

铝合金板式节点网壳 抗火性能研究（综述）

汇报：朱劭骏

2018.04.12



1. 问题背景

2. 国内外研究现状

- 铝合金板式节点网壳的承载性能
 - 大空间结构的抗火性能
-

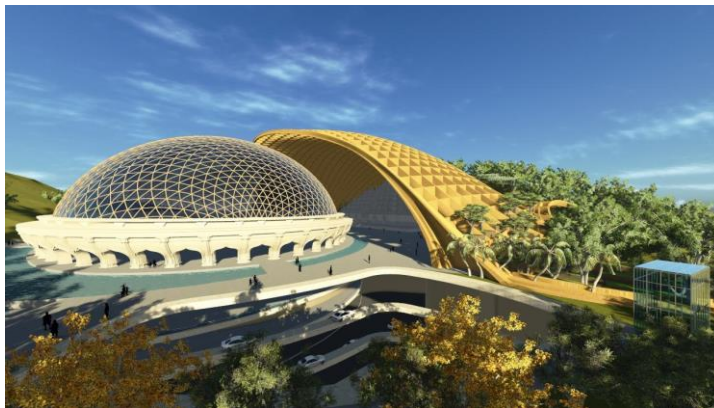


第 1 节

问题背景



铝合金板式节点网壳抗火性能研究



外形美观

比强度高

耐腐蚀性好

1. 沈祖炎, 郭小农, 李元齐. 铝合金结构研究现状简述[J]. 建筑结构学报, 2007, 28(6):100-109.

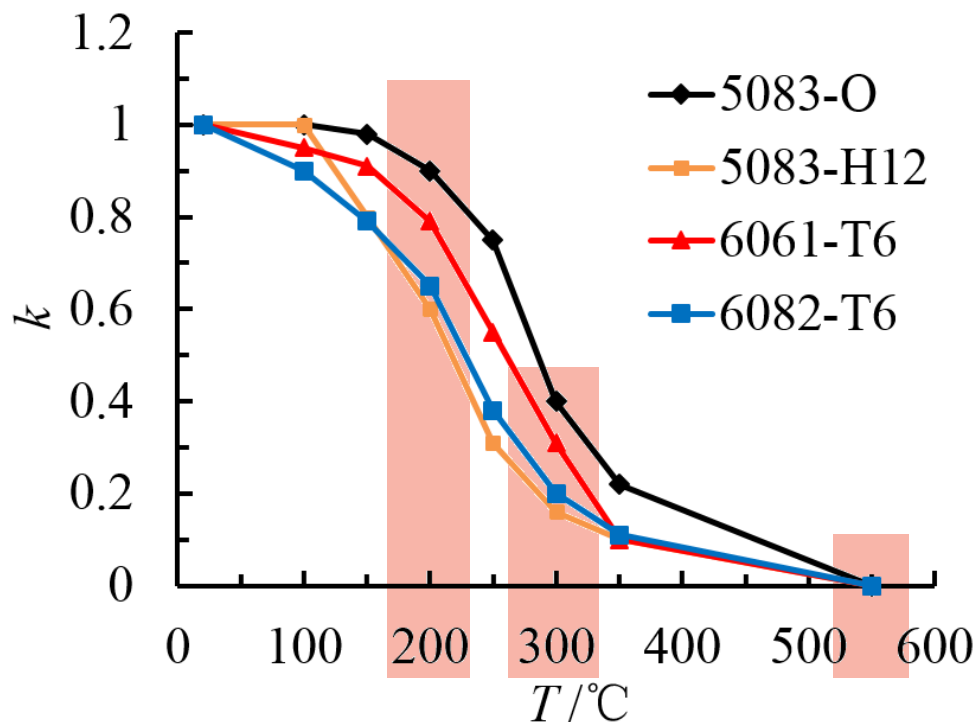
铝合金板式节点网壳抗火性能研究



施工方便

避免焊接

铝合金板式节点网壳抗火性能研究



名义屈服强度

200°C时开始下降

300°C时大幅降低

550°C时基本丧失

2. Design of aluminum alloy structures - Part 1-2: Structural fire design: EN1999-1-2 Eurocode 9[S]. Brussels: European Committee for Standardization, 2007.



第 2 节

国内外研究现状



铝合金板式节点网壳抗火性能

1. 铝合金板式节点网壳的承载性能
 2. 大空间结构抗火性能
-

铝合金板式节点网壳抗火性能

1. 铝合金板式节点网壳的承载性能
 2. 大空间结构抗火性能
-

铝合金板式节点网壳抗火性能

1. 铝合金板式节点网壳的承载性能

- 铝合金板式节点网壳的**常温性能**
- 铝合金板式节点网壳**部件的高温性能**

铝合金材料常温性能

应力-应变模型

Ramberg-Osgood模型

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} + \left(\frac{\sigma}{f_{0.2}} \right)^n$$

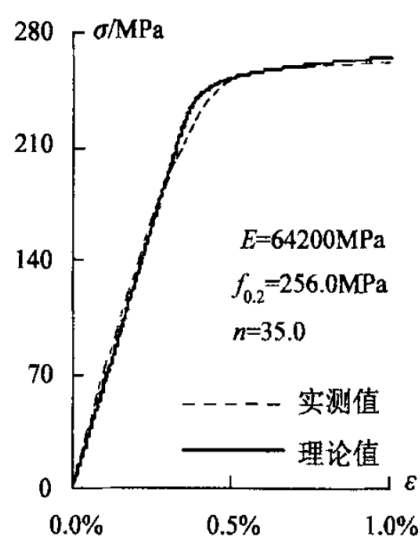
SteinHardt建议

$$n = \frac{f_{0.2}}{10} (\text{MPa})$$

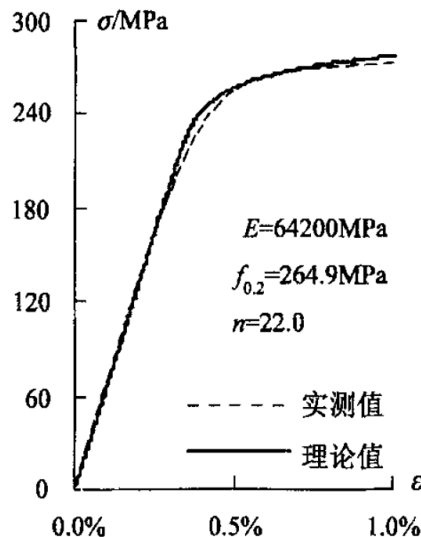
3. Ramberg W, Osgood W R. Description of stress-strain curves by three parameters[J]. Technical Report Archive & Image Library, 1943(902).
4. SteinHardt., O., Aluminum constructions in civil engineering[J]. Aluminium, 1971(47): 131-139.

铝合金材料常温性能

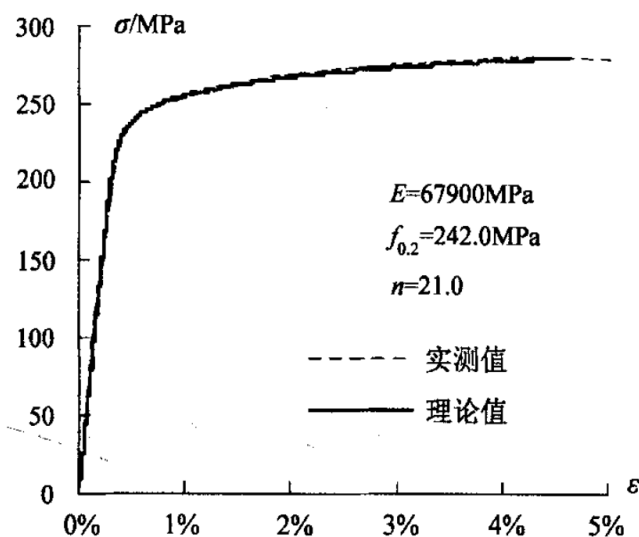
R-O模型的验证



试件H1



试件T2



试件O6

应变0~1%

应变0~5%

5. 郭小农, 沈祖炎, 李元齐,等. 国产结构用铝合金材料本构关系及物理力学性能研究[J]. 建筑结构学报, 2007, 28(6):110-117.

铝合金材料常温性能

SteinHardt建议的验证

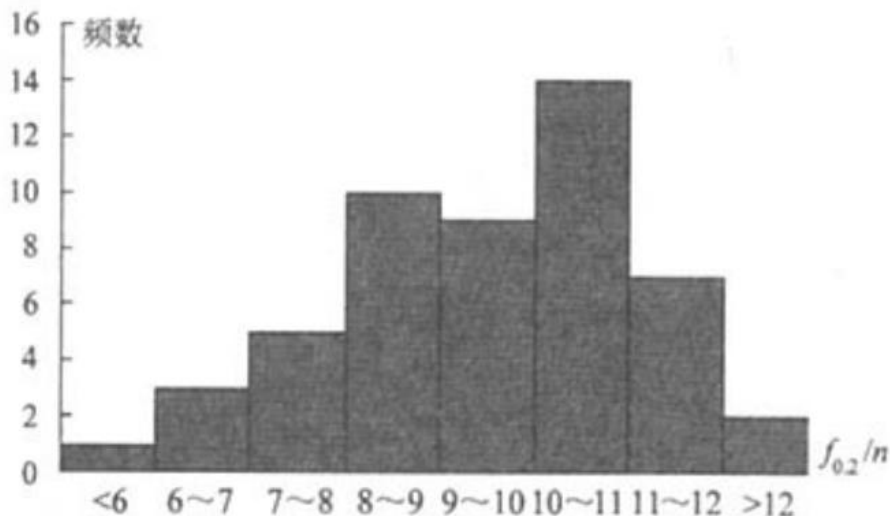


图6 $f_{0.2}/n$ 的统计直方图

均值 $\mu = 9.494$

标准差 $\sigma = 1.637$

置信区间 $[6.802, 12.187]$

SteinHardt建议

$$\frac{f_{0.2}}{n} = 10 \quad \checkmark$$

5. 郭小农, 沈祖炎, 李元齐, 等. 国产结构用铝合金材料本构关系及物理力学性能研究[J]. 建筑结构学报, 2007, 28(6):110-117.

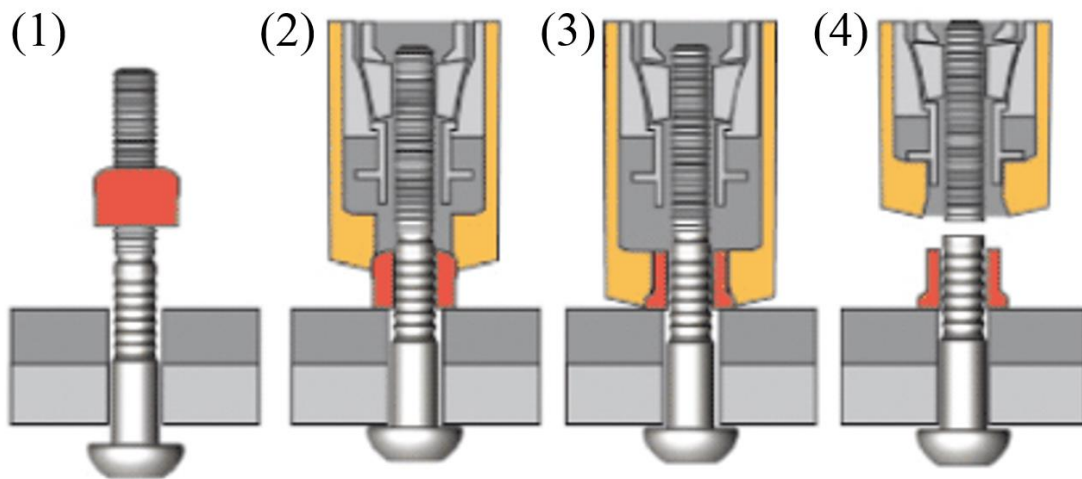
铝合金板式节点常温性能

引言

拉铆钉



拉铆钉部件

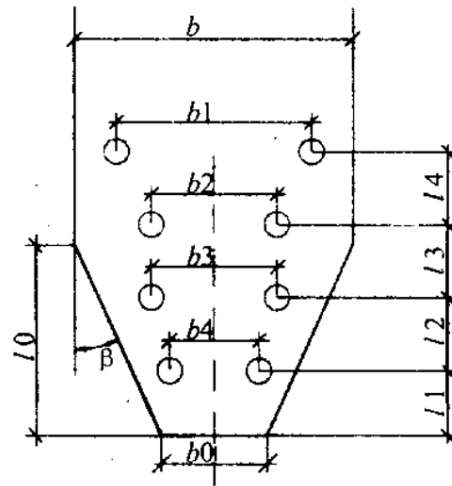
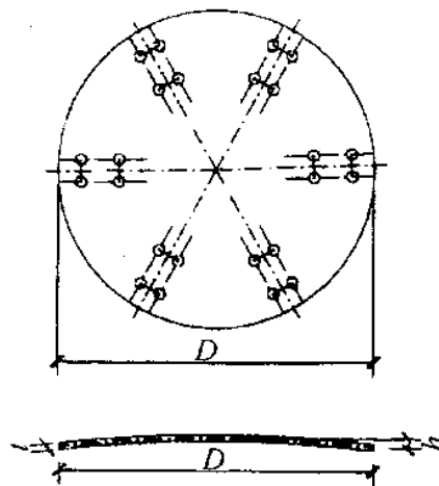


拉铆钉的安装

铝合金板式节点常温性能

早期研究阶段

节点板直径和拱度、杆端切角 避免杆件在节点域干涉

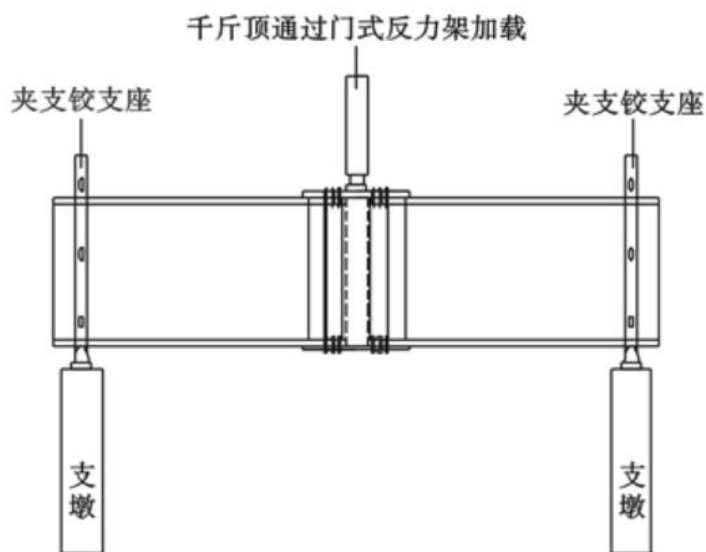


6. 钱基宏, 赵鹏飞, 郝成新, 等. 大跨度铝合金穹顶网壳结构的研究[J]. 建筑科学, 2000, 16(5):7-12.

