

# 废气再循环技术在温室柴油热风炉中的应用

汪永斌, 吕 昂, 施已平, 孙荣高

(浙江万里学院)

**摘 要:** 针对目前使用的温室柴油热风炉存在的热利用率低和排放污染问题, 提出了利用废气再循环(EGR)技术来提高柴油热风炉热效率的方法, 并研制出一种适用于温室内应用的全数字式智能监控柴油热风炉 EGR 热交换设备, 并阐明了其结构及工作原理。试验结果表明, 该方法引入的废气量最好为总进气量的 50% ~ 70%; 当 EGR 率为 60% 时, 与无 EGR 率比较时, 可提高热利用率 17.6%, 节约了能源, 并且还降低了排放污染。它是替代传统柴油热风炉加温方式的理想系统, 适用于大多数柴油热风炉上。

**关键词:** 废气再循环; 柴油热风炉; 温室; 热交换系统

**中图分类号:** S210.45

**文献标识码:** A

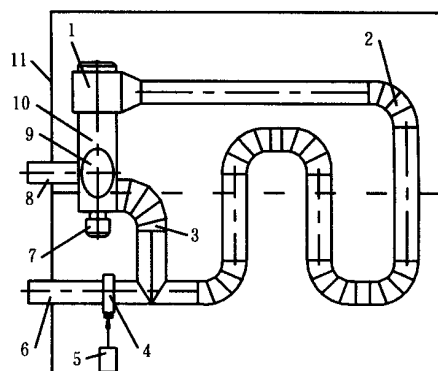
**文章编号:** 1002-2689(2002)04-0104-04

目前, 利用柴油热风炉加热温室时, 一般采用将燃烧废气通过管道与空间直接或强制换热的方式进行热交换, 然后直接排出至温室外。当然靠泄漏补进冷空气至温室内, 既降低了温室内空气温度, 又造成热量损失。所以, 这样的换热方法及其相应的柴油热风炉结构, 热量利用率低,  $\text{NO}_x$  排污指标高。废气引入进气中也称废气再循环利用(Exhaust gas recirculation), 简称为 EGR。EGR 应用于柴油热风炉在各种工况下都可实现 EGR 燃烧。既能满足加温的要求, 又能提高了柴油热风炉的热利用率, 符合高效低耗、节能降污的现代控制要求, 有其重要意义。由宁波市科学技术情报研究所于 2002 年 1 月 25 日提供的科技查新报告结论可知, 目前国内外使用的柴油热风炉没有使用该技术。

## 1 柴油热风炉 EGR 热交换系统组成及工作原理

### 1.1 柴油热风炉 EGR 热交换系统组成

为了具体实现上述方法, 本技术方案是由温室 11、柴油热风炉 7、炉风机 1、换热器 2、EGR 管 3、EGR 阀 4、EGR 控制器 5、混合器 9、燃烧室 10、废气排出管 6 和进气管 8 等组成, 如图 1 所示。柴油热风炉使柴油燃烧产生热, 换热器进行热交换; 炉风机用于加强废气流动的速度, EGR 阀用于控制返回混合器的废气还流量。



1. 炉风机 2. 换热器 3. EGR 管 4. EGR 阀 5. EGR 控制器  
6. 废气排出管 7. 柴油热风炉 8. 进气管 9. 混合器  
10. 燃烧室 11. 温室

图 1 温室微机控制柴油热风炉 EGR 热交换系统的布局

Fig 1 The layout of the EGR heat exchange system of microprocessor controlled diesel hot air stove in a greenhouse

