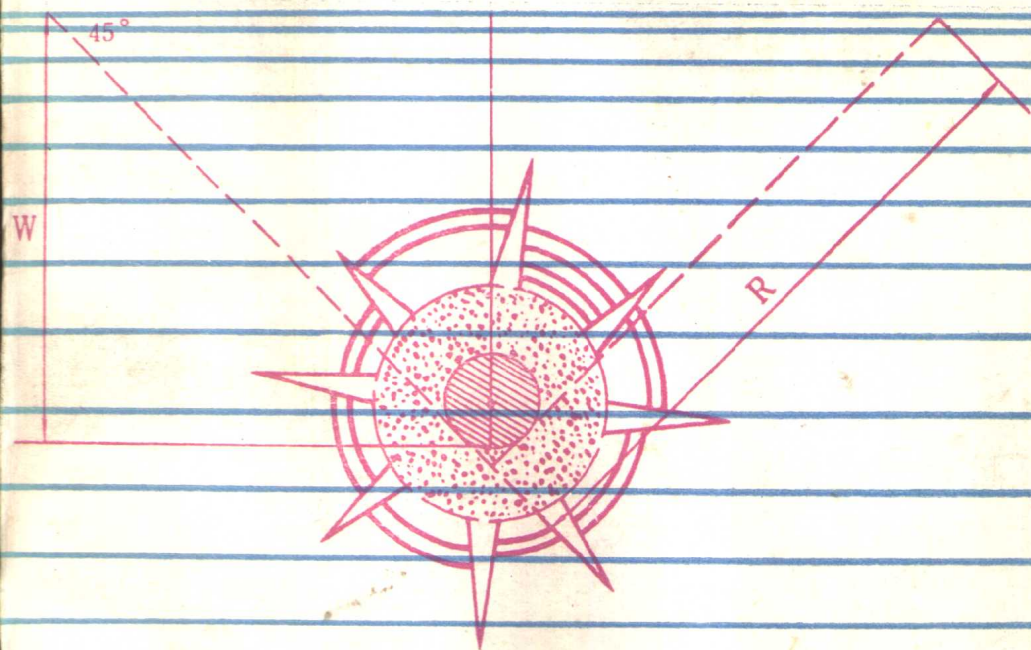


# 矿山爆破技术与安全

杨永琦 编著



煤炭工业出版社

# 矿山爆破技术与安全

杨永琦 编著

煤炭工业出版社

## 内 容 简 介

本书针对工程爆破,特别是 矿山井巷 采掘爆破生产的特点,从基本原理出发,应用现代爆破技术和测试手段,结合当前施工和事故实例,较详尽地介绍了炸药爆炸安全理论基础、岩石爆破理论与新技术、矿山爆破事故和井下特殊施工条件下爆破事故的防治;分析了爆破和瓦斯、煤尘、水、火和顶板事故的紧密关系;提供了一些典型经验和参考资料。可供爆破工程技术人员,矿山采掘和安全技术人员、管理人员、科技工作者及院校师生参考,并可作为爆破和安全工程方面培训参考教材。

