

**T/CECS** XXX- 202X

中国工程建设标准化协会标准

热泵系统电网调峰技术规程

Technical specification for power grid peak regulation from heat pump system

（征求意见稿）

\*\*\*\*出版社

#

中国工程建设标准化协会标准

热泵系统电网调峰技术规程

Technical specification for power grid peak regulation from heat pump system

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

主编单位：中国建筑科学研究院有限公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：20XX年××月××日

XXXX出版社

2022 北京

# 前 言

根据中国工程建设标准化协会发布的《2021年第一批协会标准制订、修订计划》（建标协字〔2021〕第11号）文件要求，编制组经深入调查研究，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，制定本规程。

本规程共分5章，主要内容包括：总则、术语和符号、基本规定、技术措施、评价指标与核算方法。

请注意本规程的某些内容可能直接或间接涉及专利，本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程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，由中国建筑科学研究院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，请反馈给中国建筑科学研究院有限公司（地址：北京市朝阳区北三环东路30号，邮政编码：100013，邮箱：rbjsdwtf@126.com）。

|  |  |
| --- | --- |
| 主编单位： | 中国建筑科学研究院有限公司国网能源研究院有限公司 |
| 参编单位： | 国网陕西省电力有限公司电力科学研究院 |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
| 主要起草人： |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
| 主要审查人： |  |

# 目 次

[1 总则 1](#_Toc121314077)

[2 术语和符号 3](#_Toc121314078)

[3 基本规定 5](#_Toc121314079)

[4 技术措施 9](#_Toc121314080)

[4.1 设计 9](#_Toc121314081)

[4.2 设备选用、施工与调试 12](#_Toc121314082)

[4.3 运行监测与控制 12](#_Toc121314083)

[5 评价指标与核算方法 15](#_Toc121314084)

[用词说明 20](#_Toc121314085)

[引用标准名录 21](#_Toc121314086)

Contents

1 General Provisions 1

2 Terms & Symbols 3

3 Basic Requirements 5

4 Technical Measures 9

4.1 Design 9

4.2 Equipment Selection, Construction & Commissioning 12

4.3 Operation Monitoring & Control 12

5 Evaluation Indicators & Caculating Methods 15

Explanation of Wording in This Specification 20

List of Quoted Standard 21

# 总则

* + 1. 为使热泵系统在参与电网调峰过程中做到技术合理、经济可行、安全可靠、高效运行，制定本规程。

**【条文说明】**

随着我国的经济发展和能源结构调整，一方面建筑面积的增加和人民生活水平提高造成了空调采暖需求的增长；另一方面，清洁取暖和“双碳”工作的推进，提高了我国空调采暖终端的电气化水平。因此，建筑空调采暖耗电在我国用电负荷中的比例不断增加，而空调采暖负荷需求存在显著的波动性，提高了对电网调峰的要求。

同时，我国电力供应结构近年变化明显，可再生能源发电装机容量和比例大幅增加。截至2020年底，全国全口径发电装机容量22.0亿千瓦，非化石能源发电装机容量合计9.8亿千瓦，占全口径发电装机容量的比重为44.8％。其中并网风电2.8亿千瓦、并网太阳能发电装机2.5亿千瓦，合计占比24.1%。而可再生能源发电存在不连续性和时效性的特点，加剧了能源生产和能源需求不平衡的现象，弃风、弃光等成为我国可再生能源发展的顽疾。

电力供、需两方面产生的电网不平衡，目前主要通过火电机组、[燃气轮机](https://baike.baidu.com/item/%E7%87%83%E6%B0%94%E8%BD%AE%E6%9C%BA/475568)、抽水蓄能机组等调峰措施，以及需求侧响应来实现。

需求响应（Demand Response，简称DR）即电力需求响应的简称，是指当电力批发市场价格升高或系统可靠性受威胁时，电力用户接收到供电方发出的诱导性减少负荷的直接补偿通知或者电力价格上升信号后，改变其固有的习惯用电模式，达到减少或者推移某时段的用电负荷而响应电力供应，从而保障电网稳定，并抑制电价上升的短期行为。

热泵系统高效利用电能进行制冷、制热，是我国空调采暖电能替代的主要推荐形式。热泵由于其高效节能的特点，在我国得到了迅猛的发展。我国是全球空气源热泵和地源热泵应用最广泛的区域之一。

热泵作为一种重要的需求侧用电设备和系统，是实施需求侧响应，进行电网调峰的重要潜在技术手段。热泵系统在供冷、供热时，可以利用建筑本体蓄能或另外设置的蓄能系统，进行负荷调节和转移，达到电网调峰的目的。利用热泵系统进行电网调峰，可以化零为整，也是建设调峰电站的一种有效替代方法。

2002年以来，我国逐步推行了分时电价制度，相关部门还陆续出台了其他一些激励措施，以鼓励蓄能空调、热泵蓄能、电蓄热等需求响应系统的推广和应用。目前，相关蓄能系统在我国得到了日益广泛的应用。实时电价也被认为是一种未来电力市场发展趋势。另外，在建设有高渗透率分布式可再生能源发电系统的园区，或有“虚拟电厂”的场景下，都可能以电网调峰为目的，对热泵系统进行直接的优化调度。

在以上的应用场景下，热泵系统参与电网调峰将得到更加广泛的应用。此类应用较一般的热泵系统更为复杂，专业性更强，对热泵系统的设计、施工、调试、检测、验收及运行管理提出了更高的要求。因此，为热泵系统在参与电网调峰过程中做到技术合理、经济可行、安全可靠、高效运行，制定本规程。

