



上海法赫铁道技术设备有限公司
FAHE RAILWAY TECHNOLOGY & EQUIPMENT CO.,LTD
上海法赫桥梁隧道养护工程技术有限公司
FAHE BRIDGE & TUNNEL MAINTENANCE PROJECT TECHNOLOGY CO.,LTD

上海总公司
地址：上海市市北高新技术园区江场三路88号6层
邮编：200436
电话：86-021-61172030 18001691835
传真：86-021-61172035
网址：www.fahe-qs.com



小程序



微信公众号

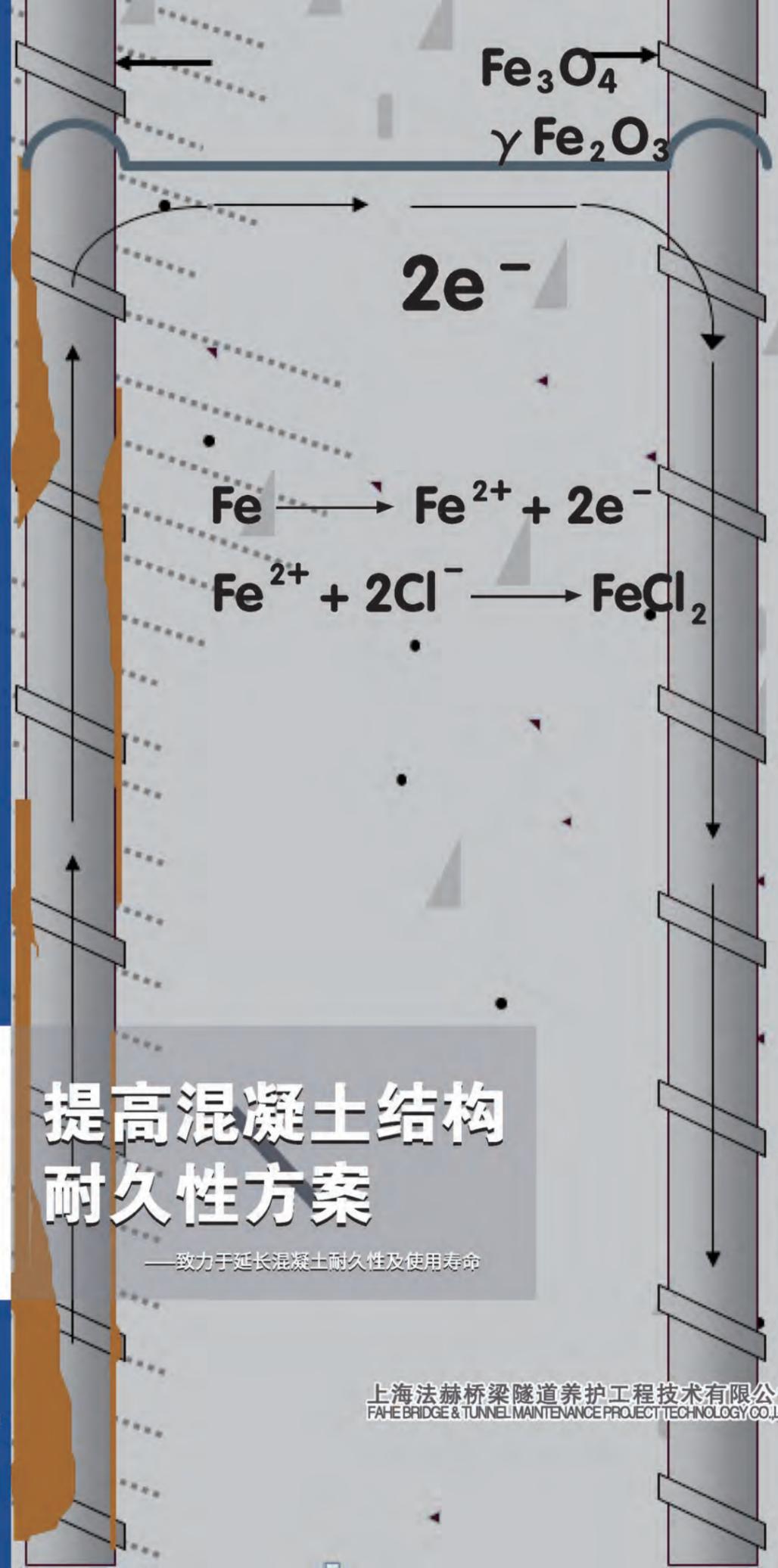
FAHE BRIDGE & TUNNEL MAINTENANCE PROJECT TECHNOLOGY CO., LTD



www.fahe-qs.com

提高混凝土结构 耐久性方案

—致力于延长混凝土耐久性及使用寿命



上海法赫桥梁隧道养护工程技术有限公司
FAHE BRIDGE & TUNNEL MAINTENANCE PROJECT TECHNOLOGY CO.,LTD

引言

| | |
|-----------|-----|
| 钢筋混凝土结构现状 | P03 |
| 抗腐蚀电块的必要性 | P04 |

原理

| | |
|---------|-----|
| 电化学腐蚀原理 | P05 |
|---------|-----|

系统介绍

| | |
|---------|-----|
| 电化学缓蚀系统 | P07 |
| 数据测试结果 | P09 |

电化学防腐材料——耐久性保护系统

| | | |
|--------------|---------------------|-----|
| FH-XP | 基本型抗腐蚀电块 | P11 |
| FH-XPT | 窄型抗腐蚀电块 | P11 |
| FH-XP2 | 增强型抗腐蚀电块 | P11 |
| FH-XP4 | 专业型抗腐蚀电块 | P11 |
| FH-N | 薄型保护层抗腐蚀电块 | P11 |
| FH-CC | 预防性抗腐蚀电块 | P12 |
| FH-VP | 预埋式结构抗腐蚀电块 | P12 |
| FH-DAS | 结构加固新旧钢筋连接处的抗腐蚀电块 | P12 |
| FH-Jacket | 夹克型水下桩柱结构加固抗腐蚀电块 | P12 |
| FH-ASZ+ | 海洋环境下混凝土抗腐蚀电块 | P12 |
| FH-ZincSheet | 混凝土表面安装活性阳极芯片的抗腐蚀电块 | P12 |

电化学防腐材料——外加电流保护系统

| | | |
|--------------------|--------------------|-----|
| FH-Ebnex | 外加电流电化学防腐 | P13 |
| FH-Vectrode TiTape | 混凝土表面粘贴活性钛阳极的电化学防腐 | P13 |
| FH-Vectrode Anodes | 钛阳极及相关构件 | P13 |

电化学防腐材料——电化学处理系统

| | | |
|--------------------------------|--------------|-----|
| FH-Norcure Chloride Extraction | 氯离子提取电化学处理 | P14 |
| FH-Norcure Re-Alkalization | 重新碱性化电化学处理 | P14 |
| FH-Norcure ASR Treatment | 锂离子进入处理电化学处理 | P14 |

腐蚀缓解对比表

| | |
|---------|-----|
| 腐蚀缓解对比表 | P15 |
|---------|-----|

桥梁抗腐蚀电块布置通用图

| | |
|--------------|-----|
| 桥梁抗腐蚀电块布置通用图 | P17 |
|--------------|-----|

抗腐蚀电块安装步骤

| | |
|-----------|-----|
| 抗腐蚀电块安装步骤 | P21 |
|-----------|-----|

工程案例

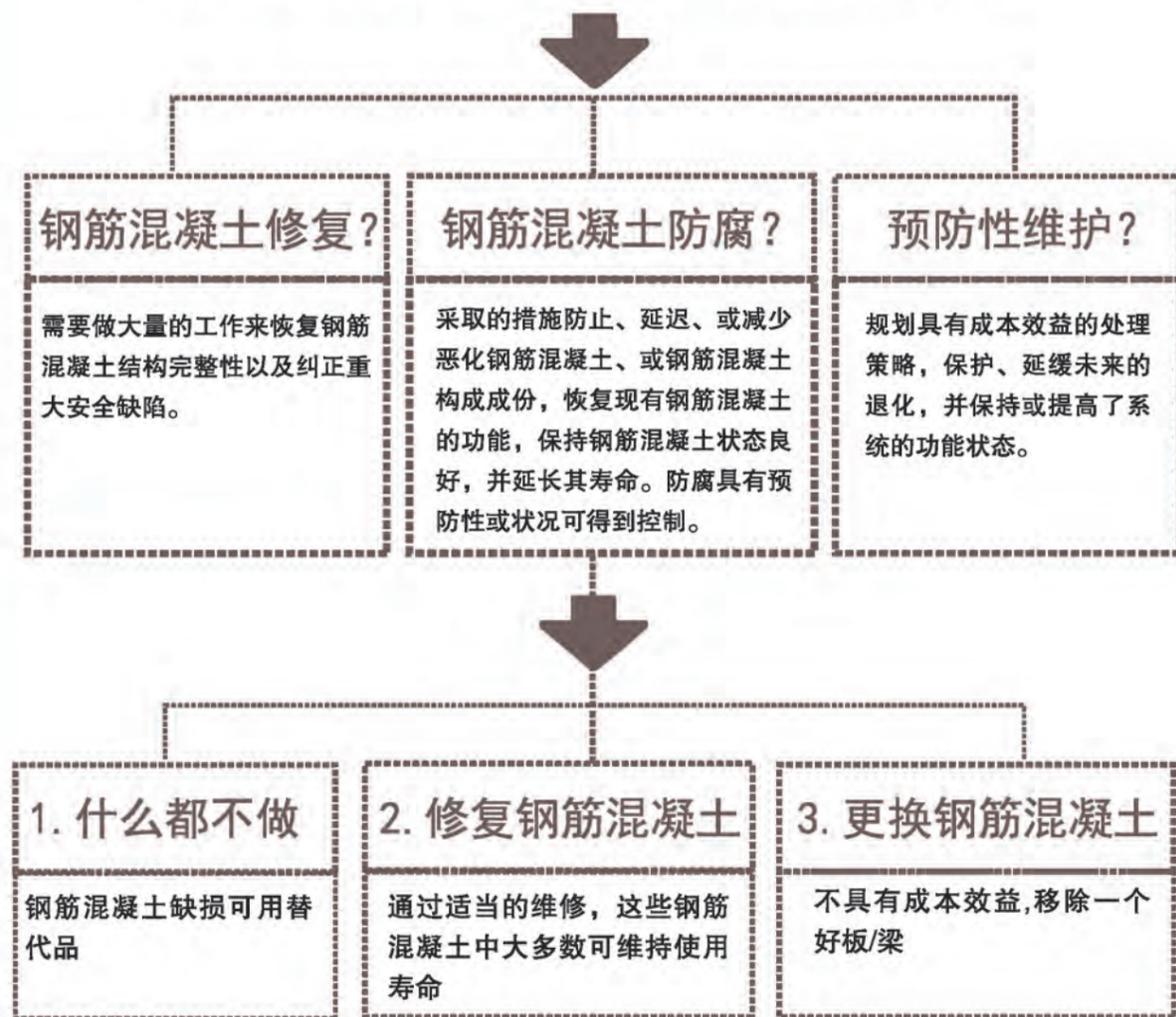
| | |
|------|-----|
| 新建案例 | P23 |
| 改造案例 | P33 |
| 国外案例 | P35 |

钢筋混凝土结构现状

所有钢筋混凝土结构中的**25%**结构性缺陷或功能过时
30%的钢筋混凝土结构对象已经超过50年的设计寿命
需要维修，修复或更换

开发采用并实施系统处理来进行**防腐**是有必要的

各行业规范设计中都包涵了系统的预防性养护



使用抗腐蚀电块的重要性

随着我国近年来基础设施建设的飞速发展，特大桥梁、特长隧道这些结构物也相伴而生。钢筋混凝土的腐蚀也成了结构养护的重点。根据国内相关调研，我国桥隧等结构大都无法满足其设计使用寿命，一般20~30年就必须进行大修加固，而结构的修复需要花费大量的代价来恢复其完整性及纠正重大安全缺陷。

