

ICS ***

中国建筑节能协会团体标准

CCS ***

T/CABEE 0XX-20XX

建筑用能负荷灵活性分类及量化评估 技术标准

Technical standard for classification and quantitative evaluation
of building energy flexibility
(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

建筑用能负荷灵活性分类及量化评估技术标准

Technical standard for classification and quantitative evaluation of building
energy flexibility

T/CABEE 0XX-20XX

批准部门：中国建筑节能协会

施行日期：XXXX 年 X 月 X 日

中国 XXXX 出版社

20XX 北京

中国建筑节能协会文件

国建节协[20xx] x 号

关于发布《xxx技术标准》 团体标准的公告

现批准《xxx技术标准》为中国建筑节能协会团体标准，标准编号为：T/CABEE 0XX-20XX，自 20xx 年 x 月 x 日起实施。现予公告。

中国建筑节能协会
20XX 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（试行）》（国建节协（2017）40号）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，由中国建筑科学研究院有限公司会同有关单位组建编制组，经广泛的调查研究，认证总结实践经验，考察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；3基本规定；4建筑能源灵活性分类；5建筑能源灵活性评价指标；6评估方法与流程。

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：010-57811218，010-57811483，邮箱：biaoban@cabee.org），由中国建筑科学研究院有限公司负责具体内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送至中国建筑科学研究院有限公司（主编单位名称）（地址：北京市朝阳区北三环东路30号中国建筑科学研究院有限公司，邮编：100013）

本标准主编单位：

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	
2 术 语	错误!未定义书签。
3 基本规定	6
4 建筑能源灵活性分类	7
4.1 一般规定	7
4.2 灵活性类型	7
5 评价指标	9
5.1 一般规定	9
5.2 响应特征评价指标	9
5.3 响应精度评价指标	11
5.4 响应效益评价指标	12
6 评价方法与流程	15
6.1 评估方法	15
6.2 设计评估	16
6.3 运行评估	17
附录 A 建筑能源灵活性设计阶段评估表	20
附录 B 建筑能源灵活性运行阶段评估表	22
本标准用词说明	24
引用标准名录	25
附：条文说明	26

Contents

1	General Provisions.....	2
2	Terms	3
3	Basic Requirements	6
4	Classification of Energy Flexibility in Buildings	7
4.1	Ordinary Regulations	7
4.2	Flexibility Types	7
5	Evaluating Indicators.....	9
5.1	Ordinary Regulations	9
5.2	Response Characterization Evaluation Indicators	9
5.3	Response Accuracy Evaluation Indicators	11
5.4	Response Effectiveness Evaluation Indicators	12
6	Evaluation Methodology and Process	15
6.1	Assessment Methodology	15
6.2	Design Evaluation	16
6.3	Operational Assessment	17
	Appendix A Building Energy Flexibility Design Phase Assessment Form	20
	Appendix B Building Energy Flexibility Operational Phase Assessment Form	22
	Explanation of Wording in This Code	24
	List of Quoted Standards	25
	Addition: Explanation of Provisions	26

1 总 则

1.0.1 为贯彻落实国家“双碳”战略，促进建筑能源的高效利用和优化管理，提高建筑能源系统对电力需求响应、辅助服务等需求侧管理的适应性和灵活性，规范和引导建筑能源灵活性评估，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于各类新建、改建、扩建和既有民用及工业建筑能源灵活性的分类及量化评估。

1.0.3 建筑能源灵活性的分类及量化评估应遵循科学性、客观性、准确性和可操作性原则，充分考虑建筑的功能、规模、用能特点以及所在地区的能源供应和需求情况。在进行建筑能源灵活性分类及量化评估时，应充分考虑能源政策、法规和技术发展趋势，鼓励采用先进的节能技术和管理措施，提高建筑能源灵活性。

1.0.4 建筑能源灵活性的分类应涵盖能源供应、转换、存储和消费等环节，全面反映建筑能源系统的灵活性特征。量化评估应采用合理的指标和方法，结合实际监测数据和仿真模拟分析，确保评估结果能够真实反映建筑能源灵活性的水平。

1.0.5 建筑能源灵活性的分类、量化评估除应负荷本标准外，尚应符合国家现行有关标准和现行中国建筑节能协会有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 建筑能源灵活性 **building energy flexibility**

建筑及其使用者根据当地气候条件、用户需求和能源系统的要求，利用电气设备、电化学储能、储热（冷）、建筑围护结构热惰性或用电行为调整等方式，主动管理调节建筑用能和产能的能力。

2.0.2 灵活性资源 **flexible resources**

分布于建筑用户侧的可调节负荷、分布式电源、多元储能等能够灵活调整、优化配置和高效利用，以适应能源供应和需求变化，可以参与能源系统优化控制、电力系统运行调节和聚合优化的各类资源。

2.0.3 能源灵活调节 **energy flexible modulation**

建筑实现能源系统的高效运行、优化供需平衡以及适应不同的能源状况和需求变化，将电网或建筑能源系统下发的灵活调节信号转化为具体的负荷调整信息，指导建筑能源系统及设备调节的运行方法、计划和措施。

2.0.4 规划灵活性 **planning flexibility**

建筑提前规划（日前或者调节时段前几小时）、调整自身能源系统和灵活性资源运行状态，连续响应调节指令或控制目标的能力。

2.0.5 实时灵活性 **real-time flexibility**

建筑能源系统和建筑灵活性资源在实时运行状态下，能够在极短的时间内（通常反应时间为 0~2h）迅速且精准地响应，调整自身产能、用能、储能等环节，适应能源供需的实时变化、并保持系统稳定运行的能力。

2.0.6 需求响应 **demand response (DR)**

电力用户对实施机构发布的价格信号或激励机制做出响应，并改变电力消费模式的一种的行为。

2.0.7 基线功率 **baseline load**

建筑用户在灵活调节响应期，不实施能源灵活调节策略的情况下，按一定时间周期统计计算的功率和负荷曲线。

2.0.8 辅助服务 **ancillary services**

为维护电力系统的安全稳定运行，保证电能质量，除正常电能生产、输送、使用外，由发电企业、电网企业和电力用户提供的服务，包括一次调频、自动发电控

制、调峰、无功调节、备用、黑启动等服务。

2.0.9 虚拟电厂 virtual power plant

通过先进信息通信技术和控制技术，将分布式电源、储能系统、可控负荷、电动汽车等分布式能源进行整合、协调、优化管理，作为一个特殊电厂参与电力市场和电网运行的智能能源协调管理系统。

2.0.10 负荷聚合商 load aggregator

具有通过技术、管理等手段整合需求侧灵活性资源的能力，可参与电力系统运行，为电力用户提供参与需求响应、电力市场等多宗服务的需求侧负荷调节服务机构。

2.0.11 响应时间 response time

响应时间是通常是指建筑在接收灵活性调节指令或调节目标开始，直到建筑功率调节量首次达到目标值的 90%的时间，单位 s 或 min。

2.0.12 爬坡率 ramping rate

在收到电网或者能源系统的调节指令时，建筑在单位时间内的功率调节量，即每分钟增加或减少功率的速率，单位 kW/min。

2.0.13 调节功率 regulated power

建筑用户在能源灵活调节过程中，实际增加或减少的功率调整量，单位 kW。

2.0.14 调节电量 regulated electrical energy

建筑在一定时间周期内，通过调整电力供应或需求所改变的电能量，包括建筑减少或增加的电能消耗量、发电侧根据调度指令调整的电能量输出量等，单位 kWh。

2.0.15 调节精度 regulated accuracy

建筑实际调节的电力参数（如功率、电量等）与预期调节目标之间的接近程度，即建筑实际运行参数与其控制要求参数之间的差值占调节目标的比例，单位%。

2.0.16 负荷削减 load shedding

在一时间段内切断、降低某些用电负荷的供电，从而达到负荷降低、错峰用电等目标的负荷调节类型。

2.0.17 负荷转移 load shifting

通过合理的调度和控制手段，将电力负荷从用电高峰时段转移到用电低谷时段，或者从电力供应紧张的区域转移到供应相对充裕的区域，从而实现电力负荷在

时间和空间上的优化分布的负荷调节类型。

3 基本规定

3.0.1 建筑能源灵活性评价应以建筑单体或者建筑群为评价对象，也可对建筑的部分区域、能源系统或者能源设备进行评价。

3.0.2 当建筑运行场景符合下列条件之一时，宜使建筑能源系统具备负荷灵活调节能力，并开展建筑能源负荷灵活性评估工作：

- 1 建筑直接参与需求侧管理，实施需求响应调节项目；
- 2 建筑通过负荷聚合商、虚拟电厂，响应电网调度指令或要求；
- 3 建筑安装分布式光伏发电、风力发电，灵活调节消纳可再生能源；
- 4 建筑通过能源系统灵活调节，降低自身能耗、碳排放。

3.0.3 建筑能源灵活性评价可以分为设计阶段评价和运行阶段评价。

3.0.4 设计阶段评估应该在施工图纸设计完成后进行，运行阶段评估应在建筑通过竣工验收投入使用且使用率大于 30%时进行。

3.0.5 建筑参与灵活性响应及调节过程中，建筑主要房间室内热湿环境参数、建筑能源系统及设备性能参数应符合现行国家标准《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB 50736、《建筑节能与可再生能源利用通用规范》GB 55015 的相关规定。

4 建筑能源灵活性分类

4.1 一般规定

4.1.1 建筑能源灵活性性能的设计应综合考虑地域、气候、环境等资源禀赋条件，以及经济约束、功能需求、技术措施等多种因素，提升建筑能源灵活性。

4.1.2 建筑能源灵活性提升的技术措施，应符合下列规定：

1 建筑能源供应环节，宜优先采用可再生能源发电，同时构建多能源互补体系实现能源来源多元化利用。

2 建筑能源转换环节，应采用高效设备，借助智能控制系统监测并调整设备运行状态参数；

3 建筑能源存储环节，应采用具有调峰、填谷、调频等作用的储能技术与设备，实现冷热（量）和电能转移和储存的过程，增强系统可靠性和独立性；

4 建筑能源消费环节，应充分发挥建筑本体围护结构和末端的蓄冷热能力，应利用各类可调设备电器等资源。

4.1.3 建筑智能化监测系统应准确获取各类建筑灵活性资源的运行数据，建筑能源系统运行控制应能调节建筑用能、储能、分布式产能等灵活性资源的运行状态和功率，以实现建筑的灵活性运行。

4.2 灵活性类型

4.2.1 本标准的分类对象为建筑能源负荷灵活性，即建筑冷热电等能源负荷的灵活可调能力。

4.2.2 建筑能源灵活性的分类应按照与灵活性响应需求相适应的原则，以灵活性评估阶段、需求侧能源管理服务类型、时间尺度、响应特征为主要分类依据，对建筑能源负荷灵活性进行类型划分。

4.2.3 建筑能源灵活性类型划分，应该符合下列规定：

1 按照建筑建设阶段和数据来源，分为设计阶段灵活性、运行阶段灵活性；

2 按照总体响应特征（响应类型、响应速度、响应时间等多维因素），分为实时灵活性、规划灵活性；

3 按照响应时间尺度，分为超短期灵活性、短期灵活性、中长期灵活性（或者分为单次调节灵活性、连续调节灵活性）；

4 按照需求侧能源管理的负荷调节类型，分为负荷调节（快速调节和适度调节）、负荷削减、负荷增加、负荷转移、负荷平衡、负荷节能。

4.2.4 建能源规划灵活性是提前规划和调整自身能源系统和灵活性资源运行状态，精准响应调节指令、实现控制目标负荷曲线的能力，宜符合下列要求：

1 调节特征：在日前或者调节时段前几小时开始规划，灵活调节阶段能够连续、稳定地响应和调整，且响应时间跨度较长（通常为 4 h 到 24 h、日级）；

2 调节目标：准确地响应外部的调节指令、预先设定的控制目标负荷曲线，适应能源环境和供需变化，实现负荷转移、负荷平衡、负荷节能等目标；

3 调节依据：基于能源供需和建筑运行状态预测，电网或能源系统提前给定的调节目标，提前规划灵活性资源（储能设备、可调节的能源负载等）的运行调整策略。依据提前规划地策略，实现建筑在能源灵活调节阶段的优化运行。

4.2.5 实时灵活性是建筑能够在极短的时间内（通常反应时间为几秒到 2h）迅速且精准地响应，调整自身能源系统和灵活性资源，适应能源供需实时变化的能力，宜符合下列要求：

1 调节特征：在建筑实时运行状态下，能够在极短的时间内快速响应（s、min 级），实现能源系统和灵活性资源的灵活调整，单次调节持续时间通常为 s 级、min 级、或 h 级；

2 调节目标：通过短时间内单次调节，实现建筑负荷削减、增加或快速调节等目标，应对能源供需瞬间波动和突发事件；

3 调节依据：依据能源系统及设备的当前参数、实时运行状态、电网或建筑能源系统实时下发的灵活调节指令，调整灵活性资源的运行策略，实现建筑能源灵活性调节。

5 评价指标

5.1 一般规定

5.1.1 建筑能源灵活性的量化评价，应该包含实时灵活性、规划灵活性能力的定量计算和评价分析。

5.1.2 建筑实时灵活性能力评价，应对实时响应过程的响应特征进行评价。

5.1.3 建筑规划灵活性能力评价，应包含规划响应过程的响应精度和响应效益的评价。

5.2 响应特征评价指标

5.2.1 建筑参与实时灵活性响应过程中，响应特征评价应包含响应时间指标、持续时间指标、爬坡率、调节功率指标、调节电量指标、反弹量指标。

5.2.2 时间维度的响应特性评价应根据反应时间和持续时间，计算建筑响应时间指标和响应有效持续时间指标，应符合下列规定：

1 建筑响应时间指标 (T_{Res}) 是指建筑接收指令至达到调节目标值的时间，应按下列式计算：

$$T_{Res} = t_{(\Delta P(t) \geq 90\% \Delta P_{tar}(t))} - t_{sig} \quad (5.2.2-1)$$

$t_{(\Delta P(t) \geq 90\% \Delta P_{tar}(t))}$ ——建筑功率调节量首次达到目标调节量 90% 的时刻；

t_{sig} ——建筑接收到电网或者能源系统调节指令的时刻。

2 建筑参与灵活性响应时，响应有效持续时间 (T_{eff}) 应按下列式计算：

$$T_{eff} = \int_{t_0}^{t_{end}} (t | \Delta P(t) \geq 90\% \Delta P_{tar}(t)) dt \quad (5.2.2-2)$$

式中： $\Delta P(t)$ ——建筑参与灵活性响应期间，在 t 时刻的负荷功率调节量，即调节后实际功率与基准功率差值的绝对值 (kW)；

$\Delta P_{tar}(t)$ —— t 时刻功率调节量的目标值，即基准功率与目标功率差值的绝对值 (kW)；

t_0 ——灵活性响应或调节的开始时刻；

t_{end} ——灵活性响应或调节的结束时刻；

dt ——时间步长，根据灵活性响应特征，可选取 h、min、

s 等不同大小的时间间隔作为步长。

5.2.3 对参与实时灵活性响应的建筑，爬坡率 (θ_{RR}) 应按下式计算：

$$\theta_{RR} = \frac{90\% \times (P_{fle}(t) - P_{tar}(t))}{T_{Res}} \quad (5.2.3)$$

式中： $P_{fle}(t)$ ——建筑参与灵活性响应在 t 时刻的实际负荷功率 (kW)；

$P_{tar}(t)$ —— t 时刻灵活性响应的目标功率 (kW)；

5.2.4 建筑参与实时灵活性响应过程中，调节功率指标和认缴性能指标的计算，应符合下列规定：

1 调节功率指标 ($\Delta P_{dr}(t)$) 应按下式计算：

$$\Delta P_{dr}(t) = P_{fle}(t) - P_{ref}(t) \quad (5.2.4-1)$$

式中： $P_{fle}(t)$ ——建筑参与灵活性响应，在 t 时刻的实际负荷功率 (kW)；

$P_{ref}(t)$ ——建筑不参与灵活性响应，在 t 时刻的基线功率 (kW)。

2 认缴性能指标 (λ_{SPI}) 应按下式计算：

$$\lambda_{SPI} = \frac{\int_{t_0}^{t_{end}} |P_{fle}(t) - P_{ref}(t)| dt / (t_{end} - t_0)}{\Delta P_{tar}} \quad (5.2.4-2)$$

式中： t_0 ——灵活性响应调节的开始时刻；

t_{end} ——灵活性响应调节的结束时刻；

ΔP_{tar} ——建筑能源灵活性调节期间，功率目标调节量的平均值 (kW)；

dt ——时间步长，根据灵活性响应特征，可选取 h、min、s 等不同大小的时间间隔作为步长。

5.2.5 建筑参与实时灵活性响应过程中，调节电量指标和反弹量指标的计算，应符合下列规定：

1 建筑灵活响应期间的调节电量指标 (E_{dr})，应按下式计算：

$$E_{dr} = \int_{t_0}^{t_{end}} (P_{fle}(t) - P_{ref}(t)) dt \quad (5.2.4-1)$$

式中： $P_{fle}(t)$ ——建筑参与灵活性响应，在 t 时刻的实际负荷功率 (kW)；

$P_{ref}(t)$ ——建筑不参与灵活性响应，在 t 时刻的基线功率 (kW)。

t_0 ——灵活性响应调节的开始时刻；

t_{end} ——灵活性响应调节的结束时刻；

dt ——时间步长，根据灵活性响应特征，可选取 h、min、s 等

不同大小的时间间隔作为步长。

2 建筑响应后的恢复期内，反弹量指标 (E_{reb})，应按下式计算：

$$E_{reb} = \int_{\tau_{reb1}}^{\tau_{reb2}} (P_{ref}(\tau) - P_{fle}(\tau)) d\tau \quad (5.2.4-2)$$

式中： $P_{fle}(\tau)$ ——建筑灵活性响应结束后的反弹恢复期，在 τ 时刻的实际负荷功率 (kW)；

$P_{ref}(\tau)$ ——建筑不参与灵活性响应，在对应的反弹恢复期 τ 时刻的基线功率 (kW)。

τ_{reb1} ——灵活性响应结束后，反弹恢复期的开始时刻；

τ_{reb2} ——灵活性响应结束后，反弹恢复期的结束时刻；

$d\tau$ ——时间步长，可选取 h、min、s 等不同大小的时间间隔作为步长。

5.3 响应精度评价指标

5.3.1 对于参与规划灵活性响应的建筑，应对负荷调节精度指标和平均调节波动率指标进行计算评价，并应符合下列规定：

1 在规划灵活性响应期间，建筑能源负荷（电力负荷）功率调节精度指标 σ_p 应按下列式计算：

$$\sigma_p = 100\% - \left\{ \frac{\max |P_{fle}(t) - P_{tar}(t)|}{\max |P_{ref}(t) - P_{tar}(t)|} (t_0 \leq t \leq t_{end}) \right\} \times 100\% \quad (5.3.1-1)$$

式中： $P_{fle}(t)$ ——建筑参与灵活性响应在 t 时刻的负荷功率 (kW)；

$P_{ref}(t)$ ——建筑不参与灵活性响应在 t 时刻的基线功率 (kW)；

$P_{tar}(t)$ —— t 时刻灵活性响应的目标功率 (kW)；

t_0 ——灵活性响应、调节的开始时刻；

t_{end} ——灵活性响应、调节的结束时刻；

dt ——时间步长，根据灵活性响应特征，可选取 h、min、s 等不同大小的时间间隔作为步长。

2 建筑参与规划灵活性响应时，相对于响应时段内调节目标功率曲线，平均调节波动率 ψ_{flu} 应按下列式计算：

$$\psi_{flu} = \frac{\int_{t_0}^{t_{end}} (|P_{fle}(t) - P_{tar}(t)| / P_{tar}(t)) dt}{(t_{end} - t_0)} \times 100\% \quad (5.3.1-2)$$

5.3.2 建筑参与规划灵活性响应时，相对于调节目标功率曲线，电量调节精度指标

σ_e 应按下列式进行计算：

$$\sigma_e = 100\% - \frac{\int_{t_0}^{t_{end}} (|P_{fle}(t) - P_{tar}(t)|) dt}{\int_{t_0}^{t_{end}} (|P_{ref}(t) - P_{tar}(t)|) dt} \times 100\% \quad (5.3.2)$$

式中：
 $P_{fle}(t)$ ——建筑参与灵活性响应在 t 时刻的负荷功率（kW）；
 $P_{ref}(t)$ ——建筑不参与灵活性响应在 t 时刻的基线功率（kW）；
 $P_{tar}(t)$ —— t 时刻灵活性响应的目标功率（kW）；
 t_0 ——灵活性响应或调节的开始时刻；
 t_{end} ——灵活性响应或调节的结束时刻；
 dt ——时间步长，根据灵活性响应特征，可选取 h、min、s 等不同大小的时间间隔作为步长。

5.4 响应效益评价指标

5.4.1 建筑灵活性响应能力评价，应依据灵活性响应的调节目标，对响应效益指标进行计算和评价。

5.4.2 建筑灵活性响应效益指标的计算和评价，应与灵活性调节的目标一致，应考虑对应的峰谷差削减、节能降碳、经济性成本、可再生能源消纳等，计算灵活性响应的效益，并应符合下列规定：

1 统一形式：建筑参与灵活性响应期间及响应结束后的恢复期间，建筑能源灵活性响应效益指标 BI ，应按下列式计算：

$$BI = \left(1 - \frac{C_{fle}}{C_{ref}}\right) \times 100\% \quad (5.4.2-1)$$

式中：
 C_{fle} ——建筑参与灵活性响应调节工况的指标值，可以为尖峰负荷、峰谷差、能耗值、碳排放量、费用成本、可再生能源消纳量等；
 C_{ref} ——建筑在基准工况（不参与灵活性响应）的指标值，指标类型与 C_{fle} 一致。

2 峰谷差：建筑参与灵活性响应调节的削峰效益 BI_{peak} ，应按下列式计算：

$$BI_{peak} = \left(1 - \frac{P_{fle,peak} - P_{fle,valley}}{P_{ref,peak} - P_{ref,valley}}\right) \times 100\% \quad (5.4.2-2)$$

式中：
 $P_{fle,peak}$ ——建筑参与灵活性调节的峰值电力负荷的功率值（kW）；
 $P_{fle,valley}$ ——建筑参与灵活性调节的谷值电力负荷的功率值（kW）；

$P_{ref,peak}$ ——建筑基准工况下峰值电力负荷的功率值 (kW) ;

$P_{ref,valley}$ ——建筑基准工况下谷值电力负荷的功率值 (kW) 。

3 能耗值: 建筑参与灵活性响应期间的节能效益 BI_e , 应按下式计算:

$$BI_e = \left(1 - \frac{E_{fle}}{E_{ref}}\right) \times 100\% \quad (5.4.2-3)$$

$$E_{fle} = \int_{t_0}^{t_{reb}} P_{fle}(t) dt \quad (5.4.2-4)$$

$$E_{ref} = \int_{t_0}^{t_{reb}} P_{ref}(t) dt \quad (5.4.2-5)$$

式中: $P_{fle}(t)$ ——建筑参与灵活性响应, 在 t 时刻的负荷平均功率 (kW);

$P_{ref}(t)$ ——建筑不参与灵活性响应, 在 t 时刻的基线功率 (kW);

E_{fle} ——建筑在参与灵活性响应及后续反弹过程中的总能耗 (kWh);

E_{ref} ——建筑在基准工况 (不参与灵活性响应) 的总能耗 (kWh);

t_0 ——灵活性响应的开始时刻;

t_{reb} ——灵活性响应后恢复期的结束时刻;

dt ——时间步长, 根据灵活性响应特征, 可选取 h、min、s 等不同大小的时间间隔作为步长。

4 碳排放: 建筑参与灵活性响应期间的降碳效益 BI_c , 应按下式计算:

$$BI_c = \left(1 - \frac{C_{fle}}{C_{ref}}\right) \times 100\% \\ = \left(1 - \frac{\sum_{t=t_0}^{t_{reb}} \int_{t_0}^{\Delta t} P_{fle}(t) dt \times EFe(t)}{\sum_{t=t_0}^{t_{reb}} \int_{t_0}^{\Delta t} P_{ref}(t) dt \times EFe(t)}\right) \times 100\% \quad (5.4.2-6)$$

式中: C_{fle} ——建筑在参与灵活性响应及后续反弹过程中的总碳排放量 (kgCO₂);

C_{ref} ——建筑基准工况 (不参与灵活性响应) 的总碳排放量 (kgCO₂);

$EFe(t)$ —— t 时刻的电力碳排放因子 (kgCO₂/kWh), 若为其他类型能源消耗产生的碳排放, 可取值相应的碳排放因子。

5 可再生能源消纳: 建筑参与灵活性响应期间的可再生能源消纳效益 BI_{res} ,

应按下式计算：

$$BI_{res} = \left(1 - \frac{RES_{fle}}{RES_{ref}}\right) \times 100\% \quad (5.4.2-7)$$

式中： RES_{fle} ——建筑参与灵活性调节时，响应期及后续恢复期内可再生能源的消纳量（kWh）；

RES_{ref} ——建筑不参与灵活性调节时，响应期及后续恢复期内可再生能源的消纳量（kWh）。

6 经济性：建筑参与灵活性响应期间的经济效益 BI_{cost} ，应按下式计算：

$$BI_{cost} = \left(1 - \frac{Cost_{fle}}{Cost_{ref}}\right) \times 100\% \\ = \left(1 - \frac{\sum_{t=t_0}^{t_{reb}} \int_{t_0}^{\Delta t} P_{fle}(t) dt \times EP(t)}{\sum_{t=t_0}^{t_{reb}} \int_{t_0}^{\Delta t} P_{ref}(t) dt \times EP(t)}\right) \times 100\% \quad (5.4.2-8)$$

式中： $Cost_{fle}$ ——建筑参与灵活性调节时，响应期及后续反弹期内的电费成本（元）；

$Cost_{ref}$ ——建筑基准工况（不参与灵活性响应）的电费成本（元）；

$EP(t)$ —— t 时刻的电价（元/kWh）。

6 评价方法与流程

6.1 评估方法

6.1.1 建筑能源灵活性评价包括设计和运行两个阶段，建筑能源灵活性评估应首先收集资料、现场查勘、提交灵活性响应和运行方案，建筑能源灵活性设计评价和运行评价应满足按照本标准第 6.2 节和 6.3 节开展，并提交灵活性评估报告。

6.1.2 建筑能源灵活性评价，应包含实时灵活性和规划灵活性能力评价，应包括下列内容：

- 1 建筑基准工况能源供需数据收集、数据预处理；
- 2 建筑灵活调节运行策略和管理方案、调节工况的能源供需数据收集、数据预处理；
- 3 建筑实时灵活性评价指标计算；
- 4 建筑规划灵活性评价指标计算；
- 5 建筑能源灵活性结果分析与评价；
- 6 建筑能源灵活性评价计算书和报告撰写。

6.1.3 建筑能源灵活性设计阶段和运行阶段评价，应根据灵活性调节类型、参与的需求侧管理和辅助服务等项目类型，进行评价指标的理论计算、实际测试，指标计算和评价应满足本标准第 5 章的规定。

6.1.4 建筑能源灵活性能力设计评价和运行评价的工况应满足下列要求：

- 1 设计评价和运行评价工况，应确保建筑及能源系统在正常条件下连续运行 3d；
- 2 以建筑暖通空调、蓄冷或蓄热设备为主要灵活性调节资源时，应包括供冷季或供暖季工况的灵活性能力分析；
- 3 以蓄电设备或电动汽车为主要灵活调节资源时，应保证蓄电系统的初始容量在 50%-80%之间；
- 4 以可调节使用模式或时间的电器设备为主要灵活性调节资源时，应保证设备在正常负载条件下运行；
- 5 以光伏可再生能源发电为主要灵活性调节资源时，平均太阳辐照强度应 $\geq 700\text{W}/\text{m}^2$ 。

6.1.5 建筑能源灵活性评价时，基线电力负荷计算的典型日选取和功率计算方法

应满足现行国家标准《需求响应效果监测与综合效益评价导则》GB/T 32127 或建筑所在省市需求响应、辅助服务的基线负荷计算方法的要求。

6.1.6 建筑能源灵活性评估表和计算书应符合本标准附录 A 和附录 B 的规定，建筑能源灵活性评估报告应根据项目实际情况出具，宜包括下列主要内容：

- 1 委托单位和评估时间；
- 2 评估目的、范围、主要内容、依据；
- 3 建筑基本情况；
- 4 建筑围护结构热工性能情况；
- 5 建筑能源系统性能信息，包括供暖通风空调系统、给水排水系统、供配电系统、照明系统、电梯、监测与控制系统、可再生能源系统、其他与建筑能源系统相关信息；
- 6 建筑灵活可调资源类型、容量情况；
- 7 建筑参与需求响应、需求侧管理、辅助服务项目类型；
- 8 建筑能源灵活调节策略、灵活性运行管理方案；
- 9 建筑能源灵活性性的设计或运行计算书及评估表；
- 10 综合评估结果和结论。

6.2 设计评估

6.2.1 建筑设计阶段能源灵活性评估应包括文件审查、现场检查、灵活性评价指标计算分析、撰写设计阶段评估报告。

6.2.2 建筑设计阶段能源灵活性评价指标和潜力评估应以设计文件、计算或模拟数据为依据。建筑设计阶段能源灵活性评估的设置条件原则上应完全与设计文件一致，设计文件未明确规定的，可与国家现行标准《建筑节能与可再生能源利用通用规范》GB 55015、《公共建筑节能设计标准》GB 50189 规定一致。

6.2.3 建筑设计阶段能源灵活性评价应该满足下列规定：

- 1 灵活调节工况、典型日基准工况功率和负荷计算应满足本标准条文 6.1.4 和 6.1.5 的规定；
- 2 建筑应根据可参与的响应项目，判定所属实时灵活性、规划灵活性类型，实施对应的能源灵活性调节策略，模拟或计算灵活性调节工况下建筑功率、负荷曲线；
- 3 设计评价的灵活性量化指标计算应满足本标准第 5 章的相关规定。

6.2.4 建筑文件审查应对文件的合法性、完整性、科学性及时效性等进行审查；现

现场检查应采用现场核对和性能检测的方式，进行符合性检查；宜结合软件模拟或公式理论计算建筑灵活调节的能源负荷曲线、灵活性评价指标。

6.2.5 采用仿真模拟法进行建筑设计阶段能源灵活性评估时，应符合下列规定：

- 1 灵活性量化评估前应制定模拟计算方案，并采用动态负荷和能耗模拟方法；
- 2 采用能耗模拟计算软件等工具时，应具备建筑能源系统及设备负荷数据仿真计算功能；
- 3 软件应满足不同时间尺度和时间步长的负荷、能耗动态仿真模拟的需求，软件采用气象资料应为1年（8760h）的逐时气象参数；
- 4 仿真模拟及理论计算过程中，参与调节的建筑灵活性资源分别实施基准运行策略、灵活性响应运行策略，建筑负荷和能耗计算模型的其余参数应采用相同输入条件。

6.2.6 建筑能源灵活性设计阶段评估时，应提交下列资料：

- 1 项目立项、审批文件；
- 2 项目施工图设计文件及审查报告；
- 3 项目能源系统设计及灵活可调资源性能检测文件；
- 4 项目能源系统常规和灵活调节运行控制策略说明；
- 5 建筑能源负荷仿真模拟模型，基准工况和灵活性调节工况的能源负荷理论计算书或模拟计算书；
- 6 建筑能源负荷设计阶段灵活性评估表。

6.3 运行评估

6.3.1 建筑运行阶段能源灵活性评估应包括，文件审查、数据实际监测或测试、数据处理、灵活性指标计算分析、撰写运行阶段评估报告。

6.3.2 建筑能源灵活性运行测试流程和方法应满足下列规定：

- 1 建筑运行实测前，应制定建筑能源灵活性测试评估方案；
- 2 对测试相关的传感器、仪器设备进行校核，且满足国家现行标准规范的要求；
- 3 根据本标准第6.1.4条、6.1.5条，确定运行测试工况并计算基线负荷；
- 4 根据建筑参与的实时灵活性和规划灵活性项目类型，实施建筑用能常能灵活调节运行方案和控制策略；
- 5 基于现场运行检测、建筑能耗运行监测系统或分项计量系统，获取建筑、系统、设备、灵活可调资源的能耗和负荷数据；

6 测试期间，同步记录太阳辐射、室外气温、室内温度和湿度等建筑内外部条件；

7 根据运行阶段的实测数据，按照本标准第 5 章的规定计算建筑能源灵活性量化指标，分析和评估能源灵活性潜力。

6.3.3 建筑能源灵活性运行测试和评价应该包括实时灵活性和规划灵活性调节能力，指标评价应满足本标准条文第 5.1.2 条和 5.1.3 条的要求。

6.3.4 建筑能源灵活性运行测试用仪器仪表等设备应满足下列规定：

1 运行检测用仪器、仪表应经过校准且在有效期内；

2 当采用能耗监测系统的电量、功率、时间、温度等数据时，应提供监测系统相关仪器、仪表有效期内检定、校准或检测证书；

3 测试仪器仪表设备，应实现数据连续采集，最小采集频率应实现 12 次/min；

4 仪器设备采集精确度应满足《可再生能源建筑应用工程评价标准》GB/T 50801 等现行国家和行业标准的规定。

6.3.5 建筑能源灵活性运行评估数据或参数采集应符合下列规定：

1 建筑能源灵活性运行阶段评价应以实际监控、测试数据为基础；

2 基于现场运行检测获取能耗和负荷数据，应搭建测试系统、布置功率测点、安装数据采集设备，测试方法应满足现行国家标准规范的要求；

3 基于建筑能耗运行监测、分项计量系统获取能耗和负荷数据，系统应该包括供暖、通风、空调、生活热水、照明、插座、电梯、炊事、建筑等灵活可调设备、可再生能源系统的分项能耗数据；

4 采集和记录的数据，应涵盖计算本标准第 5 章规定的评价指标所需参数；

5 能源数据测试和采集方法应满足现行国家和行业标准的规定。

6.3.6 建筑能源灵活性运行阶段评估时，应提交下列资料：

1 项目立项、审批文件；

2 项目竣工图纸文件、竣工验收文件；

3 主要材料和设备质量证明文件、测试报告文件；

4 建筑能源系统、建筑灵活性资源实际运行控制策略说明；

5 建筑能源系统运行数据，包括能源负荷、能耗、可再生能源等实际运行的监控和检测数据；

6 建筑能源负荷运行阶段灵活性质量计算书和评估表。

附录 A 建筑能源灵活性设计阶段评估表

项目基本信息			
项目名称			
项目地址			
开工时间		竣工时间	
项目所在气候区	<input type="checkbox"/> 严寒地区 <input type="checkbox"/> 寒冷地区 <input type="checkbox"/> 夏热冬冷地区 <input type="checkbox"/> 夏热冬暖地区 <input type="checkbox"/> 温和地区		
建筑基本信息			
建筑名称		详细地址	
竣工时间		建设单位	
施工单位		设计单位	
建筑高度及层数	高度____ 地上____层 地下____层	建筑面积	
建筑朝向		建筑内常驻人口	
灵活性资源	<input type="checkbox"/> 暖通空调系统 <input type="checkbox"/> 蓄能系统 <input type="checkbox"/> 蓄电系统 <input type="checkbox"/> 照明系统 <input type="checkbox"/> 可调控电器设备 <input type="checkbox"/> 分布式可再生能源 <input type="checkbox"/> 其他____	互动响应类型	<input type="checkbox"/> 需求响应 <input type="checkbox"/> 电力辅助服务 <input type="checkbox"/> 需求侧管理 <input type="checkbox"/> 分布式可再生能源资源匹配 <input type="checkbox"/> 其他_____
评估方法			
数据来源			
设计阶段评估结果			
评价指标			备注
响应特征指标	响应时间指标		
	持续时间指标		
	爬坡率指标		

	调节功率指标		
	认缴性能指标		
	调节电量指标		
	反弹量指标		
响应效益指标	削峰效益指标		
	节能效益指标		
	降碳效益指标		
	可再生能源消纳 效益指标		
	经济效益指标		
响应精度指标	负荷调节精度指标		
	平均调节波动率指标		
	电量调节精度指标		
建筑能源 灵活性建议			
评估单位及审查人			
评估日期			

附录 B 建筑能源灵活性运行阶段评估表

项目基本信息			
项目名称			
项目地址			
开工时间		竣工时间	
项目所在气候区	<input type="checkbox"/> 严寒地区 <input type="checkbox"/> 寒冷地区 <input type="checkbox"/> 夏热冬冷地区 <input type="checkbox"/> 夏热冬暖地区 <input type="checkbox"/> 温和地区		
建筑基本信息			
建筑名称		详细地址	
竣工时间		建设单位	
施工单位		设计单位	
建筑高度及层数	高度____ 地上____层 地下____层	建筑面积	
建筑朝向		建筑内 常驻人口	
灵活性资源	<input type="checkbox"/> 暖通空调系统 <input type="checkbox"/> 蓄能系统 <input type="checkbox"/> 蓄电系统 <input type="checkbox"/> 照明系统 <input type="checkbox"/> 可调控电器设备 <input type="checkbox"/> 分布式可再生能源 <input type="checkbox"/> 其他____	互动响应 类型	<input type="checkbox"/> 需求响应 <input type="checkbox"/> 电力辅助服务 <input type="checkbox"/> 需求侧管理 <input type="checkbox"/> 分布式可再生能源资源匹配 <input type="checkbox"/> 其他_____
评估方法			
数据来源			
运行阶段评估结果			
评价指标			备注
响应特征指标	响应时间指标		
	持续时间指标		
	爬坡率指标		

	调节功率指标		
	认缴性能指标		
	调节电量指标		
	反弹量指标		
响应效益指标	削峰效益指标		
	节能效益指标		
	降碳效益指标		
	可再生能源消纳 效益指标		
	经济效益指标		
响应精度指标	负荷调节精度指标		
	平均调节波动率指标		
	电量调节精度指标		
建筑能源 灵活性建议			
评估单位及审查人			
评估日期			

本标准用词说明

1 为便于在执行本导则条文时区别对待，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

- 《公共建筑节能设计标准》 GB 50189
- 《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》 GB 50736
- 《建筑节能与可再生能源利用通用规范》 GB 55015
- 《可再生能源建筑应用工程评价标准》 GB/T 50801
- 《需求响应效果监测与综合效益评价导则》 GB/T 32127
- 《公共建筑节能检测标准》 JGJ/T 177
- 《采暖通风与空气调节工程检测技术规程》 JGJ/T 260

中国建筑节能协会团体标准

建筑用能负荷灵活性分类及量化评估技术标准

T/CABEE XXX-2020

条文说明

编制说明

《建筑用能负荷灵活性分类及量化评估技术标准》T/CABEE 00X-202X 经中国建筑节能协会 2022 年 12 月 1 日以第 37 号公告批准发布。

本标准在编制过程中，编制组进行了深入、广泛的调查研究，总结了我国能源灵活性、能源柔性、需求侧能源管理领域相关的科研和示范成果，同时借鉴了国内外先进的技术和标准，提出了我国建筑能源灵活性相关定义、类型、量化指标、评估方法，以及设计、运行和评价过程的技术要求。

为了便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本标准时能正确理解和执行条文规定，《建筑用能负荷灵活性分类及量化评估技术标准》编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明，对条文规定的目的、依据及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是，条文说明不具备与标准正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

目 次

1	总 则	29
2	术 语	31
3	基本规定	33
4	建筑能源灵活性分类	35
4.1	一般规定	35
4.2	灵活性类型	37
5	建筑能源灵活性评价指标	40
5.1	一般规定	40
5.2	响应特征评价指标	41
5.3	响应精度评价指标	43
5.4	响应效益评价指标	44
6	评价方法与流程	46
6.1	评估方法	46
6.2	设计评估	47
6.3	运行评估	49

1 总 则

1.0.1 我国双碳战略目标的提出加快了电力系统能源从化石燃料为主体向高比例可再生能源转变的过程。我国新型低碳能源系统逐渐呈现电力需求高和可再生能源电力占比高的特点，预计 2050 年电力在终端能源消费的比重将提高到 60%，风电和光电发电总量增加至总发电量的 60%。我国建筑领域是能源系统的重要用户，建筑运行用能和建筑运行相关的碳排放占全社会总量的比重较高。建筑领域通过提升建筑能效和发展分布式可再生能源等重要途径降低碳排放。需求侧可再生能源发电比例逐渐增加，使能源系统可再生能源电力转变为“集中式和分布式”并存，“源”与“荷”的界限更加模糊，建筑由单一能源消费者转变为具有能源生产者和消费者双重身份的“产消者”。由于供需两侧可再生能源具有波动性、间歇性、反调峰和难以准确预测的特性，高比例可再生能源对电力系统供需平衡、可靠稳定运行造成了巨大威胁。因此，电力系统对各环节的用能负荷灵活性提出了迫切需求。

建筑领域作为重要的电力用户，具有大量的需求侧灵活资源，不需要增加额外大型设备即可提供用能负荷灵活性，这对提升低碳电力系统灵活性水平、缓解电力供需矛盾具有重要的作用。建筑用能负荷灵活性来源包括：建筑暖通空调系统（建筑蓄热体、蓄冷热设备、暖通空调系统可调设备）、建筑蓄电系统（蓄电池、电动车）、建筑可调节的用电设备（智能照明、洗衣机、笔记本电脑）、分布式可再生能源（多能互补）系统等。建筑能源负荷灵活性为根据本地气候条件、用户需求和能源网络要求，建筑利用自身灵活性资源调节、管理自身能源需求和供给的能力。充分利用建筑的用能灵活性可以促进电力系统需求侧管理，可以推动建筑根据周围能源系统的需求参与响应。

电力系统对建筑侧能源灵活性的需求逐渐增加，亟需规范建筑能源负荷灵活性分类方法、量化评价指标、评估方法。本标准的编制以明确建筑负荷灵活性潜力、推动电力供需侧灵活互动、促进建筑领域和电力系统低碳化转型为主要目标，科学地对建筑用能负荷灵活性基础概念、来源机理、提升技术、负荷灵活性分类进行规定，提出建筑用能负荷灵活性量化评价指标、规范用能负荷灵活性的评估流程与方法。同时，标准的编制可以促进电力系统与建筑充分挖掘用能负荷灵活性潜力、促进电力系统“源荷”互动、缓解电力供需矛盾、提高供需两侧可再生能源电力的消纳、推动电力系统和建筑领域低碳化转型。

1.0.2 本标准适用于新建、既有建筑的能源灵活性评估。扩建是指保留原有建筑，在其基础上增加另外的功能、形式、规模，使得新建部分成为与原有建筑相关的新建建筑。改建是指对原有建筑的功能或者形式进行改变，而建筑的规模和建筑的占地面积均不改变的新建建筑。既有建筑低碳改造是在建筑原有功能不变的情况下，对建筑围护结构及用能设备或能源系统的改善。对于实施维护结构改造、建筑机电节能改造、机电系统智慧和灵活性改造、未实施提升改造的建筑也可以按照本标准规定的能源灵活性评估方法进行评估。

1.0.4 建筑能源系统是复杂的综合体系，包括能源的供应、转换、存储和消费等多个环节。能源供应环节如可再生能源接入的适应性和传统能源供应的可调节性；能源转换环节包括不同能源形式之间的高效转换和运行状态调整能力；能源存储环节储能设备的蓄能放能控制；以及能源消费环节各类用能设备的可调节性和负荷转移能力等；上述环节共同决定了建筑能源系统的整体灵活性特征，建筑能源灵活性分类应该适用于上述环节。在进行量化评估时，合理的指标和方法是保证评估准确性和可靠性的关键。实际监测数据能够提供建筑能源系统在真实运行状态下的客观信息，反映其实际的灵活性表现。仅依靠监测数据可能存在局限性，无法涵盖设计阶段的理论评估需求、和其他所有可能的运行场景和条件。因此，结合仿真模拟分析，可以对不同情况下建筑能源系统的灵活性进行预测和评估，补充监测数据的不足。通过将实际监测数据与仿真模拟分析相结合，能够更全面、准确地评估建筑能源灵活性的水平，为建筑能源管理和优化提供科学依据，促进建筑节能和电力需求侧管理项目的有效实施。

1.0.5 本标准对建筑能源灵活性的分类量化评估技术指标、灵活性提升措施、灵活性评估方法作出了规定，但建筑能源灵活性利用涉及建筑、分布式能源、多能互补、储能系统、建筑监测系统、建筑自控系统等多项技术的综合利用，涉及的专业较多，相关专业均制定了相应的标准。因此，建筑能源灵活性的分类、量化评估除应负荷本标准外，尚应符合国家和行业现行有关标准和规范的规定。

2 术 语

2.0.3 能源灵活调节通常涵盖能源的生产、存储、传输、分配和消费等环节的灵活性资源，通过合理调配能源资源、控制能源设备的运行状态、调整能源消费行为等手段，以达到提高能源利用效率、降低能源成本、增强电力系统供需平衡、稳定性和可靠性，促进可再生能源的有效利用等目的。

2.0.5 规划灵活性是建筑在提前规划运行阶段，通过提前计划调整将建筑净负荷曲线调整到目标曲线的能力，即缩小建筑当前的负荷曲线与目标曲线之间的差距，或者实现某个调控目标。这意味着建筑的能源系统不是一次性的、短暂的调整，而是能够持续地、稳定地根据外部的调节指令或者预先设定的控制目标进行调整（通常在日内在 4 h 到 24 h，也可持续几日或更长），以适应不断变化的能源环境和需求的能力。规划灵活性的概念旨在强调建筑在能源管理和灵活调控方面的前瞻性和适应性能力，建筑不是被动地应对运行时能源供需变化情况，而是能够提前进行规划和优化。建筑能够在灵活调节日前、调节时段前几小时的时间范围内，基于对能源供需预测、建筑运行状态预测，提前规划好灵活性资源（储能设备、可调节的能源负载等）的运行状态调整策略。在灵活调节开始的时间，依据提前规划好策略，能够根据即将到来的能源需求和供应情况做出相应的调整，实现能源的优化运行和高效利用。

2.0.6 在需求侧管理和能源服务领域，实时需求响应、应急型需求响应通常要求参与用户能够在接收到需求响应平台发出的响应指令后的几分钟到半小时（也有提前 2-4 小时通知）内开始执行。辅助服务的时间尺度差异较大，调频辅助服务的时间尺度通常在几秒到几分钟，备用辅助服务的响应时间可能从几分钟到数小时不等。实时灵活性指建筑在实时运行阶段调整负荷的能力，即建筑能源系统中各类灵活可调资源，能够在极短的时间内（通常以秒、分钟、几小时），根据实时接收到的能源供需状态信息、系统运行参数和外部环境变化等因素，迅速且精准地调整自身的能源生产、存储、消耗或传输模式，以达到维持电力等能源系统的稳定平衡、降低能源成本，提高能源利用效率和可靠性等要求的能力。实时灵活性的核心在于具备在极短时间内（近乎实时）响应和适应变化的能力，通过灵活的技术手段和策略实现建筑负荷削减、增加或快速调节，有效地应对能源供需的瞬间波动和突发事件。

2.0.7 需求响应通常是指应对短时的电力供需紧张、可再生能源电力消纳困难等情况，通过经济激励为主的措施，引导电力用户根据电力系统运行的需求自愿调整用电行为，实现削峰填谷，提高电力系统灵活性，保障电力系统安全稳定运行，促进可再生能源电力消纳。需求响应一般包括基于价格的需求响应、基于激励的需求响应。价格型需求响应（price-based demand response）是用户根据电价变化调整用电需求，合理控制用电成本的行为，激励型需求响应（incentive-based demand response）是用户根据激励政策直接接受用电控制或主动参与用电调整，从而得到直接奖励或优惠电价的行为。

2.0.13 建筑参与实时灵活性响应时，能源负荷响应变化应该规定的指令变化周期内完成。爬坡率反应建筑能源负荷功率的调节速度，体现建筑适应调节信号的响应快慢。

3 基本规定

3.0.1 本条文确定了建筑能源灵活性评价的对象范围。将建筑单体或者建筑群作为主要的评价对象，能够从整体上把握建筑能源系统的综合性能和灵活性表现。这有助于全面分析建筑在能源利用方面的特性和潜力，包括其规模、功能布局、能源需求模式等对能源灵活性的影响。对独栋建筑或者建筑群进行评估和分析时：裙房连通的公共建筑群，当与塔楼功能一致时，视为独栋建筑；与塔楼功能不一致时，视为不同单体建筑；只有地下车库连通的建筑群视为不同单体建筑。同时，考虑到实际情况的多样性和复杂性，允许对建筑的部分区域进行评价，这使得在面对特定功能或能源使用特点突出的局部区域时，可以有针对性地进行分析和评估，例如重点能耗区域、具有特殊能源需求、或者具有高灵活调节潜力的功能区域。对于能源系统或者能源设备的评价，则能够深入到能源供应、转换、分配和使用的具体环节，精确评估各组成部分对整体能源灵活性的贡献和限制，为精细化的能源管理和优化提供依据。通过分析不同灵活的评价对象，能够满足不同层次、空间尺度的能源灵活性评价需求，更有效地推动建筑能源灵活性的提升和优化。

3.0.2 本条规定旨在强调在建筑运行场景下，建筑能源系统应具备负荷灵活调节能力并进行相应评估工作的重要性 and 必要性。当建筑直接参与需求侧管理、实施需求响应调节项目时，可依据电力供需和电网调控指令，主动调整能源使用、平衡电力系统负荷，还能获取经济回报或政策优惠。当建筑通过负荷聚合商、虚拟电厂响应电网调度指令或要求，能与其他用户或设施协同，整合分散能源资源，形成规模化调节能力，增强电网应对峰谷差、其他突发事件的水平。对于安装分布式光伏发电、风力发电的建筑，灵活调节以消纳可再生能源极为关键。鉴于可再生能源发电的间歇性和不确定性，建筑能源系统需具备灵活调节功能，确保在可再生能源充足时充分利用，不足时能合理调配其他能源供应，从而提高可再生能源利用率，降低对传统能源的依赖。当建筑通过能源系统灵活调节降低自身能耗、碳排放时，既有助于达成建筑节能减排目标，契合可持续发展需求，又能降低运营成本。因此，在上述条件下使建筑能源系统具备负荷灵活调节能力并开展评估工作，对提升能源利用效率、保障电网稳定、促进可再生能源消纳及实现节能减排意义重大。

3.0.3 建筑能源灵活性评估分为设计评价和运行评价。设计阶段的评估结果对应建筑能源灵活性的理论值，运行阶段的评估结果对应建筑能源灵活性的实测值。建

建筑设计阶段灵活性评估应该在相关立项文件资料、施工图纸资料、能源系统设备、灵活调节策略和运行管理方案的基础上，开展理论计算或者软件模拟工作，评估建筑能源灵活性潜力理论值。但是由于受到众多因素的影响，建筑实际运行能源灵活性与设计阶段的理论评估值之间存在差距。建筑能源灵活性运行阶段评估，需要对建筑、系统、设备、可调资源的实际运行数据进行采集和记录，基于实测数据开展能源灵活性指标的计算和建筑灵活性潜力的评估。

3.0.4 建筑能源灵活性应根据建筑施工图审、建筑竣工验收、使用率以及建设单位意愿等确定灵活性评估阶段。设计阶段评估能够反应建筑在设计条件下灵活可调的潜力大小和水平，指导建筑在设计阶段优化提升建筑灵活性潜力。实际运行阶段，考虑到运营管理水平、建筑用能行为、建筑使用情况、能源灵活性调控方案等众多因素对灵活性表现的影响，在建筑竣工验收、投入使用且使用率达到一定水平后，对建筑能源灵活性潜力进行实测分析。运行阶段实测有利于建筑单位和运营单位了解建筑实际运行的灵活性表现，形成灵活性利用方案，建筑参与电网柔性调节互动更有意义。

4 建筑能源灵活性分类

4.1 一般规定

4.1.1 本条文旨在明确建筑能源灵活性性能优化和提升时，所需考虑的各类因素。地域条件差异显著影响着建筑能源需求与供应，不同地区的能源资源分布、基础设施状况各异。气候条件直接决定了建筑的冷热负荷需求，不同气候区的采暖、制冷需求及时间分布差别较大。环境因素如周边微气候、生态条件等，也会对建筑能源利用产生影响。不同地域、气候条件、环境条件下，建筑能源灵活性资源配置、灵活性潜力提升和优化需要充分利用所在地区的自然资源和禀赋条件。此外，经济约束包括建设成本、运营成本及预期的投资回报等，直接关系到所采用的能源灵活性技术和措施的可行性。功能需求涵盖了建筑的用途、使用时间、人员密度等，例如商业建筑与住宅建筑在能源需求的峰谷时段和强度上存在明显差异。技术措施则涉及各类能源供应、转换、存储和管理等多个环节的技术手段，如高效的暖通空调系统、智能能源管理系统、可再生能源利用技术等。通过综合考虑这些因素，能够精准地制定适应具体情况的策略，最大程度挖掘和优化建筑能源灵活性的潜力，实现能源的高效利用和供需平衡，以适应未来可能的能源市场变化和政策要求，并提升建筑的环境适应性和经济可持续性。

4.1.2 随着能源需求的增长和环境压力的加大，提升建筑能源灵活性成为实现可持续能源发展的关键。本条文旨在明确建筑能源灵活性提升的技术措施要求，以促进电力系统和建筑能源系统的高效、可靠运行。建筑灵活性调节资源主要包括以下五大类：可再生互补能源系统、储能系统、暖通空调、建筑本体、其他可调节的用电设备。

1 优先采用可再生能源发电系统，如太阳能光伏发电、风力发电等，可再生能源电力的利用有助于减少对电网电力等能源的依赖，在接收或者建筑能源系统的灵活性调节信号后，可以改变分布式可再生能源自消纳、存储、上网、弃掉等策略，改变建筑与电网电力交互状态。类似的，构建多能源互补体系可实现能源来源的多元化利用，不同能源具有不同的特点和供应规律，通过合理组合和协同，可以在满足建筑能源需求的同时，改变建筑从电网用电取电、电力上网的情况，适应电网的调控需求、提高能源供应的稳定性和适应性。比如，在可再生能源、热泵与其他冷热源系统耦合的系统中，调节热泵承担负荷的时段和比例，调节可再生能源的存储

和消纳策略，可改变系统从电网取电负荷，实现电网电力负荷的削减或转移。

2 建筑侧常利用的蓄能方式包含储电、蓄热、蓄冷三种方式，高效储能装置可以平抑可再生能源发电、建筑用电等间歇性与波动性，保障系统稳定运行。建筑蓄能系统是进行灵活调节的重要资源，冰蓄冷、水蓄冷、水蓄热、相变蓄热等蓄能设备，通过直接控制蓄能量和放能量（蓄能和放能的时间、温度、流量等）可以实现冷热源能量生产和实际冷热能量使用的时间转移。另外，采用热泵机组结合蓄冷热系统，可以大幅提高系统经济性和利用效率，也可以在全年更多的时段实现建筑灵活用电和电力负荷的灵活转移。建筑能源存储环节应选择合适储能技术与设备（如电池储能、冷热储能等），存储盈余能源供高峰使用，增强可靠性与独立性。

3 建筑本体蓄热是指建筑外围护结构、内部围护结构、室内家具、空调系统末端等具有一定蓄热能力。建筑具有一定的“热惰性”，在对室内环境进行供冷、供热的时候，建筑蓄热体会被冷却或者加热，从而蓄存一定的冷热量。利用建筑本体的蓄热能力和室内热舒适范围，也可以通过室内全局温度控制的方式，综合调整供暖空调区域的设定温度，从而调整建筑的冷热负荷需求，考虑到暖通空调系统中用电设备的性能和效率，可以同步改变能源转换环节中供暖空调设备的用电需求。如在供冷工况下，在室内人员热舒适范围内，将房间温度预冷降低到原本预设温度点以下，在需求响应或灵活性用电调控开始时，由于建筑蓄热体额外储存了冷量，暖通空调系统短时间关闭或者降低冷机的制冷输出，在柔性用电调控期间提供更大的负荷削减量，实现了建筑空调冷热负荷的有效转移。

4 建筑能源转换环节，应采用高效设备（如热泵系统、热回收装置、变频设备等），借助智能控制系统监测并调整设备运行状态参数，适应电网或能源管理系统的动态需求。由于建筑末端具有蓄冷热能力和室内温度热舒适区范围，可以在不影响室内热舒适的情况下，改变供暖空调系统设备的运行方式和运行参数，从而改变系统的用电负荷，实现能源负荷的灵活调节。比如：可以改变冷冻水或热水供水温度、控制主机组出力机组需求、改变主机机组开启台数等主机设备灵活用电控制策略；送风温度设定值的调节、风机变频调速、风机开启数量改变、冷水水阀开度调节、水泵变频调节和末端设备的调峰节控制措施。

5 利用各类可调设备电器等资源，能够根据实际需求灵活调节能源消费，实现能源的精细化管理和优化利用。比如建筑中的自身带有蓄电池的电器设备，集合整

个建筑中电器设备自身的蓄电池资源，可以通过改变电器设备存储和使用模式，有效利用这些分散灵活性资源。建筑中的照明系统占据着相当高比例的用电需求，在接收电网或者建筑能源系统调控信号后，根据自然光照强度、室内人员活动情况和建筑使用分区情况，基于智能照明控制系统的控制动作调整照明开启功率，实现电力负荷的削减和灵活改变，同时降低能耗、碳排放。

4.1.3 本条旨在规定建筑能源系统运行控制的关键功能。建筑用能、储能、分布式光伏、等灵活性资源在建筑能源灵活控制中具有重要作用。实现建筑的灵活性运行，一方面能够提高建筑能源系统的适应性和可靠性，应对外部能源供应的变化和不确定性；另一方面有助于降低建筑的能源成本、能耗、碳排放，提升能源利用效率。同时，这也对建筑能源系统的智能化监测和运行控制技术提出了要求，需要准确获取各类灵活性资源的运行数据，并基于先进的算法和策略进行有效的调节和运行控制。

4.2 灵活性类型

4.2.2 建筑能源灵活性的准确分类对于优化能源管理、提高能源利用效率以及实现供需平衡具有重要意义。考虑建筑能源灵活性在不同的评估阶段所呈现的特点和表现，例如规划设计阶段、建设阶段、运行阶段等，每个阶段的技术条件、能源供应和需求情况都有所不同，因此分类应考虑上述差异。依据不同的需求侧能源管理服务模式，如基于价格需求响应、基于激励需求响应、签订辅助服务合同等，建筑参与不同的类型的灵活调节项目。时间尺度也是分类的重要依据，包括短期（如小时级、日内）、中期（如周、月）和长期（如季节、年）等。不同时间尺度下，建筑能源负荷的变化规律和灵活性特征存在显著差异。响应特征包括响应速度、响应深度、响应持续时间等方面，这些特征直接决定了建筑能源负荷在应对能源供需变化时的能力和效果。本条文旨在确立科学合理的建筑能源灵活性分类原则和依据，为灵活性分类、规划和实际应用提供指导。建筑能源灵活性的分类应紧密围绕实际的电网或能源系统对建筑能源灵活性的具体要求，确保分类结果具有针对性和实用性，能够切实满足不同场景下的能源响应需求。

4.2.3 本条文旨在规范建筑能源灵活性的分类方式，确保其在不同的应用场合和需求下具有明确的界定。

表 1 建筑能源灵活性分类类型

分类类型			
设计阶段和运行阶段灵活性			
规划灵活性		实时灵活性	
中长期	短期	短期	超短期
负荷平衡	负荷平移	负荷削减	负荷调节（快速）
负荷节能	负荷转移	负荷增加	负荷调节（适度）

从建筑建设阶段和数据来源的角度出发，将其划分为设计阶段灵活性和运行阶段灵活性。设计阶段灵活性基于设计和规划阶段通过理论分析和计算得出的灵活性特征，为建筑的灵活性资源优化配置、建筑能源管理提供依据。而运行阶段灵活性则依据实际运行过程中的监测和检测数据获得的建筑灵活性表现，它反映了建筑在实际使用中建筑各设备和系统运行性能、适用能源供需调整的情况，以及各种设备和系统的运行性能。运行阶段灵活性评估可以帮助优化建筑的能源管理策略，提高能源利用效率。

综合考虑总体响应特征，包括响应类型、响应速度、响应时间等多维因素，划分为实时灵活性和规划灵活性。实时灵活性强调对即时需求的快速响应能力，例如在遭遇突发的能源供应波动或需求变化时，建筑是否能够迅速做出能源使用的调整以维持稳定运行。实时灵活性通常与建筑灵活性资源、智能控制系统和自动化设备相关，可以根据实时的能源需求和供应情况，快速调整能源的生产、储存和使用。规划灵活性则侧重于基于提前规划（日前或日内提前 4h 以上）和预测控制下的灵活性，考虑了未来可能的能源需求变化、电力市场趋势和政策等因素，制定相应的能源管理策略和规划。规划灵活性有助于确保建筑在中长期运行中具有良好的能源性能和适应性。

依据响应时间尺度，可分为超短期灵活性、短期灵活性、中长期灵活性。超短期灵活性适用于极短时间内的快速响应，例如秒级或分钟级的能源调整，通常与储能设备或快速响应的能源系统相关，可以在短时间内提供或存储大量的能源。短期灵活性应对较短周期内的能源需求变化，例如小时级或日级的调整。中长期灵活性侧重较长时间跨度的能源规划和管理，例如日级、月度、季度或年度的调整。短期灵活性可以通过调整能源设备的运行状态、优化能源调度等方式实现。超短期灵活性适用于极短时间内的快速响应，短期灵活性应对较短周期内的变化，中长期灵活

性着眼于较长时间跨度的能源规划。短期和超短期调节灵活性侧重于一次性的调整，中长期灵活性多为连续的调节灵活性。

按照需求侧能源管理的负荷调节类型进行划分，具体包括负荷调节（涵盖快速调节和适度调节两种方式）、负荷削减、负荷增加、负荷转移、负荷平衡以及负荷节能。负荷调节中的快速调节能迅速应对突发状况，例如在电力需求高峰时快速增加能源供应；适度调节则可以保证能源系统的平稳运行。负荷削减是减少建筑能源消耗，例如通过优化设备运行时间、调整设备用电功率等措施降低建筑的能源需求。相反地，负荷增加通过调整建筑灵活性资源增加建筑能源需求的响应。负荷转移实现能源在不同时间段或区域的合理分配，例如将非高峰时段的能源储存起来供高峰时段使用，或在不同区域之间进行能源调配。负荷平衡通过调整能源生产和消耗，使能源的供应和需求保持相对稳定。负荷节能旨在提高能源利用效率，降低能耗的方式。这可以通过采用节能设备、优化能源管理策略、改变用户行为等途径实现。

5 建筑能源灵活性评价指标

5.1 一般规定

5.1.1 建筑在设计和运行阶段需要对自身的能源灵活性潜力进行量化评估，以充分利用自身灵活调控能力。目前国内开展的需求响应、需求侧管理、辅助服务等项目，具有不同的调控时间尺度、调控目标和调控特征需求，可以划分为实时灵活性和规划灵活性两大类。实时灵活性和规划灵活性潜力的定量评估，能够刻画建筑在s级、min级、h级等不同时间尺度，在调峰调频、负荷削减、增加、转移、备用等不同项目的灵活调节能力。

实时灵活性响应通常是在短时间内，一般几分钟到几小时内，根据实时的能源供应和价格变化、动态碳排放因子值，快速调整能源需求。辅助服务的时间尺度也有所不同，调频辅助服务的时间尺度通常在几秒到几分钟，备用辅助服务的响应时间可能从几分钟到数小时不等。实时灵活性指建筑在实时控制阶段，考虑到实时灵活性需求源自于电力系统的不确定性、随机性，电力系统运行过程中会出现短期供需不匹配的情况，建筑在灵活性调节中提供的上、下调的容量，应对发电、负荷和电网多源的不确定性调整负荷的能力。规划灵活性指建筑在提前规划运行阶段将建筑净负荷曲线调整到目标曲线的能力，它可以缩小建筑当前的负荷曲线与目标曲线之间的差距，或者实现某个调控目标。通常是基于提前一天对能源供需和价格的预测、或者日内提前几小时的预测，提前规划和安排能源需求的调整，规划灵活性在电力系统和需求侧建筑中长期运行中具有更强的适应性和可持续性，能够以较低的成本应对电力系统的各种变化和挑战。

5.1.2 建筑能源灵活性并非单一维度的概念，灵活性响应和调节过程具有时间、速度、功率、电量等多方面的表现特性。国内多省市发布的电力需求侧管理实施方案、辅助服务实施细则等指导文件，对实时和约定需求响应、辅助服务过程的响应时间、速度、功率、电量等提出了指标和相关要求。多个维度的灵活性响应的特征，一方面能够更加全年刻画不同类型建筑的灵活性潜力和响应特征，一方面满足电网及能源系统的调度和调控需求。

5.1.3 建筑基于电网或者能源系统提前规划的响应目标，主要包含两类情况：1) 电网或者能源系统给出的调节指令，调节自身用能和产能需求、改变自身用电负荷功率曲线，达到调节目标值。建筑在调节时段内，建筑实际用电或用能功率值与指

令目标功率之间功率偏差影响建筑负荷灵活性调节精度、建筑灵活性调节的潜力表现不同。2) 但也存在电网或能源系统未给出调节功率需求, 而是给定调节目标 (如, 最大化削减峰值; 降低能耗、碳排放、运行成本; 消纳可再生能源等情况。响应效益是通过实施建筑灵活性响应策略和措施所带来的各种有益结果和价值, 衡量建筑灵活性调节保障电力系统稳定、实现能源高效利用、建筑经济运行、促进可持续发展等方面所取得的成效。从建筑用户或业主、负荷聚合商、电网运营商的角度, 效益分析能够直观获取利用建筑物灵活性的收益情况。因此建筑灵活性响应能力评价时, 需要依据电网或能源系统具体的调节目标分析利用建筑灵活性对应的效益情况。

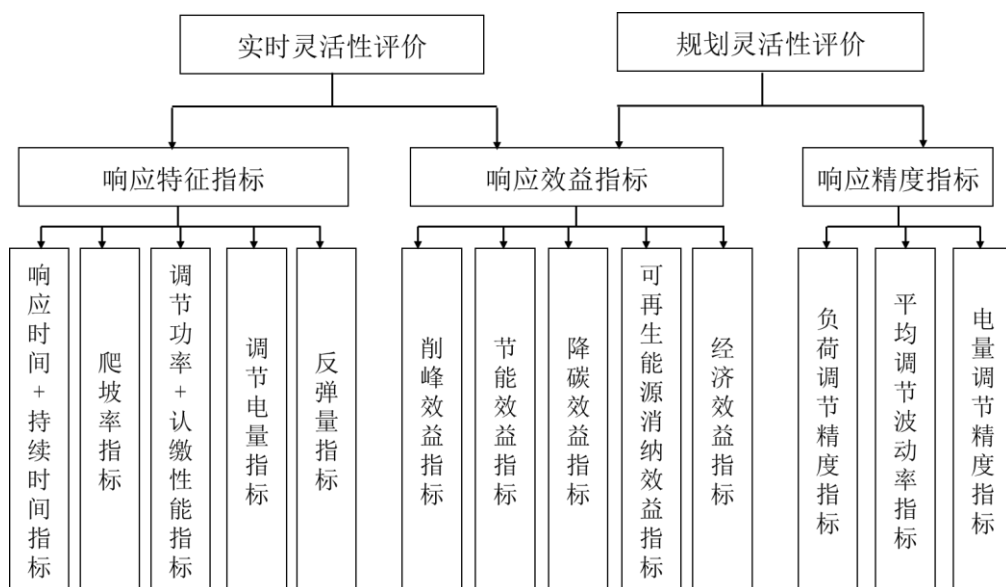


图 1 建筑能源灵活性分类评价维度

5.2 响应特征评价指标

5.2.1 时间维度响应特性反映了建筑系统的快速响应能力, 较短的响应时间意味着能够更及时地应对电力供需变化, 较长的响应持续时间有助于维持电力系统的稳定性。调节功率和电量情况直接体现了建筑在需求响应中的调节潜力, 较大的调节功率和电量表示建筑具有更强的适应电网或能源系统供需变化的能力。反弹期内特征和反弹量指标反映了建筑系统在调节后的恢复能力, 较短的恢复时间和较低的反弹量有助于减少对建筑正常使用功能的影响。时间灵活可调性、功率可调节性、能源利用模式多样性等多维度的响应特征决定了, 可以利用建筑能源灵活性应对和解决电网或者能源系统的系列问题, 如提供缓解供需不平衡、稳定性保障、能

源优化分配等问题的解决途径。建筑参与电网或能源系统灵活性响应时，需要从时间、速度、功率、能量等多方面刻画灵活性的特征表现。

5.2.2 国内多省市发布的电力需求侧管理实施方案、辅助服务实施细则等文件，对接收信号后的反应时间、响应持续时间提出了要求。响应时间是通常是指建筑在接收灵活性调节指令或调节目标开始，直到建筑功率调节量首次达到目标值的 90% 的时间。建筑在接到调控指令后，分析建筑功率与目标功率值、建筑负荷曲线和目标负荷曲线之间的差异，调用建筑的能源灵活性资源，调节建筑自身的功率值，直至调节量达到目标调节值的 90%，即为建筑的响应时间或反应时间。响应有效持续时间是建筑在参与灵活性响应项目中，负荷调节量达到目标值的持续时间。一般认为系统实际响应量达到目标指令值的 90%，即为有效响应。建筑响应的有效持续时间通常与建筑的能源系统形式、用能方式、建筑室内外边界条件等影响。实时灵活性项目的有效持续时间通常在几分钟到 1-2 小时，日前或者日内的规划灵活性有效持续时间通常为 24 小时内。采用响应时间和响应持续时间，可以定量刻画建筑参与实时灵活性调节过程中，建筑在时间维度的响应特性。

5.2.3 爬坡率指标是指，收到电网或者能源系统的调节指令时，建筑在单位时间内的功率调节量。爬坡率指标反应建筑能源负荷功率的调节速度，也体现建筑适应调节信号的响应快慢。建筑参与实时灵活性响应时，能源负荷响应变化应该规定的指令变化周期内完成。爬坡率指标的分析有助于充分了解建筑响应速度特征、考核响应快慢是否适应灵活性调节场景的要求、有效规划和安排建筑侧灵活性资源。

5.2.4 在建筑参与需求响应、辅助服务、需求侧管理等灵活性调节项目时，调节功率指标是指建筑用户在灵活性响应事件中实际调整的功率大小。以基准工况的基线负荷为基础，建筑可以在一定的响应时间内，灵活地调节自身用能和产能地功率，包括向上增加建筑能源负荷功率和向下削减功率。调节功率指标为正代表建筑灵活响应的实际负荷低于基线负荷，调节功率指标为负表征灵活性响应向上增加了建筑功率。认缴性能指标是响应期间实际功率调节量与目标调节值之比，表征灵活性调节的执行效果。在需求响应、辅助服务等调节项目中，用户事先承诺功率削减容量、提前上报响应能力确认值、或参与需求侧竞价，也有省市发布地辅助服务管理细则要求用户调节容量不低于准入门槛，调节功率和认缴性能指标的核算结果直接影响需求侧响应的补贴和收益。

5.2.5 调节电量指标是指建筑用户在灵活性响应事件中实际调整的电量大小，反映了用户参与需求响应的程度和效果，是衡量需求响应项目、辅助服务项目响应有效与否的关键指标之一。建筑参与短期和超短期的实时灵活性响应时，通常为单一方向的调节（向上增加功率和电量、向下削减功率和电量）。调节电量指标为正值表征整个响应过程中建筑的实际用电量增加，反之为实际用电量相较于基准用电量降低。反弹量指标是指在灵活性响应的调节结束后，建筑用电量相对于基线用电量的增加量。它反映了用户在响应调节后的用电行为恢复情况，对于评估灵活性响应的长期效果和可持续性具有重要意义。调节电量指标侧重灵活调节措施对建筑用电量的影响程度，而反弹量指标则反映了建筑在响应后的用电行为恢复情况，二者综合分析可以全面评估响应效果，为进一步优化灵活性调节策略、了解建筑用户响应潜力提供依据。

5.3 响应精度评价指标

5.3.1 在参与电网或者能源系统的灵活性调节过程中，基于提前规划的响应目标、电网或者能源系统提前给出的调节指令，建筑通过调节自身用能和产能需求，改变自身与电网或者能源系统的用电（用能）负荷功率曲线，实现提前给定的调节目标值。调节时段内，建筑实际用电（用能）功率值与目标功率之间的差异，可直接表征建筑灵活性调节的偏差和精准度，量化灵活性响应是否与调节目标一致。功率偏差率越小，建筑用电功率越接近电网指令目标值，负荷灵活性调节精度越高，建筑灵活性调节的潜力越大；功率偏差率越大，建筑用电功率越偏离电网指令目标值，负荷灵活性调节精度越低，建筑灵活性调节的潜力越小。平均波动率是指实际调节的负荷量波动率的平均值，反映了需求侧建筑灵活性资源在需求响应、辅助服务等灵活性响应的整个过程中，实际发挥的调节能力与目标值的平均差异，也能体现发挥调节作用的稳定程度。调节平均波动率的数值越小，说明建筑的调节能力越稳定；数值越大，说明调节能力的波动较大。

5.3.2 国家能源局、各省市能源局发改委等发布的电力辅助服务管理办法、辅助服务市场管理细则、需求响应管理方案等指导文件，对电力系统调节资源、柔性负荷参与电力系统调节达到目标值的情况、调节偏差和精确性进行考核。电量调节精度是指响应建筑或系统设备对目标值的精确调节能力。建筑能源系统根据调节指令进行功率响应，基于目标指令下用电量与实际运行用电量的差异，计算响应过程的

电量调节精度。较高的电量调节精度意味着整个灵活性调节过程中，建筑能够更准确地满足电网或能源系统的需求，提高电力或能源系统的稳定性和可靠性。

5.4 响应效益评价指标

5.4.1 响应特征指标可以从多个维度量化实时灵活性调节过程中的特性，响应精度指标可以定量评价建筑实际调节情况与电网给定调节目标之间的偏差高低和精准响应情况，二者能够量化建筑实时和规划的灵活性调节能力。但在灵活性调节过程中存在如下情况：1) 电网或能源系统未给出调节功率需求，而是给定调节目标（如，最大化削减峰值；降低能耗、碳排放、运行成本；消纳可再生能源等）；2) 电力系统或能源系统涉及源网荷储用多元组成，从建筑用户或业主、负荷聚合商的角度，直观量化利用建筑物灵活性获取的收益可以有效激励用户参与灵活响应。从电网运营商的角度，建筑和建筑群灵活性响应的削峰、节能降碳等效益情况也是十分重要的信息。因此建筑灵活性响应能力评价时，需要依据电网或能源系统具体的调节目标（节能降碳、降低运行费用、消纳可再生能源等），对整个响应过程及后续恢复期的效益指标进行计算和评价，分析利用建筑灵活性对应的收益获取情况。

5.4.2 响应效益是通过实施建筑灵活性响应策略和措施所带来的各种有益结果和价值，衡量建筑灵活性调节保障电力系统稳定、实现能源高效利用、建筑经济运行、促进可持续发展等方面所取得的成效。具体来说，建筑灵活性调节效益包含节能效益、降碳效益、经济性效益、可再生能源消纳效益、削峰效益等。建筑响应效益是对不同灵活性响应场景和目标下（削峰填谷、节能降碳、经济运行、可再生能源消纳），建筑参与调节的各项性能变化率和成效进行分析。有效的建筑灵活性调节和负荷管理有助于平衡电力供需，减轻电网压力，提高电网的稳定性和可靠性。削峰效益的考虑，即峰值负荷削减和峰谷差缩减情况直接反映了建筑响应对优化负荷分布方面的成效。节约能源、降低碳排放对于可持续发展至关重要。在建筑灵活性调节实现节能降碳的目标和场景下，通过衡量电能节约量和碳排放量降低幅度，可以直观地了解建筑能源灵活调节在减少能源消耗和碳排放方面的效果，有助于推动能源的高效利用和环境保护。随着能源供需两侧可再生能源比例的提升，可再生能源的消纳和最佳利用也是重要的灵活性调节场景。建筑能源灵活性响应可以优化用能和产能负荷，一定程度促进可再生能源的有效利用和消纳。可再生能源消纳效益指标，对于提高建筑可再生能源利用效率、促进电力系统可再生能源消纳具有

有益作用。建筑实施能源灵活性调节可能需要投入一定的成本、并能获取相应的收益，而评估电费节省和运营成本降低等情况，能够判断项目是否在经济上可行和具有可持续性。对于参与电网调峰的热泵系统，依据建筑系统运行控制情况、负荷响应效果、当地动态电价，计算响应及后续恢复期内建筑运行电费成本的变化。这对于建筑用户或决策者决定是否继续或扩大实施建筑能源灵活性响应项目具有关键作用。建筑灵活性响应效益的评价，与灵活性调节的目标一致，包含上述多维度方面的效益指标能够全面、系统地评估建筑灵活性调节和响应的价值，为进一步优化和推广需求侧建筑灵活调节提供有力的依据。

6 评价方法与流程

6.1 评估方法

6.1.1 本条文旨在明确建筑能源灵活性评价的整体流程和要求，建筑能源灵活性评估分为设计评估和运行评估两个阶段，评估过程中应对被评价建筑进行全面系统的了解，根据建筑施工图审、建筑竣工验收、使用率以及建设单位意愿等确定灵活性评估阶段。设计阶段评估指导建筑在设计阶段优化提升建筑灵活性潜力。建筑实际运行能源灵活性与设计阶段的理论评估值之间存在差距，需要考虑实际运行过程的多种影响因素，对项目运行阶段的灵活性潜力进行实测、分析、评价。

