

民用建筑绿色机电设备全生命周期评价体系研究*

白登辉 王希文 杨志锋 付韵潮 (四川省建筑设计研究院有限公司, 成都市 610000)

王程远 (四川省水利科学研究院, 成都市 610031)

Study on Full Life Circle Assessment System of Green E&M Equipment in Civil Buildings*

BAI Denghui WANG Xiwen YANG Zhifeng FU Yunchao

(Sichuan Provincial Architectural Design and Research Institute Co., Ltd., Chengdu 610000, China)

WANG Chengyuan (Sichuan Provincial Water Resources Science
and Technology Institute, Chengdu 610031, China)

Abstract: The construction of green building industry chain is the basis for the standardized development of green buildings, and the green evaluation of building E&M equipment is derived from the green building industry chain. This study follows the national and provincial key points of green building implementation, pays close attention to building E&M equipment, establishes a comprehensive evaluation model for E&M equipment from the perspective of full life circle, and comprehensively evaluates the performance and environmental impact of equipment from the aspects of product manufacturing, packaging, storage, transportation and installation, service performance and disposal and reuse. This paper mainly introduces the green evaluation of common building electrical equipment (diesel generator unit, dry-type transformer).

Key words: green E&M equipment of building; full life circle; dry-type transformer; energy efficiency grade; diesel generator unit; specific fuel consumption; indicators of control items; indicators of extra point items

摘 要: 构建绿色建筑产业链是规范发展绿色建

筑的基础, 建筑机电设备绿色评价是绿色建筑产业链的衍生体。本研究切合国家及省市绿色建筑推行重点, 深度关注建筑机电设备, 以全生命周期的视角, 对机电设备建立综合评估模型, 从产品的制造、包装、贮存、运输与安装、使用性能和处置再利用等方面对设备的性能、全生命周期的环境影响进行综合评价。重点介绍建筑电气常用设备(柴油发电机组、干式变压器)的绿色评价。

关键词: 建筑绿色机电设备; 全生命周期; 干式变压器; 能效等级; 柴油发电机组; 燃油消耗率; 控制项指标; 加分项指标

中图分类号: TU201.5

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.1003-8493.2023.07.004

为了推进建筑节能和绿色发展, 2014年5月住房和城乡建设部、工业和信息化部共同发布了《绿色建材评价标识管理办法》^[1], 启动了对建筑材料的全生命周期评价, 机电设备作为建筑中非常重要且在运行阶段持续产生能耗的“材料”, 通常只关注其能效, 评价维度太单一, 不适应现在全生命期评价和绿色发展的理念。因此有必要对机电设备按照全生命期理念

*: 四川华西集团科技项目, 项目名称: 民用建筑绿色机电设备全生命周期评价体系研究, 项目编号: HXKX2019/009。

作者信息

白登辉, 男, 四川省建筑设计研究院有限公司, 工程师。

王希文, 男, 四川省建筑设计研究院有限公司, 高级工程师, 主任工程师。

杨志锋, 男, 四川省建筑设计研究院有限公司, 高级工程师, 设计七院副院长。

付韵潮, 男, 四川省建筑设计研究院有限公司, 高级工程师, 绿建中心副主任。

王程远, 男, 四川省水利科学研究院, 高级工程师。

进行评价。

天津市分别于2014年与2015年发布了《天津市绿色建材和设备评价标识管理办法》^[2]以及《天津市绿色建筑设备评价技术导则》^[3]，虽然目前管理办法和导则均已作废，但也对开展绿色机电设备的评价进行了有益的探索。2022年12月，中国工程建设标准化协会发布了《关于发布〈绿色建材评价 屋面绿化材料〉等36项协会标准的公告》（第1390号），其中包括冷水机组、组合式空调机组、冷却塔、智能坐便器、二次供水设备等，可见，对机电设备开展绿色评价已是一种趋势。

自2015年以来，四川华西集团“民用建筑绿色机电设备全生命周期评价体系研究”科技项目组持续开展了机电设备全生命周期的绿色研究，旨在对机电设备自原材料、生产、运输、安装、运行、报废及回收全生命周期的节材、节能、废水废气等排放进行多维度分析，探寻绿色机电设备的科学评价体系。经多年研究和验证，项目组编制了《民用建筑绿色机电设备评价技术导则》和《民用建筑绿色机电设备评价细则》，构建了评价体系和详细的评价指标，下面本文就该体系作简要介绍，并以变压器和柴油发电机两类设备为例，对绿色机电设备的全生命周期评价体系进行研究。

1 评价体系

1.1 体系构建

按照全生命周期分析（Life Cycle Analysis, LCA）^[4]方法的理念，并结合单因素评价方法，同时参照《绿色建材评价技术导则》（征求意见稿）与《天津市绿色建筑材料评价技术导则》，在研究了电气、暖通、给排水等专业的设备原材料采购、设备制造、包装运输、储存、安装、使用维护、报废的全过程后，建立了本民用建筑绿色机电设备全生命周期评价体系，评价体系包括控制项、评分项和加分项。同时，建立了电气、暖通、给排水等专业（干式变压器、柴油发电机组、蒸汽压缩循环冷水（热泵）机组、机械通风湿式开式冷却塔、机械式水嘴、淋浴器等）30种设备的评价细则。

1.2 控制项指标

控制项为绿色机电设备必须满足的基本条件，控制项未达标，产品将不得参评。控制项包括对企业的

要求和对产品的评价，对企业的评价包括：企业资质、生产场所（厂址选择及环境影响评价）、生产环节（生产工艺、厂界噪声、大气污染、外排废水、其它有害物质排放）、管理体系（质量、环境、职业健康）等维度；对设备的控制项主要包括：设备准入（不应为国家或当地淘汰或禁止生产的类别）、设备基本性能（设备功能、能耗或效率等）、设备安全性能、产品标识等。

1.3 评分项指标

评分项由性能指标和生态指标两类指标组成，总分为100分。在研究了各机电设备的特点后，提出性能指标分值不得低于70分，生态指标分值不得高于30分的弹性分值。评分项包括一级指标和二级指标两级体系，一、二级指标项详表1。

表1 评分项指标项
Tab. 1 Indicators of assessment items

指标分类	一级指标	二级指标
性能指标	运行阶段	设备能效，或设备效率，或设备能耗，或节水性能等
		环境影响 (运行产生的废水、废气、噪声等)
		使用寿命（或影响使用寿命的关键因素）
生态指标	材料/部件采购阶段	主要材料和零部件选用
	生产阶段	节能、节材、节水及可再生能源利用
		环境影响
	包装运输阶段	包装设计及包装材料
	安装阶段	便于运输和运输节能
	报废阶段	安装空间和安装能耗
		报废回收、废弃物处理

1.4 加分项指标

加分项为在资源利用、技术创新等方面而进行加分的项，总分为10分。评价对象为生产企业和被评价设备。

2 以变压器和柴油发电机组为例

下面以变压器、柴油发电机组为例，对绿色机电设备的全生命周期评价体系中指标拟定的统计分析过程及结果进行介绍。

2.1 控制项指标

2.1.1 对设备生产企业的要求

体系中，对于设备生产企业的厂址选择作出了规

定,要求生产企业不得在风景名胜区、生态保护区、自然和文化遗产保护区等地方,并应通过对环境影响的评价。设备生产企业建立质量管理体系是确保设备质量的需要,也是绿色设备的基本保证,因此在对企业的评价项目中,提出了对企业质量管理体系的要求。除质量管理体系外,为了体现以人为本的理念,还将环境管理体系和职业健康安全管理体系认证情况纳入评价体系。

2. 1. 2 对生产过程中污染物排放的控制要求

根据《中华人民共和国环境保护法》的要求,在评价体系的控制项中,要求企业在生产活动中产生的废气、废水、废渣、粉尘、恶臭气体、放射性物质以及噪声振动、电磁波辐射等需满足国家现行有关标准,如 GB 16297-1996《大气污染物综合排放标准》、GB 8978-1996《污水综合排放标准》、GB 3096-2008《声环境质量标准》、GB 12348-2008《工业企业厂界环境噪声排放标准》等。

2. 1. 3 对生产过程中节水节能的控制要求

要求企业在设备生产过程中应采用节水措施和设备,合理利用水资源,实现用水计量,生产工艺用水应采取再生处理措施进行回用。对于有用水定额的企业,则要求企业的用水量不得超过定额规定;针对部分机电设备企业以组装为主,生产过程中用水量较小,没有用水定额和节水型企业认证等实际情况,评价体系中要求企业提供相关说明文件,同时提供采取了节水措施的证明。

要求企业应具有能耗管理措施和产品生产能耗管理体系,制定合理的用电定额,实施了用电的分项计量。对于采用可再生能源的,还应安装可再生能源利用装置。对于安装分项计量的企业,在评价时提供企业分项计量的数据,且可核查,同时对于采用了高效节能设备的,需提供相应的设备说明书等相关证明材料。

2. 2 评分项指标

2. 2. 1 性能指标

性能指标是机电设备绿色评价核心指标,在研究了变压器和柴油发电机组的各种性能参数后,将性能指标的总分值定为 70 分。对设备效率或设备能耗、环境影响(运行产生的废气、噪声等)、使用寿命进行系统研究后,给予分级分档,确定不同的分值。

2. 2. 1. 1 柴油发电机组

柴油发电机组绿色性能指标主要评价燃油消耗率(g/kWh)和机油消耗率(g/kWh),目前,机组燃

油消耗率主要执行 JB/T 10303-2020《工频柴油发电机组 技术条件》的标准,但该标准中规定的指标为基本要求,即最低标准。为了能科学地评价机组,笔者搜集了大量柴油发电机组的技术资料,对生产企业给出的数据进行分析处理,并进行分类分级。将性能指标由高到低划分为一级、二级、三级。

以柴油发电机组燃油消耗率指标为例,笔者搜集了 324 个柴油发电机样本,功率范围 7~2 400 kW,对其燃油消耗率进行统计。通过样本统计,以国标限值作为划分标准,收集的样本中,97.29%的机组符合 JB/T 10303-2020 标准规定,但仍有 2.71%的产品不满足 JB/T 10303-2020 要求。通过对样本的统计与分析,确定燃油消耗率以国标限值为三级指标标准;以国标限值的 85%作为二级指标的划分标准;以国标限值 75%作为一级指标的划分标准,对三个等级的指标给予相应的分值。具体统计分析结果如图 1 所示,收集的样本中,燃油消耗低于国标限值 85%的样本占 68.91%,燃油消耗低于国标限值 75%的样本占 25.34%。

以同样的方法,对机组的机油消耗进行分析,同时对柴油发电机在运行阶段的排气污染物等其他性能指标进行了研究梳理,并确定各二级指标分值。

2. 2. 1. 2 干式变压器

本研究中,搜集了 384 份电压等级为 10 kV、额定频率为 50 Hz、额定容量 30~2 500 kVA、绕组的绝缘耐热等级为 B 级、F 级和 H 级的三相干式变压器样本,对变压器的损耗进行分析研究。研究方法主要为产品实际能耗与 GB 20052-2020《电力变压器能效限定值及能效等级》中的指标进行对比分析,达到标准中各级能效等级的样本比例分布情况详表 2 所示。

根据统计结果,评价体系选取了合适的评价值。其中空载损耗和负载损耗达到 GB 20052-2020 中 2 级、1 级规定的,分别给予不同的分值。

环境影响指标中,主要为运行噪声,针对运行噪声,搜集了 217 份容量范围为 30~3 150 kVA 的变压器样本,对其运行噪声进行统计分析,通过研究发现所有样本的噪声均低于 JB/T 10088-2016《6 kV~1 000 kV 级电力变压器声级》标准限值,评价体系中对噪声水平进行分级后给出相应的分值。

2. 2. 2 生态指标

评价体系要求绿色机电设备应满足达到使用年限

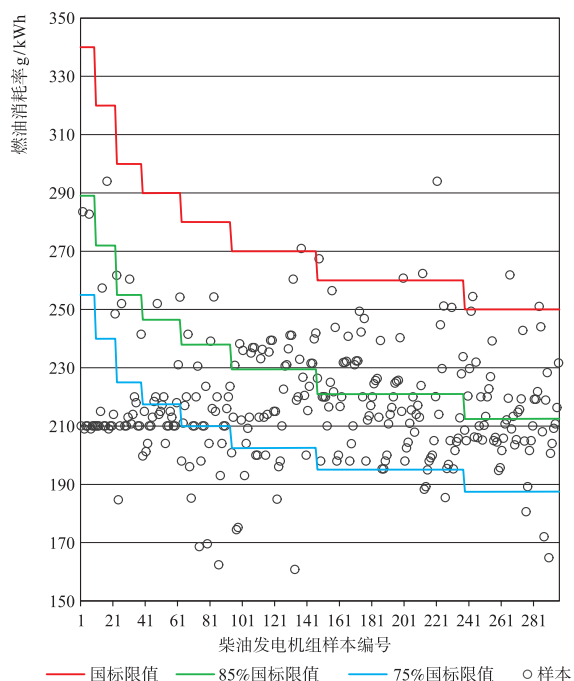


图1 柴油发电机组燃油消耗率与限制
Fig. 1 Specific fuel consumption and limitation of diesel generator unit

表2 变压器能效等级统计 (样本量 384)

Tab. 2 Statistics of transformer energy efficiency grade (sample size 384)

等级 比例	1级	2级	3级	3级以下
电工钢带	10.62 %	10.27 %	32.88 %	46.23 %
非晶合金	7.61 %	6.52 %	81.52 %	4.35 %
电工钢带 & 非晶合金	9.89 %	9.38 %	44.53 %	36.20 %

后可拆解、材料可分类回收、可再次利用的要求；要求设备生产企业有完善的售后服务机制，建立相应的设备追溯制度；要求设备生产企业有完善的回收机制，对不可再利用废品施行安全废弃，废弃物易于降解或销毁，不产生二次污染等。根据上述生态指标的维度及权重，在评价体系中给予适当的分值。

2. 2. 3 等级及分值要求

绿色评价的总评分值为评分项与加分项分值之和，根据总评分值将机电设备由低至高划分为一星级、二星级和三星级3个等级。在研究了相关的绿色建材等级评价中分值要求和结合评价细则的具体分值设定情况后，确定绿色机电设备等级划分及分值标准详表3。

3 体系验证

在评价体系初步建立后，为使本评价体系能客观科学地反映机电设备的实际情况，研究组织专家进行评议，并对市面上现有相关产品进行预评价，从而对本体系进行了验证。经过验证分析，体系能基本客观地反映机电设备的绿色性能。

4 结语

上述为我院关于绿色机电设备评价形成的阶段性研究成果，笔者在此抛砖引玉，供各位同仁探讨。机电设备种类多、产品性能指标差异大、全生命周期的评价维度多，对其建立科学和完善的评价体系需业界同仁共同参与，从而支撑绿色机电设备的评价和促进绿色建筑的发展。

参考文献

- [1] 住房和城乡建设部，工业和信息化部. 绿色建材评价标识管理办法[EB/OL]. (2014-05-21) [2023-05-27]. https://www.gov.cn/gongbao/content/2014/content_2739864.htm.
- [2] 天津市城乡建设委员会，等. 天津市绿色建材和设备评价标识管理办法[EB/OL]. (2014-12-31) [2023-05-27]. <https://ebook.chinabuilding.com.cn/zbooklib/bookpdf/view?SiteID=1&bookID=96074>.
- [3] 天津市城乡建设委员会. 天津市绿色建筑设备评价技术导则[EB/OL]. (2015-12-11) [2023-05-27]. <http://www.doc88.com/p-1961768499365.html>.
- [4] 赵平，同继锋，马春荣. 我国绿色建材产品的评价指标体系和评价方法[J]. 建筑科学，2007，(4): 19-23.
- [5] 中国标准化研究院，等. GB 20052-2020 电力变压器能效限定值及能效等级[S]. 北京：中国标准出版社，2020.
- [6] 沈阳变压器研究院股份有限公司，等. JB/T 10088-2016 6 kV ~ 1 000 kV 级电力变压器声级[S]. 北京：机械工业出版社，2017.
- [7] 兰州电源车辆研究所有限公司，等. JB/T 10303-2020 工频柴油发电机组 技术条件[S]. 北京：机械工业出版社，2021.
- [8] 中国建筑科学研究院有限公司，等. GB/T 50378-2019 绿色建筑评价标准[S]. 北京：中国建筑工业出版社，2019.

2023-05-27 来稿
2023-06-19 修回