

ICS 65.040.30

P 85

JB

中华人民共和国机械行业标准

JB/T 10297—2001

温室加热系统设计规范

Design regulation on greenhouse heating system

2001-06-22 发布

2001-10-01 实施

中国机械工业联合会 发布

前 言

本标准是首次制定的温室系列标准之一。该系列标准包括：

1. 温室结构设计荷载
2. 温室通风降温设计规范
3. 温室工程术语
4. 连栋温室结构
5. 日光温室结构
6. 湿帘降温装置
7. 温室加热系统设计规范
8. 温室电气布线设计规范
9. 温室控制系统设计规范

上述标准中，前两项为国家标准，其余为行业标准。

本标准为新制定的行业标准。

本标准由全国农业机械标准化技术委员会提出并归口。

本标准起草单位：中国农业机械化科学研究院环境工程设备研究开发中心。

本标准主要起草人：万学遂。

本标准于2001年6月首次发布。

温室加热系统设计规范

Design regulation on greenhouse heating system

1 范围

本标准规定了温室热负荷的计算方法，确立了设计各种温室加热系统的基本原则，给出了设备安装配置指南。

本标准适用于需要加热的温室（包括日光温室、单栋温室和连栋温室）加热系统的设计。

2 定义

本标准采用下列定义。

2.1 温室供暖 greenhouse heating

用供热的方法提高温室内空气、床土、地板、营养液和基质温度的工程技术。

2.2 传热损失 conductive heat loss

温室内透过围护结构（包括四周墙壁、门窗和屋面等）的热损失，包括由长波辐射、传导和对流产生的热损失。

2.3 传热系数 heat transfer coefficient

单位时间内，透光覆盖材料两侧温差为 1K 时，通过单位面积材料传递的热量。热的传递方向由高温侧向低温侧，所传热量包括长波辐射、传导和对流。

2.4 渗透热损失 permeation heat loss

由于温室围护结构存在缝隙，发生室内外空气交换而产生的热损失。

2.5 对地热损失 heat loss to soil

由地面传导而损失的热量。

2.6 集中供暖 center heating

以锅炉为热源，以水或蒸汽为热媒，热媒通过输送管道，在散热器（管）向温室供暖的方式。集中供暖多为大型温室采用。

2.7 热风供暖 air heating

以热风机（燃油、燃气）和热风炉（燃煤或其他固体燃料）为热源，通过热交换器将被加热的空气送至温室中，以热风的形式提高温室内空气的温度。

2.8 温床 hotbed

用人为方法提高作物栽培床地温的保护地栽培设施。常用于育苗和低温季节作物栽培。

2.9 热地板 hot floor

将加热装置埋设在地板之内，通过地板向空间散热。这种方法适用于盆栽容器直接设在地板上的温室。

3 热负荷计算

3.1 室内设计温度 t_i

一般来说，温室最大加热负荷出现在冬季最寒冷的夜间。不同作物，不同品种，不同生长阶段，对环境温度有不同的要求。表 1 示出常见温室瓜果类植物的适温范围。

表 1 温室常见瓜果植物的适温范围 $^{\circ}\text{C}$

种 类	白天气温		夜间气温		100mm 深土温		
	最高	适宜	适宜	最低	最高	适宜	最低
西红柿	35	20-25	8-13	5	25	15-18	13
茄 子	35	23-28	13-18	10	25	18-20	13
辣 椒	35	25-30	15-20	12	25	18-20	13
黄 瓜	35	23-28	10-15	8	25	18-20	13
西 瓜	35	23-28	13-18	10	25	18-20	13
甜 瓜	35	25-30	18-23	15	25	18-20	13

在正常情况下，室内设计温度可在夜间适宜温度范围内进行选择。具体数值应根据当地燃料价格、加热成本和植物产品市场情况和销售价格，经过经济效益核算确定。室内设计温度不得低于夜间最低气温。

若不知确切作物，对于几大类作物温室的室内设计温度，可按表 2 取值。

表 2 室内设计温度 t_i 推荐值 $^{\circ}\text{C}$

作 物	t_i
热带作物	20
普通花卉	16
喜温瓜果类蔬菜	12
普通叶类蔬菜	5
寒地草皮	0

如果根据表 1 和表 2 不能确定室内设计温度，请征询农业园艺专家的意见，依据具体作物类别、品种以及将作物在严冬控制于什么生长阶段来确定。

3.2 室外设计温度 t_o

周年使用的温室，建议取近 20 年最冷日温度的平均值作为室外设计温度 t_o 值。若无近期当地气象统计数据，我国北方主要城市的室外设计温度 t_o 值，可用表 3 所列数值。

表 3 室外设计温度 t_o 推荐值 $^{\circ}\text{C}$

哈尔滨	-29	吉林	-29	沈阳	-21	锦州	-17	乌鲁木齐	-26
克拉玛依	-24	兰州	-23	银川	-18	西安	-8	北京	-12
石家庄	-12	天津	-11	济南	-10	连云港	-7	青岛	-9
徐州	-8	郑州	-7	洛阳	-8	太原	-14		

对于非周年使用温室，可根据具体使用季节的天气情况，选用不同的室外设计温度 t_o 值。

3.3 传热损失 Q_1

透过温室围护结构的传热损失 Q_1 可由式 (1) 计算:

$$Q_1 = \sum_{j=1}^n u_j A_j (t_i - t_0) \dots\dots\dots (1)$$

式中: Q_1 ——温室围护结构(包括墙体、透光屋面、不透光后坡和门窗等)的传热损失, W;

u_j ——第 j 种围护结构的传热系数(见表 4), $W/(m^2 \cdot K)$;

A_j ——第 j 种围护结构的表面面积, m^2 ;

n ——围护结构种数;

t_i ——室内设计温度, $^{\circ}C$;

t_0 ——室外设计温度, $^{\circ}C$ 。

常用围护结构材料的传热系数 u 列于表 4。

传热系数 u 是热阻的倒数。对于多层复合围护结构, 传热系数 u 可由式 (2) 计算:

$$u = \frac{1}{R} = 1 / (\sum_{i=1}^n \delta_i / \lambda_i) \dots\dots\dots (2)$$

式中: R ——围护结构总热阻, $m^2 \cdot K/W$;

δ_i ——第 i 层围护材料厚度, m;

λ_i ——第 i 层围护材料导热系数(见表 5), $W/(m \cdot K)$;

n ——围护结构层数。

表 4 常用围护结构材料传热系数 u $W/(m^2 \cdot K)$

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

注: 新产品红外线吸收膜可减少热损失, 但考虑安全因素, 实际计算中不作折减。

表 5 常见复合墙体材料导热系数 λ W/(m·K)

墙体材料及填充材料	λ
土墙	1.16
实心粘土砖墙	0.81
沥青玻璃棉毡	0.03~0.04
玻璃棉板	0.03~0.04
矿渣棉（松散）	0.027~0.038
矿渣棉制品（板、砖、管）	0.04~0.06
沥青矿渣棉毡	0.035~0.045
锅炉炉渣	0.29
膨胀珍珠岩粉（干，松散）	0.03~0.04
膨胀蛭石	0.045~0.06
沥青蛭石板	0.07~0.09
水泥蛭石板	0.08~0.12
聚苯乙烯泡沫板	≤ 0.03
麦秸泥抹面	0.7
砂浆泥抹面	0.7

3.4 渗透热损失 Q_2

严格地说，通过缝隙渗透空气，发生室内外空气交换造成的热损失包括显热和潜热两部分。但是热负荷计算的环境条件基本上发生在寒冷季节的凌晨，潜热交换有限，在工程计算上可忽略不计。因而渗透热损失可用式（3）计算：

$$Q_2 = 0.5k_{\text{风速}}VN(t_i - t_o) \dots\dots\dots (3)$$

式中： Q_2 ——渗透热损失，W；
 V ——温室空气体积， m^3 ；
 N ——每小时换气次数（见表6）， h^{-1} ；
 $k_{\text{风速}}$ ——风力因子（见表7）。

渗透热损失随风速的增大而增大。风速因子 $k_{\text{风速}}$ 列于表7。

表 6 每小时换气次数 N 推荐值

覆盖方法	N
单层玻璃，缝隙未密封	1.25~1.5
单层玻璃，缝隙密封	1.1
双层玻璃	1.0
单层塑料薄膜	1.0~1.5
双层充气塑料薄膜	0.6~1.0
刚性板材	1.0

表 7 风速因子 $k_{\text{风速}}$

风 速 m/s	风 力 等 级	$k_{\text{风速}}$
≤ 6.71	4 级风以下	1.00
8.94	5 级风	1.04
11.18	6 级风 -	1.08
13.41	6 级风 +	1.12
15.65	7 级风	1.16

3.5 地面热损失 Q_3

温室地面散热的快慢与计算点和外围护结构间的距离有关,工程上可将温室的土地按与外围护结构的距离分成三个区域。不同区域按各自的传热系数和面积求出热损失,然后求和,便得到 Q_3 。

$$Q_3 = \sum_{i=1}^3 u_i A_i (t_i - t_0) \dots\dots\dots (4)$$

式中: Q_3 ——地面热损失, W;

u_i ——第 i 区地面传热系数 (见表 8), W/($\text{m}^2 \cdot \text{K}$);

A_i ——第 i 区面积, m^2 。

表 8 地面传热系数 u W/($\text{m}^2 \cdot \text{K}$)

计算点距外围护结构距离 m	u
≤ 10	0.24
10~20	0.12
>20	0.06

3.6 温室热负荷 Q

用式 (5) 计算温室热负荷:

$$Q=Q_1+Q_2+Q_3 \dots\dots\dots (5)$$

4 集中供暖系统

集中供暖系统按载热介质可分为蒸汽和热水两种。来自热源 (例如锅炉、地热井等) 的蒸汽或热水,流经标准黑管 (未镀锌管) 或圆翼管散热器 (自然对流), 或经过由各种暖气片 (例如翼型和柱型) 组成的散热器 (强迫对流), 将热量分配给温室, 提高室内温度。

4.1 散热器数量计算

温室需要的散热器数量 (片数或米数) 可用式 (6) 计算:

$$n = (Q/q)\beta_1\beta_2\beta_3 \dots\dots\dots (6)$$

式中: n ——需用散热器片数 (或米数), 单位: 片或 m;

Q ——温室热负荷, W;

q ——散热器单位 (每片或每米) 散热量, W/片或 W/m;

β_1 ——组装片数（柱型）或长度（扁管型和板型）修正系数（见表 9）；

β_2 ——支管连接形式修正系数（见表 10）；

β_3 ——流量修正系数（见表 11）。

表 9 组装片数或长度修正系数 β_1

	柱型组装片数				板型及扁管型组装长度 mm		
	≤5	6~10	11~20	≥21	≤600	800	≥1000
β_1	0.95	1.00	1.05	1.10	0.92	0.95	1.00

表 10 支管连接形式修正系数 β_2

散热器型式	连 接 形 式				
	同侧 上进下出	异侧 上进下出	异侧 下进下出	异侧 下进上出	同侧 下进上出
四柱型	1.0	1.004	1.239	1.442	1.426
M-132 型	1.0	1.009	1.251	1.386	1.396
翼型	1.0	1.009	1.225	1.331	1.369

表 11 流量修正系数 β_3

散热器类型	流 量 增 加 倍 数						
	1	2	3	4	5	6	≥7
柱型、翼型	1.0	0.9	0.86	0.85	0.83	0.83	0.82
扁管型	1.0	0.94	0.93	0.92	0.91	0.90	0.90

4.2 安装建议

4.2.1 温室中最常使用的集中供暖分配热量的方式为自然对流方式，用标准黑管或圆翼管散热。也可以使用强迫对流配热方式，用柱型、翼型散热器散热。

4.2.2 如果温室为 9m 以下跨度（或宽度）的单栋温室，可将标准黑管或圆翼管沿侧墙布置。若跨度超过 9m，可在作物间（或台架下）加设部分散热管。

4.2.3 如果以蒸汽作为加热工质，由于温度较高，散热表面至少要距离植物本体 0.3m。

4.2.4 连栋温室的散热管一般沿外墙及天沟下设置，根据需要，可在栽培台架下或作物行间加设部分散热管。

4.2.5 如果自然空气循环不足以在作物高度处产生足够均匀的气温，应加设必要的水平空气循环风机。

4.2.6 黑管涂了银粉漆以后，散热效率降低 15% 左右。

5 热风供暖系统

5.1 工作原理

通过燃烧不同的燃料（例如油、天然气、煤等），释放出热量，经过换热器，将周围空气加热，再用送风机将热空气送到温室内，使作物周围获得适当而均匀的温度。通常，燃烧油料或气体的燃烧器体

积较小，与换热器、送风机、控制器等共同组成热风机，可安装在温室内。但是燃烧后的烟气，多因含有有害气体（例如氮和硫的氧化物、焦油等），需用烟道将其引向室外。燃煤的燃烧室体积较大，且有较高烟囱，一般都安装在温室外。只将经过加热的空气用送风机送到温室内。送风机出口空气温度一般应控制在 60~80℃ 范围之内。

5.2 安装建议

5.2.1 送风机出口通常都设计成水平方向送风。对于长度小于 20m 的温室，可将两台热风机安装在温室对角线的相对两角，各自以平行于侧墙的方向，向着对面端墙吹暖风。对于长度超过 20m 而小于 40m 的温室，单靠热风机难以将暖风吹到远处，不足以获得良好的空气循环。建议在温室中间，增加两台循环风机，一边一台，接力送风。如果温室长度大于 40m，循环风机数量还需增加。沿循环空气流动方向，两台风机之间的距离以不大于风机叶轮直径的 30 倍为宜。循环风机距端墙应在 4.5~6.0m 之间。

5.2.2 对于较长的温室，也可在热风机出口使用冲孔塑料薄膜软管或布管向室内送风，以改善整个温室的空气循环和温度均匀性。软管一般用聚乙烯塑料薄膜或布制成，在温室内沿水平方向延伸，悬挂在骨架上。软管轴线相对两侧，冲出排气孔，用来向温室送出暖风。排气孔沿着轴线的间距，一般在 0.3~1.0m 之间。软管入口的空气流速大约为 5.1~6.1m/s。排气孔的总面积应不小于软管横断面积的 1.5~2.0 倍。

5.2.3 循环风机和循环软管的安装高度一般应高于作物冠层高度 0.6~0.9m。循环风机应加设护罩，防止操作人员触及叶轮等运动部件而受伤害。循环软管的长度不宜超过 50m，太长将会影响空气分布均匀性。对于宽度在 9m 以下的温室，室内有一根送风软管就够了。如果温室宽度大于 9m，必须安装两根以上的循环送风软管。

5.2.4 在燃烧器不工作的情况下，开动配套的送风机和循环风机，可以改善温室内的空气循环，消除植物叶面结露，避免霉菌等对作物产生危害。

5.2.5 在连栋温室的水平空气循环系统中，循环路径可从一跨下去，而从另一跨返回。在单跨温室中，循环风机的安装，应使其轴线与温室长度方向平行，位置距侧墙的距离为温室宽度的 1/4 处。气流沿一个侧墙下去，从另一侧墙返回。

5.2.6 循环风机的选择，应使总流量为每平方米地面提供 0.01m³/s 的空气流量。风机转速应能调节，使作物冠盖附近的局部空气流速不超过 1.0m/s。

6 温床

6.1 型式及适用范围

为了促进种子发芽、增殖和作物生长，需在植物根区提供最适宜的温度，因而要给作物栽培床土加热，这就是温床。按热源分，常用温床有电热温床和水暖温床等型式。

6.2 电热温床

6.2.1 构造

电热温床宽一般 1~2m，床长随温室长度按需要确定。四周建有宽 150~200mm，高 100~200mm 的池埂。床底铺 50mm 厚的隔热层。隔热材料可用聚苯乙烯泡沫板、碎炉渣或碎稻草等。电热线按一定的间距沿床长度方向，往返铺设并拉直，不得打卷，不能交叉重叠，以免造成漏电或短路事故。电热线两端应从同一床端经外接线引出，便于与电源和控制器连接。外接线与电源线的接头应做好绝缘处理，与电热线一同埋在床土下。床土厚度要均匀一致。一般育苗温床，土厚 50mm；移苗温床，土厚 100mm；

