

水下爆破文集

人 民 交 通 出 版 社

水下爆破文集

人 民 交 通 出 版 社

水下爆破文集

人民交通出版社出版

(北京市安定门外和平里)

北京市书刊出版业营业许可证出字第 006 号

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本: 787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张: 5 字数: 114 千

1980年6月 第1版

1980年6月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—2,800册 定价: 0.45元

目 录

国外水下钻孔爆破技术.....	铁道部科学研究院	王中黔(1)
川江水下钻孔爆破.....	661 工程指挥部	陈忠良(24)
深水大药量裸露爆破.....	661 工程指挥部	史光华(31)
水下炸礁方法的选择.....		刘书伦(33)
水下爆破冲击波.....	铁道部科学研究院	王中黔(38)
水下工程爆破若干荷载传播规律及其对船坞坞门作用的观测	铁道部科学研究院 爆破研究室	(50)
水下基槽爆破对建筑物的安全观测.....	铁道部科学研究院	顾毅成(61)
水下爆破对周围环境的影响.....		刘书伦(69)

国外水下钻孔爆破技术

铁道部科学研究院 王中黔

开挖水下岩石基础，通常可以根据水深、流速和水下地形地质条件以及工程的规模选择不同的施工方法（表1）。但是，除了正在试验研究的新的岩石破碎方法以外，在国外目前比较成熟的水下岩石开挖方法中，还是以钻孔爆破法效果较为显著。因此，水下钻孔爆破在大规模的航道疏浚、运河开挖、港池扩深以及桥梁墩台基础和水底隧道基坑开挖中被广泛采用。

一、水下钻孔爆破技术发展过程

第二次世界大战以后，资本主义国家正处于经济恢复时期，为了疏通航道、开挖新运河，英、美、瑞典等国开始研究水下爆破技术。五十年代末期，瑞典的 Atlas 和 Skanska Cement-gjuteriet 公司一起在开挖林多运河时，创建了 OD(Overburden Drilling Method) 法——即穿过覆盖层的水下钻孔爆破^①，使水下爆破技术发生了比较大的变化，这期间进行了一些较大规模的水下爆破工程。美国在五大湖之间的航道开挖工程，总土石方4860万立方米（其中石方243万立方米），自1957年开始至1964年完成，共达八年之久，每天完成土

国外采用的和正在研制的开挖水下基岩的施工方法

表1

项 目 施 工 方 法	最大水深 (米)	宜于开挖 的岩石类型	一次开挖 深度 (米)	清 碴 方 法	开挖精度	成本	备 注
锤击碎岩法	50	软岩为主 部分硬岩	5	空气吸泥泵抓斗挖掘机等	良好	高	水深越大设备越笨重，效率低
各种挖泥船	30	软 岩	10	吸泥泵链斗挖泥船	良好	低	岩石越软越容易开挖
大孔径钻孔法	50	软~硬岩	10	空气吸泥泵	良好	高	单孔时开挖深度可达200米
裸露爆破法	30	软~硬岩	1	抓斗挖掘机	不良	低	开挖成平整面非常困难
钻孔爆破法	50	软~硬岩	10	空气吸泥泵抓斗挖掘机	良好	低	每次爆破方量越多单价越低
高压水喷射器	—	软~硬岩	—	—	—	—	正在研制中
火焰喷射器	—	硬 岩	—	—	—	—	正在研制中
电磁破碎法	—	—	—	—	—	—	正在研制中
水下推土机	50	软 岩	1	空气吸泥泵抓斗挖掘机	良好	—	正在研制中

①：OD法在瑞典称之为“Lindo”（林多）法。

石方 17000 立方米。瑞典诺尔彻平港的新航道水下爆破工程量为 23 万立方米。意大利热那亚油港港区开挖土石方 14 万立方米。联结法国和西德的摩尔河，从提翁维尔到布伦茨长约 270 公里的河段上，水下爆破工程量为 300 多万立方米。

六十年代末至七十年代，世界性贸易促使海上运输业迅速发展。各国开始致力于新建停泊数十万吨油轮的新港，开挖沉埋式水底隧道基坑，使水下钻孔爆破技术得到进一步提高。主要成就是采用海上自升式施工作业平台 SEP (Self Elevating Platform)、无线遥控起爆法和气泡帷幕防护技术。因此，在深水、海象条件复杂的近海以及建筑物附近进行水下爆破成为可能。其中，英国伦敦的伊尔福德港，于 1967~1970 年进行拓深。最大水深 28 米，潮汐差 6~8 米，浪高 2.8 米，基岩为红色砂岩，钻孔爆破方量 50 万立方米，是当时世界上最深爆破条件最差的水下爆破工程。采用了 OD 钻机，各种类型的钻孔爆破工作船和大型的 Gem II 型自升式作业平台。为了保护爆破区附近的万吨油轮免遭水下冲击波的破坏，采用了水下气泡帷幕防护措施。七十年代，日本在本州——四国之间修建联络两岛的铁路公路两用跨海桥，部分桥梁基础拟用钻孔爆破法施工，基础深入基岩 10 米，施工区域的水深在 50 米左右，流速 2~4 米/秒、浪高 5 米，施工条件十分困难。为此，对水下爆破基本理论、爆破材料、钻孔技术、爆破参数以及水下爆破冲击波、地震波传播规律及其破坏判据进行了一系列试验，成为国外水下钻孔爆破技术比较先进的国家之一。

水下爆破的规模也有了很大的发展。以瑞典为例，硝化诺贝尔炸药公司 1956 年水下爆破一次起爆的装药量为 1 吨。自 1958 年生产水中爆破用毫秒雷管以后，为大量爆破创造了条件。1960 年一次起爆装药量达到 56 吨，1964 年为 84 吨。

