

重水冷却系统实验平台

刘宇^{1,2}, 何宁^{1,2}, 梁辉宏^{1,2}, 范霖^{1,2}, 姚从菊^{1,2}, 孙国旭^{1,2}, 曹澳^{1,2}, 吴耀达^{1,2}, 王燕燕^{1,2}, 林雄^{1,2}

¹ 中国科学院高能物理研究所东莞分部 广东东莞

² 散裂中子源科学中心 广东东莞

【摘要】重水冷却系统实验平台的设计参照中国散裂中子源靶站重水冷却系统要求设定。该平台具备温度控制, 流量调节, 热量疏散等功能; 在实验平台上, 可以开展模拟靶冲刷腐蚀实验、能够模拟靶站水冷系统不同工况运行、开展介质净化效果及树脂失效等研究。本文主要介绍实验平台的设计参数及运行情况。

【关键词】中国散裂中子源; 重水冷却系统; 水净化系统

【收稿日期】2024 年 5 月 10 日

【出刊日期】2024 年 6 月 20 日

【DOI】10.12208/j.ijme.20240011

Development of experimental platform for heavy water cooling system

Liu Yu^{1,2}, Ning He^{1,2}, Huihong Liang^{1,2}, Lin Fan^{1,2}, Congju Yao^{1,2}, Guoxun Sun^{1,2}, Yaoda Wu^{1,2}, Yanyan Wang^{1,2}, Xiong Lin^{1,2}

¹Dongguan Branch, Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, Dongguan, Guangdong

²Spallation Neutron Source Science Center, Dongguan, Guangdong

【Abstract】The experimental platform for the heavy water cooling system at the China Spallation Neutron Source (CSNS) target station has been designed to meet the specific requirements. It has the functions of temperature control, flow regulation, heat removal, etc. On the experimental platform, it can simulate the target erosion experiment, simulate the different working conditions, carry out the research on the effect of purification and resin failure. This paper mainly introduces the design parameters and operation of the experimental platform.

【Keywords】China Spallation neutron source; Heavy water cooling system; Water purification system

引言

中国散裂中子源 (China Spallation Neutron Source, CSNS) 主要由加速器、靶站和谱仪等部分组成^[1]。

靶站重水冷却系统的主要功能是向靶站需要散热部件 (靶体、反射体) 提供连续运行的冷却水, 水系统循环时, 受到中子的照射, 会产生一些活化产物, 使水质变差, 提高整个系统的放射性水平, 影响系统的正常运行。靶站水冷系统运行过程中需要解决的停电、设备故障、介质泄露等异常工况和树脂失效等问题, 需要在实验平台开展相关实验, 为靶站水冷系统运行过程中问题提供解决方案。利用此实验平台开展了 CSNS 靶体关键材料的冲刷磨损实验, 冲刷磨损实验主要模拟在高速冷却水的长期冲刷磨损情况下, 研究钽包覆钨靶片的质量、表面微观形

貌、腐蚀产物等特性变化情况, 为 CSNS 靶体的长期稳定运行及高功率靶材的研发提供重要数据支持。CSNS 靶站水冷系统实验平台为一套去离子水冷却系统^[2]。各实验回路和净化回路采用并联, 由一套水泵机组提供动力, 采用阀门调节压力、流量等参数。对中国散裂中子源二期靶体和靶站水冷系统的设计、安装、运行及维护都有重大的意义。

1 CSNS 靶站高功率靶体冲刷实验平台设计要求及设计参数

CSNS 靶站高功率靶体冲刷实验平台设计目标主要是为靶站水冷系统运行过程中问题提供实验场地, 平台设计按照中国散裂中子源二期靶站水冷系统的流量、压力、净化设备等参数进行设计。以开展靶站水冷系统运行过程中需要解决的停电、设备故障、介质泄露等异常工况和树脂失效等相关实验;

作者简介: 刘宇 (1990-) 男, 本科, 现主要从事中国散裂中子源靶站水冷系统和靶站工艺系统相关的研究工作。

验证及优化相关问题的解决方案, 更好的为中国散裂中子源二期靶体和靶站水冷却系统的设计、安装、运行及维护提供相关实验支撑。

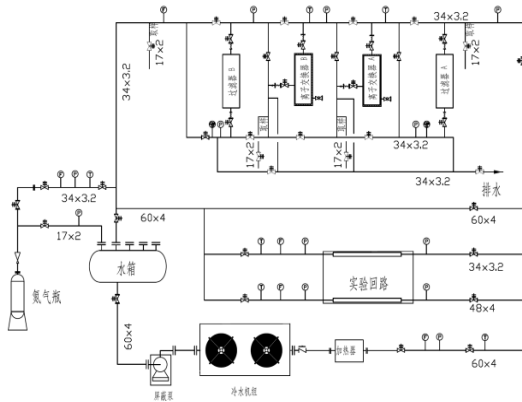


图 1 CSNS 靶站水冷却系统实验平台

1.1 回路设计

(1) 该实验平台具有: 循环回路、净化回路、实验回路、氮气保护气回路、测量系统和控制系统等回路设置不同管径以满足多种工况使用要求。本系统设备、管道、管件及阀门的材料均为奥氏体不锈钢 S30403, 以保证实验对水质要求。流程图如图 1 所示。