* + 1. 本规程适用于参与电网调峰的热泵系统的设计、施工、运行和评价。

**【条文说明】**

本规程适用于各种类型的蒸气电动压缩式热泵系统，包括地地源热泵、水源热泵、空气源热泵等不同类型的热泵系统。也包括区域能源站、楼宇和户式等不同规模的热泵系统。

仅有制冷工况的制冷和空调系统参与电网调峰的可参照本规程执行。

* + 1. 对参与电网调峰的热泵系统，除应符合本规程规定外，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】**

根据国家主管部门有关编制和修订工程建设标准、规范等的统一规定，为了精简标准内容，已有的相关国家和行业标准、规范等明确规定的内容，除确有必要明确说明的部分外，本规程均不再另设条文。本规程中，参与电网调峰的热泵系统简化为电网调峰用热泵系统。

# 术语和符号

* + 1. 分时电价（TOU）time-of-use price

一种电价定价机制，根据电力系统发电和用电变化情况，将一个周期的时间划分为若干个时间段，对每一个时段分别规定不同的电价。分时电价包括峰谷电价、季节电价等几种电价形式。

* + 1. 实时电价（RTP）real time price

一种动态定价机制，根据电力批发市场出清电价实时更新电力市场零售侧电价。

* + 1. 需求响应（DR）demand response

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参与行为。

* + 1. 基于激励的需求响应incentive-based demand response

一种需求响应项目类型，是指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一种参与行为。包括直接负荷控制、可中断负荷控制、紧急需求响应等方法。

* + 1. 基于电价的需求响应price-based demand response

一种需求响应项目类型，是指用户根据零售电价的变化，相应地调整用电需求，合理控制用电成本的一种参与行为。包括分时电价、实时电价、尖峰电价等。

* + 1. 需求响应事件 demand response event

在需求响应执行过程中，由实施机构发起，相关用户参与，到用户响应结束的完整过程。

**【条文说明】**

在需求响应业务执行过程中，实施机构按照一定的规则描述电力价格、碳排放因子、负荷削减或者转移等信息，并向电力用户发布。在整个需求响应事件中，终端用电用户响应电力系统调控信号，改变自身的用电行为、调节自身用电负荷和相关设备，促进电力系统安全稳定运行。

* + 1. 电网调峰 peak shaving for power grid

通过对电力系统发电设施和需求侧设施的调度，实现控制区内发电设施有功出力的按需分配，来维持系统功率满足负荷不断变化并达到电力供需匹配的控制过程。

**【条文说明】**

电力系统发电侧可以为外部电网，也可以为本地分布式发电设施。电力系统需求侧设施是指热泵系统等可调节用能的设备。

* + 1. 设计日 design day

为了热泵系统负荷计算和设计配置，从统计期内选出的一日。

【**条文说明**】

设计日是考虑空调采暖负荷计算和热泵系统设计配置需求选取的，可参照《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范GB50736-2012》等相关标准规定确定。

* + 1. 典型日 typical day

为了掌握和分析调峰用热泵系统的负荷情况和运行情况，从一年中选出的负荷率和运行方式具有代表性的某些日。

【**条文说明**】

典型日的选取可根据热泵系统全年逐日的负荷率情况、电网调峰需求、热泵系统用电需求、现场可再生能源消纳需求等相关数据，采用聚类等方法对全年全部场景进行聚类削减，得到的具有代表性的某些日。

* + 1. 移峰电量peak electricity shift，kWh

一次需求响应事件内的峰值电量的转移量。

【**条文说明**】

移峰电量是衡量热泵系统削峰填谷作用的重要指标。这里的比较基准是未采用调峰的常规空调系统，比较的范围一般包括冷、热源部分主要设备的耗电量。

* + 1. 电力负荷削减量electrical load out, kW

一次需求响应事件内的设计电负荷下降的数值。

【**条文说明**】

一般是指冷、热源部分主要设备的设计电负荷削减量，包括热泵、制冷机、水泵、其他辅助设备等。

* + 1. 峰荷削减量peak load reduction，kW

一次需求响应事件内用户尖峰负荷的削减值。

* + 1. 平均负荷削减量average load reduction，kW

一次需求响应事件内用电负荷削减量的平均值。

# 基本规定

* + 1. 热泵系统电网调峰参与电力需求响应，系统架构应符合现行国家标准《电力需求响应系统通用技术规范》GB/T 32672的要求，具有用户管理、项目管理、资源管理、事件管理、实施效果管理等功能，并满足实时性、可靠性、存储及处理能力、通信能力等性能指标要求。

【**条文说明**】

本规程热泵系统电力调峰的技术措施和评价指标核算方法进行了规定，热泵系统电网调峰可以实现电力系统需求侧响应，但是热泵系统参与需求响应涉及到系统架构问题，《电力需求响应系统通用技术规范》GB/T 32672已经作出了相关规定。因此，在进行热泵系统电网调峰时，除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

* + 1. 当热泵系统的应用场景符合下列条件时，宜使热泵系统具备负荷调节及参与电网调峰能力：
	1. 实施基于电价或基于激励的需求响应的项目；
	2. 响应外部电网、绿色电力或虚拟电厂的调度指令或要求，参与电网调峰需求响应的项目；
	3. 安装分布式光伏发电、风力发电或燃气冷热电联供等分布式发电的项目。

