

# 管道交流排流对管地电位的影响

王 军 (国家管网集团北方管道有限公司北京输油气分公司, 河北 廊坊 065000)

**摘要:**当管道受到交流干扰时, 最常用的排流方式是接地极加极性排流器或直流去耦合器。由于直流去耦合器的充放电或者极性排流器的整流作用, 会导致管地电位的负向偏移, 给管道的阴极保护以及电位测量造成影响, 当管道受到动态直流干扰时, 还会将杂散电流引入管道。交流排流装置同时会影响管道PCM防腐层检漏及管地断电位测量。

**关键词:** 直流去耦合器; 极性排流器; 交流干扰; 杂散电流

中图分类号: TE988 文献标识码: A 文章编号: 1674-5167 (2025) 021-00100-03

## The influence of AC drainage in pipelines on the pipe-to-ground potential

Wang Jun ( National Pipeline Network Group Northern Pipeline Co., LTD, Beijing Oil and Gas Transmission Branch, Langfang Hebei 065000, China )

**Abstract:** When the pipeline is subjected to AC interference, the most commonly used drainage mode is the ground pole plus polarity drain or DC de-coupler. Due to the charge and discharge of the DC decoupling device or the rectification of the polarity drain, the negative shift of the tube ground potential will affect the cathodic protection and potential measurement of the pipeline, and stray current will be introduced into the pipeline when the pipeline is subjected to dynamic DC interference. The AC drain device will also affect the leak detection of pipeline PCM anticorrosive layer and the pipe-ground cut-off potential measurement.

**Key words:** DC decoupling device; Polarity drain; AC interference; Stray current

### 1 极性排流对管地电位的影响

管道与周围电磁场相对位置的不同, 导致管道不同位置受到的干扰强度不一样, 管道电位的变化也呈现出不同的静态或动态的变化。埋地长输管道受到的交流干扰一般为电感耦合干扰或电阻耦合干扰, 干扰源一般为交流高压输电线路、电气化铁路等, 根据国家标准要求, 管道受干扰后的交流电流密度达到一定程度应进行排流, 国内最常用的排流方式是极性排流器、固态去耦合器加接地极的方式。

当采用极性排流方式进行交流电排流时, 由于二极管的单向导电性, 交流电流只有正半波可以通过二极管流向接地极和土壤, 半波滤波的结果, 使流入和流出的交流电变为直流电, 管道相当于受到阴极保护, 实验室亦证明此种推测的合理性。图1为实验室实验二极管加入交流电路后示波器实测回路电流值。

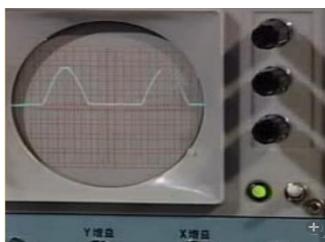


图1 实验二极管加入后示波器实测回路电流波形图

通过测量管道同一位置存在交流干扰并进行极性排流前后的电位, 排流后的管地通/断电位均明显低

于排流前的相应电位, 当测量管道自然电位并发现管地电位异常负时, 这种交流排流装置可能是一个原因。在防腐层质量良好情况下, 交流极性排流所产生的保护电流会足够大, 导致恒电位仪停止输出并为管道提供足够的阴极保护电流<sup>[1]</sup>。

交流干扰极性排流导致管地电位总体负向偏移, 尽管在动态直流干扰作用下, 管地电位仍在波动, 但管地电位始终低于二极管的导通电压。在这种情况下, 交流排流接地极加强了管道的阴极保护, 但已经失去对动态直流干扰的排流作用, 且接地材料电位的高低已经不再重要。交流极性排流相当于沿管道安装了多个阴极保护站。如果管道没有交流干扰, 则采用牺牲阳极的极性排流接地极将起到排流和提供阴极保护电流的作用, 如图2。

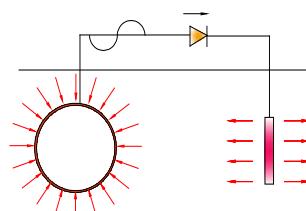


图2 交流极性排流的整流作用

### 2 恒电位仪的极性排流作用

恒电位仪内置桥式整流电路, 本质上可视为单向排流装置, 具体电路结构如图3所示。在管道交流电

压的正半波期间，电流借助整流二极管，实现从管道向阳极地床的流动。一旦交流电压进入负半波阶段，整流二极管立即截止，电流只能从土壤和防腐层流入管道。不难发现，这种机制的运作原理和半波整流电源十分相似。经过这一过程，单向脉冲直流电压会被施加到管道上，持续积累的电压作用，促使管地电位持续向负方向偏移。

