



中华人民共和国国家标准

GB/T 39637—2020

金属和合金的腐蚀 土壤环境腐蚀性分类

Corrosion of metals and alloys—Classification of soil corrosivity

2020-12-14 发布

2021-07-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中国钢铁工业协会提出。

本标准由全国钢标准化技术委员会(SAC/TC 183)归口。

本标准起草单位:北京科技大学、冶金工业信息标准研究院、大庆油田工程有限公司、国网陕西省电力公司电力科学研究院。

本标准主要起草人:李晓刚、侯捷、杜翠薇、李倩、刘智勇、孙梦寒、张达威、何树全、丁德。



引 言

材料的土壤环境腐蚀情况十分复杂,影响因素众多。对土壤环境腐蚀性进行科学的分类,有助于工程项目的选材、设计、维护以及失效预防,对国家经济与国防建设、科技进步及社会的可持续发展具有重要的意义。我国在土壤腐蚀性等级分类方面开展了大量的科研工作,取得了一些成果。但长期以来主要采用简单指标的方法(如电导率法、多指标法等),单一考虑各指标的作用,基本忽略了土壤各个要素之间相互作用,与国际先进方法脱节严重。因此,这类方法具有重大局限性,常常会出现误判。

通过对金属和合金在土壤环境中腐蚀行为机理的深入研究并建立科学的土壤腐蚀测试与评价体系,本分类及评估方法主要涵盖了基于碳钢、锌、铜、铝标准试样第 1 年腐蚀速率或土壤环境理化性质(土壤电阻率、氧化还原电位、自然腐蚀电位、土壤 pH 值、土壤质地、土壤含水率、土壤含盐量、土壤 Cl^- 含量)的两种土壤腐蚀性分类方法。通过本方法对土壤环境中的腐蚀性分类进行快速、可靠的分析与评估,进而指导抗腐蚀性工程项目的选择、设计、维护、失效预防等过程。



金属和合金的腐蚀 土壤环境腐蚀性分类

1 范围

本标准规定了土壤环境腐蚀性的分类、基于金属标准试样腐蚀速率的土壤环境腐蚀性分类及基于土壤环境数据的腐蚀性评估。

本标准适用于对一般土壤环境腐蚀性的分类和评估。本标准不适用于对特殊土壤环境腐蚀性的分类和评估，如存在明显的交直流干扰的土壤环境、存在明显区域不均匀性土壤环境和其他化学物质污染的局部土壤环境。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 10123—2001 金属和合金的腐蚀 基本术语和定义

3 术语和定义

GB/T 10123—2001 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

土壤腐蚀性 **corrosivity of the soil**

土壤及其组成物质导致金属和合金腐蚀性的能力。

3.2

土壤电阻率 **soil resistivity**

单位长度上土壤的电阻平均值，是表征土壤导电性能的指标。

注：单位是欧姆米($\Omega \cdot m$)。

3.3

氧化还原电位 **oxidation-reduction potential**

惰性电极置于氧化剂或还原剂的溶液中，在它的氧化态与还原态之间建立平衡时的电位。

注：土壤中的氧化态物质和还原态物质在氧化还原电极（常为铂电极）上达到平衡时的电极电位。

3.4

土壤腐蚀性分类 **category of corrosivity of soil**

与 1 年腐蚀效果有关的土壤腐蚀性评定标准。

4 土壤环境腐蚀性分类

4.1 土壤环境腐蚀性分为 5 大类，等级分为 5 级，见表 1。等级分类应按第 5 章的要求进行腐蚀性测定，不能测定时应按第 6 章的要求进行腐蚀性评估。腐蚀性评估方法是常规方法，具有一定的不确定性和局限性。

4.2 通过第 1 年腐蚀失重确定的腐蚀性分类反映了埋设当年具体的土壤环境状况。

4.3 通过当地土壤和典型土壤环境进行的资料性评估所得到的腐蚀性分类,可能导致偏差。当实验数据不可用时,使用本方法。

表 1 土壤腐蚀性分级

等级	腐蚀性
1	弱
2	较弱
3	中
4	强
5	极强

5 基于金属标准试样腐蚀速率的腐蚀性分类

5.1 一般规定

用金属标准试样埋片获取腐蚀速率,根据第 1 年的腐蚀速率来进行土壤环境腐蚀性的分类。本章宜在腐蚀防护系统设计之前进行。

5.2 基于金属标准试样腐蚀速率的土壤环境腐蚀性分类

金属标准试样为板状试样,具体的试样要求与操作规程参见附录 A。其对应的测试数据和评价分类见表 2。

表 2 金属标准试样埋片第 1 年的腐蚀速率分类

等级	金属和合金的腐蚀速率 r_{corr}							
	碳钢		锌		铜		铝	
	平均腐蚀速率 ^a / [g/(m ² ·a)]	最大腐蚀速率 ^b /(μm/a)	平均腐蚀速率 ^a / [g/(m ² ·a)]	最大腐蚀速率 ^b /(μm/a)	平均腐蚀速率 ^a / [g/(m ² ·a)]	最大腐蚀速率 ^b /(μm/a)	平均腐蚀速率 ^a / [g/(m ² ·a)]	最大腐蚀速率 ^b /(μm/a)
1(弱)	<100	<100	<200	<100	<5	<8	<20	<60
2(较弱)	≥100~300	≥100~300	≥200~400	≥100~300	≥5~10	≥8~15	≥20~50	≥60~200
3(中)	≥300~500	≥300~600	≥400~800	≥300~600	≥10~20	≥15~25	≥50~150	≥200~300
4(强)	≥500~700	≥600~900	≥800~1500	≥600~1000	≥20~28	≥25~30	≥150~300	≥300~500
5(极强)	≥700	≥900	≥1500	≥1000	≥28	≥30	≥300	≥500
注 1: 分类标准是根据用于腐蚀性测试的标准试样腐蚀速率确定的。								
注 2: 平均腐蚀速率和最大腐蚀速率分别满足不同等级分类,可按最高等级处理。								
^a 标准试样埋设第 1 年失重法计算的平均腐蚀速率。								
^b 最大腐蚀速率是指平行标准试样的最大蚀坑深度除以 1 年计算而得。								

