

# LNG 运输船的主动动力装置

吴 穷<sup>1</sup>, 王建丰<sup>2</sup>, 王 冲<sup>1</sup>, 吉桂明<sup>1</sup>

(1. 中国船舶重工集团公司第七〇三研究所, 黑龙江 哈尔滨 150036; 2. 中海石油研究中心, 北京 100027)

**摘 要:** 分析了 LNG (液化天然气) 运输船 (简称 LNG 船) 的各种主动动力装置。指出, 尽管目前已出现从传统的锅炉汽轮机装置向柴油机装置转变的这一趋势, 但是, 在服役的 LNG 船中, 锅炉汽轮机装置仍占支配地位。为了深入研究该技术, 锅炉汽轮机装置正在不断地改进完善。随着船用燃气轮机在军民用船舶中得到大量应用, LNG 船主动动力装置方面研究有一个新的趋势, 燃气轮机为未来几代 LNG 船提供了一种经济耐用、环境污染小的主动动力装置。针对 LNG 船的应用, 简述了锅炉汽轮机装置和燃气轮机装置的设计要点。简单介绍并分析了二冲程低速柴油机和双燃料柴油机及其在 LNG 船上的应用。

**关 键 词:** 液化天然气运输船; 主动动力装置; 锅炉; 汽轮机; 燃气轮机; 柴油机

中图分类号: U695.2  
文献标识码: A

## 引 言<sup>[1~2]</sup>

在能源结构中, 世界各国对天然气的需要量正日益增加, 因此, LNG 船在造船工业中将占有很重要的份额。在 LNG 船队迅速扩大的同时, LNG 船体积也在不断加大, 新一代  $Q_{\max}$  级 LNG 船设计成具有  $265\ 000\ m^3$  的装载量。

鉴于我国对天然气的需求急剧增加, 有相关信息表明, 我国将建立自己的 LNG 船队, 近期将建

造 LNG 船 38 艘。CSSC (中国船舶工业集团公司) 将在上海外海的长兴岛建造世界上最大的造船厂, 在 2015 年建成时, 将使 CSSC 能够建造高技术的船舶, 如旅游船和 LNG 船。由沪东中华造船 (集团) 公司承建的我国第一艘 LNG 船已于 2007 年末自航进坞。

对 LNG 船需求的急剧增加, 加速了与之相配套的主动动力装置的开发和研制。

## 1 历史、现状和展望

传统上, 所有大型 LNG 船都采用锅炉汽轮机装置来驱动。如从 20 世纪 60 年代建造的第一代 LNG 船就采用了锅炉汽轮机装置, 由此奠定了在锅炉中燃烧 BOG (蒸发气) 的技术基础, 并一直应用至今。这种推进系统已经极大地证明了它的可靠性, 但同其它选择方案相比, 其热效率较低。

目前, 对于 LNG 船的主动动力装置已经看到从传统的锅炉汽轮机装置转变到柴油机装置, 双燃料柴油机的开发及其应用促进了传统观念的改变。

但锅炉汽轮机动力装置仍占支配地位, 据统计表明, 目前服役的 LNG 船中, 尤其是日本, 正在建造中的 LNG 船许多都将装用三菱重工、三井和川崎重工制造

的锅炉汽轮机装置。

当前, 在 LNG 船动力装置方面已出现了一个新的趋势, 未来的 LNG 船体积是很大的, 无论从重量和体积看, 使用锅炉汽轮机和柴油机是有不实用之处。分析表明, 在联合循环应用中并以电力驱动螺旋桨的燃气轮机十分适用于大型 LNG 船, 与柴油机比较, 空间和重量的节省十分明显, 节省下来的空间可用于装货。

## 2 锅炉汽轮机装置

1997 年以来, 川崎重工开发的 UA 型汽轮机: 29 400 kW 的 UA400、30 900 kW 的 UA420 和 36 800 kW 的 UA500, 截止 2004 年已有 20 多台安装在 LNG 船上, 因其振动小、噪声低、功率大和效率高而得到船东好评。

