

• 技术专论

# 钢丝圈的摩擦发热和散热性能分析

唐文辉<sup>1,2</sup>

(1. 东华大学, 上海 201620; 2. 东飞现代纺织技术研究所, 上海 200083)

**摘要:**为了突破钢丝圈发热磨损烧毁,产生断头、毛羽对锭速提高的制约,为判析、设计新型高速钢丝圈提供依据,详细分析了钢丝圈摩擦发热、散热性能以及飞圈断头和飞圈测定方法。指出:钢丝圈过分发热和散热性能不良是产生热磨损飞圈、纱线断头的根本原因,也是钢丝圈线速度提高受到限制的主要原因之一;减少钢丝圈摩擦发热应适当减小卷装,尽量减少钢领与钢丝圈的摩擦因数 $f$ ;增大钢丝圈散热能力,应尽量增大钢丝圈与钢领接触面积,减小钢丝圈线材比值并增加内脚长度。

**关键词:**环锭细纱机;钢领;高速钢丝圈;摩擦发热;散热;倾斜运动;几何楔;摩擦因数;线材比值;飞圈断头

中图分类号:TS103.82<sup>+</sup>2

文献标志码:A

文章编号:1001-9634(2014)03-0001-04

## Analysis of Friction Heat Generation and Radiation of the Traveler

TANG Wenhui<sup>1,2</sup>

(1. Donghua University, Shanghai 201620, China;

2. Dongfei Research Institute of Modern Textile Technology, Shanghai 200083, China)

**Abstract:** In order breakthrough the spindle speed restriction from the end break and hairiness resulting from the traveler friction burn out due to heat generation, and to find the information for research and development of new high speed traveler, details analysis is done to the heat generation and heat radiation and the end break due to the flying traveler in addition to the detection method of the flying traveler. It is pointed out that the main reason leading to the flying traveler with heat abrasion and end break includes excess heat generation and heat radiation with the traveler, hindering the linear speed upgrading. Small package is helpful in reducing friction heat generation. The friction factor  $f$  between the ring and the traveler should be smaller as possible as it can be. Reinforcement of the heat radiation of the traveler includes the following such as increase of the contact area between the travelers and the ring, reduction of the material ratio of the traveler and increasing the length of the inner foot.

**Key Words:** ring spinning frame; ring; high speed traveler; friction heat generation; heat radiation; inclining movement; geometric wedge; friction factor; material ratio; end break with the flying traveler

收稿日期:2013-11-05

作者简介:唐文辉(1936—),男,浙江温州人,研究员,长期从事环锭细纱技术的理论和实践研究。

网络出版时间:2014-03-17 09:44

http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1131.TS.

20140317.0944.001.html

## 0 引言

随着现代环锭细纱机速度不断提高,钢丝圈线速度已达 35 m/s~42 m/s,甚至更高。质量不足 50 mg 的钢丝圈,在高速运行中产生的惯性离心力约等于自身重力的 7 000 倍。由于钢领与钢丝圈内

脚之间接触面积很小, 钢丝圈在内脚接触面处压应力很高, 在高速、高压下运转的钢丝圈, 会产生相当大的摩擦力和摩擦功; 按照功能转换原理, 摩擦功转换为热能, 钢丝圈积聚的热量很大, 而它的几何尺寸小, 体积小, 热容量很小, 温升持续。过高的温升一方面会改变钢领与钢丝圈之间摩擦性质, 致使钢丝圈快速磨损; 另一方面导致其磨损缺口处产生局部退火而软化变形, 致钢丝圈开口放大, 而使其飞脱即产生飞圈和纱线断头。热磨损飞圈断头, 已成为限制环锭细纱机高速化发展的因素之一。

## 1 钢丝圈的摩擦发热<sup>[1-3]</sup>

钢丝圈的摩擦发热率取决于它的摩擦功率, 即摩擦力和摩擦速度的乘积。钢丝圈的摩擦功率可以从锭子卷绕功率分析中得到。钢丝圈是由卷绕段纱条拖动的, 锭子卷绕功率分析如图 1 所示。

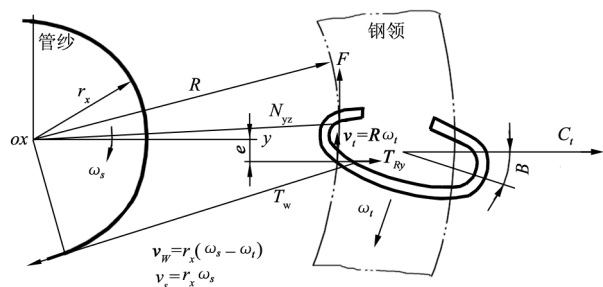


图 1 锭子卷绕功率分析

由图 1 可知, 钢丝圈的摩擦功率解析如下:

$$Fv_l = FR\omega_l = fNR\omega_l = T_{wz}R\omega_l = KT_RR\omega_l \sin\gamma_x \quad (1)$$

式中:

$F$ ——钢领与钢丝圈之间的滑动摩擦力;

$v_l$ ——钢丝圈线速度;

$R$ ——钢领半径;

$\omega_l$ ——钢丝圈回转角速度;

$f$ ——钢领与钢丝圈间的摩擦因数;

$N$ ——钢领对钢丝圈的反作用力;

$T_{wz}$ ——纱条卷绕张力的 Z 轴分量;

$K$ ——张力比,  $K = \frac{T_w}{T_R}$ ;

$T_R$ ——气圈底端张力;

$\gamma_x$ ——纱条卷绕角。

由式(1)可知, 只要用试验方法测出  $F$  或  $f$  或  $T_w$  或  $T_R$  等, 就可以估算出钢丝圈的摩擦功率。笔者曾在文献[8]中介绍了纱条张力的测试方法, 并在即将发表的《钢领钢丝圈间摩擦探讨》中介绍了钢领与钢丝圈之间的摩擦力的测试方法。

由式(1)可知, 在其它因素不变时, 钢丝圈的摩擦功率变化规律如下。

a) 随着钢丝圈速度的增大而线性增大。

b) 随着钢领直径的增大而线性增大。

c) 随着  $T_w$  或  $T_R$  的增大而线性增大。

d) 随着  $F$  或  $f$  的增大而线性增大。

e) 张力比值越大, 钢丝圈的摩擦功率也越大; 钢丝圈背部截面采用圆形或瓦楞形、薄弓形, 并试验不同的曲率半径和长宽比对张力比值的影响, 是寻求减少钢丝圈的摩擦功率的途径之一。

f) 纱条与钢丝圈之间的摩擦因数  $\mu_l$  值越大, 钢丝圈的摩擦功率也越大。如: 合成纤维的  $\mu_l$  值大而熔点低, 故在合成纤维纺纱中, 钢丝圈的摩擦发热功率较大, 这就是合成纤维纺纱时, 钢丝圈容易发生热熔融损伤的原因之一。

在一落纱全过程中, 钢丝圈的摩擦功率在小纱阶段较大、大纱阶段次之、中纱阶段较小。在钢领板短动程中, 钢丝圈摩擦功率的大小变化规律与管纱卷绕直径变化规律相一致, 因此, 钢丝圈摩擦功率最大发生在管纱管底成形完成段卷绕大直径位置, 最小发生在中大纱段卷绕小直径位置, 这也是管底成形完成段卷绕大直径位置时容易产生飞圈断头的的原因之一。为了给钢丝圈摩擦功率以数量概念, 估算一落纱中摩擦功率最大的管底成形时摩擦功率约为 6.07 W, 以全车 480 锭计算, 则全车在管底成形部位的摩擦发热功率消耗为 3.87 kW, 钢丝圈的摩擦发热功率消耗如此之大, 几乎可以拖动 1 台梳棉机。如果这部分摩擦热量不及时排除, 势必会迅速增大钢领与钢丝圈接触部位的温升, 过大的局部高温又会改变钢领与钢丝圈之间的摩擦性质, 产生热“楔”性熔焊摩擦, 导致钢丝圈与钢领接触部位迅速热磨损或飞圈断头。

## 2 钢丝圈的散热性能

平面钢领用钢丝圈的热量  $Q$  散失可分为三部分, 一部分  $q_1$  传向钢领, 另两部分  $q_2$  和  $q_3$  沿钢丝圈本身线材分别向上传向外脚和向下传向内脚, 如图 2 所示, 显然:

$$Q = q_1 + q_2 + q_3 \quad (2)$$

因为钢丝圈在平面钢领上的摩擦接触点分布于钢领内缘的全周, 且不断随钢丝圈的运动而不断地变换位置, 故其热容量大、散热快, 温升不高, 呈微温状态; 而钢丝圈的摩擦接触点只局限在很小的接触范围内变化, 且其体积小、热容量小, 尤其是钢丝圈

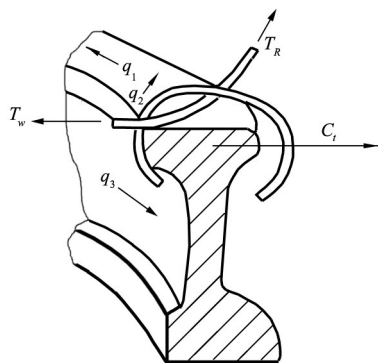


图 2 钢丝圈的散热

内脚短而小, 热量不易散失导致温升迅速提高, 从而使钢丝圈退火、软化、开口增大导致飞圈断头。为了防止飞圈断头, 最好是将大量的摩擦发热量导向钢领板以散失, 并努力提高钢丝圈内脚的散热能力。增加  $q_1$  最有效的措施是尽可能增大钢领与钢丝圈之间的摩擦接触面积。

对于矩形截面的钢丝圈, P. F. GRISHIN<sup>[4]</sup> 曾将与钢丝圈内脚的散热能力有关的因素归纳为下式:

$$(T - T_0) \propto \frac{ac}{a+c} \cdot \frac{L}{l} D_R^{1.25} \cdot n_s^{2.25} \quad (3)$$

式中:

- $T$ ——钢丝圈内脚的温度;
- $T_0$ ——钢丝圈周围空气的温度;
- $a$ ——钢丝圈线材截面宽度;
- $c$ ——钢丝圈线材截面厚度;
- $L$ ——钢丝圈全部弧长;
- $l$ ——钢丝圈内脚 MN 长度;
- $D_R$ ——钢领直径;
- $n_s$ ——锭子速度。

钢丝圈几何尺寸如图 3 所示,  $ac$  为钢丝圈线材截面积,  $(T - T_0)$  表示钢丝圈内脚的温升。由式(3)可知, 钢丝圈内脚的温升与钢丝圈几何尺寸、卷绕工艺密切相关。为了提高钢丝圈的散热性能, 钢丝圈几何尺寸应满足以下两点。

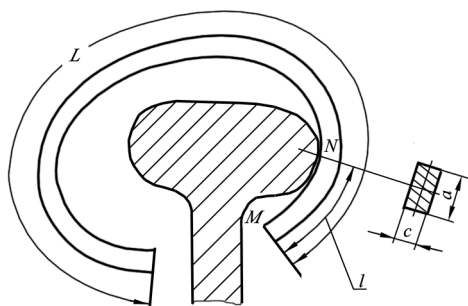


图 3 钢丝圈几何尺寸

a) 减小线材比值  $\frac{ac}{a+c}$ , 即钢丝圈内脚的温升随其线材截面宽度增大而减小, 典型的试验数据如表 1 所示。

表 1 钢丝圈内脚温升与其线材截面宽度关系<sup>[5]</sup>

线材	圆形	矩形	薄矩形	薄弓形
截面尺寸/mm	$\phi 1.0$	$1.5 \times 0.52$	$2 \times 0.39$	$1.9 \times 0.45$
张力比 K	1.5	1.7	2.0	1.9
线材截面吸热性能	1	1	1	1
线材截面散热性能	1	1.3	1.5	1.4