**【条文说明】**

实施基于电价的需求响应时，用户根据接收到的价格信号，包括分时电价、实时电价和尖峰电价等，相应地调整电力需求，如在高峰时段适当提高电价，在低谷时段适当降低电价，从而引导用户用电达到削峰填谷的作用。实施基于激励的需求响应时，用户根据电力系统要求减少电力负荷，从而获得直接或间接经济补偿。此外，根据电力系统供需情况，调峰需求响应实施机构可考虑外部电网、绿色电力或虚拟电厂的调度需求，制定相应的调度指令，改变用户用电。

分布式光伏发电、风力发电或燃气冷热电联供等分布式发电的项目，热泵系统可根据分布式发电情况，调整用电参与调峰响应，提高本地可再生能源的消纳。

* + 1. 对调峰用热泵系统进行设计或集成应用之前，应针对其应用场景和外部条件进行调研，对所承担需求的负荷特性、运行时间和运行特点进行分析。

**【条文说明】**

外部条件是指电力条件、电网政策、电价政策、激励政策、附近的发电设施、区域碳排放和可再生能源消纳政策。

* + 1. 对电网调峰用热泵系统，应开展经济技术分析，对节能率或经济性进行计算，并达到相应的目标。在具备电碳转换系数等相关数据依据时，应进行碳排放分析。

**【条文说明】**

1. 实行基于电价的需求响应、基于激励的需求响应等需求响应事件的项目，调研当地电力供应条件、电价情况、激励政策，以达到运行费用节省和经济性最优为目标；
2. 直接响应外部电网、绿色电力消纳或虚拟电厂的调度指令参与需求调节时，详细调研供能系统电力消费模式，指令范围内其他分布式电源发电、储能设备的充放电过程，及运行调度历史策略，以提升控制区域电网整体节能、减碳或经济性目标；
3. 安装了本地分布式发电装置的项目，分析本地发电系统供应特点，以提高本地可再生能源消纳比例，提升本地分布式发电系统整体节能、减碳和经济性为目标。
4. 碳排放分析是电力供给侧和需求侧降碳和实现碳中和目标的关键。在电力系统可再生能源电力比例逐渐提高的应用背景下，热泵系统参与电网调峰可以促进可再生能源的消纳和系统降碳，利用电碳转化系数（固定、分时、动态）等动态核算热泵系统逐时的碳排放量和碳排放责任，对于电力供需匹配和降碳具有积极作用。
	* 1. 热泵系统参与电网调峰可通过采用以下技术措施实现：
	1. 采用各种类型的蓄能装置，组成蓄能热泵空调系统，例如水蓄能、冰蓄冷、相变蓄能等；
	2. 采用调整热泵采暖空调系统运行方式和运行参数的措施，并利用建筑本体的蓄热能力和允许的室温波动进行系统用电负荷调节，例如调整中深层地埋管热泵运行策略，使其在夜间错峰运行，消纳夜间电力负荷；
	3. 采用具有蓄能功能的空调采暖末端，例如低温地板辐射供暖、辐射供冷等方式；
	4. 采用热泵系统承担可调负荷，并控制热泵开启时段进行系统用电负荷调节，例如热泵烘干设备，热泵热水设备、定时通风加热装置等；
	5. 采用热泵与其他冷、热源组成复合式或多能源系统，调节热泵承担负荷的时段和比例；
	6. 采用需求侧储电装置给热泵系统供电，并调整储电装置的运行参数和日程。

**【条文说明】**

1. 蓄能空调系统是进行电网调峰的有效手段。用户能源系统中安装的冰蓄冷、水蓄冷、水蓄热、相变蓄能等蓄能设备，直接控制蓄能量和放能量（蓄能放能的时间、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，实现热泵系统柔性用电和峰值电力负荷的有效转移。采用热泵机组结合水蓄能或相变蓄能进行冷、热双蓄，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施有效的电网调峰。蓄能空调系统的应用应符合《蓄能空调工程技术标准》（JGJ158）的相关规定。
2. 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。在对室内环境进行供冷、供热的时候，建筑蓄热体不可避免地会被冷却或者加热，从而蓄存一定的冷热量，使得建筑具有一定的“热惰性”。由于建筑具有一定的热惰性且室内热舒适温度具有一定的范围，可以在不影响室内热舒适的情况下，改变热泵采暖空调系统的运行方式和运行参数，从而改变系统的用电负荷，实现电力峰值的削减或转移。比如可以改变冷冻水温度、控制主机机组需求、改变主机机组开启台数等主机设备柔性用电控制策略；送风温度调节、风机变频调速、风机开启数量改变、冷水水阀开度调节、水泵变频调节等输配系统和末端设备的调峰控制。此外，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，综合调整热泵采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，可以改变热泵采暖空调系统和建筑的用电需求，实现峰值电力的削减和转移。
3. 直接在建筑蓄热体中额外蓄存和释放冷热量，也可以改变热泵采暖空调系统的用电。即在建筑室内热舒适范围内，采用预冷预热策略改变室内温度参数时，建筑蓄热体可以与室内各表面及空气热交换，释放蓄存的冷热量，从而改变建筑的冷热需求。其中，暖通空调系统预制冷制热时可以直接在建筑蓄热体中蓄存额外的冷热量，即在用电高峰来临前、需求响应实施前，对电力空调供暖区域进行预冷降温或者预热升温。如在热泵供冷工况下，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，在需求响应或柔性用电调控开始时，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，实现了建筑供暖空调负荷的有效转移，同时不会降低室内的热舒适性。现有研究表明，利用建筑蓄热体预冷实现柔性用电，可以实现峰值冷负荷减少30%以上。考虑到建筑及暖通空调系统实际的动态热响应过程，利用建筑蓄热体柔性用电的过程中，用电负荷柔性可调的大小与建筑总蓄热体容量（热容、导热系数等）、建筑的保温、气密性、室内外边界条件等因素有关。
	* 1. 在进行包括参与电网调峰的热泵系统的区域或建筑能源站的规划和设计时，应根据区域可再生能源、绿色低碳和节能等规划要求，对区域电力条件进行充分调研，并应采用蓄能空调、管网蓄能以及负荷调控等技术手段，提高能源站的负荷转移、电网调峰和可再生能源消纳能力。

