

讲 座

## 爆破作业安全技术

冯叔瑜

(1983年11月1日收到)

### 一、概 述

爆破作业是一项危险性的工作，大家知道，一次不幸的爆破事故，重则造成人民生命和大量财产的损失，轻则导致个人伤残或环境受到破坏。随着爆破技术的发展和工程爆破应用范围的日益扩大，爆破作业的安全问题，引起了各方面的重视，形成了一种专业化的技术，以便施工作业过程中，确保国家和人民生命财产的安全。

对于爆破作业安全技术的研究，是从两个方面去考虑的：一是炸药和起爆器材以及对其爆炸所造成的破坏作用进行限制的安全技术，这是主动的一个方面；二是对爆破作用所产生的危害可能采取的防护措施，这是被动的一个方面。两者对阻止爆破带来的破坏性有同样的重要性，但在具体的爆破工程中，则常常会有变化不定的现象和后果，因此，必须对每一项工程爆破的具体情况作具体的分析研究，从而采取适当的对策。

爆破作业具有危险性，爆破事故引起的后果是严重的，但是严格遵守安全规程和正确地采取安全技术措施，确保爆破作业的安全是完全有把握的。

### 二、爆破器材的安全技术

1. 炸药 炸药是爆破工程的能源。工程爆破使用的炸药叫工业炸药，与一般的起爆炸药或烈性炸药有所不同，它的特点是能大量生产、价格便宜、操作使用简单方便，而且比较安全，但爆炸威力不太大，多属于中等或低威力炸药。

任何一种炸药，包括作为起爆药的烈性炸药，其本身在正常状态（常温、常压）下化学性能是安定的，在没有外界作用时，都能在一定时期保持其稳定性，不会发生自发爆炸。但是，一旦受到外界的作用并达到一定程度时，便会产生连锁的爆炸反应。

引起炸药产生爆炸反应的外力主要是热能和机械能，因此在运输、贮存和操作使用过程中，避免爆破器材受到上述因素的作用是十分重要的。当然，由于各种炸药和爆破器材的组成成份不同，对热和冲击反应的灵敏度是不相同的。爆破工作者必须熟知这种特性，才能掌握必要的安全知识。

热能是使炸药产生爆炸的主要原因，但不同炸药品种的热感度是很不相同的。炸药的分子受热时温度急剧上升，化学分解的速度逐步加快，一般是由燃烧、爆燃转变成爆炸，这个过程非常短暂。例如黑火药、雷汞、叠氮化铅等只要一颗火星就能产生如上的反应过程，而梯恩梯、硝化甘油类和硝酸铵类炸药在开阔的空气中，如果不是很大的数量，却只产生比较缓慢的，像燃烧蜡烛一样燃烧，并不能转化到爆燃和爆炸的阶段。相反，如果在密闭或空气不易流通的条件下，便会转为爆炸。

炸药受冲击或摩擦作用，也使炸药分子受热产生化学分解，引起爆炸反应。不同品种的炸药对

冲击能反应的敏感度很不相同,一般说来,越是猛烈炸药,敏感度就越高,因此工程上总是用起爆炸药做成雷管或中继起爆体。由雷管爆炸的冲击波去激发工业炸药,这就在施工操作上安全而又方便多了。

**2. 起爆材料** 这是用来发生和传递冲击波能量激发炸药爆炸的手段,正确选择起爆器材,就能保证工程爆破的效果,达到预想的设计目的。

(1) 雷管分火雷管、电雷管和延期雷管三类,各种雷管内都装敏感度高的起爆炸药。火雷管受到导火索传来火焰,立即燃烧爆炸;受到低能导爆索、非电导爆管传来的冲击波同样迅速爆炸,从而激发炮孔或药包里的炸药发生爆炸反应。电雷管则是由电流通过电阻桥丝产生的热效应,点燃雷管中的起爆药,激发药包爆炸;延期雷管品种很多,既可由冲击波点燃,也可由电热点燃,它们的共同特点是,点燃后的雷管有延期起爆的缓燃装置,可以起到毫秒或秒延期作用,保证工程爆破的特殊效果。

各种型号的雷管有着共同的特点,既对热能敏感,又对冲击波或摩擦热敏感,无论在储存、运输或操作使用过程中,必须充分注意才能保证安全。电雷管在使用中,还要防止地面杂散电流和空中高频射电或高压输电所产生的感应电流使雷管引起爆炸事故。

电雷管由于具有通电后能迅速而又准确地起爆的特点,在工程爆破中易于达到多药包同时起爆的效果,又能事先通入不大于30毫安的弱电流检查电雷管的导通性能,对爆破质量和效果有较大的保证。因而虽有掌握电学知识的麻烦,人们仍乐于使用。

