



团 体 标 准

T/CES XXXX—XXXX

城市中低压配电网低碳规划技术导则

Technical guidelines for low-carbon planning of urban medium- and low-voltage
distribution networks

（征求意见稿）

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

中国电工技术学会

发布

目 次

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 2

4 供需预测与平衡分析 3

 4.1 一般要求 3

 4.2 电源侧发电预测 3

 4.3 负荷预测 4

 4.4 电力电量平衡 4

5 系统一次规划 4

 5.1 一般要求 4

 5.2 中压配电网架结构 5

 5.3 低压配电网架结构 5

 5.4 一次设备 6

6 系统二次规划 7

 6.1 一般要求 7

 6.2 继电保护 7

 6.3 配电自动化 7

 6.4 计量自动化系统 8

7 分布式电源、储能、充换电设施 and 用户接入 8

 7.1 一般要求 8

 7.2 分布式电源 8

 7.3 储能 8

 7.4 充换电设施 9

 7.5 用户 9

8 温室气体排放核算 9

 8.1 一般要求 9

 8.2 核算方法 9

 8.3 碳排放计算 10

9 规划分析计算要求 12

 9.1 交流电压等级 12

 9.2 直流电压等级 12

 9.3 容载比 12

 9.4 中低压交流配电网电能损耗 12

 9.5 中低压交直流混合配电网综合线损率 12

 9.6 可靠性主要指标 12

10 经济性分析与评价 13

 10.1 一般要求 13

 10.2 评估指标 13

 10.3 评估方法 13

10.4 财务评价 13

10.5 财务评价指标 13

10.6 碳成本核算 13

10.7 低碳评价 14

附 录 A（资料性） 典型网架结构示意图 15

附 录 B（资料性） 规划分析计算细则 16

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。

本文件由中国电工技术学会提出。

本文件由中国电工技术学会标准工作委员会能源智慧化工作组归口。

本文件起草单位：西安交通大学、广东电网有限责任公司、中国科学院广州能源研究所、中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司、天津天大求实电力新技术有限公司。

本文件主要起草人：赵天阳，李欣，林利祥，张晨曦，张远亮，郭子轩，罗林欢，周歧林，崔琼，莫昌明，陈浩波，张靖，张金平，陈亚，成霞，温丽丽，罗凤章，张娟，李文龙，严俊，唐军。

本文件为首次发布。

城市中低压配电网低碳规划技术导则

1 范围

本文件规定了城市中低压配电网低碳规划的供需预测与平衡分析、系统一次规划、系统二次规划、分布式电源/储能/充换电设施和用户接入、温室气体排放核算、规划分析计算要求及经济性分析与评价等内容。

本文件适用于城市中低压配电网（10kV/20kV/35kV 中压配电网和 220V/380V 低压配电网）的低碳规划设计。

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 156 标准电压
GB/T 8905 六氟化硫电气设备中气体管理和检测导则
GB/T 12325-2008 电能质量 供电电压偏差
GB/T 12326-2008 电能质量 电压波动和闪变
GB/T 13539.1 低压熔断器 第 1 部分：基本要求
GB/T 14285 继电保护和安全自动装置技术规程
GB/T 14549-1993 电能质量 公用电网谐波
GB/T 15543 电能质量 三相电压不平衡
GB/T 15544.1 三相交流系统短路电流计算 第 1 部分：电流计算
GB/T 16934-2013 电能计量柜
GB/T 17215.321-2021 电测量设备（交流） 特殊要求 第 21 部分：静止式有功电能表（A 级、B 级、C 级、D 级和 E 级）
GB 17167-2025 用能单位能源计量器具配备和管理通则
GB/T 19862-2025 电能质量监测设备通用要求
GB/T 19964-2024 光伏电站接入电力系统技术规定
GB/T 24337-2009 电能质量 公用电网间谐波
GB/T 25095-2020 架空输电线路运行状态监测系统
GB/T 29316-2012 电动汽车充换电设施电能质量技术要求
GB/T 32150-2015 工业企业温室气体排放核算和报告通则
GB/T 32151.1-2015 温室气体排放核算与报告要求 第 1 部分：发电企业
GB/T 32151.2-2015 温室气体排放核算与报告要求 第 2 部分：电网企业
GB/T 33593-2017 分布式电源并网技术要求
GB/T 35727 中低压直流配电电压导则
GB/T 36278-2018 电动汽车充换电设施接入配电网技术规范
GB/T 36547 电化学储能系统接入电网技术规定
GB/T 36558 电力系统电化学储能系统通用技术条件
GB/T 38328 柔性直流系统用高压直流断路器的共用技术要求
GB 38755 电力系统安全稳定导则

GB/T 45418-2025 配电网通用技术导则
GB 50217 电力工程电缆设计标准
GB 50613 城市配电网规划设计规范
GB/T 50966-2024 电动汽车充电站设计标准
DL/T 448-2016 电能计量装置技术管理规程
DL/T 686 电力网电能损耗计算导则
DL/T 836.1 供电系统供电可靠性评价规程 第1部分：通用要求
DL/T 1406 配电自动化技术导则
DL/T 2041 分布式电源接入电网承载力评估导则
DL/T 2432 交直流混合配电网综合评价导则
DL/T 2433 交直流混合中压配电网技术导则
DL/T 5709 配电自动化规划设计导则
DL/T 5729 配电网规划设计技术导则
DL/Z 1697 柔性直流配电系统用电压源换流器技术导则
NB/T 32004-2018 光伏并网逆变器技术规范

3 术语和定义

3.1

最大反向负载率 maximum reverse load rate

在配电网中，从低电压等级向高电压等级电网流经输变电设备的最大反向输送功率与设备运行限值的比值。

3.2

分布式电源渗透率 penetration of distributed generation

规划区域内接入相应电压等级的分布式电源装机容量占区域年该电压配电网最大全社会负荷的比例。

3.3

柔性互联装置 flexible interconnection device

采用先进的电力电子技术和通信技术，具备快速解耦控制有功功率、无功功率，或运行模式灵活切换功能，可实现有源配电网间电能高效传输和信息交互的电能路由装置。

3.4

直流配电网 DC distribution network

从输电网、发电设施、分布式电源等交流或直流电源侧接受电能，并采用直流方式与用户电气系统交换电能的配电网络。

[来源：DL/T 2433-2021，3.1]

3.5

直流变压器 DC transformer

采用变压器、电力电子器件及其监控设备、辅助设备等，实现直流电压变换的成套装置。

[来源：DL/T 2433-2021，3.5]

