

150W 准分子激光器横流风机研究设计

李延涛

(哈尔滨七〇三研究所)

[摘要] 本文介绍了150 W准分子激光器用横流风机的选型、气动设计、结构设计及循环气体冷却问题。通过实物运行实测证明,横流风机具有直接获得扁平形状高速均匀流场的优势,该风机结构紧凑、计算正确可靠,设计合理。

关键词 横流式通风机 设计 计算

分类号 TH44

0 前言

150W 准分子激光器是国家“七五”攻关项目。准分子激光器在我国的研究设计尚属起步阶段,研究的目的是向大功率化,商品化发展,能否设计体积小、重量轻、风速高、流场均匀的特种风机是准分子激光器发展的制约因素之一。

激光器要求风机:(1)惰性气体在0.3 MPa(绝对压力)下密闭循环,对外界完全不能漏泄。(2)气体成分:氮90%、氙5%、氢2%、氯化氢3%。(3)循环气体进入放电产生激光的电极时,要求气流速度20 m/s,在两电极之间狭长截面上(1100×25 mm),流场不均匀度在10%以内。(4)电极放电产生激光时要求气体温度在40℃以下,气体密闭循环产生的热量要及时散掉。(5)体积小,重量轻。

1 风机选择

根据激光器对气体流速和流场的要求,如果采用离心风机,风机的进出口互为直角,流道必然多次转折带来很大的能量损失并使流场不均匀,结构也必然庞大。如果选用轴流风机,由于轴流风机的进口出口皆为圆形,要使气流过渡成1100 mm长的扁平形状均匀气流必然要设很长的过渡带,其体积和重量都不能满足激光器的要求。

选用的横流风机是一种特殊形式的风机,气流从风机进口到出口两次被叶片加速和扩压,进口和出口形状皆为矩形,只要强度允许,转子可以设计得很长。由于风机出口的原始形状为矩形,流道做成简单的渐缩形状,加速过渡段不需很长就可以得到扁长形状均匀气流。这样,在流场的均匀性和风机的重量体积方面都可以满足激光器需要。转子设计成和电极长度相同,给结构设计带来极大方便。

横流风机因为效率低而不常用,国内能见到的横流风机是在小型空调器上,是测绘仿制品。

收稿日期 1995-05-24

2 风机的气动设计

2.1 横流风机的工作原理

如图 1 所示,横流风机有一个筒形的多叶轮的转子,气流沿着与转子轴线垂直的方向从转子一侧的叶栅进入叶轮,然后穿过转子内部,第二次通过转子的另一侧叶栅,将气流排出。如果取内圆周的叶片角 $\beta_1 = 90^\circ$, 转子第一叶栅和第二叶栅进出口速度三角形如图 2 所示。

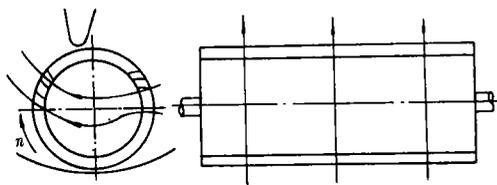


图 1 横流风机结构简图

根据动量定理,整个叶轮的的能量转换只取决于叶轮叶栅总的进口和出口扭速,因此可以把横流风机简化成对于总的叶轮进、出口速度三角形的研究。由于进出口通道的叶栅具有相同的外圆周叶片角 β_2 ,为了研究方便,将叶栅进口段和出口段展开成直线并画在一起,借助速度三角形即可求得扭速 ΔC_u 。

