

成型方式对 RCM 法氯离子扩散系数的影响

覃艺杰

(广东交科检测有限公司, 广东 广州 510550)

摘要: 为降低标准试模对水泥混凝土抗氯离子渗透试验方法 (RCM 法) 氯离子扩散系数的影响, 更有效、真实地反映工程实体耐久性, 确保混凝土质量及其耐久性在整个结构服役期内的性能, 本文基于不同成型方式对比试验, 推荐使用水泥混凝土立方体试模 (150 mm × 150 mm × 150 mm) 成型抗氯离子扩散系数试件, 以降低成型方式对 RCM 法氯离子扩散系数的影响。

关键词: 公路水运工程; 试验检测; 成型方式; RCM 法; 氯离子扩散系数

中图分类号: TU528

文献标识码: A

Effect of Molding Method on RCM Method of Chloride Ion Diffusion Coefficient

TAN Yijie

(Guangdong Jiaoke Testing Co., Ltd, Guangzhou 510550, Guangdong, China)

Abstract: In order to reduce the influence of standard test mode on the chloride diffusion coefficient of cement concrete antichloride penetration test method (RCM method), to ensure more effectively and truly reflect the engineering entity durability, and ensure the performance of concrete quality and durability during the structural service period, this paper recommends the use of cement concrete cube test mold (150 mm × 150 mm × 150 mm) to reduce the influence of molding method on RCM chloride diffusion coefficient.

Key words: highway and waterway engineering; test detection; molding method; RCM method; chloride ion diffusion coefficient

RCM 法是我国现行的评价混凝土渗透性能的标准方法, 其所测指标直接反映了氯离子在混凝土中的扩散情况, 但相比于其他电测法, 该方法测试时间较长, 并且 AgNO_3 显色法测得氯离子渗透深度的可靠性较低, RCM 法适用于测量强度在 C50 ~ C70 范围内的混凝土, 特别是掺硅灰的混凝土 (骨料粒径不大于 25 mm), 在工程中可用于配合比筛选、质量监控与验收、耐久性设计及一般寿命预测^[1]。

笔者经历了真实工程事例, 进而思索 RCM 法标准试件与工程实体耐久性的匹配性。本文通过对不同成型方式的对比、探索, 分析现有哪种成型方式的 RCM 法试验结果能更真实地反映工程实体现状, 为项目耐久性质量控制以及 RCM

法在试验检测中的使用提供思路。

1 工程概况

珠海市鹤洲至高栏港高速公路一期工程大部分结构物处于近海或海洋氯化物环境, 海上及近海范围 (涨潮岸线以外 100 ~ 300 m 范围内的陆上环境) 环境作用影响程度 III-D 及以上, 依据《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》(JTG/T 3310—2019) 混凝土耐久性补充设计指标为电通量或氯离子扩散系数。为保证结构混凝土具有优异的抵抗氯离子渗透的能力, 确保结构内部钢筋不过早发生氯离子诱发的锈蚀, 本工程设计明确了各结构混凝土的抗氯离子渗透性能要求, 其中 C40 承台 28 d 氯离子扩散系数为 $6.5 (10^{-12} \text{m}^2/\text{s})$ 。C40

收稿日期: 2022-12-01

作者简介: 覃艺杰, 工程师, 本科, 研究方向为高速公路试验检测

混凝土为水泥、粉煤灰、矿渣粉、河砂、5~10 mm碎石、10~25 mm 碎石、水、减水剂质量之比为 251:83:83:737:221:885:150:4.587 的海工高性能混凝土。

本工程中,在 HGTJ3 标红旗 1#特大桥左幅 40# 承台浇筑时成型了 RCM 法标准试件,经过标准养护 28 d,对该标准试件进行抗氯离子渗透试验,试验结果氯离子扩散系数为 $7.8 (10^{-12} \text{m}^2/\text{s})$,不满足设计要求。对工程实体进行取芯验证,将直径 100 mm 的圆柱体芯样切割成标准试件 [(直径 $(100 \pm 1) \text{mm}$,高度为 $(50 \pm 2) \text{mm}$ 的圆柱体)],RCM 法实测氯离子扩散系数 $5.9 (10^{-12} \text{m}^2/\text{s})$,工程实体氯离子扩散系数满足设计要求,与试验室成型的标准试件试验结果相差较大。经过比对破碎后的标准试件以及实体芯样发现,混凝土的均匀性存在较大差异,其中实体芯样粗、细骨料均匀分布,混凝土密实,而三个标准试件粗、细骨料分布混乱,存在较多气孔等不密实现象。C40 水泥混凝土使用的是 5~25 mm 连续级配碎石,最大粒径 25 mm,而标准试件试模高度仅为 $(50 \pm 2) \text{mm}$,粗集料粒径偏大,致使标准试模成型的试件实测氯离子扩散系数波动较大,无法有效、真实地反映工程实体质量。鉴于此,本文利用工地上常用的水泥混凝土立方体试模与标准圆柱体试模对比,通过比对试验分析不同成型方式对 RCM 法氯离子扩散系数的影响。