三十年来，国外水下钻孔爆破技术的发展过程可用表 2 简略表示。近代水下钻孔爆破施工方法的主要作业方式为：

1. 采用自升式水上作业平台。

水下爆破技术发展过程 表 2

爆破方式	作业方式	起爆方法	爆破网路 结线方法	水深及 作业界限	岩石破 碎效果	特 点
抛投炸药包 ↓	直接往水中抛投 炸药包	导火索或电 力起爆	水面上结线	5 米以内浅 水，静水域	差	简单、使用普通炸药，决定爆 破位置困难，冲击波压力大。
裸露爆破 ↓	潜水员安置炸药	电力起爆	水面上或水 中结线	潜水员作业 界线 10 米内， 静水域	差	简单、用普通炸药，不可大量 爆破。冲击波压力大。不可能开 挖出平整基础。在突起的暗礁上 效果良好。
钻孔爆破① ↓	由潜水员在水底 进行简单的钻孔作 业	电力起爆	水面上或水 中结线	10 米以内， 静水域	较好	钻孔深度在 2 米以内，作业效 率低，数孔同时起爆，脚线有可 能断。
钻孔爆破② ↓	从浮船上钻孔装 药	电力起爆	船上或水面 上结线	15 米以内， 静水域	良好	数孔同时起爆，不用潜水员，钻 孔长 5~8 米，可用机械装药。
钻孔爆破③ ↓	自升式作业平台， 双套管钻孔，作业 台上装药，从作业 船上引出脚线	电力起爆	船上结线	30 米，流速 在 3 米/秒左 右	良好	用耐水耐压炸药，钻孔装药连 续作业，钻孔长 5~8 米。不要 潜水员，数孔同时爆破时脚线容 易搅乱和可能拉断
钻孔爆破④ ↓	自升式作业平台 。双套管钻孔。作 业平台上装填炸药 和无线起爆信号接 收器	无线起爆	—	钻机使用 界限在 50 米 以内	良好	用耐水耐压炸药，钻孔、装药 可连续作业，钻孔长 5~8 米， 不受潮水和水深影响，不要潜 水员，无断线和脚线混乱现象，操 作简单。

2. 利用双套管式回转冲击凿岩机 (OD法) 钻孔。
3. 在作业平台上装药, 药包通常装在呈筒状的金属密封容器中。
4. 采用耐水耐压炸药和雷管。
5. 无线遥控起爆。

其技术水平可以如下四个主要方面衡量:

- 1) 水的深度, 气象和海象条件的复杂程度;
- 2) 工程规模和一次爆破的最大装药量;
- 3) 构筑物附近的爆破;
- 4) 施工机械化和施工工艺现代化的程度。

这四者对整个水下钻孔爆破工艺过程都有着很高的要求。

二、钻孔技术与设备

水下钻孔爆破成败的关键是如何在指定的施工地点正确无误、顺利地钻凿炮眼。在流动的水域中, 由于潮汐涨落和风浪的影响, 陆上一般的钻凿炮眼的方法已不适用, 特别是在水底基岩上总是或多或少地覆盖着一层泥沙, 当钻孔结束钻具从炮眼中拔出以后, 泥沙和岩浆容易回淤而堵塞炮眼妨碍装药, 甚至使钻孔失效。国外, 在水下钻孔爆破发展初期, 对于浅水和流速不大的水域采用了水下套管法。钻孔前事先把一根套管沉入水底通过覆盖层至基岩, 在套管保护下钻孔, 钻孔结束取出钻具, 沿套管插入一根半软半硬的塑料管到钻孔中, 一端露出水面。用风动装药器通过塑料管把炸药装入炮孔中, 然后拔出水中套管, 但塑料管仍留在水中, 随着爆破一起炸掉。因此每次爆破都将消耗不少塑料套管。

目前在欧美各国和日本广泛采用 OD 法进行水下钻孔, 其特点是采用了双套管。外套管是一根直径 800 毫米左右的管子, 用来固定钻孔位置, 保护钻具在钻孔过程中不致于受到流水的冲击影响。因管壁厚、强度高、自重重大, 在深水中使用不会发生扭曲并且竖立在水中很稳定。内套管直径 92~153 毫米, 头部镶环形钻头, 可钻过覆盖层到基岩中数英寸, 作为钻凿深孔和装填炸药包的导管, 然后反转, 把内套管松脱留在孔内, 在内套管中, 用直径 51~102 毫米的十字形钻头旋转冲击钻孔。OD 法钻孔的整个作业过程如图 1 所示。

OD 钻孔法节约了大量塑料套管, 钻孔装药过程不会受到风浪、潮汐和泥沙的影响。并且整个作业过程都在水上操作, 是目前深水域中一种主要的钻孔方法。适用 OD 钻孔法的钻机大致有风动的旋转冲击式 OD 钻机和液压传动回转式 WM 钻机两种。其性能列于表 3。

OD 钻机的全貌如图 2 所示。它的钻孔附属机械设备列于表 4。

OD 钻孔法的效果是十分明显的。以意大利 1963~1964 年开挖的热那亚港为例, 该港扩建后可停泊十万吨油轮, 需清礁 80 万立方米砂和岩石, 其中岩石为 14 万立方米。开始在浮桥上装设柴油机回转凿岩机钻孔, 潜水员装药, 这样施工进度要比计划推迟一年。改用 OD 钻机进行试验以后, 工程进度加快了 5 倍。两个月后每天一班、三人一组共五组, 岩石中钻孔长平均 8 米, 每月可钻 3520 孔, 总延长 28000 米。用空气压缩装置通过塑料管装药。结果人工费用节约了 40%, 开挖速度从 2~3 米³/台时上升到 15 米³/台时。