3.6

直流断路器 DC circuit-breaker

能够关合、承载和开断直流系统中的运行电流，并能在规定的时间内关合、承载和分断直流系统故障电流的设备。

[来源：GB/T 38328-2019，3.1，有修改]

3.7

熔断器 fuse

当电流超过规定值足够长的时间.通过熔断一个或几个成比例的特殊设计的熔体分断此电流，由此断开其所接入的电路的装置。熔断器由形成完整装置的所有部件组成。

[来源：GB/T 13539.1-2015，2.2.1]

3.8

分布式电源 distributed generation

接入 35 kV 及以下电压等级电网、位于用户附近，在 35 kV 及以下电压等级就地消纳为主的电源，包括同步发电机、异步发电机、变流器等类型电源。

注：包括太阳能、天然气、生物质能、风能、水能、氢能、地热能、海洋能、资源综合利用发电（含煤矿瓦斯发电）和储能等类型。

[来源：GB/T 33593-2017，3.1]

3.9

并网点 point of interconnection

对于有升压站的分布式电源，并网点为分布式电源升压站高压侧母线或节点；对于无升压站的分布式电源，并网点为分布式电源的输出汇总点。

[来源：GB/T 33593-2017，3.6]

3.10

孤岛 islanding

包含负荷和电源的部分电网，从主网脱离后继续孤立运行的状态。孤岛可分为非计划性孤岛和计划性孤岛。

[来源：GB/T 33593-2017，3.8]

4 供需预测与平衡分析**4.1 一般要求**

4.1.1 供需预测与平衡分析应包含预测规划期内电力负荷的需求特性及分布式电源的供给能力，并在此基础上进行电力电量平衡分析，以确定电网的增容需求、消纳能力和低碳发展路径。

4.1.2 电源侧发电预测应包括规划区内各类分布式电源的装机容量、发电量的预测，重点是光伏、风电等可再生能源。

4.1.3 负荷预测应包含传统负荷以及低碳转型下电动汽车等新型负荷的电量需求与电力负荷的预测。

4.1.4 电力电量平衡分析应通过对比电源侧供电能力和负荷侧用电需求，在电量和电力两个维度上，判断规划区的电力盈亏情况，确定电网增容、调节资源配置和低碳优化运行的需求。

4.2 电源侧发电预测**4.2.1 光伏发电预测**

光伏发电预测应符合以下要求：

a) 应开展规划区内太阳能资源分析，宜基于历史与实时数据，包括辐照度、气温等气象要素，评估太阳能资源分布特征。

b) 应基于规划区屋顶资源、闲置土地资源、太阳能资源条件，利用典型年气象数据，分析可再生能源出力的随机性、间歇性和波动性，预测分年度的装机潜力。

c) 宜基于太阳能辐照度数据、数值天气预报、历史发电数据，构建光伏发电功率预测模型，预测模型应具备可扩展性，适应数据更新和技术演进。

4.2.2 风力发电预测

风力发电预测应符合以下要求：

a) 应开展风能资源评估，分析特征参数包括气温、相对湿度、风速、风向和年可利用小时数等。

b) 应根据风能资源评估结果和风机功率特性，估算规划区风电的年发电量、等效满负荷小时数及容量系数。

c) 预测模型应充分考虑风电所处地理位置的地形条件、气候特征、风机分布以及风电历史数据积累情况的特点，采用合理的物理、统计以及组合预测模型。

4.3 负荷预测

4.3.1 传统负荷预测应基于城市经济社会发展规划、产业结构、人口增长和电气化水平等因素，预测规划区年总用电量、最大负荷。传统负荷主要包括工业负荷、商业负荷及居民负荷等，其中应特别关注高碳排放工业负荷，如钢铁、水泥、化工等高耗能行业的电力需求。

4.3.2 应考虑交通、工业等领域电能替代和清洁能源消费的推进情况，如结合电动汽车保有量，分析电动汽车充电负荷等新型负荷的增长趋势和时空分布特征。

4.3.3 可根据规划区负荷预测的数据基础和实际需求，选用三种及以上适宜的方法进行预测，并相互校核。

4.4 电力电量平衡

4.4.1 电力电量平衡应在规划区内，开展规划年典型日的电力与电量平衡分析，并明确低碳运行条件。低碳运行条件是指在电力系统运行中，为降低碳排放强度而采取的碳约束，包括但不限于优先消纳可再生能源、限制高碳排放电源、纳入碳成本等。

4.4.2 电力电量平衡应结合供需预测结果、现有配电设施容量，确定规划区为满足低碳发展所需的配电容量增容、线路新建或改造方案，并优先考虑非扩展性方案。

4.4.3 电力平衡应计及储能系统的削峰填谷能力、需求响应资源的可削减负荷、电动汽车 V2G 等灵活性调节资源对平衡的积极作用，分析规划区内可再生能源等可用装机容量是否满足电力尖峰负荷需求。

4.4.4 电量平衡应综合分析各类电源的发电量、利用率，弃风弃光率以及储能充放电效率，应评估规划期内各类电源及储能系统在低碳运行条件下的电量供应能力，是否满足时段电量需求及碳减排目标。碳减排目标是指规划期内电力系统单位供电二氧化碳排放量的下降目标，可用碳减排率表示，计算公式如(1)：

$$R_{\text{CO}_2} = \frac{E_b - E_t}{E_b} \times 100\% \quad (1)$$

式中， R_{CO_2} 为规划期碳减排率， E_b 为基准年单位供电 CO_2 排放量， E_t 为目标年单位供电 CO_2 排放量。

5 系统一次规划

5.1 一般要求

5.1.1 城市中低压配电网规划应在确定的供电区域上进行，针对不同区域的供电要求实施规划，供电区

域的划分应符合 DL/T 5729 的相关要求。10 kV 及以下交流配电网的通用技术要求应符合 GB/T 45418-2025 的规定。

5.1.2 城市中低压配电网规划应结合地区发展需求和技术经济性比较，差异化选取配电网网架结构，适应分布式电源及新型负荷高比例接入需求。

5.1.3 城市中低压配电网可根据用户需求及运行工况灵活选择开环或合环运行方式。

5.1.4 对于接入分布式电源后配电网承载力应考虑新能源、储能、设备最大反向负载率因素，承载力测算应符合 DL/T 2041 的相关规定。

5.1.5 交直流混合配电网网架结构应根据供电可靠性、运行安全性、调度操作灵活性、电能质量要求、经济性、已有交流网架等因素确定，各级配电网应相互匹配、强简有序、相互支援。

