

CNIC-01076

IAE-0154

CN9702



CN9700159

中国核科技报告

CHINA NUCLEAR SCIENCE AND TECHNOLOGY REPORT

核设施环境 γ 辐射连续监测系统研究

CONTINUOUS MONITORING SYSTEM
FOR ENVIRONMENTAL γ RADIATION
NEAR NUCLEAR FACILITY

(In Chinese)



中国核情报中心
原子能出版社

China Nuclear Information Centre
Atomic Energy Press



金花：中国原子能科学研究院副研究员，1979年毕业于北京大学技术物理系。

JIN Hua: Associate Professor of China Institute of Atomic Energy. Graduated from Department of Technique Physics, Peking University in 1979.

CNIC-01076

IAE-0154

核设施环境 γ 辐射连续监测系统研究

金 花 岳清宇 王文海

(中国原子能科学研究院, 北京)

摘 要

描述了用于核设施周围环境 γ 辐射常规和事故应急连续监测系统。该系统由高气压电离室, 集成化弱电流放大器, V/F 变换器和智能化数据记录仪组成。通过标准 RS-232-C 接口转储到计算机上进行数据处理和绘图。该系统具有超阈报警, 采集记录探测器输出信号和温度等功能。由于采用高绝缘自动量程转换开关, 测量范围为 $10 \text{ nGy} \cdot \text{h}^{-1} \sim 10 \text{ mGy} \cdot \text{h}^{-1}$ 。监测系统经现场长时间考验工作性能稳定。

Continuous Monitoring System for Environmental γ Radiation near Nuclear Facility

(In Chinese)

JIN Hua YUE Qingyu WANG Wenhai
(China Institute of Atomic Energy, Beijing)

ABSTRACT

The continuous monitoring system which is used for the environmental routine and accident emergency γ radiation monitoring near nuclear facility is described. The continuous monitoring system consists of a high pressurized ionization chamber, integrated weak current amplifier, V/F converter and intelligent data recorder. The data gained by recorder can be transmitted to a PC through a standard RS-232-C interface for the data handling and graph plotting. This continuous monitoring system has the functions of alarm over threshold and recorded output signal of detector and temperature. The measuring range is from $10 \text{ nGy} \cdot \text{h}^{-1}$ to $10 \text{ mGy} \cdot \text{h}^{-1}$ because a high insulation switch automatically changed measuring ranges is used. The monitoring system has been operating continuously for a long time with high stability and reliability.

引言

核设施环境辐射连续监测包括常规和事故应急监测。其目的是评价反应堆、核电站控制放射性物质向环境中释放设施的效能，检验环境排放量是否在环境标准和法规的有关控制内，评价短期和长期辐射水平变化趋势，估算公众所受实际照射剂量或潜在照射剂量可能的上限。

早在 70 年代初国际上就开始了核设施周围环境 γ 辐射连续监测^[1]，一些国家建立了监测中心网。探测器主要采用充气电离室，GM 计数管，硅探测器和 NaI (TI) 探测器。随着电子学技术与计算机技术的发展，它的前置电路和数据采集记录系统经过了几次更新换代。具有代表性的有美国的 RSS-1013 型高压电离室环境辐射监测装置；德国的 FHT191N 电离室；英国的 GM 计数管型人员管理环境监测系统；法国的硅探测器型 γ 辐射监测系统；日本 DBM 方式的 NaI (TI) 闪烁探测器型环境监测系统^[2]等等。

目前国内还没有这类仪表的定型产品。一些研究单位，如中国原子能科学研究院，中国辐射防护研究院^[3]，高能物理所^[4]和浙江省环境保护监测站等曾先后研制成环境辐射连续监测系统。其量程范围均较小。监测系统均采用高压电离室作为探测器，而弱电流测量电路及数据采集记录系统各有所差异。

本工作是在原有工作的基础上，借鉴国内、外有关技术，研制了用于核设施常规和核事故应急监测的高压电离室环境 γ 辐射连续监测系统。系统的组成如图 1 所示。该监测系统由高压电离室、集成化弱电流放大器、V/F 变换器和智能化数据记录仪组成。该机采用自行研制的高绝缘自动量程转换开关，使用一个电离室探头即可测量 $10 \text{ nGy} \cdot \text{h}^{-1} \sim 10 \text{ mGy} \cdot \text{h}^{-1}$ (六个量级) 剂量率范围。数据记录仪具有记录探测器输出信号和温度传感器信号以及超阈报警功能。采用实时钟，不仅可以实时计时，而且在停电和来电时也可连续计时，采用电可擦式的存储器 E²PROM，断电后存储的数据可以保存 10 年，采用看门狗，使得程序跑飞时，它可以使程序自动重新复位。通讯采用标准 RS-232-C 接口，在计算机上进行数据处理。

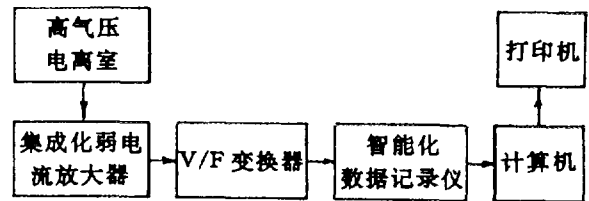


图 1 核设施环境 γ 辐射连续监测系统方框图
Fig. 1 Block diagram of the Continuous Monitoring System of the Environmental γ Radiation near Nuclear Facility

1 连续监测系统

1.1 探测器

本系统采用球形高压电离室^[5]，直径 254 mm，不锈钢壁厚 3 mm，体积 8 L，内充高纯氩气。电离室灵敏度因子为 $25.2 \times 10^{-7} \text{ A}/(\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1})$ 。

1.2 宽量程集成化弱电流前置电路

本系统用于核设施常规和事故应急监测。因此测量范围从环境辐射本底水平到事故水平。高压电离室测量环境本底水平的输出电流约 10^{-13} A ，为此本系统采用进口的高精度、低静态功耗、FET 输入型集成电路，低漂移集成运算放大器和自行研制的高绝缘 (大于 $10^{15} \Omega$) 自动量程转换开关，组成高灵敏、宽量程弱电流前置电路。

1.3 V/F 变换器

为了将弱电流前置放大器输出电压转换成数字量供数据处理用，采用了 LM131 器件，它由参考电源、开关电流源、输入比较器、单稳定时器 and 输出电路组成。电路指标：输入电压为 0~+10 V，输出频率为 0~10 kHz，非线性误差为 0.03%。

1.4 智能化数据记录仪

智能化数据记录仪由 80C31 单片机，数据锁存器，光可擦式的程序存储器，实时钟芯片，“看门狗”，串行输出输入接口和电可擦式的数据存储器，显示器等组成，并装备在一个机箱内。键盘和 LED 显示器，报警指示灯以及各种控制开关均安装在机箱的前面板上。

根据本系统的总体要求，采用了工业控制用、抗干扰能力较强的 80C31 单片机，并保留了它的全部使用功能。80C31 单片机集成度高，系统结构简单，可靠性高，处理功能强。片内有 128 个字节的 RAM，4 个 8 位串行口，两个 16 位定时器/计数器，一个处理功能很强的中央处理器。

由于 80C31 片内无程序存储器，外接一个光可擦式程序存储器 E PROM。数据存储器采用电可擦式的存储器 E²PROM，在断电后记录存储的数据可以保留 10 a。

本系统采用实时钟，不仅可以实时计时，而且在停电时也可连续计时，在来电时系统也能继续实时工作。

采用“看门狗”，在程序跑飞时，它可以把程序自动重新复位。

软件技术特点：

(1) 特殊的浮点数表示方法，用 2 字节能保证从 40 到 2×10^6 之间数据值，相对误差为万分之五；

(2) 采用定点数计算以提高精度；

(3) 用乘来代替除，加快运算速度；

(4) 通讯时加上 CRC 码纠错，以保证数据传送的可靠性；

(5) 数据采集器可连续采集记录 40 天数据，亦可在线工作；

(6) 一些数据值，如相对灵敏度等参数值多处保存，每次调用时进行表决以避免差错。

2 监测系统性能指标

2.1 探测器主要性能

2.1.1 饱和收集特性

本监测系统测量范围 $10 \text{ nGy} \cdot \text{h}^{-1} \sim 10 \text{ mGy} \cdot \text{h}^{-1}$ ，达到 6 个量级，在剂量率为 $10 \text{ mGy} \cdot \text{h}^{-1}$ 的 ^{60}Co γ 射线参考辐射场中，测量电离室的饱和收集特性，结果示于图 2。从图 2 可以看出，在 600 V 电压时已开始达到饱和收集，选用 800 V 极化电压，以保证整个测量范围达到饱和收集。

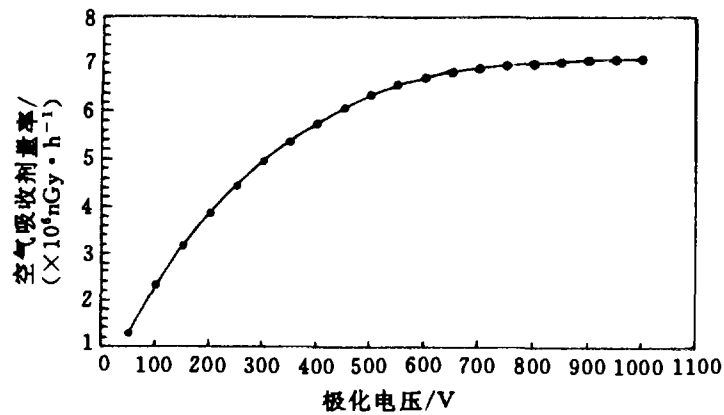


图2 探测器的饱和收集特性

Fig. 2 The Saturation Collection Property of the Detector

2.1.2 线性

连续监测系统的线性刻度实验在准直辐射场中进行，源与探测器几何中心的距离为2~4.5 m，以保证探测器处在射线束的均匀场中。刻度使用了国防科工委放射性计量一级站²²⁶Ra和¹³⁷Cs源，并用保健物理部γ剂量仪刻度室的一组⁶⁰Co源（这组源由国家计量院刻度的照射量率的误差±3.5%~±5%）。

线性刻度选择空气吸收剂量率范围从42 nGy·h⁻¹~12 mGy·h⁻¹，且均匀地分布在此范围，如图3所示。刻度数据用直线方程 $y = a + bx$ (y 为数据记录值， x 为空气吸收剂量率，nGy·h⁻¹) 回归分析， $a = -13.95$, $b = 6.65$, $r = 0.99999$ 。可见在宽达6个数量级量程范围内本系统具有很好的线性。

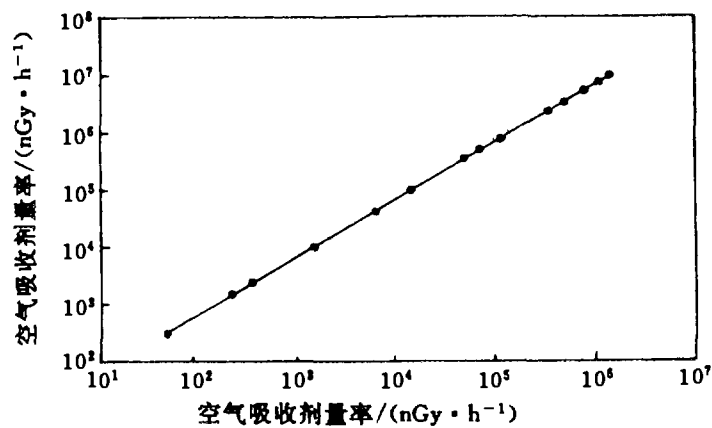


图3 监测系统线性

Fig. 3 The Linearity of Monitoring System

2.1.3 能量响应特性

连续监测系统所采用的高气压电离室的壁厚、体积和内充气均与美国的RSS-111相同。探测器的能量响应特性主要与电离室的壁材料、壁厚、内充气体及气体压力有关。当能量响应用相对灵敏度表示时与所充气体压力关系不大。采用的高气压电离室除内充气外均与RSS-111相同，因此，能量响应特性相同。美国高气压电离室用 3.7×10^7 Bq ⁶⁰Co源

进行刻度，响应曲线见图 4。

2.1.4 温度效应

为适应环境条件需要，做了温度影响实验。在高、低温恒温箱内改变温度从 -25°C 到 $+50^{\circ}\text{C}$ ，每个温度测点至少保持恒温 4 h 以上，实验结果列于表 1。从表中看出在 $-16^{\circ}\text{C} \sim +50^{\circ}\text{C}$ 范围内，相对室温 16°C 和 17°C 指示值变化小于 $\pm 3\%$ ，仅在 -25°C ，变化为 $+6.1\%$ 。国家标准 GB 12726.1-91 规定在 $-25 \sim 50^{\circ}\text{C}$ 范围指示值变化限值为 $\pm 50\%$ ，表明监测仪的探测装置具有较小的温度响应。

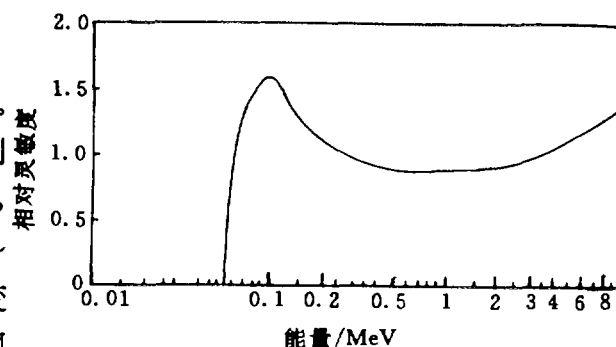


图 4 高气压电离室的能量响应曲线
Fig. 4 Energy Response Curve of a High Pressurized Ionization Chamber

表 1 温度实验数据

Table 1 Data of the Temperature Test

温度/ $^{\circ}\text{C}$	低温部分			高温部分			
	-24	-16	16	17	31	41	51
指示值/ $\text{nGy} \cdot \text{h}^{-1}$	477.52	458.03	449.9	451.32	441.4	439.2	457.55
与室温相对比较	1.061	1.018	1.00	1.00	0.978	0.973	1.014

2.1.5 稳定性

长期稳定性是环境 γ 辐射连续监测仪的一项重要技术指标。监测系统自 1995 年 7 月底到 12 月初放置在中国原子能科学研究院 14 m 高楼顶与一台连续工作 5 年的监测装置^[6]一起进行环境监测，经历了夏季，雷雨天气和初冬，温度变化从 $-5^{\circ}\text{C} \sim +38^{\circ}\text{C}$ 范围，湿度有时达到 100%，监测仪正常工作，4 个月中只有两天因停电记录仪停止工作外，没有出现数据丢失现象，记录的数据与另一台连续监测装置结果进行比较，如图 5 所示。从图中看出两台变化趋势相同，在降雨和反应堆运行时，记录值明显变化（横坐标加黑部分表示反应堆运行期间）。在室内环境本低辐射场中连续记录 216 h，测量数据的相对标准偏差为 0.8%，以其 2 倍估算监测仪的最小可探测下限为 $2 \text{ nGy} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

2.2 记录仪主要性能

(1) 记录仪可输入或查询日历和实时钟，即有年，月，日，时，分，秒的时标，同时可输入相对灵敏度和记录数据阈值，标准偏差阈值。

(2) 每 10 s 采集一次数据，并比较一次量程。

(3) 5 min 均值超阈或 30 个 10 s 值的标准偏差超阈时报警而且记存此时和在此之前以及停止报警后 1 h 内的 5 min 均值。

(4) 每 1 小时求一次 12 个 5 min 均值的平均值和偏差，作为小时均值和小时偏差储存起来。每六小时自动校零一次。

(5) 量程之间有一重叠区，以避免丢失数据和假报警。

(6) 与计算机标准 RS-232-C 口通讯。

(7) 以 $\text{nGy} \cdot \text{h}^{-1}$ 为单位，有效数字 4 位。

(8) 可以记录 40 d 数据，包括小时均值和小时标准偏差以及超阈期间的 5 min 均值。

(9) 数据处理程序用 BASIC 语言编写，可以显示，打印小时均值，小时标准偏差月报

表, 超阈时 5 min 均值表, 绘制图形。

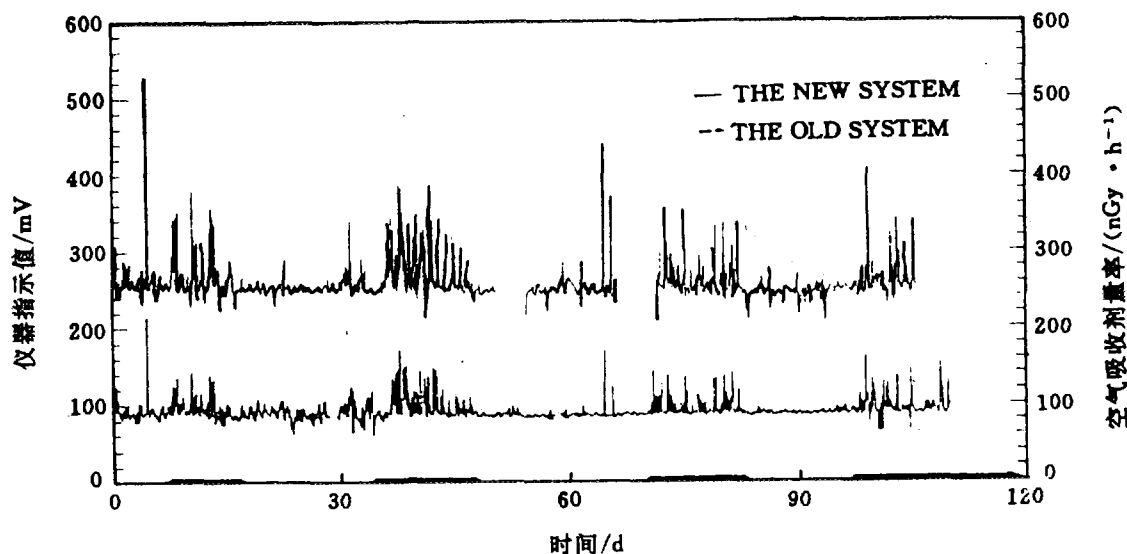


图 5 两台监测系统的测量数据比较

Fig. 5 Comparison between measuring data of two Monitoring Systems

3 与国内、外同类仪器比较

随着大亚湾、秦山核电站的运营, 为保护环境和居民安全, 有关单位相继引进和研制了环境辐射连续监测装置。表 2 列出国内、外同类仪器的主要技术指标:

表 2 国内、外 γ 连续监测仪主要性能比较

Table 2 Comparison of main properties similar to γ Continuous Monitor at home and abroad

研制单位	型号	量程	温度范围	取样周期	能响范围	传输方式
德国	FHT191N	$(10^{-8} \sim 10)$ Sv/h	$-30^{\circ}\text{C} \sim +50^{\circ}\text{C}$	0.5 s, 5 s, 50 s	35 keV \sim 7 MeV $\pm 30\%$	无线
美国	RSS-1013	$(10^{-5} \sim 1)$ mGy \cdot h $^{-1}$	$-25^{\circ}\text{C} \sim +50^{\circ}\text{C}$	10 s	60 keV \sim 8 MeV	无线
法国	硅探测器	$(10^{-5} \sim 10)$ mGy \cdot h $^{-1}$	$-20^{\circ}\text{C} \sim +50^{\circ}\text{C}$	5 min	60 keV \sim 3 MeV $\pm 30\%$	无线
高能所	环境 γ 监测器	$(10^{-2} \sim 10)$ $\mu\text{Gy} \cdot$ h $^{-1}$	$0^{\circ}\text{C} \sim 42^{\circ}\text{C}$	10 min		有线
七所	HGL-1	$(5 \times 10^{-2} \sim 5)$ $\mu\text{Gy} \cdot$ h $^{-1}$	$-20^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$	10 s	60 keV \sim 3 MeV	有线
七所	圆柱型高气压电离室	$(6 \times 10^{-2} \sim 1)$ $\mu\text{Gy} \cdot$ h $^{-1}$	$-30^{\circ}\text{C} \sim +40^{\circ}\text{C}$	12 min		有线
262 厂	FJ-2005	$(10^{-2} \sim 1)$ $\mu\text{Gy} \cdot$ h $^{-1}$	$-10^{\circ}\text{C} \sim +50^{\circ}\text{C}$	10 s	60 keV \sim 8 MeV	有线
本工作	环境辐射连续监测仪	$(10^{-5} \sim 10)$ mGy \cdot h $^{-1}$	$-25^{\circ}\text{C} \sim +50^{\circ}\text{C}$	10 s	60 keV \sim 8 MeV	有线

从表 2 看出, 本工作研制的环境 γ 辐射连续监测系统, 其性能指标均达到目前国内、外同类仪器水平, 同时除 FHT191N (探测器为电离室) 量程宽以外, 本系统与国内同类仪器相比, 量程范围大 3~4 个量级, 温度适应范围也较宽, 达到了既用于环境辐射水平监测, 又满足核事故应急情况下的连续监测需要。

