

控制棒可移动线圈电磁驱动机构 线圈刚度实验

马 仓, 薄涵亮, 姜胜耀, 张洪超, 王金华, 秦本科, 孙常龙

(清华大学 核能与新能源技术研究院, 北京 100084)

摘要:本工作在反应堆控制棒可移动线圈电磁驱动机构工程样机实验台架上,进行了电磁铁刚度实验。获得了不同保持电流工况下的平均刚度值:3 A时,平均刚度值为129 N/mm;3.5 A时,为136 N/mm;4 A时,为152 N/mm;4.5 A时,为168 N/mm;5 A时,为164 N/mm,稍低于4.5 A时的平均刚度值。随着保持电流的增加,平均刚度值呈现先增加后又下降的变化趋势。温度升高对刚度值有影响。

关键词:控制棒驱动机构;可移动线圈;刚度实验

中图分类号:TL362.6

文献标识码:A

文章编号:1000-6931(2006)02-0177-03

Rigidity Experiment on Coil-Moveable Electromagnetic Drive Mechanism for Reactor Control Rod

MA Cang, BO Han-liang, JIANG Sheng-yao, ZHANG Hong-chao,
WANG Jin-hua, QIN Ben-ke, SUN Chang-long

(Institute of Nuclear and New Energy Technology, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: This work concerns in the rigidity experiment of coil-moveable electromagnetic drive mechanism for reactor control rod. It was carried out on experimental stage of the engineering prototype. The calculated average rigidity values at various currents are as follows: 129 N/mm for 3 A, 136 N/mm for 3.5 A, 152 N/mm for 4 A, 168 N/mm for 4.5 A, 164 N/mm for 5 A. The rigidity linearly increases with the coil's current. The coil's temperature influences the rigidity, and the high coil's temperature can reduce the rigidity.

Key words: control rod drive mechanism; moveable coil; rigidity experiment

在反应堆中,拖动控制棒在堆芯移动,实现对反应堆反应性控制的机构或设备称为控制棒驱动机构。可移动线圈电磁驱动机构是一种新型的控制棒驱动机构,具有很高的研究和实用价值^[1]。本工作涉及可移动线圈电磁驱动机构工程样机的线圈刚度实验研究。

1 可移动线圈电磁驱动机构实验台架

可移动线圈电磁驱动机构实验台架包括模拟循环回路和驱动机构两部分。循环回路模拟反应堆内水的流动,在线圈刚度实验中,循环水回路不接通。驱动机构由步进电机、滚珠丝杠、电磁铁、衔铁、缓冲器、上限位指示器和下限位

指示器等组成。衔铁通过连杆与模拟控制棒相连,其上下位移通过光尺进行测量。步进电机上端与滚珠丝杠相连,下端和编码器相连,电磁铁的上下位移由编码器输出。实验台架示意图示于图1。

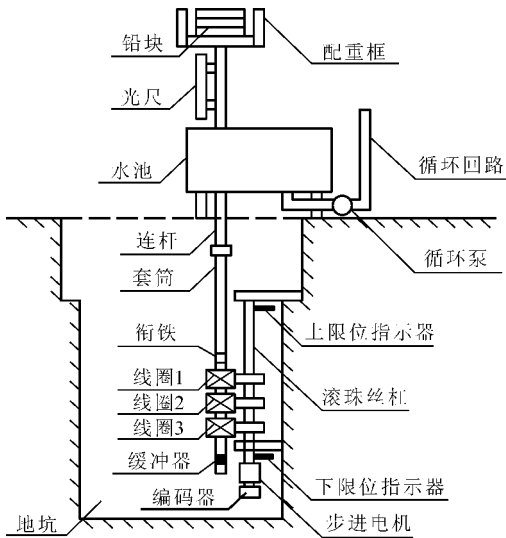


图1 实验台架示意图

Fig. 1 Scheme of experimental facility

步进电机直接转动滚珠丝杠,滚珠丝杠的螺母拖动被支撑在支架上的线圈上下运动。电磁线圈与套筒内的衔铁相互作用产生电磁吸力,从而带动衔铁、连杆及配重框一起上下运动。3个电磁铁及内部衔铁构成3个独立电磁回路,其承载能力为单个电磁铁的3倍^[2]。

步进电机本身具有自锁能力。因此,当步进电机通电但处于停转状态时,电磁铁将稳定地保持在其当前位置。滚珠丝杠不具自锁能力。因此,当步进电机断电时,电磁铁将随支架以及内部的衔铁连同连杆一起靠重力作用快速平稳地滑落到底部。当电磁铁断电时,套筒内部的衔铁及连杆靠重力作用快速下落至底部的缓冲器上^[3]。

电磁铁刚度实验是该驱动机构主要性能实验之一。沿受力方向弹性变形的物体在单位长度上所能承受的力的大小称之为该物体的刚度。电磁铁驱动机构的刚度实质上是一种磁力刚度。在实验中,控制棒驱动机构通过线圈电磁力控制棒位。当控制棒停在某位置时,改变控制棒配重,在配重小于极限载荷时,控制棒不

掉棒,而发生弹性位移,此时,可研究该弹性位移的刚度。

2 实验方法

电磁铁驱动机构刚度与保持电流密切相关。因此,按保持电流将实验工况分为3、3.5、4、4.5、5 A 5种。实验时,先选定某一保持电流不变,将控制棒推至某一高度(如200 mm处)停止不动,然后从零开始加载(此处不计配重框重力147 N),每次加载49 N,加至245 N后逐次卸载至零。每次卸载的重力和加载的重力相同,均为49 N。第2次加载、卸载时保持电流不变。加载重力至 2×245 N后,按同样方法卸载。依此类推作第3次、第4次实验,直到总加载重力接近控制棒的极限载荷值。记录每次加载、卸载时的重力值和位移值。

3 结果及讨论

3.1 不同保持电流下的刚度

在循环加载、卸载的过程中记录了每一次加载、卸载的重力和棒位。在初始位置时,控制棒位移为零,加载重力为零(不包括框的重力147 N)。用当次实验的总承重力除以控制棒的位移量得到一刚度值。不同保持电流工况下的刚度曲线示于图2。

在3 A工况下,总实验次数为97次,加载过程、卸载过程均为4次,在卸载和加载交替处出现了一些粗大误差,在计算刚度时,将这些实验点剔除。刚度值与配重间的关系不大。3 A工况下计算出的平均刚度值为129 N/mm。

3.5 A工况下的总实验次数为148次,加载过程、卸载过程均为5次。同样将卸载、加载交替处出现的一些粗大误差剔除后,计算平均刚度值为136 N/mm。

在4 A工况下总实验次数为178次,加载过程6次,卸载过程5次,在第6次加载将要结束时控制棒掉棒。剔除粗大误差后,计算平均刚度值为152 N/mm。

4.5 A工况下,总实验次数为211次,加载过程6次,卸载过程6次。剔除粗大误差后计算的平均刚度值为168 N/mm。

在5 A工况下,总实验次数为211次,加载和卸载过程均为6次。剔除粗大误差后计算的

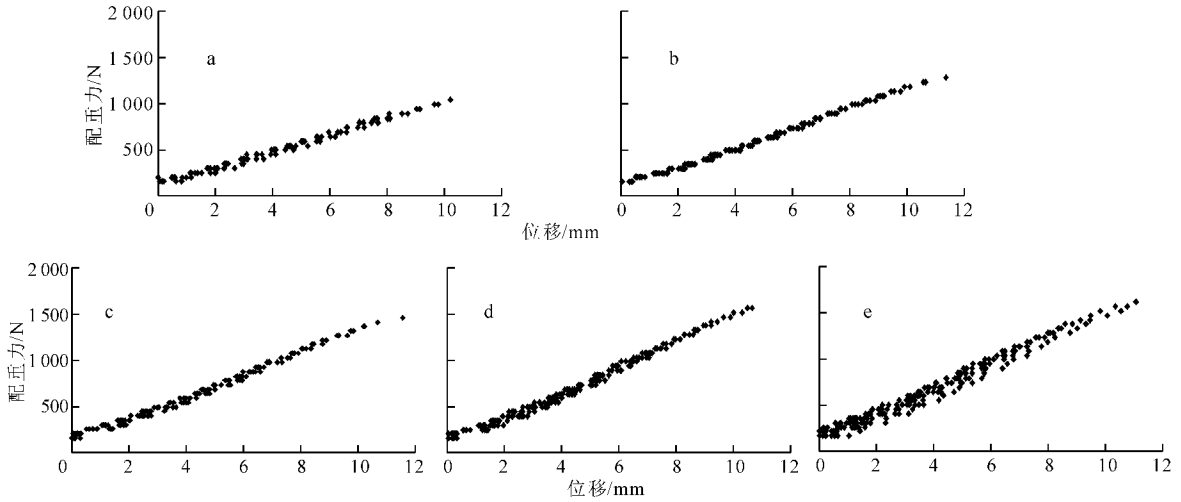


图2 不同线圈电流下的刚度曲线

Fig. 2 Rigidity curves at various coil's currents
a—3 A; b—3.5 A; c—4 A; d—4.5 A; e—5 A

平均刚度值为 164 N/mm, 稍低于 4.5 A 工况下的平均刚度值。

3.2 平均刚度值比较

随着保持电流的增大, 平均刚度值先是随之增加, 而后来又有所下降(图 3)。这一变化是由于线圈温度随之升高、磁吸力稍有下降所引起。4.5 A 时, 线圈平均温度为 55 °C, 5 A 时, 线圈平均温度为 83 °C, 两者温差为 28 °C。温度上升对线圈内的钕铁硼永磁铁磁性性能影响较大。从图 2e 可看到, 线圈温度从 55 °C 变到 83 °C 后, 实验测得的数据点比图 2d 中的分散得多, 这也显示了线圈温度对刚度的影响。

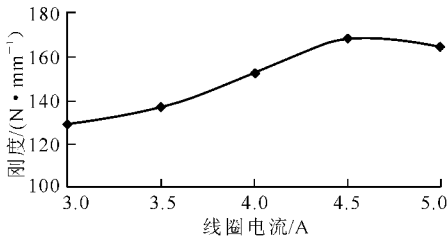


图3 平均刚度随线圈电流的变化曲线

Fig. 3 Curve of average rigidity with coil's current

4 结束语

随着保持电流的增大, 平均刚度值呈现先

增后降的变化趋势。3 A 时, 平均刚度值为 129 N/mm; 3.5 A 时, 为 136 N/mm, 4 A 时, 为 152 N/mm; 4.5 A 时, 为 168 N/mm; 5 A 时, 为 164 N/mm, 稍低于 4.5 A 时的平均刚度值。温度升高对刚度有影响。

参考文献:

[1] 张继革. 反应堆控制棒可移动线圈电磁驱动机构的研究[D]. 北京:清华大学核能技术设计研究院, 2003.

[2] 张继革, 吴元强, 张证明, 等. 控制棒新型电磁驱动机构静态特性实验研究[J]. 核动力工程, 2002, (增刊): 231-233.

ZHANG Jige, WU Yuanqiang, ZHANG Zhengming, et al. Experimental study on static characteristic of the coil-moveable electromagnetic drive for reactor control rod[J]. Nucl Power Eng, 2002, (Suppl): 231-233(in Chinese).

[3] 张继革, 吴元强, 张证明, 等. 控制棒新型电磁驱动机构动态特性实验研究[J]. 核动力工程, 2002, (增刊): 228-230.

ZHANG Jige, WU Yuanqiang, ZHANG Zhengming, et al. Experimental study on dynamic characteristic of the coil-moveable electromagnetic drive for reactor control rod[J]. Nucl Power Eng, 2002, (Suppl): 228-230(in Chinese).