5.1.6 直流侧配电网可通过能量路由器/换流器与对应电压等级交流电网互联，也可通过直流变压器实现直流电网各层级互联。

5.1.7 直流侧配电网接入分布式电源时，可配置储能装置，其配置容量应根据技术经济分析确定。

5.2 中压配电网架结构

5.2.1 中压配电网宜形成简洁清晰的主干网及层次适度的接入网，应一体考虑标准网架、级差保护、馈线自动化配置，开展一二次协同规划设计及建设改造。

5.2.2 中压配电网应根据变电站位置、分布式电源及负荷分布情况，结合不同供电区域的供电可靠性要求，开展目标网架设计，并制定逐年过渡方案，电网结构要求应符合 DL/T 5729 的相关规定。

5.2.3 结合分布式电源渗透率及负荷特性曲线，经过技术经济比选，可应用双花瓣接线、网孔接线等新型网架结构，典型接线示意图参见附录 A。

5.2.4 中压架空线路主干线应根据负荷分布和线路长度合理分段一般分为 3 段，不宜超过 5 段，每段最大负荷不应超过 2000kW。

5.2.5 中压电缆线路宜采用环网结构，通过环网室（箱）或开关站组网。单环网的主干环网箱数量不宜超过 6 个，开关站、环网室数量不宜超过 3 个。

5.2.6 中压配电线路供电半径应根据实际负荷、线路条件、线路末端电压质量要求等因素确定。

5.2.7 对于部分源荷分布不均、可靠性需求高或供电距离较长的区域，可采用柔性互联装置进行交直流柔性互联组网，其直流侧电网结构可根据规划区域负荷特点、重要程度、不同应用场景，选择辐射式结构、单端环式结构、双端式结构、多端式结构、多端环式结构等，具体可参照 DL/T 2433 附录 B。

5.2.8 中压直流配电网的发展初期及过渡期，可根据区域供电安全水平要求，综合考虑区域负荷与分布式电源的发展情况，合理选择单端辐射状等过渡网架结构和接线方式，并考虑向终期接线方式过渡的扩展形式。

5.2.9 柔性互联装置应根据负荷分布、设备载流量、开关遮断容量、损耗等因素，经潮流计算和短路计算确定参数。柔性互联装置接入后，全部运行场景下接入点电能质量应满足 DL/T 5729 的相关规定。

5.3 低压配电网架结构

5.3.1 低压配电网实行分区供电，结构应简单，宜采用放射式结构。

5.3.2 低压支线接入方式可采用放射式、树干式和环状式。

5.3.3 城市（城镇）区域中对供电可靠性非常敏感的高档商住区、中高层住宅或重要的低压客户，可采用低压联络接线，一般开环运行。

5.3.4 为居民住宅小区、医院、学校、商场以及政府机构等用户供电的公用台区，低压开关柜宜根据供电可靠性要求，设置满足应急发电车不停电接入的接线柜（箱），在具备条件情况下宜优先选用快速接线柜（箱）。

5.3.5 偏远农村区域中由于供电距离较长导致电压偏低的台区，可采用低压直流远供技术，提升电能质量。

5.3.6 当不同配电台区能够通过功率互济促进分布式电源就近消纳或解决重过载问题，且满足互联条

件时，经过技术经济性分析后，可选用低压柔性互联装置实现台区互联。

5.4 一次设备

5.4.1 一般要求

中低压配电网交流线路、配电设备等一次设备的规划技术要求应符合 DL/T 5729 的规定。设备选型应遵循全寿命周期管理的理念和标准化、序列化、智能化的选型原则，优先采用技术成熟、节能环保、具备可扩展功能的设备，设备应通过具备相应资质机构的检测，电能质量要求较高区域宜适当提高设备的配置标准。

5.4.2 设备配置与布局原则

设备配置与布局应遵循以下原则：

- a) 容量选定：结合分布式电源发电预测与电力电量平衡分析，对于接入分布式电源后配电网设备反向负载率较高地区，设备选择应根据所需送出的容量、并网电压等级、分布式电源发电效率等因素，按持续极限输送容量一次选定，符合 DL/T 5729 的规定。
- b) 布局要求：能量路由器、换流器、直流变压器等核心设备的配置宜靠近负荷中心且户内安装。
- c) 冗余配置：为可靠性要求较高的直流负荷供电时，换流器或直流变压器宜采用 N-1 配置；当任意一台设备退出运行，其余设备容量宜满足重要负荷供电要求，符合 DL/T 2433 的规定。

5.4.3 开关设备选型

直流侧开关选型应与换流器/直流变压器配合，换流器/直流变压器不具备故障穿越能力时，宜选用直流断路器。

5.4.4 联结变压器

联结变压器的配置应符合 DL/T 2433 的规定，并满足以下要求：

- a) 配置原则：交流侧与直流侧压差较大或有电气隔离需求时，应配置联结变压器。
- b) 容量选择：容量应根据换流器额定容量确定，并计及变压器损耗及站用电负荷需求。
- c) 接线方式：绕组接线方式宜根据系统交流接地方式、谐波治理及电能质量要求综合选择。
- d) 电压匹配：一次侧与二次侧电压应分别与交流网侧电压和换流器交流出口电压相匹配。

5.4.5 换流器

换流器的技术性能应符合 DL/Z 1697 的规定，选型及配置应满足以下要求：

- a) 选型原则：宜选用电压源型换流器。对于已接入或规划接入储能、分布式电源等有功率外送需求的有源直流配电网，宜选用双向换流器；对于仅接入直流负荷、无功率外送需求的无源直流配电网，可选用单向换流器。
- b) 功能要求：应用于有源直流配电网时，换流器应具备有功功率控制、直流电压控制、交流电压/无功控制及高/低电压穿越能力。
- c) 容量配置：容量应根据最大交换容量选择，并具备一定的过载能力和冗余度。

5.4.6 能量路由器

能量路由器的功能及性能应符合 DL/T 2433 的规定，并满足以下要求：

- a) 端口配置：应配置 3 个及以上电能端口，具备交直流电能变换及电气参数（幅值、相位、频率）调节能力。
- b) 运行模式：应具备并网、孤岛运行模式及其平滑切换功能。
- c) 保护配合：应具备内外部故障感知、隔离及自保护功能，并能与系统继电保护装置协调配合。

5.4.7 直流变压器

直流变压器的选型应符合 DL/T 2433 的规定，并满足以下要求：

- a) 容量配置：容量应根据最大交换容量并预留一定裕度确定。综合考虑技术经济性，大容量需求场景可采用多台直流变压器并联运行。
- b) 选型原则：有双向功率交换需求的场景，应选用双向直流变压器。
- c) 功能要求：应具备电压调节能力，必要时应具备电气隔离功能。

5.4.8 直流断路器

直流断路器的选型应符合 DL/T 2433 的规定，并满足以下要求：

- a) 参数选择：应根据系统额定电压、额定电流、短路电流水平及故障清除时间要求进行选择。
- b) 类型选择：直流配电网宜优先选用混合型直流断路器；当混合型断路器的开断时间无法满足系统稳定性或故障处理需求时，应选用全固态直流断路器。
- c) 功能配置：对于供电连续性要求较高的场合，宜具备重合闸功能。基于电压源型换流器的直流系统，断路器开断时间宜满足系统快速保护的要求（通常不大于 5ms）。

5.4.9 直流熔断器

直流熔断器的配置应符合 DL/T 2433 的规定，并满足以下要求：

- a) 配合要求：熔断器作为保护电器时，应与隔离电器（如刀开关）配合使用。
- b) 选型原则：宜选用直流型且具备快速开断特性的产品。可应用于拓扑结构简单、保护选择性要求不高但对经济性要求较高的场合，或作为直流断路器的后备保护。
- c) 状态监测：必要时宜选用带有报警触点或状态指示的熔断器。

5.4.10 直流线路

直流线路的设计与敷设应符合 GB 50217 及 DL/T 2433 的规定，并满足以下要求：

- a) 截面选择：导线截面应根据电压等级、规划载流量、允许电压偏差、故障运行方式及远期供电裕度综合确定。
- b) 型式选择：可根据环境条件选用直流电缆或架空线路。
- c) 旧线利用：在配电网改造区域，利用现有交流线路传输直流电能时，须对线路绝缘状态及载流量进行评估，评价合格后方可利用。

6 系统二次规划

6.1 一般要求

6.1.1 为支撑城市中低压配电网低碳发展，应在配电网一次规划的基础上考虑继电保护装置、协调控制装置、配电通信网等数字化、智能化的要求，继电保护装置、自动化系统、通信系统建设和改造应与电网一次系统统一规划，同步建设、同步投运。

6.1.2 二次系统规划应适应配电网低碳运行特征，支撑一次网架灵活调节。

6.1.3 大量分布式电源及新型负荷分散接入时，可采用分布式电源即插即用并网接口装置，可实现继电保护及安全自动化、数据采集、协调控制等功能。

6.1.4 新建的分布式新能源发电及储能项目应能实现“可观、可测、可调、可控”，已建成具备条件的分布式新能源项目宜实现“可观、可测、可调、可控”。

6.1.5 电力二次系统安全防护应符合现行国家信息安全的相关条例和规定、电力监控系统安全防护相关规定要求。

6.2 继电保护

6.2.1 继电保护装置应参照 GB/T 14285 的要求配置，满足系统可靠性，选择性，灵敏性和速动性要求。

6.2.2 分布式电源接入配网，应配置防孤岛保护，并具备迅速检测孤岛且立即转为独立运行模式的能力。

6.2.3 当分布式电源接入导致配电自动化无法准确故障定位时，配电自动化主站和终端均应具备故障电流方向判别功能。

6.2.4 综合考虑分布式电源等新型源荷接入要求，宜在传统二次设备中增加测量、计量、继保、监测、控制等功能，采用成熟的一二次融合设备，提升配电设备运行水平和运维质量与效率。

6.2.5 当配电网中装有柔性互联装置时，继电保护的整定定值应与互联装置的限流值相匹配。

6.3 配电自动化

6.3.1 配电自动化规划设计应符合 DL/T 1406、DL/T 5709 等相关标准的规定。

6.3.2 配电自动化应通过对配电网的监测和控制，在满足配电网调度运行和抢修指挥等业务需求下，支撑配电网低碳运行，并为配电网规划设计工作提供基础数据信息。

6.3.3 应根据配电网低碳规划可靠性需求、网架结构和设备状况，合理选用配电设备信息采集形式及终端类型。

6.3.4 对分布式电源、储能、充换电设施接入后导致变压器正向重过载或者返送的地区，宜增设协调控制系统。协调控制应具备控制、保护、测量、监视、通信等功能，通过协调控制分布式电源、储能以及可控负荷，实现有源配电网安全稳定、经济化运行。

6.3.5 在用户侧部署控制终端，宜进行园区/居民区级源网荷储一体化建设，提升用户侧就地平衡能力和对主网的主动支撑能力。

6.4 计量自动化系统

6.4.1 计量自动化系统应逐步实现“全覆盖、全采集”，宜通过信息交互实现供电可靠性和电压质量统计到户。

6.4.2 智能电能表应具备电能质量与停电监测所需信息的采集及上传功能。

6.5 配电通信网

6.5.1 配电通信网建设应遵循“因地制宜、适度超前、统一规划、分步实施”的原则，并纳入配电网规划，与配电网规划同步规划、同步建设、同步投产，满足配电网生产管理业务的需求。

6.5.2 配电通信网规划建设应统筹考虑配电自动化、计量自动化、分布式电源、电动汽车充换电站及储能装置站点等各类业务发展要求，各地区制定统一的配电通信网规划。

6.5.3 应根据实施配电自动化区域的具体情况选择合适的通信方式（光纤、无线、载波通信等），采用经济、灵活、适用、先进、成熟、标准的技术原则，充分利用公网通信等现有资源。

7 分布式电源、储能、充换电设施和用户接入

7.1 一般要求

7.1.1 应保障电网安全稳定运行和分布式电源消纳，并满足相关国家、行业技术规定相关标准。

7.1.2 应具备并网保护与控制、监测与通信能力，满足低/高电压穿越、频率异常响应、无功电压支撑与需求响应等并网要求。

7.1.3 接入配电网设计应遵循资源节约、环境友好、新技术、新材料、新工艺的原则。

7.2 分布式电源

7.2.1 分布式电源按照类型主要包括变流器类型分布式电源、异步发电机类型分布式电源及同步发电机类型分布式电源；并网保护配置防孤岛、过/欠压、过/欠频、反送电等；光伏并网应满足 GB/T 19964-2024 的技术要求。

7.2.2 分布式电源应具备功率爬坡率限制、无功/电压控制和 LVRT/HVRT 能力，应满足 GB/T 19964-2024、NB/T 32004-2018 的技术要求。

7.2.3 分布式电源并网点电能质量与谐波电压应满足按 GB/T 14549-1993 的要求及并网点短路容量校核；并网前完成型式/现场测试与保护定值校验。

7.3 储能

7.3.1 电化学储能电站并网点电能质量与谐波电压应满足 GB/T 14549-1993 的要求，间谐波电压应满足 GB/T 24337-2009 的要求，电压波动和闪变应满足 GB/T 12326-2008 的要求，电压偏差应满足 GB/T 12325-2008 的要求，三相电压不平衡应满足 GB/T 15543 的要求，直流分量不应超过交流额定值的 0.5%。

7.3.2 压缩空气储能电站并网点谐波值应满足 GB/T 14549-1993 的要求, 间谐波应符合 GB/T 24337-2009 的要求, 电压偏差应符合 GB/T 12325-2008 的要求, 电压波动应符合 GB/T 12326-2008 的要求, 电压不平衡度应符合 GB/T 15543 的要求。压缩空气储能电站宜装设满足 GB/T 19862-2025 要求的电能质量监测装置;当压缩空气储能电站的电能质量指标不满足要求时,应安装电能质量治理设备。

7.3.3 氢储能电站的接入电网应符合 GB/T 36547 的要求, 电站设备应符合 GB/T 36558 的要求, 电力系统运行应符合 GB 38755 的相关要求。

7.4 充换电设施

7.4.1 电动汽车充换电站设计方案应满足 GB/T 50966-2024 的技术要求, 接入电网应满足 GB/T 36278-2018 的技术要求, 并网点电能质量应满足 GB/T 29316-2012、GB/T 12325-2008、GB/T 12326-2008、GB/T 14549-1993、GB/T 15543、GB/T 24337-2009 的要求。

7.5 用户

7.5.1 应对高碳排放用户进行识别与管理, 钢铁冶金、电解有色、水泥、化工/煤化工、炼油、造纸、高 PUE 数据中心、大型制冷负荷、矿山等应开展能耗与碳排放评估, 建立计量与监测, 应按 GB 17167-2025 标准执行。

7.5.2 高碳排放用户应配置功率因数校正与谐波治理, 落实分时/容量电价与有序用电, 优先采用电气化与高效设备; 鼓励绿电与储能协同降碳, 按地方电网并网技术规定落实。

8 温室气体排放核算

8.1 一般要求

8.1.1 本文件核算和报告的温室气体以二氧化碳(CO₂)为主。在城市中低压配电网规划的典型场景下, 因其他温室气体(如 CH₄、N₂O 等)排放占比极小, 可忽略不计; 设备运行与维护过程中涉及的六氟化硫(SF₆)排放, 应折算为二氧化碳当量(CO₂e)纳入核算, SF₆的全球变暖潜势(GWP)值取 23 900, 与 GB/T 32151.2-2015 保持一致; 国家主管部门另有规定时, 从其规定。

8.1.2 温室气体排放核算和报告的一般原则应符合 GB/T 32150-2015 的规定, 开展电碳因子和电力碳排放量核算工作还应满足以下四个要求:

- a) 科学性: 采用的碳排放因子计算方法科学有效, 减少方法的不确定性和系统误差;
- b) 完整性: 应适用于不同核算周期的电网企业碳排放因子计算, 计算过程应考虑相关的电力碳排放源;
- c) 规范性: 数据选取过程和碳排放因子计算流程规范;
- d) 可操作性: 具有普遍适用性, 可直接根据本标准开展电碳因子和电力碳排放量核算工作。

8.1.3 计算电碳因子所需的各类数据应满足以下三个要求:

- a) 来源明确, 有公信力;
- b) 适用性强, 数据处理难度小;
- c) 时效性强。

8.1.4 电量的测量方法和计量设备标准应遵循 GB/T 16934-2013、GB 17167-2025、GB/T 17215.321-2021、GB/T 25095-2020 和 DL/T 448-2016 的相关规定, 电量以兆瓦时为单位, 电碳因子以吨二氧化碳每兆瓦时为单位。

8.1.5 本文件规定的碳排放核算范围包括:

- a) 分布式电源侧碳排放;
- b) 配电网网络侧运营碳排放;
- c) 配电网规划区域内用户侧碳排放。

8.2 核算方法

8.2.1 中低压配电网碳排放组成

中低压配电网规划区域内的碳排放包括分布式电源侧光伏组件全生命周期碳排放、化石燃料燃烧产生的二氧化碳排放和脱硫过程产生的二氧化碳排放、配电网侧输配电损失电量对应的购入电力二氧化碳排放和六氟化硫排放，以及用户侧终端用电对应的二氧化碳排放。

8.2.2 中低压配电网规划区域二氧化碳总排放量按公式(2)进行计算：

$$E = E_{\text{分布式}} + E_{\text{配电网}} + E_{\text{用户}} \quad (2)$$

式中：

E ——中低压配电网二氧化碳总排放量，单位为吨二氧化碳（tCO₂）；

$E_{\text{分布式}}$ ——分布式电源产生的二氧化碳排放量，包括光伏组件全生命周期碳排放、化石燃料燃烧和脱硫过程产生的二氧化碳排放量，单位为吨二氧化碳（tCO₂）；

$E_{\text{配电网}}$ ——中低压配电网产生的二氧化碳排放量，包括输配电损失电量对应的购入电力二氧化碳排放和六氟化硫排放，单位为吨二氧化碳（tCO₂）；

$E_{\text{用户}}$ ——用户侧二氧化碳排放量，单位为吨二氧化碳（tCO₂）。

8.2.3 分布式电源产生的二氧化碳排放量按公式(3)进行计算：

$$E_{\text{分布式}} = E_{\text{光伏}} + E_{\text{燃烧}} + E_{\text{脱硫}} \quad (3)$$

式中：

$E_{\text{光伏}}$ ——光伏组件全生命周期碳排放，单位为吨二氧化碳（tCO₂）；

$E_{\text{燃烧}}$ ——化石燃料燃烧产生的二氧化碳排放量，单位为吨二氧化碳（tCO₂）；

$E_{\text{脱硫}}$ ——脱硫过程产生的二氧化碳排放量，单位为吨二氧化碳（tCO₂）。

8.2.4 中低压配电网产生的二氧化碳排放量按公式(4)进行计算：

$$E_{\text{配电网}} = E_{\text{购入}} + E_{\text{六氟化硫}} \quad (4)$$

式中：

$E_{\text{购入}}$ ——输配电损失电量对应的购入电力二氧化碳排放量，单位为吨二氧化碳（tCO₂）；

$E_{\text{六氟化硫}}$ ——设备修理、退役过程产生的六氟化硫排放量，单位为吨二氧化碳当量（tCO₂e）。

8.2.5 用户侧二氧化碳排放量为规划区域内用户终端用电量中由上级电网供给部分所对应的间接排放，计算方法见 8.3.3。由规划区域内分布式电源供给用户的电量，其排放已计入分布式电源侧，不再重复计入用户侧。

8.3 碳排放计算

8.3.1 分布式电源

a) 光伏组件全生命周期的二氧化碳排放

光伏组件产品的系统边界至少应包括原辅材料获取加工阶段、生产阶段、分销与安装阶段、使用阶段及生命末期阶段。

光伏组件全生命周期二氧化碳排放量按公式(5)计算：

$$E_{\text{光伏}} = \sum_i Q_{\text{光伏},i} \times EF_{\text{光伏},i} \quad (5)$$

式中：

$Q_{\text{光伏},i}$ ——第 i 个光伏项目在核算期内的发电量，单位为兆瓦时（MWh）；

$EF_{\text{光伏},i}$ ——第 i 个光伏项目的全生命周期碳排放因子，单位为吨二氧化碳当量每兆瓦时（tCO₂e/MWh），宜优先采用经第三方核证的产品碳足迹数据，缺乏数据时可参考注中数值选取。

注：政府间气候变化专门委员会（IPCC）第五次评估报告给出的屋顶光伏、地面光伏全生命周期温室气体排放中位值分别约为 0.041 tCO₂e/MWh 和 0.048 tCO₂e/MWh。

b) 燃料燃烧产生的二氧化碳排放

燃料燃烧引起的二氧化碳排放量按不同化石燃料燃烧产生的二氧化碳排放量的加总计算，应满足 GB/T 32151.1-2015 的技术要求。

化石燃料燃烧产生的二氧化碳排放量按公式(6)计算：

$$E_{\text{燃烧}} = \sum_i \left(FC_i \times NCV_i \times CC_i \times OF_i \times \frac{44}{12} \right) \quad (6)$$

式中：

FC_i ——第 i 种化石燃料的消耗量，单位为吨 (t) 或万标准立方米 (10^4 Nm^3)；

NCV_i ——第 i 种化石燃料的平均低位发热量，单位为吉焦每吨 (GJ/t) 或吉焦每万标准立方米 (GJ/ 10^4 Nm^3)；

CC_i ——第 i 种化石燃料的单位热值含碳量，单位为吨碳每吉焦 (tC/GJ)；

OF_i ——第 i 种化石燃料的碳氧化率，%；

44/12——二氧化碳与碳的相对分子质量之比。

燃料消耗量应以计量数据为准；平均低位发热量、单位热值含碳量和碳氧化率宜采用实测值，无实测值时可采用 GB/T 32151.1-2015 给出的缺省值。

c) 脱硫过程产生的二氧化碳排放

脱硫过程产生的二氧化碳排放量按不同脱硫剂消耗产生的二氧化碳排放量的加总计算，应满足 GB/T 32151.1-2015 的技术要求。

脱硫过程产生的二氧化碳排放量按公式(7)计算：

$$E_{\text{脱硫}} = \sum_k (B_k \times I_k \times EF_k) \quad (7)$$

式中：

B_k ——第 k 种脱硫剂的消耗量，单位为吨 (t)；

I_k ——第 k 种脱硫剂中碳酸盐的质量分数，%；

EF_k ——第 k 种碳酸盐的排放因子，单位为吨二氧化碳每吨 (tCO_2/t)，碳酸钙 (CaCO_3) 取 0.440，碳酸镁 (MgCO_3) 取 0.522，碳酸钠 (Na_2CO_3) 取 0.415。

8.3.2 中低压配电网

中低压配电网侧的碳排放是输配电损失电量所对应的电力生产环节产生的二氧化碳排放量，以及设备修理、退役过程产生的六氟化硫排放量，按输配电损失电量乘以电网平均二氧化碳排放因子计算。

购入电力对应的二氧化碳排放量按公式(8)计算：

$$E_{\text{购入}} = Q_{\text{损}} \times EF_{\text{电网}} \quad (8)$$

式中：

$Q_{\text{损}}$ ——规划区域中低压配电网输配电损失电量，单位为兆瓦时 (MWh)，可按供电量与售电量之差确定，或按 DL/T 686 计算；

$EF_{\text{电网}}$ ——电网平均二氧化碳排放因子，单位为吨二氧化碳每兆瓦时 (tCO_2/MWh)，应采用国家主管部门最新公布的全国或区域电网平均二氧化碳排放因子。

设备修理、退役过程产生的六氟化硫排放量按 GB/T 32151.2-2015 的规定，按公式(9)计算：

$$E_{\text{六氟化硫}} = \left[\sum_i (REP_{\text{cap},i} - REP_{\text{recy},i}) + \sum_j (RET_{\text{cap},j} - RET_{\text{recy},j}) \right] \times GWP_{\text{SF}_6} \times 10^{-3} \quad (9)$$

式中：

$REP_{\text{cap},i}$ ——第 i 台修理设备的六氟化硫容量 (铭牌值)，单位为千克 (kg)；

$REP_{\text{recy},i}$ ——第 i 台修理设备在修理过程中的六氟化硫回收量，单位为千克 (kg)；

$RET_{\text{cap},j}$ ——第 j 台退役设备的六氟化硫容量 (铭牌值)，单位为千克 (kg)；

$RET_{\text{recy},j}$ ——第 j 台退役设备在退役过程中的六氟化硫回收量，单位为千克 (kg)；

GWP_{SF_6} ——六氟化硫的全球变暖潜势，取 23 900。

六氟化硫气体的回收、检测和管理应符合 GB/T 8905 的规定。

8.3.3 用户侧

用户侧二氧化碳排放量按公式(10)计算：

$$E_{\text{用户}} = (Q_{\text{用户}} - Q_{\text{本地}}) \times EF_{\text{电网}} \quad (10)$$

式中：

$Q_{\text{用户}}$ ——规划区域内用户终端用电量，单位为兆瓦时（MWh）；

$Q_{\text{本地}}$ ——规划区域内分布式电源向用户供给的电量（含自发自用电量），单位为兆瓦时（MWh）；

$EF_{\text{电网}}$ ——电网平均二氧化碳排放因子，取值同公式(8)。

注：用户通过绿色电力交易购入并取得绿色电力证书的电量，可按国家有关规定核减其对应排放。

9 规划分析计算要求

9.1 交流电压等级

9.1.1 城市配电网电压等级的设置应符合 GB/T 156 的有关规定。中压配电网可选用 10kV 和 20kV 的电压等级；低压配电网可选用 220V/380V 的电压等级。根据城市负荷增长，中压配电网可扩展至 35kV。

9.1.2 城市配电网的变压层次不宜超过 3 级。

9.2 直流电压等级

9.2.1 直流配电网直流电压的选择应充分考虑与交流电网的衔接、用户接入的实际需求、供电能力约束、设备发展水平、投资经济性、网架发展需求、电网运行经验、分布式电源及各类负荷接入需求等因素，尽量简化电压层级序列，避免重复降压与反复的交直流功率变换。

9.2.2 直流配电网直流电压等级的选择应符合 GB/T 35727 的规定。直流标称电压在 $\pm 50\text{kV}$ 及以下时，标称电压应按附录 B 表 B.1 的规定确定。中压层级宜选取 1~2 个直流电压等级，低压层级根据用户、分布式电源等实际接入需求可选取 1~2 个直流电压等级，具体电压等级优选值及备选值参见附录 B 表 B.1。

9.3 容载比

9.3.1 容载比是评价城市供电区电力供需平衡和安排变电站布点的重要依据。实际应用中容载比的计算方法应按 GB 50613 的规定执行。

9.3.2 规划编制中，高压配电网的容载比，可按照规划的负荷增长率在 1.8~2.2 范围内选择。当负荷增长较缓慢时，容载比取低值，反之取高值。

9.4 中低压交流配电网电能损耗

交流配电网元件（线路、变压器、电容器等）损耗及电力网电能损耗的计算，应符合 DL/T 686 的有关规定。详细计算要求及分类见附录 B.2。

9.5 中低压交直流混合配电网综合线损率

中低压交直流混合配电网综合线损率的计算（含配电网、中低压配电网及直流配电网综合线损率），应符合 DL/T 2432 的有关规定。

9.6 可靠性主要指标

中低压交直流混合配电系统的可靠性评价指标（如系统平均停电时间、平均供电可靠率、综合电压合格率等）的计算与评价，应符合 DL/T 836.1 的有关规定。

9.7 短路电流计算方法

三相交流系统的短路电流计算应采用等效电压源法，不对称故障应采用对称分量法进行计算，并符合 GB/T 15544.1 的有关规定。

当计算中包含分布式电源或其他并网电源时，应根据其电源类型、并网方式、控制策略、故障穿越能力以及保护特性，确定其对短路电流的影响。基于全功率变流器的分布式电源，在正序网络中通常按照电流源建模，其电源电流值依据短路类型确定。

具体的等效电压源设置、模型参数及计算公式详见附录 B.3。

10 经济性分析与评价

10.1 一般要求

配电网规划项目的技术经济分析应符合 DL/T 5729 的规定。应对各备选方案进行技术比较、经济分析和效果评价，评估规划项目在技术、经济上的可行性及合理性，为投资决策提供依据。低碳效益应作为方案比选的重要内容，碳排放量按第 8 章核算，碳成本按 10.6 计入全寿命周期成本，低碳评价按 10.7 开展。

10.2 评估指标

技术经济评估指标的选取应符合 DL/T 5729 的规定，主要包括供电能力、供电质量、效率效益、分布式电源接入承载力及全寿命周期成本（含碳成本）及低碳水平等。在评估过程中，应寻求供电可靠性、碳排放量和全寿命周期成本的最佳组合，并宜根据实际需求选用以下两种评估方式：

a) 定额择优：在给定投资额度的条件下，选择供电可靠性和碳减排效益均衡最优的方案，适用于投资规模已确定或资金受限的场景，如存量配电网升级改造、年度投资计划项目安排等；

b) 定标择优：在给定供电可靠性和碳减排目标的条件下，选择全寿命周期成本最小的方案，适用于供电可靠性和碳减排目标已由上位规划或政策明确的场景，如城市新区、低碳（零碳）示范园区建设及高比例分布式电源接入区域规划等。

10.3 评估方法

技术经济分析评估方法的选择应符合 DL/T 5729 的规定。

a) 最小费用评估法：宜用于确定各个规划项目的投资规模及相应的分配方案。

b) 收益/成本评估法：宜用于新建项目的评估。

c) 收益增量/成本增量评估法：宜用于新建或改造项目的评估。

10.4 财务评价

在技术经济分析的基础上，应进行财务评价。财务评价应根据企业当前的经营状况，合理设定折旧率、贷款利息等计算参数，采用财务内部收益率法、财务净现值法、年费用法、投资回收期法等方法，分析配电网规划期内的经济效益。财务评价宜计及碳成本以及碳排放权交易、绿色电力证书等低碳相关收益。

10.5 财务评价指标

财务评价指标的计算应符合 GB 50613 的规定。主要包括财务内部收益率、财务净现值、投资回收期、资产负债率、投资利润率、投资利税率、资本金利润率。财务评价以定量分析、动态分析为主。动态分析方法主要有财务内部收益率法、财务净现值法、年费用法、动态投资回收期法等。

10.6 碳成本核算

10.6.1 全寿命周期成本应计入规划方案的碳成本，碳成本按公式(11)计算：

$$C_{\text{碳}} = \sum_{t=1}^N \frac{E_t \times p_t}{(1+r)^t} \quad (11)$$

式中：

- $C_{\text{碳}}$ ——规划方案全寿命周期碳成本现值，单位为万元；
 E_t ——规划方案第 t 年的二氧化碳排放量，按公式(2)计算，单位为吨二氧化碳（tCO₂）；
 p_t ——第 t 年的碳价，单位为万元每吨二氧化碳（万元/tCO₂）；
 r ——折现率；
 N ——全寿命周期年限，单位为年。

10.6.2 碳价宜采用全国碳排放权交易市场近期成交均价，也可采用规划确定的影子碳价，并宜对碳价变化开展敏感性分析。

10.7 低碳评价

10.7.1 城市中低压配电网低碳规划方案应开展低碳评价，评价指标宜包括：

- a) 二氧化碳排放总量：按公式(2)计算；
- b) 单位供电量二氧化碳排放强度：规划区域二氧化碳排放总量与供电量之比，单位为吨二氧化碳每兆瓦时（tCO₂/MWh）；
- c) 碳减排率：按公式(1)计算；
- d) 分布式可再生能源渗透率及利用率：渗透率按 3.2 计算，利用率为分布式可再生能源实际发电量与可发电量之比；
- e) 综合线损率：按 9.5 计算；
- f) 灵活性资源调节能力：储能、需求响应、电动汽车 V2G 等可调节容量占规划区域最大负荷的比例。