**【条文说明】**

区域电力条件是指电网政策、电价政策、激励政策、附近的发电设施、区域碳排放和可再生能源消纳政策等。

* + 1. 在进行区域能源规划时，应对区域内热泵系统和设备的负荷调节能力进行评估，提高区域热泵系统的调峰响应能力。
		2. 对电网调峰用热泵系统，应在规划、设计阶段对其关键的调峰响应性能评价指标进行计算，并在运行阶段进行监测。
		3. 安装了分布式光伏发电、风力发电或燃气冷热电联供等分布式发电的园区和建筑，其空调采暖系统如果采用集中方式，应设置蓄能空调系统，并对发电系统和蓄能空调系统进行优化调控，提高场地内自消纳比例。
		4. 电网公司应定期评估园区热泵系统的电力需求响应潜力，并根据评估结果优化调整热泵系统参与电力需求响应的准入机制和补偿机制，以充分激励用户优化配置储热系统，鼓励热泵系统用户通过负荷聚集商参与电网需求响应，提高负荷柔性。

# 技术措施

## 设计

### 对热泵供能的蓄能空调系统，应对设计日和典型日的空调冷、热负荷进行24小时逐时计算。负荷计算方法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的要求，逐时热负荷计算可参照行业标准《蓄能空调工程技术标准》JGJ158的相关规定，采用稳态方法或软件模拟方法进行。

**【条文说明】**

蓄能空调系统确定蓄能率、选择蓄能方式、配置主要设备、制定运行调节策略等，都是基于动态负荷基础上的系统优化问题。全年动态负荷计算是系统优化配置的基础，因此对蓄能空调系统的优化设计非常重要。

### 当可再生能源、绿电消纳以及电网调度的时间小于1h时，应采用动态负荷计算软件，计算相应粒度的空调采暖负荷和电力负荷。

**【条文说明】**

随着电力系统低碳化转型，电力系统供需侧可再生能源装机容量和发电量进一步增加。但是可再生能源发电具有随机性和波动性，电力系统有短期调度用户调峰消纳可再生能源电力的需求。当调峰需求响应的调度时间小于1h时，应设置热泵系统动态仿真时间为相同粒度，计算系统的空调采暖负荷与电力负荷。

### 设计日和典型日的选取除了考虑典型的空调采暖负荷率外，还应考虑典型的电网调峰需求、可再生能源及绿电消纳需求。

**【条文说明】**

设计日和典型日是考虑空调采暖负荷选取的，可参照《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB50736等相关标准规定确定。也可考虑全年逐日的电网调峰需求、热泵系统用电需求、现场可再生能源发电负荷等相关数据，采用聚类等方法对全年全部场景进行聚类削减，得到具有代表性的典型日。

### 对电网调峰用热泵系统，应绘制典型日用能负荷和运行日程分析表和柱状图，包括：

* 1. 不实施需求调节和电网调峰时的设计周期和典型日用能负荷需求图；
	2. 实施需求调节和电网调峰时的设计周期和典型日用能负荷需求图；
	3. 当实施需求调节后建筑或系统的热惯性影响大于24小时时，相应增加计算分析的时间周期；
	4. 分时电价；
	5. 需要消纳的本地可再生能源或外部绿色电力的逐时供应量；
	6. 典型的电网调度曲线。

**【条文说明】**

参与电网调峰的热泵系统的设计、施工、运行和评价，需要考虑热泵系统的动态用能负荷和供给侧动态调峰需求，因此有必要绘制用能负荷及运行日程等变化图。以某典型办公建筑中热泵系统响应电力系统分时电价参与电网调峰为例，供冷季典型日不实施电网调峰时系统用能负荷图、典型日实施电网调峰时系统用能负荷图、典型日分时电价图如下所示。



### 对热泵供能的蓄能空调系统，应在负荷分析的基础上，根据需求响应目标对热泵机组和蓄能装置容量、典型日运行模式进行配置和设计。蓄能容量还应在考虑项目占地条件、初投资、电价和运行费用的基础上，进行技术经济分析确定。

**【条文说明】**

建议采用动态软件对蓄能空调系统进行仿真模拟计算，计算不同容量、控制策略下的关键指标，在此基础上进行系统优化配置。

### 应对蓄能装置和蓄能系统进行合理设计，使其能在规定的时间段内满足冷、热量的蓄存和释放要求。

### 对电网调峰用热泵生活热水系统，应对不同季节和使用场景，进行24h典型用热曲线的计算分析。在此基础上根据需求响应目标，对热泵机组和蓄热水箱容量、以及典型日运行模式进行配置。

**【条文说明】**

生活热水的24h逐时用热曲线，可以在典型日用水定额和小时变化系数的基础上，对用热需求进行情景分析得到。

### 热泵供能的蓄能空调系统和带蓄热的热泵生活热水系统，参与电网调峰时应考虑以下冷热量损失：

* 1. 应计入蓄能装置、管路和其他设备的冷、热量损失；
	2. 制冷工况中水泵发热形成的得热量；
	3. 空调停机时段形成的附加冷、热负荷。

**【条文说明】**

1. 蓄能装置与管道的能量损失取决于表面积、蓄能装置与管道导热系数、蓄能装置与管道周围环境温度和蓄能介质温度。蓄热装置的热损失一般不应超过蓄热-释热周期蓄热量的5%，冷量损失一般不应超过总蓄冷量的2%。在方案设计或初步设计阶段，蓄冷装置和冷水管路得热量引起的附加得热量可按设计蓄冷－释冷周期内总负荷的3%~5％进行估算。
2. 水泵功耗的转化一部分直接产生了水系统的温升；有效功率的部分转化成了水系统的动能和势能，最终也会以热能的形式进入水系统中，这两类需要计入蓄冷系统的水泵附加得热中。

