

MCI 系列钢筋阻锈剂

北京建工华创工程技术有限公司

MCI 系列钢筋阻锈剂

一、前言

钢筋锈蚀引起混凝土建筑物的过早破坏已成为全世界普遍关注并日益突出的一大灾害。在第二届混凝土耐久性国际会议（1991 年）上，梅塔教授在题为《混凝土的耐久性——50 年的进展》的主旨报告中指出：“当今世界，混凝土破坏原因按重要性递降顺序排列是：钢筋锈蚀、寒冷气候下的冻害、侵蚀环境的物理化学作用。”

世界各国的腐蚀损失平均可占国民经济总产值（GDP）的 2-4%；其中与钢筋腐蚀有关者可占 40%。我国尚缺乏完整的统计数据。若按上述比例推算，我国 1999 年度腐蚀总损失大约为 1800-3600 亿元，其中与钢筋腐蚀有关（占 40%）约为 720-1440 亿元。

据美国的报道，仅就桥梁而言，57.5 万座钢筋混凝土桥，一半以上出现腐蚀破坏，40%承载力不足、必须修复与加固处理。腐蚀破坏的修复费，1998 年度就需要 2500 亿美元，其中桥梁修复费为 1550 亿美元（是这些桥初建费用的 4 倍）！据称，钢筋混凝土腐蚀破坏的原因主要是化冰盐和海洋环境氯离子的侵蚀作用，此外，工业化学介质、中性化、冻融等也是促进钢筋混凝土腐蚀破坏的因素。混凝土耐久性已是当今世界的重大问题，其中钢筋腐蚀破坏被确认为第一因素，而氯离子的侵蚀又是引起钢筋腐蚀的首要因素。北欧、英国、加拿大、澳大利亚等都有以氯盐为主的“盐害”问题（英国修复费为每年 50 亿英镑）。据悉，韩国曾发生一系列建筑物破坏、倒塌事件，其中也与“盐害”有关。我国台湾海滨桥梁、建筑物受损和不断发生的“海砂屋”事件，也是氯盐腐蚀所造成的。

我国大陆海港码头不能耐久，北方使用化冰盐，桥梁道路遭破坏。如北京仅使用 20 年的西直门立交桥（已重修），钢筋锈蚀破坏十分明显与严重。我国还有广泛的盐碱地环境（有着丰富的石油、天然气和矿物资源），特别是西部大开发过程中，将面临此类腐蚀问题。更值得注意的是我国工业建筑，尤其是化工、冶金、医药、纺织等行业中，厂房建筑腐蚀是普遍和严重的，直接影响生产和安全。

美国明确提出，要与基础设施中的腐蚀破坏作斗争。通过对建筑物实施“寿命周期成本分析”法，大力倡导预先采取防护措施，以减少后期维修、停车所带来的巨大经济损失。曾有如以下例举：氯盐环境，钢筋混凝土桥设计寿命 40 年，采用加钢筋阻锈剂作为预先防护措施，其附加费用为每平方米 5.40 美元。若前期不采取防护措施，则 15 年开始修复，寿命周期 40 年内累积费用达每平方米 108-161 美元（25 倍）。可见主张前期采取防护措施，其重大意义和长远经济效益是不可低估的。

二、钢筋锈蚀状态的检测方法

检测钢筋锈蚀的常用方法有两种。当钢筋的锈蚀已使混凝土保护层崩裂，可以用直接观察法，查看钢筋的锈蚀状况。虽然钢筋已锈蚀，但混凝土并没有出现严重开裂时，无法用直观来判断钢筋的锈蚀状况，可以用电化学的方法，用电化学参数进行判断。常用的方法有。

1. 半电池电位法：

用半电池电位来判别钢筋的锈蚀概率：

$< -350 \text{ mv}$	锈蚀概率 95%
$-200 \sim -350 \text{ mv}$	锈蚀概率 50%
$> -200 \text{ mv}$	锈蚀概率 5%

2. 混凝土的电阻率法：

用混凝土的电阻率来判别锈蚀速率

$> 100 \text{ k } \Omega \text{ cm}$	即使混凝土在高氯含量或已碳化情况下也极低
$50 \sim 100 \text{ k } \Omega \text{ cm}$	钢筋活化状态下，出现低锈蚀速率
$10 \sim 50 \text{ k } \Omega \text{ cm}$	钢筋活化状态下，出现中锈蚀速率
$< 10 \text{ k } \Omega \text{ cm}$	电阻率已经不是锈蚀的控制因素

3. 锈蚀电流密度法：

用测出的钢筋的锈蚀电流可以推断未来钢筋的锈蚀量。

$< 0.2 \mu\text{A}/\text{cm}^2$	低锈蚀率	$0.5 \sim 1.0 \mu\text{A}/\text{cm}^2$	中锈蚀率
$1.0 \sim 10 \mu\text{A}/\text{cm}^2$	高锈蚀率	$> 10 \mu\text{A}/\text{cm}^2$	极高锈蚀率

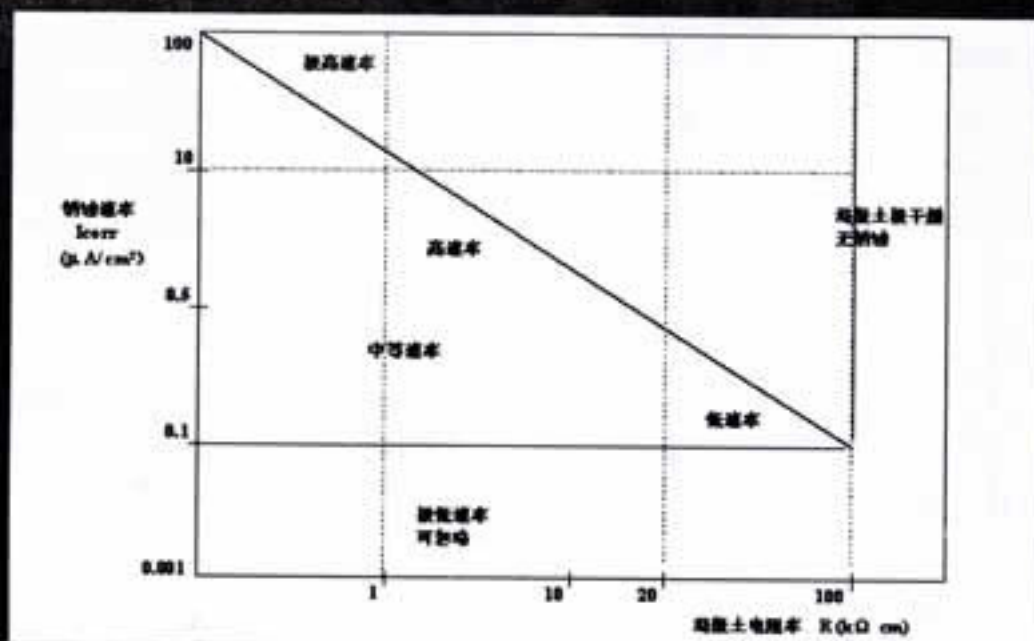
依据钢筋锈蚀量，预测混凝土保护层损坏的时间：

$0.2 \sim 1.0 \mu\text{A}/\text{cm}^2$	10~15 年	$1.0 \sim 10 \mu\text{A}/\text{cm}^2$	2~10 年
$> 10 \mu\text{A}/\text{cm}^2$	< 2 年		

上述方法中，较常用的方法是用半电池电位法来测定钢筋锈蚀状态，此种方法较普遍，但只能对锈蚀状态进行定性的分析，而无法进行定量的分析。目前美国制造的 Gecor-6，锈蚀电流密度测量仪是较好的一种。该仪器有两个传感器，A 传感器可以测出半电池电位，锈蚀电流密度；B 传感器可以测出混凝土电阻率，温度及相对湿度。用 A、B 两个传感器可以判断锈蚀状态与预测混凝土的开裂时间及钢筋的锈蚀情况。可以用 I-R 关系图来判断测量数据，如下图所示。

如果测出数据远离斜线外侧时，应对数据进行复查。根据钢筋的锈蚀状态，综合考虑结构的使用要求和状态采取相应的治理方法和防护措施。

Icorr-R 关系示意图



三、混凝土中钢筋的阻锈

混凝土中钢筋锈蚀的破坏，造成了巨大经济损失，为解决这一问题，除提高混凝土自身防护力外，还可采用对钢筋进行防护的方法。

目前常用的钢筋阻锈剂，根据阻锈剂对电极过程的抑制作用，可分为阳极保护、阴极保护及复合型三种。

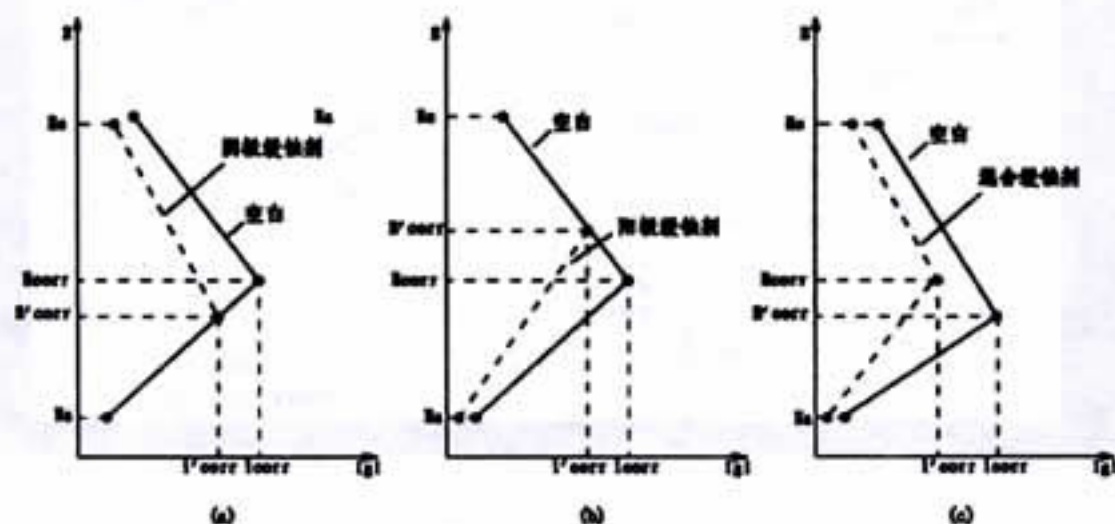
阳阻锈剂（如下图 a）：引起阳极极化曲线平行移至更正电位或造成极化曲线斜率改变，结果使新电位与电流降低。阻锈剂是通过改变阳极过程而发挥作用，这通常是由含氮化合物及非氧化性缓蚀剂的吸附造成的。阳极保护是用钝化阳极的方法，阻止金属的锈蚀，如亚硝酸盐，铬酸盐等。目前普遍采用亚硝酸盐。如图所示。亚硝酸盐的用量与钢筋处的氯离子相关，由于氯离子含量不确定，有时反而会加速钢筋的锈蚀。使用阳极阻锈剂必需掺入混凝土中且拌合均匀。

阴极阻锈剂（如下图 b）：由于钢筋的阴极区不会锈蚀，若能使钢筋上的所

有阳极区均变为阴极区，则钢筋不再锈蚀。该类阻锈剂使阴极极化曲线新电位的 E'_{Corr} 值，比原 E'_{Corr} 正，相应的 i'_{Corr} 也比原 i'_{Corr} 低，产生阻锈作用。

复合型阻锈剂（如下图 c）：同时造成阴极阳极极化变化，阴、阳极均相应产生新的 Tafel 直线，这时稳定腐蚀电位移动不大，当两者影响相近时 E_{corr} 可能不变，但相应的腐蚀电流 i'_{Corr} 均低于原 i'_{Corr} 值。象美国 Cortec 公司生产的 MCI 系列阻锈剂属此类。

复合型金属阻锈剂在混凝土孔隙液中分解，吸附于钢筋表面的阳极与阴极，同时降低两极的反应速率。由于其迁移特性，复合型阻锈剂的效果不依赖于在混凝土中的均匀性；即可掺于混凝土、砂浆中使用，也可涂于混凝土表面使用。



