

未来绿色工厂*

曹华军,王 坤,陈二恒,宋 阳,JAFAR Salman

(重庆大学机械传动国家重点实验室,重庆 400044)

[摘要] 跨入新时代,绿色发展是我国生态文明建设的核心理念,也是制造业的必然趋势。我国需要大力发展绿色制造产业,而对绿色制造实施主体——绿色工厂进行研究,是引领制造业走向更高舞台的关键方向。通过对国内外绿色工厂的研究,总结了绿色工厂的内涵和标准,提出了未来绿色工厂的基本模式——以绿色技术、信息技术、自动化技术为核心,将绿色化、数据化、智能化、集成化作为特征,考虑环境、社会、经济的影响,分析了绿色工厂的体系架构,包括适应性绿色工厂建筑外壳、智能化绿色生产系统、高能效建筑资源服务系统、绿色工厂能源与环境管理系统、学习和健康训练环境5大部分,对推进绿色工厂发展和产业转型具有重要理论价值和现实意义。

关键词: 未来工厂;绿色工厂;智能制造;体系结构;能源与环境管理

DOI: 10.16080/j.issn1671-833x.2018.12.030



曹华军

教授、博士生导师,主要研究绿色制造发展战略、高速干切工艺及其智能装备、机械装备在役再制造等,先后主持承担国家级科研项目 10 余项,发表 SCI/EI 检索论文 60 余篇、授权国家发明专利 10 项、获得省部级科技奖励 8 项、制定国家标准 5 项、出版专著 4 本。

* 基金项目:“长江学者奖励计划”青年学者项目(Q2015150)。

进入 21 世纪以后,全球出现了资源与能源浪费严重、污染物排放量增大、环境恶化等生态问题^[1]。“中国制造 2025”提出“加大先进节能环保技术、工艺和装备的研发力度,加快制造业绿色改造升级;强化产品全生命周期绿色管理,努力构建高效、清洁、低碳、循环的绿色制造体系”的战略任务^[2];工信部提出“工业绿色发展规划(2016—2020 年)”中表示要推进绿色工业发展,增加绿色产品和服务有效供给、补齐绿色发展短板^[3];“欧洲 2020 战略”鼓励发展绿色经济,将可再生能源在欧盟能源消耗总量中所占比例提高到 20%,同时将能效提高 20%^[4];美国、英国、德国、日本等工业发达国家将绿色制造看作下一代工业革命,纷纷实施如“先进制造业伙伴计划”、“未来工厂计划”、“绿色发展战略总体规划”、“国家绿色低碳增长战略”等“绿色新政”,并提出了绿色制造的愿景和目标。因此对

未来绿色工厂进行研究是发展的必然趋势,也是建设资源节约型、环境友好型社会的必然选择。

本文以离散制造业为对象,研究绿色工厂的内涵和国内外标准,并提出未来绿色工厂的基本模式和体系架构,为现有工厂的转型升级提供重要的理论参考。

绿色工厂的定义和标准

绿色工厂是绿色制造的实施主体,更是绿色制造体系的核心支撑单元,因此应建设具有用地集约化、生产洁净化、废物资源化、能源低碳化等特征的绿色工厂。在绿色工厂建设过程中,应提前考虑可再生能源的应用场所和设计负荷,并合理规划厂区内的能量流和物质流所走路径,采用先进的、实用的清洁生产工艺技术和高效的末端治理环保技术,淘汰落后的设施和装备,建立资源回收再利用体系,优化制造流程和用能结构,减少资源消耗和对生态环境的影响,

实现工厂的绿色发展^[5]。

1 绿色工厂的定义

目前绿色工厂并没有统一的定义,不过可以确定其3个组成部分:绿色建筑、绿色工艺及绿色产品^[6]。陈学^[7]提出的生态型工厂主要包括5个部分:花园式的厂区环境、可持续发展的产业链、循环利用的物质流和能量流、先进的制造工艺技术、清洁安全的生产工艺,可以保证厂区拥有原生态的环境,并对环境、社会的影响程度降到最低;Hattori等提出的绿色工厂主要由生产系统和循环系统两部分组成,通过物质和能源的回收再利用减轻对全球生态系统的负担^[1];英国M & S公司首次运行模型化的绿色工厂,以环保和节约成本双赢的“绿化”为基准,提升工厂在可持续方面的声誉,并为绿色制造业的发展奠定了基础^[8]。综上所述,绿色工厂是在综合考虑环境、社会、经济影响的基础上,采用先进的绿色材料、绿色设计技术、绿色制造技术和循环再利用技术,制造出无害化的绿色产品,达到环境污染最小化、资源利用低碳化、经济效益最大化。

