

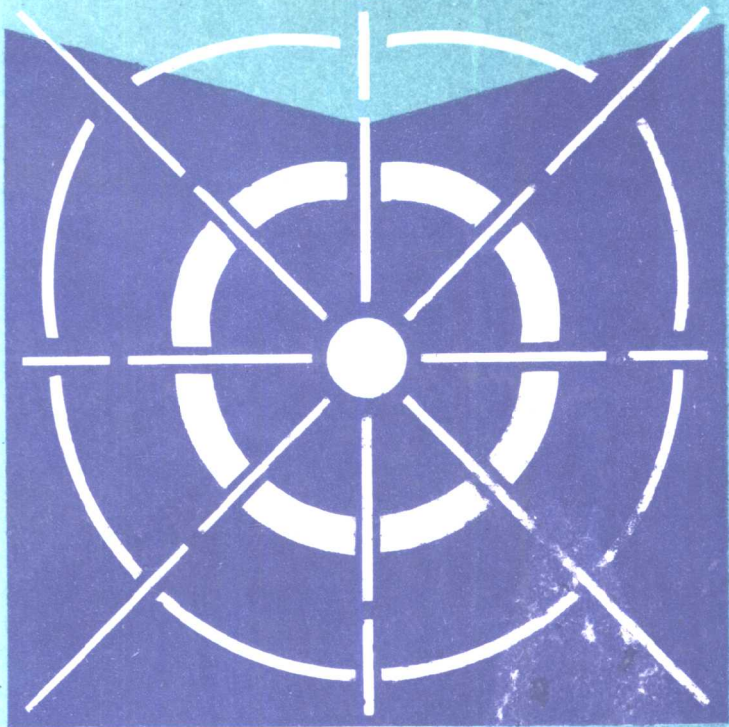
水下爆破工程

〔苏〕B. B. 加尔基 等编

王中黔 吕毅 张旭 等编

SHUIXIA BAOPUO GONGCHENG

人民交通出版社



U655.52.

9600030

Shuixia Baopo Gongcheng

水下爆破工程

〔苏〕B.B.加尔基 等著

王中黔 吕毅 张旭 译

(京) 新登字 091 号

ВЗРЫВНЫЕ РАБОТЫ

В.В.Гадкин

Р.А.Гильманов

И.З.Дроговейко

Издательство «Недра», 1987

水 下 爆 破 工 程

[苏] В.В.加尔基 等著

王中黔 吕毅 张旭 译

人民交通出版社出版

北京四环科技印刷厂印刷

本社发行

(100013 北京和平里东街 10 号)

开本: $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ 印张: 8.125 字数: 218 千

1992 年 8 月 第 1 版

1992 年 8 月第 1 版 第 1 次印刷

印数: 1—1000 册 定价: 15.00 元

ISBN 7-114-01608-5

U.01070

内 容 提 要

本书研究了水下爆破工程的主要形式，爆炸作用，水击波、地震波和声波的形成机理。给出了降低这类爆炸荷载对鱼类、水工构筑物和其它保护对象作用的建议。描述了水下爆破的施工方法和措施，所采用的炸药、起爆器材、药包结构及其布置方式等等。给出了钻孔爆破参数的计算方法。阐明了水下爆破的施工组织，爆破安全，爆炸材料的运输与储存，以及其它一系列有关的条例。

本书可供从事水下爆破工程设计和施工的工程技术人员阅读参考。

译者序

目前交通运输业正在大力发展，水下爆破作为一种重要的施工手段，已在航道和水利建设工程中得到广泛的应用。

水下爆破与一般的陆上爆破工程相比，具有一定的特殊性。此外，水下爆破对施工设备、爆炸材料、爆破技术要求比较高，在安全方面也有很严格的要求。近二十多年来，我国航道、水利、铁道和中国科学院力学研究所等单位在开拓水下爆破应用领域和发展水下爆破技术方面做了不少工作，其研究成果和工程经验先后在《山区航道整治》（人民交通出版社，1975年）、《水下爆破文集》（人民交通出版社，1980年）、《水下岩塞爆破》（水利电力出版社，1983年）、《工程爆破文集》（冶金工业出版社）。以及《爆炸与冲击》和《爆破》等图书与专业刊物上发表。但全面系统叙述水下爆破工程的专业书籍还没有，一定程度上影响了水下爆破技术的推广和应用。

