

国家同步辐射实验室周围辐射场 特点及相应监测方法

李裕熊 李珏忻

(中国科技大学国家同步辐射实验室 合肥 230029)

邵贝贝

(清华大学工程物理系 北京 100084)

1995-11-20 收稿

摘 要

中国科技大学国家同步辐射实验室同步辐射装置周围的辐射场是一个有方向性的瞬发混合场,用各种方法对这样一个有特点的场进行测量,分析所得结果,研究它的特性,是一件很有意义的工作.本文介绍了在这方面所作的一些工作和取得的进展.

关键词 同步辐射, 辐射场, 辐射防护, 计算机应用.

1 引 言

中国科技大学国家同步辐射实验室拥有我国第一台专用同步辐射装置,它周围的辐射场由能谱很宽的韧致辐射和中子组成,且与一般的稳恒场不同,辐射剂量水平随装置的不同运行状态呈现很大变化,属瞬发辐射场.对这种具有特殊性质的场只有采取相应的正确测量手段,才不会导致错误的结果乃至重大事故的发生.近年来我们用适当的方法对这个场进行了全面测量,获取了大量有用的资料,进而分析了它的性质和变化规律.本文主要介绍了该辐射场的特点、所使用的测量方法及得到的结果.

2 国家同步辐射实验室辐射场的特点

要对一个辐射场进行测量,应该首先清楚地了解所面临测量对象的特点,才能正确地选择测量手段或方法,确定所使用的探测器种类,进而得到正确的结果和结论.

2.1 同步辐射装置的性能描述

国家同步辐射实验室是我国第一个拥有专用同步辐射光源的国家实验室.一套真空紫外和软X射线段的同步辐射机器是它的核心设备,包括作为注入器的200MeV电子

直线加速器、作为光源的 800MeV 电子储存环、引出同步辐射光的若干实验线和作各种实验的实验站。

200MeV 电子直线加速器建在有厚土壤屏蔽的半地下隧道中，它的工作频率为 50Hz，脉冲流强 50 mA，脉宽 $1\mu\text{s}$ ，束流功率 500W。电子束流的百分之一注入储存环，其余部分目前尚未利用，直接进入束流垃圾箱废弃掉。由于注入流强的大小是视同步辐射实验的需要而确定的(目前不超过 300mA)，机器的运行参数也经常调整，所以每次注入所需的时间从几分钟到数十分钟不等。注入完毕，环内电子在高功率作用下开始作慢加速(Ramping)，能量从 200MeV 提高到 800MeV，随后便是持续数小时的束流正常存储阶段。由于托歇克(Touschek)寿命影响，环内束流在存储中将逐渐衰减，当减弱至某一特定值时(通常为 50mA)，就不适合实验需要了，这时便剔除束流，磁铁标准化(cycle)，重新注入，开始一个新的循环。在直线加速器运行阶段和储存环的注入和慢加速过程中，直线加速器隧道和储存环大厅内禁止人员进入。实验人员可以在束流正常存储阶段进入实验大厅进行各种实验研究工作。图 1 是国家同步辐射实验室的平面图。

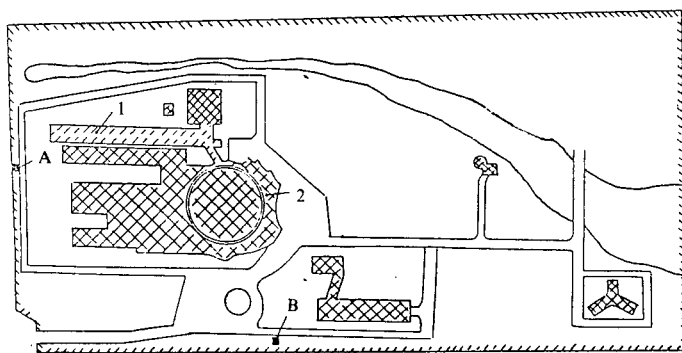


图 1 国家同步辐射实验室平面图

1. 直线加速器隧道, 2. 储存环大厅, A. 环境监测 A 站, B. 环境监测 B 站.

