

一种高性能旋转四坐标 全电动探针位移机构的设计

北京航空航天大学 张 洪* 蒋浩康 肖 陵 邢叔楚

【摘要】 提出了新的高性能旋转四坐标全电动探针位移机构的设计技术要求指标。对设计中几个主要技术关键的处理做了分析论证。介绍了旋转探针支架必然碰到的平衡、抑制变形和扭转振动问题的解决措施。总体层次布局和旋转机构局部结构的正确处理原则,是整个设计过程的基础。鼓筒探针通道的钢带分隔密封装置完善地解决了探针通道分隔密封问题。

关键词: 旋转探针位移机构 四坐标 全电动

1 前 言

旋转多坐标探针位移机构的作用是带动探针直接探测转子叶片整个叶间通道内部和尾迹的流场,为此,要求能在高速旋转过程中把探针送入叶间通道内和通道外做多个坐标的机动扫描运动进行探测。自五十年代中期以来的几十年中,许多国家的重要科研机构在这方面做了大量工作,然而,从真正达到其根本目标来检查则尚相去甚远。现将查阅到的各种旋转探针位移机构整理分析,并做出几点评论:(1) 唯一真正把探针伸入转子叶间通道内部进行了机动扫描探测的 PSU-1^[1,2],它只有切向摆动一个坐标。它针对探针在离心力作用下的变形采取了措施。要伸入叶间通道内,探针必然有横臂,离心力的弯矩和变形是避免不了的。但该措施尚远不完善,它限制了探针在旋转中只能做切向摆动一个坐标运动,而且对流场造成较大干扰。能伸入叶间通道内做多坐标扫描运动又能有效抑制变形和振动的旋转探针支架结构问题,是尚未解决又必须解决的。PSU-1 还提供了电机设置在旋转轴线处可免受离心力的启示。(2) 机构坐标数最多的是 PSU-2。它具有全部四个坐标的机构,但其中的两个坐标只能在静止状态下手动调整,应能在旋转中电动调整的两个坐标中,还有一个自转调零坐标在介绍它的文章发表时尚不能工作,在该作者以后的多篇文章中,也未见已能工作的报导。(3) 在旋转中可机动调整的坐标数最多的是联合技术研究实验室 UTRC 的机构^[3],它有自转调零、切向摆动和径向移动三个坐标,都可机动调整。但未见详细的报导。(4) 希尼的机构是最早的旋转探针位移机构之一。虽然只有切向摆动一个坐标,而且是手动的,但它提供了从静止空间可以操纵拖动旋转中的运动机构的重要启示。亚琛大学的机构提供了另一种通过三级差动行星轮系把旋转中的切向摆动和径向移动两个坐标的拖动电机转移到静止空间的方法,有重要参考价值。(5) 在四个坐标中较困难的两个是径向移动和轴向移动。在旋转中完成径向移动的机构,由于要直接承受离心力,其拖动与传动机构的负荷在四个坐标中是最严重的;探

针与径移机构的质量做大幅度径向移动对平衡的影响也是必须认真对待的。能在旋转中机动调整径向位置的,只有亚琛大学和联合技术研究实验室两家的机构,都是在七十年代末期才出现的。在它们的介绍中没有涉及平衡问题。在旋转中完成轴向移动,特别是大行程的轴向移动,会给结构设计带来许多复杂的问题:空间干涉、强度与刚度,整个机构与气流通道的分隔与密封,轴移质量对平衡的影响等等。唯一具有轴向移动坐标的是 PSU-2,但它只能在静止状态下手动调整。

综上所述可以认为,把探针伸入转子叶间通道内在旋转中电动完成四个坐标的扫描测量这一旋转探针位移机构的最高目标尚远未达到,前人数十年的探索,给我们留下了一些宝贵的借鉴和启示,也留下了不少尚未解决甚至尚未涉足的难题,这就是本工作开始前的背景。

2 本位移机构的技术要求和地位

设计研制旋转四坐标全电动探针位移机构,提出的设计技术要求指标如下:

(1) 与低速大尺压气机试验台配合使用,试验台主要尺寸和参数:气流通道的直径 1000mm,内径 600mm;叶片高度 200mm,弦宽 200mm;工作转速 1200r/min,最高转速 1500r/min。

