

阴极保护手册

电化学保护的理论与实践

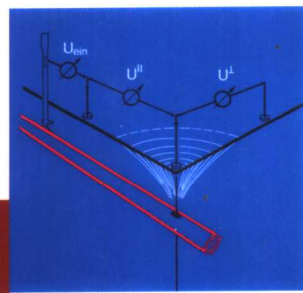
(原著第三版)

[德] W.v. 贝克曼 W. 施文克 W. 普林兹 著
胡士信 王向农 等译

Handbuch des
kathodischen
Korrosionsschutzes

Theorie und Praxis der
elektrochemischen Schutzverfahren

Herausgegeben von
W.v. Baeckmann, W. Schwenk, W. Prinz



Dritte,
völlig neu
bearbeitete
Auflage

VCH

Chemical Industry Press

-62



化学工业出版社

材料科学与工程出版中心

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

阴极保护手册: 电化学保护的理论与实践/[德]贝克曼(Baekmann, W. v.), 施文克(Schwenk, W.), 普林兹(Prinz, W.)著; 胡士信, 王向农等译. —北京: 化学工业出版社, 2005. 3

书名原文: Handbuch des Kathodischen Korrosionsschutzes
ISBN 7-5025-6530-2

I. 阴… II. ①贝…②施…③普…④胡…⑤王…
III. 阴极保护-技术手册 IV. TG174.41-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 143489 号

Handbuch des Kathodischen Korrosionsschutzes, 3
Auflage/W. v. Baekmann, W. Schwenk, W. Prinz.
ISBN 3-527-26972-X

Copyright © 1989 by Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.
KGaA. All rights reserved.

Authorized translation from the German language edition published by Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.

本书中文简体字版由Wiley-VCH 出版公司授权化学工业出版社独家出版发行。
未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

北京市版权局著作权合同登记号: 01-2003-7167

阴极保护手册

电化学保护的理论与实践

(原著第三版)

[德]W. v. 贝克曼 W. 施文克 W. 普林兹 著
胡士信 王向农 徐快 胡莹 张晔 胡筋 译

责任编辑: 顾南君

文字编辑: 丁建华 贾 婷 刘维大

责任校对: 王素芹

封面设计: 潘 峰

*

化学工业出版社 出版发行
材料科学与工程出版中心
(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)
发行电话: (010) 64982530
<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销
大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷
三河市前程装订厂装订
开本 787mm×1092mm 1/16 印张 29 字数 683 千字
2005 年 3 月第 1 版 2005 年 3 月北京第 1 次印刷
ISBN 7-5025-6530-2/TQ·2144
定 价: 68.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

第三版前言

本手册第二版发行已经有大约十年时间了，手册大部分内容需要重新进行全面的修订，为此，酝酿编写此《阴极保护手册》第三版。理由很简单，不仅技术和应用有了新发展，而且人们对保护系统中那些极其重要的因素有了新的认识。此外，新标准与新的技术规范制订与颁布也是编著第三版所考虑的重要因素。

电化学腐蚀与电化学保护依据相同的理论。这些基本概念与 DIN 219 手册中的术语定义构成本手册的科学基础。即使新版本不得不删去以前测试部分中的有用经验，但增加了新的腐蚀体系的描述，电位与电流分布应用问题的探讨，以及强电的干扰影响，这些都提升了我们对新的用途的理解。这些新的发展主要体现在无 *IR* 降电位测量、密间隔测量技术和计算机控制的评价数据等。在讨论钝化腐蚀防护用的防腐层特性时，本手册只提及腐蚀与极化作用之间的相互影响。

由于总体上讲电化学保护技术有了长足的进步，所以在第三版中对有关应用技术的章节做了较大改动。而且，省去了老版本中关系不大的内容，增加了最新资料的篇幅。在化学工业中的应用已经显著发展，所以，该章内容完全重写。新的章节还有钢筋混凝土中加强钢筋的阴极保护。

编者借此机会向所有为本手册做过贡献的人致谢，感谢鲁尔格斯联合股份公司和曼尼斯曼研究院的协助，感谢本手册出版商在出版和策划本手册中所给予的大力帮助。

W. v. 贝克曼, W. 施文克, W. 普林兹
1988 年夏于埃森与杜伊斯堡

第一版前言

石器时代末，金属的发现和应用的现代技术发展过程中最重要的一步。遗憾的是，大多数金属都不稳定，在不利的条件下，它们可能因腐蚀而受到不同程度的破坏。研究此种腐蚀反应和防止金属腐蚀的方法是具有重大经济意义的一项任务。

在科学解释上，阴极保护法较其他方法要精确得多。从原理上讲，水溶液和土壤中的金属腐蚀就是由电压控制，即由电解液中金属电位控制的一种电解过程。依据电化学规律，反应趋势和反应速度将随着电位降低而减小。虽然人们知道这种关系已有一个多世纪了，阴极保护个别应用事例也有很长时间了，但是在技术上广泛地应用却需要一段很长的时期。这可能因为过去人们对阴极保护比较生疏，摸不到边际，以及电气工程要求阻碍了它的实际应用。阴极保护的实际应用确实比其基础理论要复杂得多。

虽然论述具体问题和实用指导的出版物很多，但是，德国的技术人员却难以掌握这门学科，因为在德国没有这方面综合性的并且反映最新技术水平的出版物。德国煤气和水厂工程师协会（DVGW）腐蚀分会发起编辑出版一本《阴极保护手册》，得到会员的热烈响应，他们主动承担多个章节的撰写任务。

手册主要涉及阴极保护的实践，但只要认为是全面阐述阴极保护技术所必要的，讨论内容也包括基础理论及有关领域。我们认为要阐述防腐技术的发展过程，应首先介绍一下历史概况。第二章论述了金属腐蚀及防腐的基础理论。我们着意列举各种材料和介质结合的实例，用以显示电化学保护应用的众多领域。

目前，阴极保护一般应用在与天然水系和土壤接触的材料中，但将来的应用则见于工业装置和容器。为此，我们增加了一章阳极保护，论及过去10年期间已经单独应用的阳极保护法。阴极保护和阳极保护基本上是非常类似的体系，其实就是本书副标题所称的“电化学保护”。

多数应用均把阴极保护和物理保护法即表面防腐层结合起来。论及物理保护法的章节中还适当考虑到两者间的相互影响。此外，因为阴极保护的实践已经反复表明仔细研究测量问题的重要性，于是本书还增加了论述测量技术的章节。测量需要经验，解释计算中可能出现的误差原因，而且必须不断地通过独立监视检查异常测量结果。强制电流装置存在着特殊的测量问题，即牢记极性反接将产生强腐蚀。这比保护系统未进行防腐或完全不防腐还要糟。

有的章节详细地叙述了牺牲阳极和阴极保护整流器的特性和应用，包括杂散电流保护和辅助阳极的专用仪表。讨论的应用领域有：埋地管道、储罐、罐区、电话电缆、电力电缆、充气电缆、船舶、港口设施和水罐及工业装置的内部保护。专有一章论及强电对管道和电缆的影响问题。讨论也包括费用和经济因素的研究。附录包括实用的图表和数学推导

过程，力求使此主题尽善尽美。

编者借此机会向所有为此书做过贡献的人致谢，感谢鲁尔格斯联合股份公司和曼尼斯曼研究院的协助，感谢化学出版社在出版和设计本手册中所给予的大力帮助。

W. v. 贝克曼 和 W. 施文克
1971 年春于埃森与杜伊斯堡

英文版序

《阴极保护手册》德文版的编辑们衷心感谢美国海湾出版公司有意将本手册翻译成英文。我们相信，此英文版将有助于腐蚀防护领域的同行们更好地交流经验，特别是关注那些与全球安全和环境紧密相关的防腐问题。

在翻译本手册过程中，涉及许多电化学腐蚀与电化学保护的技术专业，而不同国家的技术人员可能有自己的“技术用语”来表达同一事物。一本优秀的译著需要跨学科的团队通力合作。因此，有关专家加入了这一团队，A. 巴尔梯斯是埃森的管道工程专业工程师，是欧洲标准委员会管道防护与阴极保护专业分会德国专家组成员，他负责英文版中专业术语的翻译。J. 范卡茨瓦鲁是杜依斯堡曼尼斯曼研究院的冶金与腐蚀工程师，他负责校对冶金学术语和关键的短语和俚语的翻译。

