

油田油气集输 设计技术手册

下册



《油田油气集输设计技术手册》编写组 编

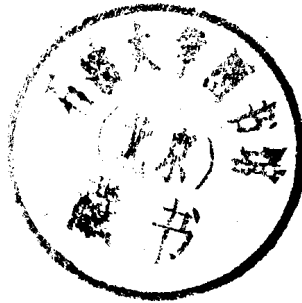
石油工业出版社

登录号	087158
分类号	TE863-62
种次号	001

油田油气集输设计技术手册

下 册

《油田油气集输设计技术手册》编写组 编



石油工业出版社

内 容 提 要

本手册是在总结我国油田油气集输工艺设计的基础上, 根据各油田设计院的设计特长, 由部分经验丰富的专家共同编写而成。

手册共有十五章, 分上、下两册出版。本册为下册, 主要介绍防腐蚀设计; 管线与设备的隔热设计; 油、气、水的计量及仪表配备; 常用测量仪表及控制系统; 站(库)场设计; 管线与站库的启动投产; 经济评价的基本概念和方法, 以及油气集输设计中常用的资料数据等内容。

本手册资料、数据齐全, 可供从事油田油气集输设计的工程技术人员使用参考, 也可作为刚从事设计工作人员的入门向导。

油田油气集输设计技术手册

下册

《油田油气集输设计技术手册》编写组 编

*

石油工业出版社出版

(北京安定门外安华里2区1号楼)

石油工业出版社印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092毫米 16开 $56\frac{3}{4}$ 印张 1436千字 印1-2500

1995年3月北京第1版 1995年3月北京第1次印刷

ISBN 7-5021-1153-0/TE·1063

精装定价:68元

平装定价:58元

《油田油气集输设计技术手册》

编 审 委 员 会

主任委员：李虞庚

副主任委员：苗承武 金燕凯

委 员：张 英 江士昂 严大凡 冯叔初 顾迪成

张新惠 郭福民 冯家潮 潘光坦 云成生

宁玉川 陈彩霞 胡 榕 郭兆考 桑 田

郭见隆 李德选 程祖亮 王惠来 曾昭懿

《油田油气集输设计技术手册》

编 写 人 员

苗承武 江士昂 程祖亮 郭兆考 梁国琇

李金丰 李金霞 杜绍严 王积龙 云成生

张建杰 王伯绵 谢云霞 王景华 桑 田

陈彩霞 胡 榕 李德选 郭跃清 李永杰

袁树吉 朱 霞

目 录

第九章 防腐与隔热	(1)
第一节 防腐概述	梁国琇 (1)
一、腐蚀及其危害	(1)
二、土壤的腐蚀性及其分级标准	(2)
三、各种防腐蚀措施综述	(5)
第二节 阴极保护	梁国琇 (6)
一、基本原理	(6)
二、强制电流阴极保护	(8)
三、牺牲阳极保护	(18)
四、区域阴极保护	(22)
第三节 直流杂散电流排流保护	梁国琇 (29)
一、概述	(29)
二、排流方式的分类与选择	(30)
三、排流保护的效果评定和调整	(32)
四、排流系统的管理	(33)
五、其它防护措施	(33)
第四节 防腐覆盖层	李金霞 (36)
一、管道外壁覆盖层	(36)
二、管道内壁覆盖层	(51)
三、架空管道覆盖层	(63)
四、特殊腐蚀环境下的国外管道防腐简介	(63)
五、石油储罐的外覆盖层和内覆盖层	(69)
六、覆盖层综合评价	(72)
第五节 管线与设备隔热	李金丰 (80)
一、隔热的必要性及一般规定	(80)
二、隔热层的选择原则	(80)
三、常用隔热材料的性质	(81)
四、隔热层厚度的计算方法	(82)
五、隔热层的外保护层设计	(87)
六、伴热管的绝热计算	(94)
七、伴热管外保护层所需面积	(99)
八、伴热管隔热材料所需体积	(99)
九、干扰伴热计算	(107)
第十章 计量	谢云霞 (115)
第一节 概述	(115)

