

温室传热水道与土壤换热强度影响的数值分析

甄琦, 杜嘉玮, 塔娜, 闫彩霞, 孙云峰

(内蒙古农业大学 能源与交通工程学院, 呼和浩特 010018)

摘 要: 以呼和浩特市某日光温室铺设的传热水道为研究对象, 为提供传热水道在土壤中铺设间距、深度的准确依据, 利用 CFD 数值模拟技术对传热水道在不同供水温度(30、40、50℃)、不同埋管深度(30、40、50cm)、不同管道间距(20、40、50cm)的情况时对温室土壤的换热强度进行研究与分析。结果表明: 埋管深度越深对土壤地面温度影响越小, 管道间距越宽则土壤的温度分布越分散, 使土壤不容易达到温度扩散的饱和值, 管温越高对管道以下的土壤影响越大, 造成资源浪费; 当埋管深度为 30cm、管间距为 20cm 时, 土壤的换热效果最佳。研究结果可为温室传热水道对土壤加热提供理论参考。

关键词: 土壤; 计算流体力学; 传热水道; 换热强度; 日光温室

中图分类号: S625.4

文献标识码: A

文章编号: 1003-188X(2024)09-0257-07

DOI:10.13427/j.cnki.njyi.2024.09.034

0 引言

日光温室的出现满足了北方地区作物生长的需要, 而温室土壤的温度是影响作物生长的主要因素之一^[1]。北方在第一年的 12 月到次年的 1 月地表温度低且伴随着冬季的阴霾、下雪和下雨的天气, 导致大棚作物根系发育不良、生长缓慢, 有时甚至出现冷害、寒害, 影响作物的品质和产量^[2]。国内外研究人员将太阳能应用于日光温室, 以改善室内环境^[3-6]。近年来, 为了适应更特殊的北方天气情况, 改善温室内的空气湿度、温度等环境因素, 人们开始对地温加热进行研究。在国内, 主要通过优化结构改进其保温性及采光性^[7-10]。通过在土壤中添加有机物等方式提高日光温室地温, 借助化学和物理的手段, 更具探索性的改善日光温室内的环境。王志伟等人新疆地区以水泵驱动水循环将白天吸收的太阳热量通过水在夜间传递给深层土壤以保持土壤温度^[11]。温室传热水道的想法最早由国外研究人员提出^[12-14]。国外研究人员通过建立实验田进行验证, 用土壤表面以下管道中循环流动的热水来提高地面温度, 并通过地面均匀地向温室传递热量^[15-17]。Schettini 等人通过 Poly-generation 系统将太阳能装置和一个空气热水泵组

成一个可以提高温室地面温度和空气温度的系统, 得到了适宜农作物生长的培养大棚运行模式^[18]。

上述学者所研究的是温室土壤与空气换热的模式, 但对传热水道与土壤换热具体影响的研究未见报道。为此, 通过模拟呼和浩特温室传热水道不同的埋管间距、埋管深度和供水温度, 采用控制变量法计算流体力学为该地区最佳管道铺设提供理论依据。

1 数理模型及方法

1.1 计算模型的建立

本研究基于内蒙古呼和浩特市某日光温室铺设的传热水道, 用于为冬季日光温室土壤加热, 保持温室內农作物根部温度。根据研究对象及相关研究问题, 将物理模型简化为如图 1 所示模型。

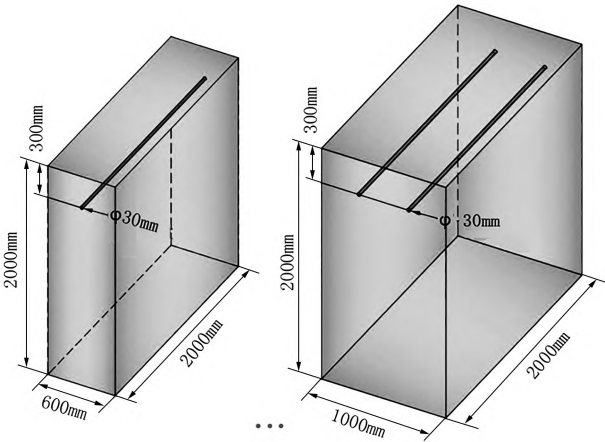


图 1 管道的三维几何模型
Fig.1 3D geometry of a pipe

由于流体在由传热水道入口流入、出口流出的过程中加热土壤, 故该模型主要由管道的进水口、出水

收稿日期: 2022-08-28

基金项目: 内蒙古自治区高等学校科学研究项目(NJZY21487); 国家自然科学基金地区科学基金项目(61663038)

