

面向安全管理的锂电池工厂智能化监测体系建设研究

张久海

孚能科技（镇江）有限公司，江苏 镇江 212132

[摘要]本研究着眼于锂电池工厂生产工艺繁杂且安全风险颇为显著的实际情况，为弥补传统安全管理模型于实时感知、精准预警以及快速联动等方面所存在的欠缺，全面且细致地对构建智能化监测体系的具体路径展开探讨。通过针对锂电池工厂的核心工艺流程开展危险源辨识工作，清晰明了地界定出其呈现出多维度且具有耦合性特点的风险特征以及相应的监测需求；紧接着依照分层解耦的理念，精心设计出包含感知层、网络层、平台层以及应用层这四个层级的逻辑总体架构，同时也详细阐述了物联网、大数据、人工智能还有数字孪生等一系列关键技术所发挥的有力支撑作用。

[关键词]锂电池工厂；安全管理；智能化监测；风险预警

DOI: 10.33142/sca.v8i10.18283

中图分类号: TM911

文献标识码: A

Research on the Construction of Intelligent Monitoring System for Lithium Battery Factory Facing Safety Management

ZHANG Juhai

Farasis Energy Technology (Zhenjiang) Co., Ltd., Zhenjiang, Jiangsu, 212132, China

Abstract: This study focuses on the practical situation of complex production processes and significant safety risks in lithium battery factories. In order to compensate for the shortcomings of traditional safety management models in real-time perception, accurate warning, and rapid linkage, a comprehensive and detailed exploration is conducted on the specific path of building an intelligent monitoring system. By conducting hazard identification work on the core process flow of lithium battery factories, the multidimensional and coupled risk characteristics and corresponding monitoring requirements are clearly defined; Following the concept of hierarchical decoupling, a logical overall architecture was carefully designed, which includes four levels: perception layer, network layer, platform layer, and application layer. At the same time, a series of key technologies such as the Internet of Things, big data, artificial intelligence, and digital twins were elaborated in detail to provide strong support.

Keywords: lithium battery factory; safety management; intelligent monitoring; risk warning

随着全球新一轮科技革命和产业变革的加速推进，智能技术不断成熟，制造业企业的智能化转型升级已经成为我国经济发展的核心关注点。在“碳达峰、碳中和”的战略目标的引领下，新能源行业成为了实现碳中和的主力军，我国新能源汽车和储能领域迅猛崛起，作为新能源汽车的“心脏”动力电池行业也随之面对着前所未有的机遇和挑战。然而，许多制造企业由于缺少系统的规划和相关经验，导致转型后的效果往往未能达到预期目标。近些年，不管是国内还是国外，锂电池工厂出现安全事故的情况屡见不鲜，这无疑给整个产业链的平稳运行带来了极为严重的威胁。去深入探索并且着手建设这样一套体系，该体系可以达成对所有要素、全部流程以及全天各个时段都能够实现智能感知的目的，同时还能做到精准预警以及快速联

动，如此一来便能够形成智能化的监测体系，这也是促使锂电池产业朝着安全、绿色以及高质量方向发展所必须要做出的战略抉择。

1 锂电池工厂安全风险特征与监测需求分析

1.1 主要生产工艺流程及危险源辨识

锂电池的生产流程一般包含电极制备、电芯装配、注液化成还有老化检测等一系列较为复杂的工序，在电极制备这个阶段，正负极活性物质、导电剂以及黏结剂在混合与涂布的过程当中会产生很多可燃性的粉尘，要是除尘系统出现故障，那么就很容易引起粉尘云燃烧，甚至还会发生爆炸。在电芯装配环节，如果出现机械损伤的情况，就有可能引发内部短路的隐患^[1]。注液工序是直接和大量易燃易爆的有机电解液相关的，这些有机电解液挥发出来的

气体和空气混合之后会形成爆炸性的气氛。接下来的化成以及老化阶段，要是热管理出现问题或者电池本身就存在制造方面的缺陷，那么就很容易诱发热失控的连锁反应。在生产环境里，温度和湿度超出标准范围、关键设备的运行参数出现异常还有作业人员存在违章操作的行为，这些都是不容忽视的衍生危险源。

1.2 传统安全管理者的局限性

当下，众多锂电池工厂的安全管理，相当程度上还是依靠周期性的手工巡检、分散布置的独立式传感器所发出的警报以及那种在出了事之后才去追责的管理制度。这样的管理模式，其一，在感知方面存在着盲点和时间延迟的情况，很难对复杂的险情态势有一个整体的掌握；其二，在数据分析这个层面上，传统模式缺少对海量且来源多样的安全监测数据展开深入挖掘以及关联分析的能力，风险评估大多得靠经验来做出判断；其三，在响应处置这一层面，各个安全子系统往往是各自独立地运行着，信息之间的壁垒十分厚重，很难达成快速协同且高效的应急联动效果。

1.3 智能化监测体系建设的必要性与目标

传统模式存在一些弊端，要想从根本上克服这些弊端，建设智能化监测体系就变得格外紧迫起来。该体系在建设的时候，主要是借助新一代信息技术的综合运用，进而达成安全管理在数字化、网络化以及智能化方面的跃升。其最为关键的目标是要构建起一个能实时且全面地感知全厂区安全状态的多维感知网络，同时还要打造出一个可高效汇聚、融合并分析多源异构安全数据的数据中枢以及智能平台。最终盼望着能把安全管理从以往的事后处置转变为事前预防，从被动响应变为主动预警，从单点防控走向全局协同，实现深刻的转变。

2 智能化监测体系总体架构设计

2.1 设计原则与建设思路

智能化监测体系在进行顶层设计的时候，应当依据系统性、可靠性、开放性以及可扩展性等一系列基本原则来开展相关工作。就建设思路而言，需要采用“总体规划、分步实施、急用先行、迭代完善”这样的策略，把重点优先放在重大风险监测预警能力的建设方面，接着再慢慢朝着更为广泛的领域去拓展，从而最终构建起一张覆盖范围较为全面、各项功能都比较完备的综合性安全智能管控网络。

2.2 体系逻辑架构：感知层、网络层、平台层、应用层

依据分层解耦这一理念，能够把体系划分成四个逻辑层级。感知层主要负责去广泛地部署各类智能传感器以及采集装置，以此来实时获取环境、设备、工艺还有人员等

方面所涉及的全方位安全参数。网络层综合运用工业以太网、5G 等通信技术，去构建起一个高可靠的异构融合网络，从而保证数据可以稳定地进行传输。平台层充当着“智慧大脑”的角色，其是把数据汇聚、存储、处理、分析以及模型服务等多项功能集合到一起的核心中枢所在。应用层属于面向安全管理具体业务场景的“服务窗口”，会去开发并部署像安全风险全景可视化、实时动态风险评估、智能预警推送等一系列智能化的应用程序。

2.3 关键技术支撑：物联网、大数据、人工智能与数字孪生

这一宏伟架构得以实现，离不开一系列关键技术给予的有力支撑。物联网技术乃是实现海量感知终端广泛接入以及数据采集的关键所在，可称得上是基石一般的存在。大数据技术为处理那些海量且高速、多样化的安全数据给出了完整的解决办法。人工智能技术，尤其是其中的机器学习以及深度学习算法，是赋予整个体系“智能”关键部分。数字孪生技术借助构建与物理工厂保持高保真同步的虚拟模型，能够达成安全状态的实时映射以及风险场景的动态模拟效果。将这些技术加以深度融合，便共同形成了体系稳固可靠的技术基础。

3 智能化监测体系核心内容建设

3.1 全方位感知网络建设：环境、设备、工艺与人员监测

全方位感知网络的建设，得把环境、设备、工艺以及人员这四个维度都涵盖进去。在环境监测这块，要在那些风险比较高的区域多布置一些气体探测器、火灾探测器还有智能摄像头。设备监测的时候，要给关键生产设备以及安全设施加上各种各样的状态传感器，以便实时了解它们的运行状况怎么样。工艺监测主要是盯住核心工艺参数，保证工艺执行时严丝合缝地待在安全范围里^[2]。人员监测就靠定位标签、行为分析摄像头这类手段了，以此来对重点区域人员的状态和行为进行实时的监控。只有把这四维感知网络搭建起来，才能对工厂的安全态势做到立体且实时的感知。

