

中华人民共和国农业行业标准

NY/T 4317—2023

温室热气联供系统设计规范

Design specification for heating system with CO₂ enrichment of greenhouse

2023-02-17 发布

中华人民共和国农业农村部

发布



目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 符号 3

5 室内外设计计算参数 4

6 负荷计算 4

7 散热器和室内供暖管道 7

8 CO₂输配系统 10

9 热源、气源及配套设备 12

10 供暖输配管网 15

11 监控系统 16

附录 A(资料性) 室外供暖计算温度 18

附录 B(规范性) 温室围护结构传热系数 20

附录 C(资料性) 管道与设备保温层厚度 22

附录 D(资料性) CO₂输送管道阻力 23

参考文献 25

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由农业农村部计划财务司提出并归口。

本文件起草单位：农业农村部规划设计研究院。

本文件主要起草人：周长吉、富建鲁、张月红、王柳、田婧。



温室热气联供系统设计规范

1 范围

本文件规定了温室热气联供系统室内外设计计算参数、负荷计算、散热器和室内供暖管道、CO₂输配系统、热源、气源及配套设备、供暖输配管网和监控系统的设计方法和要求。

本文件适用于以天然气为燃料的温室热气联供系统设计,其他温室供暖系统设计可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

- GB 150(所有部分) 压力容器
- GB/T 8175 设备及管道绝热设计导则
- GB 13271 锅炉大气污染物排放标准
- GB 16297 大气污染物综合排放标准
- GB/T 23393—2009 设施园艺工程术语
- GB/T 29044 供暖空调系统水质
- GB 50016 建筑设计防火规范
- GB 50019 工业建筑供暖通风与空气调节设计规范
- GB 50028 城镇燃气设计规范
- GB 50041 锅炉房设计标准
- GB/T 50109 工业用水软化除盐设计规范
- GB/T 50155—2015 供暖通风与空气调节术语标准
- GB 50176—2016 民用建筑热工设计规范
- GB 50494 城镇燃气技术规范
- GB 50736 民用建筑供暖通风与空气调节设计规范
- CJJ/T 55—2011 供热术语标准

3 术语和定义

GB/T 23393—2009 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

温室 **greenhouse**

采用透光覆盖材料作为全部或部分围护结构,具有一定环境调控设备,保证作物正常生长发育的设施。按透光覆盖材料可分为玻璃温室和塑料温室。

[来源:GB/T 23393—2009,3.8,有修改]

3.2

连栋温室 **gutter connected greenhouse**

两跨及以上,通过天沟连接的温室。

[来源:GB/T 23393—2009,3.11,有修改]

3.3

热气联供系统 **heating system with CO₂ enrichment**

利用天然气供暖,同时用锅炉烟气辅以液态 CO₂ 气源经气化调压向温室提供 CO₂ 的系统。

3.4

室内供暖设计温度 inside temperature for heating

根据温室内作物正常生育要求计算温室冬季供暖设计热负荷选用的室内温度。

[来源:GB/T 23393—2009,7.1,有修改]

3.5

室外供暖计算温度 outside temperature for heating

计算温室冬季额定加热负荷的室外温度。

[来源:GB/T 23393—2009,7.2,有修改]

3.6

供暖设计热负荷 designed heat load

在额定设计工况下,平衡温室散热损失的热量需求量。

[来源:GB/T 23393—2009,7.4,有修改]

3.7

CO₂ 设计负荷 designed CO₂ load

在额定设计工况下,平衡温室作物吸收和温室围护结构散失的 CO₂ 需求量。

3.8

热阻 thermal resistance

表征围护结构本身或其中材料层阻抗传热能力的物理量。

[来源:GB 50176—2016,2.1.7,有修改]

3.9

光管散热器 pipe radiator

用普通钢管焊制的散热器。

[来源:GB/T 50155—2015,3.6.21]

3.10

烟气冷凝回收 heat recovery by flue gas condensation

在锅炉烟道中加装冷凝热回收装置,回收烟气中的显热和汽化潜热。

[来源:CJJ/T 55—2011,4.2.31]

3.11

斜温层 thermocline

蓄热水罐中冷水与热水之间的温度过渡层。

3.12

分布式水泵供热系统 distributed pumps heating system

在热源、管网和温室分别设置循环水泵的供热系统。

3.13

比摩阻 specific frictional resistance

单位长度管道的摩擦阻力。

[来源:GB/T 50155—2015,3.5.11]

3.14

阀权度 valve authority

在实际工作情况下,调节阀全开时,阀门压力损失占包括阀门本身在内的该调节支路总压力损失的比例。

[来源:GB/T 50155—2015,8.3.52]

4 符号

表 1 所列符号适用于本文件。

表 1 计算量符号、含义、单位一览表

符号	含义	单位	符号	含义	单位
A	温室面积	m^2	f_o	配气软管单个孔口面积	m^2
A_{di}	第 i 地带地面面积	m^2	G_r	热源循环泵设计流量	m^3/h
A_s	温室作物种植面积	m^2	h	封头高度	mm
A_{wi}	不同部位围护结构面积	m^2	K	富裕系数	无量纲
a_g	光管散热器单位长度表面积	m^2/m	K_{dc}	管壁当量粗糙度	m
B	并联环路计算压力损失相对差额	$\%$	K_{di}	第 i 地带地面的传热系数	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$
C_i	室内 CO_2 体积分数	m^3/m^3	K_g	光管散热器传热系数	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$
C_o	室外 CO_2 体积分数	m^3/m^3	K_{wi}	不同部位围护结构传热系数	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$
c_p	空气定压比热	$\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$	K_z	设置有水平保温幕温室屋面综合传热系数	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$
D	水处理设备出力	t/h	K_1	温室屋面结构传热系数	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$
D_{fi}	分集水器筒体直径	mm	L	管道长度	m
D_1	供暖系统补水量	t/h	L_c	CO_2 管道长度	m
D_2	水处理系统自用软化除盐水量	t/h	L_{fi}	分水器、集水器筒体长度	mm
D_3	其他用途的软化除盐水量	t/h	L_i	筒体接管中心距	mm
d	管道内径	m	L_m	配气软管总长度	m
d_c	CO_2 管道内径	mm	L_T	天沟总长度	m
d_j	接管外径	mm	LAI	作物叶面积指数	无量纲
d_p	排污管管径	mm	l_m	单条配气软管长度	m
N	经温室门、窗或围护结构缝隙渗入室内空气的换气次数	次/h	S_m	配气软管每组孔口间距	mm
N_{CD}	配气软管上每组孔口数	个	T_i	室内供暖设计温度	$^\circ\text{C}$
N_{cz}	单条配气软管上孔口总数	个	T_o	室外供暖计算温度	$^\circ\text{C}$
N_r	日间运行锅炉的功率	kW	t_c	温室每天 CO_2 供气时间	h/d
n	降雪强度修正因子	无量纲	t_x	锅炉日间运行时间	h
n_c	液态 CO_2 储罐更换或补充周期	d	V	温室体积	m^3
P_{cl}	管道起点压力	Pa	V_L	液态 CO_2 储罐容积	m^3
P_{c2}	管道终点压力	Pa	V_X	蓄热水罐容积	m^3
P_{gy}	计算并联环路与最不利环路共用管段阻力	Pa	v	热水流速	m/s
P_{max}	最不利环路阻力损失	Pa	v_c	CO_2 流速	m/s
P_s	计算并联环路阻力损失	Pa	v_j	垂直于配气软管壁的静压速度	m/s
Q	供暖设计热负荷	W	v_y	烟气流速	m/s
Q'	燃气低热值	kJ/m^3	W	风速影响因子	无量纲
Q_B	日间运行锅炉最小功率	MW	α_i	围护结构内表面与室内空气对流换热系数	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$
Q_f	加压风机风量	m^3/h	α_o	围护结构外表面与室外空气对流换热系数	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$
Q_{rq}	燃气小时计算流量	m^3/h	γ	热水运动黏滞系数	m^2/s
Q_1	围护结构传热热损失	W	ΔP	供暖管道压力损失	Pa
Q_2	围护结构冷风渗透热损失	W	ΔP_i	第 i 管段的阻力	Pa
Q_3	地面传热热损失	W	ΔP_j	热水管道局部阻力	Pa
Q_4	天沟融雪附加热损失	W	ΔP_m	CO_2 管道沿程压力损失	Pa
q_{am}	设计工况下以质量计算的 CO_2 设计负荷	kg/h	ΔP_n	CO_2 管道局部压力损失	Pa
q_{av}	设计工况下以体积计算的 CO_2 设计负荷	m^3/h	ΔP_y	热水管道沿程阻力	Pa

