

### 超导回旋加速器 圆柱面 $B_r$ 平均值磁场测定 探测线圈测量方法

Superconducting cyclotron The  $B_r$  average measurement of cylinder for cyclotron  
magnetic field Measuring method of detection coil

2018 - 08 - 08 发布

2018 - 09 - 08 实施

## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1-2009 给出的规则起草。

本标准由合肥中科离子医学技术装备有限公司提出。

本标准由安徽省超导回旋加速器标准化技术委员会归口。

本标准起草单位：合肥中科离子医学技术装备有限公司、安徽省质量和标准化研究院、中国科学院等离子体物理研究所。

本标准主要起草人：宋云涛、徐曼曼、毕延芳、王军、黄崑成、李恒博、陈根、杨庆喜、陈永华、冯汉升、丁开忠、刘璐。

# 超导回旋加速器 圆柱面 $B_r$ 平均值磁场测定 探测线圈测量方法

## 1 范围

本标准规定了用探测线圈测量圆柱面  $B_r$  平均值磁场方法的术语和定义、测量原理、测量条件、测量设备、测量步骤、计算方法和测量报告。

本标准适用于超导回旋加速器圆柱面  $B_r$  平均值磁场的分布测量。

## 2 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 2.1

**气隙** gap

两组磁极之间的空间区域。

### 2.2

**中平面** median plane

位于对称的两组磁极气隙间的中心面。

### 2.3

**加速器轴向方向** axial direction in cyclotron

与中平面垂直的方向。

### 2.4

**圆柱面** cylindrical plane

位于气隙间，以加速器磁铁为中心轴垂直于中平面的圆柱体侧面。

### 2.5

**中平面中心** center of median plane

中平面与磁铁中心轴线的交点。

### 2.6

**主测盘** main plate

由无磁性材料制作的圆盘，其上均匀布置着间距为 15~25 mm 的探测线圈。

## 2.7

## 副测盘 secondary plate

由无磁性材料制作的圆盘，套在主测盘外侧，其上均匀布置着间距 10-15 mm 的探测线圈。

## 3 测量原理

主测盘和副测盘水平放置于加速器气隙中，与中平面保持平行。中平面主测盘和副测盘的中心点与中平面中心点重合。采用轴向运动机构驱动主测盘和副测盘在加速器轴向方向做垂直往复运动，探测线圈在垂直方向上由  $-\Delta Z$  位置移动到  $+\Delta Z$  ( $\Delta Z$  为图1 所示任意位置)，由于半径为  $R$  和高度为  $\Delta Z$  的被测圆柱表面覆盖了探测线圈的移动路径，探测线圈感应电压会引起  $B_r$  值改变。

原理图如图1 所示：

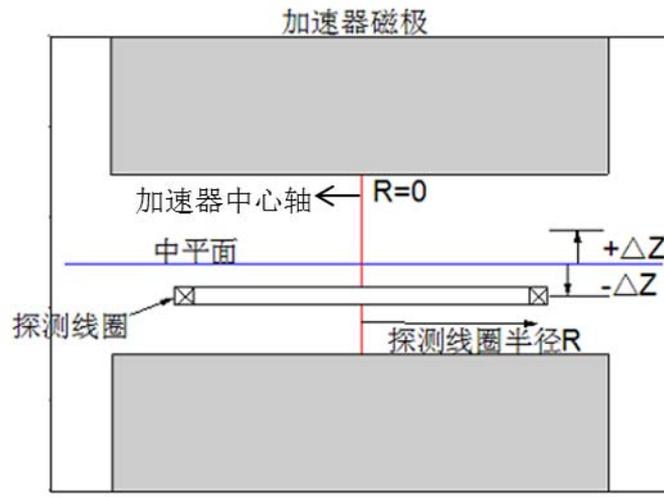


图1 圆柱面  $B_r$  平均值磁场测量原理图

## 4 测量条件

- 4.1 测量磁场时，加速器主机上的主磁铁、磁轭、引出磁通道、超导磁体等与产生磁场相关的部件应完成装配，其他部件不应安装。
- 4.2 超导回旋加速器的气隙高度应大于 10 mm。
- 4.3 测试环境温度范围  $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 。
- 4.4 机械运动机构应灵活自由，无卡滞。

