

机型与综述

MTU 柴油机减排的工程实践

陆威崙

(MTU 上海办事处, 上海 200030)

摘 要: 经过多年的努力, 柴油机减排措施已经取得许多方向性的认同, 但研究的成果转化成产品尚有着一定程度的滞后。针对 MTU 柴油机产品上已经采用的减排技术进行介绍, 包括机内措施和机外排气后处理措施; 特别对减排措施的负面影响及其对策进行了讨论, 对 MTU 柴油机在不同应用领域减排措施的差异性进行了比较分析。

关键词: 柴油机; 排放; 控制

中图分类号: TK421⁺.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2012)03-0001-07

On the Engineering Solution of Emission Reduction of MTU Engines

Lu Weilun

(MTU Shanghai Office, Shanghai 200030)

Abstract: With the effort for many years, the orientation for the emission reduction of diesel engine has been increasingly recognized, but there is still a way to go to commercialize the research results. The technology of emission reduction applied to MTU engines, including internal and external (after-treatment) technology is introduced. The negative effect with respect to the measures taken for emission reduction and the countermeasure is discussed. The differences of the measures for the emission reduction of MTU engines in various applications are also described.

Keywords: engines; emission; control

0 引 言

随着大气污染的日益加重, 对柴油机排放的限制变得越来越严格了。经过业界多年的努力, 在柴油机减排方面已经取得了很大的成功, 对许多措施已经得到了较为一致的方向性的认同。但其具体的技术实施却有一定的滞后。不同的柴油机制造商对各项技术的抉择有着不同的考虑, 同时还存在着很大的发展的不平衡。有些制造商已经成功应用的技术, 对有些制造商可能还处于探索阶段。

Tognum 公司(即 MTU 公司, 于 2011 年改称此名, 但其柴油机产品仍然称为 MTU 柴油机。)长期来对柴油机减排技术进行了全面的研究并实际应用于产品。目前其销售的柴油机全部能满足各个领域

的现行排放要求。不同的应用领域排放法规的要求是不同的, 柴油机的应用条件也是不同的, 因此应用于不同领域的 MTU 柴油机其减排措施往往有所差别。通常这些减排措施可以分成机内措施和机外措施两大类。本文仅对已形成销售产品的 MTU 柴油机减排措施作一介绍, 不包括那些尚在研究、未曾在产品上应用的技术, 这样可能更具有实际意义。

1 机内减排

其目标是在降低 NO_x 排放的同时降低燃油消耗率, 根据使用的场合可能还要求降低其它不良成分的排放量。就其本质而言, MTU 的机内减排措施就是实行燃烧过程的重新组织。这主要包括两方

收稿日期: 2012-02-20

作者简介: 陆威崙(1943-), 男, 研究员, 主要从事发动机应用工程工作, wl.lu@mtu-online.com。

面的工作：换气过程的调整和燃油系统的改造。此外，废气再循环也属于一项机内减排技术，其实质也是对燃烧过程产生影响。

1.1 换气过程的调整

1.1.1 米勒循环

通常采用进气阀提前关闭的做法。这时，由于有效压缩比的降低，降低了压缩温度，最高燃烧温度也下降，因此 NO_x 的生成得以减少。Tognum 公司最初对其用于铁路的某些柴油机采用了米勒循环，后来又进一步扩展到以发电机组动力和工作船主机作为主要用途的 MTU 4000 系列 M23-M63 机型上。图 1 为采用米勒循环的 MTU 4000 系列 M23-M63 机型进气阀升程-曲轴转角曲线。该系列原来的设计进气阀应在下止点后 66.6°CA 关闭，而 M23-M63 机型则将其提前至下止点关闭，由图可以看出这种变化。

