

# 混凝土桥梁耐久性问题的初探

付春晓, 雷俊卿

(北方交通大学桥梁结构研究所 北京市 100044)

**摘 要:** 介绍了钢筋混凝土桥梁结构中, 钢筋锈蚀的成因与机理, 锈蚀对结构的影响, 防止锈蚀的方法和锈蚀后应采取的措施等。

**关键词:** 混凝土桥梁; 钢筋锈蚀; 耐久性

在混凝土桥梁的耐久性问题中, 钢筋锈蚀是一主要因素。在桥梁结构的建设初期, 就要重视钢筋的锈蚀, 才能避免在桥梁建成后, 大规模地维修或重建。

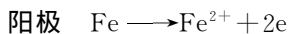
## 1 成因与锈蚀机理

钢筋的锈蚀一般为电化学锈蚀。发生电化学锈蚀必须具备 3 个条件:

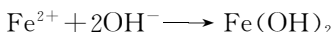
- (1) 在钢筋表面形成电位差;
- (2) 在阴极部位钢筋表面存在足够的氧气和水;

(3) 在阳极区, 使阳极部位的钢筋表面处于活化状态, 即钢筋表面的钝化膜遭到破坏。

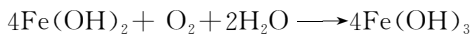
钢筋锈蚀的电极反应式为:



阳极表面的二次化学过程为:



氢氧化亚铁可进一步氧化生成氢氧化铁:



在氧气和水汽的共同作用下, 钢筋表面不断失去电子而溶于水, 从而逐渐被锈蚀, 在钢筋表面生成红锈, 引起混凝土开裂。钢筋的锈蚀机理如图 1 所示。

去钝化是发生钢筋锈蚀的 3 个条件中的先决条件。钢筋钝化是指钢筋在含水和高碱环境下, 钢筋表面会形成一层致密的氧化膜(即钝化膜), 这层钝化膜使钢筋在很长时间保持稳定, 有效地防止钢筋发生锈蚀。从钝化膜的破坏机理和环境对电化学反应的影响来说, 混凝土中钢筋锈蚀的影响因素主要是

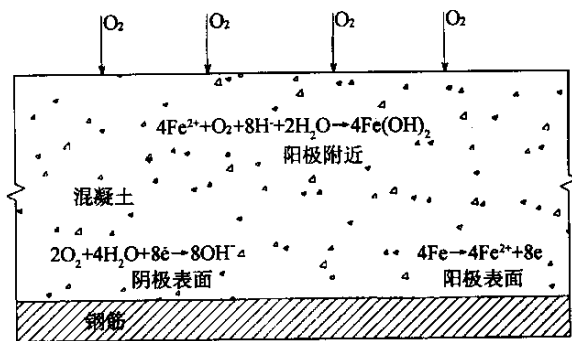


图 1 钢筋在混凝土中的锈蚀过程

以下几个方面。

(1) 混凝土的保护层厚度及其完好程度和混凝土的密实度。这三个方面都与侵蚀性介质的侵蚀速度有关, 保护层厚度对钢筋锈蚀的影响呈线性关系, 因此世界各国规范对保护层厚度都做了规定。我国新修订的公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范中, 对钢筋的最小保护层厚度规定为: 侵蚀性介质环境下的混凝土保护层厚度比一般环境多 10~15 mm。混凝土的密实度影响着混凝土的渗透性, 渗透性高的混凝土更容易发生锈蚀。

(2) 混凝土的碳化程度。混凝土的碳化降低了混凝土的碱度, 造成 pH 值降低, 给钢筋的退钝化提供了可能。钢筋的失重率与混凝土的碳化深度差不多呈线性关系, 由此混凝土的碳化程度对钢筋锈蚀有重大影响。

(3) 环境。环境对钢筋锈蚀的影响主要有以下几个方面: 温度、湿度、二氧化碳的浓度, 氧气的浓度以及侵蚀性介质的浓度。对于桥梁来说, 影响最大的

是湿度,当桥梁处在湿度较大的环境下,尤其是水位浮动的桥墩部位和浪溅区,最易发生锈蚀。

(4) 氯离子。来自除冰盐和水泥中的氯离子是一种最危险的侵蚀介质。

## 2 钢筋锈蚀后对结构的影响

混凝土中的钢筋锈蚀后,产生体积膨胀,如果有足够的水分,铁锈体积可达到钢材体积的 7 倍,在缺氧的环境下,也至少可以增大 1.5~3 倍。这样大的体积增大,使混凝土保护层沿纵筋出现顺筋开裂,严重时混凝土保护层会完全脱落,造成钢筋和混凝土之间失去粘结力,钢筋混凝土结构构件的受力性能也随之下降,随着锈蚀程度的进一步恶化,受力性能也进一步减退。