责任编辑:田克运

矿山爆破技术与安全

杨永琦编著

煤炭工业出版社 出版

(北京安苑门外和平里北街21号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行



开本850×1168mm<sup>1</sup>/<sub>32</sub>, 印张12<sup>1</sup>/<sub>4</sub>,

字数325千字 印数 1—3,030

1991年6月第1版 1991年6月第1次印刷

ISBN 7-5020-0498-X/TD·454

书号 3275

定价 6.20元

# 目 录

|                        |            |
|------------------------|------------|
| <b>第一章 炸药爆炸安全理论基础</b>  | <b>1</b>   |
| 第一节 炸药爆炸特征             | 1          |
| 第二节 炸药的感度与安全           | 4          |
| 第三节 炸药爆炸时炮烟的危害         | 11         |
| 第四节 炸药爆炸性能参量与爆炸功       | 19         |
| 第五节 炸药爆轰原理             | 22         |
| 第六节 炸药的殉爆与聚能作用         | 31         |
| 第七节 煤矿安全炸药原理           | 47         |
| 第八节 井下安全控制爆破原理         | 54         |
| <b>第二章 工业爆破材料与安全管理</b> | <b>70</b>  |
| 第一节 矿用炸药及应用范围          | 70         |
| 第二节 国外煤矿安全炸药简介         | 89         |
| 第三节 高安全煤矿炸药代用方法        | 92         |
| 第四节 矿用炸药的安全检验          | 94         |
| 第五节 矿用起爆材料             | 105        |
| 第六节 爆破材料的安全管理          | 128        |
| <b>第三章 起爆方法与事故防治</b>   | <b>137</b> |
| 第一节 电力起爆法              | 137        |
| 第二节 非电起爆法              | 166        |
| 第三节 安全起爆技术             | 175        |
| 第四节 瞎炮的预防与处理           | 177        |
| 第五节 早爆的防治              | 179        |
| <b>第四章 岩石爆破作用原理</b>    | <b>185</b> |
| 第一节 岩体内的冲击波和应力波        | 185        |
| 第二节 岩石的动载特性            | 207        |
| 第三节 岩石爆破作用机理           | 211        |
| <b>第五章 光面爆破和预裂爆破</b>   | <b>231</b> |
| 第一节 光面爆破原理             | 231        |

|            |                            |     |
|------------|----------------------------|-----|
| 第二节        | 光爆机理实验研究技术 .....           | 237 |
| 第三节        | 光面爆破实施要点 .....             | 260 |
| 第四节        | 预裂爆破 .....                 | 276 |
| 第五节        | 光面爆破、预裂爆破实例 .....          | 281 |
| <b>第六章</b> | <b>微差爆破</b> .....          | 309 |
| 第一节        | 微差爆破作用原理 .....             | 309 |
| 第二节        | 炮孔内和挤压微差爆破 .....           | 321 |
| <b>第七章</b> | <b>矿山井下爆破事故防治</b> .....    | 328 |
| 第一节        | 井下爆破作业环境 .....             | 328 |
| 第二节        | 爆破作业与矿井通风 .....            | 330 |
| 第三节        | 爆破作业与瓦斯 .....              | 334 |
| 第四节        | 爆破作业与煤尘 .....              | 340 |
| 第五节        | 爆破作业与矿井火灾 .....            | 343 |
| 第六节        | 爆破作业与矿井水灾 .....            | 344 |
| <b>第八章</b> | <b>特殊施工条件下安全控制爆破</b> ..... | 349 |
| 第一节        | 井筒冻结段爆破安全施工 .....          | 349 |
| 第二节        | 巷道贯通时爆破事故的防治 .....         | 356 |
| 第三节        | 煤仓和矿仓堵塞后的爆破安全处理 .....      | 359 |
| 第四节        | 钻井法凿井时破锅底、开马头门的爆破 .....    | 363 |
| 第五节        | 揭开有沼气突出危险的井巷掘进爆破 .....     | 365 |
| 第六节        | 反井掘进施工的安全爆破 .....          | 378 |
|            | 参考文献 .....                 | 386 |

# 第一章 炸药爆炸安全理论基础

## 第一节 炸药爆炸特征

### 一、爆炸要素

炸药是在一定条件下能发生化学爆炸的物质。它在外界作用下能够发生高速的放热反应，同时造成强烈压缩状态的高压气体并迅速膨胀对周围介质作机械功。在工程爆破实践中，我们看到炸药爆炸时，瞬间产生火花，出现烟雾，发出巨响，形成“暴风”，把各种材料炸坏。当爆破设计不合理或错误操作时，就可能引起事故。

炸药的主要特征有以下几点：

① 炸药是能发生自身燃烧和爆炸反应的物质。不论单质炸药还是混合炸药，本身都含有可燃元素C、H和助燃元素O。一旦发生爆炸，原来的分子结构就破坏了，氧元素就与碳、氢等元素化合，生成气体。这种化学变化不需要有外界氧参加，不同于一般燃料。一般燃料，例如煤炭，如果没有外界氧参加反应，就不会进行燃烧反应。

