

舰载机起飞加速装置——脉动无级变速器

王树春¹, 王旭进², 高磊³

(1. 哈尔滨工业大学 机电工程学院, 哈尔滨 150001, gl82918@163.com;

2. 哈尔滨市道外区人民医院 器械科 哈尔滨 150050; 3. 哈尔滨市巡警五大队一中队, 哈尔滨 150010)

摘 要: 为了利用母舰发动机的动力帮助舰载机起飞, 提出采用脉动无级变速器代替母舰现用的减速器, 为母舰动力做恒功率无级变速. 采用脉动无级变速器与燃气轮机组合的形式, 舰载机起飞时, 将动力传动到卷筒上, 用绕在卷筒上的钢丝绳牵引, 帮助舰载机起飞加速. 为提高脉动无级变速器的性能, 将超越离合器由线接触改为面接触, 并采用液体静压润滑技术. 该方法可以增大舰载机的起飞质量, 用脉动无级变速器代替减速器, 不但提高了母舰的行驶性能及战斗性能, 而且可以降低舰载机的起飞费用.

关键词: 低速大转矩超越离合器; 最大加速度; 变偏心半径; 变偏心配重

中图分类号: U463.212

文献标志码: A

文章编号: 0367-6234(2010)05-0751-04

Take off accelerating device for carrier based aircraft via impulse stepless gearbox

WANG Shu-chun¹, WANG Xu-jin², GAO Lei³

(1. School of Mechatronics Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China; 2. The people's hospital of Daowai Dist. Harbin 150050, China; 3. 1st squadron, The 5th Patrolman of Harbin, Harbin 150010, China)

Abstract: To help shipborne aircrafts take off with the aid of the power of carrier engine the pulse stepless shafts are used as constant power stepless gearbox instead of the present used decelerator for carrier power. When shipborne aircrafts take off, the shafts transmit power to the drum set, around which the cables tow to accelerate the take off shipborne aircrafts. To improve the performance of pulse stepless shafts, point touches in overrunning clutches are converted into face touches, which can be realized by means of hydrostatic pressure lubricating technology. The take off weight can be increased greatly. Using pulse stepless shafts to replace decelerators can improve the cruise performance as well as the combat capibilit and the take off expenses can be reduced.

Key words: low-speed high-torque overrunning clutches; the maximum acceleration; variable eccentric radius; variable eccentric counterbalances

现有的脉动无级变速器的滚柱式超越离合器, 滚柱与外环、星轮均为线接触, 传递转矩小, 寿命短, 变形大, 效率低^[1-10]. 脉动无级变速器的性能达到或超过有级变速器的关键技术是将现有的滚柱式超越离合器改为面接触^[11], 改造后可使其性能出现飞跃.

1 基本结构

变偏心曲柄摇杆机构简图如图 1, 将曲柄摇杆机构的 B 转动副扩大到包容 A 转动副, 成偏心

轮机构, 当偏心半径 AB 可变时, 则成变偏心曲柄摇杆机构. D 转动副装上低速大转矩超越离合器组成曲柄摇杆组合机构, 再将两组组合机构按 180° 相角差并联在 A 轴(输入轴)及 D 轴(中间轴)上则成脉动无级变速机构. 后面串联一个行星增速器后成为脉动无级变速器(图 2). 将 NGW 型(或 NW 型)的行星齿轮减速器反过来传动则成行星齿轮增速器, 原输出轴变成中间轴, 原输入轴变成输出轴.

