

团 体 标 准

T/CCTAS XX—2024

港口风能、太阳能发电系统规划指南

Guidelines for the planning of wind and solar power system at ports

（征求意见稿）

（本草案完成时间：X）

目 次

前 言 II

港口风能、太阳能发电系统规划指南 1

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 2

4 总则 3

5 港口风能、太阳能资源可开发量评估 3

6 港口风能、太阳能发电系统电力负荷预测 4

7 港口风能、太阳能发电系统规划方案编制 5

8 港口风能、太阳能发电系统规划方案评估 8

附 录 A （资料性） 港口风能、太阳能资源可开发量评估方法 9

附 录 B （资料性） 港口风能、太阳能发电系统负荷需求预测方法 13

附 录 C （资料性） 常用风能、太阳能发电系统设备型号及相关参数 15

附 录 D （资料性） 港口风能、太阳能发电系统规划方案评价指标 19

参 考 文 献 21

前 言

本文件按照 GB/T1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国交通运输协会交通绿色发展专业委员会提出。

本文件由中国交通运输协会标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：武汉理工大学、武汉港务国际集装箱有限公司、天津远海金风新能源有限公司、江苏江阴港港口集团股份有限公司、湖北港口集团有限公司、武汉港务集团有限公司、天津港电力有限公司、长安大学、交通运输部规划研究院华北电力大学、北京交通大学。

本文件主要起草人：钟鸣、李林锋、刘长俭、马晓凤、徐先峰、黄川、赵浩威、崔兴博、蔡志远、唐辰晨、孙超、郭文川、彭昕、胡力群、师瑞锋、张蛰、罗涛、孙乾龙、陈业、李增。

港口风能、太阳能发电系统规划指南

1 范围

本文件提供了港口风能、太阳能发电系统规划总则、可开发量评估、负荷需求预测、规划方案编制、规划方案评估等相关指导意见。

本文件适用于港口风能、太阳能发电系统的规划。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 12325 电能质量 供电电压偏差

GB/T 12326 电能质量 电压波动和闪变

GB/T 14549 电能质量 公用电谐波

GB/T 15543 电能质量 三相电压不平衡

GB/T 15913 风机机组与管网系统节能监测

GB/T 18709 风电场风能资源测量方法

GB/T 18710 风电场风能资源评估方法

GB/T 19862 电能质量监测设备通用要求

GB/T 19964 光伏电站接入电力系统技术规定

GB/T 21056 风机、泵类负载变频调速节电传动系统及其应用技术条件

GB/T 21339 港口能源消耗统计及分析方法

GB/T 24337 电能质量 公用电网谐波

GB/T 25385 海上风力发电机组 运行及维护要求

GB/T 37124 风能资源术语

GB/T 38174 风能发电系统 风力发电场可利用率

GB/T 39779 分布式冷热电能源系统设计导则

GB/T 40603 风电场受限电量评估导则

GB/T 42766 光伏发电太阳能资源评估规范

GB 50797 光伏电站设计规范

GB 51048 电化学储能电站设计规范

GB 51096 风力发电场设计规范

NB/T 31105 陆上风电场工程可行性研究报告编制规程

NB/T 31147 风电场工程风能资源测量与评估技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

港口风能、太阳能发电系统 wind and solar power generation system of port

在港口范围内，安装风力发电设备和光伏发电设备及其配套传输设施组成的系统。

3.2

港口电力系统 port power system

由港口风能、太阳能发电系统、国家电网供电系统及其相关配套设施设备共同组成，为港口内各类设备、设施和作业提供电力支持的电力网络系统。

3.3

港口风能、太阳能资源理论蕴藏量 theoretical reserves of wind and solar energy at port

在港口规划区域内，理论计算的风能、太阳能资源总量。

3.4

港口风能、太阳能资源可开发量 maximum developable wind and solar energy resources

在港口风能、太阳能资源理论蕴藏量的基础上，考虑风能和太阳能资源开发的地形、水体、自然保护区等自然地理因素，当前的开发技术和政策制约因素，以及已开发的资源量，估算出的港口风能、太阳能资源总量。

3.5

港口电力最大负荷 maximum port power load

在港口范围内的所有电力用户，例如船舶岸电、港口装卸机械作业、港区仓储及商业办公等负荷设备在未来年向电力系统取用或向电力系统发出的电功率的总和最大值。

3.6

港口能源自洽 energy self-sufficiency for port

在港口范围内，由风力发电设备或光伏发电设备产生的电能，可满足港口电能需求、实现电能需求的自给自足。

注：港口风能、太阳能发电系统自发自用电量能够满足港口能源负荷需求的比例。

4 总则

4.1 港口总体规划宜将风能、太阳能发电系统规划作为其重要组成部分之一，规划期限应与港口总体规划年限相一致。

4.2 港口风能、太阳能发电系统规划范围包括港口岸线、防波堤、锚地、陆域空地、堆场及停车场等空闲用地，仓库与办公建筑屋顶，岸桥、场桥大型作业设备等区域。

4.3 港口风能、太阳能发电系统可采用“自发自用”或“自发自用、余电上网”的运行模式。

4.4 港口宜通过所在区域规划建设风力发电机组和光伏板等新能源发电设备，满足港口运营的能源需求，一定程度上实现能源自洽。

4.5 规划原则

港口风能、太阳能发电系统规划需紧紧围绕建设低碳绿色港口为准则，以“双碳”战略为原则设置碳减排目标，加强风能、太阳能等新能源的利用，实现新能源的高效利用与可持续利用，最终实现港口能源的完全自洽。规划需遵循“开源节流、因地制宜、绿色发展”的科学用能和系统规划思想，同时，还需要处理好投资成本与运行效益的关系。

5 港口风能、太阳能资源可开发量评估

5.1 港口风能资源理论蕴藏量

5.1.1 港口风能资源理论蕴藏量可依据GB/T 18710进行评估。

5.1.2 风能资源评估主要特征参数包括：年平均风速、风功率密度（风能密度）、有效风能、可利用小时数等，测算方法参照附录A。

5.2 港口太阳能资源理论蕴藏量

5.2.1 港口太阳能资源理论蕴藏量可依据GB/T 42766进行评估。

5.2.2 太阳能资源评估主要特征参数包括：月水平面总辐射量、日照时数等，测算方法参照附录A。

5.3 风能资源可开发量评估

a) 统计已有风力发电机组建设情况：风电机组数量/台数、装机位置、机组型号、装机容量、出力数据，以及和经济性相关的设备单位容量固定成本、单位容量维护等可变成本、设备（日、月、年）平均运行时间。

b) 港口风能资源可开发量评估：港口风能资源可开发量=港口风能资源理论蕴藏量-港口风能资源已开发量。

5.4 太阳能资源可开发量评估

a) 统计已有太阳能发电系统建设情况：太阳能光伏发电设备机组个数、光伏板斜面倾角、光伏装机容量、光伏组件转换效率，以及和经济性相关的设备单位容量固定成本、单位容量维护等可变成本、设备（日、月、年）平均运行时间。

b) 港口太阳能资源可开发量评估：港口太阳能资源可开发量=港口太阳能资源理论蕴藏量-港口太阳能资源已开发量。

6 港口风能、太阳能发电系统电力负荷预测

6.1 统计范围

6.1.1 港口电力负荷统计范围包括动态负荷需求和静态负荷需求，需要根据港口交通需求及设备能耗进行估计与预测动态负荷需求，根据港口办公区、仓库（冷库）的能耗进行估计与预测静态负荷需求。此外，还需要考虑目前使用的化石能源驱动设备在未来更新为电力驱动设备而增加的电力负荷需求。

6.1.2 港口交通需求涉及的范围包括港口水域和陆域交通需求，需要基于相关综合交通规划模型进行规划年交通需求的预测。

6.1.3 港口电力系统负荷预测应根据未来年港口各环节载运作业量进行负荷总量测算，载运作业量一般以年日平均交通流量或者吞吐量进行表示。

6.2 港口电力系统负荷预测

6.2.1 港口电力系统的负荷需求用电能予以反映，按照 GB/T 21339 进行评估，其负荷需求分为动态负荷需求（装卸生产）、静态负荷需求（辅助生产和附属生产）。

6.2.2 需要基于港口规划期末多种运输方式（如水路、公路和铁路）的运输需求及相应载运工具的电力需求预测港口电力系统未来负荷需求。港口电力系统负荷需求计算和预测参考方法见附录B。

6.3 港口能源自洽率

在港口范围内，由风力发电设备或光伏发电设备产生的电能，占港口电力负荷总量的比例。

6.4 港口风能、太阳能发电系统负荷需求预测

港口风能、太阳能发电系统负荷需求预测受到港口运营者决策、港口地理位置、港口设施条件等因素的影响，港口运营者根据港口碳减排目标确定自洽率。

港口风能、太阳能发电系统负荷需求预测按下式（1）计算：

$$L_w = \alpha \cdot L_{zh} \quad (1)$$

式中：

L_w ——港口风能、太阳能发电系统负荷需求总量，千瓦时（kWh）；

α ——港口运营者制定的碳减排目标，及港口能源自洽率，%；

L_{zh} ——港口电力最大负荷，千瓦时（kWh）。

7 港口风能、太阳能发电系统规划方案编制

7.1 一般要求

7.1.1 港口风能、太阳能发电系统中风力发电系统规划可参照 GB 51096 的有关规定；

7.1.2 港口风能、太阳能发电系统中光伏发电系统规划可参照 GB 50797 的有关规定；

7.1.3 港口风能、太阳能发电系统中储能设备系统规划可参照 GB 51048 的有关规定；

7.1.4 港口风能、太阳能发电系统需要根据港口区域地理环境、新能源适宜性、安全等级、运输安装安全要求、系统建设经济性等因素进行规划与设备选型；

7.1.5 港口风能、太阳能发电系统规划需要考虑港口所在区域的空间与用地规划要求，例如与港机船舶及其它装卸运输设备净空、航空安全限高、潮汐涨落对岸线影响等因素；

7.1.6 港口风能、太阳能发电系统规划能力需要按照预测的港口交通运输需求、电力最大负荷和碳减排目标进行计算估算和决策；

7.1.7 港口风力、光伏新能源发电系统规划需要满足有关主管部门批复的电力接入系统规划评审意见的要求；

7.1.8 港口负荷等级划分可参照 GB 50052 的有关规定；

7.1.9 港口风能、太阳能发电系统接入国家电网相关设施及电能质量要求：

a) 电能质量在线检测应满足 GB/T 19862 规定的要求；

b) 谐波注入电流满足 GB/T 14549 的要求，间谐波满足 GB/T 24337 中的相关要求；

- c) 接入公共连接点的电压偏差建议满足 GB/T 12325 的要求；
- d) 电压波动和闪变建议满足 GB/T 12326 的要求；
- e) 电压不平衡度建议满足 GB/T 15543 的要求。

7.1.10 港口风能、太阳能发电系统规划方案编制步骤

- a) 计算港口风能、太阳能资源的可开发量，在可开发量大于特定阈值时，可以考虑安装风力发电设备或光伏发电设备，根据港口分时风速和光照强度情况，结合可选择的风力和光伏发电设备参数，确定分时新能源供给功率；
- b) 基于规划期内港口高峰运输需求、日作业计划等数据和港口办公区域以及堆场仓库用能设备功率数据，对港口未来年用能高峰负荷进行预测，得到港口分时负荷需求；
- c) 构建港口风能、太阳能发电系统规划模型，目标函数为最大化年投资回报率，约束条件包括自洽率约束、系统可靠性约束、设备出力约束、功率平衡约束、投资预算约束和设备安装空间约束，基于未来年分时供给功率和负荷功率实现各项指标的计算；
- d) 利用相关求解方法，得到港口风能、太阳能发电系统各设备配置方案，确定港口区域内所安装风电或光伏设备的型号以及数量。
- e) 港口风能、太阳能发电系统规划时需要考虑港口所在地区的电网条件（强、弱或无电网）以及系统并、离网运行情况，有针对性地规划系统的拓扑结构、设施配置方案的目标函数和约束条件。

7.2 港口风能发电系统规划

7.2.1 风电机组选址安装原则

7.2.1.1 风机选址需要符合国家产业政策、地方发展和港口空间规划的要求；

7.2.1.2 风电机组选择建设地点具有风能资源丰富、风速高、风向稳定的特点是必要的；

7.2.1.3 风电机组的选址需考虑施工过程中的施工要求、安全要求、国家电网接入要求、环境保护要求和经济要求，合理布局；

7.2.1.4 风力发电机组配套变电站及基础的位置应考虑场址防洪因素，充分利用现有的防洪设施；

7.2.1.5 风电机组选址时应考虑净空要求，不产生妨碍水路、陆路交通运输系统安全问题。

7.2.1.6 江、河、湖旁的风力发电场变电站、风力发电机组基础设置防洪堤，其堤顶标高应按参考 GB 51096 风力发电场设计规范中防洪标准的要求，加 0.5m 的安全超高确定，或高于最高内涝水位，当受风、浪、潮影响较大时，应再增加重现期为 50 年的浪爬高。

7.2.2 风电机组设备型号的确定

根据年平均风速、风能密度、有效风能、风能可利用小时数等指标，以及以投资回报率为目标建立的目标函数，根据占地面积、投资预算、自给率确定的约束条件，确定风力发电设备安装容量，从而确定风力发电转换装置的型号。

7.2.3 风电机组设施

风电机组相关配套设施包括升压站（开关站，含储能系统）、集电线路、风力发电机组变电单元、中央监控通信系统、送出线路（包括架空、电缆）、并网系统、场区道路以及防护功能设施（防洪、防雷、防火），可参照 GB 51096 的有关规定进行配置。

7.2.4 港口风能、太阳能发电系统规划方案清单

港口风能、太阳能发电系统规划方案清单应包括多个规划方案供港口运营者进行选择，每个规划方案应包括设备型号、配置数量、占地面积、投资预算等信息。

7.3 港口太阳能发电系统规划

7.3.1 太阳能发电站选址安装原则

7.3.1.1 港口区域内建筑物屋顶需平整、干净、无遮挡物的，以保证太阳能光伏组件的接收到的太阳辐射量最大化。同时，屋顶具有一定的承重能力是十分必要的，以支撑屋顶及太阳能光伏组件和支架的重量；

7.3.1.2 倾角的选择：可根据当地的纬度、屋顶条件、阴影遮挡等因素综合考虑；

7.3.1.3 选址时考虑光照充足、日照时间长、阴影遮挡少的地区；

7.3.1.4 考虑周围建筑物、树木等遮挡物对太阳能光伏组件接收的太阳辐射量的影响；

7.3.1.5 屋顶分布式太阳能光伏的安装需符合相关的安全规范要求；

7.3.1.6 太阳能光伏电站站址选择应利用非可耕地和劣地，不应破坏原有水系，做好植被保护，减少土石方开挖量，并应节约用地，减少房屋拆迁和人口迁移。

7.3.2 太阳能发电设备型号的确定

根据月水平总辐射量、光伏电站年峰值日照时数、法向直接太阳辐照度等指标，以及以投资回报率为目标建立的目标函数，根据占地面积、投资预算、自给率确定的约束条件，确定安装容量，从而确定光伏发电装置的型号。

7.3.3 太阳能发电系统设施

太阳能发电系统包括光伏发电单元及光伏组件(晶体硅光伏组件、薄膜光伏组件和聚光光伏组件)、集电线路、并网系统、升压站(开关站,含储能系统)以及检修、维护、生活等辅助设施,可参照 GB 50797 的有关规定进行配置。

8 港口风能、太阳能发电系统规划方案评估

8.1 港口风能、太阳能发电系统服务能力评价

8.1.1 港口风能、太阳能发电系统根据其配置的不同类型设备可采用风能微电网、光伏微电网、风-光微电网、风-储微电网、光-储微电网及风-光-储微电网等拓扑结构;

8.1.2 对应港口风能、太阳能发电系统拓扑架构,分布式新能源接入电力系统后按照供给和负荷之间的关系,对港口风能、太阳能发电系统服务能力进行评价,服务能力可分为“能量供需平衡”、“能量充足”、“能量过剩”、“能量不足”、“能量严重不足”五个等级;

8.2 港口风能、太阳能发电系统规划方案评价

港口风能、太阳能发电系统规划方案评价从经济性、环境性、自治性和可靠性四个方面进行评估。可参考以下以及 6.5 相关指标,具体计算过程参考附录 D:

8.2.1 自治性指标

系统自治率:系统自治率是指港口风能、太阳能发电系统自发自用量与港口电力负荷总量的比值(在 0-100%之间),该指标应不低于港口碳减排目标所对应的自治率。

8.2.2 可靠性指标

供电可靠率:是指一年中港口获得的供电不低于其负荷需求的时间占总供电时长的比例。

8.2.3 经济性指标

- a) 投资建设成本:港口风能、太阳能发电系统的投资建设需要满足港口的预算要求。
- b) 投资回报率:港口风能、太阳能发电系统按照规划方案达到一定生产能力后,在规划年限内的收益与建设总成本的比率。

8.2.4 环境性指标

港口风能、太阳能发电系统中清洁能源不产生污染物,而系统目前使用煤炭、天然气等化石能源及使用国家电网购电所产生污染物主要为 NO_x、SO₂、CO,另外 CO₂并不属于污染物,但其作为温室气体,对环境造成的影响不可忽视。

附录 A

(资料性)

港口风能、太阳能资源可开发量评估方法

A.1 年平均风速

在风能资源评估中，平均风速按照式(A.1)计算：

$$V = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i \quad (\text{A.1})$$

式中：

V ——统计周期内风电场平均风速，单位为米每秒（m/s）；

n ——统计周期内场内有代表性的测风塔（或若干测风塔）的个数；

V_i ——为统计周期内，第*i*个测风塔的平均风速，单位为米每秒（m/s）。年平均风速是反映当地及地区风资源状况的重要数据。通常认为在距地面100m高度风速大于3 m/s即可有效利用，大于5m/s地区即为风能丰富地区。

A.2 风功率密度（风能密度）

风功率密度等级有7个级别。风功率密度等级达到或超过3级风况的风电场地有开发价值。设定时段的平均风功率密度表达式为：

$$W = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n \rho v_i^3 \quad (\text{A.2})$$

式中：

n ——在设定时段内的记录数；

ρ ——空气密度，单位为千克每立方米（kg/m³）；

v_i ——第*i*次记录的风速，单位为米每秒（m/s）；

W ——平均风功率密度，单位为瓦每平方米（W/m²）。通常认为在距地面100m高度下风能密度大于50W/m²即可有效利用，大于200W/m²即为丰富。

A.3 有效风能

对于风能转换装置而言，可利用的风能是在切入风速到切出风速之间的风速段，这个范围的风能即“有效风能”，该风速范围内的平均风功率密度即有效风功率密度，有效风功率密度计算式为：

$$\overline{W_e} = \frac{1}{2} \rho \frac{\int v^3 f(v) dv}{\exp[-(v_1/c)^k] - \exp[-(v_2/c)^k]} \quad (\text{A.3})$$

式中：

$\overline{w_e}$ ——有效风功率密度，单位为瓦每平方米（W/m²）；

v_1 ——有效风速，单位为米每秒（m/s）；

v_2 ——无效风速，单位为米每秒（m/s）；

K, c ——Weibull分布的2个参数， k 为形状参数，表示分布曲线的峰值情况， k 值一般在1和3之间变化， k 值越大说明风速波动越小，越适合风力发电， c 为尺度参数，反映风电场的平均风速。

A.4 可利用小时数

风电场容量系数的高低由可利用小时数决定，可利用小时数越高则说明风电场的投资回报率也越高。统计代表年测风序列中的有效风速的风能可利用小时数计算式为：

$$t = N \int f(v)dv = N \{ \exp[-(v_1/c)^k] - \exp[-(v_2/c)^k] \}$$

(A.4)

式中：

t ——风能可利用小时数，单位为小时（h）；

N ——统计时段的总时间，单位为小时（h）。其中可利用风能资源储量，是通过有效风功率密度、风电场面积和风能利用率之间的关系计算得出的。

A.5 港口风能资源总量

在港口及其周边区域内风能资源的总和，它包括了该地区所有可利用的风能资源的潜在能量。计算式为：

$$E_q = W_i * T_h \quad (\text{A.5})$$

式中：

E_q ——港口风能资源总量，单位为千瓦（kW）；

W_i ——年平均风能密度，单位为瓦每平方米（W/m²）；

T_h ——全年小时数，单位为小时（h）。

A.6 港口风能资源已开发量

在港口及其周边区域内已经通过风力发电机组等设备实际开发并投入运营的风能资源的量，这个概念涉及到风能资源的实际利用情况，是衡量一个地区风能资源开发程度的重要指标。计算式为：

$$E_t = \overline{w_e} * t \quad (\text{A.6})$$

式中：

E_t ——港口风能资源已开发量，单位为千瓦（kW）；

w_e ——有效风功率密度，单位为瓦每平方米（W/m²）；

t ——风能可利用小时数，单位为小时（h）。

A.7 月水平面太阳能总辐射量

$$GHR_m = EHR_m \cdot (a + b \cdot s) \quad (A.7)$$

式中：

GHR_m ——月水平面总辐照量，单位为兆焦每平方米（MJ/m²）；

EHR_m ——月水平面总辐照量，单位为兆焦每平方米（MJ/m²）；

a, b ——经验系数，可根据距离参证站最近的国家辐射观测站的实测数据，采用统计方法计算得到。

s ——参证站实测的月日照百分率，%。

A.8 瞬时地外水平面太阳辐照度

$$EHI = EDNI \cdot (\cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega + \sin \phi \cdot \sin \delta) \quad (A.8)$$

式中：

EHI ——地外水平面太阳辐照度，单位为瓦每平方米（W/m²）；

$EDNI$ ——某时刻的地外法向太阳辐照度，单位为瓦每平方米（W/m²）；

ϕ ——纬度，单位为度（°）， $-90^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$ ；

δ ——太阳赤纬，单位为度（°）， $-23.45^\circ \leq \delta \leq 23.45^\circ$ ；

ω ——时角，上午为正，下午为负，单位为度（°）。

A.9 港口太阳能资源总量

在港口及其周边区域内太阳能资源的总和，它包括了该地区所有可利用的太阳能资源的潜在能量。

计算式为：

$$GHY = \sum_{i=1}^{12} GHRm_i$$

(A.9)

式中：

GHY ——港口年水平面总辐照量，单位为兆焦每平方米（MJ/m²）；

$GHRm_i$ ——是第*i*个月的月水平面总辐照量，单位为兆焦每平方米（MJ/m²）。

A.10 港口太阳能资源已开发量

在港口及其周边区域内已经通过太阳能发电系统实际开发并投入运营的太阳能资源的量。这个概念涉及到太阳能资源的实际利用情况，是衡量一个地区太阳能资源开发程度的重要指标。计算式为：

$$E_t = P * t * K$$

(A.10)

式中：

E_t ——港口太阳能资源已开发量，单位为千瓦（kW）；

P ——港口太阳能发电系统安装容量，单位为千瓦（kW）；

t ——平均日照小时数，单位为小时（h）；

K ——系统综合效率，包括逆变器效率、线路损耗、组件效率等因素，一般取值在75%-85%之间。

附录 B

(资料性)

港口风能、太阳能发电系统负荷需求预测方法

B.1 港口装卸生产电力负荷需求计算方法如下：

$$L_z = \frac{1000T_b \cdot e_z}{k \cdot h} \quad (\text{B.1})$$

式中：

 L_z ——装卸生产负荷，单位为千瓦(kW)； T_b ——港口未来年高峰小时货运量，单位为万吨数、万标准箱、万人次、万辆； e_z ——装卸生产能源单耗，单位为吨标准煤每万吨(tce/10⁴t)、吨标准煤每万标准箱(tce/10⁴TEU)、吨标准煤每万辆(tce/万辆)或吨标准煤每万人次(tce/万人次)，计算方法见GB/T 21339； k ——电力折标准煤系数取当量值0.1229kgce/(kW·h)； h ——单位时间，单位为小时(h)。

B.2 港口生产综合电力负荷需求计算方法如下：

$$L_{zf} = \frac{1000T_b \cdot e_{zf}}{k \cdot h} \quad (\text{B.2})$$

式中：

 L_{zf} ——生产综合负荷，单位为千瓦(kW)； T_b ——港口未来年高峰小时货物万吨数、万标准箱、万人次、万辆； e_{zf} ——生产综合能源单耗，单位为吨标准煤每万吨(tce/10⁴t)、吨标准煤每万标准箱(tce/10⁴TEU)、吨标准煤每万辆(tce/万辆)或吨标准煤每万人次(tce/万人次)，计算方法见《港口能源消耗统计及分析方法GB/T 21339-2020》； k ——电力折标准煤系数取当量值0.1229kgce/(kW·h)； h ——单位时间，单位为小时(h)。

B.3 港口风力、光伏新能源发电系统的综合负荷需求计算方法如下：

$$L_{zh} = \frac{1000T_b \cdot e_{zh}}{k \cdot h} \quad (\text{B.3})$$

式中：

 L_{zh} ——生产综合负荷，单位为千瓦(kW)；

e_{zh} ——生产综合能源单耗，单位为吨标准煤每万吨(tce/10⁴t)、吨标准煤每万标准箱(tce/10⁴TEU)、吨标准煤每万辆(tce/万辆)或吨标准煤每万人次(tce/万人次)，计算方法见《港口能源消耗统计及分析方法GB/T 21339-2020》；

附录 C
(资料性)

常用风能、太阳能发电系统设备型号及相关参数

发电设备的选择可综合考虑该港口的风速、光照、及规划建设的风电区域空间等条件。典型的常用光伏、风机设备如下表所示：

C.1 光伏板型号

光伏板电池应用较为广泛的是硅太阳能电池，若采用的是型号为 JJ210-24 的光伏电池板，额定功率在 210W，运行年限为 20 年，具体电气参数如下表 C.1；

表 C.1 光伏板 JJ210-24 型号及参数表

产品型号	JJ210-24
尺寸(mm)	1448*983*35
额定功率(W)	210
工作电压(V)	34.4
电流(A)	6.10
开路电压(V)	43.2
开路电流(A)	6.85
产品型号	JJ210-24
运行年限(年)	20
单位容量初装成本(元/kW)	4500
单位运维成本(元/kW·h)	0.03

若采用型号为 JJ300-24 的光伏电池板，额定功率在 300W，运行年限为 25 年，具体电气参数如下表 C.2 所示：

表 1 光伏板 JJ300-24 型号及参数表

产品型号	JJ300-24
尺寸(mm)	1950*992*40
额定功率(W)	300
工作电压(V)	34.4
电流(A)	8.72
开路电压(V)	43.2
开路电流(A)	9.68
产品型号	JJ210-24
重量(kg)	20.6
运行年限(年)	25
单位容量初装成本(元/kW)	4500
单位运维成本(元/kW·h)	0.03

C.2 风力发电机

表 C.3 为 GW155-4.5 型号的风力发电机，额定功率为 4.5MW，运行年限大于 20 年，具体电气参数如下表 3：

表 C.3 水平轴风机型号及参数表

产品型号	GW155-4.5
额定功率（MW）	4.5
额定输出电压（V）	690
风轮直径(m)	155
额定风速(m/s)	10.8
切入风速(m/s)	2.5
切出风速(m/s)	26
安全风速(m/s)	37.5
发电机类型	中速永磁
变流器类型	全功率变流器
运行温度范围	-30~+40
轮毂尺寸（m）	95/100/140
设计寿命（年）	≥20

下表 C.4 为风力发电机型号 GWH171-5.0 的参数：

表 C.4 垂直轴风机型号及参数表

产品型号	GWH171-5.0
额定功率（MW）	5.0
额定输出电压（V）	1140
风轮直径(m)	171
额定风速(m/s)	9.5
切入风速(m/s)	2.5
切出风速(m/s)	24
安全风速(m/s)	52.5
发电机类型	中速永磁
变流器类型	全功率变流器
运行温度范围	-30~+40
轮毂尺寸（m）	100-185(可定制)
设计寿命（年）	≥20

C.3 接入大电网设备

包括变电站、变流器、逆变器等电子设备元件，逆变器应符合接入公用电网相关技术要求的规定，并具有有功功率和无功功率连续可调功能。用于大、中型风能、太阳能发电站的逆变器还应具有低电压穿越功能。若采用纳通 NAC-DT 系列 10KW，具体参数如表 C.5：

表 C.5 NAC10K-DT 设备及参数表

设备参数	NAC10K-DT
额定输出功率（W）	10000
最大输出功率（VA）	11000
直流输入	
最大输入功率（W）	12000
额定输入功率（V）	1100
MPPT 电压范围（V）	250~950
启动电压（V）	180
并网电压（V）	380
MPPT 路数	2
最大输入电流（A）	12
每路 MPPT 输入组串数	1
直流端子类型	H4/MC4

若采用三相组串式系列 175KW 逆变器，具体参数如表 C.6：

表 C.6 三相组串式 175KW 设备及参数

设备参数	三相组串式系列 175KW
额定输出功率（KW）	175
最大输出功率（KW）	200
直流输入	
最大输入功率（W）	200
最大输入电压（V）	1500
MPPT 电压范围（V）	600~1500
启动电压（V）	620
并网电压（V）	840
MPPT 路数	12
最大输入电流（A）	26
每路 MPPT 输入组串数	2
直流端子类型	H4/MC4

C.4 储能设备

储能设备由蓄电池组、储能变流器 PCS（双向工作）、隔离变压器、BMS 管理单元、EMS 能量管理系统、网络连接设备等相关部件组成。其中最重要的储能设备为蓄电池组，一般利用蓄电池或超级电容，

蓄电池利用电能和化学能的转换实现充放电过程,主要分为铅酸蓄电池、碳酸铁锂电池、磷酸铁锂电池。
若采用 48V 储能锂电池，具体参数（派能 US2000）的型号及参数如下表：

表 C. 7 US2000 设备及参数表

基本参数	US2000
标准电压（V）	48
标准容量（Ah）	50
尺寸（mm）	440*410*88.5
重量（kg）	24
放电电压（V）	45~54
充电电压（V）	52.5~54
最大放电电流（A）	100
额定放电电流（A）	25
最大充电电流（A）	100
额定充电电流（A）	25
工作温度（℃）	0~50
通信接口	RS232,RS485,CAN
循环次数（次）	>6000

如果采用 BYDB-Box5.0 锂电池，具体参数如下表：

表 C. 8 BYDB-Box5.0 设备及参数表

基本参数	BYDB-Box5.0
标准电压（V）	48
标准容量（Ah）	48
尺寸（mm）	600*510*883
重量（kg）	126
放电电压（V）	44.8~57.6
充电电压（V）	44.8~57.6
最大放电电流（A）	100
额定放电电流（A）	13.8
最大充电电流（A）	100
额定充电电流（A）	13.8
工作温度（℃）	0~55
通信接口	RS485, CAN
循环次数（次）	6000

附录 D

(资料性)

港口风能、太阳能发电系统规划方案评价指标

D.1 投资回报率

$$R_{PI} = \frac{Profit}{Investment} = \frac{\sum_{y=1}^Y P_y}{\sum_{y=1}^Y I_y} \quad (D.1)$$

$$P_y = 365 \times (D_{pele} \cdot P_{pele} + D_{sele} \cdot P_{sele})$$

(D.2)

$$I_y = \frac{\sum_{i=1}^3 \sum_{n_i=0}^N (x_{in_i} \cdot Pc_{in_i} + x_{in_i} \cdot Ic_{in_i})}{Y} + \sum_{i=1}^3 \sum_{n_i=0}^N x_{in_i} \cdot Mc_{in_i} \quad (D.3)$$

式中:

 R_{PI} ——规划期总的投资回报率; P_y, I_y ——分别表示建设港口风力、光伏新能源发电系统后第 y 年的收益和成本; D_{pele}, D_{sele} ——分别表示 y 年系统日平均自发自用电量 and 余电上网电量; P_{pele}, P_{sele} ——分别表示 y 年系统购电价格和售电价格;

x_{in_i} ——新能源发电设备类型 i 的第 n_i 个设备, 设备类型包含风电、光伏两种, 分别用 $i = 1, 2$ 表示, N 表示各类设备总数;

 $Pc_{in_i}, Ic_{in_i}, Mc_{in_i}$ ——分别表示设备 in_i 的投资成本、基建成本和年维护成本。

D.2 投资建设成本

$$CI(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in_i}) = \sum_{i=1}^5 \sum_{n_i=0}^N x_{in_i} \cdot Pc_{in_i} \quad (D.4)$$

式中:

 $CI(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in_i})$ 表示水路交通自洽能源系统总投资成本。

D.3 环境性指标

CO₂ 减排量计算方法如下所示:

$$B_P = \sum_{h=1}^H \frac{3.67 \cdot E_{\beta_h} \delta}{a_{\beta_h}} + E_{grid} * F_{E_{grid}} \quad (D.5)$$

式中:

 B_P ——港口化石能源消耗 CO₂ 排放总量;

β_h ——系统所使用的不同化石能源种类；

H——化石能源种类总数；

E_{β_h} ——化石能源 β_h 使用量；

a_{β_h} ——化石能源 β_h 折煤标系数；

δ ——标准煤碳排系数，参考国家发改委能源研究所推荐值为 0.67；

E_{grid} ——外部电网购电量；

$F_{E_{grid}}$ ——电力排放因子。

D.4 系统电能自洽率

$$\varpi = \frac{E_S}{E_T} \times 100\% \quad (D.6)$$

式中：

ϖ ——港口风力、光伏新能源自洽率；

E_S ——系统新能源发电自发自用总量；

E_T ——系统电能消耗总量。

D.5 供电可靠性

$$G_R^y = \frac{\sum_{t=1}^{8760} R_{ES}^{y,t}}{8760} \quad (D.7)$$

$$R_{ES}^{y,t} = \begin{cases} 1, & P_{SHE}^{y,t} = 0 \\ 0, & P_{SHE}^{y,t} > 0 \end{cases} \quad (D.8)$$

式中：

G_R^y 表示系统规划期内第 y 年的能源供给可靠性；

$R_{ES}^{y,t}$ 表示系统规划期第 y 年 t 时刻港口电力供给可靠性情况，等于 1 表示没有缺电情况，电力供给可靠，等于 0 表示出现缺电情况，电力供给不可靠；

$P_{SHE}^{y,t}$ 表示港口在第 y 年 t 时刻的缺电功率。

参 考 文 献

中国交通运输协会团体标准

《港口风能、太阳能发电系统规划指南》

编制说明

《港口风能、太阳能发电系统规划指南》编制组

2024 年 11 月

一、工作简况

(一) 任务来源

根据中国交通运输协会发布的“关于 2024 年度中国交通运输协会团体标标准申报工作的通知”（中交协秘字〔2024〕16 号）要求，由武汉理工大学作为主编单位，主持《港口风能、太阳能发电系统规划指南》编制工作。

(二) 编制单位组成情况

起草单位：武汉理工大学、武汉港务国际集装箱有限公司、天津远海金风新能源有限公司、江苏江阴港港口集团股份有限公司、湖北港口集团有限公司、武汉港务集团有限公司、天津港电力有限公司、长安大学、交通运输部规划研究院华北电力大学、北京交通大学等，后续规程编制过程中，根据工作需求，可再增加若干参编单位。

起草工作组名单如下：

序号	姓名	单位	职务/职称	承担工作
1	钟鸣	武汉理工大学	教授	7 港口风能、太阳能发电系统规划方案编制
2	罗涛	湖北港口集团有限公司	科创部经理	6 港口风能、太阳能发电系统电力负荷预测
3	孙乾龙	湖北港口集团有限公司	科创部主任	6 港口风能、太阳能发电系统电力负荷预测
4	陈业	天津港电力有限公司	书记/高工	5 港口风能、太阳能资源可开发量评估
5	孙超	天津远海金风新能源有限公司	经理/高工	5 港口风能、太阳能资源可开发量评估
6	郭文川	武汉港务集团有限公司	副总经理	6 港口风能、太阳能发电系统电力负荷预测
7	彭昕	武汉港务国际集装箱有限公司	部门主管/高工	6 港口风能、太阳能发电系统电力负荷预测
8	李增	江苏江阴港港口集团股份有限公司	经理	7 港口风能、太阳能发电系统规划方案编制
9	胡力群	长安大学	教授	8 港口风能、太阳能发电系统规划方案评估
10	师瑞峰	华北电力大学	教授	8 港口风能、太阳能发电系统规划方案评估
11	张蛰	北京交通大学	副教授	5 港口风能、太阳能资源可开发量评估
12	刘长俭	交通运输部规划研究	室主任/高工	6 港口风能、太阳能发电系

		院		统电力负荷预测
13	马晓凤	武汉理工大学	副研究员	8 港口风能、太阳能发电系统规划方案评估
14	徐先峰	长安大学	副教授	8 港口风能、太阳能发电系统规划方案评估
15	黄川	交通运输部规划研究院	博士后	5 港口风能、太阳能资源可开发量评估
16	李林锋	武汉理工大学	博士研究生	7 港口风能、太阳能发电系统规划方案编制
17	赵浩威	武汉理工大学	硕士研究生	7 港口风能、太阳能发电系统规划方案编制
18	崔兴博	武汉理工大学	硕士研究生	7 港口风能、太阳能发电系统规划方案编制
19	蔡志远	武汉理工大学	硕士研究生	7 港口风能、太阳能发电系统规划方案编制
20	唐辰晨	武汉理工大学	硕士研究生	7 港口风能、太阳能发电系统规划方案编制

二、编制必要性和意义

（一）必要性

首先，随着全球气候变化和环境污染问题日益突出，碳减排已经成为当今世界各国面临的首要环境问题。交通运输行业作为二氧化碳排放的三大主力之一，背负着较大的减排压力。其中，港口是能源消耗和二氧化碳排放大户。因此，低碳港口发展是我国及全球建设世界一流绿色港口的基本要求。港口风能、太阳能发电系统规划指南是指针对港口区域能源需求和环境保护要求，通过科学的规划和设计，利用太阳能、风能发电，以满足港口内部和周边地区的电力需求，同时减少对传统能源的依赖，降低港口区域的温室气体排放和环境影响。

其次，港口风能、太阳能发电系统规划对于港口地区的可持续发展具有重要意义。港口风能、太阳能发电系统规划有助于推动港口的可持续发展水平，提高可再生能源利用效率，减少资源的浪费，为未来能源供应和发展奠定基础。

此外，港口风能、太阳能发电系统规划也具有重要的经济效益。新能源发电系统有望降低能源成本，提高可再生能源利用效率，减少能源供应的不稳定性，有利于降低港口地区的能源成本，提升经济效

益。

最后，港口风能、太阳能发电系统规划指南对于推动技术创新和产业升级也具有重要意义。该项目需要先进的能源规划和管理技术支撑，可以有效推动技术创新和产业升级，有助于提升港口地区的技术水平和竞争力，推动港口地区向绿色、低碳发展方向转型。

综上所述，港口风能、太阳能发电系统规划指南对于促进港口的环境保护、可持续发展、经济效益和技术创新具有其必要性，有助于推动港口地区的可持续发展和绿色转型。

（二）意义

交通与能源是经济社会发展的基础保障，直接决定经济发展质量、效率和可持续性。2019年9月，党中央国务院提出了《交通强国建设纲要》（以下简称“纲要”），其中重点指出：“提高交通领域的智能化、绿色化和共享化”、“构筑多层级、一体化的能源交通融合的综合交通枢纽体系”、“优化交通能源结构，推进可再生能源、清洁能源应用”。港口风能、太阳能发电系统规划指南的制定，有助于推动港口的可持续发展和绿色转型，积极响应国家号召。

环保意义：港口风能、太阳能发电系统可以减少港口对传统化石能源的依赖，降低港口地区的碳排放和空气污染，有利于改善环境质量，保护生态环境。

可持续发展：港口风能、太阳能发电系统的规划和建设有助于推动港口地区的可持续发展，提高清洁能源利用效率，减少不可再生资源的浪费，为未来能源供应和发展奠定基础。

经济效益：港口风能、太阳能发电系统有望降低能源成本，提高能源利用效率，减少能源供应的不稳定性，有利于降低港口地区的能源成本，提升经济效益。

技术创新：港口风能、太阳能发电系统规划指南，需要先进的能源与交通协同规划和管理技术的支撑，该团体标准的制定将推动该方面的技术创新和产业升级，有助于提升港口地区的技术水平和竞争力。

三、编制过程

标准的编制过程将分成三个阶段，依次产生（1）征求意见稿、（2）送审稿和（3）报批稿。具体计划如下表所示。

表 2 编制进度计划

时间	阶段	主要工作内容
2024 年 5 月	立项	完成立项评审
2024 年 6 月 -8 月	大纲	完成大纲和草案。
		审查、修改、通过征求意见稿。
2024 年 11 月	(1) 起草与征求意见	起草
2024 年 11 月		挂网征求意见。
2024 年 12 月	(2) 技术审查	针对反馈意见，提出处理办法。
		专家审查会：审查、修改、通过送审稿。
2025 年 1 月	(3) 审批、发布和备案	完成报批稿，上报审批，及后续相关工作。
注：若遇特殊情况，随时调整安排，并及时通报编制组成员。		

四、编制原则、依据及与现行法律、法规、标准的关系

港口作为全球供应链的重要枢纽，在促进国际贸易和刺激经济增长方面发挥着重要作用。伴随着港口运输需求的不断增长，港口也逐渐成为化石能源消耗和污染排放的重点领域之一。随着港口运输需求的不断增加，其排放的大气污染物和温室气体影响日益显著，不仅制约了交通行业“双碳”目标的实现，也将威胁公众健康与环境安全。故本技术指南编制的目的是规范和指导港口风能、太阳能发电系统规划指工作，有助于港口的节能减排和大气污染防治。经过调研发现，现有风力发电场设计规范、光伏发电场设计规范以及分散式风力和光伏发电资源评估的国家、行业标准规范结构体系完整，可以作为本标准的依据。

为确保港口风能、太阳能发电系统规划工作能够遵循一致的方法和要求，本标准就港口风能、太阳能发电系统规划的基本要求、新能源供给潜力评估、港口负荷需求预测、新能源发电系统规划等内容，参考国家标准、行业标准以及部分地方标准，以确保技术指南内容完整、规范、全面，规划方法科学，评价结果准确。

现行国家标准的参考：本技术指南将参考现行的国家标准，如《风

能发电系统风力发电机组塔架和基础设计要求(GB/T 42600-2023)》、《风力发电机组 设计要求(GB/T 18451.1-2022)》、《分散式风力发电机组(GB/T 41512-2022)》、《光伏发电系统接入配电网技术规定(GB/T 29319-2024)》、《光伏发电太阳能资源评估规范(GB/T 42766-2023)》、《微电网接入电力系统技术规定(GB/T 33589-2017)》等,以确保与相关标准的一致性,并将其作为本技术规范的基础。

现行行业标准的参考:本技术指南将参考现行的行业标准《分散式风力发电风能资源评估技术导则(QX/T 308-2015)》、《分布式光伏发电系统工程技术规范(NB/T 11422-2023)》、《光伏发电系统效能规范(NB/T 10394-2020)》、《光伏电站直流发电系统设计规范(NB/T 32045-2018)》等,以确保与相关标准的一致性,并将其作为技术规范的基础。

行业标准的补充性:本技术规范将补充现有的行业标准,如《风力发电场并网安全条件及评价规范(NB/T 10996—2022)》、《光伏电站并网安全条件及评价规范(NB/T 10997—2022)》等,以填补技术和方法在港口特定环境下具体应用方面的不足,提供更详细和具体的规划与设计技术指南。

地方标准的参考:本技术规范将考虑地方标准,如《并网光伏电站设计规范(DB45/T 2365-2021)》、《小型风力发电机组技术要求(DB15/T 1319-2018)》等,以满足港口特殊环境和排放控制相关需求。地方标准将作为本技术规范的参考基础之一。

法律和法规遵从性:本技术规范的制定将严格遵循中国现行的法律和法规,特别是与环境保护和大气污染防治相关的法律法规。这包括但不限于《中华人民共和国环境保护法》等法律,以确保本标准的内容不与法律法规相抵触,同时促进环境保护目标的实现。

从国内外相关标准调研情况来看,目前还没有港口行业的新能源系统规划与设计标准,故本标准与现行法律法规和强制性标准不矛盾、不重复,而是相互补充、相互支撑的协调关系。

五、主要条款的说明

关键条款的说明如下：

按照中国交通运输协会 2024 年度第 567 期（征审）会议，根据专家组意见，将标题由“《港口新能源发电系统规划与减排核算技术要求》”修改为“《港口风能、太阳能发电系统规划指南》”；

本标准分为范围、规范性引用文件、术语和定义、总则、港口风能、太阳能资源可开发量评估、港口风能、太阳能发电系统电力负荷预测、港口风能、太阳能发电系统规划方案编制、港口风能、太阳能发电系统规划方案评估共八个部分。

（一）适用范围

本文件提供了港口风能、太阳能发电系统规划总则、可开发量评估、负荷需求预测、规划方案编制、规划方案评估等相关指导意见。

本文件适用于港口风能、太阳能发电系统的规划。

（二）规范性引用文件

本标准中引用和参考最新版的国内先进标准和行业规范，以充分保证本标准条款的可依性和可行性。

（三）术语和定义

对港口风能、太阳能发电系统、港口电力系统、港口风能、太阳能资源理论蕴藏量、港口风能、太阳能资源可开发量、港口电力最大负荷、港口能源自洽等专业术语做出定义。

（四）总则

对本技术指南的定位、适用的规划范围、运行模式和规划原则进行说明。

（五）港口风能、太阳能资源可开发量评估

本标准提供了关于港口风能、太阳能理论蕴藏量的评估标准、风能、太阳能资源评估特征参数测算方法、风能、太阳能可开发量评估的统计范围及计算方法。

（六）港口风能、太阳能发电系统电力负荷预测

本标准规定了港口风能、太阳能发电系统负荷需求的统计范围和预测方法。

（七）港口风能、太阳能发电系统规划方案编制

本标准规定了港口风能、太阳能发电系统规划时需要考虑的一般规定、参考指标、接入国家电网电能质量要求以及规划步骤、风能太阳能设备的选址及安装要求、初步确定微电网拓扑结构及设备发电容量与型号的设计方法。

（八）港口风能、太阳能发电系统规划方案评估

本标准规定了港口风能、太阳能发电系统服务能力评价与规划方案评价。

六、重大意见分歧的处理依据和结果

本标准在制定过程中未产生重大分歧意见。

七、作为推荐性标准或者强制性标准的建议及其理由

本标准是促进港口风能、太阳能等可再生能源的利用，促进港口可持续发展的重要支撑，建议作为推荐性团体标准。

八、废止现行有关标准的建议

无。

九、贯彻标准的措施建议

为便于理解和贯彻标准，标准发布后，将对规划编制人员、管理人员及其他相关标准使用方进行宣贯。

十、其他说明事项

无。