原苏联出版的这部《水下爆破工程》，是目前国外介绍水下爆破技术成果和施工经验内容比较丰富的科学技术书籍。它系统地研究了水下爆破理论，全面地介绍了水下爆破的设计原则和有关工程的施工方法及经验，对有关爆破安全问题提出了较科学的判据和防护措施。因此，我们将此书翻译介绍给国内爆破工程界同仁，作为科研与教学的参考书和工程单位的工具书。

王中黔翻译了本书前言、第一章和第四章；吕毅翻译第二章、第三章、第五章和第七章；张旭翻译第六章。邓志勇研究生做了部分文字整理工作，在此谨表示谢意。

对于译本不妥之处，敬请读者指正。

译者

1992年5月

前 言

包括水下爆破在内的工程爆破，其炸药能量的和平利用率在逐年提高，这与苏联国民经济计划的加速发展和完成息息相关。水下爆破已在河流和航道的疏浚中大规模应用。但由于苏联许多停泊巨轮的大型港口都列在改造和扩建计划之中，所以在发展水下爆破技术方面还需要进一步做大量工作。

苏联每年完成的水下爆破工程量都超过 2.5 百万立方米。这里包括市政建设和工业企业的排水沟以及铺设石油—天然气管道的水下工程。水工建筑施工是采用水下爆破的一个重要部门。采矿企业的进一步发展，常遇到在低于含水层、水域附近和大陆架上进行采矿的问题。而清理航道、炸冰、修建围堰和大坝、压密非粘性土等，历来都是利用爆破能量的传统领域。

水下爆破最早出现在 19 世纪初，俄罗斯的破冰工作中。1958 年，杰出的军事工程师 M.M. 鲍列斯科夫在布洛河、德聂伯湾的航道疏浚工程中首次采用水下爆破清理航道。当初是在浮动装置上进行钻孔，并用火药作为爆破材料。所以至本世纪中期，水下爆破作业基本上处于初级阶段。

50 年代起，随着大吨位钻孔浮船的出现，航道疏浚工程量大大增加，促进了水下爆破技术和工艺的发展。但有关水下爆破的若干工艺问题，到目前为止仍缺少分析、研究和阐述，例如钻孔平台的安装、药量计算、钻孔和装药的操作工艺等等。此外，对周围环境的保护，特别是对鱼类生物的保护，其要求已大为提高。

本书是第一部试图详细、系统研究水下爆破所有问题的著作。书中叙述了大量先进的施工方法和防护措施，有利于拓宽水下爆破的应用范围、提高工程质量和确保周围环境的安全。在撰写初稿时，采用了 Л.П. 阿列什、B.Л. 巴隆、B.П. 加加利斯基、B.B 谢特金和 Я.П. 采特林的研究成果。本书第 1、7 章由 B.B. 加

尔基编写，第 3、4 章由 P.A.基利马诺夫编写，前言和其余章节由作者们共同完成。

目 录

前言

第一章 水下爆破和炸冰用爆破材料	(1)
第一节 炸药	(1)
第二节 起爆器材	(18)
第二章 水下爆破施工技术和工艺	(22)
第一节 水下爆破施工方法	(22)
第二节 水下钻孔设备	(23)
第三节 浮动钻孔装置	(25)
第四节 炮孔和深孔装药	(28)
第五节 爆破作用控制和微差爆破工艺	(29)
第三章 水下钻孔爆破药包计算和参数选择原则	(38)
第一节 裸露药包计算	(38)
第二节 炮孔和深孔药包计算	(41)
第三节 压实土壤的药包计算	(44)
第四节 水下开采有用矿物的药包计算	(46)
第四章 水下爆破对周围环境的作用及防护方法	(49)
第一节 水下爆破引起的环境保护问题	(49)
第二节 水下爆破效应	(51)
一、水下裸露药包爆破的水击波	(51)
二、水下深孔药包爆破的水击波	(57)
三、水下爆破的地震效应	(66)
四、水下爆破的空气冲击波	(70)
五、水下爆破的水面效应	(74)
第三节 水下爆破对周围环境作用的计算判据	(76)
一、水击波对鱼类作用的临界参数	(76)
二、水下爆破对构筑物 and 浮运设备的作用	(79)
第四节 降低水下爆破水击波强度的方法	(86)

一、缓冲屏障法	(86)
二、微差爆破法	(110)
第五节 水下爆破水击波对保护物和 鱼类作用的安全距离计算	(112)
第五章 水下爆破施工组织	(118)
第一节 施工准备阶段	(118)
第二节 浚深河床的爆破施工组织	(119)
第三节 破碎漂石、不合格石块和消除突岩	(128)
第四节 清除树根、水下木桩和板桩墙、 爆破金属结构和沉船	(130)
第五节 炸冰	(132)
第六节 水下爆破时各施工组织机构 之间的相互关系	(135)
第六章 水下爆破和炸冰的施工经验	(141)
第一节 工程管道沟槽的开挖	(141)
第二节 排水和引水沟渠的开挖	(159)
第三节 既有渠道的加宽和拓深	(169)
第四节 构筑物基坑开挖	(176)
第五节 既有港口拓深	(188)
第六节 疏浚河道	(194)
第七节 采用水下爆破压密非粘性土	(197)
第八节 防护构筑物特殊地基的修建	(207)
第九节 金属结构物的爆破拆除	(214)
第十节 爆破炸冰	(219)
第十一节 水底有用矿物的开采	(223)
第十二节 国外水下钻孔爆破的施工经验	(226)
第十三节 水下爆破施工经验分析	(236)
第七章 水下爆破工程和炸冰的安全技术	(240)
第一节 总则	(240)
第二节 水下爆破和炸冰的安全规则	(242)

参考文献	(250)
------------	-------

第一章 水下爆破和炸冰用爆破材料

第一节 炸药

在苏联生产的所有工业炸药中，水下爆破工程和炸冰作业普遍推广使用的有如下一些炸药品种：

铝梯炸药和粒状梯恩梯炸药

高威力的粒状炸药，主要用于坚硬和特硬岩石的爆破。用这类炸药制作的药包，在中性水溶液（ $\text{pH}=7$ ）里，即使放置很长时间，也不会丧失或降低其爆炸性能。

用铝梯炸药或粒状梯恩梯炸药制作的药包，在含有盐酸和硫酸的溶液（ $\text{pH}<7$ ）中放置时间较长时，会发生铝粉和三硝基甲苯的溶解现象。已有的研究指出，当这类药包在深 1m 的 5%~10% 的硫酸溶液中浸没 30 昼夜后，按其在土中的爆破漏斗形状测定计算的威力，要比在 * 中性溶液中浸过的同样药包，平均相应低 12%~15%。

在碱性溶液（ $\text{pH}>7$ ）中由于铝粉和三硝基甲苯与碱发生了直接的化学反应，铝梯炸药和粒状梯恩梯炸药的威力，要比在酸性溶液中降低得更多一些。根据文献⁽³⁵⁾提供的资料，用铝梯炸药制作的药包，在碱性度为 11.8 毫克当量的碱性溶液（这一含量与蕴藏有矿山化工原料的水下矿床的碱性度基本一致）里浸没 33 昼夜后，其威力平均降低 21%。铝梯炸药威力下降的原因，首先可以用铝和碱离子的反应方程式：



来解释，其次是三硝基甲苯本身的浸析作用。

对大多数水下爆破工程来说，药包在各种水介质中的时间，

* 铝梯炸药（Алюмотл）是一种由铝粉 / 梯恩梯 / 硝酸铵按 3 / 20 / 77 比例组成的混合物。——译注。

一般不超过 3~5 昼夜。在这种情况下，可以认为铝梯炸药和粒状梯恩梯的爆炸性能实际上不会发生变化。但是，在开采水库底的有用矿物时，药包在深孔中停留的时间有时比较长，此时水下爆破施工应考虑到上述炸药爆炸性能下降的情况。