又如，单质炸药之所以能爆炸，是因为分子中含有某些具有爆炸性质的特殊基因，这些基因的化学键很容易在外界能量的作用下发生破裂而激起爆炸反应。

② 炸药是具有化学爆炸特性的相对稳定的物质。要使其爆炸，必须从外界供给一定的能量。若外界供给能量小，不足以引爆炸药，则炸药处于暂时稳定状态。

为了打破炸药的稳定状态，必须由外界供给足够的能量，这种外界能叫作起爆能。

工业炸药的起爆能有热能、机械能和爆炸冲击能等形式。一

般工业上利用工业雷管等热能作起爆能。在使用管理火工品过程中，要严格遵守安全操作规程，避免非起爆要求的热能、机械能和爆冲击能的影响。

③ 炸药的能量密度高。炸药和一般燃料相比，单位重量的炸药爆炸后所放出的热虽不比一般燃料燃烧后所放出的热量多，但是，如以反应产物单位体积能量计，则前者却高于后者。例如：

炭、煤和氧混合燃烧： 8959.8kJ/kg

梯恩梯： 4186kJ/kg

硝铵炸药（零氧平衡）： 4228kJ/kg

反之以反应产物单位体积的能储量计，则

炭、煤和氧混合燃烧： 17.2kJ/L

梯恩梯： 6807.7kJ/L

硝铵炸药（零氧平衡）： 7117.5kJ/L

炸药爆炸的要素有：

① 反应过程放热量大。炸药爆炸过程中放出的大量热能是对周围介质作功的能源。放热量小或吸热反应的物质，都不能维持反应自动传播，发生爆炸。这是炸药爆炸的首要条件。

② 反应速度必须快。反应过程仅仅放出大量热还不足以形成爆炸，1kg煤燃烧可以放出比1kg炸药爆炸时放出的热量大，但不能形成爆炸。只有反应速度极快（约为 $10^{-6} \sim 10^{-8}$ s），反应过程中气体来不及膨胀，放出的热量才能集中，形成高温（2000～3000℃）和高压（达数万MPa）的反应产物，对周围介质作功。

③ 反应必须生成大量气体。爆生气体是作功的媒介，具有可压缩性和膨胀系数值，爆炸时，在高温高压状态气体迅速膨胀对外界作功。

以上三个条件是相互联系的。放出的热使温度上升，促进反应加快；反过来高速反应又促使产生的大量气体和放出的热量来不及扩散，气体的压力和温度达到极大值，直至发生爆炸。所以，高温、高压、高速是炸药爆炸的重要特点。一般矿用炸药的爆热为2500～5500kJ/g，爆容为600～1000L/kg，爆温为1000～

4500℃，爆速为2000~7000m/s，爆轰压力为4000~40000MPa。

## 二、炸药的反应形式与安全

由于炸药的化学反应速度、激发条件，炸药性质和其它因素不同，反应形式也各异，一般可分为热分解、燃烧、爆炸和爆轰四种形式。

热分解是炸药缓慢的化学变化。在常温常压下也可以分解，但反应过程中不产生火、光和声响，不易被察觉，对外界没有破坏作用。分解反应速度主要取决于环境温度，温度越高，分解越快。当温度到达炸药的爆发点时，热分解就会转化，使炸药燃烧和爆炸。不同的炸药，热分解速度也不同，炸药分解反应的快慢，反映出这种炸药的热安定性。因此，在炸药生产过程和运输贮存时要特别注意控制温度、湿度和压力等条件，防止发生自燃自爆事故。

燃烧是在热源和火焰作用下引起炸药燃烧的化学变化。它的反应只在反应区进行，反应区内外炸药温度、反应速度明显不同，燃烧的传播速度一般为 $10^{-3} \sim 10^2$ m/s。燃烧速度的大小受外界条件，特别是压力的影响较大。因此，贮存炸药要特别考虑到热分解。要注意改善通风条件，防止炸药在密闭条件下燃烧。一旦炸药着火，切不可用砂土掩盖。因为炸药本身含有氧化剂和可燃物，不需要空气中的氧就能进行燃烧。密闭反会导致压力升高，使燃烧加速，甚至引起爆炸。

