

输气站场埋地管道的腐蚀与防护

阴极保护事业部 刘严强

摘要: 输气管道站场在天然气管网中有着极为重要的位置, 腐蚀是造成站场泄漏事故的主要因素之一; 因此, 在天然气管道站场应用适宜有效的腐蚀防护技术对确保天然气管道系统的安全运行有着极为重要的意义。根据天然气站场的特点, 针对性选择适宜的涂层材料和阴极保护方式是确保天然气站场免于腐蚀威胁的最有效手段。

关键词: 输气站场 腐蚀防护 防腐涂层 阴极保护

一、输气站场埋地管道的腐蚀与防护特点

在天然气站场的埋地工艺管道的腐蚀状况主要由站场所处区域的土壤腐蚀性和防腐层、阴极保护等腐蚀防护系统的有效性共同决定^[2]。如果土壤腐蚀性强, 同时腐蚀防护系统失效, 则会引发管体的腐蚀。一般说来, 在输气管道站场易于发生腐蚀的部位主要集中在压缩机出口汇管和站场工艺管网的管体下部或弯头立管位置。由于压缩机出口管道温度较高, 直接造成金属的腐蚀速度较快, 同时, 较高的温度也直接引起管道防腐层老化严重, 给管体腐蚀创造了条件。在站内埋地管道的下部和弯头立管位置, 由于与管体上部相比存在氧的浓度差, 构成氧浓差电池。加之立管和管体下部在进行现场防腐时, 这些部位难于检查和接近, 因此也易于存在涂层缺陷, 因此引发腐蚀。

对站场内埋地工艺管网, 基本的腐蚀防护手段与站外管道相同, 即防腐涂层与阴极保护联用。但相比较单纯的长输管道而言, 有许多因素造成输气站场腐蚀防护难度较大, 使得同样条件下的站场埋地管道防腐系统总体质量要差于站外长输管道的防腐。

首先, 对于管道防腐涂层来说, 由于站场工艺管道口径众多, 长短不一, 加之大量的异行构件、弯头、不同管道连接等, 使得天然气站场的这些埋地设施的防腐层涂敷只能在野外现场建设环境下进行, 而防腐层的涂敷施工需要适宜的外部温度、湿度、灰尘等条件限制, 这些在实际的现场条件往往难于达到; 同时由于许多管道连接为现场焊接连接, 因此只能在焊接后涂敷防腐涂料, 弯头异型件的涂敷难度较大。所有这些因素, 往往限制防腐层的涂敷质量的有效控制, 造成的直接后果是施工完毕运行后的涂料早期失效, 如失粘剥离、焊口处涂层破损等, 这些如果发生在土壤腐蚀性较强的地区, 就易于造成严重的腐蚀。

另外对于站场埋地管道涂层的使用环境来说, 在压缩机出口处, 由于气体的压缩升温效应, 使得压缩机出口汇管温度较高, 大约在 60℃左右, 对许多防腐层如沥青类, 高温加速了防腐层的老化, 使其防腐性能下降。而输气站场由于有压缩机震动设备的运转会造成管道的长时间震动, 与之连接的管道外防腐层与周围土壤摩擦, 也会引起管道防腐层的机械损伤。

以上这些因素，都导致输气站场的工艺管网防腐涂层质量控制难度远远大于可工厂预制的长输管道防腐层。实际的后果是，站场内的防腐层破损点多，老化快，从而直接导致腐蚀的发生。

由于任何防腐层都难免存在缺陷，因此就需要阴极保护系统对这些漏点实施电化学防护，避免腐蚀的发生。输气站场实施阴极保护主要存在以下难点：

1) 密集管道间的电流干扰与屏蔽

由于站内管道密集，彼此距离很近，因此，对阴极保护系统而言，易于造成保护电流分布不均，使得有的管道部分过保护而其他部分管道则保护不足，从而不能达到设计目的。

2) 站内设备接地系统的影响

由于输气站内各种电动、机械和自动化、通信设备众多，这些设备的工作接地、电中性接地和安全接地电众多而密集，同时由于安全的要求，站内的防雷、防静电接地系统也很庞大，而这些接地系统以裸露的扁钢、铜质或石墨为主。这些庞大而密集接地系统的存在，对阴极保护系统的直接影响是电流漏失极大，并屏蔽临近的管道，造成其保护不足。

3) 站内空间限制

同样，由于站内设备众多、空间有限，造成可供阴极保护系统阳极床利用的空间也大受限制，而阴极保护系统设计调控电流分布的基本手段就是合理的阳极床布置，这也直接增加了设计和施工的难度。

