

管道防腐层阴极剥离标准试验方法

这个标准以固定编号 G8 发行，紧跟固定编号后面的数字代表初版年份，如果修订，则是最新修订版年份。括号中的数字表示最后批准的年份。上标 (ε) 表示自上次修订或批准的编辑修改。

1 范围

1.1 本标准规定了涂层系统绝缘性能对比的加速试验方法，适用于检测钢管外部与土壤接触的管道是否得到阴极保护，以防止或减少可能发生在地下的腐蚀。本标准可以应用在商业产品中的涂覆管道样品，还可用于涂层以类似于电学屏障作用为特点的样品。

1.2 本标准适用于检验在室温下浸泡在试验溶液中的防腐层：如果试样不能放在试验溶液中，粘结在涂覆管道样品表面的测试单元可以采用测试方法 G95. 如果需要较高的温度，可以采用测试方法 G42. 如果是没有选择的特定的测试方法，可以采用测试方法 G80.

1.3 SI 单元的标准表示成 3 个重要的小数被作为一项标准。括号中的标准仅供参考。

1.4 本标准并不能处理所有的安全问题，如果有的话，请结合实际用途。建立适当的安全卫生管理办法和确定适用前的使用限制是本标准使用者的责任。

2 引用文件

2.1 ASTM 标准：

G12 钢管涂层厚度无损检测方法

G42 高温状态下管道防腐层阴极剥离试验方法

G80 管道涂层特种阴极剥离试验方法

G95 管道涂层阴极剥离试验方法（粘结电解槽法）

3 测试方法概述

3.1 本标准的两种方法中，试样浸入高导电的碱性电解液中，防腐层受到电应力的作用。电应力可通过镁阳极或强制电流装置而获得。在开始测试前，防腐层应钻人为缺陷孔。

3.1.1 在方法 A 中，用镁阳极提供试样与阳极间的电位差，且在试验期间无需电参数监控。

在试验周期结束后，其试验结果用直观检查方法确定。

3.1.2 在方法 B 中，镁阳极或强制电流装置均可使用。但应测量电路中的电流及电位，并在试验周期结束时直观检查试样。

3.1.3 无论使用何种方法，其直观检查都是通过比较试样浸泡区域人为缺陷孔和未浸没区域的新制作的对比孔处防腐层的松脱和剥离程度来实现的。

4 意义和应用

4.1 管道闲置期间可能会遭受腐蚀，管道埋地之后，周围土壤有或多或少的含水量，这就形成了有效的电解质。在运输和施工的过程中损坏管道涂层几乎是不可避免的。正常的土壤电位以及施加的阴极保护电位，都会引起防腐层在漏点处产生剥离，在某些情况下增大漏点的表面尺寸。漏点也可以通过这样的电位形成，然而很明显的是，涂层松动和阴极漏点可能不会引起腐蚀，本试验方法提供了一种使防腐层产生加速剥离的条件，用来测定防腐层的抗阴极剥离性能。

4.2 实验结果可通过直观检查或通过检测试样的电流来得出，通常这两种方法之间没有相关性，但这两种方法都很重要。传统直观检查方法是由观测到的相对粘结能力的差异，来评价防腐层和金属表面的有效黏结强度。受电应力的影响，漏点范围会扩展到试样防腐层与金属表面有效黏结的边缘而停止，与检测结果有关的假设包括：

4.2.1 采用剥离技术，对未浸泡的新制作对比孔处的防腐层进行松脱或剥离，该处的附着力代表测量时最大的附着力或黏结力。而在浸泡区域的检测孔上，使用同样的剥离技术，提供了一种比较防腐层抗剥离性能的方法。

4.2.2 在浸泡区域防腐层的检测孔上，任何相对黏结力较小的区域都是由电应力引起的，而不是由于涂覆工艺所造成的。抗阴极剥离能力是在比较的基础上得出的理想性能。但在这个试验里，剥离本身不一定就是一项不利的指标。由于目前通用的所有绝缘类型的防腐层都在某种程度上发生剥离，因此，这项试验的优点就在于提供了将一种防腐层与另一种防腐层相互比较的手段。黏结强度对某些防腐层的固有特性来说，比其它性能更重要，而两种不同的防腐层即使具有相同的剥离，也不意味着他们丧失了相同的防腐能力。