2 绿色工厂的标准

目前国外发布的关于绿色工厂的标准主要是以环境管理、能源管理及温室气体3个方面为主,少数发达国家发布了综合管理绿色工厂的标准和政策^[9]。国际标准化组织发布了大量关于环境管理、能源管理和温室气体排放量化及核查方面的标准,例如:ISO 14000 环境管理系列标准、ISO 50001: 2011《能源管理体系要求》、ISO 14064: 2004 温室气体排放系列标准等^[10-11],目的是降低工厂对生态环境的影响。关于综合管理绿色工厂的标准方面,欧盟组织环境足迹(OEF)从整体的角度考虑组织活动,对提供的商品和服务进行绿色评价^[12];韩国绿色认证从事业、技术、设施、产品4个方面进行技术规范,以此推进工厂绿色化发展^[13]。

我国转化了部分国际标准,例如:GB/T 24000 环境管理系列标准、GB/T 23331—2012《能源管理体系要求》、GB/T 32150—2015 温室气体排放系列标准等。而且我国也发布了100多项关于单位产品能耗限额的强制性国家标准,例如:GB32053—2015《苯乙烯单位产品能源消耗限额》等,这些标准是促进工厂绿色化发展的重要依据。与此同时,我国已经开展了关于绿色工厂的标准制定、验证、示范等标准化工作,《绿色制造标准体系建设指南》中主要从绿色工厂规划、资源节约、能源节约、清洁生产、废物利用、温室气体和污染物等7个方面来制定有关绿色工厂的标准;工信部节能司表示要加快建设绿色工厂的标准体系,形成国家标准与行业标准互为补充的标准体系,为未来的绿色工厂提供强大的理论支撑^[14]。

未来绿色工厂的基本模式

随着科学技术进步和工业革命的发展,制造业创造了巨大的生产力,使人民生活发生了翻天覆地的变

化,但是也造成了大量资源和能源消耗,付出了惨重的环境代价,所以绿色技术油然而生,引发了第四次工业革命——绿色工业革命。在新一代工业革命中,未来绿色工厂是颠覆性技术的产物,其目的是帮助制造企业适应全球生态压力,更好地利用物质和能源,定制高质量的产品,满足日益增长的绿色需求^[15]。因此提出未来绿色工厂的基本模式,以绿色技术、信息技术、自动化技术为核心,以绿色制造为目标贯穿全过程,建设成具备绿色化、数据化、智能化、集成化的工厂,并分析未来绿色工厂对社会、环境、经济的影响程度,为未来绿色工厂的建设提供理论支撑(图1为未来绿色工厂的基本模式)。

1 三大核心技术

绿色技术又叫生态技术、环境友好技术,是指能降低资源和能源消耗,减少对环境的污染、改善生态环境的技术体系。从全生命周期的角度出发,其关键技术主要有:绿色设计技术、绿色生产工艺技术、材料选择技术、清洁生产技术、绿色包装及再制造技术等,例如:干式切削技术

