

# 核电厂反应堆热电偶导管钻孔装置开发与应用

## Development and Application of Thermocouple Pipe Drilling Tools for Reactor

李辉 胡建强 谭毅 丁嘉葆

Hui Li Jianqiang Hu Yi Tan Jiabao Ding

中广核核电运营有限公司 中国·广东 深圳 518214

China Nuclear Power Operations Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518124, China

**摘要:** 某核电厂大修期间进行一回路压力试验时发现反应堆热电偶导管周围存在渗漏, 由于其所处环境、部位特殊, 需开发专用工具对残余导管钻除扩孔, 以便开展后续处理工作。针对上述情况, 设计开发了核电厂反应堆热电偶导管钻孔装置, 论文阐述了该钻孔装置的设计要求, 设计方案、结构形式及使用过程。该装置已在该电厂大修现场得到应用并获得良好反馈。

**Abstract:** During the first outage of a nuclear plant, the pressure vessel was found to be leaking around the thermocouple catheter. Because of the special environment and position, we need to design a special tool for drilling the remains catheter. And then we can start the follow-up work. According to the situation, a special tool for drilling thermocouple catheter was designed. This paper described the thermocouple pipe drilling tools from design requirements, design proposal, physical construction and the process of use. The special tool for drilling thermocouple pipe has been applied in site and received good feedback in the field of the power plant.

**关键词:** 反应堆; 热电偶; 导管; 钻孔; 工具

**Keywords:** reactor; thermocouple; catheter; drilling; tools

**DOI:** 10.12346/peti.v4i2.6607

## 1 引言

某核电厂大修期间进行一回路压力试验(介质为水)时, 当水压试验处于 154bar (1bar=105Pa, 表压) 压力平台时, 现场检查发现堆芯测量系统热电偶导管及其导管座存在泄漏。经咨询, 此事件在国际上均无可借鉴的处理经验及方案。

考虑到热电偶、热电偶导管及导管座对机组安全运行的重要性, 需按如下步骤进行后续工作: 抽出导管内热电偶、切割热电偶导管, 钻除残余导管并扩孔, 安装热电偶导管堵头并焊接。

因为热电偶导管所处环境空间狭小, 辐射剂量率高, 且无可参照的现成专用工具。故设计开发此装置来实施反应堆热电偶导管钻除扩孔工作。

## 2 事件描述

反应堆压力容器热电偶主要用于核电厂反应堆堆芯温度

测量。热电偶(38个)和测量反应堆顶盖腔室温度的热电偶(2个)通过热电偶柱中的热电偶导管从反应堆压力容器顶盖引出, 热电偶导管作为热电偶的通道, 连同热电偶导管座、热电偶柱成为一回路压力边界<sup>[1]</sup>, 故热电偶导管及其导管座关系到核电厂一回路压力边界的完整性, 对核电厂机组的安全运行至关重要。

某核电厂大修期间进行一回路压力试验(介质为水)时, 当水压试验处于 154 bar (1bar=10<sup>5</sup>Pa, 表压) 压力平台时, 现场检查发现堆芯测量系统热电偶柱上表面导管周围存在少量硼结晶。事件发生后, 通过分析认为此次事件的硼结晶是从导管周边缝隙中渗出, 发生渗漏的部位为热电偶导管及其导管座。

经调查, 此事件国内外无可借鉴的处理经验、方案及可使用的专用工具。考虑到热电偶、热电偶导管及导管座对机组安全运行的重要性, 决定采取以下措施: 抽出导管内热电

【作者简介】李辉(1990-), 男, 中国湖北天门人, 本科, 工程师, 从事反应堆本体检修研究。

偶、割除热电偶导管，钻除残余导管并扩孔，安装热电偶导管堵头并焊接。

因为热电偶导管所处环境空间狭小，辐射剂量率高，且无可参照的现成专用工具。故设计开发此装置来实施反应堆热电偶导管钻除扩孔工作。

### 3 设计要求

#### 3.1 现场条件

热电偶柱所处的工作环境狭小，热电偶柱与周边围板的距离仅约 120mm，如图 1 所示。热电偶柱上布置的热电偶导管密集，热电偶柱直径约为 65mm，其上布置了 13 根导管，导管间距约为 3~4mm<sup>[2]</sup>，如图 2 所示。热电偶导管外径为 8mm，导管内部分 4 段胀管，导管内径为 4.8mm，胀管段内径最大为 5.3mm<sup>[3,4]</sup>。

