

输油管道内腐蚀问题及影响因素分析

蒙俊锋（国家石油天然气管网集团有限公司华南分公司，广西 南宁 530024）

摘要：近年来，现代化建设持续开展，能源消耗飞速增长。而输油管道作为石油运输的重要载体，在输送能源途中发挥着不可替代的作用。但在输油管道实际应用时，受到多样化因素的综合影响，易造成管道内腐蚀现象。鉴于此，本文阐释了输油管道防腐的重要性，分析了管道内腐蚀类型及影响因素，提出了管道内防腐措施及检测方法，探讨了输油管道内防腐的发展趋势，希望为后续输油管道内腐蚀的研究提供参考。

关键词：输油管道；内腐蚀；影响因素

我国工业化不断推进，石油化工作为支柱产业，有利于促进农业化向工业化的转变。通常情况下，石油运输方面主要采用三种方式，分别为陆运、海运以及管道运输。以上各类运输方式中，采用管道运输方式，既可以缩减运费，也可以提高安全系数。长期以来，在石油运输过程中，广泛应用长输管道运输方式，而管内腐蚀会对其运行安全性构成威胁。因此，加强输油管道内防腐工作具有一定的现实意义。

1 输油管道内防腐的重要性

在当前输送石油天然气过程中主要借助长距离埋地管道进行输送，该管道材质大多使用钢材。而大部分输送管道埋设于条件相对复杂的土壤中，并且输送物质具有的腐蚀性也存在差异。基于该情况下，不论是管道内还是外壁都易于遭受腐蚀，如果管道由于遭受腐蚀而造成穿孔，将进一步引发油气泄漏现象，在导致运输中断的同时，对环境造成较大污染，甚至引发灾难性事故。对于我国能源的输送以及国民经济整体发展而言极其关键。

2 输油管道内腐蚀的分类

2.1 根据管道腐蚀机理

①化学腐蚀。化学腐蚀即为金属与纯的非电解质相互作用，形成纯化学反应，以此破坏金属，该腐蚀期间并未产生电流；②电化学腐蚀。电化学腐蚀即为金属与电解质相互作用，形成化学反应，以此破坏金属，该腐蚀期间包括两个独立的反应过程，其中一个为阳极反应，另一个为阴极反应，而且产生电流。

2.2 根据管道被腐蚀部位

①管道内壁腐蚀。在金属管道内壁，由于输送介质发挥作用，引发内壁腐蚀现象；②管道外壁腐蚀。由于输油管道埋设环境不同，因此外壁腐蚀情况存在差异。所搭设的架空管道容易遭受大气腐蚀。埋设于土壤或者水中的输油管道，容易遭受土壤、细菌等的

腐蚀。

2.3 根据管道腐蚀形态

①全面（均匀）腐蚀。在金属表面各处位置，所产生的腐蚀作用同步同速进行；②局部腐蚀。腐蚀作用影响范围有所限制，一般作用于金属局部，并不会作用于其他部分，再者，与其他部分腐蚀情况相比，某个部位腐蚀速度大大提高，由此可见局部腐蚀痕迹。针对局部腐蚀形式而言，经常出现且造成危害较大的形式包括小孔腐蚀、磨损腐蚀、缝隙腐蚀等。

3 输油管道内腐蚀影响因素

根据当前长输管道腐蚀具体状况来看，所埋设的钢制管道之所以遭受腐蚀，主要涉及三方面的影响因素：一是土壤，二是防腐层，三是金属材料。

3.1 土壤腐蚀因素

之所以引发土壤腐蚀现象，主要是因为土壤作为一种电解质，与埋设完成的金属管线发生电化学反应。铺设的长输管线出现外壁损坏的情况，大部分是因为土壤影响。众所周知，土壤的组成部分包括气、液、固多种物质，根据其透气性与含水率创建形成埋设于地下的金属腐蚀环境，并且大部分可归类为氧去极化腐蚀，在强酸土壤环境下，钢制管道将会出现腐蚀问题，腐蚀反应由阳极反应与阴极反应组成，具体如下所示：

3.1.1 阳极反应

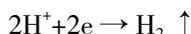
金属发生溶解反应且释放电子：



3.1.2 阴极反应

存在于介质内的离子对电子进行吸收并发生还原反应：

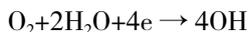
在强酸介质内发生的还原反应为：



在酸性介质内发生的还原反应为：



在中性和碱性介质内发生的还原反应为：



处于土壤腐蚀环境中，不论是阳极反应过程还是阴极反应过程都受到土壤结构等的影响。如果土质疏松且湿度较小，会阻碍阳极反应，原因是该条件下欠缺金属转化成水化离子所需的水分，但阴极反应更易发生，原因是氧气具有较强流动性。在土壤腐蚀过程中，主要由阳极反应控制。如果为湿度较大的粘性土质，减小了氧气的流动性，然而水分大，所以此类腐蚀是由阴极反应引起的。在埋地管线运行过程中，受土壤透气条件影响，当出现氧浓差腐蚀电池时，土壤电阻将直接影响腐蚀过程。