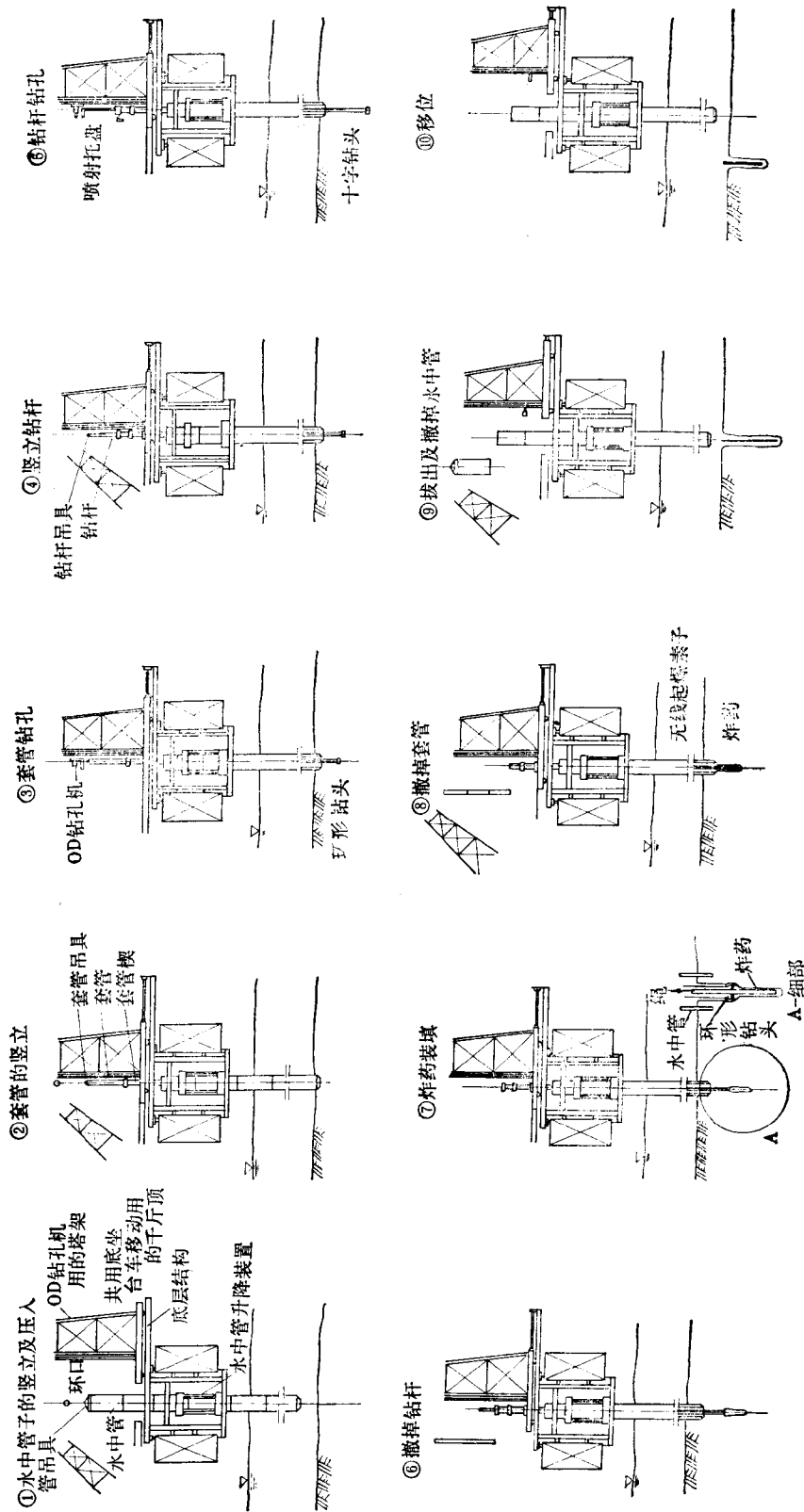


图 1 OD法钻孔作业顺序

OD 和 WM 钻机

表 3

钻 机 型 号		O D 钻 机				钻 机 型 号		O D 钻 机			
厂 家		瑞 典 Atlas Copco 厂		奥 地 利 休 拉 公 司		厂 家		瑞 典 Atlas Copco 厂		奥 地 利 休 拉 公 司	
凿岩机型号		BBE-51	BBE-53	BBE-57	2HR-100	凿岩机型号		BBE-51	BBE-53	BBE-57	2HR-100
凿岩机性能						凿岩机性能					
汽缸直径(毫米)		120	120	120	125	钻杆直径(毫米)		32, 38	32, 38		
活塞冲程(毫米)		65	65	65	85	标准十字形钻头直径(毫米)		51, 70 102	51, 70 102	51, 70 102	57
冲击次数(次/分)		2200	2200	1950	1550	环形钻头直径(毫米)		92, 107 153	92, 107 153	92, 107 153	95
压缩空气压力(公斤/厘米 ²)		6	6			机长(毫米)		875	875	900	800
耗气量(立方/分)		12.4	14	12.5	13	重量(公斤)		165	250	170	168
钻杆回转数(转/分)		50	50	60	40	推力(吨)			2.0	2.0	2.3
回转扭矩(公斤·米)		70	120	80	200						
回转马达功率(马力)		3	6		液压传动						

