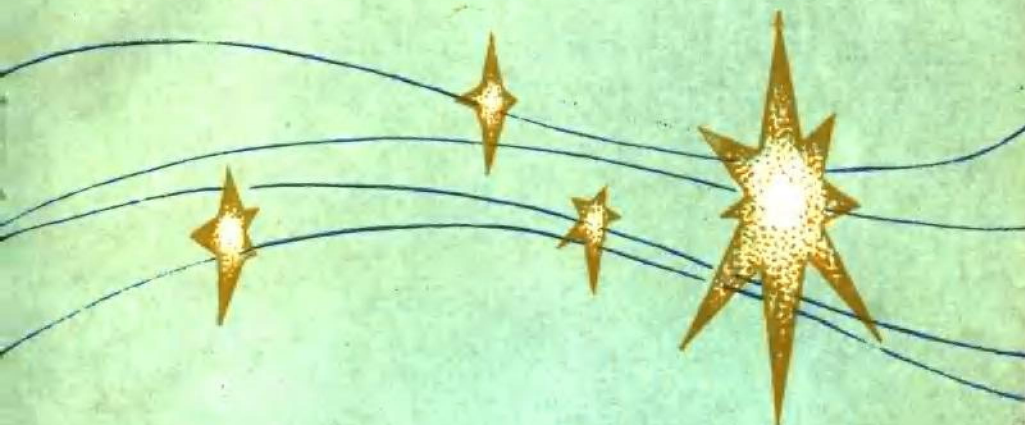


续宋成 贝全荣



水下焊接 与切割技术

海洋出版社

内 容 简 介

本书系我国第一本由专业技术人员和潜水员编著的专著，全书共六篇十三章。书中除介绍了水下焊接与切割技术基础理论知识外，重点介绍了我国目前常用的水下焊接与切割技术的基本操作方法，并较为系统地总结了我国的科研成果和实践经验。

本书除必要的文字说明外，还附有图表 200 余幅，以便于理解和运用。该书图文并茂，通俗易懂，可作为潜水焊工培训教材，亦可供大专院校师生和有关工程技术人员参考。

水下焊接与切割技术

续守诚 贝全荣 编著

海 洋 出 版 社 出 版(北京市复兴门外大街1号)

新华书店北京发行所发行 海洋出版社印刷厂印刷

开本：850×1168 1/32 印张：8³/16 字数：200千字

1986年5月第一版

1986年5月第一次印刷

印数：2500册

统一书号：13193·0655 定价 2 40元

版权所有·不得翻印

序 言

通过三十年来组织海上打捞和水下工程实践的体会，一直希望能有一部适用于我国的水下焊接与切割技术书籍，现在这样的一本书终于问世了，我祝贺《水下焊接与切割技术》一书的出版，并把这本书推荐给广大的同行和读者。

编著本书的是两位长期从事水下焊接与切割实践的工程技术人员和潜水员，他们根据国家的迫切需要和长期的生产实践，经过艰苦的劳动，编著了这本书。本书系统地总结了我国水下焊接与切割技术方面的实践经验，重点而详细地介绍了目前常用的水下焊接与切割技术的操作技术，对于推广、普及水下焊接与切割技术，提高潜水焊工和潜水员的技术水平和作业能力将是有益的；本书还有选择地吸收了国外的先进技术和经验，对发展我国的水下焊接与切割技术及水下检验技术提出了见解，对于水下焊接与切割新技术的采用和新技术的研究也是有帮助的。从长远的角度看，尽管这本书还存在一些不足之处，但仍然不失为一本有实用价值的书。

我国是一个滨海国家，在我国水域蕴藏着极为丰富的自然资源，开发和利用我国的水下资源是进行“四化”建设的需要。向海洋进军是新技术革命中的重要组成部分，也是我们海上打捞、水下工程科研和生产部门光荣而神圣的职责。水下焊接与切割技术是水下资源开发和利用中的至关重要和不可缺少的技术手段，我们必须在发展潜水技术和潜水装备的同时，尽快发展我国的水下焊接与切割技术和装备，不断完善和提高水下作业手段和技能，培养更多的能熟练掌握各种潜水技术和水下焊接与切割技术的潜水焊工和作业潜水员。

