

水下电连接器的密封和压力补偿技术

李国丽

(国家知识产权局专利局专利审查协作广东中心, 广东 广州 510000)

摘要 水下电连接器可实现水下电气连接, 特别是随着海洋的开发利用, 深水电连接器得到广泛应用, 由于其使用环境, 水下电连接面临密封和水压补偿的问题。为了保证水下电连接器可靠运行, 需采取一些技术措施实现密封和水压补偿, 通常是通过设置密封圈以及压力补偿装置, 解决水下电连接器密封问题和压力问题, 密封圈在水下使用, 考虑到密封圈的弹性、耐腐蚀性等因素, 压力补偿装置考虑到具体补偿方法。

关键词 水下电连接器; 密封; 压力补偿

中图分类号: TM5

文献标志码: A

文章编号: 2097-3365(2024)09-0004-03

随着海洋的开发利用, 海洋在国家经济发展格局和对外开放中的作用更加重要。我国具有丰富的海洋资源, 是一个陆、海兼备的发展中大国, 我国经济的发展已成为高度依赖海洋资源的外向型经济模式, 对海洋资源、空间的依赖程度也大幅提高, 对走入深海的海洋资源, 也随着经济的发展, 不断加以维护和拓展。我国也在不断加强海洋强国建设。

1 背景介绍

在海洋强国建设中, 国家需要在开发海洋、利用海洋、保护海洋、管控海洋方面拥有强大的综合实力, 因此, 随着海洋强国的建设, 水下电连接器也成为海洋强国建设中的重要设备。

水下电连接器是一种用于在水下环境中实现电路连接的设备, 用于传输电能或信号的设备。这种连接器具有机械连接功能, 可以实现光、电信号和电能的传输。水下电连接器广泛应用于海底观测网、海洋石油生产平台、水下工程机械以及水下电力分配系统等领域。特别是在深水领域, 水下电连接器面临着高水压力环境的影响, 水下连接器的密封和承压能力也面临巨大考验, 这两项指标成为水下电连接器面临的重大难题。由于目前我国面临着严峻的国际环境, 国外水下电连接器的关键技术掌握在欧美国家中, 但我国水下电连接器设备整体技术水平呈增长状态, 我国自主研发的2 000米级水下插拔电连接器突破了插头插座纵向密封技术、水下动态插拔密封技术以及电气绝缘技术等关键技术, 最大试验水压达到45兆帕, 满足应用时插合状态的密封要求, 随着国家在水下电连接器的研发和应用方面加大投入, 有望打破该领域国外的技术垄断。

2 水下电连接器的特点

水下电连接器为了实现水下电连接功能, 需要适应水下环境, 因此, 水下插拔电连接器的设计需要考虑抗腐蚀性、压力补偿、密封的问题。由于这些连接器直接暴露在海水中, 必须选择抗腐蚀材料, 并在设计时留有必要腐蚀余量。此外, 工作在一定深度(如500米)的水下插拔电连接器需要解决压力平衡以及密封的问题。

3 水下电连接器的密封

单纯的水分子在自然状态下是不导电的, 但溶解一定量离子的水具有导电性能。因为离子溶解到水中后会发生电离现象, 使得水中产生带电离子, 形成导电的条件, 进而使得水具有导电性能。特别是海水中, 溶解有各种无机盐, 这些无机盐溶解到水中后, 形成带电离子, 这些带电离子使得水变成为电解质, 因此海水具有导电性能。

水下电连接器在保证电能和信号传输的过程中, 需要与水隔离开, 一方面防止水在导体附近导电而影响正常的电气性能, 另一方面防止水腐蚀导电部件以及相关部件。因此, 水下电连接器为了保证水不影响正常的电气连接, 需要在连接器的连接处实现密封, 保证连接处内部的电连接部分以及相关部分与水隔离, 实现密封效果, 保证水下电连接器的可靠性。

3.1 密封圈密封

密封圈密封是水下电连接器常见的密封手段。在电连接器的连接处, 通过具有一定弹性形变的密封圈在连接状态受力形变, 通过形变填充连接处的空隙, 将水与需要密封的部件隔离开, 进而达到密封效果。

密封圈可以设置连接处两个正对的连接面, 同构

两个连接的正面挤压,使得密封圈弹性形变,将两个连接面之间形成密封状态,同时,弹性变形的回复力进一步保证密封的实效^[1-2]。

另外,密封圈还可以设置在正面对接两部分的重叠区域之间,该重叠区域在正向连接的垂直方向。当两连接器对接时,通过连接处重叠区域上下的挤压,使得密封圈弹性形变,将重叠区域之间形成密封状态,同时,弹性变形的回复力进一步保证密封的实效。

