

# 大型振动台基础大体积 混凝土防止裂缝产生的质量控制措施

徐 捷

(陕西建工集团第十一建筑工程有限公司, 陕西 咸阳 712000)

**摘 要:**介绍和论述了西安建筑科技大学新校区结构实验室大型模拟振动台基础大体积混凝土施工技术,为了有效控制大体积混凝土施工时出现温度变形和开裂问题,按照配合比设计采取低水化热水泥、级配良好的砂石和合理的掺合料等严格控制好原材料的使用,施工时采用有效合理的混凝土浇筑施工工艺、方法和后期测温保温养护等技术质量控制措施,确保了基础工程的质量安全,未出现温度变形裂缝,实际工程应用证明,这些防止裂缝措施是非常有效的。

**关键词:**大体积混凝土;裂缝控制;保温养护

**中图分类号:**TU745.4

**文献标志码:**A

**文章编号:**1006-7930(2011)01-0131-06

## 1 工程概述

西安建筑科技大学新校区抗震试验室,位于西安建筑科技大学新校区中部.基础底面积  $19\text{ m}\times 17\text{ m}$ ,基础总厚度为  $6.0\text{ m}$ (其中底层板厚  $2.85\text{ m}$ ,上层板厚  $3.15\text{ m}$ ),混凝土强度等级 C40,混凝土用量约  $1\ 784\text{ m}^3$ ,属于大体积混凝土基础。

振动台基础属于动力基础,基础各向都承受震动荷载,特别是在 8 个加振器底板锚固区承受的动力荷载更大,如果基础的一些重要部位出现裂缝,尤其在高频小位移重载时,加振器底板锚固螺栓与基础之间因出现裂缝而连接不牢,将极大地破坏振动台基础整体的刚性,加振器无法传递振力,基础将可能报废而造成严重的质量事故.施工时遇到的普遍问题是温度裂缝,由于混凝土体积大,集聚的水化热大,在混凝土内散热不均匀以及受到内外约束的情况下,混凝土内部会产生较大的温度应力,导致产生裂缝,为基础结构埋下了严重的质量隐患.大体积混凝土裂缝有表面裂缝和贯通裂缝两种.这两种裂缝不同程度上,都属于有害裂缝.因此,为了保证大体积混凝土施工的工程质量,防止裂缝是一技术质量难点.在基础设计和施工过程中,采取严格的技术措施来防止和杜绝裂缝的出现,大体积混凝土施工中的温度监测和保温养护是控制基础裂缝产生的关键<sup>[1]</sup>.

## 2 施工工艺及方法

### 2.1 原材料

针对大体积混凝土产生裂缝的复杂因素,首先在材料选择上严格把关。

(1)水泥:采用 PO42.5 矿渣水泥.为了减少水泥用量,降低水化热并提高和易性,掺入了一定比例的外加剂和掺合料(粉煤灰、AEA-CH 膨胀剂和矿粉),其中粉煤灰用量为  $110\text{ kg}/\text{m}^3$ ,使泵送混凝土的和易性有明显的改善,同时减少了 10%左右的拌和水,节约 10%左右的水泥,推迟水化热释放的速度,放峰热也较不掺者推迟;外加剂采用 TC-FDI 多功能泵送剂.混凝土配合比见表 1。

收稿日期:2010-06-09 修改稿日期:2010-12-26

作者简介:徐 捷(1957-),男,浙江宁波人,高级工程师,主要从事建筑工程管理工作。

表 1 C40 基础混凝土配合比

Tab. 1 Concrete mix proportion for foundation with C40

| Material                     | Cement | Water | Sand | Crushed stone | Additives<br>(TC-FDI<br>Multi-fuction<br>pumping agent) | Admixture  |                              |                   |
|------------------------------|--------|-------|------|---------------|---|------------|------------------------------|-------------------|
|                              |        |       |      |               |   | Fly ash II | AEA-CH<br>expanding<br>agent | Mineral<br>powder |
| dosages/kg · m <sup>-3</sup> | 240    | 109   | 756  | 1 060         | 29  | 110        | 30                           | 80                |

(2)粗细骨料:为了便于泵送混凝土,采用 20~40 mm 左右连续级配的碎石、平均直径 0.4 mm 的中粗砂.同时为了减少混凝土的收缩,提高混凝土的强度,严格控制砂、碎石的含泥量,碎石的含泥量小于 1%,砂的含泥量小于 3%.

