



阴极保护中的电流分布及电位测量

冯洪臣

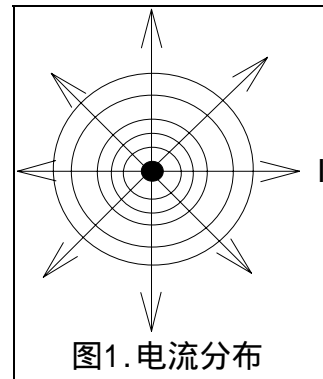
一. 简介

阴极保护度取决于电解液/结构接触面的外加电流密度, 要使整个结构都得到阴极保护, 则在结构各处都要有均匀的电流密度. 但在实际上, 由于电解液的不均匀性以及相对于阳极地床的位置不同. 到达结构各处的电流不可能是均匀的.

在阴极保护中, 阳极距结构的电解液电阻决定了到达结构的电流密度. 而该电阻又决定于电解液电阻率(ρ), 截面积(A), 以及阳极到结构上某一点的距离(L). 即:

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

以位于均匀土壤中的竖直阳极为例, 电流以放射状分布, 总的电流为各方向电流之和. 如图:

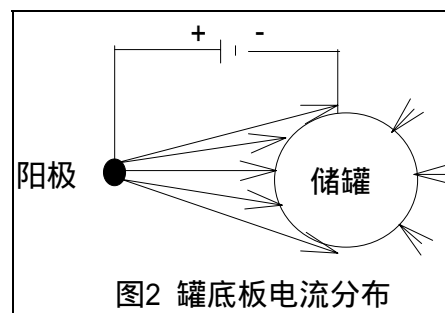


对于长输管道, 由于管道距阳极地床的距离不可能相同, 所以, 阴极保护电流到达各点所经路径的电阻也不相同, 所以, 管道各点的电流密度也不会相同.

二. 阳极与结构的距离

假定其他因素都是恒定的, 那么, 结构某一点所得到的电流将与其距阳极的距离成反比. 以罐底的阴极保护为例, 如果阳极距罐底太近, 则电流的分布将很不均匀, 造成距阳极近的一侧过保护而另一侧保护不够.

如果将阳极与罐底的距离加大, 则电流回路的电阻差别相对减小, 电流分布趋于均匀. 但另一方面, 由于阳极与罐底的距离增大, 回路的总电阻增大, 阴极保护电流减小, 因而, 需要提高外加电压. 从电流分布的观点出发, 阳极将有一个最佳位置.



英国标准 BS7361 中, 推荐罐底的阴极保护采用分布式阳极, 条件允许的情况下, 阳极距罐周边的距离不小于罐直径. 如果做不到这一点, 应采用分布式阳极或深井阳极, 深井阳极的上端距地面距离不小于 10 米, 以使电流分布均匀.

黄骅市科普防腐材料有限公司 (廊坊)

河北省廊坊市和平路文体中心

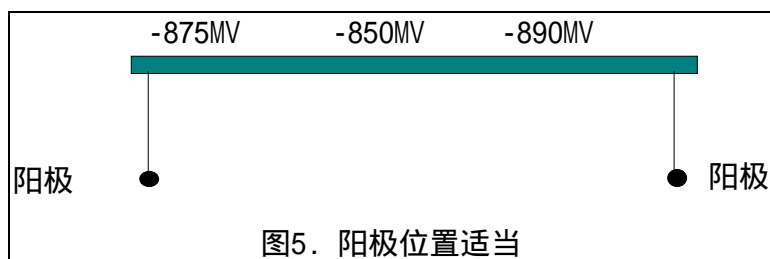
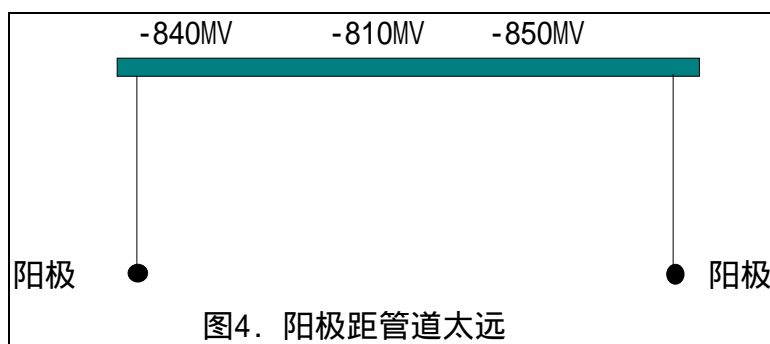
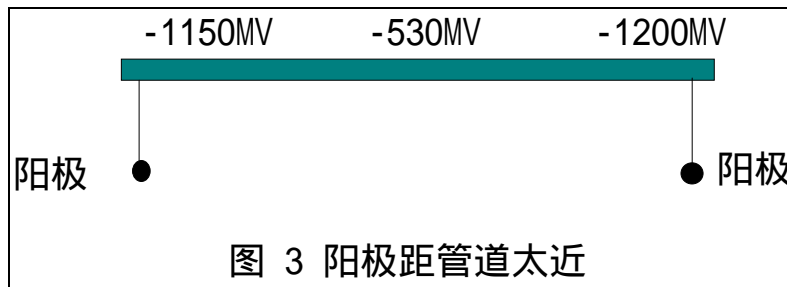
电话(Tel): 0316-2235133; 13903168421 传真(Fax): 0316-2232326