钻 机 型 号		W M 钻 机		钻 机 型 号		W M 钻 机	
厂 家		日 本 住 友 金 属 矿 山 公 司		厂 家		日 本 住 友 金 属 矿 山 公 司	
凿岩机型号		T O P - M L		凿岩机型号		T O P - M L	
凿岩机性能				凿岩机性能			
传动方式		液压传动		内套管直径外径(毫米)		127	
回转频率(转/分)		70		内径(毫米)		111	
回转扭矩: 给定压力(公斤/厘米 ²)		50, 100, 150, 200		十字形钻头直径(毫米)		101.6	
最大扭矩(公斤·米)		140, 280, 420, 600		环形钻头直径(毫米)		146	

OD 钻机附属机械设备

表 4

项 目	性 能
供电马达	BBM-42
钻机搭架	H = 16米 (高度)
起重机	能起吊32吨
空气压缩机	17米 ³ /分 (170马力)
高压水泵	流量350升/分 压力25公斤/厘米 ² , 功率3.7千瓦 × 4 台
潜水泵	流量500升/分 扬程15米, 功率3.7千瓦 × 4 台
台车	钻机搭架用
台车传动装置	附带直径180毫米的空气气缸操作阀
临时车间	休息用, 炸药操作室
其它	绞车、水箱、套管、导管、钻杆、钻头。

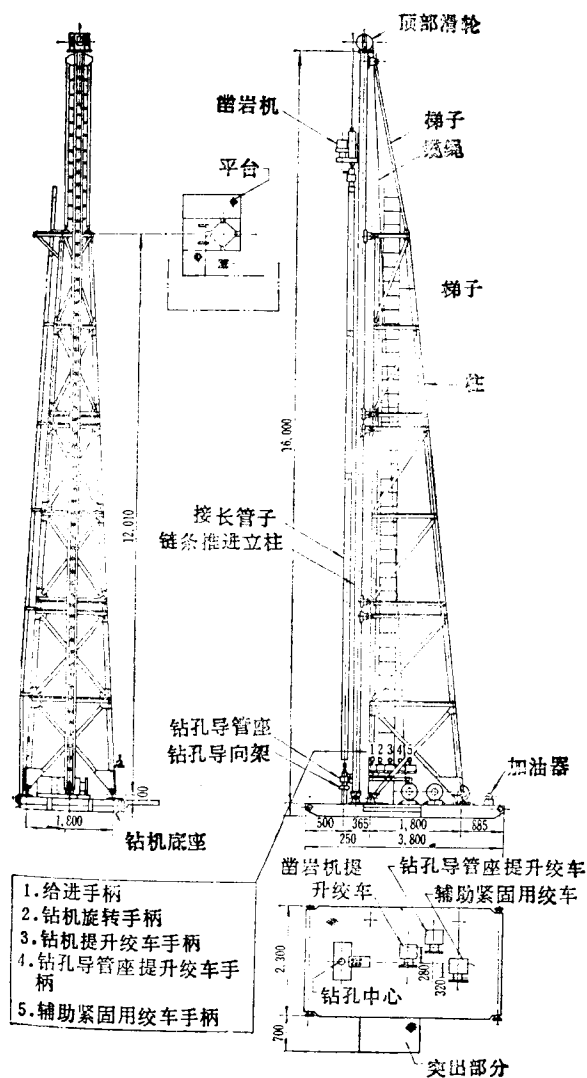


图2 OD钻机

三、水上作业平台

随着水下钻孔技术的发展，劳动强度大钻孔效率极低的人工水下钻孔和工程量小只能用于浅水，流速小的围堰施工法已被淘汰。现代化的水下自控钻机国外正在研制中，例如西德的CM150A履带式钻机和日本的一些水下钻孔样机。但因对整机的密封防水耐压要求高，特别是应用在深水的条件下，以及自控系统的复杂性，尚未在大规模的生产实践中正式使用。

目前广泛采用的是水上施工作业平台。根据爆破的规模和水深度，它的发展过程可以分成三个阶段。

(一) 固定支架平台

水下钻孔爆破发展初期主要在浅水区域内作业，工程规模小，例如局部疏通航道，加深

港口码头等等，在固定的支架平台上进行钻孔作业，爆破时必须拆除。这种方法不够机动灵活，钻孔爆破周期长，受到水深和爆破规模的限制。

(二)活动钻孔爆破工作船

随着深水港湾的扩建，近海的开发，特别是钻孔爆破工程的规模越来越大，开始采用钻孔爆破工作船。OD 法问世以后，这种方法更显得机动灵活，适用于10~20米水深，流速1.0米/秒、浪高1米以下的水域中进行钻孔爆破作业。对工点分散，工程量较大的爆破工点，因搬迁和移位方便，显得更为优越。

最简单的钻孔爆破工作船可临时用驳船改装。图3为香港地区开挖香港——九龙水下沉埋式隧道基坑采用的简易钻孔爆破工作船，安装有三台 OD 钻机。在20米水深中钻孔长9米，钻孔总延长75300米，爆破方量125000立方米。

