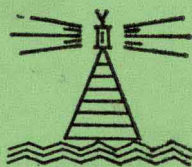


内河航道工人初级技术培训教材

水下钻孔技术

Shuixia Zuankong Jishu



交通部航道职工教育研究组编

1984.5 重 庆

前 言

为了适应内河航道职工教育发展的新形势，交通部教育局于一九八三年一月在南京召开了有十五个省、市、自治区航道部门有关同志参加的会议，成立了内河航道职工教育研究组。会后，分工编写了十六个工种的初级技术理论教学计划 and 大纲，并经交通部教育局审核颁发试行。同年八月，开始组织编写了具有内河航道特点的、适合初级技术教育的一套教材。这套教材共二十一种。本书即是其中的一种。

本教材编写的目的是为提高航道钻工水下钻孔施工的技术水平，内容包括水下钻孔的特性、常用的钻孔设备及其施工方法，另外对水下钻孔爆破也作了适当的介绍，它适合从事内河水下钻孔施工的钻工及爆破工等工种培训之用；也可供有关生产、技术和管理人员参考。

这本教材由长江航道局第一航道工程处甘鉴登、李正富同志编写，最后由长江航道局王育德同志审阅定稿。由于编写时间仓促、资料不够齐备，难以完全适合各地情况。各地在组织教学时可适当补充有关内容，不当之处，请提出宝贵意见。对于参加审阅以及编写中给予支持的有关同志，谨表示衷心感谢。

交通部内河航道职工教育研究组

1984年8月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 水下钻孔的特点.....	(1)
第二节 岩石性质与钻孔的关系.....	(5)
第三节 钻孔爆破在我国航道工程中的应 用和展望.....	(11)
第二章 航道施工常用钻孔设备	(15)
第一节 XJ-100 型钻机.....	(16)
第二节 XU-100型钻机.....	(26)
第三节 XU300-2型钻机.....	(31)
第四节 YQ100型潜孔钻机.....	(33)
第五节 CQ150型潜孔钻机.....	(45)
第六节 钻孔管材及工具.....	(54)
第三章 钻船(台)设备安装及钻孔布置	(63)
第一节 钻孔工作船.....	(63)
第二节 钻孔工作台.....	(72)
第三节 钻架、钻机的安装.....	(75)
第四节 稳船定位与套管设置.....	(79)
第五节 钻孔布置.....	(84)

第四章 钻进工艺..... (89)

第一节 岩心钻机硬质合金钻进..... (89)

第二节 岩心钻机钻粒钻进..... (109)

第三节 潜孔钻机钻进..... (116)

第五章 水下钻孔装药爆破..... (136)

第一节 爆破材料和装药量计算..... (136)

第二节 药包加工和装药填塞..... (145)

第三节 起爆方法和盲炮处理..... (150)

第六章 安全技术..... (159)

第一节 钻孔作业安全技术..... (159)

附录 一、凿岩机打眼..... (175)

二、当初压为 6 公斤/厘米²时每100米风管中风压的损失..... (180)

第一章 绪 论

第一节 水下钻孔的特点

水下钻孔是航道工程中的一种施工方法。这种方法，主要为水下爆破作准备。也就是将钻机安装在工作船或工作台上，穿过水层对水下岩石进行钻孔；装药工作也是在船或台上进行，将加工好的炸药包从套管或护孔管装入孔内。在水流平缓的地方，也可由潜水员从水下孔口直接装药。装药完毕，便可起拔套管或护孔管，连接起爆网路，待工作船移至安全地点和一切安全工作均已做好后，才准起爆。爆破后的石碴，另由挖泥船或其它清碴工具来完成。

水下钻孔需要穿过水层，因此水就成了施工中的主要影响因素。由于河流中的水是流动的，水位、流速及流态等都是随时间、地点的不同而变化的，还有航行中的船筏也是动态的，这些动态的因素，影响到钻孔就大大地增加了施工中的难度和复杂性。这就是水下钻孔的特殊性，也是与陆上钻孔不同的主要方面。

