

# T/CIEP

## 中国工业环保促进会团体标准

T/CIEP XXXX—XXXX

### 海上平台（独立）微电网规划设计导则

Guidelines for planning and design of offshore platform (Islanded) microgrids

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国工业环保促进会 发布

## 目 次

前言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 总体规划设计 .....	2
4.1 系统设计原则 .....	2
4.2 负荷分析要求 .....	3
4.3 发电资源分析要求 .....	3
4.4 电源容量和储能容量配置要求 .....	3
5 一次系统设计 .....	3
5.1 系统框架设计 .....	4
5.2 主接线设计 .....	4
5.3 接地设计 .....	4
5.4 电力系统分析要求 .....	5
5.5 电能质量分析要求 .....	5
6 二次系统设计 .....	5
6.1 一般规定 .....	5
6.2 能量管理系统设计要求 .....	5
6.3 继电保护及安全自动装置设计 .....	6
7 设备选型 .....	7
7.1 光伏发电设备 .....	7
7.2 电化学储能设备 .....	7
7.3 风力发电设备 .....	8
7.4 柴油发电机组 .....	8
7.5 其他设备 .....	8
8 安全与防护 .....	9
8.1 电气安全 .....	9
8.2 海上环境安全 .....	9
8.3 防火防爆 .....	9
8.4 孤岛运行安全 .....	9

## 前 言

本文件按照GB/T 1.1—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。

本文件由中国工业环保促进会提出并归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

# 海上平台（独立）微电网规划设计导则

## 1 范围

本文件规定了海上平台（独立）微电网规划设计的总体规划设计、一次系统设计、二次系统设计、设备选型、安全与防护的要求。

本文件适用于海上平台（独立）微电网规划设计。

## 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 15945 电能质量 电力系统频率偏差

GB/T 19963.2—2024 风电场接入电力系统技术规定 第2部分：海上风电

GB/T 33589—2017 微电网接入电力系统技术规定

GB/T 33592—2017 分布式电源并网运行控制规范

GB/T 35696—2017 船舶交流中压柴油发电机组及控制系统要求

GB/T 36276—2023 电力储能用锂离子电池

GB/T 36547—2018 电化学储能系统接入电网技术规定

GB/T 37408—2019 光伏发电并网逆变器技术要求

GB/T 38953—2020 微电网继电保护技术规定

GB/T 41995—2022 并网型微电网运行特性评价技术规范

GB/T 42731—2023 微电网技术要求

GB/T 44310—2024 海上固定平台总体设计规范

GB/T 44789—2024 微电网动态控制要求

GB/T 51341—2018 微电网工程设计标准

NB/T 10148—2019 微电网 第1部分：微电网规划设计导则

NB/T 10149—2019 微电网 第2部分：微电网运行导则

T/CSEE 0170—2020 光伏电站快速功率控制装置技术规范

IEC/TS 62898—1:2017 Microgrids — Part 1: Guidelines for microgrid projects planning and specification 微电网第1部分：微电网项目规划和规范指南

IEEE 2030.7 IEEE Standard for the Specification of Microgrid Controllers 微电网控制器规范标准

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**海上固定平台 offshore fixed platform**

主要针对钢质桩基导管架平台，上部甲板模块由导管架及桩作为支承结构的平台。

### 3.2

**主电站 main power station**

海上固定平台的动力中心，为中心平台和周边平台的生产和生活等设施提供电力能源。

### 3.3

**微电网 microgrid**

由分布式发电、用电负荷、监控、保护和自动化装置等组成(必要时含储能装置),是一个能够基本实现内部电力电量平衡的小型供用电系统。微电网分为并网型微电网和独立型微电网。

