

防射线大体积混凝土施工的防裂措施

刘 薇,张云莲,吴礼泉

(浙江科技学院 建筑工程学院,杭州 310023)

摘 要: 国内大型医院的放射操作室常设计为大体积混凝土,利用混凝土本身的厚度、密实度及质量来防放射线的穿透。但大体积混凝土施工中常会产生施工裂缝,以致降低了它防放射作用的效果。为了防止大体积混凝土施工出现裂缝,除了采取调整混凝土配合比设计、施工模板结构设计、支撑体系设计等技术措施外,还需要对大体积混凝土底板、墙体和顶板处采用技术保温措施。现结合某工程施工实例,将混凝土内外温差控制在 25℃ 以内能有效防止裂缝出现,从而确保了混凝土的施工质量,达到了大体积混凝土防射线的效果。

关键词: 大体积混凝土;施工裂缝;防射线;混凝土养护;保温技术

中图分类号: TU755

文献标识码: A

文章编号: 1671-8798(2007)02-0117-04

Crack Control in Construction of Radiation-Shielding Massive Concrete

LIU Wei, ZHANG Yun-lian, WU Li-quan

(School of Architecture and Civil Engineering, Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract: Radiation operating-rooms in domestic big hospitals are usually designed as massive concrete structure, which has enough depth, density and quality itself and can prevent ray penetration. But construction cracks in massive concrete frequently occur, which leads to lower ray-shielding efficiency. To prevent massive concrete from cracking, not only should the concrete mixture, formwork design and bracing system design be adjusted, but also some effective thermal-insulating techniques on concrete slabs and walls are applied in construction. Certain engineering construction case showed that it is efficient for avoiding cracks to control temperature difference between internal and external concrete within 25 °C, which ensuring the high construction quality and ray-shielding function of massive concrete.

Key words: massive concrete; construction crack; ray-shielding; concrete curing; thermal-insulating technique

随着大体积混凝土工程不断增加,国内已经积累了较多的施工经验,但由于各工程设计、施工条件的不同,大体积混凝土的施工仍然缺少实用、成熟的

依据,而且施工中掌握不好就会出现一些反常的现象。尤其在医院的放射室大体积混凝土施工出现裂缝时,修补对防放射不起作用,一旦放射线泄露对医

收稿日期: 2007-05-08

作者简介: 刘 薇(1965—),女,湖北荆门人,高级工程师,主要从事施工技术管理及其教学研究。

生和病人都会造成极大的身体伤害。因此,研究防放射大体积混凝土施工裂缝是非常必要和紧迫的。由于大体积混凝土施工影响因素较多,如水泥品种、浇筑方法、混凝土厚度、保温措施、环境温度等^[1],每个工程需要根据具体情况采取不同的施工技术以保证混凝土的施工质量。常规的做法是,大体积混凝土主要通过降低水化热来控制总温升^[2]。常用措施是在混凝土搅拌时加入冰块、控制水灰比、减少水泥用量。但冰块融化后混凝土中有孔洞,影响混凝土的防放射线效果。

本工程实例应用结构力学原理,通过调整模板结构及支撑体系,控制来自外部的影响混凝土变形的应力。在施工中采取改进混凝土的施工配合比设计、施工模板结构设计、支撑体系结构设计,目的是探究结构物的内外约束力来阻止大体积混凝土产生裂缝的这种应力变形。同时应用材料力学原理来计算温差,通过温差来控制温度应力,在施工中采取保温措施,目的是减小混凝土表面温度的下降速度,使大体积混凝土的内外温差控制都小于 25℃^[3]。

1 工程概况

某市中心医院加速器室为防 γ 射线大体积特种混凝土结构,其平面尺寸为 25.8 m×11.1 m,高 8.1 m,底板厚 2.2 m,壁最厚处为 2.5 m,顶板厚 2.5 m,混凝土强度等级为 C35,设计要求混凝土的密度大于 2.4 g/cm³,钢筋保护层 35 mm,施工时不允许有垂直施工缝。开工时间 2003 年 10 月 1 日,竣工时间 2003 年 12 月底。

2 外部因素使混凝土产生裂缝的技术防治措施

2.1 混凝土配合比

混凝土配合比必须满足如下要求:密度大于 2.4 g/cm³,尽量减少混凝土硬化过程中水化热,即采用微膨胀混凝土,减少早期裂缝的发生。采用原材料如下:

水泥选用 P.O 42.5 级(低碱)水泥,其需水性和水化热较少,抗裂性好,比密度大。为防止早期水化热过高,掺 10% 的 II 级粉煤灰。

砂选用当地河砂,质量符合《普通混凝土用砂质量标准及检验方法》^[4]。

碎石选用粒径 $d=10\sim 20$ mm,质量符合《普通

混凝土用碎石或卵石质量标准及检验方法》^[4]。

外加剂选用减水率送复合型建 3B。掺合料选用 HEA2;水为当地饮用水,pH 值不小于 4。砂率 40%,水灰比 0.36,坍落度 150 mm,允许偏差±20 mm。初凝时间大于 2 h 以上,每立方米混凝土的材料用量见表 1。

表 1 混凝土配合比 kg/m³

材料	用量
水	184.0
水泥	418.0
砂	682.0
石子	1 025.0
II 级粉煤灰	43.8
HEA2	44.0
建 3B	3.5

2.2 混凝土施工技术措施

主要要求:不能发生蜂窝麻面及裂缝;混凝土内及表面温差不超过 25℃;保证混凝土配合比的准确性,符合《混凝土结构工程施工质量验收规范》^[4],不允许留垂直施工缝。见图 1 结构剖面图。

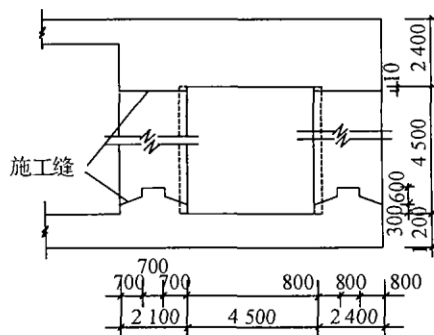


图 1 结构剖面图

施工技术措施:本工程配置 2 台 HP750 电子自动计量配料机,4 台 JS500 卧式强制式搅拌机,2 台 HBT-6 混凝土输送泵。在周边用 $\phi 48\times 3.5$ 钢管搭设脚手架,架顶离室顶 1 m 高,混凝土通过输送泵送到脚手架上。在底板、墙及顶板采用薄层大斜坡一次到顶方式浇筑,振捣棒插入间距 0.5 m,每点振捣时间 20 s,每层厚度 0.5 m,斜坡坡度 1:6 左右。

2.3 模板结构和支撑体系设计

2.3.1 墙模 利用结构力学原理对墙体模板进行结构设计,按《施工计算手册》及 JGJ30—2001 规范要求,主要计算各构件(模板、50 mm×100 mm 木方、 $2\phi 48\times 3.5$ 钢管及对拉螺栓)的强度和挠度,墙体模板结构见图 2。垂直度通过室内满堂架与室外双排架及支撑进行调整与控制。

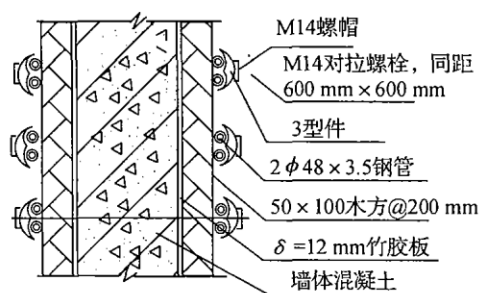


图2 墙体模板剖面图

2.3.2 顶模 混凝土顶板下表模同墙体侧模板,而上表模的设计主要是考虑保温的需要,其模板结构见图3。

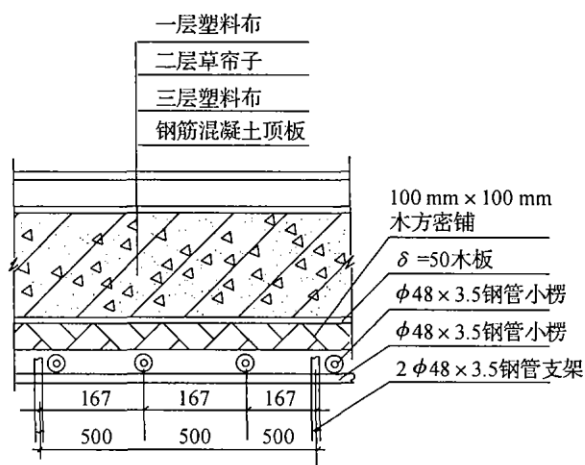


图3 顶板模板大样

2.3.3 支撑体系 对顶板支模钢管支撑的设计应选用钢管 $\phi 48 \times 3.5$, 顶层钢管立杆与横杆的联接用双卡扣卡紧, 抗滑力 12 kN/每节点, 每平方米的立杆数为 8 根, 每根立杆承受轴向力 9.82 kN, 立杆按稳定性承载力计算, 计算结果见平面布置图 4。垂直支撑沿周边布置, 并与已浇筑的混凝土壁顶牢。横杆步距 @1 200 mm, 离地面 200 mm 绑扫地杆, 中部设水平支撑一道^[5]。

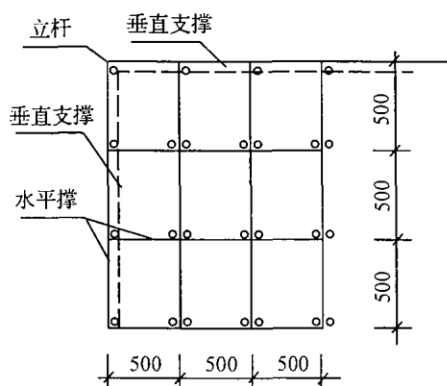


图4 钢管支架平面布置

3 内部因素使混凝土产生裂缝的技术防治措施

3.1 混凝土保温养护的方法

防射线混凝土为防止裂缝的发生, 其养护工作是非常重要的。本工程主要采用施工模板保温法进行养护, 确保混凝土内外温差不超过 25°C 。工程施工正临 10 月份, 大气平均气温 22°C , 大气最高温度 29°C , 当时入模温度 27°C 。

3.2 混凝土温度计算

3.2.1 混凝土最高温度 $T_{\max} = T_0 + W/10 + F/50$ ^[6], 式中 T_0 为入模温度, W 为 1 m^3 混凝土水泥用量 (含 HEA2), F 为 1 m^3 混凝土粉煤灰用量, 配合比详见表 1。

$$T_{\max} = 27 + (418 + 44) \times 1.13/10 + 43.8/50 = 74.1^{\circ}\text{C}.$$

3.2.2 混凝土顶板温度计算 混凝土顶板厚 $h = 2400 \text{ mm}$, 上铺二层塑料布厚 $\delta_{\text{塑}} = 2 \times 0.001 \text{ m}$, $\lambda_{\text{塑}} = 0.2 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 。中间夹两层草帘子, 厚 $\delta_{\text{草}} = 0.05 \times 2 = 0.10 \text{ m}$, $\lambda_{\text{草}} = 0.05 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, 空气层传热系数 $\beta_1 = 23 \text{ W}/\text{m}^2$, 混凝土导热系数 $\lambda = 2.33 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, 大气平均气温 $T_q = 22^{\circ}\text{C}$, 大气最高气温 29°C 。

$$\beta = 1/(\sum \delta_i/\lambda_i + 1/\beta_q)^{[4]}, \beta = 0.488,$$

$$h' = 0.666\lambda/\beta = 3.20 \text{ m}$$

式中, h' 为混凝土虚厚度。

$$H = h + 2h' = 8.8 \text{ m}$$

3.2.3 混凝土顶板表面温度

$$T_{b(t)} = T_q + 4 \times h' \times (H - h') \times \Delta T_{(t)} / H^2^{[6]}$$

$$T_{b(t)} = 64^{\circ}\text{C}$$

式中, $\Delta T_{(t)} = T_{\max} - 29^{\circ}\text{C} = 45.1^{\circ}\text{C}$ 。

混凝土顶板内外温差 $\Delta T = 74.1 - 64 = 10.1^{\circ}\text{C} < 25^{\circ}\text{C}$ (设计要求)

3.3 混凝土保温措施

3.3.1 混凝土顶板底面的保温 $\delta_{\text{木}} = 5 \text{ mm}$ 木板及 $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ 的密铺木方总厚 $\delta_{\text{木}} = 150 \text{ mm}$, $\lambda_{\text{木}} = 0.23 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$,

$$\beta = 1/(\sum \delta_i/\lambda_i + 1/\beta_q)^{[4]}, \beta = 1.43,$$

$$h' = 0.666\lambda/\beta = 1.085 \text{ m},$$

$$H = h + 2h' = 4.57 \text{ m},$$

顶板底面表面温度:

$$T_{b(t)} = T_q + 4 \times h' \times (H - h') \times \Delta T_{(t)} / H^2 = 55^{\circ}\text{C}^{[6]}$$

顶板底面内表温度差:

$$\Delta T = 74.1 - 55 = 19.1(^{\circ}\text{C}) < 25^{\circ}\text{C} \text{ 符合要求}.$$

3.3.2 混凝土侧墙保温 混凝土墙厚 $h = 2.4 \text{ m}$,

$\lambda=2.33 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, 保温层竹胶板 1 层 $\delta_{\text{竹}}=12 \text{ mm}$, $\lambda_{\text{竹}}=0.23 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, 2 层塑料布 $\delta_{\text{塑}}=0.002 \text{ m}$, $\lambda_{\text{塑}}=0.2 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, 麻袋片 $\lambda_{\text{麻}}=0.05 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, 混凝土内最高温度 $T_{\text{max}}=74.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 室外平均气温 $T_q=22 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 计算麻袋布厚度。

混凝土表面温度:

$$T_{\text{b(0)}} = T_q + 4 \times h' \times (H - h') \times \Delta T_{\text{co}} / H^2 = 54.5 \text{ }^{\circ}\text{C}^{[6]}$$

混凝土侧墙内表温度差:

$$\Delta T = 74.1 - 54.5 = 19.4 (^{\circ}\text{C}) < 25 ^{\circ}\text{C} \quad \text{符合要求。}$$

$$\delta_i = 0.5 h \lambda_i (T_b - T_q) / \lambda (T_{\text{max}} - T_b), \quad \delta_i / \lambda_i = 0.85^{[6]}$$

$$\text{因 } \delta_i / \lambda_i = \sum_{i=1}^n \delta_j / \lambda_j = 0.012 / 0.23 + 0.002 / 0.2 + \delta_{\text{麻}} / 0.05 + 1 / 23 = 0.85$$

$$\text{解得 } \delta_{\text{麻}} = (0.85 - 0.052 - 0.01 - 0.043) \times 0.05 = 0.04 (\text{m})$$

选 45 mm 厚麻袋覆盖。

3.4 大体积混凝土的温度测定

测温由专人负责, 前 7 天每 30 min 测一次, 第 8~14 天每隔 1 h 测 1 次, 第 15~30 天每隔 2 h 测 1 次^[3]。以顶板为例, 本工程顶板 2003 年 10 月 25 日浇筑混凝土, 10 月 28 日早 5:30 完成, 测的温度是: 10 月 25 日下午先浇筑的混凝土最高温度达到 72 $^{\circ}\text{C}$, 表面温度 53 $^{\circ}\text{C}$, 相差 19 $^{\circ}\text{C}$ 。3 d 后混凝土最高温度达到 77 $^{\circ}\text{C}$ (计算 74.1 $^{\circ}\text{C}$), 表面温度 62 $^{\circ}\text{C}$, 相差 15 $^{\circ}\text{C}$ 。施工期间顶板、底板、侧墙混凝土内外温差均未超过 25 $^{\circ}\text{C}$, 所以采用该措施非常有效。11

月 1 日下午开始降温, 每天降 0.7 $^{\circ}\text{C}$ 。为保证混凝土不产生裂纹, 用此措施保温养护一个月拆模, 最终质量符合设计与规范要求。

4 结 语

本工程通过控制大体积混凝土配合比, 改善施工模板结构设计和支撑体系结构设计, 采用 2 层薄膜和 2 层草袋覆盖进行混凝土顶面养护, 采用 2 层薄膜夹麻袋片外加竹胶合板进行侧墙保温, 使内外温差控制在 25 $^{\circ}\text{C}$ 以内。经现场测定, 达到了工程设计要求。该工程在 2003 年底交付使用, 至今三年多没有出现裂缝, 证明这种防射线大体积混凝土在施工中采取的技术措施是有效可行的。

参考文献:

- [1] 侯卫青. 控制地下室外墙混凝土收缩裂缝的技术措施[J]. 建筑施工, 2007(3): 186-187.
- [2] 周春尧. 大体积钢筋混凝土裂缝控制措施[J]. 建筑技术开发, 2007(1): 59-60.
- [3] 高祖光. 混凝土裂缝产生的原因及控制措施[J]. 建筑, 2007(3): 68-69.
- [4] GB50204—2002, 混凝土结构工程施工质量验收规范[S].
- [5] JGJ130—2001, 建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规程[S].
- [6] 江正荣. 建筑施工计算手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.