ICS 77.060
CCS H 25

中华人民共和国国家标准

GB/T 41755—2022

酸性环境中管线钢管开裂敏感性试验 全环试样椭圆变形法

Determination of the susceptibility to cracking of line pipe in sour service—Full ring ovalization test method

2022-10-12 发布　　2023-02-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会　发布

目　　次

前言 …… Ⅲ
1　范围 …… 1
2　规范性引用文件 …… 1
3　术语和定义 …… 1
4　试剂 …… 1
5　试验装置 …… 2
6　试验溶液 …… 3
7　试样 …… 4
8　试样的加载过程 …… 4
9　试验程序 …… 5
10　试样检查 …… 5
11　试验报告 …… 5
附录 A（规范性）　环型加载 …… 6
参考文献 …… 13

前　言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则　第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国钢铁工业协会提出。

本文件由全国钢标准化技术委员会(SAC/TC 183)归口。

本文件起草单位：中国石油集团工程材料研究院有限公司、冶金工业信息标准研究院、中国石油工程建设有限公司西南分公司。

本文件主要起草人：付安庆、龙岩、缪晖、侯捷、韩燕、姜放、田子健、李倩、陈勇彬、尹成先、马庆伟、姚欢。

酸性环境中管线钢管开裂敏感性试验 全环试样椭圆变形法

警告：H_2S 是有毒气体，应小心处理，处理 H_2S 时的安全注意事项应依据 GB/T 4157—2017 规定执行。

1 范围

本文件规定了采用一段完整的管段样品测试管线钢在酸性环境（含 H_2S 的低 pH 值水溶液环境）中开裂敏感性的试验方法。

本文件适用于无缝管、直缝焊管、螺旋焊管或环焊缝管等在酸性环境中的开裂敏感性。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 4157—2017 金属在硫化氢环境中抗硫化物应力开裂和应力腐蚀开裂的实验室试验方法

GB/T 6682—2008 分析实验室用水规格和试验方法

GB/T 8923.1—2011 涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第 1 部分：未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级

NB/T 47013.3 承压设备无损检测 第 3 部分：超声检测

3 术语和定义

下列术语与定义适用于本文件。

3.1

应变 strain

单位长度内长度变化比率（如 mm/mm）。

注：常用微应变（$\mu\varepsilon$，即应变的百万分率）表示。

3.2

主应变 principal strain

通过实测应变值计算出测量面上一点的互成 90°的最大和最小应变水平。

4 试剂

4.1 试验气体 H_2S 纯度应大于 99.9%。

4.2 应使用纯度不低于 99.998%的氮气、氩气或其他合适的、不会与试剂（或试验溶液）发生化学反应

的惰性气体除氧。

4.3 氯化钠(NaCl)、乙酸(CH_3COOH)、醋酸钠(CH_3COONa)等试剂和溶剂为化学纯或以上。

4.4 试验用水应为不低于 GB/T 6682—2008 三级的蒸馏水或去离子水。

5 试验装置

5.1 外部加载组件

5.1.1 外部加载组件由两个加载块和四个及以上均匀负载、分配载荷的加载螺栓组成。

5.1.2 加载组件在加载时不应发生弯曲变形,外部加载示意图见图 1。

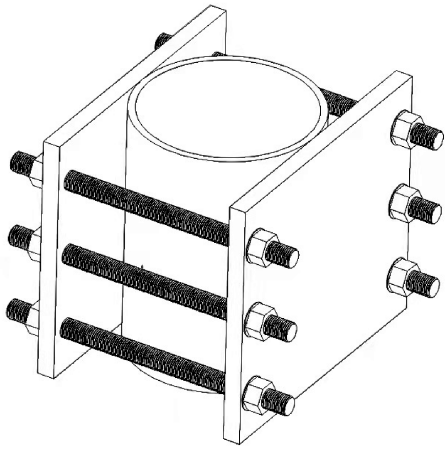


图 1 外部加载示意图

5.2 盖板和底座

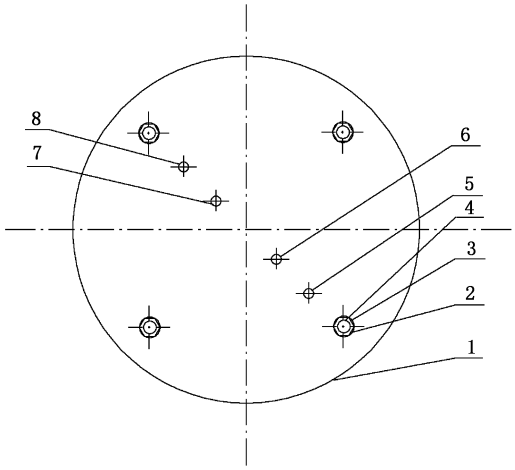
5.2.1 盖板和底座分别安装在环型试样的两端,使得盖板、底座和环型试样共同组成一个试验单元。盖板和底座的安装不应使用焊接方式,宜通过密封圈和螺栓将底座和盖板夹紧以实现密封。盖板和底座示意图如图 2 所示。

5.2.2 盖板和底座应选用不与试验溶液发生反应或在试验环境中降解的材料。

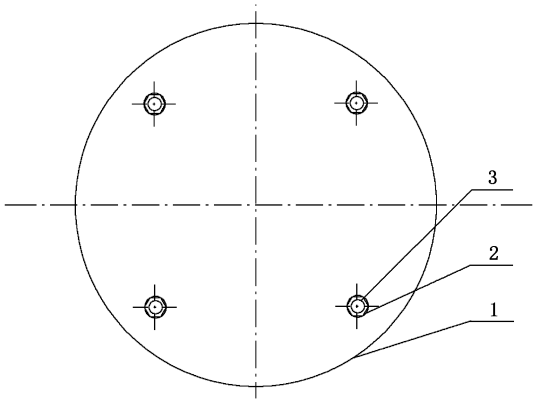
5.2.3 盖板和底座的选材及厚度应满足防止试验过程中 H_2S 泄漏及 O_2 混入的要求,还应具有足够的强度以承受试验溶液上部形成的气压。

5.2.4 盖板应有通入试验气体的进气口、排出试验气体的出气口,以及用于溶液导入导出的导液口。

5.2.5 辅助元件:辅助元件包括用于盖板和底座密封的密封圈和螺栓。辅助元件应使用不与试验溶液及试验气体发生反应,同时不会在试验过程中发生降解的材料。



a） 盖板



b） 底座

标引序号说明：

1——盖板；

2——螺母垫片；

3——螺母；

4——螺栓；

5——进气孔；

6——pH 测量孔；

7——温度测量接口；

8——出气孔。

图 2 盖板和底座示意图

6 试验溶液

6.1 本文件规定试验方法可选用下列两种溶液进行试验：

a） GB/T 4157—2017 试验溶液 A；

b） 模拟油田采出水、注入水等输送流体介质的试验溶液。

6.2 除非另有要求，试验溶液温度应保持在(24±3)℃。

7 试样

7.1 带环焊缝的试样，环焊缝应位于试样管段中间位置。为保留加工及焊接过程中产生的残余应力，试样长度应不小于其外径。

7.2 应在试样评价区域外表面施加最大载荷位置进行标记，以保证能准确地施加载荷。

7.3 碳钢试样表面处理：试样内表面应喷砂至 GB/T 8923.1—2011 中 Sa2½清理等级；耐蚀合金试样表面处理：试样内表面仅去除油污，除非用户有特殊要求，不应对试样内表面进行喷砂等带有磨损性的处理。

7.4 端面处理：试样两端应加工出清洁平整的表面，端面粗糙度不大于 0.8 μm，以保证后续气密配合。

7.5 当加载块与试样焊缝接触时，应去除接触位置焊缝余高。

8 试样的加载过程

8.1 超声探伤

试验前超声检测的目的是能够与试验后检测结果进行定量比较。试验前，试样管段应按 NB/T 47013.3 规定的超声检测程序进行全范围的超声检测。超声检测时应使用无硅耦合剂。

8.2 试样加载

8.2.1 应变片的使用

使用应变片以及对试样实际加载前，需要选择施加应力的两处最大点，最大应力位置应选在紧邻焊缝的区域或超声波发现的异常区域。应在试样内表面两处应力最大点处粘贴应变片，用以监测载荷和测定所施加载荷产生的应力。可根据如下分类对试样进行应变片排布：

a) 无缝试样；
b) 仅带一条直缝焊缝的试样；
c) 仅带一条螺旋焊缝的试样；
d) 仅带一条环焊缝的试样；
e) 带有直缝焊缝或螺旋焊缝的试样通过环焊缝焊接，环焊缝两侧试样的壁厚相同；
f) 除环焊缝两侧壁厚不同外其他与 e)相同；
g) 无缝管试样与直缝管试样通过环焊缝焊接，环焊缝两侧试样的壁厚相同；
h) 除环焊缝两侧壁厚不同外其他与 g)相同。

不同类型管线钢应变片粘贴位置及测量程序按附录 A 执行。

上述每种试样应分别考虑应变测量方式及加载类型。

8.2.2 加载应力

一般要求最大加载应力为 72%或 80%的名义最小屈服强度，也可根据用户要求施加加载应力。

一旦载荷被施加，应记录应变片采集的数据并转化为对应的应力值，每组加载块均应记录施加的应力值。加载后的环型试样应至少放置 30 min，并进行应力监测以确保未发生应力松弛，否则应修正载荷。最终确认施加载荷满足试验要求后，应去除应变片，去除应变片过程中应避免破坏或划伤试样管段的内表面，随后对应变片粘贴区域及其他受污染区域进行清洗及除油。

9 试验程序

9.1 为防止试验过程中 H_2S 气体泄漏造成的危害，组装好的试验单元应置于带有 H_2S 实验安全保障装置的实验室内进行试验。

9.2 试验溶液应采用 4.2 规定的惰性气体除氧。除氧应在密闭容器中进行，以 100 mL/min 的流量通入惰性气体，除氧时间为每升溶液至少通入 1 h，试验溶液体积较大时也可采用较高流量进行除氧以缩短除氧时间。

9.3 应对加载后的试样管段与盖板和底座组成的试验单元，以 100 mL/min 的流量通入惰性气体，除氧时间为每升溶液至少通入 1 h，试验溶液体积较大时也可采用较高流量进行除氧以缩短除氧时间。

9.4 将 9.2 中已经除氧备用的试验溶液通过密闭系统导入 9.3 中预先除氧的试验单元内，通入惰性气体进一步除氧，直至试验单元内的试验溶液除氧至氧浓度小于或等于 50×10^{-9}。

9.5 除氧完成后，试验溶液以 100 mL/min～200 mL/min 的速度和按每升溶液通气 20 min 的时间持续通入 H_2S 气体并达到饱和，然后开始计时。在试验期间，以低流速（每分钟几个气泡）维持 H_2S 在试验单元内的连续流动，试验单元通过出气口可持续地排出 H_2S 气泡。

9.6 完整环型试验的试验时间一般推荐为 30 d。根据用户需求，可延长试验时间。

10 试样检查

10.1 试验结束后，应采用惰性气体除去 H_2S，之后将试验单元内的试验溶液排干并对试样管段进行卸载。

10.2 依据 8.1 对试样管段进行超声检测，记录异常显示，并在显示处进行标记。同时，在异常显示处取样进行金相分析，判定是否存在裂纹。

10.3 若试样经超声检测未发现异常显示，宜按 NB/T 47013.4 对试样内壁进行磁粉探伤或按 NB/T 47013.5 进行渗透检测，并对高应力区域中至少两处位置取样进行金相分析。

11 试验报告

试验报告应包括以下内容：

a) 本文件编号；
b) 试样的名称、规格、尺寸、材质、钢级；
c) 试样的屈服强度、加载应力；
d) 溶液配制、除氧过程、试验温度、试验时间、H_2S 饱和情况；
e) 试样是否破裂；
f) 试验前后超声检测数据、试验后金相分析结果等。

附 录 A
（规范性）
环 型 加 载

A.1 施加载荷

采用外部加载块和加载螺栓进行加载。试样应置于两加载块中间，与加载块所接触两点的内表面获得最大拉伸应力，加载块加载的最大应力位置标记为0°和180°。

A.2 粘贴应变片前试样的表面处理

所有用来进行应变测量的区域应使用除油剂进行除油。

首先应对测量点进行标记。然后应在测量点中心约25 mm×25 mm区域使用180＃/240＃砂轮轻轻打磨，随后使用320＃/400＃砂纸手工抛光。手工抛光操作时应进行旋转打磨以防止线性应力增加。焊缝处的测量点，应确保打磨和抛光延伸至焊趾处。这些操作应避免用力过大，以减少残余应力引入。

随后对打磨和抛光后的测量点进行最终标记，若应变片生产商另有其他表面处理要求，应按照应变片生产商所述方式进行试样表面处理。

A.3 应变片

应使用电阻箔式应变片。应变片的标称电阻值应为120 Ω，管径不大于152.4 mm的环型试样应使用栅长为1 mm的应变片，管径大于152.4 mm的环型试样应使用栅长为2 mm的应变片。

注1：经客户许可可使用其他栅长应变片。

注2：为进行静态测量，推荐使用下列结构形状的应变片：

a） 单轴；

b） 90°直角重叠/T形测量/二轴；

c） 45°花式重叠。

应变片应进行适合于环型试样材料的自温度补偿，应在－10 ℃～30 ℃温度范围内具有稳定性。

应将应变片一单元（敏感栅）置于环型试样的环向。

测量栅的中心通常距任何所遇焊缝焊趾的标称距离为3 mm～3.5 mm。

A.4 应变片黏合剂

黏合剂应与应变片相匹配，保证应变片与试样表面黏结良好。

A.5 应变片接线

所有应变片接线应由三芯0.08 mm的Cu/PVC铠装电缆制成，并采用三线四分之一桥接方式连接到设备上。

应通过接线端子将主输出接线连接到复合测量接线。

A.6 应变片测试

应使用专门设计的应变片安装试验设备对所有应变片进行检验，以确保满足下列要求：

a） 应变片电阻对标称值的偏差在±1％以内；

b） 对地绝缘电阻超过 2 000 MΩ；

c） 测量胶层有效黏合。

A.7 应变片数据采集

应变片测试验收后，应将安装好的应变片连接至合适的应变测量检测设备。

注：宜对设备进行校准，使其测量精度达到±1 με。

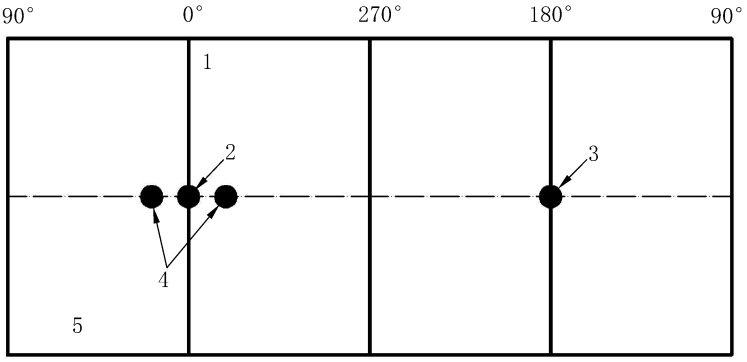
A.8 完整环型试样（内部）应变片位置

A.8.1 总则

描述了八种环型试样，以及对环型试样施加载荷时，在试验误差范围内测量合适的预载荷所使用应变片的最少数量。

A.8.2 无缝试样

90°直角应变片应置于如图 A.1 所示位置，沿环型试样中心环向分布。



标引序号说明：

1——T＝90°直角，S＝单轴；

2——应变片 1T；

3——应变片 2T；

4——可选应变片 S；

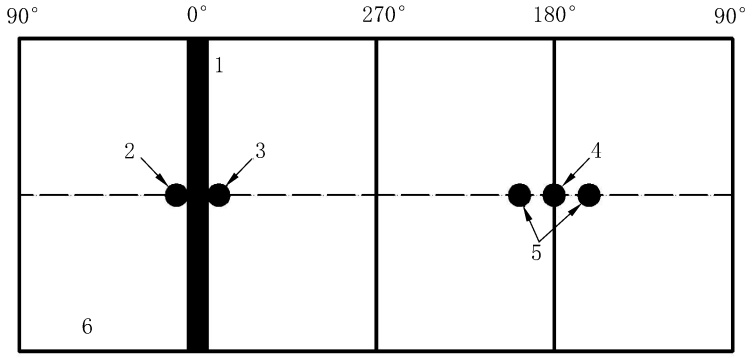
5——内部视图。

注：若不确定加载点位置是否在预拉伸目标区（0°），可在 90°直角应变片两侧各安装一个单轴应变片，目的是能观察到任何失衡并得到修正。增加的两个应变片宜与 90°直角应变片距离相等，与 90°直角应变片距离在 25 mm 内，并在同一环向轴线上。

图 A.1 无缝环型试样应变片位置

A.8.3 直缝焊缝试样

90°直角应变片应置于如图 A.2 所示位置，沿环型试样中心环向分布。预拉伸目标区（0°）应紧邻直缝焊缝焊趾一侧。



标引序号说明：

1——T＝90°直角，S＝单轴；

2——应变片 3T；

3——应变片 1T；

4——应变片 2T；

5——可选应变片 S；

6——内部视图。

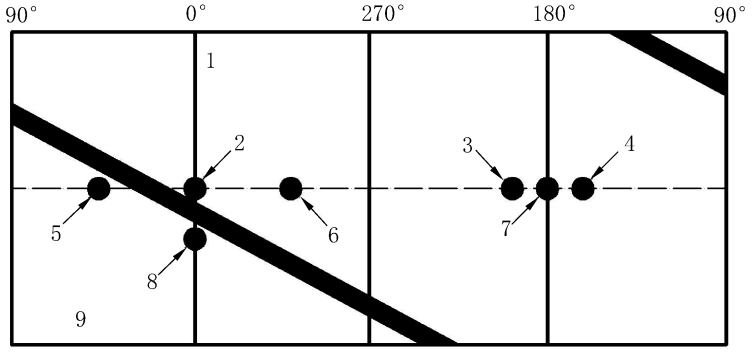
注 1：在此类试样上，应变片仍沿试样中心环向轴线安装。

注 2：同时，若不确定加载点位置是否在预拉伸目标区，可在环型试样 180°轴线处的 90°直角应变片两侧等间距安装单轴应变片，每个单轴应变片距 90°直角应变片距离不超过 25 mm。

