

中华人民共和国国家标准

GB/T 15261—2008
代替 GB/T 15261—1994

超声仿组织材料声学特性的测量方法

Measurement methods for acoustic properties of ultrasonically
tissue-mimicking materials

2008-01-22 发布

2008-09-01 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

本标准代替 GB/T 15261—1994《超声仿人体组织材料声学特性的测量方法》。

本标准与 GB/T 15261—1994 相比主要变化如下：

- 标准的中英文名称更为规范；
- 对测量设备和样品技术要求的表述更为严密细致；
- 与国际惯例相一致，测量采用的标准温度条件由 25℃ 改为 23℃；
- 密度测量改用 GB/T 4472—1984 中的浮力法和容量瓶法；
- 声衰减系数的测量取消单样品法，改为仅用双样品法；
- 声衰减系数与频率关系的相关处理由一般直线拟合改为过坐标原点直线拟合与曲线拟合两种；
- 增加了背向散射系数测量的内容；
- 对声速和声衰减系数测量增加了不确定度分析部分；
- 附录中增加了水的密度、声速和声衰减系数与温度关系的内容；
- 增加了参考文献部分。

本标准的附录 A、附录 B、附录 C、附录 D、附录 E 均是资料性附录。

本标准由国家食品药品监督管理局提出。

本标准由全国医用电器标准化技术委员会(SAC/TC 10)归口。

本标准起草单位：中国科学院声学研究所。

本标准主要起草人：牛凤岐、朱承纲、程洋。

本标准于 1994 年首次发布。

超声仿组织材料声学特性的测量方法

1 范围

本标准规定了超声仿组织材料声学特性参数的测量方法。

本标准适用于超声仿组织材料密度及其在 1 MHz~10 MHz 频率范围内声速、声衰减系数和背向散射系数的测量,该类材料主要用于制作超声体模。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准,然而,鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本标准。

GB 3102.7—1993 声学的量和单位

GB/T 3947—1996 声学名词术语

GB/T 4472—1984 化工产品密度、相对密度测定通则

YY/T 0458—2003 超声多普勒仿血流体模的技术要求(IEC 61685:2001,MOD)

3 术语和定义

GB/T 3947—1996 中确立的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1

超声仿组织材料 ultrasonically tissue-mimicking(TM) material

在超声波传播特性方面模仿人体软组织的材料,简称 TM 材料。

3.2

超声体模 ultrasound phantom

模仿人体的某些超声传播特性,供做医用超声设备的性能测量及研究试验,或将被模拟的生理结构可视化的无源装置。

3.3

声衰减系数斜率 slope of attenuation coefficient

声衰减系数随频率的变化率。

单位:分贝每厘米兆赫兹, dB/(cm·MHz)。

3.4

背向散射系数 backscattering coefficient

在与入射声波成 180°角的方向上,每单位体积和单位立体角的微分散射截面。

单位:每厘米球面度, $\text{cm}^{-1} \cdot \text{sr}^{-1}$ 。

4 测量原理

4.1 密度测量

4.1.1 概述

按形态学分类,超声仿组织材料可能是固体、凝胶体或液体,而凝胶又有整体和散体之分,故其密度

测量应综合采用 GB/T 4472—1984 中所述容量瓶法和浮力法。对固体材料,一般采用浮力法,载质大多用蒸馏水;不宜用水时可改用其他液体。对水基整体凝胶材料,载质可以是与被测材料成分相同的水溶液,也可是适当的非水液体。对水基散体凝胶材料,宜采用广口容量瓶法。对液态超声仿组织媒质,宜采用传统(即玻璃制,磨口)容量瓶法。

需要强调指出:

- 在浮力法中用作载质的液体,不可使被测材料发生物理或化学变化;
- 在浮力法中,若所用载质不是蒸馏水,其密度应采用容量瓶法予以标定;
- 采用浮力法时,考虑到载质的密度既可能高于也可能低于被测材料,且为了不因夹持、挂钩等损伤样品,应将样品置于载样筐内;
- 广口容量瓶和载样筐的制作方法和要求参见附录 A。

4.1.2 采用浮力法时的计算公式

$$\rho = \frac{m_2 \rho_w}{m_2 - (m_1 - m_0)} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

- ρ ——样品材料的密度,单位为克每立方厘米(g/cm³);
- ρ_w (ρ_0)——蒸馏水(或其他液体载质)的密度,单位为克每立方厘米(g/cm³);
- m_2 ——样品的质量,单位为克(g);
- m_1 ——载样筐与样品的总浮质量,单位为克(g);
- m_0 ——载样筐的浮质量,单位为克(g)。

4.1.3 采用容量瓶法时的计算公式

$$\rho = \frac{\rho_w (m_2 - m_0)}{m_1 - m_0} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

- ρ ——样品材料的密度,单位为克每立方厘米(g/cm³);
- ρ_w ——蒸馏水的密度,单位为克每立方厘米(g/cm³);
- m_2 ——样品与容量瓶的总质量,单位为克(g);
- m_1 ——水与容量瓶的总质量,单位为克(g);
- m_0 ——空容量瓶的质量,单位为克(g)。

蒸馏水的密度与温度的关系见附录 B。若所用载质不是蒸馏水,其密度标定也采用容量瓶法,计算也采用式(2),此时 ρ 即为被标定载质的密度 ρ_0 。

4.2 声速和声衰减系数的测量

4.2.1 概述

声速和声衰减系数测量采用插入取代法。即在测试水槽中,将被测材料样品插在发射换能器与接收换能器之间的平面波声束路径上,令其取代相同长度的水,借助于样品插入前后声脉冲信号传播时间的变化求得该材料中声速,借助于插入不同厚度样品时接收信号幅度的变化求得该材料的声衰减系数。

如图 1 所示,在配有恒温装置的水槽中充以除气蒸馏水,接收换能器定位在发射换能器的近远场交界处,以避免声束扩展引起的修正。射频脉冲发生器以电脉冲激励发射换能器使之产生猝发音脉冲向水中辐射,由接收换能器接收并送至示波器显示。

需要强调指出的是,当样品为水基(整体和散体)凝胶或液体时,应将其封装在圆筒状容器中,容器与声束轴垂直的端面应封以透声良好的薄膜。

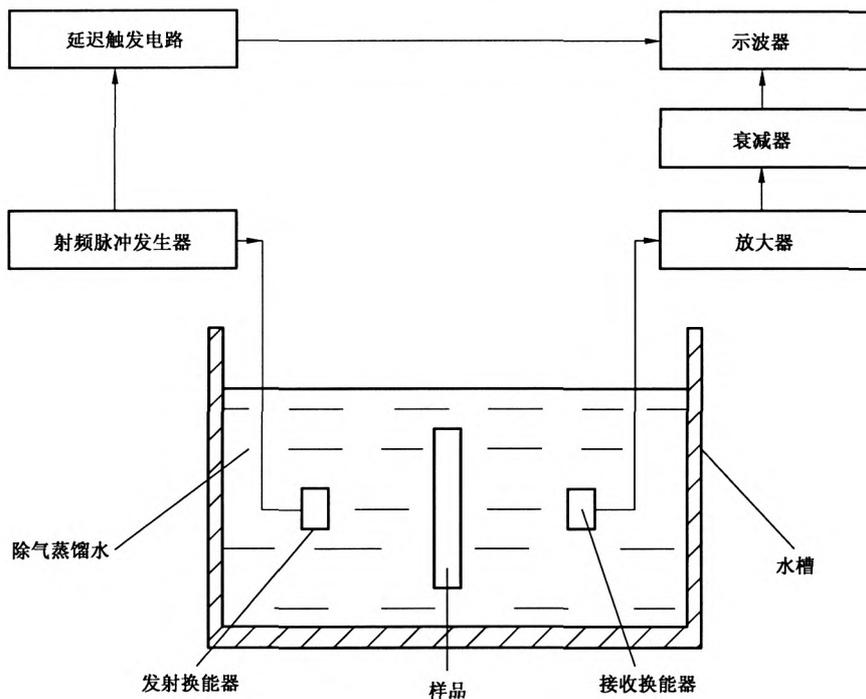


图 1 插入取代法测试原理图

4.2.2 声速测量

声速测量一般采用单样品法,通过式(3)求出声速值:

$$c = \frac{dc_w}{d + tc_w} \dots\dots\dots(3)$$

式中:

c ——样品材料中声速,单位为米每秒(m/s);

c_w ——蒸馏水中声速,单位为米每秒(m/s);

d ——样品厚度,单位为米(m);

t ——插入样品后引起的声脉冲传播时间变化(脉冲波形前移,即时间缩短时取负值;脉冲波形后移,即时间延长时取正值),单位为秒(s)。

蒸馏水的声速 c_w 与温度的关系参见附录 C。

4.2.3 声衰减系数测量

声衰减系数测量采用双样品法。当样品足够厚,与声束轴垂直方向两界面间不出现驻波,且不考虑水中声衰减的影响时,其声衰减系数按式(4)计算:

$$\alpha = \frac{20}{d_1 - d_s} \log\left(\frac{A_s}{A_1}\right) \dots\dots\dots(4)$$

式中:

α ——被测材料的声衰减系数,单位为分贝每厘米(dB/cm);

d_1 ——较厚样品的厚度,单位为厘米(cm);

d_s ——较薄样品的厚度,单位为厘米(cm);

A_1 ——插入较厚样品时接收信号幅度,单位为伏(V);

A_s ——插入较薄样品时接收信号幅度,单位为伏(V)。

水中声衰减及其对样品声衰减系数测量的影响与修正,参见附录 D 和附录 E。

4.3 背向散射系数的测量

其原理和方法遵照 YY/T 0458—2003 中规定。

5 测量设备及样品要求

5.1 测量设备

5.1.1 游标卡尺

最小分度应不大于 0.02 mm。

5.1.2 温度计

最小分度应达到 0.1℃。

5.1.3 天平

最大称量应不小于 300 g,感量应不大于 0.01 g。

5.1.4 射频脉冲发生器或猝发音信号发生器

频率范围:1 MHz~10 MHz;

脉冲宽度:1 μs~30 μs;

重复频率:50 Hz~200 Hz;

脉冲幅度(峰-峰值):连续可调,最大值不小于 100 V;

幅度变化:±1%。

5.1.5 示波器

频带宽度:0~40 MHz;

灵敏度:优于 5 mV/div;

时间轴误差:优于±3%;

幅度轴误差:优于±3%。

5.1.6 换能器

一般采用具有平面圆形辐射面的压电陶瓷换能器,其敏感元件的直径应远大于厚度(一般不小于其 10 倍),以满足辐射面呈活塞振动的要求,工作频率在 1 MHz~10 MHz 范围,可以用多对换能器实现。

5.1.7 水槽

水槽尺寸应足够大,以保证槽壁的反射波不影响对直达脉冲的测量。

5.2 样品

横向尺寸应不小于换能器有效直径的两倍和测量频率下限时 10 个波长,厚度应不小于 10 个波长。

6 测量步骤

6.1 密度测量

6.1.1 非蒸馏水载质密度标定

6.1.1.1 首先在精密天平上称取容量瓶的质量 m_0 。

6.1.1.2 将蒸馏水装满容量瓶,插好瓶塞,拭干外壁,在天平上称取其总质量 m_1 。

6.1.1.3 将蒸馏水倒出,在 105℃ 恒温箱中烘干并冷却至室温,装满所选载质,插好瓶塞,拭干外壁,在天平上称取其总质量 m_2 。

6.1.1.4 按式(2)求出所选载质密度 ρ_0 。

6.1.2 固体或整体凝胶型材料密度测量

6.1.2.1 首先将蒸馏水或已作密度标定的液体载质装入适当容量的玻璃烧杯或有机玻璃圆筒,然后将按附录 A 所述方法制作的载样筐浸没于液面之下,并保证在天平开启时其顶部不会露出。

6.1.2.2 将载样筐上方的小钩挂在天平左盘上方的钩子上。升启天平,称取载样筐的浮质量 m_0 。

6.1.2.3 放下天平,将样品放入载样筐,升启天平,称取二者总浮质量 m_1 。

6.1.2.4 取出样品,拭干表面液体,称取其质量 m_2 。

6.1.2.5 若载质为蒸馏水,其密度由附录 B 查取;若载质不是蒸馏水,则采用经标定获得的密度值,按式(1)求出样品密度。

6.1.3 散体凝胶型材料密度测量

将传统容量瓶改为按附录 A 制作的广口容量瓶,重复 6.1.1.1 至 6.1.1.4 各项步骤,按式(2)求出样品密度。必须注意:由于广口容量瓶系有机玻璃加工而成,不可烘烤而只能用风扇吹干或自然风干。

6.1.4 液体媒质密度测量

采用传统容量瓶,重复 6.1.1.1 至 6.1.1.4 各项步骤,按式(2)求出样品密度。

6.2 声速测量

6.2.1 将样品放入装有除气蒸馏水的测试水槽中,保持温度起伏不超过 $\pm 0.1^\circ\text{C}$,在预定温度(通常取在 $23^\circ\text{C}\pm 3^\circ\text{C}$ 范围内)恒定 1 h 以上,使样品表面充分浸润且不附有气泡,用精密温度计测量水的温度。

6.2.2 开启测量仪器,预热 30 min。调节射频脉冲发生器的输出至适当幅度,观察示波器的波形显示,声轴对准,使第一次接收信号幅度为最大。

6.2.3 取用较窄的发射脉冲,使接收信号中央呈明显的极大值,用数字示波器测量其频率。

6.2.4 在发射-接收换能器之间声束路径上插入样品,调节示波器的扫描档和延迟触发,使样品插入前后接收信号波形的时间分辨率足够大。

6.2.5 选择接收脉冲信号极大值峰尖或过零点作为标记位置,用示波器的电子游标测量样品插入前后的时间差 t ,并按 4.2.2 中注释的原则确定其正负。

6.2.6 用游标卡尺测出样品厚度 d 。

6.2.7 由附录 C 查出蒸馏水在测量所在温度下的声速 c_w 。

6.2.8 将相关数值代入式(3)求出样品中声速 c 。

6.3 声衰减系数测量

6.3.1 测量准备同 6.2.1 和 6.2.2。

6.3.2 调节射频脉冲发生器的输出,使接收信号包含 15~18 个正弦波,并用数字示波器测量其频率 f 。

6.3.3 在发射-接收换能器之间的声束路径上插入较薄样品,调节射频脉冲发生器的输出,使接收信号幅度至满屏,然后换为较厚样品,读取两种情况下的接收信号幅度 A_0 和 A_1 。

6.3.4 用游标卡尺测出两个样品的厚度 d_0 和 d_1 。

6.3.5 将有关数值代入式(4),求出被测材料在该频率下的声衰减系数 α ,并在必要时就水中声衰减的影响进行修正,其方法和原则见附录 D 和附录 E。

6.3.6 在必要时,可以以 f 为自变量, α 为因变量,进行过坐标原点直线拟合,即

$$\alpha = \alpha_0 f \quad \dots\dots\dots(5)$$

以求取声衰减系数斜率 α_0 ;也可进行曲线拟合,即

$$\alpha = \alpha_0 f^n \quad \dots\dots\dots(6)$$

以求取其系数 α_0 和指数 n 。

6.4 背向散射系数测量

测量操作和数据处理方法遵照 YY/T 0458—2003 中规定。

7 声速和声衰减系数测量的不确定度

7.1 声速测量的不确定度

由式(3)可见,由于水中声速值系由公认文献查得,可视为常数,故声速测量的不确定度实际上取决于样品厚度和其插入前后时移二者的测量不确定度。再者,由误差传递关系可以证明,样品与水之声速值越相近者,其测量的不确定度越小。据此,在确保获得足够接收信号幅度的前提下,应尽可能采用较厚样品。以声速为 1 540 m/s 者为例,在 23°C 时,样品厚度为 5 cm,插入前后时移为 $-1.067 \mu\text{s}$,按照本

标准中规定的条件,声速测量的不确定度即为 $\pm 0.099\%$ 。

7.2 声衰减系数测量的不确定度

由式(4)可见,声衰减系数测量的不确定度取决于两个样品厚度和两个接收信号幅度测量的不确定度。再者,误差传递关系表明,声衰减系数越大者,其测量的不确定度越小。以声衰减系数斜率为 $0.7 \text{ dB}/(\text{cm} \cdot \text{MHz})$ 者为例,在 3.5 MHz 时,若样品厚度分别为 1.5 cm 和 3.0 cm ,接收信号幅度分别为 8 div 和 5.24 div ,按照本标准中规定的条件,则声衰减系数测量的不确定度为 $\pm 4.0\%$ 。

附录 A

(资料性附录)

载样筐和广口容量瓶的结构与制作方法

A.1 载样筐

载样筐的基本结构如图 A.1 所示。其侧壁由塑料薄片围成,也可从现成的塑料瓶上截取,并开有供样品进出的口。上口和下口以尼龙线编织成网。下口的网上放置有高密度不锈钢材料制作的重块,以确保当样品密度低于载质时不使载样筐浮出液面。上口拴以尼龙线并接有线套或金属小钩以便悬挂。

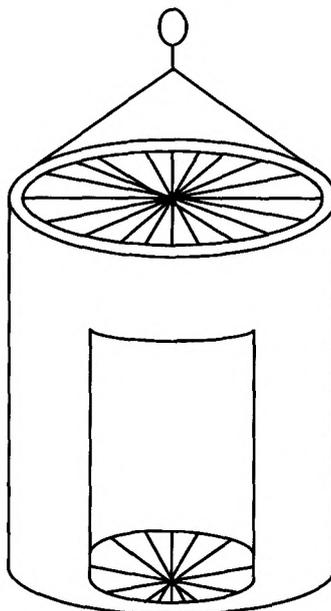


图 A.1 载样筐结构示意图

A.2 广口容量瓶

广口容量瓶是对玻璃制、带磨口传统容量瓶的扩展。其本体与盖子的基本结构如图 A.2 所示,均系有机玻璃加工而成。本体内腔为圆柱下接半球形,以防注入样品时窝存气体,容积不小于 30 cm^3 。盖、本体的侧壁及底部最薄处厚度均不小于 0.5 cm 。盖沿内径与本体外径呈滑配合。

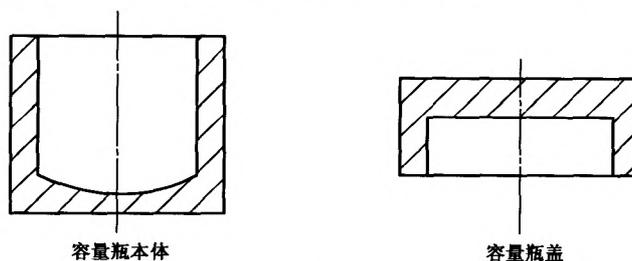


图 A.2 广口容量瓶的结构示意图

附录 B

(资料性附录)

蒸馏水的密度与温度的关系

表 B.1 0℃~100℃ 温度范围内除气蒸馏水的密度

温度 $T/^\circ\text{C}$	密度 $\rho/(\text{kg}/\text{m}^3)$	温度 $T/^\circ\text{C}$	密度 $\rho/(\text{kg}/\text{m}^3)$	温度 $T/^\circ\text{C}$	密度 $\rho/(\text{kg}/\text{m}^3)$
0	999.840	21	997.991	42	991.435
1	999.899	22	997.769	43	991.034
2	999.940	23	997.537	44	990.626
3	999.964	24	997.295	45	990.211
4	999.972	25	997.043	46	989.789
5	999.964	26	996.782	47	989.361
6	999.940	27	996.511	48	988.925
7	999.902	28	996.231	49	988.483
8	999.848	29	995.943	50	988.034
9	999.781	30	995.645	55	985.691
10	999.700	31	995.339	60	983.193
11	999.605	32	995.024	65	980.547
12	999.497	33	994.701	70	977.760
13	999.377	34	994.370	75	974.840
14	999.244	35	994.030	80	971.790
15	999.099	36	993.682	85	968.614
16	998.942	37	993.327	90	965.318
17	998.774	38	992.964	95	961.901
18	998.594	39	992.593	100	958.367
19	998.404	40	992.214		
20	998.203	41	991.828		

附 录 C

(资料性附录)

蒸馏水的声速与温度的关系

表 C.1 0℃~100℃ 温度范围内除气蒸馏水的声速

温度 $T/^\circ\text{C}$	声速 $c/(\text{m/s})$	温度 $T/^\circ\text{C}$	声速 $c/(\text{m/s})$	温度 $T/^\circ\text{C}$	声速 $c/(\text{m/s})$
0	1 402.74	21	1 485.69	42	1 532.37
1	1 407.71	22	1 488.63	43	1 533.88
2	1 412.57	23	1 491.50	44	1 535.33
3	1 417.32	24	1 494.29	45	1 536.72
4	1 421.96	25	1 497.00	46	1 538.06
5	1 426.50	26	1 499.64	47	1 539.34
6	1 430.92	27	1 502.20	48	1 540.57
7	1 435.24	28	1 504.68	49	1 541.74
8	1 439.46	29	1 507.10	50	1 542.87
9	1 443.58	30	1 509.44	55	1 547.70
10	1 447.59	31	1 511.71	60	1 551.30
11	1 451.51	32	1 513.91	65	1 553.76
12	1 455.34	33	1 516.05	70	1 555.12
13	1 459.07	34	1 518.12	75	1 555.45
14	1 462.70	35	1 520.12	80	1 554.81
15	1 466.25	36	1 522.06	85	1 553.25
16	1 469.70	37	1 523.93	90	1 550.79
17	1 473.07	38	1 525.74	95	1 547.50
18	1 476.35	39	1 527.49	100	1 543.41
19	1 479.55	40	1 529.18		
20	1 482.66	41	1 530.80		

附录 D

(资料性附录)

蒸馏水的声衰减与温度的关系

表 D.1 0℃~100℃ 温度范围内除气蒸馏水的声衰减

温度 $T/^\circ\text{C}$	声衰减(α_w/f^2)/ ($10^{-15}\text{Np}\cdot\text{s}^2/\text{m}$)	温度 $T/^\circ\text{C}$	声衰减(α_w/f^2)/ ($10^{-15}\text{Np}\cdot\text{s}^2/\text{m}$)	温度 $T/^\circ\text{C}$	声衰减(α_w/f^2)/ ($10^{-15}\text{Np}\cdot\text{s}^2/\text{m}$)
0	56.9	30	19.9	80	7.89
5	44.1	40	14.61	90	7.24
10	35.8	50	11.99	100	6.87
15	29.8	60	10.15		
20	25.3	70	8.71		

附录 E

(资料性附录)

水中声衰减对声衰减系数测量的影响及修正方法

如正文 4.2.3 条所言,式(4)并未考虑水中声衰减的影响。但作为真实媒质,水的声衰减系数并不为零,式(4)给出的实际是样品材料声衰减系数与水中声衰减系数的差值。对于其声衰减系数与水中声衰减系数可以相比的样品,如超声仿血液及医用超声耦合剂等,无疑应予以修正即追加。

修正的具体步骤是:(1)从附录 D 查得蒸馏水在测量所在温度的 α_w/f^2 值;(2)将该值乘以测量所用频率 f 的平方值,求得水中声衰减系数 α_w ;(3)则修正后的样品材料声衰减系数值按照式(E.1)计算:

$$\alpha = \frac{20}{d_1 - d_s} \log \frac{A_s}{A_1} + \alpha_w \quad \dots\dots\dots (E.1)$$

式中:

- α ——被测材料的声衰减系数,单位为分贝每厘米(dB/cm);
- d_1 ——较厚样品的厚度,单位为厘米(cm);
- d_s ——较薄样品的厚度,单位为厘米(cm);
- A_1 ——插入较厚样品时接收信号幅度,单位为伏(V);
- A_s ——插入较薄样品时接收信号幅度,单位为伏(V);
- α_w ——水的声衰减系数,单位为分贝每厘米(dB/cm)。

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
超声仿组织材料声学特性的测量方法
GB/T 15261—2008

*

中国标准出版社出版发行
北京复兴门外三里河北街16号
邮政编码:100045

网址 www.spc.net.cn

电话:68523946 68517548

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

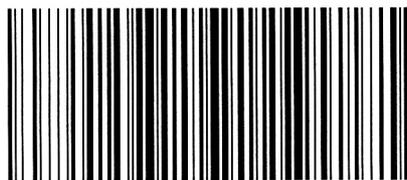
*

开本 880×1230 1/16 印张 1 字数 23 千字
2008年4月第一版 2008年4月第一次印刷

*

书号:155066·1-31080 定价 16.00 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)68533533



GB/T 15261—2008