

[文章编号] 1000-2782(1999)05-0058-04

加热温室中供热管道位置的确定

李 凯, 王宏丽

(西北农业大学水利与建筑工程学院, 陕西杨陵 712100)

[摘 要] 从辐射传热和对流传热两方面, 对加热温室中供热管道不同位置的热效进行了定量和定性分析, 得出了供热管道的合理位置应该在靠近作物并位于作物高约 $1/4 \sim 1/3$ 处。

[关键词] 加热温室; 辐射传热; 对流传热; 供热管道

[中图分类号] S625.5 [文献标识码] A

随着社会经济的发展, 设施农业在人们日常生活中的作用越来越大。其中, 加热温室的广泛应用, 使人们在严寒的冬季, 能食用到新鲜的蔬菜, 观察到五颜六色的花卉。同时, 温室种植蔬菜和培育花卉, 还能提高蔬菜花卉的品质和产量, 增加经营者的收益。据资料^[1]报道, 温室加热的方式主要有热风加热、热水加热、蒸汽加热以及电加热等。热水加热具有温度均匀稳定、无骤升剧降、无气体污染等优点^[2]。因此, 它不仅是欧洲温室和日本温室的主要加热方式, 也是我国温室普遍采用的加热方式。目前, 有关加热系统中供热管道的水平布置已有研究^[1], 但对供热管道在高度方向上布置的研究很少, 而管道的位置对其传递给作物的热量有较大的影响。同时, 由于供热管道主要是以对流和辐射两种方式向周围环境传递热量, 并且两者约各占总传热的一半^[3]。所以, 本研究拟从对流和辐射两方面分析供热管道应放置的合理高度, 以使供热管道传递给作物的热量最大, 即系统热效最高。

1 仅考虑辐射传热时供热管道的位置

1.1 辐射热传递模型

温室中利用供热管道加热, 主要目的是使作物冠层处于生长的最适温度。本模型选取加热方式为热水供暖, 小直径黑钢管散热。以散热管位于种植床 Z_1 和 Z_2 之间为计算截面, 如图 1 所示。其中, 种植床 Z_1 和 Z_2 之间的截面形状为矩形, 高度为 H , 宽为 B , 管道直径为 d , 放在距地面高 h 和距作物 b 处。管道直径 d 和植株高 H 相比很小。为简化计算, 特作如下假定: 温室在整个长度内种植床完全相同, 则计算截面仅取图 1 所示截面; 靠近种植床 Z_1 的供热管 1 不会阻挡靠近种植床 Z_2 的供热管道 2 的辐射传热; 作物足够密实, 不能透过辐射热; 管道表面、屋顶、地面和作物冠层 Z_1 和 Z_2 的发射率都足够高, 认为都是黑体。

[收稿日期] 1998-02-12

[基金项目] 陕西省科技攻关项目 (98K03-D4)

[作者简介] 李凯 (1964-), 男, 讲师

供热管道以辐射方式传递给温室中各表面(屋顶 w ; 地面 g ; 作物冠层 Z_1, Z_2)的热量, 取决于供热管道与各表面间的辐射角系数。而辐射角系数主要由供热管道所处的位置决定, 因此供热管道的位置决定了通过辐射传递给温室各表面的热量。基于图 1 所示的辐射热传递模型和以上的假定, 应用分析法^[4], 供热管道 2 和周围各表面间的辐射角系数可由下列各式求得:

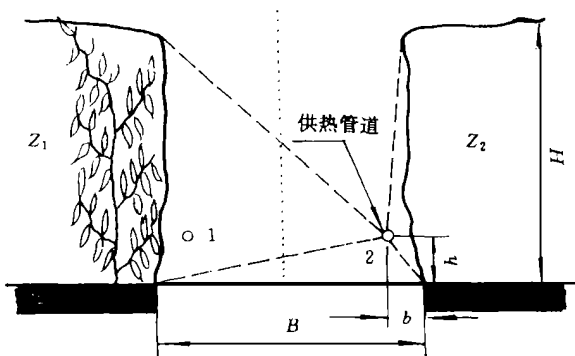


图 1 供热管道布置图

$$h_{p-z_1} = \frac{\arctg[h/(B-b)] + \arctg[(H-h)/(B-b)]}{2\pi} \quad (1)$$

$$h_{p-g} = \frac{\arctg(b/h) + \arctg[(B-b)/h]}{2\pi} \quad (2)$$

$$h_{p-z_2} = \frac{\arctg(h/b) + \arctg[(H-h)/b]}{2\pi} \quad (3)$$

$$h_{p-w} = \frac{\arctg[b/(H-h)] + \arctg[(B-b)/(H-h)]}{2\pi} \quad (4)$$

式中, $h_{p-z_1}, h_{p-g}, h_{p-z_2}, h_{p-w}$ 分别为供热管道 2 与作物冠层 Z_1 , 地面 g , 作物冠层 Z_2 , 屋顶 w 之间的辐射角系数。