(3)外加剂:使用中国建筑科学研究院昆仑建筑工程材料有限公司生产的 AEA-CH 型多功能膨胀剂和 TC-FDI 多功能泵送剂.

## 2.2 浇筑工艺

根据振动台基础的实际情况,浇筑工艺<sup>[2]</sup>按施工计划,基础混凝土按两次浇筑完成.第一次浇筑标高在-3.150 m 以下部分,板厚 2.85 m,混凝土量 920.55 m<sup>3</sup>;间隔 52 d 后,对第一次浇筑的混凝土接茬部位作处理后,再浇筑标高-3.150 m 以上部分,该部分混凝土量为 863.45 m<sup>3</sup>.为了保证基础的整体性要求,对上下层混凝土浇筑接茬处做特殊处理:一是根据原设计竖向钢筋分布情况,在下层混凝土浇筑时增加布置插入竖向钢筋;二是在底层混凝土浇筑完成抹面时,在混凝土初凝前采用木抹子搓毛,一方面是处理掉底层混凝土浇筑面的粉煤灰浆,同时使接触面粗糙,确保上下层混凝土结合紧密.施工工艺确保分层浇筑、分层捣实,保证上、下层混凝土初凝前结合良好.考虑到基础的整体性要求、钢筋疏密程度、混凝土工料等情况,采用斜面分层浇筑法(见图 1).振捣从浇筑层的下端开始,逐渐上移,以保证混凝土施工质量.每层厚度控制在 0.4 m 左右,采用混凝土输送泵浇筑.

### 2.2.1 混凝土的浇筑量计算

根据工程的实际及浇筑方法计算混凝土浇筑时每层最大需要量:

$$Q = bhd \sin 12^\circ$$

其中: $b$ 、 $h$  为浇筑带穿过筏板宽、高; $d$  为:斜向分层厚度; $12^\circ$ :混凝土自然流动休止角.

$$Q = 17 \times 2.85 \times 0.4 / \sin 12^\circ = 93 \text{m}^3$$

每小时要求混凝土浇筑量:

$$q = Q / \Delta t$$

$\Delta t$  取 8 h(取最保守缓凝时间,混凝土的初凝时间为 10~12 h) 则: $q = 93 / 8 = 11.625 \text{m}^3/\text{h}$ .由于现场采用商品混凝土及输送泵,每小时混凝土的平均供应量 60 m<sup>3</sup>.则:混凝土输送泵完全可以满足要求,且不会出现施工冷缝.最大一层基础混凝土工程量一次性浇筑总时间为: $t = 920 / 60 = 15.3 \text{h}$ .

### 2.2.2 混凝土的泌水处理

混凝土的大部分泌水进入预留集水坑,采用污水泵排出,少量来不及排除的泌水随着混凝土的浇筑向前推进被赶至基坑前端,这时,改变混凝土的浇筑方向,即从顶端往回浇筑,与原斜坡相交成一个积水坑,另外有意识地加强两侧模板处的混凝土浇筑速度,这样积水坑逐步在中间缩小成水潭,再用污水泵及时排除.

最后一层混凝土浇筑振捣完成后,拉线用刮杠刮平搓毛,上部撒上适量的石块用木抹子压实,使混

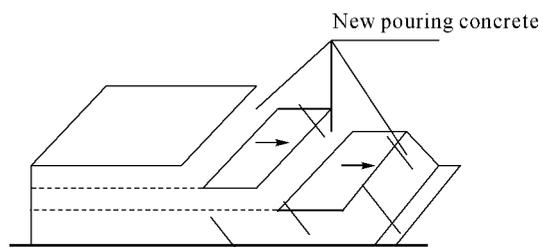


图 1 大体积混凝土基础分段  
分层浇筑示意图

Fig. 1 Mass concrete foundation pouring by  
segmentation and layer

凝土达到密实,并采取二次收面技术,防止混凝土表面出现龟裂现象。

### 3 大体积混凝土防止温度裂缝的技术措施

该基础工程处于常年地下水位以上,保证振动台基础的整体刚性,防止和控制温度裂缝成为该基础工程施工的一大难点.为此特采取如下方面技术措施:

#### 3.1 降低混凝土水泥水化热和变形,控制混凝土内部温升<sup>[3]</sup>

(1)选用低水化热的水泥品种配制混凝土,本工程采用矿渣硅酸盐水泥。

(2)充分利用混凝土的后期强度,减少每立方米混凝土中水泥用量.掺加二级粉煤灰和矿粉降低水泥用量。

(3)掺加复合型 TC-FDI 多功能泵送剂,改善混凝土和易性,同时减小水用量约 10%从而可减小水泥用量。

(4)掺加缓凝剂,推迟温度高峰,延缓水化热释放,降低温度峰值。

(5)使用粗骨料,选用 20~40 mm 左右连续级配的碎石和平均直径 0.4 mm 的中粗砂等级配良好的粗细骨料;采用优质砂、石、控制砂石含泥量,用砂 $\leq 3\%$ ,石子 $\leq 1\%$ ,选择合适的砂石级配,尽量减小水泥用量,降低水化热。

(6)根据混凝土浇筑量的计算,本工程砼采取 24 h 连续浇筑施工,确保混凝土浇筑时不出现施工冷缝.本工程大体积混凝土施工时间为秋季,室外环境温度 23℃~25℃,较为适宜。

(7)第一次浇筑 -3.150 m 标高以下混凝土时,在基础标高 -4.650 m 处布置冷却循环水管,通过冷却循环水管内低温热水的流动带出砼内部的水化热,从而起到降低砼内部温度的作用. -4.650 m 处冷却循环水管的布置如图 6。

(8)基础混凝土浇筑完成 4 h 后,采用热敏电阻型温度传感器进行测温,随时调整保温养护措施控制混凝土内外部分温差和降温速率。

#### 3.2 热工计算<sup>[4]</sup>

本工程采用混凝土强度等级为 C40,水泥用量 240 kg/m<sup>3</sup>,水灰比 0.33、 $E_c = 3.35 \times 10^4$  N/mm<sup>2</sup>、 $S(t) = 0.3$ 、 $R(t) = 0.32$ .混凝土浇筑入模温度为 24℃、日平均气温 25℃。

(1)混凝土养护期间最大温度计算<sup>[5]</sup>

查表得: $Q = 354$  J/kg  $C = 0.97$  J/kg·K  $P = 2400$  kg/m<sup>3</sup>  $F = 110$  kg/m<sup>3</sup>

$$K = 0.3 \quad \xi(t) = 0.68$$

混凝土最大绝热升温  $T_h = (350 + 110 \times 0.3) \times 354 / 0.97 \times 2400 = 58.24$ ℃

大体积混凝土中心最大温度  $T = T_j + T_h \cdot \xi(t) = 25 + 58.24 \times 0.68 = 64.63$ ℃

施工中设上中下三个测温孔,实际测温最高温度出现在混凝土浇筑后第三天凌晨 4 点测温点的最高温度为 65℃,同计算最高温度基本相符合.而且混凝土内外最大温差为 24℃,小于 25℃,混凝土温度及温差均控制良好。

(2)混凝土的收缩变形值<sup>[4]</sup>

查表得: $M1 = 2.5$ 、 $M2$ 、 $M3$ 、 $M5$ 、 $M8$ 、 $M9$  均为 1, $M4 = 0.9$ 、 $M6 = 0.93$ 、 $M7 = 0.7$ 、 $M10 = 0.95$

$$\epsilon(15) = 3.24 \times 10^{-4} (1 - 2.718^{-0.5}) \times 1.25 \times 0.9 \times 0.93 \times 0.7 \times 0.95 = 0.315 \times 10^{-4}$$

(3)混凝土 15 d 的收缩当量温差为:

$$T_y(15) = 0.315 \times 10^{-4} / 1 \times 10^{-5} = 3.15 \approx 3$$
℃

(4)混凝土 15 d 的弹性模量为:

$$E(15) = 3.25 \times 10^4 \times (1 - 2.718^{-0.09 \times 15}) = 2.48 \times 10^4$$
 N/mm<sup>2</sup>

