

天然气管道腐蚀与防护

修成琳（潮州中石油昆仑燃气有限公司，广东 潮州 521000）

摘要：天然气管道受到自身管材质量、运输介质、敷设环境和管理设计的影响，管道的腐蚀在所难免，还将增加天然气泄露的风险，天然气泄漏会对人体、环境和经济带来巨大的危害。外防腐层及阴极保护系统在确保燃气管道安全稳定运行方面发挥了举足轻重的作用，高效的防腐对于天然气的传输具有非常重要的意义，然而，伴随科技持续创新和市场需求的多样化发展，如何提升防腐效能、降低运营成本、延长管道使用寿命已成为行业内亟待解决的关键课题。本文主要介绍天然气管道腐蚀的分类以及腐蚀控制措施，了解腐蚀防护的重要意义。

关键词：天然气管道；腐蚀；防护

1 管道腐蚀原因

自然界中，大多数金属是以化合状态存在的，通过炼制，被赋予能量，才从化合状态转变成原子状态。然而，回归自然而以化合状态存在是金属固有本性，我们把金属与周围的电解质发生反应、劣化变质的过程称为腐蚀。

随着能源的进一步枯竭，人类需要在更偏远荒僻的领域开发能源供应。为了将这些能源输送到繁华的消费区，需要修建大量的长输管道，管道投用后，影响其寿命的主要原因就是腐蚀。通常而言，天然气管道往往铺设在地下，因此存在着较大幅度的土壤腐蚀、电化学腐蚀等，腐蚀事故不仅造成重大的经济损失，还会污染环境，伤及生命。通常对金属天然气管道而言，往往会借助阴极保护技术展开相应的防护，而在管道施工过程中，假若存在着阴极保护质量缺失的问题，未能够实现较好的阴极保护效果，是造成管道出现严重腐蚀的主要原因，导致管道使用寿命大大降低。

2 管道腐蚀分类

整体而言，管道腐蚀形式主要有两种，也就是内腐蚀和外腐蚀。由于管道腐蚀的情况存在着差异性，因此应该有针对性的进行防腐蚀控制措施。

2.1 管道内腐蚀

天然气管道内腐蚀是在管道内表面发生腐蚀，与天然气成分中的部分化学元素紧密相关。一般而言，天然气中往往含有一定量水分，该类水分在天然气运输过程中会在管道的内表皮形成亲水膜，在运输管道中产生电化学反应，使天然气运输管道内壁产生电化学腐蚀而引起严重后果。同时，天然气中含有部分二氧化碳、硫化物等，具备较强腐蚀性，该类化合物与管道内壁接触时也会对管道内壁产生一定腐蚀。控制

管道内腐蚀的措施主要有对天然气进行干燥除杂质处理、清除管道内部液态水、投放缓蚀剂等。脱水脱杂质处理难以全部去除天然气中含有的腐蚀性气体，在天然气进入管道后，还需要进一步处理，以减小内腐蚀发生的风险。内腐蚀发生的条件为腐蚀性介质与钢制管道直接接触，所有可以采用管道内涂防腐涂层的方法隔绝介质和管道。目前，投放缓蚀剂是最主要的内腐蚀控制方法。

2.2 管道外腐蚀

天然气管道外腐蚀是指天然气运输管道外表面发生腐蚀，该情况往往出现在管道架空或埋地的情况。通常而言，架空的天然气管道外表皮会受到空气中氧元素以及空中环境风吹日晒的影响，尽管其管道外表层有涂层，但日积月累的外界环境影响也将导致管道产生不良后果。深埋于地下的天然气管道腐蚀环境更加复杂，往往是电化学腐蚀，电化学腐蚀对天然气管道管壁厚度的损耗是不均匀的，很容易使管壁受到穿孔影响的概率大幅度增加，增大对管道的危害。现代埋地钢质管道采用的腐蚀控制措施，一般采用防腐层和阴极保护的联合保护技术。实践证明，无论对于长输管线还是城镇燃气埋地管网，这种联合保护（双保护）技术是十分有效和成功的。

3 管道腐蚀检测

由于天然气管道铺设环境复杂多样，当管道发生腐蚀时往往不能及时发现，因此，需要采取合适的管道腐蚀检测方法，及时对腐蚀管道进行应急处理。其中使用较多的是磁力检测技术与超声导波检漏技术。