作者简介: 甄琦(1989-), 男, 内蒙古多伦人, 实验师, (E-mail) zhenqi17@imau.edu.cn。

通讯作者: 塔娜(1967-), 女, 内蒙古正蓝旗人, 教授, 博士生导师, (E-mail) jdtan@imau.edu.cn。

口与土壤组成。其物理模型具体尺寸如表 1 所示。

表 1 模型尺寸
Table 1 Model dimensions

序号	项目	单位	参数
1	模型长宽高	mm	600× 2000× 2000(单根管道) 1000× 2000× 2000(两根管道)
2	传热水道直径	mm	30
3	管壁厚度	mm	2

1.2 网格划分及模型处理

图 2 为整体模型与内部网格的细节划分,可选取不同的面进行命名。模型中包括管道和土壤的几何模型,土壤的网格划分类似于四边形,分布均匀的结构化网格,管道的网格划分类似于五边体分布密集的非结构化网格划分,网格数量在 200 万~300 万之间。模型前后左右面都设立为对称面,下表面为绝热面,分别抽取管道的流体域,即抽取液态水流体域如图 2 虚线框内的区域,对流体域的进口与出口进行重新命名。

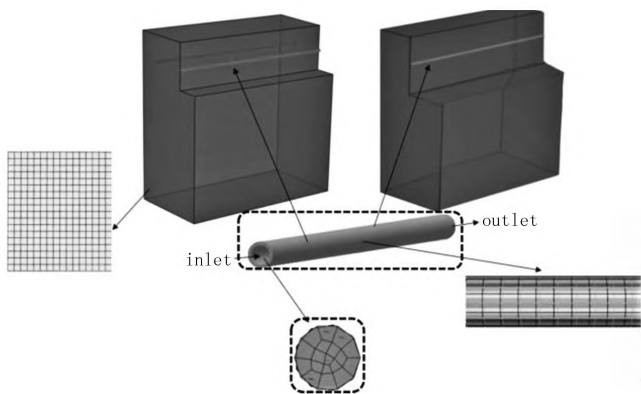


图 2 流体域及网格划分

Fig.2 Fluid domain and meshing

1.3 数学基本方程与多孔介质数学模型

1.3.1 基本方程

对于复杂的流体情况,其流动均满足热力学第一定律、牛顿加速度定律、质量守恒定律 3 个基本的物理技术原理。文中主要涉及到的方程有热传导控制方程、能量守恒方程及动量守恒方程;还应考虑到流体-管壁-土壤层具有热传导过程或具有可压缩性的流体流动。

热传导控制方程为

$$\rho c \frac{dT}{dt} = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \tag{1}$$

式中 ρ —土壤密度(kg/m³);

c —土壤比热容(J/kg·℃);

T —温度(℃);

t —时间(s)。

能量守恒方程为

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \nabla \cdot [U(\rho E + p)] = \nabla \cdot (k_{eff} \nabla T - \sum_f hJ + \tau_{eff} U) + S_h \tag{2}$$

式中 E —流体微团的总能(J/kg);

p —流体微元体上的压强(Pa);

U —速度矢量(m/s);

k_{eff} —有效热传导系数[W/(m·℃)];

h —组分的焓(J/kg);

J —组分的扩散通量[kg/(m²·s)];

τ_{eff} —黏性耗散系数(N·s/m²);

S_h —化学反应热及其他体积热源项(kJ/mol)。

动量守恒方程为

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u U) &= F_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \\ \frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho v U) &= F_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} \\ \frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho w U) &= F_z - \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} \end{aligned} \tag{3}$$

式中 u, v, w — x, y, z 方向的速度分量(m/s);

F_x, F_y, F_z — x, y, z 方向的质量力(m/s²);

