



热带沙漠沿海气候区 大体积混凝土配制及性能

李松斌¹, 梁小丛²

(1. 中交四航局第二工程有限公司, 广东 广州 510300; 2. 中交四航工程研究院有限公司, 广东 广州 510300)

摘要: 依托多哈港实际工程, 按照热带沙漠沿海气候区室内环境作用参数, 针对C30、C40以及C50共3个强度等级混凝土的典型配比, 利用温湿度交变箱模拟热带沙漠气候特点, 研究温度和湿度对新拌混凝土坍落度、凝结时间以及重塑时间的影响, 确立环境作用因素对新拌混凝土施工性能的影响规律, 建立环境作用因素与新拌混凝土施工性能之间的函数关系, 通过开展混凝土温度-应力试验来评价大体积混凝土在温度场和强约束边界条件共同作用下的混凝土的抗裂性, 为热带沙漠沿海气候区大体积混凝土施工质量控制提供参考依据。

关键词: 大体积混凝土; 沙漠气候; 性能研究; 坍落度

中图分类号: TU 375.6

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)02-0028-05

Preparation and performance of mass concrete in coastal tropical desert climate zone

LI Song-bin¹, LIANG Xiao-cong²

(1. The Second Engineering Company of CCCC Fourth Harbor Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510300, China;

2. CCCC Fourth Harbor Engineering Institute Co., Ltd., Guangzhou 510300, China)

Abstract: For Doha port project, according to the indoor environment parameters of the tropical coastal desert climate, we use the alternating temperature and humidity chamber to simulate the tropical desert climate features for typical mix proportion of C30, C40 and C50 and study the effect on fresh concrete slump, setting time and remodeling time. The effect law of environment role factors is established on the new mix concrete construction performance, and the function relationship between environment role factors and new mix concrete construction performance is established too. Concrete temperature-stress testing is conducted to evaluate the crack resistance of concrete in mass concrete temperature field and the strong interaction constraints of boundary conditions to provide reference for the quality control of mass concrete construction for coastal tropical desert climate.

Keywords: mass concrete; desert climate; performance study; slump

多哈港地处典型热带沙漠地区, 具有气温高、温差大、日照强以及相对湿度较小等特点, 导致混凝土在生产浇筑过程中容易出现水分散失快、坍落度损失大等现象, 且大体积混凝土中产生的水化热不易散去、内外温差大, 极易产生因温度应力造成的一系列混凝土开裂问题, 极大降低了

混凝土结构的整体外观及耐久性^[1-5]。本文以多哈港为工程背景, 针对热带沙漠地区的典型气候特点以及现场施工环境, 通过开展混凝土性能试验和温度-应力试验, 设计出更加科学合理的大体积混凝土配合比, 为热带沙漠沿海气候区大体积混凝土施工质量控制提供参考依据。

收稿日期: 2015-07-11

作者简介: 李松斌 (1976—), 男, 高级工程师, 从事港口工程技术管理工作。

1 混凝土性能试验

按照热带沙漠沿海气候区室内环境作用参数, 从 C30、C40、C50 共 3 个强度等级混凝土的典型配比 (表 1) 可以看出, 热带沙漠地区大体积混凝土配合比的显著特点为: 矿物掺合料占胶凝材料总量的 50% (质量分数)。这是因为, 与水泥相比较, 矿物掺合料的水化反应速度一般比较慢, 水化放热少, 在水化前期基本不参与水化反应。

表 1 热带沙漠沿海气候大体积混凝土典型配合比

强度等级	胶凝材料用量/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	水胶比	用量/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)					
			粗骨料	细骨料	粉煤灰	矿渣粉	用水量	减水剂
C30	380	0.45	1 061	738	0	218	210	1.1
C40	400	0.40	1 086	754	0	155	140	3.1
C50	420	0.35	1 111	772	0	155	125	3.1

利用温湿度交变试验箱, 模拟施工现场的温湿度和相对湿度环境条件, 研究 C30、C40 和 C50 强度等级混凝土在不同温度和不同湿度条件下的坍落度损失、凝结时间以及重塑时间的变化规律。

