

智能环境在线监测调控系统在 PIVAS 洁净室的应用

杨文斌, 耿洲, 潘杰* (苏州大学附属第二医院药剂科, 江苏 苏州 215000)

摘要: 目的 提升静脉用药调配中心(pharmacy intravenous admixture services, PIVAS)对洁净室压差、温湿度的实时监测和预警能力, 最终实现洁净室环境及关键设备自动化、智能化的远程调节。方法 通过可编程序的逻辑控制器(programmable logic controller, PLC)系统介导的智能环境在线监测调控系统的设计与应用, 并比较该系统与传统环境监控系统的优缺点。结果 智能环境在线监测调控系统能与 PIVAS 智能运营服务平台(PIVAS Operation Service of Intelligent Platform, PSIP)有效结合, 基本实现了移动终端对洁净室压差和温湿度的实时监测与预警、历史数据的有效追踪与分析、远程压差/温湿度调节的自动化与智能化; 实现了洁净室内关键设备超净工作台的状态查看与远程控制等功能。异常监测报警记录由使用前的平均 5 次/月上升至 20 次/月; 异常情况的处理时间由每次(48±4.5)h 下降至每次(3±1.5)h; 相关人力时间由每月(540±60)min 缩短至每月(30±10)min。结论 智能环境在线监测调控系统的应用, 实现了 PIVAS 洁净室各工作区域压差/温湿度的实时监测与调节、超净工作台状态查看与远程控制, 不仅有效地保证了 PIVAS 洁净室的环境安全与全程可追溯, 也极大地便利了工作人员的操作。

关键词: 静脉用药调配中心; 洁净室; 环境在线监测; 自动化

中图分类号: R952 文献标志码: A 文章编号: 1007-7693(2021)14-1770-06

DOI: 10.13748/j.cnki.issn1007-7693.2021.14.021

引用本文: 杨文斌, 耿洲, 潘杰. 智能环境在线监测调控系统在 PIVAS 洁净室的应用[J]. 中国现代应用药学, 2021, 38(14): 1770-1775.

Application of On-line Monitoring and Control System for Intelligent Environment Online Monitoring in PIVAS Clean Room

YANG Wenbin, GENG Zhou, PAN Jie* (Department of Pharmacy, The Second Affiliated Hospital of Soochow University, Suzhou 215000, China)

ABSTRACT: OBJECTIVE To improve the real-time monitoring and early warning for differential pressure, temperature and humidity in pharmacy intravenous admixture services(PIVAS), and finally realize the automatic and intelligent remote regulation of clean room environment and key equipment. **METHODS** By application of on-line monitoring and control system for intelligent environment based on programmable logic controller(PLC) system, the advantages and disadvantages of the system are compared with the monitoring system for traditional monitoring system. **RESULTS** The on-line monitoring and control system of intelligent environment was put into use in PIVAS clean room, and it could be effectively combined with PIVAS Operation Service of Intelligent Platform(PSIP), which basically realized the real-time monitoring and early warning for differential pressure, temperature and humidity, the effective tracing and analysis for historical data, the automation and intelligentization of remote differential pressure/temperature and humidity adjustment, and the status check and remote control of the ultra clean working platform of the key equipment in the clean room. The alarm records of abnormal monitoring increased from 5 times per month to 20 times per month. The treatment time of abnormal condition decreased from (48±4.5)h per time to (3±1.5)h per time. The related manpower time was shortened from (540±60)min per month to (30±10)min per month. **CONCLUSION** The application of on-line monitoring and control system for intelligent environment has realized the real-time monitoring and automatic control for differential pressure/temperature and humidity in each working area of PIVAS clean room. Also the status check and remote control of the ultra clean working platform. Not only effectively ensure the environmental safety and whole process traceability of PIVAS clean room, but also greatly facilitate the operation of staff.

KEYWORDS: PIVAS; clean room; monitoring and control system of environment; automatic

静脉用药调配中心(pharmacy intravenous admixture service, PIVAS)由专业技术人员在洁净

环境内遵照无菌操作原则进行静脉药物配置, 相比传统开放条件, 其降低了微生物、热原及微粒

基金项目: 苏州市科技计划项目(SS2019042)

作者简介: 杨文斌, 男, 主管药师 Tel: 18151078789 E-mail: yangwenbin840321@163.com *通信作者: 潘杰, 男, 硕士, 硕导, 主任药师 Tel: (0512)67783422 E-mail: panzy1122@163.com

污染概率，是医院感染管理从后期控制走向前期预防的重要标志，是医院药学工作模式新的探索和突破^[1-2]。但是由于种种原因，洁净室安全事故频繁发生，如管理不当甚至会直接造成医院感染集聚性发生或暴发^[3-5]。例如在病原体研究实验中，工作人员的发病率比普通人群高 5~7 倍，病原体逃逸出设施造成他人和动物感染的事例也有发生。盐城市东台人民医院爆发的丙肝病毒感染事件就是医院院内感染管理制度落实不到位等原因造成院内感染的典型事例^[6]。包健安等^[7]开展的 1 项多中心 PIVAS 集中调配人员抗肿瘤药物职业暴露评估的研究显示，药物调配区域存在不同程度的抗肿瘤药物残留污染，且有向普通控制区扩散的趋势；PIVAS 职业接触抗肿瘤药物人员的尿液浓缩致突变率及淋巴细胞总凋亡率较控制组要高。PIVAS 洁净区空气的洁净度及质量直接关系到成品输液的质量，关系到患者的用药安全^[8-9]，所以需要加强 PIVAS 洁净区的环境监测，使洁净室的相关参数符合现行规范的需要。

PIVAS 洁净区应当包含一次更衣室、二次更衣室、加药混合调配操作间及洗衣洁具间；供抗菌药物类和危害药品静脉用药调配的操作间应配备生物安全柜，供肠外营养液和普通输液静脉用药调配的操作间应配备水平层流台。定期对 PIVAS 洁净区的环境进行监测和调控，是保证安全防护屏障的关键，是维系洁净室洁净度等级、减少外部污染、防止交叉污染的最重要、最有效手段。2010 年版《静脉用药集中调配质量管理规范》中对 PIVAS 洁净区环境的监测数据主要包括：洁净室温度、相对湿度和压差的控制；悬浮粒子、浮游菌、沉降菌的测定；超净台各参数的设定；其他如紫外线强度、照明度、噪声等。然而，在医院 PIVAS 洁净区，大部分环境监测数据采用人工定点记录，缺乏连续性及时效性，并不能真实反馈调配时实际的环境运行参数，所以亟需一种在线环境实时监测系统来实现对洁净室环境安全的精确控制。苏州大学附属第二医院浒关院区与沈阳轩嘉翊科技有限公司合作，设计并开发了智能环境在线监测调控系统，该系统依托于 PIVAS 智能运营服务平台 (PIVAS Operation Service of Intelligent Platform, PSIP)，主要负责数据采集和设备控制，实现了对 PIVAS 洁净区压差及温湿度的 24 h 实时监控、预警与远程调节，并依托软件

平台实现超净工作台的智能控制，目前该系统已在该院区 PIVAS 顺利运行，本文探讨该系统的开发与应用情况。

1 系统设计

1.1 系统总体设计

智能环境在线监测调控系统是一套多点式实时监控系统，能够实时并且动态监测各个相邻工作区域的环境安全指标，通过数据的实时传输控制洁净区域的回排风量、温湿度及超净工作台的相关参数，在线对洁净区的压差、温湿度等安全数据进行调节。该监测系统主要由现场监测装置和远程控制中心上位机系统(智能终端管理系统含机柜)组成。现场监测装置主要包括高精度空气压差传感器、温湿度传感器、超净工作台运行参数监控装置和无线远程通信装置。通过可编程的逻辑控制器(programmable logic controller, PLC)系统从压差传感器等核心设备采集数据量，数据通过 TCP/IP/RS232-RS485 输出接口上传至上位机进行数据集中处理，并可通过 TCP/IP 协议进行远程监测。重要数据上传至云服务平台管理，实现 24 h 动态实时监测压差、温湿度及超净工作台运行参数。本系统具有控制、报警、数据分析、查询、曲线分析、自动调节、权限管理等功能，系统结构图见图 1。

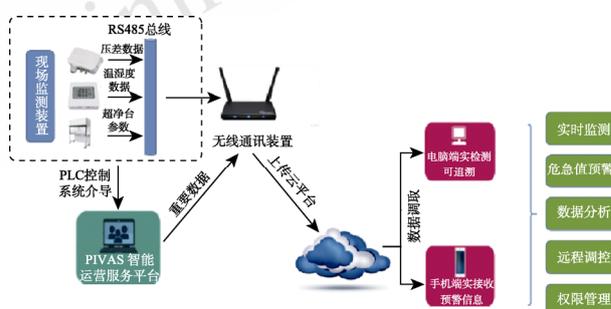


图 1 系统结构图

Fig. 1 System structure diagram

1.2 PLC

PLC 是在传统的顺序控制器的基础上引入了微电子技术、计算机技术、自动控制技术和通信技术而形成的一代新型工业控制装置，目的是用来取代继电器、执行逻辑、记时、计数等顺序控制功能，建立柔性的程控系统。具有通用性强、使用方便、适应面广、可靠性高、抗干扰能力强、编程简单等特点。

智能环境在线监测调控系统运用的是 PLC 控

制系统。PLC 控制系统能够将实际工作中的每一项数据(包括系统运行的运行参数和储存系统的储存数据)有效记录。当工作管理人员需要时,可及时调取需要的数据,并且能对这些数据进行有效的分析,从而准确地依据运行参数做出判断,解决运行过程出现的问题。PLC 控制系统还能综合机组的实际运作情况和 PLC 控制系统事先设定的参数,分析数据,从而进一步调整比例-微分-积分(proportion integration differentiation, PID)控制,保证机组的正常运行。

1.3 PIVAS 智能管理终端(机柜)

机柜主要部件采用工业控制级 PLC,在输入采集阶段,PLC 控制器以扫描方式依次读入所有输入状态和数据,并将它们存入 I/O 映象区中的相应单元内。输入采样结束后,转入用户程序执行和输出刷新阶段。通过开关量的逻辑控制,实现逻辑控制、顺序控制,多台设备的控制。在监测过程当中,有许多连续变量,如温湿度、压差、风速等都是模拟量。实现模拟量(Analog)和数字量(Digital)之间的 A/D 转换及 D/A 转换。采用工业级上位机实现数据处理,上位机发出的命令首先给下位机,下位机再根据此命令解释成相应时序信号直接控制相应设备。

1.4 云平台应用技术

云平台技术的运用为远程监测和在线调控的实现提供了技术支撑。PIVAS 智能管理终端将现场测得的数据经分析处理后上传至云平台,客户(PIVAS 管理人员)和开发商(系统维护工程师)可通过 PIVAS 智能云平台提供的服务,在移动终端实现数据的实时监控以及智能调控等操作,云平台的基本模式见图 2。①安全保障技术:安全技术保障平台运行环境、接入数据等的安全;②应用创新技术:应用开发和微服务技术实现应用的快速开发和创新;③数据挖掘技术:数据管理技术实现海量工业数据清洗、存储与计算;数据建模和分析技术实现工业数据的深度分析;④基础支撑技术:数据集成和边缘处理计算实现数据的实时处理和云端汇总;基础设施即服务 IaaS 技术提供稳定可靠的云基础设施。

1.5 硬件组成

PSIP 智能运营服务平台通过获取电子压差表、温湿度计及超净工作台运行数据,并借助回馈控制系统与回风电动调节阀、空调系统进行数

据互动来实现压差、温湿度及超净工作台的调控。与传统的压差调节模式相比,硬件上将送风管手动调节阀换成了自动压力无关性定风量阀,不管是房间高效堵塞,还是风管漏风等原因造成的送风压力不稳定,压力无关性定风量阀可根据两端压差的变化自动调整自己的开度,始终保证房间送风风量恒定。将回风管/排风管的手动调节阀换成了电动调节阀,根据洁净室各区域压差传感器反馈的信号,远程智能控制电动调节阀的开度,从而维持压差的稳定。设备部分结构及功能见图 3。