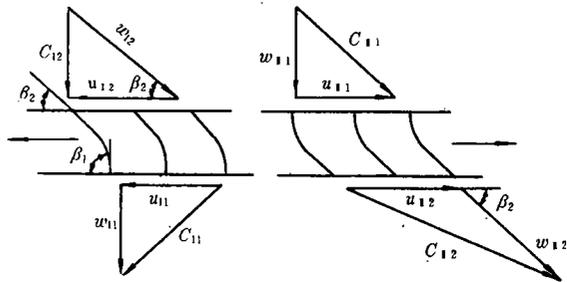


图 2 横流风机叶栅进出口速度三角形

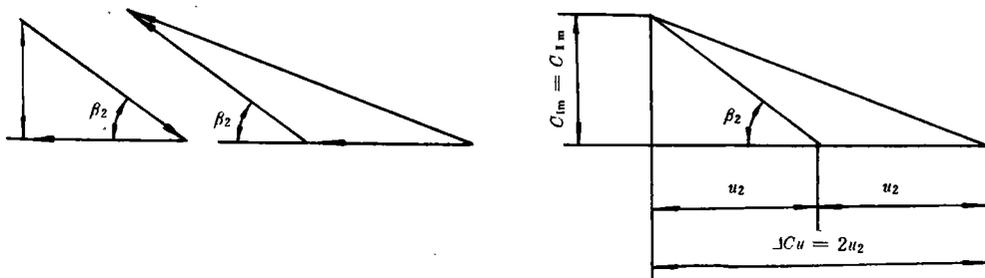


图 3 叶轮进出口相等时的速度三角形

假定气流径向进入叶轮,叶轮的进口弧长和出口弧长相等,其速度三角形如图 3 所示。

此时径向速度 $C_{1m} = C_{2m}$

扭速 $\Delta C_u = 2u$

如果气流径向进入叶轮,叶轮进口弧长大于出口弧长,则排气速度比进口速度高和进出口弧长相等比较,扭速 ΔC_u 增大,排气速度比进口速度高,其速度三角形如图 4 所示。

根据欧拉方程可以求得风机的全压

$$P_m = \rho u_2 \Delta C_u = \bar{P} \rho u_2^2$$

式中 P_m —平均全压; u_2 —叶轮圆周速度;
 ρ —气体密度; \bar{P} —压力系数。

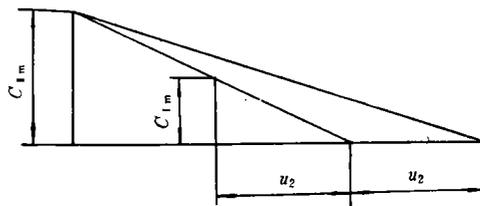


图 4 叶轮进口长大于出口长时的速度三角形

2.2 风机气动要求

2.2.1 两放电电极间面积 $1100 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}$, 气流流经电极速度 $V = 20 \text{ m/s}$, 此时流量 $Q = 0.55 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

2.2.2 在 0.3 MPa 压力下, 根据气体成份比例和各分子量计算密度为 3.023 kg/m^3 。

2.2.3 根据结构确定后的流道算得系统阻力。

2.2.4 风机压力系数 $\bar{P} = 0.86$, 流量系数 $\bar{Q} = 0.93$ 。

2.3 气动计算结果

转子外径 $D_2 = 170 \text{ mm}$,

内径 $D_1 = 134 \text{ mm}$,

叶片宽 $L = 18 \text{ mm}$,

叶片圆弧 $R = 22.4 \text{ mm}$

转子外圆周叶片角 $\beta_2 = 25^\circ$

转子内圆周叶片角 $\beta_1 = 90^\circ$

叶片数 $Z = 24$ 片, 转速 $n = 2900 \text{ r/min}$

电机功率 $N = 7 \text{ kW}$, 效率 $\eta = 0.5$

3 风机的结构设计

3.1 转子设计:

由气动计算结果, 转子外径 $D_2 = 170 \text{ mm}$, 转子内径 $D_1 = 134 \text{ mm}$, 叶片数 $Z = 24$ 片, 叶片长 1100 mm , 转子支点长: 1172 mm 。

根据叶片强度计算, 叶片采用 2 mm 不锈钢板模压成 $R = 22.4 \text{ mm}$ 圆弧形状, 叶片薄而长, 刚度很弱, 转子除两个端盘外, 设 8 个 2 mm 厚的中间盘, 叶片和 10 个盘成为一体, 转子的刚度强度大大加强, 中间盘很薄对流场影响不大。整个转子被中间盘分成 9 段, 每段 120 mm , 实际上相当于 9 个 120 mm 的小风机转子并联在一起。中间盘除加强叶片刚度外, 对整个转子刚度亦有加强作用。

横流风机转子细而长, 转子刚度问题应引起足够重视。在研制过程中, 试验用的转子

中间未穿轴, 转子虽经低速动平衡(要求 15 g/cm), 但转子在 $n = 2900 \text{ r/min}$ 运行时不稳定, 动挠度最大值达 2 mm 。后来在转子上增加一根 $\phi 25 \text{ mm}$ 的轴, 穿过中间盘固定在两端轴颈上。采取这样措施后, 转子在 2900 r/min 时运行平稳。转子采用装配后焊接结构, 8 个中间盘和两个端盘用线切割机加工出插叶片的豁口, 叶片和盘、轴组装起来后, 用氩弧焊将叶片点焊在盘上, 焊后热处理去应力, 再组合加工外径、端轴到要求的尺寸。

