

# 埋地涂层金属管道电位测量中的 IR降影响及消除

常守文 张莉华

(中国科学院金属腐蚀与防护研究所)

李绍忠

(东北输油管理局)

施加了阴极保护的埋地涂层金属管道能否有效地防止土壤和地下水的腐蚀, 常常靠管道的对地电位来判断。管一地电位是确定并正确评价阴极保护程度的一项重要标准。因此, 深化对IR降影响的认识, 寻求可靠的实用的测量方法, 在工程应用中具有重要的意义, 并越来越引起人们的重视<sup>[1, 2]</sup>, 并建立和发展了许多消除IR降的方法。如有忽略法、外推法、瞬时断电法和远地法<sup>[3, 4]</sup>, 以及Pearson法<sup>[5]</sup>、辅助电极法<sup>[2]</sup>、阶跃电位衰减法<sup>[6]</sup>、探头法<sup>[7, 8]</sup>等等。在其中的一些方法中, 还采用了电子计算机技术。本文用电化学等效电路分析了IR降的产生及其影响, 阐述了在埋地涂层金属管道阴极保护电位的测量中, 消除IR降的瞬时断电法和探头法的原理与局限。在此基础上, 推荐用阴极保护多功能测量探头消除管一地电位测量中IR降。

## 一、IR降对管一地电位测量的影响

当定量的电流通过电阻时, 便在电阻的两端产生电压降, 即称为IR降。对于长距离埋地涂层金属管道而言, 由于涂层中通常存在一定数量的不同面积的小孔。在小孔的表面, 由于石粒和腐蚀产物的遮蔽作用产生了遮蔽电阻, 小孔中的土壤也具有一定的电阻, 以及管道周围的本体土壤电阻。于是, 当宏腐蚀电流、杂散电流或阴极保护电流通过上述那些电阻时, 就会产生一定的IR降。

当埋地涂层金属管道处于阴极保护状态下, 小孔的金属表面有双电层电容改变, 并具有一定的极化电阻。假定涂层中存在一个小孔, 用常规方法测量管一地电位时, 其等效电路如图1所示。由图1可看出, 当阴极保护电流流入或流出管道的杂散电流存在时, 在遮蔽电阻、小孔中的土壤电阻和小孔处涂层表面至参比电极间的本体土壤电阻上产生的IR降, 势必会包含在用常规方法测得的管一地电位中, 由于这些IR降的影响将使人们无法发现可能处于欠保护状态下的某些管段。

当较大的阴极保护电流或杂散电流通过上述那些电阻, 或者阴极保护电流或杂散电流较小, 但那些电阻却较高时, 都将会产生明显的IR降。虽然用常规方法测得的管一地电位已经达到或超过了最小保护电位, 以为管道已处于保护状态, 其实真实的管一地

