



中华人民共和国国家标准

GB/T 32376—2015

纤维增强复合材料弹性常数测试方法

Elastic constants test method for fibre reinforced composites

2015-12-31 发布

2016-11-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会 发布

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中国建筑材料联合会提出。

本标准由全国纤维增强塑料标准化技术委员会(SAC/TC 39)归口。

本标准起草单位：中国兵器工业集团第五三研究所、北京玻璃钢研究设计院有限公司、常州天马集团有限公司。

本标准主要起草人：李树虎、张永侠、吕秀莲、秦贞明、李艳华、郑会保、陈以蔚、魏化震、彭刚。

纤维增强复合材料弹性常数测试方法

1 范围

本标准规定了纤维增强复合材料弹性常数测试的术语和定义、试验概述、试验方法和试验报告等。

本标准适用于单向纤维增强的 $[0]_{ns}$ 、 $[90]_{ns}$ 和 $[0/90]_{ns}$ 聚合物基复合材料层合板、经纬织物增强的聚合物基复合材料层合板的弹性常数测试。所测弹性常数主要用于结构分析与设计,包括纵向、横向、法向的拉伸弹性模量(E_1 、 E_2 、 E_3)、泊松比(μ_{12} 、 μ_{13} 、 μ_{23})和剪切模量(G_{12} 、 G_{13} 、 G_{23})。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 1446 纤维增强塑料性能试验方法总则

GB/T 3354 定向纤维增强聚合物基复合材料拉伸性能试验方法

GB/T 3355 聚合物基复合材料纵横剪切试验方法

GB/T 3961 纤维增强塑料术语

GB/T 4944—2005 玻璃纤维增强塑料层合板层间拉伸强度试验方法

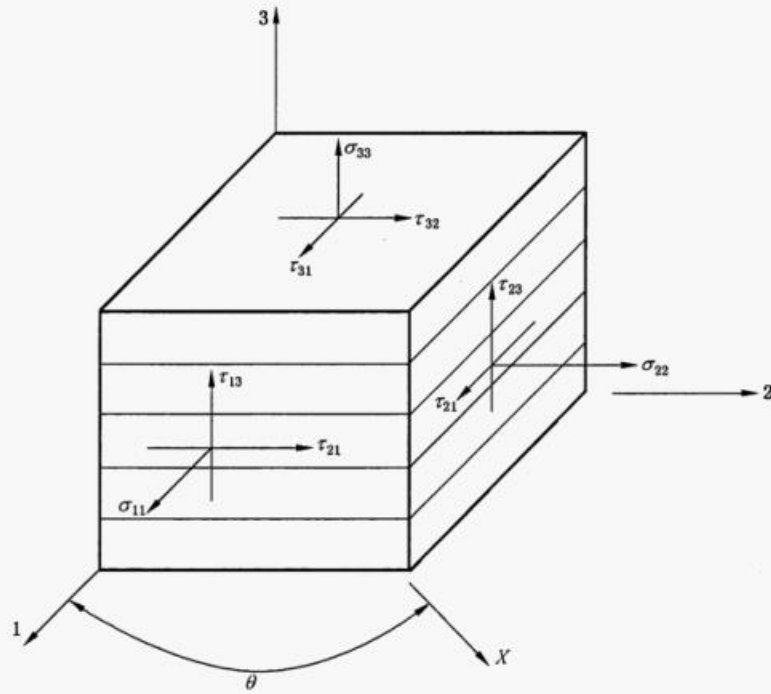
3 术语和定义

GB/T 3961 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

材料坐标系 material coordinate system

用于描述纤维增强复合材料主轴方向和应力分量的笛卡尔坐标系(一般用 1、2 和 3 表示坐标轴),见图 1。



说明：

- 1 ——纤维纵向；
- 2 ——纤维横向；
- 3 ——层压方向或法向(厚度方向)；
- X ——层压板参考轴；
- θ ——纤维铺层方向角。

注 1：纤维增强复合材料 3 个主轴方向的拉伸弹性模量相应的定义为 E_1 、 E_2 、 E_3 。

注 2：单轴应力在 1 轴方向作用时，引起 2 轴方向应变的泊松比定义为 μ_{12} ；单轴应力在 1 轴方向作用时，引起 3 轴方向应变的泊松比定义为 μ_{13} ；单轴应力在 2 轴方向作用时，引起 3 轴方向应变的泊松比定义为 μ_{23} 。