(2) 导爆索有一般和防水之分,但这只是外形的差别。导爆索的传爆速度高达6800~7000米/秒,超过一般工业炸药的爆轰速度,爆炸时威力很大,故可以直接用来起爆炸药,是非电起爆的主要材料,也可用作某些特殊目的工程爆破以代替炸药。

尽管导爆索的爆炸威力很大,但在使用中安全性能都是比较好的,不受一般电场的影响,在开阔的空气中受热燃烧,也不致产生爆燃反应,只有在雷管爆炸的强烈冲击作用下才会爆炸,并把爆轰波传递出去。

导爆索传爆时有方向性,因此联结传爆网路时必须加以注意。水和油的浸渍会减弱,甚至失去导爆索的传爆能力。使用中要采用防水防油措施,特别是在铵油炸药的药包中,必须使用塑料包裹的导爆索

(3) 导火索是起爆器材中,最早使用的一种燃烧速度慢,一般是125秒/米,点火方便,易于操作,但无法控制准确的时间。由于本身的质量曾多次产生早爆或迟爆事故,而受潮或油浸都易使导火索失去燃烧作用,所以现代爆破作业中,已不用导火索作点火起爆材料。

(4) 导爆管是七十年代发展起来的新式起爆材料。其外形为塑料空心管,直径3毫米、内径1.5毫米,在内管壁上涂有极薄层的烈性炸药。爆轰波自起爆源通过管内这一炸药层,沿管壁以2000米/秒的速度传播下去,使末端的雷管爆炸,从而起爆炸药。

导爆管的安全性能很好,但在使用中也必须注意按一定的操作规定办事,才能保证传爆和起爆的可靠性。因为它的内径很小,管壁喷涂的炸药是十分微少的,使用时一定不能让水、潮气或微尘侵入,否则就会影响其传爆能力。因此,裁切起爆网路中各段导爆管的时候,应在开始铺设网路工作前进行,留下或暂不用的导爆管,应将端头封闭,下次应用时将封闭过的端头切去20~30厘米再用。

导爆管由于是塑料作成的,气温高时容易软化,受到过大的拉力时,管的截面会拉长而变得细小,影响并失去传爆能力。因为它的传爆速度远小于导爆管,爆轰波每走行1米需时约为0.5毫秒,所以工作面较大或网路比较复杂的爆破,必须计算时差,保证不致因先起爆药包拉断尚未传到爆轰波的部份导爆管。

导爆管网路的分流插头,最好用连接块或分流管,如果用雷管起爆分流,要注意绑扎的导爆管紧贴雷管,并使雷管的集中穴与传爆方向相反,以避免集中穴的射流击断网路中的管线。

(5) 爆破电桥和起爆器是进行电力起爆时必不可少的器材。使用前用兆欧表检查它们的外壳的绝缘性能,防止因漏电引起电雷管产生早爆事故,是作为进行电爆破的重要操作程序,不可忽略省去。爆破电桥必须使用为爆破工作专门生产的欧姆计,并随时检测其输出电流,决不允许大于30毫安,更不能使用其他的电工仪表,如万用电表或欧姆表去代替爆破电桥,测量雷管电阻或爆破网路的电阻值。

此外,在装药量较大的药包,如药室法爆破的药包和深孔爆破的药包,如要使其充分起爆,保证全部药包都能达到稳定爆轰和准爆,装入中继药包(也叫起爆体)是很必要的。中继药包是由两个以上的雷管加导爆索束及十几公斤质量良好的炸药作成的,用以增加雷管的起爆能力。

### 三、爆破器材的运输、储存和保管

爆破器材包括炸药、雷管、导爆索、导火索和起爆药柱等,不论运输、保管和使用,各国都有严格的安全规定。爆破工作者必须熟悉各种爆破材料的性能和特点,并严格遵守,才能保证国家和人民生命财产的安全。这里仅就爆破材料的一般规定和某些特点介绍如下:

1 爆破材料的运输 所有的爆破材料从生产到现场都必需有一个运输过程,使用的运输工具不论是飞机、火车、轮船以及其他车辆和人力,按照规定都对同一车厢有个匹配问题,例如雷管(电雷管、火雷管)只能单独装运一个车厢,甚至人力运输也不准既运炸药又携带雷管,这是为了防止运输途中遇到偶然事故,如紧急刹车、翻车或摔跤等强烈冲碰,雷管发生爆炸引起炸药的爆炸;同样也不允许硝化甘油类炸药和其它种类的爆破器材同车运输。