## 3 混凝土桥梁的防锈措施

### 3.1 基本措施

基本措施主要是通过设计与施工,最大限度地提高并保持混凝土本身的低渗透性,以限制环境侵蚀介质渗透混凝土,从而防止钢筋锈蚀。这种防止措施主要有以下几个方面。

(1) 结构设计中应考虑的保护措施。一是结构的选型和细部设计时,应尽量限制混凝土表面、接缝和密封处积水,加强排水。桥面应作防水,防止雨水顺梁外侧翼板、腹板或板梁梁边、梁底漫流使梁受损,减少结构受潮和溅湿的表面积。

(2) 混凝土保护层的厚度与质量。保护层厚度应该随所处环境适当改变,施工时混凝土的密实度应该用适当水灰比来保证,并用适当的减水剂。构件的细部设计,也应考虑钢筋预埋件周围以及模板内所有角落里,混凝土均应无离析地充分浇注和捣实,不得有石粒卡在钢筋网上,而形成环境侵蚀介质渗入混凝土保护层的通道。

(3) 使用高性能混凝土。现有的硅酸盐水泥混凝土存在两大缺点,即强度不高和耐久性差。用高性能混凝土代替普通混凝土可以克服以上缺点,例如双掺高性能混凝土,综合发挥高效减水剂和优质掺和料的作用。配制低水胶比的双掺高性能混凝土可以从根本上全面改善混凝土的结构和性能,变强度低、耐久性差的硅酸盐混凝土为高耐久性的高性能混凝土。

### 3.2 补充措施数据

当环境侵蚀作用特别严重,或设计、施工不当,

单靠上述基本措施还不能保证必要的护筋作用时,需要增加其他保护措施。主要包括以下几个方面。

(1) 采用耐锈蚀配筋或具有耐锈蚀覆盖层的钢筋。

耐腐蚀低合金钢钢筋:比如日本钢铁公司研制的含铜和含钨的低合金钢和含镍和钨的高纯度钢都具有很好的耐局部锈蚀性能,印度低碳低合金钢的钢筋除了阻锈作用还具有很好的可焊性,美国钢铁公司和 Bethlehem 公司的高强度低合金钢都具有很好的防氯化物的性能<sup>[7]</sup>。

包铜钢筋:包铜钢筋虽然在成本上比普通钢筋增加了两倍,但是却大大延缓了钢筋的锈胀,只是它延缓水泥浆体的水化问题仍在研究中。

镀锌钢筋是目前应用最为经济有效的钢筋保护方法,在钢筋混凝土和大跨钢桥应用广泛。镀锌能推迟钢筋开始锈蚀的时间和降低混凝土被顺筋胀裂剥落的危险。镀锌钢筋对于混凝土由碳化引起的钢筋锈蚀具有显著的保护效果,但是对于使用除冰盐的结构并不一定可以提供长久的可靠性保护。

耐腐蚀的覆盖层的钢筋主要有环氧涂层钢筋、聚乙烯缩丁醛涂层钢筋等。

(2) 在构件表面加镶面板、覆盖层或采用渗透性控制模板,以提高混凝土表面的抗渗性或憎水性。

(3) 混凝土中掺加阻锈剂。

阻锈剂类型及机理见表 1。

(4) 电化学保护,即阴极保护、电化学脱盐与再碱化以及电化学防护。

(5) 混凝土表面处理。混凝土表面涂层的作用主要是阻止水分、氧或其他侵蚀介质向混凝土中渗透和扩散,使钢筋处于干燥缺氧状态免于受到锈蚀,另外还有很好的防止碳化的作用,由此要先进行混凝土的脱水处理。

## 4 混凝土锈蚀后的改善方法

### 4.1 钢筋除锈

混凝土碳化引起钢筋锈蚀时,钢筋锈蚀比较均匀。氯化物渗入混凝土引起钢筋锈蚀时,钢筋只是局部锈蚀并形成锈坑,如果修补前没有除尽铁锈,则钢筋仍会在修补后继续锈蚀。在英国运输与道路研究实验室的研究中,将海洋、工业大气中存放半年的钢筋与撒除冰盐的桥面板上取出的全部锈蚀和局部锈蚀的钢筋用不同方法除锈处理后,可得出如表 2 所示的试验结论。

