

**T/CECS** XXX- 202X

中国工程建设标准化协会标准

建筑空调负荷柔性调节性能评价标准

Standard for assessment of load flexibility performance of building air conditioning

（征求意见稿）

**在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上**

\*\*\*\*出版社

中国工程建设标准化协会标准

建筑空调负荷柔性调节性能评价标准

Standard for assessment of load flexibility performance of building air conditioning

**T/CECS \*\*\* -20XX**

主编单位：深圳市建筑科学研究院股份有限公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：20XX年××月××日

xxx出版社

20XX 北京

**前 言**

根据中国工程建设标准化协会《关于印发< 2023第一批计划协会标准制定、修订计划>的通知》（建标协字[2023]10号）的要求，编制组经深入调研，认真总结实践经验，参考国内外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本标准。

本标准共分6章和1个附录，主要内容包括：总则、术语、基本规定、性能指标与要求、测试方法与要求、综合评价等。

本标准由中国工程建设标准化协会建筑环境与节能专业委员会归口管理，由深圳市建筑科学研究院股份有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中，如有意见或建议，请反馈给深圳市建筑科学研究院股份有限公司（地址：广东省深圳市福田区梅林梅坳三路29号建科大楼，邮编：518049，邮箱：kangjing@ibrcn. com）。

主编单位：深圳市建筑科学研究院股份有限公司

参编单位：深圳供电局有限公司

中国建筑科学研究院有限公司

中国电力科学研究院

华中科技大学

深圳大学

浙江大学

澳门大学

深圳恒实盛景科技有限责任公司

青岛海尔智能技术研发有限公司、

广东美的暖通设备有限公司

青岛海信日立空调系统有限公司

主要起草人：

主要审查人：

目 次

[1 总 则 1](#_Toc186225759)

[2 术 语 4](#_Toc186225760)

[3 基本规定 6](#_Toc186225761)

[4 性能指标与要求 9](#_Toc186225762)

[4.1 一般规定 9](#_Toc186225763)

[4.2 空调负荷柔性评价 10](#_Toc186225764)

[4.3 室内热环境要求 13](#_Toc186225765)

[5 测试方法与要求 15](#_Toc186225766)

[5.1 一般规定 15](#_Toc186225767)

[5.2 室外环境工况 17](#_Toc186225768)

[5.3 空调运行工况 17](#_Toc186225769)

[5.4 测试步骤 18](#_Toc186225770)

[5.5 测试次数及分辨率要求 20](#_Toc186225771)

[6 综合评价 23](#_Toc186225772)

[附录A：评价资料收集表 25](#_Toc186225773)

[用词说明 27](#_Toc186225774)

[引用标准名录 28](#_Toc186225775)

附：[条文说明 30](#_Toc186225776)

Contents

[1 General provisions 1](#_Toc186225759)

[2 Terms 4](#_Toc186225760)

[3 Basic requirements 6](#_Toc186225761)

[4 Performance indicators and requirements 9](#_Toc186225762)

[4.1 General requirements 9](#_Toc186225763)

[4.2 Flexibility of air conditioning electric load 10](#_Toc186225764)

[4.3 Indoor thermal comfort requirements 13](#_Toc186225765)

[5 Test methods and requirements 15](#_Toc186225766)

[5.1 General requirements 15](#_Toc186225767)

[5.2 Outdoor environment conditions 17](#_Toc186225768)

[5.3 Air conditiong working conditions 17](#_Toc186225769)

[5.4 Test procedure 18](#_Toc186225770)

[5.5 Test requirements 20](#_Toc186225771)

[6 assessment 23](#_Toc186225772)

[Appendix A：Table of assessement information collection 25](#_Toc186225773)

[Explanation of wording 27](#_Toc186225774)

List of quoted standards [28](#_Toc186225775)

[Addition: Explanation of provisions 30](#_Toc186225776)

# 1 总 则

1.0.1 为贯彻执行国家的技术经济政策，助力新型电力系统建设，强化建筑参与电力需求响应调节的功能，规范建筑空调负荷柔性调节性能评价的技术方法，加强空调负荷柔性测评现场可操作性，制定本标准。

【条文说明】

随着可再生能源发电技术的快速发展与碳减排政策的全面实施，近年来，可再生能源发电的增长与新型电力系统的建设要求用电侧具有更高的用电负荷调节灵活性。截至2020年底，我国风、光新能源开发规模居世界第一位，已占电源总装机20.3%，超过水电，成为第二大电源。该应用为电力系统创造了碳减排效益，但可再生能源的不可预测性可能会增加对市政电网的影响，降低并网期间的系统稳定性。新电网的建设必须能够应对和吸收可再生能源并网带来的不确定性，用户侧需求响应是上述挑战的重要解决方案。在电力需求侧众多可调节资源类型中，我国建筑负荷占社会用能的21.7%，并具有与电网负荷高峰时刻高度重合、柔性调节潜力大、相比新建电厂改造投资成本小的特点，是最优质的灵活资源之一。通过主动调节用电负荷的方式实现电网对用电的削峰、转移等控制目标，从而从传统“源随荷动”的用电模式转变为“荷随源动”。实践证明，通过建筑用电负荷大小的柔性调节，实现电力系统的灵活性削峰填谷、促进可再生能源消纳等重要作用，实现碳排放量的降低同时也减轻电力系统建设调峰电站的经济压力，对新型电网的建设意义重大。

