

中华人民共和国国家标准

FL 6636

GJB 2244—94

风洞应变天平规范

Specification for wind tunnel strain gage balance

1994-12-13 发布

1995-07-01 实施

国防科学技术工业委员会 批准

目 次

| | |
|-------------------------|----|
| 1 范围..... | 1 |
| 1.1 主题内容..... | 1 |
| 1.2 适用范围..... | 1 |
| 2 引用文件..... | 1 |
| 3 要求..... | 1 |
| 3.1 一般要求..... | 1 |
| 3.2 详细要求..... | 2 |
| 4 质量保证规定..... | 4 |
| 4.1 检验责任..... | 4 |
| 4.2 检验分类..... | 4 |
| 4.3 检验条件..... | 4 |
| 4.4 检验方法..... | 4 |
| 5 交货准备..... | 7 |
| 5.1 包装..... | 7 |
| 5.2 运输和贮存..... | 7 |
| 6 说明事项..... | 8 |
| 6.1 定义..... | 8 |
| 6.2 符号..... | 9 |
| 附录 A 应变计的粘贴和处理..... | 10 |
| 附录 B 可疑值的舍弃方法（补充件）..... | 10 |

中华人民共和国国家军用标准

风洞应变天平规范

Specification for wind tunnel strain gage balance

1 范围

1.1 主题内容

本规范对风洞应变天平常用定语、符号、技术指标作了规定，对天平设计、加工、应变计粘贴技术、静校、动校及使用维护等提出了详细要求和质量保证措施。

1.2 适用范围

本规范适用于低速风洞和高速风洞全机、全弹模型测力实验的应变天平。对其他测力实验的应变天平也可参照使用。

2 引用文件

- GB 1095 平键 键和键槽的剖面尺寸
- GB 1800~1804 公差与配合
- GB 1184 形状与位置公差未注公差的规定
- GB 4167 1~5等砝码
- GJB 1061 高速风洞和低速风洞测力实验精度指标

3 要求

3.1 一般要求

3.1.1 天平设计技术条件

- a. 使用环境温度范围；
- b. 天平外形尺寸；
- c. 模型与天平的连接及支撑方式；
- d. 天平各分量设计载荷；
- e. 天平静校精度和准度；
- f. 冲击因子；
- g. 模型重量、重心位置及力矩参考点位置；
- h. 其他。

3.1.2 天平性能指标

3.1.2.1 电气性能指标

- a. 零漂：天平及检测仪表预热后，在零载和室温情况下，30分钟内各分量电桥输出的变化量，不大于天平设计载荷时电桥输出值的0.2%；
- b. 温漂：在零载情况下，天平在使用环境温度范围内，每10K温度变化所引起的各分量电桥输出的变化量，不大于天平设计载荷时电桥输出值的0.2%；
- c. 电桥桥臂阻值差：不大于0.3Ω；
- d. 绝缘电阻：天平应变计、电路与天平体之间的电阻值，不小于 $2 \times 10^3 \text{M}\Omega$ 。

3.1.2.2 机械性能指标

- a. 回零性：从零载开始，对天平施加单分量设计载荷，再从设计载荷减到零载荷，由此得到

的零载点电桥输出的变化量，不大于天平设计载荷时电桥输出值的0.2%；

b. 滞后：从零载开始，对天平施加单分量递增载荷至设计载荷，再从设计载荷递减到零载荷，由此得到的相同载荷点电桥输出差值的最大值，不大于天平设计载荷时电桥输出值的0.3%。

