

高等学校教材

特殊爆破

武汉水利电力大学 董振华 编



前 言

在《施工技术》课程中，对工程爆破的基本理论、爆破材料的种类和特性、常用的爆破方法以及爆破安全等问题，进行了概要的介绍，但特殊条件下的爆破技术则较少涉及。为了对水利水电建设中特殊条件下的爆破技术问题有一个较深入的了解和掌握，近年来有的学校对水工建筑专业和水利水电施工专业的本科生开设了《特殊爆破》课程。

《特殊爆破》是一门理论与实践紧密结合的专业课，它是在总结国内外爆破实践经验的基础上，从基本原理、参数设计、药量计算、炮孔布置、施工技术和安全防护等方面，研究特殊条件下进行爆破施工组织设计规律的一门学科。特殊条件下的爆破技术内容很多，由于学时的限制，本教材中只讲述了水下爆破、预裂爆破和光面爆破、建筑物拆除爆破等三方面的内容。

本教材由武汉水利电力大学董振华编写，武汉水利电力大学周祖仁参加了本书部分章节的编写工作，在此表示感谢。

全书由成都科学技术大学王民寿教授审阅。

由于水平的限制，书中难免存在缺点和错误，在使用本教材过程中，希望给予指正。

编 者

1993年3月

目 录

前 言

第一章 水下爆破.....	1
第一节 概述	1
第二节 水下裸露爆破	6
第三节 水下钻孔爆破	13
第四节 水下岩塞爆破	21
第五节 爆炸排淤填石处理水下淤泥软基	37
第二章 预裂爆破和光面爆破	44
第一节 概述	44
第二节 预裂爆破和光面爆破的基本原理	44
第三节 主要爆破参数的确定	48
第四节 药包结构	54
第五节 质量控制标准及实施中的几个问题	56
第三章 建筑物拆除爆破	59
第一节 拆除爆破的基本概念与设计原理	59
第二节 爆破计算参数与炮孔布置	62
第三节 拆除爆破药量的计算	66
第四节 大型块体的爆破切割和解体	71
第五节 高层建筑物的爆破拆除	75
第六节 高耸建筑物的爆破拆除	83
第七节 水压拆除爆破	89
第八节 拆除爆破施工的几个问题	94

第一章 水下爆破

第一节 概 述

一、水下爆破技术的发展过程

水下爆破是指被爆介质处于水位以下或药包被水所包围，水对爆破有着很大影响的一种爆破，它是工程爆破中的一个重要分支。

水下爆破常用于航道疏浚、海港开发、河口港口整治、沉船解体、交通和水电工程建设、科学研究试验等方面。

大规模进行水下爆破工程，在国外也只是本世纪50年代后期才开始的。近些年来，日本为了建设本洲至四国的连接桥梁工程以及清除海峡礁石以利通航，对水下爆破技术进行了深入的研究；1975年日本还从500m距离外用超声波引爆了总装药量1250kg的76孔遥控齐发爆破，这是水下爆破引爆方式的最新技术。

欧美海洋工程开发速度很快，其中水下爆破技术起了很大作用。瑞典是爆破技术发展较快的国家，60年代初期，尼楚诺贝尔公司在开挖林德运河时，曾发明一种水下钻孔及装药引爆的简易方法（称为林德方法），随后有些国家在水下爆破工程中也采用了这种方法。瑞典的硝基研究社是专门研究爆破技术的组织，目前他们在水下爆破中使用的药量日有所增，水下爆破技术也不断有所改进。

我国解放后，水下爆破技术也在许多建设部门和科研单位被广泛采用和研究。广东省在整治黄浦港工程中，用水下爆破技术炸除大面积礁石共50多万 m^3 ；长江川江部分的航道整治中，主要工程之一就是用水下爆破炸礁，长江航道局在这方面积累了丰富的经验；新丰江水电站在泄洪隧洞施工中，在水深30m以下进行了水下爆破开挖，并在修建围堰过程中用爆破方法对水底大孤石进行改小；中国科学院地球物理研究所、长江航道局和西藏地区有关单位，在西藏高原海拔4500~5100m、水深20~50m的天然湖泊中，进行了深水水底爆破科研试验，以便造成人工地震，从而为研究西藏高原地壳结构、探索地壳发展史提供条件。70年代以后，我国成功地进行了多次规模较大的水下岩塞爆破工程；1986年葛洲坝水电站大江上游围堰混凝土防渗墙在环境十分复杂、爆破技术要求很高的情况下，成功地进行了水下爆破拆除。长江水利委员会和葛洲坝工程局在实施这项工程时，采用了双复式交叉并串联塑料导爆管起爆网路，分324段起爆，每段药量不超过300kg，保证了爆破效果与安全。这项起爆技术是我国爆破史上的首例，达到了国际先进水平。

随着国民经济建设的发展，大规模的海港、航道、铁路、水利水电、矿山、公路等水下爆破工程项目日益增多，水下爆破施工技术积累了许多经验，在理论研究方面也得出了一些可喜的成果。

