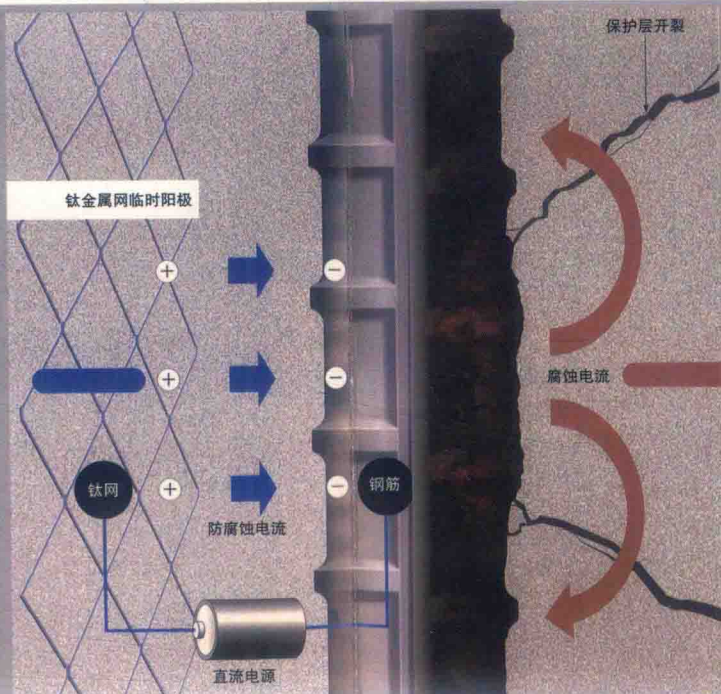


混凝土结构电化学保护技术

Technology of Electrochemical Protection for
Concrete Structure

冯乃谦 郝挺宇 编著



中国建筑工业出版社

混凝土结构电化学保护技术

冯乃谦 郝挺宇 编著



中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

混凝土结构电化学保护技术/冯乃谦, 郝挺宇编
著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2019.3
ISBN 978-7-112-23240-6

I. ①混… II. ①冯… ②郝… III. ①混凝土结构-电化学保护 IV. ①TU37

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 020902 号

本书介绍了混凝土结构电化学保护技术的机理、设计、施工及维护管理等, 给出各种工法的应用实例, 以及不同腐蚀的检测方法。在日本、美国以及欧洲的一些国家已经十分重视混凝土结构的电化学保护技术, 我国也迫切需要推广。全书共分 28 章, 主要内容包括: 导论; 电化学保护技术的基础知识; 钢铁的腐蚀; 电化学保护 (防腐蚀) 技术的原理; 氯离子对混凝土结构中钢筋的腐蚀及检测; 电化学保护 (防腐蚀) 技术的特征; 在盐害环境下混凝土结构的电化学保护技术; 混凝土结构的中性化与检测; 电化学防腐蚀工法设计前的调查; 电化学防腐蚀工法的适用范围; 电化学防腐蚀工法的设计; 各种电化学保护 (防腐蚀) 方式和特点; 电化学防腐蚀的工程应用的实例; 内部电流 (牺牲阳极) 的电化学保护与应用; 混凝土结构的脱盐工法; 脱盐工法的施工; 脱盐工法施工应用实例; 采用脱盐工法维修后结构的维护管理; 混凝土的再碱化工法; 再碱化工法的适用范围; 再碱化工法的设计; 再碱化工法的施工应用及维护管理; 再碱化工法实施例; 电化学植绒工法概要与适用范围; 电化学植绒修补工法的设计; 电化学植绒工法的施工与维护管理; 电化学植绒修补工法的应用实例; 电化学保护技术在我国混凝土桥梁中的应用。

本书适用于高等院校的相关专业师生, 同时也可供有关工程技术人员参考。

责任编辑: 辛海丽 郭栋
责任校对: 姜小莲

混凝土结构电化学保护技术 冯乃谦 郝挺宇 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)
各地新华书店、建筑书店经销
霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版
天津安泰印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 15¼ 字数: 305 千字
2019 年 4 月第一版 2019 年 4 月第一次印刷

定价: 60.00 元

ISBN 978-7-112-23240-6
(33532)

版权所有 翻印必究
如有印装质量问题, 可寄本社退换
(邮政编码 100037)