表 1（续）

符号	含义	单位	符号	含义	单位
q_h	单位面积供暖热负荷	W/m ²	ΔP_z	最不利环路阻力损失与共用管段阻力损失的差值	Pa
q_g	干管设计流量	kg/h	Δp	混水三通阀所在串联支路总压力损失	Pa
q_m	单条配气软管设计流量	m ³ /h	Δp_{\min}	混水三通阀全开时压力损失	Pa
q_{ng}	单位长度光管散热器的散热量	W/m	ΔT	管内平均水温与室内供暖设计温度差	℃
q_{pr}	作物单位叶面积的净光合速率	m ³ /(m ² ·h)	ΔT_r	热源供回水温差	℃
q_r	单位长度光管散热器散热量	W/m	ΔT_x	蓄热水罐可利用温差	℃
q_y	烟气流量	m ³ /h	δ_w	围护结构各层材料厚度	m
q_z	支管设计流量	m ³ /h	η	水平内保温幕总节能率	%
R_{cm}	管道单位长度摩擦阻力	Pa/m	η_B	锅炉天然气燃烧的完全度	%
R_k	封闭空气间层热阻	m ² ·℃/W	η_c	液态 CO ₂ 储罐的充满度	%
Re	雷诺数	无量纲	η_{s1}	自上而下第一层水平内保温幕节能率	%
S	阀权度	无量纲	η_{s2}	自上而下第二层水平内保温幕节能率	%
η_{s3}	自上而下第三层水平内保温幕节能率	%	ρ	热水密度	kg/m ³
η_r	锅炉热效率	%	ρ_c	标准状态下气态二氧化碳密度	kg/m ³
η_1	蓄热水罐保温效率	%	ρ_o	室外供暖计算温度下的空气密度	kg/m ³
η_2	蓄热水罐容积利用系数	%	ρ_y	工作状态下烟气密度	kg/m ³
η_3	系统水膨胀系数	无量纲	ζ_c	CO ₂ 管道局部阻力系数	无量纲
λ	管道摩擦阻力系数	无量纲	ζ_i	热水管道局部阻力系数	无量纲
λ_w	围护结构各层材料导热系数	无量纲	φ_c	锅炉烟气中 CO ₂ 的体积分数	%
μ	孔口流量系数	无量纲			

5 室内外设计计算参数

- 5.1 室外供暖计算温度应按最近至少 20 年的累年最低室外温度平均值确定，部分地区室外供暖计算温度见附录 A。
- 5.2 室内供暖设计温度应根据种植作物的夜间适宜温度或咨询农艺师确定，不得低于作物生长的最低温度。部分种植作物生长的夜间适宜温度和最低温度可按表 2 采用。

表 2 部分种植作物生长的夜间适宜温度和最低温度

单位为摄氏度

作物	番茄/辣椒	草莓	西甜瓜	黄瓜	茄子	菜豆	生菜
夜间适宜温度	18~22	6~15	22~24	22~24	20~24	20~22	15~20
最低温度	15	5	15	15	15	15	10

- 5.3 辅助建筑室外供暖计算温度、室内供暖设计温度应根据建筑用途，分别按 GB 50736 和 GB 50019 的规定确定。
- 5.4 标准状态下，室外 CO₂ 计算体积分数可按 4×10^{-4} m³/m³ 取值。
- 5.5 标准状态下，室内 CO₂ 设计体积分数宜根据供气来源，按下列要求取值：
- a) 锅炉烟气供气时，取 8×10^{-4} m³/m³~ 1×10^{-3} m³/m³，不应超过 1.5×10^{-3} m³/m³；
- b) 液态 CO₂ 罐或其他气源供气时，取 5×10^{-4} m³/m³~ 6×10^{-4} m³/m³。

6 负荷计算

6.1 供暖设计热负荷

- 6.1.1 供暖设计热负荷应按公式(1)计算。

$$Q=Q_1+Q_2+Q_3+Q_4 \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- Q —— 供暖设计热负荷的数值,单位为瓦(W)；
- Q₁ —— 围护结构传热损失的数值,单位为瓦(W)；
- Q₂ —— 围护结构冷风渗透热损失的数值,单位为瓦(W)；
- Q₃ —— 地面传热损失的数值,单位为瓦(W)；
- Q₄ —— 天沟融雪附加热损失的数值,单位为瓦(W)。

6.1.2 围护结构传热热损失应按公式(2)计算。

$$Q_1=\sum K_{wi}A_{wi}(T_i-T_o) \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- Q₁ —— 围护结构传热损失的数值,单位为瓦(W)；
- K_{wi} —— 不同部位围护结构传热系数的数值,单位为瓦每平方米每摄氏度[W/(m²·℃)],按附录 B 计算或选用；
- A_{wi} —— 不同部位围护结构面积的数值,单位为平方米(m²)；
- T_i —— 室内供暖设计温度的数值,单位为摄氏度(℃)；
- T_o —— 室外供暖计算温度的数值,单位为摄氏度(℃)。

6.1.3 围护结构冷风渗透热损失应按公式(3)计算。

$$Q_2=0.278NWV\rho_0c_p(T_i-T_o) \dots\dots\dots (3)$$

式中：

- Q₂ —— 围护结构冷风渗透热损失的数值,单位为瓦(W)；
- N —— 经门窗或围护结构缝隙渗入室内空气的换气次数,单位为次每小时(次/h),可参照表 3；
- W —— 风速影响因子,可参照表 4；
- V —— 温室体积的数值,单位为立方米(m³)；
- ρ_o —— 室外供暖计算温度下空气密度的数值,单位为千克每立方米(kg/m³)；
- c_p —— 空气定压比热的数值,单位为千焦每千克每摄氏度[kJ/(kg·℃)],可取 1.0 kJ/(kg·℃)；
- T_i —— 室内供暖设计温度的数值,单位为摄氏度(℃)；
- T_o —— 室外供暖计算温度的数值,单位为摄氏度(℃)。

表 3 温室换气次数

单位为次每小时

温室形式		换气次数
新温室	单层玻璃,玻璃搭接缝隙不密封	1.25~2.00
	单层玻璃,玻璃搭接缝隙密封	0.60~1.00
	单层玻璃上覆盖塑料膜	0.50~0.90
	塑料薄膜	0.75~1.50
旧温室	维护保养好	1.00~2.00
	维护保养差	2.00~4.00

注:温室维护保养好坏根据覆盖材料密封性能判断。

表 4 风速影响因子

风速 m/s	风速影响因子
≤6.71	1.00
6.72~8.94	1.04
8.95~11.18	1.08
11.19~13.41	1.12
13.42~15.65	1.16

注:风速为供暖季节 20 年累年最冷月平均风速。

6.1.4 温室地面传热损失应按公式(4)计算,地带划分方法可参照图 1,第一地带重叠区域(图 1 黑色区)应重复计算,地带传热系数可参照表 5。

$$Q_3 = \sum K_{di} A_{di} (T_i - T_o) \dots\dots\dots (4)$$

式中:

- Q_3 ——地面传热损失的数值,单位为瓦(W);
- K_{di} ——第 i 地带地面传热系数的数值,单位为瓦每平方米每摄氏度[$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$];
- A_{di} ——第 i 地带地面面积的数值,单位为平方米(m^2);
- T_i ——室内供暖设计温度的数值,单位为摄氏度($^\circ C$);
- T_o ——室外供暖计算温度的数值,单位为摄氏度($^\circ C$)。

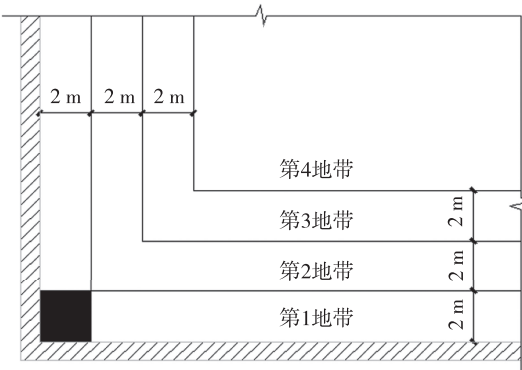


图 1 温室地面地带划分

表 5 温室地面各地带传热系数

单位为瓦每平方米每摄氏度

地带名称	传热系数
第 1 地带	0.47
第 2 地带	0.23
第 3 地带	0.12
第 4 地带	0.07

6.1.5 天沟融雪附加热损失可按公式(5)计算。

$$Q_4 = 80nL_T \dots\dots\dots (5)$$

式中:

- Q_4 ——天沟融雪附加热损失的数值,单位为瓦(W);
- n ——降雪强度修正因子,室外供暖设计温度不大于 $-10\text{ }^\circ C$, $n=2$;室外供暖设计温度 $-10\text{ }^\circ C \sim 0\text{ }^\circ C$, $n=1$;室外供暖设计温度 $0\text{ }^\circ C$ 以上时, $n=0$;
- L_T ——天沟总长度的数值,单位为米(m)。

6.2 CO₂设计负荷

CO₂设计负荷应按公式(6)和公式(7)计算。

$$q_{am} = 1.784q_{av} \dots\dots\dots (6)$$

$$q_{av} = (C_i - C_o)NWV + LAIA_s q_{pr} \dots\dots\dots (7)$$

式中:

- q_{am} ——设计工况下以质量计算的 CO₂设计负荷的数值,单位为千克每小时(kg/h);
- q_{av} ——设计工况下以体积计算的 CO₂设计负荷的数值,单位为立方米每小时(m^3/h);
- C_o ——室外 CO₂体积分数的数值,单位为立方米每立方米(m^3/m^3),按本文件 5.4 条要求采用;
- C_i ——室内 CO₂体积分数的数值,单位为立方米每立方米(m^3/m^3),按本文件 5.5 条要求采用;

- N ——经门窗或围护结构缝隙渗入室内空气的换气次数,单位为次每小时(次/h),可参照表 3;
- W ——风速影响因子,可参照表 4;
- V ——温室体积的数值,单位为立方米(m^3);
- LAI ——作物叶面积指数,果菜 $LAI=3\sim 5$,叶菜 $LAI=3\sim 10$,准确取值应根据具体种植品种咨询农艺师;
- A_s ——温室作物种植面积数值,单位为平方米(m^2);
- q_{pr} ——作物单位叶面积净光合速率的数值,单位为立方米每平方米每小时 $[\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})]$,咨询农艺师确定。

7 散热器和室内供暖管道

7.1 一般规定

- 7.1.1 散热器宜选用光管散热器或圆翼散热器。
- 7.1.2 温室散热器布置方式应根据作物种类、栽培方式和均匀散热要求确定。
- 7.1.3 供暖系统管道、设备及连接件等的承压能力应与系统工作压力相匹配。
- 7.1.4 温室散热器供回水温差宜按 10℃ 计算。

7.2 散热器选择及布置

- 7.2.1 温室供暖散热器应优先选择光管散热器。散热量不足时,可在墙边、柱间选用热浸镀锌钢制圆翼散热器。
- 7.2.2 单位长度光管散热器的散热量可按公式(8)计算。

$$q_{ng}=K_g a_g \Delta T \dots\dots\dots (8)$$

式中:

q_{ng} ——单位长度光管散热器的散热量的数值,单位为瓦每米(W/m);

K_g ——光管散热器传热系数的数值,单位为瓦每平方米每摄氏度 $[\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{℃})]$,可参照表 6,有可靠试验数据可按试验数据采用;

a_g ——光管散热器单位长度表面积数值,单位为平方米每米(m^2/m),可参照表 7;

ΔT ——管内平均水温与室内供暖设计温度差的数值,单位为摄氏度(℃)。

注:管内平均水温为管内进出口水温的算术平均值。

表 6 光管散热器传热系数

单位为瓦每平方米每摄氏度

公称直径 mm	管内平均水温与室内供暖设计温度差 ℃			
	40~50	50~60	60~70	70~80
≤32	11	11.5	12.0	12.5
40~100	9.5	10.0	10.5	11.0
125~150	9.5	10.0	10.5	10.5
>150	8.5	8.5	8.5	8.5

表 7 光管散热器单位长度表面积

公称直径 mm	外径×壁厚 mm	单位长度表面积 m^2/m	公称直径 mm	外径×壁厚 mm	单位长度表面积 m^2/m
15	21.3×2.75	0.067	65	75.5×3.75	0.237
20	26.8×2.75	0.084	80	88.5×4.0	0.278
25	33.5×3.25	0.105	100	114×4.0	0.358
32	42.3×3.25	0.133	125	140×4.5	0.440
40	48×3.5	0.151	150	165×4.5	0.518
50	60×3.5	0.188	200	219×6.0	0.688

- 7.2.3 热浸镀锌钢制圆翼散热器单位长度散热量应按生产厂家提供的数据确定。
- 7.2.4 温室采暖宜利用行间管理作业车轨道兼做散热器；无限生长型作物宜设置作物株间散热器；温室外墙内侧宜设置散热器。
- 7.2.5 散热器散热量不满足温室供暖负荷时，可设置空中吊挂散热器。
- 7.2.6 冬季有降雪的地区，可设置天沟融雪散热器。
- 7.2.7 行间管理作业车轨道兼做散热器时应符合下列要求：
- a) 管道刚度、承压能力应同时满足轨道车载重要求和供暖系统工作压力要求；
 - b) 每组管道与主管连接端均应设置阀门。
- 7.2.8 作物株间散热器宜采用 DN32~DN40 光管散热器，沿植株栽培行安装在冠层内部，与栽培行同长设置。
- 7.2.9 株间散热器表面温度不得高于 50℃。
- 7.2.10 株间散热系统应独立控制，每组散热器与主管连接端应设置阀门。
- 7.2.11 散热器布置宜利用温室地面或栽培槽坡度满足排气和泄水要求。
- 7.2.12 外墙内侧散热器、空中吊挂散热器设置宜减少遮光。

7.3 供暖管道及水力计算

7.3.1 热水供暖系统环路的压力损失，可按公式(9)~公式(14)计算。

$$\Delta P = \sum \Delta P_i \dots\dots\dots (9)$$

$$\Delta P_i = \Delta P_y + \Delta P_j \dots\dots\dots (10)$$

$$\Delta P_y = \frac{\lambda}{d} L \frac{\rho v^2}{2} \dots\dots\dots (11)$$

$$\Delta P_j = \sum \zeta_i \frac{\rho v^2}{2} \dots\dots\dots (12)$$

$$\lambda = 0.11 \left(\frac{K_{dc}}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0.25} \dots\dots\dots (13)$$

$$Re = \frac{vd}{\gamma} \dots\dots\dots (14)$$

式中：

- ΔP ——管道压力损失的数值，单位为帕(Pa)；
- ΔP_i ——第 i 管段阻力的数值，单位为帕(Pa)；
- ΔP_y ——管道沿程阻力的数值，单位为帕(Pa)；
- ΔP_j ——管道局部阻力的数值，单位为帕(Pa)；
- L ——管道长度的数值，单位为米(m)；
- λ ——管道摩擦阻力系数；
- d ——管道内径的数值，单位为米(m)；
- v ——热水流速的数值，单位为米每秒(m/s)；
- ρ ——热水密度的数值，单位为千克每立方米(kg/m³)，按管内平均水温取值；
- ζ_i ——管道局部阻力系数，阀门、管配件的局部阻力系数可参照表 8 和表 9；
- K_{dc} ——管壁当量粗糙度的数值，单位为米(m)，取 0.000 2 m；
- Re ——雷诺数；
- γ ——热水运动黏滞系数的数值，单位为平方米每秒(m²/s)，不同温度热水运动黏滞系数可参照表 10。

表 8 与管径有关的阀门、管配件局部阻力系数

管配件名称	管道公称直径 mm					
	15	20	25	32	40	≥50
截止阀	16.0	10.0	9.0	9.0	8.0	7.0
旋塞	4.0	2.0	2.0	2.0	—	—
斜杆截止阀	3.0	3.0	3.0	2.5	2.5	2.0
闸阀	1.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
弯头	2.0	2.0	1.5	1.5	1.0	1.0
90°煨弯及乙字弯	1.5	1.5	1.0	1.0	0.5	0.5
括弯	3.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
急弯双弯头	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
缓弯双弯头	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