### 1.2 工作原理

内燃机的 EGR 技术已是一种成熟的用来降低  $\text{NO}$  排放的工业技术, 仅对降低  $\text{NO}$  有效。废气混入的多少用 EGR 率<sup>[1]</sup>表示, 其定义如下:

$$\text{EGR 率} = \frac{\text{废气还流量}}{(\text{废气还流量} + \text{进气量})} \times 100\%$$

研究 EGR 柴油热风炉的目的在于拓宽废气再循环技术的使用范围, 以提供一种简单可靠的用在柴油热风炉中的废气再循环技术措施。研究中还发现, 利用 EGR 技术不仅能降低  $\text{NO}_x$  排放污染; 而且能提高柴油热风炉的热利用率, 节约能源, 这也是研究它的另一个重要目的。

经长时间理论探讨和试验验证, 形成了一种提高柴油热风炉热效率的方法<sup>[2,3]</sup>, 其特征在于: 将柴油热风炉的废气引入进气中。

收稿日期: 200112220

基金项目: 浙江省教育厅和宁波市农村经济委员会资助项目(浙教高科[1999]275; 甬农经委[1999]41, 甬财政农[1999]266)

作者简介: 汪永斌(1957-), 男, 浙江兰溪人, 副教授, 1996 年赴日本带广畜产大学农业机械自动化系研修, 主要从事机械自动化及汽车技术的教学与研究。宁波市 浙江万里学院工程技术系, 315100

柴油热风炉使柴油、空气和 EGR 返回的废气在混合器混合燃烧, 经过换热器热交换放出的热对温室内加热, 炉风机是加强废气流动的速度加强热交换能力, 燃烧后的废气受 EGR 阀控制废气还流量返回混合器, 剩余的废气排出室外。独创的废气再循环装置<sup>[2~4]</sup>用于控制炉的废气再循环率, 即控制废气还流量。增长了废气在混合器内滞留时间, 提高柴油热风炉热利用率, 降低排放污染。

2 EGR 技术在柴油热风炉中的应用

2.1 系统控制与理论效果

在柴油热风炉 7 的进气管 8 上安装气体混合器 9, 气体混合器和排气管 6 之间安装 EGR 管 3, 并在排气管上安装由 EGR 控制器 5 控制的 EGR 阀 4, 在阀门上设有专门小孔与 EGR 阀的开度或开闭间歇时间从而控制进入混合器 9 和燃烧室 10 的再循环废气量(保证热风炉正常燃烧, 而使加热效率最高为前提), 即控制 EGR 率。为了降低 NO<sub>x</sub> 排放, 提高热利用率, 采用中间冷却废气技术, 延长热交换管(φ 310 mm, 长 115 m), 将废气在管道中冷却后再流回气体混合器与新鲜充入气混合进入燃烧室, 降低燃烧温度, 从而更进一步提高热利用率。

为了精确地控制 EGR 率, 采用微机控制 EGR 阀。控制方法有二种<sup>[2]</sup>, 其一为 EGR 阀的开度, 保持某一值不变; 其二为 EGR 阀循环开闭, 每一开闭循环周期恒定。这二种方法都能使 EGR 率保持不变。本系统采用第二种方法控制 EGR 率。

根据理论计算<sup>[5]</sup>得: 1 kg 柴油完全燃烧时理论上所需要的空气量为 11.2 m<sup>3</sup> 或 14.45 kg。

该柴油热风炉需要的空气量为 31.36 m<sup>3</sup>/h; 当 EGR 率为 60%, 即每 5 min 一个循环内, 微机控制 EGR 阀开 45 s; 关 255 s 时, 供给燃烧室的每小时新鲜空气量为: 210 m<sup>3</sup>/h × 0.15 h = 31.5 m<sup>3</sup>, 该热交换器的内部容积为 8.67 m<sup>3</sup>, 而每次进入的新鲜空气量为: 2.625 m<sup>3</sup>, 所以, 打开 EGR 阀 45 s 驱赶废气时, 不会将新鲜空气赶出。考虑 EGR 阀 4 上的小孔时, 实际进入燃烧室的新鲜空气大于此值, 所以, 吸进的新鲜空气能使柴油完全充分燃烧。