### 对电网调峰用空气源热泵机组，应考虑不同季节和时段室外参数对制冷、制热量和功率的影响，并应考虑定期融霜工况对段时间耗电量的影响。

**【条文说明】**

空气源热泵蒸发器表面结霜过程中影响因素众多，不仅与空气温度、相对湿度、迎面风速等空气参数有关，还要受到翅片表面特性、冷表面温度和翅片结构等因素影响。另外制热—融霜周期随机组运行频率的变化非常敏感，降低运行频率可以有效延长制热—融霜周期。

一般在机组进行融霜工作时会出现用电峰值，因此在需要削减用电负荷的时段，应采取措施避免运行融霜工况。如在进入该时段前进行提前融霜，或对多台运行的空气源热泵机组进行轮换启停。

### 以消纳本地分布式可再生能源电力（如分布式光伏发电系统）为目标的热泵系统，应根据本地可再生能源资源、发电和蓄电组件配置，计算典型日的逐时可再生能源电力消纳需求，并作为热泵系统的配置依据。

**【条文说明】**

典型日的选取应考虑不同季节的不同用电和发电场景。

### 利用建筑本体蓄热或采用具有蓄能功能的空调采暖末端方式，通过不同的间歇运行日程进行电网调峰时，应针对调整前后的室内温度设定值和运行日程进行负荷计算和室内参数计算，必要时应采用动态软件进行，调整后的室内参数应满足设计规定的基本舒适性要求。当设计没做具体说明时，可参考以下要求：

* 1. 采暖时室内温度短时段内不宜低于原始设计温度2℃；
	2. 供冷时室内温度短时段内不宜高于原始设计温度2℃，或PMV(Predicted Mean Vote，预计平均热感觉指数)指标不超过±1。

**【条文说明】**

1. 通过室内全局温度控制的方式，在热舒适范围内综合调整暖通空调区域的设定温度，从而调整建筑的冷热负荷需求，考虑到热泵采暖空调系统中用电设备的性能和效率，可以实现用户电力负荷的调整。
2. 在室内人员热舒适范围内调整室内温度设定和热泵系统运行日程，即在用电低谷时段或者可再生能源电力过剩的时段，向建筑本体或具有蓄能功能的空调采暖末端蓄能；在用电高峰时段或者可再生能源电力短缺的时段，建筑本体或具有蓄能功能的空调采暖末端放能，有效削减电力负荷。例如在供冷工况下，在用电高峰之前或可再生能源电力过剩时，将房间温度预冷到低于原本预设温度点2℃，建筑蓄热体蓄存了一定的冷量。在调峰响应开始时，热泵空调系统短时间关闭、降低冷机的输出、或者升高室内温度设定，调峰响应期间电力负荷削减，可以实现热泵采暖空调用电负荷的有效转移，同时不损害室内的热舒适性。现有研究表明，考虑到建筑及暖通空调系统实际的动态热响应过程，利用建筑蓄热体柔性用电的过程中，用电负荷柔性可调的大小与建筑总蓄热体容量（热容、导热系数等）、建筑的保温、气密性、室内外边界条件等因素有关。

### 采用热泵烘干设备或定时通风加热装置时，应对典型日负荷进行计算，并根据需求响应目标对典型日运行日程进行调整，并对设备和系统进行必要的参数调整配置。

### 在热泵与常规非电冷、热源组成的复合式或多能源系统中，应根据电力供应曲线调节热泵承担负荷的时段和比例，在电力消纳时段尽量全负荷开启热泵机组，在电力峰段少开机组。

### 在大型区域热泵站的设计中，热泵系统参与电网调峰应利用管网的蓄热能力。

## 设备选用、施工与调试

### 电网调峰用热泵工程施工前应有完备的施工图纸、技术文件、完善的施工组织设计和施工方案，并应已完成技术交底。

### 对电网调峰用热泵，应对其不同的典型运行模式进行联合调试和性能验收。

### 参与电网调峰的蓄能装置，其蓄能和释能速率应满足热泵系统负荷调节的要求。

### 对电网调峰用热泵机组，应对其启停特性和部分负荷下的调节能力进行校核，满足电网调峰需求响应的要求。

### 参与电网调峰的蓄能系统的应进行控制系统深化设计，并应在系统安装前提供深化设计图纸。

## 运行监测与控制

### 电网调峰用热泵系统应配置监测与自动控制系统，控制内容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》GB50736的规定，并包括下列控制功能：

* 1. 冷热源与蓄能装置的控制；
	2. 典型运行日程和运行模式的实现的转换；
	3. 直接接受调度指令，进行设备和运行模式日程设置和转换；
	4. 根据电价、可再生能源发电量、预测负荷、运行记录等数据进行优化控制，可由本地控制系统或上位能源管控平台实现；
	5. 系统关键参数和评价指标的统计和显示。