多哈新港项目选用巴斯夫 RHEOBU-ILD857Q 减水剂, 适用于掺加 GGBS 和硅灰的混凝土, 具有较好的减水效果。能够拌制坍落度 200 mm 以上的流态混凝土, 容易流动, 且不易离析。减水剂掺量根据试验确定, 氯离子含量为 0.01%, Na_2SO_4 为 0, 碱含量为 7.0%, 比重为 1.221%, pH 值为 8.0, 固含量为 41.1%。

1.1 温湿度对 C30 混凝土坍落度的影响

C30 混凝土在同一相对湿度 RH40%、不同温度条件下坍落度随时间的变化见图 1。从图 1 可以看出, 混凝土的坍落度随时间的增加不断减少, 并且在 150 min 之前坍落度减少不明显, 150 min 之后坍落度大幅度减少, 例如自成型开始到 150 min 内, 坍落度大概损失 70 ~ 80 mm, 但是 150 ~ 180 min 内, 坍落度就已经减少约 80 mm; 在相对湿度相同温度不同时, 混凝土坍落度随温度升高而减少, 但是不同温度之间的坍落度差别不大, 例如在 60 min 时, 20、30、40 °C 混凝土的坍落度分别为 190、180、175 mm。因为在相同湿

在保证混凝土质量和施工性能的前提下, 如果能大幅度减少水泥用量, 增加矿物掺合料的用量, 可以有效地减缓混凝土中的水化反应速度, 降低水化反应过程中的水化热, 减小构件内外温差, 减少由于温度应力造成的开裂风险。结合多哈港现场的试验条件, 选用矿渣作为本研究报告试验中的矿物掺合料, 配制不同强度等级的混凝土。

度条件下, 混凝土温度越高水化反应越快, 水分蒸发越快, 在相同时间内, 温度高的混凝土坍落度就会越小。

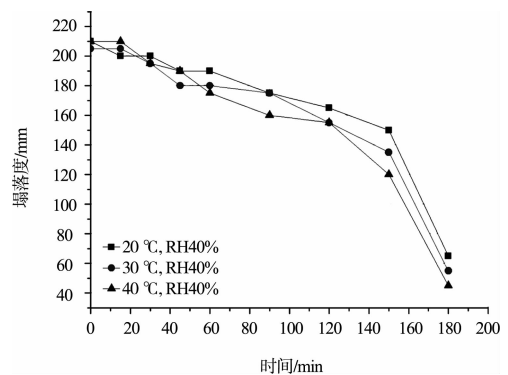


图 1 坍落度与时间的关系

C30 混凝土在同一相对湿度 RH60%、不同温度条件下坍落度随时间的变化见图 2。图 2 表明, 混凝土坍落度随时间增加不断减少, 在 150 min 之后坍落度大幅度减少, 在 150 min 之前变化不大, 例如在 0 ~ 150 min 坍落度仅仅减少约 60 mm, 而在 150 ~ 180 min 坍落度就减少了 110 mm; 大体上看出, 20 °C 和 30 °C 混凝土坍落度随时间变化差别不大, 温度越高坍落度越小, 例如在 60 min 时, 20 °C 和 30 °C 混凝土坍落度分别为 190、185 mm。在相同湿度 RH60% 下, 温度越高混凝土水化反应越快, 水分蒸发越快, 相同时间内坍落度就会越小。

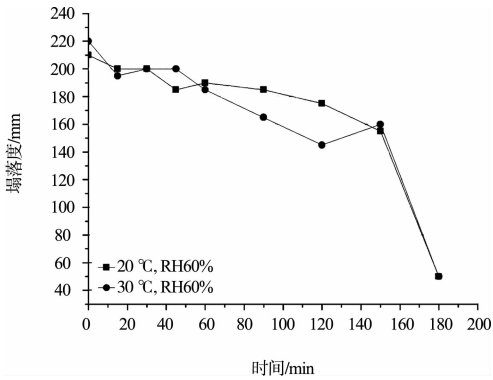


图2 坍落度与时间的关系

1.2 温湿度对 C40、C50 混凝土坍落度的影响

C40 混凝土在同一相对湿度 RH40%、不同温度条件下坍落度随时间的增加不断减少，并且在 150 min 之后坍落度大幅度减少，例如自成型开始到 150 min 内，坍落度大概损失 70~80 mm，但是 150~180 min 内，坍落度就已经减少约 80 mm；在相对湿度相同温度不同时，混凝土坍落度随温度升高而减少，但是不同温度之间的坍落度差别并不大，例如在 60 min 时，20、30、40 °C 混凝土的坍落度分别为 190、180、170 mm。因为在相同湿度条件下，混凝土温度越高水化反应越快，水分蒸发快，在相同时间内温度高的混凝土坍落度就会越小。