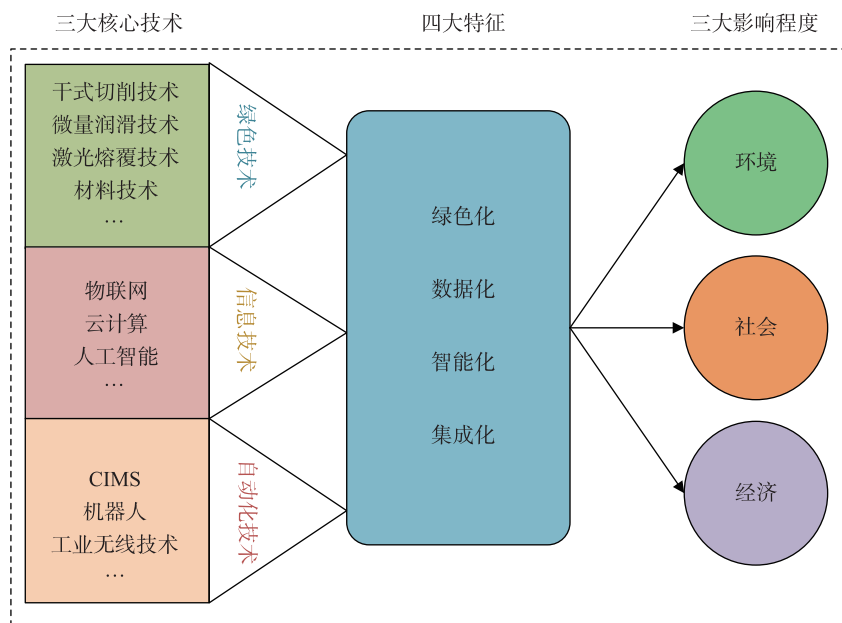


图1 未来绿色工厂的基本模式

Fig.1 Basic model of future green factory

相比传统的切削技术,降低了 50% 的成本,提高了加工的效率,同时又减少了对环境的污染;快速成型技术可以进行专门化的成品制定,最大程度地降低原材料的浪费,节约资源和能源^[16-18]。绿色技术可以改善资源、能源紧缺的问题,减轻环境承载的压力问题,因此绿色技术是未来绿色工厂的必然选择。

信息技术是指用于管理和处理信息所采用的各类技术,其关键技术有:传感技术、计算机与智能技术、通信技术和控制技术。例如:利用计算机技术对设备的运行方式、运行参数和运行工况进行实时监控,可以提高设备在运行过程的可靠性和能源效率;利用网络通信、云计算技术辅助作业车间人员进行生产决策,并将操作经验转化为系统的专家知识,可以更好地支持工厂绿色精益生产^[19-20]。面向绿色制造,利用云计算、物联网、人工智能等信息技术,可以开发能耗设备监控和管理等平台,进行数据挖掘和决策分析,实现资源与能源消耗状态的透明化,提高资源效率,减少环境排放,因此信息技术是未来绿色工厂的重要支柱。

自动化技术是一门综合性的技术,与计算机技术、自动控制、液压气压技术、系统工程、电子学、控制论和信息论都有十分密切的关系。目前,自动化技术正在向机电一体化、结构设计标准化与模组化、结构运动高精度化、机械功能多元化和控制智能化方向发展^[21-22],可以实现刚性加工向柔性加工转变,进而满足用户对产品多样化和个性化的需求,是实现绿色工厂集成化的重要保障,因此自动化技术是未来绿色工厂的重要支撑。

2 四大特征

2.1 绿色化

在未来绿色工厂生产中,利用绿色技术、采用绿色环保材料,实现在原材料的采集和加工、生产、使用、回

收、循环利用等全生命周期中环境污染最小化、资源利用最大化。

2.2 数据化

在未来的绿色工厂中,从时间域和空间域的维度出发对收集的数据进行处理和分析,多视角多维度地监测工厂的数据信息,并通过大数据优化流程,从内部管理逐步向售前、售后延伸,实现整个供应链的透明化管理。

2.3 智能化

在未来绿色工厂中,智能化的生产系统具备自我学习功能,可以满足各种物品、人、设备、位置信息的智能匹配,还可以精确地做出决策,拥有可追溯过去,可控制现在、可预测未来的能力。

2.4 集成化

在未来绿色工厂中,将工艺过程和管理业务流程高度集成,实现每个工序和环节之间的紧密衔接,从全局的角度实现工厂整体的优化。

3 三大影响程度

从能源和资源需求、废弃物、粉尘、噪声、生物多样性、风险 6 个方面分析未来绿色工厂对环境维度的影响程度;从工人满意度、工作生活平衡、工作条件、自动化程度、开放性、服务、建筑 7 个方面分析未来绿色工厂对社会维度的影响程度;从利润、批量、产品、质量、生产模式 5 个方面分析未来绿色工厂对经济维度的影响程度,具体如表 1、2、3 所示^[23-24]。

表1 现在工厂和未来绿色工厂环境维度的对比

类别	现在工厂	未来绿色工厂
能源和资源需求	对能源资源高需求	利用二次资源、可再生资源等
废弃物	产生大量废弃物	回收再利用工业和住宅废物、污水
粉尘	造成空气、水污染	专门处理空气、水污染
噪声	排放高声级噪声	吸收噪音
生物多样性	破坏生物多样性	为生物多样性提供良好的生态环境
风险	产生危害	作为庇护所,国内应急物资来源

表2 现在工厂和未来绿色工厂社会维度的对比

类别	现在工厂	未来绿色工厂
工人满意度	缺乏激励政策和发展前景	可以终身学习和个人发展
工作生活平衡	工人要适应工厂的节奏	工厂适应工人的能力
工作条件	对工人身体健康有害	健身场所
自动化程度	代替工人	完全自动化
开放性	黑箱	向公众开放
服务	缺少技术性服务	随叫随到的服务
建筑	破坏生态环境、与周边生活区不协调	与周边生活环境相容,成为景观式建筑

表3 现在工厂和未来绿色工厂经济维度的对比

类别	现在工厂	未来绿色工厂
利润	低附加值利润	高附加值利润
批量	大批量	小批量
产品	单一性	个性化
质量	不稳定质量	稳定质量
生产模式	库存生产	订单生产

未来绿色工厂的体系架构

面对当今全球生态危机、技术蓬勃发展、用户需求快速变化等形势,要想大力发展绿色工业革命,必须以绿色制造为指导思想,利用绿色技术、信息技术、自动化技术,提高资源生产率,将未来绿色工厂建设成绿色化、数据化、智能化、集成化于一体的工厂,可以满足环境、社会和经济的需 求^[25-26]。因此基于现有工厂结构,并结合未来绿色工厂的基本模式,提出未来绿色工厂的体系架构,包括适应性绿色工厂建筑外壳、智能化绿色生产系统、高效建筑资源服务系统、绿色工厂能源与环境管理系统、学习和健康训练环境 5 部分(图 2 所示为未来绿色工厂的体系架构)。通过可再生能源及资源化废物的输入和输出,不仅可以 让未来绿色工厂实

现无害化、轻量化和资源化生产,还可以促进工厂间物质流和能量流的循环,实现工业生态园区循环共生系统。

1 适应性绿色工厂建筑外壳

适应性绿色工厂建筑外壳作为工厂的主要结构,在满足功能、美观的前提下,应最大程度地减少对生态环境的干扰,降低人工环境的自然成本,获得良好的自然、经济和生态综合效益^[27]。例如:比利时的 ECOVER 工厂拥有 6000 余 m² 的绿色植被屋顶,采用天然的欧洲松木、黏土、木浆和煤尘制成的砖砌成,工厂 83% 的建筑使用了可再生和可回收材料;德国德累斯顿市大众“透明工厂”采用玻璃建筑外壳,不仅清洁无排放、噪音低,还有助于提高开放程度、供游人参观。新功能的建筑材料和模块化结构已经在开发中,胡

建辉对建筑材料进行研究,将乙烯-四氟乙烯(ETFE)气枕与非晶硅太阳能电池(Photovoltaic, PV)结合成新型光伏一体化膜结构,降低建筑能耗,使其成为可持续和对环境友好的建筑^[28]。绿色建筑外壳能够将已经释放到环境中的废弃物作为资源输入,实现废弃物的回收再利用,适应环境、社会、经济方面的需求。

2 智能化绿色生产系统

智能化绿色生产系统主要包括生产数据的采集、处理及管理系统,根据不断增加的产品种类和复杂性进行智能化调整,同时保证消耗资源较少,对环境影响降到最低。例如:洛春等采用基于三菱 CC-Link-IE 的智能化生产系统,可以实时呈现生产现场的工艺参数、生产进度、产品状况及人、机、料的利用状况,必要时可进行产品追溯,让整个生产