通常, 在用于 LNG 船的锅炉汽轮机装置中是两台锅炉配一台汽轮机。沪东中华造船 (集团) 公司承建的我国首制二艘 LNG 船的主动动力装置就是采用锅炉汽轮机装置。该船为薄膜型、舱容  $147\ 200\ m^3$ 、设计航速 19.5 节, 主动动力装置由两台锅炉和一台汽轮机组成。

### 2.1 主锅炉<sup>[3~4]</sup>

#### 2.1.1 参数和特性

我国首制 LNG 船的主动动力装置购自日本, 锅炉由三菱重工

提供, 锅炉型号为 MB-4E 型。其主要参数和特性为:

过热器出口蒸汽压力: 6.03 MPa;

过热器出口蒸汽温度: 515 °C;

蒸发量:

最大额定值: 65 000 kg/h;

正常额定值: 56 000 kg/h;

效率:

基于燃油高发热值: 88.5%;

基于气体燃料高发热值:

84.0%;

燃料消耗:

燃油:

最大额定值: 4 711 kg/h;

正常额定值: 4 067 kg/h;

气体燃料:

最大额定值: 3 867 kg/h;

正常额定值: 3 337 kg/h.

### 2.1.2 双燃料燃烧器

LNG 船主锅炉采用重油/气体燃料[BOG(蒸发气)] 分别单烧和混烧的燃烧器, 如图 1 所示。由图可见, 带雾化器的燃油喷嘴位于中心, 在其周围布置有一次旋流器、二次旋流器和气体燃料管。

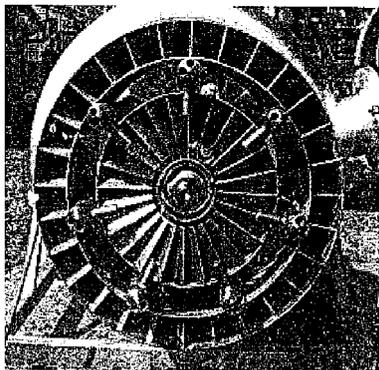


图 1 双燃料燃烧器

燃烧器调节比, 单烧气体时不小于 7:1, 单烧重油时不小于 20:1; 混烧时, 重油燃烧量最小不低于 2% 燃烧器容量。

### 2.1.3 设计要点

(1) 过热器设计点从原来标准的 80% ~ 90% 额定负荷改变为 60% 额定负荷, 以避免过热器长期在过高温度情况下运行。

(2) 采用炉顶点火, 可以获得稳定的火焰、均匀的炉膛热负荷及均匀分布的过热器入口烟气流。

(3) 作为尾部受热面, 设置省煤器(给水预热器)代替空气预热器。

(4) 主蒸汽温度调节采用喷水方式来代替以前的汽包内装式减温器。它是一种可改变喷水量、大范围调节比并具有良好减温性能的过热减温器。

## 2.2 主汽轮机组<sup>[5~7]</sup>

### 2.2.1 参数和特性

我国首制 LNG 船主动力装置中的主汽轮机购自日本川崎重工, 汽轮机型号为 UA-400 型, 其主要参数和特性为:

进口蒸汽压力: 6.0 MPa;

进口蒸汽温度: 510 °C;

最大连续额定输出功率: 27 300 kW;

转速:

高压汽轮机: 4 777 r/min;

低压汽轮机: 3 153 r/min;

冷凝器真空(在 27 °C 海水温度下): 95.6 kPa.

### 2.2.2 设计要点

汽轮机设计的目标是高效率、高可靠性和长寿命。

(1) 采用拉塔级(带少量反动度的压力级)提高各级叶片的性能, 达到最佳的流动状态, 以便提高效率。

(2) 改进动叶顶部的围带和密封设计, 达到降低漏泄损失的目的。

(3) 在末级和次末级叶片的进汽边上堆焊上太立特硬质合

金, 并通过疏水, 把动叶顶部的圆周速度设计成比标准圆周速度低约 20%, 减少相对速度, 从而减轻疏水对动叶的侵蚀作用。

(4) 利用 FEM(有限元法)进行汽轮机整体的振动分析, 避免汽轮机与螺旋桨转速引起共振。

(5) 除在强度上受制约的低压末级外, 高、低压汽轮机所有动叶顶部都装有围带, 以避免叶片的共振。

(6) 为了提高效率, 采用再热循环(川崎的 UR 型汽轮机), 并提高蒸汽的初参数: 压力提高到 12 MPa, 温度达 520 °C。

(7) 管壳式冷凝器, 冷却管是钛管, 管板为镍铝青铜, 通过有限元分析优化其结构设计。在水室内侧粘贴 3 mm 厚的氯丁橡胶, 保护水室免受海水腐蚀, 同时安装低碳钢的阴极保护板, 保护管板免受电离腐蚀。

