

ICS ***

CCS ***

团体标准

T/CABEE 030-202X

民用建筑直流配电设计标准

Design standard for direct current power distribution of
civil buildings
(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国建筑节能协会

发布

中国建筑节能协会团体标准

民用建筑直流配电设计标准

Design standard for direct current power distribution of
civil buildings

T/CABEE 030-202X

批准部门：中国建筑节能协会

施行日期：202X 年 X 月 X 日

中国建筑工业出版社

20XX 北京

中国建筑节能协会文件

国建节协标〔20XX〕 X 号

关于发布团体标准《民用建筑直流配电设计标准》 的公告

现批准《民用建筑直流配电设计标准》为中国建筑节能协会团体标准，标准编号为：T/CABEE 030-202*，自 202*年*月*日起实施。

协会委托主编单位收集标准的应用案例（包括政府部门采信证明文件、市场应用情况、国际标准化组织或国外权威机构采信证明、评优示范工程案例等实施成效材料），并对案例进行宣传。

现予公告。

202X 年 X 月 X 日

前 言

根据《中国建筑节能协会团体标准管理办法》及《关于印发<2022年度第二批团体标准制修订计划>的通知》（国建节协〔2022〕37号）的要求，由深圳市建筑科学研究院股份有限公司会同有关单位组建修订编制组，经广泛的调查研究，认真总结实践经验，参考有关国内外标准和先进经验，并在广泛征求意见的基础上，共同编制了本标准。

本标准的主要内容包括：1.总则；2.术语和缩略语；3.基本规定；4.动态计算与容量配置；5.直流配电系统设计；6.主要电气设备与线缆选型；7.安全保护与防护；8.系统性能；9.监测与控制。

本标准的某些内容可能直接或间接涉及专利，本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

根据国内外最新研究成果，本标准修订的主要技术内容包括：1.修订推荐电压等级和系统拓扑；2.增加“建筑取电功率”、“直流运行电压带”等容易产生歧义的术语；3.增加用电柔性及拓扑设计以及柔性调节规约等内容；4.完善推荐接地型式、线缆选型要求等；5.系统梳理电击防护、电流保护、电压异常防护等安全保护与防护章节内容；6.提出建筑直流配电系统动态计算与容量配置方法。

本标准由中国建筑节能协会标准化管理办公室负责管理（联系电话：010-57811281，邮箱：biaoban@cabee.org），由深圳市建筑科学研究院股份有限公司负责具体内容的解释及标准应用案例（包括政府部门采信证明文件、市场应用情况、国际标准化组织或国外权威机构采信证明、评优示范工程案例等实施成效材料）收集。标准应用过程中如有意见或建议，以及标准相关应用案例，请反馈至深圳市建筑科学研究院股份有限公司（联系人：李坤，联系方式：13924670562，邮箱：likun@ibrcn.com，地址：广东省深圳市福田区梅坳三路29号建科大楼，邮编：518049）。

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：

本标准主要起草人员：

本标准主要审查人员：

目 次

1 总 则	1
2 术语和缩略语	3
2.1 术 语	3
2.2 缩 略 语	14
3 基本规定	15
4 动态计算与容量配置	19
4.1 一般规定	19
4.2 建筑光伏	19
4.3 直流负荷	24
4.4 柔性负荷	25
4.5 建筑储能	29
5 直流配电系统设计	34
5.1 一般规定	34
5.2 电压等级	34
5.3 拓扑设计	36
5.4 接地设计	37
6 主要电气设备与线缆选型	40
6.1 一般规定	40
6.2 变换器	42
6.3 用电设备	46
6.4 电化学储能	47
6.5 线缆	49
7 安全保护与防护	52
7.1 一般规定	52
7.2 电击防护	53
7.3 电流保护	59
7.4 电压异常防护	65

8	系统性能	67
8.1	电压带和电能质量	67
8.2	暂态调节性能	70
9	监测与控制	74
9.1	系统监控	74
9.2	运行控制	75
9.3	通信系统	78
附录 A	建筑负荷动态计算	80
	本标准用词说明	91
	引用标准名录	92

1 总 则

1.0.1 为提升建筑对可再生能源的生产和消纳能力，助力新型电力系统建设，规范民用建筑直流配电设计技术要求，保证民用建筑直流配电系统安全稳定和高效运行，制定本标准。

【条文说明】

本条阐述了编制本标准的目的，规定了民用建筑直流配电设计必须遵循的基本原则和应达到的基本要求。

随着建筑节能和绿色发展理念的深入以及碳中和目标的提出，未来电网将呈现“双高”“双随机”特征。“双高”即高比例可再生能源接入与高比例电力电子设备应用。“双随机”即供给侧随机性和需求侧随机性。解决未来新型电力系统电源随机性的路径之一是建筑实现柔性用电。在建筑电气化背景下，建筑用电将与交通用电深度融合，从过去的“源随荷动”逐渐转变为“荷随源动”。

与此同时，低压直流技术快速发展，建筑内各类用电设备直流化趋势明显。照明装置采用 LED 光源，需要直流供电；电脑、显示器等 IT 设备，其内部为直流供电；空调、冰箱等家用电器，现在的发展方向是变频驱动，实现对电机转速的高效精准控制，其内部也是直流供电；电梯、风机、水泵等建筑中大功率装置，目前的高效节能发展方向也是直流供电的变频控制。伴随着建筑光伏和储能在建筑领域的普及应用，民用建筑直流配电系统市场需求日益增加，建立相关标准迫在眉睫。

本标准旨在提高建筑光伏的就地消纳能力，助力新型电力系统建设，实现建筑用电系统自身的安全、稳定与高效，并进一步通过其简洁的系统拓扑与控制，解决需求侧的随机性，实现与电网的友好交互，为需求响应和虚拟电厂的实现提供技术支撑。

1.0.2 本标准适用于民用建筑和园区范围内的 1500V 及以下的直流配电及直流微电网设计。

【条文说明】

本条规定了本标准的适用范围。本标准适用于民用建筑和园区中的低压直流

系统设计。其中民用建筑包含居住建筑和办公、商业等公共建筑，产业园区中的民用建筑同样适用本标准。对于多栋楼宇或产业园区，可在楼宇之间构建起直流微电网系统，实现互连互通，直流微电网的设计亦适用本标准。

当建筑中同时存在交流和直流配电时，直流配电设计按本标准执行，交流配电设计按国家现行有关标准执行。

1.0.3 民用建筑直流配电设计除应符合本标准外，尚应符合国家现行有关标准和建筑节能协会现行有关标准的规定。

【条文说明】

民用建筑直流配电设计范围较广，有不少方面又与国家标准和其他行业标准交叉，或对专业性较强的内容未在本标准表述，为避免执行中可能出现的矛盾或误解，故作此规定。

2 术语和缩略语

2.1 术 语

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

配置建筑光伏和建筑储能，采用直流配电技术且具备功率主动响应功能的新建建筑（供配电）系统。

【条文说明】

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”或“源荷互动”，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。

本条阐述了光储直柔的定义。为便于理解和工程应用，图 1 给出了典型的 PEDF 应用示意图。光储直柔的核心目的是实现建筑柔性用电，从这点出发，光储直柔的概念可分为广义光储直柔和狭义光储直柔。广义光储直柔是指包含光伏、储能、直流配电中的一种或多种元素，能够实现建筑柔性用电的系统，如光储充、光储泵、光储交柔等等。狭义光储直柔指具备上述四种元素的系统。

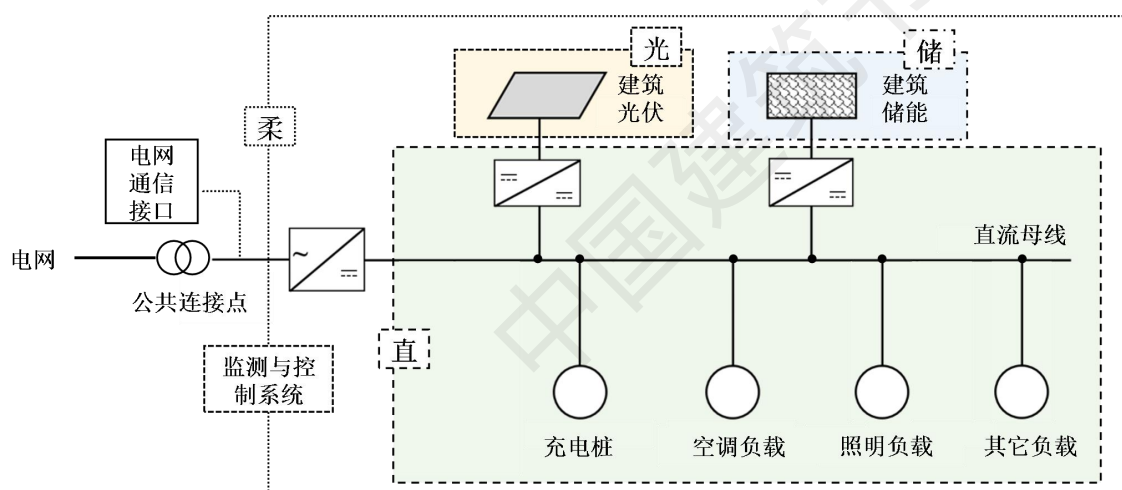


图 1 PEDF 示意图

2.1.2 产消式电气装置 (prosumer electrical installation)

具有本地电源和用电负荷，且能实现电能双向传输的用户侧电气装置。

【条文说明】

产消式电气装置（PEI）指安装于用户边界内，集成发电单元、储能单元及可控用电负荷（如柔性暖通空调系统、电动汽车智能充电桩、可响应调度的工业电机等），并具备电能双向传输与控制能力的电气装置，如图 2 所示。其本质特征是打破传统能源消费者单一角色，融合“生产者（producer）”与“消费者（consumer）”功能，实现电能的“自产自消”。

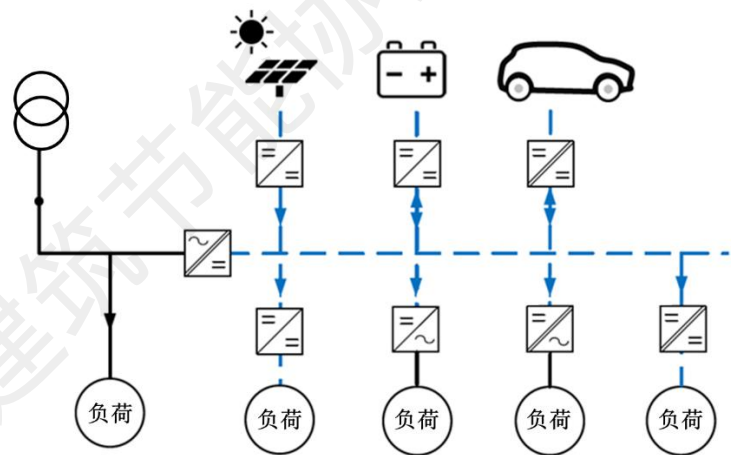


图 2 产消式电气装置 PEI 示意图

区别于单一发电的分布式电源或仅有负荷调节的智能用电系统，PEI 代表电能“产、消、储、调”全链条聚合的最小功能性单元，是构建新型电力系统用户侧资源的关键载体。PEDF 中包含 PEI。

2.1.3 建筑电力交互 grid-interactive building (GIB)

以电网指令为约束条件，通过建筑整体用电柔性实现需求侧与供给侧动态平衡的技术。

【条文说明】

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。

在双碳发展背景下，构建以高比例可再生能源为主体的新型电力系统是能源转型的重要方向。但是，与常规发电机组不同，可再生能源发电具有随机性和波动性，与终端用电负荷可能存在不匹配。由于可再生能源发电，如光伏、风电，

通常具有边际发电成本低的特点，那么如果建筑用电具备柔性调节能力，使其用电曲线尽可能与源侧发电曲线相匹配，则可以实现社会效益最大化。本条所指的建筑电力交互，即是通过建筑用电柔性，使建筑取电曲线尽可能按电网所希望的形态运行。

2.1.4 用电柔性 demand flexibility

根据电力交互需求进行用电功率调节的能力，分为设备用电柔性和建筑整体用电柔性。

【条文说明】

用电柔性即用电功率的调节能力，这种调节是根据电力交互的需要而做出的。例如，当电网的供电能力紧张时，建筑若具备用电柔性，那么就可以根据电网指令，降低用电功率，继续保持与供电的平衡。反之，当电网的供电能力充裕时，建筑可以根据电网的指令，提高用电功率。

根据其位置不同，分为建筑整体用电柔性和设备用电柔性，分别用来描述建筑与电网公共连接点，以及用电设备与直流配电系统连接点的柔性，如图 3 所示。

对于用电设备来说，其用电柔性是自身的用电功率调节能力，称之为设备用电柔性。对于建筑来说，其用电柔性由建筑储能和设备用电柔性协同实现，其特征包括可调节功率和可调节电量。建筑整体用电柔性的量化对建筑运行阶段实现电力交互具有重要指导作用。

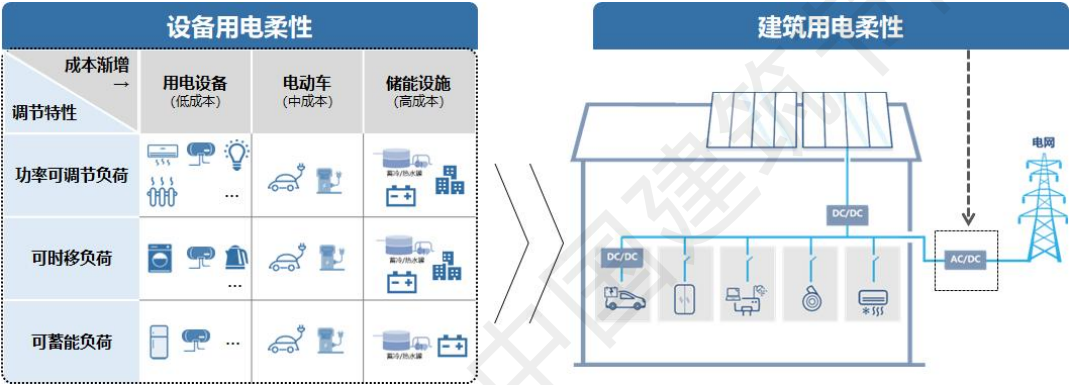


图 3 用电柔性示意图

2.1.5 建筑取电功率 power from grid

建筑使用过程中由电网输入的电功率。

【条文说明】建筑取电功率指建筑在电网接口处的输入电功率，是进行 GIB 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功率，如公式（1）所示。然而在 PEDF 中，电力平衡关系转变为建筑光伏发电功率、建筑储能功率、建筑用电功率和建筑取电功率四者的关系，如公式（2）所示。受建筑光伏和建筑储能影响，建筑光储直柔中的建筑取电功率通常不等于建筑用电功率，如图 4 所示。

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

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

式中： P_{grid} ——建筑取电功率（kW）；

P_{load} ——建筑用电功率（kW）；

$P_{battery}$ ——建筑储能功率（kW）；

P_{PV} ——建筑光伏发电功率（kW）。

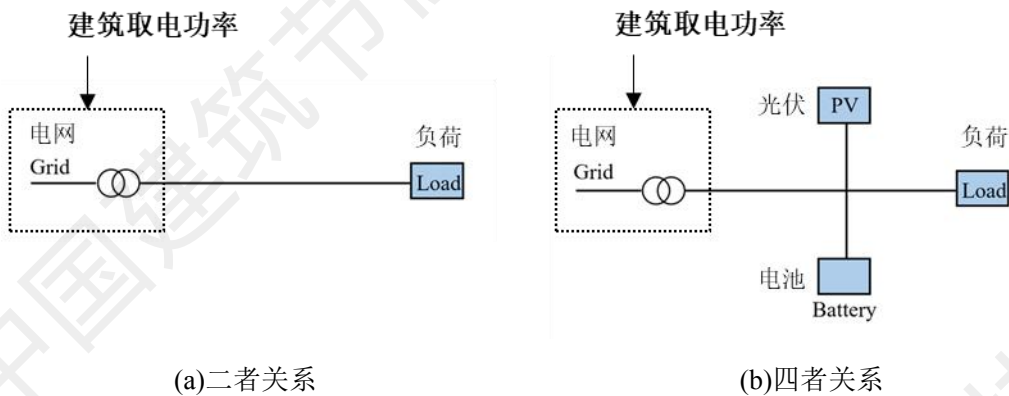


图 4 配电设计能量平衡关系图

2.1.6 动态计算 dynamic calculation

基于逐时建筑取电功率需求与建筑光伏发电能力，优化配置建筑储能与建筑用电柔性的过程。

【条文说明】

“动态”计算是与传统依据最不利工况的单个“静态”计算相对应的。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功率。而在 PEDF 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功率。因此，PEDF 动态计算需要对逐时建筑光伏发电、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 GIB 提出的逐时建筑取电功率需求。其中建筑逐时取电功率需求可以是根据分时电价引导的，也可以是根据电力动态碳排放责任因子引导的，还可以是虚拟电厂平台下发的调节指令。

2.1.7 电力动态碳排放责任因子 dynamic carbon emission responsibility factor of electricity (C_r)

由电网下发的，表征电力用户使用单位电能所承担的碳排放责任，单位 kgCO_2/kWh ，根据电力供需关系实时变化。

【条文说明】

本条阐述了电力动态碳排放责任因子的定义。碳排放责任为经济活动的参与者由于其行为和决策所应当为之承担责任的二氧化碳排放量。“电力动态碳排放责任因子”(C_r)是对每个瞬间真实的碳排放量在电源侧和用户侧之间一种基于电网供需关系的责任分摊，即用电侧每消费单位千瓦时电能所承担的碳排放责任，单位 kgCO_2/kWh ，其实质是一种反应电力系统供需关系的引导信号。为充分利用海量用电终端具有的储能和灵活用电资源，解决电力系统的实时调节需求，电力系统采用 C_r 来激励用电终端进行自律式调节： C_r 高时，表示负荷缺口较大，引导用户减少用电，保障供给； C_r 低时，表示新能源富余，激励用户增加用电，促进消纳。 C_r 数值根据电源侧各发电机组的实时运行状态计算，信号下发频率为 15 分钟。

2.1.8 建筑光伏 building photovoltaic system

安装在建筑物或其附属构筑物上，利用光伏效应将太阳辐射能直接转换成电能的分布式发电系统。

2.1.9 建筑光伏利用率 photovoltaic utilization ratio (PUR)

建筑光伏年实际发电量与全年计算发电量的比值。

【条文说明】

建筑光伏年实际发电量是指经由电表计量统计的全年光伏发电量。全年计算发电量是指基于当地日照强度、光伏组件参数及朝向倾角，考虑系统效率损失后的光伏理论全年可发电量，可通过光伏专业软件或参考当地光伏年发电小时数计算。

由于消纳能力限制等因素，光伏年实际发电量可能会小于全年计算发电量，二者之间的差值为弃光电量。需要说明的是，弃光电量是被人为主动削减或限制的电量，而非因设备或系统效率而损失的电量。

如图 5 所示，光伏应发电量与光伏实际发电量之间的区域 D，即为弃光电量；那么建筑光伏利用率在图中所示即为 $(A+C)/(A+C+D)$ ，也等于 $1-D/(A+C+D)$ 。

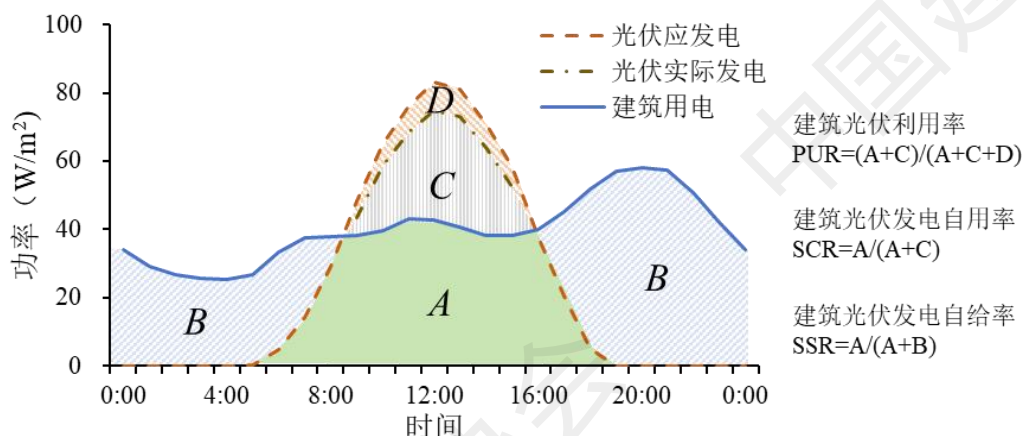


图5 光伏发电相关指标示意图

注：图中 A 指建筑光伏就地消纳电量；B 指建筑光伏无法满足的，需由电网供应的建筑用电量；C 指光伏发电，但未在建筑本地消纳的，反送入电网的电量；D 指由于消纳能力限制等因素，导致光伏实际发电量被人为主动削减或限制的电量（弃光电量）。那么 A+B 为建筑用电量，A+C+D 为光伏全年计算发电量，A+C 为光伏年实际发电量。

2.1.10 建筑光伏发电自用率 self-consumption ratio (SCR)

就地消纳的建筑光伏年发电量与光伏年实际发电量的比值。

【条文说明】

当建筑光伏并入电网并反送电时，光伏实际发电量分为就地消纳的电量和并入电网的电量，这种情况下发电自用率 SCR 即指前者的占比。当建筑光伏不向电网反送电时，光伏实际发电量即为就地消纳的建筑光伏发电量，SCR 等于 100%，此时衡量建筑光伏消纳情况的指标应为建筑光伏利用率 PUR。

建筑光伏发电自用率 SCR 在图 5 中可表示为 $A/(A+C)$ 。建筑光伏利用率与自用率的乘积为 $(A+C)/(A+C+D) \times A/(A+C) = A/(A+C+D)$ ，表示为建筑光伏全年计算发电量中实现就地消纳的比例。其分子与分母间的差值为光伏并入电网的电量以及因无法消纳而人为主动削减的电量。

2.1.11 建筑光伏发电自给率 self-sufficiency ratio (SSR)

