岛津 SHIMADZU
Excellence in Science

Application News

轴心调整系统 PAS
精密万能试验机 AGX™-V2

采用轴心调整系统 PAS 完成符合 ASTM E1012 标准的拉伸试验

松下智哉

应用特色

- ◆ 借助轴心调整系统 PAS，可实现对中精度符合 ASTM E1012 标准的拉伸试验要求。
- ◆ 通过简便调整上下夹具的轴线，有效降低数据离散度。
- ◆ 夹具拆卸重装后，仍可轻松完成对中调节。

■ 引言

在航空航天领域，零部件与材料的质量、试验结果的可靠性均需获得国际层面的认可。国家航空航天和国防合同方授信项目（NADCAP）是实现该目标的代表性体系之一，目前已得到广泛应用。NADCAP 通过为特种工艺与材料检测建立统一的认证标准，在全供应链的质量维持与提升中发挥着关键作用。

要获取并维持 NADCAP 认证资质，必须严格按照指定国际标准开展试验。在材料试验领域，拉伸试验要求采用符合 ASTM E1012 标准的系统配置。ASTM E1012 标准重点强调必须尽量减少试样承受附加弯曲应力，同时明确规定：拉伸试验必须使用可保证加载轴精确对中的夹具 [1]。轴心偏差是影响试验结果的关键因素，因此在满足 NADCAP 要求的试验中，对轴心偏差的管控要求十分严格。使用轴心调整系统 PAS（Precise Alignment System），可实现符合 ASTM E1012 标准的高对中精度。本应用将通过对比使用 PAS 与不使用 PAS 两组试验数据，验证 PAS 对提升对中精度的作用；此外，如图 1 所示，采用 AGX-V2 精密电子万能试验机与 PAS 组成的试验系统，完成了 A7075 铝合金的拉伸试验。



图 1. 精密电子万能试验机 AGX™-V2

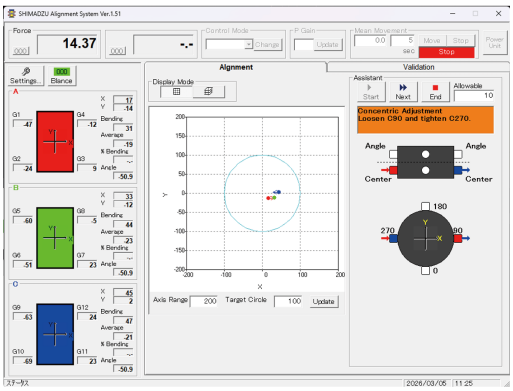


图 2. 对中调节软件操作界面

■ 轴心调整系统 PAS

轴心调整系统 PAS 是一套通过粘贴于试样上的应变片检测试验轴的对中偏差，最大限度减小试验轴线微小偏差的专用装置。系统由四部分构成：用于对中控制的轴线调整装置、用于测量应变的应变放大器、显示应变测量值并提供调整量与调整方向的对中调节软件，以及用于应变检测的传感器试样。传感试样上粘贴有多个应变片。系统根据每个应变片的测量值，自动计算试样承受的弯曲应变，并在软件界面直观呈现轴线的不对中程度，如图 2 所示。系统上部的轴心调整装置配备多组微调螺钉，可对夹具的水平位置与角度进行精细调节。本次应用中不对中度允许的偏差范围设定为半径 100μm 以内，调整后要让对中偏差在该偏差范围以内。

此外，拉伸夹具需满足夹持重复性优异、加载状态下夹具自身变形量小的要求。本次应用采用高精度气动楔形夹具，依靠气压实现夹紧，可稳定复现一致的夹持状态。该夹具与 PAS 组合搭建的试验系统如图 3 所示。

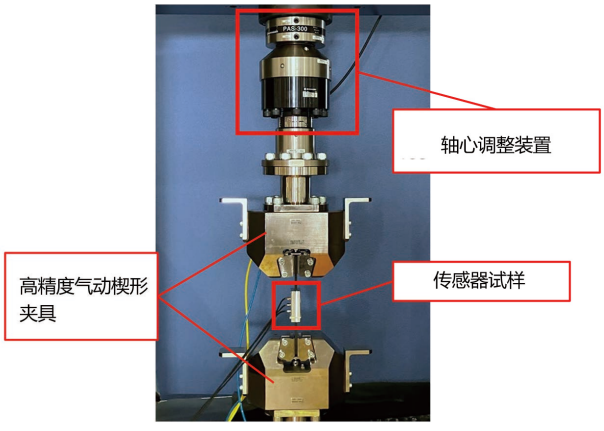


图 3. 试验系统

■ 试样

表 1 为试样参数汇总，图 4 为试样实物图。本应用采用 A7075 铝合金（超硬铝）作为试验材料，该材料广泛应用于航空航天、汽车制造等众多工业领域。试样为哑铃形，尺寸加工符合 ASTM E8 标准中薄板型试样（宽度 12.5 mm）的规格要求 [2]。

表 1 试样信息

材料	A7075（超硬铝）
尺寸	长 200mm× 宽 12.5mm× 厚 3mm



图 4. 试样图

■ 对中精度验证

如图 5 所示，试样共粘贴 8 个应变片（试样正、反两面各 4 个）。当轴对中状态良好时，拉伸过程中各应变片的读数应基本一致；若存在对中偏差，各应变片的测量值会出现明显离散。本试验分别在使用 PAS 与不使用 PAS 两种条件下开展相同试验，对比指定载荷下各应变片读数的离散程度。试验步骤如下：

（1）用夹具装夹试样；

（2）以 10MPa/s 的速率加载至 8kN；

（3）卸载至约 0N；

（4）从夹具中取出试样。

上述步骤对同一试样重复 10 次，由于 8kN 在试样的弹性范围内，卸载后可以在相同条件下重复测试。此外，测试中使用了由共和电业（Kyowa Electronic Instruments Co., Ltd.）制造的应变计和动态应变放大器。应变计的规格列在表 2 中。

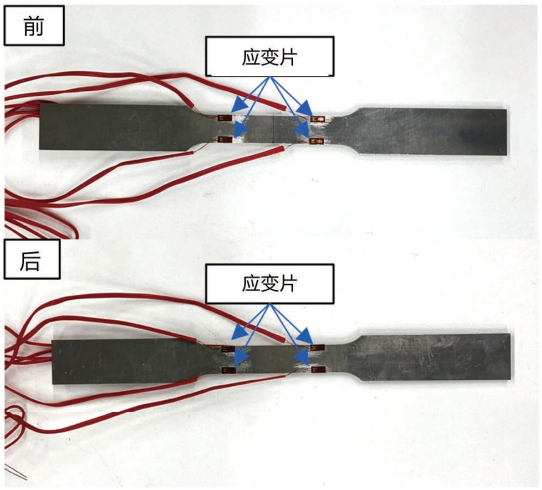


图 5. 试样图（带 8 个应变片）

表 2 应变片参数

标距	2mm
标距灵敏系数	2.11±1.0%
满量程	30000με

■ 对中精度验证结果

图 6、图 7 为载荷 - 应变曲线，图中选取 8 个应变片中 2 个代表性应变片的测量数据。从结果可直观看出，未使用 PAS 的系统，应变数据离散程度明显更大。表 3 汇总了 10 组应变片测量值的变异系数。结果显示，使用 PAS 的系统在全部 10 次试验中，变异系数整体更低，说明配备 PAS 的试验系统的应变离散性更小，中线的对中精度更高。

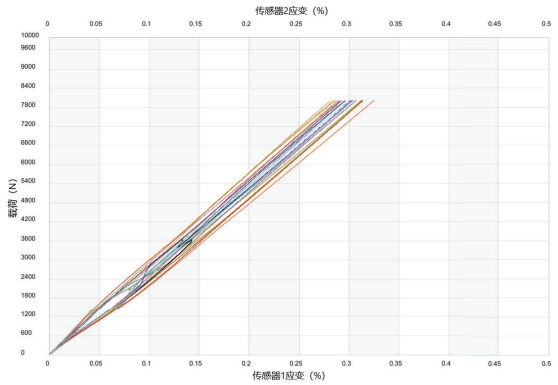


图 6. 载荷 - 应变曲线（无 PAS）

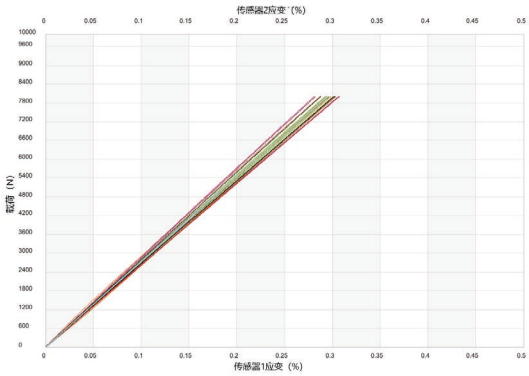


图 7. 载荷 - 应变曲线（带 PAS）

表 3 各次试验中 1~8 号应变值的变异系数（5kN 载荷下）

试验编号	变异系数 (%)（带 PAS）	变异系数 (%)（无 PAS）
1	2.02	4.10
2	1.92	5.25
3	2.97	11.48
4	3.13	4.10
5	1.37	15.43
6	5.55	5.06
7	4.38	7.54
8	5.23	8.49
9	3.25	6.93
10	3.14	9.57
平均值	3.30	7.80

■ 拉伸测试

本试验采用经 PAS 保证对中精度、符合 ASTM E1012 要求的系统，按照 ASTM E8 标准开展拉伸试验。试验使用 AGX-V2 配套的 TRAPEZIUMX™-V 软件的“自动应力控制”功能：试验初始阶段保持恒定的应力速率，当超过设定的速度阈值后，自动切换为应变速率控制模式。由于系统全程监测试样应变速率，可避免为维持应力速率而导致横梁移动速度过快的问题。

试验条件汇总于表 4，试验装夹状态如图 8 所示。

表 4 测试条件

试验机	精密万能试验机 AGX-V2
额定载荷	250kN
软件	TRAPEZIUMX-V（单一模式）
夹具	高精度气动楔形夹具
引伸计	应变片（灵敏度系数 2.11）
试验速率	V1：10MPa/s（直至实际速率超过 V2） V2：50%/min

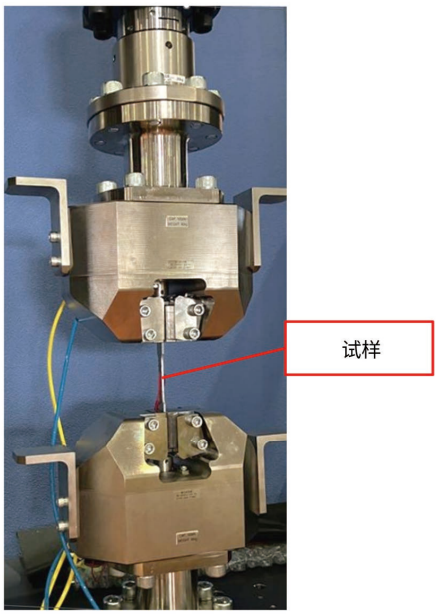


图 8. 拉伸测试图

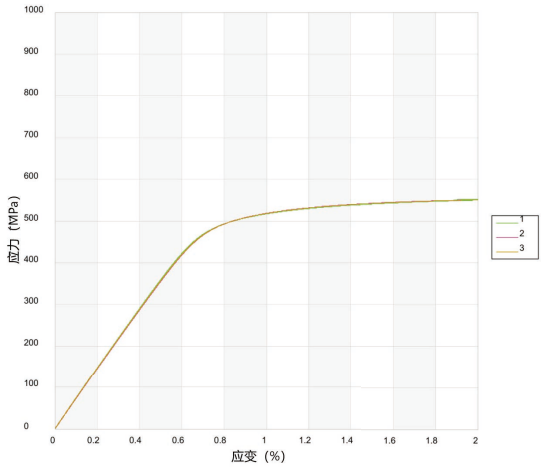


图 9. 2% 应变内的拉伸试验结果（n=3）

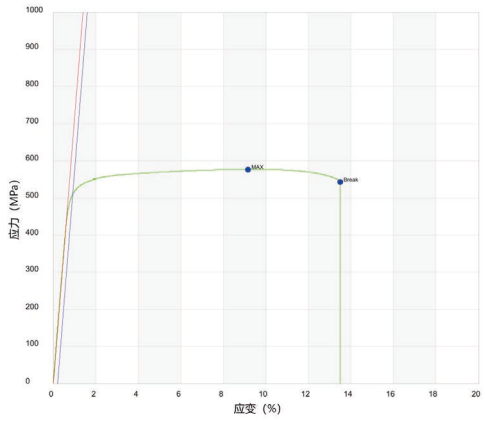


图 10. 拉伸至断裂的试验结果（n=1）

表 5 拉伸试验结果（力学性能）

试样编号	弹性模量 (GPa)	0.2% 规定非比例延伸强度 (MPa)	抗拉强度 (MPa)
1	70.91	508.6	578.0
2	71.02	509.4	578.7
3	70.80	511.2	579.1
平均值	70.91	509.7	578.6
标准差	0.109	1.36	0.581
变异系数 (%)	0.154	0.267	0.100

■ 测试结果

本次试验样本量 n=3。图 9 为应变 0.2% 以内的拉伸试验结果（n=3），可见 3 条应力 - 应变曲线重合性良好。图 10 为单根试样拉伸至断裂的结果（n=1）。图中展示了其中一个试样的应力 - 应变曲线，红线为弹性模量拟合线，蓝线为 0.2% 规定非比例延伸强度线。根据试验数据，计算得到 A7075 试样的弹性模量、0.2% 规定非比例延伸强度与抗拉强度。下表汇总了各试样的拉伸测试结果（力学性能）。如表所示，测试数据的重复性良好。

■ 结论

本次应用采用 PAS 轴心调整系统，该系统可实现符合 ASTM E1012 标准的对中精度。通过对比使用与不使用 PAS 的试验数据，证实 PAS 可有效提升轴向对中精度。同时，使用 PAS 系统对应 A7075 铝合金拉伸试验，以高重复性测得材料的弹性模量、0.2% 规定非比例延伸强度与抗拉强度。

参考文献
[1] ASTM E1012-14
[2] ASTM E8-16a

岛津应用云

岛津企业管理（中国）有限公司
岛津（香港）有限公司
http://www.shimadzu.com.cn
用户服务热线电话：800-810-0439
400-650-0439

免责声明：
* 本资料未经许可不得擅自修改、转载、销售；
* 本资料中的所有信息仅供参考，不予任何保证。
如有变动，恕不另行通知。