

SJG

深圳市工程建设地方标准

SJG 194 – 2025

建筑光储直柔工程技术规程

Technical specification for photovoltaics, energy storage,
direct current and flexibility engineering in buildings

2025-04-30 发布

2025-08-01 实施

深 圳 市 住 房 和 建 设 局 发 布

深圳市工程建设地方标准

建筑光储直柔工程技术规程

Technical specification for photovoltaics, energy storage,
direct current and flexibility engineering in buildings

SJG 194 – 2025

2025 深圳

前　　言

根据《深圳市住房和建设局关于发布 2023 年深圳市工程建设标准制订修订计划项目的通知》的要求，标准编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国内外先进标准，结合深圳市的实际，并在广泛征求意见的基础上，编制了本规程。

本规程主要技术内容是：1.总则；2.术语；3.基本规定；4.工程设计；5.工程施工与验收；6.运行维护。

本规程由深圳市住房和建设局批准发布，由深圳市住房和建设局业务归口并组织深圳市建筑科学研究院股份有限公司等编制单位负责技术内容的解释。本规程实施过程中如有意见或建议，请寄送深圳市建筑科学研究院股份有限公司（地址：深圳市福田区梅林梅坳三路 29 号建科大楼，邮编：518049），以供今后修订时参考。

本 标 准 主 编 单 位：深圳市建筑科学研究院股份有限公司

本 标 准 参 编 单 位：深圳市房地产和城市建设发展研究中心

　　　　　　深圳市建设科技促进中心

　　　　　　深圳供电局有限公司

　　　　　　深圳市建筑工务署

　　　　　　中国科学院深圳先进技术研究院

　　　　　　北京交通大学

　　　　　　深圳大学

　　　　　　深圳市建筑设计研究总院有限公司

　　　　　　香港华艺设计顾问（深圳）有限公司

　　　　　　深圳市天华建筑设计有限公司

　　　　　　中建科工集团有限公司

　　　　　　中建科技集团有限公司

　　　　　　深圳市燃气集团股份有限公司

　　　　　　深圳凯盛科技工程有限公司

　　　　　　衡阳瑞达电源有限公司

　　　　　　浙江正泰电器股份有限公司

　　　　　　南京国臣直流配电科技有限公司

　　　　　　固德威技术股份有限公司

　　　　　　清华大学深圳国际研究生院

　　　　　　深圳德方建筑科技有限公司

　　　　　　深圳市中电电力技术股份有限公司

　　　　　　北建院建筑设计（深圳）有限公司

　　　　　　深圳市电子院设计顾问有限公司

　　　　　　青岛北方储能电气有限公司

本标准主要起草人员：郝 斌 邓志辉 陈家杨 赵宇明 童亦斌

冯 威 袁茂钦 邓梓荃 廖 昕 傅勇平

金庆友 沈旺旺 袁 媛 滕 伟 娄 晶

王帮乐 陈文波 张可男 李 坤 刘兆勇

林常青 代洪兵 陈小青 赵光华 陆元元
张伟 张哲旭 李天云 张志聪 汪道玲
王慧龙 张保 张强 刘相前 刘俊跃
本标准主要审查人员：王盛卫 甘胜保 孙逊 周名嘉 李琼
张凡 刘刚

目 次

1 总则.....	1
2 术语.....	2
3 基本规定.....	3
4 工程设计.....	4
4.1 一般规定.....	4
4.2 柔性设计与负荷计算.....	5
4.3 建筑光伏设计.....	5
4.4 建筑储能设计.....	5
4.5 直流配电设计.....	6
4.6 监测与控制设计.....	8
5 工程施工与验收.....	9
5.1 一般规定.....	9
5.2 工程施工.....	9
5.3 竣工验收.....	9
6 运行维护.....	11
附录 A 光储直柔能量平衡动态计算.....	12
附录 B 光储直柔工程验收记录表.....	16
本标准用词说明.....	19
引用标准名录.....	20
附：条文说明.....	21

Contents

1	General Provisions.....	1
2	Terms.....	2
3	Basic Regulations.....	3
4	Engineering Design.....	4
4.1	General Requirements.....	4
4.2	Flexibility Design and Load Calculation.....	5
4.3	Building Photovoltaics Design.....	5
4.4	Building Energy Storage Design.....	5
4.5	Direct Current Power Distribution Design.....	6
4.6	Monitoring and Control.....	8
5	Engineering Construction and Acceptance.....	9
5.1	General Requirements.....	9
5.2	Engineering Construction.....	9
5.3	Engineering Acceptance.....	9
6	Operations Maintenance.....	11
Appendix A	Dynamic Calculation.....	12
Appendix B	Engineering Acceptance Record Sheet.....	16
Explanation of Wording in This Standard.....		19
List of Quoted Standards.....		20
Addition: Explanation of Provisions.....		21

1 总 则

1.0.1 为贯彻落实国家碳达峰、碳中和的发展战略，降低建筑碳排放强度，助力新型电力系统建设，推广建筑光储直柔技术，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于建筑光储直柔工程的设计、施工与验收、运行维护。

1.0.3 建筑光储直柔工程除应符合本规程外，尚应符合现行国家、广东省、深圳市有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 光储直柔 photovoltaics, energy storage, direct current and flexibility (PEDF)

配置建筑光伏和建筑储能，采用直流配电系统，且具备功率主动响应功能的新型建筑能源系统。

2.0.2 直流微电网 direct current microgrid

由分布式发电、储能、用电负荷、监控、保护和自动化装置等组成，内部电能采用直流母线传输，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。

2.0.3 建筑取电功率 power intake from grid

建筑使用过程中由电网输入的电功率。

2.0.4 用电柔性 demand flexibility

根据电力交互需求对用电功率和用电量进行调节的能力，分为设备用电柔性和建筑用电柔性。

2.0.5 建筑用电柔性 building energy flexibility

通过调整用电设备、储能设备、电源设备，或利用建筑围护结构，实现对建筑取电功率和建筑取电电量进行调节的能力。

2.0.6 建筑电力交互 building grid interaction

以电网指令为约束条件，利用建筑用电柔性实现需求侧与供给侧动态平衡的能力。

2.0.7 动态计算 dynamic calculation

基于建筑逐时取电功率需求与建筑光伏逐时发电能力，优化配置建筑储能与建筑用电柔性的过程。

2.0.8 光伏发电自用率 self-consumption ratio

就地消纳的建筑光伏年发电量与光伏全年发电总量的比值。

2.0.9 光伏发电自给率 self-sufficiency ratio

就地消纳的建筑光伏年发电量与建筑全年用电总量的比值。

2.0.10 电池本征安全 intrinsic safety of batteries

电池在充放电等使用过程中不发生过量热或爆炸的安全性能。

2.0.11 电池管理系统 battery management system

电池状态的监测系统。

3 基本规定

- 3.0.1** 建筑光储直柔工程设计和运行应以实现建筑电力交互为目标。
- 3.0.2** 建筑光储直柔工程应满足电气安全和用电需求，并应满足兼容性和开放性的要求。
- 3.0.3** 在光储直柔工程设计、调适和运维等过程中，应采用动态计算方法。
- 3.0.4** 建筑光储直柔工程宜采用全直流配电系统。
- 3.0.5** 交直流配电系统的设计、安装、施工和验收应符合国家、广东省、深圳市现行标准的有关规定。
- 3.0.6** 建筑光储直柔工程所用材料和设备应符合国家、广东省、深圳市现行标准的有关规定。

4 工程设计

4.1 一般规定

4.1.1 建筑光储直柔工程应包括分布式光伏、储能设施、直流配电设施、直流用电设备和监测与控制系统，可见图 4.1.1。光储直柔的直流微电网应具备扩展能力。

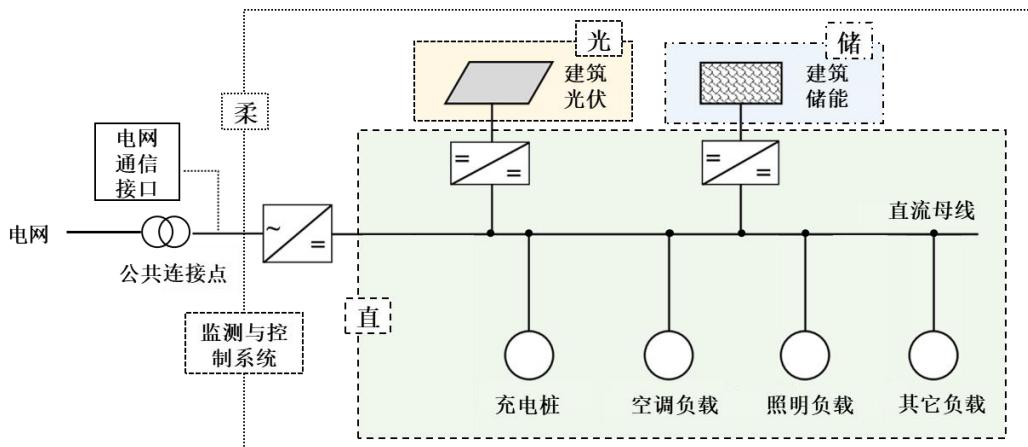


图 4.1.1 光储直柔工程示意图

4.1.2 建筑光储直柔工程设计应包括柔性设计与负荷计算、建筑光伏设计、建筑储能设计、直流配电设计等，并应按图 4.1.2 的流程进行。

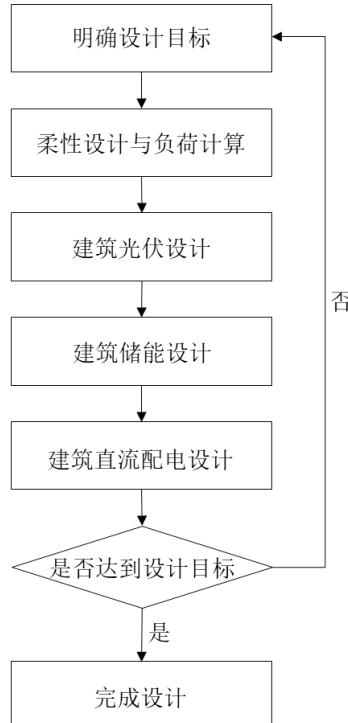


图 4.1.2 光储直柔工程设计流程

4.1.3 建筑取电功率应按照经济性最优或给定功率曲线确定，并应符合下列规定：

- 1 当以经济性最优为目标时，应以分时电价为依据；
- 2 给定功率曲线宜采用电网指令。

4.1.4 建筑光储直柔工程的下列用电负荷宜直接入直流配电系统：

- 1 空调；
- 2 充电桩；
- 3 照明；
- 4 储水式电热水器；
- 5 其它具备直流接入条件的电器和设备。

4.1.5 建筑光储直柔工程的直流配电系统宜和交流配电系统之间具备电能双向交互能力。

4.1.6 参与柔性调节的设备应具备设备用电柔性。

4.2 柔性设计与负荷计算

4.2.1 建筑用电负荷分级应符合现行国家标准《建筑电气与智能化通用规范》GB 55024 的有关规定，三级负荷中的空调系统和充电桩宜作为柔性可调节负荷。

4.2.2 光储直柔工程应支持建筑用电柔性调节，调节方式应符合下列规定：

- 1 宜采用直流母线电压作为柔性调节信号，用电设备应根据直流母线电压变化主动做出响应；
- 2 用电设备可根据建筑能源管理系统以通讯方式下达的功率指令做出响应。

4.2.3 建筑全年逐时用电负荷应根据建筑室内外环境参数、围护结构热工性能、设备功率和设备作息等进行计算。

4.2.4 柔性用电负荷的调节功率和调节电量宜通过动态计算确定，且动态计算应符合本规程附录 A 的规定。

4.3 建筑光伏设计

4.3.1 建筑光伏设计应符合现行国家标准《建筑光伏系统应用技术标准》GB/T 51368 和深圳市相关标准的有关规定。

4.3.2 建筑光伏发电应接入直流配电系统，且宜就地消纳，宜利用建筑用电柔性提高光伏发电自用率和光伏发电自给率。

4.3.3 建筑光伏系统设计应符合下列规定：

1 屋顶光伏组件应与城市整体建筑风貌相协调，并应结合屋顶结构形式，实现屋顶光伏安装容量最大化；

2 立面光伏系统应结合建筑风貌要求，根据采光和遮阳等建筑热工因素、发电效率以及经济性，进行一体化设计。

4.3.4 建筑光伏方阵同一最大功率跟踪（MPPT）回路中，各光伏组件的电性能参数宜保持一致，且光伏方阵的最大开路电压不应超过接入直流母线额定电压的 105%。

4.3.5 建筑光伏组件的安装应满足组件散热要求。

4.4 建筑储能设计

4.4.1 建筑储能宜接入直流配电系统，并宜采用电驱动的冰蓄冷、水或相变材料蓄冷/蓄热系统、充（放）电功率可调节的充电桩，也可采用储能电池。

4.4.2 当采用电驱动的冰蓄冷、水或相变材料蓄冷/蓄热系统作为建筑储能进行调节时，应符合国家现行相关标准的有关规定，并宜按等效储能电池方法进行计算，且计算方法应符合本规程附录 A 的有关规定。

4.4.3 当采用充（放）电功率可调节的充电桩作为建筑储能进行调节时，应符合下列规定：

- 1 充电桩应具备远程限制充电功率的功能，且功率限制指令的响应时间不应大于 3s；
- 2 充电桩宜具备双向充放电和功率调节功能。

4.4.4 当采用储能电池作为建筑储能进行调节时，安装在建筑物内的储能电池的设计应符合国家、地方现行相关标准，并应符合下列规定：

- 1 储能电池应具备电池本征安全；
- 2 储能电池宜配备电池管理系统，电池管理系统应接入光储直柔监控系统；
- 3 单套储能设施的功率/容量不宜超过 500kW/500kWh；
- 4 储能设施应配置紧急停止开关。

4.4.5 建筑储能容量及功率参数的设计应分析建筑取电要求、建筑光伏发电特征、建筑用电负荷和可调节电量及安装条件等因素，并应按照经济性来确定。

4.5 直流配电设计

I 配电系统

4.5.1 建筑直流配电系统电压等级宜符合下列规定：

- 1 宜采用单极结构；
- 2 宜采用 DC750V、DC375V；
- 3 宜根据主要用电设备确定主母线电压等级。

4.5.2 建筑直流配电系统宜采用 IT 接地型式，并应符合下列规定：

- 1 宜采用隔离型交直变换器；
- 2 当交直变换器为非隔离时，应通过隔离变压器与交流配电系统连接；
- 3 DC750V 和 DC375V 直流母线宜通过高阻接地，接地电阻阻值应根据直流母线电压等级选择，且不应小于 $100\Omega/V$ 。