锅炉汽轮机推进装置输出功率高、可靠性高、寿命长, 可以燃用包括蒸发气的双燃料, 而且维护成本较低。其缺点是效率低, 约 30% 左右(采用再热可提高到 34.5%), 有害物排放量高。

## 3 柴油机装置

### 3.1 二冲程低速柴油机<sup>[8~10]</sup>

MAN B & W 6S70ME-C 型二冲程低速柴油机, 在转速 91 r/min 下额定输出功率为 18 660 kW, 该型柴油机已用于 4 艘 216 000 m<sup>3</sup> 的 LNG 船。

卡塔尔最新一代 14 艘最大的容量为 265 000 m<sup>3</sup> 的 Q<sub>max</sub> 级 LNG 船每艘将由两台 MAN B & W 7S70ME-C 电子控制的二冲程低速柴油机驱动, 每台发动机在转速 91 r/min 下的额定输出功率为 21 770 kW(单缸 3 110 kW)。

二冲程低速柴油机功率大、效率高, 但只能烧液体燃料, 这种发动机通常用于超大型 ( $150\ 000\ \text{m}^3$  以上) LNG 船。

英国 Hanworthy (哈姆沃西) 公司的再液化系统可将蒸发的天然气经再液化处理后送回 LNG 罐, 从而使低速柴油机能以 LNG 船的 BOG 运行。再液化技术为大型 LNG 船安装高效大功率的二冲程低速柴油机铺平了道路。与汽轮机装置比较, 采用上述发动机推进的 LNG 船每年可节省 200 万到 500 万美元。

### 3.2 双燃料柴油机<sup>[11~13]</sup>

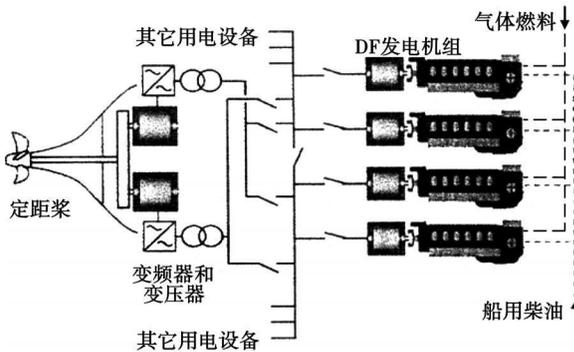


图 2 双燃料柴油机电力驱动系统简图

迄今第一艘由燃用 BOG 的 Waertsilae 50DF 双燃料柴油机电力系统 (DFDE) 驱动的 LNG 船— $75\ 000\ \text{m}^3$  的 Gaz de France Energy 已于 2004 年末投入营运。图 2 为驱动该船的 DFDE 系统。

British Emerald (英国祖母绿) LNG 船装载容量达到  $155\ 000\ \text{m}^3$ , 由 DFDE 系统驱动, 系统的总效率 (从燃料消耗到螺旋桨轴功率) 在额定负荷时约为 43%。每艘 LNG 船将装备 3 台 12 缸和 1 台 6 缸 Waertsilae 50DF 双燃料发动机, 总的输出功率为 39.9 MW。在  $500\ \text{r/min}$  转速下, 12V50DF 的输出功率为 11 400 kW, 6L50DF 的输出功率为 5 700 kW, 单缸功率为 950 kW。

双燃料柴油机的主要特点是: 采用燃油和天然气 (BOG) 两种燃料, 功率较大, 体积小, 重量轻, 占 LNG 船舱内空间小, 有害排放物少。双燃料柴油机通常用于驱动容量不超过  $155\ 000\ \text{m}^3$  的 LNG 船。至今, Waertsilae 已接受约 55 台双燃料柴油机订单, 用于驱动  $155\ 000\ \text{m}^3$  LNG 船。

