

【文章编号】 1004-1540(2003)02-0117-03

基于子结构法的升船机 主传动系统的动力学建模

王 君,蒋海青,单越康
(中国计量学院,浙江 杭州 310034)

【摘 要】 用动态子结构法对三峡升船机的主传动系统建立动力学模型。把整个系统分为 8 个一级子系统,每个一级子系统又分为 4 个二级子系统,建立每个二级子系统的动力学模型,利用边界条件,层层组装,最后组合成完整的动力学方程。

【关键词】 升船机;子结构法;同步轴

【中图分类号】 TH113

【文献标识码】 A

Dynamics model built on the primary drive system of shiplift based on sub-structure method

WANG Jun, JANG Hai-qing, SHAN Yue-kang
(China Institute of Metrology, Hangzhou 310034, China)

Abstract: Dynamics modal is built on the primary drive system based on dynamic sub-structure method. The whole system is divided into 8 primary sub-systems, then every primary sub-system is divided into 4 secondary sub-systems again. We build dynamic modal for all secondary sub-systems, which was restrained by boundaries. At last a finished dynamics equation was composed with all of the sub-systems.

Key words: shiplift; sub-structure; synchroshaft

三峡升船机为全平衡式,平衡重分为两部分:一类是重力平衡重(9 300 t)、另一类是转矩平衡重(2 500 t),重力平衡重大致与船厢内水重相等,由 144 根钢丝绳通过直径为 5.6m 的滑轮与船厢相联;转矩平衡重约与船厢重量相等,由 48 根

钢丝绳悬吊,并缠在直径 5.6m 的卷筒上。对应的 48 根钢丝绳通过液压平衡系统与船厢相联,其出绳方向与平衡绳方向相反,共用卷筒绳槽,共同组成转矩平衡系统。通过机械及液压手段,保证每根钢丝绳受力均等^[1]。

【收稿日期】 2003-01-06

【作者简介】 王 君(1969-),男,辽宁沈阳人,讲师,研究方向为机械电子。

1 三峡升船机系统的物理模型

三峡升船机传动系统可以分为4个对称部分(图1)。每个对称部包括:两台电动机、两台减速器;两根同步轴4个卷筒、12块重力平衡重、12块转矩平衡重、12组滑轮组、12个承船厢单元(每个单元为整个承船厢的1/48)。

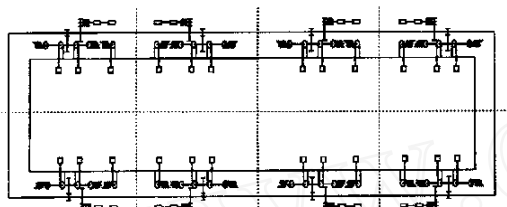


图1 物理模型

2 升船机系统的数学建模方法

三峡升船机这个项目,系统十分复杂,直接建立整个研究系统的动力学模型是困难的。因此,我们采用子结构方法进行研究,即将整个系统分为若干部分,每一个部分称为一个子结构或子系统^[2]。然后,分别建立每一个子结构的动力学模型,根据各子结构的结合条件,将各个子结构耦合起来,得到整个系统的动力学模型。

三峡升船机传动系统可以分为8个一级子结构,每个一级子结构又分为4个二级子结构:电动机和减速器为子结构b;同步轴为子结构c(或d);一个卷筒、重力平衡重、转矩平衡重、滑轮组、承船厢组成子结构e。这里各处同步轴长度及方向不同,分为纵向短同步轴 d_1 、纵向长同步轴 d_2 、横向同步轴 c 三种类型。每个一级子结构有两个完全相同的子结构e。

3 正常工况下三峡升船机系统的动力学建模

在建立子结构的动力学模型时,为便于抓住问题的主要矛盾,仅考虑扭转振动,同时还做了如下假设:

- 系统的阻尼为结构阻尼中的比例阻尼;
- 不考虑机电耦合、流固耦合;
- 考虑钢丝绳的非线性影响;

考虑搅油误差和空气阻尼。

3.1 子结构b

如图2示,将子结构b按集中质量法建立模型。子结构b中的每根轴及轴上齿轮转化为等效转动惯量元件,各轴受扭段转化为等效弹性元件。然后将每一级的等效转动惯量和等效刚度转化到电动机轴上。考虑各对齿轮的啮合刚度和啮合阻尼^[3],则可得子结构b经转化后的多自由度扭转系统。减速器的第二根轴与同步轴(子结构c、d)相联,第六根轴与卷筒轴(子结构e)相联。由牛顿定律,可得相应的各扭转自由度运动微分方程:

$$J^{b \cdot b} + C^{b \cdot b} + K^{b \cdot b} = T^b \quad (1)$$

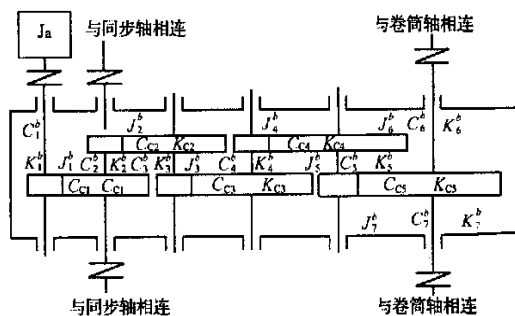


图2 五级减速器

3.2 子结构c、d

同步轴分横向同步轴 c 、纵向短同步轴 d_1 、纵向长同步轴 d_2 。假设横向同步轴为均匀结构,把横向同步轴分为10等份,设每一等份的转动惯量分别聚于它的两端。由于仅考虑扭转振动,这11个节点的自由度也是11个,写出每一等份的质量矩阵和刚度矩阵,单元阻尼假设为结构阻尼(比例阻尼);再考虑这些单元的位移协调和平衡条件,可以把方程装配成一体。此子结构的力学模型简图如图3所示。横向同步轴 c 子结构的运动微分方程为:

$$M^{c \cdot c} + C^{c \cdot c} + K^{c \cdot c} = T^c \quad (2)$$

3.3 子结构e

1个卷筒、转矩平衡重(1/16)、承船厢(1/16)、重力平衡重(1/16)、滑轮组(1/16)组成子结构e。一个一级子结构有两个完全相同的子结构e。

根据前面的三峡垂直升船机结构分析,对于卷筒运用类似有限元模型方法,将整个卷筒分为

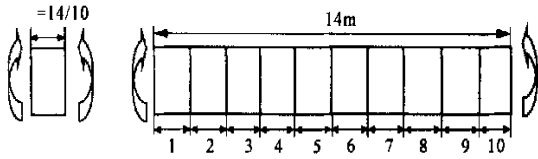


图3 (横向同步轴)子结构c的力学模型简图(平面图)

三等份,每一等份用集中质量元代替,卷筒的每一等份上都联接转矩平衡重和承船厢,而承船厢与重力平衡重相联。这样根据子结构e的力学模型简图(图4),根据假设阻尼,可以得出它们的阻尼矩阵;再根据牛顿运动定律,得出子结构e运动微分方程。即:

$$M^e \ddot{c} + C^e \dot{c} + K^e c = T^e \quad (3)$$

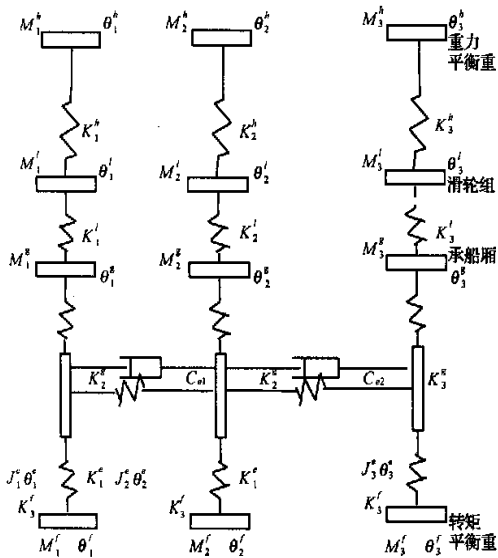


图4 子结构e的动力学模型简图

3.4 力列阵

耦合之后的力列阵为:

$T = [T_i]^T, i = (1 \sim 36)$, 其中 $T_1, T_{46}, T_{91}, T_{136}, T_{190}, T_{235}, T_{280}, T_{325}$ 等于电动机的输出扭矩, 其余各项为零。

综上,各子系统按传动系统的顺序(位置)排列,组成392个自由度的系统,其质量矩阵为 M_z , 刚度矩阵为 K_z , 阻尼矩阵为 C_z , 尚未联结的整体运动方程为:

$$M_z \ddot{z} + C_z \dot{z} + K_z z = T_z \quad (4)$$

但其中具有不独立的坐标32个,应消除。

然后采用刚性结合方法,将各子结构耦合起来,各子结构满足位移相容条件和作用力平衡条件,从而导出坐标变换矩阵 S (具体过程省略)。各子系统的联接界面的联接矩阵 S 为392360阶,然后进行坐标变换为360个自由度的矩阵,即:

$$= S^T z; T = S^T T_z;$$

$$M = S^T M_z S; C = S^T C_z S; K = S^T K_z S。$$

3.5 整个系统的动力学方程

$$M \ddot{z} + C \dot{z} + K z = T \quad (5)$$

式(5)中: $z = S^T z_z; T = S^T T_z; M = S^T M_z S; C = S^T C_z S; K = S^T K_z S。$

至此,建模工作初步完成。在以后的工作中,我们将对模型参数化,并在 MATLAB 环境下进行计算和仿真,同时对仿真结果进行模态分析。通过分析优化设计,以保证升船机在给定的工况下能够正常工作。

【参考文献】

- [1] 田咏源. 三峡水利枢纽升船机的研究[J]. 人民长江, 1986 (5): 45.
- [2] 王文亮,杜作润. 结构振动与动态子结构法[M]. 上海:复旦大学出版社,1985.
- [3] 师汉民. 机械振动系统——分析/测试/建模/对策[M]. 武汉:华中理工大出版社,1992.