### 监测系统的检测内容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》GB50736的规定，采样时间间隔应不大于15min，并宜对下列内容进行监测：

* 1. 冷热源与蓄能装置的进出口温度、流量等参数；
	2. 室内外环境参数；
	3. 各种设备、阀门的状态参数和故障报警信息；
	4. 蓄能装置的剩余冷（热）量；
	5. 热泵系统承担的冷热负荷、耗电量的瞬时值和累计值；
	6. 系统当前所处的电力时段和电价、电力调度曲线；
	7. 建筑或园区需要消纳的可再生能源电力的瞬时值和累计值。

### 小型分散式热泵热风机、热泵热水器等，宜选用具有物联网和智能家电功能，可以对运行日程进行本地和异地控制，具有可选的适合调峰运行的模式。

**【条文说明】**

随着物联网和智能家电技术的普及，小型家用设备可以在低成本的条件下，实现远程监测控制和智能调节。这为小型分散式热泵热风机、热泵热水器等实现电网调峰提供了条件。在当地具备相关电价激励政策时，用户可利用设备的日程设置功能，实现削峰填谷，节约运行费用。电力企业和能源供应商也可以采用不同的激励方式，吸纳聚合分散的热泵用户，实现电网的调峰。

### 电网调峰用热泵机组的出水、出风参数应能够进行本地和异地调节，能够与上位监控系统通讯并接受调度。

**【条文说明】**

例如，在风电或光伏电厂附近，纳入自愿参与电网调峰的分散空气源热泵机组用户。在电调控制中心根据电网负荷变化和风电、光电状况，向各空气源热泵机组发出调度指令，如：1、开启运行；2、温度达到一定条件停止运行；3、自行控制，根据意愿调节。对参与调度的用户，根据相应的记录进行补偿激励。

### 对电网调峰用集中式热泵系统，宜采用负荷预测，并对系统的运行日程进行在线优化。

### 对电网调峰用分散式热泵系统，宜利用智能家电系统，定期对其历史数据进行收集和分析，调整典型运行模式，并远程优化。

### 调峰用空气源热泵系统需要化霜时，在保证化霜效果和经济性的基础上，可在调峰时段前进行集中提前化霜避免增加高峰期间的用电量。

### 对调峰用热泵热水器，应在高峰时段前或需要消纳可再生能源时提前蓄满热水。

# 评价指标与核算方法

* + 1. 对电网调峰用热泵系统，热泵机组的实际性能系数（$COP$）与系统性能系数（$COP\_{sys}$）应符合现行强制性工程建设规范《建筑节能与可再生能源利用通用规范》GB55015、现行行业标准《蓄能空调工程技术标准》JGJ158的有关规定。
		2. 依靠蓄能装置进行电网调峰的热泵系统，蓄能装置的蓄能量、释能量、蓄能率应符合现行标准《公共建筑节能设计标准》GB50189、《蓄能空调工程技术标准》JGJ158、《蓄能空调工程测试与评价技术规程》T∕CECS 799的有关规定。
		3. 对电网调峰用热泵系统，应对其设计日和典型日有效调峰持续时间进行计算评估。

**【条文说明】**

有效调峰持续时间是指热泵系统在参与电网调峰的需求响应事件中，负荷削减量大于等于一定目标值的持续时间。

* + 1. 对电网调峰用热泵系统，应对其设计日和典型日需求响应事件内电力负荷削减量、峰荷削减量和平均负荷削减量进行计算。
1. 对于承担可调负荷的开启时段进行电网调峰的热泵系统，以及对于组合常规非电冷/热源、热泵进行电网调峰的复合式或多能源系统，以及对于利用本地储电装置调节运行参数和日程进行电网调峰的热泵系统，热泵系统调峰需求响应中电力负荷削减量$N\_{cur,t}$，应按照下式进行计算：

$N\_{cur,t}=N\_{base,t}-N\_{DR,t}$ （5.0.4-1）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中： | $$N\_{cur,t}$$ | ——调峰时段t时刻的系统的电力负荷削减量（kW）； |
|  | $$N\_{base,t}$$ | ——调峰时段t时刻不实施电网调峰需求响应事件的系统的电力负荷（kW）； |
|  | $$N\_{DR,t}$$ | ——调峰时段t时刻实施电网调峰需求响应事件的系统的电力负荷（kW）。 |

1. 热泵系统调峰需求响应中用户峰荷削减量$N\_{cur,peak}$，应按照下式进行计算：

$N\_{cur,peak}=N\_{base,peak}-N\_{DR,peak}$ （5.0.4-2）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中： | $$N\_{cur,peak}$$ | ——调峰时段用户的峰荷削减量（kW）； |
|  | $$N\_{base,peak}$$ | ——不实施电网调峰需求响应时用户的尖峰电力负荷（kW）； |
|  | $$N\_{DR,peak}$$ | ——实施电网调峰需求响应事件时用户的尖峰电力负荷（kW）。 |

1. 热泵系统参与电网调峰需求响应时的平均负荷削减量$N\_{avg}$，应按下式进行计算：

$N\_{avg}=\frac{\sum\_{t=t\_{peak1}}^{t\_{peak2}}N\_{cur,t}∆τ}{t\_{peak2}-t\_{peak1}}$ （5.0.4-3）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中： | $$N\_{avg}$$ | ——电网调峰需求响应事件中的系统平均负荷削减量（kW）； |
|  | $$t\_{peak1}$$ | ——电网调峰需求响应事件的开始时间； |
|  | $$t\_{peak2}$$ | ——电网调峰需求响应事件的结束时间； |
|  | $$∆τ$$ | ——时间步长，1h。 |