水下钻孔的特殊性，主要体现在以下四个方面：一是由于水位涨落、流速和流态变化等因素的影响，使施工船舶的位置难以定准定稳；二是水下岩石的形态和构造很难直观判定，钻孔位置和效果也难掌握，增加了施工困难；三是水下钻孔作业的难度较大，单位成本也高；四是在通航频繁、流急水乱的河

段及水位变幅较大的季节，施工安全较难保障。

水位、流速、流态及通航是影响水下钻孔施工的四个主要因素，现简要地分别叙述如下。

一. 水 位

水位就是河流中某处水面的高低位置，也是河流中的水面与基准面间的垂直距离。一般规定高于基准面的水位读数为正（+）值，低于基准面的水位读数为负（-）值。

水位与河槽中的水深是密切相关的，同一地点的水位愈高，河槽中的水深就愈大。水位愈低，水深就愈小。由于河床起伏不平，宽窄变化较大，水位涨落不定，所以各处的实际水深也经常在变动。在不同水位时，为了便于确定河槽中礁石顶部的实际水深，可按下式近似地计算：

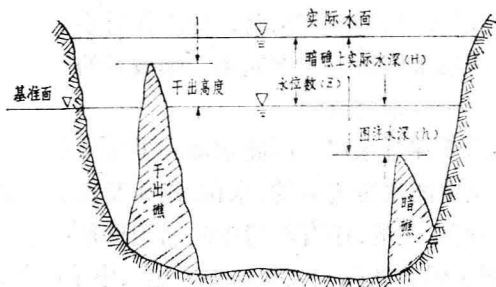


图1—1 水位与水深的关系

$$H = Z + h$$

式中：H——实际水深，米；

Z——水位读数，米；

h——图注水深，米。

水位的涨落对钻孔工作的影响很大，因为水下钻孔作业是在工作船或工作台上进行的，因此，水位的高低，变幅的大小，尤其是暴涨暴落时，便会增加施工操作的难度，或使定位发生困难，甚至影响施工安全。

枯水期是水下钻孔施工的最好季节。这期间的水位既低又比较稳定，变化幅度小，没有暴涨暴落现象。所以，航道水下钻孔爆破工作，一般都在枯水期进行。但是，对受自然条件限制较大，枯水期施工反而困难较多的滩险，例如枯水急滩，也应在水位比较稳定的期间施工，一定要避免暴涨暴落的影响。在枯水期能够露出水面的礁石，应尽量采用陆上的方法施工，这样要经济得多。

二. 流 速

流速就是水流在单位时间内流经的距离，它的计算单位常用米/秒表示。

流速的大小与河流的纵比降，河床的粗糙度，以及河槽型态、风速风向、水深大小等有着密切的关系，其中纵比降和粗糙度及河槽型态是影响流速的主要因素。最大流速一般产生在河槽断面最小的急流滩口处。如川江*的观音滩，乌江的新滩，其滩口的最大表面流速分别达到8.8米/秒和8.0米/秒，是我国内河著名的急流滩。

流速在河槽中的分布情况，一般是河底和河岸的流速较小，河中及深水区的流速较大；垂直方向的最大流速在水面下约1/3水深处。在河槽急剧收缩处或障碍物的顶部，流速也急剧增大。

注*川江系长江上游宜昌至宜宾河段。

流速是水的一种动能，流速愈大，动能也愈大。在流速大的河段施工，由于水的动能大，不仅会影响工作船位的稳定，而且钻孔套管会产生颤动，连接部位变形，甚至使钻孔工作无法进行。川江的经验是，水下钻孔作业的最大允许流速为3.0米/秒，水深10米；当流速和水深再大时，施工作业就很难进行。

三. 流 态

影响水下钻孔作业的水流流态，主要有回流、斜流、泡漩及涌浪等四种。

回流是由于水流受到突咀、礁石等障碍，流速、流压急剧变化，流束发生分离现象，而形成的环形水流。回流多出现在突咀、丁坝的上下游、急流滩口的两侧等处。

斜流是不沿着河流轴线而流动的水流。如弯曲河段的离心力造成的扫弯水，两岸突咀挑流作用而形成的剪刀水等。

泡漩水流是两种不同形态的水流，泡水象锅内沸腾的开水，漩水是沿漩涡核心作圆周运动的水流。这两种水流都是由于不规则的河床型态而形成的，而且泡和漩常相伴而生，因此，习惯上合称为泡漩水流。泡漩水流是一种极度紊乱的水流，泡漩汹涌的河段，是航行船舶的畏途。

