



大气区被氯盐污染的钢筋混凝土外加电流阴极保护电流分散的研究

陈龙, 李海洪, 方翔

(中交四航工程研究院有限公司,
交通运输部水工构造物耐久性技术交通行业重点实验室, 广东 广州 510230)

摘要: 通过室内试验, 针对大气区被氯盐污染的钢筋混凝土采用外加电流阴极保护系统其阴极保护电流在被氯盐污染混凝土结构的多层钢筋的分布规律进行了研究, 为混凝土外加电流阴极保护工程的设计提供指导。研究表明: 在大气区被氯盐污染混凝土中, 邻近辅助阳极的第1和第2层钢筋共吸收的电流较多, 占总电流的70%以上; 第2层钢筋与第1层钢筋的间距对电流在的钢筋中的分散情况影响较大。

关键词: 外加电流阴极保护; 电流分布; 辅助阳极

中图分类号: TG 174

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2012)08-0038-05

Protection current distribution of ICCP system for chloride contaminated reinforced concrete

CHEN Long, LI Hai-hong, FANG Xiang

(Engineering Technology Research Co., Ltd. of CCCC Fourth harbor Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510230, China)

Abstract: This paper studies the protection current distribution of impressed current cathodic protection (ICCP) for chloride contaminated reinforced concrete in the atmosphere zone. It seeks to master the main technical parameters of ICCP and applied to practical engineering. The layers and spacing of electrical connection steel rebar effect on the current distribution have studied in this paper. The results indicate that for the ICCP system which is applied to the chloride contaminated concrete of atmosphere zone, the first and second layers of reinforcement adjacent to the auxiliary anode absorb more than 70% of total current, and their spacing has a great impact on the current dispersion in the steel reinforced bars.

Key words: impressed current cathodic protection; current distribution; auxiliary anode

因氯盐引起钢筋混凝土结构的钢筋锈蚀, 导致构件开裂、结构物变形、位移, 甚至突然坍塌, 时刻威胁着结构的使用安全。据调查, 中国20世纪80年代前修建的海工码头、桥梁一般10~20 a即出现腐蚀破坏, 每年损失达1 000亿元以上^[1]。对于锈蚀引起的结构破坏, 传统的维修方法是局部修补加全面封闭, 该方法不能除去混凝土中的氯盐, 无法使钢筋全面恢复钝化, 因此修复效果不佳, 一般修复后5~10 a又出现腐蚀破

坏, 存在屡修屡坏的问题。

混凝土外加电流阴极保护技术不仅能长期有效地阻止钢筋的腐蚀, 还能克制孔蚀等局部腐蚀, 是用于已受腐蚀特别是暴露于大气中的钢筋混凝土结构修复最有效的方法之一。其成功应用解决了因氯盐引起的钢筋腐蚀混凝土结构传统维修方法使用寿命短、屡修屡坏的难题, 可确保混凝土结构一次修复可达15 a以上不出现腐蚀破坏^[2-3], 具有显著的社会和经济效益。

收稿日期: 2012-03-05

作者简介: 陈龙(1979—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事海洋腐蚀与防护的研究。

对于混凝土外加电流阴极保护技术,阴极保护电流的大小直接决定了阴极保护的充分性或过保护。而电流分布均匀性决定了混凝土外加电流阴极保护系统的稳定可靠性。电流分布不均匀易出现局部保护力度过大或过小的现象。但是混凝土的高阻抗性和钢筋的多层布置本身就决定了电流在钢筋中分散的不均匀性^[4]。因此掌握保护电流在钢筋中的分布规律,对阴极保护的设计具有指导性意义。本文就是主要研究阴极保护电流在被氯盐污染混凝土结构的多层钢筋中的分布规律,从而为外加电流阴极保护用于旧有混凝土结构提供设计实验依据。

