

中华人民共和国国家标准

GB/T 31838.1—2015/IEC 62631-1:2011

固体绝缘材料 介电和电阻特性 第1部分：总则

Solid insulating materials—Dielectric and resistive properties—
Part 1: General

(IEC 62631-1:2011, IDT)

2015-07-03 发布

2016-02-01 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

目 次

前言	III
引言	IV
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 影响电气绝缘材料特性的因素	5
5 电极系统	8
6 试验程序	8
参考文献	9



前 言

GB/T 31838《固体绝缘材料 介电和电阻特性》由以下几部分组成：

- 第 1 部分：总则；
- 第 2 部分：介电常数和介质损耗因数(AC 方法) 技术频率(1 Hz 至 100 MHz)；
- 第 3 部分：介电常数和介质损耗因数(AC 方法) 高频(1 MHz 至 300 MHz)；
- 第 4 部分：介电常数和介质损耗因数(AC 方法) 特高频(300 MHz 以上)；
- 第 5 部分：介电常数和介质损耗因数(AC 方法) 低频(1 MHz 至 1 kHz)；
- 第 6 部分：电阻特性(DC 方法) 体积电阻和体积电阻率；
- 第 7 部分：电阻特性(DC 方法) 表面电阻和表面电阻率；
- 第 8 部分：电阻特性(DC 方法) 绝缘电阻；

……

本部分为 GB/T 31838 的第 1 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分使用翻译法等同采用 IEC 62631-1:2011《固体绝缘材料 介电和电阻特性 第 1 部分：总则》。

与本部分中规范性引用文件有一致性对应关系的我国文件如下：

- GB/T 2900.5—2013 电工术语 绝缘固体、液体和气体(IEC 60050-212:2010, IDT)；
- GB/T 2918—1998 塑料试样状态调节和试验的标准环境(ISO 291:1997, IDT)；
- GB/T 29306.1—2012 绝缘材料在 300 MHz 以上频率下介电性能测定方法 第 1 部分：总则(IEC 60377-1:1973, MOD)；
- GB/T 29306.2—2012 绝缘材料在 300 MHz 以上频率下介电性能测定方法 第 2 部分：谐振法(IEC 60377-2:1977, MOD)。

与 IEC 62631-1:2011 相比本部分做了如下编辑性修改：

- 删除了标准中有关 IEC 62631 为系列标准的表述部分；
- 删除了前言中表 1 关于计划制定 IEC 62631 其他部分的说明。

本部分由中国电器工业协会提出。

本部分由全国电气绝缘材料与绝缘系统评定标准化技术委员会(SAC/TC 301)归口。

本部分起草单位：机械工业北京电工技术经济研究所、南通中菱绝缘材料有限公司、佛山市顺德区质量技术监督标准与编码所、库柏电子科技(上海)有限公司。

本部分主要起草人：刘亚丽、闫传庐、周到、陈昊、陈媛、王蕊、崔鹤松。

引 言

固体绝缘材料的介电和电阻特性的测量值取决于电压施加的时间、频率、电极的性质和几何形状、样品的条件处理、测量时周围大气的温度和湿度、电场强度等。因此,本标准所包含的电气和介电特性仅在规定测量环境参数的情况下才具有可比性。在产品标准或与试验过程有关的本标准系列的相关部分中,测试样本的形状、规格以及测量参数应予以明确。这取决于满足测量特定要求的需要。当为设计电力产品而使用本标准中的测量值时,应加以谨慎。



固体绝缘材料 介电和电阻特性

第 1 部分:总则

1 范围

GB/T 31838 的本部分规定了测定固体电气绝缘材料的介电和电阻特性的总则。

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 1409—2006 测量电气绝缘材料在工频、音频、高频(包括纳米波波长在内)下电容率和介质损耗因数的推荐方法(IEC 60250:1969, IDT)

GB/T 1410—2006 固体绝缘材料体积电阻率和表面电阻率试验方法(IEC 60093:1980, IDT)

GB/T 10064—2006 测定固体绝缘材料绝缘电阻的试验(IEC 60167:1964, IDT)

GB/T 10581—2006 绝缘材料在高温下电阻和电阻率的试验方法(IEC 60345:1971, IDT)

