

燃料棒水润滑装置研制及应用

赵金 呼征宇

(中核建中核燃料元件有限公司 四川 宜宾 644000)

摘要: 燃料棒水润滑是通过专用水润滑装置,在燃料组件拉棒过程中使每支燃料棒表面形成水膜,从而减少燃料棒在拉棒过程锆屑产生量及改善锆屑形态,达到降低燃料组件在堆内运行时燃料棒发生破损风险的目的。根据当前拉棒工艺及设备状态,利用现有生产布局,研制一套燃料棒水润滑装置,通过装置调试与参数摸索,并经过非水润滑与水润滑两种拉棒工艺试验对比,证明燃料棒水润滑装置能显著减少拉棒时燃料棒表面产生的长条状和细丝状碎屑的数量,可改善拉棒中燃料棒表面的划伤程度。

关键词: 水润滑; 锆屑; 装置研制; 试验研究

0 引言

锆屑腐蚀所致的燃料棒破损在所有类型的反应堆中都有发生,是过去十几年里压水堆燃料破损的一个重要原因。破损的原因是燃料组件中俘获到了金属锆屑,这些锆屑受到冷却剂流影响而振动可能导致包壳管壁快速腐蚀并穿孔。现行的燃料组件拉棒工艺中,燃料棒在拉入组件过程时,棒表面与格架刚凸、弹簧接触摩擦,不可避免的会产生大量锆屑,锆屑通常形状为长条状、丝状,燃料组件在拉棒后虽经吹渣、去毛刺,但组件内部栅元的锆屑依旧存在。为减少组件拉棒时锆屑的产生,近年来国外核元件制造厂主要采取了两种措施,一是在燃料棒包壳管增加 Cr 涂层,以形成更硬的表面,以提高燃料棒的耐磨性;二是在拉棒前对燃料棒进行水润滑,使燃料棒表面产生水膜,达到润滑的效果,减少拉棒过程中的锆屑产生量,改善锆屑状态,其中,水润滑工艺拉棒在国外先进燃料元件制造厂已得到广泛应用。为此,利用现用组件拉棒装置与预装盒装置的结构特点及空间布局,通过巧妙设计,研制了一套燃料棒水润滑装置,将燃料棒水润滑装置与现有设备紧密结合,使燃料棒在拉棒前进行水润滑,实现燃料组件水润滑工艺拉棒。

1 燃料棒水润滑装置研制

1.1 锆屑产生的原因

燃料组件的格架的栅元中分布着弹簧与刚凸,以确保足够的夹持力限制燃料棒不发生轴向窜动。在拉棒过程中,燃料棒与格架栅元内的弹簧刚凸摩擦,不可避免的会产生大量的锆屑,外圈的锆屑容易清除而内圈的锆屑难以清除。下图为拉棒产生锆屑示意图。

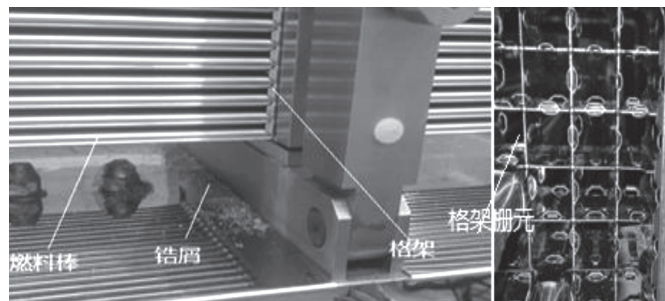


图 1 拉棒中产生锆屑图

1.2 减少拉棒时锆屑产生的有效途径

现在阶段,减少拉棒时锆屑产生的途径一是变更燃料组件零部件的设计,增加燃料棒表面耐磨性或适当减小格架栅元夹持力;二是在拉棒前通过事先对燃料棒的润滑,增加燃料棒表面的润滑性。其中第二种是国外核元件制造厂广泛采用的方法。借鉴国外燃料棒水润滑经验,结合自身生产线特点,研制了一套燃料棒水润滑装置。