(5)混凝土的最大综合温差为:

$$\Delta T = 24 + 2/3 \times 58.24 + 3 - 25 = 40.83$$
℃

则基础混凝土最大降温收缩应力为:

$$\sigma = (3.25 \times 104 \times 1 \times 10^{-5} \times 40.83) / (1 - 0.15) \times 0.3 \times 0.32 = 1.498 < f_a = 1.9 \text{ N/mm}^2$$

大体积混凝土抗裂安全系数  $K = 1.9 / 1.498 = 1.268 > 1.15$  可以

由计算知基础在养护期间混凝土不可能出现裂缝,同时在此期间混凝土表面采取保温养护措施,使养护温度加大(即  $T_h$  加大)、综合温差  $\Delta T$  减小,使计算的  $\sigma_{15}$  更加安全,因此温度裂缝完全控制在范围之内.

### 3.3 加强混凝土的保温养护,延缓砼降温速率<sup>[6]</sup>

本工程-3.150 m 以下砼施工为 9 月份,日最高气温为 23~25℃,较为适宜;-3.150 m 以上砼施工为 11 月份,日最高气温为 9~12℃,采用搭设塑料大棚保温养护,棚内设碘钨灯加温,保持棚内温度在 15~20℃,同时混凝土采用低温热水养护.

(1)基础混凝土抹面完成后,及时用塑料薄膜覆盖,待表面可以上人时,在塑料薄膜上加盖双层棉粘加以保温,以保证混凝土内、表面温差,表面与大气温差不超过 25℃为宜.包括基础的侧面,即所有外露混凝土面均应用双层棉粘覆盖严实,达到保温的效果.

(2)本工程施工时,保温是保证砼内外温差 $\leq 25^\circ\text{C}$ ,控制降温速率 $\leq 1.5^\circ\text{C/h}$ 的重要方法.本工程采用外购低温热水养护,其中下半部分基础施工时内部设循环管降温措施,同时选用塑料薄膜、保温毡,上半部分搭设保温棚保温.

(3)取保温毡二层(即砼浇筑完成后覆盖二层保温毡)另外还需据实际测温情况及时调整保温措施,以保证温差及降温梯度.

(3)在混凝土浇筑完成之后,做好混凝土的保温保湿养护,延缓降温,充分发挥徐变特性,降低温度应力.

采取长时间的养护,规定合理的拆模时间,延缓降温的时间和速度,充分发挥混凝土的“应力松弛效应”.

### 3.4 施工检测

1)根据振动台基础的形状、尺寸、标高以及施工计划,共布置 16 个测温点,测点平面布置见图 2 和图 3 每个测点沿竖向布置 3 个温度传感器,一个在混凝土表面下 60 cm 处,一个在所浇筑厚度层的中部偏下 20 cm 处,另一个在距基础底部 10~20 cm 处,温度传感器采用热敏电阻型.此外还在表面及保温层用水银温度计随机测试混凝土表面及环境温度<sup>[7]</sup>;

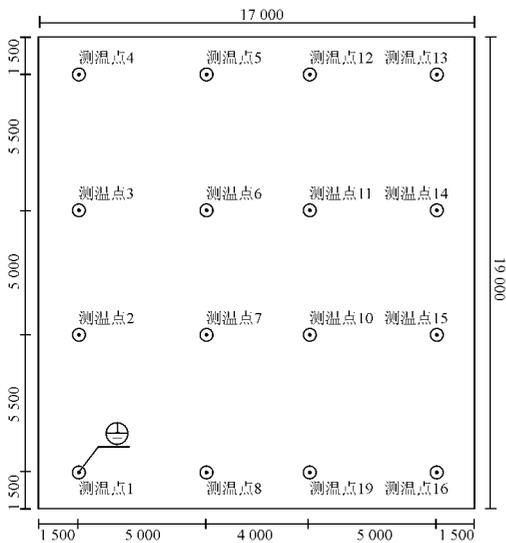


图 2 -3.150 m 以下腔体测温点布置图

Fig. 2 Layout of the cavity temperature measurement points below -3.150 m under ground

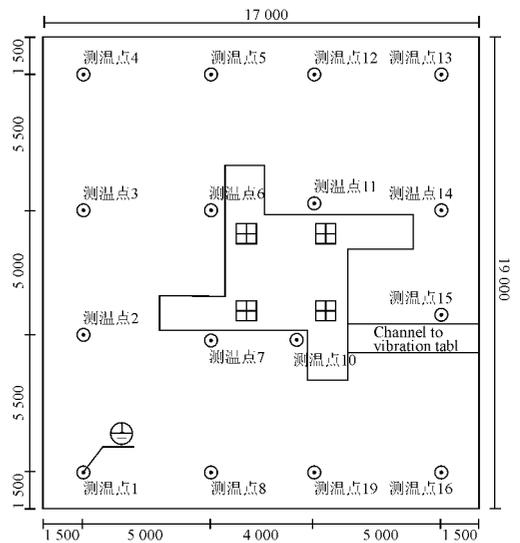


图 3 -3.150 m 以上腔体测温点布置图

Fig. 3 Layout of the cavity temperature measurement points above -3.150 m

2)测温从混凝土浇筑 4 h 后开始,混凝土浇筑完后的前 7 d,每 4 h 测温一次;第 7 d 至第 15 d 每 12 h 测温一次.经连续测温得到了各测点温度变化曲线.图 4 为测温点 1 的温度变化曲线;图 5 为测温点 6 的温度变化曲线.

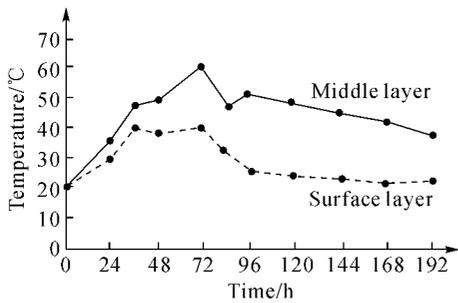


图 4 测温点 1 温度变化曲线

Fig. 4 Temperature variation curve at measurement point 1

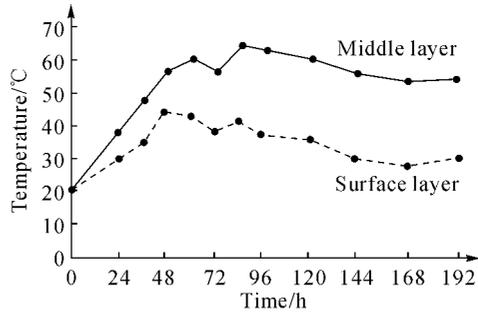


图 5 测温点 6 温度变化曲线

Fig. 5 Temperature variation curve at measurement point 6

### 3.5 数值结果分析

(1)分析混凝土基础内外温度变化曲线,可以看出,浇筑完 2~3 d 后,中层测点温升急剧,达到温度最高点,后期温度衰减缓慢.从图 4 可知,混凝土内部最高温度为 65°C,此点内外温差为 22°C,7 d 区间混凝土内外温差变化范围 8~23°C;图 5 混凝土内部最高温度为 66°C,此点内外温差为 24°C,区间内外温差范围 7~24°C;均符合《混凝土结构工程施工及验收规范》GB50204-92 的要求;

(2)分析混凝土内外温差数值结果可以看出,采用内部冷却水降温和外部保温措施有效的控制了混凝土的内外温差.同时在施工时期控制商品混凝土的入模温度,从而起到了温度控制作用;

(3)根据对循环冷却水的测温,进水温度为 30~35°C,出水温度为 35~41°C,水温差最大 5°C,这表明循环冷却水对降低混凝土内部温度起到了关键性的作用.

## 4 结 语

采取上述施工措施经现场测温,实际温控混凝土内外最大温差为 22°C,并经检测机构检测,混凝土未发现温度变形裂缝,达到了保证基础工程质量安全的效果.实践证明采取:①合理的混凝土浇筑施工方案,加强施工过程管理,精心组织施工;②降低混凝土水泥水化热和变形,控制砼内部温升;③加强混凝土的保温养护,延缓砼降温速率;④减小砼收缩,加强早期养护措施,提高砼早期抗拉极限强度;⑤进行施工检测等有效技术措施.坚持严格的施工组织管理,完全可以控制大体积混凝土温度裂缝和施工裂缝的发生,确保工程的顺利进行和质量安全.

### 参考文献 References

[1] 徐 帆. 建筑施工手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1999:1388-1391.

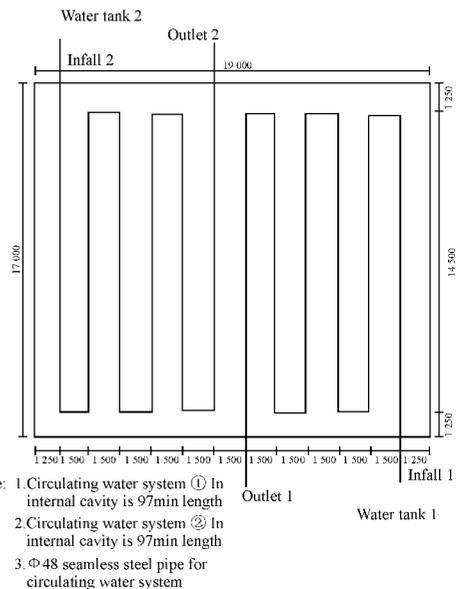


Fig. 6 Circulating water cooling pipe plan at -4.65 m

- XU Fan. Building construction handbook [M]. Beijing:China Architecture and Building Press,1999:1388-1391.
- [2] 王万森,倪伟成. 大体积混凝土施工方案[J]. 陕西建筑, 2009(4): 39-41.  
WANG Wan-sen, NI Wei-cheng. Technique for the mass Concrete construction [J]. Shaanxi Architecture, 2009 (4): 39-41.
- [3] 周舒,曹庆. 大体积混凝土施工技术[J]. 施工技术, 2008(4):104-105.  
ZHOU Shu, CAO Qing. Construction technology of massive concrete[J]. Construction Technology, 2008(4):104-105.
- [4] GB50496-2009 大体积混凝土施工规范[S]. 北京:中国计划出版社, 2009: 22-27.  
GB50496-2009 Code for construction of mass concrete[S]. Beijing:China Planning Press, 2009: 22-27.
- [5] 汪正荣. 建筑施工工程师手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2009: 496-497.  
WANG Zheng-rong. Construction engineer manual [M]. Beijing:China Architecture and Building Press, 2009: 496-497.
- [6] 王小龙,魏小强. 浅谈混凝土裂缝的产生及防治[J]. 陕西建筑, 2009(6):34-35.  
WANG Xiao-long, WEI Xiao-qiang. Concrete crack and its prevention [J]. Shaanxi Architecture, 2009(6):34-35.
- [7] 张自平,程绍革,贺军. 大型模拟地震振动台大体积混凝土基础施工裂缝控制[J]. 施工技术, 2001(4): 28-29.  
ZHANG Zi-ping, CHENG Shao-ge, HE Jun. Crack control of mass concrete foundation of large scale shaking table [J]. Construction Technology, 2001(4): 28-29.

## Quality control measures preventing cracks in mass concrete foundation of large scale shaking table

XU Jie

(Shaanxi Construction Engineering Group Construction Co., Ltd. Xianyang 712000, China)

**Abstract:** This paper introduces the construction technology of mass concrete foundation of large scale shaking table in Laboratory of Structure Engineering on the new campus of Xi'an University of Architecture and Technology. In order to effectively control the temperature deformation and cracks in mass concrete construction, according to the mix proportion design, using low hydration heat cement, well-graded aggregate and proper admixture can strictly control the use of raw materials. Technical quality control measures, such effective and reasonable construction technology and method as concrete pouring, temperature measure, insulation, and concrete curing in later period, can ensure the quality and safety of foundation works. As a result, temperature deformation cracks no longer appear. It has been proved by practice that these measures of preventing cracks are effective.

**Key words:** mass concrete; crack control; insulated curing