

长输管道中整体式绝缘接头的设计与制造

王晓梅（安徽常浩高压管道有限公司，安徽 合肥 230000）

摘要：绝缘接头是长输管线中钢质管材阴极保护系统不可或缺的重要压力管道元件。尤其是大口径、高承压燃气输配和石油管线系统的使用。在长输管线中起着密封、防止发生电化学腐蚀的重要保护作用，从其结构方面来看，形成了完整的密闭系统，让其使用寿命得到延长。在绝缘接头未引进我国之前，国内采用的形式是绝缘法兰保护。其结构不能像绝缘接头形成密封，绝缘垫片直接暴露在使用环境中，不管是空气还是潮湿的土壤均会因密封件潮湿降低绝缘性，降低其使用寿命。整体式绝缘接头采用整体式绝缘结构，整体效果好，施工使用方便，亦可埋地，无需占地和日常检测维护，使用寿命在30年以上，是绝缘法兰使用寿命的5到10倍。采用绝缘接头把外加电流限定在保护管道上，是有效实现阴极保护的技术。

关键词：大口径；高承压；管线系统；长输管道

1 序言

绝缘接头的发展历程可以追溯到19世纪末。在当时，由于电力系统的发展迅速的建设需求，对于电线的连接和绝缘有了更高的要求。随着工业化进程的推进及绝缘材料的发展，新型绝缘材料如氟橡胶、聚录乙烯、丁腈橡胶等广泛应用使绝缘接头的耐压性与耐热性都有很大的提高。

2 产品介绍

作用与要求：绝缘接头是长输压力管道系统中重要的压力管道元件，不仅可以达到埋地钢管的密封及防腐要求，同时具备电化学保护工程所须的电绝缘性能要求。结构组成包括两端短节、与管节相焊接的上、下凸缘法兰、起密封紧箍作用的固定环、密封件、绝缘环、填充物等组成。绝缘接头的上、下凸缘法兰两个端面间，通过绝缘板和密封结构件，形成具有绝缘性能的双密封结构形式。套筒焊接完成后，将绝缘件和上、下凸缘法兰表过其中，形成“密封容器”，从而既了良好的绝缘效果，又大大提高了绝缘结构的承压能力。

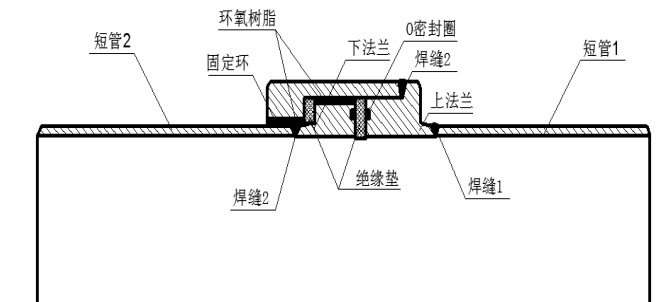


图 1

整体式绝缘接头应采用图1所示的整体式焊接结构，并满足以下要求：

①绝缘接头任何金属子件的应力不得超过其金属材料最小屈服强度；②密封结构件（U型或者O型）应整体模压成型；③钢质短管的长度不宜过短，宜为钢质短管的外径，且不应小于300mm；④钢质短管的名义厚度不应小于相连管道的名义厚度。端部坡口应满足现场焊接要求见图1。

3 设计

3.1 设计规范

以整体式为基础，结构紧凑，上下凸缘法兰、套筒固定环、上下接管及各个焊缝之间的设计须遵循SY/T0516-2018、GB150.3-2011及NB/T47054-2016等技术规范要求。

①整体式绝缘接头的设计压力、设计系数应等于会高于与之相连管道的设计压力与设计系数；②设计温度应超过绝缘接头在使用过程中可能达到的极限温度范围（对于0℃以下的温度应低于可能达到的最低温度值）；③腐蚀裕量应根据输送介质、设计使用年限等综合考虑且不应小于管道的腐蚀裕量。

3.2 许用应力按下列要求确定

①凸缘法兰、固定套所用钢材的许用应力取值宜按GB150.2-2011的规定选取；②短管所用钢材的许用应力应按下列式计算： $[\sigma]=F \times ReL$ 。式中： F —设计系数，同相连管道设计系数一致，输油管道工程设计系数按GB50253-2014的规定；输气管道工程设计系数按GB50251-2015的规定；城镇燃气管道工程设计系数按GB50028-2006的规定。 ReL —材料标准规定的最小屈服强度，MPa；③绝缘接头设计计算时所选取

