

核燃料换料机载荷模拟器的设计与应用^①穆兆辉^{②*} 李卫东* 刘 晓*

(* 大连理工大学电气工程学院 大连 116024)

(** 中科华核电技术研究院电站工程改造与研究中心 深圳 518124)

摘 要 分析了核燃料换料机载荷系统称重传感器及信号变送器的原理,结合称重传感器桥式电路的特点,通过改变桥式电路的电位差,设计了一种载荷模拟器,以满足核燃料换料机载荷试验的需要。该模拟器采用电缆插头接入载荷系统,通过设计的开关,灵活开启/关闭,并实现粗调和微调功能,该载荷模拟器不仅适用于核燃料换料机,还适用于其他载荷测量领域,并且对基于桥式电路原理设计的电子传感器均适用。

关键词 核燃料换料机, 载荷模拟器, 电桥, 传感器

0 引言

核燃料换料机^[1-3]也称为装卸料机,是大型压水堆核电站核燃料组件装卸的必需设备,用于在反应堆堆芯和传输系统(燃料转运装置)之间运输核燃料组件。为保证核燃料组件的安全,换料机设计了载荷(重量)系统,载荷系统实时监测核燃料组件的载荷,避免夹爪空抓、误抓及核燃料组件的刮蹭和挤压。目前,国内外的换料机产品载荷系统的设计基本相同^[4-8]。载荷系统的称重传感器检测夹爪载荷并将载荷信号输入到信号变送器,信号变送器将信号处理后输入显示仪表和可编程逻辑控制器(programmable logic controller, PLC),换料机通过 PLC 对载荷进行监测,根据载荷值判断换料机的无载、有载、超载、欠载、绝对超载和绝对欠载。换料机不仅出厂试验时要对载荷系统进行试验,每次卸料前(换料机在每次大修装料完成后,全部电气和控制设备需要拆除,下次大修卸料前重装),都要对载荷保护功能进行测试,特别是无载条件下模拟有载测试和带载条件下的载荷保护测试。由于换料机使用的特殊性,无法使用砝码等重物测试,而且核岛内环境也不允许使用砝码测试,如何进行试验是制约换料机载荷测试的一个难题,故需要采用其他合理的方法进行载荷试验。本研究根据核燃料换料机载荷

试验的需要,结合称重传感器桥式电路的特点,通过改变桥式电路的电位差,设计了一种便携式载荷模拟器,用于模拟换料机在最大载荷内的任何载荷值。

1 换料机载荷系统

1.1 载荷装置原理

载荷装置通常由称重传感器和信号变送器组成,称重传感器输出毫安或毫伏信号,经过信号变送器进行处理后,输出需要的电压或电流信号。

称重传感器通常采用 4 个阻值相等的应变电阻片构成桥式电路,如图 1 所示。称重传感器工作原理需从以下方面考虑:

(1) 无载荷时,4 个应变电阻相等,可表示为

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R \quad (1)$$

A 点和 C 点电压为

$$U_A = U_C = \frac{1}{2}U_{IN} \quad (2)$$

输出电压为

$$U_{OUT} = U_A - U_C = 0 \quad (3)$$

(2) 载荷作用于传感器时,传感器内部应变电阻片受力产生形变,形变使应变电阻阻值变化,阻值变化使电桥 A、C 点电位差发生变化,即

$$U_A \neq U_C \quad (4)$$

① 863 计划(SQ2010AA0401265006)资助项目。

② 男,1982 年生,博士生,高级工程师;研究方向:核电站工程改造,核电设备国产化研究;联系人,E-mail: mzh502@qq.com (收稿日期:2013-12-04)

输出电压不等于 0 且与载荷成正比,即

$$U_{OUT} = U_A - U_C \neq 0 \quad (5)$$

$$U_{OUT} \propto G_{LOAD} \quad (6)$$

(3)输出的电压信号 U_{OUT} 也可根据需要转变为电流信号 I_{OUT} 。

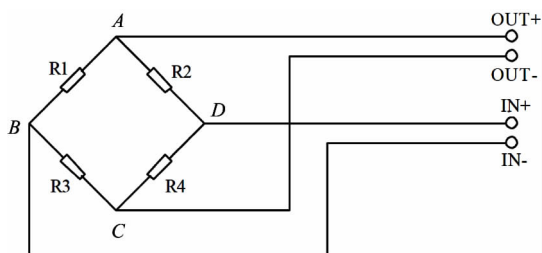


图 1 称重传感器内部电路原理图

信号变送器内部电路设计差异较大,不同厂家根据自身产品特点及功能进行不同的设计,但原理相同:对称重传感器输入信号处理后,输出需要的模拟量电压或电流信号、保护功能信号、不同协议信号(如 RS232 等)、继电器信号等。

