

CNIC-00336

SPI-0036

CN9100181

# 中国核科技报告

CHINA NUCLEAR SCIENCE & TECHNOLOGY REPORT

多道微波干涉仪在HL-1装置上的等离子体电子密度测量

PLASMA ELECTRON DENSITY MEASURE-  
MENT WITH MULTICHANNEL MICROWAVE  
INTERFEROMETER ON THE  
HL-1 TOKAMAK DEVICE

*(In Chinese)*



原子能出版社

中国核情报中心

China Nuclear Information Centre

CNIC-00336

SPI-0036

**多道微波干涉仪在HL-1装置上的  
等离子体电子密度测量**

**PLASMA ELECTRON DENSITY MEASUREMENT  
WITH MULTICHANNEL MICROWAVE  
INTERFEROMETER ON THE  
HL-1 TOKAMAK DEVICE**

*(In Chinese)*

徐德明 张宏荫 刘泽田 丁玄同 李启瑞 温扬西

(西南物理研究院, 四川)

**中国核情报中心  
原子能出版社**

北京·1989.11

## 摘 要

由两道8mm波段，一道4mm和一道2mm波段组成的四道微波干涉仪已经用在HL-1装置的等离子体电子密度测量上。2mm微波干涉仪测到了接近 $5 \times 10^{19} \text{ (cm}^{-3}\text{)}$ 的平均电子密度。在多道微波干涉仪的可测密度范围内，我们测得了HL-1装置等离子体小圆截面上的电子密度分布。利用微机进行数据处理的工作也取得了可喜的进展。

**关键词** 多道微波干涉仪 电子密度 过模技术

**PLASMA ELECTRON DENSITY MEASURE-  
MENT WITH MULTICHANNEL MICROWAVE  
INTERFEROMETER ON THE  
HL-1 TOKAMAK DEVICE**

Xu Deming Zhang Hongyin Liu Zetian

Ding Xuantung Li Qirui Wen Yangxi

(Southwest Physics Institute, Sichuan)

**ABSTRACT**

A multichannel microwave interferometer which is composed of different microwave interferometers (one 2mm band, one 4mm band and two 8mm band) has been used to measure the plasma electron density on HL-1 tokamak device. The electron density approaching to  $5 \times 10^{23} \text{ cm}^{-3}$  is measured by a 2mm band microwave interferometer. In the determinable range, the electron density profile in the cross-section on HL-1 device has been measured by this interferometer. A microcomputer data processing system is also developed.

## 一、引言

在HL-1装置的物理实验中，等离子体电子密度测量是必不可少的。多道微波干涉仪不但给出等离子体电子密度随时间的变化，而且可以测出装置等离子体小圆截面上的电子密度空间分布。今年，在HL-1装置上作的稳定放电区实验，磁流体不稳定性实验中，电子温度、离子温度、有效 $z$ 等测量，都由我们提供了电子密度参数。微波干涉仪与其它手段一起还可以测量等离子体的质量位移、能量约束时间、电导率等参数。

为了适应等离子体电子密度的不同范围，我们研制了3cm、8mm、4mm波段单道和2mm波段多道（八道）微波干涉仪<sup>[1]</sup>。除3cm外，其它波段干涉仪都已应用到HL-1上。这次物理实验，我们利用了2mm多道过模实验管道系统。由于2mm波段微波源数量少，输出功率低而不能满足多道的需要，所以，实验中我们采用了一道2mm，一道4mm，两道8mm组成的四道微波干涉仪。

## 二、原理和实验布置

当微波穿过等离子体时，将发生幅度和相位的变化<sup>[2,3]</sup>，等离子体的平均电子密度 $\bar{n}_e$  [cm<sup>-3</sup>]与微波穿过它所产生的相移 $\Delta\phi$  [rad]间的关系为：

$$\bar{n}_e = 118.4 \frac{f \cdot \Delta\phi}{d};$$

这里， $f$ 为所用微波的频率[HZ]， $d$ 为等离子体在微波穿过 $r_z$ 径上的线度[cm]。实验中，我们利用微波干涉仪测出随时间变化的 $\Delta\phi(t)$ ，就可以得到等离子体平均电子密度随时间的变化 $\bar{n}_e(t)$ 。如果利用多道微波干涉仪在空间不同位置测得电子密度的时间变化值，通过阿贝变换就可以得到一次脉冲放电不同时刻的电子密度空间分布。如图1(a)所示，四道微

