

# 热带海洋地区 C50 大体积混凝土施工技术

祝云<sup>1</sup>, 温超凯<sup>1</sup>, 刘晓钰<sup>2</sup>, 陈景<sup>1</sup>, 赵正源<sup>2</sup>

(1.中建西部建设西南有限公司, 四川 成都 610052; 2.中建西部建设印尼有限公司)

**摘要:** 以印度尼西亚当地工程为例, 结合当地原材料特点和热带海洋气候环境下 Meikarta 项目大体积底板混凝土施工技术难点, 从施工准备和大体积底板浇筑两个方面, 阐述在热带海洋气候环境下如何保证大体积混凝土的施工质量, 为热带海洋气候环境下大体积混凝土的施工技术提供有益借鉴。

**关键词:** 热带海洋地区; 大体积混凝土; 施工技术; 质量控制

## 1 工程背景

### 1.1 工程概况

美加达项目位于印尼爪哇岛西部 Bekasi, 距离雅加达约 40 km, 坐落于 Lippo Cikarang、Delta Mas 以及 Jababeka 工业区的中心。由中国建筑第四工程局承建, 是世界一流综合工程 Orange County(橘子郡), 也称 Meikarta。工程占地 322 万 m<sup>2</sup>, 总建筑面积超过 8 000 万 m<sup>2</sup>。总工期分为 3 期, 一期工程 700 多万 m<sup>2</sup>, 由 236 栋(45 层, 800 m<sup>2</sup>/层)高层建筑组成。

项目建筑采用水下桩和大体积筏板相结合的设计施工方式。大体积筏板数量巨大, 为工程的建设带来巨大挑战, 首期暂定混凝土用量约 450 万 m<sup>3</sup>。

### 1.2 技术难点

结合印度尼西亚当地地理环境特点和原材料特点, 该项目大体积筏板混凝土施工主要存在以下技术难点:

(1) 项目筏板施工一次性浇筑, 体量大(单块筏板

约 5 000 m<sup>3</sup>), 当地水泥铝酸三钙含量高, 水泥水化放热较中国水泥快, 早期水化热控制难度加大, 易造成混凝土温度裂缝的产生。

(2) 当地气温高、阳光直射强、施工面空旷风大, 气候环境不利于大体积混凝土的施工质量控制, 容易导致收缩裂缝的发生。

因此, 混凝土水化温升控制、表面收缩裂缝控制是重点、难点, 混凝土配合比中的水化反应放热控制是关键, 施工过程中的浇筑振捣、收光、覆盖、养护是控制裂缝产生的关键。

## 2 施工准备

### 2.1 施工部署

#### 2.1.1 成立工作小组

为确保项目混凝土供应顺利进行, 专门成立混凝土生产实施小组, 全面负责筏板混凝土施工组织, 工作小组主要职责为:

(1) 协调站内生产任务, 合理调配供应期间其余

[4] 任辉明, 曾新迪, 师高鹏, 等. 水泥改良风积沙无侧限抗压强度试验研究[J]. 兰州交通大学学报, 2017(4).

[5] 高建喜, 何杰, 王忍, 小龄期夯实水泥土无侧限抗压强度试验研究[J]. 土工基础, 2017(6).

[6] 阮锦楼, 阮波, 阳军生, 等. 粉质粘土水泥土无侧限抗压强度试验研究[J]. 铁道科学与工程学报, 2009(3).

[7] 张莹莹, 程志豪, 周沛延, 等. 电石渣改良土的无侧限抗压强度预测方法[J]. 中外公路, 2017(3).

[8] 徐晓东, 王林浩, 刘剑平, 等. 偏高岭土对水泥土强度影响的试验研究[J]. 中外公路, 2017(1).

[9] 夏永杰, 王丽艳, 刘瀚森. 掺废弃钢渣的水泥土强度特性试验研究[J]. 中外公路, 2016(5).

[10] ZHANG R J, SANTOSO A M, TAN T S, et al. Strength of High Water — Content Marine Clay Stabilized by Low Amount of Cement[J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2013, 139(12).

施工点生产任务,优先保供筏板混凝土供应。

(2) 统一协调设备和调配设备,确保施工顺利进行。

(3) 协调物资供应商,确保材料品种、规格统一,确保储备量满足筏板需要。

(4) 统一指挥混凝土生产组织和质量控制,对施工方进行技术交底,明确混凝土浇筑、振捣、养护技术要点和要求,要求项目准备充足的保温和保湿材料。

(5) 根据印尼混凝土用原材料特点,优选满足混凝土性能要求的缓释型聚羧酸减水剂,控制水泥水化速率。

### 2.1.2 机械设备准备

(1) 车辆准备(表 1)