Home page: www.Corrstop.com

e-mail: hcfeng@CorrStop.Com



对于受阴极保护的长输管道,阳极距管道的距离对保护电位的影响如图:



均匀的电位分布可以通过提高阳极与管道的间距或通过均匀布置阳极来获得, 阳极距管道太近时, 会使与阳极相对的管道产生过保护, 而距管道远的地方保护不够. 距离太远时, 会使整个管道都欠保护. 若仍使管道得到充分保护, 只有提高外加电压. 阳极的最佳位置应使管道最远端得到保护而汇流点处不发生保护, 由于电流分布还受到土壤电阻率, 防腐层状况, 管道电阻等多个因素影响, 所以, 阳极与管道的间距应不小于 100 米, 一般为 300--500 米.

三. 土壤电阻率变化对电流分布的影响

当土壤电阻率均匀, 管道电阻忽略不计时, 与阳极距离最近的点电流密度最大. 距阳极越远, 电流密度越小. 然而, 大多数的土壤电阻率是不均匀的. 当沿管道的土壤电阻率有较大变化时, 将对管道的电流分布产生较大影响. 如图所示, 由于河水的电阻率远远小于周围的土壤电阻率, 导致临近河床的管道电流密度增大, 电位下降.

黄骅市科普防腐材料有限公司 (廊坊)

河北省廊坊市和平路文体中心

电话(Tel) : 0316-2235133; 13903168421 传真(Fax) : 0316-2232326

Home page: www.Corrstop.com

e-mail: hcfeng@CorrStop.Com

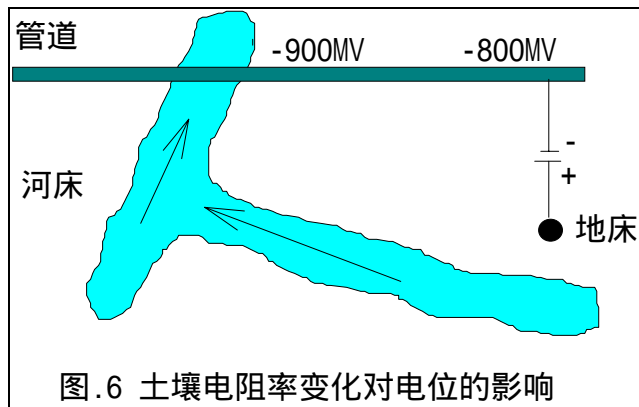


图.6 土壤电阻率变化对电位的影响

当对井套管进行阴极保护时,由于套管会穿过不同电阻率的土壤层或岩石层,使阴极保护电流沿套管的分布不均匀.与阳极之间的土壤电阻最小的套管表面处电流密度最大,电位最负.

