

工业电视系统在核燃料后处理工程中的应用

核燃料后处理工程具有不同于其他厂房的特殊性，涉及到核乏燃料和核材料物质的生产、处理、贮存和运输，存在许多核辐射工业场所。核安全问题是整个工程中的关键环节，设置工业电视系统，有助于提高生产的安全性，提高生产效率和管理水平，及时发现和排除生产事故隐患，保障人身和设备安全，确保核安全。

杨志超 王特东/中国核电工程有限公司

0 引言



杨志超/工程师

核燃料后处理工程涉及到核乏燃料和核材料生产、处理、贮存和运输，存在许多需要边监视边操作的部位，以及人员无法直接进入的核辐射工业场所（如热室、温室、设备室和贮存室）。设置工业电视系统，实现对核辐射工业场所内的工艺流程、设备运转和维护和放射性废物贮存等的监控，便于操作人员配合窥视窗观察，从而协助操作人员作出正确判断，利用动力手或主从机械手完成核辐射工业场所内的机械操作。

以某核燃料后处理工程内的工业电视系统设计为例，根据《工业电视系统工程设计规范》^[1]和工程实际需要，该核燃料后处理工程内的工业电视系统主要完成以下任务：①对汽车门斗的互锁气闸门进行监视；②对设备起吊及吊装过程进行监视；③对热室内的工艺生产过程进行监视；④对产品转运进行监视；⑤对热室和贮存室内的机械手及动力手的操作进行监视；⑥辅助操作员确认监视区域内的火灾情况。

1 系统方案设计

根据某核燃料后处理工程的工艺运

行要求和运行环境，在厂房内设置了适用于多场所、多操作终端、图像共享和统一管理的网络型工业电视系统。系统设备主要包括摄像机、硬盘录像机、视频信号分配器、视频交换矩阵、操作键盘、电源控制器、操作站、液晶监视器和稳压电源等。系统设计分为三级：中央控制级、操作与监视级和现场级。该核燃料后处理工程工业电视系统图如图1所示。图1中的图例如图2所示。

为实现资源的合理利用，设置中央控制级对摄像机和操作站进行集中管理和分配。视频/音频/控制信号通过系统电缆传输到中央控制柜。中央控制柜和各操作站之间具有视频矩阵交换功能，通过系统电缆进行视频/音频/控制信号传输。操作站可对中央控制柜分配的摄像机进行控制，可根据操作站需求在任意监视器上显示视频图像。

1.1 中央控制级

中央控制级设置了中央控制柜，中央控制柜位于操作廊内，为该核燃料后处理工程工业电视系统的控制、交换、显示和存储中心，所有的视频信号、控制信号的处理和分配均在中央控制柜完成，存储30天视频信息。中央控制柜上配置一台液晶监视器，可显示区域内任一摄像机视频信号，并可进行多画面切换及多画面显示。