就地消纳的建筑光伏年发电量与建筑年用电量的比值。

【条文说明】

建筑光伏发电自给率 SSR 在图 5 中可表示为 $A/(A+B)$ ，其分子与分母间的差值为其他电源供电量。

2.1.12 用户调节意愿深度 user adjustment willingness depth

具体场景下，用户允许用电设备的最大调节幅度相对于设备当前最大调节能力的比值，是介于 0-1 区间，用于反映用户调节意愿的指标。

【条文说明】

在建筑柔性用能系统中，设备的柔性调节能力是其自身固有的参数。但是在柔性调节过程中，还需要考虑到用户的调节意愿，而用户的调节意愿通常与具体的使用场景有关。例如，在会议室开会时，需尽量保障功能正常，用户对照明、空调等用电设备的可调意愿较低，甚至不允许调节，即调节意愿深度为 0。而在工作日午休时段，用户对办公区的照明和空调降低用电负荷的运行模式可接受度更强，此时可按设备设定的最大调节能力运行，即调节意愿深度为 1。

对于蓄冷、电池等储能设备而言，其调节过程基本不影响建筑服务水平，因而此类设备的用户调节意愿深度通常为 1，实际表现出的调节能力与设备自身能力相关。而对于照明、空调、插座等电器设备而言，其调节过程可能会对服务质量产生影响，用户调节意愿与具体使用场景以及用户激励措施有关，调节意愿深度介于 0-1 区间。

2.1.13 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，以直流电为主要供电形式、包含多个直流微网架构且能够基本实现内部电力电量平衡的小型供用电系统。

【条文说明】

近年来，直流微电网与光伏、储能、充电桩等深度集成，在园区中应用较广泛。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。光储直柔是具备柔性调节功能的直流微电网。

2.1.14 直流母线 direct current bus

设备和配电回路以并列分支形式接入的开放通路，承担主要配电作用和功率传送任务。

【条文说明】

直流配电系统至少包含一条直流母线，也可以利用电压适配变换器和安全电压适配器，分隔成多条直流母线。

2.1.15 系统标称电压 nominal voltage of system (U_n)

用于标志或识别系统电压的给定值。

【条文说明】

由于线路压降、电压控制策略和误差等原因，系统电压与设定值会有一定的差异，且系统不同位置的电压也不尽相同。随着直流系统的规模不断扩大，接入设备的数量和系统结构的复杂性增加，系统还可能多种运行状态，系统电压特性更加复杂，无法全面准确描述系统电压，也很难定义“额定”工作点，因此采用标称电压描述直流系统的电压等级，与系统电压范围、系统电压异常保护等有关的技术参数，也都以标称电压作为参考。

2.1.16 直流运行电压带 DC operating voltage band

由两个直流电压值界定的，直流配电系统稳态和暂态电压的变动范围。

【条文说明】

与交流系统不同，直流系统无频率、相位等参数，且可运行在宽电压范围中。基于直流系统的运行特性，可利用直流母线电压作为引导建筑用电柔性调节的信号，实现无通讯自调节。因此，在建筑直流配电系统中，系统电压多运行在电压区间带中，而非固定的电压数值。IEC TR 63282 基于配电安全保护的目的，将直流电压范围划分为断电区、临界区、标称区、开关及保护装置操作区、过电压保护装置不动作区、过电压保护动作区、禁止区等 7 个电压带。

本标准结合 IEC TR 63282，同时考虑直流配电系统柔性调节的目标，将直流电压带划分为 6 个区间，如图 6 所示。具体包含欠压保护电压带 B1、暂态运行低电压 B2、柔性调节电压带 B3（进一步细分为调减区间带 B3-1、不调节区间带 B3-2、可调增区间带 B3-3）、暂态运行高电压带 B4、过压保护电压带 B5 和禁止电压带 B6。本条款所指的直流运行电压带为由 U_l 和 U_4 界定的，包含暂态运行低电压带 B2、柔性调节电压带 B3 和暂态运行高电压带 B4 在内的直流配电系统稳态和暂态电压的变动范围。

在直流电压带范围上，其上限数值通常需考虑设备器件的耐压能力；下限数

值需考虑系统中各设备的稳定运行能力。具体电压带的数值确定见本标准条文 8.1.2、条文 8.1.3 以及条文 9.2.9。

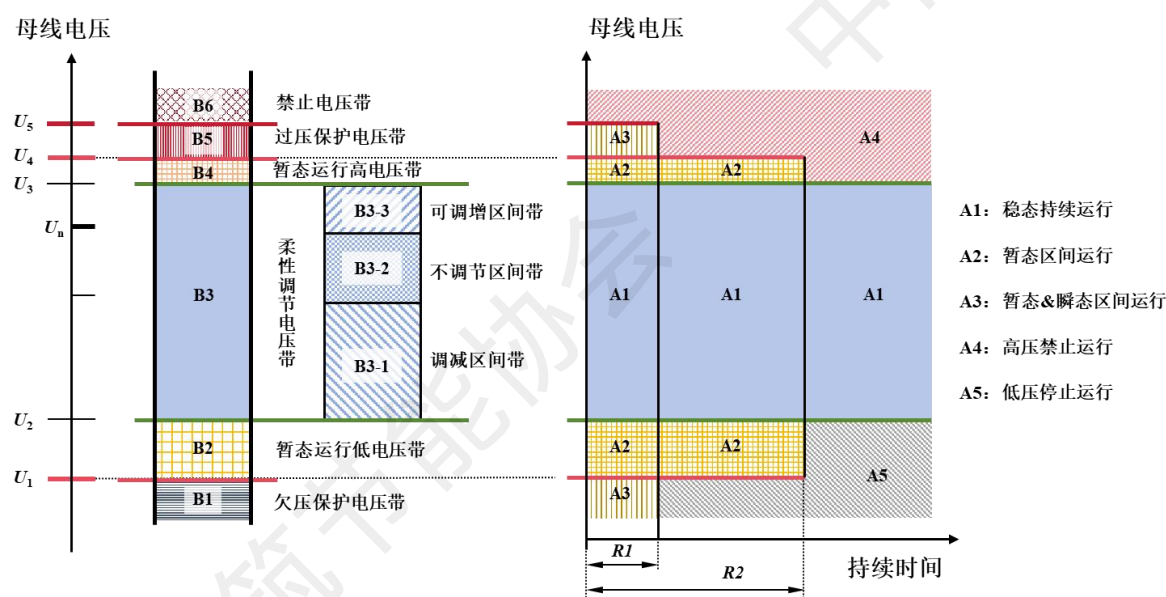


图 6 直流电压带示意

注：图中 $U_1 \sim U_5$ 等 5 个电压值将直流母线电压带分为了 B1~B6 等 6 个区间。其中，B3 为直流配电系统稳态运行电压带，同时也是柔性调节电压带（系统标称电压 U_n 介于其中）；A1 区域即指当母线电压处于 B3 区间时，系统能稳定持续运行。B2 和 B4 电压带为暂态运行电压带，由于系统工作模式切换、设备投切等原因引起的电压变动，可能使得系统电压短暂超出 B3 区间，出现暂态电压偏差后，系统需在 R_2 时间段内通过调节将电压恢复到 B3 区间，这一运行模式即为 A2 区域。B1 和 B5 电压带分别为欠压和过压保护电压带，一般由于短路故障、设备接通冲击电流等原因引起电压暂态或瞬态超出 U_1 和 U_4 界定的区间电压带（本条款所指的直流运行电压带），系统仍有可能通过变换器和系统的控制保护功能恢复正常电压，而这一过程需要在 R_1 时间段内完成（图中 A3 区域）。 U_5 为系统最高耐压电压，系统电压不应超过该数值。此外，当母线电压处于 B1 或 B5 区间，且持续时间超过 R_1 时；又或是母线电压处于 B2 或 B5 区间，且持续时间超过 R_2 时，系统应执行欠压或过压保护，即图中 A5 和 A4 区域。

2.1.17 系统拓扑 system topology

民用建筑直流配电系统中电网、光伏、储能和用电负荷四者的物理布局与相互连接方式。

【条文说明】

系统拓扑描述的是电网、光伏、储能和用电负荷相互连接的物理关系，不反映各自量的大小。系统拓扑可以从不同的角度进行描述和分类，最重要的特征包

括直流母线极性和配电回路的连接方式。

根据导体电位的极性关系，直流母线有单极和双极两种形式，如图 7(a)和(b)所示。单极系统由正极 (L+) 和负极 (L-) 组成，由于采用两根线配出供电，在《低压电气装置 第 1 部分 基本原则、一般特性评估和定义》GB/T 16895.1-2008 标准中，也被称为二线制结构；双极系统由正极 (L+)、负极 (L-) 和中间极 (M) 组成，相对中间极，正负极分别是两种不同的极性。如果双极系统中正极、负极和中间极都被引出并用于配电，在前述标准将其称为三线制结构。但是，对于双极系统中间极没有被引出的情况，不论是用三线制或二线制的称谓，都很难准确表达结构上的特征，加上二线制和三线制也可以用来描述交流系统，为避免混淆，同时突出直流配电系统不同接地型式的电位特征，强调直流配电系统电压极性的概念，本标准采取单极系统和双极系统进行区分。

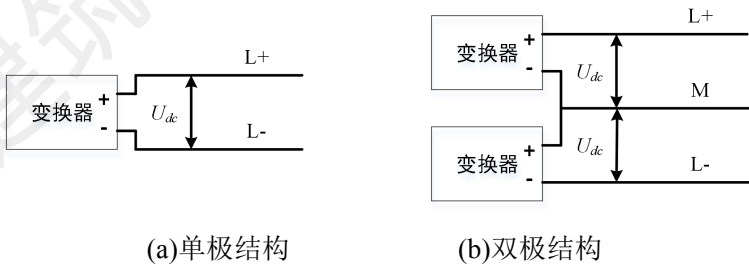


图 7 直流配电系统单极和双极结构

目前，民用建筑直流配电系统中主要的电源设备大多采取集中布置方式，配电回路则采取放射状、树干状或放射状与树干状混合的连接方式。

2.1.18 纹波系数 ripple factor

电压或电流中交流分量与直流分量之比，通常以百分数表示，包括纹波峰峰值系数和纹波有效值系数。其中，纹波峰峰值系数为交流分量峰峰值与直流分量之比；纹波有效值系数为交流分量有效值与直流分量之比。

2.1.19 电能变换器 power converter

利用功率半导体器件实现电能变换控制的电力电子装置，简称变换器。

【条文说明】

电能变换器有多种分类方式。根据功能不同，变换器包括电网接口变换器、光伏变换器、储能变换器、电压适配变换器等类型；根据输入输出电能形式不同，分为交直变换器和直直变换器；根据功率流向不同，分为单向变换器和双向变换

器；根据是否隔离，分为隔离型变换器和非隔离型变换器。

2.1.20 建筑电动汽车交互 building to vehicle to building (BVB)

通过充电桩为电动汽车充电，或通过充电桩从电动汽车取电，实现建筑用电与电动汽车充放电耦合的技术。

【条文说明】

电动汽车的普及将给发电、输电、配电系统带来严峻挑战。充电桩的功率从7kW到20kW、60kW，甚至100kW以上，如果城市中有100万辆电动汽车，即便采用电动汽车与电网协同技术（Vehicle-to-Grid，简称V2G）并考虑同时使用系数，为满足其充电新增电力装机容量将显著增长，甚至超过城市已有配电网的能力。如何缓解电动汽车数量增长对城市配电网的影响，甚至利用电动汽车固有的储能特性与建筑用电协同，进而与电网协同，是推动电动汽车发展的关键。伴随着电动汽车的快速发展，建筑将成为充电桩布局的重要载体，电动汽车用电将与建筑用电深度融合，需在城市尺度协同建筑-交通-电网实现BVB，通过耦合建筑用电与电动汽车充放电，有效减少V2G给电网运行带来的挑战，通过优化需求侧用电规律，更高效地实现资源配置。

2.1.21 功率主动响应 active power response (APR)

设备根据直流母线电压变化，通过调整工作状态改变自身用电功率，对直流配电系统功率调整需求主动做出的响应。

【条文说明】

建筑整体用电柔性的调节可以通过建筑能源管理系统给设备直接下达功率指令的方式实现，也可以利用直流母线电压作为柔性调节信号，设备根据直流母线电压变化主动做出响应。本标准将后一种系统功率调节功能称为APR，它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，具有显著的应用价值。

在本标准中，APR功能用于实现系统稳态功率调节，响应时间一般在1s~10s以上。系统根据功率调度需求改变直流母线电压。通常电压升高代表功率富裕，希望设备增大用电功率或减小发电功率；电压降低代表功率紧张，设备应尽量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能力与持续时长。

2.2 缩 略 语

PEDF (Photovoltaics, Energy storage, Direct current and Flexibility) 光储直柔

PEI (Prosumer Electrical Installation) 产消式电气装置

GIB (Grid-Interactive Building) 建筑电力交互

PUR (Photovoltaic Utilization Ratio) 建筑光伏利用率

SCR (Self-Consumption Ratio) 建筑光伏发电自用率

SSR (Self-Sufficiency Ratio) 建筑光伏发电自给率

DC (Direct Current) 直流

U_n (Nominal Voltage of System) 系统标称电压

BMS (Battery Management System) 电池管理系统

APR (Active Power Response) 功率主动响应

BVB (Building to Vehicle to Building) 建筑电动车交互

SCRT (Short Circuit Ride Through) 短路故障穿越

IMD (Insulation Monitoring Device) 绝缘监测装置

RCD (Residual Current Device) 剩余电流保护装置

RCM (Residual Current Monitor) 剩余电流监测装置

SELV (Safety Extra-Low Voltage) 安全特低电压

IFLS (Insulation Fault Locating System) 绝缘故障定位系统

3 基本规定

3.0.1 【PEDF】建筑直流配电系统宜采用光储直柔（PEDF）。

【条文说明】

直流配电系统不是简单地将交流配电改为直流配电，而是充分利用直流没有频率和相位的特征，以及系统宽范围电压变化的优势，以电压作为控制信号，调节电网输入功率。直流配电系统是 PEDF 的组成之一，更是实现光储柔的重要保障。应用 PEDF 能够充分体现直流配电的优势。因此本条推荐设计直流配电系统时，优先采用 PEDF。没有 PEDF 也可以采用直流配电系统。

直流配电系统便于通过直流母线实现建筑光伏、建筑储能和不同类型负荷的接入，并根据电网功率变化要求，以直流母线电压调节为手段，以满足用户需求为前提，通过调节储能和负荷，实现供需匹配。

3.0.2 【设计目标】直流配电设计应以实现建筑电力交互（GIB）为目标，交互时的建筑取电功率调节方式宜从下列方式中选取：

- 1 基于分时电价；
- 2 基于电力动态碳排放责任因子；
- 3 基于给定功率曲线；
- 4 基于提高用电可靠性的目的。

【条文说明】

为实现碳中和目标，建筑需先实现电气化，也就是说未来建筑用能将以电为主甚至全部是电。然后是电力来源的零碳化，即太阳能光伏、风电和水电等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，不过面临选址难的问题，电化学储能也在快速发展中，但其面临安全性的问题；（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。在民用建筑领域，开展 GIB、BVB，能够很好实现“荷随源动”，是有效且经济的技术路径。PEDF 是新型建筑能源系统，核心目的是实现电力交互。

就建筑电力交互而言，建筑取电功率曲线可以有不同的调节方式。

当基于分时电价进行调节时，即利用现行的峰谷电价机制实现峰谷套利，以降低建筑用电成本。

当基于电力动态碳排放责任因子 C_r 进行调节时，建筑即在 C_r 高时少从电网取电，在 C_r 低时多从电网取电，以降低建筑运行过程中的碳排放责任量。

当基于给定功率曲线进行调节时，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，给定功率曲线也可以按照团体标准《建筑光储直柔系统评价标准》T/CABEE 055-2023 所规定的连续调节测试指令执行，即建筑全天恒功率取电。

当基于提高用电可靠性的目的进行调节时，直流配电系统能在电网出现故障和异常时，在一定时期内保障关键设备负荷的正常电力供应。

3.0.3 【交直流混合】当采用交直流混合配电系统时，直流配电系统和交流配电系统之间宜具备电能双向交互能力。

【条文说明】

PEDF 宜采用直流配电系统，以更好地实现建筑柔性调节。考虑到现阶段的直流电器市场可选择性不高，PEDF 可以采用交直流混合配电系统。其中直流侧负荷推荐采用空调、充电桩、照明等，上述负荷是建筑用电负荷中功率和电量占比均较大的负荷。

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。

除特殊场景外，本标准不推荐通过双向 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，并且大量并网点存在将给电网运行带来显著影响，有悖于 PEDF 的 GIB 设计目标。

3.0.4 【兼容开放】在满足用户需求和用电安全的前提下，民用建筑直流配电设计应满足兼容性和开放性的要求。

【条文说明】

民用建筑直流配电系统拓扑和电压等级的选择、控制保护功能和设备性能指标的设计应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，应该做到相互协调，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应适应不同类型设备自由接入要求。民用建筑中各种设备品类繁多，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，直流配电系统应充分考虑各种设备灵活接入及其带来的问题。

3.0.5 【PEI】直流配电系统应包括产消式电气装置。

【条文说明】

产消式电气装置指具备本地电源和用电负荷，并能实现电能双向传输的电气装置。其融合了电力生产者和消费者的功能，是直流配电系统建筑用电柔性调节的基础。

3.0.6 【用户意愿】当利用建筑用电柔性资源进行调节时，宜减少对服务质量的影响，并应符合用户调节意愿深度的要求。

【条文说明】

用户调节意愿深度指用户允许用电设备的最大调节幅度相比于设备调节能力的比值，数值介于 0-1 区间。数值越大表示用户调节意愿越强，允许的调节幅度越大；数值越小表示用户调节意愿越弱，允许的调节幅度越小。当该数值为 1 时，表示设备此时可基于自身固有能力和进行调节；当该数值为 0 时，表示设备此时不允许调节。该指标的具体说明见条文 2.1.12。

建筑配电系统中的柔性资源主要指建筑储能、电动汽车充电桩系统、暖通空调系统、照明系统等具有用电调节能力的子系统。具体来看，建筑储能（储能电池或蓄冷蓄热设施）在调节过程中对服务质量几乎没有影响，用户调节意愿深度通常为 1，可以优先调节。当建筑储能调节能力发挥到最大时，同时还有柔性调节需求，可利用其它柔性资源进行调节，尽管在一定程度上可能会影响服务质量（用户调节意愿深度介于 0-1 区间），但是需要在调节幅度和服务质量影响程度中取得平衡，且调节幅度不能超过用户调节意愿深度的要求。

民用建筑中柔性资源的服务质量可用室内人员的不满意率、工作效率、健康

水平等参数来定量刻画，该资源的用电柔性可用功率、能量等用电相关参数的最大调节能力来定量刻画。

对柔性资源的刻画曲线如图 8 (a)所示。首先，可在不影响服务质量的情况下实现用电柔性（即从“原状态点”到“无影响点”），如在电动车停留期间调节充电功率并在其离开时充电至所需电量、在人员不在室时调节空调系统的设定温度等。此后，若允许一定程度的服务质量影响，则该资源的用电柔性可进一步增加，直至系统的最大调节能力或服务质量的允许变化量（即从“无影响点”到“最大调节点”），如在人员在室时调节空调系统的设定温度或部分关闭照明系统等。

建筑配电系统中多种柔性资源的对比如图 8(b)所示,可根据各资源用电柔性随服务质量影响的变化特征确定其有序利用方法，最小化对建筑配电系统服务质量的影响。首先，每种资源在达到各自的“无影响点”前可不按特定顺序发挥柔性用电能力。在图 8 (b)所示情况中，资源 3 的“原状态点”与“无影响点”重合，任何调节均会影响服务质量，在此阶段不参与调节。此后，边际柔性越大的资源（即曲线的斜率，表示单位服务质量变化带来的用电柔性增量），优先参与调节。在图 8 (b)所示情况中，三种资源的参与顺序为资源 1、资源 3、资源 2。

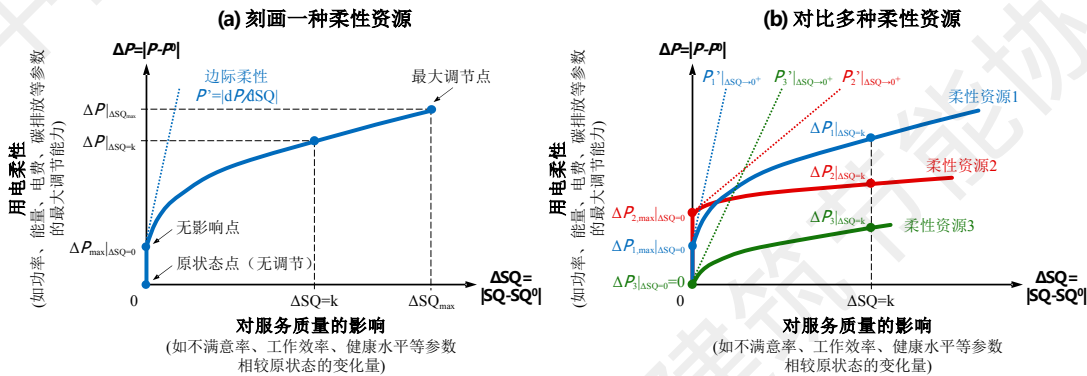


图 8 建筑配电系统中柔性资源的服务质量与用电柔性之间的关系

4 动态计算与容量配置

4.1 一般规定

4.1.1 【配置原则】系统容量配置应以促进光伏就地消纳和提高建筑用电柔性为目的，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的有关规定。

【条文说明】

本标准主要对建筑直流配电系统中光伏的利用情况，建筑储能的配置等内容进行规定。建筑光伏系统的常规设计符合国家相关标准即可。

4.1.2 【动态计算】系统容量配置时应进行动态计算，且动态计算结果应包括逐时建筑用电功率、光伏发电及就地消纳功率、建筑用电柔性资源调节功率、建筑取电功率等，并应符合本标准附录 A 的规定。

【条文说明】

在传统建筑配电系统中，建筑取电功率等于建筑用电功率。但是在 PEDF 中，由于光伏和储能的引入，以及负荷本身具备柔性，使得建筑取电功率通常并不等于建筑原始用电功率。因此，为评估系统柔性调节的效果，有必要对电网、光伏、电池、负荷这四者的动态平衡关系进行计算。

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，因此动态计算也需要在全年 8760 小时尺度内进行。

4.2 建筑光伏

4.2.1 【安装最大化】建筑光伏系统设计应符合下列规定：

1 屋顶光伏系统的安装容量、朝向、倾角与间距应根据安全、美观、负荷时间规律和经济性等因素进行确定，并应符合当地要求；

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。

【条文说明】

光伏组件的发电量与太阳辐射强度、太阳辐射光谱、环境温度、光伏组件温度系数等因素有关。当光伏组件的方位角和倾斜角不同时，单位面积光伏组件接收

到的太阳辐射量不同，因此发电量也会有变化，如图 9 所示。

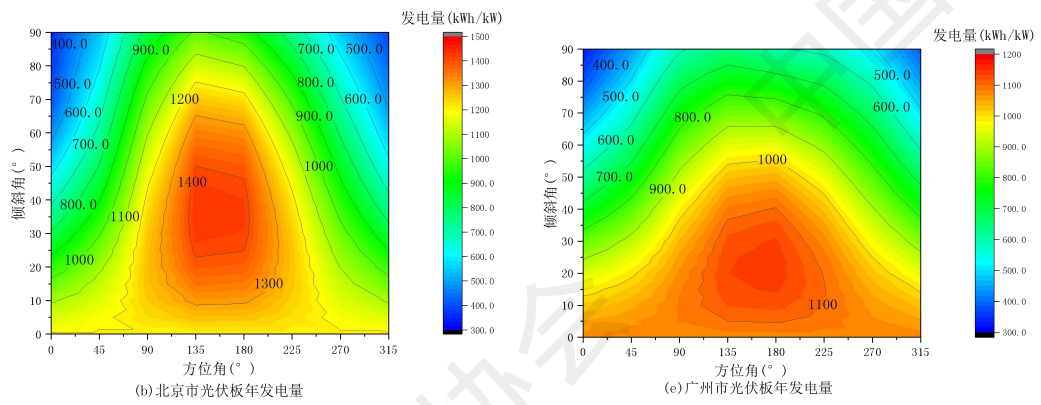


图 9 不同朝向和不同倾斜角下我国典型城市年发电量分布

当光伏组件安装倾角不同时，不仅年度发电总量不同，而且每个月份的发电量分布也不同。光伏组件水平安装时，夏季发电量较大，冬季发电量较小；以最佳倾斜角安装时，光伏组件全年发电量最大，且各月发电量较为平均；竖直安装时，光伏组件夏季发电量较小，而冬季发电量较大。由于我国位于北半球，夏季太阳高度角较高，因此水平面太阳辐射强度高，而竖直面太阳辐射强度低；冬季太阳高度角较低，因此水平面太阳辐射强度低，而竖直面太阳辐射强度高。以北京和广州为例，当光伏组件水平安装、南向最佳倾斜角安装和南向竖直安装时，光伏组件逐月发电量如图 10 所示。考虑到我国南方地区夏季空调负荷较大，北方地区冬季采暖负荷较大，可以因地制宜根据负荷需求采用不同的安装方式，在尽可能实现光伏系统全年发电量最大的同时兼顾考虑光伏系统每月发电量与负荷需求的匹配性。

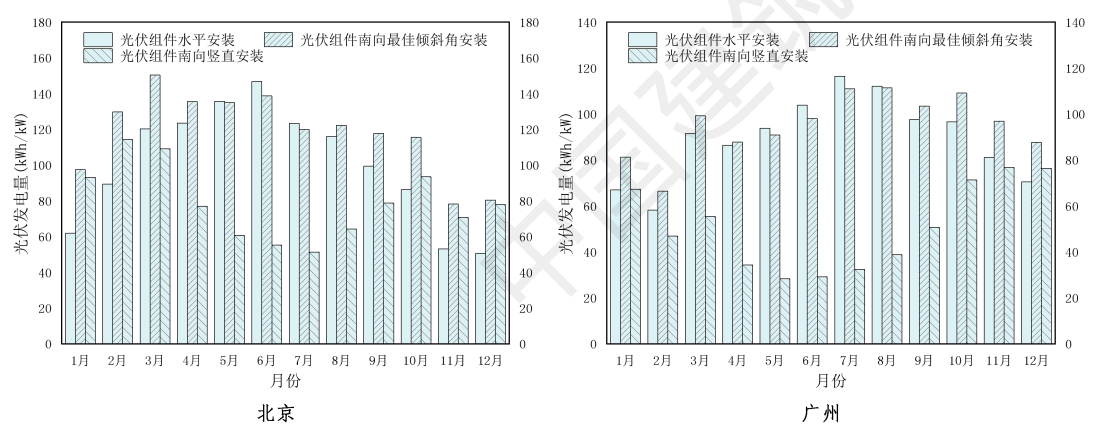


图 10 北京、广州光伏组件不同安装方式下逐月发电量对比图

虽然光伏组件以最佳倾斜角安装时单位功率的发电量最高，然而以最佳倾斜

角安装也会对后排光伏组件造成阴影遮挡。光伏阵列的布置非常重要，阵列间的距离对光伏组件的输出功率和转换效率有很大影响，光伏阵列前后排间距 D 的一般确定原则为确保冬至日当天 9:00 至下午 3:00，后排光伏阵列不应被前排组件遮挡。图 11 所示为光伏阵列前后间距的计算示意图。

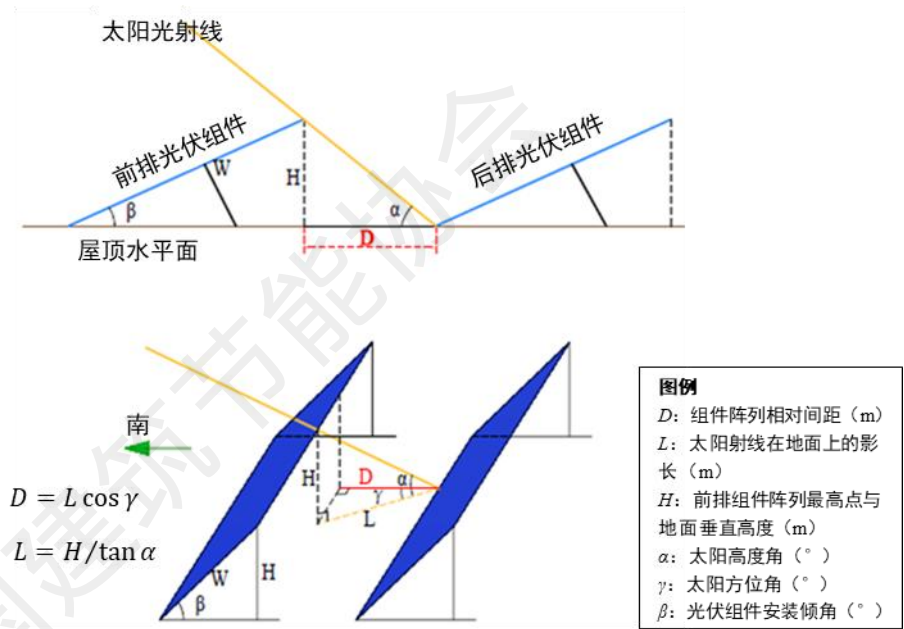


图 11 太阳能光伏阵列前后排间距计算示意图

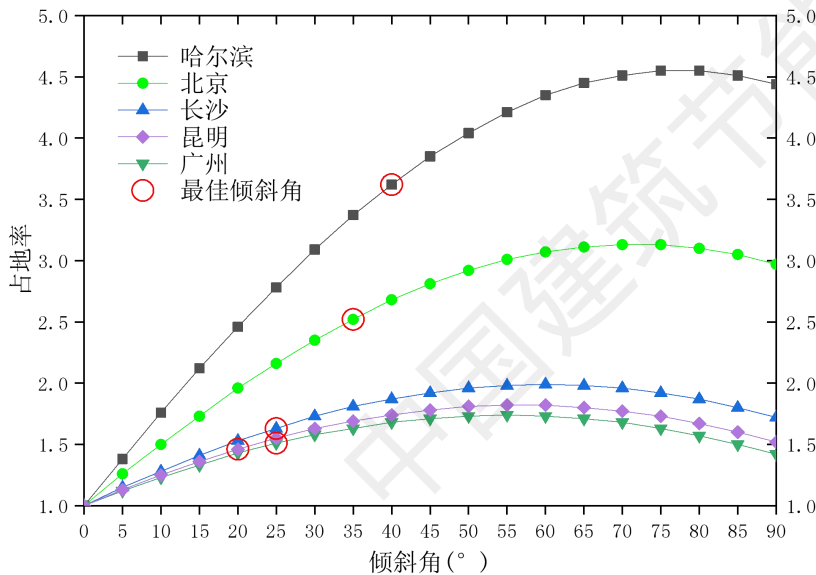


图 12 我国代表性城市光伏组件占地率随倾斜角变化示意图

将光伏组件的占地面积与光伏组件面积的比值定义为占地率，某一纬度地区光伏阵列的占地率与倾斜角有关。在同一城市，随着倾斜角升高，光伏组件占地

率先升高后降低，如图 12 所示。城市纬度越高，占地率随着倾斜角升高越快。

考虑到组件间距，以最佳倾斜安装时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，采用最佳倾斜角安装光伏组件和采用水平安装光伏组件可以产生不同的经济效益。当屋顶面积比较紧缺、并且对初投资不敏感，但是对光伏发电量占比有要求时，可以采用水平安装光伏组件，最大化利用占地面积，从而实现单位占地面积光伏发电量最大。而当屋顶面积充裕并且对投资性价比要求高时，可以采用最佳倾斜角安装光伏组件，虽然单位屋顶面积光伏发电量较低，但是单位面积光伏组件的发电量相比其他安装方式要高，投资收益最大。

此外，设计时应同步考虑美观性。在实际项目中，还可以选择以介于最佳倾斜角和水平之间的某个角度进行安装，以追求包括光伏系统初投资和屋顶租金在内的综合效益最大化。

立面光伏材料选择与热工特性。立面光伏系统可以减少照射在建筑表面上的太阳辐射，从而降低空调能耗。而窗户作为传统建筑中建筑节能的薄弱环节，白天由窗户进入室内的太阳辐射热量和夜晚由窗户损失的热量是导致建筑能耗大的主要原因之一。采用半透明光伏幕墙具有很好的建筑节能效果：一方面，它可以通过减少室内太阳得热，降低空调制冷负荷，并进一步降低空调设备容量，实现更大程度节能。另一方面，虽然采用半透明光伏幕墙会增加一些人工照明能耗，但是可以通过调整光伏幕墙的透过率最大程度地利用自然采光，达到良好的节能效果。然而，不同类型的光伏组件成本差别很大，当前技术条件下，采用立面光伏系统成本收益通常低于屋顶光伏系统，设计时应综合考虑。

4.2.2 【光伏利用】建筑光伏发电应接入直流配电系统，并宜满足表 4.2.2 的要求。

表 4.2.2 建筑光伏消纳指标要求

光伏全年计算发电量/建筑全年用电量×100%	光伏消纳指标要求
$R_{pv} \leq 20\%$	$PUR \times SCR \geq 95\%$
$20\% < R_{pv} \leq 40\%$	$PUR \times SCR \geq 80\%$
$40\% < R_{pv} \leq 60\%$	$PUR \times SCR \geq 60\%$
$60\% < R_{pv} \leq 100\%$	$PUR \times SCR \geq 50\%$
$100\% < R_{pv}$	$SSR \geq 50\%$

注： R_{pv} ——光伏全年计算发电量占建筑全年用电量的比例， PUR ——建筑光伏利用率， SCR ——光伏发电自用率， SSR ——光伏发电自给率。

【条文说明】

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；同时还有助于实现系统柔性调控。

本条规定了建筑光伏本地消纳的要求，适用于单栋建筑或建筑群。光伏发电的消纳既是对光伏系统的要求，也是对储能容量配置和系统控制能力的要求。本条鼓励光伏尽可能本地消纳，原因在于光伏的波动性会对电网造成影响。对于部分容积率较小、光伏安装面积大的建筑，光伏发电量有可能大于建筑用电量。在此情况下，可选择与同一台区变压器下的相邻建筑协同消纳光伏发电，避免光伏发电反送到上一级变压器。

当光伏全年计算发电量不大于建筑全年用电量 ($R_{pv} \leq 100\%$) 时，本条款对光伏就地消纳比例进行规定，建筑光伏利用率 PUR 与自用率 SCR 的乘积为就地消纳的建筑光伏电量/光伏全年计算发电量，其分子与分母间的差值为光伏并入电网的电量以及因无法消纳而人为主动削减的电量，详见条文说明 2.1.10。

当光伏全年计算发电量大于建筑全年用电量 ($R_{pv} > 100\%$) 时，本条款对光伏发电自给率 SSR 进行规定，要求建筑用电量中，来自光伏就地消纳的电量需要不低于 50%。

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、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储热，有助于光伏就地消纳。对于生活热水，按人均每天 20L 用量，考虑混水后温度 40℃，取自来水温 15℃；一户三口之家一年用热约 2.3GJ，折合电量 639 kWh，可消耗约 0.6kWp 光伏装机的发电量，光伏装机面积约 3 平方米。

4.2.3 【8760 曲线】应对建筑光伏的全年逐时计算发电功率曲线进行计算，并宜采用专业软件完成。

【条文说明】

建筑光伏逐时计算发电功率曲线是指在不考虑消纳影响情况下，建筑光伏的发电功率曲线。其受光伏组件类型、装机容量、组件倾角和朝向等因素影响，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。

4.3 直流负荷

4.3.1 【直流化】接入直流配电系统中的负荷应为直流负荷，且直流负荷应接入直流配电系统。

【条文说明】

当采用交直流混合配电系统时，交流负荷接入交流配电系统中，直流负荷接入直流配电系统中。

4.3.2 【直流负荷】建筑中下列负荷宜为直流负荷：

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

【条文说明】

建筑中功率高、用电量大的负荷宜优先接入直流配电系统，其中空调、热泵、照明和充电桩的合计功率和用电量负荷占建筑总负荷的比例超过 50%。此外，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，用电量大，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。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配电网。

4.3.3 【8760 曲线】应对柔性调节前的全年逐时建筑用电功率曲线进行计算，并宜采用专业软件完成。

【条文说明】

建筑用电功率曲线是实现动态计算的数据基础。同时将柔性调节前的用电功

率曲线与柔性调节后的建筑取电功率曲线进行对比，可以用来评估建筑整体用电柔性。因此，有必要对柔性调节前的建筑用电功率曲线进行计算。

建筑用电受建筑类型、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，具体可以分为季节性波动的空调用电负荷以及非空调用电负荷。其中非空调用电负荷包括照明、插座、动力设备等，其用电负荷功率曲线可根据设备作息确定；而空调用电负荷还与气象参数和建筑热工性能等有关，计算量较大，建议通过专业软件进行模拟计算，常用的建筑能耗模拟软件有 DeST、TRNSYS 和 EnergyPlus。

4.4 柔性负荷

4.4.1 【柔性负荷】建筑空调系统和充电桩等柔性负荷宜参与建筑用电柔性调节。

【条文说明】

建筑直流配电系统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节负荷和刚性不可调节负荷，再对柔性可调节负荷进行细化设计。按照柔性特征，柔性负荷可以分为功率可调节负荷、可时移负荷和可蓄能负荷三类，如图 13 所示，具体阐释如下：

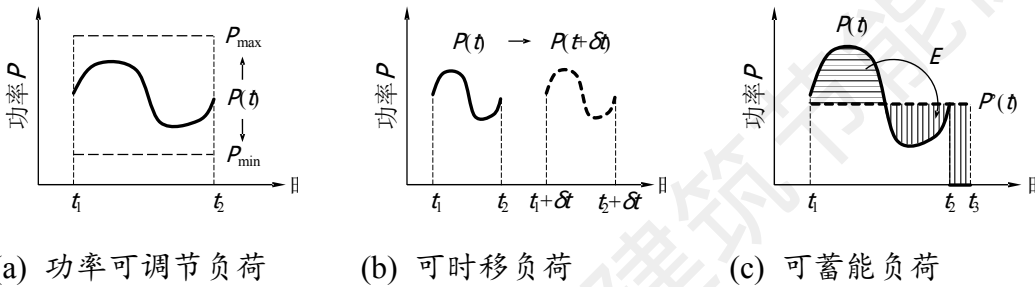


图 13 按照用电设备柔性特征的负荷分类

(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，储能设施主要包括蓄电池和蓄冷/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。

4.4.2 【设备柔性】建筑设备用电柔性计算应包括设备能力参数和人员使用参数，并应符合下列规定：

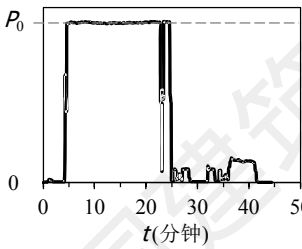
- 1 设备能力参数应包括功率 P 、响应时间 Δt 和蓄电量 E ；
- 2 人员使用参数应包括具体使用场景下的用户调节意愿深度。

【条文说明】

设备能力参数是设备自身固有的可调节能力参数，可标准化测量，参数主要包括功率 P 、响应时间 Δt 和蓄电量 E 。人员使用参数是设备使用场景中人员按照需求设定的参数，反映用户的调节意愿，是对设备能力参数的进一步约束。二者共同决定了用电设备在具体场景下的实际调节能力。

三类柔性可调负荷的设备能力参数、人员使用参数说明如下表：

表 2 柔性负荷量化参数说明

	功率可调节负荷	可时移负荷	可蓄能负荷
功率 P	额定功率 P_0 及正常工作下功率可调范围。 例如：可中断负荷为 $\{0, P_0\}$ ，分档可调负荷为 $\{0, 0.5P_0, P_0, 1.1P_0\}$ ，连续可调负荷为 $\{0, 0.5\sim 1.1P_0\}$	额定功率 P_0 及典型工作周期内固定的运行功率曲线 $P(t)$ 。例如： 	-
响应时间 Δt	升功率响应时间： $\Delta t_1=f(P_1 \rightarrow P_0)$ 降功率响应时间： $\Delta t_2=f(P_0 \rightarrow P_1)$ (P_1 可取为 $0.5P_0$ 或设备可调的下限功率)	升功率响应时间： $\Delta t_1=f(0 \rightarrow P_0)$	-
蓄能量 E	-	-	设备自带储能设施的额定蓄电量 E 。 例如，蓄电池容量、蓄冷热体容量（可

			折为等效蓄电量)等。
人员使用参数	具体使用场景的定义(如工作模式/会议模式/休息模式,以及设备的作息规律),及不同场景下的用户调节意愿深度(如功率/蓄电量实际允许调节的范围)		

4.4.3 【系统柔性】建筑整体用电柔性计算应包括单次最大调节能力和累计调节能力,并应符合下列规定:

1 建筑整体用电柔性的单次最大调节能力 $P_{b,max}$ 应按式(4.4.3-1)和(4.4.3-2)计算:

$$P_b(t) = \sum_i P_i(t) \times \alpha_i(t) \times \beta_i(t) \quad (4.4.3-1)$$

$$P_{b,max} = \max(P_b(t)) \quad (4.4.3-2)$$

式中, $P_b(t)$ ——建筑整体在 t 时刻的单次调节能力(kW);

$P_{b,max}$ ——建筑整体用电柔性单次最大调节能力(kW);

$P_i(t)$ ——第 i 个设备在 t 时刻的单次调节能力(kW);

$\alpha_i(t)$ ——第 i 个设备在 t 时刻的作息系数;

$\beta_i(t)$ ——第 i 个设备在 t 时刻的用户调节意愿深度;

2 建筑整体用电柔性的累计调节能力 E_b 指全天累计的调节电量,应按式(4.4.3-3)计算:

$$E_b = \frac{\int_t^{t+T} |P_{b0}(t) - P_b^*(t)| dt}{2} \quad (4.4.3-3)$$

式中, E_b ——建筑整体用电柔性连续调节能力(kWh);

$P_{b0}(t)$ ——在 t 时刻柔性调节前的建筑取电功率(kW);

$P_b^*(t)$ ——在 t 时刻柔性调节后的建筑取电功率(kW);

T ——全天 24h 为调节周期。

【条文说明】

建筑整体用电柔性是诸多设备用电柔性的集成体现。本条款从调节功率和日调节电量两个维度对建筑整体用电柔性进行量化。

第1款 不同设备有各自的调节能力,在对建筑整体用电柔性的估计时,需要考虑到不同设备的作息情况及用户调节意愿深度。例如,某建筑配置 100kWh/50kW 储能电池, 5×10kW 柔性充电桩,同时建筑空调用电负荷允许上下

浮动 20%，且上述设备的用户调节意愿深度均为 1。在某一时刻，有 4 台充电桩与电动汽车连接，空调用电负荷 100kW。那么，这一时刻的建筑整体单次调节能力为 $50 \times 1 + 10 \times 4 \times 1 + 100 \times 20\% \times 1 = 110\text{kW}$ 。类似的，对一天中各时刻建筑单次调节能力进行计算，其中最大值即为建筑整体用电柔性的单次最大调节能力。

第 2 款 建筑整体用电柔性的累计调节能力通过各柔性设备在一天中的累计调节电量来进行体现。如图 14 所示，图中 A 区域表示为柔性调节后相比调节前所降低的用电负荷，等效为储能放电量；B 区域表示为柔性调节后相比调节前所提高的用电负荷，等效为储能充电量。本条文规定建筑整体用电柔性的累计调节能力定义为 $(\sum A + \sum B)/2$ 。

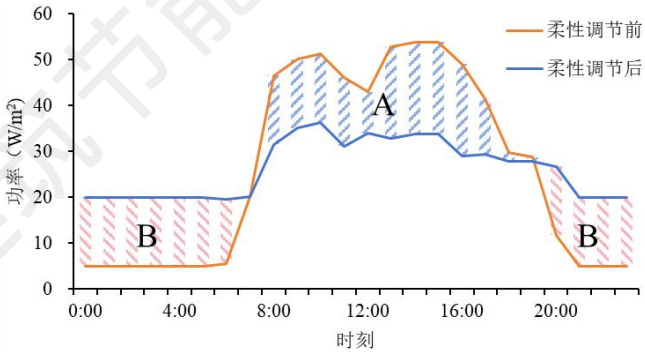


图 14 建筑整体用电柔性累计调节能力计算示意图

在实际运行中，建筑整体的用电柔性通过设备的用电柔性来实现。因此，整体的累计调节能力可通过具体柔性设备的蓄电量进行估算。例如，某建筑配置 100kWh/50kW 储能电池，系统效率 90%，按日一充一放估计，可充电 100kWh，放电 90kWh；配置 5×10kW 柔性充电桩，预计每台桩日充电 30kWh，5 台桩合计充电 150kWh，柔性充电桩可对这 150kWh 电量在一天中的具体分布进行有效分配；对于柔性空调而言，预计一天调节一次，等效充电 20kWh，考虑到空调等效电池调节效率（以预冷为例，基于建筑热惯性蓄存的冷量会随着时间的耗散，因而空调在前一时刻提高的用电负荷（视为等效充电量）相比后一时刻空调可降低的用电负荷（视为等效放电量）要更大，后者与前者的比值即为等效调节效率）取 70% 时，等效放电量为 14kWh。综上，建筑整体用电柔性的累计调节能力为 $(100+90)/2+150+(20+14)/2=262\text{kWh}$ 。

4.5 建筑储能

4.5.1 【目标和流程】 建筑储能具有本地光伏消纳和改变建筑取电功率曲线的能

力，其容量配置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能力、安装条件及投资成本等因素，并应符合下列规定：

1 应先对建筑用电负荷和光伏发电能力进行匹配性分析；

2 建筑储能及其它柔性可调节负荷在本地光伏消纳后仍有余量时，应基于建筑取电要求进行柔性调节，取电要求可基于分时电价或电力动态碳排放责任因子。

【条文说明】

建筑储能作为实现建筑柔性用电的重要措施，其容量配置是系统设计的重点。直流配电设计以实现建筑电力交互为目标，其中建筑取电要求可基于分时电价或电力动态碳排放责任因子 C_r 。目前市场机制最为成熟的方式是分时电价，即城市电网通过设定峰时和谷时电价时段，来鼓励用户在相应时段少取电和多取电。需要说明的是，当建筑光伏发电量大于建筑自身用电量，并且直流配电系统以有序输出光伏发电为设计目标时，其储能容量配置应基于当地具体情况进行分析，而不在本标准讨论范围内。

建筑储能配置分析框架如图 15 所示，受光伏装机、日照资源和气候条件、建筑类型等因素影响，光伏发电曲线和建筑用电曲线可能存在不匹配情况，由此可能存在富余光伏，同时建筑还需从电网取电。建筑储能兼具光伏消纳和改变建筑电网取电曲线两种功能。由于光伏发电边际成本可视为 0 元/kWh，同时碳排放也是 0 kgCO₂/kWh，因此无论是在 C_r 还是分时电价信号引导下，储能优先消纳富余光伏都是碳排责任量/电费最低的措施。当建筑储能消纳本地光伏后仍有余量时，可基于建筑取电要求进行柔性调节。

因此，不同的建筑光伏匹配关系，不同的建筑取电要求，以及不同的储能投资成本，均会对建筑储能容量的设计带来影响。

以分时电价运行模式为例，据测算，当光伏全年发电量占建筑全年用电量比例不大于 20% 时，无储能配置时的光伏发电自用率一般可达 90%。由于富余光伏不多，建筑储能多按峰谷套利模式运行，此时经济性配储容量与分时电价更为相关。当储能电池单价按 1000 元/kWh 测算时，北京地区储能经济容量为建筑日均用电量的 5%-10%，广东地区这一数值为 30%-40%，山东地区这一数值为 25%-35%。其原因在于这三个地区分时电价不同：北京和广东在日间执行峰时和平时电价，而山东在日间执行谷时和平时电价；此外，在峰谷价差上，广东和山东年均差价

在 0.87 元/kWh，而北京价差在 0.50 元/kWh (2024 年数据)。峰谷价差越大的地区，储能经济容量越大，因此广东和山东地区经济配储容量大于北京。此外，当建筑用电量高的时段与电价高峰时段重合时，对储能有较大需求；而当建筑用电量高的时段与电价低谷时段重合时，建筑从电网多取电即可，相应对储能的需求减少。因此，广东地区经济配储容量大于山东。

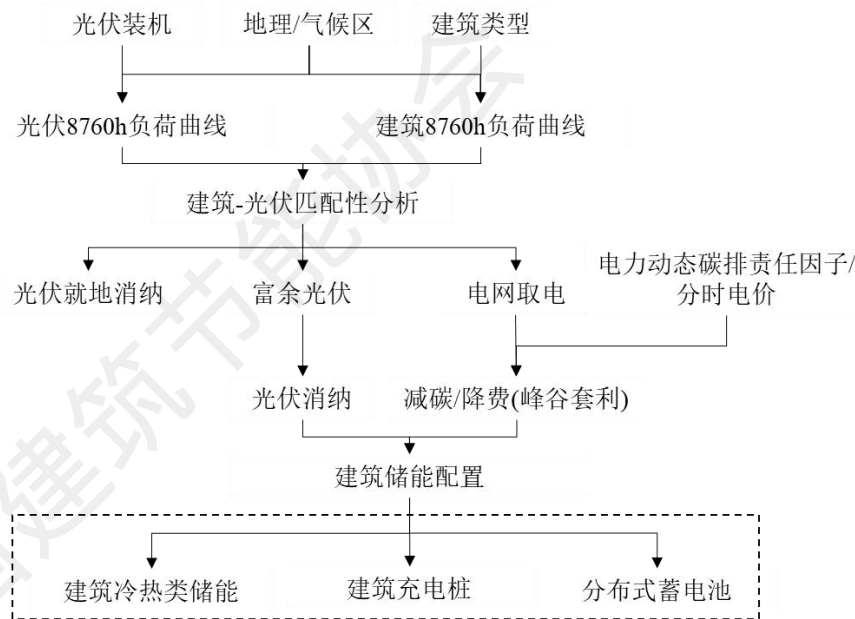


图 15 建筑储能配置分析框架

当光伏全年发电量占建筑全年用电量比例介于 20%-60%时，无储能配置时的办公、商业建筑光伏发电自用率一般可达 70%-90%，住宅、酒店等建筑由于夜间用电负荷较高，光伏发电自用率一般可达 60%-90%。此时，富余光伏增多，建筑储能存储电量中用于光伏消纳的比例增大。经测算，北京地区储能经济容量为建筑日均用电量的 10%-25%，广东地区这一数值为 20%-30%，山东地区这一数值为 25%-35%。随着光伏发电量的提高，分时电价对储能配置的影响权重下降，北京储能经济容量提高，广东储能经济容量下降，山东储能经济容量维持不变。对于北京而言，发电边际成本为 0 元/kWh 的富余光伏增加，相比 0.42 元/kWh 的谷时市政电价下降明显，储能经济性提高。对于广东地区而言，由于光伏发电时段与电价峰平时段重合度较高，光伏发电量的提高使得建筑日间峰时段的电网取电量下降，对于储能而言，留给峰谷套利的空间减小，因而储能经济容量下降。

当光伏全年发电量占建筑全年用电量比例大于 60%时，建筑储能运行模式多以光伏消纳为主。此时，分时电价对储能配置的影响权重下降，不同地区的储能

经济容量趋于收敛，北京、广东、山东地区的储能经济容量多为建筑日均用电量的 20%-40%。

建筑储能类型可分为建筑冷热类储能、建筑充电桩以及分布式蓄电池。在具体类型和容量的设计上，需要考虑不同储能类型运行时所受到的约束。其中，建筑冷热类储能受到建筑自身冷热用电需求的约束，充电桩受到电动汽车充电作息规律和充电需求的约束。

4.5.2 【功率和容量】建筑储能功率不应大于建筑配电容量或光伏装机容量，且容量和功率的匹配关系（储能容量/储能功率）宜为 2h~3h。

【条文说明】

在直流配电系统中，建筑储能的电力来源要么为建筑光伏，要么为电网。因此建筑储能功率值不应大于建筑配电容量和光伏装机容量中的较高值。即当建筑光伏装机容量小于建筑配电容量时，建筑储能功率不应大于建筑配电容量；当建筑光伏装机容量大于建筑配电容量时，建筑储能功率不应大于建筑光伏装机容量。

建筑储能功率（kW）和容量（kWh）的关系可以形象比喻为脖子和肚子的关系。当建筑光伏装机不大时，储能运行以峰谷套利为主，储能容量和功率的小时数关系（储能容量/储能功率）主要和电价峰时、谷时的持续时长有关系。当建筑光伏装机较大时，储能运行以光伏消纳为主，储能容量和功率的小时数关系主要和富余光伏持续时长有关系。一般而言，2h-3h 的匹配关系能够满足建筑储能的正常“吞吐”，并且为未来储能交互性拓展预留了空间。2h-3h 的容量匹配关系具体指，当储能容量为 100kWh 时，储能功率宜为 30~50kW。

4.5.3 【蓄冷蓄热】当采用电驱动制冷/热的冰、水或相变材料蓄冷/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。

【条文说明】

当 PEDF 采用蓄冷/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。

4.5.4 【电化学】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建筑能源管理系统；
- 3 单套储能设施的功率/容量不宜超过 500kW/500kWh；

【条文说明】

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，且监测数据需接入建筑能源管理平台；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。建筑直流配电系统中的单个模块电池不建议超过这个规模，但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。

5 直流配电系统设计

5.1 一般规定

5.1.1 【直流配电】当需布置高比例建筑光伏和建筑储能等电源设备，或参与电力交互时，宜采用直流配电系统。

【条文说明】

建筑光伏和建筑储能具有直流特征，在传统交流系统中需要经过直交变换器（DC/AC）并入配电网。与此同时，用户终端直流负载也与日俱增。目前越来越多的电器设备本质上都是直流驱动的，其内部均需将交流电变换为直流电。如：生活中常见的电动车、液晶电视、LED 照明灯、电脑及网络设备、手机等移动通信设备等。近年来，随着变频技术不断成熟及产品成本不断降低，包含交流电机的用电设备，如电梯、空调、冰箱、洗衣机等也呈现直流化趋势。

建筑直流配电系统是 PEDF 的必要条件，特别适合负荷需求多样化、分布式新能源和储能接入的发展要求，在改善电能质量、减少电能变换环节、提高分布式能源效益、增强用电柔性等方面，更能起到积极的促进作用。

5.1.2 【负荷分级】建筑用电负荷分级及供电要求应符合现行国家标准《建筑电气与智能化通用规范》GB 55024 和《民用建筑电气设计标准》GB 51348 的规定。

【条文说明】

现行国家标准《建筑电气与智能化通用规范》GB 55024 和《民用建筑电气设计标准》GB 51348 对建筑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。同时，该标准对不同用电负荷等级的供电回路或供电电源作了明确规定。直流配电系统设计时，用电负荷及其供电要求按上述标准执行。

5.1.3 【在线检修】直流配电系统中的电能变换器宜支持在线更换。

【条文说明】

在线更换是指在直流母线不断电的情况下，对变换器模块进行的检修和更换。这种方式在更换时，不会影响到配电系统别的设备的正常使用。

5.2 电压等级

5.2.1 【电压等级】民用建筑直流配电系统电压等级宜符合下列规定：

- 1 宜采用 DC 750V、DC 375V;
- 2 宜根据主要用电设备确定主母线电压等级。

【条文说明】

第 1 款 考虑到 DC48V 传输距离有限,本次修订不再将其作为推荐配电电压等级。当建筑场景中确有需要 DC48V 时,在该场景中布置相应电源模块即可。

第 2 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)的电压等级宜根据主要用电设备进行确定。通常集中冷机采用 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,主母线电压宜采用 DC750V;当主要用电设备采用 DC375V 配电时,主母线电压宜采用 DC375V。

5.2.2 【接入电压】设备接入直流母线时,应根据其额定功率选择电压等级,并宜符合下列规定:

- 1 当设备额定功率大于 15kW 时,宜接入 DC750V 直流母线;
- 2 当设备额定功率不大于 15kW 时,宜接入 DC375V 直流母线。

【条文说明】

DC 750V 电压较高,供电能力较强,可以满足大功率和远距离供电要求,同时变换器工作效率较高,有助于提高中央空调和充电桩等大功率设备能效,并与建筑光伏和储能更加灵活高效互动。

DC 375V 的供电能力仍接近 AC 220V 的 3 倍,在按要求采取必要的电击防护措施的前提下,适合大多数日常工作和生活场所要求。

5.2.3 【负荷接入】同一用电设备不得同时接入不同的直流母线。

【条文说明】

本条中的“同一设备”特指独立的物理结构,如果用电设备由多个相互分隔的物理结构组成,视作不同设备,可以分别接入不同电压等级。

建筑直流配电系统可以根据用电安全、供电能力和工作效率等要求配置 DC 750V 和 DC 375V 电压等级,使用环境、电击防护要求和措施各不相同,如果用电设备采用混合供电方式,由于用电设备内部结构和产品性能差异较大,一旦用电设备出现故障,不同直流母线极有可能发生搭接,对系统电击防护带来巨大威胁。为此,本标准规定同一用电设备不得同时接入不同的直流母线。

5.3 拓扑设计

5.3.1 【单极架构】直流配电系统拓扑宜采用单极结构。

【条文说明】

尽管双极结构可以同时提供两个电压等级供设备选择，同时中间极线路压降和损耗更小，供电灵活性和效率更高，但两极间存在相互影响，故障分析和排查更加复杂，还会带来开关电器开断电压更高等问题。

考虑以下因素，本标准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（DC 375V 或 DC 750V）即可满足用电设备的要求；（3）根据工程实践情况，即使采用双极结构，由于在民用建筑中单极用电设备数量更多，系统中单极线路的占比较高，双极在降低线路损耗和提供系统能效方面的作用不明显。

5.3.2 【源荷匹配】分布式电源、建筑储能和主要直流负荷宜接入同一电压等级。

【条文说明】

源荷设备接入同一电压等级，可减少电能在不同电压等级间的转换环节。一方面可提升系统效率，减少电能转换损失；另一方面，直流电压的波动信号在同一电压等级下更容易传递，减少了电压变换器的柔性控制难度。

主要直流负荷指用电功率和用电量较高的负荷，如空调、照明、充电桩等。

5.3.3 【微网互联】直流微电网的设计宜符合下列规定：

- 1 当存在多个台区时，宜通过直流微电网实现台区柔性互联；
- 2 当存在多个直流微电网时，宜通过联络节点实现系统级互联，联络节点可采用电能变换器或母线联络开关。

【条文说明】

第1款 台区是指由一台配电变压器及其低压侧出线开关、配电线路等构成的完整供电区域。对于多栋楼宇或产业园区，当存在多个台区时，可以通过直流母线将不同台区进行互联，构建园区级直流微电网，一方面可以提高供电可靠性，当单台区发生故障时，相邻台区能够实现及时供电；另一方面还可以提高园区整体用电柔性，当单台区出现用电紧张时，相邻台区可利用建筑储能等柔性资源向负荷高峰台区输电，减少购电成本，同时降低台区整体容量裕度。

第2款 与台区类似，当多栋楼宇存在多个直流微电网时，也可以通过直流母线将其联络起来。当互联的微电网母线电压等级不同时，联络节点建议采用电能变换器。当互联的微电网母线电压等级相同时，联络节点可以采用母线联络开关。

5.4 接地设计

5.4.1 【型式选取】 直流配电系统应结合应用场景且综合考虑供电连续性、运维条件、配电网特性、负载特性及经济性等因素选择适合的接地型式。

【条文说明】

根据国家标准《低压电气装置 第1部分：基本原则、一般特性评估和定义》GB 16895.1-2008 和 国际标准《Low-voltage electrical installations - Part 1: Fundamental principles, assessment of general characteristics, definitions》IEC60364-1 中的规定，直流配电系统可以有 TN、TT 和 IT 三种接地型式。

上述三种接地型式各有其特点，选择接地系统型式与其是否安全这一判断标准无关：就人身电击防护而言，只要严格遵循相关电击防护标准和规范的规定，三种接地系统的安全性是同等的。不存在某种接地系统比另外的接地系统更安全这样的说法，也没有最好的接地系统，只有相对适合的接地系统型式。设计者选择适合的接地系统时需考虑的因素比较多，其中的运维条件指是否由电气专业人员进行维护。

5.4.2 【推荐型式】 直流配电系统宜采用 IT 或 TN-S 接地型式，并应采用隔离型电网接口设备。

【条文说明】

本条推荐民用建筑直流配电系统采用 IT 或 TN-S 接地型式，如图 16 所示。

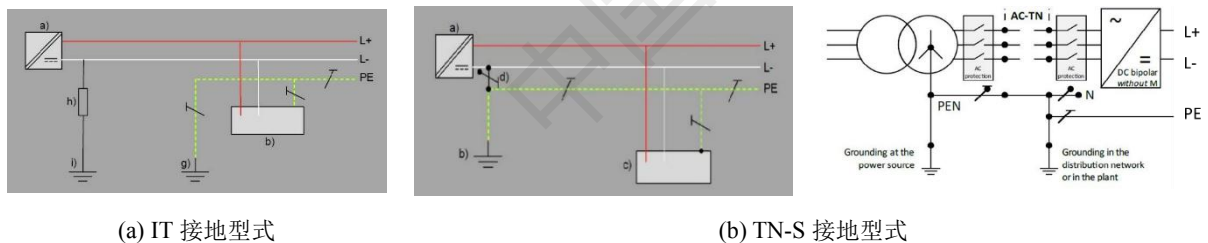


图 16 接地型式示意图

主要原因如下：

首先，IEC 直流配电相关的应用标准和技术文件推荐 IT 或 TN-S 接地型式：

(1) IEC 60364-8-82 Low-voltage electrical installations – Part 8-82: Functional aspects – Prosumer’s low-voltage electrical installations (低压电气装置 8-82 部分：功能方面-产消式低压电气装置) 的附录 F 中指出：为避免腐蚀风险，PEI 直流侧接地系统不允许采用 TT 接地型式，为了减少正常情况下不承载电流的导电部件中的电流，不允许选用 TN-C 和 TNC-S 接地型式。同时，在该标准的附录 F 中的电击防护章节给出了直流配电系统中 TN-S 系统和 IT 系统自动切断电源措施的具体规定。以上表明，IEC 直流配电应用标准中推荐 TN-S 和 IT 接地系统，而不推荐采用 TT、TN-C 和 TN-C-S 接地型式。

(2) IEC TS 61200-102 Electrical installation guide - Part 102: Application guidelines for low-voltage direct current electrical installations not intended to be connected to a public distribution network (电气装置指南-102 部分：拟不与公共电网连接的低压直流电气装置的应用指南) 中不推荐采用 TT 接地系统，原因是采用 TT 系统要求采用例如防腐蚀和自动切断电源等设备等附加措施。根据该技术文件，要求接地系统型式为 TN-S 系统，不推荐采用 TN-C 和 TN-C-S 系统。

其次，IT 和 TN-S 接地型式均适用于民用建筑直流配电系统，两种接地系统各有其特点，实际项目中可根据其特点和项目的应用场景选择不同的接地系统：

(1) 对于供电连续性要求特别高的特殊场所，例如医院或者特定的工业场所，可选择 IT 系统；IT 系统的运营维护需要专业的维护人员，尤其是第一次接地故障报警后的定位和排除故障对运维人员的要求很高。

(2) 当民用建筑未设有足够数量的电气专业人员对系统进行运维或对 IT 系统第一次接地故障的及时定位和故障排除相对比较困难时，可选择 TN-S 系统。

第三，本标准没有推荐采用 TT 和 TN-C 接地型式，主要原因如下：

(1) TT 系统：与 TN 系统的接地故障电流不流经接地极不同，TT 系统的接地故障电流路径经过接地极，因此对接地极的质量有非常高的要求。采用 TT 系统要求必须采用腐蚀保护的附加措施。另外，电击防护中采用自动切断电源措施时，TT 系统需安装直流 RCD。

(2) TN-C 系统：与 TT 系统类似，需要考虑腐蚀保护的附加措施。

5.4.3 【IT】当采用 IT 接地型式时，宜采用高阻接地并设置绝缘检测装置 (IMD)。

【条文说明】

IT 系统在设计阶段需计算系统对地绝缘阻抗，以确保系统正常运行时的绝缘电阻满足本条的要求。常见 IT 接地系统为中间极通过高阻接地，一次接地故障时电压会漂高。系统内线路、设备及负载的绝缘耐压要满足要求，否则一次接地故障有绝缘失效的风险。同时，设置绝缘监测装置（IMD）指示第一次接地故障。IMD 能够向电气专业人员或受指导人员发出警报，警报信息应持续至故障排除。

5.4.4 【TN-S】当采用 TN-S 接地型式时，应仅在一点接地。

6 主要电气设备与线缆选型

6.1 一般规定

6.1.1 【设备电压】直流配电系统中的电气设备应具备宽电压带运行能力，并应符合下列规定：

- 1 当设备电压处于 $85\%\sim 105\%U_n$ 范围时，且其他运行条件符合要求时，设备应能正常工作，并宜参与柔性调节；
- 2 当设备电压超出 $85\%\sim 105\%U_n$ 范围，但仍处于 $80\%\sim 107\%U_n$ 范围内时，设备可降额运行，且不应受到损坏和失效；
- 3 当设备电压超出 $80\%\sim 107\%U_n$ 范围但不超过设备最高电压限制，且持续时间不超过 10ms 时，设备电压恢复到 $85\%\sim 105\%U_n$ 范围后，设备可根据要求自动恢复正常运行，且设备不应受到损坏；
- 4 设备最高电压宜符合表 6.1.1 的规定。

表 6.1.1 直流配电系统设备最高电压限值

直流配电系统标称电压 U_n	设备最高电压限制
750V	$\geq 825V$
375V	$\geq 412V$

注：设备最高电压用于表示与直流端口电压相关的性能，如绝缘、保护电器分断能力、功率半导体器件和电容耐压等。设备只能用于系统最高电压不高于设备最高电压的系统中。

【条文说明】

直流配电系统的电压多运行在电压带区间中，并会随着建筑电力供需平衡关系以及建筑电力交互需求而波动，因此直流用电设备应能在宽电压带范围内正常运行。

设备工作电压范围是设备重要的技术指标之一，根据术语定义，直流系统电压按照标称电压进行描述。当直流母线电压超出一定的范围，设备性能可能受到影响，甚至无法正常工作。扩大工作电压范围可能带来一些便利，但设备成本也会相应增加，因此需要结合应用需求合理确定。参考国家标准《中低压直流配电电压导则》GB/T 35727，结合本标准第 7 章和第 8 章对于直流配电系统保护和电能质量的相关要求，对设备的工作电压范围做出规定。

第 1 款 本标准规定 $85\%\sim 105\%U_n$ 为柔性调节电压带，设备可基于母线电压变化而做出功率调节响应。因此，当设备电压处于该电压带时，设备应能正常工

作。

第2款 本标准规定 $80\%\sim 85\%U_n$ 和 $105\%\sim 107\%U_n$ 分别为暂态运行低电压带和暂态运行高电压带。由于系统工作模式切换、设备投切等原因可能引起系统电压脱离 $85\%\sim 105\%U_n$ 的稳态电压带区间。同时考虑线路可能存在 5% 压降损失，当源侧电压为 $85\%U_n$ 时，末端设备侧电压可能为 $80\%U_n$ 。因此，对设备而言，当电压超出柔性调节电压带区间，仍处于 $80\%\sim 107\%U_n$ 区间时，要求设备尽量维持正常功能，同时允许设备采取降额等措施防止损坏和失效。

第3款 由于短路故障、设备异常等原因，直流母线电压会出现较大幅度跌落或升高，如果系统可以迅速切除故障并恢复正常，过渡过程介于瞬态和暂态之间，电压异常的持续时间较短。在这种情况下，设备如果能适当降低过欠压保护灵敏度，可以尽量减少设备连锁反应对系统故障定位和保护干扰，而在故障排除后，如果设备能自动恢复正常运行，有助于降低故障带来的系统功能损失。

第4款 增加设备最高电压规定，引导设备厂家开发耐受电压更高的产品。随着直流应用的推广，开放型直流配电系统将成为方向。适当提高设备电压耐受能力，特别是对高电压的耐受能力，能有效简化开放型直流系统电压控制和保护技术的难度，有助于简化系统结构，降低系统成本。影响设备最高电压的主要是变换器内部电容和功率半导体器件的耐压，根据变换器技术发展水平，将设备最高电压定在 $110\%U_n$ 。

6.1.2 【APR】直流配电系统中的变换器和用电设备宜具备 APR 功能。

【条文说明】

具备 APR 功能的设备可以自动根据直流电压变化调节自身功率，为用电负荷优化和参与电力交互提供便利。与通信方式下达调节指令的方法相比，利用直流母线电压变化向用电设备传递功率调节需求，设备自主做出响应的方法通用性和兼容性更好，实施更便捷，且能发挥直流配电系统的优势。

6.1.3 【符合团标】直流配电系统中用电设备的电流纹波限值宜符合现行团体标准《建筑光储直柔系统变换器通用技术条件》T/CABEE 063 对变换器电流纹波的规定。

【条文说明】

设备产生的纹波会对直流配电系统的电能质量、稳定性和效率产生不利影响，

需要做出必要的限制。直流系统包含的纹波频谱范围可以从极低频（1Hz 以下）到高频（几十 kHz 甚至更高），由于线路感抗的抑制作用，高频纹波的含量和影响相对较小，系统设计、验收和运行主要关注 10kHz 以下的中低频纹波。本标准对设备纹波电压和电流的限制主要参考现行团体标准《建筑光储直柔系统变换器通用技术条件》T/CABEE 063。

6.1.4 【绝缘要求】直流配电系统设备的绝缘要求应符合表 6.1.4 的规定。

表 6.1.4 设备内部与其它电压等级电路的绝缘要求

电压等级	直接接触电击防护要求	交流 380V	直流 750V	直流 375V
交流 380V	有	b	b	b
直流 750V	有	b	b	p
直流 375V	有	b	p	b
注 1: b 表示基本绝缘，绝缘按照电压最高的电路来确定。				
注 2: p 表示保护隔离，绝缘按照电压最高的电路来确定。				

【条文说明】

直流系统设备可能同时接入交流或直流（比如电网接口变换器，交流端口接 AC380V，直流端口是 DC750V 或 DC375V），也可能接入不同的电压等级（比如直流电压变换器两个端口分别为 DC750V 和 DC375V），不同电压的子系统接地型式、使用环境、电击危险、防护要求和保护措施各不相同，为避免因设备原因影响子系统电击防护性能，需要对设备内部的绝缘做出必要的要求。

根据《电击防护 装置和设备的通用部分》GB/T 17045 的规定，电压高于 AC50V 或 DC120V 都需要采取直接接触电击防护措施；DC375V 和 DC750V 的电击危险差异显著，要求 DC375V 和 DC750V 电路之间采取保护隔离措施，是为了避免 DC750V 串入 DC375V 可能带来的电击危险；设备内部同是 DC375V 或 DC750V 的电路之间，必须设置基本绝缘，而 DC48V 的电路之间，只需设置功能绝缘。

6.1.5 【配电室布置】直流配电室可与交流变配电室合用或单独设置。

6.2 变换器

6.2.1 【符合团标】直流配电系统使用的变换器，应符合现行团体标准《建筑光储直柔系统变换器通用技术条件》T/CABEE 063 的规定。

【条文说明】

本次修订聚焦产品选型。直流配电系统采用变换器的技术要求，可参考现行

团体标准《建筑光储直柔系统变换器通用技术条件》T/CABEE 063。

6.2.2 【技术资料】变换器选型应以直流端口功率、电压和电流作为依据，且变换器的技术资料中应包含下列信息：

- 1 设备最高电压，以及不同电压的电流和功率限值；
- 2 0%~100%额定功率时的效率或损耗；
- 3 直流端口直流滤波电容值，接通冲击电流幅值和持续时间；
- 4 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；
- 5 直流端口短路电流特性和短路保护特性。

【条文说明】

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，称为直流端口，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端口的性能，因此为避免混淆，在直流配电系统，除非特别说明，变换器以直流端口参数作为选型依据。

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。

6.2.3 【模块化】变换器安装宜采用模块化结构，并可通过热拔插的方式进行更换。储能变换器、光伏变换器宜采取与储能电池、光伏电池就近安装的方式。

【条文说明】

直流配电系统应用尚处于早期阶段，成熟度与交流系统相比还有一定差距，变换器对系统供电可靠性的影响值得重点关注。提高系统可靠性，除了依靠变换器产品技术性能和质量的提升，实际应用中还可以采取冗余备份等方法满足系统可靠性指标要求。采用模块化结构，由多个相对独立的模块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的。

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进行分配，提高整体运行效率。

为提高发电效率，光伏发电装置宜具备多路 MPPT 功能，光伏变换器与光伏电池就近安全可以简化光伏电池与光伏变换器之间的接线，降低线路成本。另外光伏变换器户外安装，也有利于减少配电室损耗，降低通风散热要求。

储能变换器与储能电池就近安装，可以利用储能变换器实现一些短路保护功能，与熔断器等短路保护手段配合，有助于提高电池储能装置的安全性。

6.2.4 【效率】变换器应采取措施减少低功率时的损耗。变换器制造商应按照现行团体标准 T/CABEE 063 的规定提供变换器不同功率下的效率或损耗，以及最高效率、加权总效率和轻载效率检测数据。

【条文说明】

变换器效率对直流系统整体效率影响非常大，变换器选型需要特别关注效率指标。

同一个变换器在不同功率下的效率会有所差异，特别是在功率比较小的轻载情况下，效率还可能显著降低。为此，除了最高效率，变换器选型还应综合考虑轻载效率和不同功率点的加权总效率。

6.2.5 【ACDC】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 直流端口应具备稳压功能，并可根据指令调整直流端口电压；
- 2 对于额定功率小于等于 30kW 的电网接口变换器，交流侧 100kHz 及以下泄漏电流总有效值应小于等于 300mA；对于额定功率大于 30kW 的电网接口变换器，交流侧 100kHz 及以下泄漏电流总有效值应小于等于 10mA/kW；
- 3 如果直流系统内部包含电源，且电网接口变换器采用非隔离型，电网接口变换器应具备防孤岛功能，能快速识别出孤岛状态且断开与交流电网的连接，防孤岛动作时间应小于 2s。

【条文说明】

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，同时为了减小对电网的影响，要求电网接口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 APR 和线路压降补偿等功能，要求电网接口变换器可以根据指令调整直流电压。

第 2 款 由于交流配电网一般采取 TN 接地型式，电网接口变换器工作可能会产生泄漏电流，并以剩余电流的形式存在，不仅会带来电磁兼容的问题，增加间接电击危险，严重时甚至可能干扰剩余电流保护的正常工作，带来安全隐患，因此必须采取限制措施。直流配电系统电网接口变换器交流泄漏电流的限值参考国家标准《光伏发电并网逆变器技术要求》GB/T 37408-2019 第 6.7.2.1 条制定。

第 3 款 如果直流系统内部包含光伏发电装置、储能装置等直流电源，在交流电网断电的情况下，电网接口变换器有可能将直流电源的电压引入到交流电网，带来极大的安全隐患，为确保交流系统安全，要求电网接口变换器应具备防孤岛功能，能快速识别出孤岛状态且断开与交流电网所有一次连接。防孤岛功能要求参考《光伏发电并网逆变器技术要求》GB/T 37408、《建筑光储直柔系统变换器通用技术条件》T/CABEE 063 等标准。

6.2.6 【光伏 DCDC】光伏变换器应符合下列规定：

- 1 宜采用非隔离型。采用非隔离型光伏变换器的建筑光伏系统，光伏电池组的最高开路电压应低于直流配电系统最高电压；
- 2 应能通过内部可控开关主动断开与直流母线的连接，并满足直流系统上电启动、过电流保护和欠电压保护要求。

【条文说明】

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，光伏变换器宜采用非隔离型拓扑。

第 1 款 如果光伏变换器采用非隔离型，在光伏变换器损坏等极端情况下，光伏电池的电压可能被直接引入直流母线，如果光伏电池电压过高，有可能造成系统中其它设备损坏。因此，要求光伏电池组的最高开路电压应低于直流配电系统最高电压。

第 2 款 光伏电池短路电流特性比较特别，在系统发生短路时，很难利用断路器或熔断器实现可靠保护的目，为此要求光伏变换器具备主动保护的功能。

6.2.7 【储能 DCDC】当采用非隔离型储能变换器时，储能电池的最高开路电压应低于直流配电系统最高电压。

【条文说明】

如果储能变换器采用非隔离型，在储能变换器损坏等极端情况下，储能电池的电压可能被直接引入直流母线，如果储能电池电压过高，有可能造成系统中其它设备损坏。因此，要求储能电池组的最高开路电压应低于直流配电系统最高电压。

6.2.8 【互联变换器】多台变换器并联应采用柔性互联装置，且当采用交直流混合配电系统时，应采用隔离型柔性互联装置。

6.3 用电设备

6.3.1 【照明】直流照明系统宜采用 DC375V 配电，并应满足现行国家标准《建筑照明设计标准》GB/T 50034 规定。

【条文说明】

直流照明系统供电电压等级应根据用电容量、供电距离、新能源的便利接入、经济合理性等因素确定，并应简化电压等级、减少变压层次。本标准条文 5.2.1 推荐 DC375V 和 DC750V 的直流配电系统电压等级，考虑到 DC750V 对灯具的耐压能力要求较高，故本条文推荐直流照明采用 DC375V 配电。当照明系统确有低压供电需求时，在终端设备处配置相应电源模块即可。

6.3.2 【充电桩】接入直流配电系统的电动汽车充电桩应符合下列规定：

- 1 额定功率宜为 7~30kW；
- 2 宜接入 DC750V 直流母线；
- 3 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大于 3s；
- 4 应具备 APR 功能，宜具备双向充放电功能，实现 BVB。

【条文说明】

第 1 款 目前电动汽车充电桩规格型号有以下几种：一是 20kW 以下的慢充桩，常用于住宅或写字楼；二是 30~180kW 的快充桩，常用于公共停车场和高速服务区；三是 250~480kW 的超充桩；四是 480kW 以上的兆瓦级超充桩。本标准适用于民用建筑场景，与之匹配的电动汽车充电桩使用模式多为车主来到建筑时，即将电动汽车连上充电桩；而后车主离开建筑时，将充电桩拔离。电动汽车在建筑中的停留时间与车主的停留时间一致，快充并非是车主的主要使用需求。此外，为避免充电桩对建筑配电系统造成的冲击，本标准不鼓励超充桩和兆瓦级超充桩在民用建筑场景中的应用。目前市场主流的直流充电桩模块有 15kW 和 30kW，本

条款推荐采用 30kW 及以下的充电桩。

第 2 款 充电桩运行功率较大,适合接入供电能力更强的 DC 750V 电压等级。

第 3 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,指令响应时间不应大于 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 4 款 充电桩和电动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 BVB。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。

6.3.3 【插头插座】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。

6.4 电化学储能

6.4.1 【符合标准】电化学储能应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016、《建筑防火通用规范》GB 55037、《电化学储能电站设计规范》GB 51048、《汽车库、修车库、停车场设计防火规范》GB 50067 和《电能存储系统用锂蓄电池和电池组 安全要求》GB 44240 的规定。

【条文说明】

储能电池具有一定的火灾危险,但由于建筑电化学储能的应用相对较少,经验和措施还比较有限,虽然近些年开展了大量研究,但可供设计参考的技术标准依旧不多。为此,本标准对建筑储能消防方面的要求,仍以现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016、《建筑防火通用规范》GB 55037、《电化学储能电站设计规范》GB 51048 和《汽车库、修车库、停车场设计防火规范》GB 50067 为准。

建筑领域传统电化学储能主要以铅蓄电池备用供电为主,主要应用在调度控制室、机房和数据中心等场所。与铅蓄电池相比,锂离子电池热失控风险和火灾破坏性更大,传统的消防措施很多时候无法有效应对锂离子电池火灾,虽然国内

外都在开展研究攻关，但在本标准编制期间，仍未形成切实可行的消防应对方案。建筑储能必须充分考虑锂离子电池热失控和火灾危险可能带来的后果。

根据技术和行业发展趋势分析，锂离子电池在建筑领域具有广阔的应用前景。根据现阶段研究和应用经验，从电池、电池管理和电气系统集成等三个方面采取措施，可以有效降低锂离子电池热失控风险，缩小故障范围和影响，减小事故危害，包括选择安全性更好的磷酸铁锂电池和钛酸锂电池，BMS 配置更加完善的过充过放保护、超温和绝缘监测功能，适当降低电池模组电压和容量，采用隔离型储能变换器，设置多重短路保护等。

6.4.2 【电池要求】单个储能变换器回路电池不宜并联使用，所用电池应为同厂家、同规格型号、同生产批次的产品，且不宜使用退役电池。

6.4.3 【并联情况】当多个储能电池模组或储能电池簇并联时，应配置隔离电器，且隔离电器应采用可同时断开回路所有带电导体的多极型隔离开关或具备隔离功能的断路器。

【条文说明】

由于储能电池类型、串联数量以及荷电状态等差异的原因，电池模组或电池簇的电压难以保证完全相同，直接并联极易导致电池模组或电池簇之间出现环流，不仅会对运行效率、可用功率和可用容量产生影响，严重时甚至会造成电池故障并引发事故。配置隔离电器不仅方便现场检修和维护，而且在电池模组或电池簇出现故障时，还可以利用隔离电器将故障部分切除，避免故障扩大。

6.4.4 【接入母线】电化学储能应通过独立回路接入直流母线，且应具备一键关停功能。

【条文说明】

电化学储能采用独立配电回路接入，在检修过程中更容易做到可靠切除，确保运维人员安全，在直流母线或储能自身发生故障时，可以有效缩小故障影响范围，便于故障排查。

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”。

6.4.5 【保护功能】电化学储能系统应具备电气保护、安全监测和异常报警等功能，且应具备电池绝缘监测功能。

【条文说明】

电化学储能系统需要对储能电池和电气装置的运行状态进行监测，以便在发生异常或故障时及时采取报警和保护措施，对电化学储能系统提供安全保障。异常报警功能主要针对与储能电池有关的火灾（包括储能电池热失控和外部因素引起的电气火灾），能够及时发出警报，并能与消防设施联动。

由于储能电池漏液等问题引起的绝缘故障是一个非常严重的安全隐患，绝缘监测有助于发现故障以便采取相应的保护措施。为此，本标准要求电化学储能应具备电池绝缘监测功能。为了避免对直流配电系统绝缘监测功能产生干扰，对于采用非隔离型储能变换器的建筑储能，在将其接入直流母线前，储能电池的绝缘监测功能应先停止工作。

6.4.6 【短路保护】 电化学储能应针对电池模组、电池簇分别设置短路保护功能，并提供电池模组、电池簇短路故障电流分析或测试数据。

【条文说明】

电气短路引起的过流可能造成电池损坏，也是电池热失控的重要诱因，是建筑储能最主要的安全威胁之一。

短路故障的影响范围与故障位置有关，考虑现场安装和拆卸等情况，故障情形更加复杂，在电池模组和电池簇中分别设置短路保护，可以提供更完善的保护。

由于储能电池内阻较小并且可以持续输出能量，电化学储能对直流母线短路故障特性的影响非常显著，破坏力也比较大，是直流配电系统短路电流计算和保护校核的重要内容。电化学储能的短路特性受储能电池类型和成组方式、储能电池状态、储能变换器拓扑和保护策略等多种因素影响，不同厂家、不同型号的产品差异较大。为此，本标准要求生产厂家提供短路故障电流分析或测试数据。

6.4.7 【构网型】 建筑储能能在直流母线闪降时，宜具备电压支撑功能。

6.5 线缆

6.5.1 【材料】 直流配电系统宜采用低烟无卤型电缆。

【条文说明】

低烟无卤型电缆燃烧时烟雾少，不会产生腐蚀性气体逸出，适用于人员较密集场所。

6.5.2 【耐压】 直流配电系统线缆耐压等级应按系统标称电压选择，并应符合下

列规定：

- 1 标称电压为 750V 的直流系统，线缆的耐压不宜低于 1kV；
- 2 标称电压为 375V 的直流系统，线缆的耐压不宜低于 500V。

【条文说明】

由于直流系统可能在高电压下运行，为提高电击防护性能，线缆耐压参考系统最高电压设计。

6.5.3 【颜色符号】 直流导线与交流导线颜色应予以区分，并应符合下列规定：

- 1 当采用单极系统时，正极、负极应分别采用红（L+）、白（L-）颜色；
- 2 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；
- 3 接地线应采用黄/绿组合色；
- 4 L+、L-、M 应采用永久标识。

【条文说明】

当建筑中同时存在交流配电和直流配电系统时，交直流导线均应具有明显标识。直流导线颜色和标识参考 IEC 60364-1 ED6，如图 17 所示。

直流电压极性标识对用电安全非常重要，但不同行业、不同标准对直流电压极性标识的要求目前存在一定差异。综合考虑安全要求、行业习惯和相关标准的规定，本标准对直流电压极性的符号标识进行规定，要求包含 L+、L- 和 M，在此基础上，可以根据需要包含其它用于标识功能的符号，比如“DC750V-L+”、“充电桩 L-”等。

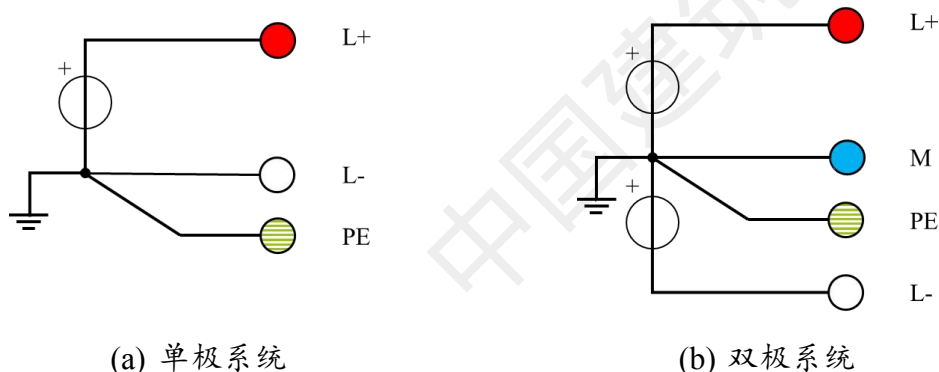


图 17 直流导线颜色

6.5.4 【标识】 直流配电系统线缆宜选择多芯护套型，并应采用符号“DC”或图案“≡”进行标识。

【条文说明】

直流系统可能存在不同形式和电压等级的线缆，接错线可能造成的损失更大，采用多芯护套型线缆有助于工程现场施工，还方便查线。

6.5.5 【敷设】直流线缆不宜与交流线缆共用桥架。直流线缆和交流线缆可敷设在同一竖井内，但应分管（槽）敷设。

6.5.6 【压降】在标称电压和功率条件下，从直流母线到用电设备的线路压降不应超过系统标称电压的 5%。

【条文说明】

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。参考国家标准《民用建筑电气设计标准》GB 51348-2019 第 3.4.3 条规定，从提高能效导向的角度，本标准要求直流配电系统线路压降不应大于 5%标称电压。

7 安全保护与防护

7.1 一般规定

7.1.1 直流配电系统应符合下列规定：

- 1 直流配电系统应设置电击防护、电流故障保护、热效应保护、电压异常保护等安全防护与保护措施；
- 2 直流配电系统的安全保护与防护可采用独立保护电器或系统集中保护措施。各种保护措施宜注重各级保护的选择型配合及后备保护配合，同时兼顾与相关变换器保护配合，以保证系统的正常运行；
- 3 保护电器及保护连锁、互锁设置在满足安全防护与保护的前提下，不宜影响直流系统自身柔性调节能力或电能管理系统的能源调配。

【条文说明】

根据 GB/T16895.1 标准规定，直流配电系统的安全防护意在为人员、财物提供安全的规则，防止因电气装置在合理的使用条件下发生危险和损害。参考本标准的 7.2~7.5 节的要求。

光储直柔低压配电系统是集各类能源的充分利用的智能配电系统，需要对各类、各级保护进行保护协调，以保证系统供电的连续性。

7.1.2 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；
- 2 保护原理及功能应简单可靠，对同一类型故障不宜设置多重保护。

【条文说明】

第 1 款 直流配电系统的保护主要针对各种设备、变换器和各级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。

故障不仅会引起系统工作异常，对供电质量产生影响，甚至会造成人身伤害和设备损坏，局部故障还会产生连锁反应并在更大范围蔓延，带来更大的破坏，

故障保护对直流配电系统安全稳定运行至关重要。直流配电系统常见故障主要特征如表 3 所示。

表 3 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 民用建筑直流配电系统面向普通用户，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应当尽量简单可靠。