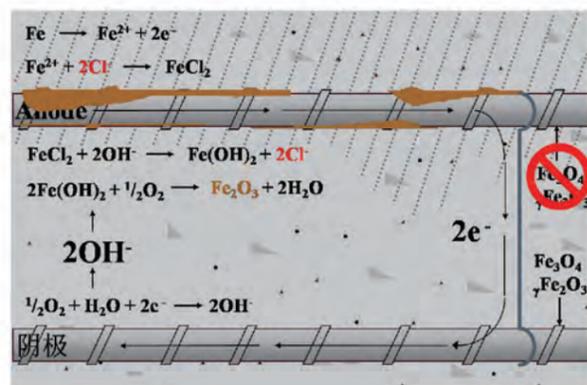
结构所处环境条件和防护措施是影响其耐久性的外因，外界环境对钢筋混凝土的破坏是物理化学作用的综合结果。暴露在野外环境的桥隧等混凝土结构，受到风沙、水侵、冻融、汽车尾气、融雪盐等侵蚀因素，结构寿命很难达到设计理论值。

在影响钢筋混凝土结构耐久性的诸多因素中，钢筋的腐蚀危害最大，根据2014年中科院海洋研究所的研究表明，我国的腐蚀总成本约占当年GDP的3.34%，总额超过了21000亿人民币。当钢筋腐蚀后其有效截面会不断减小，并且降低了混凝土对钢筋的握裹力，使得结构的承载能力迅速下降，并不可恢复。

通过多年的工程实践，经过科学的数据统计及分析，使用抗腐蚀电块可以有效地延长结构10-20年的使用寿命。极大地节约了工程维修或重建的人力、物力和财力。

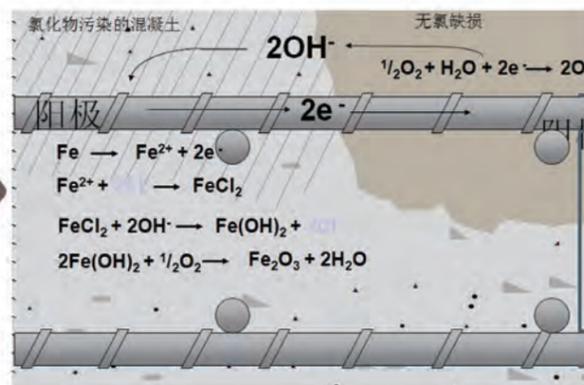
在原有钢筋混凝土结构中的腐蚀过程

随着混凝土的逐渐碳化, 氯离子等的侵蚀, 钢筋周围原有的钝化保护膜被破坏, 已被污染腐蚀处的钢筋变为阳极, 未腐蚀处的钢筋变为阴极。Fe逐渐被Cl⁻置换成Fe²⁺



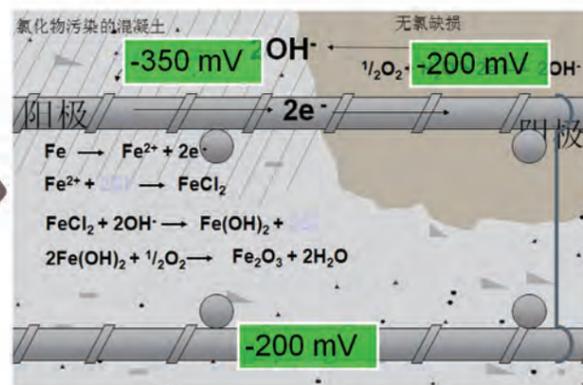
修补后的钢筋混凝土结构

经过修补后的钢筋混凝土结构, 原有的混凝土含有氯化物, 缺损处的修补不含有氯化物, 即原有混凝土里的钢筋变成阳极, 修补处的钢筋变为阴极



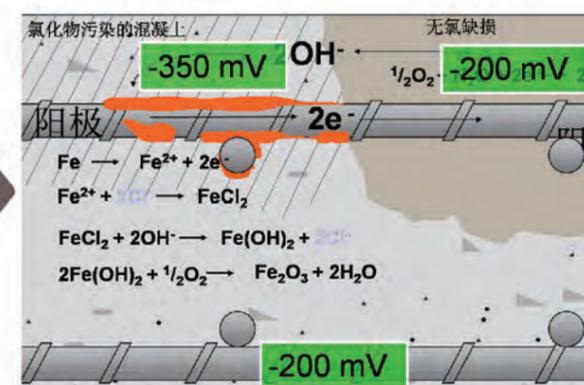
修补缺损处带来的加速腐蚀!

在受氯离子腐蚀的混凝土和新修补的砂浆之间, 由于“环阳极”的存在会加速钢筋的锈蚀!



关键问题——再次腐蚀!

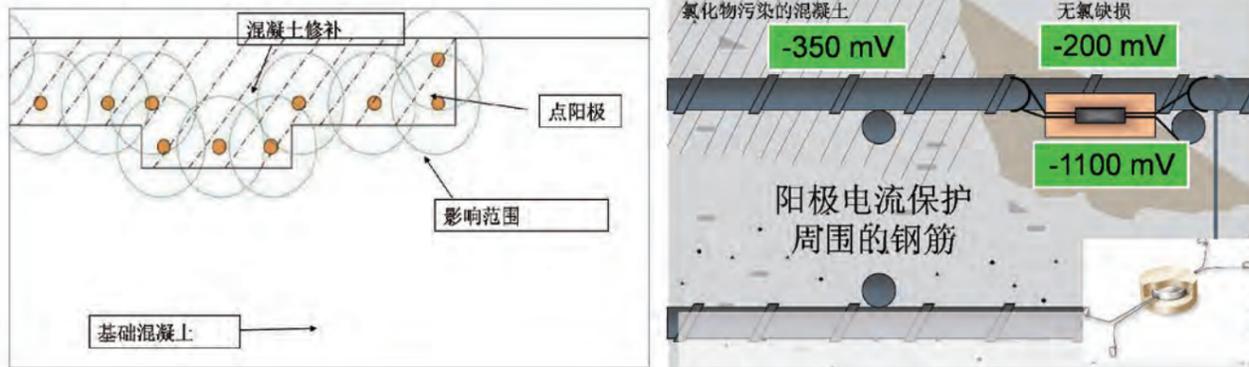
由于电势差的存在, 缺损处的修补反而给结构带来更严重的结构腐蚀!



解决方案——电化学缓蚀系统!

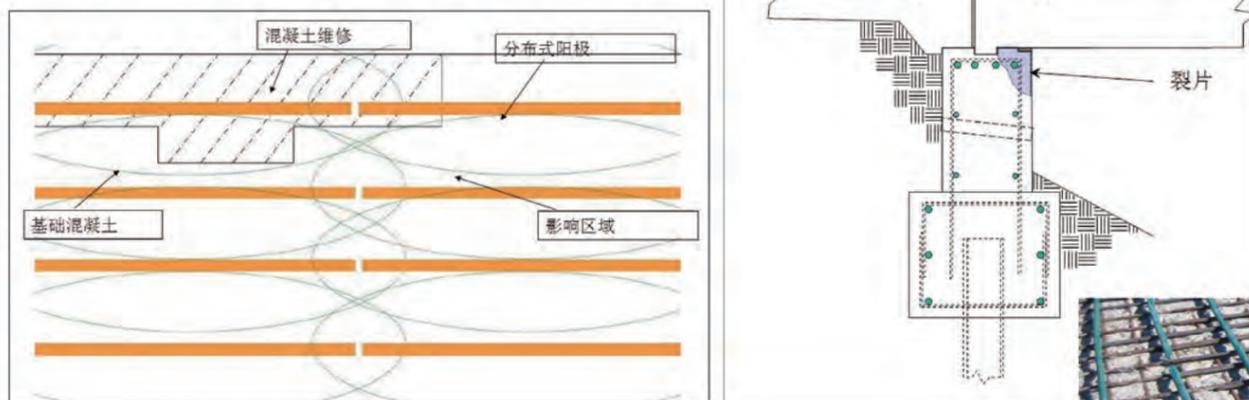
1 点阳极保护

具有针对性地点阳极激活保护



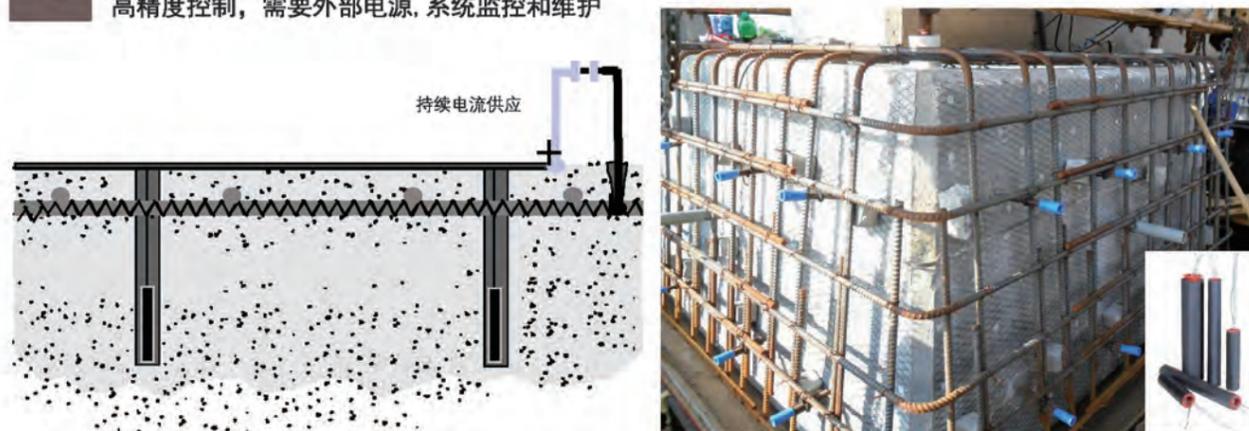
2 分布式阳极保护

分布的阳极可以提供有效的腐蚀控制或阴极保护



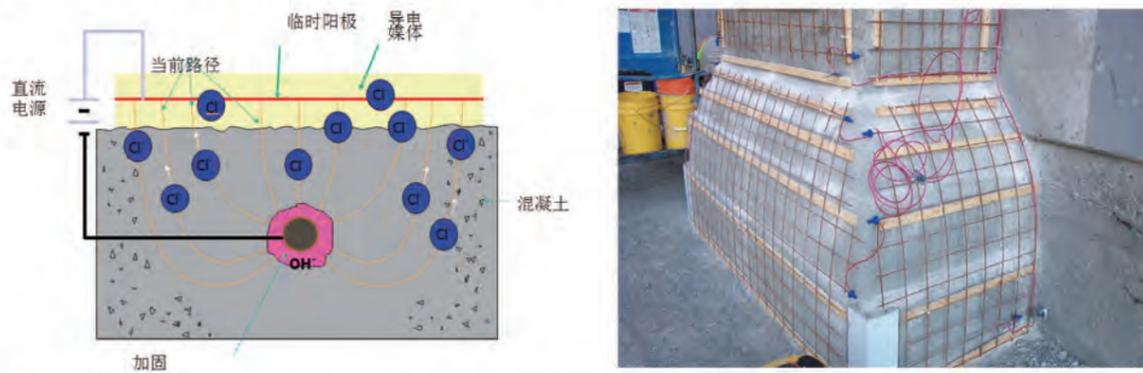
3 外加电流阴极保护

高精度控制, 需要外部电源, 系统监控和维护



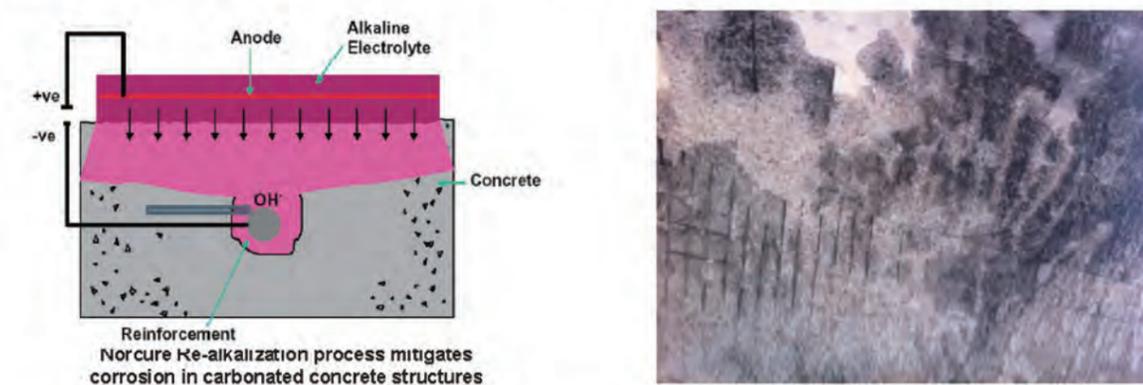
4 电化学除盐 (提取氯离子)

