

基于 OPA 法的电网基础设施全生命周期 低碳评价体系研究

陈松涛¹, 凌建¹, 顾明清¹, 黄涛², 李国志³

(1. 国网江苏省电力有限公司, 江苏 南京 210000; 2. 国网江苏省电力工程咨询有限公司, 江苏 南京 210000;
3. 东南大学 土木工程学院, 江苏 南京 211189, E-mail: liguozi88@outlook.com)

摘要: 为深化电网工程建设减碳管理, 实现电网基础设施建设绿色转型, 基于全生命周期视角, 综合运用文献研究、项目走访和专家调研等方法, 构建了涵盖 5 个关键项目阶段、16 个一级指标和 47 个二级指标的电网基础设施建设工程低碳评价指标体系。使用 OPA 方法计算指标权重, 制定了全生命周期各阶段的低碳评价标准, 并进行评价方法的实例应用。结果表明, 全生命周期各阶段最重要的一级指标分别为低碳设计策划、利用自然条件、建筑材料选择、节能电网设备和分类回收等 5 个指标, 所提指标体系为电网基础设施建设工程的低碳评价提供了一种快速、准确、简便的科学评价方法, 可进一步提升电网基础设施建设工程的低碳减排水平。

关键词: 电网基础设施; 全生命周期; OPA 法; 低碳评价; 指标体系

中图分类号: X322 文献标识码: A 文章编号: 1674-8859(2024)02-066-06 DOI: 10.13991/j.cnki.jem.2024.02.012

Low-Carbon Evaluation System for Power Grid Infrastructure Projects Based on OPA Method From the Perspective of the Whole Life Cycle

CHEN Songtao¹, LING Jian¹, GU Mingqing¹, HUANG Tao², LI Guozhi³

(1. Jiangsu Provincial Electric Power Corporation, Nanjing 210000, China;

2. Jiangsu Provincial Electric Power Engineering Consulting Corporation, Nanjing 210000, China;

3. School of Civil Engineering, Southeast University, Nanjing 211189, China, E-mail: liguozi88@outlook.com)

Abstract: To deepen carbon reduction management and realize the green transformation of power grid infrastructure, a low-carbon evaluation system for grid infrastructure construction projects covering 5 key stages, 16 primary indicators, and 47 secondary indicators is constructed based on the whole life cycle by using the literature research, project visits, and expert research methods. An OPA (Ordinal Priority Approach) method is used to calculate the index weight, a comprehensive evaluation standard of low-carbon construction in each stage of the whole life cycle and an example application of the evaluation method are formulated. The results show that the most important primary indicators at each stage of the whole life cycle are low-carbon design and planning, utilization of natural conditions, selection of building materials, energy-saving grid equipment, and classification and recycling. The proposed index system provides a fast, accurate, and simple scientific evaluation method for the low-carbon evaluation of power grid infrastructure projects, which further improves the low-carbon emission reduction level of power grid infrastructure projects.

Keywords: power grid infrastructure; life cycle; ordinal priority approach; low-carbon evaluation; indicator system

推动能源电力低碳发展, 实现电网工程建设绿色转型, 是践行国家“双碳”目标的重要举措。2021 年国家电网发布的双碳行动方案指出^[1], 我国电力行

业的碳排放量在整个能源行业中的占比高达 41%, 是当前主要的能源碳排放源, 其碳减排潜力巨大。因此, 基于电网基础设施建设的减碳价值正逐步突显, 亟需建立科学有效的低碳评价体系, 充分发挥电网工程建设减碳的重要价值。

不同于建筑、矿山和铁路等领域有着专业完善

收稿日期: 2023-08-14.

基金项目: 国网江苏省电力有限公司服务类公开招标项目
(XLFW-SD-2022-07-01-42).