IEC 60377-1:1973 绝缘材料在 300 MHz 以上频率下介电性能测定方法 第 1 部分:总则(Recommended methods for the determination of the dielectric properties of insulating materials at frequencies above 300 MHz—Part 1:General)

IEC 60377-2:1977 绝缘材料在 300 MHz 以上频率下介电性能测定方法 第 2 部分:谐振法(Recommended methods for the determination of the dielectric properties of insulating materials at frequencies above 300 MHz—Part 2:Resonance methods)

IEC 60050-212 国际电工术语词汇 第 212 部分:电气绝缘固体、液体和气体(International electrotechnical vocabulary—Part 212: Electrical insulating solids, liquids and gases)

ISO 291 塑料试样状态调节和试验的标准环境(Plastics—Standard atmospheres for conditioning and testing)

ISO 558 条件和测试 标准大气定义(Conditioning and testing—Standard atmospheres—Definitions)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 总体定义

3.1.1

电气绝缘材料 electrical insulating material

具有可忽略不计的低电导率的固体材料,用于隔离电势不同的导体部分。

注:在英文词汇中,术语“电气绝缘材料”也可以广泛用于液体和气体。IEC 60247 包含液体绝缘材料内容。

3.2 电阻特性定义

一种绝缘材料的电阻特性是在一定时间范围内用直流电压测量出的综合材料特性。

3.2.1

绝缘电阻 insulation resistance

在规定条件下,由绝缘材料隔开的两导体之间存在的电阻。

注:绝缘电阻包括在给定试样几何形状下的体积电阻和表面电阻。

3.2.2

体积电阻 volume resistance

施加在与绝缘介质表面接触的两个电极间的直流电压与给定时间流过介质的电流之比。

注:本定义不包含沿表面的电流,并忽略可能在电极间产生的极化现象。

3.2.3

体积电阻率 volume resistivity

直流电场强度与在给定时间电压下绝缘介质内电流密度之比。

注1:根据 IEC 60050-212,“电导率”被定义为标量或矩阵,它与电场强度的乘积是传导电流密度;“电阻率”是“电导率”的倒数。体积电阻率是在测量时单位体积内可能存在的各向异性的数量的平均值,还包括在电极间可能产生的极化现象。

注2:在实际中,体积电阻率通常被视为单位体积内的体积电阻。

3.2.4

表面电阻 surface resistance

取决于沿表面导电的那部分绝缘电阻。

注:表面电阻通常主要取决于施加电压的时间;表面电阻还通常以不稳定的方式变动。

3.2.5

表面电阻率 surface resistivity

单位面积内的表面电阻。

注:表面电阻率的数值不受面积大小的影响。

3.3 介电性能的定义

一种绝缘材料的介电特性是指在给定频率范围内用交流电压测量出的综合材料特性。

3.3.1

绝对介电常数 absolute permittivity

电通密度除以电场强度。

注:一种绝缘材料的测量介电常数 ϵ 等于它的相对介电常数 ϵ_r 和真空介电常数 ϵ_0 的乘积,见式(1):

$$\epsilon = \epsilon_0 \times \epsilon_r \dots\dots\dots (1)$$

介电常数的单位是法拉每米(F/m),真空介电常数 ϵ_0 的值按式(2)确定:

$$\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ F/m} \dots\dots\dots (2)$$

3.3.2

相对介电常数 relative permittivity

绝对介电常数与真空介电常数 ϵ_0 的比值。

注1:在恒定电场或频率很低的交变电场中,各向同性及准各向同性介质的相对介电常数等于充满该介质的电容器的电容与相同结构电极的真空电容器的电容之比。

注2:在实际工程中,“介电常数”这一术语常用来指代“相对介电常数”。

注3:绝缘材料的相对介电常数 ϵ_r 是电容量 C_x 与 C_0 之比。其中, C_x 是置于电极之间和周围完全由考虑中绝缘材料填充的电容试样(电容器)的电容值; C_0 则是真空中相同构造电极的电容值。

$$\epsilon_r = \frac{C_x}{C_0} \dots\dots\dots (3)$$

在标准大气压下,不含二氧化碳的干燥空气的相对介电常数是 1.000 53,因此在实践中,常用电极构造相同的空气电容值 C_a 代替真空电容值 C_0 来测定介质的相对介电常数 ϵ_r 的精度是足够的。

3.3.3

相对复介电常数 relative complex permittivity

稳定的正弦场条件下用复数表示介电常数,见式(4):

$$\underline{\epsilon}_r = \epsilon_r' - j\epsilon_r'' = \epsilon_r \times e^{-j\delta} \dots\dots\dots(4)$$

其中 ϵ_r' 与 ϵ_r'' 为正值。

注 1: 习惯上,相对复介电常数 $\underline{\epsilon}_r$ 可用 ϵ_r' 和 ϵ_r'' 中的任意一个表示,或者用 ϵ_r 和 $\tan\delta$ 表示。若 $\epsilon_r' > \epsilon_r''$, 则 $\epsilon_r \approx \epsilon_r'$; 此时这两者都被称为相对介电常数。

注 2: ϵ_r'' 被称为损耗指数。

3.3.4

介质损耗因数 tanδ (损耗正切) dielectric dissipation factor tanδ (loss tangent)

复合介电常数的虚部与实部的比值,见式(5):

$$\tan\delta = \frac{\epsilon_r''}{\epsilon_r'} \dots\dots\dots(5)$$

注 1: 绝缘材料的介质损耗因数 $\tan\delta$ 就是角 δ 的正切值。当固体绝缘材料在电容试样(电容器)中专门用作电介质时,损耗角 δ 是 $\frac{\pi}{2}$ 弧度减去施加电压与产生电流的相位差 ϕ (如图 1)。

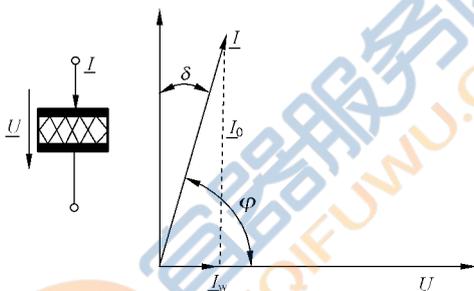


图 1 介质损耗因数

介质损耗因数也可用等价的电路图表示。该电路图中,一个理想电容器与一个电阻器进行串联或并联(如图 2),此时 $\tan\delta$ 见式(6):

$$\tan\delta = \omega C_s \times R_s = \frac{1}{\omega C_p \times R_p} \dots\dots\dots(6)$$

$$\frac{C_p}{C_s} = \frac{1}{1 + \tan^2\delta} \dots\dots\dots(7)$$

$$\frac{R_p}{R_s} = 1 + \frac{1}{\tan^2\delta} \dots\dots\dots(8)$$

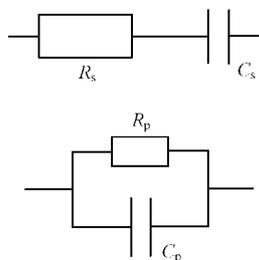


图 2 等效电路图

注 2: R_s 和 R_p 并不与绝缘材料的体积和表面电阻直接相连,但会受到它们的影响。因此,介质损耗因数也可能会受到这些电阻材料性质的影响。

3.4

电容 capacitance

C

当导体间存在电势差时,导体和电介质的装置能够储存电荷的特性。

注: *C* 是电荷数量 *q* 与电势差 *U* 之间的比率,见式(9)。电容值永远为正,当电荷量与电势差的单位分别为库仑和伏特时,电容单位为法拉。

$$C = \frac{q}{U} \dots\dots\dots(9)$$

3.5

电压施加 voltage application

电极之间施加的电压。

注: 电压施加有时也被称作充电。

3.6

电压施加后的电流 current after voltage application

当直流电压施加在与绝缘介质接触的两电极之间时产生的电流。

注: 电压施加后电流与时间联系紧密,通常在电压施加 1 min 后测定电流。

3.7

传导电流 conduction current

电压施加后电流的稳定部分。

3.8

充电电流 charging current

电压施加后,流动在试样充电期间的电流的瞬态部分。

3.9

电场强度 electric field strength

作用于静止带电粒子上的力 *F* 与电荷 *Q* 之比,为矢量,用 *E* 表示,见式(10):

$$F = Q \times E \dots\dots\dots(10)$$

3.10

电通密度 electric flux density

在给定点上真空介电常数 ϵ_0 和电场强度 *E* 的乘积与极化 *P* 之和,为矢量,用 *D* 表示,见式(11):

$$D = \epsilon_0 E + P \dots\dots\dots(11)$$

3.11

极化 polarization

P

描述横截电场方向的材料现象。在给定的无限小体积 *V* 内,极化等于电偶极矩 ρ 除以体积 *V*,极化为矢量,见式(12):

$$P = \frac{\rho}{V} \dots\dots\dots(12)$$

注 1: 极化 *P* 满足式(11)。

注 2: 极化可能导致带电粒子迁移或偶极子取向,它可能在界面处出现,如在电极和在电气绝缘材料的内边界处。所有极化效应都依赖时间、频率和温度,因此极化效应对电介质和电阻特性产生强烈影响。因此,时间依赖于极化发生的过程(也就是电气绝缘材料经历电压施加的过程),当一种电气绝缘材料的电阻特性被测定时通常被表达为极化。

3.12

去极化 depolarization

从电气绝缘材料上移去极化直到去极化电流忽略不计的过程。

注: 通常建议在测量电气绝缘材料的电阻特性前进行去极化。

3.13

极化电流 polarization current

施加电压后产生电流的暂态部分,可能会被充电电流大大减弱。

注:极化电流通常在电极的初次短路后进行测量,为有足够时间使短路电流可忽略不计。

3.14

去极化电流 depolarization current

在施加直流电压一段时间后,流经与绝缘介质相接触的两电极间短路的电流。

注:去极化电流通常在电压施加后进行测量,为有足够时间使极化电流可忽略不计。

3.15

测量电极 measuring electrodes

贴附于材料表面或者埋入材料内部的导体,以接触材料来测量其介电或电阻特性。

注:这个设计取决于试样或者测试的目的。

4 影响电气绝缘材料特性的因素

4.1 总则

按照特定的应用要求,电气绝缘材料的电阻和介电特性值应在可接受的范围,同时机械、化学和热性能及其他必要的特性值也一样在可接受范围。

注:介电和电阻材料特性需在运行条件下测试。

绝缘电阻由两部分组成:表面电阻和体积电阻,且均受到许多参数的影响,如湿度、温度、电场强度、试样形状、表面条件和电极。温度、化学与气态环境、湿度和电场强度的改变可能会使电阻发生巨大变化,这一点在设计运行环境时应事先了解。

介电常数和介质损耗也会受很多参数影响,但其受影响程度较电阻而言要小。除受到温度影响外,它们也会受到频率的强烈影响。

4.2 影响电阻和介电特性的因素

4.2.1 总则

下列参数可能会对电气绝缘材料的介电和电阻特性产生影响,任何试验报告都应列出这些参数,具体如下:

- 时间;
- 频率;
- 温度;
- 湿度;
- 电场强度;
- 电压;
- 条件处理;
- 电极材料。

本部分对这些参数分别进行具体说明。

4.2.2 时间

如 3.11 所述,极化效应与时间密切相关。对任何一种极化而言,可指定一个松弛时间 τ ,在该松弛时间内通过时域获取的测量值(如电阻特性),取决于施加电压的时间。

有些材料的松弛时间可能会相当长(至少要几个月之久)。为得到正确结果,可能有必要花费很长时间来实施测量。然而出于实践原因,对电阻特性的测量要在电压施加 1 min 后进行,这要求能够接受这“1 min 后测量值”与电气绝缘材料电阻真实值之间的误差。

注:电阻特性可能会明显受到充电电流的影响,并且充电电流的时间取决于电压源的内部电阻。

4.2.3 频率

由于介电常数与损耗因数在大频率范围以上不能保持恒定,所以有必要在电介质材料被应用的频率下去测量介电常数与损耗因数。

如图 3 所示,在特定频率下,损耗指数 ϵ_r'' 在松弛转变中达到了最大值。在该松弛转变中,介电常数 ϵ_r' 从较高值 ϵ_{rs} (静态) 下降到较低值 $\epsilon_{r\infty}$ (频率无穷大)。这种现象是由极化对时间依赖所造成的(见 3.6),可用松弛时间 τ 来描述,见式(13):

$$\omega_m' = \frac{1}{\tau} \dots\dots\dots(13)$$

然而,由于与极化有关,实际上会出现多于一个的松弛转变。

介质损耗因数 $\tan\delta$ 也与频率相关。根据 3.3.4 给出的定义,以及随频率升高而下降的 ϵ_r' ,相比损耗因数, $\tan\delta$ 的最大值通过式(14)转向更高频率:

$$\omega_m = \sqrt{\frac{\epsilon_{rs}}{\epsilon_{r\infty}}} \times \frac{1}{\tau} \dots\dots\dots(14)$$

注:时间与频率依赖性是彼此相关的,德拜的理论对此作了描述。他的著作对这些问题提供了更多参考资料。

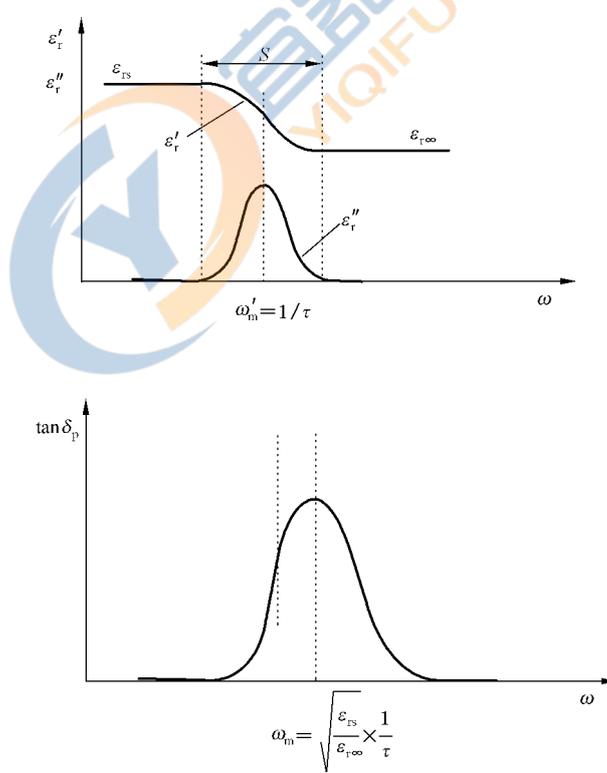


图 3 频率($\omega = 2\pi f$)对介电常数与介质损耗因数 $\tan\delta$ 的影响

4.2.4 温度

随着温度的升高,介质损耗因数可能会出现一个或多个最大值(见图4),这是因为温度会影响极化(见3.6)和松弛时间的缩短。由此,介电常数随温度而逐步增大。

另外,在高温下离子和电子等粒子可以更自由地运动,使电导率升高。

同理,绝缘电阻值和表面或体积电阻率也与温度密切相关。

注1:热老化效应也会对材料的介质损耗因数和电阻特性产生影响。对电气绝缘材料和系统的耐热性评估分别参照 IEC 60216-1 和 IEC 60505,可能会有助于测量介电和电阻特性。

注2:在升温情况下,由材料电阻特性产生的传导电流可能会导致介质损耗因数的明显增大[见式(7)]。

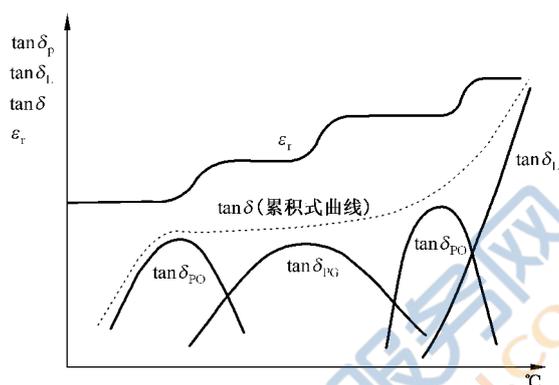


图4 温度对介电常数与介质损耗因数影响的示例

4.2.5 湿度

所有介电和电阻特性,如介电常数、损耗因数、体积和表面电阻率,都会受湿度影响。因此不论在试验前后,对试样的条件处理,如对湿度的控制,都至关重要。

4.2.6 电场强度

如果没有电子发射或相关效应控制,除界面极化外,所有种类的介电极化效应都和施加电场强度呈近似线性的关系。当界面极化存在时,自由离子的数量随电场强度增多,介质损耗因数最大值和位置发生改变。若没有电离效应,损耗和介电常数因数对电场强度的依赖性不大。

