

光电经纬仪动态特性分析

卢 鐸

摘要: 该文对光电经纬仪动态特性分析方法用模态综合技术手段进行了探讨。从机电产品一体化的角度出发,着重论述了光电经纬仪动态子结构、联接器及伺服控制系统的模态方程建立与装配。模拟与分析可在CAD工作站上进行。

一、引 言

七十年代后期以来,随着各种高精度、高速度飞行器的竞相研制,对于靶场光电经纬仪的要求也越来越高,为了能灵活地适应各种不同试验场区并对各种不同的飞行器进行测量,要求光电经纬仪不仅具有“一机多用”的功能,而且应具备高精度、高灵敏度(响应快)以及高稳定性等性能。现代靶场光电经纬仪不仅要求对测量结果能实现高精度的事后处理,还要求能进行实时精密跟踪、测量。为了能在各种工作环境下提供飞行器的轨道参数以及姿态、遭遇和安全信息等高精度参数,光电经纬仪往往装备有激光、红外、电视及高速摄影等各种跟踪与测量手段,向着一机多用的方向发展。由于身上背的光电跟踪及测量装置增多,导致经纬仪上部体积增大、重量增加,从而使转动惯量 J_p 也随之增大。根据相似原理,经纬仪可粗略地视为扭转振动系统,近似有如下关系:

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_p}{J_p}}^*$$

式中 f_n ——结构系统固有频率

k_p ——结构系统等效扭转刚度

J_p ——结构系统等效转动惯量

由于,经纬仪上背的各种光电跟踪与测量装置多在俯仰轴上部,它们对增强系统转动惯量的贡献比对增强系统扭转刚度的贡献大,从(*)式不难看出 f_n 将随着经纬仪上背的器件的增多而减小;另一方面,由于对经纬仪的跟踪精度及响应速度的要求日益提高,这就要求伺服系统有足够的带宽,这样才能做到动态误差小、响应快。因此,随着经纬仪上部装置的增多,尤其当经纬仪下部连接外转台的情况下,结构的固有频率与伺服控制系统的带宽逐渐接近,甚至有可能出现结构固有频率落入伺服带宽内的危险。一旦出现这种情况,伺服系统的信号就很容易激起结构的谐振,反馈使谐振加剧,造成系统不稳定颤振,使系统无法正常工作,甚至造成破坏。随着对光电经纬仪跟踪测量的精度、响应速度、稳定性及经纬仪本身机动性等技术指标的要求越来越高,在设计新型光电经纬仪时,如何更精确地估算与模拟经纬仪的动态特性已越来越引起设计工作者的关注。设计工作者希望在设计方案阶段就能估算出该方案中经纬仪的自振频率、振型、位移响应、功率谱密度及伺服特性等关键参数与性能指标,并从分析与模拟过程中寻求提高系统动态刚度及减小动态误差的敏感参数,为实现优化设计提供参考途径。本文就如何进行光电经纬仪动态及刚度分析,从机电一体化的角度,加以

探讨。

二、基本思想

以往,工程上对光电经纬仪进行动态刚度估算时,一般采用霍尔兹法。该法根据相似原理与能量守恒原理,用等效惯量与等效刚度组成一等效系统,然后,由这一大大简化了的等效模型计算其自振频率与振型。这种方法虽说简便,但实际上由于经纬仪结构十分复杂,很难精确地计算其等效惯量与刚度,就是算下来其结果的误差也很大;该法对机械系统与伺服控制系统间的相互作用与影响也无法精确定量描述。由于上述方法的局限性,使许多设计工作者在设计经纬仪时仍停留在主要凭经验设计的水平上。显然,这种状况无法适应当前高技术飞速发展的需要。为此,本文提出采用有限单元法的模态分析与综合的方法研究光电经纬仪的动态特性并找出改善其动态刚度的途径。基本思想是用有限单元法建立光电经纬仪系统分析模型,然后对整体结构加以动力分割,用各自的振动模态表示分割后的各个子结构^[1],子结构间的联接通过相应的约束方程所表示的联接器来实现。由于光电经纬仪随动控制系统是闭环系统,利用有限元法灵活地计算技巧,可以将比例反馈系统用“单向连接单元”有机地与结构系统联系起来,使随动控制系统作为经纬仪动力系统的一部分联立求解。统筹考虑结构与伺服控制系统的动力学方程时,不仅有真实的结构有限单元,而且还包含有代表随动控制系统的“单向连接单元”,这种“单向连接单元”可用一个非对称矩阵的结构单元表示,反映了随动控制系统信号传递的单向性。该单元作用在经纬仪活动转台上一个与位置误差信号成比例的力,其比值为控制系统的增益,也即该单元的“刚度系数”。代表位置误差信号的变量,相应于动力学方程的位移向量。与其它结构单元一样,随动控制系统“单元”的本构方程可通过基底变换建立模态座标下的方程式。通过模态综合的手段将结构与随动控制系统相应的模块组装在一起并求解,可找出影响经纬仪动态特性的敏感参数,进而实现整个经纬仪系统的优化设计。

