



中华人民共和国国家标准

GB/T 31211—2014

无损检测 超声导波检测 总则

Non-destructive testing—Ultrasonic guided wave testing—General principle

2014-09-03 发布

2015-05-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布
中国国家标准化管理委员会

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由全国无损检测标准化技术委员会(SAC/TC 56)提出和归口。

本标准起草单位：中国特种设备检测研究院、华中科技大学、河北省锅炉压力容器监督检验院、北京科海恒生科技有限公司、北京康坦科技有限公司、山东瑞祥模具有限公司、上海材料研究所、山东科捷工程检测有限公司、安徽华夏高科技开发有限责任公司、河北金铎检测技术有限公司。

本标准主要起草人：沈功田、武新军、李光海、孙鹏飞、高广兴、刘德宇、景为科、安克健、王丽娜、段庆儒、赵培征、魏忠瑞、徐江、金宇飞、梁玉梅、李寰、袁海江。

无损检测 超声导波检测 总则

1 范围

本标准规定了对不同材料的结构件进行超声导波检测的一般原则。

本标准适用于磁致伸缩、压电陶瓷、电磁感应和激光等所有能够产生超声导波的绳、杆、棒、管、板等几何形状规则的材料元件及构件的超声导波检测。

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 9445 无损检测 人员资格鉴定与认证

GB/T 12604.1 无损检测 术语 超声检测

GB/T 20737 无损检测 通用术语和定义

GB/T 28704 无损检测 磁致伸缩超声导波检测方法

NB/T 47013.3 承压设备无损检测 超声检测

3 术语和定义

GB/T 12604.1、GB/T 20737 和 GB/T 28704 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

波导 waveguide

定向引导特定频率超声波的结构件,如细棒材、管材或薄板,当其壁厚与波长接近时,则纵波和横波受边界条件的影响,不能按原来的模式传播,而是按照特定的形式传播。

3.2

导波 guided wave

一种以超声或声频率在波导中平行于边界传播的弹性波,与传统超声检测的恒定波速相比,导波检测中波速会随着波的频率和构件几何尺寸变化发生显著变化。

3.3

超声导波 ultrasonic guided wave

频率高于 20 kHz 声波频率的导波。

3.4

群速度 group velocity

能量传播的速度。

3.5

相速度 phase velocity

相同相位点扰动传播的速度。

3.6

波结构 structure of wave

对同一模态导波的质点位移与应力在构件中分布的状态。

3.7

频厚积 **product of frequency and thickness**
导波频率与波导材料厚度的乘积。

4 方法概要

4.1 超声导波检测原理

根据被检构件特征,采用一定的方式在构件中激励出沿构件传播的导波,当该导波遇到缺陷时,会产生反射回波,采用接收传感器接收到该回波信号,通过分析回波信号特征和传播时间,即可实现对缺陷位置和大小的判别。图 1 是超声导波检测原理的示意图。

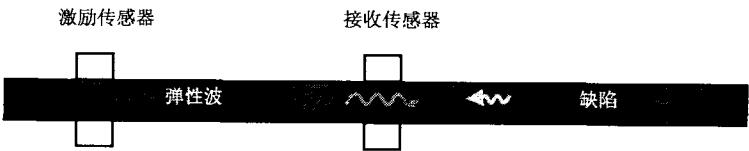


图 1 超声导波检测原理示意图

4.2 优点及特点

超声导波检测方法的优点及特点：

- 单点激励即可实现构件的长距离检测；
- 导波传播需要波导横截面上全部质点的参与,因而能够实现同时对内外部缺陷进行的检测；
- 通过选用适当的模态和频率,根据缺陷的反射信号实现检测；
- 可实现对地下构件、水下构件、带包覆层构件、多层结构构件及混凝土内构件的检测；
- 能够对人很难或根本无法接近的构件进行检测；
- 多模态、多频率导波在缺陷检测、定位、定性、定量等方面具有潜力；
- 检测成本低、速度快。

4.3 局限性

超声导波检测方法的局限性：

- 由于频散现象的存在,导波随传播距离增加,波形会发生变化,从而使导波波形复杂；
- 由于多模态存在,导波在遇到不连续等边界条件发生变化时会产生模态转换,从而使导波信号成分复杂；
- 信号解释难度大；
- 缺陷检测的灵敏度及精度较低；
- 受外界条件和环境影响大,如构件承载、外带包覆层材料特性等。

4.4 应用

4.4.1 超声导波检测方法的检测时机：

- 材料或构件制造及安装过程的检测,包括最终验证试验；
- 构件投入使用后的在役检测；
- 构件运行过程中的在线检测和监测。

4.4.2 适用检测对象：

- 管材；
- 棒材；
- 板材；
- 工字钢等型材；
- 缆索等线材。

上述举例主要涉及金属材料，此方法也适用于塑料、复合材料等其他非金属材料。

5 安全要求

本章没有列出进行检测时所有的安全要求，使用本标准的用户应在检测前建立安全准则。

检测过程中的安全要求至少包括如下要素：

- a) 在实施检测前，应对检测过程中可能伤害检测人员的各种危险源加以辨识，并对检测人员进行培训和采取必要的保护措施；
- b) 检测人员应遵守被检件现场的安全要求，根据检测地点的要求穿戴防护工作服和佩戴有关防护设备；
- c) 若有要求，使用的电子仪器应具有防爆功能；
- d) 在进行在线检测时，应制定特别的安全措施；
- e) 在封闭空间内进行操作时，应考虑氧气含量等相应因素，并采取必要的保护措施；
- f) 在高空进行操作时，应考虑人员、检测设备器材坠落等因素，并采取必要的保护措施；
- g) 在极端环境下进行操作时，如低温、高温等条件下，应考虑人员冻伤、烫伤、中暑等因素，并采取必要的保护措施。

6 人员要求

采用本标准进行检测的人员，应具备超声导波方面的基础知识，并按 GB/T 9445 的要求或有关主管部门的规定取得相应无损检测人员资格鉴定机构颁发或认可的超声检测等级资格证书，从事相应资格等级规定的检测工作。

7 检测工艺规程

7.1 通用检测工艺规程

从事超声导波检测的单位应按本标准的要求制定通用检测工艺规程，其内容至少应包括如下要素：

- a) 适用范围；
- b) 引用标准、法规；
- c) 检测人员资格；
- d) 检测仪器设备：传感器、传感器夹具、信号线、前置放大器、电缆线、仪器主机、检测数据采集和分析软件等；
- e) 被检件的信息：几何形状与尺寸、材质、设计与运行参数；
- f) 检测覆盖范围及传感器型号的确定；
- g) 被检件表面状态及传感器安装方式；
- h) 检测时机；
- i) 对比试件及距离-幅度曲线的绘制；
- j) 检测过程和数据分析解释；

- k) 检测结果的评定；
- l) 检测记录、报告和资料存档；
- m) 工艺规程的编制、审核和批准人员；
- n) 编制日期。

7.2 检测作业指导书或工艺卡

应按 9.1.3 执行。

8 检测设备和器材

8.1 检测仪器系统构成

超声导波检测仪器系统构成如图 2 所示。首先,根据被检构件计算其频散曲线,选择导波模态和激励信号频率;第二步,计算机控制信号发生单元,产生所需频率的信号源,经功率放大单元放大后驱动传感器产生所需模态的导波,并在被检构件内传播;第三步,当导波在构件内传播遇到腐蚀等缺陷时会产生反射回波,被传感器接收到;第四步,前置放大器将传感器接收到的信号放大后传输到信号主放大器,通过 A/D 转换输入计算机,计算机进行信号分析处理后,得到检测信号波形及结果。

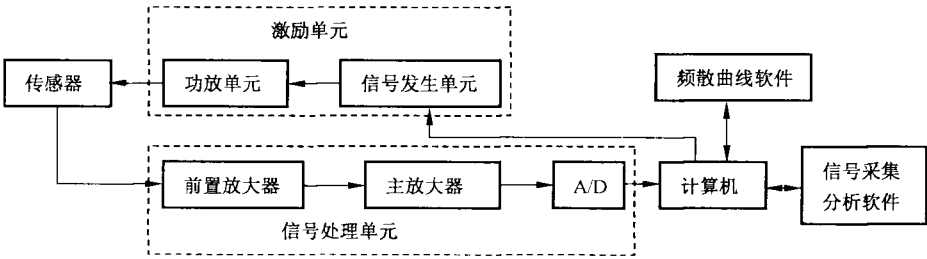


图 2 超声导波检测系统构成

8.2 频散曲线获取

8.2.1 概述

在导波检测中,首先要得到被检测对象的频散曲线,然后根据频散曲线选择合适的激励频率。只有选择正确的检测频率,才能够保证检测的正确实施。

8.2.2 计算方法

对于频散曲线的求取,一般是首先建立被测对象的 Navier 波动方程,求出波在被测构件中传播的位移和应力表达式,然后根据被检构件的位移应力等边界条件建立频散方程,该方程为超声波频率(f)与波传播速度(v)的函数,求解频散方程即得到 f 关于 v 的曲线,即频散曲线。

应根据被检构件选择合适的计算方程和下列参数,计算超声导波在构件中传播时的频散曲线:

- 材料密度;
- 材料弹性模量;
- 材料泊松比;
- 构件的内径和外径(对于管材)、直径(对于棒材和缆索)或壁厚(对于板材)。

图 3 是一典型的频散曲线示意图。对于 $L(0,1)$ 模态,在频率区域 1 是非频散的。对于 $L(0,2)$ 模态,在频率区域 2 是非频散的。对于 $T(0,1)$ 模态,在整个频率区间是非频散的。

8.2.3 检测波形模式的选择原则

应根据被检构件的工况和需要检测的缺陷类型及形状,来选择不同的检测波形模式。主要应考虑以下因素:

- a) 选择非频散频率区间;
- b) 一次检测长度;
- c) 对于横向缺陷,选择纵向模态;
- d) 对于纵向缺陷,选择扭转或弯曲模态。

8.3 超声导波传感器

8.3.1 传感器的分类

8.3.1.1 按传感器与被检构件的接触方式分类如下:

- 干耦合式传感器;
- 粘结式传感器;
- 非接触式传感器。

其中干耦合式传感器和粘结式传感器统称为接触式传感器。

8.3.1.2 按传感器产生超声波的工作原理分类如下:

- 压电式;
- 磁致伸缩式;
- 电磁超声式;
- 激光超声式。

8.3.1.3 按传感器激励与接收的导波模态分类如下:

- 纵向导波传感器;
- 扭转导波传感器;
- 弯曲导波传感器;
- 复合导波传感器。

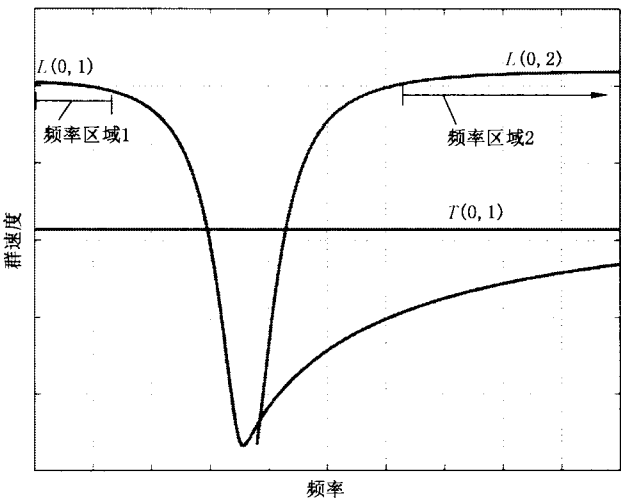


图 3 典型频散曲线示意图

8.3.2 传感器的选择

由于不同的传感器对不同的模式导波和缺陷的检测精度不同,选择传感器应考虑如下因素:

- 构件的材料特性,如是否导电或导磁等;
- 构件的几何形状,如管材、棒材、线材、型材、板材等;
- 构件的外部状况,如表面可接近状况、包覆层材料等;
- 构件的工作环境状况,如工作温度、工作介质和承载状态等;
- 检测目的和检测缺陷的类型等。

8.3.3 传感器的安装

根据传感器的不同类型,其安装方式有所区别,主要应考虑到以下因素:

- 对于接触式传感器,被检构件表面应清理干净、平整,以提高耦合效率;
- 对于压电式传感器,其安装可参考常规超声检测中对传感器的要求;
- 对于非接触式传感器,应尽可能靠近被测构件,以减小外界电磁、振动等干扰。

8.4 激励单元

激励单元的功能主要是产生相应的激励信号,进而驱动激励传感器在构件中激发出相应模式的导波。应根据构件状况、传感器类型、频散曲线计算结果及检测的缺陷类型选择合适的激励单元。

8.5 信号处理单元

信号处理单元是将接收传感器接收到的信号进行放大、滤波等调理后,通过 A/D 转换将信号输入到计算机。信号处理单元主要包括前置放大器,主放大器和 A/D 转换器。

前置放大器将来自传感器的信号转换成低阻抗信号,便于信号传输。

主放大器是将来自前置放大器的信号再次放大,同时采用带通滤波器去除干扰噪声。

A/D 转换器是将模拟信号转换成数字信号,输入到计算机。A/D 转换器的采样频率应至少大于激励频率的 10 倍。

信号处理单元应与传感器、激励单元、采用的导波模式和检测目的相匹配。

8.6 信号采集与分析软件

超声导波信号采集与分析软件应至少包含以下功能:

- 频散曲线的计算;
- 信号采集;
- 信号存储;
- 信号分析;
- 距离-幅度曲线的绘制;
- 信号回放;
- 信号定位。

8.7 试样

8.7.1 校准试样

校准试样用于对检测设备进行灵敏度和各种功能的测试。校准试样应选用压力管道常用的无缝钢管制作,应具有 3%、6% 和 9% 截面损失率的横向环形切槽各一个,切槽的宽度在 0.5 mm~2 mm 的范

围内,深度方向的公差不大于±0.2 mm。校准试样的长度、厚度和切槽位置的要求见表 1。

表 1 校准试样的要求

序号	外径 D mm	厚度 T mm	长度 L m	横向环行切槽的位置(距试样左端) m		
				3%	6%	9%
1	$50 > D \geq 10$	≥ 2	≥ 18	7	12	17
2	$150 > D \geq 50$	≥ 4	≥ 24	9	16	23
3	$1\ 000 \geq D \geq 150$	≥ 10	≥ 34	12	22	32

8.7.2 对比试样

对比试样用于对被检构件上缺陷截面损失率当量的评定。

对比试样应采用与被检测构件材料性能及几何形状相同或相近的材料制作,试样的长度至少为仪器可探测 9%截面损失率人工缺陷距离的 1.2 倍,且不小于 12 m。

除合同有关各方另有约定之外,应按如下要求加工对比试样:

- a) 对于管材构件,在对比试样上至少 3 个部位外表面分别加工出多个直径相同、深度为壁厚 40%的平底孔;每处平底孔的数量应分别按截面损失率的 3%、6%和 9%进行计算,平底孔在环向间距应均匀分布,在纵向间距的距离应大于 1 m,深度的公差不大于±0.2 mm;试样两端的平底孔应至少距试样端部 1 m。
- b) 对于棒材构件,在对比试样上至少 3 个部位外表面分别加工出多个直径为 5 mm~10 mm、深度为 2 mm~5 mm 的平底孔;每处平底孔的数量应分别按截面损失率的 3%、6%和 9%进行计算,平底孔在环向间距应均匀分布,在纵向间距的距离应大于 1 m,深度的公差不大于±0.2 mm;试样两端的平底孔应至少距试样端部 1 m。
- c) 对于线状捆扎的钢索或钢丝绳等构件,在对比试样上 3 个部位分别加工出线状材料的断口;每处断丝的数量应分别按截面损失率的 3%、6%和 9%进行计算,同一处断丝应紧密相邻;试样两端的断口应至少距试样端部 1 m,不同部位断口的间距应大于 1 m,在环向应均匀分布。

8.8 检测设备的维护和校准

应制定书面规程,对检测设备进行周期性维护和检查,以保证仪器功能。

在现场进行检测之前,应在实验室内选择相应规格的校准试件对检测仪器进行校准,若检测结果与已知试件缺陷分布相符,则表明仪器正常。

在现场进行检测时,如怀疑设备的检测结果,应对设备进行功能检查和调整,并对每次维护检查的结果进行记录。

9 检测程序

9.1 检测前的准备

9.1.1 资料审查

资料审查应包括下列内容:

- a) 被检构件制造文件资料:产品合格证、质量证明文件、竣工图等,重点了解其类型、结构特征和

材质特性等；

- b) 被检构件运行记录资料:运行参数、工作环境、载荷变化情况以及运行中出现的异常情况；
- c) 被检构件检验资料:历次检验与检测报告；
- d) 被检构件其他资料:维护、保养、修理和改造的文件资料等。

9.1.2 现场勘察

在勘察现场时,应找出所有可能影响检测的障碍和可能出现的噪声源,如内部或外部附件的移动、电磁干扰、机械振动和流体流动等;应设法尽可能排除这些噪声源。

9.1.3 检测作业指导书或工艺卡的编制

对于每个被检构件,根据使用的仪器和现场实际情况,按照通用检测工艺规程编制被检构件超声导波检测作业指导书或工艺卡;确定超声导波传感器型号、安装的部位和表面条件,画出被检构件结构示意图,确定检测的次序等。

9.1.4 检测条件确定

根据被检件材料特性、结构特征、几何尺寸的大小、被检件对比试件的距离-幅度曲线以及检测的目的,确定传感器安装的部位和表面条件要求。

9.2 距离-幅度曲线的绘制

应采用 8.7.2 规定的对比试样在实验室内经过实测绘制距离-幅度曲线。该曲线族由记录线、评定线和判废线组成;记录线由 3%截面损失率的人工缺陷反射波幅直接绘制而成,评定线由 6%截面损失率的人工缺陷反射波幅直接绘制而成,判废线由 9%截面损失率的人工缺陷反射波幅直接绘制而成。记录线以下(包括记录线)为 I 区,记录线与评定线(包括评定线)之间为 II 区,评定线与判废线之间为 III 区,判废线及其以上区域为 IV 区,如图 4 所示。

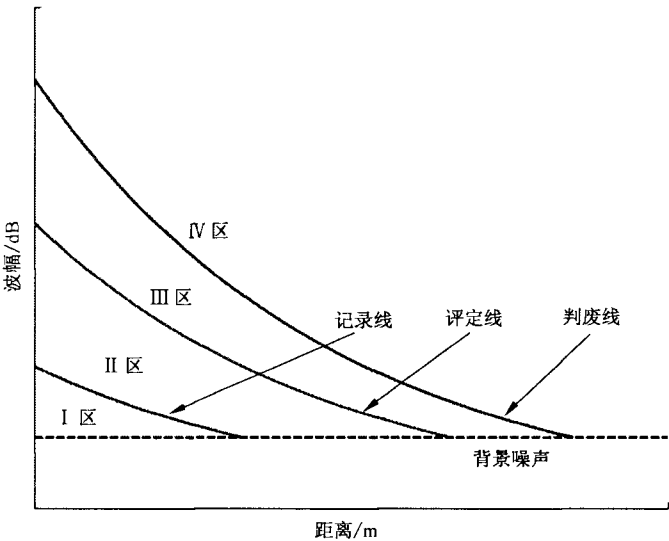


图 4 距离-幅度曲线示意图

9.3 传感器的安装

传感器的安装应满足如下要求：

- a) 按照确定的检测方案在被检件上确定传感器安装的具体位置,传感器的安装部位应尽可能远离被检件连接、支吊架、支座等结构复杂部位;
- b) 对传感器的安装部位进行表面处理,使其满足传感器的安装要求;
- c) 将传感器压在被检件的表面,使传感器与被检件表面达到良好的声耦合状态;
- d) 采用机械夹具、磁夹具或其他方式将传感器牢固固定在被检件上,并保持传感器与被检件和固定装置的绝缘;
- e) 对于高温构件的超声导波检测,可以采用高温传感器或非接触的电磁超声与磁致伸缩超声导波传感器。

9.4 检测

9.4.1 检测仪器调试

检测仪器的调试包括下列步骤:

- a) 将传感器、前置放大器与仪器主机连接;
- b) 打开仪器开关通电,并按仪器制造商规定的时间预热,使仪器达到稳定工作状态;
- c) 按照被检件的具体情况和频散曲线计算确定的检测频率等设定仪器的工作参数;
- d) 对被检构件发射超声导波信号,观察构件的端头、接头、焊缝、外部支撑等部位产生的超声导波反射信号,测量被检件超声导波传播的波速;
- e) 进一步调节仪器工作参数,使仪器处于良好的工作状态。

9.4.2 检测信号的解释

检测信号的解释通常需要参考相关实验建立的数据库,至少应包括如下内容:

- a) 采用调节好的仪器,对被检构件进行检测,观察和记录出现的超声导波反射回波信号;
- b) 对于出现的超声导波反射回波信号,首先确定这些信号是否是由构件的端头、接头、焊缝、外部支撑等部位产生的,如果确定即可排除;
- c) 对于被检件上无明显几何形状变化部位的超声导波回波信号,可以确定为材料损失缺陷引起的超声导波回波信号,应首先确定这一回波信号的反射部位,并加以标识,然后进行检测结果评价和处理。

10 检测结果的评价和处理

10.1 检测结果的分级

将超声导波检测发现的缺陷信号与距离-幅度曲线进行比对分级,反射波幅在Ⅰ区的为Ⅱ级,在Ⅱ区的为Ⅱ级,在Ⅲ区的为Ⅲ级,在Ⅳ区的为Ⅳ级。

10.2 不可接受信号的确定与处理

10.2.1 概述

超声导波检测给出的是缺陷当量,由于腐蚀、机械损伤等金属损失缺陷的大小和形状与人工缺陷不同,且被检构件的实际几何尺寸与对比试样间存在差异,导致检测结果显示的缺陷当量值与其真实缺陷会存在一定的差异,因此不可接受信号的水平的确定应根据被检件的具体情况由用户和检测人员协商确定。

10.2.2 基于距离-幅度曲线分级的确定

用户参与确定的,以用户的要求为准确定不可接受信号的等级;用户不参与确定的,由检验员确定不可接受信号的等级,一般检测结果判为Ⅲ级和Ⅳ级的信号,即为不可接受的信号。

10.2.3 基于被检件上真实缺陷的确定

可以首先对检测发现的前三个最大的缺陷信号部位,按 10.2.4 规定的方法进行复检,根据复检结果来逐步确定不可接受缺陷信号的水平。

10.2.4 不可接受信号的处理

对于确定的不可接受信号,需要采用以下方法进行复检:

- a) 首先,采用目视和小锤敲击的方法进行检测,用以分辨是位于外表面或内部的缺陷;
- b) 对于外表面缺陷可采用深度尺直接测量缺陷的深度;
- c) 对于管状或板状的内表面缺陷,应采用双晶直探头进行超声检测测量,以更精确地测量缺陷的深度,超声检测方法按 NB/T 47013.3 执行;
- d) 对于其他形状的构件可以采用射线、超声、漏磁等各种无损检测方法进行复检;
- e) 必要时,经用户同意,也可采用解剖抽查的方式进行验证。

11 检测记录和报告

11.1 检测记录

应按检测工艺规程的要求记录检测数据和有关信息,除此之外,还应至少包括检测报告中的内容;所有记录的保存应符合有关法规、标准和(或)合同的要求。

11.2 检测报告

检测报告的内容应当根据检测要求制订,应至少包括以下内容:

- a) 委托单位的信息;
 - b) 检测单位的信息;
 - c) 被检构件的信息,包括:设备名称、编号、设计与工作参数、材料和几何尺寸等;
 - d) 执行的标准、规范和相关规定文件;
 - e) 检测仪器型号、检测方式、传感器型号及固定方式;
 - f) 检测仪器工作参数设置;
 - g) 距离-幅度曲线;
 - h) 传感器安装部位示意图;
 - i) 检测软件名及数据文件名;
 - j) 检测结果分析及分级结果及数据图;
 - k) 检测结论;
 - l) 检测人员、报告编写人和审核人签字及资格证书编号;
 - m) 检测日期。
-

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
无损检测 超声导波检测 总则
GB/T 31211—2014

*

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)64275323 发行中心:(010)51780235
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 20 千字
2014年9月第一版 2014年9月第一次印刷

*

书号: 155066 • 1-49995 定价 18.00 元



GB/T 31211—2014

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