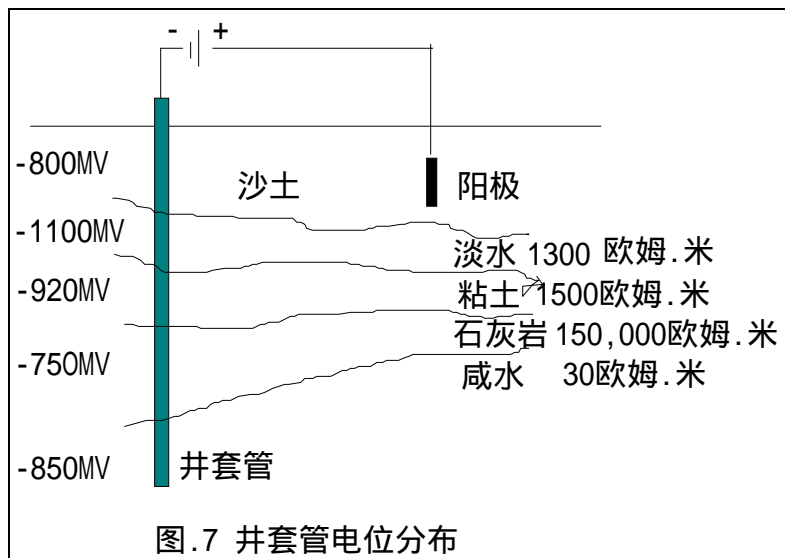


图.7 井套管电位分布

在实际工作中,我们会发现,沿管道测量管地电位时,距汇流点远的地方,测得的电位不一定就较负,这与土壤电阻率的变化有很大关系.在花格线的实际测量中发现,在距泵站 4 公里的那凌格乐河河边测到的电位低于出站点处的电位(低 0.4 伏).秦京管道日前在距泵站 1 公里处发生了腐蚀穿孔,而距泵站较远的一段裸管却腐蚀轻微,原因是该段裸管处于电阻率较低的河床处,阴极保护充分.因此,在土壤电阻率变化大或者结构形状复杂时,若使电流分布均匀,有效的措施是正确的布置阳极.另外,尽管在土壤电阻率低的地方测得的电位满足要求,这并不意味着其处于土壤电阻率高的地段的管道也得到了充分的阴极保护.

黄骅市科普防腐材料有限公司(廊坊)

河北省廊坊市和平路文体中心

电话(Tel): 0316-2235133; 13903168421 传真(Fax): 0316-2232326

Home page: www.Corrstop.com

e-mail: hcfeng@CorrStop.Com



四. 阳极布置对电流分布的影响

阳极有多种布置, 有近间距阳极, 远距离阳极, 分布阳极, 集中阳极, 深井阳极.

1. 分布阳极

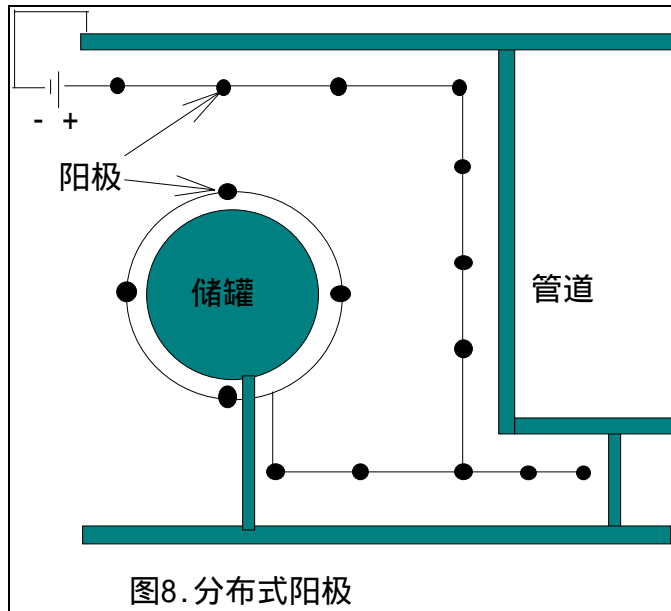


图8. 分布式阳极

分布阳极可有效的改善电流分布, 使被保护结构上的电位均匀分布. 当阴极电缆或管道太长时, 应考虑其电阻对电流的影响. 必要时, 可以另加阴极电缆和阳极电缆. 被保护结构复杂时, 分布式阳极是经常采用的阳极布置形式.

2. 深井阳极.

当地表空间小, 不能采用分布式阳极或地表土壤电阻率太高时, 经常采用深井阳极. 其深度应在 20 米以下.