最新改进的船用 MTU 1163TB04 机型也采用了进气阀提前关闭的米勒循环^[1]。

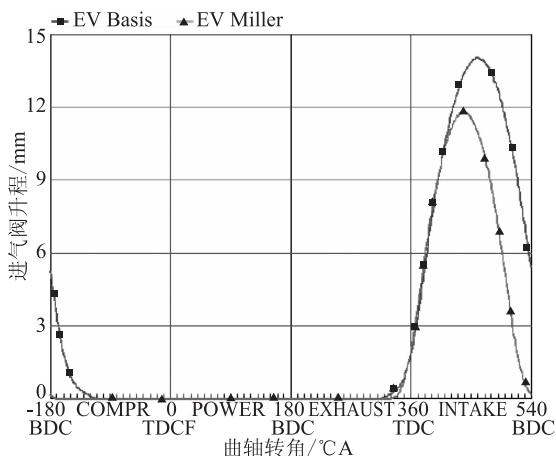


图 1 MTU 4000 M23-63 的米勒循环

1.1.2 增压系统的调整

大多数 MTU 发动机都采用了其传统的顺序增压技术。这种技术使得发动机能在整个转速-负荷范围都有良好的增压效果。由于增压对发动机的性能指标、排放水平有着举足轻重的影响，MTU/Tognum 公司对增压系统的改进是一项经常性的工作。2004 年上市的 MTU 2000 CR 船用机型采用了共轨技术，增压系统也进行了重大改进。根据空气动力学状况对增压器元件进行几何形状的优化；同时通过材料的选取和形状的调整来减小转动零件的惯量，使其能适应转速的变化。该机增压压力达到 0.4 MPa，排放也达到了 IMO Tier II 的要求。

采用米勒循环后，由于进气阀的早关会使进气

不足，但为使燃油仍能充分燃烧，提供的空气量不能减少，因此增压系统的改进是一项更为现实的要求。对 MTU 4000M23-M63 机型，与其米勒循环相配合，通过对增压器的结构优化改进，增压压力达到 0.35 MPa。从而使该机型的排放可以达到 IMO Tier II 的标准；同时，其大部分机型的燃油消耗率达到了 $194 \sim 196 (\text{g} \cdot (\text{kW} \cdot \text{h})^{-1})$ 的水平。

在必要的情况下，采用两级增压来大大提高增压压力。

上世纪八十年代初上市的船用 MTU 1163 发动机原来就采用了两级增压技术。它具有优良的技术指标，即使在当前，在许多方面仍不失其先进性。但由于历史的原因，它只能满足 IMO Tier I 的排放标准。最近 Tognum 公司对其完成了新的第四代 TB04 机型的改型，燃油系统改为共轨型。在采用进气阀早关的米勒循环的同时，对其两级增压系统进一步进行了优化，增压压力从原来的 0.48 MPa 增高到 0.56 MPa，从而在保持较低燃油消耗的情况下，排放达到了 IMO Tier II 的要求。

对用于铁路的新的 MTU 4000 系列发动机也首次采用了两级增压系统，从而使其可以达到 EU Stage IIIB 排放标准（该标准于 2012 年在欧洲生效）。对于在建筑、工业等移动使用领域的 MTU 1600、2000 及 4000 发动机，Tognum 公司计划也要一律开发两级增压机型^[2]。

1.2 燃油系统的改造——共轨型燃油系统的采用

MTU 公司是世界上最早把共轨型燃油系统投入批量生产的柴油机制造商。1996 年其第一批装有共轨燃油系统的 MTU 4000 系列柴油机上市。当时共轨技术尚处于探索阶段，因此同期开发的 MTU 2000 柴油机则采用了单体泵技术。此后共轨技术逐渐成熟，在实践中燃油系统共轨化似乎成了 MTU 柴油机减排的必由之路，新机型的开发必定采用共轨系统。如 1996 年开始开发，2000 年投放市场的 MTU 8000 系列；老机型如 MTU 2000 和 MTU 1163 系列也分别于 2004 年和 2011 年实现了共轨化。十几年来 MTU 的共轨技术有了不少改进，主要有以下几个方面。

1.2.1 蓄压器

图 2 为 MTU 4000 系列的第一代共轨系统。高压油直接从高压油泵引入一根粗的共轨，各喷油器通过高压油管与共轨相联。共轨直接起着蓄油、蓄压的作用。共轨有足够的容量，再加上与共轨相联的高压油管接头的小流通截面引起的节流，可不致因各缸喷油而引起共轨内明显的压力波动。

