

CN9401052

CNIC-00599  
FDINT-0006



核燃料芯块装管动态响应的研究

STUDY ON DYNAMIC MEASUREMENT OF  
FUEL PELLETT LENGTH DURING LOADING  
INTO CLADDING TUBE

(in Chinese)



原子能出版社

中国核动力中心

China Nuclear Information Centre



张 凯，高级工程师，核工业第五研究设计院工业设备研究设计所主任工程师。1964年毕业于重庆大学机械制造及工艺设备专业。

Zhang Kai; Senior engineer and chief engineer of Industrial Equipment Research Department, Fifth Research and Design Institute, CNNC. Graduated from Chongqing University in 1964, majoring in machinery and technological equipment.

CNIC-00799

FRDINI-0006

# 核燃料芯块装管动态测长的研究

张 凯

(核工业第五研究设计院, 郑州)

## 摘 要

介绍了当今一些核电站燃料组件制造厂,如前苏联、西欧一些国家和我国,在燃料组件单棒生产的装管过程中,测量装入包壳管即锆管中核燃料芯块长度值的方法。利用力学、光学、电学等学科的原理,分析和论述了各种动态自动测长的方法和原理,及各自的特点。较详细地介绍了所研制的实验装置的结构,论述了该装置的测量原理,并分析了装置的测量精度和系统的偏差。最后介绍了模拟芯块的长度测量考核。结果表明该动态测长装置的方法和原理是可行的,在单根包壳管的装管中采用这种测量方法,是较为理想和先进的。其测长原理运用到其它工业部门上也有一定的参考意义。

**STUDY ON DYNAMIC MEASUREMENT OF  
FUEL PELLET LENGTH DURING LOADING  
INTO CLADDING TUBE**

*(In Chinese)*

Zhang Kai

(THE FIFTH RESEARCH AND DESIGN INSTITUTE OF  
NUCLEAR INDUSTRY, ZHENGZHOU)

**ABSTRACT**

Various methods are presented for measuring the pellet length in the cladding tube (zirconium tube) during the loading process of the preparation of single rod of nuclear fuel assembly. These methods are used in former Soviet Union, west European countries and China in the manufacturing of nuclear power plant element. Different methods of dynamic measurement by using mechanics, optics and electricity and their special features are analysed and discussed. The structure and measuring principle of a developed measuring device, and its measuring precision and system deviation are also introduced. Finally, the length of loaded pellets is checked with analog pellets. The results are as expected and show that the method and principle used in the measuring device are feasible. It is an ideal and advanced method for the pellet loading of single cladding tube. The principle mentioned above can also be used in other industries.

## 前言

在核电站燃料组件制造厂，燃料组件单棒的制造中，测量装入包壳管（铪管）中核燃料芯块长度是装管过程的一个重要工序。目前在前苏联、西欧一些国家和我国仍采用人工测长和以配块，其生产率低、操作繁琐、工人劳动条件较差，测量精度受人为主观因素的影响，生产过程难以实现自动化。为适应核燃料元件生产发展的需要，有必要改变人工测量芯块长度的这种方法，采用自动或机动的测量方法，为此我们进行了动态测量装入铪管中芯块长度的研究和探讨。

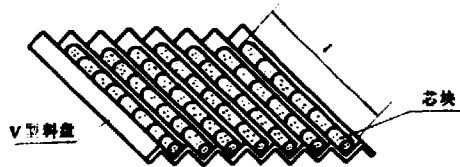
### 1 燃料组件制造厂装管中采用的芯块测长方法简述

#### 1.1 前苏联

新西伯利亚燃料组件制造厂，在装管过程中，为保证装入铪管中芯块的长度，其测量方法是人工在振动台排长段测量和调整芯块的长度，将定长的芯块装入铪管，然后人工将导尺插入管内抽检装入管内的芯块长度。

#### 1.2 法国和瑞典

法国的核燃料组件制造厂，在装管的过程中仍采用人工测量芯块长度的方法。在装盘工序中，即磨削装盘中，控制进入V型料盘中每一行芯块的长度值 $l$ ，然后将V型盘送去装管。达到定值后，人工将导尺插入铪管，根据测量管内芯块的长度，人工配块装管，保证最终装入铪管中芯块的长度。瑞典采用的方法与法国的基本相同。



#### 1.3 英国、意大利

英国、意大利核燃料组件制造厂，在装管过程中，采用的芯块测长方法基本相同，均是预装排长，人工配块，保证装入铪管中芯块的最终长度。

#### 1.4 中国

我国的核燃料组件制造厂，在装管过程中，仍采用人工测长，其方法是将V型料盘中的芯块装入一刻度尺中，配块达到定长后，然后分批装入预装管中，再装入铪管中，保证装入铪管中芯块的长度。

综上所述，目前在世界各个具有核燃料组件制造厂的国家，在单棒制造装管的过程中，测量芯块的长度，采用人工测长和配块的工厂是较多的，因此研究动态自动测长具有一定的实用价值。

## 2 动态自动测长的分类

根据调研，芯块的动态自动测长，可分为接触测量和非接触测量两大类。

### 2.1 接触测量

被测物体与测量仪直接接触，如图 2 所示，利用光栅传感器来自动测量芯块的长度。

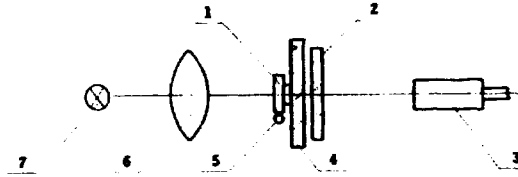


图 2 光栅传感器

1——转动盘； 2——指示光栅； 3——光电元件；  
4——主光栅； 5——被测物体； 6——聚光镜； 7——光源。

接触测量法的原理可通过图 2 来说明。当被测物体（芯块），由传动机构推动作直线运动，转盘因受摩擦力作用而转动，主光栅同步转动，因主光栅与指示光栅形成莫尔条纹，由于莫尔条纹的作用，形成了透光和不透光，即产生光脉冲，再由光电元件接收转换成电脉冲，然后经过数据处理，将主光栅的转数转换成被测的物体的长度值。此种测量方法的测量精度取决于摩擦失效的程度，即打滑的程度，打滑越多其精度越差。由于摩擦打滑的不可避免性，故测量精度较差，一般摩擦打滑有以下几种情况：

#### a. 几何滑动

由于接触面的几何形状和尺寸的偏差，所造成接触面之间的滑动叫几何滑动，被测物体芯块的几何尺寸和形状均有偏差，因此几何滑动是必然的。

#### b. 弹性滑动

由于在接触面处主动轮的表层处于拉伸状态，而从动轮的表层处于被压缩状态，因此主动轮和从动轮在接触面之间必然产生滑动。

#### c. 由于摩擦力大小发生变化，这样造成打滑也就是必然的。

综上所述，摩擦打滑是不可避免的，因此这种接触测量，其偏差较大，故不适宜于芯块的自动测长。

### 2.2 非接触测量

被测物体与测量仪不接触，通过物体位移量转换为光电信号，然后经过数据处理系统的处理就得到被测物体的长度值。

#### 2.2.1 利用同步感应器进行自动测长

##### a. 测长装置结构简介

同步感应器长度测量主要结构如图 3 所示，其中定尺和滑尺均做成印刷电路绕组，定尺为连续绕组，滑尺为断续绕组。

##### b. 动作概述及测长原理

利用同步感应器测长，其装置（如图 3）动作过程：当电机转动时，丝杆同时转动，螺母作直线运动，带动滑尺、推杆作同步运动。滑尺上由正弦和余弦两个绕组组成激磁板，定尺由一个感应绕组组成感应板，感应电压的频率和激磁电压的频率相同。当供电电压改变一次激磁电压相应的改变；每变化一次对应长度值是一定的，一般半个节距（ $0\sim 180^\circ$ ）变化 100 次，对应长度值 1mm，定尺上的感应电动势的相位及幅值随滑尺与定尺的相对位移而改变。

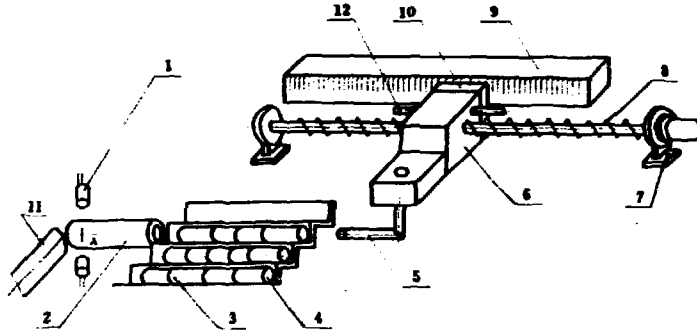


图 3 测长装置方法

1—光电信号装置；2—过渡管；3—V 型料盘；4—芯块；5—推杆；6—螺母；  
7—电机；8—丝杆；9—定尺；10—滑尺；11—接管；12—导向杆。

当推杆前进，滑尺对应于定尺移动，推杆推动芯块同步移动。当芯块前进通过过渡管 A 点时，芯块挡住光，此时发出信号，滑尺对应于定尺的位置作为计算长度时的零点，开始计长。当芯块全部通过 A 点，A 点光通，电机停、滑尺同时停，此时滑尺对应于定尺的位置作为计长的终点。这两点在定尺上的距离即为芯块的长度值，随机显示长度值。也就是 V 型盘上一行芯块的长度值。电机停后立即反转，推杆返回原来位置，V 型盘传动机构运动一个节距，即当 V 型盘移动到芯块轴线与过渡管轴线、推杆轴线同轴时即停，这时电机转动，重复上述动作，对 V 型盘上另一行芯块进行测长，直到测量长度到达规定值后电机立即停止运动，芯块运动同时停止，长度的测量也就随之而停。

此测长装置在研制过程中未能制造，故未能进行模拟芯块实际测长，有待于作装置进行验证和考核。

## 2.2.2 利用脉冲计数进行长度测量

### a. 测长装置结构简介

为了说明利用脉冲计数方法进行长度测量的原理，现将装置的机构动作原理图绘出如图 4。

### b. 动作概述及测量原理

利用脉冲计数进行长度测量，其装置动作过程：当步进电机转动，丝杆同时转动，螺母作直线运动，带动推杆同步直线运动。当推杆接触到芯块，芯块向前同步移动。当芯块前进到过渡管的 A 点，此时光被芯块挡住，发出信号，脉冲计数开始，当 V 型料盘中的一

行芯块全部通过 A 点时, 光通, 发出信号, 脉冲计数停止。从光被挡住到光通, 这段时间的脉冲数相对应芯块通过 A 点的位移量就是芯块的长度值。脉冲数通过微机进行数据处理, 就转换成 V 型盘中该行芯块的长度值, 并随机显示。当推杆推完 V 型盘中一行芯块时, 电机立即停, 随后立即反转, 螺母后退, 带动推杆退出 V 型槽, 到位后立即停。此时 V 型盘通过传动机构带动, 移动一个节距, 并对准推杆中心和过渡管中心, 立即停。此时电机又正转, 重复上述动作, 完成芯块的推送, 动态测出芯块的长度值。当推送芯块的过程中, 测出芯块长度值累计达到预先给定值时, 计算机发出指令, 电机立即停, 停止推送芯块, 并显示所测量的最终长度值, 然后将数据打印出来, 完成芯块的动态自动测长, 不配块完成装管。

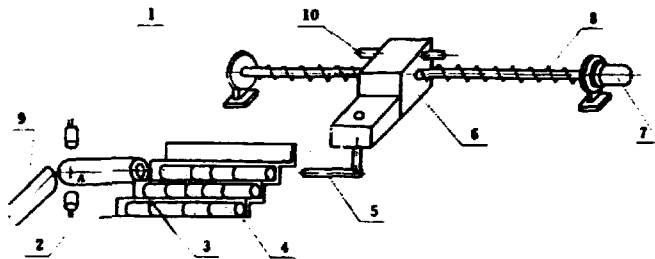


图 4 测长装置方案二

1—光电信号装置; 2—过渡管; 3—V型盘; 4—芯块; 5—推杆;  
6—螺母; 7—步进电机; 8—丝杆; 9—接管; 10—导向杆。

### 3 脉冲计数测长装置的精度

该装置的测量方法, 比前苏联、西欧一些国家和国内来说是领先的, 其测量精度较高, 现就以下几方面来分析该装置的测量精度。

#### 3.1 保证精度的措施

##### 3.1.1 机械方面

a. 为了减少传动链的偏差对测量精度的影响, 缩短传动链, 采用步进电机与丝杆直接相连的直连式传动方案。

b. 为了保证速度稳定, 灵敏度高, 定位准确, 传动机构采用滚珠丝杆副, 电机采用步进电机或力矩电机。

c. 为了提高光电信号的重复精度, 通过狭缝孔为  $0.08 \times 8$  (mm), 同时光经过调制处理, 光源上装有聚光镜。

##### 3.1.2 控制方面

a. 为了保证系统的精度, 采用计算机控制, 完成程序动作和进行数据处理。

b. 为了提高动作的灵敏度, 测量信号的准确性, 控制线路采用闭环回路, 还采用了屏蔽抗干扰措施, 取信号的一次仪表均用灵敏度高的光电开关。



### 3.2 精度分析

a. 步进电机步进角为  $0.9^\circ$ , 即转一圈为 400 步, 400 个脉冲, 螺母直线位移量为 5 mm, 每一个脉冲位移量为 0.0125 mm, 步进电机不失一步, 因此步进电机偏差小于一个脉冲, 位移偏差小于 0.0125 mm。

b. 根据装置要求设计选用合适的丝杆精度等级, 螺距偏差小于 0.03 mm。

c. 光经过调制处理, 通光的孔在长度方向上又很小, 这样使得光电信号重复精度为零, 保证测长信号的准确性。

上述系统总的偏差小于 0.0325 mm, 比要求的精度 0.05 mm 小, 即推杆推一次料, 测量芯块的长度偏差小于 0.05 mm。

### 3.3 物体运动惯性对精度的影响

该装置是通过丝杆副传动机构, 螺母直线运动带动推杆运动, 推动芯块运动, 故芯块为匀速直线运动, 因而可视为摩擦力与推力相等, 其计算方法如下。

$$F=ma$$

$$f=F$$

$$f=mg\mu$$

$$a=g\mu$$

式中:  $m$  —— 运动物体芯块的质量;

$\mu$  —— 摩擦系数;

$g$  —— 重力加速度;

$a$  —— 物体运动的加速度;

$F$  —— 作用于物体的外力;

$f$  —— 运动物体的摩擦力。

由于电机停, 传动机构也停止运动, 芯块也就停止运动, 这样一来芯块的末速度就为零, 则有下列公式

$$V_i^2 - V_0^2 = 2as$$

$$S = \frac{V_i^2 - V_0^2}{2a}$$

$$= -\frac{V_0^2}{2a}$$

$$= -\frac{V_0^2}{2\mu g}$$

由上述公式的推导, 可知, 由于芯块运动的突然停止, 运动物体在惯性作用下具有冲击位移量  $S$ , 从公式可看出冲击量  $S$  与物体运动速度有关, 其它摩擦系数, 重力加速度都是常数, 这样可以理论计算物体的运动惯性对测量精度的影响值在预计的误差范围内, 系统的长度偏差计算可以不计。

## 4 装置的性能试验

该实验装置由北京计量仪器厂制造、调试, 最后验收达到原设计要求, 其间进行了 40

多天性能考核老化试验,电子元件性能稳定可靠,计算机工作正常,以后又进行了30多天,每天进行5小时的模拟块测长试验,模拟块用不锈钢制作,几何尺寸与实际芯块相同。测长试验100多次。所测数据表明装管过程中的动态测量芯块的长度值均达到原设计要求。

## 5 结 论

关于芯块的测长,据悉世界上的一些国家和我国目前还采用人工测长和配块,没有自动测长装置,更没有动态自动测长,也就是说没有在装管过程中自动完成测长这一工作,而我们对这一课题进行了研究,用建立的实验装置对不锈钢制作的模拟块进行上百次的动态测长试验。试验数据表明长度测量的精度达到了原设计的要求,满足了装管中对芯块测长的要求,从而验证了我们研究的原理的方法是正确的、实际可行的。该法操作简单,取代了人工测长和配块,使装管易实现自动化。此种原理和方法在其它行业中也可推广和应用,如生产流水线上利用光电原理作产品计数,在机床行业利用脉冲计数可作为进刀量的控制,因此该原理和方法在核燃料元件生产中是一个十分有意义的探索,对于其它工业部门也有一定的实际应用价值。

## 参 考 文 献

- [1] 张建民. 机电一体化原理与应用. 国防工业出版社, 1992. 1
- [2] 电机工程手册编辑委员会编. 机械工程手册, 第64篇, 长度测量自动化. 机械工业出版社, 1978. 1
- [3] 苏联压水堆核电站燃料元件制造技术考察总结, 1990. 12
- [4] 英法压水堆燃料元件生产考察总结, 1983. 12

C

核燃料芯块衰变动态测长的研究

原子能出版社出版

(北京 2108 信箱)

中国核科技报告编辑部排版

核科学技术情报研究所印刷

☆

开本 787×1092 1/16·印张 1/2·字数 12 千字

1993 年 9 月北京第一版·1993 年 9 月北京第一次印刷

ISBN 7-5022-1083-0

TL·657

# CHINA NUCLEAR SCIENCE & TECHNOLOGY REPORT



This report is subject to copyright. All rights are reserved. Submission of a report for publication implies the transfer of the exclusive publication right from the author(s) to the publisher. No part of this publication, except abstract, may be reproduced, stored in data banks or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior written permission of the publisher, China Nuclear Information Centre, and/or Atomic Energy Press. Violations fall under the prosecution act of the Copyright Law of China. The China Nuclear Information Centre and Atomic Energy Press do not accept any responsibility for loss or damage arising from the use of information contained in any of its reports or in any communication about its test or investigations.

ISBN 7-5022-1083-0  
TL - 657

P.O.Box 2103  
Beijing, China

China Nuclear Information Centre