

火力发电厂主厂房纵向框架温度应力分析

夏宏君 张爱中

山东电力工程咨询院 山东 济南 250013

摘要:通过对超长混凝土框架结构温度作用特性的研究,提出主厂房纵向框架结构的温度分析模型,分析了温度作用对框架梁、柱的不利影响,给出了温度应力计算的简化公式。

关键词: 温度应力 超长 主厂房

中图分类号: TU271.1 **文献标识码:** A

国内大容量机组的火力发电厂主厂房纵向较长,如 300MW 一个单元(一台机组)纵向长度约为 $12 \times 7=84\text{m}$,600MW 一个单元纵向长度约为 $12 \times 8=96\text{m}$,均超过文献[2]中可不做计算温度的最大长度 75m,此类框架均属于超长混凝土框架结构,按规范要求,必须考虑温度应力的不利影响。文献[2]指出:当有充分论证,采取有效措施或经验算满足要求时,可适当增加温度伸缩缝的距离。通常为了方便施工和缩短工期,设计中主要通过增加纵梁截面的配筋来抵抗温度作用。本文重点对主厂房纵向框架设计时的温度应力及温度钢筋的计算进行研究。

1 框架结构收缩应力的配筋计算

主厂房上部结构的施工顺序通常为,横向与纵向框架梁柱先施工,待混凝土到一定强度后(大于 27 天),再铺设楼面钢次梁及施工楼板施工钢筋混凝土楼板。由于主厂房结构的设计荷载较大,结构配筋率较高,因此,施工期间横梁中纵向钢筋可以抵御混凝土降温引起的温度应力,避免了温度裂缝的出现。但纵向梁的配筋相对较少,能否抵御温度应力则要视情况而定。

根据文献[3]的研究结果,收缩作用引起钢筋应力可近似用下式表示:

$$\sigma_{ay} = \frac{0.5 \times 3.24 \times 10^{-4} E_s}{1 + \rho \frac{E_s}{E_c}} \quad (1)$$

由此可得所需温度钢筋的面积 A_{ST}

$$A_{ST} = A \rho \sigma_{ay} / f_y = A \frac{0.5 \times 3.24 \times 10^{-4} E_s}{f_y \left(\frac{1}{\rho} + \frac{E_s}{E_c} \right)} \quad (2)$$

式中: E_s 、 E_c 分别为钢筋和混凝土的弹性模量 (MPa); ρ 为不计温度钢筋时梁的全截面纵向受力钢筋配筋率; f_y 为温度钢筋的抗拉强度设计值; A 为纵梁截面面积。

例 1 双纵梁截面尺寸均为 $300\text{mm} \times 1200\text{mm}$,混凝土 C30,上层通长钢筋 2 25,下层钢筋 5 25。 $\rho=1\%$, $E_s=2.0 \times 10^5\text{N/mm}^2$, $E_c=3.0 \times 10^4\text{N/mm}^2$, $f_y=300\text{N/mm}^2$, $A=3.6 \times 10^5\text{mm}^2$ 。可计

算出 $A_{ST}=364.5\text{mm}^2$ 。

2 结构温差确定

在电厂运行期间,厂房结构的整体作用较强,维护结构已经发挥作用,小幅度、短暂的室外温差变化对厂房结构影响不明显,此时结构的温度应力将取决于室内常温与施工期间温度的差值,应根据当地情况确定,文献[3]给出室内采暖、非采暖混凝土结构的计算温差分别为 20、25。

纵向框架结构的温度应力由混凝土收缩应力与温差应力叠加形成,可将上节中的收缩变形等效为收缩当量温差:

$$t_y = \frac{\varepsilon_y}{\alpha} = -\frac{\varepsilon_y(\infty)}{2\alpha} = 16.2$$

设计时 t_y 可近似取 15。因此通常情况下的结构的降温计算温差为

$$\Delta_t = T - t_0 - t_y = -35$$

式中, T 为使用时的温度,计算升温、降温时分别取室内最高、最低计算温度。 t_0 为初始温度; α 为钢筋混凝土结构的线膨胀系数, $\alpha = 1.0 \times 10^{-5}$ 。