3.1 磁力检测技术

磁力检漏是利用金属磁记忆的一种检测方式，通过铁磁性的感应分析对管道缺陷进行准确定位。磁力

检漏技术是一门十分有效、实用的内检测技术，因具有环境限制小、适用范围广、经济性好等优点而被广泛运用。

3.2 超声导波检漏技术

超声导波检漏原理是超声导波在管道中沿轴向传播，当管道横截面积改变时接收器将收到其反射的一个回波信号，通过对回波信号的分析判断管道内部的变化情况。

4 管道防腐层检测

管道防腐指在埋地钢制管道外层施加防腐层，是为减缓或防止管道在外介质的化学、电化学作用下或由微生物的代谢活动而被侵蚀和变质的措施，埋地钢制管道 99% 面积使用防腐层防腐，其余不到 1% 裸露面积和防腐层破损点依靠阴极保护保护。国内应用较多的钢质管道防腐层有石油沥青、PE 夹克及 PE 泡沫夹克、环氧煤沥青、煤焦油瓷漆、环氧粉末和三层复合结构、环氧煤沥青冷缠带（PF 型）、橡塑型环氧煤沥青冷缠带（RPC 型）等，目前推广应用最广的几种管道防腐方式为三层 PE 复合结构、单层粉末环氧、PF 型冷缠带、RPC 型冷缠带。

管道防腐层绝缘电阻可采用直流法或电流密度法求出，管道防腐层定性检漏可采用交流法，评价应符合国家现行标准。燃气管道防腐层检测方法共分为六种：交流电流衰减法、变频选频法、皮尔逊检测法、密间隔电位测试技术、直流电压梯度法和直流电流电位法。

管道防腐层检测周期为高压、次高压管道三年进行 1 次，中压管道五年进行 1 次，低压管道八年进行 1 次，上述管道运行十年后，检测周期分别为两年、三年、五年。

5 阴极保护技术

阴极保护技术在 1824 年首先被用来保护英国海军的舰艇，20 世纪 20 年代，阴极保护技术被用来保护美国新奥尔良州受电车干扰而腐蚀的油气管道。我国 1958 年建成克拉玛依至独山子输油管道，采用沥青防腐层，1962 年初在克 - 独输油管道及复线上安装 7 座阴极保护站，现在，该管道改为输气管道，仍在运营。随着人类社会的进步以及科学技术的发展，阴极保护技术的应用也越来越广泛。从最初的船舶阴极保护，发展到目前的储罐、管道、桥梁、码头、钻井平台的保护。正确的应用阴极保护技术，可以极大的延长金属设施的使用寿命，最大限度的创造经济效益。

5.1 阴极保护原理

每种金属浸在一定的介质中都有一定的电位，称之为该金属的腐蚀电位（自然电位），腐蚀电位可表示金属失去电子的相对难易。腐蚀电位愈负愈容易失去电子，我们称失去电子的部位为阳极区，得到电子的部位为阴极区。阳极区由于失去电子受到腐蚀，而阴极区得到电子受到保护。阴极保护就是通过降低腐蚀电位，使管道腐蚀速率显著减小而实现电化学保护的一种方法。阴极保护系统就是以阴极、阳极、电解质和金属通路等组成的，并且阴极和阳极之间的电流按照规定路线运行，以达到消减阴极表面腐蚀目的一个特殊的化学原电池。

5.2 牺牲阳极阴极保护

牺牲阳极阴极保护是将活性不同的两种金属连接后，处于同一电解质中，活性强的金属失去电子，受到腐蚀，活性差的金属得到电子受到保护。由于在这一过程中，活性强的金属被腐蚀，所以称为牺牲阳极阴极保护。适用于土壤中的牺牲阳极材料主要是镁，在海水中是锌和铝。为了使电流输出尽量保持稳定和降低阳极接地电阻，土壤中的牺牲阳极周围应采用化学填包料，主要由 75% 的硫酸钙，20% 的膨润土和 5% 硫酸钠混合而成。阳极顶部土壤覆盖层厚度至少为 0.6m。为了能够测量断电电位，牺牲阳极应通过测试桩与管道相连接。

5.3 强制电流阴极保护

强制电流阴极保护法也称之为外加电流法，即通过施加外部电源，对管道进行阴极极化而实施的电化学方法。外加电流阴极保护系统的构成包括：电源、阳极地床、被保护结构物（管道）、参比电极、连接电缆。

恒电位仪是阴极保护系统的控制中心和电源。通过恒电位仪的正极电缆与辅助阳极相连接，通电后在地下形成一个半球面电场，负极接在被保护管道上，参比电极接线柱与参比电极相连接，参比电极埋设在管道附近，测量输气管道电位，监测保护效果。恒电位保护开启后，保护电流从恒电位仪正极流出，经过辅助阳极进入土壤，再流到管道上，又沿阴极导线回到电源负极，从而起到保护管道的作用。

阳极地床又称为辅助阳极，是外加电流阴极保护系统中，将保护电流从电源引入土壤中的导电体。通过辅助阳极把保护电流送入土壤，经土壤流入被保护的管道，使管道表面进行阴极极化（防止电化学腐蚀），

电流再由管道流入电源负极形成一个回路,这一回路形成了一个电解池,管道在回路中为负极处于还原环境中,防止腐蚀,而辅助阳极进行氧化反应遭受腐蚀。常用的阳极材料有:高硅铸铁、石墨、钢铁、柔性阳极。

参比电极是测量各种电极电势时作为参照比较的电极。硫酸铜参比电极是阴极保护系统中的一部分。埋地长效硫酸铜参比电极是外加电流阴极保护中可作为恒电位仪自动控制的讯号源。

5.4 杂散电流干扰及防护

沿规定路径之外的途径流动的电流称为杂散电流。由于杂散电流的流动而引起的结构表面电流密度的变化称为干扰,变现为电位的扰动。对于管道系统,任何系统如果使用土壤作为电流通路,都可能称为杂散电流。在杂散电流进入管道的部位,管道得到保护,在杂散电流离开管道进入电解质的部位,管道发生腐蚀。杂散电流主要分为直流杂散电流、交流杂散电流和地磁杂散电流。

直流杂散电流分为静态直流杂散电流与动态直流杂散电流。静态直流杂散电流的电流大小、方向是不变的,在电流收集区,管地电位负向变化,在电流排放区,管地电位正向变化,干扰源主要是阴极保护系统。当管道的自然电位不在 $-500\text{mV} \sim -800\text{mV}$ 之间,认为存在杂散电流,当管道任意点上的管地电位较自然电位正向偏移 $\geq 100\text{mV}$,或管道附近土壤表面电位梯度(阴极保护电源关闭) $> 2.5\text{mV/m}$ 时,认为存在直流杂散电流。阴极保护电源断电期间,测量相邻两个测试桩之间的管道上电压降,如果电压降明显,确认受杂散电流干扰。当确认管道受直流杂散电流干扰应根据检查片的断电电位是否满足阴极保护指标来决定是否采取排流措施。动态直流杂散电流的电流大小及方向始终变化,干扰源主要有直流电车系统、高压直流输电线路及直流开矿设施。当管地电位波动值大于 200mV ,应测量检查片断电电位,根据GB50991要求,确认采取杂散电流排流保护或其他防护措施的必要性。

交流杂散电流分为传导型、电容型和电感型。传导型交流干扰主要是雷击电流或故障电流沿铁塔入地,极少发生,并且周期很短,难以判断何时、何地发生。如经常有雷雨天可以在管道两侧安装锌带并跨接,进行预防。电容型干扰产生于管道施工期间,高架的管道与高压线产生静电电压,能量很低,不足以导致人身伤害。一般每隔 300m 进行一次接地来消除。

管道埋地后,电容型耦合干扰将消失。电感型交流干扰取决于输电线路电流而不是电压,干扰强度与电流成正比,与平行距离成正比,与间距成反比。对于长距离管道,即便管道埋地,也会感应出较高的电压,这种影响持续时间长,对于管道腐蚀控制影响大。当交流干扰程度判定为“强”时,应采取交流干扰防护措施,判定“中”时,宜采取交流干扰防护措施,判定为“弱”时,可不采取交流干扰防护措施。交流杂散电流可采用直流去耦合器连接接地极进行排流。

地磁杂散电流的产生由太阳活动周期、太阳斑、地球与太阳相对位置、太阳自转周期、地球自转周期、太阳粒子磁场方向等因素影响,地磁杂散电流的特点是在绝缘接头处、管道方向改变处、管道靠近地球南北极且东西走向位置、土壤电阻率变化大的位置、靠近海岸或有潮汐影响位置感应电压增大。有地磁杂散电流干扰的管道管地电位变化无规律,消除地磁杂散电流干扰的方式主要有安装牺牲阳极单向排流、安装恒电位仪增强阴极保护。

6 结语

我国正在进行经济可持续发展建设,能源消耗与日俱增,为了应对能源消耗带来的环境污染问题,我国正在不断减少石油、煤炭等污染环境燃料的使用,对天然气的需求大量增加,有助于减少对大气的污染,天然气的使用依赖于管道运输,所以需要加大天然气管道的重视程度,因此,管道企业必须对管道的腐蚀控制予以足够的重视,科学可行的防腐对策,能够促使管道使用寿命的延长,最大限度降低天然气管道受腐蚀程度,有效降低运输成本。

参考文献:

- [1] 李建刚. 天然气管道腐蚀及其防护措施研究 [J]. 清洗世界, 2021, 37(12):153-154.
- [2] 汪仙明, 斯培培, 王傲, 等. 石油天然气管道腐蚀与防护 [J]. 辽宁化工, 2023, 52(11):1602-1605.
- [3] 李宁. 天然气管道内腐蚀的控制措施与发展 [J]. 煤化工, 2021, 49(3):25-29.
- [4] 杨锦林, 颜慧敏, 刘磊, 等. 天然气管道腐蚀与防护系统 [J]. 油气田地面工程, 2021, 30(12):48-50.
- [5] 赵文德. 石油天然气管道的腐蚀与防护 [J]. 化学工程与装备, 2022(7):23-25.

作者简介:

修成琳(1981-),男,汉族,黑龙江哈尔滨人,本科,城镇燃气中级工程师。