## 4 燃气轮机装置<sup>[14]</sup>

### 4.1 燃气轮机发电机组的配置

燃气轮机电力驱动系统的一个优势就是能缩短发动机室的长度。燃气轮机发电机组置于主甲板高度的箱装体内, 位于座舱之后, 如图 3 所示。

用于主推进电动机的电气开关设备和控制设备装在发动机室的顶部, 而齿轮推进电动机则布置在底部。这种布置使得机械空间变短, 从而在给定的船舶尺寸内达到最大的货舱容积。

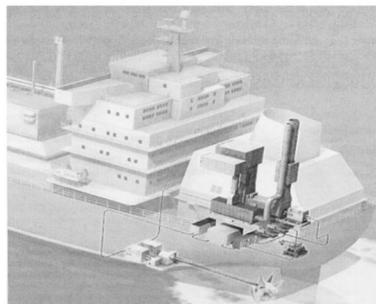


图 3 燃气轮机在大型 LNG 船上的布置

### 4.2 COGES 系统<sup>[15]</sup>

对于在  $230\ 000 \sim 265\ 000\ \text{m}^3$  载货量范围的大型 LNG 船, COGES (燃气轮机和汽轮机联合的

综合电力推进系统) 是极具吸引力的。

在 COGES 系统中, 燃气轮机的排气排入余热锅炉。余热锅炉产生的蒸汽驱动汽轮机做功。燃蒸联合循环中的燃气轮机和汽轮机驱动发电机。发电机生产的电力驱动推进用电动机并向船舶电网供电, 燃蒸联合循环的效率约为 45% ~ 50%。在使用低压蒸汽时, COGES 系统的能量利用率高达 80%。COGES 系统具有燃料灵活性, 可以燃用重燃油、蒸发气或两者的结合。

### 4.3 双燃料发动机<sup>[14]</sup>

燃气轮机的主要燃料是蒸发气, 如果需要可由气化的 LNG 作为补充, 应急备用燃料为液体燃油。双燃料 MT30 发动机使用 24 个双通路燃料喷嘴来向燃烧室供应两种燃料——蒸发气和柴油。

### 4.4 防冰措施

俄罗斯具有世界上最大的天然气储量, 其大部分位于俄罗斯的北极地区。新一代 LNG 船将常年在温度低于冰点的条件下航行。下一代 LNG 船如果装用燃气轮机将要考虑进气防冰的措施, 以便保护压气机安全运行。

### 4.5 MT30 航改型燃气轮机

壳牌航运技术公司已推荐 MT30 发动机作为下一代 LNG 船的主动动力装置。

MT30 是 Rolls-Royce 研制的第 11 型航改型船舶燃气轮机, 是由航空 Trent 派生的一型三转子发动机<sup>[14, 16~17]</sup>。燃气发生器的低压转子由 8 级轴流低压压气机和 1 级轴流低压涡轮组成, 高压转子由 6 级轴流高压压气机和 1 级轴流高压涡轮组成。动力涡轮转子由 4 级轴流涡轮组成, 如图 4 所示。

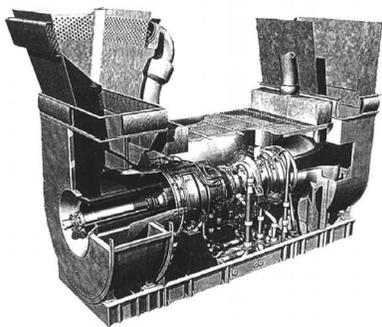


图 4 MT30 船舶燃气轮机

在 ISO 条件下, MT30 的额定功率为 36 MW, 热效率为 40%, 环形燃烧室能满足目前和未来的  $\text{NO}_x$ 、 $\text{SO}_x$  和  $\text{CO}_2$  排放和冒烟的立法标准。

MT30 可用于无人机舱, 按视情维护设计, 日常的维护保养仅限于检查液位和目视检查。

劳埃德船级社已完成了 MT30 系统用于 250 000  $\text{m}^3$  LNG 船的认证。

#### 4.6 SGT-500 (GT35C) 重型工业燃气轮机<sup>[13]</sup>

卡塔尔天然气公司已指定 COGES 作为其下一代 LNG 船优先选用的推进系统。Siemens 公司投标其 SGT-500——重型工业燃气轮机用于上述 LNG 船项目。

