

# 风荷载作用下幕墙铝板内力和变形的计算\*

毛伙南

(中山盛兴股份有限公司, 广东 中山 528412)

**摘要:** 阐述了槽型铝板和加劲肋构成的单元式幕墙的内力及变形计算。采用 ANSYS 软件对单元板块由槽型铝板与 5 条加劲肋组成的结构的内力和变形进行计算, 研究了加劲肋转角处由于局部铆钉松脱由刚结点变成铰接点后其计算模型发生改变的应力及位移计算, 最后介绍实际应用。

**关键词:** 单元式幕墙; 铝板; 加劲肋; 内力; 位移

**中图分类号:** TU395   **文献标志码:** A   **文章编号:** 0529-6579 (2012) 04-0019-04

## Under Wind Load Function the Curtain Wall Aluminum Plate Internal Force and Distortion Calculation

MAO Huonan

(Zhong Shan Sheng Xing Co, Ltd, Zhongshan 528412, China)

**Abstract:** The survey of unit type curtain wall is researched. Using the ANSYS software, the internal force and displacement of the unit type plate structure which are composed of the trough type aluminum plate and 5 stiffening ribs (portal type frame) are calculated. The stiffening rib and the aluminum plate corner partial rivet loosens by the rigid joint turns the hinge point is studied. The computation model is built and its biggest internal force and displacement are obtained. Finally, the practical application is introduced.

**Key words:** unit type curtain wall; aluminum plate; stiffening rib; internal force; displacement.

现代建筑的单元式幕墙设计要求美观大方, 富于立体感, 外立面越来越复杂多变。造成单元板块种类丰富多样, 其中槽型、转角型单元铝板应用较为广泛<sup>[1-3]</sup>。其受风荷载作用较为复杂, 有单向受正风压的、也有三向受风荷载的, 更有双向受正风压、转角处立面受负风压作用的情况, 其受力和变形较为复杂, 引起业内的日益关注<sup>[4-9]</sup>。同时, 由于单元板块在车间组装后运至现场吊装时, 少数加劲肋的连接螺丝由于运输原因可能产生脱落, 由于板块内部空间狭窄, 在施工现场板块内部的加劲肋连接螺丝已难以重新补装, 这样原正常状态下的计算模型发生了改变。因此, 计算模型的可靠性也越来越引起设计人员的重视<sup>[10]</sup>。本文讨论了在正向

风压作用下, 槽型铝板与加劲肋组成的单元式幕墙板块结构的计算问题, 同时考虑了加劲肋与铝板转角处局部铆钉松脱造成的非正常状态下的受力与变形计算, 并与正常状态下的计算结果进行了比较。

### 1 槽型铝板与加劲肋正常状态受力与变形计算

槽型铝板单元板块结构如图 1 所示, 由槽型铝板和 5 条加劲肋组成。槽型铝板与加劲肋(可看作门式框架)由铆钉紧固, 槽型铝板与加劲肋在紧密接触处  $x$ 、 $y$ 、 $z$  方向线位移和角位移应协调一致, 加劲肋转折处采用连接片连接, 每侧 2 个螺丝固定, 能承担约束力矩及约束反力, 可视为刚结

\* 收稿日期: 2012-02-12

基金项目: 建设部研究开发资助项目 (06-K5-20)

作者简介: 毛伙南 (1975 年生), 男, 高级工程师; E-mail: maohuonan@163.com

点<sup>[11-12]</sup>。一般情况下,在风荷载作用下的槽型铝板与加劲肋的内力与变形计算均简化为平面问题且各自独立计算。为更好地模拟槽型铝板和加劲肋之间的空间协调变形及承载能力,槽型铝板可视为空间壳体结构<sup>[13]</sup>,加劲肋视为空间梁,二者协同承担荷载。

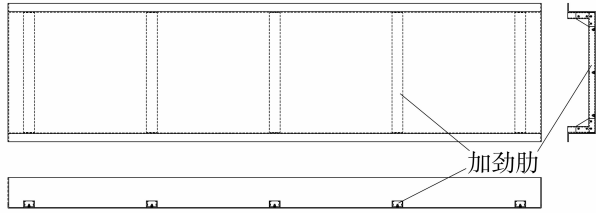


图 1 槽型铝板单元板块结构示意图

Fig. 1 The trough unit type aluminum plate structure

本文采用 ANSYS 软件建立计算模型<sup>[14-16]</sup>,铝板板身采用三维壳单元 (SHELL63),该单元为 4 节点,可定义厚度。加劲肋采用三维梁单元 (BEAM4),该单元由两个或三个节点定义,可定义截面积与截面惯性矩、截面宽和高。铝板与加劲肋形成的整体两侧受风面均受到均布风荷载作用,其约束条件为对两侧面的边缘进行铰接约束。

#### 模型及计算分析:

整体计算模型选取坐标如图 2 所示,从中可以看出槽型铝板及加劲肋各位置及在整体坐标 X、Y、Z 三向所处的方位。对整体模型进行单元网格划分后,如图 3 所示。

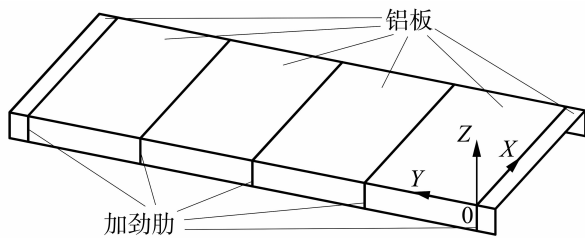


图 2 整体模型构成示意图

Fig. 2 The whole mold constitution

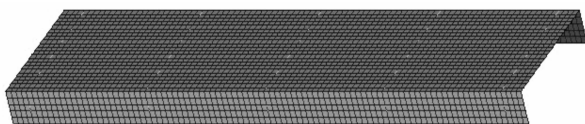


图 3 网格划分完后的整体模型

Fig. 3 The grid division of whole mold

本文以澳门威尼斯人酒店 T6B 标段单元式幕墙为例,添加约束并在两个侧面施加同向的 4.43 KPa 均布面荷载,计算求解该荷载作用下的槽型铝板及加劲肋的位移及应力如下:

沿风向 (即 X 方向) 的最大位移为 0.204 313 mm,也是整体模型最大变形。最大挠度的位置出现铝板两侧面加劲肋之间的中部位置,如图 4 所示。

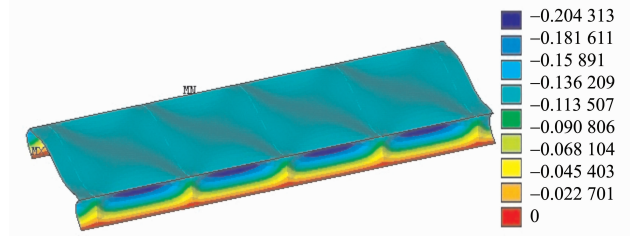


图 4 X 方向节点位移

Fig. 4 The X direction nodal displacement

选择所有铝板板体的单元作为研究对象,板体模型的三向单元应力分布情况如图 5、6、7 所示。

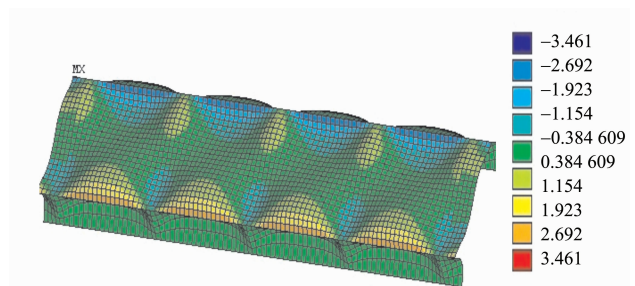


图 5 板体 X 方向的单元应力分布图

Fig. 5 The X direction element stress distribution

X 方向的最大应力为 3.461 MPa,发生在板体两个边缘角点的附近位置,该区域附近及中板与侧板相交边界的应力水平较高。

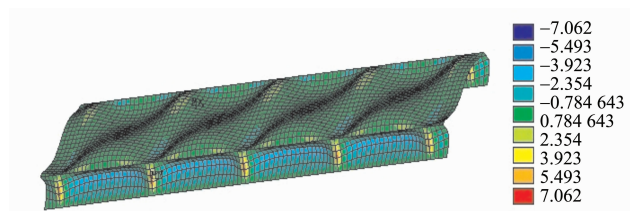


图 6 板体 Y 方向的单元应力分布图

Fig. 6 The Y direction element stress distribution

Y 方向的最大应力为 7.062 MPa,最大应力发生在加劲肋支撑端所对应的板体的中部位置,该区

域附近的应力水平较高。

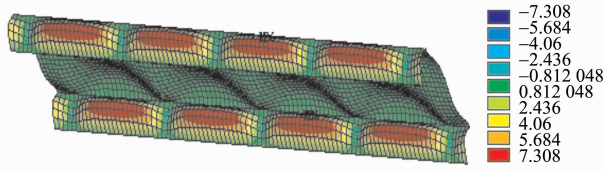


图 7 板体 Z 方向的单元应力分布图

Fig. 7 The Z direction element stress distribution

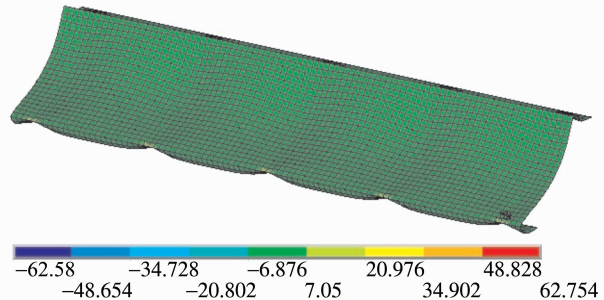


图 9 板体 X 方向的单元应力分布图

Fig. 9 The X direction element stress distribution

Z 方向的最大应力为 7.308 MPa，发生在每块铝板两侧板的中部区域。

计算结果表明：槽型铝板及加劲肋所组成的单元式幕墙结构的变形及应力均符合设计要求。

## 2 加劲肋一端转角处变为铰接时的受力与变形计算

单元式幕墙板块首先在生产车间进行组装，然后运至施工现场安装。由于运输原因，部分板块中的少数加劲肋转角连接处的连接板螺丝可能出现脱落或铆钉松脱，加劲肋一端转角处由刚接变成了铰接，这与原来的计算模型不符，需要重新分析和计算铝板的强度是否满足设计要求。考虑最不利的情况，假设 5 根加劲肋的一端均由于铆钉松脱或螺栓的失效成为可活动的铰接部位，如图 8 所示。本文考虑 5 根加劲肋一端转角处由刚接变成了铰接后计算模型，按照新的计算模型，采用相同的几何尺寸与荷载条件，其应力计算结果如图 9、10、11 所示，变形及应力计算结果与正常状态下计算结果进行比较如下。

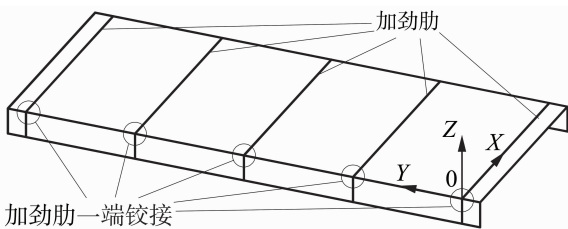


图 8 全部加劲肋一端转角均变成铰接

Fig. 8 The stiffening rib an end corner turns the hinge

假设 5 根加劲肋的一端均由于螺栓的失效成为可活动的铰接部位时，整体的最大变形由 0.204 313 mm 增加为 0.522 329 mm，增加了一倍多。

加劲肋的一端转角部位成为可活动的铰接部位时，加劲肋刚接转角部位所在位置的板 X 方向应力水平十分高，在该部位的小范围内，板单元 X 方向应力由 7 MPa 左右迅速增加到最大的 62 MPa 左右，而且与正常状态模型相比，最大应力水平由 3.5 MPa 左右急剧增加到 63 MPa 左右，升幅十分大，应当引起注意。

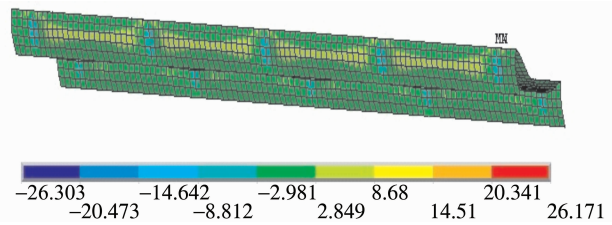


图 10 板体 Y 方向的单元应力分布图

Fig. 10 The Y direction element stress distribution

Y 向的最大应力是出现在加劲肋刚接转角部位所在一端所对应的整体中板内侧边缘位置，小范围内应力水平较高，板最大单元应力达到 26.303 MPa。

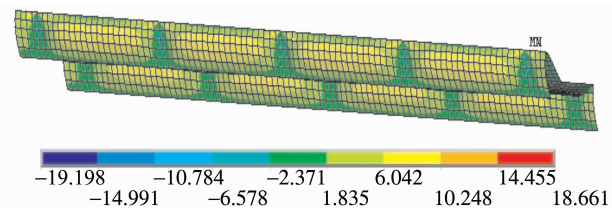


图 11 板体 Z 方向的单元应力分布图

Fig. 11 The Z direction element stress distribution

Z 方向有明显的应力集中现象，位于加劲肋刚接转角部位所在一端所对应的侧板两边缘位置，板最大单元应力达到 19.198 MPa，与正常状态模型的应力水平相比有一定程度的增加。

### 3 结论与讨论

根据上述计算模型,铝板与加劲肋在正常情况下在铆接点处紧密接触,满足位移连续条件,加劲肋转折处采用连接片连接,能承受约束力矩及约束反力,槽型铝板和加劲肋之间在铆接点处变形协调,加劲肋在转折处的 3 个方向的线位移及角位移与板在转角处的线位移与角位移一致,即加劲肋限制了板在该点的位移及转动。当板在风荷载作用下产生变形时,由于加劲肋刚结点产生约束反力与约束反力矩,抵消由于板变形传递的内力,使板身的内力和变形大为减小。

而出现铝板与加劲肋在转角处紧固螺栓松脱的情况时,加劲肋在该角点由刚结点变为铰接点,受到风荷载作用板的变形将大为增加,板产生的内力(包括力矩)也急剧增加,工程应用中该问题需引起足够的重视。本文将加劲肋刚结点由于紧固螺栓松脱转变为铰接点,其数值模拟结果反映了槽型铝板与加劲肋构成的单元式幕墙中铝板的可能损坏成因,为单元式幕墙的设计及施工提供了理论依据,具有较大实用意义。本文的计算方法还可以在其他多项幕墙工程中加以应用。

#### 参考文献:

- [1] 张芹. 单元式、半单元式幕墙技术[G]. 中国建筑金属结构协会铝门窗幕墙委员会, 1997.
- [2] MAZZOLANI F M. Aluminum alloy structures[M]. 2nd ed. London: E&FN Spon, 1995.
- [3] 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.

- [4] 蔡铭, 姜清海, 郭金基, 等. 幕墙杆索结构有限分析计算方法的研究[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2005, 44(2): 32 - 35.
- [5] 蔡铭, 毛伙南, 郭金基, 等. 幕墙支撑杆的纵横弯曲计算和稳定性分析[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2007, 46(2): 16 - 19.
- [6] 张相庭. 工程结构风荷载理论和抗风设计手册[M]. 上海: 同济大学出版社, 1990.
- [7] 中华人民共和国建设部. GB 50429 - 2007 铝合金结构设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社.
- [8] 楼文娟, 孙炳楠, 傅国宏, 等. 复杂体形高层建筑表面风压分布的特征[J]. 建筑结构学报, 1995, 16(6): 38 - 44.
- [9] 陈塑寰, 麻凯. 板壳加筋结构的组合优化[J]. 吉林大学学报: 工学版, 2008, 38(2): 388 - 392.
- [10] 李刚, 许林, 程耿东. 基于 ANSYS 软件的大型复杂结构可靠度分析[J]. 建筑结构, 2002, 32(5): 58 - 61.
- [11] 龙驭球, 包世华. 结构力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [12] 徐芝纶. 弹性力学[M]. 北京: 人民教育出版社, 1982.
- [13] 刘人怀. 板壳力学[M]. 北京: 机械工业出版社, 1990.
- [14] 中华人民共和国建设部. GB 50009 - 2001(2006 年版) 建筑结构荷载规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.
- [15] 胡红军, 杨明波, 张丁非. ANSYS 10.0 材料工程有限元分析实例教程[M]. 北京: 电子工业出版社, 2008.
- [16] ZHU J, YOUNG B. Numerical investigation and design of aluminum alloy circular hollow section columns[J]. Thin - Walled Structures, 2008, 46(12): 1437 - 1449.