处理腐蚀成因, 显著降低氯化物含量, 碱度增加, 钢筋返回到一个钝化、抗蚀的状态



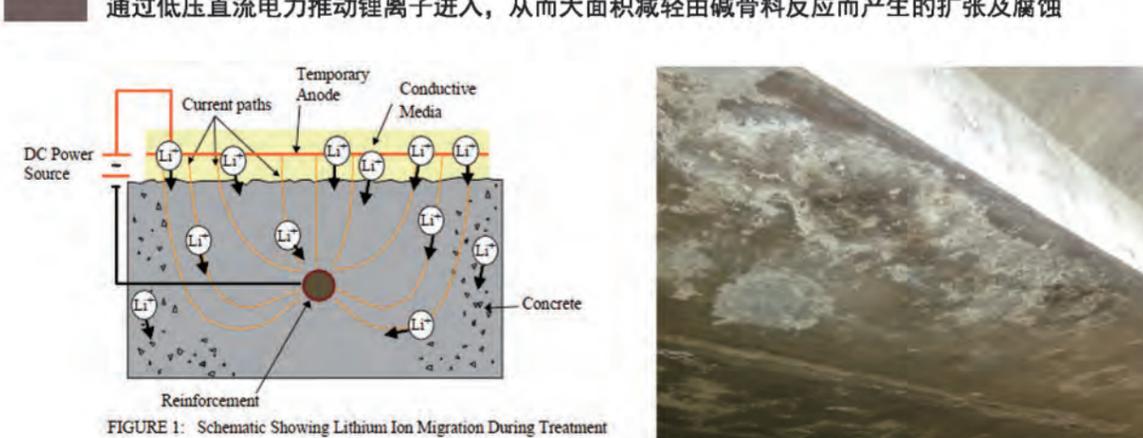
5 电化学再碱化处理

通过施加电场和安装阳极网, 大面积处理碳化的混凝土, 回复混凝土的碱性, 钝化钢筋表面

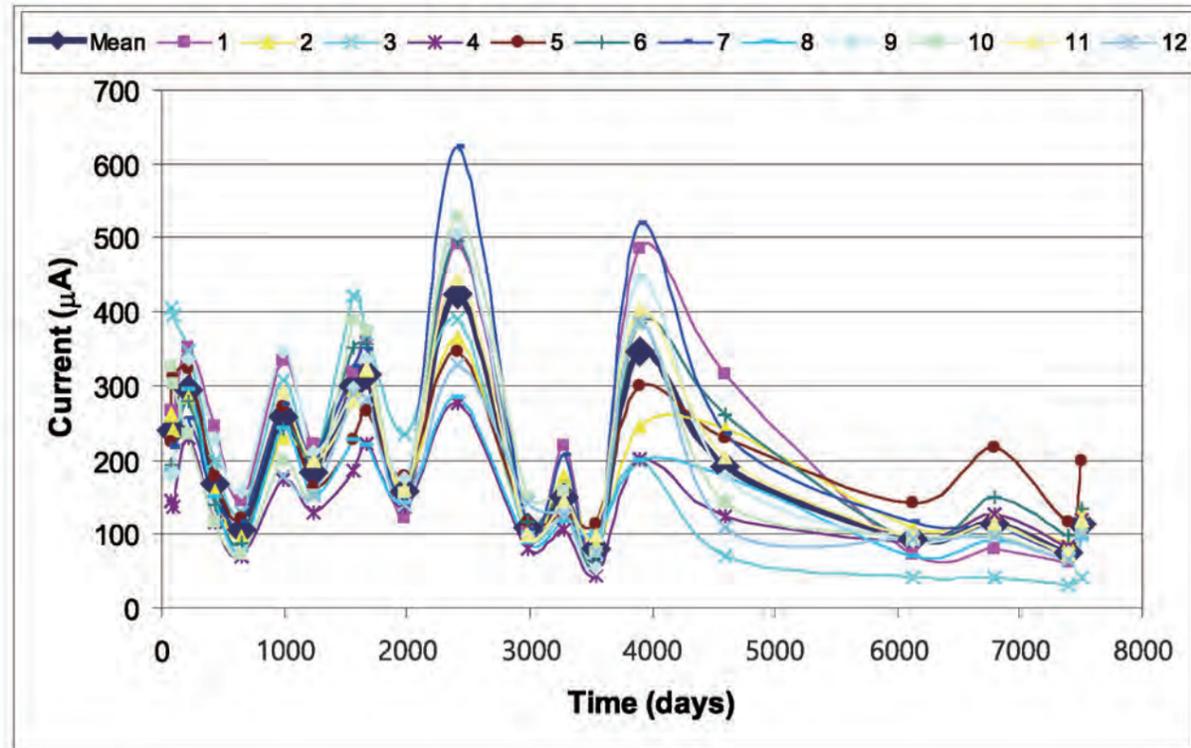


6 锂离子进入保护

通过低压直流电力推动锂离子进入, 从而大面积减轻由碱骨料反应而产生的扩张及腐蚀



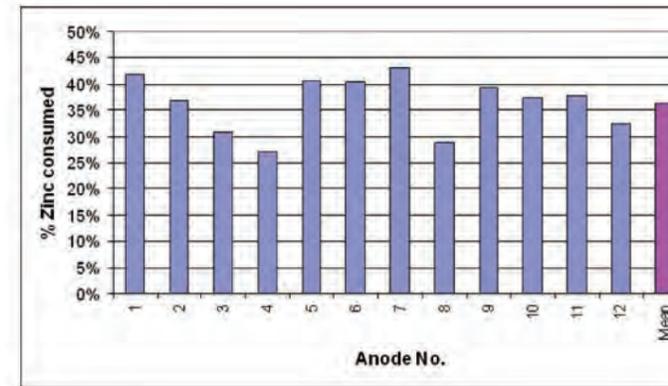
20年监测 — 电流变化



极性测量

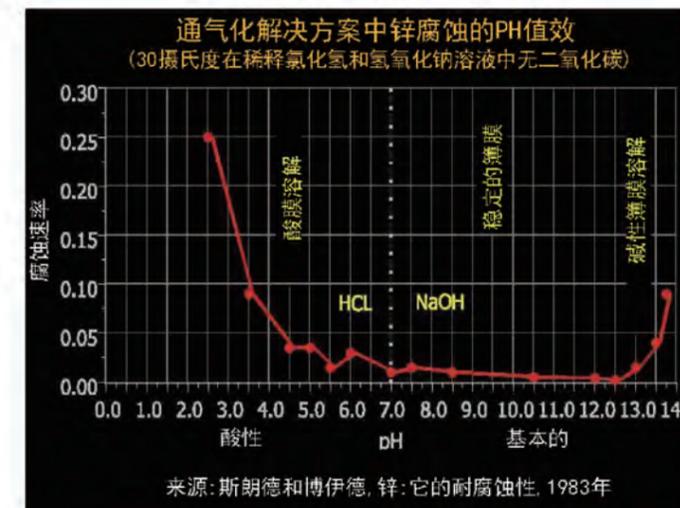
| 接入天数的号码 | 修复范围湿的梁拱腹, 阳极的中间值 (MV) | 从维修端过来, 在被显示距离上的梁西垂直面 (毫伏) | |
|---------|------------------------|----------------------------|-------|
| | | 50mm | 300mm |
| 21 | 56 | 58 | 56 |
| 41 | 27 | 47 | 31 |
| 50 | 22 | 55 | 28 |
| 112 | 24 | 48 | 11 |
| 3400 | 95 | 184 | 未确定 |

锌消耗量



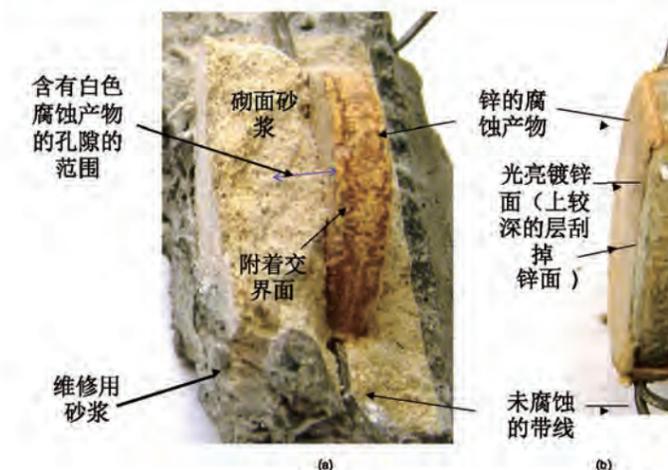
● 根据电流输出和85%的利用率来计算

碱激活



- 高pH值对锌具有腐蚀性, 但对钢没有腐蚀性
- 允许锌阳极对被加固钢筋混凝土提供超时保护

20年后的取证分析



- 白色氧化物在砌面砂浆孔隙内, 不影响维修砂浆
- 取证之后, 内部锌块还有一半左右的重量

电化学防腐材料——耐久性保护系统

FH-XP 基本型抗腐蚀电块

说明：圆盘型独立的阳极、碱性的活性锌、2 G™技术。
应用：用于接缝处，对要修补的部位和接缝处进行预防性防腐处理
技术参数：预防性防腐间距：（175——750mm）



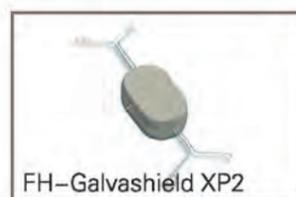
FH-XP2 增强型抗腐蚀电块

说明：椭圆形独立的阳极、碱性的活性锌、2 G™技术。
应用：如桥面铺装，新建或改建都适用。对要修补的部位和接缝处的周围进行预防性防腐处理低面混凝土保护层，拥挤的钢筋间距。
参数：预防性防腐间距：（175——750mm）



FH-XP4 专业型抗腐蚀电块

说明：椭圆形独立的阳极、碱性的活性锌、2 G™技术。
应用：将阳极安置在稳定位子运用BarFit™技术开槽
应用：锌块质量是GXP的2倍，预防性防腐或者控制要修补部分和接缝处的腐蚀
参数：预防性防腐间距：（300——750mm）
腐蚀控制间距：（200——600mm）



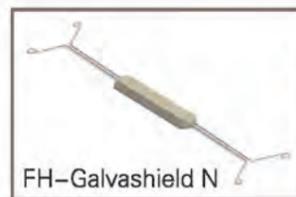
FH-XP4 专业型抗腐蚀电块

说明：椭圆形独立的阳极、碱性的活性锌、2 G™技术。
应用：将阳极安置在稳定位子运用BarFit™技术开槽
应用：锌块质量是GXP的4倍，预防性防腐或者控制要修补部分和接缝处的腐蚀高氯离子含量或者高密度的钢结构
参数：腐蚀控制间距：（150——750mm）



FH-N 薄型保护层抗腐蚀电块

说明：棒状型独立的阳极、特别长绷紧的电线、碱性的活性锌、2 G™技术。
应用：运用在新建筑物上的预防性防腐处理、整体防护预防性养护混凝土接缝处的周围和其他有问题的区域
参数：预防性防腐间距：（不大于750mm）



简要阳极安装步骤



电化学防腐材料——耐久性保护系统

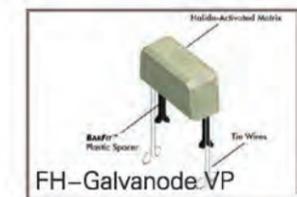
FH-CC 预防性抗腐蚀电块

说明：圆柱形独立的阳极、碱性的活性锌、2 G™技术。
应用：打孔埋入，可以预防性控制混凝土腐蚀
参数：腐蚀控制间距：（325——700mm）



FH-VP 预埋式结构抗腐蚀电块

说明：棒状独立的阳极、活性的氯化锌、BarFit™塑料垫片
应用：对要修补的部位和接缝处进行预防性防腐处理
参数：预防性防腐间距：（175——750mm）



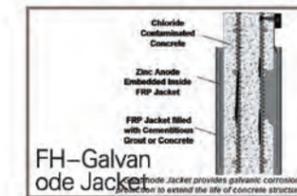
FH-DAS 结构加固新旧钢筋连接处抗腐蚀电块

说明：嵌入式阳极可以分散保护、碱性的活性锌
应用：电化学包装、包壳、镶边
参数：依据于使用寿命和保护的需求



FH-Jacket 夹克型水下桩柱结构加固抗腐蚀电块

说明：安装在固定地方的电化学阳极模板、分布式碱性阳极或者网状的锌阳极、散装的锌阳极
应用：电化学包装、包壳、镶边
适用于海洋和非海洋环境
参数：阳极的选择和间距依据设计的需求



FH-ASZ+ 海洋环境下混凝土抗腐蚀电块

说明：金属化锌的阳极应用于混凝土、湿润的活化剂
应用：大区域的保护例如桥梁和海洋建筑物
参数：阳极厚度：（250——500 μm）
湿润活化剂用量：0.1L/㎡



FH-ZincSheet 混凝土表面安装活性阳极锌片得抗腐蚀电块

说明：表面安装锌阳极应用于混凝土、导热的胶黏剂
应用：整体保护或者预防性控制防腐
参数：阳极厚度：（250 μm）
通常阳极覆盖混凝土表面的50%——100%



电化学防腐材料——外加电流保护系统

FH-Ebnex 外加电流电化学防腐

说明：圆柱形或者星形独立的阳极并通以高电流
内置通风、褶皱的电气连接器、Ebofix灰浆
应用：整体的或者大面积的防护、钢筋混凝土或者砌体结构
参数：阳极尺寸：直径7—28mm，长度不大于600mm
阳极的间距依据设计的需求



FH-Vectrode TITape 混凝土表面粘贴活性钛阳极的电化学防腐

说明：表面粘贴MMO钛胶带的阳极应用于分散式的保护
应用：钢筋混凝土整体或者大面积的保护
技术参数：阳极宽度：(10—50mm)
阳极的间距依据设计的需求



FH-Vectrode Anodes 钛阳极及相关构件

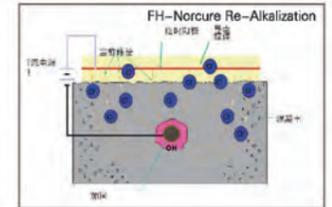
说明：一定范围内MMO钛阳极和相关的构件
应用：整体的或者预防性保护—钢筋混凝土、砌体或者预埋构件
技术参数：网格，丝带网格，管子，电线



电化学防腐材料——电化学处理系统

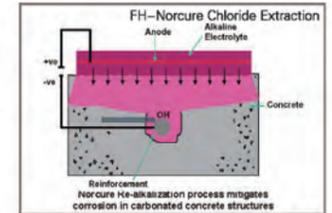
FH-Norcure Chloride Extraction 氯离子提取电化学处理

说明：通过在混凝土外部施加电场及安装一个外部的阳极网格，对提取混凝土中的氯离子，称为长期与短期电蚀钝化处理，显著降低氯化物含量、增加钢筋周围PH值、使加强钢筋恢复到钝化的、非腐蚀状态。
优点：低噪音、无灰尘和环境污染，减少细微裂缝的产生，无损修复混凝土，优于其它混凝土修补方法。
应用：氯离子污染的混凝土—大面积的处理
参数：4—8周的处理时间 - 如果氯离子暴露出来推荐用障碍物保护



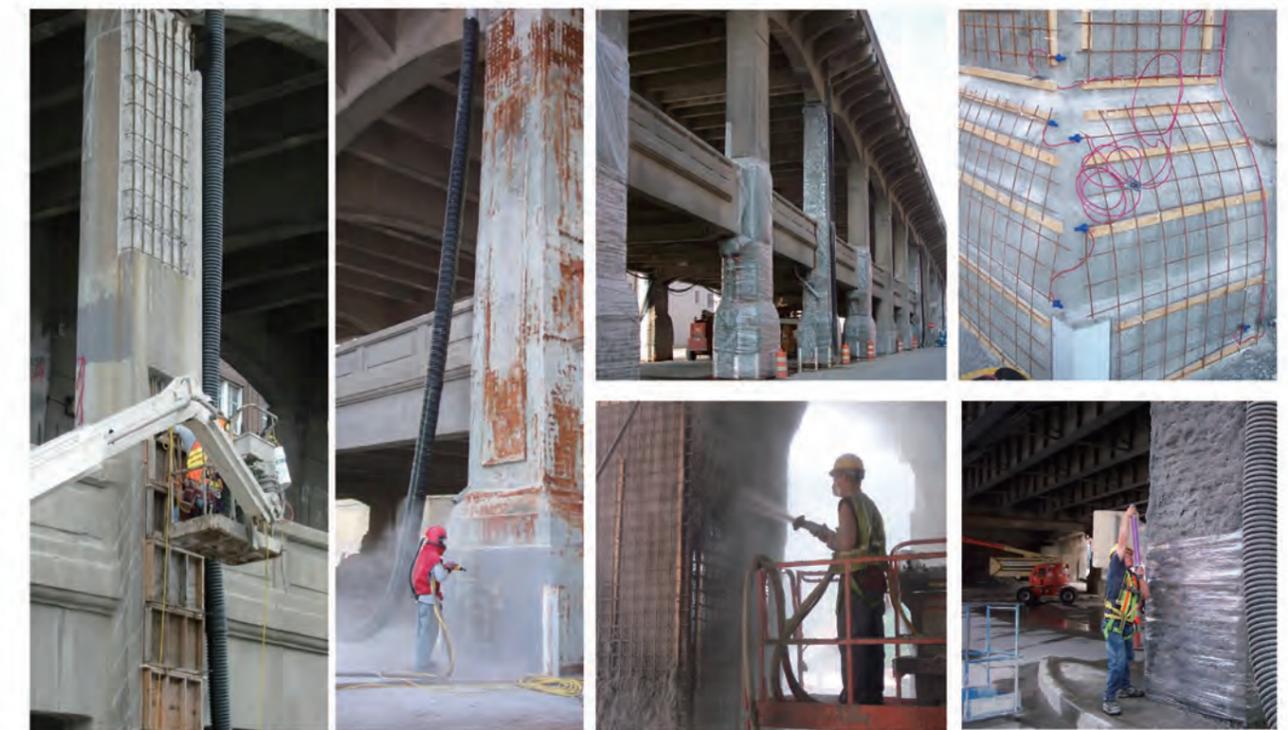
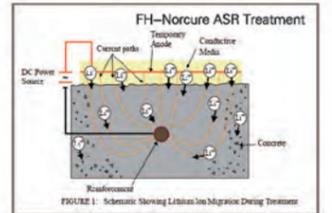
FH-Norcure Re-Alkalinization 重新碱性化电化学处理

说明：碱性化是一种恢复受碳化混凝土碱度的电化学处理方法，碱性化是通过暂时在钢筋混凝土之间施加电场和在外部安装的一个阳极网来实现。在此过程中碱性电解液，如碳酸钠或碳酸钾溶液，被渗透到混凝土，增加其覆盖区的碱度。同时，电解液在钢筋周围产生一个高pH值环境，使钢筋表面钝化。
优点：低噪音、无灰尘和环境污染，减少细微裂缝的产生，无损修复混凝土，优于其它混凝土修补方法。
应用：混凝土碳化 - 大面积处理
参数：2—4周处理时间 - 混凝土不会再碳化



FH-Norcure ASR Treatment 锂离子进入处理电化学处理

说明：FH-Norcure ASR Treatment治疗是一个变化的氯萃取过程，通过低压直流电力推动锂离子进入一个钢筋混凝土结构。锂离子已被证明能减轻由于碱硅反应产生的扩张。
应用：主要用于桥塔、桥墩、梁等构造物大面积遭受活性碱骨料反应和腐蚀的处理
参数：4—8周处理时间，锂盐浸渍混凝土保护层



| 类别 | 型号 | 阳极类别 | 保护类型 | | | | 保护年限 | 阳极尺寸 | 阳极类型 | 应用 |
|-------|--------------------------------|------|------|----|----|------|--------|---|--------|--------------------------------------|
| | | | Pr | CC | CP | Pa | | | | |
| 牺牲阳极 | FH-XP | A | ✓ | | | | 10-20年 | 2.5" X1.2" (60X30mm) 60克锌 | 离散嵌入 | 修补、新旧混凝土之间之间的连接 |
| | FH-XP2 | A | ✓ | ✓ | | | 10-20年 | 2.5" X3.1" X1" (65 X80X30mm) 100克锌 | 离散嵌入 | 比FH-Galvashield XP更大的防腐空间、更高的电流密度 |
| | FH-XP4 | A | ✓ | ✓ | | | 10-20年 | 2.5" X4.7" X1" (65X120X30mm) 160克锌 | 离散嵌入 | 比FH-Galvashield XP2更大的空间、更高氯离子防腐控制 |
| | FH-XPT | A | ✓ | | | | 10-20年 | 1" X5" X1" (25X125X25mm) 60克锌 | 离散嵌入 | 较薄保护层及更小空间情况下使用 |
| | FH-CC | A | ✓ | ✓ | | | 10-20年 | CC65, CC100, CC135 | 离散嵌入 | 钻孔植入以保护快速的腐蚀 |
| | FH-N | A | ✓ | | | | 10-20年 | 0.8" X5" X0.8" (20X125X20mm) 60克锌 | 离散嵌入 | 用于新建结构、大面积及关键节点如接缝处 |
| | FH-DAS | A | ✓ | ✓ | ✓ | | 10-40年 | 锌质量:0.25,0.6, 1.2,2.0lb./ft(0.37,0.89,1.8, 3.0kg/m) | 分布嵌入 | 嵌入式电化学保护钢筋混凝土、管桩保护层、覆盖层、大面积修复区 |
| | FH-VP | H | ✓ | | | | 10-20年 | 1.4" X3.1" X1.6" (35X80X40mm) 55克锌 | 离散嵌入 | 与FH-Galvashield XP相同, 用于允许使用卤化盐阳极的地方 |
| | FH-Jacket | A/H | ✓ | ✓ | ✓ | | 20-40年 | 分布式活性碱或锌网、散装锌阳极 | 分布嵌入 | 海洋或非海洋的管桩或桩柱 |
| | FH-ASZ+ | H | ✓ | ✓ | ✓ | | 10-20年 | 锌厚度:10-20mils (250-500 μm) | 分布表面 | 大面积锌化如桥梁或海洋结构 |
| | FH-ZincSheet | H | ✓ | ✓ | ✓ | | 10-15年 | 锌厚度:10mils (250 μm) | 分布表面 | 用于快速腐蚀区域的保护如梁、桩柱等并非直接接触水的地方 |
| 外加电流 | FH-Ebnex | | | ✓ | | | 25+年 | 直径7-28mm, 长度最高可达600mm | 离散嵌入 | 高电流容量, 钢筋混凝土梁、柱、钢架砌体房屋 |
| | FH-Vectrode TiTape | | | ✓ | | | 25+年 | 带宽0.4" -2" (10-50mm) | 分布表面 | 钢筋混凝土腹板、拱腹、梁、柱 |
| 电化学处理 | FH-Norcure Chloride Extraction | | | | ✓ | 20+年 | 可变 | | 临时分布表面 | 氯离子腐蚀的梁、拱、柱、和其它大面积区域, 历史建筑 |
| | FH-Norcure Re-Alkalization | | | | ✓ | 无限 | 可变 | | | 大范围碳化混凝土, 历史建筑 |
| | FH-Norcure ASR Treatment | | | | ✓ | 不能确定 | 可变 | | | 活性骨料腐蚀的结构 |

Pr 腐蚀防护

用于保护刚刚开始腐蚀的混凝土。如果是按照工业规范完成的修补工程, 会给修补区域带来高水平的腐蚀活动, 当修补完成后, 新的腐蚀区域将会在没处理的腐蚀混凝土处形成 (而这片区域在修补之前是稳定的)。通过对腐蚀区域的防腐研究, 得出在刚刚开始腐蚀的混凝土中施加低电流密度 (0.4mA/m²于钢筋表面) 是有效的。随着化学反应的增加电流会逐渐减少, 钢筋周围碱度增加, 氯离子浓度降低。

CC 腐蚀控制

在混凝土已经腐蚀的情况下使用。腐蚀控制系统能够减缓腐蚀速率, 增加修复结构的使用寿命。在很多情况下, 这种腐蚀控制的方法可以减少日益增加的成本, 因为它可以针对腐蚀区域进行特殊保护。系统所需的腐蚀控制电流要高于腐蚀防护系统, 通常在1-7mA/m²左右, 随着时间推移, 有效的化学反应可重建碱性及降低钢筋周围的氯离子浓度。

