

多元用电需求网格分析与“源网荷储”分层分区平衡模型

杜佩仁¹,文福拴¹,刘艳茹²,张林垚³

(1. 浙江大学 电气工程学院,杭州 310027;2. 国网经济技术研究院有限公司,北京 102209;3. 国网福建省电力有限公司 经济技术研究院,福州 350012)

Diversified power demand block analysis and “source-network-load-storage” hierarchical partition balance model

DU Peiren¹, WEN Fushuan¹, LIU Yanru², ZHANG Linyao³

(1. College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China;2. State Grid Economic and Technological Research Institute Co., Ltd., Beijing 102209, China;3. Economic and Technological Research Institute, State Grid Fujian Electric Power Co., Ltd., Fuzhou 350012, China)

摘要:随着分布式发电渗透率的不断提高,电力系统综合运行效率不高、“源网荷储”各环节协调不够、各类电源互补互济不足等问题逐步显现。对“源网荷储”进行分层分区平衡有助于解决这些问题。在此背景下,采用配电系统网格化规划方法,按照并网型微电网运行规则,提出面向网格的多元化用电需求分析方法和“源网荷储”分层分区平衡模型,以及配电系统网架优化设计内容。所提方法已被应用于实际系统规划,实践结果表明所提方法可有效降低用户的最大负荷需求、改善系统整体负荷轮廓、提高线路负载率、降低电网投资规模,有助于实现源网荷储各环节协调发展,从而提升电力系统运行的安全性和经济性。

关键词:微电网;源网荷储一体化;多元化用电需求;分层分区平衡;配电系统网格化规划

Abstract: With the constantly increasing penetration of distributed generation, some problems such as the low comprehensive operation efficiency of the power system concerned, insufficient co-ordination among the so-called “source-network-load-storage”, and inadequate complementarity among various types of generators are becoming more and more significant. Implementing hierarchical partition balance of “source - network - load - storage” could address these problems. Under this background, according to the operation rules of a grid-connected microgrid, a diversified power demand block analysis method and a “source-network-load-storage” hierarchical partition balance model are presented, and related optimal design of the distribution network concerned addressed. The proposed method has been employed for actual distribution system planning, and the implementation results demonstrate that this method can effectively reduce the maximum load demand, improve the load profile of the whole system and the load rates of lines, reduce the scale of required network investment, realize coordinated development of “source - network - load - storage”, and finally improve the security and economics of the distribution system.

Key words: microgrid; source-network-load-storage integration; diversified power demand for electricity; hierarchical partition balance; power distribution system block planning

0 引言

随着分布式发电渗透率的不断提高,电力系统综合效率不高、源网荷储等环节间协调不够、各类电源互补互济不足等问题逐步显现,亟待统筹优化。按照“源网荷储一体化”的建设思路,优化源、网、荷、储的综合配置方案,提高自我平衡能力^[1],避免配电系统中潮流倒送,已成为简化保护定值及调度运行管理,保障配电系统运行安全,减少对大电网调峰和备用容量需求,降低系统投资,提高全社

会整体效益的有效途径。配电系统网格化规划是近年来提出的有效方法,已在网格模型^[2]、规划体系^[2]、规划方法^[3-5]等方面有研究报道。此外,在与配电系统规划有关的负荷预测及电力平衡^[6-12]等方面也已开展了很多研究工作,并得到广泛应用。

在上述背景下,如何适当利用配电系统网格化规划方法,按照差异化原则,通过区分不同类型负荷的差异化供电可靠性需求,并利用微电网运行及多元用电需求侧管理等方法,对包括风光分布式电源、空调、充电桩、储能等多元化负荷进行预测及协调控制,实现“源网荷储”的分层分区平衡,有助于实现配电系统的安全与经济运行,提升对间歇性可再生能源发电的消纳。

本文首先定义了面向“源网荷储”分层分区平衡

收稿日期:2020-11-17;修回日期:2020-12-05
基金项目:国家电网公司总部科技项目(5102-201956307A-0-0-00)

管理的配电系统网格层级模型。然后,根据“并网型”微电网的市场化运行规则,提出了一个面向用电网格的多元化用电需求模型。最后,基于用电网格、供电单元、供电网格这3层网格定义,提出了基于网格的“源网荷储”分层分区平衡模型,并给出了各层级网格的上网参数的计算方法及相关约束方程。

1 “源网荷储”分层分区平衡

按照“统筹协调各类电源开发、提高清洁能源利用效率、适度配置储能设施、充分发挥负荷侧调节能力”^[1]的建设思路,“源网荷储一体化”分层分区平衡将成为引导分布式电源健康发展的基本途径,这对配电系统的规划设计及运行控制提出了新的要求甚至挑战,主要包括下述3个方面。

1.1 计及分布式资源及其协调的智能配电系统规划与设计

考虑“源网荷储一体化”的智能配电系统可整合局部地区分布式资源,从而可使整个社群共享负荷控制、高效节能、分布式发电和储能所带来的效益。同时,配电系统是将电力从分布式发电和储能装置向输电系统反送的路径。因此,在对现代配电系统进行规划设计时,应将配电系统、用户侧资源、分布式发电和储能作为一个整体处理。

1.2 有效控制需要输电系统供电的最大负荷水平

据统计,2019年全国各主要城市的空调负荷在常规总负荷(不含充电桩、储能站)中的占比的总体水平在30%~55%之间,且呈增长态势。因此,区分常规负荷及可控负荷对供电可靠性要求的差异,采取有效控制手段,降低系统最大负荷需求,改善系统负荷特性,对提高电网资产设备利用率及资产投资效益具有重要作用。

1.3 按网格实现配电系统的自治自愈管理

通过网格划分可把复杂的实体模型分成若干简单实体模型,而后者之间相互联系、相互约束。网格化是配电系统分层分区管理的一种具体实现方法。深化配电系统网格化管理,提升网格的自治自愈能力,从而降低从配电系统规划设计到调度运行的难度,可有效促进配电系统中“源网荷储一体化”的规划和实现。

2 面向分层分区平衡的配电系统网格模型

网格划分是实现“源网荷储”分层分区平衡规划、设计乃至运行控制的基础。参照文献[2]定义的配电系统网格模型,提出面向“源网荷储”分层分

区平衡的配电系统网格层级模型,如图1所示。

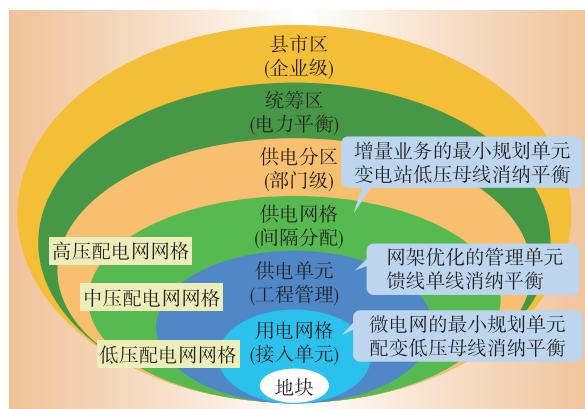


图1 面向分层分区平衡的配电系统网格层级模型

Fig. 1 Power distribution system's grid hierarchical model for hierarchical partition balance

由图1可知,配电系统网格模型包括“县市区、统筹区、供电分区、供电网格、供电单元、用电网格”共6个层级。其中,与“源网荷储”分区平衡相关的则包括用电网格、供电单元、供电网格共3个层级,下面依次介绍。

(1) 用电网格:若干个相邻的、供电电压等级相同或接近的、对供电可靠性要求基本一致的地块(或用户)的组合。用电网格体现最终电力用户对供电可靠性的差异化要求,是面向用电需求侧管理并对微电网进行规划、运行和控制的基本单位。

(2) 供电单元:基于用户用电需求、变电站分布、网架结构、线路负载率等因素划分的边界清晰、规模适度、面向中压线路的实际供电区域,系实施中压网架优化、进行配电系统工程建设的基本单位。

(3) 供电网格:基于行政区划、地理隔离、电网运行维护边界进行划分的、中压网架相对独立的、规模适度的供电区域,以此简化从配电系统规划、设计到调度、运行的管理难度,是变电站出线间隔管理的最小规划单位。

3 面向用电网格的多元化用电需求模型

到2019年末,全国风光发电装机总容量达4.14亿kW,占全部装机容量的20.59%,并呈进一步增长趋势。从发电特征看,2019年全国风力发电和光伏发电的平均满出力发电小时数分别为2 082 h和1 285 h,占年总小时数的比例分别为23.7%和14.7%。间歇性发电机组输出的大幅度变化及超长的低出力持续时间,对配电系统中的储能容量提出了新的要求,以完全容纳风光发电出力的要求。所以,在间歇性发电机组的装机容量不断增长的背景下,电力

系统运行需要应对2个问题:一是风光发电的高出力会导致功率的大容量传输或要求更多的储能容量;二是面对难于精确预测的气候变化,风光发电出力的不确定性给电力系统的发电计划安排、实时调度及安全运行带来困难甚至挑战,并导致电力系统安全保障难度和代价加大、系统运行效率低等问题。

针对上述问题,在局部电网,“源随荷动”的传统电力平衡模式将向以区域配电系统或微电网为核心的“荷随源控”的分区就地平衡模式转变。因此,参照“并网型”微电网^[13]的市场化运行规则,在规划阶段就可以把微电网(或区域配电系统)与公共电网的网络边界通过“上网接口”来描述,如图2所示。

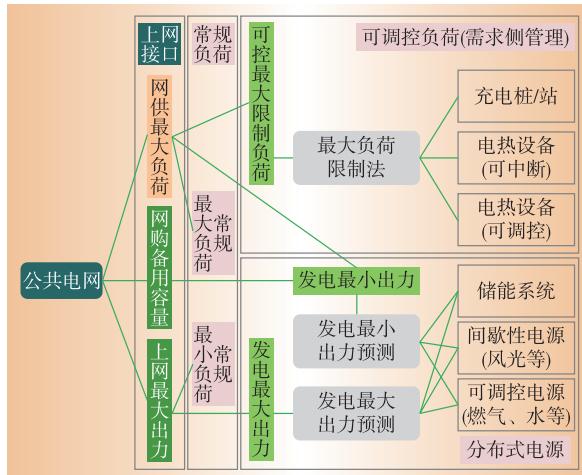


图2 面向用电网格的多元化用电需求模型

Fig. 2 Diversified power demand model for electricity usage grid

由图2可知,“上网接口”包括上网最大功率、网供最大负荷、网购备用容量3个参数。下面描述相关的参量。

(1) 常规最大(小)负荷。电力总负荷包括常规负荷和可控负荷。其中,常规负荷也称基础负荷,是保障人类生活或企业生产正常开展的基本负荷分量,是不可中断的;可控负荷则包括充电桩、电热设备、变频设备等可间断或可调控的设备负荷,例如空调负荷,一般情况下仅影响环境舒适度。因评估对间歇性发电出力消纳能力的需要,常规最大、最小负荷取春秋季节无空调负荷时节的白天最大、最小负荷值。

(2) 可控最大限制负荷。可控最大限制负荷是在可控最大负荷预测值的基础上,根据可实际采取的用电需求侧响应措施而计算得到的可调控类负荷分量的最大值,一般需要考虑用户参与用电需求侧管理的响应比例及可调控最大负荷可降幅度等因素。最大限制负荷是微电网或区域配电系统进行内部运行控制的最基本控制参数。

(3) 发电出力预测。分布式电源总体上可分为间歇性电源(风、光等)、可调控电源(燃气、水等)及储能系统3种类型。风、光等间歇性电源的出力是不稳定的,最小出力为0;燃气、水等可调控电源的出力是稳定且可控的,最大出力为其设计能力;储能系统出力是基本稳定的,最大出力为设计能力,但受容量约束放电时间限制。因此,发电最大出力为间歇性电源、可调控电源、储能系统3者最大出力之和,而发电最小出力则为可调控电源的最大出力。

(4) 上网最大功率。发电最大出力减去常规最小负荷的剩余值(可为负值),是余电上网的最大功率(负值为消纳能力)。

(5) 网供最大负荷。网供最大负荷=常规最大负荷+最大限制负荷-发电最小出力。网供最大负荷是正常情况下用户对公共电网的最大负荷需求值,是公共电网的中压网架规划设计的主要依据,线路需达到规定的供电可靠性要求。

(6) 网购备用容量。网购备用容量指在公共电网安全运行范围内,在网供最大负荷之外,用户可从公共电网获得的额外供电能力,为用户内部电源日常维护或故障停运而提供的临时性供电服务。根据相关规定^[14],并入公共电网的微电网视为可中断系统,不纳入《电力安全事故应急处置和调查处理条例》对电网企业的考核范围;微电网运营主体应根据微电网自平衡情况自主申报备用容量,统一缴纳相应的备用容量费用。因此,网购备用容量的供电可靠性可低于网供最大负荷的供电可靠性,即当线路检修或因故障停运时,用户的网购备用容量可能无法完全满足。

总之,“上网接口”中的上网最大出力指公共电网对微电网或区域配电系统提供的针对间歇性发电出力的最大消纳能力;网供最大负荷及网购备用容量则为公共电网对微电网或区域配电系统提供的具备差异化供电可靠性的供电能力服务,可通过电力市场交易中的电价激励机制对2者进行约束。

4 基于网格的“源网荷储”分层分区平衡模型

根据分布式电源接入配电系统的相关技术规定、配电系统辐射型运行特点和保护配置原则,在规划阶段,把配电系统单向潮流(防倒送)的控制节点设定为变电站变压器低压侧开关、变电站低压母线进、出线开关及配变高压侧开关3个节点,在此基础上,根据配电系统网格层级定义,可得到图3所示的基于网格的“源网荷储”分层分区平衡模型。

在图3中,“源网荷储”平衡包括用电网格、供电单元、供电网格3个网格层级。其中,变电站主变

10 kV侧开关、10 kV馈线出线开关、配变10 kV侧开关为系统潮流控制的3个节点,需满足线路最大供电能力及开关单向潮流(防倒送)这2个系统运行的安全约束。下面介绍这3级网格的分区边界上网接口参数计算方法及相关的潮流约束方程。

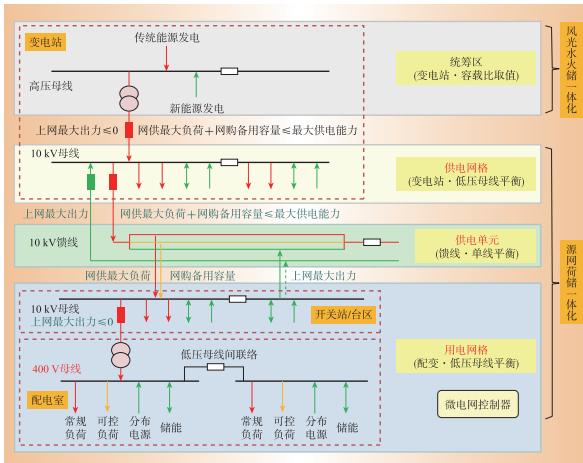


图3 基于网格的“源网荷储”分层分区平衡模型
Fig. 3 Block-based “source-network-load-storage” hierarchical partition balance model

4.1 用电网格

用电网格是多元化用电需求预测的管理单元。

(1) 上网边界接口

$$P_i^P = D_i^P \quad (1)$$

$$P_i^B = D_i^B \quad (2)$$

$$P_i^G = D_i^G \quad (3)$$

式中: P_i^P 、 P_i^B 、 P_i^G 分别为用电网格 i 的网供最大负荷、网购备用容量、上网最大出力需求的边界接口值; D_i^P 、 D_i^B 、 D_i^G 分别为用电网格 i 的网供最大负荷、网购备用容量、上网最大出力需求的控制(预测)值。由于用电网格是多元化用电需求的最小预测单元,所以其边界接口值等于其对应的控制(预测)值。

(2) 节点约束方程(配电室 400 V 母线)

在低压配电系统规划时,所确定的分布式电源接入方案应能确保对间歇性可再生能源发电的本地消纳,且配变10 kV开关侧潮流不倒送。当 P_i^G 大于0时,应采用10 kV接入方式。

(3) 网络优化设计内容

针对400 V母线分段上的常规负荷、可控负荷、分布式电源及储能进行平衡和优化,以满足间歇性可再生能源发电的本地消纳和配变潮流不倒送要求。

当400 V母线不能实现对间歇性可再生能源发电的本地消纳时,应提高分布式电源的接入电压等级。

4.2 供电单元

供电单元是中压网架结构优化的管理单元。

(1) 上网边界接口

$$P_j^P = \sum_{i=1}^{n_j} (P_{j,i}^P) \quad (4)$$

$$P_j^B = \sum_{i=1}^{n_j} (P_{j,i}^B) \quad (5)$$

$$P_j^G = \sum_{i=1}^{n_j} (P_{j,i}^G) \quad (6)$$

式中: n_j 为供电单元 j 包含的用电网格数量; $P_{j,i}^P$ 、 $P_{j,i}^B$ 、 $P_{j,i}^G$ 分别为供电单元 j 中用电网格 i 的网供最大负荷、网购备用容量、上网最大出力需求的边界接口值。

由式(4)—式(6)可知,供电单元的边界接口值等于其包含的用电网格对应值之和。当 P_j^G 大于0时,当前供电单元不能实现对间歇性可再生能源发电的本地消纳,应通过10 kV电源专线接入变电站10 kV母线。

(2) 节点约束方程(10 kV 进出线)

出线(馈电线路)

$$P_l^P = \sum_{i=1}^{n_l} (P_{l,i}^P + P_{l,i}^B) \leq P_l^{\max} \quad (7)$$

$$P_l^G = \sum_{i=1}^{n_l} (P_{l,i}^G) \leq 0 \quad (8)$$

进线(电源线路)

$$P_l^P = \sum_{i=1}^{n_l} (P_{l,i}^G) \leq P_l^{\max} \quad (9)$$

式中: n_l 为 10 kV 线路 l 包含的用电网格数量; $P_{l,i}^P$ 、 $P_{l,i}^B$ 、 $P_{l,i}^G$ 分别为馈电线路 l 中用电网格 i 的网供最大负荷、网购备用容量、上网最大出力需求的边界接口值; P_l^{\max} 为 10 kV 线路 l 的最大供电能力限制值。

由式(7)—式(8)可知,馈电线路 l 的最大负荷等于其包含的用电网格的网供最大负荷及网购备用容量之和,应小于该线路的最大供电能力;上网最大出力应小于或等于0,满足馈线单向潮流约束。由式(9)可知,电源线路 l 的上网最大出力需求等于其包含的用电网格的上网最大出力之和,应小于该线路的最大传输能力,取值应小于或等于0。

(3) 网络优化设计内容

优化确定在10 kV电压等级上的分布式电源接入方式,包括通过电源专线(含支线)和一般负荷线路(仅支线)2种。

优化确定在10 kV电压等级上的分布式电源接入负荷线路的分段位置,以实现电源和负荷的分段平衡。

4.3 供电网格

供电网格是线路接入变电站母线的管理单元。

(1) 上网边界接口

$$P_k^P = \sum_{j=1}^{m_k} (P_{k,j}^P) \quad (10)$$

$$P_k^B = \sum_{j=1}^{m_k} (P_{k,j}^B) \quad (11)$$

$$P_k^G = \sum_{j=1}^{m_k} (P_{k,j}^G) \quad (12)$$

式中: m_k 为供电网格 k 包含的供电单元数量; $P_{k,j}^P$ 、 $P_{k,j}^B$ 、 $P_{k,j}^G$ 分别为供电网格 k 中供电单元 j 的网供最大负荷、网购备用容量、上网最大出力需求的边界接口值。

由式(10)一式(12)可知,供电网格的边界接口值等于其包含的供电单元对应值之和。当 P_k^G 大于 0 时,当前供电网格不能实现对间歇性可再生能源发电的本地消纳,应通过 35 kV 及以上电源专线接入变电站高压侧母线。

(2) 节点约束方程(变电站 10 kV 母线)

设计的分布式电源接入方案要确保间歇性可再生能源发电能本地消纳以及主变 10 kV 侧开关潮流不倒送。当 P_k^G 大于 0 且周边供电网格也无法消纳间歇性可再生能源发电时,应采用 35 kV 及以上的高压接入方式。

(3) 网络优化设计内容

优化确定 10 kV 馈电线路接入变电站母线分段的位置;优化确定 10 kV 分布式电源专线接入母线分段的位置,以实现母线分段上电源与负荷的平衡与优化;当 10 kV 母线无法实现对间歇性可再生能源发电的本地消纳时,应提高分布式电源的接入电压等级。

5 算例与结果

以长三角某开发区为例来说明所提方法的可行性和有效性。该开发区包括 2 个供电网格、6 个供电单元、93 个用电网格,含居住、商业、科研、医院、文体等多类型负荷,其中的可调控负荷主要为空调负荷。各类网格的空调负荷占常规总负荷的 30%~50%,不同类型用户的空调负荷参与调控的响应度为 30%~80%,预期通过提高空调设定温度可削减的空调负荷峰值幅度为 10%~15%。在确定网供电力需求时,需要系统能提供满足开发区最大负荷需求的供电能力,区内不采用除提高空调设定温度以外的额外负荷控制措施,这样网购备用容量取最大负荷需求与网供最大负荷的差值,可控最大限制负荷取可控最大负荷与峰值可削减负荷的差值。在此基础上,可得到表 1 列出的该开发区各级网格的多元化负荷预测结果。

从表 1 中列出的预测数据可以看出,开发区各级网格的上网最大出力均为负值,分布式发电的穿透力低,能完全实现对间歇性可再生能源发电的本地消纳,且尚具有 91.9 MW 的剩余消纳能力。在采用提高空调

设定温度进行削峰这个单一措施时,空调负荷峰值可削减总量可达 14.76 MW,网供削峰效果为 3.87%。通过提高用户的参与响应度,可以改善削峰效果。

6 结束语

在配电系统网格化规划的框架下,按照“源网荷储一体化”分层分区就地平衡及差异化供电可靠性规划设计原则,建立了面向用电网格的多元化用电需求及“源网荷储”分层分区平衡模型,并提出了可开展的配电系统网架优化设计内容。

配电系统规划实践表明,本文所提分区平衡及网架优化方法可有效降低用户对系统的最大负荷需求、改善系统负荷特性、提高线路负载率、降低电网投资规模,实现源网荷储各环节协调发展,提升系统运行安全和经济性。

参考文献:

- [1] 国家发改委国家能源局.关于开展“风光水火储一体化”“源网荷储一体化”的指导意见(征求意见稿)[EB/OL].(2020-08-27)[2020-11-17].http://www.gov.cn/hudong/2020-08/27/content_5537996.htm.
- [2] 杜佩仁,董祥飞,林韶生,等. DSMT 配电网模型及其配电网规划体系设计研究[J]. 电力大数据,2018,21(3):1-6.
DU Peiren, DONG Xiangfei, LIN Shaosheng, et al. Research on grid model of DSMT and design of planning structure for distribution power system[J]. Power Systems and Big Data, 2018, 21(3):1-6.
- [3] 李海涛,孙波,王轩. 配电网网格化规划方法及其应用[J]. 电力系统及其自动化学报,2015(S1):33-37.
LI Haitao, SUN Bo, WANG Xuan. Power grid planning method and its application [J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2015(S1):33-37.
- [4] 李相涛,董澎涛,姜能涛. 配电网网格化规划方法及其运用[J]. 电力系统装备,2017(10):82-83.
LI Xiangtao, DONG Pengtao, JIANG Nengtao. Distribution grid planning method and application [J]. Electric Power System Equipment, 2017(10):82-83.
- [5] 张铭昕,刘洪志. 配电网规划的网格化方法应用[J]. 科学与信息化,2017(6):76-76, 78.
ZHANG Mingxin, LIU Hongzhi. The gridding method of distribution network planning application [J]. Science and Informatization, 2017(6):76-76, 78.
- [6] 温权,李敬如,赵静. 空调负荷计算方法及应用[J]. 电力需求侧管理,2005,7(4):16-18.
WEN Quan, LI Jingru, ZHAO Jing. Air-conditioning load calculation method and application [J]. Power Demand Side Management, 2005, 7(4):16-18.
- [7] 唐伟斌,李涛,邹品晶,等. 基于皮尔逊相关系数的电网夏季空调负荷预测研究[J]. 电力需求侧管理,2017,

表1 基于网格的多元化用电需求预测
Table 1 Diversified power demand forecast based on blocks

供 电 网 格	网格编号	主导 产业 类型	网格多元化负荷预测/MW								网供供电能力需求/MW						网 供 削 峰 效 果 /%
			常规 最大 负 荷	常规 最小 负 荷	可 控 最 大 负 荷	发 电 最 大 出 力	最 大 负 荷	上 网 最 大 出 力	可 控 负 荷	用 户 参 与 响 应 度 /%	峰 值 可 削 减 幅 度 /%	可 控 负 荷	网 供 最 大 负 荷	网 购 最 大 负 荷	网 供 最 大 备 用 容 量	网 供 最 大 供 电 能 力	
CQ	GD01-01	商业	2.12	1.55	2.11	0.37	0.15	4.08	-1.18	10	60	0.13	1.98	3.95	0.13	4.08	3.19
	GD01-:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	
	CQ 21	居住	1.39	0.74	0.97	0.59	0.24	2.12	-0.15	15	30	0.04	0.93	2.08	0.04	2.12	1.89
	小计		28.85	13.80	33.51	7.73	3.09	59.27	-6.07	14	45	2.11	31.40	57.16	2.11	59.27	3.56
	GD02-01	科研	1.37	0.80	1.87	0.27	0.11	3.13	-0.53	15	80	0.22	1.65	2.91	0.22	3.13	7.03
	GD02-:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	
	CQ 08	居住	1.88	1.10	2.56	0.36	0.15	4.29	-0.74	15	30	0.12	2.44	4.17	0.12	4.29	2.80
	小计		9.94	5.83	13.58	1.93	0.77	22.75	-3.90	15	60	1.22	12.36	21.53	1.22	22.75	5.36
	GD03-01	医院	3.06	2.83	2.86	0.24	0.09	5.83	-2.59	10	60	0.17	2.69	5.66	0.17	5.83	2.92
	GD03-:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	
KF	CQ 10	科研	2.01	1.87	1.88	0.16	0.06	3.83	-1.71	15	80	0.23	1.65	3.60	0.23	3.83	6.01
	小计		19.74	18.30	18.46	1.52	0.61	37.59	-16.78	14	75	1.94	16.52	35.65	1.94	37.59	5.16
	GD04-01	商业	5.10	4.31	5.89	0.38	0.15	10.84	-3.93	10	60	0.35	5.54	10.49	0.35	10.84	3.23
	GD04-:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	
	CQ 07	科研	2.21	1.87	2.55	0.16	0.07	4.69	-1.71	15	80	0.31	2.24	4.38	0.31	4.69	6.61
	小计		26.07	22.04	30.08	1.92	0.77	55.38	-20.12	13	70	2.74	27.34	52.64	2.74	55.38	4.95
	GD01-01	商业	0.41	0.29	0.33	0.06	0.01	0.73	-0.23	10	60	0.02	0.31	0.71	0.02	0.73	2.74
	GD01-:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	
	KF 31	居住	2.13	1.50	1.74	0.30	0.05	3.82	-1.20	15	30	0.08	1.66	3.74	0.08	3.82	2.09
	小计		60.16	42.26	49.08	8.50	1.42	107.82	-33.76	13	45	2.87	46.21	104.95	2.87	107.82	2.66
	GD02-01	文体	3.79	2.91	7.18	1.21	0.36	10.61	-1.70	10	60	0.43	6.75	10.18	0.43	10.61	4.05
	GD02-:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	
	KF 16	居住	1.28	0.98	2.42	0.41	0.12	3.58	-0.57	15	30	0.11	2.31	3.47	0.11	3.58	3.07
	小计		25.18	19.32	47.70	8.05	2.36	70.52	-11.27	13	45	2.79	44.91	67.73	2.79	70.52	3.96
	合计		169.94	121.55	192.41	29.65	9.02	353.33	-91.90	13.70	56	14.76	178.74	339.66	13.67	353.33	3.87

注:① 最大负荷需求=常规最大负荷+可调控最大负荷-发电最小出力;② 峰值可削减负荷=可控最大负荷×可控负荷可削减幅度×用户参与响应度;③ 网供最大负荷=常规最大负荷+可控最大限制负荷-发电最小出力;④ 上网最大出力=发电最大出力-常规最小负荷;⑤ 最大供电能力=网供最大负荷+网购备用容量;⑥ 网供削峰效果=1-网供最大负荷/最大负荷需求。

- 19(6):7-13.
- TANG Weibin, LI Tao, ZHOU Pinjing, et al. Air-condition load forecasting in summer of power grid using Pearson correlation coefficient [J]. Power Demand Side Management, 2017, 19(6):7-13.
- [8] 荣秀婷,葛斐,王海超,等.一种新的最大负荷分解方法[J].现代电力,2014,31(4):44-46.
- RONG Xiuting, GE Fei, WANG Haichao, et al. A new decomposition method of maximum load [J]. Modern Electric Power, 2014, 31(4):44-46.
- [9] 李健,林韶生,陈芳,等.基于大数据的台区行业聚合分类方法及分类特征分析[J].电力大数据,2020,23(3):1-9.
- LI Jian, LIN Shaosheng, CHEN Fang, et al. Analysis of the substation area industry clustering methods and classification characteristics based on the big data [J]. Power Systems and Big Data, 2020, 23(3):1-9.
- [10] 李健,王琛,林韶生,等.基于大数据平台的点负荷近中期负荷预测及行业负荷增长特征分析[J].电力大数据,2020,23(2):17-25.
- LI Jian, WANG Chen, LIN Shaosheng, et al. Load forecasting of point load in the near and medium term and the analysis of its growth characteristics based on big data platform [J]. Power Systems and Big Data, 2020, 23(2):17-25.
- [11] 冯磊,杜佩仁,李超,等.计及行业间同时率的分区最大负荷预测方法及应用[J].电力大数据,2018,21(3):7-14.
- FENG Lei, DU Peiren, LI Chao, et al. Method and application of the Subarea maximum load forecasting with inter-industry simultaneous [J]. Power Systems and Big Data, 2018, 21(3):7-14.
- [12] 孙智卿,王守相,周凯,等.基于负荷分解的用户侧自动需求响应系统[J].电力系统及其自动化学报,2016,28(12):64-69.
- SUN Zhiqing, WANG Shouxiang, ZHOU Kai, et al. Automated demand response system in user side based on load disaggregation [J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2016, 28(12):64-69.

(下转第42页)