

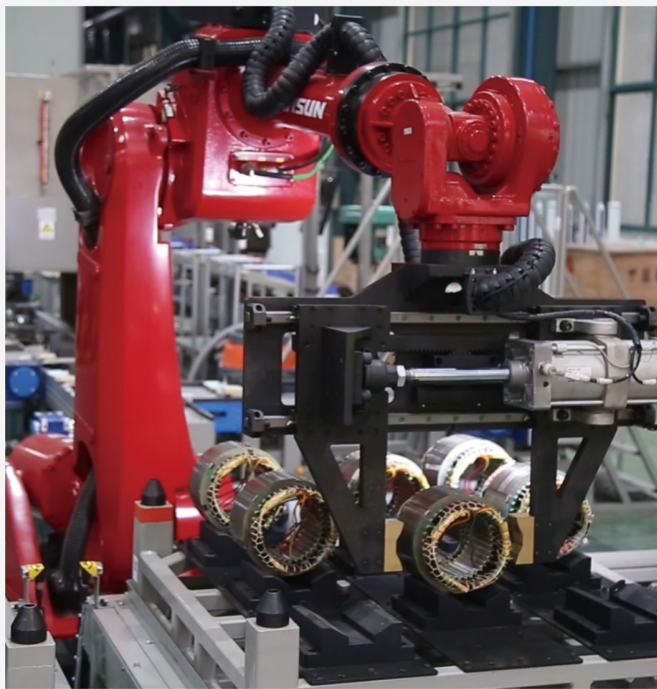
本文全文线上首发由
上海电器科学研究所
(集团) 有限公司
支持

秦宏波.
基于层次分析法的电机系统能效评估
方法研究与应用.
电机与控制应用, 2022, 49(2): 72.



中国智能制造系统解决方案供应商联盟 (成员)
上海智能制造系统解决方案供应商 (首批)

电机·智能制造



咨询服务

规划设计

设计制造

信息化系统

项目实施



扫码联系
我们

联系人: 黄先锋 手机: 13501892388
上海电器科学研究所 (集团) 有限公司
上海电机系统节能工程技术研究中心有限公司
上海市武宁路505号9号楼6层

基于层次分析法的电机系统能效评估 方法研究与应用*

秦宏波

(上海市能效中心, 上海 200083)

摘要: 电动机广泛应用于工业、农业、交通等社会生产生活各领域, 高效电机的推广应用将极大提升全社会的电能利用效率。分析了基于层次分析法原理建立的电机系统能效评估指标体系, 并甄选 20 家典型工业企业进行电机系统能效评估。评价结果显示目前企业电机系统的能效水平仍有很大的提升空间。基于此提出了高效电机推广措施, 助力全国高效电机推广应用工作。

关键词: 高效电机; 节能; 能效评估; 推广措施

中图分类号: TM301.4 文献标志码: A 文章编号: 1673-6540(2022)02-0072-05

doi: 10.12177/emca.2021.183

Analysis of Energy Efficiency Assessment of Motor Systems and Application Based on Analytic Hierarchy Process Method*

QIN Hongbo

(Shanghai Energy Efficiency Center, Shanghai 200083, China)

Abstract: Motors are widely used in various fields of social production and life such as industry, agriculture and transportation. The popularization and application of high-efficiency motors will greatly improve the efficiency of power utilization in the whole society. We analyze the energy efficiency evaluation system of motor system based on the principle of analytic hierarchy process (AHP) and select 20 typical enterprises to evaluate the energy efficiency of the motor systems. It is found that there is still much improvement room in the current energy efficiency level of motors, and high-efficiency motors should be widely promoted. Based on this, the promotion measures of high-efficiency motors are proposed, which can effectively promote the popularization and application of high-efficiency motors.

Key words: high-efficiency motor; energy saving; energy efficiency assessment; promotion measures

0 引言

作为世界上最大的发展中国家,我国仍处于工业化、城镇化深化发展阶段,能源资源需求保持刚性增长。能源消耗特别是化石能源消耗是我国二氧化碳排放最主要的来源。为了如期实现碳达峰、碳中和,必须坚定不移地把节约能源资源放在首位。电机系统能效提升是实现能源节约的重要组成部分。

电动机是水泵、压缩机、风机等设备的主要动力源,广泛应用于工业、农业、建筑、交通等社会生活各个领域。电机系统用电量约占一个国家用电量的 50%, 占工业企业用电量的 70% 以上,这就决定了电机及其系统节能工作的重要地位。我国是全球最大的中小型电机生产和应用国家,但是全国高效电机产量和应用比例很低,除了部分新建项目采用高效电机之外,在用的存量电机大部分是普通电机,且大部分高效电机都出口到国外。

收稿日期: 2021-12-09; 收到修改稿日期: 2022-01-07

* 基金项目: 国家重点研发计划先进高效中小型三相异步电动机技术方案和能效标准研究(2019YFE0192300)

作者简介: 秦宏波(1977—),男,博士,高级工程师,研究方向为电机系统节能。

因此,我国电机能效与发达国家相比仍旧较低。

随着世界能源形势日益紧张,发达国家能源政策中都将推广和使用高效、超高效电机作为重要内容。通过节能监察和政策引导,我国电机能效水平已有很大的提高,但总体水平与发达国家相比仍有明显差距。由于电机及其系统的复杂性、电机节能技术的专业性、电机系统节能财政支持政策等因素,目前我国仍面临着存量电机系统运行过程中电机与拖动设备不匹配、电机用户对高效电机认识不足、电机系统评价和技术规范不足等问题。为了实现我国节能减排和“双碳”的目标,高效电机的推广和应用和系统整体能效提升工作迫在眉睫。

建立电机系统能效评估指标体系,是高效电机推广应用的重要支撑。这不仅需要发挥电机生产企业、节能服务机构和终端用户的积极性,同时需要政府的标准引领、政策支持和监督执法等措施。

本文基于层次分析法原理建立了电机系统能效评估指标体系,并对 20 家典型工业企业进行了电机系统能效评估。基于评价结果提出了高效电机推广措施。

1 电机及其系统能效评估工作现状

世界上许多国家对电动机系统节能高度重视,制定并颁布了电动机的能耗标准。为了统一和协调全球市场,国际电工委员会(IEC)制定了电动机能耗分级标准 IEC 60034-30。2020 年 5 月,我国批准公布了新修订电机能效标准 GB 18613—2020《电动机能效限定值及能效等级》^[1]。该标准提高了三相异步电动机能效限定值的要求,已于 2021 年 6 月 1 日开始实施。自此,IE3 以下能效电机停止生产,国内电机生产行业已全面进入“IE3 时代”^[2]。

我国电机能效标准与国际标准对比如表 1 所示。目前的三级能效对应 IEC 标准的 IE3 效率等级;二级能效对应 IEC 标准的 IE4 效率等级;一级能效对应 IEC 标准的 IE5 效率等级,为最高能效值^[3]。

除电机能效标准外,在电机系统节能方面,我国还制定了高效节能电机产品、能效分级、节能改造、绿色制造等标准^[4],涵盖了高效节能电机设计、制造、测试、应用、评价与认证等各个环节,基

本建立了电机系统节能标准体系框架,主要包括设备能效标准、系统经济运行标准和节能控制标准等。

表 1 三相异步电动机能效标准对比

标准	IEC 60034-30	GB 18613—2020	GB 18613—2012	GB 18613—2006
能效等级	IE5	一级能效	—	—
	IE4	二级能效	一级能效	—
	IE3	三级能效	二级能效	一级能效
	IE2	—	三级能效	二级能效
	IE1	—	—	三级能效

2 电机系统能效评估指标体系建立

2.1 层次分析法基本原理

电机系统的稳定运行涉及系统中的各个组成部分,包含众多指标因素,因此,电机系统能效评估应采用系统工程方法来对指标体系进行分类和剖析。层次分析法^[5]是常用的指标体系分析和构建方法,其基本原理如图 1 所示。

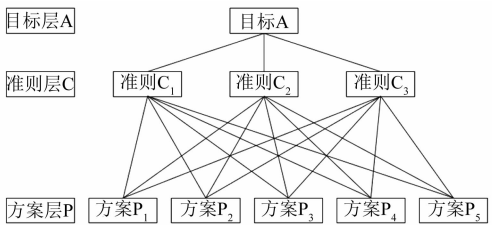


图 1 层次分析法基本原理

由图 1 可知,层次分析法展现出递进关系,其基本思路是将一个目标或因素分解成多种组成元素。层次分析法的各层次从上到下依次为目标层、准则层、方案层,各层次之间相互影响、相互依存。当同一层次所含因素较多时,可采用权值法确定权数,对指标进行量化。当某一层元素发生变化时,可反映到其他层次,体现出系统的有序性和关联性。基于该方法,可将众多指标因素统一起来,建立科学合理的电机系统能效评估指标体系。

2.2 能效评估指标体系

电机系统能效评估指标体系适用于中小型电动机(1 000 kW 以下)、单个拖动设备(风机、泵、空气压缩机)及其控制装置、传动装置和管网等

组成的稳定运行的电机系统。本文依据层次分析法建立的电机系统能效评估指标体系包含 6 个准则层因素。

(1) 设备设施。该部分主要评价电机系统组成设备设施的能效情况,包括电动机、拖动系统、控制装置、管网 4 个二级指标,总分 40 分。

(2) 系统设计。该部分主要评价电机系统是否按照相关标准进行优化设计,总分 10 分。

(3) 节能监测。该部分主要评价电机系统的计量、监测情况,包括计量统计、在线监测、节能监测 3 个二级指标,总分 10 分。

(4) 运行控制。该部分主要对电机系统运行控制进行评价,包括经济运行和优化控制 2 个二级指标,总分 10 分。

(5) 节能改造。该部分对电机系统的节能改造情况进行评价,包括技术改造和效果评价 2 个二级指标,总分 10 分。

(6) 管理措施。该部分对电机系统整体节能管理水平进行评价,包括管理制度、人员能力、维护保养、节能操作 4 个二级指标,总分 20 分。

根据上述评分准则,电机系统能效评估总分为 100 分,等级可分为 3 级。其中 1 级最高,为领跑者等级。各等级电机系统能效评估综合得分范围如表 2 所示。电机系统能效评估综合得分低于 60 分的,应及时采取节能措施改善系统运行。

表 2 电机系统能效评估等级

等级	1 级	2 级	3 级
综合得分	90~100(含)	75~90(含)	60~75(含)

3 基于层次分析法的能效评估体系试点应用

通过企业沟通与调研,确定了 20 家企业进行电机系统能效评估。评估工作从过程角度,结合各能效指标,综合反映并分析电机系统的节能效果。

20 家企业的评价结果如表 3 和图 2 所示。评级为 2 级的企业有 7 家,占 35%;评级为 3 级的企业有 8 家,占 40%;评级为 1 级的企业仅 2 家;另有 3 家企业低于 60 分,急需采取措施进行节能改造。

表 3 20 家企业电机系统能效评估清单

编号	电机系统	得分	评级
1	空压机系统、制冷系统	83	2
2	制冷系统、空压机系统	87	2
3	制冷系统、空压机系统	73	3
4	制冷系统	74	3
5	制冷系统、空压机系统	74	3
6	空调制冷系统、空压机系统、风机系统	72	3
7	空调制冷系统、水泵系统、空压机系统	50	低于 60 分
8	水泵系统、空压机系统	64	3
9	空调系统、空压机系统	74	3
10	空压系统、制冷系统	69	3
11	制冷系统、水泵系统、空压机系统	58	低于 60 分
12	制冷系统、空压机系统	85	2
13	制冷系统、空压机系统	76	2
14	制冷系统、水泵系统、空压机系统	62	3
15	制冷系统、空压机系统、纯废水系统	91	1
16	制冷系统、空压机系统	59	低于 60 分
17	制冷系统、空压机系统	91	1
18	制冷系统、空压机系统	85	2
19	空调制冷系统、水泵系统	89	2
20	空调制冷系统、空压机系统	77	2