铝合金板式节点常温性能

系统研究阶段

受弯试验研究

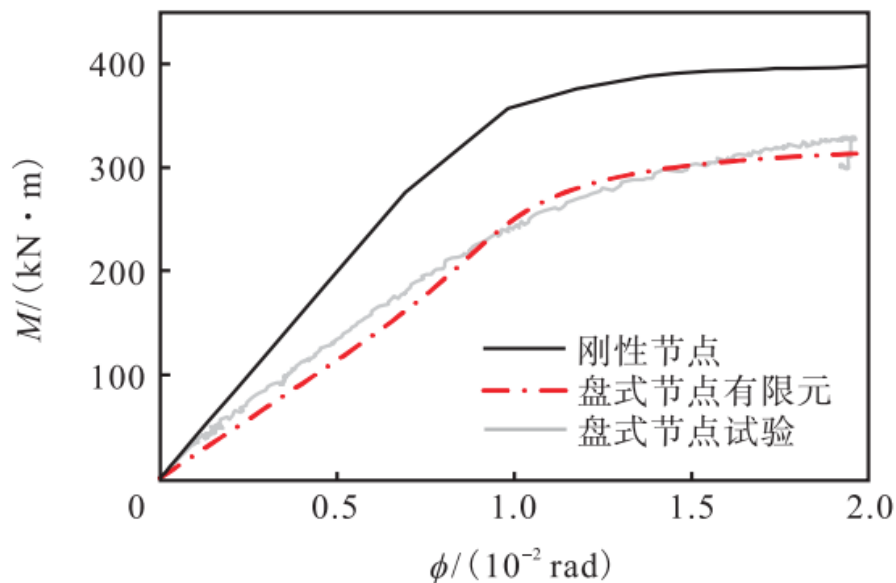
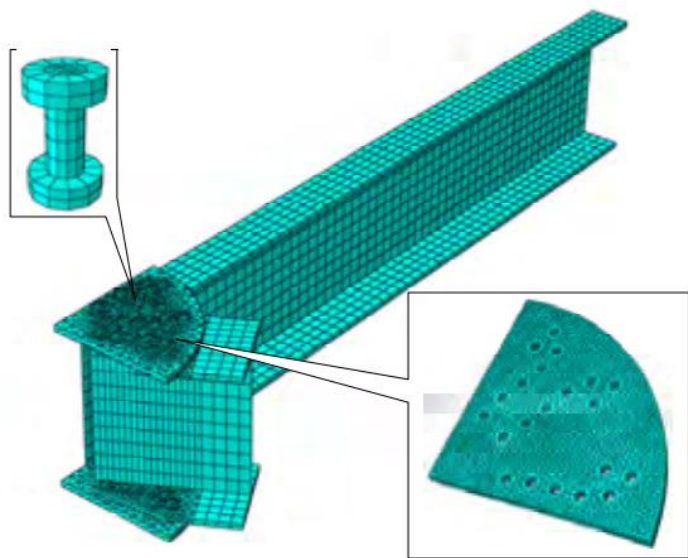


7. 王元清, 柳晓晨, 石永久, 等. 铝合金网壳结构盘式节点受力性能试验[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2014(5):769-777.

铝合金板式节点常温性能

系统研究阶段

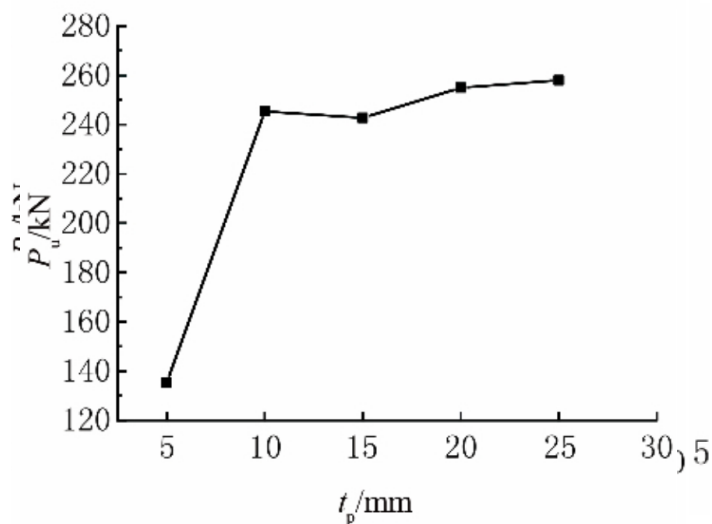
有限元模拟



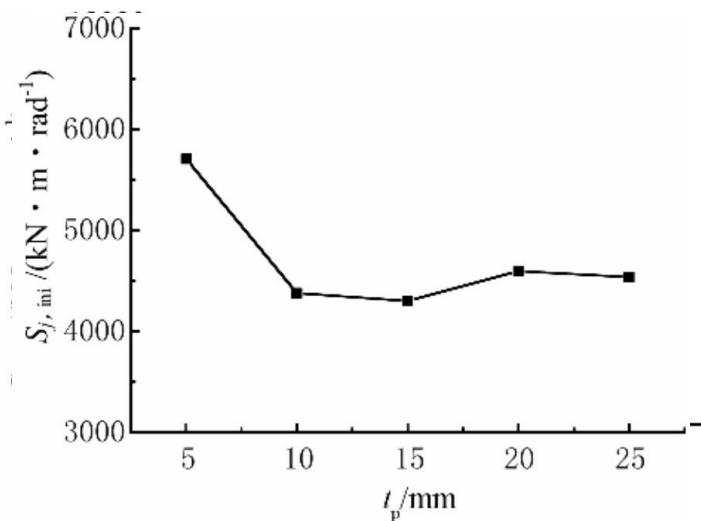
8. 王元清, 柳晓晨, 石永久, 等. 铝合金网壳结构盘式节点受力性能有限元分析[J]. 天津大学学报(自然科学与工程技术版), 2015(s1):1-8.

铝合金板式节点常温性能 系统研究阶段

参数分析 腹板高度和厚度、翼缘厚度和节点板厚度



受弯承载力



初始刚度

9. 王元清, 柳晓晨, 石永久, 等. 铝合金盘式节点静力性能的有限元参数分析[J]. 武汉大学学报(工学版), 2017, 50(5):688-696.

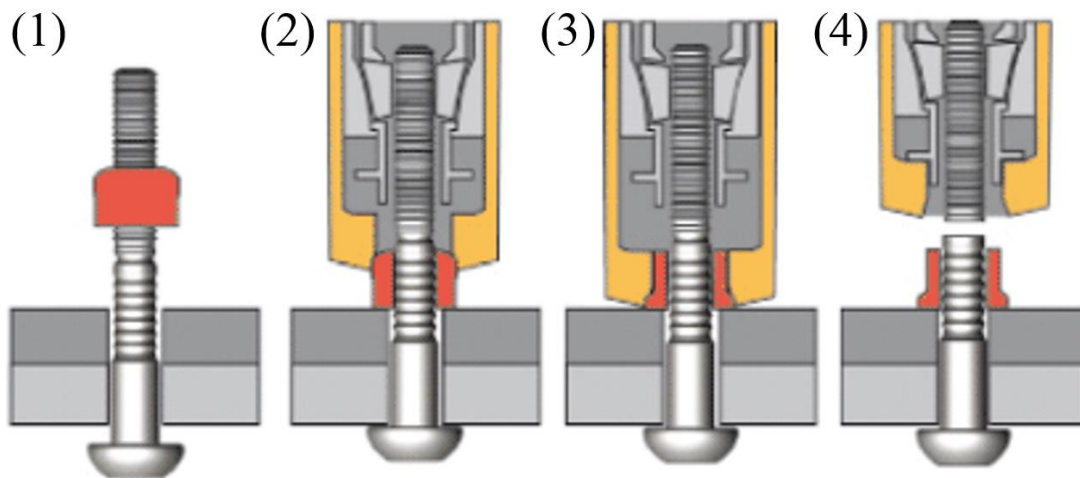
铝合金板式节点常温性能

系统研究阶段

拉铆钉 专用设备安装、单价昂贵；最大直径9.5mm



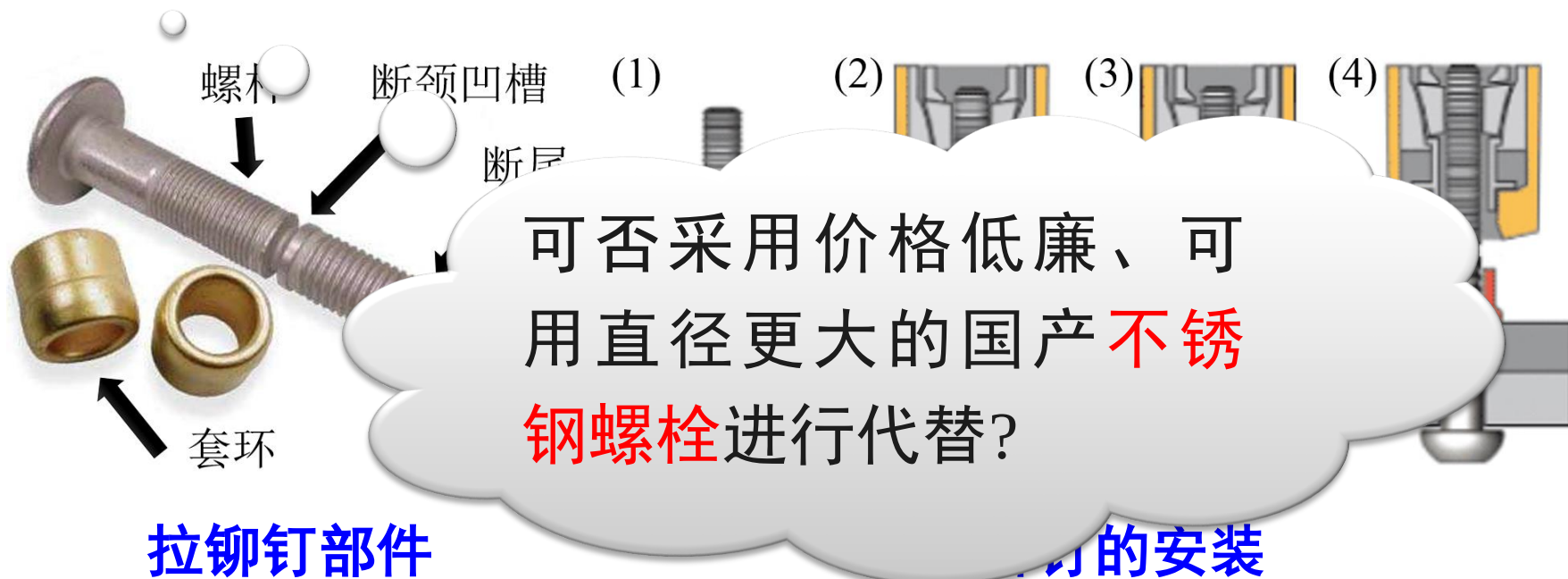
拉铆钉部件



拉铆钉的安装

铝合金板式节点常温性能 系统研究阶段

拉铆钉 专用设备安装、单价昂贵；最大直径9.5mm

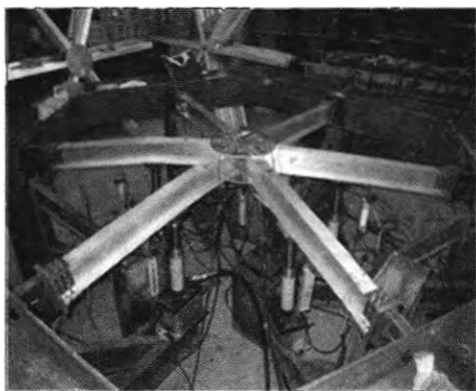


铝合金板式节点常温性能

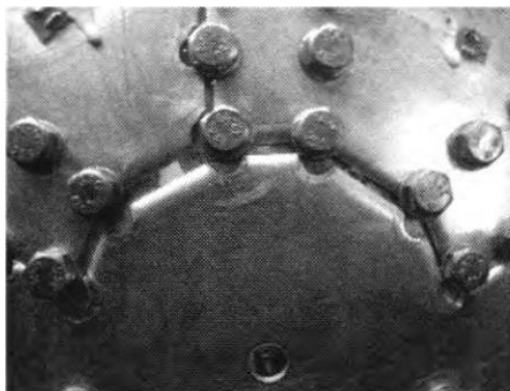
系统研究阶段

受弯试验研究

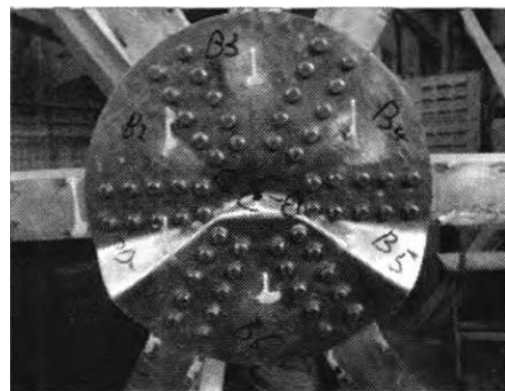
杆件
屈曲破坏



节点板
块状拉剪破坏



节点板
屈曲破坏



10. 郭小农, 邱丽秋, 罗永峰,等. 铝合金板式节点受弯承载力试验研究[J]. 湖南大学学报(自科版), 2014, 41(4):47-53.

铝合金板式节点常温性能

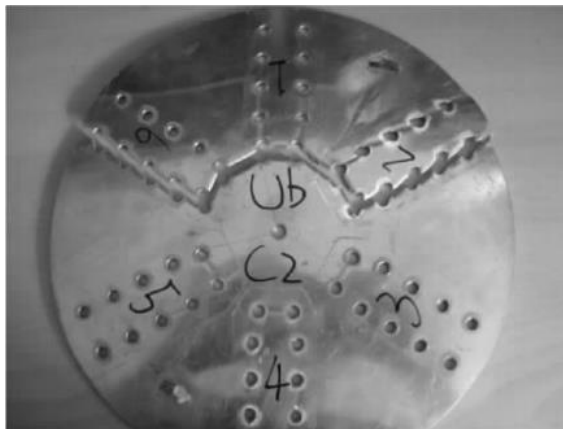
系统研究阶段

受弯试验研究

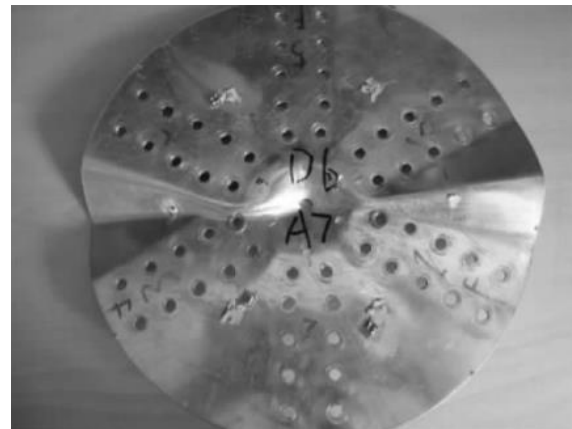
杆件 净截面破坏



节点板 块状拉剪破坏



节点板 屈曲破坏

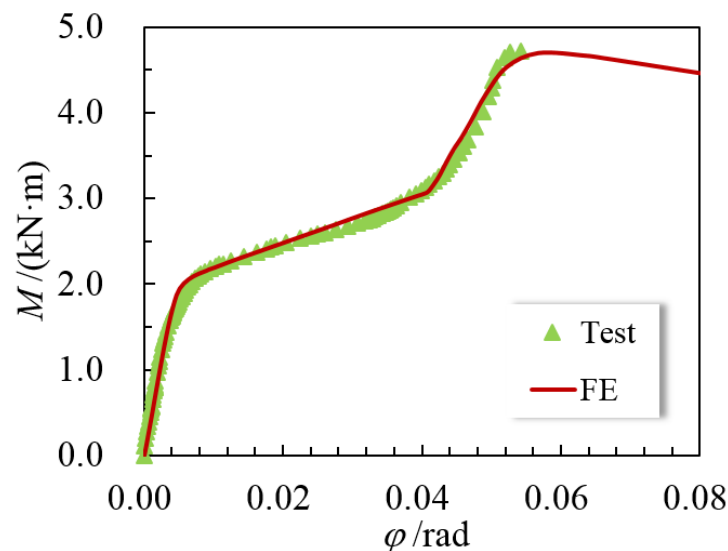
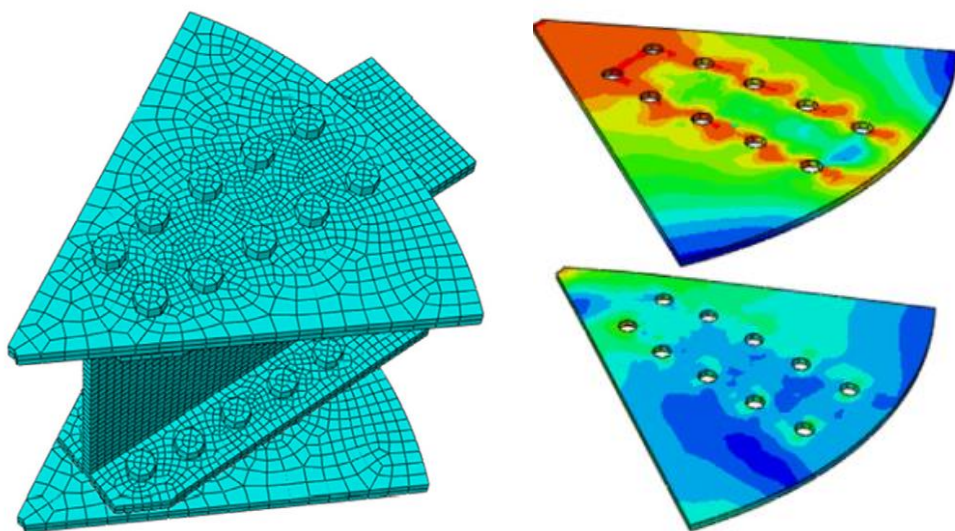


11. 郭小农, 熊哲, 罗永峰,等. 铝合金板式节点承载性能试验研究[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2014, 42(7):1024-1030.

铝合金板式节点常温性能

系统研究阶段

有限元分析

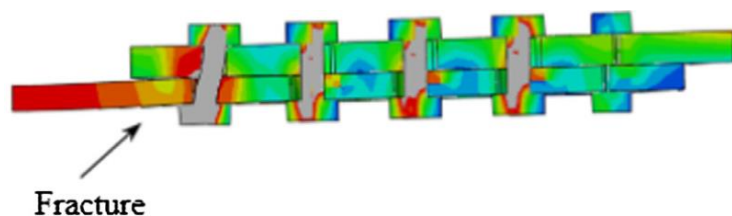


12. Xiong Z, Guo X, Luo Y, et al. Numerical analysis of aluminium alloy gusset joints subjected to bending moment and axial force[J]. Engineering Structures, 2017, 152:1-13.

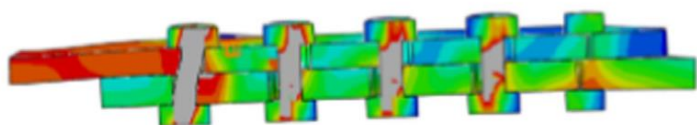
铝合金板式节点常温性能

系统研究阶段

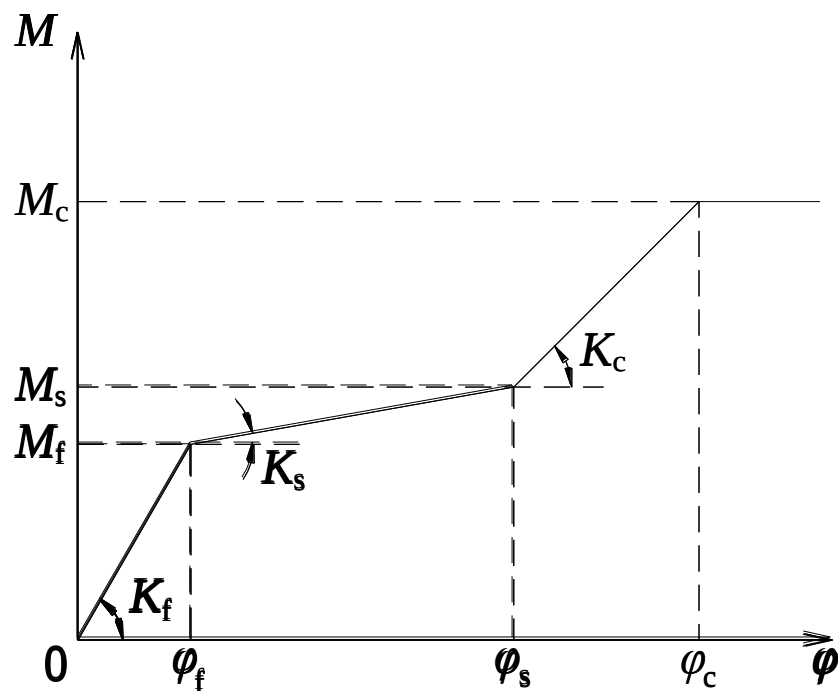
弯曲刚度模型



Failure mode



螺栓加载阶段



13. Guo X, Xiong Z, Luo Y, et al. Application of the Component Method to Aluminum Alloy Gusset Joints[J]. Advances in Structural Engineering, 2015, 18(11):1931-1946.

铝合金板式节点常温性能

系统研究阶段

承载力公式

块状拉剪破坏

验算公式

$$0.59t f_u \sum_{i=1}^m \gamma_i l_i \geq Q$$

构造措施

$$x \geq \frac{4.10n - 0.71}{0.71n + 1.41} d_0$$



14. Guo X, Xiong Z, Luo Y, et al. Block tearing and local buckling of aluminum alloy gusset joint plates[J]. KSCE Journal of Civil Engineering, 2016, 20(2):820-831.

铝合金板式节点常温性能

系统研究阶段

承载力公式

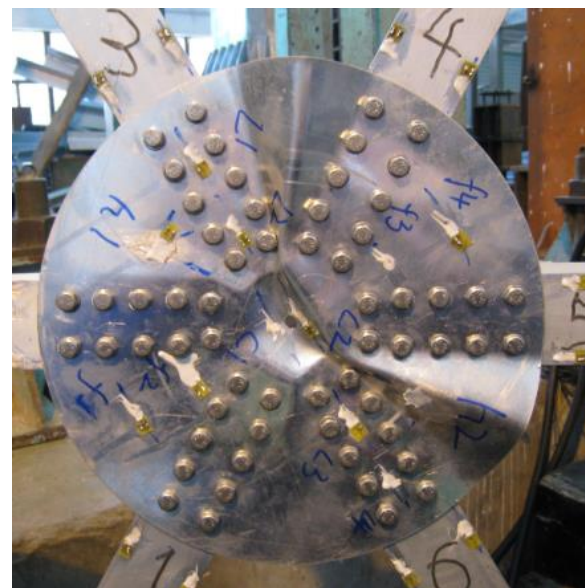
中心区屈曲破坏

验算公式

$$V_{cr} = \frac{14.45}{R_0} \frac{Et^3}{12(1-\nu^2)}$$

构造措施

$$\frac{R_0}{t} \leq 17.5 \sqrt{\frac{240}{f_{0.2}}}$$



14. Guo X, Xiong Z, Luo Y, et al. Block tearing and local buckling of aluminum alloy gusset joint plates[J]. KSCE Journal of Civil Engineering, 2016, 20(2):820-831.

铝合金网壳构件常温性能

防止偏压破坏

偏压试验研究



相关公式验算

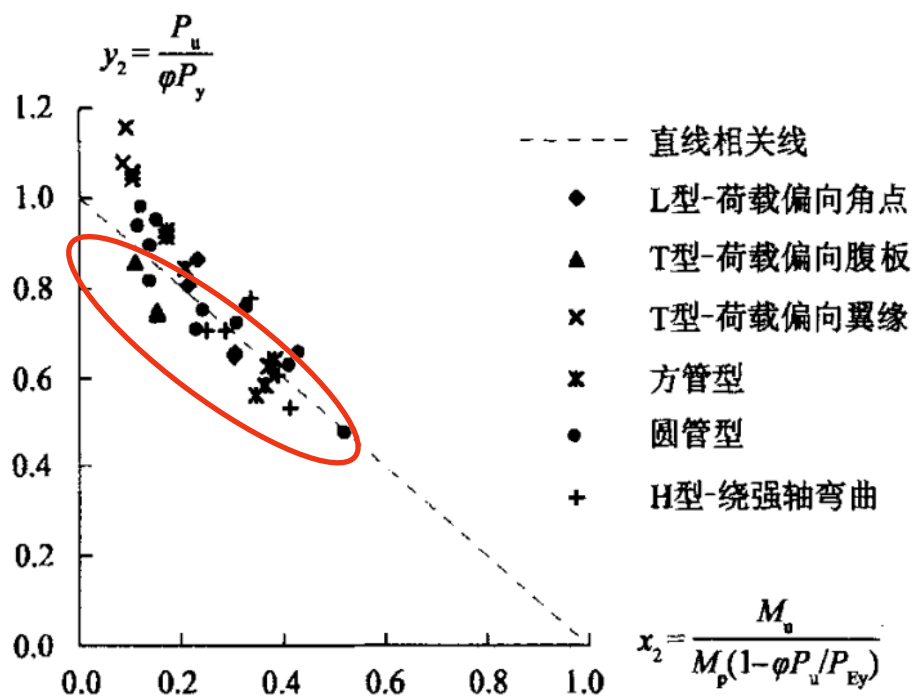
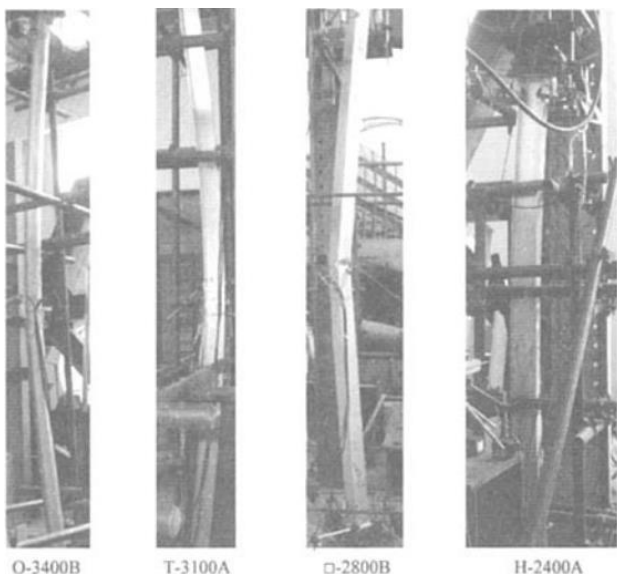
$$\frac{N}{\varphi A} + \frac{\beta_m M}{\gamma W_1 \left(1 - \frac{\eta_1 N}{N'_E} \right)} \leq f$$

15. 张铮, 张其林. H形截面铝合金压弯构件平面内稳定承载力的试验及理论研究[J]. 建筑结构学报, 2006, 27(5):9-15.

铝合金网壳构件常温性能

防止偏压破坏

偏压试验研究

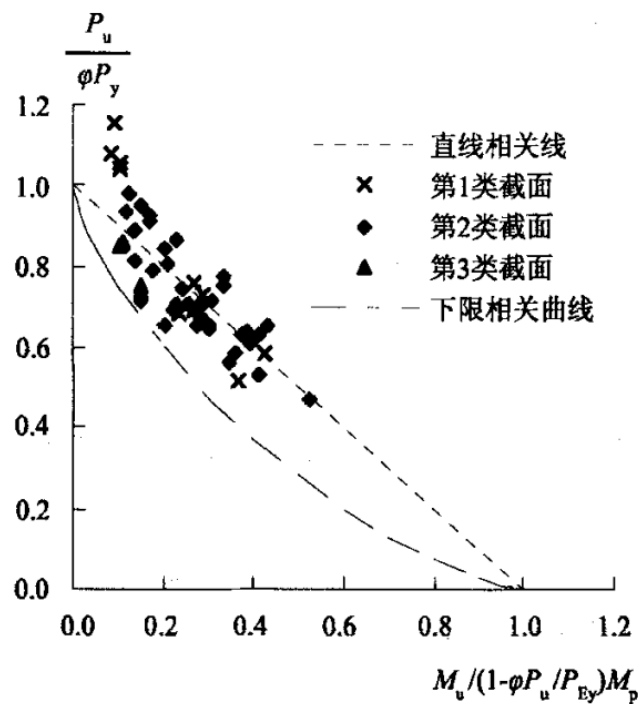
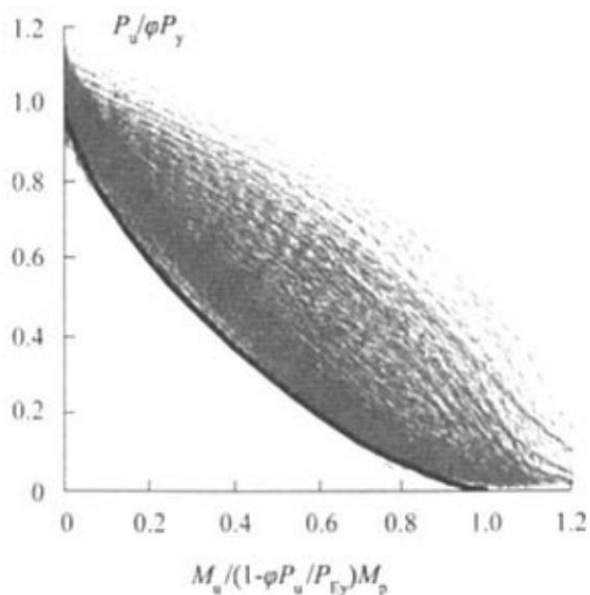


16. 郭小农, 沈祖炎, 李元齐,等. 铝合金偏心受压构件理论和试验研究[J]. 建筑结构学报, 2007, 28(6):136-146.

铝合金网壳构件常温性能

防止偏压破坏

偏压试验研究

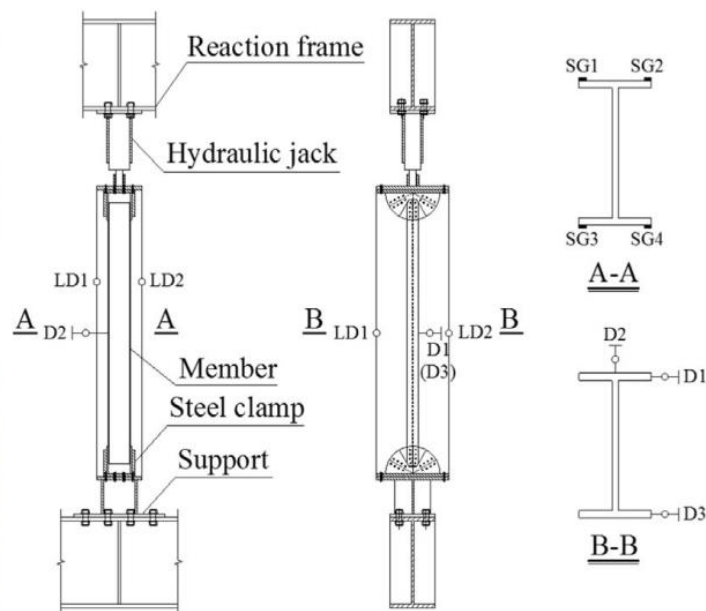
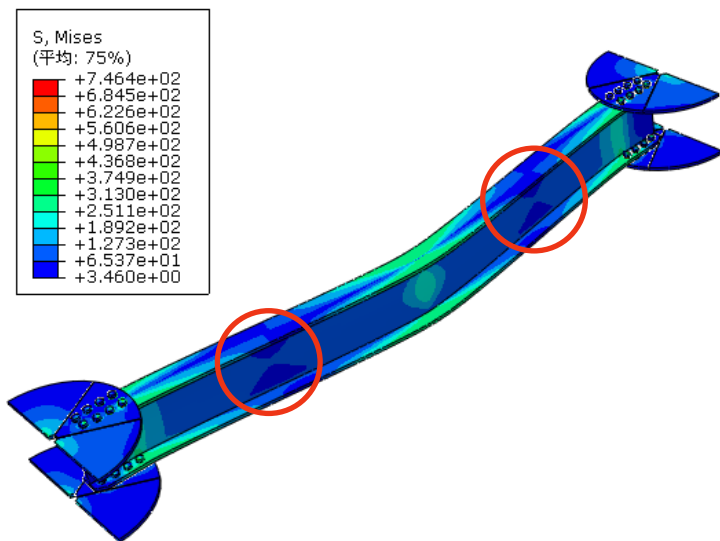


16. 郭小农, 沈祖炎, 李元齐,等. 铝合金偏心受压构件理论和试验研究[J]. 建筑结构学报, 2007, 28(6):136-146.

铝合金网壳构件常温性能

防止平面内失稳

计算长度系数法



17. Zhu S, Guo X, Liu X, et al. The in-plane effective length of members in aluminum alloy reticulated shell with gusset joints[J]. Thin-Walled Structures, 2018, 123:483-491.

铝合金网壳构件常温性能 防止平面内失稳

计算长度系数法 可偏安全地取为 $l_0 = 1.0l_n$

i/k_{2i} \ i/k_{2j}	0	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	1	2	3	4	5	≥ 10
0	0.500	0.524	0.546	0.578	0.599	0.615	0.626	0.656	0.675	0.682	0.686	0.689	0.694
0.05	0.524	0.549	0.570	0.603	0.626	0.642	0.654	0.685	0.706	0.714	0.718	0.721	0.726
0.1	0.546	0.570	0.592	0.625	0.648	0.665	0.677	0.710	0.732	0.741	0.746	0.748	0.754
0.2	0.578	0.603	0.625	0.660	0.684	0.701	0.715	0.750	0.773	0.783	0.788	0.791	0.797
0.3	0.599	0.626	0.648	0.684	0.709	0.727	0.741	0.777	0.803	0.812	0.818	0.821	0.828
0.4	0.615	0.642	0.665	0.701	0.727	0.746	0.760	0.798	0.824	0.834	0.840	0.843	0.850
0.5	0.626	0.654	0.677	0.715	0.741	0.760	0.774	0.813	0.840	0.851	0.856	0.860	0.867
1	0.656	0.685	0.710	0.750	0.777	0.798	0.813	0.855	0.885	0.896	0.902	0.906	0.914
2	0.675	0.706	0.732	0.773	0.803	0.824	0.840	0.885	0.916	0.928	0.934	0.939	0.947
3	0.682	0.714	0.741	0.783	0.812	0.834	0.851	0.896	0.928	0.940	0.947	0.951	0.960
4	0.686	0.718	0.746	0.788	0.818	0.840	0.856	0.902	0.934	0.947	0.954	0.958	0.967
5	0.689	0.721	0.748	0.791	0.821	0.843	0.860	0.906	0.939	0.951	0.958	0.963	0.971
≥ 10	0.694	0.726	0.754	0.797	0.828	0.850	0.867	0.914	0.947	0.960	0.967	0.971	0.981

17. Zhu S, Guo X, Liu X, et al. The in-plane effective length of members in aluminum alloy reticulated shell with gusset joints[J]. Thin-Walled Structures, 2018, 123:483-491.

铝合金板式节点网壳常温性能

早期研究阶段

试验研究

节点半刚性影响显著

假定所有节点为刚性节点

对试验进行数值模拟

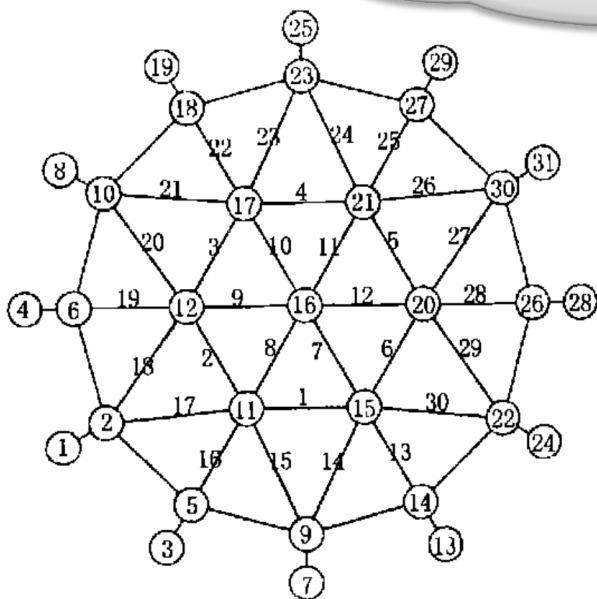


表 3 第三种工况位移的最大试验值与计算值比较

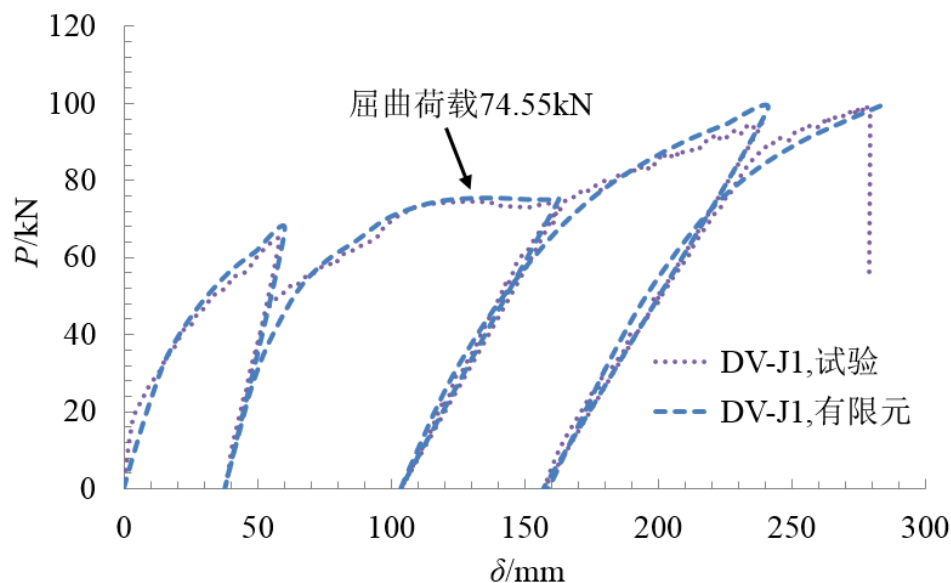
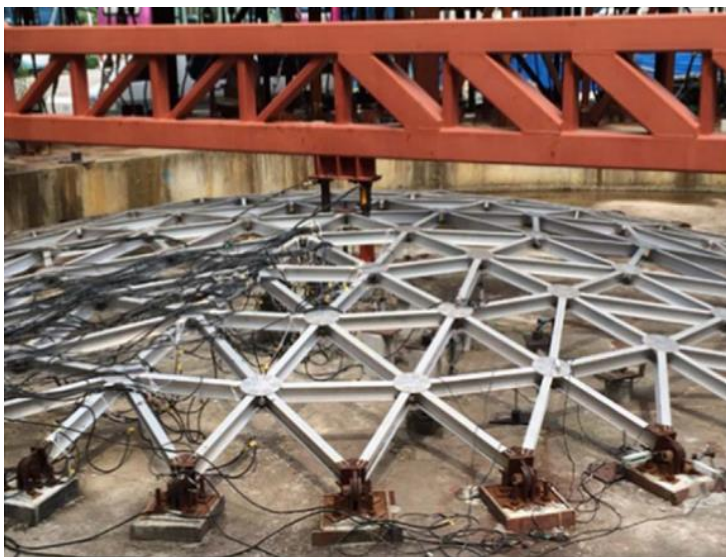
	11节点 (mm)	15节点 (mm)	20节点 (mm)	16节点 (mm)	12节点 (mm)
计算值	9.19	2.39	1.12	1.99	2.39
试验值	8.09	1.59	0.52	1.39	1.81
误差	- 1.01	0.80	0.61	- 0.59	- 0.58
相对误差	11.9%	33.6%	53.7%	30.1%	24.4%

18. 曾银枝, 杨联萍. 铝合金穹顶的试验研究[J]. 空间结构, 2000(4):47-52.

铝合金板式节点网壳常温性能

系统研究阶段

试验研究和有限元模拟



19. Xiong Z, Guo X, Luo Y, et al. Experimental and numerical studies on single-layer reticulated shells with aluminium alloy gusset joints[J]. Thin-Walled Structures, 2017, 118:124-136.

铝合金板式节点网壳常温性能

系统研究阶段

参数分析和承载力计算式

1. 跨厚比
2. 矢跨比
3. 节点刚度
4. 材料弹塑性
5. 荷载分布模式
6. 初始缺陷

B 为网壳的等效薄膜刚度；
 D 为网壳的等效抗弯刚度；
 R 为网壳的曲率半径。

$$P_{cr}^{nl} = C_{IM} C_P C_r C_L \frac{\sqrt{BD}}{R^2}$$

20. 郭小农, 朱劭骏, 熊哲, 等. K6型铝合金板式节点网壳稳定承载力设计方法[J]. 建筑结构学报, 2017, 38(7):16-24.

铝合金板式节点网壳抗火性能

1. 铝合金板式节点网壳的承载性能

- 铝合金板式节点网壳常温性能
- 铝合金板式节点网壳部件的高温性能

铝合金材料高温性能

铝合金构件高温性能

铝合金节点高温性能

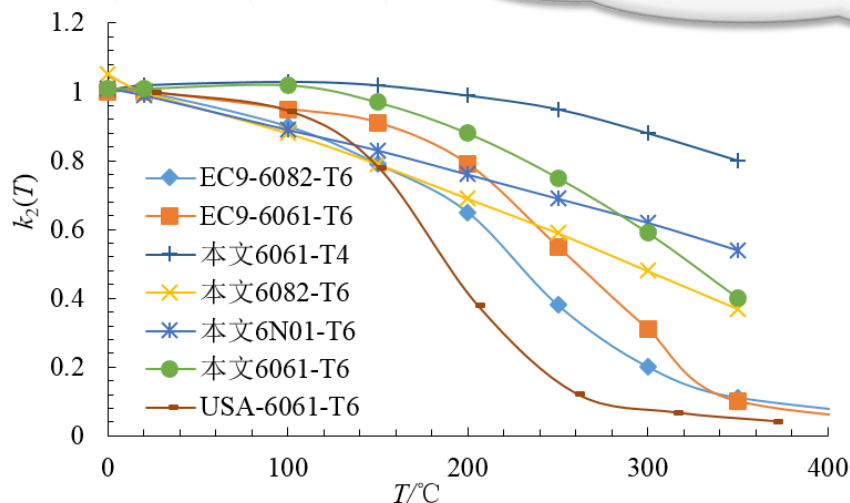
铝合金板式节点网壳高温性能

铝合金材料高温性能

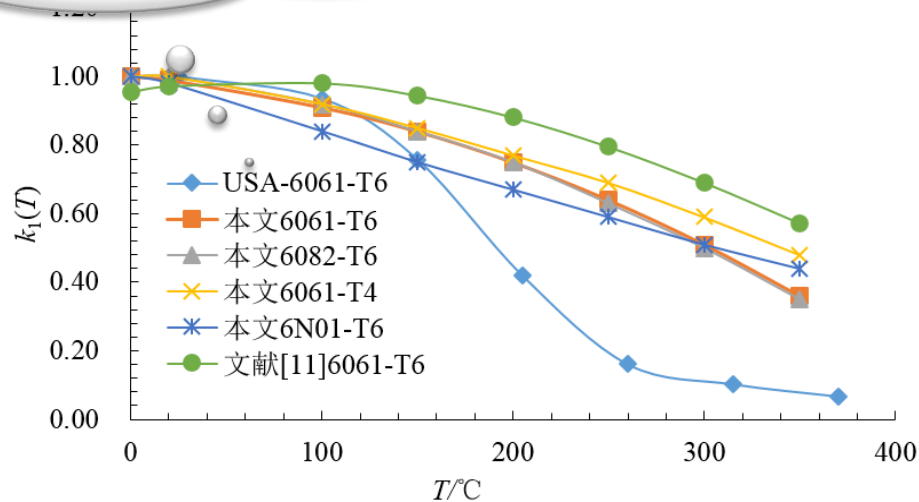
高温材性折减系数

试验研究

规范取值偏于保守



名义屈服强度



极限强度

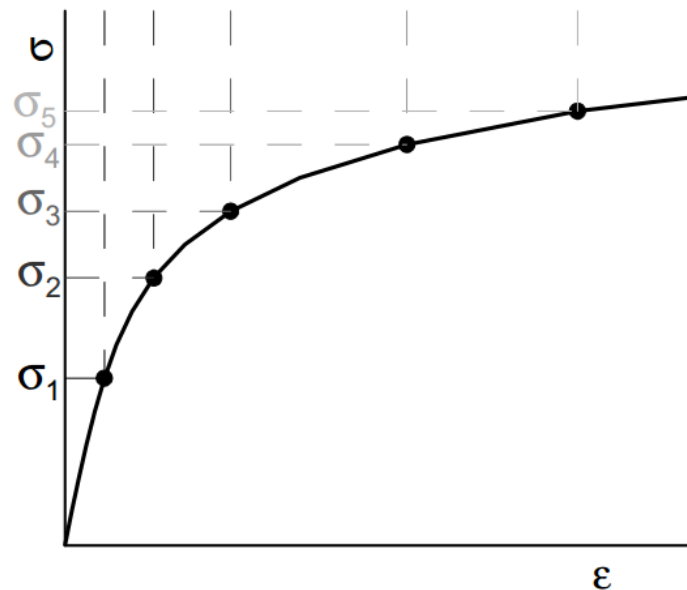
21. 郭小农, 高志朋, 朱劭骏,等. 国产结构用铝合金高温力学性能试验研究[J]. 湖南大学学报(自科版), 2018. (已录用)

铝合金材料高温性能

高温应力-应变模型

瞬态材料性试验

1. 给拉伸试件施加固定拉力；
2. 以一定速率升温；
3. 绘制该温度下的温度-应变图；
4. 取点，绘制成应力-应变图。



铝合金材料高温性能

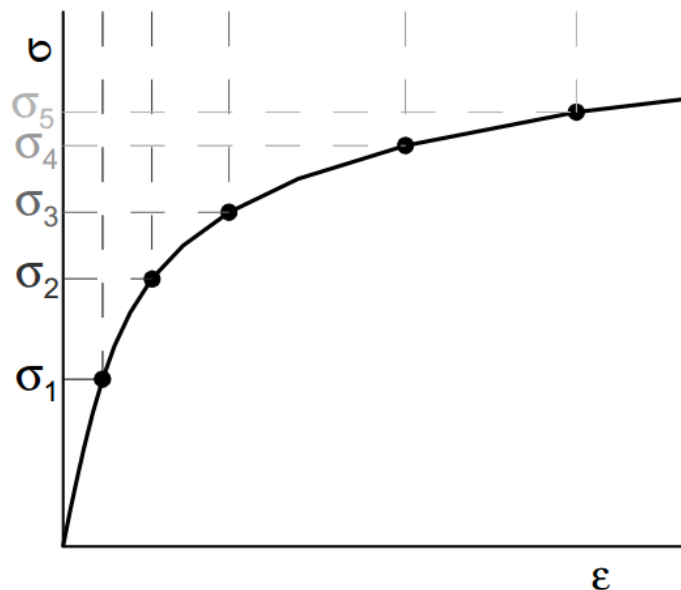
高温应力-应变模型

瞬态材性试验

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E_T} + \left(\frac{\sigma}{f_{0.2,T}} \right)^{n_T}$$

$$5083\text{-O/H111: } n_T = 8.8 - 0.016T$$

$$6060\text{-T66: } n_T = 19 - 0.04T$$



22. Maljaars J, Twilt L, Fellingner J, et al. Aluminium structures exposed to fire conditions - An overview[J]. Heron, 2010, 55(2).

铝合金构件高温性能

防止偏压弯曲失稳

试验研究

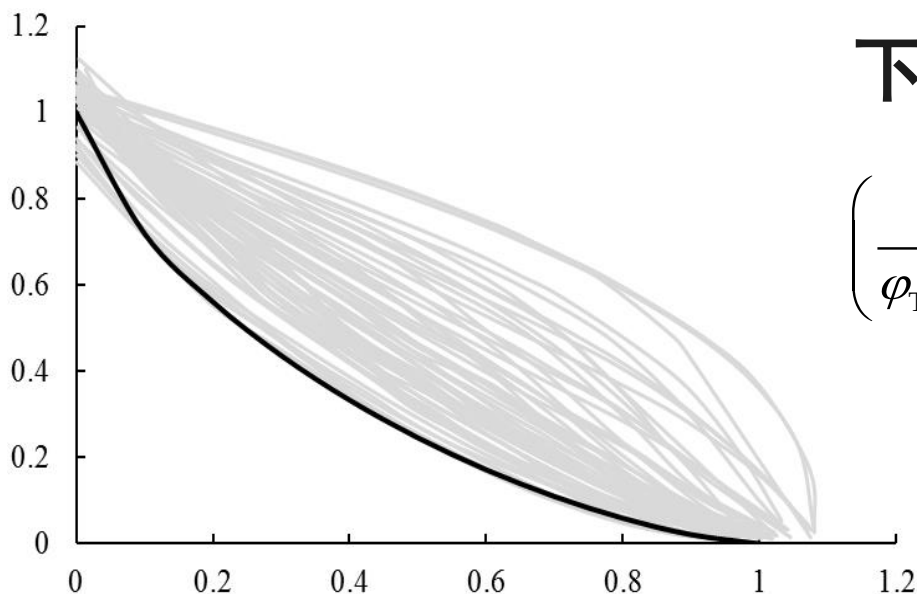


23. 韩川. 铝合金偏压构件抗火性能试验研究[D]. 上海, 同济大学, 2013.

铝合金构件高温性能

防止偏压弯曲失稳

有限元分析



下限相关公式

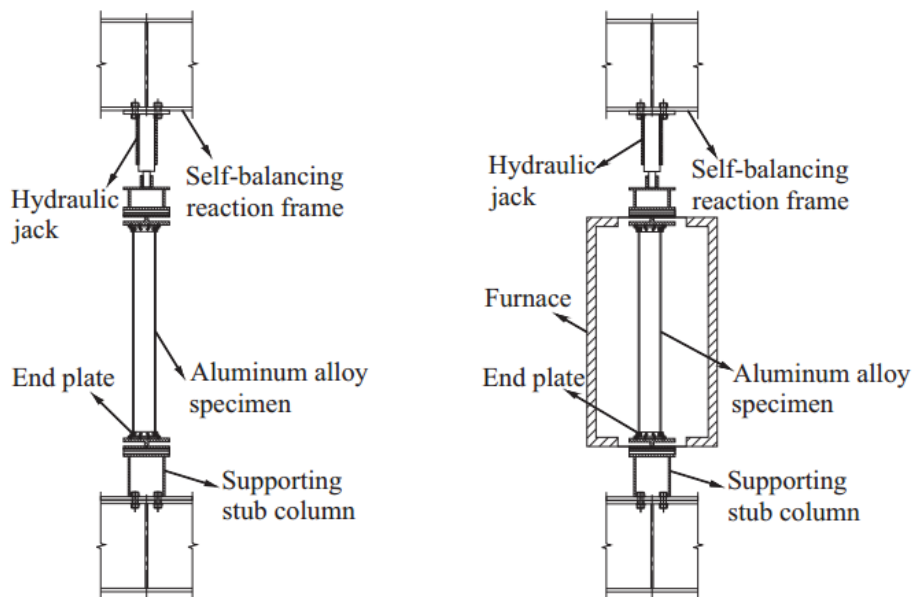
$$\left(\frac{P}{\varphi_T P_{y,T}} \right)^{\xi_P(T)} + \left[\frac{M}{M_{p,T} (1 - \varphi_T P / P_E)} \right]^{\xi_M(T)} = 1$$

24. 黄玮嘉. 铝合金偏压构件高温承载力研究[D]. 上海, 同济大学, 2017.

铝合金构件高温性能

防止偏压弯扭失稳

试验研究

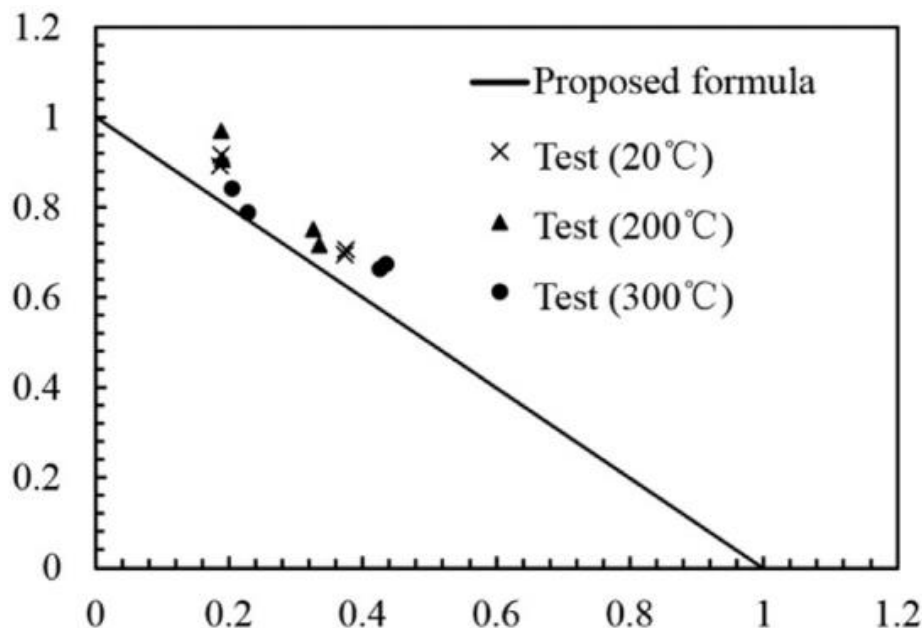


25. Zhu S, Guo X, Liu X, et al. Bearing capacity of aluminum alloy members under eccentric compression at elevated temperatures[J]. Thin-Walled Structures, 2018, 127:574-587.

铝合金构件高温性能

防止偏压弯扭失稳

有限元分析

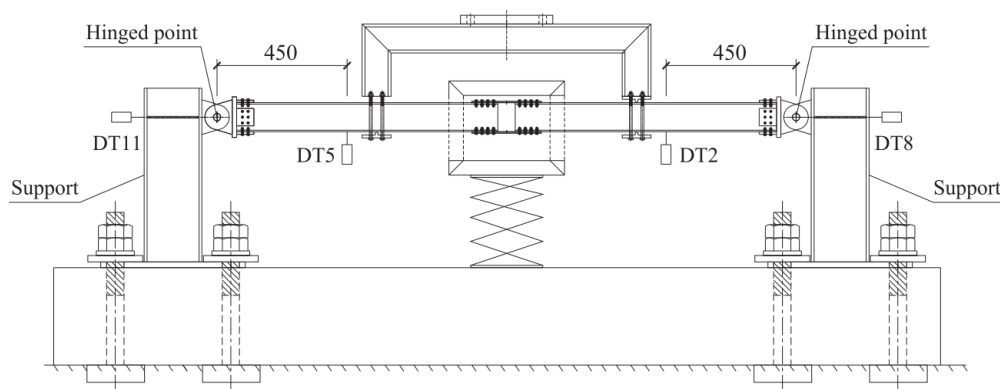
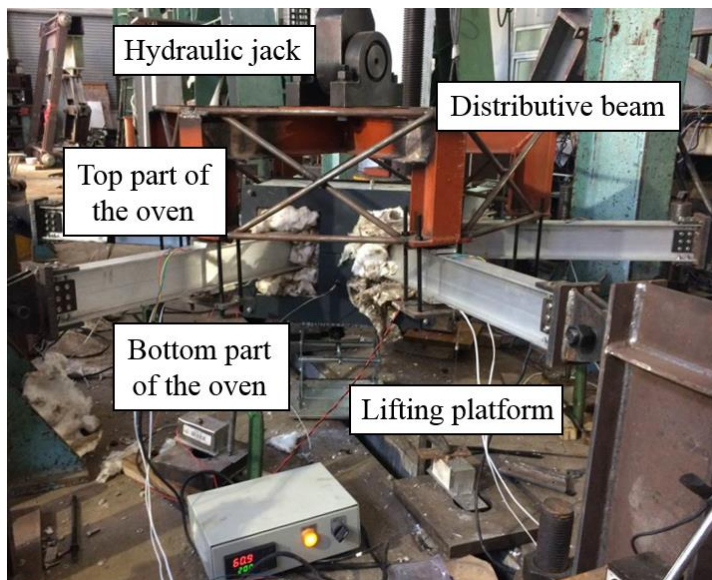


$$\frac{P}{\varphi_T P_{y,T}} + \frac{M}{\varphi_{bT} W_{Ex} f_{0.2,T}} = 1$$

25. Zhu S, Guo X, Liu X, et al. Bearing capacity of aluminum alloy members under eccentric compression at elevated temperatures[J]. Thin-Walled Structures, 2018, 127:574-587.

铝合金节点高温性能

试验研究



26. Guo X, Zhu S, Liu X, et al. Study on out-of-plane flexural behavior of aluminum alloy gusset joints at elevated temperatures[J]. Thin-Walled Structures, 2018, 123:452-466.

铝合金节点高温性能

试验研究

杆件
净截面破坏



节点板
块状拉剪破坏



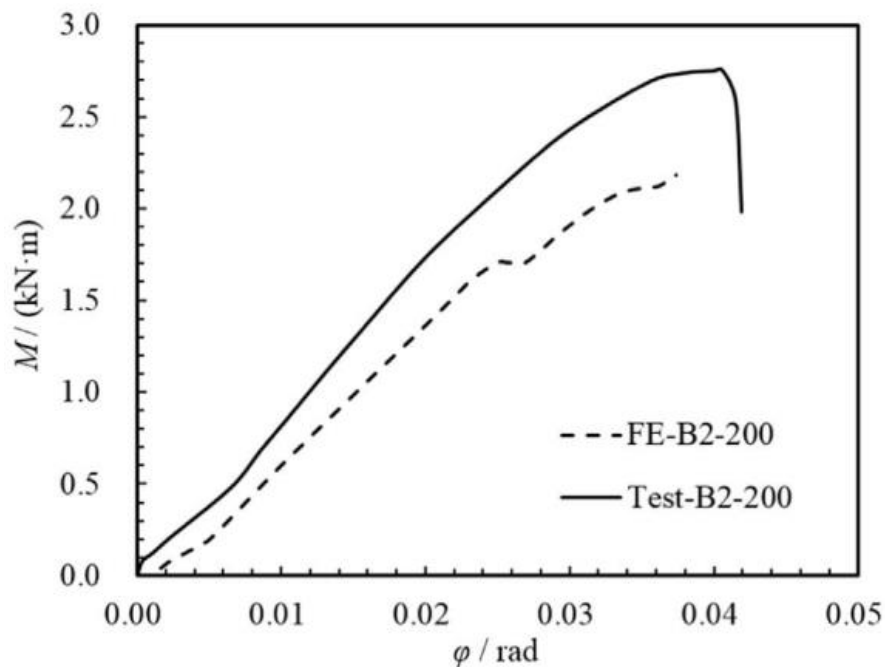
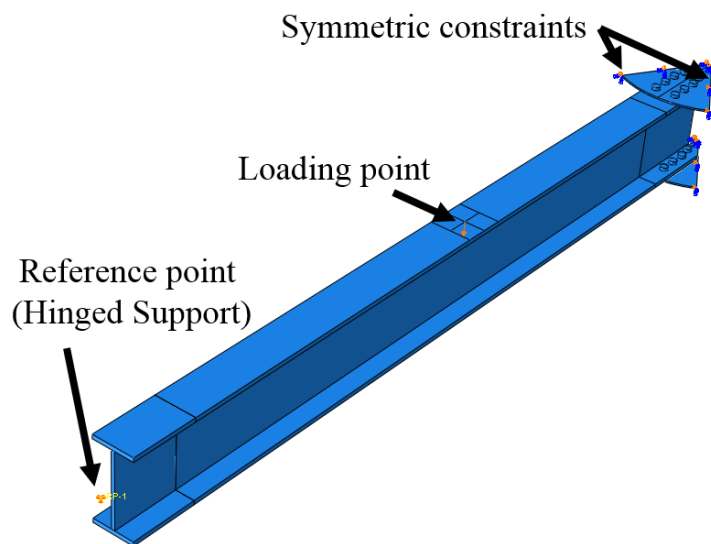
节点板
屈曲破坏



26. Guo X, Zhu S, Liu X, et al. Study on out-of-plane flexural behavior of aluminum alloy gusset joints at elevated temperatures[J]. Thin-Walled Structures, 2018, 123:452-466.

铝合金节点高温性能

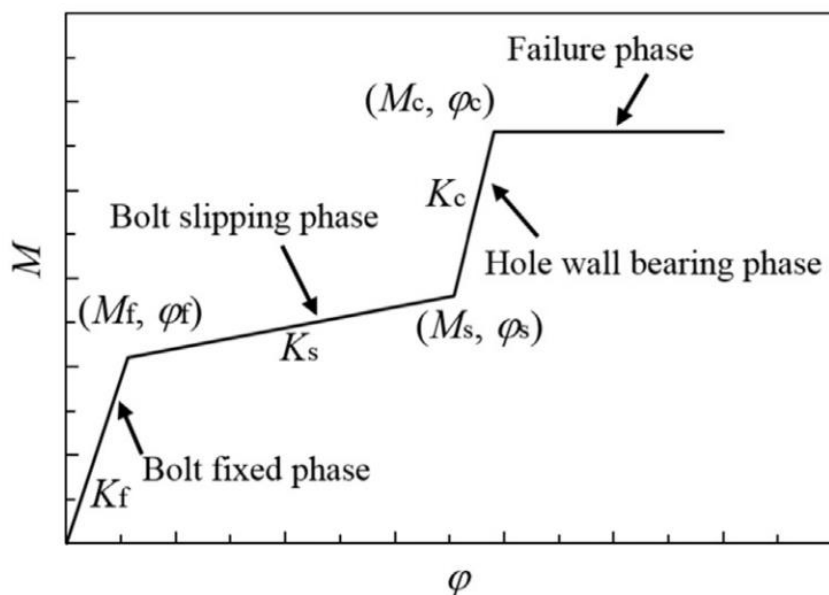
有限元模拟



26. Guo X, Zhu S, Liu X, et al. Study on out-of-plane flexural behavior of aluminum alloy gusset joints at elevated temperatures[J]. Thin-Walled Structures, 2018, 123:452-466.

铝合金节点高温性能

参数分析 弯曲刚度模型



温度影响系数

$$K_f(T) = \gamma_{Tf}(T) K_f$$

$$\varphi_f(T) = \xi_{Tf}(T) \varphi_f$$

$$K_c(T) = \gamma_{Tc}(T) K_c$$

$$\varphi_c(T) = \xi_{Tc}(T) \varphi_c$$

26. Guo X, Zhu S, Liu X, et al. Study on out-of-plane flexural behavior of aluminum alloy gusset joints at elevated temperatures[J]. Thin-Walled Structures, 2018, 123:452-466.

铝合金节点高温性能

参数分析 承载力公式

节点板中心区屈曲破坏

$$V_{crT} = \frac{14.68}{R_c} \frac{E_T t^3 \xi_{Tcr}(T)}{12(1-\nu^2)}$$

$$\xi_{Tcr}(T) = 1.1499 - 5.2729 \times 10^{-4} T$$

节点板块状拉剪破坏

$$V_{uT} = \xi_{Tu}(T) t f_{uT} L \quad \xi_{Tu}(T) = 6.0667 \times 10^{-6} T^2 - 8.1980 \times 10^{-4} T + 0.6334$$

26. Guo X, Zhu S, Liu X, et al. Study on out-of-plane flexural behavior of aluminum alloy gusset joints at elevated temperatures[J]. Thin-Walled Structures, 2018, 123:452-466.

铝合金板式节点网壳抗火性能

1. 铝合金板式节点网壳的承载性能
 2. 大空间结构抗火性能
-

铝合金板式节点网壳抗火性能

2. 大空间结构抗火性能

- 大空间火灾下**空气温度场**分布
- 大空间火灾下**构件温升**计算
- 大空间火灾下**整体结构性能**
- 大空间建筑结构**防火设计方法**

大空间火灾下空气温度场分布

引言

一般室内火灾

$<100\text{m}^3$

受限空间

大空间火灾下空气温度场分布

引言

一般室内火灾

$$T_g - T_0 = 345 \lg(8t + 1)$$

1. 初期增长阶段
2. 全盛阶段
3. 衰退阶段

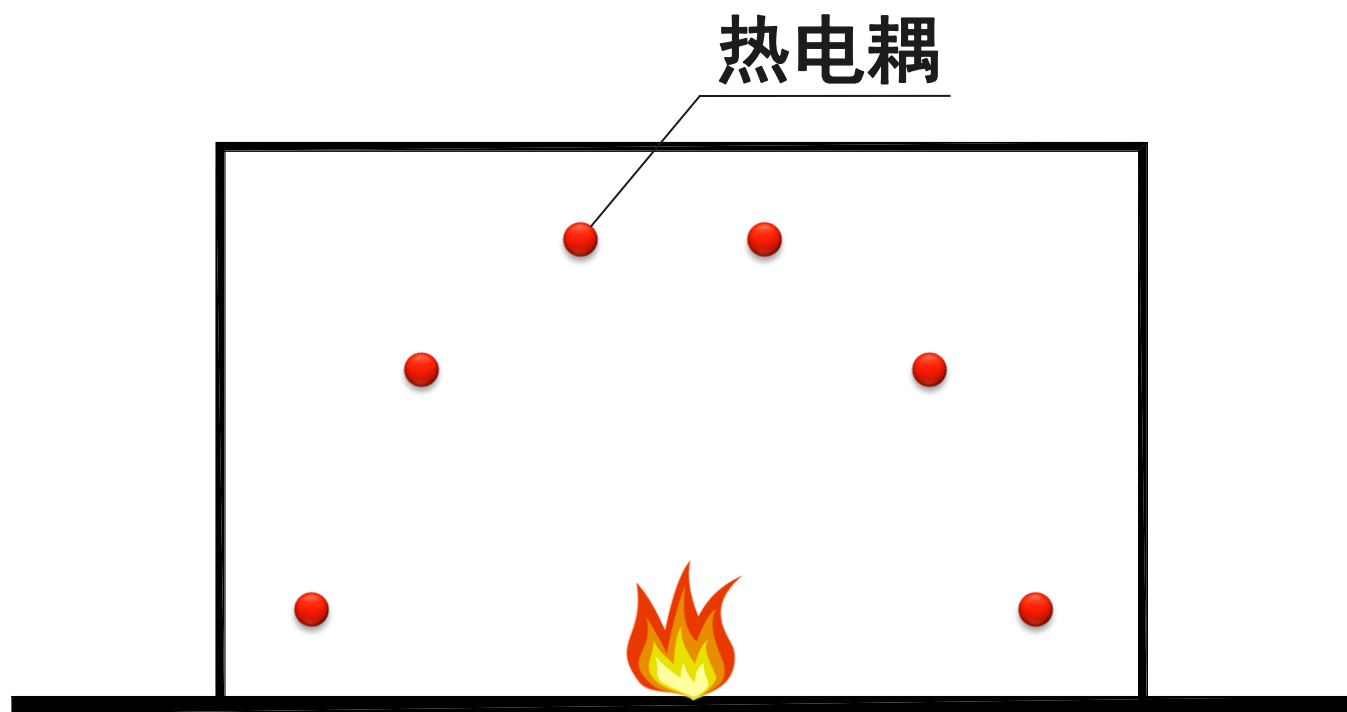




大空间火灾下空气温度场分布

大空间火灾

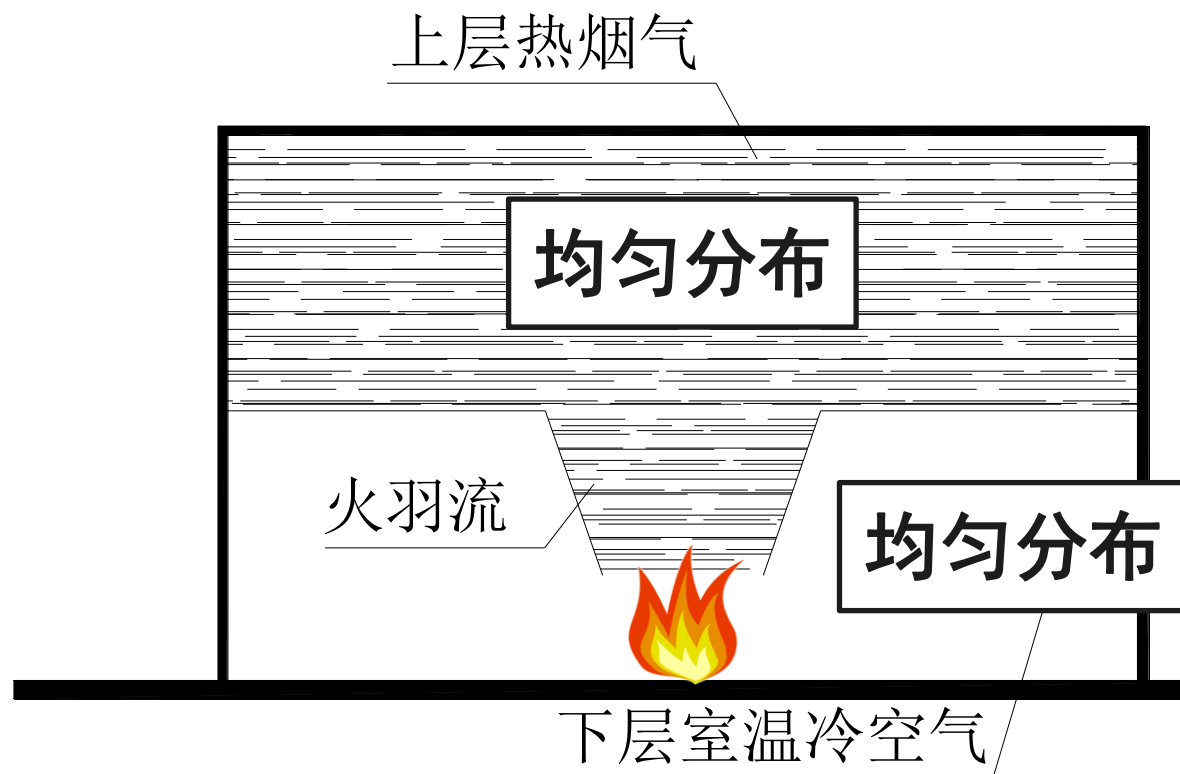
1. 火灾试验



大空间火灾下空气温度场分布

大空间火灾

1. 火灾试验
2. 区域模拟



大空间火灾下空气温度场分布

大空间火灾

1. 火灾试验

2. 区域模拟

3. 场模拟

a. 基于质量守恒定律的连续方程

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial (\rho u_j)}{\partial x_j} = 0$$

b. 基于动量守恒定律的Navier-Stokes方程

$$\frac{\partial (\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial (\rho u_j u_i)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu \frac{\partial u_j}{\partial x_j} \right) + S_{u_i}$$

c. 基于能量守恒定律的能量方程

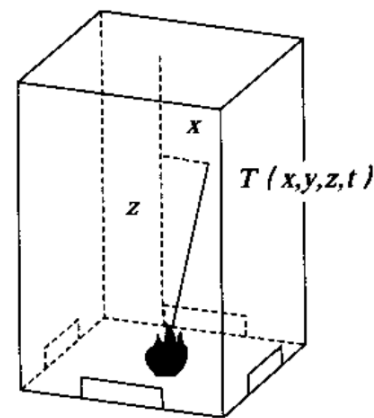
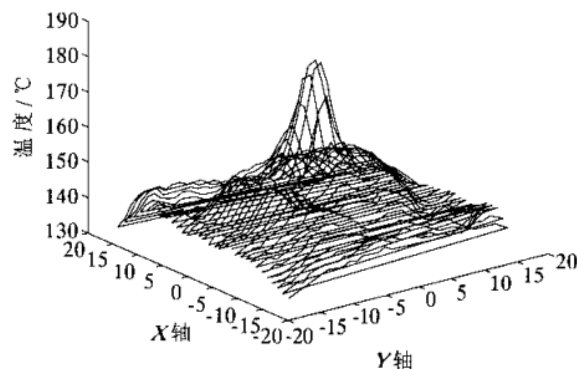
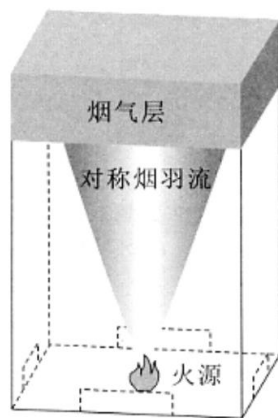
$$\frac{\partial (\rho h)}{\partial t} + \frac{\partial (\rho u_j h)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_h \frac{\partial h}{\partial x_j} \right) + S_h$$

大空间火灾下空气温度场分布

大空间火灾

李国强等提出的公式

1. 火灾试验
2. 区域模拟
3. 场模拟
4. 经验公式



$$T(x, z, t) - T_0 = T_z^{\max} \left(1 - 0.8e^{-\beta t} - 0.2e^{-0.1\beta t} \right) \kappa$$

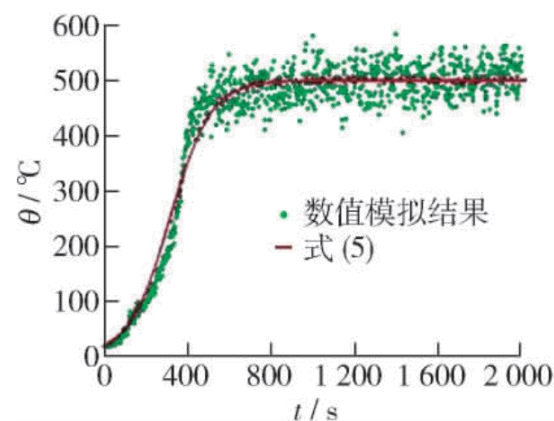
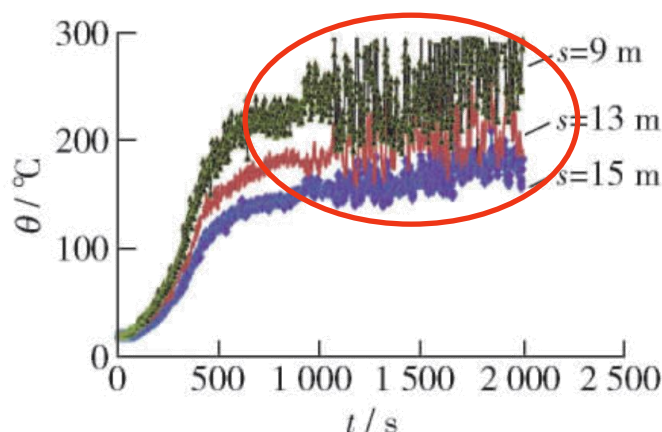
28. 李国强, 杜咏. 实用大空间建筑火灾空气升温经验公式[J]. 消防科学与技术, 2005, 24(3):283-287.

大空间火灾下空气温度场分布

大空间火灾

薛素铎等提出的公式

1. 火灾试验
2. 区域模拟
3. 场模拟
4. 经验公式



$$T(x, z, t) = T_m \left[1 + e^{-rt} \left(\frac{T_m}{T_0} - 1 \right) \right]^{-1}$$

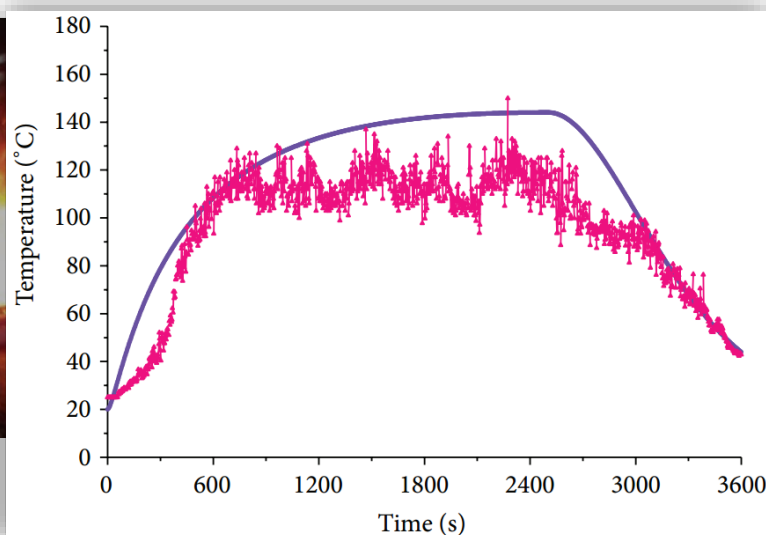
28. 薛素铎, 梁劲, 李雄彦. 大空间建筑火灾空气升温经验公式[J]. 北京工业大学学报, 2013, 39(2):203-207.

大空间火灾下空气温度场分布

大空间火灾

Zhang等提出的公式

1. 火灾试验
2. 区域模拟
3. 场模拟
4. 经验公式



$$\frac{(t - \ln t_d)^2}{\omega_1} \quad t \leq t_d$$
$$\frac{(t - \ln t_d)^2}{\omega_2} \quad t > t_d$$

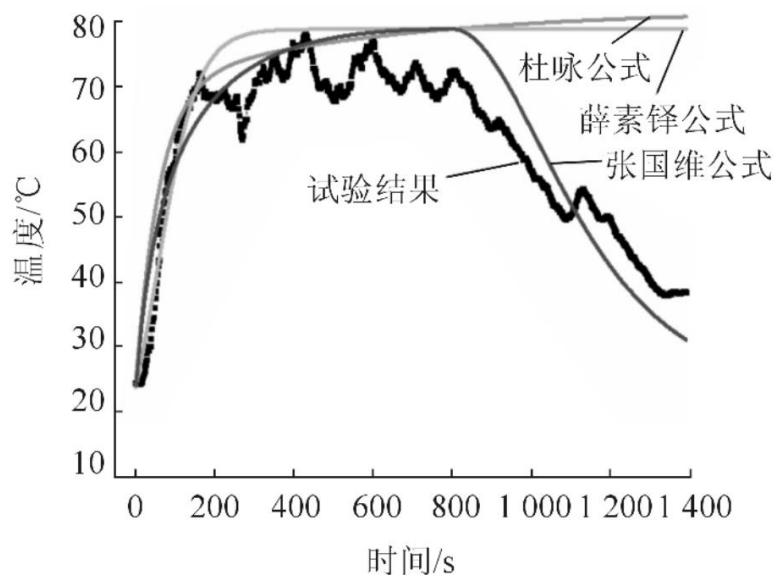
28. Zhang G, Zhu G, Yuan G, et al. Methods for Prediction of Steel Temperature Curve in the Whole Process of a Localized Fire in Large Spaces[J]. Mathematical Problems in Engineering, 2014(2):1-12.

大空间火灾下空气温度场分布

大空间火灾

各公式结果对比

1. 火灾试验
2. 区域模拟
3. 场模拟
4. 经验公式



29. 于志超, 朱国庆, 田承飞. 大空间温度场预测模型与实验分析[J]. 消防科学与技术, 2016, 35(10):1372-1375.



大空间火灾下构件温升计算

钢构件 - 现有规范

CECS 200-2006 建筑钢结构防火设计规范

1. 增量法

$$T_s(t + \Delta t) = \frac{B}{c_s \rho_s} [T_g(t) - T_s(t)] \Delta t + T_s(t)$$

2. 简化公式法

$$T_s(t) = \left(\sqrt{0.044 + 5.0 \times 10^{-5} B} - 0.2 \right) t + T_s(0)$$

3. 查表法

29. 建筑钢结构防火技术规范: CECS 200-2006 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2006.

大空间火灾下构件温升计算

钢构件 - 现有规范

CECS 200-2006 建筑钢结构防火设计规范

1. 增量法

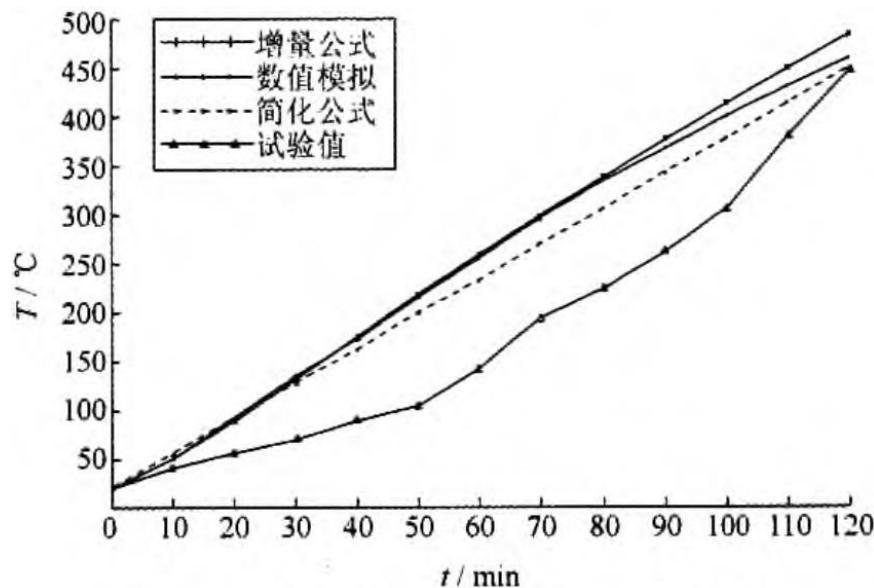
最为保守

2. 简化公式法

结果最低

3. 查表法

居中





大空间火灾下构件温升计算

钢构件—现有规范

《大空间火灾钢结构建筑钢结构防火设计规范》

1. 增量法

$$T_s(t + \Delta t) = \frac{B}{c_s \rho_s} [T_g(t) - T_s(t)] \Delta t + T_s(t)$$

2. 简化公式法

$$T_s(t) = \left(\sqrt{0.044 + 5.0 \times 10^{-5} B} - 0.2 \right) t + T_s(0)$$

3. 查表法

31. 黄珏倩. 平面大空间钢结构抗火研究[D]. 同济大学, 2006.



大空间火灾下构件温升计算

钢构件 – 大空间

大空间火灾钢构件温升

$$T_s(t) = T_{\text{flame}}(t) + T_{\text{smoke}}(t) + T_0$$

大空间火灾下构件温升计算

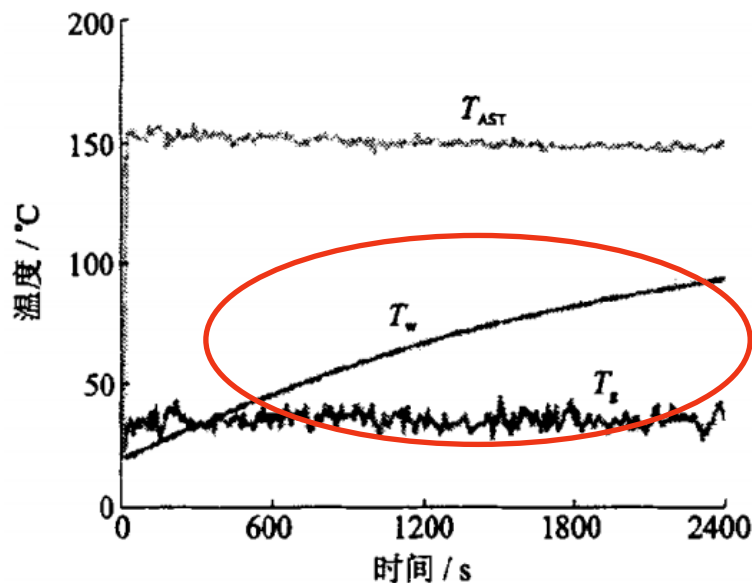
钢构件 – 大空间

大空间火灾钢构件温升

$$T_s(t) = T_{\text{flame}}(t) + T_{\text{smoke}}(t) + T_0$$

构件温度高于周围气体温度

考虑火焰辐射的构件温升：



$$\frac{T_g - T_s}{T_g - T_0} = -a + (1 + a)e^{-b \times 10^{-4} t}$$

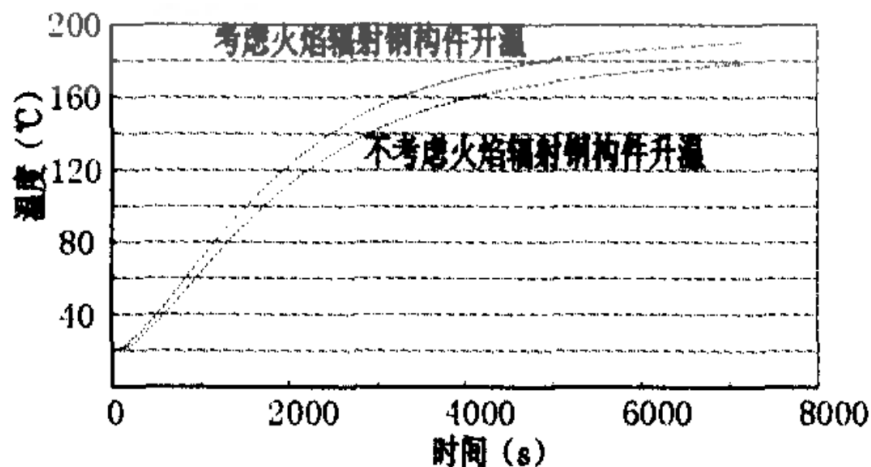
32. 张超, 李国强. 基于FDS模拟分析的建筑大空间火灾下钢构件的升温确定方法研究[J]. 防灾减灾工程学报, 2012(s1):72-75.

大空间火灾下构件温升计算

钢构件 – 大空间

大空间火灾钢构件温升

$$T_s(t) = T_{\text{flame}}(t) + T_{\text{smoke}}(t) + T_0$$



构件温升中火焰辐射贡献:

$$T_{\text{flame}}(t) = T_m \left[k_1 e^{-k_2 \lg^2(t/t_m)} + k_3 e^{-k_4 \lg^2(t/t_m)} \right]$$

33. 杜咏, 李国强. 大空间建筑火灾中火焰辐射对无保护钢构件升温的影响[J]. 火灾科学, 2006, 15(4):189-199.
34. 杜咏, 李国强. 考虑火焰辐射的大空间建筑火灾中钢构件升温实用计算方法[J]. 建筑科学与工程学报, 2008, 25(3):54-60.

大空间火灾下构件温升计算

钢构件 – 大空间

大空间火灾钢构件温升

$$T_s(t) = T_{\text{flame}}(t) + T_{\text{smoke}}(t) + T_0$$

黄珏倩模型

$$T_{\text{flame},x}(t) = \begin{cases} T_{\text{flame},x}(7200) \cdot k \cdot \left[1 - \left(1.002 - 0.9701 \cdot \frac{t}{t_z} \right)^2 \right] & t \leq t_z \\ \frac{T_{\text{flame},x}(7200) \cdot k}{1.036 + \left(\frac{t - t_z}{7200 - t_z} \right)^{1.5} \cdot e^{-3.261 - \frac{56.65}{F_s/V_s} + 0.00819 T_z^{\max}}} & t > t_z \end{cases}$$

张国维模型

$$\Delta Q_s = V_s \rho_s C_s \Delta T_s$$

35. 黄珏倩, 李国强, 杜咏,等. 大空间火灾中火焰辐射对钢构件升温的影响[J]. 自然灾害学报, 2008, 17(5):87-94.
36. 张国维, 朱国庆, 袁广林,等. 火焰热辐射作用下大空间火场钢构件升温模型[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2013, 45(6):96-101.

大空间火灾下构件温升计算

铝合金构件

Eurocode 9 Part 1-2 Structural fire design

增量法

$$\Delta T_{\text{al}} = K_{\text{sh}} \frac{1}{c_{\text{al}} \rho_{\text{al}}} \frac{A_{\text{m}}}{V} h \Delta t$$

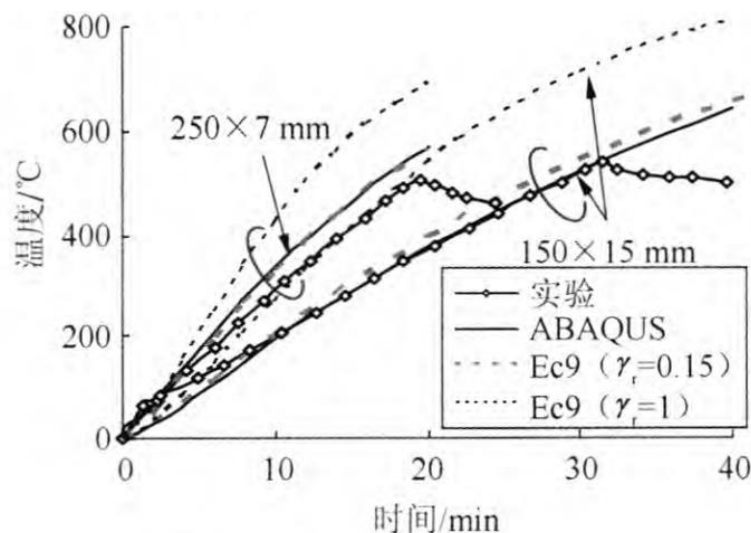
修正

$$h = h_c + h_r$$

单位面积总热流量

热对流
贡献

热辐射
贡献



2. Design of aluminum alloy structures - Part 1-2: Structural fire design: EN1999-1-2 Eurocode 9[S]. Brussels: European Committee for Standardization, 2007.

37. 郑永乾, 陈志波, 张铮. 火灾下铝合金方管柱的升温[J]. 消防科学与技术, 2014(9):991-994.

大空间结构整体抗火性能

钢结构

CECS 200-2006 建筑钢结构防火设计规范

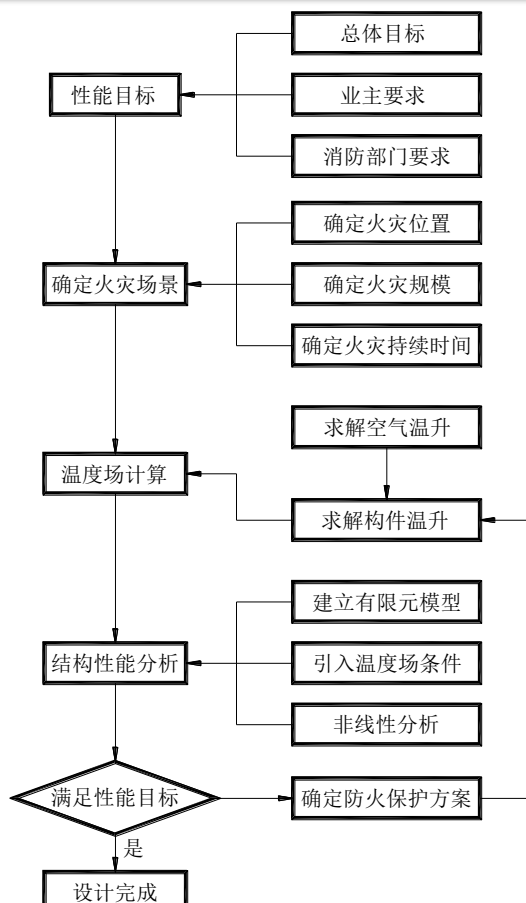
Eurocode 3

结构整体作用 $\xrightarrow{\text{提升}}$ 单一构件表现

38. Wang Y C. An analysis of the global structural behaviour of the Cardington steel-framed building during the two BRE fire tests[J]. Engineering Structures, 2000, 22(5):401-412.

大空间结构防火设计方法

性能化设计



总体目标

1. 不致因结构破坏影响建筑内人员的逃生及消防人员灭火;
2. 不致因结构破坏使建筑火灾损失更大。