

团 体 标 准

T/ACCEM XXXX-XXXX

配电网分布式储能及光伏选址定容规划技术导则

Technical guidelines for location and capacity planning of distributed  
energy storage and PV in distribution network

(征求意见稿)

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

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 基本规定 ..... 2

5 规划流程 ..... 3

6 数据采集与处理 ..... 4

7 资源评估 ..... 5

8 负荷特性分析 ..... 6

9 电网条件评估 ..... 7

10 选址定容方法 ..... 7

11 规划方案评估与优化 ..... 10

12 规划方案实施与监测 ..... 10

## 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。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由国网北京市电力公司经济技术研究院提出。

本文件由中国商业企业管理协会归口。

本文件起草单位：国网北京市电力公司经济技术研究院。

本文件主要起草人：XXX。

# 配电网分布式储能及光伏选址定容规划技术导则

## 1 范围

本文件规定了配电网分布式储能及光伏选址规划的术语和定义、基本规定、规划流程、数据采集与处理、资源评估、负荷特性分析、电网条件评估、选址定容方法、规划方案评估与优化、规划方案实施与监测的要求。

本文件适用于新建、扩建和改建的 10 kV 及以下配电网中分布式储能及光伏的选址定容规划。

## 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 14549 电能质量 公用电网谐波

GB/T 29319 光伏发电系统接入配电网技术规定

GB/T 45418 配电网通用技术导则

DL/T 599 中低压配电网改造技术导则

T/SDES 0007-2024 面向 35 kV 及以下配电网调压的分布式储能规划技术要求

## 3 术语和定义

GB/T 45418 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**分布式储能 distributed energy storage**

指通过物理介质或装置，进行可循环电能存储、转换及释放的设备系统，且安装在配电网区域内，靠近用户侧，以较小容量（通常为 5MW 及以下）分散布置，包括但不限于电化学储能、飞轮储能等形式。

### 3.2

**分布式光伏 distributed photovoltaic**

指在用户所在场地或附近建设安装，运行方式以用户侧自发自用、多余电量上网，且在配电网系统平衡调节为特征的光伏发电设施。

### 3.3

**选址定容规划 location and capacity planning**

指在配电网中确定分布式储能及光伏系统的最佳安装地理位置及根据配电网运行需求和相关约束条件，确定分布式储能及光伏系统的适宜容量大小的过程，实现技术可行、经济合理和环境友好的目标。

### 3.4

**双层规划模型 two-layer planning model**

由上层选址规划模型和下层优化运行模型组成的嵌套优化模型。上层模型确定储能设备的备选选址定容方案，下层模型基于历史负荷数据求解备选方案的最低运行成本，通过上下层迭代优化实现全局最优。

### 3.5

#### 资源评估 resource assessment

对太阳能辐照度、风速等可再生能源资源进行量化分析，评估其在时间和空间上的分布特性。

### 3.6

#### 负荷特性分析 load characteristic analysis

对配电网负荷的峰谷差、负荷波动率等指标进行解析，建立负荷的时序变化模型。

### 3.7

#### 电网条件评估 power grid condition assessment

对配电网的节点电压偏差、谐波畸变率、线路载流量等运行参数进行评估，确定其对分布式储能及光伏接入的约束条件。

### 3.8

#### 改进贝叶斯算法 improved bayesian optimization algorithm, BOHB

结合 Hyperband 策略的贝叶斯优化算法，通过动态分配计算资源加速高维空间搜索，适用于求解大规模配电网储能选址定容的双层规划模型。

## 4 基本规定

### 4.1 基本目标

通过合理的选址定容规划，使分布式储能及光伏在配电网中实现以下目标：

- 提高配电网对可再生能源的消纳能力，减少弃光现象；
- 改善配电网的电能质量，降低电压偏差和谐波畸变率；
- 降低配电网的网损，提高能源利用效率；
- 提高配电网的供电可靠性，增强系统的稳定性；
- 提升规划方案对极端负荷场景的鲁棒性，避免典型日数据缺失导致的可靠性不足；
- 采用双层规划模型实现选址定容与运行策略的协同优化，降低计算复杂度；
- 实现投资成本与运行效益的优化平衡。