用有限单元法的模态分析与综合的好处在于,一方面由于用有限单元法将一个结构复杂的经纬仪系统“化整为零”,分成若干模块进行模型建立,从而使刚度及质量分布等参数的计算更加逼近实际情况,提高了计算精度,为单独考核各个模块提供可靠而方便的途径,便于参数修改及优化;另一方面,由于采用模态综合法,以振动模态作为自由度,可以大大缩减自由度,同时还保持一定的精度,使计算效率大大提高。由于在模态座标内不仅可以方便地对实空间的向量实施变换,而且还可扩充到对复空间有关量进行模态变换,随动控制回路中有关电参数就是以附加节点分量的形式并入到位移向量中参与运算,这些附加节点就属于复空间。因此,模态分析与综合法对解决经纬仪这样复杂的机电一体化系统的动态特性分析来说提供了莫大的方便。

三、系统模型化

所谓系统模型化,是指对光电经纬仪系统进行有限元建模的过程。光电经纬仪系统可看作是由若干构件按一定联接方式组成结构整体并通过伺服控制回路形成一闭环的机电一体化的系统。尽管当前光电经纬仪型号不尽相同,但就功能构成来看,还是大体雷同的。为了说明问题,以简化光电经纬仪模型为例对其系统的动力学特性分析方法作初步探讨。图1所示

为光电经纬仪系统分析模型示意图。

光电经纬仪系统模型由以下三部分组成：

1. 构件部分——主要由光电经纬仪结构部件及零件的有限元子结构组成。如图1所示，构件部分包括五大块，分别为：

- a. 俯仰轴以上部分
- b. 俯仰轴支架部分
- c. 中部
- d. 外转台
- e. 底部

以上各块又由二级子结构组成，如a中的主摄影系统构件、电视跟踪与测量系统构件以及激光测距接收系统构件等均作为二级子结构处理。

又如，b为一大构件，可视为由若干侧板拼装而成，每块侧板作为一个子结构处理。其它几块亦做同样处理，这样可使整个动力学计算简化。

在组装整体结构时，有些器件结构十分紧凑，自身固有频率甚高，远远大于系统的固有频率，故可视作刚体处理。如高速摄影机、俯仰驱动电机、编码器等，用刚体模态表示并入系统动力学计算中。

2. 联接器部分——主要由联接具有相对运动构件间的联接器组成。这些联接器可由标量或矩阵组成的约束方程来表示。如图1中所示光电经纬仪系统中的联接器主要为轴承BE，包括方位轴承与俯仰轴承。轴承的模型可以看作是矩阵形式表达的一种，仅考虑旋转运动，其约束方程在系统组装时直接并入到系统动力学方程中。

3. 随动控制子系统——将闭环控制回路作为一子系统，如前所述，该子系统作为一“单向联接单元”装配到系统动力学方程中。实现这种装配的依据是在物理意义上机电之间的耦合关系及在数学模型表达方式的相似关系。数学表达形式上的相似使得机械系统与随动控制系统相应的二阶微分方程式可以装配成整个系统的动力矩阵方程：

$$[K + B_p + M_p^2]\{u\} = \{P\} \quad (1)$$

式中K、B、M分别为结构的刚度阵、阻尼阵及质量阵；u为位移向量，包括物理位移向量及控制系统中位置误差信号相应的变量作为一附加点所产生的附加点向量；P为载荷向量，其中包括作用在附加点上相应于位置误差信号变量的“自由度”上的力。通过这种机电系统装配并求解，便可揭示机电二者间相互制约的关系

