

中华人民共和国国家标准

金属薄板成形性能与试验方法 成形极限图(FLD)试验

GB/T 15825.8—1995

Sheet metal formability and test methods
—Forming limit diagram(FLD) test

1 主题内容与适用范围

本标准规定了金属薄板成形极限图(Forming limit diagram,缩写 FLD)的实验室测定方法。
本标准适用于厚度 0.2~3.0 mm 的金属薄板。

2 引用标准

GB/T 15825.2 金属薄板成形性能与试验方法 通用试验规程

3 符号、名称和单位

本标准所用的符号、名称和单位见表 1。

表 1

符 号	名 称	单 位
FLD	成形极限图	
FLC	成形极限曲线	
D_d	凹模内径	mm
R_p	凸模球头半径	mm
d_p	凸模直径	mm
r_d	凹模圆角半径	mm
F_p	凸模力	N
F_c	压边力	N
e_1, e_2	表面工程(极限)主应变	%
ϵ_1, ϵ_2	表面真实(极限)主应变	
d_0	网格圆初始直径	mm
d_1	畸变后的网格圆长轴尺寸	mm
d_2	畸变后的网格圆短轴尺寸	mm
n	应变硬化指数	
γ	塑性应变比	

4 试验原理

4.1 在实验室条件下测定成形极限图时,通常采用刚性凸模对试样进行胀形的方法,必要时可辅以拉伸试验和液压胀形试验。

4.2 刚性凸模胀形试验时,将一侧表面制有网格圆的试样置于凹模与压边圈之间,利用压边力压紧拉

国家技术监督局 1995-12-13 批准

1996-08-01 实施

深筋以外的试样材料,试样中部在凸模力作用下产生胀形变形并形成凸包(见图1),其表面上的网格圆发生畸变,当凸包上某个局部产生缩颈或破裂时,停止试验,测量缩颈区(或缩颈区附近)或破裂区附近的网格圆长轴和短轴尺寸,由此计算金属薄板允许的局部表面极限主应变变量(e_1, e_2)或(ϵ_1, ϵ_2)。

注:表面应变指平行于板料平面的二维应变,本标准中的(e_1, e_2)表示表面工程极限主应变变量,(ϵ_1, ϵ_2)表示表面真实极限主应变变量。

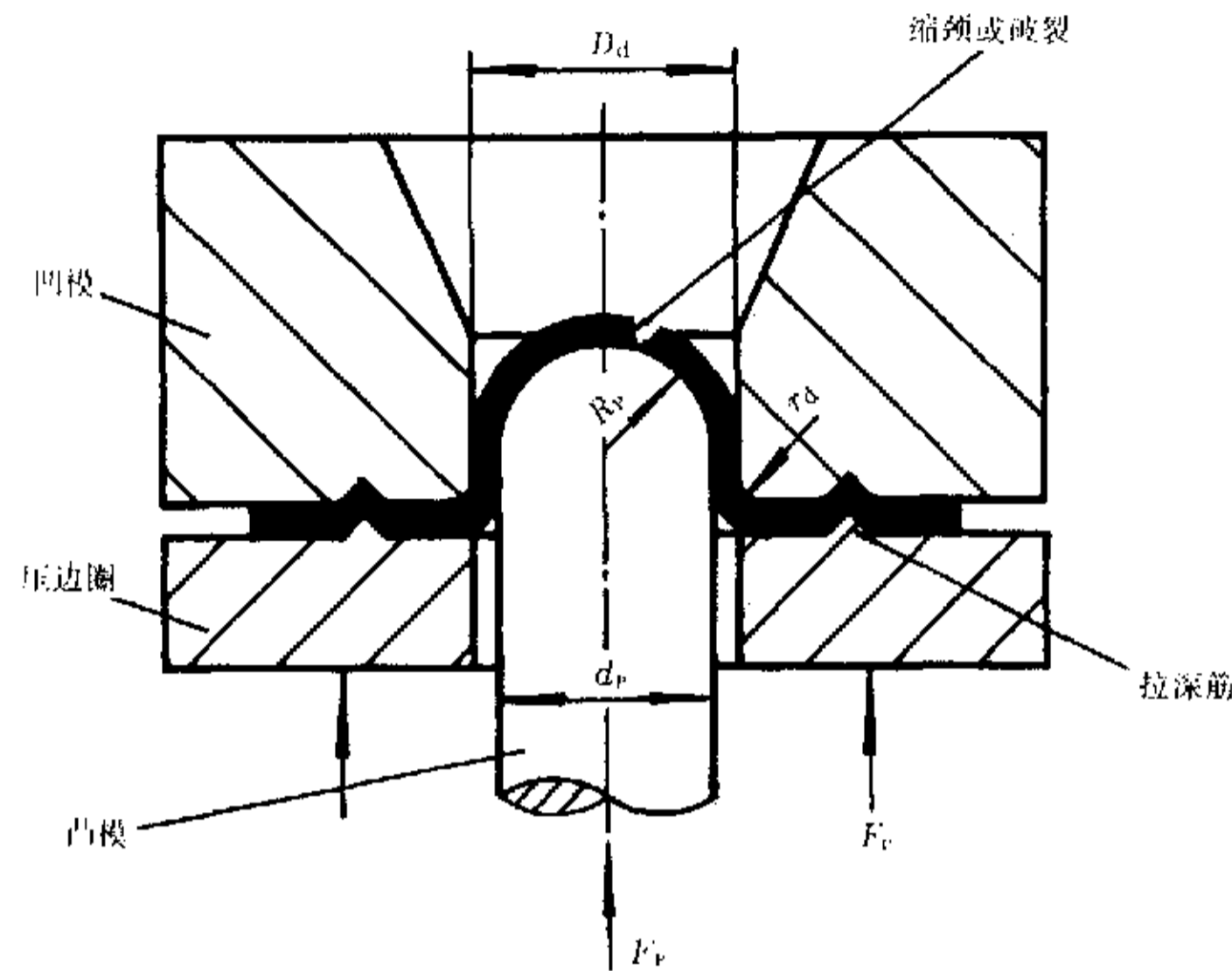


图1 刚性凸模胀形试验

4.3 使用下述两种方法可以获得不同应变路径下的表面极限主应变变量。

4.3.1 改变试样与凸模接触面间润滑条件

主要用来测定成形极限图的右半部分(双拉变形区,即 $e_1 > 0, e_2 \geq 0$ 或 $\epsilon_1 > 0, \epsilon_2 \geq 0$),如果在试样与凸模之间加衬合适厚度的橡胶(或橡皮)薄垫,可以比较方便地获得接近于等双拉应变状态($e_1 = e_2$ 或 $\epsilon_1 = \epsilon_2$)下的表面极限应变变量,通常,不同的润滑条件选择地越多,试验确定的成形极限图越可靠。

4.3.2 采用不同宽度的试样

主要用来测定成形极限图的左半部分(拉-压变形区,即 $e_1 > 0, e_2 \leq 0$ 或 $\epsilon_1 > 0, \epsilon_2 \leq 0$),如果试样宽度选择地合适,可以获得接近于单向拉伸应变状态($e_1 = -2e_2$ 或 $\epsilon_1 = -2\epsilon_2$)和平面应变状态($e_2 = 0$ 或 $\epsilon_2 = 0$)下的表面极限应变变量,通常,试样的宽度规格越多,试验确定的成形极限图越可靠。

注:试样长宽尺寸接近时,极限应变变量也有可能位于成形极限图的右半部双拉变形区内。

5 试样

5.1 根据试验装置特点和试验原理确定试样尺寸、形状和数量。如果使用本标准7.1条推荐的凸模尺寸,则推荐使用边长180 mm的方形(或内接圆直径180 mm的正多边形,或直径180 mm的圆形)试样和宽度分别为160、140、120、100、80、60、40和20 mm的矩形试样(长度可根据试验装置自行确定)。

5.2 按GB/T 15825.2第3章规定制备试样,并记录试样实测厚度。

5.3 为了防止窄条矩形试样在拉深筋处开裂,允许仿效板料拉伸试验试样将其形状改为中部稍窄、两端稍宽的阶梯形状。

6 网格圆的制取

6.1 为了测定试样的表面应变变量,应在试样一侧表面制取一定数量的网格圆,网格圆的数量和排列图案自行设计(可附加某些必要的符号),图2所示图案供参考。

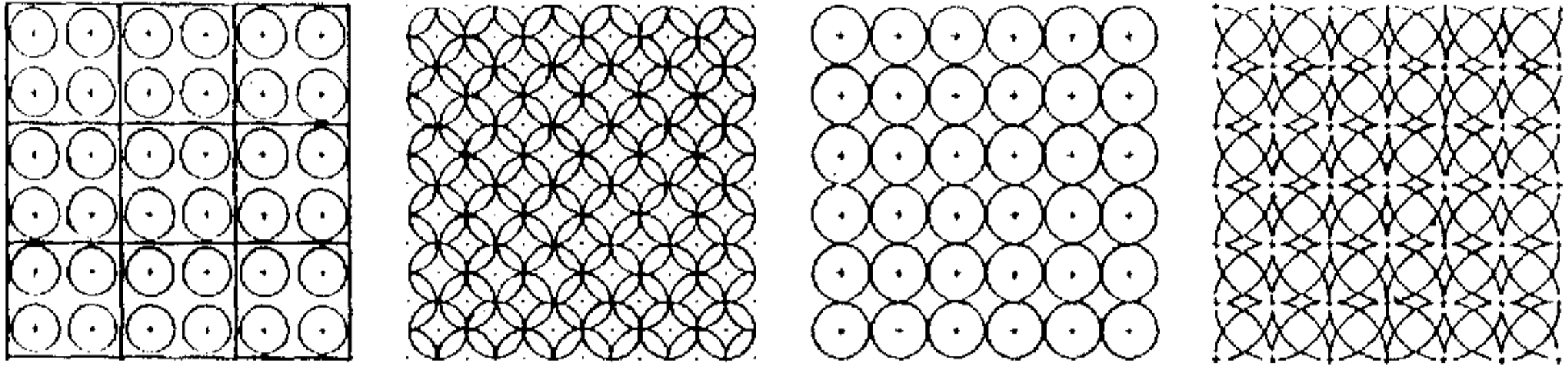


图2 网格圆图案

- 6.2 试样表面的网格圆可用照像制版、光刻技术、电化学腐蚀或其他方法制取。
- 6.3 网格圆初始直径 d_0 的大小,影响试验的测量计算结果,其选用原则为:采用大尺寸模具时可将 d_0 的数值取大一些,而用小尺寸模具时则取小一些。
- 6.4 如果使用本标准 7.1 条推荐的凸模尺寸,则推荐使用 $d_0=1.5\sim 2.5$ mm 的网格圆。
- 6.5 网格圆直径的偏差不大于其数值的 2%。

7 模具

- 7.1 对于试验模具的几何尺寸(包括拉深筋的部位、形状和尺寸等)不作具体规定,仅推荐使用直径为 100 mm 的圆柱形球头凸模。
- 7.2 根据 GB/T 15825.2 中 4.1 条规定制备模具。

8 试验条件

8.1 润滑

- 8.1.1 采用不同宽度的试样时,参考 GB/T 15825.2 第 6 章规定,推荐使用 1[#] 润滑剂对不带有网格圆图案一侧的试样表面进行润滑。
- 8.1.2 采用改变试样与凸模接触面间润滑条件进行试验时,润滑剂或润滑剂的搭配形式自行选择,但应尽量能使各试样的表面极限应变量在坐标系中均匀分布。推荐使用 GB/T 15825.2 第 6 章规定的 1[#] 或 2[#] 润滑剂作为液体润滑剂,固体润滑剂推荐使用不同厚度的聚乙烯(或聚氯乙烯、聚四氟乙烯)薄膜、适当厚度的橡胶(或橡皮)薄垫,以及其他可以应用的润滑材料。
- 8.1.3 采用改变试样与凸模接触面间润滑条件进行试验时,参考 GB/T 15825.2 第 6 章规定,只对不带有网格圆图案一侧的试样表面进行润滑,允许使用润滑油将固体润滑薄膜粘敷在待润滑的试样表面。

8.2 压边力

- 8.2.1 压边力应压紧拉深筋以外的试样材料,保证它们不发生变形流动。
- 8.2.2 对同一尺寸规格或相同润滑方式下的试样进行重复试验时,压边力偏差不超过 $\pm 5\%$ 。

8.3 试验速度

对试验速度(凸模运动速度)不作具体规定,但不允许试验停机时产生较大的惯性运动,以便及时准确地捕捉试样凸包出现缩颈或破裂的瞬间。

9 试验装置与试验机

- 9.1 按 GB/T 15825.2 中 5.1 条规定准备试验装置,如果使用本标准 7.1 条推荐的凸模尺寸,要求满足以下技术条件:

- a. 在工作行程内,凸模与凹模中心线应重合,其偏差不大于 0.15 mm;

b. 试验装置应能对试样定位,试样中心与凸模中心线偏差不大于 0.5 mm。

9.2 按 GB/T 15825.2 中 5.2 条规定准备试验机。

10 测量和计算

10.1 用于测量和计算表面极限应变量的网格圆称为临界网格圆。

10.2 确定试样上一点的表面极限应变量时,原则上应通过测量缩颈区临界网格圆的直径变化进行计算,但从工程应用的观点出发,亦允许在缩颈区或断裂区附近选择临界网格圆进行测量,近似计算试样上一点的表面极限应变量。

10.3 从工程应用观点出发,推荐用下述方法选择临界网格圆:

- a. 将位于缩颈区、但未破裂的网格圆作为临界网格圆;
- b. 将紧靠缩颈或裂纹的网格圆作为临界网格圆;
- c. 将与缩颈或裂纹横贯其中部之网格圆相邻的网格圆作为临界网格圆。

10.4 选择临界网格圆时,应注意下述事项:

- a. 临界网格圆的个数不宜选择过多(通常可取三个),并应尽可能相邻或靠近,且彼此之间相应的测量差值不大于 10%;
- b. 为了保持试验结果的一致性,必须使用同一种临界网格圆选择方法进行测量、计算和标绘成形极限图。

10.5 试样表面上网格圆畸变后的形状如图 3 所示,畸变后网格圆的长轴记作 d_1 、短轴记作 d_2 、并将 d_1 和 d_2 近似视为试样平面内一点上的两个主应变方向。

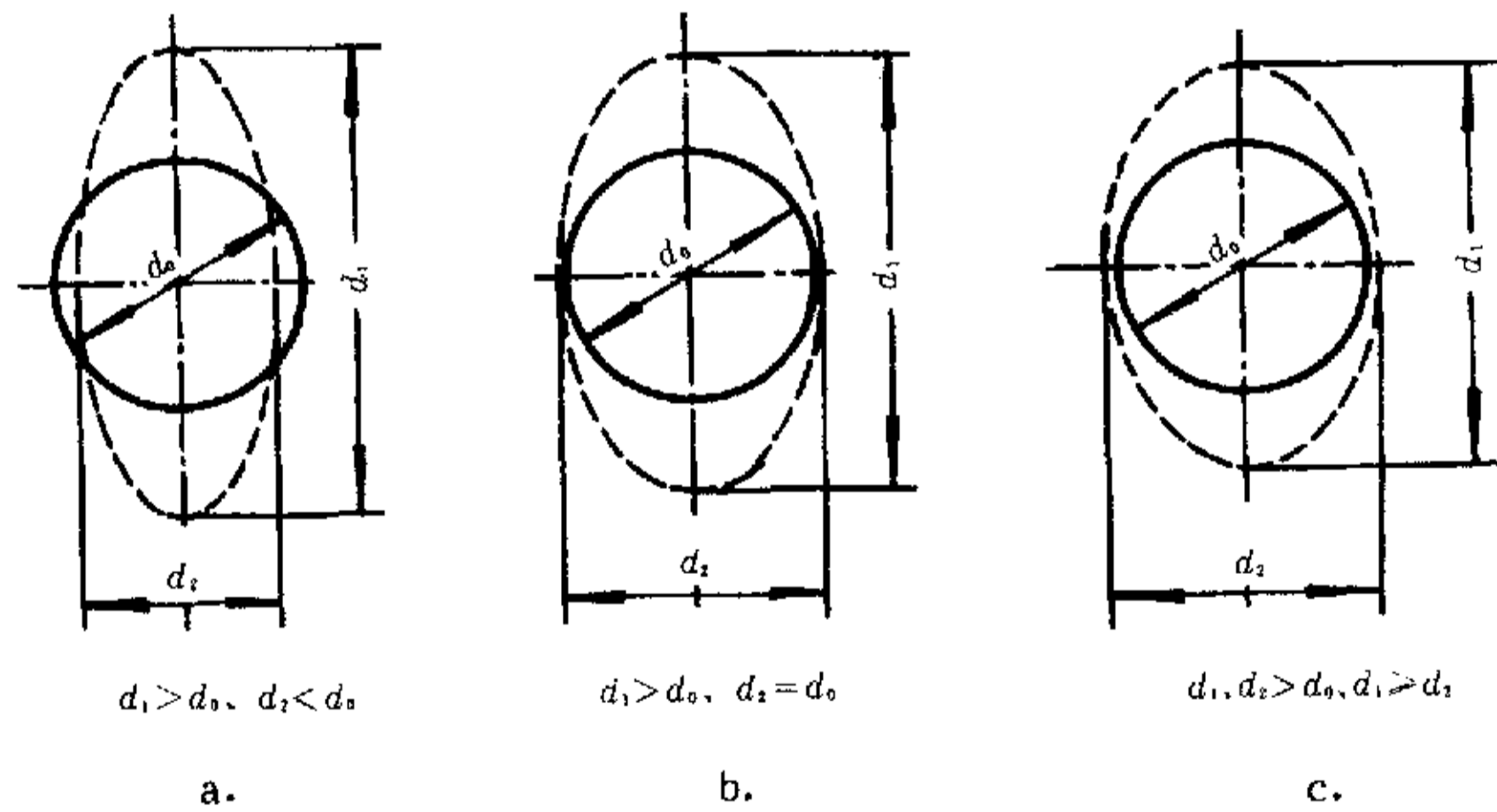


图 3 网格圆畸变

10.6 测量临界网格圆的长、短轴 d_1 和 d_2 时,可以使用读数显微镜、测量显微镜、投影仪或专门设计的测量工具、检测装置等[如工程应变比例尺,见附录 A(参考件)]。

10.7 根据测量结果,按公式(1)、(2)计算试样的表面极限应变。

$$\left. \begin{aligned} e_1 &= \frac{d_1 - d_0}{d_0} \times 100\% \\ e_2 &= \frac{d_2 - d_0}{d_0} \times 100\% \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_1 &= \ln \frac{d_1}{d_0} = \ln(1 + e_1) \\ \epsilon_2 &= \ln \frac{d_2}{d_0} = \ln(1 + e_2) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

11 试验程序 and 操作方法

- 11.1 按本标准第 5 章和第 6 章规定准备试样。
- 11.2 按 GB/T 15825.2 中 4.2、5.1.2、5.2.2 和 5.2.3 条规定,对模具、试验装置和试验机进行清洗、检查和润滑。
- 11.3 进行预试验。
- 11.4 进行正式试验,试验前放置试样时,应将试样上制有网格圆的一面贴靠凹模。试验过程中应保证将试样压紧,直至试样上发生局部缩颈或破裂为止。
- 11.5 对于同一尺寸规格和相同润滑方式的试样进行 3 次以上有效重复试验。
- 11.6 出现下述任一情况,试验无效:
 - a. 试样的缩颈或破裂发生在凹模孔口附近;
 - b. 使用不同宽度的试样时,试样侧边发生撕裂;
 - c. 试样在拉深筋附近破裂;
 - d. 选不出合适的临界网格圆。
- 11.7 测量临界网格圆的长、短轴尺寸,并计算表面极限应变变量。

12 标绘成形极限图

- 12.1 以表面应变 e_2 (或 ϵ_2)为横坐标、表面应变 e_1 (或 ϵ_1)为纵坐标,建立表面应变坐标系。在 e_1 - e_2 坐标系中,习惯将 e_2 和 e_1 的分度比例取为 2:1(图 4b),而在 ϵ_2 - ϵ_1 坐标系中两者分度一般相同。
- 12.2 将试验测定的表面极限应变变量(e_1 、 e_2)或(ϵ_1 、 ϵ_2)标绘在表面应变坐标系中(参见图 4)。

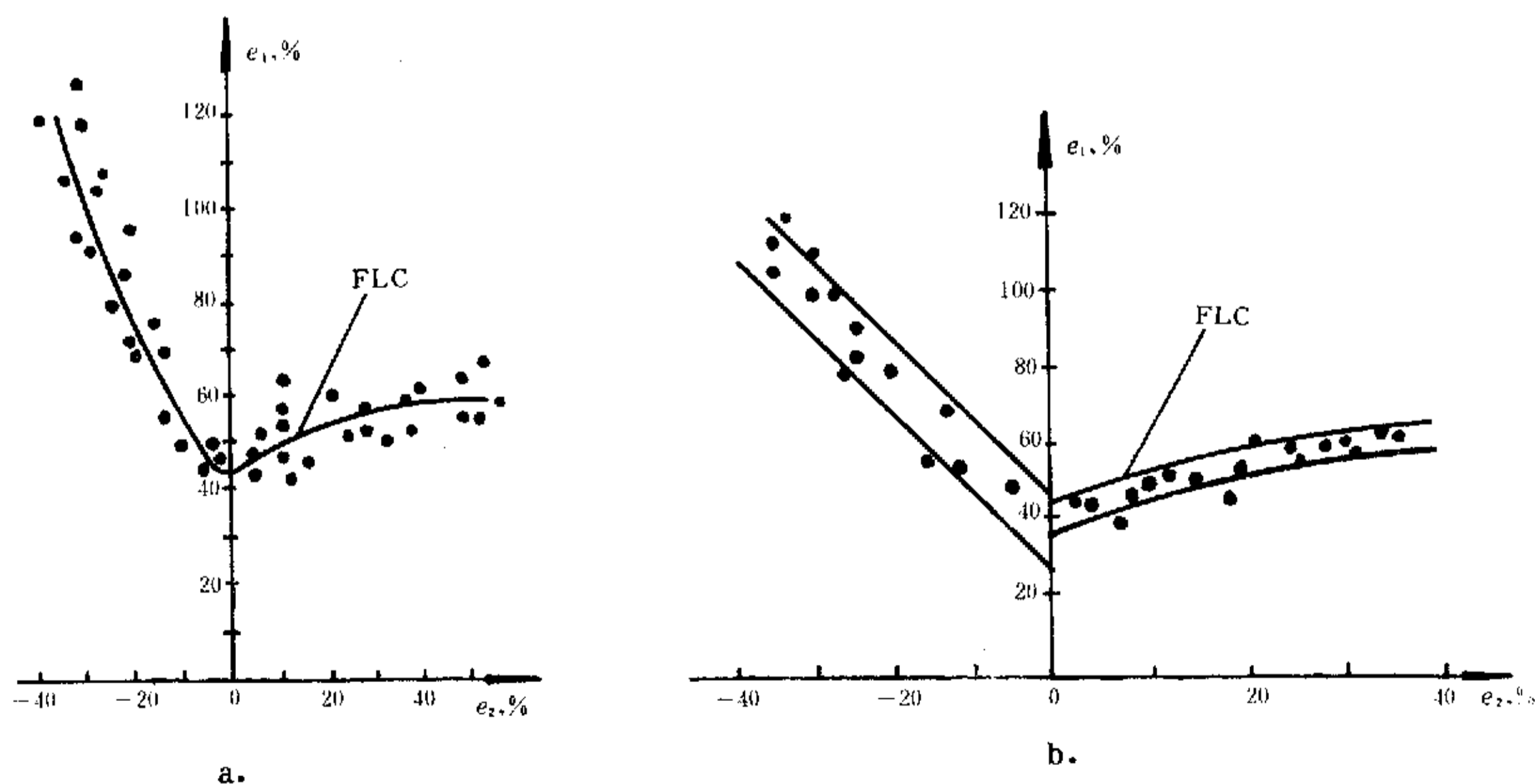


图 4 成形极限图(FLD)标绘

注: · 表面极限应变变量

- 12.3 根据表面极限应变变量在坐标系中的分布特征,将它们连成适当的曲线(图 4a)或构成条带形区域(图 4b),即成形极限曲线(FLC)。

13 试验报告

13.1 试验报告格式自行设计。

13.2 试验报告应包括下述主要内容。

- a. 试验材料的规格、牌号和状态；
- b. 试样实测厚度；
- c. 试验方法：按 GB/T 15825.8；
- d. 模具：包括凸模直径、凹模内径、拉深筋尺寸，凸模、凹模、压边圈的材料及硬度；
- e. 试样的尺寸规格；
- f. 试样与凸模接触面间的润滑条件；
- g. 相同尺寸规格和相同润滑条件下的有效试样个数；
- h. 网格圆初始直径；
- i. 临界网格圆选择方法；
- j. 测量方法；
- k. 试验机；
- l. 试验的测量和计算结果：包括 d_1 、 d_2 、 (e_1, e_2) 或 (ϵ_1, ϵ_2) ；
- m. 试验日期。

注：金属薄板的应变硬化指数 n 值和塑性应变比 γ 值对成形极限图的应变数值水平和形状有一定影响，必要时可测试这两个性能指标，并将它们列入试验报告。

