

# 潮湿环境中长输管道在 阴极保护作用下管道外壁附着物分析

黄延斌<sup>1</sup> 路强强<sup>2</sup> 王杰<sup>1</sup>

(1. 陕西延长石油(集团)管道运输第二分公司, 陕西 延安 716000)

(2. 陕西延长石油(集团)管道运输第四分公司, 陕西 延安 716000)

**摘要:** 阴极保护系统是管道外防腐的主要手段, 由于管道敷设的特殊性, 经常会通过水下或潮湿地段, 当防腐层破损或施工质量不高导致管道暴露在潮湿环境中后, 管壁上易产生一种白色结晶物。针对阴极保护的作用和结晶物产生的原理进行分析, 并结合现场施工案例提出整改。

**关键词:** 阴极保护系统; 潮湿环境; 防腐破损; 白色结晶

## 0 引言

长输管道因其埋地敷设的特性导致其腐蚀环境复杂, 腐蚀机理多样, 成为管道完整性管理工作的重点。阴极保护系统作为管道腐蚀防护管理的首要手段, 在全世界范围内普遍使用。但阴极反应在产生氢气的同时, 也会将附近的金属离子结合为氢氧化物附着在管壁上, 本文对阴极保护的作用和氢氧化物的成因以及工程措施进行分析。

## 1 阴极保护系统的作用

金属材料在自然界中发生腐蚀是常见的情况, 因为金属材料是由低价态的矿石通过冶炼变为高价态, 所以在自然界中它总是会自发的向低价态进行转变, 从而发生腐蚀。金属腐蚀是一个电化学的过程, 阴极保护是通过外加电流阻止腐蚀的电化学过程。阴极保护系统通过提供电流来中和腐蚀电池产生的电流。从而使腐蚀减缓甚至停止。

阴极保护在我国的应用开始于 1958 年, 首次应用于克拉玛依到独山子输油管道。到 60 年代, 阴极保护已广泛应用于输油管道。自上世纪 90 年代末期, 开始对储罐底板施加阴极保护, 到目前为止, 几乎所有的输气油管道、储罐、海洋结构都施加了阴极保护。对于输水管道、混凝土钢筋码头的阴极保护也逐渐展开。

## 2 阴极保护系统的原理

腐蚀是一种涉及电子和离子流动的电化学反应过程, 金属在阳极处发生腐蚀, 阴极处受到保护, 腐蚀发生的条件包含四个部分: 阳极、阴极、电解质、电

子通路。在阳极处形成的金属电子通过电子通路到达电解质中的阴极表面, 这时阳极被腐蚀、阴极被保护。

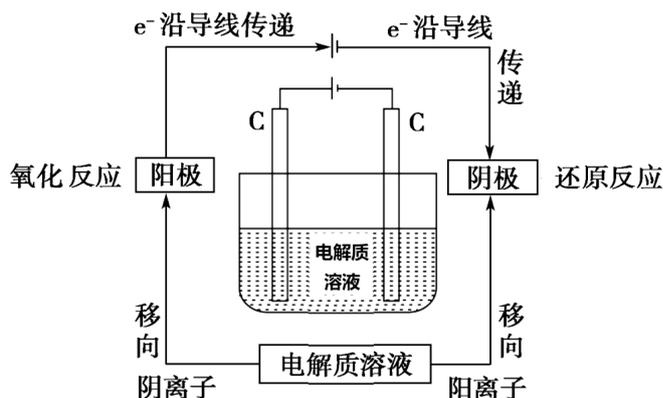
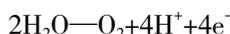
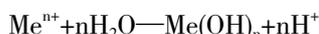


图 1 电解池示意图

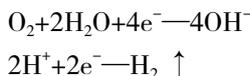
此时水中存在着少量的氢离子 ( $H^+$ ) 和氢氧根离子 ( $OH^-$ )。金属失电子产生金属离子, 进入电解质中, 与氢氧根离子或者氧离子结合产生金属氧化物, 附着在阳极周边。

阳极反应:

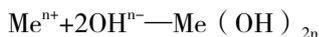


产生的电子通过电子通路流向阴极, 在阴极表面与电解质中的氢离子 ( $H^+$ ) 结合为氢原子, 继而合成氢气释放, 这也就是通常所说的阴极析氢, 在某些特定条件下, 阴极析氢可导致氢脆、阴极表面防腐层脱落等现象。

