

CNIC-01441
CIRP-0027

中国核科技报告

CHINA NUCLEAR SCIENCE AND TECHNOLOGY REPORT

WBS—II型全身表面 β 污染监测仪
数据处理方法的考虑与实施

THE CONSIDERATION AND PRACTICE
OF DATA PROCESSING OF
WBS—II PORTAL β MONITOR
(In Chinese)



中国核情报中心
原子能出版社

China Nuclear Information Centre
Atomic Energy Press

图书在版编目 (CIP) 数据

中国核科技报告 CNIC-01441, CIRP-0027: WBS—II
型全身表面 β 污染监测仪数据处理方法的考虑与实施/杜向
阳等著. —北京: 原子能出版社, 2000. 2

ISBN 7-5022-2121-2

I. 中... II. 杜... III. 核技术-研究报告-中国 IV. TL-2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 54017 号

原子能出版社出版 发行

责任编辑: 武 洁

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 mm 1/16 印张 1/2 字数 13 千字

2000 年 8 月北京第一版 2000 年 8 月北京第一次印刷

印数: 1—150

定价: 5.00 元



杜向阳：工程师。1989年毕业于湖南国防科技大学应用物理系，获理学学士学位，1992年毕业于哈尔滨工程大学电子工程系，获工学硕士学位。1992年到中国辐射防护研究院工作，主要从事表面污染系列仪器研制开发工作。

Du Xiangyang: Engineer. Graduated from Defense Science and Technology University, Hunan, China, in 1989, received the degree of Bachelor of Physics. Graduated from Haerbin Engineering University in 1992, received the degree of Bachelor of Engineering. Majoring in development of instruments for monitoring surface contamination.

WBS—II型全身表面 β 污染监测仪 数据处理方法的考虑与实施

杜向阳 董强敏 张 勇 韩淑萍 王晓东 樊李亚

(中国辐射防护研究院, 太原, 030006)

饶贤明

(秦山核电站, 浙江, 314300)

摘 要

主要就 WBS—II 型全身表面 β 污染监测仪的本底及人体测量数据处理方法进行了论述。在本底数据处理中对本底高、低报警阈的设置进行了理论分析, 同时为现场管理人员提供了部分相关参数值。在人体数据处理中对“测量盲区”及总报警功能等作了相应的讨论, 同时也对 WBS—II 型全身表面 β 污染监测仪构成、监测过程及微机硬件构成作了简介。

The Consideration and Practice of Data Processing of WBS—II Portal β Monitor

(In Chinese)

DU Xiangyang DONG Qiangmin ZHANG Yong HAN Shuping

WANG Xiaodong FAN Liya

(China Institute for Radiation Protection, Taiyuan, 030006)

RAO Xianming

(Qinshan Nuclear Power Company, Zhejiang, 314300)

ABSTRACT

The main aspects of background and human body measurement data processing of WBS—II Portal β Monitor were discussed. The theory analysis of setting high and low background-warning threshold in data processing was done. The relative reference values were partly provided to the local executives. The measurement "blind zone" and the whole warning function of data processing were discussed. And the structure, the process of monitoring and the microcomputer's hard wares of WBS—II Portal β Monitor were simply introduced.

引言

WBS—II型全身表面 β 污染监测仪是在中国辐射防护研究院全身表面 β 污染监测安全闸门的研制基础上进行的II型产品开发。它主要用于现场放射性表面污染的直接测量,通过对工作人员体表(或内衣)、工作服和鞋的放射性沾污的测量,以有效地防止放射性物质对非控制区的扩散、污染。我们在I型的基础上主要进行了以下几个方面的改进工作:(1)工艺设计:包括仪器外观、部件拆装方式、气路材料及气动装置的设计、开发;(2)前置放大电路:通过对国内外同类核仪表的调研、现场使用经验反馈及相关核仪表上前置放大电路的研究,设计、开发出包括有自检功能、探头高压分别提供及高压远端连续可调等功能的通用型电荷灵敏前置放大电路;(3)探测器:从探头面积、挂丝方式、丝距、丝直径及工作气体四个方面进行实验性设计、开发,共进行了二种不同丝距、三种不同直径丝及四种探头面积的设计加工及物理实验。确定了在P—10气体为工作气体时的探头结构,积累了大量数据及开发探头的经验;(4)数据处理方法的研究,包括软件开发、硬件设计及数据处理方法的研究及实施。

本文主要介绍测量数据处理方法的考虑及其在软件中的实施。

1 仪器概述

1.1 WBS—II型全身表面 β 污染监测仪总体构成

WBS—II型全身表面 β 污染监测仪由核探测器、核电子学线路(电荷灵敏前置放大器)、工业单片微机系统、机械传动(传感器的输入/输出)四部分构成。

核探测器包括17个流气式正比计数管,其中灵敏面积为 820 cm^2 的探头11个(头顶1个,躯干前、后各5个),灵敏面积为 340 cm^2 的探头4个(左、右手各两个)及左、右脚各一个灵敏面积为 390 cm^2 的探测器。对应核电子学线路包括17个电荷灵敏前置放大器。

工业单片微机硬件包括主CPU系统、扩展RAM系统、数据采集板、显示板、小键盘、I/O控制板、人体模型指示、各种指示灯及音响报警。软件主要对来自于探测器的信号的测量,处理及对整机进行逻辑控制等功能。WBS—II型全身表面 β 污染监测仪构成框图如下(见图1)。

1.2 WBS—II型全身表面污染仪的人体监测过程

整个人体表面污染监测过程是完全自动进行的。当本底正常,仪器处于“准备好”状态时,仪器入口绿灯亮且入口栏杆打开;人体进入测量区时位置传感器监测人体站立是否到位,并把信息送计算机,若站立位置正确,测量开始,同时LCD显示计数变化,入口“正在测量”灯亮,否则站位不准确,仪器不进行测量并在屏幕上提示站立位置不正确,需调整站位后方开始测量;人体测量时间到,若无污染,则出口气动门打开,同时“清洁”灯亮,人离开出入口进入非控制区,入口栏杆随后打开,仪器回到“准备好”状态,可接受下一个人体测量;发现人体污染后,蜂鸣器发出间歇报警声,人体模型板对应污染道的红灯亮,入口处“污染”灯亮,入口栏杆打开,让被测者退回,清洁后重测;仪器在不进行人体测量时,一直处于本底测量状态,若本底值出现不正常,关闭气动栏杆,入口“故障”灯亮,蜂鸣器处于长鸣状态,等待维修。

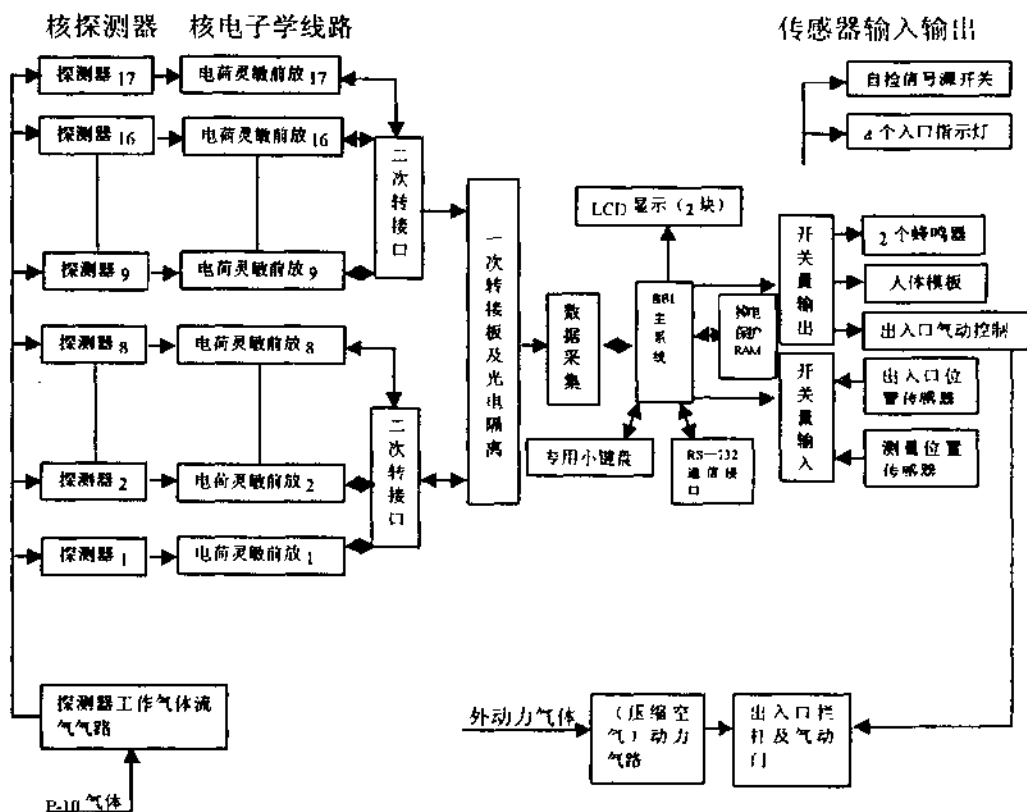


图1 WBS-II型全身表面 β 污染监测仪构成框图

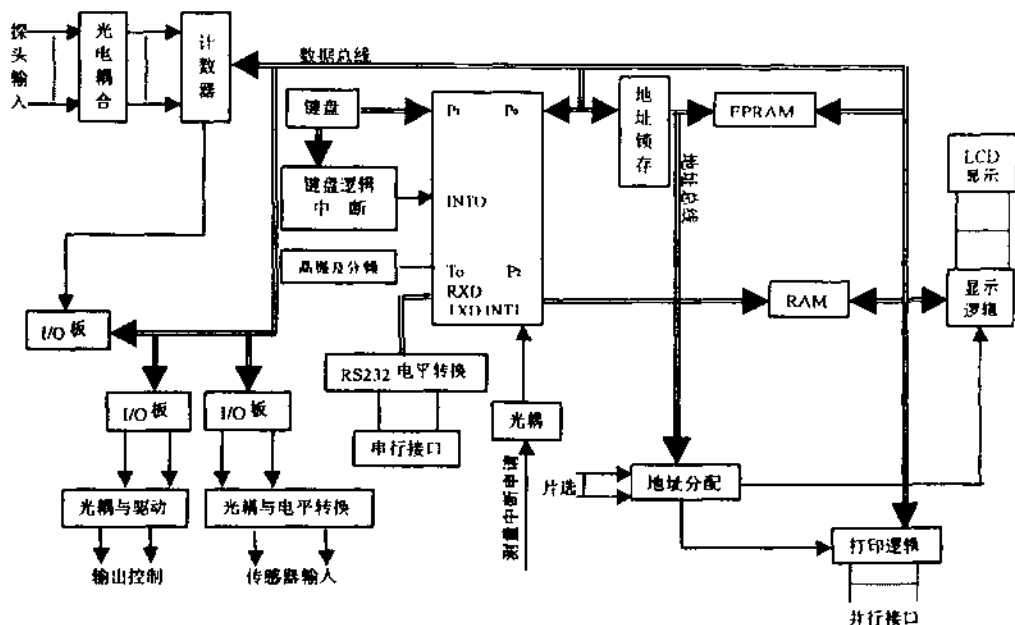


图2 WBS-II型全身表面 β 污染监测仪硬件配置框图

1.3 WBS—II型全身表面污染仪硬件配置

WBS—II型全身表面 β 污染监测仪工业单片机硬件主要包括CPU主系统、数据采集电路、计数器电路、I/O口接口和硬件抗干扰电路及看门狗电路。结构框图见图2。

2 本底数据处理中有关参数的设计考虑及实施

2.1 本底测量结果的数据处理

WBS—II型全身表面 β 污染监测仪的本底数据使用连续监测的办法，并引入本底高、低报警阈作为本底是否正常的判据，同时在进行人体表面 β 污染测量时，测量值是通过总计数减去本底值求得的，也就是说无论是判别本底数据偏高、偏低，还是求得人体测量后的净计数值都要预先求得探头的本底值。如果能够求得探头本底值的数学期望值，则造成对应误报几率最小。由契比雪夫定理可知在固定时间间隔为 T 时，探头 n 次测量本底数据的数学期望值为：

$$b_T = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n b_{Ti} \quad (1)$$

式中： b_T —— n 次本底测量值的数学期望值；

b_{Ti} ——第 i 次本底测量值。

但是放射性测量如同其它随机量测量一样，不可能也没有必要通过对一个样品测量无限次来求其数学期望值。总是在一定的误差范围内通过有限次测量来求得其数学期望值；同时受环境及仪器本身受污染的影响，其本底值是变化的。此种情况下公式(1)在 n 趋于无穷大时求得值反而不能及时反映探头当前真实情况。

基于上述原因，在本底测量数据处理过程中，考虑两方面兼顾的办法，(1)在固定时间间隔 T 内求得每个探头有限次测量结果的数学期望值；(2)考虑环境变化或仪器受污染的情形，采用加权的办法以期使探头最近一次本底测量值 b_k 在数学期望值中所占权重因子大些。由此引入下列公式采取滑动平均的办法来计算每个探头的本底的数学期望值(即平均值)。

$$E_k = \frac{a}{a+1} E_{k-1} + \frac{1}{a+1} b_k \quad (2)$$

式中： b_k ——当前第 k 次探头求得的本底值；

E_{k-1} —— $(k-1)$ 次求得的探头的本底平均值；

a ——任意正整数。

式(2)也可改写为

$$E_k = \frac{1}{a+1} \left[\left(\frac{a}{a+1} \right)^{k-1} b_1 + \cdots + \left(\frac{a}{a+1} \right) b_{k-1} + b_k \right] \quad (3)$$

从式(3)可以看出 $\frac{a^{k-i}}{(1+a)^{k-i+1}}$ 相当于权重因子。

如果假设探头的本底为一常数 b ，式 (3) 可变为

$$\begin{aligned} E_k &= \frac{b}{a+1} \sum_{i=1}^k \left(\frac{a}{a+1} \right)^{i-1} \\ &= \frac{b}{a+1} \left[1 + \left(\frac{a}{a+1} \right) + \left(\frac{a}{a+1} \right)^2 + \cdots + \left(\frac{a}{a+1} \right)^{k-1} \right] \\ &= b \left[1 + \left(\frac{a}{a+1} \right)^k \right] \end{aligned} \quad (4)$$

可以看出，当 $k \rightarrow \infty$ 时，本底的数学期望值 E_k 无限逼近于本底值 b 。

在具体的软件设计中， a 值应根据具体的本底测量周期及测量本底的大小来确定， a 值越大时， E_k 趋于稳定的时间越长，在每个 b_k 值较大时（大于 20 计数/s）， a 值可取得相对小些，在 WBS-II 型设计中，本底测量周期取默认值为 5 s， a 值取为 11，则仪器本底在环境本底不变及探头无故障条件下由式 (4) 可以求得在经过 200 s 以后，仪器的本底值 E_k 为 97% 的 b 值，即可以认为在经过 200 s 以后，本底基本稳定。

2.2 本底高报阈值的考虑与实施

当仪器周围环境有污染，工作气体不干净，尘埃进入探头或由于湿度造成的电荷灵敏前置放大器漏电流而增大电子学噪声以及探头表面被放射性物质污染后，都有可能造成仪器本底上升，当本底高到使计数管的探测下限大于污染报警阈时，即满足下列公式：

$$3\sigma_{n_b} \geq n_{th} \quad (5)$$

式中： σ_{n_b} —— 本底计数率数学期望 n_b 的标准误差；

n_{th} —— 报警阈值，单位：计数/s。

在测量值接近污染报警阈时，仪器将不报警，所以考虑将本底高报警值设置为满足式 (5) 的 n_b 。

由式 (5) 有：

$$3\sigma_{n_b} = 3\sqrt{\frac{n_b}{t}} \leq n_{th} \quad (6)$$

即：

$$n_b \leq \frac{1}{9} n_{th}^2 \cdot t \quad (7)$$

式 (7) 中 t 为本底测量时间。

在仪器软件设计中，本底测量值的高报警阈设置为 $n_b = \frac{1}{9} n_{th}^2 \cdot t$ 。

2.3 本底低报警阈值的考虑和设置

由于工作高压降低造成的探头探测效率下降（或探头高压降低已退出工作坪区），或无高压、探头漏气等造成探头探测效率下降的故障，都可能导致探头本底值低或无本底计

数, 因此必须考虑设置本底低报警值以检测探头故障是非常重要的。

因为探头的本底值符合正态分布, 那么可以作如下考虑, 假设探头正常时本底计数率的数学期望值为 n_b , 那么探头本底的低报警阈值可设置为

$$n_b - 3\sigma_{n_b} = n_b - 3\sqrt{\frac{n_b}{t}} \quad (8)$$

式中: n_b ——本底计数率的平均值;

t ——本底测量时间;

σ_{n_b} —— n_b 的标准误差。

2.4 仪器工作时本底测量时间间隔的考虑与设置

仪器处于等待状态时, 本底测量采用固定的时间周期, 当有大量工作人员进行体表污染监测时, 考虑设置成在若干人被检测后强行进行一次本底测量, 这样即可避免大量的工作人员被滞留待测, 提高检测速度, 同时也对工作时探头状况进行了检测。至于测到几次污染后进行一次本底测量在仪器软件设计中可设置成一个可修改参数, 由用户根据需要自由确定。

3 WBS—II 型 β 污染监测仪在人体污染监测时有关参数的考虑和设置

3.1 二个相邻探头之间“盲区”污染监测的阈值设定

人体躯干部在进行表面污染测量时相邻两个探头之间有一空白区, 如果被测体表污染处于空白区时, 体表放射性污染对上、下两个探头的净计数都有贡献, 为此考虑用标准源放在“盲区”位置, 在一定几何条件下对上、下两个探头的探测效率进行标定, 设置相应几何条件下的上、下两探头的总报警阈 n'_{th} 与两个探头所测净计数之和比较以确定是否“盲区”对应躯干部有污染。

3.2 总污染报警功能的考虑

仪器的报警阈值都是对应于每一个探测通道而设置的, 因此, 当污染面积总和较大而每个部位的污染水平小于对应探头的污染报警阈时, 仪器不可能发出报警, 在这种情况下, 对于体表(或内衣)、外衣的总污染面积应有一个定义, 再根据这个面积及规定几何条件设置相应总报警阈 n_{th} , 当所有探头的净计数和大于总报警阈时, 也给出报警。这个报警值可由用户根据实际情况设定, 但仪器必须具有总污染报警功能。例如总报警值符合下列公式:

$$\sqrt{\sum_{i=1}^k n_{th,i}^2} \leq n_{th} \leq 0.8 \sum_{i=1}^k n_{th,i} \quad (9)$$

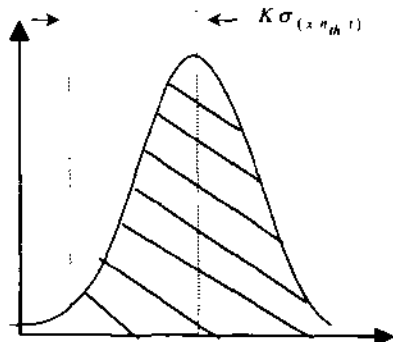
$n_{th,i}$ ——对应每个探头报警阈值。

3.3 人体污染测量时间的设置

人体污染测量时间应设计为既能由管理者设置为任意值, 又能由仪器自动设定两种方式。在此主要对人体污染测量时间的自动设置作一介绍。

测量时间的自动设定是根据如下因素考虑的:

为保证在进行人体污染检测时, 仪器每发出污染报警时的置信度达到要求的值, 仪器的污染检测时间应根据本底不同来自动修改 (因为本底值较大时, 为得到同一置信度, 所用的测量时间应比本底值较小时)。仪器测量净计数可认为服从高斯分布。如图所示, 设 n_b 是本底的期望值, n_{th} 是污染报警计数率值, $x n_{th}$ 是人体污染测量的净计数率值的平均值 (x 是任意大于 1 的正整数), 则测量时间 t 后人体测量净计数率值取阴影中的值 (即大于污染值 n_{th}), t 应满足:



$$\text{即} \quad x \cdot n_{th} \cdot t - k \sigma_{(x \cdot n_{th} \cdot t)} \geq n_{th} \cdot t \quad (10)$$

为使净计数率等于 n_{th} 时 (或接近), 测量后仪器仍能以同样的置信概率给出污染报警指示, 可令: $n'_{th} = \frac{n_{th}}{x}$, 则有

$$x \cdot n'_{th} \cdot t - k \sigma_{(x \cdot n'_{th} \cdot t)} \geq x \cdot n'_{th} \cdot t \quad (11)$$

$$\text{即} \quad t \geq \frac{k \sigma_{(x \cdot n'_{th} \cdot t)}}{(x-1)n'_{th}} = \frac{k \sigma_{(n_{th} \cdot t)}}{(1-\frac{1}{x})n_{th}} \quad (12)$$

$$\text{而} \quad \sigma_{x \cdot n'_{th} \cdot t} = \sqrt{\sigma_{n_{th} \cdot t}^2 + \sigma_{n_b \cdot t}^2} \quad (13)$$

将式 (13) 代入式 (12) 可以得到如下公式:

$$\text{即} \quad t \geq \frac{k^2(n_{th} + 2n_b)}{(1-\frac{1}{x})^2 \cdot n_{th}^2} \quad (14)$$

软件设计中 k 可由用户来设定修改, 例如当报警置信度为 97.72% 时, $k=2$; 为 99.87% 时, $k=3$ 。 n_b 即为前面根据测量值求得的仪器本底平均值。 n_{th} 是个用户可设定的污染报警值。 x 是个大于 1 的由用户设定的任意正整数, 其设定应考虑使 t 值不能过小 (例小于 1 秒), 因为 t 太小, 可能在测量时人还没有完全就位, 而测量时间就已结束, 这样测量结果便不可靠。同时 t 值也不能太大, 否则测量时间较长, 影响工作效率, 特别是大批人员进行检测的使用场合, 更显得不方便。从使用现场经验来看, t 值为 3~7 s 左右较为合适。例如: 若 $t=3$ s, 在 $n_{th}=150$ s⁻¹, $n_b=30$ s⁻¹, $k=3$ 时, x 取值应为 1.2, 这时, 仪器给

出报警时其人体测量净计数率值大于 $\frac{n_{th}}{x} = \frac{150 s^{-1}}{1.2} = 125 s^{-1}$ 的概率为 99.87%。

由于实际上每个计数管的本底值并不相同, 实际测量时间值应设定为各探头所需最小时间 t_i 中最大的 t_i 值, t_i 为每个探头对应的最小人体污染测量时间值, 此值由式 (14) 可推导求得。

3.4 历史值保留功能

仪器应具备对被检测到的污染人员总数统计及保留功能, 对应的污染计数值也应能保留。这样有利于防护人员对个人剂量的评价工作。

3.5 自检功能、高压测试及故障判断功能

自检功能通过控制电荷灵敏前置放大电路中脉冲产生电路从而给前置放大输入端一个固定频率的自检脉冲, 从而实现判断后续电路功能是否正常的目的。

高压测试功能用来判断工作高压是否正常 (在坪区), 在高压异常时, 能发出相应故障报警指示。

4 通通禁止功能的考虑和软件实施

当仪器个别探头出现故障并需要维修时, 从使用者角度出发在软件设计过程中, 增加通道禁止功能以停止相应探头的数据处理, 当维修结束探头恢复正常后, 可解除禁止, 使该探头继续投入使用。

以上几个部分数据处理方法的考虑基础来自于 (1) 现场使用时用户反馈意见; (2) 对国内外相关仪表的研究和分析; (3) 工程中仪器的使用方便。

参 考 文 献

- 1 李德平等编. 辐射防护手册第三册. 原子能出版社, 1988
- 2 复旦大学、清华、北大合编. 原子核物理实验方法. 原子能出版社, 1987
- 3 吴学超, 冯正永编. 核物理实验数据处理. 原子能出版社, 1988

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 7-5022-2121-2



9 787502 221218 >