从建筑用电能设备的柔性调节能力来看，空调系统利用室内空间的蓄热性能具有相当大的调节潜力。在制冷/供暖季节，建筑空调系统在一天中需持续开启近10h并消耗50%～80%的电力。更宽泛的室内舒适度要求意味着空调系统能够在保证热舒适性前提下，允许制冷/热量在一定范围内波动。由此可见，空调系统柔性调节是实现建筑与电网互动、进行用户侧灵活性调峰的重要方法。

从电力系统柔性调节功能要求来看，用户侧所能提供的调节服务分为需求响应与辅助服务，两者对包括响应类型、响应速度、调节时间及调节精度等的负荷调节性能有不同的要求。实现不同模式的柔性调节需要空调系统通过不同技术手段来实现，同时也需要合理且实用的方法来对以上技术特性进行检测与评价。

因此，为满足电力系统对用户侧柔性调节能力评估的需求，针对民用建筑空调系统的柔性调节特性测评方法技术进行引导性规范，对建筑与电网互动技术的发展十分必要。

* + 1. 本标准适用于建筑空调负荷柔性调节性能的现场检测与评价。

【条文说明】

本条规定了本标准的适用范围。目前，国内外科研及工程应用领域对电力系统以及建筑能源系统的柔性调节性能均有定义和评判标准，但是这些指标一般具有很强的通用性，并没有针对单体建筑在运行过程中的负荷调节能力的测试评价方法标准。同时建筑用电设备种类繁多，且具有不同的负荷特性，因此在进行建筑整体柔性能力评价的同时也要对典型用电设备的柔性可调节特性进行测评。空调系统作为建筑负荷占比最大的子系统，在满足室内热舒适条件下内具有更大的功率调节范围。目前仍缺乏能用于工程应用中空调负荷可调特性评估的合理指标与测试方法。在实际项目中，面对建筑功能与室外气象条件的变化，对于如何满足空调柔性性能测评的边界条件、定义监测参数、设计测试方案与步骤，缺乏现场操作指导。

本评价标准侧重于空调负荷的柔性调节性能评价，重点在建立对空调系统柔性调节特性的规范化现场测评方法。结合电力系统对用户侧调节能力的评估手段和性能要求，从指标定义、测试与验证方法、结果分析与能力分析等技术手段层面，编制本标准。以期定义简洁直观的空调柔性调节评价指标，规划化合理且操作性强的现场性能测试与评价方案，更为准确的评估民用建筑空调柔性可调能力等级。促进我国对建筑参与电力灵活资源调控能力评价技术发展，推动建筑参与新型电力系统建设与可再生能源消纳，降低能源系统碳排放助力实现“双碳目标”。

1.0.3 建筑空调性能检测除应符合本标准规定外，尚应符合国家现行有关标准和现行中国工程建设标准化协会有关标准的规定。

【条文说明】

建筑空调负荷柔性调节性能评价是建筑行业技术与电力行业技术的协同应用，涉及电能计量、电力基线判定以及信息遥测等技术。各专业技术都有相应的计量、计算、施工操作等规范。本标准仅针对建筑空调负荷的柔性调节特性现场测试与评价技术方法进行规定和要求，对专业性较强的内容未在本标准表述。所以，除满足本标准的要求外，也应同时遵守与工程应用相关的其他标准和规范。

# 2 术 语

2.0.1 建筑空调负荷 building air conditioning electric load

建筑中用于制冷或供暖的空调系统的运行用电负荷，包括中央空调、多联机空调、分散式空调等不同空调器与空调系统。

2.0.2 负荷柔性调节 load flexibility

用电设备在一定时间内，通过主动调控的方式使其用电负荷按照预定目标发生变化的过程。

2.0.3 基线负荷 baseline load

用户在需求响应期假定不实施需求响应的情况下，按一定时间周期统计计算的负荷曲线。

2.0.4 需求响应事件 demand response event

由电力需求响应实施机构发出包含电价、负荷容量、时间等信息的报文，用于的指导建筑用电在规定时间段内完成一定目标的负荷调节。

2.0.5 测评工况 operating condition of testing

进行建筑空调负荷柔性调节性能测评时所需要满足的环境以及设备运行状态条件，包括温度、相对湿度、空调设备负荷率等要求。

2.0.6 室内环境热舒适性 comfort zone of indoor environment

在有人员活动的条件下，为了满足人员舒适，建筑室内温度及相对湿度需要维持的区间。

2.0.7 响应时间 load response time

在需求响应事件中，用电设备自接收到调节指令到功率变化首次达到调节要求的时间长度。

2.0.8 持续调节时间 load response duration

在需求响应事件中，用电设备在完成负荷柔性调节所持续的时间长度。

2.0.9 调节时间段 demand response duration

在需求响应事件中，用电设备从接收到需求响应调节指令到完成负荷柔性调节所持续的时间长度，其值等于响应时间与持续调节时间的和。

2.0.10 响应目标 load response target

在需求响应事件中，建筑用电设备通过主动调节，实现功率变化后期望达到的功率调节目标。

2.0.11 响应精度 precision of demand response

在需求响应结束后，用于评价建筑用电负荷响应准确性的性能指标。

2.0.12 回弹功率 air conditioning rebound power

在空调柔性调节结束后，空调功率会出现超过原基准值的现象，该超出部分即为回弹功率。

# 3 基本规定

3.0.1 【评价对象】建筑空调负荷柔性调节性能评价对象应为建筑中已投入使用的空调系统，评价对象的空调系统可以是多种形式。

【条文说明】

本条文规定了建筑空调负荷柔性调节性能评价对象的范围。首先，本标准以应用于建筑中并且已投入使用的空调器或者空调系统为评价对象，以评价设备及系统在使用过程中所表现主动负荷调节能力作为柔性评价依据。其次，本标准用于评价不同形式的建筑空调系统，包括分散式空调、多联机空调、包括冷水机组与热泵机组在内的中央空调。水蓄冷、冰蓄冷以及增设蓄热水箱的空调系统可通过调节释冷/热量来实现负荷柔性调节，同样可参考本标准对其柔性性能进行评价，