叶类蔬菜栽培温床，土厚 150mm。

6.2.2 电热线选择

国产电热线，其额定电压均为 220V，每根电热线的额定功率有 400W、600W、800W 和 1000W 四种。每根电热线的长度约为 90~120m。

6.2.3 温床总功率 P ，可按式 (7) 计算：

$$P = Sp = LWp \dots\dots\dots (7)$$

式中： P ——温床总功率，W；

S ——温床面积， m^2 ；

p ——温床功率密度， W/m^2 ，取值范围一般为 80~120；

L ——温床长度，m；

W ——温床宽度，m。

6.2.4 每根电热线的铺床宽度 w

根据所选电热线的规格，可按式 (8) 计算出 w ：

$$w = Q' (pL) \dots\dots\dots (8)$$

式中： w ——一根电热线的铺床宽度，m；

Q' ——电热线额定功率，W。

6.2.5 电热线相邻间距 D

$$D = w / \{[(L_{\text{线}} - w) / L] + 1\} \dots\dots\dots (9)$$

式中： D ——电热线相邻间距，m；

$L_{\text{线}}$ ——一根电热线的长度，m。

6.3 水暖温床

水暖温床一般以 35~40℃ 的热水作为加热水质。让热水通过直径为 13mm 左右的硬质聚乙烯 (PE) 管、聚氯乙烯 (PVC) 管、氯化聚氯乙烯 (CPVC) 管、聚丁烯管或直径为 6mm 的乙丙三元橡胶 (EPDM) 软管中循环，将热量传给温床的床土。为提高床土温度的均匀性，应使供水管和回水管串联成一个回路，使前供水管的温度梯度与回水管的温度梯度互相补偿。供水管和回水管间距约为 100mm。水管下面应铺聚苯乙烯隔热板，保证将大部分热量引向作物根区。在管子上铺一层湿沙，覆盖冲孔塑料薄膜以保持沙中水分，再铺床土，可进一步改善床土温度均匀性。热水可来自集中供暖系统，也可来自单独的热水器。

7 热地板

7.1 概述

在种植盆栽作物的温室中，如果盆具容器直接放置在地板上，铺设热地板是最好的加热方法。这种加热装置不占地面面积和空间，不妨碍温室内的任何作业。热地板特别适合于热量需要量不多的温室，例如对种植杜鹃花等灌木植物的越冬温室就非常适用。采用热地板的温室，主加热系统的容量可相应减小。

7.2 低温辐射电热膜地板

低温辐射电热膜是一种新型节能、高效、无污染的电热材料。电热膜由可导电的特制油墨、金属载

流条经印刷、热压在两层绝缘聚酯薄膜之间制成。通电时，电热膜工作表面的最高温度为 40~60℃，大部分能量以辐射方式传递。

电热膜的数量取决于需要加热的地板面积和功率密度。通常设计热地板时，功率密度取为 45~50W/m²。

施工时，在地面上，应先铺一层厚为 25~50mm 自熄型聚苯乙烯泡沫保温板（或玻璃纤维棉毡、岩棉等），铺平电热膜，各膜片之间用带塑料绝缘罩的专用连接卡和绝缘导线连接好。建议连接电热膜片的分支线使用截面为 4mm² 的 PVC 单股铜线，引出电源线用截面为 6mm² 的绝缘单股铜线。电热膜只能沿剪切线剪开，防止剪断墨条，造成不发热和漏电。剪断口载流条的一端接连接卡和导线，另一端需在干燥环境下，用耐温 90℃ 以上的防水绝缘胶带封好。做完以上处理之后，除引出电源线外，将全部电热膜、连接卡、连接导线，按一般建筑方法铺砌水泥、瓷砖或其他地板材料即可。电热膜最好贴紧地板装饰材料，以免形成空气热阻，影响热效率。电热膜与建筑物同寿命，适用于永久性建筑供暖。对于临时性建筑，不推荐使用电热膜。已安装电热膜的地板，禁止钻孔、钉钉。

7.3 水暖地板

水暖地板与水暖温床的工作原理相似，也以 35~40℃ 热水作为加热工质，不同的是热水循环管路埋在地板下。循环管路常用直径 20mm 左右的聚乙烯（PE）管、聚氯乙烯（PVC）管或聚丁烯管。水在管中的流速约为 0.61~0.91m/s。一般每个回路最长不得超过 120m，管心距 300mm，可为每平方米水泥地板提供 47W 功率。若用独立热水器提供热水，可按 47W/m² 功率密度来选择热水器的大小。

中 华 人 民 共 和 国
机 械 行 业 标 准
温 室 加 热 系 统 设 计 规 范

JB/T 10297—2001

*

机 械 科 学 研 究 院 出 版 发 行
机 械 科 学 研 究 院 印 刷
(北京首体南路2号 邮编 100044)

*

开本 880×1230 1/16 印张 3/4 字数 20,000
2001年 9月第一版 2001年 9月第一次印刷
印数 1—500 定价 1200 元
编号 2001—137

机械工业标准服务网：<http://www.JB.ac.cn>