### 3.4

#### 分布式电源 distributed resources

接入 35 kV 及以下电压等级、位于用户附近、就地消纳为主的电源,包括分布式发电和储能。

### 3.5

#### 并网型微电网 grid-connected microgrid

既可以与外部电网并网运行,也可以独立运行,且以并网运行为主的微电网。

### 3.6

#### 独立型微电网 isolated microgrid

不与外部电网联网,始终以孤岛模式运行,实现电能自发自用、功率平衡的微电网。

### 3.7

#### 孤岛运行 island

微电网电源与外部电网隔离,独立承担本系统负荷的运行方式。

### 3.8

#### 黑启动 black start

微电网在全部停电后,只依靠内部分布式电源完成启动的过程。

### 3.9

#### 微电网监控系统 monitoring and control system of microgrids

利用计算机对微电网的运行过程进行实时监视和控制的系统。

### 3.10

#### 微电网能量管理系统 energy management system of microgrids (EMSM)

一种计算机系统,包括提供基本支持服务的软硬件平台,以及保证微电网内发电、配电、用电设备安全经济运行的应用软件。

### 3.11

#### 低频减载 under-frequency load shedding (UFLS)

频率过低时,为维持功率平衡而对一部分预先选定的负荷停止供电。

### 3.12

#### 低压减载 under-voltage load shedding (UVLS)

电压过低时,为维持功率平衡而对一部分预先选定的负荷停止供电

## 4 总体规划设计

### 4.1 系统设计原则

#### 4.1.1 安全可靠原则

海上平台环境恶劣,人身和设备安全是首要考虑因素。设计应满足海工安全规程及防爆、防火、防漏等要求,依据相关行业标准(如SY/T系列、IEC 60079系列)开展危险区域分类和设备选型。系统应具备高可靠性设计,采用冗余配置和备用电源,优先保证关键负载供电。即构建冗余供电线路(双母线、双回路)和关键负荷备份,提高极端情况下重要用户的供电保障能力。

#### 4.1.2 经济节能原则

在保证可靠性的前提下,应优化能源配置、提高系统能效。鼓励采用可再生能源和清洁能源发电(如风电、光伏、燃料电池),减少燃料消耗和碳排放。可采用经济调度策略和能源管理优化算法,提高发电机组与储能系统的运行效率。系统容量预留应兼顾峰谷差,避免过度冗余,同时考虑生命周期成本和运维经济性。

#### 4.1.3 可持续与可扩展原则

设计应满足长期运行与维护需求,便于模块化扩展和升级。系统建设考虑平台建设和发展的阶段性,总体规划应留有扩展空间,便于分步实施。系统结构应考虑未来负荷增长或新增发电/储能模块的需求,

如为储能、光伏预留空间，为后续并/离网功能升级留有接口。微电网控制架构应支持功能扩展（如升级新的EMS算法或通信协议），并留有远程监控和维护接口，以提高系统的可持续运行能力。

## 4.2 负荷分析要求

4.2.1 详细统计海上平台各类负荷，包括生产设备、生活设施、照明等的功率、使用时间及特性。

4.2.2 对平台负荷进行综合分析，根据负荷的重要程度和失电的造成影响，区分重要负荷与可切除负荷，包括：

- a) 重要负荷：如控制系统、安全保障系统、通信系统、应急照明、应急负荷（导航、通信、消防等）等，对供电可靠性要求极高；
- b) 生产负荷：如油气开采设备、处理设备等，负荷相对稳定但功率较大；
- c) 生活负荷：如照明、空调、办公设备等，负荷具有一定波动性。

4.2.3 设计中应划分负荷等级，应根据 GB 50052 的相关要求将安全性最高的重要负荷列为一级重要负荷，优先保证供电；生产工艺负荷为二级；一般生活负荷为三级。负荷端可设置重要性级别，并通过 EMS 或优先级调度保证供电质量和供电连续性，进行分级管理。关键负荷应满足 N-1 准则，即单一故障下仍能保证供电。其他可切负荷制定供电优先级。

4.2.4 根据负荷特性及用电需求，进行负荷特性指标计算，包括最大负荷、最小负荷、平均负荷、负荷量、峰谷差等；并绘制日负荷曲线、月负荷曲线及年负荷曲线。

4.2.5 考虑平台未来发展及负荷增长需求，预留 15%~20% 的负荷裕度。

## 4.3 发电资源分析要求

4.3.1 对于太阳能资源，测量平台所在地的太阳辐射强度、日照时间等参数，根据该平台所在位置的全年辐照数据，结合平台的朝向、遮挡情况，评估光伏发电的可行性和发电能力，计算年可利用小时数和全年发电量分布。

4.3.2 针对海上风能资源，收集平台所处海域长期的风速、风向、风速波动等数据，分析风速的年、月、日变化规律，确定主导风向和风速分布，以此评估风力发电的潜力及年可利用小时数。

4.3.3 若考虑其他能源，需对相应的资源条件进行详细勘查和分析。

## 4.4 电源容量和储能容量配置要求

4.4.1 微电网主要电源采用可控发电机组和可再生能源相结合的方式。可控发电机组（如燃气轮机、柴油发电机、燃料电池等）作为主电源，用于满足大部分负荷需求并提供系统频率稳定控制。可再生能源（风力、光伏）作为辅助电源，其容量根据资源条件及平台功率需求确定。海上平台微电网设计阶段，应根据经济性决定是否配置大容量电力储能装置，或采用定期燃料运输补充的方式。

4.4.2 海上平台微电网属于独立运行的微电网，建设目标是无论平台的可再生能源是否充足，都需要保证能够为负荷提供连续、可靠的供电，所以需配置柴油发电机等可调度备用电源，备用电源的容量应能满足系统在极端天气或设备故障情况下的基本负荷及保障性负荷需求，且应具备黑启动能力，确保系统在全停电情况下能够恢复供电。

4.4.3 设计时应确保主发电机组总容量能够满足最大工况下负荷需求的 100%以上（含 N+1 冗余），以实现单机故障后的不中断供电。

4.4.4 规划设计人员应根据负荷需求和资源评估结果，在确保微电网在各种可能的机组组合方案下的功率平衡。

4.4.5 根据负荷需求和资源评估结果，运用专业的优化软件，综合考虑分布式电源（如光伏、风电）、储能装置及备用电源（如柴油发电机）的容量配比，以实现系统成本最低、可靠性最高、可再生能源利用率最大等目标。

4.4.6 确定分布式电源的装机容量时，需考虑其输出特性与负荷需求的匹配程度，避免出现功率过剩或不足的情况。

4.4.7 储能系统容量配置应能满足平台在一定时间内的负荷需求，同时考虑储能的充放电效率、循环寿命等关键因素。一般情况下，储能容量需满足孤岛运行时关键负荷持续供电安全时间的需求。储能系统优先选择具有构网能力的电化学储能系统，具备黑启动能力，为电网提供支撑。

## 5 一次系统设计

## 5.1 系统框架设计

5.1.1 海上平台电气系统设计应满足国家电气规程和海工标准的要求，兼顾湿热盐雾环境特点。

5.1.2 微电网内部的电压等级选择应执行 GB/T 156。海上平台微电网一般为独立型微电网，系统电压等级多采用中压（如 6kV、10kV 等）和低压（0.4kV）混合配置。

5.1.3 根据平台的负荷分布、电源布局及空间限制，设计合理的微电网电气主接线形式，如放射式、环式或混合式，确保系统运行灵活、可靠，便于维护和扩展。

5.1.4 确定分布式电源、储能装置、负荷及与主电网（若有连接）之间的电气连接方式，明确各部分之间的电压等级匹配。

## 5.2 主接线设计

5.2.1 海上平台微电网属于独立型微电网，因其微电网规模较小，系统可根据需要采用单母线、单母线分段布置，或局部环网结构，以提高供电可靠性。典型的母线结构为单母线结构和分段母线结构。

a) 单母线结构，可用于中压或低压的小型海上平台微电网。如图 1 所示。

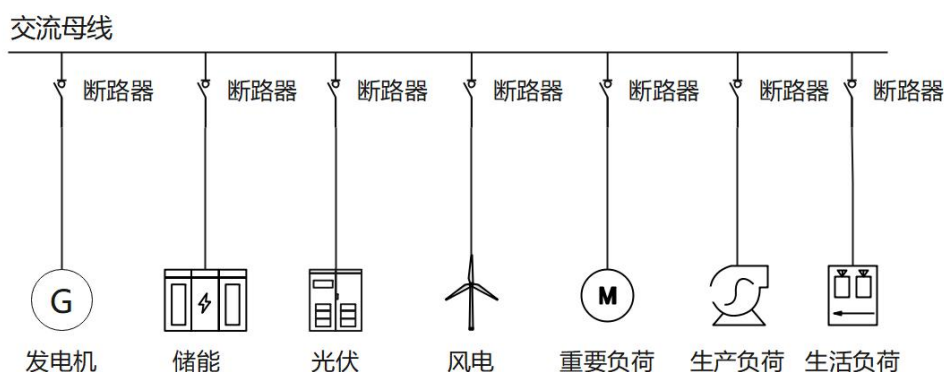


图 1 单母线典型结构示意图

a) 2) 分段母线结构，可用于供电可靠性要求较高的微电网，将重要负荷与波动性较大的负荷分段设计，保障性电源优先提供给重要负荷。如图 2 所示。

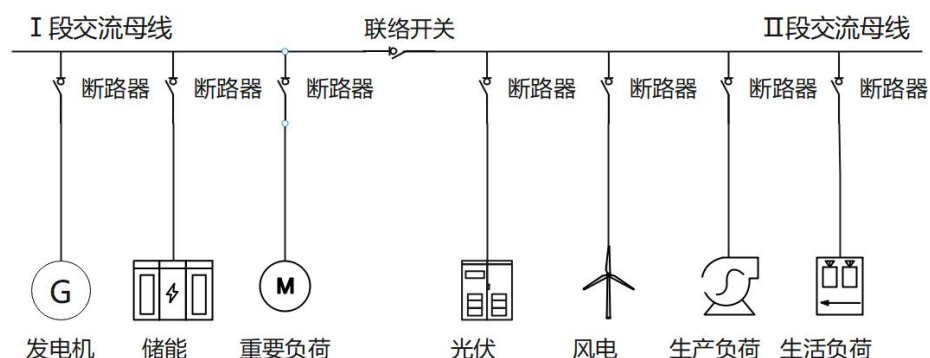


图 2 分段母线典型结构示意图

5.2.2 依据平台的电气布局和负荷分布，进行电力线路的路径规划，尽量缩短线路长度，减少线路损耗。线路应避免穿越危险区域或可能受到机械损伤的位置。

5.2.3 计算线路的电压降，确保在最大负荷情况下，各用电设备端的电压偏差在允许范围内。对于长距离或大容量输电线路，必要时采取升压或无功补偿等措施来降低电压降。

## 5.3 接地设计

5.3.1 海上平台微电网应设置完善的接地系统，包括工作接地、保护接地和防雷接地，所有电气设备的金属外壳、构架等均应可靠接地。

5.3.2 接地电阻应满足相关标准要求，一般工作接地和保护接地电阻不大于  $4\Omega$ ，防雷接地电阻不大于  $10\Omega$ 。接地极的材质应选择耐腐蚀的金属，并根据平台的地质条件和土壤电阻率，合理确定接地极的埋设深度和数量。

5.3.3 接地系统的设计应考虑海上平台的特殊环境，如盐雾腐蚀、海浪冲击等因素，采取有效的防腐措施，确保接地系统的长期可靠性。

5.3.4 定期对接地系统进行检测和维护，确保接地电阻在合格范围内，接地连接可靠，防止因接地不良引发电气事故。

## 5.4 电力系统分析要求

5.4.1 海上平台微电网因其独立组网运行，需要对整个电力系统进行电力系统仿真分析与计算，通过计算分析确定设备选型等。

5.4.2 应进行全网的潮流计算，计算正常运行方式下的电压分布和功率分布，检验电压质量是否满足要求，评估系统运行的经济性和可靠性。

5.4.3 应进行短路电流计算，计算各种短路故障情况下的短路电流，确定短路电流的大小和分布，为设备选型和保护配置提供依据。

5.4.4 应进行稳定性分析，分析系统在正常运行和故障情况下的稳定性，评估系统的电压稳定和频率稳定性能，提出提高系统稳定性的措施和建议。

5.4.5 根据计算结果，优化系统设计和设备选型，为保护装置的配置和整定提供依据，评估系统的运行性能和安全裕度。

## 5.5 电能质量分析要求

### 5.5.1 电能质量指标

电能质量指标要求如下：

- a) 电压偏差应符合 GB/T 12325 标准要求。
- b) 频率偏差应符合 GB/T 15945 标准要求。
- c) 谐波含量应符合 GB/T 14549 标准要求。
- d) 电压波动和闪变应符合 GB/T 12326 标准要求。
- e) 三相电压不平衡度应符合 GB/T 15543 标准要求。

5.5.2 应进行无功功率平衡计算，确保系统无功功率平衡，必要时可配置静止无功补偿装置（SVC）或静止同步补偿器（STATCOM）。

5.5.3 应分析系统谐波源分布和特性，合理选择设备参数，避免谐波放大，必要时采用无源滤波器或有源滤波器进行谐波治理。

5.5.4 应配置必要的电能质量监测设备，实时监测系统电能质量指标，为电能质量分析和治理提供数据支持。

## 6 二次系统设计

### 6.1 一般规定

海上固定平台微电网二次系统设计应遵循以下原则：

- 安全性原则，确保二次系统的安全可靠运行，保护一次系统和设备免受故障损害。
- 可靠性原则，保证二次系统的可靠性，确保在各种工况下都能准确动作。
- 选择性原则，保护装置应能在最短时间内准确切除故障，尽量缩小停电范围。
- 速动性原则，保护装置应能快速动作，切除故障，减少设备损坏和停电时间。
- 灵敏性原则，保护装置应能对保护范围内的故障有足够的反应能力。

### 6.2 能量管理系统设计要求

#### 6.2.1 一般规定

微电网应设置集中式能源管理系统(EMS)，实时监测和控制全系统运行。EMS主要功能包括：采集发电机组、储能装置和负载的运行状态；根据负荷预测和发电预测优化发电机组与储能的调度；控制功率流，实现发电、负载与储能的最优配比；支持并网/孤岛模式切换策略；并提供事故报警和远程监控接口。EMS可根据可用发电机组和储能状态自主调度，保障向用户持续供电。EMS可采用分层控制结构，上层为调度中心，底层为本地控制器，实现高层决策与设备级控制分工。

## 6.2.2 系统功能要求

海上平台微电网能量管理系统至少应具备以下功能：

- a) 数据采集与处理：实时采集系统各部分的运行数据，并进行处理和存储。
- b) 微网协调控制：根据微网实时运行状态，进行源网荷储的协调控制，实现微电网频率控制、电压控制等，确保微网稳定运行。
- c) 微电网安全稳定控制：微电网中应实现频率和电压的紧急控制，可以根据电网故障进行切负荷；同时微电网中可中断负荷应具有低频减载和低压减载能力。
- d) 状态监测与诊断：对系统的运行状态进行实时监测和故障诊断。
- e) 负荷预测与发电计划：基于历史数据和预测模型，预测负荷需求和可再生能源出力，制定发电计划。
- f) 优化调度：根据负荷预测、发电计划和系统约束条件，进行优化调度，实现经济运行。
- g) 安全分析：对系统的安全状态进行评估和分析，预测潜在风险。
- h) 控制指令生成：根据优化调度结果和安全分析，生成控制指令，下发给各控制单元。
- i) 人机交互数据的存储和快速查询需求。
- j) 通信网络：设计可靠的通信网络，实现系统各部分之间的信息交换。
- a) 系统性能要求互：提供友好的人机交互界面，实现系统的监控和操作。
- b) 报表生成与打印：生成各种运行报表和统计图表，并支持打印输出。

## 6.2.3 系统架构设计

能量管理系统的架构设计应考虑以下因素：

——硬件平台：选择适合海上环境的硬件平台，包括微网协调控制器、电网电气数据采集设备、服务器、工作站、通信设备等。

——软件架构：采用模块化、分层化的软件架构，提高系统的可维护性和可扩展性。

——数据库设计：设计合理的数据库结构，满足海量的数据接入需求。

能量管理系统的性能应满足以下要求：

——实时性：满足系统控制和监测的实时性要求，数据更新周期不大于 1 秒。

——可靠性：具备高可靠性和稳定性，平均无故障时间不低于 10000 小时。

——可扩展性：具备良好的可扩展性，支持系统的升级和扩展。

——容错性：具备完善的容错机制，在部分设备或功能出现故障时，系统仍能保持基本功能。

——安全性：具备完善的安全机制，防止非法访问和数据篡改。

## 6.3 继电保护及安全自动装置设计

6.3.1 保护配置原则，应根据系统结构和设备特点，合理配置保护装置，满足选择性、速动性、灵敏性和可靠性要求，并满足 GB/T 14285 的相关要求。应采用微机保护装置，提高保护性能和自动化水平。

6.3.2 微电网中分布式电源、变压器、并网开关、线路、母线等设备保护应满足 GB/T 38953 的相关要求，低压配电保护还应满足 GB 50054 的相关要求。微电网继电保护定值应根据系统结构和运行方式，按照 DL/T 584 进行整定计算。当灵敏性与选择性难以兼顾时，宜优先考虑满足灵敏性，防止保护拒动。

6.3.3 微电网运行方式调整使其故障特性发生较大改变时，应重新进行继电保护功能配置和定值整定。

6.3.4 线路保护配置，至少应包含：

- a) 相间短路保护，采用电流速断保护、限时电流速断保护和过电流保护。
- b) 接地故障保护，根据系统中性点接地方式配置相应的接地保护。
- c) 过负荷保护，对可能过负荷的线路配置过负荷保护。

6.3.5 变压器保护配置，至少应包含：

- a) 差动保护：用于变压器内部故障保护。

- b) 瓦斯保护：用于油浸式变压器内部故障保护。
  - c) 过电流保护：用于变压器外部故障后备保护。
  - d) 过负荷保护：用于变压器过负荷保护。
  - e) 温度保护：用于变压器温度过高保护。
- 6.3.6 母线保护配置，至少应包含：
- a) 母线差动保护，用于母线故障保护。
  - b) 如母线设置分段，应配置母联保护，用于母联断路器保护。
- 6.3.7 安全自动装置配置，至少应包含：
- a) 备用电源自动投入装置，确保重要负荷的连续供电。
  - b) 自动重合闸装置，提高线路供电可靠性。
  - c) 低频减载装置，防止系统频率异常下降。
  - d) 低压减载装置，防止系统电压异常下降。
  - e) 故障解列装置，在系统故障时自动解列部分系统。

## 7 设备选型

### 7.1 光伏发电设备

7.1.1 太阳能光伏发电系统。根据平台的光照条件和负荷需求，选择合适的光伏组件类型，优先选用转换效率高、稳定性好、抗盐雾腐蚀能力强的单晶硅或多晶硅光伏组件。光伏组件的功率、数量及安装方式应根据系统规划确定，确保光伏发电满足平台部分或全部电力需求。

7.1.2 光伏逆变器应按照 GB / T 37408 执行，电压适应性、频率适应性和高、低电压穿越能力均应满足性能要求。

7.1.3 海上平台光伏发电并入离网型微电网运行，光伏逆变器应具备有功功率连续平滑调节的能力，能接受光伏功率控制系统指令调节有功功率的输出值。控制误差应为逆变器额定有功功率的 $\pm 1\%$ ，具有快速有功响应能力，自逆变器接收到协调控制系统下发的有功功率指令开始至逆变器功率响应达到有功功率遥调值 90%所用时间不大于 100ms。

7.1.4 光伏逆变器应具备一次调频能力和惯量响应能力，当系统频率偏差大于一次调频死区时，逆变器应能调节有功输出，具体的要求如下：

- a) 当系统频率上升时，逆变器应减少有功输出，有功出力最大减少量为 100%P<sub>n</sub>。
- b) 当系统频率下降时，逆变器配有储能设备时可增加有功输出；
- c) 一次调频的调差率、调频死区、死区功率应可设置。
- d) 一次调频控制响应时间不大于 60ms，调节时间不应大于 300ms。

7.1.5 光伏发电系统应参考 T/CSEE 0170-2020 《光伏电站快速功率控制装置技术规范》配备光伏快速功率控制装置。

7.1.6 光伏逆变器或光伏数采装置与光快速功率控制装置的通讯接口应具备以太网通信接口功能，通信协议宜具备 GOOSE 协议，能够与快速功率控制接口装置组网完成快速功率响应功能，通信速率不低于 1Mbps。

### 7.2 电化学储能设备

7.2.1 根据系统规划确定的储能容量和充放电要求，选择合适的储能技术和设备。优先选择具有构网能力的电化学储能系统，可为电网提供支撑。

7.2.2 储能设备应具备完善的电池管理系统（BMS），能够实时监测电池的电压、电流、温度、荷电状态（SOC）等参数，对电池进行充放电控制、均衡管理和故障诊断，确保电池的安全运行和使用寿命。

7.2.3 储能系统具备并网切换功能，并网可切换型储能变流器应具备并网切换功能，能够按照设定条件由并网运行模式转入离网运行模式，并建立频率和幅值稳定的交流电压，能够按照上级指令由离网运行模式转入并网运行模式，满足相应的功率要求，并网切换时间不应大于 2 s。

7.2.4 储能变流器与储能协调控制装置的通讯接口应具备以太网通信接口功能，通信协议宜具备 GOOSE 协议，能够与协调控制接口装置组网完成快速功率响应功能，通信速率不低于 1Mbps。

7.2.5 储能变流器应具备良好的功率控制性能。储能变流器输出功率不小于 20%额定功率时，功率控

制偏差率不应超过额定功率的 $\pm 1\%$ 。功率控制响应时间不应超过 100ms，调节时间不应超过 300ms。

7.2.6 储能变流器应具备一定的过载能力，交流侧电流在 110%额定电流下应能长期持续运行；交流侧在 120%额定电流下，持续运行时间应不少于 2min。

7.2.7 储能变流器可参与一次调频控制，在充电和放电状态均具备一次调频能力；一次调频死区至少在 $\pm 0.03\text{ Hz} \sim \pm 0.05\text{ Hz}$ 范围内可设置；限幅不应小于 20%额定有功功率；调差率至少在 0.5%~3%范围内可设置；控制滞后时间不应大于 50 ms，响应时间不应大于 100 ms，调节时间不应大于 300 ms。

7.2.8 储能变流器在充电和放电状态均应具备惯量响应能力；惯量响应死区至少在 $\pm 0.03\text{ Hz} \sim \pm 0.05\text{ Hz}$ 范围内可设置；惯量响应最大有功功率变化不低于 10%PN；惯量响应控制滞后时间不应大于 300 ms，响应时间不大于 500 ms，惯性时间常数在 4 s~12 s 范围内。

7.2.9 储能变流器从热备用状态转成充电状态，直到充电功率达到有功功率遥调值 90%所用时间不大于 50ms；从热备用状态转成放电状态，直到放电功率达到有功功率遥调值 90%所用时间不大于 50ms；从 90%额定功率充电状态转换到 90%额定功率放电状态所用时间不大于 100ms；

7.2.10 结合海上环境的特殊性，储能设备应具备良好的防护性能，能适应高温、高湿、盐雾等恶劣环境条件，设备外壳应采用耐腐蚀材料制作，并做好防水、防尘、防潮措施。

7.2.11 储能系统的安装应考虑防震设计，可承受 9 级海浪冲击（振动加速度 $\leq 0.5g$ ），确保在恶劣海况下设备的安全运行。

### 7.3 风力发电设备

7.3.1 风力发电机组，应根据平台所处海域的风能资源情况，选择额定功率合适、抗风能力强、适应海上恶劣环境的海上专用风力发电机。风机选型优先选择直驱或半直驱风机。

7.3.2 风力发电机的叶片设计应考虑防盐雾侵蚀和减少海上鸟类碰撞等因素，同时配备完善的控制系统，实现对风速、风向的自动跟踪和调节，确保风力发电的高效稳定运行。

7.3.3 风力发电机组，应具有 200ms~500 ms 及以上零电压穿越能力，优先选择零电压穿越能力强的风机。

7.3.4 风力发电机组，应具备 2.5~3m/s 的低风速适应能力。变桨速度在 3~6° /s，在 10s 内能改变出力。

7.3.5 风机惯量响应速度满足 GB/T36994-2018 中调频相关要求，惯量调节响应速度在 300ms 以内，优先选择惯量响应速度快的风机。

7.3.6 风机具有快速的一次调频功能，一次调频应满足 GB/T 36994-2018 的要求，一次调频功能响应时间不大于 5s，优先选择响应速度快的风机。

7.3.7 风电场站控系统应具有快速群控功能接口，从风电场收到指令到风机出力变化总延时小于 300ms，优先选择响应速度快的风机和风电场站控系统。

7.3.8 风电其他要求应满足 GB/T 19963.2-2024 的规定。

### 7.4 柴油发电机组

7.4.1 柴油发电机组选型应满足 GB/T 35696-2017 的规定。

7.4.2 柴油发电机组应具备黑启动能力，应在 15s 内可自启动，在 2min 内带载大于 50%额定容量。

7.4.3 柴油发电机组控制系统应具备无缝切换能力，并网转孤岛时电压波动应小于 10%，频率偏差小于 0.5Hz，切负荷响应时间小于 0.5s。

7.4.4 柴油发电机组控制系统应能接收 EMS 指令调节出力，支持一次调频功能，一次调频应满足 GB/T 36994-2018 的要求。

### 7.5 其他设备

7.5.1 配电箱、配电柜：根据微电网的电气主接线和负荷分布，选择合适规格的配电箱、配电柜，用于分配电能、控制和保护电气设备。配电箱、配电柜应采用防潮、防尘、耐腐蚀的外壳，内部电气元件应质量可靠、性能稳定，便于操作和维护。

7.5.2 监测与保护设备：配置各类监测仪表和保护装置，如电压表、电流表、功率表、电能表、继电保护装置、故障录波装置等，用于实时监测微电网的运行参数，及时发现和处理故障，保障系统安全稳定运行。监测与保护设备应具备高精度、高可靠性和良好的通信功能，能将监测数据上传至监控系统，并接受监控系统的远程控制。

7.5.3 通信设备：为实现微电网各部分之间的数据通信和远程监控，应配备可靠的通信设备，如光纤通信设备、无线通信设备（如 4G、5G 通信模块）、卫星通信设备等。通信设备应具备抗干扰能力强、传输速率高、稳定性好等特点，确保数据传输的实时性和准确性。

7.5.4 电力电缆：按照线路的输送容量、电压等级及敷设方式，选择合适的电缆或导线型号，考虑海上环境的腐蚀性，优先选用耐腐蚀的电缆，如交联聚乙烯绝缘电缆等，并做好电缆的防护措施，如采用铠装电缆、电缆桥架等。

7.5.5 其他分布式电源：若采用其他分布式电源，应根据其技术特点和平台实际情况，选择成熟可靠的设备，并确保设备的性能满足微电网的运行要求。

## 8 安全与防护

### 8.1 电气安全

8.1.1 微电网系统的设计、安装和维护应符合 GB/T 16895 系列《低压电气装置》的要求，确保电气系统的安全可靠运行。

8.1.2 所有电气设备的金属外壳、构架等均应可靠接地，接地电阻应符合要求。电气设备的安装应符合防触电、防短路、防过载等安全要求。

8.1.3 电气设备的操作应严格按照操作规程进行，运行人员应穿戴相应的绝缘防护装备，防止触电事故发生。

8.1.4 微电网系统应设置完善的保护装置，如过流保护、短路保护、欠压保护、过压保护等，确保在发生故障时能够迅速切断电源，保护设备和人员安全。

### 8.2 海上环境安全

8.2.1 考虑海上平台的特殊环境，具有高湿度、高盐雾、强腐蚀等特点，微电网系统的设计应具备良好的防风、防水、防盐雾、防腐蚀性能，确保在恶劣环境下的安全运行。

8.2.2 电缆和部件应选用海工级产品，防水密封良好。通风空调系统应确保设备正常散热的同时防止海风盐雾侵入。

8.2.3 设备的安装应考虑海上平台的振动和冲击，采取有效的固定和防震措施，防止设备在海浪冲击下损坏。

8.2.4 电缆和电气设备的布置应避开平台的危险区域，如易燃易爆区域、高温区域等，防止发生安全事故。

8.2.5 对于海上风电平台，微电网系统的设计应考虑风机运行时产生的电磁干扰，采取有效的电磁兼容措施，确保系统的正常运行。

### 8.3 防火防爆

8.3.1 微电网系统的设计应符合海上平台的防火防爆要求，电气设备应选择防爆型或具备防火性能的产品。

8.3.2 电缆和电气设备的布置应避开易燃易爆区域，如油气处理区域、燃料储存区域等。如需在这些区域布置电气设备，应采取相应的防爆措施。

8.3.3 储能系统的设计应考虑防火防爆要求，电池室应配置完善的通风系统和灭火装置，防止电池过热或起火引发安全事故。

8.3.4 微电网系统应设置完善的火灾报警系统，能够及时发现和处理火灾隐患。

### 8.4 孤岛运行安全

8.4.1 微电网系统应具备可靠的孤岛检测和保护功能，防止非计划性孤岛运行带来的安全隐患。

8.4.2 孤岛运行模式下，微电网系统应能够维持稳定的电压和频率，确保关键负荷的安全运行。

8.4.3 孤岛运行时，应采取有效的措施防止非授权人员进入或操作电气设备，确保系统的安全。