3.0.2 【阶段评价】建筑空调负荷柔性调节性能评价应在满足室内环境品质要求的运行工况下进行。

【条文说明】

本条文旨在规范建筑空调负荷柔性调节评价的实施流程，确保评价结果的有效性和可靠性。建筑空调柔性调节性能需要在满足室内使用人员热舒适要求的基础上进行其功能评价，需要将室内热环境作为评价过程约束条件。建筑在使用过程中，人员在室率对室内产热量影响较大，活动人员越多，室内产热量越高导致空调冷负荷量加大。评价建筑空调柔性调节性能是在空调系统能满足建筑制冷需求的前提下，检测其功率主动调节能力大小。综上所述，评价过程需要在建筑空调系统为室内人员进行制冷/供暖的工况进行，同时保证较高的人员在室率。本条文对建筑空调运行条件进行了规范，为需要测评的建筑空调系统以及提供以及测试人员提供参考依据。建议柔性评价在建筑空调投入运行半年后开展，评价时段建筑空调房间的人员在室率宜达到60%及以上，建筑空调房间环境满足《建筑环境通用规范》GB 55016-2021相关要求。

3.0.3 【冷热工况规定】空调负荷柔性测试应区分空调运行的制冷与供暖工况，应至少选择其中一种工况进行测评。

【条文说明】

实际工程中空调一般在空调季开启使用，夏热冬暖地区空调一般仅用于制冷，夏热冬冷地区、寒冷地区等用于制冷与供暖。空调制冷与供暖工况下有不同的室外环境温度、空调设定温度以及室内舒适度范围，因此在空调系统实现柔性运行时应明确区分以上两种工况。为简化测评过程并增加可操作性，测评时选择其中一种工况实施即可。

3.0.4 【空调负荷定义】建筑空调负荷应遵守以下原则：

1. 分散式空调负荷包括整机运行功率；

2. 多联机空调负荷包括室外机运行功率；

3. 中央空调负荷包括主机、空调机房中的冷冻水泵、冷却水泵功率，冷却塔、机房外的水泵、末端风机盘管以及备用设备功率不应计算在内。

【条文说明】

本条文规定建筑空调负荷所包含的范围，便于在检测评价过程中对空调系统的功率计量。建筑空调可分为分散式空调、多联机空调和中央空调。根据不同系统的特点，实际工程应用中，分散式空调功率计量为整个系统；多联机空调功率计量可分为室外主机和室内机；中央空调功率计量较为分散，包括冷水机主机、水泵、冷却塔、新风系统的空气处理器以及末端风机盘管等子系统。建筑空调负荷柔性调节是描述空调系统主要电功率响应的能力，因此必须包括占比最大的主机运行功率。考虑到工程现场情况的多样与复杂程度，多联机空调室内机功率计量较为分散且会增加测评难度，因此对其不做强制性要求。中央空调的柔性调节方式更为复杂，调节过程中各子系统运行相互影响和约束，因此中央空调的负荷应以空调机房为边界，包括主机、水泵等所有设备功率。冷却塔和末端风机盘管离机房较远，功率计量也会增加测试难度，因此也不做强制要求。中央空调机房中的备用设备或测评期间未启动运行的设备，不应计算在测评当中。

3.0.5 【文件依据】申请评价方应至少提供下列文件资料作为评价依据：

1 空调系统设备信息；

2 建筑基本信息；

3 建筑空调系统运行时间及功率监测数据；

4 申请评价方应对所提交资料的真实性和完整性负责。

【条文说明】

本条文规定了建筑空调柔性性能评价应提供的材料，作为测评依据。包括空调系统信息、建筑信息，以及能耗信息。

第1款，空调系统设备信息包括制冷/供暖量、额定工况、主要设备类型及额定功率等，提供以上文件为了确保关键设备质量符合设计和国家有关标准的要求。同时应提供空调系统投入使用时间，确保测试时空调系统已正式投入运行。

第2款，建筑信息包括建筑名称、建筑面积、建筑投入使用时间、建筑类型。建筑面积与主要建筑功能用于估算建筑全年用能情况与建筑特征；人员作息以及使用人员数量范围用于估算空调系统的运行时间和冷/热负荷变化规律，人员作息可通过建筑类型进行判断，使用人员数量范围通过建筑面积估算。性能测试需要在人员工作日且空调系统正常开启运行时进行。

第3款，建筑空调系统运行时间是建筑运行过程中，空调系统的启停规律，有助于测试时间的确定。建筑空调功率监测数据包括制冷季/供暖季典型工作日和非工作日的24 h逐时用电负荷曲线。建筑空调逐时负荷曲线作为柔性调节性能评价的重要参考数据，可选择制冷季/供暖季中满足工况要求任意一天或若干天平均值。

