

天然气管道除锈工艺优化的探索与实践

董常龙（江西省天然气管道有限公司，江西 南昌 330096）

马倩倩（江西省天然气集团有限公司，江西 南昌 330096）

摘要：近些年来，天然气管道爆炸事故频发，湖北十堰天然气爆炸事故造成多人死亡和重伤，2021年以来，多地出现天然气爆炸事故，天然气泄漏爆炸事故呈现增多的趋势，而众多天然气爆炸事故中，绝大多数为天然气泄漏引发的事故，在日常工程设计中，天然气输送主要使用钢质管道进行输送，而天然气钢质管道很容易腐蚀，管道腐蚀易造成天然气泄漏爆炸事故，从而可见，做好管道防腐对于确保天然气管道不被腐蚀至关重要，因此，在天然气输送过程中需要经常开展除锈刷漆工作来防止天然气管道腐蚀。天然气属于易燃易爆气体，遇到火花、明火容易产生燃烧爆炸，而工程常用的石英砂抛（喷）丸除锈方式易产生火花，如果在运行的管道上作业易造成火灾爆炸事故，对天然气管道安全运行产生较大威胁，本文从石英砂抛（喷）丸除锈产生火花的机理进行研究，提出了两种解决方案，一是使用碳酸氢钠微晶体来替代石英砂磨料；二是使用湿喷砂除锈来替代干喷砂除锈。通过这两种优化的方式来杜绝火花的产生，从而确保天然气管道除锈防腐的安全施工，为管道安全运行奠定坚实基础。

关键词：天然气分输站；管道腐蚀；抛（喷）丸除锈；碳酸氢钠微晶体

1 引言

天然气分输站地上设备、管道常采用石英砂抛（喷）丸除锈的方式进行涂漆前的处理，由于石英砂质地坚定，喷砂过程会产生大量火花易引起天然气火灾爆炸，为确保抛（喷）丸除锈的安全施工，可从抛（喷）丸除锈产生的火花机理进行研究分析，优化抛（喷）丸除锈工艺，采取防止火花产生的措施，确保管道除锈施工的顺利实施。

2 管道腐蚀危害

随着“碳达峰、碳中和”强力政策的出台，高效、清洁的天然气得到了快速发展，管道输送作为天然气最快捷的输送方式，近些年来得到了快速发展，由于天然气输送具有高压、高危险性的特征，具有强度高、适应性强、使用面广等特点的钢制管道在整个输配系统中扮演着重要的角色，大多数长输天然气管道均采用钢质管道进行输送，但天然气钢制管道耐腐蚀性较差，随着天然气管道长时间运行，管道易因为腐蚀穿孔导致天然气泄漏事故的发生，严重影响着天然气的安全输送，还可能发生火灾、爆炸事故，对人们的生命及环境造成严重危害。青岛到东营的输油管道因腐蚀泄漏爆炸造成特别重大事故，事故导致了直接经济损失7.5亿元，62人死亡、136人受伤的悲剧发生，因此、积极做好天然气管道腐蚀控制对安全运行至关重要。按照《石油化工设备和管道涂料防腐设计标准》（SH/T 3022-2019）的要求，天然气分输站地上设备、管道及其附属钢结构表面要进行涂漆防腐处理，根据《石油化工设备和管道涂料防腐设计标准》（SH/T 3022-2019）的条文说明，清理质量不符合要求引起防腐涂层寿命缩短的比例占40%，防腐界有这么一句话“七分除锈，三分涂装”，可见除锈的重要性，因此，要想实现天然气

分输站地上设备、管道及其附属钢结构涂漆防腐，需要确保清理质量，才能保证涂漆防腐的效果，保证管道不因腐蚀穿孔泄漏。

3 管道常用除锈方式及现状

按照标准要求，天然气管道涂漆前钢材表面处理等级应符合St3（非常彻底的手工和动力工具清理，在不放大的情况下观察时，钢材表面应无可见的油、脂和污物，并且没有附着不牢的氧化皮、铁锈、涂层和外来杂质，除锈应比St2更为彻底，表面应具有金属底材的光泽）或Sa2.5（非常彻底的喷射清理，在不放大的情况下观察时，钢材表面应无可见的油、脂和污物，并且没有氧化皮、铁锈、涂层和外来杂质，任何污染物的残留痕迹应仅是点状或条纹状的轻微色斑）的要求。目前常用除锈方式有化学除锈、抛（喷）丸除锈等方式。

