

电机生产企业绿色工厂评价内容、指标及方法的研究

严蓓兰

(国家中小电机质量监督检验中心, 上海 200063)

摘要: 为积极响应《中国制造 2025》以及《工业和信息化部办公厅关于开展绿色制造体系建设的通知》, 针对我国目前在电机生产行业相关绿色工厂评价要求缺失的现状, 结合我国电机生产企业的物料使用特点、生产工艺特点、生产装备特点、产品特点、能源利用特点、主要污染物排放特点等 6 个方面, 对电机生产企业绿色工厂评价内容、指标及方法进行研究。该研究为我国电机生产行业全面推行绿色制造, 加快电机生产行业绿色改造升级, 构建电机生产行业绿色制造体系, 提高我国电机生产行业的国际竞争力作出积极贡献。

关键词: 绿色评价; 绿色工厂; 绿色制造; 电机生产企业; 评价内容; 指标; 方法

中图分类号: TM 32 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-6540(2018)07-0084-05

Research on Evaluation Content, Indicators and Methods for Green Factory of Motor Production Enterprise

YAN Beilan

(China National Center for Quality Supervision and Test of S & M Size Electric Machines, Shanghai 200063, China)

Abstract: In order to respond positively to “Made in China 2025” and “Notice on Developing a Green Manufacturing System from Office of the Ministry of industry and information technology”, aiming at the current status of lack of evaluation requirements for green factory in motor production industry in China, evaluation content, indicators and methods for green factory of motor production industry had been studied in this article combining the characteristics of material use, production process, production equipment, product, energy use, major pollutant discharge and so on of China’s motor manufacturing enterprises. The study made a positive contribution in fully promoting green manufacturing in China’s motor production industry, accelerating the green transformation and upgrading of the motor production industry, building green manufacturing system for the motor production industry, and improving the international competitiveness of China’s motor production industry.

Key words: green evaluation; green factory; green manufacturing; motor production enterprise; evaluation content; indicators and methods

0 引言

2015 年 3 月, 国家首次提出“中国制造 2025”的宏大计划, 并于当年 5 月正式印发了《中国制造 2025》。《中国制造 2025》将“全面推动绿色制造, 加快制造业绿色改造升级, 积极构建绿色制造体系”作为九大战略重点和任务之一, 明确提出

要“建设绿色工厂, 实现用地集约化、原料无害化、生产洁净化、废物资源化、能源低碳化。”并在绿色制造工程专栏提出“制定绿色产品、绿色工厂、绿色园区、绿色企业标准体系, 开展绿色评价。”随后工信部发文《工业和信息化部办公厅关于开展绿色制造体系建设的通知》(工信厅节函【2016】586 号文), 文中提出了到 2020 年, 绿色制

作者简介: 严蓓兰(1969—), 女, 高级工程师, 研究方向为电机检测认证。

造相关标准体系和评价体系基本建成,并出台10~20项绿色工厂标准,100项绿色设计产品评价标准,建设千家绿色工厂的目标要求。

绿色制造是解决国家资源和环境问题的重要手段,是实现产业转型升级的重要任务,是行业实现绿色发展的有效途径,同时也是企业主动承担社会责任的必然选择。工厂是绿色制造的主体,对绿色工厂进行评价,有助于在行业内树立标杆,引导和规范工厂实现绿色制造。

目前我国仅推出了《绿色工厂评价要求》、GB/T 36132—2018《绿色工厂评价通则》这两份与绿色工厂相关的通用性标准和评价体系文件,尚未针对不同的行业推出相应的、有针对性的绿色工厂评价标准和评价体系。

我国是世界上最大的电机生产、使用和出口大国。本文将针对我国的电机生产企业生产过程中的物料使用特点、生产工艺特点、生产装备特点、产品特点、能源利用特点、主要污染物排放特点等6个方面进行研究,以绿色制造的概念对电机生产企业进行产业升级并达到《绿色工厂评价要求》和《绿色工厂评价通则》的要求。同时本文也尝试对电机生产行业的绿色工厂从定性和定量两个方面进行研究,为建立和完善我国绿色制造相关标准体系和评价体系夯实基础,为电机生产行业全面推行绿色制造、积极构建绿色制造体系以及《中国制造2025》的宏伟目标添砖加瓦。

1 绿色工厂整体评价的体系和要求

1.1 绿色工厂定义

绿色工厂是制造业的生产单元,是绿色制造的实施主体,属于绿色制造体系的核心支撑单元,侧重于生产过程的绿色化,是实现了用地集约化、原料无害化、生产洁净化、废物资源化、能源低碳化的工厂。

1.2 整体评价指标框架

绿色工厂应在保证产品功能、质量以及制造过程中员工职业健康安全的前提下,引入生命周期思想,优先选用绿色工艺、技术和设备,满足基础设施、管理体系、能源与资源投入、产品、环境排放、环境绩效的综合评价要求。评价指标框架见图1。

在整体评价框架的基础上,绿色工厂评价指标分为一级指标和二级指标,具体指标如表1所示。



图1 绿色工厂整体评价指标框架

表1 绿色工厂一级指标和二级指标

序号	一级指标	二级指标
0	一般要求	合规性与相关方要求 管理职责
1	基础设施	建筑 计量设备 照明 生产设备 辅助设备 污染物处理设备
2	管理体系	质量管理体系 环境管理体系 能源管理体系 职业健康安全管理体系 社会责任
3	能源与资源投入	能源投入 资源投入 采购
4	产品	生态设计 节能 碳足迹 有害物质限制使用 产品可回收利用率
5	环境排放	大气污染物排放 水体污染物排放 固体废弃物排放 噪声排放 温室气体排放
6	环境绩效	用地集约化 原料无害化 生产洁净化 废物资源化 能源低碳化

2 电机生产企业绿色工厂评价方法及内容的研究

除了绿色工厂普遍具有的共性之外,电机生产企业绿色工厂有其显著的行业特点。本文就电机生产企业的基础设施、生产工艺、物料使用、生产装备、产品、主要污染物排放等6个方面进行研究,并归纳总结了评价方法及内容。

2.1 基础设施

在基础设施方面,电机生产企业绿色工厂除需满足一般绿色工厂通用特征外,根据其自身能源使用的特点,例如改造 LED 节能照明系统、无动力风机送风系统、声控照明系统、厂房太阳能发电系统等。表2列举了“电机生产企业能源计量器具配备率要求”、表3列举了“电机生产企业计量器具精度等级要求”、表4列举了“电机生产企业厂房或场所照明功率密度限值”。

表2 电机生产企业能源计量器具配备率要求

能源种类	进出用能单位(1级)	进出主要次级用能单位(2级)	主要用能设备(3级)	表具精度等级要求
电力	100%	100%	95%	I类:0.5级
				II类:0.5级
				III类:1.0级
				IV类:2.0级
				V类:2.0级
天然气	100%	100%	90%	2.0级
水	100%	95%	80%	管径>250 mm
				2.5级
				管径≤250 mm
可回收利用的能源	90%	80%	—	1.5级
				—

表3 电机生产企业计量器具精度等级要求

能源计量器具种类	表具精度等级要求
电表	I类:0.5级
	II类:0.5级
	III类:1.0级
	IV类:2.0级
	V类:2.0级
气体流量表	2.0级
水流量表	管径>250 mm:2.5级
	管径≤250 mm:1.5级
温度仪表	液态、气态能源温度:2.0级
	气体、蒸汽温度:1.0级
压力仪表	液态、气态能源压力:2.0级
	气体、蒸汽压力:1.0级

2.2 生产工艺

在生产工艺方面,电机生产企业绿色工厂应对生产工艺进行绿色升级改造,以实现电机生产

的绿色制造。根据电机生产企业的生产工艺特点,以下列举了电机生产工艺的核心改造环节和重点绿色技术,主要包括:

- (1) 优化电机设计,减少了硅钢片、漆包线、转子用铝及绝缘材料的用量;
- (2) 电机冲片的数控高速冲剪、叠压工艺;
- (3) 电机部件的金加工自动化工艺生产线及切削液循环利用、处理;
- (4) 复杂形状的电机外壳的铝合金挤压近净成形技术;
- (5) 通用型半自动或全自动绕嵌线工艺;
- (7) 定子真空连续绝缘生产线及废气处理技术;
- (8) 采用经济型无坩埚溶解保温炉,用天然气炉替代焦炉;高温高压大流量电除尘、智能除尘清灰技术;
- (9) 自动喷漆生产线及废气废水处理;

表 4 电机生产企业厂房或场所照明功率密度限值

房间或场所	照度标准值/ lx	照明功率密度限值/ (W·m ⁻²)	
		现行值	目标值
机械加工	粗加工	200	≤7.5
	一般加工公差 ≥0.1 mm	300	≤11.0
	精密加工公差 <0.1 mm	500	≤17.0
装配	大件	200	≤7.5
	一般件	300	≤11.0
	精密	500	≤17.0
	特精密	750	≤24.0
	大线圈	300	≤11.0
线圈绕制	中等线圈	500	≤17.0
	精细线圈	750	≤24.0
	线圈浇注	300	≤11.0
焊接	一般	200	≤7.5
	精密	300	≤11.0
钣金	冲压、剪切	300	≤11.0
	热处理	200	≤7.5
	铸造	200	≤9.0
	精密铸造的制模、脱壳	500	≤17.0
	锻工	200	≤8.0
抛光	一般装饰性	300	≤12.0
	精细	500	≤18.0
	修理	200	≤7.5
修理	精密	300	≤11.0

2.3 物料使用

在物料使用方面,相比传统电机生产企业使用的物料,绿色工厂应积极使用以下绿色物料,以提高生产过程中的绿色化率,达到原料无害化的要求。

(1) 机壳物料使用方面:可以采用消失模铸造技术铸造的机壳作为绿色物料,综合成本可比传统砂型铸件降低 20% ~ 30%,劳动量减少 30% ~ 50%,机械加工时间减少 40% ~ 50%,劳动环境显著改善,模型材料对环境无公害,减少了环

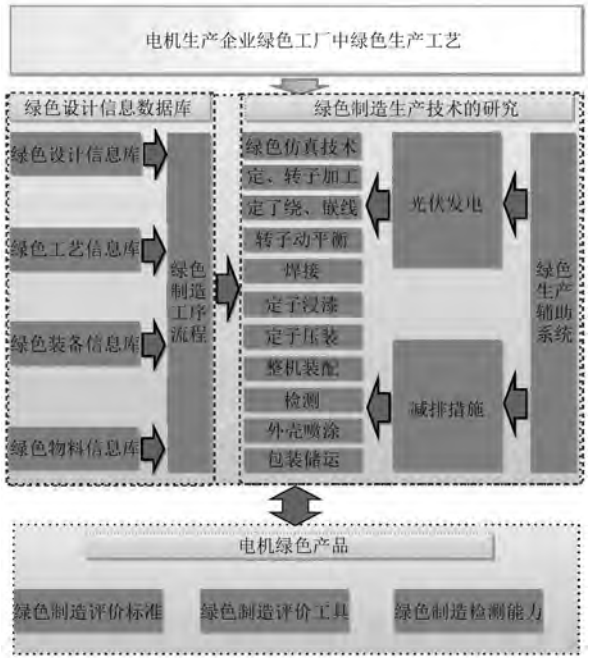


图 2 绿色电机生产工艺流程图

境污染。

(2) 定转子物料使用方面:可以采用 470 号及以上牌号的硅钢片,可在减少 3% ~ 5% 材料使用的情况下,达到使用 800 号硅钢片同样的功率效果。

(3) 漆包线物料使用方面:可以采用扁线替代圆线,可以提高 3% ~ 5% 电机功率密度,减小电机体积。

(4) 浸渍漆:采用水溶性环保绝缘漆。

(5) 表面漆:可以采用水性环保漆,以水作为溶剂,节省大量资源,降低对空气的污染,改善作业环境条件,实现表面加工环节的绿色环保。

表 5 普通工厂与绿色工厂物料使用对比

类别	序号	普通工厂	绿色工厂
绿色物料	1	传统砂型铸造、熔模铸造的铸件	机座端盖采用消失模铸造技术的铸件
	2	低牌号冷轧硅钢片	高牌号冷轧硅钢片
	3	油溶性绝缘漆	水溶剂绝缘漆、无溶剂绝缘漆
	4	油溶性表面漆	水溶剂表面漆

2.4 生产装备

在生产装备方面,绿色工厂应对生产过程中的高耗能高污染机电设备进行排查和替换,对

生产线上高耗能设备进行高效节能改造,提高高效节能设备的使用量,降低能耗,提高系统能源利用效率。采用自动绕嵌线流水线、数控金加工流水线、数控高速冲床、金加工切削液循环利用处理装备、真空浸漆废气处理设备、自动化装配流水线、表面喷漆废气废水处理等高效节能环保装备。