### 4.2 基本原则

#### 4.2.1 安全性原则

选址定容需满足配电网安全运行要求，避免对电网继电保护、短路电流、电压稳定性等产生不利影响，确保储能系统与配电网的兼容性。

#### 4.2.2 经济性原则

综合考虑储能设备投资成本、运行维护成本及电网运行收益，通过全生命周期成本分析优化规划方案，实现投入产出比最大化。

#### 4.2.3 可靠性原则

提升配电网供电可靠性，重点考虑极端负荷场景下的储能支撑能力，保障电网在峰荷时段、故障状态下的稳定运行。

#### 4.2.4 适应性原则

规划方案应适应配电网未来负荷增长及新能源接入需求，并符合新型配电网清洁低碳、安全充裕、经济高效、供需协同、灵活智能的高质量发展要求。方案应具备良好的可扩展性和灵活性，有效降低后期改造成本。

### 5 规划流程

#### 5.1 流程图

分布式储能及光伏选址定容规划流程包括数据采集与处理、模型构建、规划方法选择、方案评估与优化以及方案实施与监控等步骤，具体流程如图 1 所示。

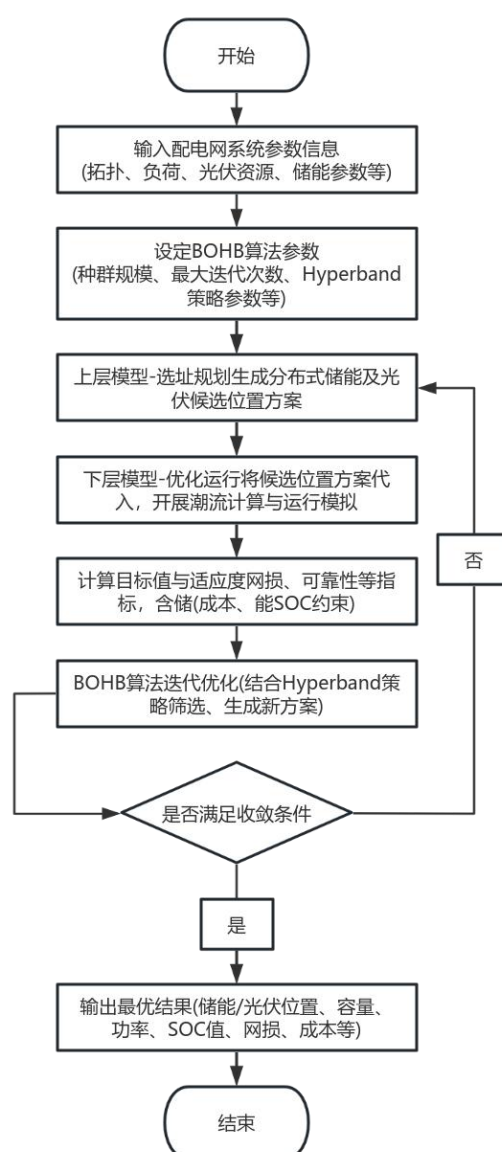


图 1 分布式储能及光伏选址定容规划流程图

## 5.2 规划准备

收集和整理配电网的相关资料，包括电网拓扑、线路参数、负荷数据、气象数据、地理信息等。明确规划目标和约束条件，确定规划的时间范围和技术要求。

## 5.3 资源评估与负荷特性分析

按照第 7 章和第 8 章的要求，对太阳能辐照度光伏电池转化效率、地区温度、气候条件等影响分布式光伏资源质量的因素进行评估。对配电网典型日负荷、季节性负荷、年负荷的变化规律、负荷波动、负荷峰谷差等情况进行分析，识别负荷典型特征及其演变规律。

## 5.4 电网条件评估

按照第 9 章的规定，评估配电网的节点电压偏差、谐波畸变率、线路载流量等运行参数，确定电网对分布式储能及光伏的接入规模和位置的约束条件。

## 5.5 选址定容方法选择与应用

### 5.5.1 双层规划模型构建流程：

- a) 上层选址规划模型：以储能安装成本与运行成本之和最小为目标，决策变量为储能安装位置及容量（采用 0 - 1 状态变量矩阵表示）；
- b) 下层优化运行模型：基于历史负荷数据，通过最优潮流计算求解备选方案的最低运行成本，约束条件包括储能充放电约束、节点功率平衡约束、网络潮流约束等。

5.5.2 推荐采用结合 Hyperband 策略的改进贝叶斯算法（BOHB）求解双层模型，通过多轮迭代筛选低成本方案，提升收敛速度。

## 5.6 规划方案评估与优化

对初步确定的规划方案进行全面评估，包括技术可行性、经济合理性、环境影响等方面。根据评估结果，对规划方案进行优化调整，直至满足规划目标和要求。

## 5.7 规划方案确定与实施

确定最终的规划方案，并制定详细的实施计划。在实施过程中，应加强监测和管理，确保规划方案的顺利实施。

# 6 数据采集与处理

## 6.1 数据采集内容

### 6.1.1 配电网数据

配电网数据应包括：

- 配电网的支路信息（如支路编号、端点、电阻、电抗、电导、电纳、最大传输容量等）；
- 节点信息（如节点编号、电压等级、负荷类型等）；
- 拓扑结构信息等。

### 6.1.2 历史负荷数据

应采集目标配电网完整连续的历史负荷数据，包括全年 8 760 h 的有功负荷和无功负荷数据。

### 6.1.3 分布式能源资源数据

分布式能源资源数据应包括：

- 分布式光伏的光照资源数据（如太阳辐射强度、日照时长等）；
- 分布式储能的技术参数（如储能类型、充放电效率、容量上下限、寿命等）；
- 安装成本等。

## 6.2 数据采集

数据采集是规划工作的基础，应确保数据的全面性、准确性和时效性。数据采集方法如下：

- a) 配电网数据应通过查阅现有工程档案、图纸，利用地理信息系统及配电自动化/调度系统获取，必要时辅以现场勘测；
- b) 历史负荷数据应从智能电表、SCADA 系统或历史调度数据中采集，并可结合负荷普查进行补充；
- c) 分布式能源资源数据主要来源于气象站、卫星遥感数据以及专业的现场测量设备，也可参考相关行业数据库；
- d) 储能及光伏的经济技术参数，如投资和运维成本、设备性能参数等，应通过查阅设备制造商资料、行业报告、已建项目数据及专家咨询等方式获取。

## 6.3 数据处理

对采集到的数据进行清洗和预处理，去除缺失值、异常值，对数据进行归一化、标准化等处理资源评估。

## 7 资源评估

### 7.1 太阳能资源评估

#### 7.1.1 数据收集

收集规划区域内至少连续 5 年的太阳能辐照度数据，数据时间分辨率宜为 15 min ~ 60 min。数据来源应可靠，如气象站、卫星遥感数据等。

#### 7.1.2 数据分析

对收集到的太阳能辐照度数据进行统计分析，计算年平均辐照度、月平均辐照度、日辐照量等指标。分析太阳能辐照度在时间和空间上的分布特性，绘制辐照度分布图。

#### 7.1.3 光伏组件适配性评估

根据规划区域的太阳能辐照度特性，结合光伏组件的技术参数，评估不同类型光伏组件的适配性。考虑光伏组件的低辐照性能、高温衰减特性等因素，选择适合当地环境条件的光伏组件。

### 7.2 储能需求场景评估

根据历史负荷曲线，分析峰谷差、负荷波动率等指标，确定储能系统的应用场景（如峰谷套利、调频调压、备用电源等），量化储能在不同场景下的容量需求特性。具体要求如下：

- a) 削峰填谷：
  - 1) 主要针对配电网负荷高峰与低谷之间的巨大差异。在用电低谷时段（负荷低、电价低）利用储能系统吸收并储存电能，在用电高峰时段（负荷高、电价高）释放所储存的电能，如



图 2 所示。此举旨在平滑负荷曲线，提高电网的负荷率和设备利用效率，同时也可延缓电网扩容升级的投资；

- 2) 对储能容量的需求主要取决于负荷峰谷差（MW）以及需要转移的电量（MWh）。储能系统需要具备足够的能量容量（MWh）和相应的功率容量（MW），且通常要求每日进行一次或两次完全充放电循环。

示例：目标削减峰值负荷  $X\text{MW}$ ，并向谷值负荷填充  $Y\text{MWh}$  的电量。

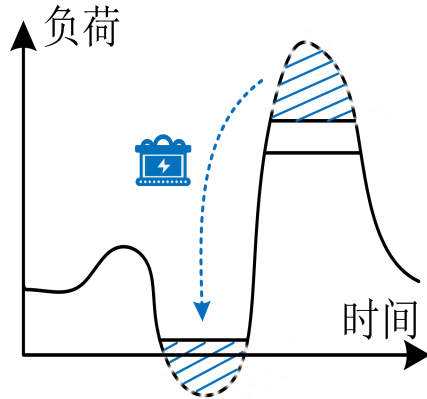


图 2 削峰填谷示意图

b) 调频调压：

- 1) 旨在维持电网电压和频率的稳定，提升电能质量。当电网频率或电压偏离设定值时，储能系统能快速响应，吸收或释放有功/无功功率，将偏差控制在允许范围内；
- 2) 储能功率（MW）需求由电网允许的电压偏差范围和频率波动范围决定。

示例：要求将电压偏差控制在  $\pm A\%$  以内，或将频率波动范围缩小至  $B\text{Hz}$ 。

注：该场景对储能的响应速度（毫秒级至秒级）和功率调节能力要求极高，通常伴随着频繁但小幅度的充放电循环。

c) 备用电源：

- 1) 当配电网发生故障或主电源中断时，储能系统能迅速切换并为重要负荷提供持续供电，提高关键用户的供电可靠性指标（如 SAIDI、SAIFI）。
- 2) 储能能量（MWh）需求取决于所要支撑的关键负荷容量（MW）以及预期的持续供电时间（h）。储能系统应具备一定的持续放电能力和高可靠性。

d) 新能源消纳：

- 1) 针对高渗透率新能源（如光伏）接入配电网可能导致的弃光现象。储能系统可在新能源出力大于电网消纳能力时吸收多余电能，并在用电高峰或新能源出力不足时释放，从而提高新能源的利用率。
- 2) 量化指标为减少的弃光电量（MWh）。储能系统的充放电特性需与新能源出力曲线高度匹配，通常要求具备与新能源波动性相适应的充放电策略。

## 8 负荷特性分析

### 8.1 负荷数据收集

收集规划区域内全年 8 760 h 连续负荷数据，数据时间分辨率宜为 15 min ~ 60 min。负荷数据应包括有功功率、无功功率、电流等参数，以及负荷的类型和分布情况。

### 8.2 负荷特性指标计算

计算配电网负荷的峰谷差、负荷波动率、负荷率等指标，分析负荷在不同时间段的变化规律。绘制负荷曲线，包括日负荷曲线、月负荷曲线和年负荷曲线。

### 8.3 负荷预测

8.3.1 应采用合适的负荷预测方法，如时间序列法、回归分析法、灰色预测法等，对规划区域未来的负荷进行预测。

8.3.2 负荷预测应考虑经济发展、产业结构调整、政策变化等因素的影响。

8.3.3 预测时间跨度应与规划周期相匹配。

## 9 电网条件评估

### 9.1 拓扑结构分析

基于支路信息构建配电网拓扑模型（0-1 状态变量矩阵  $U$  和  $D$ ），分析网络连通性、潮流分布特性，确定储能接入对电网潮流分布的影响范围及程度。

### 9.2 节点电压偏差评估

根据配电网的结构和参数，利用潮流计算方法，分析分布式储能及光伏接入前后各节点的电压偏差情况。节点电压偏差应满足 GB/T 12325 的要求，即 10 kV 及以下三相供电电压偏差为标称电压的  $\pm 7\%$ 。

### 9.3 谐波畸变率评估

考虑分布式光伏逆变器等设备产生的谐波，评估分布式储能及光伏接入后配电网的谐波畸变率。谐波畸变率应符合 GB/T 14549 的规定，即公用电网谐波电压（相电压）总谐波畸变率不超过 5%。

### 9.4 线路载流量评估

根据配电网线路的参数和运行方式，评估分布式储能及光伏接入后线路的载流量。线路载流量应满足 DL/T 599 的要求。

### 9.5 短路电流评估

分析分布式储能及光伏接入对配电网短路电流的影响，确保短路电流水平在配电网设备的耐受范围内，不影响配电网的保护配置和动作特性。

## 10 选址定容方法

### 10.1 改进贝叶斯算法（BOHB）原理

改进贝叶斯算法（BOHB）的基本原理包括以下步骤：

- 概率模型构建：采用树结构 Parzen 估计（TPE）构建目标函数的概率模型，通过核密度估计计算备选方案表现优于阈值的概率密度函数  $l(x)$  和劣于阈值的概率密度函数  $g(x)$ ；
- Hyperband 策略实施：动态生成多组备选选址定容方案，在不同计算资源水平下迭代评估方案表现，对高成本方案进行剪枝淘汰，为优质方案分配更多计算资源；
- 期望提升计算：基于  $l(x)$  和  $g(x)$  的比率计算期望提升值，指导算法优先探索最有可能改善目标函数的方案区域，加速收敛至全局最优解。

## 10.2 选址定容方法

### 10.2.1 模型构建

#### 10.2.1.1 目标函数

##### 10.2.1.1.1 上层选址规划模型

以储能系统总生命周期成本最小为目标，表达式为：

$$\min F = C_{\text{install}} + C_{\text{operation}} \dots\dots\dots (1)$$

式（1）中：

$C_{\text{install}}$ ：储能设备安装成本（考虑折现率）；

$C_{\text{operation}}$ ：下层模型求解的年运行成本。

##### 10.2.1.1.2 下层优化运行模型

以储能系统年运行成本最低为目标，表达式为：

$$\min C_{\text{operation}} = \sum_{t=1}^T (C_{\text{loss},t} + C_{\text{ess},t}) \dots\dots\dots (2)$$

式（2）中：

$C_{\text{loss},t}$ ： $t$  时段网损成本；

$C_{\text{ess},t}$ ： $t$  时段储能充放电折旧成本。

#### 10.2.1.2 约束条件

##### 10.2.1.2.1 电力平衡约束

###### 10.2.1.2.1.1 节点有功功率平衡表达式为：

$$P_{g,i,t} + P_{\text{ess},d,i,t} = P_{\text{load},i,t} + P_{\text{ess},c,i,t} + \sum_{j \in \Omega_i} P_{\text{line},i,j,t} \dots\dots\dots (3)$$

