

公路混凝土桥梁耐久性设计问题浅析

张兴龙¹ 裴钰新² 董奇绩³

1. 吉林省交通规划设计院 吉林长春 130000
2. 吉林省公路测设技术服务中心 吉林长春 130000
3. 长春市市政工程设计研究院有限责任公司 吉林长春 130000

摘要: 在交通基础设施中桥梁工程以其建设难度大、费用高、服役周期长、管养耗资大、一旦出现事故人员财产损失严重等特点位列各项工程之首, 保证其在运营阶段的安全可靠性、耐久性与维护的经济性是桥梁结构设计、施工和运管的核心原则。我国公路桥梁在所处地域复杂、气候多变、服务交通量连年增大, 超载运营屡见不鲜的背景下, 其施工工艺与材料、构造措施与设计理论等如有缺失即可导致构造物耐久性下降、受荷载能力降低、管养成本激增、使用年限缩减、甚至生命财产受损等情况。本文就公路桥梁耐久性设计方法进行分析, 提出影响耐久性的主要因素, 对设计、施工、管养阶段中提高耐久性的方法进行浅析。

关键词: 公路桥梁; 耐久性; 设计

Analysis on Durability Design of Highway Concrete Bridge

Xinglong Zhang¹, Yuxin Pei², Qiji Dong³

1. Jilin Transportation Planning and Design Institute Jilin Changchun 130000
2. Jilin Highway Survey and Establishment Technical Service Center Jilin Changchun 130000
3. Changchun Municipal Engineering Design and Research Institute Co., Ltd. Jilin Changchun 130000

Abstract: Bridge engineering in the transportation infrastructure in its construction difficulty, high cost, long service cycle, tube cost, once the accident personnel property loss features among the first of the project, to ensure the safety reliability, durability and maintenance economy is the core principle of the bridge structure design, construction and pipe. Highway bridge in our country in the complex region, changeable climate, service traffic years, under the background of the overload operation, the construction technology and materials, construction measures and design theory such as missing can lead to structure durability, load capacity reduction, pipe cost surge, service life, and even life and property damage, and so on and so on and so forth. This paper analyzes the design method of highway and bridge durability, puts forward the main factors affecting the durability, and analyzes the methods to improve the durability in the design, construction and maintenance stage.

Keywords: Highway and bridge; Durability; Design

钢筋混凝土材料诞生伊始, 因其同时兼具两者材料受力优点、费用低、可塑性强、运管费用低、耐久性好, 桥梁大多采用钢筋混凝土结构, 但从多年的使用情况来看, 混凝土结构远不如最初设想般耐久, 其使用性能会在在使用周期内因各项因素而衰退。所受荷载增大引起的构件损伤; 使用除冰盐及环境侵蚀导致的钢筋锈蚀、混凝土剥落; 由于冻融循环造成的混凝土开裂、剥落, 已成为混凝土桥梁耐久性不足的三大表征。觅得耐久性影

响因素后, 在设计施工中加以预防或减缓, 对桥梁耐久性有着重大意义。

一、公路混凝土桥梁耐久性设计方法及影响因素

1. 各国混凝土桥梁耐久性设计方法

(1) 欧洲混凝土桥梁耐久性设计方法简介

1) 设计标准: 《耐久性设计和再设计的一般准则》(General guidelines for durability design and redesign)。

2) 设计理论和方法: 可靠度理论, 荷载-抗力分项

系数法 (LRFD)。

$$P_r(T) = 1 - P\{g(x, t) > 0\}, t \in [0, T]; g(x, t) = R(t) - S(t)$$

3) 设计参数:

①氯离子侵蚀: 以混凝土保护层厚度为基础考虑氯离子扩散系数情况下的表面氯离子的临界浓度, 计入养护系数、环境系数、龄期系数, 最终确定氯离子侵蚀分项系数。

$$g = c_{cr}^d - c^d(x, t) = c_{cr}^d - c_{s,cl}^d \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x_d}{2\sqrt{\frac{t}{R_{cl}^d(t)}}} \right) \right]$$

