

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2017.05.08

现行热处理炉测试技术标准的比较分析

杨新圆, 吕国义, 陈炜, 郑敏, 张贺, 王晓璐

(航空工业北京长城计量测试技术研究所, 北京 100095)

摘要: 介绍了 GB/T 9452, HB 5425, AMS 2750E, BAC 5621, CPS 8100, JJF 1376 等关于热处理炉炉温均匀性和系统精度测试的技术标准, 通过对这些技术标准现行版本在热处理炉等级分类、测试温度、测试过程、采样要求、结果表述、测试周期、测试传感器校准、传感器布置数量、传感器空间位置、测试仪表校准等方面的要求进行比较, 给出各个标准之间的差异及其在不同行业中的应用, 通过对 GB/T 9452, AMS 2750 等技术标准历年版本变化分析, 讨论热处理炉炉温均匀性测试和系统精度的发展变化以及未来发展趋势。

关键词: 炉温均匀性测试; 系统精度测试; 热处理炉; 温度计量

中图分类号: TB942

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2017)05-0034-06

Comparison and Analysis of the Current Version Technology Standard about Heat Treatment Furnace Temperature Uniformity Test

YANG Xinyuan, LYU Guoyi, CHEN Wei, ZHENG Min, ZHANG He, WANG Xiaolu

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

Abstract: This paper introduced the technology standard GB/T9452, HB5425, AMS2750, BAC5621, CPS8100, JJF1376 and so on about heat treatment furnace Temperature Uniformity Surveys and System Accuracy Tests. Differences of the technology standards and use in different industries are discussed, through compared with requirements of the current version standard in the heat treatment furnace classification, test temperature, test process, sampling requirements, the results, test cycle, temperature uniformity test, sensor calibration, the number of sensors, space position, measuring instrument technology, instrument calibration and so on. And the development and future trends of the heat treating furnace Temperature Uniformity Surveys and System Accuracy Tests are discussed, through analyzing changes over the past version technical standards such as GB/T9452, AMS2750.

Key words: temperature uniformity survey; system accuracy test; technical standard; comparison; temperature metrology

0 引言

热处理炉是用于原材料、零件等进行热工艺处理的设备, 其炉温均匀性指标对产品质量合格率有重要作用。目前, 热处理炉炉温均匀性测试主要依据的技术标准有 GB/T 9452, HB 5425, AMS 2750, BAC 5621, CPS 8100, JJF 1376 等, 涉及国家标准、行业标准、国外标准等。

GB/T 9452《热处理炉有效加热区测定方法》^[1]作为推荐性国家标准, 主要规定了热处理行业中有关热处理炉有效加热区(即炉温均匀性)测试的相关内容, 统一了国家范围中有关热处理炉炉温均匀性测试的测

试方法、测试仪表、测试传感器等的要求。

HB 5425《航空制件热处理炉有效加热区测定方法》^[2]是航空行业标准, 主要用于航空制件热处理中热处理炉分类、工艺仪表分类、有效加热区测试的周期、测试温度、测试系统、测量方法、结果处理、记录与报告、管理、人员等的要求。

AMS 2750《Pyrometry》^[3]是美国宇航材料标准, 是航空系统 Nadcap 认证的重要依据, 涉及内容有温度传感器、仪表、热处理工艺设备、系统精度校验、炉温均匀性测量、记录、管理等, 对每一部分内容均有详细规定, 也是我国对外转包生产的依据。

BAC 5621《Temperature Control for Processing of Materials》^[4]是波音公司标准, 规定了测试传感器、仪表、设备仪表类型、系统仪表检查(即系统精度测试)、温度均匀性测试等内容, 用于国内对外转包生产、飞机