4) 与站外管道的干扰

现在站外管道处于当初有效保护减少电流漏失的目的，与站内管道是通过绝缘法兰或绝缘接头实现电绝缘。但是由于绝缘法兰或接头往往位于站内或极为接近站内，站外长输管道的阴极保护系统控制点也位于附近，因此站内管道的阴极保护投运会对站外阴极保护系统造成干扰，使得站外阴极保护系统输出增加或减少，影响站外管道有效保护。如何消除避免对站外阴极保护系统的干扰影响，也是站内阴极保护必须解决的问题。

对输气站场的阴极保护系统而言，要达到站内保护对象电位分布均匀的基本目标，必须克服以上这些难点，才能达到系统设计的目的。

二、天然气站场埋地工艺管道设施的腐蚀防护对策

针对以上输气站场存在的难点，必须针对性的加以解决才能保证腐蚀防护系统的质量，从而保证其有效性。下面也分别从防腐层和角度加以讨论：

1、防腐涂层

管道防腐层是埋地管道腐蚀防护的基本屏障，如果其大幅度劣化（尤其是由于防腐涂覆

施工表面处理不良而造成的涂层大面积剥离), 阴极保护系统也无法弥补其缺陷, 将直接造成防腐防护系统的失效。以往对输油气站场埋地管道的腐蚀调查表明, 更多的情况下, 站内管道防腐层的失效型式是整体剥离, 然后发生严重的涂层下腐蚀。根据站内防腐层施工环境和运行环境的特殊性, 在对输气站场埋地管道防腐层系统进行设计和施工时, 应着重注意以下几个方面:

(1) 防腐涂层选择

根据站场管道的施工和运行环境特点针对性选择适宜的防腐层种类是腐蚀防护系统有效性的基本保证。由于站内管道不能实现工程预制, 因此长输管道的三层 PE、环氧粉末等近来应用广泛, 效果较好的防腐层不能应用于站场管道的防腐。近年来, 在埋地管道站场应用的防腐涂料种类主要有: 环氧煤沥青、液态无溶剂环氧、聚氨酯液体涂料、聚乙烯冷缠胶带等, 表 1 为这几种主要涂料的主要特点:

表 1. 近年来输气站场主要应用防腐涂料

序号	名称	组分	优点	缺点
1	环氧煤沥青	双组分	来源广泛, 应用时间长, 价格低廉	老化速度快 (尤其在高温下), 涂层与管道的粘结力较差, 涂层耐机械破坏抗冲击能力弱
2	液态环氧	双组分	涂层粘结力好, 强度高	应用时间短, 价格较高
3	聚氨酯液体涂料	双组分	固化速度快, 施工简便 (可快速喷涂)	应用时间短, 价格较高
4	聚乙烯冷缠带	单组分	现场施工过程简便, 清洁, 应用时间长	高温下失粘速度快, 失粘后屏蔽阴极保护电流, 实际应用失效案例很多

表中环氧煤沥青和聚乙烯冷缠胶带是目前在输气站场应用历史最长和最广泛的涂料, 但是这两种涂料在实际应用中并不能完全满足输气站场埋地管道防腐的要求。对环氧煤沥青涂料, 出现的主要问题是老化、强度下降和施工缺陷 (如玻璃丝布未浸透等), 在压缩机出口汇管等高温管段由于高温导致的老化失效腐蚀事例非常典型。聚乙烯冷缠带主要的问题是在表面处理不好引起的失粘剥离, 直接导致涂层下严重腐蚀的发生。总之, 任何用于输气站场防护的涂料, 在遵循防腐层选择技术经济性并重原则的基础上, 还必须考虑输气站场埋地管道的特殊性, 才能保证防腐涂层的有效性。

(2) 现场涂覆施工

对输气站场涂层防腐，除了合理的涂层选型，最重要的是现场的施工质量控制，这也是难度最大的部分，主要是由于输气站场位于野外，环境条件多变，对防腐涂料的涂敷作业影响重大。其中最重要的是如何合理利用和控制环境条件，保证满足防腐涂层涂敷施工各工序的要求。下面是应该注意的几个关键方面：

