

# HIRFL\* 加速器束流线束流强度测量

赵进华 郑建华

(中国科学院近代物理研究所, 兰州)

文章描述了 HIRFL 束流线束流强度测量法拉第筒及其测量电子学的结构与技术。

关键词 法拉第筒, 电流-电压转换器。

## 一、引言

在粒子加速器的运行过程中, 许多束流特性参数基于束流强度值的测量, 法拉第筒测量平均束流电流是很简单的, 在消除溅射、空间电荷、二次粒子和接触电势等效应后其测量比较精确。在 HIRFL 束流传输线上使用的法拉第筒, 用于某些特定点上需要尽可能精确地测量束流强度、进行能量分析和电荷态分析等目的, 也兼作束流阻止器。

## 二、法拉第筒

图 1 是所述法拉第筒结构示意图。面对束流入射方向有一接地光栏作为束流屏蔽, 用于保护偏压环不受粒子束轰击。其后的圆环是二次电子抑制环, 在筒的前面加电场, 且有足够长的入射路径, 确保测量精度。为能承受一定的束流功率, 筒体是由铜制成并通过冷却水套作间接冷却。筒与冷却水套之间采用氧化铍或氮化硼, 它们既是好的电绝缘体, 也是热的良导体, 使结构具有好的机械特性。筒内束流轰击面由高纯石墨复盖, 将离子阻止在石墨层内, 以减小材料的活化。法拉第筒由压缩空气驱动, 焊接不锈钢波纹管构成真空馈通连接, 行程为 100 mm。

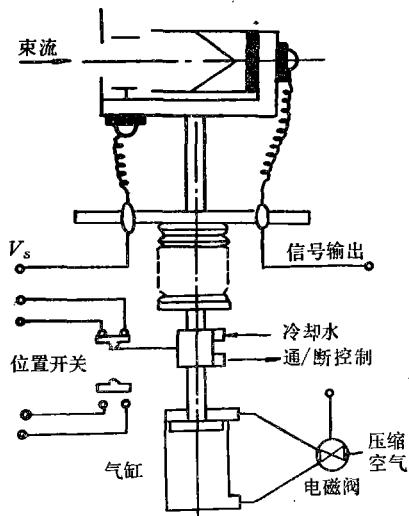


图 1 法拉第筒结构示意图  
Fig.1 Schematic structure of Faraday cup

## 三、测量电路

法拉第筒收集的束流经电流-电压转换器, 转换电流信号为电压信号后输出。电路原理图如图 2 所示。HIRFL 束流线一般应用的电流-电压转换级的运算放大器为 AD 503 JH。

