

文章编号: 0451-0712(2006)04-0052-05

中图分类号: U214.18:TU528.042

文献标识码: A

公路工程钢筋混凝土阻锈剂应用技术

张劲泉, 傅 智, 张子华, 赵尚传

(交通部公路科学研究院 北京市 100088)

摘 要: 怎样才能避免或延缓公路桥梁水泥混凝土中钢筋的腐蚀破坏, 在水泥混凝土拌和物中掺加阻锈剂是一种施工简单、经济而又有效的方法。主要介绍了阻锈剂在公路水泥混凝土桥梁工程应用中的适用范围、性能要求、用量以及技术控制指标。

关键词: 公路工程; 水泥混凝土; 钢筋混凝土桥梁; 阻锈剂

钢筋混凝土作为一种经济实用的建筑材料在桥梁工程中已经得到广泛的应用, 但是由于钢筋锈蚀而导致的耐久性不足也给桥梁结构的正常使用带来了严重的危害。西方一些发达国家建造钢筋混凝土桥梁时间长, 出现的问题也比较显著。据统计, 早在 1992 年, 美国因撒除冰盐引起钢筋腐蚀破坏而限载通车的公路桥梁约占 1/4, 每年的维修费用高达 5 千万至 2 亿美元。英国、挪威、日本、加拿大和澳大利亚等一些国家在 20 世纪 60、70 年代建造的钢筋混凝土桥梁现在大部分都已经或轻或重地出现钢筋锈蚀现象。我国钢筋混凝土桥梁的建设高潮开始仅 10 年左右, 钢筋锈蚀带来的危害尚没有全面暴露出来, 但部分桥梁钢筋锈蚀破坏现象已经初露端倪, 有些甚至非常严重, 如北京的西直门桥, 使用不到 20 年就因钢筋锈蚀而不得不报废重建。钢筋腐蚀已经成为钢筋混凝土桥梁破坏的首要原因。

钢筋混凝土桥梁, 尤其是大中型桥梁, 设计寿命一般在 80 年左右, 有些甚至 100 年、120 年。保障桥梁结构如此耐久的寿命, 除了正常维护、周期性更换部分附属构件以外, 主体结构的耐久性更是一个非常重要的环节。从现有公路工程结构的钢筋腐蚀速度来看, 若不采取任何防腐蚀措施, 在南方高温地区, 3~4 年水泥混凝土保护层就会因为钢筋腐蚀而开裂; 在北方低温地区, 4~5 年钢筋就腐蚀相当严重。桥梁结构的这种老化速度, 很难满足设计寿命的要求。一座大型桥梁, 造价动辄几千万元, 甚至上亿元, 使用寿命与设计寿命如此大的差距, 本身就是一

种巨大的经济和社会损失; 而且, 由于耐久性不足, 桥梁结构在正常使用期间的巨额维修费用也会带来沉重的财政负担。

钢筋腐蚀破坏如此广泛而严重, 已经在世界各国引起了密切关注。美国从 20 世纪 50 年代就开始了氯盐环境下钢筋腐蚀的研究, 在 80 年代中期专门针对公路工程在全国范围内实施了“战略公路研究计划”, 研究公路桥梁的钢筋腐蚀问题; 英国于 20 世纪 70 年代启动“海洋研究计划”, 针对海洋环境中钢筋混凝土的腐蚀进行研究。我国工程界也越来越清醒地认识到氯盐环境引起的钢筋腐蚀的严重性。在 2003 年 12 月中国工程院主持的水泥混凝土结构耐久性及耐久性会议上, 许多院士、专家也大力呼吁重视钢筋锈蚀、尤其是氯盐环境下的钢筋腐蚀给国家、社会造成的危害。

钢筋腐蚀的原因错综复杂, 腐蚀机理主要可以分为两种: 化学腐蚀和电化学腐蚀。在氯盐环境中的钢筋腐蚀主要是电化学腐蚀, 这种腐蚀的发生时间远远早于水泥混凝土碳化引起的钢筋锈蚀, 早期的钢筋锈蚀破坏一般是由于氯离子的侵蚀引起的。这种腐蚀速度快且产生点腐蚀, 不仅严重削弱钢筋截面, 而且容易导致应力集中, 尤其对于以承受疲劳和冲击荷载为主的桥梁结构, 这种腐蚀的危害更为严重^[1]。