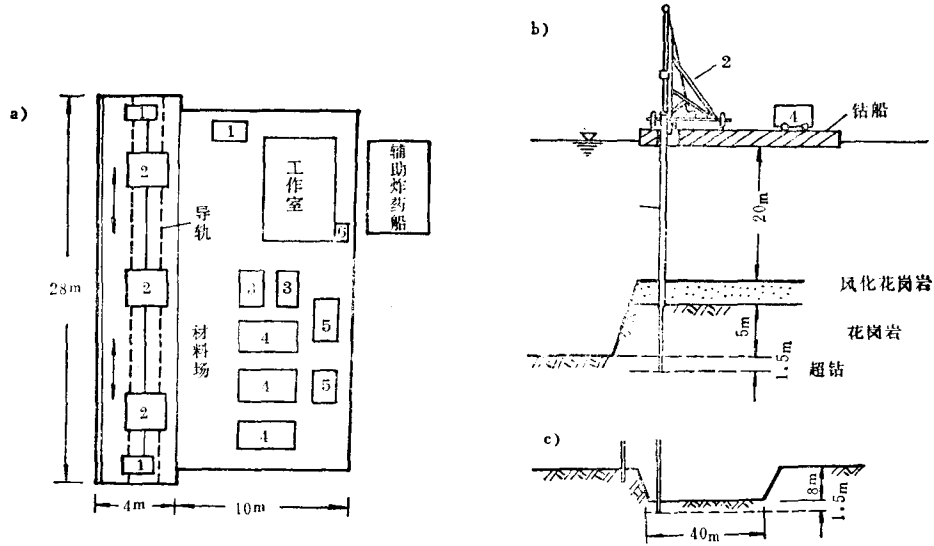


图3 简易钻孔爆破工作船

1-高压水泵; 2-OD钻机; 3-移动起重机; 4-空压机; 5-油桶; 6-钻头磨床

对于专业性较高的永久性钻孔爆破工作船，大都采用单体船，装有生活设施和必要的简易机修车间。为保持钻孔时船体的稳定，可采用双体船，或适当安装支撑立柱。图4为西德采用的钻孔爆破工作船。欧美各国已建有十几艘装载几台或十几台 OD 钻机的专用钻船。

(三)自升式水上作业平台 (SEP)

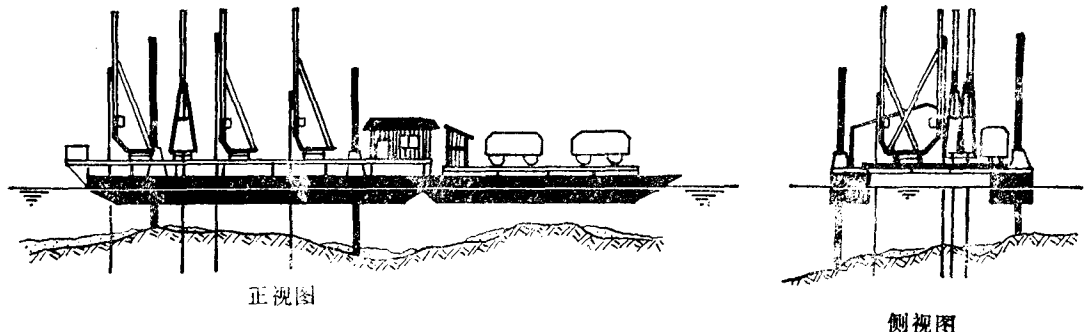


图4 双体钻孔爆破工作船

它实际上是在船体四角装有大型立柱的平底船。需要牵引船舶助航至施工地点。自升式作业平台到达施工地点以后，用本身装载的动力设备通过各种传动方式把四个立柱沉入水底，然后沿着立柱把船体抬离水面几米高。由于船体脱离水面，靠立柱支承，因此很少受潮水、风浪等的影响，钻孔作业稳定可靠。目前这类作业平台可在50米水深、4米/秒流速、60米/秒风速和6米左右浪高的近海作业。配合无线遥控起爆方法，是未来开发近海的一种较先进的作业平台。英国采用的GemⅡ型自升式作业平台在扩建施工条件十分复杂的伊尔福德港中已取得了良好的效果。

日本采用的水下钻孔爆破自升式作业平台

表 5

型 号	性 能	制造 年份	所 属 公 司	制 造 厂 家	适用 水深 (米)	立 柱 尺 寸	船 体 尺 寸 (米)	载 重 (机械设备) (吨)	适 用 条 件		
									流速 (米/秒)	风速 (米/秒)	浪高 (米)
海 洋 号		1969	海洋机器	川崎重工	30	4 个方形立柱 53米长	42×24×3.75	400	2.0	60	5.5
MSEP-1 漱 户 号		1971	三井造船	三井造船	30	4 个圆柱形40 米长	60×30×3.0 (中央开口部分)	200	2.0	30	2.0
浮 岛 号		1970	寄神建设	函馆船坞	60	4 个方形立柱 75米长	66×28×4.8	350	2.0	60	5.0
跃 进 号		1971	本四公团	三菱重工	20	4 个圆柱形32 米长	18×18×3	40	3.0	30	2.5
KAJIMA		1972	鹿岛建设	川崎重工	40	4 个方形立柱 70米长	75×45×5 (中央开口部分)	1400	3.6	40	2.5
MSEP-2 宝 石 号		1973	三井造船	三井造船	50	4 个圆柱形77 米长	70×38×5.5 (中央开口部分)	1100	1.0	30	2.5