系统模型装配关系如图2所示。

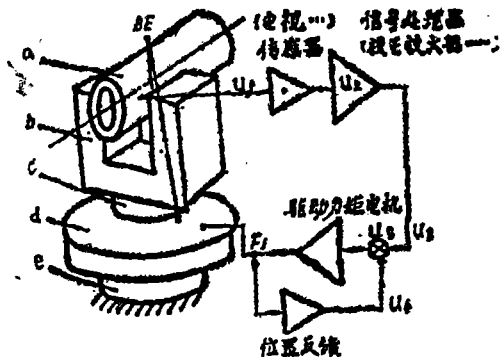


图1 经纬仪系统模型化示意图

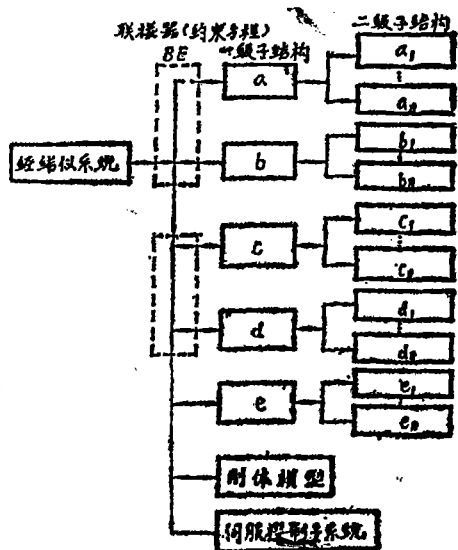


图2 系统模型装配关系示意图

四、构件的模态表示

任何一构件都具有在一定条件下固有的动力学特性，如固有频率、振型及阻尼等特性，反映了在一定条件下不同构件的不同属性。据此，我们可以用这些特征参数去识别与描述不同

的构件。所谓模态，实际上就是振型。将求得的构件的各阶振型分别进行规格化处理，然后集合在一起组成一模态矩阵，矩阵中的每一列对应着一个振型，由于各振型间线性无关，故该模态矩阵可以作为一个基底。构件中任一实际振动向量都可以用该基底的线性组合表达：

$$\sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \phi_{ij} \xi_j \quad (2)$$

式中

ϕ_{ij} ——模态向量组成的基底

ξ_i ——模态座标值

x_i ——物理向量，如位移等向量。

(2) 式反映了物理位置座标与模态座标之间的转换关系。将 (2) 式代入到物理位置座标系下的动力学方程式中则可得模态座标系统下的表达式。

物理位置座标系下动力学方程 (不计阻尼与外载荷时) 为

$$M\{x\} + K\{x\} = 0 \quad (3)$$

模态座标系下动力学方程为

$$M\phi\{\xi\} + K\phi\{\xi\} = 0 \quad (4)$$

由于模态矩阵中每一列都是规格化了的主模态，根据其振型向量具有正交性的特点，则有：

$$\{\phi\}^T M \{\phi\} = \begin{matrix} m_{ii} & i=j \\ 0 & i \neq j \end{matrix} \quad (5)$$

$$\{\phi\}^T K \{\phi\} = \begin{matrix} k_{ii} & i=j \\ 0 & i \neq j \end{matrix} \quad (6)$$

将 (4) 式左乘以 ϕ^T ，于是可得出

$$[m_i]\{\xi\} + [k_i]\{\xi\} = 0 \quad (7)$$

式中

m_i ……第 i 阶模态质量

k_i ……第 i 阶模态刚度

由 (7) 式便可简洁明瞭地描述一个构件的动力学特征，因为在模态座标下刚度阵与质量阵

不仅维数减少，而且由于实施模态变换使 K 、 M 矩阵解耦变成对角阵，从而使运算效率大大提高。

为了避免系统组装时 K 、 M 等矩阵带宽过大，在构件用模态表示过程中采用了二级子结构。以俯仰支架为列，支架本身为一级子结构，组成支架侧板则为二级子结构。如图 3 所示。

