

# 新型钢领钢丝圈的设计与研制

中国纺织大学上海市纺织工业局钢领钢丝圈研究小组

(唐文辉 金敏华 执笔)

**【提要】** 本文指出普通平面抗楔钢领、钢丝圈和ZM-6型锥面钢领、钢丝圈的缺陷,在分析基础上作者设计、研制了ZM-20型钢领和ZB-E型钢丝圈。通过对钢丝圈磨损位置的测量,证实了新型钢领、钢丝圈是双支承接触和上浮式运动配合。通过简单力矩分析,讨论了它们的运转工艺性能,提供了新型钢领、钢丝圈的基本设计原则,还介绍了它们的几何配合关系和工艺效果,用于纺中号棉纱,新型钢领、钢丝圈的使用寿命较长,成纱毛羽和细纱断头率有所减少,操作方便,为运转工人所欢迎。

自从六十年代中期,棉纺用“SU”型锥面钢领问世以来,国外对棉用锥面钢领的研究至今没有取得实质性进展。据介绍,对于适纺合成纤维纯纺和混纺的钢丝圈线速度也仅略大于30米/秒。而我国上海、浙江等地区在“SU”钢领基础上,研制成以ZM-6、SH型为代表的棉用锥面钢领,使钢丝圈的线速度,在1291型细纱机上纺13号涤棉混纺纱时,达到42~45米/秒的先进水平,居世界首位。但随着使用时间的增加,也暴露了一些缺陷,如纱条通道偏小,捻头嫌重,落纱开车时易脱圈,尤其严重的是纺中号纯棉纱时使用寿命短,影响了它的使用和推广。为此,上海市纺织工业局,中国纺织大学分别接受了纺织部科技司下达的“钢领、钢丝圈研究”和“加捻卷绕理论及机件”的科研任务,任务之一是研究解决中号纱锥面钢领使用寿命短的问题。由中国纺织大学和钢领钢丝圈研究小组,经几年努力研制的ZM-20型钢领及与其配合的ZB-E钢丝圈,在1985年6月通过鉴定,具有纱条通道宽、控制气卷能力强、钢领钢丝圈寿命延长一倍、断头少、毛羽少、捻头轻、落纱不脱圈等特点,受到挡车工欢迎。

## 一、新型钢领(ZM-20)的设计思想

新型钢领是在ZM-6型钢领基础上发展的,ZM-6型钢领又是在高速平面钢领上发展的。

## 1. 钢领、钢丝圈的发展

环锭细纱机高速生产实践表明,由于平面钢领、钢丝圈几何配合上的局限性,限制了它们高速性能的继续发展,主要表现为:

(1) 平面钢领内跑道面的工作曲线是近似椭圆曲线,相匹配的钢丝圈工作弧也近似椭圆曲线,运转中两者呈单支承工作状态,配合接触面小,压强大,散热性能差,温升高,高速生产时钢丝圈寿命短,飞圈严重。

(2) 钢丝圈三向倾斜运动稳定性差,抗楔性能差,易产生突变张力。

(3) 在平面钢丝圈设计中,由于几何配合特性,使飞圈与纱条通道矛盾不易兼顾。

平面钢领、钢丝圈的性能是由其几何配合性能所决定的。ZM-6型锥面钢领及其匹配的钢丝圈也是从几何关系上进行了重大改革,以单叶双曲线上近似直线段作为钢领内跑道面的工作曲线,配上工作曲线近似为直线段的钢丝圈,在运转中形成双支承接触工作状态,于是获得:①下支承接触面积大大增加,降低了压强,提高了钢丝圈耐磨性能和散热性能,使运转中钢丝圈温升低,飞圈少,为钢丝圈的高速运行和适应低溶点的合成纤维纯纺和混纺创造了条件。②阻止了钢丝圈在子午面上的倾斜运动,减小了钢丝圈在垂直面上倾斜角,用不同曲率的薄弓形或

瓦楞形线材截面钢丝圈, 来适应水平面上的超前倾斜, 使钢丝圈在锥面钢领上运行中反映出较好的动力学稳定性和改善了钢丝圈的抗楔性能, 降低了断头率。

但是, 这种锥面钢领的几何曲面配合以及采用较小的锥面底角(常用 $55^\circ$ ), 决定了这类钢领、钢丝圈在运转中的配合, 是钢丝圈骑跨在钢领上的下沉式配合, 因此钢领对钢丝圈的双支接触的上支承面, 必然处于钢领内跑道的顶弧上(由磨痕证明), 使钢丝圈上磨损弧与纱条通道弧非常接近, 生产上普遍反映存在通道狭窄的缺陷, 不利于成纱毛羽, 在大纱小直径处容易发生通道交叉割断头, 更为严重的是锥面钢领上支承面容易磨损而衰退。因为在锥面钢领与钢丝圈下沉式配合中, 相对于一定的钢丝圈离心力而产生的上、下支承反力, 由于锥面底角较小和处于上、下支承间的钢丝圈质心总是偏近在上支承一方, 这就使得上支承的支反力往往偏大, 尤其是在管纱卷绕大直径位置时, 上支承支反力往往超过下支承支反力, 而上支承顶弧曲率半径又偏小, 承载能力差。故纺纱号数越大, 钢丝圈惯性离心力越大, 上支承磨损和衰退也越严重。如何减轻上支承面的压强和磨损, 已成为ZM-6型锥面钢领纺中号纱的关键问题。此外, 它还存在捻头重、落纱后始纺易脱圈等缺陷。为了减轻上支承面的磨损, 就必须设法增大下支承受力, 减少上支承受力。改变钢丝圈的圈形, 以降低质心来增大下支承的受力和减小上支承受力, 但这会使已经嫌小的纱条通道更为紧张。反之, 如果增高圈形来扩大纱条通道, 就会使已经嫌大的上支承受力更加增大, 两者相互牵制, 难以兼顾。这就是多年来改进ZM-6型锥面钢领进展不大的原因。

由以上分析可知, ZM-6型锥面钢领、钢丝圈纺纱的许多优点来源于它们的几何配合及其所决定的运动状态和受力特性。因此, 在探求纺中号纱存在问题的原因时, 也只能

从它们的几何配合上寻找答案。为了较为有效地克服上述缺点, 必须从建立新的几何配合上进行努力, 才能较好地解决纺中号纱时钢领、钢丝圈寿命短和纱条通道小等问题。

## 2. 新型钢领设计思想的由来

为了增大纱条通道, 最直观的想法就是要把上支承面位置下移, 为了增强上支承面耐磨抗衰退能力, 就要增大上支承弧面曲率半径, 这也必须使上支承面下移到顶弧之下, 这在下沉式的钢领、钢丝圈配合上是不可能做到的, 而恰恰是在平面钢领上, 钢丝圈是浮在钢领上的上浮式配合, 钢领的上支承点是在内跑道的顶弧之下的凸肚上(如PG $\frac{1}{2}$ 型钢领该处曲率半径为0.85毫米, 比ZM-6型钢领顶弧曲率半径0.5毫米大), 因此钢丝圈上磨损弧相对于原锥面钢领上支承位置下降, 钢丝圈纱线通道弧与磨损弧相对距离大, 而且平面钢领内跑道凸肚的曲率半径较大, 增大了承载能力和防衰退能力。由此可知, 下沉式锥面钢领是克服上浮式平面钢领的缺陷而发展的, 但它又不是完美的, 也失掉了平面钢领的优点而变成它的缺点, 阻碍了它的适纺性能发挥。显然, 平面钢领仅仅依靠内跑道凸肚作为单支承面, 所有平衡所需的支反力全部承受在它的身上是大大不够的。所以要发挥锥面钢领的优点, 就必须将平衡钢丝圈的支反力一部分, 最好是大部分由内跑道下支承锥面来承受。这样就把平面钢领的内跑道凸肚作为上支承面, 把锥面钢领内跑道下锥面保留为下支承面, 设计了锥面钢领和平面钢领相结合的新型钢领。最朴素的想法是把上浮式平面钢领内跑道凸肚下的颈壁推出来作为锥面来用, 这就要求与平面高速钢领为防止钢丝圈内脚碰内壁楔住造成突变张力而将内跑道加深的这种概念相反, 重新设计直线状内脚的钢丝圈, 组成双支承结构, 以产生下支承反力来减轻上支承凸肚的支承负担。根据这种设想, 最简便的验证是将PG $\frac{1}{2}$ 型平面钢领外跑道切去, 如图1所示,

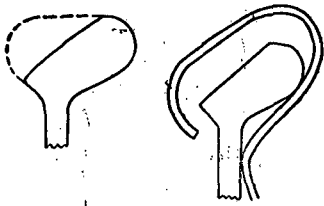


图1 锥面钢领的锥型

配制了相配的钢丝圈，在两锭细纱试验机上纺纱，得到了可行的初步效果，这就是新型钢领、钢丝圈的原始几何形状。

为了简化设计，吸取了平面高速钢领和锥面钢领的成熟经验，新型钢领的内跑道上部几何形状及其主要尺寸参考PG $\frac{1}{2}$ 平面钢领，而其下部设计为78°~85°锥面，外跑道鼻头仍保留ZM-6型锥面钢领的鼻头尺寸，命名为ZM-19型的新型钢领(图2)。由于在试验中暴露出个别参数不够合理，又对它进行了改进，使运转状态中上、下支承面积逐渐扩大，下支承磨损面逐渐上升，使上、下磨损面积迅速连成一片，进一步发挥双支承接触几何配合和上浮式力学模型的优越性，改善钢领、钢丝圈的纺纱性能，命名为ZM-20型的新型钢领(图3)。

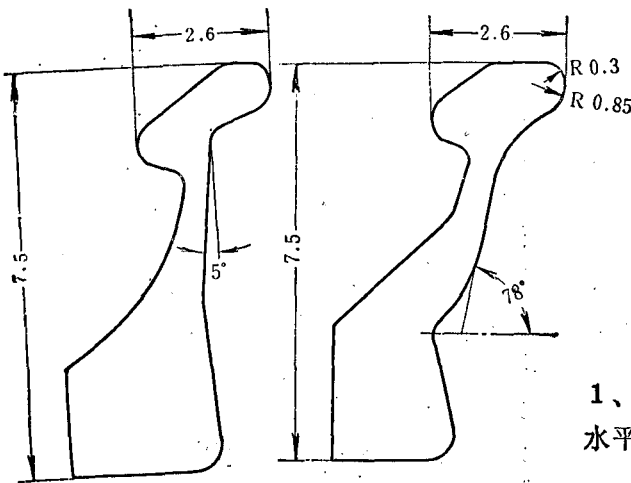


图2 ZM19型钢领

图3 ZM20型钢领

根据以上讨论，可将新型钢领ZM-20型的主要特点归纳如下：

(1) 双支承接触，钢领内跑道下支承面的锥面底角为80°左右，使下支承面的支反力的垂直分量不足以平衡纱条气圈张力的向上垂直分量，因而钢丝圈是浮在钢领内跑道上而具有上浮趋势，迫使上支承面产生支反力具有向下分量，以平衡这种上浮趋势，这种趋势如果发生在ZM-6型钢领上，势必会造成钢丝圈的翻滚脱圈，而在ZM-20型钢领上，则由内跑道上支承面予以托持。

(2) 其上支承面不在钢领内跑道的顶弧弱环上，而在顶弧下，有0.85毫米曲率半径的凸肚上，且不支承全部支反力，故该处的压强可以小于PG型平面钢领与ZM-6型锥面钢领，因而有可能延长钢领、钢丝圈的使用寿命。同时，还具备了较宽畅的纱线通道，在运转操作时，拎头轻、落纱脱圈少。

所以上述新型钢领是将平面钢领和锥面钢领优点相结合而发展的新型钢领。

## 二、新型钢领、钢丝圈的力学模型和运动分析

新型钢领、钢丝圈的双支承接触位置和上浮式运动状态可以从以后介绍的磨损位置分析上证实。为了进一步探讨新型钢领的性能，可借助于钢领、钢丝圈的受力和运动分析。

图4是新型钢领上钢丝圈在三维空间的受力分析，图中 $C_i$ 为钢丝圈惯性离心力； $T_R$ 、 $T_W$ 分别为气圈底端张力和卷绕张力； $N_A$ 、 $N_B$ 分别为钢领上、下支承反力； $F_A$ 、 $F_B$ 分别为钢领在上、下支承处对钢丝圈回转运动的摩擦阻力； $m$ 、 $e$ 、 $h$ 、 $l$ 分别为各力对支承点的力臂；下标1、2、3分别表示在子午面、切向平面和水平面上。

运用力学上达仑培尔原理，按动静法分析，当钢丝圈处于运行中动平衡位置时，作用在钢丝圈上诸力和诸力矩可建立以下平衡方程式：

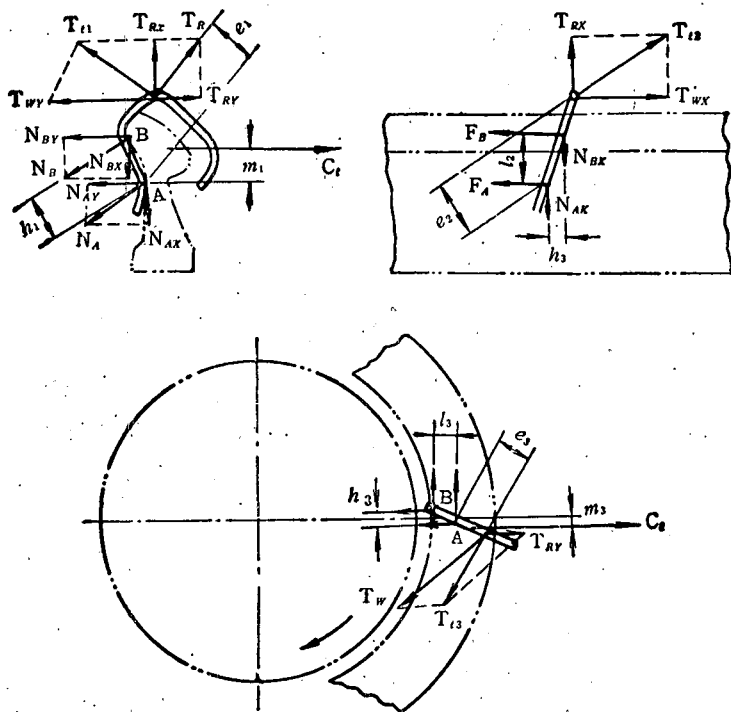


图4 新型钢领、钢丝卷受力分析

$$\Sigma x = 0 \quad N_{Ax} + N_{Bx} = T_{Rx} \quad (1)$$

$$\Sigma y = 0 \quad N_{Ay} + N_{By} = C_t \pm T_{Ry} - T_{Wy} \quad (2)$$

$$\Sigma z = 0 \quad T_{Wz} = F_A + F_B \quad (3)$$

$$\Sigma M_{A1} = 0 \quad C_t m_1 = T_{t1} e_1 + N_B \cdot h_1 \quad (4)$$

$$\Sigma M_{A2} = 0 \quad T_{t2} e_2 + N_{Bx} \cdot h_3 = F_B \cdot l_2 \quad (5)$$

$$\Sigma M_{A3} = 0 \quad T_{t3} e_3 = C_t m_3 + N_{By} h_3 - F_B l_3 \quad (6)$$

式中  $T_{t1}$ 、 $T_{t2}$ 、 $T_{t3}$  分别为子午面、切向平面和垂直面上合张力； $e_1$  为  $T_{t1}$  与 A 点间距离。

由式(1)可知， $T_{Rx} > N_{Ax}$ 、 $T_{Rx} > N_{Bx}$ 。它表明新型钢领上、下双支承的每个支反力的垂直分量  $N_{Ax}$  或  $N_{Bx}$  都只能平衡气圈底端张力垂直分量  $T_{Rx}$  的一部分，钢丝圈高速运行时的一个支承反力的垂直分量，在 X 轴向对钢丝圈约束后，钢丝圈仍然保持其向上的运动趋势，还必须另一个支承也产生垂直方向的约束，才能维持平衡状态，因此钢丝圈在钢领上运行是始终处于上浮趋势工作状态，这就构成了上浮式力学模型。

在纺纱过程中，钢丝圈质心在垂直轴向始终处于上、下支承 A、B 之间，正如式(4)所

示，支反力矩  $N_B h_1$ ，就有足够的大小来平衡外倾力矩  $(C_t m_1 - T_{t1} e_1)$  的变化，因此在子午面上，与 ZM-6 型钢领一样，运行平稳，反映出良好的动力学稳定性。

在其他条件不变下，由于上支承 B 位置下移，使  $h_1$  减少，往往会增大上支承的支反力  $N_B$ ，这从方程(4)演变式  $N_B = (C_t m_1 - T_{t1} e_1) / h_1$  可以看出。为了降低  $N_B$  值，一般都考虑尽量降低钢丝圈质心 S 位置来降低  $m_1$  值，但由于纱条通道要求和圈形几何条件的限制，这方面潜力不大，比较有效的办法还是上移下支承 A 位置，以减少  $m_1$  值来降低  $N_B$  值。

由式(5)可知，由于上支承 B 点位置下移，引起  $N_{Bx}$  方向改变，使反前倾力矩减小为  $(F_B l_2 - N_{Bx} h_3)$ ，致使垂直面上钢丝圈前倾角有增大趋势，前倾角增大会缩小纱条通道，这就要求在设计钢领、钢丝圈时，注意这种变化引起的影响。

由式(6)可知，在张力矩  $T_{t3} \cdot e_3$  作用下，钢丝圈产生水平面上超前倾斜。由于新型钢

领内跑道工作曲面上弧面和下锥面相结合的复杂曲面, 钢丝圈水平倾角估计会比 ZM-6 型钢领有所减小, 但仍然会大于平面钢领, 因此也必须用变曲率非对称形的瓦楞形、弓背形等异形截面钢丝圈来适应。此外, 还应该在设计钢领、钢丝圈的几何形状时, 考虑适当增大反水平超前力矩  $C, m_3$  来削弱钢丝圈在水平面上倾侧, 这就要求设计圈形不能太窄, 质心适当外移。

### 三、新型钢丝圈(ZB-E)的几何特征

1. 内脚与 ZM-20 型钢领内跑道几何形状吻合, 具有上(B)、下(A)双支承, 且下支承 A 在钢领内跑道  $78^\circ$  下锥面处接触, 以保证与上浮式的运动配合。

2. 内脚下支承 A 处采用近似直线弧段, 接触面积大, 且有较好前倾自由度, 上支承 B 处与钢领顶弧下 R 为 0.85 毫米的凸肚处接触, 因此钢领、钢丝圈总接触面积大, 压强低, 磨损少, 散热快。

3. 圈形高度小, 重心低, 下支承位置尽量抬高, 有利于增大下支承受力, 减小上支承受力, 使上、下支承压强均衡, 延长使用寿命。

4. 上支承弧和纱线通道弧均采用 R 为 0.55 毫米的曲率半径, 且位置适当, 当钢丝圈倾侧到一定值时, 可阻止继续前倾而保证必要的纱条通道。

5. 圈形对角线较短, 开口小, 有利于减少脱圈和飞圈。

6. 上、下支承之间有近似直线的斜段, 落纱时纱条不易滑出钢丝圈内脚, 拎头和空管启动时, 上、下支承不同时接触, 或减少接触, 摩擦阻力小, 拎头轻, 操作方便。

7. 钢丝圈线材截面为薄弓形, 可弥补钢丝圈水平超前角引起的单边磨损。

8. 钢丝圈材料为 70 号优质碳素钢, 并经电镀钴处理, 光滑、耐磨, 抗氧化性强, 热辐射散热好。

### 四、新型钢领、钢丝圈运转性能分析

#### 1. 钢丝圈的磨损

用 XTT 体视显微镜放大描绘钢丝圈在使用周期内磨损缺口的面积、形态的变化, 从而验证钢领与钢丝圈两者配合关系。图 5 为钢丝圈按不同运转时间取样, 展开后放大 20 倍描绘的磨损轮廓, O 为钢丝圈内脚端点。图 5 证实了双支承接触和单边磨损状态。下支承 A 初期磨损面较大, 而上支承 B 较轻, 下支承迅速向上扩展, 钢丝圈上车一分钟已连成一片, 随后逐渐稳定。这表

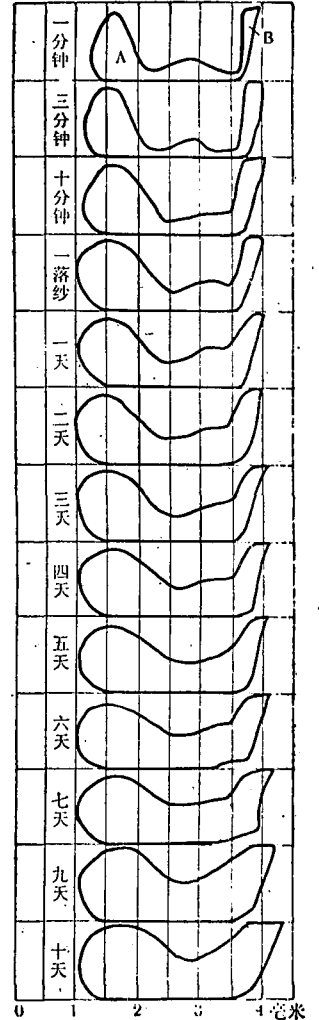


图 5 ZM-20 配 ZB-E 时钢丝圈磨损配合图

表 1 纱条通道大小(毫米)

| 圈型   | 测定值   |       |      |      |      |       | 平均值   |
|------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|
| ZB-E | 0.285 | 0.275 | 0.28 | 0.29 | 0.30 | 0.285 | 0.285 |
| FO   | 0.05  | 0.07  | 0.05 | 0.10 | 0.05 | 0.08  | 0.064 |

表 2 管纱毛羽(根/米)

| 管纱部位       | 小 纱   |       |       | 中 纱   |       |       | 大 纱 |  |  |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|--|--|
|            | FO    | ZB-E  | FO    | ZB-E  | FO    | ZB-E  |     |  |  |
| 钢丝圈型号(5/0) | FO    | ZB-E  | FO    | ZB-E  | FO    | ZB-E  |     |  |  |
| >1 毫米的毛羽   | 96.6  | 92.54 | 98.95 | 97.39 | 95.56 | 95.72 |     |  |  |
| >2 毫米的毛羽   | 13.25 | 11.64 | 18.88 | 16.91 | 14.68 | 14.75 |     |  |  |

明钢丝圈与钢领配合适当,较好地发挥了钢领下支承作用和锥面钢领的特性,有利于延长钢领使用寿命。

## 2. 纱条通道

将毛笔蘸上涂色液与导纱钩处纱条相接触2~3秒钟,纱条通过钢丝圈时会留下黑色腐蚀痕迹,分别在运转7~10天满纱小直径位置取样试验,而后在XTT体视显微镜下测绘纱条通道大小。试验结果如表1所示,可以看出,ZB-E型钢丝圈通道宽畅,比FO型大得多,能满足一般纱条通道应为0.2毫米以上的要求。

## 3. 成纱毛羽

毛羽是纱线的一项主要外观质量,纱线上毛羽多少与钢领、钢丝圈型式密切相关,用国产YG171型毛羽测试仪测定28号棉纱的结果如表2所示。

表2说明,ZM-20型钢领配ZB-E5/0型钢丝圈比PG<sub>1</sub>型钢领配FO 5/0型钢丝圈的成纱光洁,毛羽少。

## 4. 纺纱张力和气圈形态

测试条件:28号棉纱,锭速17000转/分,最大气圈高度200毫米,最小气圈高度70毫米,一落纱测4个部位(始纺、起成形、中纱和大纱)。测试结果如表3所示。

表3 纺纱张力(克)

| 钢丝圈型号    | 始 纺   | 起成形   | 中 纱   | 大 纱  |
|----------|-------|-------|-------|------|
| FO 5/0   | 62.78 | 49.27 | 42.56 | 64.0 |
| ZB-E 5/0 | 76.52 | 62.75 | 55.8  | 70.7 |

注:表中的数据系测定的张力峰值平均数。

由表3可知,在同等条件下测试纺纱张力峰值,ZM-20型钢领配ZB-E 5/0型钢丝圈较PG<sub>1</sub>型钢领配FO 5/0型钢丝圈为大。从气圈形态看,配ZM-20钢领的钢丝圈重量似

可以轻半零为宜。从控制气圈能力上看,ZM-20配ZB-E较PG<sub>1</sub>配FO为强,使ZM-20型钢领适应品种范围扩大,不仅能适纺28号纯棉纱,也能适纺29号纯棉毛巾纱。

## 5. 纺纱断头

在1291型细纱机上,对28号棉纱在同等条件下测定细纱断头,所得结果是,ZM-20型钢领配ZB-E 5/0型钢丝圈时细纱断头较ZM-6型钢领配ZB 5/0型钢丝圈时少,除措车断头超过50根/千锭时外,其余均较低。当锭速为16540转/分时,前者平均仅31根/千锭时,而后者为63根/千锭时;经加速7%,锭速为17690转/分时,前者十天平均断头为46.6根/千锭时。

## 五、结 语

综合上述分析和生产试验说明,新型钢领、钢丝圈具有如下优点:

1. 由于钢领与钢丝圈几何配合特性决定了它们之间为双支接触和上浮式运动状态,钢领内跑道顶弧上制口不承受很大压强,纺中号棉纱时,ZM-20新型钢领比ZM-6型、PG<sub>1</sub>型钢领使用寿命延长一倍左右。

2. ZB-E型钢丝圈适应性强,使用周期为7~10天,纱条通道保持0.28毫米左右,较其他钢丝圈为优。

3. 成纱毛羽少,断头率较大面积低。

4. 拎头轻、落纱脱圈少,为操作工人所欢迎。

但是新型钢领、钢丝圈还有待于扩大适纺品种,并需继续经大面积使用的考验。

参加新型钢领、钢丝圈研制和使用的单位,还有上海纺织机件一厂,远东钢丝针布厂,上海纺织研究院,上棉21厂、8厂、6厂、19厂、13厂、5厂和29厂等。