



中国汽车工程学会标准

T/CSAE XX-20XX

汽车外覆盖件抗凹性能测试标准

Dent Resistance Test Standard of Automobile Outer Panel

20XX-XX-XX发布

20XX-XX-XX实施

中国汽车工程学会 发布

目 次

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 试验样件	4
5 试验装置	4
6 试验准备	6
7 试验步骤	9
8 试验数据处理	10
9 试验报告	11
图 1 油壶效应类型	2
图 2 初始刚度、二次刚度及最终刚度	3
图 3 凹痕测量试验区域	4
图 4 台架试验系统	5
图 5 试验压头	6
图 6 不同零件测量点、约束方式选择示例	8
图 7 白车身在基准平台上的固定方式	9
图 8 门盖类零件在基准平台上的固定方式	9

前　　言

为了满足中国汽车产品设计开发的需求，规范国内汽车行业汽车外覆盖件抗凹性能测试方法，特制定此规范。

请注意本规范的某些内容可能涉及专利。本规范的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规范由中国汽车工程学会材料分标委提出。

本规范由中国汽车工程学会归口管理。

本规范起草单位：上海汽车集团股份有限公司技术中心

本规范主要起草人：于瑞贺，谈小龙，夏连，姚烈，顾宇庆，鞠晓峰，张鹏。

本规范为首次发布。

汽车外覆盖件抗凹性能测试标准

1 范围

本规范规定了汽车外覆盖件抗凹性能测试方法的相关定义、原理、试验设备、试验过程、试验数据处理方法。

本规范适用于乘用车及轻型商用车，包含白车身及相关油漆零部件。

2 规范性引用文件

下列文件对于本规范的应用是必不可少的。凡是标注日期的引用文件，仅所标注的日期的版本适用于本文件。凡是不标注日期的引用文件，其最新版本适用于本文件。

SAE J2575-2004 Standardized Dent Resistance Test Procedure

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本规范。

3.1 汽车外覆盖件

汽车覆盖件是指覆盖发动机、底盘，构成驾驶室、车身的金属薄板制成的空间形状的表面或内部零件。按功能和部位可分为外覆盖件、内覆盖件和骨架覆盖件三类。外覆盖件主要包括车门外板、前翼子板、侧围外板、引擎盖外板、顶盖外板、行李箱（或尾门）内外板等。

3.2 抗凹性能

抗凹性能是指在外部载荷作用下，汽车外覆盖件表面抵抗凹陷挠曲和局部变形并保持形状的能力，主要包含三个方面，即抗凹刚度、抗凹稳定性和残余变形。

3.3 抗凹刚度

抗凹刚度是指覆盖件抵抗凹陷挠曲的变形能力。可用以下方法来检验评估：1、一定外载荷作用下产生的凹陷挠曲位移的大小；2、产生一定凹陷挠曲位移时的外载荷的大小；3、外载荷作用时的“位移-载荷”曲线的斜率值。

3.4 抗凹稳定性

当外载荷达到一定程度，载荷不变或稍有变化时，汽车外覆盖件抵抗弹性变形的能力突然丧失，发生失稳现象，即油壶效应，表现为“大通过”和“急回转”现象，汽车外覆盖件抵抗失稳的能力称为抗凹稳定性。

3.5 凹痕

卸载后，试样加载点发生的永久塑性变形。

3.6 凹陷

凹陷是指在受力时车身外覆盖件局部发生的非永久的变形（材料弹性形变）导致覆盖件曲率与原设计反向。

3.7 失稳凹陷

失稳凹陷（Oil-canning）指对汽车外覆盖件加载过程中，采集到的样件曲率局部反转现象，通常还伴随声响。

3.8 失稳凹陷载荷

失稳凹陷载荷是发生油壶效应的最小载荷，即载荷-位移曲线上从线性部分向非线性部分发生明显偏移时的载荷量。

3.9 硬失稳凹陷

硬失稳凹陷指失稳凹陷发生时，汽车外覆盖件表面曲率反转速度快于压头运动速度，载荷-位移曲线表现为载荷下降，但位移持续增加。如图 1 所示。

3.10 软失稳凹陷

软失稳凹陷指失稳凹陷发生时，汽车外覆盖件表面曲率反转速度慢于压头运动速度，表面与压头持续保持接触，载荷-位移曲线表现为斜率下降，但始终为正值。如图 1 所示。

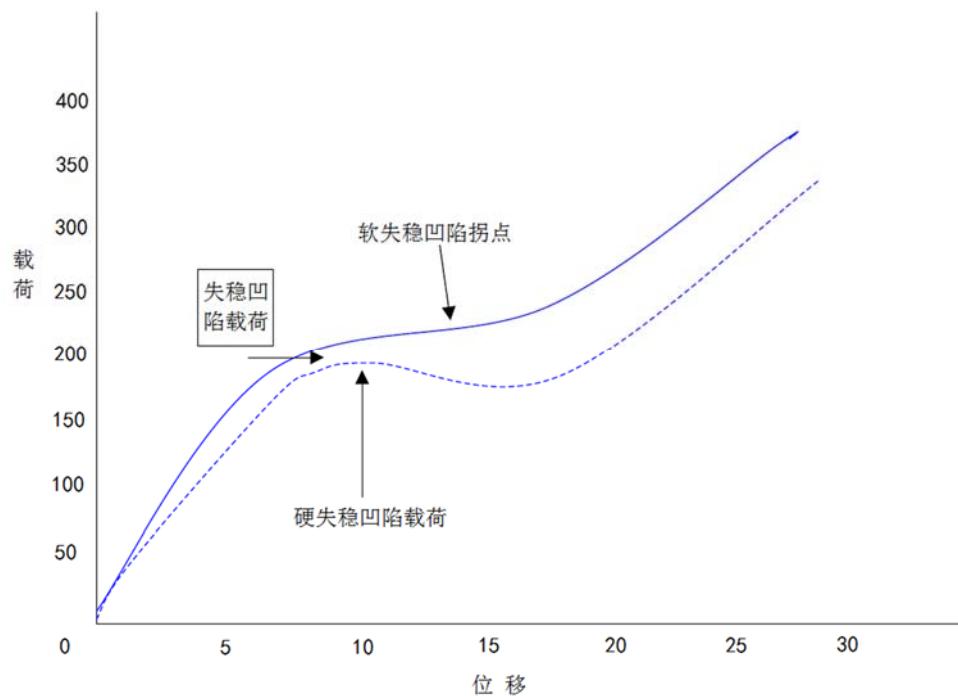


图 1 油壶效应类型

3.11 准静态加载

准静态加载是以低速加载产生凹陷的过程，加载速度一般要求最大不超过 127 mm/min，推荐的加载速度为 50 mm/min。

3.12 表面附件

表面附属性包含铰链、锁（扣）、缓冲器及其他用于车身顶棚、门盖等钣金件连接的零件。

3.13 预加载

预加载为增量加载法试验前对被测样件测量点施加一定的载荷。

3.14 后加载

后加载为增量法加载完成后，为确定最后周期加载产生的凹痕而施加的载荷。

3.15 初始刚度

初始刚度为载荷-位移曲线中初始线性部分的斜率值，通常为正值。如图 2 所示。

3.16 二次刚度

二次刚度为载荷-位移曲线中第二段线性部分的斜率值，出现在油壶效应之后。与初始刚度截然不同，其位于曲线拐点之后的区域。如图 2 所示。

3.17 最终刚度

最终刚度为载荷-位移曲线末段（最大载荷到达前）的斜率值。

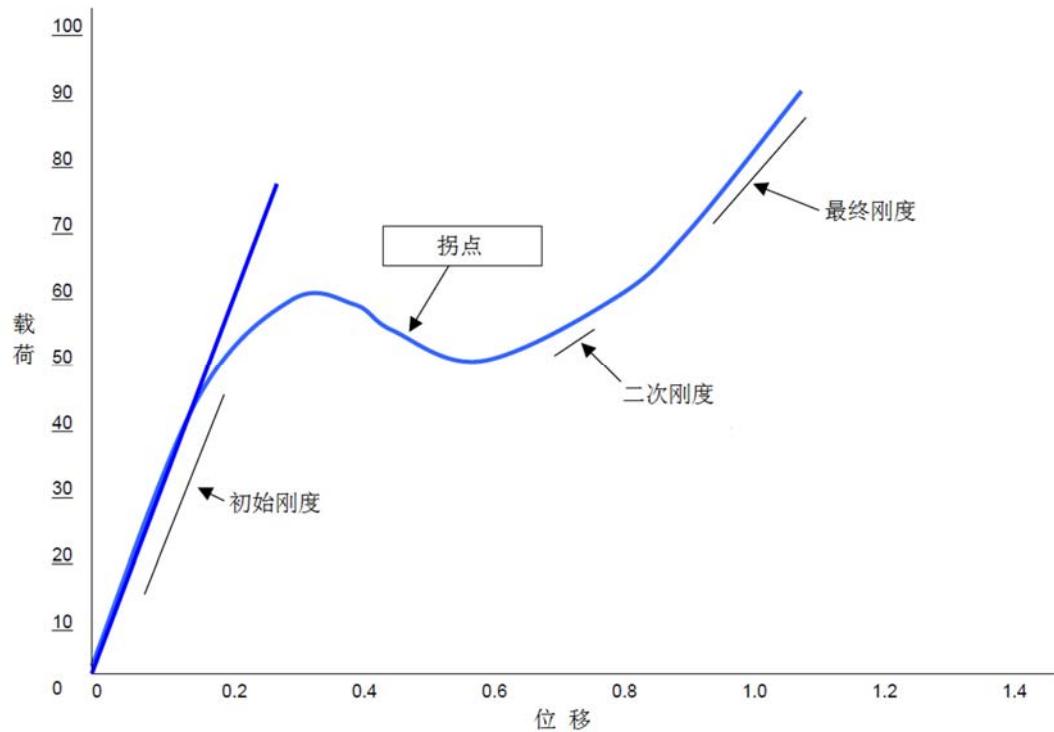


图 2 初始刚度、二次刚度及最终刚度

4 试验样件

4.1 样件要求

本试验被测样件应为漆后固化车身总成，且包含所有影响外板表面刚度的附件。具体要求如下：

4.1.1 车门总成应包含锁体、内部支架、增强垫、外把手、隔音材料等。

4.1.2 发动机盖及行李箱盖（或尾门）总成应包含锁体（或锁扣）、内部支架、增强垫、外把手、隔音材料、外饰件等。

4.1.3 车身顶盖应包含天窗总成（若配有）、外饰件等。

4.1.4 侧围、翼子板及车身其他外表面应包含相应外饰件及加强件。

4.2 试验区域

试验区域是被测样件可以进行抗凹性能试验的区域。

抗凹刚度的试验区域主要为外板几何中心和最大无支撑区域中心附近。

测量凹痕时，选择门盖全部关闭时最可能受外力顶压的区域，通常为侧门、发动机盖、行李箱盖（或尾门）、侧围及翼子板等外覆盖件边缘 300 mm 以内，如图 3 所示。

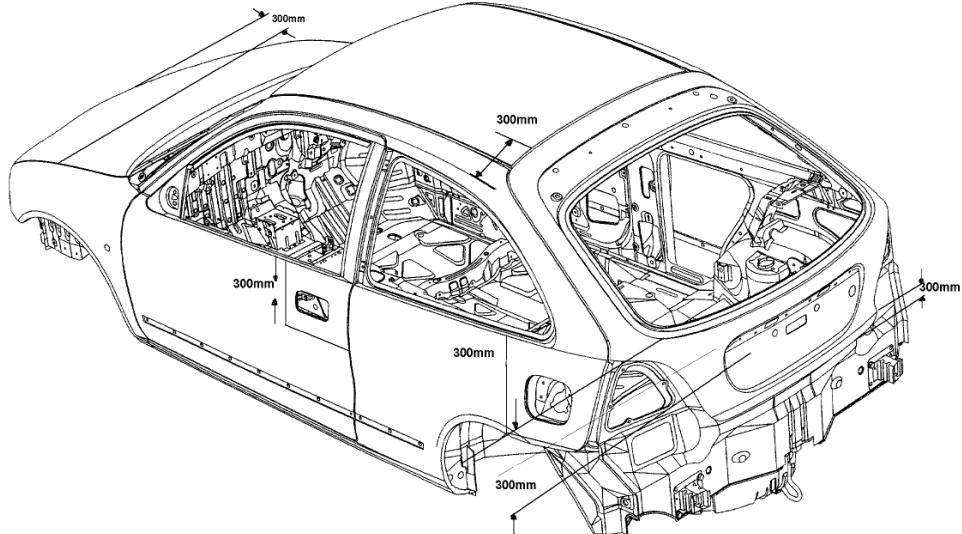


图 3 凹痕测量试验区域

5 试验装置

5.1 台架组成

试验装置台架主要包含基准平台、框架立柱、加载机构、运动控制系统、传感器、数据采集和处理系统等。



图 4 台架试验系统

5.2 基准平台

基准平台用于放置被测样件，通常采用标准铁地板，其尺寸大小应满足被测样件及工装夹具的布置。

5.3 框架立柱

试验台架框架立柱垂直于基准平台上方，主要用于加载机构的承载和移动，其自身与基准平台刚性连接。

5.4 加载机构

抗凹性能试验所采用的加载机构应满足的要求如下（推荐使用伺服电动缸）：

5.4.1 加载机构自身沿加载方向应有足够刚性（完全静态和准静态条件下都应满足）。

5.4.2 加载机构的加载方向应至少能沿 X、Y 两个轴方向转动。

5.4.3 加载机构的总运动行程不小于 200 mm。

5.4.4 加载机构最大能承受的载荷不低于 2000 N。

5.4.5 加载机构运动部分位移应能精确控制，最小运动单位不大于 5 μm。

5.4.6 加载机构结构上应便于安装位移、力传感器，且应尽量保证准静态加载/卸载过程较小的机械振动。

5.5 压头

汽车外覆盖件抗凹性能试验加载过程所用的压头通常分为硬质压头和软质压头。本试验采用准静态加载方式，试验压头为钢制硬质压头。其具体要求如下：

表面形状：半球形结构，如图 5 所示。

尺寸：球面直径 Φ25.4 mm。

材料硬度：不小于 R_c 55。
表面粗糙度：不大于 $0.254 \mu\text{m}$ 。

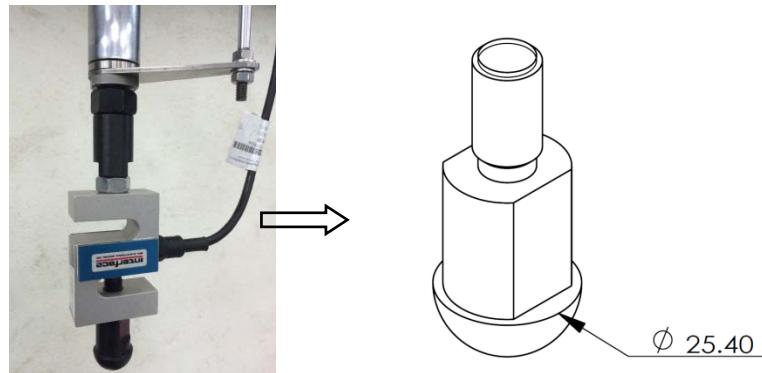


图 5 试验压头

5.6 运动控制

试验装置的运动控制方式应为载荷与位移的闭环控制。
试验目标行程、加载范围、加/卸载方式等应能预先定义，运动过程中速度、位移量应能准确控制，位移程序控制精度不低于 $10 \mu\text{m}$ 。
运动控制方案因具有应对过载、过冲的保护措施。

5.7 传感器及数据采集

抗凹性能试验传感器要求：
力传感器：量程不小于 500 N ，精度不低于 1N 。
位移传感器：量程不小于 200 mm ，精度不低于 $10 \mu\text{m}$ 。
试验数据采集采用专用采集设备和应用软件，载荷、位移数据采集频率不低于 50 Hz ，软件应能记录和保存载荷-位移曲线。