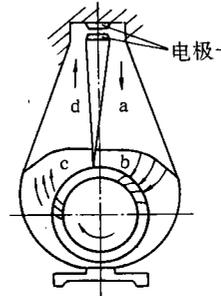


图5 流道简图

3.2 流道设计

横流风机进出口的形状为狭长矩形, 转子气动长度与两电极的长度相同, 流道也设计成同样尺寸。以保证气流没有纵向流动使流场均匀。横向流道如图所示分为进口流道 $a-b$, 出口流道 $c-d$ 。

在 a 段, 气流经多次转折, 节流后温度升高, 体积增加, 此处空间设计得较大, 气体在这里扩压。 b 段流道为渐缩的蜗壳形状用以分配进入转子的气流, 使气流沿转子的圆周方向均匀进气。 c 段流道为渐放的蜗壳形状, 其作用为: (1) 对从转子中出来的高速气流有扩压作用; (2) 蜗壳的渐放平滑面使高速气流扩压后平滑加速, 减少高速气流冲击壁面而产生涡流。 d 段流道为渐缩的直壁面, 目的在于均匀加速气流, 使激光器两电极间达到所需 20 m/s 的气流速度。高速气流进入扁平形状的电极空间后重新进入 a 段, 进行下一循环。

转子被上面的“V”形挡板和下面底座的凸台分成气流的入口弧段和出口弧段。为防止气体倒流，转子与静子间隙越小越好，但由于结构和噪声的原因，间隙不能过小，设计间隙为 1.5 mm。为了增加扭速提高全压，入口弧段比出口弧段长，其比为 6 : 5。

3.3 壳体设计

0.2 MPa 表压力的惰性气体在壳体中密闭循环，所以，壳体按照压力容器设计规范设计。由于 a 段和 d 段是平直段，平板受气体压力时刚度很弱，必须采取加强措施。为解决此问题，在壳内设置了加强板。a 段和 d 段壳内设置 10 块拉板，每块拉板都对准一个转子端盘或中间盘，拉板厚 2 mm，分别焊在 a 和 b 段的外壳体上。此时流道被分成 9 段。这样，整个风机是由 9 个宽 120 mm 各自独立的小风机并联而成的，每个小风机都有自己独立的转子和风道，各个风机由于转子盘和拉板隔开，气流互相不串，使进入电极的气流流场均匀。

风机底部设一个刚度很好的底座，其作用为：(1) 固定壳体；(2) 转子支点；(3) 固定电机；(4) 壳体一部分。

3.4 磁耦合传动装置设计

常规的风机、压缩机、泵类密封方法如气封齿、盘根、石墨制品等接触、非接触式密封，只能起到减少漏泄的作用。准分子激光器风机在密闭空间运行，而且要求壳体内升压差在 0.2 MPa 情况下完全不漏泄，采用常规密封办法解决是不可能的。唯一的办法是：使电机轴与风机转子之间无机械联系，风机在完全密闭的容器里工作。根据这一思想我们采用永磁体耦合的方法实现传输动力而无机械联系。永磁体磁力线可以穿过空气，穿过非金属形成磁场。如图 6 所示，当两块磁体耦合后，形成共同磁场，其中一块运动（旋转）另一块也会跟着运动，根据这一原理，确定了磁

耦合传动方案。我们采用了近年来发展起来的高磁通量钕铁硼永磁体。这种永磁体比一般磁铁的磁通量大 10 倍以上，利用它形成的磁场传递功率是完全可能的。

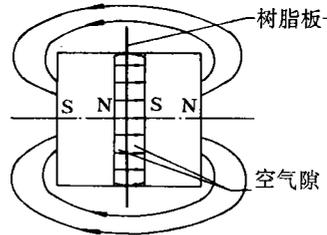


图 6 两永磁体的磁力线穿过空气隙和树脂板形成共同磁场

经反复计算试验后，传递 8 kW 以下功率的磁耦合装置采用如图 7 所示的结构：圆形盘上设 4 块 $\phi 50$ mm 厚 25 mm 的钕铁硼永磁体，两块相对磁体中心距 150 mm。两只结构相同的圆盘分别装在转子轴上和电机轴上，当电机转动时，电机端的磁耦合盘转动，由于共同磁场的作用，转子端的盘也跟着转动，达到传递功率的目的。起动时，由于转动力矩大，可能产生“丢转”现象（转子侧转速低于电机侧转速），过渡一段后，两转盘达到转速一致，即电机轴与转子轴转速相等，实现了无任何机械联系传递功率的目的。