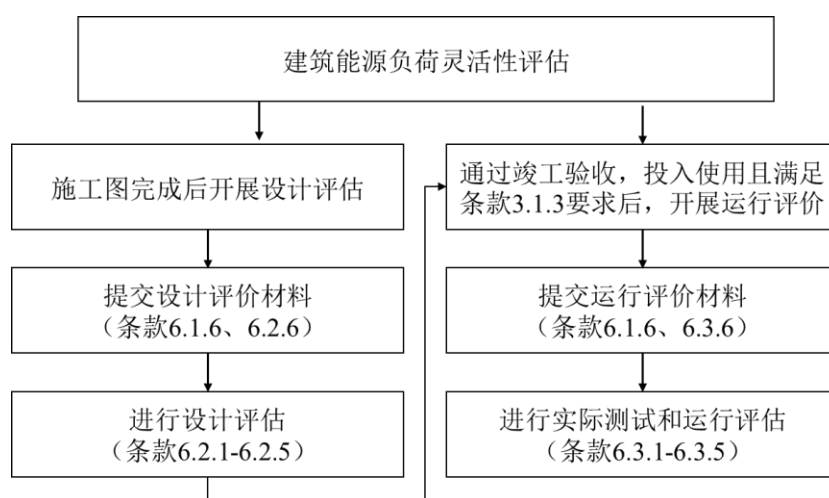


图 2 设计和运行阶段建筑能源灵活性评估流程

6.1.2 建筑能源灵活性能力设计和运行评价时，需要涵盖实时灵活性和规划灵活性两类方向的灵活性能力评价分析。需全面获取建筑在基准运行状态下的能源供应与需求原始数据、电力、热力、燃气等各类能源的使用状况。数据精细的清洗、筛选及整理操作，以保障后续分析所基于数据的准确性与可靠性。制定并明确建筑灵活调节的运行策略与管理方案，同时收集在调节工况下的能源供需数据，为量化评价指标计算和分析提供基础和依据。被评估建筑数据采集和记录内容应涵盖本标准第 5 章规定的评价指标计算所需参数数据。

实时灵活性指标计算重点聚焦于建筑在实时控制阶段对能源供需变动的响应能力。例如，在遭遇突发的能源供应波动或需求变化时，建筑是否能够迅速做出能源使用的调整以维持稳定运行。通过既定的精确计算公式与算法，将所收集的数据转化为可量化的实时灵活性指标。规划灵活性更侧重于建筑在日前或者中长期时间段内，面对多样化的能源供应和需求场景时，建筑提前规划和调整能源系统的能

力。完成各项指标的计算工作后，对建筑能源灵活性的结果展开深入分析与评价，并形成计算书和报告，为建筑的设计、运行和管理提供参考依据。

6.1.3 建筑在设计和运行阶段能可参与的灵活性调节类型多样，目前国内开展的需求响应、需求侧管理、辅助服务等项目，也可以参与建筑能源系统调节（建筑分布式可再生能源消纳、运行节能）等类型的调节。能源灵活性调节具有不同的调控时间尺度、调控目标和调控特征需求，应根据建筑实际调节类型和参与项目，对应本标准第 5 章的评价指标，开展相应维度的指标计算和测试分析，能够全面又准确的体现建筑在设计和运行阶段的灵活性潜力。

6.1.4 建筑能源灵活性评价工况应该保证建筑和能源系统处于正常运行状态和正常工作负载情况，避免系统负荷率差异较大或者系统异常运行对灵活性能力表现得影响。建筑具有暖通空调、蓄冷热设备、蓄电设备、可调节电器设备、可再生能源等灵活性资源，在进行灵活性潜力分析和评估时，应保证灵活性资源具有一定水平的初始可调能力，避免资源初始特征偏离正常工况过大或者过小对灵活性评估结果的影响。

6.1.5 在建筑用户参与需求响应等项目期间，基线负荷通常是指假设用户不参与需求响应的情况下，经计算得出的用户用电负荷。建筑基线功率和基线负荷曲线，为能源灵活性量化指标计算提供依据，是建筑能源灵活性潜力评价的基础。现行国家标准《需求响应效果监测与综合效益评价导则》GB/T32127 中给出了典型日的确定方法（工作日和非工作日）、基线负荷的计算和修正方法，可以用于确定未参与灵活性调控工况下的（基准工况）负荷和功率情况。此外，在电力需求响应和电力辅助服务的实施过程中，国内不同的省市发布的电力需求侧管理实施方案、辅助服务实施细则等指导文件，给出了基线负荷的计算原则和计算方法。建筑在进行能源灵活性评价的时候，测评日应为建筑正常时间期的典型日，并依据相关标准或者规定选取典型日并计算基线功率、基线负荷曲线，进而计算和评价建筑能源灵活性能力。

6.2 设计评估

6.2.1 建筑设计阶段灵活性评估应该在相关立项文件资料、施工图纸资料、建筑能源灵活性资源容量和性能检测的基础上，结合理论计算或者软件仿真模拟进行灵活性指标计算和潜力评估工作，并编制设计阶段评估报告。

6.2.2 建筑设计阶段能源灵活性评估的设置条件原则上应完全与设计文件一致，设计文件未明确规定的，则与国家现行标准规定一致。本标准建筑灵活性评价以能源功率和负荷曲线数据为基础，评价的结果以具体的指标和数值进行描述，因此在设计阶段必须进行理论计算或者仿真模拟。通过运用专业的计算方法和软件，获取建筑在基准工况和灵活调节工况下的用能产能功率和负荷曲线，可以得出实时灵活性和规划灵活性的量化结果，为评估提供具体而准确的数据支持。

6.2.4 文件审查主要对本标准第 6.2.6 条规定内容进行审查。现场检查建筑基本信息、设计阶段负荷计算文件、能源系统主要设备选型计算文件、主要灵活性资源型号和性能检测报告等文件进行现场核对。主要设备和灵活性资源的性能检测方法和要求满足现行国家和行业标准的规定。建筑基准工况和灵活调节工况下建筑用能和产能功率、负荷曲线是建筑能源灵活性量化指标计算和灵活可调潜力评估的重要基础。理论计算通常需要运行专业的计算公式或者数值分析对建筑能源需求和供应、系统可调灵活性资源运行的精确计算，为评估提供具体而准确的数值支持。或者结合建筑能源系统在基准和参与灵活调节等不同工况的系统运行控制策略，将设计方案、关键性能参数、控制策略参数输入能源负荷和能耗仿真模拟分析软件，仿真建筑用能产能功率和负荷曲线，根据能源灵活性量化指标定量分析建筑的灵活可调潜力及性能。

6.2.5 制定模拟计算方案是为了确保评估过程的科学性和系统性，灵活性量化评估的模拟方案应包括：采用的模拟软件的名称及版本、评估范围、建筑能源系统及灵活性资源设备的建模方法，输入参数的选择和获取方法、模拟计算流程以及结果输出形式等内容。动态模拟可以考虑诸如季节变化、日内负荷波动、用户行为模式等因素对建筑能源灵活性的影响，从而为评估提供更全面、更真实的数据支持。相同的输入条件主要指被评估建筑在气象参数、刚性运行系统及设备的运行策略、建筑人员密度等参数应一致，这些数据应通过调研收集、设备性能检测或者参照现行国家和行业标准设置。

6.2.6 设计阶段建筑能源灵活性量化指标计算和灵活性潜力评估，需要依据建筑基准工况和灵活调节工况的能源负荷数据进行。参与设计阶段评价的建筑提供的资料需要对应相关的指标和要求，提供项目的审批文件、设计文件、施工图及文件、能源系统设备和灵活性资源性能文件，并且需要对建筑能源系统运行策略和灵活

性调节方案进行说明，为建筑能源负荷仿真计算、灵活性量化指标计算、建筑灵活可调潜力评估提供基础。

6.3 运行评估

6.3.1 类似于建筑能源灵活性设计评估的文件审查，主要对本标准第 6.2.9 条规定的内容进行审查，结合实际运行数据进行能源灵活性指标的计算和建筑灵活性潜力的评估。新建项目大多数配置完善的能耗碳排放运行监测系统、分项计量系统，在确认数据可靠、准确的条件下，可充分利用监测数据开展评估工作，提高效率、节约成本。对于未配置能源系统能耗和运行情况监测系统的建筑，可以采用现场实际测试的方法获取能源灵活性评价的数据，对实测数据进行处理和指标计算，获得建筑运行实测的灵活性评估结果。建筑能源系统灵活性现场测试应由具备建筑能效测评资质的第三方检测机构开展。

6.3.2 建筑能源灵活性测试评估方案是基于实施层面的操作方案，宜包含建筑能源系统配置情况；测试系统、设备及测试数量，测试设备编号、位置、参数等信息；测试方法、依据规范及仪器配置等；测试时间规划、人员配置、测试条件等。此外，建筑能源灵活性的运行测试前应该确定运行工况典型日和基线负荷，调研建筑参与的需求响应、辅助服务、需求侧管理等灵活性调节项目类型，明确建筑在灵活调节期间的控制策略与运行管理方案。在实际运行测试期间，需要采集和记录建筑各项能耗、负荷数据、室内外边界条件参数数据等。依据本标准第 5 章规定的建筑实时灵活性和规划灵活性量化评价指标规定，定量计算和评价建筑运行的能源灵活性潜力。

6.3.4 建筑能源灵活性运行测试所使用的仪器仪表等设备具备准确性、可靠性和有效性，以保障测试结果的科学性和准确性。新建项目大多数配置完善的能耗运行监测、分项计量系统，在确认数据可靠、准确的条件下，可充分利用监测数据开展评估工作，提高效率、节约成本。合理的采集频率能够更精细地捕捉能源运行中的动态变化，有助于发现瞬时的异常和波动情况，从而更全面地了解建筑能源的运行特性。为了确保所采集的数据在精度上符合相关要求，避免采用的仪表精度不同测试结果的误差也会相差较大，使测试结果能够真实反映建筑能源的实际运行情况，参照《可再生能源建筑应用工程评价标准》GB/T 50801 等现行国家标准，统一仪器仪表的技术参数，参照取值如下表。

表 2 测试仪表准确度要求

名称	准确度等级	备注
电压传感器	0.5 (0.2) 级 ^a	FS (满量程)
电流传感器	0.5 (0.2) 级 ^a	FS (满量程)
温度计	±0.5℃	
湿度计	±3%	相对湿度
电能表	0.2 级	FS (满量程)
数据采集装置	0.2 级	数据宽带≥10MB/s

注：电能质量测量时的准确度要求为 0.2 级。

6.3.5 本标准中建筑能源灵活性评价以测试的数据为基础、评价的结果以具体的数值进行描述，因此在运行阶段必须进行实际测试。由于建筑用能和产能等能源负荷数据、建筑能源灵活性表现，随建筑参与灵活调节项目、季节和使用规律等变化，因此需要在规定的工况条件下进行测试，计算建筑能源灵活性的性能。对于设置用能产能监测系统或分项计量的建筑，可直接通过建筑监控计量系统记录和存储的数据，统计得到该建筑物在灵活调节工况和常规运行工况下的暖通风空调、照明、电梯、插座、给水排水、生活热水、炊事、特殊用能等各项的能耗和负荷数据，也可以获取建筑可再生能源系统产能数据。对于没有设置用能分项计量的建筑，可依据国家和行业现行标准方法，对建筑能源系统及设备的检测、测试方法开展实测和监测工作，获取相应运行实测数据（如《公共建筑节能检测标准》JGJ/T 177、《采暖通风与空气调节工程检测技术规程》JGJ/T 260、《可再生能源建筑应用工程评价标准》GB/T 50801 等）。被评估建筑数据采集和记录内容，应涵盖本标准第 5 章规定的评价指标计算所需参数，满足建筑灵活性量化指标计算和评价的需求。