

# 温室 CO<sub>2</sub> 气体浓度环境自动调控系统的研究

王双喜, 高昌珍, 杨存栋, 刘淑珍

(山西农业大学)

**摘 要:** 为了改善现代温室内气体环境的质量, 提高温室的生产产量和产品品质, 介绍一种新型温室 CO<sub>2</sub> 浓度自动调控系统, 并运用射流理论, 分析研究了系统的设计原理和方法, 对系统的工作性能也作了相应的对比实验研究, 结果表明该系统具有结构简单、自动控制性能好、造价低、运行经济可靠、补充 CO<sub>2</sub> 速度快、CO<sub>2</sub> 浓度和气体流速分布均匀、增产效果和经济效益明显等特点。

**关键词:** 温室; CO<sub>2</sub> 浓度; 自动调控

中图分类号: S62515<sup>+</sup> 1

文献标识码: B

文章编号: 100226819(2002)0320084203

在温室栽培中, 空气环境的自动化调控已成为提高设施栽培产量, 改善产品品质和提高生产效益的重要技术措施之一<sup>[1,2]</sup>。而空气环境的调控内容主要是气体组分和气流速度<sup>[3]</sup>。但从目前所能查阅到的相关材料来看, 大多是从生物学特性上来研究空气环境对生物生长机理的影响<sup>[2]</sup>, 如 CO<sub>2</sub> 气体的增施量及增施效果, 气流速度与光合效率等<sup>[3]</sup>。有的也进行了简单调控方法和经济性能的分析, 但很少涉及现代化设施中智能化气调技术系统的方法和理论研究, 为了使现代设施综合环境调控技术能进一步完善和发展, 研制出了一套既具有增施 CO<sub>2</sub> 浓度, 又能调节气流速度的综合性能强、造价低、可控性强、运行经济和可靠的空气环境自动化调控系统。

## 1 系统结构和工作原理

### 1.1 结构

如图 1 所示, 该系统由可自动控制的化学反应式 CO<sub>2</sub> 发生器 1, 限量开关 2, 电磁阀 3, 主输气管道 4 和支管 5, 气体喷口 6, 吹风机 8, 传感器 7 和控制器 9 等组成。系统中选用的发生器是我们研制的“自压平衡式 CO<sub>2</sub> 发生器”, 其特性是产气量大, 产气率可控, 自动控制性能好; 输气管道选用的是不同口径的 PVC 管材, 支管 5 上打有不同孔径的喷孔 6, 每根支管上开孔方向是沿着支管长度方向以中心为准对半分开的; 限量开关可调节 CO<sub>2</sub> 产气量, 可手动也可自动; 传感器包括气流速度传感器和 CO<sub>2</sub> 浓度传感器。控制器的核心是单片机, 也可以为智能化温室综合环境控制器。

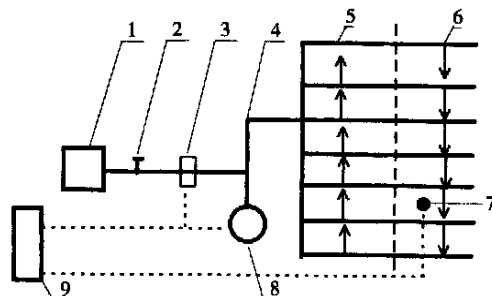


图 1 系统结构示意图

Fig 1 Schematics of the system structure

### 1.2 工作原理

当系统中的传感器检测到所处温室空气环境中的气流速度和 CO<sub>2</sub> 浓度不符合设定标准时, 控制装置便起动吹风机和打开 CO<sub>2</sub> 发生器的输气电磁阀, 通过输送管道及支管上的喷孔, 把含有高浓度 CO<sub>2</sub> 气体, 以一定流速喷射到温室空气中。由于吹风机就设置在温室内, 吸入的是温室内的空气, 它和支管上喷口处大气压力相同, 如略去温室温度场的梯度影响, 当含有较高 CO<sub>2</sub> 浓度的气体从喷口喷出时, 呈气体自由淹没等温射流特性, 在射流卷吸的作用下, 射流边界临近的静止空气会随之运动, 形成流量更大的射流<sup>[4]</sup>。从而使 CO<sub>2</sub> 气体在具有一定气流速度运动的空气状态中进一步和温室空气混合达到均匀分布。在 CO<sub>2</sub> 发生器高效产气率和系统功能的保证下, 对封闭的温室环境实现了空气环境的调控。