4.5.3 建筑直流配电系统电力电子设备和模块应支持在线检修。

4.5.4 建筑直流配电系统的电能质量应符合下列规定：

- 1 系统稳态电压应在 85%~105% 标称电压范围内；
- 2 在大功率负荷大幅度快速波动情况下，系统暂态电压波动应在 70%~105% 标称电压范围内，且波动持续时间不应超过 10ms；
- 3 在正常运行条件下，电压纹波峰峰值系数和有效值系数应分别小于 1.5% 和 1.0%。

4.5.5 直流配电房及储能设备房应满足设备的环境工作要求，且应符合现行深圳市标准《城市地下空间防涝设计导则》SJG 162 的有关规定。

II 变换器

4.5.6 变换器选型应以直流母线侧的额定功率、额定电压和额定电流作为依据，且变换器的技术资料中应包含下列信息：

- 1 不同直流母线电压下的电流和功率限制；
- 2 0~100% 额定功率时的效率或损耗；
- 3 过流保护、过压保护和欠压保护参数，包括动作阈值、动作时间和动作类型；
- 4 变换器故障信息表。

4.5.7 选用的变换器加权效率应符合下列规定：

1 当采用电网接口变换器、储能变换器、直流电压变换器、直流功率变换器时，非隔离型变换器加权效率不应低于 95%，单向隔离型变换器加权效率不应低于 93%，双向隔离型变换器加权效率不应低于 91.5%；

2 当采用光伏变换器时，非隔离型变换器加权效率不应低于 97%，隔离型变换器加权效率不应低于 95%。

4.5.8 变换器宜采用模块化设计，并宜具备并联使用、模块故障自动切出功能。

4.5.9 变换器宜具备根据直流母线电压变化自动调整运行状态和稳态功率，或根据功率调节目标自动改变直流母线稳态电压的功能。

4.5.10 电网接口变换器应采用三相交流供电，并应符合下列规定：

1 应具备直流稳压功能，并可根据指令调整直流电压；

2 当交流电压在允许范围内、直流电流在 0~100%额定电流范围内变化，且直流电压设定在 90%~105%额定电压范围内任意值时，直流电压稳态偏差允许范围应为±1.5%额定电压；

3 功率因数等技术性能应满足交流电网接入要求；

4 宜具备计划及非计划离网运行模式切换功能。

4.5.11 光伏变换器宜采用非隔离型直直变换器，并应符合下列规定：

1 变换器的光伏侧应设置隔离开关；

2 允许的最大直流输入电压和功率不应小于其对应光伏方阵的最大开路电压和最大输出功率；

3 应具备最大功率点跟踪和过电压自动限压功能，并宜具备稳压功能；

4 当直流母线电压低于 70%额定电压且持续时间超过 1s，或有外部指令要求时，光伏变换器应能通过内部可控开关主动从直流母线断开。

III 安全与保护

4.5.12 建筑直流配电系统保护应符合下列规定：

1 应能够识别常见故障和不正常运行方式，且当外部交流电压窜入时，应能识别并报警；

2 应简单可靠，对同一类型故障不宜设置多重保护；

3 应具备过流保护功能；

4 配电线路应装设多极非自复型短路保护装置；

5 配电线路的短路保护电器，应在短路电流对导体和连接处产生的热作用和机械作用造成危害之前切断电源。

4.5.13 DC750V 或 DC375V 的直流母线与设备之间应设置能同时断开电源所有极的多极隔离电器，且隔离电器宜采用具备隔离功能的直流断路器或隔离开关。

4.5.14 建筑直流配电系统应具备人员安全防护能力。当采用 DC375V 和 DC750V 时，建筑直流配电系统应符合下列规定：

1 当配电回路从直流母线断开后，配电回路上的电源设备应在 2s 内停止运行，且应从配电回路断开；

2 在系统断电停止运行后 30s 内，系统不同极之间、各极对地之间的残压应下降到 30V 以下；

3 应配置极间电压和对地电压监测装置。

4.5.15 当采用 IT 接地方式时，直流配电绝缘监测装置（IMD）应符合下列规定：

1 应具备本地参数设置和状态显示功能，且在异常情况下应能通过声光方式报警，并采用无源节点或通信等方式提供远程保护；

2 应能对各极线路同时进行监测，且应允许对各极线路分别设置保护动作和阈值；

3 当 IMD 的保护装置发生第一次故障会断开时，应在每个配电支路的末端安装断开装置。

4.5.16 当采用剩余电流保护装置（RCD）进行保护时，应在每个配电支路的末端安装 RCD，并与短路保护装置配合使用，且 RCD 应符合下列规定：

- 1 应具备直流剩余电流监测和保护功能；
- 2 宜具备交流剩余电流监测和保护功能。

IV 线缆与插头插座

4.5.17 建筑直流配电系统线缆的选择应符合下列规定：

- 1 线缆耐压等级应按系统额定电压选择；
- 2 在额定电压和额定功率条件下，线路压降不应大于 5% 额定电压；
- 3 直流导线与交流导线颜色应予以区分。当采用单极系统时，正极、负极应分别采用红（L+）、白（L-）颜色；当采用双极系统时，正极、中间极、负极应分别采用红（L+）、蓝（M）、白（L-）颜色；接地线采用黄绿双色，L+、L-、M 应采用永久标识；
- 4 直流电缆应采用 L+（正极）、L-（负极）、M（中间极）永久标识区分芯线所接极性；
- 5 宜采用低烟无卤型线缆。

4.5.18 直流插头和插座应符合现行国家标准《家用和类似用途直流插头插座 第 1 部分：通用要求》GB/T 42710.1 和《家用和类似用途直流插头插座 第 2 部分：型式尺寸》GB/T 42710.2 的有关规定。

4.6 监测与控制设计

4.6.1 建筑光储直柔监测与控制系统宜与建筑设备管理系统统筹设计，并应符合下列规定：

- 1 应实时采集电源设备、主要用电设备和配电设备的电流、电压、功率、电量和运行状态等信息。以柔性能源调度和管理为目标时，采集间隔不宜大于 5min；以系统控制为目标时，采集间隔不宜大于 10s；
- 2 应具备对电源设备、主要用电设备和配电设备进行远程和本地监控的功能；
- 3 应具备手动控制和自动控制两种模式，并配备软件急停和硬件急停的功能；
- 4 应具备根据电价、电网指令或预设运行目标切换运行模式的功能；
- 5 应具备故障报警功能；
- 6 应具备能源管理与优化决策功能；
- 7 应存储不少于 3 年的历史运行数据和故障记录；
- 8 应具备友好的人机操作界面与监测显示界面。

4.6.2 建筑直流配电系统并离网工况的切换应有手动、自动选择功能。

4.6.3 建筑光储直柔监测与控制系统宜采用同一种通信协议和接口，并应采用通用的开放性标准协议，满足建筑电力交互的要求。

5 工程施工与验收

5.1 一般规定

5.1.1 建筑光储直柔工程的施工和验收应符合《建筑光伏系统应用技术标准》GB/T 51368、《建设工程施工现场供用电安全规范》GB 50194、《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300、《建筑工程施工质量验收规范》GB 50303等标准的有关规定。

5.1.2 建筑光储直柔工程设备和材料应有检测报告，具备现场检测条件的应进行进场复验。

5.1.3 项目施工前应制定专项施工方案，并应组织承包商、施工单位、监理等进行光储直柔工程技术专项培训及技术交底。

5.2 工程施工

5.2.1 当建筑光伏安装采用不同金属材料时，应在不同金属材料间增加绝缘垫。

5.2.2 储能电池的工程施工应符合下列规定：

1 电池在运输过程中，应轻搬轻放，不得有强烈冲击和振动，不得侧放倒置、重压和日晒雨淋；

2 电池应存放在清洁、干燥、通风良好的室内，并应避免阳光直射，受潮、积灰；存放时，严禁短路；

3 电池从出厂之日起到安装后的初始充电时间超过六个月时，应对可独立充电的最小单元进行充电，充满后方可集成运行；

4 接线时，施工人员应穿戴绝缘手套和绝缘靴，并应断开电池和母线侧的隔离开关。

5.2.3 直流线缆标识应清晰、不褪色、不易损毁；直流线缆和交流线缆应分管（槽）敷设，可敷设在同一竖井内。

5.3 竣工验收

5.3.1 建筑光储直柔工程应进行竣工验收，验收应包括初验、通电和调试，并应按图5.3.1的流程进行。

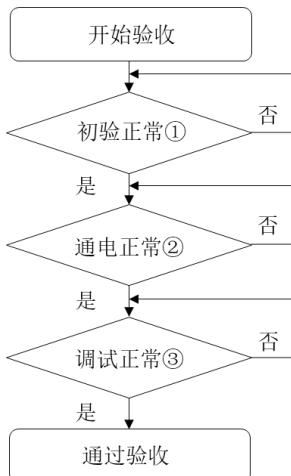


图5.3.1 建筑光储直柔工程验收流程

5.3.2 初验环节应检查工程基础质量情况，并应符合表 5.3.2 的规定。

表 5.3.2 初验检查项目

检查项目	检查内容	检查方式
设备检查	铭牌参数与设计图一致，安装位置符合设计要求	现场查看
	使用环境温度、湿度、洁净度等符合设备规格书要求	现场查看
	检修通道满足要求，无杂物堆积	现场查看
安全标识	标识放置位置醒目、清晰、牢固	现场查看
电线连接点	导线无裸露、无损伤、连接点牢固、螺丝无松动	现场查看
接地线	所有接地线都可靠接地，无腐蚀	现场查看
线缆	线缆标识牌清晰、不能用酒精擦除	现场查看
	安装整齐规范，交、直流线缆分管（槽）敷设	现场查看
	电线颜色及标识符号符合规程要求	现场查看
开关（不通电）	可正常手动分/合，位置指示与实际运行位置相符	现场检测
	无短路	现场检测
	有极性开关的正负极接线正确	现场查看
监测与控制设备	电源电压符合设备要求，正负接线正确	现场查看
	通讯线接线正确，接插件无松动	现场查看
绝缘电阻	系统绝缘电阻符合设计要求	现场检测

5.3.3 通电环节宜按下列步骤执行：

- 1 所有开关分闸，确认直流母线无短路；
- 2 光光伏路开关合闸，确认光伏系统的输出电压在直流母线电压要求范围内；
- 3 监测与控制系统回路开关合闸，确认系统工作正常；
- 4 各负荷回路开关逐一合闸，确认直流母线电压正常；
- 5 储能回路开关合闸，确认直流母线电压正常；
- 6 光光伏路、储能回路、负荷回路等所有开关分闸，电网接口变换器开关合闸并启动，确认直流母线电压范围符合设计要求。

5.3.4 调试环节宜按下列步骤执行：

- 1 各负荷回路开关逐一合闸，确认直流母线电压正常；
- 2 启动所有负荷运行到最大功率并持续运行 15min，确认直流母线电压正常；
- 3 大功率负荷回路同时分闸，监测直流母线电压波动幅值和持续时间，确认电能质量符合本规程第 4.5.4 条的规定；
- 4 光光伏路、储能回路开关合闸，通过光储直柔控制系统调节建筑取电功率，确认建筑用电柔性。

5.3.5 验收文件应包括图纸、主要设备选型依据及设备说明书、设备出厂检验报告或合格证以及操作手册。

5.3.6 光储直柔工程验收记录表应符合本规程附录 B 的规定。

6 运行维护

6.0.1 建筑光储直柔工程投入运行后，应根据建筑实际运行状态和建筑取电要求进行调适，并应确认建筑用电柔性能够适应不同工况需求。

6.0.2 建筑光储直柔工程应对设备及设备所在房间予以标识。

6.0.3 建筑光储直柔工程的运行维护管理应符合下列规定：

- 1** 应编制工程操作手册，操作手册应清晰明确，易于理解和操作；
- 2** 应建立管理制度、编写应急预案，管理制度及应急预案的关键条款应张贴在醒目位置；
- 3** 应每月对系统设备进行巡查检修，并进行记录；
- 4** 设备维护时，应断开隔离开关，并在显著位置放警示标识，避免误操作；
- 5** 应维持设备检修通道和通风通道通畅；
- 6** 设备停电检修时，应在停电后用电压表等设备确认无电压后再检修。

6.0.4 建筑光伏系统的运行维护应符合下列规定：

- 1** 应每年对外观、一致性、接地性能、电流-电压特性、组件内部缺陷、发电效率、连接结构可靠性进行检测；
- 2** 宜每年对光伏组件进行一次表面清洁维护，并应做好极端天气下的检查及维护。

6.0.5 储能电池的运行维护应符合下列规定：

- 1** 应每月对储能电池进行一次巡检，并应对电池外观、表面温度、气味、模组连接等内容进行检查，如有异常应立即停用和报修；
- 2** 应每月对储能电池运行效率进行监测，当系统运行出现异常时，应立即进行检修。

6.0.6 建筑直流配电系统的运行维护应符合下列规定：

- 1** 应每月对配电系统进行一次巡检，并应对配电设备外观、表面温度、气味、模组连接等内容进行检查；
- 2** 当直流配电部件出现故障时，应检查设备和线路，并应修复或更换故障元件。

附录 A 光储直柔能量平衡动态计算

A. 0.1 光储直柔动态计算应包括建筑光伏和建筑用电负荷的全年逐时负荷计算、逐时柔性负荷调节量计算、逐时储能设施调节量计算，并宜按图 A. 0.1 的流程进行：

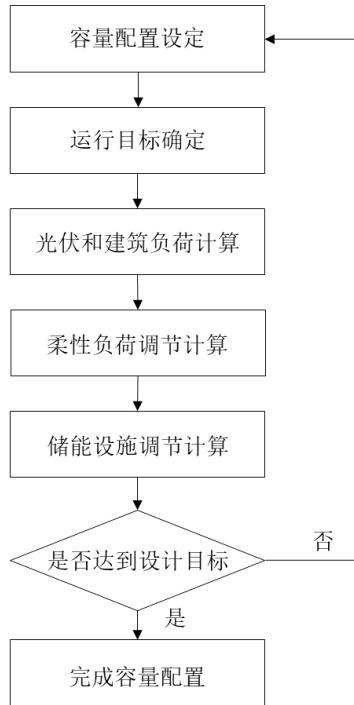


图 A. 0.1 光储直柔动态计算流程图

A. 0.2 光储直柔动态计算运行目标应符合下列规定：

- 1 当建筑取电功率要求采用经济性最优时，动态计算应以降低运行电费为运行目标；
- 2 当建筑取电功率要求采用给定功率曲线运行时，动态计算应以给定功率曲线为运行目标。

A. 0.3 建筑光伏和建筑用电负荷的全年逐时负荷宜通过专业软件进行模拟计算。

A. 0.4 建筑柔性负荷和储能的调节宜以日平衡进行计算。

A. 0.5 动态计算的能量平衡应按下式计算：

$$P_{pv}(t) + P_g(t) = P_b(t) + P_{ev}(t) + P_{cseq}^{ch}(t) - P_{cseq}^{dis}(t) + P_{cs}^{ch}(t) - P_{cs}^{dis}(t) + P_{es}^{ch}(t) - P_{es}^{dis}(t) + P_{sur}(t) \quad (\text{A. 0.5})$$

式中：

$P_{pv}(t)$ —— t 时刻的光伏发电能力 (kW)；

$P_g(t)$ —— t 时刻的建筑取电功率 (kW)；

$P_b(t)$ —— t 时刻的建筑（不含电动汽车充电桩）用电功率 (kW)；

$P_{ev}(t)$ —— t 时刻的电动汽车充电桩用电功率 (kW)；

$P_{cseq}^{ch}(t)$ —— t 时刻的空调系统等效充电功率 (kW)，具体指空调系统相较柔性调节前提高的用电功率；

$P_{cseq}^{dis}(t)$ —— t 时刻的空调系统等效放电功率 (kW)，具体指空调系统相较柔性调节前降低的用电功率；

$P_{cs}^{ch}(t)$ —— t 时刻的蓄冷设施等效充电功率 (kW), 具体指蓄冷设施工作时, 空调系统提高的用电功率;

$P_{cs}^{dis}(t)$ —— t 时刻的蓄冷设施等效放电功率 (kW), 具体指蓄冷设施工作时, 空调系统降低的用电功率;

$P_{es}^{ch}(t)$ —— t 时刻的储能电池充电功率 (kW);

$P_{es}^{dis}(t)$ —— t 时刻的储能电池放电功率 (kW);

$P_{sur}(t)$ —— t 时刻的富余光伏功率 (kW)。

A. 0. 6 建筑取电功率应符合下式的规定:

$$P_g(t) \leq P_{acdc} \quad (\text{A. 0. 6})$$

式中:

P_{acdc} ——电网接口变换器 (AC/DC) 的额定功率 (kW)。

A. 0. 7 当采用充(放)电功率可调节的充电桩进行调节时, 宜将接入直流微电网的充电桩作为整体进行计算, 并应符合下列规定:

- 当采用充电功率可调节的单向充电桩时, 其整体充电功率应符合下式的规定:

$$0 \leq P_{ev}(t) \leq n \cdot P_{pile}^{ch} \cdot r_{ev}(t) \quad (\text{A. 0. 7-1})$$

式中:

n ——接入建筑配电网的充电桩数量 (台);

P_{pile}^{ch} ——单台充电桩的额定充电功率 (kW);

$r_{ev}(t)$ —— t 时刻的充电桩运行系数 (%), 即有接入电动汽车的充电桩数量与设计充电桩数的比值。

- 当采用充放电功率可调节的双向充电桩时, 其整体运行功率应符合下式的规定:

$$-n \cdot P_{pile}^{dis} \cdot r_{ev}(t) \leq P_{ev}(t) \leq n \cdot P_{pile}^{ch} \cdot r_{ev}(t) \quad (\text{A. 0. 7-2})$$

式中:

P_{pile}^{dis} ——单台充电桩的额定放电功率 (kW)。

- 宜对充电桩系统的日充电量进行约束, 并应符合下式的规定:

$$Q_{ev_min} \leq \int_0^{24} P_{ev}(t) dt \leq Q_{ev_max} \quad (\text{A. 0. 7-3})$$

式中:

Q_{ev_min} ——充电桩系统在计算目的最低充电电量要求 (kWh);

Q_{ev_max} ——充电桩系统在计算日的最高充电电量要求 (kWh)。

A. 0. 8 当采用空调系统进行调节时, 宜按等效储能电池方法进行计算, 并应符合下列规定:

- 空调系统相较柔性调节前提高的用电功率宜视为等效充电功率, 并应符合下列规定:

$$0 \leq P_{cseq}^{ch}(t) \leq P_{bc}(t) \cdot r_p^+ \quad (\text{A. 0. 8-1})$$

$$P_{cseq}^{ch}(t) + P_{bc}(t) \leq PC_r \quad (\text{A. 0. 8-2})$$

式中:

$P_{bc}(t)$ —— t 时刻柔性调节前的空调用电功率 (kW);

r_p^+ ——空调系统等效充电功率可调参数 (%), 取值介于 0~100%;

PC_r ——空调系统额定用电功率 (kW)。

- 空调系统相较于柔性调节前降低的用电功率宜视为等效放电功率, 并应符合下列规定:

$$0 \leq P_{cseq}^{dis}(t) \leq P_{bc}(t) \cdot r_p^- \quad (\text{A. 0. 8-3})$$

式中:

r_p^- ——空调系统等效放电功率可调参数（%），取值介于0~100%。

3 一段时期内空调等效储能运行功率的积分宜视为等效储能电池的储电量，并宜符合下列规定：

$$E_{cseq}(t+1) = E_{cseq}(t) \cdot \eta_{cseq} + (P_{cseq}^{ch}(t) - P_{cseq}^{dis}(t)) \cdot \Delta t \quad (\text{A. 0. 8-4})$$

$$0 \leq E_{cseq}(t) \quad (\text{A. 0. 8-5})$$

式中：

$E_{cseq}(t)$ —— t 时刻空调系统等效储能电池的储电量（kWh）；

η_{cseq} ——空调系统等效储能电池的系统效率（%）；

Δt ——计算步长，取1h。

A. 0. 9 当采用电驱动的冰蓄冷、水或相变材料蓄冷/蓄热系统进行调节时，宜按等效储能电池方法进行计算，并应符合下列规定：

1 蓄冷时，空调系统提高的用电功率宜视为等效充电功率，并应符合下列规定：

$$0 \leq P_{cs}^{ch}(t) \leq P_{0cs}^{ch} \quad (\text{A. 0. 9-1})$$

$$P_{cs}^{ch}(t) + P_{bc}(t) + P_{cseq}^{ch}(t) \leq PC_r \quad (\text{A. 0. 9-2})$$

式中：

P_{0cs}^{ch} ——蓄冷设施等效最大充电功率（kW）。

2 释冷时，空调系统降低的用电功率宜视为等效放电功率，并应符合下列规定：

$$0 \leq P_{cs}^{dis}(t) \leq P_{0cs}^{dis} \quad (\text{A. 0. 9-3})$$

$$P_{cs}^{dis}(t) + P_{cseq}^{dis}(t) \leq P_{bc}(t) \quad (\text{A. 0. 9-4})$$

式中：

P_{0cs}^{dis} ——蓄冷设施等效最大放电功率（kW）。

3 将蓄冷体蓄满所需要额外消耗的电量宜视为蓄冷设施等效储能电池的储电量，并宜符合下列规定：

$$SOC_{cs}(t+1) = SOC_{cs}(t) + (P_{cs}^{ch}(t) - \frac{P_{cs}^{dis}(t)}{\eta_{cs}}) \cdot \Delta t / E_{cs} \quad (\text{A. 0. 9-5})$$

$$SOC_{cs_low} \leq SOC_{cs}(t) \leq SOC_{cs_high} \quad (\text{A. 0. 9-6})$$

式中：

$SOC_{cs}(t)$ —— t 时刻蓄冷设施等效储能电池的储电状态（%）；

SOC_{cs_low} ——蓄冷设施等效储能电池放电截止储电状态（%）；

SOC_{cs_high} ——蓄冷设施等效储能电池充电截止储电状态（%）；

E_{cs} ——蓄冷设施等效储能电池的等效电池容量（kWh）；

η_{cs} ——蓄冷设施等效储能电池的系统效率（%）。

A. 0. 10 当采用储能电池进行调节时，动态计算应符合下列规定：

1 储能电池的充电和放电功率受储能DC/DC变换器约束，应符合下列规定：

$$P_{es}^{ch}(t) \leq P_{0es}^{ch} \quad (\text{A. 0. 10-1})$$

$$P_{es}^{dis}(t) \leq P_{0es}^{dis} \quad (\text{A. 0. 10-2})$$

式中：

P_{0es}^{ch} ——储能电池最大充电功率（kW）；

P_{0es}^{dis} ——储能电池最大放电功率（kW）。

2 储能电池的储电状态宜符合下列规定：

$$SOC_{es}(t+1) = SOC_{es}(t) + (P_{es}^{ch}(t) - \frac{P_{es}^{dis}(t)}{\eta_{es}}) \cdot \Delta t / E_{es} \quad (\text{A. 0. 10-3})$$

$$SOC_{es_low} \leq SOC_{es}(t) \leq SOC_{es_high} \quad (\text{A. 0. 10-4})$$

式中：

$SOC_{es}(t)$ —— t 时刻储能电池的储电状态（%）；

SOC_{es_low} ——储能电池放电截止储电状态（%）；

SOC_{es_high} ——储能电池充电截止储电状态（%）；

E_{es} ——储能电池的电池容量（kWh）；

η_{es} ——储能电池的系统效率（%）。

A. 0.11 容量配置应分析设备初投资，并应通过多方案比较进行确定。

A. 0.12 光储直柔能量平衡动态计算宜采用软件工具。

附录 B 光储直柔工程验收记录表

表 B 光储直柔工程验收记录表

序号	验收对象		验收项目	验收数量要求	结果	验收人	备注
1	文件资料	工程资料	1 竣工图纸或施工图纸及相关变更文件等。 2 设备厂商提供的出厂合格文件，包含产品型号、生产日期、设备主要参数表、产品合格证等。 3 系统集成商（设备厂商）提供的现场调试报告，包括市电转换测试、光伏上电测试、储能充放电测试、电压范围测试、保护功能测试、通讯功能测试等。 4 移交物业文件应包括竣工图纸、操作手册、应急预案等。	全数			
		成套产品合格证明文件					
		设备测试报告或验收记录					
		移交物业的技术文件					
2	直流配电网系统	系统母线架构	1 配置与设计文件一致。	全数			
		AC/DC 主变换器	2 主要设备应提供相关认证，需满足设计及招标文件的相关要求。				
		DC750V/DC375V 变换器	3 直流母线电压应在允许范围内。				
		交流断路器	4 交直流变换功能正常。				
		直流断路器	5 交直流断路器基本功能正常。 6 正负母线颜色、标识符合设计要求。				
3	光伏系统	光伏组件	1 光伏组件型号、规格与设计图纸一致。 2 光伏组件阵列安装方式与设计一致。	1 光伏组件数量不超过 50 块的，应全部检验。 2 超过 50 块的，应按总数量 20% 的比例抽验，但总数量不应小于 50 块。 3 直流汇流箱应全部检验。 4 直流电缆检查回路应按每个汇流箱不少于 2 回路检验。 5 光伏固定支架及防雷可与建筑整体验收同步进行。			
		直流汇流					
		直流电缆	3 同一 MPPT 回路所用组件规格型号应相同，安装方向与倾角应一致，走线合理，有电线管或槽盒保护，接头均采用光伏接线专用端子。				
		固定支架	4 支架安装牢固、可靠，倾角与设计一致；不同材料的金属连接处有绝缘隔离垫。				
		防雷组件	5 支架均与建筑接闪带连接，直流侧设防雷保护器。				

续表 B

序号	验收对象		验收项目	验收数量要求	结果	验收人	备注
4	储能系统	储能电池	1 储能系统的选型、规格与设计一致; 2 应提供相关的质量证明文件，满足设计及招标文件的相关要求。 3 储能系统的充放功率/容量应与设计要求一致。 4 储能电池的本体安全性应满足本规程相关要求。 5 储能电池配备的消防安全应满足相关要求。	全数			
		蓄冷系统					
		蓄热系统					
5	直流充电桩	单向充电桩	1 充电桩的选型、规格与设计一致; 2 应提供相关的质量证明文件，满足设计及招标文件的相关要求。	全数			
		双向充电桩	3 现场的安装质量，包括柜体安装牢固可靠，线缆穿保护管或槽盒，过孔有封堵，充电桩接地可靠等。 4 基本充电功能，包括充放电功率、通讯信号正常等。				
6	直流空调	分体空调	1 空调系统的选型、规格与设计一致。 2 应提供产品质量的证明文件，满足设计及招标文件的相关要求。 3 现场的安装质量，包括机组安装牢固可靠，线缆穿保护管或槽盒，空调水管风管应有保温包封等。	1 分体空调或集中空调数量不超过 20 台(套)的，应全部检验。 2 分体空调或集中空调数量超过 20 个的，应按总数量 20% 的比例抽验，但总数量不应小于 20 个。			
		集中空调	4 基本功能，包括通电测试、制冷/制热测试、送排风测试、噪音测试、冷凝水排水等。				
7	直流照明	照明灯具	1 灯具的选型、规格、数量与设计一致。 2 应提供相关产品质量的证明文件，满足设计及招标文件的相关要求。 3 现场的安装质量，包括灯具安装牢固可靠，线缆穿保护管或槽盒，接线正确、无接触不良或松动，灯具附件如防护罩、格栅或反射器等完整。 4 基本功能，包括通电测试、开关测试、调光测试、亮度等。	1 每种规格的照明灯具或控制开关数量各不超过 20 个的，应全部检验。 2 每种规格的照明灯具或控制开关数量超过 20 个块，应按总数量 20% 的比例抽验，但总数量不应小于 20 个。 3 智能控制模块应全部检验。 4 房间的整体照度检测与建筑整体验收同步进行。			
		控制开关					
		智能控制模块					

续表 B

序号	验收对象		验收项目	验收数量要求	结果	验收人	备注
8	其他直流电器和布线	其他直流电器	1 其他直流电器，包括直流插座、直流排插、直流风扇、直流 LED 屏、直流电视、直流冰箱等直流设备，应提供相关产品质量的证明文件。满足设计及招标文件的相关要求。 2 现场的安装质量，包括电器设备安装牢固可靠，电器的结构上应防止人体轻易直接接触，不得有漏电部分。 3 直流电线电缆应提供生产许可或相关的证明文件。满足设计及招标文件的相关要求，现场复核 DC750V 与 DC375V 电线电缆的耐压等级。 4 线缆应穿保护管或槽盒，接线正确、无接触不良或松动，线缆外护套不得有鼓包、破口、划伤等缺陷，电线标签齐全，标注清晰。 5 线缆槽盒及保护管不得有裂纹、压坑及毛刺等，接口处不得有锐角及毛刺，槽盒及保护管穿防火墙处应做防火封堵。	1 直流电器每个厂家的数量不超过 20 个的，应全部检验。 2 数量超过 20 个，应按总数量 20% 的比例抽验，但总数量不应小于 20 个。 3 建筑物中直流配电区域含有 3 个及以下的防火分区，DC750V 直流布线应全部检验，DC375V 直流布线应按不同用电系统抽检 30%，且各系统不宜少于 5 个回路(不足 5 回路的全部检验)。 4 建筑物中直流配电区域含有防火分区超过 3 个的，DC750V 直流布线应按不同用电系统抽检 50%，DC375V 直流布线应按不同用电系统抽检 20%，且各系统不宜少于 5 个回路(不足 5 回路的全部检验)。			
		直流系统布线					
9	安全接地		1 根据设计文件检验系统接地型式。 2 测试接地电阻是否满足设计要求。 3 绝缘电阻测试，包括正常绝缘电阻测算，模拟 DC750V 母线单极接地故障测试、模拟 DC375V 母线单极接地故障测试。 4 漏电电流动作保护测试，包括正常母线漏电测试、DC750V 出线配电箱处模拟漏电流测试、DC375V 出线配电箱处模拟漏电流测试。	全数			
10	软件平台		1 平台界面显示正常。 2 操作命令执行正确。 3 不同功能模块间切换顺畅。	1 功能数据应包括电能数据、碳排放数据等。 2 操作命令应包括电价优先、光伏消纳优先、电网邀约优先等。 3 不同模式应包括正常模式、故障模式、检修模式等。			

注：1 “结果”栏应根据实际情况填写合格、不合格、无需检查，合格可用“√”表示，不合格可用“×”表示，无需检查可用“—”表示；

2 应对不合格项发出整改通知单。

本标准用词说明

- 1 为了便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：
 - 1) 表示很严格，非这样做不可的用词：
正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；
 - 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：
正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；
 - 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；
 - 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。
- 2 条文中指明应按其他有关的标准执行的写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1** 《建筑电气与智能化通用规范》 GB 55024
- 2** 《建设工程施工现场供用电安全规范》 GB 50194
- 3** 《建筑工程施工质量验收统一标准》 GB 50300
- 4** 《建筑工程施工质量验收规范》 GB 50303
- 5** 《建筑光伏系统应用技术标准》 GB/T 51368
- 6** 《家用和类似用途直流插头插座 第 1 部分：通用要求》 GB/T 42710.1
- 7** 《家用和类似用途直流插头插座 第 2 部分：型式尺寸》 GB/T 42710.2
- 8** 《城市地下空间防涝设计导则》 SJG 162

深圳市工程建设地方标准

建筑光储直柔规程技术规程

SJG 194 - 2025

条文说明

目 次

1	总则.....	23
2	术语.....	24
3	基本规定.....	26
4	工程设计.....	28
4.1	一般规定.....	28
4.2	柔性设计与负荷计算.....	29
4.3	建筑光伏设计.....	31
4.4	建筑储能设计.....	31
4.5	直流配电设计.....	33
4.6	监测与控制设计.....	37
5	工程施工与验收.....	39
5.1	一般规定.....	39
5.2	工程施工.....	39
5.3	竣工验收.....	39
6	运行维护.....	41
	附录 A 光储直柔能量平衡动态计算.....	42

1 总 则

1.0.1 本条阐述了编制本规程的目的。国务院印发的《2030 年前碳达峰行动方案》中明确提出“建设集光伏发电、储能、直流配电、柔性用电于一体的‘光储直柔’建筑”。光储直柔技术能有效提高建筑光伏的就地消纳能力，符合未来建筑高效、低碳的要求；此外，光储直柔技术将建筑用电模式由过去的“源随荷动”逐渐转变为“荷随源动”，实现与电网的友好互动，助力新型电力系统的建设，符合城市能源绿色、可靠的发展趋势。

国家和地方政府陆续出台了相关文件推动光储直柔技术应用，如住房和城乡建设部、国家发展改革委联合发布的《城乡建设领域碳达峰实施方案》，国家发展改革委、国家能源局、国家数据局联合发布的《加快构建新型电力系统行动方案（2024—2027 年）》等。广东省住建厅印发的《广东省建筑节能与绿色建筑发展“十四五”规划》中提出“鼓励建设以‘光储直柔’为主要特征的新型建筑电力系统，发展柔性用电建筑”。深圳市人民政府发布的《国家碳达峰试点（深圳）实施方案》（深府函〔2024〕337 号）同样对光储直柔技术应用示范项目予以支持。

深圳市大部分地区属于太阳能资源丰富地区，夏热冬暖的气候条件使得暖通空调系统运行时间长、负荷高，同时电动汽车保有量处于全国前列水平，建筑用电柔性可调资源丰富。此外，深圳市低碳和新能源产业发展日益壮大。建筑光储直柔技术的推广具有良好条件和扎实基础。

1.0.2 本条规定了本规程的适用范围，包括常见的民用建筑，如办公建筑、商业建筑、居住建筑、学校建筑、医院建筑等，也包括各类型产业园区和工业建筑。

1.0.3 建筑光储直柔工程是建筑光伏、建筑储能、建筑直流配电、建筑自控等多技术的综合集成应用，该工程的设计、施工安装、验收、运行维护涉及多专业领域的不同要求，除需符合本规程外，尚需符合现行国家、广东省、深圳市有关标准的规定。

2 术语

2.0.1 本条阐述了光储直柔的定义。为便于理解和工程应用，本规程第 4.1.1 条给出了典型的光储直柔应用示意图。

2.0.2 直流微电网的提出旨在实现分布式电源的灵活、高效应用，解决数量庞大、形式多样的分布式电源并网问题。直流微电网指分布式电源、储能装置、负荷等均连接至直流母线，直流网络再通过可控制的电力电子逆变装置连接至外部交流电网。直流微电网通过电力电子变换装置可以按照指令向不同电压等级的交流、直流负荷提供电能，分布式电源和负荷的波动可由储能装置和柔性负荷在直流侧调节。光储直柔属于具备柔性调节功能的直流微电网。

2.0.3 建筑取电功率指建筑在电网接口处的电网负荷，是进行建筑电力交互时的评价对象。

传统建筑配电系统中，建筑取电功率等于建筑用电负荷，如公式（1）所示。然而在建筑光储直柔工程中，电力平衡关系转变为建筑光伏、建筑储能、用电负荷和电网负荷四者的关系，如公式（2）所示。受建筑光伏和建筑储能影响，建筑光储直柔工程中的建筑取电功率通常不等于建筑用电负荷，如图 1 所示。

$$P_{grid} = P_{load} \quad (1)$$

$$P_{grid} + P_{pv} = P_{load} + P_{battery} \quad (2)$$

式中：

P_{grid} ——电网负荷 (kW);

P_{load} ——建筑用电负荷 (kW);

P_{pv} ——建筑光伏负荷 (kW);

$P_{battery}$ —— 建筑储能负荷 (kW)。

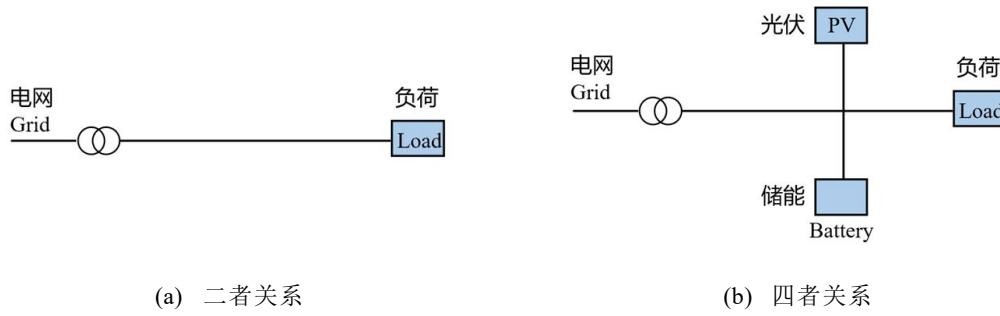


图 1 光储直柔能量平衡关系图

2.0.4 用电柔性即用电功率和用电量的调节能力，这种调节是根据电力交互的需要而做出的。根据对象不同，分为设备用电柔性和建筑用电柔性，分别用来描述用电设备与直流配电系统连接点，以及建筑与电网公共连接点的柔性。

2.0.5 建筑用电柔性是与用电刚性相对应的。用电刚性是指传统建筑“源随荷动”的用能模式，负荷侧需要多少电力，源侧即供应多少电力。在光储直柔工程中，建筑在城市能源系统中的角色由传统的单一消费者角色转变为集生成、消费、调蓄为一体的综合性角色。建筑用电柔性即指可以依据需要，调整建筑取电功率和电量。

2.0.6 本条阐述了建筑电力交互的定义。这里指的电网包括城市电网和农村电网。电网指令可以是目前实行的分时电价信号，也可以是电力动态碳排放责任因子，还可以是虚拟电厂聚合商从电网接收的调控指令。

2.0.7 “动态”计算是与传统依据最不利工况的单点“静态”计算相对应的。在实现建筑用电柔性过程中，基于建筑内外环境条件，逐时对建筑用电需求及建筑光伏发电能力进行预测，并通过计算得到建筑取电量、光伏发电量及储能调节量的过程。传统建筑电气设计通常采用需用系数法计算建筑峰值负荷，并完成建筑配电系统的设计，在运行过程中，建筑取电功率即等于建筑用电负荷。而在建筑光储直柔工程中，建筑光伏与电网共同作为建筑电源，同时建筑具备用电柔性，由此使得建筑取电功率通常并不等于建筑用电负荷。因此，光储直柔动态计算需要对逐时建筑光伏发电量、建筑用电负荷、建筑储能配置及用电柔性进行设计计算，以满足建筑电力交互提出的逐时建筑取电功率要求。

2.0.8 就地消纳的建筑光伏年发电量指不输送至电网，而在建筑配电系统内消纳的光伏电量。当光储直柔工程设计为不并网系统时，可能存在富余光伏无法消纳的情况，此时光伏全年发电总量可根据典型气象年日照辐射量计算。

2.0.9 建筑全年用电总量指就地消纳的建筑光伏年发电量与建筑全年电网取电量之和。对于工业建筑，建筑全年用电总量不包含工业生产用电量。

3 基本规定

3.0.1 建筑电气化是实现碳中和目标的必然选择，也就是说未来建筑用能以电为主甚至全部是电。接下来是电的零碳化，即太阳能光伏、风电和水电等可再生能源将成为未来的主导电源。但不管是集中式的还是分布式的可再生能源，发电的波动性是其主要特征。主要解决方案包括：（1）通过大规模储能来调节。目前抽水蓄能是主要方式，储能电池也在快速发展中。但面临的问题是选址难、经济性不佳以及安全性等；（2）火电厂进行调节。但面临的问题是未来要实现碳中和目标，留给火电的份额将大幅缩小；（3）尽可能按照可再生能源发电规律来用电。在建筑领域，开展建筑电力交互，实现“荷随源动”，是有效且经济的技术路径。光储直柔作为新型建筑能源系统，核心目的是实现电力交互，具体体现是建筑取电功率曲线按照电网所希望的曲线运行。

3.0.2 满足用电需求和用电安全是建筑光储直柔工程的基本要求，在此基础上，光储直柔还需充分考虑兼容性和开放性要求。

兼容性是指各类设备、控制和保护功能，监控软件和通信协议，以及不同工作模式之间，需做到相互协调，关键设备有同类产品可供替换。兼容性要求可以促进系统方案优化，扩大关键设备选择范围，有助于降低成本和运维难度。

开放性是指直流母线需适应不同类型设备自由接入要求。建筑中各类设备品类繁多，功能、工作原理和负荷特性等方面都存在很大差异，为方便用户，光储直柔工程还需充分考虑各类设备灵活接入及其带来的问题。

此外，兼容性和开放性共同要求建筑光伏、建筑储能以及直流配电系统采用易于维修、更换的安装方式，并预留分期扩建条件。

3.0.3 建筑光储直柔工程涉及环节众多，其中建筑光伏、电网是建筑的供电来源，储能系统兼具电源和负荷的属性，充电桩、暖通空调系统以及其他建筑负荷作为用电终端的同时又具有柔性调节功能；以上变量都是建筑电力交互实现的挑战。动态计算即是在实现建筑电力交互目标下，对建筑光伏、建筑储能、建筑负荷和电网的逐时运行功率进行平衡计算。

建筑电力交互的目标贯穿了光储直柔工程设计和运行等全过程，而动态计算就是对建筑电力交互的具体实现方式进行求解。因此，动态计算也需贯穿光储直柔工程设计、调适和运维等过程。在工程设计阶段，通过动态计算实现光储直柔工程全年 8760 小时的仿真运行，并完成储能设施和用电柔性的设计优化；在工程调适阶段，根据动态计算结果对工程的建筑电力交互实现能力进行验证；在工程运维阶段，通过动态计算求解光储直柔各环节的运行功率。

3.0.4 对于部分改建、新建建筑，光储直柔工程也可以采用交直流混合的配电系统。

3.0.5 当工程采用交直流混合配电系统时，交直流配电系统的设计、安装、施工和验收需符合现行国家标准《建筑电气与智能化通用规范》GB 55024、《民用建筑电气设计标准》GB 51348、《建筑工程施工质量验收规范》GB 50303 等的有关规定。

3.0.6 建筑光储直柔工程所用材料和设备通常包含：光伏组件、储能电池、电能变换器、直流插头插座、线缆、配电设备等。相应的，上述材料和设备需满足国家现行标准的有关规定，例如：晶体硅光伏组件需符合现行国家标准《地面用晶体硅光伏组件 设计鉴定和定型》GB/T 9535 的有关规定，柔性薄膜光伏组件需符合现行行业标准《建筑用柔性薄膜光伏组件》JG/T 535 的有关规定，储能用电池需符合现行国家标准《电能存储系统用锂蓄电池和电池组 安全要求》GB 44240、《电力储能用铅炭电池》GB/T 36280、《储能用蓄电池 第 1 部分：光伏离网应用技术条件》GB/T 22473.1、《电力储能用锂离子电池》GB/T 36276 等的有关规定，储能用电池管理系统需符合现行

国家标准《电力储能用电池管理系统》GB/T 34131 的有关规定，建筑蓄冷设施需符合现行国家标准《蓄冷系统用蓄冰槽 型式与基本参数》GB/T 25859 的有关规定，直流插头插座需符合现行国家标准《家用和类似用途直流插头插座第 1 部分：通用要求》GB/T 42710.1、《家用和类似用途直流插头插座第 2 部分：型式尺寸》GB/T 42710.2 等的有关规定，线缆需符合现行国家标准《电缆及光缆燃烧性能分级》GB 31247 和《阻燃和耐火电线电缆通则》GB/T 19666 的有关规定，配电设备需符合现行国家标准《低压开关设备和控制设备 第 1 部分：总则》GB/T 14048.1、《交流 1000V 和直流 1500V 及以下低压配电系统电气安全 防护措施的试验、测量或监控设备 第 1 部分：通用要求》GB/T 18216.1 等的有关规定。

4 工程设计

4.1 一般规定

4.1.1 本条规定了建筑光储直柔工程的组成，包括：（1）分布式光伏，光伏安装可采用建筑附着光伏或建筑光伏一体化形式；（2）储能设施，储能方式可以为电驱动的冰蓄冷、水或相变材料蓄冷/蓄热系统、充（放）电功率可调节的电动汽车充电桩，储能电池等；（3）直流配电设施包括交直/直直变换器、光伏变换器、储能变换器、线缆以及开关等保护装置；（4）直流用电设备包括照明、空调、办公设备等用电设备以及插座等；（5）监测与控制系统包括传感器、测量/计量表具、控制器和监控软件等。

上述设施构成了光储直柔微电网，且微电网需具备扩展能力，电网接口变换器 AC/DC 可取较大容量；这意味着微电网可以根据需要增加新的发电单元、负载及其他相关设备，从而提高其容量和功能。这种能力使得微电网能够更好地适应不同规模的能源需求，并为未来的增长和变化做好准备。

4.1.2 本条明确了建筑光储直柔工程的设计内容和设计流程。

第一步，明确设计目标。光储直柔工程设计以建筑电力交互为目标，但在建筑取电功率的要求上可以进行选择，具体按本规程第 4.1.3 条的规定进行。

第二步，柔性设计与负荷计算。对建筑逐时用电负荷进行计算，得到建筑用电柔性调节前的基线负荷曲线。同时确定柔性负荷及其可调节能力，具体按本规程第 4.2 节执行。

第三步，建筑光伏设计。对建筑光伏装机及安装形式等进行设计，并且在设计阶段按典型年气象参数计算逐时光伏发电能力，具体按本规程第 4.3 节执行。

第四步，建筑储能设计。对建筑储能的形式和容量规模等进行设计，并且基于建筑取电要求，结合建筑用电负荷和建筑光伏发电能力等计算建筑用电柔性的逐时调节功率，具体按本规程第 4.4 节执行。

第五步，建筑直流配电设计。基于建筑直流负荷设计和储能配置，对建筑光储直柔工程直流配电系统进行设计，具体按本规程第 4.5 节执行。

第六步，对设计方案的动态计算结果和建筑取电功率要求进行比较，当设计方案达到设计目标时，完成光储直柔工程设计，否则进行设计调整。

4.1.3 就建筑电力交互而言，现阶段工程设计可以有不同的交互目标，例如建筑取电功率可以基于分时电价信号以降低电费为目标运行，也可以是按照给定的功率曲线运行。

当以经济性最优为建筑取电功率要求时，由于建筑光伏发电边际成本为 0，因此光储直柔工程需在光伏消纳的基础上运行，此外光储直柔工程还需基于现行峰谷电价机制实行峰谷套利，降低运行电费。

当以给定功率曲线为建筑取电功率要求时，给定功率曲线通常由电网给定，如需求响应曲线或虚拟电厂调节指令等。此外，工程设计阶段的建筑取电功率要求也可以按建筑全天恒功率取电模式运行，以评价建筑柔性调节的能力。

此外，光储直柔能有效降低建筑运行碳排放。但是目前建筑电力碳排放核算时，电力碳排放因子通常取常数，并没有体现出可再生能源实时波动带来的电力供需不平衡的矛盾关系，因而也无法体现出建筑用电柔性带来的减碳效益。因此，该条文现阶段没有将降低碳排放作为建筑取电要求。在未来，当电力动态碳排放责任因子推行时，建筑取电功率还可以按照降低建筑取电碳排放责任量确定。

4.1.4 空调、充电桩、照明灯具、储水式电热水器等产品直流化程度高，产品可选择范围多，功率覆盖范围广，经济性优，具备工程化应用基础。空调的功率大，电量多，适合于调节功率和电量；充电桩功率大，反应速度快，适合用于功率调节；照明灯具的用电时间长，不受季节影响，耗电量多，交直流电输入均可，无增量成本，适合用于提高直流负荷用电量；储水式电热水器功率大，对供电电压波动无感，热惯性大，属于可快速中断的负荷，有极佳的柔性调节能力。

其它具备直流接入条件的电器和设备还有很多，包括IT设备如电脑、交换机、摄像头等多种产品，带储能电池的移动式产品，液晶及LED显示屏，直流冰箱，直流风扇，光伏直驱类的直流机电设备等。根据建筑的应用情况和产品设备对交直流电源的敏感性，酌情判断是否接入直流电网。

4.1.5 当采用交直流混合配电系统时，建筑直流配电系统通过双向AC/DC变换器实现与交流配电系统的电能交互。当建筑直流配电系统中光伏和储能不足以支撑用电需求时，可通过AC/DC变换器从交流配电系统引入电能；当建筑直流配电系统的光伏存在富余时，能够通过双向AC/DC变换器将这部分电能传输至建筑交流配电系统中。

此外，本条不推荐通过双向AC/DC变换器经由市政变压器向电网反向送电，主要考虑到城市建筑的光伏年发电量通常小于建筑年用电量，并且大量并网点的存在将给电网运行带来显著影响，有悖于光储直柔工程的建筑电力交互设计目标。

4.1.6 用电柔性分为建筑用电柔性和设备用电柔性，其中设备用电柔性是建筑用电柔性的基础，建筑用电柔性是诸多设备用电柔性的聚合体现。参与柔性调节的设备需支持用电柔性调节，即具备设备用电柔性。设备的柔性调节方式建议与光储直柔工程的建筑用电柔性调节方式一致，具体方式见本规程第4.2.2条。

4.2 柔性设计与负荷计算

4.2.1 现行国家标准《建筑电气与智能化通用规范》GB 55024对民用建筑主要用电负荷进行了分级，包括特级、一级、二级和三级共4个等级。直流配电系统设计时，用电负荷及其供电要求按该标准执行。

光储直柔直流微电网的基础功能是保障建筑用电需求，因此负荷柔性调节时不能造成较大影响。在柔性设计时，可以先将建筑负荷区分为柔性可调负荷和刚性不可调负荷，再对柔性可调负荷进行细化设计。按照柔性特征，柔性负荷可以分为功率可调节负荷、可时移负荷、可蓄能负荷三类，如图2和表1所示。

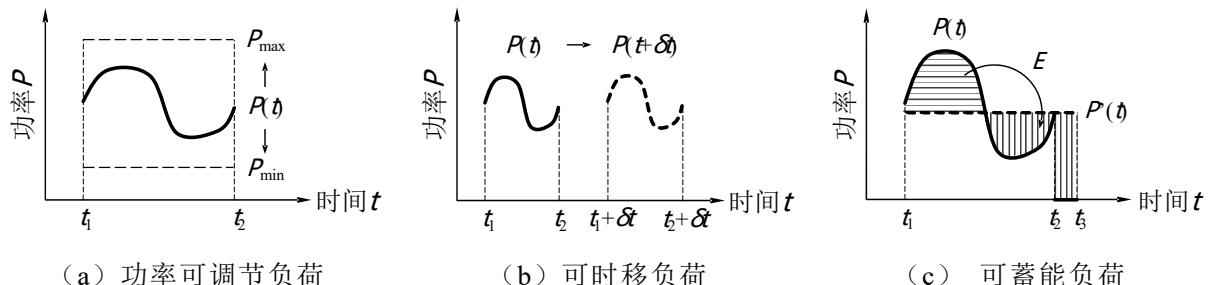


图2 按照用电设备柔性特征的负荷分类

(1) 功率可调节负荷：在用电过程中，设备可根据调节需求削减或提升运行功率。根据设备功率的可调节特征，进一步分为功率分档可调负荷（含可中断负荷，即开和关两档）和功率连续可调负荷。例如，照明灯具（非特级、一级或二级负荷）、变频空调、空调器净化器等。

(2) 可时移负荷：在用电过程中，设备具有固定的工作流程，期间功率不可随意调节。但是，

可以调节设备开始工作的时间，实现负荷时移。例如，洗衣机、烘干机、炊事相关器具（电饭煲、电烤箱、油烟机）等。

（3）可蓄能负荷：设备自身带有能量储存设施，储能设施主要包括储能电池和蓄冷/热体。如果前述的功率可调节负荷和可时移负荷配备能量储存设施，其同时也属于可蓄能负荷。例如，充电桩（连接电动汽车）、便携式电子产品、电热水器、蓄能空调、蓄能冰箱等。

表1 典型电器设备的负荷分类

典型电器设备	功率可调节负荷	可时移负荷	可蓄能负荷
照明（非一级或二级负荷）	○	×	×
空调/热泵	○	×	×
空调/热泵（带蓄能体）	○	×	○
电采暖设备	○	×	×
变频风机/水泵	○	×	×
可调速电梯	○	×	×
电热水器（带水罐）	×	○	○
洗衣机	×	○	×
电炊具	×	○	×
冰箱/冷柜	×	×	○
充电桩（连接车辆）	○	×	○
便携式电子产品（带电池）	○	×	○

注：○表示属于该负荷分类；×表示不属于该负荷分类。

对于建筑空调系统而言，由于建筑具有热惯性，且人的热舒适温度是一个区间，这给与了空调柔性调节的空间。当配电系统希望多用电时，空调运行功率提升；当系统希望少用电时，空调运行功率降低。参与建筑用电柔性设计的空调系统的可调节量主要受到设备作息、建筑热惯性以及用户意愿等因素影响。例如，相比于非供冷季，供冷季时的空调开启时长更长、用电负荷基数也更高，相应的可调节电量也会更高。又例如，热惯性更强的建筑室内温度变化更慢，空调系统的可调节能力也会更强。此外，建筑空调参与柔性调节时，可能会牺牲一部分舒适性，因而用户意愿也会对空调系统可调节电量产生影响。

对于建筑周边的充电桩（连接车辆）而言，通常电动汽车的停留时间与车主在楼宇的停留时间相当，这段时间相较于将电动汽车电池充满的时间是富余的，因而可以对充电桩的运行功率进行调节，实现有序充电或放电。也即是说，在建筑光伏富余时，又或是电价较低时，通过充电桩对电动汽车进行多充电；当建筑光伏不足时，又或是电价较高时，电动汽车少充电或者向建筑配电系统放电。参与建筑用电柔性设计的充电桩的可调节量主要受到设备作息和用户意愿等因素影响。当接入建筑配电系统的充电桩的运行数量越多，电动汽车车主对柔性调节的接受意愿越强时，充电桩用电需求的可调节量越大。

4.2.2 建筑用电柔性的实现方式有以下两种：

其一，基于直流母线电压。直流配电系统根据功率调节需求改变直流母线电压：通常电压升高代表功率富余，希望设备增加用电功率或减小发电功率；电压降低代表功率紧张，设备需减小用电功率或增大发电功率。设备根据电压变化所传递的系统功率信息，结合自身功能和运行状态确定是否参与功率调节以及参与调节的程度与持续时长。

其二，基于通讯。建筑能源管理系统接收到建筑用电调节需求后，基于建筑用电设备的自身功能和当前运行状态，通过算法实现系统功率调节需求的分解，并以有线或无线的通讯方式下发

到终端柔性调节设备，设备接收到调节指令后做出响应。

第一种方式强调无需借助通信就可以协调设备共同参与系统功率调节，简单实用，非常适合建筑内开放直流配电系统多样化设备灵活接入的要求。

4.2.3 建筑用电负荷主要分为空调负荷和其他设备负荷，其中空调负荷主要受室内外环境参数和围护结构热工性能影响，存在季节性差异；其他设备负荷主要受设备功率和设备作息影响，季节性差异较弱。

改建项目的建筑全年逐时用电负荷可采用建筑历史的用电负荷数据。新建项目建议采用专用模拟计算软件对建筑用电负荷进行全年动态模拟计算，或根据同类型建筑的用电负荷曲线进行计算。

4.2.4 由于建筑用电需求和建筑光伏发电在一年尺度内都是动态变化的，因此动态计算建议在全年 8760 小时尺度上进行。动态计算的内容包括逐时建筑光伏功率、逐时建筑用电负荷及逐时柔性负荷调节功率，逐时建筑储能调节功率，逐时建筑取电功率。由于动态计算涉及的计算量较大，建议采用专用软件工具计算，计算流程和方法需符合本规程附录 A 的规定。

4.3 建筑光伏设计

4.3.2 光伏发电为直流电，将其接入直流配电系统中能减少光伏逆变再整流的电能转换环节，提升系统效率。

建筑光储直柔工程中，光伏发电优先自发自用，实现就地消纳，并利用用电设备、储能、建筑围护结构等进行柔性调节以提高光伏发电自用率和光伏发电自给率。

在光伏消纳方式上，公共建筑可优先通过充电桩、照明、空调热泵等高用电负荷进行光伏消纳；住宅建筑可优先通过小区公共区域负荷、充电桩、储水式电热水器等用电负荷进行光伏消纳。其中储水式电热水器兼具储能效果，在白天光伏富足时进行蓄热，有助于光伏就地消纳。

4.3.3 光伏组件在建筑物外或屋面布局时，可能与建筑物的布局要求和外观不相符，从而影响到建筑的整体美观，由此提出要求和城市整体建筑风貌保持协调统一，减少对屋面和外观观感造成的不利影响。在光伏倾角设计时，以最佳倾斜角安装光伏组件时单位装机的发电量最高，但考虑到光伏组件间距，以最佳倾斜角安装时的单位屋顶面积发电量比水平安装光伏组件时的单位屋顶面积发电量低。因此，在建筑光储直柔工程中，通常屋顶面积比较紧缺，加之组件价格近年下跌明显，可以采用水平安装光伏组件，实现单位占地面积光伏发电量最大。在实际项目中，建议结合屋顶结构形式，选择介于最佳倾斜角和水平之间的某个角度进行安装，以追求屋顶光伏安装容量及全年发电量最大化。

4.3.4 本规程第 4.5.4 条规定了建筑直流配电系统稳态电压需在 85%~105% 额定电压范围内。因此，建筑光伏组件串联后的最高开路电压不能超过接入直流母线额定电压的 105%。

4.3.5 光伏组件工作温度升高会降低发电效率。安装光伏组件时，建议采取必要的通风降温措施以抑制其表面温度升高。一般情况下，组件与安装面层之间设置 50mm 以上的空隙，组件之间留有空隙，能有效控制组件背面的温度升高。

4.4 建筑储能设计

4.4.1 本条规定了建筑光储直柔工程中的储能方式。常见的储能方式根据原理可以分为热储能、电化学储能、电磁储能、机械储能等多种形式。从技术成熟度和适用场景来看，建筑光储直柔工程适合采用电化学储能和热储能。其中热储能包含电驱动的冰蓄冷、水或相变材料蓄冷/蓄热系统，该方式目前发展较为成熟。

电动汽车充电桩是光储直柔工程中柔性调节能力的重要来源。充电桩的柔性调节能力包括有序充电管理和双向充放电两种，具备上述功能之一的充电桩，可以等效认为具有储能能力。

建筑光储直柔工程的储能资源还包括建筑本体的蓄冷、蓄热和运行功率可调节、可时移的用电电器，不过上述储能资源的实际调节能力还受制于设备本身的使用规律、用户的调节意愿和调节成本等多方面的因素。

4.4.2 当建筑光储直柔工程采用蓄冷/蓄热系统作为储能方式时，需符合现行国家标准《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB 50736、《蓄冷系统用蓄冰槽：型式与基本参数》GB/T 25859、《蓄热型电加热装置》GB/T 39288 等的有关规定；建议符合现行行业标准《蓄冷空调工程技术规程》JGJ 158 的有关规定。

等效储能电池方法将蓄冷/蓄热设置的运行功率等效为储能电池的充放功率。例如：进行蓄冷/蓄热时，将空调系统相比于无蓄冷/热时额外多消耗的电量视为等效充电量；而在释冷/释热时，将空调系统少消耗的电量视为等效放电量。同样，将蓄冷/热体蓄满所需要额外消耗的电量视为等效电池的储电容量。将蓄冷/蓄热设施按等效储能电池方法进行计算，能实现系统设计和动态计算过程的简化，计算方法需符合本规程附录 A 的规定。

4.4.3 第 1 款，建筑能量调度管理系统通过向充电桩下达功率限制指令的方法对充电桩功率进行直接调节，指令响应时间不大于 3s。响应时间建议参考行业标准《电动汽车充放电双向互动 第 2 部分：有序充电》NB/T11305.2-2023 第 6.1 节的有关规定，有序充电管理系统响应时间小于等于 3s。

第 2 款，充电桩和电动汽车动力电池不仅可以通过主动改变充电功率的方式参与建筑负荷调节，如果充电桩具备双向功率流动和控制能力，动力电池还可以反向向建筑直流配电系统供电，发挥增加供电能力、后备供电等作用，实现建筑电动汽车交互。具备双向功率流动和控制能力的双向充电桩，虽然在成本和效率方面相比单向充电桩目前还处于劣势，但随着电动汽车的普及，以及双向充电桩和动力电池技术的发展，优势和应用价值将逐步提升。

4.4.4 第 1 款，建筑储能的运行方式对储能电池选择有很大影响，与应急和后备供电相比，建筑用电柔性调节对储能电池安全、寿命和效率要求更高。建筑用储能电池需具备本征安全，如铅基电池。

第 2 款，电池管理系统（BMS）的基本功能是对储能电池的状态进行实时监测，在出现异常和故障的情况下提供保护。BMS 系统通常对电芯的电压、电流、温度、电池储电状态（SOC）、电池健康状态（SOH）等进行监测，且监测数据需接入光储直柔监控平台；当电池运行出现异常时，平台系统需进行报警，同时 BMS 提供保护。

第 3 款，当储能设施达到功率 500kW 且容量 500kWh 及以上时，属于电化学储能电站，需符合现行国家标准《电化学储能电站设计规范》GB 51048 的有关规定。建筑光储直柔工程中应用的单个模块电池不建议超过这个规模，但工程可在不同防火分区采用多个模块。储能电池需符合现行国家标准《储能用铅酸蓄电池》GB/T 22473、《电力储能用铅炭电池》GB/T 36280、《电力储能用锂离子电池》GB/T 36276 等的有关规定。

第 4 款，当储能电池出现故障时，现场人员能够实现储能设施与直流母线的“一键断开”。

4.4.5 建筑储能容量及功率参数的设计需在全年 8760 小时尺度上通过动态计算予以优化确定。此外，建筑蓄冷/蓄热设施以及储能电池均需要一定的建筑空间，其容量规模的确定还需要考虑到建筑安装的可行性。

4.5 直流配电设计

I 配电系统

4.5.1 第1款，考虑以下因素，本规程推荐直流配电系统采用单极结构：(1) 单极结构形式简单，运维管理难度相对较低，工程应用更加方便；(2) 民用建筑中绝大多数场所采用单一电压等级即可满足用电设备的要求。

第2款，国家标准《中低压直流配电电压导则》GB/T 35727-2017 中有推荐电压 750V(±375V)，同时行业推荐采用 DC750V 和 DC375V 两个电压等级。

第3款，当配电系统有两个电压等级，如 DC375V 和 DC750V 时，主母线(AC/DC 变换器所接入的直流母线)的电压等级根据主要用电设备进行确定。通常集中冷机和 6 kW 以上多联机采用 DC750V 配电，分体空调和 LED 照明采用 DC375V 配电。当主要用电设备采用 DC750V 配电时，主母线电压建议采用 DC750V；当主要用电设备采用 DC375V 配电时，主母线电压建议采用 DC375V。

4.5.2 推荐光储直柔建筑直流配电系统采用 IT 接地型式，主要基于以下三个方面：(1) 民用建筑用电环境较好，IT 接地型式可以大大降低偶然故障带来的电击危险，显著提升建筑用电安全性能和供电可靠性；(2) 针对 IT 系统接地故障定位问题，现阶段已有一些可行的解决措施，基本可以满足应用要求；(3) 直流配电系统大多会接入采用 TN 接地方式的交流配电网，直流采用 IT 接地，交直流环节之间电气隔离，可以降低相互影响和交流窜入风险，简化故障分析排查。

为了抑制系统对地共模电压，IT 接地系统建议采取高阻接地。工作接地电阻越大，第一点故障可能引起的电击危险越小，但故障辨识也越困难。为了便于 IMD 和 RCM 配合实现绝缘故障定位，工作接地电阻可以在确保安全的前提下适当减小，而下限则根据电流效应予以确定。

4.5.3 在线检修是指在直流母线不断电的情况下，对设备和模块进行的检查和维修。这种检修方式在检修时，不会影响到配电系统别的设备的正常使用。

4.5.4 电能质量是保障系统稳定运行的基本要求。本条规定了建筑光储直柔工程中电能质量需达到的指标，包括了系统稳态电压范围、暂态电压波动范围和纹波系数。

第1款，稳态电压波动是向用电设备传递功率需求信息的途径，也是低成本实现柔性调节的基础。

第2款，暂态电压波动是系统稳定控制能力的体现，本条文中“负荷大幅度快速波动”指功率在 100ms 内从 20% 额定功率上升到 80% 额定功率，或从 80% 额定功率降低到 20% 额定功率。

第3款，“正常运行条件”指在标称电压条件下，功率在 20%~100% 额定功率的情况。

4.5.5 直流配电房可与交流配电房合用或单独设置，建议根据变换器运行功率和效率计算房间热负荷，并配置空调设备。光储直柔工程中所用到的变换器属于电力电子设备，目前设备对环境适应能力较差，因此本条文对配电房环境进行要求。

深圳市地方标准《城市地下空间防涝设计导则》SJG 162-2024 中第 5.4.1 条规定：位于低洼易涝区的建筑物，其附属的变配电房不应设置在地面以下；位于其他地区的建筑物所在地下建筑层数为一层以上的，变配电用房应设置在地下一层或者以上楼层，建筑物所在地下建筑层数为一层的，变配电用房应设置在建筑物的首层或者以上楼层。

II 变换器

4.5.6 直流配电系统中常用的变换器一般包括两个端口，其中一个端口接到直流母线路，另一个根据设备类型不同，接入光伏电池、储能电池等。根据电能变换方式和控制策略，加上损耗的影响，变换器两侧端口的电压、电流和功率，以及控制和保护功能往往不同。对于直流配电系统而言，更关注变换器直流母线侧的性能，为避免混淆，在直流配电系统，除非特别说明，变换器

以直流母线侧参数作为选型依据。

变换器对直流配电系统稳定运行和可靠保护至关重要,变换器厂家提供的产品技术性能参数,对系统控制参数设计、保护整定计算和校核非常重要。

4.5.7 本条文对建筑光储直柔工程用变换器的效率进行了规定:

第1款,电网接口变换器、储能变换器、直流电压变换器、直流功率变换器的最高效率 η_{max} 、加权总效率 η_w 和轻载效率 η_l 需符合表2的要求。

表2 电网接口变换器、储能变换器、直流电压变换器、直流功率变换器的最高效率、加权总效率和轻载效率

变换器类型	变换器直流端口额定功率 P_n	变换器能效等级					
		高能效级			一般能效级		
		η_{max}	η_w	η_l	η_{max}	η_w	η_l
非隔离型	$5kW \leq P_n < 15kW$	$\geq 97.5\%$	$\geq 96.0\%$	$\geq 95.5\%$	$\geq 96.5\%$	$\geq 95.0\%$	$\geq 94.5\%$
	$P_n \geq 15kW$	$\geq 98.5\%$	$\geq 97.0\%$	$\geq 96.5\%$	$\geq 97.5\%$	$\geq 96.0\%$	$\geq 95.5\%$
单向隔离型	$5kW \leq P_n < 15kW$	$\geq 96.0\%$	$\geq 94.5\%$	$\geq 94.0\%$	$\geq 94.5\%$	$\geq 93.0\%$	$\geq 92.5\%$
	$P_n \geq 15kW$	$\geq 97.0\%$	$\geq 95.5\%$	$\geq 95.0\%$	$\geq 95.5\%$	$\geq 94.0\%$	$\geq 93.5\%$
双向隔离型	$5kW \leq P_n < 15kW$	$\geq 95.0\%$	$\geq 93.5\%$	$\geq 93.0\%$	$\geq 93.0\%$	$\geq 91.5\%$	$\geq 91.0\%$
	$P_n \geq 15kW$	$\geq 96.0\%$	$\geq 94.5\%$	$\geq 94.0\%$	$\geq 94.0\%$	$\geq 92.5\%$	$\geq 92.0\%$

注: 变换器的轻载效率是变换器在额定电压和20%额定功率条件下的效率。加权总效率由下式计算: $\eta_w = 0.35 \times \eta_1 + 0.35 \times \eta_2 + 0.2 \times \eta_3 + 0.1 \times \eta_4$, 其中 η_1 、 η_2 、 η_3 、 η_4 分别指变换器在额定电压和功率为20%、50%、80%、100%额定功率条件下的效率。

第2款,光伏变换器的最高效率 η_{max} 和加权总效率 η_a 需符合表3的要求。

表3 光伏变换器的最高效率、加权总效率和轻载效率

变换器类型	额定功率 P_n	η_{max}	η_a
非隔离型	$5kW \leq P_n < 15kW$	$\geq 97.5\%$	$\geq 97.0\%$
	$P_n \geq 15kW$	$\geq 98.5\%$	$\geq 98.0\%$
隔离型	$5kW \leq P_n < 15kW$	$\geq 95.5\%$	$\geq 95.0\%$
	$P_n \geq 15kW$	$\geq 96.5\%$	$\geq 96.0\%$

注: PVC 加权总效率的计算方法需符合国家现行标准《光伏并网逆变器技术规范》NB/T 32004-2018 第11.4.3.4条公式(11)的有关规定。

4.5.8 模块化的设计有利于提高系统可靠性及提高整体运行效率。

采用模块化结构,由多个相对独立的模块以并联的方式设计变换器,在个别模块出现故障时,通过将故障模块切除的方式,变换器可以尽量维持正常功能,减小故障对系统的影响,达到提高系统可靠性的目标。

另一方面,变换器产品一般参照最大功率进行设计,最大效率点一般在50%额定功率以上区段,在实际运行过程中,变换器可能在较低功率下运行,效率会有所降低,对直流配电系统能效产生不利影响。采用模块化结构,变换器可以根据损耗特性对模块功率继续分配,提高整体运行效率。

4.5.9 变换器根据直流母线电压变化自动调整运行状态和稳态功率,或根据功率调节目标自动改变直流母线稳态电压的功能被称之为功率主动响应功能。直流微电网可以基于变化的直流母线电压便捷地实现各类直流设备的分布式能量调度管理。

4.5.10 电网接口变换器连接电网和直流配电系统，需要在光伏和储能等其他电源设备退出工作的情况下独立维持供电，因此必须具备稳压控制功能，同时为了减小对城市电网的影响，要求交直变换器采用三相交流供电。

第1款，直流配电系统最简单也是最常用的运行控制方式，是由电网接口变换器建立和稳定直流电压，电网接口变换器的作用相当于一个直流电压源。另外，为了实现功率主动响应和线路压降补偿等功能，要求交直变换器可以根据指令调整直流电压。

第2款，直流电压控制误差 $\epsilon = |U - U_{ref}| / U_{ref}$ ，其中 U 为直流电压实际值， U_{ref} 为直流电压指令。电压误差反映了变换器的控制性能，指标要求主要考虑三方面因素：变换器中使用的电压传感器精度一般为 1.0%，从成本角度，对变换器电压控制误差不建议提出过高的要求；直流配电系统不可避免存在线路压降，一般要求不超过额定电压的 5%，与线路压降相比，电压控制误差所占比例较小，电压控制误差没必要限制得太小；运行条件也会对直流电压控制误差产生影响。综合以上因素，考虑到设备对直流电压有一个较大的适应范围，本规程要求交流电压在允许范围内、直流电流在 0~100% 额定电流范围内变化时，直流电压设定在 90%~105% 额定电压范围内任意值时，直流电压控制误差不超过 1.5%。

第3款，电网接口变换器接入城市电网，因此必须满足相关国家标准和电力系统的要求。电网接口变换器的工作原理以及对交流电网的影响与光伏逆变器和储能变流器相似，并网接入要求可按现行国家标准《光伏发电并网逆变器技术要求》GB/T 37408、《电力系统电化学储能系统通用技术条件》GB/T 36558、《电化学储能系统储能变流器技术规范》GB/T 34120 等的有关规定采用。

4.5.11 光伏变换器的作用是将光伏电池产生的电能馈入直流母线。为了降低工作损耗，提高光伏发电效率，光伏变换器建议采用非隔离型拓扑。

第3款，在相同的光照强度和温度条件下，光伏电池的输出功率随电压变化并存在一个最大值，为了提高光伏发电效率，光伏变换器需具备最大功率点跟踪功能。

限压是指在直流母线电压过高时，光伏变换器将工作点从最大功率点偏离，通过主动减少光伏电池输出功率，限制直流母线电压进一步上升。如果光伏变换器具备稳压能力，在用电设备功率不超过光伏最大功率点功率的情况下，光伏变换器可以通过调整光伏电池输出功率稳定直流母线最高允许输出电压，独立实现稳压供电功能。

第4款，直流母线电压较长时间低于 70% 额定电压是一种非正常状态，设备可能出现工作异常甚至损坏，需尽量予以避免；另外，对于非隔离升压型光伏变换器，当直流母线低于光伏电池阵列电压时，电流可能失去控制，通过光伏变换器直接流入直流母线，不但控制性能变差，还具有较大的安全隐患。为确保人员和设备安全，在类似情况下，光伏变换器需具备主动从直流母线中主动断开的功能。

当光伏组件侧设有功能接地时，光伏变换器建议采用隔离型变换器。

III 安全与保护

4.5.12 第1款，建筑直流配电系统的保护主要针对各种设备、变换器和各极线路发生的故障或异常，防止故障进一步发展，避免或减少损失。直流配电系统中常见的故障包括电击、电弧、短路、断线、接地、过电压、绝缘下降、直流环网和交流窜入等，这些故障可能造成人身伤害和设备损坏，也可能引起系统工作异常，对供电质量和可靠性产生影响，一些故障还会产生连锁反应，引发新的故障，局部故障可能在更大的范围蔓延，造成更大的破坏。直流配电系统常见故障主要特征如表4所示。

表 4 常见故障主要特征

故障类型	主要特征
接地	对地绝缘阻抗降低、电流分流
过流	电流快速大幅度上升、电压快速深度跌落 过流比较严重时也被称为短路故障
电压异常	电压偏差超限、两极电压不平衡
交流窜入	直流中出现工频交流电压分量、对地绝缘降低
断线	电压和电流异常中断

第 2 款，光储直柔配电系统工作原理和运行模式相比传统交流电气系统更加复杂。为降低现场运维保障压力，要求保护原理及功能尽量简单可靠。现阶段，对建筑直流配电系统的故障特性还需要进一步深入掌握，如果针对同一类型故障设置多重保护，虽然有助于提高保护的可靠性，但也会增加现场故障排查的难度。

第 3 款，设备投切、工作模式切换和短路等情况都会引起过流，造成电压暂降和波动，严重时甚至触发设备过流保护，触发连锁反应导致系统崩溃。为此，直流配电系统需要具备过流保护功能。

第 4 款，直流微电网内分布式电源和储能设备电流方向不定，为保障检修人员安全，要求配电线装设多极隔离电器，切断所有电气连接，且隔离电器采用非自复方式，防止自动连通。

4.5.13 即使将外部市电断开，内部的储能电池、光伏电池本身就有较高的电压，只是储能变换器和光伏变换器停止工作，并不能可靠杜绝电击危险，只有将所有电源设备从直流配电系统中完全切除，才能保证检修和维护人员安全。为此，本规程要求直流母线与设备之间设置能同时断开电源所有极的多极隔离电器，以便将电源设备从直流配电系统中可靠断开。由于直流电弧与交流电弧存在较大差异，直流配电系统中的隔离电器要求采用具备直流灭弧功能的直流断路器或隔离开关。

4.5.14 第 1 款，在与直流母线断开之后，配电回路仍可能依靠分布式电源设备维持供电，处于孤岛运行状态。当配电回路从直流母线上断开后，要求配电路上的分布式电源设备在 2s 内停止工作并从配电回路上断开，避免配电回路出现孤岛运行状态，同时确保检修人员安全。

第 2 款，变换器直流母线侧都设计有滤波电容，对地之间还有用于电磁兼容的 Y 电容和杂散电容，工作时这些电容上都存储了电荷。系统断电停止运行后，电容里的电荷通过一些途径泄放并会残留一定时间，在此期间，电容残压仍可能具有危险。参考国家标准《家用和类似用途电器的安全 第 1 部分：通用要求》GB/T4706.1-2024 的有关规定，为确保检修人员安全，本条要求直流配电系统各点电容残压在 30s 内下降到 30V 以下。由于设备类型和系统工作模式复杂，可以采取外接电阻主动放电的方法，确保残压泄放速率满足要求。

第 3 款，与传统交流电气系统相比，直流配电系统和电源设备的工作模式更加复杂，除了其他必要的措施，本规程还要求 DC375V 和 DC750V 直流配电系统具备极间电压和对地电压监测功能，以便检修人员能在现场直观了解系统电压的危险状况。电压监测装置的工作原理需要简单可靠，电压状态指示清晰，不依靠外部电源工作，推荐采用 LED 指示灯方式。

4.5.15 第 1 款，参考现行国家标准《低压电气装置 第 4-41 部分：安全防护 电击防护》GB 16895.21 的有关规定，当直流配电系统采用 IT 接地型式时，需配置绝缘监测和剩余电流监测等故障定位功能，及时发现和排除第一点故障，避免两点故障的发生。

第 2 款，因为直流配电系统中各极线路都可能出现绝缘问题，受一些具体因素影响，各极线路对地电位不同，且会随工况而变化，而如果采用高阻接地型式，绝缘监测必须考虑工作接地电阻的影响。因此，要求绝缘监测装置能同时对各极线路进行监测，且能够根据实际情况和要求，

分别设置各级线路绝缘故障保护动作和动作阈值。

4.5.16 交流剩余电流突变保护阈值，按国家标准《光伏发电并网逆变器技术要求》GB/T 37408-2019 第 6.7.2 条的规定采用。

IV 线缆与插头插座

4.5.17 第 1 款，建筑直流配电系统可能存在多个电压等级，由于工程现场的复杂性，不能完全杜绝不同电压等级线缆发生接触，为提高电击防护性能，线缆耐压要求统一按系统中最高电压等级设计。对于双极结构 IT 接地系统，在一极出现接地故障的情况下，另一极线路对地电位最高可升至极间电压水平，在线缆选型时，电压需统一按正负两极间电压考虑。

第 2 款，线路压降是指线路首末端电压之差。线路压降对应线路损耗，压降过大还容易造成线路远端电压偏差超限，影响系统能效和供电质量。

第 3 款，当建筑中同时存在交流配电和直流配电系统时，交直流导线均需具有明显标识。直流导线颜色和标识参考 IEC 60364-1 ED6，如图 3 所示。

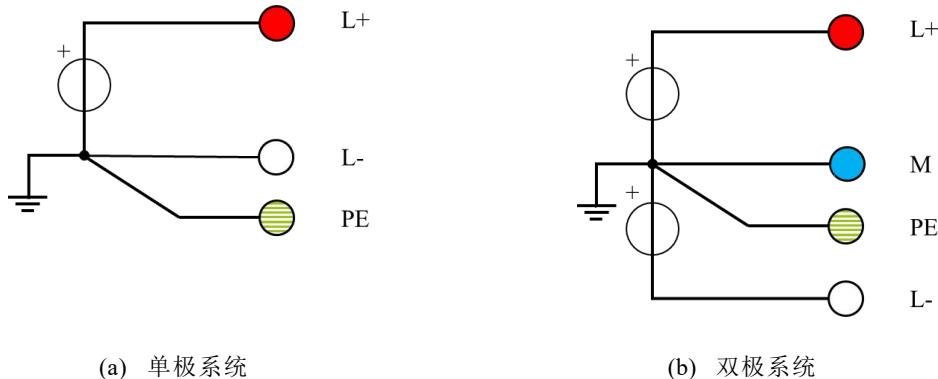


图 3 直流导线颜色

第 5 款，低烟无卤型线缆燃烧时烟雾少，不会产生腐蚀性气体逸出，适用于人员较密集场所。

4.6 监测与控制设计

4.6.1 参考国家标准《智能建筑设计标准》GB 50314-2015，建筑设备管理系统是指对建筑设备监控系统和公共安全系统等实施综合管理的系统。建筑光储直柔属于微电网，涉及建筑光伏、电网接口变换器、建筑储能、照明和空调等用电设备以及直流配电和安全保护设备，其监测与控制系统建议与建筑设备管理系统统筹设计，以实现对建筑设备运行优化管理。

第 3 款，建筑光储直柔监测与控制系统在具备监测功能的同时，还需着重强化对建筑整体用电的控制能力。具体而言，需涵盖手动控制和自动控制两种模式，以满足不同场景下的操作需求；同时配备软件急停和硬件急停功能，确保在紧急情况下能够迅速切断电源，保障系统安全。

第 8 款，建筑光储直柔监测显示界面中需能显示配电系统的电气开关位置及其实时状态等信息。

4.6.2 直流配电系统建议具备孤岛运行能力。直流配电系统从并网状态转成孤岛状态，包括计划孤岛和非计划孤岛两种方式。从故障保护和检修维护的角度考虑，直流配电系统并离网工况的切换需能通过手动模式或自动模式实现。

4.6.3 光储直柔工程中主要变换器、分布式电源设备等一般均自带控制系统，供应商需提供标准化通信接口，并在系统规划之初约定同一种通信协议，降低系统集成难度，提高通信可靠性，实现设备与系统监控系统的稳定数据交换。

电力交互是光储直柔的优势之一。目前建筑与电网接口的信息规范还在持续完善中，已发布

的包括现行国家标准《电力需求响应系统通用技术规范》GB/T 32672、行业标准《电力需求响应信息交换规范》DL/T 1867 等。电力交互信息包括价格、削减量、控制决策和直接控制等，通信协议需兼容常用的 HTTP、Modbus、XML 等。

5 工程施工与验收

5.1 一般规定

5.1.1 建筑光伏的施工和验收需符合现行国家标准《建筑光伏系统应用技术标准》GB/T 51368中第9章和第13章的有关规定。施工现场临时用电需符合现行国家标准《建设工程施工现场供用电安全规范》GB 50194的有关规定。此外，光储直柔工程施工的验收需符合现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300和《建筑工程施工质量验收规范》GB 50303的有关规定。

5.1.2 相比于传统建筑，光储直柔工程新增了建筑光伏、建筑储能以及直流配电设备，所涉及的相关设备和材料，例如光伏组件、储能电池、电能变换器、直流插头插座、线缆、配电设备等，进场时需有检测报告。具备现场检测条件的进行进场复验，如电缆等。

5.1.3 光储直柔工程相比传统建筑有显著不同，施工前需对现场人员进行培训讲解。培训内容包括光储直柔工程基本原理、配用电设备基本特性及其接线方式、常见故障及其解决方法等。

5.2 工程施工

5.2.1 光伏组件安装采用不同金属材料时，由于电位差的存在，不同金属之间可能会形成原电池效应，导致金属表面发生腐蚀。绝缘垫可以隔离金属表面，避免电化学反应的发生，从而保护金属材料的完整性。

5.2.2 第3款，长时间存储的电池可能会出现自放电现象，导致电池电量不足。对可独立充电的最小单元进行充电可以确保电池在安装后能够立即投入使用，避免因电量不足而影响设备的正常运行，有利于延长电池寿命和提高系统安全性。

“可独立充电的最小单元”即指电池系统中能够独立进行充电操作的最小组成部分，例如：铅电池通常为一节，锂电池通常为电池包（pack）。

5.3 竣工验收

5.3.1 光储直柔以实现建筑电力交互为目标，需要建筑光伏、建筑储能、建筑柔性负荷共同配合完成。因而建筑光储直柔是一个完整的系统，而非彼此独立的单元组成。因此，需要对建筑光储直柔工程进行整体性验收，验收包括初验、通电和调试。具体需分别符合本规程第5.3.2条、第5.3.3条、第5.3.4条规定。

5.3.2 初验需检查工程基础质量情况，并确认项目所用设备规格型号参数、材料、工程施工符合设计要求。

5.3.3 初验正常后，对设备依次通电，确认建筑配电系统无短路、无断路，直流配电系统在带电状态下工作正常。

第2款，当有多个光伏变换器并联时，需逐一合闸确认。在光伏系统接入直流母线后，在有阳光的条件下，检查直流母线电压是否会到最高允许电压。

第4款，各负荷回路开关逐一合闸（设备接通电源，但仍处于待机状态），实时监测直流母线电压，如果母线电压异常则断开开关，并检查该开关后级是否短路；直至所有负荷开关正常合闸。

第6款，建筑光伏、建筑储能及负荷回路断开后，对电网接口变换器（AC/DC）进行合闸，确认变换器的输出电压工作范围能够满足直流母线电压范围要求。

5.3.4 通电正常后，对各设备进行调整和测试，并确认所有设备功能达到设计要求，同时建筑具备用电柔性。

第1款，此时电网接口变换器开关处于合闸状态，建筑光伏和建筑储能回路开关处于断开状态。

第2款，在系统通电状态下，分别对各设备进行调试，检查所有设备功能是否能达到设计要求，同时检查配电系统保护装置是否正常工作。确认正常后，使所有用电设备运行在最大功率状态，确认直流配电系统各项参数符合要求。

第3款，分闸约50%的负荷，同时监测直流母线运行状态，用来验证直流微电网的抗扰能力。

第4款，将建筑光伏和建筑储能接入直流母线，根据建筑电力交互需求，通过光储直柔控制系统对建筑取电功率进行调整，确认建筑具备用电柔性。

所有设备调试工作完成后，确认工程整体达到预期要求，即完成验收。

5.3.5 操作手册需包括光储直柔工程基本组成、设备的功能和参数、操作流程规范、安全注意事项等，操作手册需清晰明确，易于理解和操作。

6 运行维护

6.0.1 调适的目的在于确保光储直柔工程的各个环节，例如建筑光伏、建筑储能及柔性负荷、建筑配电设施等能够协同工作，实现建筑电力交互。在实际运行中，建筑的运行状态和取电要求可能会与设计工况不同，因此需要对工程进行调适。

6.0.2 为方便运维人员管理，需对建筑光伏、建筑储能、直流配电柜等设备及设备所在房间进行标识编号。

6.0.3 第1款，操作手册包括光储直柔工程的组成、设备的功能和参数、操作流程规范、安全注意事项等。

第5款，维持设备检修通道和通风通道通畅，要求无杂物堆积。

第6款，针对微电网的多源特点，断开主要供电设备后可能还有其它电源在供电，为确保安全，建议用万用表再次确认电压符合要求。

6.0.4 建筑光伏系统的运行维护需符合现行国家标准《建筑光伏系统应用技术标准》GB/T 51368、《低压电气装置 第4-41部分：安全防护 电击防护》GB 16895.21、《电气设备应用场所的安全要求 第1部分：总则》GB/T 24612.1、《电气设备应用场所的安全要求 第2部分：在断电状态下操作的安全措施》GB/T 24612.2 和《配电线路带电作业技术导则》GB/T 18857 等的有关规定。

6.0.6 直流配电系统的巡检设备包括各类变换器，断路器、漏电保护器、绝缘监测装置等安全保护装置，接线接头等。

附录 A 光储直柔能量平衡动态计算

A. 0.1 本条规定了光储直柔动态计算的流程。首先根据工程经验对光储直柔容量配置参数进行设定，后依据项目的建筑取电要求确定运行目标，然后对建筑光伏和建筑用电负荷的全年逐时负荷进行计算。再基于设定的容量配置方案和运行目标，对柔性负荷和储能设施的逐时调节量进行计算。当运行结果达到设计目标时，完成容量配置，否则对容量配置参数进行调整，重复上述计算。

A. 0.2 当以经济性为设计目标时，光储直柔动态计算需以降低运行电费为运行优化目标，此时建筑光伏发电运行成本可按 0 元/kWh 计算，因而这一目标同时也包含了促进光伏消纳的目标。当以给定功率曲线运行为设计目标时，动态计算时的建筑取电曲线即按该目标计算。

A. 0.3 光伏全年逐时发电量受光伏组件类型、装机容量、组件倾角和朝向等因素影响。建筑全年逐时用电量（不含电动汽车充电桩逐时用电量）受建筑类型、建筑面积、建筑室内外环境参数和围护结构热工性能、设备功率和设备作息等因素影响。建筑光伏和建筑用电负荷的全年逐时负荷建议通过专业软件进行模拟计算，常用的光伏模拟软件有 SAM 和 PVsyst，常用的建筑能耗模拟软件有 DeST、TRNSYS 和 EnergyPlus。