表 9 与管径无关的阀门、管配件局部阻力系数

局部阻力名称	局部阻力系数	局部阻力名称	局部阻力系数
突然扩大	1.0	分流三通	3.0
突然减小	0.5	直流四通	2.0
直流三通	1.0	分流四通	3.0
旁流三通	1.5	方形补偿器	2.0
合流三通	3.0	套管补偿器	0.5

表 10 不同温度热水运动黏滞系数

水温 ℃	25	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100
运动黏滞系数 ×10 ⁻⁶ m ² /s	0.897	0.804	0.727	0.661	0.605	0.556	0.477	0.415	0.367	0.328	0.296

7.3.2 并联环路之间压力损失相对差额计算应按公式(15)和公式(16)计算,且不应大于 15%。

$$B = \frac{\Delta P_z - P_s}{\Delta P_z} \times 100 \dots\dots\dots (15)$$

$$\Delta P_z = P_{\max} - P_{\text{gy}} \dots\dots\dots (16)$$

式中:

- B —— 并联环路计算压力损失相对差额的数值,即不平衡率,单位为百分号(%) ;
- ΔP_z —— 最不利环路阻力损失与共用管段阻力损失差值的数值,单位为帕(Pa) ;
- P_s —— 计算并联环路阻力损失的数值,单位为帕(Pa) ;
- P_{max} —— 最不利环路阻力损失的数值,单位为帕(Pa) ;
- P_{gy} —— 计算并联环路与最不利环路共用管段阻力的数值,单位为帕(Pa) 。

注:并联环路不包括共用管段。

7.3.3 并联环路之间水力平衡宜采取下列措施:

- a) 环路布置均匀对称;
- b) 在保证管道比摩阻为 60 Pa/m~120 Pa/m 时,首先调整管径,达不到水力平衡要求时通过阀门等调节;
- c) 供回水主管采用同程布置。

7.3.4 供暖管道中热水流速应根据管道散热量和系统水力平衡确定,管道内最大流速不宜超过表 11 的规定。

表 11 温室供暖管道中热水最大流速

管道公称直径 mm	15	20	25	32	40	≥50
热水最大流速 m/s	0.80	1.00	1.20	1.40	1.80	2.00

- 7.3.5 供暖系统水平敷设的主管和支管坡度不宜小于 0.002,坡向应利于排气和泄水;当受条件限制,水平管道无法保证最小坡度时,可局部无坡敷设,但该管道内水流速度不应小于 0.25 m/s。
- 7.3.6 采暖供回水管道热补偿措施应优先利用自然补偿,当自然补偿不满足要求时,可设置补偿器;光管散热器与供回水主管宜采用软连接吸收热膨胀。
- 7.3.7 供暖系统供水主管末端和回水主管始端管径不应小于 20 mm。
- 7.3.8 管道敷设于下列位置时应做保温处理:
- a) 管沟内;
 - b) 不供暖区域;
 - c) 易冻结的地方;
 - d) 要求隔热的地点。
- 7.3.9 热水管道经济保温层厚度可按 GB/T 8175 的规定计算,也可按附录 C 选用。
- 7.3.10 除有色金属、不锈钢、镀锌钢管、铝合金管外,其他金属管道和设备防腐宜采取涂漆等防腐措施,涂层类别应耐受温室环境的腐蚀。

8 CO₂输配系统

8.1 一般规定

- 8.1.1 CO₂输配系统可包括输配管道、加压风机及测控设备等。
- 8.1.2 CO₂输配系统应按锅炉烟气设计,液态 CO₂气源经气化调压后可接入该系统,其他能接入系统的气源也可接入。

8.2 管材及附件

- 8.2.1 干管和支管应选用耐腐蚀管材,可选用硬聚氯乙烯管、聚乙烯管,管材和管件工作压力不得大于产品标准公称压力或标称允许工作压力;配气软管宜选用高压聚乙烯塑料薄膜管,壁厚不得低于0.20 mm。
- 8.2.2 干管、支管起始端宜设控制阀。
- 8.2.3 干管、支管最低点应设排水装置。

8.3 管道布置和敷设

- 8.3.1 管道分级应依次为末端配气软管、支管和干管;上下级管道宜垂直布置,宜减少折弯点。
- 8.3.2 配气软管应沿作物栽培行布置,可布置在作物冠层上方、栽培床面或栽培架下方,干管、支管布置宜有利于均匀配气。
- 8.3.3 支管和干管宜枝状埋地敷设,覆土厚度不宜小于 0.3 m,敷设坡度不应小于 0.001,坡向应有利于冷凝水排放。

8.4 CO₂输配管道水力计算

- 8.4.1 单条配气软管设计流量可按公式(17)计算,干管、支管设计流量可按公式(18)和公式(19)计算。

$$q_m = \frac{l_m q_{av}}{L_m \varphi_c} \dots\dots\dots (17)$$

$$q_z = \sum q_m \dots\dots\dots (18)$$

$$q_g = \sum q_z \dots\dots\dots (19)$$

式中:

10

- q_m ——单条配气软管设计流量的数值,单位为立方米每小时(m^3/h);
 q_{av} ——设计工况下以体积计算温室 CO_2 设计负荷的数值,单位为立方米每小时(m^3/h);
 q_z ——支管设计流量的数值,单位为立方米每小时(m^3/h);
 q_g ——干管设计流量的数值,单位为立方米每小时(m^3/h);
 l_m ——单条配气软管长度的数值,单位为米(m);
 L_m ——配气软管总长度的数值,单位为米(m);
 φ_c ——锅炉烟气中 CO_2 的体积分数,取 8%。

8.4.2 管道烟气流速宜按下列要求选用:

- a) 干管宜为 6.0 m/s~12.0 m/s;
 b) 支管宜为 4.0 m/s~7.0 m/s;
 c) 配气软管宜为 2.0 m/s~3.0 m/s。

8.4.3 干管、支管及配气软管管径可按公式(20)计算。

$$d_c = 18.8 \sqrt{\frac{q_y}{v_y}} \dots\dots\dots (20)$$

式中:

- d_c —— CO_2 管道内径的数值,单位为毫米(mm);
 q_y ——烟气流量的数值,单位为立方米每小时(m^3/h),干管 $q_y = q_g$,支管 $q_y = q_z$,配气软管 $q_y = q_m$;
 v_y ——烟气流速的数值,单位为米每秒(m/s)。

8.4.4 配气软管孔口数目和孔口面积可按公式(21)和公式(22)计算。

$$N_{cz} = \frac{N_{CD} l_m}{S_m} \dots\dots\dots (21)$$

$$f_0 = \frac{q_m}{3\ 600 N_{cz} \mu v_j} \dots\dots\dots (22)$$

式中:

- N_{cz} ——单条配气软管上孔口总数的数值,单位为个;
 N_{CD} ——配气软管上每组孔口数的数值,单位为个,可取 2 个~4 个;
 l_m ——单条配气软管长度的数值,单位为米(m);
 S_m ——配气软管每组孔口间距的数值,单位为毫米(mm),可取 300 mm~500 mm;
 f_0 ——配气软管上单个孔口面积的数值,单位为平方米(m^2);
 q_m ——单条配气软管设计流量的数值,单位为立方米每小时(m^3/h);
 μ ——孔口流量系数,可取 0.60~0.65;
 v_j ——垂直于配气软管壁的静压速度的数值,单位为米每秒(m/s),不低于 5 m/s。

8.4.5 干管、支管道沿程压力损失可按公式(23)计算,局部压力损失可按公式(24)计算;缺乏参数时,干管、支管局部压力损失可分别按沿程压力损失的 10%~20% 和 20%~30% 估算。

$$\Delta P_m = 7.875 \times 10^{-3} \left(\frac{d_c}{1000} \right)^{-1.21} v_y^{1.925} \rho_y L_c \dots\dots\dots (23)$$

$$\Delta P_n = \sum \zeta_c \frac{v_y^2}{2 \rho_y} \dots\dots\dots (24)$$

式中:

- ΔP_m —— CO_2 管道沿程压力损失的数值,单位为帕(Pa);
 d_c —— CO_2 管道内径的数值,单位为毫米(mm);
 v_y ——烟气流速的数值,单位为米每秒(m/s);
 ρ_y ——工作状态下烟气密度的数值,单位为千克每立方米(kg/m^3);
 L_c —— CO_2 管道长度的数值,单位为米(m);
 ΔP_n —— CO_2 管道局部压力损失的数值,单位为帕(Pa);