二、水下爆破的特点

1. 水的物理特性对爆破的影响

水是水下爆破作用直接接触的介质，与空气相比，水的压缩性很小，在一般压力下

水几乎是不可压缩的,即使在压力为 1000 个大气压时,其密度的变化也只有 5 % 左右。由于这种特性,爆炸气体产物在水中的膨胀速度比其在空气中的膨胀速度要慢得多,因而水下爆破对周围介质的破坏作用与陆地爆破相比就有很大区别。比如,在深水进行爆破时,由药包爆炸产生的水中冲击波的传播规律和压力衰减规律就与空气冲击波迥然不同,水中冲击波的作用范围要比空气冲击波的作用范围大得多,往往会造成水生生物的死亡,使水上船舶、水中建筑物和岸上建筑物遭到破坏。为了降低冲击波压力峰值,应避免一次起爆大量炸药,或对应保护的对象采取防护措施。

2. 水下爆破施工的特殊性

由于受水的干扰和影响,水下爆破在施工工艺上与陆地爆破相比存在着许多难点:

①水下爆破时,由于水流和浪潮的影响,加上水下能见度又很低,炮孔定位极为困难。如果钻孔位置出现了较大偏差,不仅会影响到爆破效果,有时还会导致安全事故。因此,在钻孔过程中必须随时检查和校正孔位,特别是在通航航道中施工时,既要保证施工机具安装架设的安全可靠,又要保证移动撤退时的轻便灵活,更增加了钻孔作业的复杂性。

②国内外很多水下爆破经验表明,由于潜水员在水下操作上的困难,或者由于水浪冲击等原因,电雷管导线折断的比例约占全部雷管数的 5 % ~ 10 %,而处理这些断线电雷管显然要比在陆地上困难得多,特别是在大面积水下爆破时,这种困难就更为突出。例如,当爆破点有 200 个炮孔时,把每根导线拉出水面,对潜水员来讲已是很困难的事情,如果还要处理它们中间的故障,则其困难就更为大。

③炸药的爆炸威力随水深的增加而降低,水层的覆盖作用也远比空气为大,从而增加了对药包爆破作用的阻力,致使爆破质量较差。水下爆破后清渣的方式通常是:或利用定向爆破以抛掷,或利用水流冲走,或采用其它机具清除。总之都是要把开挖出来的石渣在水里迁离原地,因而对石渣块度尺寸的要求就比陆地爆破更加严格,而上述的各种水下爆破的不利因素,都会使石渣尺寸变得不均匀,造成了清渣的困难。为了提高水下爆破的效果,对炮孔布置和爆破参数的选择应与陆地爆破有所不同,特别是在航道咽喉地带进行水下爆破时,控制岩块的均匀性和堆积范围,以便顺利清渣而不致堵塞航道,则爆破参数的选择就显得更为重要了。

④对爆破器材的特殊要求。

a) 药包的密度应较大,否则放置在水中的药包便会产生浮动和飘移,不易固定到要求爆破的位置上,从而达不到爆破的目的。一般在水下爆破中多使用密度大的工业炸药。表 1-1 所示为常用工业炸药的密度。

b) 水下爆破所用炸药必须吸水性小,否则在水中浸泡后会使其成份溶解,或发生化学变化,降低爆炸威力,甚至拒爆。因此,水下爆破必须采用抗水炸药,或将普通炸药采取防水措施。

不同性质的抗水炸药,随着在水下放置时间的长短,其爆炸能力将会发生变化。例如,40 % 耐冻硝化甘油炸药,在水中放置 5 天后,其殉爆距离将等于零;而 93 % 硝化甘油含量的炸药,在水中放置一年以上,其爆炸能力并不降低。但为了安全,水下爆破作业中不宜采用长时间浸水而不降低爆炸能力的炸药,而应采用硝化甘油含量为 35 % ~ 60 % 的炸药。

表 1-1

常用工业炸药的密度

炸药名称	密度(g/cm ³)	备 注
硝酸酯类炸药		
1. 硝化甘油	1.59~1.74	浅黄色油状液体或固体, 色泽取决于甘油的颜色
2. 二硝基醇	1.40~1.52	透明液体, 比水粘
3. 泰安	1.77	白色结晶体
4. 压缩胶棉	1.60~1.65	白色纤维物质, 溶于硝化甘油中
硝基化合物炸药		
5. 三硝基甲苯(TNT)	1.47~1.59	淡黄色小结晶粉末, 受阳光作用后变为红褐色
6. 二硝基甲苯	1.41~1.59	淡黄色结晶体
7. 三硝基苯	1.69	淡黄色斜方形体及黄色结晶体
8. 苦味酸铵	1.72	黄色或红色斜方结晶体
代拿买特炸药		
9. 60%耐冻硝化甘油	1.45	灰色粉状物质
10. 40%耐冻硝化甘油	1.35	灰色半胶状物质
11. 26%耐冻硝化甘油	1.30	浅灰色半胶状物质
硝铵类炸药		
12. 铵油	0.80~1.05	
13. 2*岩石炸药	0.90~1.03	
14. 防水硝铵	0.85~1.00	

c) 炸药的耐水压能力是影响爆破效果的重要因素。根据图1-1所示的爆速与压力关系曲线和猛度与压力关系曲线可看出, 抗水炸药的爆速和猛度是随压力的增加而降低的, 当水深为10m时(1个大气压), 爆速降低11%, 猛度平均减少10%, 这对爆破虽有影响, 但仍可使用; 当水深增加到30m(3个大气压)时, 爆速则平均降低26%, 猛度平均减少33%, 这时爆破质量就会很差, 甚至会出现爆炸中断、残留炸药的可能。因此, 当在深水中进行爆破时, 必须采用特殊的抗水压炸药, 或采用特殊的抗水压措施。

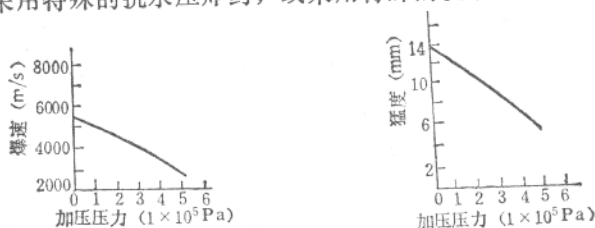


图 1-1 炸药爆速、猛度与加压力关系曲线

d) 水下爆破时, 水既能降低炸药的殉爆灵敏度, 同时, 水中爆炸形成的强大冲击波又能使附近的药包受到殉爆作用而爆炸。因此, 要对药包采取妥善措施, 防止因殉爆而打乱设计的起爆顺序。

e) 目前我国特制的抗水炸药和水下电雷管的品种还不多, 具有抗水性能硝化甘油炸药, 价格较高, 还不能普遍采用。因此, 研究炸药防水技术有着重要意义。在药包或药卷表面浇涂沥青、石蜡和松香的混合防水剂, 是常用的较简单的防水方法, 但这种方法只能在静水和浅水中且置放时间较短的条件下才是有效的。药包和药卷用塑料袋严密封装,

也是一种简易的防水方法,但水深超过2~3m,浸泡时间较长时,也会被水浸入而失去效用。水深超过2~3m的动水位条件下的药包,应采用白铁皮外壳密封包装,采用这种措施时,应严格按照规定的加工工艺操作,既保证药包质量,又要保证加工操作安全。

水下爆破用的电雷管应采用专门制造的防水抗压品种。采用陆地爆破用的普通电雷管时,若未进行防水处理,则其在水中超过3h后便会产生拒爆;如采用了防水措施,则在浅水中浸泡24~50h,仍能达到引爆的目的。通常,电雷管的防水方法是,当电雷管用于浅水和静水中爆破时,可将雷管脚线的引出部分用环氧树脂等防水绝缘材料浇注密封,或用橡皮套、塑料套等将雷管套住密封,在深水 and 动水压力下爆破时,则应将电雷管和起爆炸药一起装入特制的起爆筒中。

三、水下爆破的类型

1. 按作用性质分类

水下爆破按其作用性质可分为水中爆破、水下裸露爆破和水下土岩层中爆破等三种。

(1) 水中爆破 是将药包悬挂在距水底一定高度处的水中进行的爆破,其特点是利用药包爆炸所产生的强大冲击波及气体膨胀压力,来达到不同的爆破目的。例如,用这种爆破方法把水底泥沙层中的水份强行挤出,增加其密实度以达到压实地基的目的,或使泥沙层压密到所需的深度,以增加水深等;也可用这种爆破方法搅动泥沙使其被水冲走,以达到清淤的目的;用这种方法还可以进行瞎炮处理和对水中某些建筑物达到拆除的目的。此外,由于军事上和科研工作的需要,也需采用水中爆破。

总之,由于水中爆破所产生的水中冲击波比空气冲击波大得多,传播距离也远得多,因此,水中爆破就是利用这种强大的波动力量来达到各种爆破目的。

(2) 水下裸露爆破 这是一种很久以来常用的水下爆破方法,施工设备简单,可由潜水员或用其他方法将药包安放水下爆破对象表面上(如礁石、沉船体等)进行爆破。这种方法爆破效果较差,消耗的炸药量大,往往需进行多次重复爆破,才能达到预期的目的。

(3) 水下土岩层中爆破 这种类型的爆破方法是通过在水下土岩层中钻孔、挖洞室、扩药壶等形成装药空间,而后装药来进行爆破的,它已成为现代水下爆破的主要方法,其中水下钻孔爆破法目前应用很广,将在本章第三节中详细讨论。洞室爆破和药壶爆破则简述如下:

1) 水下洞室爆破。这种爆破的施工方法和陆地洞室爆破基本相同,主要是利用两岸有利地形从陆上开挖通到水位以下的导洞药室而进行水下爆破。

2) 水下药壶爆破。在炸除水下较大孤石、礁石或水底基岩时,有时用到这种爆破方法。这种爆破方法的作用是变延长药包为集中药包,从而加大炮孔的装药量,提高爆破效果。扩孔成壶的方法是:当水深大于1.0m时,扩孔时用钢管将炮孔以上的水层与周围大片水层隔开,使石渣从孔管中抛出;当水深小于1.0m时,扩孔成壶方法则与陆地药壶爆破法相同。根据川江航道局的经验,扩壶时药量先从0.125kg开始,以后逐渐增加,但每次增加的药量不得超过前次药量的一倍,且一次扩孔最大用药量应在1.0kg以下。

2. 按工程性质分类

水下爆破按工程性质可分为水下扬弃爆破、水下松动爆破和水下振动爆破三种。

(1) 水下扬弃爆破 与陆地扬弃爆破相似,是利用大量炸药爆炸的能量,将岩石炸

碎，其中一部分石渣被抛掷到堑沟以外，另一部分石渣被水冲走。因此，爆破后无须使用机具清渣，就可获得设计需要的堑沟。这种方法是一种有效的水下爆破方法，但要花费大量炸药，同时还需要较大的水流流速，才能将石渣冲走。

