

基本馆藏

142577

K. B. 瓦西列夫著

水下金属切割与焊接

王天富译

交通部航务工程局船舶机械科校



76
411

人民交通出版社

本書敘述了水下金屬切割与焊接过程及各种方法的實質，例舉了現代的器械、規範和工艺。同时亦引証出其有效資料。尤其对汽油氧和电氧切割法給予极大重視，其中簡短地闡明了有关水下切割和焊接的应用問題，提供出最合理的焊接与切割方法及水下焊接与切割过程中潜水員工作的安全条件。

本書是供水下工程專業人員之用亦可作为大專学生閱讀參考。

統一書号：15044·3031·京

水下金屬切割与焊接

К. В. ВАСИЛЬЕВ

ПОДВОДНАЯ РЕЗКА И СВАРКА МЕТАЛЛА

ИЗДАТЕЛЬСТВО
"МОРСКОЙ ТРАНСПОРТ"
МОСКВА · 1955

本書根据苏联海运出版社1955年莫斯科俄文版本譯出

王天富 譯

交通部航务工程局船舶机械科校

人民交通出版社出版

(北京安定門外和平里)

(北京市書刊出版業營業許可證出字第〇〇六号)

新华書店發行

公私合营慈成印刷工厂印刷

1958年2月北京第一版 1958年2月北京第一次印刷

开本：787×1092 1/32 印張：3 1/2 張

全書：80,000字 印數：1—1000册

定价(10)：0.50元

目 录

作者的話

緒論

§1. 水下金属切割与焊接的方法..... 2

§2. 水下金属焊接与切割的基本发展阶段..... 5

第一章 金属汽油氧切割..... 9

§3. 氧气切割..... 9

§4. 液体燃料及其应用.....13

§5. 汽油氧切割器具.....16

§6. 汽油氧切割技术.....30

§7. 水下汽油氧切割的技术经济特性.....36

§8. 其他氧气切割法.....40

第二章 金属电弧切割.....45

§9. 电弧切割的实质.....45

§10. 电弧切割设备和切割条.....46

§11. 电弧切割技术.....53

第三章 电氧切割.....57

§12. 电氧切割法的实质.....57

§13. 切割条.....57

§14. 电氧切割的设备.....60

§15. 电氧切割技术.....69

§16. 电氧切割规范及其特点.....72

第四章 水下金属焊接.....77

§17. 水下焊接的特点及焊接条	77
§18. 水下焊接的設備和技术	82
§19. 水下焊接的質量和生产率	85
第五章 水下焊接与切割的应用	89
§20. 水下焊接工作的組織	89
§21. 安全措施	92

总結

附录

作 者 的 話

自从Д.П.戈里茲曼涅科著的“水下金属氧气切割”(1943年海軍出版社出版)和K.K.霍列諾夫著的“水下金属电焊和切割”(1946年海軍出版社出版)二書出版后,已經过了8~10年之久,在此时期曾研究出和掌握了新的汽油氧水下切割法,而电氧切割法也获得了很大的发展,并且还創造了許多新型器具。

本書中作者在科学研究和生产工作綜合經驗的基础上力图闡明水下金属切割和焊接的現代情况和发展远景,并介紹了最适宜的工艺手續和实际工作中的指导資料。

由于篇幅的限制未能包括水上焊接与切割过程的一般闡述。本書是供讀者在焊接与切割的基本过程中熟悉和了解潛水作业。有关水下焊接和氩氧切割已詳細闡明于上述著作中,在此只是引証一些基本情况和某些补充材料。

緒 論

§1. 水下金屬切割与焊接的方法

水下金屬結構物愈来愈成为現代水下工程的对象。目前許多水工建築物、石油管系及其他建築物的金屬結構，在各种外因影响下，逐步磨損或經受某种損伤。

为了保持这些建築物在技术上的完善状态，必須在恢复和修理金屬結構物方面，完成許多不同类型的水下工作。

通常在这些工作过程中，首先提出的問題，是：分割或結合金屬結構物的某一部份，或者是必須把結構物全部拆毀。經常需固牢套环、卸克、耳环，割裂或塞补洞孔，及其他类似的工序。

若結構物尚連接在一起，并处于良好状态下，則这些作业的一部份可以拆卸或裝設加固構件。在其他情況下則不得不采用水下切割和焊接方法。

削弱或破坏金屬的内部联系，分割金屬的各种方法总称为切割。除采用机械方法外，还可采用熔化金屬的方法，即沿着指定綫熔化金屬將其从切口排出，或以氧气流順切割綫噴燒赤热的金屬，并将形成之液体氧化物从切口面吹除，以完成切割工序。

恢复金屬分子的結合重新將金屬構件連接在一起称为焊接，完成焊接可采用各种方法，例如，若把二块金屬板緊密地疊合在一起，并使其接触邊緣熔化，当邊緣金屬冷却后，則在連接焊件之間形成一坚固的“桥”。在其他的情況下，先使焊

接面达到可塑性的状态，而后为了达到焊接面間之分子結合，用力地將兩焊接面相互压緊。

水下金属物的焊接或切割过程称为水下金属焊接或切割。

水下焊接和切割条件實質上是区别于一般条件：空气是流动的气体混合物，而水是相当粘滯而密致的液体，空气有助燃性而水具有灭火性，水的热容量和热传导性大于空气。这就說明在水中加热物体要比在空气中远为困难，并且水中物体的冷却亦要快上几倍。水和干燥空气在C 零度和一个大气压下的物理参数載于表 1 中。

表 1

参 量	單 位	水	干燥空气
密度.....	克/立方公分	0.9995	0.001252
热容量	卡路里/克°C	1.012	0.241
热傳導系数.....	卡路里/秒公分°C	0.00132	0.0000588
粘度系数.....	达因·秒/平方公分	0.01792	0.000172
蒸气形成.....	卡路里/克	539	—

进行水下焊接或切割时，必須考虑到热源本身向周圍介質中大量的损耗。与水相界的火焰面愈大，温度压力（即火焰温度与水温度差別）愈高，則热损耗就愈大。为了使金属在水中迅速地燃燒和补偿大量的热消耗，热源不仅应具有很高的温度和足够的能率，同时还应集中在最小的範圍內使热消耗面减少到最小。

电弧放电是高温最集中的热源。在足够效率的条件下，电弧能在水中熔化鋼和某些其他金属，几乎象空气中一样地容易。迄今电弧焊接在水下工作中还是順利采用的唯一方法。

图 1 示現代水下切割法的分类。电弧切割是用电弧沿切割

縫熔化金屬。電弧切割可用熔化的（金屬的）或不熔化的（碳的）切割條進行。

氧氣切割是沿假定縫燒盡鋼質，是以液體或氣體燃料燃燒加熱金屬，為了保證液體燃料的完全燃燒要使其成為氣體狀態下再使用它，并用氧氣流來燒盡被火焰加熱的金屬。

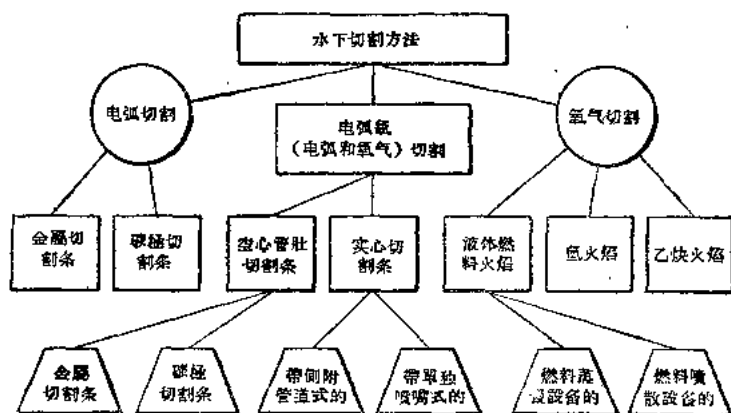


圖 1 水下金屬切割法的分類

電弧氧切割是電弧和氧氣流同時作用的結果。為了達到切割目的必須具有熔化性的或不熔化的切割條和將氧氣供給電弧作用區域內的裝置，為此採用空心管狀切割條效果良好。

水介質的特性不只使加熱的條件複雜化，同時使潛水員的工作條件也更加困難。陸地上的電焊工移動很方便可無阻地完成任一最準確的動作，而穿著潛水服的潛水員在水下工作迫不得已要克服水阻力及波浪急流的沖擊等，這些因素都給潛水電焊工造成些不利影響。經常為了保持穩性，潛水員不得不用一只手扶住結構物構件；此外水下的視明度極低，特別是在含淤泥土壤的貯水池中；視明度過低時潛水員不得不摸索着進行工作。

