

面向工业企业能效服务的诊断模型研究

余换林, 栗帅燕*

天津市普迅电力信息技术有限公司, 天津, 中国

*通讯作者

【摘要】针对工业企业节能提效和电力营销一线人员能效现场诊断的需要, 设计开发实施了一套面向工业企业的能效服务平台。该平台汇集了用户档案、用能、量费、设备、能效分析报告及评价等数据, 并与国家电网营销 2.0 移动作业终端实现数据贯通。工业企业能效服务平台通过多维的数据处理和用能分析, 形成涵盖“诊断结果+提升方案+典型案例”的服务于客户的能效分析报告, 并通过在“绿色国网”集成, 供客户下载查看, 为工业企业提供专业能效诊断服务, 帮助工业企业分析用能情况, 提升能效水平, 实现“双碳”目标。

【关键词】工业企业; 现场诊断; 节能提效; 双碳; 能效服务

1. 引言

2019年5月, 工业和信息化部发布《工业节能诊断服务行动计划》, 指出工业节能诊断是对企业工艺技术装备、能源利用效率、能源管理体系的全面诊断, 有助于发现用能问题、查找节能潜力、提升能效和节能管理水平^[1-3]。文献^[4]提出基于超效率模型的含分布式电源配电网能效评估方法, 利用多个指标组成的能效评估集, 实现对含分布式电源配电网的客观评估。文献^[5]以火力发电主要流程为理论依据, 通过云模型对定性数据进行定量化处理, 利用数据包络分析法(DEA)进行能效诊断评价, 构建云模型与DEA结合的能效诊断综合模型, 并以电厂为例进行实证研究, 提出改善能效对策。文献^[6]分析企业能源消耗过程因素, 定义元模型, 提出面向企业能源消耗过程的模糊 Petri 网模型, 实现企业能耗过程结构和动态行为的信息全面描述。文献^[7]提出能效状态概念, 构建描述煤电机组能效状态的层次化指标体系, 构建能效状态实时评价模型, 制定运行调整方案和维修策略。

本文在调研工业企业用能特点和节能措施的基础上, 构建能效诊断算法模型, 开发工业企业能效服务平台, 从能源管理、节能改造、用电能效、通用能源系统能效、能源资源利用五个维度进行综合评定, 并通过实际案例验证, 实现能效分析、能源管理、智能推荐功能, 助力工业企业能效诊断和改造。

2. 主要服务对象和用能特点

本平台主要面向中大型工业企业, 例如电力、石化、化工、有色、冶金和矿业等。

工业企业具有能耗占比大, 高耗能设备多等用能特点, 能源消费量占全国能源消费总量的 70%左右, 是中国能源消费大户; 另外具有用能差异性大, 生产工艺复杂, 工业用户种类繁多, 能源供给及能源消费遍及几乎所有能源种类, 不同的工业生产差异很大, 生产过程的前后关联性很强等特点。当前工业企业主要以通用用能设备为主开展能效提升工作, 主要包括配电系统、泵、风机、电机、空压机、余能利用、分布式光伏、数字化平台等, 在通用用能设备能效提升基础上, 可针对特性行业, 形成行业级解决方案。

3. 数据与模型

3.1 工业企业用能信息选取

基于国家电网公司营销 2.0 系统, 结合工业企业年用电量、行业信息等条件, 设计企业基本信息与能源管理调研表、企业用能信息表、企业通用能源系统信息表, 收集工业企业用户能效指标数据^[8]。

企业基本信息与能源管理信息: 包括企业基本情况、能源计量、技改情况及能源管理等信息, 其中公司名称、户号、立户时间、行业类型、企业地址、联系人、上年度外购电和来源于国家电网公司营销 2.0 系统。

企业用能信息: 包括企业近一年各类品种能源的用量、工业总产值、工业增加值数据、用电数据、未利用余能资源及清洁能源利用信息, 其中用电数据来源于国家电网公司营销 2.0 系统。

企业通用能源系统信息: 包括配电系

统、泵机系统、风机系统和空压机系统四个通用能源系统，企业可根据实际情况，选择对应用能系统收集相关数据。

3.2 工业企业能效诊断模型

工业企业能效诊断模型是由能源管理水平、节能改造措施、用电能效水平、通用能源系统能效、能源资源利用水平 5 个模块构成，权重相同各占 20%。每个模块分为不同二级模块，诊断结果值（以下简称 V）体现工业企业能效水平，模型算法公式为：

$$V = f(V1) + g(V2) + h(V3) + s(V4) + V5 \quad (1)$$

其中：当 $0 \leq V1 \leq 20$ 时， $f(V1)=1$ ； $21 \leq V1 \leq 40$ ， $f(V1)=2$ ； $41 \leq V1 \leq 60$ ， $f(V1)=3$ ； $61 \leq V1 \leq 80$ ， $f(V1)=4$ ； $81 \leq V1 \leq 100$ ， $f(V1)=5$

当 $V2 \leq 1$ 时， $g(V2)=1$ ； $V2=2$ ， $g(V2)=2$ ； $V2=3$ ， $g(V2)=3$ ； $V2=4$ ， $g(V2)=4$ ； $5 \leq V2$ ， $g(V2)=5$

当 $0 \leq V3 \leq 20$ 时， $h(V3)=1$ ； $21 \leq V3 \leq 40$ ， $h(V3)=2$ ； $41 \leq V3 \leq 60$ ， $h(V3)=3$ ； $61 \leq V3 \leq 80$ ， $h(V3)=4$ ； $81 \leq V3 \leq 100$ ， $h(V3)=5$

当 $0 \leq V4 < 20$ 时， $s(V4)=1$ ； $20 \leq V4 \leq 40$ ， $s(V4)=2$ ； $41 \leq V4 \leq 60$ ， $s(V4)=3$ ； $61 \leq V4 \leq 80$ ， $s(V4)=4$ ； $81 \leq V4 \leq 100$ ， $s(V4)=5$

企业整体能效情况为（优秀/中等/较差），通过企业五个维度累计总分值和整体能效水平对应如表 1 所示。

表1.工业企业能效水平评定

序号	分值范围/V	整体能效水平
1	$V < 10$	较差
2	$10 \leq V < 20$	中等
3	$20 \leq V$	优秀

5 个二级模块的取分项、分值及得分规则如表 2 至表 5 所示：

表2.能源管理水平（V1）取分项和取分规则

序号	取分项	分值
1	能源计量建设 <input type="checkbox"/> 若企业满足一级计量、二级计量，且三级计量中能源计量器具配备率高于 90%，得 20 分 <input type="checkbox"/> 若企业满足一级计量、二级计量，而三级计量中能源计量器具配备率不高于 90%，得 10 分 <input type="checkbox"/> 若企业仅有一级计量，得 0 分 ^[9-10]	20
2	能源管理调研 <input type="checkbox"/> 企业五年内进行过 ISO50001 能源管理体系认证，则能源管理为 80 分； <input type="checkbox"/> 企业五年内未进行过 ISO50001 能源管理体系认证： （1）是否制定了企业能源管理制度？是 15 分，否 0 分。 （2）是否成立了能源管理组织机构，同时配置有专职能源经理、能源团队成员、技改专员？是 15 分，否 0 分。 （3）是否已建有完善的企业级能源管理系统？是 15 分，否 0 分。 （4）是否定期组织能效业务交流与培训？是 15 分，否 0 分。 （5）是否具有主动能效提升的意愿？是 10 分，否 0 分。 （6）是否三年内进行过能源审计？是 10 分，否 0 分。	80
合计		100

表3.节能改造措施值（V2）取分项和取分规则

序号	取分项	分值
1	节能改造措施值 节能改造措施值（V2）为节能改造措施数量， $V2=1, 2, 3, 4, 5, \dots$ ，算法如下： （1）若“是否实施过节能改造”选择“是”，则为“企业近五年内实施了节能改造措施”，并统计工艺系统、通用能源系统、清洁能源利用、余能资源利用各领域节能改造措施数量。 （2）若“是否实施过节能改造”选择“否”，则为“企业近五年内未实施节能改造措施”，即 $V2=1$ 。	5
合计		5

表4.用电能效水平值（V3）取分项和取分规则

序号	取分项	分值
1	尖峰平谷用电量占比 根据企业用电信息，计算上年度用电量尖峰平谷占比： <input type="checkbox"/> 若谷电费用占比超过 30%，分值为 25 分；	25

