

## 大跨度钢架温度应力对内力的调控效果

田志昌,韩育民\*,孟亚楠,赵根田

内蒙古科技大学 土木工程学院, 内蒙古 包头 014010

**摘要:**本文在大跨度格构式钢架的结构设计中,考虑在 $\pm 30^{\circ}\text{C}$ 的均匀温度场变化,温度作用对结构内力和位移的影响。通过选定最佳的合拢温度,使温度变化引起的内力尽可能的抵消部分结构的受力,降低温度对结构的不利影响。

**关键词:**钢结构; 温度作用; 内力; 调控

**中图分类号:**TU393.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-2324(2017)03-0414-04

## Control Effect of Long Span Steel Frame Temperature Stress on the Internal Force

TIAN Zhi-chang, HAN Yu-min\*, MENG Ya-nan, ZHAO Geng-tian

College of Civil Engineering/Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014010, China

**Abstract:** In the large span lattice steel frame structural design, the influence of temperature field on the internal force and displacement of the structure is taken into account when the temperature field changes at  $\pm 30^{\circ}\text{C}$ . By choosing the optimum closing temperature, the internal forces caused by the temperature change can be taken as much as possible to offset the force of some structures, and reduce the adverse effect of temperature on structure. The optimum final erection temperature is chosen to make the internal force caused by the temperature changes as much as possible to counteract the force of part of the structure, it can reduce the adverse effects of temperature on the structure.

**Keywords:** Steel structure; temperature effect; internal force; regulation

温度变化会使钢结构的各构件发生伸长和收缩,当杆件的变形受到节点的约束作用,就会产生温度应力<sup>[1]</sup>。由于温度效应的复杂性,以前许多工程在设计中受到计算方法、工具和时间的限制,大多未做温度效应的具体计算。而设计时因未重视结构的温度效应而导致的工程事故并不少见,结构的温度效应一般很难在结构设计中定量考虑,通常是定性分析,然后在构造上采取措施,所以设计时要对结构在温度作用下产生的内力和变形有一个趋势上的把握,以明确结构温度应力集中的部位以及对结构整体的影响,尽量将温度应力转变为对结构有利的内力<sup>[2-5]</sup>。

### 1 工程概况

本工程系包头市一足球训练馆项目,工程建筑面积为 4460 m<sup>2</sup>,最高处标高 15.875 m。本工程采用钢结构<sup>[6,7]</sup>,主体结构由 12 榀不等高的格构式钢架组成,钢架跨度为 54.4 m。训练馆内部两侧设有 3 m 宽的看台,看台标高为 3 m。结构屋面两端分别往外悬挑 7.5 m 作为建筑造型。钢材强度等级采用 Q345。如图 1 所示为训练馆 SAP2000 的有限元实体模型。



图 1 主体结构三维模型

Fig.1 The 3D model of the main structure

### 2 钢架选型

格构式钢架立面如图 2 所示。在标高 3 m 以下,钢架柱子内外肢通过 8 mm 厚的钢板连接,钢柱宽度为 900 mm;标高 3 m 以上,钢架内外肢通过 $\phi 200 \times 5$ 钢管和 $\phi 100 \times 4$ 钢管的连接,最上端钢架柱宽度为 1800 mm;钢架梁高度为 1800 mm,钢架柱与钢架梁之间,布置一根 $\phi 200 \times 5$ 钢管作为加

收稿日期:2016-08-13

修回日期:2016-11-15

基金项目:国家自然科学基金项目(51268042)

作者简介:田志昌(1961-),男,博士,教授,主要从事有限元软件开发和工程防灾减灾. E-mail:tianzhch@sina.com

\*通讯作者:Author for correspondence. E-mail:46538792@qq.com

强支撑。钢架两端向外悬挑 2.4 m。钢架格构截面如图 3 所示。格构柱外侧采用 ][25 b 热轧槽钢组合, 因为热轧槽钢在制作过程中一次成型, 相比焊接 H 型钢, 质量可以保证, 且材料自身的残余应力较小。格构柱内侧采用  $\phi 350 \times 8$  的钢管, 钢管受压性能相对较好, 同时有利于建筑内部的装饰。结构其他部分构件的材质和截面尺寸如表 1 所示。

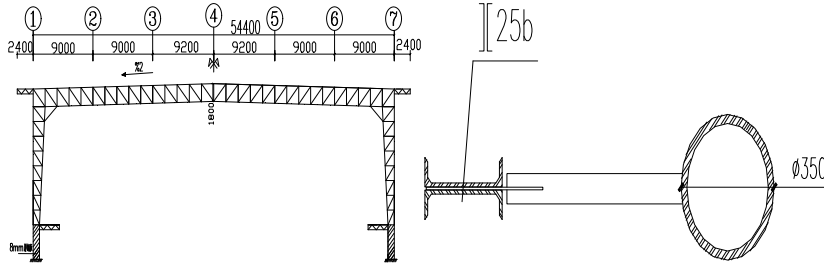


图 2 钢架立面图

图 3 格构截面图

Fig.2 The facade of steel frame

Fig.3 The cross section of the lattice

表 1 部分构件截面

Table The cross section of partial components

构件类型 Type	截面尺寸 Sizes of cross section	材料性质 Character of material
刚架外肢	][25b	Q345B
刚架内肢	$\phi 350 \times 8$	Q345B
抗风柱	$\phi 350 \times 8$	Q345B
屋面拉条	$\phi 15$	Q345B
屋面檩条	C250 $\times$ 75 $\times$ 20 $\times$ 2.5	Q345B

### 3 温度应力分析

#### 3.1 计算温度选择

对于钢结构, 由于钢结构材料导热性能好, 截面相对较薄, 当温度变化时, 可以认为构件中的温度变化是均匀的。本文根据当地的气候条件、实际保温隔热构造的设计的实际情况, 把训练馆的使用温度设定在  $0\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 30\text{ }^{\circ}\text{C}$  的温度变化范围内。利用 SAP2000 有限元软件<sup>[8]</sup>, 分析结构在  $0\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 30\text{ }^{\circ}\text{C}$  不同的合拢温度下, 温度应力对结构内力调控的效果, 并以此为依据选定一个最优的柱脚与基础最终合拢温度。因为训练馆的纵向长度并没有超过钢结构设计规范的规定, 而且纵向构件大多为铰接的系杆作为抗侧力体系和螺栓连接的支撑体系, 可以较强的适应温度效应, 故可以不考虑结构纵向的温度影响。

#### 3.2 内力分析

由于钢架是对称结构, 本文选取一榀钢架左半侧进行分析, 如图 4 所示为钢架左半侧结构简化图。本文主要分析钢架 A 群、B 群、C 群三处位置在:  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  不同温差下的内力变化。考虑结构在:  $1.0 \times \text{恒载} + 0.5 \times \text{活载} + 1.0 \times \text{温度荷载}$  的荷载工况, 其中温差  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  指结构在没有温度变化影响时的状态。图 5 所示为钢架只在  $1.0 \times \text{恒载} + 0.5 \times \text{活载}$  作用下的轴力图。图 6、图 7 所示分别为钢架在升温、降温情况下的变形趋势图。表 2 所示为温差  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  时产生的温度应力在各构件中所占比例。表 3 所示为不同温度下结构杆件的轴力, 表 4 所示为不同温度下结构杆件的应力。

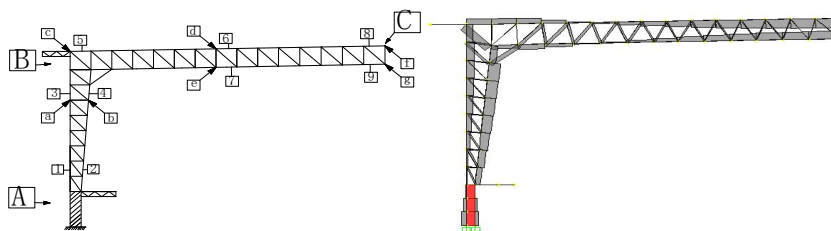


图 4 钢架左半侧简化图

图 5 左半侧钢架轴力图

Fig.4 The schematic diagram in left half of steel frame

Fig.5 The axial force in left half of steel frame

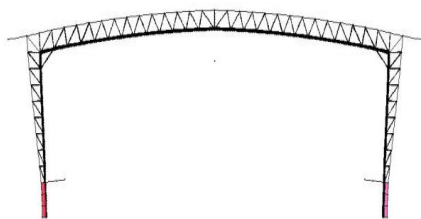


图 6 钢架升温变形图

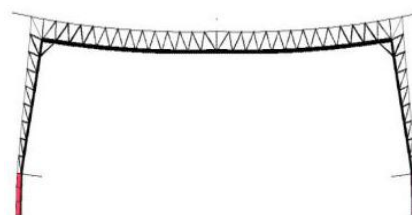


图 7 钢架降温变形图

Fig.6 The deformation of the steel frame in rising temperature

Fig.7 The deformation of the steel frame in bring down temperature

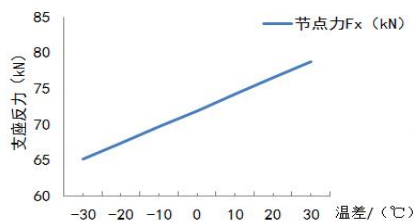


图 8 支座反力变化趋势图

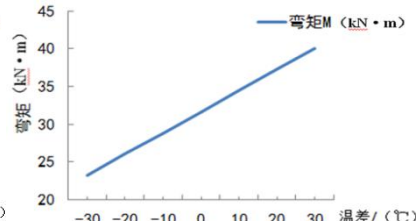


图 9 支座弯矩变化趋势图

Fig.8 The changing tendency of reverse force on the support

Fig.9 The changing tendency of the bending moment on support

当结构受到温度变化影响时，结构 A 群处支座的节点力 F 也随之变化。由于钢架下部的内外肢通过钢板焊接在一起，所以在共同作用下支座产生了往内的拉力，有利于基础的受力。由图 8、图 9 可以得出，温度升高会导致支座处的内力增大。相比温差 0 °C，在温差为-30 °C时候 Fx 降低了 10%，弯矩也随之降低 26%。所以在降温至-30 °C 范围内产生的温度应力是对结构支座受力是有利的。

表 2 温差 30 °C 时温度应力在各构件中所占比例

Table Proportions of stresses in components at 30 °C of temperature difference

编号 No.	构件 Components								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
应力 kN	29.89	15.7	17	21.2	20.2	26.9	34.2	28.2	34.8
比例%	59.1	5.5	5.6	4.6	7.8	12.8	12.9	6.4	9.5

表 3 不同温度下部分构件轴力 (单位: kN)

Table 3 The axial force of components at different temperature

构件 Components	温差 Temperature differences						
	-30 °C	-20 °C	-10 °C	0 °C	+10 °C	+20 °C	+30 °C
构件 1	80.44	70.48	60.521	50.551	40.601	30.642	20.682
构件 2	-300.49	-295.26	-290.03	-284.80	-279.57	-274.34	-269.11
构件 3	287.64	293.31	298.97	304.64	310.3	315.97	321.63
构件 4	-442.92	-449.97	-457.02	-464.07	-471.11	-478.16	-485.21
构件 5	238.34	245.08	251.83	258.58	265.32	272.06	278.81
构件 6	-236.63	-227.66	-218.69	-209.71	-200.75	-191.78	-182.81
构件 7	301.72	290.33	278.94	267.54	256.16	244.76	233.37
构件 8	-468.44	-459.05	-449.66	-440.26	-430.88	-421.49	-412.10
构件 9	399.83	388.23	376.63	365.02	353.43	341.82	330.22

表 4 不同温度下部分构件应力 (单位: N/mm<sup>2</sup>)

Table 4 The stresses of partial components at different temperatures

构件 Components	温差 Temperature difference						
	-30 °C	-20 °C	-10 °C	0 °C	+10 °C	+20 °C	+30 °C
构件 1	10.848	9.543	8.237	6.930	5.626	4.321	3.015
构件 2	-30.831	-31.602	-32.373	-33.122	-31.136	-29.148	-27.159
构件 3	45.605	46.463	47.32	48.179	49.036	49.893	50.751
构件 4	-39.956	-40.591	-41.227	-41.863	-42.497	-43.133	-43.768
构件 5	38.535	39.772	41.009	42.248	43.483	44.721	45.958
构件 6	-28.413	-27.45	-26.488	-25.524	-24.563	-23.60	-22.637
构件 7	43.474	41.905	40.336	38.766	37.198	35.629	34.06
构件 8	-51.437	-50.464	-49.492	-48.518	-47.546	-46.574	-45.601
构件 9	57.504	55.913	54.321	52.728	51.138	49.547	47.955

根据表 2 可得，温度变化产生的应力是不可忽视的，表中温度应力最大的杆件可以达到 34.8 kN。由 3.2~3.3 可得，当温度降低时，A 群和 B 群处受力较大构件的内力随着温度降低而减小，例如在温

差-30℃下A群处的受力大的构件4轴力降低了12%，B群处的构件5轴力降低了16%。而C群处的构件内力随着温度的升高均有所降低，例如在温差+30℃时构件8降低了13%，虽然降温导致C群处部分构件轴力增大，但是不会产生过大的应力变化。

由表5可得，温度变化对于钢架的A群、B群处的节点位移变化较小；对于跨中C群处的位移，因其本身的位移很大为81.16mm，相比温差0℃，如节点f的竖向位移在升温30℃的条件下变化了19.43mm，而降温30℃时位移最大仅变化了7.4mm。

表5 不同温度下的节点位移

Table 5 The nodal displacements at different temperatures								
节点 Nodes	方向 Direction	不同温度下竖向位移 (单位: mm) The vertical displacements						
		-30℃	-20℃	-10℃	0℃	+10℃	+20℃	+30℃
节点 a	Ux	-1.05	-3.44	-5.84	-8.23	-10.63	-13.02	-15.42
	Uz	-2.85	-1.71	-0.57	0.58	1.72	2.86	4.00
节点 b	Ux	-2.02	-4.21	-6.40	-8.59	-10.78	-12.97	-15.15
	Uz	-5.31	-3.88	-2.45	-1.03	0.40	1.82	3.25
节点 c	Ux	10.85	7.53	4.22	0.90	-2.41	-5.73	-9.04
	Uz	-3.69	-1.99	-0.29	1.41	3.11	4.81	6.51
节点 d	Ux	8.02	6.23	4.45	2.66	0.87	-0.91	-2.71
	Uz	-53.96	-50.29	-46.62	-42.94	-39.28	-35.61	-31.94
节点 e	Ux	1.58	0.08	-1.42	-2.92	-4.42	-5.92	-7.42
	Uz	-57.21	-53.66	-50.10	-46.54	-42.98	-39.42	-35.87
节点 f	Ux	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
	Uz	-88.56	-84.09	-79.61	-75.14	-70.67	-66.20	-61.73
节点 g	Ux	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
	Uz	-88.02	-83.75	-79.48	-75.21	-70.95	-66.68	-62.41

通过上述分析发现，钢架在不同的温度条件下，温度变化产生的内力在结构内力中占有很大的比重。在降温30℃的范围内，温度应力可以降低支座的内力。对于钢架A群和B群处的构件，降温不会引起过大的位移反应，且大部分构件的内力是降低的，少数受力小的构件的内力是变大的。对于C群处的构件，升温可以降低构件内力，但降温不会对构件产生较大的内力变化；虽然升温降低了跨中处的位移，但降温不会引起过大的位移反应，有利于结构的建筑设计。

因为软件对温度效应的分析是按线弹性理论计算的，所以在0℃~30℃的结构使用温度范围内，通过温度应力的变化来调控各构件的内力，使温度应力尽可能的抵消结构的部分内力，降低结构的变形，最终选定合拢温度为25℃。这样钢架在升温5℃和降温25℃的范围内产生的温度应力既可以降低受力大的杆件内力，又可以控制结构的位移反应。

## 4 结论

钢结构对温度效应很敏感，在结构设计中，只有很好的把握结构在温度工况下内力和位移变化的规律，才能利于结构设计方案的确定和构件内力分析，做到经济合理，安全适应。本文以实际工程为背景，对钢架在温度效应下进行内力调控，分析了结构在升温 and 降温不同工况下的内力变化，通过协调各主要位置的内力和位移，把25℃定位最优的柱脚和基础连接的合拢温度，充分发挥温度应力的有利影响，降低温度应力对结构的不利影响。

## 参考文献

- [1] 方勇.浅谈建筑结构温度效应的考虑[J].建筑结构,2015(45):377-380
- [2] 刘树华.温度荷载效应对大型钢结构影响的分析[J].城市建筑,2013(6):44
- [3] 田志昌,罗晓波.露天网架的温度应力作用分析[J].内蒙古科技大学学报,2013,32(4):401-404
- [4] 田黎敏,郝际平,王媛,等.大跨空间结构温度效应分析与合拢温度研究[J].土木工程学报,2012,45(5):1-7
- [5] 杨璐,尚帆,张文学.大跨度钢结构网架温度应力及其影响分析[J].空间结构,2014,20(1):53-57
- [6] 中华人民共和国建设部.GB 50017-2003 钢结构设计规范[S].北京:中国计划出版社,2003
- [7] 中华人民共和国住房和城乡建设部.GB50009-2012 建筑结构荷载规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2012
- [8] 北京金土木软件技术有限公司,中国建筑标准设计研究院.SAP2000 中文版使用指南[M].北京:人民交通出版社,2012