在這種工作條件下，為了獲得所必需的切口和焊縫這就要

求潛水电焊工要准确地去完成任務。無疑的，水下焊接過程逐步要達到機械化，這在原理上是完全可能的，但由於水的物理化學性質，到目前為止尚未得到充分有效地解決，目前水下焊接與切割絕大部份尚是手工式，這就要嚴格慎重地對待水下焊接工作的組織並要求潛水电焊工和切割工具有完成任務的高度責任心。只有技術熟練的、深知水下金屬焊接與切割過程本質的潛水員才能保證工作良好而有效的完成。

§2. 水下金屬焊接與切割的基本發展階段

金屬焊接與切割在蘇聯科學歷史上是值得自豪的，在最重要的發現和創造中都佔據着顯著的地位。由於蘇維埃科學家們和先進生產者們的勞動，這些工作方法已廣泛地運用到國民經濟的各個部門。遠在1802年B.B.彼德羅夫曾發現放於玻璃板上的並排兩根炭精棒通過電流後產生電弧放電現象。B.B.彼德羅夫在二根導線間引起電弧後首先發現了這些金屬導線剎那間的熔化和燃燒，並噴濺出火花。1882年直接為了焊接目的電弧放電曾被俄國的發明家H.H.別納爾多斯所採用，不久(1888年)又被H.Γ.斯拉維揚諾夫所採用。

H.H.別納爾多斯在世界上第一次將電弧應用於水下金屬的焊接和切割。

但是H.H.別納爾多斯的初步經驗不是完全順利的。水下電弧放電首先在水中分解出大量氣體，當時由於電極條的沖動和顫抖影響了電弧的穩定存在。冒出水面的氣泡剝奪了觀察水下焊接或切割過程的進行及操縱它的可能性。

H.H.別納爾多斯深知水下採用焊接和切割的重要意義後，就積極地、更深一步地研究這些過程。為了在水下進行試驗起見，他製造了一個帶玻璃蓋的箱子，向箱內壓入空氣把水

从工作地点排出后就保证了工作的进行。在別納尔多斯的档案中（仍保存在莫斯科巴烏曼职业技术学校）还記載着有关这个結構的資料。

H.H. 別納尔多斯的經驗奠定了水下焊接工作发展的基础，在20世紀初曾多次企图采用水下电弧切割和焊接。但是这个问题几乎是四十年光景未能得到正确实际的解决。

別納尔多斯的著作对考查其他問題方面亦帮助解决了許多实質的困难。20世紀初期在冶金工业、建筑业及其他部門中开始采用了氧气切割法，并运用了气体燃料和氧气混合物的火焰，此种混合物的形成和燃燒是借助專門切割刀来实现。氧气切割法簡便而有效，于是迅速地受到公認和得到广泛的应用。自然这种方法也同样企图被采用于水下条件。

乙炔氧火焰可在水中燃燒很久，只要是將点燃的火炬头向下小心地放入水中。但是此种火焰無論是熔化金属或將金属加热到与氧气开始反映的温度都是不够的。此外，每一动作的疏忽或切割头的傾斜会引起火焰立即熄灭，同时水也会竭力地使火焰冷却，因而必須采取适应的預防保护措施。

最初是在切割头周圍裝一鐘形箱，当切割头安放于工作地点后向箱內充气，从而使水从箱內排出，保证了切割的进行，当然此种割刀是粗笨而不方便的。由于在头部有一很大的鐘罩妨碍了割刀平稳移动和观察火焰的燃燒及切縫的形成。由此鐘罩的尺寸逐漸縮小终于在割刀的头端变为一不大的碗形帽，并在帽內四壁处裝有供应空气的环形管道，此管道环繞着燃料混合物和氧气的洞孔。

1908~1909年制造出适应于水下气体切割的器具，水下气体切割特别是在第一次世界大战年代里修复被炸毀的桥梁中得到广泛采用。比如在拆毀通过瑪斯河，西德維納河，多瑙河等