(2) 四坐标全电动,由步进电机拖动,由计算机控制,有光栅测量装置测量实际位置,可以旋转状态下电动完成需要的全部运动。各坐标的行程范围和分辨率如下:

自转调零 α	$\pm 175^\circ$	不大于 1'/步	实际达到 1'/步
径向移动 R	110mm	不大于 0.01/步	实际达到 0.01/24 步
切向摆动 θ	$\pm 30^\circ$	不大于 1'/步	实际达到 0.1'/步
轴向移动 X	500mm	不大于 0.01/步	实际达到 0.01/24 步

(3) 两种工作状态通用:既能测量转子叶间通道内部和尾迹的流动,又能测量静子叶间通道内部和尾迹的流动。要求两种工作状态之间转换简单方便。

(4) 测量电源线、信号线以及步进电机电源线从静止空间通过引电器与旋转中的位移机构相联接,要求有良好的屏蔽抗干扰性能。

(5) 整个位移机构装在直径 600mm 的鼓筒内。探针从鼓筒内伸出的通道槽应有良好的密封,有平滑的外形,减小对气流的干扰。

(6) 位移机构应工作平稳,在每个坐标运动到任何位置时,机构都应有良好的动平衡。

(7) 能装用气动压力探针或热丝探针,探针杆轴线能对自转调零轴线偏心设置,最大偏距距离 4mm。

与国外已有的旋转探针位移机构相比,这里提出的设计技术要求和指标是很高的:

(1) 功能最齐全。有全电动的四个坐标;能进行旋转和静止两种状态的测量。应该指出的是,只从静止四坐标测量本身来看,实现并不很复杂,但要求同一套机构具有旋转测量和静止测量两种工作状态,比只能进行旋转测量,从结构设计上确实增加了难度。

(2) 行程最大。四个坐标的行程都较大,特别是轴向移动坐标的行程达 500mm。但是,大行程给结构设计会带来许多困难。

(3) 自动化程度最高,精度最高。四坐标全电动,由计算机控制,有光栅装置测量实际位置,有较高的分辨率和精度。这样一些高要求,对于增加测点数,提高测点对叶片型面、机匣与轮毂表面接近的程度,实现附面层测量,加快测试过程,减小外界大气环境变化对实验数据的干扰,提高测试的可靠性和效率,改善操作人员的劳动条件等方面,更无疑具有极为

重要的意义。

3 旋转探针支架

本位移机构的结构原理, 参看文献 [4] 中图 3。探针支架的基本作用是固定在位移机构上, 支持受感部并将其伸达需要探测的空间, 容纳和引导导线或导管。旋转探针支架必须随旋转位移机构一起做高速旋转和多坐标位移, 把受感部伸入到转子叶间通道内部做大范围的扫描测量。转子轮盘不允许开出大的窗口让探针从内向外伸入叶间通道, 从减小小探针气流干扰的角度, 也要求探针从后向前伸入叶间通道。这就决定了探针支架外形呈“T”型, 横臂和竖管都必须有足够的长度, 才能测到叶间通道的各个角落。感头和横臂的质量会使整个探针的质心偏离竖管轴线, 对平衡带来不利的影响; 其离心力对横臂和竖管都形成弯矩, 会使细长的弯管产生严重的变形, 影响测点位置精度, 甚至弯折而不能工作; 湍急的气流对支架的侧吹作用, 可能激励支架产生强烈的扭振。前人没有提供解决这个问题的有效办法。

本设计采取了以下一组措施: 首先, 把横臂向后延伸, 使支架呈“T”字形, 并加必要的配重质量, 把感头和整个横臂的质心移到竖管轴线处, 解决了平衡问题, 并使竖管免受弯矩, 从根本上解决了竖管弯曲变形问题。其次, 在横臂很长时, 在前后两段横臂和竖管的适当位置焊装四组接头, 在横臂和竖管之间设置了四组斜张丝, 由线丝的张力分担一部分离心力, 减小了横臂所受的弯矩, 又减少了横臂挠曲的跨距。张丝的长度都可以调整: 在加有模拟工作状态离心力的条件下, 调整各张丝的长度和紧度, 使横臂平直又垂直于竖管轴线。另外, 每组张丝都是成对设置的, 张成适当的角度。这组措施有效抑制了横臂的弯曲变形和整个支架的扭转振动。这样设计的探针支架如图 1 所示。当然, 斜张丝的存在, 限制了叶间通道内侧的测量, 因此, 能测量内侧空间的长横臂探针支架, 仍有待探索。