(2) 水下松动爆破 这种爆破是通过钻孔中的药包或水下裸露爆破将岩石破碎，然后用挖泥船等机具将石渣清走，从而达到设计需要的基坑或航道。这种爆破方法在技术上和经济上往往会达到合理的结果，但它要求具备较高度度的机械化，没有大型钻机组成的钻孔工作船和高效率的清渣设备，是难以取得满意效果的。

(3) 水下振动爆破 在军事、科研、探矿等方面往往用到水下振动爆破，有时也用这种爆破方法清淤和压淤。

3. 按工程目的分类

水下爆破按工程目的可分为航道疏浚爆破、水工建筑物基坑开挖爆破和岩塞爆破等类型。

(1) 航道疏浚爆破 这方面包括内河航道、港湾航道、改移航道、开挖运河，以及水底或海底开挖基槽等工程。这类爆破的目的，是要求用爆破方法形成一定宽度和深度的沟槽，便于水流畅通、船只航行和管道敷设。在浅水中爆破开挖沟槽时，如条件许可，一般多用裸露爆破；在深水中挖槽时，只有采用钻孔爆破才能获得较好效果。

(2) 水工建筑物基坑开挖爆破 这类爆破包括码头、船墩基础、堤坝基坑、桥梁墩台基础以及海洋开发中某些建筑物基坑的开挖。随着工程设计要求的不同，可以采用水下裸露爆破、水下钻孔爆破以及水下洞室爆破等方法。

(3) 岩塞爆破 这是水下爆破工程中的一个重要分支，是一种特殊爆破技术，将在本章第四节中作专门介绍。

4. 按起爆方法分类

水下爆破还可按照起爆方法分为有线起爆、无线起爆和殉爆药包起爆。

(1) 有线起爆 利用导线将药包内的电雷管联结成电爆网络，或用导爆索、导爆管等器材联结成一定的网络，起爆电源可设置在陆上，也可安置在船上。

(2) 无线起爆 这种方法是利用声波或电波控制起爆，在陆上或船上装有发射装置，起爆药包上装有接收装置。这种起爆方法费用较高，但它克服了在深水作业时有线起爆法操作上的许多困难，因而是很有发展前途的一种水下爆破起爆方法。

图1-2是利用声波发射器引爆药包的示意图。

超声波发射器安放在船舶上，并向水下发送密码。起爆素子有A、B两种型号，分别与各炮孔中的起爆雷管相联接，起爆素子的受波器从炮孔中引出至孔外0.2m左右。声波通过水介质传递到A素子时，受波器接到声波发射器传来的指令信号便打开其中的线路开关，使雷管爆炸。

A素子中设有调频、鉴频和滤波等装置，它只能接受声波发射器送来的密码信号，而

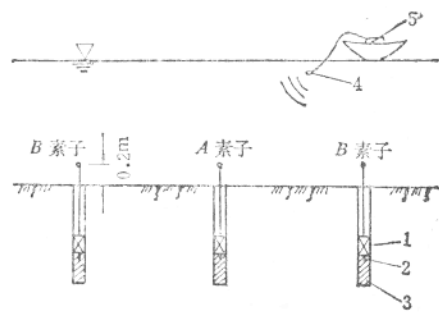


图 1-2 声波发射器起爆装置示意图
1—起爆素子；2—电雷管；3—药包；4—送波器；5—声波发射器

排除其它脉冲信号的干扰。一次大面积爆破只用一个A素子。B素子只有在装有A素子的炮孔起爆且产生的水中冲击波压力超过 $9.81 \times 10^4 \text{Pa}$ 时才开始工作，并引爆炮孔中的雷管。

(3) 殉爆药包起爆 这种方法是用一个初始起爆药包爆炸后产生的冲击波作用，使邻近的殉爆敏感度高的其它药包受冲击而爆炸的一种起爆方法。这种方法安全可靠较差，一般很少使用。

第二节 水下裸露爆破

水下裸露爆破是把药包放置在水底被爆介质表面而使其表层破碎的一种爆破方法。这种方法与陆上裸露爆破的作用和操作过程基本上是相同的，其破坏也可分为压缩抛掷、松动破坏和振动三种作用，如图1-3所示。

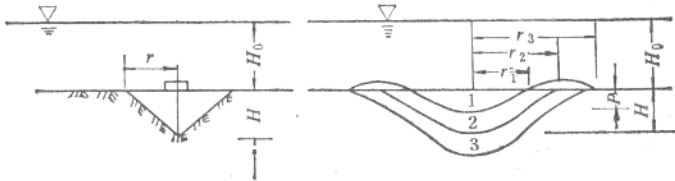


图 1-3 水下裸露爆破作用图

图1-3中各符号的意义是：

H_0 ——水底介质自由面以上的水深；

H ——水底介质的爆破漏斗深度；

P ——爆破漏斗可见深度；

1——压缩抛掷圈；

2——松动破坏圈；

3——振动圈；

r ——压缩抛掷圈半径；

r_1 ——松动破坏圈半径；

r_3 ——振动圈半径。

由于水的密度比空气约大1000倍，因此，在爆破时爆破碎块受到水的阻力而使抛掷范围减小，同时，大部分碎块又回落到爆破漏斗内及其周围，使得可见漏斗深度也比陆上爆破为小。

使用裸露爆破法进行水下爆破时，当水深为1~2m时，一次爆破能达到的破碎深度一般约为10~25cm。因此，其爆破效果较差，且炸药消耗量较大。但由于这种方法施工比较简单，不需要机械设备，因此在爆破工点分散、工程量小，且施工条件允许时，也仍是一种值得考虑的方法。

