

基于统计分析的疏水化合孔栓物混凝土 吸水率指标的研究

周敏¹, 杨海成², 范志宏²

(1.广东省南粤交通东雷高速公路管理中心, 广东 湛江 524000;

2.中交四航工程研究院有限公司 水工构造物耐久性技术交通行业重点实验室)

摘要: 基于大量室内试验和现场模型试验,研究了混凝土拌和工艺、养护工艺等因素对疏水化合孔栓物高性能混凝土吸水率的影响,统计分析疏水化合孔栓物混凝土吸水率的分布。研究表明:疏水化合孔栓物可有效降低海工高性能混凝土不同龄期的吸水率;在室内搅拌机拌和、标准养护条件下,采用S1及S2的混凝土7d吸水率平均值为0.9%、0.6%;在混凝土配合比、养护条件完全一致的前提下,采用现场拌和站生产的混凝土7d吸水率显著大于室内搅拌机拌和的混凝土;华南沿海夏季环境下,利用现场拌和站生产的混凝土,现浇实体构件的混凝土吸水率小于标准养护试件测试的吸水率,可采用现场留样混凝土作为评定实体结构混凝土吸水率指标;混凝土的吸水率随养护龄期的延长而不断降低,混凝土吸水率与养护龄期之间符合指数关系。

关键词: 疏水化合孔栓物; 高性能混凝土; 吸水率; 统计分析; 指标

1 引言

疏水化合孔栓物是一种新型的内掺型混凝土防水防腐添加剂,无论混凝土是否受到水头压力,理论上都能够有效地抑制水在混凝土内部的吸收和渗透,提高混凝土结构的耐久性,目前已在虎门二桥、范和港跨海大桥、东华大桥等国内外工程中得到推广应用。混凝土吸水率是体现“疏水化合孔栓物”对混凝土性能改善效果的关键指标。目前中国混凝土方面的技术标准尚无具体的吸水率控制指标,通常参照国内外工程经验,参考BS 1881:Part122混凝土吸水率测试方法,以室内条件下混凝土7d的吸水率不大于1%作为控制指标。另外,国内外有关吸水率的测试方法包括英国标准BS 1881:Part122、JC 474—2008《砂浆、混凝土防水剂》、JTS 153—2015《水运工程结构耐久性设计标准》等,上述标准中关于吸水率的测试流程有所不同,包括样品制备、样品制备部位、烘干浸泡时间等方面均有较大区别,JC 474—2008《砂浆、混凝土防水剂》、JTS 153—2015《水运工程结构耐久性设计标准》更侧重表征表层混凝土的吸水率,英国标准BS 1881:Part122可较

好地表征混凝土整体的吸水率性能,国内外工程应用时也通常参照该标准。

尽管工程中以室内条件下混凝土吸水率作为控制指标,但对于现浇实体构件,考虑施工过程中混凝土拌和、运输、浇筑、振捣、养护等方面环节存在的波动,可能会对实体构件混凝土性能产生一定的影响,为确定掺“疏水化合孔栓物”的现浇实体构件混凝土吸水率的合理取值,该文依托湛江东海岛至雷州高速公路通明海特大桥项目,基于大量室内试验和现场试验,统计分析不同种类“疏水化合孔栓物”混凝土吸水率的均值与标准差,以期为实体构件混凝土设计指标、验收指标的确定提供技术参考。

2 试验方案及测试方法

2.1 试验方案

(1) 室内试验

利用现场两个标段的原材料,选取通明海特大桥承台墩身C40混凝土作为研究对象,根据现场材料的特点,选取水胶比为0.35、总胶凝材料用量为430 kg/m³、双掺粉煤灰与磨细矿渣粉,通过调整水泥用量

为 $210 \sim 240 \text{ kg/m}^3$, 每个标段设计 5 组 C40 海工高性能混凝土配合比。同时选取目前国内外主要疏水化合孔栓物外加剂厂家的材料, 分别以 S1、S2“疏水化合孔栓物”表示。在此基础上, 利用现场原材料, 委托第三方检测机构同步开展上述验证试验。