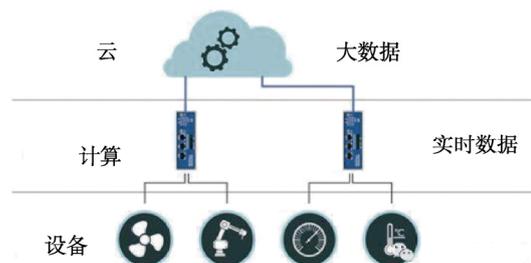


图 2 云平台模式
Fig. 2 Cloud services platform



图 3 设备部分结构及功能
Fig. 3 Structure and function of PSIP

2 应用介绍

洁净厂房设计规范 GB50073-2013^[10]指出,非连续运行的洁净室可根据生产工艺要求设置值班送风,并应进行净化空调处理。如果生产工艺要求严格,在空气净化调节系统停止运行时,会污染室内放置的半成品。药品生产质量管理规范(2010 年修订)第三十八条规定无菌药品生产的洁净区空气净化系统应当保持连续运行,维持相应的洁净度级别。因故停机再次开启空气净化系统,应当进行必要的测试,以确认仍能达到规定的洁净度级别要求^[11]。国内 PIVAS 的建设参考的是 GMP 生产规范,行业协会在实际建设及运行过程中并未做过多的强制性限定,国内 PIVAS 多数洁净室从资源节约的角度考虑采用非工作时段关闭净化系统,次日工作时提前半小时运行净化空调系统达到洁净室自净的方法,但苏州大学附属第二医院为了

匹配 GMP 的要求, 还是保持洁净区空气净化系统 24 h 运行, 但非配置时段净化系统切换至值班工况(低功耗), 配置开始半小时再切换回正常工况, 同时开启生物安全柜, 有效避免了高功率条件下对能耗的浪费。

2.1 智能压差在线监测及远程调控

2.1.1 远程压差连续监测 为控制洁净室各工作区域的实时压力, 在每个区域均安装了压力传感器, 检测数据经过变送器由 RS485 串行总线汇总传送给无线通信装置, 并通过无线网络将信息发送给智能终端管理系统, 最终将重要数据上传至云服务平台管理。管理人员通过移动终端, 可方便快捷地实时远程查看洁净区的各项压差数据。

2.1.2 报警系统 参照《江苏省静脉用药集中调配中心(室)验收评价标准》《医药工业洁净厂房设计规范》等指导原则, 建立压差参数的危急值, 当环境数据发生偏差时直接发送警报至手机端和电脑端, 实现实时预警和在线处置。设定普通药物调配间 5~10 Pa 正压差, 而抗菌药物及危害药物调配间 5~10 Pa 负压差。一旦压力传感器检测到压差 < 5 Pa 或 > 10 Pa 的设定限, 云服务平台会发送提示信息至 PIVAS 负责人及相关系统管理工程人员的手机端, 及时查找原因并制定解决方案。为保证异常数据得到及时处理, 每次的报警提示需通过远程终端确认方可视为警示有效。

2.1.3 自动调节 洁净室的压力调节可以通过调节洁净室的送风量、回风量或者排风量来控制。对于送风量, 有着种种要求的限制, 比如空气洁净等级的要求、满足相应温湿度的要求、保证洁净室内人员需求的要求等等, 因而在洁净室设计建造完成后由专业的工程技术人员调试稳定后一般不对房间的送风量进行调整。如需调节洁净室各工作区域的压差, 仅通过回风管或排风管上的调节阀进行调整。

系统初始调试时设定相应送风量、各房间压差值。通过送风管上自动压力无关性定风量阀的调节, 保证了送风量不会因为外界情况的变化而变化, 确保风量的恒定。在洁净室的各房门上安装门限位开关, 并设有联动装置(连续的两扇门仅允许一扇开启), 确保压差的稳定可控。

压差控制使用最常规的 PID 算法, 门限位开关关闭时(门处于打开状态), PID 停止计算, 停止对房间压差的调控; 门限位开关打开时(门处于关

闭状态), PID 启动计算, 开始根据房间压力自动对回风管/排风管电动调节阀开度进行控制, 保持压差在设定范围内。

2.1.4 在线远程控制 系统维护人员以及 PIVAS 负责人通过移动终端的数据监测或者报警系统的主动提示, 可查看异常情况, 并及时远程调整压差参数, 以控制洁净室的压差。远程控制系统见图 4。

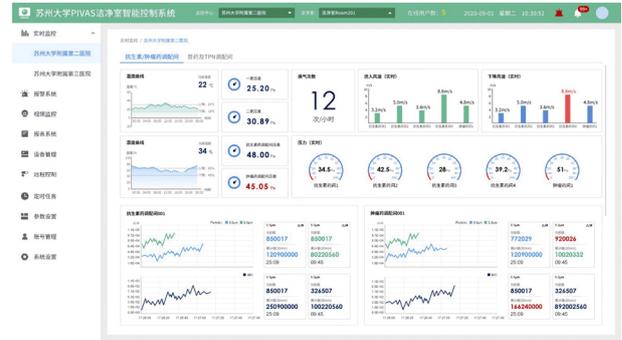


图 4 远程控制系统
Fig. 4 Remote control system

2.1.5 数据追踪与分析 系统将监测的压差数据及时上传至云服务平台, 实现了 24 h 智能压差监控, 避免了人工记录的繁琐、片面与不及时, 实现了无纸化记录。系统可随时调取任意时段的压差记录参数, 并绘制成曲线图, 方便管理人员了解压差的稳定性, 并做出准确调整。智能压差在线监测系统见图 5。

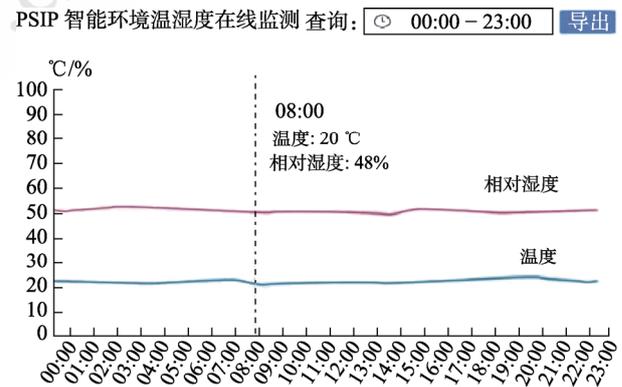


图 5 智能压差在线监测系统
Fig. 5 Differential pressure online monitoring system

2.2 洁净室环境温湿度的实时监测与危急值预警 PSIP 智能运营服务平台通过接入洁净室内设置的电子温湿度传感器数据, 实时在线监测记录温湿度并预警, 平台软件中的控制系统通过反向回馈调节温湿度。温湿度在线监测系统见图 6。

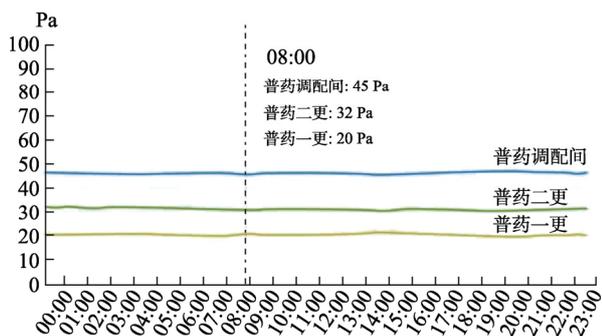


图 6 温湿度在线监测系统
Fig. 6 Temperature and humidity online monitoring system

2.3 生物安全柜及水平层流台的智能控制

PSIP 智能运营服务平台通过硬件连接洁净室内的生物安全柜及水平层流台的控制系統，可以对操作台实行集中远程控制(设备预约开关机、消毒、状态查看等功能)，极大地规范了洁净室操作台的管理及杜绝了人员进出洁净室的不规范行为的发生。操作台控制及预约开启界面见图 7。

3 使用效果

智能环境在线监测调控系統相较传统监测模式，实现了 24 h 连续自动监测，不仅能及时有效地发现问题，而且能快速高效地解决问题，节约了人力，保障了环境安全。见表 1。

3.1 异常监测记录对比

智能环境在线监测调控系統不仅做到了 24 h 实时监测与及时预警功能，并且能有效地将异常数据记录在云平台，通过移动终端方便快速地调取各项记录。传统的定时定点人工记录模式，仅通过上下午 2 个时间点的数据观察，来反馈整天的环境监测情况，存在片面性与偶然性，无法动态反馈整个环境的连续变化情况。使用该监测系

统后，异常监测报警记录平均 20 次/月；而未使用该监测系统前，异常监测记录平均为 5 次/月。智能环境在线监测调控系统的投入使用，大大提升了异常情况的检出率。



图 7 操作台控制及预约开启界面
Fig. 7 Super clean workbench control and appointment open interface

3.2 异常监测处理时间对比

智能环境在线监测调控系統不仅能实现预警功能，还能通过在线远程操控及时有效解决问题。传统的监测模式缺乏主动干预调节，需要由相关的专业工程人员上门进行调试，存在人为延误及误差。使用该监测系统后，异常情况的处理时间为每次(3±1.5)h；而未使用该监测系统前，异常情况的处理时间为每次(48±4.5)h。智能环境在线监测调控系统的投入使用，大大缩短了异常情况的处理时间，快速有效地解决问题。

3.3 人力成本对比

智能环境在线监测调控系統通过电子传感器，自动进行数据的记录，无需额外人工。此外，工程人员通过预警提示，远程进行设备的调控，也减少了 PIVAS 工作人员额外的报修、陪同时间。

表 1 国内 PIVAS 环境监测常用指标及 2 种模式对比

Tab. 1 Common indicators of PIVAS environmental monitoring in China and comparison of two models

指标	项目	标准	传统模式	智能监测模式优点
环境监测	压差	普药 5~10 Pa 正压差/抗菌药物及危害药物 5~10 Pa 负压差	每天定点监测 2 次	24 h 连续动态自动监测，时效性高，智能提示远程自动调节稳定性好，省时快捷，节约人力
	温度	15~26 °C	每天定点监测 2 次	
	相对湿度	40%~70%	每天定点监测 2 次	
	沉降菌	参见 GB/T16293-2010	每月采样 1 次	
	浮游菌	参见 GB/T16293-2010	每年采样 1 次(第三方机构负责)	
生物安全柜参数	尘埃粒子	参见 GB/T16293-2010	每年采样 1 次(第三方机构负责)	
	流入风速	(0.55±0.025)m·s ⁻¹	机器显示，每年检测(第三方机构负责)	
水平层流操作台参数	下降风速	(0.35±0.025)m·s ⁻¹	机器显示，每年检测(第三方机构负责)	
	水平风速	≥0.32 m·s ⁻¹	机器显示，每年检测(第三方机构负责)	

使用该监测系统后, 处理相关问题的人力时间为每月(30±10)min; 而未使用该监测系统前, 相关的人力时间为每月(540±60)min。智能环境在线监测调控系统的投入使用, 大大降低了人力成本。

4 总结与展望

目前, 很多医院 PIVAS 洁净区的环境监控仍然沿袭传统的人工管理模式, 与工业生产洁净室的自动化环境调控系统相比, 不仅不能保证各项环境安全数据稳定地维持在规定范围内, 更无法做到及时预警并依据实际反馈数据自动智能调节。本研究采用的智能环境在线监测调控系统利用常规 PID 算法, 采用工业控制级 PLC, 送风管采用压力无关性定风量阀保证房间的送风量恒定。回/排风管安装电动调节阀, 根据压力传感器实时监测房间压力变化, 当房间压力发生变化时, 调节阀根据压力变化做出调整, 以保证房间的压力恒定, 并且通过智能服务云平台连接洁净室温湿度传感器、超净工作台控制器, 借助平台中的数据回馈与控制功能实现温湿度的在线监测、危急值预警、超净工作台的远程控制等功能, 该系统及时有效地将 PIVAS 洁净室的压差、温湿度及操作台运行数据通过云平台展现在 PIVAS 管理人员与系统维护人员的移动终端, 并通过事先设定好的参数, 自动化、智能化地控制影响洁净室环境的因素, 保证了洁净室运行的安全。该智能环境监测系统在国内尚未见文献报道。

目前, 该智能环境在线监测调控系统已实现了对温湿度、压差及超净台的智能调控, 然而 PIVAS 洁净区的环境监测还包括浮游菌及尘埃粒子的监测等。目前已有关于在线悬浮粒子与浮游菌监测系统的相关研究^[12-14], 却缺少相关的实验室方法的替代验证, 获取的数据很难令人信服。本院正在开展微生物实时检测技术替代方法的验证研究, 它是通过 405 nm 波长的激光照射采样气体, 使得所有活性和非活性的粒子发生散射, 活性粒子中的烟酰胺腺嘌呤二核苷酸和核黄素会发出荧光, 微生物实时检测系统同时检测散射光和荧光, 从而得到环境中尘埃粒子(粒径在 0.5~10 μm)及浮游菌的浓度, 实现实时在线连续监测。未来, 在智能 PIVAS 研发的基础上, 将浮游菌及尘埃粒子实时监测技术与 PIVAS 智能运营服务平台结合, 实现 PIVAS 对浮游菌及尘埃粒子的实时监测

和预警, 从而实现对整个 PIVAS 安全生产环境的实时监测和危急值预警。智能环境在线监测调控系统具有广阔的应用前景, 随着科技的进步及 5G 技术的全面商用, 全天候及多参数协同的洁净室环境监测、回馈控制将是未来洁净室发展的主流方向。

REFERENCES

- [1] 陈晔, 张建中, 吕迁洲. 建立 PIVAS 药品管理体系的初步探索[C]//规范静脉输液混合调配学术研讨会论文集. 济南, 2006: 131-134.
- [2] 杨文超, 秦涛, 张晓霞, 等. 医院静脉用药调配中心净化配置室清洁消毒方法及效果对比分析[J]. 西北药学杂志, 2014, 29(3): 317-319.
- [3] FENG L J, CHENG G, ZHANG M Y, et al. Management and maintenance of the purification air-conditioning system in PIVAS of our hospital[J]. China Pharm(中国药房), 2015, 26(34): 4887-4889.
- [4] 管仲惠. 静脉用药调配中心洁净区域的感控管理[J]. 中外健康文摘, 2013(9): 349.
- [5] ZHANG G B, ZHAO H Y, SHEN X F, et al. Exploration of current situation and mode of nosocomial infection management in pharmacy intravenous admixture service[J]. Chin J Nosocomiol(中华医院感染学杂志), 2017, 27(12): 2837-2840.
- [6] 武建民, 袁义平, 吴银华. 2012—2016 年东台市性传播疾病的流行和变化趋势[J]. 江苏预防医学, 2017, 28(3): 296-297.
- [7] BAO J A, SHEN G R, WANG R Y, et al. A multicenter investigation of occupational exposure risks in workers to antineoplastic drugs in pharmacy intravenous admixture services[J]. Chin J Hosp Pharm(中国医院药学杂志), 2016, 36(9): 701-706.
- [8] LU C J, SHEN G R, CHENG J. Management of infection and its control in clean area of PIVAS[J]. Anti-Infect Pharm(抗感染药学), 2016, 13(4): 835-837.
- [9] 沈国荣, 冉晓军, 郁文刘, 等. 静脉用药调配中心洁净室环境动态监测实践[C]//2014 年中国药学会大会暨中国药师周论文集. 石家庄, 2014: 51-56.
- [10] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 中华人民共和国国家标准: 洁净厂房设计规范 GB 50073—2013[S]. 北京: 中国计划出版社, 2013.
- [11] 药品生产质量管理规范(2010 年修订). 中华人民共和国卫生部令第 79 号[A].[2011-01-17].
- [12] 毛述春. 在线悬浮粒子与浮游菌监测系统设计的风险评估[J]. 机电信息, 2017(11): 5-9, 45.
- [13] 魏佳鸣. 瞬时检测系统 IMD-A 在环境控制上的应用前景分析[J]. 医药前沿, 2016, 6(12): 373-376.
- [14] LIN J M, HE B Q, YI L J, et al. Correlation study on a microbial monitor based on fluorescence intensity for monitoring microbial concentration of indoor air[J]. Chin J Disinfect(中国消毒学杂志), 2016, 33(9): 830-832.

收稿日期: 2020-06-08

(本文责编: 曹粤锋)