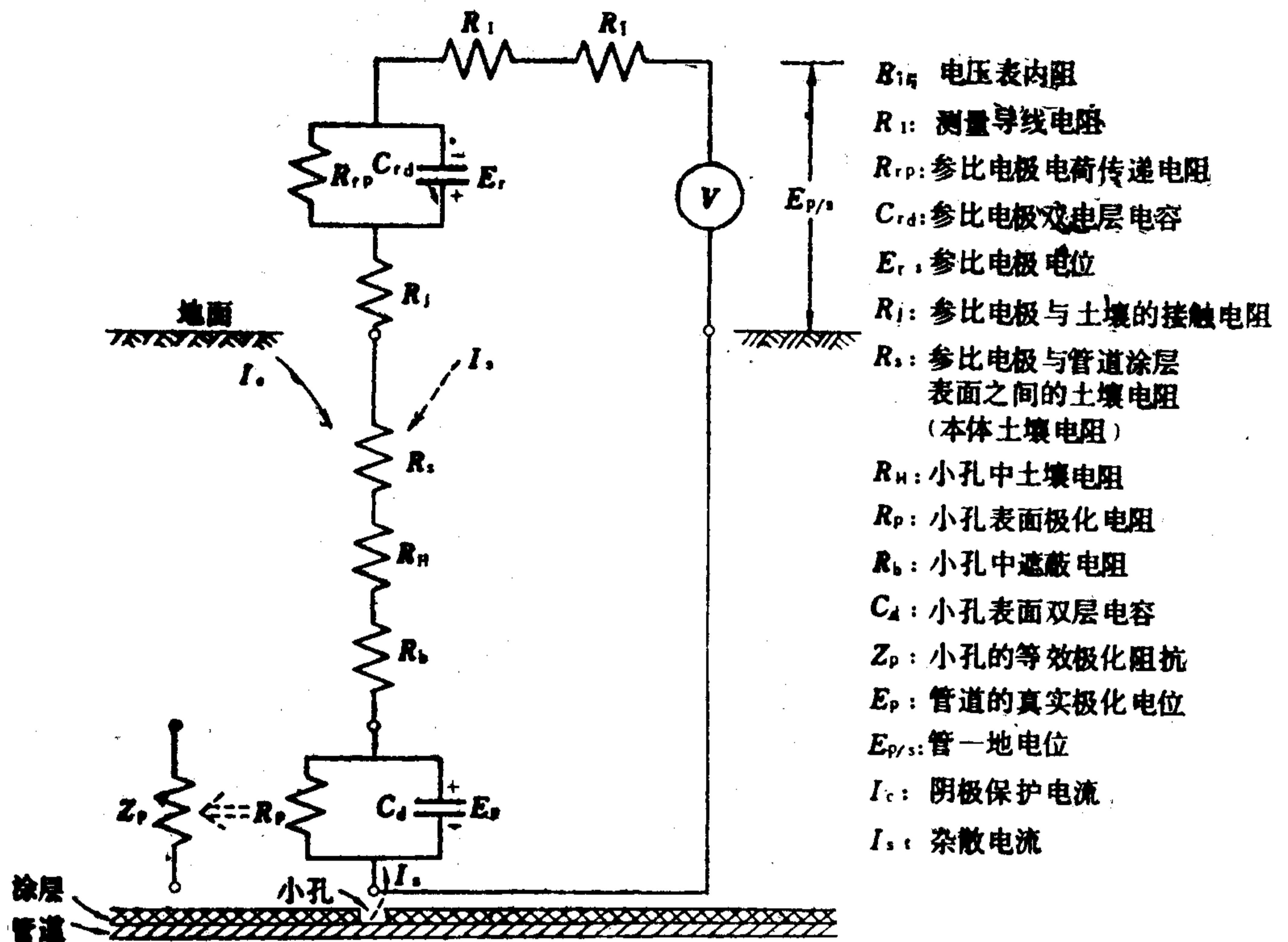


图 1 阴极保护中管一地电位测量时的等效电路

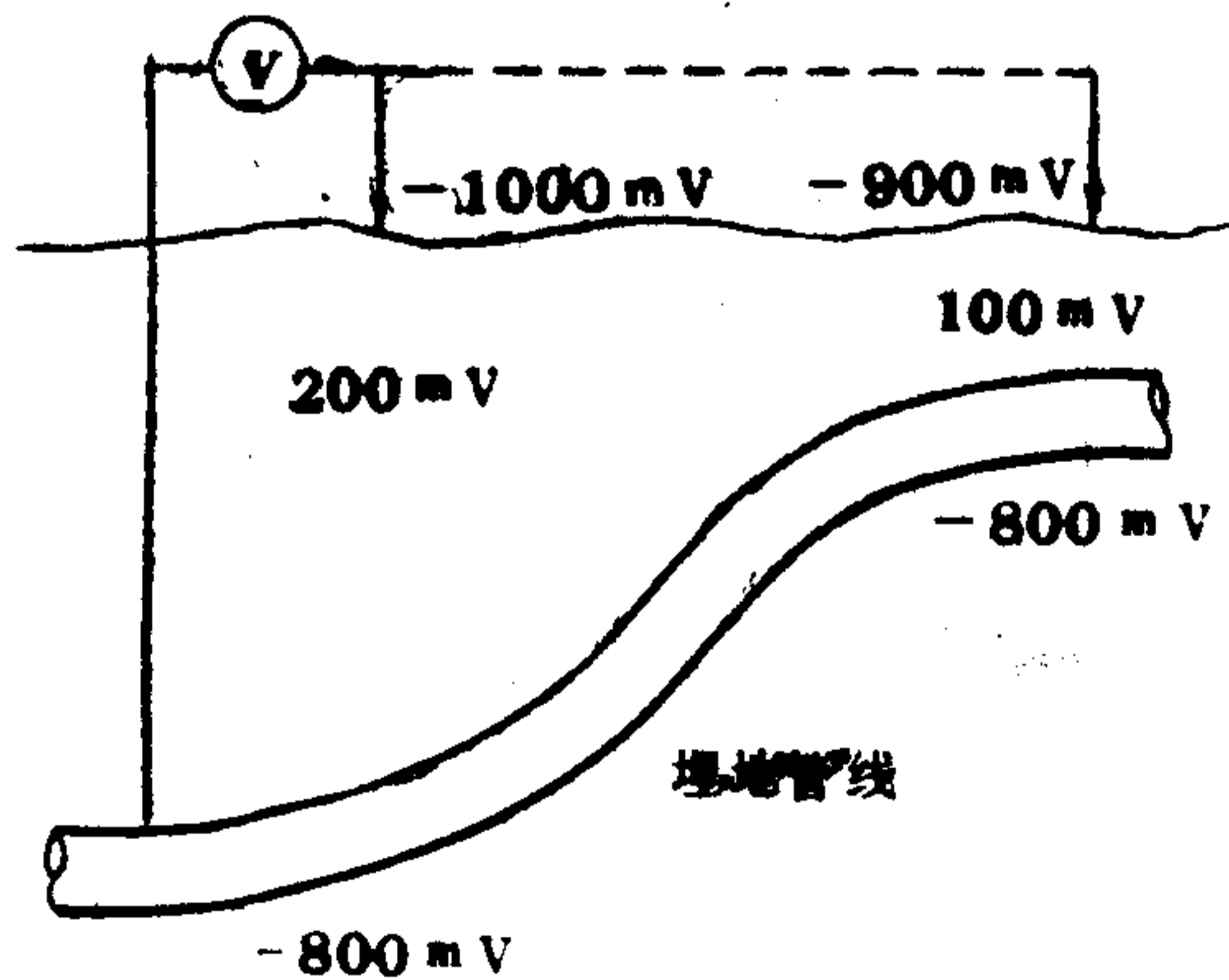


图 2 IR 降对常规方法测得的管一地电位的影响

电位并没有达到最小保护电位，管道表面还会以较明显的速度腐蚀着，有人用图 2 对这种情况给予说明<sup>[3]</sup>。

-0.85V (Cu/CuSO<sub>4</sub>) 电位值是指管道在阴极保护电流作用下的极化电位值，即指真实管一地电位值。而 IR 降与管道的极化电位无关，并不反映管道的保护状况。测得的管一地电位的可靠性是和其中含有的 IR 降的多少密切相关的。只有设法消除管一地电位测量中的 IR 降，才能正确地评价地下管道的阴极保护状况，否则，将影响判断的可靠性。

## 二、消除 IR 降的瞬时断电法和探头法的理论分析

Webster 指出<sup>[1]</sup>，当把参比电极放在管道的地面进行管一地电位测量时，测得的结果将是管道上几十米甚至几百米内涂层缺陷处的管一地电位平均值（如图 3 所示）。在这种情况下所测得的管地一电位中含有一定的 IR 降。

