

区域核辐射监测及安全风险评估系统研究

刘雪峰, 孔祥松, 郝洪军

(沈装防化技术大队技术室 沈阳 110035)

摘要: 介绍了一款基于无线网络技术的区域核辐射监测及安全风险评估系统, 该系统由区域辐射监测系统及安全风险评估系统组成, 可广泛运用于核试验厂以及铀、钍矿等环境中的放射性远程多点监测、重大活动安保、防核恐怖袭击和突发辐射事件实时监测。

关键词: 核辐射; 监测; 评估

0 引言

2009年11月18日, 世界核能源协会发布的《中国核电产业概况》指出, 中国大陆已有11座商业运营核反应堆, 在建设和即将建设的核反应堆达53座。海南、广东、广西、福建、浙江、江苏、山东、湖南、湖北、江西、安徽、辽宁和四川等13个省份将拥有核电站。地震、海啸、火山爆发、台风、洪涝灾害、山体滑坡等自然因素, 都可造成核化设施、设备破坏, 引发有毒有害的核化物质泄漏, 造成次生核化危害。为了有效的防止放射性物质对环境的污染和核事故的发生以及减小核事故对社会稳定和公共生命财产安全的危害, 建立科学完善的环境辐射监测系统显得尤为重要。通过建立区域核辐射监测及安全风险评估系统, 可以及时有效地为各级指挥机关提供准确可靠的信息, 为指挥提供有力的理论指导和决策依据, 对于实现核应急指挥信息化、现代化具有重要意义。

1 区域核辐射监测系统的总体设计

1.1 系统总体设计

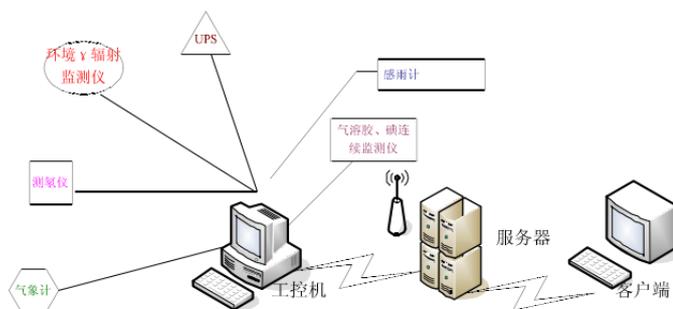


图1 系统总体结构图

该辐射监测系统包括16个现场监测点, 并且这些现场监测点都是无人职守的, 和一个数据中心以及10个接入的客户端。16个无人监测点根据所需依次布放。现场无人监测点布放的基本原则为:

- (1) 分布在该地方周围20公里的范围内。
- (2) 尽可能按方位角均匀分布
- (3) 按主导风向及所影响的区域布点

(4) 考虑各个区域所产生的放射性类型不同, 根据以上原则, 该系统设置16个监测点。可根据实际情况再增加。另外根据工作的需要和相关部门的配置设置了10个可接入的用户客户端。一般接入7个用户客户端。

1.2 现场监测点设计

1.2.1 现场监测点的监测内容

现场监测系统有测量 γ 辐射剂量率、气溶胶、碘的连续监测、空气中的氡浓度, 此外还需配置了气象

监测装置。配置气象监测装置的作用主要是为了更好的解释监测结果。要采集的气象参数主要有室内外温度、湿度、雨量、感雨、气压、风向、风速。因为要监测环境中的放射性的具体类型和及其走向趋势，还有气象因素的影响和应对突发的放射性，为此在每个监测点都需要各个监测参数。

1.2.2 现场监测点系统

现场监测点系统主要是监测环境中的放射性，所以配备了环境 γ 辐射监测仪来测试环境中的 γ 剂量率，配备了测氡仪来测试空气中的氡浓度，配置了气溶胶、碘连续监测仪来测试环境中的 α 、 β 和碘的放射性。为了更好的解释监测结果，还配置了气象仪和感雨计。由于环境辐射、环境放射性的情况与气象情况密切相关，因此为了使监测系统的测量结果更加准确和有利于分析，在实时获取 γ 剂量率、氡浓度、 α 、 β 和碘的辐射值的同时必须实时采集监测气象参数。