阴极反应:



由于自然水体中含有大量的  $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$ 、 $Na^+$ 、 $K^+$  离子，也就是我们常说的矿物质，所以在阴极反应过程中产生的氢氧根离子就会与这些矿物质离子结合，产生白色晶体状的氢氧化物附着在阴极表面。



### 3 阴极保护系统的构成

#### 3.1 牺牲阳极阴极保护

用一种电位比所要保护的构筑物还要负的金属或合金，与被保护的构筑物电性连接在一起，依靠电位比较负的金属不断地腐蚀溶解所产生的电流来保护其他构筑物的方法。

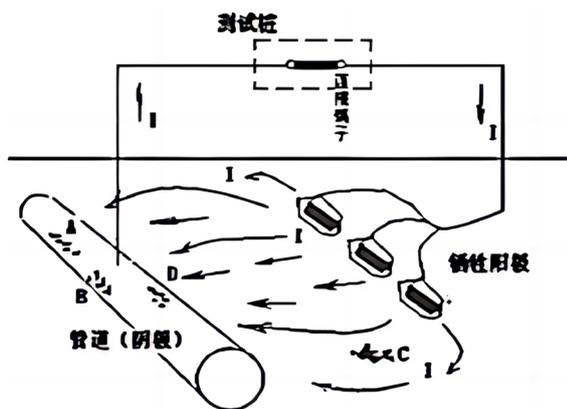


图2 牺牲阳极系统示意图

#### 3.2 外加电流阴极保护

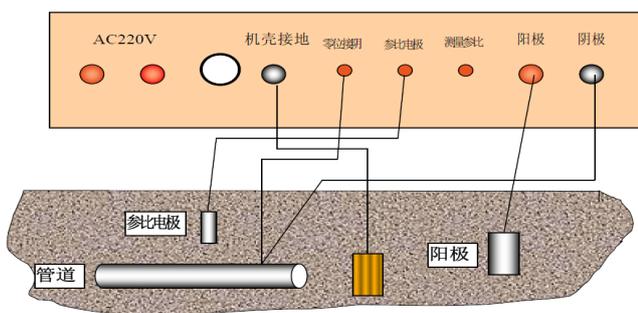


图3 外加电流系统示意图

通过外加直流电源以及辅助阳极，迫使电流从土壤中流向被保护金属，使被保护金属结构电位低于周围环境，处于阴极极化状态。该方式主要用于保护大型或处于高土壤电阻率土壤中的金属结构。

#### 3.3 牺牲阳极保护与外加电流保护的优缺点

表1 牺牲阳极保护与外加电流保护的优缺点

方法	优点	缺点
----	----	----

外加电流阴极保护	输出电流连续可调；保护范围大；不受环境电阻率影响；工程越大越经济；保护装置寿命长。	需要外部电源；对临近金属构筑物干扰大；维护管理工作量大。
牺牲阳极阴极保护	不需要外部电源；对临近构筑物无干扰或很小；投产调试后可不需管理；工程越小越经济；保护电流分布均匀、利用率高。	高电阻环境不宜使用；保护电流小，不可调；覆盖层质量必须好；投产调试工作复杂；消耗有色金属。

### 4 阴极氢氧化物分析

2022年在管道内检测维修过程时，根据原计划是维修管道内部制造缺陷，但管道开挖后发现黄夹克防护层存在破损现象，管材表面有积水，防腐层出现分层现象，分层中存在一种白色晶体附着物，附着物下方的熔结环氧粉末涂层目测正常，外层的防腐涂层出现破损。管道相关信息见表2。

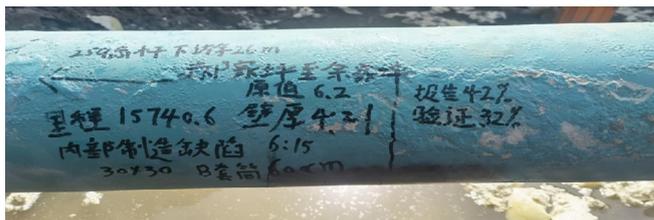
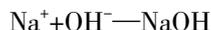
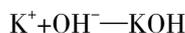
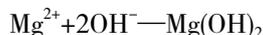
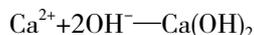