一、水下裸露爆破的药量计算

对于水下裸露爆破来讲，一方面水层是很好的堵塞材料，有助于岩石的破碎，另一方面，水层又不利于岩石的移动，加上影响水下裸露爆破效果的因素很多，因此，目前还没有准确的统一的药量计算公式。常用的初步计算的公式有以下几种：

1. 松动爆破的药量计算

$$Q = K_1 W^3 \quad (1-1)$$

式中 Q ——炸药量 (kg);

K_1 ——水下裸露爆破单位耗药量 (kg/m³), 其值见表1-2;

W ——预计炸碎深度 (m)。

表 1-2 水下爆破单位耗药量 K 值表 (kg/m³)

土石类别	裸露爆破 K_1	钻孔爆破 K_2
含砾石的土	3.5	0.7
坚硬粘土	9.8	1.4
松软有裂隙岩石	13.5	1.53
中等坚硬岩石	27.0	1.86
坚硬岩石	40.0	2.20

用公式 (1-1) 时需注意: 当水深不足 $2W$ 时, 药量需增加 15%~25%, 水深较大时取小值, 水深较小时取大值; 当爆破多面临空的孤礁时, 药量可酌减 10%~15%。

2. 加强抛掷爆破药量计算

$$Q = (K_1 W^3 + K_0 h_2^n) \times (0.4 + 0.6n^3) \quad (1-2)$$

式中 Q 、 W 、 K_1 的意义同式 (1-1);

h_2 ——被爆介质表面处的水深 (m);

K_0 ——排开单位体积水所消耗的药量 (kg/m³), 一般取 $K_0 = 0.2 \text{ kg/m}^3$;

n ——爆破作用指数。

3. 标准抛掷爆破药量计算

$$Q = K_1 W^3 + K_0 h_2^n \quad (1-3)$$

式中符号意义同公式 (1-2)。

4. 按体积公式计算炸药量

$$Q = qV \quad (1-4)$$

式中 V ——欲炸碎介质的体积 (m³);

q ——由工程实践经验所得的实际单位用药量值 (kg/m³), 表1-3为水下裸露药包松动爆破时的 q 参考值。

以上各公式及表中的炸药, 均指2*岩石铵梯炸药而言, 若采用其他炸药时, 则应按规定方法进行换算。

二、水下裸露爆破的药包布置

水下裸露爆破药包布置的各项参数值, 目前尚无确切的计算方法, 设计时大都参考类似工程的经验公式。由于经验公式之间, 在系数的取用上差别较大, 所以在选用时, 必须根据具体情况慎重选用。

药包布置中, 决定性的参数是药包炸碎深度 W , 其他参数如药量、排距、孔距等, 都是随 W 值而定的。

表 1-3

水下裸露药包松动爆破 q 值

岩石等级	地形条件	水流条件	$q(\text{kg/m}^3)$
9级岩石	爆区面积小于 20m^2 , 周围有深潭	水流平顺,流速在 2m/s 左右, 水深约 2m	$1.5\sim 2.0$
9级以下或风化较严重的岩石	爆区面积小于 200m^2 , 周围有深潭	流速为 $2\sim 3\text{m/s}$,水深为 $2\sim 3\text{m}$,水流平顺	$3\sim 4$
中硬岩石 (9级左右)	爆区面积在 200m^2 左右, 其长度或宽度不超过 30m , 一侧或下游有深潭	流速为 $2\sim 4\text{m/s}$,水深在 $2\sim 4\text{m}$ 之间,水流较平顺	$5\sim 6$
硬度较高岩石 (10级以上)	爆区面积或两边长度 较大,深潭较远,河床 较平坦	流速小于 2m/s ,水深小于 1.5m ,但水流紊乱;或流速 小于 4m/s ,水深大于 4m	$6\sim 9$

1. 炸碎深度 W

预计的炸碎岩石的深度 W 值是一个重要的参数, W 值取得过大,则会在爆后残留根底,并使大块石渣增多, W 值过小,炸药消耗量增多,爆破成本增大。因此, W 值的选取应力求合理。经验证明,在水深 $1\sim 2\text{m}$ 时,一次爆破可达到 $10\sim 25\text{cm}$ 良好的破碎深度。

2. 药包间距及排距

计算水下裸露爆破药包间距的公式很多。重庆建筑工程学院的研究成果表明,水下裸露爆破所形成的爆破漏斗的最小开口半径只比所形成的压缩圈半径稍大一些,因此,为了避免药包间爆后留有残埂,药包间距应取为压缩圈半径的 $1.2\sim 1.4$ 倍,即

$$a = (1.2\sim 1.4) r \quad (1-5)$$

式中 a ——水下裸露药包间距 (m);

r ——水下裸露药包爆后所形成的压缩圈半径 (m),根据重庆建筑工程学院的资料, r 按式 (1-6) 计算,即

$$r = 0.36 K_p \sqrt{Q} \quad (1-6)$$

式中 K_p ——系数,对卵石 $K_p=0.9$,对于中硬岩石 $K_p=0.85$,对坚硬岩石 $K_p=0.80$;

Q ——炸药量 (kg)。

水下裸露爆破药包的排距 b 为:

$$b = (3.0\sim 3.5) W \quad (1-7)$$

在布置药包时应注意以下问题:

①充分利用水底地形条件,尽量将药包布置在凹陷处;

