

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2015.03.07

一种三段加热立式高温均热炉的研制

杨新圆, 刘裕盛, 陈炜

(中航工业北京长城计量测试技术研究所, 北京 100095)

摘要: 介绍了一种用于 Fe-C 高温共晶点装置复现的三段加热立式高温均热炉, 包括炉体的设计结构、温度控制系统、复现用腔体的密封结构设计和冷却水与充气保护系统等。对炉体温场的测试结果表明: 该炉体能够满足设计的预期要求, 实现 Fe-C 高温共晶点的复现。

关键词: 高温炉; 共晶点; 温场测试; 温度控制; 密封; 冷却水

中图分类号: TB942

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2015)03-0030-03

Develop of Vertical High Temperature Furnace with Three Homogeneous Heating Sections

YANG Xinyuan, LIU Yusheng, CHEN Wei

(Changcheng Institute of Metrology & Measurement, Beijing 100095, China)

Abstract: A vertical high temperature furnace with three homogeneous heating sections, for the purpose of reproducing the high temperature fixed point of Fe-C eutectic alloy, is mainly introduced in this paper. In addition, the structure of the furnace, the controllable temperature system, the sealing structure of cavity in the furnace, the water-cooling system and the gas-protecting system are represented in proper sequence. By analyzing the testing results of temperature field in the furnace, it shows that the present furnace can satisfy the anticipated needs of design, namely reproducing the high temperature fixed point of Fe-C eutectic alloy.

Key words: high temperature furnace; eutectic point; test of temperature field; controlled temperature; sealing; cooling water

0 引言

Fe-C 高温共晶点复现装置主要是利用纯金属 Fe 粉与高纯石墨粉在一定温度条件下的共晶作用, 形成温坪, 从而实现对高温热电偶(铜点温度以上)的检定或校准, 该方法可以将温度传感器的固定点溯源温度值由铜点温度 1084.62℃ 提高到 1153℃, 并且校准结果的不确定度较以往采用的 B 型偶校准方法大大减小, 能够解决现阶段高温热电偶溯源的问题。

高温均热炉主要是为 Fe-C 高温共晶温度点复现提供一个稳定的温度环境, 满足其复现过程对温场的要求, 该炉子能够实现温度的自动控制、升降温速率的设置调整, 恒定温区达到 100 mm 以上。

1 高温均热炉

高温均热炉为整个共晶点装置的关键部件。考虑到复现用石墨坩埚需要垂直放置, 因此高温均热炉的

炉体结构设计为立式。由于 Fe-C 装置复现的温度点在 1153℃ 左右, 因此采用耐温可到 1200℃ 的镍铬丝作为加热丝进行绕制, 并通过温场的测试结果来进行加热丝之间的间隙调整, 确保达到最终的温场要求。考虑到复现过程的要求, 即炉体中心区 100 mm 内, 温场均匀度满足 $\pm 1^\circ\text{C}$, 结构设计上采用三段加热的方式, 上下段调整配合中间段, 完成均匀温区的实现。温控系统配置自动温度设定及采集软件, 可以通过上位机软件设定升降温曲线, 并能实时读取三部分炉温, 温度控制系统采用日本岛电公司的 SR23 型温度控制器并配以相应的可控硅和固态继电器组合进行温度控制, 实现联动控制, SR23 控制器选配 485 通讯模式, 以便计算机通讯连接用。考虑到特殊气氛热电偶的要求以及灌制过程中减少对共晶体的污染, 炉体部分还配置了抽真空系统和水冷系统, 炉体结构如图 1 所示。

1.1 炉体设计

高温均热炉采用三段加热方式。均热炉主体选用陶瓷管, 即陶瓷管的外部采用三段缠绕加热丝, 每段加热丝的中心点作为控温传感器的接入点, 如图 2 所示。陶瓷管内径 60 mm, 外径 80 mm。缠绕加热丝时

收稿日期: 2015-03-16

作者简介: 杨新圆(1980-), 男, 工程师, 硕士, 主要从事温湿度计量及温度专业科研工作。

上下留 10 mm 空间缠绕,分三段绕丝,每段绕丝长度为 100 mm,上下两端作为辅助加热丝,要求中间的 100 mm 温区内温度均匀性满足 1℃,具体的上段和下段温度调节值大小根据实际试验情况来调节确定。每段加热丝中间部分为控温热电偶,紧贴陶瓷管的外表面,通过热电偶的反馈值,实现温度的自动控制,根据温场的测试情况,来对上端和下端的辅助加热的温度值进行调节。如果温场均匀性差异较大,还需调整加热丝的间距来调整温场,逐步逼近,最后确保满足中心温区的要求。

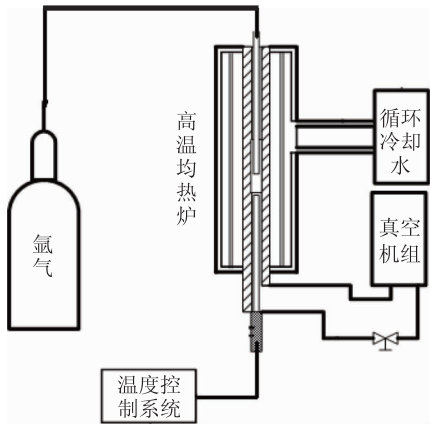


图 1 高温均热炉结构示意图

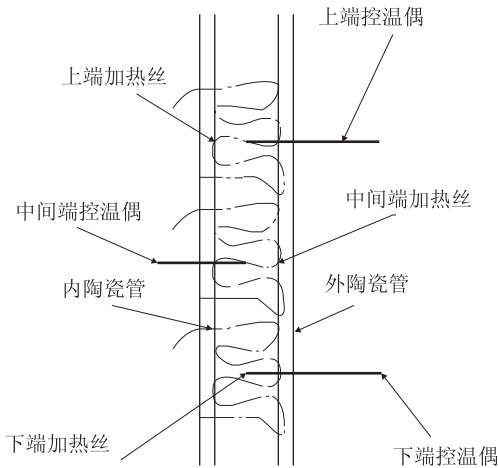


图 2 炉丝缠绕及控温位置图

1.2 水冷系统

在高温均热炉刚玉管外部的上端,采用铝锭加工,内部形成水冷路线,实现对刚玉管的出口端的冷却,确保端温度降低。水冷系统考虑的节能的要求,采用循环冷却水装置,其冷却水温度可控制在 5℃左右,水流量最大可设定在 5 L/min,足以满足氧化铝保护管上端冷却要求。水冷线路图具体如图 3 所示。

1.3 充气保护系统和抽真空系统

充气保护系统选用纯度优于 99.99% 的氦气,抽真空系统在选用优质的真空泵来对密封系统进行抽空,系统真空度可优于 10 Pa。充气保护系统和抽真空系统通过阀门切换,通入到氧化铝密封管中。具体的气路原理图如图 3 所示。

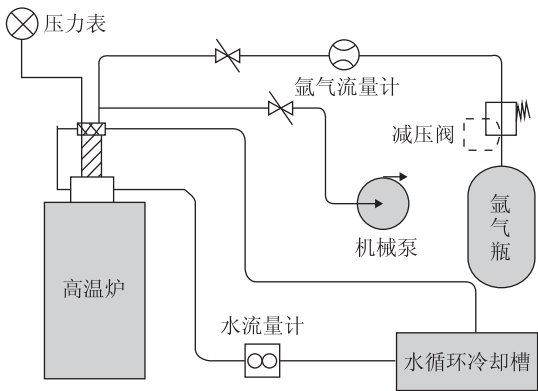


图 3 高温炉充气保护、抽真空和水冷系统框图

1.4 腔体密封件

高温炉炉体的末端采用铝加工密封件,结构如图 4 所示。铝制密封件内部有冷却水孔,可以减小炉体端部的温度。O 型密封圈选用聚四氟乙烯材料,比较耐高温。

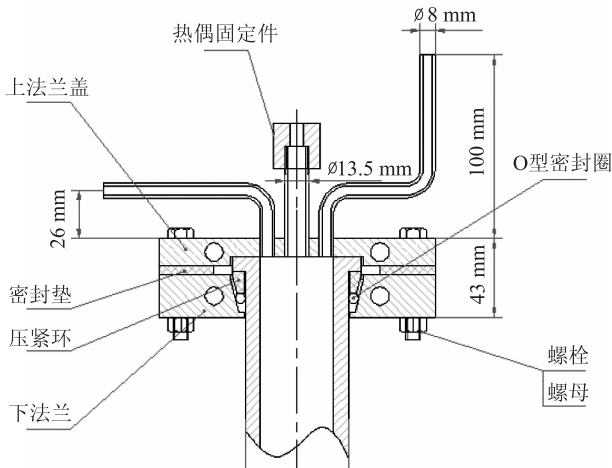


图 4 铝制腔体密封件

1.5 温度控制系统

温度控制器选用日本岛电公司的高精度控温表 SR23,根据加热丝和温升过程的功率计算,采购满足要求的功率模块,控温波动满足不大于 0.2℃/15 min。控制系统采用可控硅方式。高温均热炉三段的控制系统各为一套,但以中间控制为主。上端和下端的控制系统根据中间温场测试的具体情况,进行相关温度调节,确保满足具体的温场技术指标要求。每段温度控

制电路原理图见图 5。

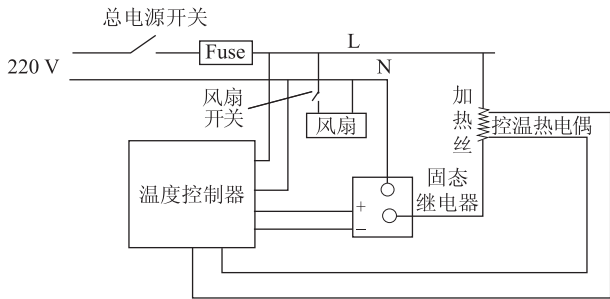


图 5 温度控制电路原理图

温度控制箱的控制面板采用电流表、电压表和控温仪表三套同时显示，确保各段的温度按预期设定。

2 高温均热炉温场测试

高温均热炉测试前先将 250 mm 高的石墨均温块放置在刚玉管中，插入测温传感器（一等标准 S 型热电偶），将热电偶的末端接入冰瓶后，再用铜导线引入到测温仪上，图 6 为连接测量设备后的效果图。对 Fe-C 高温共晶点均热炉的温控器进行温度设定，测试 1150℃ 温度点的垂直温场数据，根据测试前的经验及规律将上、中、下三段温控仪的设定值分别设定为 1150.0℃，1145.0℃ 和 1145.0℃。当温场在设定值稳定后开始测试，测试示意图见图 7。



图 6 高温均热炉

测试位置从刚玉管底端开始（将刚玉管底端记为 0 mm），每隔 1 min 将热电偶向上提升 10 mm，一直提升直至 250 mm 处，待温度值稳定后再每隔 1 min 将热电偶向下降 10 mm，直至回到刚玉管底端，每次热电偶位置变化之前温度稳定时记录测温仪显示的温度值；最后将温场同一高度两次的测量值求平均。

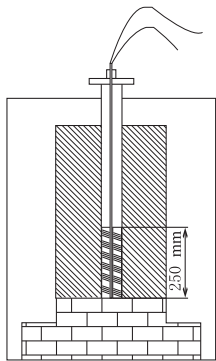


图 7 垂直温场测试示意图

从刚玉管底端开始测试热电偶向上 250 mm 范围内上、下行程垂直温场测试数据结果见表 1。

表 1 垂直温场测试数据

提升高度 /mm	温度值/℃		
	上行	下行	平均值
0	1139.54	1139.06	1139.30
10	1141.87	1141.94	1141.90
20	1146.52	1147.61	1147.06
30	1149.78	1150.96	1150.37
40	1151.32	1153.91	1152.62
50	1153.81	1157.38	1155.59
60	1158.07	1159.17	1158.62
70	1161.21	1161.63	1161.42
80	1163.48	1162.74	1163.11
90	1164.06	1163.88	1163.97
100	1164.44	1164.06	1164.25
110	1164.58	1164.13	1164.35
120	1164.53	1164.15	1164.34
130	1164.47	1164.08	1164.28
140	1164.60	1164.19	1164.40
150	1164.76	1164.36	1164.56
160	1165.02	1164.75	1164.89
170	1165.04	1164.78	1164.91
180	1164.73	1164.55	1164.64
190	1163.96	1163.97	1163.96
200	1162.14	1161.96	1162.05
210	1160.75	1160.52	1160.64
220	1158.95	1158.52	1158.74
230	1156.68	1156.70	1156.69
240	1153.62	1154.38	1154.00
250	1150.43	1150.38	1150.40

从测量数据可以看出：从刚玉管底端往上 90 ~ 190 mm 范围内垂直温场变化在 1℃ 以内。

（下转第 55 页）

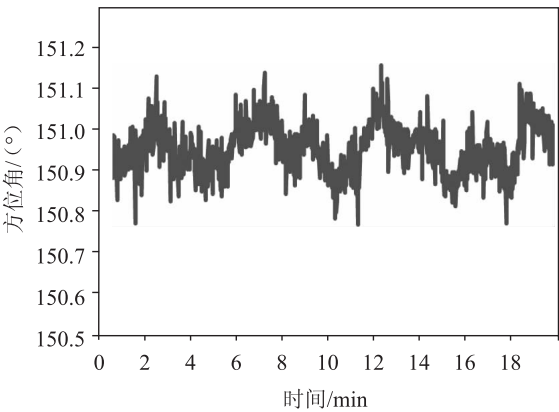


图6 接收机定向实测数据曲线

利用卫星信号仿真机对定位定向接收机进行仿真校准，将仿真机与接收机通过数据线连接，设置仿真机的大地坐标值，启动接收机电源和相应的数据测量软件，数据更新率设置为1 Hz，在系统进入定位状态后，记录并保存不少于20 min的观测数据，得到的经度、纬度、高程信息与标准值比较，图7为定位接收机仿真实验图，表3为仿真机校准结果。



图7 接收机仿真校准实验图

表3 仿真机校准结果

采样率	采样点	定位 偏差/m	高程 偏差/m	定位标准 偏差/m	高程标准 偏差/m
1Hz	1200	1.0	0.9	0.1	0.2

(上接第32页)

3 结束语

通过对三段高温均热炉的温场测试结果来看，其测试的垂直温场梯度数据能够满足开展Fe-C高温共晶点温度复现的要求。根据测试的结果进一步对炉体绕丝、温度控制等进行优化，使其性能进一步提高，更好地满足复现试验的需求。

通过对接收机实际定位观测校准结果与仿真机校准结果的比较，可以看出仿真机校准结果优于实际定位观测校准结果，分析对接收机实际定位观测实验产生影响的因素有以下几点：①观测环境会影响到捕获卫星个数，个别卫星在短时间内会出现信号失锁现象；②卫星信号在传输过程中会受到电离层延迟、对流层延迟和接收天线性能等因素影响，使得卫星信号信噪比波动较大，从而对定位精度产生影响。

3 结论

利用已建成的短基线场和仿真机，对定位定向接收机进行实际观测校准和仿真校准，通过校准结果比较可知：接收机实际观测校准会受到观测环境、卫星信号传播途径（如电离层延迟，对流层延迟）、接收机天线相位中心的偏差和接收机内部噪声等因素的影响，但接近用户实际使用情况，可作为接收机综合精度评定方法。仿真机校准减少了外部因素影响，可用于对接收机硬件及软件性能进行评定。

参 考 文 献

[1] 顾国华. GNSS 科学与前景[J]. 全球定位系统, 2008, 33(4): 1-7.

[2] 胡晓, 高伟, 李本玉. GNSS 导航定位技术的研究综述与分析[J]. 全球定位系统, 2009, 34(3): 59-62.

[3] 谢钢. 全球导航卫星系统原理[M]. 北京: 电子工业出版社, 2013.

[4] 季宇虹, 王让会. 全球导航定位系统 GNSS 的技术与应用[J]. 全球定位系统, 2010, 35(5): 69-75.

[5] 高成发, 陈安京, 陈默, 等. GPS 精密单点定位精度测试与分析[J]. 中国惯性技术学报, 2006, 14(6): 23-26.

[6] 陈晨, 茅旭初. 基于 GPS 技术的短基线快速定向方法及实现[J]. 计算机仿真, 2012, 10(29): 80-83.

[7] 张安洁, 张冰蔚. 基于 GPS 船舶定向算法的分析研究[J]. 舰船科学技术, 2007, 29(2): 131-137.

[8] 吴炼. GPS 接收机校准研究与实现[J]. 地理空间信息, 2012, 6(10): 112-114.

参 考 文 献

[1] 任泽需, 蔡睿贤. 热工手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.

[2] 沈维道, 郑佩芝, 蒋淡安, 等. 工程热力学[M]. 2版. 北京: 高等教育出版社, 2007.

[3] 赵镇南. 传热学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.

[4] 张家荣, 赵廷元. 工程常用物质的热物理性质手册[M]. 北京: 新时代出版社, 1987.