CP 阴极保护

用于提供积极的长期保护。当需要最高等级防护并且成本经济合理, 可选择阴极保护系统。当前的阴极保护行业标准是基于100 mV去极化的验收标准。这种等级的保护通常需要初始操作电流5-20mA/m²。电流可以通过电化学阳极提供, 也可由外加电流供电。外加电流系统必须定期监控和维护。

Pa 腐蚀钝化

通过改变周围的环境, 以大大减少钢筋的腐蚀条件。即可通过使用一个临时电场, 来减少氯离子含量或在钢筋周围增加PH值。对后张拉结构, 通过去除水分来解决腐蚀问题。这个系统一直被安装直到目标完成了水分去除, 这样就不再需要额外的监控和维护了。

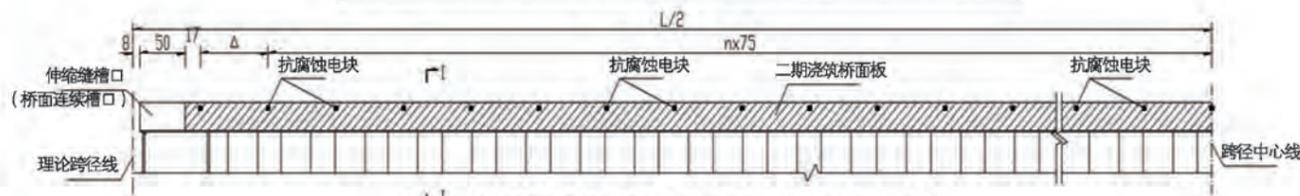
阳极类别注释

- A: 用于高PH值 (14+) 环境
- H: 用于卤化盐环境 (氯化物或溴化物等)

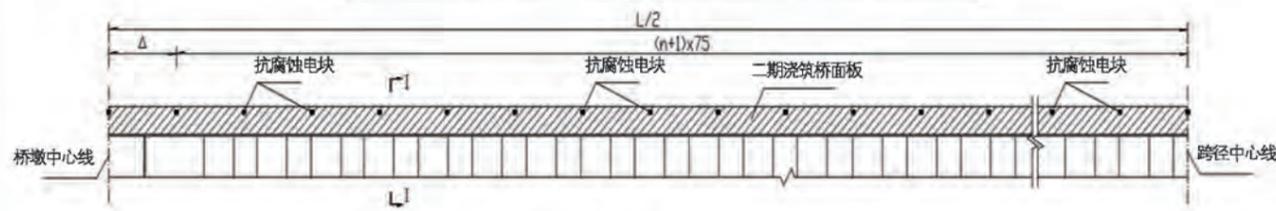
桥面布置方案——全跨防护桥面板抗腐蚀电块

桥面布置方案——重点部位防护桥面板抗腐蚀电块

全跨防护桥面板抗腐蚀电块布置示意 (简支跨/连续端跨)



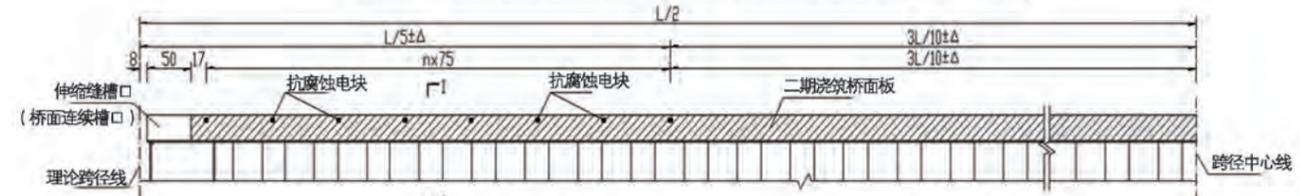
全跨防护桥面板抗腐蚀电块布置示意 (连续中跨)



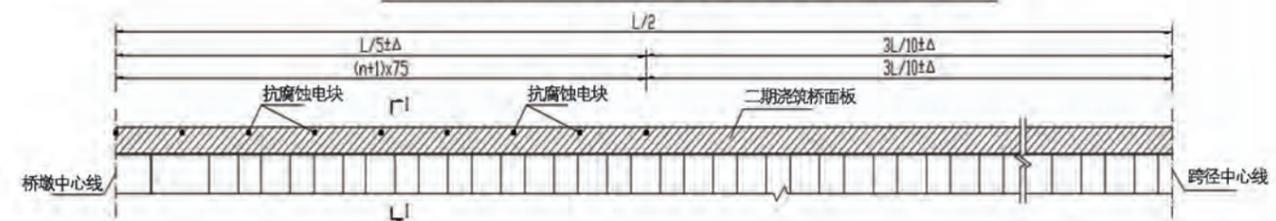
全跨防护桥面板抗腐蚀电块数量表 (单幅一跨)

| 跨径L (cm) | | 3000 | 4000 | 5000 |
|-----------------|------|------|------|------|
| n | | 19 | 25 | 32 |
| 抗腐蚀电块FH-N数量 (个) | 简支跨 | 156 | 212 | 268 |
| | 连续端跨 | 160 | 216 | 272 |
| | 连续中跨 | 164 | 220 | 276 |

重点部位防护桥面板抗腐蚀电块布置示意 (简支跨/连续端跨)



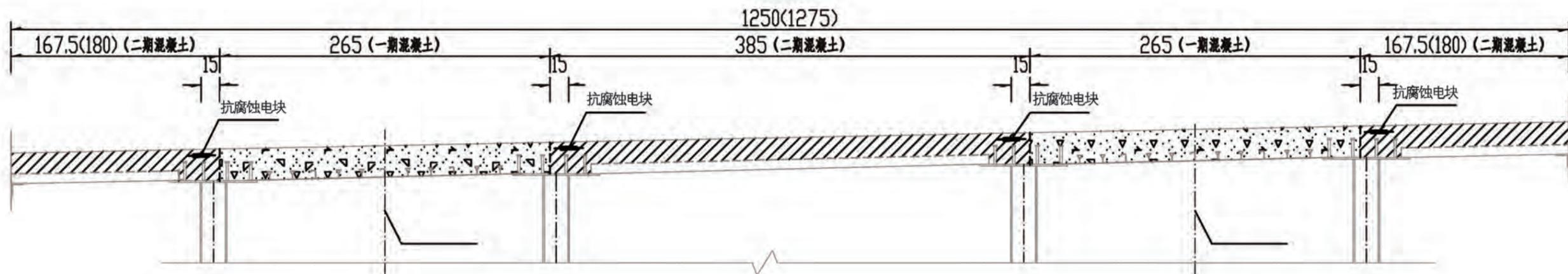
重点部位防护桥面板抗腐蚀电块布置示意 (连续中跨)



重点部位防护桥面板抗腐蚀电块数量表 (单幅一跨)

| 跨径L (cm) | | 3000 | 4000 | 5000 |
|-----------------|------|------|------|------|
| n | | 7 | 10 | 13 |
| 抗腐蚀电块FH-N数量 (个) | 简支跨 | 64 | 88 | 112 |
| | 连续端跨 | 68 | 92 | 116 |
| | 连续中跨 | 72 | 96 | 120 |

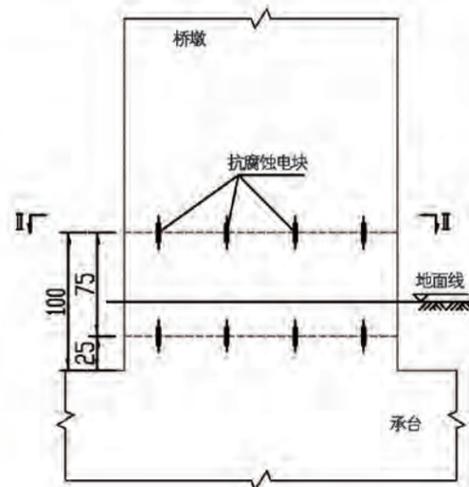
I—I



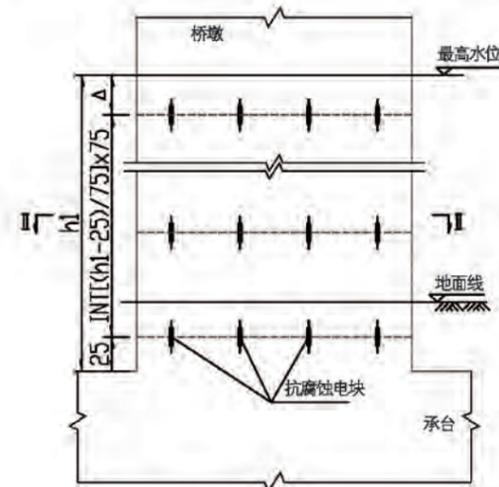
桥面截面及安装示意图

矩形截面桥墩布置方案

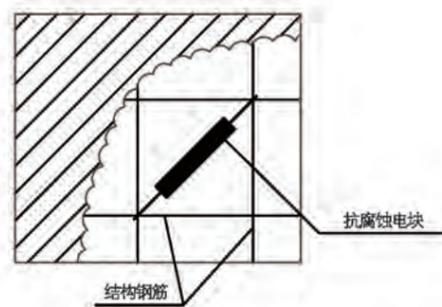
桥墩抗腐蚀电块布置示意（陆上矩形截面桥墩）



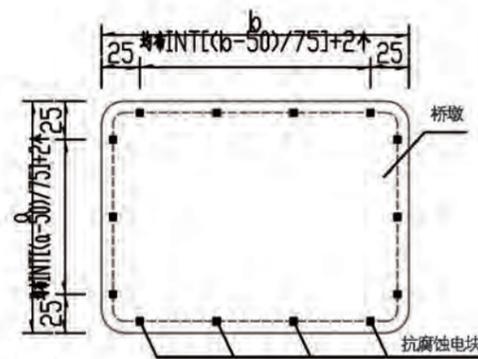
桥墩抗腐蚀电块布置示意（水中矩形截面桥墩）



抗腐蚀电块安装示意图



II-II

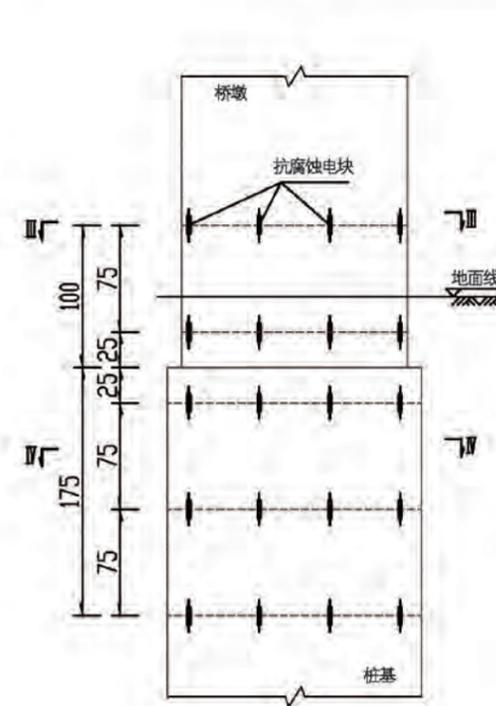


矩形截面桥墩及桩柱式桥墩抗腐蚀电块（单个桥墩）

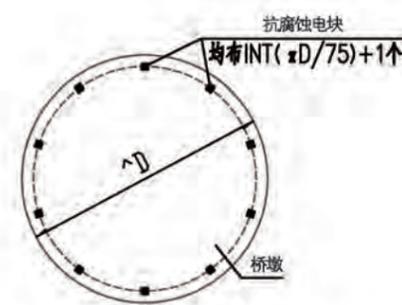
| 桥墩类型 | 抗腐蚀电块数量 |
|------------|---|
| 陆上矩形截面桥梁 | $\{INT[(b-50)/75] \times 2 + INT[(a-50)/75] \times 2 + 8\} \times 2$ |
| 水上矩形截面桥梁 | $\{INT[(b-50)/75] \times 2 + INT[(a-50)/75] \times 2 + 8\} \times \{INT[(h1-25)/75] + 1\}$ |
| 陆上桩柱式桥墩及桩基 | $[INT(\pi D/75) + 1] \times 2 + [INT(\pi d/75) + 1] \times 3$ |
| 水中桩柱式桥墩及桩基 | $[INT(\pi D/75) + 1] \times \{INT[(h1-25)/75] + 1\} + [INT(\pi d/75) + 1] \times \{INT[(h2-25)/75] + 1\}$ |