10.7.2 低碳评价结果应与技术经济评估结果共同作为规划方案比选的依据，推荐方案应满足规划区域确定的碳减排目标。

附录 A
(资料性)
典型网架结构示意图

A.1 网孔接线模式

网孔接线模式主要应用于分布式电源渗透率较高或对灵活性要求较高区域的 10（20）千伏中压网架，支持电缆网与架空网的多种互联形式，其典型接线示意图见图 A.1。

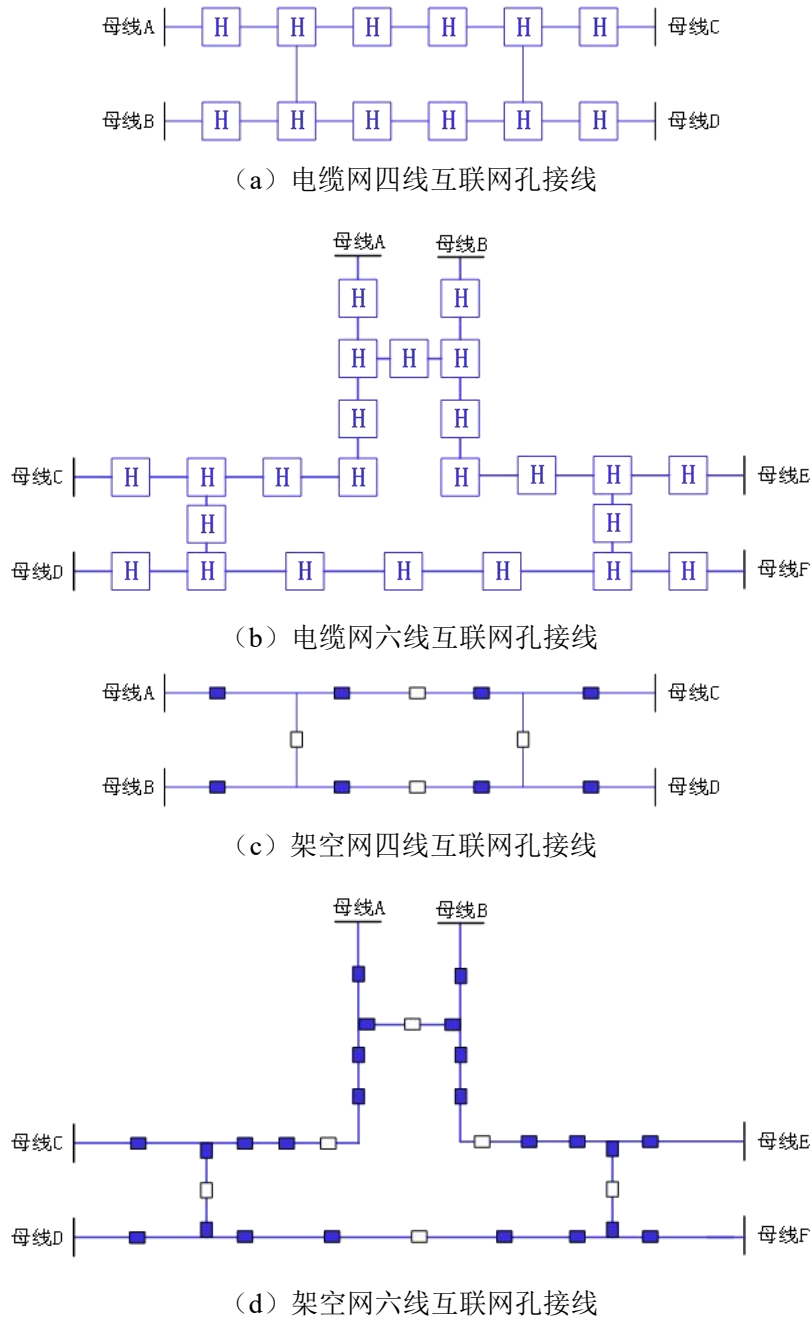


图 A.1 网孔接线示意图

附录 B
(资料性)
规划分析计算细则

B.1 直流电压等级推荐值

直流配电网电压等级的选择参考值如表 B.1 所示。

表 B.1 直流电压等级推荐表

电压范围	推荐值 /kV	备选值 /kV
中压配电电压等级		±50
	±35	
		±20
	±10	
		±6
	±3	
	3 (±1.5)	
低压配电电压等级	1.5 (±0.75)	
		1
	0.75 (±0.375)	
		0.4
	0.22 (±0.11)	
		0.11
注 1：未标正负号的电压值对应单极性直流线路，标正负号的电压值对应双极性直流线路。		
注 2：建议在未来新建系统中优先采用优选值。		

B.2 电能损耗计算细则

依据 DL/T 686，交流配电网电能损耗计算包括以下内容：

- a) 元件电能损耗：包括三相架空线、三相电缆、变压器、调相机、电容器、电抗器及辅助元件的电能损耗计算。
- b) 电力网电能损耗：涵盖中压和低压配电网层级的整体损耗计算。

B.3 短路电流计算模型与公式

依据 GB/T 15544.1，短路电流计算的具体模型要求如下：

B.3.1 短路点等效电压源

短路点处应设置唯一的等效电压源，其电压幅值应按公式(B.1)确定：

$$U_e = cU_n / \sqrt{3} \quad (\text{B.1})$$

式中：

U_e ——等效电压源幅值（kV）；

U_n ——系统标称电压（kV）；

c ——电压系数。

计算时，系统中同步发电机、同步电动机及异步电动机等其他有源元件的电动势均应置为零，并用其内部阻抗表示。

B.3.2 对称分量法的应用

对于不对称短路故障，计算模型应满足以下要求：

a) 参数对称性假定：除不对称故障点外，电气设备及网络结构应按三相对称处理，各序阻抗参数的确定应符合 GB/T 15544.1 的规定。

b) 线路模型简化：对于未换位的输配电线路，在满足工程计算精度要求的前提下，可按三相平衡结构进行建模计算。

B.3.3 分布式电源及变流器型电源模型

a) 基于全功率变流器的分布式电源，如分布式光伏、全功率变流器风电机组等，在正序系统中按电流源建模，正序并联阻抗取无穷大，电源电流值应根据短路类型确定，并由制造商提供。

b) 计算不对称短路电流时，基于全功率变流器的分布式电源负序阻抗应根据设备设计和控制策略确定，并由制造商提供，机端零序阻抗取无穷大，升压或并网变压器高压侧零序阻抗应根据变压器型号及接地方式确定。

c) 非变流器型分布式电源可按 GB/T 15544.1 中相应电源或电机模型处理。