

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2016.11.012

机场升降平台车万向传输装置机械结构的设计与分析

耿国卿, 杨立平

(泰山职业技术学院 科研处, 山东 泰安 271000)

摘要:为解决机场升降平台车与飞机货舱轨道不易对接造成的集装箱装卸困难等问题,研制了万向滚轮,并将万向滚轮技术应用到机场升降平台车的传输装置中。对万向滚轮的结构和工作原理进行分析,建立了万向滚轮旋转方向和货物运动方向的组合关系;建立了万向滚轮的数学模型,提出了万向滚轮的数学计算方法和计算公式,并成功应用到数控加工中。在伊尔-76 运输机上进行试验。结果表明:使用万向传输装置的机场升降平台车,在装卸货物时可以调整集装箱进行前、后、左、右、顺时针和逆时针六个方向的运动,方便快捷的把货物输送到飞机货舱中去,极大地提高了作业效率。

关键词:机场升降平台车;万向传输装置;万向滚轮;航空运输

中图分类号:TH211⁺.6;TH122

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2016)11-1354-05

Design and analysis of the universal transmission device for the airport lifting platform vehicle

GENG Guo-qing, YANG Li-ping

(Department of Science and Research, Taishan Polytechnic, Taian 271000, China)

Abstract: In order to solve the problems of container loading and unloading caused by the different docking between the airport lifting platform vehicle and aircraft cargo track, the universal roller was developed. The technology of universal roller was investigated in the transmission device of the airport lifting platform vehicle. After the analysis of the structure and working principle of the universal roller, the combination relationship between the rotational direction of the universal roller and the moving direction of goods was set up; the mathematical model of universal roller was established and the mathematical calculation method and calculation formula were put forward to be successfully applied to the CNC machining. The experimental results in Ilyushin IL-76 transport aircraft show that the airport lifting platform vehicle with universal transmission device can adjust the container in six directions of front, rear, left, right, clockwise and anticlockwise. Goods can be delivered to the cargo plane conveniently and efficiently, and the work efficiency will be greatly improved.

Key words: universal transmission device; airport lifting platform vehicle; universal roller; air transport

0 引言

机场升降平台车是用于向飞机装卸货物的一种机电液一体化的装卸设备,按行走方式分为自行式和牵引式,按平台数量可分为单平台和双平台两种形式。现在比较先进的为自行式双平台升降平台车,它主要

由动力系统、电气系统、液压系统、驱动装置、升降装置、工作平台等组成。

当飞机装卸货物时,特别是向伊尔-76、运8等运输机装卸集装箱或货物托盘时,机场升降平台车的工作平台要与飞机货舱轨道对接。当装载货物时,集装箱先放到升降平台车的工作平台上,然后工作平台升高至飞机货舱轨道相同高度,通过控制液压马达驱动

万向滚轮,调整集装箱位置,然后在万向滚轮的驱动下输送到飞机货舱中。卸下货物时则相反。普通机场升降平台车的货物传输装置一般为长滚轮结构,货物只能前后传送,不能左右或旋转调节,由于升降平台车传送装置与飞机货舱轨道在宽度上不易准确对接,在传送集装箱和货物托盘时发生困难。万向传输装置就是为了解决上述问题的研制的,它的成功研制为提高航空运输装卸效率,改善装卸条件,以及对航空运输的机械化、自动化具有很大的推动作用^[1-2]。

本研究为万向传输装置研发万向滚轮,以提高传输装置作业效率。

1 万向滚轮的结构和工作原理

机场升降平台车及其工作平台上的万向传输装置如图 1 所示。

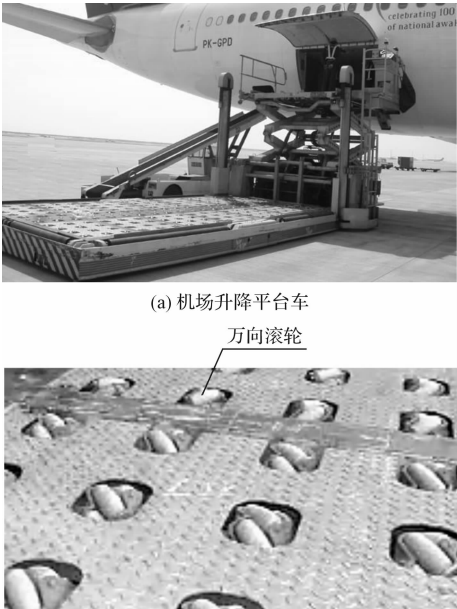


图 1 机场升降平台车

万向滚轮的结构示意图如图 2 所示。

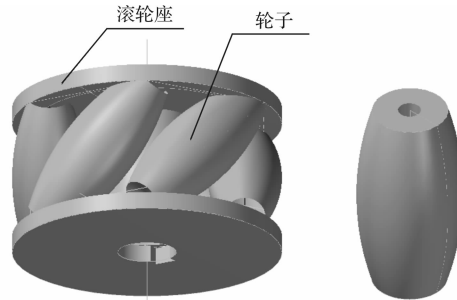


图 2 万向滚轮结构示意图

它由滚轮座、轮子、销轴等组成,6 个轮子绕滚轮

轴线圆周分布,轮子的轴线与滚轮轴线成空间 45°角。万向滚轮按照轮子轴线布置方向分为左旋和右旋,图中所示万向滚轮为右旋。轮子为两头小、中间大的腰鼓形,轮子可以绕着其轴线旋转。万向滚轮安装在主轴上,在液压马达带动下绕主轴轴线(滚轮轴线)旋转^[3-4]。

机场升降平台车工作平台的万向滚轮布置示意图如图 3 所示。

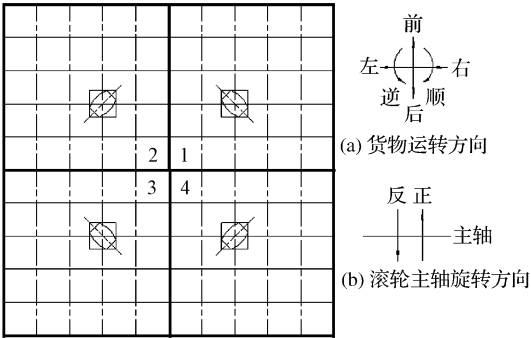


图 3 万向滚轮装置布置及工作原理

货物在工作平台上,底面与万向滚轮接触。图中只画了 4 个万向滚轮的简化图。它分为 4 个区,每个区由 4 根主轴和 16 只万向滚轮组成,4 个区共有 64 个万向滚轮。万向滚轮分左旋和右旋两种,按照其旋向,4 个区相对布置,1、3 区为右旋滚轮,2、4 区为左旋滚轮。同一个区的万向滚轮主轴旋转方向是相同的,由液压马达驱动,4 个区的主轴可以分别作正、反方向旋转,根据 4 个区不同的旋转方向组合,可以实现货物的前、后、左、右、顺时针和逆时针 6 个方向的运动^[5-6]。

4 个区的主轴旋转方向和货物运动方向组合如表 1 所示。

表 1 主轴旋转方向和货物运动方向组合

平台分区	主轴旋转方向					
	货物前移	货物后移	货物左移	货物右移	货物顺时针	货物逆时针
1 区	正	反	反	正	反	正
2 区	正	反	正	反	正	反
3 区	正	反	反	正	正	反
4 区	正	反	正	反	反	正

2 万向滚轮的受力与运动分析

为了便于分析滚轮的受力和运动情况,把万向滚轮简化为图 4 所示。

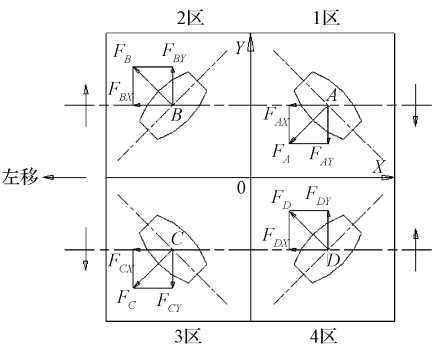
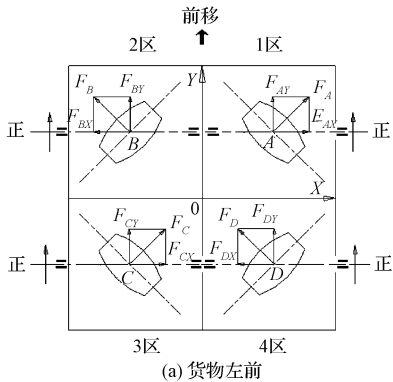
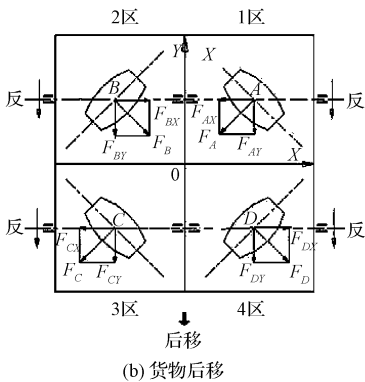


图 4 货物左移时的受力分析

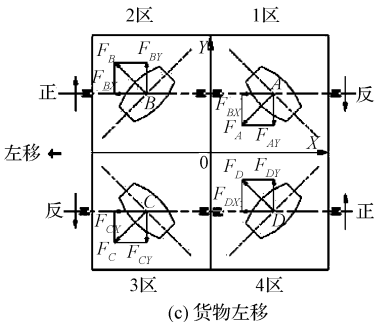
货物底面与滚轮的接触点分别是 A、B、C、D,接触



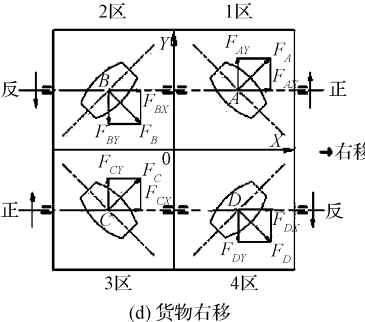
(a) 货物前移



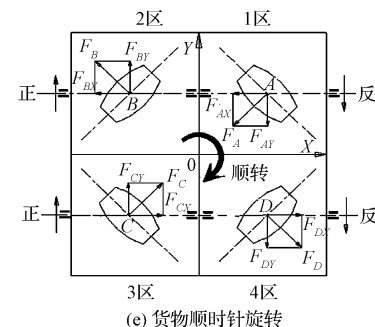
(b) 货物后移



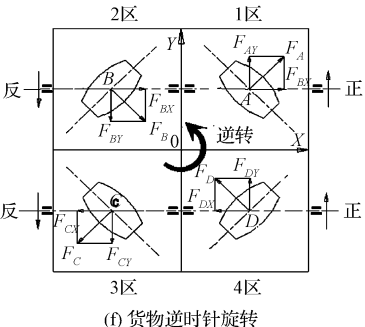
(c) 货物左移



(d) 货物右移



(e) 货物顺时针旋转



(f) 货物逆时针旋转

图 5 货物运动方向及受力分析

3 万向滚轮的结构设计与数学模型

3.1 螺旋线的参数方程

万向滚轮数学模型与接触点的轨迹曲线如图6所示。万向滚轮总成上有6个轮子,按照圆周分布,轮子轴线与主轴成空间45°,当主轴旋转时,货物底面与滚子接触,理论上是点接触,当主轴旋转1/6周时,接触