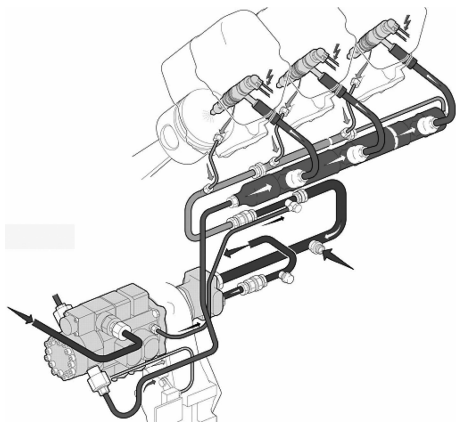


图 2 MTU 4000M00 机型的共轨燃油系统

随后开发的 8000 系列发动机则在共轨和喷油器之间设置了专门的蓄压器，此蓄压器装在气缸头的凹陷部位，如图 3 所示。这种设计使得共轨压力更为稳定，各缸喷油时相互间基本上没有影响^[3]。

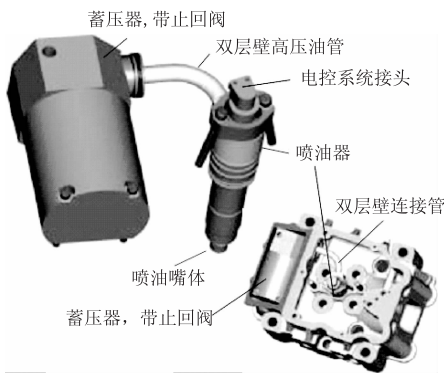


图 3 MTU 8000 系列柴油机的燃油系统

图 4 所示为 2004 年上市的 MTU 2000 共轨柴油机的喷油器。与 MTU 8000 系列柴油机不同，蓄压器直接设置在喷油器的一端。由于去除了蓄压器和喷油器间的弹性体——高压油管，供油过程可以更为精确。比其晚两年上市的 MTU 4000M23-M63 机型也采用了这种把蓄压器做在喷油器一端的做法。这种喷油器与共轨之间用截面较小的高压油管相连，因此在喷油时仅该蓄压器内的压力有所跌落，避免了共轨中油压的波动，消除了各缸喷油的相互影响。

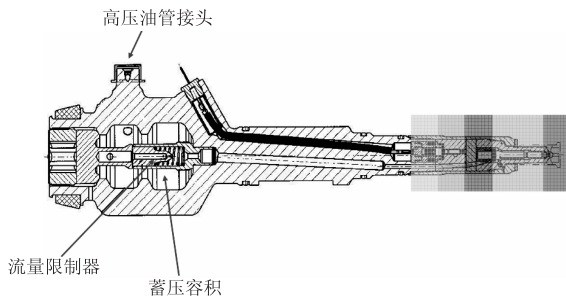


图 4 MTU 2000CR 发动机的喷油器

近年开发的 1163 船用型第 04 代改型机中蓄压器的布置较为特殊，其 20 缸机型每一缸排有十个气缸，每个缸排配置有四个单体泵，用以各自产生 180MPa 的燃油高压，也就是说通常共轨系统的单个高压燃油泵在这里被八个独立的单体泵所代替；而每排四个单体泵又分别向每排的五个外部蓄压器供油；每个外部蓄压器通过小截面的油管与两个喷油器相连，而喷油器的端部膨大，是为第二个蓄压器；每排的各个外部蓄压器之间用油管相连，使其压力平衡，达到共轨作用。图 5 示出了该系统的结构^[1]。

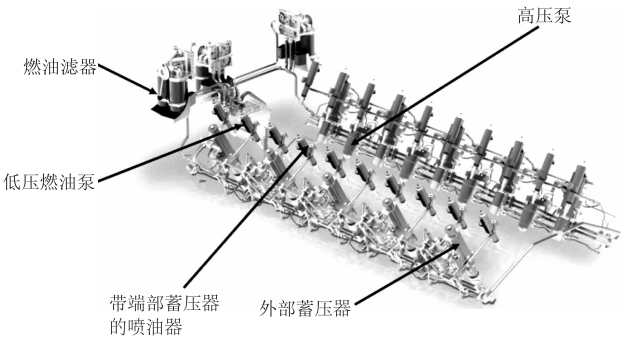


图 5 MTU 20V1163TB04 的共轨燃油系统

作者认为采用这种结构是与 1163 发动机原来的设计有关。其原来的燃油系统就采用了单体泵方式，因此是一种‘因地制宜’的做法。由于这种发动机缸径大、单缸功率高，所以喷油量大，需要的蓄压空间也大，采用两个分散的蓄压器为布置带来了方便，应该讲是一种巧妙的做法。