注 3：1-2 平面的面内剪切模量定义为 G_{12} ，1-3 平面的层间剪切模量定义为 G_{13} ，2-3 平面的层间剪切模量定义为 G_{23} 。

图 1 材料坐标系

4 试验概述

针对单向纤维或经纬织物增强的聚合物基复合材料层合板，通过纵向拉伸、横向拉伸、层间拉伸、面内剪切、层间剪切五种试验，测试包括纵向、横向、法向的拉伸弹性模量(E_1 、 E_2 、 E_3)、泊松比(μ_{12} 、 μ_{13} 、 μ_{23})和剪切模量(G_{12} 、 G_{13} 、 G_{23})共 9 个弹性常数。

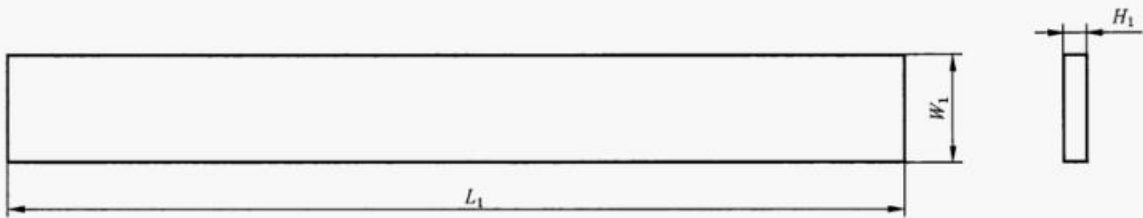
5 试验方法

5.1 纵向拉伸试验

纵向拉伸试验所测试的弹性常数主要包括弹性模量 E_1 和泊松比 μ_{12} 、 μ_{13} ，测试方法按 GB/T 3354 进行，另作如下规定：

- a) 纵向拉伸试样为直条形、无加强片，长为 (250.0 ± 2.0) mm，宽为 (25.0 ± 0.5) mm，厚为 $(3.0 \pm$

0.3)mm。试样的长度方向和 1 轴方向一致,试样厚度方向和 3 轴方向一致。如图 2 所示。



说明:

L_1 ——纵向拉伸试样长度;

W_1 ——纵向拉伸试样宽度;

H_1 ——纵向拉伸试样厚度。

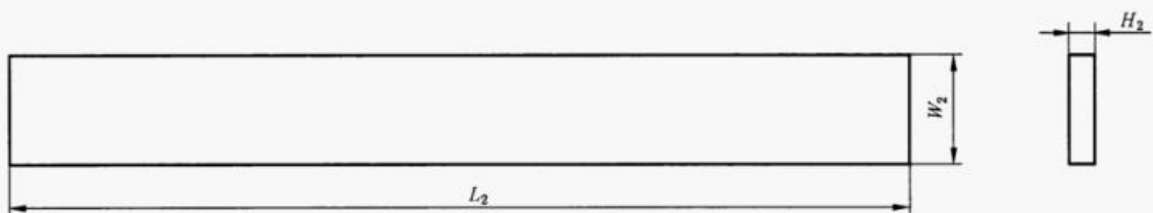
图 2 纵向拉伸试样

- b) 试样数量为两组,一组用于测试弹性模量 E_1 和泊松比 μ_{12} ,测试时在试样长度方向和宽度方向安装应变仪;另一组试样用于测试泊松比 μ_{13} ,测试时在试样长度方向和厚度方向安装应变仪。
- c) 试验时,可在试件破坏前终止试验。

5.2 横向拉伸试验

横向拉伸试验所测试的弹性常数主要包括弹性模量 E_2 和泊松比 μ_{23} ,测试方法按 GB/T 3354 进行,另作如下规定:

- a) 横向拉伸试样为直条形、无加强片,长为 (250.0 ± 2.0) mm,宽为 (25.0 ± 0.5) mm,厚为 (3.0 ± 0.3) mm。试样的长度方向和 2 轴方向一致,试样厚度方向和 3 轴方向一致,如图 3 所示。
- b) 测试时在试样长度方向和厚度方向安装应变仪。
- c) 试验时,可在试件破坏前终止试验。



说明:

L_2 ——横向拉伸试样长度;

W_2 ——横向拉伸试样宽度;

H_2 ——横向拉伸试样厚度。

图 3 横向拉伸试样

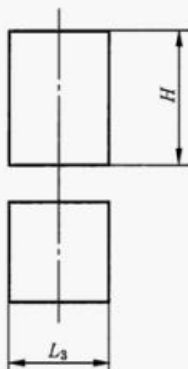
5.3 层间拉伸试验

5.3.1 试验原理

将试样粘合到金属端面上,沿层合面垂直方向(法向)匀速拉伸,测量该过程中的应力和应变,确定层间拉伸弹性模量 E_3 。

5.3.2 试样

5.3.2.1 试样采用正方形截面的柱形试样,截面边长为 (15.0 ± 0.1) mm,高为 (19.0 ± 0.3) mm(纤维层压方向或法向、厚度方向),形状、尺寸如图4所示。



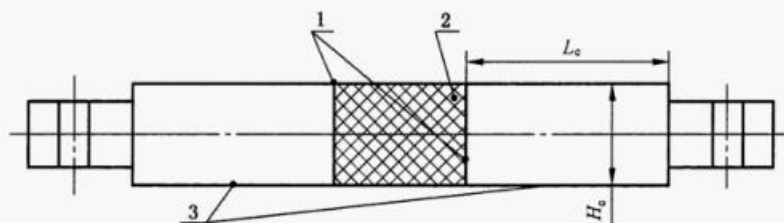
说明:

L_3 ——层间拉伸试样边长;

H ——层间拉伸试样高度。

图4 层间拉伸试样

5.3.2.2 将试样制成 GB/T 4944—2005 规定的 I 型组合件,如图5所示。



说明:

1 ——粘接剂层;

2 ——试样;

3 ——上、下金属连接块(钢或钛);

L_c ——金属连接块长度;

H_c ——金属连接块矩形边长。

图5 层间拉伸试样组合件

金属连接块一般为不锈钢或钛合金,粘接端的矩形边长 D_c 为 (15.0 ± 0.1) mm;长度 L_c 不小于 30.0 mm,连接块另一端的形状和尺寸应根据试验机确定。粘接面应保持平整无缺陷,并垂直于金属连接块的轴线。粘接剂的粘接强度应高于层间拉伸强度,建议采用环氧基粘接剂。粘结面的表面应用丙酮试剂进行清洁处理,固化条件如温度、压力、时间等均按粘接剂使用说明中的工艺规程进行。粘接剂及其固化条件不应改变层合板的性能。粘接面涂粘接剂时,应保证试样正确的粘合和精确地定位。

5.3.3 试验条件

5.3.3.1 试验环境条件按 GB/T 1446 的规定。

5.3.3.2 试样状态调节按 GB/T 1446 的规定。

5.3.3.3 试验设备按 GB/T 1446 的规定。

5.3.3.4 加载速度为 0.1 mm/min。

5.3.4 试验步骤

5.3.4.1 检查试样组合件的对中。

5.3.4.2 按 GB/T 1446 的规定对试样组合件进行状态调节。

5.3.4.3 测量试样尺寸,精确至 0.01 mm。

5.3.4.4 将试样组合件装入试验机夹具中,试样中心线应与试验机会力轴重合。

5.3.4.5 安装应变测量装置。

5.3.4.6 按规定的加载速度对试样组合件施加均匀、连续载荷,同时绘制载荷-变形或应力-应变曲线。

5.3.4.7 可在试件破坏前终止试验。

5.3.4.8 同批有效试样不足五个时,应重做试验。

5.3.5 结果表示

5.3.5.1 层间拉伸应力按式(1)计算:

$$\sigma_3 = \frac{P}{L_3^2} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

σ_3 ——纤维层间拉伸应力,单位为兆帕(MPa);

P ——试验载荷,单位为牛顿(N);

L_3 ——试样边长,单位为毫米(mm)。

5.3.5.2 层间拉伸弹性模量按式(2)计算:

$$E_3 = \frac{\Delta\sigma_3}{\Delta\epsilon_3} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

E_3 ——纤维层间拉伸弹性模量,单位为兆帕(MPa);

$\Delta\sigma_3$ ——与应变增量对应的层间拉伸应力增量,单位为兆帕(MPa);

$\Delta\epsilon_3$ ——应力-应变曲线上初始直线段的层间拉伸应变增量。

注:推荐应变增量的起始点为 500 $\mu\epsilon$,终止点为 1 500 $\mu\epsilon$;如果材料在 1 500 $\mu\epsilon$ 应变以下失效,使用最大失效应变的 25%和 50%作为应变增量的起始点和终止点。

5.3.5.3 层间拉伸弹性模量计算结果取三位有效数字,计算平均值、标准偏差和离散系数。

5.4 面内剪切试验

面内剪切模量 G_{12} 的测试按 GB/T 3355 的规定进行。

5.5 层间剪切试验

5.5.1 试验原理

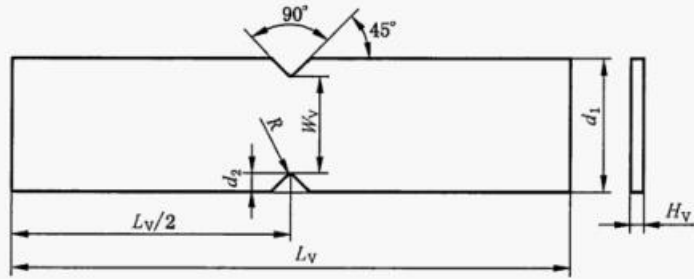
将双 V 型缺口的试样放入专用试验夹具并加载,测量该过程中的应力和应变,确定层间剪切模量 G_{13} 和 G_{23} 。

5.5.2 试样

5.5.2.1 试样形状尺寸

试样为双 V 型缺口试样,长度为(76.0±1.0)mm,宽为(19.0±0.3)mm,厚度为(3.0±0.3)mm,形

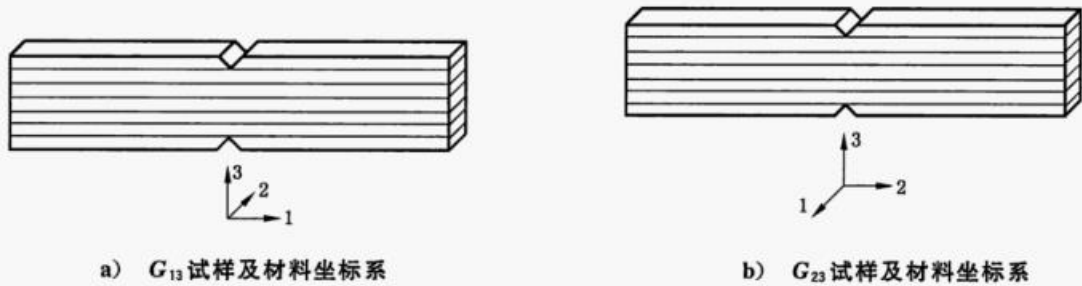
状、尺寸见图 6,试样的方向性见图 7。



说明:

- L_V ——层间剪切试样长度;
- d_1 ——层间剪切试样宽度;
- H_V ——层间剪切试样厚度;
- W_V ——层间剪切试样剩余宽度, $W_V = (11.4 \pm 0.3) \text{ mm}$;
- d_2 ——层间剪切试样缺口深度, $d_2 = (3.8 \pm 0.3) \text{ mm}$;
- R ——倒角半径, $R = (1.3 \pm 0.3) \text{ mm}$ 。

图 6 层间剪切试样形状



a) G_{13} 试样及材料坐标系

b) G_{23} 试样及材料坐标系

图 7 层间剪切试样及材料坐标系

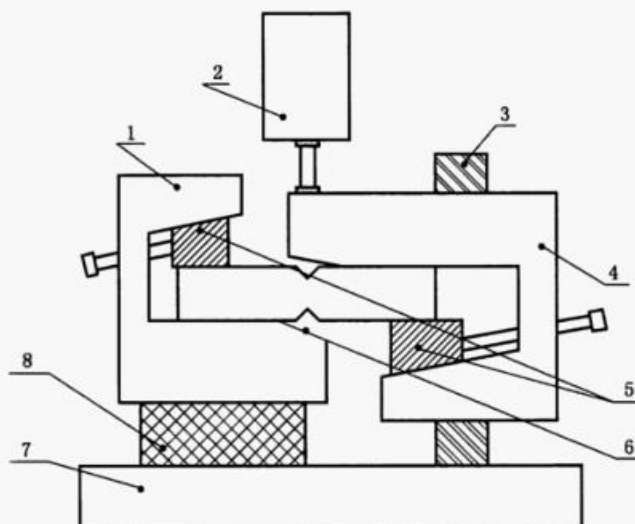
5.5.2.2 试样制备

试样从 20 mm 厚的层压板中切割,试样加工时应避免分层损伤。以下提供三种层压板的制备方法,优选前两种方法:

- a) 在一次操作过程内将层压板共固化到最终的试板厚度;
- b) 在试验段采用一块厚度大于 14 mm 的预固化层压板,并在每一侧对称粘贴一块附加的层压板,达到最终的试板厚度;
- c) 使用均匀的薄的胶层,通过两次或多次操作将尽可能少的预固化层压板胶接在一起,达到最终的试板厚度。

5.5.2.3 试验夹具

试验夹具见图 8,应确保试样的轴线与加载中心线一致。



说明:

- 1—下支块;
- 2—试验机适配器;
- 3—轴承杆;
- 4—含线性轴承的上夹块;
- 5—调节块;
- 6—试样对中销;
- 7—底板;
- 8—下夹块支座。

图 8 层间剪切试验夹具

5.5.3 试验条件

5.5.3.1 试验环境条件按 GB/T 1446 的规定。

5.5.3.2 试样状态调节按 GB/T 1446 的规定。

5.5.3.3 试验设备按 GB/T 1446 的规定。

5.5.3.4 加载速度为 1 mm/min。

5.5.4 试验步骤

5.5.4.1 按 5.5.2.2 的规定制备和加工试样。

5.5.4.2 按 GB/T 1446 的规定检查试样。

5.5.4.3 按 GB/T 1446 的规定进行状态调节。

5.5.4.4 将试样编号,并测量工作段内任意三点的厚度和宽度,精确至 0.01 mm,取三次测量结果的算术平均值。

5.5.4.5 在试样上按图 9 方式粘贴应变片,推荐使用有效长度为 1.5 mm 的应变片。为了尽可能减少扭转的影响,应在试样的两个侧面对称粘贴应变片,取两个应变片的算术平均值作为测量应变。

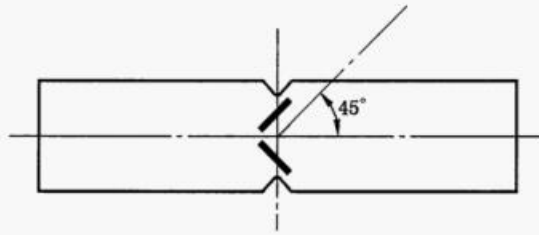


图9 层间剪切试样应变片粘贴方式

- 5.5.4.6 将试样放入层间剪切试验夹具,使试样的轴线与加载中心线一致。
- 5.5.4.7 按 5.5.3.4 规定的速度对试样进行加载,绘制应力-应变曲线,计算层间剪切弹性模量。
- 5.5.4.8 可在试件破坏前终止试验。
- 5.5.4.9 同批有效试样不足 5 个时,应重做试验。

5.5.5 结果表示

5.5.5.1 层间剪切应力按式(3)、式(4)计算:

$$\tau_{13} = \frac{P_{13}}{W_v H_v} \dots\dots\dots(3)$$

$$\tau_{23} = \frac{P_{23}}{W_v H_v} \dots\dots\dots(4)$$

式中:

- τ_{13} ——1-3 平面的层间剪切应力,单位为兆帕(MPa);
- τ_{23} ——2-3 平面的层间剪切应力,单位为兆帕(MPa);
- P_{13} —— G_{13} 试样的试验载荷,单位为牛顿(N);
- P_{23} —— G_{23} 试样的试验载荷,单位为牛顿(N);
- W_v ——试样宽度,单位为毫米(mm);
- H_v ——试样厚度,单位为毫米(mm)。

5.5.5.2 层间剪切应变按式(5)、式(6)计算:

$$\gamma_{13} = |\epsilon_{+45,13}| + |\epsilon_{-45,13}| \dots\dots\dots(5)$$

$$\gamma_{23} = |\epsilon_{+45,23}| + |\epsilon_{-45,23}| \dots\dots\dots(6)$$

式中:

- γ_{13} ——1-3 平面的层间剪切应变;
- γ_{23} ——2-3 平面的层间剪切应变;
- $\epsilon_{+45,13}$ —— G_{13} 试样的+45°方向应变;
- $\epsilon_{+45,23}$ —— G_{23} 试样的+45°方向应变;
- $\epsilon_{-45,13}$ —— G_{13} 试样的-45°方向应变;
- $\epsilon_{-45,23}$ —— G_{23} 试样的-45°方向应变。

5.5.5.3 层间剪切弹性模量按式(7)、式(8)计算:

$$G_{13} = \frac{\Delta\tau_{13}}{\Delta\gamma_{13}} \dots\dots\dots(7)$$

$$G_{23} = \frac{\Delta\tau_{23}}{\Delta\gamma_{23}} \dots\dots\dots(8)$$

式中:

- G_{13} ——1-3 平面的层间剪切弹性模量,单位为兆帕(MPa);

G_{23} ——2-3 平面的层间剪切性模量,单位为兆帕(MPa);

$\Delta\tau_{13}$ —— G_{13} 试样与应变增量对应的剪切应力增量,单位为兆帕(MPa);

$\Delta\tau_{23}$ —— G_{13} 试样与应变增量对应的剪切应力增量,单位为兆帕(MPa);

$\Delta\gamma_{13}$ —— G_{13} 试样对应的应力-应变曲线上初始直线段的层间剪切应变增量;

$\Delta\gamma_{23}$ —— G_{13} 试样对应的应力-应变曲线上初始直线段的层间剪切应变增量。

注:推荐在 $1\ 500\ \mu\epsilon \sim 2\ 500\ \mu\epsilon$ 应变范围内选取一个较低点作为应变增量的起始点,使应变增加 $(4\ 000 \pm 200)\ \mu\epsilon$ 作为应变增量终止点。

5.5.5.4 层间剪切模量计算结果取三位有效数字,计算平均值、标准偏差和离散系数。

6 试验报告

试验报告的内容包括以下各项全部或部分:

- a) 试验项目名称及执行标准号;
 - b) 试样来源及制备情况,材料品种及规格;
 - c) 试样编号、形状、尺寸、外观质量及数量;
 - d) 试验温度、相对湿度及试样状态调节;
 - e) 试验设备及仪器仪表的型号、量程及使用情况等;
 - f) 试验结果:
给出每个试样的性能值(必要时,给出每个试样的破坏情况)、算术平均值、标准差及离散系数;
 - g) 试验人员、日期及其他。
-

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
纤维增强复合材料弹性常数测试方法
GB/T 32376—2015

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址 www.spc.net.cn

总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238
读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

*

开本 880×1230 1/16 印张 1 字数 18 千字
2016年5月第一版 2016年5月第一次印刷

*

书号: 155066·1-54286 定价 18.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68510107



GB/T 32376-2015

国家标准体系简介

国家标准分为**强制性国家标准**和**推荐性国家标准**。对保障人身健康和生命财产安全、国家安全、生态环境安全以及满足经济社会管理基本需要的技术要求，应当制定强制性国家标准。强制性国家标准由国务院批准发布或授权发布。对于满足基础通用、与强制性国家标准配套、对各有关行业起引领作用等需要的技术要求，可以制定推荐性国家标准。

国家标准代号分为 GB 和 GB/T。国家标准的编号由国家标准的代号、国家标准发布的顺序号和国家标准发布的年号（发布年份）构成。

中国标准分为**国家标准**、**行业标准**、**地方标准(DB)**、**企业标准(Q/)**四级。中国标准按内容划分有**基础标准**（一般包括名词术语、符号、代号、机械制图、公差与配合等）、**产品标准**、**辅助产品标准**（工具、模具、量具、夹具等）、**原材料标准**、**方法标准**（包括工艺要求、过程、要素、工艺说明等）；按成熟程度划分有**法定标准**、**推荐标准**、**试行标准**、**标准草案**。按行业分类则包括：GB 及 GB/T 国家标准，GBJ 工程建设国家标准，GBZ 国家职业卫生技术标准，GBn 国家内部标准，GHZB 国家环境质量标准，GWKB 国家污染物控制标准，GWPB 国家污染物排放标准，JJF 国家计量技术规范，JJG 国家计量检定规程。