3.1 化学除锈

利用溶剂清洗钢材表面，以达到去除油、油脂等类似的有机物，但它不能去除钢材表面的锈、氧化皮、焊药等无机物，除锈后表面粗糙度比较低，主要用在不方便喷砂或手动除锈的场合，因此在防腐生产中只作为辅助手段。

3.2 手工和动力工具除锈

主要使用钢丝刷等工具对钢材表面进行打磨，可以去除松动或翘起的氧化皮、铁锈、焊渣等。手工工具除锈能达到Sa2级，动力工具除锈可达到Sa3级，若钢材表面附着牢固的氧化铁皮，工具除锈效果不理想，达不到防腐施工要求的锚纹深度，而且速度很慢，在防腐生产一般作为附加辅助手段。

3.3 酸洗

一般用化学和电解两种方法做酸洗处理，管道防腐只采用化学酸洗，可以去除氧化皮、铁锈、旧涂层，有

时可用其作为喷砂除锈后的再处理。化学清洗虽然能使表面达到一定的清洁度和粗糙度,但其锚纹浅,而且易对环境造成污染,对人身造成伤害。

3.4 喷(抛)射除锈

喷(抛)射除锈是通过大功率电机带动喷(抛)射叶片高速旋转,使钢砂、钢丸、铁丝段、矿物质等磨料在离心力作用下对钢管表面进行喷(抛)射处理,不仅可以彻底清除铁锈、氧化物和污物,而且钢管在磨料猛烈冲击和磨擦力的作用下,还能达到所需要的均匀粗糙度。

为达到标准所要求的除锈后的清洁度、粗糙度,目前绝大多数天然气输送管道的地上管道、设备及其支架的除锈方法为气喷石英砂为主的干喷砂除锈方式,也就是上述的喷(抛)射除锈方式,辅以手工和动力工具除锈。干喷砂除锈通常使用空气压缩机将空气压缩到0.5~0.8MPa之间,压缩后的空气经过冷却装置及油水分离器干燥、除油后进入喷砂机,在喷砂机内压缩空气与磨料充分混合后,由高压空气带动石英砂等磨料形成高速喷射束经橡胶软管从喷嘴喷出,高速运动的磨料喷射到管道上,凭借冲击力及摩擦力去除管道上的铁锈、氧化皮、油脂、焊渣、毛刺、灰尘、水份及其他污物,同时获得一定的粗糙度,达到Sa2.5级的要求,对管道、设备的死角、拐角等不便进行喷砂除锈的位置,通常采用手工除锈方式进行清理,达到St3.0级的清洁度、粗糙度。经过喷砂除锈后管道表面满足喷漆条件,然后再进行喷涂油漆防腐作业。

4 管道除锈存在的风险

天然气极易燃烧爆炸,极具危险性。而通常使用的干喷砂除锈方式在施工过程中易产生火花,一旦在施工过程中有天然气泄漏遇到喷砂产生的火花,很容易产生火灾爆炸,对天然气管道的安全运行产生极大威胁。“11·22”中石化东黄输油管道泄漏爆炸特别重大事故即为施工过程产生火花引燃油气爆炸,由此可见干喷砂除锈方式对管道安全运行存在很大危险性。在喷砂除锈过程中,细小的沙粒、铁锈等杂质会进入法兰、过滤分离器快开盲板缝隙导致设备漏气或无法打开,高速的砂石还会造成压力表、温度计表盘损坏,造成设备损伤。同时,干喷砂除锈过程中,由于喷砂产生的许多铁锈、氧化皮、沙石碎粒等细小颗粒,经过高压空气的吹动,最后汇集形成了大量的灰尘,粉尘浓度最高可达到160mg/m³,对周边环境产生了大量的污染。喷砂作业人员在喷砂过程中如果穿戴劳保用品不规范或不穿戴劳保用品,大量的粉尘通过作业人员的呼吸系统进入呼吸道及肺部,粉尘中含有大量的二氧化硅、铁锈等物质,在肺部集聚后会对肺部造成纤维化,严重的会产生尘肺、矽肺、有毒重金属致癌的风险。喷砂除锈过程中,高速气流喷射而出,会形成大于95分贝的噪音,严重超出作业人

员承受的范围,如果作业人员长期在如此高的噪音中工作,会造成听觉损害,严重者可造成耳聋。

5 喷(抛)射除锈产生火花的机理

通过比对现有化学除锈、抛(喷)丸除锈等方式,可达到Sa2.5级要求的以抛(喷)丸除锈方式为最佳,但抛(喷)丸除锈方式喷出的石英砂等磨料易产生火花,因此,要研究抛(喷)丸除锈产生火花的机理,从而改进抛(喷)丸除锈工艺,避免产生火花,以适应易燃易爆场所使用。