点在最高点。以货物左移为例,4个区的滚轮主轴旋转方向如图4中所示。由于接触点的轨迹为45°的螺旋线,螺旋线上的接触点对货物的作用力分别是 F_A 、 F_B 、 F_C 、 F_D ,对应在X、Y方向的分力分别为 F_{Ax} 、 F_{Ay} 、 F_{Bx} 、 F_{By} 、 F_{Cx} 、 F_{Cy} 、 F_{Dx} 、 F_{Dy} 。在1区和4区,Y方向上的分力 F_{Ay} 、 F_{Dy} 互相抵消,X方向上的分力都是向左,推动货物向左运动;在2区和3区,Y方向上的分力 F_{By} 、 F_{Cy} 互相抵消,X方向上的分力都是向左,推动货物向左运动。因此货物在X方向上的分力 F_{Ax} 、 F_{Bx} 、 F_{Cx} 、 F_{Dx} 的作用下向左移动。

相同原理,货物运动方向及受力分析如图5所示。

点的轨迹在该轮子表面上形成一条空间曲线。为了便于分析,本研究把接触点的轨迹在圆周上的包络面转化为理想圆柱面,根据其运动分析,接触点轨迹在圆柱面上是一条螺旋线,轮子的外轮廓就是由该螺旋线绕着其轴线EF旋转形成的。当万向滚轮旋转一周,6个轮子依次与货物底面接触,并对货物产生力的推动作用,使得货物按照需要的方向运动^[7-8]。

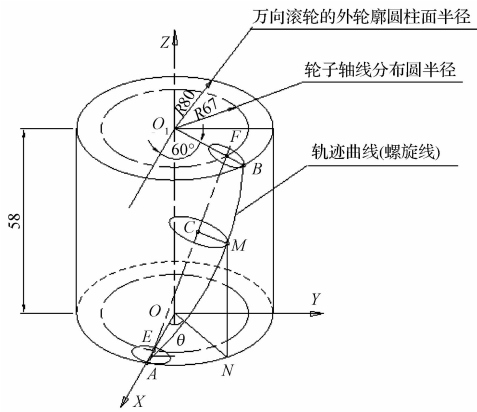


图 6 万向滚轮数学模型与接触点的轨迹曲线

为了便于计算和说明问题,本研究将万向滚轮的尺寸给定具体数据。已知万向滚轮的外轮廓圆柱面的截面圆半径 $R_1 = 80$, 滚子轴线分布圆半径 $R_2 = 67$, 圆柱高度 $H = 58$, 6 个轮子圆周均布, $\alpha = 60^\circ$ 。轮子轴线与主轴成 45° 角。整个圆柱面上共有 6 条螺旋线。螺旋线的导程 $h = 58 \times 6 = 348$, 所以螺旋线的参数方程为:

$$\begin{cases} x = 80 \cos \theta \\ y = 80 \sin \theta \\ z = \frac{348}{2\pi} \theta = \frac{174}{\pi} \theta \end{cases} \quad (1)$$

式中: θ —螺旋线上任意一点 M 在平面 xoy 投影对应的弧度。

3.2 轮子轴线在空间直角坐标系中的直线方程

根据万向滚轮总成的结构, 轮子轴线通过两点 $E(x_1, y_1, z_1)$ 、 $F(x_2, y_2, z_2)$, 从图 6 中可以计算出两点的坐标分别为: $E(67, 0, 0)$, $F(33.5, 58, 58)$ 。根据直线的两点式方程有:

$$\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{z - z_1}{z_2 - z_1} = t \quad (2)$$

将两点的坐标数值代入式(2), 得直线的两点式方程:

$$\frac{x - 67}{-33.5} = \frac{y}{58} = \frac{z}{58} = t \quad (3)$$

点 $E(x_1, y_1, z_1)$ 是直线上已知的一点, 向量 (m, n, p) 为直线的方向向量, t 为参数方程的参数。根据式(3)可知, $m = -33.5$, $n = 58$, $p = 58$, 所以直线 EF 的参数方程为:

$$\begin{cases} x = x_1 + mt = 67 - 33.5t \\ y = y_1 + nt = 58t \\ z = z_1 + pt = 58t \end{cases} \quad (4)$$

3.3 轮子的轮廓计算

轮子的轮廓为螺旋线绕轮子轴线旋转形成的空间曲面, 其形状为腰鼓形。设螺旋线上任意一点 M , 从 M 向

滚子轴线 EF 作垂线交于垂点 C , 线段 MC 的大小就是轮子在该点的轮廓横截面半径值。因此只要计算出螺旋线上任意点 M 对应的轮子轮廓半径 MC 的值, 以及 C 点对应的轴线长度 EC 的值, 就能计算出轮子的具体尺寸。

下面计算螺旋线上的任意 M 点到轴线上的距离。

设螺旋线上任意点 $M(x_0, y_0, z_0)$, 到直线 EF 的垂点 $C(x_c, y_c, z_c)$, 因为垂点 C 在直线上, 将 C 点坐标代入式(4), 得:

$$\begin{cases} x_c = x_1 + mt = 67 - 33.5t \\ y_c = y_1 + nt = 58t \\ z_c = z_1 + pt = 58t \end{cases} \quad (5)$$

因为垂线方向向量 $(x_0 - x_c, y_0 - y_c, z_0 - z_c)$ 和直线方向向量 (m, n, p) 的数量积等于 0, 即:

$$m(x_0 - x_c) + n(y_0 - y_c) + p(z_0 - z_c) = 0 \quad (6)$$

把式(5)代入式(6), 消去 x_c, y_c, z_c , 得:

$$t = \frac{m(x_0 - x_1) + n(y_0 - y_1) + p(z_0 - z_1)}{m^2 + n^2 + p^2} \quad (7)$$

螺旋线上点 $M(x_0, y_0, z_0)$, 到直线 EF 的距离 d 就是该点和垂点 $C(x_c, y_c, z_c)$ 的距离:

$$d = \sqrt{(x_0 - x_c)^2 + (y_0 - y_c)^2 + (z_0 - z_c)^2} \quad (8)$$

如果知道 C 点坐标后, 直线上 C 点对应的滚轮轴线的长度 EC , 可以用空间两点间的距离公式计算得出。

例如, 选取螺旋线中间点 $M(x_0, y_0, z_0)$ 进行计算: M 点对应的角度 $\theta = \pi/6$, 代入式(1)得, M 点的坐标为 $M(69.282, 40, 29)$ 。从图 3 中知道 $E(x_1, y_1, z_1)$ 的坐标为 $E(67, 0, 0)$, 将 M, E 两点的坐标以及 $m = -33.5$, $n = 58$, $p = 58$, 代入式(7)得, $t = 0.5$ 。将 $t = 0.5$ 代入式(5), 得垂点 $C(x_c, y_c, z_c)$ 的坐标为: $C(50.25, 29, 29)$ 。将 M 和 C 点的坐标代入式(8), 得 $d = 21.982$ 。该值为滚子轮廓半径的最大值。

已知 $E(67, 0, 0)$ 、 $F(33.5, 58, 58)$ 两点坐标, 根据空间两点间距离公式(8), 计算出轮子轴向长度 $EF = \sqrt{(33.5 - 67)^2 + (58 - 0)^2 + (58 - 0)^2} = 88.602$, 在轮子轴向上将 EF 的值均分 10 等分, 每等分长度为 8.8602; 相对应的角度 θ 以及轮子的轮廓半径 r 如表 2 所示。

轮子的轮廓尺寸如图 7 所示。

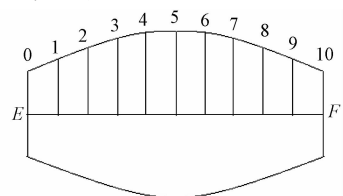


图 7 轮子轮廓尺寸

表 2 轮子的轮廓尺寸表

等分点 位置	θ	r	等分点 位置	θ	r	等分点 位置	θ	r
0	0	12.039	4	$2\pi/15$	21.570	8	$4\pi/15$	18.319
1	$\pi/30$	15.483	5	$\pi/6$	21.982	9	$3\pi/10$	15.483
2	$\pi/15$	18.319	6	$\pi/5$	21.570	10	$\pi/3$	12.039
3	$\pi/10$	20.341	7	$7\pi/30$	20.341			

如果想要得到更高的精度,则可以将轴向尺寸 20 等分,甚至更高。根据上述方法计算出相对应的轮廓半径,然后用光滑曲线把每一个点连接起来,就得到轮子的轮廓形状了。

根据上述设计原理制造的万向滚轮实物图如图 8 所示。

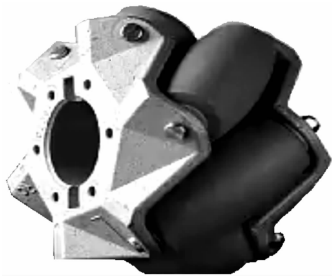


图 8 万向滚轮实物图

某型号的机场升降平台车应用了该万向滚轮作为传输装置,在伊尔-76 飞机上通过装卸 7 000 kg 集装箱以及货物托盘进行试验,效果良好,试验完全达到技术要求,产品通过了相关部门的技术鉴定。

4 结束语

万向传输装置的核心是万向滚轮的设计。本研究通过对万向滚轮的结构、运动和受力情况进行分析,建立了万向滚轮的数学模型,导出接触点的轨迹曲线(圆柱螺旋线)的参数方程,然后求出轨迹曲线上任意一点到轮子轴线的垂直距离,即轮子外轮廓横截面半径的计算公式,根据此计算公式,就可以用宏程序编写轮子的数控加工程序,最后在数控车床上加工出高精度的轮子实物产品。

万向传输装置应用在机场升降平台车上的最大优

势是,当升降平台车与飞机货舱轨道对接后,不管货物的位置如何,通过万向滚轮的旋转组合,可以调整集装箱或货物托盘进行前、后、左、右、顺时针和逆时针 6 个方向运动,方便快捷的把货物输送到飞机货舱中去,极大的提高了作业效率^[9-10]。

参考文献 (References):

[1] 李 霞,李 纲,刘 剑,等. 机场集装箱/板升降平台车的研究现状与发展趋势[J]. 机械设计,2014,31(6):1-5.

[2] 耿国卿,谭 毅,米广杰,等. 机场升降装卸平台液压系统的设计[J],液压与气动,2006(5):34-36.

[3] 李 霞,张志显,张三川,等. 40 吨机场集装箱升降平台车主平台的仿真分析[J]. 制造业自动化,2013,35(7):137-143.

[4] 李 艳. DJZ14 型飞机装卸平台车液压系统设计[J]. 液压气动与密封,2016,36(1):70-72.

[5] 海 军,罗 雷. 航空集装物资机场廊桥式转运装卸系统方案设计探讨[J]. 国防交通工程与技术,2012,10(4):16-19.

[6] 潘 雍,傅明星,于 晨. 机械电子工程综述[J]. 机电工程,2014,31(1):553-557.

[7] 郭云鹏,陈 柏,吴洪涛. 一种六自由度海浪模拟并联平台的零点标定与性能评估[J]. 机电工程,2015,33(2):169-173.

[8] 李寅翔,张伟中,吴伟峰,等. 新型自由度并联机构的运动学标定方法[J]. 轻工机械,2015,33(4):69-72.

[9] 马忠俊,苑德春,刘 垚. 航空军事运输装卸装备发展现状、需求及对策研究[J]. 国防交通工程与技术,2009,7(1):9-11.

[10] 王利明,马乃苍,贾向军,等. 航空装备技术保障体制改革探索与研究[J]. 兵工自动化,2014,33(5):25-27.

[编辑:张 豪]

本文引用格式:

耿国卿,杨立平. 机场升降平台车万向传输装置机械结构的设计与分析[J]. 机电工程,2016,33(11):1354-1358.

GENG Guo-qing, YANG Li-ping. Design and analysis of the universal transmission device for the airport lifting platform vehicle[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2016,33(11):1354-1358.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>