1) 表面处理

在输气站场管道防腐涂料现场涂敷^[3]的工序中，最关键也是难度最大的工序是防腐层的表面处理工序，据统计有60%以上的防腐层失效是由于表面处理问题引起，因此在输气站场防腐涂层现场涂装中，必须设法满足涂装防腐层的表面处理要求，同时还应该注意环境温度、灰尘的影响。在我国西部地区由于气候干燥灰尘很大，必须考虑可靠措施，否则极易造成表面处理不能合乎要求，引起涂层的早期失效。此外，在沿海地区施工应特殊考虑湿度和含盐量，避免由于盐分沉积在管体表面，而引起早期腐蚀和涂装问题。此外，在传统上，输气站场的防腐层施工大多采用人工除锈，人工除锈的最大问题是除锈速度慢，效率低下。同时由于施工人员素质限制，大多数情况下，加之工期的控制和现场环境条件限制，人工除锈不往往实际不能充分满足现场防腐的要求，因此宜采用机械喷砂除锈，虽然施工成本有所增加，但是施工质量有保证，施工速度也远高于人工除锈。但是由于站场现场喷砂在开挖裸露的地面，如果对开挖现场不采取任何措施将造成尘土飞扬，严重影响喷砂效果，因此建议应采用塑料篷布类材料对裸露开挖地面进行全面遮盖，由于站场面积较小，易于实施，也方便喷砂的回收，可保证不会因喷砂造成扬尘污染喷砂后的管体表面。同时，由于站场内异型管件众多，因此对埋地的弯头、变径连结等部位还应该在除锈时加以特殊注意，避免出现除锈死角，必要时应在喷砂除锈的基础上辅以人工特殊部位的除锈，确保除锈质量。

2) 涂敷作业

对输气站场施工现场，由于涂层固化也需要一个良好的环境条件，由于现场为自然条件，因此会与气候条件关系很大，在涂敷作业过程中应注意当地的天气变化合理安排各工序，并尽量采取如喷涂等快速施工方法，将天气变化的影响减小。

3) 涂层固化及回填

环境温度是施工时必须考虑的因素，如环氧煤沥青涂料受环境温度影响固化速度变化很大。回填是应保证固化达到可以满足回填的程度时才能进行，固化不完全回填会极大破坏涂层的完整性。回填还应该选用细土回填，避免损伤对涂层造成机械损伤。

总之，对输气站场的涂层防腐，应该在涂层材料选择、现场施工涂敷和回填所有阶段都充分考虑到输气站场的特点，才能保证站场涂层防腐的工程质量，发挥防腐涂层的作用。

2、 阴极保护

输气站场的阴极保护的难点也是由于输气站场的特殊性引起，设备管道密集、接地系统众多、可利用空间有限是造成输气管道站场管道阴极保护难度大的主要原因。因此，设计的阴极保护系统必须克服这些难点才能达到设计目标。对输气管道站场的区域性阴极保护主要有表 2 所示的几种方式。

表 2. 目前输气站场阴极保护主要型式^[4]

阴极保护型式	优点	缺点	适宜环境
强制电流深井阳极	电流输出大且可调，保护范围大，适宜多种环境	施工、调试难度大，电流分布容易出现干扰和屏蔽，保护电位分布不均匀的情况；易对站外管道产生干扰；需要人工设备维护；在安全性方面需要加以注意，以满足气站安全要求	适宜各种土壤电阻率环境
强制电流柔性阳极	保护电流分布均匀，对站外管道干扰小	施工开挖工作量大，实际应用时间短	适宜各种土壤电阻率环境
牺牲阳极	施工简便，后期运行维护工作量小	保护电位可调性差，开挖工作量较大，一次性投资大，不能应用于高土壤电阻率环境	土壤电阻率较低的土壤中

在设计实施气站区域阴极保护系统时尤其需要注意以下几个问题：

(1) 站内接地系统的配合

对深井阳极型式的阴极保护系统，要保证阴极保护系统的高效率运行，必须对以扁钢为主的传统接地方式进行改造，将传统的接地系统改造为以锌合金阳极集中接地为主的型式，与设备的连结采用电缆连接。可在有效保证满足设备、安全接地要求的基础上，与强制电流阴极保护系统配合还可大幅度提高高土壤腐蚀性区域的接地系统寿命。而对柔性阳极的区域阴极保护系统，由于柔性阳极直接靠近管道实现对管体的保护，则可从很大程度上避免这些问题，但是，如果站内各设备接地系统连结采用扁钢连接方式，则会造成靠近地面部分立管的屏蔽。对牺牲阳极保护方式，其尤其适用于土壤电阻率较低、潮湿的我国东部地区输气站场，在这种情况下，可直接将牺牲阳极系统作为接地系统使用，避免接地系统的重复投资。