②在水急流乱时,药包应布置在礁石上游迎水面或侧面,以便使药包承受一定动水压力而与礁石紧密接触;

③充分利用水底的地质条件,将药包布置在断裂岩层或破碎带的缝隙中,图1-4即为利用地质条件的情况;

④在水下大面积平整礁石上一次投放大规模的群药包时,应将药包按图1-5所示布置成方格式、梅花式或错开三角形形式。在起爆顺序上应结合工程要求周密筹划,或分期分段起爆,或一次起爆;

⑤凸出的礁峰或大孤石,固定药包困难时,可用平衡物体来固定药包,或者利用绳将两个药包联结好,使其重量平衡而得到固定,如图1-6所示;

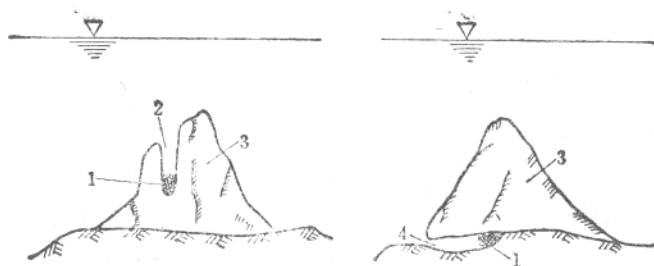


图 1-4 利用地质条件布置药包示意图
1—药包；2—破碎带；3—礁石；4—断裂岩层

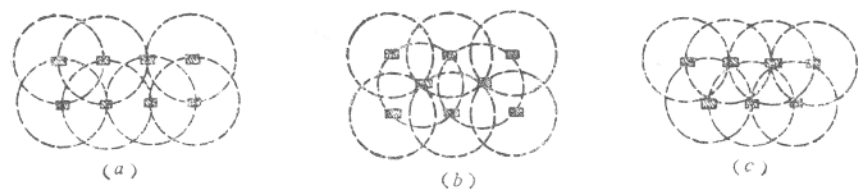


图 1-5 群药包布置方式
(a) 方格式；(b) 梅花式；(c) 错开三角形形式

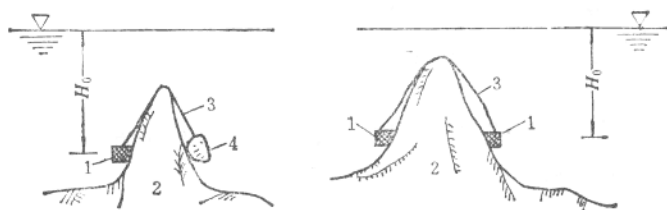


图 1-6 药包固定方法示意图
1—药包；2—礁石；3—绳索；4—平衡物体

⑥在水下对孤石进行爆破时，应视孤石形状不同，将药包布置在孤石顶面、侧面或底下，如图1-7所示。

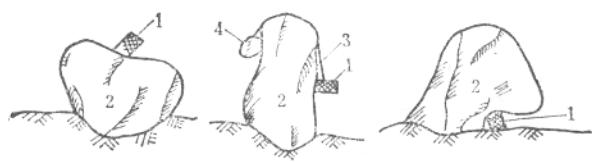


图 1-7 孤石（或大块石二次爆破）爆破药包布置图
1—药包；2—孤石或大块石；3—绳索；4—平衡物

三、药包形状及其加工

1. 药包形状

水下裸露爆破的特点是爆破能量在药包与介质的接触面上瞬间对介质作功，因此，要获得较好的爆破效果，必须设法增大药包与介质的接触面积，为此，药包的形状一般采用

扁平状。

2. 药包加工

(1) 胶质炸药 一般只需用水泥包装纸袋把药卷包裹成规定的形状，再在外部裹以竹篾折并用小绳捆扎即可。

(2) 硝铵类炸药 必须进行防水处理，通常用下述方法：

1) 塑料薄膜袋防水。用薄膜塑料制成一定规格的袋子，装入定量炸药，并插入雷管，将袋口折叠后，用细绳扎紧即可。此法操作简便，速度快，在航道水下裸露爆破中获得了广泛应用。

2) 涂刷沥青防水。用牛皮纸（或水泥袋纸）制成能容纳规定数量炸药的纸盒，外面涂以沥青，然后将粉状炸药装入其中，插入雷管，再在封口处刷上沥青。

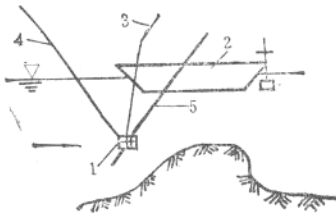


图 1-8 叉插药包法示意图

1—药包；2—工作船；3—提绳；4—吊绳与电缆；
5—竹竿

四、水下裸露爆破的药包投放方法

根据施工地点不同的情况，药包投放方法有以下几种：

1. 叉插药包法

这种方法是将爆破工作船驶至爆区水面上，按导标所示的范围，测量预计投放药包的位置，然后用竹竿叉插药包的提绳，逆流送至礁石面上，如图1-8所示。这种投放方法

适用于水域平均流速为 $1.3\sim 3.0\text{m/s}$ 的险滩爆破。

2. 滑杆法

这种方法是将工作船驶至药包附近水面上，将钢钎或竹杆的一端伸入水中，并固定在药包位置的迎水面上，然后从船上将药包沿杆下滑至药包位置上，如图1-9所示。这种方法适用于水域平均流速为 2.5m/s 的浚深爆破。