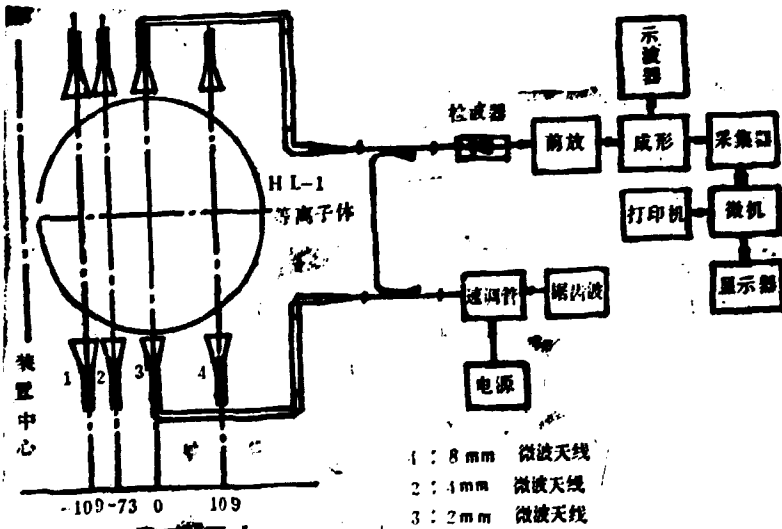


图1(a) 多道微波干涉仪方框图

波天线在HL-1等离子体小圆截面上沿径向排列。2mm微波束垂直通过孔栏中心。自2mm微波天线到装置中心73mm处是4mm微波天线。靠近装置中心离2mm微波天线109mm处是8mm（内）微波天线；远离装置中心109mm处的是8mm（外）微波天线。图中划出了2mm微波干涉仪的框图，四道都是微波条纹干涉仪。2mm和4mm微波干涉仪采用了过模传输技术；8mm微波干涉仪用基模传输。图1（b）是多道微波干涉仪在HL-1装置上的布置照片。



图1（b） 多道微波干涉仪在HL-1装置上的布置

### 三、实验结果

到目前为止，在整个HL-1装置的物理实验中，微波干涉仪都给出了等离子体的电子密度参数。作为一次典型的脉冲放电的实例，图2（a）是采集器采得的微波干涉条纹和通过微机处理后平均电子密度随时间的变化曲线。图2（b）是微波干涉条纹的示波照片。

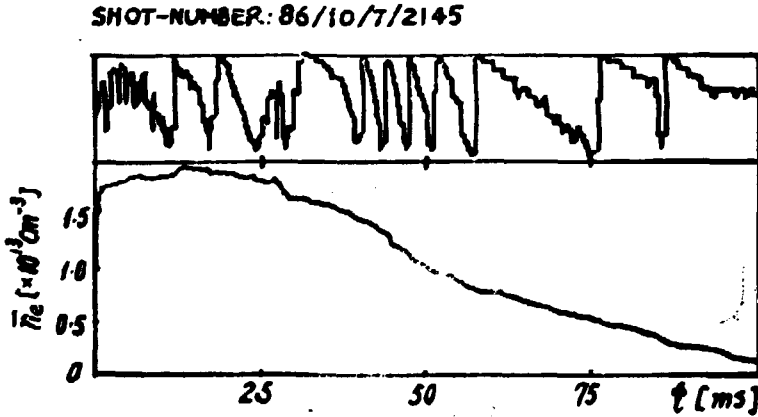


图2（a） 等离子体平均电子密度随时间的变化曲线  
（上部为干涉条纹）

图3（a）是HL-1装置第2664次放电的微波干涉条纹示波照片；图3（b）为等离子体位移随时间的变化曲线；图3（c）是几个不同时刻等离子体电子密度在HL-1等离子体小圆截面上的分布图。

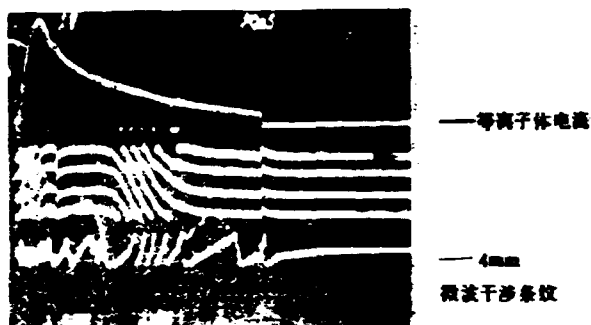


图2 (b) 微波干涉条纹示波照片  
(示波器扫描速度20ms/格)