(2) 净化回路, 连续净化系统介质, 过滤捕集水中腐蚀产物等杂质, 维持适宜的 pH 值, 使其满足

水质指标要求。减少水中杂质在结构材料上的沉积, 保持良好的热传导。

(3) 测量系统, 是保障系统安全、有效运行的重要系统, 主要完成对系统设置各类参数如温度、流量、压力、液位、电导率等参数的监测, 并将上述参数电信号送至控制系统, 以实现上述参数的显示、记录、打印、超限报警和事故保护等功能。

(4) 实验回路, 可为模拟靶做冲刷腐蚀实验及靶站水冷却系统相关实验及测试。

(5) 实验平台系统设计参数如表 1 所示。

1.2 控制系统设计

控制系统, 作为系统的控制中枢, 实时采集所有设备和仪表的信号, 在控制界面上显示, 并存储在数据库中。

控制系统的功能要求: 远程控制与本地控制、闭环控制功能、实时数据采集、信号联锁功能、数据存储、曲线显示、报警功能。远程控制可以实现手机移动端远程控制系统启停和相关参数设置, 可以在手机移动端查看历史曲线和报警信息等。

2 CSNS 靶站水冷却系统实验平台的研制

CSNS 靶站高功率靶体冲刷实验平台的主要设备有主要部件包括模拟靶、波动箱、冷水机组、加热器、净化系统、阀门执行机构、水泵、过滤器, 离子交换器、测量仪表等, 占地面积约为 80m²。图 2 为实验平台实物照片。

表 1 CSNS 靶站水冷却系统实验平台主要设计参数

系统名称	设计参数	数值
主循环回路	设计流量	0-30m ³ /h (控制精度±3%)
	设计压力	1 MPa (控制精度±2%)
	运行介质	去离子水 (≤10um)
	系统设计温度	60°C (控制精度±2°C)
净化回路	净化回路设计流量	2 m ³ /h
	电导率	≤1us
	过滤精度	≤10um
	树脂类型	NR8715: 1.5: 1
实验回路	实验回路设计流量	0-25m ³ /h (±3%)
	设计温度	50°C (±2°C)
	设计压力	1 MPa (±2%)
	实验回路数量	2

为满足系统的系统净化要求, 研制了过滤器和离子交换器。过滤器设置两台用来去除冷却水中的固体状态杂质和悬浮物^[3, 4]。离子交换器的主要功能是通过使用阴阳离子交换树脂净化冷却剂中的离子杂质。离子交换器共设两台, 系统运行根据工况和水质要求可串联或并联使用。根据物理计算结果, 通过腐蚀物的量确定体积, 满足去除的要求, 内装有按体积充分混合的 H⁺和 OH⁻型的阳、阴离子交换树脂, 用于去除水中离子状态的腐蚀产物, 其本身也具有过滤固态悬浮物的能力。混合离子交换树脂使用寿命视实验情况而定。本实验平台选用的树脂为 ZG NR8410 型核级混床树脂^[5]。

系统运行可以实现电脑终端在线控制和移动端远程控制, 图 4、图 5 所示是移动端操作界面。

3 CSNS 靶站大功率靶体冲刷实验平台的测试



图 2 重水冷却系统实验平台照片

运行

CSNS 靶站水冷却系统实验平台研制完成后, 对其整体进行了相关测试。实验平台的测试运行包括对循环回路、净化回路和实验回路的连续监测, 以及对系统温度、流量和压力的精确控制。数据分析采用统计软件进行, 以确保结果的准确性和可靠性。测试内容及结果如表 2 所示。

实验平台开展了模拟靶冲刷腐蚀实验(如图 6 所示), 实验已经无故障连续运行 140 天, 计划连续运行 365 天。实验参数设置为: 流量 19.8m³/h、温度恒定在 50℃、压力 0.63Mpa。部分实验记录参数详见图 7、图 8、图 9。运行流量在 19.723-20.007 m³/h 区间范围内; 运行温度在 49.2-51.4℃区间范围内; 运行压力在 6.28-6.31bar 区间范围内, 系统运行稳定可靠。



