

船舶余热空调系统的可行性和经济性分析

吴文新 周宏基

摘要：从船舶节能和环境保护的角度出发，论述了船舶节能和余热利用的必要性。分析了利用船舶动力装置余热实现船舶空气调节的可行性并提出了具体的技术方案，同时还对该方案进行了经济性分析。

关键词：船舶节能 余热利用 空气调节

中图分类号：TB61⁺1

文献标识码：A

文章编号：1006-7973 (2006) 05-0174-02

众所周知，现代商用船舶动力装置的燃油热量综合利用率在 50%左右，还有 50%左右的热量成为废热。如果充分利用，无论从经济上或环保方面都具有重大价值。在科学技术日新月异的今天，充分应用科技新成果，挖掘“废热”潜能，不断提高船舶动力装置的综合效率已不再是梦想。溴化锂吸收式空调系统在船舶上的应用，就是一项比较可行的技术措施。下面对这一课题的可行性和经济性进行必要的分析论证。

一、可行性分析

1. 溴化锂吸收式制冷（热）系统具有下列特点

(1) 以水作制冷剂，溴化锂作吸收剂，它无臭、无味、无毒，对人体无危害。

(2) 对热源的要求不高。一般的低压蒸汽 (0.12MPa 以上)或 75℃ 以上的水均能满足要求，特别适用于有废气、废热水可利用的场合。有利于热源的综合利用。随着地热和太阳能的开发利用，它将具有更加广泛的前途；

(3) 整套装置基本上是热交换器的组合体，因除泵以外没有其它运动部件，所以振动、噪声都很小，运转平稳，对基建的要求不高，可在露天甚至楼顶安装，尤其适用于舰船、

医院、宾馆等场合；

(4) 结构简单，制造方便；

(5) 装置处于真空下运行，无爆炸危险；

(6) 操作简单，维护保养方便，易于实行自动化运行；

(7) 能在 10%~100%的范围内进行制冷量的自动无级调节，而且在部分负荷时机组的热力系数并不明显下降；

(8) 溴化锂溶液对金属，尤其对黑色金属有强烈的腐蚀性，特别在有空气存在的情况下更为严重，因而机组应保持很好地密封；

(9) 由于系统以热能作为补偿，加上溴化锂溶液的吸收过程是放热过程，故对外界的排热量大（通常比活塞式制冷机大一倍），冷却水消耗量大。但它允许有较高的冷却水温度升高。冷却水可采用串联流动方式，以减少冷却水的消耗量；

(10) 因用水作制冷剂，故一般只能制取 5℃ 以上的冷水，多用于空气调节及一些生产工艺用冷冻水；

(11) 热力系数较低；

(12) 溴化锂价格较贵，机组充灌量大，初投资较高；船用溴化锂机组和电制冷机的综合对比可归纳于表 1。

表 1 用于船舶上的溴化锂机组和电制冷机综合对比

形式 比较项	蒸汽式溴化锂机（中央空调）	螺杆电制冷机（中央空调）
初投资	一般，原因：主要是空调系统投资和电力负荷很小，只增较高。原因：除空调系统投资外，由于电力负荷大，需增加少量电力设备配制费和电力增容费。	增加大量电力设备配置费和电力增容费。
运行	振动小，噪音低，运行平稳，安全可靠。原因：只有三台振动大，噪音大。	原因：靠强大电力驱动机械做功，完成相变来制冷，运动部件多、复杂，对环境和人员造成一定影响。
工作原理	利用真空状态下溴化锂溶液吸水特性，使水在真空低温蒸发利用机械运动压缩氟利昂使其液化 - 蒸发，以达到制取低温冷水。	低温冷水。
负荷调节能力	当室内温度变化时，通过蒸汽调节阀，负荷可在 25 - 100%之间自动进行无级调节。	根据室内温度变化，负荷可在 25%，50%，70%，100%之间有级调节，也可通过水泵变频进行无级调节。
能耗调节	当负荷减少时，蒸汽耗量同步减少，达到最大限度节能。	当负荷减少时，能耗不能相应减少，浪费了能源。
机房基础和隔音	因机组运转平稳，噪声小无震动，对机房建筑无特殊要求，并不需考虑防震、隔音。	因机组震动大，噪声大，机房必须考虑机组基础和机房隔音。

收稿日期：2006-4-11

作者简介：吴文新 武汉航海职业技术学院轮机系 (430062)

环保	优。原因：使用的工质溴化锂溶液无毒、无味，不挥发，有影响。原因：使用的工质氟利昂易挥发，破坏臭氧层，是理想的环保工质。	已规定淘汰期限。
运行费用	较低。原因：利用余热回收产生的蒸汽，运行成本低。	较高。原因：使用二次能源，增加燃料消耗。
操作	方便。原因：可实现手动、自动、联动，操作人员少。维修费用低，维修量小。	方便。原因：可实现手动、自动、联动，操作人员少。维修费用较高，维修量大
维修保养	原因：运动部件很少，大故障几乎没有，溴化锂工质不会挥发，故不用补充。	原因：机组内部受压部件和易损件多，故障可能性较大，定期补充润滑油，补充氟利昂，更换零件。
使用寿命	长 15~20年	长 15~20年

