

# 双层充气塑膜温室经济技术评价\*

周长吉

(中国农业工程研究设计院)

**摘 要** 在介绍双层充气温室构造特点的基础上, 通过对比和分析单层塑料温室和双层充气塑料温室的基本投资和长期运行费用, 评价了双层充气温室的节能效果, 提出了双层充气温室在我国的适宜发展地域, 并对双层充气技术在玻璃温室上的应用及节能前景进行了分析和探讨。

**关键词** 温室 双层充气塑料温室 节能效果 经济评价

双层充气温室起源于本世纪 60 年代美国<sup>[1]</sup>, 由于其显著的节能效果、低廉的造价和简单的构造, 很快在世界范围内得到了推广和应用。近年来, 我国大量从国外引进温室, 其中也引进了不少这种形式的温室, 从运行效果看, 虽然双层充气膜温室的透光率较单层塑料膜或单层玻璃温室有所降低(降低一般不足 10%)<sup>[2]</sup>, 但对于我国冬季耗能较大的北方地区, 其节能的优点仍然是非常突出的。双层充气温室是一种节能型温室, 对不加温地区, 比单层塑料膜温室(大棚)的春提早和秋延后时间会延长半个月左右。因为没有加温系统补充热量, 这种温室只能起到延缓温室散热的作用, 使温室内的温度变化不象单层塑料膜温室那样剧烈, 但与日光温室相比, 由于其保温能力要差近一个数量级, 所以, 在北方地区越冬还必须配置加温系统。

## 1 双层充气温室的特殊构造

### 1.1 固膜卡具

从温室结构上讲, 双层充气温室与单层塑料膜温室的主要区别在于塑料膜的固膜构造上。单层塑料膜温室一般用卡槽和压膜线来固定薄膜, 而双层充气温室不用压膜线, 只在塑料膜的四周固定, 靠气泵或鼓风机来支撑塑料膜, 使内层塑料膜紧贴温室骨架, 外层塑料膜靠气压与内层塑料膜隔离, 从而, 形成空气夹层, 产生保温作用。由此也看出, 双层充气膜的固定主要在塑料膜的四周, 要求固定牢固, 不漏气。传统的单栋大棚用弹簧卡槽固膜技术, 虽然也能牢固固定塑料薄膜, 但一般达不到不漏气的水平。所以, 设计专用的双层充气膜卡具是必需的。用铝合金型材或注塑件作固膜卡具, 将塑料膜光滑地固定在卡具上, 既保证了可靠固定, 又避免了割破或划坏塑料膜, 是双层充气膜温室最常用的固膜方式。当然, 用这种卡具固定单层塑料膜也同样有效, 而且效果也很好。

### 1.2 塑料膜

选择双层充气温室用塑料膜必须保证有足够的强度、耐老化、无滴、高透光和抗紫外线, 一般要求塑料膜的使用寿命在 3 年以上。近年来, 在双层充气塑料温室上常用的塑料膜为三层复合聚乙烯膜(PE)或聚醋酸乙烯膜(EVA), 如果是单幅膜, 一般要求温室内侧膜至少要用 0.1 mm 厚膜, 温室外侧膜用 0.15 mm 厚膜; 如果是双幅膜, 为保证外侧膜的需要, 要求膜的厚度

收稿日期: 1998-12-01

周长吉, 博士, 高级工程师, CSAE 高级会员, 北京市朝阳区东三环北路 16 号, 100026



© 1995-2005 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

在 0.15 mm 以上, 现市场上 0.20 mm 厚的膜在双层充气温室上也有大量的应用。双层充气长期温室的塑料膜单层透光率必须大于 90 %, 透光率年衰减不得大于 2 %。配套塑料膜使用的粘接胶带是双层充气膜必需的。因为双层充气膜一旦出现破裂或漏气必须及时修补, 否则, 由于鼓风机的压力和流量有限, 难以长时间维持层间压力, 势必会破坏整个隔热空气层, 造成保温系统的失效。