# 4 性能指标与要求

## 一般规定

4.1.1 【单次调节评价】建筑空调负荷柔性调节性能评价应以单次调节为准，调节持续时间不应低于30min。

【条文说明】

建筑空调负荷柔性调节评价主要侧重于评价其自身用电功率曲线与外部功率需求曲线之间的匹配程度，既可包括根据电网用电指令来进行实时功率调节，也包括通过短时间调节功率实现削峰填谷目标，还包括根据实时电价、电力动态碳排放因子变化等主动进行柔性用电调节的能力等。

目前全国各地普遍开展的需求响应机制研究，主要是针对用户侧单次负荷调节能力的要求，既在特定的时刻，按照与需求响应管理机构的约定，一次性的降低或提高运行功率并保持一定时间的能力。目前电力市场中，需求响应调节的时间长度一般为15min至1h范围，期间调节指令保持不变，用户可采取多种手段改变用电功率，实现需求响应目标。对于建筑空调系统这种热惯性较大且非线性系统而言，负荷调控时间相对较长。尤其针对大型中央空调系统，较短时间的调控无法体现柔性调节效果。因此柔性评价时的调节时间长度应不低于30min，且实际测评时间长度宜在充分考虑空调系统的运行特征及建筑热物性性能前提下，综合进行选择确定。

* + 1. 【针对空调功率变化】空调负荷柔性调节性能应基于建筑分散式空调、多联机空调或中央空调的功率在调节时间段的变化情况进行分析评价。

【条文说明】

本条文规定了负荷柔性评价所监测有效数据的时间范围。在负荷柔性性能测试过程中，需要用空调系统进行响应时的功率变化曲线与基线功率曲线进行比较，此时的功率数值表示空调负荷因柔性调节发生的变化结果。因此该条文约束只有在调节时间段的功率变化才是负荷柔性评价的有效依据，其他时间段因天气、人员等因素导则的负荷波动不应算作负荷柔性调节效果。

4.1.3 【空调负荷基线】空调负荷基线应选择相似工况，相同时段下前五天空调功率应按平均值计算。

【条文说明】

本条文规定了空调负荷基线的计算原则。基线功率是空调负荷的历史功率平均值，为了保证计算得到的基线功率能代表空调负荷的常规工况，用于计算的功率曲线应尽可能相似。因此，本条文规定用相似工况下的相同时段负荷曲线计算空调基线功率。相似工况指的是空调工况要大致相同，如室外温度偏差较小、办公建筑同为工作日等。相同时段指的是一天中的同一时间段，如10:00~13:00的基线功率为前五天空调负荷在10:00~13:00时间段的逐时平均值。

## 空调负荷柔性评价

4.2.1 【指标类型】空调负荷的柔性调节性能评价指标应包括柔性效果评价指标与柔性过程评价指标。

【条文说明】

柔性用电是建筑参与电力用户侧需求管理的关键能力，也是空调负荷柔性调节评价的重点。柔性用电能力评价主要侧重于评价其自身用电功率曲线与外部需求曲线之间的匹配程度，既可包括根据电网用电指令来进行实时功率调节，也包括需求响应时短时间调节自身用电功率，还包括根据实时电价、电力动态碳排放因子变化等主动进行柔性用电调节的能力等。

目前全国各地普遍开展的需求响应机制主要是针对单次调节能力的要求，既在特定的时刻，按照与需求响应管理机构的约定，一次性的降低或提高运行功率并保持一定时间的能力。调节的时间长度一般为15min至1h范围内，期间调节指令保持不变，用户可采取多种方式达到功率响应目标。

4.2.2 【效果评价】建筑空调系统的负荷柔性调节效果评价应包含调节比例和调节精度，并应符合下列规定：

1 调节比例应按下列公式计算：

（4.2.2-1）

（4.2.2-2）

（4.2.2-3）

式中： ——空调系统在t时刻的调节功率（kW）；

——空调系统在t时刻的实际功率（kW）；

——同一时刻不调节时的基线功率（kW）；

——空调系统调节功率（kW）；

——调节时段，空调系统以最大可调节功率为目标进行调节时，空调系统可以保持的最大可持续的调节时间(min)。

——空调系统基线功率（kW）；

2 调节精度表示调节过程中实时功率与空调系统调节功率的最大差异，其值应不高于基线功率的20%，应按下列公式计算：

（4.2.2-4）

式中： ——空调系统柔性调节过程中，最大调节功率（kW）；

——空调系统柔性调节过程中，最小调节功率（kW）。

【条文说明】

建筑空调系统可采用多种控制方式实现自身用电功率的调节，其调节能力体现在可向上调节或向下调节的功率。以基线功率*P0*为基础，在保障室内热舒适性得到满足的情况下建筑空调系统可以向上调节或向下调节自身用电功率，并可保证一定的调节时长（例如持续进行功率调节1小时、2小时）。电力辅助服务市场或者辅助服务管理实施细则中明确向上或下调节能力应不低于门槛值，邀约型调节能力突出的核心能力在于建筑楼宇可以提前安排设备运行策略，通过手动或者自动方式满足邀约时段的功率控制目标。从全国各省对电力需求响应的管理要求上看，一般规定需求响应用户在电力响应过程中，调节功率不应低于目标值的80%或者高于目标值的120%，否则应判定为响应失败或修正响应能力。空调柔性运行作为建筑参与电力需求响应的调控手段，应对其响应过程的功率波动进行相应规定。本标准规定空调系统调节精度控制在调节功率20%内，符合电力需求响应管理要求。