4 结 语

如引言所述, 核设施环境 γ 辐射连续监测系统是保护环境和评价居民剂量的重要技术手段, 由于兼顾常规和事故情况以及长期在室外环境中工作, 因此, 对此类监测仪表的技术性能有一些特殊和严格的要求, 本工作考虑了这些要求并借鉴国内、外有关经验, 研制

了满足上述要求的连续监测系统，其主要特点是：

(1) 采用合适体积和充气压力的不锈钢球形电离室为探测器和高绝缘自动量程转换开关，用 1 个电离室量程可达到 6 个量级，既可满足环境本底测量的灵敏度要求，又可用于核设施常规和事故应急监测。

(2) 探头经过防潮处理，选择高质量集成化弱电流放大器和特殊设计的密封外壳，使得该系统在 $-25^{\circ}\text{C} \sim +50^{\circ}\text{C}$ 温度范围内指示值最大变化不超过 $\pm 6.1\%$ 。

(3) 采用 E²PROM 作为数据存贮器，即使断电亦可确保数据不丢失。

(4) 采用实时钟，保证断电和来电时实时计时。

(5) 监测系统具有两种记录功能，既可以自动连续监测记录 40 d 剂量率测量数据和温度数据，也可以连接到计算机上在线工作。

(6) 配备较完善的软件，对记录数据进行数据处理，显示，打印数据及绘出图形。

(7) 现场考验证明，该系统具有灵敏度度，稳定性好，适合用于核设施周围环境 γ 辐射连续监测。

参 考 文 献

- 1 Joseph A, Decampo, et al. High Pressure Argon Ionization Chamber System for the Measurement of Environmental Radiation Exposure Rates. HASL-260. New York, Health and Safety Laboratory, 1972
- 2 Hiroshi KATAGIRI, Hideo KOBAYASHI. Centralized Environmental Radiation Monitoring System in JAERI. JAER-I-M 93-036, Japan Atomic Energy Research Institute, 1993, 47~50
- 3 卜万成, 毕克娜, 宣义仁. 环境放射性连续监测. 辐射防护通讯, 1993, (3): 14~20
- 4 李建平, 汤月里, 邵贝贝等. 智能化环境中子、 γ 监测系统. 高能物理与核物理, 1988, 12 (1): 12~18
- 5 岳清宇, 金花, 江有玲. 高压电离室环境辐射剂量率仪. 辐射防护, 1986, 6 (1): 29~33
- 6 岳清宇, 肖雪夫, 金花. 核设施环境连续监测. 待发表

(京) 新登字 077 号

图书在版编目 (CIP) 数据

中国核科技报告 CNIC-01076 IAE-0154, 核设施环境
γ 辐射连续监测系统研究/金花等著. —北京: 原子能出版
社, 1996. 6

ISBN 7-5022-1522-0

I. 中… I. 金… III. ①核技术-研究报告-中国②核
设施-辐射监测: 连续监测-环境监测系统 IV. TL-2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 08345 号

核设施环境 γ 辐射连续监测系统研究

金 花 等 著

©原子能出版社, 1996

原子能出版社出版发行

责任编辑: 李曼莉

社址: 北京市海淀区阜成路 43 号 邮政编码: 100037

中国核科技报告编辑部排版

核科学技术情报研究所印刷

开本 787×1092 1/16 · 印张 1/2 · 字数 12 千字

1996 年 6 月北京第一版 · 1996 年 6 月北京第一次印刷

CHINA NUCLEAR SCIENCE & TECHNOLOGY REPORT

This report is subject to copyright. All rights are reserved. Submission of a report for publication implies the transfer of the exclusive publication right from the author(s) to the publisher. No part of this publication, except abstract, may be reproduced, stored in data banks or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior written permission of the publisher, China Nuclear Information Centre, and/or Atomic Energy Press. Violations fall under the prosecution act of the Copyright Law of China. The China Nuclear Information Centre and Atomic Energy Press do not accept any responsibility for loss or damage arising from the use of information contained in any of its reports or in any communication about its test or investigations.

ISBN 7-5022-1522-0



9 787502 215224 >