



中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 40—2011

X 射线探伤机

X-ray Flaw Detectors

2011-07-04 发布

2012-02-04 实施



国家质量监督检验检疫总局 发布

X 射线探伤机

检定规程

Verification Regulation of

X-ray Flaw Detectors

JJG 40—2011

代替 JJG 40—2001

本规程经国家质量监督检验检疫总局于 2011 年 7 月 4 日批准，并自 2012 年 2 月 4 日起施行。

归口单位：全国电离辐射计量技术委员会

起草单位：辽宁省计量科学研究院

中国计量科学研究院

丹东奥龙射线仪器有限公司

大连市计量测试所

山东省计量科学研究院

本规程委托全国电离辐射计量技术委员会负责解释

本规程起草人：

韩志成（辽宁省计量科学研究院）

刘 剑（辽宁省计量科学研究院）

张 辉（中国计量科学研究院）

程 起（丹东奥龙射线仪器有限公司）

林 雷（大连市计量测试所）

任宏伟（山东省计量科学研究院）

目 录

1 范围	(1)
2 引用文献	(1)
3 术语和计量单位	(1)
3.1 术语	(1)
3.2 计量单位	(2)
4 概述	(2)
5 计量性能要求	(2)
5.1 空气比释动能率	(3)
5.2 重复性	(3)
5.3 穿透力	(3)
5.4 辐射角	(3)
5.5 计时器误差	(3)
5.6 透照灵敏度	(3)
5.7 图像分辨力	(3)
5.8 漏射线空气比释动能率	(3)
6 通用技术要求	(4)
7 计量器具控制	(4)
7.1 检定条件	(4)
7.2 检定项目	(5)
7.3 检定方法	(5)
7.4 检定结果处理	(8)
7.5 检定周期	(8)
附录 A 穿透力的相应规定值	(9)
附录 B 线型像质计的有关数据	(11)
附录 C 检定证书(内页)格式	(12)
附录 D 检定结果通知书(内页)格式	(13)

X 射线探伤机检定规程

1 范围

本规程适用于额定管电压 ≤ 450 kV 的 X 射线探伤机的首次检定、后续检定和使用中检验。

2 引用文献

本规程引用下列文献：

JJF 1035—2006 电离辐射计量术语及定义

GB/T 19348.1—2003 无损检测 工业射线照相胶片 第 1 部分：工业射线胶片系统的分类

GB/T 19802—2005/ISO 5580：1985 无损检测 工业射线照相观片灯最低要求

JB/T 7412—1994 固定式（移动式）工业 X 射线探伤机

JB/T 7413—1994 便携式工业 X 射线探伤机

JB/T 4730.2—2005 承压设备无损检测 第 2 部分：射线检测

JB/T 5453—2004 工业 X 射线图像增强器电视系统 技术条件

JB/T 7902—2006 无损检测 射线照相检测用线型像质计

使用本规程时，应注意使用上述引用文献的现行有效版本。

3 术语和计量单位

3.1 术语

3.1.1 比释动能 K kerma K

dE_{tr} 除以 dm 而得的商，即

$$K = dE_{tr}/dm$$

式中： dE_{tr} ——不带电粒子在质量为 dm 的某一物质内释放出来的全部带电粒子的初始动能的总和。

3.1.2 比释动能率 \dot{K} kerma rate \dot{K}

dK 除以 dt 而得的商，即

$$\dot{K} = dK/dt$$

式中： dK —— dt 时间间隔内比释动能的增量。

3.1.3 穿透力 transmissive ability

射线贯穿某种物质厚度的能力。

3.1.4 辐射角 radiation angle

有用射线束在任何通过焦点的平面上形成的扩散角。

3.1.5 透照灵敏度 transmission sensitivity

用射线透照法能够检测到被测物沿射线方向的最小缺陷线度与透照厚度的比值，以

百分比表示。

3.1.6 图像分辨力 image resolution

监视器屏幕中心区域可识别的图像之间的最小距离，用线对数每厘米 (Lp/cm) 来表示。

3.1.7 像质计 image quality indicator

根据其显示在射线底片上的图像情况来判断透照灵敏度的设备。

3.1.8 增感屏 intensifying screen

一种可用来缩短曝光时间和改善照相效果的贴附在 X 射线胶片上的增感材料薄片或薄膜。

3.1.9 黑度 black density

对射线底片来说，以常用对数表示的入射光通量与透射光通量的比值，即为底片的黑度值。

3.1.10 试块 test block

用来检测射线穿透力的由特定材料制作的物体，该物体具有已知的标准厚度。

3.2 计量单位

空气比释动能率的计量单位是戈瑞每分钟，符号：Gy/min。

剂量当量率的计量单位是希沃特每小时，符号：Sv/h。

4 概述

X 射线探伤机用于工业产品部件的无损检测。它是通过高压电击阳极靶产生 X 射线，透照被检测部件，并在胶片或其他成像装置上得到部件的透照图像，判断被检测部件有无缺陷以及缺陷大小的一种装置。

X 射线探伤机按成像方式可分为胶片成像类（以下简称胶片类）X 射线探伤机和带有图像增强器的 X 射线电视系统。胶片类 X 射线探伤机按使用方式可分为固定式（移动式）、携带式定向和周向 X 射线探伤机；按高压发生方式可分为连续式（工频、高频、变频）和脉冲式 X 射线探伤机。

5 计量性能要求

X 射线探伤机的计量性能要求项目汇总见表 1。

表 1 计量性能要求项目汇总

X 射线探伤机分类		项目序号	项目名称
胶片类	连续式	定向、周向	1 空气比释动能率
		定向、周向	2 重复性
		定向、周向	3 穿透力
		定向、周向	4 辐射角
		定向、周向	5 计时器误差
		定向、周向	6 透照灵敏度
		定向	7 漏射线空气比释动能率

表 1 (续)

X 射线探伤机分类		项目序号	项目名称
胶片类	脉冲式	1	空气比释动能率
		2	重复性
		3	计时器误差
X 射线电视系统		1	透照灵敏度
		2	图像分辨力
		3	漏射线空气比释动能率

5.1 空气比释动能率

在胶片类连续式 X 射线探伤机输出射线束轴上距焦点 600 mm 处的空气比释动能率应不低于标称值的 80%；脉冲式 X 射线探伤机输出射线束轴上距焦点 500 mm 处的空气比释动能率应不低于标称值的 90%。标称值未知的，以首次检定值为准。焦点不能确定时，以窗口中垂线和射线管轴线交点为准。

5.2 重复性

胶片类 X 射线探伤机输出射线束空气比释动能率的单次测量相对标准偏差 $\leq 3\%$ 。

5.3 穿透力

胶片类连续式 X 射线探伤机的穿透力应不低于附录 A 中表 A.1~表 A.3 的相应规定值。

5.4 辐射角

胶片类连续式 X 射线探伤机辐射角不得小于其标称值，其偏差应在标称值 $+5^\circ$ 以内。

5.5 计时器误差

胶片类 X 射线探伤机曝光计时器的计时误差应不超过 $\pm 2\%$ 。

5.6 透照灵敏度

胶片类连续式 X 射线探伤机的透照灵敏度应不超过 1.8%；X 射线电视系统的透照灵敏度应不超过 2.5%。

5.7 图像分辨力

X 射线电视系统的图像分辨力应不少于 14 Lp/cm。

5.8 漏射线空气比释动能率

胶片类连续式 X 射线探伤机在额定工作条件下，距 X 射线管焦点 1 m 处的漏射线空气比释动能率应满足表 2 中的规定。周向 X 射线探伤机和脉冲式 X 射线探伤机不作本项检定。X 射线电视系统在最大工作管电压、管电流下工作时，防护设施外侧 50 mm 空间的任何位置上漏射线空气比释动能率不超过 1.7×10^{-5} Gy/h。

表 2 胶片类连续式 X 射线探伤机漏射线空气比释动能率的规定值

额定管电压/kV	漏射线空气比释动能率/mGy·h ⁻¹
≤ 200	2.2
> 200	4.4

6 通用技术要求

- 6.1 X射线探伤机必须有生产厂、型号、编号等清晰的标志。
6.2 X射线探伤机的电气机械及防护性能应分别符合相应的国家标准中规定的要求。

7 计量器具控制

7.1 检定条件

7.1.1 检定用仪器及配套设备

7.1.1.1 剂量计

工作级电离室剂量计，其测量范围为(0~10) Gy/min，校准因子扩展不确定度应不大于5.0%。

7.1.1.2 黑度计

黑度计可测的最大黑度值 D 应不小于4.0，测量值的误差应不超过 ± 0.1 。

7.1.1.3 线型像质计

线型像质计应符合JB/T 7902—2006的要求。

7.1.1.4 标准试块

试块材质为A3钢，规格为200 mm×100 mm，表面粗糙度 $R_a \leq 6.3$ ，试块厚度应满足附录A中表A.1~表A.3的要求，其厚度偏差应不超过 ± 0.07 mm。