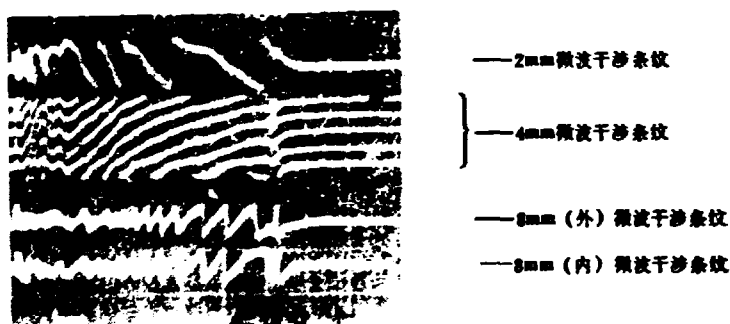


图3 (a) 四道微波干涉条纹照片  
(示波器扫描速度100ms/格)

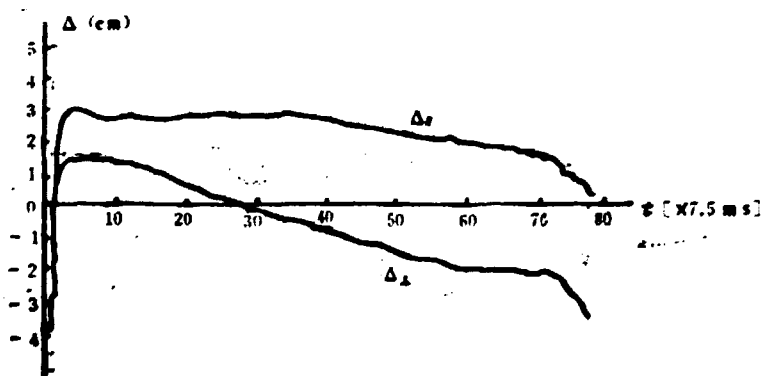


图3 (b) 第2664次放电等离子体位移随时间的变化

$\Delta_r$ 为水平位移,  $\Delta_z$ 为垂直位移, 正向表示向外, 向上;

负向表示向内, 向下。

放电条件: 充氢气压:  $1 \times 10^{-1}$  mmHg;

等离子体电流: 80kA; 纵向磁场强度: 1.8T。

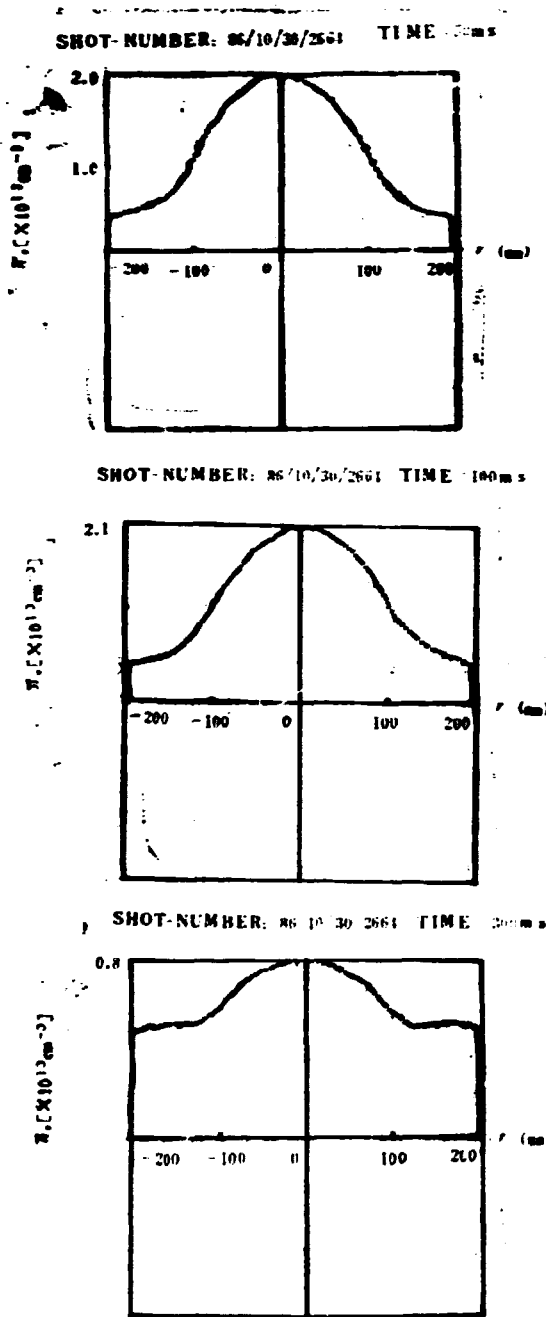


图3 (c) HL-1放电30ms、100ms、300ms等离子体电子密度在其小圆截面上的径向分布。

图4是HL-1放电被头局部扩展的微波干涉条纹示波照片。在放电开始1.5ms处等离子体平均电子密度已达到 $1.8 \times 10^{12} [\text{cm}^{-2}]$ ，而且可以清楚地分辨出最大密度0.1%的小起伏。这就为监测电子密度的MHD振荡提供了有力的诊断手段。图5是用8mm检波晶体接收HL-1等离子体辐射而未经任何放大的示波照片；其上部波形是8mm微波干涉仪的干涉条纹，下部是



