

某地铁车站项目大体积混凝土冷却管降温现场试验研究

张旭¹ 熊逸丰² 胡军勇¹ 石红兵³ 槐燕红⁴

1.中国建筑第二工程局有限公司 北京 101100; 2.广州城市理工学院 广东广州 510800;
3.中建南方投资有限公司 广东深圳 518100; 4.深圳市南山区建筑工务署 广东深圳 518000

摘要: 大体积混凝土养护过程中采用冷却管降温是常用的温控措施, 为了探究冷却管降温对大体积混凝土温控效果的影响程度, 在深圳地铁海上田园东站项目中, 单位进行了现场对比试验。试验研究表明: 设置冷却管降温能有效改善大体积混凝土温控效果; 环境温度急剧下降会影响大体积混凝土降温速率, 建议根据环境温度及温控数据进行动态养护。

关键词: 大体积混凝土; 裂缝; 冷却管; 现场试验

Field experimental study on cooling pipe method of mass concrete in a subway station project

Xu Zhang¹, Yifeng Xiong², Junyong Hu¹, Hongbing Shi³, Yanhong Huai⁴

1.China Construction Second Engineering Bureau Co. Ltd, Beijing 101100;

2.Guangzhou City University of Technology, Guangzhou, Guangdong, 510010;

3.CSCEC Southern Investment Co. Ltd, Shenzhen, Guangdong, 518100;

4.Shenzhen Nanshan District Construction and Public Works Bureau, Shenzhen, Guangdong, 518000

Abstract: In the curing process of mass concrete, cooling pipe is a common temperature control measure. In order to explore the influence of cooling pipe on the temperature control effect of mass concrete, the construction company conducted a field comparative experiment in a subway project in Shenzhen. The experimental results show that the cooling pipe can effectively improve the temperature control effect of mass concrete. A sharp drop in ambient temperature will affect the cooling rate of mass concrete. It is recommended to carry out dynamic curing according to ambient temperature and temperature control data.

Keywords: mass concrete; crack; cooling pipe; field experiment

大体积混凝土施工的重点及难点是对裂缝的控制, 据统计, 混凝土总开裂情况中 80%以上源于材料非荷载变形^[1]。大体积混凝土体量大, 相对散热面积小, 浇筑初期水化热导致结构内部温度呈指数形式升高, 造成混凝土里表形成高温差^[2]。里表温差导致混凝土产生温度应力, 应力分布为内部受压, 外部受拉。当外部应力超过混凝土抗拉强度时, 混凝土即开裂。在外设保温措施的常规操作下, 内部增设冷却管, 降低大体积混凝土内温度, 可以有效改善大体积混凝土里表温差、降温速度等温控指标。由于冷却管施工方便, 成本低廉, 温控效果好, 是大体积混凝土养护常用的施工措施。

大量学者对冷水管降温进行了现场温控试验研究^[2-4]及有限元研究^[5-9]。目前现场试验研究较多集中在对实际采取的冷却管降温措施的验证性研究, 在本项目中, 施工单位进行了冷却管降温的对比性研究, 定量的分析冷却管降温对温控效果的影响。

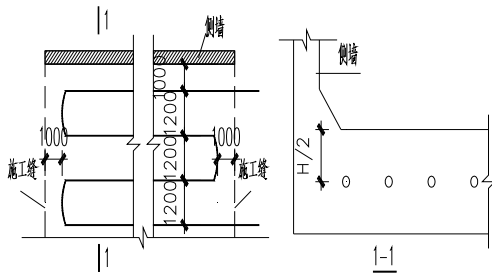


图1 冷却管布置示意图
Fig.1 Cooling pipe layout

1 工程概况

本项目为深圳地铁海上田园东站, 地下二层有效站台长度

140m, 站台宽 13m, 标准段为单柱双跨框架结构。标准段结构外皮宽 22.3m, 顶、底板结构厚分别为 0.9m、1.0m, 侧墙、中隔墙厚度分别为 0.7m, 主体结构混凝土强度设计等级为 C35。

为了对比冷却管降温对大体积混凝土温控的影响, 在地下底板第 19 段(试验段)中心预埋一层钢管冷却管, 规格为 $\phi 40 \times 2.5$, 布置如图 1 所示, 控制要点为混凝土浇筑后及时通水。地下底板第 18 段作为对比段, 不设置冷却管, 第 18 段、19 段保温措施均采用双层保温棉被, 养护措施如表 1 所示。

表 1 底板养护情况

Tab.1 the curing conditions of basement floor

部位	养护措施	侧墙尺寸(长×宽×厚)
第 18 段	双层保温棉被	12×22.15×1.0
第 19 段	双层保温棉被+冷水管	12×22.15×1.0

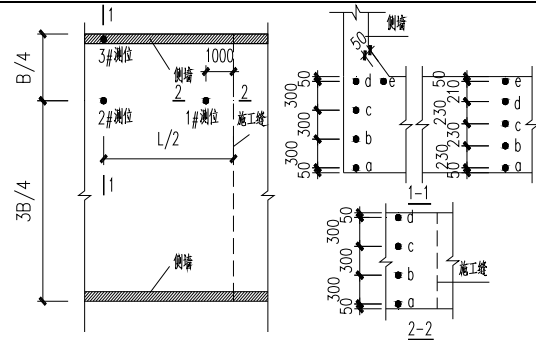


图 2 测温点布置图

Fig.2 Layout of temperature measuring points



图3 试验现场图

Fig.3 The photo of test site

2 试验过程

在第18段、19段底板上布置温度测点，测点布置图如图2所示。混凝土养护过程中采用HC-TW80无线测温仪测量各个测点温度，该测温仪可自动完成测温和数据采集，其测温范围为-30~150℃，测量精度为±0.3℃，测温时间间隔为0.5小时。测温元件的埋设和保护需在混凝土浇筑前完成，试验现场如图3所示。

3 试验结果及对比分析

3.1 试验结果

第18段试验结果如表2、表3所示。从表2中可以看到，1#、2#和3#测位点最高温峰分别为65.4℃、60.6℃和58.9℃，均过高。分析原因是现场入模温度高（平均入模温度达到27.5℃）和水化热

升温作用；1#、2#、3#测位点最大实测里表温差分别为16.6℃、20.6℃和8.3℃，均小于25℃，满足标准^[10]要求。

从表3可以看到，1#、2#和3#测位点的初始降温速率分别为12.3℃/d、11.8℃/d和10.2℃/d，均远超过标准^[10]限值2℃/d。而后的日降温速率虽有降低，但仍超过限值要求，说明只采取大体积混凝土外表保温措施难以满足规范^[10]要求，需进一步采取降低日降温速率的有效措施。

第19段试验结果如表4、表5所示。从表4中可以看到，1#、2#和3#测位点最高温峰分别为59.1℃、64.0℃和60.2℃，均过高。分析原因是现场入模温度高（平均入模温度达到28.3℃）和水化热升温作用；1#、2#和3#测位点最大实测里表温差分别为16.7℃、18.0℃和10.7℃，均小于25℃，满足标准^[10]要求。

