

研究简报

# 船用柴油机降低 NO<sub>x</sub> 技术

## MARINE DIESEL ENGINE REDUCING NO<sub>x</sub> TECHNOLOGY

沈 炯 王永鼎

SHEN Jiong, WANG Yong-Ding

(上海水产大学工程技术学院, 200090)

(College of Engineering & Technology, SFU, 200090)

**关键词** 排放污染, 控制燃烧, 降低氮化合物技术

**KEYWORDS** emission pollution, control combustion, reducing NO<sub>x</sub> technology

**中图分类号** TK421.5

目前国际海事组织(IMO)对船用柴油机动力装置也开始进行排放限定,IMO提出到2000年将NO<sub>x</sub>(氮氧化物)排放从现有水平减少30%,因此对船用柴油机控制排放污染,特别是对控制NO<sub>x</sub>排放污染是急需研究和开发的项目之一,以满足即将实施的IMO排放要求。世界各国都致力于这方面的研究,降低柴油机NO<sub>x</sub>排放的方法大致有三种:一种是从燃料方面进行减少NO<sub>x</sub>的技术;另一种是控制燃烧的方法进行减少NO<sub>x</sub>的技术;再一种是采用脱氮设备进行后处理减少NO<sub>x</sub>技术。

### 1 NO<sub>x</sub> 生成机理

柴油机排气中的NO<sub>x</sub>主要有两个来源:一是在气缸内高温条件下燃烧空气中氧与氮反应生成的NO<sub>x</sub>(热NO<sub>x</sub>);另一是燃料中氮化合物的氧化生成NO<sub>x</sub>(燃料NO<sub>x</sub>)。

通常,使用重油燃料时,燃料NO<sub>x</sub>占总的NO<sub>x</sub>的20%~30%。热NO<sub>x</sub>的生成主要取决于温度、氧的浓度和滞留时间,随着气缸内燃烧温度的升高,NO<sub>x</sub>的形成速率加快,特别是氧气充足,气缸内燃烧温度也高时,NO<sub>x</sub>的生成速率最高。而在氧气不足条件下,即使燃烧温度较高,NO<sub>x</sub>形成速率也会下降。NO<sub>x</sub>的生成反应比燃烧反应缓慢,所以即使在燃烧高温下,如留在气缸内滞留时间短,则NO<sub>x</sub>生成量也就少。总之燃烧温度越高,氧气充足,在高温下滞留时间越长,热NO<sub>x</sub>越多。

由上可见,降低柴油机排放中的热NO<sub>x</sub>,必须减少燃烧期氧的浓度、降低燃烧温度和滞留时间。

## 2 降低柴油机 NO<sub>x</sub> 排放的技术

### 2.1 从燃料方面减少 NO<sub>x</sub>

#### 2.1.1 替代燃料

作为替代燃料使用甲醇时,发动机可将 NO<sub>x</sub> 减少到现有普通柴油机一半,且废气中完全不含 SO<sub>x</sub>(氧硫化合物),又没有烟尘产生。再加上 EGR(废气再循环)及使用便宜的催化剂等措施和其他降低 NO<sub>x</sub> 技术相配合,有可能较大幅度地降低 NO<sub>x</sub>。因此被认为是将来最有希望降低 NO<sub>x</sub> 的技术之一。

天然气发动机是使用天然气作燃料的发动机,天然气的主要成分是甲烷,其十六烷值较低,比柴油机燃烧困难,因而采用预混合燃烧,无黑烟排出。其优点是:采用三元催化剂的理论空燃比燃烧方式,NO<sub>x</sub>、CO(一氧化碳)、HC(碳氢化合物)等废气可控制得很低。其缺点是:采用预混合燃烧,燃油消耗增加,在低负荷时尤其如此。

#### 2.1.2 乳化燃油

在燃油中加水,将水和燃油混合成乳化燃油后喷入气缸[平田贤 1994],由于乳化燃油中水在气缸内汽化吸热,使燃烧温度下降,可减少 NO<sub>x</sub> 的生成。通常在整个功率范围内含水量为 20%~30%的乳化燃油能降低 24%~50%的 NO<sub>x</sub> 排放量。

#### 2.1.3 水—燃油层状喷射

最近提出的水—燃油层状喷射,在喷油停止的间歇期内,将适量的水和油按适当的间隔期注入喷油泵和喷油器之间的高压油管中,使燃油和水按顺序层状喷入气缸中[平田贤 1994]。在喷油初期,喷入 100%燃油确保着火性则不会发生燃烧不良的情况,在喷射的后半周期(NO<sub>x</sub> 生成最多的燃烧期)喷入大量的水,降低燃烧温度,由此来减少 NO<sub>x</sub> 的生成。有关报告提出,在不使燃烧恶化的情况下,添加为燃油容积 60%的水,能减少 40%NO<sub>x</sub>。