怎样才能避免或延缓水泥混凝土桥梁中钢筋腐蚀破坏, 关键在于预防。之所以许多钢筋混凝土桥梁锈蚀破坏如此严重, 没有采取有效的防锈措施是最主要的原因之一。目前的防锈措施主要有防锈涂层

法、阴极保护法、惰化钢筋法和防锈水泥混凝土等方法。涂层法主要包括水泥混凝土表面涂层、水泥混凝土表面聚合物浸渍、钢筋表面涂层等,这类方法主要通过设置致密层切断氯离子或其他侵蚀介质到达钢筋表面的路径从而达到防止钢筋腐蚀的目的;阴极保护法主要有牺牲阳极、外加电流等方法,这类方法主要通过补偿铁原子失去的电子而达到防止钢筋锈蚀的目的;惰化钢筋法主要通过采用不锈钢筋、碳纤维棒等活性低的金属或惰性材料部分或全部取代钢筋。这些方法施工技术要求高,工艺比较复杂,后期维护费用高,目前大多应用于大型复杂钢筋混凝土桥梁的重点部位或构件的辅助防腐,普遍推广还需要做许多工作。

防锈混凝土是通过在混凝土拌和物中掺加一定量的抑制钢筋锈蚀的阻锈剂制作而成的,这种混凝土通过调整阻锈剂的掺量可以满足结构在设计寿命期内的防止或延缓钢筋锈蚀的要求。防锈水泥混凝土从根本上增强了钢筋水泥混凝土桥梁防止锈蚀的能力,正如人类抵御疾病一样,打针吃药是一种外在的补救措施,增强体质才是保持身体健康、延长寿命的最根本途径。实践证明,防锈水泥混凝土施工工艺简单、经济有效,是应用前景比较广阔的一种阻锈方法,近年来得到了广泛的应用。

阻锈剂是防锈水泥混凝土中发挥防锈作用的主剂,其研究与工程应用发展得非常迅速。目前,市场上阻锈剂种类繁多,效果各异。为便于广大公路工程技术掌握阻锈剂的技术内容和使用要求,规范阻锈剂在公路桥梁工程中的合理应用,达到改善水泥混凝土桥梁耐久性能的预期效果,本文结合交通部 2006 年发布的《公路工程水泥混凝土外加剂与掺合料应用技术指南》中有关阻锈剂的内容,对应用于公路桥梁工程的阻锈剂的适用范围、性能要求、用量以及施工技术控制指标进行了简要介绍。

1 阻锈剂性能

根据阻锈剂的产品状态将其分为粉剂型和水剂型。水剂型阻锈剂宜稀释使用,粉剂型阻锈剂宜配成溶液使用,并在加水量中将溶液水扣除。其性能指标应符合表 1 的规定。

表 1 中试验项目的第一项为钢筋在盐水中的浸泡试验,此试验对于定性确定阻锈剂的有效性有一定作用,但是由于试验时采用的是钢筋,而不是水泥混凝土,因此盐水浸泡试验对于水泥混凝土构件表

表 1 阻锈剂的性能指标

性能	试验项目	规定指标	
		粉剂型	水剂型
防锈性	钢筋在盐水中的浸泡试验	无锈,电位 0 ~ -250 mV	无锈,电位 0 ~ -250 mV
	掺与不掺阻锈剂钢筋混凝土盐水浸烘试验(8 次)	钢筋的腐蚀失重率减少 40% 以上	钢筋的腐蚀失重率减少 40% 以上
	电化学综合试验	合格	合格

面裸露的钢筋锈蚀更直接有效。而在水泥混凝土内部是一个 pH 值高达 13 的碱性环境,与含 1.15% NaCl 的饱和 Ca(OH)₂ 溶液完全不同。因此,只做此单项试验无法确认阻锈剂在水泥混凝土或砂浆环境中的有效性。但是此方法简便直观,在国内外的阻锈剂标准中都有,都将其作为定性判别阻锈剂效果的指标。第二项指标采用掺与不掺阻锈剂钢筋混凝土盐水浸烘 8 次试验,经试验比较,比文献[3]规定的干湿冷热 60 次更严格明确。第三项指标电化学综合试验指新拌砂浆法、硬化砂浆法和钢筋在混凝土中的宏观电池腐蚀试验。这 3 种方法属于专门技术要求较高的定量锈蚀试验方法。实践证明仅采用一种方法有可能误判。因此,国内外多数专家推荐采用综合法评判,实际使用时至少应采用其中 2 种方法。