1.2 操作与监视级

操作与监视级设置了6台移动式操作站和1台固定式操作站，移动式操作站可以实现对特定摄像机的控制，并实现所

关键词/Keywords

耐辐照 ·
摄像机 ·
操作站 ·
行走导轨 ·
液晶监视器 ·

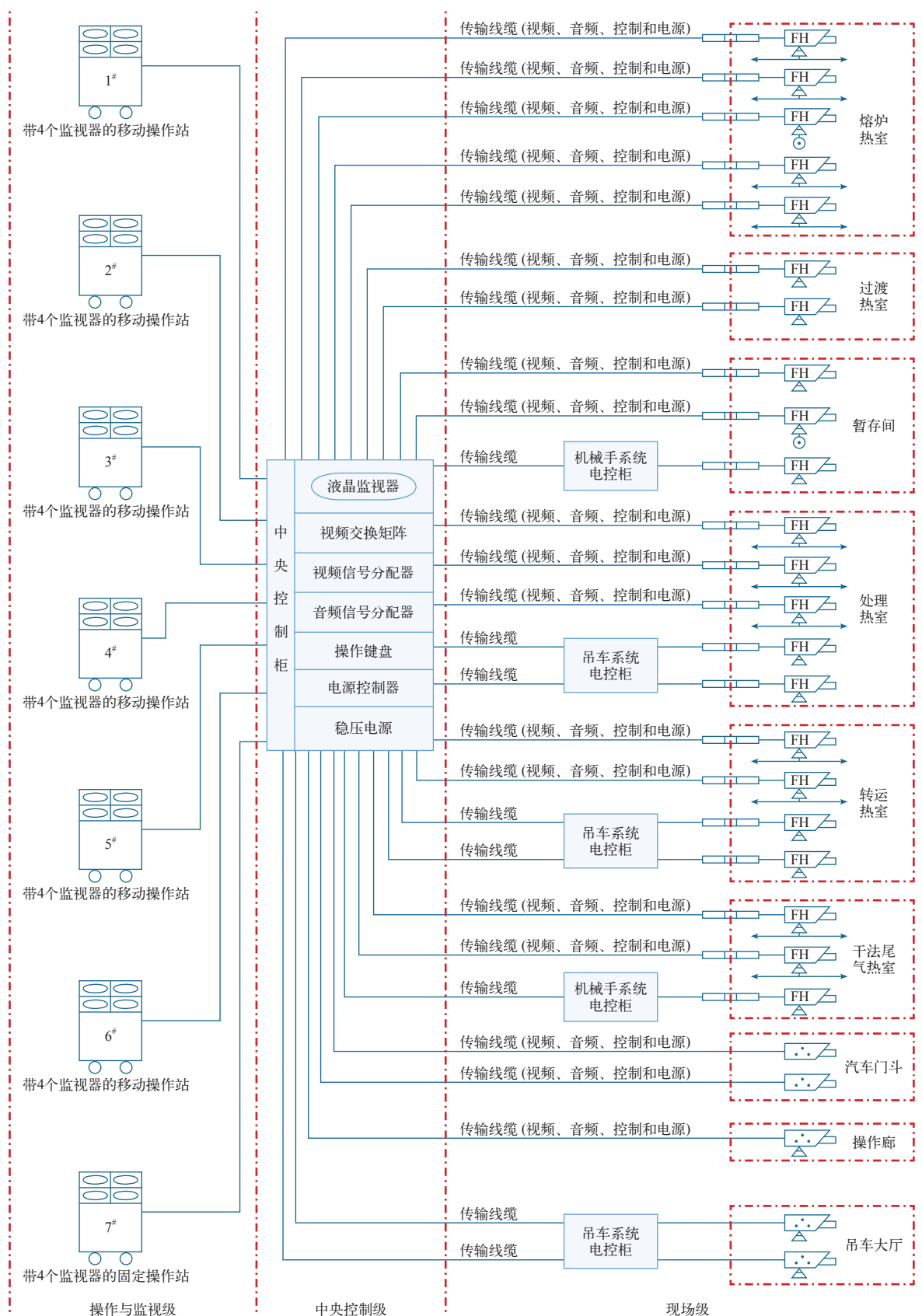


图1 某核燃料后处理工程工业电视系统图

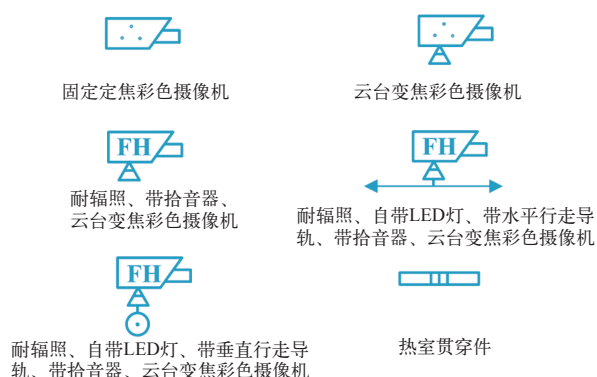


图2 图例

有摄像机的图像显示。固定式操作站用于所有摄像机的图像显示。

6个移动式操作站分别设置在各个操作廊内，可以在热室/暂存间的窥视窗之间移动，根据需要停靠在某一窥视窗前，便于操作人员控制云台方位、摄像机镜头焦距及摄像机行走距离，从而通过移动式操作站上的监视器配合窥视窗观察热室/暂存间内的操作、设备的维护及运转状况。