ζ_c ——CO₂管道局部阻力系数,无量纲。

8.4.6 并联支路压力损失相对差额不宜超过 15%。调整管径无法达到上述要求时,应设置调节装置。

8.5 加压风机选择

8.5.1 加压风机风量可按公式(25)计算。

$$Q_f = \frac{1.10q_{av}}{\varphi_c} \dots\dots\dots (25)$$

式中:

Q_f ——加压风机风量的数值,单位为立方米每小时(m³/h);

q_{av} ——设计工况下以体积计算 CO₂设计负荷的数值,单位为立方米每小时(m³/h);

φ_c ——锅炉烟气中 CO₂的体积分数,取 8%。

8.5.2 加压风机采用变速时,风机额定压力应采用总计算压力损失;采用定速时,风机压力宜在总计算压力损失基础上附加 10%~15%。

8.5.3 加压风机应根据风机性能曲线选择,数量不宜少于 2 台。设计工况下,风机效率不应低于最高效率的 90%。

8.5.4 多台风机集中供气时,风机应分别安装防回流装置和调节阀。

8.6 冷凝水排放设计

8.6.1 冷凝水排入污水系统时,应采取空气隔断措施;冷凝水管不得与室内雨水系统连接。

8.6.2 干管上应设冷凝水排放设施;冷凝水无法重力排出时,应设集水坑和提升泵排至室外。

8.6.3 冷凝水管设计流量宜按管道烟气设计流量的 0.01%~0.02%确定。

8.6.4 压力排水管宜采用耐压塑料管或金属管。

8.6.5 冷凝水管宜采用排水塑料管。冷凝水管坡度不宜小于 0.005,不应小于 0.003,且不允许有积水部位。

8.6.6 冷凝水管管径宜根据冷凝水流量和管道坡度,按非满流管道经水力计算确定;也可根据 CO₂输配管段烟气流量和管道坡度,按表 12 选取。

表 12 冷凝水管管径选择

管道最小坡度	CO ₂ 输配管段烟气流量 m ³ /h					
	≤480	481~920	921~2 880	2 881~8 000	8 001~11 300	11 301~22 400
0.003	≤480	481~920	921~2 880	2 881~8 000	8 001~11 300	11 301~22 400
0.005	≤620	621~1 200	1 201~3 700	3 701~10 400	10 401~14 700	14 701~29 000
冷凝水管公称直径 mm	40	50	75	100	125	150

8.6.7 冷凝水排水泵选型应符合下列要求:

- a) 流量应按冷凝水管设计流量选定;
- b) 扬程应按提升高度、管路系统水头损失,附加 2 m~3 m 流出水头计算。

8.6.8 集水坑设计应符合下列规定:

- a) 集水坑有效容积不宜小于排水泵 5 min 的排水量,且水泵启动次数不宜超过 6 次/h;
- b) 集水坑应设检修盖板。

8.6.9 集水坑应设水位指示和控制装置,排水泵启停应根据水位控制。

9 热源、气源及配套设备

9.1 一般规定

9.1.1 锅炉房设计应符合 GB 50016、GB 50028 和 GB 50041 的规定及当地主管部门要求。

9.1.2 天然气质量应符合 GB 50494 的规定。

9.1.3 燃气调压站、调压装置和计量装置设计应符合 GB 50028 的规定。

9.1.4 排放至大气中的烟气应符合 GB 13271 和 GB 16297 的规定。

9.2 锅炉房及锅炉附属设备

9.2.1 锅炉房设计容量应根据供热系统最大热负荷确定。

9.2.2 锅炉按下列规定选型：

- a) 单台锅炉设计容量应按保证具有长时间高运行效率的原则确定，实际运行负荷率不宜低于 50%；
- b) 锅炉台数不宜超过 5 台，锅炉容量宜相等，不相等时不宜超过 2 种规格；
- c) 一台锅炉停止工作时，其余锅炉提供的热量应使温室温度不低于作物生长最低温度；
- d) 燃气锅炉宜选配比例调节控制燃烧器。

9.2.3 日间运行锅炉最小功率应根据 CO₂ 设计负荷，按公式(26)计算。

$$Q_B = \frac{0.00917q_{av}}{\eta_B} \dots\dots\dots (26)$$

式中：

Q_B —— 日间运行锅炉最小功率的数值，单位为兆瓦(MW)；

q_{av} —— 设计工况下以体积计算的 CO₂ 设计负荷的数值，单位为立方米每小时(m³/h)；

η_B —— 锅炉天然气燃烧完全度的数值，单位为百分号(%)。

9.2.4 燃气锅炉应配套烟气冷凝回收装置，烟气出口温度不宜高于 50 ℃。

9.2.5 烟囱及烟道应采取防腐措施，可采用耐腐蚀材料或耐腐蚀衬里等。

9.3 补水、定压与水处理设备

9.3.1 供暖系统补水水质应符合 GB/T 29044 的规定。

9.3.2 供暖系统补水软化除盐设计应符合 GB/T 50109 的规定，原水水压不符合水处理工艺要求时，应设置加压设施。

9.3.3 软化除盐水处理设备出力可按公式(27)计算。

$$D = K(D_1 + D_2 + D_3) \dots\dots\dots (27)$$

式中：

D —— 水处理设备出力的数值，单位为吨每小时(t/h)；

D_1 —— 供暖系统补水量的数值，单位为吨每小时(t/h)，可按系统水容量的 1% 计算；

D_2 —— 水处理系统自用软化除盐水量的数值，单位为吨每小时(t/h)；

D_3 —— 其他用途的软化除盐水量的数值，单位为吨每小时(t/h)；

K —— 富裕系数，取 $K = 1.1 \sim 1.2$ 。

9.3.4 软水箱容积宜按 30 min~60 min 补水泵设计流量确定。

9.3.5 供暖系统补水点宜设置在热源循环水泵吸入侧母管上。

9.3.6 当补水压力低于补水点压力时，应设置补水泵，补水泵总设计小时流量宜为系统水容量的 5%~10%，扬程应高于补水点压力 30 kPa~50 kPa；补水泵台数不宜少于 2 台，其中 1 台为备用。

9.3.7 供暖系统可采用蓄热罐定压。

9.4 蓄热设备

9.4.1 蓄热罐可采用开式水罐或闭式水罐，承压闭式水罐应符合 GB 150 的规定。

9.4.2 蓄热罐体应选用钢制罐体，罐体应具有足够的强度和承压能力，整体应防腐蚀、无渗漏、不变形。

9.4.3 蓄热罐体应保温，保温层厚度应符合罐体外表面与周围空气温差不大于 5 ℃ 的要求，计算方法见附录 C，保温材料应为难燃或不燃材料。

9.4.4 蓄热水罐热水不应兼做消防水源。

9.4.5 闭式水罐宜设置氮气膨胀系统，罐体顶部氮气压力宜为 (20±5) kPa。

- 9.4.6 蓄热罐应设置液位显示装置。
- 9.4.7 蓄热罐宜安装低水位或缺水保护等装置。
- 9.4.8 蓄热罐与基础之间应采取隔热措施。
- 9.4.9 蓄热水罐容积可按公式(28)计算。

$$V_x = \frac{3600 N_r t_x}{4.18 \Delta T_x \eta_1 \eta_2 \eta_3 \rho} \dots\dots\dots (28)$$

式中:

- V_x ——蓄热水罐容积的数值,单位为立方米(m^3);
- N_r ——日间运行锅炉功率的数值,单位为千瓦(kW);
- t_x ——锅炉日间运行时间的数值,单位为小时(h),等于烟气供应 CO_2 时间;
- ΔT_x ——蓄热水罐可利用温差的数值,单位为摄氏度($^{\circ}C$),可按 $40^{\circ}C$ 取值;
- η_1 ——蓄热水罐保温效率,宜取 95%;
- η_2 ——蓄热水罐容积利用系数,宜取 0.9;
- η_3 ——系统水膨胀系数,宜取 0.97;
- ρ ——热水密度,宜取 $1\,000\,kg/m^3$ 。

- 9.4.10 蓄热水罐水体斜温层厚度不宜大于 1 m。
- 9.4.11 蓄热水罐内最低水位不应低于供暖系统最高点 1.0 m。
- 9.4.12 蓄热罐内垂直方向每隔 10% 设计水深应等距设置测温装置。