所有的运输工具用来运送爆破器材的时候(包括人力、畜力)都不能满装满载,甚至超过负荷能力,装载时要堆放稳妥,防止行走途中摇晃散落,行走时还应该拉开一定的距离,防止上下坡时滑动互撞,以及一辆车发生意外爆炸时,其他车辆不致殉爆。运输爆破器材必须有熟悉业务的专人作押运员,绝不能让不懂爆破器材性能的非专业人员押运或接触危险的爆破材料,这是一条很重要的规定。

一些特殊性能的爆破材料,还要按照专门的设备和专门的规定运输,例如,硝化甘油类胶质炸药在冬季要有特制的保温箱。

2 爆破器材的储存和保管 关于这个问题,首要的是必须建立一个明确的责任制,由受过专业训练的人员担任储存和保管的负责人,对各类品种的爆破材料建立详细的账目,便于随时检查分清责任。

储存爆破材料的仓库分永久和临时两类,无论那种仓库的设立都要根据国家安全规定的要求去设计和建造。设立仓库的地址必须远离城市和居民点,在库区各种堆放爆破材料的库房都要有一定的距离,避免因某一库房发生爆炸事故,而波及全库区。但离开过远势必占地过多,因此要根据库房的储存量计算防止殉爆的安全距离,并设置防护土堤。

库房之间要有适合各种运输工具通行的道路,每个库房应有防火、灭火设备,窗户要能保持良好的通风条件,但又不能受雨水或潮气的侵袭,永久仓库还应有避雷装置。一般说来,爆破材料的储存仓库,以设在地下洞库为宜,半埋式的仓库也比裸露地面的好。

爆破材料在库房内堆放要力求整齐,留出适当的通道,便于搬运、通风,炸药的堆码不能过高,要以搬运装卸人员易于放上或取下方便为宜,最下一层炸药要与地板隔开适当的距离,防受潮变质。照明电线不准牵入库房,防止走火燃烧。

#### 四、施工作业的安全技术

爆破在施工作业上的安全操作技术要从两个方面来考虑。首先要求在施工作业中, 确保操作人员的人身安全; 其次还要确实保证装入各炮孔或药室中的药包, 按照设计要求准确起爆, 以满足设计的工程效果。

(1) 施工作业时必须特定的工作地点, 避免人员来往杂乱影响工作, 开始工作前应先发出信号, 并将施工区域警戒起来。具体担任操作的人员应是受过专业训练, 并取得“爆破员作业证”的人。较大的工程爆破, 应该发给各种工作人员不同的佩带符号, 例如爆破工、指挥员、警卫员等。没有佩带相应符号的人员, 警卫有权制止其进入工作岗位, 更不允许无关人员行入现场。

制作起爆雷管或起爆体要在远离装药现场的地方, 周围应有特别的警戒。在这个地区内要严禁烟火, 工作人员也不准吸烟或带入发火用具, 也不能穿着带钉的平底鞋, 工作台应是木制的, 切割导火索、导爆索或导爆管等类起爆材料时, 应用锋利小刀, 不能用剪刀或钳子剪断。工作台上最好铺上绒毯, 地面上应有地毯或胶板, 防止雷管偶然掉落地上引起爆炸。制作带有电雷管的起爆体时, 远离电源, 杜绝杂散电流导入雷管发生爆炸事故。

作好的起爆体要专门存放在指定的地点, 并有警卫看守, 每个起爆体上应有简单的标号说明, 如导爆索的长短, 电雷管的电阻数值。药室法大爆破时, 每个起爆体还要根据药室编号注明相应的标号, 以便对号装入药室。

在爆破作业的施工准备工作中, 要特别重视两个问题, 其一是打炮眼时绝不能图省事, 利用上次爆破残留下来的炮眼, 尤其是在地下坑道开挖时, 因为炮眼里面常残留有未完全爆炸的炸药, 如果在这残留的炮眼中继续打钻, 炸药被打响就要发生伤亡事故; 其二是开挖地下坑道或为药室开挖平洞和竖井时, 每次放炮后一定要经过充分通风后, 确认洞内没有毒气时才能进入工作面, 尤其是开挖竖井时, 许多血的教训, 绝不能粗心大意, 掉以轻心。这是因为炸药爆炸后, 分解出来氧化氮、一氧化碳等有毒气体, 一般比空气重, 容易存留在竖井底部, 较难靠空气对流自然排除。实际的事例告诉我们, 放过炮的坑道没有经过通风排烟处理, 过了一两天进去工作的人员有发生死亡事故。