1.2.2 喷油压力

喷油压力的高低影响到着火延迟期的长短，同时也直接影响到燃油在气缸内的雾化情况。为了减少 NO_x 的排放，须降低最高燃烧温度，这会影响到燃烧的完善性，使燃油消耗增加。为了弥补这一不良影响，需要燃油更好地雾化，使其能与空气更好地混合。高的喷油压力会使着火延迟期缩短，同时燃油雾化改善。因此 MTU 发动机的喷油压力呈不断提高的趋势。其第一代共轨船用 4000 系列发动机的喷油压力为 140 MPa；而 2006 年上市的船用第三代改型机的喷油压力就增高到 180 MPa；船用 MTU 8000 系列和新的 MTU 1163TB04 代改型也达到了 180 MPa；而用于铁路的 4000 系列第四代改型(R04)和 1600、2000 系列柴油机喷油压力均已达到了 220 MPa。MTU 计划在将来喷油压力要进一步提高到 250 MPa^[4]。

1.2.3 喷油规律

MTU 第一代共轨燃油系统仍然采用单级喷射。

为了进一步降低排放和燃油消耗，以后就逐渐采用了如图 5 所示的三级喷油方式。将第一级的预喷射和第二级的主喷射分开是为了避免由于大量积聚的燃油瞬间燃烧而产生高的最高燃烧温度，从而有利于 NO_x 的降低。但最高燃烧温度的降低会使燃烧不完善，引起 HC 和粒子排放的增加和燃油消耗率的提高，因此加入了第三级喷射（后喷射），这就使得剩余空气得到进一步利用，实现补燃，改善了燃油消耗率，同时粒子和 HC 也通过燃烧而得以消除。

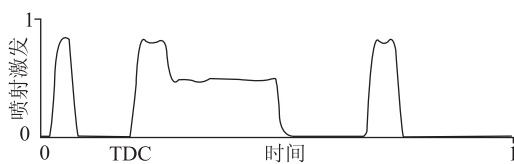


图 6 MTU 发动机的多级喷射模式

1.3 废气再循环(EGR)

废气再循环技术系把部分废气经过冷却后送回到进气中，从而使发动机的燃烧温度降低，减少 NO_x 的生成。回送的废气并不参加燃烧，但影响了燃烧过程。所以这也是一项机内减排措施的技术，尽管在机外要安装冷却器等附加设备。

MTU 开发出一种非常紧凑的 EGR 系统，它可以集装在现有的柴油机上（见图 7），对空间要求和原排气系统的影响都很小^[5]。

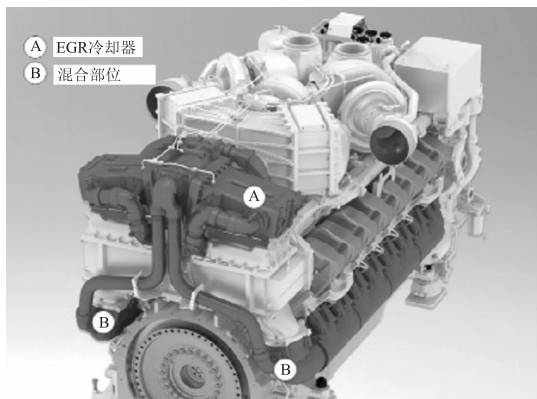


图 7 MTU 的废气再循环系统

借助 EGR 技术可使废气中的 NO_x 排放量减少 40%。移动用途的 MTU1600、2000 和 4000 系列发动机采用 EGR 技术后，排放能够满足美国 EPA Tier 4 的要求，即 NO_x 的排放放在 $3.5 \text{ (g} \cdot (\text{kW} \cdot \text{h})^{-1})$ （对功率大于 560 kW 的发动机）以下。铁路用的 4000 系列发动机为了满足 2012 年生效的 EU Stage IIIB 标准，把装用这种系统作为一种标准配置。

从排气中分流用于再循环的废气往往具有 650

$^{\circ}\text{C}$ 左右的高温，在进入气缸前必须冷却到 120°C 左右，因此需要配置冷却器（图 7 中 A）。在铁路应用等许多情况下空间的紧凑性是必须要注意的，因此多采用把冷却器集装在发动机上的方式，对发动机整体尺寸的影响要尽量小。图 8 为配置 EGR 的 MTU 16V4000RX4 发动机与未装 EGR 的 16V4000R43 发动机的尺寸比较，可以看出装用 EGR 后对空间影响很小。