2.2 EGR 控制器

作物的“最适”温湿度实质上是对所需要的条件产生最好的调节的结果, 对各种植物是不相同的, 然而需要的精确度是很高的<sup>[6]</sup>。

微机控制器<sup>[3,7]</sup>包括 EGR 控制器, 如图 2 所示, 主要完成按植物生长要求预先设定的农业专家的经验数据(100 d 内每一小时的温度和湿度值)和最佳的 EGR 率控制各执行部件。采用新型的数字式温

湿度一体化传感器(LTM 8901)和一线总线结构, 实现温室内环境智能监控, 以使温湿度值处在植物生长的最佳状态。

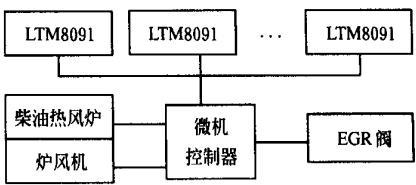


图 2 EGR 控制系统的基本结构

Fig. 2 The basic configuration of microprocessor controlled EGR system

2.3 控制器控制 EGR 率的控制策略

由于 EGR 率控制牵涉到温度控制。只有温室内需要加温而柴油热风炉工作时, EGR 阀才参与工作, 故 EGR 的控制需要与温度控制综合考虑。

本系统控制规则的原则是必须使系统输出响应的动静态特性达到最佳。

控制模块把整个温度控制范围分成 3 个状态: GT(T)、EQ(T)和LT(T), 分别表示温度偏高、合适和偏低; 整个 EGR 率控制范围也分成 3 个状态: GT(E)、EQ(E)和LT(E), 分别表示 EGR 率偏高、合适和偏低。根据要求, 温湿度和 EGR 率测量值与状态对应关系表达式如下<sup>[7]</sup>:

$$\begin{aligned} &\text{IF } T_{mea} < T_{set} - \$T \text{ THEN } T_{status} = LT(T) \\ &\text{IF } T_{mea} > T_{set} + \$T \text{ AND } T_{mea} < T_{set} + \$T \\ &\text{THEN } T_{status} = EQ(T) \\ &\text{IF } T_{mea} > T_{set} + \$T \text{ THEN } T_{status} = GT(T) \\ &\text{IF } E_{mea} < E_{set} - \$E \text{ THEN } E_{status} = LT(E) \\ &\text{IF } E_{mea} > E_{set} - \$E \text{ AND } E_{mea} < E_{set} + \$E \\ &\text{THEN } E_{status} = EQ(E) \\ &\text{IF } E_{mea} > E_{set} + \$E \text{ THEN } E_{status} = GT(E) \end{aligned}$$

式中  $T_{mea}$ ——温度测量值;  $T_{set}$ ——设定温度(专家数据);  $\$T$ ——当前允许温度偏差;  $T_{status}$ ——温室当前温度状态;  $E_{mea}$ ——EGR 率测量值;  $E_{set}$ ——设定 EGR 率值;  $\$E$ ——当前允许 EGR 率偏差;  $E_{status}$ ——温室当前 EGR 率状态。

控制模块根据变量的输入状态选择输出状态, 控制策略<sup>[7]</sup>如表 1。

3 在温室中的试验及其结果

本试验在华东型连栋温室(长 × 宽 × 高 = 39 m × 15 m × 5 m)中进行, 柴油热风炉采用宁波 2L 2 型批式循环谷物烘干机的 DZR 2005W 自动柴油燃烧机(燃烧器电机功率 90 W; 风机风量为 210 m<sup>3</sup>/h; 0# 柴油; 工作压力为 0.9~1.1 MPa; 燃烧效率

表 1 控制策略

Table 1 Control rules of the EGR

执行机构	GT (T)			EQ (T)			LT (T)		
	GT (E)	EQ (E)	LT (E)	GT (E)	EQ (E)	LT (E)	GT (E)	EQ (E)	LT (E)
柴油热风炉	Off	Off	Off	Off	Off	Off	On	On	On
炉风机	Off	Off	Off	Off	Off	Off	On	On	On
EGR 阀	Off	Off	Off	Off	Off	Off	60	45	30

注: EGR 阀控制周期为 5 min。OFF 表示全关闭; 如果 EGR 率合适时, 45 表示 EGR 阀打开时间为 45 s, 关闭 255 s。

95%; 排气烟度< 林格曼黑度一级; 喷嘴 $\phi$  75, 耗油率 2 8 kg $\phi$ h, 发热功率 33 2 kW, 贵州航发科技实业公司制造, 加热炉外废气出口温度为 65 ) 改装而成。将这种热风炉应用到塑料温室 11 加热系统中。连续两年在宁波市江北区洪塘乡上邵村野外华东型连栋塑料温室内进行了不同的 EGR 率的性能对比试验。

2001 年 1 月 12 日, 华东型连栋温室室内温度最高 10 3 ; 最低 3 , 室外温度最高 5 ; 最低- 1 , 上午 6: 00 至第二天上午 6: 00。由试验结果可知: 当温度升到同样高, 在相同条件下, 其它影响热交换的热效率因素基本相同的情况下, EGR 率与加热时间关系如图 3 所示。经试验得到: 当控制 EGR 率在 50% ~ 70% 时, 是最佳工作范围, 当 EGR 率为 60%, 即每 5 min 一个循环内, 微机控制 EGR 阀开 45 s, 关 255 s, 与无 EGR 阀比较时, 提高了热利用率 17. 6%, 节约了能源; 并且还降低了排放污染。EGR 率控制和热利用率的提高, 符合研制要求, 计算值和测量值吻合。

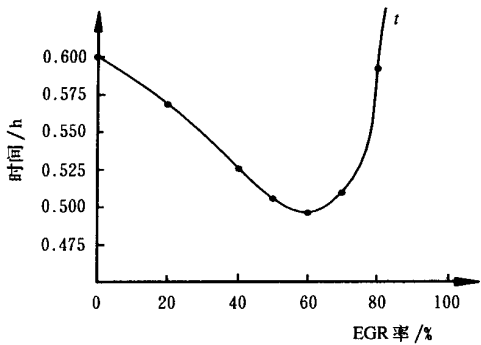


图 3 在升温至等高时, 其它条件相同, 所需时间与 EGR 率之间的关系

Fig 3 Relationship between the heating time and the EGR rate at heating to the same high temperature under the same circumstances

与现有技术相比, 该技术的优点在于通过增加柴油热风炉废气再循环的方法及发明了相应的设备, 如 EGR 管 3、EGR 阀、气体混合器 9 和 EGR 控制器 5。在成本增加不多的条件下, 使柴油热风炉在

各种工况下都可实现废气再循环, 从而提高柴油热风炉的热效率, 降低排放污染, 并且方法简便、柴油热风炉结构简单、价格低廉, 使用、拆装和维修方便。

4 结 论

1) 提出了一种提高柴油热风炉热效率的方法并研制了相应的设备, 如 EGR 管、EGR 阀、EGR 控制器和气体混合器等, 其特征将柴油热风炉的废气引入进气中。

2) 微机控制 EGR 阀的方法有两种, 即阀的开度保持一定不变; 或循环开闭, 每一开闭循环周期恒定。当引入的废气量为总进气量的 50% ~ 70% 时, 效果最佳。

3) 通过试验找出了最佳工况(每 5 min 一个循环内, 微机控制 EGR 阀开 45 s; 关 255 s), 当 EGR 率为 60% 时, 与无 EGR 阀比较时, 可提高热利用率 17. 6%, 并降低排放污染。

4) 所研制的 EGR 热交换系统, 符合高效低耗、节能降污染的现代控制要求, 是替代传统柴油热风炉加温方式的理想系统, 适用于大多数柴油热风炉, 如汽车烤漆箱、谷物烘干机等, 具有广阔的应用前景。