接收的等离子体辐射波形。

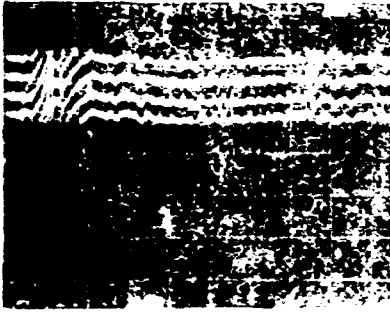


图4 HL-1号离子体放电中的2mm微波干涉仪接收到的微波干涉仪辐射图。

微波器扫描速度(1ms/格)



图5 HL-1号离子体放电中的8mm微波干涉仪接收到的微波干涉仪辐射图。

微波器扫描速度(25ms/格) 放大10V/格

## 四、结 论

多道微波干涉仪第一次在HL-1上做实验,我们解决了发射、接收中的一个个出现的问题,终于取得了实验结果。事实证明,微波干涉仪可以按每秒钟的HL-1号放电的等离子体平均(或线积分)电子密度示波图和数据扫描的电子密度与时间的关系曲线,在微波干涉仪适用的密度范围内,可以画出一次放电不同时间各电子密度剖面分布。这次实验我们使用的四道微波干涉仪由一道2mm波段,一道4mm波段和两道8mm波段干涉仪组成,这几个波段干涉仪的波大可测电子密度分别为 $8 \times 10^{18} [\text{cm}^{-3}]$ ,  $2 \times 10^{18} [\text{cm}^{-3}]$ 和 $6 \times 10^{17} [\text{cm}^{-3}]$ 。2mm和4mm微波干涉仪可满足目前HL-1一般密度测量,8mm微波干涉仪只能在较低密度情况下。这样,四道微波干涉仪的可测密度比单道8mm干涉仪的高几数量级。另外,由于HL-1装置本身结构的影响,多道微波干涉仪测量电子密度剖面问题,只能在等离子体中心255mm内。如果用4mm或2mm代替两道8mm干涉仪,再适当增加使用道数可以得到更满意的实验结果。

这次实验的任务之一是解决微波干涉仪等离子体电子密度测量数据处理问题,为此,我们作了大量调研,提出了一些大胆设想,定出了多种方案。在理论上实验的基础上,边实验边调试,终于在HL-1上取得较好结果。今后对等离子体电子密度随时间不同的快慢变化,数据处理系统还要进一步地改进和完善。

实验中,我们还观测了8mm微波晶体接收到的等离子体辐射信号,其示波器上测到的幅值约10V左右。这非辐射微波信号,在TFR中低电子密度( $1-2 \times 10^{18} [\text{cm}^{-3}]$ )下也观测到<sup>[1]</sup>。它多半是非共振电子的发射谱线辐射,也可能是由等离子体不稳定引起的辐射。

今年,我们与其它兄弟单位配合成了HL-1号离子体放电中的沿z轴的测量,为稳定性实验研究,做每秒钟,每秒脉冲放电,放电前测,电子密度剖面等实验提供了等离子体电子密度数据。

李富瑞同志是2mm多道微波干涉仪的研制者之一,在这次多道微波干涉仪道安装和干

涉仪的布置等方面做了大量工作。

在我组人员不足的情况下，张崇惠同志给予了大力协作，特此感谢。

### 参 考 文 献

- [1] 张定鼎等，2mm波微单道基模-过模耦合腔微波干涉仪，“核聚变与等离子体物理”，1984年12月第4卷第4期
- [2] Mark A. Heald, MATT-17, 1959.
- [3] M.A.Heald et al., Plasma Diagnostics with Microwaves, New York, 1967.
- [4] «Nuclear Fusion» Vol.18, No.5, 647 (1978)

# CHINA NUCLEAR SCIENCE & TECHNOLOGY REPORT

书号 15175-00336

P.O.Box 2103

Beijing, China

China Nuclear Information Centre