

绞车设备滑轮组的效率因子分析

方政澎*, 程德峰

中航工业第一飞机设计研究院, 陕西 西安 710089

摘 要: 通过对军用运输机不同绞车设备滑轮组构型进行对比研究, 引入了绞车设备滑轮组效率因子的概念并提出了其效率因子的计算方法, 并使用该方法对现有的几种典型绞车设备滑轮组进行效率因子计算及优劣分析, 给出了提高绞车设备工作效率的定性要求, 可为绞车设备滑轮组的选取提供参考。

关键词: 绞车; 滑轮组; 效率因子

中图分类号: V22 文献标识码: A 文章编号: 1007-5453 (2014) 03-0059-5

现代军用运输机在保障条件相对简陋的野战机场可借助自身的装卸设备完成货物自主装卸任务。绞车设备是军用运输机实现自主装卸能力的一项重要设备, 其主要功能是完成可自行或非自行的轮式车辆以及带有轮式行走装置的设备(以下统一简称为轮式装备)的装、卸工作。

绞车设备的工作构型及滑轮组设置对于运输机能否顺利完成轮式装备的装卸任务以及实现货盘、货台的货舱内位置调整十分重要, 绞车设备滑轮组的效率因子是影响绞车设备工作效能的一项重要参数, 明确绞车设备滑轮组效率因子及特定构型滑轮组的效率因子值对于绞车设备设计、使用过程中滑轮组的布置有重要的指导意义。

1 绞车设备的工作原理及适用范围

绞车设备是通过电机驱动齿轮减速机构, 带动绞车卷筒以特定恒定角速度转动, 从而实现绞车钢索的收、放。绞车设备主要用于轮式装备的匀速装、卸或对其进行货舱内位置的调整。绞车设备一般用于重型、几何尺寸较大的非自行轮式装备; 某些情况下, 在装卸通过性差或需要提供辅助牵引的自行轮式装备过程中也会用到绞车设备; 特殊情况下, 以滚道系统为传输轨道的货台(盘)系统也会使用绞车设备进行装、卸或舱内位置调整。

2 绞车设备的典型工作构型

在装载不同轮式装备过程中, 通常根据轮式装备属性选择不同的绞车工作构型。绞车设备典型工作构型如图1所示。

图1(a)为单绞车工作构型。使用一台绞车牵引, 布置滑轮2个。其中, 系紧滑轮(I位置)作用为实现绞车钢索转向以及在钢索收放过程中, 保证钢索整理装置正常工作。动滑轮(II位置)作用为增加连接在被牵引的轮式装备上钢索的数量。

图1(b)为双绞车工作构型。使用两台绞车牵引, 布置滑轮六个, 包括两个系紧滑轮, 两个动滑轮以及两个定滑轮。其中, 系紧滑轮(I位置)、动滑轮(II位置)作用与单绞车工作构型相同, 定滑轮(III位置)作用为实现钢索在动滑轮间的连接, 作用与系紧滑轮相似。

在使用绞车设备进行轮式装备的装卸操作时, 一般给出绞车设备工作的典型滑轮组构型, 以及滑轮组构型与被牵引轮式装备重量的对应关系。如: 某大型军用运输机给出了使用绞车设备进行牵引装载工作时, 滑轮组构型与轮式装备重量的匹配关系, 针对不同重量的轮式装备分别绘制了不同的装载滑轮组构型图, 其理论牵引力值与轮式装备重量的比值范围为0.4~0.8。

此外, 还有些型号的军用运输机在货运规范明确给出了在使用绞车设备进行轮式装备的装、卸过程中, 牵引不同

收稿日期: 2013-07-17; 退修日期: 2013-11-21; 录用日期: 2014-02-28

*通讯作者. Tel.: 029-86832816 E-mail: 369100822@qq.com

引用格式: FANG Zhengpeng, CHENG Defeng. Analysis of pulley block efficiency for winch on military transporter[J].