金属电位是确定腐蚀电位 E_{corr} ，对应的电流为腐蚀电流 i_{corr} 。
 a-阴极阻锈剂， b-阳极阻锈剂， c-复合型阻锈剂

四. MCI 系列钢筋阻锈剂的介绍

1. MCI 系列钢筋阻锈剂工作原理：



没有进行 MCI 保护的钢筋



氯化物导致钢筋锈蚀



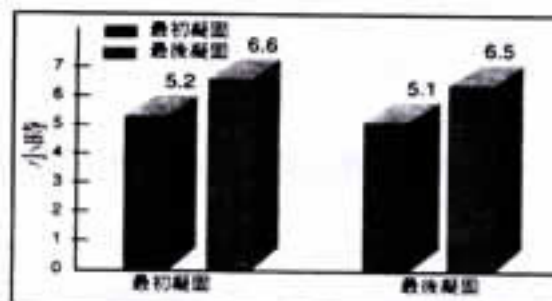
受 MCI 保护的钢筋

碳化和氯化物使钢筋钝化膜失效。当 MCI 与钢筋接触后就形成一个保护层。XPS 表面分析结果说明 MCI 保护层厚 20-100Å，它可以清除钢筋表面的氯离子。

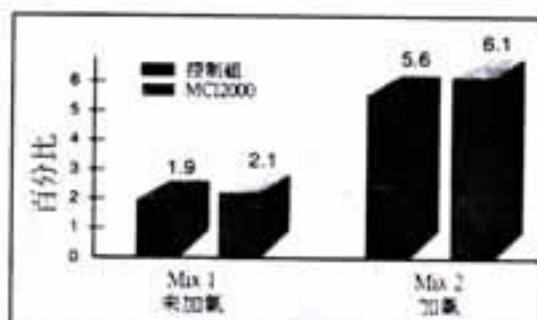
2. MCI 系列钢筋阻锈剂对混凝土性能无影响

1) 根据 Cortec 公司的实验资料

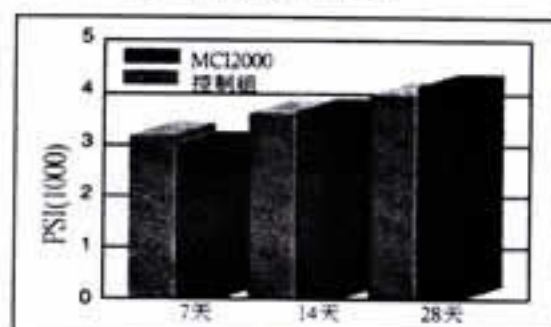
凝固時間



加氣處理



康特MCI的抗壓強度



- MCI-2000 不会影响混凝土的抗压强度、抗冻融等任何物理性能。
- 对混凝土的工作度有所改善。

2) 美国工程检测公司添加剂检测报告

美国工程检测公司添加剂检测

	MCI2005	MCI2006	control
Slump, in	3 1/4	3 1/4	3 1/4
Air, %	6.3	5.8	5.7
Temp, °F	80	78	75
UnitWt, lb/ft ³	143.6	144.5	144.0
Set Time			
Initial hr: min	-	-	4: 5
Final hr: min	-	-	5: 43
Compressive Strength, psi	4340	3710	3820
7days	5530	5960	5520
28days	5200	5650	5590
Average	5370	5680	5560

3) 中国国家建筑材料测试中心检测结果

MCI-2000、2020、2021对混凝土物理力学性能的检测结果:

- 1、对混凝土强度无影响;
- 2、混凝土塌落度略有增加;
- 3、对混凝土抗冻融能力无影响;

MCI-2000钢筋阻锈剂塌落度、凝结时间检测结果

编号 200050001

委托单位	北京建工华创工程技术有限公司		试样名称	MCI-2000 钢筋阻锈剂	
检测内容	塌落度、凝结时间		检测依据	GBJ80-85	
水泥品种	普通硅酸盐水泥 525#		拌和方式	混凝土搅拌机搅拌	
石子种类	碎石		振捣方式	标准震动台震动	
砂子种类	中粗砂		掺量	0.7L/m ³	
水灰比	W/C=0.45		配合比	水泥: 砂: 石: 水 1: 1.39:2.27:0.45	
塌落度 mm	165 (145)	工作度 s	/	程度	/
抹面	/	离析	/	含气量%	/
容重	筒重 Kg	筒+试样重 Kg	容重筒体积 L		容重 Kg/m ³
	1.4	18.78 (19.2)	0.7		2479 (2543)
凝结时间	初凝		终凝		
	5: 25 (5: 15)		7: 45 (7: 45)		

MCI-2021 钢筋阻锈剂抗冻融性检测结果

编号: 200050006

受检单位		北京建工华创工程技术有限公司			检测项目		抗冻融循环		
试样名称		MCI-2000 钢筋阻锈剂			外加剂掺量		0. 7L/m ³		
检测依据		GBJ82-85 慢冻法抗冻试验			试样尺寸		100*100*100 mm ³		
冻融次数		75 次			检测条件		25℃, RH60%		
试验日期		2000. 1. 14—2000. 2. 8							
冻融前试件重量 g	冻融后试件重量 g	冻后平均重量损失 %	对比试件抗压荷载 N	对比试件抗压强度 MPa	对比试件平均抗压强度 MPa	冻融试件抗压荷载 N	冻融试件抗压强度 MPa	冻融试件平均抗压强度 MPa	冻融后试件强度损失 %
2500	2495	0.1	500	47.5	48.8	495	47.0	48.9	/
2485	2485		500	47.5		520	49.4		
2495	2495		500	51.3		530	50.3		

MCI-2000 钢筋阻锈剂抗压强度检测结果

编号: 200050008

委托单位	北京建工华创工程技术有限公司			试样名称		MCI-2000 钢筋阻锈剂		
检测条件	25℃, RH60%			实验依据		JCJ55、GB81-85		
外加剂	钢筋阻锈剂			MCI-2000		掺量	0.7L/m ³	
混凝土配合比	原材料	水泥	细骨料	粗骨料	水	外加剂		
	Kg/ m ³	480	667	1090	216	0.7L (无)		
	重量比	1	1.39	2.27	0.46	1.458ml/kg		
试拌温度		20		塌落度 (或维勃稠度) 140mm				
试样编号	试样尺寸 (mm ³)	试验日期	龄期 (d)	抗压强度 MPa			平均强度 MPa	标准强度 MPa
				1	2	3		
N-155	100*100*100	04.13	3	24.2	25.8	27.2	25.7	24.5
N-155	100*100*100	04.17	7	38.2	40.0	40.8	39.7	37.7
N-155	100*100*100	05.08	28	51.0	50.0	52.0	51.0	48.5
试样编号	试样尺寸 mm ³	试验日期	龄期 (d)	抗压强度 MPa			平均强度 MPa	标准强度 MPa
				1	2	3		
N-155	100*100*100	04.13	3	25.2	25.8	24.6	25.2	23.9
N-155	100*100*100	04.17	7	40.2	38.4	38.6	39.1	37.1
N-155	100*100*100	05.08	28	52.0	54.0	52.0	52.7	50.1

MCI-2000 钢筋阻锈剂抗折强度检测结果

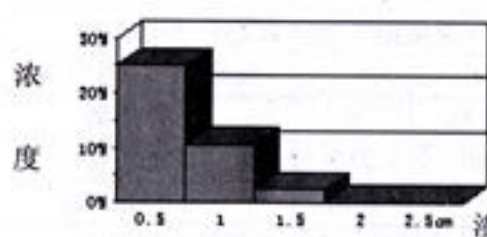
编号: 200050009

委托单位	北京建工华创工程技术有限公司			试样名称		MCI-2000 钢筋阻锈剂		
检测条件	25℃，RH60%			实验依据		JCJ55、GB81-85		
外加剂	钢筋阻锈剂			MCI-2000		掺量	0.7L/m ³	
混凝土配合比	原材料	水泥	细骨料	粗骨料	水	外加剂		
	Kg/m ³	480	667	1090	216	0.7L（无）		
	重量比	1	1.39	2.27	0.45	1.458ml/kg（无）		
试拌温度		20		塌落度（或维勃稠度）140mm				
试样编号	试样尺寸 (mm ³)	试验日期	龄期 (d)	抗折强度 MPa			平均强度 MPa	标准强度 MPa
				1	2	3		
N-155	100*100*100	04.13	3	3.3	3.0	3.6	3.3	2.8
N-155	100*100*100	04.17	7	5.7	5.4	6.0	5.7	4.8
N-155	100*100*100	05.08	28	6.6	5.7	6.9	6.4	5.4
试样编号	试样尺寸 mm ³	试验日期	龄期 (d)	抗折强度 MPa			平均强度 MPa	标准强度 MPa
				1	2	3		
N-155	100*100*100	04.13	3	3.6	3.3	3.0	3.3	2.8
N-155	100*100*100	04.17	7	5.1	5.4	5.4	5.3	4.5
N-155	100*100*100	05.08	28	6.6	6.3	5.1	6.0	5.1