收稿日期: 2017-06-26

作者简介: 杨新圆(1980-), 男, 工程师, 从事温湿度计量科研工作。

维修中的热处理设备测试。

CPS 8100《高温测量》^[5]是中国商飞标准,主要用于我国大型飞机重大专项中大型客机项目的热处理炉测试。

JJF 1376《箱式电阻炉校准规范》^[6]是国家校准规范,适用于温度不高于 1300℃ 的箱式电阻炉的校准,在范围上包含了热处理设备中的电阻加热炉,涉及的技术参数有炉温均匀度、炉温稳定度、炉温偏差、炉内最大温差,但是这些参数的计算与环境试验箱的测试类似,与上述几个关于热处理炉不同,因此未进行大范围的比较。

总之,这些标准之间存在着相同的部分,但是由于不同行业对产品的质量要求不同,因此这些标准之间要求也不同,同时随着科学技术的进步,各个行业的要求也不断进步。

1 炉温均匀性测试比较

热处理炉炉温均匀性测试要求主要有热处理炉炉温均匀性等级、测试温度、测试过程、采样要求、测试周期、炉温均匀性测试传感器校准、传感器布置数量、测试仪表技术校准等方面,由于行业要求不同,这些标准对炉温均匀性测试要求也不同。

1.1 炉温均匀性等级

炉温均匀性等级根据热处理工艺要求对热处理设备炉温均匀性允差进行等级划分,各标准的炉温均匀性等级划分如表 1 所示。

表 1 炉温均匀等级比较 ℃					
炉温均匀性等级	GB/T 9452-2012	HB 5425-2012	AMS 2750E	BAC 5621K	CPS 8100D
1	±3	±3	±3	±2.8	±3
2	±5	±5	±6	±6	±6
3A	±8	/	/	/	/
3	±10	±10	±8	±8	±8
4	±15	±15	±10	±14	±10
5	±20	±20	±14	±28	±14
6	±25	±25	±28	/	±28

由表 1 可知,GB/T 9452-2012,AMS 2750E,BAC 5621K,CPS 8100D 等四个标准的前三个等级(仅考虑均匀性允差)的炉温均匀性一致(由于数字修约产生的差别除外,下同)。GB/T 9452-2012 为了延续上版等级规定(即符合国内的热处理设备情况),同时与国外标准对接(即在国际贸易中有权威的国家标准),

增加了 3A(±8℃)这个特殊等级;GB/T 9452-2012,AMS 2750E 两个标准的前五个等级的炉温均匀性一致,GB/T 9452-2012 比 AMS 2750E 多一个 ±20℃ 的等级,可见国标在与国外标准保持一致的基础上,更详细;CPS 8100D 与 AMS 2750E 完全一致,体现了我国正在发展的国产民机制造业向国际看齐。

JJF 1376-2012《箱式电阻炉校准规范》对设备均匀性等级的划分如表 2 所示。

表 2 JJF1376-2012 炉温均匀性等级划分 ℃			
工作温度范围	A 级	B 级	C 级
300 ~ 750	±10	±7	±4
750 ~ 1200	±15	±10	±6
1150 ~ 1300	±18	±13	±8

由表 2 可知,JJF 1376-2012 对炉温均匀性等级的划分原则与表 1 中比较的五个标准不太一致,JJF 1376-2012 按照温度段进行划分,每个温度段划分三个等级,均匀性指标交叉,易造成混乱。例如:一个全范围 ±8℃ 的炉子,同时满足 A 级、B 级、C 级。因此,下文比较不包含 JJF 1376-2012。

1.2 测试温度的选择

测试温度一般分为初次测试(包括设备大修之后的第一次测试)、周期测试,各标准要求如表 3 所示。

由表 3 可见,HB 5425-2012,AMS 2750E,BAC 5621K,CPS 8100D 等四个标准在测试温度选择方法上基本一致,但是在相邻温度间隔取值不尽相同,其中 HB 5425-2012 和 AMS 2750E 相近(HB 5425-2012 略高于 AMS 2750E),BAC 5621K 和 CPS 8100D 一致。GB/T 9452-2012 在这方面的要求即没有区分初次测试和周期测试,又没有规定测试温度间隔。