6 基于土壤环境数据的腐蚀性评估

6.1 腐蚀性评估的一般要求

如果不能根据标准试样埋设来测定腐蚀性分类,则可根据环境数据的调查进行土壤环境腐蚀性评估。在进行腐蚀防护系统设计之前、发现腐蚀防护系统失效或开展埋地金属或合金结构全面检验时,都应进行腐蚀环境调查。本章适用于碳钢及低合金钢,锌可做参考,不适用于铜和铝。

6.2 基于土壤环境数据的土壤腐蚀性评估

土壤腐蚀性评估应基于土壤环境理化性质的调研,应包括土壤电阻率、氧化还原电位、自然腐蚀电位、土壤 pH 值、土壤质地、土壤含水率、土壤含盐量、土壤 Cl⁻ 含量 8 个参数的测试,测试数据宜视不同季节分别给出,测试方法参见附录 B。土壤腐蚀性根据表 3 中的 8 个参数进行评分并加和,根据表 4 进行评级分类。

表 3 土壤腐蚀性单项检测指标评价分数

序号	检测项目	指标 $F_i(i=1,2,3,\cdots,8)$	评价分数 $N_i(i=1,2,3,\cdots,8)$
1	土壤电阻率 $\Omega \cdot \text{m}$	$F1 \leq 5$	$N1 = 6.5$
		$5 < F1 \leq 20$	$N1 = 4.5$
		$20 < F1 \leq 50$	$N1 = 3$
		$F1 > 50$	$N1 = 0$
2	氧化还原电位(vs.SHE) mV	$F2 \leq 100$	$N2 = 3.5$
		$100 < F2 \leq 200$	$N2 = 2.5$
		$200 < F2 \leq 400$	$N2 = 1$
		$F2 > 400$	$N2 = 0$
3	自然腐蚀电位(vs.CSE) mV	$F3 \leq -550$	$N3 = 5$
		$-550 < F3 \leq -450$	$N3 = 3$
		$-450 < F3 \leq -300$	$N3 = 1$
		$F3 > -300$	$N3 = 0$
4	pH	$F4 < 4.5$	$N4 = 6.5$
		$4.5 < F4 \leq 5.5$ 或 $F4 > 10.0$	$N4 = 4$
		$5.5 < F4 \leq 7.0$	$N4 = 2$
		$7.0 < F4 \leq 8.5$	$N4 = 1$
		$8.5 < F4 \leq 10.0$	$N4 = 0$
5	土壤质地	砂土 $F5$	$N5 = 2.5$
		轻壤土、中壤土、重壤土 $F5$	$N5 = 1.5$
		轻粘土、粘土 $F5$	$N5 = 0$

表 3 (续)

序号	检测项目	指标 $F_i(i=1,2,3,\cdots,8)$	评价分数 $N_i(i=1,2,3,\cdots,8)$
6	土壤含水量 %	$12<F6\leqslant 25$	$N6=5.5$
		$25<F6\leqslant 30$ 或 $10<F6\leqslant 12$	$N6=3.5$
		$30<F6\leqslant 40$ 或 $7<F6\leqslant 10$	$N6=1.5$
		$F6>40$ 或 $F6\leqslant 7$	$N6=0$
7	土壤含盐量 %	$F7>2.5$	$N7=5$
		$0.75<F7\leqslant 2.5$	$N7=3$
		$0.15<F7\leqslant 0.75$	$N7=2$
		$0.05<F7\leqslant 0.15$	$N7=1$
		$F7\leqslant 0.05$	$N7=0$
8	Cl^- %	$F8\geqslant 1.0$	$N8=3$
		$0.05<F8\leqslant 1.0$	$N8=1.5$
		$0.01<F8\leqslant 0.05$	$N8=1$
		$0.005<F8\leqslant 0.01$	$N8=0.5$
		$F8\leqslant 0.005$	$N8=0$
注：本表中的“%”含量均指质量分数。			

表 4 基于土壤环境数据的土壤腐蚀性评价分类

N 值	土壤腐蚀性等级
$N > 30$	5
$19 < N \leq 30$	4
$11 < N \leq 19$	3
$5 < N \leq 11$	2
$0 \leq N \leq 5$	1
N 等于表 3 中的 $(N_1 + N_2 + N_3 + N_4 + N_5 + N_6 + N_7 + N_8)$ 之和。	

附录 A
(资料性附录)
标准试样埋片法操作规程

警示——使用本标准的人员应有正规实验室的实践经验。本标准并未指出所有可能的安全问题。使用者有责任采取适当的安全和健康措施,并保证符合国家有关法规规定的条件。

A.1 标准试样制备

A.1.1 材料

A.1.1.1 标准试样由新材料制成。其中碳钢(Q235)的成分见表 A.1。锌、铜和铝的纯度分别不低于 99.9%、99.9%和 99.2%(质量分数)。

表 A.1 碳钢(Q235)的化学成分

化学成分	C	Si	Mn	P	S
质量分数	≤0.22%	≤0.35%	≤1.40%	≤0.045%	≤0.050%

A.1.1.2 同种材料的标准试样,其规格、成分、制造工艺及表面状况相同,宜由同一批生产的材料制成。

A.1.2 标准试样的形状和大小

A.1.2.1 标准试样为板状试样,尺寸为 80 mm×50 mm×5 mm(长×宽×厚)。

A.1.2.2 标准试样尺寸允许有一定的加工误差,其值不做具体规定。

A.1.3 标准试样的数量

每种材料的标准试样不少于 4 个。其中 3 个平行标准试样用于测试腐蚀失重及最大蚀坑深度,另 1 个存档备用。

A.1.4 标准试样的处理

A.1.4.1 概述

标准试样统一集中制备。标准试样在制备过程中,尽可能避免对标准试样造成机械应力及表面损伤。

A.1.4.2 不同材料标准试样(已制备好的)表面处理方法

A.1.4.2.1 碳钢的表面处理步骤如下:

- a) 用机械方法(喷砂、金属刷或砂轮)或化学方法(10%盐酸加缓蚀剂)以及电化学方法除去标准试样表面锈层及氧化皮,呈现金属光泽;
- b) 边缘锋锐棱角或毛刺用锉锉平;
- c) 编号和钢印打在标准试样的一端,并用沥青或环氧树脂封边,以免试验后编号被腐蚀掉;
- d) 用干净的棉纱蘸乙醇擦去标准试样上的尘土污垢,用水冲洗,擦干后放入烘箱内 105℃下恒温 4 h;取出晾至室温,待称重;
- e) 晾至室温后的标准试样用百分之一天平称重,并做好原始记录;

- f) 用沥青或环氧树脂封住标准试样各个切边,宽度 5 mm~20 mm。封边力求整齐,以便准确测算标准试样曝露面积;
- g) 用油漆编号(与钢印号同),写在标准试样的封边上,避免埋藏时混淆。

A.1.4.2.2 锌、铜的表面处理步骤如下:

- a) 标准试样表面用 120 号砂纸或砂布磨光;
- b) 编号和钢印打在标准试样的一端;
- c) 在丙酮中脱脂、清洗,冷风吹干;
- d) 用千分之一天平称重,并做好原始记录;
- e) 见 A.1.4.2.1 f);
- f) 见 A.1.4.2.1 g)。

A.1.4.2.3 铝的表面处理步骤如下:

- a) 标准试样表面用轻石粉或其他细磨料研磨;
- b) 见 A.1.4.2.2 b);
- c) 见 A.1.4.2.2 c);
- d) 见 A.1.4.2.2 d);
- e) 见 A.1.4.2.1 f);
- f) 见 A.1.4.2.1 g)。

A.1.5 标准试样编号及标记

A.1.5.1 编号内容:每一种标准试样,做统一的编号,并在标准试样上做永久性标记,如试验站编号、标准试样种类、制备时间及数量顺序等。

A.1.5.2 编号表示方法:试验站名称用当地地名的汉字拼音的首字母表示。如在同一地区埋设有多个点,可以下标“1、2……”等注明。材料种类以金属元素符号表示。

A.1.5.3 用钢印将编号统一打在标准试样一端,并用沥青或环氧树脂封上。

A.1.6 标准试样登记卡

A.1.6.1 每一个标准试样有一张登记卡片,上面包括标准试样在埋藏前的全部原始资料(见表 A.2)。

A.1.6.2 所有上述资料均在埋藏前填写清楚,一式两份,一份存放在投样单位,另一份随标准试样给埋藏单位留存。

A.1.6.3 根据材料种类的不同,投放单位保留适当数量的空白标准试样,以备在分析鉴定时比较。

A.2 标准试样的埋藏、管理、周期和挖掘

A.2.1 标准试样的埋藏

A.2.1.1 标准试样准备好后,尽快组织专门人员进行埋藏工作。在运输和埋设过程中要特别注意保管好标准试样,轻拿轻放,不宜振动、冲击,以免损坏标准试样。

A.2.1.2 埋藏深度不做统一规定,同当地实际地下构筑物埋藏深度相适应。

A.2.1.3 标准试样埋藏在冻土层以下,推荐深度 1 m~1.5 m。

A.2.1.4 标准试样按编号顺序排列,在一般情况下,同一批埋藏的标准试样尽量放在一起,便于取出:

- a) 标准试样垂直立放(长边着地);
- b) 所有标准试样埋在同一个土层上,以保持腐蚀条件的一致性;
- c) 电位序相差很大的金属标准试样,埋在土壤中不宜距离太近以防产生电位差而引起腐蚀;
- d) 埋藏时,按挖出土层顺序回填,直接接触标准试样的土壤注意去除其中较大的硬块。

- A.2.1.5 试坑一般为长方形,坑的大小随标准试样大小、数量及排列情况而定。标准试样与标准试样的间距及标准试样距坑边的距离,不宜小于标准试样宽度的 2 倍,最少不得小于 15 cm。
- A.2.1.6 试坑若分几次取完则挖几个坑。
- A.2.1.7 挖坑时,挖出的土按土壤层次分层放置,回填时按原土层顺序回填。回填时分层夯实(每层 30 cm),并力求回填土的厚度与密实度和原土相同。
- A.2.1.8 在试验站/点上方设立永久性标志,试坑回填完后,在其四周量好相对间距,立水泥桩或石碑,作永久性地面标志。另外在试验点中心,立一木牌,用黑色油漆写上试验站/点名称、试验点面积、埋藏日期、注意事项及负责单位。
- A.2.1.9 埋藏工作做好记录卡(见表 A.3),按表中规定内容逐条认真填写。上述记录卡填写一份存放在投放单位,另一份随标准试样给埋藏单位留存。

表 A.2 土壤腐蚀试验标准试样登记卡

土壤腐蚀试验标准试样登记卡									标准试样编号()		
质量 mg		长度 mm		宽度 mm		厚度 mm		封边 mm		总暴露面积 cm ²	
材料名称				生产单位					规格及化学 成分		
制造工艺											
机械性能						其他性能					
标准试样制 备处理过程											
表面状况											
备注						审核人 签名	年 月 日		登记人 签名	年 月 日	
注：总暴露面积是指标准试样与土壤接触的表面。											

表 A.3 土壤腐蚀试验登记卡

土壤腐蚀试验登记卡									标准试样编号()			
埋藏	运输及 贮存情况					埋藏前表面状况						
	试验站/ 点方位		标准试 样埋藏 位置		埋藏 深度 m		埋藏 方式		标准试样间距 及坑边距离 m		与地面标 志距离 m	
	备注					登记人 年 月 日						
挖掘	取出日期					取出情况 简述						
	取出时表 面情况					运输及贮 存情况						
	取出人					备注						
	审核人					备注						

A.2.2 试验站/点的管理

A.2.2.1 为了避免试验站/点被破坏,在选定站址以后,与当地建设部门或科技部门以及试验点所在地的有关主管单位(乡镇、农牧场)取得联系,可委托代管。

A.2.2.2 在试验站或试验点范围内不建设其他建筑物。如遇要在试验点范围内进行某项建设时,需事先与负责埋藏单位协商,同意后方可进行。

A.2.3 试验周期

试验周期为1年。

A.2.4 标准试样的挖掘

A.2.4.1 在确定挖掘试坑方位之后,再进行开挖。当挖到(或接近)标准试样时,特别小心,此时仔细地将标准试样上部及周围的土壤轻轻地剥离,且不损坏标准试样或标准试样涂层。记录标准试样出土前的方位(标准试样的上、下、左、右),不混淆。

A.2.4.2 标准试样全部取出后,用牛皮纸或塑料薄膜将标准试样包裹好,装入箱内运回试验室。在装箱同时,在标准试样之间放入足够数量的刨花或碎纸,在装箱和运输过程中要严防碰伤标准试样。

A.2.4.3 标准试样取出后,将试坑填平,力求与原来坑相同。

A.2.4.4 标准试样取出过程,由专人负责,边取边描述,做好记录和照相记录(见表A.3)。

A.3 标准试样表面清洗处理

A.3.1 碳钢

A.3.1.1 取回标准试样开箱后,将其按编号顺序放好,用锤将标准试样两端封头轻轻打掉,再用小刀除去标准表面腐蚀产物,然后用刷子刷洗表面(锤及刀都不能比标准试样硬,否则标准试样上易造成刻痕和损伤,影响试验结果)。

A.3.1.2 用汽油清洗剩余沥青及标准试样内部的油脂。

A.3.1.3 将除过油脂的标准试样放入盛有10%柠檬酸铵溶液的器皿中,在80℃左右温度下处理2h~8h(视腐蚀轻重程度而定),除去腐蚀产物,若腐蚀产物仍未除净,可适当延长处理时间,直到所有腐蚀产物除净为止。

A.3.1.4 标准试样除锈可流水中冲洗或放入清水中用刷子刷净,再用布擦干,放入烘箱中约105℃下烘干,待称重。



A.3.2 锌

A.3.2.1 把标准试样浸入到10%~15%氯化铵溶液中(70℃~80℃),约30min,取出标准试样在流水中清洗,用软刷擦洗。若留有残余产物,可用刀子轻轻刮削,若仍未除净,再进行重复处理。

A.3.2.2 或把标准试样浸入到浓氢氧化铵溶液(10%)中,约5min,然后用软刷擦洗,直至除净为止,然后洗净、吹干、称重。

A.3.3 铜

A.3.3.1 把标准试样放入5%硝酸和2.5%草酸溶液中,时间约为5min,直到产物除净为止。

A.3.3.2 或把标准试样放到5%或10%的浓硫酸中,保持10℃~20℃,直到表面除净为止,然后在流水中刷洗、吹干。

A.3.4 铝

A.3.4.1 将标准试样放入5%硝酸和2.5%草酸溶液中处理5min左右,直到腐蚀产物除净为止。

A.3.4.2 或将标准试样放入浓硝酸(约70%,室温)中数分钟。因为酸对铝有一定腐蚀作用,所以浸入

时间越短越好。标准试样取出后在流水中冲洗,再用硬毛刷轻轻擦洗、吹干、称重。

A.3.4.3 或将标准试样放入磷酸(相对密度 1.69)与铅酸溶液中,其中磷酸 50 mL,铅酸 20 g,然后加水至 1 L,在 80 ℃~95 ℃下浸 5 min~10 min,直到除净为止。如表面留有残余薄膜,可在硝酸中浸 1 min (相对密度 1.42)。

A.4 腐蚀程度测定

A.4.1 腐蚀失重的测定

标准试样试验前后的质量变化可用腐蚀速率表示。计算公式见式(A.1):

$$r_{\text{corr}} = \frac{m_0 - m_1}{St} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:
 r_{corr} ——腐蚀速率,单位为克每平方米年[g/(m²·a)];
 m_0 ——腐蚀前质量,单位为克(g);
 m_1 ——腐蚀后质量,单位为克(g);
 S ——标准试样曝露面积,单位为平方米(m²);
 t ——腐蚀时间,单位为年(a)。

注:曝露面积是指标准试样与土壤接触的表面,注意曝露面积为两面。

A.4.2 蚀坑深度的测量

标准试样上蚀坑深度可用深度计、体式显微镜、轮廓仪和等检测精度大于 0.002 cm 的设备测量。每个蚀坑分别测量 3 次,取其平均值;为了测量标准试样上的最大蚀坑深度及其分布状况至少测量 5 个最深的孔,测量蚀坑最大深度时,需注明所在部位。