6 试验准备

6.1 环境条件

除非标准另有说明或需求方要求，本试验环境条件为常温，标准大气压。

6.2 样件检查

试验前，试验工程师及需求方需按 4.1 所述内容确认样件装配是否完整，并检查样件表面可能的裂纹、漆面脱落或凹（划）痕，以确保样件符合试验要求。

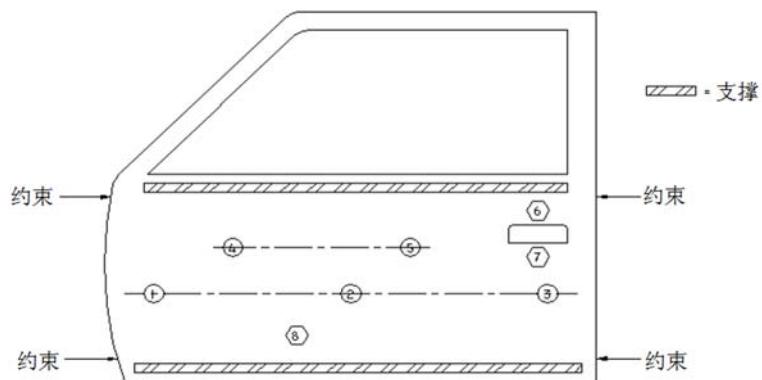
6.3 测量点准备

6.3.1 测量点应在 4.2 所述的试验区域范围内进行选择，每项试验（抗凹刚度和凹痕的测量）的测量点至少 3 个。

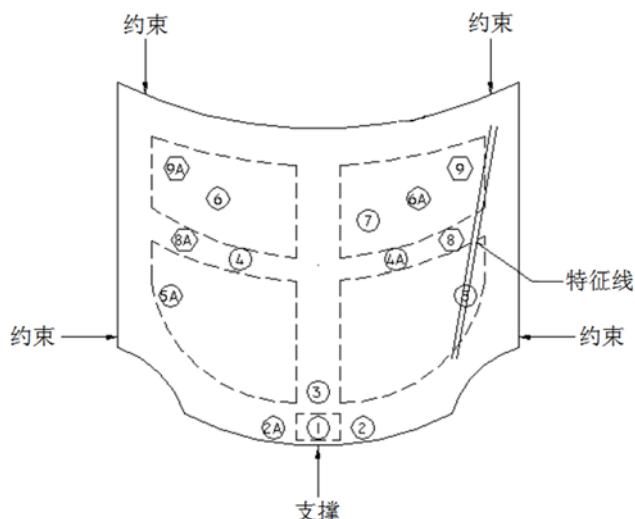
6.3.2 选点原则：汽车外覆盖件外表面的几何中心或最大无支撑区域中心。如图 6 所示为侧门、发动机盖、行李箱盖、尾门、翼子板等典型外覆盖件推荐测量点位置。

6.3.3 除非另有说明或需求方要求，所选测量点应避开表面特征位置（如折边、孔洞）和加强垫、加强筋及其他影响表面抗凹性能的位置。

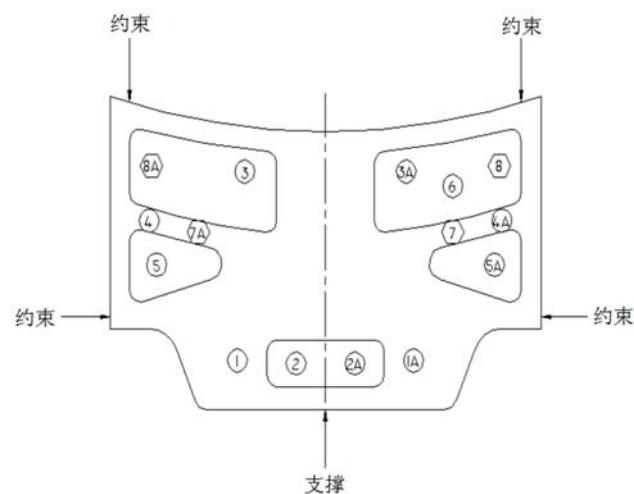
6.3.4 在样件上标记好所选测量点，并记录相应的尺寸位置。



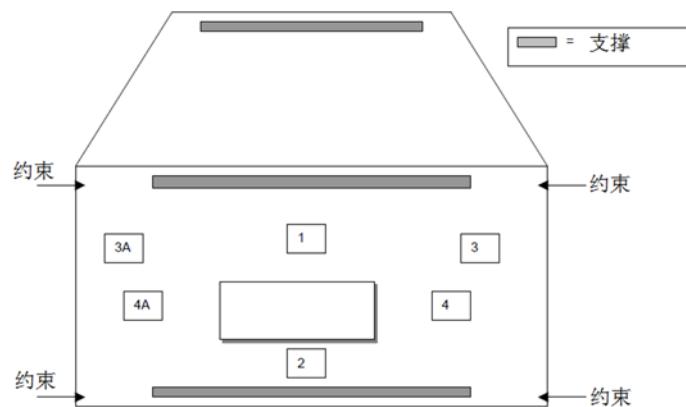
(a) 侧门测量点及约束方式



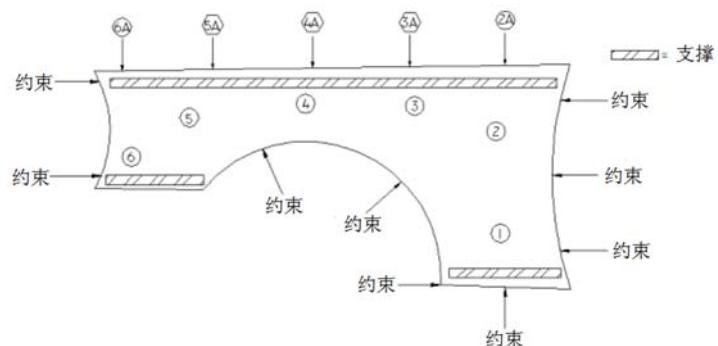
(b) 发动机盖测量点及约束方式



(c) 行李箱盖测量点及约束方式



(d) 尾(举升)门测量点及约束方式



(e) 翼子板测量点及约束方式

图 6 不同零件测量点、约束方式选择示例

7 试验步骤

7.1 样件布置及约束方式

7.1.1 白车身外表面进行测试时，白车身应刚性固定在基准平台上，如图 7 所示。



图 7 白车身在基准平台上的固定方式

7.1.2 门盖类零件外表面前置试验时，可将零件布置在专用工装夹具（或台面）上，但须保证其与基准平台的刚性连接，如图 8 所示。



图 8 门盖类零件在基准平台上的固定方式

7.1.3 样件的约束方式应尽量依照其在原车所受的约束，门盖类零件可参照图 5 推荐的方法。对于本身较薄（如翼子板、侧围等）、刚性较弱、单独约束困难的零件，可直接装配在白车身上进行试验，白车身参照 7.1.1 进行固定。

7.2 准静态抗凹试验过程

7.2.1 试验加载方式选择

准静态抗凹试验加载方式通常有两种：单次加载法和增量加载法。

单次加载法用于测量初始刚度及失稳凹陷载荷。

增量加载法用于测量残余变形，即凹痕。

7.2.2 单次加载法

7.2.2.1 加载前，对力、位移传感器进行标定。

7.2.2.2 手动控制台架加载机构，将其移动至样件测量点上方，并将压头旋转至测量点表面法向方向，然后控制压头靠近至测量点表面约1 mm左右位置。

7.2.2.3 设置加载速度（不超过50 mm/min）。

7.2.2.4 设置最大目标载荷（参考零件设计需求，一般至少150 N）。

7.2.2.5 启动单次加载程序，自动运行，观察力、位移传感器数据及其实时同步曲线。

7.2.2.6 加载-卸载过程完成后，保存试验数据。

7.2.3 增量加载法

7.2.3.1 加载前，对力、位移传感器进行标定。

7.2.3.2 手动控制台架加载机构，将其移动至样件测量点上方，并将压头旋转至测量点表面法向方向，然后控制压头靠近至测量点表面约1 mm左右位置。

7.2.3.3 设置加载速度（不超过50 mm/min）。

7.2.3.4 设置预加载值7 N。

7.2.3.5 启动程序，完成预加载-卸载过程。

7.2.3.6 设置增量加载各阶段目标载荷值（依次为50 N、0 N、70 N、0 N、90 N、0 N、110 N、0 N、130 N、0 N、150 N、0 N、170 N、0 N、190 N、0 N、210 N、0 N）。

注——以上循环增量仅供参考，用户可根据不同需求选用高的或低的循环加载周期。循环增量加载的载荷增量一般在10-50N范围内选取。

7.2.3.7 设置后加载值7 N。

7.2.3.8 启动程序，完成后加载-卸载过程。

7.2.3.9 程序运行中，观察力、位移传感器数据及其实时同步曲线。

7.2.3.10 增量法加载-卸载过程全部完成后，保存试验数据。

8 试验数据处理

8.1 单次加载法数据处理

8.1.1 初始刚度选取加载过程载荷-位移曲线中初始线性段数据进行处理，即求该段曲线斜率，一般通过线性最小二乘法求得。

8.1.2 失稳凹陷载荷通过求解载荷对位移的一阶导数可得：若导数最小值为负，则失稳凹陷载荷为导数初次为0时的载荷值（硬失稳凹陷载荷）；若导数最小值为正，则失稳凹陷载荷即为导数最小值对应的载荷（软失稳凹陷载荷）。

8.2 增量加载法数据处理

8.2.1 参考位移：通过预加载阶段数据，插值计算5N时的位移值。

8.2.2 凹陷位移：取每个增量加载阶段载荷为5N时的位移值。

8.2.3 每个增量加载周期凹陷位移与参考位移差值即为该增量加载周期的残余变形（凹痕）。210N载荷周期的残余变形（凹痕）为后载荷周期的凹陷位移与参考位移差值。

9 试验报告

本试验报告内容应包括但不仅限于以下各项：

9.1 试验目的、原理、被测对象；

9.2 试验条件及方法；

9.3 试验数据记录：试验照片、过程数据曲线和原值；

9.4 试验数据处理：加载曲线、数据处理方式；

9.5 试验结果：应至少包括初始刚度、失稳凹陷（及种类）、凹痕等；

9.6 试验结论。