桥面布置方案——重点部位防护桥面板抗腐蚀电块

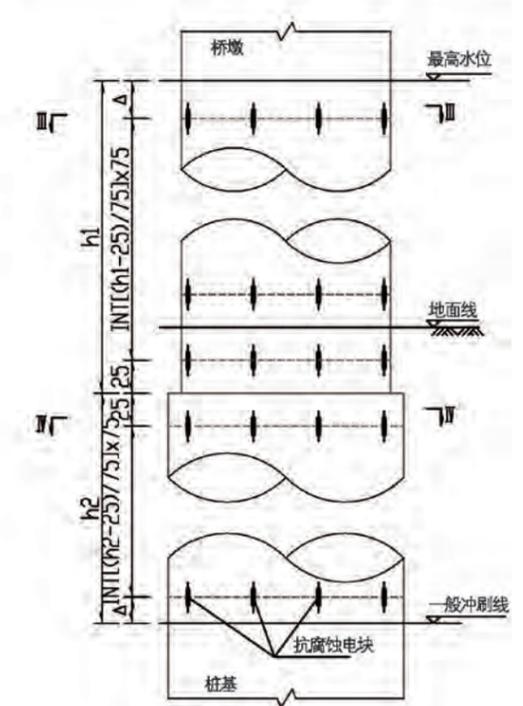
桥墩抗腐蚀电块布置示意（陆上桩柱式桥墩）



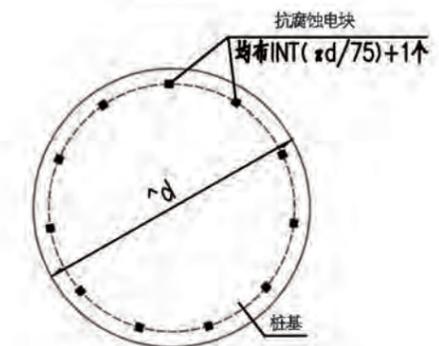
III-III



桥墩抗腐蚀电块布置示意（水中桩柱式桥墩）



IV-IV



一、非监测点的安装

- 1 去除钢筋与抗腐蚀电块捆绑部位表面的阻锈漆（钢筋表面涂了一层阻锈漆，该防护层绝缘性强，会影响抗腐蚀电块的防护作用）



打磨钢筋，去除阻锈漆

- 2 将抗腐蚀电块两端的金属丝捆绑在打磨好的部位，绑紧使之与钢筋充分接触；



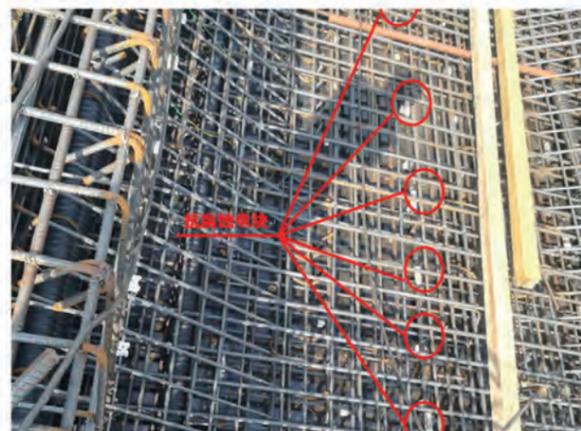
抗腐蚀电块捆绑图

- 3 使用扎丝将抗腐蚀电块固定钢筋上（使抗腐蚀电块不会发生位移）；



抗腐蚀电块固定图

- 4 按照图纸指定位置，进行安装。



抗腐蚀电块安装图

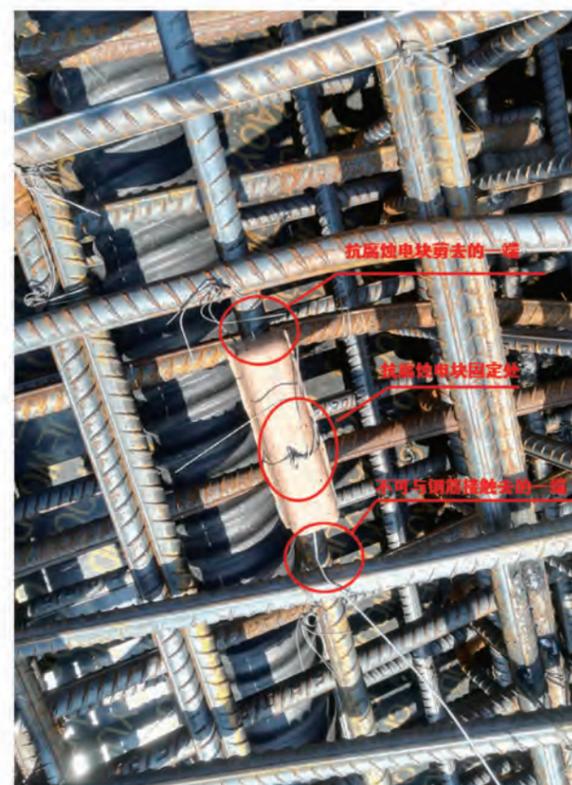
二、化学电位监测点抗腐蚀电块安装

- 1 根据“一”的①-③进行安装
- 2 取一根铜线，将一段去除外皮，将裸露出来的铜线与抗腐蚀电块的金属丝或者钢筋打磨好的部位进行捆绑，捆绑结实后将铜线引出至外部。



三、保护电流监测点抗腐蚀电块的安装

- 1 将抗腐蚀电块两端的金属丝剪去一端；然后放置钢筋固定好，且使另一端金属丝不可与钢筋接触（下图为指导安装演示图，施工安装为最底下一层）



保护电流处监测点处抗腐蚀电块前处理图

- 2 取两根铜线，一根与抗腐蚀电块的剩余的一端金属丝捆绑牢固，另一个铜线与抗腐蚀电块附近打磨过的钢筋进行捆绑牢固（下图为指导安装演示图，施工安装为最底下一层）



- 3 将两根铜线引出至外部。

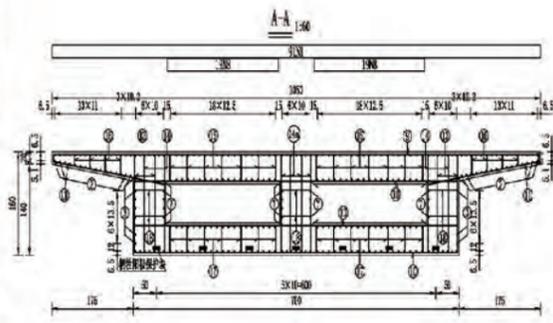


珠海某跨海大桥案例

本项目依托于珠海市鹤洲至高栏港高速公路一期工程，在白藤河大桥A、B匝道桥梁现浇梁结构及海水中墩柱结构进行抗腐蚀电块安装。主要手段为施工阶段在钢筋上绑扎抗腐蚀电块以此来达到电化学防腐的目的，提高桥梁结构的使用寿命。



白藤河大桥

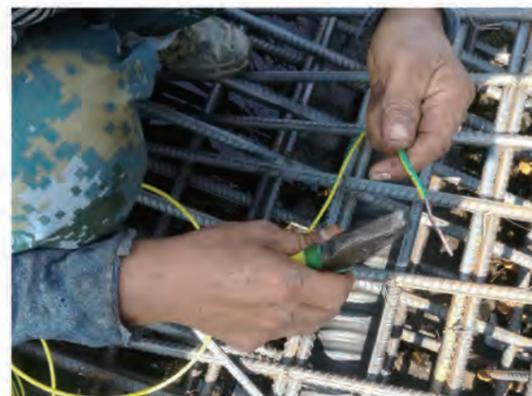


施工图纸

(1) 现场安装流程



1. 根据图纸安装抗腐蚀电块



2. 引出测量铜线



3. 检测电流



4. 接入监测盒

(2) 抗腐蚀电块数据测量

2020年1月，已在白藤河大桥A匝、B匝道桥梁现浇梁结构安装牺牲阳极。B匝已经安装完成一年，A匝安装完成半年，经与甲方讨论商定，A匝、B匝的化学电位监测点各设置20个点；保护电流监测点各设置10个。现A匝进行第一次测量，B匝进行第二次测量，测定保护电压数据如下：

| 编号 | 数据 1 | 数据 2 | 编号 | 数据 1 | 数据 2 |
|----|-------|-------|----|-------|-------|
| 1 | 0.794 | 0.796 | 11 | 0.689 | 0.657 |
| 2 | 0.503 | 0.512 | 12 | 0.773 | 0.870 |
| 3 | 0.635 | 0.643 | 13 | 0.665 | 0.684 |
| 4 | 0.530 | 0.536 | 14 | 0.791 | 0.795 |
| 5 | 0.762 | 0.773 | 15 | 1.060 | 1.031 |
| 6 | 0.684 | 0.673 | 16 | 0.970 | 0.953 |
| 7 | 0.779 | 0.831 | 17 | 0.684 | 0.691 |
| 8 | 0.854 | 0.861 | 18 | 0.785 | 0.749 |
| 9 | 0.762 | 0.689 | 19 | 0.955 | 0.897 |
| 10 | 0.900 | 0.924 | 20 | 0.865 | 0.837 |

| 编号 | 数据 1 | 数据 2 | 编号 | 第一次 (V) | 第二次 (V) |
|----|-------|-------|----|---------|---------|
| 1 | 0.753 | 0.746 | 11 | 0.665 | 0.732 |
| 2 | 0.655 | 0.659 | 12 | 0.537 | 0.554 |
| 3 | 0.772 | 0.698 | 13 | 0.992 | 0.935 |
| 4 | 0.535 | 0.557 | 14 | 0.499 | 0.534 |
| 5 | 0.871 | 0.769 | 15 | 0.578 | 0.621 |
| 6 | 0.931 | 0.889 | 16 | 0.832 | 0.796 |
| 7 | 0.766 | 0.857 | 17 | 0.878 | 0.799 |
| 8 | 0.854 | 0.837 | 18 | 0.649 | 0.703 |
| 9 | 0.624 | 0.724 | 19 | 0.810 | 0.834 |
| 10 | 0.712 | 0.736 | 20 | 0.603 | 0.652 |

| 编号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 保护电流 (mA) | 1.215 | 0.968 | 0.879 | 1.012 | 1.133 |
| 编号 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 保护电流 (mA) | 0.839 | 1.142 | 0.931 | 0.965 | 1.245 |

| 编号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 保护电流 (mA) | 1.210 | 0.997 | 1.012 | 1.121 | 0.979 |
| 编号 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 保护电流 (mA) | 1.127 | 0.782 | 1.210 | 1.101 | 1.089 |

由于现场所在地天气炎热干燥，监测点较干，故保护电压偏低，但此时的保护电压仍较高，表明牺牲阳极的活性物质的电位低于所处环境，故牺牲阳极处于正常工作状态。根据要求，预防腐蚀的电流要求为0.2-2mA，故所测得的电流符合要求，表明此时的钢筋与牺牲阳极间存在电流，即钢筋不会遭受腐蚀。



保护电压现场测试图

总结：

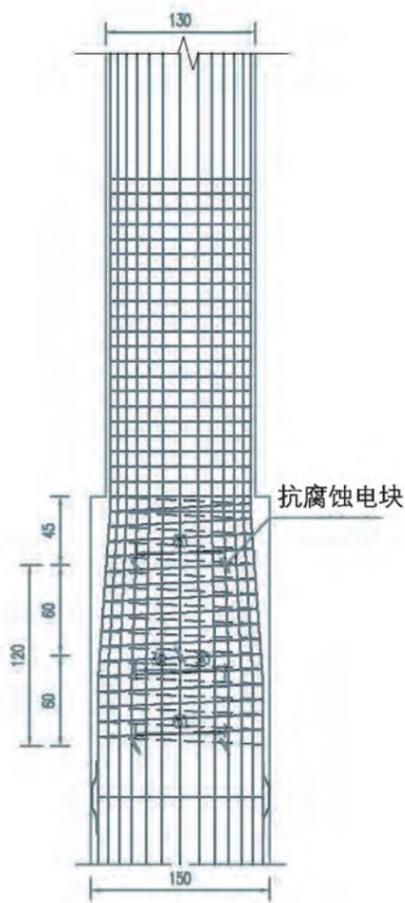
抗腐蚀电块可保护桥梁长达10—20年，目前通过监测一年的数据，所测保护电压数据表明，抗腐蚀电块正处于正常工作状态，保护电流表明，钢筋正处于受保护状态，即钢筋不会遭受腐蚀。故牺牲阳极有效，但后期仍需长期进行跟踪监测。

