

# 长输天然气管道阴极保护技术研究

侯健松（国家石油天然气管道有限公司西气东输分公司苏浙沪输气分公司，江苏 南京 210001）

**摘要：**在天然气集输过程中，管道受到多种介质的影响，极易发生泄漏事故，严重影响着长输天然气管道的运行安全。阴极保护技术能有效地防止长输天然气管道腐蚀，提升管道的使用寿命，所以对阴极保护技术进行研究具有非常重要的现实意义。基于此，本文在对长输天然气管道腐蚀原因分析的基础上，探讨了阴极保护技术常用方法及故障，并提出了加强长输天然气管道阴极保护的技术对策，以期能够为长输天然气管道阴极保护技术的有效应用提供参考。

**关键词：**长输天然气管道；阴极保护；腐蚀原因；故障

## 0 引言

随着我国油气集输技术的快速发展，在当前油气集输系统中阴极保护技术的应用非常广泛，但是由于长输天然气管道主要采用埋地的方式敷设，因穿越的地形、地段复杂，同时受不同因素的影响，需要埋地金属管道具有较高的防腐性能。为保证长输天然气管道有较强的抗腐蚀性，相关企业常采用阴极保护技术来提高管道的抗腐蚀性。阴极保护技术属于一种电化学性的保护技术，这种技术是在古老的技术中衍生并发生的新型技术。其具有 100 多年的应用历史，在社会不断发展的过程中，阴极保护技术也在不断地更新与提升，衍生出更多的保护方式，形成更新的保护方法，进一步提高了防腐的效果。

阴极保护技术属于一种电化学保护技术，主要是在被腐蚀的金属结构物表面施加一个外加电流，使金属结构物整体处于电子过剩的状态，从而起到对金属结构物的保护作用。对长输天然气管道采用阴极保护能够有效减缓金属腐蚀现象的发生。通过这样的方式能有效地确保天然气比较安全地输送到用户，便于人们生产与生活。因此，对长输天然气管道阴极保护技术进行探讨具有非常重要的实践意义。

## 1 长输天然气管道常见腐蚀原因

### 1.1 化学腐蚀

天然气管道化学腐蚀是指管道金属在与输送介质接触的过程中，由于介质的化学成分和条件的影响，发生了不可逆的化学反应，导致管道金属表面失去电子，产生腐蚀现象的过程。在含有酸性成分的介质中，如碳酸、硫化氢等，酸性物质与金属表面发生反应，形成金属离子和氢气，这种反应会导致金属表面的腐蚀，加速管道的金属材料的损耗。此外，酸性介质中的氧气也会加剧腐蚀的进程。介质中的氢氧根离子也

能与金属表面发生反应，导致管道的腐蚀，虽然碱性介质下的腐蚀速率一般较低，但长期作用下仍会对管道金属造成损害。盐类的存在会加速管道的化学腐蚀过程。特别是在盐度较高的介质中，盐类的阴离子会与金属表面发生反应，形成金属盐，从而导致腐蚀的发生。氧气是常见的氧化剂，存在于空气和水中，在管道运输过程中，氧气与金属表面发生氧化反应，形成金属氧化物，导致管道的腐蚀，特别是在高温、高压条件下，氧化反应的速率会更快。

### 1.2 电化学腐蚀

天然气管道电化学腐蚀是指在管道金属表面存在电化学反应的情况下发生的腐蚀现象，其主要机理涉及两种基本的电化学反应：阳极反应和阴极反应。在某些区域，管道金属受到了损伤或缺陷，形成了阳极和阴极的区分，在阳极区域，金属会失去电子形成阳离子，进而溶解入输送介质中，这被称为阳极溶解，这种情况下，阳极区域会发生腐蚀，而阴极区域则会受到保护。由于局部原因如金属表面缺陷、异物附着等，在天然气管道金属表面形成了局部的阳极和阴极区域，在局部阳极区域，金属将更容易发生溶解，从而导致局部腐蚀的产生，常见的局部腐蚀形式包括点蚀、缝隙腐蚀、应力腐蚀等。当管道金属与输送介质接触时，由于介质中存在不同的氧化还原体系，可能形成浓度差电池，在浓度差电池系统中，金属中的某些区域将成为阳极，而其他区域则成为阴极，这种浓度差电池的存在会导致阳极处的金属发生溶解，从而引发腐蚀。

### 1.3 微生物腐蚀

微生物腐蚀是天然气管道腐蚀中的一种特殊形式，通常是由微生物在管道内部或表面形成生物膜，并产生一系列代谢产物，这些产物与管道金属表面发

生化学反应，引发腐蚀现象。微生物在含水介质中形成的生物膜是微生物腐蚀的基础，生物膜通常由微生物的代谢产物、有机物质和水分子等组成，形成一层在金属表面的覆盖层。微生物在生物膜中进行代谢活动，产生一系列有机酸、硫化物、硫酸盐、氢气等化合物，这些代谢产物在与金属表面接触后，会引发一系列电化学反应，导致金属腐蚀。微生物的代谢过程中产生的有机酸和硫化物等物质，降低了周围环境的pH值，形成了酸性环境，酸性环境加速了金属表面的溶解，加剧了微生物腐蚀的进程。某些微生物具有还原硫酸盐为硫化物的能力，这些硫化物对金属具有强烈的腐蚀作用，硫化物会与金属表面发生化学反应，形成金属硫化物，并释放出电子，引发金属的溶解。