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；另外，由于系统保护策略和保护设备方面的技术规范还基本处于空白状态，产品通用性还比较差，多重化保护的实际效果目前还很难保证。为此，本标准不建议针对同一类型故障设置多重保护。

7.1.3 配电系统中含有可引起局部发热的功率电气设备，宜具有内部异常温度检测保护功能，设备安装后应具有足够的散热空间及与可燃物的隔热措施。

7.2 电击防护

7.2.1 直流配电系统的每一部分在基本防护措施外，应按外界影响条件采用下列一种或多种电击防护措施：

- 1 自动切断电源；
- 2 双重或加强绝缘；
- 3 向单台设备供电线路的电气分隔；
- 4 安全特低电压（SELV）。

【条文说明】

电击防护包括基本防护（直接接触防护）和故障防护（间接接触防护）两部分：前者包括电气设备的基本绝缘、防触及电气设备等防止电流通过人体和家畜等风险，或将通过人体和家畜体的电流降低到没有风险的限度；后者则是为了避免由于人或家畜触及电气设备外露可导电部分导致电击风险的必要措施。

7.2.2 【IT 接地故障防护】采用 IT 接地型式的直流配电系统应采用 IMD 进行故障防护，并应符合下列规定：

1 标称电压大于 120V 的直流系统中配备 IMD 绝缘监控设备，其接地电阻阻值应根据直流母线电压等级选择，且不应小于 $100\ \Omega/V$ ；

2 直流配电系统宜配置 IFLS（绝缘故障定位系统）或其他故障定位设备与 IMD 配合，在系统运行或断电条件下进行故障定位；

3 直流配电系统宜配置在线故障定位及自动排除组合设备，组合设备运行时不应降低非系统故障状态下的对地绝缘性能，故障状态下故障定位及故障排除时不应影响系统运行和其他保护措施的实施；

4 无专业人员维护并及时排查清除故障的直流系统发生一次接地故障并发出报警后无法得到排查维修时，不宜采用一次接地故障后连续供电设计，应在一次故障后自动切断供电；

5 对于系统发生一次接地故障时可得到专业人员及时排查清除故障的直流系统，对连接用电设备的支路宜采用一次接地故障后连续供电设计，其带故障连续供电时间不宜大于 2 小时，在此期间应采用 RCD 或断路器承担二次接地故障保护；

6 如果在电源支路或直流母线电路上发生绝缘故障并使用自动断开电源，应断开连接到该电路的所有电源。为了断开所有电源，宜采用互跳闸功能；

7 应提供符合 IEC 61557-8 的绝缘监测，以便在所有工作模式下连续监测 PEI 的直流侧。多支路直流配电系统宜采用脉冲信号连续注入主动检测式 IMD，并可在线与绝缘故障定位系统设备(IFLS)配合；

8 同一系统中两段直流线路均需安装 IMD 绝缘监控设备时，两段线路间应采用电气分隔或 IMD 间互锁措施。

【条文说明】

IT 接地型式在一次接地故障时虽然不会形成大的接地故障电流，但如果不及

时检修排除故障将可能引起近似极间短路的短路故障，因此对装置内的绝缘检测和保护提出了更高的要求。适于有专业技术人员科技是维护的场所。IEC 已经意识到 IT 接地型式在一次接地故障后得不到及时消除存在的风险，在新修订的 IEC60364-4-41 标准中，拟要求了对于无法实现专业人员及时维修的场所使用的 IT 接地型式系统，应保证在一次接地故障后自动切断系统供电。

由于 PEI 直流配电系统是多电源系统，在与电源类设备连接的线路中发生一次绝缘故障时，如不能及时排除存在 PV 及电池类设备出现其他故障的风险，因此正在修订的 IEC60364-8-82 标准中，要求一次绝缘故障发生在连接电源类设备支路或是母线并采取切断供电时，应在一次接地故障后自动切断系统供电。

IT 接地型式在一次接地故障后，接地故障电流较小，IFLS 可以有源的类型，在系统运行状态或维护状态下查找故障支路。IT 系统绝缘故障定位设备选用应符合 GB/T18216.9 标准，离线式独立 IFLS 在配电系统停电检修状态下进行故障定位。在线式 IFLS 能配电系统运行时配合 IMD 对相关线路同时进行监测，且宜允许对各线路分别设置报警阈值 IMD 启动在线式 IFLS 后，测试过程不应使配电系统产生对地绝缘故障。

随着近些年光储直柔项目中直流配电系统的兴起，灵活接地的系统保护理论也引入了直流配电系统的 IT 接地型式应用中，通常采用 IMD 配合 RCD 对系统接地故障点进行排除的方式，为保证 RCD 可以准确排除故障支路，有必要临时降低电源与接地点的阻抗，以获得较大的接地故障电流。故障电路排除后再回复电源与接地点的高阻状态。

IT 接地型式时运行产生接地故障如图 18 所示，通过检测设备的灵活短时降低电源与设备工作接地(FE)间阻抗，类似系统切换为 TN-S 运行，待故障切除立即转换成高阻状态下的 IT 接地型式运行模式。此类灵活接地的设计方案仍是 IT 接地型式，类似 IMD+IFLD 在线监测排查系统运行方式，系统的可靠运行仍依赖于系统各支路的 RCD 的安装。

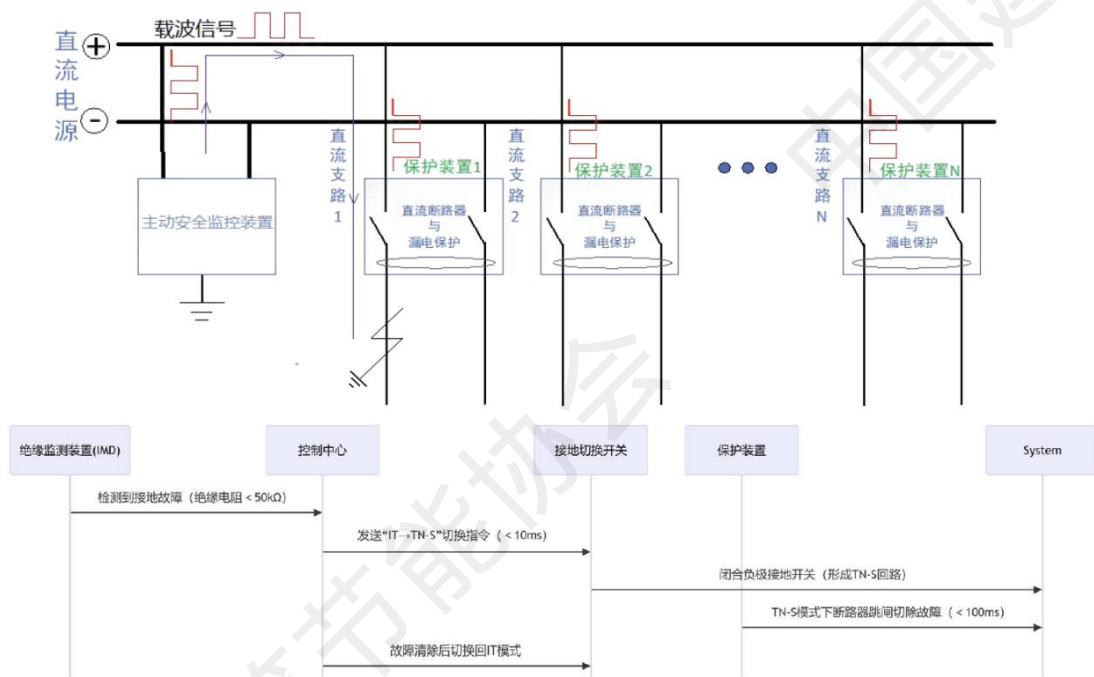


图 18 IT 接地型式接地故障

7.2.3 【TN-S 接地故障防护】采用 TN-S 接地型式的直流配电系统故障防护应符合下列规定：

- 1 应采用自动切断电源作为保护措施，且保护电器的动作电流(I_r)或回路阻抗(R_s)满足 $R_s \cdot I_r < 120V$ ；
- 2 自动切断电源动作时间应满足表 7.2.3 的要求。

表 7.2.3 自动切断电源最大分断时间

$U_0 \leq 120V$	$120V < U_0 \leq 230V$	$230V < U_0 \leq 400V$	$400V < U_0 \leq 800V$	$U_0 > 800V$
5s	1s	0.4s	0.1s	0.1s

U_0 为电源极与地间额定电压

【条文说明】

TN-S 接地型式一次接地故障电流与故障点的回路接地阻抗有关，对于电击防护的故障防护，应保证在保护电器可以在对地危险电压极限值时可靠起到保护作用，因此要核算回路接地阻抗和保护电器的动作电流是否满足保护要求，同时应核算保护电器的动作时间是否满足人体在危险电压下承受时间的能力。

7.2.4 【750/375】DC 375V 和 DC 750V 直流配电系统应符合下列规定：

- 1 电源设备所在配电回路应设置具备隔离功能且能同时断开所有极的多极型隔离电器；
- 2 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；

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

4 应配置极间电压和对地电压监测装置。

【条文说明】

本条主要针对 DC 375V 和 DC 750V 系统检修工况人员安全和电击防护做出规定。

第 1 款 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，本标准要求电源所在配电回路配置多极隔离电器，以便将电源设备从直流配电系统中可靠断开。隔离电器可以采用隔离开关或具有隔离功能的断路器；

第 2 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。配电回路要实现稳定可靠的孤岛运行，必须保证用电安全和电能质量，不仅需要对分布式电源设备和用电设备的功率进行约束和管理，还要配置相应的保护措施，显著增加系统的复杂性和成本，现阶段实际应用价值有限。为此，本标准将配电回路孤岛作为非正常状态，当配电回路从直流母线上断开后，要求配电回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。

本条规定与交流电气系统中防孤岛保护的目的是是一样的。目前，直流防孤岛技术的研究和应用经验还比较少，技术成熟度和检测方法还有待进一步完善。考虑到民用建筑的特点，现阶段集中防孤岛保护的方法更为简单可靠：监控系统实时监视直流配电系统运行和配电回路开关状态，在直流配电系统停止运行或配电回路开关断开时，监控系统向配电回路内电源设备下达防孤岛保护指令，电源设备根据要求停止运行，同时断开输出开关。

第 3 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。为确保检修人员安全，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4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，本标准还要求 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。

7.2.5 【RCD 防护】标称电压在 120V~400V 的直流系统中，额定电流不大于 32A 用电设备的前端配电线路应安装动作电流不应大于 80mA，瞬动型 DC-RCD 用于附加防护。

【条文说明】

连接在额定电流小于 32A 配电线路上的用电设备大多是非专业人员可触及的设备，对于此类用电设备线路应采用 RCD 保护。TN-S 接地型式一次接地故障自动分断故障电路，已经可以保证系统的故障防护（间接触电）的电击防护要求，而 IT 接地型式在一次接地故障不及时排除，系统实际已转为 TN 系统，用电设备供电的末端支路安装 RCD 主要是用于人身直接接触电的附加防护。由于采用 IT 接地型式的系统正常运行时，无意的直接接触电不会发生电击风险，因此对于采用一次故障后立即停止供电的 IT 接地型式的配电系统无需采用 RCD 作为附加防护的必须条件。

TN-S 接地型式的末端配电线路中，发生人身无意直接接触电时，由于人体阻抗的作用，故障电流不足以使电器动作，需要采用 RCD 进行附加保护。根据 IEC61140 标准的要求，应选择不宜大于 80mA，瞬动型 DC-RCD 用于附加防护。

7.2.6 【电动车接入】电动汽车的直流接口宜通过具电气分隔措施的充电设备接至直流配电系统。

【条文说明】

电动汽车自身是一个电气装置有着自己的接地型式设计，在其配电系统与低压直流配电系统连接时，通过具有电气分隔措施的充电设备可有效的杜绝两个配电系统间的电气联系。

7.2.7 【750】DC 750V 系统的电击防护应符合下列规定：

- 1 DC 750V 系统不宜布置在人员频繁活动区域，配电和用电设备应配置用电

安全标识；

- 2 设备外部可导电部分应采取重复接地；
- 3 设备应可靠锁闭，确保非专业人员无法正常打开。

【条文说明】

DC 750V 主要用于建筑光伏、储能，以及中央空调和充电桩等大功率用电设备，由于电压等级高，触电危险大，对电击防护要求更高，不宜布置在人员频繁活动区域，同时要求 DC 750V 电压等级的配电和用电设备配置用电安全标识；保护接地可以有效降低电击事故危险，是 DC 750V 系统最重要的电击防护措施，为了避免 PE 线断线等故障带来安全隐患，本标准要求 DC 750V 系统的用电设备必须采用重复接地。

7.2.8 【紧急关断】直流配电系统应安装与交流系统联动的电源紧急关断设备，并能够通过统一应急关断所有电源对交直流配电系统的供电。

【条文说明】

直流配电系统是一个多电源系统，在消防应急时通过联动紧急关断所有电源，可有效的保护现场消防应急人员的人身安全。

7.3 电流保护

7.3.1 DC 750V 或 DC 375V 的直流母线与设备之间的电源端均应设置具有过载和短路保护功能的过电流保护电器或组合电器，且过电流保护电器应具备联动功能，以保证故障时分断所有电源。

7.3.2 过电流保护电器或组合电器应可靠接通和关断被保护回路中不小于最大短路电流在内的各流向电流。

【条文说明】

安装过电流保护电器是配电系统过电流保护的必要措施，对多电源的直流配电系统应充分考虑故障对每一个电源的影响，在每个电源可能的输出端安装过电流保护电器。

为保证直流母线在故障时彻底切断故障电流，各过电流保护电器联动分断，可有效保证系统安全。

同时由于直流电流分断特性，对于多电源系统，短路故障发生时，多电源对系统的叠加冲击和电流的流向。

7.3.3 储能电池组应配置短路保护装置，并应符合下列规定：

- 1 当储能电池电流超过 10 倍额定电流时，短路保护电器与电池管理系统配合总分断时间不应超过 5ms；
- 2 短路保护设备的额定分断能力应根据储能电池的预期短路电流设计；
- 3 储能系统内应设置熔断器保护，保护电流应按照最大短路电流设计。

【条文说明】

储能电池组内部设有电池管理系统，可对电池内部异常进行监控保护，为保证系统安全可靠运行，储能系统与变换器间须设置过电流保护装置与其配合。

7.3.4 失控型电网接口变换器的预期短路电流，应按照所连接交流变压器的预期短路电流计算。

【条文说明】

失控型电网接口变换器采用单级非隔离电力电子电路，当直流母线电压因短路等原因跌落低于一定限值的情况下，失控型电网接口变换器无法控制电流，电流处于失控状态，此时系统最大短路电流为端口交流变压器的最大交流短路电流。

7.3.5 光伏发电装置的预期短路电流，应按照光伏电池组最大短路电流计算，同时应考虑光伏发电装置短路时，系统电流通过变换器在短路点形成的非正常电流。

【条文说明】

光伏电池的最大短路电流通常不会大于光伏电池的最大光伏输出电流，但在电池组出口端短路时，系统中的各电源也会在短路点形成非正常电流，此时电流也时系统的短路电流。

7.3.6 IT 接地型式的过流保护器应符合下列规定：

- 1 对于一次接地故障后自动分断电路的系统，宜在任意极设置过流保护单元，且回路断口额定分断电压和不应小于回路电压；
- 2 对于一次接地故障后仅报警继续供电的系统，应在每一电源极均设置过流保护单元，且每一极断口具有在不小于回路标称电压下，分断回路最大故障电流的能力；
- 3 在常规过流保护电器不能满足自动分断条件时，应采用 RCD 分断故障电路。

【条文说明】

IT 接地型式要求了第一次接地故障后，及时关闭系统的方案，不需要过电流保护器承担对地短路电流，过电流保护器实际仅承担系统回路中过载和线间短路的任务，因此任意极上的过电流检测器件均可起到过电流检测的目的，同时在此条件下分断也是有回路上所有断口共同承担。

对于一次接地故障后仅报警继续供电的系统，如果在检修前发生二次接地故障，由于故障点不同，需要每一线路上均设置故障电流检测器件，同时有可能出现一条线路上分断极承担线路最高电压下分断故障电流的状况。

对于 IT 系统，由于没有预设的系统接地点，所以系统在二次接地故障时，故障电流值可能无法满足常规熔断器、断路器的保护动作电流条件，此时安装 RCD 可以保证在小电流故障条件下的接地保护要求。

7.3.7 对于 TN-S 系统，每一个非 M 极的线路上均应安装过电流保护器，其额定分断电压不应小于系统标称电压。

【条文说明】

在直流系统的+或-极端安装过电流保护电器可达到分断故障电流的基本目的，在不强调隔离要求时，可以不分断的 M 极。

7.3.8 连接 APR 直流母线的过电流保护电器(设备)应符合下列规定：

- 1 在电流幅值不超过 120%额定电流，且持续时间不超过 10s 时，直流配电系统应维持正常运行，同时宜与相关变换器输出有良好的配合以保证系统运行的可靠性；
- 2 过电流保护电器应可靠分断被保护线路中可能出现的最大短路电流；
- 3 对于结构复杂、供电连续性要求高的直流配电系统，宜具备 SCRT 和选择性保护功能。

【条文说明】

直流系统中的各类电源及变压调压设备均是采用变换器接入直流母线的，由于电力电子功率器件的载流特性决定了变换器的功率输出超过 200%的额定输出电流时，电力电子器件可能会限制或关断输出电流。这样有可能出现常规过电流保护电器不能可靠分断故障电路。为实现供电的连续性，连接直流配电母线的保护电器或组合保护控制系统对配电系统的故障电流控制或保护性分断，以有效的实现系统保护电器的选择性和供电的可靠性。

7.3.9 DC 750V 或 DC 375V 的直流母线与设备之间的过电流保护电器或组合保护电器应满足下列规定：

- 1 满足隔离要求且应分断各带电极；
- 2 满足系统中相关回路或设备的短路保护及过载保护要求；
- 3 出于系统维护便利目的选择的直流塑壳断路器(DC-MCCB)，宜采用满足

7.3.8 故障电流保护要求的专用电子脱扣单元直流塑壳断路器；

- 4 为达到变流器电源输出线路短路故障保护的选择性，宜选用半导体式断路器；

- 5 直流配电系统中采用继电保护方式进行故障电流保护时，应采用符合 GB/T13539.4 标准的快速熔断器与隔离开关配合作为后备保护。

【条文说明】

过电流保护电器是配电系统中最基本的保护电器，承担过载、短路保护的基本任务，同时可分担维护和线路分断后的电气隔离作用。在光储直柔配电系统中，过电流保护电器宜优选断路器类保护电器。

由于各类变换器内半导体功率器件的限流特性和快速关断性能，常规的低压断路器和熔断器很难实现与之配合。半导体为断路器采用功率半导体器件作为电流通断开关器件，与变换器内的功率元件一样具有限流性和快速关断性能，保证系统供电的可靠性，有利于实现系统的选择性和供电可靠性。

现阶段半导体断路器正处于发展阶段，受成本和产品普及率等因素影响，选用具有符合光储柔直流配电系统保护配合要求的电子脱扣塑壳断路器替代半导体断路器，实现配电系统的保护控制是可行的，此特制产品可以在系统出现 200%额定电流时在规定的时间内分断电流，保证变换器的正常输出。

光储直柔配电系统是基于电能管理系统(EMS)的智能系统，将各类监测或传感器件接入智能管理系统，在管理系统的控制下通过个点位的开关执行元件实现继电保护方案也是一个常规的选择。在此保护方案下为保证系统的运行和维护的需要专用于半导体器件保护的快速熔断器的熔断器和相应直流隔离开关配合，进行后备保护和电击防护需要的开断隔离。

7.3.10 直流塑壳断路器选用应满足下列规定：

- 1 下列场所应选用无极性的双极直流塑壳断路器(DC MCCB)：

- (1) PV 变换器及储能电池变换器与直流母线间;
- (2) 电动汽车直流充电桩变流器与直流母线间;
- (3) 交直流变换器直流端口与直流母线间。

2 对于无反向电流且最大工作电流大于 40A 的负载回路可选用有极性的双极直流塑壳断路器(DC MCCB);

3 双极直流塑壳断路器(DC MCCB)应符合 GB/T14048.2-2023 标准的基本要求和满足下列要求的具有短路瞬动保护和电子脱扣器的 A 类专用直流断路器:

- (1) 额定电压不低于直流母线电压;
- (2) 额定电流(I_n)满足下列基本条件: $I_B < I_n < I_z$ (I_B 回路计算电流, I_z 电缆持续载流量) ;
- (3) 极限分断电流(I_{cu})不低于直流母线上各电源最大短路电流之和。

【条文说明】

直流塑壳断路器(DC MCCB)是直流配电系统普遍采用的低压过电流保护电器,由于断路器灭弧机理,DC MCCB 根据电流方向分类可分为有极性和无极性两类。在光伏、储能等有逆向电流配电回路的变换器出线端应安装无极性 DC MCCB;而对于无逆向电流的大功率设备回路可选择有极性的断路器。

直流配电系统是通过各类电子变换器接入供用电设备的系统,由于半导体元件的载流特性和快速限流特性,选择不考核短时耐受电流能力的 A 型 DC MCCB 即可满足保护需求,

符合 GB/T14048-2 标准的 DC MCCB 是基于配电线路保护的电器,无法满足与电子变换器的配合要求,为达到在光储直流配电系统的保护配合目的,选择具有电子控制器的专用 DC MCCB,可以在变换器可承受的过载范围内控制分断电路,超过此范围的过电流按 GB14048-2 标准要求的保护曲线分断过流。

DC MCCB 在配电系统中承担着检修时隔离分断功能,因此不仅需要 DC MCCB 自身满足隔离功能,也要在线路的带电极均设立断点,故应选择双极 DC MCCB。

7.3.11 双极直流微型断路器(DC MCB)选用应满足下列规定:

1 线路额定电压 U_e 满足 $110V < U_e < 400V$ 条件,且最大负荷电流不大于 40A 的终端回路,根据下述应用场所应选用符合 GB/T10963.3 标准的双极直流微型断

路器(DC MCB):

(1) 有反向电流的负载回路应选用无极性 DC MCB;

(2) 无反向电流的负载回路可选择有极性 DC MCB。

2 额定电流(I_n)满足下列基本条件: $I_B < I_n < I_z$ (I_B 回路计算电流, I_z 电缆持续载流量);

3 瞬动保护特性: B; C;

4 额定分断能力: 不小于 6kA。

【条文说明】

微型断路器 (MCB) 是适合非电气专业人员操作的终端保护电器产品, 符合 GB/T10963.3 标准的直流微型断路器是专门用于纯直流系统中的热磁式断路器, 其中瞬动脱扣器的瞬动作值为不可调整设计, B 曲线为 4-7 倍的额定电流, C 曲线为 7-15 倍的额定电流, 可用于直流系统的末端负载支路的过电流保护。

DC MCB 在配电系统中承担着检修时隔离分断功能, 因此不仅需要 DC MCB 自身满足隔离功能, 也要在线路的带电极均设立断点, 故应选择双极 DC MCB。

7.3.12 同一电压条件下上下级断路器选择性配合设计应满足下列规定:

1 变换器出口端选择的 DC MCCB, 其瞬动保护动作电流应小于变换器宣称的稳态断路电流及 100ms 内承受的短时耐受电流;

2 上下级断路器的瞬动电流值间差值应参考制造商提供的技术文件, 在无相关文件时, 插值宜大于 2.5 倍。

【条文说明】

对于直流配电系统中连接各变换器至直流母线间的过电流保护电器首选光储直柔专用的 DC-MCCB, 其原因详见 7.3.9 条文说明。

对于常规的热磁式机械断路器而言, 上下级断路器的瞬动电流插值大于 2.5 倍, 基本可以保证在上级断路器的最小瞬动电流下, 上下级保护可实现部分选择性。

7.3.13 半导体式断路器选用应满足下列规定:

1 对安全性、供电连续性、上下级选择性要求较高的场所宜选用半导体式断路器;

2 半导体式断路器应符合相应的国内外产品标准, 且额定电压不低于直流母线电压;

3 半导体式断路器应具备延时和瞬动保护功能，并应符合下列规定：

- (1) 瞬动保护：短路时快速切断故障电流，切断时间应小于 1ms；
- (2) 无极性双向电流保护；
- (3) 电压反接保护。

【条文说明】

半导体断路器(固态断路器 SCCB)是基于电力电子技术设计的开关电器，具有接通关断电流速度快且无电弧产生等优点，可以限制高幅值电流便于与上级保护器或电力电子变换器相配合。半导体断路器具有串联的机械开关触点，满足在机械开断后满足其隔离功能。考虑到半导体器件在正常载流时的发热，大电流半导体断路器有采用半导体通断组件与机械触点并联的混合式半导体断路器(SCHCB)设计，由并联在半导体通断组件上的机械触点承担正常工作时的载流能力。

半导体断路器是全新的断路器设计理念，IEC60947-10《低压开关设备和控制设备 第10部分：半导体断路器》正在起草阶段尚未发布正式的 IEC 标准，我国目前有 T/CEEIA782-2024<半导体断路器>团体标准发布，标准适用于连接至额定电压不超过交流 1000 V 或直流 1500 V 的用于保护和通断的半导体（固态）断路器和混合式半导体（固态）断路器。

7.4 电压异常防护

7.4.1 【欠电压保护】直流配电系统应具备欠电压保护功能，并应符合下列规定：

- 1 当直流母线电压处于 70%~80%标称电压范围，且持续时间不超过 10s 时，直流配电系统应保持运行；
- 2 当直流母线电压处于 20%~70%标称电压范围，且持续时间不超过 10ms 时，直流配电系统宜保持连续运行。

【条文说明】

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，应该尽量予以避免；

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,光伏变换器应具备从直流母线中主动

断开的功能。

7.4.2 【暂态过电压防护】 直流配电系统中暂态过电压防护应符合下列要求：

- 1 在交直流系统电气分隔的基础上，交流配电系统宜设置满足 II 类过电压保护类别的 SPD；
- 2 光伏等户外设备宜安装满足 II 类过电压保护类别的 SPD；
- 3 直流配电系统中各变换器端口应满足 III 类过电压保护类别（OVC）。

【条文说明】

与户外电气线路相关配电系统中安装 II 类过电压保护类别的 SPD，可减少大气暂态过电压对户内系统的影响，使进入相连变换器的电压满足系统过电压类别，而经过变换器转换的配电系统不会有 8/20us 的浪涌电流存在，因此联接至直流母线的变流器端口仅需满足 III 类过电压保护类别的暂态过电压保护要求。

8 系统性能

8.1 电压带和电能质量

8.1.1 【电能质量分类】直流配电系统电能质量现象，包括稳态电压偏差、电压暂升和暂降、冲击型电压瞬变、电压中断和停压，以及电压和电流纹波等。

【条文说明】

电能质量是各种可能导致设备故障或不能正常工作的电压偏差或电流偏差。直流配电系统始终处于动态变化中，不同运行状态、不同工作模式、不同位置的电能质量也往往不同；供电、配电和用电环节紧密耦合相互影响，电能质量问题溯源比较困难，三方都可能既是电能质量的破坏者，同时又是电能质量问题的受害者，这一点对于建筑直流配电系统显得尤为明显。电能质量管理是一个系统工程，需要各相关方共同约束和努力。

8.1.2 【750 电压带】当直流配电系统电压等级为 DC 750V 时，直流运行电压带应为 DC 600~800V，并应符合下列规定：

- 1 系统稳态电压应在 DC 640~780V 范围内；
- 2 当系统暂态电压变化在 DC 600~640V 或 DC 780~800V 范围内时，持续时间不应超过 10s；
- 3 当系统暂态或瞬态电压变化在 DC 600V 以下或 DC 800~825V 范围内时，持续时间不应超过 10ms；
- 4 系统电压不应超过设备最高电压限制 825V。

8.1.3 【375 电压带】当直流配电系统电压等级为 DC 375V 时，直流运行电压带应为 DC 300~400V，并应符合下列规定：

- 1 系统稳态电压应在 DC 320~390V 范围内；
- 2 当系统暂态电压变化在 DC 300~320V 或 DC 390~400V 范围内时，持续时间不应超过 10s；
- 3 当系统暂态或瞬态电压变化在 DC 300V 以下或 DC 400~412V 范围内时，持续时间不应超过 10ms；
- 4 系统电压不应超过设备最高电压限制 412V。

【8.1.2~8.1.3 条文说明】

直流配电系统工作电压范围如图 19 所示。基于条文 2.1.16 所定义的，直流运行电压带包含了 B2、B3 和 B4 三条电压带，电压范围为 $80\% \sim 107\% U_n$ 。具体来看，B1 电压带为小于 $80\% U_n$ 的电压范围，B2 电压带为 $80\% \sim 85\% U_n$ ，B3 电压带为 $85\% \sim 105\% U_n$ ，B4 电压带为 $105\% \sim 107\% U_n$ ，B5 电压带为 $107\% \sim 110\% U_n$ ，B6 电压带为大于 $110\% U_n$ 的电压范围。系统在 B2 和 B4 电压带的持续时间不能超过 10s，在 B1 和 B5 电压带的持续时间不能超过 10ms。此外，系统电压不能超过设备最高电压限制，该条款与条文 6.1.1 一致。

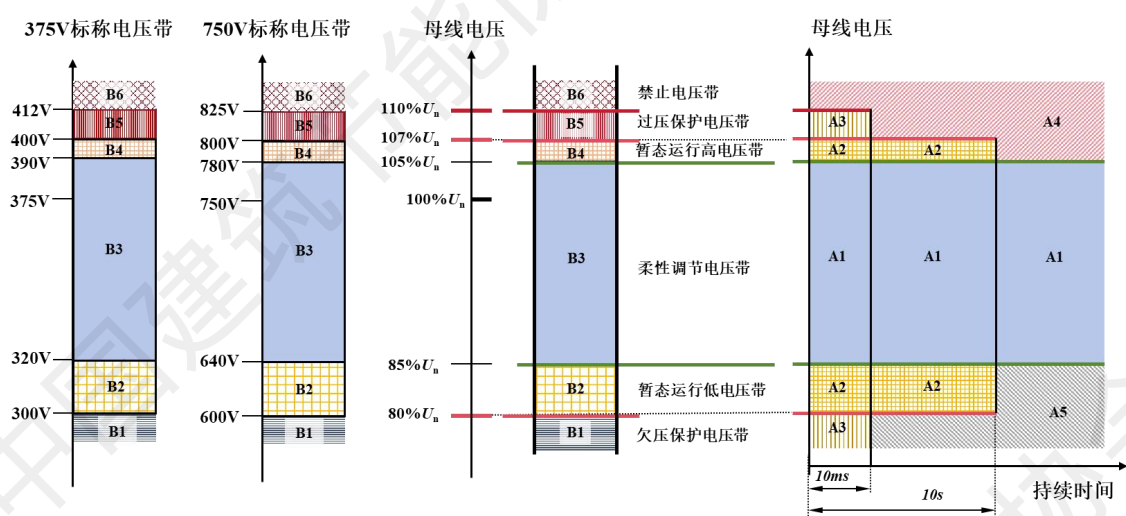


图 19 直流配电系统工作电压范围

注：图中 A1~A5 区域分别为稳态持续运行、暂态区间运行、暂态&瞬态区间运行、高压禁止运行、低压停止运行区域。本条款对 B2、B4 电压带的暂态持续运行时间，以及 B1、B5 电压带的暂态&瞬态持续运行时间进行规定，分别为 10s 和 10ms。电压带的相关解释见条文说明 2.1.16。对柔性调节电压带的进一步细分见条文 9.2.9。

现行国家标准《中低压直流配电电压准则》GB/T 35727 中规定，1500V 及以下直流配电系统电压偏差范围为系统标称电压的 $-20\% \sim 5\%$ 。直流系统中不同位置的电压并不相同，系统电压应该是所有正常运行状态下任何位置都需要满足的要求。考虑到直流系统的运行方式和功率流向等情况可能比较复杂，全面计算、评估或检测所有位置所有状态下的电压偏差有时比较困难；另一方面，电压范围越宽，设备的成本相应也越高，在低电压范围很多设备的效率还会降低，因此有必要做出合理限制。

电能质量现象及其影响与持续时间密切相关，其中的关键是变换器与直流配

电系统之间控制保护功能和特性的差异，以及相互之间的作用机理。为了厘清两者之间的关系，本标准采用瞬态、暂态和稳态这 3 个时间尺度进行描述：瞬态主要用来描述设备内部的控制和保护特性，由于直流配电系统存在电容和电感，瞬态现象在直流配电系统中并不明显，对系统正常工作的影响比较小；暂态用来描述动态调节过程，主要是系统与设备的电压、电流和功率对扰动做出的响应，正常情况下经过暂态调节，系统或设备的状态会趋于稳定。暂态过程中设备之间以及设备与系统之间的相互作用非常密切，是系统与设备控制和保护技术研究的重点，也是电能质量问题比较集中且影响最复杂的区段；稳态特性主要与变换器与系统的一些稳态性能和调节功能有关，比如传感器误差、线路压降和 APR 功能等。

从系统与变换器特性和作用机理的角度，瞬态、暂态和稳态之间的边界并不严格，结合已有研究和实验成果，瞬态、暂态和稳态比较确定的时间范围分别为小于 1ms、10ms 到 1s 之间和大于 10s，而 1ms 到 10ms 之间以及 1s 到 10s 之间，可能分别同时具备瞬态和暂态，以及暂态和稳态的一些特点，可以看作是两种特性的过渡区，如图 20 所示。

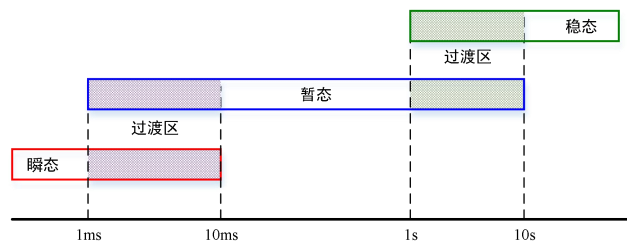


图 20 电能质量现象时间尺度的描述

本条款设定稳态电压范围为 85%~105% U_n ，考虑功率扰动引起的电压变动和暂态调节过程，本标准将系统允许的暂态电压变动范围定为 80%~107% U_n 。对暂态电压上限做出更严格的规定，主要考虑目前电容等器件电压裕量较小，直流配电系统应采取必要措施有效抑制过电压。出现暂态电压偏差后，系统通过调节将电压偏差恢复到本条款规定的稳态电压范围，要求调节时间不应超过 10s。

8.1.4 【纹波】 在 85%~105% U_n 和正常运行条件下，直流配电系统纹波应符合下列规定：

- 1 电压纹波因数不应大于 0.75%，电压纹波有效值系数不应大于 2%；
- 2 当电源支路的电流大于 10A 时，电源支路的电流纹波因数不应大于 2.5%，电流有效值系数不应大于 5%。

【条文说明】

直流系统的电压和电流中除了直流分量，还包含有一些周期性的交流分量，这就是纹波。直流系统的纹波主要是由变换器功率器件开关动作、脉冲宽度调制和控制特性等原因引起，会对系统造成一些不利影响，需要做出一些限制。

电源行业主要考虑单个电源设备的性能，习惯采用纹波因数衡量纹波。直流系统接入设备类型较多，同时受多个设备的影响，纹波的成分和变化规律都比较复杂，纹波因数不能很好地反映系统的纹波特性，很多时候也不易测量。为解决这些问题，提供一个更加准确全面的评价指标，本文件引入纹波有效值系数，也就是周期性交流分量有效值占直流平均值的比例。

兼顾电源行业习惯，本标准同时采用纹波因数和纹波有效值系数。直流系统往往包含不同频段的纹波，因此纹波因数和纹波有效值系数之间并不是简单的峰值和有效值的换算关系。

8.2 暂态调节性能

8.2.1 【变化速率】在直流配电系统上电启动、故障保护后电压恢复，以及 APR 和电压调节过程中，系统电压的变化速率不宜超过 U_n/s 。

【条文说明】

U_n 代表直流配电系统标称电压。直流设备一般都有电容，如果直流电压上升太快，电容充电电流有可能引起过流。

8.2.2 【暂态过程】直流配电系统的暂态电压应符合下列规定：

1 当功率以每秒平均增加或减小最大功率的 20% 时，所引起的电压暂态偏差不应大于标称电压的 1%；

2 当功率在 100ms 内从最大功率的 20% 上升到 80%，或从最大功率的 80% 降低到 20% 时，所引起的电压暂态偏差不应大于标称电压的 5%，电压变动恢复时间应小于 500ms。

【条文说明】

在功率扰动、工作模式切换和故障保护等情况下，直流系统电压可能发生变化，随后经过调节重新恢复稳定，称为电压暂态变动过程，如图 21 所示。

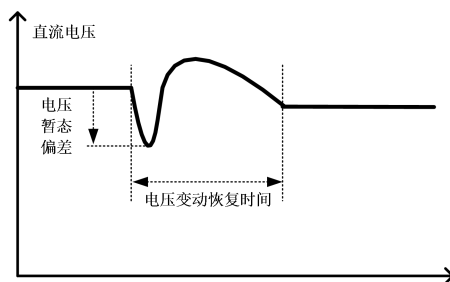


图 21 电压暂态变动过程

暂态电压变动中，与初始稳态电压之间的最大偏差称为电压暂态偏差。电压从初始稳态值变化标称电压的 5% 开始，到电压进入新的稳态为止，称为电压变动恢复时间。

8.2.3 【离网运行】 直流配电系统宜具备直流离网运行的能力，并应符合下列规定：

- 1 从得到计划孤岛指令开始到直流离网稳定运行，切换时间不应大于 15min，切换引起的电压暂态偏差应在标称电压的 5% 以内；
- 2 非计划孤岛直流离网的切换的时间不应大于 5s，当 5s 后仍未实现直流离网稳定运行时，系统宜停止运行；
- 3 从直流离网运行状态向并网运行状态切换的时间应小于 5s。

【条文说明】

直流配电系统宜具备孤岛运行能力。直流配电系统从并网状态转成离网状态，包括计划孤岛和非计划孤岛两种方式。

第 1 款 计划孤岛的切换过程从得到计划孤岛指令开始，直流配电系统根据孤岛运行要求，首先完成非重要负荷切除、调整分布式电源出力、启动储能和后备电源等准备工作；随后，电网接口变换器功率逐渐减小，系统功率逐渐转由内部电源和储能设备承担；当电网接口变换器功率为零时就可以将其从电网中断开，经过调整系统最后进入稳定的离网运行状态。

计划孤岛切换过程可以分成准备、功率切换和孤岛调节三个阶段，如图 22 所示。本标准规定计划孤岛切换时间不应大于 15min，意味着在交流电网发出指令后，至多 15min 之后可以将直流配电系统从电网中断开。由于在计划孤岛切换过程中系统功率基本处于平衡可控状态，功率扰动和电压变化都比较小，可以实现平稳切换。为此，本标准规定在计划孤岛过程中电压变化应控制在 $\pm 5\%$ 标称电压以内。

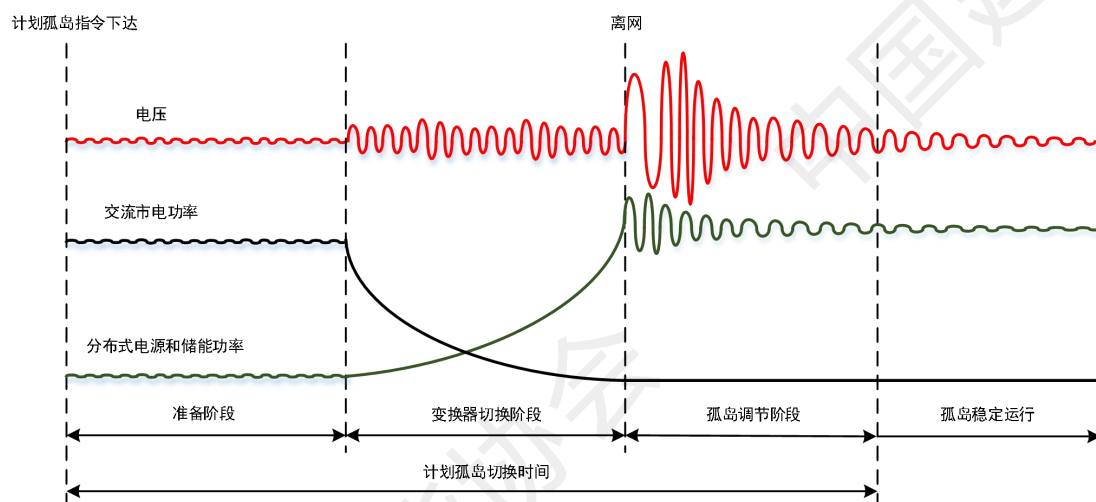


图 22 计划孤岛切换过程

第 2 款 非计划孤岛没有单独的准备时间，电网接口变换器被直接从电网中断开，系统直接进入孤岛状态，非重要负荷切除、分布式电源和储能出力调整等响应主要依靠设备自主完成，过程中很容易出现较大的功率缺额，电压可能出现比较明显的变化，暂态电压调节时间也更长，如图 23 所示。

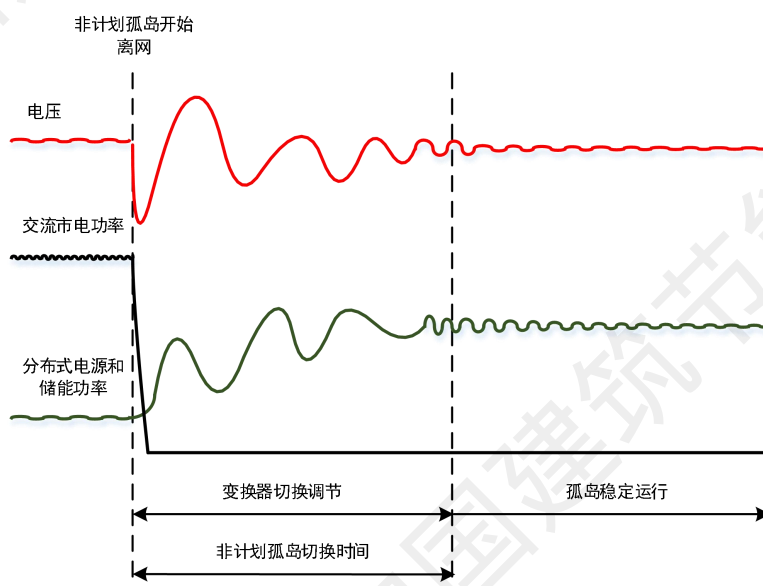


图 23 非计划孤岛切换过程

如果非计划孤岛切换使得系统电压较长时间内都无法恢复到正常稳定状态，可能会对一些设备的工作产生影响，系统也可能出现一些难以预料的问题。为避免问题扩大，系统应先停止运行，完成必要的检查后，再根据系统状态和孤岛运行要求，利用储能进行黑启动，也可以等待重新并网后恢复供电。

第3款 孤岛向并网的切换过程比较简单。切换时间从直流配电系统得到并网指令将电网接口变换器接入电网开始，电网接口变换器按照调度策略逐渐增加功率，与系统内分布式电源和储能共同承担电压控制任务，当系统功率和电压达到正常稳定状态，标志切换过程结束。本标准要求孤岛向并网的切换时间小于5s，主要是为了减小孤岛运行对储能容量的需求。

9 监测与控制

9.1 系统监控

9.1.1 【监控要求】 直流配电监控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控制的功能；
- 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。

【条文说明】

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。PEDF 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。

《智能建筑设计标准》GB 50314 和《微电网接入电力系统技术规定》GB/T 33589 规范了监控系统的主要功能，包括数据采集、设备控制、保护报警和能耗统计等。

第 3 款 直流配电监控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，以保障系统安全。

9.1.2 【监测记录】 直流配电系统应设置监测系统，并应符合下列规定：

- 1 应存储不少于 3 年的历史运行数据和故障记录；
- 2 应具备友好的人机操作界面与监测显示界面。

【条文说明】

直流配电系统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。

9.2 运行控制

9.2.1 【管理策略】直流配电系统的能量管理策略应符合下列规定：

- 1 应实现建筑光伏优先利用；
- 2 应通过调节建筑储能和用电设备实现 GIB；
- 3 宜通过电动汽车动力电池实现电量调节功能，宜通过储能电池实现功率调节功能；
- 4 宜根据用户调节意愿深度和不同设备用电柔度确定设备调节的优先级。

【条文说明】

直流配电系统的能量管理策略以实现 GIB 为目标，控制各类设备的功率，使系统在不同运行模式间切换。系统运行模式受设备容量、运行环境、用户需求等多种因素的影响，但应符合上述条文规定的基本原则。首先应充分利用建筑光伏发电，供给建筑储能和用电设备，提高建筑光伏的就地消纳率。建筑储能和用电设备应具有功率和电量调节功能，来响应不同的电力供给情况。由于用电设备具有柔性，因此需要根据用户需求和不同设备用电柔度确定设备调节的优先级。实际运行中，监控系统能够提前对建筑光伏发电量和负荷量进行预测，在全时段内优化建筑储能和用电设备的调节模式。

9.2.2 【电压调节】直流配电系统宜利用直流母线电压作为控制信号，按照柔性调节规约引导设备进行功率主动响应。

【条文说明】

直流母线电压可在一定范围内主动变化是直流配电系统与交流配电系统的主要区别。母线电压变化的方向表征了系统中供应和需求的关系状态。直流配电系统中的电网接口变换器、电力储能、分布式发电装置和用电负载之间的功率平衡控制可通过 APR 功能实现。这种控制方式优势在于简单可靠，不依赖于复杂的控制算法和高强度的通信，达到简化运行维护和降低成本等目的，也为上层的能量/能效管理系统实现复杂的运行目标提供了稳定基础。

9.2.3 【通讯调节】当设备不具备 APR 功能时，直流配电系统可通过通讯方式将

直流母线电压当前值与额定值的比值作为控制信号发送给设备，并按照柔性调节规约引导设备进行功率主动响应。

9.2.4 【交流系统】当采用交直流混合配电系统时，交流配电系统中的设备可参照本标准条文 9.2.3 所规定的方式参与直流配电系统的功率主动响应。

9.2.5 【调节时间】直流配电系统应通过协同控制电源设备实现直流母线电压在 $85\%\sim 105\%U_n$ 范围内的调节，且电压调节时间不应超过 10s，电压稳态偏差不应超过 $\pm 1.5\%$ 。

【条文说明】

调节母线电压是系统功率调节的手段。直流配电系统通过协调 AC/DC、DC/DC 等电源设备，实现直流母线电压的控制，进而满足需求响应等建筑电网互动的要求。所以，本条文对建筑能量管理系统的电压调节性能提出了要求，包括电压调节范围、电压调节时间和电压稳态偏差。

9.2.6 【设备精度】具备 APR 功能的设备的直流母线电压检测精度不应超过 $\pm 1\%$ ，功率主动响应的时间不应大于 60s。

【条文说明】

设备调节速度是影响系统调节速度的重要因素。在团体标准《建筑光储直柔系统评价标准》T/CABEE055-2023 中，一星级系统的响应时间不大于 300s，二星级系统和三星级的响应时间不大于 120s。由于系统的功率调节往往需要经历多次电压反馈调节，因此缩短单次的设备调节时间有利于提高系统整体的调节速度和调控精度。本条文规定了设备在执行 APR 功率调节时的响应时间不大于 60s。响应时间是从直流母线电压变化开始到设备功率调节完成的时间间隔。对于响应时间大于 60s 的设备，不建议参与系统的调控。对于响应时间小于 60s 的设备，在设备条件允许的情况下，宜缩短到 20s 以内。综合考虑系统调节电压和设备根据电压调节功率时间，单次调节时间可控制在 30s 以内，这样在进行二星级和三星级规定的 120s 响应时间内，系统可以通过多次的电压反馈调节提高功率调节的精度。

9.2.7 【调节规约】直流配电系统的柔性调节规约应采用分档调节规约或连续调节规约。

9.2.8 【分档规约】分档调节规约应符合下列规定：

- 1 应设置三个柔性调节档位：

- 1) 第一档：不限制功率；
- 2) 第二档：浅幅降功率，且功率上限宜为额定功率 75%；
- 3) 第三档：深幅降功率，且功率上限宜为额定功率 50%。

2 设备的主动功率响应策略应符合表 9.2.8 的规定：

表 9.2.8 分档调节规约下设备主动功率响应策略

当前档位	档位切换规则
第一档	当直流母线电压 $\geq 92.5\%U_n$ 时，档位维持不变； 当直流母线电压 $< 92.5\%U_n$ 时，档位切换至第二档。
第二档	当直流母线电压 $\geq 95\%U_n$ 时，档位切换至第一档； 当 $95\%U_n > \text{直流母线电压} \geq 85\%U_n$ 时，档位维持不变； 当直流母线电压 $< 85\%U_n$ 时，档位切换至第三档。
第三档	当直流母线电压 $\geq 87.5\%U_n$ 时，档位切换至第二档； 当 $87.5\%U_n > \text{直流母线电压}$ 时，档位维持不变。

9.2.9 【连续调节】连续调节规约应符合以下规定：

1 应设置三个柔性调节区间：

- 1) 可调增区间： $105\%U_n > \text{直流母线电压} \geq 100\%U_n$ ；
- 2) 不调节区间： $100\%U_n > \text{直流母线电压} \geq 95\%U_n$ ；
- 3) 调减区间： $95\%U_n > \text{直流母线电压} \geq 85\%U_n$ 。

2 设备的主动功率响应策略应符合表 9.2.9 的规定：

表 9.2.9 连续调节规约下设备主动功率响应策略

所处区间	用电负荷	建筑储能	充电桩
可调增区间	不应限制功率，可主动增大用电功率	可充电不可放电，当电压升高时充电功率限值应增大或维持不变	不应限制充电功率，不可放电
不调节区间	不应限制功率	不充不放	不应限制充电功率
调减区间	应限制用电功率，当电压降低时用电功率限值应减小或维持不变	可放电不可充电，当电压降低时放电功率限值应增大或维持不变	应限制充电功率，当电压降低时充电功率限值应减小或维持不变；可切换至放电模式，当电压降低时放电功率限值应增大或维持不变

【条文说明】

直流配电系统可通过调节母线电压引导系统中具备 APR 功能的设备进行功率

调节，实现系统负荷的统一调控。为了使不同设备调节动作之间保持一致性，避免部分设备功率调增部分设备功率调减的调节方向相悖现象，特别是避免部分储能设备充电部分储能设备放电的内耗现象，实现柔性设备的有效调度，本条文划分了柔性调节区间并规定了用电负荷、储能、充电桩 APR 调控策略的技术要求，主要考虑到同向性和同步性两方面。

在同向性方面，当系统降低直流母线电压时，应能有效引导降低用电设备从直流母线的取电量、增加电源设备向直流母线的供电量，反映在功率限值上应为用电功率限值降低、充电功率限值降低、放电功率限值增加。

在同步性方面，本标准将柔性调节电压带（B3）划分为调减区间带（B3-1）、不调节区间带（B3-2）、可调增区间带（B3-3）等 3 个柔性调节区间，不同区间带工作电压范围如图 24 所示。其中，储能设备和充电桩设备在可调增区间和不调节区间不允许放电，且不调区间的电压差 5%，大于本标准规定的线路压降，可以避免部分储能充电、部分储能放电的内耗情况出现。

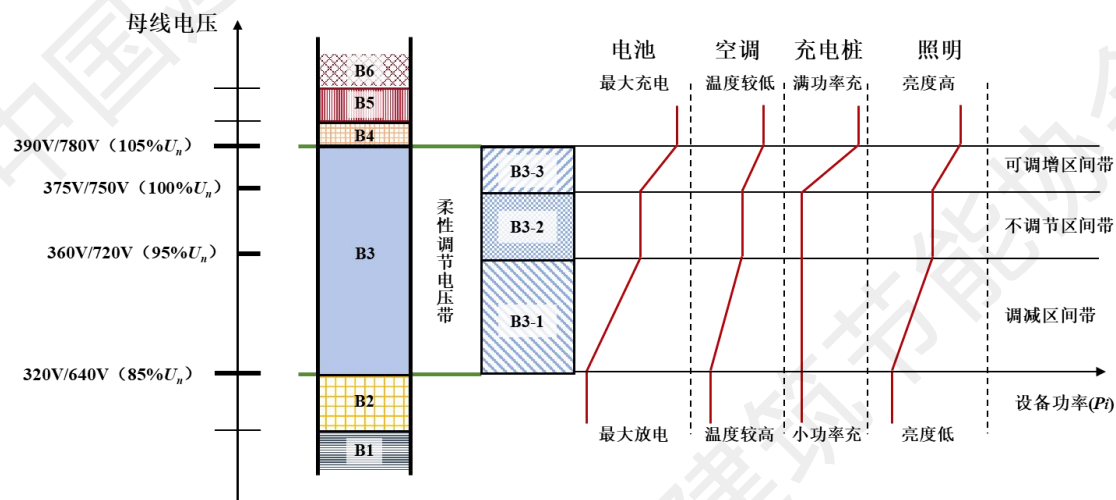


图 24 柔性调节区间电压范围

9.3 通信系统

9.3.1 直流配电系统监测与控制宜采用同一种标准化通信协议。

【条文说明】

直流配电系统中主要换流器、分布式电源设备等一般均自带控制系统，供应商应提供标准化通信接口，并应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。

9.3.2 直流配电监测与控制系统的通信接口应满足 GIB 的要求。

【条文说明】

电力交互是民用建筑直流配电系统的优势之一。目前建筑与电网接口的信息规范还在持续完善中，已经颁布的相关标准规范包括《电力需求响应系统通用技术规范》GB/T 32672、《电力需求响应信息交换规范》DL/T 1867。电力交互信息包括价格、削减量、控制决策和直接控制等，通信协议应兼容常用的 HTTP、Modbus、XML 等。

附录 A 建筑负荷动态计算

A.0.1 建筑负荷动态计算应包括建筑光伏和建筑用电负荷的全年逐时功率计算、逐时柔性负荷调节功率计算、逐时储能设施调节功率计算，并宜按图 A.0.1 的流程进行：

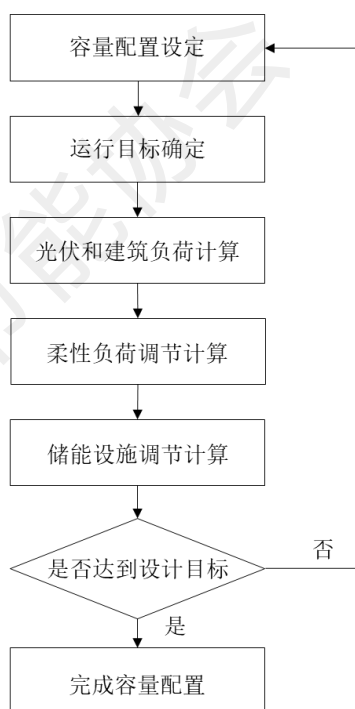


图 A.0.1 建筑负荷动态计算流程图

【条文说明】

本条规定了建筑负荷动态计算的流程。首先根据工程经验对直流配电系统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功率进行计算。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功率进行计算。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 建筑负荷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为基于分时电价时，动态计算应以降低电费为运行目标；
- 2 当建筑取电功率要求为基于电力动态碳排放责任因子时，动态计算应以降低碳排放责任量为运行目标；
- 3 当建筑取电功率要求为基于给定功率曲线时，动态计算应以给定功率曲线

为运行目标。

【条文说明】

当建筑取电要求为基于分时电价或 C_r 时，动态计算需以降低运行电费或碳排放量为运行优化目标，此时建筑光伏发电运行成本和碳排放可按 0 元/kWh 和 0 kgCO₂/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 动态计算的能量平衡应按下式计算：

$$P_{pv}(t) + P_g(t) = P_b(t) + P_{ev}(t) + P_{cseq}^{ch}(t) - P_{cseq}^{dis}(t) + P_{cs}^{ch}(t) - P_{cs}^{dis}(t) + P_{es}^{ch}(t) - P_{es}^{dis}(t) + P_{sur}(t) \quad (A.0.3)$$

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）。

【条文说明】

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.0.4 建筑取电功率应符合下式的规定：

$$P_g(t) \leq P_{acdc} \quad (\text{A.0.4})$$

式中：

P_{acdc} ——电网接口变换器（AC/DC）的额定功率（kW）。

【条文说明】

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.0.5 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：

1 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：

$$0 \leq P_{ev}(t) \leq n \cdot P_{pile}^{ch} \cdot r_{ev}(t) \quad (\text{A.0.5-1})$$

式中：

n ——接入直流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。

2 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：

$$-n \cdot P_{pile}^{dis} \cdot r_{ev}(t) \leq P_{ev}(t) \leq n \cdot P_{pile}^{ch} \cdot r_{ev}(t) \quad (\text{A.0.5-2})$$

式中：

P_{pile}^{dis} ——单台充电桩的额定放电功率（kW）。

3 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：

$$Q_{ev_min} \leq \int_0^{24} P_{ev}(t) dt \leq Q_{ev_max} \quad (\text{A.0.5-3})$$

式中：

Q_{ev_min} ——充电桩系统在计算日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）。

【条文说明】

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.0.6 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：

1 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：

$$0 \leq P_{cseq}^{ch}(t) \leq P_{bc}(t) \cdot r_p^+ \cdot \beta(t) \quad (A.0.6-1)$$

$$P_{cseq}^{ch}(t) + P_{bc}(t) \leq PC_r \quad (A.0.6-2)$$

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）；

$\beta(t)$ —— t 时刻的用户调节意愿深度（%）。

2 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：

$$0 \leq P_{cseq}^{dis}(t) \leq P_{bc}(t) \cdot r_p^- \cdot \beta(t) \quad (A.0.6-3)$$

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：

$$E_{cseq}(t+1) = E_{cseq}(t) \cdot \eta_{cseq} + (P_{cseq}^{ch}(t) - P_{cseq}^{dis}(t)) \cdot \Delta t \quad (A.0.6-4)$$

$$0 \leq E_{cseq}(t) \quad (A.0.6-5)$$

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。

【条文说明】

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, 同时考虑到用户调节意愿深度, 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^- , 用户调节意愿深度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。即在上一个时刻通过预冷/热等效存储的电量, 在下一个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.0.7 当采用电驱动制冷/热的冰、水或相变材料蓄冷/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:

$$0 \leq P_{cs}^{ch}(t) \leq P0_{cs}^{ch} \quad (\text{A.0.7-1})$$

$$P_{cs}^{ch}(t) + P_{bc}(t) + P_{cseq}^{ch}(t) \leq PC_r \quad (\text{A.0.7-2})$$

式中:

$P0_{cs}^{ch}$ ——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:

$$0 \leq P_{cs}^{dis}(t) \leq P0_{cs}^{dis} \quad (\text{A.0.7-3})$$

$$P_{cs}^{dis}(t) + P_{cseq}^{dis}(t) \leq P_{bc}(t) \quad (\text{A.0.7-4})$$

式中:

$P0_{cs}^{dis}$ ——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电量, 并应符合下列规定:

$$SOC_{cs}(t+1) = SOC_{cs}(t) + (P_{cs}^{ch}(t) - \frac{P_{cs}^{dis}(t)}{\eta_{cs}}) \cdot \Delta t / E_{cs} \quad (\text{A.0.7-5})$$

$$SOC_{cs_low} \leq SOC_{cs}(t) \leq SOC_{cs_high} \quad (\text{A.0.7-6})$$

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 (%)。

【条文说明】

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.0.8 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：

$$P_{es}^{ch}(t) \leq P0_{es}^{ch} \quad (\text{A.0.8-1})$$

$$P_{es}^{dis}(t) \leq P0_{es}^{dis} \quad (\text{A.0.8-2})$$

式中：

$P0_{es}^{ch}$ ——储能电池最大充电功率（kW）；

$P0_{es}^{dis}$ ——储能电池最大放电功率（kW）。

2 储能电池的储电状态应符合下列规定：

$$SOC_{es}(t+1) = SOC_{es}(t) + (P_{es}^{ch}(t) - \frac{P_{es}^{dis}(t)}{\eta_{es}}) \cdot \Delta t / E_{es} \quad (\text{A.0.8-3})$$

$$SOC_{es_low} \leq SOC_{es}(t) \leq SOC_{es_high} \quad (\text{A.0.8-4})$$

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（%）。

【条文说明】

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.0.9 建筑储能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。

【条文说明】

以下以经济性最优为设计目标，基于某办公建筑进行负荷动态平衡计算。

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 4 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 4 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	依据专业软件模拟计算
4		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	依据专业软件模拟计算
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 25
13		日充电电量需求	工作日：20kWh≤单桩平均充电量≤40kWh 休息日：5kWh≤单桩平均充电量≤10kWh
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% 用户调节意愿深度：100%
17		空调柔性调节等效效率	65%
18		储能电池容量	1000 kWh
19	储能信息	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 26

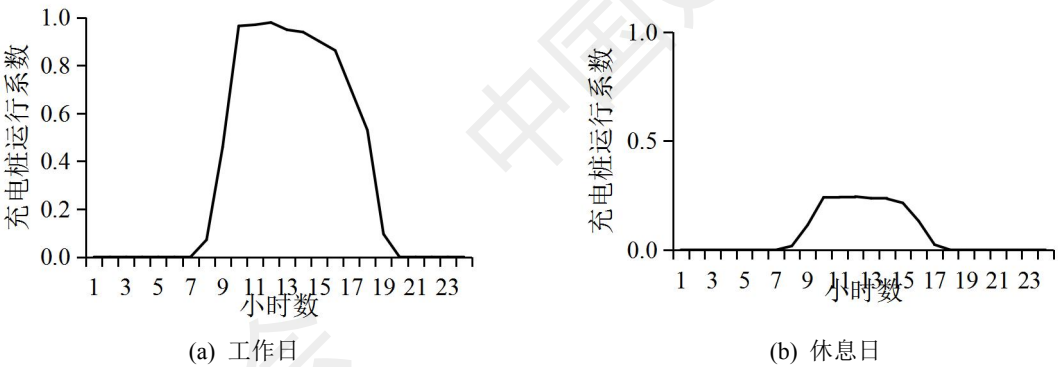


图 25 充电桩运行系数

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 26 所示。

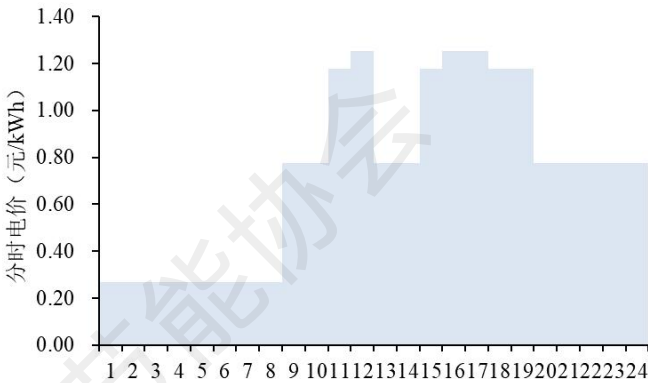
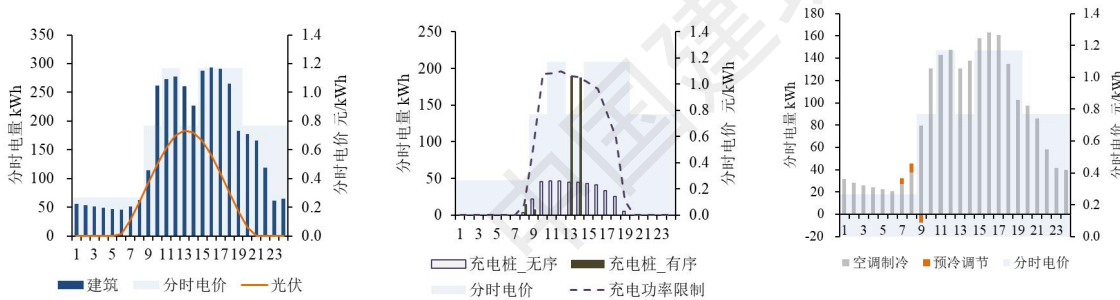


图 26 全年逐日平均的分时电价

光伏发电和建筑用电负荷的全年逐时功率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 27-a 所示；柔性充电桩有序充电曲线如图 27-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 27-c 所示，其在电价谷平交界时段进行调节，受空调基数负荷影响，调节电量有限。



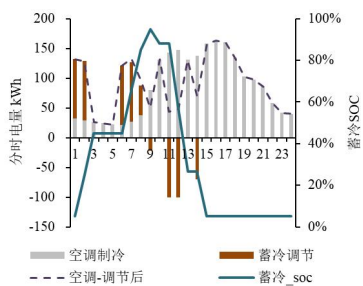
(a) 光伏发电和建筑用电曲线

(b) 柔性充电桩有序充电曲线

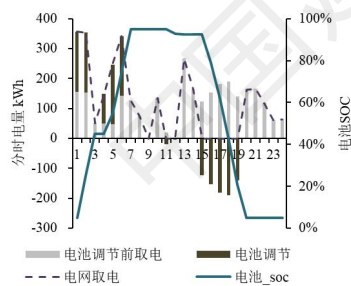
(c) 柔性空调调节曲线

图 27 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功率运行曲线如图 28 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。



(a) 蓄冷设施调节曲线



(b) 储能电池调节曲线

图 28 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 28-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 逐时功率曲线，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 5 所示，其中未涉及的参数与表 4 中相同，即 AC/DC 变换器 400kW，充电桩和空调均参与柔性调节。

表 5 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 6 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 6 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.0.10 PEDF 建筑负荷动态计算宜采用软件工具。

【条文说明】

由于动态计算涉及变量多，计算量大，建议采用软件工具计算。

本标准用词说明

1 为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，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《建筑光伏系统应用技术标准》 GB/T 51368
- 2 《建筑电气与智能化通用规范》 GB 55024
- 3 《民用建筑电气设计标准》 GB 51348
- 4 《建筑光储直柔系统变换器通用技术条件》 T/CABEE 063
- 5 《建筑照明设计标准》 GB/T 50034
- 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 《建筑设计防火规范》 GB 50016
- 9 《建筑防火通用规范》 GB 55037
- 10 《电化学储能电站设计规范》 GB 51048
- 11 《汽车库、修车库、停车场设计防火规范》 GB 50067
- 12 《电能存储系统用锂蓄电池和电池组 安全要求》 GB 44240