式（3）中：

$P_{g,i,t}$ ：节点  $i$  在  $t$  时段的发电机有功出力；

$P_{\text{ess},d,i,t}$ ：储能放电功率；

$P_{\text{ess},c,i,t}$ ：储能充电功率；

$P_{\text{load},i,t}$ ：节点负荷；

$P_{\text{line},i,j,t}$ ：支路  $i - j$  的有功功率。

###### 10.2.1.2.1.2 节点无功功率平衡表达式为：

$$Q_{g,i,t} + Q_{\text{ess},i,t} = Q_{\text{load},i,t} + \sum_{j \in \Omega_i} Q_{\text{line},i,j,t} \dots\dots\dots (4)$$

式（4）中：

$Q_{g,i,t}$ ：节点  $i$  的发电机无功出力；

$Q_{\text{load},i,t}$ ：节点无功负荷；

$Q_{\text{line},i,j,t}$ ：支路  $i - j$  的无功功率。

##### 10.2.1.2.2 储能系统约束

###### 10.2.1.2.2.1 充放电互斥约束表达式为：

$$P_{\text{ess},d,i,t} \cdot P_{\text{ess},c,i,t} = 0 \dots\dots\dots (5)$$

###### 10.2.1.2.2.2 容量上下限约束表达式为：

$$S_{\min,i} \leq S_{i,t} \leq S_{\max,i} \dots\dots\dots (6)$$

式（6）中：

$S_{i,t}$ ：储能  $i$  在  $t$  时段的剩余容量；

$S_{min,i}/S_{max,i}$  : 容量下限和上限。

10.2.1.2.2.3 充放电功率约束表达式为:

$$0 \leq P_{ess\_c,i,t} \leq P_{ch\_max,i} \cdot \delta_{ch,i,t} \dots\dots\dots (7)$$

$$0 \leq P_{ess\_d,i,t} \leq P_{dch\_max,i} \cdot \delta_{dch,i,t} \dots\dots\dots (8)$$

式 (7) (8) 中:

$P_{ch\_max,i}/P_{dch\_max,i}$  : 储能充电 / 放电功率上限;

$\delta_{ch,i,t}/\delta_{dch,i,t}$  : 充放电状态变量 (0 或 1)。

10.2.1.2.2.4 容量更新约束表达式为:

$$S_{i,t} = S_{i,t-1} + \eta_{ch} \cdot P_{ess\_c,i,t} \cdot \Delta t - \frac{P_{ess\_d,i,t} \cdot \Delta t}{\eta_{dch}} \dots\dots\dots (9)$$

式 (9) 中:

$\eta_{ch}/\eta_{dch}$  : 充放电效率;

$\Delta t$ : 时间间隔。

10.2.1.2.3 网络潮流约束

10.2.1.2.3.1 欧姆定律约束表达式为:

$$U_i^2 - U_j^2 = 2(R_{ij}P_{ij,t} + X_{ij}Q_{ij,t}) - (R_{ij}^2 + X_{ij}^2)I_{ij,t}^2 \dots\dots\dots (10)$$

式 (10) 中:

$U_i/U_j$  : 节点  $i$ 、 $j$  电压;

$R_{ij}/X_{ij}$  : 支路电阻 / 电抗;

$I_{ij,t}$  : 支路电流。

10.2.1.2.3.2 电压约束表达式为:

$$U_{min,i}^2 \leq U_i^2 \leq U_{max,i}^2 \dots\dots\dots (11)$$

式 (11) 中:

$U_{min,i}/U_{max,i}$  : 节点电压下限和上限。

10.2.2 参数设置

10.2.2.1 储能安装成本

应根据储能类型 (如锂电池) 取单位容量成本 (1 500 元 ~ 2 500 元) /kWh, 总安装成本需考虑折现率 5% 及寿命周期 (10 ~ 15) 年。

10.2.2.2 充放电效率

电化学储能充放电效率取 80% ~ 85%, 飞轮储能取 85% ~ 90%。

10.2.2.3 BOHB 算法参数

采样次数设置为 (50 ~ 100) 次, Hyperband 迭代轮次取 (3 ~ 5) 轮, 成本阈值根据项目预算动态调整。

10.2.3 算法实施

选址定容算法实施步骤如下:

a) 备选方案生成: 上层模型通过 BOHB 算法生成多组储能选址定容方案, 决策向量表示为:

$$X = [S_1, P_1, S_2, P_2, \dots, S_n, P_n] \dots\dots\dots (12)$$

式 (12) 中:

$S_i$  : 节点  $i$  的储能容量;

$P_i$  : 出力功率。

- b) 下层模型求解: 基于历史负荷数据和拓扑模型, 采用 Cplex 求解器对每组方案求解最低运行成本, 考虑网损、充放电折旧等成本项。
- c) 方案筛选迭代: 计算每组方案的总成本 (安装成本 + 运行成本), 保留总成本小于阈值的方案, 淘汰劣质方案, 基于保留方案生成下一轮迭代的备选方案。
- d) 收敛判定: 当连续 2 ~ 3 轮迭代中最优方案的总成本变化率小于 5% 时, 算法收敛, 输出最优选址定容方案。

## 10.2.4 结果验证与分析

### 10.2.4.1 技术可行性验证

对最优方案下的节点电压偏差、谐波畸变率、线路载流量等关键指标进行人工复核, 以进一步确保其满足电网安全运行要求。

### 10.2.4.2 经济合理性分析

计算投资回收期、内部收益率 (IRR) 等指标, 验证方案的经济性, IRR 应不低于行业基准收益率 8% ~ 10%。

## 11 规划方案评估与优化

### 11.1 技术评估

11.1.1 评估储能接入后对配电网电压稳定性、短路电流水平的影响, 确保电网在正常运行及故障状态下的稳定性。

11.1.2 验证节点电压偏差、谐波、闪变等指标是否符合 GB/T 12325、GB/T 14549 等要求。

11.1.3 计算储能接入后的系统供电可靠率, 目标值应  $\geq 99.989\%$ , 提升配电网抗风险能力。

### 11.2 经济评估

11.2.1 计算储能系统从投资、建设到退役的总费用, 包括设备采购、安装、维护、更换等成本, 对比传统电网升级方案的经济性。

11.2.2 评估峰谷套利、需求侧响应等收益, 计算净现值 (NPV)、收益成本比 (BCR) 等指标, NPV  $> 0$  且 BCR  $> 1$ 。

### 11.3 环境评估

11.3.1 估算储能系统替代传统调峰电源的碳减排量, 评估对区域能源结构优化的贡献。

11.3.2 分析储能系统的年利用小时数, 提升可再生能源消纳能力, 降低电网弃风弃光率。

### 11.4 方案优化

11.4.1 基于技术、经济、环境评估结果, 采用加权求和法或 Pareto 最优解方法对方案进行多目标优化, 确定最终推荐方案。

11.4.2 分析电价波动、设备成本下降等因素对方案经济性的影响, 提供方案适应性调整建议。

## 12 规划方案实施与监测

## 12.1 实施计划制定

12.1.1 根据电网负荷增长节奏，分阶段实施储能项目建设，优先解决电压越限、峰荷紧张等紧迫问题。

12.1.2 根据规划方案确定储能技术路线（如锂电池、液流电池），选择符合 T/SDPEA 0032-2024 标准的设备。

## 12.2 项目建设与验收

12.2.1 储能系统安装应符合 GB/T 29319 的规定，电化学储能需配置消防设施、温度监测系统，满足防火防爆要求。

12.2.2 项目验收应包括设备性能测试（充放电效率、容量保持率）、电网兼容性测试（电压、谐波）等内容，确保符合规划设计要求。

## 12.3 运行监测与维护

12.3.1 配置储能监控装置，实时采集储能状态、电网运行数据，数据采样间隔  $\leq 15 \text{ min}$ ，上传至配电网自动化系统。

12.3.2 制定储能系统定期维护计划，包括电池健康状态（SOH）评估、逆变器效率测试等，确保设备运行可靠性。

---