在各种形式的水下爆破工程中，铝梯炸药和粒状梯恩梯炸药主要用作深孔药包，有时也用作压密各种水工构筑物的非粘性饱和土地基的裸露药包和水中悬吊药包。由于铝梯炸药和粒状梯恩梯的颗粒比较粗，表面光滑，密度大（前者为 $1.52 \sim 1.68 \text{ g/cm}^3$ ，后者为 $1.48 \sim 1.54 \text{ g/cm}^3$ ），所以能很方便地把它沉入水和稠密的泥中，而且可使药腔充填密实，确保药包密度接近 1 g/cm^3 。

这类炸药在水饱和状态下的爆炸性能，要比干燥状态下大 1.2~1.3 倍。

采用铝梯炸药和粒状梯恩梯炸药制作的深孔药包，要用两个型号为 T-400Г 或 ТГ500* 的传爆药块引爆。

阿莫尼特 №6ЖБ 粉状炸药

一种中等威力的炸药，用于中等强度岩石的爆破。尽管在其组分中含有 ЖБ 型的抗水硝酸盐，但它仍属于非抗水性类炸药。

这种炸药主要用作河道疏浚工程和破碎漂石时的裸露药包，以及破冰时的冰下药包。有时也用作压密各种水工构筑物的非粘性饱和土的裸露药包和水中悬吊药包。

用阿莫尼特 №6ЖБ 炸药制作的药包，应装在用防潮材料制成的专用密封容器（外壳）中，或装在聚乙烯软管中，采用型号为 ДШВ 或 ДШЭ 的导爆索起爆。

阿莫尼特 №6ЖБ 卷状炸药

根据标准方法，阿莫尼特 №6ЖБ 药卷的抗水性能决定于药

* T-400Г 是重 400g 的粉状梯恩梯药块，ТГ500 是用粉状梯恩梯和黑索金混合压制的重 500g 的药块。——译注。

卷在水下 1m 深处浸置 4h 后，两药卷之间的殉爆距离。如果按上述方法试验合格，则认为该卷状炸药具有一定的抗水性，并可用作装填不同含水程度的炮孔和深孔药包。

但是，正如研究资料⁽⁸⁾指出的，关于卷状炸药抗水性的这一结论，基本上是错误的。因为在上述决定抗水性的方法中，没有考虑到静水压力（药包上方水柱高度）对药卷浸泡过程的影响。

曾在各种静水压力的深孔模型中，对直径为 32mm 的工厂生产的阿莫尼特 №6ЖВ 药卷的抗水性进行了研究，即模拟水下爆破施工时卷状药包

所处的现场条件进行试验。当药卷在给定的静水压力下在水中放置一定时间后，6 个药卷成对进行殉爆试验。与上述标准方法不同，浸湿后的药卷平放在土里，两个药卷的端部紧密相接。沿其整个长度轻轻剖开药卷包皮，用肉眼仔细观察炸药的状态。试验结果列于表 1。

试验结果令人信服地表明，工厂生产的 №6ЖВ 阿莫尼特药卷抗水性很差，并且随着静水压力的增大，还将进一步降低。过去，基本上都是用药卷端部纸包皮采用折叠的方式进行封口的原因来解释。实际上，当静水压力增大时，药卷包皮外的涂腊层很容易脱落，水沿着出现的裂口渗透到药卷内部，使药卷端部的炸药受潮、钝感。因此，在进行水下爆破工程和炸冰作业时，所有的药卷不管其直径大小，都要作必要的附加的防水处理。

直径为 90mm 的 №6ЖВ 阿莫尼特药卷主要用作深孔药包（深孔直径为 105mm），直径为 50mm 的药卷用作疏浚工程量不大的炮孔药包，以及破碎混凝土和钢筋混凝土水下水工构筑物的药包。

