

Urea-SCR 系统降低柴油机排放试验研究

武汉理工大学 吴小春 吕林

内容提要:介绍测试重型柴油机 Urea-SCR 装置的条件、仪器、设备、试验和流程,分析测试数据,证实该系统可使重型柴油机达到欧IV排放水平。

关键词:柴油机 气体排放 Urea-SCR 系统 试验

0 引言

降低柴油发动机气体排放,已经成为全球面临的问题。纵观柴油机排放控制技术,燃油油耗和燃油的敏感性,是选择技术方案必须考虑的重要因素,大致可以分为两种。

(1)以 EGR +DPF/DOC(废气再循环系统+颗粒捕捉器/氧化催化转换器)为主的美国路线

这种路线短期内难在我国推广,因为:

- EGR 技术,不能在发动机排放达到欧IV水平的情况下获得较好的燃油经济性;
- DPF,对燃油中的硫比较敏感,而我国燃油 50% 以上依赖进口,燃油含硫量很难全面低于 50 ppm。

(2)以 SCR 技术(选择性催化还原装置)为主的欧洲路线

国外研究 SCR 技术的相关数据表明^[1]:

- NO_x 转化效率高。
- 降低排放和降低油耗之间无直接矛盾,可以先在发动机机内处理 PM,然后通过 SCR 技术降低 NO_x 的排放。根据国内外的相关数据,采用 SCR 技术符合欧IV排放标准的柴油机,比不采用 SCR 技术符合欧III排放标准的柴油机,燃油消耗可以降低 5 %以上。

- 催化器对燃油中的硫相对不敏感。
- 发动机改动较小。
- 可以使用欧III/欧IV/欧V 共用发动机试验平台。

因此,采用 SCR 系统降低排放,适合中国国情。

目前,SCR 技术在欧洲和美国的车用柴油机上已经相当普及,在国内的研究与开发还处于初始阶段。

本文试验研究 Urea-SCR 系统对某重型柴油机排放的影响,分析实验结果和数据,结论令人振奋。

1 SCR 技术降低 NO_x 排放试验

1.1 试验方法

(1)配制质量浓度为 32.5 % 的尿素水溶液,作为本试验使用的还原剂,加入尿素罐。

(2)检查后启动发动机,待运转稳定后,检测记录发动机的原机排放数据。

(3)将尿素水溶液,按照还原剂控制策略,喷入柴油机排出的废气中,待运转稳定后,检测记录喷入尿素水溶液后的发动机排放数据。

1.2 试验装置

Urea-SCR 系统,由尿素供给系统和 SCR 反应器组成。

图 1 为 SCR 系统结构图。

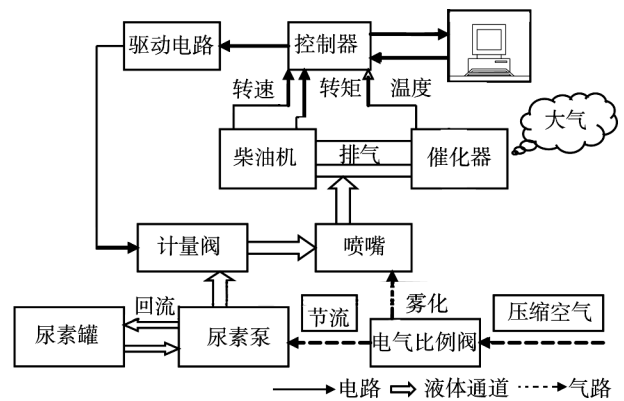


图 1 SCR 系统结构

1.3 试验仪器

试验仪器见表 1。

表 1 试验仪器

设备名称	设备型号	生产厂家	备注
测功机	CW260-1800/7500 AFA-T490	洛阳南峰机电 设备制造有限公司 AVL	稳态测功机 瞬态测功机
发动机 数控系统	FST2C PUMApn1.2.1	洛阳南峰机电 设备制造有限公司 AVL	对测试循环可进 行程序控制
油耗仪	FCMM-2 AVL 735S	二汽 AVL	计算 20 秒油耗 量的平均值
进气流量计	534FT-48A	KURZ	—
SCR 系统	—	PUREM	—
SCR 控制器	—	武汉理工大学	开环控制
气体分析仪	MEXA-1500D	HORIBA	可测量 NO _x 、CO、 CO ₂ 、HC
颗粒分析仪	SPC472	AVL	分流稀释系统
空压机	W-0.9/7	复盛实业(上海) 有限公司	停机压力 0.8 MPa
稳压桶	0.2/1.1	上海申江 压力容器厂	—
空气比例阀	ITV2030-212S	SMC	输出(MPa) 0.005-0.5
氨气检测仪	—	simens	—
电子称	ACS	上海宁宇衡 器有限公司	最大称量 6 kg 分度值 1 g

* 基金项目:湖北省科技攻关计划项目(批准号:2005AA307B02)资助

1.4 试验用柴油机

- 功率 280 kW;
- 试验转速 800~2 200 r/min;
- 使用市场供应国产 0# 柴油。

2 试验结果对比分析

2.1 发动机的原机脉谱图

发动机原机 NO_x 排放脉谱图的曲面形式见图 2。

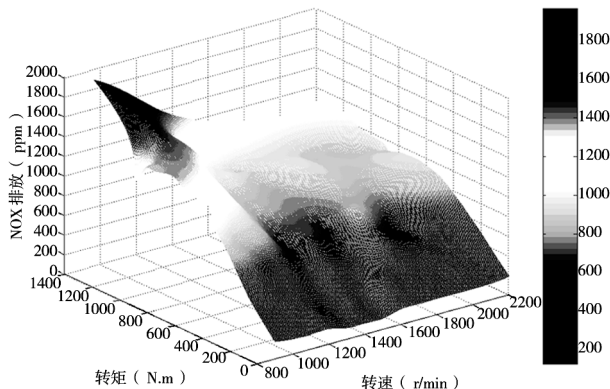


图 2 发动机原机 NO_x 排放脉谱图

发动机的排温脉谱图见图 3。

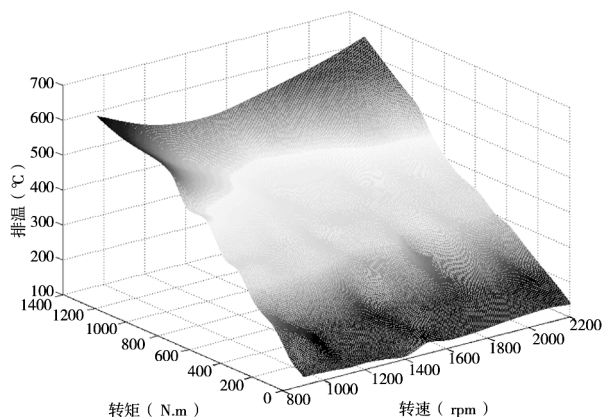


图 3 发动机的排温脉谱图

2.2 NO_x 的最大转化率

图 4 为最大转化率脉谱图的曲面表现形式。

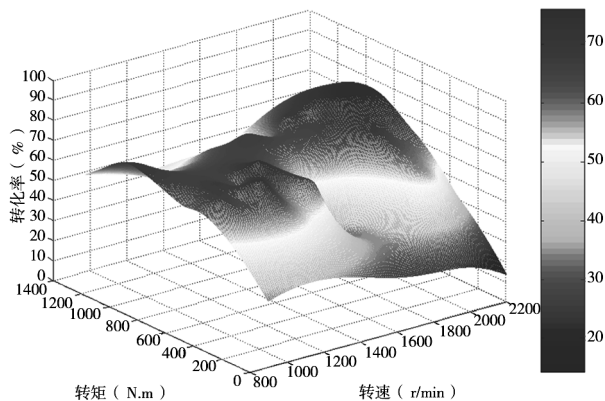


图 4 NO_x 最大转化率脉谱图

对于给定的催化剂,NO_x 最大转化率的大小取决于发动机的工况。

• 如果 NO_x 最大转化率定的太高, 催化剂出口的氨气滑失可能超标;

• 如果 NO_x 最大转化率定的太低,NO_x 的比排放可能达不到法规的要求。

因此,以 10 ppm 的 NH₃ 滑失量为边界,采用试验的方法测定了 NO_x 的最大转化率,并制定了最大转化率脉谱图。

2.3 SCR 系统对发动机气态物排放的影响

为了解 SCR 系统对发动机排放物中 NO_x、HC、CO 和 PM 的影响程度,进行了三次 ESC 测试。

测试一: 废气取样管安装在还原剂喷嘴上游的测点上,测试循环中没有还原剂摄入排气管;

测试二: 废气取样管安装在催化剂出口后的测点上,测试循环中没有还原剂摄入排气管;

测试三: 废气取样管安装在催化剂出口后的测点上,测试循环中按照控制策略向排气管中摄入了相应流量的还原剂。

表 2、表 3 和表 4 分别列出三次 ESC 测试的结果。

表 2 第一次 ESC 测试

工况号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
NO _x ppm	218	861	524	595	632	785	430	631	375	547	309	455	414
HC ppm	125	102	85	83	106	97	104	85	93	87	93	82	85
CO ppm	143	92	54	36	126	78	131	40	142	52	115	43	50
NO _x g/kWh	6.5												
HC g/kWh	0.32												
CO g/kWh	0.50												
PM g/kWh	0.132												

表 3 第二次 ESC 测试

工况号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
NO _x ppm	207	853	532	595	645	790	436	610	376	528	307	455	404
HC ppm	15	15	10	10	7	8	8	15	12	14	12	9	9
CO ppm	159	168	95	86	158	147	188	94	187	106	153	96	90
NO _x g/kWh	6.5												
HC g/kWh	0.04												
CO g/kWh	0.84												
PM g/kWh	0.117												

表 4 第三次 ESC 测试

工况号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
NO _x ppm	203	503	335	350	295	465	322	419	373	376	301	298	257
HC ppm	15	12	11	10	6	6	8	8	10	10	11	6	8
CO ppm	172	142	90	86	146	134	175	91	177	102	156	94	87
NO _x g/kWh	3.4												
HC g/kWh	0.03												
CO g/kWh	0.70												
PM g/kWh	0.115												

三次 ESC 测试表明:SCR 系统不同程度地影响发动机排放的 NO_x、HC、CO 以及 PM,分析如下。

(1) NO_x 排放数据分析

图 5 对三次测试循环中 NO_x 的排放进行了对比。

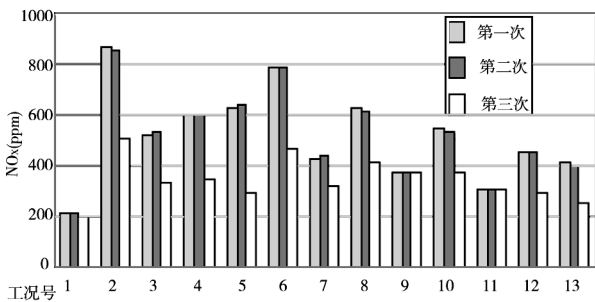


图 5 NO_x 排放对比

由图 5 可以看出,第一次测试和第二次测试十三个工况点中,NO_x 的排放值相近,说明在没有尿素水溶液摄入的情况下,催化器对 NO_x 的排放影响不大。

(2) HC 排放数据分析

三次 ESC 测试循环中的 HC 排放对比如图 6。

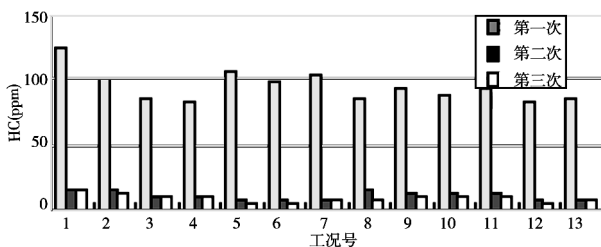


图 6 HC 排放对比

图 6 表明,在没有尿素水溶液摄入排气管的情况下,排气经过催化器后,HC 也可以大幅度地降低,转化率达到 90%左右。这是因为,HC 自身就是一种比较好的还原剂,柴油机排气呈富氧状态,HC 在 SCR 催化器的催化作用下被氧化^{[3][4]}。