表 1 不同泵送设备浇筑效率及车辆需求

| 泵  | 数量/台 | 浇筑量/( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ) | 罐车数量/量 |
|----|------|--|--------|
| 地泵 | 3    | 120                                      | 12~15  |
| 天泵 | 2    | 90                                       | 9~11   |

现场泵送设备每小时最大泵送量约  $210 \text{ m}^3$ ,根据当地交通情况,单车耗时  $50 \sim 70 \text{ min}$ ,单车每小时运输量  $8.5 \sim 10.5 \text{ m}^3$ ,泵送高峰期现场配置 25 辆车可满足现场施工对混凝土的需求。

(2) 生产设备维护

搅拌站现有生产线 3 条,最大产量达到  $360 \text{ m}^3/\text{h}$ ,设备均为新设备,生产线设备运转正常。为保障筏板混凝土的有序供应,安排站内维修保养工人对生产设备进行全面、彻底的检查、维护和保养。备用易损配件充足,生产线专人  $24 \text{ h}$  盯守,故障解决问题时间控制在  $30 \text{ min}$  内。

(3) 发电及备用设备

为保障意外断电对生产造成的影响,站内自备柴油发电机,保证不间断生产。生产前由专业维修人员对发电机进行全面、彻底的检查、维护和保养。确保发电机可正常运转。

现场放置 1 台天泵、1 台地泵备用,一旦泵送设备故障,且  $30 \text{ min}$  内无法恢复,立即进行更换。

## 2.2 原材料与配合比设计

### 2.2.1 原材料性能

为保证筏板的顺利施工和保证筏板混凝土的质量,结合印尼当地原材料特点,选择质优和可保供的材料进行大体积混凝土施工。

(1) 水泥:选用海螺 OPC,标准稠度需水量  $28.4\%$ ,比表面积  $390 \text{ m}^2/\text{kg}$ ,初凝时间  $164 \text{ min}$ ,终凝

时间  $228 \text{ min}$ ,28 d 抗压强度  $55.3 \text{ MPa}$ ,安定性合格。

(2) 粉煤灰:采用 Suralaya 电厂 II 级 C 类粉煤灰,细度  $18.6\%$ ,需水比  $96\%$ ,烧失量  $2.4\%$ 。

(3) 矿粉:采用 Jakarta 水泥厂 S95 级矿粉,流动度比  $105\%$ ,活性  $104\%$ ,烧失量  $-0.2\%$ 。

(4) 砂:采用 Kalimantan 河砂,质地均匀坚固、细度适中、非活性的中粗河砂。细度模数  $2.6 \sim 2.9$ ,含泥量  $0.9\%$ ,表观密度  $2\,680 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。

(5) 碎石:选用 Rumbin  $5 \sim 31.5 \text{ mm}$  碎石,含泥量  $0.4\%$ ,压碎值  $10\%$ ,针片状含量  $7\%$ 。

(6) 减水剂:采用 AUK 缓凝型高性能减水剂,减水率  $25\%$ 。

(7) 水:当地自来水,氯离子含量  $42.54 \text{ mg}/\text{L}$ ,碱含量  $627.6 \text{ mg}/\text{L}$ ,硫酸根含量  $5.44 \text{ mg}/\text{L}$ 。

### 2.2.2 配合比设计

该工程项目筏板采用 C50 大体积混凝土,为确保混凝土质量和施工,按照控制混凝土放热量和延缓混凝土放热速率的思路进行混凝土研发,混凝土采用较低单方水泥用量、大掺量使用粉煤灰和矿粉等矿物掺合料、采用缓凝型聚羧酸高效减水剂的设计思路,对大体积混凝土进行了试配研究。

结合当地水泥水化放热快、气温高、日照强、风速大等环境和原材料特点,通过正交试验,对比研究工作性能和抗压强度,在满足工作性能和强度的基础上,对混凝土配合比进行干燥收缩试验、水化温升试验、抗渗性能试验和平板抗裂试验等相关耐久性试验,经过大量试验和相关耐久性测试,最终确定 C50 大体积混凝土配比( $\text{kg}/\text{m}^3$ )为:水泥:粉煤灰:矿粉:河砂:碎石:水:减水剂 =  $240:110:80:740:1\,020:155:7.6$ 。

### 2.3 浇筑设备布置

工程单个筏板混凝土用量约为  $5\,000 \text{ m}^3$ ,筏板平均厚度约  $2.2 \text{ m}$ ,局部厚度达到  $3.4 \text{ m}$ 。计划采用 2 台天泵、3 台地泵同时进行浇筑(图 1),每台天泵最大浇