\* HIRFL—兰州重离子研究装置。

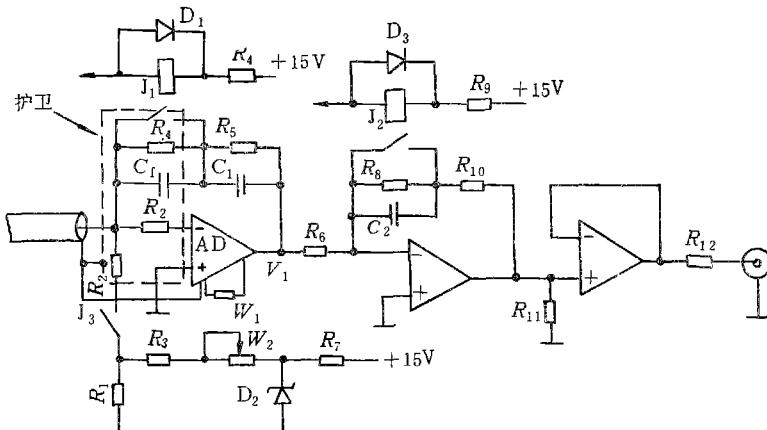


图 2 电流-电压转换器电路原理图  
Fig.2 Circuit diagram of the electronics

为得到好的特性，例如用于束流能量和能散测量目的的运算放大器是 AD 515 KH。由图 2 知：

$$V_1 = -R_f I_s \pm [V_{10} + R_f I_{1B}] \pm [V_N + Z_f I_N] \quad (1)$$

式中第一项是信号，第二项为失调，第三项则是由噪声引起的。 $R_f$  的值不仅决定放大器的灵敏度且对放大器的精度、稳定性等都有很大影响，因此要选用精度好于 0.1% 的金属膜电阻。因信号输入电缆等多方面的因素，使电路输入端有比较大的输入电容（几十 pF），当用高阻值  $R_f$  时放大器的频率稳定将成为问题。因此在反馈电阻上并联聚苯乙烯电容  $C_f$  作频率补偿。从式 (1) 可见，为减小测量误差，除电路工艺外应选用低失调、低输入偏置电流和低噪声运算放大器作为关键的输入级，AD 515 KH 具有希望的特性。

对于 HIRFL 重离子束强度测量取 0.1 至 1000 nA 的量程范围。为减少高绝缘继电器  $J_1$ （断开绝缘电阻大于  $10^{12}\Omega$ ）和高值反馈电阻  $R_f$ ，电流经输入级转换为电压后再经第二级电压放大，而对第二级量程开关可降低要求。这样通过两级开关的不同组合实现多量程的需要。为“在线”测试仪器的工作状态，电路提供了 1 μA 的测试电流，它由 1 V 参考电压经继电器  $J_3$  和电阻  $R_2$  接至电路输入端。

#### 四、电路实现的某些技术

法拉第筒及测量电路的设计、结构都不很复杂，但要获得优良的性能，如下问题应予以重视。

**1. 印制电路板** 这里要着重提到两点：其一是对输入级应利用其护卫，在双面电路板两面应有同样的输入级印制线图形，这也是为减少跨在电路板寄生阻抗上的差动电压；其二是对放大器采用适当的电源线布置也会带来不少益处。对电路中各个运算放大器电源分别走线，以免共地回路影响。从图 3 可以看出，电源线和它的返回线置于电路板两侧且有同样的映像。而正负电源线间有尽可能小的间距，使电源线和地回路间形成退耦电容。线的宽度增加可增大电容量，减少电感及阻抗。

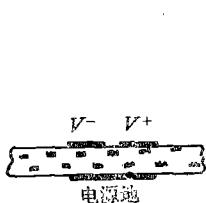


图 3 印制板电源布线

Fig.3 Power line pattern for amplifier

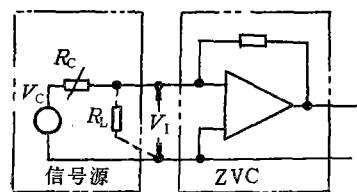


图 4 刻度电路

Fig.4 Graduated circuit

**2. 绝缘和屏蔽** 信号输入用低噪声同轴电缆且直接焊至 AD 515 输入脚的聚四氟乙烯绝缘子上而不用任何连接器。仪器外壳由 1 mm 厚的钢板作成，采用密闭结构。

**3. 失调电压** 在电流-电压转换器中，常要求对放大器或系统产生的输出电路的失调进行调零，应使用正确的调零补偿电路。

**4. 电源** 微电流放大器对直流电源有较高的要求，也应避免由电源带来的干扰。使用恒压变压器作为电源变压器的一个突出优点是初级对次级有非常高的脉冲噪声隔离，在毫秒到微秒级范围内隔离可大于 120 dB。此外当交流输入电压在较大范围内变化时，次级输出基本恒定。变压器单独屏蔽，电源电路与测量电路之间又通过屏蔽分开在两个区域内。直流电源应有好的稳定度和低的交流纹波。