2 RCM 法

RCM 法基本原理是外加电场作用下氯离子在混凝土中的迁移速率变快,利用 AgNO_3 溶液显色指示剂检测混凝土中氯离子的渗透深度,再基于 Nernst-Planck 方程计算氯离子非稳态扩散系数。该方法的试验步骤为:①制备直径 100 mm、高 50 mm 的圆柱体混凝土试件,并养护至试验龄期;②将试件在饱和面干状态下置于真空容器中进行真空处理 3 h,将饱和氢氧化钙溶液注入浸没 1 h 后恢复常压,并继续浸泡 $(18 \pm 2) \text{h}$;③将试件装入有机硅橡胶套并用环箍箍紧;④将试件上下面分别浸没于 0.3mol/L 氢氧化钠溶液及质量分数为 10% 的氯化钠溶液中,置于支架上,并连接阴阳电极;⑤实验温度控制在 $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$,给试件两端施加 30~40 V 的直流电压,通电时间与初始电流有关,记录电流变化情况及阳极溶液初始温度值及最终温度值;⑥取出混凝土试件并

将其劈成两半,采用浓度为 0.1mol/L 的 AgNO_3 溶液测试氯离子渗透深度。

3 对比试验

采用三种方式成型标准尺寸混凝土试件。方法 a:标准试模 [(直径 $(100 \pm 1) \text{mm}$,高度为 $(50 \pm 2) \text{mm}$ 的圆柱体)]成型。方法 b:混凝土立方体标准试模 $(150 \text{mm} \times 150 \text{mm} \times 150 \text{mm})$ 成型,然后取芯为直径 100 mm 的圆柱体,再切割、磨平成直径 $(100 \pm 1) \text{mm}$ 、高度为 $(50 \pm 2) \text{mm}$ 的圆柱体标准试件,取芯后标准混凝土试件见图 1。方法 c:工程实体取芯、切割、磨平成标准试件,即 28 d 龄期时抽取直径 100 mm 的圆柱体芯样,切割、磨平成高度为 $(50 \pm 2) \text{mm}$ 的圆柱体。



图 1 取芯后标准混凝土试件

为尽量减少试验过程中的人为误差,每种方法均成型 3 组标准试件,即 9 个试件,其中方法 a、b 在同一养护室养护至 28 d 龄期,方法 c 为工程实体 28 d 龄期取芯。使用控制变量法,即同一配合比、同一批次拌制的水泥混凝土,由同一仪器,同一批次配制的试验溶液,同一试验人员进行抗氯离子渗透试验,即 RCM 法。试验结果见表 1。

表 1 不同成型方式的氯离子扩散系数试验结果

成型方式	组数	平均渗透深度/mm			平均氯离子扩散系数 $10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$
方法 a	①	15.7	15.9	16.5	5.5
方法 a	②	19.9	21.5	19.5	7.1
方法 a	③	6.7	12.0	14.8	4.1
方法 b	④	15.4	15.7	14.0	6.3
方法 b	⑤	14.3	14.9	15.3	5.1
方法 b	⑥	10.3	12.0	11.0	4.2
方法 c	⑦	16.4	14.7	15.3	5.0
方法 c	⑧	13.9	10.3	15.2	4.6
方法 c	⑨	16.3	17.4	17.5	4.2