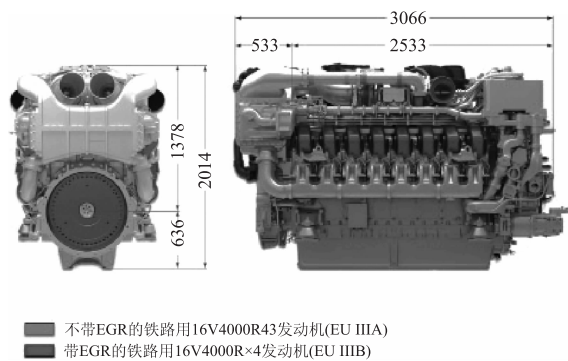


图 8 16V4000 发动机带与不带 EGR 的两种机型尺寸比较

2 废气后处理

MTU 柴油机的废气后处理主要包括粒子过滤器和选择性催化还原技术。

2.1 粒子过滤器(DPF)

粒子过滤器对发动机排气中的粒子有很强的清除作用，其清除率可以达到 90%。

适用于铁路用途柴油机的 EU Stage IIIB 标准已于 2012 年正式生效。根据这一标准，对粒子的限值为 $0.025 \text{ (g} \cdot (\text{kW} \cdot \text{h})^{-1})$ ，而此前 EU Stage IIIA 的限值为 $0.2 \text{ (g} \cdot (\text{kW} \cdot \text{h})^{-1})$ 。MTU 采用粒子过滤器达到了这一要求。图 9 所示为装用粒子过滤器的铁路用 MTU 16V4000RX4 柴油机^[6]。

当排气流经粒子过滤器时，烟粒沉积在多孔陶瓷结构的壁面上。在大多数情况下依靠排气本身的高温不断把沉积的烟粒烧除；而在极端的气候下，或长时在低负荷工况下工作时，排气温度较低不足以把烟粒烧除时，则通过温度管理系统来提高排气温度进行烧除。由传感器探测排气通过过滤器基片的压力差，发动机控制单元 ECU 可据此计算出过滤器的烟粒沉积程度，必要时可采取降低空燃比、推迟主喷射的始点、增加后喷射等措施来提高燃气温度。

MTU 的粒子过滤器体积小、维修间隔长。它可以装在原消声器的位置，同时起消声作用，因此便于更换原有的系统。通常还可和氧化催化装置

DOC 集装在一起，如图 10 所示。

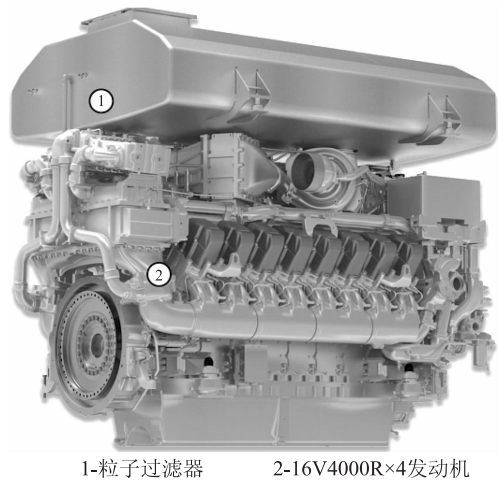


图 9 带粒子过滤器的 MTU 16V4000RX4 发动机

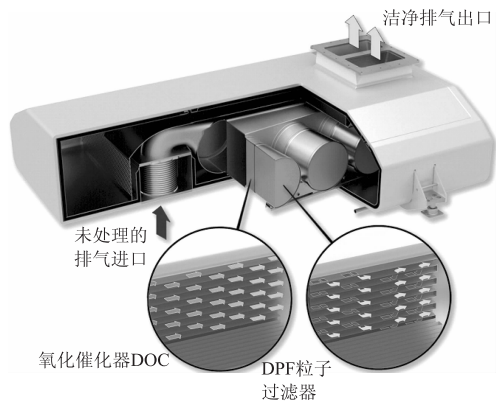


图 10 与氧化催化器集装的粒子过滤器

2.2 选择性催化还原（SCR）

众所周知，这种方法通过向排气中加入还原剂与氮氧化物反应生成氮和水而使废气得以净化。它可以去除 90% 燃烧过程中所产生的 NO_x。根据具体用途，甚至可以达到更高的去除率。