图4.2.2 柔性调节效果评价指标示意图（黑色实线为基准负荷，灰色实线为运行负荷，灰色虚线为调节功率）

4.2.3 【过程评价】建筑空调负荷柔性调节过程评价指标应包括回弹功率比。

【条文说明】

本条文规定建筑空调负荷柔性调节过程评价指标内容。评价指标选择参照了《南方区域电力辅助服务管理实施细则》中对可调节负荷相关性能要求，同时也考虑了建筑空调负荷运行特性。这些指标一方面对应电网调度需求，另一方面也兼顾了建筑设备运行控制要求，保证空调柔性调节符合电网对用户侧需求管理的目标。



图4.2.3 柔性调节过程指标示意图（黑色实线为基准负荷，灰色实线为运行负荷，黑色虚线为运行负荷偏差范围）

4.2.4 【回弹功率比】建筑空调系统回弹功率（）是空调负荷在调节时间结束后15min内相对基线功率出现的最大偏差，回弹功率比（）为回弹功率与基线功率的比值，应按下式计算：

（4.2.4-1）

（4.2.4-2）

【条文说明】

功率回弹是建筑空调柔性调节结束后特有的现象。当空调功率向下调节时，室内制冷量/供暖量不足，导致室内温度偏离空调设定温度。当空调结束响应后，为了让室内温度重新回到空调设定温度，空调系统会增加其功率提供更多制冷量/供暖量，这将导则短时间内空调功率有个较大提高，即是功率回弹现象。从电力需求响应管理来看，电力系统不希望用户侧在调峰后又出现负荷峰值，因此回弹功率应尽可能小。一般建筑空调的功率回弹在结束响应后的2min~10min内出现并达到最大值，考虑到电力需求响应以15min为一个功率计量点，因此回弹功率的计算选取调节结束后15min内的功率变化值。并利用回弹功率与基准功率的比值来评价负荷调节过程的性能，回弹功率比越小，意味着功率控制越符合电力需求响应要求，柔性过程控制特性越好。

## 室内热环境要求

4.3.1 【热舒适对象】室内热舒适性应选择建筑的典型功能房间内温度及相对湿度进行判断。

【条文说明】

本条文规定了室内测量参数。室内热舒适影响因素较多，包括温度、湿度、风速、人员活动模式以及穿衣模式等，并且影响机制比较复杂。因此需要准确描述室内热舒适程度具有一定难度，且工程可操作性较低。考虑到减少不必要的参数测量、提高测评工作效率的原则，选择温度和相对湿度两个物理参数作为室内热舒适性的评价指标。以上两个参数对室内热舒适性影响较大，并且测量方法简单易实施，同时也是工程应用中最常用的热舒适评价手段。室内热舒适性测量应选择由被测空调系统制冷/供暖，且具有代表性的典型功能房间，温度和相对湿度的测量方法和测量器具符合相关国家标准。

4.3.2 【制冷热舒适】在制冷工况下，空调进行柔性调节过程中室内温度应保持在24℃~28℃，室内相对湿度不高于70%。

【条文说明】

制冷工况的热舒适要求根据《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB 50736-2012中室内空气设计参数规定确定。针对人员长期逗留区域的舒适性空调室内设计参数涵盖Ⅰ级和Ⅱ级，根据舒适性Ⅰ级和Ⅱ级确定范围，在制冷工况下室内温度应在24~28℃之间，相对湿度≤70%。

4.3.3 【供暖热舒适】在供暖工况下，空调进行柔性调节过程中室内温度应保持在18℃~24℃，室内相对湿度不低于30%。

【条文说明】

供暖工况的热舒适要求根据《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB 50736-2012中室内空气设计参数规定确定。针对人员长期逗留区域的舒适性空调室内设计参数涵盖Ⅰ级和Ⅱ级，根据舒适性Ⅰ级和Ⅱ级确定范围，在供暖工况下室内温度应在18~24℃之间，相对湿度≥30%。

# 5 测试方法与要求

## 5.1 一般规定

5.1.1 【测试工况】建筑空调负荷柔性性能测试应满足下列条件：

1 在测试前，应确保建筑空调连续正常运行3d~5d；

2 应选择与基线功率相似工况作为测试日；

3 应选择在制冷/供暖季进行测试；

**【条文说明】**

本条文首先规定建筑空调负荷柔性性能测试的测试工况条件。测试工况首先规定了测试前建筑空调系统应处于正常运行状态，避免系统异常或负荷变化较大不能准确反映系统的性能指标；测试日当天的室外环境、建筑人员在室情况对空调负荷的大小影响较大，从而直接影响柔性调节能力评估结果。为了缩小测试时段的空调负荷与基线功率的差异，室外温度变化不宜太剧烈，规定选择与负荷基线获取时间段相似工况的日期作为测试日。为了保证结果能更好反应建筑空调系统柔性调节能力水平，测试应选择在当地具有典型空调工况的制冷/供暖季进行。

5.1.2 【基线功率】空调基线功率为被测空调系统的基准负荷情况，基线功率应与空调负荷所包含范围保持一致。在性能测试时，基线负荷的计算应满足现行国家标准《电力需求响应监测与评价导则》GB/T 32127-2024或建筑所在省电力需求响应基线计算规则的要求。

【条文说明】

基线功率是计算柔性指标的基础。《电力需求响应监测与评价导则》GB/T 32127-2024中给出了基线功率的计算和修正方法，可以作为测试基线功率的确定方法。在电力辅助服务实践中，不同省市有可能会依据自身情况，给出不同的基线确定方法，因此在本标准中也规定可采用本地的基线确定方法。当本地没有规定时，应以按照国标GB/T 32127规定的方法计算基准功率。条文3.1.4中定义了空调负荷的组成，因此测试中基线功率应包含被测空调负荷的所有组成元素。基线功率获取日期应安排在建筑正常使用且空调系统开启期间，并建议获取建筑空调系统逐时用电功率曲线作为基本用电特征信息，为柔性调节能力测试提供依据。