为了推广、普及和发展我国的水下焊接与切割技术，我国的水下工程科研、生产部门和高等院校应加强协作，实行科研与生

产的密切结合，进行总体研究，联合研究；必须破除迷信、解放思想、因地制宜，吸收国外先进经验。让我们海上打捞、水下工程界、科研和生产单位携起手来，共同为推广、普及和发展水下焊接与切割新技术，迎接新的技术革命的到来，开发我国丰富的海洋资源，造福于人类作出贡献。

张智魁

1984年2月10日

目 录

绪 论	(1)
第一篇 基础知识	(3)
第一章 焊接的定义和分类	(3)
§ 1-1 焊接的定义和分类	(3)
§ 1-2 水下焊接的基本原理	(6)
第二章 金属材料的基本知识	(16)
§ 2-1 黑色金属的定义和分类	(16)
§ 2-2 钢的性质	(18)
第三章 水下焊接电弧和焊接冶金	(36)
§ 3-1 常压下焊接电弧的本质	(36)
§ 3-2 水下高压电弧的特点	(38)
§ 3-3 焊接电弧的引燃方式	(43)
§ 3-4 焊接时的线能量	(43)
§ 3-5 焊接冶金基本知识	(44)
§ 3-6 焊接熔池的保护和焊缝的形成	(57)
第四章 焊接与切割材料	(59)
§ 4-1 焊条的分类及组成	(59)
§ 4-2 熔渣	(70)
§ 4-3 国产水下焊条	(74)
§ 4-4 水下氧-弧割条	(76)
第五章 焊接与切割设备	(79)
§ 5-1 水下湿法焊接与氧-弧切割电源	(79)
§ 5-2 对弧焊电源的基本要求	(83)
§ 5-3 水下焊接电路的连接方式	(86)
第六章 焊接接头型式和焊缝种类	(90)
§ 6-1 焊接接头型式	(90)
§ 6-2 水下焊接坡口的加工	(93)
§ 6-3 水下焊缝的种类	(95)

§ 6-4	焊缝形状及基本尺寸·····	(96)
第二篇	湿法涂料焊条手工电弧焊技术·····	(113)
第七章	湿法涂料焊条手工电弧焊电路的接线 方法和施工组织·····	(114)
§ 7-1	焊接电路的接线方法·····	(114)
§ 7-2	焊接坡口准备·····	(118)
§ 7-3	焊接规范选择·····	(119)
§ 7-4	施工组织和程序·····	(121)
第八章	湿法涂料焊条手工电弧焊全位置焊接 技术·····	(123)
§ 8-1	操作方法分类·····	(123)
§ 8-2	运条方式·····	(125)
§ 8-3	引弧、续弧和熄弧操作要点·····	(126)
§ 8-4	平焊操作技术·····	(128)
§ 8-6	立焊操作技术·····	(136)
§ 8-6	横焊操作技术·····	(137)
§ 8-7	仰焊操作技术·····	(141)
§ 8-8	全位置焊接技术·····	(143)
§ 8-9	电弧的偏吹及其克服的方法·····	(147)
§ 8-10	水下湿法焊接应用实例·····	(150)
第三篇	水下局部干法焊接技术·····	(155)
第九章	水下空气排水涂料焊条手工电弧焊技术·····	(155)
§ 9-1	水下空气排水涂料焊条手工电弧焊的原理 和特点·····	(156)
§ 9-2	水下空气排水涂料焊条手工电弧焊所用设 备和器材·····	(159)
§ 9-3	水下空气排水焊接操作技术简介·····	(160)
§ 9-4	水下空气排水涂料焊条手工电弧焊技术的 应用前景·····	(162)
第十章	水下局部排水 CO ₂ 气体保护半自动焊 技术·····	(163)