$\tau_{xx}, \tau_{yy}, \tau_{zz}$ —因分子黏性作用而产生的作用在微元体各个表面上的黏性应力(Pa)。

1.3.2 多孔介质数学模型

土壤的换热模型为多孔介质数学模型。Wietsma 认为土壤内部还有水分渗透与植物蒸腾作用将土壤设置为多孔介质的湿热非饱和模型,最后的结果具有更好的准确性^[17]。

土壤的密度为 $\rho = 1820\text{kg/m}^3$,将土壤看作相同介质孔隙相同的物质,则孔隙率为

$$\varepsilon_* = \frac{v_f}{v} \times 100\% \tag{4}$$

式中 v_f —流体所占据的空间体积(m³);

v —多孔介质的总体积(m³)。

渗透率为多孔介质中孔隙的开度与孔隙的衡量,指多孔介质传到流体的能力^[18],可由 Kozeny-Carman 公式计算得

$$K_d = cd^2 \tag{5}$$

$$c = \frac{\varepsilon_*^3}{150 \times (1 - \varepsilon_*)^2}$$

(6)

惯性阻力修正系数为

$$C_f = 1.75 / (\sqrt{150} \varepsilon_*^{3/2})$$

(7)

式中 c —形成因子;
 ε_* —孔隙率;
 d —颗粒平均直径(m);
 C_2 —惯性阻力系数(m^{-1}), $C_2 = C_f / \sqrt{c}$ 。

1.3.3 距离无量纲化

为了能够应用数学来描述管道的换热现象,用同样的单位来度量一个物理量的长度。利用无量纲公式将不同方向的距离转化了 0~1 的值,则有

$$X = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}$$

(8)

式中 $X_{\max}$ —距离的最大值(m);
 $X_{\min}$ —距离的最小值(m);
 X_i —管道任意方向上的距离(m);
 X —计算所得的 0~1 的无量纲距离。

1.4 物性参数设置

1.4.1 土壤及管道材料物性参数

以内蒙古呼和浩特市土默特左旗内蒙古农业大学海流图园区的日光温室大棚实验基地的地暖管道建立传热模型,根据当地的土壤的分析并假设土壤每一处的物性参数相同。管道选用材料是聚氯乙烯该管道 (polyvinyl chloride pipe, PVC), 参数来源于 GB 50176-016《民用建筑热工设计规范》,研究所需参数如表 2 所示。

表 2 土壤和 PVC 物性参数
Table 2 Soil and PVC physical properties parameters

材料	导热系数 / $\text{W} \cdot (\text{m} \cdot ^\circ\text{C})^{-1}$	比热容 / $\text{J} \cdot (\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})^{-1}$	密度 / $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	壁厚 /mm
PVC	2.2×10^{-1}	1.0049×10^3	1.42	3
土壤	1.65	1.2×10^3	1.82	—

1.4.2 求解器及算法设置

采用 CFD 数值求解器对管道与土壤的换热进行数值模拟计算,近壁面处理选择标准壁面函数,压力速度耦合采用 SIMPLE 算法。进口边界条件总压力为 0Pa,收敛残差设置为 10^{-6} ,土壤上表面与管道壁面为热相关边界条件对流面,下表面为热相关边界条件温度面。

1.4.3 模拟运行参数

按照研究思路,模型建立好后设置土壤的温度场、传热热阻分析及埋管的变量条件等,具体参数如表 3 所示。

表 3 模拟运行参数
Table 3 Simulate the running parameters

名称	单位	参数
供水温度	$^\circ\text{C}$	30 (40, 50)
管道与水对流换热系数	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	0.618 (0.633, 0.648)
土壤与空气对流换热系	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	6
温室内空气温度	$^\circ\text{C}$	6
绝热面温度	$^\circ\text{C}$	13
速度入口流速	m/s	0.25
埋管深度	mm	300, 400, 500
埋管间距	mm	200, 400, 500

1.5 网格无关性验证

为了同时满足计算结果的准确性与节约计算资源的要求,进行了网格无关性验证,数值模型的网格数依次为 0.2 万、1 万、20 万、32 万、150 万、244 万。以地表温度作为响应值(见图 3),当网格数达到 150 万时,数值计算获得的地表温度基本保持不变;继续增加网格数量达到 244 万时,地表温度变化误差为 0.37%,可以认为能够满足网格无关性的要求。因此,最终选取的网格尺度与 150 万网格相同。

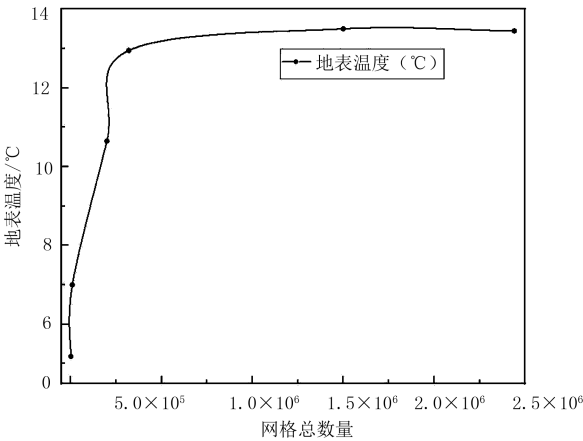


图 3 网格无关性验证

Fig.3 Surface temperatures for different mesh numbers

1.6 数值方法的验证

为了验证本文所使用数值方法的准确性,依照文献[16]中涉及的不同供风温度试验与模拟结果,使用本文方法进行验证,结果如图 4 所示。

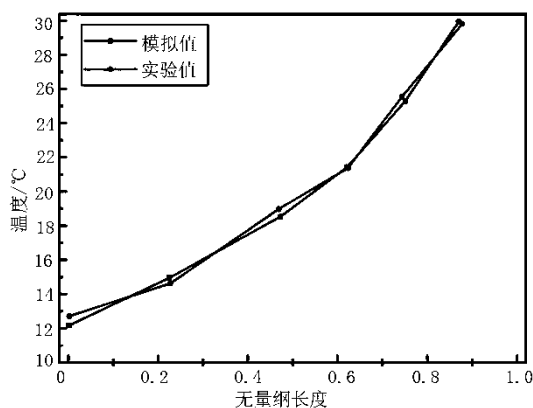
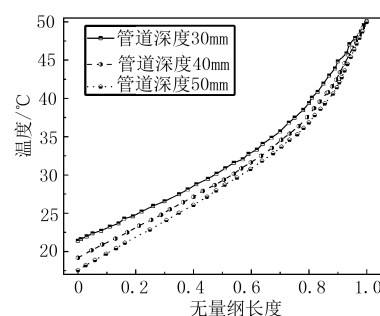
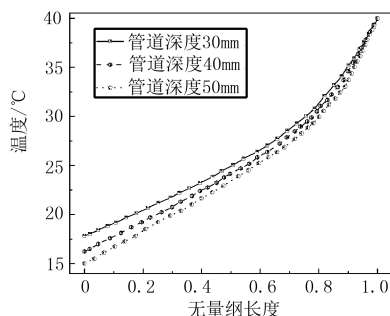
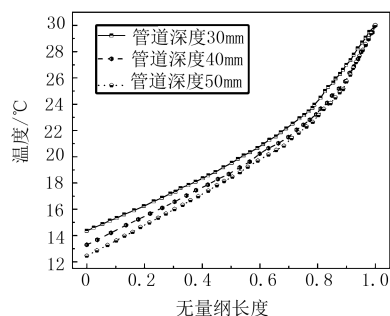


图 4 相同供水温度下的温度对比图

Fig.4 Temperature coordinate plot at the same water supply temperature

由图 4 可知:实际测量的温度与模拟的温度,平均误差约 0.6℃,最大相差 0.9℃,误差不超过 6%,验证了



(a) 供水温度 30℃ 不同管道埋深下的温度分布 (b) 供水温度 40℃ 不同管道埋深下的温度分布 (c) 供水温度 50℃ 不同管道埋深下的温度分布

图 5 相同供水温度下不同管道埋深的温度分布情况

Fig.5 Temperature distribution of different pipe burial depths under the same water temperature

2.2 不同的埋管间距对土壤换热的影响

不同的管间距对土壤的温度分布有明显差异(见图 6~图 8)。由图 6 可看出:当管间距为 20cm 时,随着温度的升高管道上方 13~14℃ 温度区间逐渐消失,14~16℃ 的温度区间面积逐渐减小,对地面温度影响大;24~26℃ 区间的温度分布较近类似凹下去的长条状,随着温度的升高凹凸的弧度变缓,整体温度分布均匀。

由图 7 可看出:管间距为 40cm 时,随着温度的升高管道上方 14~16℃ 的温度区间逐渐消失,且此时地表温度分布更平滑;24~26℃ 区间的温度分布依旧类似凹下去的长条状,但相较于间距为 20cm 时凹凸的弧度更大,管道与管道之间影响略微减小,温度分布略微的不均匀。

由图 8 可看出:当管间距为 50cm 时,地表温度区间虽然没有随着温度升高发生剧烈的改变,但整体温度分布平滑均匀。当供水温度为 30℃ 时,24~26℃ 区间类似于两个球状且相互之间几乎不受到彼此影响;当供水温度为 40℃ 时,该区间的形状类似于两个椭球状,但相互之间略微受到彼此影响;当供水温度为

依据本数值方法计算的正确性。

2 模拟结果分析

2.1 不同管道深度对土壤换热的影响

由图 5 可看出:土壤的温度从坐标原点(地面的位置)到 x 轴 1.0 处(管道中心处的位置)呈先缓后急的非线性变化且无大量的交点,可以得出温度在土壤中传递的快慢不会随着温度的升高而变化;埋管深度为 30cm 与埋管深度为 40cm 的温度差约为 1℃,埋管深度 40cm 与埋管深度 50cm 的温度差约为 0.5℃,差值的变小意味着土壤逐渐趋于饱和温度再提高供水温度对土壤的影响小。因此,当埋管深度为 30cm 时,可以使土壤地表温度得到很好的改善。

50℃ 时该区间连成一片眼镜状,管道与管道之间密集彼此之间影响较大。整体管道间距为 50cm 时温度分布不均匀。

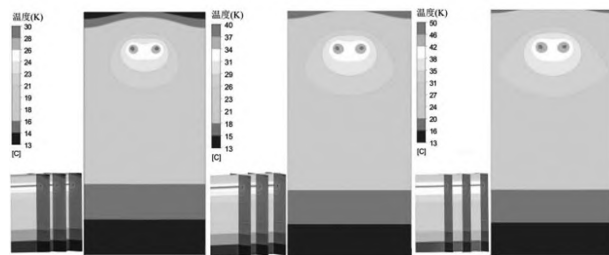


图 6 管间距为 20cm 的温度云图

Fig.6 Temperature cloud map with tube spacing of 20cm

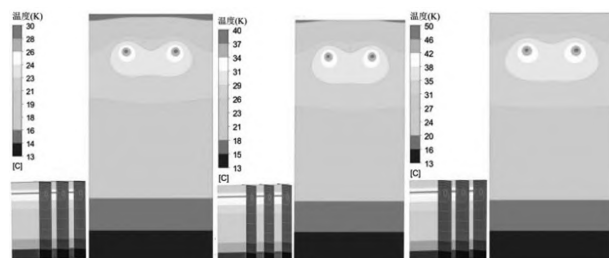


图 7 管间距为 40cm 的温度云图

Fig.7 Temperature cloud map with tube spacing of 40cm

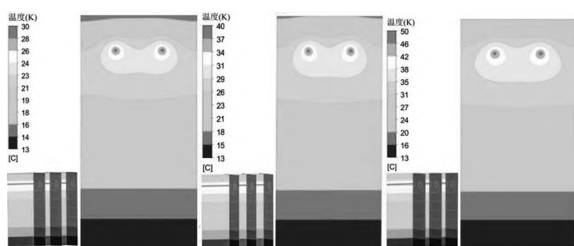
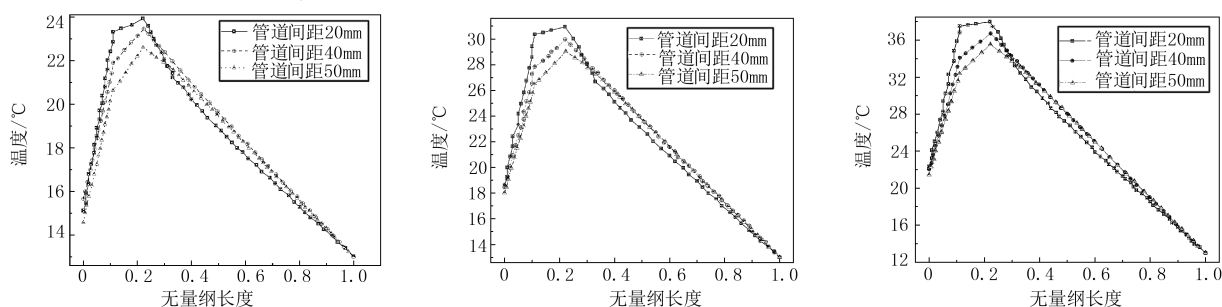


图 8 管间距为 50cm 的温度云图

Fig.8 Temperature cloud map with tube spacing of 50cm

为了便于分析,将同一供水温度不同管间距的两管中点的竖直方向上的坐标放置在一个坐标系下进行分析对比,选择供水温度为 30、40、50℃,如图 9 所示。

通过不同管道间距相同供水温度下提取的温度可



(a) 供水温度 30℃ 不同管道间距下的温度分布 (b) 供水温度 40℃ 不同管道间距下的温度分布 (c) 供水温度 50℃ 不同管道间距下的温度分布

图 9 相同供水温度下不同管道间距的温度分布情况

Fig.9 Temperature distribution of different pipe spacing at the same water temperature

2.3 不同供水温度对土壤换热强度的影响

图 10 为埋管深度为 30cm,供水温度分别为 30、40、50℃的三维温度云图和正向温度截取的云图。由图 10 可看出:随着温度的上升,地表温度随之升高,供水温度由 30℃ 升高到 50℃ 时地表温度变化明显,13~16℃ 温度区间消失取而代之的是逐渐变为 20~24℃ 的温度区间;随着温度的升高地表温度的温度区间均发生了阶段性的明显变化,可以初步得出埋管深度为 30cm 时随着供水温度的升高对土壤的换热影响不会受到限制。

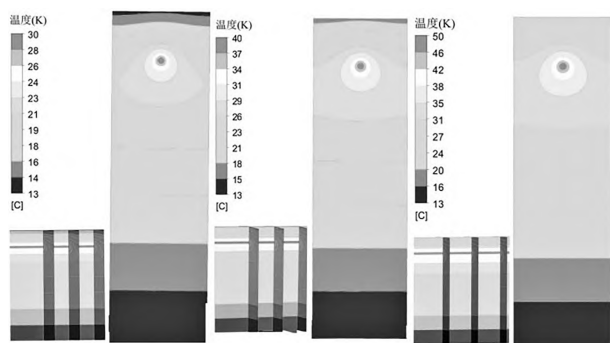


图 10 埋管深度为 30cm 的温度云图

Fig.10 Temperature cloud map of the buried tube depth of 30cm

当埋管深度为 40cm,供水温度分别为 30、40、50℃ 时的正向温度对比云图,如图 11 所示。由图 11

以看出:当间距为 20cm 时对土壤的升温显著,当间距为 40cm 时对土壤的升温影响小,当间距为 50cm 时所升高温度的效果反而下降,说明间距越大地表温度越低。通过相同供水温度、不同管道间距下提取的温度可以看出:间距为 20cm 时,对管道下土壤的影响略小于间距为 40cm 和 50cm。图 9 中,温度变化速率出现变化的原因是土壤的热导率低导致热阻的增加,从而使得温度传递困难,对土壤影响小的原因,是管间距窄,影响的面积小温度分布集中使得土壤的温度传递更快地饱和。当间距为 20cm 时,管道以上的土壤温度更快地趋于稳定,再一次证明了当管道间距为 20cm 时比 40cm 和 50cm 更好地使土壤温度集中不分散。

可看出:当埋管深度为 40cm 时,供水温度由 30~40℃ 时对地面的温度影响较为明显,温度区间由 13~14℃ 的区间变为 14~16℃ 的区间,但当供水温度变为 50℃ 时温度值改变了 14~16℃ 温度区间的厚度对温度的区间没有发生变化;对比埋管深度为 30cm 时温度增长相同的值,地表温度没有增长相同的温度区间。