该系统由气象仪、环境 γ 辐射监测仪、测氡仪、气溶胶、碘连续监测仪、感雨计、工控机，通讯系统和电源系统等几部份组成。五个监测仪器和 UPS 不间断电源都配置有相应的串行通讯接口，这极大的方便了与工控机的接入和通讯，五个监测仪器与 UPS 通过串口与工控机相连进行通讯和数据的传送。工控机实时接受各个监测仪器的数据并予以保存，在通过局域网或者 GPRS 实时的将数据发送到数据中心的数据服务器上。现场的数据采集系统如图所示。

工控机是现场监测点数据采集系统的中心设备，也是数据采集系统人机交互接口的主要载体。现场监测点的应用软件为实时多任务的工作方式。其完善的处理功能包含有系统的设置即通讯参数的设置、数据采集、数据的实时显示、数据的存储、历史数据的查询、外部数据通讯以及故障自检等功能。

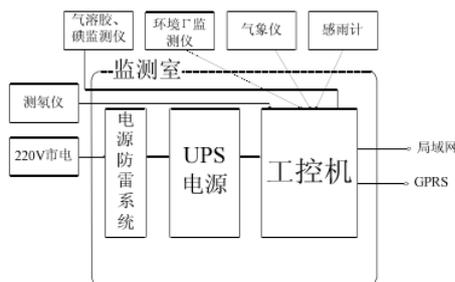


图2 现场数据采集系统

1.3 监测系统的数据传输

系统采用由光缆、网线电缆和路由器及交换机组成的局域网和移动的 GPRS 公网混合组网的数据传输网络。该网络内部可以使用 TCP/IP、UDP、HTTP、FTP 等各种通讯方式进行通讯。给软件设计带来极大的灵活性。考虑到监测系统通讯的实时性和可靠性，以及需要双向传输各种数据、文本信息，所以数据传输软件实现方式用 Socket 软件通讯方式。这样可以灵活的自定义通讯协议来实现高效通讯。例如：对于存储于现场监测点工控机的历史数据，可以按照文本的传输方式传送到数据中心的服务器上，然后再由汇总点的服务器自动从文本中解码得到所有的历史数据。对于通讯中断的控制信息和握手信息，传输的方式可用字符串的方式。

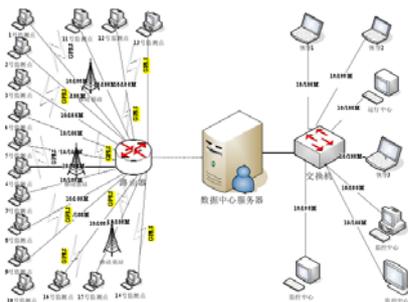


图3 监测系统网络拓扑图

1.4 数据中心服务器系统

在数据中心的服务器上能显示所有各监测点的数据、报警信息、历史系统运行信息。数据中心服务器对各个现场监测点的实时数据、历史数据以及系统运行的各种信息都进行接受。当客户端接入时实时上传给客户端，让客户端实时观测监测到的数据、注意异常情况和进行分析。另外该服务器系统可以保存 1 年的监测数据和各种信息汇总；可以方便的通过这些数据分析监测站点的运行状况。该服务器具有通讯服务器和数据库服务器的功能。数据中心服务器通过路由器和交换机与整个网络通讯，包括现场监测点和客户端。

1.5 客户端系统

在接入的客户端上能接收数据中心所接收到的监测点各种信息，并能实现监测数据的实时动态曲线的显示，给监测者予以形象的显示和直观的分析，必要时可直接与某一现场监测点通信取得数据，当通信出现故障或监测数据出现故障时能产生报警信息，通知有关人员。

客户端系统是具有合法身份的可以接入服务器的用户的软件系统，它通过交换机与数据中心服务器组成一个内部局域网，客户端可以接入局域网通过正确的用户名和密码连接到服务器上。通过服务器上传来的监测数据对这些数据进行汇总、实时显示、形象的通过动态曲线显示还可以查询历史数据、历史数据曲线等。

客户端设有若干个（根据需要可以增加），客户端的接入具有很大的便利性，可以是笔记本也可以是台式机，只要接入局域网内就可以等陆到服务器。

2 高精度低功耗 γ 监测仪设计及其他传感器选择

2.1 环境 γ 监测仪的设计

探测器由光敏面大小为 $10 \times 10 \text{mm}^2$ 硅 PIN 光电二极管（滨松 S3590-08）和 $\Phi 30 \times 25 \text{mm}^3 \text{NaI (Tl)}$ 闪烁晶体组成。 NaI (Tl) 晶体具有最高的光产额，其发射光谱分布在 320nm 到 540nm 的波长范围，光谱峰位在 415nm。S3590-08 在一光谱范围内的敏感较高。为克服两器件耦合面不匹配的缺点，特意设计了一款学名光锥的光导将两者耦合，改善了光电二极管到闪烁体耦合效率。