7.1.1.5 观片灯

观片灯的主要性能应符合GB/T 19802—2005的有关规定。

7.1.1.6 图像分辨力测试卡

图像分辨力测试卡的主要性能应符合JB/T 5453—2004的有关规定。

7.1.1.7 X光胶片

X光胶片使用GB/T 19348.1—2003规定的T3类胶片。胶片的本底灰雾度应不大于0.3。

7.1.1.8 增感屏

增感屏厚度的选择应符合表3的规定，增感屏的材质为铅。

表3 不同管电压下增感屏厚度的选择

额定管电压/kV	前屏厚度/mm	后屏厚度/mm
100	≤ 0.03	≤ 0.03
150	≤ 0.10	≤ 0.15
160~250	0.02~0.15	0.02~0.15
260~450	0.02~0.20	0.02~0.20

7.1.1.9 辐射防护用X辐射剂量率仪

剂量率仪在有效量程内的相对固有误差应不超过 $\pm 20\%$ 。

7.1.1.10 其他计量器具

其他计量器具见表4。

表 4 其他计量器具

名称	测量范围	最小分度值
温度计	0 °C~50 °C	0.5 °C
气压表	86 kPa~106 kPa	0.1 kPa
秒表	—	0.01 s
钢卷尺	0 mm~1 000 mm	1 mm

7.1.2 环境条件

检定时环境条件应满足电离室剂量计的工作环境条件，温度为 10 °C~35 °C，相对湿度 30%~75%。

7.2 检定项目

检定项目见表 5。

表 5 检定项目

检定项目	首次检定	后续检定	使用中检查
通用技术要求 ^{1,2,3}	+	—	—
空气比释动能率 ^{1,2}	+	+	+
重复性 ^{1,2}	+	+	+
穿透力 ¹	+	+	+
辐射角 ¹	+	+	—
计时器误差 ^{1,2}	+	—	—
透照灵敏度 ^{1,3}	+	+	+
图像分辨力 ³	+	+	+
漏射线空气比释动能率 ^{1,3}	+	—	—

注：“+”为应检项目，“—”为可不检项目。“1”为胶片类连续式 X 射线探伤机检定项目；“2”为胶片类脉冲式 X 射线探伤机检定项目；“3”为 X 射线电视系统检定项目。

7.3 检定方法

7.3.1 通用技术要求

目视检查及相关技术资料、证明文件查阅。被检设备的铭牌标志、电气机械及防护性能应分别满足 6.1、6.2 的要求。

7.3.2 空气比释动能率

7.3.2.1 将剂量计电离室的有效测量点置于 X 射线探伤机主射束轴上。对连续式定向 X 射线探伤机，电离室距焦点 600 mm；对连续式周向 X 射线探伤机，电离室距 X 射线管轴线 600 mm（对于锥靶机，电离室沿标线中心上移 170 mm）；对脉冲式 X 射线探伤机，电离室距焦点 500 mm。

7.3.2.2 将连续式 X 射线探伤机管电压调至额定值的 80%或工作电压，管电流调至额

定值；将脉冲式 X 射线探伤机的自主频率调至 1 000 次脉冲或 1.5 min。

7.3.2.3 在上述条件下，连续测量 5 次取其平均值 M ，按式 (1) 计算出相应的空气比释动能率 \dot{K} ：

$$\dot{K} = M \cdot N_k \cdot K_{TP} \quad (1)$$

式中： M ——剂量计读数平均值，Gy/min；

N_k ——剂量计的校准因子；

K_{TP} ——空气密度修正因子，计算公式如下：

$$K_{TP} = \frac{273.15 + T}{293.15} \cdot \frac{101.3}{p}$$

式中： T ——检定时的温度，℃；

p ——检定时的气压，kPa。

7.3.3 重复性

测量步骤同 7.3.2，每次开机 1 次测量 1 次，得到 1 个数据，连续测量不少于 6 次，如式 (2) 用单次测量相对标准偏差 V 表示其重复性：

$$V = \frac{1}{M} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (M_i - \bar{M})^2}{n-1}} \times 100\% \quad (2)$$

式中： M_i ——第 i 次开机的测量值；

\bar{M} —— n 次开机测量值的平均值。

7.3.4 穿透力

7.3.4.1 在距胶片类连续式 X 射线探伤机焦点 600 mm 处，放置 X 光胶片，使胶片长边方向与 X 射线管轴线方向平行。对定向 X 射线探伤机，胶片位于输出射线束轴中心拍片；对周向 X 射线探伤机，则沿轴向辐射场中心线，绕管轴线每 90° 拍一张胶片，穿透力取其中最低值。

7.3.4.2 胶片前方紧贴放置符合附录 A 中要求的相应的标准试块，增感屏选择应符合表 3 的要求，试块四周用不低于表 6 的铅当量遮挡。

表 6 不同额定管电压下铅当量的选择

额定管电压/kV	铅当量/mmPb
100	1.4
150	2.1
200	3.6
250	6.3
300	9.3
350	11.8
400	14.0

7.3.4.3 采用额定管电压、额定管电流进行曝光。固定式（移动式）X 射线探伤机曝光 10 min，携带式 X 射线探伤机曝光 5 min。

7.3.4.4 将曝光后的胶片进行暗房处理。显影液、定影液的配制及冲洗时间和温度等，按 X 光胶片规定的要求进行。

7.3.4.5 用黑度计在干燥后的胶片的中心区域至少测量 5 点，其算术平均值应不小于 1.5。

7.3.5 辐射角

7.3.5.1 定向 X 射线探伤机辐射角测量步骤同 7.3.2，测量方法如图 1 所示，在距焦点 600 mm 处的轴向（平行于 X 射线管轴线）和径向（垂直于 X 射线管轴线）方向上分别测出空气比释动能率的最大值 K （图 1 中 D_0 点）和 50% K 点（图 1 中 D_1 、 D_2 、 D_3 、 D_4 点），再根据式（3）和式（4）分别计算轴向和径向辐射角，取其值较大者：

$$\alpha_{\text{轴}} = \arctan\left(\frac{D_0 D_1}{600}\right) + \arctan\left(\frac{D_0 D_2}{600}\right) \quad (3)$$

$$\alpha_{\text{径}} = \arctan\left(\frac{D_0 D_3}{600}\right) + \arctan\left(\frac{D_0 D_4}{600}\right) \quad (4)$$

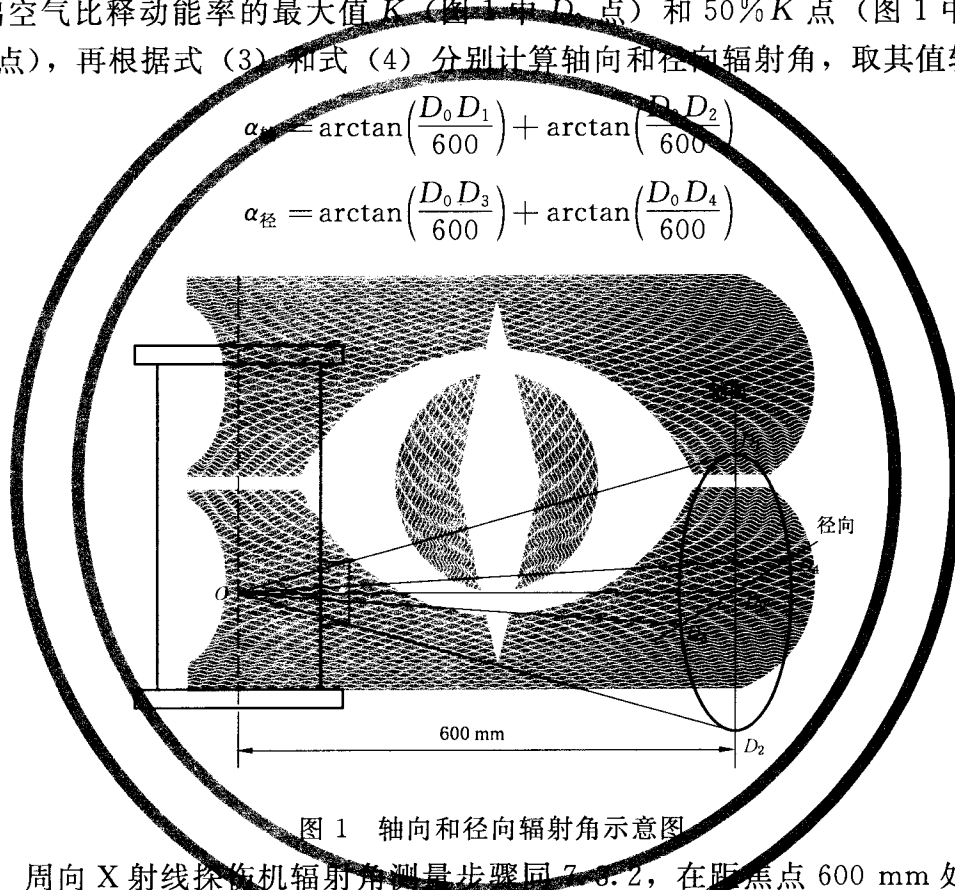


图 1 轴向和径向辐射角示意图

7.3.5.2 周向 X 射线探伤机辐射角测量步骤同 7.3.2，在距焦点 600 mm 处的轴向方向上分别测出空气比释动能率的最大值 K 和 50% K 点的位置，再根据式（3）计算轴向辐射角。

7.3.6 计时器误差

将胶片类连续式 X 射线探伤机的曝光计时器设定为 3 min，与探伤机计时器同步启动秒表计时，曝光计时器停止的同时停止秒表。重复测量 3 次，计算其算术平均值与设定值之差。对于以计时器控制曝光的脉冲式 X 射线探伤机可选择常用的两个时间挡进行测量。

7.3.7 透照灵敏度

7.3.7.1 对胶片类连续式 X 射线探伤机的测量步骤同 7.3.4，选择合适的钢质线型像质计（见附录 B）贴附在试块朝向 X 射线管的一侧，且细线朝外。按要求曝光并处理胶片。在观片灯下观察胶片，找出像质计影像中可分辨的最细线，按式（5）计算透照灵

敏度：

$$S = \frac{d}{\delta} \times 100\% \quad (5)$$

式中：S——以百分数表示的透照灵敏度，%；

δ ——试块厚度，mm；

d ——胶片上可分辨最细线的直径，mm。

7.3.7.2 对 X 射线电视系统按表 7 选择像质计和标准试块，并将像质计贴附在试块朝向 X 射线管的一侧，且成像在图像增强器输入屏的中心位置。调整 X 射线管电压、管电流和监视器亮度、对比度，读出可识别的像质计最细线。按式（5）计算透照灵敏度。

表 7 X 射线电视系统中像质计和标准试块的选择

最大工作电压/kV	<150	150~300	300~400
像质计	10-FE	6-FE	1-FE
标准试块厚度/mm	10	20	42
焦距/mm	300	300	400
注：焦距是指 X 射线管焦点至标准试块厚度的中心平面的距离。			

7.3.8 图像分辨力

将图像分辨力测试卡栅条以与行扫描方向成 45°角贴附在图像增强器输入屏的中心位置。调整 X 射线管电压、管电流和监视器亮度、对比度，使监视器屏幕上的图像分辨力最高，读出能识别图像分辨力测试卡的最大线对数。

7.3.9 漏射线空气比释动能率

7.3.9.1 对定向 X 射线探伤机取额定工作条件，用铅当量不低于表 6 规定的屏蔽罩遮挡 X 射线探伤机窗口，用辐射防护用 X 辐射剂量率仪在距焦点 1 m 处测量（输出射线束方向除外），测量位置均匀分布且不少于 6 个点，取其最大值。

7.3.9.2 对定向 X 射线电视系统取最大工作管电压、管电流，用辐射防护用 X 辐射剂量率仪在距防护设施表面 50 mm 处测量，测量位置均匀分布且不少于 5 个点，取其最大值。