3.2 影响密封圈密封效果的因素

在密封圈实现密封的技术手段中,影响密封效果的因素包括以下几个方面。

1. 密封圈的弹性性能。密封圈主要依靠密封圈自身的弹性形变实现密封,比如通过自身弹性形变封堵连接处的间隙,或者通过弹性形变将连接处的部件低压在一起,保持密封结合在一起。因此,密封圈弹性形变的能力以及弹性形变的耐疲劳能力直接影响密封效果。

2. 密封圈的耐腐蚀性能。由于使用环境的要求,需要接触到水,甚至接触到海水等具有一定化学腐蚀性的水。为了避免腐蚀造成密封圈自身弹性形变能力减弱或丧失,则要求密封圈具有一定的耐腐蚀性能,在使用环境中持续保持自身弹性形变的能力,以保证连接处的密封效果。

3. 接连接器连接后之间的结合力。密封圈实现密封是通过在连接器连接时,两个连接部件之间产生结合力,该结合力施加到密封圈上,使得密封圈发生弹性形变,进而连接处实现密封效果。因此,对接连接器之间结合力的大小以及保持时效影响着密封圈的密封效果^[3]。

3.3 影响密封圈密封效果因素的分析

1. 密封圈的材质影响密封圈的弹性性能和耐腐蚀性能。

密封圈常见的材质主要包括硅橡胶(MVQ)、环氧树脂和三元乙丙橡胶(EPDM)。

硅橡胶作为密封圈应用在电连接器上,主要体现在其广泛的应用范围和优异的物理化学特性上。

硅橡胶由于其自身结构的特点,具有优异的耐高温性能,能够在高温环境下保持稳定,适用于需要耐高温的应用场景;硅橡胶具有良好的耐油性,适用于接触油脂的环境;硅橡胶具有良好的机械性能,能够承受一定的机械应力和冲击,保证连接器的长期使用稳定性。

环氧树脂作为常用的电连接器密封材料,环氧树脂的可靠性研究主要集中在以下几个方面:

环氧树脂材质整体上兼备良好的耐高温、耐低温

性能,能够在极端温度下保持稳定,确保连接器在高温或低温环境下的可靠性。

环氧树脂具有优异的电绝缘性能,能够有效防止电弧泄漏和触点氧化烧损,从而保证电连接器的安全性和可靠性。

但环氧树脂存在老化问题,即环氧树脂的耐久性差,对于长期保持形变量较大的弹性形变的环境,环氧树脂由于老化可靠性不高。

三元乙丙橡胶与其他密封圈材料相比,在耐老化性和耐化学性方面具有显著的优势。

在耐老化性方面,三元乙丙橡胶的分子结构主要由C-H键组成,缺乏不饱和双键,因此其化学稳定性极高。这使得EPDM对臭氧、氧、金属离子、霉菌等活性物质具有极高的抵抗能力,不易发生化学反应导致分子链断裂或交联,从而保持良好的弹性和密封性能。此外,三元乙丙橡胶还具有优异的耐天候性、耐臭氧性、耐热性和耐水蒸气性,能够在高温环境下长期使用而不退化。

在耐化学性方面,三元乙丙橡胶对各种极性化学药品如醇、酸(乙酸、盐酸等)、强碱(氢氧化钠)、氧化剂(过氧化氢、次氯酸、过溴酸钠)、洗涤剂、动植物油、酮和某些酯类均表现出较大的耐抗性。长时间接触这些化学药品后,三元乙丙橡胶的性能变化不大,保持了良好的化学稳定性。相比之下,其他普通橡胶如丁苯橡胶(SBR)和天然橡胶(NR)由于分子结构中含有大量的C-C不饱和双键,容易与空气中的活性物质发生反应,导致橡胶老化和失效。

2. 对接连接器的机械连接方式影响对接连接器之间的结合力。

连接器之间的常见的连接方式包括螺纹连接、卡扣连接、焊接等。

螺纹连接是利用螺旋原理将两部分材料连接在一起的装置。其工作原理基于螺旋的原理,通过受力方向和扭矩之间的关系,在扭矩的作用下将两部分材料相互连接在一起。具体来说,螺纹连接器的工作过程是:首先,雄性头的螺纹被插入雌性头中,并沿着螺旋方向旋转。当扭矩适当时,通过摩擦力将两个部分的螺纹结构压紧,防止两部分分离,从而实现连接。螺纹连接器通过其独特的螺旋原理和多种设计形式,实现了不同材料和部件之间的可靠连接,具有结构简单、装拆方便、连接可靠等优点。

螺纹连接用于受到连接结构材质和制造工艺的影响,螺纹连接结构的摩擦力也参差不齐,特别是一些材料的本身性质,影响螺纹结构之间的摩擦力以及保

持力。另外,在螺纹结构加工时,由于加工精度以及误差的影响,螺纹结构的连接结合力也受到不同程度的影响,特别是螺纹相结合处两者之间的间隙,影响螺纹连接的可靠性。因此,由于螺纹连接结构自身材料以及加工工艺的影响,螺纹连接结合力之间也存在一定差异。