	诊断分析	<input type="checkbox"/> 若谷电电费占比小于 30%，分值为 0 分。	
2	力调分析	由功率因数考核标准、上月实际功率因数和上月力调电费组成。 <input type="checkbox"/> 上月实际功率因数/功率因数考核标准<1，分值为 25 分。 <input type="checkbox"/> 上月实际功率因数/功率因数考核标准≥1，分值为 0 分。	25
3	基本电费 诊断分析	条件一：若“基本电费计费方式”： <input type="checkbox"/> 选择“无”，则为“企业无基本电费，采取单一制电价”，分值为 0 分； <input type="checkbox"/> 选择“容量”，则为“企业采用容量计费方式”，分值为 15 分； <input type="checkbox"/> 选择“最大需量”，则为“企业采用最大需量计费方式”，分值为 25 分。	25
		条件二：基本电费占比=年基本电费/年总电费： <input type="checkbox"/> 基本电费占比<10%，则企业基本电费占比低于 10%，基本电费缴纳方式相对合理，分值为 25 分； <input type="checkbox"/> 基本电费占比≥10%，则企业基本电费占比不小于 10%，相对不合理，分值为 0 分	25
合计			100

表5.通用能源系统能效值（V4）取分项和取分规则

序号		取分项	分值
1	配电系统 (35kV 以上)	(1) 是否根据负荷/生产计划，调整运行方案？是 20 分，否 0 分。 (2) 变压器是否定期开展保养维护？是 30 分，否 0 分。 (3) 变压器运行负载率是否在 60%-80%？（通过营销系统中企业电量和营销系统中变压器总容量的比值计算自动判断）是 30 分，否 0 分。 (4) 是否存在淘汰变压器？（通过变压器型号自动识别出是否存在淘汰设备，若是则判断为“是”，否则为“否”自动判断）是 20 分，否 0 分。	100
2	泵机系统	(1) 泵机系统五年内是否进行过能效评估？是 15 分，否 0 分。 (2) 泵机系统是否定期开展保养维护？是 20 分，否 0 分。 (3) 泵机系统是否采用变频调节流量？普遍使用 25 分，部分使用 15 分，未使用 0 分。 (4) 泵机系统中无需供水流量支路是否及时关闭？是 20 分，否 0 分。 (5) 泵机系统中是否存在淘汰设备？（通过泵机和电机型号自动识别出是否存在淘汰设备，若是则判断为“是”，否则为“否”）是 20 分，否 0 分。	100
3	风机系统	(1) 风机系统五年内是否进行过能效评估？是 15 分，否 0 分。 (2) 风机系统是否定期开展保养维护？是 20 分，否 0 分。 (3) 风机系统是否采用变频调节流量？普遍使用 25 分，部分使用 15 分，未使用 0 分。 (4) 风机系统输送介质是否清洁？是 20 分，否 0 分。 (5) 风机系统中是否存在淘汰设备？（通过风机和电机型号自动识别出是否存在淘汰设备，若是则判断为“是”，否则为“否”）是 20 分，否 0 分。	100
4	空压机系统	(1) 空压机系统是否定期开展保养维护？是 10 分，否 0 分。 (2) 空压机系统是否配置智能群控系统并实现多机组协调控制？是 10 分，否 0 分。 (3) 空压机系统供气压力是否高于需求压力的 10%？是 20 分，否 0 分。 (4) 空压机系统是否进行泄漏管理？是 20 分，否 0 分。 (5) 空压机系统是否配置热回收？均已配置 20 分，部分配置 10 分，均未配置 0 分。 (6) 空压机系统中是否存在淘汰设备？（通过空压机和电机型号自动识别出	100

	是否存在淘汰设备,若是则判断为“是”,否则为“否”)是20分,否0分。	
合计	<p>根据问卷答案分值,通过计算公式得出最终分值,对于公用能源系统整体评价为各通用能源系统能效诊断分值与其权重的乘积之和,具体计算公式如下(其中配电系统总功率约定为总容量的十分之一) [11-12]:</p> $F_{总} = \sum_i^n (\frac{P^i}{\sum_i P^i} * F^i)$ <p>$F_{总}$ = 公用能源系统能效诊断总分值 F^i = 第<i>i</i>个公用能源系统能效诊断分值 P^i = 第<i>i</i>个公用能源系统设备总功率(单位kW) n = 企业具有的公用能源系统个数</p>	100

4.模型的应用

4.1 项目背景

浙江某工业企业为机械制造类企业,主要从事传动用齿轮及齿轮零件的生产与销售。目前有空压机14台,分布在3个区域,其中55kW4台,110kW6台,132kW2台,160kW2台,额定总功率1464kW,231.22m³/min。

4.2 诊断报告

根据专属报告生成模块,以客户基本情况为引述,形成“诊断结果+提升方案+典型案例”全面客户专属报告。报告内容:经诊断该企业能效水平分值较低,空压机系统存在较多问题。主要为企业采用多空压机房供气模式,该模式下存在多个站房多台空压机无联动控制,空压机无序加泄载问题;现场多台螺杆式空压机运行年限长,系统老旧,机械损耗大;没有精准控制压力,功率损耗大;空压机全部为风冷型空压机,冷却器功率较高;空压机多台为10kg压力,而实际工作为7.5-8kg之间,存在降压损耗。根据企业年供气量需求及用电情况测算,现有压缩空气单位能耗约0.17kWh/m³,单位成本高,能耗损失大。

4.3 改造措施

在厂区中心区域新建1个空压机房,该空压机房新装设1套560kW的离心机组、2套160kW的变频螺杆式空压机,同时利旧2台160kW的螺杆式空压机。厂区原有14台空压机,最大压缩空气需求量为191.6m³/min,空压站设计最大制气量为226m³/min,预留34.4m³/min制气量,满足远景需求。本项目为新建空压机房,原有空压机房的空压机不做更改,为本系统的备用系统,将新建空压机房的管道与原有管道联通,在原空压机房出气管道装设阀门及流量计,当

本空压机房正常工作时,原空压机房出气阀门关闭,当本空压机房空压机出现故障无法制气时,投入备用空压机来满足用户生产需求。

4.4 项目成效

通过系列优化改造,空压站实现较大能效提升,每立方米压缩空气能耗为0.11kWh,相对比改造前,每立方米压缩空气节约0.06kWh,按照一年4500万m³用气量计算,年节约电量270万kWh,电价按照0.7元/kWh计算,年节约费用189万元,静态投资回收期约3年。

5.结论

面向工业企业能效服务平台的建设与应用,可助力工业企业开展能效诊断和节能降碳、助力中国双碳目标的实现,助力社会生态文明绿色发展,未来经济效益和社会效益显著,并对其他工业企业能效诊断平台的建设具有指导和借鉴意义。但在目前的运用中,该诊断模型对具体行业的适配性还有待提高,未来须深入研究工业企业用能结构,以现有工业企业能效现场诊断项目为试点,逐步细化水泥、造纸、冶金等行业以实现工业企业能效服全行业的推广应用,支持我国“双碳”目标的达成。

参考文献

- [1]孟翠玲,王艳艳,朱元师,等.企业节能诊断工作存在的问题及对策研究[J].中国认证认可,2023(3):55-58.
- [2]毕克刚,吴岚,蔡玲,等.基于工业节能诊断提升企业能效水平的运用[J].节能,2021,40(09):65-67.
- [3]张庆环.工业企业节能诊断服务分析研究[J].企业改革与管理,2021,(13):20-21.
- [4]韩永霞,岑伯维,蔡泽祥,等.基于超效率

- 模型的含分布式电源配电网能效评估方法[J].供用电, 2020, 37(12): 16-21.
- [5]周靓.火电企业能效管理影响因素分析及诊断模型研究[D].华北电力大学(保定)硕士学位论文; 华北电力大学.
- [6]马福民.支持企业能效评估的能源消耗系统模型及其分析方法研究[D].同济大学硕士学位论文, 2008.
- [7]徐婧.煤电机组能效状态评价与诊断系统研究[D].华北电力大学(北京)硕士学位论文, 2018.
- [8]郭飞, 贾璐, 周怡, 等.基于聚类分析的电网综合能效诊断模型及应用[J].信息技术, 2021, 000(008): 145-149, 155.
- [9]林荣捷.“双碳”目标下企业能源计量管理与节能降耗研究[J].能源与节能, 2023, (12): 72-74.
- [10]许正焯.工业企业能源系统分析[J].投资与创业, 2013(1): 139.
- [11]DONER, NIMETI, CIBDI, KEREM. Regression analysis of the operational parameters and energy-saving potential of industrial compressed air systems. *Energy*, 2022, 252(Aug.1):124030.1-124030.10.
- [12]刘伟.地源热泵空调节能诊断系统研究与开发[D].山东大学硕士学位论文, 2017.