5.1.3 【数据采集】功率数据采集频度不低于1min/次采集频度，温度及相对湿度数据采集频度不低于10min/次采集频度。

【条文说明】

本条规定了测评物理量采集的最低频次要求。测评物理量包括空调系统的功率、室内温度、室内相对湿度。其中功率采集仪表相对精度高，采集频次快，在保证评价准确前提下规定功率数据采集频度不低于1min/次采集频度。室内温度及相对湿度在短时间内变化不大，且这两项物理量的测量精度较低，因此规定其数据采集频度不低于10min/次采集频度。

5.1.4 【测量仪表】建筑空调负荷柔性调节测试所使用的仪器设备应满足国家现行有关标准的规定，并应定期校准，仪器设备准确度等技术要求应满足表5.1.3的规定。

表5.1.3 测试仪表准确度要求

| **名称** | **准确度等级** |
| --- | --- |
| 电压传感器 | 1.5级 |
| 电流传感器 | 1.5级 |
| 温度计 | ±0.5℃ |
| 湿度计 | ±5% |
| 电能表 | 0.5S级 |

【条文说明】

本条文规定测试仪表准确度的基本要求，目的在于确保各建筑空调负荷柔性调节性能测试结果的准确性和一致性。相同的参数可以采用多种测量设备和方法，采用的仪表精度不同，测试结果的误差也会相差较大，因此有必要统一仪器仪表的技术参数。本条文取值参照现行国家标准《可再生能源建筑应用工程评价标准》GB/T 50801以及《民用建筑室内热湿环境评价标准》GB/T 50785的要求，并结合工程应用情况进行调整。

## 5.2 室外环境工况

5.2.1 【制冷工况室外环境】在制冷工况下进行空调负荷柔性测试，室外温度不宜低于30℃，宜选择6月至9月开展测试。

【条文说明】

根据《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB 50736-2012中夏季空气调节室外计算干球温度参数，对于大多数地区该数值大于33℃。考虑到测评可操作性，规定测评时段室外温度不应低于30℃，即降低测试边界条件要求，又能保证空调负荷处于较高水平。在空调制冷季中，一般7、8月为平均温度最高月份，柔性测试应尽量选择这两个月进行。考虑到某些功能建筑，如学校，在7、8月的负荷率较低，测试结果不具代表性。因此为了保证结果的有效性适当扩大测试可选择日期，将测评时间延长到6月至9月。

5.2.2 【供暖工况室外环境】在供暖工况下进行空调负荷柔性测试，室外温度不宜高于8℃，宜选择11月至2月开展测试。

【条文说明】

根据《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB 50736-2012中对建筑供暖的一般规定，日平均温度稳定低于或等于5℃则开始供暖。考虑到测评可操作性，规定测评时段室外温度不应高于8℃，即降低测试边界条件要求，又能保证空调负荷处于较高水平。在空调供暖季中，一般12、1月为平均温度最低月份，柔性测试应尽量选择这两个月进行。考虑到某些功能建筑，如学校，在12、1月的负荷率较低，测试结果不具代表性。因此为了保证结果的有效性适当扩大测试可选择日期，将测评时间延长到11月至2月。

## 5.3 空调运行工况

5.3.1 【制冷工况室内环境】测试开始前30min，制冷工况下空调室内温度应保持在24℃~28℃，相对湿度≤70%。

【条文说明】

根据《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB 50736-2012中室内空气设计参数规定，针对人员长期逗留区域的舒适性空调室内设计参数在制冷工况下室内温度应在24℃~28℃之间，相对湿度≤70%。因此规定在测试开始前30分钟内，室内温度及相对湿度处于上述范围，表示此时在空调制冷的作用下，建筑室内环境已达到舒适度要求。

5.3.2 【供暖工况室内环境】测试开始前30min，供暖工况下空调室内温度应保持在18℃~24℃。

【条文说明】

根据《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB 50736-2012中室内空气设计参数规定，针对人员长期逗留区域的舒适性空调室内设计参数在供暖工况下室内温度应在18~24℃之间，相对湿度≥30%。因此规定在测试开始前30分钟内，室内温度及相对湿度处于上述范围，表示此时在空调供暖的作用下，建筑室内环境已达到舒适度要求。

5.3.3 【测试前稳定性要求】测试开始前30min，空调系统总功率波动不应超过平均功率的20%。

【条文说明】

当室内热环境没有达到平衡状态时，空调系统负荷并未达到稳定状态。只有达到热平衡后，空调负荷才会下降并保持稳定。在负荷柔性性能测试前，必须建立稳定的初始测试条件，保证空调系统达到稳定运行状态，降低柔性调节过程干扰因素的影响。