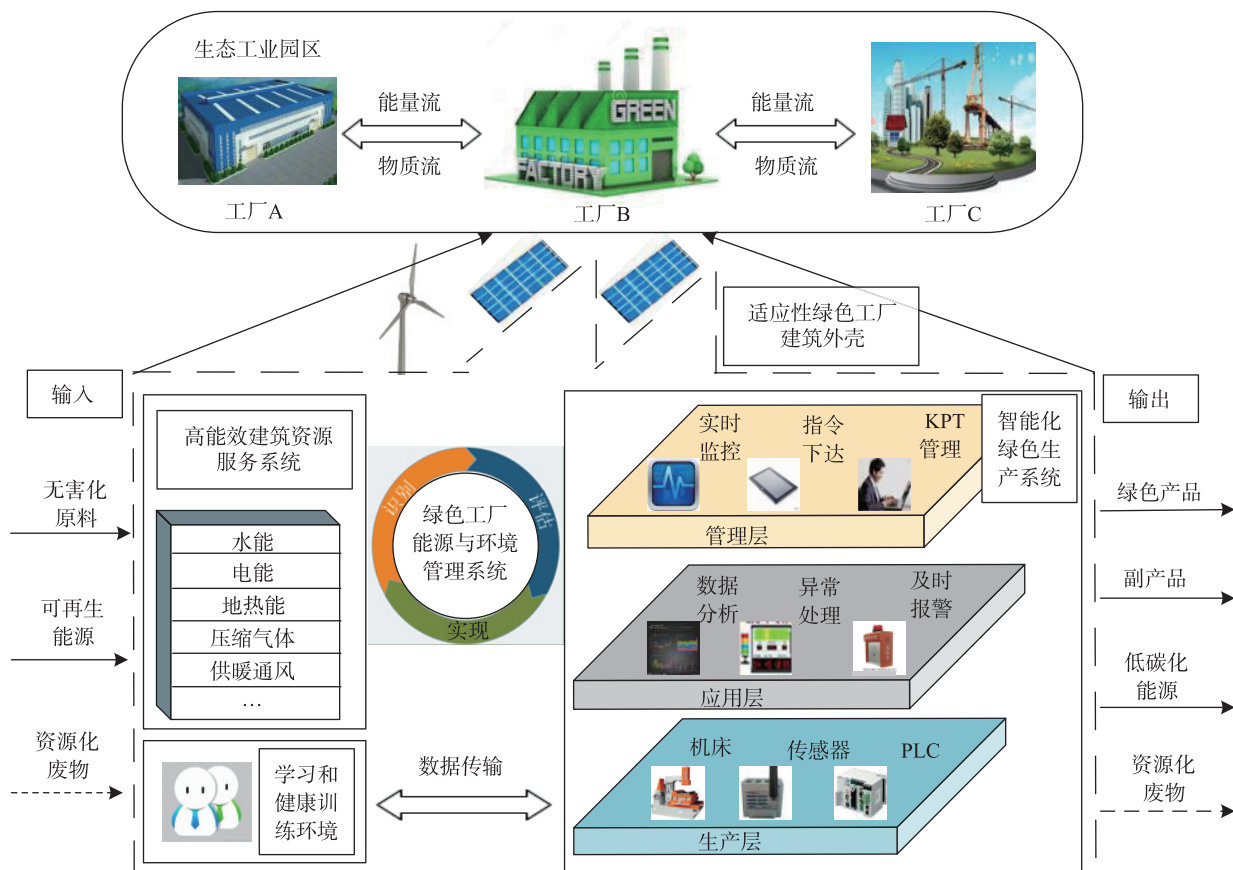


图2 未来绿色工厂的体系架构

Fig.2 System framework of the future green factory

现场透明化^[29]。因此未来智能化绿色生产系统可以对作业状态实时监控,提高制造灵活性和速度,提升设备综合效率及客户满意度,达到绿色制造的目的。

3 高效建筑资源服务系统

高效建筑资源服务系统是以可再生能源发电系统为基础,主要包括太阳能、风能、水能、地热能及可再生燃料,可以调节容量大小,平衡能源投入和生产需求,为能源生产系统提供稳定性支撑。例如:德国 J. Schmalz 工厂利用多余的风能、太阳能和水能生成电能,碎木燃烧生产热能等,这些过剩能源回收再利用产生的能源完全可以满足公司所需的能量,节省了大量的能源和成本;德国太阳能加热系统制造商 Solvis GmbH 被认为是欧洲最大的零排放工厂,将过剩的电能储存在缓冲器中以此来实现电能的供需平衡^[30]。为了使未来工厂更加的智能化,将建筑资源服务系统与绿色生产系统相互联系,在整个系统发生变化时,能够快速、自动地调节参数使系统稳定。

4 绿色工厂能源与环境管理系统

绿色工厂能源与环境管理系统主要是负责监控和管理智能化绿色生产系统和高效建筑资源服务系统中大量资源和能源消耗的数据。例如:西门子用 B.Data 将过程控制系统和工作环境下的数据处理系统有机结合,能够完成能源使用、能源费用采集、计算及分析,实现对能源监控、能源报表、能源趋势、物料平衡、能耗设备管理、成本中心管理、能源预测、能源采购、能源绩效等管理功能;ABB cpmPlus Energy Manager 能源管理系统自动化采集和监控能耗数据,系统实现能耗监测、分析、报告,以及根据能耗目标降低生产能耗等功能^[31]。本课题组开发了压铸行业的能源与环境管理系统,通过传感器、网关、交换机、服务器等设备,对压铸设备的能耗、车间环境指标进行

无线采集、传输,并对数据进行分析、管理和显示,实现绿色工厂的能源与环境管理(图3所示为绿色工厂的能源与环境管理系统)。在未来绿色工厂中,物联网的概念成为现实,这允许对整个工厂系统当前和未来的能源、环境状态进行分析和优化。

5 学习和健康训练环境

学习和健康训练环境为员工提供健康的试验环境和研究数据,允许在学习环境中进行理论知识的交流、测试和演示,使员工能够跟上不断发展的技术。例如:Festo 等在德国运营一个学习型工厂,它被用作新员工的培训基地,进一步提高员工的专业素质;Kreimeier 等对德国的学习工厂进行研究,确定了过程优

化、能源资源效率和物流等研究的重点领域。在学习和健康训练环境中很重要的组成部分是微观装配试验(FabLab),其核心理念是有机会在任何地方由任何人完成,通过 FabLab 提供的设施、工具等设计实现自己的产品创作,并共享知识和创新思想。这种方法有助于工厂更加开放,通过满足人们的特定个人需求来支持区域发展,节约了成本、减少对资源能源的消耗,并为知识向社会转移提供了平台^[32-33]。

结论

(1)通过对绿色工厂内涵和标准的研究,总结出国内外关于绿色工厂内涵的研究现状,并主要从环境管

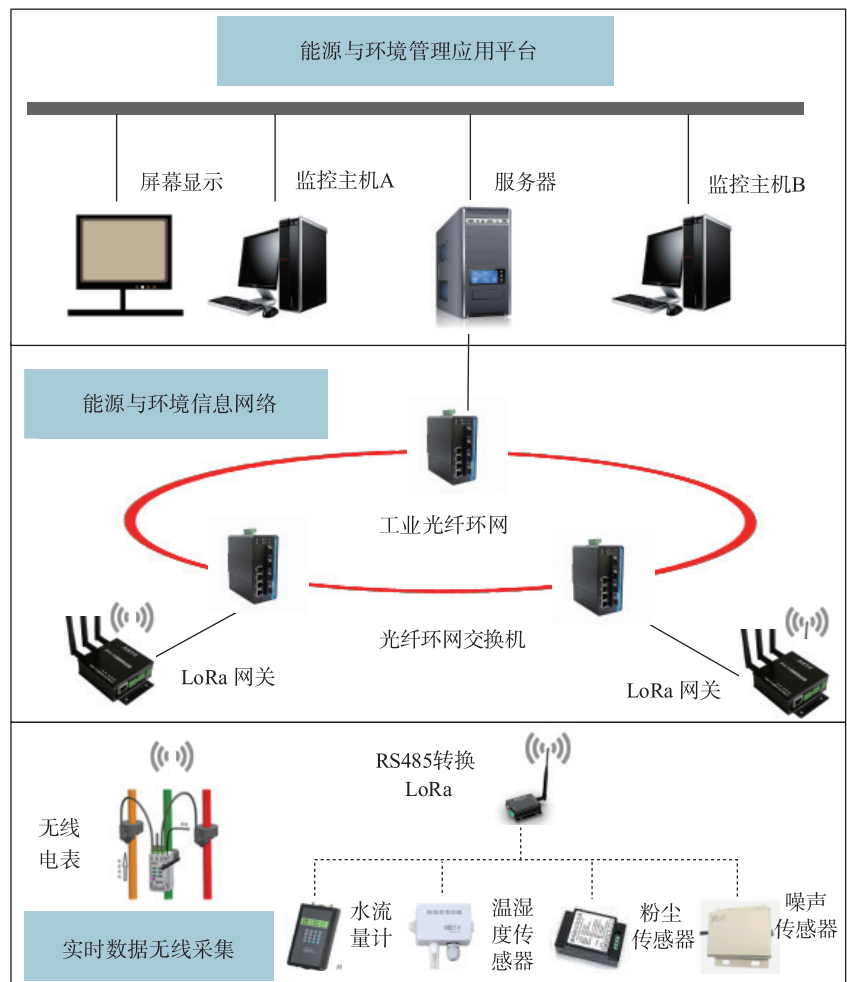


图3 绿色工厂能源与环境管理系统

Fig.3 Green factory energy and environmental management system

理、能源管理、温室气体3个方面对绿色工厂的标准进行了归纳,可以看出我国正在加快建设绿色工厂的标准体系,大力发展绿色工厂。

(2)为了推进绿色工业革命的发展,提出未来绿色工厂的基本模式,以绿色技术、信息技术、自动化技术为核心,建成绿色化、数据化、智能化、集成化的工厂,并分析未来绿色工厂对环境、社会、经济的影响程度,为未来绿色工厂的建设提供理论支撑。

(3)基于现有工厂结构,结合未来绿色工厂的基本模式,以绿色理念为指导思想,提出未来绿色工厂的体系架构,包括适应性绿色工厂建筑外壳、智能化绿色生产系统、高能效建筑资源服务系统、绿色工厂能源与环境管理系统、学习和健康训练环境5大部分,对推进绿色工厂和绿色制造的发展具有现实意义。

参考文献

- [1] FREEMAN R. The ecofactory: the united states forest service and the political construction of ecosystem management[J]. *Environmental History*, 2002, 7(4): 632–658.
- [2] 杨檬, 查丽, 杨宇涛. 我国绿色制造政策与标准体系研究[J]. *信息技术与标准化*, 2017(Z1): 13–16.
- [3] YANG Meng, ZHA Li, YANG Yutao. Research on the policy and standard system in green manufacturing industry of china[J]. *Information Technology & Standardization*, 2017(Z1): 13–16.
- [4] MAY G, STAHL B, TAISCH M. Energy management in manufacturing: toward eco-factories of the future—a focus group study[J]. *Applied Energy*, 2016, 164: 628–638.
- [5] 中华人民共和国工业和信息化部. 开展绿色制造体系建设的通知[EB/OL]. [2018–03–22]. <http://www.miit.gov.cn>.
- [6] 王海洋, 张凤伟. 基于绿色工业建筑评价的绿色工厂规划设计[J]. *建筑工程技术与设计*, 2015(18): 16.
- [7] WANG Haiyang, ZHANG Fengwei. Green factory planning and design based on evaluation of green industrial buildings[J]. *Architectural Engineering Technology and Design*, 2015(18): 16.
- [8] 陈学. 从“花园式”工厂向“生态型”工厂转变[J]. *科技资讯*, 2007(29): 184–185.
- [9] CHEN Xue. From "garden" factory to "eco" factory[J]. *Science & Technology Information*, 2007(29): 184–185.
- [10] GOGER A. The making of a 'business case' for environmental upgrading: Sri Lanka's eco-factories[J]. *Geoforum*, 2013, 47: 73–83.
- [11] 中华人民共和国工业和信息化部, 国家标准化管理委员会. 绿色制造标准体系建设指南[EB/OL]. [2018–03–22]. <http://www.miit.gov.cn/n1146290/n4388791/c5269613/content.html>.
- [12] 姬佳. ISO 50001 能源管理体系标准发布实施[J]. *中国标准化*, 2011(7): 97.
- [13] JI Jia. Implementation of ISO 50001 energy management system standards[J]. *China Standardization*, 2011(7): 97.
- [14] 周文权, 刘晓红. 国际标准化组织制定与温室气体排放相关国际标准[J]. *中国质量认证*, 2005(9): 18–20.
- [15] ZHOU Wenquan, LIU Xiaohong. International organization for standardization and international standards related to greenhouse gas emissions[J]. *China Quality Certification*, 2005(9): 18–20.
- [16] 付允, 林翎, 高东峰, 等. 欧盟产品环境足迹评价方法与机制研究[J]. *中国标准化*, 2013(9): 59–62.
- [17] FU Yun, LIN Ling, GAO Dongfeng, et al. Research on the evaluation method and mechanism of EU product environmental footprint[J]. *China Standardization*, 2013(9): 59–62.
- [18] 王祥. 创新驱动绿色产品认证机制[J]. *质量与认证*, 2016(7): 33–34.
- [19] WANG Xiang. Innovation drives green product certification mechanism[J]. *China Quality Certification*, 2016(7): 33–34.
- [20] 陈海红, 林翎. 强制性能效和能耗限额标准整合精简思路[J]. *标准科学*, 2016(S1): 86–89.
- [21] CHEN Haihong, LIN Ling. Compulsory performance and energy consumption limit standards integration streamlining ideas[J]. *Standard Science*, 2016(S1): 86–89.
- [22] 李克, 朱新月. 第四次工业革命[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2015.
- [23] LI Ke, ZHU Xinyue. The fourth industrial revolution[M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 2015.
- [24] 王世杰. 绿色技术评价特性及价值[D]. 北京: 中国矿业大学, 2015.
- [25] WANG Shijie. Characteristics and value of green technology assessment[D]. Beijing: China University of Mining and Technology, 2015.
- [26] 杨灿辉. 齿轮加工机床的绿色设计与制造技术[J]. *现代制造技术与装备*, 2017(8): 83–84.
- [27] YANG Canhui. Green design and manufacturing technology of gear processing machines[J]. *Modern Manufacturing Technology and Equipment*, 2017(8): 83–84.
- [28] 王广春, 袁圆, 刘东旭. 光固化快速成型技术的应用及其进展[J]. *航空制造技术*, 2011, 54(6): 26–29.
- [29] WANG Guangchun, YUAN Yuan, LIU Dongxiu. Application and progress of sla rapid prototyping technology[J]. *Aeronautical Manufacturing Technology*, 2011, 54(6): 26–29.
- [30] 刘涛. 信息技术对生态文明的支撑作用[D]. 广州: 华南理工大学, 2015.
- [31] LIU Tao. The supportive effects of information technology on ecological civilization[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2015.
- [32] WANG S, WAN J, ZHANG D, et al.