9.5 燃气供应

- 9.5.1 燃气系统设计应符合 GB 50028 的规定。
- 9.5.2 燃气流量应根据最大小时用气量,按公式(29)计算。

$$Q_{rq} = \frac{3.5 q_h A}{Q' \eta_r} \dots\dots\dots (29)$$

式中:

- Q_{rq} ——燃气小时计算流量的数值,单位为立方米每小时(m^3/h);
- q_h ——单位面积供暖热负荷的数值,单位为瓦每平方米(W/m^2);
- A ——温室面积的数值,单位为平方米(m^2);
- Q' ——燃气低热值的数值,单位为千焦每立方米(kJ/m^3);
- η_r ——锅炉热效率,应按设备厂家提供的数据选用。

- 9.5.3 当温室场区不具备燃气管网供气条件时,可采用液化天然气供气。液化天然气储罐容积可根据燃气来源、运输距离等因素,按温室生产用气量最高月日平均用气量的 3 倍~10 倍确定。
- 9.5.4 液化天然气气化装置的总气化能力不应小于高峰小时用气量,气化装置不应少于 2 台,其中 1 台备用。

9.6 液态 CO_2 供气设备

- 9.6.1 非供暖季节 CO_2 采用液态 CO_2 气化调压后供给,液态 CO_2 储罐容积可按公式(30)计算。

$$V_L = \frac{n_c t_c q_{av}}{560 \eta_c} \dots\dots\dots (30)$$

式中:

- V_L ——液态 CO_2 储罐容积的数值,单位为立方米(m^3);
- η_c ——液态 CO_2 储罐充满度,可取 70%~80%;
- n_c ——液态 CO_2 储罐更换或补充周期的数值,单位为天(d),可取 3 d~7 d;
- t_c ——温室每天 CO_2 供气时间的数值,单位为小时每天(h/d),可取 4 h/d~6 h/d;
- q_{av} ——设计工况下以体积计算 CO_2 设计负荷的数值,单位为立方米每小时(m^3/h)。

- 9.6.2 在环境温度(20 ± 5) $^{\circ}C$ 下,液态 CO_2 储罐的绝热性能应符合下列规定:

- a) 有效容积小于 50 m³时,每 24 h 压力升高值应低于 35 kPa;
b) 有效容积为 50 m³~100 m³时,每 24 h 压力升高值应低于 20 kPa。

9.6.3 液态 CO₂ 气化器选型应符合设备使用季节最不利气温条件使用要求,气化量宜按温室 CO₂ 供气负荷附加 5%~10% 确定,CO₂ 气体温度进入输配管网前宜调节至 20 ℃。

9.6.4 供气压力可按公式(31)~公式(33)由输送管道末端开始逐段计算得出。

$$P_{c1} = P_{c2} + \Delta P_m + \Delta P_n \dots\dots\dots (31)$$

$$\Delta P_m = L_c R_{cm} \dots\dots\dots (32)$$

$$\Delta P_n = \sum \zeta_c \frac{\rho_c v_c^2}{2} \dots\dots\dots (33)$$

式中:

P_{c1} ——管道起点压力的数值,单位为帕(Pa);

P_{c2} ——管道终点压力的数值,单位为帕(Pa),其中输送管道最末端压力可取 20 Pa~30 Pa;

ΔP_m ——CO₂ 管道沿程阻力损失的数值,单位为帕(Pa);

ΔP_n ——CO₂ 管道局部阻力损失的数值,单位为帕(Pa);

L_c ——CO₂ 管道长度的数值,单位为米(m);

R_{cm} ——单位管道长度摩擦阻力的数值,单位为帕每米(Pa/m),见附录 D 中的表 D.1;

ζ_c ——CO₂ 管道局部阻力系数,见表 D.2;

ρ_c ——标准状态下气态 CO₂ 密度的数值,单位为千克每立方米(kg/m³),可取 1.98 kg/m³;

v_c ——CO₂ 流速的数值,单位为米每秒(m/s)。

10 供暖输配管网

10.1 温室供暖热水输配系统宜采用热源循环泵-管网循环泵-温室混水循环泵分布式水泵供热系统。

10.2 热源循环泵设计流量应按公式(34)计算。

$$G_r = \frac{0.86Q}{\Delta T_r} \dots\dots\dots (34)$$

式中:

G_r ——热源循环泵设计流量的数值,单位为立方米每小时(m³/h);

Q ——供暖设计热负荷的数值,单位为千瓦(kW);

ΔT_r ——热源供回水温差的数值,单位为摄氏度(℃)。

10.3 热源循环泵扬程应为热源内部水循环系统总压力损失,包括锅炉及锅炉至分集水器间管路压力损失。

10.4 管网循环泵流量应为所在分支系统设计流量,扬程应为分集水器至温室热力入口压力损失。

10.5 温室混水循环泵流量应为所在区段设计流量,扬程应为所在循环环路各管段压降之和。

10.6 分布式多级水泵供热系统中热源循环泵供回水温差宜按锅炉额定供回水温度计算,管网循环泵供回水温差宜按蓄热水罐可利用温差计算,温室混水循环泵供回水温差宜按 10 ℃ 计算。

10.7 水泵承压、耐高温能力应与供暖管网设计参数相适应。

10.8 水泵宜采用变速调节控制。

10.9 水泵“流量-扬程”特性曲线在工作点附近应平缓,并联运行水泵特性曲线宜相同。

10.10 3 台及以下水泵并联运行时应设置备用泵;4 台及以上水泵并联运行时可不设置备用泵。

10.11 当从供暖系统总入口分接出 3 个及以上分支环路时应设分水器 and 集水器。

10.12 分水器、集水器筒体直径可按断面流速 0.1 m/s~1 m/s 计算,也可按接到分水器、集水器上的支管最大直径的 1.5 倍~3 倍估算。

10.13 分水器、集水器筒体长度可参照图 2 根据接管数按公式(35)~公式(39)计算,排污管管径 d_p 可参照表 13。

$$L_{\text{fj}}=130+L_1+L_2+L_3+\cdots+L_i+120+2h \cdots \cdots (35)$$

$$L_1=d_1+120 \cdots \cdots (36)$$

$$L_2=d_1+d_2+120 \cdots \cdots (37)$$

$$L_3=d_2+d_3+120 \cdots \cdots (38)$$

$$L_i=d_j+120 \cdots \cdots (39)$$

式中：

- L_{fj} ——分水器、集水器筒体长度的数值,单位为毫米(mm)；
- L_i ——筒体接管中心距的数值,单位为毫米(mm)；
- h ——封头高度的数值,单位为毫米(mm),可参照表 13；
- d_j ——接管外径的数值,单位为毫米(mm)。

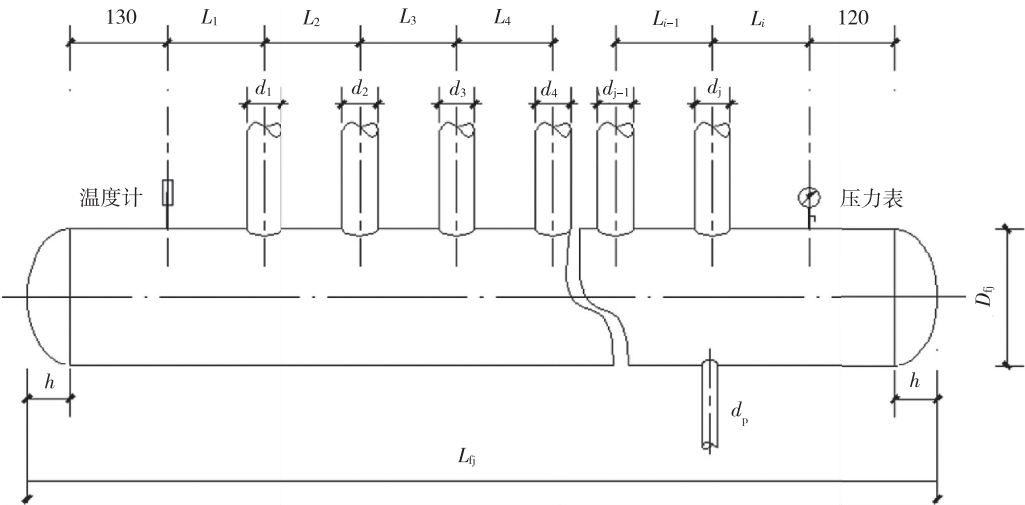


图 2 分水器、集水器示意图

表 13 分水器、集水器封头高度及排污管规格

单位为毫米

D_{fj}	159	219	273	325	377	426	500	600	700	800	900	1 000
h	65	80	93	106	119	132	150	175	200	225	250	275
d_{p}	50							100				