**5. 频率补偿的调整** 对放大器频率补偿的调整方法是在放大器的输入端加一方波信号，调整  $C_t$  的大小直到满意的频响为止。在对频响要求不高时，可适当增大  $C_t$  的容量来减小带宽而降低噪声。

**6. 电路刻度** 电流-电压转换器的刻度对测量精度和可靠性是一个重要方面。由于运算放大器不是理想的，它存在失调电压、输入偏置电流和漂移等。同时由于生产工艺的原因也会存在某些漏泄电流，因此对看来简单的电路仍需进行刻度。依据图 4，按欧姆定律，刻度电流： $I = V_c / R_c$ ，其中  $V_c$  是刻度信号源电压，由干电池提供； $R_c$  是刻度电阻。对最高灵敏度档选择  $V_c = 0.1$  V（由于无高值  $R_c$ ，否则选  $V_c = 1$  V）， $R_c$  为  $1000 \text{ M}\Omega$ ，使  $I = 0.1 \text{ nA}$ 。对其它量程，保持  $V_c = 1$  V，而  $R_c$  值不同。事实上运算放大器的反相输入端压降  $V_i$  并非理想为零，于是实际刻度电流为  $I = (V_c - V_i) / R_c$ 。若  $V_i = 1 \text{ mV}$ ， $V_c = 0.1 \text{ V}$ ， $R_c = 1000 \text{ M}\Omega$ ，则由  $V_i$  引起的误差为 0.1%，如  $V_c = 1 \text{ V}$  则误差会减小。另外刻度信号源的漏电阻  $R_L$  也会引起刻度误差，这对 pA 级电流-电压转换器是不可忽视的。

## 五、系 统 应 用

法拉第筒的运行、测量及状态信号由适当的CAMAC接口组件实现。量程转换由计算机程序自动判别后执行，测量结果根据所选量程作相应处理。在通常状态下，电路处于最低灵敏度，如不再测量则将法拉第筒退出束流线。系统设有保护信号，当电路不工作或不正常时，法拉第筒不能被推进。筒位置极限开关作为装置工作状态信号。

## 六、结 束 语

目前，法拉第筒已普遍用于HIRFL束流线调束，并用其它测量方法检验，取得了一

致的结果。在不影响测量精度的条件下，仅用少量元器件，同时达到足够宽的量程，对加速器长期连续运行是有益的。

文中着重描述了法拉第筒的结构及其测量电路的技术。对于后者的某些原则和技术同样适用于更高灵敏度的弱电流测量电路。

上海先锋电机厂和南通电子仪器厂的许多同志对本工作的支持和协作，在此一并致谢。

(编辑部收到日期：1989年12月21日)

## THE BEAM INTENSITY MEASUREMENT FOR HIRFL BEAM LINE

ZHAO JINHUA ZHENG JIANHUA

(*Institute of Modern Physics, Academia Sinica, Lanzhou*)

### ABSTRACT

The paper describes the structure and technique of Faraday cups and their electronics used to measure beam intensity at the beam transport line of the HIRFL accelerator.

**Key words** Faraday cup, Current-voltage converter.

### 锕系元素及核燃料循环化学

### 学术讨论会在成都召开

由中国核化学与放射化学学会主办，四川大学和中国原子能科学研究院承办的锕系元素及核燃料循环化学学术讨论会5月29日至6月3日在四川大学学术交流中心举行。中国核学会理事长汪德熙教授、核化学与放射化学学会理事长刘元方教授向会议发了贺信和贺电，专业委员会主席何建玉研究员致了开幕词，核化学与放射化学学会付理事长林漳基研究员及傅依备、王方定研究员讲了话。

出席会议的代表共62人，提交学术论文51篇，文章基本覆盖了核燃料循环工艺化学锕系元素及裂片元素化学、放化分离分析技术、三废处理、辐射化学等研究方面近年来取得的最新进展。何建玉、朱永麟、祝霖教授向大会作了专题报告，分组会上代表们通过交流科研成果，互通信息，活跃了学术气氛。讨论会的召开必将促进我国核燃料循环化学基础研究和应用研究的发展。

(中国原子能科学研究院李大明供稿)