炸药的爆炸和燃烧相类似，化学反应区也只在局部区域内进行。它和燃烧的区别是：燃烧靠传导来传递能量和激起化学反应，而爆炸是靠瞬间产生的冲击波作用传递能量和激起化学反应的；燃烧受环境影响较大，爆炸则基本上不受环境的影响；爆炸反应比燃烧更为激烈；燃烧产物的运动方向与反应区传播方向相反，而爆炸产物运动方向则与反应区传播方向相同，从而爆炸可产生很大的压力。

爆炸和爆轰并没有本质区别，爆炸时反应速度是变化的，而爆轰时反应速度是恒定的，二者反应速度一般在2000~8000m/s。



爆轰是炸药爆炸的良好状态和形式。

炸药的上述几种变化之间有密切关系，在一定条件下可以相互转化。燃烧着的炸药在密闭状态可由燃烧转为爆炸；在起爆良好条件下弱性炸药可以转化为稳定爆轰；炸药变质受潮又可能由爆炸转变为燃烧，这不仅可以放出更多的有毒气体，而且对于含有沼气煤尘的矿下更易引起事故。人们应创造良好条件，使炸药爆炸反应处于稳定爆轰状态，才能取得好的爆破效果。

## 第二节 炸药的感度与安全

### 一、起爆与起爆能

炸药是一种相对稳定的物质，是具有稳定性和爆炸性的矛盾统一体。在没有外界作用时不产生爆炸反应，只有受到外界具有足够能量的作用时才能激起爆炸。为使炸药爆炸，外界对炸药所施加的必要能量，称为起爆能。炸药受外界作用发生爆炸的过程称为起爆。

工业炸药常用的起爆能有三种：

① 热能：利用加热作用如火焰、火星、电热等形式使炸药起爆，这是一种基本形式。矿山爆破使用的工业雷管就是利用这种起爆能。

② 机械能：通过冲击、摩擦或针刺等机械作用，使炸药分子间产生强烈的相对运动，并在瞬间将机械能转化为热能，使炸药起爆。这种起爆能在工业上很少采用，因为不安全且不方便。但在炸药的贮存、运输和使用中，必须充分考虑机械能引起炸药爆炸的可能，这种事故是经常发生的。

③ 爆炸能：利用炸药的爆炸来起爆另一些炸药，这是爆破工程中最广泛采用的起爆能。常用的有雷管、导爆索和中继起爆药包等爆炸能。

了解起爆与起爆能，对于正确选用起爆形式，防止爆破事故的发生十分重要。

例如，1982年11月，某矿七采区发生了一起火药雷管爆炸事

故。二名工人到矿火药库领取了81kg炸药和280发电雷管，全部混装在一个麻袋和一条尼龙袋子内，运到采区。他们不顾火药放置安全与否就把麻袋扔下，一声轰响，火药雷管爆炸，背药工人当场死亡。事故主要原因是：工人不懂炸药特性，管理不严，违章作业。

## 二、炸药的感度对安全的影响

炸药的感度是指炸药在外界起爆能作用下发生爆炸的难易程度。感度的高低是以激发炸药爆炸反应所需起爆能的大小来衡量。炸药起爆时所需起爆能小，表示炸药感度高，反之，所需起爆能大，则表示炸药感度低。

炸药的感度因起爆能形式不同而异。梯恩梯用火焰点着时，只平静地燃烧，但受雷管爆炸能作用就发生爆炸；叠氮铅对机械能比对热能更为敏感，而二硝基重氮酚则相反；黑火药对热能的感度高于对机械能的感度，而芳香族硝基化合物则相反；梯恩梯在静压作用下，压力达 $4.9 \times 10^9 \text{Pa}$ 也不爆炸，而在迅速冲击时，不大的机械能即可爆炸。炸药在高温下迅速加热所需起爆能比低温下缓慢加热时小得多，铵梯炸药可用雷管起爆，而硝酸铵则要靠中继雷管药包（即带有起爆雷管的少量感度高的炸药包）才能引爆。由此看出：如此繁多的感度特征，在实际应用中要根据不同要求正确选择，切不可简单地以炸药对某种外能的感度，等效地来衡量它对另一种外能的感度，必须综合炸药对各种外能的感度，全面评定炸药的感度。