[参 考 文 献]

[1] 王建昕等. 汽车排气污染合理及催化转化器[M]. 北京: 化学工业出版社, 2000. 153~ 187.  
[2] 汪永斌. 一种提高柴油热风炉热效率的方法及其柴油热风炉[P]. 中国: 发明专利申请号为 02110947. 8, 2002. 3. 4.  
[3] Wang Yongbin, L üAng, Sun Ronggao, et al. A technique for automatic control of the temperature and humidity in field polyethylene film greenhouses for growing rice seedlings[A]. Proceedings of the International Workshop 2001 Agricultural Mechanization—— Issues of Priorities in the New Century [C]. 11 ~ 12 December 2001 Hanoi, Vietnam.  
[4] 汪永斌. 废气再循环式柴油热风炉装置[P]. 中国: 实用新型专利申请号为 02216029. 9, 2002. 3. 4.

[5] 华中农学院 拖拉机汽车学(第 3 册)发动机原理[M ]  
北京: 农业出版社 1980 33~ 38

[6] Hanan J J, Holley W D, Goldsberry K L. Greenhouse  
Management[M ] Springer Verlag Berlin Heidelberg,  
1978 53~ 247.

[7] 汪永斌, 吕 昂, 孙荣高等 温室群全数字温度和湿度  
综合控制系统[J ] 农业机械学报, 2002, 33 (5): 已录  
用

Application of the Technology of Exhaust Gas Recirculation  
to a Diesel-Hot-Air Stove in Greenhouses

Wang Yongbin, Lü Ang, Shi Yiping, Sun Ronggao

(Department of Engineering Technology, Zhejiang Wanli University, Ningbo 315100, China)

**Abstract:** The current thermal efficiency of a diesel-hot-air stove in a greenhouse was low and NO<sub>x</sub> emission was high. Based on the technology of exhaust gas recirculation (EGR), a new method for increasing thermal efficiency of a diesel-hot-air stove from a greenhouse was proposed. The unique EGR heat-exchange system of a diesel-hot-air stove of all-digital microprocessor-controlled intelligently was developed in a greenhouse. The system, which could give the optimized EGR characteristics needed by diesel-hot-air stove test was developed. The structure and principle of this EGR heat-exchange system were also introduced. This method as well as its validity was proved by the diesel-hot-air stove tests. The optimized range of the EGR rate all the way is from 50% to 70%, if the EGR rate is 60%, the thermal utilization efficiency of the EGR heat-exchange system of the stove was enhanced by 17.6% as compared with no EGR rate. The pollution of the environment was reduced by EGR system. It is ideal that the EGR heat-exchange system of a diesel-hot-air stove substitutes for traditional heating system. The EGR system is suitable for diesel-hot-air stove.

**Key words:** exhaust gas recirculation; diesel-hot-air stove; greenhouses; heat-exchange system

《农业工程学报》再次进入 2000 年被引频次最高和  
影响因子最高的中国科技期刊 300 名排行表

根据中国科学院文献情报中心中国科学引文数据库统计发布的《2000 年被引频次最高的中国科技期刊 300 名排行表》,《农业工程学报》以被引频次 214 排名第 199 位(1999 年排行表中,被引频次 187,排名第 209 位)。在《2000 年影响因子最高的中国科技期刊 300 名排行表》中,《农业工程学报》以影响因子 0.1889,列第 290 位(1999 年排行表中,影响因子 0.1639,列第 298 位)。按两项

指标的排名,《农业工程学报》都再次进入了中国科技期刊 300 强的行列。纵比与横比表明,《农业工程学报》的学术质量和办刊水平都在持续上升。《农业工程学报》一直被中国科学引文数据库收录为核心期刊和统计源刊,已连续 3 年进入被引频次和影响因子最高的中国科技期刊 300 名排行表。

(王应宽)