通过研究发现抛(喷)丸除锈过程中,通过研究发现抛(喷)丸除锈主要是利用高压空气带动磨料产生的高速运动喷射到钢铁表面,利用磨料本身的硬度、冲击韧性和棱角,将钢铁表面的铁锈除去,在石英砂磨料撞击到管道外壁时,高速运动的石英砂由于质地坚硬,在撞击的瞬间与管道外壁发生剧烈摩擦撞击运动,石英砂的机械运动迅速转化为热运动产生高温,引燃铁锈发生燃烧反应,产生大量火花并释放大放热。如周边含有一定浓度的天然气,火花会迅速引燃天然气,发生火灾爆炸事故。总的来说石英砂撞击摩擦火花引燃天然气的过程是一个能量传递的过程,共有五个阶段,首先高速石英砂产生冲击能;其次,石英砂与管道摩擦、磨损过程中产生大量热能及铁屑、铁锈等细微颗粒;再次,摩擦颗粒获得热能与氧气发生化学反应产生火花,释放热量;之后炽热火花将热量传递给天然气发生热对流;最后,大量热能引发天然气发生燃烧爆炸。因此,产生火花的根源在于热量的产生,消除火花可从消除热量的角度采取措施。

6 管道除锈优化措施

为确保Sa2.5级管道除锈效果,同时也要避免产生火花,确保管道安全运行,需要对现有除锈工艺进行改进,以适应易燃易爆场所使用。通过上述机理可知,产生火花的根源在于热量的产生,热量主要由石英砂与管道外壁摩擦撞击产生,消除热量可从如下两个角度考虑,一是可探索低热量磨料替换石英砂磨料来防止热量产生;二是将产生的热量迅速散去,达不到燃烧的点火能量。

首先我们按照低热量磨料替换石英砂磨料来防止热量产生的角度来开展研究。从目前市面上常用的磨料根据硬度分类主要由硬性磨料和软性磨料,硬磨料主要由金刚石、氧化铝、石英、滑石、砂石、长石、碳化硅等磨料,软性磨料主要有干冰颗粒、塑料颗粒、碳酸氢钠微晶体、超细海绵等。摩擦撞击产生热量的大小与磨料硬度、速度、接触面积等因素有关,硬度越大,瞬间转化为热量越多,硬度越小,产生的热量越小,因此,可选取质地软、塑性好的软性磨料通过形变来吸收部分机械能来减少热量的产生,从而避免火花产生。本着既能除去油漆,又不损伤管道本体的原则,根据铁的硬度

(4-5)和油漆的硬度(2)选取硬度值介于两者之间的碳酸氢钠微晶体(硬度为2.5-3)来进行研究。由于碳酸氢钠硬度值(2.5-3)介于铁和油漆之间,可很好的清除油漆,又不伤及管道本体。同时,碳酸氢钠晶体经高压空气带动喷射到管道外壁时,由于碳酸氢钠微晶体为软性材料,硬度远低于钢材硬度,在喷射到管壁瞬间,会发生碳酸氢钠晶体爆破,爆破过程会发生很大的变形,吸收大部分冲击能,化成的热能急剧减少,从而杜绝了火花的产生,同时,爆破产生的多棱角微粒可清除掉管道表面的油漆、铁锈、灰尘等杂物,确保管道表面清洁。通过国家化学品及制品安全质量监督中心开展的碳酸氢钠粉尘云试验报告也验证了碳酸氢钠微晶体磨料无静电、无火花产生,可适用于易燃易爆场所。

其次,我们从将产生的热量迅速降温,达不到燃烧的点火能量角度来考虑。根据现有常用的施工工艺,目前可考虑湿喷砂除锈工艺来替代干喷砂除锈工艺,湿喷砂除锈又叫水喷砂,是水和砂子分别进入喷嘴,在出口处汇合,并通过高压空气,使水和砂子高速喷出,形成严密的环形水屏,从而大大地减少了灰尘的飞扬,并有良好的除锈效果。湿喷砂装置由砂缸、水缸和喷嘴组成,通过湿喷砂除锈,可将传统的干式喷砂中所形成的极细小的粉尘量降低95%,与水混合在一起的喷射磨料其喷射量可以独立于压缩空气进行调节,可以用于空间狭窄处、高灵敏技术设备附近或向公众场所开放的区域等条件要求苛刻的场所。更重要的是通过湿喷砂除锈时,水与砂混合喷射到管道时,石英砂磨料与管道外壁发生剧烈摩擦撞击运动产生的热量,在水的作用瞬间将温度降低散去,不会产生火花,确保了可在易燃易爆场所的使用。但根据现有湿喷砂除锈相关的实践,湿喷砂除锈易有浮锈的形成,需要在水中加入缓蚀剂来抑制浮锈的产生。