机内减排措施在降低 NO_x 的同时，会使燃油消耗率提高；而降低燃油消耗率的措施会使 NO_x 排放量增加。而如果集注于获得低油耗的设计，再配上 SCR 技术，则就能在获得低的燃油消耗率的同时，获得低 NO_x 排放。可以很好地解决这种矛盾。此外，SCR 技术还能使粒子的排放减少 60%。

图 11 所示为一种带 SCR 装置的 MTU 16V4000 发电机组^[7]。该机组可以满足 EPA Tier 4 的排放要求，而该标准要到 2015 年才开始实行。SCR 所用的还原剂是一种市场名称为‘Ad Blue’的化学品，这是一种 32.5% 浓度的超纯级尿素在去离子水中的溶液。还原剂的量为燃油消耗量的 5~7 倍。为了保证达到所需要的 NO_x 去除率，电子控制系统会根据发动机的转速、温度等参数精确地计算出所

需要的还原剂量，再由定量系统向排气流喷入足够的还原剂。

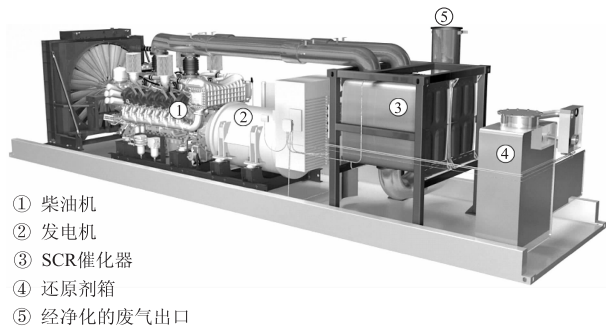


图 11 带 SCR 装置的 MTU 16V4000 发电机组

Tognum (MTU) 公司先对建筑、工业用的功率在 560 kW 以下的 MTU 1000、1100、1300 和 1500 系列发动机采用了 SCR 技术。取得经验后进而扩展到功率高达 3 000 kW 的发动机，包括 2000、4000 系列；甚至功率高达 7400kW 的船用 MTU 1163TB04 发动机为了达到 IMO Tier III 的排放标准，也将采用 SCR 装置^[1]。

图 12 示出一种 MTU 16V1600 发动机动力包，它安装在轨道车的底板下面，采用了 SCR 系统。整个装置包括催化转化器系统、定量系统、还原剂箱、加热器和管路等。

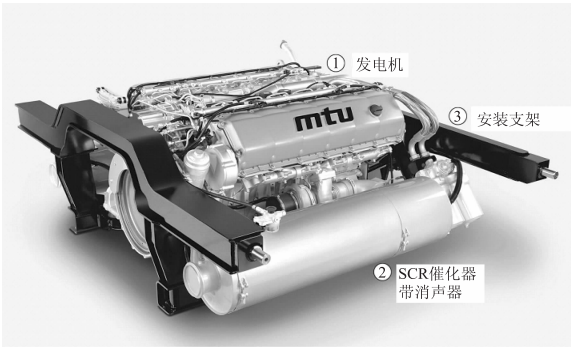


图 12 装于轨道车底板下带 SCR 装置的 MTU 16V1600 动力包

3 不同应用领域柴油机减排的差异性实施

以上对 MTU 发动机目前所采取的减排措施进行了介绍。由于各种应用场合对柴油机的排放要求是不同的，柴油机的安装使用条件也是不同的，所以对各类柴油机所采取的减排措施是有差异的。

总的来说，在船用领域，目前要求满足的排放标准主要是 IMO Tier II 以及美国的 EPA Tier 2。前者仅对 NO_x 的排放量有所限制；后者则对 NO_x + HC

的总量进行限制。

对船用的 MTU 2000 系列发动机，在 2004 年进行共轨化的时候，与新的共轨系统相配合，采用了 180 MPa 的喷油压力，对增压系统进行了适当的改进就能满足 IMO Tier II 的要求。与此相类似，其它一些机型都通过机内措施满足了要求。