从表 1 可以看出,方法 a 的三组氯离子扩散

系数波动较大,其中一组不满足设计要求,而方法c实体取芯实测的氯离子扩散系数均小于设计要求。工程实际试验检测过程中往往只成型一组标准试件进行结构物耐久性评定,且规范也只要成型一组标准试件。因受成型方式、试验人员成型操作等因素影响,试验结果易失真产生误判,最终还是要进行实体取芯验证。方法b虽然也存在一定的波动,但是氯离子扩散系数均满足设计要求,且方法b试验结果与方法c实体取芯结果差别不大,能较真实地反映工程实体现状。方法a与方法b的主要区别在于方法b使用常规的水泥混凝土立方体试模(150 mm×150 mm×150 mm)成型,试模长宽高均大于等于粗骨料最大粒径的6倍,成型时水泥混凝土拌合物可以充分插捣均匀,成型后的水泥混凝土试件粗细骨料分布较均匀,试件整体密实,气泡小且少。

混凝土为多孔结构,低等级混凝土孔隙率较大,RCM法忽略了毛细作用吸入的氯离子,使实测的氯离子渗透深度偏大,高等级混凝土孔隙率较小,氯离子迁移难度加大,使实测的氯离子渗透深度偏小^[2]。也就是说越密实的混凝土,氯离子迁移难度越大,实测氯离子扩散系数可能越小。同时受成型方式以及人为因素的影响较大,为真实反映工程实体耐久性,有必要选用方法b成型方式。尽管方法b试验过程较复杂,成型后在水泥混凝土试件上取芯也不易操作,但困难还是能够克服的,笔者选用两种钻芯机取芯均能够完整取出芯样,即常规的ZIZ-230型电动取芯机以及HZ-20A型路面混凝土取芯机,取芯时需要固定水泥混凝土试件或砌筑一个专用的水泥混凝土试坑用来防止试件晃动,避免出现安全意外。

4 分析与讨论

上述对比试验中,虽然每种方式只成型了3组水泥混凝土试件,且试验结果可能存在偶然性,但是从理论上分析,方法b利用常规的水泥混凝土立方体试模成型试件,确实比方法a成型的试件更为密实,粗、细骨料分布可能更合理、更均匀。尤其是对于粗集料最大粒径为25 mm的碎石,使用标准试模成型就显得不太合理,而规范只是要求使用该方法的时候集料最大粒径不宜

大于25 mm,当刚好处于临界点时,标准试模高度偏低。编写规范时可能主要考虑试验的方便性,且RCM法属于快速法,所以要求的标准试模高度只有50 mm。《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》(JTG 3420—2020)也鼓励使用 $\varnothing 100\text{ mm}\times 100\text{ mm}$ 或 $\varnothing 100\text{ mm}\times 200\text{ mm}$ 试模,然后在抗氯离子渗透试验前7 d加工成标准尺寸的试件^[3],本质上与本文不谋而合,但是现阶段高速公路工地试验室基本未配备这两种试模,所以本文推荐使用常规的水泥混凝土立方体试模(150 mm×150 mm×150 mm)。理由有二,一是水泥混凝土立方体试模常见,工地试验室均会大量配备,有利于直接解决问题;二是每施工一个水泥混凝土构件基本上均需成型2~4组水泥混凝土立方体试件,检测氯离子扩散系数时只需要多增加1~2组该试件即可,且当抗氯离子渗透试验的结果异常时,也可直接选用备用水泥混凝土立方体试件取芯、切割成型标准试件,再次复核试验结果,排除试验误差以免影响工程实体耐久性判定。

5 结论

为降低标准试模对水泥混凝土抗氯离子渗透试验方法(RCM法)氯离子扩散系数的影响,更有效、真实地反映工程实体耐久性,确保混凝土质量及其耐久性在整个结构服役期内的性能,本文推荐使用水泥混凝土立方体试模(150 mm×150 mm×150 mm)成型抗氯离子扩散系数试件。同时倡导行业内尽快普及 $\varnothing 200\text{ mm}\times 200\text{ mm}$ 试模,减少试验误差,以适应新时代海工高性能混凝土的耐久性要求,以确保试验检测数据的准确性,充分发挥试验检测数据指导施工作用。

参考文献:

- [1]施跃毅,郭增伟,郭瑞琦.氯离子扩散系数快速测试方法综述[J].硅酸盐学报,2021,40(1):12.
- [2]蒋冬蕾.混凝土氯离子扩散系数快速测定RCM法的应用研究[D].杭州:浙江大学,2008.
- [3]交通运输部公路科学研究院.公路工程水泥及水泥混凝土试验规程:JTG 3420—2020[S].北京:人民交通出版社,2021.