## 5.4 测试步骤

5.4.1 【测点选择】室内温湿度测点应提前于测试时间一天布置，测试前至少采集12h室内温湿度，室内温湿度测量点位置应具有代表性。

【条文说明】

本条文规定测试开始前对室内温度及相对湿度的测量要求，包括对测量时间长度与测点布置的基本要求。一般来说，建筑室内很少有温湿度测量仪器，因此需要提前一天在被测建筑室内空间布置温湿度测量仪器，并要求在测试前采集不低于12小时的温度及相对湿度数据。测量点的布置应考虑不同类型空调的系统差异，兼顾测试的可操作性与效率。分散式空调为特定房间制冷/热，只需要测量该房间温湿度。多联机空调为特定楼层或特定若干楼层制冷/热，温湿度测量点需要分散布置在某一楼层的内外区，以及室外得热量最大的房间。中央空调系统为整栋建筑制冷，根据水系统管路距离冷机的长度大致分为近端、中间端以及远端，温湿度测量点应在以上三段水系统所负责的制冷房间分别布置。原则上室内温湿度的测点位置应具有代表性，能尽可能表征不同空调负荷大小程度的空间的温湿度情况，可选择在不同分区或不同的制冷（暖）回路位置进行布置。对一般建筑室内温湿度测量点的布置，本标准建议如下：

1 分散式空调

在空调制冷/供暖房间布置一处测量点；

2 多联机空调

在建筑由多联机制冷/供暖的某一层，分别在内区、外区以及外墙（窗）面积占比较大的制冷/供暖房间设置三处室内温湿度测点；

3 中央空调

由中央空调系统制冷的建筑中，室内温度测点布置可按以下方式：

1) 在空调水系统管路近端覆盖的楼层中任选择一层，分别在内区、外区设置两处室内温湿度测点。

2) 在空调水系统管路远端覆盖的楼层中任选择一层，分别在内区、外区设置两处室内温湿度测点。

3) 在空调水系统管路中间端覆盖的楼层中任选择一层，分别在内区、外区设置两处室内温湿度测点。

4) 如果现场不具备内区的温湿度测点布置条件，也可以只设置楼层制冷外区温湿度测点。

同时，测量点的布置与测量要求需符合室内温湿度测量相关国家标准规定。

5.4.2 【调控方式】应通过楼宇自控平台下发或手动调节方式给建筑空调系统下达柔性调节指令。

【条文说明】

本标准目的在于规范化建筑空调负荷柔性调节性能评价方法，并不对实现柔性的手段进行约束，因此可以通过自控系统、手动调节等多种方式实现空调柔性运行。为保证测试准确性，应尽量保证指令下发的同时性。指令为建筑空调系统的可控参数，包括不限于末端的开关状态、运行模式、设定温度等，及主机侧频率、功率或水温调整等。建筑空调系统可能同时包含多个系统或多种系统型式，宜通过集中管控平台同时进行指令下发。

5.4.3 【调控过程边界】测试开始前，应记录空调系统运行状态。

【条文说明】

空调负荷柔性调节测评在建筑空调的常规运行工况下进行，记录测试开始前的空调常规运行状态，包括但不限于室内空调设定温度、冷水机组运行设定值、系统运行模式。

5.4.4 【测试结束】测试结束后，应恢复建筑室内环境与空调系统初始运行状态。

【条文说明】

测试结束后，建筑室内环境需要恢复至调节前状态，同时空调系统应恢复到测试前的常规运行状态，包括但不限于室内空调设定温度、冷水机组运行设定值、系统运行模式。

## 5.5 测试次数及分辨率要求

5.5.1 【峰电时段测量】测试时段宜结合当地峰谷分时电价，选择位于白天的峰电时段内。

【条文说明】

电力需求响应通常选择市政电网中电力供应紧张的时间段，一般来说都是处于当地峰谷分时电价的白天峰电时段。同时，该时间段建筑空调负荷相对更高，有利于柔性调节测试的进行。以此为了尽可能反映空调柔性调节在电力需求响应时段的作用与功能，测试宜选择白天峰电时段进行，并建议建筑空调区域中的空调尽可能开启，提高空调负荷与测试的可操作性。

5.5.2 【测量次数】建筑空调负荷柔性调节测试应进行至少连续三次测试，取其中平均值作为评价依据。

【条文说明】

建筑空调柔性调节过程中可能会受到室内人员在室率、室外温度变化情况以及空调系统设备运行状态的影响，空调负荷将会出现明显的波动，导致测试结果具有不确定性。为了尽可能的消除测试过程中出现的随机误差，规定柔性调节测试不应小于连续的三次，选择平均值结果作为评价依据。

5.5.3 【测量参数分辨率】测量物理参数包括功率、温度及相对湿度，参数分辨率应分别达到0.1kW、0.1℃以及1%。

【条文说明】

空调功率、室内温度以及室内相对湿度是建筑空调负荷柔性测评的三个重要监测物理参数，且评价指标值也由以上物理参数计算得出。为确保计算结果更有利于数值分析，结合测量精度提出以上参数采集的分辨率最低要求。

5.5.4 【中央空调监测】中央空调系统宜配置能量管理系统，用于监测空调运行过程中电参数、运行状态参数、环境参数。各参数基本要求如下：

1 电参数主要包含电压、电流与功率。

2 运行状态参数主要包含开关机状态、运行模式、运行温度。

3 环境参数主要包括环境温度、环境湿度。

【条文说明】

一般来说，分散式空调与多联机空调基于成本考虑，不会在本地配置能源管理系统；而中央空调由于其设备多、系统运行复杂，其负荷管理与状态监测的难度明显高于前两者。因此在工程应用中，中央空调系统一般会配置能源管理系统用于监测功率变化、运行状态等，并具备系统故障报警及保护功能。空调柔性评价需要基于空调负荷的监测与计量进行，建议相对复杂的中央空调系统配置能量管理系统，并对空调系统的电参数、运行状态参数以及环境参数进行监测，便于空调柔性过程的性能分析与评价。