的绿色建设评价标准和较为丰富的评价指标体系研究^[2~4], 目前面向电力行业的电网基础设施建设工程的低碳评价标准还尚未形成, 现有的电网低碳评价研究也大多聚焦于低碳效益评价方面, 鲜有针对电网基础设施建设工程的低碳评价研究, 如谭伟等^[5]和孙彦龙等^[6]聚焦于电网的低碳效益指标研究。孙建梅等^[7]则综合考虑低碳技术应用程度和电网碳排放影响要素, 对电网低碳水平进行了综合评价。此外, 现有电网基础设施建设工程低碳评价研究还缺乏全生命周期视角, 已有的全生命周期研究也多侧重于电网基础设施建设工程数字化管理模式^[8]、电网低碳效益评价^[6]和电网建设工程造价管理^[9], 难以构建一套系统完善的面向电网基础设施建设工程全生命周期的低碳评价方法。而 ATAEI 等^[10]提出的 OPA (Ordinal Priority Approach) 法是一种多属性决策方法, 其优势在于不要求专家提供任何关于偏好程度的数字, 只需要备选方案、属性和专家等级作为输入数据, 可以充分考虑专家在全生命周期的知识范围和局限性, 从而对其赋予不同的权重。

因此, 本文将基于全生命周期视角, 以 OPA 法为指标权重确定方法, 构建覆盖电网基础设施建设工程策划、设计、建设、使用和拆除回收全部环节, 满足节地、节水、节材、节能、节约人力和环保低碳减排要求的低碳评价指标体系。

1 全生命周期评价指标体系的构建

1.1 电网基础设施全生命周期及低碳评价内容

基于全生命周期理论, 已有不少学者对建筑、港口、铁路等领域的绿色节能减排问题开展研究^[11~13], 但聚焦电网基础设施建设工程的低碳减排研究鲜有出现。本文通过分析电网基础设施建设工程的整体特征、调研相关文献和走访资深的电网基础设施建设工程项目管理人员, 发现碳排放贯穿于电网基础设施建设工程的全生命周期, 并将电网基础设施建设工程的全生命周期定义为策划、设计、建设、运营和拆除回收等 5 个关键阶段, 且以此作为评价指标体系结构。鉴于传统的劳动密集型生产方式与绿色低碳发展理念已不相适宜, 考虑增加“人力资源节约与保护”作为独立评价指标, 与“四节一环保”的“节能、节材、节水、节地、环境保护”形成“五节一环保”, 并以此作为电网基础设施建设工程的低碳评价内容。

1.2 评价指标体系的构建

电网基础设施由各种电器设备、控制设备、输

配电线路终端、建筑物、构筑物 and 箱体组成, 是服务于电力输送与分配的电力设施, 如变电站、配电站等。本文通过分析电网基础设施的系统组成, 结合电网基础设施建设工程特点和低碳评价内容, 全面梳理、识别了电网基础设施建设工程全生命周期的工作内容及碳足迹来源; 基于资深从业人员和相关专家的访谈意见, 对其全生命周期的工作内容及碳足迹来源进行了补充和筛选, 确定了电网基础设施建设工程全生命周期的碳足迹分布 (见图 1); 以全生命周期各阶段的工作内容为一级指标, 工作内容对应的碳足迹来源为二级指标, 由此构建了电网基础设施建设工程低碳评价指标体系。该指标体系主要由 5 个关键阶段、16 个一级指标和 47 个二级指标构成, 具体指标及其解释如表 1 所示。

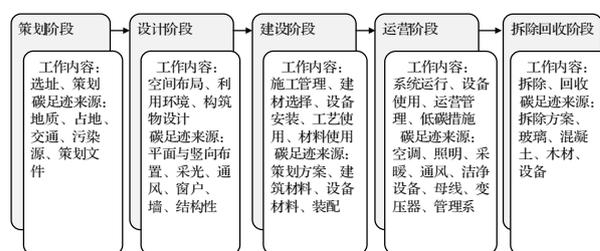


图 1 电网基础设施建设工程生命周期碳足迹图

2 基于 OPA 法的评价指标权重确定

2.1 OPA 法

OPA 法是一种多准则决策分析方法, 有助于解决具有偏好关系的集体决策问题。与大多数的多准则决策分析方法相比, 如 AHP、ANP、PCA、TOPSIS 等, OPA 法的先进性在于通过线性数学模型解决 MCDM 问题, 具体优势如表 2 所示。

OPA 法充分考虑了专家和属性的权重, 发挥了专家和属性对决策结果的作用, 因此权重较高的专家和属性对决策的影响更大, 该方法的具体计算步骤如下:

(1) 确定专家, 并根据工作经验、教育资格等确定专家的优先次序。

(2) 确定属性, 并依据专家对属性的偏好确定属性的优先级排序。知识不足或经验不相关的专家可跳过特定属性的判断, 并在排序时排除掉这些属性。

(3) 确定备选方案, 并根据专家在每个属性下对备选方案的偏好确定备选方案的优先次序。

(4) 利用前面 3 个步骤的数据构建以下线性规划模型, 并通过适当的优化软件如 LINGO、

表 1 电网基础设施建设工程低碳评价指标体系

全生命 周期	一级指标	二级指标	指标解释	
低碳 策 划 A	选址 A1	防震减灾 A11	不良地质灾害情况	
		占地 A12	农田占用率	
		远离污染 A13	污染源分布情况	
		交通便利 A14	交通基础设施的改扩建情况	
	低碳设计 策 划 A2	编制低碳设计策划文件 A21		策划文件的要点涵盖情况
		总平面布置和竖向 布置 B1	平面布置 B11	各级配电装置的平面布局情况
			竖向布置 B12	不平衡土石方占有率
		利用自然 条件 B2	采光 B21	天然采光情况
			通风 B22	自然通风开口面积占比
			房屋构成 B3	窗墙比 B31
围护结构 B32	屋顶传热系数、外墙传热系数、窗户传热系数			
低碳 建 设 C	绿色施工 管 理 C1	建筑体型 B33	体型系数	
		绿色低碳施工策划方案 C11	策划方案的要点涵盖情况	
		垃圾控制和循环利用 C12	垃圾控制措施和回收利用率	
	材料用量 C2	设计施工一体化 C13	设计施工一体化实施情况	
		钢材损耗率 C21	钢材损耗率与定额的率差	
		水泥损耗率 C22	水泥损耗率与定额的率差	
		玻璃损耗率 C23	玻璃损耗率与定额的率差	
		用水量损耗率 C24	用水量损耗率与定额的率差	
	建筑材料 选 择 C3	耐用周转材料 C25	周转材料的重复使用率	
		低碳及新型材料使用 C31	材料选用及节约情况	
耐久性 C32		材料选用情况		
就地取材 C33		非当地采购建材占比		
材料再利用及废弃物处理 C34		材料再利用率和回收率		
低碳施工 工 艺 C4		工业化预制装配式 工 C41	330kV 及以上工程全站装配率	
		低碳建造 C42	220kV 及以下工程全站装配率	
电网设备 安 装 C5	新技术等研究的立项开展情况			
	模块化预制舱 C51	使用模块化预制舱的比例		
	预制光缆 C52	使用预制光缆的比例		
低碳 运 营 D	全绝缘铜管母线 C53	使用全绝缘铜管母线的比例		
		空调系统 D11	空调系统方案和能源供应形式	
	节能低碳 系 统 D1	冷凝水回收率		
		照明系统 D12	高效照明系统的使用情况	
		采暖系统 D13	采暖系统方案和能源供应形式	
		通风系统 D14	通风系统方案和能源供应形式	
	节能电网 设 备 D2	洁净空气 GIS 设备 D21	使用洁净空气 GIS 设备替代六氟化硫气体 GIS 设备的替代比例	
		GIL 全封闭母线 D22	GIL 全封闭母线的使用情况	
		天然酯变压器 D23	天然酯变压器替代传统矿物油变压器	
		智能化监控系统 D31	智能化监控系统的设置情况	
低碳运营 管 理 D3	管理制度 D32	管理制度的要点明确情况		
	水资源节约与收集 D33	雨水收集回用率		
	可再生能源和碳汇 D4	光伏发电 D41	光伏发电板设置情况	
		地热能利用 D42	光伏发电后的供给情况	
低碳 拆 除 回 收 E	分类拆除 E1	地源热收集系统使用情况		
		绿植 D43	绿植绿化的设置情况	
	分类回收 E2	科学拆除 E11	分类拆除方案的要点涵盖情况	
		玻璃回收率 E21	玻璃废物溶化再利用率	
木材回收率 E23	混凝土回收率 E22	混凝土废物转化为路基材料再利用率		
	拆除板材制成新板材的再利用率			
	变电设备回收率 E24	符合使用年限要求的变电设备的再利用率		

表 2 OPA 法对比一般决策法的优势表

决策方法	OPA
TOPSIS ^[14]	与 TOPSIS 法相比, 由于使用不同的归一化会获得不同的结果, 导致很难找到适合的最佳归一化方法, 而 OPA 法既不需要归一化, 也不需要正负理想解决方案
PCA ^[15]	与 PCA 法相比, 由于异常值的存在导致聚类方法在多数情况下无法获得可靠的结果, 而 OPA 法可以处理数据不完整的决策问题, 且不需要平均方法来收集群体决策中专家的判断
AHP、ANP ^[16]	与 AHP 和 ANP 相比, OPA 法不使用备选方案和属性的成对比较矩阵, 只需要有关属性和备选选项的序号数据
一般决策法 (包括以上 4 种方法) ^[17]	区别于一般决策技术, 需要先计算属性权重, 然后计算备选方案排名, 而 OPA 法同时计算备选方案、专家和属性的权重; 允许专家在判断过程中基于自己的知识和相关经验, 只对自己了解熟悉的部分进行排序, 可以忽略与给定属性相关的备选方案, 从而提高最终结果的准确性和决策效率

Matlab、GAMS 等进行求解, 得到备选方案。

$$\text{Max}Z \text{ s.t. } Z \leq r_i(r_j(r_k(W_{ijk}^n - W_{ijk}^{n+1}))) \quad (1)$$

$$\forall i, j \text{ and } r_k$$

$$Z \leq r_i r_j r_m W_{ijk}^m \quad \forall i, j \text{ and } r_m \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m W_{ijk} = 1, W_{ijk} \geq 0 \quad (3)$$

$$\forall i, j \text{ and } k$$

式中, Z 代表目标函数, $r_i (i=1, \dots, p)$ 代表专家等级 i ; $r_j (j=1, \dots, n)$ 代表属性等级 j ; $r_k (k=1, \dots, m)$ 代表备选方案的等级 k ; w_{ijk} 则代表专家在属性下备选方案的权重。其中 Z 不受符号限制。

每个方案的权重 w_k 由下式计算。

$$w_k = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^n W_{ijk} \quad \forall k \quad (4)$$

每个属性的权重 w_j 由下式计算。

$$w_j = \sum_{i=1}^p \sum_{k=1}^m W_{ijk} \quad \forall j \quad (5)$$

每个专家的权重 w_i 由下式计算。

$$w_i = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m W_{ijk} \quad \forall i \quad (6)$$

2.2 指标权重计算

本文基于已构建的全生命周期电网基础设施建设工程低碳评价指标体系设计了问卷, 明确发放对象为省电力设计院、高校电力相关专业和省电网的专家, 共发放问卷 34 份, 回收有效问卷 33 份。鉴于电网基础设施建设项目全生命周期绿色低碳覆盖的时间长、范围广、内容精, 很少有专家能够系统掌握全生命周期的全部知识, 且专家自身的知识和经验水平也存在差异。因此, 在问卷作答过程中, 专家只需对自己了解熟悉的阶段进行指标排序, 忽略自己不熟悉的指标, 以提高最终权重结果的准确性。然后采用前文所述的 OPA 方法计算各

指标的权重, 具体流程如图 2 所示。

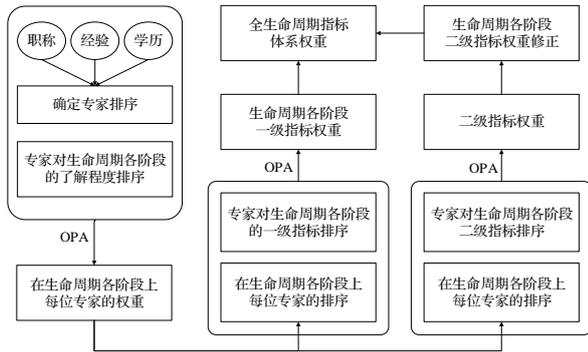


图 2 基于 OPA 法的全生命周期评价指标权重的计算过程

(1) 专家排序。职称和从业时间与技能水平和专业度正相关, 代表了专家对电网基础设施建设工程全生命周期碳排放的认知水平和精通程度, 属于偏实践性标准; 学历则与理论知识水平正相关, 代表了专家对电网基础设施建设工程全生命周期碳排放领域相关知识的掌握程度和理解程度, 属于偏理论性标准。本文邀请的 33 位专家主要由电网低碳方向的资深从业人员、高校教师和硕博士组成。其中, 资深从业人员的实践性知识较强, 硕博生的理论性知识较强, 高校教师则兼具理论与实践。因此, 为提高评分标准的客观公正性, 兼顾理论与实践, 本文对职称、从业时间和学历 3 个评分标准进行平等赋分, 具体的评分标准如表 3 所示。

表 3 专家等级量化评分标准

职称		从业时间		最高学历	
定性等级	定量赋分	定性等级	定量赋分	定性等级	定量赋分
初级	1	2 年以下	1	中学	1
中级	2	2 年~5 年	2	大专	2
副高	3	5 年~10 年	3	本科	3
正高	4	10 年~20 年	4	硕士	4
		20 年以上	5	博士	5

此外, 依据样本的收集时间对 33 位专家进行编号, 分别为 E1~E33。由表 3 得到 33 位专家的具体得分情况。由此, 可知专家的排序为 E25> E24 =E10=E30>E8=E9=E11>E22=E23=E27=E33>E6=E16=E21>E1=E2=E3=E4=E5=E12=E13=E14=E15=E17 =E18=E19=E20=E26=E28=E29=E31>E7>E32。

(2) 各阶段每位专家的权重及排序情况。基于专家的排序数据、专家对各阶段的了解程度排序数据, 使用 OPA 方法计算得到各阶段上每位专家的权重。在计算过程中, 专家排序为 9 个位次 (考虑部分专家位次相同情况), 对应 33 位专家; 属性排序为 1 个位次, 对应了解程度这 1 个属性; 备选方案排序为 5 个位次, 对应专家基于全生命周期

了解程度的 5 个阶段排序。

(3) 全生命周期指标权重。基于得到的全生命周期各阶段的专家排序数据以及专家对各阶段一、二级指标的排序数据, 使用 OPA 方法分别计算各阶段一、二级指标的权重。然后考虑一、二级指标的层级关系, 对上述计算得到的评价指标进行修正, 使得各阶段的评价指标权重之和为 1, 最终得到的全生命周期指标体系的权重。

在一级指标中, 各阶段最重要的一级指标分别为绿色低碳设计策划 (A2, 0.542)、利用自然条件 (B2, 0.407)、建筑材料选择 (C3, 0.253)、节能电网设备 (D4, 0.205)、分类回收 (E2, 0.527)。在二级指标中, 策划阶段一级指标下最重要的二级指标分别为远离污染 (A13, 0.156)、编制绿色低碳设计策划文件 (A21, 0.542); 设计阶段分别为平面布置 (B11, 0.199)、采光 (B21, 0.263)、建筑体型 (B33, 0.103); 建设阶段分别为绿色低碳施工策划方案 (C11, 0.084)、钢材损耗率 (C21, 0.079)、低碳及新型材料使用 (C31, 0.112)、工业化预制装配施工和低碳建造 (C41, 0.101)、模块化预制舱 (C51, 0.079); 运营阶段分别为空调系统 (D11, 0.108)、洁净空气 GIS 设备 (D21, 0.173)、智能监控管理系统 (D31, 0.074)、光伏发电 (D41, 0.108); 拆除回收阶段分别为科学拆除 (E11, 0.473)、混凝土回收率 (E22, 0.146)。