具体结构是：在风机端壳盖上设一圆孔，孔的外缘上焊有一个环台，环台里面装橡胶圈和隔板起到壳体内和外界完全隔绝作用，隔板材料为树脂板 $\delta = 1.5$ mm。两盘上各设 4 块永磁体共 8 块永磁体形成共同磁场，结构如图 8 所示。

为了不浪费磁场力，空气隙越小越好（过小永磁体易于与隔板产生摩擦），要求调到 1 mm 以内，这样，耦合的两永磁体距离在 3.5 mm 以内。

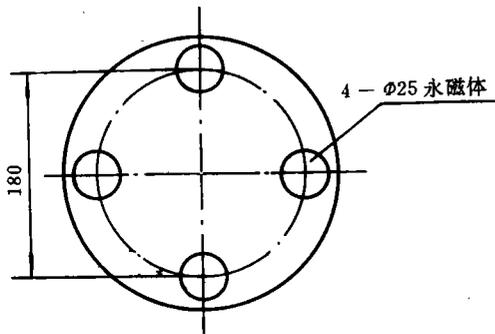


图7 上设4块永磁体的磁耦合传动盘

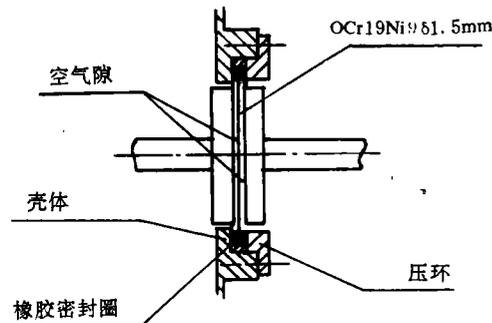


图8 磁耦合传动示意图

壳体结合部采用耐蚀的氟橡胶密封,效果良好。

4. 循环气体冷却问题

准分子激光器是由两电极间快速放电激发惰性气体产生激光,温度过高会影响激光产生。温度要求在 40°C 以下,气体产生热的原因是由于气体在循环过程中的摩擦、涡流、节流、冲击等产生的损失及转子本身的气动损失,这些损失都变成热,事实上,因为气体是密闭循环和外界完全隔绝,对外部没有做功,由轴输入的机械功都将变成热能,所以产生的热是很大的,靠壳体自然散热解决不了问题,必须设置散热装置。

根据激光器放电的温度要求,经换热计算,采用冷却管束换热方式,换热管束由19根 $\phi 7 \times 0.5$ 的不锈钢管组成,管束长度与风

道的纵向长度相等,置于风机的a段,循环气体经电极产生激光后,在进入转子之前气体被冷却,管束固定在风机的两端壳上,风机的壳体上设换热用的冷却水套,即壳体外焊薄板,薄板与壳体之间形成冷却介质空间。冷却介质采用常温冷却水。

经运行实测,此冷却方式满足激光器放电温度要求。

5 结论与分析

准分子激光器横流风机是在没有成熟的设计经验可借鉴的情况下设计的。运行后实测表明设计是成功的,满足激光器要求。

(1) 横流风机虽然效率低,但在要求扁平形状均匀流场的场合很有优势,可省去轴流风机、离心风机为改变气流截面形状和使流场均匀必要的过渡段,风机的重量尺寸可以大大缩小,结构十分紧凑。

(2) 风机设计要求电极间气流速度 20 m/s 实测平均速度是 23.5 m/s ,设计速度与实测速度基本吻合,说明气动计算方法,系统阻力计算比较可靠。

(3) 电极间流场不均匀度要求 10% 以内,经过电极间气流速度实测,流速最大值和最小值不超过 6% (除两端部外,两端部因受端部漏泄影响)满足要求,说明:(1)横流风机具备流场均匀的优势。(2)把一个较长的大风机分割成9个各自独立的小风机的思路是正确的。