表 1 阻锈剂种类及效果

阻锈剂类型	阻锈剂名称	阻锈机理	阻锈效果
无机盐阻锈剂	亚硝酸钙(CN)	通过反应,产生新的稳态钝化膜,抑制 Fe <sup>2+</sup> 的活化,修补 Cl <sup>-</sup> 局部破坏的钝化膜	延迟开始锈蚀时间,降低锈蚀速度,长期效果好
	单氟磷酸钠(MFP)	能掺入混凝土并且能达到钢筋后制止钢筋锈蚀	部分 MFP 与混凝土中的钙反应,生成氟磷酸钙极其稳定,同时可以提高混凝土的抗拉强度和抗冻性;由于不必将尚健全的混凝土凿除,可以大大减轻修补工作,提高修补方法的护筋效果
有机盐阻锈剂	掺入型(OCI)	以极性基化学或物理的吸附于钢筋表面,形成保护膜;遮挡氯化物和水对混凝土的渗透	能有效地阻止带预裂缝的混凝土在严重氯离子污染的环境下的锈蚀
	迁移型(MCI)	双重阻锈机理,既能阻止阳极反应,又能阻止阴极反应	有效阻止氯化物扩散

表 2 钢筋除锈方法比较

钢筋所处环境	锈层分布	用钢丝刷手工除锈	用机动钢丝刷刷除	抛丸	喷射高压水	切除所有已发生坑锈蚀的钢筋
海洋大气	全面	Y	Y	Y	Y	Y
工业大气	全面	Y	Y	Y	Y	Y
撒除冰盐的桥面板	全面	Y	Y	Y	Y	Y
撒除冰盐的桥面板	局部大坑	N	N	Y	Y	Y
	局部小坑	N	N	N	Y	Y
含 0.5% Cl <sup>-</sup> 混凝土		N	N	N	N	N

注:Y 表示除锈方法有效,N 表示除锈方法效果不好或者无效。

由表 2,建议根据不同的环境采用不同的方法进行除锈。

4.2 氯化物污染下的局部修补

在实践中,由于氯化物污染,对锈蚀部位进行了局部修补后,常常出现修补处的效果很好,但是在修补处附近又发生了钢筋锈蚀,并且在该处的钢筋质量损失量更大。这意味着必须追加其他方式,如以适当的涂料涂于混凝土表面来降低混凝土含水量以提供保护等。

5 钢筋锈蚀的检测和评估

钢筋锈蚀检测评估的目的是分析现存结构的安全可靠性和剩余使用寿命。钢筋锈蚀检测一般包括两方面的内容:一是检测和判定钢筋是否锈蚀;二是检测钢筋的锈蚀程度。

5.1 破损检测法

破损检测法是在结构试验分析中,直接对构件

进行破型,取出已经锈蚀的钢筋探头(试样),进行锈蚀量(如锈蚀面积、深度、质量损失)的定量测量,计算平均重量损失率以及最大截面损失率进行分析。由于取样时会完全改变钢筋的锈蚀过程,对钢筋锈蚀过程有干扰。有干扰、有损伤时,就不能重复检测、连续检测,所以不可能大量取样。在某些重要的构件部位,这种检测甚至是不可能进行的。

5.2 非破损检测法

非破损检测法对钢筋锈蚀的正确检测和评价,可对构件的剩余寿命和可能的维修提供十分重要的数据和建议,因此,通过非破损检测法对构件中钢筋的锈蚀情况进行宏观、定量的评定和预测,是结构耐久性评定和可靠性计算分析中通常采用的方法。常用电化学方法中的半电池电位法、电阻率法和锈蚀电流密度法检测锈蚀状态,这里不再叙述。

6 结论

随着钢筋混凝土桥梁耐久性的问题越来越受到重视的今天,以下方面还有待发展:

(1)电化学检测法,由于其检测的多样性,是今后非破损检测的重点发展方向;

(2)在锈蚀钢筋混凝土结构防护与加固技术中,碱性砂浆局部修补方案、碳纤维加固、粘钢加固等是普通结构加固方法在锈蚀结构加固中的拓展应用,有待进一步研究。

参考文献:

[1] 金伟良,赵羽习.混凝土结构的耐久性[M].北京:科学出版社,2002.