工业炸药的感度不宜过高或过低。感度过高，在制造、运输、贮存及使用中都有危险；感度过低，则需要很大的起爆能，技术上招致麻烦。一般工业炸药以6号或8号雷管能起爆为宜。部分感度较低的炸药，可以增加中继药包。具体来说，要保证炸药能够安全生产，并能够安全地贮存相当长时间，在运输使用中不发生意外爆炸，就要求炸药有较低的热感度和机械感度。而为了使用时根据需要准确可靠地爆炸，则要求猛炸药具有较高的爆轰感度。

根据工业炸药常采用的几种外能形式，为确保对炸药的安全

使用，一般要考虑炸药的热感度、机械感度、起爆感度、殉爆感度和静电感度，并采取相应的测定方法加以检验。

### 1. 热感度

炸药在热能作用下发生爆炸的难易程度称为炸药的热感度。通常以爆发点、火焰感度和炸药的热安定度来表示。

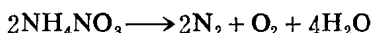
① 炸药的爆发点：爆发点是指炸药在特殊的条件下在规定时间内（5min）内起爆所需加热的最低温度。爆发点越低则表明炸药对热的感度越高。例如，梯恩梯的爆发点为 $295\sim 300^{\circ}\text{C}$ ，二硝基重氮酚为 $170\sim 175^{\circ}\text{C}$ 。炸药的粒度、含水率、混合炸药的混合均匀性都影响炸药的爆发点，制造、贮存和使用时要加以注意。

② 炸药的火焰感度：炸药在明火（火焰、火、火星）作用下发生爆炸的难易程度称作火焰感度。不同炸药对火焰点燃发生化学变化的程度不同。对于起爆炸药，如二硝基重氮酚用火焰点燃时立即爆炸；对于猛炸药及黑火药则表现为燃烧，但在密封状态则会转变为爆炸。

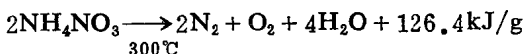
③ 炸药的热分解与安全：炸药是一种相对稳定的物质，在一定温度下会发生分解。炸药分解速度随温度升高而迅速增加。而炸药在使用前，往往需要存放很长一段时间，在长期储存中，炸药的热分解程度与安全性是非常重要的问题。国内外均发生过多次热分解而导致的爆炸事故。例如，国外曾有一货船，货仓内装有4000 t 硝酸铵，由于仓内没有通风散热设施，温度达到 $49^{\circ}\text{C}$ 时，因热能的积累加速了硝酸铵分解，引起了爆炸。1947年“GRANDCAMD”货轮，装有2300t硝酸铵，同仓又装有面粉、麻袋等物。由于热分解发生自燃，而引起爆炸。1981年湖北某水库仓库内放有硝酸铵15000kg、硫磺350kg、2号岩石炸药1500kg、梯恩梯376kg、导火索2200m，以及电灯泡、电线等，由于库房不通风，因热分解而发生自燃导致分解引爆。

硝酸铵是一种氮化学肥料，一般不容易爆炸，纯硝酸铵熔点 $170^{\circ}\text{C}$ ，从 $200^{\circ}\text{C}$ 开始分解，产生 $1607.7\text{J/kg}$ 的分解热。在密闭状态、通风不畅情况下可能引起爆炸。

硝酸铵如果作为炸药完全爆炸的话，结果将生成氧、氮和水蒸气。



硝酸铵热分解时，除生成氧气外，还伴随产生一氧化氮( $\text{NO}$ )和二氧化氮( $\text{NO}_2$ )有害气体，当迅速加热到 $400^\circ\text{C}$ 时发生爆炸。如果在密闭条件下，加热到 $300^\circ\text{C}$ ，即可产生爆炸反应。



硝酸铵如与硫磺、碳、面粉、油类等可燃物质以及锌、铜等金属直接撞触，将促进热分解。如果与梯恩梯混装，那就变成爆炸材料了。这些事实说明，在制造、贮存、运输、使用爆破材料过程中，要特别注意安全管理。

