

ITER HTS 电流引线批量件验收性测试系统

杜庆庆, 丁开忠[†], 刘承连, 陆 坤, 宋云涛

中科院合肥物质科学研究院, 安徽合肥 260031

收稿日期: 2018-08-13; 接收日期: 2019-01-09

【摘要】 ITER(International Thermonuclear experimental Reactor)高温超导电流引线(HTSCL)是 ITER Feeder PA(Procurement Agreement)中非常关键且具有挑战性的项目,严峻的工作条件以及严格的质量等级要求使得低温测试不可或缺,其出厂前的低温测试也为其验收交付提供强有力的数据保障.本文介绍了高温超导电流引线系列件低温性能测试控制系统的构成及实现,该系统基于 CODAC(Control, Data Access and Communication)分布式系统搭建而成,整合了 PLC 子系统, QDS 子系统, interlock 互锁子系统, 包含数据存贮(Archiving), 报警 Alarm, 用户操作接口(OPI), 应用开发 SDD, 及历史数据浏览(Data browsing)等子功能.实验结果表明,该系统具有控制和测量精度高、使用方便、运行稳定可靠、用户界面友好等优点.

关键词: ITER, 高温超导电流引线, 系列件, CODAC

PACS: 0705T, 0707A, 0720N

DOI: 10.13380/j.ltpl.02019.01.006

引用方式: 杜庆庆, 丁开忠, 刘承连, 陆坤, 宋云涛, Low. Temp. Phys. Lett. **41**,0038 (2019)

Control System of ITER Series HTS Current Leads Acceptance Test

DU Qingqing¹, DING Kaizhong¹, LIU Chenglian¹, LU Kun¹, SONG Yuntao¹

Institute of Plasma Physical, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China

Received date: 2018-08-13; accepted date: 2019-01-09

【Abstract】 International Thermonuclear experimental Reactor(ITER)High Temperature Superconducting (HTS) current leads are critical and challenging projects in ITER feeder PA, Severe working conditions and strict quality requirements make the cold test indispensable. At the same time, sets of data support are provided by this cold test that before the delivery for the acceptance of HTSCL. This paper introduces the composition and realization of the low temperature performance test and control system for HTS current leads series, the system is based on the CODAC(Control, Data Access and Communication) system, and integrates the PLC subsystem, QDS subsystem, interlock subsystem, contains the data archiving, Alarm, OPI, SDD application development, and historical data browsing function etc. The test results show that the control system has many advantages, such as high accuracy, being easy to use, stable and reliable, and having user friendly interface.

Keywords: ITER, HTSCL, Series, CODAC

PACS: 0705T, 0707A, 0720N

DOI: 10.13380/j.ltpl.02019.01.006

Reference method: DU Qingqing, DING Kaizhong, LIU Chenglian, LU Kun, SONG Yuntao, Low. Temp. Phys. Lett. **41**,0038 (2019)

[†] kzding@ipp.ac.cn

1 引言

高温超导电流引线是 ITER Feeder^[1] 系统中的关键部件,严峻的工作条件以及严格的质量等级要求使得低温测试不可或缺.为使电流引线测控系统软硬件设计符合 ITER 标准 CODAC (Control, Data Access and Communication)^[2], ASIPP 与 ITER 组织及印度塔塔咨询服务公司(Tata Consultancy Service, TCS)合作展开高温超导电流引线测控系统的搭建工作.该测控系统于 2014 年 6 月完成三轮验收性测试(Site Acceptance Test),并在 2015 年 1 月份首次应用于 ITERCC 10 kA 原型件的测试,于 2016 年中旬使用该系统完成所有的原型件测试工作.该系统能较好的满足测试需求,但在测量模块和功能方面需要完善.本文将在原型件的基础上,给出系列件测控系统的改善方法.

2 电流引线低温性能测试

ITER 高温超导电流引线^[5]连接 4.5 K 低温磁体与室温母线,同时传输电流.其运行在一个前所未有的大电流(68 kA)、20 kA/s 的上升速度,30 kV 高压环境下,承受着巨大的温度梯度变化.同时要求具备优良的节冷作用,非常高的失冷或失超后的安全域度.其系列件结构^[5]及测试 P&ID 图如下图 1 所示.测试中,两根电流引线通过低温超导组件连接成一个通电回路,放置于低温恒温器(CTB 冷屏)中.测试涉及深低温,大电流,测试环境严峻,测试项目众多:测试装置降温,电流引线稳态运行,失冷安全时间测试,接头电阻测试、5 K 热负荷测量及快变脉冲电流运行等;测试数据量大,精度要求高:整个测试装置降温约 20 小时;温度梯度大:4.5 K~300 K,失冷时间>120 s,接头电阻要求 nΩ 量级等.

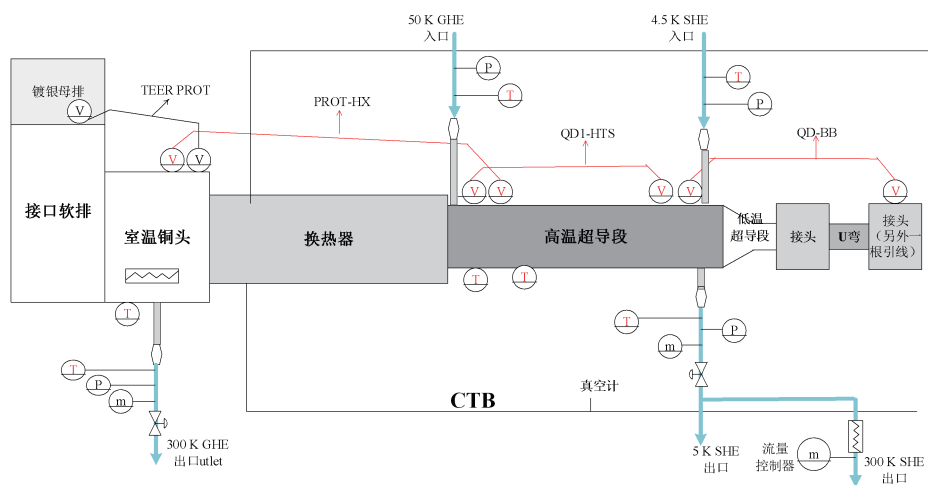


图 1 电流引线结构和测试信号分布示意图

3 系列件测控系统

3.1 CODAC

CODAC^[2,3] (Control, Data Access and Communication) 是 ITER 组织在开源控制系统 EPICS^[6] (Experimental Physics and Industrial Control System) 基础上开发的一套分布式的控制系统,用于规范 ITER 各子系统操作运行及各子系统的整合.该系统是基于 Ethernet 的分布式采集控制系统,现场与控制采集地域隔离,分布式的采集环境使得信号的获取及存贮极为方便,Archive 根据

需求定制周期性存储或是监控型存储,只需简单配置即可在任意节点获取直观的历史数据.

3.2 系列件测控系统

高温超导电流引线测控系统参照 ITER 规范,使用 CODAC 框架搭建而成.系列件测控系统在原有的原型件控制系统的基础上进行改进.系列件测控系统包括,慢控子系统:温度,流量,压力,压差,真空等信号;QDS(Quench Detection System)子系统:电位信号;互锁子系统:温度,流量,真空;数据存储;数据报警;实时数据监控等.

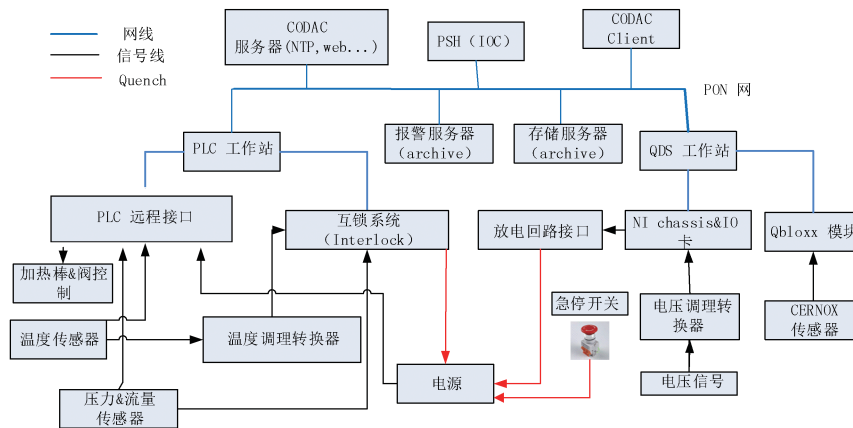


图2 系列件测控系统逻辑架构

4 信号采集

4.1 PLC 采集子系统

PLC 作为通用工业控制计算机,其具有高可靠性、抗干扰能力强、完善的功能、易学易用、适用性强等优点^[7].本控制系统使用 Siemens PLC 300 系列模块实现数据采集和控制.增加光纤和 IM 模块实现地域隔离及不同地域信号的互联-现场和控制室隔离,同时又将电信号在不同的机柜间隔离开.图 3 给出了系列件测控系统中 PLC 子系统的的核心数据采集和信号控制以及与上位机的交互方式.根据系列件测试需求,使用 PLC AI 模块实现压力传感器, PT100 >30 K, 压差计、流量计等信号采集,使用 AO 模块实现高温超导段和铜头温度的 PID 控制.在原型件测试中发现 PT100 在小于 73 K 时,与 Lakeshore 231P 采集的不同位置的温度出现逻辑

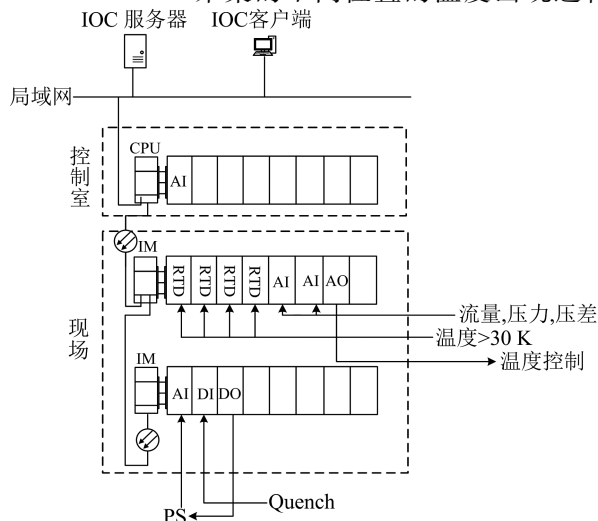


图3 PLC 数据采集与控制

不一致——PLC 采集的所在位置的温度应高于 231P 采集的所在位置的温度,但实际采集的数据却相反,调研其内置转换曲线,完成 73K 以下 PLC 温度采集修正^[4].

4.2 QDS 子系统

电位信号作为高温超导电流引线的主要指标参数,其主要用于失超保护, LOFA 安全时间测试和接头电阻大小测量.原型件中超导电位信号的数据采集使用 LabVIEW 完成,为实现统一显示和存储,使用 LabVIEW 的 EPICS 机制发布信号^[8],同时建立新的 IOC 作为桥接收 LabVIEW 信号,在 CODAC 端重建 LabVIEW 信号.

4.3 5K 温度信号采集

高温超导电流引线 4K 温区温度使用 Cernox 传感器进行监测.原型件测试中其信号使用集成于 PLC 系统的 Ganter E.bloxx 进行采集,E.bloxx 受电磁干扰影响较大,在于 Ganter 公司协商后,使用其 Q.bloxx 代替,并使用 LabVIEW 将其信号送至 CODAC 系统.

4.4 互锁子系统-Interlock

超导电流引线正常运行期间,除了电位信号还有一些关键的信号:如高温超导段温度(失超判据之一)、压力、流量大小、真空度等会影响其正常运行甚至失超.通过使用 Siemens PLC 400 系列实现信号互锁^[3],一旦其中某个信号超过互锁系统设定的阈值,迅速采取应急措施,如切断电源,检漏,提供足够的冷量等,来保证电流引线的正常运行.

5 上位机系统

5.1 IOC

IOC^[6] (Input/output Controller) 是该控制系

统的核心,所有采集数据和控制都需要通过 IOC 反馈到用户或由用户发出指令. Table 1 列出本控制系统的 IOC 及其主要功能.

表 1 IOC 及其对应功能

IOC	功能
IOC-Core	与 PLC 通信,完成 PLC 通道采集
IOC-PSH	PLC 状态,在线状态、通信状态
IOC-SYS	宿主机状态:内存、硬盘等使用
IOC-labview	转化 Labview 的信号为 epics PV
IOC-Hepak	接收 Hepak 客户端处理的数据
Hepak client	实时调用 Hepak dll, 同时计算热负荷

5.2 数据存储和报警

CODAC 集成了一套灵活的存储系统:CSS-archive-engine, 根据需求配置所需存储机制、存储周期、存贮数据的 deadband 阈值,局域网中支持 CODAC 的 PC 机通过配置文件实时的从局域网 IOC 服务器获取数据并存储在其关系数据库 PostgreSQL 中,以此实现数据的存贮.同时 CSS-Studio 向用户提供获取关系数据库实时和历史数据浏览的用户接口.

数据报警与数据存储实现方式类似,通过 CA 客户端实时的从 IOC 获取数据.通过配置 PV 变量的 LSV,LLSV 和 HSV, HHSV 属性设定警示级别,并通过 HIHI, HIGH, LOW, LOLO 属性向用户

发出警示,并可以通过 Alarm tree 实时查看所有 PV 的报警状态.同时报警状态实时存入 PostgreSQL 数据库中.

5.3 用户程序接口

CODAC 向用户提供用户接口(HMI)客户端开发软件 CSS-Studio^[9],丰富的监控和控制控件直接与服务器 IOC 信号变量名关联,支持 Python, JavaScript 等脚本.系列件测控系统 HMI 主要功能如图 4 所示:

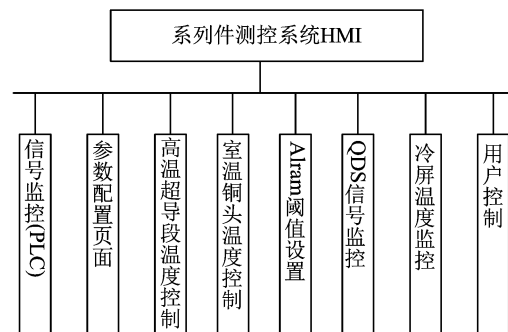


图 4 HMI 主要功能实现

6 结论

CODAC 测控系统于电流引线认证件测试中被引入,经过三轮的认证件测试表明,该系统功能完善,数据存取方便,用户接口友善等优点.系列件测控系统在原型件测控系统的基础上搭建,完善其功能以更好的服务于系列件高温超导电流引线的低温性能测试.

参 考 文 献

- [1] 张远斌, 武松涛, 宋云涛, 王建青. 核聚变与等离子体物理, **25**(2005), 195.
- [2] Lister J B, Farthing J W, Greenwald M, et al. *Fusion Engineering & Design*, **82**(2007), 1167.
- [3] 朱胜本, 丁开忠, 杜庆庆等. 核技术, **38**(2015), 59.
- [4] Ding K, Zhou T, Liu C, et al. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, **26**(2016), 1.
- [5] 周挺志, 丁开忠, 王忠伟等. 低温物理学报, **35**(2013), 145.
- [6] Kraimer, Martin R, et al. "EPICS: Input / Output Controller Application Developer's Guide." *Office of Scientific & Technical Information Technical Reports*, (1994).
- [7] 熊幸明. 工业仪表与自动化装置, **1**(2004), 7.
- [8] 徐波, 邱丰, 王光伟. 电子测量技术, **36**(2013), 71.
- [9] 郭凤琴, 赵卓, 王春红. 信息与电脑: 理论版, **3**(2013), 1.