3.2 多源异构安全数据融合与处理

感知网络汇聚来的数据有着多源异构的特点。要先制定统一的数据接入标准，把各类数据规范地接入进来。接着运用数据清洗和转换技术，让数据变成可分析的标准样式。数据融合包含特征层与决策层的融合，比如把同一区域的温度、气体浓度以及视频识别结果关联起来分析，能更精准地判断火情。整个处理流程是为了把原始的“数据碎片”提炼成反映整体安全态势的“信息拼图”。

3.3 基于数据分析的安全风险智能评估与预警模型

在高质量数据作为基础的前提之下，去构建智能化的安全风险评估以及预警模型，这无疑便是整个体系在核心层面所呈现出的智能体现所在之处。这些模型应当努力朝着能够达成多参数相互耦合且处于动态演进状态下的综合风险评估这一目标迈进。就好比说，可以着手去构建那种基于机器学习而形成的火灾风险预测模型，该模型能够针对当下乃至未来短时段范围内的火灾风险概率展开量化的评估操作。还可以去建立设备健康度评估模型，进而实现对于关键设备潜在故障的提前预警功能。所有的模型其输出的结果都得依据风险等级划分成不同的预警级别，并且要能够实现精准的推送效果，以此来完成从单纯的“异常报警”状态到具备前瞻性的“风险预警”状态的转变，达成一种质的飞跃。

3.4 监测预警与应急联动处置机制

智能预警所具有的最终价值，唯有依靠高效的应急响应方能切实体现出来。当该系统发出预警信号之后，理应能够凭借自动或者半自动的方式去触发预先设定好的应急处置流程。就好比说，当某个特定区域内的可燃气体浓度已然达到了预警所规定的阈值时，系统在推送告警信息之余，还应当能够自动实现与加强通风系统的联锁启动功能。要是火情得到确认，那么系统便可以再进一步地自动启动消防灭火系统，并且同步生成最为优化的疏散路径，以此来引导相关人员有序撤离。这样一套机制的核心要义在于突破信息孤岛的限制，借助平台层开展统一的调度工作，进而达成跨系统之间的快速协同响应效果，把应急预案转变成为可实际执行的数字化流程。

4 体系实施保障机制

4.1 分阶段实施策略与集成部署

如此繁杂的系统建设绝非一时之间便可完成，务必要制定出具备科学性的分阶段实施办法。不妨将其划分成三个阶段来推进：第一个阶段是试点建设时期，要从那些风险较为凸显且基础相对不错的车间里选出一个或者几个当作试点对象，把基本感知网络搭建起来，完成数据平台的构建工作，并且让1至2个核心风险预警模型得以应用，从而迅速形成示范方面的效应，同时对技术路线的可行性加以验证。第二个阶段是全面推广时期，在对试点所积累的经验予以总结之后，把建设的范围进一步拓展到整个工厂，将各个维度的感知网络加以完善，使平台的功能以及模型库都变得更加丰富，初步达成对全厂安全状态进行统一监控以及智能预警的目标。第三个阶段是深化融合时期，促使安全监测体系和生产执行系统MES、企业资源计划

系统ERP等已有的信息系统实现深度的集成，去探寻基于数字孪生的安全模拟演练与优化方式，并且建立起常态化的体系效能评估以及持续改进的相关机制^[3]。在整个集成部署的进程当中，需要特别看重新旧系统之间的兼容性、数据接口的标准化情况以及网络安全方面的防护举措，以此来保证体系能够稳定且可靠地运行。