#### 3.2 技术要求

为满足现场接口安全要求以及工作要求，钻孔装置需满足以下技术要求：

- ① 须保证装置体积小，外形长宽需小于 120mm，才可安装使用；
- ② 由于现场环境剂量率高，限制了工作人员的工作时间，故须保证装置连接简单，可在狭小空间内方便实现连接、安装及拆除；
- ③ 须保证装置垂直度和对中符合技术要求，避免对本体造成超出要求的机械损伤。

## 4 总体方案

根据以上技术要求，将钻孔装置设计由 3 部分组成：基座、钻孔组件（气动马达、齿轮组、专用钻头）、本体（移动块、支撑及导向装置、钻孔装置高度调节杆），如图 3 所示。钻孔装置固定在热电偶柱（2）的指定高度及角度，可钻孔热电偶导管（1）中指定的一根导管。

### 4.1 基座（3）

① 用于夹紧热电偶柱（2），设定及实现钻孔装置基准。两个半环通过两个紧固螺钉（14）夹紧热电偶柱（2），并将基座安装在热电偶柱的指定高度，基座上设置标识，标识需对准待钻管，以确保钻孔装置角度合适。

② 用于固定本体（11）。连接块（13）通过螺栓固定在基座上，基座通过两处与本体连接与紧固。本体（11）上设置有连接螺栓（12），当本体（11）就位与基座（3）并用压板初步紧固后，连接螺栓（12）将会进入连接块（13）卡槽，紧固连接螺栓（12）后本体（11）将会与连接块（13）连接。