还有处理瞎炮不当, 没有专人负责及时排除瞎炮的险情; 警戒不严, 信号不明确, 安全保卫人员没有负起责任, 让非爆破作业人员闯入危险区, 甚至允许没有经过专业训练的非爆破工作人员参加作业, 或爆破工不按安全规定违章作业, 都是产生爆破事故的重要原因。

冶金工业部的同志对近年发生的爆破事故作了分析统计, 现抄摘如下, 很有参考价值。

炮眼中毒和爆破后过早进入工作面	28.3%
导火索质量不好, 点火方法违章	19.0%
瞎炮处理不当, 打残眼	17.5%
警戒不严、信号不明、安全距离不够	10.0%
电气爆破事故	10.0%
允许非爆破工作业, 爆破违章	9.0%
炸药处理不当	6.2%

(2) 准爆齐爆的作业安全, 对于保证爆破效果和人身安全有重要意义。上面统计数字表明, 必须在操作过程中注意每个工序, 按照安全规程认真作业。

首先要对爆破器材的质量进行检查, 导火索、导爆索和导爆管要求外观一致, 没有粗细不均, 外皮缺损等疵漏; 然后作燃速、起爆和爆速试验, 与出厂说明作对比。其次对雷管质量进行检查, 先看雷管外表是否有锈蚀或其他缺损, 是否有受潮现象, 再作试爆检查, 电雷管则须检查脚线外观, 并对电阻数值逐一用爆破电桥作电阻值测定, 测后的雷管按电阻值分别堆放, 通常按电阻值0.1欧或0.2欧分开, 以便使用时不致将电阻相差过大的雷管混接在一个爆破网络上。

按照爆破安全规定,在一个电爆网络上必须联入同厂、同批和同号的电雷管,每个雷管电阻值相差不超过0.2欧,这一点在串联网路中尤其重要,否则容易产生瞎炮或者达不到同时起爆目的。对于定有时差的延期电雷管,要作记录延期测量的试爆,对电爆网路要计算通过每一电雷管的电流数量,直流电要求准爆电流大于2.5安培,交流电要求大于4安培。复杂的电爆网路或起爆药包数量较多的电爆网路都应事先作网路试爆检查,然后才能实际铺设应用。

爆破网路的设计与施工的正确性,对爆破的当时和爆破以后的安全保证是至关重要的。多次事故表明,由于爆破网路的错误,造成了早爆、迟爆、拒爆等重大事故,导致众多人员的伤亡,有时还会因网路的失误,改变了原设计的爆破顺序,因而改变了飞石方向,增大了飞石距离,造成重大损失。

## 五、安全防护技术

前面讲的是爆破材料和作业准备工作中应注意的安全技术问题,这是问题的一个方面,一次工程爆破在施爆时的安全也具有同等重要的意义,甚至在经济和政治方面表现了更为突出的重要性。因为工程爆破经过长期的准备之后,它的成功与否就决定于爆破的一瞬间,在这样重要的时刻里,如果对某些情况考虑不周,造成的影响和损失往往是无法补救的,所以要谈安全防护技术知识。

防护技术可以分作两个方面,防和护作为主动和被动两个不同的面去理解,就比较能够清楚地说明这个问题。

1.“防”是主动的或说是主要的,防止工程爆破发生安全事故,甚至杜绝一切产生事故的苗子,作为爆破工作者必须认识,并采取积极认真的态度去正确对待。

(1)充分作好准备工作,要从组织分工,明确责任,严格检查入手,大胆细心,并且采取冷静的态度去分析和处理随时出现的问题,直到确信有条件进行爆破时,才能发出起爆信号。万一出现瞎炮或其他原因的伤亡事故,应立即将现场警戒保护起来,有秩序地组织消除险情和抢救伤员的工作,避免因混乱而造成更大的损失。

(2)控制一次起爆的药包装药的总数量是保证安全,主动防止破坏范围或破坏程度的重要途径。这是因为爆破时威胁周围环境的因素主要有地震波、空气冲击波和个别飞石。除了施工影响之外,这些都和爆破的药量有关。工程爆破计算地震安全的经验公式为

$$R_c = K_c \cdot a \sqrt[3]{Q}$$

式中:  $Q$  为一次起爆的总药量(公斤);  $R_c$  为安全距离(米);  $a$  为与爆破作用指数  $n$  有关的系数;  $K_c$  为与地质条件有关的常数。在一定距离内保证地震安全的限制药量,可按上式反求而得。这与常用于判断爆破点周围建筑物安全程度的经验公式是一致的:

$$V = K(Q^{1/3}/R)^{\alpha}$$

式中:  $Q$  为一次起爆的总药量(公斤);  $R$  为建筑物至爆破中心的距离(米);  $K$  为与建筑物所在地基的地质条件有关的常数;  $\alpha$  为地震波衰减指数;  $V$  一建筑物地基的质点振动速度(厘米/秒)。质点振动速度在工程上用判定建筑物受震后的破坏程度,例如通常认为  $V = 5$  厘米/秒是安全的,而  $V = 12$  厘米/秒时,一般房屋墙壁就会开裂或抹灰掉落。

