

氢同位素分离装置信号调理系统的优化

谢波¹, 侯建平¹, 官锐¹, 杨东良²

(1. 中国工程物理研究院核物理与化学研究所, 四川绵阳 621900;
2. 成都纽特伟业科技有限责任公司, 四川成都 610041)

摘要: 通过采取不同的接线方式和测量方法对氢同位素分离装置信号调理系统(SRS)进行对比实验。实验结果表明, 差动输入运放补偿三线方式是改善信号测量的最佳方法, 其精度最高, 现场布线较少, 无特殊要求, 有能力实现信号调理系统的优化。

关键词: 信号调理; 接线方式; 对比; 电阻

中图分类号: TN405.96 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6931(2005)04-0377-04

Optimization of Signals Regulation System of Hydrogen Isotope Separation Unit

XIE Bo¹, HOU Jian-ping¹, GUAN Rui¹, YANG Dong-liang²

(1. Institute of Nuclear Physics and Chemistry, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, China; 2. Chengdu Nuteck Science and Technology Co. Ltd., Chengdu 610041, China)

Abstract: The comparison experiments of signals regulation system of hydrogen isotope separation unit by using different link-wire ways and measurement methods are studied. The result shows that lead-resistance compensation using a 3-wire resistive sensor and two differential amplifiers is the best way to improve measurement and can realize optimization because of the highest accuracy and few arrange-wires and without specific requirements.

Key words: signals regulation; link-wire ways; comparison; resistance

气相色谱法是众多研究者认同的一种氢同位素分离的经典方式^[1], 其分离装置的自动控制系统是实现色谱柱单元长期、连续、安全运行的根本保证, 而高性能的仪器级信号调理系统(SRS)是控制系统的核心组件。实验用分离装置的加热器和电磁阀数量庞大, 系统的温度测试点和电压信号输入-输出点较多, 为了保证系统的可靠性和扩展性, 选用 NI (national instruments) 公司的 DAQ + SCXI (data acquir-

sition + signals conditioning xeno-extension for instruments) 方式进行系统核心硬件配置, 从而实现对热电偶 (thermal couple, 简称 TC) 信号、电阻温度仪器 (resistance temperature device, 简称 RTD) 信号和电压信号的测量。SCXI 信号调理系统由一系列的高密度信号调理模块组成, 不同的模块针对不同的信号进行测量。在对 RTD 信号进行调理时, 需不同的模块配合实现, 而模块间的具体接线方式和测

收稿日期: 2003-12-17; 修回日期: 2004-02-16

作者简介: 谢波 (1975 -), 男, 四川隆昌人, 助理研究员, 硕士, 物理化学专业

量方法将直接影响信号测量的精度、现场布线要求和操作的劳动强度。本工作旨在通过采取不同的接线方式和测量方法,进行信号测量结果对比,以找出最佳接线方式和测量方法,从而实现 SCXI 信号调理系统的优化,保证氦同位素分离装置处于良好的作业状态。

1 信号调理系统的硬件配置

SCXI 信号调理系统的基本硬件是前置的 12 槽信号调理机箱,现场信号连接在 SCXI 系统上。SCXI 系统和 PCF-MIO-16E-4 的连接通过接口套件 SCXF-1349 来实现。系统的基本连接示于图 1。

图 1 中需说明的是:SCXF-1102 既是高密度的 TC 信号调理模块,也是高密度的 Milli-volts/ Volts 信号调理模块,每模块 32 通道,每通道均带有 2 Hz 的低通滤波。当输入范围设定为 ± 10 mV (对应放大倍数 100) 时,可接入 J、K、T、E、R、S、N、B 或者定制的一切 TC,特别适合 TC 信号的预处理;当输入范围设定为 ± 10 V (对应放大倍数 1) 时,可直接接入来自变送器的标准电压信号。SCXF-1581 是高密度的电流激励模块,每模块有 32 个 $100 \mu\text{A}$ 的恒流源,尤其适合 RTD 测温的激励。SCXF-1163R 是固态继电器输出的光电隔离数字模块,用于电动阀门的控制。因此,单独使用 SCXF-1102,可实现对 TC 和标准电压信号的测

量。若需对 RTD 信号进行调理,则必须采用 SCXF-1102 和 SCXF-1581 配合来实现,接入 40 个 RTD 信号后,SCXF-1102 余下的通道可用于标准电压信号的测量。采用 TC 测温时,为了得到更精确的结果,须进行冷端补偿。本实验选用 SCXF-1300 模块,并带有 CJC (cold junction compensation) 的螺丝端子,使得测试中的接线相对方便。

