

文章编号: 1007-4627(2014)01-0048-05

# HIRFL-CSR 故障诊断报警电路设计

周德泰<sup>1</sup>, 王彦瑜<sup>1</sup>, 李运杰<sup>1</sup>, 赵高超<sup>2</sup>, 尹佳<sup>1</sup>

(1. 中国科学院近代物理研究所, 兰州 730000;

2. 西北师范大学, 兰州 730070)

**摘要:** 针对兰州重离子加速器冷却储存环 (HIRFL-CSR) 复杂的现场环境和对现场故障精确检测报警的迫切需求, 以 TI 公司的 MSP430 混合信号处理器为核心, 采用负反馈电路稳定工作点, 并结合 RS-485 现场总线技术完成了故障诊断报警电路的设计。结果表明: 该诊断报警电路具有稳定性好、灵敏度高、耗电量小、价格低、使用方便、定位精确的优点, 适合各种复杂的工作环境, 可广泛应用于开关量诊断报警。现已成功应用于 HIRFL-CSR 漏水检测报警系统中。

**关键词:** MSP430; 现场总线; 负反馈; 故障诊断; 漏水检测

**中图分类号:** TL56; TM13      **文献标志码:** A      **DOI:** 10.11804/NuclPhysRev.31.01.048

## 1 引言

HIRFL-CSR (兰州重离子加速器冷却储存环) 是一台全离子重离子加速器<sup>[1]</sup>, 由 ECR 离子源、扇聚焦回旋加速器、分离扇回旋加速器、放射性束流线、冷却储存环主环和实验环等主要设施组成, 是开展重离子物理及交叉学科研究的重大装置。加速器冷却循环水系统是加速器正常运行的基本条件, 沿束流管线布放着错综复杂的水管道, 由于各种原因, 时常会发生跑、冒、滴、漏水现象, 严重者会造成加速器停运, 带来的损失不可估量。为解决这一问题, 我们曾沿束流线管道布放感应电缆作为检测漏水的终端, 但始终无法精确定位漏水点。为此我们设计了功能较为完善的故障诊断报警电路, 主要针对具有开关量的设备, 采用现场总线结合以太网技术, 实现故障检测定位现场报警, 实时上传测量数据提供远程监视等功能。能够防患于未然, 对设备故障早发现早处理, 以提高整体运行效率。该电路现已成功应用于 HIRFL-CSR 漏水检测报警系统中, 运行维护人员可以方便地获得整个系统中全部监测点的运行情况, 并多次成功预警, 将损失最小化。自 2010 年在 HIRFL-CSR 现场投入运行

以来, 该诊断报警电路工作可靠稳定、灵敏度高、耗电量小、价格低、使用方便, 适合各种复杂的工作环境, 可以精确地探测漏水的具体方位, 实现远程以及现场声光报警信息的功能。

## 2 总体结构

HIRFL-CSR 漏水报警系统由漏水诊断报警电路和传感器两部分组成, 采用现场总线和以太网连接的方式分别将报警器电路与传感器连接。如图 1 所示, 诊断报警器电路包括: 信号放大电路、电子开关、电源电路、蜂鸣器电路、微处理器电路和 RS-485 通信电路; 传感器包括: 覆铜板制成的多环圆形或者多边形互套探头、连线及插头<sup>[2]</sup>。电源电路为微处理器电路和信号放大电路提供正常工作所需的电压, 探头通过导线与信号放大电路的接口连接。该诊断报警电路可通过拨码开关可以来设置唯一的地址码, 微处理器分析处理八通道的漏水检测信号, 将诊断信息连同地址码经过 RS-485 串行总线, 经网关直接上传到中央控制机进行在线监视。当出现漏水情况时, 系统会发出报警。

收稿日期: 2013-03-02; 修改日期: 2013-05-09

基金项目: 中国科学院重大科学工程运行维护经费 (06HIRLL100)

作者简介: 周德泰(1982-), 男, 甘肃景泰人, 工程师, 从事核技术及应用、加速器自动化控制与电子技术应用研究;

E-mail: zhoudet@impcas.ac.cn.

<http://www.npr.ac.cn>

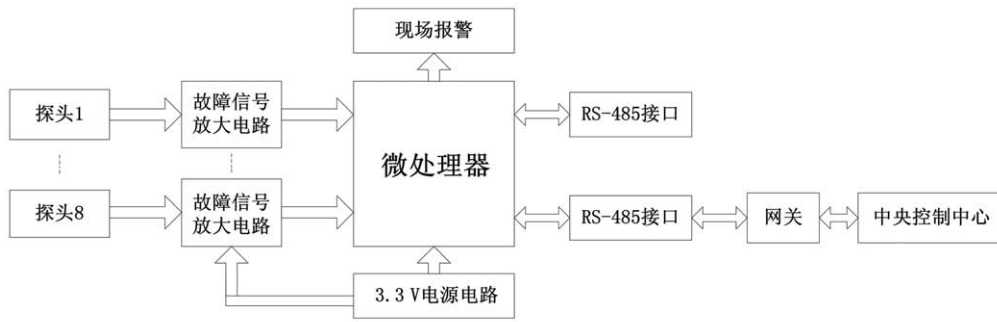


图 1 电路结构图

为了实现远程监测预警的目的,从而提高整体运行效率,我们设计了一套功能较为完善的故障诊断报警系统。诊断信息(故障、正常等)通过 RS-485 总线送给网络模块,其检测网络模块采用混合信号处理器为核心设计的检测报警网络模块,按照设备分布的特点,采用现场总线和以太网连接方式把报警器电路与传感器连接起来,在前端服务器的支持下,将获得的现场数据实时而直观地显示在中控室的显示屏上,可以方便地获得整个系统中全部检测点的运行情况,指示出具体位置的故障报警信息。故障处理完毕后,擦干或者更换传感器,准备下一次工作。在 HIRFL-CSR 运行的跑、冒、滴、漏水检测中,采

用这种方式,即可实现了 HIRFL-CSR 大范围的漏水情况的远程监测。

### 3 电路设计

该故障诊断报警电路的特征是故障信号放大器采用负反馈电路稳定工作点,采用微处理器分析处理八通道的故障信号,将现场诊断的信息通过 RS-485 总线送给网络模块,经以太网把信息自动更新并发送给远程上位机读出显示,若发现故障则报警。同时,现场提供声光报警,指示具体通道的报警信息。图 2 是电路 PCB 与组装的实物图。

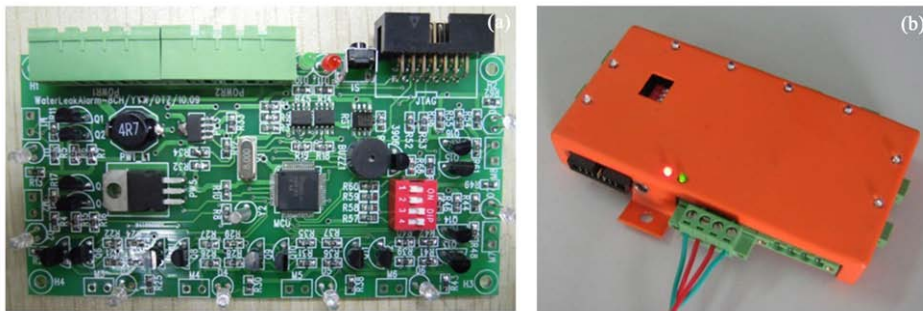


图 2 (在线彩图) 电路实物图

在 HIRFL-CSR 漏水检测系统中,多环圆形探头与故障诊断报警器的信号放大电路连接,信号经过故障信号放大电路传输。如图 3 所示,如果探头上没有漏水,  $Q_1$  得不到正偏压不能导通,  $Q_2$  由于  $Q_1$  截止而截止。当水漏到探头上就会有一个漏水造成的“电阻”,此电阻通过探头将一个正电压加到  $Q_1$  的 BE 之间,  $Q_1$  得到正偏置而饱和导通,使  $Q_2$  得到负偏置而导通,此时,通过  $Q_2$  的饱和压降得到的电压送给微处理器电路。故障信号放大器采用负反馈电路 ( $R_7$ ) 稳定工作点。

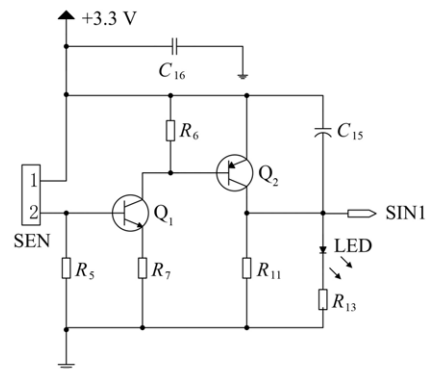


图 3 单路故障信号放大电路

基于现场的实际情况，诊断报警器设计了 485 通信电路，模块之间方便级联，信息通过 RS-485 总线实时上传，如图 4 所示。

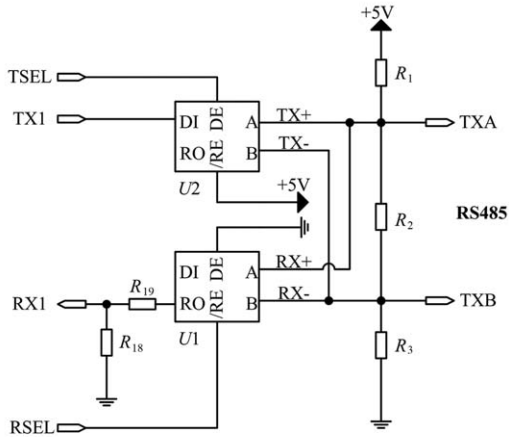


图 4 485 电路

每个故障诊断报警电路设计了 2 个 485 接口，采用美国 Maxim 公司的 MAX485 接口芯片，MAX485 是用于 RS-485 与 RS-422 通信的低功耗收发器。可以实现最高 2.5 Mbps 的传输速率。多个报警器之间通过 485 接口级联。每个故障诊断报警器可以连接 8 个探头，微处理器分析处理 8 通道的故障信号，并将诊断的信息(漏水或正常等)通过 RS-485 总线送给网络模块。同时，报警器的 8 个通道分别设计了 8 个发光指示灯。当现场的某一处漏水时，探头上有漏水，传感器因为水的原因发生“短路”，电阻值发生变化，数据收发模块把相应的数据传给上层界面，上层界面根据所发来数据的异同确定漏水点，漏水信号放大器开始工作，使电子开关处于饱和导通，将信息送给微处理器分析处理，指示灯被点亮，微处理器驱动蜂鸣器发出声音，在现场提供声光报警，指示出具体位置的报警信息，如图 5 所示。

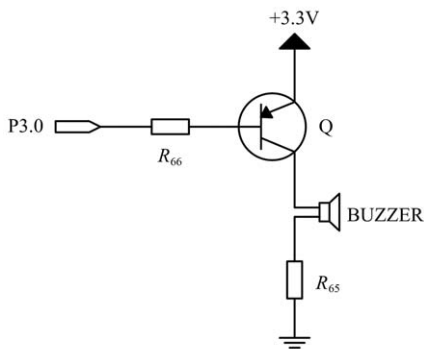


图 5 报警电路

### 4 软件设计

软件采用 16 位混合信号微处理器 MSP430F149 为核心实现实时多路故障检测报警电路的设计。MSP430 系列单片机具有集成度高、功能丰富、功耗低等技术特点，被广泛应用于各个领域<sup>[3]</sup>。

在对 MSP430 芯片进行程序设计的过程中，考虑到程序开发效率及可维护性，采用模块化设计方法，力求程序结构清晰，以便今后进一步扩展系统的功能。其模块程序由主程序、USART 初始化、P 口初始化、数据处理模块和通信模块等组成。图 6 为主程序流程图，上电后程序完成初始化，之后进入巡回检测模式，将检测到的信息经由微处理器分析判断之后上传。

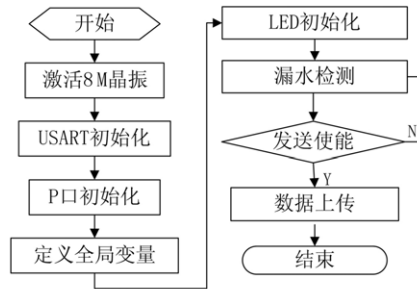


图 6 主程序流程图

数据通过网络上传至控制室，软件流程图如图 7 所示。上层计算机获取现场实时数据后，首先对其进行数据解析，如果发现报警数据，人机交互界面发出声光报警，如果不是报警数据，那么数据就是一个正常的流入，不会触发界面报警。若报警数据持续不断地传递过来，则界面就会一直处于报警状态。当数据

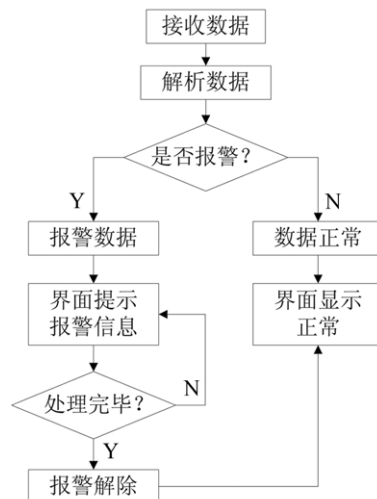


图 7 上层软件流程图

由报警数据恢复成正常的的数据时,报警状态也随之解除,界面恢复正常的状态。

人机交互界面采用力控组态软件设计完成,坚持可操作性强、显示直观、安全性高等原则。图 8 所示为控制室运行的监控界面。该图按照 HIRFL 系统的实际分布情况所设计,满足了直观性的设计要求。将漏水传感器模拟为形象化的红色和绿色的圆形报警灯,将数据控制模块模拟为黄色的方块标记,并按照

具体的报警区域,给出相对应的总的报警灯。绿色的圆形报警小灯,代表着一个个具体部署到现场的漏水传感器,黄色的模块代表着当处于正常状态时的数据控制模块,大的绿色报警灯就是所代表的报警区域,当从现场硬件系统采集到的数据是正常的的数据时,传感器与报警区域呈现出绿色,数据控制模块呈现出黄色,当有报警数据传上来时,它们就会被触发而呈现出红色。

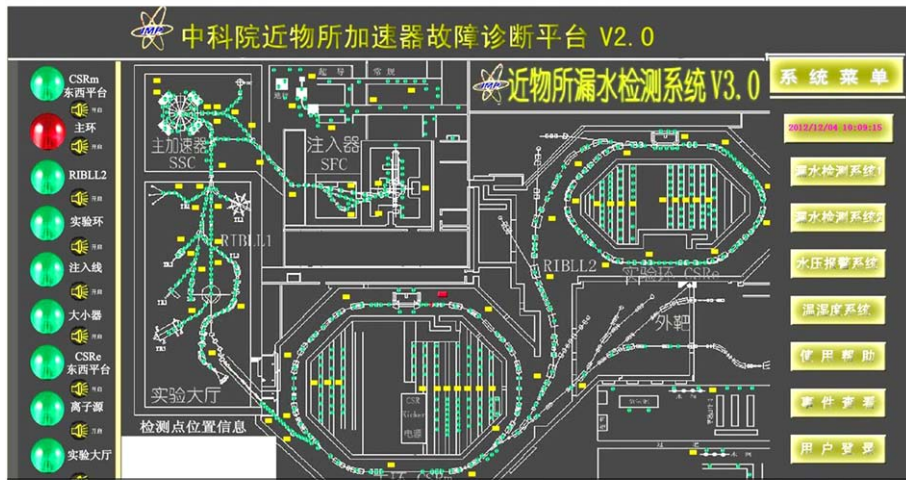


图 8 (在线彩图) 控制室运行的界面

控制室运行的人机交互界面,不但能进行准确的声、光报警,列出报警记录,还能对报警记录进行详细的、实时与历史的查询。漏水检测系统能精确地定位出漏水的确定位置,可以第一时间让值班人员获知漏水信息,很好地保障了加速器的正常运行,避免了因漏水而造成在线设备的损坏。

## 5 结论

该故障诊断报警电路采用现场总线和以太网技术相结合的方式实现了对 HIRFL-CSR 全程大范围漏水检测。若发现漏水,现场提供声光报警,指示具体通道的报警信息。采用 3.3 V 低电压供电模式,使功耗大大降低。该电路使用方便,性价比较高,工作稳定性强,可以精确地检测到漏水的具体方位,解决了现有技术中检测不精确、或造价过高的问题,具有很强的社会应用价值与经济效应。现已成功应用于 HIRFL-CSR 漏水检测报警系统中,共计布放约 1200 点,150 个模块,成功实现了预警和报警,起

到了防患于未然的作用,为加速器的正常运行提供了基本保障。

## 参考文献:

- [1] XIA Jiawen, ZHAN Wenlong, WEI Baowen, *et al.* Nuclear Physics Review, 2001, **18**(1): 35. (in Chinese)  
(夏佳文, 詹文龙, 魏宝文, 等. 原子核物理评论, 2001, **18**(1): 35.)
- [2] WANG Yanjing. Multifunctional Music Urine Alarm[P]. Chinese Patent: 92240543. 3, 1994-04-27.  
(王彦景. 多功能音乐溺尿报知器[P]. 中国专利: 92240543. 3, 1994-04-27.)
- [3] WANG Yanyu, GUO Yuhui, LI Xiaoqiang *et al.* The Vacuum System Controller Based on MSP Mixed Signal Processor-VAC400[C]. The Eleventh National Conference of Computer Application in the Field of Modern Science and Technology, 2003(11): 216-221.  
(王彦瑜, 郭玉辉, 李小强, 等. 基于MSP混合信号处理器的真空系统控制器-VAC400[C]. 第十一届全国计算机在现代科学技术领域应用学术会议论文集, 2003(11): 216-221.)

## Design of the Fault Diagnosis Alarm Circuit for HIRFL-CSR

ZHOU Detai<sup>1, 1)</sup>, WANG Yanyu<sup>1</sup>, LI Yunjie<sup>1</sup>, ZHAO Gaochao<sup>2</sup>, YIN Jia<sup>1</sup>

(1. *Institute of Modern Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China;*

2. *Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China*)

**Abstract:** In view of the complexity environment and the urgent need of field fault diagnosis for Heavy Ion Research Facility in Lanzhou-Cooling Storage Ring (HIRFL-CSR), the detection alarm circuit for equipment fault is designed by using TI's MSP430 mixed signal processor, and using negative feedback to the stability of the circuit, and combining with RS-485 field bus technology. The hardware system is introduced mainly in this paper, including the constitution and the working principle of the system, the function of the controller, the design of hardware and software. The circuit have the characteristics of fast response, high accuracy, good stability, high reliability, strong adaptability and ascendant quality-to-cost, etc. It can be widely used in the fields of switch quantity diagnosis and alarm system. It has been successfully used in the leakage detection alarm system of HIRFL-CSR.

**Key words:** MSP430; field bus; negative feedback; fault diagnosis; leakage detection

---

**Received date:** 2 Mar. 2013; **Revised date:** 9 May 2013

**Foundation item:** Operation and Maintenance Foundation for Major Scientific Projects of Chinese Academy of Sciences (06HIRLL100)

1) E-mail: zhoudet@impcas.ac.cn.

<http://www.npr.ac.cn>