7.4 检定结果处理

按本规程的规定和要求，检定合格的 X 射线探伤机发给检定证书，检定不合格的发给检定结果通知书并指明不合格项目。

检定证书内页格式见附录 C。检定结果通知书内页格式见附录 D。

7.5 检定周期

X 射线探伤机的检定周期一般为 1 年。

附录 A

穿透力的相应规定值

表 A.1 固定式（移动式）X 射线探伤机

X 射线管种类	额定管电压/kV	额定管电流/mA	对 A3 钢穿透力/mm
高频	100	10	≥ 10
高频	150	20	≥ 26
工频	160	30	≥ 28
高频	160	10	≥ 20
高频	200	10	≥ 40
工频	200	20	≥ 48
工频	225	10	≥ 45
高频	225	10	≥ 50
高频	250	10	≥ 55
工频	250	15	≥ 55
高频	270	10	≥ 60
工频	270	10	≥ 71
高频	300	10	≥ 75
高频	320	10	≥ 80
工频	350	10	≥ 80
高频	350	10	≥ 85
工频	400	10	≥ 90
高频	400	10	≥ 97
工频	450	10	≥ 95
高频	450	10	≥ 110

表 A.2 便携式定向 X 射线探伤机

X 射线管种类	额定管电压/kV	额定管电流/mA	对 A3 钢穿透力/mm
变频	100	5	≥ 7
工频	150	5	≥ 19
变频	160	5	≥ 20
高频	160	5	≥ 22
变频、工频	200	5	≥ 30

表 A.2 (续)

X 射线管种类	额定管电压/kV	额定管电流/mA	对 A3 钢穿透力/mm
高频	220	5	≥ 38
工频	250	5	≥ 39
变频	250	5	≥ 40
高频	260	5	≥ 49
变频	270	5	≥ 44
变频、工频	300	5	≥ 50
高频	300	5	≥ 55
变频	320	5	≥ 55
变频	350	5	≥ 60

表 A.3 便携式周向 X 射线探伤机

X 射线管种类	额定管电压/kV	额定管电流/mA	对 A3 钢穿透力/mm
变频	160	5	$\geq 16/12$ 平靶管/锥靶管
变频	200	5	$\geq 27/24$ 平靶管/锥靶管
变频	250	5	$\geq 37/34$ 平靶管/锥靶管
变频	300	5	$\geq 47/44$ 平靶管/锥靶管
变频	320	5	$\geq 50/47$ 平靶管/锥靶管
变频	350	5	$\geq 55/50$ 平靶管/锥靶管

附录 B

线型像质计的有关数据

B.1 像质计材料为钢，代号 FE。

B.2 像质计的组别标记、线号和线直径如下：

组别 标记	线号	线直径 /mm	组别 标记	线号	线直径 /mm	组别 标记	线号	线直径 /mm
1 号	1	3.20	6 号	6	1.00	10 号	10	0.40
	2	2.50		7	0.80		11	0.32
	3	2.00		8	0.63		12	0.25
	4	1.60		9	0.50		13	0.20
	5	1.25		10	0.40		14	0.16
	6	1.00		11	0.32		15	0.125
	7	0.80		12	0.25		16	0.10

注：线型像质计的完整技术数据见 JB/T 7902—2006 《无损检测 射线照相检测用线型像质计》。

附录 C

检定证书（内页）格式

C.1 检定条件

简要说明检定时使用的 X 射线探伤机检定装置、X 射线管和环境条件。

C.2 检定结果

1. 通用技术要求
2. 空气比释动能率
3. 重复性
4. 穿透力
5. 辐射角
6. 计时器误差
7. 透照灵敏度
8. 图像分辨力
9. 漏射线空气比释动能率

C.3 检定结果的不确定度和必要说明

附录 D

检定结果通知书（内页）格式

D.1 检定条件

简要说明检定时使用的 X 射线探伤机检定装置、X 射线管和环境条件。

D.2 检定结果

1. 通用技术要求
2. 空气比释动能率
3. 重复性
4. 穿透力
5. 辐射角
6. 计时器误差
7. 透照灵敏度
8. 图像分辨力
9. 漏射线空气比释动能率

D.3 检定结果不合格项的说明

中 华 人 民 共 和 国
国 家 计 量 检 定 规 程
X 射 线 探 伤 机

JJG 40—2011

国家质量监督检验检疫总局发布

*

中国质检出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100013)
北京市西城区复外三里河北街16号(100045)

网址: www.spc.net.cn

电话:(010)64275360 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 1.25 字数 27 千字

2011年8月第一版 2011年8月第一次印刷

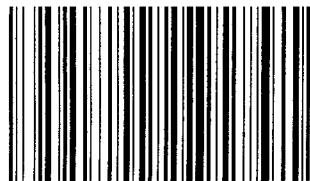
*

书号: 155026·J-2615 定价 21.00 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



JJG 40-2011