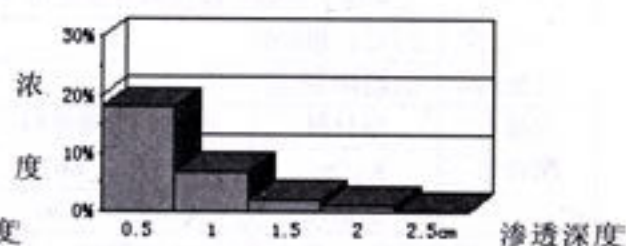
3. MCI 系列钢筋阻锈剂具有迁移性和渗透性

1) 俄罗斯核物理研究所 MCI 系列钢筋阻锈剂迁移性和渗透性

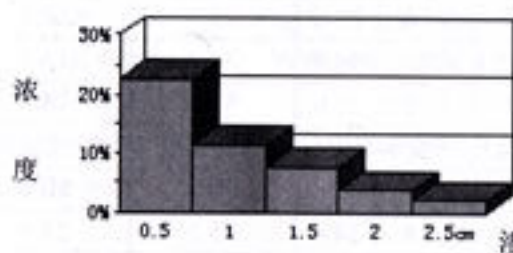
的测试结果证明了 MCI 在混凝土中的迁移和渗透性。



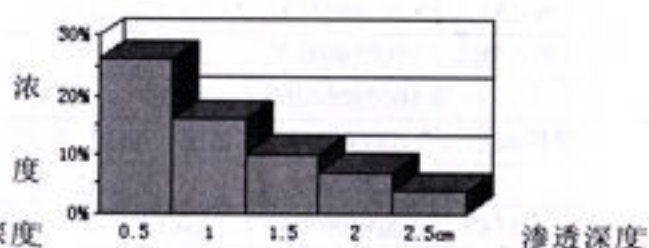
2-4 小时 MCI 渗透深度和浓度



24 小时 MCI 渗透深度和浓度

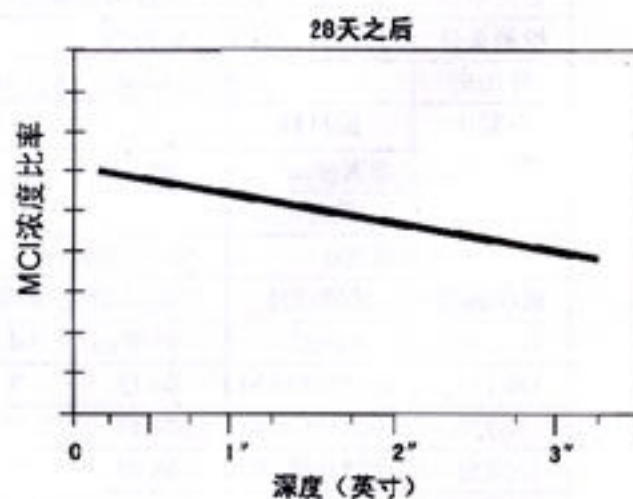
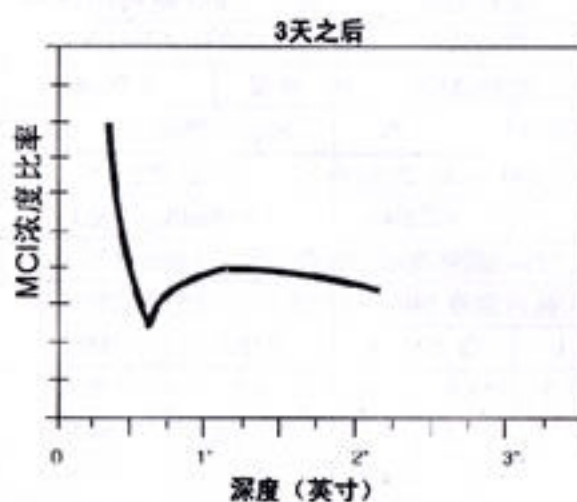


