

科技纵览

2019.01

IEEE
SPECTRUM

科技专业人士的杂志

FOR THE TECHNOLOGY INSIDER

太空探索技术公司

VS.

蓝色起源公司

**最强的
太空角逐
正在升温 P24**

顶尖 技术

2019

特别
报道

太空探索技术公司的“大猎鹰”火箭（图左）
和蓝色起源公司的“新格伦”火箭（图右）

 **IEEE**

ISSN 2095-4409



邮发代号：2-944 定价：25元



06

评论

数万亿设备的世界

ARM 首席执行官西蒙·希加斯称，即将到来的第 5 次计算浪潮将超越物联网的界限。

作者: Tekla S. Perry

03 幕后故事

04 撰稿人

20 万物互联: 时机是关键

21 数字不会说谎:

能源强度与旅客出行

22 反思: 是什么造就了一所好大学?

07

最新进展

无人机运送人体器官

需要与时间赛跑时，航空运输可能是最好的选择。

作者: Michelle Hampson

09 植物育种工作者希望将最乏味的任务自动化

10 微软正在寻找能够玩《我的世界》的人工智能

12 使故障电池更安全的技术

14

资源导航

Poco 的奇异进化史

照相机如何变成可编程手持控制台。

作者: Grant Sinclair

16 工具与玩具: 消费电子荣誉榜

17 极客生涯:

Minitel 的小范围复兴

18 问与答: 为什么优秀的工程师会编写出糟糕的软件?

80 鉴往知来: 我的朋友菲比

54

本期关注

54 非补燃压缩空气储能:

大规模储能新选择

作者: 梅生伟、张学林、薛小代、陈来军

58 新型大型钢轨探伤车:

迈向在役钢轨缺陷综合检测监测的未来

作者: 熊龙辉、石永生、张玉华

60 智慧出行, 从“交通超脑”开始

作者: 吴建平、罗龙溪、彭德品

在线资讯

Spectrum.ieee.org

世界上最恐怖的机器人

机器人排名是 IEEE Spectrum 机器人指南中最受欢迎的功能之一。尽管机器人的排名几乎每天都有变化, 但有一款机器人数月来一直位居最恐怖机器人排行榜榜首: 日本制造的远端临场设备——Telenoid 机器人, 它是一款令人毛骨悚然的机器人。查看全部排名请登录 <https://robots.ieee.org/robots/>

64 Web 及网络数据库系统的安全漏洞与应对技术

作者: 周炜、朱磊、孙恒、马艺心

68 新时代,

法定身份管理的新征程

作者: 于锐

72 阵列码: 存储计算两相宜

作者: 李挥、侯韩旭、朱兵

74 气体:

3D 打印精益求精的秘密

作者: 林德集团

76 节能减排, 从“萤火虫”开始——基于积分机制的

电力需求响应示范

作者: 丁一、栾开宁、惠红勋

科技资讯

科技专业人士 / 在线研讨会

可登录 spectrum.ieee.org/webinar 查看

- ▶ 点播在线研讨会: 系统仿真与控制——使用 Altair Activate 提高机电系统的整体性能
- ▶ 点播在线研讨会: EMA3D-Internal 全耦合内部空间充电仿真
- ▶ 点播在线研讨会: 克服临界功耗测试挑战

白皮书

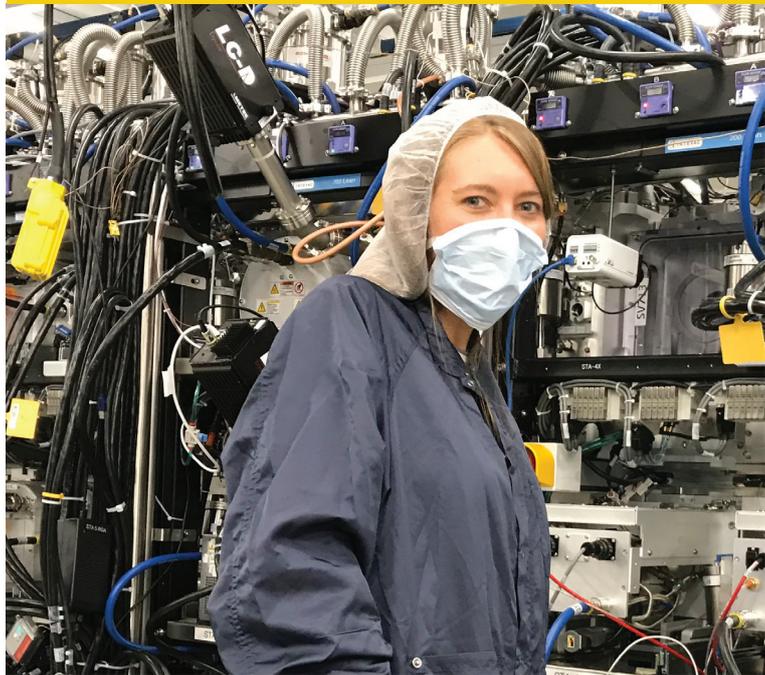
可登录 <http://spectrum.ieee.org/whitepapers> 查看

- ▶ 飞行器雷电附着和冲击仿真
- ▶ 利用高强度照明测试提高汽车测试效率

The Institute

可登录 theinstitute.ieee.org 查看

- ▶ 技术改造服装业
了解如何将智能面料用于服装, 如运动服和工作装备。
- ▶ 更新服装工人的技能
终身会士 Kurt E. Petersen 因在微电子机械系统方面的开创性工作而受到表彰。
- ▶ IEEE 里程碑
IEEE 标准协会已经引入了第一个为自主智能系统开发指标和过程的程序。



硬盘的秘诀

有时候，讲故事最难的部分就是决定该省略什么。IEEE Spectrum 的新闻经理（上图）艾米·诺顿（Amy Nordrum）为本期撰写报道《为磁盘驱动器的未来而战》期间，在希捷科技公司位于加州费里蒙特的研发部门度过了一天，就遇到了一些艰难的抉择。

她去那儿是为了了解热辅助磁记录（HAMR）。有两种技术有望帮助制造商在一个硬盘的每个磁盘区上写入 4 到 5 倍的数据，HAMR 即是其中之一。在参观期间，她甚至穿上了无尘室服装，看到了磁盘的生产过程——一个非常精细的包含大量猜测工作的工业过程。

每个磁盘一开始都是一块形状像甜甜圈的平板玻璃。一个传送带将一托盘磁盘送进价值数百万美元的大型机器中（上图展示了机器的一部分）。每个“甜甜圈”进入机器后都将被加热，并快速通过一系列真空密封的腔室，这些腔室在打开和关闭以接纳和排出玻璃环时会发出一种稳定的“咔嚓咔嚓”声。

在这些腔室内悬挂着磁性材料薄片，如铁和铂。在一个叫做“溅射”的过程中，来自气体等离子体的离子会冲击薄片，并使其中的粒子松动。然后，当每个光滑的玻璃“甜甜圈”经过时，一些粒子会附着在上面，在磁盘的两面形成一层薄薄的磁性层。之后，技术人员抛光每个磁盘的表面并添加润滑剂。

为了提高硬盘性能，希捷的研究人员必须不断调整在一个磁盘上沉积多个磁性层的方式。公司的机器每天在不同的温度和压力下溅射数百个磁盘。

黄国兴是希捷公司的研发副总裁，他告诉诺顿，这个过程“几乎就像烹饪”，他还说，对于什么能够提高磁盘的性能“当然有理论上的理解”。“但是很多时候，”他说，“就是反复试验。”

图片：希捷公司

2019.01

IEEE SPECTRUM 科技纵览

2019年1月刊
(总第78期)

主管单位
中华人民共和国科学技术部
主办单位
中国科学技术信息研究所
科学技术文献出版社

出版单位
《科技纵览》编辑部
运营单位
北京万方数据股份有限公司

总编辑：乔晓东
副总编辑：张勇
执行主编：杨朝峰 张志娟
编辑：庄琰 王贞 杜莹
王开阳 贾晓峰
运营总监：刘波
发行主管：杨秀娟
市场主管：程艳荣
美术编辑：张俊强

《科技纵览》编辑部
地址：北京市复兴路15号(100038)
电话：010-58882542(编辑)
010-58882261(发行)
010-58882432(市场)
传真：010-58882542
邮箱：zhuangy@wanfangdata.com.cn
wangzhen@wanfangdata.com.cn
duying@wanfangdata.com.cn
yangxj@wanfangdata.com.cn(订阅)

国内发行：北京报刊发行局
订 阅：全国各地邮局
邮发代号：2-944
出版日期：2019年1月25日

定 价：25元/全年300元(含邮费)
银行账户：北京万方数据股份有限公司
开户银行：工商银行会城门支行
账 号：0200041419006769846

国际标准连续出版物号：ISSN 2095-4409
国内统一连续出版物号：CN 10-1080/N

广告经营登记证：京海工商广登字 20170148 号
印 刷：北京中科印刷有限公司

广告代理：精致(北京)广告有限公司



扫码关注
微信公众号



@IEEE 科技纵览
<http://weibo.com/ieeekjzl>



Jeff Foust

Foust是《太空新闻》(SpaceNews)的资深撰稿人。本期,他报道了两家私人航天公司:埃隆·马斯克的太空探索技术公司和杰夫·贝索斯的蓝色起源公司(第24页)。他对这两家公司都做了大量报道,例如,去年2月他参加了太空探索技术公司猎鹰重型火箭的首次发射,预计2019年还会有更多。他的报道公正吗?“当然,”Foust说道,“我没有特斯拉,但我也在亚马逊购物。”



Michelle Hampson

Hampson是温哥华的一位自由撰稿人,本期她报道了无人机运送人体器官的情况(第7页)。她的父亲是一位科学家,晚餐时经常谈论细胞生物学。最近,她发现自己的话题转向了人类进化和CRISPR等新型基因编辑技术。“我喜欢人类探索技术进步而增强自身的过程,”Hampson说,“这让我有点害怕,但我同时又很喜欢。”



Emile Holmewood

Holmewood是总部位于东京的插画工作室Blood Bros.的设计师,该工作室得名于20世纪90年代的一款电子游戏。他为本期的“顶尖技术”报道制作了封面和几幅插图。Holmewood以日本动漫式的丰富多彩的画面而闻名,他将自己的风格描述为“将嚼过的数码泡泡糖塑成形状,然后压在一块玻璃下面。口味包括柚子、切达干酪、棉花糖、青蛙和鲑鱼。”



Robert W. Lucky

本月是Lucky为“反思”专栏撰稿36周年纪念。Lucky先后在贝尔实验室和卓讯科技(Telcordia Technologies)担任了几十年的电信工程师和经理人,后来他发明了一种自适应均衡器,使电话调制解调器的速度提高了3倍。他是IEEE会士,同时还是美国国家工程院的成员,曾在多家知名咨询公司任职。



Brian Santo

基本数据网(EDN)是一家服务于设计工程师的在线期刊,Santo是期刊主编。他曾在20世纪80年代末任职本刊编辑,并于2009年撰写了《震撼世界的25个微型芯片》(这是我们“芯片荣誉榜”的前身)和新发布的《消费电子荣誉榜》,第16页有其中的一段摘录。Santo和他的妻子Lisa住在太平洋西北地区,家里有一部iPod,几部iPad、iPhone和安卓手机,一台Playstation 4游戏机,6台笔记本电脑和一个电饭煲。

顾问委员会

总顾问: 胡启恒院士
顾问: 李国杰院士 邬贺铨院士
戴汝为院士 柳百新院士

编辑委员会

主任委员:
赵志耘 中国科学技术信息研究所

委员(按姓氏笔画排序):

王杰高	南京埃斯顿机器人工程有限公司
王潮	上海大学
王刚	康模数字软件技术(上海)有限公司
王湘念	中国航空制造技术研究院
毛军发	上海交通大学
邓自刚	西南交通大学
牛智川	中国科学院半导体研究所
艾渤	北京交通大学
冯士维	北京工业大学
冯新斌	中国科学院地球化学研究所
纪越峰	北京邮电大学
李学龙	中国科学院西安光学精密机械研究所
李挥	北京大学
李智军	华南理工大学
李世华	电子科技大学
刘东	埃森哲
刘仿	清华大学
刘彦明	西安电子科技大学
任雁铭	北京四方继保自动化股份有限公司
邢福国	中国农业科学院农产品加工研究所
许晓东	北京邮电大学
陈永翀	中国科学院电工研究所
陈山枝	大唐电信科技产业集团
陈炜	安谋电子科技(上海)有限公司
陈林根	海军工程大学
宋爱国	东南大学
吴华强	清华大学
沈国震	中国科学院半导体研究所
杜克林	宁波瀚联信息技术有限公司
张元亭	香港中文大学
张荻	上海交通大学
张振伦	F5 Networks
尚守平	湖南大学
杨青	浙江大学
洪伟	东南大学
陶知非	中国石油集团东方地球物理勘探有限公司
徐丰	复旦大学
徐坤	北京邮电大学
袁小明	华中科技大学
康鹏举	通用电气(GE)
程和平	北京大学
董振江	中兴通讯股份有限公司
蒋勇青	北京万方数据股份有限公司
魏晓勇	西安交通大学

知识产权声明:

IEEE, IEEE SPECTRUM, IEEE中文网站的名称和标识,属于位于美国纽约的电气电子工程师学会有限责任公司所有的商标,仅通过授权使用。这些材料的一部分由IEEE SPECTRUM英文版翻译而来,版权归IEEE所有,并经IEEE授权翻译复制。

IEEE SPECTRUM杂志之简体中文版权,由美国电气电子工程师学会有限责任公司授予中国科学技术信息研究所,并由本刊独家使用。

本刊发表的所有文章内容由作者负责,并不代表中国科学技术信息研究所、美国电气电子工程师学会有限责任公司的立场。

本刊内容未经书面许可,不得以任何形式转载或使用。

IEEE 中文网站: <http://cn.ieee.org>

IEEE SPECTRUM

编辑部

主编: Susan Hassler

执行主编: Glenn Zorpette

数字版编辑总监: Harry Goldstein

执行编辑: Elizabeth A. Bretz

高级美术总监: Mark Montgomery

高级编辑:

Stephen Cass (资源), Erico Guizzo (数字), Jean Kumagai, Samuel K. Moore, Tekla S. Perry, Philip E. Ross, David Schneider

美术副总监: Brandon Palacio

摄影总监: Randi Klett

助理美术总监: Erik Vriellink

高级副编辑: Eliza Strickland

新闻经理: Amy Nordrum

副编辑: Willie D. Jones (数字), Michael Koziol

高级文案编辑: Joseph N. Levine

文案编辑: Michele Kogon

编务研究员: Alan Gardner

行政助理: Ramona L. Foster

特约编辑:

Evan Ackerman, Mark Anderson, Robert N. Charette, Peter Fairley, Tam Harbert, Mark Harris, David Kushner, Robert W. Lucky, Prachi Patel, Morgen E. Peck, Richard Stevenson, Lawrence Ulrich, Paul Wallich

期刊制作服务总监: Peter Tuohy

编辑与网络制作经理: Roy Carubia

高级电子排版专员: Bonnie Nani

数字产品经理: Shannan Brown

网络制作协调人: Jacqueline L. Parker

多媒体制作专员: Michael Spector

广告产品经理: Felicia Spagnoli

高级广告产品协调员: Nicole Evans Gyimah

编辑顾问委员会

Susan Hassler, 主席; David C. Brock, Sudhir Dixit, Limor Fried, Robert Hebner, Joseph J. Helble, Grant Jacoby, Leah Jamieson, Jelena Kovacevic, Deepa Kundur, Norberto Lerendegui, Steve Mann, Allison March, Jacob Østergaard, Umüt Ozguner, Thrason N. Pappas, H. Vincent Poor, John Rogers, Jonathan Rothberg, Umar Saif, Takao Someya, Maurizio Vecchione, Yu Zheng, Kun Zhou, Edward Zyskowski

IEEE 出版总负责人: Michael B. Forster

业务发展、媒体和广告总监: Mark David

编辑部

地址: IEEE Spectrum, 3 Park Ave., 17th Floor,
New York, NY 10016-5997, U.S.A.

电话: +1 212 419 7555; +1 212 419 7570 (传真)

办事处:

加州帕洛阿尔托: Tekla S. Perry: +1 650 752 6661

广告垂询

地址: IEEE GLOBALSPEC, 30 Tech Valley Dr., Suite 102,
East Greenbush, NY 12061, U.S.A.

电话: +1 844 300 3098; +1 800 261 2052 (免费)

网址: www.globalspec.com



IEEE 董事会

主席兼首席执行官: José M.F. Moura, president@ieee.org

+1 732 562 3928 Fax: +1 732 465 6444

当选主席: Toshio Fukuda

财务主管: Joseph V. Lillie **秘书:** Kathleen A. Kramer

前任主席: James A. Jefferies

副主席:

Witold M. Kinsner, 教育活动; Hulya Kirkici, 出版服务与产品; Francis B. Grosz Jr., 会员与地区活动; K.J. "Ray" Liu, 技术活动; Robert S. Fish, 主席, IEEE 标准协会; Thomas M. Coughlin, 主席, IEEE-USA

学科主席:

Renuka P. Jindal (I); David B. Durocher (II); Vijay K. Bhargava (III); John P. Verboncoeur (IV); John W. Walz (V); Manuel Castro (VI); Bruno C. Meyer (VII); Elizabeth L. "Liz" Burd (VIII); Alejandro "Alex" Acero (IX); Ljiljana Trajkovic (X)

大区主席:

Babak Beheshti (1); Wolfram Betterman (2); Gregg L. Vaughn (3); David Alan Koehler (4); Robert C. Shapiro (5); Keith A. Moore (6); Maike Luiken (7); Mardalena Salazar-Palma (8); Teófilo Ramos (9); Akinori Nishihara (10)

名誉主席: Theodore W. Hissey

IEEE 雇员

执行总干事兼首席运营官: Stephen Welby

+1 732 502 5400, s.p.welby@ieee.org

首席信息官: Cherif Amirat

+1 732 562 6399, c.amirat@ieee.org

法律总顾问兼首席合规官:

Jack S. Bailey, +1 212 705 8964, j.s.bailey@ieee.org

出版业务: Michael B. Forster

+1 732 562 3998, m.b.forster@ieee.org

首席市场官: Karen L. Hawkins

+1 732 562 3964, k.hawkins@ieee.org

公司活动: Donna Hourican

+1 732 562 6330, d.hourican@ieee.org

会员与地区活动: Cecelia Jankowski

+1 732 562 5504, c.jankowski@ieee.org

标准活动: Konstantinos Karachalios

+1 732 562 3820, constantin@ieee.org

教育活动: Jamie Moesch

+1 732 562 5514, j.moesch@ieee.org

首席财务官兼代理首席人力资源官:

Thomas R. Siegert +1 732 562 6843, t.siegert@ieee.org

技术活动: Mary Ward-Callan

+1 732 562 3850, m.ward-callan@ieee.org

秘书长, IEEE-USA: Chris Brantley

+1 202 530 8349, c.brantley@ieee.org

IEEE 出版服务与产品委员会

Hulya Kirkici, 主席; Derek Abbott, John Baillieul, Sergio Benedetto, Ian V. "Vaughan" Clarkson, Eddie Custovic, Samir M. El-Ghazaly, Ron B. Goldfarb, Larry Hall, Ekram Hossain, W. Clem Karl, Om P. Malik, Aleksander Mastilovic, Carmen S. Menoni, Paolo Montuschi, Lloyd A. "Pete" Morley, Sorel Reisman, Gianluca Setti, Gaurav Sharma, Maria Elena Valcher, John Vig, Steve Yurkovich, Bin Zhou, Reza Zoughi

IEEE 运营中心

445 Hoes Lane, Box 1331

Piscataway, NJ 08854-1331 U.S.A.

Tel: +1 732 981 0060 Fax: +1 732 981 1721

节能减排，从“萤火虫”开始

——基于积分机制的电力需求响应示范

电力需求响应是指通过价格信号或激励措施使电力用户调整用电行为，从而协助电力系统实时平衡，并达到降低负荷峰谷差、促进新能源消纳、减少能源消耗等目的。国家重点研发计划“城区用户与电网供需友好互动系统”项目团队推出“萤火虫计划”，拟采用积分机制作为现行定价机制的有益补充，将负荷的峰谷高低直接转换为时段对应积分大小，激励电力用户改变原有的用电模式，达到合理利用电能及节能减排的目的。

2011年，丹麦在博恩霍尔姆岛（Bornholm）开展了智能电网 Fast Track 项目，将家庭智能电表、含智能电器的智能房屋以及天气预报系统相连，实现室内温度自动调节。在美国，迈阿密智能能源综合项目和博尔德智能电网城市项目等通过智能电表、太阳能发电设备、储能和电动汽车的推广，为用户提供能源管理和实施方案，并通过需求响应降低用户的能源消费成本。在德国，联邦经济技术部启动的 E-Energy 促进计划，通过发展智能发电、智能电网、智能消费和智能储能 4 个方面的技术，建立一个能够实现自我调控的信息化能源系统，其中一个重要方案就是执行需求响应。

实践证明，通过减少负荷直接补偿的通知或者电价上升的信号，可以激励电力用户改变原有的用电模式，推移尖峰时段的用电负荷，保障电网更加安全、稳定、经济运行。我国已经开始施行的有序用电是通过行政手段，引导用户减少负荷或者推移负荷，可以认为是一种特殊的需求响应。但整体来看，传统的需求响应手段缺乏竞争性市场机制，难以同时满足降低综合能耗和减小电网峰

谷差的要求。此外，空调等非生产性负荷快速增长，电网峰谷差呈不断拉大态势；终端用户尤其是城区用户用能形式多样化，用能模式仍不合理，且目前城区用户用电增速明显高于工农业的用电增速，对负荷峰谷差和综合能耗的影响越来越大。因此，我国急需开展城区用户与电网的供需友好互动研究，进一步建立完善的需求响应市场机制和技术体系，基于我国电力市场实际发展情况，研究适合需求侧主动响应的市场规范和交易机制，引导市场主体公平交易和主动响应，充分发挥需求侧资源在保障电网安全稳定运行和节能减排等方面的重要作用。

国家重点研发计划“智能电网技术与装备”专项中设立了“城区用户与电网供需友好互动系统”研究项目，以互联网技术为重要支撑，通过揭示城区用户与电网互动机理，充分运用需求侧主动响应的市场机制，建设城区用户与电网供需友好互动系统，降低区域综合能耗及减小电网峰谷差，从而为我国电力体制改革的探索提供有力支撑。项目选取了江苏省苏州环金鸡湖地区和常州武进地区作为示范区。两个示范区各有特

色，分属国家发改委首批需求侧管理试点城市和江苏省智慧能源示范区，示范区所在行政区合计人口 238 万，参与示范的家庭用户 11 万户，预期示范互动居民用户综合能耗下降 5.5% 以上，示范区峰谷差下降 5.8% 以上。

项目团队是由国网江苏省电力公司、国电南瑞科技股份有限公司、中国电力科学研究院、浙江大学等 12 家单位组成的一支产、学、研、用紧密结合的攻关团队。团队拥有电网安全与节能、新能源电力系统等 4 个国家重点实验室，承担或完成 50 余项国家 863 计划项目、国家科技支撑计划项目以及欧盟智能电网项目等重大科研项目，牵头制定了 IEC PC118 智能电网用户接口和 IEC TC8 分布式电源与电网互联等国际标准。团队还牵头成立了包含海尔、美的等家电厂商在内的智能用电产业联盟，开发完成了国家发改委国家电力需求侧管理平台。

基于积分机制的需求响应原理

目前我国尚处于电力市场建设的初期，电价制定由国家管控，不具有实时动态可变的条件；同时，居民用户耗电

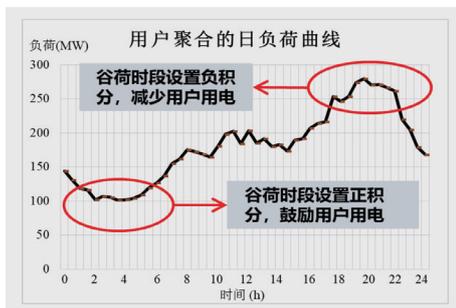


图1 基于积分机制的需求响应原理图

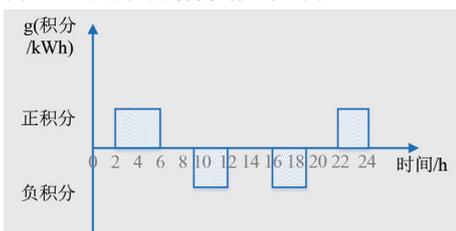


图2 需求响应积分机制实现方法

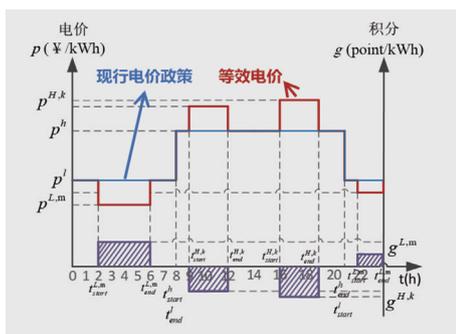


图3 需求响应积分机制的本质

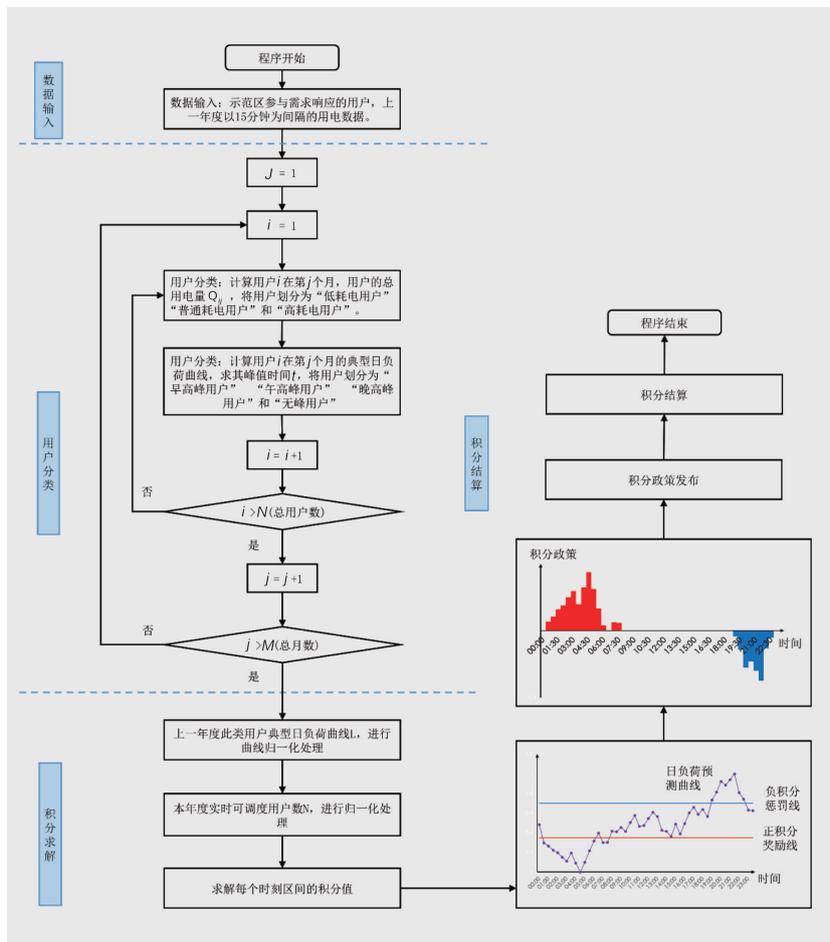


图4 基于积分机制的需求响应示范执行流程

规模小，不具有参与市场报价的条件。采用积分机制作为现行定价机制的有益补充，可以将负荷的峰谷高低直接转换为时段对应积分，并且考虑不同时段不同类型负荷调度的客户参与度，实现用户与电网的友好互动，达到多方获益的目的。积分机制的原理可以简单理解为在用电尖峰时段进行积分惩罚，在用电低谷时段进行积分奖励，实现峰荷向谷荷转移，如图1所示。

积分机制的实现方法如图2所示，电力公司发布每时段的用电积分，用户根据积分奖惩情况，自主调整用电行为。积分值包含奖励与惩罚，在鼓励用户多用电的时段，积分为正值，即用户在此时段用电可以得到正积分奖励；在鼓励

用户减少用电的时段，积分为负值，即用户在此时段用电积分值会减少。

由图2可知，2:00—6:00时段和22:00—24:00时段为正积分时段，即鼓励用户在此时段用电，根据用电量的多少，用户会得到积分奖励；9:00—12:00时段和16:00—19:00时段为负积分时段，即不鼓励用户在此时段用电，根据用电量的多少，用户会受到积分惩罚。因此，积分机制的本质即从现有峰谷电价规则的基础上，实现更多时段的变动电价，如图3所示。

基于积分机制的需求响应示范执行流程

基于积分机制的需求响应是用“积

分”象征需求响应的“奖励金”，100积分对应1元钱。在正×积分时段，用户用1度电奖励×积分；在负×积分时段，用户用1度电则扣除×积分。积分标准每月修正，于上一个月的28日中午12:00发布，执行周期一个月，便于用户熟悉积分并养成用电习惯，安排一个月的用电计划。积分值的划分时段为15分钟，例如，4:00—4:15积分值为30积分/度电，则表示用户用1度电奖励30积分，12:00—12:15积分值为-20积分/度电，则表示用户用1度电扣除20积分。积分每月结算，月底时用户积分为正数，则抵扣同等金额的电费或奖励同等金额的奖励金；若积分为负数，则积分清零，即在示范工程

初期不惩罚参与需求响应的用户，鼓励更多用户放心参与需求响应政策。积分机制的执行流程如图 4 所示。

为防止用户在负荷低谷故意耗电，以骗取积分盈利，设置的正积分对应的奖金额，应恒小于此时段的电费。以目前江苏居民用户电费标准为例，夜间电费为 0.358 3 元 / 度，时间段为 0:00—8:00 和 21:00—24:00，则此时段的正积分应值应小于 35.83 积分 / 度；白天电费为 0.558 3 元 / 度，时间段为 8:00—21:00，则此时段的正积分应值应小于 55.83 积分 / 度，从而防止用户故意耗电骗取积分盈利。

基于积分机制的需求响应推广方式

积分机制以“萤火虫计划”命名，通过“捕捉”和“释放”萤火虫表明用户积分的增加和减少，捕捉 1 只萤火虫则获得 1 积分。采用此命名方案主要基于以下 4 点：其一，积分一词已经在电力用户上采用，比如江苏省对按时缴纳电费的用户会累计积分，为避免冲突，采用萤火虫一词；其二，积分一词被各商业平台采用，用户对积分一词不敏感，甚至产生了抵触情绪；其三，电价积分政策包括正积分和负积分，正积分很容易被用户理解，但负积分不易理解，利用萤火虫一词，可以通过“捕捉”和“释放”进行描述，用户得到正积分奖励为“捕捉”，用户受到负积分惩罚为“释放”，最终萤火虫剩余数量则为用户本月的积分数，简单明了；其四，以萤火虫命名可以增加趣味性，萤火虫是发光源，正如电力提供的照明，生动形象，有利于扩大用户讨论热度，提高用户参与率。



图 5 萤火虫计划微信公众号

同时，针对萤火虫计划开发微信公众号，每天更新参与用户的积分值并发布给用户，提示用户积极参与响应并赢得积分。微信公众号界面设计如图 5 所示。

基于积分机制的需求响应结算方式

积分采取按月结算的方式，在每月首个工作日，统计用户上月的总积分。用户可关注微信公众号查看电网发布的积分信息、历史积分信息等。具体积分结算方式包括：积分兑换钱、积分兑换物、荣誉奖励和环保奖励。

若用户的月末积分值为正数，则以 100 积分（100 只萤火虫）对应 1 元钱的方式奖励给用户红包或抵扣电费；若用户的月末积分值为负数，则无法获得

红包奖励或抵扣电费，积分值清零。

除积分兑换为红包奖励或抵扣电费方式，用户还可以进入积分商城，直接用积分兑换一定的用电量、智能插座、充电宝等商品。

荣誉奖励是对用户的月度总积分进行排名，积分前 10% 的用户，节能等级为“钻石”，给予环保小卫士称号；10%~30% 的用户，节能等级为“铂金”；30%~50% 的用户，节能等级为“黄金”；50%~70% 的用户，节能等级为“白银”；其余用户，节能等级为“普通”。

环保奖励主要指用户历史累计积分总值到 10 万积分，电网公司会代用户向基金会捐赠种植一棵树，并以此客户的名字命名，增加公众环保意识，同时塑造电网企业的良好社会形象。

针对我国电力体制并未完全放开、电价体系由国家管控而不可实时变动的现实，城区用户与电网供需友好互动系统提出了基于积分的需求响应执行方案，拟在江苏省苏州环金鸡湖地区和常州武进地区进行示范和推广验证，从而让中小规模的用户有机会参与协助电力平衡，在获得收益的同时降低电力系统峰谷差、减少家庭综合能耗。积分机制作为我国现行电价体系的有益补充，将成为未来电价体系的重要组成部分，助力我国电力体制改革。

致谢：感谢国家重点研发计划项目“城区用户与电网供需友好互动系统”（项目编号：2016YFB0901100）的支持。

作者：丁一、栾开宁、惠红勋

（丁一，浙江大学电气工程学院教授；栾开宁，江苏省电力有限公司研究员级高级工程师；惠红勋，现就读于浙江大学电气工程学院）

知识改变世界 科技改变生活



KNOWLEDGE CHANGES THE WORLD
SCIENCE AND TECHNOLOGY CHANGE LIFE