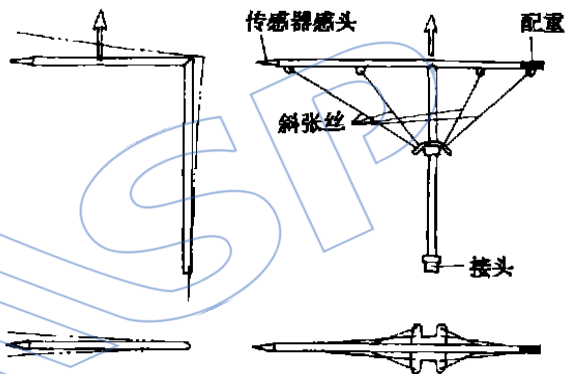


图 1 旋转探针支架

4 总体层次布局

总体层次布局要处理位移机构与试验台转子、静子和机匣的层次关系以及位移机构内部各坐标之间的层次关系等问题, 对整个位移机构的面貌乃至成败有极重要的决定性的作用。常规的多坐标运动机构多采用简单叠置的层次布局方案, 一层层叠置, 各层之间没有任何穿插交错。这种简单叠置的层次布局方案的优点是设计简单, 但存在一些缺点: 高层次运动机构的全部要完成所有低层次运动机构的多重牵连运动, 低层次运动机构要担负全部高层次运动机构的重荷。在高速旋转的多坐标探针位移机构中, 简单叠置的层次布局方案的缺点会更为突出。PSU-2 可以说是简单叠置层次布局方案的典型。它的自转调零运动机构一直不能工作, 这种不成功的层次布局方案很可能是重要的原因之一。另外的一些简单的单坐标或双坐标旋转探针位移机构在总体层次布局上采取了一些有启发性的巧妙措施: 由韦斯科提出、经希尼

等人改进过的切向位移机构,采用一套滑块凸轮拨销机构,使操作者可以通过在静止系的手轮手动调整在旋转系的探针完成切向摆动运动。亚琛大学的位移机构,采用一套三级差动行星轮系把切向摆动、径向移动两个坐标的驱动装置同时转移到了静止的空间。宾州大学的PSU-1则提供了一个把驱动电机布置在旋转轴线处,使电机虽做高速旋转其轴承却免受离心力的例子。

我们认为,在考虑总体层次布局方案时,有下列的三条原则应尽可能满足:(1)尽可能减少做高速旋转运动的部件、组件和零件。(2)尽可能减少在旋转中要做径向移动的部件、组件和零件,在各坐标运动中,要对径向移动给以优先的考虑。(3)尽可能把电机、传感器和放大器等较薄弱不能承受大的加速度的成件和元器件安排在静止的空间,不得不安排在旋转空间时尽可能安排在接近旋转轴线部位。

根据以上几点原则,结合本位移机构的具体情况,做了如下的选择:(1)整个位移机构固定装在试验台机匣上,而不是固定装在转子轮盘上,只在旋转测量时与转子轮盘有转动上的联系,位移机构内部四个坐标的层次安排是:自转调零-径向移动-切向摆动-轴向移动,但不是简单的叠置,有必要的交错穿插。(2)自转调零机构是最上一层,但并不是整个机构随第二层的动件做径向移动,而是只有探针短轴、花键短轴、钢带轮和圆光栅盘等几部分做径向移动,自转调零步进电机^[4]安置在旋转中心线上。两部分之间由滑动花键相联系。(3)径向移动机构中只有探针小车和配重小车做径向移动,其余大部分零件都不移动,径向移动步进电机也安置在旋转中心线上。这样的安排可以说已经是径向移动质量最小的,设想若把切向摆动和轴向移动安排到径向移动的前面,显然会使径向移动质量大大增加。(4)切向摆动与轴向移动是第三、四两层,它们之间也不是简单的叠置,而是互相交错穿插:切向摆动机构的主要动件径向导轨架也是轴向移动机构的主要动件;切向摆动机构的步进电机和传动机构的大部分不但不随轴向移动机构的动件一起做轴向移动,而且通过双级差动行星轮系被置于静止空间。轴向移动机构的步进电机和传动机构的大部分不做轴向移动,而且通过止推轴承的办法被设置在静止空间。这样的安排可以说已做到旋转部件、组件、零件最少的要求。(5)旋转空间中靠近旋转轴线的小向心加速度的区域得到充分的利用:首先是优先安排了左右螺纹径向滚珠丝杠和自转调零传动花键轴,在其前后各安排一个步进电机,再后,安排了高频压力传感器和放大器,照顾了最需要照顾的重负荷件和薄弱件。

5 旋转部件和零件的结构设计

旋转多坐标位移机构中有大量的部件和零件要做高速的旋转运动。旋转着的机构的每个零件上的每个微元体的每一克质量都产生微离心力。随零件形状不同,微离心力对零件本身可能产生不同的应力和变形;随结构不同,一个零件的离心力还会对相邻零件、本部件乃至整个位移机构产生不同的影响。因此,旋转机构的局部结构和零件设计也需要认真对待。应该考虑的主要原则叙述如下。

(1) 合理有效利用材料的强度性能,尽量减少不受力或受力很小的多余质量。

(2) 尽可能避免简单地使用增加配重的办法来达到平衡。首先争取把机构或零件本身设计成具有对称性。有的机构不可能设计成对称时,争取把其他机构设计成与之对称或基本对称。例如,自转调零传动机构与径向移动传动机构中的蜗杆和蜗杆支座就设计成基本对称,互相平衡。对不可能设计成对称的机构或零件,优先考虑去重的方法,最后再考虑增重的方法。

(3) 尽可能减小离心力产生影响的范围。首先争取使离心力在零件内部由内应力加以平衡。对旋转轴线对称或基本对称的结构能用整体件时就不用剖分的组合件,更不用多个散件。例如鼓筒、径向导轨架、差动轴和基础轴等都采用的整体件。设想把这些零件设计成剖分的组合件,结构会复杂笨重得多,而且很难保证必要的刚性和精度。其次,尽量减少承受离心力的环节,特别要注意减小运动付所受的离心负荷。例如,探针小车和配重小车的离心力直接由径向滚珠螺母的凸肩承受,受力环节最少。径向滚珠丝杠设计成左右螺纹的整体式丝杠,探针小车、配重小车以及滚珠螺母和滚珠丝杠两端自身的离心力全由丝杠的内应力所承受,丝杠轴承和中心滑块需承受的只是残留的不平衡质量产生的离心力,基本可以忽略。设想若采用两段单独的丝杠,丝杠的内应力并未减小,而丝杠轴承则需承受上述全部离心力,不得不选用更重型号的轴承甚至需加用止推轴承,占用更大的空间,增大丝杠与花键轴的中心距,这反过来又会增大小车的尺寸和质量。此外,在巨大的离心力作用下,轴承的摩擦阻力矩将明显增大,加重了拖动和传动机构的负荷,轴承的变形、磨损对测量精度也将带来不利的影响。

(4) 尽可能减小各种力造成的附加力矩,尽可能选用最有利的承力方式。例如,设计探针小车部件时,把探针短轴和花键短轴对称布置在滚珠螺母的两侧,并尽量使包括探针在内的整个径移质量的质心落在螺母轴线上,使丝杠的拉力与径移质量的离心力共线,不造成附加的使小车倾倒的力矩,这大大改善了径向导轨和导引滚轮的工作条件。

(5) 对离心力造成各运动付的摩擦阻力要相应采取适当的减摩措施。旋转多坐标位移机构有许多运动付,离心力直接在运动付中形成正压力并产生摩擦阻力或阻力矩,必要时应采取适当的减摩措施。还应注意离心力造成运动付的一方出现变形,间接在运运付中形成正压力并产生摩擦的情况。本位移机构全部四个坐标的全部旋转支承和直线导轨都采用滚动摩擦的运动付,各坐标的传动机构中的运动付,除齿轮和蜗杆蜗轮付以外,也都采用滚动摩擦。几处大尺寸的旋转支承,受空间限制选不到合用的滚动轴承,采用了自制的无内外环的滚棒或滚针支承。几处直线导轨行程大而受空间限制,选不到合用的循环式滚动导轨,采用带滚珠轴承的滚轮与导轨条配合组成可循环的滚动导轨。对离心力造成变形间接产生摩擦的情况可举出轴向移动的导轨付。该导轨付的动件是径向导轨架,静件是基础轴,都是对旋转轴线对称并分别经过平衡的。分析则发现,径向导轨架的毂部是完整的环形,刚性较好,而基础轴虽也是整体件,但轴向开有两条很长的槽,严重削弱了刚性,在离心力作用下有弯曲变形和向外扩张的倾向,在导轨付中产生很大压力和摩擦。为使该导轨付能灵活正常工作,在径向导轨架上装有八组带滚动轴承的滚轮,与基础轴的外圆组成滚动摩擦的导轨付。