9 天 MCI 渗透深度和浓度



24 天 MCI 渗透深度和浓度

2) 美国 Cortec 公司的实验结果

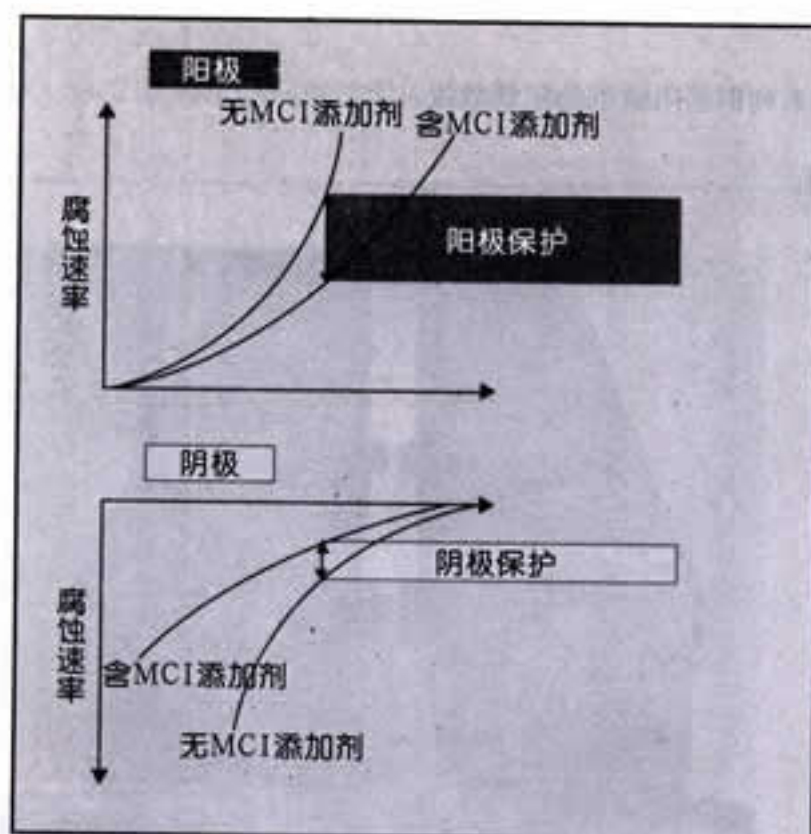


混凝土中 MCI 的分布曲线

4. MCI 系列是复合型钢筋阻锈剂

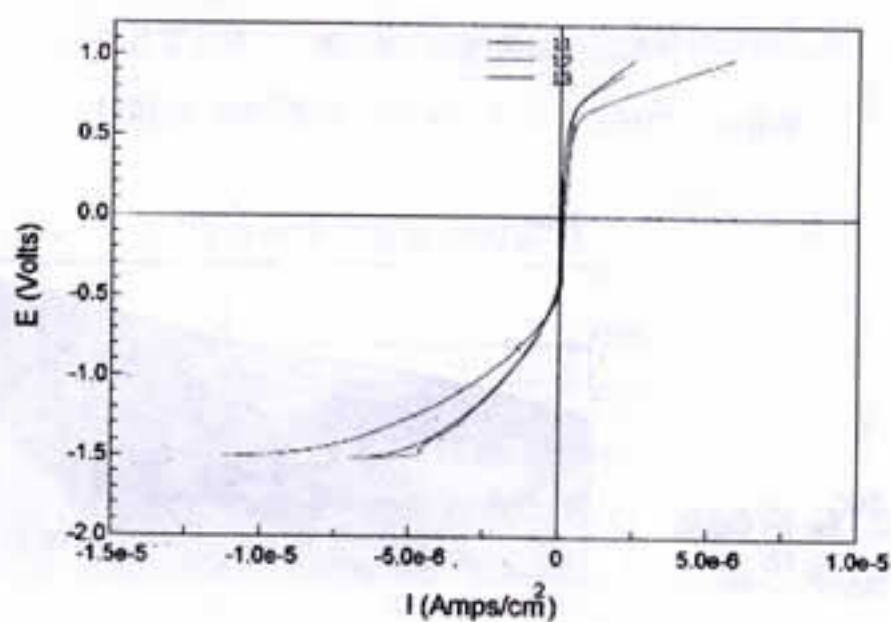
1) 美国 Cortec 公司的测试结果:

阳极及阴极均可保护, 有明显的阻锈效果, 如图所示



含有及不含有 MCI 混凝土中钢筋阳极和阴极
腐蚀速率 (mA/cm^2) 电势 (mV) 的关系曲线

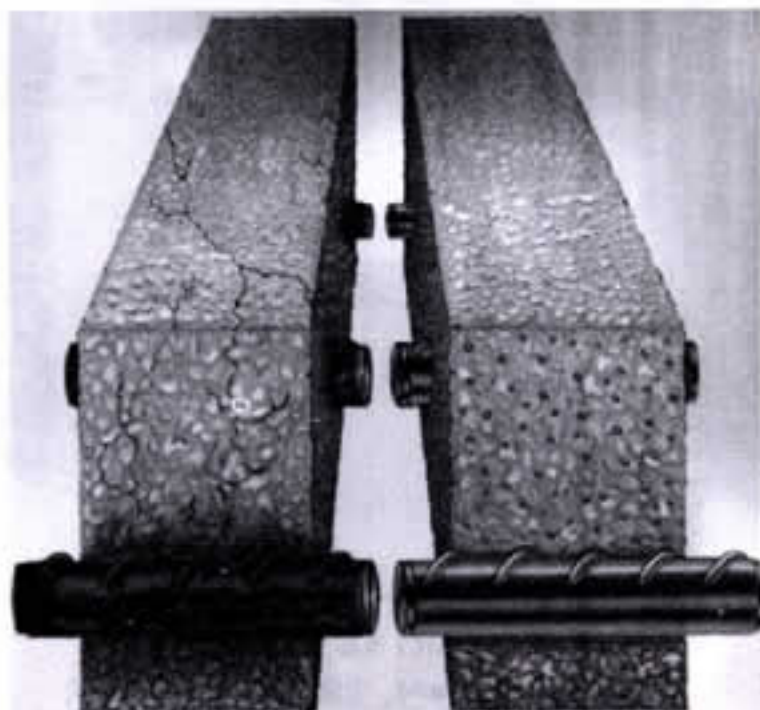
2) 中国国家建筑材料测试中心的测试结果:



从图可见渗入 MCI 之后使钝化区有所加宽, 阴阳极极化曲线都变陡, 即阴阳极极化率都变大, 从而可以判断 MCI 是混合型缓蚀剂。

5. MCI 系列钢筋阻锈剂的阻锈效果:

1) 图解:

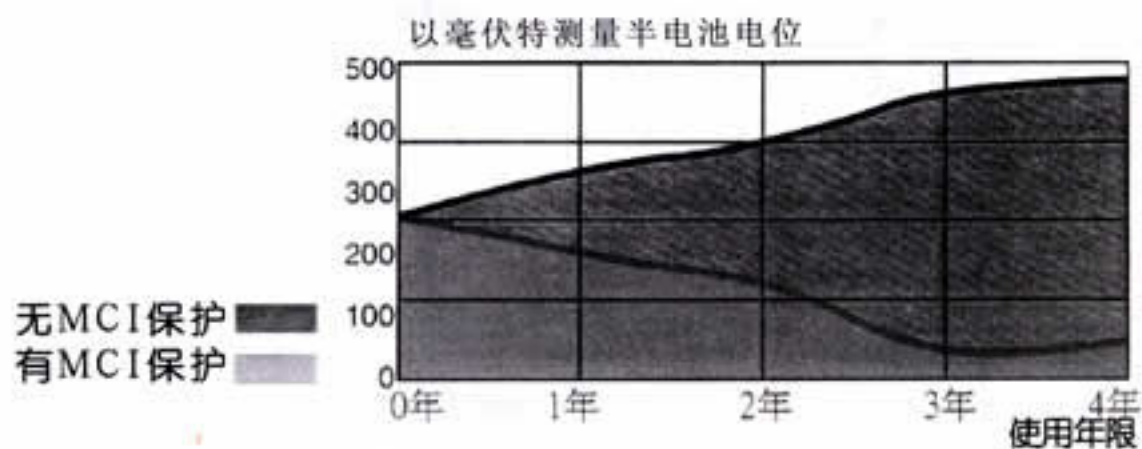


无 MCI 保护

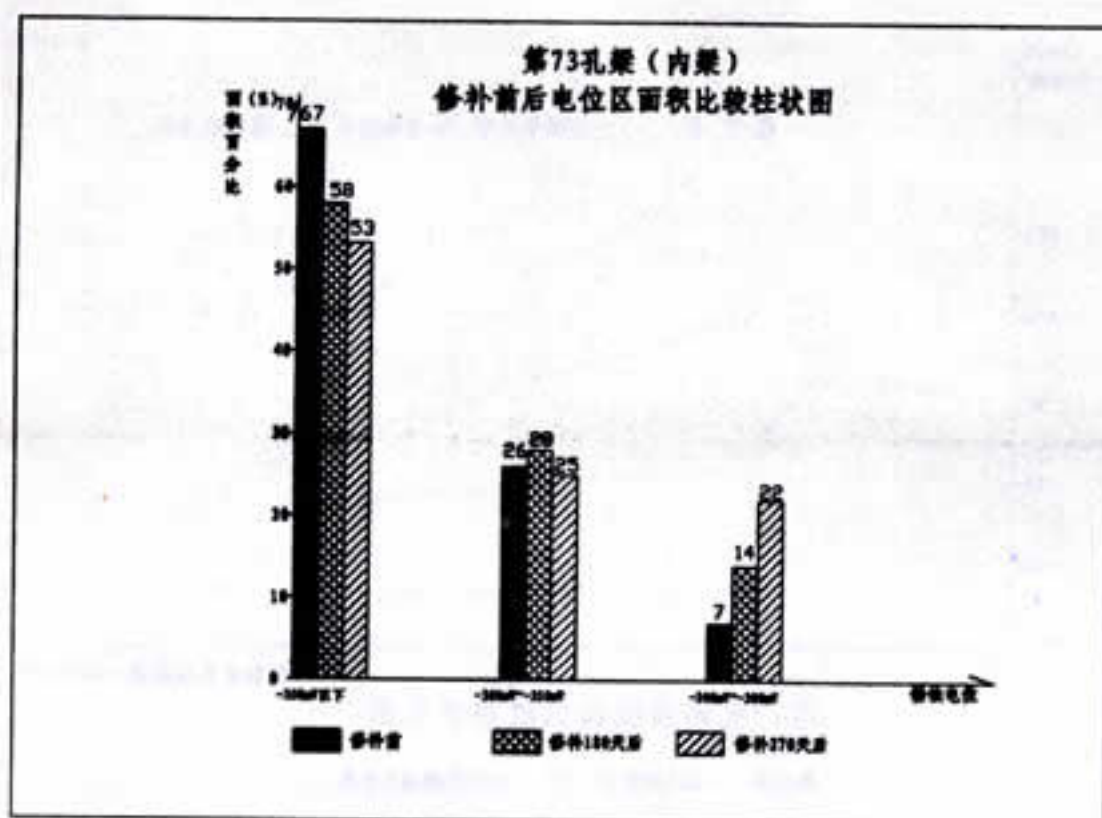
有 MCI 保护

2) 半电池电位变化:

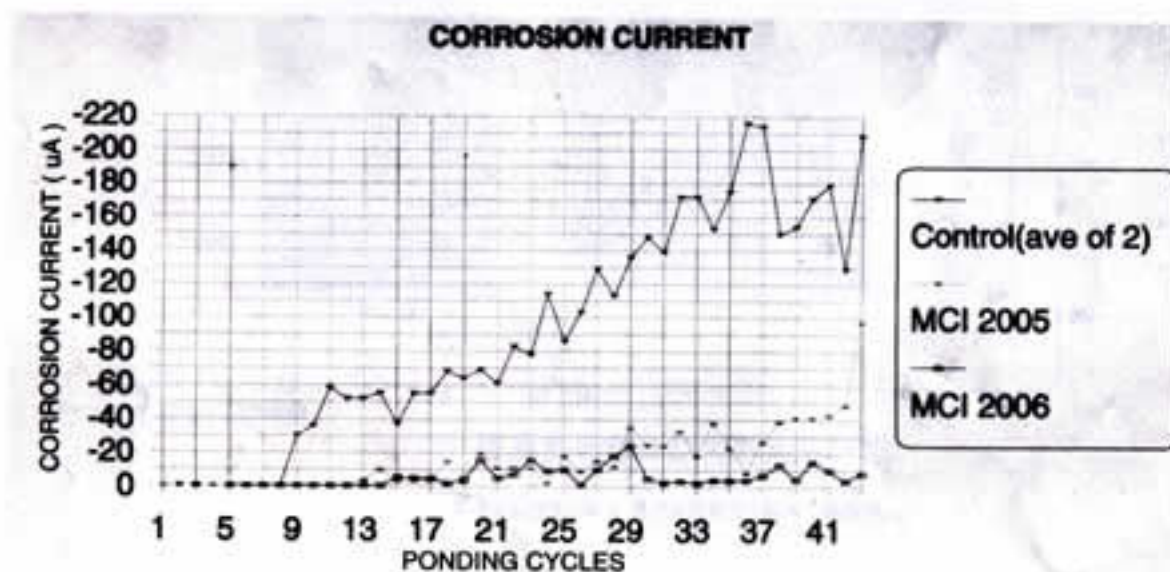
随着时间的延长, 其半电池电位明显下降, 如图所示



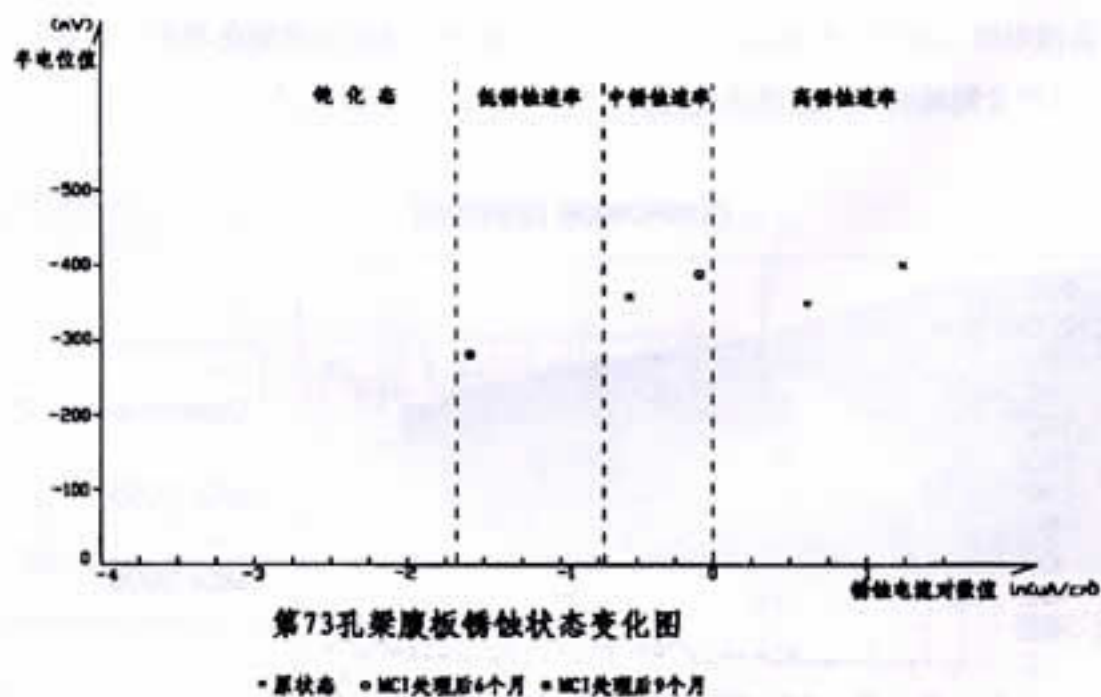
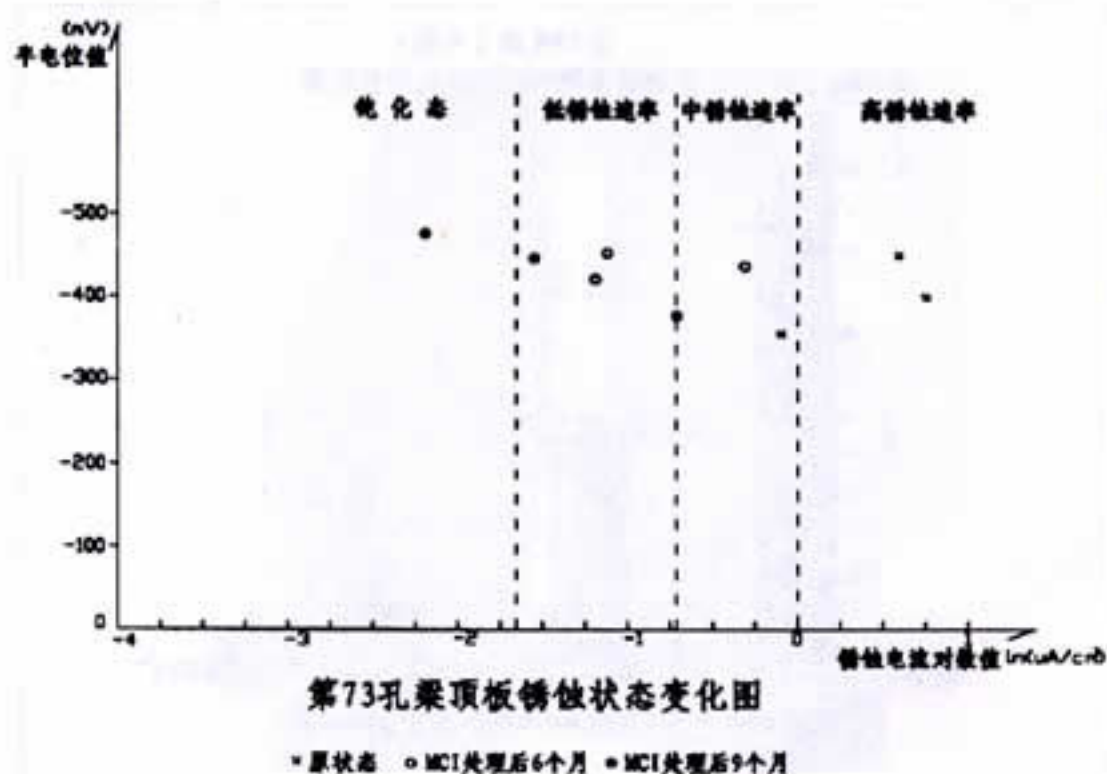
掺入 MCI 系列阻锈剂腐蚀半电池电位明显降低



3) 腐蚀电流与时间关系曲线 经 MCI 保护腐蚀电流随时间变化不大, 未经 MCI 保护者则随时间变化迅速增加。

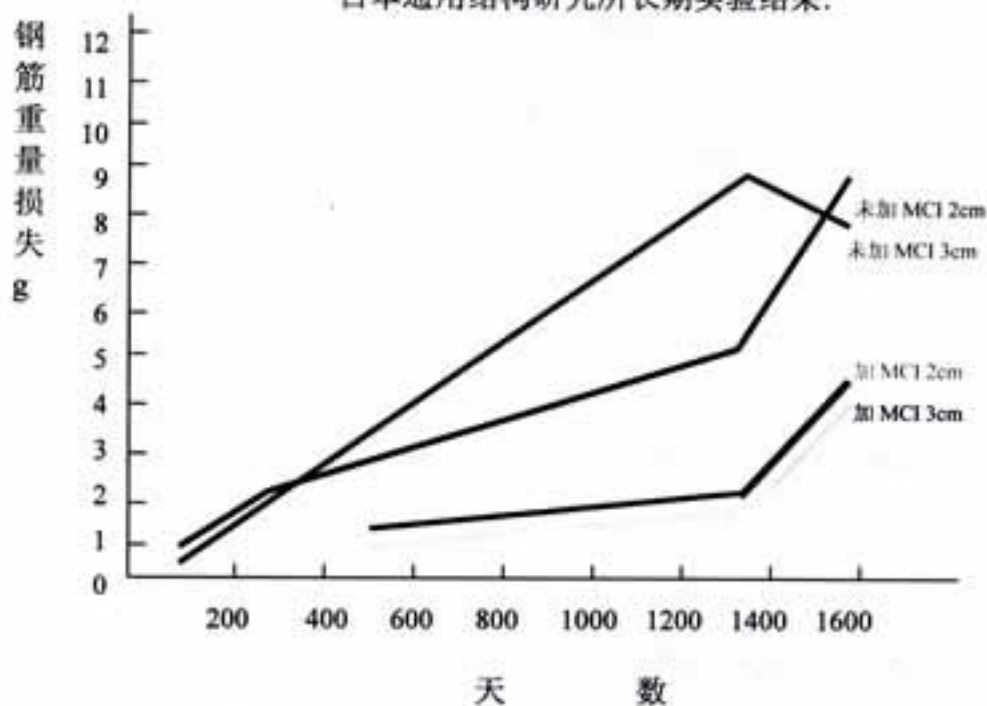


4) 掺入 MCI 系列阻锈剂腐蚀电流明显降低



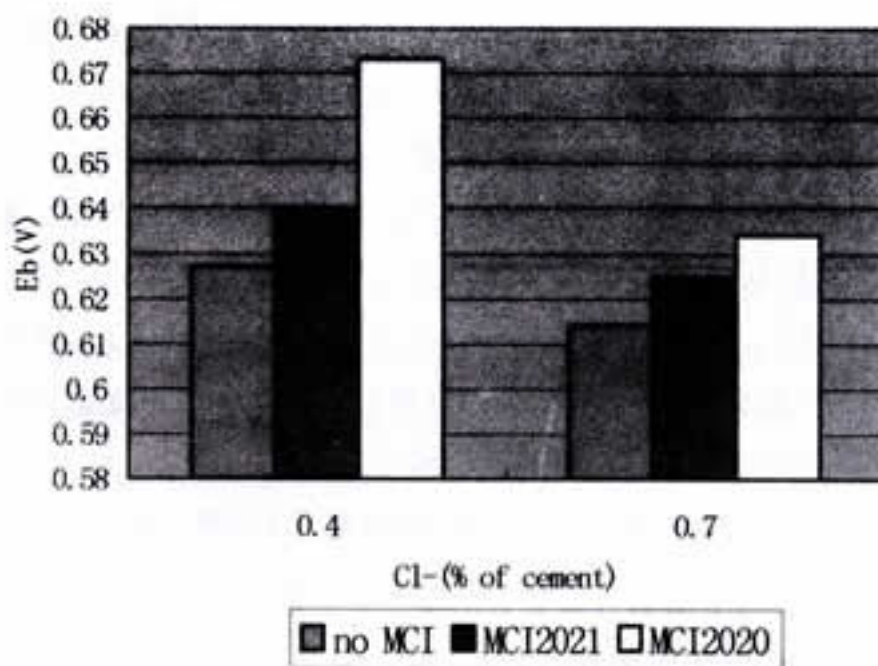
5) 掺入 MCI 后使钢筋的锈蚀量减少

日本通用结构研究所长期实验结果:



6) 中国国家建筑材料测试中心的测试结果

从图可见掺入 MCI 之后明显改善了钢筋混凝土结构的抗孔蚀能力。



五、国 SHRP 计划（美国战略高速公路研究计划）研究报告

结 论：

- 1、Cortec 公司的 MCI-2001 与 MCI-2020 作为混凝土添加剂用于桥面防腐，它们是有效的抗腐剂。
- 2、使用 MCI-2000、MCI-2020 可延长钢筋混凝土结构使用寿命 26 年。
- 3、在各种情况下，MCI 化合物的应用能大大降低钢筋混凝土的腐蚀电流与腐蚀电位。
- 4、阳极抗腐剂是“危险的抗腐剂”。因为氯化物/亚硝酸盐的比值超过 2 时，会加速锈蚀，而 MCI 是有机复合抗腐剂，不会发生上述情况。

六、美国工程测试公司测试报告结论

根据我们的实验结果和经验，我们认为以下的结论是正确的：

- 1、Cortec 公司产品 MCI-2005、MCI-2006 对混凝土中钢筋提供了有效的防腐保护。该产品延迟了锈蚀开始时间。当锈蚀发生后降低锈蚀电流。
- 2、Cortec 公司产品 MCI-2005、MCI-2006 一般使锈蚀开始延迟一倍。试样开始锈蚀时间为第 9 个循环。而含 MCI-2005 试样开始锈蚀时间为第 17 个循环，MCI-2006 为第 20 个循环。
- 3、当锈蚀发生后，Cortec 公司产品 MCI-2005、MCI-2006 降低了总锈蚀量近 5 倍以上。对比试样在第 16 个循环锈蚀电流逐渐升高，平均 $60\mu A$ ，而含 MCI-2005 的试样为 $11\mu A$ ，含 MCI-2006 的试样为 $10\mu A$ 。
- 4、在测试中，Cortec 公司产品 MCI-2005、MCI-2006 降低了总锈蚀电流近 5 倍，对比试样通过的总锈蚀电流为 1200 库仑，而含 MCI-2005 的试样仅通过 245 库仑，含 MCI-2006 的试样为 166 库仑。
- 5、Cortec 公司产品 MCI-2005、MCI-2006 延迟了钢筋锈蚀导致混凝土开裂的时间。对比试样为 1.25 年开裂，而含 MCI-2005 的试样开裂时间为 3-4.25 年，含 MCI-2006 的试样为 3.5-5 年。

七、MCI 系列钢筋混凝土的品种及用法

MCI 系列钢筋混凝土:

- MCI-2000 液态混凝土添加剂
- MCI-2001 粉状混凝土添加剂 (含硅粉)
- MCI-2005 水基液态混凝土添加剂
- MCI-2006 粉状混凝土添加剂
- MCI-2006NS 粉状混凝土添加剂
- MCI-2010 注入型阻锈剂
- MCI-2020 结构外涂渗透型阻锈剂
- MCI-2021 具有阻锈功能的混凝土密封剂
- MCI-2023 混凝土阻锈砂浆
- MCI-2038 双组份纤维增强阻锈砂浆

MCI 系列产品有多种:

MCI-2000 可以掺于混凝土、砂浆中使用; MCI-2020 可以涂于混凝土表面使用; MCI-2021 可以涂于混凝土表面作为密封剂即可以起到防水作用也可以渗入混凝土中对钢筋进行阻锈; MCI-2003 可以通过混凝土孔洞注入的胶状钢筋阻锈剂, 对于结构物的阻锈可根据其破坏的状态采用灵活的方法。下面提供几种不同结构的钢筋防锈方法。

1) 于新建的混凝土结构物:

混凝土中掺入 MCI-2000 可以大大提高钢筋的抗锈蚀能力, 由于增加费用较高, 可以用在特别需要的部位进行防护, 如沿海地区的混凝土桩可以掺入 MCI-2000 对受海水侵蚀的钢筋进行防护; 对于后张预应力混凝土结构, 主要是对预应力钢丝束及锚具进行防护。可以在孔道灌浆时掺入 MCI-2000; 在封锚时, 封端混凝土掺入 MCI-2000, 其 MCI-2000 用量不多, 但功效很高。

2) 由于碳化、氯化物侵蚀钢筋已锈蚀的结构物:

对钢筋已锈蚀但混凝土尚未剥落和严重开裂者, 可于表面喷涂 MCI-2020 或 MCI-2021, 对于锈蚀严重混凝土已开裂剥落的结构物, (尚能满足强度要求) 首先清除松动的混凝土及裸露钢筋的锈皮, 并在其表面喷涂 MCI-2020, 再用掺有 MCI-2000 的 HD-50 (快凝、高强、纤维砂浆) 进行修补。对宽度超出规范规定的裂缝, 首先注入 MCI-2020、而后封闭裂缝, 最后在混凝土表面喷涂 MCI-2021 保护钢筋, 再喷涂 MCI-2021 密封剂, 即可以防止有害气体的继续侵入又可以达

到防锈的目的。

3) 由于碱—骨料反应混凝土已出现开裂的结构物:

对由于碱—集料反应混凝土已出现严重开裂的预应力混凝土及钢筋混凝土结构。如果不进行防护,将会造成钢丝(钢筋)的锈蚀而危及结构的安全。其防护可:首先沿裂缝注入 MCI-2000,再对裂缝进行封闭,最后在混凝土梁表面涂抹 J-28,即可以防止水份继续侵入又可加速混凝土中水分的挥发,减缓碱—集料反应的进程,也可达到对钢筋进行防锈的目的。

八、钢筋混凝土结构物寿命的测算

Life-365 Version1.0.1 计算机程序是用于测算在氯化物影响下,钢筋混凝土结构物的寿命以及使用防腐措施的寿命及费用。它可作为混凝土结构的规划和设计的指导。



北京建工华创工程技术有限公司

BEIJING JIAN GONG HUA CHUANG ENGINEERING TECHNOLOGY CO., LTD

地址：北京市海淀区紫竹院路 31 号华澳中心公寓嘉慧苑 626 室

电话：(010)88413788 88413758 传真：(010)88413878 邮编：100089

E-mail: bjghc@public.bta.net.cn <http://www.hctech.com.cn>