

低压蒸汽管道开裂失效原因研究

陆 阳 胡龙年 孟安琦 (天华化工机械及自动化研究设计院有限公司, 甘肃 兰州 730060)

摘 要: 随着我国经济的持续发展, 科学技术也在持续地发展, 本文以低压蒸汽管道弯头出现的开裂为基础, 运用各种检测手段, 对开裂的形成原因展开了深入的研究, 并与主蒸汽管道的管路布局结构相结合, 对开裂形成的原因进行深入分析, 并给出了减少开裂形成的相应的预防措施和建议。

关键词: 低压; 蒸汽管道; 开裂失效; 原因

0 引言

低压蒸汽管道是一种高温、高压的管路, 其材质多为铬、钼合金。Cr-Mo 合金是一种抗高温、抗氢气侵蚀的材料, 在使用过程中极易发生冷热开裂, 若不加以有效控制, 将导致裂纹萌生和扩展, 对生产和使用产生重大危害。文章中作者以一家企业在使用过程中发生的一起高压汽管焊接开裂事故为例, 通过实地考察和查阅有关资料, 讨论了造成开裂的原因和解决办法。

1 低压蒸汽管道和开裂的概述

1.1 主要气管的排列

在炉子的右侧, 主要是由高温过热器出口集箱从大包引出之后, 再经过第 1 个弯头向下, 到达平台处, 之后再经过第 2 个弯头向下引向炉前方向, 再到达炉前侧之后, 再经过第 3 个弯头向下引出, 最后进入汽机房。

1.2 开裂的部位和形态

通过对炉子右边的低压蒸汽管道的二号弯头进行了现场的磁粉检查, 结果表明, 在炉子右边的低压蒸汽管道的二号弯头上出现了大量的裂纹, 这些裂纹主要分布在弯头的焊接部位、热影响区和周围的母材上, 尤其是在弯头的内外弧的两侧, 裂纹的长度从 2mm 到 100mm, 沿着焊缝的圆周而产生, 裂纹的边缘是锋利的, 有些裂纹还会出现分支的现象, 经过多次的打磨, 最终被去除, 打磨的最深处大约有 20mm。

1.3 开裂特性研究

①在焊接后的温度较高的情况下, 会出现裂纹。根据裂纹横截面上的氧化铁皮, 推断其是在较高温度下产生的, 而在实际生产中任何一种焊缝都不会经受住较高温度, 因此, 只有在焊缝或焊后的热处理才会产生较高温度^[1]; ②常规的 CrMoV 耐热钢在再热过程中主要是通过析出相增强和晶界中的杂质减弱来产生再热裂纹。在接近熔合区的焊接热影响区, 当焊接温

度达到非常高 ($> 1300^{\circ}\text{C}$) 时会出现晶间析出强化和晶界杂质减弱。由于晶粒内部的析出, 应力松弛引起的变形主要集中在晶界处, 在晶界处没有足够的可塑性时就会出现再热开裂; 在这种情况下, 由于晶界的弱化, 使得其可塑性减弱, 导致了再热开裂。基于上述两种机制, 再热开裂表现为: 在靠近奥氏体的热影响区粗晶区, 在原始奥氏体的晶界处产生并向晶粒方向发展, 在无其他外力的情况下, 再热开裂一般终止于细晶区。从主裂、微裂的形貌及走向分析, 裂纹呈三晶界的沿晶断裂, 并有显著再热裂纹特征。