6 鼓筒上的探针通道及其分隔密封

6.1 鼓筒上的探针通道

装在位移机构上的探针,要穿过鼓筒伸到气流通道中去,并要完成多坐标的扫描运动,必须在鼓筒上开出一定形状尺寸的探针通道。探针通道的形状受探针与鼓筒相对运动关系的影响。见图 2。自转调零和径向移动两个坐标,只需在鼓筒上开一个圆孔;探针与鼓筒有相对切向摆动时,需在鼓筒上开一条横向的长槽;探针与鼓筒有相对轴向移动时需在鼓筒上开一条轴向的长槽;探针与鼓筒若同时有切向和轴向的相对运动,则需在鼓筒上开一个大的矩形窗口。只从通道形状考虑,圆孔最理想;横槽优于轴向槽,因为它对鼓筒的削弱比轴向槽小得多;矩形窗口最不可取。从结构上看,让鼓筒既做切向摆动又做轴向移动是不可能的,只做

轴向移动也是不可能的, 而只做切向摆动则并不带来太大的困难。因此, 本位移机构的探针通道采用在鼓筒上开轴向长槽的方案。

6. 2 分隔密封钢带机构

对鼓筒上的长槽应该加以分隔和密封, 而且要求分隔与密封尽可能设计得严密而光滑, 不

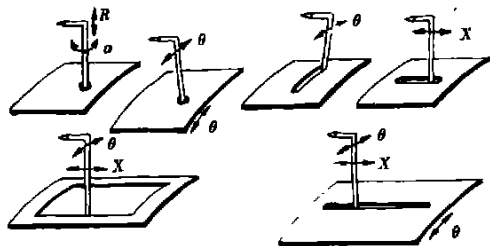


图2 鼓筒上的探针通道

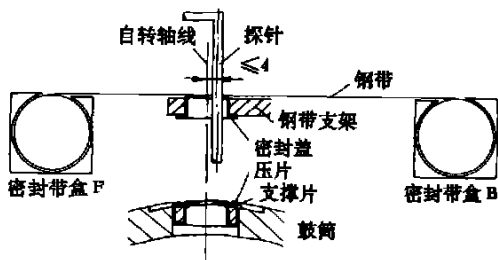


图3 鼓筒上轴向长槽的分隔密封体系

对气流通道造成分流泄漏的渠道, 也不造成明显的凹凸不平的干扰。在完善的分隔和密封技术方面, 几乎还是一片空白无可借鉴。某些试验台的巨大探针通道竟然完全是开敞的, 某些试验台采用活动遮板来分隔, 给气流通道造成明显的凹凸台阶。本位移机构为鼓筒上长达 600 毫米的轴向探针通道精心设计了一套钢盒尺型的钢带分隔和密封的体系。见图 3。在鼓筒的前后两端各装有一个钢带盒, 由一个随探针一起轴向移动的钢带支架牵动钢带从一端盒中拉出, 向另一端盒中送入, 始终保持对探针通道严密而平滑的分隔。