③ 本体与基座通过压板（10）及连接块连接紧固后即可保证稳定连接，同时也保证了垂直度的需要。

### 4.2 钻孔组件（4、6）

① 气动马达（4）：用于实现钻头转动的操作，属于钻孔装置的执行机构。使用压缩空气（6~8bar）驱动。

② 齿轮组：气动马达的动力通过三级齿轮组传递给钻头。

③ 专用钻头（6）：有两个重要功能，如图 4 所示。

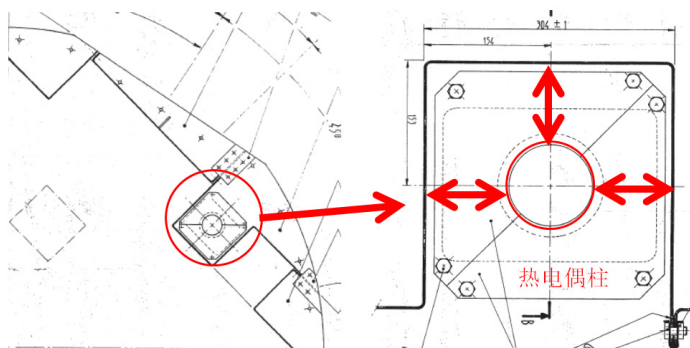


图 1 热电偶柱周围空间

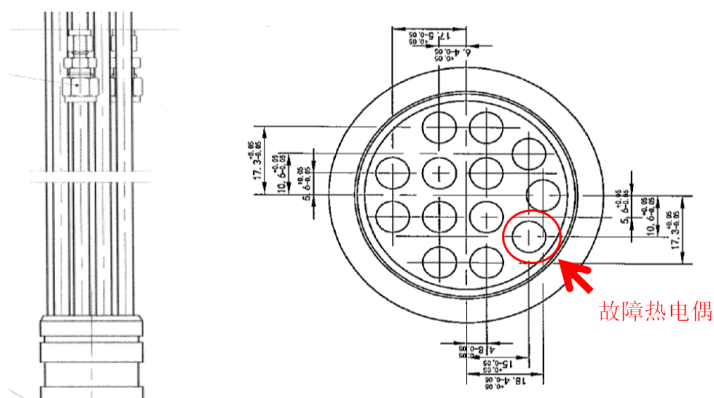


图 2 热电偶导管布置

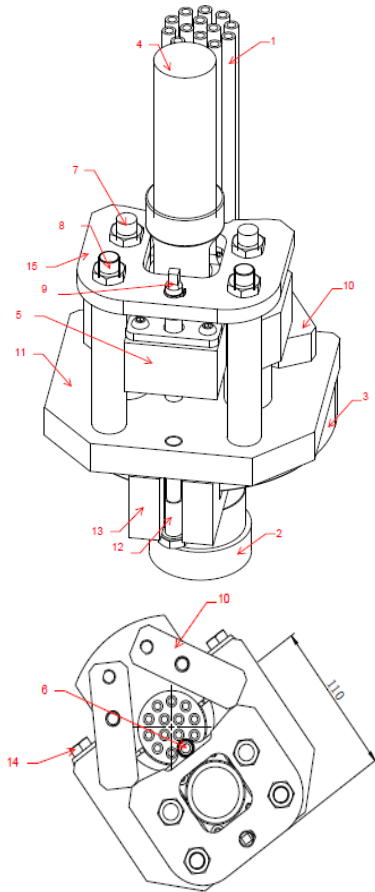


图3 热电偶导管钻孔装置结构图

a. 用于实现钻孔功能，钻头的尺寸需结合热电偶导管孔及扩孔要求专门制作，此次的钻孔需要钻孔及扩孔，为此专门设计了与常规钻头不同的特殊一体成型钻头。

b. 用于实现钻孔装置的对中，此次使用的一体成型钻头，除具有的切削刃以外，还具有导向段。钻头导向段的作用是保证钻孔质量的核心，导向段除了能确认钻孔装置的安装位置，还能保证钻孔过程中的对中度。

c. 导向段的直径与带钻管的内径匹配，当导向段插入导管后，即可反向确定钻孔装置的对中安装位置。另外在钻孔扩孔过程中由于导向段始终在导管内，这可消除钻孔振动给钻孔质量带来的负面影响。

#### 4.3 本体 (11)

①移动块 (5)：用于钻孔组件的上下移动以及气动马达的固定。

②支撑及导向装置包含：导向柱 (7)、支撑柱 (8)。

③钻孔装置高度调节杆 (9)：调节杆一端固定在移动块，另一端与支撑板通过螺纹连接。使用时旋转高度调节杆可以实现移动块的上下移动。

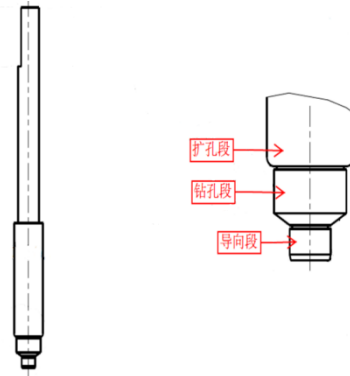


图4 专用钻头

## 5 操作过程

根据设计方案，热电偶导管钻孔装置现场实施流程应有如下重要步骤：①检查并安装一体成型钻头。②安装基座至热电偶柱。③检查基座安装位置及角度。④安装本体至基座。⑤使用连接块、连接压板初步紧固本体。⑥使用钻头对中钻孔装置。⑦使用连接块、连接压板初步紧固本体。⑧检查装置安装情况。⑨连接气源。⑩启动钻孔装置。

## 6 结语

钻孔装置具有体积小、可扩展性好、对待钻管周围空间要求低等优点，同时采用组合式设计，不会影响其他工作的开展。该工具的设计开发，使得狭小空间内小直径管进行钻除扩孔操作易于实施，且可重复多次使用。此结构具有较好的扩展能力，对于不同场合的钻孔工作，仅需进行简单的更换基座，便可直接应用于更多现场，故具有极大的应用价值。该专用工具已在某核电厂大修现场成功使用，经现场检验，外形尺寸满足现场要求，加工精度满足现场要求，钻孔深度及直径均一次成功，现场使用效果良好，从而保证了此次热电偶导管机加工作的顺利开展。目前该工具已成为热电偶导管机加工作关键专用工具。

## 参考文献

- [1] Nfm Technologies. Nuclear power reactor vessel operating and maintenance manual: Plx42eom091fmc45ss[Z].2007:1.
- [2] Areva NP. In-core instrumentation-thermocouple columns seal device: SFISM DB 5683[Z].2008:1.
- [3] Areva NP. In-core instrumentation ric thermocouple column assembly E13: BLX44270001W04H44DD[Z].2013:1.
- [4] AREVA NP. In-core instrumentation ric thermocouple column general assembly: BLX44270005W04H44DD[Z].2013:1.