1个固定式操作站设置在主控室内，可显示所有摄像机的视频信号，但不能控制摄像机。

1.3 现场级

现场级共设置了27台摄像机，其中22台耐辐照摄像机安装在热室/暂存间内，5台常规摄像机安装在吊车大厅、操作廊及汽车门斗。

热室/暂存间内的摄像机自带耐辐照LED照明灯，摄像机及其附件均具有耐辐照功能和自清洗去污能力，连接电缆采用耐辐照电缆。部分摄像机和拾音器安装在有行走装置（包括水平和垂直两种行走方式）的轨道上，可根据需要移动摄像机位置，保证操作过程中不同角度的观察，并可及时发现操作过程中可能发生的碰撞情况。

2 设备选型

2.1 设备选择

2.1.1 一般性原则

核燃料后处理工程环境比较特殊，如核辐射、高温、高粉尘和强腐蚀等。为此，在工业电视系统设备选型时必须明确设备的运行环境，包

括核辐射强度、温/湿度、大气压力、腐蚀、粉尘和照明等参数，作为选择设备的依据。

2.1.2 前端设备

摄像机是工业电视系统前端设备的核心，主要功能是完成信息图像的采集。

在该核燃料后处理工程中，兼顾工艺监视需求、被监视目标或区域所处的环境条件，合理地选择与设置摄像机，实现对监视目标或监视区域充分覆盖，满足监视需求。

(1) 耐辐照摄像机

根据热室/暂存间的核辐射瞬时剂量率和累积剂量，热室/暂存间内设置了耐辐照摄像机。摄像机及其辅件（包括随缆、插头和支架等）均具有耐辐照功能和自清洗去污能力，摄像机的外壳材料为不锈钢，连接电缆采用耐辐照综合电缆。

根据工艺需求，需要在热室/暂存间内改变监视目标的观察视角，故选用PTZ摄像机，可根据工艺需要调整云台方位、摄像机镜头焦距。对需要连续监视目标移动的区域设置水平行走或垂直行走导轨，摄像机安装在行走导轨上，摄像机随着监视目标的移动可以实现行走。

为便于准确判断操作过程中可能发生的碰撞情况及设备就位情况，热室/暂存间内摄像机配有拾音器，可通过声音辅助判断碰撞情况及设备就位情况，声音回传至中央控制柜。

为在设备远距离维修时提供充足光源，耐辐照摄像机自带耐辐照LED照明灯（平时处于待机状态）。

热室内的摄像机需通过机械手进行远距离更换和拆装，可远距离更换和拆装的部件包括摄像机本体、摄像机电缆和端子箱（带拾音器）。为满足动力手和主从机械手的远距离操作要求，摄像机可远距离更换部件要有特殊设计。