§ 10-1	原理和特点	(163)
§ 10-2	焊接材料、焊接规范和焊接设备	(167)
§ 10-3	水下局部排水CO ₂ 气体保护半自动焊全位 置焊接技术	(180)
§ 10-4	保证焊接质量的措施	(193)
第四篇	水下切割技术	(197)
第十一章	水下氧-弧切割概述	(198)
§ 11-1	水下氧-弧切割原理	(199)
§ 11-2	水下氧-弧切割规范参数的选择	(201)
§ 11-3	水下氧-弧切割设备、器材和接线方法	(206)
第十二章	水下氧-弧切割操作技术	(210)
§ 12-1	水下氧-弧切割法的基本操作方法	(210)
§ 12-2	水下氧-弧切割操作程序及运行方向	(211)
§ 12-3	各种位置的水下氧-弧切割技术	(213)
§ 12-4	水下悬浮位置的切割特点	(216)
§ 12-5	提高水下氧-弧切割效率和质量的措施	(218)
第五篇	水下焊接缺陷和焊缝质量检验	(223)
第十三章	水下焊接常见缺陷及防止方法	(223)
§ 13-1	焊缝形状尺寸偏差和焊瘤及其防止方法	(224)
§ 13-2	咬边和缺肉及其防止方法	(225)
§ 13-3	未熔合(或冷搭)和未焊透及其防止方法	(226)
§ 13-4	烧穿及其防止方法	(228)
§ 13-5	夹渣及其防止方法	(228)
§ 13-6	气孔及其防止方法	(229)
§ 13-7	裂纹及其防止方法	(231)
第十四章	水下检验和焊缝质量检验	(234)
§ 14-1	水下检验概述	(234)
§ 14-2	水下检验的分类	(235)
§ 14-3	水下检验的程序和使用的仪器设备	(236)
§ 14-4	水下焊缝质量检验	(239)
第六篇	潜水焊工的可认和水下焊接与切割作业中	

的安全知识.....	(242)
第十五章 潜水焊工的认可知识.....	(242)
§ 15-1 潜水焊工的选拔和培养	(243)
§ 15-2 潜水焊工认可的目的和分类	(243)
§ 15-3 潜水焊工认可考核范围和内容	(244)
§ 15-4 潜水焊工的认可程序	(245)
第十六章 水下焊接与切割作业中的安全知识.....	(247)
§ 16-1 水下用电的安全知识	(247)
§ 16-2 水下焊接与切割作业劳动卫生保护	(251)
§ 16-3 水下焊接与切割作业中的安全操作技术	(252)
后 记.....	(254)

绪 论

水下焊接与切割技术是水下金属加工不可缺少的重要工艺技术手段，也是水下作业技术中最为重要的技术。水下焊接与切割技术的不断发展和提高，技术手段的不断完善，对于开发利用水下丰富的自然资源有着极为重要的意义。

水下焊接与切割技术总是伴随着水下资源开发利用的需要和潜水技术的发展而发展。虽然早在1802年英国科学家戴维 (Davy) 就阐明了电弧在水下能够直接产生的可能性，但由于受到当时科学技术和潜水技术的限制，并没有真正应用到实际工程作业中去。1917年英国海军造船所首次应用水下湿法焊接（水下涂料焊条手工电弧焊）技术对船舰铆钉渗漏处进行了焊接修补。苏联人K.K.霍列诺夫于1932年发明了一种厚药皮水下专用焊条，使湿法水下电弧的稳定性和焊缝的成型得到了很大的改善。但由于焊缝的质量不高，此时的水下焊接仅限于在沉船打捞、海难救助等临时性的工程中使用；这时的水下切割技术也只能在较浅的水域进行破坏性的切割。直到二十世纪五十年代，特别是进入六十年代后，随着海洋石油的开发利用和潜水技术的发展，水下焊接与切割技术已成为海洋工程的关键性技术，世界各工业发达国家，尤其是美国、苏联、日本、法国、英国和联邦德国，对水下焊接与切割技术进行了大规模的研究和开发利用，相继出现了水下干法焊接和局部干法焊接，使水下焊接与切割技术得到了迅速发展。近年来世界各国特别重视水下焊接与切割技术的模拟技术的发展。

水下焊接与切割技术，在我国还是一门比较新的技术。五十年代初开始出现水下焊接与切割技术，并在救助打捞工程中完成了大量的水下作业。五十年代末期在生产制造和应用单位的共同努力下，上海东亚焊条厂和上海海难救助打捞局合作研制成功国