1.4 检验结果

钢管和焊接接头的化学成分均符合规范要求; 该材料的构造完整, 没有出现明显的球化和老化现象; 母材, 焊缝的硬度值符合标准要求; 金相分析表明, 该材料的开口部位为普通材料, 而在开口部位呈尖角, 未受外力的影响超过了其承受的极限^[2]。以主蒸汽管道受力分析为例, 管道受力情况与其结构布置和运行情况之间存在着一定的联系, 合理的结构布置和运行情况可以减少应力集中现象的出现, 在管道的启停和正常运行的过程中主要的受力具体包括了以下内容: 由于管道承受的外部荷载、内压力及管道由于热胀、冷缩时的位移受约束而产生的应力等。根据从高温过热器出口到 3 号弯头的管路构造图, 在主汽 2 号弯头与 3 号弯头之间, 有一条很长的横向直线段, 在中间直线段上有一个堵塞阀门, 没有其他补偿设备与固定支架, 只能靠这条管路的两个弯头上的 L 型进行自然补偿, 而 2 号弯头上的 L 型补偿管段的短臂太小, 造成了补偿效果的局限性。主蒸汽管道的工作温度为 540°C , 工作压力为 17.5MPa, 在长时间的使用中水平中间管段的长度比较长, 因为主蒸汽的高温, 使得沿着水平管道的轴向有很大的膨胀, 在没有足够的补偿的条件下, 管道的弯头会受到水平直段管道的轴向推力, 在弯曲部位, 尤其是在弯头上部的焊接部位, 会

出现剪切应力集中的现象,如果应力超过了管子的强度极限,就会导致损坏;与此同时该机组在运行时已经进行了多次的启停。在机组启动时主蒸汽管系从常温到工作压力,整个管路都会出现热膨胀,导致弯管产生向弯管的外侧拉应力和弯管的内侧压应力。停机时由于冷缩等变形,也会产生应力,这也是导致裂纹的一个重要因素。管道、附件、保温和工作介质的外部负载,以及在启动和停止的过程中由于管道内部压力而导致的弯曲部位的应力不均匀,也会对开裂的形成有一定的影响。

1.5 热处理分析

焊接完毕,目测合格后,应马上进行热处理。在焊缝、热影响区和邻近的基体上,选择了一条电热绳,其长度为250mm,两个温度测量采用的是热电偶。在100mm的范围内,选择了50mm厚度的绝热棉作为绝缘材料。在400℃的高温下,以180℃/h的速度进行加热,在720℃的高温下进行恒温。在加热过程中当加热温度保持在2个小时之后,将加热过程中的温度调整到220℃,当温度下降到400℃时将加热过程中的加热装置关掉,让其自然冷却。用测温枪测温,当冷却到100℃以上时取下绝缘棉,电加热绳和电热电偶。

1.6 清理焊缝

用氧-乙炔气刨焊接的肉层,厚度约为7mm,再用磨床研磨,将开裂处和周围的所有的焊接肉层都研磨干净^[3]。对于有开裂的对边,也要磨到2-3mm厚。因钢管焊缝的温度为76-100℃,不能用热失重法来检验,只能用手电、放大镜和肉眼等方法来检查焊缝的表面和焊缝的外观。

2 低压蒸汽管道开裂失效原因

2.1 开裂位置

由于低压蒸汽管道在输送流体时其表面会出现一种亲水性薄膜,因此极易发生电化学开裂。天然气在输送时会受到天然气中含有硫化氢、氧气和二氧化碳等化学物质的侵蚀。对于内表面的开裂,主要是通过气体进行净化,将其中的某些杂质控制在一定的范围之内。在对燃气进行处理时也要对低压蒸汽管道的内壁进行处理,在管道内壁上涂上合成树脂或抗氧化等涂料,可以避免管道内壁的开裂,并可以减少管壁的粗糙度,增加了管道的输气能力。导致低压蒸汽管道外壁开裂的因素很多,主要有两种,一种是裸露在地面上的管道,另一种是埋在地下的管道,这两种开

裂的原因有异曲同工之妙,但也有区别,埋在地下的管道,主要是由于土壤中的化学物质,在化学的作用下,管壁逐渐变薄,这对低压蒸汽管道的穿孔没有太大的影响。管道的外壁开裂穿孔以电化学开裂为主,但也存在着其他其他类型的开裂,如杂散电流、土壤微生物等。

2.2 开裂原因

根据低压蒸汽管道系统出现的开裂现象,对其进行了分析,并在管道的设计及建设施工和使用过程中采用最为行之有效的防腐方法,减少了管道开裂的速率,提高了其使用寿命。低压蒸汽管道开裂的原因有三:土壤开裂、杂散电流开裂、输送介质开裂。采用缓蚀剂、涂层管材、耐开裂合金管材、非金属管材以及阴极保护等常用的防开裂措施,都有其优缺点。在实际的生产建设中要考虑到各种因素,如地质条件,输送介质,工程预算等,选取最经济、最高效的防开裂技术。