### 1.3 鼓风机

鼓风机是形成双层薄膜间空气间层的主要动力。一般要求层间空气压力不超过 60 Pa。对 1000 m<sup>2</sup> 温室面积, 用一台 30 W 的离心风机, 最大输出静压保持在 250 Pa, 一般可满足要求。在上膜之前应先安装好风机, 在风机的进风口安装一块挡流板, 用于调节风机的流量和层间空气的压力。风机与内侧塑料膜间的连接, 可用帆布、塑料或镀锌铁皮, 做成直径为 10 cm 的波纹管。为避免风机导流管出口空气直接吹袭外侧塑料膜, 在导流管出口处, 设置 20 cm 见方的导流板, 将风机的鼓风直接吹向该导流板, 再扩散到薄膜间层中。

## 2 双层充气温室的经济性能分析

双层充气温室的经济性能指标主要表现在硬件投资和运行成本两个方面。首先, 在硬件投资方面, 双层充气温室比单层塑料温室, 覆盖膜用量要增加一倍, 而且还要增加必要的充气设备和供电线路, 采用铝合金固膜卡槽, 其成本比单层膜塑料温室高, 但可省去压膜线和固膜杆, 而且安装塑料膜的效率也大大提高。其次, 在运行费用上, 双层充气温室虽然要常年依靠充气泵供气, 在冬季要阻碍一部分光照进入温室, 但其显著的保温效果, 使其在温室冬季运行中的热能消耗大幅度降低, 从而在总体经济效益上比单层塑料温室或玻璃温室有显著的优越性。第三, 在运行中, 双层充气温室由于热阻较大, 薄膜内侧表面结露比单层膜要少得多, 在防止作物病害方面也有积极的作用。

### 2.1 双层充气温室主体结构用材量

以国内某厂家两栋 5000 m<sup>2</sup> 温室为例, 其基本单元结构如图 1。

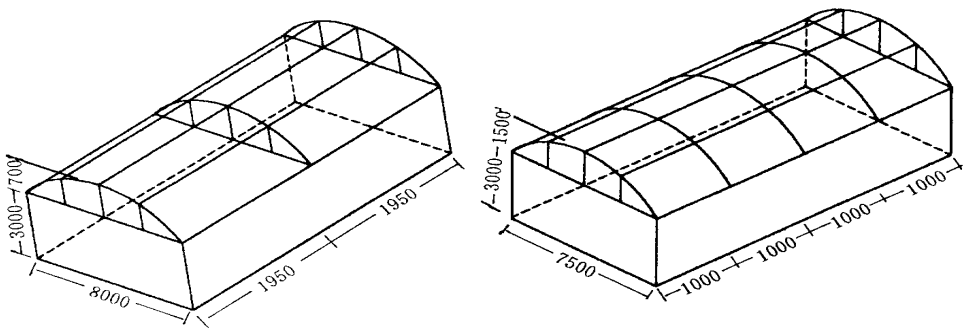


图 1 温室的基本单元结构(单位:mm)

Fig. 1 Structure of greenhouses unit

两栋温室的主体结构参数见表 1。单层塑料温室承力柱采用 50 mm × 80 mm × 3 mm 矩形管, 屋面主拱架采用和柱相同的材料, 屋面次拱架和弦杆、吊杆等采用  $\phi 2$  mm × 1.8 mm 圆管; 双层充气膜塑料温室承力柱采用 60 mm × 80 mm × 3 mm 矩形管, 屋面主拱架采用 30 mm × 50 mm × 2.5 mm 矩形管, 弦杆和吊杆分别采用  $\phi 3.7$  mm × 2 mm 和  $\phi 6.9$  mm × 2 mm 圆管。两者主体结构单位面积用钢量分别为 3.43 kg/m<sup>2</sup> 和 3.24 kg/m<sup>2</sup>。两种温室屋面覆盖材料

