

变电站二氧化碳排放核算方法探讨

文 兴 代海波 何天豪

四川电力设计咨询有限责任公司 四川 成都 610041

【摘要】随着我国“双碳”目标的深入推进，电力行业作为碳排放的关键领域，其碳排放核算工作日益重要。变电站作为电力系统的重要组成部分，全面准确地核算其二氧化碳排放对行业减排具有重要意义。本文基于国内现有碳排放核算标准框架，结合变电站施工、运行、拆除全过程特点，系统分析了变电站二氧化碳排放的阶段、排放源构成和计算方法等。

【关键词】变电站；二氧化碳；核算方法

DOI:10.12417/2811-0528.26.03.014

引言

在“2030年碳达峰、2060年碳中和”国家战略背景下，精准核算碳排放已成为各行各业实现绿色转型的基础工作。电力行业是我国碳排放的主要来源之一，变电站作为电力系统中变换电压、接受和分配电能的关键设施，在其建设、运行和退役全过程中均产生二氧化碳排放。

目前，国内已建立相对完善的碳排放核算体系，生态环境部颁布了发电、石化、钢铁行业碳排放核算指南。同时，行业协会也针对变电站碳排放核算出台了一系列规范，如《变电站建设阶段碳排放计算导则》(T/CES 308-2024)、《变电站运行阶段碳足迹核算方法》(T/CES 279-2024)、《变电站全寿命周期碳排放量化评估导则》(T/CES 257-2023)等，为变电站碳排放核算提供了技术规范。

1 变电站二氧化碳排放核算边界与范围

准确界定核算边界是开展变电站二氧化碳排放核算的基础。变电站碳排放生命周期可分为四个连续阶段^[1]：材料化阶段（建材和设备生产）、建造阶段（运输与施工）、运行阶段（日常运维）和拆除处置阶段（报废处理）。每个阶段均涉及不同类型的排放源，需要采用不同的核算方法。

1.1 材料化阶段（建材和设备生产）

变电站中的变压器、开关设备、电容器等设备在制造过程中，需要消耗大量的能源和原材料，如钢铁、铜、铝等，这些建材及设备材料的生产和加工过程会产生二氧化碳排放。

1.2 建造阶段（运输与施工）

设备从生产厂家运输到变电站施工现场，以及变电站建设过程中材料的运输，都会消耗燃油等能源，产生二氧化碳排放；变电站的建设施工过程中，如土方开挖、混凝土浇筑、设备安装等，需要使用各种施工机械和设备，这些设备的运行会消耗能源，产生二氧化碳排放。

1.3 运行阶段（日常运维）

变电站运行过程中，主要的二氧化碳排放来自两个方面。一是站用变压器消耗的电能，这部分电能的生产会产生二氧化碳排放；二是变电站中的六氟化硫(SF₆)等温室气体的泄漏，SF₆是一种强温室气体，其全球变暖潜值是二氧化碳的23900倍^[2]。

1.4 拆除处置阶段（报废处理）

变电站设备退役后，其拆除、运输和处理过程也会产生一定的二氧化碳排放，但同时，部分设备和材料可以回收利用，从而减少碳排放。

2 变电站二氧化碳排放核算方法

变电站二氧化碳排放核算主要采用排放因子法和质量平衡法。

2.1 排放因子法

这是目前应用最为广泛的核算方法，其计算公式为：

$$\text{排放量} = \text{活动数据} \times \text{排放因子}.$$

其中，活动数据指导致二氧化碳排放的消耗量或活动量，如电力消耗量、化石能源消耗量、原辅材料消耗量等；排放因子是指单位活动数据的二氧化碳排放量，如电网平均排放因子、燃煤排放因子等。这种方法操作相对简单，数据获取便捷，适用于大多数排放源的核算。排放因子是核算二氧化碳排放量的重要参数，其准确性直接影响核算结果的可靠性。排放因子的选取应优先选用国家或行业发布的权威数据，如《省级温室气体排放清单指南》《中国发电企业温室气体排放核算方法与报告指南》等。如果没有合适的权威数据，可以选择企业实测数据或参考国际通用的排放因子数据库，但应说明数据来源和选取依据。

2.2 质量平衡法

质量平衡法是基于物质守恒定律，通过输入和输出物料的碳含量计算碳排放量，适用于工艺过程复杂的排放源核算。在变电站情境下，可用于 SF6 气体流向平衡计算，通过比较设备内气体初始充注量、补充量与最终回收量，推算泄漏排放量。

2.3 数据来源

对于变电站运行阶段碳排放核算，应优先选用来源于变电站统计数据、实测数据、计量数据的，排放因子则优先选用最新第三方核查的数据，其次是国家标准里的数据，最后是各类文献中的数据。

3 分阶段核算要点

3.1 材料化阶段（建材和设备生产）、建造阶段（运输与施工）核算要点

变电站材料化阶段的碳排放为建材生产以及设备制造环节的碳排放。建造阶段（运输与施工）碳排放为运输过程和施工安装环节的碳排放。该阶段核算应全面考虑建材及设备生产、运输阶段、施工安装阶段等方面^[3]。

核算时需先识别主要的建材和设备种类，确定运输距离和方式，评估施工工艺和能耗。一般而言，该阶段工艺多种多样，制造方法也各不相同，主要采用排放因子法进行计算。计算公式如下：

建设阶段碳排放=建材生产碳排放+备制造碳排放+运输碳排放+施工过程碳排放。

其中，建材生产碳排放=Σ(各类建材用量×对应的排放因子)；设备制造碳排放=Σ(各类设备×对应的排放因子)；运输碳排放=Σ(各类材料运输量×运输距离×运输方式排放因子)；施工过程碳排放=Σ(各类能源消耗量×能源排放因子)。

例如，对于变压器，可以根据其钢铁、铜、绝缘油等材料的用量和相应的排放因子，计算材料生产过程中的二氧化碳排放量；根据变压器制造过程中的能源消耗量和能源排放因子，计算制造过程中的二氧化碳排放量。根据运输距离、运输方式和运输工具的能源消耗情况，计算运输过程中的二氧化碳排放量。对于公路运输，可以根据运输车辆的燃油消耗量和燃油排放因子，计算二氧化碳排放量；对于铁路运输，可以根据铁路部门提供的电力消耗量和电网排放因子，计算二氧化碳排放量。根据施工机械和设备的能源消耗量和相应的排放因子，计算施工过程中的二氧化碳排放量。对于挖掘机、起重机等施工机械，可以根据其燃油消耗量和燃油排放因子，计算二氧化碳排放量；对于电镐等设备，可以根据其电力消耗量和电网排放因子，计算二氧化碳排放量。

3.2 运行阶段核算

运行阶段是变电站全生命周期中持续时间最长、能耗最大的阶段，其碳排放核算最为复杂。同时，该阶段运行稳定，工艺较为简单，一般采用质量平衡法进行核算。运行阶段核算应包括设备、建筑运维等引起的二氧化碳排放以及可再生能源所产生的碳减排量^[4]。

运行阶段主要的碳排放包括设备运行能耗排放、辅助系统能耗排放、SF6 气体泄漏排放等。

设备运行能耗排放：主要包括变压器、电抗器等设备的空载损耗和负载损耗对应的电力消耗排放。核算时需要收集各设备的实际运行参数和运行时间，通过电表读数或电费单据获取耗电量，再乘以区域电网平均排放因子计算得出。

辅助系统能耗排放：包括通风、照明、监控、采暖制冷等系统的电力消耗。这类能耗可通过分项计量获取数据，也可通过设备功率和运行时间估算。

SF6 气体泄漏排放是变电站特有的直接排放源，核算方法为 SF6 排放量=(初始充注量+补充量-回收量)×GWP 值。其中 GWP 值(全球变暖潜势)取 22800 (基于 100 年时间尺度)。

可再生能源发电减排：若变电站安装光伏发电等可再生能源设施，其发电量可抵扣部分外购电力对应的碳排放，计算如下：可再生能源发电减排量=自产可再生能源电量×区域电网平均排放因子。

3.3 拆除阶段核算

拆除阶段碳排放主要包括拆除设备碳排放、废弃物运输碳排放和处置过程碳排放。此阶段碳排放一般也采用排放因子法。

拆除阶段碳排放=拆除设备碳排放+废弃物运输碳排放+处置过程碳排放-废弃物回收利用带来的碳减排效益。

其中，拆除设备碳排放=Σ(各类拆除设备×对应的排放因子)；运输碳排放=Σ(各类材料运输量×运输距离×运输方式排放因子)；处置过程碳排放=Σ(各类废旧物资处置量×排放因子)；废弃物回收利用碳减排效益=Σ(废弃物回收利用×排放因子)。

4 结论

准确核实变电站的二氧化碳排放量是电力行业实现碳减排目标的重要基础工作。本文基于国内现有二氧化碳排放核算的国家指南及行业规范，探讨了变电站二氧化碳排放的核算方法，包括核算阶段、核算来源、数据收集等方面，为准确掌握变电站碳排放数据和电力企业的碳减排决策提供支持。

参考文献:

- [1] 《变电站全寿命周期碳排放量化评估导则》(T/CES257-2023),中国电工技术协会.
- [2] 李依风、李树德、倪逸林,《电网氟化硫温室气体减排参与碳市场策略》[J].资源节约与环保,2016.11: 10.3969/j.issn.1673-2251.2016.11.108.
- [3] 《变电站建设阶段碳排放计算导则》(T/CES308-2024),中国电工技术协会.
- [4] 《变电站运行阶段碳足迹核算方法》(T/CES279-2024),中国电工技术协会.