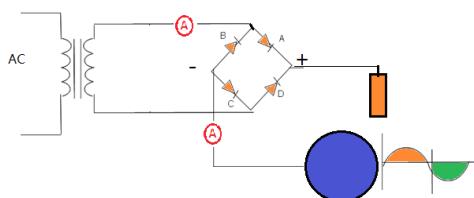


图 3 典型的单相整流电路

现以某管道为例展开说明，本项目管道外径 813mm，管线全长 25km，外壁敷设 3PE 防腐层。因线路规划，管道沿线与高压输电线路走向存在平行段与交叉点。在阴极保护系统的调试阶段，在阴极保护站处，测得管地交流电压为 5.87V。当从设备上拆除恒电位仪的阴极电缆时，经测量，管地电位为 -1037mVCSE，管地交流电压维持在 5.87V。与此同时，在阴极电缆与设备的连接端，检测到直流电流大小为 1.104A，电流由管道流向阳极，交流电流大小则为 1.37A。当把阴极电缆重新连接到设备上后，管地直流电位发生显著变化，降至 -1915mVCSE，交流电压则降至 4.039V。如图 4 所示：



阴极电缆与设备之间的交、直流



阴极电缆与设备之间的交、直流

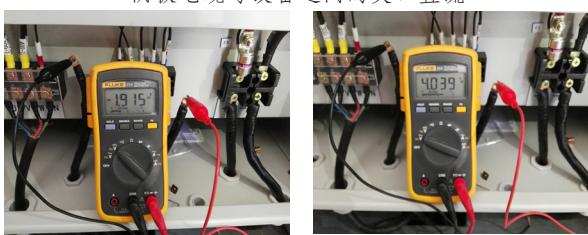


图 4 阴极电缆连通后管地电位、电压

测试结果表明，若恒电位仪滤波电容选型容量不足，或是在设计上存在不合理之处，恒电位仪在发挥交流排流功能的过程中，会造成管地电位向负向大幅偏移 900mV。由此可见，在开展杂散电流检测工作时，必须重视恒电位仪交流排流对管地电位产生的影响。虽然这种整流效应有助于对管道实施阴极保护，不需要进行整改，但可能致使恒电位仪开机后电流输出异常，触发报警机制，而且会对管道自然电位测量的准确性产生严重干扰。当我们在测量管道自然电位时，所获取的数据会存在误差，无法反映真实情况。

### 3 恒电位仪半波整流为管道提供阴极保护

即便恒电位仪关闭数天，其内部整流电路依然持续工作，对管道上的交流电压进行半波整流。在此期间，从管道流向地床的直流电流达到 0.99A。这一电流如同阴极保护电流，推动管地电位朝着负向偏移。为监测管道的阴极保护状态，在管道沿线，埋设有面积约  $6.5\text{cm}^2$  的试片。检测结果显示，试片的断电电位达到  $-850\text{mVCSE}$ ，符合阴极保护指标要求，详情可参考图 5。此外，恒电位仪与地床协同发挥交流排流功能，成功排除约 1.28A 的交流电流。在这一过程中，管道的交流电压从 5.87V 降至 4.04V，显著降低了交流干扰对管道的影响。试验中发现，如果试片与土壤接触密实，一般几分钟就接近充分极化，人工万用表读取的试片断电电位比记录仪记录的试片断电电位偏正约 100mV。

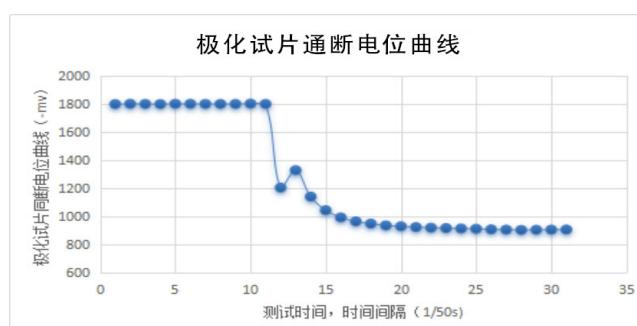


图 5 埋设试片后断电电位变化图

### 4 恒电位仪阴、阳极电缆之间安装二极管，仍有排流作用

在恒电位仪的阴、阳极电缆之间安装二极管后，该二极管的单向导电性使得 1.03A 的交流电和 0.91A 的直流电分别在管道与阳极之间流动。其中，交流电通过二极管的正向导通路径被部分排泄，而直流电的流向则相当于为管道提供了额外的阴极保护电流。由于二极管的整流特性，该直流电流仅能单向流动，使得管道的管地电位负向偏移，类似于恒电位仪自身的整流作用。这种现象在短期内有助于提高局部阴极保