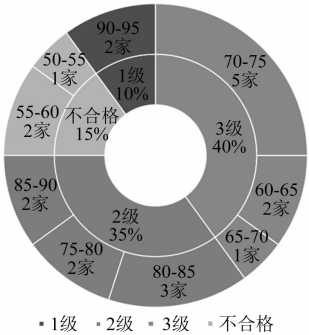


图 2 企业评级分布

不同评级企业各类指标均值如图 3 所示。从图 3 可以看出,所有指标中管理措施是得分率最差的指标,应重点推进企业完善电机系统管理措施。另外,评级高的企业各项指标得分均较高,而评级低的企业各类指标得分普遍较低,且没有某一项得分突出的情况,说明目前电机系统运行水平较差的企业仍没有充分重视电机系统节能。

以上评价结果表明,目前企业的电机能效水

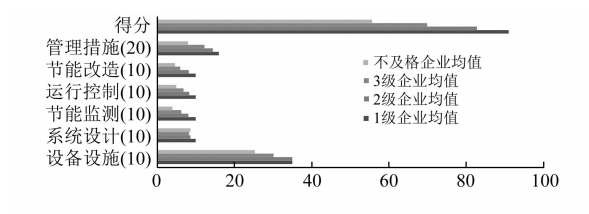


图3 不同评级企业各类指标均值

平仍有很大的提升空间,高效电机的推广和应用刻不容缓。

4 高效电机推广措施

通过政策引导、标准约束和节能监察,我国的高效电机生产能力得到大幅提升,电机系统能效提升也在稳步推进。但是从实施效果来看,还未能达到预期目标。建议采取如下措施。

4.1 建立高效电机能效跟踪及推广管理平台

开展工业电机运行的数据摸底工作,通俗讲就是摸清家底。建立高效电机能效跟踪及推广管理平台,将企业、各区县和集团的电机能效情况通过平台填报进行收集和分析,实现企业高效电机数字化管理。同时,建立推广服务平台,包括高效电机推广管理平台、高效电机推广及电机系统节能服务平台、电机能效检测服务平台、宣传平台,将政府机构、科研院所、电机厂家、节能公司纳入平台,为企业提供政策、技术、节能诊断、采购等咨询。

上海市能效中心已经建立了重点用能设备能效对标及跟踪平台(上海市产业绿色发展综合服务平台,见图4)。目前平台有如下功能:企业用户可以实时进行重点用能设备(包括电机、水泵系统、空压机系统、风机系统、空调系统等设备)的数据填报、修改、上传、下载,对本单位进行能效水平对标管理;管理员用户可对所有填报企业设备对标数据进行总体分析,实现上海市重点用能设备能效水平对标分析、评价和管理。未来上海市能效中心将继续围绕高效电机推广工作,开展平台建设,构建集数据、诊断机构、科研机构、高效电机制造商、用能企业等于一体的能效跟踪及宣传推广平台。

4.2 鼓励发展第三方节能技术服务机构

加快推行电机系统节能技术改造合同能源管



图4 上海市产业绿色发展综合服务平台主界面

理,鼓励第三方节能技术服务机构利用更多融资方式,为用能单位电机系统节能改造提供诊断、设计、融资、改造、运行、管理等“一条龙”服务。同时,通过高效电机应用市场化程度的不断提高,促进第三方节能服务机构的技术能力提升。电机系统能效提升不是高效电机对低效电机的简单替换,也不是简单地把所有能效最高的设备连接在一起,而是根据企业生产运营需求匹配其工艺、工况,提出最优的系统解决方案。要针对不同行业和工况运行特点实施专项改造提升计划,改变简单地更换低效电机的单一模式。节能服务公司应按照统一的服务规范开展企业节能诊断,并对重点企业的电机系统进行节能改造和运行控制优化。

4.3 提升高效电机系统的运维水平

定期组织开展电机系统能效评价工作,对电机系统的运行、节能监测、节能改造、优化控制、管理制度、人员能力、维护保养等内容进行评价,对评价结果不合格者采取有效措施进行整改或节能改造,进一步促进电机系统使用过程中的节能经济运行。推进企业、节能评估机构、节能服务公司、节能量审核机构的交流和培训,加强相关管理和技术人员的能力建设。

4.4 完善高效电机及系统标准体系

标准体系的建设也是提升电机及其系统能效水平、促进高效电机应用的重要支撑。分行业完善高效电机节能技术规范、效率测试方法标准体系;完善高效电机能效评估标准,以此规范高效电机的合理使用和测试;完善与再制造电机相关的标准与要求;随着 GB 18613—2020 新标准的制定与发布,能效标识标准也应及时更新,对旧的能效标识采取强制淘汰措施,并对电机的能效标识进行统一规范管理;完善电机经济运行管理及相关

服务规范等标准。

4.5 开展关键技术研究

从生产技术看,近年来我国电机生产企业持续加大研发投入,不断加强自主创新能力的建设;从生产能力看,我国高效电机行业也已形成较为完整的产业链。但是,我们必须清醒地认识到,我国虽然是全球电机制造大国,但主要是生产附加值低、能耗高的普通电机,在国际电机产业分工中主要处于价值链的低端,只有掌握若干高端核心技术,才能占领相应的高效电机节能市场。因此,应大力开展电机系统节能关键技术研究,发挥科研院所和行业归口机构在技术研发、应用、推广等方面的核心作用。

5 结 语

通过电机系统能效评估体系对 20 家企业的典型工业电机系统进行能效评估,综合反映电机系统的节能效果。评价结果显示,目前企业电机能效水平仍有很大的提升空间,高效电机的推广

和应用刻不容缓。在此背景下,提出了高效电机推广措施,助力全国高效电机替代工作。高效电机的推广以及整体用能设备的能效提升是目前最有效地支持碳达峰、碳中和目标达成的措施。我们需要把握好高效电机推广的有利时机,下决心加快推动国内高效电机规模化应用,在推进节能减排的同时,带动电机产业结构升级。

【参考文献】

- [1] 国家标准化管理委员会. 电动机能效限定值及能效等级:GB 18613—2020[S]. 2020.
- [2] 王雨. 节能电机的发展现状与电力拖动存在的问题与建议[J]. 科技经济导刊, 2020, 28(34): 68.
- [3] 国家发展和改革委员会资源节约和环境保护司. 中小型三相异步电动机能效限定值及能效等级:GB 18613—2012[S]. 2012.
- [4] 董振斌, 刘憬奇. 中国工业电机系统节能现状与展望[J]. 电力需求侧管理, 2016(2): 1.
- [5] 刘世铎, 凌静. 区域主导产业选择研究述评[J]. 经济研究导刊, 2018(6): 61.
- [6] 中国电梯. 工信部印发《工业互联网创新发展行动计划(2021—2023 年)》[J]. 中国电梯, 2021(5): 1.
- [7] 罗开明, 王斌, 张崇见, 等. 电力装备行业工业互联网标识解析二级节点技术研究[J]. 电力信息与通信技术, 2021(8): 47.
- [8] 区景安, 汪毅, 陈琴. 工业互联网标识在家居定制行业中的应用探索[J]. 中兴通讯技术, 2020(6): 27.
- [9] 吴江龙, 付思敏, 蒋大为. 基于 Handle 的工程机械供应链标识解析技术设计与应用[J]. 中国工业和信息化, 2018(8): 56.
- [10] 陈凯. 工业互联网标识解析在航空制造行业的应用[J]. 技术与市场, 2019(11): 44.
- [11] 赵华, 刘刚, 吴亚平, 等. 工业互联网标识解析在仪器仪表领域的创新应用[J]. 信息通信技术与政策, 2019(8): 67.
- [12] 孙鹏, 史天运. 铁路物联网标识解析体系研究[J]. 中国铁路, 2019(6): 56.
- [13] 邓昌义, 张健. 基于标识解析的服装行业个性化定制平台设计[J]. 中国科技信息, 2020(2): 89.
- [14] 周志勇, 张仲敏, 任涛林, 等. 家电行业工业互联网标识解析应用研究——标识解析二级节点的体系建设研究[J]. 中国仪器仪表, 2020(8): 40.

(上接第 71 页)