2.2 同步辐射装置周围辐射场的特点

2.2.1 是一个非稳恒场

与一般的恒稳辐射场不同，在电子直线加速器运行期间，隧道内是一个占空因子极小(5×10^{-3})而剂量水平却极高的瞬发辐射场^[1]。这是电子的沿程损失等原因造成的。停机后隧道内仍有相当水平的残余放射性存在。由于隧道的土壤屏蔽很厚，所以它运行与否对人员的工作场所和外环境辐射水平没有可观察得到的影响。

在储存环的各个不同运行阶段，储存环大厅内的辐射场也随着机器运行状态的改变而呈现有规律的变化，且特点各异。注入阶段它是一个强瞬发辐射场，占空因子比直线加速器隧道内的场更小(5×10^{-7})，剂量水平也很高；辐射水平在注入结束后急剧下降，而在慢加速过程中又略有上升；正常存储束流阶段是一个接近稳恒场的慢变化场，剂量水平略高于本底值；束流的剔除或突然丢失会引起辐射水平的突然上升；磁铁标准化阶段或停机时辐射场降至本底水平(储存环大厅内的残余放射性水平可以忽略)。储存环外

有铅和混凝土的双层屏蔽, 能够保障工作场所人员的安全. 在储存环运行时, 能观察到环境的辐射水平也有相应变化. 可见这是一个不断随时间变化的非稳定辐射场.

2.2.2 具有方向性

同步辐射装置周围的辐射场不是各向同性的, 而是呈现明显的方向性, 尤其表现在储存环注入阶段的储存环大厅. 这是因为高能电子束在运行过程中碰撞束流管线的真空室壁, 会造成与打靶时形成的级联簇射相同的效应, 所生成的韧致辐射射束具有很强的方向性. 由于这套设备目前所采用的注入方式决定了它的注入效率不能达到很高的水平, 因此在注入时有大量电子损失在注入点附近, 大厅内注入方向正前方的辐射水平大大高于其它方向, 差异可达数量级的水平. 即使在正常存储束流阶段, 由于机器参数的影响, 束流的沿环损失也是不均匀的, 从而使各个实验站所处位置的辐射水平也有一些差异.

辐射场的这一特点在区域监测和环境监测中都能清楚地反映出来.

2.2.3 是 γ 、中子混合辐射场

同步辐射装置周围的辐射场是由韧致辐射和中子组成的混合场, 这两种成分的能谱都很宽.

2.2.4 辐射场与高频电磁场共存

在同步辐射装置的各种部件和设备中, 有不少是工作在高频电磁功率激励之下的, 所以在装置周围有电磁场的存在.

对具有上述特点的辐射场进行辐射剂量测量时, 除了需要仔细选择所用的探测器种类, 保证测量的准确性外, 还必须采用能够做到连续检测、实时记录、抗干扰性能好的监测方式, 才能得到如实反映场变化的资料. 所以, 以计算机控制监测作为主要手段, 再结合热释光、丙氨酸 / ESR 等其他测量方法, 是最适宜的.

3 测量方法

国家同步辐射实验室的整个辐射防护系统包括环境监测、区域监测、控制与联锁、个人剂量管理这几个分系统. 在分析了同步辐射装置周围辐射场的特点后, 采用了既有共性, 又各有不同手段的监测方法. 共性就是除了个人剂量管理系统选用 PC 机外^[4], 其余几个系统都采用美国 Motorola 公司的 68XX 系列微处理器为 CPU 的计算机控制. 它的低功耗特点使得在电力中断时靠电池供电维持运行成为可能, 同时, 选用未在国内广泛应用的计算机系列, 还可防止计算机病毒的蔓延, 提高可靠性. 以下分系统叙述.

3.1 环境辐射监测

在这个系统只用了计算机连续监测方法. 选用功耗极小, 价格低廉的 M146805E 微处理器加以少量外围电路, 设计成一台具有两路输入、2K 程序存储空间和 4K 数据存储空间、能通过 RS232 串行口与主机通讯的单板机^[5], 将它与一台 γ 探测器和一台中子探测器共同组成一个环境监测站. 这样的监测站可以根据需要建立多个, 国家同步辐射实验室现有两个, 所处位置见图 1 中 A、B. 它们平时独立工作, 每周一次定时向主机传递数据. 在无交流电的情况下可靠充电电池工作三天. 充当环境监测系统主机的是一