7 工程实践

根据上述情况,我们选取了某天然气分输站,通过使用碳酸氢钠微晶体磨料和湿喷砂除锈的方式开展地上管道、设备的除锈验证工作。

首先开展了碳酸氢钠微晶体磨料的试验,利用空气压缩机产生0.8MPa稳定的压缩空气,经制冷剂冷却、脱水后,高压空气进入1.2m³/min喷射机,在喷射机内高压空气带动碳酸氢钠微晶体磨料粒子获得冲量后,按照30-70度角度喷射到管道表面,磨料在管道表面爆破从而清除附着在管道表面的油漆、铁锈等染污物,使得污染物脱离基体表面达到除污的效果。通过真实工程案例验证,实际效果满足除锈要求,通过红外线热成像仪对碳酸氢钠微晶体除锈过程进行检测确认,除锈过程无火花产生,完全实现了无火花、无静电、无易燃、无尘爆危险,同时,碳酸氢钠微晶体是一种水溶性绿色环保磨料,在喷射后可通过洒水的方式及时清理地面的晶体

颗粒,碳酸氢钠微晶体质地软,也不会对密封、设备零件产生损坏,由于可溶于水,喷砂后,场地清理和废物排放量可降至最低。通过验证,碳酸氢钠微晶体适用于对较低作业灰尘及废物排放有严格要求的开放式喷砂处理,可以替代那些污染环境的喷石英砂除锈,可用于天然气易燃易爆场所。

其次,我们开展了湿喷砂除锈代替干喷砂除锈工艺,在不加入缓蚀剂的情况下,使用空压机将空气压缩到0.5MPa,压缩后的空气经过进入喷砂机,在喷砂机内压缩空气与水润湿的磨料充分混合后,由高压空气带动石英砂等磨料形成高速喷射束经橡胶软管从喷嘴喷出,去除管道上的铁锈、氧化皮、油脂、焊渣、毛刺、灰尘、水份及其他污物,同时获得一定的粗糙度,通过查看现场实际除锈效果满足除锈要求,通过红外线热成像仪对湿喷砂除锈过程进行检测确认,除锈过程无火花产生,可用易燃易爆场所。在除锈后对管道静置8h后,管道表面有大量浮锈出现,在喷漆前需要在重新进行除锈才能满足要求。随后,我们使用加入缓蚀剂的石英砂磨料在次进行试验,使用空压机将空气压缩到0.5MPa,压缩后的空气经过进入喷砂机,在喷砂机内压缩空气与缓蚀剂润湿的磨料充分混合后,由高压空气带动石英砂等磨料形成高速喷射束经橡胶软管从喷嘴喷出,去除管道上的铁锈、氧化皮等污物,通过查看现场实际除锈效果满足除锈要求,通过红外线热成像仪对加入缓蚀剂的湿喷砂除锈过程进行检测确认,除锈过程无火花产生,可用于易燃易爆场所,除锈后对管道放置,在72h以后才出现浮锈,不影响正常喷漆。通过上述验证,湿喷砂除锈也可实现除火花的效果,可用于天然气易燃易爆场所。

8 结束语

管道腐蚀是造成管道事故的主要因素,做好管道除锈防腐工作对管道安全运行至关重要,本文结合目前天然气管道经常采用的除锈工艺入手,探讨了除锈工艺产生火花的机理并提出了解决的方案,为天然气分输站的除锈工艺优化提供可参考的案例,通过借鉴本文中相应的措施,杜绝除锈工艺中火花的产生,消除天然气输送现场易燃易爆场所的火灾爆炸危险性,确保天然气分输站的安全平稳运行。

参考文献:

- [1] 张玲辰,包文勃.管道除锈方法对比及除锈的意义[J].黑龙江科技信息,2016(14):13-13.
- [2] 王玉成.煤矿用金属材料撞击摩擦火花安全性的研究[D].北京:中国煤炭科学研究院,2008.
- [3] 程彬彬,于之靖.嵌入式机场助航灯具污染胶层去除机理[J].科学技术与工程,2019,19(2):86-90.
- [4] 陈应明.关于钢铁表面喷砂除锈的一点探索[J].化工腐蚀与防护,1996(3):56-57.