由于地质环境的持续变化,会导致低压蒸汽管道的温度、土壤类型等因素的影响,若外部环境中有许多不安全的气体,与管线相接触时就会产生各种各样的事故,严重者还会造成无法弥补的损失^[4]。除此之外,一些低压蒸汽管道还需要对其进行二次改进,对其所需的设备进行反复的维护,增加了后续的工程量。另外,焊接的质量也会对最终的低压燃气的使用结果产生影响,如果焊接的质量不好,就会产生低压燃气泄漏等问题,对地面管道的施工质量产生了较大的影响,导致了事故的发生。在低压蒸汽管道中地表开裂是引起管线外开裂的重要原因。土壤是一种由固、液、气三相物质构成的复合体系,与各种微生物共生。土壤是一种非均匀、黏稠、导电、多孔的介质,电化学开裂是其对低压蒸汽管道的主要侵蚀方式。低压蒸汽管道一般穿越多个区域,所涉土层种类各异,其侵蚀速率和强度各不相同,且侵蚀非均匀性又会进一步恶化^[5]。土壤的开裂性主要取决于其物理、化学、电化学、生物等物理化学性质。

影响开裂的主要因素有:

①土壤电阻率。土壤的电阻率与其含水量、孔隙率等因素密切相关。一般地,电阻率较低的土壤,其侵蚀力较强;土壤含水率随着时间的推移而增大,其侵蚀力随着含水率的增加而增大。在水分含量很低时随着水分含量的提高,随着水分含量的提高,溶解盐的数量也会随之增加,而在达到一个临界值时可溶盐

就会被彻底溶解掉,如果水分含量再提高,就会阻塞孔洞,阻碍溶解氧的扩散,降低侵蚀;②pH。土壤有酸性、碱性、中性三种类型,随着pH的下降,土壤对土壤的侵蚀逐渐增强;③土壤含盐量较高,是由于微生物代谢产物的存在,与金属管线的表面接触而引起的电化学开裂。随着可溶性盐组分的增多,土壤的电导率增大,导致了土壤的侵蚀作用增强。

温度是CO₂开裂速率的主要因素,通常情况下,CO₂开裂速率随温度的上升而上升,然后下降。碳酸亚铁保护层的溶解程度在60℃之前是随温度的改变而改变的,其溶解程度随温度的改变而改变,且随温度的增加而减小,碳酸亚铁保护层的溶解程度随时间的推移而改变;在60~110℃期间,随着碳酸亚铁的溶解性的持续下降,逐渐在钢的表面形成了一层对金属起到保护作用的碳酸亚铁保护膜,这一时期的CO₂开裂主要表现为局部开裂,大约在60℃时开裂最大值发生;当温度超过110℃时钢中形成的保护层从一种简单的碳酸亚铁转变为一种简单的四氧化三铁,并逐渐向一种简单的四氧化三铁过渡。目前,普遍使用的防开裂方法是将防开裂涂层和阴极保护层结合起来,形成双层防开裂涂层。这种方式可以完全隔绝外部环境中的有害因素,当出现局部剥落时阴极保护层中的电流流通性能良好,确保了更好的防护效果,大大降低了管道被开裂的概率。对其采取适当的保护措施,可以确保低气压气体的安全运输,是国家石油和天然气管道安全运输的重要保障^[6]。与此同时对于地面管道的施工过程,应该要有更高的标准,如果处理不好,就会导致严重的人身和设备伤害。因此,监督人员应该对管道的材料进行严格的选择,不能使用劣质的产品来进行管道施工,不然的话,会存在较大的安全隐患。

3 低压蒸汽管道开裂失效防范建议

3.1 加强外部环境控制

通过在沟槽中放置一组水泥隔板,使管线与外界隔绝,管线的外侧是泥土,上面是地上,下面是地下车库的顶棚。由于混凝土间隔物的作用,使得雨水不会从地下渗透到地下。为防止隔墙距离较远的土质渗透,把隔墙设计成封闭型,也就是把隔墙和土质管道组成一个封闭的空腔。这是管道开裂的首要环节。在低压蒸汽管道系统中开裂是由于没有得到有效的补偿,在弯曲部位,尤其是上部焊接部位,由于温度的影响,再加上在启动和停止时在弯曲部位所引起的温度变化,使得弯曲部位承受的压力超过了材料的极限,

导致了开裂的形成;管道的外部负荷、内部压力负荷和其他一些应力,如在启动和停止时沿着管道的壁厚方向上,由于弯曲管的温度梯度而产生的不均匀应力,对开裂的形成有某种影响。要防止事故的发生,将裂纹对主蒸汽管道的安全运行造成的危害降到最低,应该在裂纹打磨消除之后,以消除的结果为依据,制定出一套合理的返修方案,在已经修复好的故障的机上,要强化对其进行的日常管理工作,对其进行合理安排,降低其启停频次,如果条件许可,可以对该段管线进行强化补偿,降低其在缺陷部位的应力集中为机组的安全运行提供一种合理而又有效的保证。

3.2 外涂层防腐

在地下集输管线的维护中管线的穿孔是最常见的一种,一旦出现,不但会带来巨大的经济损失,而且还会对周围的环境带来严重的污染。在地下埋地管线中防腐涂层的性能直接影响着管线的使用寿命。以管道的维护经验为基础,在需要有较长使用寿命的集输管线时应该采用具有更好性能的防腐材料,以避免在后期管道的维修工作量过大,增加了经济成本^[7]。在集输管线的外部涂敷一层涂料,可使管线与土壤中的开裂性物质隔绝,防止管线发生开裂。在选用钢管外防腐层时要综合考虑钢管的韧性、耐老化、耐冲击、电气绝缘和粘性等性能指标。在选用防开裂材料时也要考虑到经济方面的因素。若设计的管线寿命不长,则应选用符合防腐要求的廉价防腐层。为保证管线的长期使用,必须选用具有良好耐开裂性能的材质。现在最常见的是石油沥青、煤焦油瓷漆、FBE粉末、三层结构聚乙烯在管道外面加一层粘弹体材料,它是管道防腐的第二道防线,然后在粘弹体外面加一层聚乙烯冷缠带,如果有从水泥隔板渗透进来的水汽,它也可以利用冷缠带和粘弹体来防止水汽与管壁接触。

3.3 电化学保护法

牺牲阳极保护法是在低压蒸汽管道上涂敷一种电位更低的金属或合金,形成一种全新的防开裂电池,成为一个良好的开裂电极,对电流需求较小的裸管与涂层管道的外露部位都可以形成阴极保护。外加电流法也是一种将保护管道和外加的支流电压的负极相互连接的方式,两者之间形成振幅很大的电位差,提供持续的保护电流,保护的距離很远,电流和电压可以随时调整,应用范围很广。

3.4 改进安装工艺

首先,合理地安排焊接顺序,管线安装焊口尽可

能选择在同材质同厚度的位置,安装焊口选择在弯头和管子对接焊缝 67# 焊口处。对阀门部位厚度不等的焊接零件,先在地板上进行焊接,然后再进行焊接。其次,管子在焊接时应力是产生开裂的重要原因,应采取行之有效的方法,以确保焊缝形成时不会受到任何外部应力的影响。最后,良好的焊前预热,以及及时的焊后热处理,能够最大限度降低并防止开裂。在焊接时要严格按照标准、规范和有关的焊接技术文档来进行,同时要注意对焊条的烘干和运用,以及对焊前预热的要求,对焊层之间的温度进行控制,焊后要马上进行热处理。

3.5 补口技术

补口技术是蒸汽管道防护中的一种重要技术,能够快速修复管道上的腐蚀缺口,使管材保持完整,防止裂缝、缺陷等引起的腐蚀加重的情况。常见的补口技术有两种:一是采用聚乙烯补片,有关人员在具体实施时应该在防腐切口处涂上相应的打底漆,并在管材外侧缠绕适当厚度的聚乙烯胶带,作为外部防护。聚乙烯补片技术无需现场加热,操作简单快捷,因此用途非常广泛,如 3PE、环氧粉末、聚乙烯包覆层等都可以通过聚乙烯修补技术进行修补。第二种是用热浇沥青补口。在具体修补的时候工作人员会用高温熔化固体沥青,让其附着在防腐层的缝隙上,再用多层玻璃布将其包裹起来,达到修补防腐的目的。

3.6 涂层技术

在管道防护中涂层技术的应用越来越广泛,采用了专用防腐隔热材料对加护管材进行了涂覆,可以对管道的金属性能进行有效的补偿,提高管道的使用寿命。在实际的防护工作中通常采用下列两种方法:第一种是三层的复合涂层,将聚烯烃、粘合剂和环氧粉末由外向内涂覆,形成一种防护性的涂层,将这种涂层涂在输气管道上不仅可以减少阴极剥离带来的不利影响,还可以提高管道的抗腐蚀、抗应力、抗磨损能力。三层复合涂层技术由于其本身结构的局限性,其实施过程较为繁琐,极易产生“膜下腐蚀”。第二种是环氧粉末涂层,这种涂层工艺以固化剂、环氧树脂等为主,在输气管道的表面涂上这种涂层可以明显提高管道的抗阻性能,特别是对土壤环境应力具有较强的拮抗作用,同时还可以大幅度地改善管道的磨损性能^[8]。但由于环氧树脂的分子间作用力大,在凝固后会产生脆性,因此一旦发生硬性损伤或强烈冲击,很可能会导致管道断裂。

3.7 利用专用的缓蚀剂

缓蚀剂不仅可以阻止管道腐蚀的问题,同时也可以降低投入,因为在海洋环境下油、水、气三者有机结合,必须要确保缓蚀剂做到乳化倾向与无气泡,充分考虑环境因素。当管道需要运输油和汽两种物品时,缓蚀剂还可以与防冻剂相组合,有效避免缓蚀剂和水分相互腐蚀。

3.8 合理设计

在地下集输管道铺设中要尽量减少管道接头数量,并且避免使用套用的方式以及卷边法兰或者不同金属材质管道相连接,所以在管道铺设中需要提前做好处理。加大对新设备、新技术的使用力度,改进当前低压蒸汽管道的结构,创新蒸汽集输系统,对改进现有蒸汽集输系统中的防腐措施,促进管道内防腐技术的发展有着重要的作用。随着信息化技术的不断进步,对于蒸汽技术的管理也变得更加方便快捷,同样对于蒸汽传输过程中的数据采集以及分析变得更加的精确,及时为管理人员提供了数据资料。

4 结语

通过对低压蒸汽管道的开裂状况及防腐措施的研究,提出了防止各类开裂的措施,以确保长输管线的安全。根据不同的开裂类型,首先要防止金属管道的开裂,然后才能进行开裂的治理,以免管道的开裂太大,而影响到低压气体输送的效率。

参考文献:

- [1] 付力,陈瑞邦,尤晋,张炜.石化低压蒸汽管道断裂与安全评定[J].中国特种设备安全,2019(03):66-69.
- [2] 崔艳兰.石化低压蒸汽管道断裂与安全评定[J].中国石油和化工标准与质量,2020(14):3-4.
- [3] 艾海提·吐尔洪,张翰文,张荣国,柳浩文,黄旭.一条含超标缺陷压力管道的安全性评定[J].化学工程与装备,2022(11):268-270.
- [4] 时亚南,范效礼.工业管道安全状况等级评定系统的设计与实现[J].湖北农机化,2020(07):148.
- [5] 李建锋,周昌宗.含未熔合缺陷压力管道安全评定[J].石化技术,2022(08):27-29.
- [6] 吴鹏.钢制压力管道耐压试验压力计算方法的比较[J].特种设备安全技术,2022(06):29-30+32.
- [7] 袁峥嵘.化工工艺管道安装质量控制和技术管理[J].化工管理,2022(20):134-137.
- [8] 刘波,张晓莉.基于标准规范体系的长输管道和工业管道辨析[J].石油化工设备,2022(03):38-43.