

# 文洛型温室铝合金天沟的受力分析及选型

孙佳

中国建材国际工程集团有限公司, 上海 200063

DOI:10.61369/ERA.2026030012

**摘 要 :** 文洛型温室起源于荷兰, 因其结构合理、透光性好、美观实用而广受欢迎。文洛型温室采用铝合金天沟, 其在温室结构中起到了关键作用: 天沟是连接温室主体钢结构和铝合金屋面系统的重要衔接构件, 人字梁与天沟的连接方式采用了创新的卡接技术, 即现场无需打孔, 也无需使用紧固件, 便能实现精准定位和简便施工; 天沟可以用于收集和排放雨水, 成功解决了国内温室长期面临的“温室必漏”难题; 天沟也作为结构受力构件, 起到屋面系杆的作用, 增强温室的整体结构稳定性, 同时作为受弯构件又能承担雪载和屋面清洗机的重量。

**关 键 词 :** 文洛温室; 铝合金; 天沟; 受力分析

## Stress Analysis and Selection of Aluminum Alloy Gutters for Venlo Greenhouses

Sun Jia

China Triumph International Engineering Group Co., Ltd., Shanghai 200063

**Abstract :** The Venlo-type greenhouse originated in the Netherlands and is widely popular due to its reasonable structure, good light transmittance, and aesthetic appeal as well as practicality. The Venlo-type greenhouse uses aluminum alloy gutters, which play a crucial role in the greenhouse structure. The gutter is an important connecting component that links the main steel structure of the greenhouse and the aluminum alloy roofing system. An innovative snap-fit technology is adopted for the connection between the rafters and the gutters, which enables precise positioning and simple construction without the need for on-site drilling or the use of fasteners. The gutters can be used to collect and discharge rainwater, successfully solving the long-standing problem of "leakage in all greenhouses" faced by domestic greenhouses. The gutters also serve as structural load-bearing components, functioning as tie rods for the roofing. This enhances the overall structural stability of the greenhouse. At the same time, as flexural members, the gutters can bear the weight of snow and the roof cleaning machine..

**Keywords :** Venlo greenhouse; aluminum alloy; gutter; stress analysis

### 一、铝合金天沟的材料

在荷兰、以色列等农业发达国家, 铝合金天沟因其轻质、耐腐蚀、强度高优点广泛应用于高科技温室中, 经过多年发展, 已形成以材料创新、结构优化和智能化应用为核心的技术体系。由欧标 EN12020-1<sup>[1]</sup> 可看出欧洲广泛采用6000系铝合金(如 ENAW-6060/6063)——温室主要以6063-T6系列铝合金为主, 通过调整镁、硅元素比例提升强度(抗拉强度 $\geq 200\text{MPa}$ ), 并配合阳极氧化(膜厚 $\geq 15\mu\text{m}$ )或粉末涂层工艺(符合 Qualicoat 标准), 显著增强抗腐蚀能力, 适用于高湿度或沿海盐雾环境。

在我国温室建设中, 合理选用铝合金天沟材料对于降低维护成本、提高温室使用寿命具有重要意义。根据国标《农业温室结构设计标准》<sup>[1]</sup>3.3.1条指出:“温室用铝合金型材宜采用6XXX系列铝合金。”目前, 国内生产的温室铝合金天沟材料主要以

6063-T5、T6系列铝合金为主, 这种材料具有良好的抗腐蚀性和加工性能, 能够满足温室长期使用的需求。我国针对内陆地区大部分铝合金天沟不做表面处理, 但在沿海地区为了适应高腐蚀性气候条件会对铝合金表面进行特殊处理, 如粉末喷涂或阳极氧化, 从而提高其耐候性和美观度——但是造价会有所提高。

### 二、铝合金天沟的截面及选型

目前我国大多数文洛温室铝合金天沟及配套人字梁、屋脊均沿用国外截面和连接方式, 并根据建设地气候条件及受力情况适当优化壁厚或局部构造。虽然连接方式会有差异, 但文洛温室铝合金天沟截面均有一个封闭中空腔, 此空腔除考虑结构受力及排水因素外, 最重要的是为了防止冷桥效应的产生——由于铝合金材料导热系数高(约 $160\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ), 天沟成为热量传递的“捷径”, 导致温室内外热量通过天沟快速交换——冬季室内热量