4.2 组织架构与管理制度适配

技术体系若要顺利落地，那就得有与之相匹配的组织架构以及管理制度来当作保障。企业应当去考量设立或者进一步强化专门针对智能制造或者安全信息化的管理部门，让其肩负起体系在规划、建设、运维以及升级等方面的各项事宜。得要对现有的安全管理制度、操作规程、应急预案展开一番全面且细致的审视，并且加以修订，把智能化监测体系所提出的要求融入到这些规章制度当中，比如要清晰明确各级预警的响应责任人以及处置流程，还要规定好依据系统数据所开展的巡检以及考核的具体方式。并且需要构建起跨部门的常态化协同工作机制，像安环、生产、设备、IT等各个部门都要参与其中，以此来妥善处理体系建设与运行进程里碰到的那些业务和技术相互交织在一起的问题。唯有经过组织与制度层面的适应性变革，才能够切实保证智能化监测体系并不是一个孤立存在的单纯技术项目，而是能够深深地嵌入到企业整体安全管理整个肌体当中的一个有机组成部分。

4.3 专业人才队伍建设

体系的建设、运维以及效能的发挥，最终依靠的是这样一支人才团队：他们既对安全生产业务有所了解，又对信息技术较为熟悉，属于复合型的专业人才。企业需要借助“外部引进”和“内部培养”相互结合的办法，着重去培养并储备像数据分析师、算法工程师、系统集成工程师这类人才，还有那些拥有数字化思维的安全管理专家。应当构建起持续不断的培训机制，其对象不能仅仅局限于技术维护人员，而应当面向所有安全管理人员，甚至是一线的操作人员，针对体系的功能、操作流程以及应急响应等方面展开培训，以此来提高全员在信息化安全方面的素养。

4.4 持续改进与效能评估机制

智能化监测体系建成并投入使用并不是结束，相反，它标志着进入了一个持续优化以及不断迭代升级的新阶段^[4]。应当构建起一套较为科学的效能评估机制，定期针对该体系的实际运行成效展开量化的评估工作。评估所涉及的指标能够涵盖多个方面，像是预警的准确率以及误报率、对风险隐患实现早期发现的比例、平均应急响应时间缩减的程度、事故发生率与同期相比的变化情况等。通过

深入分析这些指标，并且综合考虑一线使用人员所给出的反馈信息，便能够不断地察觉到体系在感知覆盖范围、模型精度水平、联动效率高低以及用户体验好坏等诸多方面所存在的种种不足之处。接着，依照评估得出的结果来制定具有针对性的优化方案，举例来讲，可以补充部署特定类型的传感器、对算法模型参数加以优化、调整预警阈值、进一步完善联动逻辑等等，以此推动体系在“建设-运行-评估-改进”这样一个完整的闭环当中螺旋式地向前发展，始终确保其具备先进的特性以及实用的价值。

5 结束语

构建智能化监测体系对于实现锂电池工厂安全管理的现代化以及提升其本质安全水平而言，无疑是一条必经之路。本文较为系统地对该体系的建设需求、总体架构、核心内容以及实施保障等方面展开了探讨，由此勾勒出一个以全面感知作为基础、以智能预警当作核心、把快速联动定为目标的清晰建设蓝图。应当清楚地认识到，这一体系的建设属于一项复杂的系统工程，在建设过程中必然

面临来自多个方面的诸多挑战。不过，安全发展的底线是绝对不能被触碰的，而借助技术来赋能安全这一趋势也是绝不可能发生逆转的。在未来，伴随技术的持续向前发展，锂电池工厂的智能化监测体系定然会为确保生命财产的安全、推动行业朝着健康且可持续的方向发展筑牢一道极为坚固的智能防线。

[参考文献]

- [1] 司振超,王俊强,许丽华.锂电池极片轧机控制系统的研究进展[J].南方农机,2025,56(1):132-133.
 - [2] 肖铭.K 集团锂电池叉车马来西亚市场营销策略研究[D].甘肃:兰州大学,2025.
 - [3] 沈航.人工智能背景下新能源动力电池智能化控制技术课程教学模式创新研究[J].汽车画刊,2025(7):173-175.
 - [4] 毕泽琳.MES 系统在锂电池智慧工厂中的应用效果评价研究[D].辽宁:大连交通大学,2025.
- 作者简介：张久海（1985.6—），性别：男，毕业院校：江苏大学，所学专业：信息管理与信息系统，目前职称：机电一体化专业中级工程师、一级注册消防工程师。