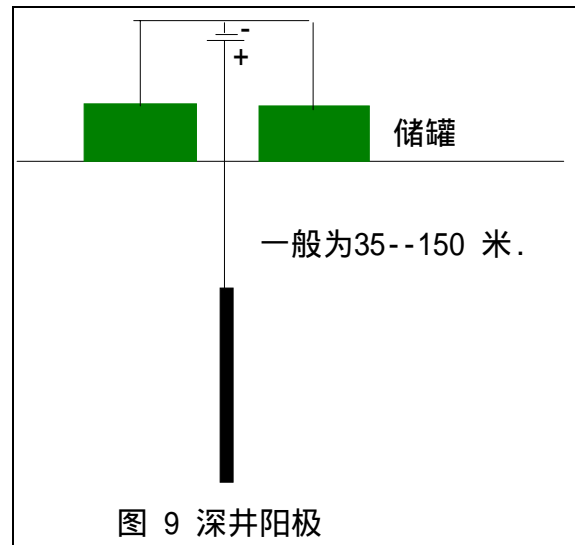


深井阳极的优点:

- (1). 占地面积小.
- (2). 对其他结构的影响小.
- (3). 阳极接地电阻小.
- (4). 遭破坏的可能小.
- (5). 对地表结构或井套管的保护电流分布均匀.
- (6). 阳极接地电阻受季节变化影响小.

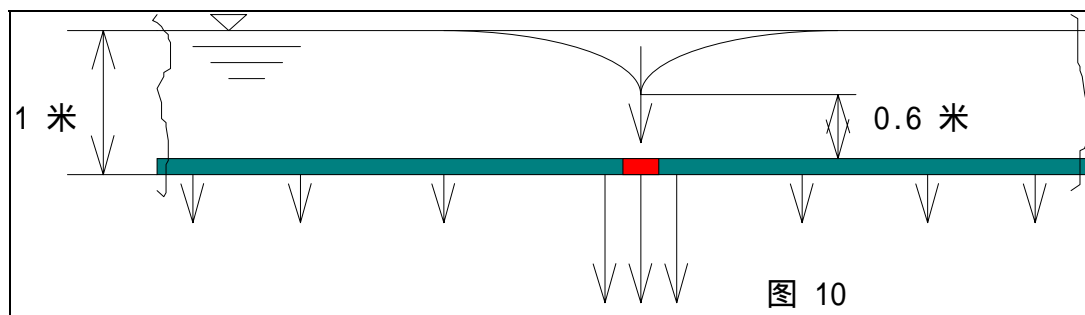
阳极应尽量放置在低土壤电阻率土层中,但被保护结构与阳极之间不能有高电阻率岩石层.阳极周围可放置焦炭填料,当地下水位高时,可将阳极悬挂在开口的井中.当阳极输出电流大时,应采取排气措施,放掉阳极反应产生的气体,以防止气阻.另外,阴极反应将产生酸性环境,因此,所用材料要耐腐蚀.深井阳极的缺点:

- (1). 首次投资大.
- (2). 修复困难.
- (3). 有气阻的可能.
- (4). 地表下面有岩石层时,不能采用.



五. 参比电极位置对测量结果影响.

假设受阴极保护的管道为河床,外加电流为河水,水位为保护电位.由于河床密实,渗水量很小,当上游供水量平衡时,河面将保持一个稳定的深度(自上游到下游水位逐渐下降,相当于阴极保护电位的衰减),如果河床某处出现一个漏水点,则大量的水将通过该点泄漏,在河面形成旋涡.使漏点上方的实际水位低于其他河面.同样,受阴极保护的管道,其防腐层相当于密实的河床,由于绝缘电阻大,仅有少量的电流透过防腐层到达管道.但如果防腐层有漏点,则较多的电流通过漏点进入管道.在漏点附近形成漏斗状电压场.使漏点处的电位低于其他地方的电位.



在阴极保护电位测量时,将有以下几种情况:

1. 防腐层完好,无漏点.

- (1). 电流从土壤经防腐层流入管道时,其通路电阻由两部分组成--防腐层电阻和土壤电阻.假设管道的自然电位为-0.6伏(相对于硫酸铜参比电极),受阴极保护后保护电位为

黄骅市科普防腐材料有限公司(廊坊)

河北省廊坊市和平路文体中心

电话(Tel): 0316-2235133; 13903168421 传真(Fax): 0316-2232326

Home page: www.Corrstop.com

e-mail: hcfeng@CorrStop.Com



-0.90 伏(参比电极位于地表).