(3) CO 排放数据分析

三次 ESC 测试循环的 CO 排放对比如图 7。

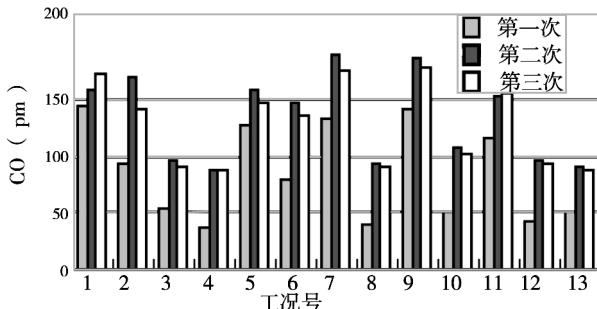


图 7 CO 排放对比

通过图 7 可以看出,CO 的排放,第二次测试和第三次测试明显高于第一次测试。这主要是由于排气中 CO 生成的动态平衡被打破引起的^[5]。

发动机燃用欧 IV 标准油时 ESC 测试结果如表 5。

发动机燃用欧 IV 标准油时 ETC 测试,与原机 ETC 测试比较如图 8。

3 结论与展望

研究表明,采用 SCR 排气后处理措施,可减低排放物中的 NO_x、HC、CO 和 PM,使重型柴油机的排放可以达到欧洲第 IV 阶段排放标准。

通过试验,获得了原机的 NO_x 排放脉谱图、NO_x 最大转化率脉谱图、NO_x 降低量脉谱图、排气背压脉谱图,再结合尿素水溶液计量装置的流量特性,就可以制定出稳态工况下尿素水溶液流量的控制策略。

SCR 技术研究的最终目的是使该技术应用到柴油机上。而柴油机实际运行中,环境以及发动机的工况是经常变化的,边界条件复杂,变量多。目前,对于开环控制的 SCR 系统,难点在于制定稳态工况还原剂剂量的控制策略,以及按发动机排气背压的动态分布修正稳态工况还原剂控制策略,以适合瞬态工况。

为此,需要进一步研究:

- SCR 系统特性,
- 柴油机的原机排放以及排气背压分布状况;
- 尿素水溶液温度对计量装置流量的影响,以及
- 不同工况下催化剂的储氨能力。

此外,船上应用柴油机 SCR 系统,还需要进一步研究和试验环境条件、排气系统的布置、排气背压的动态分布等的影响。

表 5 发动机应用 SCR 系统时 ESC 测试结果燃用欧 IV 标准油

NO _x g/kwh	3.31
HC g/kwh	0.035
CO g/kwh	0.47
PM g/kwh	0.013

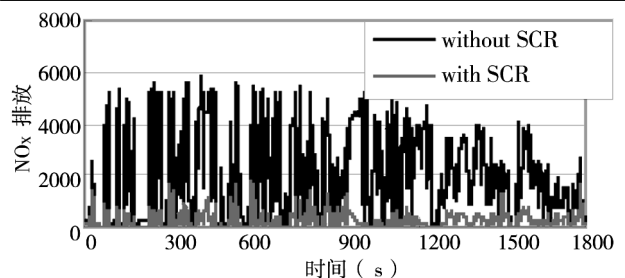


图 8 ETC 测试比较(原机与发动机燃用欧 IV 标准油)

参考文献

- 1 M. Koebel, M. Elsener, M. Kleemann. Urea-SCR: A Promising Technique to Reduce NO_x Emissions from Automotive Diesel Engines. Catalysis Today 59 (2000)335-345
- 2 Manuel Hesser Hartmut Lüders Ruben-Sebastian Henning etc. SCR Technology for NO_x Reduction: Series Experience and State of Development. DEER, 2005
- 3 Xinpeng Wang, Yan Xu, Shanshan Yu. The First Study of SCR of NO_x by Acetylene in Excess Oxygen. Catalysis Letters Vol. 103, Nos. 1 - 2, September 2005
- 4 Michael D. Amiridis Corina Mihuta Marek Maciejewski. The Selective Catalytic Reduction of NO by Hydrocarbons Over Pt- and Ir-based Catalysts. Topics in Catalysis Vol.28, Nos.1 - 4, April 2004
- 5 谭不强 陆家祥 邓康跃等. 柴油机排放 CO-PM 预测模型. 农业机械学报,2003 年 3 月,第 34 卷第 2 期:21-22