涌浪一般可分风成浪、航行浪、地震浪及水成浪四种。它们是由于大风、行轮、地震及急、缓水流互相撞击而产生的。汹涌的涌浪，就象水上的猛兽，各类船舶都得提前避让，不然就会遭受损失。

这四种不正常的水流流态也可总称为紊流。它对水下钻孔作业的影响很大，可使工作船位难以稳定，钻孔套管在水中摇晃颤动，凶猛的紊流可使水下钻孔作业无法进行，甚至酿成事故。

四. 通航

航道整治中的水下钻孔，一般是在通航的河流上施工，因此与船筏通行有着密切的关系，尤其在滩口、弯槽或狭窄河段等处，相互之间的干扰更大。行轮翻起的涌浪，常会影响钻孔作业的正常进行，下水排筏常威胁施工安全，甚至酿成事故，为了防止或减少通航与施工的相互干扰，一般可以采取如下措施：

（一）禁航施工，使通航时间和施工时间分开，避免互相干扰；

（二）加强瞭望和通讯联系，当船筏通过施工区时，施工作业暂停，主动避让；

（三）施工时，在上下游设安全船艇，对不能自行控制航向的木船及人工排筏等，协助拖泊岸边或拖过施工区。

第二节 岩石性质与钻孔的关系

岩石的种类很多，按其形成的原因不同，可以分为岩浆岩，沉积岩、变质岩三大类。

岩石是矿物的自然集合体。目前在地壳中已发现的矿物约有3000多种，但能构成岩石主要成份的仅30~50种，这部份组成岩石主要成份的矿物，称为造岩矿物。最常见的造岩矿物只有十几种，如石英、橄榄石、正长石、斜长石、角闪石、辉石、白云石、蛇纹石、方解石、云母、绿泥石、滑石、高岭土等。

岩石的性质与钻孔的关系很大。不同性质的岩石，对钻进效率、钻孔质量和效果都有较大影响。所以，要确定合理的钻孔方法，就必须了解岩石的基本性质。

一. 岩石的物理性质及 其简易鉴定方法

(一) 岩石的主要物理性质

不同的岩石具有不同的特性，如形态、颜色、条痕、光泽、硬度、比重、解理等物理性质，就是我们在野外条件下常用来鉴别岩石的可靠特征。

1. 形态：岩石在形成的过程中，由于受到生成环境和内部结晶构造的限制等影响，总是具有一定的外表形态，如结晶的方解石为菱面形、石英为六方锥状柱体、云母为片状等。常见的组成岩石的矿物形态有：粒状、板状、片状、柱状、针状、纤维状等。这些不同的形态，均可作为鉴定岩石的依据。

2. 颜色：指岩石新鲜表面呈现的颜色，它取决于矿物的化学成份。颜色有自色和假色之分。自色是矿物固有的颜色，如正长石为肉红色；假色是矿物被杂质浸染后所呈现的颜色，如石英本为无色，含锰后则呈紫色。自色是鉴定岩石的重要特征，假色不能鉴定岩石。为了便于使用，一般将岩石的颜色分为两组：

(1) 浅色——白色、浅灰色、黄色、肉红色等；

(2) 深色——深灰色、深绿色、灰黑色、黑色等。

3. 条痕：条痕就是矿石粉末的颜色。通常将矿石在无釉白瓷板上摩擦获得。有些矿石的颜色与条痕色是一致的，如自然金的颜色和条痕色均是金黄色。但有些矿石表面的颜色同条痕的颜色不相同，如黄铜矿的颜色是铜黄色，条痕色却是绿黑至褐黑色。从条痕来认识矿石，比单从矿石表面的颜色去鉴定矿石更有效，更可靠。