(2). 一平方米的管道防腐层上, 防腐层电阻为: R_c .

$$R_c = \rho \frac{t}{A}$$

R_c : 防腐层电阻 ohm

t : 防腐层厚度 cm

ρ : 防腐层电阻率 ohm-cm

A : 表面积 cm^2

防腐层电阻率一般为 $10^9 - 10^{12}$ ohm.cm. 厚度为 0.05--0.15 cm. 所以, 1 平方米防腐层的电阻为:

$$R_c = \frac{10^9 \text{ ohm.cm} \times 0.05 \text{ cm}}{10^4 \text{ cm}^2} = 5000 \Omega/\text{m}^2.$$

而在 1 平方米的土壤截面积上, 土壤的电阻为:

$$R_e = \frac{\rho_s}{8r}$$

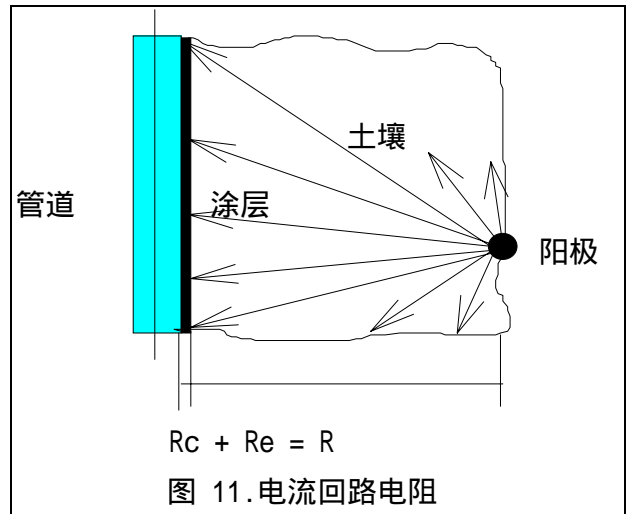
ρ_s : 土壤电阻率 ohm.cm

r : 假定 1 平方米为圆盘面积, 其半径 cm. 所以, $r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$, 其值为 56 cm.

当土壤电阻率为 1000 ohm.cm 时,

$$\text{土壤电阻为: } R_e = \frac{1000 \text{ ohm.cm}}{8 \times 56 \text{ cm}} = 2.2 \Omega$$

(3). 流入一平方米管道的电流为 $I = \frac{0.90 - 0.60}{5000 + 2.2} = 0.00006 \text{ A}$. 即: 60 微安.





(4).土壤中的 IR 降为 $0.00006 \times 2.2=0.00013$ 伏.可以忽略不计.因此,在地表测到的电位基本为管道的实际保护电位.

1.如果防腐层有漏点

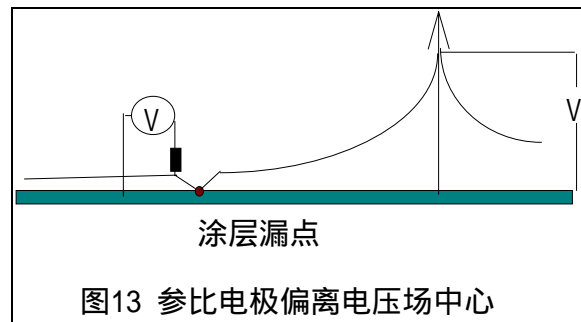
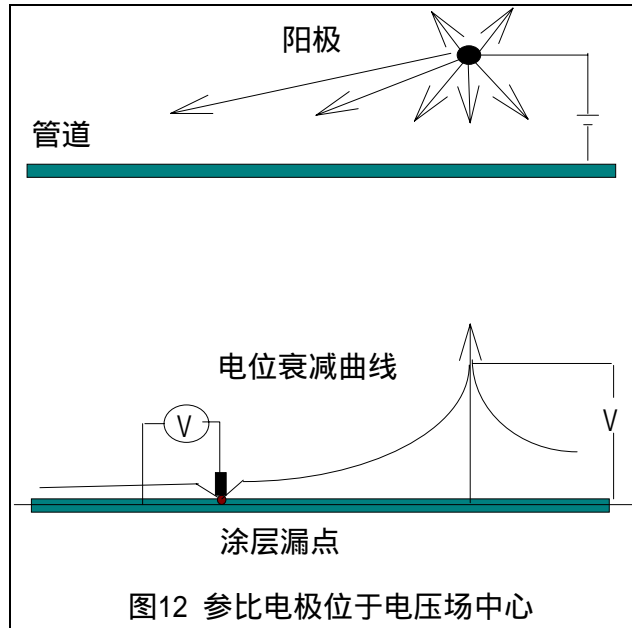
此时,防腐层电阻显著下降,外加电流明显增加.土壤中的 IR 降增大.在地表产生电压场.电压场的梯度与范围受漏点大小,与阳极地床的间距,土壤电阻率等多个因素影响.