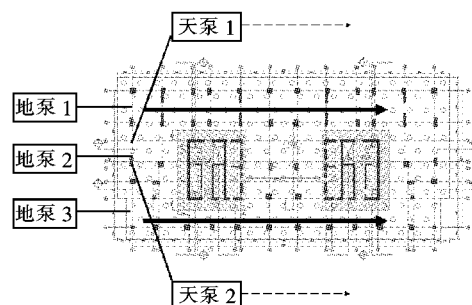


图 1 浇筑设备平面布置图

筑方量约为  $45 \text{ m}^3/\text{h}$ , 每台地泵最大浇筑方量约为  $40 \text{ m}^3/\text{h}$ , 5 台泵同时浇筑, 最大浇筑方量可达  $210 \text{ m}^3/\text{h}$ , 总浇筑时间约 36 h。

项目采用连续分层浇筑施工方法。为避免形成施工冷缝, 混凝土布料按带状划分每台混凝土泵车施工区域, 分层布料时, 每处混凝土前后两次布料间隔时间小于 4 h。

### 3 大体积混凝土浇筑

#### 3.1 混凝土浇筑

##### 3.1.1 混凝土浇筑方式

项目筏板混凝土浇筑采用斜向推进、分层浇筑的方法, 每层浇筑厚度 500 mm 左右, 由最前向后推移式进行。

##### 3.1.2 混凝土振捣

为保证混凝土振捣充分和混凝土的充分散热, 该工程每层浇筑厚度控制在 500 mm, 因筏板局部厚度达到 2.4 m, 普通混凝土高抛抗离析性能差, 项目施工通过采用串筒运输混凝土的施工方式, 防止高抛造成混凝土的离析或分层。

浇筑方法采用“斜向分层, 薄层浇筑, 循序退浇, 一次到底”连续施工的方法。为保证混凝土充分散热, 每层浇筑厚度控制在 500 mm, 在每层混凝土初凝前浇筑一层新拌混凝土, 且新拌混凝土沿斜坡流一次到顶, 保证混凝土质量。

混凝土在分层浇筑时, 由于每层混凝土厚度 500 mm, 则混凝土振动棒长度不得小于 400 mm, 且在振动新浇筑混凝土层时, 振动棒应贯穿新浇筑混凝土层至下一层混凝土中, 以消除两层混凝土浇筑的时间差造成的接缝, 振捣应在初凝前。

##### 3.1.3 混凝土收光

混凝土浇筑后, 在振捣棒的作用下, 表面有水泥浆出现, 应立即进行抹面, 以提高混凝土表面的密实度, 减少因水分快速散失而造成的塑性收缩裂缝。混凝土表面收光及时, 可以减少水分的散失, 促进水泥水化, 从而提高混凝土性能。

为防止暴晒、风吹水分蒸发导致表面开裂, 在混凝土初凝之前及时进行薄膜覆盖, 终凝之后再覆盖毛毡。薄膜、毛毡搭接要严实。

#### 3.2 混凝土养护及测温

##### 3.2.1 混凝土养护

结合当地气温高、日照强、施工面风大等特点, 混

凝土浇筑完成后及时覆盖保温材料, 根据温度传感器数据, 及时掌握内外部温度和温度差。根据温度发展趋势和温差发展趋势, 及时调整保温养护层的厚度, 调整表面温度。

##### 3.2.2 混凝土测温

根据工程平面形状, 底板厚度尺寸布点, 在中心点、角点等代表性部位布点, 按施工方案确定的布点平面位置进行布点, 按照布点要求和位置将温度传感器固定(图 2)。共设置 11 个传感器, 其中 1 个监测外界温度, 10 个监测筏板内部温度。根据传感器数据对混凝土温度动态监控, 当温度梯度接近  $25^\circ\text{C}$  时, 及时采取措施, 降低温度梯度。

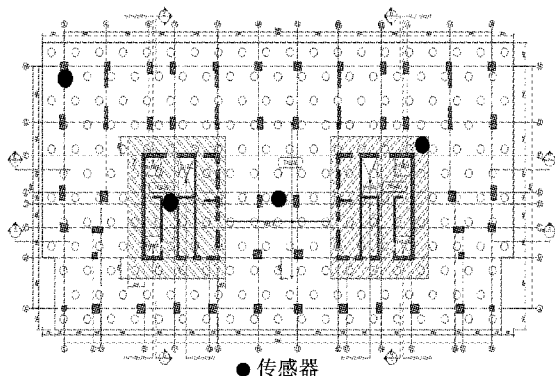


图 2 测温点布置平面

#### 3.3 混凝土裂缝预防

由于项目筏板施工位置空旷、风速较大、且日间阳光强烈、气温高、水分易蒸发、混凝土在温度和水分散失的综合影响下易产生裂缝。针对以上几点, 采取以下措施:

(1) 对现场施工人员、泵工、司机、站内辅助生产工人、试验检测工人、现场技术人员、站内技术人员进行技能培训和交底, 中方人员加强现场监督。

(2) 根据印尼特殊的环境特点, 预备足够的保温材料和养护材料, 准备薄膜覆盖和保温。

大体积混凝土施工, 项目现场需准备充足的保温和养护材料, 避免温度骤变产生裂缝。

(3) 根据测温点布置, 对已浇筑的部分进行表面和内部温度监控, 根据温差做好保温工作。

(4) 大体积混凝土浇筑前, 站内同施工方共同明确浇筑方向、泵机和甬管布置、浇筑方法、浇筑注意事项等。

(5) 施工过程中, 随施工面向前推进, 严格做好混凝土及时收光、及时覆盖养护工作, 持续养护时间不少于 14 d。

4 混凝土质量控制及应急措施

4.1 混凝土质量控制

4.1.1 混凝土出厂检验及控制标准

技术人员联合生产人员和维修工人确保计量准确无误。对站内砂、石含水率以及砂含石进行检测,对环境温度、原材料温度、水温进行检测,做好相关试验检测记录。混凝土浇筑前,站内开交底会,并对混凝土质量控制所有相关人员进行书面技术交底,确保参与人员提前准备。

混凝土生产时进行取样,检测混凝土的工作性能,包含混凝土温度、坍落度和扩展度,并留样测量经时损失,根据检测结果对生产配合比进行动态调整。

4.1.2 现场混凝土验收标准

站内根据原材料情况和施工情况合理调整混凝土关键指标,控制混凝土坍落度在 $(180\pm 20)$  mm,确保现场混凝土状态满足施工要求,不出现坍落度过大或过小的混凝土,保证泵送的正常进行。

4.1.3 不合格品处理

当现场出现混凝土质量原因导致可能会影响到正常浇注时,现场技术人员需及时采取措施,确保施工顺畅。现场质量控制人员第一时间将信息反馈给站内技术员,站内根据反馈信息对混凝土进行取样观察、调整。对于现场坍落度过大,及时退回站内进行调整,时间不超过 2 h 的可以发往原工地,出站前需检测坍落度和扩展度,站内必须进行取样并留置试样。对于现场坍落度过小,可以加适量的外加剂进行调整,但严格禁止加入生水,经过调整后仍旧不合格的混凝土应作废处理。

4.2 应急措施

4.2.1 现场浇筑停顿应急流程

现场浇筑停顿→检查、排查原因(堵管、爆管、浇筑设备故障、天气、施工原因)→车泵,现场检修→浇筑恢复→继续泵送。

4.2.2 现场混凝土质量异常应急措施

开始泵送时,派 1 名中方技术人员和 4 名印尼技术人员留守现场,确保混凝土质量。泵送过程中,混凝土出现质量异常情况时,由中方技术人员进行确认,并

按照表 2 进行处理。

表 2 混凝土质量异常处置方法

| 异常状态              | 处理方式  |
|-------------------|---|
| 分层离析              | 退回预拌厂   |
| 120 mm≤坍落度≤140 mm | 现场由中方技术人员负责对混凝土进行调整,调整采用减水剂,不得加水,调整后检测坍落度合格后方可浇筑,否则退回站内 |
| 坍落度≤120 mm        | 退回预拌厂   |

施工现场配备减水剂,以便现场处理混凝土质量异常情况。当混凝土工作性能无法满足施工要求时,严禁往装有混凝土的罐车中加生水,应及时联系驻现场技术人员处理。

5 结语

该筏板为 Meikarta 项目第一块 C50 大体积筏板,跟踪监测过程中未出现裂缝,混凝土施工效果良好。

此次筏板施工克服了当地水泥水化放热快、气温高、日照强、施工面风大等不利的环境因素和原材料特点,通过优选混凝土配合比,特殊外加剂,分层浇筑,加强振捣,及时覆盖薄膜和毛毡进行养护,实时监控温度和及时进行温度控制措施,保证了大体积筏板混凝土质量,为后期大批量筏板混凝土浇筑提供经验。

参考文献:

[1] 代广伟,郭新庆.超厚底板大体积混凝土施工技术[J].施工技术,2015(11).  
[2] 王秀红,胡麇.央视新址项目大体积混凝土施工策划及其实施[J].四川建筑科学研究,2012(4).  
[3] 刘玉亮,唐玉超,罗作球,等.天津高银 117 大厦超大体积筏板混凝土浇筑施工组织创新及关键技术[J].施工技术,2014(18).  
[4] 刘波,赵飞,罗轩忠,等.武汉绿地中心工程超厚底板大体积混凝土施工技术[J].施工技术,2015(4).  
[5] 叶雯,杨永民.大体积混凝土施工温度监测及其温度应力分析[J].混凝土,2008(9).  
[6] 张明雷,李进辉,刘可心.大体积混凝土现场温控措施比较分析[J].施工技术,2013(s1).