(2) 现场模型试验

通过对上述配合比优选, 每个标段确定 1 组施工配合比, 用于开展现场模型试验。模型试验采用现场拌和站拌和、浇筑、振捣工艺, 分别浇筑 3 根直径 1.2 m、高度约 3.5 m 的试验墩柱, 分别为空白混凝土试验墩柱(无“疏水化合孔栓物”外加剂)、掺 S1、S2 疏水化合孔栓物的混凝土试验墩柱, 并按照现场实际养护工艺对构件进行养护。墩柱养护 3、10 及 24 d 后现场钻取直径为 7.5 cm、高度不小于 12 cm 的芯样, 并切割去除混凝土表层, 进而加工制备直径为 7.5 cm、高为 7.5 cm 的测试芯样, 参照 BS 1881:Part122:1983 方法测试混凝土 7、14 及 28 d 龄期的吸水率。

在浇筑构件的同时, 每个配合比现场成型 3 组 $15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$ 立方体试件, 室内标准养护不同龄期后, 参照 BS 1881:Part122:1983 方法测试 7、14 及 28 d 养护龄期时混凝土的吸水率。基于试验测试数据, 统计分析实体构件混凝土吸水率的平均值及标准差。

2.2 测试方法

参照 BS 1881:Part122:1983 方法测试混凝土吸水率, 主要测试流程: 成型 $15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$ 混凝土立方体试件, 标准养护测试龄期前 4 d 时, 钻芯切割成 $\phi 7.5 \text{ cm} \times 7.5 \text{ cm}$ 的芯样; 芯样在温度 $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ 的烘箱中干燥 $(72 \pm 2) \text{ h}$, 冷却 $(24 \pm 0.5) \text{ h}$ 后开始吸水试验; 试验前称取样品初始重量, 称重后将样品放入水中, 顶面距离水面 $(25 \pm 5) \text{ mm}$, 浸泡时间为 30、60 及 120 min 后, 取出测试, 计算混凝土吸水率。

3 试验结果分析

3.1 室内试验统计分析

基于室内试验数据, 采用统计方法对 S1 及 S2 疏水孔栓物混凝土吸水率进行分析, 图 1 为采用 S1、S2 的混凝土统计图。由图 1 可知: ① 通过对 60 个样本统计分析, 得到采用 S1 的混凝土 7 d 吸水率平均值为 0.9%, 标准差为 0.11%, 且有 49 个样本处于 0.8%~1.0% 区间; ② 通过对 42 个采用 S2 的混凝土 7 d 吸水率数据样本统计分析, 得到采用 S2 的混凝土 7 d 吸水

率平均值为 0.6%, 标准差为 0.11%, 且有 36 个样本处于 0.4%~0.7%。

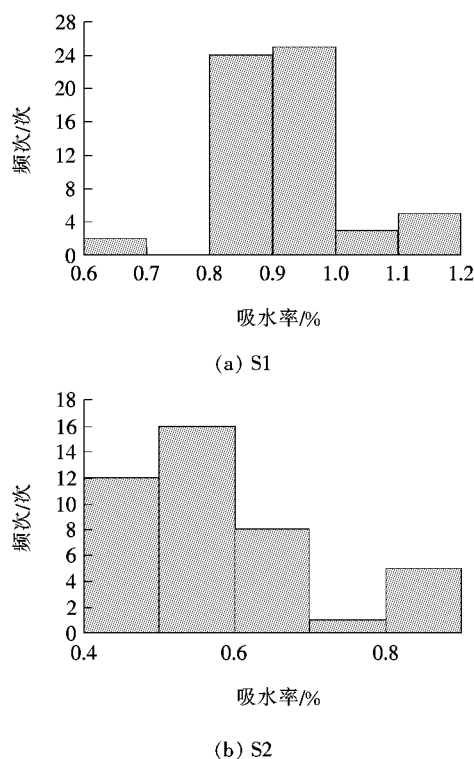
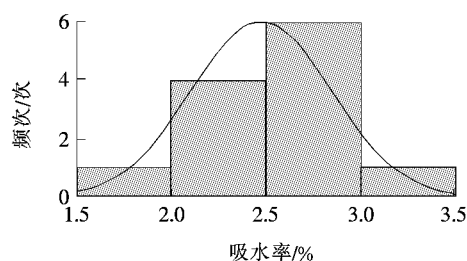