4.2.3 试验电路中的电流密度值是判断防腐层剥离强度的相对指标。而这种试验的电流密度值通常要比土壤环境中阴极保护所需要的大得多。

5 仪器

5.1 两种方法所用的仪器：

5.1.1 试验槽—用不导电材料制作的非金属槽或内衬为不导电材料的金属槽。槽的尺寸应满

足以下要求：

- 5.1.1.1** 试样应在槽内垂直悬挂，其下端与槽底的距离应不小于 25.4mm (1 英寸)。
 - 5.1.1.2** 试样之间，试样与阳极及槽壁之间的距离应不小于 38.1mm (1.5 英寸)。
 - 5.1.1.3** 按 7.4 的要求，电解液的深度应使试样的测试段能够浸入。
 - 5.1.1.4** 如果按照方法 B 使用电监控，可将参比电极放置在槽内任何位置，它与试样及阳极的距离应不小于 38.1mm (1.5 英寸)。
 - 5.1.2** 镁阳极—由镁合金制成，按照 6.1 给出的，电解质溶液 CuCuSO_4 参考电极的溶解电位为 $-1.45 \sim -1.55\text{V}$ 。阳极的表面积不得小于浸没在电解液中试样的全部面积的三分之一。阳极应由截面最小值为 4107-cmil 的绝缘铜线制成。镁阳极的端头应伸出试验槽盖板。
 - 5.1.3** 连接线—试样线芯标称截面最小值为 4107cmil 的绝缘铜线。试样的附件用锡或铜焊牢，或者将导线拴接到管端上，且均应涂有绝缘材料。线的连接点是由相互焊接或机械卷曲在一起的末端销钉支撑的。
 - 5.1.4** 钻孔工具—钻孔使用要求直径的传统钻头。对于像公称直径为 19.05mm (0.75 英寸) 的小径管试样，可以选用改良的钻头充分打磨尖锐的部分，这样可以有效的防止管壁穿孔。最后用平头钻头来完成。
 - 5.1.5** 测量相对于参比电极的高电阻电压表，具有直流电流，内部电阻不小于 10mV ，量程 $0.01 \sim 5\text{V}$ 。
 - 5.1.6** 铜/硫酸铜饱和电极，直径不宜超过 19.05mm (0.750 英寸)，其相对于标准氢电极的电位， -0.316V 。也可使用饱和甘汞电极，但必须将观测到的度数加上 -0.072V ，以换算成相对于铜/硫酸铜饱和电极的数值。
 - 5.1.7** 厚度仪：与测试方法 G12 中测量涂层厚度的方法一致。
 - 5.1.8** 温度计：测量电解质温度，一般实验室型，分度值 1°C ，浸没深度 76.2mm (3 英寸)。
- 5.2 方法 B 中的附加装置：**
- 5.2.1** 高电阻电压表，直流电流，内阻不小于 10mV ，分辨率 $10\mu\text{V}$ 。
 - 5.2.2** 标准电阻， $1\Omega \pm 0.01\Omega$ ，功率不小于 1W ，可作为并联电路在测试单元中使用。
 - 5.2.3** 伏特欧姆计，用于表面涂层的初步测试。
 - 5.2.4** 金属电极，暂时使用伏特欧姆计确定试样表面初孔的状态。
 - 5.2.5** 附加连接线，线芯最小直径 4107cmil，绝缘铜导线。
 - 5.2.6** 黄铜接线柱，与鳄鱼夹和闸刀开关一起用于接线板，起到开断电路的作用。鳄鱼夹不得用于连接测试单元顶端的电极或试样。
 - 5.2.7** 零阻电流表，能够测出低至 $10\mu\text{A}$ 的电流，可用于 9.3.1 给出的方法中的任何一种，也可代替 5.2.1 和 5.2.2 中提到的仪器。
 - 5.2.8** 直流稳压电源，可提供试样和参比电极之间实测到的 $1.50 \pm 0.01\text{V}$ 的恒定电压。
 - 5.2.9** 辅助阳极，应采用低消耗率的金属阳极，用绝缘铜线连接。