阻锈剂的匀质性应满足表 2。

表 2 阻锈剂产品的匀质性指标

项次	试验项目	匀质性指标
1	外观	(1)水剂型:色泽均匀,无沉淀,无表面结皮。 (2)粉剂型:色泽均匀,内部无结块。
2	含固量或含水量	(1)水剂型:应在生产厂控制值相对量的±3%之内。 (2)粉剂型:应在生产厂控制值相对量的±5%之内。
3	密度	水剂型:应在厂家所控制值的±0.02 g/ml 之内。
4	细度	粉剂型:全部通过 0.30 mm 筛。
5	pH 值	水剂型或粉剂配制成的溶液:应在生产厂控制值±1 之内。

另外,阻锈剂在运输、储存过程中应避免暴晒、雨淋和受潮,同时远离明火和易燃易爆物,不得随地散洒和赤手触摸。

2 适用范围

阻锈剂根据使用方法可分为掺入拌和型与涂覆渗透型两种。掺入拌和型阻锈剂一般用于新建工程防腐以及旧水泥混凝土结构的修复;表面涂覆渗透型阻锈剂一般用于旧水泥混凝土结构的表面防

护,也可在新建工程中与掺入拌和型阻锈剂同时采用。本文重点介绍在水泥混凝土和修复砂浆中使用的掺入拌和型阻锈剂。

目前,我国钢筋混凝土桥梁结构中使用阻锈剂的数量相对较少,这为以后钢筋腐蚀破坏埋下了严重的隐患。我们应该从发达国家的桥梁结构腐蚀破坏中吸取经验教训,未雨绸缪,在结构建造初始就做好防锈措施。掺加阻锈剂的混凝土不需要特殊的施工工艺,在一些比较特殊的防腐蚀部位更能显示出优越性。建议在下述环境和条件下的水泥混凝土桥梁结构物中使用阻锈剂:

(1)处于海洋环境:海水浸蚀区、潮汐区、浪溅区

表 3 混凝土拌和物中氯化物(以 Cl^- 计,%)总含量的最高限量

结构种类及环境条件	预应力混凝土及腐蚀环境中的钢筋混凝土	潮湿但不含氯离子环境中的钢筋混凝土	干燥环境或有防潮措施钢筋混凝土	素混凝土
外加剂或掺合料带入 Cl^- 占水泥用量/%	0.02	0.10	0.33	—
总 Cl^- 占水泥用量/%	0.06	0.30	1.00	1.80

(7)有氯盐腐蚀现象的钢筋混凝土桥梁修复;

(8)预埋件或钢制品在水泥混凝土中需加强锈蚀防护的场合,因条件限制,水泥混凝土构件保护层偏薄者。

其他如公路工程中的钢筋混凝土路面、隧道、涵洞、地下洞室等以防氯盐腐蚀为基本要求的钢筋混凝土结构也需要使用阻锈剂。在我国,氯盐腐蚀环境粗略估计约占国土面积的2/3,由此可见钢筋腐蚀的广泛性和防腐蚀的必要性。

3 阻锈剂掺量

阻锈剂随其种类和阻锈效果要求而掺量各异,工程应用中一般通过生产厂家的推荐掺量和现场试验综合确定。本文给出了RI型阻锈剂和浓度为30%的亚硝酸钙阻锈剂的掺量范围,便于为没有使用过阻锈剂的工程技术人员提供参考数值。

RI型阻锈剂的用量取决于设计寿命内腐蚀介质进入水泥混凝土中的量,在氯盐为主的情况下,从研究试验结果来看, $\text{RI}/\text{Cl}^- \geq 0.8$,已有显著阻锈效果, $\text{RI}/\text{Cl}^- \geq 1.0$,可保持钢筋长期不锈蚀。为更安全、更可靠计,用 $\text{RI}/\text{Cl}^- \geq 1.2$;水剂型则应 $\text{RI}/\text{Cl}^- \geq 3.0$;在设计基准期内进入水泥混凝土中的氯盐量不明确时,可按表4选定阻锈剂掺量。应注意:RI-1N型阻锈剂含 Na^+ 、 K^+ ,有(或夹杂)碱骨料时慎用。

浓度30%的亚硝酸钙阻锈剂溶液的推荐掺量可

及海洋大气区的公路钢筋混凝土桥梁及钢筋混凝土护栏等;

(2)使用海砂或海水的预应力混凝土和钢筋混凝土桥梁;

(3)冬季撒除冰(雪)盐的钢筋混凝土桥(涵)面、钢筋混凝土护栏等;

