

## 建筑技术

# 早龄期混凝土板温度应力以及抗裂计算

彭兆锋<sup>1</sup> 易红晟<sup>2</sup>

(上海市政工程设计研究总院南方分院,佛山 528200;华南理工大学土木与交通学院<sup>2</sup>,广州 510640)

**摘要** 通过对早龄期混凝土内温度场的监控,采用差分法来计算其温度应力,绘制出其应力成长曲线。对早龄期混凝土取芯,测出其弯拉强度,作为抗裂限值。将早龄期混凝土的温度应力与强度对比,以此来确定混凝土开裂规律。根据温度监控曲线,确定出混凝土内温差过大的时间段,以此来采取相应的工程措施进行防范。

**关键词** 早龄期混凝土 温度应力 抗裂计算 温度控制

**中图法分类号** TU755.9; **文献标志码** B

一般将混凝土路面摊铺后的 72 h 定义为“早期”,这一时期是路面强度和应力发展的重要阶段。由于路面强度未完全形成,在混凝土水化热以及养护环境温度的共同作用下,产生温度应力。当这一应力值超过混凝土早期相应强度时,就会产生开裂。如果裂缝得不到好的控制和处理,就会对路面长期性能造成很大影响。

广东某在建高速公路,采用混凝土路面。由于广东气候炎热,处于雨季,故工期较紧。为了不延误工期,承包商采取全天候不停机的方式进行路面摊铺;但是由于该地夏季期间上午 11 点至下午 5 点之间气温高,另外考虑到混凝土摊铺后水化作用会产生较大热量,共同作用下,会导致混凝土面板温度过高,在板内形成较大的温度应力,导致面板内产生早期裂缝。为了减少裂缝的产生,在进行路面摊铺时需进行温度监控和抗裂计算。

## 1 早期温度裂缝的机理

造成混凝土早期开裂的原因很多:温度变化产生的温度应力和温度变化产生的收缩应力是其中

主要的两个影响因素。温度应力受混凝土所受到的温度场控制,而影响混凝土温度场的因素中,水泥水化放热和环境温度的变化是最重要的两个因素。在水泥水化作用和环境温度的共同作用下,混凝土板内温度会经历一个先升后降的过程,产生温度梯度,进而产生温度应力。由于混凝土龄期较短,抗拉强度较低,当温度应力超过其即时强度时,就会在板体内产生裂缝<sup>[1-4]</sup>。

## 2 混凝土板温度监控和温度应力

### 2.1 混凝土板温度

采用数显温度传感器测量混凝土温度,在混凝土摊铺前,将温度传感器绑扎在钢筋一定高度,然后将钢筋钉在即将要摊铺的混凝土基层上(见图 1)。待铺上混凝土后,开始测量混凝土内温度变化情况,同时测量环境温度。测量结果见图 2。



图 1 温度传感器埋置示意图

2011 年 3 月 17 日收到

第一作者简介:彭兆锋(1980—),男,工程师,研究方向:道路与铁道。

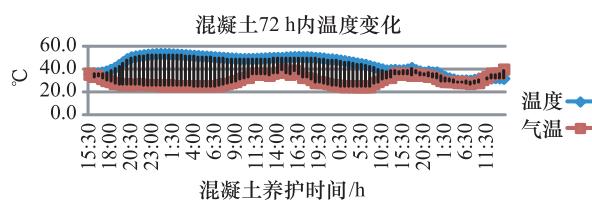


图 2 混凝土内温度变化情况

从图 2 可以看出，在混凝土摊铺后 2.5 h 开始，混凝土温度开始较快增长，同时板体内外温差形成，在 0:30 时，混凝土温度达到最高值 53.2 ℃，之后缓慢下降，直至摊铺后第三天，温度逐渐与外界温度变化一致。

## 2.2 混凝土板温度应力

通常将混凝土板体当作嵌固板来处理，根据嵌固板理论采用差分法来计算其所受的温度应力。计算过程<sup>[6,7]</sup>如下：

### 2.2.1 计算混凝土早期模量

混凝土的弹性模量表示为：

$$E(\tau) = E_0 [1 - \exp(-0.04\tau^{0.34})] \quad (1)$$

由于早期模量处于不断增长中，因此在计算其模量时取相邻两龄期的平均值作为该龄期的模量值。表示公式为：

$$\bar{E}(\tau) = [E(\tau_{i-1}) + E(\tau_i)]/2 \quad (2)$$

式(2)中： $E(\tau)$  为龄期  $\tau$  时的模量， $E_0$  为混凝土设计模量，这里取  $E_0 = 33240$  MPa。

### 2.2.2 计算混凝土温度应力

温度应力计算时，采用增量法计算，即先计算相龄龄期测点的温度应力增量，然后再求和。

$$\Delta\sigma(\tau) = \bar{E}(\tau) \alpha \Delta T_i / (1 - \mu)$$

$$\sigma(\tau) = - \sum_{i=1}^{\tau} \bar{E}(\tau) \alpha \Delta T_i / K \quad (3)$$

式(3)中： $\alpha$  为水泥混凝土的温度线膨胀系数，约为  $1 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$ ， $\Delta T_i$  为龄期为  $i$  时的温度增量。 $\mu$  为混凝土板泊松比，取为 0.15。 $K$  为应力松弛系数，取为 0.786。计算结果如图 3。

从图 3 可以发现，随着混凝土水化作用的进行，面板内先后出现了压应力和拉应力。其中，压应力最大值为 2.04 MPa，出现在 0:00 时候；拉应力最大值为 3.47 MPa，出现在第三天的 7:30。这些峰值附近都是早龄期混凝土由于强度成长不足而极可能出现开裂的时刻。

近都是早龄期混凝土由于强度成长不足而极可能出现开裂的时刻。

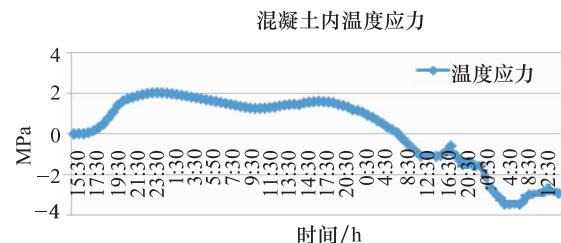


图 3 混凝土内温度应力计算结果

从图 3 可以发现，随着混凝土水化作用的进行，面板内先后出现了压应力和拉应力。其中，压应力最大值为 2.04 MPa，出现在 0:00 时候；拉应力最大值为 3.47 MPa，出现在第三天的 7:30。这些峰值附近都是早龄期混凝土由于强度成长不足而极可能出现开裂的时刻。

## 2.3 温度应力临界点

分别在混凝土摊铺 0.5 d、1 d、2 d、3 d、时候进行取芯，测得其强度均值分别  $\sigma_1 = 1.84$  MPa， $\sigma_2 = 3.24$  MPa， $\sigma_3 = 3.9$  MPa， $\sigma_4 = 4.52$  MPa。对比图 3 中各个时刻的温度应力，可以得出，混凝土可能发生开裂的时间点 9:30 左右，即混凝土摊铺后 6 h。从该时间点开始应对混凝土板进行降温处理。

## 3 采取的工程措施

至此我们确定了板体会因温度过高而增加开裂的风险，并获得了温度应力过大的时间段。之后施工方采取了多种方式进行降温。

1) 在混凝土拌和站通过对水进行加冰处理，降低混凝土的出料时的温度。

2) 摊铺前对基层用水冲刷，降低基层温度。

3) 覆膜养生 6 h 左右，用洒水车喷洒冷却水在薄膜表面，通过膜表面水的吸热来降低温度。

采取这些措施后，对同龄期混凝土内温度进行了抽样测量，混凝土升温起点略有推迟，在 (20—45) min 左右，温度应力临界点时的温度均比未处理之前有了一定的下降，下降幅度 (4—7) ℃左右，效果比较明显。但是在摊铺 10 h 后，温度变

化情况与未处理前差别较小。考虑到这时候混凝土强度成长高于温度应力,处于安全状态,故可无需进行处理。

## 4 结论

通过对混凝土摊铺后的温度进行监控,证实了施工方对板体会因温度过高而产生开裂的想法,并结合监控数据和推算结果,获得了混凝土板开裂风险较高的龄期,进而采取针对性措施进行处理,极大的降低了风险,获得了很好的效果。

## 参 考 文 献

- 1 钱晓倩,朱耀台,詹树林. 现代混凝土早期收缩裂缝形成机理及控裂理念. *商品混凝土*, 2008;(2): 4—6
- 2 张君,祁锟,侯东伟. 基于绝热温升试验的早龄期混凝土温度场的计算. *工程力学*, 2009;26(8):155—160
- 3 张君,祁锟,张明华. 早龄期混凝土路面板非线性温度场下温度应力的计算. *工程力学*, 2007;24(11):136—145
- 4 朱耀台,詹树林. 混凝土裂缝成因与防治措施研究. *材料科学与工程学报*, 2003;21(5):727—730
- 5 黄子春. 大体积混凝土温度裂缝分析与防治实例. *混凝土*, 2010;(1):132—135
- 6 朱伯芳. 大体积混凝土温度应力与温度控制. 北京:中国电力出版社,1999
- 7 邓学钧. 路基路面工程(第二版). 北京:人民交通出版社. 2000

# Early Age Concrete Slab Temperature Stress and Anti-crack Calculation

PENG Zhao-feng<sup>1</sup>, YI Hong-sheng<sup>2</sup>

(Shanghai Municipal Engineering Research Institute (Southern Branch), Fushan 528200, P. R. China;

School of Civil and Traffic Institute, South China University of Technology<sup>2</sup>, Guangzhou 510640, P. R. China)

**[Abstract]** Through monitor the temperature field of the early age concrete, then finite difference method is used to calculate its temperature stress, plot its time-stress curve. Several cores at different ages of the early age concrete are drilled, then its flexural strength is measured, this flexural strength is taken as the anti-cracking limits. Compare the temperature stress to the flexural stress which is used to obtain the cracking rules of the early age concrete. According the temperature monitoring curves, the range of temperature that have great gap can be determined out, in order to take corresponding engineering measures to protect against it.

**[Key words]** early age concrete      temperature stress      crack calculate      temperature control