

87-91

二级轻气炮弹丸速度、质量和位置测量

葛学真

比利, W

中科院力学研究所, 北京(邮政编码 100080)

W. 比利

JET Joint Undertaking, Abingdon, Oxon, England

V211.745

V211.752

A 摘要 二级轻气炮发射的氘冰弹丸的速度、质量和显示弹丸完整性的方法和所使用的仪器以及新开发的以波长编码、用光纤为传感器的弹丸进入位置的测量方法。

关键词 弹丸飞行参数测量 微波谐振腔 波长编码 光纤传感器 氘弹丸注入

(15)

1 引言

速度 质量 位置 二级轻气炮

欧洲联合聚变中心(Joint European Torus, 简称JET)利用带冷冻装置的二级轻气炮作为发射器, 以高压氦气为工质往托卡马克管等离子体内注入氘的冷冻弹丸以维持反应物的浓度。所用的二级轻气炮是JET和美国ORNL国家实验室合作研制的, 现场安装如图1所示。发射的氘冰弹丸是直径为2.7, 4.0和6.0mm的圆柱体, 注入速度为1.4~4.0 km/s, 出口发散角为0.5°。由图1可见发射器和托卡马克管之间有一巨大的弹丸注入

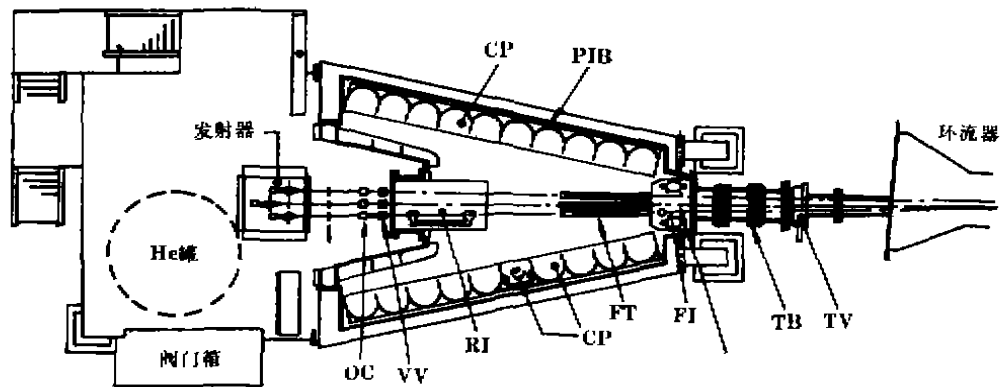


图1 JET多弹丸注入器

PIB弹丸注入箱 OC光学探测器 TV, VV快速阀门 RI微波诊断 CP冷冻泵 FI光靶

箱(PIB), 由 8×10^4 L(H₂)/S的冷冻系(CP)抽空, 保持箱内 10^{-3} Pa以上的真空度以避免弹丸注入时工质气体干扰等离子体。弹丸飞行参数的测量仪器就安装在这个箱内, 所用

1995年2月20日收稿, 5月5日修回。

仪器必须能经受 10^6rad 的辐射, 它们必须由防护层外面相距 140m 的控制室遥控和采集数据。对弹丸的测试要求: 在弹丸注入过程中实时测量氘冰弹丸的速度、质量, 给出定时信号, 显示弹丸的完整性和进入位置, 并把所有信息实时地转换成标准数据信号送到 JET 控制中心。

与弹丸飞行有关的测试设备依次为: 光学探测器和 CCD 摄像装置(图 1 中的 OC), 微波谐振腔(图 1 中的 RI) 和波长编码进入位置显示器(Wave Encoded Entry Position Indicator, 简称 WEEPI, 图 1 中的 FI)

2 速度和弹丸姿态及完整性测量

采用光学探测器和 CCD 摄像方法, 装置示于图 2。

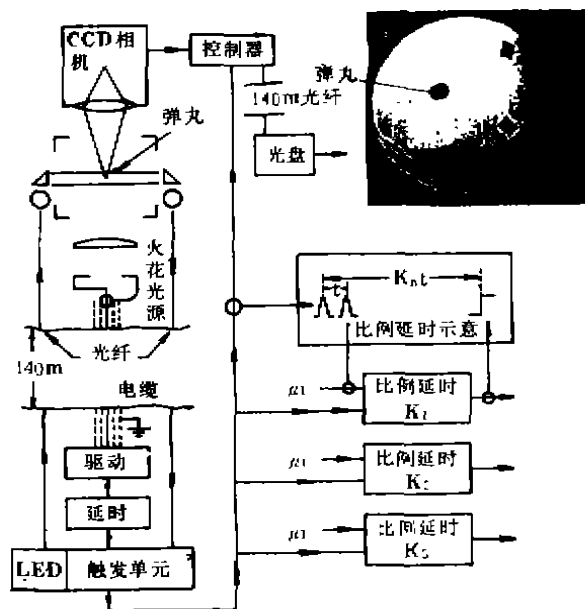


图 2 光学探测器和 CCD 摄像

光学探测器和 CCD 摄像装置置于发射器和弹丸注入箱之间(参看图 1)。探测器是一个光学遮断器, 它的光源是一只 MFOE1202 发光管, 光线由来自控制室的光纤传输。由柱面镜等光学件形成一束片光, 截面尺寸为 $20\text{mm} \times 10\text{mm}$, 光能 $200\mu\text{w}$, 波长 $\lambda = 850\text{nm}$, 片光束穿过弹丸飞行路径, 耦合到另一条光纤的端头返回控制室。探测器光源和触发电路等置于控制室内(图 2 左下)。弹丸经过时, 遮断部分光, 产生触发信号, 这个信号经过适当延时后, 触发快速火花光源, (光脉冲宽度小于 $0.1\mu\text{s}$) 和 CCD 摄像机, 捕捉弹丸的飞行照片, 并以数字形式存在光盘里, 可随时绘出, 绘出的弹丸和弹托的照像示于图 2 右上角。

由光学探测器得到的信号还和第一微波信号一起来用:

- (1) 计算弹丸速度;
- (2) 根据算得的速度, 经过不同的比例延时后用于:
 - a. 同步光靶(进入位置测量)的测量仪器;
 - b. 同步各种等离子体诊断设备;
 - c. 同步 H_α 测量系统和它的 CCD 摄像系统以捕捉弹丸进入等离子体的踪迹。

3 弹丸质量测量

弹丸质量测量采用微波谐振腔。如果一个体积 V 的谐振腔谐振频率为 f_1 , 当一个体积

为 v , 介电系数为 $\epsilon = \epsilon' + j\epsilon''$ 的样品置于 E_{\max} 处时, 这个谐振腔的谐振频率就变为 f_2 , 并有关系^[1, 4]:

$$\frac{f_1 - f_2}{f_2} = 2(\epsilon' - 1) \frac{v}{V}, \quad \frac{1}{Q_2} - \frac{1}{Q_1} = 4\epsilon'' \frac{v}{V}$$

弹丸在其飞行路径上通过两个谐振腔, 第一个为短路半波谐振腔, 孔径15mm, $Q=236$, 用于测量弹丸质量, 跟它串联, 相距416mm处的第二个谐振腔是全波谐振腔, 孔径20mm, $Q=165$, 用于监测弹丸轨道和设计的轴线是否相符, 测出偏差量。位于同一弹丸轨道的两个谐振腔形成微波桥路的一个臂, 两个这样的臂合成一个完整的桥。谐振腔要分别调到它们的谐振频率上, 检波后的输出电压正比于输入的微波能量, 其最小输出为40dB。当有弹丸进入时, 打破了桥路平衡, 引起一个输出, 系统的输出电压基本上正比于弹丸质量的平方。为了精确测量, 还要用测得的信号“查表”得到结果。图3是一条理论曲线, 它表示相对于一个4mm直径的氘冰弹丸输出的dB值与其质量之间的关系。谐振腔工作频率为4.5GHz。弹丸通过的孔在波导WG12的窄壁上, 带有短的外沿。图4为谐振腔实物。

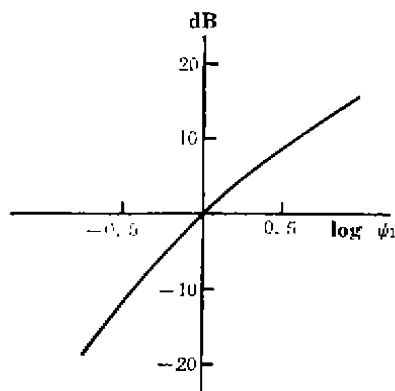


图3 输出质量关系曲线

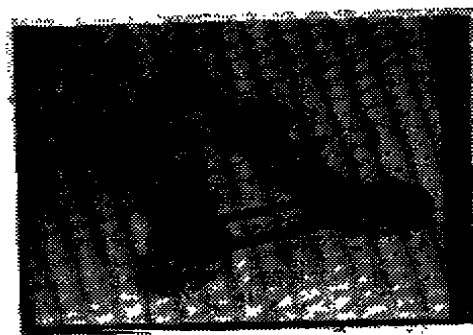


图4 微波谐振腔实物

4 波长编码进入位置显示器(WEEPI)

WEEPI是利用光波波长为传感器的测量装置^[3]。它可用于发射器弹道调试, 也用于实时测量弹丸进入位置。跟二维纹影照相技术相比, 它的优点是能给出实时位置数据, 结构简单, 占空间小。要求WEEPI测量沿数据轴Z运动的弹丸在X轴和Y轴的坐标。测量范围±20mm, 分辨率1mm。它由光学头、光源、分析器、电子转换显示装置和计算机接口组成。光学头装在PIB内, 必须与高真空和辐射环境相容, 其它设备在距光学头140m远的控制室内, 工作在正常的工业环境中。

(1) 光学工作原理

75W 氙弧灯发出的白光滤波后, 所用波段为 $\lambda = 500 \sim 900\text{nm}$ 。它由一根单模光纤从控制室送到光学头。光学头结构精巧, 光线在这里由光栅色散成一条光谱带, 并由尖

劈形反射镜从 $\lambda = 700\text{nm}$ 处分开, 形成两束正交的光谱带, 在靠近弹丸轨道处聚焦, 成为 X 轴和 Y 轴坐标, 然后经过几乎相同的光路返回, 由另一片光栅汇聚, 并由凹面镜聚焦到出射光纤的端头, 返回控制室。当弹丸在两束光谱带处 ($40\text{mm} \times 40\text{mm}$ 的空间) 垂直通过时, 遮断了光谱带中某些波长的光, 因而合成后返回控制室分析器的光束中便缺了这些波长的光。当这束光在分析器中重新被色散时, 这束光谱带中便出现了阴影, 阴影的位置表示弹丸经过 X 轴和 Y 轴的坐标。参看图 5。

(2) 电学工作原理

为了达到系统快速响应, 光敏器件采用 RCA 公司的 32 元线性雪崩光二极管阵列, 每轴一块。被分析器重新色散、分开的两束光谱带分别聚焦到两片光二极管阵列上。阵列中每个光二极管单元有它自己的前置放大器和触发信号发生器。两个轴上共 64 个通道的前置放大器的输出信号, 送到各自的采样保持放大器和触发信号发生器。当弹丸经过时产生的阴影使某通道触发时, 全部通道的信号便在这一瞬间保持在各自的采样保持器中, 并被读到瞬态数字发生器中, 两个轴上信号中的最大者的位置确定了弹丸在 X 轴和 Y 轴的坐标。参看图 6。

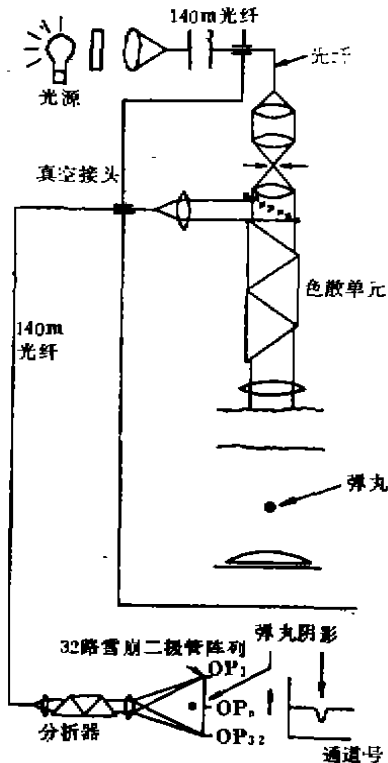


图 5 WEEPI 光学原理图(一个轴)

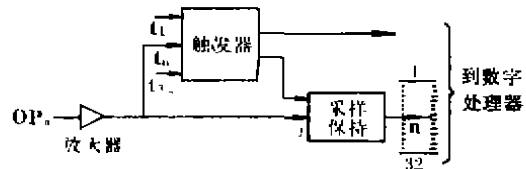


图 6 WEEPI 的电路原理方框图

(3) 安装

光学头及其光纤的进出接头必须满足漏气率 $< 10^{-7} \text{PaL/S}$ 的要求, 因此光纤和接头的选择及安装工艺都有特殊要求, 并事先经过真空检漏, 这里不一一赘述。

WEEPI 装置在实验时满意地给出 500mV 信号, 噪声电平 50mV 。

5 结束语

在 JET 工作期间, 上述测量项目已可靠地记录了弹丸速度、质量, 给出了定时信号并得到了弹丸照像。WEEPI 也已安装并投入使用。

参 考 文 献

- 1 Talanker and Greenwald, Microwave Measure of the Mass of Frozen Hydrogen Pellets, Rev. Sci. Instrum., 59(7) July 1988
- 2 Sorensen, et al, A Microwave Cavity for Measurement of the Mass of Hydrogen Pellets, Rev. Sci. Instrum., Dec, 1988
- 3 Hutley, et al, Wave Length Encoded Optical Fibre Sensors, Journal of Optical Sensors, Vol.1, No.2, 1986

MEASUREMENT OF VELOCITY, MASS AND ENTRY
POSITION OF DEUTERIUM PELLET LAUNCHED
BY TWO STAGE LIGHT GAS GUN

Ge Xuezheng

(*Institute of Mechanics, Academia Sinica*)

W. Bailey

(*JET Joint Undertaking, Abingdon, Oxon, England*)

Abstract Instruments to measure the velocity, mass of Deuterium ice pellets injected into the plasma of the torus and to visualise their integrity are described. The development of wave length encoded entry position indicator is represented.

Key words measurement of parameters of projectile microwave cavity
wave length encoded optical fibre sensors deuterium pellet injection