因为假定各表面全部为黑体, 所以由供热管道 2 通过辐射方式传递给温室各表面的总热量可由下式^[5]计算:

$$Q = \epsilon_0 \sum_n h_{p-n} (T_p^4 - T_n^4) \quad (5)$$

式中, Q 为包括了供热管道 2 传递给所有表面(屋顶 w ; 地面 g ; 作物冠层 Z_1, Z_2)的辐射热量, h_{p-n} 为供热管道与各表面间的辐射角系数 ($n = Z_1, g, Z_2, w$), T_p 指供热管道的表面温度, T_n 指温室各表面温度, ϵ_0 为斯蒂芬-波尔茨曼系数, $\epsilon_0 = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$ 。

温室加热的目的是供给作物冠层热量, 使其处于生长的最适温度状态。而由供热管道 2 传递给 Z_1 和 Z_2 的辐射热量 Q 为:

$$Q = \epsilon_0 [h_{p-z_1} (T_p^4 - T_{z_1}^4) + h_{p-z_2} (T_p^4 - T_{z_2}^4)] \quad (6)$$

则作物所获得的辐射热效率 Z 为:

$$Z = Q_z / Q \quad (7)$$

从式 (1)~(6) 可以看出, Q 和 Q_z 的大小取决于供热管道所处的位置和其表面温度, 当表面温度确定后, 供热管道位置便成为影响辐射热效率的惟一因素。

1.2 结果分析

植物生长过程的最适温度一般在 $15 \sim 25^\circ\text{C}$, 供热管道热水温度为 $75 \sim 95^\circ\text{C}$ 。本文计算时, 选定矩形截面的宽度和高度相同, 即 $H = B$ 。因为地面温度和空气温度相近, 所以假

设地面温度 T_g 和作物冠层温度 T_2 都为 20°C , 即 $T_g = T_2 = 293\text{ K}$; 屋面温度 t_w 为 10°C , 即 $T_w = 283\text{ K}$; 供热管道的表面温度 t_p 为 85°C , 即 $T_p = 358\text{ K}$. 将上述数据代入 1.1 中的公式分别计算出 $b = 0.1B, 0.2B, 0.4B, 0.5B, 0.6B, 0.8B$ 和 $0.9B$ 时的辐射热效率 Z . 计算结果如图 2 所示

由图 2 可以看出, 无论在距作物多远处, 其最大辐射热率都发生在 $h/H \approx 0.5$, 即 $h = H/2$ 处, 并且在 $b = 0.1B$ 和 $b = 0.9B$ 时, 热效率得到最大值约 0.56 ; 在管道远离作物位于中线位置并靠近屋顶处, 热效率达到最小值约 0.40 . 热效率大表明作物冠层得到的热量多, 这正是供热所要达到的目的. 所以, 仅从辐射传热出发, 供热管道放置的位置, 应是热效率达到最大时管道所在的位置, 即位于靠近作物并处于作物 $H/2$ 处. 另外, 管道放置在这一位置, 还可以避免作物上形成凝结水珠, 消除真菌和细菌生长的条件, 有利于减少作物病害的发生^[6].

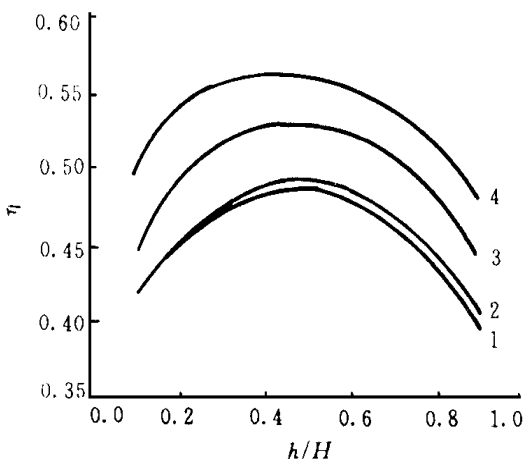


图 2 供热管道 2 的辐射热效率分布图

1. $b = 0.5B$; 2. $b = 0.6B$ 或 $0.4B$;

3. $b = 0.8B$ 或 $0.2B$; 4. $b = 0.9B$ 或 $0.1B$

2 仅考虑对流换热时供热道的位置

如前所述, 供热管道传递热量的另一主要途径是对流传热. 由于冬季采暖的大多数时间内, 温室是封闭的, 故可不考虑外界气流的流入, 并认为温室内空气的流动为自由运动, 供热管道周围空气的运动是由于在对流换热过程中, 温度发生了变化而产生的密度差, 进而产生重力差, 导致气流向上运动.

假定供热管道表面温度为 T_p , 远离管道的空气处于静止状态, 其温度为 t_0 , 显然 $T_p > t_0$, 则靠近管道处被加热的空气向上运动. 远离管道的空气流体速度为零. 小直径圆管周围气流的层流流动的破坏常发生在远离圆管处, 则水平圆管周围层流流动时的平均传热系数 T 可由下式^[7]求得:

$$Nu = 0.5 (Gr \cdot Pr)^{0.25} (Pr / Pr_c)^{0.25} \quad (8)$$

式中, 努谢尔特数 $Nu = T_x \lambda$, T 为对流传热系数, $W/(m^2 \cdot K)$; λ 为导热系数, $W/(m^2 \cdot K)$; x 为定型尺寸 (从开始传热的位置算起, 顺着气流方向的纵坐标), m ; 格拉晓夫数 $Gr = (g \Delta t x^3) / \nu^2$, 其中, g 为重力加速度, m/s^2 ; ν 为容积膨胀系数, $1/K$; Δt 为温差, K ; V 为运动粘度, m^2/s ; 普朗特数 $Pr = (\mu C_p) / \lambda$, μ 为动力粘滞系数, $(N \cdot s) / m^2$; C_p 为定压比热, $(kJ) / (kg \cdot K)$, Pr_c 为供热管道壁的普朗特数.

根据公式 (8) 得, 水平圆管周围空气作自由上升运动时, 对流传热系数在层流流动时沿高度与 $x^{-0.25}$ 成比例地减少; 在流动的过渡区, 放热系数随时间的变化是不稳定的; 紊流流动时放热系数趋于稳定并具有较高的值. 采暖的目的是使作物冠层表面得到最多的

热量,即要使作物冠层表面位置换热系数较大并且较稳定。那么,作物冠层就处于气流的紊流流动区。同时,考虑气流作自由上升运动,热空气从热管道附近开始向上运动。所以,只有将管道设置在靠近地面的位置,才能使作物冠层处于换热系数相对稳定又较大的区域,同时在种植台周围可形成良性热气流。因此,从对流的观点出发,供热管道应放在靠近地面处。供热管道放在地面附近,还具有以下优点:可以减少供热管道直接辐射给屋顶的热量,有利于提高热效率;供热管道能够将较多的热量传递给地面,有利于使作物的根部处于一个较适宜的生长温度。

3 结 语

综上所述,从辐射传热的角度考虑,供热管道应位于靠近作物并处于作物高度的 $1/2$ 处,这时辐射热效率最大;从对流传热考虑,供热管道的竖向位置应靠近地面,这时对流传热量较大,且温室中热气流的分布最理想,但辐射效率却较低。因此,在确定加热温室中供热管道的位置时,只考虑辐射传热或对流传热都欠合理,必须两方面综合考虑。基于以上分析认为,供热管道的合理位置应为靠近作物并处于作物高度的 $1/4 \sim 1/3$ 处。

[参考文献]

- [1] 崔引安主编. 农业生物环境工程 [M]. 北京: 农业出版社, 1994.
- [2] 内海修一著. 保护地园艺, 保护地的构造与设备 [M]. 裕载勋, 赵士杰译. 北京: 农业出版社, 1981.
- [3] 哈尔滨建筑工程学院, 天津大学, 西安冶金建筑学院, 等编. 供热工程 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1987.
- [4] L. 巴赫基著. 房间热微气候 [M]. 傅忠诚, 艾效逸, 王天富, 等译. 北京: 中国建筑工业出版社, 1987.
- [5] 王补宣著. 工程传热传质学 (上册) [M]. 北京: 科学出版社, 1986.
- [6] J. J. 哈南, W. D. 霍利, K. L. 戈德斯贝里著. 温室管理 [M]. 郑光华, 江亦行, 田惠兰, 等译. 北京: 科学出版社, 1984.
- [7] B. 伊萨琴科, B. A. 奥西波娃, A. C. 苏科缅著. 传热学 [M]. 王 丰, 冀守礼, 周筠清, 等译. 北京: 高等教育出版社, 1987.

The optimal location of heating tubes in greenhouse

LI Kai, WANG Hong-li

(College of Water Conservancy and Architectural Engineering, Northwestern
Agricultural University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract The paper analyses the effect of the location of heating tubes in greenhouse from both radiation and convection. An optimal range for the tube location is near the crop and about $1/4 \sim 1/3$ of the crop from the ground.

Key words heating greenhouse; radiative heat transfer; convective heat transfer; heating tubes