

水下便携式切割装备设计及试验研究

陈晓强¹,刘显²,孙榆翔³,刘昊璇³,杜永鹏¹,尤家玉¹

(1. 海军潜艇学院, 山东 青岛, 266199; 2. 91999 部队, 山东 青岛, 266404;
3. 92143 部队, 海南 三亚, 572000)

摘要:为方便专业潜水员水下救助打捞作业,设计了一种新型便携式水下切割装备。该装备轻便灵活,便于潜水员携带,切割能力强,安全系数高,提高了潜水员单人作业能力、应急处置能力及作战效率,能够有效地实现单人作业的效果,提高救援队伍的快速反应机动能力,具有广泛的应用前景和较高的应用价值。

关键词:水下切割;便携;割条

Title: Design and experimental study of portable underwater cutting equipment// by CHEN Xiao-qiang, LIU Xian, SUN Yuxiang, LIU Haoxuan, DU Yongpeng and YOU Jiayu// Naval Submarine Academy

Abstract: To facilitate underwater rescue and salvage operations by professional divers, a new type of portable underwater cutting equipment has been designed. This equipment is lightweight and flexible, easy for divers to carry, with strong cutting capability and high safety factor. It can enhance the diver's individual operational capacity, emergency response capability, and combat efficiency, effectively achieving the effect of single-person operation, improving the rapid response and mobility of rescue teams, and it has broad application prospects and high application value.

Key words: underwater oxygen-arc cutting; portable; cutting rod

中图分类号:TV53

文献标志码:B

文章编号:1671-1092(2026)01-0051-04

0 引言

水下切割技术包括水下燃气切割、水下电弧切割、水下等离子切割、水下激光切割、水下水射流切割、水下链锯切割和烟火切割等,广泛应用于海底管道的修复、海底结构的加工、海底电缆的切割、海洋资源开发、潜水救援等。现在我国专业潜水员最常用的是水下电-氧切割技术,其主要原理为:在水中环境中,空心电极和切割对象之间产生连续电弧,使接触表面升温;氧气通过空心电极吹向电弧加热的工件,同被割金属产生强烈的燃烧放热反应,同时吹除反应产物,形成切口。水下电-氧切割技术所需器材包括专用电焊机、电缆线、闸刀、地线夹、切割把及割条等,在使用时存在设备复杂笨重、切割电弧稳定性差、操作技术要求较高、用电安全隐患大等缺点。为了解决上述问题,设计了一种水下切割用药芯割条及便携式水下应急切割装备。

1 便携式水下切割装备组成

1.1 整体设计

新型水下切割装备主要在运用金属燃烧反应原理基础上将铝热试剂和造气剂等根据一定比例加入现有的水下割条,并将电源进行模块化改进实现电池供电;优化整合供气系统,根据需要适当缩小气瓶尺寸;改进现有通过地线夹接线方式,运用磁吸式原理制作为磁吸式接地线头,增强便利性,最终制作出如图1所示的新型便携式、适用于单人作业任务需求的水下切割装备。

1.2 割条的设计制作

新型水下切割用药芯割条包括钢管、限位块、割丝、出通气孔、药皮及热塑管,如图2所示。

设置多个割丝,包括药芯割丝和实心割丝,且药芯割丝与实心割丝呈间隔式分布。钢管内部安装限位块,限位块上开设若干个与割丝相匹配的凹

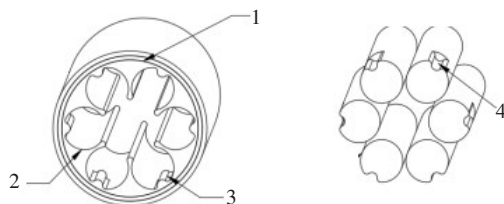
槽,用于对割丝进行限位安装,避免使用时被氧气吹脱。钢管外部涂粘合剂层,粘合剂层外部设置药皮,药皮外部套有热塑管,切割引弧后,无需继续供电,水下切割用药芯割条持续燃烧,且电弧热量高,切割穿透力强。



1. 收纳包; 2. 气瓶; 3. 电池组; 4. 背包带; 5. 氧气连接管; 6. 电缆线及地线夹; 7. 切割把; 8. 药芯割条; 9. 连接开关

图1 装备实物组件及连接图

Fig. 1 Components and connection diagram of the equipment



1. 钢管及热塑管; 2. 割丝; 3. 限位块; 4. 限位槽

图2 割条结构

Fig. 2 Structure of the cutting rod

割丝采用2 mm直径的锌铁合金丝和2 mm直径的镁铝合金丝以1:1的数量共计12根交错放入直径为6.3 mm、长度为250 mm的钢管内,留出40 mm长的夹持端,利用直径为2 mm的铁丝,在钢管内预留通气孔,用以通氧气进行吹除作业。在钢管内放置好割丝后,使用夹压法(即用大力钳夹压钢管)分别对钢管的首端、中端和尾端进行夹压处理,用以固定钢管内的割丝,使其不脱落。

药皮部分的主要成分为铝粉、三氧化二铁粉末和碳酸氢钠粉末。其中铝粉和三氧化二铁粉按照质量比1:3进行配置,再加入少量的碳酸氢钠粉末

进行充分搅拌混合。对钢管外表面进行清洁处理后,涂抹一层非常薄的水玻璃粘合剂(硅酸钠),夹持尾端不涂抹,涂抹均匀后,将预先混合好的药皮粉末倒在平板上,反复滚动钢管使其均匀粘上药粉,粘在钢管上的药粉均匀分布,并经自然阴干后,制作完成。

割条采用镁铝合金和锌铁合金作为主要反应材料,电弧引燃镁铝合金,镁铝合金的燃烧释出大量的热,可以熔化锌铁合金,加上氧气的作用,可以使这两种合金燃烧更加剧烈。割丝燃烧放出的热量可以促使药皮内的铝粉、三氧化二铁粉发生铝热反应,铝热反应放出的温度约为3 000℃,可以辅助割丝放热对被割件进行熔化切割。割丝成分比例见图3。

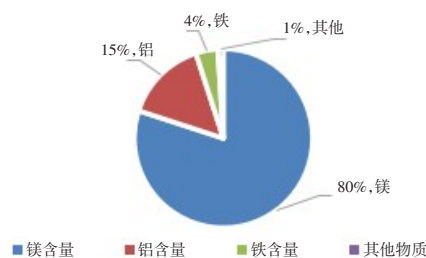


图3 镁铝合金丝成分比例

Fig. 3 Composition ratios of the magnesium-aluminum alloy rod

药皮内的碳酸氢钠遇热分解可以产生一定量的二氧化碳,可以参与吹除被割件熔渣,减少了氧气的消耗量。

药皮加热后产生的气体可以形成一定厚度的气室,将电弧与水尽可能分隔开,从而降低水对电弧加热被割件的冷却作用,在一定程度上起到了稳定电弧的作用,提高了切割效率。碳酸氢钠及生成物碳酸钠中含有的钠离子可以作为稳弧剂起到稳定电弧的作用,减少了传统割条药皮中比较复杂的成分配比。

1.3 电路设计

采用65 A型24 V锂电池作为轻型点火电源。采用磷酸铁锂电池,可保证电压长期稳定在24 V左右,接线柱采用纯铜材质,可耐230℃高温,可大电流持续供电,使切割作业时电弧更加稳定;具有平衡功能、过压保护、过充保护、过放保护、过流保护、短路保护、充电防逆,使用时更加安全可靠。通过试验可知该电池充满电时可支持12~15根切割棒的点火。

接地装置选用的磁吸式接地头吸盘直径36 mm,厚度7 mm,吸力强,拥有20 kg大吸力且性能稳定。绝缘连接板采用玻璃纤维布通过环氧树脂粘合后在高温环境下加压制作而成,密度高,强度大,兼备强韧和绝缘性能。绝缘连接板使用高精度机床精密切割,没有毛边,边角精准平齐。

电缆线连接部分采用300 A线尾铜鼻子,材质主要为纯铜,传输电流稳定。导电杆制作成带螺纹柱状,具有可通电流大、性能稳定的特点。采用长1.5 m、导电截面积为35 mm²的电缆线进行连接,用大力钳将电缆线的铜丝股与磁吸式接地头的铜片压接起来,再使用热塑管进行密封防水处理,最后完成磁吸式接地头的制作。

1.4 气路设计

因为新型割条相对于传统割条的耗氧量大大降低,氧气瓶内部的氧气主要起到吹除熔化金属的作用,氧气的使用量相对更小,所以便携式水下切割装备采用了更加小型的氧气瓶。由于氧气瓶的阀件规格一定,故可以更换不同容量的氧气瓶。制作时,采用了容量为4 L的氧气瓶,其最大压力为15 MPa,可为水下切割作业提供流量为0.5~0.9 MPa的氧气,能够满足长度为45 cm的割条连续使用4~6根。其次,小型化的便携式气瓶也可以作为应急备用气瓶,为潜水员提供水下应急气,提高了潜水员水下切割作业的安全性。

2 试验验证

2.1 试验过程

该水下切割装备的工作原理是:使用时,将气瓶放入收纳包中,使用者通过包带将收纳包背在背上,即可潜入水下,当需要切割时,从连接块上取下切割把及水下切割用药芯割条,然后将割条一端对准切割对象,通过气瓶与供电系统配合使用,空心电极和切割对象之间产生连续电弧,使接触表面升温,氧气流通过空心电极吹向电弧加热的工件,同被割金属产生强烈的燃烧放热反应,同时吹除反应产物,形成切口,通过出通气孔通氧气进行吹除作业,即可完成切割。切割结束后,将切割把挂在连接块上即可。

试验过程中,用割条在陆上切割金属材料,使

用压力为0.7 MPa的氧气,对厚度为6 mm的钢板进行切割。当割条碰触到钢板即成功引弧。引弧后,只要持续通氧气,脱离钢板后割条也可以持续燃烧(如图4所示)。割条燃烧较为剧烈,切割速度较快,可1 s内切割约2 cm长,如图5所示。



