

文章编号：0258-0926(2017)S1-0004-04；doi: 10.13832/j.jnpe.2017.S1.0004

燃料棒下端塞压塞机设计研究

黄帆, 邓昌义, 杨通高, 尤勇, 陈蕾

中核建中核燃料元件有限公司, 四川宜宾, 644000

摘要：压塞机是燃料棒进行电子束或非熔化极惰性气体钨极保护焊（TIG 焊）接前将端塞压入包壳管中的一种重要设备。以往所使用的压塞机难以满足当前的使用需求。因此重新设计一种新型压塞机。通过对端塞结构及技术要求的分析，确定了压塞机设计思路。介绍了压塞机的端塞上料（储料）机构、送端塞机构、压塞机构、上下料机构及其附属机构设计理由和方法。在实际使用中，新设计的压塞机要求压塞过程安全、平稳、便捷、自动化，压塞后无划伤。

关键词：燃料棒；下端塞；压塞机

中图分类号：TH6 **文献标志码：**A

Design Research of Equipment for Pressing Bottom End Plug of Fuel Rods

Huang Fan, Deng Changyi, Yang Tonggao, You Yong, Chen Lei

CNNC Jianzhong Nuclear Fuel Co. Ltd., Yibin, Sichuan, 644000, China

Abstract: The equipment pressing the plug is a kind of important machine in which the fuel rod is pressed into the cladding tube before the electron beam or the inert gas tungsten inert gas welding (TIG welding). The existing equipment pressing the plug can not meet the current demand. Therefore, a new type of equipment pressing the plug is designed and developed. Based on the analysis of the structure and technical requirements of the plug, the design idea of the equipment pressing the plug is determined. This paper introduces the design reason and method of the end plug feeding (storage) mechanism, the feeding end plug mechanism, the plug mechanism, the upper and the lower feeding mechanism and its subsidiary mechanism. The plug pressing process of the new designed equipment shall be able safe, stable, convenient and automatic, and without scratch after the plug is pressed.

Key words: Fuel rod, Bottom end plug, Equipment pressing the plug

0 前言

电子束焊是利用电子束流高速轰击阳极靶形成高热，熔化焊接燃料棒的一种焊接方法，而在焊接前，需要利用压塞机将端塞均匀压入包壳管内。非熔化极惰性气体钨极保护焊（TIG 焊）是在惰性气体的保护下，利用钨极与燃料棒产生的电弧热来焊接的方法，在焊接前也需要采用压塞机压塞。压力电阻焊则是利用电阻导热后将母材等金属熔化后压入包壳管中的一种焊接方法，采

用该方法不用事先压入端塞。从目前几个主要国家的燃料棒焊接技术的发展来看，欧洲部分国家的燃料棒焊接技术有向压力电阻焊焊接技术方向发展的趋势，例如法国 AFA 3G 燃料棒压力电阻焊技术和俄罗斯的 VVER 燃料棒压力电阻焊技术，但相较熔化焊而言，采用压力电阻焊焊接燃料棒焊缝在核电厂运行时间仅有十余年，该方法的安全、稳定性还需要更长运行周期进行验证。而燃料棒的 TIG 焊接技术成熟，检验方法可靠，

焊接设备相对简单,可靠性好,例如,美国的 AP1000 燃料棒焊接采用的就是 TIG 焊,可见 TIG 焊是核燃料棒焊接的一种重要方法。而采用 TIG 和电子束焊接技术,都需要有相关配套的压塞机。

1 设计原因

压塞机主要用于将端塞压入包壳管,以备完成后续燃料棒焊接,压塞过程中,缝隙过大容易造成未焊或未焊透,缝隙不均容易引起焊接不均,压塞偏斜会导致后续无法完成焊接,有些甚至无法进行返修必须报废处理,为此压塞机压塞后质量直接决定焊接质量优劣,然而原有设计压塞机存在结构设计不合理、自动化能力低、维修率高以及设备老化等问题,为此,需要重新设计塞机,以解决当前面临的问题。本文主要研究燃料棒下端塞的压塞机。

2 产品类型和技术要求

2.1 产品类型及参数

当前所生产的燃料元件主要以 AFA 3G 和恰西玛 PC(秦山一期)为主,其燃料棒下端塞结构示意图见图 1。

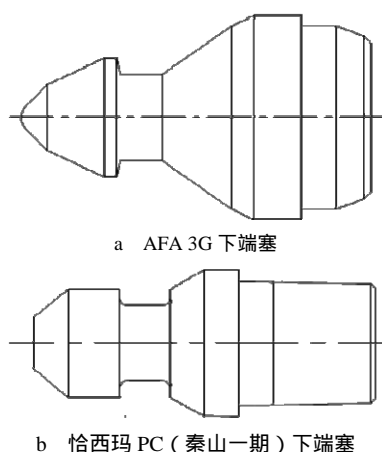


图 1 2 种产品下端塞外形结构示意图
Fig. 1 Schematic Diagram of Structures of Two Kinds of Products

AFA 3G 包壳管外径 $\phi 9.5$ mm, 内径 $\phi 8.36$ mm, 长度 3867 mm, 下端塞重量约为 3.44~3.46 g。恰西玛 PC(秦山一期)包壳管外径 $\phi 10$ mm, 内径 $\phi 8.6$ mm, 长度 3200 mm, 下端塞重量约为 6.03~6.04 g。此外还有很多其它种类的产品也需要利用压塞机压塞,为此需要设计能满足多种产

品类型的压塞机。

2.2 技术要求

为了避免压塞造成的焊接缺陷,技术要求规定: 下端塞与包壳管夹紧钳口的同轴度不得大于 0.02 mm; 压塞完成后包壳管直线度不大于 0.25 mm/300 mm; 压塞后,夹持区包壳管的椭圆度不得大于 0.03 mm; 压塞力满足 400~420 kg, 保持压塞力时长 10 s。

此外压塞后端塞、包壳管表面不能有划伤等缺陷,不能有污染、粘污等清洁度不达标的情况,压塞缝隙均匀,宽度适中。

3 设计介绍

新设计的压塞机包括端塞上料(储料)机构、送端塞机构、压塞机构、上下料机构及其附属机构。

3.1 端塞上料(储料)机构

端塞上料(储料)机构是压塞机的重要组成部分,主要用于完成将端塞送入指定压塞工位,等待压塞工作。

3.1.1 结构设计 为了能够实现端塞自动送到指定压塞工位,且能有一定存储功能,考虑将端塞上料机构设计为振动盘机构,振动盘不工作时可以用于储存燃料棒端塞,通电工作后可以平稳、安全、自动地将端塞送入指定压塞工位,根据功能振动盘分为圆盘、顶盘、底盘、振动器 4 个部分。

(1) 圆盘

以产品直径、下端塞直径和一次最大可放入端塞数量,估算出圆盘的直径。为了储存较多下端塞,圆盘设计为螺旋上升阶梯结构^[1],而每次只能使得 1 个下端塞到达指定压塞工位(如果多个同时到达会影响造成压塞错误),因此阶梯横向宽度设计为 11 mm(1 次仅允许 1 个下端塞通过)。

(2) 顶盘

根据图 1 可知,燃料棒下端塞两端形状尺寸均不相同,因此压塞有方向性和唯一性要求,假如压塞方向错误,将会导致燃料棒切头返修,甚至是报废,为避免上述情况的发生,需要设计顶盘。顶盘是安装在振动盘最上方的装置,与圆盘连接,该装置内部也采用阶梯结构,但在阶梯段设计为漏口形状,当端塞以反向或不正确工位准备进入指定工位前会从漏口处掉回到圆盘中,可

以有效避免压塞错误情况的发生。目前生产燃料棒所用端塞大部分为 AFA 3G 和恰西玛 PC(秦山一期) 两种, 因此顶盘按此设计, 考虑到通用性, 顶盘设计为可拆卸结构, 当需要换用其它产品端塞, 可以重新设计加工顶盘, 重新安装在振动盘上即可使用。

(3) 底盘

为了能将振动传递到圆盘, 使圆盘内的端塞螺旋振动上升, 需要设计底盘, 底盘与振动器相连, 通过调节底盘倾角、方向控制振动频率, 可以将振动器固有频率改变, 从而形成一定可调的范围, 前期根据试验得到相应可用频率范围。

(4) 振动器

振动器是振动盘中核心动力部件, 一般采用电磁铁起振, 在振动过程中, 总能遇到 1 个点使物体产生共振, 共振主要是利用物体自身固有特性, 因物体重量和形状不同, 产生共振的频率也不同的特点, 让物体能按一定方向振动前进, 根据 2.1 节可知下端塞外形尺寸和重量, 以此计算出振动器的振动频率。

3.1.2 材料选择 目前大部分压水堆核燃料棒端塞通常采用 Zr-4、M5 或 Zr-Nb 材料, 但是 Zr-4、M5 或 Zr-Nb 材质较软, 在振动盘的圆盘振动中易形成划伤, 为此需要将圆盘中与下端塞接触的部分设计为相对较软的塑料结构, 而外围设计为碳钢、铸铁结构。

3.2 送端塞机构

下端塞从振动盘中振动出来后中心线为铅垂方向, 而包壳管为水平方向, 因此需要将端塞调整一定的方向到达指定压塞工位, 才能完成压塞, 而调整这一过程的为送端塞机构。在设计方案中包括人工和自动操作等多种方案备选, 其中模拟人手指夹持的方式结构简单、互锁性强、维护保养便捷, 最终被确定为设计方案。该方案中送端塞机构主要由平行气爪、旋转气缸、平移气缸以及导向滑台、夹块等组成, 其中平行气爪用于夹持端塞, 选用 festo 型号为 DHPS-6-A 的气爪, 而为了避免端塞被气爪夹伤(气爪为金属材料), 设计了用于安装在平行气爪上的夹块, 夹块采用聚乙烯塑料材质, 送端塞时夹块与端塞直接接触, 完成夹持动作, 旋转气缸、平移气缸以及导向滑台均用于将夹持端塞的平行气爪通过横、纵方向

的移动最终到达指定压塞工位。

3.3 压塞机构

压塞机构主要用于将到达指定压塞工位的燃料棒压入包壳管中。该机构分成 2 部分: 用于夹持定位包壳管; 用于承装端塞, 使其保持在正确压塞工位。根据 2.2 节可知, 压塞力约为 400~420 kg, 如果夹持定位包壳管不牢靠, 可能在压塞过程中造成包壳管滑移, 甚至掉出夹持定位区域, 无法完成正常压塞, 为此采用夹持牢固可靠的板口钳结构^[2], 选取 CKD 型号为 SCS2-LN-LB-150B-150-TOH-D 的大缸径气缸。在钳口位置加装聚乙烯材料制得的夹板, 防止金属划伤包壳管, 并在夹板上开半圆槽, 与包壳管配合, 以保证包壳管既不会被夹扁, 也不会松脱。承装端塞设计为开槽实心圆柱头, 槽型与端塞尺寸配合, 利用槽型卡住固定端塞, 另外还在圆柱头中心开通孔, 利用在开孔处抽负压吸住端塞, 防止其掉出, 辅助定位端塞到指定压塞工位。圆柱头下方安装在导向滑台上, 当端塞、包壳管均满足到位要求后, 导向滑台控制圆柱头朝夹持包壳管的板口钳方向移动, 直至压塞动作到位停止并按 2.2 节规定保持 10 s 后, 反向移动返回原位。为能实现压塞产品多样性和通用性, 压塞机构中的板口钳压板和承装端塞的圆柱头都是可拆卸更换的部件, 可根据产品外形尺寸加工相应部件换上即可使用。

3.4 上下料机构

要实现全自动化, 需要从端塞、包壳管来料到压塞结束整个过程都实现自动化。上下料机构主要用于将包壳管上/下到指定工位。同端塞到达指定压塞工位一样, 上下料机构一次仅能使得一支包壳管到达指定工位, 由压塞机构的板口钳夹紧定位包壳管后实现压塞。上下料机构由顶升气缸、分料板、支撑架、铝型材料架、上下料架等组成, 其中所有与燃料棒、包壳管接触部位均采用聚乙烯材料。

3.5 附属机构

进退料机构等附属机构, 辅助或间接完成某些动作、命令, 共同构成压塞机机械结构。图 2 为压塞机三维图。

4 结束语

燃料棒下端塞压塞机于 2015 年 10 月 13 日完

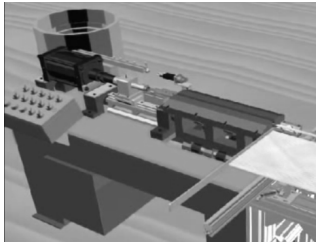


图2 压塞机三维图

Fig. 2 3D Graph of Equipment Pressing the Plug

成设备验收，在前期试验过程中，使用压塞机共完成75支燃料棒的压塞工作，压塞过程安全、平稳、便捷、自动化，压塞后包壳管及端塞表面没

有出现划伤、压伤等缺陷，压塞缝隙均匀，宽度适中，腐蚀样符合要求，达到预期设计目标。

通过试验说明：新设计的压塞机能全自动完成压塞动作；适用于多种燃料元件棒压塞；该压塞机压塞后燃料棒缝隙均匀，宽度适中。

参考文献：

- [1] 成大先. 机械设计手册-1卷5版[M]. 北京：化学工业出版社，2007.
- [2] 邱宣怀. 机械设计-4版[M]. 北京：高等教育出版社，1997.

（责任编辑：张祚豪）