Aeronautical Science & Technology, 2014, 25(03): 59-63. 方政澎, 程德峰. 绞车设备滑轮组的效率因子分析[J]. 航空科学技术, 2014, 25(03): 59-63.

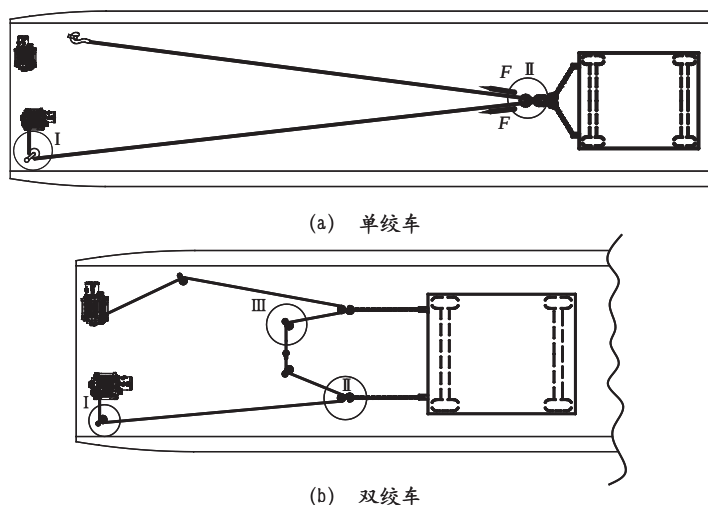


图1 绞车典型工作构型

Fig.1 Typical work configurations of winch

类型轮式装备(充气轮胎式车辆、胶式轮胎车辆)时实际牵引力与理论值的比值。

3 绞车设备滑轮组效率分析及计算

绞车设备滑轮组效率因子 K 与绞车设备工作构型、货运系统布置密切相关,定义为实际作用到被牵引轮式装备上的力 $F_{\text{实际}}$ 与绞车输出力 $F_{\text{输出}}$ 的比值, $K = F_{\text{实际}}/F_{\text{输出}}$,对于特定型号的绞车设备, $F_{\text{输出}}$ 为定值,计算出绞车设备滑轮组效率因子 K 可估算出绞车设备实际作用到被牵引轮式装备上的力。

绞车设备滑轮组效率因子 K 是由绞车设备滑轮组布置决定的。效率因子可由钢索牵引效率 $\lambda_{\text{牵引}}$ 、动滑轮组效率 $\lambda_{\text{动滑轮}}$ 计算得出, $K = \lambda_{\text{牵引}} \cdot \lambda_{\text{动滑轮}}$ 。另外,被牵引物速度效率 λ_v 指标作为衡量不同绞车设备滑轮组构型优劣的评判标准。

整个牵引过程中,计算假设绞车钢索工作时紧贴飞机地板;绞车牵引速度恒定;绞车牵引轮式装备的方向为顺/逆航向,牵引力方向沿运输机地板中心线或与其平行。

工作状态下,滑轮轴的滚动摩擦系数 μ ,参考铜与钢的滑动摩擦系数 $\mu = 0.07$ 。

3.1 $\lambda_{\text{牵引}}$ 计算

钢索牵引效率是指绞车设备工作时钢索实际输出的牵引力 F_0 与理论值 F 的比值。主要影响因素为绞车钢索收、放过程中滑轮衬套与滑轮轴的摩擦力 f_0 及作用到钢索上总的阻力 f (与钢索运动方向相反)。单个滑轮的受力情况示意图如图2所示。

滑轮可绕轴自由转动,钢索通过滑轮后的夹角为 α , $\alpha \in (0^\circ, 180^\circ)$, $\beta = \alpha/2$, $\beta \in (0^\circ, 90^\circ)$ 。

滚动摩擦系数计算公式为:

$$M = F_N \cdot \mu; \quad (1)$$

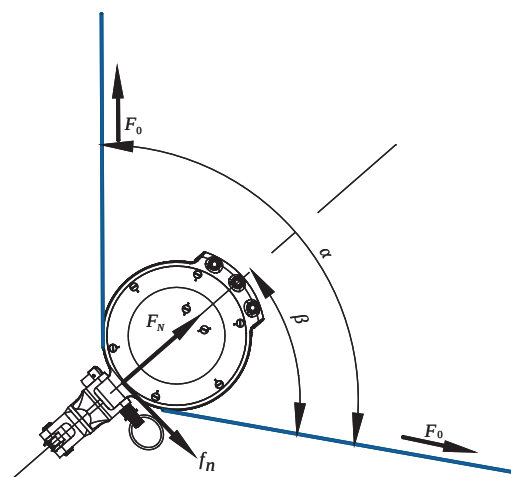


图2 单个滑轮的受力情况示意图

Fig.2 Force diagram of single pulley

式中, M 为扭矩; F_N 为接触面正压力; μ 为滚动摩擦系数。滑轮衬套与滑轮轴的摩擦力为 f_0 ,则:

$$f_0 \cdot r = F_N \cdot \mu = 2F_0 \cdot \cos\beta \cdot \mu; \quad (2)$$

单个滑轮作用到钢索上的阻力为 f_n ,则:

$$f_n \cdot R = f_0 \cdot r = 2F_0 \cdot \cos\beta \cdot \mu \cdot r; \quad (3)$$

式中, R 为滑轮半径(钢索绕轴半径), r 为滑轮轴半径(衬套绕轴半径)。

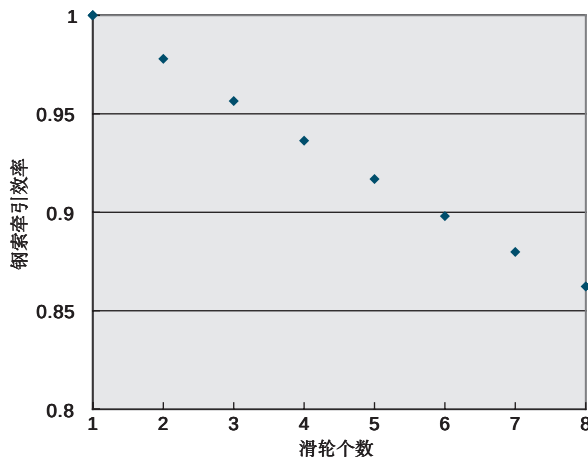
对于由 n 个滑轮组成的滑轮组,第 i 个滑轮上的阻力为 f_i ,作用到钢索上总的阻力 $f = \sum f_i$ 。

牵引效率值

$$\lambda_{\text{牵引}} = F_0 / (f + F_0) = 1 / \left(\frac{\sum 2 \cos\beta_i \cdot \mu \cdot r}{R} + 1 \right) \quad (4)$$

滑轮处两根钢索夹角越小,该滑轮处的滚动摩擦力越大,对应的绞车效率值降低,进行保守估算时,取 $\beta_i = 0^\circ$ 。

$\lambda_{\text{牵引}}$ 最小值与滑轮个数 n 的关系如图3所示。

图3 $\lambda_{\text{牵引}}$ 最小值曲线Fig.3 Minimum value curve of $\lambda_{\text{牵引}}$

3.2 $\lambda_{\text{动滑轮}}$ 计算

滑轮组效率为输出到轮式装备上有效牵引力与理论牵引力的比值。主要影响因素为动滑轮处钢索的工作情况。动滑轮组与轮式装备连接构型示意图如图4所示:

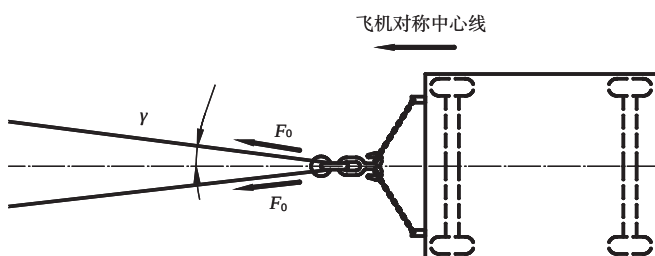


图4 动滑轮组与轮式装备连接构型

Fig.4 Connected configuration of movable pulley group and wheeled equipment

计算过程中,可等效为与轮式装备相连的各条钢索牵引力沿航向(牵引方向)投影与理论牵引力的比值。

钢索与轮式装备被牵引方向的夹角为 γ ,在特定的滑轮组构型下, γ 值一般随着所牵引轮式装备的移动发生变化。

单根钢索上牵引力在航向上的投影为:

$$F_x = F_0 \cdot \cos \gamma$$

假设共有 m 根钢索,则动滑轮效率:

$$\lambda_{\text{动滑轮}} = \sum F_x / (F_0 \cdot m) = \sum \cos \gamma / m$$

夹角 γ 越小,动滑轮的牵引效率 $\lambda_{\text{动滑轮}}$ 越高, $\lambda_{\text{动滑轮}}$ 值曲线如图5所示。

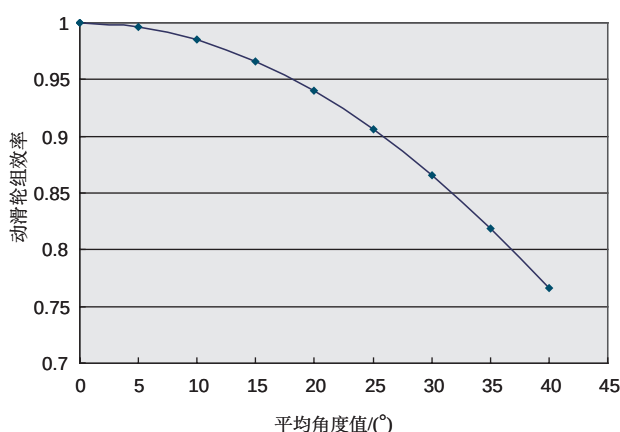


图5 $\lambda_{\text{牵引}}$ 值曲线

Fig.5 The value of $\lambda_{\text{牵引}}$

为保证绞车使用效率,限定滑轮组在使用过程中,应保证动滑轮上钢索与货物前进方向的夹角 $\gamma \leq 30^\circ$ 。

3.3 λ_v 计算

电动绞车工作时,通过电流变化控制绞车钢索上提供

的牵引力大小,保证钢索匀速运动,假设单台绞车回收钢索速度为 v_0 ,牵引移动示意图如图6所示。

钢索回收总长度为 ΔL ,单根钢索回收的长度为 ΔL_1 , ΔL 、 ΔL_1 与绞车工作时间 t 成正比。相同时间内,被牵引轮式装备移动的距离为 Δl 。

假设常数 a 为钢索末端距离轮式装备前进方向的距离, k 连接轮式装备的动滑轮数量,则 Δl 与 ΔL 之间白对应关系为:

$$\Delta l = \frac{(\text{tg} \gamma_2 - \text{tg} \gamma_1) \cdot a}{\text{tg} \gamma_1 \text{tg} \gamma_2} \quad (7)$$

$$\Delta L = \Delta L_1 \cdot 2k = \frac{(\sin \gamma_2 - \sin \gamma_1)}{\sin \gamma_1 \sin \gamma_2} \cdot a \cdot 2k \quad (8)$$

$$\lambda_v = \frac{v}{v_0} = \frac{\Delta l}{\Delta L} = \frac{(\text{tg} \gamma_2 - \text{tg} \gamma_1) \cos \gamma_2 \cos \gamma_1}{(\sin \gamma_2 - \sin \gamma_1) \cdot 2k} \quad (9)$$

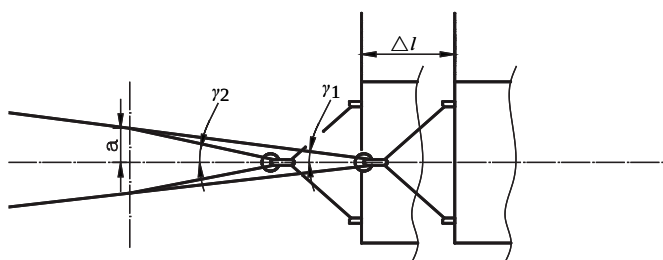


图6 牵引移动示意图

Fig.6 Traction mobile diagram

时间效率:

$$\lambda_v = \frac{(\text{tg} \gamma_2 - \text{tg} \gamma_1) \cos \gamma_2 \cos \gamma_1}{(\sin \gamma_2 - \sin \gamma_1) \cdot 2k} \quad (10)$$

当定滑轮距离动滑轮足够远的时候,

$$\gamma_1 \approx \gamma_2 \quad (11)$$

$$\lambda_v \approx \frac{(\cos \gamma)^2}{2k}$$

其他条件相同的情况下,绞车工作构型中使用动滑轮的数量越多,被牵引轮式装备的移动速度就越低。

4 典型滑轮组构型分析

下面列出现有的三种典型绞车设备工作构型及滑轮组选用示意图,如图7所示。

三种绞车设备工作构型分别为:

(1) 单台绞车工作,钢索工作区域在货舱中线附近,与货物相连的钢索分布紧密,钢索末端钩挂至货舱地板,如图7

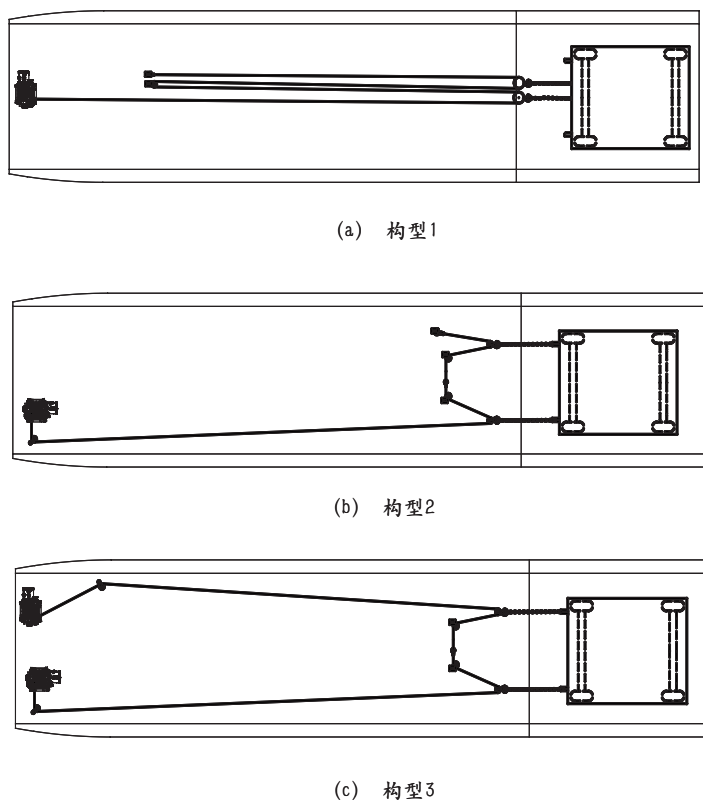


图7 绞车设备工作构型

Fig. 7 Work configurations of winch equipment

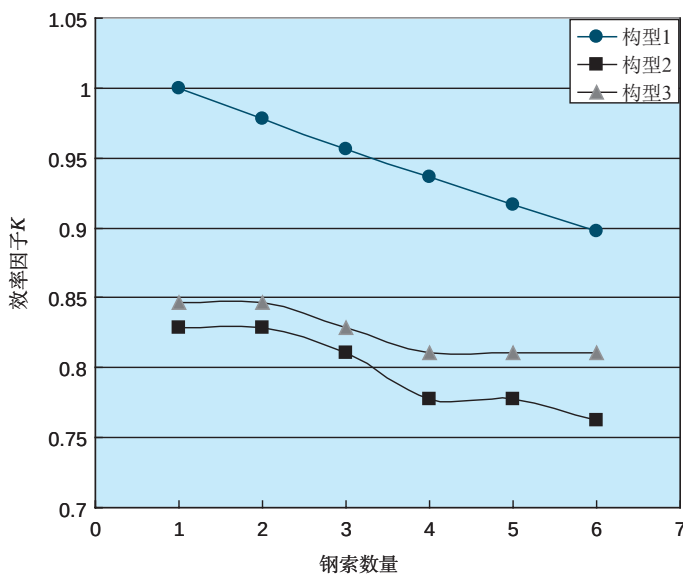


图8 不同工作构型K值对比图

Fig.8 Comparison of K under different work configurations

(a)所示;

(2) 单台绞车工作,钢索通过系紧滑轮转向到达货舱侧部,工作区域较大,与货物相连的钢索分布松散,钢索末端钩挂至货舱地板,如图7(b)所示;

(3) 两台绞车同时工作,钢索通过系紧滑轮转向到达货舱侧部,工作区域较大,与货物相连的钢索分布松散,两台绞车钢索末端相连,如图7(c)所示。

根据绞车设备滑轮组效率因子计算公式,可以得出上述三种滑轮组的K值随连接在轮式装备上钢索数量变化的曲线图,如图8所示。

由此可见,使用不同的绞车工作构型将影响到绞车设备滑轮组的效率因子,并直接影响到绞车设备的使用效能,绞车牵引钢索布置在货舱中央可发挥绞车效能最大,当绞车的布置受到影响或是钢索的路线不允许穿过货舱中线时,应考虑布置两台绞车。

5 结论

绞车设备滑轮组的效率因子主要制约因素为绞车布置方案、工作所需滑轮个数,动滑轮上钢索与货物前进方向夹角等。通过对不同滑轮组构型效率因子计算可知,若要提高绞车使用效率,在设置滑轮组时,应确保使用尽量少的滑轮完成滑轮组的布置,并减小动滑轮上钢索与牵引方向的夹角,此外,还应采取必要的措施,降低滑轮滚动摩擦力。在明确绞车设备工作构型的前提下,可估算出绞车设备滑轮组的效率因子,进而根据需牵引装载轮式装备的最大重量这一重要指标选取绞车设备的技术指标,以满足特定机型对牵引轮式装备能力的需求。

AST

参考文献

- [1] 马保宁. 飞机运输装载方式要点探讨[C].中国电子学会电子机械工程分会.2009年机械电子学学术会议论文集.电子工业出版社,2009.
MA Baoning.Aircraft transportation loading points discussion[C].Mechanical Engineering Branch,The Chinese Institute of Electronics. Machinery and Electronics Academic Conference Proceedings 2009. Publishing House of Electronics Industry,2009.(in Chinese)

- [2] 苏福河.再谈滑轮组的机械效率[J]. 物理通报,2002,(9).
SU Fuhe.Mechanical efficiency of pulley block[J].Physics
Bulletin,2002,(9). (in Chinese)
- [3] 杨毅. 滑轮转动中的摩擦力做功问题[J]. 中国西部科技,2006,
(12).
YANG Yi.The friction power problem in roller rotation[J].
Science and Technology of West China,2006,(12).(in Chinese)

作者简介

方政澎(1986—) 男,工程师。主要研究方向:运输机任务系统设计。

Tel: 029-86832816

E-mail: 369100822@qq.com

Analysis of Pulley Block Efficiency for Winch on Military Transporter

FANG Zhengpeng*, CHENG Defeng

AVIC The First Aircraft Institute, Xi'an 710089, China

Abstract: A concept was introduced based on the comparative studies on different pulley block configurations of winch utilized on military transporters, and a method calculating the pulley block efficiency factor was proposed in this article. This method was used for efficiency factor calculation to several typical pulley block of winch. Qualitative requirements of improving winch efficiency, which can provide reference to design of the pulley block of winch, were also put forward in this article.

Key Words: winch; pulley block; efficiency gene