

直动电磁阀电流变化对电磁场特性的 敏感性分析

刘潜峰, 薄涵亮, 秦本科

(清华大学核能与新能源技术研究院 先进反应堆工程与安全教育部重点实验室, 北京 100084)

摘要:控制棒水压驱动机构是由清华大学核能与新能源技术研究院发明的一项新型专利。直动电磁阀是该项技术的关键部件,它直接影响控制棒水压驱动机构的运行性能。本工作从电流和气隙两个方面,运用 ANSYS 电磁场分析软件,对直动电磁阀进行了电磁场特性分析,并进行了实验验证。分析结果表明:在电流增大或铁芯间气隙减少情况下,电磁力增大。并确定了电磁阀的工作电流大小。

关键词:控制棒水压驱动机构;电磁阀;电磁场;电流;气隙

中图分类号:TL362

文献标志码:A

文章编号:1000-6931(2009)S1-0330-04

Analysis of Electromagnetic Field of Direct Action Solenoid Valve With Current Changing

LIU Qian-feng, BO Han-liang, QIN Ben-ke

(Key Laboratory of Advanced Reactor Engineering and Safety of Ministry of Education,
Institute of Nuclear and New Energy Technology, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Control rod hydraulic drive mechanism (CRHDM) is a newly invented patent of Institute of Nuclear and New Energy Technology of Tsinghua University. The direct action solenoid valve is the key part of this technology, so the performance of the solenoid valve directly affects the function of the CRHDM. With the current and the air gap changing, the electromagnetic field of the direct action solenoid valve was analyzed using the ANSYS software, which was validated by the experiment. The result shows that the electromagnetic force of the solenoid valve increases with the current increasing or the gap between the two armatures decreasing. Further more, the working current was confirmed.

Key words: control rod hydraulic drive mechanism; solenoid valve; electromagnetic field; current; air gap

控制棒水压驱动机构^[1]是一种新型的内置
式控制棒驱动技术,驱动机构的运动通过直动

电磁阀发出的脉冲水流进行控制调节^[2]。电磁
阀具有重量轻、尺寸小、型式多样、动作时间极

快、电信号传输、便于与计算机连接等特点,因此被广泛运用^[3]。本工作运用 ANSYS 分析软件,对电磁阀在不同电流和铁芯间气隙工况下的电磁场特性敏感性分析,并进行实验验证。

1 计算模型

控制棒水压驱动系统中的电磁阀结构如图 1 所示,它主要由顶盖、动铁芯、定铁芯、大推杆、线圈上盖板、外壳、线圈、线圈下盖板等组成。其中,动铁芯和定铁芯材料为 1J50,大推杆材料为 1Cr18Ni9Ti,线圈上盖板和下盖板材料为 DT4C,外壳材料为 10 钢。电磁阀铁芯吸合面分为斜角和平角两种,它们的主要结构尺寸相似,但平角结构的大推杆嵌入动铁芯长度为 6 mm,且两铁芯间有环形密封结构,即动铁芯有凸面结构,静铁芯有凹面结构,环形结构高 3 mm,宽 0.5 mm。两者的线圈匝数均为 13 205 匝。由于直动电磁阀的输入电流为直流电 0.05~0.33 A,故电磁阀的磁场可视为静态磁场来分析。在不同电流和气隙参数工况下的电磁吸合力可通过 ANSYS 软件求解^[4]。

2 计算方案

基于电流大小和铁芯间气隙宽度以及铁芯吸合面结构组合成不同的计算工况进行计算,其中,输入电流为 0.25 A、铁芯吸合面分别为平角和斜角的两种工况为现有电磁阀的实际工况。

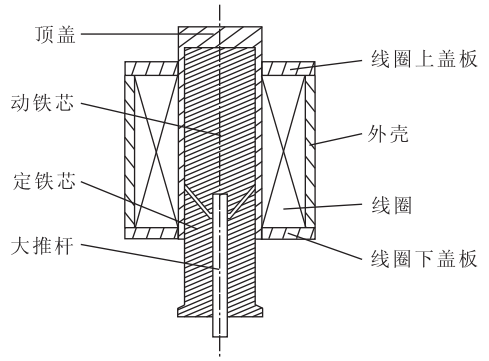


图 1 电磁阀结构示意图

Fig.1 Structure of solenoid valve

3 计算结果与分析

不同工况下的计算结果列于表 1。从表 1 可看出,电流增大,电磁力随之增大,当电流增至 0.25 A 时,电磁力趋于饱和;气隙减小,电磁力增大,电磁力达到饱和点的速度加快;在相同电流和相同气隙条件下,吸合面为平角结构的电磁阀动铁芯所受电磁力比斜角结构的电磁阀动铁芯所受电磁力大。

图 2 为电磁阀铁芯吸合面为斜角、铁芯间气隙为 2 mm 工况下,输入电流为 0.05 和 0.33 A 时的电磁场云图,即电磁力计算结果。由图 2 可知,电磁阀输入电流由 0.05 A 升至 0.33 A 时,磁通密度变大,电磁力由 8.20 N 增大为 236.77 N,电磁力变化剧烈。另外,铁芯软磁材料的饱和性导致电流增大到一定程度后,电磁力出现饱和现象。综合考虑经济性和控制因素,工作电流应选在出现拐点之前的某处,即 0.25 A。

表 1 不同计算工况下动铁芯所受电磁力

Table 1 Magnetic force of action iron under different conditions

电流/A	不同气隙宽度(mm)下平面结构和斜面结构的电磁力/N													
	3.0 mm		2.5 mm		2.0 mm		1.5 mm		1.0 mm		0.5 mm		0.25 mm	
	斜面	平面	斜面	平面	斜面	平面	斜面	平面	斜面	平面	斜面	平面	斜面	平面
0.05	6.61	9.44	7.43	8.89	8.20	8.50	9.32	9.66	10.97	11.74	13.06	19.14	14.63	30.08
0.10	26.43	30.81	29.72	30.72	32.81	33.01	37.29	41.21	43.91	55.05	52.24	89.04	58.47	127.14
0.15	59.291	62.23	66.56	66.21	73.32	75.19	83.01	96.62	97.109	142.51	114.36	214.6	126.92	300.01
0.20	103.33	104.37	115.22	115.47	125.75	141.52	140.06	174.8	158.82	241.12	178.42	377.47	191.68	498.37
0.25	158.44	156.32	154.52	177.19	173.91	209.22	187.87	269.36	204.74	360.51	221.26	517.25	233.12	638.07
0.29	181.14	197.32	186.66	232.75	203.45	273.29	213.16	343.3	229.3	441.61	247.89	598.84	258.5	720.31
0.33	200.17	258.16	200.18	287.67	236.77	340.05	235.35	407.35	252.4	500.11	278.56	673.38	278.85	780.92

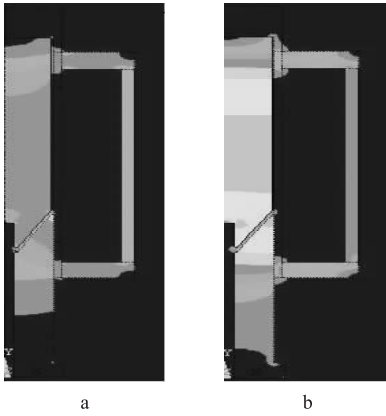


图2 不同电流工况下电磁阀磁通密度云图
Fig. 2 Diagram of magnetic flux density of solenoid valve under different currents
输入电流:a—0.05 A;b—0.35 A

图3为电磁阀铁芯吸合面为平角、输入电流为0.25 A工况下,铁芯间气隙分别为3和0.25 mm的电磁场云图,即电磁力计算结果。由图3可知,电磁阀铁芯间气隙由3 mm变为0.25 mm时,导致动铁芯受静铁芯所产生磁场的磁感应强度增加,从而电磁力由165.32.1 N升至638.07 N,电磁力变化剧烈。另外,铁芯间气隙减少,导致铁芯运动距离缩短,在电流增大情况下,电磁力趋于稳定的时间将变短,故电磁力较早达到饱和状态。

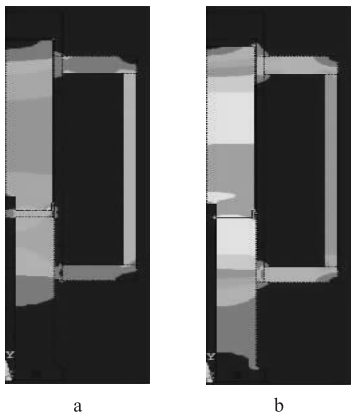


图3 不同气隙工况下电磁阀磁通密度云图
Fig. 3 Diagram of magnetic flux density of solenoid valve under different gaps
气隙长度:a—3 mm;b—0.25 mm

图4示出电磁阀铁芯间气隙为1 mm、输入电流为0.25 A时,铁芯吸合面分别为斜角

和平角的磁力线分布,即电磁力计算结果。由图4可知,电磁阀铁芯吸合面由斜角变为平角时,电磁力由204.74 N升至360.51 N。由于平角吸合面有环形密封结构,部分磁力线则被束缚到环形密封结构周围,从而减少了漏磁,导致磁通密度增加,故电磁力变大。因此,平面结构优于斜面结构。

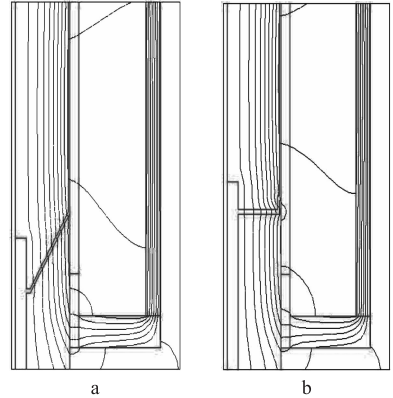


图4 不同结构工况下电磁阀的磁力线分布
Fig. 4 Distribution of magnetic flux line of solenoid valve under different conditions
a—斜角吸合面;b—平角吸合面

图5所示为电磁阀铁芯间气隙分别为3和2 mm、铁芯吸合面分别为平角和斜角工况下,输入电流由0.05 A升至0.35 A时的电磁力计算结果和实验结果。由图5可知,电流由0.05 A升至0.2 A时,计算结果与实验结果较为相近;当电流由0.2 A再升至0.35 A时,计算结果比实验结果偏大些,这是由于其他材料的非线性、实验温度及实验误差的影响所致。

4 结论

1) 电磁阀输入电流增加,电磁力增大,由于铁芯磁性材料的饱和性,导致电流增大到一定程度后电磁力趋于饱和。工作电流应选在饱和点较前处,即0.25 A。

2) 电磁阀铁芯间隙减少,电磁力增大,由于铁芯运动距离减少,在电流增大情况下,导致电磁力达到稳定的时间变短,故电磁力达到饱和点的速度加快。

3) 在相同电流和相同铁芯间隙条件下,若仅考虑电磁力的大小,铁芯吸合面为平角结构

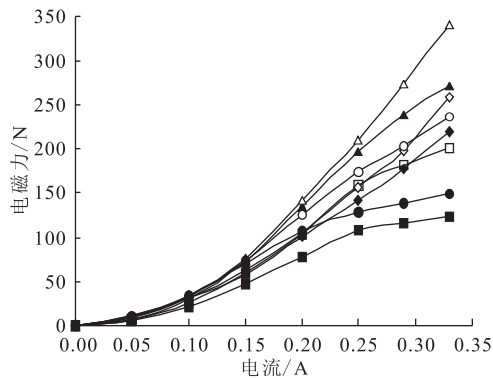


图5 不同电流和气隙工况下
电磁力的计算结果与实验结果的比较
Fig. 5 Comparison of magnetic forces
from calculation and experiment
under different conditions

- ◆——平面-铁芯间气隙 3.0 mm, 实验值;
- ◇——平面-铁芯间气隙 3.0 mm, 计算值;
- ▲——平面-铁芯间气隙 2.0 mm, 实验值;
- △——平面-铁芯间气隙 2.0 mm, 计算值;
- 斜面-铁芯间气隙 3.0 mm, 实验值;
- 斜面-铁芯间气隙 3.0 mm, 计算值;
- 斜面-铁芯间气隙 2.0 mm, 实验值;
- 斜面-铁芯间气隙 2.0 mm, 计算值

则优于斜角结构的电磁阀。

参考文献:

[1] 薄涵亮, 郑文祥, 王大中, 等. 核反应堆控制棒水

压驱动技术[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2005, 45(3): 424-427.

BO Hanliang, ZHENG Wenxiang, WANG Da-zhong, et al. Hydraulic control rod drive technology for nuclear reactors[J]. J Tsinghua Univ: Sci & Tech, 2005, 45(3): 424-427(in Chinese).

[2] 薄涵亮, 郑文祥, 董铎, 等. 水力驱动控制棒步动态过程的研究[J]. 核科学与工程, 2000, 20(4): 322-328.

BO Hanliang, ZHENG Wenxiang, DONG Duo, et al. Analysis on step action of hydraulic control rod driving[J]. Chinese Journal of Nuclear Science and Engineering, 2000, 20(4): 322-328(in Chinese).

[3] 蒋庆华, 李子. 电磁阀的特长和应用[J]. 自动化仪表, 1996, 17(4): 41-44.

JIANG Qinghua, LI Zi. Characteristic and application of solenoid valve[J]. Process Automation Instrumentation, 1996, 17(4): 41-44 (in Chinese).

[4] 刘潜峰, 薄涵亮, 秦本科. 直动电磁阀结构变化对电磁场特性的敏感性分析[J]. 原子能科学技术, 2008, 42(增刊): 689-693.

LIU Qianfeng, BO Hanliang, QIN Benke. Analysis of electromagnetic field of direct action solenoid valve with structure changing[J]. Atomic Energy Science and Technology, 2008, 42(Suppl.): 689-693(in Chinese).