(4) 磁耦合无机械联系传递功率装置的研制是成功的,是彻底解决密闭循环气体泄漏的好办法,是应用高科技新材料钕铁硼永磁体的成果,应进一步研究大功率电磁耦合

传动。

(5) 冷却管速在风道里影响气体流速，
应进一步研究换热效率问题。

参 考 文 献

1 B. 埃克著(西德). 通风机. 北京:机械工业出版社,

1983 年

2 李庆宜主编. 通风机. 北京:机械工业出版社,1984
年

3 机械工业委员会编. 风机产品样本. 北京:机械工业
出版社,1988 年

4 张康达、洪起超主编. 压力容器手册. 北京:劳动人
事出版社,1987 年

作者简介 李延涛 男 42 岁 高级工程师.1982 年 2 月毕业于上海交通大学动力系.在七〇三研究所从事压气机风机设计工作.1990 年获“斯贝舰用化改装,1500 马力低压压气机重新设计”中船总公司科技进步一等奖.高速横流风机首次用于激光装置成功.通过国家科委组织的鉴定. 通信处 150036 哈尔滨 77 信箱



苏州建燃机电站

据“Gas Turbine World”1996 年 1—2 月号报道,美国高达公司与苏州电力公司签订了一项合资企业合同和销售电力的协义,以便在苏州建设并营运一个额定功率为 58 MW 简单循环电站。

此项目的开发者正接近完成其在中国的第一个合资企业电力项目,在无锡市建造 40 MW 电站。无锡燃机电站是围绕一台由 Stewart & Stevenson 公司供应的 LM 6000 箱装体建设的并计划于今年下半年开始营运。

像无锡项目一样,苏州合资企业建造、拥有并运行一个简单循环电站,以便主要为工业用户提供约 58 MW 电力。今年开始建设并于明年初开始生产电力。

估计此工程项目的投资费用约二千九百万美元。高达公司承担 60% 上述费用,其余部分由苏州市政府分担。

(此合资电站工程已由哈尔滨七〇三研究所总承包,工程建设正在顺利进行中—译者)

(学牛 供稿)

(Guangzhou Energy Resources Research Institute of Chinese Academy of Sciences) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1996, 11(4). -222~226

Conventional heat exchangers of convective heat transfer for the recovery of diesel exhaust heat suffer from easily fouled heating surfaces and a low heat transfer factor. These defects can be overcome by the use of a fluidized bed heat exchanger. The experimental study conducted on a 30 kw diesel engine has produced satisfactory results, providing helpful design parameters for industrial applications. **Key words:** fluidized bed, convective heat transfer, waste heat utilization, diesel exhausts

铸铁锅炉扩缩通道流动与换热实验结果分析 = Analysis of a Cast-iron Boiler Divergent-convergent Channel Flow and Heat Exchange Test Results [刊, 中]/Wang Xiqing, Zhang Hongjun (Harbin Institute of Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1996, 11(4). -227~230

Based on the summing-up of experimental results the authors have proposed an experimental correlation formula for the gas flow resistance and convection heat exchange factor in a cast-iron boiler divergent-convergent channel with the applicable range of the formula being specified. In addition, an optimum divergent-convergent angle was obtained as a result of computation and analysis of the said channel intensified heat exchange performance on the basis of the experimental data. **Key words:** cast-iron boiler, divergent-convergent channel, flow resistance, convection heat exchange, intensified heat exchange

150 W 准分子激光器横流风机研究设计 = Study and Design of a Transverse Flow Fan for a 150 W Quasi-molecular Laser Device [刊, 中]/Li Yantao (Harbin 703 Research Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1996, 11(4). -231~236

Described in the present paper is the type selection, aerodynamic and structural design, and circulation gas cooling of a transverse flow fan for a 150 W quasi-molecular laser device. Through a full-scale product operation and measurement it has been proved that the transverse flow fan has the advantage of obtaining directly a flat-shape high-speed uniform flow field. Based on an accurate and reliable computation the fan features a construction compactness and rational design. **Key words:** transverse flow ventilator, calculation, design

板式换热器在供热系统中的应用 = Application of Plate Heat Exchangers in a Heat Supply System [刊, 中]/Liu Rui ren (Harbin Commercial Architectural Design Institute), Zhao Xinhong (Harbin Architectural Engineering Design Center) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1996, 11(4). -237~240