* + 1. 对电网调峰用热泵系统，应对其设计日和典型日的电量削减量（转移量）进行计算评估。
	1. 对于调整热泵、输配和末端等运行参数和开启日程进行电网调峰的热泵系统，对于组合常规非电冷/热源、热泵参与电网调峰的多能源系统，以及对于利用本地储电装置调节热泵系统用电参与电网调峰的系统，热泵系统参与电网调峰需求响应的电量削减量或转移量$E\_{pes}$，应按下式计算：

$E\_{pes}=\sum\_{t=t\_{peak1}}^{t\_{peak2}}N\_{cur,t}∆τ$ （5.0.5-1）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中： | $$E\_{pes}$$ | ——热泵系统调峰时段的电量削减量/转移量（kWh）。 |

* 1. 对于利用蓄能装置（蓄冷系统、蓄热系统、建筑本体蓄冷热、可蓄能的空调采暖末端）进行电网调峰的热泵系统，电量削减量或转移量$E\_{pes}$，应按下式计算：

$E\_{pes}=\frac{Q\_{ed,peak}}{SCOP\_{0}}+\sum\_{t=t\_{peak1}}^{t\_{peak2}}(N\_{pump,t}^{base}-N\_{pump,t}^{DR})∆τ$ （5.0.5-2）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中： | $$Q\_{ed,peak}$$ | ——调峰时段蓄能装置的释能量（kWh），可利用实测、公式计算、仿真软件模拟得到； |
|  | $$N\_{pump,t}^{base}$$ | ——不实施电网调峰需求响应事件$t$时刻的系统循环泵（热泵系统源侧、负荷侧、蓄能侧、释能侧循环泵）输入功率总和（kW）； |
|  | $$N\_{pump,t}^{DR}$$ | ——实施电网调峰需求响应事件$t$时刻的系统循环泵（热泵系统源侧、负荷侧、蓄能侧、释能侧循环泵）输入功率总和（kW）； |
|  | $$SCOP\_{0}$$ | ——冷（热）源综合性能系数基准值，可根据系统空调实际性能确定，也可参考《公共建筑节能设计标准》GB50189中表4.2.12规定的限制确定。 |

* + 1. 应时根据热泵系统形式、峰谷电价、控制策略等条件，对全年转移电量进行计算。
		2. 对电网调峰用热泵系统，应对其设计日和典型日需求响应事件内峰荷性能指标和认缴性能指标进行计算。

**【条文说明】**

峰荷性能指标和认缴性能指标可用于评价调峰响应执行的效果。峰荷性能指标$λ\_{PPI}$是指调峰响应期间平均负荷削减量与最大峰荷需求的比值，应按下式进行计算：

$λ\_{PPI}=\frac{N\_{avg}}{N\_{base,peak}}$ （5.0.7-1）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中： | $$λ\_{PPI}$$ | ——峰荷性能指标。 |

认缴性能指标$λ\_{SPI}$是指调峰响应期间平均负荷削减量与负荷削减目标值之比，应按下式进行计算：

$λ\_{SPI}=\frac{N\_{avg}}{N\_{sub}}$ （5.0.7-2）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中： | $$λ\_{SPI}$$ | ——认缴性能指标； |
|  | $$N\_{sub}$$ | ——电网调峰需求响应事件中的负荷削减目标值（kW）。 |

* + 1. 应计算设计日和典型日热泵系统参与调峰需求响应的响应时间可靠性指标。

**【条文说明】**

响应时间可靠性是指指系统有效调峰持续时间占总调峰时间的比重值。一般认为系统实际调峰响应量达到响应目标值的90%，即为有效，有效调峰持续时间越长，调度时间可靠性越高，系统参与电网调峰响应效果越好。响应时间可靠性$R\_{time}$应按下式计算：

$R\_{time}=\frac{\sum\_{t=t\_{peak1}}^{t\_{peak2}}\left(t|N\_{cur,t}\geq 90\%N\_{sub}\right)∆τ}{t\_{peak2}-t\_{peak1}}$ （5.0.8-1）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中： | $$R\_{time}$$ | ——响应时间可靠性指标。 |
|  | $$∆τ$$ | ——时间步长，1h，也可为0.25 h、0.5 h等。 |

* + 1. 应计算设计日和典型日热泵系统调峰响应结束后，系统电力负荷反弹量和电量反弹量。
1. 热泵系统电力负荷的反弹量$N\_{reb,t}$，应按照下式进行计算：

$N\_{reb,τ}=N\_{base,τ}-N\_{reb,τ}$ （5.0.9-1）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中： | $$N\_{reb,τ}$$ | ——实施电网调峰需求响应后反弹时段$τ$时刻的电力负荷反弹量（kW）； |
|  | $$N\_{base,τ}$$ | ——不实施电网调峰需求响应时系统在反弹时段$τ$时刻的电力负荷（kW）； |
|  | $$N\_{reb,τ}$$ | ——实施网调峰需求响应后系统在反弹时段$τ$时刻的电力负荷（kW）。 |

1. 热泵系统用电量的反弹量$E\_{reb}$，应按照下式进行计算：

$E\_{reb}=\sum\_{τ=τ\_{reb1}}^{τ\_{reb2}}N\_{reb,τ}∆τ$ （5.0.9-2）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中： | $$E\_{reb}$$ | ——实施需求调节和电网调峰后用户用电量的反弹量（kWh）； |
|  | $$τ\_{reb1}$$ | ——系统电力负荷反弹时段开始时间； |
|  | $$τ\_{reb2}$$ | ——系统电力负荷反弹时段结束时间； |
|  | $$∆τ$$ | ——时间步长，1h。 |