台 M6809 微型计算机, 用来对各环境监测站的单板机进行参数修改和数据查询, 并可将单板机数据存储区里的数据存入磁盘, 以供进一步的处理. 同时它的 FLEX 操作系统所具有的 Pascal 语言编程功能编写区域监测和控制系统所用的运行程序及其他多种应用程序. 就辐射防护专用系统而言, 各种软件最好由保健物理学专业人员自己编制. 在没有能力这样做的单位, 最起码也要做到参与方案的制订, 对软件中与辐射场特点和研究对象有关的重要参数的选取及计算方法都要提出主导意见. 否则, 会由于程序员不熟悉保健物理学专业知识而导致错误发生, 或不能实现本来的意图. 下面列举几个软件中必须由保健物理学专业人员确定的问题.

在进行辐射监测的范围内, 绝大多数地点的辐射剂量是与天然本底同水平的, 只有小范围的区域在短时间内剂量水平会高于天然本底几个量级, 所以要求水平测量范围达到 5 至 6 个量级, 并能排除周围的电磁场干扰. 为此, 无论是 γ 探测器还是中子探测器, 输出信号都被整形为脉宽 1ms、流强 20mA 的电流脉冲信号后再输入计算机, 每个脉冲按不同探测器的定标系数加权后对应一定的吸收剂量值. 计算机是根据在一定时间间隔内积累脉冲的个数推算辐射场剂量率这一重要物理量的. 由于在许多功能的执行过程中都要使用剂量率, 所以如何正确计算它就显得非常重要. 采样间隔如取得太小, 算出的低水平区域的剂量率值会波动很大, 取得太大又会造成对某些事件反应过慢. 我们在软件中确定的采样间隔为六秒钟. 按常规, 可以用以下公式求得当时的剂量率:

$$DR = n \times 600 \times F \times Q,$$

其中 DR 为剂量当量率; n 为六秒钟内的累计脉冲计数; F 为探测器的定标系数; Q 为品质因数. 但是当辐射场处于本底水平时, 由于剂量低, 不是每个六秒中都能保证有一个以上的脉冲, 往往会出现零, 这样算出的剂量率会产生很大的波动, 显然不符合实际. 可采用增加时间常数, 分配权重的办法, 即把每次的计算与上次的计算值联系起来, 使得到的结果中二者权重之比为 1 : 6. 如此得出的结果使低水平辐射场的剂量率比较稳定, 与实际情况相符. 要说明的是, 由于系统程序可以控制报警器、打印机和连锁装置在剂量率突然高于所设置的报警域时做出相应动作, 所以这种计算方法会使这些动作有所滞后, 但不会超过一分钟, 就整体剂量贡献来说影响不大. 这种方案是针对实验室的特定辐射场制定的, 对于其他不同的辐射场可灵活掌握, 但只有保健物理学专业人员才能决定怎样作为妥.

除了上述每六秒的实时剂量率计算外, 还需记下长时间的辐射水平变化情况. 如以六秒为单位, 存储数据所需内存太多, 而计算机的内存总是有限的. 所以应该根据需要再决定一个数据的积累时间用于数据存储. 这个积分时间取得越长, 可存储越长时间的数据. 但取得太长也是不合适的, 因为今后据此计算出的剂量率值将是该区间内的平均值, 而不能反映出这段时间内的各个瞬时值, 不利于分析可能发生的“突然事件”. 另外, 若取得短, 除多占内存外还影响绘制曲线的平滑程度. 综合考虑以上各因素后, 在环境监测中把积累时间取为十分钟, 区域监测的积累时间为五分钟. 计算机记下的每一个数便是这段时间积累脉冲计数. 这些数据除在微机内存外, 还可存入磁盘长期保存, 在需要时再调用, 经过加权处理后进行打印、绘图、计算等等. 当然积累时间的长度是可调的, 这要视辐射场情况而定. 在分析数据或图形时要搞清积分时间的长短, 否

则会导出不正确的结论. 多年来, 计算机提供的一系列资料使我们不断有新发现, 那就是:

- (1) 在不同的时间段, 这个辐射场有些值得研究的独特之处.
- (2) 由于长时间的数据积累, 使我们对天然本底的变化规律有了不同的认识.
- (3) 辐射监测的结果可以用来为非本专业的研究作贡献.