2016 年起在北海、波罗的海及北美海岸区域等几个排放控制区要执行 IMO Tier 3 或 EPA Tier III 标准。由于这一标准要比 IMO Tier II 严厉得多，所以要采取更加复杂的措施。表 1 给出这种情况下，采用不同减排措施时对发动机装置影响情况的比较。

表 1

符合标准	减排措施	说明	对重量影响	对空间影响	对燃油耗影响	对发动机复杂性影响	对燃油品质影响
IMO Tier III	单纯机内	● EGR ●要求燃油中硫不超过 15×10^{-6}	+ 15%	+ 10%	+ 3% ~ 5%	高	高
	SCR (机外)	●要求燃油中硫不超过 $10\ 000 \times 10^{-6}$ ●要加装附加设备	+ 10% ~ 20%	+ 20% ~ 30%		与满足 IMO Tier II 的发动机相当	与满足 IMO Tier II 的发动机相当
EPA Tier 4	单纯机内	●EGR ●由于 EGR 的技术限制，很可能还要加 DPF ●要求燃油中硫不超过 15×10^{-6}	+ 10% ~ 15%	+ 15% ~ 20%	+ 5%	高	高
	机内措施 + DPF (发动机内部、外部措施相结合)	●EGR ●要求燃油中硫不超过 15×10^{-6} ●要求低灰分的滑油和燃油 ●EGR ●根据 DPF 积灰清除要求确定维护间隔 ●要加装附加设备	+ 20% ~ 30%	+ 25% ~ 30%		高	高
	SCR + DPF (全部机外措施)	●要求燃油中硫不超过 5000×10^{-6} ●要加装附加设备 ●要求低灰分的滑油和燃油 ●根据 DPF 积灰清除要求确定维护间隔	+ 20% ~ 30%	+ 40% ~ 50%		与满足 IMO Tier II 的发动机相当	与满足 IMO Tier II 的发动机相当

从表中可以看到，对船用发动机的排放标准进一步提高(达到 IMO Tier III 或 EPA Tier 4)时，可以采用多种手段来满足：单纯机内措施、单纯机外措施及机内和机外结合的措施。MTU 发动机总是首先考虑采用机内措施。

机内措施的优点是维持了发动机原来设计的尺寸和重量，没有附加空间的要求；同时，附加设备所需要的费用也被节省。但如前所述，许多机内降低 NO_x 的措施会引起燃油消耗的增加，为此常同时采取改善增压、多级喷射和提高喷射压力的措施。两级增压提高了技术的复杂性；而喷射压力已达到 180 MPa，甚至要高达 250 MPa，达到了惊人的程度。对于 IMO Tier III 或 EPA Tier 4 的排放要求，在大多数情况下要考虑废气再循环技术。但采用废气再循环技术除了引起燃油消耗较大的增高外，还会使发动机的功率密度有较大的降低。因此有些时候，例如对 MTU 1163TB04 发动机，则宁肯

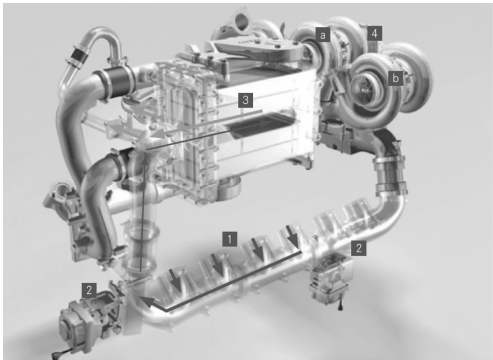
采用 SCR 技术来代替 EGR 技术。

在铁路领域 2012 年前适用的法规主要有欧洲的 EU Stage IIIA，与此相当的是国际铁路联盟的 UIC stage III。从 2012 年开始将要实施 EU stage IIIB。对满足不同时期排放要求的机型，机内措施是不同的。例如，满足 EU Stage IIIA 的 MTU 4000R03 发动机采用的是一级增压，而满足 EU Stage IIIB 的 MTU 4000R04 发动机就采取了二级增压^[8]。这些法规除了 NO_x 外，还规定了 HC、CO 和 PM 的限值，并且 NO_x 的限值也比相应时期的 IMO Tier II 严厉。因此除了某些机内措施外，还要采用机外排气后处理措施。MTU 公司常装用 SCR 装置来满足要求。