3.2 管道防腐因素

在长距离埋地管道投入使用前，施工人员会将防腐层涂刷在管道表面，以此避免管道与腐蚀介质直接接触。但受施工因素影响，防腐层结构易受摩擦进而损坏。此外，在后续投入使用后，受环境因素影响，防腐层受到侵蚀，也会出现老化现象，甚至直接由管道上方脱落，仿佛性能大幅降低。长期运行状态下，土壤腐蚀介质就会腐蚀管道表面。阴极保护不当也会导致电流出现，使腐蚀问题加剧。

3.3 金属材料因素

①金属的化学性质。金属材料的化学稳定性能够直接影响金属的耐腐蚀性。一般情况下，金属化学稳定性与耐腐蚀性为成正比关系；②合金材料的影响。合金由多种金属共同组成，合金材料整体耐腐蚀性较低。多相合金化学性质及物理性质具有不均匀特点，当多相合金与电解液相接触后，不同电位将会使金属表现出腐蚀微电池，所以单相合金耐腐蚀性能更佳；③金属表面状态的影响。不光滑表面金属与光滑表面金属相比更易受到腐蚀。不光滑表面金属易堆积水分及污垢，且钝化膜存在不均匀问题，所以更易受到损坏，更易出现腐蚀，因此金属损伤位置以及形成的缝隙等均均为腐蚀源，与金属表面相比，深洼处进氧量更少，所以深洼之处成为阳极，而金属表面则为阴极，进一步生成浓差电池造成腐蚀。

4 输油管道内防腐措施

4.1 改善金属的本质

按照各种用途，采取合适的材料制作生成耐腐蚀合金，另外也可以将一定数量的合金元素加入金属中，进而提高金属耐腐蚀性能，延缓金属受腐蚀速度。例

如，可将镍与钢相结合，进而制作不锈钢，提升材料防腐蚀性能。

4.2 形成保护层

根据金属表面具体状况，设置多样化保护层，隔离保护金属气腐蚀性介质，该举措能够有效降低金属腐蚀现象发生率。选取合适的防腐材料并均匀涂抹于管道部位之后，发生固化反应而生成油漆膜，这样一来可以牢牢固定于金属表面，达到与外界隔绝的效果，杜绝金属和外界物质接触而发生反应，避免金属腐蚀现象发生。

4.3 改善环境

通过环境条件的改善和优化，能够降低金属腐蚀现象的发生率。为实现该目标，可适当稀释腐蚀介质浓度，消除其中的氧气，合理控制温湿度等，这些方法均可有效避免金属腐蚀。或者将适量减缓腐蚀的抑制剂加入腐蚀介质中，以此避免引发金属腐蚀现象。

4.4 电化学保护法

4.4.1 牺牲阳极保护法

在金属管道投入使用后，可将低电位金属与之相结合生成腐蚀电池。在该种防腐蚀措施应用过程中，需选择较金属管道电极相比电极更低的金属材料，将其附着在被保护部位，进而生成腐蚀电极，使被保护金属成为阴极，进而实现保护目的。这一保护措施适用于已实施涂层处理管道及低电流需求裸露管道，可实现外露部位阴极保护。

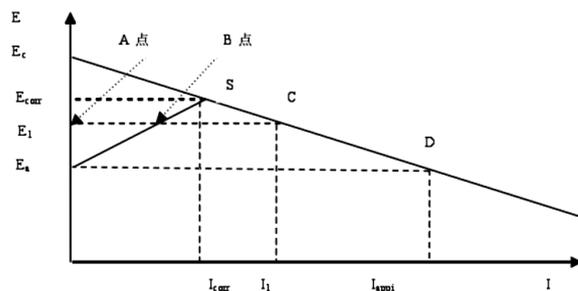


图1 阴极保护原理的极化图

4.4.2 外加电流法

针对外加直流电源，结合被保护管道现状准确连接其负极，并且将辅助阳极与其正极相连，而外加电流一般会在管道与阳极之间形成相对突出的电位差。该方法的优势为能够提供较大保护电流，能够进行长距离保护，实现对电流电压的实时调节，得到广泛应用。

4.4.3 阴极保护方式的选择

阴极保护共包括两种方法，一种是牺牲阳极法，

另一种是外加电流法,为选取合适的保护方式,需要在落实、养护等方面严格遵守经济性原则,最大限度减轻腐蚀。若要实现该目标,首先应根据电流实际需求合理设定基数。以新装置为对象实施阴极保护,为防止设计开支投入过大,应提前掌握管道防护层绝缘电阻值及其埋设区域土壤电阻值,按照阴极保护期间所需电量,最终确定阴极保护方式。例如确定强制电流法,因为可以调节电流输出,所以能够应用于电阻率较高的埋设土壤中或者裸管中,即使是没有安装绝缘装置,同样可以采取该方式达到不停产的效果。但是,对于以上情况,不得采用牺牲阳极保护方式。若要采用牺牲阳极保护方式,需要保证涂层质量达标,同时与外部金属管道之间不存在电气连接情况,唯有如此,才可以保证该保护方式的使用效果。例如天然气管线,因其外防护层属于聚乙烯三层结构,需要的保护电流密度应达到多个 $\mu\text{A}/\text{m}^2$ 数量级,并且整条管线只需少数安培,如此方可选取牺牲阳极保护方式,无需投资建设阴极保护站以及安排固定人员。如上所述,对于需要利用大电流实施保护的部位,应采取强制电流法,与之相反的情况应采取牺牲阳极保护方式,需要注意的是,还需综合分析其他因素,包括电力供应、相邻构筑物造成的干扰等。

5 输油管道内腐蚀检测

根据埋地输油管道实际情况实施腐蚀检测作业,一方面需要选取合适的检测技术和方法,另一方面还要根据检测工作实际情况围绕主要测量参数加强探究检测流程以及偏差控制。开展检测工作过程中,根据已确定检测方式具备的特性,严格遵守如下检测流程且保证符合各项精度标准。

5.1 确定管道空间位置

以被检测输油管道为对象,借助 RD4 管道探测仪掌握其埋设深度与走向等,并且合理设置检测点,实施 GPS 定位。根据管道中心位置具体状况,严加控制埋设深度出现的误差,应小于等于 10cm,同时平面定位出现的偏差需要小于等于埋设深度的 0.1 倍,不同检测点之间的距离偏差应在 1% 以下,利用全球定位系统达到的测量精度需要符合 1:2 万成图标准。

5.2 PCM 数据采集

处于同一观测点位置,获取 4Hz 等的水平磁场和等效电流,出现的数据误差应在 3% 以下。

5.3 PCM 电位梯度测量

沿着输油管道方向实施持续测量作业,一旦发现

“变向点”,方可确定具体破损部位,将误差控制在 0.5m 及以下,按照实际需求,分别在破损点两侧位置实施 PCM 数据加密。

6 管道防腐发展趋势

对于输油管道内腐蚀的防范控制,当前我国主要采用两类方法,一类是非金属涂层法,另一类是电化学保护法。上述两种方法应用难度小,投入成本低,符合现阶段具体状况。并且在涂层技术方面已形成相对完善的使用方案,具有多样化检测设备,同时涂敷手段从人工操作发展到机器人操作。除此之外,为防范输油管道内腐蚀所需使用的阴极保护技术也不断发展,大大提高管道防腐效果。而许多发达国家加强研发与应用内防腐衬塑技术,与涂层技术相比,该技术具有以下显著优势:①在输油管道表面,衬塑能够全面均匀覆盖;②对于输油管道内净化,所采用的衬塑技术提出相应要求,密切关乎净化处理质量;③在输油管道振动方面,衬塑往往不够敏感,因此不会发生断裂;④衬塑更加显著的特征为,不仅能够承受高压,而且可以抵抗不同介质引发的腐蚀现象。因此在今后的输油管道内防腐工作开展中,衬塑技术将得到越来越广泛的应用。

7 结语

综上所述,输油管道内腐蚀影响较大,如处理不当,会导致管道破裂,引起泄露,甚至发生爆炸。对此,相关人员需要采用多样化可行性方法和手段防控腐蚀,减缓管道腐蚀,避免管材接触各类介质,防止发生电池效应,以此确保管道安全、稳定运行,提高输油管道运行安全。

参考文献:

- [1] 程焱,张子之,栾学新,张婷.输油管道内腐蚀分析及影响因素[J].化工管理,2023(06):118-121.
- [2] 姜祥宇.钢质输油管道腐蚀与防腐管理策略[J].全面腐蚀控制,2022,36(11):135-136.
- [3] 王海涛,孟涛,林楠,罗艳龙,郭静,王俊强.输油管道内腐蚀分析及影响因素研究[J].材料保护,2022,55(05):86-91.
- [4] 邵婷,王芳静.输油管道腐蚀因素分析与防护措施[J].清洗世界,2021,37(12):56-57.
- [5] 曹鹤,杨权权.含组合腐蚀缺陷的输油管道应力分析[J].山东化工,2021,50(24):176-178.
- [6] 吉楠,廖臻,朱辉,李丽锋.某输油管道腐蚀穿孔原因[J].理化检验(物理分册),2021,57(01):61-65.