C40 混凝土在同一相对湿度 RH60%、不同温度(20、30、40 °C)条件下坍落度随时间增加不断减少，在 150 min 之前变化不大，150 min 之后坍落度大幅度减少，例如在 0~150 min 坍落度仅仅减少约 80 mm，而在 150~180 min 坍落度就减少了 100 mm；大体上看出，混凝土温度越高坍落度越小，例如在 60 min 时，20、30、40 °C 混凝土坍落度分别为 190、175、170 mm。在相同湿度下，温度越高混凝土水化反应越快，水分蒸发越快，相同时间内坍落度就会越小。

在同一温度(30 °C)不同湿度(RH20%、RH40%、RH60%)的试验条件下，C50 混凝土坍落度随时间增加不断减少，并且在 90 min 后坍落度大幅度减少，例如 90~120 min 内坍落度减少了

80 mm；相同温度下，混凝土坍落度随相对湿度增加而增大，例如在 90 min 时，在相对湿度 RH20% 和 RH40% 条件下的坍落度分别为 115、140 mm。因为在相同温度下，相对湿度越低，混凝土中的水分蒸发散失得越快，坍落度损失明显，所以坍落度较小。

1.3 混凝土坍落度变化函数关系式

本文研究了不同强度等级混凝土在不同温度湿度条件下坍落度随时间的变化规律，通过对试验数据的整理、统计和拟合处理，利用拟合方程直观表示出强度等级、温度、相对湿度和时间这 4 个作用因素对混凝土坍落度的影响规律。总结出混凝土坍落度在不同条件下的一般性变化规律，建立环境作用因素与新拌混凝土坍落度之间的函数关系，为热带沙漠沿海气候区大体积混凝土施工质量控制提供参考依据。

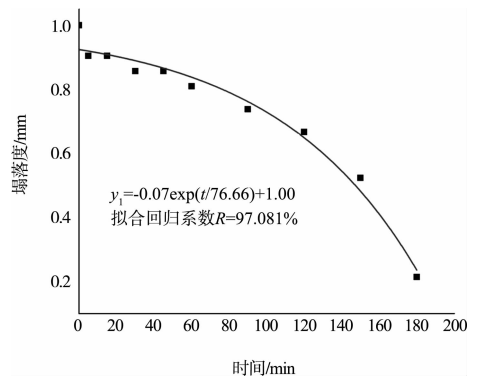


图3 坍落度比值与时间的函数关系

对 C40 强度等级混凝土在温度 30 °C 和相对湿度 RH40% 条件下的坍落度随时间变化数据进行处理，每个测试时刻的坍落度与初始坍落度的比值作为纵轴，时间作为横轴，进行作图、拟合，得到较理想的拟合方程。从图 3 中可以看出，拟合方程的相关系数达到了 97.081%，拟合方程基本形式为：

$$y_1 = -0.07e^{t/76.66} + 1.00 \quad (1)$$

式中： t 为测试时间 (min)。坍落度随时间变化的函数关系式可以表示为：

$$T = T_0 y_1 = T_0 (-0.07e^{t/76.66} + 1.00) \quad (2)$$

式中: 自变量为时间 t (min); 应变量为坍落度 T (mm); T_0 为初始坍落度 (mm)。

为了进一步对不同温度和相对湿度对混凝土坍落度的影响规律作定量研究, 对拟合方程作了修正。以温度 30 °C 条件下的试验数据作为参考, 选取不同温度条件下的坍落度数据, 进行统计处理, 得到温度对坍落度影响的影响因子, 拟合方程为