### 2.2 控制柴油机燃烧过程的方法减少 NO<sub>x</sub>

#### 2.2.1 喷油延迟

喷油延迟的结果是减少预燃期燃油的燃烧量,一方面使最高燃烧温度下降,另一方面缩短了氧和氮在高温下的滞留时间,从而抑制 NO<sub>x</sub> 的生成[石田泰彦 1993]。但在燃烧过程中降低最高温度会导致燃油消耗率增加,所以必须提高压缩比,同时把循环中的各种参数调整到最佳状态。喷油延迟可减少 20%~30%NO<sub>x</sub> 排放量,但燃油消耗率增加 1%~3%。

#### 2.2.2 提高燃油喷射压力

提高燃油喷射压力,促进燃油雾化良好,控制进入油雾内的空气量,改善燃油和空气混合状况,缩短了燃烧时间,使 NO<sub>x</sub> 的生成有所下降。

#### 2.2.3 副燃烧室

采用副燃烧室是将全部燃油喷入副燃烧室形成氧不足的过浓混合气。燃油在过浓状态下燃烧,可以减少 NO<sub>x</sub> 的生成[石田泰彦 1993],然后高压燃气从副燃烧室喷入主燃烧室,燃烧中未燃燃油被细化喷出,在主燃烧室中形成氧过剩的稀薄混合气,所以 NO<sub>x</sub> 的生成仍很少。

一般直喷式柴油机在高负荷下 NO<sub>x</sub> 的排放量为 9.5~16.3g/kwh 而采用主副燃烧室的

柴油机为5.4~10.9g/kWh。另一方面与直喷式相比,带副燃烧室的燃烧室面积相对较大,热损失也较大,且副燃烧室喷口有节流损失,热效率也下降。

#### 2.2.4 废气再循环

废气再循环(Exhaust Gas Re-circulation, EGR)即将废气的一部分再返回到柴油机进气中,再与空气一起进入气缸进行再循环[平田贤 1994]。其作用是由于废气中大量的 NO<sub>x</sub> 和 CO<sub>2</sub>等惰性气体充入气缸,一方面降低氧气浓度减低了反应的速度,另一方面又降低了气缸内燃烧温度,从而减少了 NO<sub>x</sub> 的生成。

但由于船用柴油机燃用含硫量较多的重油,存在着发动机内部的磨损、腐蚀、滑油恶化和燃油消耗上升等问题,尤其在高负荷时,向气缸内供废气,降低了氧含量,导致燃烧恶化、CO和烟度增加、燃油消耗率上升。所以不可能把较多的废气进行再循环,通常再循环率在15%~20%。用15%的废气进行再循环,大约可减少 NO<sub>x</sub>50%,在高于20%的再循环率情况下,烟及 CO 量、燃油消耗率快速上升。

### 2.3 废气后处理

为将废气的有害成分降低到极限,不仅要对本发动机的燃烧加以改进,对发动机废气后处理也须加以考虑。目前已经开发的技术中有使用催化剂脱氮装置,即 SCR (Selective Catalytic Reaction)装置。目前柴油机一般采用氨或尿素作催化剂进行还原,把 NO<sub>x</sub> 还原成 N<sub>2</sub>和 O<sub>2</sub>。实际使用时可以降低80%~90%的 NO<sub>x</sub>[平田贤 1997],但使用 SCR 装置要增加安装空间和设备成本,且氨的价格对运行成本影响也较大。作为船用主机广泛采用的低速二冲程柴油机,燃油中的硫和氨反应生成酸性硫酸铵覆盖在脱氮催化剂表面,会显著破坏催化剂作用,如周围温度低于300℃,会大量产生酸性硫酸铵,为此 SCR 装置必须在300~500℃时使用。为适应上述情况二冲程柴油机中 SCR 装置必须安装在增压器之前。

## 3 结束语

IMO 提出到2000年将现有水平(1990年基准值)的 NO<sub>x</sub> 排放量减少到30%,要遵守 IMO 对 NO<sub>x</sub> 排放量的规定,船用柴油机必须进一步改进,以减少 NO<sub>x</sub> 排放量。

现阶段作为最方便的方法主要是采用喷油延迟、提高喷油压力,副燃烧室,能使 NO<sub>x</sub> 下降到一定的水平。

作为水乳化燃油,水-燃油层状喷射方式由于能达到较高的降低 NO<sub>x</sub> 效果而受到重视。

对进一步降低 NO<sub>x</sub> 排放量,EGR 和 SCR 是很有潜力的,但对运行成本有一定的影响。

### 参 考 文 献

- 平田贤. 1994. 環境保護を目標とする次世紀に向きの船用エネルギーシステムの課題および展望. 日本船用機関學會, 29(2):69~78
- 平田贤. 1997. 船舶の大氣汚染防止の動きと對策. 日本船用機関學會誌,32(6):385~389
- 石田泰彦. 1993. 輔機用四冲程エンジンと排放規制に関する技術. 日本船用機関學會誌, 28(11):685~693