**【条文说明】**

利用热泵系统实现峰值转移参与电网调峰时，调峰响应结束后电力负荷会增加使系统恢复到响应之前的状态，即反弹期。

* + 1. 对电网调峰用热泵系统，应对其调节前后的能耗变化量进行核算。调峰响应及反弹时段内，能耗变化量$ΔE$（kWh）应按下式计算：

$ΔE=E\_{reb}-E\_{pes}$ （5.0.10-1）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中： | $$ΔE$$ | ——能耗变化量（kWh）。 |

* + 1. 对电网调峰用热泵系统，应对其调节前后的碳排放变化量进行核算。
	1. 设计日和典型日调峰需求响应及后续反弹时段内，系统碳排放变化以碳排放因子法进行计算：

$ΔC=\sum\_{t=t\_{peak1}}^{t\_{peak2}}(N\_{cur,t}∆τ×EFe\_{t})-\sum\_{τ=τ\_{reb1}}^{τ\_{reb2}}(N\_{reb,τ}∆τ×EFe\_{τ})$ （5.0.11-1）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中： | $$ΔC$$ | ——碳排放变化量（kgCO2）； |
|  | $$EFe\_{t}$$ | ——调峰时段t时刻的电力碳排放因子（kgCO2/kWh）； |
|  | $$EFe\_{τ}$$ | ——调峰响应结束后反弹时段$τ$时刻的电力碳排放因子（kgCO2/kWh）。 |

* 1. 全年碳排放变化建议用动态模拟软件进行模拟。

【**条文说明**】

《企业温室气体排放核算方法与报告指南发电设施（2021年修订版）》征求意见中将全国电网平均排放因子调整为最新的0.5839tCO2/MWh，该值表示单位用电量隐含的二氧化碳排放。分时碳排放因子为基于碳排放核算时段的划分方法（尖峰、峰、平、谷等碳排放核算时段），根据不同时段电力构成成分和风光电核电及外调电比例等，分别计算相应时段的碳排放因子。而动态碳排放因子根据不同时刻的电力构成成分和特征，逐时（或更小时间尺度）计算得到不同时刻的碳排放因子。目前，分时碳排放因子和动态碳排放因子仍处于研究和探索阶段。可以引入分时、动态碳排放因子计算设计日和典型日调峰需求响应及后续反弹时段内热泵系统的碳排放变化量。

全年碳排放变化模拟时，首先采用动态模拟软件TRNSYS、DeST、EnergyPlus等建立建筑模型，输入环境参数进行建筑负荷计算，进一步建立建筑全年逐时能耗计算模型，通过模型计算得到系统的逐时能耗，进而换算得到全年系统碳排放。

* + 1. 对电网调峰用热泵系统，应按下式对系统调节前后的运行费用成本进行核算。

$ΔM=\sum\_{t=t\_{peak1}}^{t\_{peak2}}(N\_{cur,t}∆τ×p\_{t})-\sum\_{τ=τ\_{reb1}}^{τ\_{reb2}}(N\_{reb,τ}∆τ×p\_{τ})$ （5.0.12-1）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中： | $$ΔM$$ | ——运行费用成本变化量（元）； |
|  | $$p\_{t}$$ | ——调峰时段t时刻的电价（元/kWh）； |
|  | $$p\_{τ}$$ | ——调峰响应结束后反弹时段$τ$时刻的电价（元/kWh）。 |

* + 1. 相对于常规系统的增量投资，参与电网调峰的热泵系统静态回收期宜小于5年。

【**条文说明**】

常规系统是指不参与电网调峰的热泵系统。热泵系统采用技术措施参与电网调峰时可能会产生增量投资。

* + 1. 对于利用热泵系统调峰以实现可再生能源电力消纳的响应，应对系统调节前后的可再生能源消纳变化量进行核算。

$ΔE\_{res}=E\_{res}^{base}-E\_{res}^{DR}$ （5.0.14-1）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 式中： | $$ΔE\_{res}$$ | ——可再生能源消纳变化量（kWh）； |
|  | $$E\_{res}^{DR}$$ | ——电网调峰需求响应事件及后续反弹时段内可再生能源电力消纳量（kWh）； |
|  | $$E\_{res}^{base}$$ | ——不实施电网调峰需求响应事件时，在响应和反弹时段内可再生能源电力消纳量（kWh）。 |

# 用词说明

为便于在执行本规程条款时区别对待，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：

 正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

1. 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

 正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

1. 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

 正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

1. 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

# 引用标准名录

本规程引用下列标准。其中，注日期的，仅对该日期对应的版本适用本规程；不注日期的，其最新版适用于本规程。

《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB 50736

《地源热泵系统工程技术规范》GB 50366

《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

《电力需求响应系统通用技术规范》GB/T 32672

《电力用户需求响应节约电力测量与验证技术要求》GB/T 37016

《电力需求响应系统功能规范》GB/T 35681

《电网运行与控制数据规范》GB/T 35682

《蓄能空调工程技术标准》JGJ 158

《电网运行准则》DL/T 1040

《电化学储能电站并网运行与控制技术规范》DL/T 2246

### 《电化学储能电站调频与调峰控制技术规范》T/CEC 370

### 《蓄能空调工程测试与评价技术规程》T∕CECS 799

### 《中深层地埋管地源热泵供暖技术规程》T/CECS 854