2 RID 测试过程与讨论

2.1 四线法方式

对 RTD 信号采取四线法方式时,与 SCXF-1581 和 SCXF-1102 两模块的接线示于图 2。从图 2 可看出:当 RTD 按四线法接线时,连接激励恒流源和测量的仪用运放分别需使用不同的一对现场引线,因仪用运放的输入阻抗很高,流过的电流可忽略不计,因此,测量的电压仅为 RTD 两端的电压。此时,虽不要求 4 只引线电阻相等,但所需现场接线很多,布线十分困难。

2.2 两线法方式

对四线法方式接线图简化便可得到两线方式接线示意图(图 3)。

RTD 信号按两线法方式进行测量时,测量电压引入的误差记为 V_E ,它的大小为引线电阻 ($R_{L1} + R_{L2}$) 和激励电流 I_{EX} 的乘积。即:

$$V_E = (R_{L1} + R_{L2}) I_{EX}$$

此方式不要求 2 条引线电阻相等,与四线

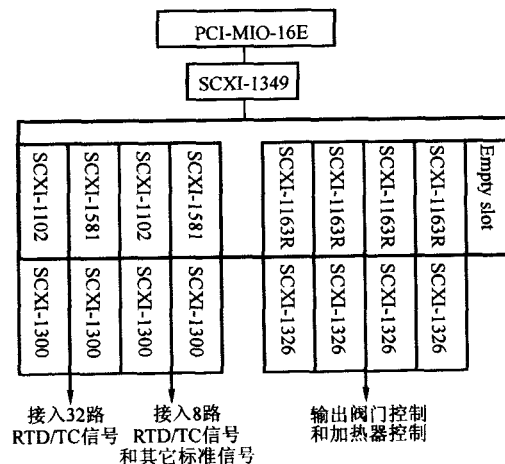


图 1 信号调理系统连接示意图

Fig. 1 Link diagram of signal regulation system

法方式比较,其测量电压的误差增大,测量精度大大降低,需要的接线数量不变,但现场接线减少一半。

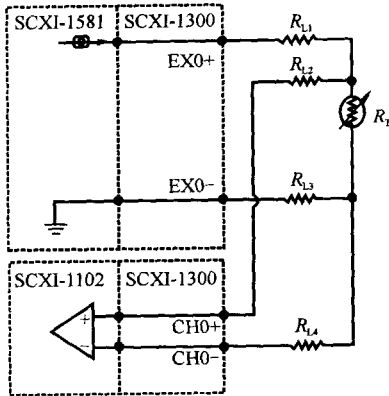


图2 四线法方式接线示意图

Fig. 2 Link diagram of 4-wire configuration

R_{L1} 、 R_{L2} 、 R_{L3} 和 R_{L4} 不一定相等

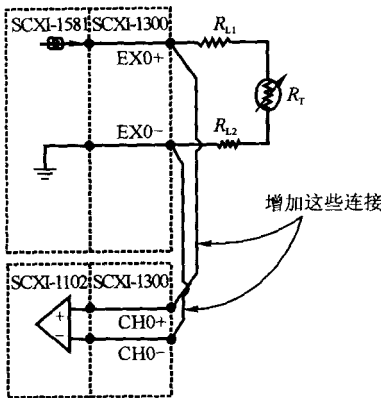


图3 两线法方式接线示意图

Fig. 3 Link diagram of 2-wire configuration

R_{L1} 和 R_{L2} 引入测量误差

2.3 三线 RTD 按两线法接线方式

三线 RTD 按照两线法接线时和 SCXF-1581、SCXF-1102 的接线示意图示于图 4。

与图 2、3 对照可发现,三线 RTD 按照两线法方式接线的最大优点在于,SCXF-1581 和 SCXF-1102 之间的每个通道仅需 1 根跳线,并可将测量的系统误差减少到两线法时的约 1/2,测量精度约为两线法时的 1/2,此时的电压误差为:

$$V_E = R_{L1} I_{EX}$$

2.4 恒流源补偿三线方式

恒流源补偿三线方式的原理是采用两匹配

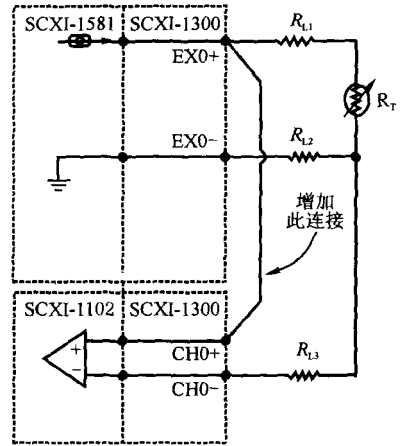


图4 三线 RTD 按照两线法接线方式示意图

Fig. 4 Link diagram of 3-wire RTD connected in a 2-wire configuration

R_{L1} 引入测量误差

的恒流源来补偿三线 RTD 的引线电阻,两个恒流源在 R_{L3} 上形成的电压成为仪用运放的共模电压后被抑制, R_{L1} 和 R_{L2} 上的电压在测量回路中大小相等、方向相反,从而被去除。恒流源补偿三线方式要求引线电阻 R_{L1} 和 R_{L2} 相等,在 SCXF-1581 和 SCXF-1102 之间的每个通道上仅需 1 根跳线,其测量精度的高低取决于两恒流源匹配的程度。此时,RTD、SCXF-1581 和 SCXF-1102 的接线示意图示于图 5。

2.5 差动输入运放补偿三线方式

差动输入运放补偿三线方式是利用两个差动输入运放来补偿三线 RTD 的引线电阻 (R_T),接线示意图示于图 6。此时,两个运放的测量值 V_1 和 V_2 分别为:

$$V_1 = V_{R_{L1}} + V_{R_T} = (R_{L1} + R_T) I_{EX}$$

$$V_2 = V_{R_{L2}} = R_{L2} I_{EX}$$

当 R_{L1} 和 R_{L2} 相等时,从 V_1 中减去 V_2 则可消除引线电阻对测量结果的影响,因此,采用这种方式的测量精度高。

3 讨论

对上述 5 种测量方法进行比较,结果列于表 1。为了确保系统长期稳定和可靠运行,应尽量减少现场引线数量以提高测量精度。从表 1 不难看出,差动输入运放补偿三线方式是最优化方法,测量精度最高,现场布线较少,特殊要求易实现,系统维护方便。

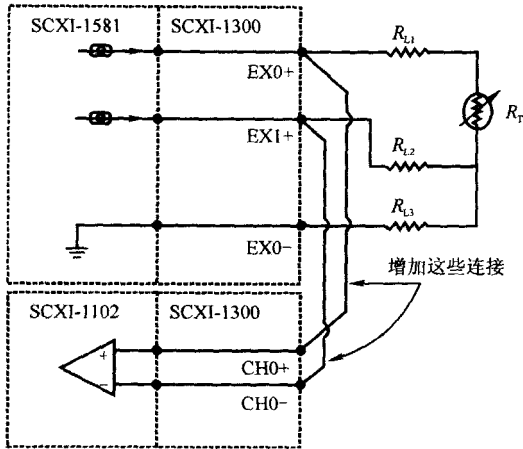


图5 恒流源补偿三线方式接线示意图

Fig. 5 Link diagram of current-sources compensation 3-wire configuration

$$R_{L1} = R_{L2}$$

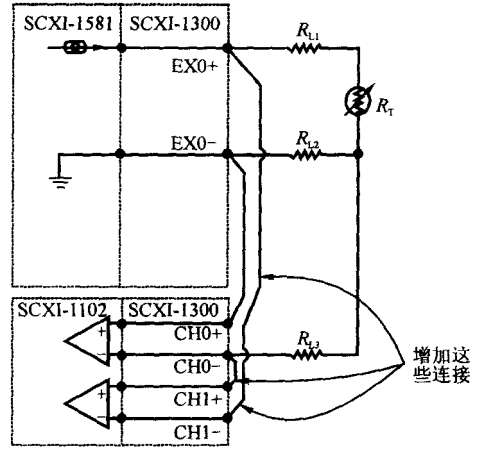


图6 差动输入运放补偿三线方式接线示意图

Fig. 6 Link diagram of lead-resistance compensation using a 3-wire resistance sensor and two differential amplifiers

表1 RTD不同测量方法对比

Table 1 Comparison of different measurement methods of RTD

序号	传感器	测量方法	精度	现场布线	特殊要求
1	四线 RTD	1CH 恒流源 + 1CH 模拟电压信号调理和采集	高	最多	增加配置两块SCXF1300
2	两线 RTD	1CH 恒流源 + 1CH 模拟电压信号调理和采集	低	最少	无
3	三线 RTD	1CH 恒流源 + 1CH 模拟电压信号调理和采集	中	中	利用软件对引线误差进行补偿
4	三线 RTD	2CH 恒流源 + 1CH 模拟电压信号调理和采集	较高	中	引线电阻相等, 两路恒流源需要匹配
5	三线 RTD	1CH 恒流源 + 2CH 模拟电压信号调理和采集	高	中	增加配置两块SCXF1102

参考文献:

[1] Nobuyuki N, Junya Y, Ryusuke K, et al. Rate of Isotope Exchange Reaction Between Tritiated

Water in a Gas Phase and Water on the Surface of Piping Materials [J]. Fusion Technology, 2001, 39: 189 ~ 197.