MSEP-1 漱口号主要机械和性能

表 6

机 械 设 备	项 目	规 格	备 注
作 业 台	主要尺寸 中央开口部分尺寸	长60米，宽30米，高3米 长45米，宽20米	改 装 后
主 柱	尺 寸 数 量	外径1.8米，长度55米 4 个	改 装 后
动力装置	柴 油 机 发 电 机 油压动力装置	F10L 714,175马力 1800转/分 主机 135千伏安,1800转/分 付机 33千伏安 主机推进油泵 99马力×2210公斤/厘米 ² 260升/分×2 付机传动油泵 18马力×28.5公斤/厘米 ² 85升/分×2	2 台 2 台 用柴油机驱动
升降装置	三井锥形环状千斤顶	400吨×4个，最大升降速度12米/时，最大行程500毫米	
锚链绞车	马达驱动油压 绞车(双筒) 马达驱动油压 绞车(单筒)	绞车能力5吨，速度9米/分 钢丝绳绳 6×24・Φ30mm长300米 绞车能力15吨，平衡力30吨，绞车速度10~35米/分 钢丝绳绳 6×24・Φ34毫米长340米	4 台 4 台
锚	40吨钢制锚 9 吨钢制锚	接 5 吨锚链绞车 接15吨锚链绞车	
履带式起重机	A履带式起重机 B履带式起重机	装在轨道台车上(335-S型可吊32吨重) 装在OD钻机的基础上，	起重机起吊范 围21米

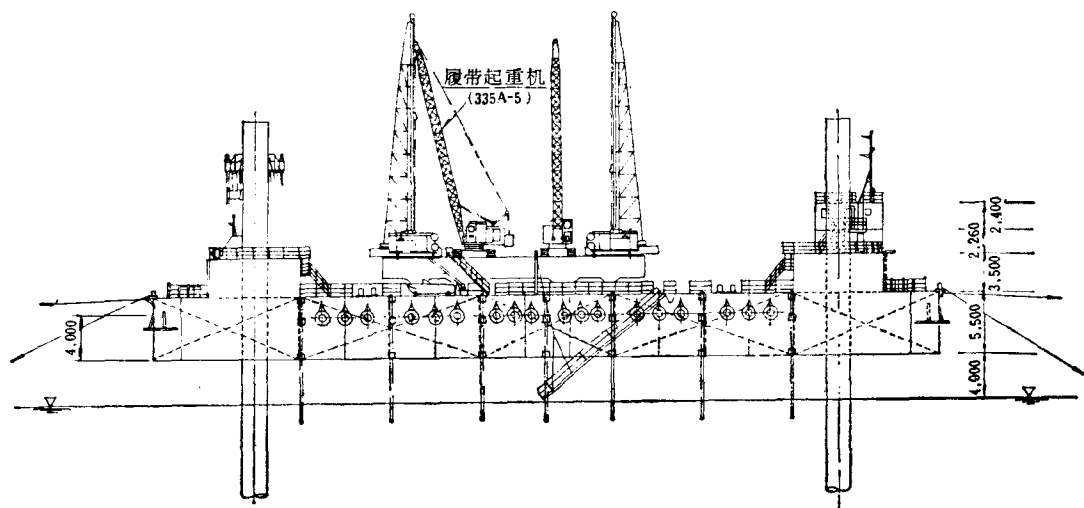


图5 MSEP-2 宝石号自升式作业平台 (侧面图)

Gem II型自升式作业平台长50米、宽27米、高4米，平台有长52米、直径0.55米的圆柱形立柱六根，沿长边每侧三根。平台上除6台OD钻机以外，尚装备有180马力12米³/分空压机3台，150和100千伏安发电机各一台，2台柴油输送泵，6个5吨重的锚和一个装在导槽上的快速释放锚，6台气压千斤顶，双筒卷扬机2台等主要设备。此外尚设有4个材料库和一个23平方米的车间，适应67人的生活设施（包括14个住人船舱，2个餐厅，其它面包房、料库、办公室、文娱室、洗涤室、洗衣间、厕所等等）。

日本近年来制造了不少水下钻孔爆破专用自升式作业平台，主要性能列于表5，已在沿海的水下钻孔爆破工程中大量使用。

表6例举了MSEP-1 湫户号自升式作业平台具有的主要机械设备。

图5为MSEP-2 宝石号自升作业平台的平面图和侧面图。

四、爆破材料与起爆方法

(一) 爆破材料

1. 炸药：

水下爆破用炸药，要求有良好的抗水性能，在水压的作用下仍具有一定的爆炸威力和感度，有一定的比重装入炮孔中不致于上浮。从安全角度考虑，当出现瞎炮时又要求炸药在适当的时间内失效。这与上述要求是矛盾的，对于具有高威力的抗水耐压炸药来说，目前还做不到这一点，是今后的一个研究课题。

陆上采用的普通炸药，如用在水下为使其具有一定的耐水耐压性能，国外也都采用金属容器密封装置装填炸药。图6为日本采用的水下爆破筒，可装炸药20公斤。

目前国外水下爆破专用炸药大都采用硝化甘油类炸药（表7）。随着近代胶凝状的浆状炸药的发展，在炸药比重、抗水性能和爆破威力等方面都能满足一般水深下的钻孔爆破。浆状炸药以硝酸铵饱和水溶液为主剂加入梯恩梯、无烟火药或微粒铝粉敏化剂以及胶凝剂、交联剂等物质，在美国、加拿大发展较快，估计是未来水下爆破通用炸药的发展方向。

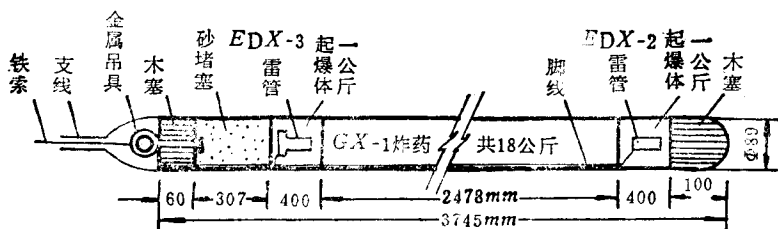


图6 爆破筒

各国水下爆破用炸药

表7

国 家	生 产 厂 家	炸 药 名 称
美 国	杜邦公司 (Du Pont)	一般用60~80%高速胶质炸药 硬岩用70~80%高速胶质炸药 软岩用40~60%高速胶质炸药
加 拿 大	CIL公司	浅水用50~60%胶质炸药 深水用60%Geogel或95%海底爆破胶质炸药
瑞 典	硝化诺贝尔公司 (Nitro Nobel)	通常用35~60%胶质炸药
日 本	油脂公司	各类桐和橡胶质炸药
英 国	化学工业公司(I.C.I)	Plaster炸药和地质勘探90%胶质炸药