鉴于结构升温温差相比降温温差较小,故可不作计算,仅从构造上予以考虑。

3 使用期间温度荷载产生的内力

框架结构计算温差是由室内温度变化确定的,主厂房楼面次梁、楼面板与框架的温度应力应变趋势一致,由于框架柱的抗侧刚度难以约束框架的温度变形,因此,计算时可不考虑柱对纵梁伸缩的反作用,柱所在纵梁的伸缩值等于柱顶的侧移值。框架的温度伸缩不动点可取刚性支撑跨跨中,纯框架结构可取纵向中点,当设有多道支撑或各支柱抗侧刚度相差较大时,应先计算出刚性支撑及各柱的抗侧刚度,再求出结构的刚度中心点,框架任意点产生的伸缩侧位移为

$$\Delta_i = \alpha \cdot \Delta_t L_i \quad (3)$$

式中: α 为钢筋混凝土结构的线膨胀系数, $\alpha = 1.0 \times 10^{-5}$; L_i 为不动点至计算点的距离。

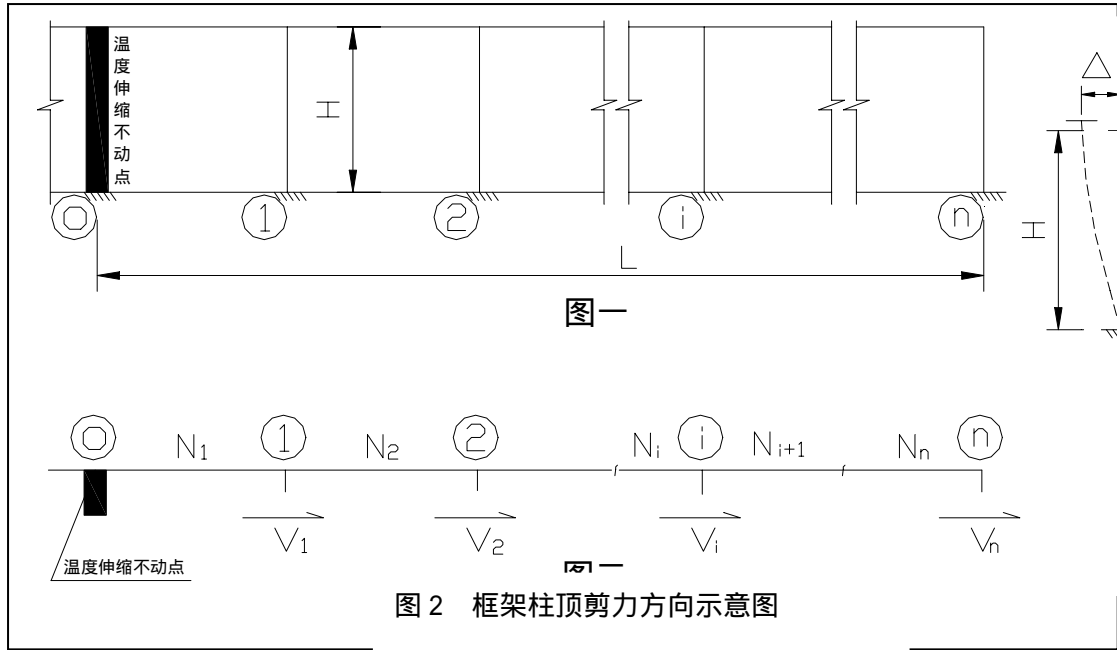
由于温度应力的发展过程较为缓慢,因此柱的抗弯刚度 B 应考虑徐变的影响,

$$B_c = \gamma H(t, \tau) EI_0$$

式中, γ 为塑性系数,只考虑材料弹塑性时, $\gamma = 0.85$; $H(t, \tau)$ 为松弛系数,根据缓慢程度 $H(t, \tau) = 0.3 \sim 0.5$,计算时取上限 0.5。可得出柱抗弯刚度为

$$B_c = 0.425 BI_0 \quad (4)$$

文献[3]及文献[4]分别对多高层框架进行平面分析和空间分析,结果表明:在温度应力作用下,柱内剪力与柱高的三次方成反比,纵梁离基础越远则柱内剪力衰减越快。在不考虑柱对纵梁伸缩的反作用时,一、二层纵梁的收缩变形基本相同。因此当通过柱顶侧位移来计算框架温度应力时,为便于计算,可假定为在温度应力作用下,纵梁与柱相交节点无转角位移,将计算模型简化为一层框架结构再进行分析。计算简图如图 1。



各框架柱顶剪力方向与柱顶位移相反，大小为

$$V_i = \frac{12 \times 0.425 E_{ci} I_{0i}}{H_i^3} \Delta_i \quad (5)$$

将各柱顶剪力反向加于纵梁上（见图 2），可得框架纵向距不动点第 i 跨纵梁的温度应

$$力：N_i = \sum_i V_i \quad (6)$$

通常情况下，主厂房纵向框架柱截面 $b \times h$ 、底层柱高度 H 、混凝土强度等级及柱距 d_0 均相同，因此式（6）可以简化为 $N_i = 89.25\alpha[n(n+3) - i(i+1)]d_0 \frac{E_c I_0}{H^3} \Delta_i$ (7)

4 温度应力的配筋计算

文献[4]指出，温度作用对梁抗弯设计的不利影响较小，根据温度应力进行配筋计算时，温度应力可不与其他荷载产生的内力进行组合，而直接计算因温度应力需要增加的钢筋。计算出的钢筋面积直接乘以组合系数 0.9，作为最终温度钢筋。

通常主厂房纵梁的配筋率较高，因此温度钢筋可放在梁侧，梁侧配筋总量应为受扭钢筋与温度应力钢筋之和。

主厂房各层楼面的次梁通常与纵向框架梁方向一致，框架梁所受扭距较小。不做温度应力计算时，纵梁侧面构造钢筋需满足文献[1]的有关要求，即梁两侧构造钢筋配筋率均不小于梁截面积的 0.1%。文献[1]在条文说明中解释了梁侧构造钢筋的作用，即为防止梁截面较大时，梁侧面产生垂直于梁轴线的收缩裂缝。因此梁侧构造钢筋应按温度钢筋考虑。对于主厂房双纵梁框架结构，可按两纵梁各分担总温度应力的一半考虑。

例 1 中，若柱截面为 $800\text{mm} \times 1800\text{mm}$ ，混凝土强度等级 C45，底层柱净高 9m，纵向框架总长 96m，柱距 12m，纵向不设垂直支撑。

根据上述条件可知，温度收缩不动点在第 5 号柱上，柱两侧温度应力对称分布，各柱顶温度收缩变形及各段纵梁温度应力、配筋见表 1。

将举例中框架长度降为 72m，其余数据不变，可求出此时框架梁内所需温度钢筋的最大面积为 680mm^2 ，小于梁侧构造配筋，大于收缩应力配筋面积（ 364.5mm^2 ），由此可见文献[1]

中的梁侧构造钢筋最小配筋率与文献[2]中最大伸缩缝间距较为合理。

表 1 框架柱温度应力、收缩变形及其配筋

柱编号	l_i/m	Δ_i/mm	V_i/kN	N_i/kN	温度筋总量 A_s/mm^2	单梁温度筋 $/mm^2$	实配侧向筋 $/mm^2$	钢筋面积 $/mm^2$
48	16.8	16.8	+302	+302	910	450	10 12	1130
36	12.6	12.6	+227	+529	1588	794	10 12	1130
24	8.4	8.4	+151	+680	2042	1021	10 12	1130
12	4.2	4.2	+76	+756	2268	1134	12 14	1535

注：带肋钢筋对梁表面裂缝的控制较有利，表中温度钢筋均按 HRB335 级钢筋考虑。

应当注意，由于纵向内温度应力是通过节点进行传递的，因此，温度钢筋端部应按受拉锚入节点内，有条件时可将梁侧钢筋连通设置。这样处理不仅确保了温度应力的有效传递，又减小了温度应力对节点混凝土的不利影响。

文献[4]的研究表明：在温度应力作用下，底层柱将产生较大的柱端附加弯距，距离温度伸缩不动点越远，作用越明显。温度应力对二层及以上各层柱柱端弯距的影响较小可以忽略。因此底层柱纵向的设计弯距、剪力值，应根据温度计算出的柱顶剪力予以提高，边柱应重点考虑。

5 结语

通过本文的探讨，可以得出以下结论：通常情况下，火力发电厂主厂房纵向框架结构长度符合文献[2]相关规定，梁侧构造钢筋满足文献[1]要求时，可不进行温度作用计算；当纵向为超长框架时，应对框架纵梁梁侧构造钢筋按温度作用计算要求进行设计，底层框架柱的设计弯距、剪力应适当提高；对于设有多个刚性跨或刚性跨偏离纵向中心较远的非超长框架结构，应进行温度应力计算分析。

注：本文发表在《武汉大学学报》2004年9月