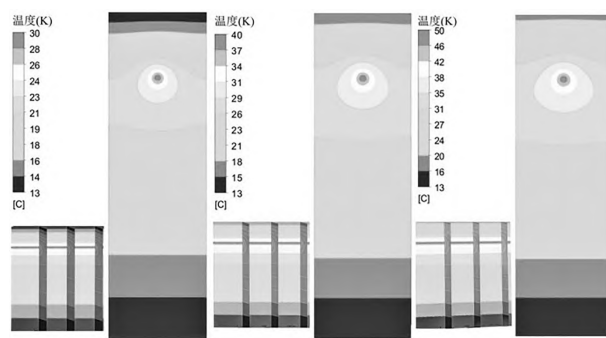


图 11 埋管深度为 40cm 的温度云图

Fig.11 Temperature cloud map of the buried tube depth of 40cm

图 12 为埋管深度为 50cm 时供水温度分别为 30、40、50℃ 的正向温度云图。由图 12 可看出:供水温度由 30℃ 增长为 40℃ 时,地表的温度区间依旧在 12~14℃ 的区间,唯一改变的只有该区间的厚度;对比埋管深度 30cm 和埋管深度 40cm,可以初步认为当埋管深度为 50cm 时管道的热量对地面的影响程度逐渐最

低。

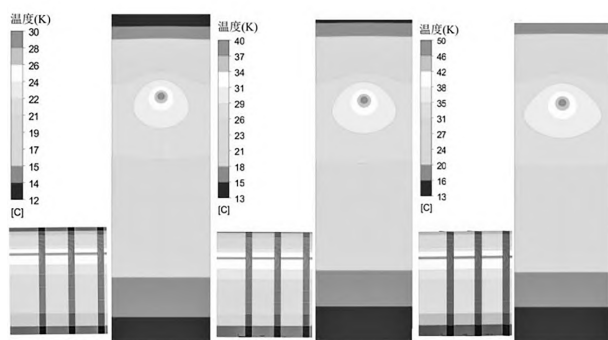


图 12 埋管深度为 50cm 的温度云图

Fig.12 Temperature cloud map of the buried tube depth of 50cm

由图 10~图 12 可看出:温度越靠近管道其温度影响越大,但整体而言温度在纵向上的扩散呈现上薄下深的类似于椭圆形的趋势,随着管道的埋管位置逐渐远离地表,管道温度对地面的影响逐渐减弱,温度也随之降低;当温度扩散到土壤以下某一区域时温度对土壤的影响可以忽略不计,管道温度对土壤本身环境的影响减弱。

3 结论

1) 运用 CFD 数值计算技术针对日光温室内传热水道进行的研究,旨在为传热水道的最佳埋管方式提供理论参考。

2) 在呼和浩特地区的日光温室最佳埋管方式是埋管深度为 30cm,埋管间距为 20cm。研究表明:传热水管对土壤的影响显著;管道对土壤的温度扩散图形均可以看成上薄下厚的椭球形分布形式;管道埋管深度越深对地表土壤影响越小;如果管道埋管间距越窄对土壤温度影响也越集中,相同温度下地表温度也越高。

参考文献:

- [1] 于威,王铁良,刘文合,等.日光温室地中热水管加温对土壤温度的影响[J].沈阳农业大学学报, 2014(6): 321-325.
- [2] 白义奎,迟道才,王铁良,等.日光温室燃池-地中热交换系统加热效果的初步研究[J].农业工程学报, 2006(10): 178-181.
- [3] A JUSTYNA. Analysis of the use of radiant floor heating as a cooling system[J]. Proceedings, 2019(1): 22-23.
- [4] D HUAN, M Z LIU, H ZHANG. Heat transfer research of a new type of radiant floor heating system[J]. Heat transfer engineering, 2020(18): 1626-1641.
- [5] 于威,王铁良,刘文合,等.太阳能土壤加热系统在日光温室土壤加温中的应用效果研究[J].沈阳农业大学学报, 2010(2): 190-194.
- [6] 曹文龙,程希.太阳能水源热泵系统在日光温室中的应用效益分析[J].农业科学与装备, 2010(4): 38-40.
- [7] 张媛,贾永博,王铁拳.基于 CFD 的会议室内环境的模拟研究[J].山东化工, 2018(47): 124-129.
- [8] 张莹,刘文合,于威,等.东北型日光温室太阳能辅助加热系统试验研究[J].水利能源科学, 2010(3): 158-160.
- [9] 宋樱.日光温室太阳能地温加热系统设计[J].农业工程, 2014(4): 38-40.
- [10] 金蕾.浅谈管道埋深对供热直埋热水管道设计的影响[J].科技论坛, 2016(11): 61.
- [11] 王志伟,李明,刘文科,等.南疆沙漠日光温室水幕即热-地暖加热系统优化设计研究[J].温室装备, 2020(19): 42-46.
- [12] 刘红,阮灵伟,蒋兰芳,等.基于 Ansys 的热板温度场模拟于优化设计[J].模具工业, 2010(9): 18-21.
- [13] 商福民,张永. Ansys 有限元分析系统在数值传热中的应用[J].长春工程学院学报, 2004(5): 18-20.
- [14] 裴先文,张会永.库尔勒市日光温室地下补温技术及高产高效栽培模式[J].北方园艺, 2010(1): 81-82.
- [15] M PAVOL, K ANDREJ. Experimental verification of CFD simulation when evaluating the operative temperature and mean radiation temperature for radiator heating and floor heating[J]. Processes, 2021, 9(6): 421-425.
- [16] J Y LV, W F KONG, B HAN. Design of intelligent green house management and system[J]. International core journal of engineering, 2021: 230-232.
- [17] 李静,杜震宇,田辉芳.日光温室土壤空气换热器土壤温度场的试验研究[J].太阳能学报, 2021(42): 375-380.
- [18] E SCHETTINI, G PUGLISI, F CONVERTINO, et al. Greenhouse localized heating power ed by apoly generations system[J]. Journal of agricultural engineering, 2021: 1205.
- [19] 焦巍.寒旱区典型双层膜日光温室土壤-作物-环境水热系统试验与模拟研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学, 2016: 48-51.
- [20] 周源.基于多孔介质理论的马铃薯堆内部温度特性的试验与模拟研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学, 2016: 26.
- [21] 鲍恩财,张勇,曹晏飞,等.不同材质传热风道性能及徐热土壤温度场 CFD 模拟[J].农业工程学报, 2018(4): 232-238.

Numerical Analysis of the Influence of Solar Greenhouse Heating Channels and Soil Heat Transfer Intensity in Cold and Arid Areas

Zhen Qi, Du Jiawei, Ta Na, Yan Caixia, Sun Yunfeng

(College of Energy and Transportation Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China)

Abstract: Taking the hot water channel laid in a solar greenhouse in Hohhot as the research object, in order to provide an accurate basis for the spacing and depth of the water channel in the soil, this paper uses CFD numerical simulation technology to study and analyze the heat transfer strength of the greenhouse soil at different water supply temperatures (30°C , 40°C , 50°C), different buried pipe depths (30cm, 40cm, 50cm), and different pipe spacing (20cm, 40cm, 50cm). The results show that the deeper the depth of the buried pipe, the smaller the impact on the soil ground temperature, the wider the pipe spacing, the more dispersed the temperature distribution of the soil, so that the soil is not easy to reach the saturation value of temperature diffusion, and the higher the pipe temperature, the greater the impact on the soil below the pipeline, resulting in a waste of resources. When the buried pipe depth is 30cm and the pipe spacing is 20cm, the heat exchange effect on the soil is the best, which provides a theoretical reference for the greenhouse water channel to heat the soil.

Key words: soil; computational fluid dynamics; hot water channel; heat transfer intensity; solar greenhouse

(上接第 256 页)

Abstract ID:1003-188X(2024)09-0253-EA

Research on Control System of Picking Robot Based on Machine Learning

Liu Chaomin

(School of Information Engineering, Zhengzhou College of Finance and Economics, Zhengzhou 450000, China)

Abstract: It first analyzes the kinematics of the picking robot, then introduces the machine learning algorithm and its application. Finally, it designed a path planning system for the picking robot based on the Q-learning algorithm, which realizes the motion control of the picking robot. MatLab simulation experiment shows that the picking robot can complete path planning independently after carrying Q-learning algorithm machine learning algorithm, and it can successfully avoid obstacles in the environment. The planned path is optimal with good smoothness, which proves the effectiveness and feasibility of the algorithm.

Key words: picking robot; machine learning; Q-learning algorithm; path planning; motion control