我们要感谢德文版编著人员的大力协助，包括 G. 弗兰克、U. 汉泽曼、H. 格拉芬、B. 依斯科、B. 柳特纳、B. 里希特尔、H. G. 施尼赫。感谢埃森的管道工程公司和拉丁根的欧罗巴管子公司对英文版的有力支持。

但愿我们的英文版读者在遇到德文符号和索引时没有什么不便。如果把所有符号都改过来可能会产生不可避免的错误。为帮助读者阅读，我们特意列出一张符号表。但是，还请注意，翻译版本难以表达当地标准规范要求。如有必要，读者可以查阅在本手册每一章篇末的有关参考文献，请记住科学技术是没有国界的。

W. v. 贝克曼
W. 施文克
埃森与杜依斯堡
1997 年夏

致 谢

本出版商真诚感谢罗伯特·沃特豪斯博士提供从德文翻译成英文的初稿。感谢原著者们对英文翻译稿审定中所做的贡献。

特别要感谢德克冯·奥斯登·多普先生承担全书通读任务，解决了一些关键的翻译难点。我们还要感谢鲁思·哈斯女士在本手册编辑和印刷过程所做的努力，感谢彼德·多恩先生协助哈斯女士所做的一切。

译者前言

本书德文原著作者 W. v. 贝克曼先生是世界著名防腐蚀专家，毕生从事防腐蚀事业及科研工作，在阴极保护领域有着卓越的成就，论著很多，《阴极保护手册》是他从事阴极保护实践工作的经验总结，具有很强的理论性、实践性和可操作性。本书第一版是在 1971 年出版的，1989 年出版的第三版（第三版的英文版于 1997 年出版）与第一版相比，其内容更加丰富、充实。

本书的内容包括阴极保护理论、设计及测量，其范围涵盖了埋地管道和电缆、海洋构筑物及海底管道、储罐内外壁的阴极保护、交直流干扰影响及其防护措施、钢筋混凝土中钢构件的阴极保护、管道防腐层技术、计算机应用等目前阴极保护技术的所有领域。在手册中既有成熟的德国标准技术，也有中国编写标准所需要的重要参考数据，所以本手册是防腐蚀工作者难得的实用工具书。本手册在一定程度上反映了欧洲阴极保护技术水平和发展的现状，而这些技术中的某些内容在国内还只处在开发研究阶段，有的可能至今尚未触及。

中国同行对于德国的阴极保护技术并不陌生，作为技术的友好使者，德国 SSS 公司在无偿提供技术的同时，SSS 公司的 G. Zimmermann 先生和驻京代表陈惠先生赠给我们 W. v. 贝克曼的《阴极保护手册》德文版和英文版，以书为媒，增进中德两国工程技术人员间的友谊，使这次翻译出版成为可能。在此向他们表示感谢。

我国管道阴极保护技术起步较晚，但发展很快，在 1978 年全国科学大会上，三明无线电二厂的 KKG-3 恒电位仪是获奖的防腐蚀产品，该厂生产的恒电位仪给全国数万公里的长输管道提供了阴极保护。该厂对本书的出版给予了大力支持，在此深表谢意。

英文版序言中写道：“在翻译本手册过程中，涉及许多电化学腐蚀与电化学保护的技术专业，而不同国家的技术人员可能有自己的‘技术用语’来表达同一事物。”中文版的翻译深有同感，本书原著是德文版，我们曾试图由德文译成中文，其难度较大，不得不改由英文版译出，参照德文版校正。前后参加本书翻译的有胡士信、王向农、徐快、张晔、胡笳同志，附录部分由胡莹编译。全书成稿后由胡士信、徐快两人最终总审定稿。为了让读者更好地了解国外阴极保护技术，我们在附录中提供了几部国外经典的阴极保护技术标准。