的腐蚀裕量应根据输送介质、设计使用年限等因素综合考虑,不应小于相连管道所取腐蚀裕量,且不应小于 1.0mm。

4 材料

4.1 一般规定

①金属材料应选用电炉或氧气转炉冶炼的镇静钢。对标准抗拉强度下限值大于或等于 540MPa 以及用于设计温度低于 -20°C 的钢板和锻件,还应采用炉外精炼工艺;②绝缘接头,绝缘法兰用锻件、板材或管材应符合 GB150.2-2011, GB/T5025-2015 和 GB/50253-2021 规定的相应材料标准要求;③当设计温度低于 -20°C 时,应按 GB/T229-2020 理化试验相关规定要求进行夏比 V 型缺口冲击试验,且冲击值应满足材料要求;④当选用国外标准的锻件、或接管时应严格做好进货验收工作,并且符合 TSG21-2016 的相关规定;⑤对于处于含硫工况使用下的绝缘接头,所用锻件或管材还应符合 SY/T0599-2018 的要求;⑥绝缘接头用锻件、管节、绝缘板、密封圈、涂层、填充材料等应具有质量证明书,并且按照材料验收制度要求对其进行复验、接收、入库等相关工作。

4.2 锻件级别及选用要求

①锻件的材质应能满足产品的使用工况条件和机加工作业要求,并且与选定的钢质短管的材质具有良好的可焊性,法兰锻件的标准屈服强度应与相连管道材料标准的屈服强度一致或相近;②锻件材料的化学成分,机械性能和技术要求宜符合 NB/T47008-2017, NB/T47009-2017 和 NB/T47010-2017 的规定。

5 制造和组装

5.1 制造

绝缘接头的生产加工应由取得国家质检总局颁发的相应等级的压力容器制作或者压力管道元件制造资质单位担任。

生产绝缘接头时需要注意以下事项:

①材料选择:选择合适的绝缘材料非常重要,应根据使用环境和需求来选择耐压、耐热、耐化学腐蚀等性能良好的材料;②制造工艺:采用合理的制造工艺,确保接头的可靠性和稳定性。包括模具设计、注塑成型、精密加工等环节的把控;③质量控制:制定完善的质量控制体系,严格按照相关标准和规范进行生产检测。对每个工序都进行严格的质量监控,以确保产品符合要求;④安全性能:绝缘接头是为了保护电线的安全而存在的,因此在生产过程中要严格把关

安全性能,确保产品的绝缘性能和避雷性能达到标准要求。这些注意事项有助于生产出高质量的绝缘接头,确保电线连接的安全和稳定性。

5.2 凸缘法兰与固定套加工

①III 级和 IV 级锻件应进行复验,符合质量证明文件及相应锻件标准的要求;②采用 O 型自紧式密封结构的绝缘接头,两侧面处密封槽的形状、尺寸和尺寸公差宜按 GB/T3452.1-2005 和 GB/T3452.3-2005 的规定加工;③采用 U 型自紧式密封结构的绝缘接头,U 型密封圈的尺寸公差应满足 GB/T3672.1-2002 中的 M3 级要求,金属模具合模线应避开密封端面,且与密封圈表面对应的金属模具表面的粗糙度不低于 Ra3.2。

5.3 焊接

卷制钢管:

①钢板卷制短管的纵焊缝宜采用双面焊或单面焊双面成型焊接工艺,并保证全焊透;②钢板卷制短管的纵焊缝应进行无损检测。无损检测方式、检测率和质量等级应根据与之相关管道无损检测设计文件要求设定,高于或者等于相连管道的标准要求,并应标注在绝缘接头的设计文件上;③钢质短管与相连管道焊接一端的焊缝坡口型式角度与相连管线相匹配一致,并满足管道焊接工艺评定的相关要求,并应在产品制造厂加工完成。

5.4 钢管与凸缘法兰焊接

①受压元件之间的焊接,应在焊接工艺评定范围内进行。且无损检测应符合 GB/T 150.4 的相关规定;②上凸缘法兰与固定环之间的封闭焊缝,应采取低线能量,多道焊焊接工艺,在焊接过程中,与密封圈接触的金属温度应不超过密封圈和绝缘环的允许使用温度;③上凸缘法兰与固定环之间的焊接接头,应按照 NB/T 47013-2015 进行 100% 的超声检测,Ⅰ级为合格;④钢质短管与凸缘法兰组焊后有热处理要求时,应按标准规定进行热处理。

5.5 组装

①在组装密封圈和绝缘环之前,各元件表面应清洁,金属元件表面应无棱角;②绝缘接头的组装应在能定量控制装配预紧力的专用工作台上进行,所有组装工序均不应使绝缘件和密封件造成任何损伤;③绝缘接头组装前,应对凸缘法兰、固定套、绝缘环、密封件等逐件进行规格尺寸和外观质量检查,规格尺寸和外观质量不合格的零件不应使用。使法兰,绝缘环和密封圈紧密贴合,组装过程不得对绝缘环和密封圈

造成损坏；④绝缘接头组装前，须保证各子件清洁度，用酒精将各子件表面逐一进行擦拭清洗，将油渍、铁屑、灰尘等污染物去除干净，提高密封绝缘一次合格率；⑤U形密封结构的绝缘接头装配前，应先将绝缘环装入到U形橡胶密封件内，放到两凸缘法兰之间，使得绝缘环中心和凸缘法兰中心一致，保证装配压紧力方向和凸缘法兰轴线方向一致且施力均匀；⑥绝缘接头的O形橡胶密封圈在装入两侧法兰的密封槽前，应将密封槽清理干净并填入适量的润滑脂，再将O形橡胶密封圈平整安放到槽内，不允许扭曲；⑦绝缘接头套筒与上凸缘法兰的焊接组装应按焊接工艺施焊，严格控制焊接速度和温度，焊接过程中距焊接坡口外圆端面40mm-50mm的金属壁温不超过100℃；⑧绝缘接头填充绝缘填料时，应按照使用说明书中的配比要求将绝缘填料混合均匀，连续充满固定套与法兰之间所有的环形空间，绝缘填料固化后的绝缘电阻值不应小于20MΩ。固定环与右法兰间的所有空腔都应填满绝缘密封填充材料，同时采取必要的措施来阻止气泡的形成；⑨绝缘接头组装完毕后，应目视所能检查各绝缘件是否完好，发现有破损或已过度变形的应立即更换，绝缘接头的组装焊缝应打磨圆滑。

6 试验与检测

6.1 水压试验

绝缘接头制造完成后应逐个进行水压试验，试验压力是相接管线设计压力1.5倍，试验及保压过程中无泄漏、且无异常声响、可见变形即为合格。

6.2 气密性试验

①试验压力为1.0倍的设计压力；②其他要求应按照GB/T150.4的相关规定，试验过程中无泄漏为合格。

6.3 水压加弯矩试验

①按照每批次5%数量进行检验，且不得小于1个，在保持6.1.1试验压力的同时，对绝缘接头鼓包位置施加弯矩，该弯矩值的大小，应能在承受相同弯矩和压力的相焊管段内，产生不小于72%相接管材屈服强度的纵向应力；②试验过程中无破坏，渗漏和永久性结构变形为合格。

6.4 水压压力循环（疲劳）试验

①按照每批次5%数量进行检验，且不得小于1个在内压作用下，连续施加40个疲劳周期。每个周期，内压从1MPa到水压试验压力的85%，再到1MPa；②试验过程中无渗漏和永久性结构变形为合格。

6.5 绝缘电阻测试

1000V直流电压下，绝缘接头的电阻值应大于20MΩ。

6.6 电绝缘强度试验

①耐电压强度应不小于3kV。

②在整个绝缘接头测试过程中，无绝缘损坏和表面电弧为合格。

6.7 涂层缺陷检测

在至少3.0kV电压下，绝缘接头内外涂层无漏电为合格。

6.8 涂层干膜厚度测量

涂层单点干膜厚度应大于270μm，基准表面内的平均厚度应大于300μm，且能通过漏电监测器的检测。

6.9 外观质量

外表面应无碰伤，毛刺，凸凹不平。

7 实际应用情况

自2016年开始，我司整体式绝缘接头实现工程应用。目前已广泛应用国内外多条石油、天然气等管道工程，长期持续供应中国石化、中国石油、斯派莎克（中国）工程、特瑞斯能源装备、盐城森格斯燃气等长输燃气、石油管线工程，产品规格直径DN25mm-DN1400mm，设计压力1.0MPa、1.6MPa、2.5MPa、4.0MPa、6.3MPa、10MPa、15MPa、25MPa等运行情况良好，受到广大业主的一致好评。

8 结论

绝缘接头改进了绝缘法兰过程中存在的密封绝缘问题，其使用及结构型式较绝缘法兰都有很大的提升，替代绝缘法兰的使用达到阴极保护亦是必然趋势。改进了绝缘法兰密封性、刚度小、易泄漏、不能埋地、寿命短等弊病，实现了埋地免维护的功能，使绝缘接头的使用寿命与配套的管线相同。

参考文献：

- [1] 李熠辰,王志方,刘杰,马剑.天然气管道绝缘接头泄漏在线抢修方法[J].天然气与石油,2018(02).
- [2] 张文学,张仕民,杜鑫芳,王文明.载荷作用下整体式绝缘接头密封性能研究[J].中国科技论文,2017(04).

作者简介：

王晓梅（1982-），女，汉族，安徽阜阳人，工程师，本科，研究方向：机械设计制造及其自动化。