

高级空间机构模块综合*

于东英 甘建国 朱玮

TH112

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

摘要 本文给出了 24 种具有 5 或 6 自由度的空间开环运动链及 28 种具有 2 自由度的空间闭环运动链的模块组合, 借助 RS 及 PS 两种形式的双活节杆, 解决了双可动空间运动的定坐标问题, 为寻找新型闭环形式的机器人机构进行了有益的尝试。

关键词: 空间机构; 双活节杆; 模块; 综合

1 引言

高级空间机构 (Spatial Mechanisms of High Classes 简称 SMHC) 是带可变闭环的空间杆机构。由于 SMHC 与现存的空间机构相比有其结构上的特点, 因而具有广泛的应用前景^[1]。

文中引用位移和传输 SMHC 模块综合算法, 按已知输入杆件和广义坐标的运动规律同时确定其结构和尺寸参数。位移和传输 SMHC 实现以下输入杆件和运动规律:

$x_H(t), y_H(t), z_H(t), \varphi(t), \psi(t), \theta(t), V(t)$, 此处 $x_H, y_H, z_H, \varphi, \psi, \theta$ 分别是 $Hxyz$ 系统初始坐标和欧拉角, $Hxyz$ 与输出杆件固连, 而 V 则是相对于绝对坐标系 $Oxyz$ 输出杆件的转动角或线性位移。

2 模块综合

作为位移和传输 SMHC 综合用的模块, 相应地有开环空间运动链和闭环运动链两种形式。经过分析比较, 我们给出了由移动副 P , 转动副 R , 圆柱副 C , 球销副 S' , 球面副 S 这五种基本运动副组合而成的 24 种具有 5 或 6 自由度的空间开环运动链, 用 $W_i (i=1\sim 24)$ 表示, 其中 $W_1\sim W_{11}$ 为 5 自由度, 其余为 6 自由度^[1]。

同时我们给出了 28 种具有 2 自由度的空间闭环运动链, 用 $T_i (i=1\sim 28)$ 表示。这些 T_i 都是借助双副杆件叠加而成的, 因此 SMHC 尺寸参数与其复杂性无关, 而由模块综合来确定^[1]。

3 参数综合

由上述模块综合而成的 SMHC 能够实现已知运动规律和广义坐标, 其结构参数综合是依据双副杆两可动空间运动定坐标算法的。下面详细讨论 RS 型和 PS 型两种形式的双副杆参数综合。

收稿日期: 1993 年 9 月 24 日; * 此项目得到了国家自然科学基金的资助

3.1 RS 型双副杆之两可动空间运动定坐标法

设已知两可动空间 G_{XYZ} 和 Q_{XYZ} 在固定座标系统 $oxyz$ (图 1 所示) 的离散位置为 $x_{G_i}, y_{G_i}, z_{G_i}, \alpha_{G_i}, \beta_{G_i}, \gamma_{G_i}$ 和 $x_{Q_i}, y_{Q_i}, z_{Q_i}, \alpha_{Q_i}, \beta_{Q_i}, \gamma_{Q_i}$ ($i=1, 2, 3, \dots, N$); 下面的工作就是如何确定连接可动空间 G_{XYZ} 和 Q_{XYZ} 的 RS 型双副杆 RS 的参数。

从其运动规律来看, 综合出的杆件应实现限制点 S 沿圆周运动的联结。近似圆周可以确定为球体和平面的交截线, 因此, 点 S 的位置需满足球面及平面两个方程。设 (x_R, y_R, z_R) 和 (x_S, y_S, z_S) 是铰链 R 和 S 分别在座标系 G_{XYZ} 和 Q_{XYZ} 中的座标。

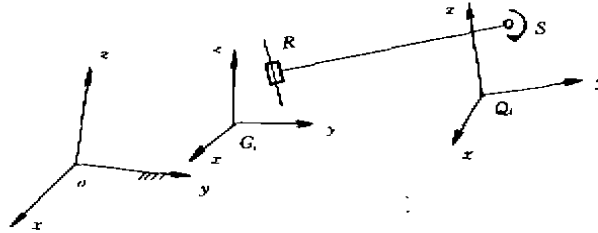


图 1

故加权偏差可表示为:

$$\Delta q_i = (x_{S_i} - x_R)^2 + (y_{S_i} - y_R)^2 + (z_{S_i} - z_R)^2 - 1_{RS} \quad (1)$$

$$\Delta q_i = ax_{S_i} + by_{S_i} + cz_{S_i} + d \quad (2)$$

这里

$$[x_{S_i}, y_{S_i}, z_{S_i}]^T = T_{G_i}^{-1} * [x_{S_i} - x_{G_i}, y_{S_i} - y_{G_i}, z_{S_i} - z_{G_i}]^T \quad (3)$$

$$[x_{S_i}, y_{S_i}, z_{S_i}]^T = [x_{Q_i}, y_{Q_i}, z_{Q_i}]^T + T_{Q_i} * [x_S, y_S, z_S]^T \quad (4)$$

式中 T_{G_i} 和 T_{Q_i} 是座标系统 G_{XYZ} 和 Q_{XYZ} 的方向余弦矩阵。

若取点 G 的座标 $x_{G_i}, y_{G_i}, z_{G_i}$ 为未知, 则加权偏差 (1) 和 (2) 为 14 个参数 ($x_{G_i}, y_{G_i}, z_{G_i}, x_R, y_R, z_R, x_S, y_S, z_S, l_{RS}$) 及 (a, b, c, d) 的函数 (实际上这 14 个参数须分别满足直线及球面方程的要求, 故只有 12 个参数是独立的), 可用以下四个线性方程表示为:

$$\Delta q_i^{(1)} = u_1 f_{1i} + u_2 f_{2i} + u_3 f_{3i} - f_i^1 \quad (5)$$

$$\Delta q_i^{(2)} = u_4 f_{4i} + u_5 f_{5i} + u_6 f_{6i} - f_i^2 \quad (6)$$

$$\Delta q_i^{(3)} = u_7 f_{7i} + u_8 f_{8i} + u_9 f_{9i} - f_i^3 \quad (7)$$

$$\Delta q_i^{(4)} = u_{10} f_{10i} + u_{11} f_{11i} + u_{12} f_{12i} - f_i^4 \quad (8)$$

式中 u_k ($k=1 \sim 12$) 为包含未知参数的函数, f_k ($k=1 \sim 12$) 和 f_i^1, \dots, f_i^4 为已知参数的函数。

对于每一个加权偏差 (5) ~ (8) 之 $\Delta q_i^{(l)}$ ($l=1 \sim 4$) 组成平方和值 $S_j = \sum_{i=1}^N (\Delta q_i^{(l)})^2$, 为使 S_j 具有最小值, 须有:

$$\partial S_j / \partial u_k = 0 \quad (9)$$

由 (9) 式可导出关于 u_k 的四个线性方程组。解此方程组 (可用插值法) 就可确定上述 14 个未知参数。

3.2 PS 型双副杆两可动空间运动定坐标法

如图 2 所示, 设已知两可动空间 G_{XYZ} 和 Q_{XYZ} 在固定座标系统 $oxyz$ 的离散位置为: $x_{G_i}, y_{G_i},$

$z_{G_i}, \alpha_{G_i}, \beta_{G_i}, \gamma_{G_i}$ 和 $x_{Q_i}, y_{Q_i}, z_{Q_i}, \alpha_{Q_i}, \beta_{Q_i}, \gamma_{Q_i}$ ($i=1, 2, 3, \dots, N$); 综合出的杆件应实现限制点 S 按直线运动的联结。因此必须确定在空间 G_{XYZ} 中的直线 1:

$$Ax_{S_i} + By_{S_i} + Cz_{S_i} = 0 \quad (10)$$

在空间 Q_{XYZ} 中的点 $S(x_S, y_S, z_S)$ 相对于空间 G_{XYZ} 的直线轨迹应平行于 1。

我们可用以下函数作为加权偏差的表达式:

$$\Delta q_i = Ax_{S_i} + By_{S_i} + Cz_{S_i} + D \quad (11)$$

这时参数 $x_{S_i}, y_{S_i}, z_{S_i}$ 由 (3) 式、(4) 式来确定, 这样 (11) 式中以表示为参数组:

$(x_i, y_i, z_i, x_S, y_S, z_S, A, B, C, D)$ 共 10 个参数的函数 (实际上只有 9 个参数是独立的), 即:

$$\Delta q_i^{(1)} = u_1 f_{1i} + u_2 f_{2i} + u_3 f_{3i} - f^i \quad (12)$$

$$\Delta q_i^{(2)} = u_4 f_{4i} + u_5 f_{5i} + u_6 f_{6i} - f^i \quad (13)$$

$$\Delta q_i^{(3)} = u_7 f_{7i} + u_8 f_{8i} + u_9 f_{9i} - f^i \quad (14)$$

按照前述相同的方法就中确定上述 10 个未知数。

4 结 论

本文在给出了由五种基本运动副所组成的 24 种具有 5 或 6 自由度的空间开环运动链及 28 种具有 2 自由度的空间闭环运动链的模块组合, 作出了 SMIIC 模块综合算法, 按照此算法, 依据已知输出杆件和广义座标的运动规律同时确定机构结构简图和尺寸参数。本文的研究成果为寻找新的实用于机器人机构的空间闭环机构打下了良好的基础。

参 考 文 献

- [1] U. A. Djoklasbekov, High class spatial mechanisms, The Theory of Machines and Mechanisms, Proceedings of the 7—th World Congress, Vol. 1, 309~311
- [2] 张启先编著, 《空间机构的分析与综合》, 机械工业出版社, 1982
- [3] 甘建国, 干东英, 高级平面操作器组合模块综合, 第五届机械传动年会论文集, 686~689, (1992)
- [4] 甘建国等, 高阶机构组合模块的优化综合, 研究报告, 长春光机所, 1993. 6

Block—modulus Synthesis of Advanced Spatial Mechanism

Gan Dongying, Gan Jianguo and Zhu Wei
 (Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics Chinese
 Academy of Sciences, Changchun 130022)

Abstract

This paper gives block—modulus combinations of 24 kinds of spatially opened motion

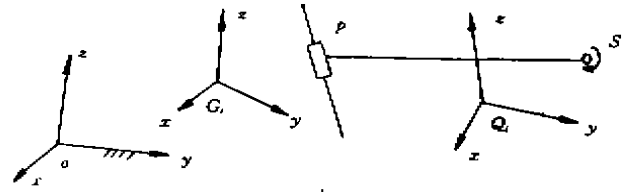


图 2

chains with 5 or 6 degrees of freedom and 28 kinds of spatially closed motion with 2 degrees of freedom. describes a method to solve the problem of determining the coordinates of the double spatial motion by the double motion poles of the RS and PS, and suggests a possible approach for finding a new closed robotic mechanisms.

Key words: Spatial mechanism, Double motion poles, Block—modulus, Synthesis