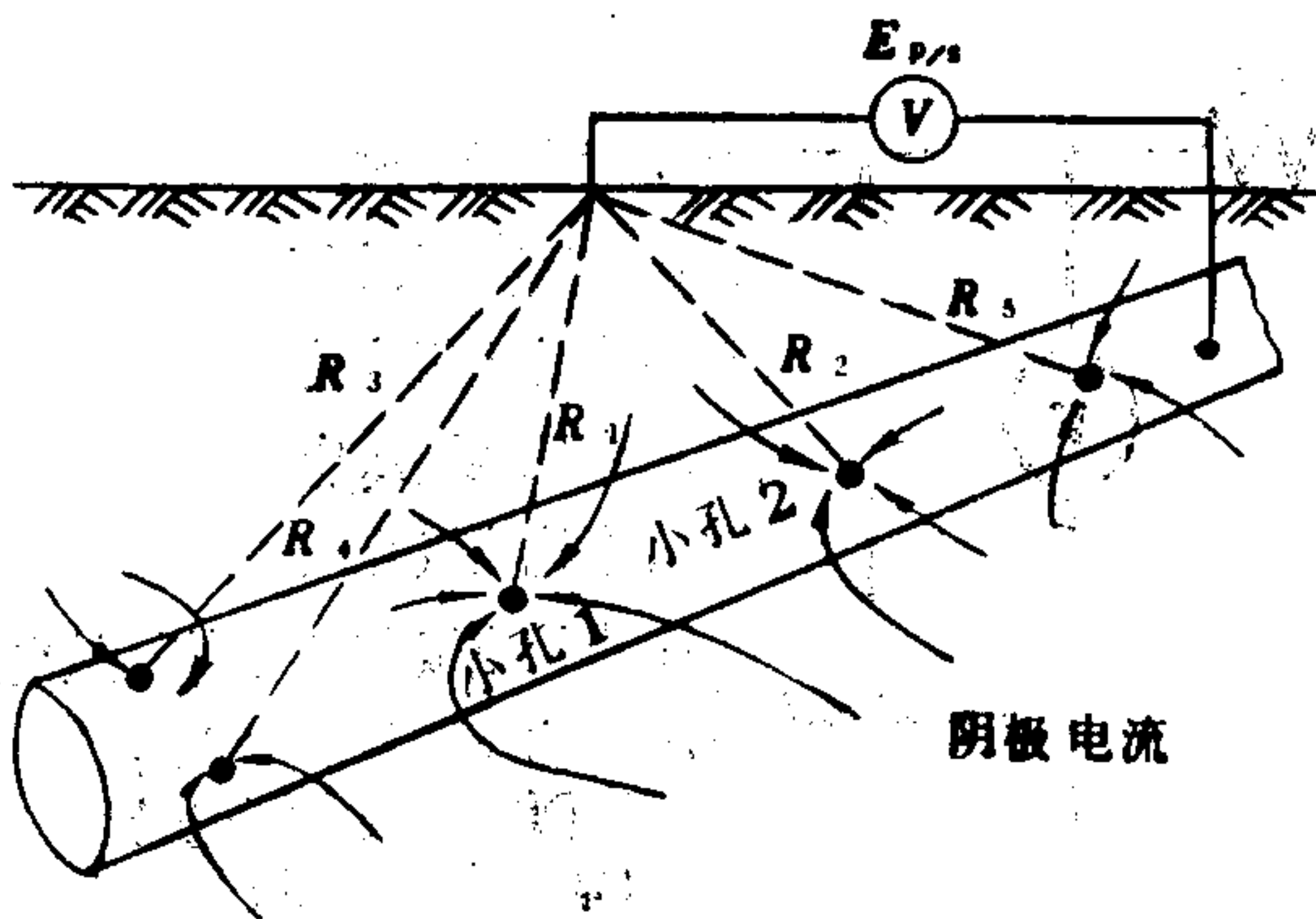


图3 用常规方法测量时小孔的影响

而文献表明，在管道的阴极保护电流断开之后马上就有电流在非电位点之间流动<sup>[3]</sup>，这时用图4表示参比电极与小孔1和小孔2之间的等效电路。

从形式上看， $IR$ 降是电流和电阻的函数，若使 $I=0$ ，则 $IR$ 降应为零；又因为在断开保护电流之后， $IR$ 降可在很短时间内消失，而极化作用的消失过程则慢<sup>[8]</sup>。因此，人们常常用瞬时中断管道的阴极保护电流，记录其电位衰减过程的方法来消除 $IR$ 降；并认为在瞬时断电法中参比电极的位置并不重要。