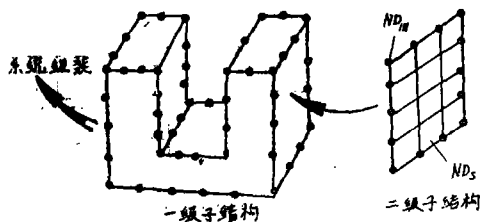


图 3 子结构示意图

划分子结构的过程是首先对未级子结构进行缩约处理。将图中侧板的节点划分为主节点 (ND_m) 与从属节点 (ND_s)，其主节点由那些能反映子结构振型特征的节点组成，这些节点多半为轮廓上的节点，尤其是与其它子结构相联的那些节点，都可作为主节点。其余的则是从属节点。将这些主、从节点的有关参数分别放到相应的子集中，按 GUYAN 缩约^[2]或静力凝聚的方法^[3]将从属节点对子结构质量与刚度的贡献通过主节点表现出来，亦即“凝聚”到主节点上。通过这样处理，尽管子结构的刚度由于缩减自由度而有所增加，但矩阵的带宽却大大下降了。目前已有不少文章提出消除或减少在缩约过程中刚度增加问题，即所谓

“残余柔”问题^{[4], [5], [6]}。当二级子结构,如侧板,经缩约处理后,就按其耦合关系装配成上一级子结构,如俯仰支架。必要的话,节点应重新编号。与二级子结构一样,再对一级子结构进行缩约处理,采用同样的方法对其它各一级子结构进行处理后,就可着手最后的动力学系统组装。

五、刚体模型

为了降低解题的规模,同时为了避免由于某些部件刚性过大而使动力学方程产生病态,对那些感兴趣的频率范围内柔性甚小甚至没有柔性的部件来说可以作为刚体处理。刚体的描述主要由有关节点的几何坐标、质量阵及惯量阵等参数组成。其刚体质量阵表达式如下^[7]:

$$M = \begin{pmatrix} m & m[c] \\ \dots & \dots \\ [c]^T m & [I] \end{pmatrix} \quad (8)$$

式中:

$$[c] = \begin{pmatrix} 0 & -r_x & r_\varphi \\ -r_x & 0 & -r_s \\ -r_y & r_s & 0 \end{pmatrix} \quad (9)$$

r —— 重心至独立主节点的距离

$[I]$ —— 在重心处的惯性张量

根据刚体的实际装配情况,代入边界约束方程中,连同质量阵一起构成了刚体完整的表达式。

六、联接器的数学表达

当有了各子结构的模态信息后,就要考虑相互间的联接问题。根据实际结构的装配情况,可将联接方式分成二类:一类是相联接的子结构可以直接组装为上一级子结构,其振型相互耦联,如经纬仪俯仰支架与中部之间的联接通过螺栓固接实现,这类联接可通过在动力学方程组装时直接将子结构振型耦联到一起并形成更高一级的结构动力子系统;另一类结构间的联接,表现为某些联接座标是自由的,还有些被约束着。例如,俯仰轴以上部分(a)与俯仰支架(b)间的联接(见图1)。构件a通过轴承BE绕水平轴作回转运动,其余自由度则被约束。方位旋转部分与底部之间也存在这种关系。对于第二种情况,主要通过标量元与多点约束的方式实现对子结构及其相互关系的模拟。前面已谈到如何用模态座标及模态质量与模态刚度去描述一个子结构,现在要建立的是模态座标和联接点自由度之间的一组关系,即:约束方程。

根据第二种联接情况,将子结构的自由度分为二个不同物理位置座标中的位移子集:

$\{u_a\}$ 为自由的位移子集

$\{u_b\}$ 为被约束的位移子集

则无阻尼子结构运动方程可写作:

$$\begin{Bmatrix} f_a \\ f_b \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K_a + M_a p^2 & K_{ab} \\ \dots & \dots \\ K_{ab}^T & K_{bb} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_a \\ \dots \\ u_b \end{Bmatrix} \quad (10)$$