卷状药包采用 ДШВ 和 ДШЭ 导爆索起爆。

1 号岩石硝铵炸药

属高威力炸药，主要用来爆破坚硬和特别坚硬的岩石。和 №6ЖВ 阿莫尼特炸药一样，也是非抗水性炸药。因此，只有装

在防水外壳中才能用于水下爆破工程。

阿莫尼特 №6ЖВ 炸药的抗水性试验

表 1

静水压力 (MPa)	药卷浸没在 水中的时间 (h)	药 卷 状 态	殉 爆
0.1	1	药卷两端局部浸湿深达 4~5mm	可
	2	药包两端局部浸湿深达 15~20mm	可
	3	在药卷纸包皮下有硝酸水溶液	可
	4	药卷两端完全浸湿深达 30~35mm	无
	5	药卷两端完全浸湿深达 40~55mm 药卷全部浸湿	
			即使是加有干燥活性剂的药卷也不殉爆
0.2	1	药卷纸包皮下有硝酸水溶液，药卷两端几乎完全浸湿，深达 15~18mm，药卷中央局部浸湿	可
	2	药卷纸包皮下，有硝酸水溶液。 药卷两端完全浸湿深达 60~70mm	即使是加有干燥活性剂的药卷也不殉爆
	3	药卷全部浸湿	
0.5	1	药卷全部浸湿	同上

它主要用作炮孔药包，有时也用作中继药包，以引爆粒状梯恩梯、铝梯炸药和硝化棉火药制作的深孔药包以及用胶体火药制作的裸露药包。中继药包的重量通常为 1.6~2kg

在水下爆破时，1 号岩石硝酸炸药包采用 ДШВ 或 ДШЭ 导爆索引爆。

格拉莫尼特 (Граммонит) 79 / 21-В，粒状炸药 АС—4В 和 АС—8В

属中等威力炸药，主要用于中等坚硬岩石的深孔爆破。其抗水性差，因此水下爆破时应装在防水药筒（主要有聚乙烯软管）中，才能用作深孔药包。加工这类药包，照例应在岸边专门指定的地方进行。

用粒状炸药 AC—4B 或 AC—8B 制作的深孔药包，需要采用一个 T—400Г 药块或 4 个 №6ЖБ 阿莫尼特药卷作为中继药包才能可靠地引爆。而对于格拉莫尼特 79/21-B 制作的药包，则需要用两个 №6ЖБ 阿莫尼特药卷作中继药包。

传爆药块 T—400Г、ТГ—500 和 ТП—400

ТГ—500 传爆药块有很好的抗水性及对碱和酸介质的稳定性。T—400Г 传爆药块的防水性和对碱、酸介质的稳定性与防水涂料层的质量有关。当防水涂料层未遭破坏（裂缝，涂料层厚度不足）时，它们在水或上述介质中保存 30 昼夜也不会丧失对导爆索的起爆感度。防水涂料层受损的 T—400Г 传爆药块，浸没在水中的时间不得起过 3 昼夜。

在水下排除废弃的深孔药包是非常困难的。因此，在进行水下爆破作业时，应对 T—400Г 和 ТГ—500 传爆药块作仔细的外观检查。

ТП—400 传爆药块呈长方形，由于压制的梯恩梯药块中含有大量孔隙，沉入水中时会渗进水而逐渐变潮，降低药块的雷管感度。因此，ТП—400 传爆药块浸没在水中的时间不应起过 5 昼夜。

ТГ—500 和 T—400Г 传爆药块在水下爆破工程中主要用作中继药包，以引爆用粒状梯恩梯、铝梯炸药、AC—4B 和 AC—8B 粒状炸药、硝化棉火药制作的深孔药包以及用胶体火药制作的裸露药包。

ТП—400 药块主要用于水下钢结构和木结构的爆炸拆除作业。

除了上述工业炸药外，近年来苏联在水下爆破工程的施工实践中，还广泛推广胶体火药和从报废弹药中拆卸出来的军用装药 (Б30)。

胶体火药主要用作深孔药包和裸露药包。

粒状硝化棉火药的密度为 $1.5 \sim 1.6 \text{ g/cm}^3$ ，巴里斯泰* 火药药块的密度为 $1.5 \sim 1.65 \text{ g/cm}^3$ 。这样高的密度，能确保药包很快地沉入水和非常稠密的淤泥中。在水下爆破工程中，应严格按照规程的规定使用胶体火药⁽²³⁾。

