

CERNOX CX-SD 低温温度计使用方法

陈飞云¹ 龙凤² 刘方² 雷雷²

¹上海应用技术学院计算机科学与信息工程学院, 上海 201418; ²中国科学院合肥物质科学研究院等离子体物理研究所, 合肥 230031
收稿日期: 2010-11-29; 修回日期: 2011-01-12

【摘要】 随着超导技术的飞速发展, 超导装置运行过程中极低温测量技术成为一个重要的研究课题. 国际上发展了许多特殊的温度测量方法, 以精确测量绝对零度附近 mK 甚至 μ K 量级的温度, 同时对于需要具有较大温度变化范围的温度测量, 例如从室温到绝对零度附近的温度测量也开发出了性能优越的温度计. 在超导托卡马克核聚变实验装置的设计运行过程中, 美国 Lakeshore 公司设计生产的 CERNOX 温度计得到了广泛的运用. 不同型号的温度计具有不同的特性及安装工艺, 本文描述了常用的 CERNOX CX-SD 温度计的安装工艺以测量到准确的低温温度, 保证超导实验装置的安全运行及为实验分析提供温度参数数据.

关键词: CERNOX 温度计, 低温测量, 安装工艺

PACC: 0670D, 0720

ASSEMBLY METHOD OF CERNOX CRYOGENIC TEMPERATURE SENSOR

CHEN Fei yun¹ LONG Feng² LIU Fang² LEI Lei²

¹Shanghai Institute of Technology, Shanghai 201418; ²Institute of Plasma Physics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031
Received date: 2010-11-29; revised manuscript received date: 2011-01-12

【Abstract】 With the rapid development of superconducting technology, cryogenic temperature measurement method is one of the important research field. A number of special methods of cryogenic temperature measurement have been developed to measure the temperature around absolute zero point with the mK even μ K magnitude temperature precision. Special temperature sensor was developed to measure the large temperature range such as from room temperature to cryogenic temperature near absolute zero point. During the operation of superconducting TOKAMAK and other superconducting devices, CERNOX temperature sensor which is made by Lakeshore corporation has been widely used. Different temperature sensor has different characteristics and assembly techniques. In this paper, assembly method of CERNOX CX-SD temperature sensor which is recommended for its flexibility in mounting was presented.

Keywords: CERNOX, Cryogenic temperature measurement, Assembly method

PACC: 0670D, 0720

1 引言

随着 1908 年荷兰物理学家卡麦林·昂纳斯液化氦气成功, 并于 1911 年发现汞在低温下的超导电性之后, 超导技术开始快速发展. 特别是近半个世纪

以来发展起来的超导技术, 在电工、交通、医疗、工业、国防和科学实验室等高技术领域都有着重要的现实意义和巨大的发展前景. 低温超导材料、高温超导材料、超导磁体、超导电子设备、超导故障限流器、超导变压器、超导电机、超导储能磁体、高温超导电缆等在国内高校、研究机构、实验室等相继研制

成功^[1].

超导技术的发展离不开低温温度测量技术的发展,为了准确测量极低温温度,国际上发展了许多特殊的温度测量方法,以精确测量绝对零度附近 mK 甚至 μK 量级的温度^[2],主要包括:二极管温度计、电阻温度计、电容温度计、光纤温度传感器、热力学测温技术、氮相变测温技术、核取向测温技术、Mössbauer 效应测温技术、定点测温技术、核磁共振测温技术、噪声温度计和超导温度计等,不同的温度测量方法具有不同的准确测量的温度范围.

2 CERNOX 温度计

CERNOX 温度计是美国 Lakeshore 公司的专利产品,被广泛用于低温温度测量. Lakeshore 公司的低温温度传感器产品主要包括:二极管类、正温度系数温度计、负温度系数温度计、热电偶及电容温度计等. CERNOX 温度计属于负温度系数电阻式温度传感器.

由于在低温下表现出更大的电阻,负温度系数电阻式 CERNOX 温度计在低温下能提供更高的测量精度,同时该温度计受磁场变化影响小,重复性好,并且工作稳定,被国际上众多低温实验室广泛采用.为了获得 CERNOX 温度计的最佳性能,在使用过程中必须考虑以下几个方面:

- (1) 温度计的安装方法;
- (2) 引线连接方法;
- (3) 电位线热沉^[3].

CERNOX 温度计的特点:

- (1) 低磁场感应误差;
- (2) 宽温度测量范围: 100mK 至 420K;
- (3) 低温下较高灵敏度并具有较宽灵敏度范围;
- (4) 抗电离辐射;
- (5) 快速热响应时间: 4.2 K 下 1.5ms, 77 K 下 50ms;
- (6) 适合不用测温需要的多种型号;
- (7) 优良的稳定性;
- (8) 多种封装选择.

由于仅有约 $3 \times 2 \times 1\text{mm}^3$ 的微小体积, CERNOX CX-SD 型温度计为研究人员提供了巨大的使用灵活性并得到了广泛的使用,下面将详细介绍 CERNOX CX-SD 型温度计的使用方法.

3 CERNOX CX-SD 温度计安装方法

温度计安装区域必须平整,并用丙酮和酒精清洗,等清洗液挥发完全后方可安装温度计.

下面介绍几种温度计安装方式,可根据实际需要选择合适的安装方式.

3.1 机械固定法

优先采用 Lakeshore 公司的弹簧卡固定温度计.在温度计和被测表面填充 Apiezon N 型真空脂或者 100% 纯度钢片,弹簧卡能够保证温度计与被测表面良好接触并易于拆卸,弹簧可以保护温度计受到挤压.

3.2 钎焊接法

使用小功率的电烙铁和松香助焊剂将温度计和被测表面预镀一薄层 100% 纯度的钎,清洗干净残余的松香助焊剂并干燥,加热被测表面至焊料熔点,将温度计压在被测点,移除加热设备,等候 2 至 3 秒后温度计焊接在被测点.温度计焊接温度不能超过 200℃.

3.3 真空脂传热法

当温度计需要安装在孔或者凹槽内并需要移除时可使用真空脂传热法.将温度计四周涂上 Apiezon N 型真空脂放置到安装位置,低温下真空脂将硬化,提供良好的固定和热接触.

3.4 清漆传热法

在被测表面涂上一薄层 IMI7031 清漆,将温度计紧紧地压在被测表面以保证获得一个薄的粘结层和良好的热接触.清漆在空气中需要干燥 5 至 10 分钟.

3.5 环氧胶传热法

在被测表面涂上一薄层 STYCAST 2850FT 环氧胶,将温度计紧紧地压在被测表面以保证获得一个薄的粘结层和良好的热接触.环氧胶 25℃ 固化需要 12 小时,或者 60℃ 固化需要 2 小时.

需要注意的是,如果使用导电胶或者焊料,必须防止多余导电胶或者焊料沿着温度计边缘向上渗或者接触到温度计引线,否则将会导致短路.

4 CERNOX CX-SD 温度计引线连接

CERNOX CX-SD 温度计是两引线结构,实际使用时最好采用四线法连接,以消除电流引线上的电压降导致温度测量误差.图 1 显示了低温温度测

量四线法连接示意图.

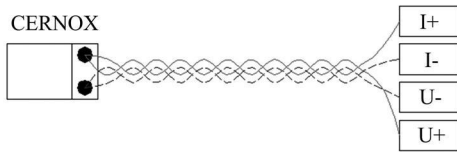


图1 四线法温度测量连接示意图

通常采用低热导率和高电阻率的磷青铜或者锰铜线做为引线以减小引线热流干扰. 引线一般采用聚乙烯或者聚酰亚胺绝缘.

使用小功率电烙铁和中度活性松香将引线端部预镀锡, 电烙铁温度不可超过 200°C . 清除残余的助焊剂. 同样的方法处理温度计焊点.

温度计的两个焊点分别焊接两根处理好的引线. 可以使用平口鳄鱼夹夹住温度计外壳以防止温度计温度上升过高.

安装过程中温度计引线应保持松弛, 防止降温过程中热胀冷缩导致引线或者焊点断裂.

5 CERNOX CX-SD 温度计热沉

被测点的温度由温度计测出, 温度计引线热流会导致温度计与实际被测点温度的偏差. 温度计连接引线需要布置热沉以保证温度计和引线与被测点的温度相同. 连接引线应该在从室温到低温之间的几个温度点布置热沉以保证热流不会从引线引入温度计. 简单的热沉结构可以将聚乙烯或者聚酰亚胺绝缘的引线绕在铜柱等热沉上, 至少 5 圈的长度就可以起到显著的热沉作用, 如果空间允许, 多绕几圈引线可以起到更好的效果. 最后可以在温度计附近绕几圈引线以保证温度计和引线的热平衡.

6 CERNOX 温度计应用实例

6.1 EAST 超导托卡马克装置温度测量

超导托卡马克 EAST (Experimental Advanced Superconducting Tokamak) 装置于 2006 年 8 月在中科院等离子体物理研究所建成, 并于 9 月 28 日成功地进行了放电试验, 随后获得了电流大于 200kA 、时间接近 3 秒的高温等离子体, 完成了从工程建设到正常运行的转变. 该装置是世界上第一个建成的具有非圆截面的全超导核聚变实验装置, 其纵场 (TF) 和极向场 (PF) 磁体系统都由超导线圈组成. 纵场 (TF) 系统包含有 16 个 D 形线圈, 极向

场 (PF) 系统则由中心螺管 (含有六个线圈) 和四对环形线圈组成. 整个装置是一个由内真空室、内冷屏、超导线圈、外冷屏、外真空容器共同构成的五层复杂结构筒体, 不同的结构部件工作在不同的温度等级, 如内真空室工作在室温以上高温区, 内、外冷屏工作在 $60\sim 80\text{K}$ 范围, 而超导线圈采用 NbTi/Cu CICC 导体 (Cable in Conduit Conductor) 绕制, 用超临界氦 (SHE) 冷却, 工作温度为 4.5K , 低温致冷系统具有 3.8K 的冷却能力^[4,5].

装置在降温过程中以及降温到位后的保冷阶段都需要监测各部件的温度, 为装置降温速率的调节、各部件之间温差的控制、装置热负荷的计算等提供必要的信息, 实验过程中尤其要确切了解超导线圈的温度, 保证实验的安全, 并能提供准确的温度数据. 表 1 给出了 EAST 装置中安装的温度计数量和种类.

表 1 EAST 装置安装的温度计数量和种类

安装位置	安装数量		工作温度
	PT100	CERNOX	
内真空室外表面	15	/	室温~ 200°C
内冷屏	77	/	80K
外冷屏	45	/	80K
超导线圈冷却管	/	132	4.5K
电流引线单元	18	28	$80\text{K}/4.5\text{K}$

截止 2006 年至 2010 年的多次 EAST 装置物理实验过程中, CERNOX 温度计为装置的稳定安全运行提供了可靠的温度数据.

7 ITER 导体样品 CERNOX 温度计安装工艺

国际热核聚变实验堆 (ITER) 计划是当今世界最大的大科学工程国际科技合作计划之一, 也是迄今我国参加的规模最大的国际科技合作计划. ITER 装置磁体系统由 18 个纵场 (TF) 线圈、6 个中线螺线管 (CS) 线圈、6 个极向场 (PF) 线圈和 18 个校正场 (CC) 线圈组成^[6]. 中国将承担 7.5% TF 导体、69% PF 导体和 CC 导体的制造集成. 在导体 R&D 和正式生产阶段都需要制造 TF、PF 和 CC 导体样品送到瑞士 SULTAN 实验室进行性能测试实验, 其中 TF 导体样品在 SULTAN 实验室组装, PF 和 CC 导体样品在中科院等离子体所组装.

作为导体样品重要性能参数分流温度(T_{cs})和临界电流(I_c)的测量,温度计的安装至关重要.导体样品采用 CERN OX CX-SD 型温度计,温度计安装方式如图 2 所示.

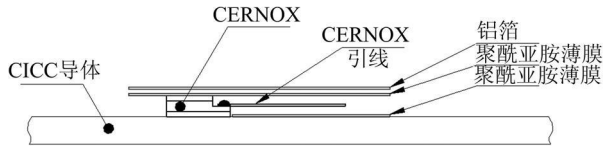


图 2 CERN OX CX-SD 温度计安装方式

2010 年 5 月中国第一根 PF 导体样品在 SULTAN 实验室完成测试,性能达到 ITER PA 文件要求,通过了 ITER IO 合格评定. CERN OX CX-SD 型温度计安装工艺将在今后的 PF 导体等低温测试试验中被采用.

参 考 文 献

- [1] 林良真: 我国超导技术研究进展及展望, 电工技术学报, 20 (2005), 1~ 7.
- [2] 史永基等: 低温测量技术, 传感器世界, 7(2011), 23~ 29
- [3] P. D. Weng and HT-7U team, "The engineering design of the HT-7U Tokamak," in Proc. 21st Symp. Fus. Technology., (2000), 827~ 831.
- [4] 陈灼民等: 全超导托卡马克装置(EAST)的技术诊断系统, 低温与超导, 35(2007), 93~ 95.
- [5] Lake Shore Cryotronics, Installation Instructions, Form Number F017-00-00 Revision 0.
- [6] N. Mitchell, "The ITER magnet system," IEEE Trans. Appl. Supercond., 18(2008), 435~ 440.