当仅需要调节温室气流变化, 而不需要增施 CO<sub>2</sub> 时, 系统只起动吹风机, 而不打开电磁阀。但一般增施 CO<sub>2</sub> 时需要相应的气流速度配合才能获得理想的调控效果。

收稿日期: 2001207223 修订日期: 2001212211

作者简介: 王双喜, 副教授, 山西太谷 山西农业大学工程技术学院, 030801

2 系统设计

211 吹风机流量  $Q_J$

由于系统是以气体射流的形式把含有高浓度 CO<sub>2</sub> 的气体输送并均布到温室空气中的。研究时, 温室的有效容积就是系统作用范围内的射流体积流量  $Q_s$ , 由气体自由淹没射流运动特性关系知吹风机的流量  $Q_J$  (m<sup>3</sup> ös) 为<sup>[4]</sup>

$$Q_J = Q_s \frac{v_m}{2112v_0} \tag{1}$$

式中  $v_m$  为气流射流轴线上的平均速度, 也就是植物进行高效光合作用所需要的空气流动速度, 此速度范围一般为 013~ 015 m ös<sup>[3]</sup>, 由于轴线速度是射流端面内的最大速度, 所以设计时选  $v_m = 015$  m ös 为好。  $v_0$  为鼓风机出口平均流速, 中压风机的出口流速一般为 15~ 25 m ös<sup>[5]</sup>。由于射流速度远远小于射流喷口速度, 欲使温室有效容积范围内的气体都运动起来, 形成环流, 势必需要一个相应的时间历程, 如再考虑到系统运行的经济性, 式中  $Q_s$  的实际计算值为温室有效容积的 1ö60, 即系统从开始工作到全部温室内产生达 013~ 015 m ös 的气流运动, 需经历 1 m in 时间。当  $Q_J$  计算出后, 考虑到沿程阻力和局部阻力损失, 吹风机流量应大于计算值。

212 输气管径的确定

21211 主管径  $D$

吹风机流量确定后, 便可由式 (2) 确定主输气管道的管径  $D$  (mm) <sup>[4]</sup>

$$D = 1\ 128 \sqrt{\frac{Q_J}{v_0}} \tag{2}$$

式中各符号意义如前。

21212 支管管径  $d$

各输气支管的管径  $d$  (mm) 为

$$d = 1\ 128 \sqrt{\frac{Q_s}{v_d n}} \tag{3}$$

式中  $n$  为系统中支管的数量, 支管气体平均流速  $v_d = v_0$

21213 喷孔孔距  $R$

系统的喷孔孔距, 即气体自由淹没射流运动的射流半径  $R$  (m) 为<sup>[4]</sup>

$$R = R_0 + 314S A \tag{4}$$

式中  $R_0$  为喷孔半径,  $R_0$  一般远小于  $R$ , 故计算时  $R_0$  可略去不计;  $S$  为射流射程, 在研究系统中为各支管间距, 实际中也就是温室的跨度;  $A$  为实验系数, 取 01066~ 0108<sup>[4]</sup>。

21214 喷孔半径  $R_0$

对于已知的温室, 若喷孔孔距为  $R$ , 支管数量为

$n$  及各支管上喷孔的数量为  $m$ , 则每个喷孔的孔口流量  $Q_R$  (m<sup>3</sup> ös) 为

$$Q_R = \frac{Q_J}{n \cdot m} \tag{5}$$

则喷口的流速  $v_R$  (m ös) 为<sup>[4]</sup>

$$v_R = \frac{Q_{RS} v_m}{Q_R \times 2112} \tag{6}$$

式中  $Q_{RS}$  为一个喷口所产生的射流流量, 其值为  $Q_{RS} = \frac{R \cdot S \cdot h}{60}$ ,  $h$  为温室高度 (m), 于是喷孔半径  $R_0$  (mm) 为<sup>[4]</sup>

$$R_0 = \frac{AS}{\frac{01966v_R}{v_m} - 01294} \tag{7}$$

考虑到气体流动过程中沿程阻力和局部阻力流量损失<sup>[4]</sup>, 尤其是各喷孔导致的压降, 为使各喷孔的喷口流量相同, 从理论上讲沿程各孔的半径应当是不相等的, 在计算时应考虑给予修正。