A. 0.4 在计算方式上，本规程建议将全年分成 365 个计算日，并对每个计算日在 24 小时尺度内的能量平衡进行计算。

A. 0.5 对光储直柔工程而言，光伏发电功率与建筑取电功率的和等于柔性调节前的建筑负荷用电功率、电动汽车充电功率、空调柔性调节功率（充电功率予以相加，放电功率予以相减，后同）、蓄冷设施和储能电池调节功率的和。考虑到光伏发电在柔性调节后仍可能存在部分光伏无法消纳，本条文将富余光伏作为变量添加到等式的右边。

A. 0.6 本条规定了建筑取电功率的限制，其不能高于 AC/DC 变换器的容量限制。在具体工程中，变换器容量可考虑可靠系数进行调整。

A. 0.7 为简化计算，可将接入直流微电网的充电桩作为整体进行研究，即忽略不同接入电动汽车动力电池 SOC 及充电需求的个体差异，动态计算时只考虑充电桩系统整体的运行功率和充放电量。

第 1 款，对于单向充电桩，充电桩系统的充电功率不能高于充电桩数量、单桩额定功率和充电桩运行系数的乘积。

第 2 款，对于双向充电桩，充电桩系统的运行功率（正数为充电功率，负数为放电功率）除满足充电功率的上限要求外，还需满足放电功率的限值要求。

第 3 款，充电桩作为用电负荷，在参与柔性调节的同时还需满足电动汽车的充电需求，即在计算日内有最低充电电量的要求。此外充电桩还可作为光伏消纳的有效途径，但消纳电量存在上限，因此充电桩还有最高充电电量的限制。

A. 0.8 空调柔性调节的过程可以看作建筑预冷/热。在室内热舒适允许的范围内，提高空调系统用电功率，对建筑实现预冷/热，这部分提高的用电量可视为等效充电电量；后续降低空调系统用电功率，利用建筑本体和输配系统的热惯性实现释冷/热，这部分降低的用电量视为等效放电电量。

第 1 款，受建筑热舒适性要求影响，空调系统的调节能力存在边界，本规程通过等效充电功率可调参数 r_p^+ 进行数学表示，其与柔性调节前的空调用电负荷的乘积对空调等效充电功率进行约束。此外，空调系统进行等效充电时还需满足冷机系统额定功率的要求。

第 2 款，空调系统等效放电功率可调参数 r_p^- 与柔性调节前的空调用电负荷的乘积对等效放电

功率进行了约束。空调等效功率可调参数 r_p^+ 和 r_p^- 数值的选取与建筑热惯性和用户可接受程度有关。相关文献指出, r_p^+ 和 r_p^- 可在 0~30%区间取值。此外, 对于中央空调系统, 由于冷冻水输配系统具有一定的蓄冷能力, 在相同的热舒适边界约束条件下, 其柔性调节能力要高于分体式空调系统; 即中央空调系统的空调可调参数可取高值, 分体式空调的可调参数可取低值。

第 3 款, 空调系统等效储能电池的系统效率直接作用在等效电池储电量上, 表征存储的等效电量在时间维度上存在衰减。即在上一时刻通过预冷/热等效存储的电量, 在下一时刻可释放的等效电量会小于当前时刻可释放的等效电量。这体现出了预冷/热的时效性, 即建筑预冷/热和释冷/热的时间间隔不能太长。此外, 该条文中设定等效存储电量状态非负, 即先等效充电后才能等效放电, 实际物理过程为先预冷/热后释冷/热。

A. 0.9 为简化计算, 本条文将蓄冷设施等效为储能电池考虑: 当蓄冷设施进行蓄冷时, 将其蓄冷用电量视为等效电池的充电量; 当蓄冷设施进行释冷时, 原空调系统用电量降低, 将这部分减少的电量视为等效电池的放电量; 同样, 将蓄冷体蓄满所需要额外消耗的电量视为等效电池的储电容量, 蓄冷体的热量和电量间的转换关系主要受到暖通空调系统运行效率影响。

第 1 款, 蓄冷设施的蓄冷等效充电功率一方面受到蓄冷设施的设备参数限制, 另一方面在此前空调柔性调节的基础上, 还受到冷机系统的额定功率限制。

第 2 款, 蓄冷设施的释冷等效放电功率一方面受到蓄冷设施的设备参数限制, 另一方面在此前空调柔性调节的基础上, 蓄冷设施释冷量不能高于建筑既有供冷用电需求。

第 3 款, 蓄冷设施下一时刻的等效电池储电状态由上一时刻以及当前时刻的等效充/放电量决定。蓄冷设施等效储能电池的储电状态需有边界, 可取 5%~95%。

A. 0.10 第 1 款, 储能电池的充放功率主要受到储能 DC/DC 变换器额定功率的限制。在具体工程中, 储能变换器容量可考虑可靠系数进行调整。

第 2 款, 储能电池的储电状态可介于 5%~95%区间。

A. 0.11 以下以经济性最优为设计目标, 基于某办公建筑进行光储直柔动态平衡计算。

项目建筑面积 10000 平方米, 负荷全直流化。案例基本信息和设定的容量配置方案如表 5 所示。配置 AC/DC 变换器 400kW, 光伏装机 300kWp。在柔性调节负荷上, 项目配置 20 台单向柔性直流充电桩、空调允许柔性调节, 同时配置 1000kWh 储能电池和 500kWh 等效电的蓄冷设施。

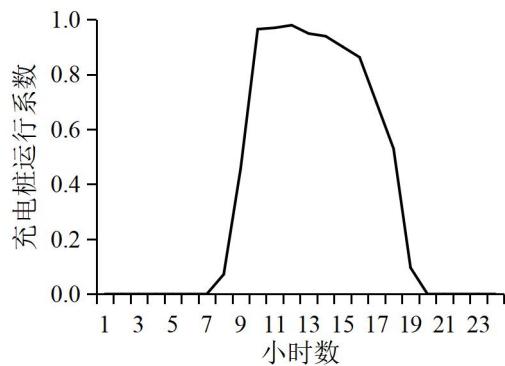
表 5 案例建筑基本信息和容量配置方案设定

序号	类别	名称	工程信息
1	建筑信息	建筑类型	办公建筑
2		建筑面积	10000 m ²
3		直流负荷逐时用电量	依据软件模拟计算
4		系统 AC/DC 变换器容量	400 kW
5	光伏信息	光伏组件类型	单晶硅
6		光伏装机容量	300 kWp
7		组件倾角	5°
8		组件朝向	南
9		光伏逐时发电量	依据软件模拟计算

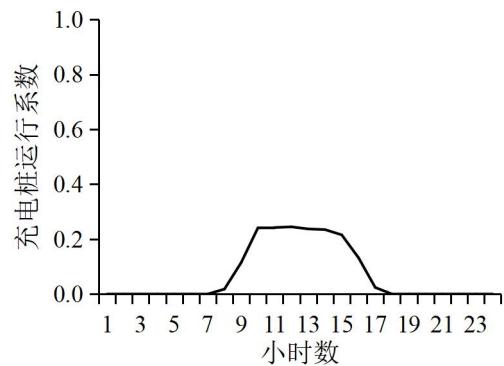
续表 5

序号	类别	名称	工程信息
10	充电桩信息	充电桩数量	20 台单向充电桩
11		额定功率	10 kW

12		运行系数	见图 4
13		日充电电量需求	工作日: $20\text{kWh} \leq \text{单桩平均充电量} \leq 40\text{kWh}$ 休息日: $5\text{kWh} \leq \text{单桩平均充电量} \leq 10\text{kWh}$
14	空调信息	空调逐时负荷	依据软件模拟计算
15		空调额定功率	240 kW
16		空调可调系数	柔性可上调系数: 20% 柔性可下调系数: 20%
17		空调柔性调节等效效率	65%
18	储能信息	储能电池容量	1000 kWh
19		储能电池功率	200 kW
20		储能电池效率	90%
21		蓄冷设施等效电池容量	500 kWh
22		蓄冷设施等效电池功率	100 kW
23		蓄冷设施等效电池效率	65%
24	分时电价	分时电价	见图 5



(a) 工作日



(b) 休息日

图 4 充电桩运行系数

分时电价按深圳一般工商业代理购电价格计算，在时段划分上，0:00-8:00 时段执行谷时电价，10:00-12:00 和 14:00-19:00 时段执行峰时电价，其余时段执行平时电价；此外在 7、8、9 月份 11:00-12:00 和 15:00-17:00 时段执行尖时电价。全年 365 天平均的分时电价如图 5 所示。

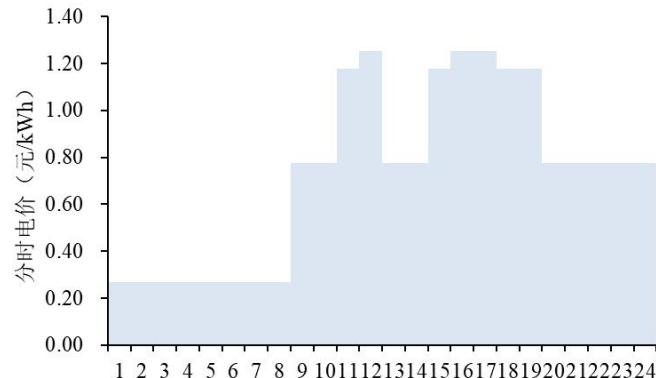


图 5 全年逐日平均的分时电价

光伏发电和建筑用电负荷的全年逐时负荷曲线由专业软件模拟计算得到。之后基于上述基本

信息和设定的容量配置方案，通过本规程所提出的动态计算方法对建筑柔性负荷和建筑储能的全年 365 天的逐时运行功率进行计算，具体基于 Python 编程语言采用线性规划求解器求解。

以某典型日为例，光伏发电和建筑用电（不含充电桩充电）的逐时负荷曲线如图 6-a 所示；柔性充电桩有序充电曲线如图 6-b 所示，其受充电功率和电动汽车充电电量需求限制，相比于充电桩无序充电，有序充电主要集中在电价平时段充电；柔性空调预冷调节曲线如图 6-c 所示，其在电价谷平交接时段进行调节，受空调基数负荷影响，调节电量有限。

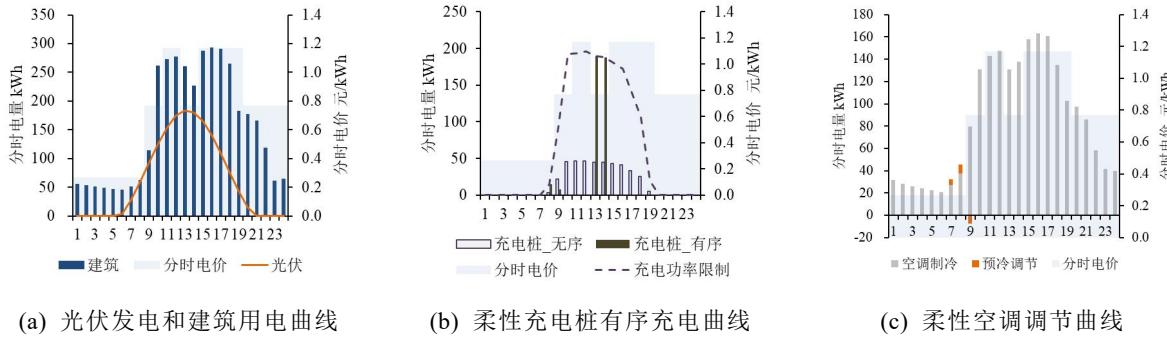


图 6 某典型日的充电桩和空调负荷调节曲线

在建筑柔性负荷调节的基础上，蓄冷设施和储能电池的逐时负荷运行曲线如图 7 所示，这两类储能均在夜间电价谷时段储能，后在电价峰时段进行释能。

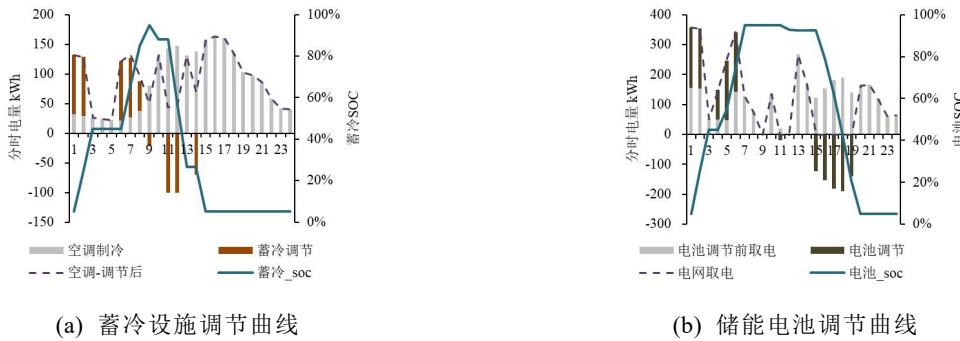


图 7 某典型日的储能调节曲线

对系统各设备柔性调节情况进行汇总，得到建筑取电曲线（图 7-b）。在柔性负荷和储能设施的调节下，建筑电网取电集中在谷时段，在日间和夜间平时段有部分取电，峰时段则几乎不从电网取电。

基于上述方法对全年 365 天逐日计算，即得到建筑光伏、建筑储能、建筑用电负荷和建筑取电的 8760h 逐时负荷曲线，并计算全年运行电费。

最后，采用多方案比较的方法对容量配置方案进行优化，为方便展示，本附录列举了 4 种容量配置方案，如表 6 所示，其中未涉及的参数与表 5 中相同，即 AC/DC 变换器 400kW，充电桩和空调均参与柔性调节。

表 6 容量配置多方案设定

容量配置方案	光伏装机	储能电池	蓄冷设施
方案 1	300 kWp	1000 kWh/200 kW	500 kWh/100 kW
方案 2	300 kWp	1000 kWh/200 kW	0 kWh/0 kW
方案 3	300 kWp	0 kWh/0 kW	500 kWh/100 kW
方案 4	0 kWp	1000 kWh/200 kW	500 kWh/100 kW

上述设定的 4 种容量配置方案的初投资、初投资年值折旧、年运行电费和年经济成本如表 7

所示。其中，方案 1 配置了光伏、储能电池和蓄冷设施，初投资最高，而年运行电费最低，并且方案整体经济成本最低。

表 7 多方案的经济成本比较

容量配置方案	初投资 (万元)	初投资年值折旧 (万元/年)	年运行电费 (万元/年)	年经济成本 (万元/年)
方案 1	174	20	34	54
方案 2	147	18	37	55
方案 3	88	8	54	62
方案 4	129	18	59	77

注：1 本计算案例中，AC/DC 变换器按 400 元/kW，光伏（含光伏变换器）按 1500 元/kWp，储能电池按 800 元/kWh，储能变换器按 300 元/kW，蓄冷设施按 500 元/kWh 等效电，蓄冷设施充放功率设备按 150 元/kW 等效电计算初投资，以上设备折旧年限分别按 8、25、8、8、15、15 年计算，采用等年值法，期满残值按 0，折现率按 4% 计算；

2 年经济成本=初投资年值折旧+年运行电费。

A. 0.12 由于能量平衡动态计算涉及变量多，计算量大，建议采用软件工具计算。