前 言

混凝土结构的耐久性，讲述了结构在所处的环境中，遭受了相应的劣化因子作用，或多个劣化因子的综合作用，由健全状态变成损伤、劣化、破坏的状态；讲述了劣化机理、损伤破坏的原因及应采取的对策等。混凝土结构的电化学保护技术，主要是保护混凝土中的钢材（钢筋）免遭腐蚀或控制腐蚀，使混凝土结构能健全的工作。因为如果混凝土中的钢材受到腐蚀，甚至劣化破坏了，整个结构就要瘫倒。混凝土结构中钢材的腐蚀，虽然是由于盐害作用、中性化作用或其双重作用，或由于混凝土开裂、劣化因子直接对钢筋的腐蚀等，但是最根本的原因是在劣化因子的作用下，钢筋（钢材）表层的钝化膜受到了损伤，在钢筋上发生了微电池反应、大电池反应，使表层的钝化膜受到更大的损伤破坏，钢筋受到的腐蚀更严重。我国改革开放初期，在海边建成的钢筋混凝土桥梁，投入使用不到10年，桥两边的边梁底部的混凝土保护层整片剥落，这是由于钢筋受到腐蚀产生铁锈，体积增大而发生的。

混凝土结构中钢材的腐蚀是一种电化学腐蚀。由于钢筋（钢材）表面钝化膜缺损，发生电化学反应，铁元素放出电子（阳极），产生电流流入钢筋的健全部分（阴极）。形成腐蚀电池。腐蚀电池的阴极和阳极都处在同一根钢筋上。因此，混凝土中的钢筋也可以通过电化学的方法加以保护。这种保护也叫作阴极保护。

钢筋要得到完全阴极保护，必须对钢筋进行阴极极化，使钢筋总电位降低至与腐蚀电池阳极的开路电位相等。这时钢筋表面，原来是腐蚀电池的阳极区域变为阴极区域，整个钢筋表面变为大阴极。在一个原电池中，阴极是不受腐蚀的，这就是阴极保护的原理。

混凝土结构的电化学保护，主要是保护混凝土中的钢筋免遭腐蚀，使结构物具有优良的耐久性和长的工作寿命。电化学保护的方法，主要是给钢筋输入防腐蚀电流。有两种方式：（1）外部电流方式：在混凝土表面上（或适宜处）设置临时阳极，与直流电源装置的阳极相接，电源装置的阴极与钢筋相接；通电后，电流（防腐蚀电流）从阳极经混凝土流入钢筋，钢筋成为大阴极而免遭腐蚀。（2）内部电流方式：利用金属离子化的高低不同，例如，铝、锌、镁等的离子化倾向比铁高，通过利用这些金属的离子化，抑制铁的离子化（腐蚀）。也即把要防腐蚀的钢材（钢筋）作为阴极，比钢材（钢筋）离子化高倾向的（更活泼）金属为阳极，由于两极之间的电位差而产生电流的方法。

电化学保护技术，对混凝土结构还有另一方面的内容，对混凝土结构的电化

学修补,包括混凝土的再碱化工法、混凝土的脱盐工法及混凝土裂缝的电植绒工法。再碱化使混凝土的碱性提高, pH 值提高,恢复了混凝土对钢筋的碱性保护,表面损伤的钝化膜得以修复;脱盐工法使混凝土中钢筋周边的氯离子含量低于极限值,钢筋的钝化膜也得以修复;电化学植绒工法修补了混凝土的裂缝,抗渗性、耐久性提高,对钢筋的保护功能提高。

本书对上述内容从基础知识、基本原理、实际应用和工程实际,作了全面的论述,还请郝挺宇博士专为本书写了一章“混凝土结构的电化学保护技术在我国的应用”。力求从理论和实际相结合上做得更好些。

根据日本鹿岛建设株式会社月永洋一研究员的介绍,经使用 40 年的海港码头,已进行了 3 次修补,用牺牲阳极及断面修复相结合工法与普通维修工法相比,每平方米维护管理费用可节省 1/3 以上。电化学保护技术,对混凝土结构在技术上和经济上都有很重要的意义。

编写本书的过程中,得到了向井毅教授、笠井芳夫教授的指导与帮助;也得到了西林新藏教授的讲学交流和多方面的指导;新加坡陆金平先生、国内季元升先生及多方朋友的鼓励和支持,通过交流,得到了加拿大的 VECTOR 公司和日本的 CHUKEN CONSULTANT 公司的参考资料,丰富了本书的内容。致以衷心感谢。

本书可供从事该方面学习、研究的师生及相关工作的技术人员参考。书中难免有错误和问题,请批评指正!

冯乃谦

于清华大学

目 录

第 1 章 导论	1
1.1 混凝土中钢材的腐蚀是一种电化学腐蚀	1
1.2 电化学保护技术（防腐蚀技术工法）的原理	3
1.3 电化学保护技术的种类	4
1.4 外部电流的电化学保护技术	6
1.5 牺牲阳极方式的电化学保护技术	7
1.6 混凝土结构修补的电化学技术	7
1.7 电化学保护技术的重要性	9
第 2 章 电化学保护技术的基础知识	11
2.1 氧化和还原	11
2.2 原电池	11
2.3 双电层	12
2.4 金属的电极电位	13
2.5 标准电极的电位	14
2.6 非标准情况下的电极电位	15
2.7 非平衡电极电位	16
2.8 电极电位在防腐蚀工作中的意义	18
第 3 章 钢铁的腐蚀	19
3.1 大电池腐蚀	19
3.2 微电池腐蚀	20
3.3 浓差电池腐蚀	21
3.4 大气腐蚀	22
3.5 应力腐蚀	23
3.6 电化学防腐蚀例解	23
第 4 章 电化学保护（防腐蚀）技术的原理	25
4.1 引言	25
4.2 阴极保护的种类	25
4.3 阴极保护的原理	27
4.4 牺牲阳极的阴极保护	29
4.5 阴极保护的两个主要参数	30

4.6	金属设备应用阴极保护的条件	33
4.7	阴极保护用的阳极材料	34
第5章	氯离子对混凝土结构中钢筋的腐蚀及检测	36
5.1	引言	36
5.2	混凝土结构中的氯离子	36
5.3	混凝土中钢筋锈蚀机理	42
5.4	钢筋腐蚀的电化学特性值和检测方法	45
5.5	自然电位法检测应用实例	48
5.6	吸附剂抑制氯离子对钢筋腐蚀电位的测定	54
5.7	本章小结	57
第6章	电化学保护(防腐蚀)技术的特征	60
6.1	引言	60
6.2	电化学保护(防腐蚀)技术的特征	60
6.3	电化学保护技术的施工方法	62
6.4	外部电源强制通入防腐蚀电流的方式	63
6.5	内部电流方式(牺牲阳极方式)	64
6.6	预期的效果与认证	65
6.7	电化学保护技术(防腐蚀)的应用	66
6.8	电化学植绒工法	67
第7章	在盐害环境下混凝土结构的电化学保护技术	68
7.1	盐害对混凝土结构物的劣化过程	68
7.2	盐害环境下混凝土结构电化学保护技术	71
7.3	内部电流(小型牺牲阳极)电化学保护技术	72
7.4	外部电源的电化学保护技术	76
第8章	混凝土结构的中性化与检测	78
8.1	中性化使混凝土结构物劣化破坏实例	78
8.2	混凝土中性化的过程和内部钢筋锈蚀的关系	79
8.3	中性化进行概要及其检测	80
8.4	混凝土中性化的决定因素	83
8.5	混凝土中性化深度检测	83
第9章	电化学防腐蚀工法设计前的调查	85
9.1	进行设计时需要的调查	85
9.2	调查时的记录	88
9.3	采用电化学防腐蚀工法设计需要的调查实例	90
9.4	采用脱盐工法的调查实例	92

9.5 采用再碱化工法的调查实例	94
9.6 采用电植绒修补工法的调查实例	96
第10章 电化学防腐工法的适用范围	99
10.1 引言	99
10.2 电化学防腐工法和适用的对象	99
10.3 新建混凝土结构物采用电化学防腐工法	100
第11章 电化学防腐工法的设计	101
11.1 进行设计时的调查	101
11.2 防腐基准	101
11.3 防腐电流密度	103
11.4 防腐方式的选择	104
11.5 电化学防腐电路的设计	105
11.6 监测电路的设计	107
11.7 混凝土的预处理	107
11.8 使用主要材料	108
11.9 校对电极	109
11.10 断面修复材料	110
11.11 裂缝修补材料	110
11.12 配线配管	110
11.13 直流电源装置	110
第12章 各种电化学保护(防腐)方式和特点	112
12.1 概要	112
12.2 钛金属网状阳极方式	112
12.3 板状阳极方式	114
12.4 导电性涂料方式	115
12.5 钛金属溶液喷射方式	116
12.6 钛、锌金属溶液喷射方式	118
12.7 钛金属网状的阳极方式	119
12.8 条状钛金属阳极	120
12.9 钛金属杆方式	121
12.10 锌板阳极方式(牺牲阳极方式)	123
12.11 锌-铝合金熔融喷射方式的阳极	124
12.12 导电砂浆方式	126
第13章 电化学防腐的工程应用的实例	128
13.1 钛金属网阳极方式	128

13.2	板状阳极方式	129
13.3	导电性涂料方式	131
13.4	钛金属液喷射临时阳极方式	132
13.5	钛-锌金属液喷射方式的临时阳极	134
13.6	钛金属网阳极方式	135
13.7	条状钛金属网阳极方式	136
13.8	钛金属杆阳极方式	138
13.9	锌板阳极方式	139
13.10	锌-铝合金熔融喷射方式的阳极	140
13.11	导电性砂浆方式	142
第14章	内部电流(牺牲阳极)的电化学保护与应用	144
14.1	混凝土中钢筋的电化学腐蚀	144
14.2	牺牲阳极的电化学保护技术的应用	146
14.3	小型阳极 XP 系列产品及应用	149
14.4	在新建混凝土结构中的应用	150
14.5	在混凝土结构修补中的应用	151
14.6	用于海洋新建的混凝土结构和桥梁	152
14.7	效果的评估	153
第15章	混凝土结构的脱盐工法	155
15.1	原理	155
15.2	脱盐工法的适用范围	156
15.3	脱盐工法的设计	158
15.4	临时阳极要求的性能	159
15.5	通电条件的确定	160
15.6	直流电源的选定	161
15.7	断面修复材料的选定	161
15.8	脱盐处理后的表面处理	162
第16章	脱盐工法的施工	163
16.1	施工准备	163
16.2	施工前处理	164
16.3	钢筋(材)的通电检查	164
16.4	钢材和电源阴极的连接	165
16.5	临时阳极的设置和电解质溶液的供给	165
16.6	直流电源的设置与配线	166
16.7	通电处理刚开始和通电处理中的管理	166

16.8	脱盐效果的确认	168
16.9	通电结束后的处理	168
第 17 章	脱盐工法施工应用实例	169
17.1	纤维板形式	169
17.2	板式电极方式	171
17.3	粘结方式	173
第 18 章	采用脱盐工法维修后结构的维护管理	176
18.1	检查	176
18.2	评估和判断	177
18.3	对策	177
第 19 章	混凝土的再碱化工法	179
19.1	引言	179
19.2	再碱化工法的原理	179
19.3	再碱化工法的效果	180
19.4	再碱化工法在钢筋混凝土墙面上的应用	183
第 20 章	再碱化工法的适用范围	184
20.1	引言	184
20.2	混凝土结构劣化程度与再碱化工法的应用	184
20.3	再碱化工法使钢筋混凝土结构物耐久性提高	185
第 21 章	再碱化工法的设计	186
21.1	对混凝土结构物进行调查	186
21.2	调查混凝土中性化深度	187
21.3	临时阳极要求的性能	187
21.4	临时阳极方式的选定	188
21.5	通电条件的决定	188
21.6	直流电源和电路电线的选定	189
21.7	断面修复材料等的选定	190
21.8	再碱化处理后, 表面处理的研究	190
第 22 章	再碱化工法的施工应用及维护管理	191
22.1	概述	191
22.2	施工准备	191
22.3	再碱化工法施工前的处理	192
22.4	钢材(钢筋)的导电和通电情况	193
22.5	钢材(钢筋)与电源阴极的接线	193
22.6	临时阳极的设置和电解质溶液的供给	193
22.7	直流电源的设置与配线	194

22.8	开始通电和通电过程中的管理	194
22.9	再碱化效果的确认	196
22.10	通电完成后的处理	196
第 23 章	再碱化工法实施例	197
23.1	纤维砂浆喷涂方式	197
23.2	板状方式	199
23.3	薄板形式	200
第 24 章	电化学植绒工法概要与适用范围	202
24.1	原理	202
24.2	电化学植绒工法修补预期的效果	203
24.3	电化学植绒工法的适用范围	204
第 25 章	电化学植绒修补工法的设计	205
25.1	设计前的调查	205
25.2	设计时要考虑结构物开裂的程度及裂缝分布	206
25.3	临时阳极要求的性能	207
25.4	临时阳极方式的选定	207
25.5	通电条件的决定	208
25.6	直流电源的选定	209
第 26 章	电化学植绒工法的施工与维护管理	211
26.1	电化学植绒工法施工的一般要求	211
26.2	施工准备	212
26.3	通电前对结构的处理	212
26.4	钢材(钢筋)的通电检验	213
26.5	钢材(钢筋)和电源阴极的接线	213
26.6	临时阳极的设置	214
26.7	直流电源的设置与配线	214
26.8	通电处理开始后和通电期间的管理	215
26.9	通电效果的确认	216
26.10	通电完了后的后处理	217
第 27 章	电化学植绒修补工法的应用实例	218
27.1	在海水中的混凝土结构的施工应用	218
27.2	给水施工方式的应用	221
第 28 章	电化学保护技术在我国混凝土桥梁中的应用	224
28.1	引言	224
28.2	廊房-涿州高速公路永定河特大桥桥面板的电化学保护	224
28.3	青岛海湾大桥通航孔混凝土结构的电化学保护	226
参考文献		230

第 1 章 导 论

对于混凝土结构物，无论是已建成的或者是要新建的，都可以采用电化学保护技术对结构进行保护。所谓电化学保护（或称为电化学防腐蚀），是通过阳极把外部的直流电流输送给混凝土内部的钢材（钢筋），防止钢材（钢筋）的腐蚀，抑制结构物劣化的一种方法。

1.1 混凝土中钢材的腐蚀是一种电化学腐蚀

混凝土结构建成后，由于外荷载作用及所处环境下劣化因子的作用，会使内部的钢筋（钢材）发生腐蚀，使混凝土开裂剥落，使结构劣化加剧，承载力降低。如图 1-1 所示。

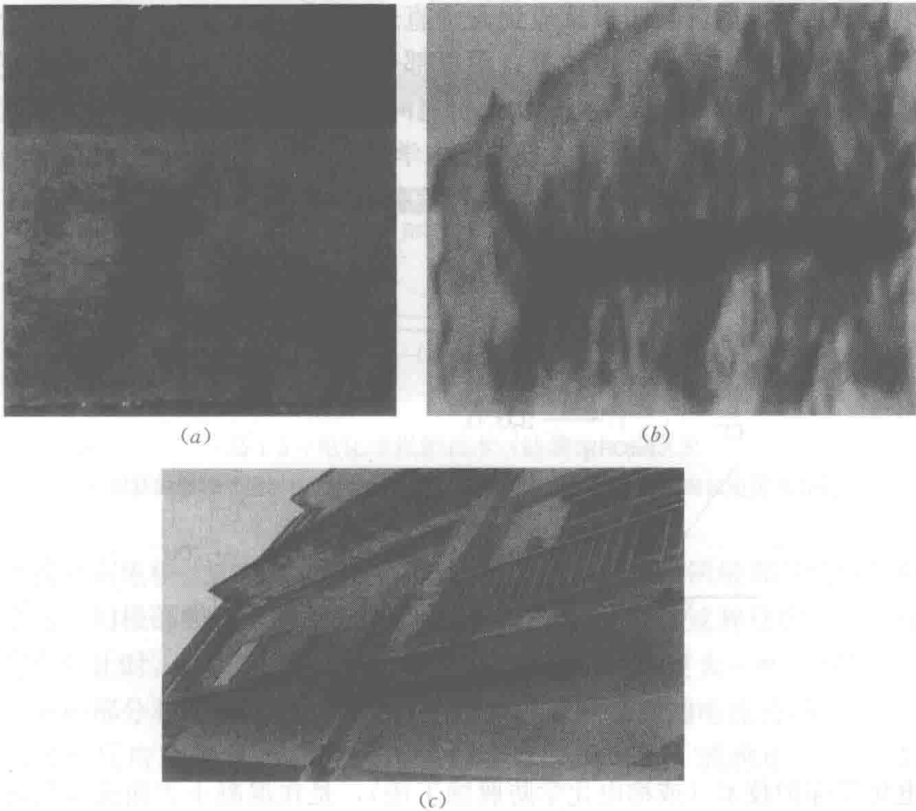
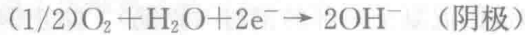


图 1-1 环境劣化因子作用使钢筋锈蚀结构劣化

(a) 混凝土梁中性化钢筋锈蚀；(b) 钢筋锈蚀体积膨胀开裂；(c) 沿海混凝土结构受盐害劣化

混凝土中钢筋的腐蚀反应概要如图 1-2 所示。在环境的劣化因子 Cl^- 的作用，和大气中劣化因子对混凝土的中性化作用，混凝土的 pH 值降低，钢筋表面的钝化膜受到损伤，使钢筋发生孔蚀。一般情况下，孔蚀的孔呈圆形。在蚀孔的底部，发生铁溶解的离子化反应（氧化反应，也称阳极反应）放出电子，而且一直进行。而在钢筋健全部分，发生还原反应（也称阴极反应）；在阴极发生氧化剂，消耗阳极反应放出的电子。而且这两种反应同时发生。



将阳极反应与阴极反应汇合在一起，反应如下：



溶解度很低的 $\text{Fe}(\text{OH})_2$ ，在蚀孔入口处沉淀，妨碍了其他的 Fe^{2+} 向外部扩散，进一步发生以下反应：



也即铁锈体积增大、增多，混凝土会开裂，混凝土的 pH 值降低，孔蚀也就逐步发展起来。腐蚀进一步发展。

钢筋中的阳极反应与阴极反应仍是一直进行着。而且，这两种反应同时发生。钢筋表面发生阳极部分电位低；阴极部分电位高，这样就发生电位差。同时，电流（腐蚀电流）在混凝土中由阳极流向阴极，对钢筋进行着腐蚀。这种腐蚀反应最终生成红色的 FeOOH （日本土木学会）和黑色的 Fe_3O_4 ，在钢筋表面生成锈蚀层。这就是混凝土中钢筋的电化学腐蚀反应。