图4 管道开挖后

表2 管道信息如下

管线情况	参数
管道参数材质	DN200、20# 钢
防腐层	熔结环氧粉末
保温层	聚氨酯发泡
防护层	聚乙烯黄夹克
管道建设时间	2008年
所属环境	河道水体下部混凝土包覆

由于底层防腐层目测完整，说明白色附着物不是施工期间存在的，而是后期运行过程中产生。根据阴极反应机理判断白色附着物是水体中的  $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$ 、 $Na^+$ 、 $K^+$  等离子，与阴极反应产生的氢氧根离子 ( $OH^-$ ) 结合产生氢氧化物。



此种现象在近几年的管道修复过程中防腐层上产生附着物尚未出现过，说明并不是普遍存在，根据调查研究得出以下结论：①由于在施工阶段，管材防腐时由于工艺原因，此根管线存在熔结环氧粉末涂层二次法喷涂现象，所以防腐层本身就存在间隙；②防腐

层存在破损，导致阴保电流泄漏，发生阴极反应，附近产生大量氢氧根离子；③由于管道敷设位置为河道内，管材周围水资源丰富，且聚乙烯防护层破损，自然水体中的  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$  等离子与氢氧根结合成为氢氧化物；④由于防腐层破损处分层较为突出，且管材输送热油温度较高，导致产生的氢氧化物集中附着在管材表面，且成扩散趋势。



图5 管道表面防腐层分层处附着物分布



图6 结垢最厚处剥离的附着物

## 5 管线防腐保温管理

通过上述调查研究，我们明确了白色晶体的成因，成份，由于管道腐蚀的隐蔽性和维修困难，所以在管道防腐管理中特别需要注意施工期间的管理：①管材在防腐过程中防腐涂层的喷涂应加强管理，锚纹深度大于  $50\mu\text{m}$ ，抛丸除锈 Sa2.5 级；②熔结环氧粉末涂层不低于  $300\mu\text{m}$ ，确保涂层一次成型，无气孔、针眼、气泡，喷涂完成后需用电火花测试仪对防腐层效果进行检验；③管线保温层需致密厚度偏差不大于  $5\text{mm}$ ，外径不大于  $160\text{mm}$  时，轴线偏心距应不大于  $3.0\text{mm}$ ；外径大于  $160\text{mm}$  时，轴线偏心距应不大于  $4.5\text{mm}$ ；④聚乙烯防护层完好，最小厚度不小于  $1.6\text{mm}$ ，不能有破损；⑤防腐好的管线入沟敷设时保证防腐层不受损伤，回填时管线上部先用细土回填，防止石块损伤防护层；⑥防水帽与防护层及防腐层搭接不小于  $5\text{cm}$ ；⑦当防腐层破损重新刷漆防腐后，修复段两端需安装防水帽，防止修复效果不良导致水体从修复处进入管道防腐层内部，造成更大的损失。

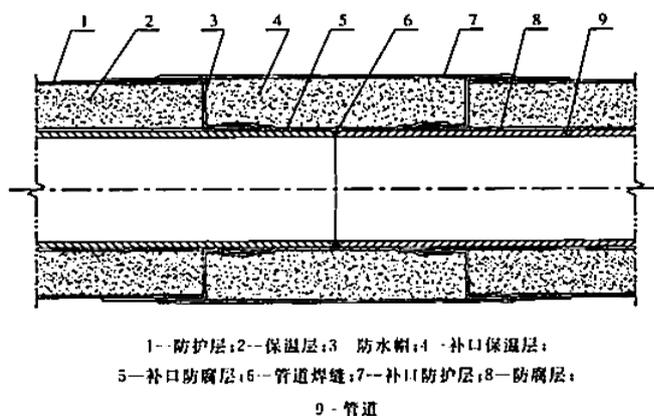


图7 带防水帽防腐保温层结构示意图

## 6 结论

长输管道运输因其拥有运量大、占地少、建设周期短、费用低、安全可靠、连续性强、耗能少和运输效率高的特点，已经成为国际上五大运输方式之一。而腐蚀泄漏问题因其发展的隐蔽性强和破坏影响巨大，是管道长期运行后面临的首要问题。其中建设期的防腐保温施工，管道入沟敷设问题又是防腐工作的重中之重。

这些问题在管道企业日后的管理中需要不停的探索和研究，才能更好的提升企业的管理水平和经济效益。