A.5 试验数据记录与管理

填写标准试样分析记录(见表 A.4)并存档管理。

表 A.4 土壤腐蚀标准试样分析记录

标准试样编号				分析日期		
质量损失	原始质量 g	试验后质量 g	失重 g	曝露面积 cm ²	腐蚀速率 g/(m ² ·a)	
腐蚀深度 μm	孔编号	1	2	3	4	5
	第 1 次					
	第 2 次					
	第 3 次					
	平均					
	最大腐蚀速率 μm/a					
处理方法及经过						
运输及贮存情况						
埋藏年限			分析		审核人	
备 注						

A.6 试验后处理

标准试样表面用油脂或透明聚乙烯封涂,妥善保存,以防锈蚀,便于以后查对。

附 录 B
(资料性附录)
土壤腐蚀性指标检测方法

B.1 土壤电阻率测试

B.1.1 等距法

B.1.1.1 总则

等距法主要用于测试深度小于 20 m 的平均土壤电阻率。

B.1.1.2 仪器

测试仪器宜选用接地电阻测量仪,精度为 0.5 级。

B.1.1.3 测试接线示意图

按图 B.1 所示的四电极法测试。图中四个电极布置在一条直线上, a 为相邻电极间距,电极入土深度小于 $a/20$;常用仪器为接地电阻仪。

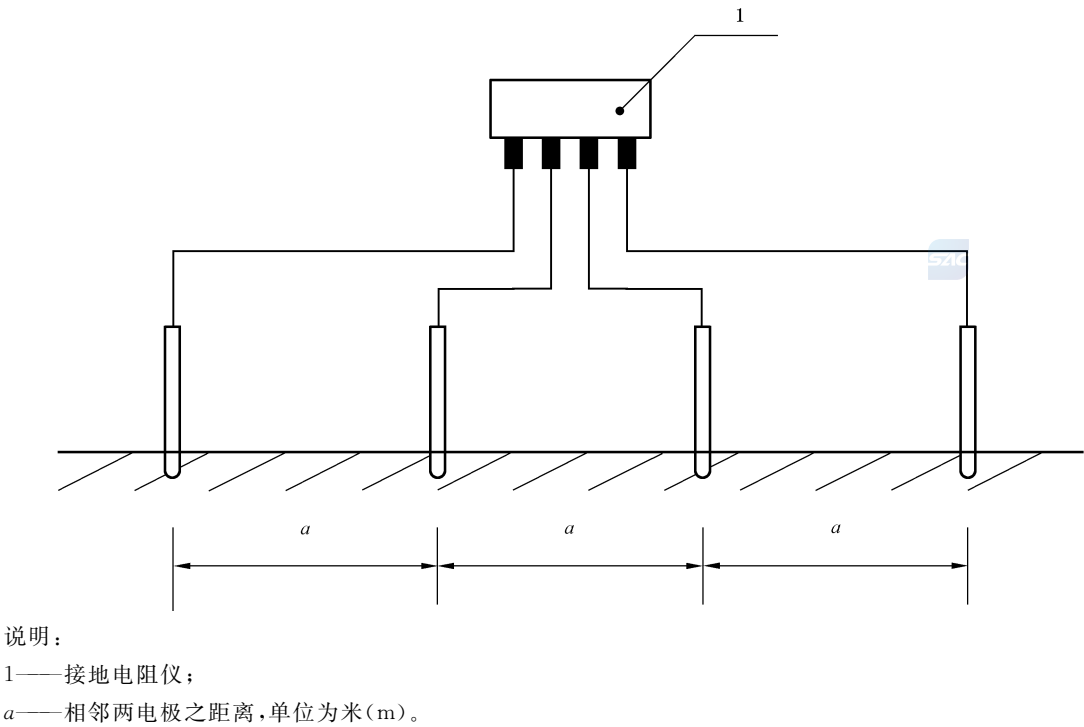


图 B.1 土壤电阻率测试等距法接线示意图

B.1.1.4 测试步骤

布置好电极,其中外侧两电极为电流极,内侧两电极 of 电位极。转动接地电阻测量仪的手柄,使手摇发电机达到额定转速,调节平衡旋钮,直至电表指针停在黑线上,此时黑线指示的度盘值乘以倍率即

为接地电阻值 R , 土壤电阻率按式(B.1)计算:

$$\rho = 2\pi a R \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

ρ ——测量点从地表到深度为 a 土层的平均土壤电阻率, 单位为欧姆米($\Omega \cdot m$);

R ——接地电阻仪示值, 单位为欧姆(Ω);

a ——相邻两电极之距离, 单位为米(m)。

B.1.2 不等距法

B.1.2.1 总则

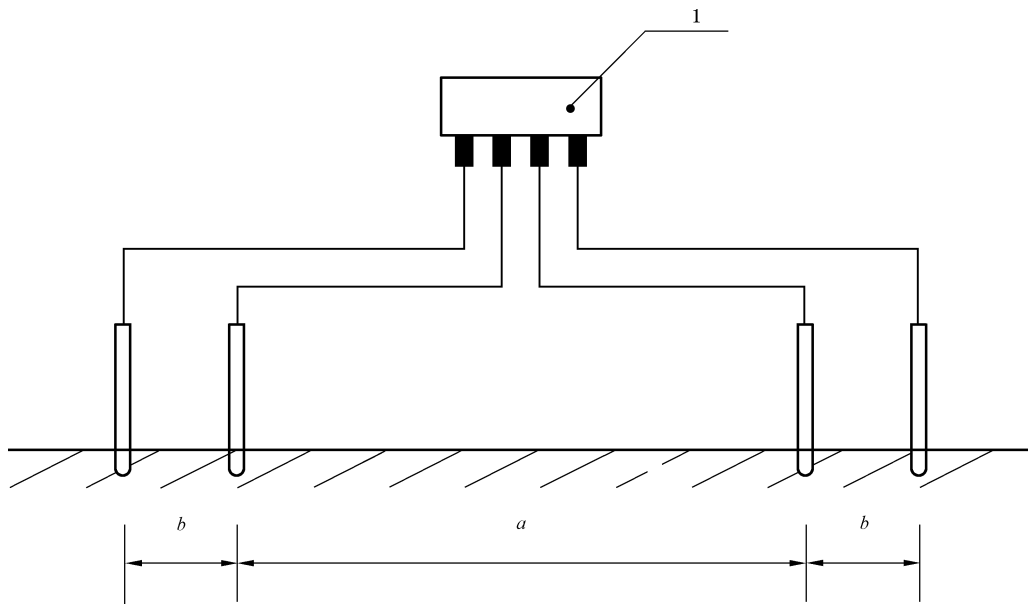
不等距法主要用于测试深度不小于 20 m 时的平均土壤电阻率。

B.1.2.2 仪器

测试仪器宜选用接地电阻测量仪, 精度为 0.5 级。

B.1.2.3 测试接线示意图

布置好电极, 如图 B.2 所示, 其中外侧两电极 of 电流极, 内侧两电极 of 电位极。此时 a 大于 b , 电极入土深度小于 $b/20$ 。



说明:

1 —— 接地电阻仪;

a —— 电位极间距, 单位为米(m);

b —— 电流极与电位极间距, 单位为米(m)。

图 B.2 土壤电阻率测试不等距法接线示意图

此时测量深度按式(B.2)计算:

$$h = \frac{a + 2b}{2} \quad \dots\dots\dots (B.2)$$

式中:

- h ——测量深度,单位为米(m);
- a ——电位极间距,单位为米(m);
- b ——电流极与电位极间距,单位为米(m)。

按 B.1.1.4 操作接地电阻测量仪测得 R 值,测深(h)的平均土壤电阻率(ρ)按式(B.3)计算:

$$\rho = \pi R \left(b + \frac{b^2}{a} \right) \dots\dots\dots (B.3)$$

式中:

- ρ ——测量点从地表到深度为 h 土层的平均土壤电阻率,单位为欧姆米($\Omega \cdot m$);
- R ——接地电阻仪示值,单位为欧姆(Ω);
- a ——电位极间距,单位为米(m);
- b ——电流极与电位极间距,单位为米(m)。

B.2 自然腐蚀电位测试——近参比法

B.2.1 总则

近参比法用于测量不同金属材料在土壤中的自然腐蚀电位。

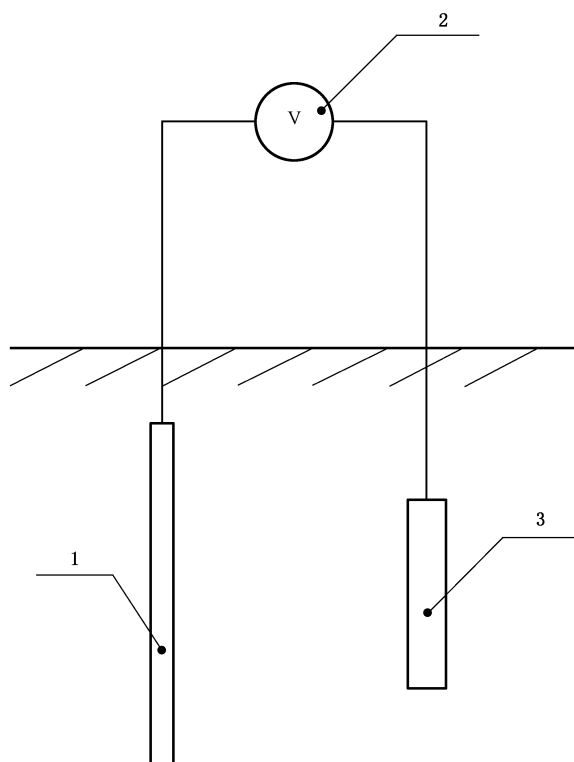
B.2.2 仪器

宜选用数字万用表:内阻不小于 10 M Ω ,准确度不低于 0.5 级。参比电极:采用铜/饱和硫酸铜电极(CSE),符合下列要求:

- a) 流过铜/饱和硫酸铜电极的允许电流密度不大于 5 $\mu A/cm^2$;
- b) 电位漂移不能超过 30 mV。

B.2.3 测试接线示意图

如图 B.3 所示,万用表正极接试片,负极接参比电极。



说明：

1——试片；

2——数字万用表；

3——参比电极(CSE)。

图 B.3 近参比法测试自然腐蚀电位接线示意图

B.2.4 测试步骤

将试片与参比电极预先埋入待测土壤，两者直线距离 3 cm~5 cm，周围踩实，稳定 1 h。将万用表如图 B.3 所示与试片和参比电极相连接，调至适宜的量程上，读取数据，做好记录，注明参比电极类型。

B.3 氧化还原电位测试——去极化法

B.3.1 总则

去极化法用于现场土壤氧化还原电位的测试。

B.3.2 仪器

电压表，要求内阻不小于 10 MΩ，量程范围为 -1 999 mV~1 999 mV，精度为 ±1 mV，温度范围为 0℃~50℃；铂电极 5 支。

参比电极：采用铜/饱和硫酸铜电极(CSE)，并符合下列要求：

- a) 流过铜/饱和硫酸铜电极的电流密度不大于 5 μ/cm²；
- b) 电位漂移不能超过 30 mV。

B.3.3 测试步骤

先将 5 支铂电极分别插入预测土层中,平衡 1 h 后,铂电极接正极,插在附近土壤中的铜/饱和硫酸铜电极接负极。打开电压表,在 mV 档进行测定,读取数据,做好记录,注明参比电极类型。

B.3.4 测试工作注意事项

从电压表上读得的电位值,是土壤中铂电极的电位值对铜/饱和硫酸铜电极的电位差,将其换算成氢标电位。以铂电极为正极,铜/饱和硫酸铜电极为负极时,氧化还原电位按式(B.4)计算:

$$E_{\text{实测}} = E_{\text{SHE}} - E_{\text{CSE}} \dots\dots\dots (\text{B.4})$$

移项后,氧化还原电位按式(B.5)计算:

$$E_{\text{SHE}} = E_{\text{CSE}} + E_{\text{实测}} \dots\dots\dots (\text{B.5})$$

式中:

- $E_{\text{实测}}$ ——氧化还原电位仪上测得的数值,单位为毫伏(mV);
- E_{CSE} ——铜/饱和硫酸铜电极电位,单位为毫伏(mV);
- E_{SHE} ——换算为标准氢电极电位后的氧化还原电位,单位为毫伏(mV)。

铜/饱和硫酸铜电极的电位,在不同温度时有些差异,要以测试温度的铜/饱和硫酸铜电极电位进行换算,见表 B.1。

表 B.1 铜/饱和硫酸铜电极在不同温度时的电位[Vs.标准氢电极(SHE)]

温度/℃	10	15	20	25	30	35	40	50
电位/mV	254.0	250.8	247.6	244.3	241.0	237.6	234.2	227.1

为了统一比较,土壤 E_{SHE} 值一般需要 pH 校正,其公式见式(B.6):

$$E_{\text{SHE}7} = E_{\text{SHE}} + 60(\text{pH} - 7) \dots\dots\dots (\text{B.6})$$

式中:

- $E_{\text{SHE}7}$ ——校正后的氧化还原电位,单位为毫伏(mV);
- E_{SHE} ——换算为标准氢电极电位后的氧化还原电位,单位为毫伏(mV);
- pH ——所测得的土壤实际 pH 值。

铂电极的预处理:新的铂电极在使用前最好进行表面处理以消除铂电极在高温下加工形成的表面氧化膜。方法是将铂电极浸入洗涤剂中 10 min 左右,用水洗净,接着将铂电极浸入 0.2 mol/L HCl + 0.1 mol/L NaCl 溶液中,加热至微沸,再加入少量固体 Na_2SO_3 (0.2 g/100 mL)继续加热 30 min(也可以不加热,但浸泡的时间要长),取出用清水冲洗电极 3 次~5 次,将电极放入氧化-还原电位测定仪浸泡液中待用。

土壤本身是不均匀的,测定氧化还原电位时要多次重复,可如上用 5 个铂电极测量不同位置,也可用 1 支电极逐次测量不同位置,求其平均值。重复次数要视土壤的均匀情况而定,一般 5 次左右。

B.4 土壤 pH 值测试

B.4.1 总则

土壤 pH 值测试用于测定土壤溶液的 pH 值。

B.4.2 仪器和试剂

B.4.2.1 仪器

高精度酸度计:测量范围(0~14),其 pH 示值误差 ± 0.01 ,被测溶液温度:5℃~60℃;pH 复合电极(或玻璃电极和饱和甘汞电极),被测溶液温度:0℃~80℃。

B.4.2.2 试剂

pH 标准缓冲液,pH 值 4.01,6.86,9.18。

B.4.3 测定步骤

称取通过 20 目筛网(孔径 1 mm)的风干土壤 20.0 g,放在 50 mL 高型烧杯中,加入 20 mL 去 CO₂ 蒸馏水,在磁力搅拌器上搅动 1 min,或用人工断续搅拌 20 min~30 min,使土壤充分散开,放置 30 min 使其平衡,此时避免空气中有氨或挥发性酸。将 pH 电极插入上部清液中进行 pH 测定(如采用玻璃电极及饱和甘汞电极,则需将玻璃 pH 电极插到下部悬液中,并轻轻摇动,随后将甘汞电极插入上部清液中进行 pH 测定),数分钟内待读数稳定后即可记录结果。

B.4.4 测试注意事项

对于缓冲性弱的土壤,常需较长时间才能达到平衡。pH 计在初次使用前,连续测定 5 个~6 个样品后或闲置 1 周以上时,用 pH 标准缓冲液校正 1 次,并测量探头在饱和氯化钾溶液中浸泡 1 h~2 h,再进行使用。每测 1 个样品,要用洗瓶将复合电极(或玻璃电极和甘汞电极)所粘的土粒洗去,并用滤纸轻轻将吸附的水吸干,再进行第二个样品的测定。

B.5 土壤中可溶性盐含量测试

B.5.1 总则

土壤中可溶性盐含量测试用于测定室内土壤中可溶解于水的盐类总量。

B.5.2 仪器和试剂

往复式电动振荡机,真空泵,天平(感量为 0.01 g),巴氏滤管或布氏漏斗或离心机(4 000 r/min),1 000 mL 广口塑料瓶,电热板,水浴锅,干燥器,磁蒸发皿,15% H₂O₂。

B.5.3 测试步骤

B.5.3.1 制备待测液(5:1 水土比浸出液)

称取通过 20 目筛网(孔径 1 mm)的风干土壤 100 g,放入 1 000 mL 广口塑料浸提瓶中,加入去

CO₂ 的蒸馏水 500 mL,用橡皮塞塞紧瓶口,在振荡机上振荡 3 min。立即用抽滤管(吸漏斗)过滤,开始抽出的约 10 mL 滤液弃去。如滤液浑浊,则重新过滤,直到获得清亮的浸出液。