②混凝土碳化: 以混凝土保护层厚度为基础考虑结构表面二氧化碳浓度、混凝土碳化速率、养护条件、环境条件对混凝土龄期的影响确定碳化分项系数。

$$g = x^d - x_c^d(t) = x^d - \sqrt{\frac{2c_{s,ca}^d t}{R_{ca}^d}}$$

③混凝土开裂 (裂缝界限): 以结构的裂缝宽度为基础以初始裂缝宽度为起始同时考虑钢筋位置参数、钢筋直径、腐蚀速率、暴露时间、钢筋锈蚀率、腐蚀渗透等因素予以确定导致开裂的腐蚀渗透设计值并辅以混凝土劈裂抗拉强度、电阻率、保护层厚度、养护时间、龄期等材料因素最终确定裂缝界限值。

$$g = w_{cr} - w^d; w^d = \begin{cases} w_0 & p^d \leq p_0^d \\ w_0 + b^d (p^d - p_0^d) & p^d > p_0^d \end{cases}$$

(2) 日本混凝土桥梁耐久性设计方法简介

1) 设计标准: 《混凝土结构耐久性设计推荐规范》(Proposed specification of durability design for concrete structures JSCE)。

2) 设计理论和方法: 对比验算法。\$T_p \ge S_p\$, 即耐久性指数 \$T_p\$ (在构造物施工前阶段, 根据设计方法、混凝土材料指标、建设条件确定的耐久性指标) 高于环境指数 \$S_p\$ (对于新建桥梁来说, 由运营环境条件、使用要求及使用寿命确定)。

3) 设计参数:

①耐久性指数 \$T_p\$: \$T_p = 30 + \sum T_p(I, J)\$, \$T_p(I, J)\$ 为耐久性影响因素的取值。

I: 影响因素的分组: 设计参数; 裂缝; 模板及防腐措施; 混凝土各项材料的品质; 混凝土搅拌后成品质量; 浇筑质量; 钢筋及支模; 预应力施工质量控制。

J: 每组影响因素的分类。例“设计参数”组, 指设计构件的尺寸、形状、钢筋的间距、抗腐蚀性能、混凝土的保护层厚度及构件伸缩缝等。

②环境指数 \$S_p\$: \$S_p = S_0 + \sum \Delta S_p\$。\$S_0\$ 为既定值, 0 (10~15年), 100 (50年), 150 (100年)。 ΔS_p 取值如下表。

环境条件	ΔS_p
氯离子侵蚀	10 ~ 70
混凝土冻融	10 ~ 50

(3) 我国公路混凝土桥梁耐久性设计方法简介

1) 《公路工程混凝土结构防腐蚀技术规范》(JTG/T B07-01-2006)。规定了公路混凝土结构的防腐蚀耐久性, 应根据结构不同的设计基准期、不同的环境类别及作用等级进行设计。但规范仅提出设计要求, 并未提供设计方法或构造措施。

2) 《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362-2018) 相较 (JTG D62-2004) 版在结构的设计理念上除保留了技术先进, 安全可靠, 耐久适用, 经济合理外, 增加了易于养护、利于环境的原则, 强化了混凝土桥梁的耐久性设计要求, 详细划分了桥梁所处环境类别, 并根据环境类别与设计使用年限对混凝土强度等级进行了要求、提出了各项材料指标要求、构造措施、裂缝控制宽度等。

2. 耐久性影响因素

(1) 材料性能破坏因素

1) 化学腐蚀破坏: 混凝土与各类腐蚀性酸碱物质接触时会产生反应, 导致其材料损伤、性能降低。如土壤中酸类盐与水泥中钙化物反应, 粗骨料变性, 体积增大, 当混凝土中连接粗骨料的胶结力被破坏, 混凝土便逐步破碎、损坏。

2) 冻融破坏: 如混凝土结构处于水中或抗渗措施不完善, 水渗入结构孔隙之中, 当温度降低, 水变为冰, 体积增大, 混凝土中出现局部力, 最终导致破坏。

3) 碱-骨料反应破坏: 指混凝土中粗骨料中物质可与水泥中部分碱性物质发生化学反应, 生成可体积膨胀的胶质物, 最终导致胶结力较弱的表层混凝土破坏。

4) 钢筋锈蚀的破坏: 桥梁使用期间随着钢筋的锈蚀会产生可膨胀物质, 致使混凝土薄弱位置产生微小裂缝, 并延伸至表层, 伴随锈蚀点位的增多, 锈蚀物体积的增大, 最终导致已被裂缝贯穿的疏松混凝土剥落。