3 系统性能概述

为了考核系统的各种性能, 分别在山西忻州、太谷、高平、临汾、离石等地的各种类型温室进行了系统的实验考核, 并和其它增施 CO<sub>2</sub> 方式 (见表 1) 进行了实验比较研究, 不同增施 CO<sub>2</sub> 系统正常工作 1 h 时温室内各点测取的 CO<sub>2</sub> 浓度变异系数由表 1 所示。实验时 CO<sub>2</sub> 浓度检测用丹麦 Vomatic 公司的 Fee2900RTFC25 系统在同一温室中分 5 个点采集获取的。采点分布按温室面积长宽比不同, 大于 115 的用一字排列分布方式, 小于 115 的以温室中心为交点, 成十字交叉排列。传感器高度相同于作物的生长点。各点采样时间间隔为 3 s, 采样时间为 60 s, 每次实验各点采样 8 次。另外, 在实验同时检测记录实验温室的温、湿度变化情况, 以利对比分析。

表 1 不同系统工作 1 h 时的 CO<sub>2</sub> 浓度变异系数 E  
Table 1 Coefficient of variation on CO<sub>2</sub> concentration for different systems working for an hour

温度ö	地面自然式	空中自然式	本实验系统
25~ 28	1813	1517	311
18~ 20	2119	1814	315

表 1 中的地面自然式为各支管装设于地平面, 而不需吹风机工作的情况。空中自然式为各支管装设于一定高度不需吹风机工作的情况。

由表 1 中的数据表明, 本系统的变异系数比其它两种小一个数量级, CO<sub>2</sub> 气体浓度分布的均匀性远远优于其它方式, 且受温度的影响也比较小。表中数值较大的变异系数说明其系统有可能导致温室内

存在着局部  $\text{CO}_2$  气体严重匮乏, 而另一些局部又偏高的现象。为了考核本系统调节气流流速的性能, 又把本系统和吊挂式轴流风机, 环流风机等形式做了对比研究, 对比研究表明, 无论从运行的经济性, 还是从气流流速的均匀性来看, 本系统都优于其它形式。

## 4 结 论

通过对所述系统长达 5 年多的研究和不断完善, 结果表明该系统有如下特点:

1) 系统在增施  $\text{CO}_2$  气体的同时, 调节了温室内的气体流速, 从而更有效的提高了植物的光合效率。

2) 在优化气流速度增施  $\text{CO}_2$  气体的同时, 提高了温室内  $\text{CO}_2$  浓度分布的均匀性。从而有利于促进室内植物生长的一致性, 这不但有益于提高产品的产量, 也有益于提高产品的品质和商品率。

3) 拥有综合功能的气调系统, 具有优异的价格性能比和投入产出比, 能实现智能化管理和自动控

制, 从而有利于温室综合环境的智能化控制和管理。

## [参 考 文 献]

- [1] B von Elsner, Briassoulis D, Waaijenbergh D, et al. Review of structural and functional characteristics of greenhouses in European Union countries[J]. Part 1. designer requirements. Journal of Agricultural Engineering Research, 75 (1), 1216, doi: 10.1006/jar.1999.05.02
- [2] 魏文锋, 徐 铭, 钟文田等. 工厂化高效农业[M]. 第 1 版. 沈阳: 辽宁科学出版社, 1999. 12, 579~ 586
- [3] 崔引安. 农业生物环境工程[M]. 第 1 版. 北京: 中国农业出版社, 1994. 10, 206~ 210
- [4] 机械工程手册及电机工程手册编委会. 机械工程手册: 基础理论卷[M]. 第 2 版. 北京: 机械工业出版社, 1996. 7, 7275278
- [5] 机械工程手册及电机工程手册编委会. 机械工程手册: 通用机械卷[M]. 第 2 版. 北京: 机械工业出版社, 1996. 7, 121222127.

## Auto-Controlling System of $\text{CO}_2$ Concentration in Modernized Greenhouse

Wang Shuangxi, Gao Changzhen, Yang Cundong, Liu Shuzhen

(Department of Engineering, Shanxi Agricultural University, Taigu, Shanxi, 030801, China)

**Abstract:** In order to improve the air quality of the greenhouse and increase yield and improve quality of the products, a new system of controlling  $\text{CO}_2$  concentration in modernized greenhouses was developed. In accordance with the principle of hydrokinetics, the system design fundamentals and method in detail were presented, and the system characteristics analysed. It was showed that the system was able to make up the  $\text{CO}_2$  concentration quickly, to get well distribution, to improve the production and economic benefits obviously, with the advantages of simple structure, low cost and well auto controlling property.

**Key words:** Greenhouse;  $\text{CO}_2$  concentration; automatic control