

既有地铁车站钢筋混凝土构件耐久性研究

王大永

(中交天津港湾工程研究院有限公司)

摘要:为研究目前既有地铁车站钢筋混凝土构件在施工和使用过程中保护层厚度部分不均匀的情况下,其构件耐久性是否满足规范及使用要求,在不对原有结构进行破坏性试验的前提下,分别对某地铁工程的4个车站侧墙立柱等构件的回弹强度、保护层厚度及碳化深度等进行综合检测和分析,并进行耐久性评估,结果表明4个车站构件的耐久性等级均为a级,符合现行规范及设计要求,可大大提高评估效率、且经济性较高,是既有结构耐久性评估中行之有效的办法,值得推广应用。

关键词:耐久性;钢筋混凝土构件;保护层厚度;地铁车站

0 引言

随着我国现代化进程加快,各类社会基础设施建设方兴未艾。构筑物大都为钢筋混凝土结构,其设计方法除了传统的强度、刚度等力学性能指标设计,还要考虑耐久性、经济性进行寿命设计,大量的混凝土结构提前失效大多源于混凝土结构耐久性的不足^[1-4]。特别是沿江沿海等侵蚀性环境中的混凝土结构常因钢筋锈蚀导致其耐久性不足,科学评估钢筋混凝土结构的耐久性具有重要意义,罗大明等^[5]从结构全寿命周期性能劣化过程出发,考虑了结构服役环境的复杂性等,提出了基于钢筋锈蚀的混凝土结构耐久性极限状态。马中超^[6]对混凝土结构耐久性的因素进行了详细的介绍,试图找到可以延长混凝土耐久性的措施,提高经济性。

然而,相关研究多为理论研究缺乏实际工程验证,本文以实际某地铁工程4个车站部分构件为研究对象,在既有结构保护层厚度部分不均匀的情况下,基于实际数据分析,参考CECS220:2007《混凝土结构耐久性评定标准》^[7]、GB/T 51355—2019《既有混凝土结构耐久性评定标准》^[8]对保护层厚度部分不均匀构件进行极限状态耐久年限计算,以验证耐久性是否符合现行规范要求。

1 工程概况

本次耐久性研究依托于某地铁工程,分别对其A、B、C、D 4个车站部分构件开展实体检测与耐久性评估。

某地铁工程车站均采用明挖法施工。车站采

用全包式防水;底板、侧墙采用预铺高分子防水卷材(P类);顶板采用单组份聚氨酯防水涂料。基础垫层混凝土强度等级为C20,底板、侧墙、顶板混凝土强度等级为C35,抗渗等级为P8;结构框柱混凝土强度等级方柱为C45;结构中板混凝土强度等级为C35;楼梯、站台板及结构风道为C35。车站设计使用年限为100a,结构安全等级为一级。

2 现场试验测试

耐久性评定对象主要为保护层厚度不合格构件,对A、B、C、D 4个车站构件随机抽检,测试其保护层厚度,根据测试结果统计保护层厚度不合格构件,针对不合格构件补测混凝土强度、碳化深度等信息,之后按照《混凝土结构耐久性评定标准》^[7]对构件进行极限状态下耐久年限计算。

采用钢筋位置测定仪的方式对A、B、C、D 4个车站随机抽检构件进行保护层厚度测试,所测保护层厚度不合格构件信息如表1所示。

表1 保护层厚度检测结果

车站	构件名称	保护层厚度 最小值/mm	保护层厚度 设计值/mm	不合格率/ %
A	负1层11号立柱	36	47	27.8
	负2层13号立柱	30	47	27.8
B	负2层19号立柱	28	44	55.6
	负1层18~19号立柱西侧墙	34	40	55.6
C	负1层21号立柱	23	42	44.4
	负1层9~10号立柱东侧墙	40	45	66.7
D	负1层22号立柱	30	42	61.1

由表1可知,4个车站构件保护层厚度不合格率差异较大,且导致混凝土保护层厚度不合格的因素主要在于施工技术,与构件类型关系不大。根据JGJ/T 23—2011《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》^[9],采用混凝土回弹仪及酚酞试剂对A、B、C、D 4个车站保护层厚度不合格构件进行混凝土强度及碳化深度检测。测试结果如表2所示。

表2 混凝土强度与碳化深度检测结果

车站	构件名称	混凝土强度推定值/MPa	混凝土强度设计值/MPa	达到设计强度等级/%	碳化深度/mm
A	负1层11号立柱	55.0	50	110	5.0
	负2层13号立柱	57.0	35	163	1.5
B	负2层19号立柱	56.4	45	125	3.0
	负1层18~19号立柱西侧墙	40.2	35	115	2.0
C	负1层21号立柱	54.5	45	121	0.5
	负1层9~10号立柱东侧墙	38.0	35	109	5.5
D	负1层22号立柱	54.9	35	157	2.0

3 评估计算分析

3.1 评估方法

根据《混凝土结构耐久性评定标准》^[7]和《既有混凝土结构耐久性评定标准》^[8],耐久性极限状态可分为3种:1)钢筋开始锈蚀;2)混凝土保护层锈胀开裂;3)混凝土表面出现可接受的最大外观损伤。根据设计文件,采用混凝土保护层锈胀开裂极限状态进行评定,其主要评定计算公式见式(1)~式(4)。

$$t_i = 1.52 \cdot k_k \cdot k_c \cdot k_m \quad (1)$$

式中: t_i 为结构建成至钢筋开始锈蚀的时间, a; k_k 、 k_c 、 k_m 分别为碳化速率、保护层厚度、局部环境对钢筋开始锈蚀时间的影响系数。

$$t_{cr} = t_i + t_c \quad (2)$$

$$t_c = A \cdot H_c \cdot H_f \cdot H_d \cdot H_T \cdot H_{RH} \cdot H_m \quad (3)$$

式中: t_{cr} 为保护层胀裂开裂的时间, a; t_c 为钢筋开始锈蚀至保护层锈胀开裂的时间, a; A 为特定条件下构件自钢筋开裂锈蚀到保护层锈胀开裂时间, a; H_c 、 H_f 、 H_d 、 H_T 、 H_{RH} 、 H_m 分别为保护层厚度、混凝土强度、钢筋直径、环境温度、环境湿度及局部环境对保护层锈胀开裂时间的影响系数。

最终耐久性等级由混凝土保护层锈胀开裂极限状态耐久性裕度系数 ξ_d 确定, $\xi_d \geq 1.8$ 时,耐久性等级为 a; $1.0 \leq \xi_d \leq 1.8$ 时,耐久性等级为 b; $\xi_d < 1.0$ 时,耐久性等级为 c。

$$\xi_d = (t_{cr} - t_0) / (\gamma_0 t_e) \quad (4)$$

由表2可知,4个车站碳化深度最小为0.5 mm,构件类型为立柱;最大为5.5 mm,构件类型为侧墙,表明构件类型对碳化深度有一定的影响。此外,4个车站受检构件强度均达到设计要求,立柱构件强度推定值达到设计值的1.1~1.63倍,侧墙构件强度推定值达到设计值的1.09~1.15倍,表明构件类型对混凝土强度也有一定的影响。

式中: ξ_d 为耐久性裕度系数; t_0 为结构建成至检测时的时间, a; γ_0 为耐久性重要系数; t_e 为目标使用年限, a。

3.2 评估结果

由于4个站环境温度、环境湿度、局部环境基本相同,且钢筋直径对结果影响较小,查表^[7]可得4个车站环境温度影响系数 H_T 均在1.1左右,钢筋直径影响系数 H_d 均在1.0左右,环境湿度影响系数 H_{RH} 均在1.9左右,局部环境影响系数 H_m 均在3.4左右,特定条件下构件自钢筋开裂锈蚀到保护层锈胀开裂时间 A 均在3.8左右。此外,由于保护层最小厚度及构件类型等因素影响,4个车站构件保护层厚度影响系数 H_c 与混凝土强度影响系数 H_f 的计算结果偏差较大,将数据代入式(3)可得钢筋开始锈蚀至保护层锈胀开裂的时间 t_c 。

结构建成至钢筋开始锈蚀的时间 t_i 可根据表1、表2中保护层厚度、混凝土强度及碳化深度等信息查表代入式(1)求得,其次,根据结构建成至钢筋开始锈蚀的时间 t_i 及钢筋开始锈蚀至保护层锈胀开裂的时间 t_c 代入式(2)可知混凝土保护层胀裂开裂的时间,再次,将目标使用年限(100 a)、耐久重要性系数(1.1)、建成年限(除D站负1层22号主柱为1.2 a,其余均为3.3 a)及混凝土保护层锈胀开裂年限代入式(4)求得耐久性裕度系数,最后根据耐久性裕度系数范围,可确定各物件耐久性等级,最终各项指标计算结果如表3所示。

表 3 混凝土保护层锈胀开裂耐久年限计算结果

车站	构件名称	保护层厚度影响系数 H_c	强度影响系数 H_f	混凝土保护层锈胀开裂耐久年限		保护层胀裂开裂的时间 t_{cr}/a	耐久性裕度系数 ξ_d	耐久性等级
				结构建成至钢筋开始锈蚀的时间 t_i/a	钢筋开始锈蚀至保护层锈胀开裂的时间 t_c/a			
A	负 1 层 11 号立柱	2.62	8.1	68	605	673	6.1	a
	负 2 层 13 号立柱	2.12	8.76	113	529	642	5.8	a
B	负 2 层 19 号立柱	1.95	8.56	71	453	524	4.8	a
	负 1 层 18~19 号立柱西侧墙	3.64	3.8	112	813	925	8.4	a
C	负 1 层 21 号立柱	1.57	7.95	165	349	514	4.7	a
	负 1 层 9~10 号立柱东侧墙	4.87	3.55	75	935	1 010	9.2	a
D	负 1 层 22 号立柱	2.12	8.07	71	478	549	5.0	a