而对用于建筑、矿车和石油平台等场合，由于要满足 2014 年生效的 EPA Tier 4 标准，则在共轨化的同时，还着力于燃烧优化的改造：改善空气流动、改进气缸头和活塞顶部的形状、调整喷油角度、提高喷油压力至 220 MPa；并采用了两级增

压，特别是采用了废气再循环措施。从而使得在排气指标全面满足 EPA Tier 4 的同时，燃油消耗下降了 10%^[9]。

在建筑和工业应用场合，对生态影响极其重视，排放问题总是首要的。在 2014 年，欧洲的 EU Stage IV 和美国的 EPA Tier 4 开始执行。为此 MTU 已成功采取措施，对其 100 ~ 730kW 的几个系列的发动机采用 EGR + SCR 和 EGR + DOC 的技术，并且消声器也包括在后处理系统中。其结果除达到排放标准外，燃油消耗也比原满足 EU Stage IIIA/EPA Tier 3 的机型低了 5%，大修期延长 20%，噪声下降 20 dBA^[10]。而对应用于该领域的功率超过 560 kW 的 2000 系列发动机，则采用了有冷却的 EGR，通过一个控制阀，由电子控制系统精确保证回送的排气量与当时的发动机工况相适应；同时采用了两级增压，使粒子排放大大降低。与以前满足 EU Tier 2 的机型相比，燃油消耗降低了 10%，大修期延长了 8%。图 13 示出该发动机减排装置的配置情况^[11]。



1-回送排气的气缸；2-控制阀；3-冷却器；
4-两级涡轮增压器：a-高压级；b-低压级

图 13 2000 发动机的 EGR 减排装置

4 结束语

柴油机减排是一项重要的工作，它关系到人类赖以生存的环境，因此它势必又是一项长期的工作。由于在减排的同时会对燃油消耗、投资成本、整体布置等方面带来负面的影响，所以又增加了这

项工作的复杂性。通过业界长期的努力，已经取得了许多方向性成果，但研究成果和实际应用还存在很大的差距。Tognum (MTU) 公司在把研究成果转化成产品方面做了许多工作。由于资料相对缺乏，本文的介绍恐怕还仅是冰山一角，仅供业界参考。

参考文献

[1] Christoph Fenske. Further development of MTU Series 1163 for IMO II [R]. Sept. 2011. MTU Friedrichshafen GmbH.

[2] Dr. Johannes Kech, Ronald Hegner, Tobias Maennle. Turbocharging: key technology for high-Performance engine [R]. Aug. 2011, MTU Friedrichshafen GmbH.

[3] MTU Series 8000, MIM 05 172 (521E) 2/07.

[4] Dr. Johannes Kech, Dr Michael Willman, Dr. Philippe Gorse, etc. Common rail fuel injection: key technology for clean and economical combustion [R]. Aug. 2011, MTU Friedrichshafen GmbH.

[5] Dr. Johannes Kech, Guenther Schmidt, Christian Philipp, et. al. Exhaust gas recirculation: internal engine technology for reducing nitrogen oxide emission [R]. Aug. 2011, MTU Friedrichshafen GmbH.

[6] Guido Schaeffner, Klaus Rusch, Dr. Daniel Chatterjee, etc. Diesel particulate filter: exhaust aftertreatment for the reduction of soot emission [R]. Aug. 2011, MTU Friedrichshafen GmbH.

[7] Dr. Holger Sinzenich, Klaus Wehler, Ralf Mueller. Selective catalytic reduction: exhaust aftertreatment for reducing nitrogen oxide emission [R]. Aug. 2011, MTU Friedrichshafen GmbH.

[8] Rail. diesel engine 16V4000R84 for push-pull train and locomotives with EU Stage IIIB and UIC IIIA certification [R]. 3234241 1/10 VMD 2010 -09.

[9] Emission accomplished [R]. MTU Report 01. 2011.

[10] C&I. designed for the future. Built for your success. MTU engine Tier 4 final/EU Stage IV. 100 - 730 KW [R]. 310471 02/11 VMC2011-09C.

[11] C&I. MTU Series 2000 Tier 4i: Designed for the future. Built for your success [R]. 305202 01/11 VMC 2011 - 03.