1.2 换料机载荷系统设计

目前,国内外换料机产品载荷系统的设计基本相同,并且为提高安全性,均采用冗余设计,同时工作。单套系统如图 2 所示。

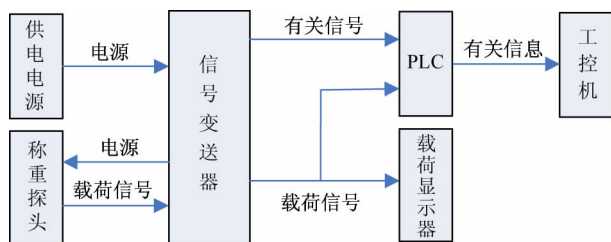


图 2 载荷系统系统原理图

图 2 中,供电电源给信号变送器供电,信号变送器经过内部变压装置,给称重传感器供电,称重传感器将载荷信号输入信号变送器,信号变送器对载荷信号进行处理后,输出载荷信号和其他有关信号(如保护信号、继电器信号、RS232 信号等),载荷信号输入给载荷显示器和 PLC,有关信号输入给 PLC,载荷显示器对输入的载荷信号处理后显示载荷值,PLC 对载荷信号和有关信号处理后,用于载荷保护,并将有关信息在工控机上显示。

1.3 载荷系统试验

换料机通过 PLC 对载荷进行监测,根据载荷信号和其他相关信号判断换料机的无载、有载、超载、欠载、绝对超载和绝对欠载。

换料机每次装卸料前,要将电控系统恢复,每次恢复后,要对载荷保护功能进行试验和测试,特别是无载条件下模拟有载测试和带载条件下的载荷保护测试。

2 载荷模拟器设计

2.1 载荷模拟器设计原理

载荷模拟器的基本原理是改变称重传感器内电桥的阻值,使 A、C 点的电位差变化,进而改变输出的载荷信号值,基本原理图如图 3 所示。

图 3 中,载荷模拟器内部电阻 R_5 接入 B、D 两点,滑动触点与 A 点相连,通过调节滑动触头,可以改变 A 点电位,而 C 点电位不变,因此 A、C 两点的电位差发生变化,从而实现载荷模拟器的调节功能。

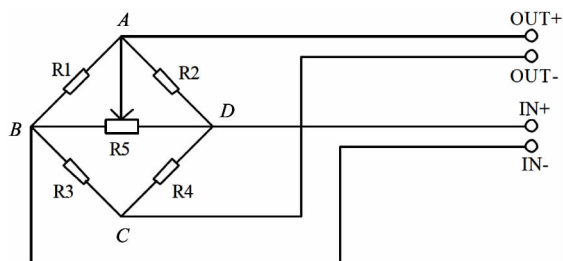


图 3 载荷模拟器基本电气原理图

2.2 载荷模拟器功能设计

2.1 节中只介绍了基本原理,还需要对载荷模拟器的功能进行完善,以方便使用。

(1)粗调和微调功能

图 3 中,若载荷模拟器内的电阻 R_5 只设计一个,在调节 R_5 时,信号改变过快,无法实现小范围内的调节,即只能粗调不能微调。为实现粗调和微调功能,将 R_5 设计为两个旋转电位器,如图 4 所示。

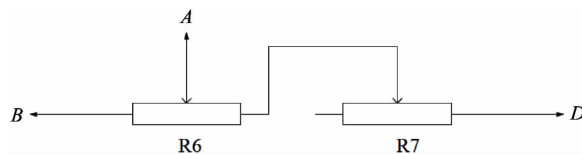


图 4 载荷模拟器内部电阻

图 4 中电阻 R_6 和 R_7 代替图 3 中的电阻 R_5 , R_6 进行粗调, R_7 进行微调, R_6 和 R_7 解决了电阻 R_5 无法微调的缺陷,可使载荷模拟值的调整快速、精确。

(2) 开关功能

为便于载荷模拟器对称重设备的控制,设计了开启/关闭开关,开关设计在传感器输入电源点,该点可使载荷模拟器灵活接入载荷系统,并可以可靠控制载荷模拟器的开启和关闭。

载荷模拟器与称重设备的电气连接原理图如图 5 所示。

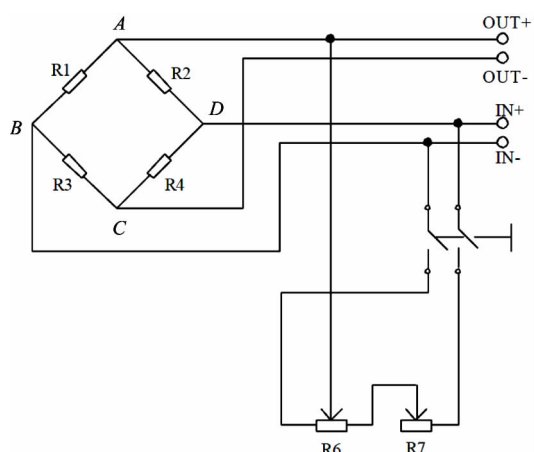


图 5 模拟器与称重设备电气连接图

2.3 载荷模拟器电阻阻值选择

由于无载时,称重传感器内部 4 个应变电阻片的阻值相等,故载荷模拟器内的电阻推荐值为

$$R_6 = R_7 = R \quad (7)$$

载荷模拟器和称重传感器的阻值相等,可对称重传感器和供电电源进行有效保护,便于载荷模拟器内部电阻的选型,也利于微调 and 粗调的控制;若载荷模拟器内电阻阻值过大,可能无法实现载荷的全范围模拟;阻值过小可能烧毁称重传感器或对供电电源造成影响。

3 载荷模拟器的使用和推广

3.1 载荷模拟器的使用

载荷模拟器如图 6 所示。载荷模拟器采用电缆插头接入,方便快捷。电缆采用带屏蔽的数据电缆,线芯两两相绞,屏蔽良好接地。电位器旋钮和控制开关设计在操作盒上,拨动开关可开启/关闭载荷模拟器;载荷模拟器开启后,通过电位计旋钮实现微调 and 粗调功能。载荷模拟器不需改变核燃料换料机载荷系统设计,可根据试验和使用要求接入,能够模拟最大载荷内的任何载荷值,并且易于携带。



图 6 载荷模拟器

3.2 载荷模拟器的推广

载荷模拟器是基于核燃料换料机设计的,但载荷测量装置使用的称重传感器的设计原理是一致的,故该载荷模拟器在原理上同样适用于其他载荷测量领域,如起重机行业等。(对不同的传感器,需要配以不同的 R_6 和 R_7 阻值)

称重传感器是一种较为普通的传感器,很多传感器的设计原理与称重传感器的设计原理一致,是基于桥式电路原理设计的,故该载荷模拟器对基于桥式原理设计的传感器均适用,如压力、温度等。

4 结 论

本文根据核燃料换料机载荷试验的需要,结合称重传感器桥式电路的特点,通过改变桥式电路的电位差,设计了一种便携式载荷模拟器,该模拟器采用电缆插头接入载荷系统,通过设计的开关,灵活开启/关闭,并实现粗调和微调功能,能够模拟换料机在最大载荷内的任何载荷值。

该载荷模拟器不仅适用于核燃料换料机,还适用于其他载荷测量领域,并且对基于桥式电路原理设计的传感器均适用。

参考文献

- [1] 穆兆辉. PMC 系统换料机整体设计和传输系统改造: [硕士学位论文]. 大连: 大连理工大学, 2008. 10-15
- [2] 李春长. 岭澳核电站 PMC 核燃料装卸贮存系统升级改造评估与实施相关的若干问题研究[硕士学位论文]. 上海: 上海交通大学, 2009. 1-10
- [3] 陈济东. 大亚湾核电站系统及运行. 北京: 原子能出版社, 1994. 20-45
- [4] 苏林森, 杨辉. 900MW 压水堆核电站系统与设备. 北

- 京:原子能出版社, 2004. 20-25
- [5] 刘继国, 孙德刚. 100MW 高温气冷实验堆燃料元件装卸系统设计. 高技术通讯, 1996, 6(5): 51-55
- [6] 梁锡华, 黄鹏. HTR—10 燃料元件装卸系统冷态调试. 核动力工程, 2002, 23(1): 54-56, 59
- [7] Hennings U. Fuel handling system for core elements of a pebble-bed reactor. *Nuclear Apply Technology*, 1969, 7: 334-341
- [8] Muncke A. Graphite ball detectors for the fuel handling machine of a helium-cooled pebble bed reactor. *Kernteknik*, 1976, 18: 201-206

Design and application of a load simulator for nuclear fuel manipulator cranes

Mu Zhaohui^{***}, Li Weidong^{*}, Liu Rao^{*}

(^{*} College of Electrical Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024)

(^{**} Engineering Modification Center, China Nuclear Power Technology Research Institute, Shenzhen 518124)

Abstract

The principles of the load sensor and the signal transmitter of a nuclear fuel manipulator crane's load system were analyzed, and according to the characteristics of the load sensor's bridge circuit, a load simulator was designed by adjusting the potential difference of the bridge circuit to meet the needs of the load test for a nuclear fuel manipulator crane. The simulator can be connected to a load system with a plug. It can be flexibly switched to on/off, and the function for coarse and fine tuning can also be achieved. The simulator can be applicable to nuclear fuel manipulator cranes and other electronic sensors based on bridge circuits.

Key words: nuclear fuel manipulator crane, load simulator, bridge circuit, sensor