图 1 混凝土 7 d 吸水率室内试验统计图

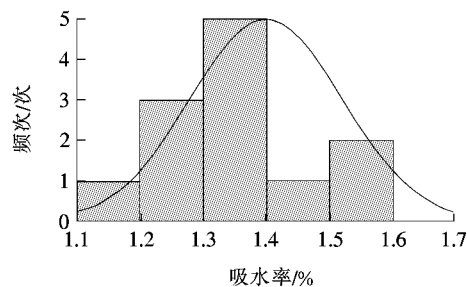
3.2 现场试验统计分析

3.2.1 现场 7 d 试验结果分析

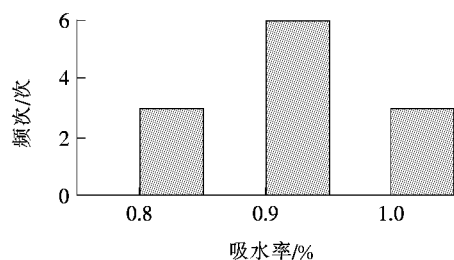
对现场混凝土拌和站生产的混凝土不同龄期吸水率进行了统计分析, 结果见图 2。由图 2 可知: ① 空白混凝土 7 d 的吸水率平均值为 2.48%, 标准差为 0.37%; ② 采用 S1 的混凝土 7 d 的吸水率平均值为 1.4%, 标准差为 0.12%, 且符合标准正态分布; ③ 采用 S2 的混凝土 7 d 的吸水率平均值为 0.9%, 标准差为 0.07%; ④ 在混凝土配合比、养护条件完全一致的前提下, 相比室内试验搅拌机(每次拌和 40 L 混凝土)拌和混凝土, 采用现场拌和站生产的混凝土 7 d 吸水率显著大于室内试验采用搅拌机拌和的混凝土; 比如采用室内搅拌机拌和的 S1、S2 混凝土 7 d 吸水率的平均值分别为 0.9%、0.6%, 但采用现场拌和站生产的 S1 及 S2 混凝土吸水率提高为 1.4%、0.9%, 吸水率分别提高的原因, 可能是由于在室内搅拌机拌和条件下, 混凝土原材料的计量精度、拌和均匀性、振捣密实性等方面均优于现场拌和; ⑤ 相比空白混凝土, 采用 S1、S2 疏水化合孔栓物可显著降低海工混凝土 7 d 的吸水率, 其中 S1 疏水化合孔栓物混凝土对 7 d 吸水率的降低效果更为显著。



