水下湿法焊接技术在水下工程中的应用

陈 洋,单宇翥,王全增
(青岛太平洋海洋工程有限公司,山东 青岛 266100)

摘 要:介绍了水下湿法焊接技术和应用实例。湿法焊接的主要问题是"盲焊"、"冷脆"和"氢裂",本文介绍了克服这些弊端的工艺和方法;介绍了比较先进的焊条和电流、电压及焊条直径等焊接工艺参数的选择;介绍了水下焊接操作技术以及实际应用的具体做法。

关键词:水下湿法焊接技术;水下工程;焊接工艺

Title:Application of wet welding technology in underwater engineering//*by CHEN Yang*// Qingdao Pacific Oceaneering Co., Ltd.

Abstract: This paper deals with the application of wet welding technology in underwater construction. In this paper, blind welding, cold shortness and hydrogen brittleness are mainly discussed as the major problems arising in underwater wet welding. Some advanced welding procedure, welding rod, welding pressure, welding variable etc to solve these problems and some underwater welding examples are also involved in this paper.

Key word: underwater wet welding; underwater construction; welding procedure

中图分类号:TG456.5 **文献标识码**:B **文章编号**:1671-1092(2005)05-0067-04

1 前 言

水下焊接作为海洋钢结构重要施工技术,已经成为海洋能源开发工程、船舶维修、水上救助和海洋工程建设、维护与修理不可缺少的工艺手段。近几十年来,随着国家大力发展水利水电事业以及病险水库除险加固工程的展开,水工钢结构物的维护与修理也极需这种水下焊接技术。

根据水下焊接作业时与水环境接触程度,水下焊接方法可以划分为"干法"、"局部干法"和"湿法"三种。这三种水下焊接方法各有优缺点,"干法"和"局部干法"焊接焊出的焊缝质量可与地面焊接相媲美,但费用昂贵,因为隔离室必须专门设计,以适合在待焊处安装,此外还需要有其他昂贵的密封设备。由于"干法"焊接费用高昂,在国内极少用于生产。而湿法焊接相对于这两种方法来说,具有如下优点:(1)直接用于水下湿式焊接环境;(2)由于不需其它辅助屏护设备与设施,所以移动方便、迅速;(3)只要有合格的潜水焊工和水下焊接设备,可以在可潜水深的任何位置实施焊接,机动,适应性强;(4)焊接作业时间占焊接总作业时间的比例大,省时低耗,经济性好。因此,湿法焊接成为目前应用最为广泛的水下焊接方法,本文主要介绍水下湿法焊接的主要问题与克服这些弊端的工艺和方法。

2 湿法焊接原理与特点

湿法焊接的基本原理是:当焊条与焊件接触时,电阻热将接触点周围的水汽化,形成一个气相区。当焊条稍一离开焊件引弧后,电弧便在气相区里引燃,继而由电弧热将周围的水大量汽化,加上焊条药皮产生的气体,在电弧周围形成一个一定大小的"气袋",称为电弧空腔,把电弧和在焊件上形成的溶池与水隔开。由此可见,电弧在水中燃烧与在大气中燃烧大体相同,都是气体放电,只是电弧周围气体成分和压力不同而已。电弧热使水蒸气蒸发出或电离出气体,使电弧空腔不断长大,长大到一定程度开始破裂,一部分气体以气泡形式逸出,电弧空腔变小。接着电弧热产生的气体又使空腔变大,这样周而复始,电弧空腔处于亚稳定状态,电弧在亚稳定状态的电弧空腔中燃烧,完成焊接过程。

由于水下湿法焊区周围不是空气而是水,这两种介质有着不同的物理化学性质,这就给水下焊接带来一系列不利影响。主要表现如下:

(1)可见度差,基本属于"盲焊"

由于水中光的反射、吸收和散射作用,焊工在水中的能见度很差,再加上焊接时电弧四周的大量气泡和烟雾,使水变得紊流扰动,潜水焊工难以看清电弧和熔池情况,处于"盲焊"作业状态。

www.dam.com.cn
万方数据

(2)焊后冷却速度快,焊缝和热影响区中出现马氏体等淬硬组织

尽管水下焊接电弧周围有一个"气袋",但其尺寸较小,随着焊条向前移动,刚刚凝固的熔敷金属还处于红炽状态便立即与水接触,而水的冷却作用远远大于空气的冷却作用。所以,水下焊缝容易淬硬,焊缝金属的韧性降低。

(3)含氢量高,易产生氢裂

水下焊接电弧高温达到1 500℃以上,水在如此高温作用下,除产生汽化的物理变化外,还要使一部分水发生化学变化,使水分解成氢和氧而熔于熔敷金属中,使焊缝产生氢致冷裂缝,简称氢裂。

由于以上缺点,水下湿法焊接曾一度被认为只适用于水深10~20 m的水中非重要钢结构的临时应急性修补。但随着工程建设、维护与修理对水下湿法焊接技术需求的不断提高,水下湿法焊接的质量要求已不仅是临时应急性修补水平,还必须有足够的强度、韧性、致密性及耐腐蚀等性能。因此,开发新的优质水下焊接材料、设备及技术解决水下焊接的缺陷,已经势在必行。

目前,国内外专家学者对水下湿法焊接技术的研究和应用集中表现在:(1)研发适应深水高强海洋钢结构的焊条;(2)研究和推进适于深海湿法焊接的新工艺;(3)研究开发适应水下湿法焊接特点和湿式环境的焊接设备;(4)由焊接低强钢向高强钢过渡;(5)研究消除母材上热影响区脆硬和氢致裂纹的技术和工艺。

3 水下湿法焊接工艺

青岛太平洋海洋工程有限公司一直致力于提高水下湿法焊接质量的应用和研究,在全面了解国外同行经验的同时,结合工程实际情况,进行了一系列水下焊接试验,加深了对焊材(HAZ)和母材在先加热后被四周的水迅速冷却的情况下所造成的冶金性能变化的了解,增进对最终焊缝的物理性能的了解,开发解决水下湿法焊接缺陷的新材料、新工艺,例如铝热焊条和焊道回火技术等。

铝热焊接采用的焊条可以控制或不产生氢裂。这种焊条可产生铝热反应,铝热反应将增加热量到电弧的焊接过程中,用来增加和帮助补偿由于水深及压力的增加而造成的热量损失,有助于解决深水湿法焊接中的问题。焊缝回火技术是在第一层焊道上再快速施焊第二层焊道,用以软化热影响区和除掉氢。我们在焊道回火试验中发现,它不仅降低了热影响区的硬度和氢裂倾向,而且还有比较好的焊缝外观。

3.1 水下焊接材料

施焊时的冷却速度和焊条金属成分对于焊缝的质量起着关键的作用。我国目前使用的水下焊条有T202、203、10-1、15-1等,它们属于钛钙型低碳钢焊条,用于焊接低碳钢和碳当量不大于0.40%的低合金钢。青岛太平洋海洋工程有限公司收集研究各国特制的水下焊条,发现了一些质量较好的焊条。它们的药皮是成分非常复杂的混合物,尽管价格较高,但使用这种产品进行水下湿法焊接得到的焊缝质量能与水面上焊接相媲美。例如,英国FS水下湿法焊条,具有容易起弧和再起弧,电弧清晰可见,平和并且容易维持,焊根和侧边成型优良,自行脱渣等优点。

3.2 水下焊接设备

不同的设备以及焊接耗材会得到不同的焊接结果,水下焊接所用设备应是为水下用途而设计的。例如,用四种焊条和不同的焊接设备在50 m和100 m做湿法焊接试验,得出的结论是:用可控硅整流电焊机能很容易地使用铁素体类型焊条,而用带稳弧装置的电焊机,能很容易地使用奥氏体类型的焊条,而且都能得到满意的起弧和焊弧稳定性。

3.3 水下焊接工艺

正确的水下焊接操作是水下焊接非常重要的因素,潜水焊工的操作水平直接影响水下焊接质量。在水下焊工施工前,应先根据结构材质、焊件装配质量、施工现场水文等情况制定焊接工艺,统筹考虑确定焊条直径、焊接电流、电弧电压、焊接速度和焊道层次等参数,并在正式水下施焊前做焊接工艺评定,以调整上述参数,达到质量要求。

3.3.1 焊接工艺参数

(1)焊条直径:可根据焊件厚度、接头形式、焊缝位置及焊道层次选择:①立焊、仰焊的对接焊焊条直径不宜超过4 mm,角焊或搭接时可适当选用大直径焊条;②多层焊时,应选用直径为3.2 mm焊条进行底焊,其它各层可选用适当大直径焊条;③根据焊件厚度选择焊条直径参考值见表1。

万方数据

表 1 焊条直径参考值 (单位:mm)

Table 1: referenced diameter of welding rod

焊件厚度 t	≤5	5~10	≥10
焊条直径 d	3.2	3.2~4	4~5

(2)电流和电压:焊接电流主要取决于焊条直径 d、焊件厚度 t、焊接位置、现场情况等因素。电流过大时,电弧吹力大,气泡也大,有较大爆裂声,飞溅很大,焊缝表面粗糙。电流小时,电弧吹力小,飞溅也小,不易引弧,易断弧,焊条容易粘在焊件上。正确选择电流及电压,保持电压低而稳定,可以使焊条始终贴在焊件上运行。经验公式为:

$$I=k\cdot d$$

式中,I 为焊接电流(A);k 为系数,低碳钢的 k 值见表 2;d 为焊条直径(mm)。

表 2 低碳钢的 k 值

Table 2: K value of low steel

焊条直径		3~4 mm	5~6 mm
k	平焊	50~60	60~70
	仰、立焊	40~50	---

(3)焊接速度:焊接速度大,会加速焊缝冷却速度,使热影响区的硬度增加,焊接接头变脆,易产生裂纹;焊接速度小,会使熔化金属和熔渣前流,造成未深合(即冷搭)、夹渣等缺陷。根据实际经验得出:平焊速度 250~300 mm/min,仰、立焊接速度取 300~350 mm/min 为宜。

3.3.2 水下湿法焊接的操作技术

(1)焊前清理

焊前清理程度直接影响水下焊接的质量。一般情况下,焊前将待焊接的金属表面进行清理,去除油污、锈迹,打磨至光亮程度,达到 Sa2.5 级,必要时要打磨成坡口。

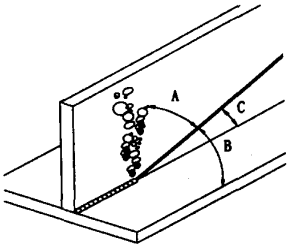
(2)引弧

水下手工电弧焊采用定位触动引弧,即引弧前焊接回路处于开路(断电状态),焊接时先将焊条端部放到选定的引弧点上,然后通知水面辅助人员接通焊接回路,再用力触动焊条,并碰击焊件便可引弧。焊条引弧端表面涂敷的绝缘和防水涂层必须而且仅在使用前去除,之后再打开电源,这种方法可以保证容易起弧和再起弧。

(3)运条

焊接不同位置的焊缝,其难易程度不同,操作技术也不同。

①平焊:焊缝处于平焊或倾斜角度不大的位置,熔滴靠自身重量落入溶池,熔渣和熔池金属不易流散,操作容易掌握。以使用英国 FS 水下湿法焊条为例,平焊时的运条角度如图 1 所示。



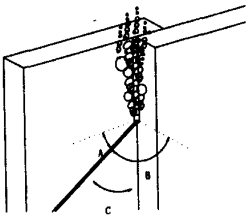
平焊

A=45° B=45° C=50° - 60°

图 1 平焊运条角度

Fig.1 The rod angle while downward position welding

②立焊:焊接速度要控制在 300~350mm/min 范围,焊条与焊缝轴线夹角 40°~60°,利用电弧吹力托住金属,避免下淌。以使用英国 FS 水下湿法焊条为例,立焊时的运条角度见图 2。



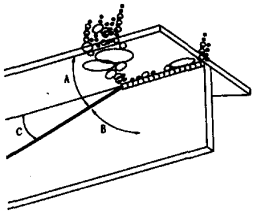
立焊 40°

A=45° B=45° C=50° - 60°

图 2 立焊运条角度

Fig.2 The rod angle while vertical position welding

③仰焊:水下仰焊操作很难,不仅溶化金属容易下塌,且不易保持电弧稳定燃烧。但由于气泡上浮,不影响操作视线,便于观察焊接过程和溶池反应情况。以使用英国 FS 水下湿法焊条为例,仰焊时的运条角度见图 3。



仰焊

A=45° B=45° C=65° - 75°

图 3 仰焊运条角度

Fig.3 The rod angle while overhead position welding

(4)收弧

www.dam.com.cn
万方数据

水下焊接时，焊缝增高量较大，如果采用陆上焊接的后移式收弧，会使收弧处焊缝增高更大，给下一道焊接带来困难。为使焊接简便易行，更为保证收弧质量，采用划圈收弧，即在焊缝结尾处不断弧，而做圆周运动，直到熔敷金属填齐焊缝，再拉断电弧。

(5)更换焊条

为避免损坏焊钳，焊药还余一定距离时需换焊条，并始终保证新装焊条正确的牢固插入焊钳中；始终保证更换焊条前关闭电源。例如，40 cm 长的焊条在余 25 mm 长时更换。

3.4 水下焊缝的检验

为了结构的安全使用，应在施焊 48 h 后进行全面综合检验：焊缝表面形状尺寸检查、水下目视检查(包括水下录像、水下照相等)，水下超声波探伤，水下磁粉探伤等检测焊缝中所存在的裂纹、未焊透、夹渣、气孔等缺陷。

3.5 水下焊接技术的应用

随着海洋及水利工程建设的突飞猛进，创造干地条件耗资过大，或不可能将某些结构物移至干地进行常规焊接；而水下焊接技术作为最方便、经济、有效的水下施工方法，在施工建设过程中具有越来越重要的作用。在水库大坝病害水下处理工程中，水下焊接、切割可以与水下立模混凝土浇筑施工、水下冲坑修复、水下清淤、水下爆破等工艺结合完成大坝的维护和修理。青岛太平洋海洋工程有限公司近年来在水库大坝水下检修工程上完成的主要水下焊接项目有：

(1)渤海 6 号平台水下切割、焊接修复甲板破损，水深 41 m

1995 年为渤海 6 号平台在 41 m 水深处用水下切割、焊接技术焊补 1 000 mm×2 000 mm 的沉垫破损。板厚 10 mm，材质为低碳船用结构钢，还有一根肋骨断裂。首先用水下电-氧切割法将破损部位产生变形的壁板和肋骨切除，再用机械方法修整孔洞边缘，使其与补板成 60°对接坡口，先焊修肋骨，再焊接壁板。焊后用磁粉探伤和录像检查焊缝表面，用水下超声波检查焊缝内部，均未发现缺陷。

(2)胜利 4 号钻井平台水下焊接，水深 15 m

2000 年为胜利 4 号钻井平台水下湿法焊接安装牺牲阳极块 253 块，对有缺陷的焊缝修补焊接共计 91 m，加、换板 43 块，焊后用磁粉探伤和录像检查焊缝表面，用水下超声波检查焊缝内部，均未发现缺陷。

(3)M/V"KALAHASON"水下焊接、干法嵌板焊接修复，水深 12 m

2004 年用水下焊接、干法焊接对 M/V"KALAHASON"裂缝进行嵌板修补。潜水员首先在破损船板外侧用水下湿法焊接一个长×宽×高为 1 m×1 m×0.5 m 的隔离箱，保证不漏水。陆上焊接人员进入舱内，在裂缝部位切割一个直径为 0.5 m 的圆孔，将箱内的水排干后，造成干地条件，陆上工作人员用修整孔洞边缘，使其与嵌板成 50°V 型坡口，嵌板焊接。潜水员再用电-氧切割法将船板外的隔离箱切除，用机械方法打磨光滑。此种方法焊缝相当于陆上焊接，焊缝质量好。

(4)青铜峡水电厂泄水管底板冲坑和上游导墙侧壁裂缝水下处理，水深 40 m

2000 年 12 月~2001 年 3 月青铜峡水电厂泄洪洞检修门槽底板冲坑补强加固和进水口上游导墙侧壁裂缝水下处理；为了解决浇筑水下混凝土时新老混凝土结合面的粘结强度不够的问题，我们对底板冲坑和侧壁裂缝水下焊接布置钢筋网以增强新老混凝土的结合强度。再焊接钢衬板立模，浇筑水下不分散混凝土进行水下修补。经过一年泄水排砂运行，在含大量泥沙的高速水流冲刷下，新浇筑的混凝土未见冲刷破坏，完全达到设计要求。

(5)漫湾水电站水垫塘底板和侧壁冲坑水下补强加固，水深 20 m

2002 年 3 月~2004 年 4 月对漫湾水电站水垫塘底板及侧壁约 3 500 m^2 冲坑浇筑水下不分散混凝土进行补强加固。漫湾水电站水垫塘底板冲坑内有大量冲断变形的钢筋，首先利用水下电-氧切割法将变形、高出底板面的钢筋切断，用水下湿法补焊成完整的钢筋网，再进行水下立模、水下浇筑混凝土。该项目对施工质量要求高，而且只能在冬季夜间水下施工作业。新浇筑混凝土结合紧密，取得了满意的修补质量。

4 结 语

水下焊接对于水库大坝除险加固工程来说，造价经济、工程量小、工期短、无污染、既不需水库特意为工程而降低水位，也不需采用土石围堰进行旱地施工，为水库大坝修理维护提供了更多的选择，以较小的资金投入即可获得明显的经济效益和巨大的社会效益。■

收稿日期：2004-12-20

作者简介：陈 洋(1978-)，女，辽宁抚顺人，工程师。

万方数据