基于以上特点，采用溴化锂机组、利用船舶动力装置的余热作为补偿能源的空调系统是完全可行的。船舶动力装置可利用的余热形式有两种：一是柴油主机的气缸冷却水带走的热量；另一种是柴油主机的废气热能。

2. 船舶动力装置余热热能计算

由柴油机的热平衡分析可知，燃料在柴油机气缸中燃烧所放出的热量大约有 30~55% 转化为有效功，25~40% 为排气带走的热量，10~30% 为冷却介质带走的热量。

以某 35000t 级散货船为例，进行余热热能计算。该船主机型号：7PC4-2E；标定功率：7718kW；标定工况下燃油消耗率：182.2g/kWh；排气温度： $t=400$ 。

排烟的热能为： $Q_1=7718/50\% \times 30\%=4630.8 \text{ kW}$

如果这部分热能的 20% 被废气涡轮增压器利用，80% 通过废气锅炉加以利用，目前废气锅炉热能的利用率为 40% 左右，即可产生水蒸汽的热能为：

$Q_2=4630.8 \times 80\% \times 40\%=1482 \text{ kW}$

由于水蒸汽的温度较高，比较适合于作为双效溴化锂吸收式制冷机的热源，双效溴化锂吸收式制冷机热力系数一般可达到 1，而通常的 35000t 级散货船空调所需制冷量一般为 100kW 左右，只用到废气锅炉产生水蒸汽热能的 7%，对其他设备使用蒸汽热能不受影响。因此，利用主机废气余热作为空调制冷的能源是完全可行的。

3. 船用溴化锂吸收式空调制冷装置的结构形式

(1) 改造工程量最小。现代的船舶几乎都设置有废气锅炉蒸汽系统，正常航行时产生的蒸汽量作为空调制冷绰绰有余。因此不需要增设蒸汽产生装置，而增加改造难度和投资；

(2) 可以直接应用陆上蒸汽加热式溴化锂吸收式制冷装置的成熟技术和生产工艺。对陆用蒸汽加热式溴化锂吸收式制冷装置只要从结构方面进行适当改进，防止因船舶摇晃对制冷装置性能的影响，即能装船使用。

(3) 由于直接利用船舶现有蒸汽系统，确保了在船舶停航期间也能通过燃油锅炉提供蒸汽热源制冷，而不必要设置其他辅助制冷装置。也可以利用原有的蒸汽压缩式制冷机提供冷源；

(4) 不需要对原有空调系统进行大规模改造，只需简单地将溴化锂吸收式制冷装置产生的冷媒水管直接与中央空调处理器的加热器进出管连接即可。

船用溴化锂吸收式空调制冷装置可采用三筒式双效结构形式，该装置可直接利用船舶蒸汽系统的蒸汽作为热源，制冷循环中产生的冷媒水直接供给中央空调处理器的换热器，

用以冷却处理空气。

二、经济性分析

决定项目投资合理与否的主要因素之一，是项目的经济收益是否能超过投资。通常评价投资合理性方法是偿还期法，即用所获收益来补偿全部投资所需的年数，可用下式计算：

$$\text{偿还期} = \frac{\text{初次费用}}{\text{全年收益} - \text{全年花费}}$$

偿还期越短，投资越合理。如果偿还期大于设计使用年限，则投资是不可行的。

1. 蒸发压缩式制冷系统的电能消耗（以制冷量 $Q_0=100\text{kW}$ 计）

蒸发压缩式制冷空调系统的性能系数一般为：

$\text{COP} = \text{制冷量 } Q_0 / \text{轴功率}$ 错误！链接无效。=2.0

则制冷压缩机电动机的功率

$P_e = Q_0 / \text{COP}$

=100/2

=50kW

假若发电机柴油机的有效效率为 40%，有效耗油率为 210g/kWh，则制冷压缩机电动机 50kW 的耗油率为 $210 \times 50 = 10.5 \text{ kg/h}$ 。如果每年有四个月为制冷工况，则总耗油量为 $10.5 \times 30 \times 24 \times 4 = 30240 \text{ kg}$ 。

2. 溴化锂吸收式制冷系统的电能消耗（以制冷量 $Q_0=100\text{kW}$ 计）

溴化锂吸收式制冷系统的主要电能消耗，主要是溶液泵的消耗（以制冷量 $Q_0=100\text{kW}$ 计），约为 10 kW，在相同的使用情况下，年总耗油量为 $210 \times 10 \times 30 \times 24 \times 4 = 6048 \text{ kg}$ 。

3. 空调蒸发压缩式制冷系统改装为溴化锂吸收式制冷系统的年收益

制冷系统改装后的年收益为两者的相差 $30240 - 6048 = 24192 \text{ kg}$ ，即每年将可节油 24192 kg。

总之，在船舶上使用溴化锂吸收式制冷系统，充分地利用了柴油机的废热，能提高船舶运行的经济性，同时也减少了对大气和海洋环境污染。既节约了有限的石油资源，又保护了地球的环境。

参考文献

- [1] 吴恒主编. 船舶动力装置技术管理. 大连海事大学出版社. 1999.4.
- [2] 吴业正主编. 制冷原理及设备. 西安交通大学出版社. 1997.4.