3. 水力冲贴法

这种方法是将工作船驶至爆破地点上游水域后，用提绳系好药包，控制下放深度，看准方向，对准流向，随船划动下放药包，利用水力将药包冲贴至投放位置，如图1-10所示。这种方法适用于水域平均流速 3m/s 左右、水流急乱，无法采用上述两种投放药包方法的情况。

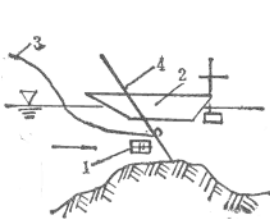


图 1-9 滑杆法投放药包示意图

1—药包；2—工作船；3—提绳与电缆；4—竹竿

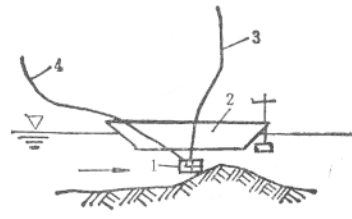


图 1-10 水力冲贴法投放药包示意图

1—药包；2—工作船；3—提绳；4—吊绳与电缆

4. 潜水员安放药包法

潜水员安放药包法适用于水域平均流速小于 1.5m/s 且无漩涡的情况，由潜水员在水下按照预计的药包位置，将药包安放于礁石上。

5. 斜坡平台滑动药包法

当一次投放大量药包时,可采用斜坡平台滑动药包法。这种方法是在工作船上设置斜坡平台,将网状框架放置其上,框架上按设计位置逐一捆扎好药包后,由拖轮将工作船顶推至爆破水域,接好导线,工作船后退,而将框架推滑下水,沉放于爆破位置。

五、水下裸露爆破的施工安全问题

水下裸露爆破,由于药包是裸露的,故其安全工作应引起特别重视。

1. 爆破警戒

考虑爆破警戒时,应区别以下不同情况:

①当爆区位于江中,爆破对两岸陆上影响较小时,主要应考虑爆破对过往船只和水下作业的影响;

②当爆区航道很宽,对通航并不产生干扰时,可采用不停航施工,否则,应在施工期内,禁止一切船筏通过。在不停航施工时,应在爆区上下游危险半径外的适当地点,设置信号杆,悬挂工地规定的信号,以保证航行安全;

③当停航施工时,应在危险区外的适当地点设立指挥站,并派机艇或专人拦阻来往船只;

④爆破若对陆上有影响时,必须在危险区边界设立警戒牌并布置警戒人员,随时拦阻来往行人等。

2. 安全距离的确定

(1) 地震波安全距离 地震波安全距离可根据被保护对象的特点和破坏标准进行计算和校核,也可按工地实测的爆破震动衰减规律公式,通过一次起爆最大安全药量来加以控制。

(2) 爆破飞石安全距离 飞石安全距离主要是针对现场施工人员及施工船舶的安全程度而定,根据川江施工经验,可参考表1-4所列数据进行确定。

表 1-4 水下裸露爆破飞石安全距离

爆破地点水深(m)	对施工船舶及人员的安全距离(m)
<1.0	200~400
1.0~2.0	120~200
2.0~3.0	70~120
>3.0	不小于70

(3) 冲击波安全距离 根据1987年国家颁布的《爆破安全规程》,水下裸露爆破的冲击波安全距离应遵守以下各项规定:

①当覆盖水层小于3倍药包半径时,对水面以上人员或其他保护对象的空气冲击波安全距离计算原则与陆地爆破相同,即用公式

$$R_K = 25\sqrt[3]{Q}$$

②在水深不大于30m的水域内进行水下裸露爆破时,水中冲击波的最小安全距离应遵守下列规定:

a) 对人员按下表确定安全距离

人员状况	最小安全距离(m)		
	药量 ≤ 50 kg	药量在50~200kg	药量为200~1000kg
游 泳	900	1400	2000
潜 水	1200	1800	2600

b) 对船舶

非施工船舶：位于爆破点上游时，安全距离为1000m，位于下游或静水区时，安全距离为1500m。

对施工船舶按下表确定安全距离。

船舶状况	药 量 (kg)		
	≤ 50	50~200	200~1000
	最小安全距离(m)		
木 船	200	300	500
铁 船	100	150	250

c) 一次爆破药量大于1000kg时，对人员和施工船舶的水中冲击波安全距离可按下式计算：

$$R = K_0 \sqrt[3]{Q}$$

式中 Q ——一次起爆的炸药量 (kg)；

K_0 ——系数，其值按下表选取：

保护人员		保护施工船舶	
游 泳	潜 水	木 船	铁 船
250	320	50	25

(4) 安全用药量估算 在环境比较复杂的地区（如港区、城郊等）进行水下裸露药包爆破时，为了避免对周围建筑物产生损坏，往往需要对一次爆破用药量加以适当控制，在一般情况下常用式 (1-8) 来估算安全用药量：

$$Q = \left(\frac{r_c}{CK_c} \right)^3 \quad (1-8)$$

式中 Q ——安全用药量 (kg)；

r_c ——爆破地点至被保护建筑物间的距离 (m)；

K_c ——与介质性质有关的系数，页岩 $K_c=7$ ，砂岩 $K_c=6$ ，石英岩 $K_c=5$ ，花岗岩 $K_c=1.5$ ；

C ——与水深有关的系数。根据川江航道水下裸露爆破施工经验， C 值归纳整理如

表1-5所示。

表 1-5

水深与C值关系表

水深(m)	C 值
0~1	2
1~2	3
2~3	4
3~4	5
4~5	6
5~6	7

计算时先假定一个药量 Q ，则可求出一个 r_c ，如算出的 r_c 小于被保护建筑物到药包的
实际距离，则说明药量 Q 在安全范围以内；如算出的 r_c 值大于实际距离，说明假定的 Q 值
超过了安全药量范围，必须减小 Q 值再进行试算，直到算出的 r_c 值小于实际距离时为止。