护效果，但在长期运行过程中可能导致局部过保护，影响阴极保护系统的整体均衡。

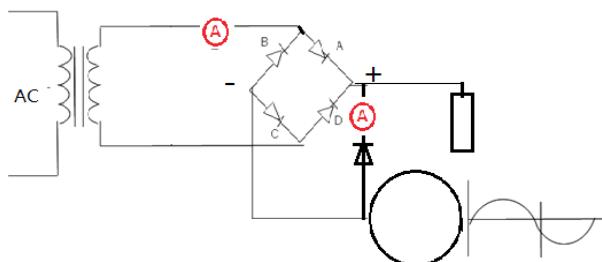


图 6 阴阳极之间安装二极管

当阴、阳极直接跨接时，3.12A 的交流电在管道与阳极之间流动，而 0.32A 的直流电则从阳极流向管道，这表明跨接路径提供了较强的交流泄放能力，同时也形成了一定程度的直流回流。这种情况下，管道可能会在局部区域受到阳极的直流补偿作用，导致管地电位的波动趋向稳定，但由于直流电流较小，其对管道整体阴极保护效果的影响较为有限。

如果在阴、阳极电缆之间安装电容，由于电容的阻抗特性，低频或直流电流会被阻挡，而高频交流分量则可顺畅通过，使得交流干扰更有效地泄放。电容的加入能够降低管道的交流电压，减少交流干扰带来的电位波动，并在一定程度上提高阴极保护系统的稳定性。然而，电容的容量大小决定了其对不同频率交流电的排流效果，过大可能导致直流去耦效果降低，过小则可能无法有效泄放交流电流。因此，在实际应用中，需要根据管道的交流干扰特性合理选择电容参数，以优化交流排流的效果，同时避免对阴极保护系统造成负面影响。

## 5 直流去耦合器的直流漏电量



图 7 动态直流电流通过电容器

当管道上的交流排流接地通过直流去耦合器进行连接时，直流去耦合器能够防止阴极保护电流的泄漏，因为直流去耦合器具有通交、隔直的作用。但直流去耦合器的这个性能是通过内部的电容来完成的。在管道阴极保护系统正常运行时，该电容的两个极板处于充电状态。而当通过对阴极保护电源的通断进行管道断电电位测量时，在阴极保护电源断电的瞬间，该电

容开始放电，该电流将施加到管道上。造成管道断电电位测量的不准确，因为其中包含了电容放电产生的 IR 降。当管道受到动态直流干扰时，如果管道上安装直流去耦合器（如图 7），随着管地直流电位的波动，直流去耦合器中的电容持续充放电，也会导致直流电流流入、流出管道。如图所示，管地电位波动范围  $2.0V \sim -5.0V_{CSE}$ ，通过  $100mF$  电容器的直流电流达到  $160mA$ ，引入直流电将加剧管地电位的波动。

## 6 交流排流对 PCM 测量的影响

在管道防腐层检测（PCM 测量）过程中，管道电流法依赖于向管道施加的多频率信号，通过测量信号在地表的电位梯度变化来确定管道的走向、埋深及防腐层破损点。然而，当管道上安装了交流排流装置，如直流去耦合器或极性排流器，这些装置可能会对测量信号产生干扰。特别是直流去耦合器，其内部电容允许交流信号通过，导致施加到管道上的多频率信号部分泄漏到接地极，使信号在传输过程中快速衰减。这种情况下，管道上施加的电流信号可能难以沿管道充分传播，从而降低了测量精度，甚至可能导致防腐层破损点的漏检或误判。

此外，交流排流装置的存在不仅影响信号传播，还可能改变测量系统的参考电位。例如，极性排流器的整流作用会导致管地电位负向偏移，使得测得的电位梯度分布发生变化，进而影响破损点的定位准确性。同时，由于信号在管道上的衰减速度加快，测量人员可能需要增大信号发射功率或调整测量方法，以补偿信号损失，这不仅增加了检测难度，也可能带来额外的误差。因此，在进行 PCM 测量时，通常需要临时拆除交流排流装置，以确保测量信号的完整性和准确性，并避免因信号泄露而影响管道防腐层的精确检测。

## 7 结论

管道在经受交流干扰时，极性排流机制会促使管地电位朝着负方向偏移。从积极方面来讲，这种负向偏移能够为管道营造阴极保护的有利条件。然而，在开展管道自然电位与断电电位测量工作时，交流干扰排流会对测量结果产生干扰，引发误差，因此操作人员需格外留意。此外，管地电位过度负向偏移会给恒电位仪的运行带来负面影响，致使设备停止输出电流，甚至触发报警系统。严重时也可以导致管道的过保护。

### 参考文献：

- [1] 冯洪臣. 管道工程保护技术 [M]. 北京：化学工业出版社，2016.

### 作者简介：

王军（1972—），男，汉族，河北易县人，本科，工程师（输油技术），研究方向：输油技术。