图 A.2　仅带有一条直缝焊缝的环型试样应变片位置

A.8.4　螺旋焊缝试样

应使用 90°直角应变片和 45°花式应变片的组合，如图 A.3 所示。



标引序号说明：

1——T＝90°直角，R＝45°花式；

2——应变片 1R；

3——应变片 6T；

4——应变片 4T；

5——应变片 3R；

6——应变片 7T；

7——应变片 5T；

8——应变片 2R；

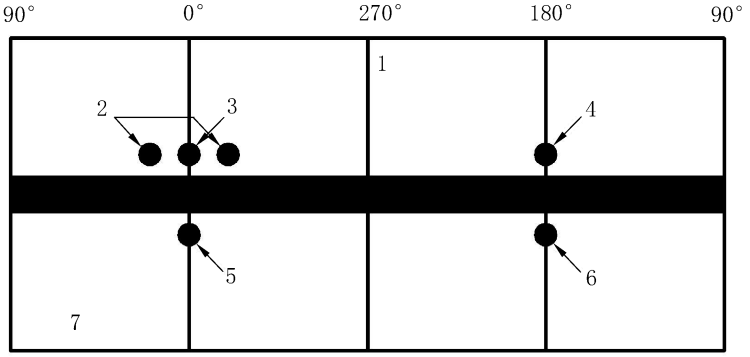
9——内部视图。

图 A.3　仅带有一条螺旋焊缝的环型试样应变片位置

A.8.5 环焊缝试样

通常只限于小管径环型试样，90°直角应变片应使用的位置如图 A.4 所示。

注：当不确定加载点位置是否在预拉伸目标区(0°)时，可在如图 A.4 所示的位置增加单轴应变片。但此方法仅在其距基准面两侧的角度小于 15°时方可采用。



标引序号说明：

1——T＝90°直角，S＝单轴；

2——可选应变片 S；

3——应变片 1T；

4——应变片 3T；

5——应变片 2T；

6——应变片 4T；

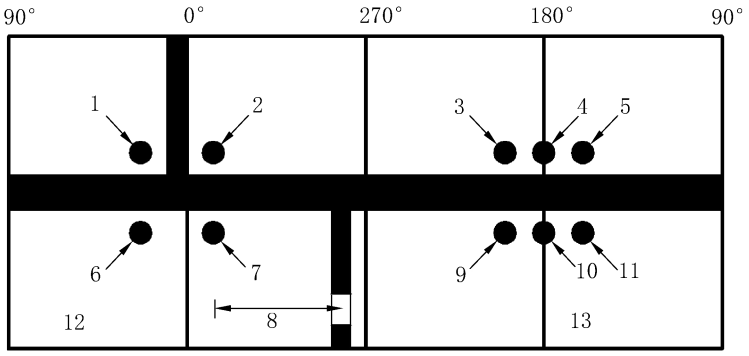
7——内部视图。

图 A.4 仅带有一条环焊缝的环型试样应变片位置

A.8.6 与直缝焊缝或螺旋焊缝相结合的环焊缝试样

此类环型试样有多种几何结构，见图 A.5～图 A.7。一般而言，直缝焊缝可能在 30°～180°之间错开。

某些情况下，第二条焊缝可能与加载梁中的一个相接触，在这种情况下，只有经用户同意后，方可磨掉与加载块接触的试样内表面直缝焊缝余高。



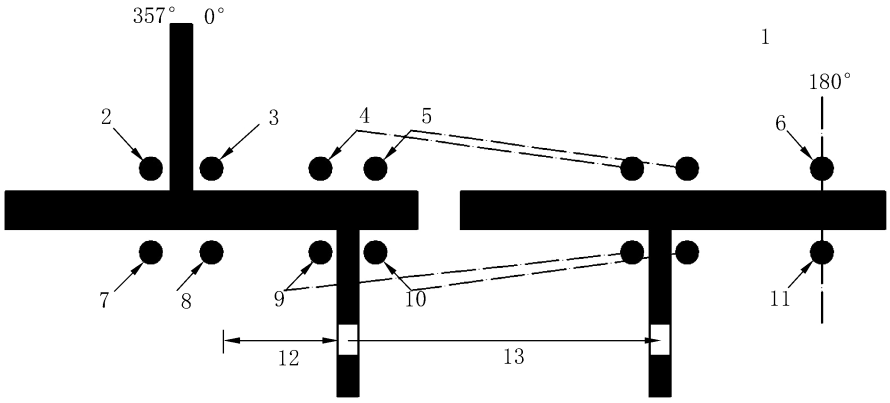
标引序号说明：

1 ——应变片 1T；
2 ——应变片 2T；
3 ——可选应变片 3S；
4 ——应变片 4T；
5 ——可选应变片 5S；
6 ——应变片 6T；
7 ——应变片 7T；
8 ——5°～175°之间类型；
9 ——可选应变片 8S；
10——应变片 9T；
11——可选应变片 10S；
12——内部视图；
13——T＝90°直角，S＝单轴。

注：除单轴可选应变片外，其余使用 90°直角应变片。

图 A.5　带有环焊缝和直缝焊缝且两条直缝焊缝的角度差在 5°～175°之间的环型试样应变片位置

如果直缝焊缝的角度差在 0°～5°或 175°～185°，那么应在目标区域以及 180°位置增加应变片，如图 A.6 所示。



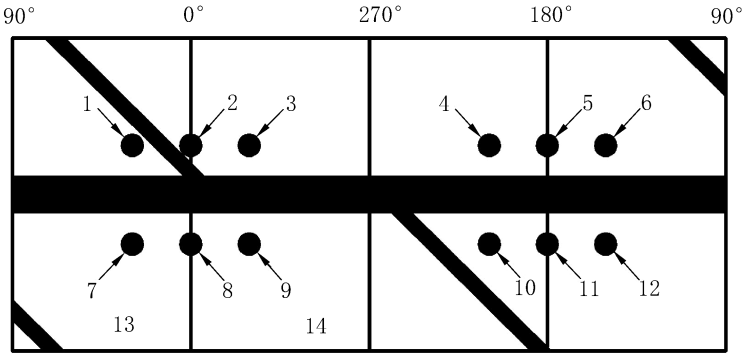
标引序号说明：

1 ——T＝90°直角；
2 ——应变片 1T；
3 ——应变片 9T；
4 ——应变片 7T；
5 ——应变片 5T；
6 ——应变片 3T；
7 ——应变片 2T；
8 ——应变片 10T；
9 ——应变片 8T；
10——应变片 6T；
11——应变片 4T；
12——0°～5°类型；
13——175°～185°类型。