为防止钢带在离心力作用下从鼓筒飘离, 由两条压片把钢带盖住。压片和钢带盒的形状尺寸都经过精心的设计和修配, 无论从轴向和圆周方向看, 钢带与鼓筒之间的转接都是非常平滑的, 对气流的干扰被减到最小程度。然而柔性钢带的离心力将压片压向鼓筒并产生摩擦阻力。在盒内的钢带和带轮质量的离心力也会产生摩擦阻力矩。这样, 在旋转中收卷弹簧的收卷力矩将严重不足, 需靠钢带支架把钢带从一盒中抽出和向另一盒中插入, 薄薄的钢带受压力大时将出现失稳、绉褶而损坏。针对这一问题, 设计中综合采取了下列措施: 选用较薄的厚度为 0.1 的钢带以减小离心力; 压片内侧粘贴聚四氟乙烯薄膜, 以减小摩擦系数; 在钢带内侧的鼓筒上加支撑片, 与压片形成狭窄的缝隙, 以限制钢带失稳绉褶量, 支撑片外侧也粘贴聚四氟乙烯薄膜; 钢带轮材料选用铝合金并尽量挖薄, 去掉多余的质量; 钢带轮采用滚珠轴承支持在盒的外壳上。在综合采取这些措施后, 钢带装置能够正常工作。

6. 3 密封钢带的动平衡

探针轴向移动时, 前后两钢带盒内的钢带的长度和质量发生变化会引起动不平衡, 分析如下, 见图 4。密封钢带可分解为中间的直段和两端缠卷在带轮上的圆段。

(1) 直段: FB 两截面之间的一段钢带, 其形状和长度都保持不变, 可刚化为一段圆柱面, 等效于一个集中质量, 其大小为 $M_{FB} = LB\delta\gamma$ 。式中 L 为直段带长, B 为带宽, δ 为带厚, γ 为带材密度。其质心旋转半径为 R , 相位和轴向位置在带宽和带长的中点。

(2) 两端的圆段: 两钢带盒内的钢带缠卷在钢带轮上, 其形状为圆形, 但其长度和质量的大小是变化的, 故不能刚化, 其质心位置可近似认为在带轮轴线中点处。设探针处于左极

限位置 L 时, 左右两钢带盒内的钢带长度分别为 $l_{FO} = l_{FO}$, $l_{BO} = l_{BO}$ 。探针向右移动一段距离 X 时, 长度将分别为

$$l_{FX} = (l_{FO} - X) \cdot B \cdot \delta \cdot \gamma$$
$$M_{BX} = (l_{BO} + X) \cdot B \cdot \delta \cdot \gamma(1)$$

可见, 两端钢带的长度和质量都随 X 做方向相反的线性变化。两端质量变化范围 $\Delta M_{FX} = \Delta M_{BX} = (X_R - X_L) \cdot B \cdot \delta \cdot \gamma$

式中 $(X_R - X_L) = 50\text{cm}$ 为轴向移动的总行程。这样的质量转移不改变静平衡状态, 却会改变动平衡状态。由钢带质量转移而造成的动不平衡度约达 $3 \times 10^4 \text{kg} \cdot \text{cm}^2$, 应采取平衡措施。我们发现, 在两定点处的两个变质量, 其变化规律为方向相反的线性变化时, 与一个质量大小不变而位置可变的集中质量分解在两定点处的分质量的变化规律有相同的形式。设集中质量为 M' , 位于探针所在的轴向位置, 它分解在 F 、 B 两处的分质量分别为:

$$M'_{FX} = \frac{L - (X_L + X)}{L} \cdot M' \qquad M'_{BX} = \frac{X_L + X}{L} \cdot M' \qquad (2)$$

比较 (1)、(2) 两式可见, 在满足下列条件时两者是等效的:

$$M' = L \cdot B \cdot \delta \cdot \gamma \qquad l_{FO} = L - X_L \qquad l_{BO} = X_L$$

两端两个变质量形体, 其合质量等效于一个沿轴向移动的集中质量。其合质量大小是一个沿轴向移动的质量不变的集中质量。不难想见, 只要在相位相差 180 的方向设置一块配重, 其质量为 M' , 随探针同步做轴向移动, 就可简单地实现了圆段钢带的动平衡。

7 旋转空间与静止空间电源与信号的传输

为完成高速旋转系与静止系之间大量电源和测量信号的传输, 采用了两组滑环引电器, 其中 12 路大电流引电器用于给旋转系内的径向移动和自转调零两个步进电机供电, 另一组 42 路弱电流引电器则用于传输旋转系内的三个光栅测量装置 (径向、自转和切向) 和探针传感器与放大器的电源与测量信号。为容纳引电器, 轴向滚珠丝杠设计成大尺寸中空形。