5.2.10 分压器, 100V, 25W 可变电阻, 可用于如图 1 所示的多个试样的检测。

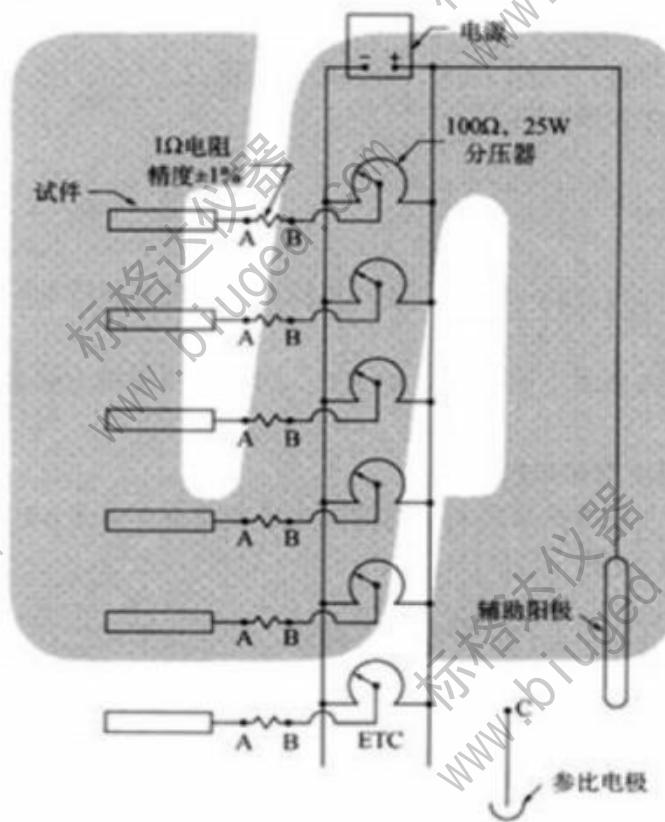


图 1 用强制电流测试多个试件时方法 B 改进装置

6 试剂和材料

6.1 电解液用自来水加入质量分数各为 1% 的工业纯无水氯化钠, 无水硫酸钠, 无水碳酸钠配制而成, 且必须现用现配。

6.2 试样的端头密封材料可采用沥青制品, 石蜡, 环氧树脂或其他材料, 包括模铸的合成橡胶或塑料端帽。

6.3 试验槽盖板可用胶合板或塑料板制作, 盖板上应留有供试样, 阳极等穿过的孔, 穿过试样顶部孔的木质销钉应将试样悬挂在槽盖上。

7 试样

7.1 试样应取可代表工业生产情况的防腐管, 其中一端应封堵或使用端帽加以密封。

7.2 每个试样上应钻一个或三个人为缺陷孔, 推荐采用三个孔, 图 2 给出了试样的推荐尺寸。单孔试样应将孔钻在浸没段的中间, 如果钻三个孔, 孔的方位应各相差 120°, 中孔钻

在浸没段的中间，另外两个孔分别位于距离浸没线和试样底端 $1/4$ 处。每个孔要钻到使锥部完全进入钢管壁，且锥部边缘与钢管外表面齐平。钻头直径应大于防腐层厚度的三倍，且不得小于 6.35mm (0.250 英寸)。管壁不得钻透。在小径管上打孔是很危险的，这是可先用一个标准 60° 的钻头开钻，最后用平头钻头来完成。

注意：在打孔之前请看 8.1。

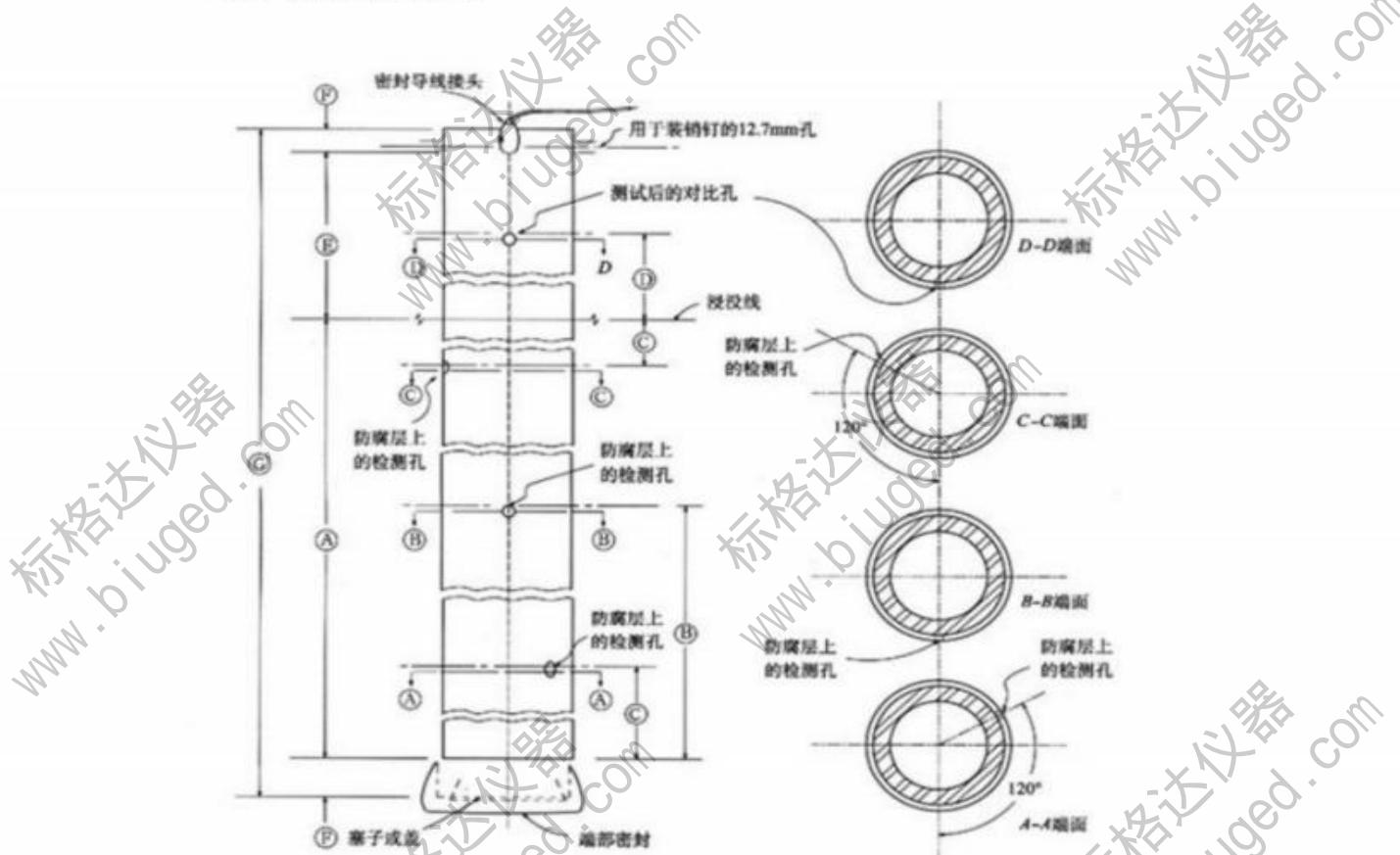


图 2 试样的推荐尺寸

尺寸	mm	in
	490.22 ± 12.7	(19.300 ± 0.500)
B	245.11 ± 12.7	(9.650 ± 0.500)
C	120.65 ± 6.35	(4.750 ± 0.250)
D	114.3 ± 6.35	(4.500 ± 0.250)
E	$233.363, \text{min}$	$(9.1875, \text{min})$
F	$19.05, \text{min}$	$(0.750, \text{min})$
G	$762, \text{min}$	$(30, \text{min})$

7.3 伸出试验槽盖板的管端可用穿过上端孔的销钉支撑，并连有单独的导线供电测用。所有连接点应采用锡焊，铜焊或螺栓牢固连接，突出段，包括挂钩和连接线均应用绝缘防腐材料保护和密封。