## 5 测量设备

## 5.1 探测线圈

## 5.1.1 一般要求

探测线圈为普通铜线绕制而成，铜线的尺寸、工作温度应符合 4.3 环境测试要求。

## 5.1.2 固定和布置

探测线圈应牢固的固定在主测盘和副测盘的凹槽中，保证所有探测线圈是呈同心分布。同时，绕线应正确、工整，引线接出至数据采集系统。

## 5.2 位移传感器

精度应小于 0.01 mm。

## 5.3 控制系统

接口、通讯正常。

## 5.4 运动机构

5.4.1 运动机构的运动范围、运动步长和精度应符合设计要求。

5.4.2 在静止和运动状态中不应与任何部件发生干涉。

## 6 测量步骤

6.1 调整好运动机构、控制系统。

6.2 调整安装位置，精度应满足：

- a) 主测盘、副测盘与加速器中平面的平行度均小于 0.5 mm；
- b) 主测盘和副测盘的中心与加速器的中心同心度小于 0.4 mm；
- c) 主测盘、副测盘移动过程中起始位置和终止位置的平行度之差小于 0.3 mm。

6.3 磁通计开启预热 5 min，对磁通计进行调零和调漂。在切换探测线圈采集数据过程中，若测盘不移动却发现磁通计显示屏上数据漂移值比较大或者比较快，应及时对磁通计进行调零、调漂。

6.4 确定探测线圈数量根据实际测试要求，依次为主测盘、副测盘的探测线圈编号，并与磁通计相连。

6.5 主测盘起始位置默认  $-\Delta Z$  位置，运动机构驱动主测盘沿着加速器轴向方向移动，数据采集系统记录该移动过程中的磁通量、位置数据；测试完成后，运动机构返回起始位置。切换线圈，测试并采集下一圈探测线圈的磁通量值和位置数据，如此往复，直至主测盘探测线圈测试完成。

6.6 副测盘起始位置默认  $-\Delta Z$  位置，运动机构驱动副测盘沿着加速器轴向方向移动，数据采集系统记录该移动过程中的磁通量、位置数据；测试完成后，运动机构返回起始位置。切换线圈，测试并采集下一圈探测线圈的磁通量值和位置数据，如此往复，直至副测盘探测线圈测试完成。

## 7 计算方法

根据主测盘和副测盘移动过程中，所选线圈切割磁场产生磁通量，磁通量以  $-5\text{ V}\sim 5\text{ V}$  模拟量形式输出，把采集到的输出电压按照磁通计当前所用量程线性转换为磁通量，采用拟合方法拟合磁通-脉冲曲线，根据电磁感应原理，径向磁感应强度  $\Delta B_r$  值按式 (1) 计算：

$$\begin{aligned}\Delta B_r &= \Delta \Phi / A \\ &= \Delta \Phi / (n * 2\pi R * 2\Delta Z) \dots\dots\dots (1)\end{aligned}$$

探测线圈的有效圆柱面积按式 (2) 计算：

$$A = n * 2\pi R * 2\Delta Z \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$\Delta B_r$  —— 径向磁感应强度，单位：Gs；

$\Delta\Phi$  —— 磁通量, 单位:  $\text{Gs}\cdot\text{mm}^2$ ;

$n$  —— 线圈的匝数, 单位: 匝;

$R$  —— 线圈的半径, 单位: mm;

$\Delta Z$  —— 线圈离加速器中平面距离, 单位: mm。

## 8 测量报告

测量报告应包含以下内容:

- a) 本标准号;
  - b) 气隙的尺寸;
  - c) 测量要求;
  - d) 环境温度;
  - e) 测量方法;
  - f) 测量时间;
  - g) 磁场测量数据。
-