电机生产企业的辅助设备(如:水泵、风机、空压机等)应优先采用节能型设备或进行相应的节能改造。

表 6 普通工厂与绿色工厂生产装备对比

类别	序号	普通工厂	绿色工厂
高效节能环保装备	1	手动嵌线	自动绕嵌线流水线
	2	普通车床	数控金加工流水线
	3	普通冲床	数控高速冲床
	4	切削液无处理排放	金加工切削液循环利用处理装备
	5	浸渍漆废气直接排放	真空浸渍漆废气处理设备
	6	人工装配	自动化装配流水线
	7	油性漆废气无处理排放	表面喷漆废气废水处理装备
	8	电阻负载系统测试线	静止电源四象限回馈能试验系统
	9	焦炉	经济型无坩埚溶解保温炉
	10	Y、Y2、Y3 低效淘汰电机	YE2、YE3、YE4 高效电机或变频电机
	11	风机、水泵、压缩机	风机、水泵、压缩机高效设备

2.5 产品

(1) 生态设计。工厂在产品设计中引入生态设计的理念。在电机设计开发阶段系统考虑原材料获取、生产制造、包装运输、使用维护和回收处理等各个环节对资源环境造成的影响,力求产品在全生命周期中最大限度降低资源消耗、尽可能少用或不用含有有害物质的原材料,减少污染物产生和排放,从而实现环境保护的活动。

(2) 节能。达到国家、行业发布的产品能效标准中的能效等级 2 级或 1 级能效要求,未制定产品能效标准的,产品能效达到行业前 20% 的水平。

表 7 普通工厂与绿色工厂产品能效等级对比

产品种类	能效标准	普通工厂	绿色工厂
小功率电机	GB 25958—2010	3 级能效	2 级能效及以上
中小型电机	GB 18613—2012	3 级能效	2 级能效及以上
永磁同步电机	GB 30253—2013	3 级能效	2 级能效及以上
高压电机	GB 30254—2013	3 级能效	2 级能效及以上
其他电机	IEC60034—30	IE1\IE2	IE3\IE4\IE5

(3) 产品可回收利用率。电机产品的端盖、机壳、定转子、风扇等部件及外包装应可回收再利用或满足电机再制造。

表 8 普通工厂与绿色工厂产品系列对比

类别	序号	普通工厂	绿色工厂
绿色产品	1	Y、Y2、Y3 等普通电机	YE3\YBX3 超高效电机
	2		YE4 超超高效电机
	3		高压高效电机
	4		永磁同步电机
	5		变频调速电机

2.6 主要污染物排放

根据电机生产过程中的主要污染物种类,结合我国电机生产企业主要污染物产生量,绿色工厂应达到或优于我国电机生产企业主要污染物产生量的平均水平。

表 9 电机生产企业污染物产生量平均水平

污染物指标	单位	产污系数
工业废水量	t/kW-产品	0.04
化学需氧量	g/kW-产品	6.2
石油类	g/kW-产品	0.2
工业废气量(工艺)	标 m ³ /kW-产品	57
HW12 危险废物(染料、涂料废物)	kg/kW-产品	0.006

对于电机生产企业要完成绿色制造的产业升级,除了满足绿色工厂的通用要求外,还需结合企业自身实际情况及生产过程中的特点,对生产制造的基础设施、生产工艺、物料使用、生产装备、生产的产品以及主要污染物排放等方面进行系统全面的技术改进,采用新材料、新工艺、新装备生产出高效环保节能的电机产品,使电机生产企业达到绿色工厂评价的要求。

(下转第 115 页)

子匝间短路故障的电磁场分析提供理论依据。

【参考文献】

- [1] LI J Q, WANG X M. FEM analysis on interturn fault of rotor winding in DFIG [C] // International Conference on Electrical Machines and Systems, IEEE, 2013: 797-802.
- [2] CHEN Y, WANG L, WANG Z, et al. FEM simulation and analysis on stator winding inter-turn fault in DFIG [C] // Properties and Applications of Dielectric Materials, IEEE, 2015: 244-247.
- [3] 张志新, 马宏忠, 钱雅云, 等. 基于有限元分析的双馈异步发电机定子绕组匝间短路故障诊断研究[J]. 高压电器, 2012, 48(8): 24-27.
- [4] 李俊卿, 康文强, 沈亮印. 不平衡电压下双馈异步发电机定子绕组匝间短路故障的稳态仿真分析[J]. 电机与控制应用, 2017, 44(4): 86-92.
- [5] 李俊卿, 何龙, 王栋. 双馈式感应发电机转子匝间短路故障的负序分量分析[J]. 大电机技术, 2014(2): 14-18.

- [6] 李俊卿, 康文强, 沈亮印. 不平衡电压下基于负序电流法的双馈感应发电机定子绕组匝间短路故障仿真研究[J]. 电机与控制应用, 2016, 43(11): 80-85.
- [7] 魏书荣, 符杨, 马宏忠. 双馈风力发电机定子绕组匝间短路诊断与实验研究[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(11): 25-28.
- [8] 李俊卿, 王栋, 王喜梅. 双馈感应发电机定子绕组匝间短路时电磁特征[J]. 华北电力大学学报(自然科学版), 2015, 42(1): 15-21.
- [9] 戴志军. 基于改进 HHT 的双馈风力发电机定转子故障诊断研究与实现[D]. 上海: 上海电机学院, 2015.
- [10] 何山, 王维庆, 董新胜, 等. 双馈风力发电机多种故障状态温度场仿真研究[J]. 计算机仿真, 2014, 31(2): 170-173.
- [11] 宋国强, 张新燕, 王维庆, 等. 1.5 MW 双馈风力发电机电磁场和温度场分析[J]. 电源技术, 2015, 39(5): 1053-1056.

收稿日期: 2018 -01 -15

(上接第 88 页)

3 结 语

绿色工厂的推广目前在全国范围内还刚刚开始, 对于带有行业特点的绿色制造研究基本处于空白状态。本文从电机生产企业建设绿色工厂的目标出发, 针对电机生产企业建设绿色工厂、进行绿色制造产业升级的共性问题 and 个性问题做了分析和阐述, 希望对于电机生产企业的绿色制造升级带来一些启发; 也希望本文能为将来的电机生产行业绿色工厂评价相关标准的制订及评价体系的建立, 完善我国绿色制造相关标准体系和评价体系起到添砖加瓦的作用, 从而为电机生产行业全面推行绿色制造、加快电机生产行业绿色改造

升级、构建电机生产行业绿色制造体系, 提高我国电机生产行业的国际竞争力作出积极贡献。

【参考文献】

- [1] 中华人民共和国国务院. 中国制造 2025[OL]. www.gov.cn, 2015-05-19.
- [2] 中华人民共和国工业和信息化部. 工业和信息化部办公厅关于开展绿色制造体系建设的通知[OL]. www.miit.gov.cn, 2016-09-03.
- [3] 中华人民共和国工业和信息化部. 绿色工厂评价要求[OL]. www.miit.gov.cn, 2016-09-03.
- [4] 绿色工厂评价通则: GB/T 36132-2018[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.

收稿日期: 2017 -12 -12

(上接第 108 页)

- [13] 胡耀华, 贾欣乐. 广义预测控制综述[J]. 信息与控制, 2000, 29(3): 248-256.
- [14] 符晓玲. 一种隐式广义预测控制算法及仿真研究[J]. 工业仪表与自动化装置, 2011, 27(2): 7-9.
- [15] 张敏杰. 改进广义预测控制算法的研究[D]. 太原: 太原理工大学, 2012.
- [16] 刘旭东, 李珂, 孙静, 等. 基于广义预测控制和扩展状态观测器的永磁同步电机控制[J]. 控制理论与应用, 2015, 32(12): 1613-1619.
- [17] 李立刚, 张朝晖. 基于改进自适应广义预测控制的

天然气分输站压力控制[J]. 信息与控制, 2014, 43(5): 637-640.

- [18] 张建桃, 张铁民, 梁莉. 超声电机非线性建模和广义预测控制[J]. 电机与控制学报, 2011, 15(6): 50-56.
- [19] ELIASI H, MENHAJ M B, DAVILU H. Robust nonlinear model predictive control for a PWR nuclear power plant[J]. Process in Nuclear Energy, 2012, 54(9): 177-185.

收稿日期: 2018 -01 -03