1) 摄像机本体与支架之间可采用插接及定位销等措施，以方便动力手和主从机械手进行固定连接和松开连接。

2) 电缆插头应至少有2个适合动力手/主从机械手夹钳抓取的平行平面。在插头和插头配用的

插座上都应有插入时的辅助导向。

摄像机为非核安全级设备，而热室/暂存间内有工艺设置的核安全级设备，为防止摄像机在地震中坠落砸到工艺的关键性设备，热室/暂存间内摄像机采用抗震支架。

(2) 常规摄像机

汽车门斗设置的摄像机用于监视互锁门的开启状态及设备吊装情况，故选择常规的固定定焦彩色摄像机。

操作廊、吊车大厅等处视角范围较大，故选择常规的云台变焦彩色摄像机。

2.1.3 监视及控制级设备

监视及控制设备具有对图像信号的分配、运行切换、存储和回放等功能。

中央控制柜实现图像的控制、交换、显示和存储等功能，并具有供电和视频、音频接口协议的转换功能。主要设备包括液晶监视器、硬盘录像机、视频信号分配器、视频交换矩阵、操作键盘、电源控制器和稳压电源等设备。

移动式操作站带可锁定的脚轮，配置画面分割切换控制器、操作杆、控制键盘和液晶监视器等设备，并配备供电插头和随缆。固定式操作站配置画面分割切换控制器和液晶监视器等设备，并配备供电插头和随缆。

2.2 设备主要技术指标

在该核燃料后处理工程内的工业电视系统设计中，主要设备的主要技术指标如下。

2.2.1 耐辐照摄像机

视频输出：1 V_{p-p}，正极性和75 Ω；水平分辨率：≥500 TVL；焦距：12~72 mm；信噪比：≥50 dB；热室/暂存间工作温度为0~55 ℃；核辐射瞬时剂量率最大值为50 Gy/h，累积剂量为1×10⁶ Gy/5年；自带LED照明灯，亮度：≥1 500 CD，功率：≥100 W；摄像机外形设计方便清洗和去污；外壳采用不锈钢。

2.2.2 云台

供电：DC 24 V，功率：<10 W（连续转动

时）；旋转范围：水平转角≥355°，垂直转角内±90°；云台转速：平移速度≥4°/s，俯仰速度≥4°/s；承重：与摄像机总重量匹配；扭矩：与摄像机总重量匹配。

2.2.3 视频交换矩阵

系统容量：32路视频输入，32路视频输出；图像的任意切换和时序切换，任一输入到任一输出的切换和任意顺序显示的排列；包括系统控制器和管理软件；具有RS 232接口和USB接口；控制器接口：8个RJ45；解码通信接口：1个RJ45；扩展接口：1个25 pin D-sub接口。

2.2.4 水平/垂直行走装置

行走导轨、驱动、摄像机安装平台及供电线缆均与摄像机本体耐辐照指标相同；行走期间保持画面清晰稳定；承重能力与摄像机重量相匹配。

2.2.5 热室贯穿件及插接件

该核燃料后处理工程内的工业电视系统热室贯穿件用于工业电视系统的电气、信号连接，主要设备包括贯穿件筒体、贯穿件内部电缆、屏蔽件、贯穿件两侧接线盒/插座、密封件及固定螺栓。空套管和贯穿件示意图如图3所示。

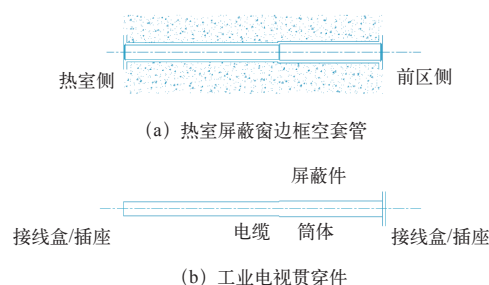


图3 空套管和贯穿件示意

工业电视系统热室贯穿件主要技术指标如下：

- 1) 材料为不锈钢。
- 2) 远距离操作要求。热室贯穿件布置在热室屏蔽窗边框的套管内，其热室侧位置处于热室内主从机械手和动力手操作范围内。
- 3) 热室贯穿件与屏蔽窗边框之间采用法兰螺栓连接，因热室内为负压，所以热室墙上的贯穿件的密封性至关重要，热室贯穿件具有屏蔽功能和密封性。