式中

f_a, f_b ——作用在子结构上的力
 p ——导数算子

其质量集中在自由座标 $\{u_a\}$ 上, 任何在约束座标 $\{u_b\}$ 上的结构质量, 因其不参与振动而被略去。式中刚度阵 K 亦是按自由与约束座标的不同而加以分割。在 $\{u_a\}$ 中仅包括有自由联接的座标子集。

由式 (2) 可有物理位置座标 $\{u_a\}$ 与模态座标 $\{\xi\}$ 关系:

$$\{u_a\} = [\phi_{ai}] \{\xi_i\} \quad (11)$$

以及振型正交性的性质, (10) 式可表示为

$$\begin{Bmatrix} f_i \\ f_b \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K_i + M_i p^2 & \phi_{ai}^T K_{ab} \\ \dots & \dots \\ K_{ab}^T \phi_{ai} & K_{bb} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \xi_i \\ \dots \\ u_b \end{Bmatrix} \quad (12)$$

式中

f_i ——模态座标上的广义力

为求出约束座标 $\{u_b\}$ 与模态座标的关系, 考虑到质量集对 $\{u_b\}$ 不起作用, 故可略去惯性力的影响, 从而使方程简化为刚度方程的标准形式:

$$\begin{Bmatrix} \bar{f}_i \\ f_b \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K_i & \phi_{ai}^T K_{ab} \\ \dots & \dots \\ K_{ab}^T \phi_{ai} & K_{bb} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \xi_i \\ \dots \\ u_b \end{Bmatrix} \quad (13)$$

式中

$$\bar{f}_i = \{f_i\} - [M_i] \{p^2 \xi_i\} \quad (14)$$

为略去惯性力后的广义力

将 (13) 式上半部展开

$$\{\bar{f}_i\} = [K_i] \{\xi_i\} + [\phi_{ai}^T] [K_{ab}] \{u_b\} \quad (14-1)$$

等式两边左乘 $[K_i^{-1}]$, 并令

$$[\psi_{ib}] = -[K_i^{-1}] [\phi_{ai}^T] [K_{ab}] \quad (15)$$

(15) 式中等式右端相当于用 K_i 逐项去除 $[\phi_{ai}^T] [K_{ab}]$ 故 $[\psi_{ib}]$ 可以定义作为一个模态座标的基底, 令:

$$\{\xi_i\} = [\psi_{ib}] \{u_b\} \quad (16)$$

将 (15)、(16) 先后代入 (14) 中, 经整理可得:

$$\{f_i\} = [K_i] \{\xi_i - \xi_i\} \quad (17)$$

(16)、(17) 式表明了子结构的模态座标与联接节点约束座标的关系, 对自由联接座标来说, 则有

$$\{u_a\} = [\phi_{ai}] \{\xi_i\} \quad (18)$$

式中:

$\{u_a\}$ ——自由联接座标, 为 $\{u_a\}$ 的子集

$[\phi_{ai}]$ ——为简约到只包含联接点自由度的特征向量, 为 $[\phi_{ai}]$ 的子集。

综上, 方程 (14)、(16)、(17) 以及 (18) 对子结构及其联接关系提供了一个完整的描

述。只要给出子结构的几何参数、物理特性及其与主结构或其它子结构联接条件，子结构的模态参数 m_i, K_i 等就可求出，同时还可求出联接关系的约束方程系数 $[\phi_{ei}]$ 及 $[\psi_{ib}]$ ，这样就得出对子结构及其有关联接方式的模拟了。对轴承联接来说，其 $\{u_e\}$ 项仅考虑旋转自由度即可。