的桥梁中均得到应用。

在苏联采用水下气割是从1922年HKПC 中央潜水基地开始的。基地的潜水员们将莫兹尔斯克铁桥的第五个跨距分割成数部，该铁桥的桁架是在国内战争时期破坏的。此后又完成了数项工程。所以采用水下气割从1923~1926年中才获得实际经验。高尔柯夫水闸建设中，顺利地完成了切割角铁，此时只是获得了生产上的特性。1926~1927年在德哥伯尔的建设中，又实际地进行了切割工作。

三十年代初曾设计了液体燃料的水下切割刀，为使液体燃料在喷嘴中蒸发曾采用了电力加热器。三十年代初水下电焊过程也有了巨大的发现，1932年苏联科学家 K.K. 霍列诺夫成功地找到了水下金属切割与焊接简便而实际的方法。

K.K. 霍列诺夫废除了向电弧区域内压入空气和在电弧周围应用粗笨的围壁装置。解决这一问题的办法是由电弧本身造成一精密的围层。为此，需在金属条表面涂一层相当厚的专门防水涂料层。产生电弧时随焊条蕊的熔化在其末端形成一突起之环状围层。焊条蕊熔化的同时涂料也随之熔化但是涂料外层受水的冷却熔化速度较慢，因此焊条头部的围层可不断地保持着。此围层在电弧周围是一变态的保护物，不仅是不妨碍操作而使更易操纵焊条。电弧的高温保证了水在电弧区域内的蒸发使其不能浸入到保护层内。

霍列诺夫的成就获得了公認，給予采用水下电焊和切割工作奠定了基礎。水下电焊和切割方法在30年代中于黑海打撈“彼尔斯”号輪船、塞补“烏苏里”号輪船与修理“西伯利亚科夫”号破冰船的漏洞及在涅瓦河修理水管等工程中都得到了采用。

水下电焊和切割的問題，目前在許多科学研究机关和大学

如：莫斯科運輸工程電力學院，中央水運科學研究院，П.М. 卡岡諾維奇軍事運輸學院和其他學院中都在進行研究。

製造本國的水下切割工具的工業建立後，1938年開始製造了氫氣切割刀，1940年列寧格勒馬特維耶夫工廠第一次製成了汽油切割刀。利用汽油切割刀切割效率可為氫氣切割刀速度的4~6倍，並且火焰燃燒得很穩定，金屬亦能迅速地達到加熱。

偉大的衛國戰爭時期水下焊接和切割更得到了蓬勃地發展。水下電焊切割在打撈和海損救護工作中廣泛的被採用了。在恢復東德維納河、頓河、德聶泊河和其他河流的鐵橋中大規模地採用了水下切割。另外由於熟練地掌握了水下焊接的操作技術給予水下修船工程創造了可能性，莫斯科運輸工程電力學院K.K. 霍列諾夫實驗室中曾研究過各種電焊條和電氣切割條以及水下汽油切割刀和其他器具。水下電氣和汽油氣切割實際上已被掌握了。

目前水下焊接和切割廣泛地採用在水運、鐵路運輸、管道的敷設和修理、以及水工建築物等的建設中。

第一章 金屬汽油氧切割

§3. 氧氣切割

金屬氧氣切割基于一一定的条件下使某些金屬極力与氧氣化合形成易熔的流动液体氧化物。多数金屬皆可进行氧化作用。但通常这种反应进行得很慢。为了在金屬表面形成薄层氧化物即是在純氧中亦須要許多小时。但是当温度升高时金屬氧化过程逐渐加速，达到一定界限后这种加速就很不明显而氧化物也不与显明的热效应伴随形成。

900~1000°C 温度下鉄的氧化进行緩慢在金屬表面亦无显著反应，但达到此温度后反应的性質急驟的变化，金屬迅速地变热和燃燒形成大量的氧化物。如將一根温度高于 1000°C 的金屬条放进充滿氧气的玻璃櫃中，則此金屬条迅速地燃燒放出明亮的光同时噴出火花。但若玻璃櫃未充滿氧气则反映过程將发生得无力，最后并完全停止。若用一赤热的鋼条代替細的金屬条放进玻璃櫃內时，同样亦开始燃燒，并立即在鋼条的表面形成大量的氧化物，此后燃燒反应减弱，最后完全停止，因为氧气不能浸透到加热的鋼內。