文章编号: 0451-0712(2003)12-0038-03

中图分类号: U445.469

文献标识码: B

# 多跨混凝土连续梁桥整体转动提升技术

姜福香<sup>1</sup>, 候瑞林<sup>2</sup>, 王玉田<sup>1</sup>, 岳渠德<sup>1</sup>

(1. 青岛建筑工程学院 青岛市 266033; 2. 青岛市政集团 青岛市 266000)

**摘 要:** 介绍了某多跨混凝土连续梁桥的整体转动提升技术和监控方法, 并结合实际效果, 对类似工程的施工和控制提出建议。

**关键词:** 连续梁桥; 整体提升; 施工; 监控

## 1 工程概况

某市郊公路立交桥采用多联预应力混凝土连续梁体系, 其中, 匝道桥的最后一联为  $4 \times 25$  m 空心板连续梁, 该联全长 100 m, 设计坡度为 6%, 且第一跨处在半径  $R=100$  m 的平曲线上。原立交桥头恰好有一城市次要道路与该匝道平交, 如图 1 所示。随着城市的快速发展, 原与匝道平交的次要道路即将被改建为主要城市道路, 这就要求对平交口进行改造。经充分考虑改建工程的经济和社会效益, 最终确定了将立交桥最后一联采用整体转动提升的改造方案。

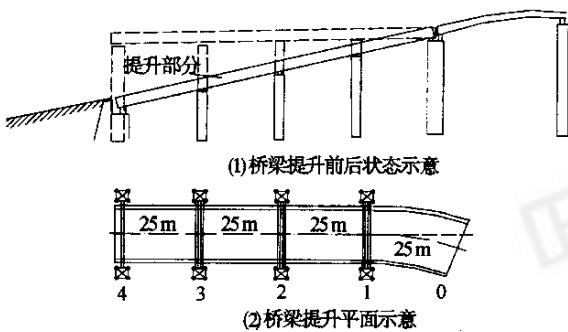


图 1 工程示意

## 2 施工方案

所谓整体转动提升, 即以 0 号支座为轴心 (0 号墩柱处不动), 通过提升而使整个梁体转动、抬高, 使提升后的桥面坡度变为 2% (相当于顺时针转动  $3^\circ 21' 33.9''$ ), 连续梁直接跨过平交口。根据工程特点, 施工方案采用分别在 1~4 号 4 个支座处设置吊点, 按照连续梁相对线形保持不变的原则, 将 4 个提升点按比例同步提升到设计高度, 最大提升高度为 6.031 m。为便于下部结构的施工, 再将连续梁整体平行提升 16 cm, 待下部墩台施工完毕 (4 号墩柱重新浇注, 1~3 号墩柱做接长处理), 安装好支座后再落下就位。

本工程是超长多跨连续梁桥, 作为超静定结构, 加之结构截面刚度较大, 各吊点很小的不平衡提升, 都会使梁体产生较大的附加内力, 给结构安全造成不利影响, 所以提升过程中必须严格考虑多点整体动作。另外, 整个结构物的重量达 2 000 t 之多 (理论最大吊点提升重量为 500 t), 如此大吨位的起吊工作, 必然对提升设备和承力结构提出相当高的要求, 因此, 必须充分分析结构的受力特性, 仔细设计承力

收稿日期: 2003-09-01

[2] 周新刚. 混凝土结构的耐久性与损伤防治[M]. 北京: 中国建材工业出版社, 1999.

[3] 2002 年混凝土结构耐久性及耐久性设计会议文集[C]. 北京: 清华大学.

[4] 土建结构工程的安全性及耐久性[Z]. 北京: 清华大学, 2001.

[5] 江苏省长江公路大桥建设指挥部. 江阴长江公路大桥工程建设论文集[C]. 北京: 人民交通出版社.

[6] 王媛俐, 姚燕. 重点工程混凝土耐久性的研究与工程应用[M]. 北京: 中国建材出版社, 2001.

[7] 洪定海. 混凝土中钢筋的腐蚀与保护[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1998.

[8] F H Wittmann, P Schwesinger. 冯乃谦, 等译. 高性能混凝土: 材料特性与设计[M] = High Performance Concrete: Material Properties and Design. 北京: 中国铁道出版社, 1996.