七、随动控制子系统模型

对于结构与控制系统之间的数据传递来说，确实存在一个‘桥梁’问题。问题的关键在于一般的结构单元相互作用都是双向的，而控制系统则是单向的。如图 4 所示：

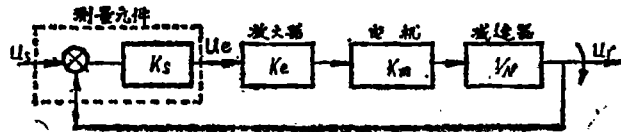


图 4 光电经纬仪随动系统方框图

- u_s —— 位置误差信号变量, $u_s = u_s - u_r$
- u_s —— 所需指定位置变量
- u_r —— 转台转角
- k_s —— 单位转角差所产生的误差电压 (灵敏度)
- k_a —— 放大器放大系数
- k_m —— 电动机力矩系数

对于双向作用的结构单元，如一根弹簧，很容易用一对称矩阵方程描述其本构关系：

$$\begin{Bmatrix} p_1 \\ p_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K & -K \\ -K & K \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{Bmatrix} \quad (19)$$

上式表明，在弹簧的一端施加一个位移 u_1 ，则可得到响应力 p_2 及相等大小的反力 p_1 ；类似地，由 (19) 式，若令反力为零，亦即不产生反力的话，只要用一非对称‘结构单元’的本构方程描述就可以了，即：

$$\begin{Bmatrix} p_1 \\ p_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -K & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{Bmatrix} \quad (20)$$

由上式，我们可以模拟伺服控制系统的单向作用^[9]，此时 u_1 为位置误差信号变量， p_2 为一与 u_1 成比例的响应力，即驱动转台转动力矩。考虑到阻尼情况时，其本构方程为

$$\begin{Bmatrix} p_1 \\ p_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -H & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -c & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{Bmatrix} \quad (21)$$

式中 c 为粘滞阻尼系数，主要是来自电动机的粘滞阻尼； u_1, u_2 分别为位置误差信号变量及力矩电机转角，这些量均作为附加节点的位置向量处理。 H 为控制器的增益，可由随动控制系统的传递函数求出。由于二阶随动控制系统传递函数可表示为下列多项式的形式：

$$H(p) = \frac{\sum(a_0 + a_1 p + a_2 p^2)}{b_0 + b_1 p + b_2 p^2} \quad (22)$$

上式中 ξ_i 可由有限元子结构实特征值分析计算得到, 亦可通过模态测试得到, u_i 则直接输入即可。

模态座标 u_i 与物理座标 u_s 的关系为

$$\{u_s\} = [\phi_{s,i}]\{u_i\} \quad (27)$$

式中 $[\phi_{s,i}]$ 为考虑附加节点自由度扩充 $[\phi_{s,i}]$ 而得到, $[\phi_{s,i}]$ 系结构节点振型组成的矩阵。

$$\text{而 } u_s = u_a + u_i \quad (28)$$

└——结构节点位移集

式(26)~(28)中的“+”号表示和集。

$[K_s]$ 、 $[B_s]$ 、 $[M_s]$ 为模态法动力分析的全部动力矩阵, 其 $[K_s]$ 及 $[M_s]$ 系由各子结构进行实特征值分析得到的 k_i 及 m_i 组成。 k_i 与 m_i 分别为子结构的模态刚度与模态质量。 $[B_s]$ 亦由相应的模态阻尼 b_i 组成, 其 b_i 可由下式求出:

$$[b_i] = [\omega_i g(\omega_i) m_i] \quad (29)$$

式中

ω_i ——第 i 个主模态圆频率

$g(\omega_i)$ ——阻尼因子, 可通过查表得到。

当对光电经纬仪适当进行分割后, 如图4中所示的 a 、 b 、 c 、 d 、 g 、 s 以及 e 等部分, 就可以用各自的模态座标表示其动力矩阵的模态参数 $[K_{s,i}]$ 、 $[B_{s,i}]$ 、 $[m_{s,i}]$ 、 $[\xi_{s,i}]$ 等等, 总的联合带宽等于连续的 $\{\xi_{s,1}\}$ 、 $\{\xi_{s,2}\}$ 、 $\{\xi_{s,3}\}$... $\{\xi_{s,n}\}$ 等模态座标数, 这些模态座标均系独立自由度的模态座标。反映构件间联接的位移集 $\{u_{a,b}\}$ 、 $\{\xi_b\}$ 、 $\{u_{c,g}\}$ 、 $\{\xi_g\}$ 及 $\{u_{c,d}\}$ 、 $\{\xi_d\}$ 等则是被约束着的。当联接方式给定后, 约束方程的系数可就确定, 并同整个结构的边界条件一起, 并入方程(25)就可作非耦联的振型计算。