注：应变片 3 和应变片 4 可用于所有情况。如果焊缝重叠，可省去应变片 7 和应变片 10。如果第二条焊缝与 180°重叠，那么省去应变片 5 和应变片 6，应变片 3 置于 180°轴线位置。

图 A.6　带有环焊缝和直缝焊缝且两条直缝焊缝的角度差小于 5°或在 175°～185°之间的环型试样修改后应变片位置

对带有一条环焊缝的螺旋焊缝试样，应按图 A.7 所示进行应变测量。



标引序号说明：

1 ——应变片 3R；

2 ——应变片 1R；

3 ——应变片 11T；

4 ——应变片 5T；

5 ——应变片 7T；

6 ——应变片 9T；

7 ——应变片 4T；

8 ——应变片 2T；

9 ——应变片 12T；

10——应变片 10T；

11——应变片 8T；

12——应变片 6T；

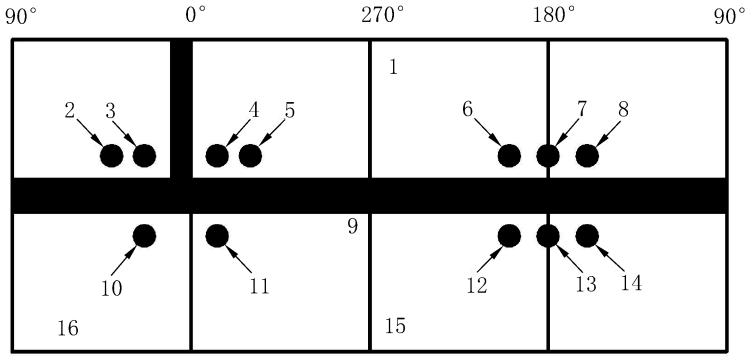
13——内部视图；

14——T＝90°直角，R＝45°花式。

图 A.7　螺旋焊缝和一条环焊缝相结合的试样应变片位置

A.8.7　带有环焊缝和一条直缝焊缝的试样

若环型试样具有相同的壁厚，则参照图 A.8 将其中的应变片 3、应变片 4、应变片 5、应变片 8、应变片 9、应变片 10 去除，或可选择使用单轴应变片替代上述应变片。若环型试样具有不同壁厚，则完全按照图 A.8 执行。



标引序号说明：

1 ——薄板；

2 ——应变片 3T；

3 ——应变片 1T；

4 ——应变片 11T；

5 ——应变片 10T；

6 ——应变片 8T；

7 ——应变片 6T；

8 ——应变片 4T；

9 ——T＝90°直角；

10——应变片 2T；

11——应变片 12T；

12——应变片 9T；

13——应变片 7T；

14——应变片 5T；

15——厚板(有时无焊缝)；

16——内部视图。

注：全部使用 90°直角应变片。

图 A.8　带有环焊缝和直缝焊缝且各板材壁厚不等的环型试样应变片位置

A.9　环型试样加载报告

应提供施加载荷环型试样的主要几何尺寸以及材料性能数据。这些数据应记录在一份完整环型试样测试-加载数据表中。同时表中还应详细记录所需的预拉伸载荷水平，并提供获得这一载荷所需应变的必要计算。应提供环型试样内表面展开平面图，其中包括应变测量位置及编号，并据此将所有应变测量值读数绘制成表，其中也包括最终计算出的环向主应变和得到的应力水平。最后，应记录任何程序上的偏离。

A.10　二次测试

某些情况下需要针对环型试样在具有更高加载水平条件情况下进行再次试验。此次试验需要对试样表面进行表面再处理后再次使用应变片，随后对环型试样完全卸载。通常当试样卸载后会发现一定程度的永久变形，表明已引入了永久残余应变。

试样再次加载前应对其表面残余应变程度进行评估。

注：由于环型试样的纵向不可能出现明显的残余应变，因此可在最初加载时的所有应变测量点处使用单轴应变片。

实施测量前应对试样表面进行彻底的清理和准备。

卸载时，应注意每个应变片测量的应变值，当再次加载时，应变片记录值应清零。在最终报告中应包括针对卸载和再次加载阶段的独立试验结果表。

参 考 文 献

[1] NB/T 47013.4 承压设备无损检测 第4部分:磁粉检测
[2] NB/T 47013.5 承压设备无损检测 第5部分:渗透检测