(1).如果参比电极位于漏点中心正上方,即在电压场的中心,则没有电流自该点流入管道,所测电位为管道的实际保护电位,不含 IR 降.

(2).如果参比电极位置偏离电压场中心,则所测电位偏负,含有 IR 降,不能反映该处管道防腐层漏点的实际保护状况.

由于管道所处的环境复杂,防腐层漏点大小,分布差异大,使地面电压场复杂.参比电极很难恰好位于漏斗中心处.所以,测量值中可能含有 IR 降.在测试桩处测量管/地电位时,由于不了解测点处管道防腐层的状况,所以,所测电位只能粗略的说明该部分管道阴极保护的大概状况,以及测点附近 0.5 米范围内的漏点是否得到了充分的阴极保护,而不能说明是否管道的所有漏点处都得到了充分保护.

(3).如果所测电位比 -0.85V 正,则此处管道一定没有得到充分保护,而所测电位比-0.85 伏负时,,此处管道防腐层漏点处也不一定就得到了充分的阴极保护.认为阴极保护良好的管道却发生腐蚀穿孔已充分证明了这一观点.因此,正确测量管地电位的关键是将参比电极靠近漏点处.位于阴极电压场中心.只有用直流电位梯度法(DCVG)和近间距管地电位法(CIPS)相结合,或瞬时断电法才能准确的判断管道是否得到了充分的阴极保护.



六. 结论

1. 影响电流分布的因素众多,概括起来如下:

土壤电阻率	防腐层质量	阳极与结构间距
(1). 大 . 改善电流分布	好. 改善电流分布	大. 改善电流分布
(2). 小 . 不利于电流分布	坏. 不利于电流分布	小. 不利于电流分布

2. 阴极保护设计成功与否的关键是阳极的布置,对于区域性阴极保护,这一点更为重要.

黄骅市科普防腐材料有限公司 (廊坊)

河北省廊坊市和平路文体中心

电话(Tel) : 0316-2235133; 13903168421 传真(Fax) : 0316-2232326

Home page: www.Corrstop.com

e-mail: hcfeng@CorrStop.Com



对于防腐层老化的管道,采用柔性阳极,可有效的改善电流分布,减小外加电流,延长管道寿命.

3. 在管地电位测量工作中,要充分认识土壤电阻率,阳极位置,防腐层漏点大小及分布对测量结果的影响. 尽管在测试桩处测到的结果满足保护要求,这并不意味着整条管道都处于有效的阴极保护下,管地电位测量的关键是将参比电极位于防腐层漏点处,而实际上做到这一点是很困难的. 可靠的方法是进行近间距管地电位测量(CIPS)或用直流电压梯度法(DCVG)测量漏点处的实际保护电位.

4. 对于区域性阴极保护,判断结构是否得到了有效的阴极保护,应使参比电极位于被测结构附近,我国阴极保护测量规范中规定的远参比电极法,不能说明结构是否得到了有效的阴极保护.

5. 规范中规定的 -0.85 最小保护电位是指防腐层漏点处,管壁与其相临介质之间的电位差,由于日常测量时,参比电极位于地表,且不一定位于防腐层漏点中心处,所以,最小保护电位(通电电位)应低于该值.

参考文献

- NACE Cathodic Protection--Theory and Data Interpretation Oct.1989.
BS7361 Cathodic Protection: Code of Practice for Land and Marine Applications.1991.

黄骅市科普防腐材料有限公司(廊坊)

河北省廊坊市和平路文体中心

电话(Tel): 0316-2235133; 13903168421 传真(Fax): 0316-2232326

Home page: www.Corrstop.com

e-mail: hcfeng@CorrStop.Com