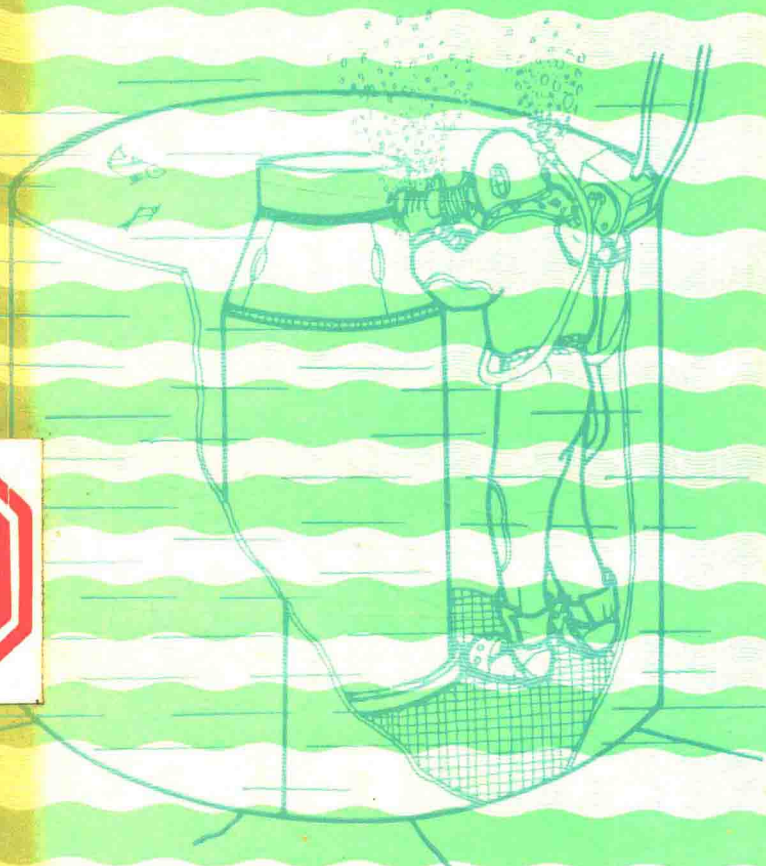


水下焊接与切割

宋宝天 编著



机械工业出版社

水下焊接与切割

宋宝天 编著



机械工业出版社

水下焊接与切割技术是海洋工程建造、船舶维修、救捞工程及海军建设中不可缺少的工艺手段。本书是作者结合多年实践经验，参考国内外有关文献，专为潜水焊工编写的中级读物。书中简要介绍了各种水下焊接与切割方法的基本原理及其特点，重点讲述了我国新开发的水下局部干法焊接和生产中常用的水下焊接与切割设备、材料及操作技术。内容通俗易懂，比较实用。

本书可作为潜水焊工的培训教材，也可供中等专业学校师生及从事海洋工程建造的工程技术人员参考。

水下焊接与切割

宋宝天 编著

★

责任编辑：俞逢英 版式设计：张世琴
封面设计：田淑文 责任校对：熊天荣

★

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南里一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

★

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印张 $5 \frac{1}{2}$ · 字数 121 千字

1989 年 5 月北京第一版 · 1989 年 5 月北京第一次印刷

印数 0,001—1,450 · 定价：4.40 元

★

ISBN 7-111-00556-2/TG·141

前 言

水下焊接与切割技术是海洋工程建造、船舶维修、救捞工程及海军建设中不可缺少的工艺手段。近年来,随着开发海洋事业的兴起,海洋工程结构也如雨后春笋迅速发展起来。为确保海洋工程结构质量,提高水下作业效率,进一步提高潜水焊工水下焊接与切割的理论水平和实际操作技术是具有重要意义的。

本书简要介绍了各种水下焊接与切割方法的基本原理及其特点,重点介绍了我国新开发的水下局部干法焊接和生产中常用的水下焊接与切割设备、材料及操作技术,以期有助于提高潜水焊工的基本理论知识和操作技术。

本书是编者结合多年从事水下焊接技术研究、海洋工程水下焊接施工及培训潜水焊工等工作经验,参考国家标准《潜水焊工考试规则》中基本知识考试范围的规定,并考虑到我国潜水焊工现有的文化水平而编写的。力争通俗易懂,有实用性。本书可作为潜水焊工参加水下焊接与切割基本知识考试时的复习资料。也可作为培训潜水焊工的参考教材。