因此，为了順指定綫完成切割將金屬变为氧化物必須保証使金屬加热到需要的温度，不断地將氧气供給反应面和不断地排除所形成之液体氧化物。实际上切縫起点的預热借專門割刀利用气体或液体燃料的火焰来达到。

金屬在拟定的位置充分加热后，將氧气流噴向赤热面而金屬就开始在起点燃燒。燃燒过程中分解出大量热从而保証下面

部份的繼續加熱，然後所形成之液體氧化物被氧氣流吹除。此種作用的逐步加深即形成穿孔。

若逐漸地順指定綫移動切割刀，噴向加熱面的氧氣流必將切割綫上的金屬燒盡，熔渣的熱能和加熱于金屬板面上的火焰保證着切割的連續性。

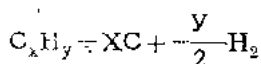
氧氣切割是基於金屬的化學變化，並將其強制從切割面中剔除。

為了實現氧氣切割必須當燃燒時使金屬保證相鄰階段的必要加熱，而此時所形成之氧化物應是易熔和流動狀態的。若金屬氧化物難熔，或金屬本身于開始燃燒前熔化，或金屬燃燒的熱效應太小及金屬的熱傳導很高，都將導致難于切割並需採用特殊方法，方可迫使切割過程複雜化。

實際上水下利用氧氣切割法只適用於切割含少量鉻、鉍、鎳和其他合金成份的鋼，至于生鐵、銅及其合金、鋁、合金鋼等是不宜氧氣切割的。

上面已指出乙炔、氫、汽油和苯可作為水下切割燃料，在化學方面除氫外所有採用于切割燃料的組成成份中均含有炭化合物，即不同結構的炭化氫，通常用下式表示： C_xH_y 。比如乙炔的分子 C_2H_2 有二個炭原子和二個氫原子；苯的分子式 (C_6H_6) 即由六個炭原子和六個氫原子組成。汽油是不同炭化氫的混合物。為了形成預熱火焰使燃料與氧 (O_2) 相混合。

切割火焰的性質和構成是根據當燃燒時一系列的變化所決定的。炭氫化合物燃燒時可劃分為三個基本階段（圖 2）。首先使燃料加熱到燃燒溫度後，此時產生炭氫燃料分子的分解：



該階段分解的結果由氣態的化合物分解出自由的炭和氫。

当达到起燃的温度时，燃料分解产物的氧化作用开始了：

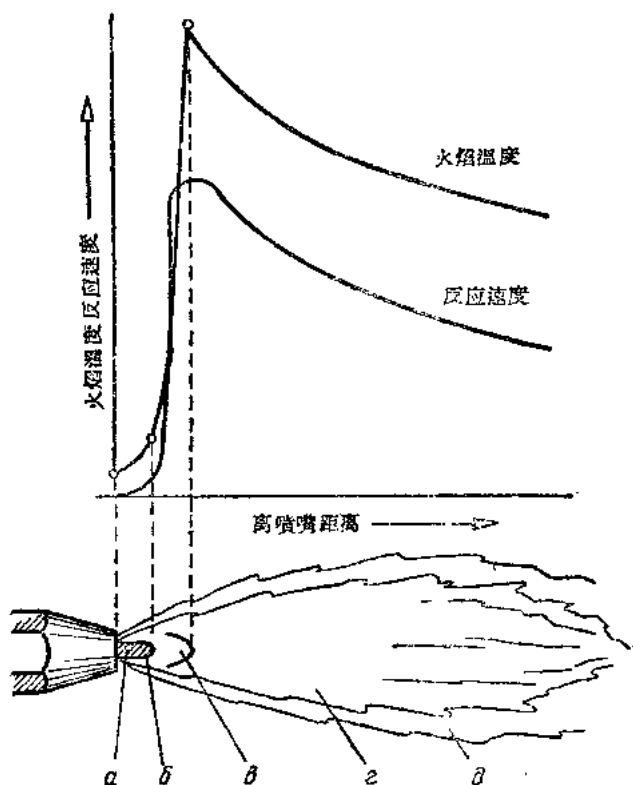
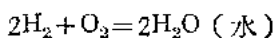
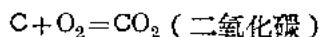
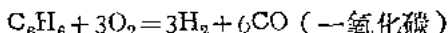