SGT-500 是一型(额定功率为 17 MW)双燃料发动机, 能够利用作为液体燃料的重油来运行, 也可以利用蒸发气运行。

### 5 各种主动力装置的比较

如上所述, LNG 船的主动力装置呈现三足鼎立的局面, 即日本三菱重工、川崎重工的锅炉汽轮机装置、芬兰 Waertsilae 的双燃料柴油机和德国 MAN B & W 的二冲程低速柴油机。

实际上, 确定 LNG 船主动力装置总运费率的变量包括燃油效率、初投资费用、运行维护费用、

装置的使用寿命(全寿命周期费用)和装置的重量尺寸(涉及载货量多少)等。

至于适用性, 即选择哪一种动力装置, 既要考虑总运费率、机组的功率, 还要兼顾本国的国情(如日本在传统上制造并使用锅炉汽轮机装置)等。

作为历史最悠久的一种动力装置, 锅炉汽轮机装置至今在现役的 LNG 船中仍占支配地位。它具有一些突出的优点: 功率大、可靠性高、使用寿命长、初投资费用和运行维护费用低。但是不容否认, 由于其外燃式的局限性, 其燃料效率只达到 30% 左右, 明显低于柴油机和燃气轮机, 尤其低于 COGES 装置, 即使应用再热循环并提高蒸汽初参数, 其效率也仅达到约 34.5%。

与锅炉汽轮机装置比较, 柴油机装置的效率要高得多, 中速柴油机通常大于 43%, 二冲程低速柴油机的效率更高, 接近 48%。但是它也有一些缺点, 诸如初投资费用高、运行维护费用高、寿命较低等。由于缸径小, 双燃料柴油机单缸功率不超过 1 000 kW, 限制了每台机组的功率, 它通常被应用于舱容小于 150 000  $\text{m}^3$  的 LNG 船。二冲程低速柴油机, 虽然效率很高, 但有部分能耗要花费在再液化装置上。它功率大, 单缸功率超过 3 000 kW, 但是尺寸重量要比燃气轮机装置大得多。

作为最新一代船舶主动力装置, 燃气轮机具有一些突出的优点, 诸如效率高(当前第三代船舶燃气轮机简单循环的热效率已达到 40%)、重量尺寸明显小于锅炉汽轮机装置和柴油机装置、机动性好、自动化程度高(可实现无人机舱运行)。因此, 燃气轮机装

置已在船舶中应用, 至今已有 16 台 LM2500 燃气轮机以 COGES 形式应用于 8 艘排水量超过 10 余万吨、载客数千人的大型旅游船中<sup>[18]</sup>。壳牌航运公司和 Rolls-Royce 公司的研究也已表明, COGES 装置的总运费率比双燃料柴油机低 10%。它的缺点是使用寿命明显低于锅炉汽轮机装置, 运行维护费用也比较高。

分析比较认为, 具有当代最先进技术的支撑, 基于最新一代船舶燃气轮机 (MT30、SGT-500、LM2500+G4 等) 的 COGES 装置, 在不久的将来必将在 LNG 船中得到广泛的应用。

### 6 结 论

(1) 尽管柴油机装置在 LNG 船中的应用呈上升趋势, 但作为 LNG 船传统的主动动力装置, 锅炉汽轮机装置仍在不断完善改进, 并在 LNG 船主动力装置中占有重要的地位。

(2) LNG 船主动力装置趋向从锅炉汽轮机装置转变到柴油机动力装置, 能燃烧蒸发气的双燃料柴油机的开发及其应用加快了这一进程。

(3) 燃气轮机动力装置为未来几代 LNG 船提供了一种经济耐用、环境友好的系统, 尤其 COGES 系统更是这样。

(4) 无论是双燃料柴油机驱动, 还是燃气轮机(包括 COGES)驱动, 采用电力传动方式是应优先考虑的方案, 提供的电力可以满足推进装置和全船的电力需求, 并有利于动力装置在船上的布置。