参 考 文 献

- 1 Lakshminarayana B. Techniques for Aerodynamic and Turbulence Measurements in Turbomachinery Rotors. ASME Journal of Engineering for Power, April 1981, 103
- 2 Lakshminarayana B. An Axial Flow Research Compressor Facility Designed for Measurement in Rotor Passages. ASME Journal of Engineering for Power, April 1981, 103.
- 3 Dring R P, Joslyn H D, Hardin L W. An Investigation of Axial Compressor Rotor Aerodynamics. ASME Journal of Engineering for Power, Jan. 1982, 104
- 4 蒋浩康等. 研究转子内流动的大尺寸轴流压气机试验装置和动态测量技术. 航空动力学报, 1991, 7 (1): 1~8

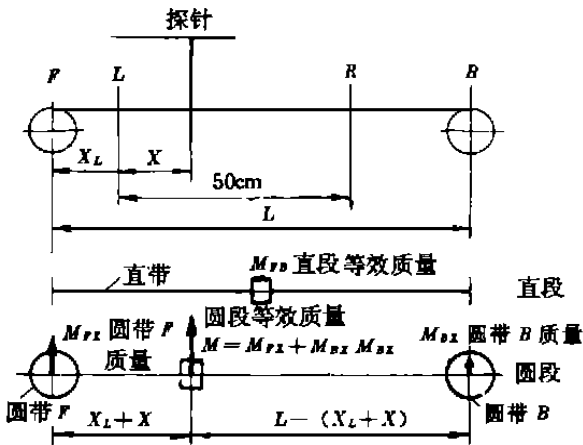


图4 密封钢带的等效质量分析

in the first stage of a two-stage to-orbit vehicle.

EFFECT OF THERMODYNAMIC PARAMETERS ON PERFORMANCE AND COST OF TURBINE ENGINE

Wang Rugen (*Air Force College of Engineering*)

ABSTRACT

A method for estimating life cycle cost of aircraft turbine engine manufactured in China is provided on the basis of a statistic technology and a definition of life cycle cost ratio has been used. Changes in thrust, specific fuel consumption and life cycle cost have been calculated when thermodynamic parameters (π_k^* , T_3^* and T_{af}^*) and mean time between overhauls of the engine increase. It was found that there was a marked growth of the engine thrust when T_3^* increased, but life cycle cost ratio of the engine should, too, quickly grow. In order to make the growth of life cycle cost ratio acceptable for the Air Force, mean time between overhauls and total operation time of the engine must be lengthened. And a overhigh pressure ratio of the compressor often makes the thrust drop down and life cycle cost ratio grow up.

RESEARCH ON AIRCRAFT LIFE CYCLE COST REDUCTION

Wang Rugen (*Air Force College of Engineering*)

ABSTRACT

On the basis of cost data collected from factories and the Air Force, the variation of life cycle cost is analyzed for the fighters in which one of four kinds of engine is installed respectively. It has been found that there should be a marked drop in the aircraft life cycle cost, if the suitable fund is allocated to increasing reliability, decreasing specific fuel consumption and lengthening time between two overhauls of the aircraft engine.

RESEARCH ON ALTITUDE SIMULATION OF STARTING FOR A SINGLE-SPOOL SMALL TURBOJET

Zhu Qing (*Aerospace Ministry*)

ABSTRACT

Altitude simulation ignition tests of a single-spool small turbojet starting were completed at an altitude test rig. Some conclusions from the test data analysis have been drawn. It is very useful to supply secondary oxygen jet for high-altitude ignition and starting. The use of high energy igniter improves ignition and starting performance and reduces starting time. Fuel flow must be matched with air flow during the high-altitude starting. The fuel flow must be controlled by the rotational velocity of the rotor to limit temperature t_4^* and to avoid hang-up during the starting.

A DESIGN OF A ROTATING PROBE FOUR-AXIS TRAVERSE MECHANISM

Zhang Hong, Jiang Haokang, Xiao Ling, Xing Shuchu
(*Beijing University of Aeronautics and Astronautics*)

ABSTRACT

A mechanism fully controlled by computer and stepping motor can move a probe in four axes (Null, Radial, Tangential and Axial) for completing flow measurement inside the rotor passage of the turbomachine during rotation. The mechanism can also move the probe for flow measurement inside the stator passage as a fixed one. The technical characteristics, principle of operation, construction design and running balance of the mechanism are discussed in detail.