(a) 空白混凝土

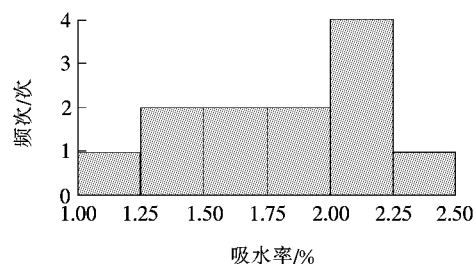


(b) S1

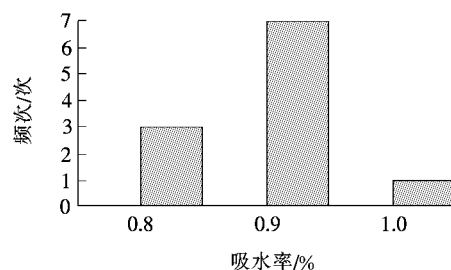


(c) S2

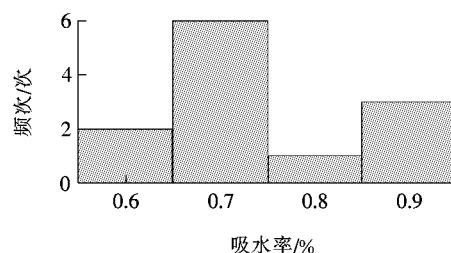
图 2 现场混凝土 7 d 吸水率统计图



(a) 空白混凝土



(b) S1



(c) S2

图 3 现场混凝土 14 d 吸水率统计图

3.2.2 现场 14 d 试验结果分析

图 3 为混凝土 14 d 现场试验数据。由图 3 可知:
① 当养护 14 d 时,空白混凝土的吸水率平均值为 1.8%,标准差为 0.37%;
② 采用 S1 的混凝土吸水率平均值为 0.88%,标准差为 0.06%;
③ 采用 S2 的混凝土吸水率平均值为 0.74%,标准差为 0.06%;
④ 采用 S1、S2 疏水化合孔栓物可显著降低海工混凝土 14 d 的吸水率。

3.2.3 现场 28 d 试验结果分析

图 4 为混凝土 28 d 现场试验数据。由图 4 可知:
① 在养护 28 d 时,空白混凝土的吸水率平均值为 1.5%,标准差为 0.28%;
② 采用 S1 的混凝土吸水率平均值为 0.65%,标准差为 0.11%;
③ 采用 S2 的混凝土吸水率平均值为 0.69%,标准差为 0.14%;
④ 采用 S1、S2 疏水化合孔栓物可显著降低海工混凝土 28 d 的吸水率。

3.3 现场构件混凝土与标准养护混凝土吸水率对比分析

图 5 为利用现场实体构件取芯与标准养护试件测

试的吸水率对比。

由图 5 可知:采用实体构件测试的混凝土吸水率总体要小于混凝土留样试件的吸水率,其构件吸水率/试件吸水率比值的平均值为 0.89。

3.4 混凝土吸水率随养护龄期的变化规律

图 6 为现场实体构件混凝土吸水率随养护龄期的变化规律。

由图 6 可知:混凝土吸水率随养护龄期的延长而不断降低,混凝土吸水率与养护龄期之间符合指数关系:

$$y_{\text{吸水率}} = Ae^{Bx}, \text{ 其中 } A、B \text{ 的取值与混凝土性能有关。}$$

4 结论

(1) 疏水化合孔栓物可有效降低海工高性能混凝土不同龄期的吸水率,利用疏水化合孔栓物可制备整体防水抗腐蚀混凝土,可有效避免传统表面涂装材料易于破损、老化等耐久性问题,为解决严酷环境下混凝土结构耐久性提供了新的技术途径。