京沪高速某段扩建工程案例

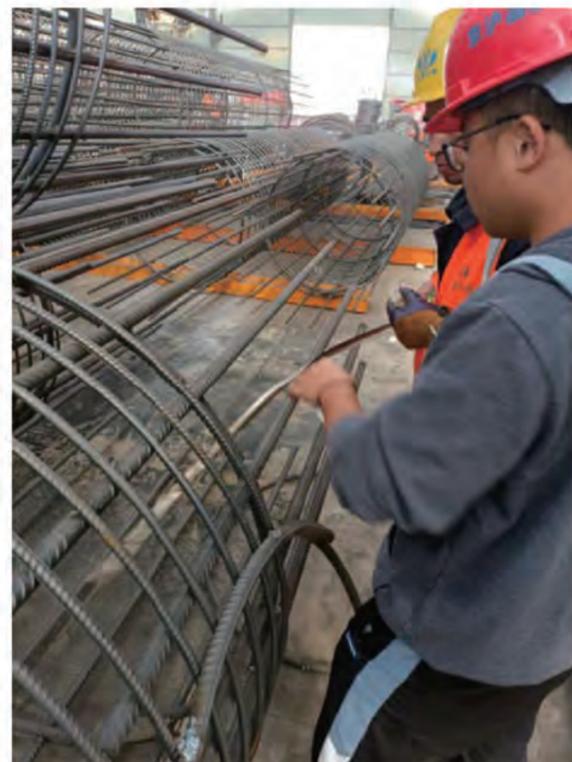
本项目路线起自京沪高速公路苏鲁省界，接正在扩建的京沪国家高速公路山东莱芜至临沂段，经新沂市新安镇、双塘镇、高流镇、扎下镇、沐城镇、胡集镇、淮安市刘老庄乡、老张集乡、王兴镇，止于王兴枢纽互通北侧，接拟改扩建的京沪国家高速公路淮安至江都段。全长约106.9公里，其中两侧分离加宽段长约5.6公里，两侧拼宽段长约101.3公里。

为提高扩建工程结构耐久性，主动性解决桩基钢筋腐蚀问题，对扩建桥梁工程的桩基水位变动区范围采用牺牲阳极技术进行主动防腐。

- 1、常水位1.2m范围内桩基布置抗腐蚀电块材料，每根水中桩基设置3环抗腐蚀电块，每环竖向间距为0.6m，环向布置间距为0.6m，上下两层采用梅花形布置；
- 2、抗腐蚀电块布置的标高位置应视实际水位变动范围与桩基的相对关系而定，布置原则是水位变动范围应包含在抗腐蚀电块竖向分部范围内



抗腐蚀电块安装示意图



根据水位变动区范围定位抗腐蚀电块



安装及检测抗腐蚀电块



吊装钢筋笼至预定位置

施工步骤:

- 1.定位：根据桥梁水位变动区范围进行定位；
- 2.安装：将抗腐蚀电块通过绑扎连接在预制钢筋笼主筋上；
- 3.检测：通过电流检测牺牲阳极与钢筋的连接；
- 4.吊装：将安装好牺牲阳极的钢筋笼吊装至预定位置；
- 5.灌注：灌注混凝土，包裹牺牲阳极。



灌注混凝土

沈阳至康平高速某桥梁工程案例

为了贯彻全寿命周期建设理念,针对高速公路运营期养护冬季撒盐融雪,造成的氯盐环境腐蚀破坏钢筋混凝土现状,借鉴我国东部地区海洋环境与西部地区盐碱环境桥梁工程耐久性新技术——采用牺牲阳极进行主动防腐(即通过在钢筋上安装防腐电块-碱性活性锌),保护钢筋不受和减缓锈蚀,对沈康连接线高速公路的六王屯1号天桥现浇梁体、锚头等部位;王家窝棚公公分立交桥面铺装层、防撞墙等部位;客专西街2号高架桥墩柱、盖梁、防撞墙及两侧边梁采用电化学防腐,并与未安装电化学防腐的部位钢筋进行锈蚀监测对比。



箱梁腹板及锚头安装抗腐蚀电块



箱梁底板安装抗腐蚀电块



抗腐蚀电块安装检测及监测引出线连接



无抗腐蚀电块区域钢筋锈蚀监测引出线连接



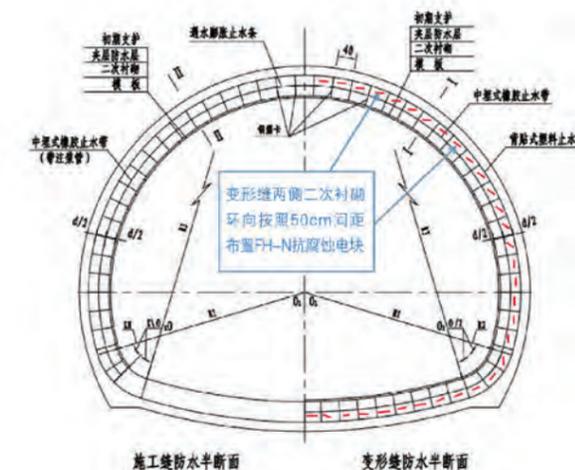
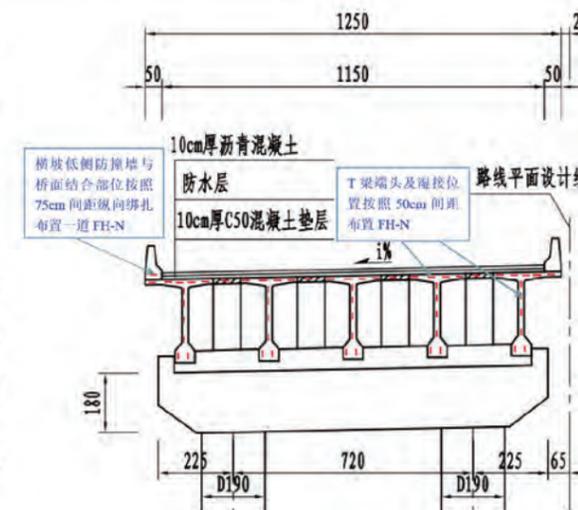
安装完成抗腐蚀电块后的梁体

永善高速某高桥桥梁、隧道耐久性提升案例

1.桥梁梁体及防撞墙耐久性提升设计说明

T梁中抗腐蚀电块布置:在每片T梁端头及湿接位置按照50cm间距布置抗腐蚀电块,初步统计40mT梁865片,30mT梁200片,20mT梁465片。40mT梁高250cm,30mT梁高200cm,20mT梁高150cm。单幅桥面宽12.5m。抗腐蚀电块布置数量为:

$2 \times (865 \times 6 + 200 \times 5 + 465 \times 4 + 26 \times (173 + 40 + 93)) = 32012$ 个;
根据国内外经验,防撞墙与桥面结合部是桥面体系的薄弱点,建议沿横坡低侧防撞墙与桥面结合部按照75cm间距绑扎布置FH-N抗腐蚀电块。K线桥梁全长6.485316km,ZK线和K线左幅桥梁全长6.616023km,以单幅单侧防撞墙布置抗腐蚀电块设计。布置个数为:
 $6485.316/0.75 + 6616.023/0.75 = 17468$ 个。



2.隧道结构耐久性提升设计说明

隧道沿变形缝两侧二次衬砌环向按照50cm间距布置抗腐蚀电块FH-N。推荐线K线共设置51985.5m/17座(左右线平均,下同),均为分离式隧道,其中特长隧道31665.5m/6座,长隧道(19913m/10)座,短隧道407m/1座。变形缝每50m及地址变化段设置,环向长度53m计算。抗腐蚀电块个数为:
 $(51985.5/50 \times 53/0.5 \times 2) \times 2 = 440837$ 个。

3.数量汇总

总需FH-N抗腐蚀电块490317个

| 部位 | 数量 | 单位 |
|-------|--------|----|
| 梁体 | 32012 | 个 |
| 防撞墙 | 17468 | 个 |
| 隧道变形缝 | 440837 | 个 |
| 总计 | 490317 | 个 |

丹东线某大桥结构耐久性工程案例

乳山口大桥所处海洋环境参照国内水运工程行业规范《水运工程结构耐久性设计标准》(JTS153-2015),按照天文潮算法划分腐蚀环境,分为大气区、浪溅区、水位变动区和水下区。



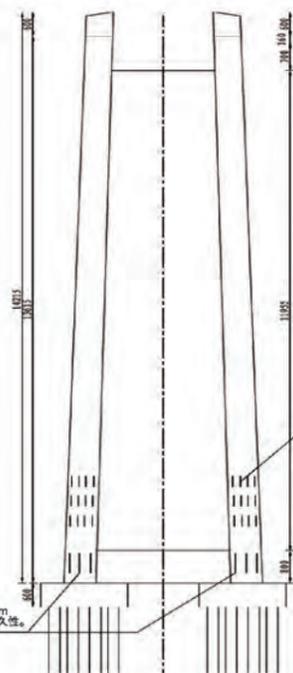
乳山口大桥俯瞰效果图

大桥索塔近视图

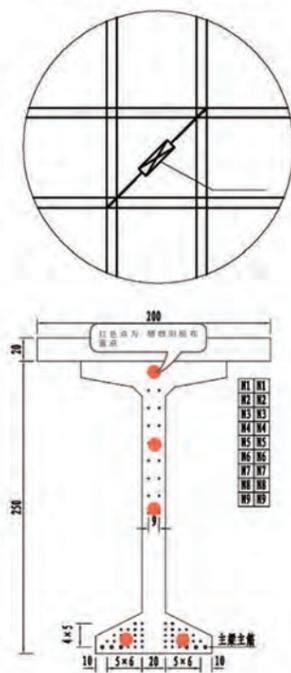
索塔潮汐带及浪溅区约5米范围内海水侵蚀,腐蚀环境恶劣,是整个桥梁的薄弱环节,地处海洋环境,将来维护困难,设计考虑采用牺牲阳极保护系统以提高混凝土结构耐久性,延长推迟维护周期。在索塔潮汐带及浪溅区使用预埋式FH-DAS条状抗腐蚀电块,环向间距50cm,直接绑扎在钢筋笼上。

索塔浪溅区以上受海风侵蚀,腐蚀环境相对较恶劣,考虑到索塔极高,且处于海洋环境,将来维护困难,设计考虑在索塔浪溅区以上采用点状布置预埋式抗腐蚀电块FH-N,环向和竖向间距均为75cm。

索塔抗腐蚀电块安装示意图



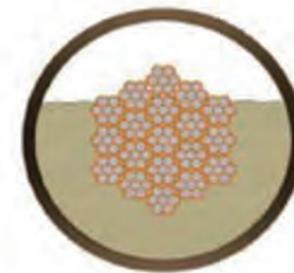
抗腐蚀电块安装示意图



浪溅区以上塔身,按照75cm间距绑扎FH-N抗腐蚀电块,提高耐久性。

潮汐带及浪溅区6m高度范围,按照间距50cm预埋FH-DAS条状抗腐蚀电块,提高耐久性。

某大桥预应力钢绞线工程案例



整根钢绞线存在腐蚀

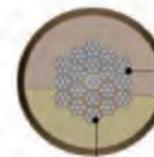


钢绞线表面处理以后,内部腐蚀仍然存在



使用抗腐蚀电块后,腐蚀不会产生

简单灌注浆料或对暴露在外的钢绞线进行修补,会造成严重的点蚀、断面腐蚀甚至断裂,类似于钢筋混凝土结构中的修补造成修补附近的钢筋加速腐蚀。新灌浆钢绞线或修补腐蚀钢绞线过程中需要用到抗腐蚀电块,将为钢绞线提供长期有效的腐蚀防护。



新旧灌浆料会让钢绞线之间形成电位差,导致加速旧浆料中的钢绞线加速腐蚀



南京长江大桥电化学防腐修复工程案例

今年是南京长江大桥通车51周年，自2016年开始两年多的封闭维修后，南京长江大桥已全新回归。南京长江大桥始建于1958年，是我国第一座自行设计与施工、自主研制材料建造的特大型公铁两用跨江大桥。大桥建成运行48年，部分桥跨经有关专业单位检测