3 综合评价标准

3.1 评分细则

在确定指标权重之后, 参考《330 kV~750 kV 智能变电站设计规范》《输变电工程绿色建造评价标准 (试行)》《绿色建筑评价标准》和一些低碳电网基础设施建设工程示范项目, 将指标体系权重转化为百分制, 从而确定全生命周期指标体系的评分项及其分值, 如表 4 所示。其中, 评价指标体系 5 个阶段指标的总分均为 100 分, 分阶段进行评价。

3.2 评价等级划分

基于已得到的全生命周期指标体系的评分项及其分值, 本文将电网基础设施建设工程低碳水平划分为 5 个等级: 未达标 (50 分以下, 不合格)、基本级 (50~59 分, 需改进)、一星级 (60~69 分, 一般)、二星级 (70~84 分, 良好) 和三星级 (85~100 分, 优秀)。此外, 全生命周期电网基础设施建设工程低碳评价分阶段进行, 并按各阶段的总得分分别确定等级。

表 4 全生命周期指标体系的评分项及其分值

全生命周期	一级指标	二级指标
A (100)	A1 (46)	A11 (9)、A12 (14)、A13 (16)、A14 (7)
		A2 (54)
	B (100)	B1 (32)
		B2 (40)
C (100)	B3 (28)	
	C1 (17)	
	C2 (23)	
	C3 (26)	
	C4 (20)	
D (100)	C5 (14)	
	D1 (29)	
	D2 (33)	
	D3 (18)	
E (100)	D4 (20)	
	E1 (47)	
	E2 (53)	

4 实例应用

本文选用某 500kv 变电站间隔扩建工程为例,使用已构建的评价指标体系对其低碳水平进行评价。同时,考虑到数据的获取性问题,本文仅对该项目全生命周期中的设计阶段进行评价。

4.1 项目概况

(1) 各级配电装置的平面布局情况。各级配电装置的布置位置使通向变电站的架空线路在人口处的交叉和转角的数量最少;场内道路和低压电

力、控制电缆的长度最短;各配电装置和主变压器之间的连接长度较大;总平面布局紧凑,建构筑物建筑、道路转弯半径等满足消防要求;远期扩建通道畅通;积极采用通用基础,桩基一次成型。

(2) 不平衡土石方占有率。站区竖向设计合理,实现土石方平衡。

(3) 天然采光情况。具备良好的朝向和视线,便于对屋外配电装置的观察,且控制室使用天然采光。

(4) 自然通风开口面积占比。能够自然通风,通风开口面积占该房间地板面积的 1/20 至 1/40 之间。

(5) 各朝向的窗墙比符合要求,但所开外窗的可开启面积较小,不利于自然通风。

(6) 围护结构数据。屋顶传热系数为 0.75,外墙传热系数为 1.10,窗户传热系数为 3.4。

(7) 建筑体型数据。体型系数为 0.17。

4.2 项目综合评价

设计阶段的一级评价指标为总平面图布置和竖向布置 (B1)、利用自然条件 (B2)、房屋构成 (B3) 等 3 个指标。邀请专家根据设计阶段指标的评分项及其分值,结合该项目设计阶段的基本概况,对二级指标的完成度进行打分。该项目的评分如表 5 所示。

表 5 设计阶段项目评价细则表

一级指标	二级指标	评价标准	评分
总平面布置和竖向布置 B1 (32)	平面布置 B11 (20)	①各级配电装置架空线路的交叉和转角最少;②场内道路和低压电力、控制电缆的长度最短;③各配电装置和主变压器之间连接的长度最短;④平面布局的建构筑物建筑、道路转弯半径等满足消防要求;⑤远期扩建通道畅通,积极采用通用基础,桩基一次成型。以上 5 项,每符合一项加 4 分	16
	竖向布置 B12 (12)	①如站区竖向设计合理,实现土石方平衡,得 12 分;②如不平衡土方在土方工程量 1%之内,得 6 分;③如不平衡土方超过土方工程量 1%,得 0 分	12
自然条件 B2 (40)	采光 B21 (26)	①具备良好的朝向和视线,便于对屋外配电装置的观察;②主控制室用天然采光。以上 2 项,每符合一项加 13 分	26
	通风 B22 (14)	①如能自然通风,通风开口面积不应小于该房间地板面积的 1/20,得 14 分;②如能自然通风,通风开口面积在该房间地板面积的 1/20 至 1/40 之间,得 7 分;③如不能自然通风,得 0 分	7
房屋构成 B3 (28)	窗墙比 B31 (9)	①如能自然采光,控制建筑各朝向的窗墙比,北向不大于 0.25,东西向不大于 0.30,南向不大于 0.35,每符合一项加 2 分,最多加 6 分;②外窗有利于自然通风,加 3 分	6
	围护结构 B32 (9)	①屋顶传热系数不大于 0.6,每大 0.1,扣 1 分,最多扣 3 分;②外墙传热系数不大于 0.82,每大 0.1,扣 1 分,最多扣 3 分;③窗户传热系数不大于 3.5,每大 0.2,扣 1 分,最多扣 3 分	6
	体型系数 B33 (10)	体型系数控制在 0.3 以内,每大于 0.01,扣 1 分,最多扣 10 分	10

由表 5 可知,该项目设计阶段的最终评分为 83 分,依据电网基础设施建设工程低碳评价等级的分值区间可以判定该项目设计阶段为二星级,其低碳水平为良好。通过分析二级指标的得分情况和项目基本概况可知,设计阶段部分指标存在较大的改进空间。如平面位置 B11=16 分,主要因为各配电装

置和主变压器之间的连接长度较长,存在线路浪费的情况,需要进一步改善;通风 B22=7 分,主要因为自然通风开口面积占比率较低,不利于自然通风,增加了人工能源的依赖,可作进一步改进;窗墙比 B31=6 分,主要因为窗墙比虽符合要求,但所开外窗的可开启面积较小,不利于自然通风,增加

了能耗,可以在保证安全的前提下适当增加外窗的可开启面积,提高自然风的利用率;围护结构 B32=6分,其屋顶传热系数为 $0.75 > 0.6$,外墙传热系数为 $1.10 > 0.82$,保温隔热性能仍然不佳。

5 结语

本文基于电网基础设施建设工程的全生命周期视角,构建了低碳评价指标体系,制定了全生命周期各阶段的低碳评价标准,为电网基础设施建设工程的低碳评价提供了一种快速、准确、简便的科学评价方法,有助于提升其低碳减排水平。综合运用文献研究、项目走访和专家调研等方法,构建了基于全生命周期的电网基础设施建设工程低碳评价指标体系,具体涵盖了5个关键项目阶段、16个一级指标和47个二级指标。采用了OPA法确定全生命周期各阶段的指标权重,允许专家在判断过程中基于自己的知识和相关经验,只对自己了解熟悉的阶段和指标进行评价,以此提高最终权重的准确性。在指标权重方面,各阶段最重要的一级指标分别为低碳设计策划、利用自然条件、建筑材料选择、节能电网设备和分类回收。各阶段最重要的二级指标为编制绿色低碳设计策划文件、采光、低碳及新型材料使用、洁净空气GIS设备和科学拆除。制定了全生命周期的综合评价标准,划分了低碳评价等级,并以某500kV变电站间隔扩建工程为例,依据该项目设计阶段的指标完成度,判断该项目设计阶段的低碳等级为二星级,处于良好水平,仍存在较大的改进空间。

参考文献:

- [1] 国务院国有资产监督管理委员会. 国家电网公司发布“碳达峰、碳中和”行动方案[EB/OL]. (2021-03-04). <http://www.sasac.gov.cn/n2588025/n2588124/c17342704/content.html?eqid=db9a6e1a00005c7900000004643d59c3>.
- [2] Li X, Feng W, Liu X, et al. A comparative analysis of green building rating systems in China and the United States[J]. *Sustainable Cities and Society*, 2023, 93: 104520.
- [3] Liu Q, Qiu Z, Li M, et al. Evaluation and empirical research on green mine construction in coal industry based on the AHP-SPA model[J]. *Resources Policy*, 2023, 82: 103503.
- [4] 吴伟东, 黄鹏, 钟明茜, 等. 基于云模型的高速铁路绿色施工等级评价: 以西南地区为例[J]. *铁道科学与工程学报*, 2021, 18(6): 1418-1425.
- [5] 谭伟, 何光宇, 刘锋, 等. 智能电网低碳指标体系

初探[J]. *电力系统自动化*, 2010, 34(17): 1-5.

- [6] 孙彦龙, 康重庆, 陈宋宋, 等. 低碳电网评价指标体系与方法[J]. *电力系统自动化*, 2014, 38(17): 157-162.
- [7] 孙建梅, 李龙龙. 基于定量与定性相结合的电网低碳评价方法研究[J]. *科技管理研究*, 2019, 39(1): 242-248.
- [8] 彭博, 李锦川, 张育臣, 等. 基于三维设计成果的电网基建工程数字化管理模式的研究[J]. *工程管理学报*, 2021, 35(3): 94-99.
- [9] 王镒, 李帅, 姜雪, 等. 全生命周期管理视角下电网建设工程造价管理研究[J]. *太阳能学报*, 2021, 42(9): 483-484.
- [10] Ataei Y, Mahmoudi A, Feylizadeh M, et al. Ordinal priority approach (OPA) in multiple attribute decision-making[J]. *Applied Soft Computing*, 2020, 86: 105893.
- [11] Li L. Integrating climate change impact in new building design process: a review of building life cycle carbon emission assessment methodologies[J]. *Cleaner Engineering and Technology*, 2021, 5: 100286.
- [12] Wang B, Liu Q, Wang L, et al. A review of the port carbon emission sources and related emission reduction technical measures[J]. *Environmental Pollution*, 2023, 320: 121000.
- [13] 杨洋, 袁振洲, 陈进杰, 等. 基于LCA的高速铁路节能减排效果评价研究[J]. *交通工程*, 2021, 21(4): 89-96.
- [14] Palczewski K, Salabun W. Influence of various normalization methods in PROMETHEE II: an empirical study on the selection of the airport location[J]. *Procedia Computer Science*, 2019, 159: 2051-2060.
- [15] Lever J, Krzywinski M, Altman N. Points of significance: principal component analysis[J]. *Nature Methods*, 2017, 7(14): 641-642.
- [16] Hontoria E, Munier N. Uses and limitations of the AHP method a non-mathematical and rational analysis[M]. Cham: Springer International Publishing, 2021.
- [17] Mahmoudi A, Deng X, Javed S A, et al. Large-scale multiple criteria decision-making with missing values: project selection through TOPSIS-OPA[J]. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 2021, 2(10): 9341-9362.

作者简介:

陈松涛(1979-),男,硕士,高级工程师,研究方向:电网基础设施建设;

凌建(1973-),男,硕士,高级工程师,研究方向:电力市场,电网建设;

顾明清(1987-),男,硕士,高级工程师,研究方向:电网基础设施建设;

黄涛(1987-),男,学士,高级工程师,研究方向:电力基础设施建设;

李国志(1999-),通信作者,男,硕士研究生,研究方向:绿色建筑。