1 实验

1.1 实验设备及原料

HDV-7C恒电位仪、饱和甘汞参比电极,10 mm宽MMO网状辅助阳极,铜导线,微安表,A3钢筋,混凝土所需的原料。

1.2 混凝土配合比

混凝土配合比:水胶比=0.44,胶凝材料用量380 kg、粉煤灰掺入量为30%,砂率=40%,减水剂掺量1.2%。

1.3 电流分布实验

试件外观及钢筋布置设计如图1所示。钢筋通过端部焊接铜导线实现外部电连接。焊接处需要环氧材料密封。辅助阳极正对第1层钢筋,辅助阳极和钢筋之间通过厚度为7 mm的水泥垫片实现电绝缘。

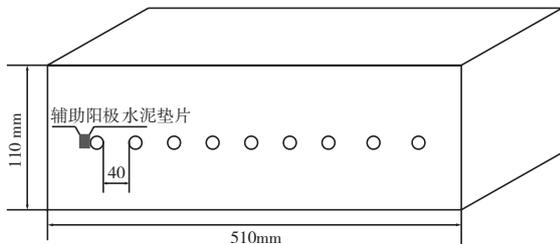


图1 试件外观及钢筋布置

邻近辅助阳极的第1和第1层钢筋编号分别为1和2,以此类推。试件成型后如图2所示。

钢筋端头焊接铜导线,通过连接铜导线可以实现钢筋的电连接。测试每根钢筋的吸收电流

时,将微安表串联于回路。

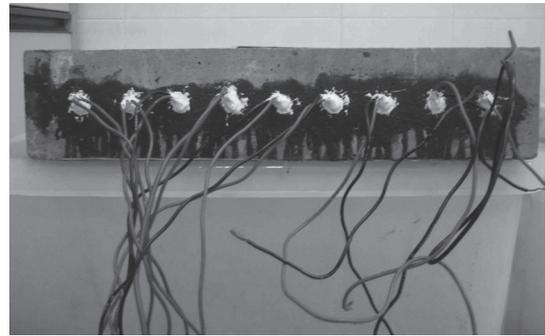


图2 试件成型照片

1.4 加速钢筋腐蚀实验

通过内掺盐加速混凝土钢筋的腐蚀。内掺盐试件长期放置于湿度大于90%的环境。通过测试钢筋的半电池电位,当半电池电位达到-350 mV(相对于饱和甘汞参比电极),即钢筋全面腐蚀时对试件进行通电流测试^[5]。

2 结果与讨论

2.1 电连接钢筋层数对阴极保护电流分布的影响

实际被保护结构钢筋是多层的。通过对如图2所示的试件施加不同的电流密度,并结合试件中钢筋外部连接的特点,研究电流大小和钢筋层数对电流在钢筋中分布的影响。记录通过每层钢筋电流的大小。

通过钢筋的外部连接(图2所示焊接在钢筋端部的电缆),改变电连接钢筋的层数,对试件施加不同大小的电流。每层钢筋表面积为44 cm²。记录通过每层钢筋电流的大小(表1)。将钢筋总层数为5,6的电流分布测试结果绘图,见图3和图4。

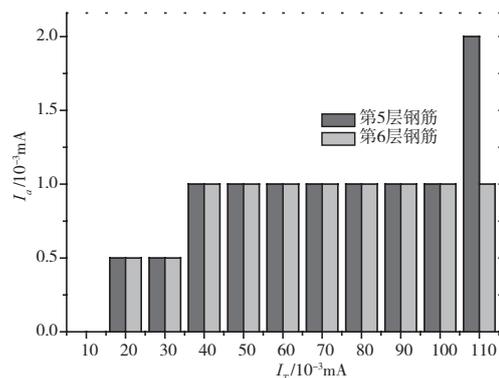


图3 钢筋在第5和第6层钢筋的分布情况(钢筋总数为6)