图 3 实验平台净化设备照片



图 4 实验平台移动端显示界面

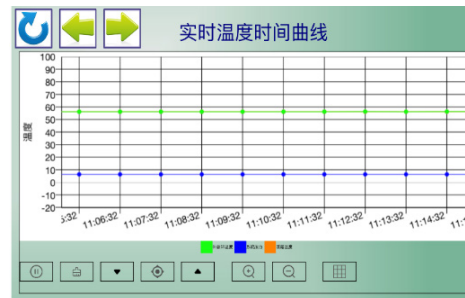


图 5 实验平台移动端历史查询曲线

表 2 CSNS 靶站水冷却系统实验平台测试项目及情况

序号	测试项目	技术指标	实测值/情况	结论
1	压力测试	水压测试 1MPa	水压达到 1MPa, 30min 无泄漏	合格
2	水泵扬程	≥50m	回路最大压力 0.65MPa	合格
3	循环回路流量	35m ³ /h	可调 区间 0~36m ³ /h	合格
4	净化回路流量	2.2m ³ /h	可调 区间 0~3m ³ /h	合格
5	冲刷回路运行测试	温度 50℃、流量 19.8m ³ /h	系统连续运行 30 天, 运行正常	合格
6	控制系统测试	本地及远程控制	可以对系统进行有效控制	合格



图6 模拟靶冲刷实验照片

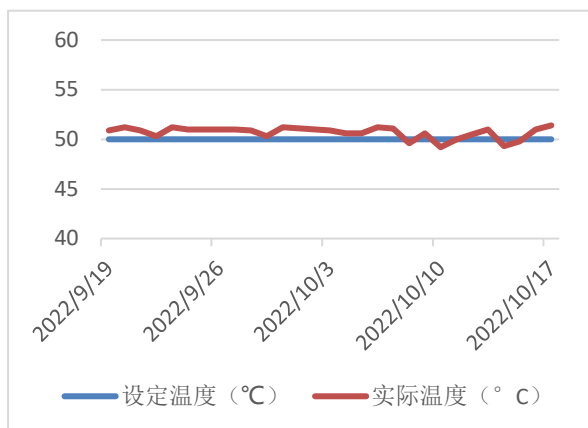


图7 实验平台运行温度历史曲线图

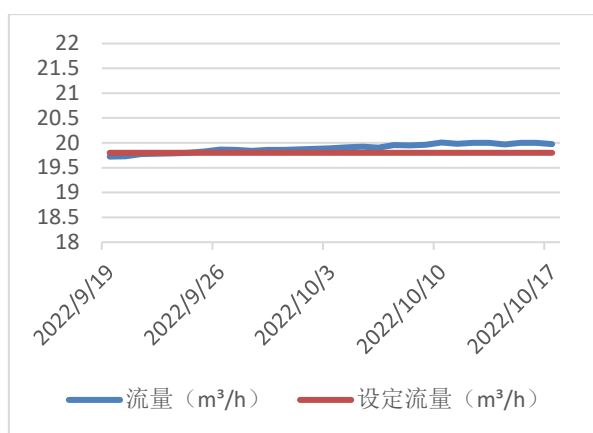


图8 实验平台运行流量历史曲线图

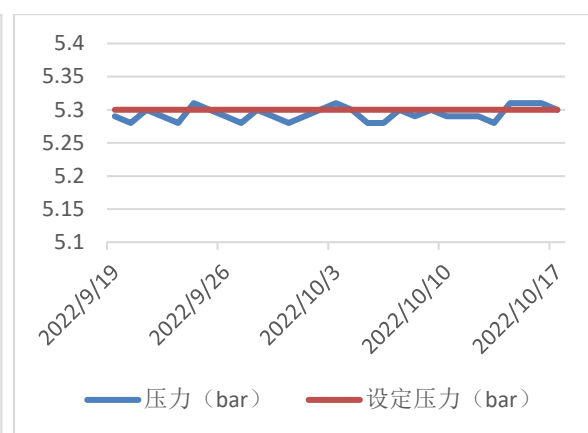


图9 实验平台运行压力历史曲线图

4 结语

CSNS 靶站高功率靶体冲刷实验平台通过各项测试及连续长时间模拟靶冲刷实验运行。从实验数据可以看出, 系统运行十分稳定, 运行温度控制精度在 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 以内; 流量控制精度在 $\pm 1\%$ 以内; 压力控制精度在 $\pm 0.3\%$ 以内。各主要指标均满足或优于设计要求, 系统运行稳定可靠。可以满足模拟 CSNS 靶站高功率靶体冲刷实验及净化系统的实验要求, 可以开展在该实验平台上设计的各项实验。本研究开发的实验平台不仅为 CSNS 靶站水冷却系统提供了一个可靠的测试工具, 也为相关领域的研究提供了宝贵的数据支持, 有助于推动散裂中子源技术的发展。

参考文献

[1] 王芳卫, 贾学军, 梁天骄, 等. 散裂中子源靶站谱仪的物理设计[J]. 物理, 2008, 37(6): 449-451.

[2] 陈和生, 韦杰, 奚基伟, 等. 散裂中子源项目建议书. 中国科学院高能物理研究所和物理研究所, 2007.

[3] 于全芝, 殷雯, 梁天骄. 中国散裂中子源靶站重要部件的辐照损伤计算与分析[J]. 物理学报, 2011(05).

[4] 何宁, 赵振兴. 孔板消能问题数值研究[J]. 水动力学研究与进展: A 辑, 2009, 24(3): 6.

[5] 水动力学研究与进展, 2009(03): 358-363.

版权声明: ©2024 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS