

CN9701751

CNIC-00536

SNERDI-0018

中国核科技报告

核电站反应堆热电偶机械密封件研究

PWR THERMOCOUPLE MECHANICAL
SEALING STRUCTURE

(In Chinese)



原子能出版社

中国核情报中心

China Nuclear Information Centre

CNIC-00536

SNERDI-0018

核电站反应堆热电偶机械密封件研究

沈秋平 贺友光

(上海核工程研究设计院)

摘 要

压水反应堆堆内温度测量装置是监测反应堆热功率输出及堆内功率分布情况、保证反应堆安全运行的手段之一。该装置以热电偶作为测量元件,用不锈钢作保护外套。由于热电偶有一定的使用寿命,须定期更换,为此研制了一种适用于核电厂反应堆堆内温度测量的热电偶密封结构。这种结构既能在高温高压下密封牢靠,没有泄漏和渗漏,又能在带放射性环境下方便地逐根更换热电偶。它是一种结构简单实用的新型密封结构。

PWR THERMOCOUPLE MECHANICAL SEALING STRUCTURE

Shen Qiuping He Youguang

**(SHANGHAI NUCLEAR ENGINEERING RESEARCH
AND DESIGN INSTITUTE)**

ABSTRACT

The PWR in-core temperature detection device, which is one of measures to insure reactor safety operation, is to monitor and diagnose reactor thermal power output and in-core power distribution. The temperature detection device system is using thermocouples as measuring elements with stainless steel protecting sleeves. The thermocouple has a limited service time and should be replaced after its service time has reached. A new sealing device for the thermocouples of reactor in-core temperature detection system has been developed to facilitate replacement. The structure is complete tight under high temperature and pressure without any leakage and seepage, and easy to be assembled or disassembled in radioactive environment. The device is designed to make it possible to replace the thermocouple one by one if necessary. This is a new simple and practical structure.

前 言

压水反应堆堆内温度测量装置是监测反应堆热功率输出及堆内功率分布情况、保证反应堆安全运行的手段之一。这种温度测量装置是以热电偶作为温度测量元件,用不锈钢套作保护外套,穿过反应堆压力容器进入堆内,经压紧顶帽、支承筒和导向筒直至堆芯。按照热工设计的要求将铠装热电偶的热端分置在堆芯上部对应点上,以测量燃料组件上管座出口载热剂的温度分布。贯穿反应堆压力容器向外引出的热电偶连接插件,通过补偿导线至冷端箱,然后到二次仪表。所测得的堆内各个部位的载热剂温度在二次仪表中给出。

早期和 70 年代核电站反应堆堆内温度测量系统中热电偶密封结构多半采用钎焊密封结构,秦山一期 300 MW 核电厂反应堆堆内温度测量系统中热电偶密封也是采用钎焊固定式密封结构。这种钎焊密封结构不能进行单根热电偶更换。随着核工业的不断发展,对反应堆的安全性、可靠性要求越来越高,为确保反应堆正常运行,要求热电偶能进行单根更换以便于维修。因此,我们研究了这种结构紧凑、管径小、能单根更换的热电偶密封件。既能在高温高压下密封牢靠没有泄漏和渗漏,又能在带放射性环境下方便地装卸,必要时可逐根热电偶进行更换。

1 设计要求

1.1 设计主要参数

设计压力 $p = 17.2 \text{ MPa}$

设计温度 $t = 350^\circ\text{C}$

水压试验压力 $p = 21.5 \text{ MPa}$

1.2 精度和互换性要求

由于该热电偶密封结构是整个反应堆一回路压力边界的组成部分,为了保证密封性能可靠,要求卡套式机械密封结构中各零部件具有一定的精度,表面粗糙度和表面清洁度,同时为了保证热电偶的单根更换,就需要零件具有良好的互换性。

1.3 密封性能要求

在反应堆冷、热态均不允许有任何泄漏和渗漏。

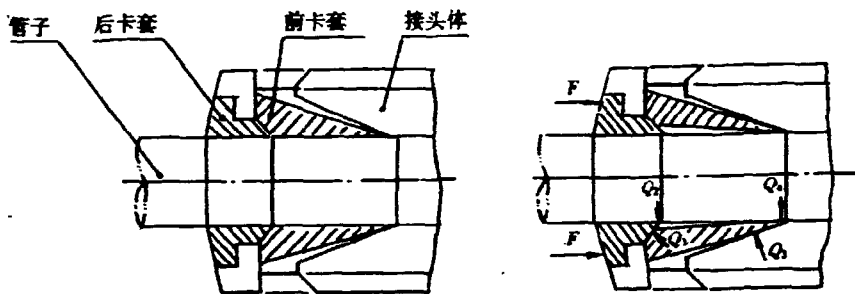
1.4 材质要求

选用耐高温、耐辐射、耐腐蚀的密封结构材料。

2 密封原理

卡套式机械密封形式为接触密封,这种密封极有利于特别清洁系统的应用,能耐较强的脉冲振动载荷。

卡套是一个前后端带有锥面的金属环,接头体相当于一个挤压模具,接头体前端内侧有内锥面。在旋动对接螺母的推动下,前卡套前端外侧接触到接头体内锥面,同时使前卡套中部稍有突起,与接头体内锥面组成一圆密封线,同时,由于力的作用,前卡套前部径向收缩变形,前卡套前端内侧卡住管子,均匀地形成另一圆密封线。后卡套与前卡套一样也形成二圆密封线。于是,在同一根管子相隔一定间距的两个截面上有两道密封线,从而构成一个完整



卡套咬合前

卡套咬合后

图1 卡套式机械密封原理图

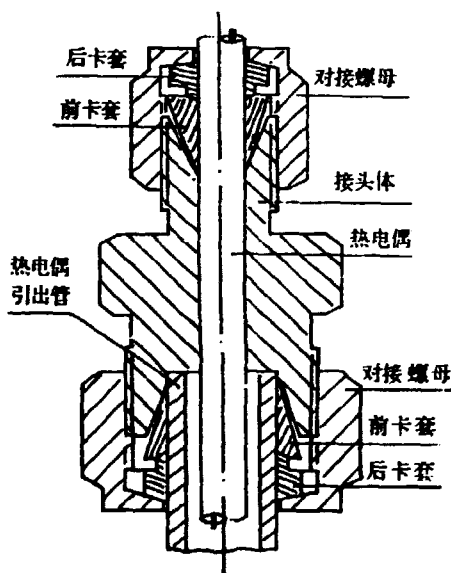


图2 卡套式机械密封结构图

的密封结构。如图1所示。

3 密封结构设计

卡套式机械密封就是通过机械力的作用,使结构材料产生一定的弹塑性变形,这种密封结构,形式既紧凑,又不复杂。因此,密封结构中,对结构设计要求很高。在整个结构中,有二套密封接头,一套用于热电偶引出端的密封,另一套用于热电偶引出管的密封,如图2所示。整个结构有7个零件。其中:接头体两端部为外螺纹,内侧有圆锥密封面;两个对接螺母底部都是圆锥面,与后卡套后端外锥面紧密接触后,使卡套挤压传递压紧力,从而构成了分别同热电偶和热电偶引出管的密封。

因为前卡套前端外锥角和接头体内锥角的大小对密封效果影响很大,所以在研究设计

过程中,认真分析研究了前卡套的前端外锥与接头体内锥密封的三种密封效果,如图3所示。

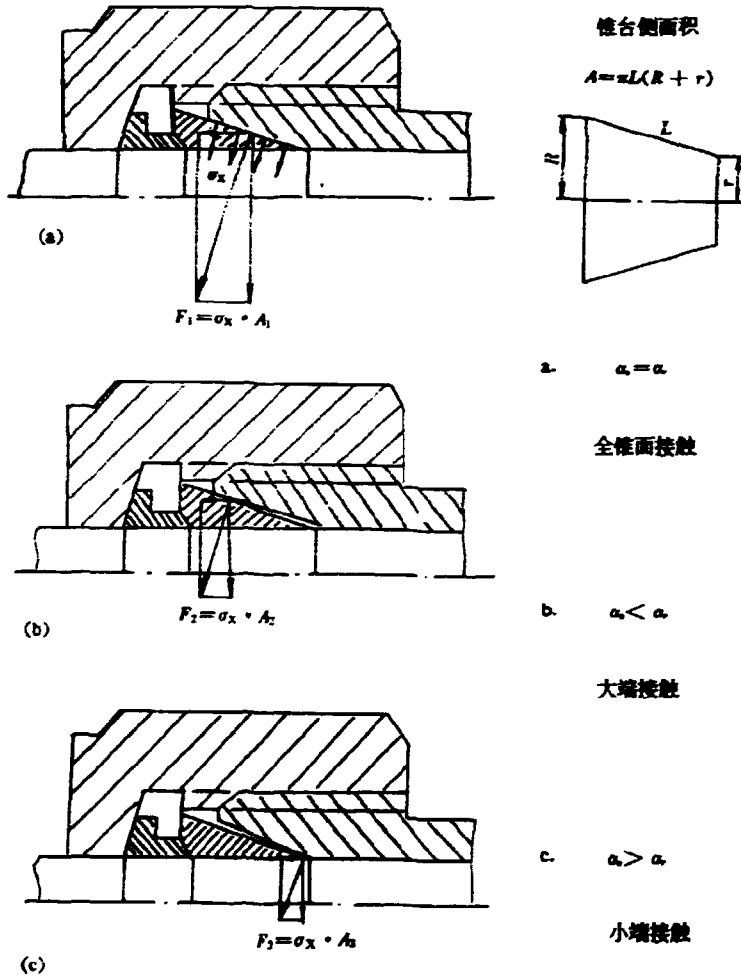


图3 不同锥面吻合时的合力

锥面密封的必要条件为在封闭的密封线上的任何一点都有足够的接触应力 σ_x 。

在 σ_x 一定的情况下,所需合力 F 正比于接触表面的面积 A 。

$$\text{即 } F = \sigma_x \cdot A$$

在密封线宽度相同时,锥面大端接触时的环形面积 A_3 大于锥面小端接触时的环形面积 A_2 ,而当全锥面接触时,则接触面积为一个圆台侧面积 A_1 , A_1 始终是最大的。

$$\text{即 } A_1 > A_2 > A_3$$

因为拧紧力矩 $M, \propto F$

所以 $M, \propto A$

显然,密封线在圆锥小端形成时,所需拧紧力矩 M 最小。也就是说,在拧紧力矩相同时,

在圆锥小端形成的密封线,获得最佳的密封效果。通过以上分析,在设计中采用的接头体内锥角 α_2 大于前卡套前端外锥角 α_1 。

数值为: $\alpha_1 = 30 \sim 40^\circ$

$\alpha_2 = 25 \sim 35^\circ$

由于在核电站反应堆中使用,该密封结构处于高温高压、辐照环境中,因此必须选用合适的材料及零件的制造加工工艺。通过试验研究和比较分析,关键零件卡套选用铬不锈钢,接头体采用了1Cr18Ni12Mo2Ti不锈钢;根据对卡套的工作条件的分析,要求卡套外表面硬度比芯部硬度高2倍左右,并要求有一定的硬层深度。这样经特别工艺处理、加工的卡套,具有较好的塑性和韧性,能满足设计和使用要求。

4 试验

4.1 冷态试验

根据密封性能要求,在水压试验压力 $p = 21.5 \text{ MPa}$ 下,保压30分钟后,发现15只试验件均无任何泄漏和渗漏。

4.2 热态试验

热态试验是在专门的试验台架上进行,台架容积为 1 m^3 ,电加热元件总功率为 200 kW ,运行压力 $p = 15.2 \text{ MPa}$,运行温度 $T = 343^\circ\text{C}$,介质为去离子水。试验件与台架联接图如图4所示。

经过热态试验,试验压力 $p = 15.2 \text{ MPa}$,温度 300°C ,试验时间 1000 h ,在整个 1000 h 考验期内,热电偶机械密封件不论是套管处还是热电偶处,均未发现任何泄漏和渗漏。

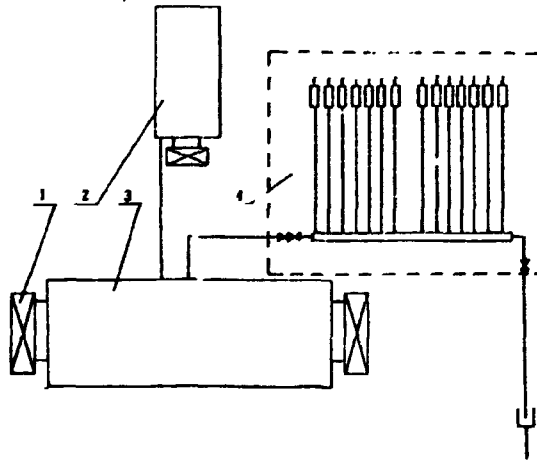


图4 试验件与台架联接图

5 结束语

通过试验研究表明,该结构的密封形式在拧紧力矩足够情况下,能保证可靠的密封。

该密封形式的特点是结构紧凑、密封可靠、性能良好、装卸方便,故可以用于核电站反应堆堆内温度测量系统中的热电偶密封连接,也可推广到其它电厂及其高压容器内测量系统的密封。

核电站反应堆热电偶机械密封件研究

原子能出版社出版

(北京 2100 信箱)

原子能出版社激光照排中心排版

北京市海淀区三环快速印刷厂印刷

☆

开本 787×1092 1/16·印张 1·字数 10 千字

1991 年 8 月北京第一版·1991 年 8 月北京第一次印刷

ISBN 7-5022-0548-9

TL·309

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 7-5022-5048-9
TL • 309

P.O.Box 2103
Beijing, China

China Nuclear Information Centre