## 2 阴极保护技术常用方法

### 2.1 牺牲阳极法

该方法的作用机理是将电位较低的金属或者合金共同放置于同一个溶液中，由于其比需要保护的金属或者合金的电位更低，所以在溶液中，比需要保护的金属更快的发生溶解，释放出电流，从而保护了需要被保护的金属，防止被腐蚀。优点：不需要外部电源；对附近金属构筑物干扰较小；管理维护工作量小；工程费用与保护长度成正比；保护电流分布均匀，利用率高。缺点：高电阻率环境下不宜使用；保护电流不可调；对管道防腐覆盖层质量要求较高；消耗有色金属，需要定期进行更换；杂散电流干扰大时不能使用；在特殊环境下，可能会出现极性逆转情况。

### 2.2 强制电流法

强制电流法主要是从外部加入电流，这样就可以使需要被保护的金属阴极化，达到和阳极保护法相同的保护措施。强制电流法需要的基础构件主要包括稳定的直流电源、连接电源的辅助阳极和连接所需要的电缆线，辅助阳极的作用就是要把外接的电流通入到系统中，使阳极工作时处在电解状态下。一般情况下，按照阳极的溶解性能划分，辅助阳极可以分为不溶性阳极、可溶性阳极和微溶性阳极三类。强制电流法一般不受土壤电阻率的影响，主要受是否具有可靠稳定电源的影响，一般应用于大口径管道或长距离天然气管道。优点：可连续调节输出电流，可提供较大的保护电流密度；不受环境电阻率限制；工程越大越经济；对管道防腐覆盖层质量要求相对较低；保护装置寿命长。缺点：需要可靠的外部电源；对临近金属构筑物干扰大；日常维护管理费用高，需设置阴极保护站；在需要较小电流时，无法使装置的投资费用减至最低；

可能导致过保护，引发防腐层的破坏甚至是管材的氢脆。

### 2.3 排流保护法

排流保护法的机理是在有其他干扰电流存在的情况下，利用排除方法，对需要保护的构件进行保护作用的一样方法。排流保护法主要有三种保护措施：①直接排流。该方法需要外接电源，在稳定的情况下，该稳定电流可以保护金属或合金，排除其他干扰电流。但此方法需要谨慎使用，如果使用不当，就会造成

更大的干扰，甚至是危险；②极性排流。由于二极管具有单向通过性的作用，只可以通过一方电流，在有正负干扰电流存在的情况下，就需要插入二极管，这样就可以保证电流通过一个方向，从而保护金属体；③强制排流。上述二种方法只能在排流时才能对保护体起到保护作用，如果不是排流期间，就无法起到保护作用。这样就需要强制排流的方法，利用恒定的整流器产生电流，从而达到需要保护的作用。

## 3 天然气管道阴极保护系统常见故障

### 3.1 漏电故障

这类故障也可以称为接地故障。造成此类故障的原因有很多，可以是电器本身的电路板有问题，导致设备漏电。如果人稍微一接触就会有手麻的感觉，那就可以更换电器了；再者，电器本身没问题，可能是电器外壳和火线、地线接触时，和大地间由于电流、电压等原因产生电位差，在管道两端形成漏电点，导致漏电。如果在实际工作过程中，一旦发现无论如何增大输出电压、电流量，阴极保护系统的保护电位都不达标、甚至保护距离缩短的现象就可以认为是发生了漏电故障。一旦发生漏电事故，我们应该首先检查保护管道，看看其是否绝缘性能减弱，如若不能再对阴极保护系统产生很好的绝缘效果，应该及时更换。

### 3.2 防腐覆盖层故障

如果想要检测管道是否发生防腐覆盖层故障，只需看是否两座阴极保护站管段中的绝缘电阻小于防腐覆盖层中的极限电阻，如果一旦小于，基本上就可以认为是发生防腐覆盖层故障。导致防腐覆盖层发生故障主要有两方面的因素：一是防腐覆盖层已经接近使用寿命、防腐性能趋于弱化，导致绝缘电阻小于防腐覆盖层中的极限电阻，发生故障。另一个原因是相关管理部门监管不到位，执行力度不够，没有安排相关技术人员及时对防腐覆盖层进行保养、防护，导致防腐覆盖层表面破损逐渐增多，直至防腐性能减弱，造成严重故障。如果一旦发生此类故障，企业领导应该严肃对待，把责任落实到个人并执行相应的惩罚力度。