由表 1 数据可知, 截面为圆形的线材钢丝圈散热性能差, 它限制了钢丝圈线速度的提高; 弓形线材截面的钢丝圈散热性能好, 常为各种高速钢丝圈所采用。

b) 减小线材  $L/l$  值, 即钢丝圈的圈形要小, 整体长度要短, 钢领与钢丝圈的接触点  $N$  要上移, 以增大内脚  $MN$  长度。圈形大、质心高的普通钢丝圈易外倾, 与内跑道由单圆弧组成的普通钢领配合, 致使接触点  $N$  下移, 缩短了内脚  $MN$  长度  $l$ , 而不适应高速运行。对于同样质量的钢丝圈, 若使用窄边钢领, 可以缩短内脚  $MN$  长度  $l$ , 圈形小的钢丝圈, 可增大线材截面积  $ac$ ; 若钢丝圈线材截面宽度  $a$  相同, 可增大其厚度  $c$ , 有利于提高钢丝圈的耐磨性能, 且小圈形的钢丝圈质心低、运行平稳, 外倾小且有利于散热, 这就是高速钢领采用窄边的理由。

钢领边宽和钢丝圈圈形与其运行性能关系如表 2 所示。值得注意的是, 在高速运行中暴露出窄边钢领高速性能易于衰退的缺点。

表 2 钢领边宽和钢丝圈圈形尺寸规格与其散热性能的关系

钢丝圈圈形尺寸	大	中	小
钢领边宽/mm	4.0	3.2	2.6
钢丝圈质量/mg	60	60	60
钢丝圈散热比	100	110	115

对于特定的钢领和钢丝圈, 在一定的卷绕工艺条件下, 钢丝圈开始运行时, 因配合不佳或接触面积小, 其磨损处的温度迅速上升, 直至达到发热和散热平衡为止。P. F. GRISHIN 曾对钢丝圈内脚温度以回火色泽予以区别, 分为表 3 所示的 9 个等级。

钢丝圈的热磨损最易发生在走熟期内, 因为刚上车时钢丝圈与钢领内跑道曲面配合尚不能完全适应它的三向倾斜运动变化规律的要求, 这就表现出钢丝圈在三维空间是在“几何楔”<sup>[6]</sup> 的状态下运行。“楔摩擦”增大了纱线张力, 使走熟期内钢丝圈的摩擦发热功率升高, 而散热能力因接触面积小而下降,

表 3 钢丝圈内脚温升对比

烧毁等级	回火色泽	钢丝圈内脚温度/°C	
		钢材标准回火温度	钢丝圈内脚试验温度
0	不变色	150	150
1	稍变色	170	190
2	淡黄色	195	225
3	金黄色	215	255
4	赤褐色	240	285
5	赤带紫	260	310
6	紫色	280	335
7	稍蓝色	315	360
8	明显蓝色	325	380

这“一升一降”使钢丝圈内脚温度显著提高而发生热磨损,这对于低熔点的合成纤维纺纱尤为不利。为了缩短走熟期,就要求从抗楔性能上设计钢领、钢丝圈的几何形状和钢丝圈线材截面形状,例如异形截面钢丝圈的应用,可以避免走熟期内的立锥现象和改善钢丝圈起动时的滑动性能,对于改善走熟期内的几何楔和热磨损有较好效果。这就是合成纤维纯纺或混纺生产中,钢丝圈采用薄弓形、瓦楞形或异形截面组合的原因。

### 3 飞圈断头和飞圈测定<sup>[7-8]</sup>

在环锭细纱机高速纺纱中,钢丝圈瞬时接触面积太小是平面钢领、钢丝圈的最大缺陷,它致使高速运行中钢丝圈发生热磨损飞圈断头,成为钢丝圈高速的限制。以 18.2 tex 棉纱卷绕工艺为例,分别估算管底成形阶段卷绕大、小直径时的接触压力  $N_0$  和  $N_m$  约为 373 cN 和 242 cN;估算钢丝圈走熟期内瞬时接触面积为  $0.1 \text{ mm}^2$ ,则其接触压应力分别为 24.2 MPa 和 37.3 MPa,说明钢丝圈内脚与钢领内缘接触部位的压应力高达 20 MPa 以上,超过航空工程中飞机发动机引擎曲轴轴承表面 18.5 MPa 极限值。钢丝圈在这样巨大的接触压应力下进行金属之间高速滑动摩擦,必然会产生大量的摩擦热,使高速运行中钢丝圈与钢领接触处局部温度显著升高,在磨损缺口产生局部退火、软化变形,导致迅速磨损、开口放大飞脱引起纱线断头。这种纱线断头,生产上称为热磨损飞圈断头。

钢丝圈飞圈率的简易测定方法:将需要测定的钢丝圈浸入龙胆紫药水中 5 min~10 min,滤去药水,让表面染有紫色的钢丝圈在太阳光下晒干,挑选表面染色均匀的若干只(常用 100 只、半台车或一台车)钢丝圈上车使用。根据飞圈情况和试验要求,确定分若干次数进行统计计算,如第 1 次是使用 24 h

后观察飞圈情况,第 2 次是使用第 3 天后观察飞圈情况,第 3 次是使用 7 天后观察飞圈情况,第 4 次是使用 10 天后观察飞圈情况等等,也可以把观察时间间隔定得更密些。因为挡车工在飞圈后换上去的钢丝圈是没有染色的,所以很容易观察飞圈情况,最后用一般统计量(平均数)计算飞圈率。

## 4 结语

4.1 要突破钢丝圈的磨损烧毁、纱线断头、毛羽对锭速提高的约束,就须减小钢丝圈的摩擦发热率并增大钢丝圈的散热能力。

4.2 要减小钢丝圈的摩擦发热率,就要适当缩小小卷装(钢领直径和卷装长度),维持正常气圈纺纱,做到稳张力纺纱;尽量减小钢领与钢丝圈的摩擦因数  $f$ ,以减小钢领与钢丝圈之间的摩擦力  $F$ 。

4.3 要增大钢丝圈的散热能力,就要尽量增大钢丝圈与钢领的接触面积,充分发挥钢领的散热能力;其次要适当减小钢丝圈线材  $ac/(a+c)$  值和增大内脚长度。

4.4 薄弓形线材截面的钢丝圈散热性能好,常为各种平面高速钢丝圈所采用。

4.5 锥面钢领、BC 型下支承钢领是平面钢领的发展趋势,其主要特征是钢丝圈与钢领接触弧配合好,前者呈两点接触,后者呈三点接触,使钢丝圈运行稳定、控制气圈能力增强,纱线张力波动小,成纱毛羽少及断头减少;优点之二是钢领与钢丝圈的接触面积较大,大约是 PG 型的 1.5~2 倍,具有压应力小、耐磨性强、散热性好、纱条通道宽等优点,适合纺制易受热损伤的合成纤维及其混纺纱,钢丝圈线速度可达  $40 \text{ m/s} \sim 50 \text{ m/s}$ 。据介绍,瑞士立达公司制造的 ORBiT 系列锥面钢领、钢丝圈已经扩大了接触面、增加散热面,适应高速,在锭速 25 kr/min 时,钢丝圈线速度达到 55 m/s。

4.6 只有依靠钢领、钢丝圈的技术进步,才能减小钢领与钢丝圈的摩擦因数  $f$  和摩擦力  $F$ 。钢领与钢丝圈之间摩擦因数  $f$  值小且稳定,是环锭纺高速生产必须具备的基础条件; $f$  值小且稳定的钢领、钢丝圈是产品性能优良和技术进步的标志,由此也促进钢领、钢丝圈表面处理技术日益发展。

## 参考文献:

- [1] 上海纺织工学院棉纺教研室. 棉纺学:下册[M]. 北京:纺织工业出版社,1981.