$$y_2 = -0.005K + 1.15 \quad (3)$$

式中: K 表示温度 (°C)。

同理, 以相对湿度 RH40% 条件下的试验数据作为参考, 选取不同相对湿度条件下的坍落度数据进行统计处理, 得到相对湿度对坍落度影响的影响因子, 拟合方程表示为

$$y_3 = 0.1R + 0.96 \quad (4)$$

式中: R 表示相对湿度 (RH%)。

研究强度对坍落度的影响规律, 以 C40 强度等级条件下的坍落度试验数据作为参考, 选取不同强度等级条件下的坍落度数据, 进行统计处理, 得到强度等级对坍落度影响的影响因子, 拟合方程表示为

$$y_4 = -0.006C + 1.23 \quad (5)$$

式中: C 表示强度等级 (MPa)。

因此, 测试时间、温度、相对湿度和强度等级 4 个影响因素对混凝土坍落度的影响规律, 可以用函数关系式来进行量化表示。其表达式为:

$$T = T_0 y_1 y_2 y_3 y_4 \quad (6)$$

从函数表达式中可以看出, 测试时间对坍落度影响是最大的, 其次是相对湿度, 再次是温度, 影响最小的是强度等级。

利用式(6)函数表达式, 可以直观定量描述时间、温度、相对湿度和强度等级对混凝土坍落度的影响规律, 并且可以方便计算出不同试验条件下的混凝土坍落度数值, 节省了大量试验时间, 提高了工作效率。

2 混凝土温度应力试验

对于热带沙漠沿海气候环境下的大体积混凝土

施工, 在混凝土自塑形状态向弹塑性转化过程中, 由于温度变化形成的内应力产生的应力积累、微裂缝延伸和扩展, 很有可能导致混凝土的宏观开裂, 因此有必要开展混凝土温度-应力性能方面的研究。目前评价大体积混凝土在温度场和强约束边界条件共同作用下的混凝土的抗裂性最为有效的研究方法是温度-应力试验方法。本文采用 HYPY 型温度应力试验机研究混凝土温度应力与时间变化关系, 图 4 为 C30 混凝土温度与应力随时间变化的曲线。

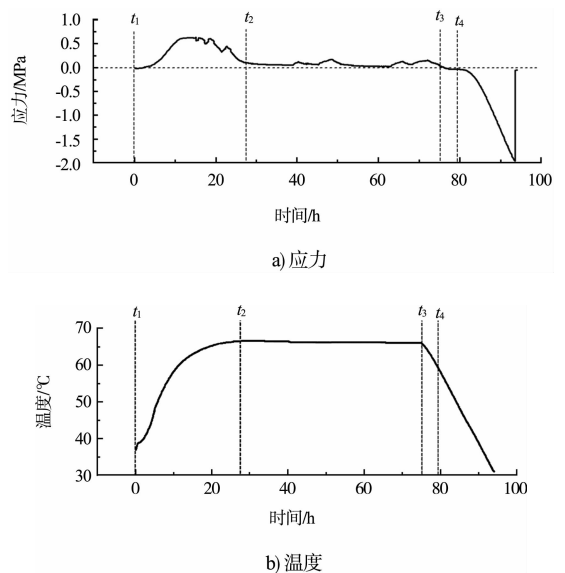


图 4 温度应力与时间的关系

从图 4 可以看出, 试验整个过程的温度与应力随时间的变化: t_1 时刻为试验开始, 混凝土制备并浇注入模, 混凝土开始水化反应产生发热, 试件温度开始上升, 在此过程中混凝土由黏塑性到黏弹性发展, 弹性模量开始增加, 由于黏塑性阶段混凝土的线膨胀系数较大, 水化发热引起体积膨胀, 并在约束条件下开始产生压应力; 在恒温的 $t_2 \sim t_3$ 时间段, 压应力不断减小, 此时的形变为徐变与弹性形变的综合效果; t_3 时刻开始降温, 此时弹性形变减小, 压应力在 t_4 时刻达到第二零应力温度, 并开始随着降温产生拉应力, 此后拉应力随温度减小成线性增加, 直至试件断裂。