及其配件的用量及价格见表 2。

表 1 温室主体结构参数

Tab 1 Structure parameters of the greenhouses

项 目	单层塑膜 温 室	双层充气 温 室
跨度/m	7. 50	8. 00
开间/m	4. 00	3. 90
檐高/m	3. 00	3. 00
脊高/m	4. 50	4. 70
联跨数	16	15
开间数	10	11
温室总长度/m	120. 00	120. 00
温室总宽度/m	40. 00	42. 90
温室面积/m <sup>2</sup>	4800. 00	5148. 00

表 2 温室屋面覆盖材料及其配件

Tab 2 Roof covering materials and parts of the greenhouses

项 目	单层塑膜温室		双层充气温室	
	数量	价格 /10 <sup>3</sup> 元	数量	价格 /10 <sup>3</sup> 元
塑料膜/10 <sup>3</sup> m <sup>2</sup>	4. 94	27. 16	10. 73	59. 00
压膜槽及其卡簧/10 <sup>3</sup> m	1. 45	11. 58	1. 42	16. 99
压膜线/10 <sup>3</sup> m	5. 63	0. 73		
固定压膜线钢筋 /10 <sup>3</sup> kg	0. 79	2. 76		
充气泵及其配件/套			15	9. 00
合计价格/10 <sup>3</sup> 元		42. 23		84. 98
单方价格/元·m <sup>-2</sup>		8. 80		16. 51

注: 表中价格系 1998 年厂家产品销售价

2.2 温室运行成本估算

与单层塑料膜温室相比, 双层充气塑料温室的额外运行费用主要表现在充气风机的耗电上。每台充气风机按 60W 常年运转计算, 每年的运行耗电为 525. 6 度。每度电按 0. 5 元成本计算, 上述 5148 m<sup>2</sup> 温室 15 台风机的年运行成本为 3942 元, 单方成本为 0. 77 元/m<sup>2</sup>。

与双层充气温室相比, 单层塑料膜温室的额外运行费主要表现在冬季的耗煤上, 也就是双层充气温室的节能效果主要表现在耗煤的减少。按照两种温室的传热系数, 单层塑膜温室为 6. 8 W/(m<sup>2</sup>·K), 双层充气塑料温室为 4. 0 W/(m<sup>2</sup>·K)<sup>[3]</sup>, 后者的保温能力要比前者高 40 % 多, 亦即双层塑料温室在冬季运行较单层塑膜温室可节能 40 % 以上。以北京地区为例, 一般正常气候条件下, 单层塑膜温室或玻璃温室整个冬季的耗煤量约为 60 kg/m<sup>2</sup>, 按节能 30 % ~ 40 % 计算, 双层充气温室每年可节省燃煤 20 kg/m<sup>2</sup>, 按照北京地区一般原煤价格 0. 20 元/kg 计算, 一年可节省燃煤开支 4 元/m<sup>2</sup>。其实, 由于节约燃煤, 在锅炉及锅炉房配套设施和温室室内采暖管道及散热器等方面的一次性投资也相应地在设计阶段就得到了简化。如北京中以示范农场 12000 m<sup>2</sup> 温室(单层塑膜温室)采暖热负荷为 1256 kJ/m<sup>2</sup>, 而同在北京的某花卉温室(5000 m<sup>2</sup>)采用双层充气塑料温室, 其采暖热负荷即降到了 712 kJ/m<sup>2</sup>。其一次性投资节省 40 % 多。按同样 5000 m<sup>2</sup> 温室计算, 后者较前者节省了一台 1. 5 t 的锅炉, 直接费用将达到 20 万元以上, 同时, 室内采暖管道和暖气片的一次性投资亦将节省 10 万元以上的费用。

2.3 投资的长期效益分析

本文温室设备和材料的折旧期分别为: 主体钢结构和铝合金固膜卡具 20 年, 压膜线、充气泵 5 年, 塑料膜 4 年。根据这一基本考虑, 按 20 年使用期计算, 单层塑膜温室虽然一次性投资小, 每 4~ 5 年更换塑料膜覆盖系统的价格也低, 但就加温系统一次性投资和运行费用综合考虑, 扣除双层充气温室每年的耗电费用, 每年加温成本要比双层充气温室高 2. 92 元/m<sup>2</sup>。按静态分析, 单层塑料膜温室每年的费用为 5. 04 元/m<sup>2</sup>, 双层充气温室为 1. 61 元/m<sup>2</sup>, 5000 m<sup>2</sup> 温室每年可节省费用 17147. 50 元。动态计算, 如果贴现率为 12 %, 则单层塑料温室的总费用现值为 126. 83 元/m<sup>2</sup>, 双层充气温室为 33. 25 元/m<sup>2</sup>, 累计节约开支 93. 58 元/m<sup>2</sup>, 每年平均节约 4. 68 元/m<sup>2</sup>; 如果贴现率为 15 %, 两者的总费用现值分别为 98. 08 元/m<sup>2</sup> 和 32. 69 元/m<sup>2</sup>。显然, 无论从静态角度还是动态角度, 双层充气温室其综合投资都要优于单层塑料温室。



## 2.4 平衡点分析

从上述分析可见,节煤效果是双层充气温室的突出优点。但随着气候区域向温暖地区的迁移,单层塑料温室的耗煤量将逐渐减少,这样,双层充气温室的优越性也将逐步消失。从图2可见,按静态分析,在单层塑膜温室的冬季耗煤量达到约  $30 \text{ kg/m}^2$  时,两种温室的效益达到平衡。也就是说,当某一地区单层温室的冬季耗煤量小于  $30 \text{ kg/m}^2$  时,双层充气温室的优势就不存在。在我国冬季耗煤量小于  $30 \text{ kg/m}^2$  的地区主要指冬季气温  $< 5^\circ\text{C}$  的积温大于  $-600^\circ\text{C}$  [4]。这些地区,从节能和造价的综合平衡来讲,可不考虑使用双层充气塑料温室。

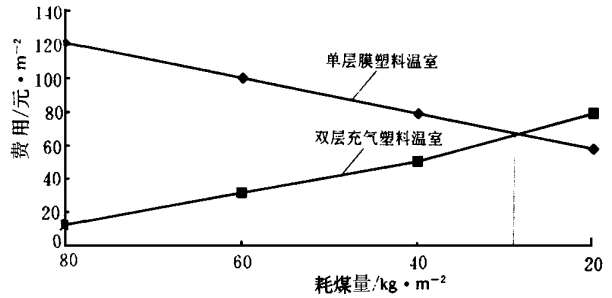


图2 平衡点分析图(按基础贴现率 12 % 计算)

Fig 2 Balance point analysis

## 3 双层充气温室的适应性

双层充气温室虽然造价低廉、节能效果好、有广泛的推广价值,但其使用有一定的局限性。

1) 冬季光照资源贫乏的地区不宜应用。冬季日照百分率在 45 % ~ 50 % 以下的地区,温室内瓜果类蔬菜产量不高,品质差,一般商品率低 [4],由于附加塑料膜又使温室的透光率降低约 10 %,所以,在冬季日照百分率低于 60 % 的地区,采用双层充气塑料温室,室内光照就会不足。

2) 对于那些冬季光热资源比较充足的地区,采用单层塑料膜温室本身就能越冬生产或用单层塑料膜温室冬季加温的耗煤量较少,双层塑料温室其运行节能费用不能有效地补偿一次性投资,采用双层塑料膜温室同样也得不偿失。按照分析,如果同样温室,采用单层膜覆盖,冬季的耗煤量小于  $30 \text{ kg/m}^2$ ,这类地区最好采用单层膜温室。如果考虑双层充气膜温室在加温设施上的一次性投资较低,上述指标可降低到  $15 \sim 25 \text{ kg/m}^2$ 。这类地区在我国主要指黄淮平原、江淮平原、渭河平原等地 [4]。

3) 本文的分析是基于原煤价格 0.20 元/kg,如果当地的煤价比较便宜(如煤矿地区),或有比较便宜的其它燃烧材料或热源,如天然气、薪材、油渣、工厂余热等,上述分析经济指标将有所变化,对于这类地区应具体分析对待。但从生态角度来讲,矿产资源都是有限的,尽量减少利用矿产资源,开发利用太阳能或其它可再生能源,无论是农业生产还是工业生产都是积极有效的。

4) 本文的分析中没有对温室透光率降低而影响产量或产品质量的因素进行分析。如果某些作物对光照减弱特别敏感,使用了双层膜由于降低了约 10 % 的透光率,可能对其产品或质量产生了较大影响,则这种品种的作物也不适合用这种温室。

## 4 充气保温技术在玻璃温室上的应用

将单层塑料薄膜或双层充气塑料薄膜覆盖在玻璃温室的屋面或墙面上,同样可以获得双层充气膜的保温效果。一般在单层玻璃上覆盖双层充气塑料膜,其保温性能要比单层玻璃温室提高近 55 %;比单纯的双层充气塑料膜温室提高 25 %。在密封良好的玻璃温室上覆盖单层塑料膜并在其间充气,其保温效果也要比单层玻璃温室提高 35 % 以上 [12]。

玻璃温室一般漏风比较严重, 在生产中往往密封玻璃所花费的材料和人工费要远远高出一层塑料薄膜的成本费, 所以, 大部分的生产者宁愿采用双层膜覆盖玻璃, 也不愿采用密封玻璃上覆盖单层膜的做法。当然, 在玻璃上覆盖双层膜比覆盖单层膜其透过率一般要降低 10 % 左右。根据测定, 一般玻璃温室, 玻璃和构件再加上表面积灰, 总的透过率约为 65 %, 在其上覆盖双层充气膜, 透过率会进一步降低 18 %, 即总透过率为 47 %, 如果外界光强能达到 10 万勒克斯以上, 对种植果菜作物几乎无多大影响, 而且, 由于采用双层覆盖薄膜, 使温室中的散射光的比例增大, 室内的光照更均匀, 还有利于作物的均匀生长。但如果室外光照强度比较弱, 在玻璃温室上使用双层充气膜会使室内作物光照严重不足。在这种情况下, 一种兼顾保温和采光的办法是在温室的东、西、北三面墙体和北侧屋面采用双层充气覆盖, 而在南侧采光屋面和立面采用单层塑料膜覆盖, 与玻璃间形成保温充气夹层, 或甚至就只用单层玻璃覆盖以充分保证温室的采光。

### 参 考 文 献

- 1 Bauerle W L and T H Short Conserving heat in glass greenhouses with surface-mounted air-inflated plastic Ohio Agricultural Research and Development Center, Special Circular 101, 1977
- 2 Robert A A and J W Bartok Greenhouse Engineering The Northeast Regional Agricultural Engineering Service Cooperative Extension, 3rd revision, 1994, 142~ 145
- 3 A SAE Engineering Practice: Heating, Ventilating and Cooling Greenhouse A SAE EP406, 1994
- 4 陈端生, 徐师华, 刘步洲 我国加温温室蔬菜生产合理布局探讨. 农业工程学报, 1985, 1(2): 36~ 42

## Econom ic and Techn ical A ssessment on Double Inflated Plastichouse

Zhou Changji

(Chinese Academy of Agricultural Engineering, Beijing)

**Abstract** Double inflated plastichouse is one of the high efficient energy saving horticultural facilities. It is specially favorable to the areas where solar radiation is rich enough and the coal supply is in shortage or high price. Combining capital investment and running expense, this paper analyzed the total cost between single layer covered plastichouse and double inflated plastichouse. At China's present price condition, the double inflated plastichouse has an obvious advantage comparing to the single layer covered plastichouse when the coal consumption in winter is more than  $30 \text{ kg/m}^2$  for single layer covered plastichouse or glasshouse, which areas are that the accumulate temperature less than  $5^\circ\text{C}$  in winter is  $> -600^\circ\text{C}$ . Some construction characteristics and applications as well as the advantages and disadvantages of the double inflated plastichouse were also presented in this paper.

**Key words** greenhouse, double inflated plastichouse, energy saving, economic assessment