(2) 保护电位测量方面的问题

由于站内管网保护对象密集,对强制电流保护系统,会造成站内土壤电位梯度较大,尤其对于柔性阳极保护系统,如果采用传统的通电测量方式会存在很大的 IR 降,因此,应采用断电测量方式^[5]以保证测量保护电位的真实性。

(3) 与站外管道的干扰问题

站内区域保护系统与站外长输管道系统的干扰是一个十分普遍的问题,针对这个问题可以采取以下措施:首先是尽量减少站内阴极保护系统对站外系统的干扰,具体做法是使站内保护的阳极床尽量远离进出站绝缘法兰位置,并尽量使绝缘法兰站内端保护电位与站外保护电位相当。其次,使站外恒电位仪采用恒电流输出,移动站外控制参比至受站内保护系统干扰小的位置,是站内保护系统可正常运行。再者,可以将站外保护系统纳入站内保护系统,取消绝缘法兰,在现代高绝缘电阻率防腐层(如三层复合结构、FBE 熔结环氧粉末等)大量应用的今天,站外管道需要的保护电流往往远小于站内的需求,只要保证出站处管道的保护电位也不会明显影响对站外管道的保护距离有明显影响。因此,将站内外的阴极保护系统融合既可消除站内外的干扰问题,也可取消绝缘法兰节省投资。

(4) 安全方面的问题

由于输气站场属于一级防火单位,输送天然气属于易扩散的易燃易爆物质,因此,设计实施阴极保护系统必须满足防火、防爆的要求。首先,如果阴极保护站位于站内,则阴极保护恒电位仪应达到相应的防爆要求。再者,尤其需要注意的是,在站内实施涉及保护对象设备管道的改造工程时,必须断开阴极保护系统以避免连接或断开管道时发生电火花引发事故。此外,阳极床附近的土壤电位梯度也应该符合相关标准要求。

(5) 各种阴极保护型式适宜的场所

对新建输气站场,以上几种方式均适用,尤其是对柔性阳极系统和牺牲阳极系统尤其适宜。而对旧站场改造,柔性阳极系统和牺牲阳极系统与深井阳极系统相比,则有着开挖工作量大的缺点。因此,应该不同工程的特点确定适宜的保护方式。无论何种保护方式,在新建站场实施阴极保护系统具有最大的经济性和可靠性。柔性阳极的输气站场区域阴极保护为近年来新近兴起的保护技术,与传统的深井阳极型式,其具有保护电流分布均匀、对外部管道干扰少的优点,同时由于气站埋地管道数量不大,因此其经济性与传统的深井阳极系统相当,同时还可必满大电流时深井阳极附近的高土壤电位梯度问题,因此尤其适用于输气站场的阴

极保护。

三、结 论

对长输天然气管道站场，由于站内设备管道密集，接地系统众多，以及必须现场防腐涂敷，这些都给腐蚀防护系统的有效实施运行增加了难度。在进行输气站场的腐蚀防护系统设计施工时应掌握以下基本原则：

- 1、防腐层选择应充分考虑适应站场管道现场施工和运行的环境；
- 2、在进行防腐层施工时应采取有效措施控制施工环境，以满足防腐层表面处理、涂敷和固化的要求；同时选择适宜的工序工艺以最大限度保证现场涂敷质量；
- 3、针对气站阴极保护系统实施的难度，应根据气站具体条件和性质（新建、改造）采用适宜的保护方式；
- 4、在对输气站场实施阴极保护时，应使得站场的接地系统与阴极保护系统配合，避免电流的漏失并提高保护效果；
- 5、柔性阳极输气站场保护技术与传统的深井阳极系统相比具有可避免屏蔽干扰和保护电位分布均匀的等诸多优点；
- 6、对强制电流的阴极保护系统，应注意输气站场安全方面要求的特殊性，采用相应等级的防爆设备，并在站内进行涉及保护对象的改造施工时，应关闭阴极保护系统，以保证安全。

参考文献

- 【1】 王成明 孙华，长输管道站内设施的防护，2002(1)，腐蚀与防护，29-32
- 【2】 张阳等，天然气管道的完整性管理，2008(1)，管道技术与设备，17-19
- 【3】 虞兆年，防腐蚀涂料和涂装，化学工业出版社，1994，101-106
- 【4】 胡士信，管道阴极保护技术与展望，腐蚀与防护，2004，25(3)：93-101
- 【5】 NACE RP 0169,Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping System