

浅谈数控不落轮镟床外轴箱支撑装置结构原理及典型故障

李记¹ 李翔²

1. 河南郑许轨道交通有限公司, 中国·河南 郑州 451162

2. 郑州地铁集团有限公司, 中国·河南 郑州 450000

摘要: 论文介绍了不同型号数控不落轮镟床外轴箱支撑装置的结构原理, 针对不同型号数控不落轮镟床外轴箱支撑装置的自锁原理进行分析, 通过深入分析 UGL-15D/CNC 型不落轮镟床外轴箱支撑装置不能自锁的典型故障, 提出优化措施, 为地铁维保处理类似故障及后续设备采购提供一定的参考。

关键词: 不落轮镟床; 外轴箱支撑装置; 梯形丝杠; 自锁

Discussion on the Structural Principle and Typical Faults of the External Axle Box Support Device for CNC Non falling Wheel Turning Machine

Ji Li¹ Xiang Li²

1. Henan Zhengxu Rail Transit Co., Ltd., Zhengzhou, Henan, 451162, China

2. Zhengzhou Metro Group Co., Ltd., Zhengzhou, Henan, 450000, China

Abstract: This paper introduces the structural principles of different types of CNC non falling wheel lathe outer axle box support devices, analyzes the self-locking principles of different types of CNC non falling wheel lathe outer axle box support devices, and proposes optimization measures through in-depth analysis of the typical faults of UGL-15D/CNC non falling wheel lathe outer axle box support devices that cannot self lock. This provides a certain reference for subway maintenance, handling similar faults, and subsequent equipment procurement.

Keywords: non falling wheel lathe; external axle box support device; trapezoidal lead screw; self locking

1 引言

数控不落轮镟床外轴箱支撑装置适用于配备有外轴箱的电客车, 它的主要作用是支撑垂直于水平面的轮对。在加工作业时, 外轴箱支撑装置对电客车外轴箱施加一个垂直向上的力, 配合轴箱压压装置的下压力, 固定电客车外轴箱, 使轮对在机床柔性坐标系中有稳定的回转中心, 得以保证轮对的加工精度。外轴箱支撑装置上升到位后, 会保持支撑锁定状态, 不会因承载极限内的外力作用而垂直移动。

外轴箱支撑装置作为轮对镟修时支撑电客车的重要部件, 若不能自锁, 会导致电客车轮对回转中心偏移, 影响轮对镟修。论文介绍了不同型号数控不落轮镟床外轴箱支撑装置的结构原理, 分析了不同型号数控不落轮镟床外轴箱支撑装置的自锁方式, 结合 UGL-15D/CNC 型不落轮镟床外轴箱支撑装置不能自锁的典型故障, 为不落轮镟床检修作业的优化及整改方向提供了理论依据。

2 外轴箱支撑装置结构原理

不同型号的不落轮镟床, 其外轴箱支撑装置的结构原

理不尽相同, 下面对郑州地铁使用的各型号不落轮镟床外轴箱支撑装置的结构原理进行介绍。

2.1 UGL-15D/CNC 型不落轮镟床

郑州地铁 5 号线使用的是北京北一机床有限公司与意大利 SAFOP 公司合作生产的 UGL-15D/CNC 型不落轮镟床^[1]。5 号线不落轮镟床外轴箱支撑装置主要由液压马达、轴承组、丝杠、螺母、缸筒等部分组成(见图 1), 其工作原理是液压马达带动丝杠转动, 丝杠转动使得螺母抬升, 轴向支撑装置动作。

5 号线不落轮镟床外轴箱支撑装置使用的丝杠是梯形丝杠。当丝杠的螺纹升角小于丝杠与螺纹的当量摩擦角时, 梯形丝杠具备自锁功能。所以, 外轴箱支撑装置到位后, 完全依靠梯形丝杠的自锁能力而保持锁定状态的。

2.2 CAK-13[C]CNC 型不落轮镟床

CAK-13[C]CNC 型不落轮镟床是四川广汉快速铁路设备有限公司生产的设备。该设备外轴箱支撑装置也叫做升降顶镐装置, 由机械硬传动控制。主要组成部分是支撑套筒、传动机构及电机(见图 2)。

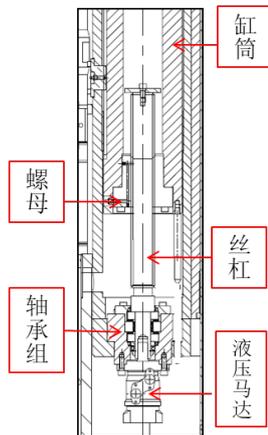
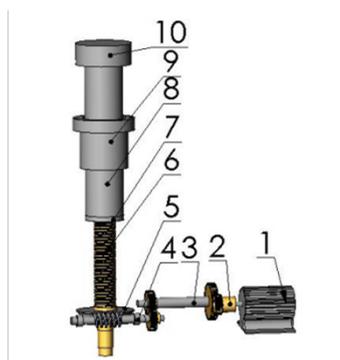


图 1 UGL-15D/CNC 型外轴箱支撑组成



- 1、电动机 2、变速齿轮 3、变速齿轮 4、蜗杆 5、蜗轮
- 6、丝杆 7、丝母 8、动滑套 9、定滑套 10、承重盖

图 2 CAK-13[C]CNC 型外轴箱支撑组成

该设备外轴箱支撑装置的保持方式有两种：一种是梯形丝杠的自锁功能，另一种是通过蜗轮、蜗杆的特性原理，起到自锁功能。蜗轮和蜗杆传动的两个轴是相互垂直的，蜗杆可以看成为在圆柱体上沿着螺旋线绕有一个齿（头）的螺旋，单头蜗杆具备自锁功能。蜗轮的齿包着蜗杆，在啮合时，蜗杆转一转，就带动蜗轮转过一个齿或几个齿。在蜗杆停止转动时，用蜗轮给蜗杆一个反向的力，蜗杆不会转动，这就是蜗轮蜗杆自锁。这时的斜角叫做冲突角，冲突角 ϕ 的正切就是冲突系数 f , $\tan \phi = f$ 。由此得冲突角越小，自锁能力越强。

2.3 TUP650H 型不落轮镟床

TUP650H 型不落轮镟床是波兰科特公司生产，主要由液压马达、编码器、丝杠、螺母等部分组成（见图 3）。该镟床外轴箱支撑装置的升降是靠液压马达驱动丝杠动作完成。该设备使用的梯形丝杠型号为 Tr50 × 8，具备自锁功能。液压方面，TUP650H 型不落轮镟床使用的是三位四通换向阀（见图 4），其中位机能是 Y 型，当外轴箱支撑装置不动作时，电磁阀处于中位，电磁阀的两个油口的油均回到油箱，液压马达处于自由状态，不具备保持功能。所以该设备装夹到位以后，外轴箱支撑装置的保持功能完全依赖于梯形丝杠

的自锁能力。

TUP650H 型不落轮镟床的外轴箱支撑装置除了能够起到电客车外轴箱支撑抬升的功能，还可以对轮对轴向进行精确定位，在加工过程中可以起到锁定和保持定位精度不变的功能。外轴箱支撑的保持恒定延伸是通过旋转编码器完成。

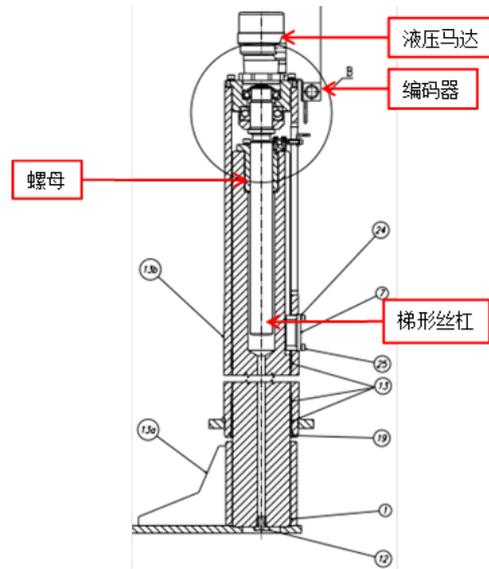


图 3 TUP650H 型外轴箱支撑装置结构

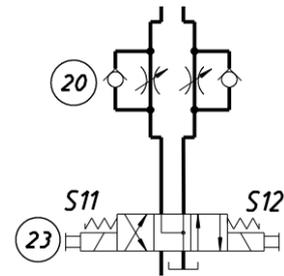


图 4 三位四通换向阀 23

2.4 U2000-400M 型不落轮镟床

U2000-400M 型不落轮镟床是德国赫根赛特公司生产的设备^[2]。该设备外轴箱支撑装置的动作是由液压缸驱动。观察其液压图纸三位四通换向阀（见图 5），当外轴箱支撑装置处于支撑状态时，电磁阀处于中间位置。因为两个单向阀 1、2 的作用，两个油口的油无法回流到油箱。此时液压缸一直保持在工作状态，为外轴箱支撑提供了保持功能。外轴箱支撑装置结构图见图 6。

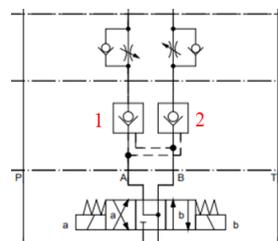


图 5 三位四通换向阀

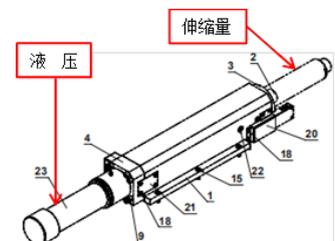


图 6 液压缸结构图

3 故障现象及处理过程

3.1 故障现象

2020 年 12 月 16 日，郑州地铁 5 号线设备操作组在维修 0509 车 6 车时，右侧轴箱支撑装置出现下降情况，下降约 10mm 后停止。将轴箱支撑装置上升到正常工作位置，使用压爪下压轴箱支撑装置，右侧轴箱支撑装置仍会下降，不能保持。

3.2 处理过程

3.2.1 液压系统排查

查看不落轮镟床液压原理图，找到轴箱支撑装置的电磁换向阀 56Y1（见图 7），56Y1 是一个三位四通阀，中位机能为 Y 型。当轴箱支撑装置不动作时，电磁换向阀处于中位，此时液压马达两个油口均通油箱，马达处于自由状态，不能为轴箱支撑装置提供保持功能。

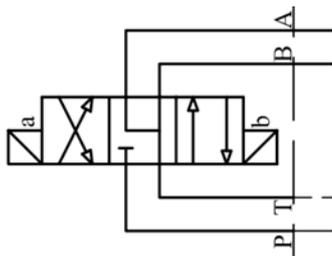


图 7 电磁换向阀 56Y1

现场首先将左右两侧轴箱支撑装置的三位四通阀 46Y1 和 56Y1 进行调换并试验，故障未消失，然后将右侧电磁阀电源（见图 8）断开后试验，故障仍存在。通过两次试验可排除因液压系统驱动丝杠反向运动而造成的回落，故排除液压系统故障。



图 8 电磁阀电源接线

经注油口观测，顶升装置回落时丝杠发生转动，因此判断故障的直接原因为丝杠螺母副失去自锁。

3.2.2 丝杠螺母排查

首先对丝杠螺母外观进行检查。轴箱支撑装置主要由液压马达、轴承组、丝杠、螺母、缸筒等部分组成，将轴箱支撑装置进行拆卸，观察丝杠、螺母、轴承组情况（见图 9、10、11）。

观察拆卸后的丝杠和螺母，螺母副无明显损伤。检查轴承组，轴承组转动正常。



图 9 丝杠螺母副



图 10 螺母



图 11 轴承组

对参数进行校核。

轴箱支撑装置使用的丝杠为梯形丝杠，根据《机械设计手册》^[3]，当梯形丝杠的螺纹升角 $\lambda <$ 丝杠的当量摩擦角 ρ 时，梯形丝杠螺母副具有自锁功能。

通过测量丝杠的螺纹大径和螺距，可计算出丝杠螺纹升角。根据丝杠和螺母的材质，可查询到螺母副的摩擦因数，进而可计算出丝杠摩擦角。具体计算如下：

① 5 号线不落轮镟床梯形丝杠参数。

5 号线不落轮镟床梯形丝杠的型号为 Tr60×12，其中公称直径 $d=60\text{mm}$ ，螺距 $P=12\text{mm}$ 。

② 丝杠螺纹升角 λ 计算方法。

丝杠螺纹升角：

$$\lambda = \arctan \frac{S}{\pi d_2}$$

其中， S 为导程， $S=PX$ ， X 为螺纹线路（ $X=1$ ）， P 为螺距， d_2 为螺纹中径， $S=PX=1 \times 12=12$ 。（以下长度单位均为 mm，角度均为度）

螺纹中径 $d_2=d-H_1$ ，根据《机械设计手册》梯形螺纹最大实体牙型尺寸（GB/T 5796.1—2005）和梯形螺纹基本尺寸（GB/T 5796.3—2005），（见图 12 和表 1）。其中， $H_1=0.5P=6$ 。所以， $d_2=60-6=54$ 。

$$\lambda = \arctan \frac{12}{54\pi} = 4.04^\circ$$

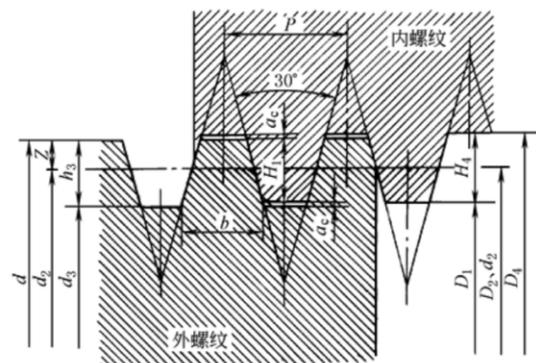


图 12 梯形螺纹基本牙型

表 1 梯形螺纹基本牙型尺寸

常用材料的摩擦因数	
摩擦副材料	摩擦因数 μ
	无润滑 有润滑
钢-钢	0.15 ^① 0.1~0.12 ^①
	0.1 ^② 0.05~0.1 ^②
钢-软钢	0.2 0.1~0.2
钢-不淬火的T8钢	0.15 0.03
钢-铸铁	0.2~0.3 ^① 0.05~0.15
	0.16~0.18 ^②
钢-黄铜	0.19 0.03
钢-青铜	0.15~0.18 0.1~0.15 ^①
	0.07 ^②

③当量摩擦角 ρ 。

当量摩擦角:

$$\rho = \arctan \frac{\mu}{\cos \frac{\alpha}{2}}$$

其中, μ 为当量摩擦因数, 根据《机械设计手册》第 1 卷常用材料的摩擦因数统计表 1-1-7 (见表 2), 查得钢和黄铜无润滑的摩擦因数 $\mu=0.19$, 有润滑的摩擦因数

$\mu=0.03$ 。

选择两个极限值, 完全没有润滑的摩擦因数计算一个最大值, 有润滑的摩擦因数计算一个最小值。

α 为螺纹牙侧角, 梯形螺纹 $\alpha=30^\circ$, 所以:

$$\rho_{\text{无润滑}} = \arctan \frac{0.19}{\cos 15^\circ} = 11.13^\circ ;$$

$$\rho_{\text{有润滑}} = \arctan \frac{0.03}{\cos 15^\circ} = 1.78^\circ .$$

表 2 摩擦因数 μ 值

螺距 P	a_c	$H_4=h_3$	$R_{1\max}$	$R_{2\max}$	螺距 P	a_c	$H_4=h_3$	$R_{1\max}$	$R_{2\max}$
1.5	0.15	0.9	0.075	0.15	14	1	8	0.5	1
2	0.25	1.25	0.125	0.25	16	1	9	0.5	1
3	0.25	1.75	0.125	0.25	18	1	10	0.5	1
4	0.25	2.25	0.125	0.25	20	1	11	0.5	1
5	0.25	2.75	0.125	0.25	22	1	12	0.5	1
6	0.5	3.5	0.25	0.5	24	1	13	0.5	1
7	0.5	4	0.25	0.5	28	1	15	0.5	1
8	0.5	4.5	0.25	0.5	32	1	17	0.5	1
9	0.5	5	0.25	0.5	36	1	19	0.5	1
10	0.5	5.5	0.25	0.5	40	1	21	0.5	1
12	0.5	6.5	0.25	0.5	44	1	23	0.5	1

3.3 分析结论

按照《机械设计手册》, 梯形丝杠自锁的条件是螺纹升角 $\lambda <$ 丝杠的当量摩擦角 ρ , 而该丝杠螺纹升角 $\lambda=4.04^\circ$ 介于丝杠的当量摩擦角 ρ 有润滑 $=1.78^\circ$ 和 ρ 无润滑 $=11.13^\circ$ 之间, 说明因为润滑状态改善或螺母副之间的磨合会出现螺纹升角大于摩擦角的情况, 进而导致丝杠螺母副不能自锁。

3.4 整改措施

针对丝杠螺母副不能自锁情况, 可采取下列措施:

- ①可选用螺纹升角更小的丝杠螺母;
- ②增加其他自锁机制, 如液压自锁、涡轮蜗杆自锁等;
- ③在对丝杠螺母润滑时, 可在保证减少螺母磨损的情况下, 尽量延长润滑周期, 降低润滑量。

5 结语

数控不落轮镗床外轴箱支撑装置是支撑电客车车体的重要部件, 确保外轴箱支撑装置的安全可靠运行, 在电客车轮对镗修过程中具有至关重要的作用。因此, 在不落轮镗床日常保养过程中, 要经常对外轴箱支撑装置进行检查, 检验其自锁功能是否完好。在后续线路设备的采购中, 可选择具有多重自锁保护功能的设备。

参考文献:

- [1] 北京北一机床股份有限公司.UGL15D-CNC数控不落轮车床的研发与应用[J].产品与技术,2015(1):98-99.
- [2] 姚曙.浅谈地铁数控不落轮镗床[J].今日科苑,2013(12):128.
- [3] 成大先,王德夫.机械设计手册第3卷[M].北京:化学工业出版社, 2008.