(4)地下水和土壤中含有氯盐的桥梁下部结构;

(5)采用低碱度水泥或低碱掺合料,处在强氯盐锈蚀环境中的钢筋混凝土桥梁;

(6)氯离子含量大于表3最高限量的预应力混凝土和钢筋混凝土桥梁;

按表5选取。^[4]

表 4 每 m^3 水泥混凝土的阻锈剂掺量 kg/m^3

环境条件	类型				
	粉剂型				水剂型
	RI-1N	RI-1C2	RI-103	RI-105	RI-CW
使用海砂 (非海洋环境)	2~3	2~3			3~5
海洋环境 浪溅区 非浪溅区		9~13			26~36
		5~9			12~26
修复工程			6~13		
盐碱地			6~15		
低碱度水泥				4~8	
使用除冰(雪)盐		9~15	9~15		26~36

表 5 浓度 30 % 亚硝酸钙阻锈剂溶液的推荐掺量

钢筋周围混凝土酸溶性氯化物含量预期值/ (kg/m^3)	1.2	2.4	3.6	4.8	5.9	7.2
阻锈剂掺量/ (L/m^3)	5	10	15	20	25	30

4 技术控制指标

4.1 对水泥混凝土质量的技术要求

掺阻锈剂的水泥混凝土一般要求抗渗等级不应低于S8;28d收缩应变不宜大于 1×10^{-4} ;对处于南方海水中桥梁浪溅区的构件,由于南方气温较高,持续时间长,钢筋锈蚀更快、更严重,要求氯离子在这些构件水泥混凝土中的渗透性不应大于2000 C。

国内外研究和工程实践都表明,同时掺加阻锈剂和具有活性的超细矿物掺合料,如粉煤灰、硅灰、磨细矿渣等,防锈效果更加明显,原因是除阻锈剂具有一定的阻锈效果以外,具有活性的矿物掺合料有利于提高混凝土密实性,可以增强混凝土结构抵御外界腐蚀介质侵蚀的能力。掺合料的掺加方法和适宜掺量参考表6的规定。其中,掺粉煤灰对减小变形和提高抗裂效果最好,而掺硅灰和磨细矿渣均可增大干缩,硅灰还增大自身体积收缩,应注意在施工中加强养护。

海水环境中的预应力混凝土、钢筋混凝土抗冻标号、最大水灰比、最小水泥用量和最低强度等级等

表6 护筋混凝土掺3种掺合料的方法与掺量 %

使用条件		粉煤灰		磨细矿渣	硅灰
		I 级	Ⅱ 级		
水泥品种	硅酸盐水泥	≤30	≤25	≥50	≤10
	普通硅酸盐水泥	≤25	≤20	≥40	
	矿渣硅酸盐水泥	≤15	≤10	—	
高性能混凝土适宜掺量		25~50		50~80	5~10
掺加方法		超掺系数 1.1~1.4	超掺系数 1.3~1.7	等量掺	等量掺

都是影响结构防腐蚀耐久性的重要因素,应进行严格控制,满足表7的要求。

表7 海水环境预应力混凝土、钢筋混凝土最大水灰比、最小水泥用量和最低强度等级

环境条件		抗冻标号	最大水灰比		最小水泥用量 kg/m ³		最低强度等级	
			北方	南方	北方	南方	北方	南方
大气区			0.55	0.50	320	360	C30	C30
浪溅区			0.50	0.40	360	400	C35	C40
水位变动区	严重受冻	F350	0.45	—	400	360	C30	C30
	受冻	F300	0.50	—	360			
	微冻	F250	0.55	—	340			
	偶冻、不冻	F200	—	0.50	320			
水下区	不受水头作用		0.60		320	320	C25	C25
	受水头作用	最大水头与壁厚之比<5	0.60					
		最大水头与壁厚之比5~10	0.55					
		最大水头与壁厚之比>10	0.50					

混凝土拌和物中掺加阻锈剂以后会对混凝土的性能有所影响,应满足表8的要求。

表8 阻锈剂对混凝土性能的影响

掺与不掺阻锈剂的混凝土抗压强度比/%	≥90	≥90
掺与不掺阻锈剂的混凝土抗氯离子渗透性	不降低	不降低
掺与不掺阻锈剂的水泥初凝时间差与终凝时间差/min	均在±60 min 内	均在±60 min 内