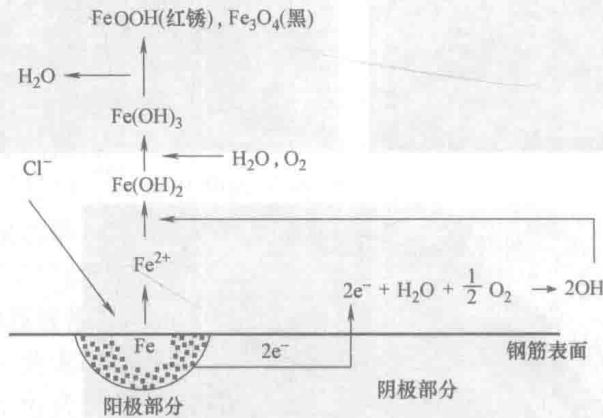


图 1-2 混凝土中钢筋的腐蚀反应概要

电化学保护技术（或称电化学防腐蚀工法），是在混凝土表面或在其近旁设置阳极，电流经过电解质混凝土流入钢筋，使钢筋表面没有电位差发生，以抑制钢筋腐蚀的一种技术，或者称为抑制钢筋腐蚀的工法。

1.2 电化学保护技术（防腐蚀技术工法）的原理

为了解释电化学保护技术的原理，可参阅图 1-3。

在图 1-3 (a) 中的阳极反应，发生更多的腐蚀电流流向钢筋的另一端（阴极）。也就是阳极部分和阴极部分之间，由于发生电位差，腐蚀电流由阳极流向阴极的流动状态。通过电化学保护技术，在混凝土表面设置阳极系统，通过阳极系统向钢筋输入直流电流，如图 1-3 (b) 所示。

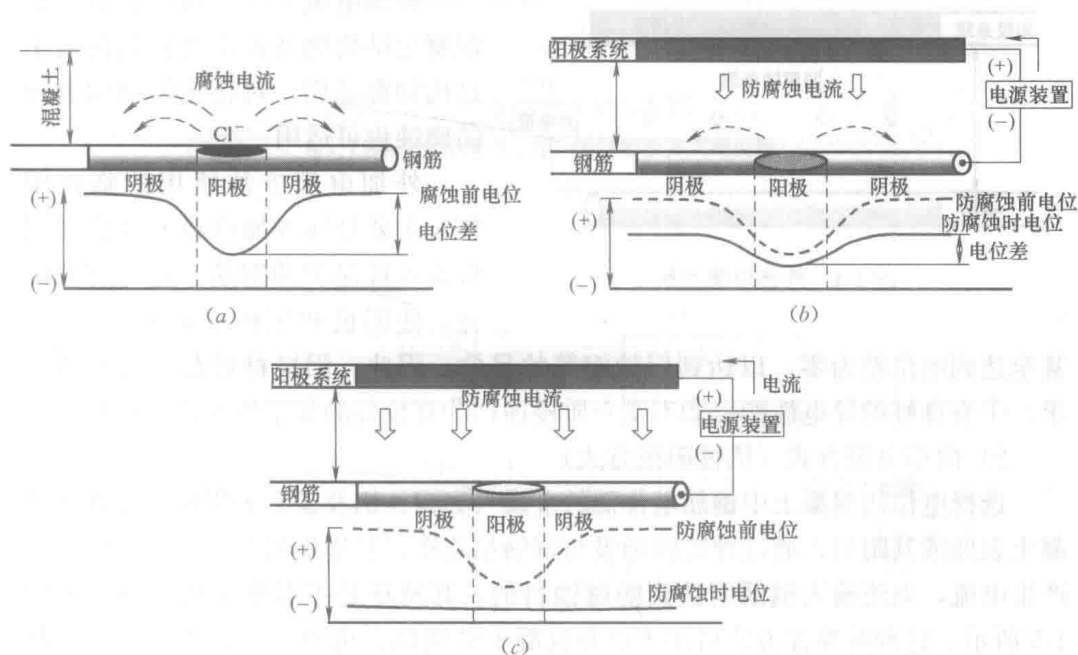


图 1-3 电化学保护技术（防腐蚀）的原理

(a) 钢筋的腐蚀（腐蚀前）；(b) 防腐蚀电流不充分时；(c) 防腐蚀电流充分情况

电流从高电位优先流入阴极。伴随着此现象的发生，阴极部分的电位向负的方向变化。阳极部分和阴极部分的电位差变小。但是，在这种状态下，腐蚀电流不能完全停止时，防腐蚀是不完全的。如果防腐蚀电流更大一些，如图 1-3 (c) 所示，阴极部分和阳极部分之间没有电位差，就没有腐蚀电流流动。也就是说，钢材的腐蚀反应就停止了。这就是电化学保护的原理，或称电化学防腐蚀的原理。