4) 绝缘电阻。在环境温度条件下,每个导体与所有其他接地导体间的绝缘电阻应有最小值,对于低压电力、控制和常规仪表电气贯穿件,施加DC 500 V时为 $10^8 \Omega$ (参照核电设计资料)。故工业电视系统热室贯穿件绝缘电阻应满足施加DC 500 V时为 $10^8 \Omega$ 。

2.3 技术参数验证

2.3.1 耐辐照摄像机累积剂量的计算

一年按照264天的工作日计算,8 h正常工作瞬时剂量率为50 Gy/h,16 h非工作瞬时剂量率为10 Gy/h。

一年按照101天的非工作日计算,24 h瞬时剂量率均为10 Gy/h。

耐辐照摄像机一年的累计剂量计算: $(8 \text{ h} \times 50 \text{ Gy/h} + 16 \text{ h} \times 10 \text{ Gy/h}) \times 264 + 24 \text{ h} \times 10 \text{ Gy/h} \times 101 = 172\,080 \text{ Gy/年}$ 。

考虑到远距离更换的复杂性,选择的摄像机考虑5年的运行寿期,5年的累积剂量为: $5 \times 172\,080 \text{ Gy} = 860\,400 \text{ Gy/5年}$ 。

最终选择的耐辐照摄像机累积剂量为 $1 \times 10^6 \text{ Gy/5年}$ 。

2.3.2 硬盘容量计算

视频存储采用720p的视频格式,单路前端摄像机的比特率为2 Mbit/s。

视频信息存储30天,每天按照24 h正常工作。1台摄像机所需的存储空间计算: $(2 \times 3\,600 \times 24 \times 30 \div 8 \div 1\,024) \text{ GB} \approx 633 \text{ GB}$ 。

考虑到磁盘格式化损失10%的空间,1台摄像机所需的存储空间为: $633 \text{ GB} \div 0.9 \approx 704 \text{ GB}$ 。

本次设计共有27台摄像机,所需总的存储空间为: $27 \times 704 \text{ GB} = 19\,008 \text{ GB}$ 。故选择10个2T的硬盘存储。

3 电缆特性及供电

3.1 缆特性

(1) 热室内的电缆

热室内的摄像机的供电和信号电缆要具有与

摄像机本体相同的耐辐照功能,即累计剂量约为 10^6 Gy (即5年运行寿期)。由于受热室内温度和核辐射影响,热室内电缆可能会在运行期间损坏,采用贯穿件方案,热室内电缆明敷安装,配有墙钩,可以将不用的线缆挂起,以此保证热室内电缆也可进行远程维护。

(2) 热室外的电缆

根据《工业电视系统工程设计规范》^[1],结合工程设计需要,热室外的电缆采用低烟、无卤电缆,采用镀锌钢管敷设。

3.2 供电及维护

该核燃料后处理工程中设置的工业电视系统由AC 220 V/50 Hz (UPS) 供电,中央控制柜提供工业电视系统所有摄像机的电源,各个操作站配备10 m随缆,电源就地提供,采用AC 220 V/50 Hz 供电。

摄像机的供电及信号交换通过中央控制柜完成,热室/暂存间内视频+电源+控制信号集成在一根14芯电缆来实现,摄像机上配有14管脚的雷莫插座,热室内的电缆两端均为14管脚的雷莫插头,热室贯穿件两端均连有雷莫插座,热室内外的供电及信号交换通过贯穿件实现。

位于热室内的摄像机本体、摄像机随缆等均配置快拆装置,可通过动力手或主从机械手准确抓取,从而实现远程维护和更换。

4 结束语

除具有一般工业电视系统所具有的功能外,该核燃料后处理工程内设计的工业电视系统还具有以下特点:

1) 中央控制柜对摄像机和操作站进行集中管理和分配,合理利用资源,可进行多画面切换和多画面显示,该系统构成方式是在后处理厂房中首次采用。

2) 热室中设置的摄像机具有耐辐照功能且有自清洗去污能力。

3) 耐辐照摄像机及其随缆均可通过动力手或主从机械手拆装。

4) 部分耐辐照摄像机和拾音器安装在行走导轨上,包括垂直行走和水平行走两种行走方式。在一些操作过程中,操作人员可利用行走导轨从不同角度看清热室/暂存间内的状况。

5) 移动式操作站可以在窥视窗之间易位。操作站与摄像机(带拾音器)之间可任意分配,一个操作站监视摄像机信号的同时,另一个操作站可以控制该摄像机。

选择设备时需要充分考虑工业厂房的一般环境和核辐射环境,结合工艺需求选择满足要求的设备。事实表明,工业电视系统可以对核燃料后处理工程内主要生产环节和重要场所进行实时监

控,在整个工序运转方面起着重要作用。该设计为后续核燃料后处理工程工业电视系统的设计提供了切实可行的案例。

参考文献

- [1] GB 50115—2009 工业电视系统工程设计规范[S].
- [2] GB 50198—2011 民用闭路监视电视系统工程技术规范[S].
- [3] GB 50395—2007 视频安防监控系统设计规范[S].
- [4] 裴昌幸,等.电视原理与现代电视系统[M].西安:西安电子科技大学出版社,1997.

(收稿日期:2016-07-18) **EA**

信息动态

精巧紧凑 超越期待

台达Amplon N系列6/10 kV·A UPS新机种上海首发

伴随着数字化趋势的发展,IT设备的需求亦快速增长,全球电源管理与散热解决方案领导厂商台达因应趋势所需,于2017年3月3日在上海举办“精巧紧凑 超越期待——台达Amplon N系列6/10 kV·A UPS产品发表会”,宣布重磅推出更具竞争力的小功率UPS产品——Amplon N 6/10 kV·A系列。与全球业界同级产品相比,拥有“节省75%空间的最佳紧凑设计”和“全额定功率输出的最佳性能表现”,为工作站、通信基站等关键设备提供更加优越的可靠动力保障。

台达在不间断电源系统(UPS)领域拥有丰富经验,具备UPS全系列产品方案的研发、设计与制造的专业能力。此次发表会的主角——Amplon N 6/10 kV·A系列产品,是台达应对高速发展的中小型IT应用场合提供的针对性产品,其全球业界最佳的紧凑设计和性能表现,也充分体现了台达聚焦行业应用需求,提升用户竞争力与环保节能的理念。

台达集团—中达电通小功率UPS产品经理郑龙艺先生在发布会上介绍,Amplon N 6/10 kV·A系列产品承袭台达一贯对技术与质量的坚持,除保持了高可靠性、优异效能

和卓越整机效率外,更凸显了“最紧凑设计”与“最佳性能表现”两大核心优势。拥有全球业界同级产品中最紧凑设计,可节省高达75%的空间,将更多宝贵空间留给IT设备使用。在整机效率上,该系列产品最高可达95%,即使在30%轻载时,效率仍达94%,皆比同类产品高6%以上,如采用经济运行模式,效率则可高达98%。Amplon N系列UPS拥有业界独家领先技术,带任意功率因数负载均可100%全功率输出,大幅提升了UPS的带载能力,同等额定功率情况下,可比业界同级最多带25%负载。

不仅如此,诸多创新与智能的设计,也让Amplon N 6/10 kV·A系列成为一款足够担当“超越期待”的产品。如,可选配并机扩展及“N+X”冗余功能,实现多达4台的UPS系统并机;智能多段式风速控制,优化整体效率,有效降低噪声,并延长风扇使用寿命,为关键设备提供完整保障。其完善的电池管理功能,包含:温度补偿、过充电保护、智能调整放电终止电压的保护和浮充电/均充电两阶段充电设计等,可协助延长电池寿命,提高电池性能。配有迷你智能卡插槽和RS 232接口,提升可管理性,为用户带来更便捷、智能的使用体验。