

CNTC 00607
TSFUNE-0048

CN9309119

中国核科技报告

CHINA NUCLEAR SCIENCE & TECHNOLOGY REPORT

无动力源重力式液压抓取机构的设计
与实验研究

DESIGN AND EXPERIMENTAL STUDY ON
A GRAVITATIONAL
HYDRAULIC GRIPPER WITHOUT POWER DRIVEN

(In Chinese)



原子能出版社

中国核信息中心
China Nuclear Information Centre



王大中：教授，清华大学核能技术设计研究院院长。1958年毕业于清华大学工程物理系，获德国亚琛大学自然科学博士学位。

Wang Dazhong: Professor, director of Institute of Nuclear Energy Technology, Tsinghua University. Graduated from Department of Engineering Physics of Tsinghua University in 1958 and received Ph.D degree in Technical University of Aachen in Germany.

CNIC-00667

TSHUNE-0048

无动力源重力式液压抓取机构 的设计与实验研究

王大中 庄 谨 马昌文 胡久大

(清华大学核能技术设计研究院,北京)

摘 要

介绍了在低温核供热反应堆中装卸燃料组件用的一种新颖无动力源抓取机构,论述了它的工作原理、结构特点、参数设计及其明显的优点。实验结果表明,该机构结构简单,操作方便可靠,可推广应用于其它轻水型反应堆的装卸料操作。

**DESIGN AND EXPERIMENTAL STUDY ON
A GRAVITATIONAL HYDRAULIC GRIPPER
WITHOUT POWER DRIVEN**

(In Chinese)

Wang Dazhong Zhuang Jin Ma Changwen Hu Jiuda
(INSTITUTE OF NUCLEAR ENERGY TECHNOLOGY,
TSINGHUA UNIVERSITY, BEIJING)

ABSTRACT

A new type gripper with no power supply for loading or unloading a fuel assembly into or from the core of low temperature heating reactor is developed and tested. The operating principle, characteristics of structure, designing parameters and remarkable advantages are introduced, ease in operation and reliable. It can be used in other light water reactors for fuel assembly handling operation.

前 言

抓取机构的设计实验研究是为了发展一种不需任何外动力源、能自动抓取和释放物体的吊装机构,它可用于低温核供热反应堆在更换燃料组件时所进行的装卸料操作。该抓取机构可安装在燃料组件装卸料机的头部,实现对燃料组件执行自动抓取和自动释放操作。

目前国内外使用的燃料组件抓取机构,其钩形夹爪开合采用的驱动方式是传统的机械、电气、气动和液压方式。在这些驱动方式中,钩形夹爪的开合都需一个外动力源及其控制系统,而外动力又需从装卸机构上方长距离传送到钩形夹爪上,需用很长的附加钢丝绳和电流输送导线,以及气液输送软管,并要解决电机或电磁铁材料与反应堆内介质的相容性等问题。为了简化抓取机构的结构,提高其运行操作可靠性,研制和发展了一种新颖的无动力源重力式液压抓取机构,它能远距离地在水下自动抓取或自动释放燃料组件,该装置不仅适用于低温核供热反应堆的装卸料操作,也可适用于其它轻水型反应堆的装卸料操作。

1 工作原理和结构特点

抓取机构的主要设计思想是在不需外动力源情况下,实现对燃料组件的自动抓取和自动释放。其设计原理是利用燃料组件本身自重及势能变化,压缩弹簧,利用弹簧力推动水力活塞缸实现抓钩自动开合。其工作原理如图 1 所示。它是由大小液压缸、钩形夹爪(由手臂和单向手爪组成)、水导管、固定支架等组件组成。液压缸内的水取自堆壳内水。钩形夹爪的自动抓取与自动释放是由手爪自动夹持、手臂自动松开、手臂自动复位 3 个动作组成。图 1a 是机构抓取过程,利用钩形夹爪上的单向手爪,将燃料组件上的提手撞入单向手爪内,单向手爪靠自重复位,再将燃料组件的提手抓取。图 1b 是抓取机构提吊过程,燃料组件被手爪夹持并提升,依靠燃料组件的重量将大液压缸内的大弹簧、大活塞连同小液压缸、钩形夹爪一起拉下,利用燃料组件自身重量,将提升燃料组件的位能变成储存在大弹簧内的势能,大液压缸内所需的水由单向阀流入补充。继续提升抓取机构,燃料组件即可被钩形夹爪抓起。图 1c 是抓取机构释放过程,在燃料组件达到预定的位置并下降放置在燃料储存架上之后,此时由于抓取机构上的单向手爪已离开燃料组件上的提手,被压缩的大弹簧将弹性势能释放,大活塞上部被压的水通过水导管压迫小活塞和小液压缸将手臂打开,实现夹爪自动释放。图 1d 是重新闭合复位过程,当抓取机构上升离开燃料组件的提手后,小液压缸左端的水在小弹簧的收缩弹力作用下,通过阻尼孔缓慢流出,使钩形夹爪自动恢复到图 1a 所示的闭合位置,以便重复实现抓取动作。

在与大液压缸紧固连接的固定支架上,设置有图 2 所示的二个可调锁固螺钉,在燃料组件被抓取和提升后,大活塞连同手臂和手臂支架被重力拉到处于大液压缸的最下端位置,可调锁固螺钉的位置正好处于限制手臂打开的部位,使手臂在抓取燃料组件后能牢牢闭锁无法打开,防止燃料组件在另一支承位置就位以前发生意外释放。

此外,在手臂支架上还设置有二根导向定位销,当抓取机构下降至即将接近燃料组件的提手时,此二根导向定位销即可插入燃料组件上格板上的二个喇叭口形的定位孔内,实现抓取机构与燃料组件提手更精确对中定位,并可防止燃料组件被抓取后在单向夹爪上发生位置移动。

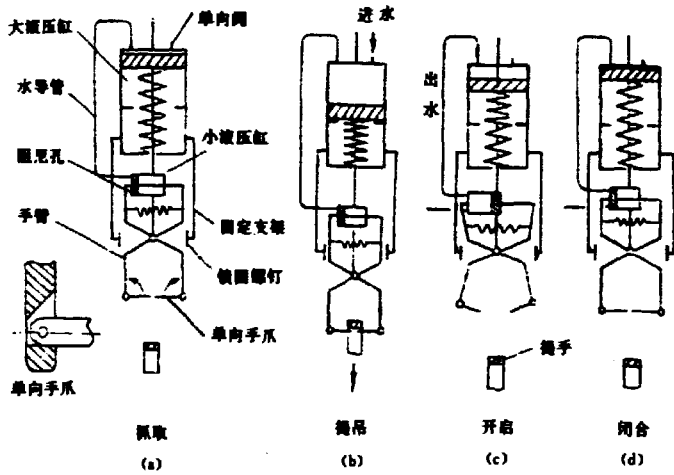


图1 抓取机构的工作原理

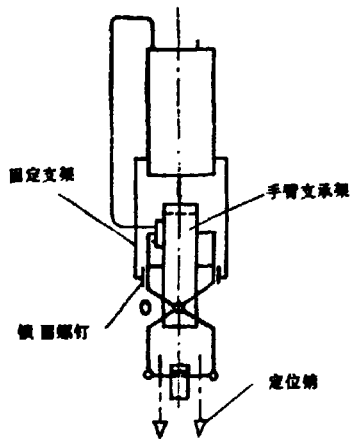


图2 抓取机构的结构示意图

2 结构参数设计

2.1 手臂开闭时的驱动力计算

如图3所示,为使手臂顺利打开,由大弹簧弹力产生的水压除克服小弹簧拉力对O点产

生的力矩外,还必须克服大小液压缸活塞与缸体间的摩擦力、大小液压缸泄压损失、管路液压损失、轴枢摩擦力、水粘滞力、阻尼孔泄压损失、水导管变形阻力等因素形成的阻力矩,这些阻力在手臂打开过程中随弹簧弹力变化而不断变化,很难精确计算,因此由实验测定,并设其为常数,用阻力系数 $k=1.2\sim 1.4$ 修正,当 0 点两侧手臂重量对 0 点的力矩大致相等时,则大弹簧的最小压缩弹力 $p_{1\min}$ 必须满足:

$$p_{1\min} \geq k \frac{Dl}{dL} p_{2\min}$$

式中: $p_{2\min}$ 为手臂完全打开时小弹簧的拉力, D 和 d 分别为大小活塞的直径, l 及 L 见图 3。

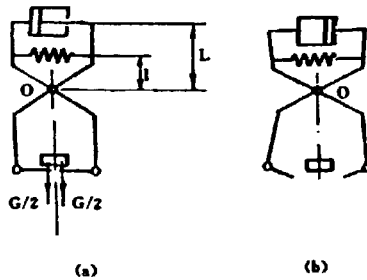


图 3 抓取机构的手臂工作示意

为保证大活塞能被所抓物体完全拉下,物体重量 G 必须满足:

$$G > \frac{p_{1\min} r_0}{r_0 - r_w}$$

式中: $p_{1\min}$ 为大弹簧被拉至最下端位置后的压缩弹力, r_0 为物体比重, r_w 为水比重。

为使手臂完全闭合,小弹簧的最小拉力 $p_{2\min}$ 必须克服阻尼孔和小液压缸的泄漏压力、小液压缸活塞与缸体间的摩擦力、轴枢摩擦力、水粘滞力、水导管变形阻力等的影响,此值经实验选定。

2.2 手臂关闭所需时间的确定

手臂关闭所需时间 t 包括: (1) 手臂打开到最大角度后,由于大液压缸的体积 V 大于小液压缸的体积 v ,大液压缸内多余的部分水就需由小液压缸的阻尼孔和大小活塞的环形缝隙流出,这时手臂可在最大开启角处停留一段时间为 t_1 ; (2) 靠小弹簧的弹力收缩压向小液压缸和小活塞,迫使小液压缸内的水由阻尼孔和小活塞的环形缝隙流出,使手臂关闭所需的时间为 t_2 。所以有:

$$t = \frac{V - v}{Q_1} + \frac{v}{Q_2}$$

式中: Q_1, Q_2 分别为 t_1 和 t_2 段时间内通过阻尼孔和活塞环形缝隙的流量。当忽略活塞偏心及移动速度对流量的影响时, Q_1, Q_2 的大小分别为:

$$Q_1 = K \cdot f \sqrt{\frac{2g}{\gamma} \Delta p_1 + \frac{2 \cdot 57 D \delta_1^3 \Delta p_1}{\gamma \nu l_1}} \times 10^4$$

$$+ \frac{2 \cdot 57 d \delta_2^3 \Delta p_1}{\gamma \nu l_2} \times 10^4 (\text{cm}^3/\text{s})$$

$$Q_2 = K \cdot f \sqrt{\frac{2g}{\gamma} \Delta p_1 + \frac{2 \cdot 57 d \delta_2^3 \Delta p_1}{\gamma \nu l_2}} \times 10^4 (\text{cm}^3/\text{s})$$

式中: K ——流量系数;

f ——阻尼孔的截面积, cm^2 ;

γ ——液体的重度, kgf/cm^3 ;

g ——重力加速度, $981 \text{cm}/\text{s}^2$;

Δp_1 ——手臂完全打开后, 在 t_1 段时间内阻尼孔和环形缝隙两侧的压力差, kgf/cm^2 ;

Δp_2 ——手臂开始闭合后, 在 t_2 段时间内阻尼孔和环形缝隙两侧的压力差, kgf/cm^2 ;

δ_1, δ_2 ——分别为大小活塞环形缝隙的径向间隙, cm ;

l_1, l_2 ——分别为大小活塞环形缝隙的长度, cm ;

ν ——液体的运动粘度, $10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$ 。

2.3 手臂最大开启角度

手臂最大开启角度是根据结构设计选定的手臂、小液压缸的长度尺寸和小活塞的行程长度尺寸几何计算确定的, 这里从略。

手臂最大开启角度和手臂关闭所需时间的设计计算, 应保证钩形夹爪有足够的充裕时间, 在抓取机构提升过程中能顺利地撤离被抓物体的提手。

3 实验结果和讨论

抓取机构是根据清华大学核能技术设计研究院研制的5MW低温核供热堆中使用的燃料组件的重量和尺寸设计的, 在模拟实验台架上, 经在水下250次抓取假燃料组件的实验表明, 该机构完全能按设计要求顺利地对物体进行自动抓取和自动释放操作。

本抓取机构与目前国内外反应堆工程中最广泛使用的气动式燃料抓取机构相比, 其特点是: (1) 不需气体动力源; (2) 不需气流分配阀等气流控制系统; (3) 不需将动力由气缸经机械传送到钩形夹爪的长动力传送装置; (4) 不需气体输送软管的盘绕装置。从而使装卸料机的装卸机构大为简化, 操作方便可靠, 此抓取机构对其它轻水型反应堆或处于水(或液体)下的有放射性或有毒等物体的抓取操作, 同样具有实用意义。

注: $1 \text{kgf} = 9.80665 \text{N}$

参考文献

- [1] England Patent. 1550975. Combined Fuel Assembly and Thimble Plug Gripper for a Nuclear Reactor
- [2] United States Patent. 4482520. Fuel Pen Transfer Tool
- [3] 公开特许公报. 特开昭59-54993核燃料取握装置
- [4] 朱齐荣等. 核电厂机械设备及其设计. 北京原子能出版社, 1991. 6
- [5] 中国发明专利. 89109525. X. 无动力源重力式液压抓取方法及装置

无动力源重力式液压泵取机构
的设计与实验研究

原子能出版社出版

(北京 2108 信箱)

中国原子能工业公司翻译部排版

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 11 千字

1992 年 8 月北京第一版 · 1992 年 8 月北京第一次印刷

ISBN 7-5022-0786-4

TL · 505

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 7-5022-0786-4
TL • 505

P.O.Box 2103
Beijing, China

China Nuclear Information Centre