图2 碳氢燃料与氧气混合物的燃烧：

- a—焰心；b—自热碳分子的光亮外膜；c—火焰中间区域；
d—火焰；e—二氧化碳和水蒸汽形成之外焰

氧化时反应速度和火焰温度不是不变而是不断地改变着。
起燃后燃料迅速地氧化因为该过程温度急骤增高。当温度达到

最高点的利那間燃料只能部份地得到氧化，比如苯氧混合物从噴咀放出的時間开始直达到最高温度的火焰燃燒的反应以下列公式限定：



此后火焰的温度逐渐下降，反应的速度緩慢，形成的氢和一氧化碳也將燃尽。

依据上述的燃燒略图在炭氢火焰中有三个不同区域。圓狀焰心 a 符合于燃燒的第一阶段，此焰心由白热碳分子的光亮外膜 b 所包围，白热的碳分子由碳氢的分解而成。

焰心的外层是燃燒表面并作为第二区域 B 在第二区域范围内燃料极力变为燃燒的混合物 CO 和 H_2 ，該过程反映的速度甚快。中間区域的長度共为数公分（2~4 公厘）第二区域无显著界限而是逐渐地过渡到第三区域—火苗 F 在此区域内 CO 和 H_2 气变为 CO_2 和 H_2O 。外面由碳酸气和水蒸汽形成圍层 D。

根据在每一区域内产生的过程按着火焰長度来确定温度，在具有最高温度的火焰中間区域内可使金属更好的加热。

上述是混合物在正常成份下的燃燒情况，当混合物的配合比不正确时将发生图 3 所示的情况。

当氧气过剩时（6—氧化火焰）整个火焰部份縮短焰心变为锥形，火焰顏色变

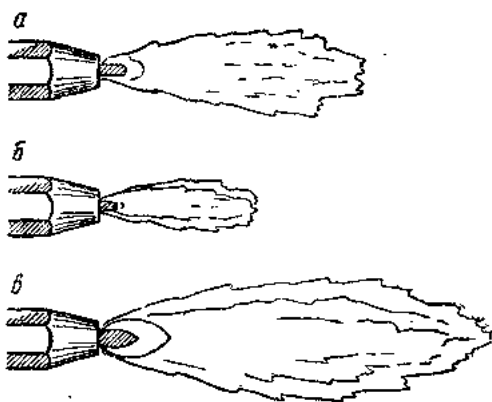


圖3 燃料混合物組成成份之不同所形成不同之火焰形态：

a—正常火焰；6—氧化火焰（氧气过剩）；b—碳化火焰（燃料过剩）

紫。氧气不足时（B—碳化火焰）火焰伸长，此时焰心也随之延长并与中间区域汇流于一起。燃料过剩时火焰变为烟塵状态。

上述火焰略图表示出碳氢燃料之特点。氢焰是一种不光亮具有淡黄色之火焰，虽然氢氧焰中亦有不同之区域但无鲜明之外形。

§4. 液体燃料及其应用

表 2 引出水下氧气切割各种燃料之特性。

乙炔很少适用到水下工作，因为压力升高时有爆炸的趋向并且不能应用于深水中。

氢对压力的增高不敏锐，但由于其火焰的无色性难以采用，同时在沉重的钢瓶中运输费用昂贵，所以乙炔和氢较少采用于水下切割工作。

苯—芳香族烃中最简单的，是一种无色透明带有特殊气味的液体，苯在 5.5°C 时冻结， 80°C 时沸腾，甚至正常的温度下也要急速蒸发。苯的蒸汽是有害的，可能引起中毒，但其价廉，因而广泛地采用在工业方面作为溶剂或作为生产香料、染料和爆炸物的原料，内燃机燃料也需要大量的苯。苯在空气中燃烧发出燦黑的火焰，苯氧火焰具有高温和良好的热性能。

汽油是透明的，絕大部份是无色带有特殊气味之液体。在化学性質方面汽油是液体的碳氢混合物，在低于 -60°C 温度下冻结。

汽油广泛采用作为航空和汽车燃料。

苏联内燃机燃料的基本特性载于表 3 中。

为了使汽油氧混合物在切割火焰中充分燃烧，必须使汽油变为气体状态的混合物。各种成份的汽油皆易挥发，但其挥发