对于包括随动控制系统在内的整个机电系统的模拟计算要在方程(25)中加入 $\{u_i\}$ 项, 与附加点 u_i 有关传递函数的相应项直接组装到 $[K]$ 、 $[B]$ 、 $[M]$ 阵中, 这些项可能涉及附加节点、结构节点或二者兼有之。动力荷载 $\{P\}$ 中包括有 $\{P_i\}$, 该项作用在附加点上。经按上述进行组装后就可对整个机电系统进行模拟与分析计算。

由于方程(25)的组装是在模态座标下进行的, 整个方程为非耦联方程, 故可用解析法直接积分, 省去了用高精度的数值积分的麻烦, 使计算效率大大提高。计算结果可给出系统固有频率、振型及瞬态响应 $\{u_s\}$ 。为了得到更直观的结果, 往往将模态座标下得到的结果利用(27)式再返回到物理座标系下。

应该指出的是, 用于组装的代表各构件的模态质量、刚度等参数事先应进行正交化检验, 即

$$[\phi_{s,i}]^T [M] [\phi_{s,i}] = 0 \quad (30)$$

一般采用计算正交比的办法检验其特征向量解耦的情况。对每个独立的自由度有:

$$\text{正交比} = \frac{\text{最大非对角元素}}{\text{对角元素}} < \varepsilon \quad (31)$$

其 ε 值多为 10^{-4} , 而对于刚体模态则要高些。

由于模态法是以较少的自由度来代表一个动力系统, 组装时总是要失掉一些质量或刚度, 或二者兼有之, 为了进一步提高精度, 应将‘剩余质量’或‘剩余柔’加到分析中以进行修正。

九、结 束 语

通过对光电经纬仪机电一体化系统的模拟与分析, 可以找出影响整个系统性能的结构或控制系统的敏感参数, 进而按技术要求针对薄弱环节改进设计, 经过若干设计与分析的迭代过程逐步实现优化设计。进入高技术时代的今天, 体现交叉学科的一体化机电产品的品质因数好坏越来越引起人们的关注, 也要求设计工作者必须从更高层次着眼解决产品的优化设计问题。目前长春光机所 CAD 工作站已装有模态综合等工程分析程序, 在此基础上进一步开发光电经纬仪机电一体化工程分析程序已提到日程上来了。该程序的开发将不仅对光电经纬仪的优化设计起着重要的作用, 对其它雷达跟踪测量装置乃至更广泛的精密机电产品在概念设计、工程分析与系统优化上都有着积极的意义。

参 考 文 献

- [1] W.C.Hurty, AIAA Journal, April, 1965
- [2] R.J.Guyan, AIAA Journal, 3(2), 1965
- [3] 孙晴民主编,《机床结构计算的有限元法》, 机械工业出版社 1981
- [4] N.Petersman, "Calculation of eigenvalues using structures and dynamic condensation" 1984
- [5] A.Y.T. Leung, "An accurate method of dynamic substructure with simulation"- Int.J. Num, Meth, Engg., 1979
- [6] R.H.Macneal and R.G. Schwendlev, ASD JR-61-680, January, 1962
- [7] Sdrc User Guide Levels "Systan Engineering Analysis System Dynamics"
- [8] "QJF-1 程序理论说明书"(下) 1983.4
- [9] J.W.Young, Computers in Mechanical Engineering January 1986

Dynamic Character Analysis for Electro-Optical Theodolite

Lu E

Abstract

In this paper the method of dynamic character analysis for Electro-Optical Theodolite based on modal synthetic technique has been discussed. In view of integration of mechanical and electrical product, the point focuses on the foundation and assembly of modal equations for dynamical substructures, connectors and servo controller of E- O Theodolite. simulation and analysis can be carried out by means of CAD workstation.