本书在编写过程中曾得到烟台救捞局、上海救捞局及海军防救部队的潜水员和工程技术人员的支持。定稿后,承蒙焊接学会水下焊接与切割分会副主任林尚扬高级工程师、哈尔滨焊接研究所总工程师宋天虎高级工程师及《焊接》杂志编辑部潘大吉付编审审阅,特此致谢。

由于时间紧迫和水平有限,如有不妥与错误之处,请读者批评指正。

编者

1987年3月

目 录

前言

第一章 水下焊接概述	1
一、水下焊接的发展及其分类	1
二、湿法水下焊接及其特点	3
三、干法水下焊接及其特点	5
四、局部干法水下焊接及其特点	7
第二章 水下手工电弧焊	12
一、焊接设备	12
二、水下焊条	20
三、水下手工电弧焊技术	24
四、常见的几种补焊作业	36
第三章 LD-CO ₂ 焊接法	42
一、LD-CO ₂ 焊接法原理及其特点	42
二、LD-CO ₂ 焊接特性	46
三、LD-CO ₂ 焊接设备	55
四、焊接材料及工艺参数的选择	80
五、LD-CO ₂ 焊接操作技术	90
六、LD-CO ₂ 焊接法应用实例	101
第四章 水下焊接缺陷及质量检验	111
一、焊接缺陷及其防止措施	111
二、水下焊接质量检验	121
第五章 水下切割概述	123
一、水下切割的发展及其分类	123
二、水下氧-火焰切割	125
三、水下电弧切割	129

IV

四、熔化-氧化切割	131
五、其它熔化切割	135
六、水下冷切割	137
七、水下切割技术展望	139
第六章 水下电-氧切割技术	143
一、切割设备	143
二、切割材料	148
三、切割技术	152
第七章 水下焊接与切割中的安全	165
一、水下安全用电	165
二、劳动保护及安全操作	169

第一章 水下焊接概述

一、水下焊接的发展及其分类

水下焊接至今已有近百年的历史，但其初期的发展是十分缓慢的。早在 1802 年，曾有人指出在水中可以引燃电弧。其后经过一个世纪的时间，到 1917 年英国海军造船所才第一次进行船舶水线以下部位铆钉渗漏补修的水下电弧焊接。从那时起，直到第二次世界大战之后，水下焊接的发展经历了一个漫长的阶段。因为当时生产上对水下焊接质量要求不高，有的在光焊丝上涂些绝缘漆作为焊条；有的将陆地上用的焊条稍加改进就用来进行水下焊接。可想而知，这样的焊条，不仅工艺性能不好，而且焊接接头性能也较低劣。1932 年苏联柯·柯·霍列诺夫成功地制造了水下焊接专用的防水厚药皮焊条，才使水下焊接时的电弧稳定性与焊接接头致密性得到改善。从而使水下焊接技术前进了一步。1946 年，荷兰也研制出防水厚药皮焊条。但是，这些焊条一般只能应用于水深 10~20 米的浅水中，用于拆除桥墩时的切割、打捞沉船以及船舶海难事故应急焊接修理等较为局限的领域里。从六十年代以来，开发海洋事业的兴起，才进一步促进了水下焊接技术的发展，水下焊接已成为近海石油开采事业中不可缺少的工艺手段。水下焊接已不只是临时性应急修补的手段，而且其焊接接头还必须具有足够的强度、韧性、致密性及耐海水腐蚀等性能。为了适应开发海洋的需要，世界各工业先进国家都加强了水下焊接技术的研究工作。许多新的水

下焊接方法相继出现，焊接接头质量也大大提高。到目前为止，陆地上已有的焊接方法，几乎在水下都进行过尝试，有的已应用于生产实践，水下焊接正处于兴旺时期。

水下焊接如何分类，目前还没有统一的规定。一般都从水下焊接所处的特殊环境，将水下焊接大体上分为三大类：湿法水下焊接、干法水下焊接和局部干法水下焊接。但随着水下焊接技术的发展，又出现了一些新的水下焊接方法，如水下螺柱焊、水下爆炸焊、水下电子束焊和水下铝热焊等。这些焊接方法还难以确切地归于哪一类，故暂按图 1-1 分类。