综上所述，炸药在常温下处于相对稳定状态，但也存在热分解，只不过是温度低，活化分子数目少，分解速度慢，随着温度升高，分解速度也随之增大。一般条件下，通风散热条件好，炸药本身和环境温度及压力不会升高，也不可能爆炸。炸药在热作用下发生爆炸是有一定条件的，只有当炸药反应放出的热大于散失给周围环境的热时，在炸药中才有可能产生热的积累，本身温度和环境压力才可能升高，加剧炸药热分解反应，可能导致爆炸。深入研究炸药热分解机理与炸药的安定性是十分必要的。

## 2. 机械感度

炸药的机械感度是指炸药在机械作用下发生爆炸的难易程度。

炸药在生产、运输、使用过程中，不可避免地要发生机械撞击、摩擦、挤压等作用。在这些作用下，能不能使炸药爆炸，怎样保证炸药生产、运输和使用过程中的安全，要解决这些问题就需要了解和掌握炸药的机械感度。

机械感度主要包括冲击感度和摩擦感度。测定猛炸药的冲击感度采用垂直落锤仪；测定起爆药的冲击感度采用弧形落锤仪；测定炸药的摩擦感度则采用摩擦感度仪。

一般起爆药比猛炸药的机械感度高，因此我们在使用雷管时要特别注意轻拿轻放，避免撞击发生事故。在实际生产中，因不注意机械感度而发生爆炸事故的也不乏其例。

我国某矿山井下采用矿车运输爆破材料，在井底车场停留时，一位工人把使用的丁字镐从1m多远处扔到矿车里，正好砸在雷管上立即引起爆炸。又如，某掘进工作面装药时，工人用炮棍猛力冲击带有起爆药的炮眼，结果导致炸药爆炸。

为什么机械作用下能引起炸药爆炸，这是一个需要深入研究的问题。热点学说认为：炸药承受的由机械能转化来的热能，作用在炸药局部地方，如炸药结晶的棱角处或吸附在小气泡上，集中的能量可使这部分试样达到高于爆发点的温度，炸药的爆炸就从这点开始被激发，尔后扩及整体使之爆轰。

热点的形成是由于炸药中微小气泡的绝热压缩；炸药颗粒间的强烈摩擦以及高粘性液体炸药的流动性生热所致。对于工业炸药都有一个最佳密度范围，密度过高，爆炸参数急剧恶化，因此浇铸炸药的感度一般比同一成分散装的要低。这是因为随着炸药密度的增加，炸药中的空隙和颗粒表面所吸附的汽泡减少而对热点形成不利。

### 3. 起爆感度

炸药在其它炸药（如起爆药）的作用下发生爆炸变化的能力称为炸药的起爆感度。在爆破工程中，引爆炸药并保证其稳定爆轰所选择的起爆能（雷管、起爆药柱等）决定于炸药的起爆感度。

炸药的起爆感度常用极限药量来表示，爆破工程中常用炸药的殉爆能力来定性地比较炸药起爆感度的大小。所谓极限药量是指可使猛炸药爆轰的最小起爆药量。最小起爆药量愈小，表示猛炸药对起爆药的起爆感度愈大；反之，则表明猛炸药对起爆药的起爆感度愈小。实际使用时，要求使炸药爆炸并达到稳定爆速，就是说，引爆炸药时，起爆装置在药卷内产生激发冲击波的速度，不仅要大于药卷的临界爆速，而且要大于药柱稳定爆速。激发冲击波速度小于临界爆速，药卷不可能爆炸；大于临界爆速但达不

到稳定爆速，可能发生不完全爆炸。如果爆炸不完全，不仅爆炸效果差，且在有沼气煤尘条件下，可能引起爆炸事故。

设计爆破材料及爆破的传爆系统时，要充分考虑猛炸药对起爆药的起爆感度。有些炸药使用6号或8号雷管即可起爆，有些炸药（如在露天矿或大爆破中）就必须采用中继药包来起爆。