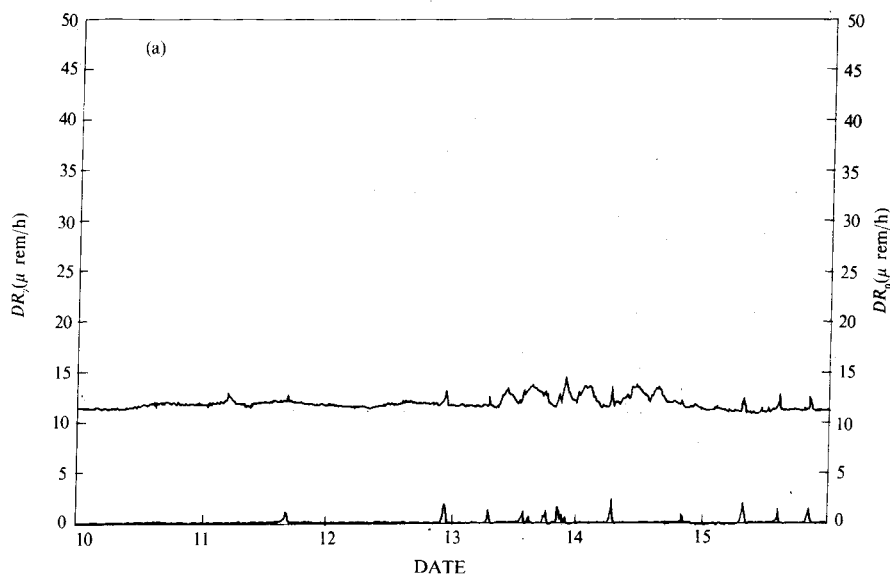


图 2(a) 国家同步辐射实验室环境 A 站辐射监测图

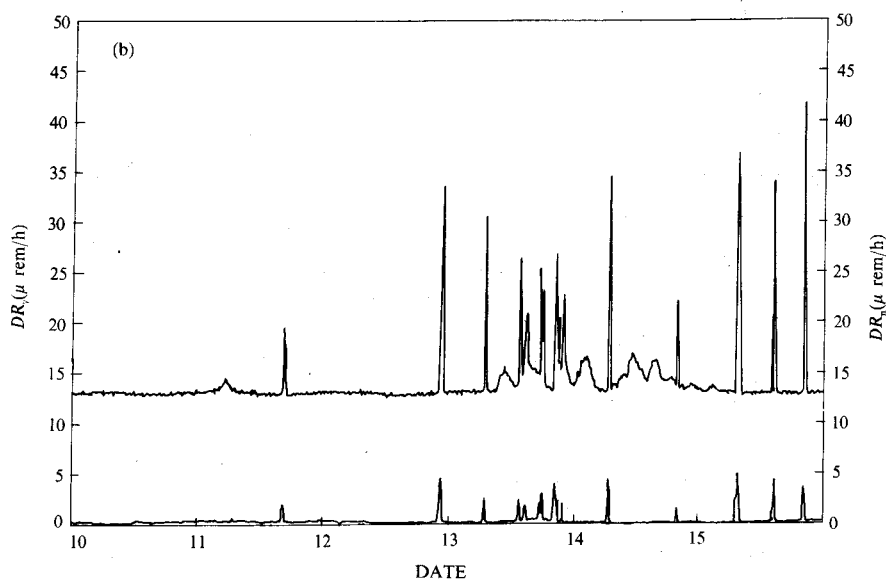


图 2(b) 国家同步辐射实验室环境 B 站辐射监测图

于是,有必要编制一些专用程序,来进一步分析研究这些问题.例如,通过长期观察发现,降雨、降雪只会引起天然本底中的 γ 剂量水平升高,而同步辐射装置运行时,储存环的注入对环境的 γ 、中子水平都有明显的影响.这就提示可以利用中子水平的变化作为模拟开关,分别计算因注入附加给环境的 γ 和中子辐射剂量,从而得到总附加剂量.依此编制的程序除了计算附加剂量外,还能根据中子剂量升高的累计时间推出较精确的储存环注入时间,这给机器的研究人员和运行人员以很大的帮助.下面通过几幅由环境监测系统绘制的图进一步说明国家同步辐射实验室环境辐射水平的情况:

图2(a)、(b)分别是环境A站和B站在同六天内记录下的国家同步辐射实验室环境 γ 和中子剂量率变化曲线,图中上面一条曲线对应 γ 剂量率,下面一条对应中子,它们的纵坐标分别在图左右两端,横坐标是日期.比较(a)、(b)两图可以清楚地看到,在储存环注入期间B站记录到的 γ 辐射水平要比A站高得多,这是因为B站位于注入方向正前方,而A站在侧向,这时的 γ 剂量率升高实质上是韧致辐射射束造成的.中子辐射水平变化基本上是各相同性的,两站的差异是因为这两个站到注入点的距离不同所致.

在图中 γ 变化曲线上,凡是没有对应中子变化的波峰都是降雨所引起的 γ 辐射水平升高,峰高与雨量成正比,雨一停就恢复到原有本底水平,影响很大.正是从这些图中看到了 γ 和中子辐射水平对降雨的不同反应,得到了可用中子剂量作判断标准来计算附加剂量和注入时间的根据,从而编制了前述的计算附加剂量的专用程序.另外通过对这一现象的长期观察,我们认为关于降雨使天然辐射水平升高原因的传统解释不完全符合我们记录下的结果,对此提出了新的假设,目前正在研究中.

3.2 区域监测

区域监测在同步辐射装置运行初期完全靠一台6809微机.该机是辐射防护系统的控制机,是一台以M6809为CPU,具有二十三种功能的专用计算机,组成见图3.辐射安全连锁、部分区域监测、报警、显示、打印、与中央控制室的通讯等各项工作都置于这台计算机的管理之下.通过它能够修改各种控制参数和时钟,可以将连锁状态和区域监测的剂量水平显示在显示器上,并根据监测结果决定报警器是否报警及连锁系统是否允许直线加速器和储存环运行^[2].近年来又专门研制了一台数据采集专用微机用于区域监测.采用当前国际流行的68HC11系列中的M68HC11A1为CPU,外围电路简单,功能强而功耗极低.内存及扩展内存设计为256KB,能采集与存储来自十六个探测器,多达十天的数据.它也具有设置多种参数、绘图、打印、报警等几十种功能.平时处于浮充电状态的小型充电电池,能够在没有外界电源供电的情况下维持微机正常运行三天,以保证所设置的参数和存储的数据不丢失.68HC11所用的软件可以在PC机上用C语言开发,经专用的交叉C编译器直接生成68HC11目标码,使程序的编写与调试更简单方便,更容易实现复杂的功能.由于C语言是与硬件无关的通用程序设计语

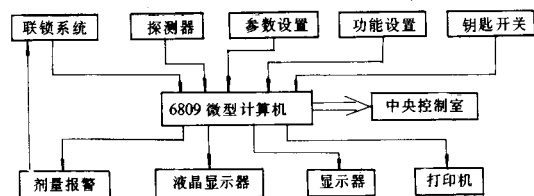


图3 辐射防护控制系统框图

运行三天,以保证所设置的参数和存储的数据不丢失.68HC11所用的软件可以在PC机上用C语言开发,经专用的交叉C编译器直接生成68HC11目标码,使程序的编写与调试更简单方便,更容易实现复杂的功能.由于C语言是与硬件无关的通用程序设计语

言, 用 C 语言写的程序可以直接在性能更强的单片机系统上移植, 只需重新编译一下, 这给将来进一步更新换代创造了条件。

图 4(a)、(b)是从区域监测得到的两张储存环大厅内某一天的 γ 剂量率变化曲线, 分别是光刻实验站和分时光谱实验站附近的监测结果。它们真实地记录了本文 2.2.1 节中描述的储存环不同运行阶段对应的辐射场的特点和大厅内辐射场分布的不均匀性。在图中, γ 辐射水平从本底突然跃升几个数量级即是储存环注入开始; 注入结束又会急剧下降; 慢加速过程中辐射水平会有小的上升, 这是由于随着电子能量的增高, 每损失一个电子给出的剂量贡献更大; 紧接着的一段平滑的慢慢下降的曲线是束流存储阶段; 剔除束流时在平滑下降曲线的尾端产生一个跃升, 由于图中对应的辐射剂量率是五分钟积累时间内的平均值, 所以对于剔除束流这样一个仅需几毫秒的瞬态事件会产生很大影响, 使图中出现的这个小尖峰的高度比实际值低; 在标准化磁铁过程中储存环中已没有束流, 辐射水平降至本底。关于以区域监测系统为工具, 对储存环大厅辐射场进行研究的方法和结果, 请参阅参考文献[3]。