4.2.7 电压

当电压或电场强度升高时,多种非线性现象可能发生。与时间相关的充电电流也与电压有关。

4.2.8 条件处理

大部分固体绝缘材料的电阻和介电特性都会受到以上列出的参数影响。因此,有必要按照 ISO 291和 ISO 558 中所规定的内容,对在试验前后试样条件处理程序的种类与持续时间进行详细说明。

试验前和试验中的首选条件为:296 K \pm 2 K 的温度和 50% \pm 5% 的相对湿度。

表面条件会影响材料性能,清洁试样表面会影响试验结果。然而在特定情况下,有必要在条件处理前对试样进行清洁。

4.2.9 试样

试样的形状和尺寸会影响测量值。试样的最佳尺寸应参照 GB/T 31838 的介电特性和电阻特性相

关部分的试验过程中所使用的尺寸进行选取。然而,由于形状和尺寸与绝缘材料的种类及其应用密切相关,可能会出现形状应由适当产品标准来决定的情况。

注:在这些标准未出版前,GB/T 1409—2006、GB/T 1410—2006、GB/T 10064—2006、GB/T 10581—2006、IEC 60377-1:1973 和 IEC 60377-2:1977 中所引用的尺寸仍然有效。

4.2.10 电极材料

电极材料的选择对获取可靠的测量结果而言十分重要,将在第 5 章中详细说明。

5 电极系统

绝缘材料的电极应是一种易于涂覆到试样表面的材料,能与试样紧密接触,不会因电极电阻或试样污染而出现不可预见的误差。电极材料在试验条件下还应具有抗腐蚀性。

注:对于交流电测量时,一种“非接触电极”有时会和具有足够低的表面电导率的试样一同使用。

为了避免在测量介电和电阻特性时出现严重错误,应谨慎确定电极的形状和试样的厚度。有关适用于特定种类测量电极系统的详细信息,可参照 GB/T 31838 的有关试验程序部分的内容。

6 试验程序

试验程序参照 GB/T 31838 的相关部分。

根据给定的试验方法,任何可靠的试验设备或可使用的仪器都可用于测定上述提到的性质。不过,对试验仪器的精确度应加以规定,以符合试验材料的要求。

参 考 文 献

- [1] IEC 60216-1, Electrical insulating materials—Properties of thermal endurance—Part 1: Ageing procedures and evaluation of test results
- [2] IEC 60247, Insulating liquids—Measurement of relative permittivity, dielectric dissipation factor ($\tan \delta$) and d.c.resistivity
- [3] IEC 60505, Evaluation and qualification of electrical insulation systems
- [4] IEEE 100, The Authoritative Dictionary of IEEE Standards Terms, Seventh Edition.
- [5] Kohlrausch: Praktische Physik (2 Bände). Leipzig: Teubner, 1953.
- [6] Debye, Paul: Polare Molekeln. Leipzig: Hirzel, 1929.
- [7] Bartnikas, Ray: Engineering Dielectrics Volume IIB Electrical Properties of Solid Insulating Materials; Measurement Techniques. ASTM 1987.
- [8] Beyer, M; Boeck, W.; Möller, K.; Zaengl, W.: Hochspannungstechnik. Theoretische und praktische Grundlagen für die Anwendung. Springer, 1986.





中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
固 体 绝 缘 材 料 介 电 和 电 阻 特 性
第 1 部 分 : 总 则

GB/T 31838.1—2015/IEC 62631-1:2011

*

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.gb168.cn

服 务 热 线 : 400-168-0010

010-68522006

2015 年 8 月 第 一 版

*

书 号 : 155066 · 1-51503

版 权 专 有 侵 权 必 究



GB/T 31838.1-2015