4. 光泽：是光线照射到岩石表面上反射出来的光亮色

泽。通常把光亮耀眼的叫金属光泽，如金、银、黄铜矿、黄铁矿、方铅矿等；比金属光泽较微弱的叫半金属光泽，如磁铁矿、黑钨矿等。自然界的岩石多半属非金属光泽。按光泽的特点可以分为金刚光泽、玻璃光泽、油脂光泽、绢丝光泽、珍珠光泽、土状光泽等。

5. 硬度：岩石的软硬程度叫硬度。在野外测定岩石相对硬度时，常用摩氏硬度计，见表1—1。摩氏硬度计是通过反复实践、挑选了十种典型矿物作为标准来制定的。有时也常采用某些已知硬度的代用品来鉴定岩石的硬度，如手指甲的硬度是2.5，回形针是3.5，小刀是5.5，玻璃是6等。

摩 氏 硬 度 计

表 1—1

硬度级别	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
典型矿物	滑石	石膏	方解石	萤石	磷灰石	正长石	石英	黄玉	刚玉	金刚石

6. 比重：一块岩石的重量与同样体积水重的比值，就叫做岩石的比重。一般测量比重的方法是，用秤称岩石的重量，然后再称一次岩石放在水中的重量，原重与先后重量差之比值，便是比重。可用下计算：

$$\text{比重} = \frac{\text{岩石重量}}{\text{岩石重量} - \text{岩石在水中的重量}}$$

在野外鉴定岩石时，通常是把岩石放在手上掂一掂，便可粗略的估计比重的大至范围。

7. 解理和断口：岩石受外力打击后，沿一定方向有规则破裂的性质，称为解理。如方铅矿受打击后，裂成四四方方的小块，称立方体解理；方解石受打击后，裂成菱形小块，称菱面体解理。另一部份岩石受打击后，不成规则的裂开，就称断

口。形状象锯齿的称锯齿状断口，象贝壳的称贝壳状断口。

(二) 岩石鉴定的简易方法

要精确地鉴定岩石是极其复杂和困难的，必须通过多种物理的和化学的方法才能实现。然而对于工程上的需要来讲，只要采用最简单的肉眼鉴定的方法就能符合要求。所谓肉眼鉴定法，就是用肉眼，再借助于简单的工具（如放大镜、小刀、磁铁、盐酸等）来观察对比各种岩石的特征，再查对已知岩石鉴定表，就能粗略地定出岩石的名称和性质。

鉴定岩石最容易掌握的方法是消除法。即先根据岩石的颜色和硬度进行分类，如表 1—2 所示，再在每一小类的基础上进一步具体观察岩石的解理、形态等特征，然后逐步消除，便可定出岩石的名称。

主要岩石鉴定分类表

表 1—2

硬 度 颜 色	较 硬 的 岩 石	中 硬 的 岩 石	较 软 的 岩 石
	硬度大于 5，用小刀或玻璃片刻划不动或勉强能刻动	硬度小于 5 大于 3，小刀能刻划，指甲不能刻划	硬度小于 3，用指甲能刻动，或只能刻划其小薄片
浅色岩石	石英、正长石、斜长石	方解石、白云石	白云母、绢云母滑石、高岭土
深色岩石	角闪石、辉石、橄榄石	蛇纹石	黑云母、绿泥石

例如，有一块未知名称的岩石，其颜色是肉红色或红白色，总之，是浅色岩石，这样就把深色岩石消除了。再用小刀刻划，感觉硬度大于小刀，则属于表 1—2 较硬的岩石一类，即有可能是石英，正长石或斜长石。再进一步观察出该岩石有

两组正交的解理，且颜色为肉红色，因石英无解理，而斜长石的解理是斜交，颜色也是白色或灰白色。所以，鉴定该岩石是正长石。

二. 岩石的机械性质

岩石在外力作用下产生变形或破坏的性质，称为岩石的机械性质。与钻孔有关的主要机械性质有：

(一) 硬度

岩石抵抗切削具侵入的性能称为硬度。组成岩石的矿物颗粒愈硬愈小；胶结物愈坚固，则岩石的硬度愈大。在一定程度上，岩石硬度直接反映了破碎岩石的难易程度。岩石愈硬（如石英岩、燧石等），切削具切入（或压入）愈难，钻进效率就愈低；页岩、泥岩等较软，切削具切入容易，钻进效率就较前者为高。

(二) 强度

岩石强度是指在压缩、拉伸、弯曲和剪切应力作用下，岩石抵抗破碎的性能。岩石的抗压强度很高，而抗拉、抗弯、抗剪的强度却很低。如果以岩石的抗压强度为1，则抗拉强度仅为它的 $1/10 \sim 1/15$ ，抗弯为它的 $1/5 \sim 1/12$ ，抗剪为它的 $1/6 \sim 1/11$ 。抗压强度是决定岩石等级的主要指标之一。

目前一般的钻孔方法多是采用压碎或剪切方式破碎岩石的。抗压强度和抗剪强度愈大的岩石，破碎就愈困难，钻进效率也就愈低。实践证明，利用冲击方式破碎坚硬岩石比用静压方式容易得多。因此，采用冲击回转钻进是提高生产效率的有效途径。

(三) 研磨性

在钻进中，岩石磨损切削具的性能称为研磨性。岩石研磨

性的大小取决于岩石颗粒的大小，颗粒的硬度和胶结物的性质。组成岩石的颗粒愈大，研磨性愈大；胶结物的硬度与岩石颗粒的硬度相差愈大，研磨性也愈大。岩石的研磨性愈大，对切削具的磨损就愈严重，致使切削具的寿命降低，钻进效率和回次进尺长度均受到影响。

通常用切削具的磨损体积 ΔV 与所消耗的摩擦功 A 之比来表示研磨性的大小，称为研磨系数 ω 。即：

$$\omega = \frac{\Delta V}{A} \text{厘米}^3/\text{公斤} \cdot \text{厘米}$$

（四）弹性、塑性：

岩石受外力而变形，外力消除后能恢复原状的性质称为弹性，不能恢复原状的性质称为塑性。一般岩石的弹塑性并不显著。岩石在弹塑变形过程中，要消耗一定的能量，这对钻孔效率有影响。

（五）可钻性

岩石的可钻性，是指钻进时岩石抵抗压力和破碎的能力，也表示钻进效率的高低。因此，岩石的可钻性是岩石各种特性的综合，是衡量钻进难易的主要指标。一般可用小时效率和一次进尺数两个指标来标志岩石可钻性的高低。

三．水对岩石性质的影响

组成岩石的矿物都有一定的水溶性，而岩石中又存在许多裂缝和孔隙，所以，水能改变岩石的矿物成份，也能破坏岩石的构造。

在地壳构造运动的过程中，岩石因受到各种外力的作用和自然因素（如风化作用等）的影响，产生许多裂缝和孔隙，水便有隙可乘，侵入到岩体中。因而使岩石的性质发生变化。如

果裂缝中有水存在，经过温度的变化和岩体的胀缩等物理作用之后，岩石就会产生机械破坏，使原有的裂缝和孔隙进一步扩展。一克水结成冰时的膨胀力可达960公斤/厘米²，便可造成岩石破碎的冰劈作用。

在一定的外界条件（温度、压力等）作用下，任何矿物都能溶解于水。有些矿物溶解于水后，其结构也被破坏。前者称为溶解作用，后者称为水解作用。这两种作用均可使矿物成份发生化学变化。如长石经水解后就变为高岭土，二氧化硅和氢氧化钾。

经过水的物理作用和化学作用的岩石，其成份和性质都会发生较大的变化。它的强度、硬度和弹性等均有不同程度的降低。试验证明，随着含水量的增加，岩石瞬间的抗压强度可减小30%~36%。当水充满了岩石的裂缝时，岩石的摩擦力和粘聚力也都有所降低。这对钻孔来说是有利的。但是，由于水而造成的岩溶、岩崩、滑坡等，也可以破坏工程基础，损毁建筑物、堵塞河道，而影响国民经济建设。

第三节 钻孔爆破在我国航道工程中的应用和展望

一、钻孔爆破的发展简史

在航道工程中，水下钻孔和爆破有着极为密切的关系，因之我们不妨从钻孔爆破两方面来谈谈它的发展和应用。火药是我国古代三大发明之一，也是我们祖先对人类文明的重要贡献。早在公元660年，我国《丹经》中就记载了硝石和硫磺作用的化学反应。十一世纪北宋年间，火药已被用来为军事服务，作

为战争中消灭敌人的武器。直到十三世纪，中国的火药才经由阿拉伯传入欧洲。十九世纪前后，由于化学工业的发展，瑞典人诺贝尔先后发明了甘油炸药和雷管，此后许多新品种工业炸药和起爆材料才相继出现。

对于促进火药为生产建设服务，具有重要作用的钻孔方法，同样也是我国首先发明的。两千多年以前的汉代，四川省自贡地区的劳动人民就创造了钻井取水熬盐的方法。钻孔方法的出现，人们便能把炸药装填在钻孔内进行爆破，可以提高爆破效率许多倍，从而大大地促进了爆破技术的发展。钢绳冲击式钻机的出现，推动了欧洲采矿工业的进步；新型潜孔钻机和牙轮钻机的出现，提高了炮孔的钻进速度。现在一次起爆数百孔，装药数百吨，爆破岩石数十万吨的大量钻孔爆破，已成了工业生产中的常事。

二、水下钻孔在我国航道工程中的应用

钻孔是航道整治工程中的主要施工方法，除裸露爆破外，其它炸礁方法都需要钻孔配合。如洞室爆破需配合钻孔开挖导洞和药室，航道筑坝需配合钻孔开采石料，爆破礁石更需要钻孔，然后才能装药爆破等。不过航道整治工程中的钻孔，有陆上和水下，风钻和钻机之分，一般在陆上多采用小孔径的风钻钻孔爆破，在水下则以大直径的钻机钻孔为主。本书定名为《水下钻孔技术》，故主要是介绍钻机钻孔的有关知识。

用钻机钻孔，爆除水下礁石的施工方法，在五十年代中期，我们才开始应用到内河航道整治工程中来。三十年来，先后用它炸通了长江上游号称鬼门关的崆岭北槽和王家滩南槽的枯水航道，以及拓宽和改善了磁庄子、兔儿梁、谭子岩、青蛙石等窄浅航道的通航条件。广西境内的西江，使用钻孔爆破也

整治了许多浅窄滩槽；同时他们对钻孔工作船和钻机还进行了改进，使能更有效地适用于内河航道施工。其他内河使用这种施工方法，同样改善了不少滩险或河段的航行条件。钻机钻孔应用于水下施工，不仅加快了内河航道整治工程的进展，而且使以前在急流乱水处无法进行的许多水下施工工艺得以实现，这是航道水下施工中一次较大的技术改革。

水下钻孔和爆破是在钻孔内装药爆破的一种炸礁方法，与水下裸露爆破比较，消耗炸药量少。如川江水下钻爆的单位耗药量仅为裸爆的 $1/8 \sim 1/10$ 。对于水流条件较好的水下大型礁石，钻爆效果比裸爆好，同时钻爆的安全防护范围也比裸爆小。所以，水下钻孔爆破与裸露爆破相比，是一种有发展前途的施工方法。

三. 水下钻孔爆破的发展前景

我国社会主义制度的确立，彻底改变了数千年来的生产关系，为物质生产和科学技术的发展创造了条件。回顾过去，展望未来，航道事业定将取得更大的发展。

（一）我国水运资源丰富，江河纵横，湖泊棋布。流域面积在 100 平方公里以上的天然河流就有 5000 多条，总长度达 42 万多公里，大小湖泊 900 多处。多数河流水量大充沛，常年不冻，四季通航，是发展水运事业极为有利的自然条件。

解放三十多年来，航道整治所取得的成就是很大的，自古以来号称天险的川江航道，现已昼夜通航；滩多水急的乌江航道，通过整治，水运事业发展很快；广西的西江，湖南的湘江，四川的嘉陵江等，整治后，航运条件均有很大的改善。但是，尚待开发的内河航道还很多，尤其是山区河流，需要进一步整治的滩险河段也不少。总之，内河航道的整治任务还相当