1.3 测试过程

测试过程包括开始记录数据的时间要求和用于炉温均匀性计算的采样要求,如表 4 所示。

由表 4 可见,HB 5425-2012,AMS 2750E,BAC 5621K,CPS 8100D 等四个标准的要求一致,GB/T 9452-2012 中要求延续了上一版本的要求,虽然比较宽泛,但是深入探究发现,GB/T 9452-2012 要求是按照热处理工艺需求出发,既对保温时间少的进行规定,又对保温时间长的进行规定,要求细而广。

1.4 测试周期

测试周期规定了炉温均匀性两次测量的时间间隔,如表 5 所示。

表 3 测温温度选择的比较

比较项目	GB/T9452 – 2012	HB5425 – 2012	AMS2750E	BAC5621K	CPS8100D
初次测试	当测试温度 ≤ 100℃ 时，选择最低温度和最高温度之间的任意温度； 当测试温度 > 100℃ 时，原则上选择最低温度和最高温度	最高温度和最低温度，范围超过 300℃ 时增加测试温度； 测试温度相邻间隔不超过 300℃	最高温度和最低温度，范围超过 335℃ 时增加测试温度； 测试温度相邻间隔不超过 335℃	最高温度和最低温度； 测试温度相邻间隔不超过 167℃	最高温度和最低温度； 测试温度相邻间隔不超过 167℃
周期测试	当测试温度 ≤ 100℃ 时，选择最低温度和最高温度之间的任意温度； 当测试温度 > 100℃ 时，原则上选择最低温度和最高温度	合格范围内任意温度； 测试温度相邻间隔不超过 300℃； 在低于最高温度和高于最低温度 150℃ 范围内，必须选择两点 每年对最高温度和最低温度至少进行一次测试	合格范围内任意温度； 测试温度相邻间隔不超过 335℃； 在低于最高温度和高于最低温度 170℃ 范围内，必须选择两点 每年对最高温度和最低温度至少进行一次测试	合格范围内任意温度； 测试温度相邻间隔不超过 333℃ 每年对最高温度和最低温度至少进行一次测试	合格范围内任意温度； 测试温度相邻间隔不超过 333℃ 每年对最高温度和最低温度至少进行一次测试

表 4 测试过程比较

比较项目	GB/T9452 – 2012	HB5425 – 2012	AMS2750E	BAC5621K	CPS8100D
采样周期	小于 5 min(保温时间小于 30 min) ； 5 ~ 10 min(保温时间大于 30 min)	不超过 2 min	不超过 2 min	不超过 2 min	不超过 2 min
采样时间	大于 15 min(保温时间小于 30 min) ； 大于 30 min(保温时间大于 30 min)	大于 30 min	大于 30 min	大于 30 min	大于 30 min

注：开始记录时间必须在第一个设备工艺传感器或 TUS 传感器达到测试温度的容差下限之前开始。

表 5 测试周期比较

炉温均匀性等级	GB/T9452 – 2012	HB5425 – 2012	AMS2750D			BAC5621K		CPS8100D	
	周期/月	周期/月	仪表类型	周期/月 (零件炉)	周期/月 (原材料炉)	仪表类型	周期/月	仪表类型	周期/月
1	2	1	D	1	1	A, B	1	A, B, C, D	1
			A, B, C	1	3	/	/	/	/
2	2	1	D	1	1	A, B	1	A, B, C, D	1
			A, B, C	1	3	/	/	/	/
3A	6	/	/	/	/	/	/	/	/
			/	/	/	C – N	1	/	/
3	6	3	D	3	3	B	3	A, B, C, D	3
			A, B, C	3	6	A	6	/	/
4	6	3	D	3	3	H, I, N	3	A, B, C, D	3
			A, B, C	3	6	B, C, D	6	/	/
5	6	3	D	3	3	H, I, N	6	A, B, C, D	3
			A, B, C	3	6	B, C, D	12	/	/
6	12	6	E	12	12	/	/	D, E	6
			/	/	/	/	/	A, B, C	12

由表 5 可见，AMS 2750D，BAC 5621K，CPS 8100D 等 3 个标准在炉温均匀性测试周期规定上按照设备仪表类型进行了详细规定，其中 AMS 2750D 还按照设备功能进行了进一步规定，而 GB/T 9452 – 2012 和 HB 5425 –

2012 没有按照设备仪表类型和设备功能进行区分，要求相对比较粗，由此可以看出我国标准在这方面的差距。

1.5 测试传感器校准

测试传感器的比较主要从校准温度选择和技术指

标准要求两方面进行，如表 6 所示。

由表 6 可见，GB/T 9452 – 2012 和 HB 5425 – 2012 对测试传感器的要求为进行特殊规定，符合国家相关标准即可，其他三个标准在温度校准间隔上要求基本一致（BAC 5621K 要求略大），BAC 5621K 和 CPS 8100D 的技术指标一致（AMS 2750E 要求相对较大）。

表 6 测试传感器校准比较

比较项目	GB/T 9452 – 2012	HB 5425 – 2012	AMS 2750E	BAC 5621K	CPS 8100D
温度选择	符合国标要求	符合国标要求	校准间隔不超过 140℃ (固定点法校准除外)	校准间隔不超过 167℃ (固定点法校准除外)	校准间隔不超过 140℃ (固定点法校准除外)
指标要求	符合国标要求	符合国标要求	±2.2℃或 ±0.75% t	±1.1℃或 ±0.4% t	±1.1℃或 ±0.4% t

1.6 传感器布置数量

传感器布置数量比较仅对周期式热处理设备按照体积法计算进行比较，如表 7 所示。

由表 7 所知，GB/T 9452 – 2012，HB 5425 – 2012 和

表 7 传感器布置数量比较

有效加热区 体积/m ³	传感器数量/支					BAC5621K	CPS8100D
	GB/T 9452 – 2012 (1, 2 级)	GB/T 9452 – 2012 (3A – 6 级)	HB 5425 – 2012 和 AMS2750E(1, 2 级)	HB 5425 – 2012 和 AMS2750E(3 – 6 级)			
0.085	5	5	5	5		5	5
6.4	9	9	9	9		9	9
8.5	14	12	14	12		12	12
11	16	13	16	13		16	16
17	18	14	19	14		24	24
23	21	15	21	15		32	32
28	23	16	23	16		40	40
57	30	20	30	20		40	40
85	35	23	35	23		40	40
113	40	25	40	25		40	40

AMS 2750E 对传感器布置数量一致，并且在设备等级上进行了区分，BAC 5621K 和 CPS 8100D 对传感器布置数量一致，没有针对等级进行区分。所有标准在有效加热区体积小于 11 m³时，基本一致，大于 11 m³时，BAC 5621K 和 CPS 8100D 要求布置的传感器数量比较多。

1.7 测试仪表校准

测试仪表校准比较从准确度等级、校准周期两方面进行，如表 8 所示。

由表 8 可知，四个标准（GB/T 9452 – 2012 除外）对仪表准确度等级和校准周期进行严格规定，其中 AMS 2750E 和 CPS 8100D 要求一致。

表 8 测试仪表比较

比较项目	GB/T 9452 – 2012	HB 5425 – 2012	AMS 2750E	BAC 5621K	CPS 8100D
准确度等级	高于热处理设备使用 仪表的准确度等级	不低于 0.1 级， 推荐使用(0.05 ~ 0.01)级	允差：±0.6℃ (或读数的 ±0.1%)	允差：±1.1℃ (或读数的 ±0.2%)	允差：±0.6℃ (或读数的 ±0.1%)
校准周期	按照国家相关标准	不大于 3 m	3 m	1 m	3 m

2 系统精度测试比较

系统精度测试比较主要从系统精度允差、测试周期、测试传感器等方面进行。由于 GB/T 9452，HB 5425仅是关于有效加热区（即炉温均匀性）测试的标准，没有系统精度测试的规定，因此本节仅对 AMS

2750E, BAC 5621K, CPS 8100D 进行比较。

2.1 系统精度允差比较

系统精度允差是按照炉温均匀性等级划分的, 各标准比较见表 9。

由表 9 可知, 各标准之间系统精度允差相差不大, AMS 2750E 与 CPS 8100D 一致。

2.2 测试周期

系统精度测试周期也是按照炉温均匀性等级进行划分的, 并且按照仪表类型进行细分, 如表 10 所示。

表 9 系统精度允差比较

炉温均匀性等级	AMS 2750E	BAC 5621K	CPS 8100D
1	±1.1℃	±1.1℃或 0.2% t	±1.1℃
2	±1.7℃	±1.1℃或 0.2% t	±1.7℃
3	±2.2℃	±1.7℃或 0.3% t	±2.2℃
4	±2.2℃	±2.8℃或 0.5% t	±2.2℃
5	±2.8℃	±6.0℃或 1.0% t	±2.8℃
6	±5.6℃	±2.8℃或 0.5% t	±5.6℃

表 10 系统精度测试周期比较

炉温均匀性等级	AMS 2750D			BAC 5621K		CPS 8100D	
	仪表类型	周期(零件炉)	周期(原材料炉)	仪表类型	周期	仪表类型	周期
1	D	1 周	1 周	A, B	1 周	D	1 周
	B, C	1 周	1 月	/	/	B, C	1 周
	A	2 周	1 月	/	/	A	2 周
2	D	1 周	1 周	D, N	1 周	D	1 周
	B, C	2 周	1 月	A, B, C	1 周	B, C	2 周
	A	1 月	1 月	/	/	A	1 月
3	D	2 周	2 周	C - N	1 周	D	2 周
	B, C	1 月	1 月	B	2 周	B, C	1 月
	A	1 季	1 季	A	1 月	A	1 季
4	D	2 周	1 月	D	1 周	D	2 周
	B, C	1 月	1 季	C, H, I, N	2 周	B, C	1 月
	A	1 季	1 季	B	1 月	A	1 季
5	D	2 周	1 月	I, N	2 周	D	2 周
	B, C	1 月	1 季	H	1 月	B, C	1 月
	A	1 季	1 季	B, C, D	2 月	A	1 季
6	E	半年	半年	I, N	2 周	D, E	1 月
				H	1 月	B, C	1 月
				B, C, D	2 月	A	1 季