1.3 燃料棒水润滑装置设计要求

(1) 利用现有组件组装装置空间布局,在预装盒平台与拉棒机平台之间,巧妙设计、安装燃料棒水润滑装置,且确保预装移动台与拉棒机主体不移动。

(2) 根据不同拉棒工艺要求,燃料棒水润滑装置可快速投入和退出运行。

(3) 装置安装运转后,能显著改善拉棒中的锆屑数量及形态。

(4) 实现装置间联动可控、匹配;操作安全、简易;装置灵敏、可靠。

1.4 燃料棒水润滑装置结构

燃料棒水润滑装置主要由升降组件、伸缩组件、水箱组件、拖链、防护罩及控制系统等组成(水润滑拉棒流程图见图2、结构示意图见图3)。

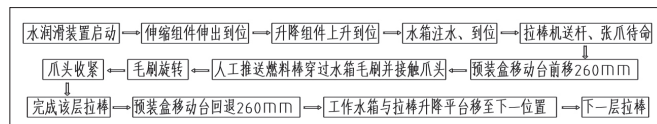


图 2 水润滑拉棒流程示意图

1.4.1 机架设计

机架采用钢性框架式结构,由顶板、侧板及固定板,采用螺纹连接组成。机架通过螺纹连接在燃料棒预装盒移动台上,机架侧板内安装导轨副与升降组件滑块相配合。机架具有足够的刚度和强度,保证燃料棒水润滑装置长期使用的稳定性。

1.4.2 升降组件设计

由支撑板、伺服电机、联轴器、直线轴承、导向轴、螺旋升降机、光电开关及直线导轨等构成。升降机构采用半闭环

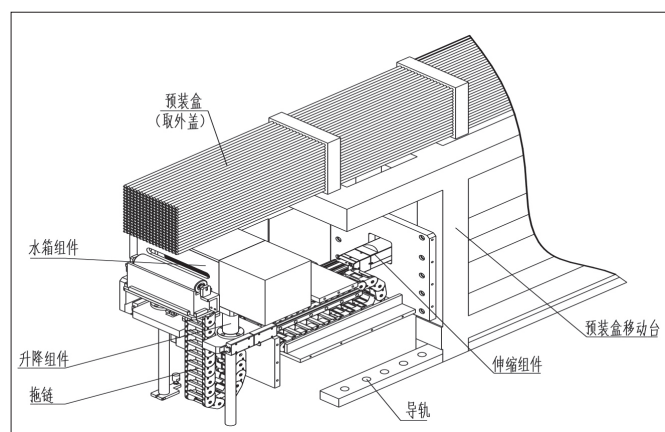


图3 燃料棒水润滑装置结构示意图

控制,工作时,升降组件使工作水箱按相应程序精确提升或下降,准确抵达工作层位,以保证预装盒内燃料棒的顺利穿过,并与拉棒机拉棒层数匹配准确、可靠。非工作时,与伸缩组件联动,可将工作水箱降至燃料棒预装盒的下方,确保工人操作空间,满足组件拉棒后的组件组装相关操作安全位置。

1.4.3 伸缩组件设计

由电动缸、安装架、导向轴、直线轴承、固定板、联轴器构成。工作时,电动缸动作,推动支撑板沿着导向轴,伸出约 260mm 至相应位置,确保支撑板上的升降组件上升不与燃料棒预装盒端部发生干涉。工作完成后,伸缩组件收缩至预装盒下。

1.4.4 水箱组件设计

由电机、毛刷、同步带轮、托轮、接水槽、防护罩、玻璃罩、水位检测元件等构成。拉棒工作时,首先打开进水管路的阀门,进水桶给水箱内快速注水,由水位检测元件控制注水到指定的工作水位。当感应开关感应到托轮上有燃料棒时,电机带动毛刷转动,使润滑水箱内产生一定量的水雾,实现燃料棒水润滑。

1.4.5 进排水路设计

由不锈钢水泵、进水电磁阀、排水电磁阀等组成。储水桶与废水收集桶容积为 13L,材质为 PC 透明材质,桶带刻度,可观察用水量及废水收集量。向工作水箱内注水到工作水位,当水位处于低水位时,并向工作水箱内补水至工作水位,从而保证对燃料的水润效果。当天工作结束后,将工作水箱内的水排放到废水收集桶内,然后由人工将废水移走。