10.14 混水三通阀选择应符合下列规定：

a) 阀权度应按公式(40)计算。

$$S=\frac{\Delta p_{\text{min}}}{\Delta p} \cdots \cdots (40)$$

式中：

- S ——阀权度,应在 0.3~0.7 范围；
 - Δp_{min} ——混水三通阀全开时压力损失的数值,单位为帕(Pa)；
 - Δp ——混水三通阀所在串联支路总压力损失的数值,单位为帕(Pa)。
- b) 混水三通阀的流量特性应根据调节对象特性和阀权度选择,宜采用抛物线特性或线性特性的阀门。
- c) 混水三通阀的口径应根据使用对象要求的流通能力确定。

11 监控系统

11.1 一般规定

11.1.1 热气联供温室供暖系统应基于农艺要求设置监测与控制系统。

11.1.2 监控功能可包括参数检测、参数与设备状态显示、自动调节与控制、工况自动转换、设备连锁、自动保护与报警、能量计量及集中监控与管理等。

11.1.3 温度、CO₂浓度等有代表性参数监测,宜在便于观察的地点设置就地显示仪表。

11.2 传感器与执行器

11.2.1 传感器与执行器应根据环境条件选择防尘型、防潮型、耐腐蚀型、防爆型等。

11.2.2 传感器的安装数量和位置应能反映被测参数整体情况。

11.2.3 温度传感器选配应符合下列规定:

- a) 测量范围应为测点温度范围的 1.2 倍~1.5 倍;
- b) 壁挂式空气温度传感器应安装在空气流通,且应反映被测房间空气温度的位置,温室内空气温度传感器应有防辐射装置;烟、气、风道内的温度传感器应保证插入深度,不得在传感器探头与风道外侧形成热桥;插入式水管温度传感器,应保证测头插入深度在主流区内。

11.2.4 湿度传感器应安装在空气流通,且应反映温室内空气湿度的位置,安装位置附近不应有热源及湿源。

11.2.5 压力/压差传感器工作压力/压差应大于测点可能出现的最大压力/压差的 1.5 倍,量程应为测点压力/压差正常变化范围的 1.2 倍~1.3 倍。

11.2.6 同一对压力/压差传感器宜处于同一标高。

11.2.7 流量传感器应选用具有瞬态值输出的产品。

11.2.8 流量传感器量程应为系统最大工作流量的 1.2 倍~1.3 倍。

11.2.9 流量传感器应安装在水平管道或水流自下向上流向的垂直管段,安装位置前后直管段长度不宜小于 10 倍管道内径,应至少具有满足前 5 倍后 3 倍管道内径的直管段长度。

11.3 监测参数

11.3.1 温室供暖系统宜监测下列参数:

- a) 种植区域空气温度、湿度;
- b) 温室热力入口处热水温度、流量、压力及过滤器前后压差。

11.3.2 温室 CO₂施肥系统宜监测下列参数:

- a) 种植区 CO₂浓度;
- b) 烟气出口 CO 浓度。

11.3.3 蓄热水罐宜监测与控制下列参数:

- a) 进出口及罐内水温;
- b) 液位;
- c) 调节阀的阀位;
- d) 出水流量。

附 录 A
(资料性)
室外供暖计算温度

不同地区温室室外供暖计算温度可按表 A.1 采用。

表 A.1 室外供暖计算温度

单位为摄氏度

地名	温度	地名	温度	地名	温度	地名	温度
北京市	－12	长春	－30	厦门	6	南宁	5
天津市	－12	四平	－29	江西省		桂林	0
上海市	－3	敦化	－30	南昌	－2	柳州	2
重庆市	3	延吉	－24	吉安	－3	百色	5
河北省		长白	－30	山东省		北海	4
石家庄	－10	黑龙江省		济南	－11	梧州	2
邢台	－9	哈尔滨	－31	德州	－13	四川省	
丰宁	－18	漠河	－42	龙口	－9	成都	1
张家口	－18	呼玛	－38	莘县	－12	甘孜	－16
唐山	－14	黑河	－37	长岛	－9	泸州	2
保定	－13	嫩江	－36	沂源	－11	雅安	0
山西省		齐齐哈尔	－32	潍坊	－12	稻城	－14
太原	－16	伊春	－34	青岛	－9	康定	－10
大同	－22	尚志	－33	海阳	－11	宜宾	3
介休	－16	鸡西	－28	兖州	－10	西昌	0
运城	－10	牡丹江	－30	日照	－9	南充	2
内蒙古自治区		绥芬河	－28	河南省		贵州省	
呼和浩特	－23	江苏省		郑州	－6	贵阳	－5
海拉尔	－41	南京	－5	安阳	－10	毕节	－4
额济纳旗	－27	徐州	－8	南阳	－7	遵义	－3
二连浩特	－29	东台	－5	驻马店	－7	云南省	
朱日和	－27	溧阳	－4	信阳	－6	昆明	－1
集宁	－23	浙江省		湖北省		丽江	0
东胜	－22	杭州	－3	武汉	－3	腾冲	5
锡林浩特	－30	丽水	－1	恩施	0	西藏自治区	
通辽	－29	安徽省		荆州	－2	拉萨	－8
多伦	－30	合肥	－6	湖南省		那曲	－23
赤峰	－21	亳州	－8	长沙	－2	日喀则	－10
辽宁省		阜阳	－9	邵阳	－3	帕里	－23
沈阳	－27	蚌埠	－7	广东省		昌都	－9
锦州	－21	霍山	－6	广州	－1	林芝	－4
营口	－23	安庆	－4	汕头	7	陕西省	
大连	－16	福建省		深圳	5	西安	－8
吉林省		福州	3	广西壮族自治区		榆林	－23

表 A. 1 （续）

地名	温度	地名	温度	地名	温度	地名	温度
延安	—17	平凉	—15	宁夏回族自治区		塔城	—29
宝鸡	—8	青海省		银川	—18	奇台	—31
甘肃省		西宁	—18	中宁	—18	伊宁	—21
兰州	—13	冷湖	—23	盐池	—21	吐鲁番	—15
敦煌	—19	格尔木	—16	新疆维吾尔自治区		库尔勒	—16
酒泉	—26	沱沱河	—31	乌鲁木齐	—25	喀什	—13
张掖	—24	玉树	—21	克拉玛依	—27	和田	—17
民勤	—22	玛多	—29	阿勒泰	—35	哈密	—23

附 录 B
(规范性)
温室围护结构传热系数

B.1 温室围护结构传热系数计算

温室围护结构传热系数应按公式(B.1)计算。

$$K_{wi} = \frac{1}{1/\alpha_i + \sum \delta_w/\lambda_w + R_k + 1/\alpha_o} \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

- K_{wi} ——不同部位围护结构传热系数的数值,单位为瓦每平方米每摄氏度[W/(m²·℃)];
- α_i ——围护结构内表面与室内空气对流换热系数的数值,单位为瓦每平方米每摄氏度[W/(m²·℃)],取 $\alpha_i=8.7$ W/(m²·℃);
- δ_w ——围护结构各层材料厚度的数值,单位为米(m);
- λ_w ——围护结构各层材料导热系数的数值,单位为瓦每米摄氏度[W/(m·℃)];
- R_k ——封闭空气间层热阻的数值,单位为平方米摄氏度每瓦[(m²·℃)/W];
- α_o ——围护结构外表面与室外空气的对流换热系数的数值,单位为瓦每平方米每摄氏度[W/(m²·℃)], 取 $\alpha_o=23$ W/(m²·℃)。

B.2 温室常用围护结构传热系数

温室常用围护结构的传热系数可参照表 B.1。

表 B.1 温室常用围护结构的传热系数

单位为瓦每平方米每摄氏度

材料名称	传热系数
单层玻璃	6.4
双层玻璃	4.0
单层塑料膜	6.8
单层玻璃上覆盖单层塑料膜	4.8
单层玻璃上覆盖双层塑料膜	3.4
240 mm 厚砖墙	2.0
370 mm 厚砖墙	1.5