本书的出版还要感谢中国工程院柯伟院士，他为本书撰写了热情洋溢的推荐意见，在关注阴极保护技术发展的同时，为国内防腐蚀事业注入了新的活力。

本书出版过程中，化学工业出版社依照国际版权法购得版权，在此向化学工业出版社

深表感谢。

腐蚀科学涉及领域较广，与多门学科交叉，是一门新兴的边缘学科。由于我们水平有限，错误在所难免，敬请广大读者批评指正。

胡士信 徐 快

2004年12月14日于廊坊

目 录

第 1 章 腐蚀防护的历史	1
1.1 埋地管道的腐蚀防护	1
1.2 用涂料防止腐蚀	6
1.3 阴极保护的历史	7
1.4 杂散电流保护的发展	13
1.5 腐蚀防护的信息	15
1.6 参考文献	16
第 2 章 腐蚀与电化学防腐的原理及概念	18
2.1 腐蚀过程、腐蚀损坏与防护措施	18
2.2 电化学腐蚀	19
2.2.1 金属材料	20
2.2.2 电解质溶液	22
2.2.3 电化学相界反应	24
2.2.3.1 基本热力学	24
2.2.3.2 电化学动力学	26
2.2.4 混合电极	28
2.2.4.1 均匀的混合电极	28
2.2.4.2 不均匀的混合电极和电池形成	29
2.2.5 电流分布的观察	31
2.3 腐蚀程度的电位相关性	33
2.3.1 几乎均一的失重腐蚀	33
2.3.1.1 活泼金属的失重腐蚀	34
2.3.1.2 钝态金属的失重腐蚀	37
2.3.2 点蚀	40
2.3.3 应力腐蚀	41
2.3.4 氢致腐蚀	42
2.3.5 腐蚀疲劳	45
2.3.6 电化学保护方法的应用局限性	46
2.4 临界保护电位和范围	47
2.5 参考文献	48

第3章 电气测量原理与实践	51
3.1 电参数：电流、电压、电阻	53
3.2 参比电极	54
3.3 电位测量	55
3.3.1 用流动电流进行电极电位测量的依据	55
3.3.2 电位测量的应用	60
3.3.2.1 测量仪表与它们的特性	60
3.3.2.2 管道和储罐的电位测量	61
3.3.2.3 杂散电流干扰下电位的测量	63
3.3.2.4 交流电干扰下的电位测量	64
3.3.3 保护准则的应用	65
3.3.3.1 非合金的铁类金属材料的实用保护准则	65
3.3.3.2 用电位测试探头进行电位测量	66
3.4 电流测量	67
3.4.1 电流测量总则	67
3.4.2 管子电流测量	67
3.4.3 电流密度与防腐层电阻的测量	68
3.5 电阻率测量	70
3.5.1 电阻率测量仪表	70
3.5.2 土壤电阻率的测量	71
3.5.3 接地电阻的测量	74
3.6 缺陷的定位	74
3.6.1 外部接触点的测量	76
3.6.1.1 用直流电确定缺陷位置	76
3.6.1.2 用交流电确定缺陷位置	77
3.6.2 通过场强测量确定不均匀表面区的位置	78
3.6.2.1 局部阳极的定位	78
3.6.2.2 防腐层缺陷的定位	80
3.7 密间隔测量技术	82
3.7.1 要测量的量与密间隔测量技术的目的	83
3.7.2 执行密间隔测量	84
3.8 参考文献	86
第4章 水溶液与土壤中的腐蚀	87
4.1 腐蚀产物的作用与腐蚀类型	87
4.2 确定裸金属腐蚀可能性	89
4.2.1 土壤腐蚀	90
4.2.2 在含水介质中的腐蚀	92
4.3 形成电池或直流杂散电流加剧的阳极腐蚀	92
4.4 交流干扰腐蚀	94

4.5 参考文献	95
----------	----

第5章 防腐蚀覆盖层	96
5.1 用覆盖层防腐的目的与类型	96
5.1.1 有机防腐层	96
5.1.2 水泥砂浆覆盖层	97
5.1.3 磁漆	97
5.1.4 金属覆盖(镀)层	97
5.2 有机覆盖层的特性	97
5.2.1 电特性与电化学特性	97
5.2.1.1 反应类型的回顾	97
5.2.1.2 覆盖层电阻与保护电流要求	98
5.2.1.3 阴极的作用与电池形成	102
5.2.1.4 电化学起泡	103
5.2.1.5 阴极剥离	104
5.2.2 物化特性	106
5.2.3 机械特性	107
5.2.4 覆盖层下钢的腐蚀	108
5.3 水泥砂浆与混凝土的特性	109
5.3.1 砂浆的腐蚀	109
5.3.2 砂浆中钢的腐蚀	109
5.4 磁漆特性	110
5.5 金属覆盖层特性	111
5.6 参考文献	111

第6章 牺牲阳极	113
6.1 概述	113
6.1.1 牺牲阳极的电流容量	114
6.1.2 牺牲阳极的输出	115
6.2 阳极材料	116
6.2.1 铁	116
6.2.2 锌	116
6.2.3 铝	118
6.2.4 镁	120
6.3 填包料	123
6.4 支撑件	124
6.5 阳极形状	125
6.5.1 棒状阳极	125
6.5.2 板块状实体阳极	125
6.5.3 储罐用阳极	126

6.5.4	近海用阳极	127
6.5.5	特殊形状	127
6.6	质量控制与性能测试	127
6.7	牺牲阳极的优缺点	128
6.8	参考文献	128
第7章	辅助阳极	130
7.1	概述	130
7.2	阳极材料	131
7.2.1	整体阳极	131
7.2.2	贵金属与镀有贵金属的阀金属铅锡黄铜	133
7.2.3	镀金属氧化物的阀金属	135
7.2.4	柔性阳极(聚合物电缆阳极)	135
7.3	绝缘材料	136
7.4	电缆	136
7.5	阳极形状	136
7.5.1	适用土壤的阳极	136
7.5.2	适用水的阳极	138
7.5.3	内部应用的阳极	138
7.6	参考文献	140
第8章	强制电流设备与变压整流器	141
8.1	位置与电保护措施	141
8.2	强制电流设计与电路系统	143
8.3	整流器电路	143
8.4	可调变压整流器	144
8.5	耐高压的整流器	145
8.6	控制整流器	146
8.7	无交流电网的地区的电源设备	148
8.8	变压整流器的设备与控制	149
8.9	参考文献	151
第9章	辅助阳极地床和干扰问题	152
9.1	辅助阳极地床	153
9.1.1	连续水平阳极地床	153
9.1.2	单支阳极装置	155
9.1.3	深井阳极地床	157
9.1.4	阳极的设计	159
9.2	对外部管道与电缆的干扰	161
9.2.1	来自阳极电压锥的干扰	161

9.2.2	来自受保护物体的阴极电压锥的干扰	163
9.2.3	避免干扰	164
9.3	参考文献	165
第 10 章	管道	167
10.1	钢质管道的电特性	167
10.2	管道保护的先决条件	169
10.2.1	实现低电阻负荷的措施	169
10.2.2	实现低漏泄负荷的措施	169
10.2.2.1	管道防腐层	169
10.2.2.2	绝缘接头	170
10.2.2.3	电动阀门与调节器	171
10.2.2.4	套管	172
10.2.2.5	管道上的特殊装置	174
10.2.2.6	防止与外部物体的电接触	174
10.3	阴极保护的设计	174
10.3.1	设计文件	174
10.3.2	测试点	174
10.3.3	电流需要量的确定	175
10.3.4	保护方法的选择	175
10.3.4.1	牺牲阳极	176
10.3.4.2	强制电流	176
10.3.5	用于电解质溶液的管道	177
10.3.6	配送管网	178
10.4	阴极保护站的调试	181
10.5	阴极保护系统的监测与管理	181
10.6	参考文献	182
第 11 章	储罐与油库	183
11.1	有关储罐保护的的特殊问题	183
11.2	准备措施	183
11.3	储罐	184
11.3.1	确定电流需要量、评价及与保护设备的连接	184
11.3.2	保护方法的选择	186
11.3.3	保护装置设计示例	187
11.3.3.1	牺牲阳极保护设备	187
11.3.3.2	强制电流站	188
11.4	油库和加油站	189
11.5	铁路附近阴极保护的的特殊问题	190
11.5.1	概述	190

11.5.2	均压低电阻连接与绝缘接头	190
11.5.3	电气化铁路的保护接地	191
11.5.4	防雷击保护	192
11.5.5	在铁路区域的干扰与工作	192
11.6	在不同金属装置中的措施	192
11.7	燃油罐的内部保护	193
11.8	其他保护措施考虑	193
11.9	阴极保护站的操作与维护	194
11.10	参考文献	195
第 12 章	局部阴极保护	196
12.1	适用范围	196
12.2	局部阴极保护的特点	196
12.3	电站	198
12.4	炼油厂	200
12.5	有小的钢筋混凝土基础的装置	201
12.6	罐区	203
12.7	参考文献	205
第 13 章	电话电缆	206
13.1	敷设电缆	206
13.2	钝化防腐	206
13.3	阴极保护	208
13.3.1	杂散电流保护	208
13.3.2	强制电流阴极保护	210
13.4	参考文献	213
第 14 章	电力电缆	214
14.1	埋地电力电缆的特性	214
14.2	电力电缆钢导管的阴极保护	215
14.2.1	(在套管与接地之间)直流去耦器件的要求	215
14.2.2	直流去耦器件的类型与电路	216
14.2.2.1	低欧姆电阻	216
14.2.2.2	高欧姆电阻	217
14.2.2.3	采用镍镉电池的直流去耦器件	217
14.2.2.4	极化电池	217
14.2.2.5	采用硅二极管的直流去耦器件	218
14.2.3	阴极保护站的安装	219
14.2.4	阴极保护的 control 与维护	219
14.3	杂散电流防护	220

14.4	参考文献	220
第 15 章	杂散电流干扰与防护	221
15.1	杂散电流干扰的起因	221
15.1.1	直流设备	221
15.1.2	直流设备上的一般性措施	221
15.2	来自直流铁路的杂散电流	222
15.2.1	有关直流铁路的规定	222
15.2.2	直流铁路的隧道	224
15.3	来自高压直流电力线的杂散电流	225
15.4	地电流引起的杂散电流	226
15.5	防护措施	228
15.5.1	单一管道的杂散电流防护	228
15.5.2	在城市地区杂散电流综合性防护措施	230
15.6	在港口地区杂散电流的防护	232
15.7	参考文献	233
第 16 章	海洋构筑物 and 海底管道	234
16.1	阴极保护措施	234
16.1.1	设计准则	234
16.1.2	牺牲阳极保护	237
16.1.3	强制电流保护	237
16.2	海洋平台	238
16.2.1	钢构筑物	238
16.2.2	混凝土构筑物	240
16.3	港口构筑物	240
16.3.1	强制电流设备	241
16.3.2	牺牲阳极保护	241
16.4	钢板桩	242
16.5	桩基础	243
16.6	海底管道	244
16.7	阴极保护的 control 与维护	245
16.7.1	生产平台	246
16.7.2	港口构筑物	246
16.7.3	海底管道	247
16.8	参考文献	248
第 17 章	舰船的阴极保护	250
17.1	水体成分	250
17.1.1	溶解盐 and 固体颗粒	250

17.1.2	充气 and 含氧量	251
17.1.3	船在航行中水的流速	252
17.1.4	温度与浓度的变化	252
17.2	材料与覆盖层参数的影响	252
17.3	水线以下部位的阴极保护	254
17.3.1	保护电流需要量的计算	254
17.3.2	牺牲阳极保护	255
17.3.2.1	阳极的大小和数量	255
17.3.2.2	阳极的布置	256
17.3.2.3	阴极保护的 control 与维护	258
17.3.3	强制电流保护	258
17.3.3.1	电源与整流器	258
17.3.3.2	辅助阳极与参比电极	259
17.3.3.3	阳极与参比电极的布置	261
17.4	船舱与容器的内部阴极保护	262
17.5	热交换器、冷凝器、管路的阴极保护	264
17.6	船舶的阴极保护	264
17.7	船坞的阴极保护	264
17.8	参考文献	265
第 18 章 油井套管的阴极保护		266
18.1	油井套管的描述	266
18.2	腐蚀危险的起因	267
18.2.1	腐蚀电池的形成	267
18.2.2	不同土层的自然腐蚀	267
18.2.3	发生应力腐蚀的条件	267
18.2.4	阳极干扰 (电池形成、杂散电流) 引起的腐蚀	268
18.3	评价油井套管腐蚀防护的量值	268
18.3.1	腐蚀破坏的调研	268
18.3.2	ΔU 剖面曲线的测量	268
18.3.3	塔费尔电位的测量	270
18.4	阴极保护站的设计与施工	270
18.5	调试、维护与控制	272
18.6	参考文献	273
第 19 章 混凝土构筑物加强筋的阴极保护		274
19.1	钢筋混凝土系统的腐蚀	274
19.2	混凝土中钢筋腐蚀的原因	274
19.3	混凝土的电解质特性	275
19.4	阴极保护准则	275