作者简介: 孙佳(1988.12-), 女, 汉族, 辽宁人, 本科, 中级工程师, 研究方向: 结构设计。

通过天沟外泄, 夏季外部高温通过天沟传入, 会增加温控能耗, 且天沟表面温度低于露点温度时, 冷凝水会腐蚀结构或滴落损伤植物。

按截面形式分类天沟截面可大致分为4类: 1、单腔(图1(a)~(d)); 2、1大+1小腔(图1(e)); 3、1大+2小腔(图1(f)); 4、1大+3小腔(图1(g))。按功能性分类天沟截面可大致分为4类: 1、带外遮阳+不考虑清洗机轨道; 2、带外遮阳+考虑清洗机轨道; 3、不带外遮阳+考虑清洗机轨道; 4、不带外遮阳+不考虑清洗机轨道。

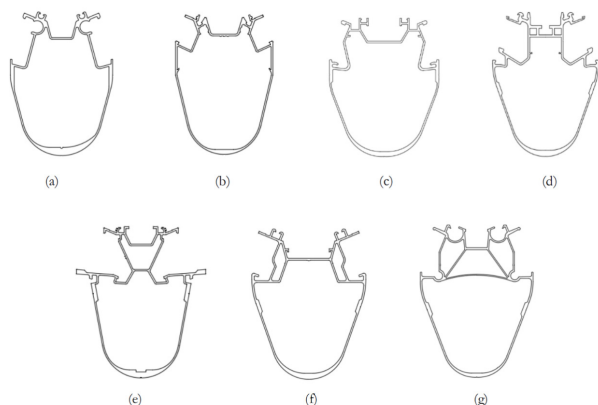


图1 文洛温室铝合金天沟截面示意

天沟根据所处地区风雪荷载和清洗机外遮阳等设计条件的不同导致铝合金天沟米重差异较大, 但大部分在3kg/m~6kg/m之间。

铝合金天沟截面的选择因素很多, 需综合考虑功能需求、环境条件、结构受力、施工便利性、成本效益等多方面, 权衡利弊, 不可顾此失彼。

### 三、铝合金天沟的受力分析

在自重、雪压、屋面清洗机和检修荷载的工况下, 铝合金天沟上翼缘受压, 而实际安装温室时天沟上翼缘两侧均有人字梁及玻璃能有效阻止天沟受压翼缘的侧向位移, 所以设计时可不计天沟的整体稳定性。

#### 1. 抗弯强度验算

铝合金天沟通过支座与柱连接, 形成多跨连续梁。受自重、雪压、风压、屋面清洗机和检修荷载工况的影响, 天沟可按纯受弯构件验算其截面抗弯强度。

根据国标《铝合金结构设计规范》<sup>[2]</sup>6.1.1条: 在主平面内受弯的构件, 其抗弯强度应按下式计算:

$$\frac{M_x}{\gamma_x W_{enx}} + \frac{M_y}{\gamma_y W_{eny}} \leq f$$

$M_x$ 、 $M_y$ 为同一截面处绕x轴和y轴的弯矩;  $W_{enx}$ 、 $W_{eny}$ 为对截面主轴x轴和y轴的较小有效净截面模量, 应同时考虑局部屈曲、焊接热影响区以及截面孔洞的影响;  $\gamma_x$ 、 $\gamma_y$ 为截面塑性发展系数;  $f$ 为铝合金材料的抗弯强度设计值。

#### 2. 抗剪强度验算

根据国标《铝合金结构设计规范》6.1.2条: 在主平面内受弯的构件, 其抗剪强度应按下式计算:

$$\tau = \frac{V_{max} S}{I t_w} \leq f_v$$

$V_{max}$ 为计算截面沿腹板平面作用的最大剪力;  $S$ 为计算剪应力处以上毛截面对中和轴的面积矩;  $I$ 为毛截面惯性矩;  $t_w$ 为腹板厚度;  $f_v$ 为材料的抗剪强度设计值。

#### 3. 轴心受力强度验算

在0°风荷载工况下, 迎风面山墙承受风压力, 背风面山墙承受风吸力, 铝合金天沟发挥系杆的作用, 既有可能是轴心受拉构件也有可能为轴心受压构件, 故两种受力情况均需要考虑。