对于水下连接器,常用的螺纹连接材料包括金属材料 and 塑料材料。

金属材料通常具有较高的硬度和强度,这使得它们在连接器中能够承受较大的插拔力。某些金属材料(如铝合金)具有良好的耐腐蚀性能,适用于各种环境条件。金属材料的热膨胀系数较高,这可能会影响其在高温环境下的稳定性。

塑料材料,塑料件容易发生变形或应力松弛,在低于弹性限度的负荷下可能会失去保持载荷的能力,导致螺纹连接松动。塑料材料的摩擦系数较低,拉伸屈服应力较小,这可能导致塑料滑牙和扭矩衰减问题。

不同材料在螺纹连接器中的应用各有优缺点。金属材料适合需要高强度和耐腐蚀性的应用场景;塑料材料适用于重量轻和成本效益高的需求。对于水下电连接器的连接结构,可综合考虑成本和应用环境的要求,选择合适的材料。

连接器卡扣连接是一种通过集成在零件上或分离的定位功能件和锁紧功能件共同作用对零件形成特定约束的连接方式^[4]。其中,锁紧功能件在装配过程中发生形变,随后又恢复到原始位置从而形成锁紧并提供保持力。这种连接方式不仅方便快捷,而且经济实用,适用于各种有限空间或密集环境中的连接。

卡扣连接是一种高效、便捷且经济的连接方式。卡扣连接的性能受到卡扣材质和制造工艺的影响,因此,这些因素影响卡扣连接处的连接结合力,进而影响密封圈的密封效果^[5]。

4 水下电连接器的压力补偿问题

水下电连接器在深海环境中工作时,连接器的内外部存在巨大的压力差,在连接器的使用过程中,由于压力差的存在,影响连接器的可靠性,同时,在插拔过程中影响插拔效率。因此,为了保证连接器的可靠性,需要解决水下电连接器压力差的问题。

目前主要通过压力补偿的方法,解决水下电连接器的压力差问题。目前常用的压力补偿方法包括液压补偿装置。

液压补偿装置是通过设计一种内部充满绝缘油的外壳、内部电缆穿越接头和侧面压力平衡活塞的装置,实现在海底环境下根据水深自动调节活塞位置,从而

保持装置内部压力与海水压力相等。水下电连接器液压补偿装置的工作原理主要是通过内部的弹性元件(如弹簧、活塞或膜片)来感知系统内部压力的变化,并根据这些变化进行相应的补偿。具体来说,该装置通常包括液压力传感器、控制阀和调节装置三个部分。液压力传感器是核心部件,能够感知系统中的液压压力,并将这个信号传递给控制阀。当系统中的液压压力发生变化时,传感器能够及时感知到,并将这个信息传递给控制阀,从而进行相应的调节和补偿。

比如在插头的外壳里面设置封闭的胶质材料弹性膜形成的空腔,插头的电气连接元件,全部设置在外层弹性膜内。外壳内设置弹性膜,充油压力平衡式插孔包括插孔外壳和设置在插孔外壳外侧的内弹性膜,内、外弹性膜之间具有一级充油空间,在内弹性膜内的充油压力平衡式插孔内则形成二级充油空间,弹性膜与内侧刚性部件支撑,将平衡压力的油设置在内部,达到内、外的隔离与压力的平衡,因此,电连接器在水下插拔过程中,不会因环境因素而受到污染;通过弹性膜结构,插头连接器内部设置两级充油空间,将深海产生的压力进行释放,调整连接器内部空间压力平衡。

5 结束语

水下电连接器的设计,需要考虑水下环境的压力以及密封问题,根据不同的使用环境,比如深度、水的盐度等因素,选择相应的密封圈以及压力补偿装置。在使用密封圈密封时,一方面要考虑密封圈本身材质的选择,密封圈的弹性性能和耐腐蚀性能考虑密封圈的材质;另一方面也要考虑连接器对接后结合力的影响,考虑对接连接器的连接方式以及连接部分的材质。在压力补偿装置选择上,同样要根据使用环境进行相应结构以及材质的选择。

参考文献:

- [1] 陈宏举,运飞宏,侯广信,等.水下柔性连接器的O形圈球面密封性能分析[J].润滑与密封,2023,48(09):152-157.
- [2] 耿翟,黄然,乔鹏,等.水下连接器动态插拔试验技术浅析[J].电子元器件与信息技术,2023,07(05):246-249.
- [3] 赵瑞云,许晨旭,肖易萍,等.水下电连接器密封和环境补偿结构设计与分析[J].石油矿场机械,2023,52(01):48-57.
- [4] 王邦文,刘岱卫.海底管道水下连接器技术综述[J].现代制造技术与装备,2024,60(03):122-125.
- [5] 李月星,刘均让,朱煜鑫,等.水下液压连接器卡爪加工及装配工艺研究[J].机械工程师,2024(06):153-156.