### 3.3 电缆故障

造成电缆故障的原因主要有连接电缆时出现断路、或者是线缆连接错误。电缆连接发生断路会导致整个阴极保护系统停止运行，严重阻碍了管道工程进度；线缆连接错误很有可能会加速管道表面腐蚀，大大降低了防腐性能，造成严重的工程损失。这类故障是可以通过前期排查有效避免的，可以安排专业人员进行实际测量，根据电缆的电阻和电位进行区分，防止出现连接时失误。

### 3.4 恒电位仪故障

造成恒电位仪发生故障主要是由于内外两方面因素。内部因素指的是恒电位仪内部各部分之间的故障；外部因素指的是外部电源出现故障影响了恒电位仪的正常工作。为了避免这类故障的发生，首先应该及时检查、维修恒电位仪，在阴极保护系统周边放置一个使用的一个备用的，及时更换可以延长使用寿命，提高工作效率。但只凭这样是不能完全避免此类故障发生的。在整个阴极保护系统故

障中，这类故障可以说是最为常见的，但也是最容易解决的。一般情况下，管道从业人员就可以根据以往经验解决此类问题。

### 3.5 阳极接地故障

阳极地床设计不到位、施工质量不达标等都会造成阳极接地故障。阳极接地故障主要是对阳极电阻产生了破坏造成的，而在施工环节导致阳极接地电阻增加的有“冻土”和“气阻”，“冻土”和“气阻”都会导致阳极地床电阻大幅度增加。当然一方面也可能是因为相关人员排查工作不到位，没有对阳极的使用情况进行认真检查，待阳极接近使用寿命时，便会发生表面防腐性能减弱，表层很容易被侵蚀和溶解，导致电流流通受阻，进而导致电阻增加。相关企业安排专业人员定期对阳极地床进行检测，一旦发现此类故障，应该及时更换阳极地床，以确保阴极保护系统的正常运行；由于阳极电缆线与接线头处使用的是密封和绝缘性能好的材料，因此在施工时也应该加以重视，以免施工力度过大，造成接线头腐蚀和断裂，从而阻断了电流的流通，阴极保护系统的电流无法传输给管道，严重阻碍了埋地长输天然气管道工程的进程，大大降低了传输效率和工作效率。

## 4 加强长输天然气管道阴极保护对策

想要促使阴极保护充分地发挥自身的作用，就需要保证阴极保护系统能够正常的运行，因此必须加强

对长输天然气管线阴极保护系统的维护与管理。加强测试桩检查，做好阴极保护设施的日常维护工作，调查长输天然气管线腐蚀的状况，对管道的绝缘性能进行日常测试。其中对测试桩的检查工作还主要包括测量电阻率、测试桩的基本状况、电位测量等工作。开展阴极保护设施检查的主要检查内容有：仪器输出电压状况、电流大小、供电线路运行情况、阳极床接连状况等。对管线以及土壤扶持的状况进行调查也是管线阴极保护的重要内容，包括对管线

方腐蚀层外观、厚度以及针孔的调查。管道绝缘性能调查与测试是开展阴极保护工作必不可少的工作内容，需要做好对管道绝缘层以及电阻率的测试。维护管理人员必须要接受了专业技术的培训，具备维护的相关技术，并取得考试合格证书，能自行上岗独自完成各项工作。在检查过程中，相关人员需要将日常维护与检查的数据都记录下来，并明确地注上检查的时间、检查状况以及处理情况。

## 5 结束语

近年来，随着我国经济的快速发展，人们对于天然气资源的需求量有了很大提升，长输管道极大的方便了天然气的输送，满足了人们对于天然气能源的需求，但是在天然气运输的过程中，管道腐蚀问题成为了制约天然气安全运输的重要因素，也是我国乃至世界天然气运输的难题。因此，相关企业必须高度重视天然气管道腐蚀问题，认真分析埋地长输天然气管道阴极保护系统的常见故障，并及时采取有效措施解决问题、排除故障，保证长输天然气管道安全高效运行。

### 参考文献：

- [1] 张玉辉 . 油气管道阴极保护技术现状研究 [J]. 科技与企业 ,2016,(07):237.
- [2] 陈泽康 . 长输天然气管线的腐蚀及防护措施研究 [J]. 中国石油和化工标准与质量 ,2014(01):256.
- [3] 薛富强 , 谢荣勃 . 浅谈长输管道的阴极保护及故障分析 [J]. 科技与企业 ,2014(02):157.
- [4] 刘晴 , 赵得强 , 李京 , 等 . 油气储运管道的腐蚀机理与防腐技术研究 [J]. 全面腐蚀控制 ,2023,37(08):123-124+128.
- [5] 王伟 . 天然气长输管道阴极保护的有效性影响因素探讨 [J]. 化工管理 ,2016(29):12-15.

### 作者简介：

侯健松（1987-），男，汉族，江苏盱眙人，大学本科，助理工程师，主要从事西气东输管道管理工作。