# 6 综合评价

6.0.1 【分三等级】建筑空调负荷柔性等级分为一级、二级、三级3个等级。

**【条文说明】**

无。

6.0.2 【温湿度的否决项】空调柔性运行测试时间段内，建筑室内温度或相对湿度超出第4章第4.3节中舒适度范围，且持续时长不应低于10min时，应判定为调节结束。此时持续调节时间长度为调节开始时刻到首次不满足室内舒适性的时刻。

【条文说明】

本条规定了室内舒适性作为边界条件可用于判断空调系统柔性调节结束时刻的规则，当室内温度或相对湿度超出舒适度范围并维持一段时间时，代表此时空调制冷/供暖无法维持房间热舒适，应该结束柔性调节并恢复正常运行工况。柔性持续调节时间从开始调节计算，直到室内温度或相对湿度首次不满足舒适度要求的时刻。若此调节时间不足30min，根据本标准4.1节规定，应判定柔性调节不合格。

6.0.3 【等级评价值】考虑室内温湿度舒适度区间前提下，依据柔性调节能力测试结果，应按表6.0.3的规定进行负荷柔性调节性能评价等级的判定。

表 6.0.3

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 等级评价指标 | | | 一级 | 二级 | 三级 |
| 空调负荷柔性调节性能评价指标 | 分散式空调与多联机空调 | 调节比例 | 10~20% | 20~30% | 不小于30% |
| 回弹功率 | 25% | 25% | 25% |
| 中央空调 | 调节比例 | 5~10% | 10~20% | 不小于20% |
| 回弹功率 | 50% | 50% | 50% |

【条文说明】

本条文参照削峰填谷、自动功率响应和调频等辅助服务的技术要求对建筑空调负荷柔性性能进行了等级划分，同时兼顾了不同空调系统柔性调节的难易程度。对建筑空调设备本身来说，分散式空调和多联机空调一般为整机设备，运行控制较为简单，因此负荷柔性调节难度较低，响应时间短，功率回弹容易抑制。中央空调系统包含多个子系统，运行控制逻辑更为复杂，因此负荷柔性调节难度相对较高，响应时间长，功率回弹较难抑制。本条文针对不同空调系统的运行特征，结合实际工程经验定义建筑空调负荷柔性性能等级。

评价过程中，如各项指标均达到该等级要求，则可判定系统整体达到该等级要求；如有一项或几项低于该等级要求，则应按照低一等级进行判定。

# 附录A 评价资料收集表

A.0.1 建筑空调负荷柔性调节性能评价资料收集按照表A.0.1格式确定。

表A.0.1 建筑空调负荷柔性调节性能评价资料收集表

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1. 空调系统设备信息 | | | | | | | | |
|  | 设备类型 | 制冷/供暖量 | | 额定工况 | | 额定功率 | | 数量 | |
| 分散式空调 | 空调整机 |  | |  | |  | |  | |
| 多联机空调 | 室外机 |  | |  | |  | |  | |
| 室内机 |  | |  | |  | |  | |
| 中央空调 | 冷水机组 |  | |  | |  | |  | |
| 冷冻水泵 |  | |  | |  | |  | |
| 冷却水泵 |  | |  | |  | |  | |
| 冷却塔 |  | |  | |  | |  | |
| 2. 建筑信息 | | | | | | | | |
| 建筑名称 | | 建筑面积 | | | 投入使用时间 | | | |
|  | |  | | |  | | | |
| 建筑类型（多选） | |  办公   商业   酒店   医院   文教   居住 | | | | | | |
| 3. 建筑空调系统功率监测数据 | | | | | | | | |
|  | 1d空调功率 | 2d空调功率 | 3d空调功率 | | 4d空调功率 | | 5d空调功率 | |
| 0:00 |  |  |  | |  | |  | |
| 1:00 |  |  |  | |  | |  | |
| 2:00 |  |  |  | |  | |  | |
| 3:00 |  |  |  | |  | |  | |
| 4:00 |  |  |  | |  | |  | |
| 5:00 |  |  |  | |  | |  | |
| 6:00 |  |  |  | |  | |  | |
| 7:00 |  |  |  | |  | |  | |
| 8:00 |  |  |  | |  | |  | |
| 9:00 |  |  |  | |  | |  | |
| 10:00 |  |  |  | |  | |  | |
| 11:00 |  |  |  | |  | |  | |
| 12:00 |  |  |  | |  | |  | |
| 13:00 |  |  |  | |  | |  | |
| 14:00 |  |  |  | |  | |  | |
| 15:00 |  |  |  | |  | |  | |
| 16:00 |  |  |  | |  | |  | |
| 17:00 |  |  |  | |  | |  | |
| 18:00 |  |  |  | |  | |  | |
| 19:00 |  |  |  | |  | |  | |
| 20:00 |  |  |  | |  | |  | |
| 21:00 |  |  |  | |  | |  | |
| 22:00 |  |  |  | |  | |  | |
| 23:00 |  |  |  | |  | |  | |

# 本标准用词说明

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表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

# 引用标准名录

《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB 50736-2012

《民用建筑室内热湿环境评价标准》GB/T 50785-2012

《建筑环境通用规范》GB 55016-2021

《电力需求响应监测与评价导则》GB/T 32127-2024

**中国工程建设标准化协会标准**

建筑空调负荷柔性调节性能评价标准

Standard of xxx

**T/CECS \*\*\* -20XX**

# 条文说明