表1 不同层数的电连接钢筋电流分布

μA

钢筋总层数	钢筋序号	钢筋吸收电流										
		总电流 10 μA	总电流 20 μA	总电流 30 μA	总电流 40 μA	总电流 50 μA	总电流 60 μA	总电流 70 μA	总电流 80 μA	总电流 90 μA	总电流 100 μA	总电流 110 μA
2	1	7	12	20	28	33	40	47	53	60	65	72
	2	3	8	10	12	17	20	23	27	30	35	38
3	1	7	12	18	22	29	33	40	45	48	55	60
	2	2	5	8	10	11	16	18	20	22	25	28
	3	1	3	4	8	10	11	12	15	20	20	22
4	1	7	10	12	17	20	30	38	42	48	54	59
	2	2	5	9	11	12	12	13	18	21	23	24
	3	0.5	3	5	6	9	9	10	10	11	12	13
	4	0.5	2	4	6	9	9	9	10	10	11	11
5	1	7	11	19	22	29	34	40	44	50	59	65
	2	1	4	8	10	11	12	13	17	19	20	22
	3	7	2	2	3	5	8	9	10	10	11	12
	4	0.5	1	1	3	4	5	7	8	8	9	10
	5	0.5	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2
6	1	8	12	18	22	30	34	39	45	52	60	65
	2	1	4	8	10	10	11	13	17	19	20	22
	3	0.5	2	2	4	5	8	9	9	9	10	11
	4	0.5	1	1	2	3	5	7	7	8	8	9
	5		0.5	0.5	1	1	1	1	1	1	1	2
	6		0.5	0.5	1	1	1	1	1	1	1	1

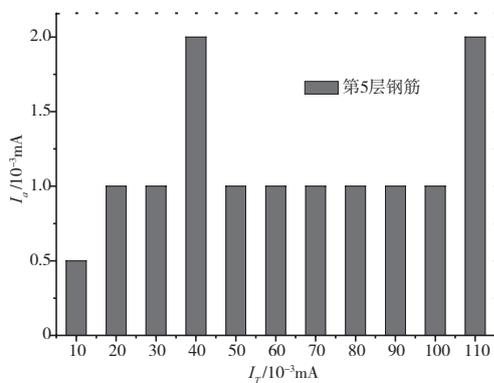


图4 电流在第5层钢筋的分布情况 (钢筋总数为5)

图中 I_T 表示总输入电流的大小, I_a 表示单层钢筋吸收电流的大小。如图所示可以看出在氯盐污染的混凝土中, 超过4层钢筋的混凝土结构物, 绝大部分阴极保护电流集中分散在靠近辅助阳极的相邻4层电连通的钢筋。对于第4层以后的钢筋, 所吸收的电流基本可忽略不计。这一点与新建混凝土中的情况不同^[6]。分析原因是由于被氯盐污染, 导致混凝土的电阻变小, 从而使电流更趋向于流向紧靠辅助阳极的钢筋。这一点对于被氯盐污染的钢筋混凝土外加电流阴极保护设计是十分重要的。

2.2 阴极保护电流在第1, 第2层电连接钢筋的分布情况

通过实验表明, 邻近辅助阳极的第1和第2层钢筋吸收了阴极保护的大部分电流。钢筋电连接总层数不同的情况下, 邻近辅助阳极的第1和第2层钢筋吸收电流的大小占总输入电流大小的比率见表2。

由表2可以看出, 当相邻的钢筋间距为40 mm时, 邻近辅助阳极的第1层钢筋吸收的电流最多。邻近辅助阳极的第1和第2层钢筋共吸收的电流大多占总电流的70%以上, 较高的达到80%~90%。电连接钢筋层数大于2层时, 随着钢筋层数的增多, 对邻近辅助阳极的第1和第2层钢筋电流的吸收影响不大。当电连接钢筋只有2层的情况下, 第1层吸收较多的电流, 基本达到60%以上。

通过实验可以看出在氯盐污染的混凝土中, 相对于新建混凝土阴极保护^[6], 外加电流更加集中分散在紧邻辅助阳极的前两层钢筋。分析原因是因为被氯盐污染, 导致混凝土的电阻变小, 从而