图 2 中, 变速杆 2 在输入轴 1 中, 两者配合面上有导向平键 16, 变速杆 2 可轴向移动或与输入

轴1同步转动. 在变速杆2的圆柱面上有与其轴

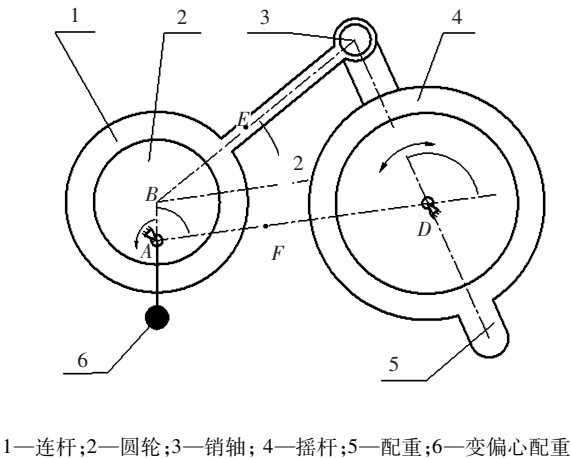


图1 变偏心曲柄摇杆机构简化示意图

向夹角 $\leq$ 自锁角的4个斜槽,斜槽内有滑块15. 在输入轴1的圆柱面上有垂直于其轴向的4个轨道槽,槽底的平面上有键槽形孔,它不约束圆轮14及变偏心配重4的移动. 在主视图中,变速杆2所在的位置变偏心半径为零,圆轮14、连杆13及变偏心配重4的质心均在变速杆2的中心线上,输入轴1转动时输出轴5不转动. 向右连续拉动变速杆2时,由于斜键槽的斜向不同,推动滑块15使圆轮14及变偏心配重4各沿输入轴1的轨道槽向外散开移动,质心移动距离是变偏心半径,两者大小相等方向相反,输出轴5转数逐渐增大到最大值,再向左连续推动变速杆2时,上述运动正好相反,输出轴5的转数逐渐减少到零^[12].

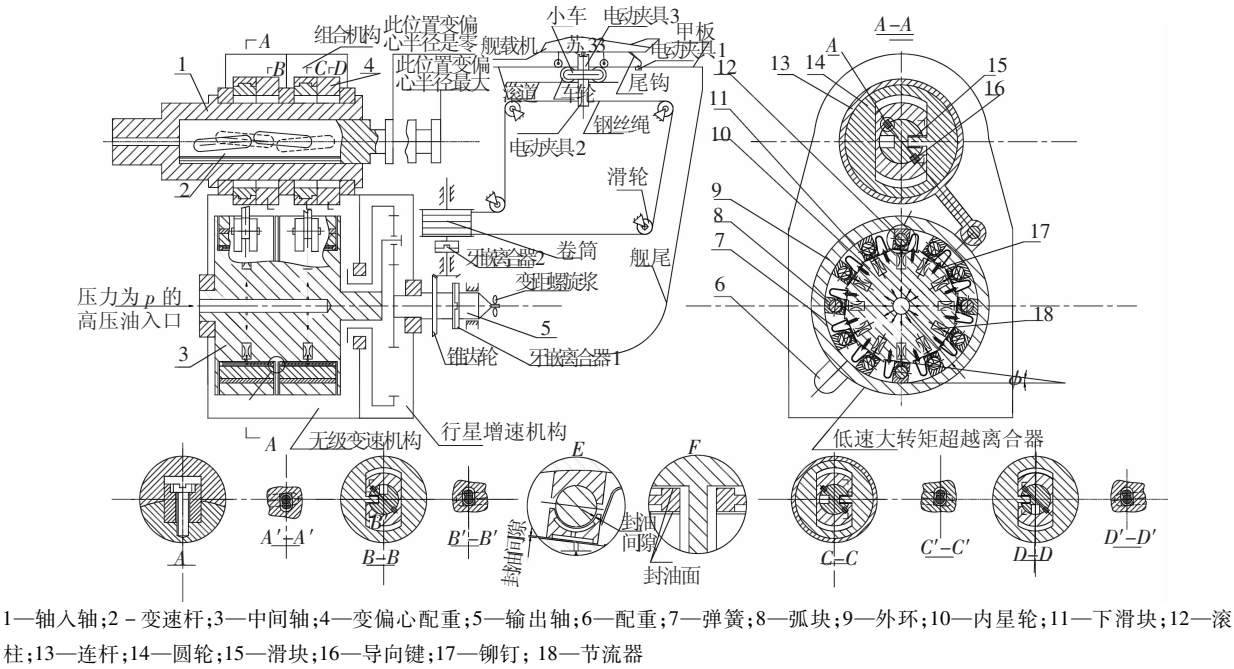


图2 脉动无级变速器结构示意图

在图2中,有两个组合机构,输入轴1由0转动到 π 时,第一个组合机构的离合器自锁,外环9和内星轮10同步反时针转动 β 角,此时第二个组合机构的离合器超越;当输入轴1由 π 转动到 2π 时,情况与前面相反,两组交替工作.

外环9的内半径 R 比变偏心的最大值大许多倍,使角速度波动幅度变小. 由于圆轮14、连杆13、变偏心配重4的质量起到了飞轮的作用,特别是用燃气轮机作动力时,速度不均匀系数 δ 变小.

2 低速大转矩超越离合器的自锁与解锁

如图2,在滚柱12上面安装一个弧块8,滚柱12的下面安装一个下滑块11成为低速大转矩超越离合器. 在弧块8的 R 弧面上有细密的排油沟,在超越时无法形成动压油膜,外环9与弧块8总

是接触的,属边界润滑.

低速大转矩超越离合器自锁原理和滚柱式超越离合器相同,但其运动副全是滑动摩擦,因此要求下滑块11与滚柱12、内星轮10的滑动摩擦因数不低于滚动摩擦因数. 用提高尺寸,形状精度,降低表面粗糙度值及更换材料等方法尚未见到成功的先例. 本文用现已应用的液体静压润滑原理^[13]使滑动副被承载油膜分开,以液体摩擦状态工作,其摩擦因数只有万分之几,比滚动摩擦因数小许多倍,因此自锁可靠,解锁阻力矩小.

该机不工作时没有压力油注入,封油间隙为零,此时楔角 ϕ 大于摩擦角,如此时外环9反时针转动,则不自锁.

工作时,先开动油泵注入压力为 p 的高压油,高压油由中间轴3左端进入节流器18的毛细管及

两个油腔中,弧块 8 对外环 9 的压力增大,当外环 9 带动弧块 8 反时针同步转动时,封油间隙及弹簧 7 的弹力也逐渐增大,节流器 18 中的流量也增大. 油腔中的油压下降,使弧块 8 对外环 9 压力变小,当楔角 ϕ 到达 6° 时,弹簧 7 的弹力使弧块 8 对外环 9 产生滑动即超越. 油腔的压力降和毛细管直径的四次方成反比,控制该尺寸可使超越阻力矩变小.

当外环 9 反时针转动时自锁,首先各零件发生弹性变形,外环 9 空转一个溜滑角 α 后才开始和内星轮 11 同步转一个 β 角. 在外环 9 转矩增大时,封油间隙变小,反之变大.

油腔的厚度比封油间隙大得多,油腔周围有一定宽度的封油面,要求两油腔封油厚度相同,则两油腔面积不等.

3 低速大转矩超越离合器的效率及寿命

损耗功: $W_f = \alpha \cdot M/2$,

有用功: $W_r = \beta \cdot M$,

输入功: $W_a = \beta \cdot M + \alpha \cdot M/2$,

效率: $\eta = \frac{W_r}{W_a} = \frac{\beta \cdot M}{\beta \cdot M + \alpha \cdot M/2}$.

式中: M 为外环 9 的转矩, α 为溜滑角, β 为同步转角.

在中间轴 3 刚开始转动时, β 很小,效率低,由于快速向右拉变速杆 2, β 角瞬间增大,效率也迅速提高. 设 $\beta = 1^\circ$, $\eta = 0.98$ 时, 求出 $\alpha = 0.04^\circ$.

以 α 为依据,用虎克定律计算出各零件的接触面积,应满足无限寿命设计 $N-S$ 曲线最小应力要求.

4 脉动无级变速器的效率

组合机构有 4 个转动副,由于并连,只按一组合机构计算. 在自锁时无级变速机构的效率 $(0.98)^4 = 0.92$,行星增速机构效率为 0.98,脉动无级变速器效率 $\eta_{脉} = 0.92 \times 0.98 = 0.9$.

5 脉动无级变速器的平衡^[14]

5.1 惯性力的平衡

在图 1 中,设圆轮 2、连杆 1、外环(摇杆)4 的质量分别是 m_1, m_2, m_3 ,其质心分别在 B, E, D 处. 为平衡,设连杆 1 的质心 m_2 分别用集中于 B, C 两点的两个质量 m_{2B} 及 m_{2C} 所代换. 按质量代换法求出:

$m_{2B} = m_2 \cdot L_{CE}/L_{BC}, \quad m_{2C} = m_2 \cdot L_{BE}/L_{BC},$

然后,在 BA 延长线上 B' 处(取 $AB = AB'$) 加一变偏心配重 6 来平衡 B 点集中质量 m_1, m_{2B} ,使质心移动到 A 轴上. 则变偏心配重 6 的质量为 Q_1 :

$(m_1 + m_{2B}) \cdot L_{AB} = L_{AB'} \cdot Q_1/g,$

$Q_1 = (m_1 + m_{2B})g = m'g.$

同理在 CD 延长线上 C' 处(取 $CD = DC'$) 加一配重 5,使质心移动到 D 轴. 则配重 5 的质量为 Q_2 :

$(m_3 + m_{2C}) \cdot L_{CD} = L_{C'D} \cdot Q_2/g,$

$Q_2 = (m_3 + m_{2C}) \cdot g = m'' \cdot g.$

在加上质量 Q_1, Q_2 后,可以认为 A, D 点分别集中了两个质量 m_A 及 m_D ,而

$m_A = m_1 + m_{2B} + m', \quad m_D = m_3 + m_{2C} + m''.$

因而机构总质心 F 应位于 AD 线上一固定点,且

$L_{AF}/L_{FD} = m_D/m_A$

由于变偏心曲柄摇杆机构总质心 F 固定不动,即 $a_F = 0$,与变偏心半径大小无关,机构惯性力已平衡.

5.2 力偶矩的平衡

如图 2,由于圆轮 14 与变偏心配重 4 不在一个平面内,因此两者的惯性力形成力偶矩,由于两组力偶矩方向相反,故力偶矩平衡.

6 脉动无级变速器特性曲线及加速性能

6.1 特征曲线

变偏心半径变化时,输出轴 5 转数发生变化,输出轴 5 转数与转矩呈双曲线关系,机械特性硬,工作中能充分利用主机的最大功率;输出功率不因输出轴 5 转数变化而变化,属恒功率传动.

6.2 传动线路

用燃气轮机作动力的舰船在与行星减速器组合使用时,由于输入轴转速高,存在齿圈的精度、轴承的强度方面的问题以及润滑油中杂质积集在齿圈内不易排出等问题. 这种组合尚未得到广泛应用^[15].

脉动无级变速器用燃气轮机作主机是最佳的组合,经无级变速机构的减变速,使中间轴 3 转数已很低,为低速大转矩超越离合器及行星增速器的使用创造了条件,可满足各种舰船螺旋桨的转数 $0 \sim 400 \text{ r/min}$ 要求^[16].

在舰载机起飞时,断开牙嵌离合器 1,接通牙嵌离合器 2,输出轴 5 的传动路线经锥齿轮、卷筒、滑轮将动力传到钢丝绳上. 为增大钢丝绳速度,可增大卷筒直径. 在甲板跑道上有一个带滚道的长槽,小车可在滚道上移动. 小车上电动夹具 3 夹住舰载机主梁,小车下电动夹具 2 夹住钢丝绳. 在甲板跑道起点有电动夹具 1 连在甲板上,它夹住舰载机尾钩. 加速前先主将主机与舰载机的功率开到最大,按要求速度向右拉变速杆 2 的同时,电动夹具 1 松开尾钩,可使质量一定的舰载机的速度从零开始按要求的加速度滑行,到达甲板终点时达到起飞速度. 电动夹具 3 松开并缩到小车中,电动夹具 2 松开钢丝绳,小车被液力制动. 向左推

变速杆2到原点,钢丝绳等在惯性力作用下继续运动(离合器超越),用电磁制动后可再工作。

6.3 加速力计算

质量大的舰载机起飞有一定难度^[17]。美国“杜鲁门”号航母用C-13蒸汽弹射器,能将22.7 t的“A-5”攻击机用2.3 s在80 m甲板跑道上加速到71.5 m/s,其费用相当高昂,该技术属美国专利。俄罗斯优秀战机苏33也是“库兹涅佐夫”号航母上的舰载机,飞行甲板的首部为12°跃升甲板。滑跃起飞只是轻载状态下出航可使用,该舰载机的大载荷大航程性能优势难以得到充分发挥^[18]。

资料表明,中国对第三代战机的佼佼者苏33落户中国的可行性有兴趣,其中关键技术是要解决短距离起飞问题^[19]。

“库兹涅佐夫号”是排水量6万t的中型航母,主机功率 $20 \times 735.499 \times 10^4$ W,最长甲板跑道200 m。苏33机翼可折叠,有两台12.5 t推力的发动机,地面起飞最大质量是33 t,在舰上起飞最大质量是26 t^[20]。

