

# 考虑收缩与温度应力的钢筋混凝土 支撑轴力研究

张启辉 朱 荃 赵锡宏  
(同济大学,上海 200092)

**【摘要】** 采用钢筋应力计量测钢筋混凝土支撑轴力时,收缩应力和温度应力修正是必要的。结合上海浦东某实际工程,从理论上和实测中对支撑轴力中收缩和温度应力进行研究。结果表明,收缩引起的应力相当于整个支撑轴力的 1/3,而温度变化引起的最大应力相当于支撑轴力的 1/5。

**【关键词】** 收缩应力;温度应力;钢筋混凝土;支撑轴力

**【中图法分类号】** TU375

**【Abstract】** It is necessary to consider the influence of shrinking and temperature stresses when using reinforced stress to measure reinforced concrete strut axial forces. According to an engineering practice in Pudong, Shanghai, both the theoretical analysis and in-situ test are studied. The results show that the shrinking and maximum temperature stresses correspond to 1/3 and 1/5 of the total strut axial forces respectively.

**【Key words】** shrinking stress; temperature stress; reinforced concrete; strut axial forces

## 0 引言

支撑轴力作为衡量支撑受力情况的一个重要指标,它的准确量取非常重要。目前常用的钢弦式应力计的基本原理是利用振动频率与其应力之间的关系建立的,受力后,钢筋两端固定点的距离发生变化,钢弦的振动频率也发生变化。根据所测得的钢弦振动频率变化即可求得弦内应力的变化值。但实际量测时,混凝土的初凝硬化会产生收缩,导致应力计中具有由砼收缩所引起的应力,不反映构件外部受荷情况,量测中应予修正。美国休斯敦广场(One Shell Plaze)的 18.3 m 的深基坑 2.52 m 的厚筏中测得的混凝土的收缩应力高达  $53\ 800\ \text{kN/m}^2$ <sup>[1]</sup>,而在基坑钢筋混凝土支撑轴力的监测项目中很少报道;另外,内部温差变化以及混凝土徐变特性也会使钢

筋应力计产生一定的伸缩变形,引起其自振动频率变化。这部分应力值同样不反映外部受荷,也需修正。目前钢筋应力计的温度修正一般是基于出厂时的实验室标定曲线,是在自由状态下给出的修正系数,支撑在受荷情况下的反映有所不同。

本文主要作以下方面工作:1)根据钢弦式应力计工作原理,对收缩和温度应力进行分析;2)提出应力计收缩和温度应力的修正方法;3)针对上海某工程进行收缩和温度应力现场实测。

## 1 收缩应力和温度应力的计算

文中收缩和温度应力是指由于混凝土收缩和温度变化而在钢筋应力计中引起的应力。

应力计量测混凝土支撑的外部轴力时,

作者简介:张启辉,1973年生,男,汉族,吉林人。现为同济大学地下建筑系博士研究生,研究方向:地基、基础与上部结构的共同作用。

与受压钢筋焊接在一起的,两者之间的收缩应力相等。计算收缩应力时,首先假设钢筋和混凝土之间可以自由滑动,混凝土可自由收缩,当构件长度取1时,其自由收缩的变形为 $\epsilon_0$ ,而由于混凝土和钢筋之间的粘结作用,实际变形为 $\epsilon_1$ ,即钢筋所受的压应变值,则钢筋的应力为 $\sigma_s = E_s \cdot \epsilon_1$ 。对于混凝土来说,构件的变形 $\epsilon_1$ 相当于混凝土在自由收缩 $\epsilon_0$ 完成后,受到一拉伸应变,其值为 $\epsilon_0 - \epsilon_1$ 。构件无外力作用,混凝土所受的拉应力与钢筋所受的压应力平衡,即:

$$E_s \cdot \epsilon_1 \cdot A_s = E_c \cdot (\epsilon_0 - \epsilon_1) \cdot A_c \quad (1)$$

$$\text{由此可求得 } \sigma_s = E_s \epsilon_0 / \left(1 + \frac{\alpha \rho}{V}\right) \quad (2)$$

$$\sigma_c = E_c \epsilon_0 / \left(\frac{1}{\alpha \rho} + \frac{1}{V}\right) \quad (3)$$

式中: $\alpha$ 、 $\rho$ ——分别表示钢筋同混凝土的模量比和断面的配筋率;

$V$ ——表示混凝土的变形模量和弹性模量比。

其中 $\epsilon_0$ 取不同龄期的 $\epsilon_0(t)$ 可用下式确定:

$$\epsilon_0(t) = \epsilon_0(\infty)(1 - e^{-0.01t})M \quad (4)$$

式中: $\epsilon_0(\infty)$ ——标准状态下混凝土的最终收缩值,一般取为 $3.24 \times 10^{-4}$ ;

$M$ ——综合考虑各种非标准条件的修正系数,取值与水泥品种、水灰比、水泥浆量和相对湿度等有关。

从式(2)、(3)和(4)就可以计算出钢筋混凝土中由于混凝土收缩引起的钢筋中的应力。

对于温度应力的计算,混凝土入模后,温度升高很快,混凝土的线膨胀系数为 $(1.0 \sim 1.5) \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$ ,而钢筋的线膨胀系数一般为 $1.2 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$ ,两者之间比较接近,不会因为温度的变化而产生很大的相对变形、发生内力重分布。因此对于钢筋应力计内的温度应

力可以通过钢筋由于温度变化引起的线应变乘量乘以弹性模量求得(这与试验室提供的温度修正结果基本吻合)。

## 2 收缩应力和温度应力的现场量测

### 2.1 钢弦式应力计频率修正原理

鉴于钢弦式应力计的工作原理,将其与钢筋混凝土构件中的钢筋焊接在一起,根据变形一致原理,由于外力作用,钢弦产生微量变形,从而改变了弦原有应力及自振频率,钢筋应力计在室内预先标定,从而可以得到钢筋应力与频率的标定曲线,从现场测得钢筋应力计的频率变化后,经过温度应力和收缩应力修正,可得修正频率为:

$$f = f_0 + \Delta f + K(T - T_0) \quad (5)$$

式中: $f$ ——修正后频率;

$f_0$ ——现场实测频率;

$\Delta f$ ——收缩应力修正频率;

$K$ ——温度应力修正系数;

$T$ ——支撑温度计实测温度;

$T_0$ ——室内标定温度。

从标定的频率-钢筋应力曲线上得到支撑内某一根钢筋所受轴力,根据断面配筋情况,通过计算可得相应断面支撑轴力。

### 2.2 收缩和温度应力量测

针对上海浦东某工程的支撑轴力进行收缩和温度应力的现场量测。

#### 2.2.1 测点的布置

支撑断面为 $0.8 \text{ m} \times 0.8 \text{ m}$ ,在四角分别埋设温度计四只,位置与应力计位置同步,这就为应力计根据不同的感应温度进行修正提供了方便,应力计位置如图1所示,分别编号K41, K42, K43, K44。

#### 2.2.2 支撑轴力收缩应力修正

现场条件下,为了控制无外荷条件,在混凝土浇筑后 $4 \sim 7 \text{ d}$ 内,未进行挖土的条件下,连续测得应力计读数与时间的关系,读得应力计读数基本稳定时的值,作为修正后应力计值,以此作为初始值进行应力量测。由于混凝土初期浇筑会产生水化热,为了减小

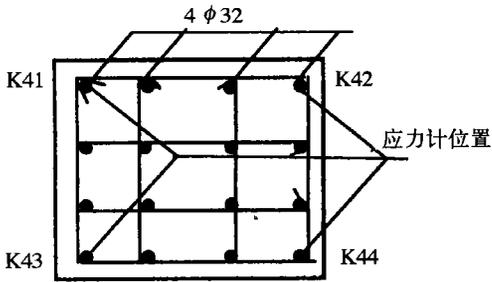


图1 应变计位置图

温度的影响,在混凝土浇筑后24小时以后进行量测,在以后的几天内混凝土散热渐次进行,可认为混凝土的收缩是产生应力计中应力的主要来源。测得四个角上的应力计由混凝土收缩引起应力反映的频率-时间关系,典型关系见图2。4只应力计的频率差分别为 $\Delta f_{41} = 58 \text{ Hz}$ ,  $\Delta f_{42} = 57 \text{ Hz}$ ,  $\Delta f_{43} = 28 \text{ Hz}$ ,  $\Delta f_{44} = 42 \text{ Hz}$ 。平均值为 $46.25 \text{ Hz}$ 。基本稳定后的频率作为应力计读数的初始频率进行下阶段测量。

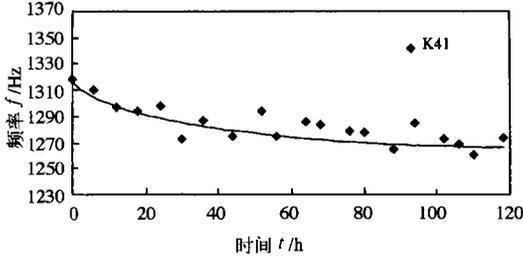
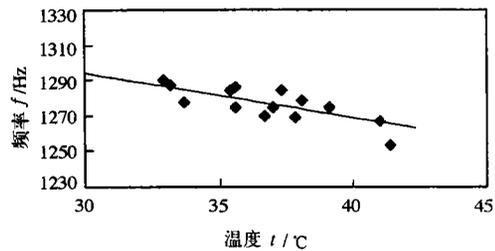


图2 典型混凝土收缩应力反映的频率-时间关系

### 2.2.3 应变计的温度修正

为了测得温度对应力计的影响,必须具备两个条件:1)维持恒荷载条件,连续测量;2)具有较明显的温差。实际测量时,从混凝土浇筑后,收缩频率基本稳定时开始测量温度与频率的关系,测得温度变化引起的应力计频率-温度关系,选用最佳拟合直线的斜率作为修正温度系数 $K$ ,典型测点的温度引起

频率与时间关系见图3。出厂时给出的温度修正系数是应力计在自由状态下得到的修正系数 $K$ , $K$ 的数值很小。而在现场测量时,混凝土必然处于一定的受力状态,此时的温度修正系数同自由状态下肯定不同。实测得到对应 $K_4$ 四个角处的温度应力系数分别为: $K_{41} = 3.02$ ,  $K_{42} = 2.49$ ,  $K_{43} = 2.69$ ,  $K_{44} = 2.67$ ,平均值为 $2.72$ ,与实验室的温度修正参数 $K_0 = 0.206$ 差异很大。另外,考虑到混凝土在长期荷载(不变)作用下将产生徐变,而钢筋一般是不发生徐变的,但因为粘结的作用,两者将共同变形,由于外荷不变,将产生钢筋和混凝土的应力重分布,测得的温度应力修正系数中可能包含混凝土徐变特性的影响。应力计温度修正应采用现场修正系数。

图3 典型测点温度引起的应力计频率变化( $K_{41} = 3.02$ )

### 2.3 混凝土支撑轴力的计算

经上述确定的收缩和温度修正值代入公式(5),得到修正后的钢筋应力计的频率,修正后频率对应标定曲线上的轴力值即为应力计内的修正后的钢筋轴力。对于混凝土支撑轴力的计算基于以下假设:因为应力计埋在砼支撑中,所以假设两者的应变值相等,即 $\epsilon_1 = \epsilon_2$ ,可以得到两者的应力值关系为:

$$\sigma_2 = E_2 \times \frac{\sigma_1}{E_1} \quad (6)$$

其中, $\sigma$ 下标1,2分别表示混凝土和钢筋对应的应力、应变。然后根据断面的配筋情况

计算支撑轴力为:

$$\left. \begin{aligned} F_2 &= F_1 \times \frac{E_2}{E_1} \times \frac{A_2}{A_1} \\ F_1 &= \sigma_1 \times A_1 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

本工程中,在混凝土支撑对撑中,测得的混凝土收缩引起的钢筋应力计内的收缩力平均值为 10.6 kN,相当于断面中的钢筋的内力为 169 kN,钢筋应力为 10 203 kN/m<sup>2</sup>,混凝土应力为 211 kN/m<sup>2</sup>,该值相当于实测混凝土支撑轴力的 1/3。据上述公式计算,取 7 d龄期,  $M=1.5$ ,  $\gamma=1.0$  时,得到的应力计因混凝土收缩引起的钢筋应力为 6 899 kN/m<sup>2</sup>,混凝土应力为 142 kN/m<sup>2</sup>,实测和计算上的差异可能归结为所取的收缩龄期上的差异,混凝土在自由状态下,收缩的周期较长,而在受钢筋内约束时,收缩期认为在 7 d 内基本完成,因为此时不受外荷作用。

本工程支撑中实测温度变化引起的最大轴力约占支撑轴力的 20%,平均值在 8% 左右。

经过收缩应力与温度应力修正的轴力、未经过修正的支撑轴力的关系见图 4。

本基坑工程的支撑轴力量测,经过收缩应力、温度应力修正后的轴力平均值为 5 000 kN 左右,与设计值 4 237 kN 比较接近。初始阶段支撑基本不受外力作用下,修正后反映出较接近实际情况的小轴力值,而修正前该值为 2 200 kN,显然与实际不符。

### 3 结 语

本文根据钢弦式应力计的工作原理,通

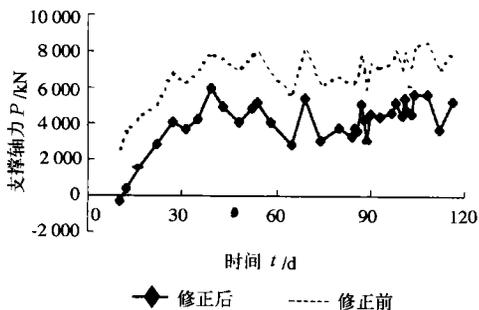


图 4 经过温度、收缩应力修正与未经过修正的支撑轴力对比

过对上海浦东某实际工程的现场温度和收缩应力的实测研究,说明对钢筋混凝土支撑量测进行现场收缩修正是必要的。实测结果可以看出,收缩引起的支撑轴力相当于整个支撑轴力的 1/3,是相当可观的;而温度变化引起的最大应力也相当于支撑轴力的 1/5。总而言之,基于现场的温度和收缩修正是必要的。这从一个侧面说明,目前的支撑量测中得到的支撑轴力实际反映支撑体系受力情况的份额应相应的减少。

本文研究了混凝土支撑中收缩应力和温度应力的影响,建议在基坑工程的支撑轴力的监测中进行现场温度和收缩应力修正。

### 参 考 文 献

- 1 赵锡宏,陈志明,胡中雄等著. 高层建筑深基坑围护工程实践与分析. 上海:同济大学出版社, 1996. 156~157

收稿日期:1999-06-21

(上接 50 页)

2) 轻便触探结果也显示,基础边界处锤击数明显高于室内天然土;说明基础下地基承载力有一定程度的提高。

3) 承重墙下地基土经 12 年的压密固结,承载力可提高约 7.7%。

4) 因管道漏水可造成地基承载力大幅度

下降,所以在增层改造中应对渗水部位地基土进行加固处理,并作好防水。

### 参 考 文 献

- 1 唐业清. 关于旧有房屋增层改造工程的几个问题. 建筑技术, 1992, 19(3): 1~6

收稿日期:1999-08-10