#### 4. 殉爆感度

一个药包的爆炸可以激发隔一定距离处另一药包的爆炸，这种现象叫做炸药的殉爆。殉爆的发生是因为主动装药爆炸时产生的炽热气体或固体颗粒，以及在两装药中间介质中产生的冲击波对被动装药的作用而引起的。炸药发生殉爆的难易程度称为殉爆感度。

对炸药殉爆的研究十分重要。在向炮孔内装药时，如果药卷接触不紧密或药卷之间存留有岩粉等惰性物质，或者炸药殉爆感度低，则容易发生药卷不完全爆炸或燃烧现象，这不仅降低了爆破效率，而且在有瓦斯和煤尘的工作面内，有可能引发事故。为此在炸药生产中，殉爆距离的测定是检验产品质量的重要项目之一。

#### 5. 静电感度

炸药的静电感度包括两方面：一是炸药摩擦时产生静电的难易程度，二是在静电火花作用下炸药发生爆炸的难易程度。常用炸药都是静电的绝缘体，当炸药颗粒间或炸药与其它物体发生摩擦时，很容易摩擦起电，并积聚静电荷达到高电压。当所带的静电能量足够大时，在适当条件下就会发生静电放电火花而引起炸药的燃烧或爆炸事故。

在爆破装药过程中，特别是在采用压气装药过程中，不可避免地会产生静电感应。用压气把硝酸炸药通过软管吹入炮眼时，由于炸药颗粒间相互摩擦，可能产生电容相当于 $500\mu\text{F}$ 、电位达 $35\text{kV}$ 的静电。由于静电放电的能量大，有可能引起炸药或炮眼中雷管（雷管的发火冲能一般为 $2\sim 10\text{mJ}$ ）爆炸，这就能导致早爆或意外爆炸事故。如果爆破地点含有瓦斯煤尘，静电火花就可

能引起瓦斯爆炸事故。

例如，1982年某矿采区盲巷封闭墙处，采用压风处理积存瓦斯时，由于使用不抗静电的白色塑料管，在压风吹力下产生静电火花，导致瓦斯爆炸事故。

在炸药生产和加工过程中，不可避免地会产生摩擦，如研磨粉碎、混药、筛选、压药、螺旋输送、气流干燥等过程都有炸药之间的摩擦和炸药与其它物体之间的摩擦，都将产生静电，影响安全生产。

为确保安全，要求炸药雷管有一定的抗静电能力，目前已研制生产了抗静电雷管。

防止静电事故，主要是防止静电产生，一旦产生后要及时消除，使静电不致产生过多积累。

消除静电的措施有：

① 设备接地：对炸药的加工和装药设备尽可能地良好接地，以便使静电荷比较容易地从带电体上泄漏散失，避免静电积累。

② 在工作台或地面铺设导电橡胶，火工品工房内装接地铜手把，以消除静电。

③ 增加工房潮度，通过水汽的解离而中和静电电荷。

④ 经常清洗设备和工房内或工作场所的爆炸粉尘。

炸药的静电感度可采用电容放电方法来测定。图1-1为静电火花感度测试线路图。将开关 $K$ 和1接通后，高压电源使电容器

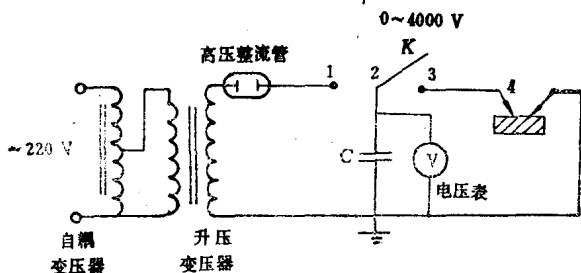


图 1-1 电火花感度测试线路

C 充电到所需的电压  $V$ ，然后把开关  $K$  接到 3，电容就通过两个尖端电极放电，产生电火花，作用在炸药试样 4 上，观察是否爆炸，可用爆炸百分数来表示静电感度大小，作用于炸药的静电火花能量可用下式求算：