表8中,掺阻锈剂的水泥混凝土抗氯离子渗透性这一指标最为重要,它影响到氯离子在水泥混凝土中的迁移速度,进而在很大程度上影响钢筋开始锈蚀的时间和速率。抗压强度的降低值与不掺阻锈剂的基准样对比,允许降低10%,但是这部分降低值必须通过同时使用高效减水剂降低用水量进行补充;单独采用阻锈剂时,水泥混凝土抗压强度必须应

有足够的富裕量,硬化后必须满足表7的规定。掺阻锈剂的水泥混凝土的凝结时间可通过掺用缓凝剂或促凝剂来调整。

4.2 对水泥混凝土结构构造的技术要求

海水环境中的预应力混凝土、钢筋混凝土的最小保护层厚度是保障结构防腐蚀耐久性的重要指标,应满足表9的要求。

表9 海中桥梁预应力混凝土、钢筋混凝土构件的最小保护层厚度

环境条件	钢筋混凝土最小保护层厚度/mm		预应力混凝土最小保护层厚度/mm
	北方	南方	
大气区	50	50	75
浪溅区	50	65	90
水位变动区	50	50	75
水下区	30	30	75

4.3 其他技术要求

掺阻锈剂混凝土的施工缝不应设在浪溅区、水位变动区;水泥混凝土浇筑应连续,并保证均匀性和密实性,不得出现露筋、空洞、冷缝、夹渣、松顶等现象;水泥混凝土养护一般应使用淡水,预应力结构不得使用海水养护,缺乏淡水时,应包裹塑料薄膜或喷涂养生剂,潮湿养护时间不应少于 21 d;露筋是结构为氯离子提供的进入通道,会加速锈蚀,因此,处在腐蚀环境中水泥混凝土结构的模板应采用外部固定或悬模架设方式,不得从结构中引出钢筋架设固定,拆模后,结构表面不得裸露螺栓、钢筋、拉杆、铁钉和预埋件等。

5 结语

目前,我国正处于大规模的基础设施建设时期,全面提高和改善结构耐久性对于国民经济持续健康

发展具有重要意义。混凝土中掺加阻锈剂只是众多钢筋混凝土桥梁结构防锈蚀措施中的一种,这种方法简单实用,能够从根本上改善钢筋混凝土结构的防腐蚀性能,如果与高抗渗透性混凝土、环氧涂层钢筋、表面涂层和硅烷浸渍等防锈措施联合使用,防锈蚀效果将更加显著。

参考文献:

- [1] 混凝土结构耐久性设计会议文集[C]. 清华大学, 2002.
- [2] 交通部公路科学研究院,公路工程水泥混凝土外加剂与掺合料应用技术指南[S].
- [3] YB/T9231-98,钢筋阻锈剂使用技术规程[S].
- [4] JTJ275-2000,海港工程混凝土结构防腐蚀技术规范[S].

Application Technology of Anti-corrosion Admixture for Reinforced Concrete in Highway Engineering

ZHANG Jin-quan, FU Zhi, ZHANG Zi-hua, ZHAO Shang-chuan

(Research Institute of Highway of the Ministry of Communications, Beijing 100088, China)

Abstract: How to avoid or delay the corrosion of reinforced concrete bridges? Adding anti-corrosion admixture to cement concrete mixture is the simple and economical method. The suitable using range, performance, dosage, and technical guideline of anti-corrosion admixture used in reinforced concrete bridge are introduced.

Key words: highway engineering; cement concrete; reinforced concrete bridge; anti-corrosion admixture

天津今年新改建农村公路 1 000 km

为适应建设社会主义新农村对农村公路发展的新要求,进一步改善全市 3 800 多个建制村群众的出行条件,帮助农民更快地发展农村经济,天津市 2006 年将积极筹措资金,新建、改建农村公路 1 000 km,改造危桥 66 座,力争到 2010 年全市农村公路改造总里程达到 5 000 km。

“十五”期间,天津市农村公路发展迅速,实现了村村通沥青路 and 水泥路的目标,农副产品货畅其流,种植业、养殖业、旅游业、建材业等迅速发展,开始走上文明致富之路。

天津农村公路主管部门一方面力争到 2007 年年底改建完成待大修路段和危桥,实现农村公路养护的良性循环,另一方面对现有农村公路分批提级改造,力争到 2010 年年底,实现通村公路全部达到四级公路标准,通一般镇和中心村的公路基本达到三级公路标准,中心镇之间的公路基本达到二级以上公路标准。

同时,天津将全面推行农村公路管理养护体制改革,强化基础管理,建立农村公路管理养护的长效机制,推进农村公路建管养并重。