现假定在参比电极测量范围内，只考虑图3中小孔1和小孔2比较简单的情

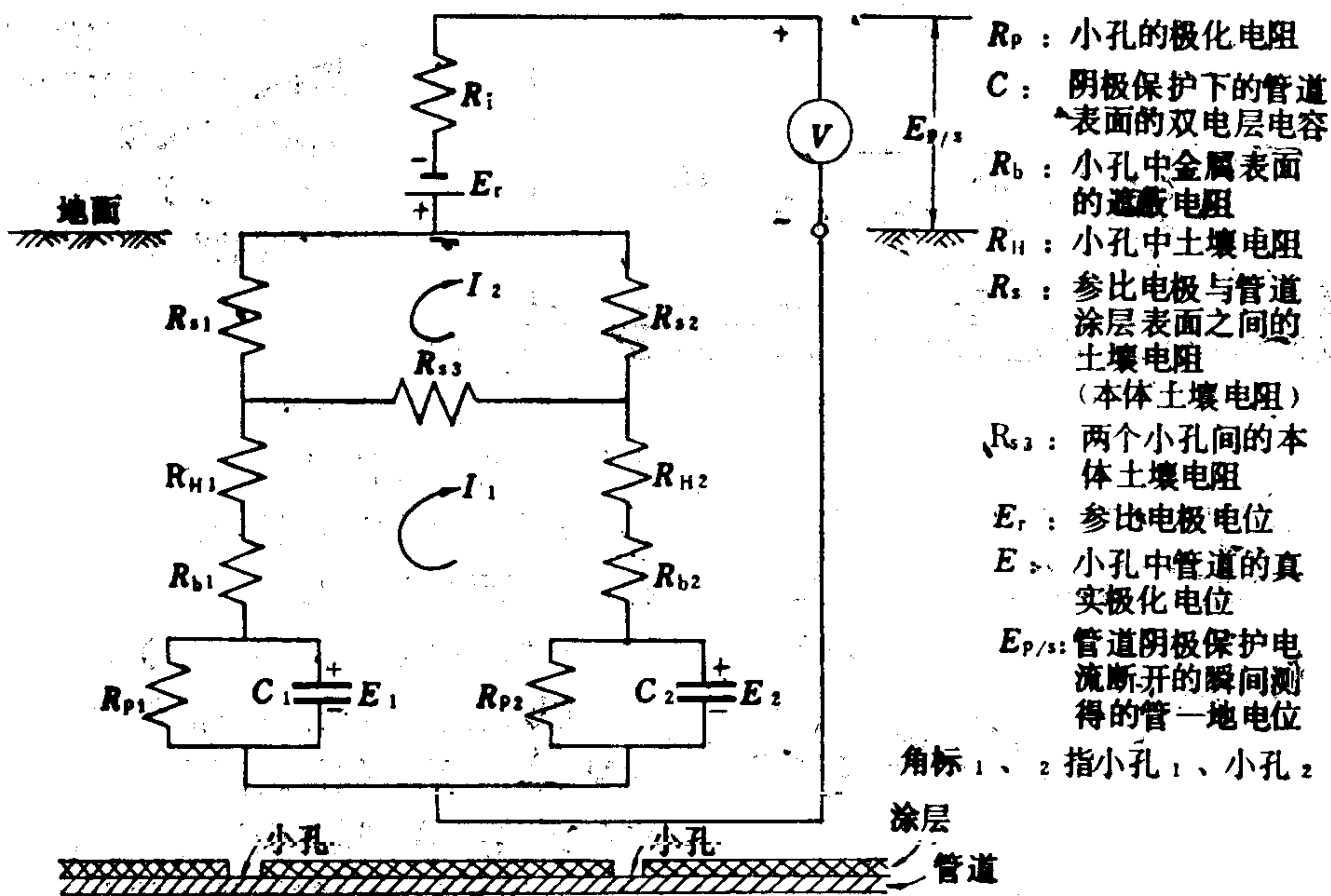


图4 管道阴极保护电流断开的瞬间参比电极与两个小孔间的等效电路

假定测量时所用的是高阻电压表，并且 $E_1 \neq E_2$ ，根据克希霍夫定律：

$$E_1 - E_2 = (R_{b1} + R_{H1} + R_{b2} + R_{H2} + R_{S3}) I_1 - I_2 R_{S3} \quad (1)$$

$$0 = -I_1 R_{S3} + I_2 (R_{S1} + R_{S2} + R_{S3}) \quad (2)$$

于是  $E_{P/S} = I_1 (R_{b1} + R_{H1}) + I_2 R_{S1} + E_1 - E_r \quad (3)$

由式(1)和式(2)有

$$I_1 = (E_1 - E_2) (R_{S1} + R_{S2} + R_{S3}) / R_g \quad (4)$$

$$I_2 = (E_1 - E_2) R_{S3} / R_g \quad (5)$$

其中  $R_g = (R_{b1} + R_{H1} + R_{b2} + R_{H2} + R_{S3}) (R_{S1} + R_{S2} + R_{S3}) - R_{S3}^2$

令 $E_{P/S}' = E_1 - E_r$ ，( $E_{P/S}'$ 为小孔1的真实管-地电位)，将式(4)、式(5)代入

式(3),

$$E_{P/S} = E_{P/S'} + (E_1 - E_2) [R_{S_3} R_{S_1} + (R_{b_2} + R_{H_2}) \cdot (R_{S_3} + R_{S_2} + R_{S_1})] / R_g \quad (6)$$