如果用脉动无级变速器为苏33按最大质量33 t起飞加速(略去牵引钢丝绳等质量及空气阻力),则有

$$F_{\text{牵}} + F_{\text{机}} - \mu G = m \cdot a,$$

$$F_{\text{牵}} \cdot v = N \cdot \eta, \quad S = (1/2) a \cdot t^2.$$

其中: $F_{\text{牵}}$ 为对舰载机牵引的加速力, $F_{\text{机}}$ 为苏33发动机的最大推力 $= 2 \times 12.5 = 25$ t, a 为加速度 m/s^2 , N 为起飞加速主机消耗功率, S 为起飞甲板跑道长度, η 为总传动效率(包括脉动无级变速器)设, $\eta = 0.6$, t 为加速时间, G 为苏33最大起飞质量 $= 33$ t, μ 为机轮与甲板摩擦因数 $= 0.05$, v 为起飞速度 $= 100$ m/s。

求出 $a = 25 \text{ m/s}^2$, $t = 4$ s, $F_{\text{牵}} = 57$ t, $N = 126\,666 \times 735.499$ W。可见,母舰主机功率大于起飞加速消耗功率,苏33可满载起飞。

7 结 论

1)用主机动力为舰载机起飞加速是最佳选择。采用脉动无级变速器与燃气轮机组合,为舰船动力选择开辟了新路。

2)脉动无级变速器与变距螺旋桨^[21]的组合,不但提高桨效,而且使母舰驾驶、行驶性能好,机动性好。

3)主机在额定功率工作,合理的航速由桨距及桨的转数决定,不但节省燃料,而且更有利于环保^[22]。

4)脉动无级变速器为低转数大直径螺旋桨^[23]的应用及为退役的航机民用^[24]创造了条件。

参考文献:

- [1] 阮忠唐. 机械无级变速器设计与选用指南[M]. 北京:化工出版社, 1999: 10.
- [2] Almhnn F G. 可无级调节的脉动变速器[J]. 邦衡译. 机械译丛, 1965(1): 30-33.
- [3] 牧野洋. 自动机构学[M]. 胡茂松译. 北京: 科学出版社, 1980.
- [4] 大贯勝弘. 无段变速机[J]. 赵仁华译. 机械设计, 1980, 24(6): 125-127.
- [5] Beggs J S. 运动学[M]. 来虞译. 西安: 西安交通大学出版社, 1985: 53-67.
- [6] 向弘. SC型无段变速机[J]. 机械设计, 1966, 10(12): 19-24.
- [7] 伊藤实. 遊星式-NS无段变速机[J]. 机械设计, 1966, 10(2): 32-36.
- [8] 伊藤实. NS变速机[J]. 机械设计, 1968, 10(7): 31-35.
- [9] VERANY P, ERRARIS G F. Transient behaviour of a speag-type ouer-running clutch: an experimentsal study[J]. Journal of Sound and Vibrarion, 2001, 248(3): 567-572.
- [10] LIU Kai, BAMBA E. Frictional dynamics of the overrunning clutch for pulse-continuously variable speed transmissions; rolling friction[J]. Wear, 1998, 217: 208-214.
- [11] 曲秀全. 一种双楔块低副单向超越离合器[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2007, 39(1): 42-45.
- [12] 王树春. 一种新型的机械无级变速器[J]. 机械设计, 2004(4): 56-58.
- [13] 濮良贵. 机械设计[M]. 北京: 高等教育出版, 1994: 74-75.
- [14] 孙恒. 机械原理[M]. 北京: 高等教育出版社, 1995: 556-558.
- [15] 张俊迈. 舰船汽轮机[M]. 北京: 国防出版社, 1992: 181.
- [16] 孙恒. 机械原理[M]. 北京: 高等教育出版社, 1995: 76-79.
- [17] 雪巴译. 五花八门的弹射器[J]. 舰载武器, 2007(4): 60-68.
- [18] 张俊迈. 舰船汽轮机[M]. 北京: 国防出版社, 1992: 183.
- [19] 天鹰译. 苏33落户中国的可行性[J]. 舰载武器. 2006, 11: 26-31.
- [20] 银河译. 从俄法航母看中国未来航母之路[J]. 舰载武器, 2006(3): 21-26.
- [21] 郭正渠. 燃气轮机自动控制系统设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 1986: 295.
- [22] 过学迅. 汽车自动变速器[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000: 1-5.
- [23] 郭正渠. 燃气轮机自动控制系统设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 1986: 280.
- [24] 吴兆汉. 内燃机设计[M]. 北京: 理工大学出版, 1980: 281-284.

(编辑 杨波)