产水下专用焊条和氧-弧割条。六十年代初期我国的一些水下施工单位还进行了水下躺焊和水下空气排水涂料焊条手工电弧焊技术的研究和应用。这是我国最早应用的一种水下局部干法焊，提高了水下焊缝的质量，在当时来说还是世界上较为先进的焊接方法。郑州机械研究所还研究成功了水下等离子切割技术。以后由于众所周知的原因，我国的水下焊接与切割技术处于停滞不前的状态。随着我国海洋石油的开发，水下焊接与切割技术进入了新的发展时期。哈尔滨焊接研究所在上海海难救助打捞局和天津石油勘探局的协作下研究成功了水下局部排水 CO₂ 气体保护半自动焊技术；上海交通大学在上海海难救助打捞局协作下，研究成功了水下熔化极水喷射半自动切割技术；华南工学院在海军的协作下研究成功了新一代的水下低碳钢焊条；上海海难救助打捞局科学研究所研制成功了新的水下氧-弧割条和组合式水下焊割工具。总之，近年来我国的水下焊接与切割技术取得了一定的发展，但与世界先进水平相比还存在一定的差距。需要奋起直追，迎头赶上。

为了实现“四化”建设，党和政府已经决定在八十年代中期大规模开发和利用我国丰富的海洋石油和天然气资源。我国的水下焊接与切割技术必将进入一个更大的发展阶段，造就和培养大量的和有能力的潜水焊工、潜水员，是我们的光荣而艰巨的任务，我们要为此作出不懈的努力。

第一篇 基础知识

第一章 焊接的定义和分类

§1-1 焊接的定义和分类

所谓焊接，就是利用某种手段和工艺对不连续的材料施加某种能量，借助于原子间的渗透和质点的扩散，使材料形成连续而牢固的整体接头的过程。同种材料，异种材料之间都可以进行焊接加工。

焊接，根据其环境压力可分为低压环境中的焊接、常压环境中的焊接和高压环境中的焊接三类。其分类见表1-1。

表 1-1 焊 接 分 类

焊 接	—	低压焊接
	—	常压焊接
	—	高压焊接

低压焊接系指在低于一个标准压力的环境中进行的焊接，如高原地区中的焊接和太空中的焊接。

常压焊接系指在一个标准压力的环境中的焊接。如陆地上的各种焊接和水下常压焊接仓内的焊接。

高压焊接系指在高于一个标准压力的环境中的焊接，如水下高压焊接仓内的焊接和局部干法焊接。

我们应该首先对常压下的焊接方法的分类有个较清楚的了解。常压下的焊接方法，根据不同的工艺特点分为熔化焊和加压焊两大类。基本的焊接方法及分类见表1-2。

到目前为止，水下的焊接方法，都是把陆上常压下的焊接方

表 1-2 常压焊接基本焊接方法及分类

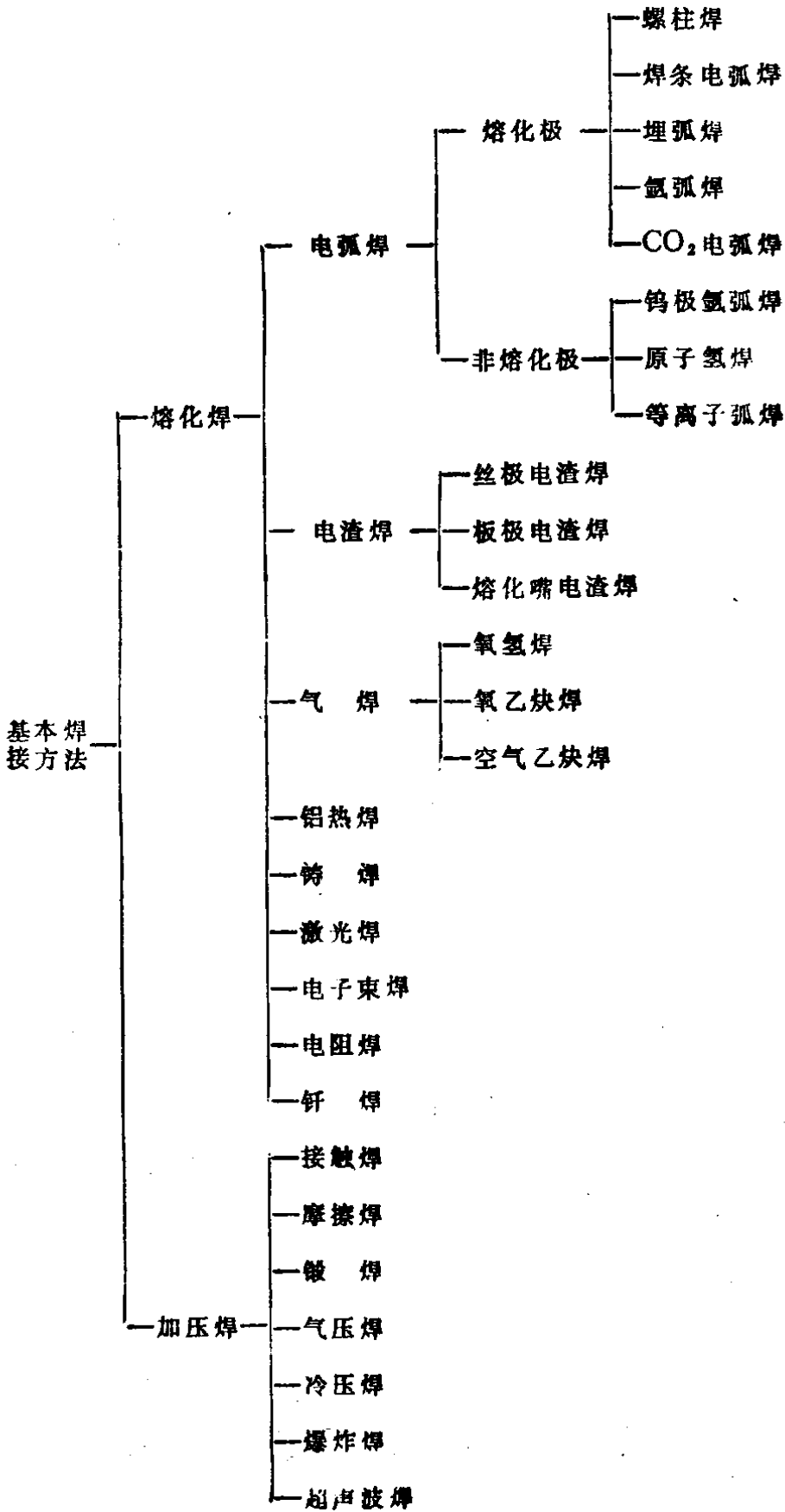
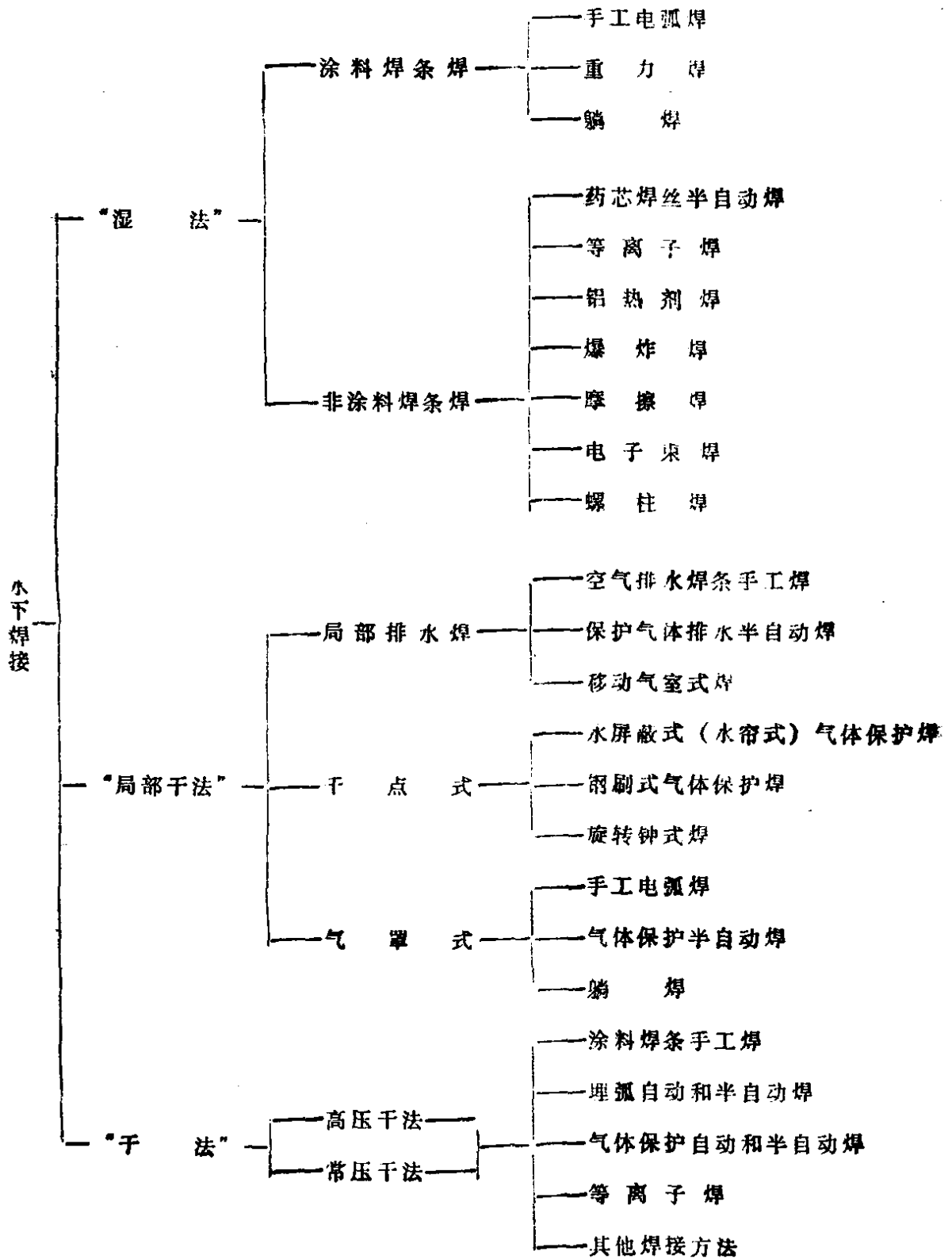


表1-3 水下焊接方法及分类



法移置到水下去的。如所周知焊接环境的压力对焊接过程带来很大的影响，这种影响随着压力的变化而有较大的变化。三类焊接虽然具有很多共同性的问题，亦有许多特异性的问题。目前低压焊接研究的还不多，常压焊接的研究和应用已经发展到很高的水平，高压焊接的研究随着海洋自然资源的开发，逐渐为人们所重视，世界工业发达国家集中了大量的人力、物力和财力开展了高压焊接的研究，取得了很大的进展。

水下焊接是指在水的特殊环境中对水下结构物的焊接。水下焊接既存在水的影响，又存在压力的影响。这种影响将在以后的几章里叙述。水下焊接目前尚没有统一的分类方法，但一般都是根据焊接过程在水下的环境进行分类的。水下焊接大体上可分为“湿法”焊接、“干法”焊接和“局部干法”焊接。国外有人把水下焊接分为“湿法”和“干法”两类，认为“局部干法”属于“湿法”焊接。水下焊接的分类见表1-3。

§1-2 水下焊接的基本原理

水具有下列特性：密度大、热容量大、热传导快、不可压缩且随水深的增加而压力亦增加。水下焊接是在水的环境中进行的焊接，它会受到水和压力的影响。这种影响的大小随水下焊接方法的不同而有所不同。水下焊接具有许多同陆上焊接不同的特点，掌握这些特点对潜水焊工具有重要的意义。

水下焊接的方法和特点如下：

一、水下“湿法”焊接

潜水焊工在水中不采取任何排水措施，直接在水下对工件进行焊接称为“湿法”焊接。典型的“湿法”焊接是水下涂料焊条手工电弧焊。

这种方法的原理是：当通电焊条与被焊工件接触时，接触点

的电阻热（温度达6000 K）使接触点处的水瞬时汽化，形成一个气相区。当焊条离开工件一定距离后，电弧仅在气体介质中引燃。随着水的继续大量汽化，再加上焊条涂料熔化放出的气体，在电弧周围形成一个较为稳定的“电弧气泡”。“电弧气泡”使焊接熔池同水隔开，随着焊条的不断移动，从而形成完整的焊缝。可见，电弧在水下的燃烧与在大气中大致相同，所不同的是电弧周围气体的成分和浓度不同而已。水下焊接电弧在水下燃烧的情况如图1-1。

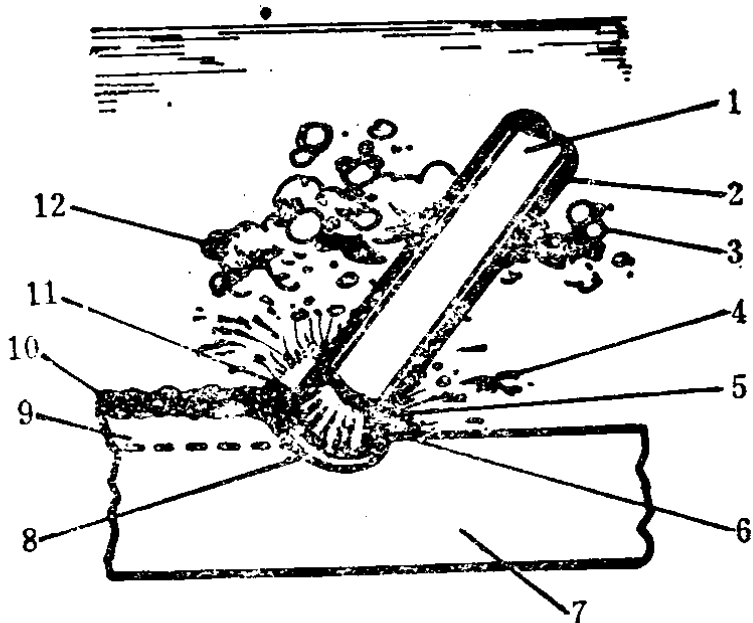


图 1-1 电弧在水下燃烧示意图

1. 焊条芯 2. 焊条涂料 3. 上浮气泡 4. 飞溅 5. 电弧
气泡 6. 套筒 7. 工件 8. 熔池 9. 焊着金属 10. 焊
渣 11. 电弧 12. 浊雾

“湿法”焊接区周围是水，在水和压力的影响下使焊接过程和操作发生许多困难。主要有下列三点：

（1）可见度差。由于水对光有很强的吸收和散射作用，光在水下的传播比在大气中慢得多，如光在清水中传播 1 米距离的损失，相当于光在大气中传播 1 千米的损失，另外焊接时电弧周围产生大量的气泡和浊雾上浮，使水变得紊乱而混浊，使焊接时

的能见度很差，因而潜水焊工难于看清电弧和焊接熔池的反应情况。特别在水质条件差的水域，水下的微生物、泥沙等杂质，使水下的能见度降低到零，潜水焊工根本不能看清焊接情况，在这种情况下完全属于“盲焊”。使潜水焊工难于发挥操作技能，易造成各种焊接缺陷，难于保证水下焊接的质量。

(2) 焊缝含氢量高。氢在金属中的含量超过允许值，有可能使金属材料产生“氢害”引起裂纹、气孔，导致结构的破坏。由于水下焊接时电弧气氛中的含氢量远较大气中高（可达62—68%），且氢的分压较大气中高，这就使焊缝组织中溶解的氢很多，一般扩散氢含量在30—40毫升/100克左右，最高可达60—70毫升/100克，比大气中采用酸性焊条焊接时多好几倍。水下“湿法”焊接的接头组织塑性和韧性很差，焊接接头易造成焊接裂纹，降低了金属材料的焊接性能。

(3) 焊缝冷却速度快。水下“湿法”焊接时，电弧气泡尺寸很小，在焊接过程中随着气泡的移动，焊缝金属迅速凝固，但仍然处于红热状态就直接进入水中，由于水的导热系数比空气大许多倍（水的导热系数为0.00132卡/秒·厘米·℃，空气的导热系数仅为0.000056卡/秒·厘米·℃），所以焊缝金属受到急冷，极易淬火，出现高硬度的组织，即使在低碳钢的焊缝组织或热影响区中也往往会出现马氏体等淬硬组织。这就是许多在常压下焊接性能良好的金属到了水下就难于焊接的重要原因。

由于水下涂料焊条手工电弧焊焊缝出现高硬度组织，含氢量高易造成“氢脆”，再加上焊接时可见度差，出现焊接缺陷，形成应力集中，所以焊接接头的质量难于控制。一般不宜用于焊接重要的水下金属结构。但这种焊接方法具有比较灵活、简单易行、适应性广、施工成本低和周期短等优点。如果能研制新的水下涂料焊条，焊接工艺、方法，且潜水焊工掌握了熟练的技术，这种焊接方法还是可以焊接一些较重要的水下金属结构，从而发挥它的作用。

二、水下“干法”焊接

“干法”焊接是美国在1954年提出的。从事干法焊接装置的研究始于六十年代，1966年用于生产。

所谓“干法”焊接是指人为地把被焊接部位周围的水排除，被焊工件、焊接过程和潜水焊工均在气相区内进行的焊接。“干法”焊接又分为“高压干法”和“常压干法”焊接。如图1-2，1-3。

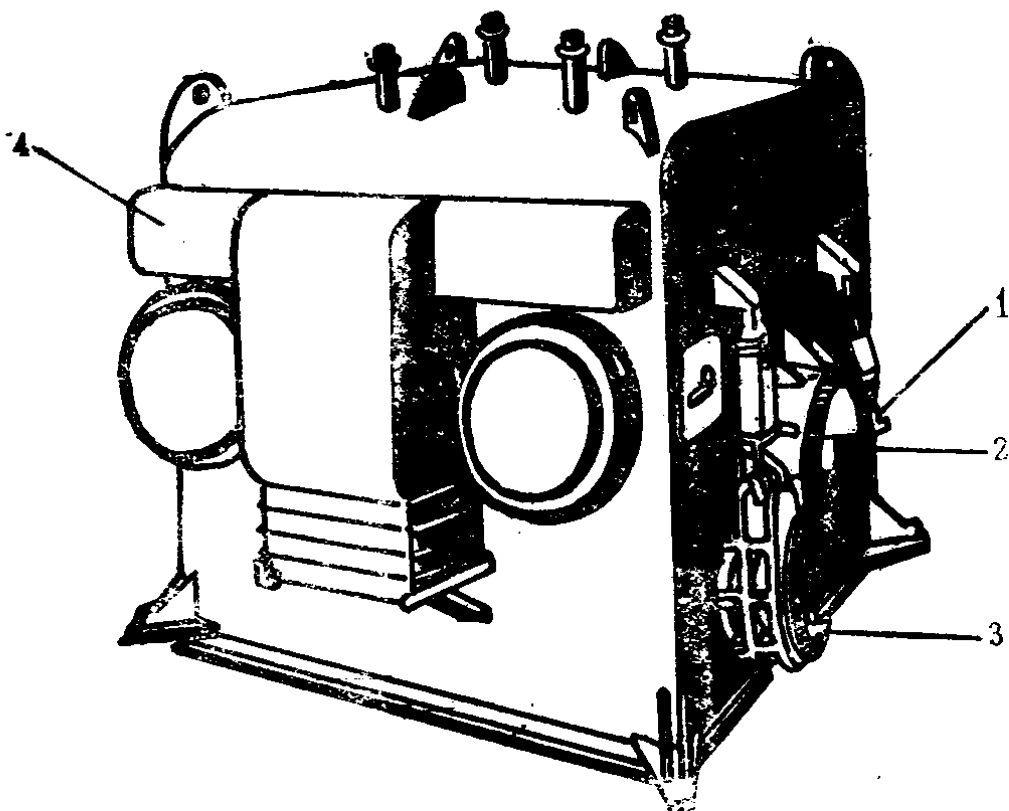


图 1-2a 高压干法焊接仓简图

1. 收紧装置 2. 焊接仓体 3. 密封卡环 4. 空调系统

由图可见，这种“干法”焊接需要设计和制造焊接仓室，焊接仓室的结构和设备往往比较复杂而特殊。一个最简单的系统内也必须装置注排水系统、供电系统、照明系统、生命维持系统和焊接系统等。而复杂的焊接仓往往还装置焊接烟尘回收系统、气体净化系统、通讯监视系统和环境控制系统等。潜水焊工进入焊接仓有两种方式，即携带潜水装具由仓门进入焊接仓，和不携带潜水装具在水面进入焊接仓。