表2 第18段升温阶段温度监测结果

测位号	最高温峰℃	最大里表温差℃	最大表环温差℃
1	65.4	16.6	38.7
2	60.6	20.6	29.9
3	58.9	8.3	32.0

表3 第18段底板降温阶段温度监测结果

Tab.3 Temperature monitoring results at cooling stage in section 18

降温阶段历时	1号测位			2号测位			3号测位		
	表层温度	环境温度	降温速度	表层温度	环境温度	降温速度	表层温度	环境温度	降温速度
	℃	℃	℃/d	℃	℃	℃/d	℃	℃	℃/d
第1天	57.3	24.1	/	50.0	24.4	/	58.0	27.3	/
第2天	45.0	23.4	12.3	38.2	23.2	11.8	47.8	25.0	10.2
第3天	37.5	24.0	7.5	33.1	23.1	5.1	44.3	25.2	3.5
第4天	33.6	27.3	3.9	33.8	26.3	-0.7	40.1	26.7	4.2
第5天	31.0	25.2	2.6	34.1	27.5	-0.3	35.9	27.2	4.2
第6天	29.6	28.8	1.4	30.9	27.4	3.2	31.9	25.0	4.0
第7天	28.8	27.9	0.8	30.1	26.8	0.8	29.9	24.8	2.0

从表5可以看到：(1)1#测位点初始的日降温速率为1.6℃/d，第3天上升至4.5℃/d，第4天下降为1.3℃/d，符合限值2℃/d。之后降温速度上升到最大值5.1℃/d。(2)2#测位点初始的日降温速率为2.1℃/d，略高于限值2℃/d要求，第3天下降为1.1℃/d，符合限值2℃/d，第4天、第5天降温速度连续上升到最大值4.9℃/d。

(3)3#测位点初始的日降温速率为5.3℃/d，第3天下降为3.2℃/d，第4天、第5天降温速度连续上升到最大值5.8℃/d。

依据大量的研究结果，在环境温度不变的情况下降温速度随着混凝土水化的进行而降低，1#、2#测点出现早期降温速度慢而后降温速度快的情况，可能是测点较大变化。

表4 第19段升温阶段温度监测结果

Tab.4 Temperature monitoring results of heating stage in section 19

测位号	最高温峰℃	最大里表温差℃	最大表环温差℃
1	59.1	16.7	16.3
2	64.0	18.0	22.3
3	60.2	10.7	24.8

表5 第19段升温阶段温度监测结果

Tab.5 Temperature monitoring results at cooling stage in section 19

降温阶段历时	1号测位			2号测位			3号测位		
	表层温度 ℃	环境温度 ℃	降温速度 ℃/d	表层温度 ℃	环境温度 ℃	降温速度 ℃/d	表层温度 ℃	环境温度 ℃	降温速度 ℃/d
第1天	42.8	26.9	/	47.4	29.3	/	50.9	30.2	/
第2天	41.2	27.6	1.6	45.3	31.5	2.1	45.6	30.1	5.3
第3天	36.7	28.3	4.5	44.2	29.9	1.1	42.4	30.4	3.2
第4天	35.4	28.4	1.3	41.1	21.7	3.1	38.2	23.2	4.2
第5天	30.3	19.3	5.1	36.2	21.9	4.9	32.4	22.3	5.8
第6天	27.6	21.3	2.7	32.4	19.9	3.8	30.9	21.3	1.5
第7天	25.3	19.0	2.3	29.0	20.6	3.4	29.6	22.9	1.3

3.2 对比分析

第18段、19段升温阶段对比结果如表6所示。从表6中可以看到：采用冷却管降温后最大温升从37.9℃下降到35.7℃，下降了5.8%；最大表里温差从20.6℃下降到18.0，下降了12.6%；最大表环温差从38.7℃下降到24.8℃，下降了35.9%。

各个测位表面测点（1#测位d测点及2#、3#测位e测点）的降温速率如图4所示。从图4可以看到：（1）总体而言，第18段表面测点最大降温速率为12.3℃/d，第19段表面测点最大降温速率为5.8℃/d，约为18段的0.47倍，说明冷却管降温对降低降温速率有较大影响；（2）第18段、19段3#测位表面测点降温速率除了第二天外比较接近，分析其原因，3#表面测点位于侧墙加腋处，混凝土厚度较一般底板位置更厚，水化热更大，冷却管带走热量的影响相对较小；（3）第19段三个表面测点降温速率在第五天均出现峰值，出现前期降温速度小、后期降温速率大的现象，这可能是因为环境温度急剧下降改变导致的，建议根据环境温度及温控指标采用动态养护技术^{[11]、[12]}。

