

鉴定会材料
之 二

新型离心纺丝电锭 研制技术报告

清华大学工程物理系
保定化纤厂
一九九二年三月

新型离心纺丝电锭研制技术报告

一、研究课题的提出

二、新型离心电锭单锭样机的研制

(一)新型离心电锭的方案设计及其结构特点

(二)新型离心电锭的性能研究

1. 临界转速

2. 上轴承载荷及寿命估计

3. 螺槽轴承

4. 离心罐的摩擦功耗

5. 杯式鼠笼电机

(1)空载实验

(2)负载实验

(3)单锭样机现场实纺实验

三、新型离心电锭的小试和中试

四、新型离心电锭的系列化

五、结论

六、参考文献及专题研究报告索引

新型离心电锭研制技术报告

一、研究课题的提出

保定化纤厂是我国粘胶长丝的主要生产厂之一，离心电锭是这一行业的关键设备。这项设备是五十年代末由东德引进的。目前，它的故障率很高。电机的线包和轴承烧毁相当严重。维修工作所消耗的人力和物力都相当可观。

由东德引进的 R 5 3 5 离心电锭的结构如图 1 所示。它由离心罐 1，羊毛毡圈 2，实心轴 3，电机转子 4，电机定子 5，下轴承 6，上轴承 10，空心轴 9，支架 8，油杯 7 等组成。其主要技术指标为⁽¹⁾：

额定功率：145 瓦

额定转速：8500 转/分

额定电压：160 V

额定电流：0.7 A

电源频率：160 Hz

功率因数：0.75

效率：0.452

按照现场统计分析结果，各零件的日平均故障率为⁽³⁾：

线包烧毁：0.198%

实心轴损坏： $0 \cdot 209\%$

空心轴损坏： $0 \cdot 152\%$

轴承损坏： $0 \cdot 102\%$

整个电铎的日平均故障率约为 $0 \cdot 3 \sim 0 \cdot 4\%$ 。

电铎故障率高的原因，从技术方面来说，是因为电铎结构上存在着一些明显的弱点：

1. 由于离心罐的转动惯量很大，而电铎是靠空心轴和实心轴下端的小锥面传递扭矩。频繁的直接启动和反接制动，很容易造成小锥面打滑、咬伤和磨损，这又进一步加大了转动系统的不同心，并可能引起整个电铎损坏。

2. 由于离心罐的质量和质心偏心都较大，而两个滚动轴承又都偏置于电铎的最下端，远离离心罐的质心，致使轴承在工作中承受过大的径向载荷，因而轴承损坏严重。

3. 支承鼠笼转子的空心轴虽为刚性轴，但由于是悬臂梁，两个轴承又离得很近，滚动轴承的游隙及磨损将使电机转子偏摆放大。而电机转子和定子间的气隙又只有 $0 \cdot 2 \text{ mm}$ ，因此很容易造成电机扫膛。

4. 原电铎中的羊毛毡圈，实质上是实心轴的一个辅助支承，随着使用时间的延长，它与实心轴之间的配合由紧变松。配合极不一

致。它也是一个需要经常更换的零件。此外，在运转过程中，毡圈与实心轴直接摩擦，使功耗加大。现场测试发现，新投入的毡圈竟会使电锭输入功率超过200瓦⁽⁴⁾。

除故障率过高外，保定化纤厂还做过比较细致的现场测试，证明原有电锭在节能方面也有潜力可挖⁽²⁾。

目前，国内粘胶长丝生产厂有十余家，除采用仿德的R535电锭外，还有仿苏的R531以及国内改进设计的R535A型电锭。他们的总体结构大同小异，都是空心轴——实心轴传动系统。我们曾先后到丹东化纤厂、宜宾化纤厂、南京化纤厂和邵阳化纤厂调研，所得结论大体相同。

经过深入调查和反复研究，并且在实验室对新型电锭的设计方案进行了充分的实验论证后，一九八九年九月，经河北省科委批准正式立项。

二、新型离心电锭单锭样机的研制

(一) 新型离心电锭的方案设计及其结构特点：

针对R535离心电锭的弱点，经过理论分析和计算。我们在设计新型离心电锭时，作了如下重要改进⁽⁵⁾⁽⁶⁾：

1. 将原实心轴——空心轴的双轴结构用单一的实心轴代替。电机转子直接与离心罐刚性联接。这样既简化了结构，提高了转动系统的同心度。又可避免由于实心轴——空心轴经过锥面传扭而引起

的故障。

2. 增大两轴承间的跨度，使上轴承尽量靠近离心罐并隐藏在电机的杯式转子内。这样可明显减小上轴承的载荷，提高电机转子的旋转精度，并减少电机扫膛的可能性。

3. 下轴承采用螺槽轴承。转子旋转时，可以自动形成完整的油膜，完全避免了轴与轴承间的金属接触。这将能大大提高下轴承的寿命，减小功耗。

4. 取消原来的辅助支承——羊毛毡圈，在下轴承处采用结构简单可靠的挤压膜阻尼器，以减小过临界转速时的振幅，并能减小正常运转时的振动与进动（晃头）。与原来的羊毛毡圈相比，大大降低了功耗，提高了转动系统的稳定性和可靠性。

经过这些改进后，新型离心电泵与原电泵相比，可以在减小轴承载荷，增加转动系统稳定性和可靠性，延长电泵寿命，降低能耗等方面有较大改善。

新型离心电泵的结构方案示意图如图 2 所示。它的主要零件有：离心罐 1，转轴 2，杯式电机转子 3，电机定子 4，上轴承 5，膜片弹簧 6，下轴承（螺槽轴承）7，迷宫密封 8，外壳 9，挤压膜阻尼器 10，支架 11 等。

（二）新型离心电泵的性能研究

1. 临界转速：用 Riccati 传递矩阵法求解电泵的临界转

速, 结果表明⁽⁷⁾: 采用单一的实心轴代替原有的空心——实心轴后, 只要结构参数设计合理, 转动系统的第一临界转速可以控制在 25 ~ 60 Hz, 而第二临界转速可远高于工作转速。实验完全证明了这一结论。经过精心设计制造的电铃, 启动过程平稳, 通过第一临界转速十分容易。在越过第一临界转速后, 离心罐可自动对中。所以, 从转子动力学角度看, 改进是成功的。

2 上轴承的载荷及寿命估计: 实验证明, 当在离心罐内壁靠近罐底加上 50 克厘米不平衡量时, 上轴承径向载荷不超过 10 公斤⁽⁸⁾。从电铃的振动情况推测, 正常运转时上轴承载荷不会超过 6 公斤。按照资料⁽¹⁵⁾所提供的方法可以计算出, 在润滑良好的条件下, 径向载荷为 6 公斤时, 上轴承的疲劳寿命可达 1×10^8 年 (可靠度 99%)⁽¹²⁾。

3 螺槽轴承: 下轴承采用全膜润滑的螺槽轴承。只要轻轻用手一转动离心罐就可起浮。而且, 即使反接制动过份, 造成短暂的反转时, 油膜也不会立即破坏。对运行过程的长期监测表明, 轴承的油膜电阻为 $1.5 \times 10^6 \sim 200 \times 10^6$ 欧姆。这证明为电铃设计的螺槽轴承运转十分稳定可靠⁽⁹⁾⁽¹³⁾。

4 离心罐的摩擦功耗: 离心罐与外套筒之间的空气流场对电铃功耗影响很大。计算表明, 在工作转速 150 rps 时, 离心罐与外套筒间的空气流, 其雷诺数 $Re \approx 3 \cdot 5 \times 10^4$ 。这说明流

动已呈紊流状态。对于一般的两同心长圆柱之间的紊流场，有

$$P \propto \frac{r^{(4-B)} L \cdot \omega^{(3-B)}}{h^B}$$

式中：P为圆柱的摩擦功耗，r为圆柱半径，L为圆柱长度。

ω 为圆柱转动角频率，h为两同心圆柱的半径差即流场气流厚度，B为系数， $0 < B < 1$ 。

根据我们的实验数据，当 $h = 8 - 13 \text{ mm}$ 时，B值在 $0 \sim 0.064$ 之间⁽¹⁰⁾⁽¹²⁾。

5. 杯式鼠笼电机：新型离心电铗要求把电机转子作成杯式，这大大增加了电机设计的难度。我们以满足新型电铗总体结构和纺丝工艺要求为前提，参考高效节能异步电机的设计原则，先后设计加工了多种不同结构参数的鼠笼电机进行实验比较。经过近一年的专题研究，最后选出一种综合性能比较好的电机设计方案投入小试和中试。

采用杯式鼠笼电机的新型电铗的性能如下⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾：

(1) 空载实验：结果列于表1及图3，通过这些数据可以求得

$$P_0' = 1.1 + 17.8 (\bar{U} / 160)^2$$

$$\text{机械损耗} \quad P_j = 1.1 \text{ 瓦}$$

$$\text{铁 损} \quad P_{Fe} = 17.8 (\bar{U} / 160)^2$$

平均线电 压 (V) $\bar{U}$	平均相电 流 (A) $\bar{I}$	输入功 率 (瓦) P_0	定子铜耗 .. (瓦) P_{cu0}	$P_0' = P_0 - P_{cu0}$	$(\frac{U}{160})^3$	$\cos \delta^p$
193.3	0.60	42	5.4	36.6	1.46	0.209
171.0	0.55	36	4.5	31.5	1.14	0.221
157.0	0.50	31.6	3.75	27.75	0.963	0.232
141.7	0.45	27.7	3.0	24.7	0.784	0.251
120.0	0.38	23	2.2	20.8	0.562	0.291

表 1

(2) 负载实验：结果列于表 2（无丝饼）。

(3) 单锭样机现场实纺实验：一九九〇年六月一日至十一日，我们将两个新型电锭安装到现场进行了连续纺丝实验。为了便于对照，同时也对邻近的工况相同的 R 5 3 5 电锭进行了现场抽样测试。

在线运行的 R 5 3 5 电锭抽样测试结果列于表 3。

R 5 3 5 电锭直接合闸启动时间约 3 5 秒，反接制动时间约 2 0 秒。

新型电锭电气性能的现场测试结果列于表 4。

新电锭直接合闸启动时间约 4 5 秒，反接制动时间约 3 0 秒。

除电气性能外，在单锭样机实纺实验。对新型电锭的上轴承（外环）和定子线包的温升及下轴承的电阻进行了连续测试（13）（14），结果列于表 5 和表 6。

通过对新型电锭纺丝过程的连续监测 我们发现：落丝后重新启动升头时。由于反接制动和直接启动时电流较大，轴承和线包温度稍高。但也只有 4 0 °C 上下。正常纺丝过程中温度略有下降。到

满罐时温度又有所回升,达到 40°C 左右。功耗的变化规律与温度变化规律相似,变动幅度也不大。整个纺丝过程中,螺槽轴承都在全膜润滑条件下运行。油膜电阻为 $15\times 10^6\sim 200\times 10^6$ 欧姆。

三、新型离心电锭的小试和中试

新型离心电锭的小批量试验(6锭)从一九九一年二月八日上车,到今年三月份已连续运行一年多。小规模的中试试验(48锭)从一九九一年十一月二日开始,已连续运行四个多月。

小试电锭(6锭)的现场测试结果及其与原来电锭的对照分别列于表7和图4~图6。

中试电锭(48锭)的功率分布及其与原电锭的对照分别列于图7~图10。

由这些图表可以看出,新型电锭的机械性能和电气性能都是稳定的,可重复性很好,并且是经得起长时间考验的。

按照可靠性理论中关于有替换的截尾寿命试验分析方法,从48锭中试近三个月的故障统计数据。可以推算出新型电锭的平均寿命为2544天(约7.5年)。而原有的RE35电锭,若按故障率 $0.003/\text{天}$ 计算。其平均寿命约为333天,两者相比,新型电锭的平均寿命大约是原电锭的7~8倍。(16)

平均线 电 压 $\bar{U}$ (V)	平均相 电流(A) $\bar{I}$	输入功 率(瓦) P_1	电源 频率 (HZ)	电机 转速 (rps)	铁耗 (瓦) P_{Fe}	定子 铜耗 (瓦) P_{Cu1}	转子铜 耗 (瓦) P_{Cu2}	机械 损耗 (瓦) P_f	输出 功率 P_2 (瓦)*	$\cos\varphi$	效率 η
158.3	0.707	133.5	150	144.6	17.4	8.5	3.9	11	79.4	0.689	59.5%
151.3	0.702	130.4	150	143.9	15.9	8.4	4.3	11	73.9	0.709	60.5%
139.5	0.694	126.6	150	143	13.5	8.2	4.9	11	73.4	0.755	61.9%
127	0.693	121.8	150	141.6	10.3	8.2	5.8	11	77.5	0.799	63.6%

* 由于杯式电机结构比较特殊，杂散损耗计算不准确。因此， P_2 采用测量自由停车曲线的方法求得。

表 2

抽查 电机 序号	平均线 电压 (V)	平均相 电流 (A)	输入功 率(W)	电源频 率(HZ)	电机转速 (rps)	由工作转速下降10 周自由停车时间 (S)	摩擦功率
1	148.5	0.64	142.5	145	139.3	6.32	107
2	148.7	0.647	126	145	140	7.27	93.5
3	148	0.607	123	145	139	7.20	93.7
4	148.3	0.64	121	145	138.8	6.18	109
5	149.3	0.617	139	145	139.7	6.06	111.9
6	149	0.578	124	145	139.5	6.84	99
7	147.2	0.63	131	145	139.6	6.30	107
8	147.8	/	140.5	145	137	6.33	105
9	148.7	0.673	146	145	138.7	6.35	106
平均			132.56				103.57

表 3

测定 次数	平均线 电压 (V)	平均相 电流 (A)	输入 功率 (W)	电源 频率 (HZ)	电机 转速 (rps)	由工作转 速下降十 周自由停 车时间 (秒)	摩擦 功率 (W)	相对 节能 系数
1	149.30	30.438	97.8	145	139	8.61	76.5	26%
2	149.20	30.415	94	145	139.9	8.61	76.5	29%
3	149.20	30.415	94	145	139.9			29%
4	148.20	30.44	100.7	145	140			24%
5	149	30.42	94	145	140.1			29%
6	149.30	30.42	95	145	140.2			28%
7	149.30	30.421	96	145	140.2			27.6%

表 4

落丝后运行时间 (小时)	0·0 (刚启动)	1·7	2·5	7·0	8·7	11·7 (落丝前)
上轴承外环温度 (°C)	42·0	36·6	37·6	38·2	39·6	41·0
上轴承外环温升 (°C)	13·0	7·6	8·0	8·7	9·6	11·2
定子线包温度 (°C)	38·7	35	35·1	35·8	36·7	39·0
定子线包温升 (°C)	9·7	6·0	5·5	6·3	6·7	9·2
环境温度 (°C)	29	29	29·6	29·5	30	29·8

表 5

落丝后运行时间 (小时)	0·5	6·3	11	11·7 (落丝前)
1号样锭油膜电阻 (欧姆)	200×10^6	200×10^6	200×10^6	200×10^6
2号样锭油膜电阻 (欧姆)	20×10^6	18×10^6	$16 \sim 17 \times 10^6$	18×10^6

表 6

锭 号	测 试 日 期	2 · 1 1	4 · 6	4 · 1 2	5 · 1 4	5 · 2 4
	运 行 天 数 (天)	3	5 7	6 3	9 5	1 0 5
3 7	输入功率 P (瓦)	8 2	8 7	89.5	8 4	8 7
	油膜电阻 Ω (欧)			5 0 M	3 0 M	/
3 8	输入功率 P (瓦)	8 4	8 8	9 0	8 8	9 2
	油膜电阻 Ω (欧)			5 0 M	3 0 M	/
3 9	输入功率 P (瓦)	8 2	8 4	7 9	8 5	8 5
	油膜电阻 Ω (欧)			5 0 M	2 5 M	
4 0	输入功率 P (瓦)	8 0	7 9	8 3	8 6	9 3
	油膜电阻 Ω (欧)			5 0 M	4 5 M	
4 1	输入功率 P (瓦)	8 2	9 6	/	8 7	8 3
	油膜电阻 Ω (欧)				4 5 M	
4 2	输入功率 P (瓦)	8 9	8 4	8 5	8 9	9 5
	油膜电阻 Ω (欧)			5 0 M	4 5 M	

N32~N42: 电锭编号
 × 原R535电锭(对照)
 • 新型电锭

电锭输入功率

150 瓦

100 瓦

50 瓦

100天

200天

300天

400天

连续运行时间

图4 小试电锭(6锭)的输入功率变化及其与 R535电锭的对比