1.4.6 控制系统

由 PLC、工业触摸屏、继电器、接触器、空气开关、操作按钮等组成。触摸屏用于设置系统参数、是成熟的工业标准控制器,主要参数由用户设置,方便用户产品改型,实现一机多能。系统主要部件的状态在触摸屏上显示,方便机器维护和调试。定位系统采用交流伺服电机实现,具备定位精度高、调速范围大等特点。

2 试验与研究

2.1 毛刷材质的选择

分别选用丝径约 0.2mm 聚乙烯材质与猪毛材质的毛刷

进行水润滑拉棒水膜附着试验,试验结果显示,毛刷材质选用聚乙烯或猪毛均不会对燃料棒表面造成污染、划痕等不良影响。在匹配一定的毛刷转速下,聚乙烯毛刷或猪毛刷沾水后涂挂燃料棒表面能够使燃料棒表面形成均匀水珠或水膜。但猪毛刷与燃料棒表面多次旋转接触后,出现毛刷断裂现象。因此,聚乙烯材质毛刷相对猪毛材质毛刷润滑质量更优。

2.2 毛刷转速对燃料棒表面水膜的影响

在水箱水位一致情况下,毛刷转动都能使燃料棒表面形成水珠或水膜,随着转速的增加,棒表面水珠或水膜的密集度及保水持久度也随之增加;若持续提高毛刷转速,将达到装置转速上限值,且燃料棒表面附着水珠或水膜,程度无明显增加。

2.3 毛刷转速对燃料棒表面水膜的影响

在毛刷转速一致情况下,水箱水位的增加,棒表面附着水珠或水膜的密实性也随之增加。由于水润滑装置自身设计结构中水箱溢流孔位置已定,若再往水箱内加水,多余水将溢流,从实际效果看,其工作水位即淹没毛刷 1/3 处,可满足水润滑拉棒要求。

2.4 非水润滑拉棒与水润滑拉棒对比试验

分别运用水润滑工艺及非水润滑工艺各拉棒 10 组组件,并收集拉棒全过程产生的锆屑量。试验结果显示,水润滑拉棒工艺较非水润滑工艺拉棒产生的锆屑减少约 58%;锆屑形态也发生一定改变,由颗粒状变粉末状,长丝状锆屑明显减少。

5 结语

燃料棒水润滑装置研制成功后,先后完成了 5000 组燃料组件的拉棒工作,运行平稳、联动正常,定位精准,水润滑工艺参数可靠、有效,满足水润滑拉棒批量生产需要。

燃料棒水润滑装置进行水润滑工艺拉棒对保护燃料棒外表面起到了良性效果,其产生的锆屑量及积存量较非水润滑状态拉棒明显减少,且产生的锆屑形态尺寸更微小,燃料棒水润滑装置及其工艺适宜、有效。

参考文献:

- [1] 成大先. 机械设计手册 [M]. 北京:化学工业出版社, 2007. 11: 97 - 127.
- [2] 温国义, 韩超. AP1000 燃料组件锆屑产生原因及处理措施探讨 [J]. 核科学与工程, 2019, 39(2): 315-318.
- [3] 陈天野, 吴平等. 一种用于燃料棒组件拉棒的水润滑装置 [P]. 核工业专利: CN1069352828, 2019-02-26.
- [4] 曹鹏久, 章圣斌等. 核电站燃料组件的破损及管理分析 [J]. 建筑学研究前沿, 2019, 21.
- [5] 肖忠, 张凤林. AFA3G 燃料组件和燃料棒的辐射生产 [J]. 核动力工程, 2002, 23 (1).
- [6] 王晓敏. 辊道升降机构的结构设计及计算 [J]. 数字化用户, 2013, 31.
- [7] 金星辉, 郑卫刚. 采用压床淬火减小齿轮畸变的工艺研究 [J]. 机床与液压, 2015, 43(10): 27-30.
- [8] 陈宝山, 刘承新. 轻水堆燃料元件 [M]. 北京:化学工业出版社, 2007.