(2) 运营环境因素

1) 温度与湿度: 桥梁运营环境的影响会使混凝土结构内部产生应力及应变, 体现在整体结构上既是变形。设计阶段如对结构变形在计算中考虑不周、构造措施不完善则会因上述的应力集中使混凝土产生难以释放的收缩徐变, 导致混凝土在拉、剪应力作用下的开裂和翘曲

等破坏。

2) 外部荷载: 公路桥梁的主要荷载为自重与汽车荷载两项, 导致结构产生脆性破坏的主要因素即为外部荷载造成的结构变形、二次矩、不规则或超限受力。

二、公路混凝土桥梁耐久性设计方法浅析

1. 优质的材料性能是混凝土桥梁耐久性的基石

上述材料损伤致使混凝土耐久性降低的因素都指向同一个指标—混凝土密实性, 而良好的混凝土密实性除受施工影响外, 主要源自材料本身的质量。采用质量上乘或强碱性混凝土可降低钢筋的锈蚀; 提高密实性, 缓解水、二氧化碳、氧气等对混凝土的破坏速度; 对应盐碱环境, 混凝土则可降低水灰比、添加硅粉、粉煤灰、引气剂等添加剂或使用矿渣进行粗骨料替代, 并采用铝酸三钙含量低的水泥, 从而减少化学反应, 避免材料引起的耐久性受损。

2. 完善的设计方法、合理的施工工艺是混凝土桥梁耐久的必要条件

设计上的应力计算、裂缝宽度控制、构造措施、施工工艺的合理、精准均为混凝土桥梁在设计周期内正常运营、减小管养费用的必要条件。为提高耐久性, 设计上应按环境条件设置保护层厚度, 在强度及应力计算结果允许、相同配筋率的情况下尽量采用小直径钢筋、布设钢筋时避免过于密集、设置预应力钢筋时避免应力超限; 施工中则应严格控制保护层厚度、浇筑过程中避免混凝土离析、漏浆及振捣不当产生的蜂窝麻面、支模时采用脱模剂保证拆模后混凝土外观质量。

3. 削弱运营环境的影响是混凝土桥梁减缓耐久性损害速度的有效措施。

桥梁结构在环境因素的影响下, 必然会产生变形、受水侵蚀, 为确保耐久性, 设计中应根据桥梁所处环境选择合理的结构形式及边界条件, 如墩梁固结、连续梁等易受环境影响、应力易集中、变形量大的结构需慎用。同时需根据计算结果选择合理的、适当提高的支座及伸缩装置型号、设置有效的防、排水系统, 并在管养过程中对其“多关注”、“勤养护”, 保证工作性能, 避免可控病害的发生。

三、结束语

本文首先对比了各国耐久性的设计方法, 进而分析了影响混凝土桥梁耐久性的因素, 最终提出相应的耐久性在设计、施工及管养方面的想法, 希望以此提供借鉴参考, 为保障桥梁耐久性贡献力量。

参考文献:

- [1] 赖超华, 韦富荣. 高速公路桥梁养护中存在的问题分析与预防方法[J]. 居舍, 2019(19): 165+174.
- [2] 王少鹏, 赵尚传, 申林, 武俊彦, 王来永. 某高速公路改扩建中桥梁混凝土空心板耐久性评定实例分析[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2019, 15(03): 236-239.
- [3] 王庆元. 高速公路桥梁耐久性设计问题研究[J]. 交通世界, 2022(13): 55-57.
- [4] 姜洋, 徐武辉. 桥梁结构耐久性的影响因素及优化设计研究[J]. 交通世界, 2021(24): 60-61+75.
- [5] 刘泽. 寒区高速公路桥梁混凝土护栏防腐涂层耐久性能研究[D]. 石家庄铁道大学, 2021.