(5) 鉴于 LNG 船在航行过程中将不可避免地产生 BOG, 因此, 无论是锅炉汽轮机装置、柴油机装置, 还是燃气轮机装置都应该优先使用 BOG 作为主燃料。

为此, 开发双燃料燃烧器(对于锅炉、双燃料柴油机和燃气轮机)和 BOG 再液化装置(对于二冲程低速柴油机)是 LNG 船主动力装置发展的一个必然趋势。

(6) 轮机是船舶的心脏。但是, 船舶主动力装置始终是制约我国造船工业发展的一根软肋。LNG 船也不例外, 可供应用的本国主动力装置至今尚属空白。为此, 我国有关部门应抓住时机, 开发用于 LNG 船的本国的主动力装置, 加快开发双燃料柴油机, 尤其是对有望应用于下一代 LNG 船的基于燃气轮机的 COGES 装置应加大研制的力度。

本文在修改过程中, 魏应新同志提供了许多有用的参考资料, 作者对此表示诚挚的谢意。

#### 参考文献:

[1] MCNEELY M. LNG fleet' s rapid growth

[J]. Diesel & Gas Turbine Worldwide, 2006, 38(6): 2

[2] 我国第一艘 LNG 船自航进坞[J]. 国际船艇, 2007, (6): 4.

[3] Mitsubishi Heavy Industries LTD' s Chinese LNGC project [R]. Nishi-ku, Yokohama; Mitsubishi Heavy Industries Power Systems 2004.

[4] SUZUKI K, DOKOH N, OKADA S. Mitsui marine main boiler for LNG Carrier [J]. Journal of the Marine Engineering Society in Japan, 1988, 23(9): 36-43.

[5] Kawasaki Heavy Industries LTD' s Chinese LNGC project [R]. Tokyo, 2004

[6] TSUTOMU MIZUMOTO. The Characteristics of KHI marine main turbine for LNG [J]. Journal of the JIME, 2005, 40(3): 25-30.

[7] MERCER M. Gearboxes designed for changing LNG Carrier needs [J]. Diesel & Gas Turbine Worldwide, 2005, 37(9): 38

[8] MERCER M. LNG carrier conundrums [J]. Diesel & Gas Turbine Worldwide, 2006, 38(7): 22-25.

[9] MAN B&W 二冲程发动机应用于液化天然气船 [J]. 国际船艇, 2007 (11): 49.

[10] Hamworthy 赢得再液化系统的订单

[J]. 国际船艇, 2005(5): 43.

[11] MULLINS P. LNG: an update [J]. Diesel & Gas Turbine Worldwide, 2005, 37(6): 10-13

[12] SVENSSON B. Waertsilae dual-fuel engines propel LNG Carrier market [J]. Diesel & Gas Turbine Worldwide, 2005, 37(6): 44-45.

[13] 用于 LNG 船的双燃料发动机 [J]. 国际船艇, 2004(1): 42

[14] CAMERON I. Propulsion systems debate sails on [J]. Diesel & Gas Turbine Worldwide, 2006, 38(6): 10-11.

[15] SVENSSON B. COGES to power next LNG carriers? [J]. Diesel & Gas Turbine Worldwide, 2005, 37(6): 34-35.

[16] ASHMORE C. MT30 flat-rated at 36 000 kW and 40% efficiency up to 26 °C ambient [J]. Gas Turbine World, 2004, 34(1): 32-35

[17] CAMERON I. Rolls-Royce' s MT30 passes crucial milestone [J]. Diesel & Gas Turbine Worldwide, 2005, 37(9): 14.

[18] MERCER M. LM2500+G4 available for cruise applications [J]. Diesel & Gas Turbine Worldwide, 2007, 39(3): 54.