B.3 综合传热系数计算

设置水平内保温幕温室的屋面传热系数,可按公式(B.2)~(B.4)计算综合传热系数,双层水平内保温幕总节能率可按公式(B.3)计算,三层内保温幕总节能率可按公式(B.4)计算。

$$K_z = K_1(1-\eta) \dots\dots\dots (B.2)$$

$$\eta = \frac{\eta_{s1} + \eta_{s2} - 2\eta_{s1}\eta_{s2}}{1 - \eta_{s1}\eta_{s2}} \dots\dots\dots (B.3)$$

或
$$\eta = \frac{(\eta_{s1} + \eta_{s2} + \eta_{s3}) - 2(\eta_{s1}\eta_{s2} + \eta_{s1}\eta_{s3} + \eta_{s2}\eta_{s3}) + 3\eta_{s1}\eta_{s2}\eta_{s3}}{1 - (\eta_{s1}\eta_{s2} + \eta_{s1}\eta_{s3} + \eta_{s2}\eta_{s3}) + 2\eta_{s1}\eta_{s2}\eta_{s3}} \dots\dots\dots (B.4)$$

式中：

K_z ——设置有水平保温幕温室屋面综合传热系数的数值,单位为瓦每平方米每摄氏度[W/

$(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})]$;

K_1 ——温室屋面结构传热系数的数值,单位为瓦每平方米每摄氏度 $[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})]$;

η ——水平内保温幕总节能率,当只有一层水平内保温幕时 $\eta = \eta_{s1}$;

η_{s1} ——自上而下第一层水平内保温幕节能率;

η_{s2} ——自上而下第二层水平内保温幕节能率;

η_{s3} ——自上而下第三层水平内保温幕节能率。

附 录 C
(资料性)
管道与设备保温层厚度

室内热管道保温层厚度可根据保温材料、介质温度及管径,按表 C. 1~表 C. 3 选用。热设备保温层厚度可按最大口径管道保温层厚度再增加 5 mm 选用。

表 C. 1 闭孔橡塑泡沫保温层经济厚度

管道公称直径 mm			15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300
管道外径 mm			22	27	32	38	45	57	73	89	108	133	159	219	273	325
介质温度 45 ℃	年使用 时间 h	2 160	16	19	19	19	19	19	22	22	22	22	22	22	22	25
		3 240	19	22	22	22	22	25	25	25	25	28	28	28	28	28
		4 320	22	22	25	25	28	28	28	32	32	32	32	32	32	32
2 160		22	22	22	22	25	25	25	25	28	28	28	28	32	32	
3 240		25	25	25	28	28	28	32	32	32	36	36	36	36	36	
4 320		28	28	32	32	32	32	36	36	36	40	40	40	45	45	
2 160		25	25	28	28	28	32	32	32	32	36	36	36	36	36	
3 240		32	32	32	32	36	36	36	40	40	40	45	45	45	45	
4 320		32	36	36	36	40	40	45	45	45	45	50	50	50	55	

表 C. 2 硬质聚氨酯泡沫保温层经济厚度

管道公称直径 mm			15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300
管道外径 mm			22	27	32	38	45	57	73	89	108	133	159	219	273	325
介质温度 60 ℃	年使用 时间 h	2 160	20	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
		3 240	30	30	30	30	30	30	40	40	40	40	40	40	40	40
		4 320	30	30	30	40	40	40	40	40	40	40	40	50	50	50
2 160		30	30	30	30	30	30	40	40	40	40	40	40	40	40	
3 240		30	30	40	40	40	40	40	40	40	50	50	50	50	50	
4 320		40	40	40	40	40	40	50	50	50	50	50	50	60	60	
2 160		30	30	40	40	40	40	40	40	40	40	50	50	50	50	
3 240		40	40	40	40	40	50	50	50	50	50	50	60	60	60	
4 320		40	40	50	50	50	50	50	50	60	60	60	60	70	70	

表 C. 3 离心玻璃棉保温层经济厚度

管道公称直径 mm			15	20	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300
管道外径 mm			22	27	32	38	45	57	73	89	108	133	159	219	273	325
介质温度 60 ℃	年使用 时间 h	2 160	30	30	30	30	40	40	40	40	40	40	40	40	50	50
		3 240	40	40	40	40	40	40	50	50	50	50	50	50	50	60
		4 320	40	40	40	40	50	50	50	50	50	60	60	60	60	60
2 160		40	40	40	40	40	40	50	50	50	50	50	50	60	60	
3 240		40	40	50	50	50	50	50	60	60	60	60	60	70	70	
4 320		50	50	50	50	50	60	60	60	60	70	70	70	70	80	
2 160		40	40	40	50	50	50	50	50	60	60	60	60	60	60	
3 240		50	50	50	50	60	60	60	60	70	70	70	70	80	80	
4 320		50	60	60	60	60	60	70	70	70	80	80	80	90	90	

附 录 D
(资料性)
CO₂输送管道阻力

D.1 CO₂管道单位长度摩擦阻力

CO₂管道单位长度摩擦阻力可按表 D.1 选用。

表 D.1 CO₂管道单位长度摩擦阻力

公称直径 mm	流速 m/s	体积流量 m ³ /min	单位长度摩擦阻力 Pa/m
15	8	0.27	364
	10	0.339	568
	12	0.406	810
20	8	0.487	244
	10	0.555	382
	12	0.721	441
25	8	0.751	182
	10	0.94	284
	12	1.28	410
32	8	1.31	127
	10	1.63	199
	12	2.88	286
40	8	2.03	104.6
	10	2.53	158.3
	12	3.03	227
50	8	3	73.4
	10	3.76	115.1
	12	4.51	165.6
65	8	4.7	55.2
	10	5.86	86.2
	12	7.03	124.6
80	8	6.95	43
	10	8.69	70.6
	12	10.42	96.9
100	8	15.04	47.3
	10	18.04	68.2
	12	29.5	98
125	8	23.4	35.3
	10	28.1	51.4
	12	32.8	68.1
150	8	31.4	20.8
	10	39.4	35.2
	12	54.5	67.5
200	8	58.7	14.0
	10	87.9	29.4
	12	118	61.6
250	8	113.7	16.6
	10	159	20.3
	12	230	29.9

表 D.1（续）

公称直径 mm	流速 m/s	体积流量 m ³ /min	单位长度摩擦阻力 Pa/m
300	8	166	12.5
	10	227	27.2
	12	260	34.9

D.2 CO₂ 输送管道局部阻力系数

CO₂ 输送管道局部阻力系数可根据不同管件分别按表 D.2 和表 D.3 选用。

表 D.2 圆形弯头阻力系数

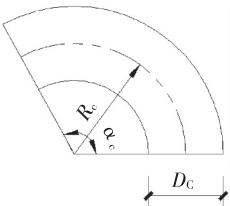
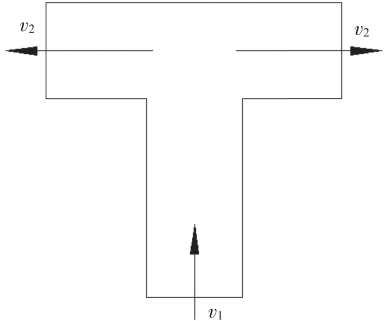
图形	$\alpha_c, ^\circ$	R_c							ζ_c
		D_c	$1.5D_c$	$2.0D_c$	$2.5D_c$	$3D_c$	$6D_c$	$10D_c$	
	7.5	0.028	0.021	0.018	0.016	0.014	0.010	0.008	$\zeta_c = 0.008 \frac{\alpha_c^{0.75}}{n^{0.6}}$ $n = \frac{R_c}{D_c}$
	15	0.058	0.044	0.037	0.033	0.029	0.021	0.016	
	30	0.11	0.081	0.069	0.061	0.054	0.038	0.030	
	60	0.18	0.41	0.12	0.10	0.091	0.064	0.051	
	90	0.23	0.18	0.15	0.13	0.12	0.083	0.066	
	120	0.27	0.20	0.17	0.15	0.13	0.10	0.076	
	150	0.30	0.22	0.19	0.17	0.15	0.11	0.084	
	180	0.33	0.25	0.21	0.18	0.16	0.12	0.092	

表 D.3 直角三通阻力系数

图形							
	v_2/v_1	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6
	ζ_c	1.18	1.32	1.50	1.72	1.98	2.28

参 考 文 献

- [1] GB/T 29148—2012 温室节能技术通则
 - [2] JG/T 299—2010 供冷供热用蓄能设备技术条件
-