由表 10 可知, 系统精度测试周期不仅与炉温均匀性等级有关, 也与设备仪表类型有关, 其中 AMS 2750D 中还按照设备功能进一步进行规定, 要求更高。

2.3 测试传感器

系统精度测试传感器的比较, 主要从技术要求、校准周期两方面着手, 如表 11 所示。

由表 11 可知, 各标准对系统精度测试传感器要求基本一致, 在校准周期尤其是非易耗金属热电偶对

使用次数和时间上进行了规定。

3 历年版本标准比较

随着科学技术的进步, 每个行业对热处理炉炉温均匀性测试要求也不断改进。

3.1 GB/T 9452

GB/T 9452 是我国热处理设备炉温均匀性测试的国家标准, 现行版本是 2012 版, 与 2003 版比较, 差

别如表 12 所示。

表 11 系统精度测试传感器比较

比较项目	AMS2750E	BAC5621K	CPS8100D
技术要求	$\pm 1.1^{\circ}\text{C}$ 或 $0.4\% t$ (廉金属); $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$ 或 $0.25\% t$ (S 型、R 型)、 $0.5\% t$ (B 型);	$\pm 1.1^{\circ}\text{C}$ 或 $0.4\% t$ (廉金属热电偶); $\pm 0.28^{\circ}\text{C}$ (热电阻)	$\pm 1.1^{\circ}\text{C}$ 或 $0.4\% t$ (廉金属); $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$ 或 $0.25\% t$ (S 型、R 型)、 $0.5\% t$ (B 型);
校准周期	6 月 (S, R, B 型); 3 月 (除 E, K 外的廉金属)	$\pm 1.1^{\circ}\text{C}$ 或 $0.2\% t$ 廉金属热电偶按照使用次数和时间规定 (非易耗型) 或不重复校准 (易耗型); 3 月 (热电阻)	6 月 (S, R, B 型); 廉金属热电偶按照使用次数和时间规定 (非易耗型) 或不重复校准 (易耗型)

表 12 GB/T9452 两个版本的比较

比较项目	2003 版	2012 版
炉温均匀性等级	无 3A, 无 $\pm 8^{\circ}\text{C}$	增加 3A ($\pm 8^{\circ}\text{C}$)
测试周期	1 级 (1 月), 2 - 4 级 (6 月), 5 - 6 级 (12 月)	1 - 2 级 (2 月), 3A - 5 级 (6 月), 6 级 (12 月)
测试传感器	推荐 S, K, E 及对应的补偿导线	规定 S, R, B, K, N, E, J, T, PRT 及对应的补偿导线
传感器数量	在圆周或长、宽、高等方向均衡选取	详细规定了数量及位置
采样要求	所有测试点达到测试温度允差内开始记录	必须在第一个炉子或 TUS 传感器达到测试温度的最低公差极限之前开始

由表 12 可知, GB/T 9452 现行版本比上一版本要求更加科学、详细: 在炉温均匀性等级方面增加了 3A 级 ($\pm 8^{\circ}\text{C}$), 既与国外标准、航标上保持一致, 又扩大了涵盖范围; 测试周期进行了微调, 符合我国热处理行业的特殊情况; 测试传感器类型和布置数量较上版本说明更加明确科学; 采样要求方面比以前也严格了。

3.2 AMS 2750

AMS 2750 是美国标准, 是现在航空制造行业引用较多的标准, 经历了 A, B, C, D, E 等版本变更, 现行版本为 E 版^[7], 与 D 版的不同之处如表 13 所示。

表 13 AMS 2750 标准 E 版与 D 版的比较

比较项目	D 版	E 版
引用标准	无	增加《ASTM E 29 Standard Practice for Using Significant Digits in Test Data to Determine Conformance with Specifications》(关于数据修约的标准)
无线装置	无	增加“无线装置可替代补偿导线使用在测试中”
报告要求内容	无	增加“所有记录传感器的时间和温度满足仪表类型和测试区的要求” 增加“设备进行的 TUS 测试的偏差” 增加“测试传感器在测试点的修正”
数据修约	无	增加数据修约按照 ASTM E 29 进行
二级标准仪表与现场仪表	无	增加校准要求
有调整的仪表再校准	无	增加有调整的仪表再做三点校准, 标记状态 (as - left)
单一温度炉子仪表	无	增加校准规定
额外增加热电偶	无	增加规定
使用散热片	无	增加在 TUS 中使用散热片规定
真空炉	无	增加关于真空炉的规定

由表 13 所示, AMS 2750 现行版本, 增加数据修约方面的规定和 TUS 报告的部分内容, 在质量控制方面更加严格。

4 结束语

通过对现行版本热处理炉测试技术标准在炉温均匀性测试、系统精度测试方面的比较以及历年版本之间的比较, 可以得出以下结论:

1) GB/T 9452 - 2012 作为国家标准, 范围涵盖较广, 因此在指标要求上范围较大, 但是也相当于把其他标准也包含进来;

2) AMS 2750E 和 BAC 5621K 是国外行业标准, 在技术要求上都比较科学、严格、细致;