一、计量方法及计量标准条件	(115)
二、计量分类	(115)
第二节 油井计量	(116)
一、概述	(116)
二、油井简易的计量方法	(116)
三、油井计量装置	(119)
四、油井计量仪表	(126)
第三节 原油输量计量	(142)
一、计量分级与仪表配备原则	(142)
二、原油动态计量仪表	(143)
三、原油静态计量	(183)
四、油量的计算	(189)
五、原油计量准确度的估计	(192)
第四节 轻烃计量	(194)
一、轻烃计量与仪表配备原则	(195)
二、轻烃计量仪表	(195)
三、轻烃量计算	(197)
第五节 油田气的计量	(198)
一、油田气计量分级与仪表配备原则	(198)
二、油田气的计量仪表	(198)
三、油田气气量计算	(222)
第六节 水的计量	(223)
一、水的计量分级与仪表配备原则	(223)
二、水的计量仪表	(223)
第七节 检定	(257)
一、液体流量标准装置	(257)
二、气体流量标准装置	(277)
三、容器的容积检定	(286)
第十一章 常用仪表及控制系统	王景华 (292)
第一节 压力测量仪表	(292)
一、压力测量仪表选型原则	(292)
二、常用压力测量仪表	(292)
三、压力仪表安装	(296)
第二节 温度测量仪表	(297)
一、温度测量仪表的选择	(297)
二、常用温度测量仪表	(297)
第三节 液位测量仪表	(305)
一、液位测量仪表的选择	(310)
二、玻璃管、玻璃板液位计	(310)
三、差压式液位仪表迁移量计算	(311)

第四节 自动控制和自动化仪表·····	(313)
一、概述·····	(313)
二、自动控制系统·····	(317)
第五节 调节阀及辅助装置的选择·····	(328)
一、调节阀口径计算·····	(328)
二、调节阀选型、安装及其辅助装置·····	(336)
第六节 自动化仪表·····	(343)
一、气动单元组合式显示调节仪表·····	(344)
二、电动单元组合式显示调节仪表·····	(347)
三、引进的国外仪表·····	(351)
四、组合式电子综合控制装置·····	(354)
五、其它仪表·····	(355)
第七节 仪表供电供气及保温·····	(356)
一、仪表供电分类及电源·····	(356)
二、仪表供气设计·····	(356)
三、仪表保温·····	(361)
第十二章 站(库)场设计·····	程祖亮 (362)
第一节 站(库)场分类·····	(362)
一、站(库)场概述·····	(362)
二、工艺流程·····	(362)
三、流程设计注意事项·····	(367)
第二节 站址选择·····	(367)
一、基本要求·····	(367)
二、选址报告·····	(368)
第三节 场址勘测与资料收集·····	(370)
一、平面测图·····	(370)
二、工程地质资料·····	(370)
三、气象资料·····	(371)
四、水文资料·····	(373)
第四节 站场规模·····	(373)
一、采油井场的建设规模·····	(373)
二、计量站的建设规模·····	(374)
三、接转站的建设规模·····	(374)
四、集中处理站的建设规模·····	(375)
五、矿场原油库的建设规模·····	(377)
六、油田内加热炉及其台数的确定·····	(378)
第五节 站场总图设计·····	(379)
一、总平面布置·····	(379)
二、竖向设计·····	(385)
三、管线综合·····	(387)

第六节 设备及管线布置安装	(390)
一、输油泵布置安装	(390)
二、天然气压缩机布置安装	(390)
三、油气分离器布置安装	(390)
四、原油电脱水器布置安装	(391)
五、液化石油气储罐的布置安装	(391)
六、立式原油储罐的安装	(392)
七、塔器安装	(392)
八、加热炉安装	(393)
九、仪表安装	(394)
十、管线安装	(395)
十一、阀件安装	(397)
十二、常用管线及附件的综合选用	(399)
第七节 对其他专业的要求	(408)
一、建筑要求	(408)
二、爆炸危险场所分区	(413)
三、供电要求	(416)
四、供热要求	(418)
五、供排水要求	(419)
第十三章 管线与站库的启动投资	王伯绵 (422)
第一节 加热输油管线的启动投产	(422)
一、投产准备和投产方案	(422)
二、热油管线冷管启动的过程和条件	(423)
三、热油管线预热启动投产	(426)
第二节 泵站和油库的试运投产	(432)
一、站内试运	(432)
二、系统联合试运	(436)
第三节 热油管线的停输及再启动	(437)
一、埋地热油管线的停输时间计算	(437)
二、热油管线停输后再启动压力计算	(440)
三、集输油管线电热解堵	(442)
第十四章 经济评价	江士昂 (444)
第一节 经济评价的基本方法	(444)
一、基本概念	(444)
二、投资决策与经济评价	(447)
三、基本分析方法(一)——确定性分析	(449)
四、基本分析方法(二)——不确定性分析	(459)
第二节 设计方案的对比和优选	(462)
一、设备方案比选	(462)
二、工艺系统方案比选	(464)

三、独立工程方案比选·····	(467)
第三节 建设项目经济评价参数·····	(470)
第十五章 常用资料数据·····	(471)
第一节 原油物性及评价····· 程祖亮	(471)
一、原油评价内容划分要求·····	(471)
二、原油的分类·····	(472)
三、我国原油的一般性质·····	(474)
四、原油受热后的性质变化·····	(507)
五、两种油品掺合后混合油品的性质·····	(509)
六、油田油气产品标准·····	(513)
第二节 油田气的物理和热力性质····· 张建杰	(515)
一、混合气体组成表示方法·····	(517)
二、分子量、密度和相对密度·····	(519)
三、压缩系数·····	(521)
四、粘度·····	(530)
五、天然气的含水汽量·····	(533)
六、比热容、绝热指数·····	(535)
七、导热系数·····	(539)
八、焓、熵·····	(540)
九、热值·····	(564)
十、爆炸范围·····	(569)
第三节 单体烃的物理及热力学性质····· 张建杰	(570)
一、烃类的物理热力性质·····	(570)
二、密度、比容和相对密度·····	(570)
三、压缩系数·····	(591)
四、体积膨胀系数·····	(601)
五、粘度·····	(601)
六、溶解度·····	(606)
七、蒸气压力·····	(607)
八、表面张力·····	(611)
九、比热容、绝热指数·····	(611)
十、导热系数·····	(621)
十一、气化潜热·····	(624)
十二、焓和熵·····	(627)
第四节 空气及其质量标准····· 程祖亮	(640)
一、空气的组成·····	(640)
二、空气的物理性质·····	(641)
三、空气污染及污染源·····	(645)
四、锅炉燃烧不同燃料产生的污染物·····	(645)
五、空气环境质量标准·····	(646)

六、居住区空气质量标准	(648)
七、车间内空气质量标准	(649)
第五节 水及其质量标准	程祖亮 (651)
一、水的分布	(651)
二、水与饱和水蒸气的物理性质	(651)
三、水体的自净作用及水体污染	(651)
四、水体中主要污染物的来源及影响	(656)
五、污水处理方法简介	(656)
六、我国现行的若干水质标准	(657)
第六节 金属材料数据	杜绍严 (665)
一、黑色金属的分类	(665)
二、黑色金属材料的表示方法	(666)
三、钢铁材料的技术条件	(670)
四、钢管	(674)
五、钢板	(714)
六、型钢	(731)
七、钢轨	(747)
八、铜及铜合金加工产品	(756)
九、铝及铝合金加工产品	(762)
十、特种金属制品	(767)
十一、管道元件	(775)
第七节 非金属材料数据	李金丰 (818)
一、水泥	(818)
二、砖	(819)
三、瓦	(819)
四、砂	(820)
五、天然石材	(821)
六、木材	(822)
七、石棉及其制品	(823)
八、非金属管	(829)
九、分子筛	(835)
十、塑料	(836)
第八节 化学助剂	王积龙 (841)
一、原油破乳剂	(841)
二、原油清蜡剂	(852)
三、原油防蜡剂	(855)
四、原油降粘剂	(858)
五、原油乳化剂	(860)
六、原油消泡剂	(863)
七、原油脱水除泥剂	(863)

八、减阻剂·····	(865)
第九节 常用气象资料·····	程祖亮 (865)
一、关于严寒、炎热等气温概念的划分标准·····	(865)
二、关于干燥、湿润的划分标准·····	(866)
三、关于季节性冰冻地区和采暖地区的划分标准·····	(866)
四、关于主导风向和最小频率风向·····	(866)
五、风力等级及风速·····	(868)
六、全国主要城市气象资料·····	(868)
七、各油田在用气象资料·····	(888)
第十节 油田工程常见参数定义·····	程祖亮 (889)
一、油田地质开发参数·····	(889)
二、原油和天然气物性参数·····	(891)
三、工程设计参数·····	(893)