(1) 根据国标《铝合金结构设计规范》7.1.1条: 轴心受拉构件的强度应按下式计算:

$$\sigma = \frac{N}{A_{en}} \leq f$$

$\sigma$ 为正应力;  $f$ 为铝合金材料的抗拉强度设计值;  $N$ 轴心拉力设计值;  $A_{en}$ 为有效净截面面积, 对于受拉构件仅考虑焊接热影响区和截面孔洞的影响。

(2) 根据国标《铝合金结构设计规范》7.1.2条: 轴心受压构件的强度应按下式计算:

$$\sigma = \frac{N}{A_{en}} \leq f$$

$\sigma$ 为正应力;  $f$ 为铝合金材料的抗压强度设计值;  $N$ 轴心压力设计值;  $A_{en}$ 为有效净截面面积, 对于受压构件应同时考虑局部屈曲、焊接热影响区和截面孔洞的影响。

#### 4. 挠度验算

根据《农业温室结构设计标准》表4.4.2知: 天沟作为受弯构件竖向挠度限制取“ $L_s/150$ 与30较小值”, 平面外水平挠度取“ $L_s/300$ ”,  $L_s$ 为构件跨度。

铝合金天沟可简化看做简支梁, 当其受均布荷载时最大挠度为  $y_{max} = \frac{5ql^4}{384EI}$ , 当为单个集中荷载时最大挠度为  $y_{max} = \frac{8Pl^3}{384EI}$ 。

### 四、铝合金天沟实际案例设计

1. 项目基本信息详见表1。

表1 项目基本信息

项目地点	地面粗糙度	抗震设防烈度	设计基本地震加速度	场地类别	设计地震分组	特征周期
赤峰市宁城县天义镇包古鲁村	B类	8度	0.20g	II类	第一组	0.35s

2. 铝合金天沟构件计算软件: MsteelV2025.02.26;

3. 荷载取值信息详见表2。

表2 恒活荷载取值

荷载类型	荷载名称	荷载
恒载	4mm玻璃+铝合金框	0.12kN/m <sup>2</sup>
活载	屋面	0.1kN/m <sup>2</sup>

偶然荷载	屋面清洗机	650kg
检修荷载	施工检修	1kN
风压	20y 基本风压	0.74kN/m <sup>2</sup>
雪压	20y 基本雪压	0.25kN/m <sup>2</sup>

注：风压、雪压根据《农业温室结构荷载规范》<sup>[3]</sup> 规定取值。

4. 考虑铝合金天沟实际受力工况，荷载组合详见表3。

表3 荷载组合

组合序号	组合名称	荷载
工况1	①自重+②恒载+③雪载	见图2
工况2	①自重+②恒载+④清洗机	见图3

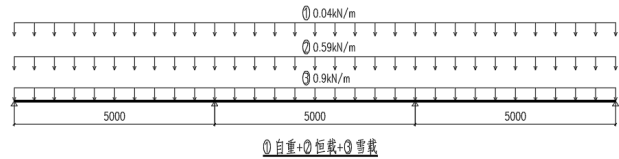


图2

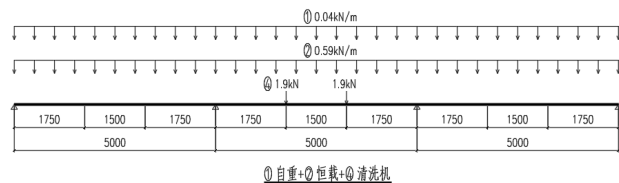
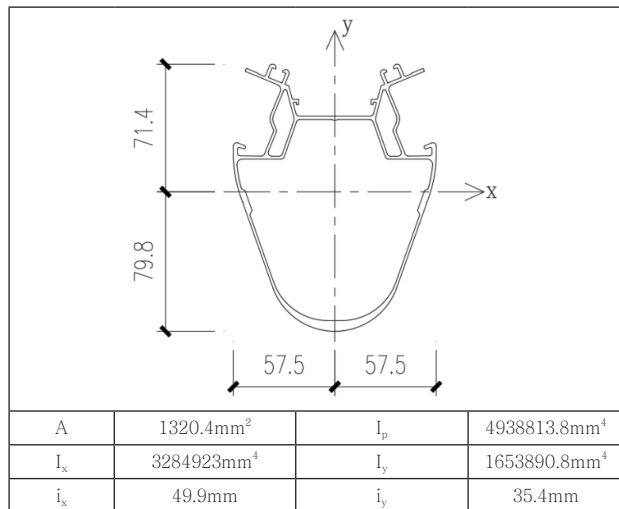