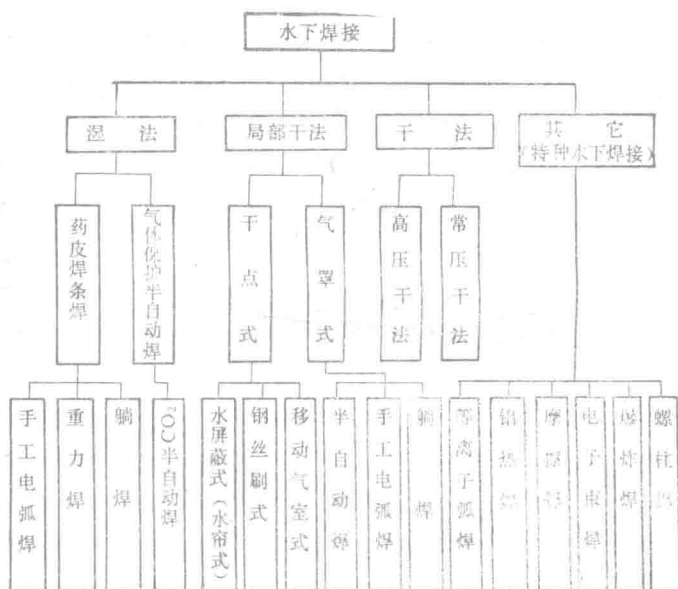


图1-1 水下焊接分类

二、湿法水下焊接及其特点

潜水焊工在水下对焊件和焊接电弧，不采取任何辅助屏蔽措施而直接进行焊接的方法，称为湿法水下焊接。典型的湿法水下焊接是水下焊条手工电弧焊，简称水下手工电弧焊。

这种水下焊接方法的基本原理是：当焊条与焊件接触时，电阻热将接触点处周围的水汽化，形成一个气相区。当焊条稍一离开焊件，电弧便在气体介质中引燃，继而由电弧热将周围的水大量汽化，加上焊条药皮放出的 CO_2 气体，在电弧周围形成一个一定大小的“气袋”，把电弧和在焊件上形成的熔池与水隔开。由此可见，电弧在水中燃烧与在空气中燃烧大致相同，都是气体放电，只是电弧周围气体成分和压力不同而已。图 1-2 是电弧在水中燃烧示意图。

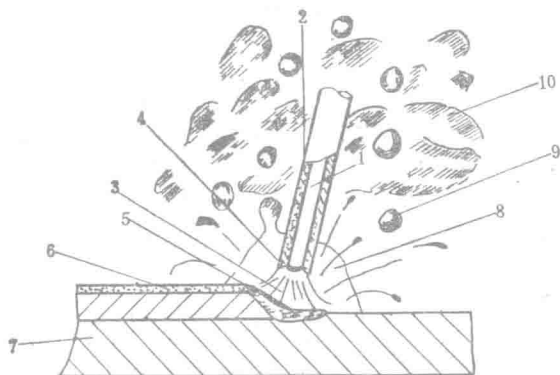


图 1-2 电弧在水中燃烧示意图

- 1—焊芯 2—药皮 3—电弧 4—药皮套筒 5—熔池
6—熔渣 7—焊件 8—气袋 9—气泡 10—烟雾

湿法水下焊接区周围是水，不是空气。而水与空气有着不同的物理化学性质，这就给这种水下焊接带来了一系列困难，主要有如下三点：

1. 可见度差 水对光的吸收和散射作用比空气强得多。因此，光在水中传播时减弱得很快。如光在潜水中传播 1 米距离的损失，相当于在空气中传播 1 千米距离时的损失。另外，焊接时电弧周围产生大量气泡和烟雾，使水变得混浊。潜水焊工难以看清电弧和熔池的情况。在淤泥的海底或夹带泥沙的海域中进行水下焊接，水中可见度就更差了。长期以来，这种水下焊接方法基本属于“盲焊”，严重地影响了潜水焊工操作技术的发挥。这是造成水下焊接容易出现缺陷，焊接接头质量不高的重要原因之一。

2. 含氢量高 氢是焊接的大敌。如果焊缝中氢含量超过允许值，很容易引起裂纹，甚至导致结构的破坏。水下手工电弧焊时，电弧周围“气袋”中氢浓度很高，溶解到焊缝中的氢就很多。一般焊缝中扩散氢含量在 30~40 毫升/100 克左右，最高可达 60~70 毫升/100 克，为陆上酸性焊条（结 422）焊接时的好几倍。所以，长期以来，水下手工电弧焊的焊接接头质量较差，这与含氢量高也是分不开的。

