞子或硫磺灌注等封口固定于口部。封口对内部结构可起防潮作用。

二、管 体 部 分

1. 管壳：有铜壳、铁壳、纸壳等几种，也有用塑料壳的。由于管材和规格不同，使管体的某些具体尺寸略有差数。对于8号雷管，金属管壳长不小于40毫米；非金属管壳长应不小于45毫米（延期电雷管较长，根据延期剂长度而定）。管壳内径6.15~6.35毫米。装设金属加强帽的，要求传火孔内径不小于1.9毫米。所有电雷管的管底都做成球形或锥形窝，形成爆炸集中聚能穴。带导火索的延期电雷管的管壳上，还穿有排气孔。

2. 正起爆药：有雷汞、氮化铅、混合起爆药（雷汞：氮化铅=85:15）、三硝基间苯二酚铅、聚晶（氮化铅与三硝基间苯二酚铅聚合结晶）、二硝基重氮酚等几种。有的厂多用二硝基重氮酚。装药量，按8号工业电雷管要求，规定不低于0.28克；无加强帽时，不低于0.35克。

3. 副起爆药：曾有黑索金、特屈儿、黑索金与梯恩梯以及特屈儿与梯恩梯等几种用药。现多用黑索金。按8号工业雷管要求，装药量不低于0.60克。为便于压装成型，允许在副起爆药中加入不超过7.5%钝化剂。

三、延 期 剂

延期剂位于引火装置与雷管之间。毫秒延期电雷管，其

延期时间的延期剂系由硅铁、铅丹与不同量的硫化锑组成。当延期时间加长时，硫化锑的含量增多。秒延期电雷管，其延期时间由硝酸钾、硫磺与炭组成的黑火药芯的导火索控制。它有两种设计制作结构：一为药芯用药的配方比例不同控制燃速，其延期剂长度相同；另一为导火索燃速一定，用其长短来控制时间。有关国产工业延期电雷管的段号和时间要求等，将在下面电雷管的特性参数部分中介绍。另外，为考虑施工时使用方便，不同段的电雷管，其塑料绝缘脚线使用不同的颜色，以示区别。

电雷管结构如图 1-4 所示。

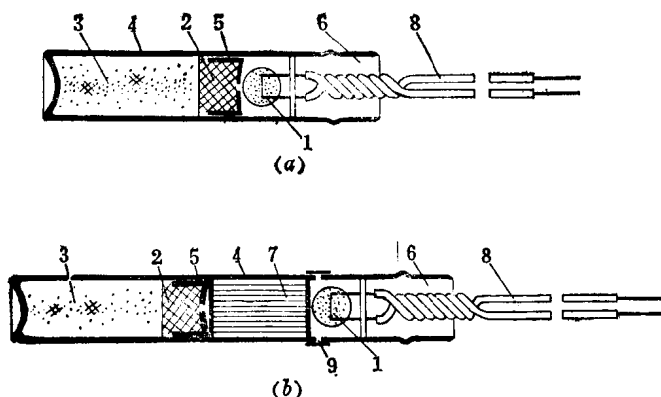


图 1-4 电雷管结构剖面

a—即发电雷管；*b*—延期电雷管

1—桥丝与引火头；2—正装药；3—副装药；4—管壳；5—加强帽，
6—封口塞等；7—延期剂；8—脚线；9—排气孔道（毫秒延期电雷管
不设排气孔道）

第三节 金属桥丝电雷管 发火的理论基础简述

电流通过金属桥丝时所产生的热量，一方面用来预热桥丝本身，同时用来加热引燃药。此外，还有一部分热量沿着电雷管的脚线而导出。

当引燃药被加热到一定温度时，便产生化学反应，其反应的速度，取决于压力和温度。引燃药的化学反应是放热反应，单位时间内起反应的物质越多，则放出的热量越大。反应放出的热量，一部分用来使其加速反应，另一部分则用来加热未被引燃的部分。设想，如从反应区内传出的热量大于反应所放出的热量，则反应只能依靠桥丝供给的热量继续进行；如传出的热量等于反应放出的热量和桥丝供给的热量之和，则反应随即停止；如反应放出的热量大于传出的热量，则即使桥丝停止供热，反应也会继续进行。

所以，桥丝提供引燃药的受热条件，必须使得引燃药的温度升高到一定的程度，才能引起电引火头发火。实际上，桥丝热量的大小与导入的电流大小有相应的关系。今简述各种不同强度的电流下电引火头的情况。

1. 强度不足的电流：当提供极小电流时，桥丝的放热量很小，温度亦低于引燃剂反应所需的条件，这就形成热平衡的状况，即桥丝放出的热量等于传给周围介质的热量。此时，不管通电时间多久，电雷管不能发火。

2. 弱电流发火：用稍大的电流强度通过桥丝，桥丝的温度大于引燃剂反应所需的温度，引燃剂便起化学反应（不过其反应速度较慢而已），电雷管发火。

3. 强电流发火：用强电流通过桥丝，在桥丝被烧断之前，引燃剂已获得正热平衡反应所需的热量，则电雷管正常发火。如果桥丝在引燃剂燃烧前已被烧断，则桥丝烧断后，虽然一方面它开始冷却，同时还在将热量传给引燃剂；此外，在一定的条件下，当桥丝烧断后，其两端之间产生电弧，同时将一部分热量传给引燃药。在这种情况下，电雷管的发火条件就取决于消耗于桥丝熔化的热量、电弧放出的热量和桥丝烧断后使引燃剂发火所需的热量这三者之间的关系。如果桥丝在冷却到发火温度之前已将所需的热量传给引燃剂，则电雷管照常发火，否则即产生瞎火。

关于电流通过桥丝后产生热效应，根据楞次-焦耳定律，桥丝上发生的热量 Q 为：

$$Q = 0.24 I^2 R t \quad (1-1)$$

式中 Q —— 热量（卡）；

I —— 电流（安培）；

R —— 桥丝电阻（欧姆）；

t —— 导电时间（秒）；

0.24 —— 热功当量，它相当于电阻为 1 欧姆的导体中，通过 1 安培电流时每秒产生的热量。

发生的热量也可以用桥丝的直径、长度和材料的电阻系数来表示，此时：

$$\begin{aligned} R &= \rho \frac{l}{S} \\ &= \rho \frac{4l}{\pi D^2} \end{aligned} \quad (1-2)$$

式中 ρ —— 桥丝材料的电阻系数（ $\frac{\text{欧姆} \cdot \text{平方毫米}}{\text{米}}$ ）；