在同步辐射装置调试期间, 也曾用热释光方法测试过储存环大厅的辐射场分布, 用丙氨算 / ESR 方法测量过直线加速器隧道辐射场分布, 结果见参考文献[3]、[1]。

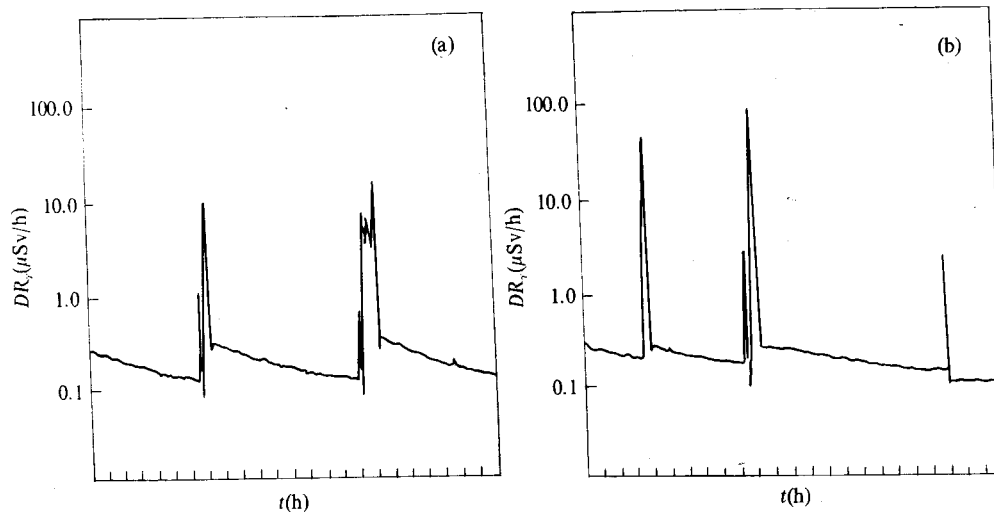


图 4 国家同步辐射实验室储存环大厅辐射监测图(部分)

4 结 束 语

国家同步辐射实验室的电子直线加速器是 1987 年上半年开始调试的, 在此之前一年, 环境监测站就开始运行, 负责积累 γ 和中子的天然本底辐射数据。直线加速器调试前夕, 整个辐射防护系统正式投入使用。同时, 对于辐射场内残余放射性的测量与气体感生放射性及周围生物的取样测试也按常规方法定期进行。在同步辐射装置调试和运行过程中, 辐射场的监测除了满足辐射防护部门的需要外, 对机器研究也有很大帮助。

参 考 文 献

- [1] 李裕熊、梁任义、李珏忻等, 高能物理与核物理, **15**(1991)875.
- [2] 李裕熊、李珏忻、宁欣全, 辐射防护, **10**(1990)161.
- [3] 李裕熊、李珏忻、吴璨等, 辐射防护, **15**(1995)168.
- [4] 李珏忻、李裕熊, 辐射防护, **10**(1990)310.
- [5] 邵贝贝, 辐射监测通讯控制器—高速 CMOS 单板机, 粒子加速器辐射剂量测量方法论文集, 中国科学院高能物理研究所, P208.

The Characteristics of the Radiation Field Around the NSRL and Its Monitoring Method

Li Yuxiong Li Juexin

(National Synchrotron Radiation Laboratory, University of Science and Technology of China, Hefei 230029)

Shao Beibei

(Department of Engineering Physics, Tsinghua University, Beijing 100084)

Received 20 November 1995

Abstract

The radiation field around the National Synchrotron Radiation Laboratory (NSRL) is a directive prompt one. It is significant to monitor it and study its characteristics. This paper introduces the monitoring method and results.

Key words synchrotron radiation, radiation field, radiation protection, computer application.