

温度对隔热断桥型材的影响

周秀红 李远

【摘要】隔热断桥型材是由隔热条和铝合金型材复合而成的，本文通过理论数据的计算、工程实例的案例分析，并辅以实验数据的校核，研究了温度对隔热断桥型材所产生的影响。

【关键词】线性膨胀系数；隔热断桥型材；热变形

随着建筑节能指标的不断提升，促使隔热断桥型材的应用越来越广泛，大家对隔热型材的相关性能也早已不陌生了。然而我们之前讨论比较多的都是隔热断桥型材的各项力学性能、稳定性能，以及加工方案等内容。然而对于实际使用时会遇到的问题可能少有人关注，下面我们就对会造成使用困扰的问题来进行研究，尤其是温度问题。

众所周知，隔热断桥型材是由隔热条和铝合金型材复合而成的。隔热条和铝合金型材的线性膨胀系数虽然比较接近，但是还是有差异的。铝合金的线膨胀系数是 $\alpha=2.35 \times 10^{-5} \text{K}^{-1}$ ，隔热条的线性膨胀系数为 $2.3\sim 3.5 \times 10^{-5} \text{K}^{-1}$ 。以泰诺风为例，隔热条的线性膨胀系数为 $\alpha=2.8 \times 10^{-5} \text{K}^{-1}$ ，取 $L_0=1.5\text{m}$ 的杆件长度，温差变化取 $\Delta T=30^\circ\text{C}$ ，可以分别计算在没有约束的情况下两种材质的温度热变形量：

隔热条： $\Delta L=\alpha L_0 \Delta T=2.8 \times 10^{-5} \times 1.5 \times 10^3 \times 30=1.26\text{mm}$

铝合金： $\Delta L=\alpha L_0 \Delta T=2.35 \times 10^{-5} \times 1.5 \times 10^3 \times 30=1.06\text{mm}$

对于门窗而言 1.5m 的杆件在温差 30°C 的情况下，隔热条和铝合金型材的温度变形量仅仅相差 0.2mm ，大概占到杆件长度的 0.01% ，加上约束这个变形是可以吸收的。所以隔热断桥型材的温度变形基本是同步的，不会产生型材内部使用上的问题。

接下来我们将以一个实际案例来分析一下在温差比较大的地区热变形会不会产生使用的问题。

1. 发现问题

客户发邮件来反映在美洲 Gooderham 项目上提升推拉门启闭异常事宜，遇到客户投诉。客户反馈的情况如下：

1.1 其中遭到投诉的 10 堂推拉门，分布在不同楼层和不同立面。现场的阵风风压没有实测过。现场的人体感风压有时大，有时候小。

1.2 外扇变形朝室外拱，中间鼓起约 $4\sim 5\text{mm}$ 。内扇几乎没有变形， $1\sim 2\text{mm}$ 变向朝室内拱，目前数据都来自总包，出现的

季节集中在冬天，有 8 樘，1 樘在春天，1 樘在夏天。关不上的情况都是变形引起。冬天发生的时候，据总包反馈，当稍微出现点太阳的时候，门就可以关上了。最冷的时候因为太冷没有人开门，所以也没有数据。

1.3 勾起没有变形，关不上的情况非持续性，是偶发且短暂发生。

1.4 多伦多所有使用此提升推拉门的工程，相隔距离不超过 5 公里。其他工程没有出现类似情况。详见图 1 所示。



图 1 变形的推拉门型材

2. 分析问题

当地的气候条件如下：多伦多地区冬季温度在 -10°C 左右，体感温度 $-16\sim -17^\circ\text{C}$ 。最冷的时候可以达到 -30°C ，体感温度可以达到 -40°C 。室内温度为 $20\sim 25^\circ\text{C}$ 。基本风压设计值为 $2.5\text{KN}/\text{m}^2$ ，门的尺寸为 $2.0 \times 1.0\text{m}$ 。出现变形的门基本都处在转角位置。客户使用的设计方案如图 2 所示。

温度分析：根据现场反馈可知，室内外温差最高可达 55°C 。而勾起的线性膨胀系数为 $2.8 \times 10^{-5} \text{K}^{-1}$ 。简化的计算模型如图 3 所示。

由温度引起的变形量为： $=55 \times 2.8 \times 10^{-5} \times 2.0 \times 1000=3.08\text{mm}$ 。

由软件计算可得如图 4 所示。

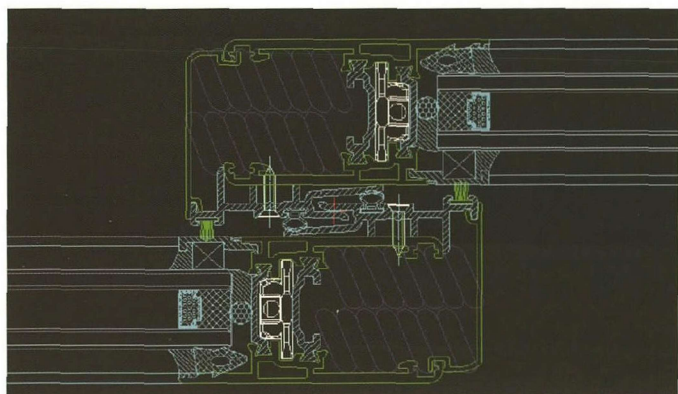


图 2

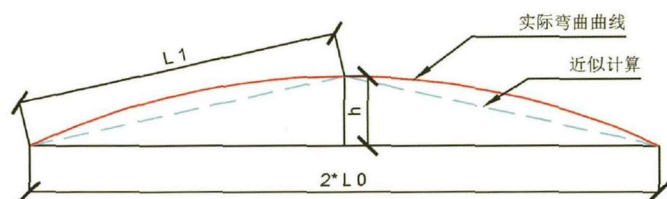


图 3

弦AB	2000
弧 AB	2003.08
计算	
半径	1.0425e+4
边心距 OE	1.0377e+4
圆心角	11.009
拱高 ED	48.074

图 4

由上图计算软件得出计算数据挠度的值为 48.074mm。

对于型材而言：线性膨胀系数为 $2.35 \times 10^{-5} K^{-1}$ ，由温度引起的变形量为： $\Delta L = 55 \times 2.35 \times 10^{-5} \times 2.0 \times 1000 = 2.585 \text{mm}$ 。由软件计算可得：

弦AB	2000
弧 AB	2002.585
计算	
半径	1.1375e+4
边心距 OE	1.1331e+4
圆心角	10.087
拱高 ED	44.04

图 5

由上图计算软件得出计算数据挠度的值为 44.04mm。

如果是温度引起的变形室外侧为低温，室内侧为高温，变形应该是像室内侧弯曲（热胀冷缩原理），而不是现场反馈的像室外侧弯曲。由以上两点可知，此变形不是因为温差造成的。

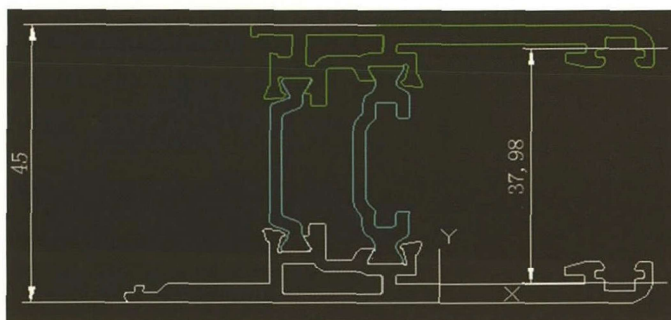


图 6

Area:	263.6892	Area:	312.4827
Perimeter:	238.6282	Perimeter:	276.5286
Bounding box:	X: -20.6250 -- 32.3750 Y: -13.0000 -- 0.0000	Bounding box:	X: -47.6535 -- 32.3465 Y: 0.0000 -- 13.0000
Centroid:	X: -1.1128 Y: 3.7226	Centroid:	X: -7.0154 Y: 3.2954
Moments of inertia:	X: 6345.0080 Y: 83772.6443	Moments of inertia:	X: 6222.6627 Y: 156811.9934
Product of inertia:	XY: 6817.4845	Product of inertia:	XY: -9069.7454
Radii of gyration:	X: 4.8669 Y: 17.8249	Radii of gyration:	X: 4.4638 Y: 22.4043
Press ENTER to continue:		Press ENTER to continue:	
Principal moments and X-Y directions about centroid:		Principal moments and X-Y directions about centroid:	
I: 2188.2928 along [0.9975 0.0703] J: 83849.3058 along [-0.0703 0.9975]		I: 2805.3783 along [0.9999 -0.0133] J: 141461.6496 along [0.0133 0.9999]	

图 7

基本数据		表面处理类型:	
隔热型材:			
铝型材信息		面积	惯性矩
铝	描述:	2.64 cm ²	8.38 cm ⁴
质心上部:	上	3.12 cm ²	14.1 cm ⁴
质心下部:	下		
隔热型材信息		刚性惯性矩: 43.1292	
总高:	4.5 cm		
梁跨度 [cm]		机械性能	
从: 50	跨度计算	剪切强度 T:	-20℃ 20℃ 80℃
到: 200	计算惯性矩	纵向抗拉强度 Q:	40 35 35 N/mm
间隔: 50		弹性常数 C:	180 160 160 N/mm ²
		弯曲因子:	60 55 50 N/mm ²
			1.2
打印		结果列表	输出图形
转换		转换或Word	计算
		退出	

图 8

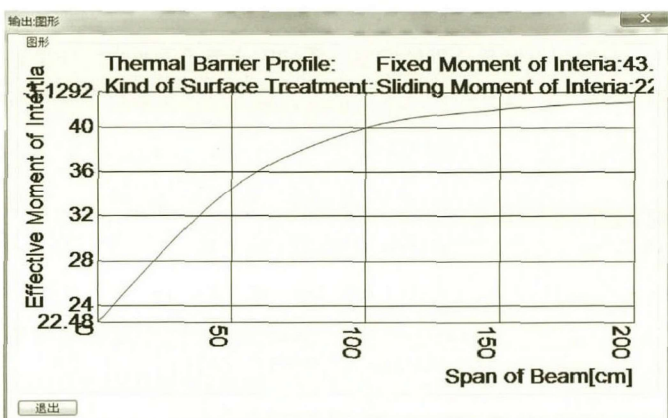


图 9

风压分析:

$$v = (A_1 a_1^2 + A_2 a_2^2) / I_s$$

$$= (263.7 \times 20.2^2 + 312.4 \times 17.8^2) / (43 \times 10^4) = 0.48$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{c \times a^2 \times l^2}{E \times I_s}} \times \frac{1}{v(1-v)} = \sqrt{\frac{30 \times 38^2 \times 2000^2}{5000 \times 43 \times 10^4}} \times \frac{1}{0.48(1-0.48)} = 17.9$$

$$\beta = \lambda^2 / \pi^2 + \lambda^2 = 0.97$$

$$I_{ef} = I_s \times \{ (1-n) / (1-n \times \beta) \} = 43 \times \{ (1-0.48) / (1-0.48 \times 0.97) \} = 41.84 \text{cm}^4$$

$$w_k = \beta_{gz} \mu_s \mu_z w_0 = 2.5 \text{ KN/m}^2$$

$$q = w_k B / 2 = 2.5 \times 0.5 = 1.25 \text{ KN/m}$$

$$M = q l^2 / 8 = 1.25 \times 2^2 / 8 = 0.625 \text{ KN}\cdot\text{m}$$

$$N = G_g \cdot H \cdot B = 0.31 \times 2 \times 0.5 = 0.31 \text{ KN}$$

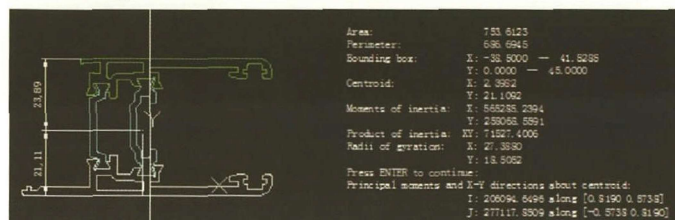


图 10

$$\sigma = N/A_0 + M/(\gamma W_x) = (0.31 \times 1000)/753.6 + (0.625 \times 10^6)/(1.05 \times 8627) = 69.2 \text{ N/mm}^2 < 85.5 \text{ N/mm}^2 \text{ 强度满足设计要求。}$$

$$Y_{\max} = 5ql^4/(384EI) = 5 \times 1.25 \times (2 \times 1000)^4/(384 \times 70000 \times 41.84 \times 10^4) = 9 \text{ mm}$$

允许的挠度限值是 $L/180 = 11 \text{ mm} > 9 \text{ mm}$, 满足挠度限值要求。

实际使用中的 $5 \text{ mm} < 9 \text{ mm}$, 即满足设计要求。温度变形和风压变形二者叠加后的变形为: $44.04 - 9 = 35.04 \text{ mm}$, 不满足实际使用要求。

结论: 此工程由温度变形引起的变形方向与实际出现的方向不符, 因而不是由于温度变形引起的过度变形。而强度设计满足设计要求。虽然挠度满足限值要求, 但是不满足实际的使用要求。已经超出了此工程反映的挠度变形的要求。

3. 解决方案

针对以上容易出现的问题, 我们综合考虑了当地的环境温度的特殊性, 以及较大风压的情况, 建议可以采取以下两种方案来解决和改善这种问题的发生。

3.1 可以将勾起与型材固定位置的开孔由圆孔改为长圆孔, 这样有利于勾起在温差下的变形伸缩。

3.2 增强型材的断面设计, 从而增加型材的强度和有效惯性矩, 进而控制型材的挠度和温度变形。如图 11 所示。

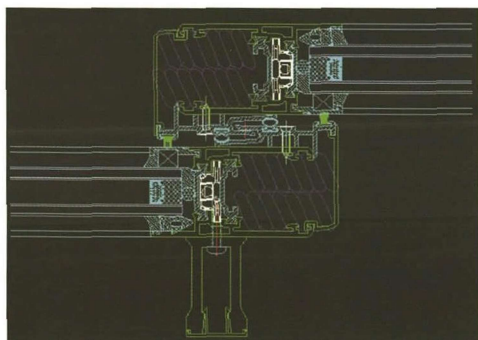


图 11

对于复杂环境的区域, 建议我们做好强度, 挠度相关的力学计算, 从而减少或者规避因为方案不足而带来的使用问题。除此之外我们建议对于门上用隔热条可以选择防拱型隔热条, 以 20mm 宽隔热条为例试验数据如图 12 所示。

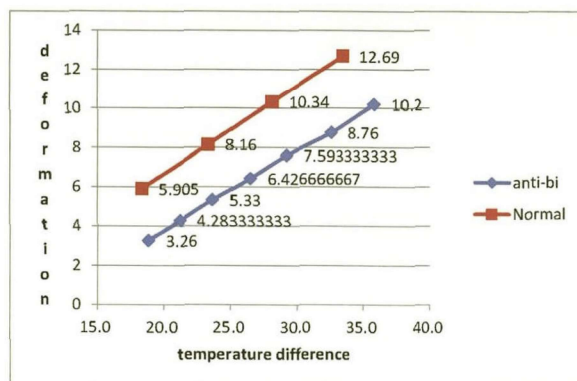


图 12

结论如下: a. 常规隔热条温差变形比防拱隔热条要大; b. 随着温差的不断增大, 防拱型隔热条的形变率比常规条要低。所以防拱隔热条的应用也会降低温差变形对隔热断桥门窗的影响。

通过以上理论数据的计算、工程实例的案例分析, 并辅以实验数据的校核, 我们可以知道温度引起的热变形也是不能被忽略的一种现象对于复杂气候条件的地区, 即温差变化比较大的地区, 或者湿度比较大的地区要尤其慎重考虑隔热断桥型材的热变形。而对于这种情况的发生, 我们可以采取的解决办法是先确定力学因素还是温度因素, 如果是力学因素我们可以选择增加型材断面、加强刚度, 如果是温度因素可以考虑选择具有防拱功能的隔热条。通过对以上方法的选择, 我们能够解决一些不必要问题的发生。让我们的工程近最大限度的满足我们的使用需求。对于热变形的问题此文章抛砖引玉, 后续还会有进一步的研究。🔥

参考文献

- [1] YST 437-2009 《铝合金型材截面几何参数算法及计算机程序要求》
- [2] JGJ102-2013 《玻璃幕墙工程技术规范》
- [3] GBT23615.1-2017 《铝合金建筑型材用隔热材料第 1 部分: 聚酰胺型材》

(作者单位: 泰诺风公司)

【中图分类号】TU532.7

【文献标识码】A

【文章编号】1671-3362 (2019) 11-0056-03