7.4 从试样端部密封边缘到浸没线之间的面积为测试面积，端部密封区域不应视作测试面积。试样可选用适当直径和长度的防腐管，但浸没面积不应小于 23227mm^2 (36in^2)，以 92900mm^2 的面积最为适宜。

8 试样准备

8.1 在制作人为缺陷孔之前，应按下列做法检验防腐层的连续性和端盖密封的有效性：

8.1.1 把试样与金属电极浸没与电解液中，将万用表的一端与试样连接，另一端接到金属电极上，测出试样的表观电阻，然后将万用表的接头对调再测一次，并记录测试结果。

8.1.2 将试样与万用表断开，浸没 15min，然后按照 8.1.1 的要求再次测量试样的表观电阻。

8.1.3 若试样 15min 后的表观电阻明显减小，则表明防腐层或端部密封有漏点。如果漏点在防腐层上，则试样应报废；如果漏点在端部密封处，则应修补。修补完毕再按 8.1.1 和 8.1.2 的要求重新测试。

8.1.4 浸没 15min 后的最低电阻值应不小于 $1000\text{M}\Omega$ ，但是，如果表观电阻在浸没 15min 前后的测试中均保持小于 $1000\text{M}\Omega$ 的稳定值，则可以认为防腐层不存在裂缝或缺陷，试样仍可使用。试验报告中应列出所有的电阻测试值。

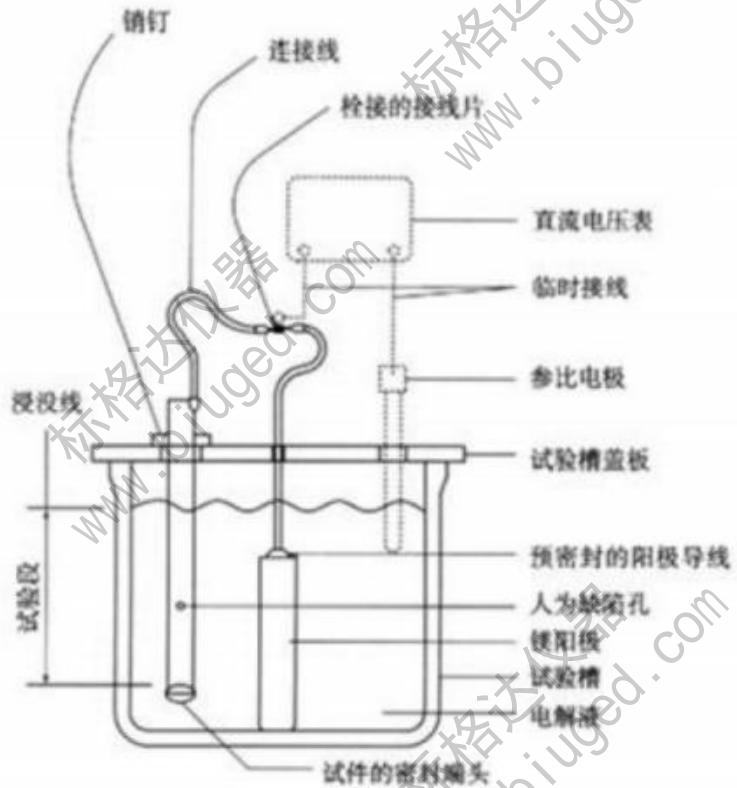
8.2 记录人为缺陷孔的原始直径。

8.3 按测试方法 G12 的规定测量并记录防腐层厚度的平均值，最小值和最大值以及每个人为缺陷孔处的防腐层厚度。

9 方法 A 的步骤

9.1 按图 3 所示将试样与阳极浸入电解液中并连接起来，中间缺陷孔或单个缺陷孔应背向阳极，按照 5.1.1 中的步骤进行。在试验槽上用油性笔标明浸没线的位置，每天加水保持液位。电解液的温度应保持在 $21^\circ\text{C} \sim 25^\circ\text{C}$ 之间 ($70 \sim 77^\circ\text{F}$)。