军用装药

一般指从弹头和战斗部拆卸出来的炸药。

从鱼雷、航空炸弹、深水炸弹、火箭以及其它军事装备中拆下和废弃的军用装药，都有密封的金属外壳，通常呈圆柱形，装填着溶铸的梯恩梯或同其它炸药混合熔铸成的装药。

从火箭中拆下的军用装药对冲击波很敏感，很不安全。因为引信插孔四周的炸药是压装的特屈儿和泰安，它们比主装药敏感。在进行水下爆破作业时，裸露药包可采用任意形状和尺寸的军用装药。在同样条件下，深孔药包只能采用圆柱形的装药。深孔的直径应比军用装药的直径大 $1.2 \sim 1.25$ 倍。

在采用裸露药包时，为了提高水下爆破的效果，可以先用工业炸药炸出一个凹坑，然后再把军用装药放在凹坑中进行爆破。装药重量超过 50 kg 时，应用浮吊把它吊入水中。每一组爆破应采用同一型号和尺寸的装药。起爆体装在引信插孔中或布置在军用装药有药室一侧的侧面上。在这种情况下，起爆体应与装药侧面紧密相贴。军用装药起爆网路的敷设和引爆与一般工业炸药包的爆破类似。

所有采用军用装药进行水下爆破的各类工程，均应按照大规模弹药爆破的相应规则实施。

非抗水性炸药包的防水处理

非抗水性炸药药包的外表面须用防潮材料保护。这类材料应保证在药包沉入水中到爆破这一段时间内，炸药不致受潮和溶解。防水处理即是把药包装进工厂生产的用防水材料制作的外壳

* 巴里斯泰火药 (Баллистичный порох) 是一种含有硝化纤维和硝酸甘油的无烟火药。——译注。

中，或者装进非防水材料制作的但事先在爆破现场浸透了防水化学成分的外壳中。

制作防水外壳的材料及其效果

目前，可用来制作药包防水外壳的材料品种很多，有各种聚合塑料薄膜、涂有石蜡—石蜡油混合物的纸以及挂胶纸等等。

Л.В.杜勃诺夫等人对各种防水材料的吸湿性进行了实验。实验条件是相对湿度为 100%，硝酸铵在包装材料中保存一年，结果如下：

防水材料	硝酸铵受潮程度
厚 50μm 的聚乙烯薄膜	0.03%
涂有聚乙烯薄膜的纸	0.04%
涂有聚氯乙烯薄膜的纸	0.94%
2 层挂胶的纸	0.3%
1 层挂胶的纸	0.7%
涂有石蜡—石蜡油的纸	0.7%
涂有石蜡的纸	3.0%
厚 150μm 的 В-118 聚氯乙烯薄膜	0.9%
浸透石蜡油的纸	1.4%
厚 50μm 的 ПК-4 聚酰胺薄膜	2.5%
带有沥青夹层的双层纸	全部溶解
浸渍沥青的标准麻布	全部溶解

上述试验结果表明，聚乙烯薄膜和涂有聚乙烯薄膜的纸防潮性能最好。挂胶的纸和涂有石蜡—石蜡油的纸，防潮性能相近。В—118 聚氯乙烯薄膜尽管其防水性较高，但它有一个很致命的缺点，就是在温度低于 $-10^{\circ}\sim-15^{\circ}\text{C}$ 时将失去弹性容易折裂，而聚乙烯薄膜相应的临界温度为 $-20^{\circ}\sim-30^{\circ}\text{C}$ 。在这些聚合物材料中，防潮性能最差的是 ПК-4 聚酰胺薄膜。

水下爆破作业，目前普遍推广采用聚乙烯软管（药筒）作为非抗水性炸药包的防水材料。