3.1.2.3 静校指标

a. 精度：单分量加载合格指标不低于 0.1%（滚转力矩分量不低于 0.2%），先进指标不低于 0.03%（滚转力矩分量不低于 0.05%）；综合加载合格指标不低于 0.2%（滚转力矩分量不低于 0.3%），先进指标不低于 0.06%（滚转力矩分量不低于 0.1%）；

b. 准度：合格指标不低于 0.4%（滚转力矩分量不低于 0.5%），先进指标不低于 0.1%（滚转力矩分量不低于 0.2%）。

3.1.2.4 动校精度指标

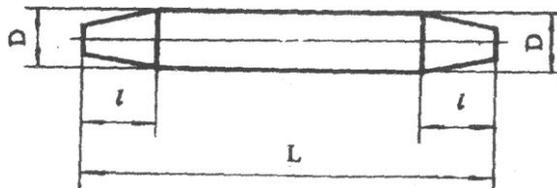
参照GJB 1061的规定。

3.2 详细要求

3.2.1 天平设计和计算

3.2.1.1 外形设计

a. 杆式天平的长度 L 与直径 D 之比一般为6~10，如图所示；



b. 天平连接锥度：与模型连接为1:5，与支杆连接一般为1:10；

c. 锥度部分长度 l 与天平直径 D 之比一般为1.5，如图所示；

d. 内式天平设计中心一般应与模型力矩参考点重合。

3.2.1.2 天平元件设计

3.2.1.2.1 平均应变设计指标

a. 低速风洞天平：不低于 300×10^{-6} ；

b. 跨声速风洞天平：不低于 200×10^{-6} ；

c. 超声速风洞天平：不低于 150×10^{-6} 。

3.2.1.2.2 应变计算

3.2.1.2.2.1 天平元件应变计算一般假设

a. 与弹性梁连接的框架看做刚体；

b. 弹性梁铰链部分的恢复力矩为零（盒式天平则需要考虑恢复力矩的影响）；

c. 弹性元件受力作用时变形一致；

d. 载荷按刚度分配。

3.2.1.2.2.2 应变计算按材料力学的有关公式进行。

3.2.1.3 天平材料

3.2.1.3.1 材料选用原则

a. 高的强度和良好的弹性；

b. 优良的机械加工性能；

c. 较高的抗疲劳性能；

d. 较小的热膨胀系数；

e. 良好的弹性模量温度稳定性；

f. 良好的应变计粘贴性能。

3.2.1.3.2 常用的材料和硬度

- a. 30CrMnSiA HRC34~37;
- b. 35CrMnSiA HRC41~44;
- c. 17—4PH HRC39~42;
- d. 18Ni (F141) HRC46~52。

3.2.1.4 天平强度

3.2.1.4.1 强度校核条件

- a. 低速风洞天平：设计应力与材料安全系数的乘积应小于材料的抗拉强度极限；
- b. 高速风洞天平：设计应力、材料安全系数与冲击因子的乘积应小于材料的抗拉强度极限；
- c. 材料安全系数应不小于 2。

3.2.1.4.2 强度计算

3.2.1.4.2.1 危险截面选择原则

- a. 距天平设计中心远处的小尺寸截面处；
- b. 天平截面材料切削严重的部位；
- c. 几何尺寸有明显变化的部位；
- d. 天平元件根部；
- e. 弹性连杆，
- f. 有明显的应力集中部位。

3.2.1.4.2.2 计算方法

- a. 危险截面上的应力取天平设计载荷在该截面上所产生的应力之和；
- b. 对承受正应力和剪应力的截面，按材料力学第三强度理论计算。

3.2.1.5 天平刚度

3.2.1.5.1 刚度要求

在风洞实验过程中，应保证天平、支杆、整流罩和模型之间不相碰。

3.2.1.5.2 计算方法

采用加单位力法计算天平和支杆总的挠度和转角，及模型底部处天平或支杆相对于模型纵轴的位移。

3.2.1.6 工作图设计

3.2.1.6.1 尺寸公差和形位公差

- a. 杆式天平直径的下偏差为零。上偏差为 GB 1800 的 IT12 级；
- b. 天平元件厚度、宽度和长度公差按 GB 1800 的 IT7 级；
- c. 标注公差的直线尺寸按 GB 1800 的 IT9 级；
- d. 未注尺寸公差按 GB 1804 的 IT12 级；
- e. 配合尺寸公差按 GB 1801 的规定；
- f. 键和键槽按 GB 1095 的一般键的配合选用；
- g. 形状和位置公差按 GB1184 的 7 级；
- h. 未注形状和位置公差按 GB 1184 的 C 级。

3.2.1.6.2 倒角和倒圆

- a. 过渡圆角一般为 R0.2mm~R2.0mm；
- b. 锐边倒圆和倒角一般为 R0.5mm~R4.0mm 和 $0.5\text{mm}\times 45^\circ \sim 2.0\text{mm}\times 45^\circ$ 。

3.2.1.6.3 锥面配合要求

天平与模型和支杆的配合锥面用量规检验，接触面积不少于全部面积的 80%。

3.2.1.6.4 表面粗糙度

- a. 天平杆外表面、应变计粘贴表面及有配合要求的表面粗糙度 R_a 为 0.8~1.6 μm ；

b. 其他非配合表面粗糙度Ra为1.6~6.3 μm 。

3.2.1.6.5 热处理

见第3.2.1.3.2条。

3.2.1.6.6 天平需进行探伤检查,不允许有裂纹及材质缺陷。

3.2.1.6.7 表面处理

a. 需要防腐镀铬的天平,除使用表面(贴片表面、锥面、螺纹和键槽等)外,铬层厚度应小于或等于0.003mm;

b. 工作图中所注尺寸,除指明特殊要求外,均为镀后尺寸。

3.2.2 应变计粘贴

见附录A(补充件)。

3.2.3 天平使用和维护

a. 应选用设计载荷与模型吹风实验时所受的空气动力载荷相适应的天平,测力实验时的空气动力载荷一般不应小于天平设计载荷的70%。

b. 天平在搬动、安装、装卸加载头或模型时,都应避免天平元件部分受到碰撞或超载,以免损坏天平元件或连接导线。

c. 接天平线路时,应切断供桥电源和测量仪表电源;地面焊接时电烙铁应可靠接地,在风洞内焊接时应使用36V的电烙铁。

d. 为实现准确测量,天平静校一年后再用于风洞实验前,应作检验性静校。

4 质量保证规定

4.1 检验责任

天平在交付前,承制方应负责完成本规范第3.1.2条和3.2.1.6条中所规定的所有检验。

4.1.1 合格责任

a. 天平必须符合本规范第3.1.2条和3.2.1.6条中的所有要求,并提交天平加工、静校和动校的产品合格证。

b. 承制方不应提交明知有缺陷的天平,也不能要求订购方接收有缺陷的天平。

4.1.2 天平在加工中出现问题时,由设计者负责同天平加工者协商解决。

4.2 检验分类

本规范规定的检验分为:

a. 天平加工;

b. 天平静校;

c. 天平动校。

4.3 检验条件

4.3.1 天平加工检验条件

测量应在常温条件下进行。

4.3.2 天平性能指标检验条件

检验应分别在地面常温和风洞试验环境中进行。

4.4 检验方法

4.4.1 天平加工检验

a. 第3.2.1.6.1条所列各项一般用游标卡尺、千分尺、三坐标测量机和圆度仪检验;

b. 第3.2.1.6.3条用专用环规和塞规检验;

c. 第3.2.1.6.4条一般用轮廓仪检验;

d. 第3.2.1.6.5条用洛氏硬度计检验。

4.4.2 天平静校

天平静校工作应在天平校准装置上进行。

载荷源的精度应高于或等于被校天平要求精度的三倍；砝码作为载荷源时，其精度应符合 GB 4167 规定的三等砝码精度，即 0.002%。

4.4.2.1 天平校准公式

一台六分量天平，其各分量的输出信号是六个欲测载荷分量的函数。非线性干扰项取到立方项的天平各分量校准公式表达为：

$$F_i = a_i \cdot \Delta u_i + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^6 (b_{ij} \cdot P_j) + \sum_{j=1}^6 \sum_{k=j}^6 (c_{ijk} \cdot P_j \cdot P_k) + \sum_{j=i}^6 (d_{ijj} \cdot P_j^3) \dots\dots\dots (1)$$

式中： F_i ——天平第*i*个分量的载荷测值（ $i=1\sim 6$ ），N（或N m）；

a_i ——第*i*个分量的主系数，N（或N m）/mV；

Δu_i ——第*i*分量电桥输出值，mV；

b_{ij} ——其它分量载荷对第*i*分量的线性干扰系数，N（或N m）/N m（或N）；

c_{ijk} ——各分量载荷对第*i*分量的平方干扰系数（ $j=k$ 时）和交叉干扰系数（ $j \neq k$ 时），N（或N m）/N²（或N² m²或N² m）；

d_{ijj} ——各分量载荷对第*i*分量的立方干扰系数，N（或N m）/N³（或N³ m³）；

P_j 和 P_k ——对第*i*分量产生干扰的分量载荷，N（或N m）。

公式中的干扰项，可根据天平静校准度要求适当取舍。

对完整的校准公式，等式右边的项数*T*取决于天平的测量分量数*n*：

$$T = n(n+5)/2 \dots\dots\dots (2)$$

4.4.2.2 静校前的准备工作

在对天平进行加载静校前，必须先作下列工作，并认为天平已处在正常状态方能对其静校。

4.4.2.2.1 通电检查

a. 静平衡和零点检查：各分量电桥零载输出一般应不大于该分量设计载荷时电桥输出值的20%；

b. 零漂检查：按第3.1.2.1条之a执行；

c. 温漂检查：按3.1.2.1条之b执行；

d. 回零检查：按3.1.2.2条之a执行。对应用于超声速风洞的天平，要施加适当量的冲击载荷（可用橡皮榔头击打天平模型端）检查冲击回零性，其值应小于设计载荷时电桥输出值的0.2%；

e. 电桥输出检查，对天平各分量加载，检查有无输出，输出的符号是否正确。

4.4.2.2.2 安装和调整

a. 天平的安装姿态应与校准坐标轴系相一致，各方向的角度极限偏差为±1'；

b. 确定天平校准中心，其位置的测量误差不大于±0.05mm。

4.4.2.3 静校方法

可采用单元校或多元校求取天平各分量的校准公式。

4.4.2.3.1 单元校

4.4.2.3.1.1 编制加载表

a. 单分量加载：按天平各分量的设计载荷，分成若干个等阶梯加载点。每个分量的加载阶梯，单向加载时一般不少于五级，正负向加载时一般不少于七级（均含零载点在内）。最大加载点的载荷允许与天平设计载荷相差±10%；

b. 两分量组合加载：分别固定一个分量正或负设计载荷的70%左右，再加另一分量正负设计载荷的约80%。

4.4.2.3.1.2 施加校准载荷

按编制好的加载表，逐项实施加载。单分量加载和两分量组合加载往复次数均应不少于两次。

4.4.2.3.1.2 数据处理

依据加载校准所得数据,按最小二乘法计算各相应的待定系数,得出天平校准公式。

a. 利用单分量加载所得数据,计算各分量的主系数、线性干扰系数、平方干扰系数和立方干扰系数;

b. 利用两分量组合加载所得数据,计算各分量的交叉干扰系数。

4.4.2.3.2 多元校

4.4.2.3.2.1 编制加载表

a. 加载组数 m 应不少于待定系数数目 T 的2~3倍;

b. 所加载荷要覆盖天平使用的载荷范围,选取的各加载点应在载荷范围内均匀分布;

c. 按正交设计原则或随机函数计算设计加载表。

4.4.2.3.2.2 施加校准载荷

按加载表对天平逐组施加综合载荷。

4.4.2.3.2.3 数据处理

m 组综合加载可得每个分量的 m 个测定方程组,利用最小二乘法求得对应于测定方程组的每个分量的正规方程组,用逐步回归法解这些正规方程组,求得天平各个分量校准公式中的所有待定系数。

4.4.2.4 静校精度的求取

4.4.2.4.1 单分量加载精度

a. 用约70%的单分量设计载荷重复加载七次,记录该分量电桥的七个输出值,计算出它们的标准差。用设计载荷时电桥输出值的百分比表示。对其他分量逐个重复上述过程;

b. 如载荷源不是砝码,则用每次加载后的牛(或牛·米)每毫伏计算标准差。精度用该分量主体系数的百分比表示;

c. 可疑值的舍弃方法见附录B(补充件);

d. 精度值应符合第3.1.2.3条之a的规定。

4.4.2.4.2 综合加载精度

a. 用天平所有分量设计载荷的约70%,重复加载七次,记录各分量电桥的输出值。计算每个分量电桥的这七个输出值的标准差。用设计载荷时电桥输出值的百分比表示。

b. 同第4.4.2.4.1条之b、c和d。

4.4.2.5 静校准度的求取

按天平各分量的设计载荷编制检验加载表实施综合加载。需遵循下列原则:

a. 加载组数不得少于15组。

b. 各组的载荷匹配应充分考虑到以后天平应用时的受力状态。各分量的最大加载点应不小于各分量的设计载荷。

c. 用多元校求得的天平校准公式,检验加载组不得与求取校准公式时的加载组相同。

d. 静校准度的求取按第6.1.19条规定执行,准度值应符合第3.1.2.3条之b的规定。

4.4.2.6 弹性角测定

用单分量加载表对有关分量施加载荷,测出天平变形随载荷的变化关系,求出相应的弹性角修正系数 K 。

天平弹性角修正公式为:

$$\Delta\alpha = K_{\alpha}^Y \cdot Y_t + K_{\alpha}^{M_z} \cdot M_{Z_t} \dots\dots\dots (3)$$

$$\Delta\beta = K_{\beta}^{M_y} \cdot M_{y_t} + K_{\beta}^Z \cdot Z_t \dots\dots\dots (4)$$

$$\Delta\gamma = K_{\gamma}^{M_z} \cdot M_{x_t} \dots\dots\dots (5)$$

式中： K_{α}^Y ——法向力产生的迎角修正系数， $\%N$ ；

$K_{\alpha}^{M_z}$ ——俯仰力矩产生的迎角修正系数， $\%N\ m$ ；

$K_{\beta}^{K_y}$ ——偏航力矩产生的侧滑角修正系数， $\circ/N\ m$ ；

K_{β}^Z ——侧向力产生的侧滑角修正系数， \circ/N ；

$K_{\gamma}^{M_x}$ ——滚转力矩产生的滚转角修正系数， $\%N\ m$ 。

4.4.2.7 天平静校合格证

静校合格证的内容应包括：

- a. 天平的型号或编号；
- b. 静校条件：环境温度、校准装置、校准方法、测量仪表和供桥电压等，
- c. 天平基本情况：各分量电桥组成、零点输出、零漂和温漂等，
- d. 天平各分量设计载荷和校准载荷；
- e. 校准中心位置和所用坐标轴系，
- f. 天平校准公式和弹性角修正公式；
- g. 单分量加载精度、综合加载精度和准度；
- h. 使用注意事项；
- i. 校准人员、各级签署和校准时间。

4.4.3 天平动校

4.4.3.1 温漂试验

装有标模或温效套筒的天平以零迎角固定在风洞中，视天平所在的风洞选取相应的马赫数做吹风试验。气流稳定后记录天平所有分量电桥输出值随时间的变化情况和回零情况。如某分量数据的变化量在试验时间内超过该分量设计载荷时电桥输出值的0.3%，应进行温度修正或补偿。

4.4.3.2 重复性试验

装有标模的天平在同一试验状态下，在风洞中非连续重复吹风七次。按第 6.1.2.1 条的规定求出相应马赫数的同期动校精度。可疑值的舍弃方法见附录 B（补充件）。精度值要求参照 GJB 1061 之表 3 或表 4。

4.4.3.3 准度试验

装有标模的天平，在风洞中同一马赫数下试验标模连续变化某个姿态时的天平性能。将吹风所得的空气动力数据，与其他风洞或其他天平在相同条件下所测得的该型标模空气动力实验数据作比较，验证试验数据的合理性，视其吻合程度来评价天平的动校准度。

5 交货准备

5.1 包装

- a. 木质包装箱内应采取缓冲减震措施；
- b. 天平在包装箱内应限位固定，避免受力和发生晃动；
- c. 包装箱和减震材料应清洁干燥，不允许用有楞角和导致产品锈蚀的材料包装减震；
- d. 天平粘贴应变计部位应采取保护措施。

5.2 运输和贮存

- a. 天平搬运和放置严禁用力过猛；
- b. 天平应加保护罩，并放在包装箱中，存放在干燥、无尘、无化学药品和无振动的地方。

6 说明事项

6.1 定义

6.1.1 风洞应变天平（简称天平） wind tunnel strain gage balance

在风洞测力实验中，通过测量天平元件表面应变来确定模型空气动力的测力装置。

6.1.2 天平元件 balance element

天平上粘贴应变计并感受各载荷分量的弹性敏感元件。

6.1.3 内式天平 internal balance

天平元件均位于模型腔内的天平。

6.1.4 外式天平 external balance

全部或部分天平元件位于模型腔外的天平。

6.1.5 杆式天平 sting balance

呈杆状型式的天平。

6.1.6 盒式天平 box balance

呈盒状型式的天平。

6.1.7 天平设计载荷 balance design load

天平设计时规定的各分量载荷的上限值和下限值。

6.1.8 弹性角 elastic angle

天平在载荷作用下产生的弹性角位移。

6.1.9 加载头 load adapter

静校时安装在天平上模拟模型受力情况的承载传力装置。

6.1.10 天平设计中心 balance design center

天平设计时所确定的力和力矩参考点。

6.1.11 天平校准中心 balance calibration center

静校时力和力矩加载的参考点。

6.1.12 天平静校 balance static calibration

按选定坐标轴系对天平施加静载荷，测定天平静态特性的全部工作。内容包括求取天平校准公式、弹性角修正公式、静校精度和准度。

6.1.13 天平地轴校 balance calibration in earth's coordinate system

按固定的地轴系对天平施加载荷的静校方法。静校过程中，加载头、加载系统都不因天平变形位移而作补偿调整。

6.1.14 天平体轴校 balance calibration in body's coordinate system

按模型体轴系对天平施加载荷的静校方法。静校过程中，使加载坐标轴系始终与模型体轴系保持重合。

6.1.15 单元校 single—component calibration

通过对天平各分量单独加载和两两组合加载静校，分别求取天平校准公式、弹性角修正公式和单分量加载精度，再经各分量综合加载静校，检定天平静校综合加载精度和准度的校准方法。

6.1.16 多元校 multi—component calibration

通过对天平各分量施加载荷静校，求取天平校准公式，再经检查载荷组综合加载静校，检定天平静校精度和准度的校准方法。

6.1.17 天平校准公式 balance calibration equation

由天平各分量电桥输出值求得天平各分量载荷测量值的计算公式。

6.1.18 静校精度 static calibration precision

天平静校时,各分量在设计载荷范围内多次重复加载时电桥输出值的标准差。用天平设计载荷时电桥输出值的百分比表示。

6.1.19 静校准度 static calibration accuracy

天平静校时,各分量多组综合加载,按天平校准公式求得的各载荷分重测量值与所加的载荷基准值之差的标准差。用天平设计载荷的百分比表示。

6.1.20 天平动校 balance dynamic calibration

在天平上安装标模后进行风洞吹风实验的全部工作。对天平的稳定性、可靠性和准确性进行考核评定,对天平能否投入使用作出结论。

6.1.21 动校精度 dynamic calibration precision

天平动校时,标模在相同风洞实验条件下,非连续重复多次吹风后,天平各分量多次测量所得空气动力系数的标准差。

6.1.22 动校准度 dynamic calibration accuracy

天平动校时,标模在相同风洞实验条件下,天平多次测量所得的空气动力实验数据的平均值与标模基准空气动力数据的吻合程度。

6.2 符号

符号规定于表 1。

表 1

| 序号 | 符号 | 名称 | 单位 |
|----|-----------|---------|-----|
| 1 | O_{xyz} | 体轴系 | — |
| 2 | O_dXyZ | 地轴系 | — |
| 3 | X_c | 校准中心 | — |
| 4 | Y_t | 法向力 | N |
| 5 | X_t | 轴向力 | N |
| 6 | Z_t | 侧向力 | N |
| 7 | M_{z_t} | 体轴系俯仰力矩 | N m |
| 8 | M_{y_t} | 体轴系偏航力矩 | N m |
| 9 | M_{x_t} | 体轴系滚转力矩 | N m |
| 10 | Y_d | 地轴系升力 | N |
| 11 | X_d | 地轴系阻力 | N |
| 12 | Z_d | 地轴系侧力 | N |
| 13 | M_{z_d} | 地轴系俯仰力矩 | N m |
| 14 | M_{y_d} | 地轴系偏航力矩 | N m |
| 15 | M_{x_d} | 地轴系滚转力矩 | N m |
| 16 | G_m | 模型重量 | kg |
| 17 | M | 马赫数 | — |
| 18 | α | 迎角 | (°) |
| 19 | β | 侧滑角 | (°) |
| 20 | γ | 滚转角 | (°) |

附录 A
应变计的粘贴和处理
(补充件)

A1 粘贴**A1.1 应变计的选择和外观检查**

- a. 选择与天平材料线膨胀系数相匹配的应变计；
- b. 按贴片表面大小和要求，选择不同规格和不同阻值的应变计；
- c. 对每组电桥所需应变计进行阻值测量，同一组应变计阻值差不大于 0.2Ω ；
- d. 敏感栅平直，无缺口和连栅，栅间无杂物；
- e. 应变计表面无灰尘和油迹，基底平滑，无不均匀胶团；
- f. 修边时，敏感栅外基底侧边留量不小于 0.5mm ，底边留量一般不小于 1.0mm 。

A1.2 贴片表面的打磨和清洗

- a. 用汽油清洗天平表面、沟槽和孔，清掉油污和残屑；
- b. 用100号和400号砂布，沿天平轴线 45° 方向，交叉打磨贴片表面，打磨至纹路清晰和深浅一致为止；
- c. 用脱脂棉球浸少量丙酮，擦洗打磨过的表面；
- d. 用脱脂棉球浸少量乙醇，单方向擦洗贴片表面，直致脱脂棉不改变原有的洁白颜色为止；
- e. 擦洗过的贴片表面干燥后，用洁净干燥的白绸布擦拭；
- f. 经处理过的贴片表面严禁用手或其它物件触摸。

A1.3 涂底层和固化处理

- a. 需涂底层的天平，在烘箱中预热；
- b. 根据粘结剂的浓度确定涂胶次数（一般涂二层到三层），厚度为 $0.02\sim 0.08\text{mm}$ ；
- c. 按所选用的粘结剂固化程序进行固化处理。

A1.4 划线

- a. 在待贴应变计的位置上，按应变计的边缘划线，严禁破坏天平元件表面或底层；
- b. 对划线困难的小型天平可不划线，目视贴片，位置尽量准确。

A1.5 应变计的粘贴

- a. 在应变计的粘贴表面上涂薄薄一层粘结剂；
- b. 天平在烘箱中预热后取出，在贴片表面上涂薄薄一层粘结剂；
- c. 在天平表面温度不低于 40°C 时，将应变计粘贴在预定的位置上；
- d. 在所贴的应变计上，放一张氟塑料薄膜，然后用专用工具或手指对应变计垂直加压，加压时切勿移动和扭动；
- e. 按所用粘结剂的固化程序对天平进行固化处理。

A1.6 贴片后的质量检查

- a. 粘贴层是否有气泡、胶层不匀现象，应变计是否有翘起、跳丝情况；
- b. 测量每片应变计是否有断路、短路和阻值变化较大情况；
- c. 用低压高阻表测量应变计的绝缘电阻，阻值应符合第3.1.2.1条之d的规定。

A1.7 防潮

- a. 在应变计表面和敷设导线的沟槽等部位涂防潮胶；
- b. 应变计引出线根部用防潮胶固定；
- c. 按所用防潮胶的固化程序，对天平进行防潮固化处理。

A1.8 防潮后的质量检查

- a. 测量应变计的阻值，同一电桥桥臂阻值差应符合第3.1.2.1条之c的规定；
- b. 测量应变计的绝缘电阻，阻值应符合第3.1.2.1条之d的规定。

A2 测量线路的连接和检查

A2.1 线路连接

- a. 清除焊接处的氧化物和漆包层；
- b. 组成不同电桥应变计的引出线，套上直径小于1 mm的不同颜色软塑料套管；或去掉引出线，直接用绝缘导线焊在应变计的引出端上；
- c. 对于多股导线，应将它们拧在一起后镀上焊锡；
- d. 焊接时应使用无腐蚀性的焊接剂；
- e. 焊接选用25~45W电烙铁，焊接迅速、准确；焊点应光滑、无虚焊或假焊，焊点大小一致；
- f. 焊接时防止烫坏套管和导线绝缘层；
- g. 用酒精棉球擦拭干净焊点及周围的焊迹或氧化物；
- h. 导线的敷设不应影响天平元件在使用时的变形，导线不能拉得太紧，固得太死；
- i. 同一电桥的引出导线长度应一致，敷线时排列整齐。

A2.2 连线后的检查

- a. 电桥线路组成后，测量各电桥的绝缘电阻，阻值应符合第3.1.2.1条之d的规定；
- b. 将各组电桥的信号线接到测量仪表上，电源线接到精密稳压电源上，加上供桥电压后，轻轻抖动各电桥线路导线，观察测量仪表的指示数据是否有相应的跳动和不平衡等现象，如有则设法排除。

附 录 B
可疑值的舍弃方法
(补充件)

计算天平静校精度和动校精度时,测值中的可疑值按格拉布斯(Grubbs)准则予以剔除。

B1 格拉布斯准则

B1.1 设被测值 X 是正态分布的,试验时取 n 个测值

$$X_1, X_2, X_3, \dots, X_{n-1}, X_n$$

B1.2 计算各测值 X_i 对应的绝对差 ΔX_i :

$$\Delta X_i = |X_i - \bar{X}| \dots\dots\dots (B1)$$

式中: \bar{X} ——所有测值 X_i 的算术平均值。

B1.3 计算各测值绝对差的标准差 σ :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta X_i)^2}{n-1}} \dots\dots\dots (B2)$$

B1.4 若某个 ΔX_i 值最大,且 $\Delta X_i / \sigma$ 大于下表所列数值时,则该测值 X_i 即可舍弃。本标准取置信概率为0.99。

$\Delta X_i / \sigma$ 数值

| n | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $\Delta X_i / \sigma$ | 1.75 | 1.94 | 2.10 | 2.22 | 2.32 | 2.41 | 2.48 | 2.55 | 2.61 | 2.66 | 2.70 | 2.74 | 2.78 |

B2 举例

B2.1 天平静校求精度时,某分量电桥的某次输出值 X_i 与该分量电桥的七次输出平均值 \bar{x} 的绝对差 $\Delta X_i > 2.10\sigma$ 时,此 X_i 可舍弃。

B2.2 天平动校求精度时,某分量电桥的某次空气动力系数测量值 X_i 与该分量电桥的七次空气动力系数平均测值 \bar{X} 的绝对差 $\Delta X_i > 2.10\sigma$ 时,此 X_i 可舍弃。

附加说明:

本规范由国防科工委司令部提出。

本规范由国防科工委司令部归口。

本规范由中国空气动力研究与发展中心设备设计与测试技术研究所起草。

本规范主要起草人:顾兴若、沈鸿桥、蒋进荣。

计划项目代号:1KS28。