9.1.1 在试验开始和结束前，应测量试样和参比电极之间的电位。测试时采用图 3 所示的临时接线，其电位应在 $-1.45 \sim -1.55\text{V}$ (铜/硫酸铜参比电极) 之间。使用 5.1.5 中给出的仪器。



注 1：测试之后，未浸没区域的检测孔没有显示（见图 2）

图 3 用镁阳极时方法 A 的测试装置

9.2 试验周期应为 30d，也可为 60d 或 90d。

9.3 当试验周期结束时，应立即做以下测试：

9.3.1 取出试样并用温水轻轻地冲洗浸没区，直观检查试样在浸没区是否出现新的漏点以及所有漏点边缘防腐层的松脱情况，记录防腐层的状况，如颜色，气泡，裂纹，附着物等。

9.3.2 按照 7.2 中描述的钻孔方法，在未浸没的防腐层上钻一个新的对比孔。

9.3.3 以对比孔和人为缺陷孔为原点，在孔周围的防腐层上用锋利的小刀做一个径向 45° 的横向切口，要注意确保防腐层被完全切透到钢管表面。

9.3.4 用刀尖尝试着挑起对比孔和人为缺陷孔处的防腐层，以对比孔处防腐层的黏结程度为参考，将那些比对比孔更易挑起或剥离的防腐层面积定为剥离面积。

注 2：将半透明坐标纸罩在大约 2.54mm 的小区域上，画出挑起区域的轮廓，用计算坐标纸上方格数的方法得出人为缺陷孔的挑起面积。

10 方法 B 的步骤

10.1 除了按照第 9 点中给出的步骤，还应按照 10.2 中给出的试验过程监测电流；

10.1.1 如果采用镁阳极，按图 4 进行接线。如果采用强制电流，对单个试样按图 5 进行接线，对多个试样按图 1 进行接线。

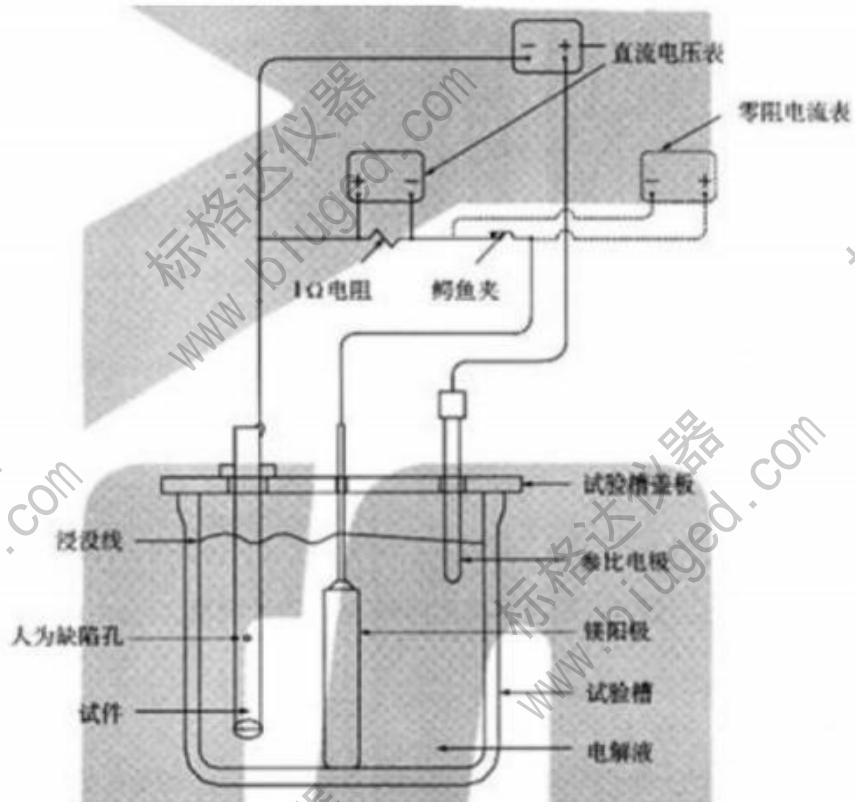


图 4 用镁阳极时方法 B 的测试装置

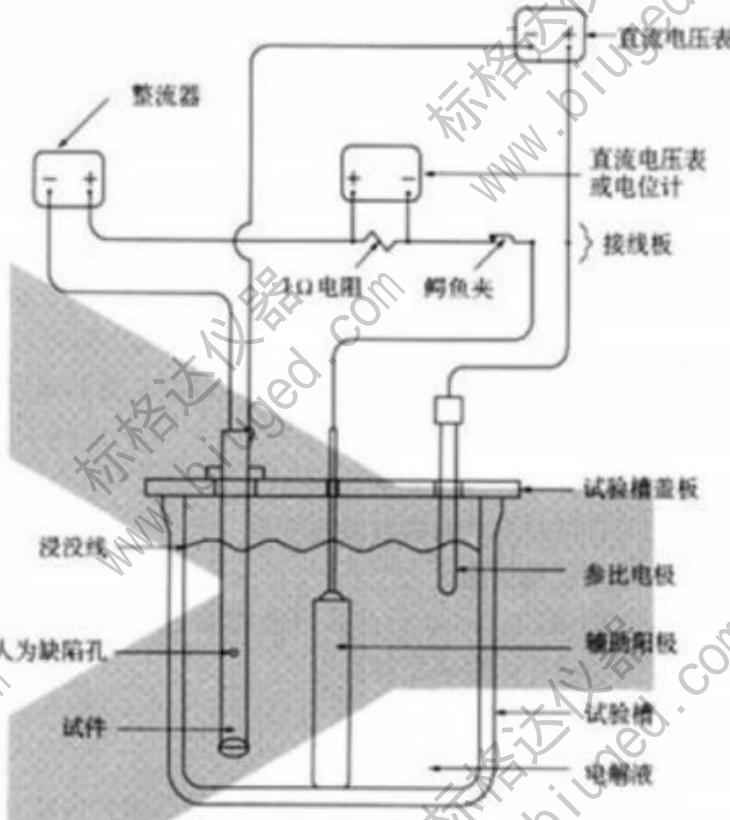


图 5 用强制电流法测试单个试样时方法 B 的测试装置

10.1.2 不断开阳极和试样，用万用表测量试样和参比电极间的电位 E_2 。如果暂时只使用浸没的铜/硫酸铜电极，采用 5.1.5 中所描述的仪器。

10.1.3 用 5.2.1 中所描述的万用表，采用确定测试单元上 1Ω 恒定电阻的压降的方法来测量 I_1 ，电压读数就相当于电流读数。

注 3：还可用 5.2.4 中所描述的仪器采用另一种方法测量电流，即暂时断开试样和阳极之间的连线，将零阻电流表插入试样和阳极之间。测量完成后立即将试样再次连接到阳极。

10.1.4 用伏特表测量极化电位 E_1 。将试样和参比电极按照 5.1.5 所述用万用表连接起来：

10.1.4.1 断开阳极和试样的连线，严密注视电压表，随着电压表指针的下降，它在极化值处将有明显的下降，这一停顿点的电压值就是 E_1 。如果采用铜/硫酸铜电极也只是暂时的。

10.2 电流检测步骤：

10.2.1 试验开始的测量值应取浸泡后第二天和第三天测量结果的平均值。浸泡当天的测量值不应用于计算。

10.2.2 在测试开始时和预定日期 30 天后进行电流检测，检测可能会持续 60-90 天。

10.2.3 试验期间和结束时均应进行电测量，测量值应取规定日期当天和前一天测量结果的平均值。

10.2.4 直流稳压电源的供电不得中断，若有中断，应在试验报告中注明。

11 试验报告（见表 6 和表 7）：

11.1 方法 A 的试验报告应包含以下信息：

11.1.1 试样的完整鉴别资料包括：

11.1.1.1 防腐层的名称和防腐等级，

11.1.1.2 钢管的尺寸和壁厚，

11.1.1.3 防腐管的来源，生产日期及批号，

11.1.1.4 防腐层厚度的最大值，最小值和平均值以及人为缺陷孔的厚度，

11.1.1.5 浸没面积，

11.1.1.6 初始缺陷孔的尺寸及数量，

11.1.1.7 8.1 中所要求的防腐层连续性和端部密封有效性的电阻测量值。

11.1.2 试验开始的日期。

11.1.3 每个试样上防腐层的剥离面积 (mm^2) 及其当量圆直径 (mm)。若试样为多个人为缺陷孔，则用平均值表示。

注 4：当量圆直径的计算公式：

$$\text{ECD} = (\text{A}/0.785)^{1/2}$$

注：A-人为缺陷孔的面积， mm^2 (in^2)

11.1.4 其他相关信息。

11.2 方法 B 的试验报告应包含以下内容：

11.2.1 方法 A 试验报告中的全部数据。

11.2.2 8.1.4 中所述的在开人为缺陷孔之前测量的相关电阻。

11.2.3 试验初始，中期以及末期的电测量值。测量值如下：

11.2.3.1 以 μA 为单位的电流值及以 A 为单位的负对数值。

11.2.3.2 电位 E_2 和 E_1 的差值 ΔE 。

11.2.3.3 从试验开始到结束时 11.2.3.1 和 11.2.3.2 中的变化值，如果有多个缺陷孔，那么就是 11.2.3.1 中变化值的平均值。

11.2.4 直流稳压电源的中断时间。

12 精度与偏差

12.1 精度的数据应取自管表面与处理和涂敷工艺均相同的、防腐层材料均匀一致的同一根管子上相邻的两个试样。当试样取自制作条件不相似或者长度不同的管子时可能代表不同的工艺条件。以下数据用于判断结果的合理性：(这些精确的数据近似于极限数据，但他们为

判断结果的意义提供了有效的依据。)

12.2 方法 A:

12.2.1 重复性-由同一名实验员所得到的当量圆直径相差应不大于 12.7mm, ECD 的值由下列公式计算:

$$ECD = (A/0.785)^{1/2}$$

注: A=一个人为缺陷孔的剥离面积, mm²。

12.2.2 再现性-两个实验室所得出的当量圆直径相差应不大于 25mm, ECD 值由 12.2.1 给出的公式计算。

12.3 方法 B:

12.3.1 重复性-由同一名实验员得到的电流 (安培) 负对数值相差应不大于 1。

12.3.1.1 由同一名实验员所得到的结果相差应不大于 12.7mm, ECD 值由 12.2.1 所描述的计算。

12.3.2 再现性-两个实验室所得出的电流 (安培) 负对数值相差应不大于 1。

12.3.2.1 两个实验室所得出的结果相差不应超过 25mm, ECD 值由 12.2.1 所描述的公式计算。

13 关键词

13.1 外围粘结; 阴极剥离; 管道涂层。

管道涂层阴极剥离试验方法 A 和方法 B 的数据表, 第一部分

1. 试样编号: _____ 数据表编号: _____ 日期: _____

2. 管道:

外径: _____ mm 壁厚: _____ mm 长度: _____ mm

制造商: _____ 材质: _____

3. 防腐层:

名称和编号: _____

供应商: _____

涂敷方法: _____

涂敷商: _____

防腐层厚度: 最大值: _____ mm 最小值: _____ mm 均值: _____ mm

人为缺陷孔: 顶部: _____ mm 中部: _____ mm 底部: _____ mm

4. 实验记录:

开始日期: _____ 结束日期: _____ 试验面积: _____ mm²

	顶部	中部	底部	平均值
缺陷孔初始直径, mm				
最后挑起面积, mm ²				
(-) 缺陷孔初始面积, mm ²				
(-) 净的剥离面积 mm ²				
当量圆直径, mm				

5. 初始检验:

编辑修订:

组	当量圆直径最大值		自然孔	试验开始前涂层连续性检验				
	mm	in		试验	极性	电阻值, MΩ		
						开始时	15min 后	
A	12.7	0.50	无	开始	正			
B	25.4	1.00	无		负			
C	38.1	1.50	无		正			
D	50.8	2.00	无		负			
E	50.8 以上	2.00 以上	任意					

6. 直流稳压电源:

如果直流稳压电源中断, 注明时间 (min, h): _____

管道防腐层阴极剥离试验方法 B 的数据表，第二部分

电流监测，方法 B

起始电阻+_____ -