表6 温控指标表

Tab.6 Table of temperature control index

位置	最大温升℃	最大里表温差℃	最大表环温差℃
第18段	37.9	20.6	38.7
第19段	35.7	18.0	24.8

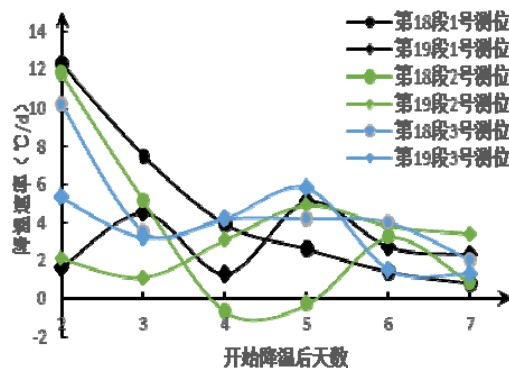


图4 各测位降温速率图

Fig.4 Cooling rate of each measuring position

4 结论

施工单位在深圳地铁海上田园东站进行了有无冷却管降温的现场温控试验，得出以下结论：（1）在底板中部设置一层冷却管通水降温后，最大温升下降了5.8%、最大表里温差下降了12.6%、最大表环温差下降了35.9%、表面测点最大降温速率下降了53%，说明冷却管降温对大体积混凝土温控效果明显；（2）环境温度急剧降低会导致大体积混凝土降温速率急剧增大，建议根据环境温度及温控数据进行动态养护。

参考文献

[1]王铁梦.工程结构裂缝控制的综合方法_王铁梦[J].施工技术, 2000, (5): 5-9.
 [2]魏炜.特大桥高塔承台大体积混凝土施工冷却管降温与应用_魏炜[J].黑龙江交通科技, 2020, 43 (6): 155-156.
 [3]樊胜军, 史泽运, 刘振江.某振动台动力基础大体积混凝土施工温度控制技术_樊胜军[J].施工技术, 2011, 40 (17): 64-66, 70.
 [4]武科, 鄢长, 王冬冬, 等.海控国际广场基础底板大体积混凝土施工技术_武科[J].施工技术, 2011, 40 (24): 17-20.
 [5]宋福春, 刘策.考虑管冷的大体积混凝土水化热分析_宋福春[J].沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2015, 31 (1): 95-101.
 [6]张彬, 宋帅, 钱由胜, 等.桥梁基础大体积混凝土施工温控研究_张彬[J].辽宁工程技术大学学报(自然科学版), 2017, 36 (6): 614-618.
 [7]李晓东.大体积混凝土承台水化热分析及温控措施研究_李晓东[J].广东水利电力职业技术学院学报, 2021, 19 (4): 5-9.
 [8]王修山, 侯宁.水管冷却对大体积混凝土温度应力的影响研究_王修山[J].混凝土与水泥制品, 2019, (8): 15-18.
 [9]张丹丹, 杨泽华.空间立体冷却网对桥梁基础大体积混凝土温控效果研究_张丹丹[J].公路工程, 2017, 42 (3): 282-285.
 [10]大体积混凝土施工标准:(GB 50496-2018)[S].北京:中国建筑工业出版社, 2018.
 [11]王潘绣, 宣卫红, 王瑶, 等.大体积混凝土基础动态养护控制因素分析_王潘绣[J].建筑结构, 2021, 51 (20): 124-130.
 [12]李松辉, 张国新, 刘毅, 张龔.大体积混凝土防裂智能监控技术及工程应用[J].中国水利水电科学研究院学报, 2018, 16(01): 9-15.
 DOI: 10.13244/j.cnki.jiwhr.2018.01.002.
 通讯作者: 熊逸丰, 讲师。