图 5 为入模温度为 20 °C 和 40 °C 下 C40 混凝土温度及应力发展情况, 可以看出入模温度对混

凝土温度及应力试验产生较为明显的影响，较高的入模温度可以使混凝土的水化反应较快地进行，在图中表现为温升曲线较陡，温峰到来时间较早；入模温度较低的试件在试验开始之前由于受到模板介质的持续降温作用，混凝土的水化反应受到了影响，表现为升温较慢，温峰到来时间较晚。例如入模温度为 20 ℃ 时，约 50 h 才到达温峰 52 ℃，入模温度为 40 ℃ 时，20 h 即到达温峰 65 ℃。入模温度为 40 ℃ 的混凝土的断裂温度约为 30 ℃，断裂温差为 35 ℃，断裂应力约为 2 MPa；而入模温度为 20 ℃ 的混凝土的断裂温度约为 10 ℃，断裂温差为 42 ℃，断裂应力约为 2.2 MPa，由此可见，降低混凝土的入模温度可以有效降低断裂温度，并且断裂温差比较大，混凝土断裂的可能性较

小。不同入模温度的混凝土温度应力试验的重要性能参数见表 2。

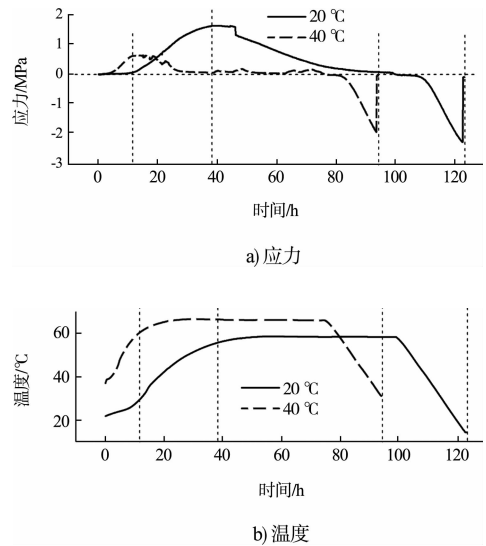


图 5 不同入模温度混凝土温度应力发展情况

表 2 不同入模温度对各项性能参数的影响

入模温度/℃	最大压应力/MPa	温峰出现时间/h	最高温度/℃	温升值/℃	开裂应力/MPa	开裂温度/℃	断裂温差/℃
20	1.5	50	52	32	2.2	10	42
40	0.7	20	65	25	2.0	30	35

3 结论

1) 同一强度等级的混凝土，在温度相同、相对湿度不同的试验条件下，混凝土坍落度随相对湿度增加而增大，但是不同相对湿度条件下的坍落度差别不明显，在相对湿度相同、温度不同的试验条件下，混凝土坍落度随温度升高而减少；不同强度等级的混凝土在同一试验条件下，其坍落度随时间变化不一样，主要因为不同强度等级混凝土胶凝材料含量不同。

2) 对混凝土坍落度试验数据进行处理，得到拟合方程，量化了 4 个影响因素对混凝土坍落度的影响，具有一定的实际应用价值。

3) 入模温度对混凝土温度应力试验影响很大。降低混凝土的入模温度，可以有效降低混凝土断裂温度、增大断裂温差值，使得混凝土断裂

的可能性较小。

参考文献:

- [1] Zhang G X, Song J X, Yang J S, et al. Performance of mortar and concrete made with a fine aggregate of desert sand[J]. Building and Environment, 2006, 41(11): 1 478-1 481.
- [2] 杨维武, 陈云龙, 刘海峰, 等. 沙漠砂高强混凝土力学性能研究[J]. 混凝土, 2014(11): 100-102.
- [3] 陈晓刚, 邹文裕, 陈建军, 等. 非洲沙漠特细砂配制高强泵送混凝土的研究[J]. 混凝土与水泥制品, 2013(5): 24-26.
- [4] 王娜, 李斌. 撒哈拉沙漠砂高强度混凝土配合比设计及研究[J]. 混凝土, 2014(1): 139-142.
- [5] 李士伟, 李超, 王迎飞. 基于温度应力试验机的混凝土控裂技术研究现状[J]. 水运工程, 2010(10): 35-39.

(本文编辑 武亚庆)