3) HB 5425 - 2012 和 CPS 8100D 是国内行业标准, 由于我国处于发展阶段, 与国外标准存在一些差距, 但是通过学习, 在技术要求上也趋于科学, 紧跟国外标准;

4) CPS 8100D 是我国商飞标准, 基本与 AMS 2750E, BAC 5621K 基本一致, 进一步比较是与两者要求高的方面一致, 总体上略高于两者, 但是缺少独立创新;

(下转第 43 页)

等模拟信号和脉冲量进行取样，由工控机进行数据处理，系统会给出工作状态及标准状态下的体积流量、被测对象的流量值，通过标准流量与校准对象的流量数据进行比对分析就可以获得被测对象的流量示值基本误差，同时还可以得到该仪表的测量重复性，必要的话也可以为其定级流量仪表校准数据如表 2 所示。

表 2 流量仪表校准数据

流量点 /L · min ⁻¹	标准流量值 /L · min ⁻¹	被测仪表流量值 /L · min ⁻¹	测量结果不确定度 <i>U</i> _{rel} (<i>k</i> = 2)
10	10. 11	10. 17	0. 5%
20	20. 23	20. 26	0. 5%
40	40. 16	40. 29	0. 4%
60	60. 45	60. 5	0. 4%
100	100. 21	100. 6	0. 4%

3.2 压力、温度的校准

综合参数测试仪内的压力、温度传感器通过其系统软件可以实时监测发动机内的各项压力、温度数据，校准方法可参考相应的检定规程^[3]，此处不再赘述。需要提到的是，测试仪是悬挂式的，一般悬挂 2 ~ 3 m 的高度，而校准装置往往要低于被测仪表，在对压力参数进行校准时会引入由高度差(被测仪表和校准装置之间)

带来的测量误差。气体密度和高度差的测量是关键输入量。高度差可以很容易获得，但是根据现场的工况条件，在不同温度和不同压力的条件下，气体密度是随之变化的，管路内的气体密度的测量就存在一定的困难。

为获得综合参数测试仪中压力仪表的准确数据，通过校准装置内温度和压力实时采集的数据，利用数据采集控制系统进行积算处理，编辑相应的软件，可获得密度、温度、压力修正曲线，最终实现精准的误差修正。

4 结束语

通过研究，可以实现对发动机综合参数测试仪进行整体多参数现场校准，解决企业测试仪的溯源难题，节约溯源成本，降低试车台管线开孔和泄露点潜在风险。在科学试验中确保了流量、压力和温度参数的准确可靠，为汽车发动机的研发、生产提供必要的计量技术支撑。

参 考 文 献

[1] 洪宝林. 力学计量[M]. 北京: 原子能出版社, 2002.
[2] 苏彦勋, 梁国伟, 盛健. 流量计量与测试[M]. 2 版. 北京: 中国计量出版社, 2007.
[3] 国家质量监督检验检疫总局. JJG 875 - 2005 数字压力计检定规程[S]. 2006.

(上接第 39 页)

5) 技术标准的进步体现了我国科学技术水平的进步;

6) 国内外技术标准一致体现了我国标准的权威性, 使我国在国际贸易交往中不处于劣势。

参 考 文 献

[1] GB/T 9452 - 2012 热处理炉有效加热区测定方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.

[2] HB 5425 - 2012 航空制件热处理炉有效加热区测定方法[S]. 2012.
[3] AMS 2750E Pyrometry[S].
[4] BAC5621K Temperature Control for Processing of Materials[S].
[5] CPS8100D 高温测量[S].
[6] JJF 1376 - 2012 箱式电阻炉校准规范[S]. 北京: 中国质检出版社, 2012.
[7] 李亚兵, 苏纯贤. AMS 2750《高温测量》标准 E 版修订内容分析[J]. 金属热处理, 2013, 38(1): 119 - 122.