

文章编号 :1007 - 649X( 2001 )02 - 0100 - 04

# 混凝土结构温度裂缝浅析

王仁义<sup>1</sup>, 刘延生<sup>2</sup>, 毕苏萍<sup>1</sup>, 李 蹇<sup>1</sup>

( 1. 郑州工业大学土木建筑工程学院 河南 郑州 450002 ; 2. 郑州大学基建处 河南 郑州 450002 )

摘 要 : 一般商品混凝土的水泥用量比较大 , 产生的水化热较多 , 在大体积浇筑或冬季施工中 , 容易造成混凝土内外温差过大 , 从而引起裂缝 , 因此在设计中 , 应对结构中的节点、应力集中处和大体积混凝土沿截面均匀布置细而密的构造钢筋 , 以提高结构物的抗裂能力 , 并通过采取在商品混凝土中添加各类外加剂 , 适当减少水泥用量及延长养护时间、降低构件内外温差等措施 , 降低混凝土结构产生裂缝的可能性。

关键词 : 混凝土 ; 裂缝 ; 措施

中图分类号 : TU 742 文献标识码 : A

## 0 引言

混凝土结构的裂缝是一个带有普遍性的问题 , 虽然结构设计是建立在强度的极限承载力基础上的 , 但大多数工程的使用标准却是由裂缝控制的。根据国内外的调查资料 , 工程实践中结构物的裂缝原因 , 属于由变形( 温度、收缩、不均匀沉降 ) 引起的约占 80% ; 属于由荷载引起的约占 20%。由变形引起的裂缝属非结构裂缝 , 一般来讲对结构物的承载力影响不大 , 但裂缝的存在影响观瞻 , 破坏建筑物的外观。从长远角度来看 , 裂缝的存在会导致钢筋缺乏混凝土的保护 , 引起锈蚀 , 降低结构的耐久性 , 重者能使结构倒塌、倾覆 , 危及人的生命安全。

商品混凝土由于采用泵送 , 混凝土的流动性要求较高 , 较大的坍落度要求较大的水灰比 , 增加水泥用量 , 致使水化热增加 , 由此不可避免地在混凝土硬化阶段产生温度裂缝 , 特别是现在大部分工程工期较紧在冬季施工 , 大体积混凝土更易产生此类裂缝。虽然目前商品混凝土在使用中都加入了各种外加剂以期减少裂缝的出现 , 但在实际工程中并不能完全避免。

## 1 工程概况

河南某工程 , 地下室 - 2.00 m 混凝土顶板

30.75 m × 25.70 m × 0.40 m , 设计 C 35 ~ C 45 混凝土 , 为便于施工 , 混凝土均按 C 45 配比浇筑 , 泵送混凝土水灰比 0.35 , 水泥用量 590 kg , 采用焦作水泥厂生产的 525 # 水泥 , 现场实际坍落度为 90 ~ 100 mm , 整个浇筑 24 h 完成 , 用塑料薄膜及草袋覆盖 , 在顶板的底面即地下室增设 4 个煤炉进行增温养护。浇筑时 , 天气较冷 , 平均气温低于 5 ℃ , 且临近春节 , 所以在浇筑完成后第二天煤火因无人看管而熄灭。春节过后拆除模板 , 发现板顶有不规则裂缝出现 , 主要沿长轴方向发展且裂缝宽度均在 0.05 ~ 0.45 mm 之间 , 部分顶板贯通。与顶板同时浇筑的暗梁也有不同程度的裂缝出现 , 且从梁顶到梁底裂缝宽度一致 , 并发现有一片墙体裂缝上下贯通。

## 2 裂缝产生原因分析

- 2.0 m 顶板结构共出现 30 多道长度在 0.8 ~ 7.2 m 且多数平行于主受力筋方向的裂缝。局部有 45°斜裂缝 , 裂缝宽度及形态基本一致 , 大多为板的贯通缝。图 1 给出了 - 2.0 m 顶板典型的裂缝分布。为了更准确地掌握裂缝产生的原因及整个建筑物的安全和稳定性 , 我们从以下几个方面进行了分析。

### 2.1 - 2.0 m 现浇板的无损检测验证混凝土抗压强度

混凝土产生裂缝的原因有多种 , 但是混凝土

收稿日期 2001 - 01 - 10 ; 修订日期 2001 - 02 - 26

作者简介 : 王仁义 ( 1956 - ) 男 , 辽宁省大连市人 , 郑州工业大学工程师 , 主要从事钢筋混凝土结构检测方面的研究。

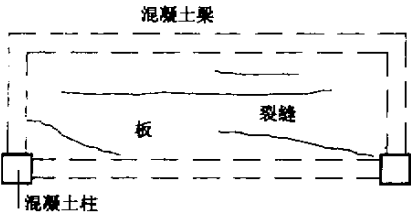


图 1 -2.0 m 顶板典型裂缝分布图

Fig.1 Cracks distribution of -2.0 m top slab

开裂的唯一条件就是其内部的拉应力超过了其抗拉强度  $f_{tk}$ 。虽然混凝土的抗拉强度不会随着抗压强度的升高而大幅升高,但两者也有一定的关系,抗拉强度约为抗压强度的  $1/10^{[1]}$ ,即  $f_{tk} = f_{cu,tk}/$

表 1 -2.0 m 顶板混凝土强度检测结果表

Table 1 Measuring strength on concrete of -2.0 m top slab

测区	平均强度值/MPa	标准差/MPa	最小测区强度/MPa	强度推定值/MPa	设计强度等级	达到设计强度等级/%
1	32.9	2.70	29.1	29.1	C 35	83.1
2	28.4	1.14	26.7	26.7	C 35	76.3
3	33.6	5.85	25.0	25.0	C 35	71.4
4	25.2	1.87	21.8	21.8	C 35	62.3
5	30.1	4.63	25.1	25.1	C 35	71.7

2.2 裂缝开裂原因

根据现场检测结果及掌握的施工资料,因外加荷载引起开裂并不成立。此楼为高层框剪结构,基础采用混凝土桩基础且基础承台高度为 1.5 ~ 2.0 m,板厚 400 mm,上部主体施工至二层,挡土墙没有覆土,也就是说,在发现裂缝时,顶板上只有施工荷载,不可能因其他外加荷载引起 -2.0 m 现浇板裂缝的出现。从现场观察来看,裂缝的形态也是非外加荷载而是温度应力引起的裂缝。分析其原因主要有以下几点。

(1) -2.0 m 现浇板施工时正值冬季,气温较低,虽然按照冬季施工要求施工,但后期养护没有跟上,浇筑完毕后养护用煤火只烧了 2 d,远远达不到规范要求的养护条件。另外,因施工时采用泵送混凝土,为了便于施工,将混凝土的原设计强度提高了两个等级(从 C 35 提高到 C 45),从而加大了水泥的用量(最大用量达到 591 kg)。浇筑面积较大,水泥产生大量的水化热,混凝土内外温差太大,温度应力超出混凝土的抗拉强度,引起裂缝。

(2) 浇筑成型后,混凝土中产生大量气泡,无法排出。由取出芯样可以看出,在混凝土内部形成许多孔洞,使混凝土强度降低,且在孔洞的边缘容易形成应力集中,在较小的拉应力作用下出现裂缝。

(3) 2.0 m 现浇板混凝土标号较高,水泥用

量较大,板厚较小,这种“中小体积钢筋混凝土”承受的温差与收缩主要部分是均匀温差及均匀收缩,外约束应力占有很大比重。地下室顶板梁柱的约束较多,混凝土在降温时,不能够自由收缩,形成较大应力,从而产生 45°斜裂缝。

所以可以通过检测混凝土的抗压强度来反映其抗拉强度。  
此次采用无损检测半破损修正的方法对 -2.0 m 现浇板的混凝土抗压强度进行验证,以确定板混凝土的抗压强度是否满足设计要求。用回弹法大面积进行检测,用钻芯法对回弹值进行修正。表 1 中列出了部分测区的检测结果。结果表明,-2.0 m 现浇板混凝土强度仅达到设计强度的 60% ~ 80%。由此可见,混凝土强度过低是产生裂缝的主要原因。冬季施工大体积浇筑,振捣不密实,养护温度太低等都可能使混凝土强度降低。

量较大,板厚较小,这种“中小体积钢筋混凝土”承受的温差与收缩主要部分是均匀温差及均匀收缩,外约束应力占有很大比重。地下室顶板梁柱的约束较多,混凝土在降温时,不能够自由收缩,形成较大应力,从而产生 45°斜裂缝。

3 混凝土温度应力及极限拉伸的计算

为了从理论上进行证明,我们进行了混凝土收缩裂缝宽度的计算。计算对象为一块 10.37 m × 2.40 m × 0.40 m 的板。

3.1 理论计算的基本假定

①“中小体积钢筋混凝土”所承受的温差与收缩主要部分是均匀温差和均匀收缩;②外约束应力作非刚性假定;③板的厚度远小于其他两个方向的尺寸。根据过去的理论及试验研究,当宽度小于五分之一长度时,按均匀受力计算中部断面,其误差仍不超过工程允许范围,因此假定整体浇筑的混凝土板,其约束应力类似于对称两边相似弹性地基上的一个长条板均匀受力的计算模型。

3.2 计算公式

采用文献 [2] 中的公式:

$$\epsilon = -\alpha T \cdot \left[ 1 - \frac{1}{\cosh(\beta \cdot \frac{L}{2})} \right]; \quad (1)$$

$$\sigma = E\epsilon, \quad (2)$$

式中:  $\epsilon$  为混凝土的约束应变计算值;  $\alpha$  为导温系

数 取  $10 \times 10^{-6}$  ; $T$  为温差 ; $\beta = \sqrt{\frac{2C_x}{HE}}$  ,其中  $C_x$  为混凝土板约束边剪应力与水平变位成线性的比例系数 ,即水平阻力系数 ,取  $1.5 \text{ N/mm}^3$  , $\bar{H}$  为混凝土板换算宽度 ,考虑到两侧对称约束 ,取  $\bar{H} = H$  , $E$  为混凝土弹性模量取  $E = 2.6 \times 10^4 \text{ MPa}$  ; $L$  为板长.

3.2.1  $T$  值的计算

$$T = T'k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 , \tag{3}$$

式中 , $T'$  为混凝土结构物水化热温升值 ,此处取为  $5 \text{ }^\circ\text{C}$  ; $k_1$  为混凝土标号修正系数 ,对于 525 # 水泥 , $k_1 = 1.13$  ; $k_2$  为水泥品种修正系数 ,普通硅酸盐水泥  $k_2 = 1.2$  ; $k_3$  为水泥用量修正系数 , $k_3 = W/275$  , $W$  为实用水泥量(  $\text{kg/m}^3$  ) ; $k_4$  为模板修正系数 ,钢模  $k_4 = 1.0$  .

由此计算得  $T = 14.5 \text{ }^\circ\text{C}$  .

3.2.2  $\beta$  值的计算

本文中两侧约束 , $\bar{H} = 2400 \text{ mm}$  ,代入  $\beta$  的表达式 ,可得  $\beta = 2.19 \times 10^{-4}$  .

3.2.3 温度应力的计算

$$\epsilon = - 10 \times 10^{-6} \times 14.5 \times \left[ 1 - \frac{1}{\cosh\left(\sqrt{\frac{2 \times 1.5}{2400 \times 2.6 \times 10^4}} \cdot \frac{10370}{2}\right)} \right] = 6.06 \times 10^{-5} .$$

这里计算的温度应力仅为水泥水化热产生的热量所引起的 .在混凝土浇筑好以后 ,开始还有煤火加温 ,后因无人看管而熄灭 ,前后养护温度相差至少在  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  以上 ,换言之 ,由此产生的温度应力可达到  $3 \text{ MPa}$  以上 ,远远高于混凝土的抗拉强度  $f_{tk}$  ,从而引起裂缝产生.

3.2.4 极限拉伸计算

按齐斯克列里公式 :

$$\epsilon_{pa} = 0.5f_{tk}\left(1 + \frac{\rho}{d}\right) \times 10^{-4} , \tag{4}$$

式中 : $f_{tk}$  为混凝土标准抗拉强度 ,此处可用实测强度  $1.5 \text{ MPa}$  ; $\rho$  为配筋率 , $\rho = 0.20$  ; $d$  为钢筋直径 , $d = 1.4 \text{ cm}$  .

将以上数据代入式(4) ,得  $\epsilon_{pa} = 8.57 \times 10^{-5}$  .当温差收缩呈缓慢变化时 ,计算钢筋混凝土最终抗拉极限的拉伸变形 ,应考虑徐变 ,把弹性极限拉伸近似提高一倍 ,即

$$\epsilon_{pa}^0 = 2 \times \epsilon_{pa} = 17.14 \times 10^{-5} , \tag{5}$$

用约束变形法控制开裂条件 :

$$\epsilon = - \alpha T \cdot \left[ 1 - \frac{1}{\cosh\left(\beta \cdot \frac{L}{2}\right)} \right] \leq \epsilon_{pa}^0/k , \tag{6}$$

式中 : $k$  为抗裂安全系数 ,根据工程的重要性 ,取  $1.50$  ;由此可得  $\epsilon_{pa}^0/k = 11.43 \times 10^{-5}$  .

控制开裂允许收缩当量温差可由式(6)求得

$$T \leq \frac{\epsilon_{pa}^0}{\alpha \left[ 1 - \frac{1}{\cosh\left(\beta \cdot \frac{L}{2}\right)} \right]} \cdot k , \tag{7}$$

代入参数 ,可得  $T \leq 27.3 \text{ }^\circ\text{C}$  .施工中养护不良 ,例如本例养护过程中温差过大 ,超过了控制开裂允许收缩当量的温差 ,从而导致开裂.

计算结果表明 , $-2.0 \text{ m}$  现浇板裂缝是内部裂缝及气孔的存在导致混凝土强度降低 ,并且由于养护温度过低 ,导致硬化阶段混凝土内外温差过大而产生的温度裂缝.

4 对裂缝的加固处理

本算例中 , $-2.0 \text{ m}$  现浇板混凝土强度并未达到设计强度 ,养护温度过低 ,温度应力引起了大量裂缝 .为了保证结构的工作性能 ,需采取加固补强措施 ,对于裂缝 ,可用高压气泵送高强微膨胀砂浆或环氧水泥浆于缝中 ,将裂缝填满 .对混凝土强度不够部位采用其他加固方法 ,或者根据混凝土实际强度控制荷载 ,降低标准使用.

5 结论

结构物裂缝的主要成因不外乎以下 3 种 :①由外荷载的直接应力 ;②由外荷载作用 ,结构次应力引起的裂缝 ;③由温度、收缩和膨胀、不均匀沉降等变形引起的裂缝.

(1) 本文通过对结构的温度应力计算 ,得到温度应力值超过混凝土的抗拉强度的结论 ,说明板裂缝的出现是由于养护过程中温差过大 ,超过了控制开裂允许收缩当量的温差 ,从而导致开裂.

(2) 减小  $C_x$  值有利于减小温度应力 .对于地下室底板来说 ,在浇筑时由于底板和垫层之间有防水层 ,大大降低了水平阻力 ,因此一般底板没有明显裂缝产生 .本例中为地下室顶板 , $C_x$  为混凝土板约束边剪应力与水平变位成线性的比例系数 ,主要取决于柱、梁对板的约束.

(3) 温度应力与混凝土的导温系数、温差、构件的长宽比以及约束等有关 .除了温差可以控制以外 ,其他的影响因素确定后 ,增加配筋率或减小

钢筋直径能增加混凝土的极限拉伸 ,因此在结构设计时 ,在节点应力集中处或大体积混凝土中沿截面均匀配置细而密的构造筋 ,可提高构件的抗裂性能.

(4) 由于在冬季施工 ,且混凝土水泥用量较大 ,使板内部水化热升温快 ,内外温差大 ,同时 ,在浇筑完毕的 2 天内 ,炉火熄灭 ,使得混凝土在养护的前期温度变化过大 ,龄期受冻 ,产生裂缝 ,并使得混凝土损失强度.

一般说来 ,混凝土结构裂缝在最冷和最热的两个季节施工时最容易出现 ,控制裂缝的出现有许多措施 ,总的来说就是通过改善施工工艺 ,加强

养护 ,严格控制混凝土内外温差 ,改善混凝土的性能 ,配置构造筋等方法提高混凝土的抗裂性.本文中提到的 - 2.0 m 现浇板裂缝 ,主要是由于在施工后期养护不到位 ,使得结构内外温差过大 ,结构的“自约束应力”超过了混凝土的抗拉强度而产生的温度裂缝.

参考文献：

[ 1 ] 王传志 ,滕智明.钢筋混凝土结构理论[ M ].北京 :中国建筑工业出版社 ,1985.  
[ 2 ] 王铁梦.建筑物的裂缝控制[ M ].上海 :上海科学技术出版社 ,1987.

Analysis of Temperature Cracks of Reinforced Concrete Structure

WANG Ren - yi<sup>1</sup> , LIU Yan - sheng<sup>2</sup> , BI Su - ping<sup>1</sup> , LI Qian<sup>1</sup>

( 1. College of Civil & Building Engineering ,Zhengzhou University of Technology ,Zhengzhou 450002 ,China ;2. Capital Construction Department ,Zhengzhou University ,Zhengzhou 450002 ,China )

**Abstract** :In general , the cost of cement for the use of making concrete is very high , which causes a large quantity of heat of hydration. In winter , cracks often appear owing to the the great difference outside and inside temperatures of concrete. In this case , temperature steels are placed on the joint of member and concentration point of stresses to improve the structure 's capacity of crack resistance. Many measures can be taken reduce the probability of crack , such as putting kinds of mixture , reducing the amount of cement , prolonging curing period , reducing the outside and inside range of temperature of members , etc.

**Key words** :concrete ; crack ; measure