

# 兰州新区玻璃温室大棚热负荷计算方法研究及影响因素分析

何婷婷

中国城市建设研究院有限公司 甘肃 兰州 730000

**摘要：**冬季玻璃温室大棚供暖热负荷的准确计算，对供暖系统方案的确定以及工程应用中供暖效果起到至关重要的作用。本文针对兰州新区文洛式玻璃温室大棚进行热负荷计算研究，提出了一种温室大棚热负荷的计算方法，应用该方法得出了冬季供暖总热负荷，理论上为供暖方案及供暖设备的选择提供了依据。通过对温室大棚冬季热负荷的主要影响因素研究分析，提出计算过程中传热系数的选取和冷风渗透耗热量的计算是影响热负荷计算的关键因素，同时，影响热负荷计算结果的另外两个因素是太阳辐射得热量和朝向修正系数的确定。

**关键词：**温室大棚、供暖热负荷、传热系数、冷风渗透耗热量

近年来，随着国家大力推动绿色农业的发展，我国设施农业产业规模逐步扩大，智能连栋温室取得了跨越式的发展。温室大棚内温度、湿度、光照强弱以及土壤的温度和含水量等因素，对温室的作物生长起着关键性作用，因此，温室内温度、湿度的控制就显得尤为重要。本文就兰州新区智能化现代温室大棚进行热负荷计算，分析影响温室冬季热负荷波动的因素，为供暖设备的选择和控制系统的建立提供了依据。

## 1 热负荷计算

兰州新区地处陇西黄土高原，属严寒地区，冬季温度较低，现代农业产业示范园，采用文洛式智能温室结构，本温室分四个区域，分别是育苗区、切花玫瑰、盆菊花、功能区，根据植物生长需要，温室内设计温度16℃，兰州新区冬季室外设计温度为-23℃。温室冬季热负荷主要由围护结构基本耗热量、通过门窗缝隙的冷风渗透耗热量和温室地面渗透耗热量<sup>[1]</sup>组成，计算过程中，主要考虑这三方面即可，温室总的供暖热负荷 $Q =$ 围护结构基本耗热量 $Q_1$ \*温室结构形式修正系数 $a_1$ \*风力修正系数 $a_2$ +冷风渗透耗热量 $Q_2$ +地面渗透耗热量 $Q_3$ ，即公式(1-1)：

$$Q = a_1 a_2 Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (1-1)$$

式中： $Q$ ——温室采暖热负荷(kW)；

$a_1$ ——结构附加系数；

$a_2$ ——风力附加系数；

$Q_1$ ——温室围护结构基本耗热量；

$Q_2$ ——温室冷风渗透耗热量；

$Q_3$ ——温室地面渗透耗热量。

温室结构为温室长(山墙面)×温室宽(侧墙面)×水槽高(肩高) = 102.4m×100m×6m。智能温室大棚的保

温性能将会直接影响到供暖热负荷的计算，选择合适的外围护结构和保温材料，保证达到理想的斑纹效果，极大地减少温室冬季散热损失，降低温室冬季供暖成本。

### 1.1 围护结构基本耗热量

围护结构基本耗热量是指通过外维护结构损失的热量，本温室围护结构包括墙体、屋面(采用4mm钢化散射玻璃)、地面(铺设白色100%聚丙烯地布)，温室的墙体上安装保温幕系统。计算公式如(1-2)。

$$Q_1 = \sum K_i \cdot F_i \cdot (T_n - T_w) \quad (1-2)$$

式中： $Q_1$ ——维护结构的基本耗热量，W；

$K_i$ ——第*i*面围护结构的传热系数，W/(m<sup>2</sup>·K)；

$F_i$ ——第*i*面的维护结构传热面积，m<sup>2</sup>；

$T_n/T_w$ ——温室内/外的设计温度，℃。

常用围护结构材料的传热系数见表1：

表1 常用围护结构材料传热系数  $K_i$  W/(m<sup>2</sup>·K)

材料	$K_i$	材料	$K_i$
单层玻璃	6.4	聚碳酸酯中空(PC)板, 16mm, 三层壁	2.4
双层玻璃	4.0	玻璃钢瓦楞板, 1.2mm	6.4
单层聚乙烯膜	6.8	有机玻璃(PMMA)实心板, 4mm	5.3
双层充气塑料膜	4.0	瓦楞水泥石棉板	6.5
玻璃纤维增强塑料(FRP)瓦楞板	6.8	砖墙, 240mm	3.4
聚碳酸酯中空(PC)板, 6mm	3.5	砖墙, 370mm	2.2
聚碳酸酯中空(PC)板, 8mm	3.3	砖墙, 490mm	1.7
聚碳酸酯中空(PC)板, 10mm	3.0	土墙(夯实), 1000mm	1.16
聚碳酸酯中空(PC)板, 16mm	2.7	空气间层, 50~100mm	6

温室墙体采用8mm聚碳酸酯中空(PC)板,传热系数 $K_i$ 为 $3.3\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ,屋面传热系数 $5.3\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ,根据结构参数可以算出 $Q_1=2612\text{ kW}$ 。

1.2 温室冷风渗透耗热量

冷风渗透耗热量是指通过温室的门窗、缝隙、换气扇等损失的热量<sup>[2]</sup>。

$$Q_2 = C_p \cdot M \cdot (T_n - T_w) \quad (1-3)$$

式中:  $Q_2$ ——冷风渗透损失, W;

$C_p$ ——空气定压比热,  $C_p=0.0028\text{ kW}\cdot\text{h}/(\text{kg}\cdot\text{℃})$ ;

$M$ ——冷风渗透进温室的空气质量, kg, 可由公式((1-4)计算所得;

$$M = NVy \quad (1-4)$$

式中:  $N$ ——换气次数, 每小时的完全换气次数为单位;

$V$ ——温室内部体积,  $\text{m}^3$ ;

$y$ ——空气容重,  $\text{kg}/\text{m}^3$ 。

表2列出了不同结构温室换气次数, 根据温室形式及材料, 取每小时换气次数为1, 空气定压比热 $C_p=0.00028\text{ kW}\cdot\text{h}/(\text{kg}\cdot\text{℃})$ , 空气容重 $1.365\text{ kg}/\text{m}^3$ , 计算得温室冷风渗透耗热量为 $Q_2=916\text{ kW}$ 。3、温室地面渗透耗热量

表2 不同结构温室换气次数

温室形式(新温室)	换气次数
单层玻璃, 覆盖缝隙不严密	1.25
单层玻璃, 覆盖缝隙严密	1
塑料薄膜温室	0.6~1.0
PC中空板温室	1
单层玻璃上覆盖塑料薄膜	0.9

1.3 温室地面渗透耗热量

温室地面渗透耗热量是由于室内地面土壤连接大地深处, 热量源源不断的通过地面进入地下, 温度随着地层深度而降低产生的热量损失<sup>[3]</sup>。对于整个温室地面来说, 由于室内外温差的影响, 靠近温室的地面, 传热系数就大, 而距外墙较远的地方传热系数就小。在工程中计算时, 根据温室地面对传热量的影响, 将温室地面分为2m宽的地带, 各地带到外强的距离依次增加2m。地面总传热量就等于应用各分段传热系数计算所得传热量之和, 各带的传热系数如表3:

表3 地面分段传热系数表,

地面分段	1	2	3	4
距外墙内表面距离	0~2m	2~4m	4~6m	> 6m
传热系数K	0.47	0.23	0.12	0.07

$$Q_3 = \sum K_i \cdot F_i \cdot (T_n - T_w) \quad (1-4)$$

式中:  $Q_3$ ——地面总传热量, W;

$K_i$ ——第*i*区的地面传热系数, W;

$F_i$ ——第*i*区的地面传热面积,  $\text{m}^2$ ;

计算得温室地面耗热量 $Q_3=46.8\text{ kW}$ 。

本项目温室大棚结构为金属结构, 骨架间距大于1.2m, 根据表4和表5, 结构形式附加修正系数取1.05; 兰州新区冬季风速 < 6m/s, 风力附加修正系数取1, 由公式(1-1)计算得温室总供暖热负荷 $Q$ 。

$$Q = 1.05 \cdot 1 \cdot 2612 + 915.8 + 46.8 = 3705.2\text{ kW}$$

表4 温室结构形式附加修正系数 $a_1$

结构形式	修正系数
金属框架结构玻璃温室, 骨架间距0.4~0.6m	1.08
金属框架结构玻璃温室, 骨架间距1.2m	1.05
金属结构PC浪板温室	1.03
金属结构塑料薄膜温室	1.02
木结构塑料膜或PC浪板结构温室	1