(编辑 伟)

#### 新技术、新工艺

## ГТК-10-4 工作叶片根部的应力分析

据《Тяжелое машиностроение》2008 年 6 月号报道, ГТК-10-4 燃气轮机装置用于驱动天然气的增压器并在天然气泵送站中得到广泛的应用。该燃气轮机装置按照具有“分段式轴”、有回热的开式循环工作, 保证了较高的经济性和机动性。

工作叶片由叶型部分(叶身)和叶根组成, 叶片的毛坯由熔模精密铸造制成。

工作叶片是涡轮最重要零件之一, 叶片在高温燃气流中旋转, 并经受大的离心力作用。由于在燃气流中的自激振动或强迫振动, 叶片产生了交变应力, 在这种应力的作用下可能发展疲劳过程。

研究了在涡轮旋转时产生的惯性力引起的工作叶片根部的应力状态。计算分析得到的叶片根部内的应力分布, 可以作为疲劳计算的依据; 给出了有关改变根部榫齿和轮盘榫槽表面几何形状的建议, 以便降低齿槽内产生的应力。

(吉桂明 供稿)

燃气轮机叶片气膜冷却研究进展 = **Recent Advances in the Study of Air-film-cooled Gas Turbine Blades**[刊, 汉]/ DAI Ping (College of Power and Energy Source Engineering, Harbin Engineering University, Harbin, China, Post Code: 150001), LIN Feng (CSIC (China Shipbuilding Industrial Corporation) Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036)//Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2009, 24(1). - 1 ~ 6

With turbine inlet gas temperatures ever increasing, the turbine blade-surface cooling problem of modern high-performance gas turbo-engines has received growing and unremitting attention. Among numerous cooling technologies, air-film cooling enjoys a conspicuous edge and relatively brilliant prospects for engineering applications. A survey of the recent research findings concerning the air-film cooling technologies used on gas turbine blades was given along with a description of the air-film cooling theory. Summarized were the advances in the study of air-film cooling technologies for blade end walls, tips, as well as leading and trailing edges, and the research results on the flow coefficient of air-film holes. Various factors influencing the air-film cooling effectiveness and their effects on the aerodynamic losses were expounded. Finally, it should be noted that a complex cooling mode combining the air-film cooling with other blade cooling technologies represents the development trend of the technologies under discussion in the near future. **Key words:** turbine blade, air-film cooling, heat-transfer coefficient, flow coefficient, aerodynamic loss

LNG 运输船的主动力装置 = **Main Propulsion Plants for LNG (Liquefied Natural Gas) Tankers**[刊, 汉]/ WU Qiong, WANG Chong, JI Gui-ming (CSIC (China Shipbuilding Industrial Corporation) Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036), WANG Jian-feng (CNOOC Research Centre, Beijing, China, Post Code: 100027)//Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2009, 24(1). - 7 ~ 11

A variety of main propulsion plants for LNG (Liquefied Natural Gas) tankers (referred to as LNG tankers for short) were analyzed. It is noted that although a tendency to change from the traditional boiler and steam turbine plants to diesel ones has emerged currently, the traditional boiler and steam turbine plants still predominate for LNG vessels in active service. During an in-depth investigation of the technology, the boiler and steam turbine plants have been found to undergo ceaseless improvements. With marine gas turbines securing a widespread use in military and civilian vessels, the study concerning main propulsion plants for LNG vessels enjoys a new development tendency. One can state that gas turbines have provided efficient, durable and environment-friendly main propulsion plants for future generations of LNG vessels. Regarding the application of LNG vessels, the main points for the design of boiler and steam turbine plants as well as gas turbine ones were briefly described. Two-stroke low-speed diesels and dual-fuel ones and their use on LNG vessels were also briefly explained and analyzed. **Key words:** LNG (Liquefied Natural Gas) tanker, main propulsion plant, boiler, steam turbine, gas turbine, diesel

不同损失模型对气冷涡轮 S2 流面优化影响的分析 = **Analysis of the Influence of Various Loss Models on the Optimization of Air-cooled Turbine S2 Stream Surfaces**[刊, 汉]/ JIN Jie, WEN Feng-bo, HAN Wan-jin, et al (Propulsion Theory and Technology Research Institute, Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001)//Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2009, 24(1). - 12 ~ 18

S2 stream-surface direct problem was employed to perform the optimized design of a turbine. With due consideration of design variables, target functions and constraint conditions, investigated was the influence of various loss models on their optimized results. The calculation results show that the difference in the influence of the models in question on S2 optimized results is relatively big with the overall loss being reduced and the isentropic efficiency also being increased to various degrees. Hence, the use of a reliable and high-precision model is crucial for S2 stream surface optimization calculations and it is of the utmost importance to verify the existing loss models when compared with test data. **Key words:** turbine, loss