由式(6)看出,当管道涂层中存在小孔时,即使在参比电极的测量范围内只存在两个小孔的简单情况下,用瞬时断电法仍不能测得真实的管一地电位 $E_{P/S'}$ ,所测得的结果实际上只是瞬时断电时的管道的表观管一地电位。表观管一地电位受到两个小孔的电位差以及小孔的遮蔽电阻,小孔中的土壤电阻、小孔涂层表面至参比电极的本体土壤电阻和小孔间的本体土壤电阻的影响。 $R_{S_1}$ 和 $R_{S_2}$ 反映了参比电极距管道的位置,在采用瞬时断电法测量时,参比电极的位置对测量结果是有影响的。

当参比电极距小孔1足够近,且两个小孔相距足够远时,那么 $R_{S_2} \gg R_{S_1}$ ,又 $R_{S_2} \gg R_{b_1}$ 、 $R_{S_2} \gg R_{H_1}$ ,这时, $R_{S_2} = R_{S_3}$ ;由式(6)看出,由于分母中含 $R_{S_2}$ 的平方项,而分子中只含有 $R_{S_2}$ 的一次项,于是式中右端的后一项趋近于零,亦即 $E_{P/S} \approx E_{P/S'}$ 。

由于管道上的涂层小孔分布是不确定的,虽然可以将参比电极埋置于非常靠近管道的地方,但未必是靠近其某一个孔,而距其它小孔足够远。于是,设想由管道上引出与管道材质相同的试件,并把它与参比电极尽可能靠近地组装在一起,形成所谓的测量探头,便能满足 $R_{S_2} \gg R_{S_1}$ 、 $R_{S_2} \gg R_{b_1}$ 及 $R_{S_2} \gg R_{H_1}$ 的条件;瞬时断开探头中试件的阴极保护电流,测得的试件电位,根据式(6),将非常接近试件的极化电位。虽然这时管道的阴极保护电流并没有断开,探头周围存在一定的电压梯度,但探头中试件与参比电极的距离很近,所产生的IR降还是较小的。由图5看出,探头中的试件与管道相近,实际上是管道的一部分;因此探头中的试件的极化电位比较真实地代表了管道上已经存在的、或将来可能形成的与探头中试件的面积、状态相同的涂层小孔处的管一地电位。

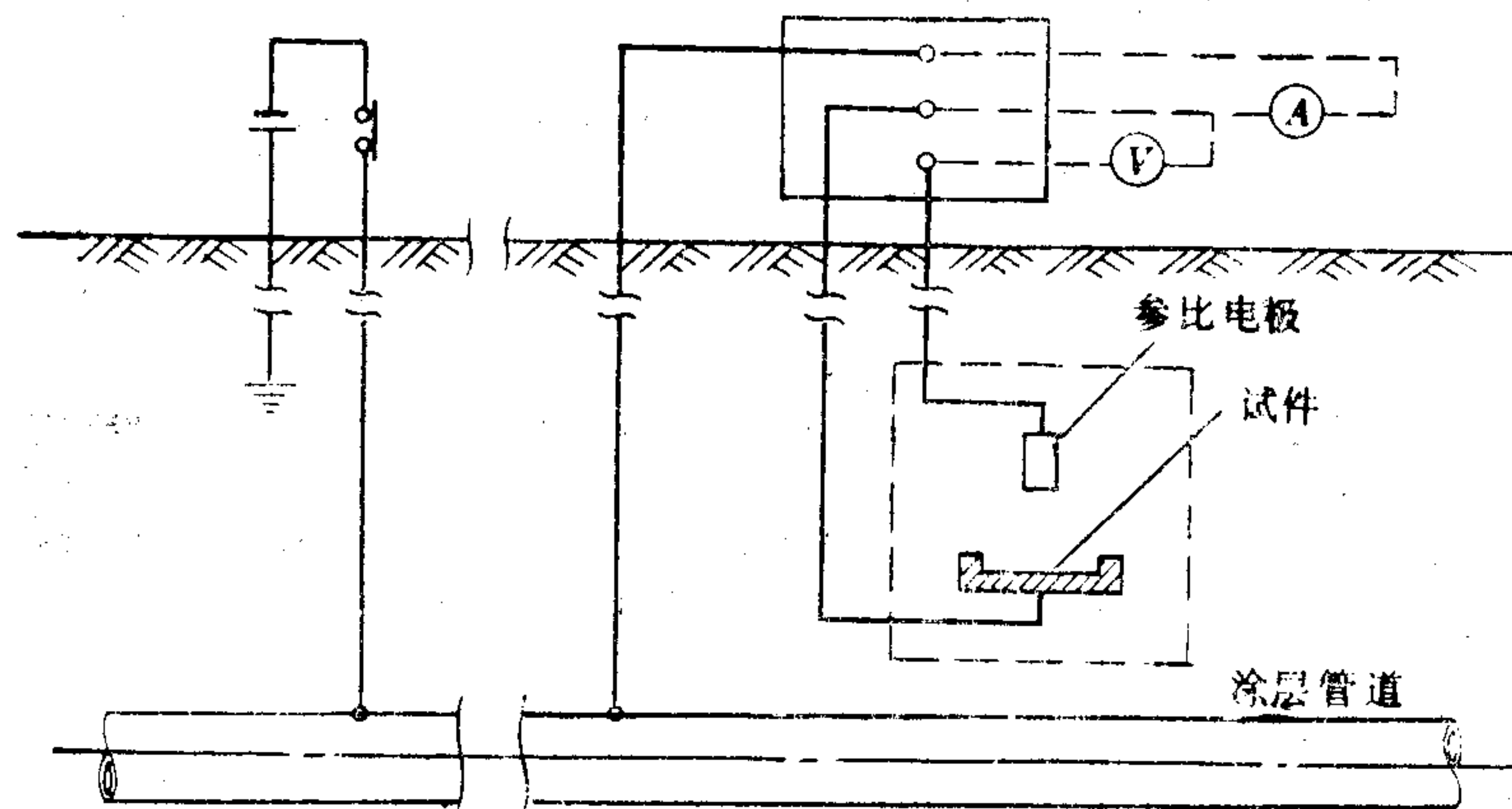


图5 用探头法测量管一地电位示意图

探头法和整个管道的瞬时断电法一样,并不能消除由于杂散电流引起的IR降;但由于探头中的试件与参比电极的距离很近,它们之间的电阻较小,而在整个管道瞬时断电法中,参比电极通常放在管道正上方的地表面,它们之间的电阻要比前者大;因此,用瞬时断电法测得的管一地电位中所含有的IR降会比前者大些。加之,瞬时断电法需要同时中断管道上若干个阴极保护站(在涂层很好的管道上尤其重要),虽然在技术上是可

能的,但毕竟比较复杂,且需要较多的投资;而利用探头法所需的投资较少。

探头法实际上是对辅助电极法的改进,也是对瞬时断电法的改进,它只需中断探头中试件的保护电流,而无需中断整个阴极保护系统的电流,有些国家正在推广使用探头法<sup>[8, 10, 11]</sup>。Polark研制出了阴极保护多功能测量探头,可以测得比较可靠的管一地电位(绝大部分 $IR$ 降被消除)和保护电流密度,以及杂散电流的干扰情况。这种多功能测量探头已在捷克斯洛伐克3 000多公里的地下长输管线上推广使用,每公里可节省200美元的测量费用<sup>[10]</sup>,取得满意的结果。

### 三、结 语

1.用常规方法测得的管一地电位中总含有一定的 $IR$ 降;用这样的数据评价管道的阴极保护状况是不可靠的。

2.等效电路是分析管一地电位测量中 $IR$ 降的产生、影响及消除的有效方法之一。据其分析,在长距离埋地涂层金属管道上应用瞬时断电法不能测得真实的管一地电位,只能测得表观管一地电位。在瞬时断电法中参比电极的位置对测量结果仍有影响。

3.探头法和瞬时断电法一样,并不能消除由杂散电流引起的 $IR$ 降;但相比之下,前者的杂散电流 $IR$ 降要小些。

4.探头法是对瞬时断电法的改进,测量结果具有较高的可靠性,是一种比较可行的消除 $IR$ 降的方法,在埋地涂层金属管道的阴极保护中具有一定的推广价值。

### 参 考 文 献

- [1] Webster, R. D. : Compensating for the  $IR$  drop component in pipe-to-soil potential measurements, *Materials Performance*, Vol. 26, No.10,1987
- [2] 苑绍成: 地下金属管线电位测试中的 $IR$ 降《油气储运》, 1987年1期
- [3] Bushman, J. B. ; Rizzo, F. E. ;  $IR$  drop in cathodic protection measurements, *Materials Performance*, Vol. 17, No. 7, 1978
- [4] Sterk, R. ; Well casing as an electrochemical network in cathodic protection design, *Cathodic protection of oil well casing*, 121 pages, 1984, NACE, Houston, TX. Item 52175
- [5] Pearson, J. M. ; Null methods applied to corrosion measurements, *Trans. Electrochem Soc.* , Vol. 81, 1942
- [6] Barlo, T. J. ; Fessler, R. R. ; Techniques to determine the true pipe-to-soil Potential of buried pipeline, AGA Distribution Conf., American Gas Association Arlington, VA, May 1981
- [7] Polark, J.: The use of multipurpose measuring probes to assess the adequacy of cathodic protection of buried pipelines, *Materials Performance*, Vol.22, No. 8, 1983
- [8] Kasahara, K. ; Sato, T. ; Adachi, H. ; An improved method for measuring pipe-to-soil potential and current density at cathodically protected pipelines, *Materials Performance*, Vol. 18, No. 3, 1979
- [9] Baeckman, W. V. ; Taschenbuch fur den Kathodischen Korrosionsschutz, 1975
- [10] Polark, J. ; Multipurpose measuring probe for electrical survy on buried pipe-lines, 3th Intl. Conf. Internal and External Protection of Pipes, September 1979
- [11] FOCT 9, 015-74

(收稿日期: 1988年8月10日)