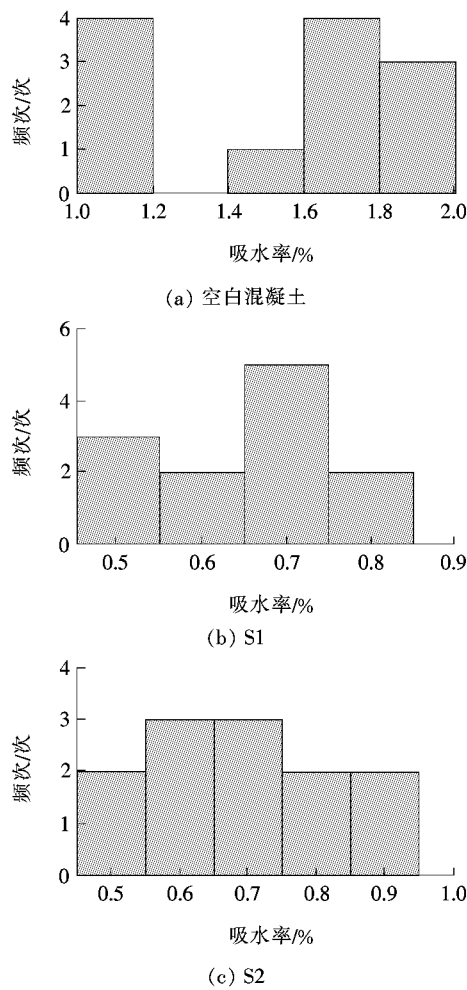


图 4 现场混凝土 28 d 吸水率统计图

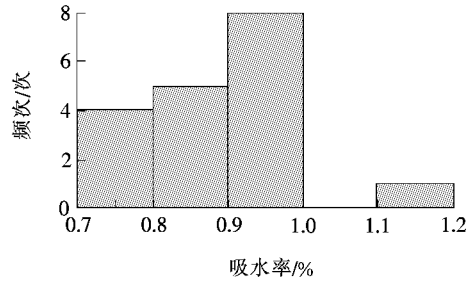


图 5 实体构件吸水率与试件吸水率比的统计图

(2) 在室内搅拌机拌和、标准养护条件下,对 60 个 S1 混凝土样本进行统计,采用 S1 的混凝土 7 d 吸水率平均值为 0.9%,标准差为 0.11%,且有 49 个样本处于 0.8%~1.0% 区间;对 42 个 S2 混凝土样本进行统计,采用 S2 的混凝土 7 d 吸水率平均值为 0.6%,标

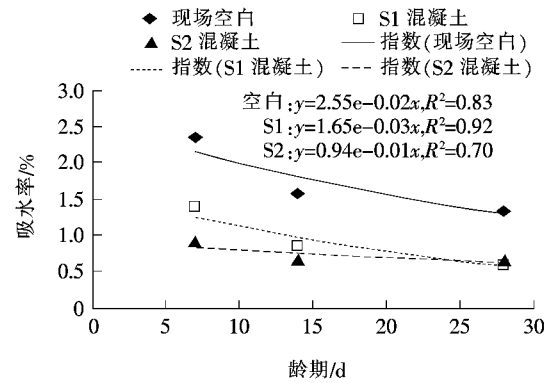


图 6 实体构件混凝土吸水率随养护龄期的变化

准差为 0.11%,且有 36 个样本处于 0.4%~0.7%。

(3) 在混凝土配合比、养护条件完全一致的前提下,相比室内搅拌机拌和混凝土,采用现场拌和站生产的混凝土 7 d 吸水率显著大于室内搅拌机拌和的混凝土,提高了 50% 以上。在混凝土配合比设计时,混凝土吸水率设计指标应预留足够的富余量。

(4) 华南沿海夏季环境下,利用现场拌和站生产的混凝土,现浇实体构件的混凝土吸水率小于标准养护试件测试的吸水率,其构件吸水率/试件吸水率比值的平均值为 0.89。可采用现场留样混凝土作为评定实体结构混凝土吸水率指标,避免了实体结构取芯测试对结构外观、长期性能的影响。

(5) 混凝土的吸水率随养护龄期的延长而不断降低,混凝土吸水率与养护龄期之间符合指数关系。

参考文献:

[1] 杨海成,高军,熊建波,等.疏水化合孔栓物对高性能混凝土性能影响的试验及应用[J].水运工程,2015(3).
[2] 马志鸣,陈济洲,赵铁军,等.内掺硅烷乳液防水混凝土的耐久性试验研究[J].中国建筑防水,2012(20).
[3] 郭平功,魏勇.掺有机硅烷防水剂抗 Cl-1 侵蚀的影响[J].低温建筑技术,2011(4).
[4] 吴海平.跨海大桥的耐久性措施[J].广东建材,2013(7).
[5] 余喜平.东华大桥主墩承台疏水化合孔栓物混凝土施工技术[J].福建建设科技,2012(4).
[6] 杨帆.疏水化合孔栓物在广州南沙开发区凤凰一桥的应用[J].广东建材,2011(3).
[7] BS 1881:P122 Test Concrete: Method for Determination of Water Absorption[S].