和地震波一样,计算空气冲击波的安全公式是:

$$R_b = K_b \sqrt{Q}$$

式中:  $R_b$  为空气冲击波安全距离(米);  $K_b$  为判断建筑物破坏程度的系数;  $Q$  为一次起爆的总药量(公斤)。

空气冲击波在传播时,遇到房屋、树木和山坡等障碍物,就会发生反射,折射等情况,这是一个十分复杂的过程,理论计算很难得出准确的结果。现在通行的判断某些物体和人员在空气冲击波作用下的安全程度,一般都用超压值作判据,并用下列公式计算一定距离上物体所将承受的超压数值,即

$$\Delta P = K \left( \frac{d}{Q^{1/3}} \right)^{-a}$$

式中:  $a$  为衰减指数;  $\Delta P$  为超压值 (公斤/厘米<sup>2</sup>);  $d$  为爆炸中心至物体的距离 (米);  $K$  为建筑物的破坏标准系数;  $Q$  为一次起爆的总药量 (公斤)。美国以英制的具体公式为:

$$P = 82 \left( \frac{d}{Q^{1/3}} \right)^{-1.2}$$

然而人员在超压值  $\Delta P = 0.5 \sim 1.0$  公斤/厘米<sup>2</sup> 时,就会多数发生死亡现象,对人的安全极限制值为  $0.1$  公斤/厘米<sup>2</sup>。

(3) 注意施工质量是防止事故,保证安全的又一个重要环节。首先要注意药包位置的准确,无论是钻孔或者坑道药室,施工完成后都应当重新测量它的实验位置,据此核实每个药包的最小抵抗线,修改装药量,否则最小抵抗线发生变化,就可能改变爆破时岩石碎块的抛掷方向,增加个别飞石的距离和空气冲击波的强度;其次要注意炮孔或药室坑道的堵塞质量,因为爆炸气体很容易从这个薄弱点冲出,带来高速气流和大量个别飞石;此外还要注意岩层有无软弱夹层和大的贯通裂缝,这也是出现不均匀气流,产生较大超压的重要原因。

2.“护”作为被动的保证爆破安全手段,同样是安全技术的重要环节,因为有的工程根据设计需要,不可能以限制一次爆破的药量来保证危险区内某些重要建筑物,工程设施或仪器设备的安全,这时就要采取“护”的手段。

护的方法一般须根据被保护对象的具体情况来定,可分为以下几种:

(1) 设立掩蔽体对物体加以保护,掩蔽的方法多种多样,最简单的办法是用草袋、荆笆一类材料覆盖在需要保护的物体上面,但这是一种能力有限的方法,可以经受个别飞石的打击或轻微空气冲击波的冲击,而且是体积小的物体。对房屋和机器设备常要在迎面和顶部树立排架用木板或荆笆上罩铁丝网,才能抵御较多的飞石和较强的空气冲击波的打击,对某些古建筑则在采取保护措施的同时,还要通过力学分析,将结构中的薄弱环节给以加固处理,以抵抗地震波的损害。

(2) 对某些重要工程的建筑物打防震孔或者用预裂爆破将爆破区和被保护的建筑物或工程设施隔离开来,这时爆破的地震波强度能被有效地削弱。在水下爆破时采用气泡帷幕装置,能将水下冲击波的峰值压力削减 90% 以上,气泡帷幕装置是在水底埋设钻有许多小孔的钢管,从陆上向管内不断送入压缩空气,无数微小的气泡在水中翻滚,吸收水下冲击波的能量。

总之,爆破作业带来一定的危险性,违反客观规律和安全规定,爆破事故就可能发生,但是爆破工作者必须认识到事故不是不可避免的。只要认真执行爆破作业的安全规定,严密地组织工作和做好防护措施,任何规模、任何种类的爆破是可以确保安全的。爆破工作者还应该认识到,一些安全规定的条文是有理论根据的,有的条文甚至是血的教训的总结,所以一定要克服麻痹思想,严格执行安全规定,决不能以没出过事故,而轻率地“突破”规定的“框框”。

## SAFETY TECHNOLOGY FOR BLASTING

Feng Shuyu