$$E = \frac{1}{2} c V^2 \quad (1-1)$$

式中  $E$  —— 电火花能量，J；

$c$  —— 电容， $\mu F$ ；

$V$  —— 放电电压，kV。

### 第三节 炸药爆炸时炮烟的危害

#### 一、爆炸产物中的有害气体

爆炸反应的实质，是炸药中所含氧、碳、氢、氮等元素之间的化学反应，生成较为稳定的化合物，爆炸产物中主要有  $CO_2$ 、 $H_2O$ 、 $CO$ 、 $NO_2$ 、 $NO$ 、 $C$ 、 $O_2$ 、 $N_2$  等。其中有毒气体主要有  $CO$ 、 $NO$  和  $NO_2$  等氮氧化物，在含硫矿床中爆破作业时，还会出现硫化氢 ( $H_2S$ ) 和二氧化硫 ( $SO_2$ )。这些气体不仅对人体有害，而且能对井下瓦斯煤尘爆炸反应起催化作用。因此，消除和减少有害气体的危害是十分重要的。

一氧化碳 ( $CO$ ) 是无色、无味、无嗅气体。在标准状态下每公升重 1.275g，为空气的 0.967 倍，由于比空气轻，总是游离于巷道的顶部，比较容易通过加强通风把它驱散。人体需要从空气中把氧气吸入肺中并通过红血球的作用来维持生命。由于一氧化碳与红血球相结合的亲合力要比氧大 250~300 倍，如果血液中吸收一氧化碳达到饱和状态就不可能再吸收氧，这时人体组织细胞将因严重缺氧而窒息和中毒。

炮烟中的氮氧化物主要有  $NO$ 、 $NO_2$  等。对人体生理上具有比  $CO$  更大的毒性，特别是吸进带有矽尘的高浓度氮氧化物气体能够加速矽肺病的产生。有毒气体在空气中的危险浓度列入表 1-1 中。

为确保矿山井下人员的健康和安全，我国安全规程规定，炸



表 1-1 有毒气体在空气中的危险浓度

| 有毒气体             | 各种危险浓度(mg/l)   |               |                   |               |
|------------------|----------------|---------------|-------------------|---------------|
|                  | 吸入数小时后<br>轻微中毒 | 吸入1小时<br>严重中毒 | 吸入0.5—1小时<br>致命危险 | 吸入数分钟<br>导致死亡 |
| CO               | 0.1~0.2        | 1.5~0.6       | 1.6~2.3           | 5             |
| NO               | 0.07~0.2       | 0.2~0.4       | 0.2~1.0           | 0.5           |
| H <sub>2</sub> S | 0.01~0.2       | 0.25~1.4      | 0.5~1.0           | 1.2           |

药爆炸生成有毒气体量，以CO计算，不得超过80l/kg（NO<sub>2</sub>毒性强，在折算为CO时，应将NO<sub>2</sub>体积乘以6.5）；矿井内空气中CO浓度按体积不得超过0.0024%，NO<sub>2</sub>浓度不得超过0.00025%。

## 二、减少或消除有毒气体的措施

### 1. 正确选择工业炸药的配方

为了减轻或消除有毒气体的危害，首先要考虑的就是设计与选择工业炸药的合理配方，并要通过实验室与工业性试验得出结论方可使用。用户对选用的炸药，特别对新品种炸药性能、规格、适用范围必须了解。有条件的还要检验厂方提供的包括有毒气体在内的各项指标是否正确与合乎要求；厂方也应按正确配方提供合格的炸药。产品说明书上规定的性能指标必须达到，切忌随意选用炸药。特别是不分使用地点，不仅会产生过量有毒气体，而且可能产生二次火焰（如CO），甚至引起爆炸事故。

炸药的氧平衡是设计炸药配方的重要依据，采用正氧平衡炸药，则剩余氧气量增加，氮氧化物等有毒气体就会增加。采用负氧平衡炸药，由于氧量不足，一氧化碳就会增加，在有瓦斯煤尘危险的井下均不能采用。因此井下使用的炸药要尽量接近零氧平衡。有毒气体量与氧平衡的关系参见表1-2。

### 2. 正确地使用炸药

如果选用炸药配方合理，但使用方法不当，炸药爆炸反应不完全，同样会增加有毒气体量。

炸药反应完全程度与炸药组分、炸药密度、炸药粒度、起爆