当闪烁体在伽马辐射激发下发放出的荧光时，光电二极将这些光子转化为电脉冲信号。需要特别注意的是这个信号非常微弱，低能射线的输出信号幅度仅稍大于统计噪声，因此尽可能地减少电子噪音。这一点，在探测器后面的初级电路设计中尤为重要。一个经特别设计的电荷灵敏放大器（CSP）被用来作为与光电二极管的接口电路，该电路的功能将探测器输出的电荷收集起来，并将之转换为一个电压信号输出。为设计低噪声电荷灵敏放大器，选用了—个非常适合该应用的，低噪声集成 CMOS 运算放大芯片 AD8606、—个极小容量电容和—个非常大阻值的精密电阻作为主要构成器件。

2.2 气溶胶监测仪选择

经过讨论性价比及对本系统的适用性，本监测系统中选用中国辐射防护研究院研制的 CAM-II 放射性气溶胶、碘连续监测仪，该监测仪适用于空气中各种长寿命核素形成的放射性气溶胶的连续监测，能同时测出空气中的 α 气溶胶和 β 气溶胶的活度浓度以及放射性碘的活度。其探测器采用可擦除的 PIPS 离子钝化注入硅半导体探测器，其探测灵敏度在普通的氡、Th 天然本底条件下，其探测下限为：

对 α 气溶胶： $LC(\alpha) \leq 0.05 \text{Bqm}^{-3}$ ；

对 β 气溶胶: $LC(\beta) \leq 3.0 \text{Bqm}^{-3}$ 。

2.3 测氦仪的选择

针对本系统中测量氦气的模式和系统设计的需求, 本系统选用成都科振新技术开发有限责任公司生产的 KZ—D02(E) 型测氦仪, 该仪器能满足国家标准 GB50325—2001《民用建筑工程室内环境污染控制规范》和国家标准 GB/T18883—2002《室内空气质量标准》对室内空气氦和工程地点土壤氦以及水中氦测定的要求。其探测器选用金硅面垒半导体探测器, 量程范围是: $4 \sim 100,000 \text{Bq/m}^3$, 灵敏度为 3Bq/m^3 。

2.4 气象仪、感雨计的选择

针对本系统的特点, 气象仪需要放在野外工作, 并且不仅需要风向、风速、温度、湿度、大气压还需要雨量等参数。为此经过综合考虑, 在本系统选用美国 DAVIS 生产的 Vantage Pro2 气象仪, 该仪器采用探测器 and 控制器分离的技术, 通过无线的方式进行数据传输, 其控制器配有 RS232 标准的串口方便与上位机的通讯, 可采集风、温、湿、光照、雨量、气压、露点等信息并做公告和趋势分析, 该站分有线站和无线站, 普通型和加强型几种类型。

3 安全风险评估系统的设计

核电站安全风险评估系统由核电站事故危害后果评估系统、核设施与核辐射危险源数据库等组成。

3.1 核事故危害后果评估系统。

通过将源项(事故位置、反应堆种类、大小和发生事故时间等), 以及气象条件(风向、风速、云量等)、下垫面性质、人员隐蔽状况等参数输入, 经数据转换引擎转换后, 系统自动调用扩散模型, 计算剂量场的分布, 再调用核素数据库中的危害指标体系, 能够实时模拟核电站事故的污染范围和程度, 计算服碘纵深、撤离纵深、隐蔽纵深、服碘面积、撤离面积、隐蔽面积, 并在地理信息系统上展示。

3.2 核设施与核辐射危险源数据库。

该数据库主要收录了核电站所处的纬度、经度, 隶属行政区别, 单位及上级主管单位名称, 以及装机容量、核素名称、核素种类和放射性核素总量(Bq)等数据信息。数据库涵盖了已知朝鲜境内的所有核目标, 包括核反应堆、核燃料加工厂、核物质储存仓库等关键信息; 收录了东北地区主要的核设施与核辐射危险源。包含常见放射性物质的基本物化性质和应急处置方法(防护措施、泄漏应急处理、急救措施和现场应急监测方法), 具备查询、添加、删除和修改等功能。