3. 冷却速度快 这种水下焊接方法，尽管电弧周围有一个“气袋”，但其尺寸是较小的。随着焊条的向前移动，刚刚凝固的熔池还处于红热状态便开始与水接触。而水的热导率比空气大 20 倍，也就是说，水对焊缝的冷却作用远远大于空气的冷却作用。所以，焊缝冷却得非常快，很容易被淬硬，在低碳钢的焊缝和热影响区中，也往往会出现马氏体等淬硬组织。

因为出现高硬度组织，含氢量又高，再加上可见度差，

容易产生焊接缺陷，造成应力集中，焊接头质量较差。以上三方面的障碍，是这种水下焊接方法在一段时期内发展缓慢的根本原因。目前，这种水下手工电弧焊还不能用来焊接重要的海洋结构。

但是，湿法水下焊接具有灵活、简便、适应性广、成本低等优点，在生产中仍然是一种不能淘汰的水下焊接方法。

三、干法水下焊接及其特点

为了排除水对焊接的影响，克服湿法水下焊接存在的三方面的问题，提高水下焊接接头质量，1954年美国首先提出干法水下焊接的概念，1966年正式用于生产。

所谓干法水下焊接，是指把包括焊接部位在内的一个较大的范围里的水人为地排开，使潜水焊工能在一个“干”的气相环境中进行焊接的方法。具体地说，就是潜水焊工在水下的一个大型干式气室中焊接。干法水下焊接分两种：一种是高压干法水下焊接，如图1-3所示。气室底部是开口的，通入稍大于工作水深压力的气

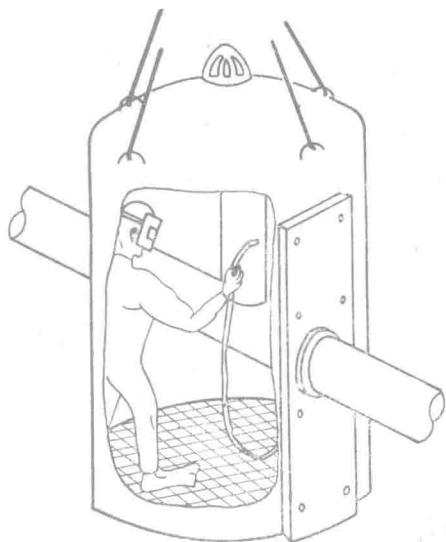


图1-3 高压干法水下焊接示意图

体,把气室内的水从底部开口处排出,焊接工作是在干的气室中进行的。一般采用手工电弧焊或惰性气体保护电弧焊等方法进行焊接,可以获得高质量的焊接接头。

高压干法水下焊接是当前各种水下焊接中质量最高的方法之一,但也存在如下问题:

(1) 要有一个大型气室(焊接仓),将被焊工件罩起来,在应用中往往受到工程结构形状、尺寸和位置等的限制,局限性较大,适应性较小。到目前为止,较多用于管线等形状简单、规则的结构的水下焊接。

(2) 需要配备一套生命维持、温度调节、监控、照明和安全保障等系统。辅助工作时间长,水面支持队伍庞大,施工成本也较高。美国 TDS 公司的一套可焊接直径 813 毫米管线的焊接装置(MOD-1)价值高达二百万美元。

(3) 存在着气体压力对焊接的影响。水深每增加10米,就增加一个大气压力。在深水下进行焊接(如几十米到几百米)时,随着电弧周围气体压力的增加,焊接电弧特性、冶金特性及焊接工艺特性都要受到不同程度的影响。例如,随着水深的增加,电弧稳定性变坏,熔宽越来越窄,余高越来越大,焊缝成形变坏,容易产生焊接缺陷。

为了克服气体压力升高对焊接的不良影响,法国在最近制造了一个密封的水下焊接作业仓,内部气体为常压。这样,焊接工作就和陆上完全一样,排除了水深的影 响。这种水下焊接方法称为常压(大气压)水下干法焊接,如图 1-4 所示。1977年法国 LPS 公司首次用这种水下焊接方法,在北海150米水深处成功地焊接了直径 406 毫米的海底管线。

但是,这种常压干法水下焊接设备的造价比高压干法水下焊接还要昂贵,焊接辅助人员也更多。所以,一般较少采

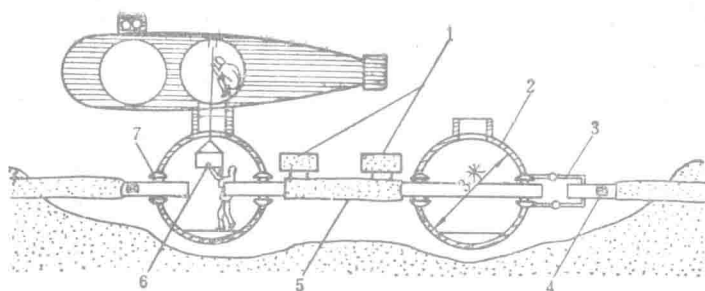


图1-4 常压干法水下焊接示意图

- 1—浮力箱 2—气压室 3—液压千斤顶 4—闭合装配塞块
5—替换管段 6—可调节的管接头 7—活动夹钳

用。

四、局部干法水下焊接及其特点

前面已经说过，湿法水下焊接设备简单，灵活方便、造价低，但接头质量不好；而干法水下焊接虽然焊接接头质量好，但造价高，适用范围窄，上述水下焊接方法都难以满足日益发展的开发海洋事业的要求。于是，一种新的水下焊接方法——局部干法水下焊接应运而生。

局部干法水下焊接，是潜水焊工处于水中，把焊接部位周围局部区域的水人为地排开，形成一个较小的局部气相区，使电弧在其中得以稳定的燃烧。与湿法水下焊接相比，因为焊接部位局部区域排除了水的干扰，从而改善了焊接接头质量；与干法水下焊接相比，不需要那种大型而造价昂贵的焊接仓。所以说，这种水下焊接法，综合了湿法水下焊接和干法水下焊接两者的优点，是一种较先进的水下焊接方法。

局部干法水下焊接是七十年代兴起的，是当前水下焊接

技术研究的重要方向之一，美、英、日等国都取得了较大进展。目前，已有几种局部干法水下焊接方法在生产中应用。

1. 气罩式水下焊接法 是在被焊焊件上安装一个透明罩，用气体将罩内的水排出。潜水焊工处于水中，将焊枪从罩的下方伸进罩内的气相区进行焊接。潜水焊工通过罩壁（或观察窗）观察焊接情况，如图 1-5 所示。这种水下焊接方法、多采用熔化极气体保护半自动焊和手工电弧焊，也可采用非熔化极气体保护半自动焊。实际应用的最大水深是40米。

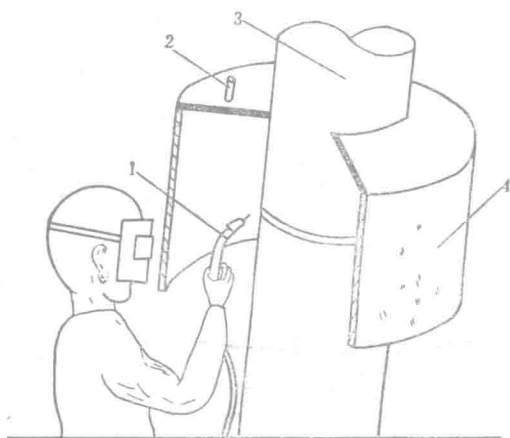


图1-5 气罩式局部干法水下焊接示意图

1—焊枪 2—进气孔 3—焊件 4—透明罩

这种气罩式局部干法水下焊接属于较大范围局部干法，焊接接头质量较高，但灵活性和适应性稍差。另外，焊接时间一长，罩内烟雾变浓，影响潜水焊工视线。应注意排气，始终保持罩内气体清沏，这是此种水下焊接法必须解决的问题。

题。

2. 水帘式和钢刷式水下焊接法 水帘式水下焊接法属于较小范围的局部干法,也称为干点式水下焊接法。它是靠双层喇叭状喷嘴的外层喷射出的高压水,在喷嘴的四周形成一个水帘,阻挡外面的水入侵,由内层喷嘴喷出保护气体,形成一个气相区,使电弧在气相区中燃烧。如图 1-6 所示。保护气体多为氩气或混合气体,使电弧和熔池得到保护。喷射出的高压水还有把逸出的气泡破碎,稳定气相区内压力的作用,有助于保持电弧稳定燃烧。

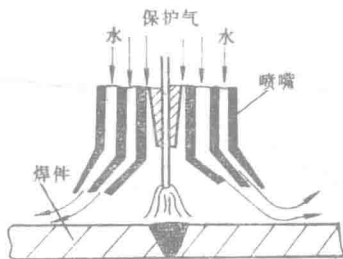


图 1-6 水帘式局部干法焊接示意图

水帘式局部干法水下焊接法的焊接接头强度不低于母材,焊接接头面弯和背弯都可达到 180 度。焊枪轻便、较灵活。但是可见度问题没有解决。保护气体和烟尘将焊接区的水搅得混浊而紊乱,潜水焊工基本上仍处于盲焊状态。另外,喷嘴离焊件表面的距离和倾斜角度要求严格。潜水焊工要具有较高的操作技术。再加上钢板对高压水的反射作用,使这种方法在焊接搭接接头和角接接头时效果不好。因此,这种水下焊接方法至今没有应用于生产。

为获得稳定的屏蔽,日本用直径为 0.2 毫米的钢丝“裙”代替水帘,喷嘴部分像钢丝刷子一样,故将这种水下焊接法称为钢刷式水下焊接法,如图 1-7 所示。

钢刷式局部干法水下焊接法克服了水帘式局部干法焊接的缺点,可以进行搭接接头、角接接头的焊接。可自动焊,

也可以采用半自动焊。但半自动焊时，可见度仍不好，还是无法直接看清电弧和熔池情况。这种方法曾用于焊修钢桩被海水腐蚀掉的焊缝，水深是1~6米。

3. 可移动气室式水下焊接法 这种方法是通过一个可移动的一端开口的气室压在焊接部位上，用气体将气室内的水排出，气室内呈气相，电弧在气相中燃烧，如图1-8所示。气室直径较小，只有100~130毫米，故属于干点式水下焊接法。

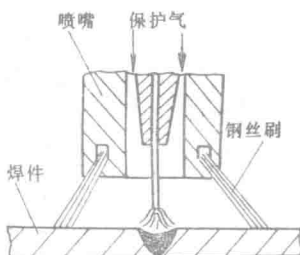


图1-7 钢刷式局部干法焊接示意图

焊接时，将气室开口端与被焊部位接触，在开口端装有

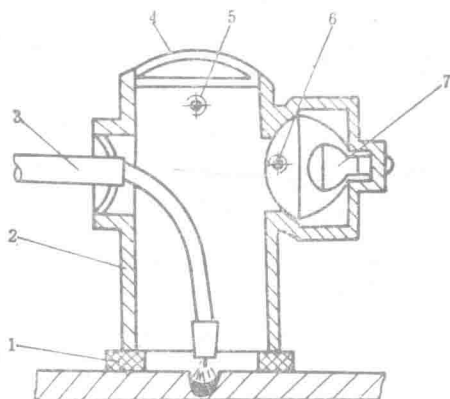


图1-8 可移动气室式局部干法焊接示意图

1—密封垫 2—气罩 3—焊枪 4—玻璃 5—排气孔
6—进气孔 7—照明灯

半透性密封垫与焊件柔性密封，半自动焊枪从侧面伸入气室中，排水气体（国外多用氩气或富氩混合气，故也是保护气体）将水排出后，便可借助气室中的照明灯看清坡口位置，而后引弧焊接。焊一段，移动一段气室，直至焊完整条焊缝。

可移动气室式局部干法水下焊接方法是美国 1968 年首先提出的。1973 年由美国 SSS 公司和英国 SOS 公司联合组成的跨国公司开始在生产中应用。由于气室内的气相区较稳定，电弧比较稳定，焊接质量较好，接头强度不低于母材，面弯和背弯均可达 180 度。焊缝无夹渣、气孔、咬肉等缺陷。焊接区的硬度也较低。据报道，这种水下焊接方法可保证焊接接头质量满足美国石油学会规程（API1104）要求。在生产中应用的最大水深是 38 米。

但是，这种水下焊接法也存在一些不足之处：

（1）未能很好地排除焊接烟雾的影响；

（2）气室与潜水面罩之间仍有一层水，在清水中对可见度影响不太大，但在混水中，可见度仍未得到解决；

（3）焊枪与气室是柔性连接（软橡胶套连接），焊一段，停一次弧，移动一次气室。焊缝不连续，焊道接头处易产生缺陷。

综上所述，若合理地采用局部排水的工艺措施，可以有效地解决湿法水下焊接存在的三大技术问题，从而提高电弧稳定性，改善焊缝成形，减少焊接缺陷，获得良好的接头性能。局部干法水下焊接是很有前途的水下焊接方法。