Towards smart factory for industry 4.0: a self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination[J]. Computer Networks, 2016, 101: 158-168.

[21] 徐倩倩. 分析自动化技术与绿色经济[J]. 自动化与仪器仪表, 2016(12):166-167.

XU Qianqian. Analysis of automation technology and green economy[J]. Automation & Instrumentation, 2016(12):166-167.

[22] 曹广宇, 王晋荣. 机械制造及其自动化技术的发展与应用[J]. 中国战略新兴产业, 2018(4): 21.

CAO Guangyu, WANG Jinrong. Development and application of machinery manufacturing and automation technology[J]. China Strategic Emerging Industry, 2018(4): 21.

[23] 马克. 多品种小批量成长型制造业精准ERP研究与实现[D]. 杭州: 浙江理工大学, 2014.

MA Ke. Research on lean-ERP of growing manufacturing enterprises and implementation for multi-specification and small-batch production[D]. Hangzhou: Zhejiang Sci-Tech University, 2014.

[24] 陈晓明. 面向离散制造的订单跟踪与产品质量追溯系统研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2010.

CHEN Xiaoming. Research on order tracking and product quality tracing system for discrete manufacturing[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2010.

[25] 李晓红, 高彬彬. 先进制造技术创新促进空客“未来工厂”建设[J]. 航空制造技术, 2016, 59(10): 28-31.

LI Xiaohong, GAO Binbin. Advanced manufacturing technology innovation promotes airbus's "future factory" construction[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2016, 59(10): 28-31.

[26] 王焱. 未来工厂: 数字量贯通的集成运行[J]. 航空制造技术, 2015, 58(8): 38-45.

WANG Yan. Future factory: digital integrated operation[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2015, 58(8): 38-45.

[27] 宋东明. 数字分析技术在建筑方案设计中的运用探讨[D]. 重庆: 重庆大学, 2012.

SONG Dongming. Study on the use of digital technology in architectural design[D]. Chongqing: Chongqing University, 2012.

[28] 胡建辉. PV-ETFE气枕屋顶系统性能研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2015.

HU Jianhui. ON system performance of the PV-ETFE cushion roof[D]. Shanghai: Shanghai

Jiao Tong University, 2015.

[29] 黄戈文, 蔡延光, 蔡颢, 等. 基于大数据的智能化制造系统[J]. 智能制造, 2015(10): 40-43.

HUANG Gewen, CAI Yanguang, CAI Hao, et al. Intelligent manufacturing system based on large data[J]. Intelligent Manufacturing, 2015(10): 40-43.

[30] EYER J M, COREY G P. Energy storage for the electricity grid: benefits and market potential assessment guide: a study for the DOE energy storage systems program[J]. Geburtshilfe Und Frauenheilkunde, 2010, 45(5): 322-325.

[31] WEISER M. The computer for the 21st century[J]. IEEE Pervasive Computing, 1999, 1(1): 19-25.

[32] CHRYSOLOURIS G, MAVRIKIOS D, MOURTZIS D. Manufacturing systems: skills & competencies for the future[J]. Procedia CIRP, 2013, 7(2): 17-24.

[33] WAGNER U, ALGEDDAWY T, ELMARAGHY H, et al. The state-of-the-art and prospects of learning factories[J]. Procedia CIRP, 2012, 3(7): 109-111.

通讯作者: 曹华军, E-mail: hjcao@cqu.edu.cn。

Green Factory of Future

CAO Huajun, WANG Kun, CHEN Erheng, SONG Yang, JAFAR Salman

(State Key Laboratory of Mechanical Transmission, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

[ABSTRACT] Entering a new era, green development is the core concept of ecological civilization construction in China, and it's also an inevitable trend of manufacturing. Our country needs to develop the green manufacturing industry vigorously, while research on the main body of green manufacturing-green factory is a key direction to lead manufacturing to a higher stage. Through research on green factory at home and abroad, summary the connotation and standards of green factory, propose the basic model of the future green factory-taking green technology, information technology, and automation technology as the core, taking green, data, intelligence, and integration as features, taking into account the impact of the environment, society, and economy, analyze the green factory's architecture, including the adaptive green factory building shell, intelligent green production system, energy-efficient building resource service system, green factory energy and environmental management system and learning and health training environment. It has important theoretical and practical significance for promoting green factory development and industrial transformation.

Keywords: Future factory; Green factory; Intelligent manufacturing; System structure; Energy & environmental management

(责编 海山)