第九章 防腐与隔热

第一节 防腐概述

一、腐蚀及其危害

金属与环境间的物理—化学的相互作用造成金属性能的改变，导致金属、环境或由其构成的一部分技术体系功能的损坏称为腐蚀。在工业生产中，埋在地下的输送油、气、水的各种钢质管道、电力电缆、通信电缆会受到腐蚀；各种钢质储油罐、储水罐的内壁、罐底会受到腐蚀。腐蚀现象是存在于各行各业各个领域，是不以人们的意志为转移的普遍现象，它给国民经济的各个部门造成了巨大的经济损失。腐蚀损失的实例在外国国内都是很多的，表9-1-1是几个主要工业发达国家年腐蚀损失统计数据。

腐蚀损失调查统计表

表 9-1-1

国家	腐蚀损失	占国民经济总值, %	统计时间
美国	700 亿美元	4.2	1975 年
英国	13.65 亿英镑	3.5	1969 年
日本	92 亿美元	1.8	1977 年
前西德	90 亿美元		1977 年
原苏联	163 亿美元	2	1976 年
加拿大	10 亿美元	3	1970 年

国内原石油部在 1987 年曾组织过各油田进行腐蚀大调查，据国内几个油田不完全统计，至 1986 年底共有油、气、水管线 39105.5km，1985 年前因腐蚀报废的管线 2193.6km，报废率为 5.6%，更新改造的管线 2347.5km，更新率为 6%。1986 年更新改造的管线 885.2km，更新率为 2.26%，耗用资金 3030 万元。

由于腐蚀是金属的常见病、多发病、慢性病，常常在不知不觉间造成金属的破坏，而防腐工程又很难收到“立竿见影”的效果，因而防腐工作往往引不起人们足够的重视。腐蚀不但能造成油气的跑、冒、滴、漏，产生直接的经济损失，而且可以引起火灾、爆炸等恶性事故，或迫使工厂停产、污染环境、浪费资源等等，造成的间接损失更加巨大。因此，对腐蚀的危害绝对不能等闲视之。事实已经证明：针对腐蚀环境进行周密细致的调查，摸清腐蚀介质的腐蚀性，选择耐蚀钢材、合理的防腐覆盖层，确定合适的阴极保护系统及运行管理体制等后，做出一个完整的防腐设计是很重要的。只要使这些技术和措施都能实现，就可以把腐蚀控制在最小范围内，从而可以大大延长管线和设备的使用寿命，确保油田长期安全生产。

、土壤的腐蚀性及其分级标准

1. 土壤腐蚀性的影响因素

在油田生产中，遇到的最多最普遍的外腐蚀剂就是土壤，本手册防腐蚀部分也以土壤腐蚀防护为主，因此在了解腐蚀情况时，首先应评价及测定土壤的腐蚀性。

一般地区的土壤腐蚀性，按土壤电阻率大小分级，见表 9-1-2。

一般地区土壤腐蚀性分级标准

表 9-1-2

腐蚀性等级	强	中	弱
土壤电阻率, $\Omega \cdot m$	< 20	20 ~ 50	> 50

注：表中土壤电阻率宜采用年最小值。

土壤是一个由固、液、气三相组成的极为复杂的不均一多相体系。埋地金属构筑物与性质不同的土壤相接触，在其不同部位的界面上就形成不同的金属电极电位，不同部位间电位差的存在，是引起金属土壤腐蚀的主要原因。它通过土壤介质构成回路，形成腐蚀电池，它符合欧姆定律，可以用下式表达：

$$I = \frac{E_C^o - E_A^o}{R_s + R_A + R_C} \quad (9-1-1)$$

式中 I ——腐蚀电流, A;

E_C^o ——阴极电位, V;

E_A^o ——阳极电位, V;

R_s ——土壤电阻, Ω ;

R_A ——阳极极化电阻, Ω ;

R_C ——阴极极化电阻, Ω 。

因此，凡能影响土壤中金属电极电位、土壤电阻和极化电阻的各种土壤物理化学性质，都有可能直接或间接地影响土壤的腐蚀性。对于腐蚀因素较复杂地区，仅用土壤电阻率来划分土壤腐蚀性等级就不够全面。必须用多项指标进行综合评价。本手册采用《钢管管道及储罐防腐蚀工程设计规范》SYJ 7-84 中附录一腐蚀因素较复杂地区的土壤腐蚀性评价指数来进行综合评价，见表 9-1-3。在土壤类型或性质不同的过渡区域，对金属腐蚀的严重程度往往高于土壤实测的腐蚀等级，设计时必须有所考虑。