表2 邻近辅助阳极的第1和第2层钢筋吸收电流比率

电连接 钢筋层数	钢筋 序号	钢筋吸收电流占总输入电流大小的比率										
		总电流 10 μ A	总电流 20 μ A	总电流 30 μ A	总电流 40 μ A	总电流 50 μ A	总电流 60 μ A	总电流 70 μ A	总电流 80 μ A	总电流 90 μ A	总电流 100 μ A	总电流 110 μ A
6	1	0.800	0.600	0.600	0.550	0.600	0.567	0.557	0.563	0.578	0.600	0.650
	2	0.100	0.200	0.267	0.250	0.200	0.183	0.186	0.213	0.211	0.200	0.210
5	1	0.700	0.550	0.633	0.550	0.580	0.567	0.571	0.550	0.556	0.590	0.650
	2	0.100	0.200	0.267	0.250	0.220	0.200	0.186	0.213	0.211	0.200	0.220
4	1	0.700	0.500	0.400	0.425	0.400	0.500	0.543	0.525	0.533	0.540	0.590
	2	0.200	0.250	0.300	0.275	0.240	0.200	0.186	0.225	0.233	0.230	0.240
3	1	0.700	0.600	0.600	0.550	0.580	0.550	0.571	0.563	0.533	0.550	0.600
	2	0.200	0.250	0.267	0.250	0.220	0.267	0.257	0.250	0.244	0.250	0.280
2	1	0.700	0.600	0.667	0.700	0.660	0.667	0.671	0.663	0.667	0.650	0.720
	2	0.300	0.400	0.333	0.300	0.340	0.333	0.329	0.338	0.333	0.350	0.380

使电流更趋向于流向紧靠辅助阳极的钢筋。

2.3 电连接钢筋的间距对阴极保护电流分散的影响

实际施工时钢筋的间距有所不同, 而钢筋的间距改变, 相应改变了非第1层钢筋与辅助阳极间的间距, 改变了电流的分散情况。本节主要研究钢筋间距对阴极保护电流分散的影响。

测试2层钢筋电连接的情况下, 改变钢筋间距, 电流的分布情况。总输入电流大小为100 μ A。测试结果如图5所示。

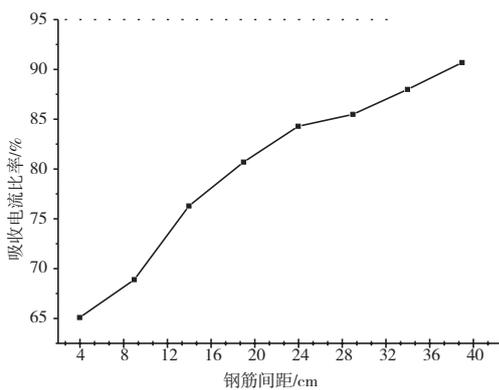


图5 电流在不同间距的2层钢筋的分布情况

由图5可以看出, 当被保护的钢筋层数仅为2层时, 电连接的2层钢筋的间距对电流分布有一定影响, 随着钢筋的间距增大, 邻近辅助阳极的第1层钢筋吸收的电流呈增大趋势, 而电连接的第2层钢筋吸收电流则相应地呈减少趋势。当钢筋间距增大至39 cm时, 第1层钢筋吸收的电流大小占

总输出电流大小的90%以上。

测试3层钢筋电连接, 而电连接的第1、第2层钢筋间距维持40 mm不变, 改变电连接的第3层钢筋的间距时, 阴极保护电流的分布情况。总输入电流大小为100 μ A。测试结果如图6所示。