通过外加电流，输入阴极，使阴极的电位和阳极的电位没有电位差，使原来的腐蚀电流停止流动，也即抑制了腐蚀的发生。这就是电化学保护技术。

1.3 电化学保护技术的种类

电化学保护技术,按防腐蚀电流供给的方法,可分为两大类:

1) 外部电流方式

直流电源装置的(+)极,是设置于混凝土表面的阳极系统;(-)极是与防腐蚀对象钢材连接。由于直流电源装置两者间有防腐蚀电流流动,进行电化学防腐蚀。通过直流电源装置可以调整防腐蚀电流,这是其特征,如图1-4所示。

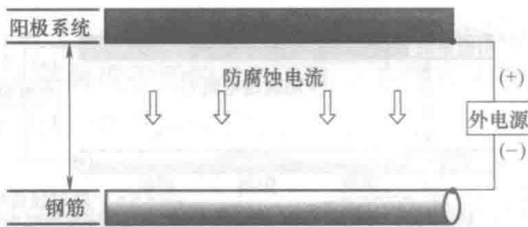


图 1-4 外部电流系统

外部电流方式,对已有的钢筋混凝土结构物及预应力钢筋混凝土结构物都适用;对新建的结构物预防腐蚀也可适用。

外加电流方法所用的临时阳极,主要是使外加电流通过临时阳极流入被保护的钢筋,进行阴极极化,使阴极和阳极的电位差变小,

甚至达到电位差为零,以达到保护钢筋的目的。因此,阳极材料要满足下述要求:①有良好的导电性能;②不受介质侵蚀;③有较好的加工性能,价格便宜。

2) 内部电流方式(牺牲阳极方式)

选择电位比混凝土中钢筋电位低的金属(如锌、铝及镁)为阳极,设置于混凝土表面或其附近,通过导线将阳极与钢筋相连接,利用钢筋和阳极金属电位差产生电流,电流输入钢筋而达到防腐蚀目的。其特征是不需要电源设备。如图1-5所示。这种防腐蚀方式可用于已有混凝土结构物,也可用于新建结构物的预防保护。

牺牲阳极的阴极保护法,是利用牺牲阳极与被保护的钢筋之间较大的电位差产生电流,使阴极极化,使阴极和阳极的电位差变小,甚至达到电位差为零,以达到保护钢筋的目的。因此,牺牲阳极的材料,必须具备以下条件:①和被保护的钢筋相比,有足够低的电位;②单位消耗量所发生的电量要大;③牺牲阳极金属本身腐蚀小,电流率高;④有较好的机械强度,价格便宜。工程上常用的牺牲阳极的材料,有锌、铝、镁及其合金。

3) 两种不同方式概念对比图

内部电流方式和外接直流电源的方式,可归纳如图1-6所示。

外加电流方法所用的临时阳极,主要是使外加电流通过临时阳极流入被保护的钢筋,进行阴极极化,使阴极和阳极的电位差变小,甚至达到电位差为零,使腐蚀电流停止,以达到保护钢筋的目的。

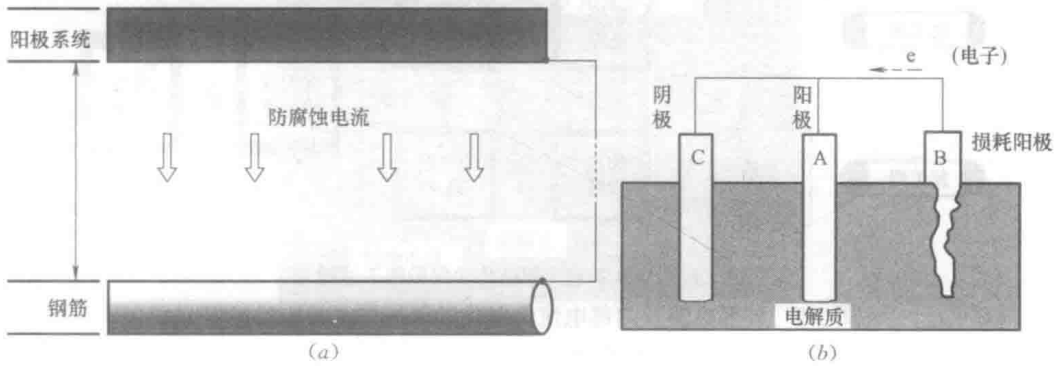


图 1-5 内部电流方式（牺牲阳极方式）

(a) 内部电流原理图；(b) 牺牲阳极方式解说图

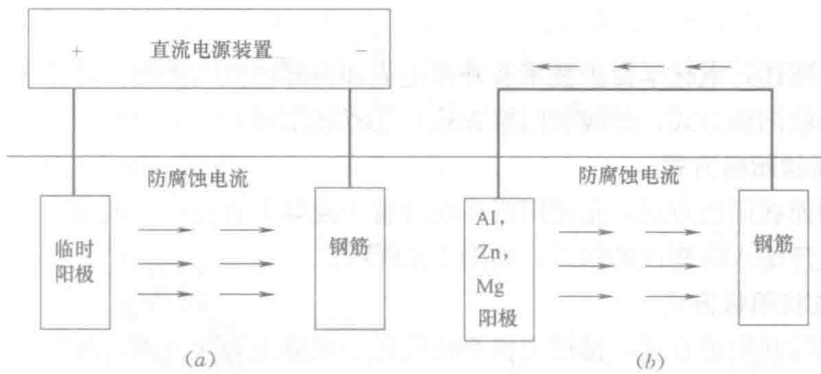


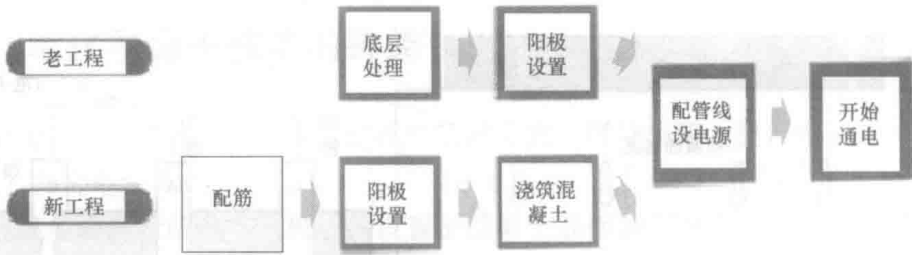
图 1-6 外接直流电源的方式和内部电流方式的电化学保护

(a) 外部电流方式概念图；(b) 内部电流方式概念图

内部电流方式利用牺牲阳极与被保护的钢筋之间较大的电位差产生电流，使阴极极化，使阴极和阳极的电位差变小，甚至达到电位差为零，以达到保护钢筋的目的。两者对已有的钢筋混凝土结构物及预应力钢筋混凝土结构物都适用；对新建的结构物预防腐蚀也适用。其施工应用过程如图 1-7 所示。

外部电流与内部电流对混凝土中的钢筋的电化学保护技术，都是依靠把防腐电流输入钢筋（阴极），使阴极极化，阴极和阳极的电位差变小，甚至相等；使腐蚀停止。外部电流需要电源输入直流电流。通电方式有以下三种：

(1) 定电位通电方式，使钢材的电位一定；



老工程维修及新建工程电化学保护施工过程

图 1-7 外部电源及内部电流的电化学保护技术的施工过程

- (2) 定电流通电方式，使通电的电流量一定；
 (3) 定电压通电方式，使通电的电压量一定。
 可根据具体条件，选择其中的一种方式。

1.4 外部电流的电化学保护技术

如上所述，电化学保护技术有外部电流和内部电流两大类。外部电流又可分为：①面状阳极方式；②线状阳极方式；③点状阳极方式三大类。

1. 面状阳极方式

所谓面状阳极方式，是把阳极系统设置于混凝土表面或者内部某一面上，将预定的电流输入防腐蚀的钢筋，如图 1-8 所示。

2. 线状阳极方式

所谓线状阳极方式，是把阳极系统设置于混凝土表面或者内部某一面上，将预定的电流输入防腐蚀的钢筋，如图 1-9 所示。

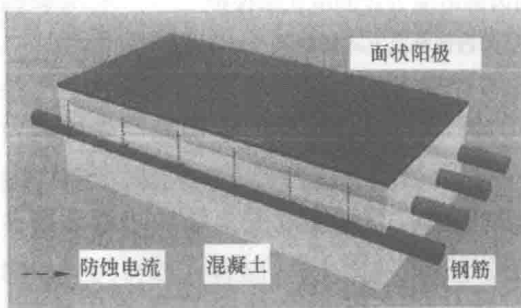


图 1-8 面状阳极方式

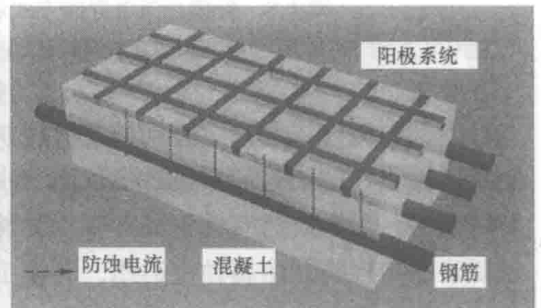


图 1-9 线状阳极方式

3. 点状阳极方式

所谓点状阳极方式，是把阳极系统设置于混凝土表面或者内部某一面上，将预定的电流输入防腐蚀的钢筋，如图 1-10 所示。