腐蚀因素较复杂地区的土壤腐蚀性评价指数

表 9-1-3

序号	内容及指标	评价指数
1	土壤类型[1.01] ^① 石灰质土 石灰质泥灰土 砂质泥灰土(黄土) 砂土	2

续表

序号	内容及指标	评价指数
1	壤土 壤质泥灰土 壤质砂土 } 粘质砂土 } 含砂量 ≤ 75%	0
	粘土 粘质泥灰土 腐殖土	-2
	泥炭土 淤泥土 沼泽土	-4
2	土壤状况	
2.1	埋设物标高处的地下水: 无 有 时有、时无	0 -1 -2
2.2	非扰动(自然)土壤 人工堆积的土壤	0 -2
2.3	埋设物地段土壤类型相同 埋设物地段土壤类型不同	0 -3
3	土壤电阻率(用计量电池计量) [1.02.3] ¹ > 10000 Ω·cm 10000~5000 Ω·cm 5000~2300 Ω·cm 2300~1000 Ω·cm < 1000 Ω·cm	0 -1 -2 -3 -4
4	含水量[1.05] ¹ < 20% > 20%	0 -1

续表

序号	内容及指标	评价指数
5	pH 值[1.03] ¹ pH > 6 pH < 6	0 -1
6	总酸度, 到 pH7 止[1.09.1] ¹ < 2.5 mval / kg 2.5 ~ 5 mval / kg > 5 mval / kg	0 -1 -2
7	氧化还原电位, 在 pH7 时, [1.04] ¹ mV > 400 强透气 200 ~ 400 透气 0 ~ 200 弱透气 < 0 不透气	+2 0 -2 -4
8	碳酸钙和碳酸镁含量或总碱度, 到 pH4.8 止[1.07, 1.09.2] ¹ 碳酸钙和碳酸镁 总碱度 > 5% = > 50000 mg / kg = > 1000 mval / kg ² 1 ~ 5% = 10000 ~ 50000 mg / kg = 200 ~ 1000 mval / kg < 1% = < 10000 mg / kg = < 200 mval / kg /	+2 +1 0
9	硫化氢和硫化物[1.08] ² 无 痕迹 = < 0.5 mg / kg S ⁻² 有 = > 0.5 mg / kg S ⁻²	0 -2 -4
10	煤或焦炭[2.11] ¹ 无 有	0 -4
11	氯离子[3.12] ¹ < 100 mg / kg > 100 mg / kg	0 -1

续表

序号	内容及指标	评价指数
12	硫酸盐[4.01] ¹	
	<200 mg/kg	0
	200~500 mg/kg	-1
	500~1000 mg/kg	-2
	>1000 mg/kg	-3

注：对于 2.1、2.2 和 2.3，每项均应列入评价指标一次；

¹ 分析方法编号，见 Steinrath, H: Untersuchungsmethoden zur Beurteilung der Aggressivität von Boden (有关土壤腐蚀性评价的分析方法)；

² mval/kg 为毫克当量/千克。

2. 土壤腐蚀性的分级标准

根据评价指数总和划分的土壤腐蚀性分级标准列于表 9-1-4 中。

土壤腐蚀性的分级标准

表 9-1-4

土壤腐蚀性	强	中	弱	实际不腐蚀
评价指数总和	<-10	-10~-5	-4~0	>0

埋地管道的外防腐覆盖层分为普通、加强和特加强三级。设计覆盖层等级时一般应根据土壤的腐蚀性等级和环境因素确定。在确定覆盖层种类和等级时，应考虑阴极保护的因素。

场、站、库内埋地管道，以及穿越铁路、公路、江河、湖泊的管道，均应采用特加强级防腐。

三、各种防腐蚀措施综述

在油田生产中腐蚀损失是客观存在的，但只要采取行之有效的防腐措施，由腐蚀所造成的经济损失在很大程度上又是可以控制和减缓的。由此可见，研究金属防腐蚀技术措施，推广防腐蚀新技术，确是一项十分重要的任务。经过人们长期的实践，总结了许多与金属腐蚀作斗争的经验，找到了很多成功的防腐蚀措施并日趋完善。当前，在油田生产中获得广泛应用的防腐蚀方法，归纳起来主要有以下几种，设计人员应根据工程实际情况选择应用。

1. 合理选材

1) 在含有较强腐蚀剂的环境中，根据腐蚀剂的性质有针对性地选用耐蚀合金钢材是比较简便的防腐方法。例如选用不锈钢阀门、法兰、管件等。但目前我国各种耐蚀合金钢的品种还较少，且价格较贵，所以迫切要求冶金部门生产更多的耐蚀合金钢，以便尽快应用到油田生产中去。

2) 合理选用各类非金属材料。目前在油田上所用品种很少。这和我国非金属材料的生产情况有关。以前我国曾试点过“以塑代钢”，但由于当时我国生产的塑料管件、阀门等都不

配套，焊接等接口接头也不太过关，加上成本又高，因此未能广泛应用。国外使用塑料管已很普遍，我国除在排水管线中使用铸铁管或水泥管线外，油田中很少使用非金属管线。以后要努力向非金属材料方向发展，以减少腐蚀的影响。

2. 表面保护技术

(1) 金属镀层 金属镀层可分为阳极性镀层和阴极性镀层。锌、铝等镀层就是阴极性镀层，在电化学腐蚀过程中，它们的电位比较低，因此是腐蚀电池的阳极，受到腐蚀，起牺牲阳极的作用；而铁则是阴极，只起传递电子的作用受到保护。锡、镍、铂等镀层是阳极性镀层，它们的电位比铁高，是腐蚀电池的阴极，这类镀层若存在空隙，露出小面积的铁时，则和大面积的镀层构成腐蚀电池而加速漏点的腐蚀，甚至造成穿孔，因此要确保镀层的质量，有时甚至在镀层外面再做防腐覆盖层，以便使质量更加可靠。

金属镀层的制造方法，主要有热镀、渗镀、电镀与喷镀等。例如华北油田曾在污水罐内壁，采用喷镀锌层或铝层，又在其表面刷涂环氧树脂的防腐技术，收到了良好的防腐效果。

(2) 非金属覆盖层 非金属覆盖层可分为无机覆盖层和有机覆盖层。无机覆盖层包括化学转化覆盖层，如阳极氧化膜、铬酸盐处理膜、磷酸盐处理膜，以及在溶液、熔盐或热气流中形成的氧化膜；搪瓷、陶瓷、混凝土和玻璃覆盖层等。有机覆盖层主要包括橡胶、塑料、油漆、防锈油、石油沥青、环氧煤沥青等覆盖层，石油沥青是油田生产中使用最普遍、用量最多的防腐覆盖层，第四节将专门介绍覆盖层。

3. 环境（介质）处理

这类处理主要包括两个方面。一方面是除去环境中的有害成分，如脱水、脱氧、脱盐处理，例如目前各油田普遍采用密闭流程可以降低损耗，大大减缓腐蚀。另一方面是针对各种不同性质的腐蚀剂选择不同类型的缓蚀剂，目前各油田的大站内或有些井口都设有加药装置。由于本手册主要针对油、气田土壤腐蚀，因此，对水系统“三防”不做介绍。

4. 电化学保护技术

电化学保护分为阴极保护和阳极保护两种。油、气田的主要腐蚀剂是土壤，适用于阴极保护，因此本手册着重介绍阴极保护，第二节将专门介绍阴极保护。

5. 防腐蚀设计

按照规范的要求，防腐蚀工程设计应与油、气田工程设计同时勘察、设计和施工，这样做既经济合理，又可以最大限度减少腐蚀损失。因此，针对工程特点及腐蚀剂的性质，在初步设计阶段，就应制定出防腐蚀方案，包括钢材的选择、防腐覆盖层的材料、结构、防腐等级、施工工艺、阴极保护系统的方案、运行管理体制等等，总之，一个好的防腐蚀工程设计将对今后生产管理中的防腐蚀工作，起到很大的保证作用。

第二节 阴极保护

一、基本原理

1. 电化学腐蚀的概念

(1) 电极、电极电位、参比电极 和离子导体接触的电子导体（即金属）称为电极。与同一离子导体接触的电极和参比电极间，在外电路中测得的电位差称为电极电位。用于测量电极电位的基准电极，它具有稳定的、可再现的电位的电极称为参比电极，例如用于土壤和水中构筑物电位测量的铜/饱和硫酸铜参比电极（简称硫酸铜电极）。常用参比电极的电位