

日光温室钢架组合墙体结构研究

宋 丹¹, 王宏丽¹, 李 凯², 马江伟¹, 许红军¹

(1. 西北农林科技大学 园艺学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要:墙体作为日光温室的主要承重构件,对温室的结构安全稳定至关重要。现提出了一种适于日光温室的新型钢架组合墙体结构,研究了该墙体的结构承力和稳定性分析方法。并以目前温室中常用的几种规格的矩形钢管作为梁和立柱,对其结构性能进行了计算比较。结果表明:以 80 mm×120 mm×3.0 mm 的矩形钢管为梁、150 mm×150 mm×5.0 mm 的矩形钢管为立柱的组合结构是安全又经济的结构构件。

关键词:日光温室;钢架组合墙体;结构性能

中图分类号:S 626.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2013)03-0052-04

墙体作为日光温室的重要组成部分,除蓄积太阳辐射产生的能量、阻挡热量向室外散失外,还是主要的承重结构。日光温室的受力是将屋面荷载通过桁架传递给墙体,再通过墙体传给基础和地基。目前日光温室的主要墙体有砖墙、土墙、砖土混合墙等类型,由于其具有取材方便、造价低廉的优点,我国已建的日光温室大多采用这几种结构。但砖墙和土墙由于导热系数大,在寒冷地区需通过加大厚度来增加墙体的热阻和蓄热能力,所以降低了土地利用效率;为保护耕地的目的,红砖也逐渐被禁用;土墙的耐水性差,使用寿命很短,尤其是在多雨地区,耐久性更差。这些缺陷严重影响了传统墙体日光温室的正常生产和稳定生产,同时增加了维护和生产成本。随着温室高产值作物的不断种植,寻求保温性能

好、更坚固耐用的日光温室结构形式,就成为提高温室生产安全性的必然选择。该研究提出了一种日光温室钢架组合墙体的建造方法,并对其结构的强度和稳定性进行分析,选出了满足温室荷载要求且经济性较好的结构组成构件。

1 墙体结构设计

如图 1 所示,日光温室墙体结构由内而外依次为 200 mm 厚蓄热板,300 mm 厚空气层,200 mm 厚聚苯乙烯彩钢板。墙体在长度方向每隔 3 600 mm 设置 1 个立柱,各相邻立柱由架设在立柱上的梁连接,立柱间的桁架由梁支撑;温室拱间距为 1 200 mm,每段梁支撑 2 个桁架荷载。立柱及梁均设置在墙体空气层内,并采用方矩钢管结构制作安装。

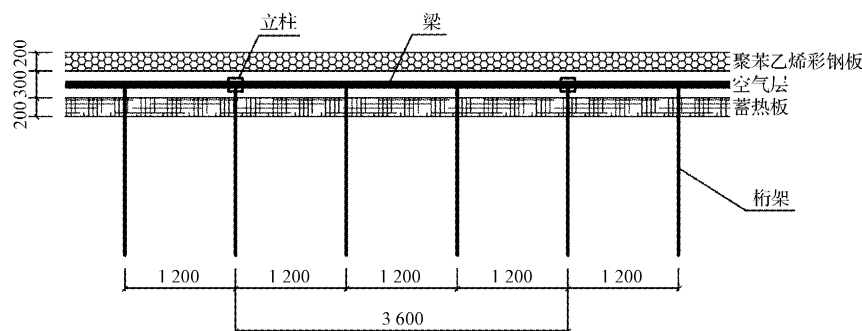


图 1 日光温室墙体结构示意图

Fig. 1 Diagram of solar greenhouse wall structure

第一作者简介:宋丹(1988-),男,在读硕士,现主要从事温室结构和环境方面的研究工作。E-mail:baomuzhou@163.com.

责任作者:李凯(1964-),男,硕士,副教授,现主要从事建筑材料研究工作。E-mail:likaixn@126.com.

基金项目:国家公益性行业(农业)科研专项资助项目(201203002);陕西省科技统筹创新工程计划资助项目(2011KTDZ02)。

收稿日期:2012-10-18

该组合墙体安装方便、施工简单,耐久性好。以梁和立柱为墙体的承重结构,以彩钢板、空气层和蓄热板为墙体的保温蓄热部分。空气层和聚苯乙烯板由于导热系数小可以增加墙体热阻,减少热量散失;蓄热板由自制相变材料构成,具有潜热密度大、蓄热性能好的特点^[1-2],能够增加墙体蓄热能力,保证日光温室内温度环境的稳定。

2 墙体结构计算分析

验证墙体结构的强度和稳定性首先要确定日光温室的荷载。该日光温室的设计参数为长度 50 m, 跨度 8 m, 后墙高 2.3 m, 后坡水平投影 1.2 m, 后坡仰角 42°。

2.1 荷载组合的选择

为了准确验证墙体的可靠性, 需要按照最不利情况下荷载的分布, 确定荷载组合。通常, 计算最大雪荷载和最大风荷载时认为二者不会同时发生, 因此, 该试验分析了雪荷载和风荷载不同时的组合; 由于下雪时不进行施工, 因此雪荷载和施工荷载也不同时组合^[3]。因此, 日光温室最不利的荷载组合为: $G+Q+W_s+V+K+q$ 。其中, G 为恒荷载, 包括骨架自重及后坡重; Q 为保温被及薄膜重; W_s 为风荷载; V 为作物荷载; K 为人重荷载; q 施工荷载。

现以陕西关中地区为例, 取风荷载为 0.3 kN/m^2 ; 根据 8 m 跨日光温室钢骨架每 667 m^2 用钢量 3 400 kg, 计算得出单位水平投影面积骨架自重为 0.051 kN/m^2 ; 由后坡的组成结构 SBS 防水卷材和 100 mm 厚菱镁保温板的物理参数, 计算得出后坡重为 1.13 kN/m^2 ; 保温被及薄膜重取 0.017 kN/m^2 ; 作物荷载以室内种植西红柿、黄瓜等为参考取值为 0.15 kN/m^2 ; 人重荷载取值为 1 kN ; 施工荷载根据实际情况取 0.7 kN/m^2 。

2.2 墙体受力计算

荷载总值通过可变荷载效应控制的组合计算公式^[4]计算。
$$U = \gamma_G U_{GK} + \gamma_{Q1} U_{Q1K} + \sum_{i=2}^n \gamma_{Qi} \psi_i U_{QiK} \dots \dots$$

(1), 式中, U 为荷载效应组合的设计值; γ_G 为永久荷载的分项系数, 其效应对结构有利时取 1.0, 反之取 1.2; γ_{Qi} 为第 i 个可变荷载的分项系数, 取值 1.4; U_{GK} 为按永久荷载标准值计算的荷载效应值; U_{Q1K} 为按可变荷载标准值计算的荷载效应值, 其中, U_{Q1K} 为诸可变荷载效应中起控制作用者, 这里轮次以各可变荷载效应为 U_{Q1K} ; ψ_i 为可变荷载 Q_i 的组合值系数, 风荷载时取 0.6, 其它荷载取 0.7; n 为参与组合的可变荷载数。

对日光温室进行受力分析^[3], 并通过以上荷载组合和式(1)计算得出最不利荷载组合下单个桁架对墙体产生的最大水平推力 $H=3.8 \text{ kN}$, 以及该荷载组合下的竖向力 $P=5.4 \text{ kN}$ 。

由于 1 个立柱承载 3 个桁架的作用力, 因而 1 个立柱承受的最不利荷载组合下的最大水平推力 $H_{\text{立柱}} = 3.8 \text{ kN} \times 3 = 11.4 \text{ kN}$, 竖向力 $P_{\text{立柱}} = 5.4 \text{ kN} \times 3 = 16.2 \text{ kN}$ 。

2.3 墙体受力强度及稳定性验算

由于新型墙体主要通过梁和立柱承重, 因而立柱和梁的强度和稳定性决定了墙体结构的强度和稳定性。立柱作为受压构件, 需要对其抗压强度、受压稳定性、抗

弯强度进行验算, 计算值不宜超过其容许值。而对于一般荷载作用下的梁, 弯矩对强度的影响要比剪力的影响大得多, 因此对梁进行强度计算主要是限制弯矩引起的最大正应力不得超过允许用数值, 即对抗弯强度进行数值验算; 由于弯曲变形将引起梁的截面发生位移, 对梁的挠度进行数值验算可以确定其受力稳定性^[5]。

2.3.1 梁的受力验算 对梁的受力分析需要分别从抗弯强度和挠度等方面进行, 梁的受力可简化为如图 2 的形式, 图中 F 为单个桁架施加给梁的竖向荷载。抗弯强度验算: 根据荷载作梁的弯矩图 3 可知, 2 个荷载施加位置之间段出现最大弯矩 $M_{\text{max}} = F \cdot x$, 则该段截面内出现最大正应力, 计算公式: $\sigma_{\text{max}} = \frac{|M_z|_{\text{max}}}{W} = \frac{F \cdot x}{W} < [\sigma] \dots \dots (2)$, 其中, F 为最不利荷载组合下单个桁架施加的竖向力, $F=H=5.4 \text{ kN}$; 根据弯矩图 x 取值为 1.2 m; W 为截面抵抗矩, m^3 ; $[\sigma]$ 为梁的抗弯强度, Q235 薄壁型钢取值 205 MPa。稳定性验算: 挠度 W_{max} 是结构构件的轴线由于弯曲引起垂直于轴线方向的线位移, 根据规范, 梁的挠度不应大于其容许值 $l_d/400$ 。挠度计算公式: $W_{\text{max}} = \frac{F \cdot x}{24E \cdot I} (3l_d^2 - 4x^2) \dots \dots (3)$, 式中, l_d 为梁的长度, mm; I 为立柱的截面惯性矩, cm^4 ; E 为钢的弹性模量, 对于工程用结构钢, $E=210000 \text{ N/mm}^2$ 。

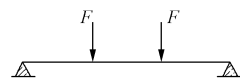


图2 梁受力示意图

Fig. 2 Beam stress schematic diagram

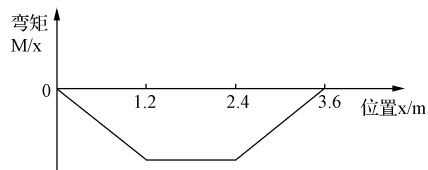


图3 弯矩图

Fig. 3 Bending moment diagram

2.3.2 立柱的受力验算 立柱的受力验算主要包括 3 个方面: 抗剪强度、抗压强度和抗弯强度^[5]。抗剪强度验算: 受压构件的抗剪强度通过构件的长细比 $[\lambda]$ 进行评价, 长细比不宜超过《钢结构设计规范 GB 50017-2003》中规定的容许值, 即 $[\lambda] < 130 \sqrt{235/f_y}$ (f_y 为钢材的抗剪强度)。由 Q235 薄壁型钢的抗剪强度为 120 MPa, 计算出立柱的容许长细比 $[\lambda]=182$ 。方矩钢管长细比的计算公式: $\lambda = \frac{l_0}{i} = \frac{l_0}{\sqrt{I/A_n}} \dots \dots (4)$, 式中, l_0 为立柱长度, 取值为 230 cm; i 为回转半径, cm; A_n 为净截面面积, cm^2 。抗压强度计算: 立柱作为轴心受压构件, 抗压强度

按式(5)计算。 $\sigma = \frac{N}{A_n} \leq f$(5),式中, N 为轴心压力值, N ; f 为材料的抗压强度设计值,Q235薄壁型钢取值205 MPa。立柱的受压稳定性按公式: $\frac{N}{\varphi A_n} \leq f$(6),式中, φ 为轴心受压构件的稳定系数,根据长细比的计算值查表可知。抗弯强度验算:立柱顶端所承受的桁架水平推力对立柱影响很大,主要使立柱受弯,需对抗弯强度进行验算。根据结构计算理论,抗弯强度计算公式: $\sigma_{\max} = \frac{|M_z|_{\max}}{W} < [\sigma]^+$(7),式中, $|M_z|_{\max}$ 为荷载产生的最大弯矩, $\text{kN} \cdot \text{m}$; W 为截面抵抗矩, m^3 ; $[\sigma]^+$ 为立柱构件的抗弯强度设计值,MPa。截面抵抗矩 W 是只截面对其形心轴截面惯性矩 I 与截面上最远点至形心轴距离 y_{\max} 的比值,由此计算出立柱底端所受的最大弯矩为 $M_{\max} = 11.4 \text{ kN} \times 2.3 \text{ m} = 26.22 \text{ kN} \cdot \text{m}$ 。

2.3.3 计算结果及分析 将温室建设中常用的5种规格

格的方矩钢管分别作为梁结构并对其进行结构计算。由表1可知,不同规格的方矩钢管作为梁的抗弯强度和挠度值均不同。5种不同的梁结构中仅有梁IV、梁V的抗弯强度和挠度可以满足荷载需求,考虑到经济因素,在长度相同的情况下,净截面面积决定构件的成本,净截面面积越小,构件成本越低;从净截面面积上可以看出,梁IV在满足荷载需求的同时比梁V的成本更低,因而梁IV(80 mm×120 mm×3.0 mm)为较合理的选择。根据钢密度 $\rho_{\text{钢}} = 7.85 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 计算可知单根梁重 $N_{\text{梁}} = 0.189 \text{ kN}$,由于立柱同时承受拱架和梁的竖向力,因而立柱所受轴心压力 $N = P_{\text{立柱}} + N_{\text{梁}} = 16.389 \text{ kN}$ 。将温室建设中常用的5种规格的方矩钢管分别作为立柱并对其进行结构计算。由表2可见,5种规格的立柱结构中仅有立柱IV、V可以保证日光温室的结构强度及稳定性。同时考虑经济因素,从净截面面积上可以看出,立柱IV(150 mm×150 mm×5.0 mm)作为日光温室墙体的立柱结构更为合理。

表1 梁的结构计算结果

Table 1 Results of structure calculation of different beams

梁	I		II		III		IV		V	
	计算值	容许值	计算值	容许值	计算值	容许值	计算值	容许值	计算值	容许值
抗弯强度/MPa	2 781.2	205	834.8	205	464.1	205	163.1	205	64.7	205
挠度/mm	121.49	9.00	21.94	9.00	7.62	9.00	1.79	9.00	0.59	9.00
规格/mm	30×30×2.5		50×50×2.75		40×80×3.0		80×120×3.0		150×100×4.75	
净截面面积/mm ²	275.00		519.75		684.00		1 164.00		2 284.75	

表2 立柱的结构计算结果

Table 2 Results of structure calculation of different columns

立柱编号	规格/mm	净截面面积 /mm ²	抗压强度/MPa		长细比		抗弯强度/MPa		受压稳定性/MPa	
			计算值	容许值	计算值	容许值	计算值	容许值	计算值	容许值
I	80×120×3.00	1 164.00	14.1	205	50.8	182	660.0	205	16.6	205
II	150×100×4.75	2 284.75	7.2	205	40.9	182	272.8	205	8.1	205
III	120×120×4.00	1 856.00	8.8	205	48.5	182	377.5	205	10.3	205
IV	150×150×5.00	2 900.00	5.7	205	38.8	182	193.3	205	6.4	205
V	200×200×8.00	6 144.00	2.7	205	29.3	182	69.3	205	2.9	205

3 结论

该新型框架式墙体在结构稳定性方面利用了梁和立柱的承重作用,在保温蓄热方面利用了空气层和聚苯乙烯彩钢板的保温作用和定形相变材料的相变蓄热性能,同时兼有安装方便、施工简单、耐久性好等优点,适合在日光温室建设中推广使用。

该研究计算分析了新型框架结构墙体的结构强度及稳定性,根据对温室常用方矩钢管的计算比较,以规格为80 mm×120 mm×3.0 mm的方矩钢管为梁、以规格为150 mm×150 mm×5.0 mm的方矩钢管为立柱作为墙体的承重结构能够在经济最佳的情况下保证墙体的结构稳定。

该试验仅是在陕西关中地区日光温室的荷载水平下对墙体的承重结构进行了研究,当地地理位置发生改变或其它荷载情况发生明显变化时,需要通过该研究中的计算方法对承重构件进行重新验算。

参考文献

- [1] 管勇,陈超,李琢,等. 相变蓄热墙体对日光温室热环境的改善[J]. 农业工程学报,2012,28(10):194-201.
- [2] 薛亚宁,陈超,李清清,等. 复合相变蓄热墙体材料应用于日光温室的效果研究[J]. 北方园艺,2010(15):6-11.
- [3] 孟少春. 单坡温室设计与建造[M]. 沈阳:辽宁科学技术出版社,2003.
- [4] 周长吉. 温室工程设计手册[M]. 北京:中国农业出版社,2007:42-51.
- [5] GB 50017-2003. 钢结构设计规范[S].

低段密植基质袋培对设施番茄产量及品质的影响

任顺荣, 邵玉翠, 杨 军

(天津市农业资源与环境研究所, 天津 300192)

摘 要:为了使复垦、盐碱地及新建的设施得到快速利用,以基质袋和“GBS-傲兰六号”番茄为试材,研究了设施番茄在低段密植基质袋培不同模式下生物性状、产量及品质的变化,以期筛选出适宜天津地区的番茄高产优质低段密植基质袋培模式。结果表明:袋培番茄增加密度50%保留2段果穗(G1)、增加密度30%保留3段果穗(G3)处理与基质常规栽培和土壤常规栽培相比,番茄株高平均增加4.63%~27.37%;茎粗增加4.65%~20.64%;叶绿素含量增加10.10%~22.79%;番茄单果重增加11.32%~17.12%;产量提高29.09%~56.99%;可溶性总糖含量增加13.54%~16.91%,可滴定酸含量增加7.05%~7.51%,维生素C含量增加12.42%~21.28%;硝酸盐含量降低7.14%~17.10%。

关键词:袋培番茄;低段密植;生物性状;产量;品质

中图分类号:S 641.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2013)03-0055-05

无土栽培技术在农业生产中的应用越来越广泛^[1],尤其是近年来发展速度非常迅猛,内涵越来越丰富,技术含量也越来越高,已成为现代农业重要标志之一^[2]。目前我国大型设施已占设施栽培面积的59%,节能日光温室面积已达20万hm²,人均设施蔬菜占有量达59kg,人均蔬菜占有量达276kg,均居世界前列^[3]。番茄作为茄果类蔬菜作物,以其丰富的营养价值深受消费者欢迎,在我国逐步形成消费量大、周年需求的大市场^[4]。

第一作者简介:任顺荣(1955-),男,江苏宜兴人,博士,研究员,现主要从事设施无土栽培及废弃物资源化处理等研究工作。
E-mail:renshunrong@sohu.com.

基金项目:天津市科技支撑重点资助项目(10ZGYNCO1200)。

收稿日期:2012-10-17

为了使复垦、盐碱地及新建的设施得到快速利用,该试验在天津市科技支撑重点项目和天津市农业科技成果转化项目资助下,研究了设施番茄低段密植基质袋培对番茄产量及品质的影响。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 基质材料 以草炭、珍珠岩、蛭石和农业有机废弃物为主,再添加一定量的辅助材料按比例混合成有机、无机混合型基质。基质的容重0.46g/cm³,密度2.172g/cm³,饱和含水量139.41%,总孔隙度78.94%,毛管孔隙62.67%,通气孔隙16.27%;基质EC值2.5mS/cm,pH7.25,基质全氮1.073%,全磷0.783%,全钾1.384%,有机质23.60%。

Mechanical Analysis of the Steel-Frame Wall of Solar Greenhouse

SONG Dan¹, WANG Hong-li¹, LI Kai², MA Jiang-wei¹, XU Hong-jun¹

(1. College of Horticulture, Northwest Agricultural and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100; 2. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest Agricultural and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract: As the main load-bearing member of solar greenhouse, wall is critical to the structural safe and stability of the greenhouse. The Steel-frame wall was put forward in the paper. The mechanical performance of the Steel-frame wall were studied and the structural performance of different specifications beams and columns with rectangular steel pipe were analyzed. The results showed that the new walls with the 80 mm × 120 mm × 3.0 mm rectangular steel pipe as beams and the 150 mm × 150 mm × 5.0 mm rectangular steel pipe as columns were able to guarantee the stability of the wall structure in the lowest price level.

Key words: solar greenhouse; steel-frame wall; structural performance