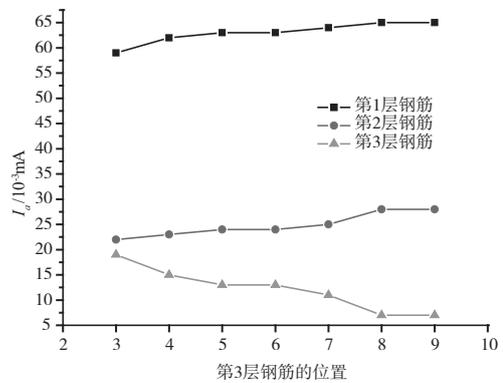


图 6 电流在3层钢筋中的分布情况

图6中, I_a 表示钢筋吸收电流的大小。图中所示的第1, 第2层钢筋其间距保持不变。第3层钢筋与第2层钢筋的间距不断变化, 横坐标所示的3~9即表示被电连接第3层钢筋处于整个试件中的位置(对应于第1层钢筋间距分别为14cm, 19cm, 24cm, 29cm, 34cm, 39cm)。

由图6可以看出, 在电连接的第1、第2层钢筋间距维持40 mm不变, 改变电连接的第3层钢筋的间距时, 随着第3层钢筋间距的逐渐增大, 第3层钢筋电流吸收的大小逐渐减少, 第1层以

及第2层钢筋电流吸收的大小有稍微增大的趋势。尤其是第1层钢筋，所吸收的电流大小基本不随第3层钢筋间距的逐渐增大而变化。同图5比较，可以看出对于被氯盐污染的混凝土，影响电流在邻近辅助阳极的前2层钢筋的分布，主要因素仍是前2层钢筋的间距。

相应等比率地改变电连接的3层钢筋之间间距的大小，研究电流的分散情况，其实验数据见表3。总输入电流大小为100 μA。

表3 3层钢筋电流大小-钢筋间距

钢筋序号	与第一层钢筋间距/cm	钢筋吸收电流/μA			
1	0	59	68	76.5	83
2	4	22			
3	9	19	20		
4	14			13.0	
5	19		12		10
6	24				
7	29			10.5	
8	34				
9	39				7

由表3可看出，总输入电流大小为100μA时，随着靠近辅助阳极的第2、第3层钢筋与第1层钢筋的间距的增加，第1层钢筋吸收的电流逐渐增大，而相应的第2、第3层钢筋电流的大小逐渐减少。说明此种情况下，影响电流在钢筋中的分散情况仍主要是第2层钢筋与第1层钢筋的间距。

3 结论

1) 在氯盐污染的混凝土中，外加电流绝大多数

分散在靠近辅助阳极的相邻4层电连通的钢筋。对于第4层以后的钢筋，所吸收的电流基本可忽略不计。

2) 当相邻的钢筋间距为40 mm时，邻近辅助阳极的第1和第2层钢筋共吸收的的电流大多占总电流的70%以上，较高的达到80%~90%。电连接钢筋层数大于2层时，随着钢筋层数的增多，对邻近辅助阳极的第1和第2层钢筋电流的吸收影响不大。当电连接钢筋只有2层的情况下，第1层吸收较多的电流，基本达到60%以上。

3) 钢筋的间距对阴极保护电流的分布有一定的影响。影响电流在钢筋中的分散主要是第2层钢筋与第1层钢筋的间距。随着第2层钢筋与第1层钢筋的间距增大，邻近辅助阳极的第1层钢筋吸收的电流呈增大趋势，而电连接的第2层钢筋吸收电流则相应的呈减少趋势。

参考文献:

- [1] 王胜年. 我国海港工程混凝土耐久性技术发展及现状[J]. 水运工程, 2010(10): 1-7.
- [2] JTS 311—2010 港口水工建筑物修补加固技术规范[S].
- [3] 黄君哲, 岑文杰, 潘峻, 等. 海水环境混凝土结构损坏修补技术探讨[J]. 水运工程, 2010 (10) : 12-15.
- [4] Pietro P. Cathodic protection and cathodic prevention[J]. Construction and Building Materials, 1996, 10(5): 391-402.
- [5] ASTM C876-09 Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete[S].
- [6] 叶军, 陈龙. 钢筋混凝土外加电流阴极保护的电流分布研究[J]. 中国水运, 2010, 10(9): 103-105.

(本文编辑 郭雪珍)