第三节 水下钻孔爆破

水下钻孔爆破与陆上的钻孔爆破相比，由于周围的自然条件与陆上不同，因而引起的
破坏作用和效果也有比较明显的差异。图1-
11为水下钻孔爆破示意图。

图1-11中各符号的意义如下：

W_{P1} ——水下平地钻孔爆破的折算抵抗
线 (m)；

W_{P2} ——水下阶梯钻孔爆破的折算抵抗
线 (m)；

h_1 ——药包中心以上土石层厚度 (m)；

h_2 ——水层深度 (m)；

μ ——水层折算系数，其值见表1-6；

H ——阶梯高度 (m)；

W ——岩层爆破厚度，即最小抵抗线
(m)；

ΔH ——钻孔超深，其值见表1-7。

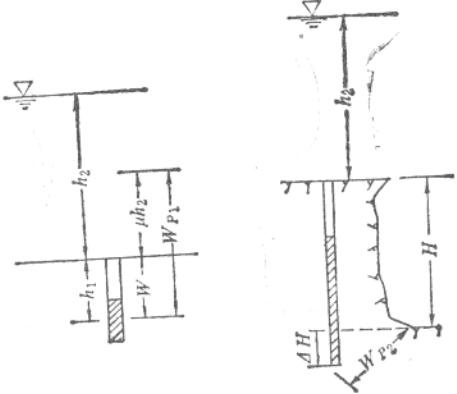


图 1-11 水下钻孔爆破示意图

表 1-6

水层折算系数 μ 值表

土石类别	土石层厚度与水深之比(h_1/h_2)										
	0.00	0.25	0.50	0.75	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00
混合的土石	0.50	0.42	0.34	0.30	0.27	0.24	0.22	0.20	0.18	0.16	0.15
砂砾石	0.50	0.38	0.31	0.28	0.25	0.21	0.18	0.16	0.14	0.13	0.11
中等以上岩石	0.40	0.33	0.28	0.24	0.21	0.17	0.14	0.11	0.10	0.09	0.08

水下钻孔爆破是柱状药包在水下土岩介质中的爆破，其最大特点是岩石沿药包中心辐射方向移动时会受到水压力的影响。由于这个问题涉及面很广，所以至今还未能建立一套适用于水下钻孔爆破的系统的理论计算方法。然而，由于大量的工程实践，国内外爆破工作者已总结出了一些符合实际的经验公式，这对水下钻孔爆破的设计和施工都是有指导意义的。

一、水下钻孔爆破参数选择

1. 钻孔直径

水下钻孔爆破常用的炮孔直径为32~150mm。经验表明，大直径钻孔比小直径钻孔优越，因为大直径药包由于炸药爆速的提高而使炸药猛度得以增大，爆炸破坏作用加强，从而节省了炸药，减少了钻孔总长度和二次爆破工程量。所以，在可能的范围内，应尽量选用大直径炮孔。

表 1-7 水下钻孔爆破的超深ΔH值

梯段高度(m)	超钻深度ΔH(m)			
	岩石等级			
	4	5	6	7
1.0	0.30	0.40	0.50	0.65
2.0	0.40	0.50	0.60	0.80
3.0	0.50	0.70	0.85	1.10
4.0	0.70	0.90	1.10	1.40
5.0	0.90	1.10	1.30	1.70
6.0	1.10	1.35	1.60	2.10
7.0	1.30	1.60	1.90	2.50
8.0	1.50	1.85	2.20	2.90

在确定钻孔直径时，还应同时考虑它与梯段高度和最小抵抗线的关系。当水下钻孔爆破炮孔允许的装药高度不超过 $\frac{2}{3}W$ 时，可根据图1-12中的钻孔直径与梯段高度和抵抗线的关系曲线，选择适当的炮孔直径。图1-12中，纵坐标代表梯段高度 H (m)，横坐标代表抵抗线 W (m)。对于其他直径的炮孔，可利用图中的比例尺换算成32~100mm之间的各种直径。

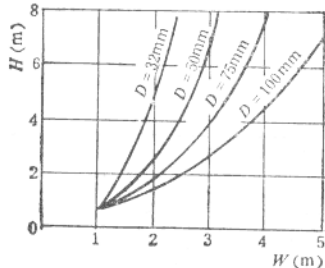


图 1-12 钻孔直径与梯段高度和抵抗线间的关系

整，以保证爆破质量和效果。

2. 钻孔偏移误差

钻孔偏离设计位置和方向，是影响钻孔爆破效果的重要原因之一。因此，钻孔时除应按设计图规定的坐标钻凿外，还应保持钻孔方向与设计要求相一致。

钻孔偏移往往使设计抵抗线发生变化，从而使岩石破碎块度和岩壁抛坍情况达不到原设计要求，在这种情况下，必须按实际的抵抗线对药包间距和炮孔药量进行相应的调整。