根据日本对各种炸药在高压容器中的爆炸性能试验,炸药的爆速与水压有如下关系,见图7。

可见对于常用的硝化甘油类炸药,其爆速随水压的增加下降得很快。为防止胶质炸药爆轰性能的下降,在英、美等国的专利中采用加入钡盐的办法解决。日本的新梅胶质炸药含硝化甘油 35.0%、硝酸铵 16.6%、加入硫酸钡 12.0%、比重 1.60,爆速 5500 米/秒,可承受 15~70 公斤/厘米² 高压。例如在 30 公斤/厘米² 水压下,爆速仍可达到 5400 米/秒。

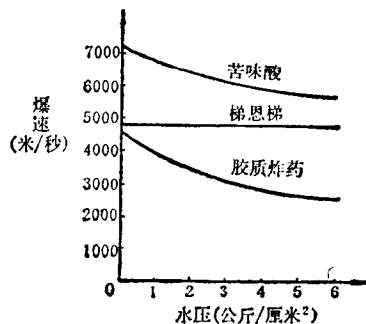


图7 炸药爆速与水压的关系

日本近来因修建本四大桥开挖深水桥基,致力于研究深水用炸药。目前常用的深水炸药品种如表8所示。从各国水下爆破发展趋势来看,也都在试制数十米至数百米水深用的耐压和抗水性良好的炸药。

日本深水用炸药

表8

性能	种类	GX-1胶质炸药	CX-1胶质炸药	SX-1胶质炸药	粉状梯恩梯传爆药
形态		胶质	铸造	成型	爆破筒
比重		1.50~1.60	1.5~1.60	1.4~1.60	1.12(水充满1.45)
落锤感度(厘米)		21~30	60	60	60
比能 f (升·公斤/厘米 ²)		10.200	11.000	11.000	—
爆速(米/秒)		6800~7300	7000~7500	7500~8000	6000~6500
耐水压性		10公斤/厘米 ² 30天	10公斤/厘米 ² 30天	10公斤/厘米 ² 30天	6公斤/厘米 ² 10天
主要成分		硝化甘油, 硝铵	季戊炸药(PETN)黑索金, 梯恩梯	黑索金 + 树脂	黑索金 + 梯恩梯

2. 雷管:

水下爆破用雷管主要考虑三个问题。

- 1) 在流速较大的情况下, 提高雷管脚线的抗拉能力, 一般采用增大脚线直径的办法。
 - 2) 提高深水用雷管的抗水能力, 主要改变管口密封塞的性能。
 - 3) 为避免水下冲击波在近距离高压作用下挤压雷管造成殉爆, 可适当增加雷管的壁厚。
- 表 9 为日本深水爆破用电雷管的性能。

日本深水用电雷管 表 9

性能	型号	EDX-1	EDX-2	EDX-3	CN-1
耐水压性		10公斤/厘米 ² 10天	10公斤/厘米 ² 30天	10公斤/厘米 ² 30天	10公斤/厘米 ² 30天
铝板试验		>10.3毫米	>10.3毫米	>10.3毫米	>10.3毫米
耐静电性		20000PF/8KV	20000PF/8KV	20000PF/8KV	20000PF/8KV
耐热性		60℃, 2小时以上	60℃, 2小时以上	60℃, 2小时以上	60℃, 2小时以上
管 体		l = 50毫米 8号 外壳补强Br1毫米	l = 54毫米 8号 外壳补强Br1毫米	l = 156毫米 8号 外壳补强Br3毫米	φ = 32毫米 l = 130毫米 外壳补强
脚 线		芯线0.6毫米	芯线0.6毫米	芯线0.65毫米×2	橡皮绝缘(软电缆)
耐冲击压性		400~500公斤/厘米 ²	1000~1400公斤/厘米 ²	1800公斤/厘米 ²	>1800公斤/厘米 ²

在水下台阶爆破时, 美国在相邻排孔间一般采用 2 ~ 3 段 25 毫秒以下的耐压 毫 秒 电雷管。瑞典采用的 VA-OD 电雷管的毫秒时间间隔为 12.5 ~ 25 毫秒。

3. 装药:

各国在采用 OD 法钻孔爆破时, 一般都是直接装药。即在钻孔完毕, 取出钻具后, 通过套管把事先制作好的炸药包装入炮孔中。拔出套管时, 从套管底部取出脚线。在浅水和小直径钻孔中, 则用空气压缩装药器通过塑料导管把胶质炸药卷装入炮孔中。

(二)起爆方法

起爆方法分有线和无线遥控起爆两大类。有线起爆方式包括电力起爆和导爆索起爆, 是国外钻孔爆破的主要起爆方式。电力起爆采用并串并接线法, 爆破网路在爆破辅助船上操作, 杜绝了水下作业。在提高导线抗拉强度, 防水性能方面作了一些工作, 采用了新的连接套管使线路的连接十分方便且具有良好的防水性能。为避免水中漏电使爆破失效, 采用充电电容量大的起爆器, 例如瞬发 24000 发雷管的起爆器。