评估为危桥，钢纵梁局部疲劳开裂，结构劣化，双曲拱桥拱肋开裂、锈蚀露筋、混凝土剥落、拱波开裂渗水等现象普遍。法赫中国所负责的电化学防腐修复工作，主要针对桥孔边拱肋及中拱肋混凝土剥落、拱肋钢筋锈蚀现象。



南京长江大桥引桥双曲拱桥拱肋混凝土剥落



引桥双曲拱桥拱肋钢筋锈蚀、露筋

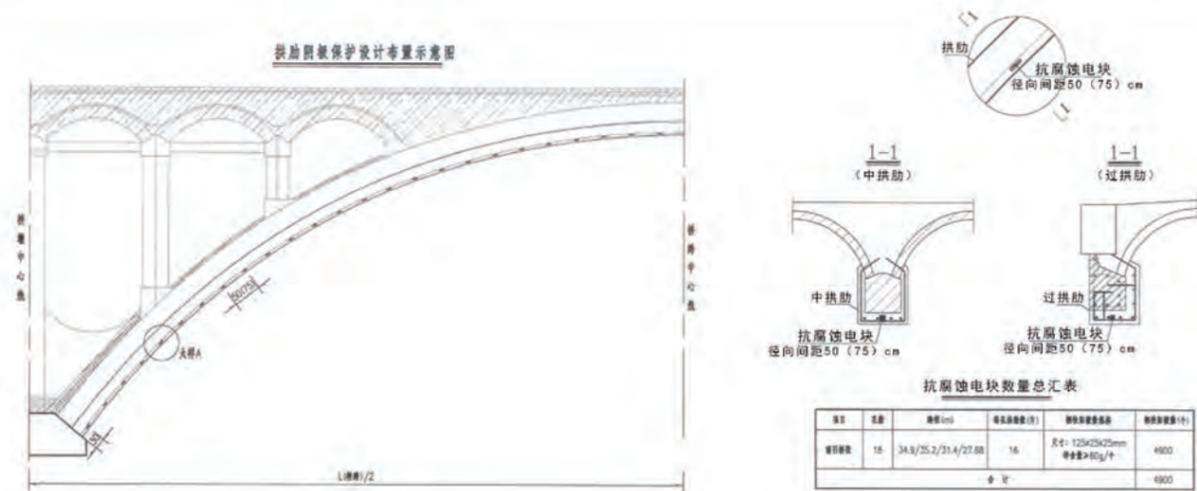
传统的修补技术是对缺损的混凝土进行修补，并对原有外露钢筋进行除锈，但该技术并未根本消除未凿除的混凝土中存在的氯离子、氧和湿气；采用局部修补后，会形成新的腐蚀电池，老混凝土中的钢筋成为腐蚀电池的阳极，修补混凝土中的钢筋成为腐蚀电池的阴极，从而加速老混凝土中钢筋的腐蚀，这种现象称为“环阳极腐蚀”或“光环效应”。

钢筋混凝土电化学修复技术主要有阴极保护、电化学除盐和电化学再碱化。阴极保护又可以分为强制电流阴极保护辅助阳极系统和牺牲阳极系统，而法赫引进的埋入式抗腐蚀电块是混凝土局部修补技术的突破，该系统施工简便，使用效果好，在国外使用广泛。根据病害检测结果，由于直接受风雨侵蚀及长期桥面

填料下渗水的影响，绝大部分混凝土边拱肋及部分中拱肋有混凝土剥落、拱肋钢筋锈蚀现象，考虑到修补后的混凝土强度比原结构要高，新旧混凝土之间存在电位差及边拱肋恶劣的环境影响，拱肋原钢筋及修补后的钢筋随着时间推移有进一步锈蚀的可能，故在拱肋局部增设阴极保护。

拱肋阴极保护设置原则：

- (1) 所有桥孔边拱肋进行全面阴极保护，间距75cm。
- (2) 所有中拱肋根据实际检测情况进行局部阴极保护，原则上钢筋自然腐蚀电位负移300~500mv时设置抗腐蚀电块，间距75cm。



南京长江大桥修复工作采取的加固修缮技术已尽可能减少对文物本体的破坏或干扰，最大限度保留历史原物的建筑风貌和建筑特色。作为修复中的关键一环——拱肋的电化学防腐修复工作，也让法赫得到了意想不到的收

获。法赫中国向来不畏艰苦，勇于创新，敢于挑战，才能担此重任。感谢南京长江大桥，这是我们一生中值得珍藏的记忆！



如今的南京长江大桥

宁波北仑山多用途码头工程案例

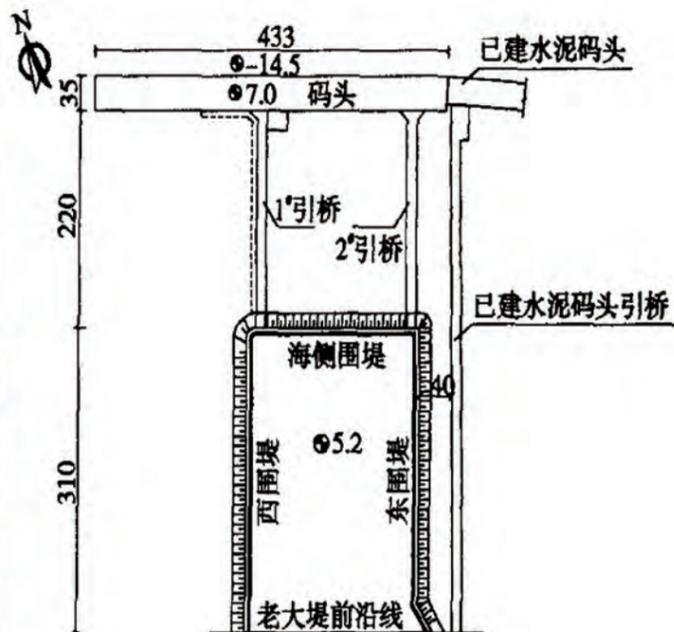
宁波北仑区北二司北仑山多用途码头由于长期受海水的冲击及侵蚀，引桥桥墩及底部内的钢筋发生锈蚀，且由于膨胀出现裂缝，该项目将病害部分凿开对钢筋进行防腐处理，同时安装抗腐蚀电块进行电化学防腐，以此提高引桥的使用寿命。



梁底安装抗腐蚀电块



测量抗腐蚀电块电压



京沪高速新沂至淮安段扩建工程案例

本项目为上海市政高架桥桥面改造工程，为预防桥面钢筋及伸缩缝锈蚀做出的预防性改造防护。

设计原则：

1. 在所有桥面钢筋中绑扎抗腐蚀电块；
2. 对伸缩缝进行电化学防腐。



施工步骤如下：

1. 对桥梁进行封闭，车辆进行引流；
2. 凿除桥面铺装层沥青；
3. 凿除桥面钢筋保护层；
4. 对露出钢筋进行除锈处理；
5. 在设计好的地方进行抗腐蚀电块绑扎
6. 对绑扎完抗腐蚀电块进行测量，保证连接正常；
7. 完成其余修复工序后通车。

注：本项目使用的是FH-XPT抗腐蚀电块，设计间距为750mm，但是伸缩缝使用的抗腐蚀电块设计间距根据现场实际情况调整。





带电流保护的桥台修复



带电流保护的桥台修复



桥柱维修



电化学防腐系统——混凝土桩 海洋环境



桥墩帽修理



局部牺牲阳极的应用



带电流保护的桥台修复



桥墩帽修



电化学防腐系统——混凝土桩 海洋环境



电化学防腐系统——混凝土桩 海洋环境



桥墩帽修理



牺牲阳极桥面铺装



牺牲阳极桥面铺装



局部牺牲阳极的应用



桥面 - 缺口和缺损处修复



在预应力箱形梁里的牺牲阳极



堪萨斯城第12街高架桥



在预应力箱形梁里的牺牲阳极



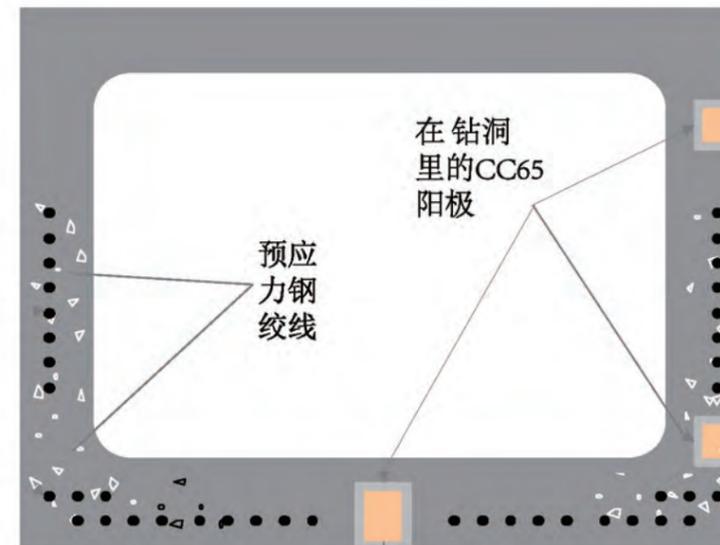
在预应力箱形梁里的牺牲阳极



在预应力箱形梁里的牺牲阳极



电防腐 系统混凝土桩 海洋环境



在钻洞里的CC65阳极

预应力钢绞线



局部牺牲阳极的应用



汉普顿隧道人行道缓蚀



汉普顿隧道人行道缓蚀



预应力梁端



预应力梁端



堪萨斯城第12街高架桥



电化学防腐系统混凝土桩——海洋环境



阳极系统的安装——桥梁下部结构



堪萨斯城第12街高架桥



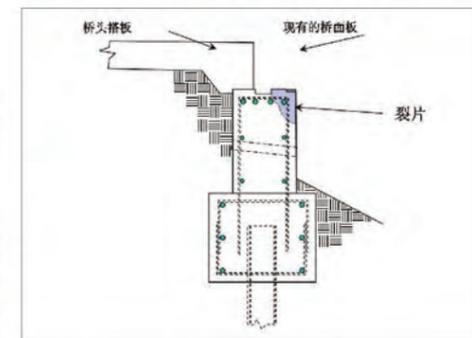
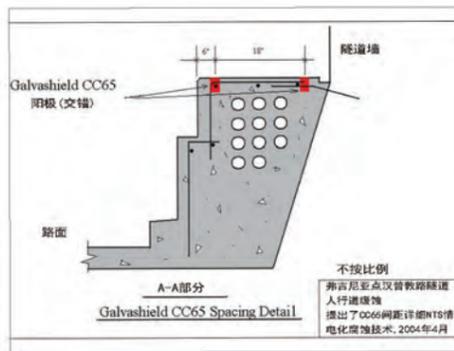
堪萨斯城第12街高架桥



局部牺牲阳极的应用



桥梁加宽防腐



电化学防腐工程项目信息表

为了给您提供更好的钢筋混凝土结构养护——“电化学防腐”方案，项目所涉及的完整信息是提供方案的必要因素。我们会根据您所提供的信息来制定方案与报价。

1 项目信息：

项目名称：_____ 地址：_____

单位名称：_____ 电话：_____

联系人：_____ 手机：_____

邮箱：_____ 日期：_____

2 基本信息表：

| 序号 | 混凝土结构名称 | 总面积 (m ²) |
|----|---------|-----------------------|
| | | |

3 病害统计表：

| 裂缝(m) | | 钢筋锈蚀 (m ²) | 剥落掉块 (m ²) | 混凝土 保护层厚度 (mm) | 混凝土腐蚀(m ²) | |
|----------------|----------------|---------------------------|---------------------------|----------------------|------------------------|------------------------|
| 裂缝 ≥ 0.15mm | 裂缝 < 0.15mm | | | | 渗水腐蚀 (m ²) | 其它腐蚀 (m ²) |
| | | | | | | |
| 环境描述： | | | | | | |
| 主要病害描述： | | | | | | |

请将完整的信息填入表内，可通过以下方式反馈于上海法赫桥梁隧道养护工程技术有限公司：
 地址：上海市北高新技术服务园区江场三路88号6层
 电话：021-61172030/31
 传真：021-61172035
 网址：www.fahe-qs.com