B.5.3.2 可溶性盐总量的测试

取一定量的待测液蒸干后,在 105 ℃~110 ℃ 烘干,称至恒重,称为“烘干残渣总量”。它是水溶性盐类及水溶性有机质等的总和。用 H₂O₂ 除去蒸干残渣中的有机质后即为“可溶性盐总量”。吸取清澈的浸出液 50.0 mL,放入已知质量的烧杯或磁蒸发皿(W₀)中,移放在水浴上蒸发后,放入烘箱,在 105 ℃~110 ℃ 烘干 4 h。取出,放在干燥器中冷至常温。在烘干残渣中滴加 15% H₂O₂ 溶液,使残渣湿润,再放在沸水浴上蒸干,如此反复处理,直至残渣完全变白为止,再按上法烘干后,称至恒量(W₁) (连续 2 次烘干后的质量变化小于 0.1 mg),按照式(B.7)计算可溶性盐总量:

可溶性盐总量 = $\frac{W_1 - W_0}{W} \times 100\%$ (B.7)

式中:

- W₀——烧杯或磁蒸发皿的质量,单位为克(g);
- W₁——15% H₂O₂ 处理并烘干后样品的总质量,单位为克(g);
- W ——与吸取浸出液相当的土壤样品质量,单位为克(g)。

B.6 土壤质地测试

B.6.1 总则

土壤地质测试用于测定现场土壤的质地。

B.6.2 测试步骤

取土壤 5 g~10 g,加适量水搓揉,使其破坏原结构,根据肉眼和手指的感觉来鉴别土壤质地。根据以下特征进行目测鉴别:

- a) 砂土:无论加多少水和多大压力,也不能搓成土球,而呈分散状态;
- b) 轻壤土:可团成表面不平的小土球,搓成条状时易碎成块;
- c) 中壤土:可搓成条,弯曲时有裂纹折断;
- d) 重壤土:可搓成 1.5 mm~2 mm 的细土条,在弯曲成环时,弯曲处发生裂纹;
- e) 轻粘土:容易揉成细条,弯曲时没有裂纹,压扁时边缘没有裂纹;
- f) 粘土:可揉搓成任何形状,弯曲处均无裂纹。



B.7 土壤含水量测试——烘干法

B.7.1 总则

烘干法用于实验室内土壤中水含量的测试。

B.7.2 仪器

铝盒(Φ10 cm×10 cm),天平(感量 0.01 g),玻璃干燥器(内有干燥用的变色硅胶),烘箱。

B.7.3 测试步骤

从标准试样埋藏深度采集约为铝盒容积五分之四左右土壤样品,放入已知质量的铝盒中,加盖称重后,盖缝用橡皮胶封好,带回实验室。将铝盒除去橡皮胶,用蘸乙醇的脱脂棉花球擦去橡皮胶残迹,打开盖子,连盖置于烘箱中,在 105 °C~110 °C 温度下烘 6 h。取出后加盖,放入干燥器内冷却 20 min 后称重。再打开盖子烘 3 h,冷却,称重,前后两次称重相差不超过 0.05 g 即可。以烘干土为基数的含水量按式(B.8)计算:

$$G = \frac{g_1 - g_2}{g_2 - g_0} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (B.8)$$

式中:

G ——含水量;

g_0 ——铝盒质量,单位为克(g);

g_1 ——铝盒加湿土质量,单位为克(g);

g_2 ——铝盒加烘干样品质量,单位为克(g)。

B.8 土壤中氯离子含量测试

B.8.1 总则

土壤中氯离子含量测试用于近中性或微碱性土壤中 Cl^- 含量的测试。若土壤浸出液 pH 值低于 6.5,加入碳酸氢钠粉末将溶液调整近中性或微碱性。

B.8.2 仪器和试剂

B.8.2.1 仪器

容量瓶(B级 100 mL),容量瓶(B级 1 000 mL),天平(精度 0.000 1 g)。

B.8.2.2 试剂

K_2CrO_4 , AgNO_3 , 去离子水。

B.8.3 测试步骤

5% (m/V) K_2CrO_4 指示剂:将 5 g K_2CrO_4 (三级)溶于约 40 mL 水中,滴加 1 mol/L AgNO_3 溶液,至有红色沉淀生成,摇匀后过滤,滤液稀释至 100 mL。0.02 mol/L AgNO_3 标准溶液:将 3.398 g AgNO_3 (经 105 °C 烘干 30 min)溶于水中,移入 1 000 mL 容量瓶定容,贮于棕色瓶中。吸取土壤浸出液 25 mL 放入三角瓶中,加 5 滴 K_2CrO_4 指示剂,在不断搅动下,用 AgNO_3 标准溶液滴定至出现砖红色且不再褪色为止,记录 AgNO_3 溶液的用量,用符号 V 表示,单位为毫升(mL)。取 25 mL 蒸馏水,同上法做空白试验,记录消耗硝酸银标准溶液的体积,用符号 V_0 表示,单位为毫升(mL)。按照式(B.9)计算:

$$\omega(\text{Cl}^-) = \frac{c(\text{AgNO}_3) \times (V - V_0)}{A} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (B.9)$$

式中：

- $w(\text{Cl}^-)$ ——土壤中氯离子的质量分数；
 - $c(\text{AgNO}_3)$ —— AgNO_3 标准溶液的浓度，单位为摩尔每升(mol/L)；
 - V 和 V_0 ——滴定待测液和空白试验消耗 AgNO_3 标准溶液的体积，单位为毫升(mL)；
 - A ——与吸取待测液毫升数(25 mL)相当的样品质量，单位为克(g)。
-