在湍急的河流、浮游物多的湖泊以及浪高风大的近海, 因敷设导线困难, 国外正在大力开展无线起爆方法的研究。如定时开关机械式起爆; 利用水压、爆破冲击波和地震波的开关装置起爆; 利用光幅射、超声波和电磁波起爆等等。其中超声波和电磁波遥控起爆方法已研究成功, 并应用在英国北海油田开发和日本本四大桥桥基开挖中。其它方式由于使用距离受到限制, 多个炮孔同时起爆的时间误差较大或安全性较差尚处在实验室研究阶段。

1. 电磁波遥控起爆

基本原理是根据法拉第电磁感应定律, 让交变电流通过一环形线圈产生贯通线圈的磁场, 使磁场中心的一个闭合回路产生电动势引起雷管爆炸。

起爆装置主要有三部分组成。

- 1) 产生一定频率交流电的振荡器。
- 2) 敷设在海面上的大型环形天线。
- 3) 装在炮孔中的点火装置。

如图 8 所示, 数百到数千赫芝频率的交流电, 通过振荡器 1 调制, 输往环形天线 2 中, 产生与振荡功率相对应的强磁场。环形天线下方是点火装置 3 被密封在容器中。其中天线线圈 4 和电容器 5 在磁场作用下感应产生相同频率的交流电, 该电流用二极管 6 对发火用的大容量电容器 7 充电, 与此同时二极管 8 对小容量电容器 9 迅速进行反向充电。由于电流不通过场效应三极管 10, 三极管的栅极处于负电位, 因此双向可控硅 11 的整流栅 12 的电动势为零。当充电足够, 控制用振荡器停止振荡, 因电阻 13 的作用, 小容量电容器立刻放电, 场效应三极管的负电压下降, 电流通过场效应三极管给双向可控硅的栅极加上起动电压。这样发火用电容器的电流通过双向可控硅, 使电雷管 14 点火, 随之引起炸药 15 瞬间爆炸。

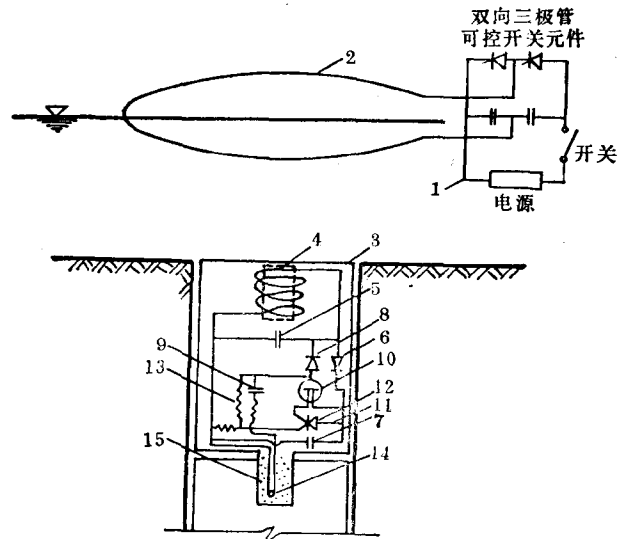


图 8 电磁波遥控起爆装置

振荡器采用直流电源, 并设有频率自动调节装置。目的在于当在振荡过程中需要中断作业时, 只要调节振荡频率就能使接收器失去接收能力。为了保证接收器安全准爆, 在接收器中安装了稳压二极管和笛簧接点管。稳压二极管用来保护回路不把超越电雷管所需要的电能送给发火用电容器, 使其充电过量而破坏。笛簧管是从防水器外部用来短路发火电容器两极的接点管, 避免在装填接收器之前因现场或其它原因存在的电磁波引起意外爆炸事故。

日本采用的电磁波遥控起爆装置, 振荡器的输出功率 20 千瓦, 调谐频率 550 赫芝 (一般地球电磁波频率约为 10~60 千赫芝), 振荡时间 30 秒左右即可使接收器发火用电容器充电电压达到 100%。环形天线采用 14 平方毫米的 3 芯橡皮绝缘软线叠绕两周, 直径 94 米。接收器直径 60 毫米长 120 厘米, 发火电容器为 100~200 μ F, 可使最小输出电压达 5~7 伏。该装置遥控水深可达 75~80 米, 接收器在 100 米水深下能保持 30 天, 起爆时间离散度在 1 毫秒之内。

2. 超声波遥控起爆

起爆装置包括超声波发射指令器和起爆接收器 (A 和 B) 两大部分。超声波发射指令器由振荡器、调频器、电压放大器、电源和超声波发射器组成。起爆接收器中附有信号鉴别装置, 其开关线路如图 9 所示, 装有 10.5 伏的直流电源。当指令器发出第一个信号时, A 和 B 接收器的开关 SW-1 短路, 电容器充电。第二个信号到来时 A 类接收器的 SW-2 开关短路, 形成回路输出电流, 雷管点火炸药爆炸。通常超声波

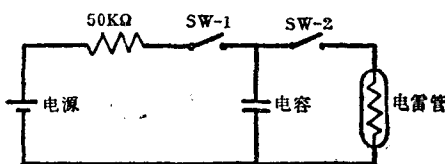


图 9 起爆开关线路

信号由于海面、海底、地形、温度和水深的影响, 信号到达的时间误差可达 0.2~0.5 秒。特别是在远距离时, 起爆动作的误差最大可达 10 秒以上。所以大规模的多孔爆破不能全部采用 A 类接收器。只能用一个 A 类接收器, 其余用冲击型 B 类接收器。即