表5 风力附加修正系数 $a_2$

风速(m/s)	6.71	8.94	11.18	13.41	15.65
风速(km/h)	24.156	32.184	40.248	48.276	56.34
修正系数	1	1.04	1.08	1.12	1.16

由以上计算不难看出, 围护结构基本耗热量是冬季温室热负荷主要组成部分, 其次是冷风渗透耗热量。抛开室外计算温度( $t_n-t_w$ )的高低, 设计中供暖热负荷的主要影响因素有围护结构导热系数和冷风渗透量两部分, 其他方面有太阳辐射对传热的影响、透过玻璃射入室内的热量、风速附加以及朝向附加、等等。

2 影响供暖热负荷因素分析

2.1 传热方面

传热方面主要考虑围护结构导热系数, 由表1常用围护结构材料传热系数, 可以看出, 温室结构、选用材料的不同, 导热系数会有较大的变化, 而实际导热系数与设计过程中采用的数值有一定的出入。考虑到温室结构, 室内环境及地理位置, 设计者大都采用保守数值。兰州新区属严寒地区, 平均海拔1900m以上, 冬季室外温度较低, 为了维持植物正常生长需要, 冬季严寒期温室内外温差较大。温室墙体采用钢化散射玻璃, 冬季夜晚通过玻璃向外辐射的热量一般不计入设计计算中。此外, 由于太阳能的不稳定性, 冬季白天透过玻璃的太阳辐射得热量计算难度较大, 这些都是影响冬季温室供暖热负荷室的因素。

2.2 冷风渗透方面

通过对已建成相似结构的温室大棚风速对温室内环境温度影响的测定,估算每小时进入温室内的空气数量,这些数据表明,目前采用的温室结构,缝隙渗透量较小。在西北及东北风向速度为3-5m/s作用下,兰州新区每米缝隙冷风渗透量实测为4-5m<sup>3</sup>/h,数值接近一些采暖规定。而设计过程中,玻璃温室结构缝隙严密,温室内部体积较大,相对来说,温室缝隙比体积较小,冷风渗透耗热量的计算是以温室内部体积乘以每小时完全换气次数,计算所得渗入温室内空气比实际数值偏大<sup>[4]</sup>。因此,冷风渗透耗热量是玻璃温室冬季热负荷计算的难点,根据不同地区不同温室结构,在计算中,采用统一理论公式计算,热负荷相差很大。

根据兰州新区气象台(中川机场附近)数据,表明每当室外温度接近室外参数时,风速一般在4m/s,在此风速下,实际每小时渗透量小于4m<sup>3</sup>/h,这一数据说明,迎风面温室墙体进入的实际空气量小于设计数值,背风面墙体渗透的冷风量将更少,作为总的计算冷风渗透耗热量,设计时计入冷风渗透耗热量大于实际进入房间的冷风消耗的热量。

### 2.3 其他方面

朝向修正是供暖负荷计算中争论较大的问题,一般设计计算中,南向附加为0,而对北向附加10%,采用这样的附加值,虽然能平衡北向热负荷偏小。但是在玻璃温室大棚热负荷计算中,设计者一般选择对北向附加30%,使得整个温室大棚供暖热负荷较大。由于各地太阳

辐射强度,大气透明度等不同,以及室外气候条件和温室结构的不用,朝向修正有很大的差异,而规范给出朝向修正变化范围,设计者很难选出适合当地的朝向修正系数。

### 3 结论

玻璃温室大棚的热负荷组成中,围护结构基本耗热量占总热负荷74%,冷风渗透耗热量占比为24.7%,温室地面渗透耗热量仅为总热负荷的1.3%。影响计算结果准确与否的因素主要有传热系数的选取和冷风渗透量的计算,另外,太阳辐射得热量和北面的朝向修正系数的选取,也是影响总热负荷的主要方面。比较起来,玻璃温室大棚冬季采暖负荷计算较为复杂,设计温度与实际温度若能控制在2-3℃之内就较为理想,唯一的办法就在于控制系统的实现,它不仅能节能,而且可以大大的优化计算过程,使供暖系统运行在最佳状态。

### 参考文献

- [1]关文吉.供暖通风空调设计手册[M].北京,中国建材工业出版社,2016.
- [2]赵江龙.严寒地区日光温室室内热环境的研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,硕士学位论文,2014.
- [3]薛东岩.温室大棚采暖热负荷计算[J].农机纵横,2016,23(029):058.
- [4]郭明.采暖热负荷计算方法的比较[J].林业科技情报,2008,40(4):50-51.