图4 割条持续燃烧

Fig. 4 Continuous burning of the cutting rod



图5 陆上切割效果

Fig. 5 Land-based cutting effect

使用割条进行陆上切割非金属材料试验和水下切割金属材料试验,氧气压力为0.6 MPa,对厚度约为2 cm的合成木板进行切割试验,在钢板上引弧后对木板进行切割,木板被割透,如图6所示。然后在水箱内进行水下切割金属材料试验,氧气压力为0.6 MPa,钢板处于水下约30 cm深,通电后即实现引弧,3~4 s内切割6 mm厚的钢板,割缝长度约7 cm,如图7所示。



图6 切割木板

Fig. 6 Cutting wooden board



图7 水下切割钢板效果

Fig. 7 Underwater cutting of steel plate

2.2 试验总结

便携式水下切割装备的电源搭配专用的电池包,潜水员可以轻松做到随身携带,也会大大减少对通电电缆长度和导电截面积的要求,一般采用长1.5 m、截面积35 mm²的通电电缆,完全可以满足水下切割作业的需要,电缆线氧气管等大大缩短,避免了发生绞缠的概率,提高了水下切割作业的安全性。磁吸式接地头可以轻松地对地吸附在船体表面,且可以为潜水员提供一定的抓力,协助潜水员在立割或者水下悬浮位置切割时使用。便携式水下切割装备采用的4 L氧气瓶可以做到随身携带,可以提供0.5~0.9 MPa的流量,可以满足长度为45 cm的割条连续使用4~6根,也在一定程度上提高了潜水员水下工作的安全性。

试验中,人工制作新型割条相对粗糙,通气孔不明显,相比设计氧气利用率有所降低,试验表明新型割条的制作长度和直径可以根据实际工作需要进行调整。由于药皮被加热后可以产生一定量的气体,所以氧气的输出压力还可以适当减小,0.5 MPa左右仍可以满足切割要求。

新型割条的引弧效果优于传统割条,且放出的热量比传统割条高很多,不但可以切割金属材料的被割件,还可以切割非金属材料的被割件,对任何金属或非金属、混合物等均具有快速燃烧、熔化的能力;新型割条可以瞬时引弧,没有阻滞,对电源的要求相对较低;新型割条相对容易引弧,燃烧产生的热量更高,而且消耗的氧气量更少,使用成本大大降低。

3 结 语

便携式水下切割装备具有便携、机动反应快

速、使用成本低廉和切割材料种类多样等优势。

(1)新型割条材料能散发高热量且可以产生氧气,只需要一次点火引燃,不需要持续供电即能稳定燃烧,可以切割绝大多数材质的障碍物。

(2)利用锂电池技术,对现有供电设备进行改良,使其具有便携、操作简单、安全可靠、隐蔽性好等特点,适用于潜水员水下单人切割作业。

(3)水下切割装备的便携性特点使潜水员在执行应急抢险任务时能节省大量时间。同时由于这套装备的管路相对较短,部件较为小型化,降低了管路发生绞缠的可能性,为应急水下切割提高了安全保障。 ■

参考文献:

- [1] 王俭辛,朱青,黎文航,等.水下切割研究现状及发展趋势[J].江苏科技大学学报(自然科学版),2018(2):180-185,207.
- [2] 杜文博,朱胜,孟凡军.水下切割技术研究及应用进展[J].焊接技术,2009(10):1-5.
- [3] 刘海滨,陈晓强.水下焊接与切割技术应用及发展研究[J].大坝与安全,2008(1):68-71.
- [4] 蒋秀生.水下氧-弧切割技术在瓦努阿图码头工程水下钢板桩拆除中的应用[J].施工技术,2018(A04):211-213.
- [5] 赵梦宇,李睿之,任韧,等.核设施退役中切割技术研究现状[J].原子能科学技术,2025(9):2009-2016.
- [6] 董勇,曾可欣,艾荣军.潜水切割技术在车陂隧道项目中的应用[J].工程机械,2022(1):88-93,10014.
- [7] 吴艺英,王瑞林,辛文彤,等.基于烟火切割技术的切割弹研究综述[J].热加工工艺,2013(3):215-218.
- [8] 张文瑶,裘达夫,陈瑞芳.水下激光切割技术的探讨[J].中国修船,2012(2):42-43,54.
- [9] 王伟,王泽明,魏连峰,等.水下激光加工技术在核电维修领域的应用现状及发展[J].电焊机,2022(7):74-79,10006.
- [10] 常青,亢朔琦,杨宏悦,等.水下电弧锯切割加工参数优化[J].电加工与模具,2025(1):27-31,44.
- [11] 贝全荣.水下氧弧切割技术及其应用[J].大坝与安全,2007(1):70-74.
- [12] 陈晓强,马震,汪福强,等.切割参数对水下电-氧切割的影响[J].金属加工(热加工),2014(16):69-70.

收稿日期:2025-03-23

作者简介:陈晓强(1976—),男,山东威海人,副教授,主要从事水下焊接与切割教学与研究工作。

作者邮箱:20945686@qq.com