由表 3 可知，4 个车站不合格构件保护层胀裂开裂的时间最少为 514 a，最多为 1 010 a，均远远大于目标使用年限 100 a。由于车站环境湿度、环境温度及钢筋直径影响系数相差很小，可知构件混凝土保护层锈胀开裂耐久年限主要与保护层厚度和混凝土强度有关。4 个车站立柱混凝土强度影响系数为 7.95~8.76，保护层厚度影响系数为 1.57~2.62；而侧墙混凝土强度影响系数为 3.55~3.80，保护层厚度影响系数为 3.64~4.87，由此可知，构件类型是影响混凝土保护层锈胀开裂耐久年限的一个重要因素。

虽然 A~D 站构件保护层厚度不满足设计要求、但在混凝土强度满足要求、环境 I-A 条件下，其耐久性仍评定为 a 级，无需做任何修复处理。对比构件类型可发现，当 A~D 站构件类型为立柱类型时耐久性裕度系数在 5 左右，当 A~D 站构件类型为侧墙类型时耐久性裕度系数在 9 左右。进一步表明构件类型对耐久性等级有着重要影响。

3.3 结果分析

已知混凝土保护层锈胀开裂耐久年限主要与构件类型有关，故按构件类型进一步分析保护层厚度不合格率、保护层最小厚度与耐久性裕度系数之间的关系，如图 1、图 2 所示。

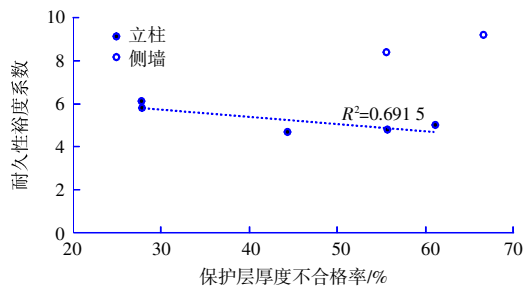


图 1 保护层厚度不合格率与耐久性裕度系数关系图

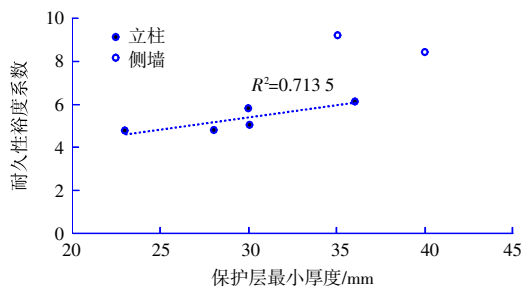


图 2 保护层最小厚度与耐久性裕度系数关系图

由图 1、图 2 可知，构件类型为立柱时保护层厚度不合格率与耐久性裕度系数相关系数为 0.691 5，保护层最小厚度与耐久性裕度系数相关系数为 0.713 5，且随着保护层厚度不合格率增加耐久性裕度系数呈下降趋势，随保护层最小厚度增加耐久性裕度系数呈上升趋势，表明保护层厚度不合格率通过影响保护层最小厚度从而最终影响耐久性等级评定。

构件类型为侧墙时，由于构件较少，保护层厚度不合格率及保护层最小厚度与耐久性裕度系数之间无明显规律，但其值明显大于构件类型为立柱时耐久性裕度系数，表明构件类型为侧墙时，保护层厚度不合格率与保护层最小厚度对耐久性裕度系数计算结果影响较小，进而可知构件类型为侧墙时，两者对其耐久性等级影响也较小。

4 结语

本文分析了某工程地铁车站在保护层厚度部分不均匀情况下的耐久性，发现耐久性等级均为 a 级，目标使用年限内满足耐久性要求，表明在仅保护层厚度不合格的情况下，耐久性依旧可以达到设计要求。此外，构件类型是影响构件耐久性的一个重要因素。对于立柱构件，保护层厚度不合格率通过影响保护层最小厚度间接对耐久性

等级产生影响；对于侧墙，保护层厚度不合格率对其影响较小，且耐久性裕度系数明显大于构件类型为立柱时其值的大小。本文研究可为类似工程提供参考。但文中并未分析混凝土强度或者其他参数不满足要求时对构件耐久性的影响，今后仍需进一步研究。

参考文献：

- [1] 金伟良,吕清芳,赵羽习,等. 混凝土结构耐久性设计方法与寿命预测研究进展[J]. 建筑结构学报,2007(1):7-13.
- [2] 卢木. 混凝土耐久性研究现状和研究方向[J]. 工业建筑,1997(5):7.
- [3] 王大永,刘钊,谢丽霞,等. 装配式混凝土新旧结合面质量检测技术分析与研究[J]. 中国港湾建设,2019,39(12):20-24.
- [4] 李纵,刘鹏飞. 合福铁路楼村隧道渗漏水成因分析及防治技术[J]. 中国港湾建设,2016,36(4):62-66.
- [5] 罗大明,牛狄涛. 基于钢筋锈蚀的混凝土结构耐久性评定[J]. 工业建筑,2022,52(10):1-8,70.
- [6] 马中超. 影响混凝土结构耐久性因素[J]. 材料分析,2022(16):32-35,41.
- [7] CECS 220:2007,混凝土结构耐久性评定标准[S].
- [8] GB/T 51355—2019,既有混凝土结构耐久性评定标准[S].
- [9] JGJ/T 23—2011,回弹法检测混凝土抗压强度技术规程[S].