图3

铝合金天沟截面几何参数表。



W <sub>x</sub> (上)	45987.8mm <sup>3</sup>	W <sub>y</sub> (左)	28769.1mm <sup>3</sup>
W <sub>x</sub> (下)	41153.9mm <sup>3</sup>	W <sub>y</sub> (右)	28757.6mm <sup>3</sup>
绕 X 轴面积矩	29061.9mm <sup>2</sup> · mm	绕 Y 轴面积矩	21001mm <sup>2</sup> · mm
形心离左边缘距离	57.5mm	形心离右边缘距离	57.5mm
形心离上边缘距离	71.4mm	形心离下边缘距离	79.8mm
主矩 I <sub>1</sub>	3284922.9mm <sup>4</sup>		
主矩 I <sub>2</sub>	1653890.1mm <sup>4</sup>	米重	3.6kg/m

## 五、铝合金天沟的优化和未来发展

铝合金材质在规范合理范围内适当调节其元素含量可以提高所需性能，例如：添加0.1-0.3%的稀土元素（如铈 Ce），细化晶粒结构，提升氧化膜致密度，实验数据显示在70%湿度环境下，腐蚀速率降低40%；适量增加镁含量可提高铝合金的强度和韧性，同时不显著降低其耐腐蚀性；硅可以提高铝合金的硬度和强度，增强其耐磨性，尤其是在排水过程中水流冲击等情况，但硅含量过高可能会降低铝合金的韧性；铜能显著提高铝合金的强度和耐热性。因不同地区气候环境不同，却一概而论用同样的元素配比铝合金显然是不合适的，最好的设计应是因地制宜，按照当地特点调整对应的铝合金天沟元素含量。

除了材料元素本身的优化，还可通过优化生产工艺来进一步提升铝合金天沟性能，如在铸锭工序与挤压成型工序之间增加初步热处理工序，消除或减少晶内偏析，提高材料热变形和冷变形的能力。

随着全球对节能减排的重视以及温室能耗问题的凸显，铝合金天沟将更注重节能设计；为了适应不同地区的气候条件和温室使用需求，铝合金天沟的结构将不断优化；未来，铝合金天沟可能会集成更多智能化功能，例如：结合传感器技术，实时监测天沟内的水位、积水情况等，实现自动排水控制，防止积水过多对温室造成损害，还可与温室环境控制系统相连，根据室内外湿度等参数对天沟收集的冷凝水进行合理利用，如用于温室灌溉等；铝合金天沟可能会与光伏技术等进一步融合。

## 参考文献

[1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 农业温室结构设计标准: GB/T51424-2022[S]. 中国计划出版社, 2022.

[2] 中华人民共和国建设部. 铝合金结构设计规范: GB50429-2007[S]. 中国计划出版社, 2007.

[3] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 农业温室结构荷载规范: GB/T51183-2016[S]. 中国计划出版社, 2016.

[4] 周长吉. 现代温室工程 [M]. 2版. 北京: 化学工业出版社, 2010.

[5] 沈祖炎, 郭小农, 李元齐. 铝合金结构研究现状综述 [U]. 建筑结构学报, 2007, 28(6): 100-109.

[6] 张天柱. 温室工程规划、设计与建设 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2010.

[7] 李秀刚, 李东星, 卜云龙, 等. 连栋玻璃温室设计建造要点 [J]. 农业工程技术 (温室园艺), 2018, 38(19): 33-37.

[8] 冯广和. 玻璃温室 (上) [J]. 农村实用工程技术, 1998, 11: 5-5. DOI:CNKI:SUN:NSGJ.0.1998-11-002.

[9] 李亮英, 张其林. 铝合金温室结构与优化 [C]// 全国现代结构工程学术研讨会. 2010.

[10] 周强, 郑丽芳, 陆乐. 一种温室铝合金天沟屋面: CN201110091617.5[P].CN102733554A[2026-01-11].