新技术在可穿戴智能化设备与可穿戴生理记录系统中的应用

Application of new technologies in wearable intelligent devices and wearable physiological recording systems

吴康

摘　要：本文将可穿戴智能化设备与可穿戴生理记录系统等新技术应用与安全挑战及技术特征作分析研讨，与此同时亦相应的指出该类设备与系统在设计开发中独特指标与不可缺少因素的应用要求,并由此拓展出新的趋势与未来。

关键词：可穿戴设备，智能，生理记录，无线射频与无线蓝牙

Abstract: This paper analyzes and discusses the application and security challenges and technical characteristics of new technologies such as wearable intelligent devices and wearable physiological recording systems. At the same time, it also points out the application requirements of unique indicators and indispensable factors in the design and development of such devices and systems, and thus expands the new trend and future.

Keywords: Wearable devices, intelligent, physiological recording, Radio frequency and wireless Bluetooth

前言

在当今的互联网时代，可穿戴设备为消费者提供了一种更便捷的选择，它方便用户随时使用首选功能。可穿戴设备主要是指，用户通常持续佩戴而非拿在手里或需要携带(如手机或平板电脑)的移动产品或设备。因为随身佩戴，可穿戴设备也能实现用户与设备之间的持续交互，包括直接或间接交互。由此联网型可穿戴设备与无线射频及无线蓝牙技术相结合方式的可穿戴设备脱颖而出。其典型的是可穿戴智能化设备和可穿戴生理记录系统等多种应用系统，它们关键技术均分别是人体工程设计与人机环境同步技术的应用与拓展的典例。这是因为随着人民生活的提高其健康追踪将成为重要的课题。而健康追踪器是大多数人首先所想到的可穿戴智能化设备。由此可比以往更能生成丰富的数据并作进一步分析。因为疫情对去医院看医生构成了限制，使得使用远程医疗和远程生命体征监测的人数出现激增，所以新冠疫情的爆发也进一步加速了这一发展。由此可穿戴智能化设备呈现有许多成功的健康追踪和监测用例。特别由于传感器技术的进步，人们已看到健康追踪器能够监测和测量越来越多的数据，包括：位置和移动、步伐、定位（通过北斗星或GPS、低功耗蓝牙-BLE或超宽带室内定位技术-UWB)、高度、速度/加速度、健康、压力(通过皮肤电反应-GSR)、心率/脉搏、体温、睡眠模式、血压、血糖水平、其他姿势、光照（有时还包括用于健康目的的紫外线)，而健康用例远不止于健康活动追踪。可穿戴智能化设备还能以许多其他方式为用户服务。

值此本文将可穿戴智能化设备与可穿戴生理记录系统等新技术应用与安全挑战及技术特征作分析研讨，与此同时亦相应的指出该类设备与系统在设计开发中独特指标与不可缺少因素的应用要求，并由此拓展出新的趋势与未来。

1　可穿戴生理记录系统设计方案与实施

新技术理念与多种术分类　可穿戴生理记录系统采用最适合真实世界现场研究的无线传输和可穿戴技术，对被试无束缚、无干扰；系统选用无线射频与无线蓝牙技术相结合的方式，可以在不损失数据质量的情况下以最高速率传输数据，目前是全世界最轻最小、采样率最高的可穿戴无线生理数据采集系统。由此开发设计出可穿戴生理记录系统可包括心电与脉搏信号分析、皮电信号分析、呼吸信

号分析、肌电信号分析等系统。据此将对系统设计方案与架构及应用及软件特征作说明。

1.1 可穿戴生理记录系统特点与应用

可同步采集个体的多参数生理信号，包括：ECG 心电信号、EDA 皮电信号、RESP 呼吸信号、Sp02 血氧饱和度、EMG 肌电信号、SKT 皮温信号、PPG 脉搏信号及眼电等反应变化价情况。其图 1(a) 为可穿戴生理记录系统示意图。

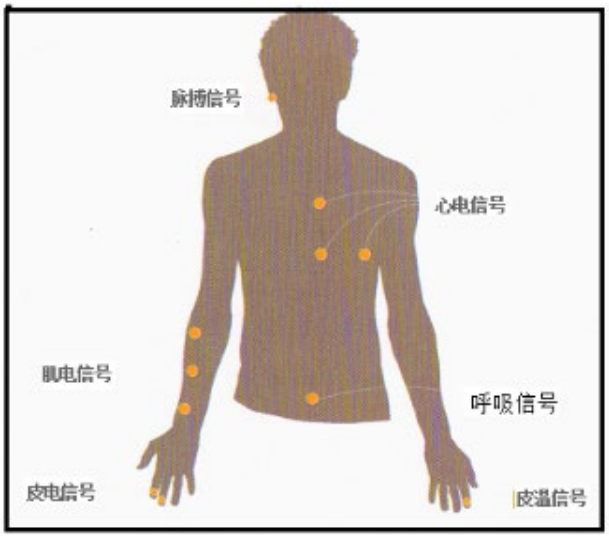

图 1(a) 为可穿戴生理记录系统示意图

*系统特点与应用　系统具有 16khz 的高采样率，24Bit 的高分辨率，以及 16 通道 + 的数据采集；采用可穿戴技术及无线射频与蓝牙传输技术，对被试无任何束缚，采集其真定任告状态下的生理变化情况；采用组合传感器采集技术，实现单一传感器设备采集多参数生理指标数据，提高研究效率与操作简便性；系统支持在各种终端设备进行数据采集，均可获得较高质量的生理信号数据；结合可穿戴人因记录仪，满足在各种现场环境下的实验数据采吏，但高研究生态效度；结合同步人因记录仪（如 SyncBOX 产品），可同步采集人机环境多模态数据，增加结果的多元性与可靠性；支持云端数据传输，满足云课题项目需求，支持一对多群体实验;可同步多模态数据，包括眼动、脑电、动作捕捉、面部表情等数据进行综合。由此可获如图 1(b) 为可穿戴生理记录系统应用示意。

图 1(b) 为可穿戴生理记录系统应用示意

1.2 心电与脉搏信号分析（HRV 心率变异性分析软件）架构与应用及特征

*心率变异性引出　心率变异性(Heart Rate Variabilitby) 简称 HRV，反应连续心搏间瞬时心率的微小涨落。HRV 信号蕴含了有关心血管调节的大量信息，对这些信息的提取和分析可以定量评估心脏交感神经和迷走神经活动的紧张性、均衡性及其对心血管系统活动的影响（见图 2（a）所示）。个体在安静情况下，心率的变化主要受到迷走神经调节；而在运动、应激、情绪紧张、疼痛或者唤醒程度更高的情况下，交感神经兴奋占优势。HRV 的不同指标数据趋势，与个体的情绪、情感激活涅度以及疲劳、认知负荷等状态有显著帼关性，且被广泛应用于状态识别。

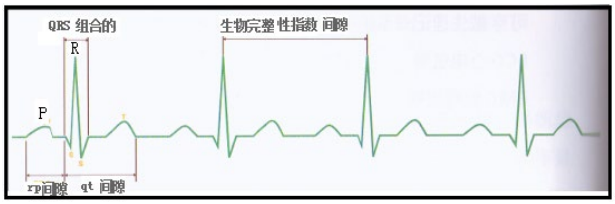

图 2（a）所示心电与脉搏信号分析示意

*系统特征　自动化、多角度分析模式：高级心率变异性分析软件可实现基于自动化识别或自定义的整段分析、场景分析、事件分析以及片段，满足研究者对任何时间点或时间段内数据趋势变化的精确分析。同时，该系统支持对长时程状态识别研究的自动化处理，如疲劳状态、认知负荷等，输入研究时间段参数，一键式完成自动化的时间轴片段划分，可以直接进行数据分析与特征值提取；高精

度数据处理与特征点提取：系统通过多种信号处理方式（包括小波降噪、高通滤波、低通滤波以及带阻滤波等）对原始信号進行处理，自动进行 R 峰值标记（系统包括异常检测、异常点矫正），并提取生物完整性指数（IBI）间期，进行数据统计与分析，可一键导出文件；完整的数据统计与可视化结果报告：系统支持刚刚间期的时域数据统计、经快速傅里叶转换的频域数据统计，以及分非线性分析，从不同角度深入挖掘数据隐藏信息。系统支持一健导出原始数据、处理数据、统计分析数据以及结果的可视化报告，使数据分析与研究结果更加可靠与丰富；多模态数据同步分析与交叉统计：系统满足 HRV 信号与多模态数据的同步采集、处理与交叉统计分析，包括行为、眼动、脑电、动作埔捉以及其他的生理电信号数据，实现多维废的结果验证与多模态数据更精确的的状态识别。

*HRV 心率变异性应用特征（见框图 2（b）所示）

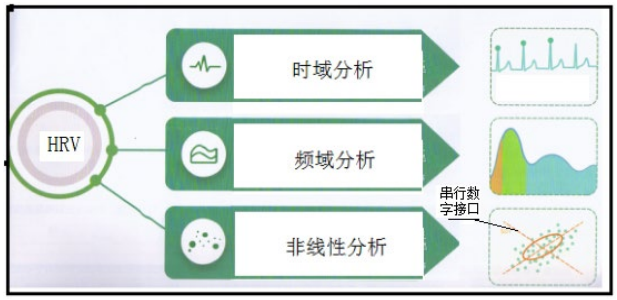

图 2（b）所示 HRV 心率变异性应用特征框图

图 2（b）HRV 心率变异性特征：

其一、时域分析：根据心电与脉搏波随时间变化的规律进行分析与处理，计算一系列有关 R-R 间期的统计指标评价心率变异性。可以直接反应交感神经与副交感神经活性，包括平均数、标准差、差的平均值、差值的均方根等。

其二、频域分析：把一定时间内连续 RR 间期值经过快速傅里叶转换得到心率功率谱，提供了能量随频率变化分布的基本信息。进一步分析自主神经在各频率段对心率的调制。

其三、非线性分析：以连续三个心动周期的数据在三维空间中描记长时间动态心电 RR 间期散点集，探索心率数据在时间序列中连续之间关性，揭示更深层次 HRV 指标的意义。

1.3 皮电信号分析（EDA 皮电反应分析软件）架构与特征

皮肤电信号 (Electrodermal Activity) 简称 EDA，是人体的皮肤电阻、电导随皮肤汗腺机能变化而改变，通过对心理活动引起的汗腺变化进行测量，来研究与之相关的心理状态，见图 2(c) 所示测量特性曲线。

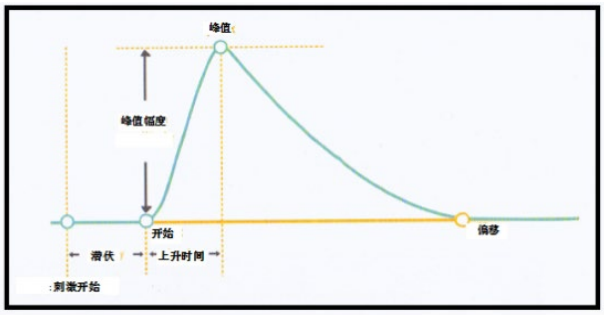

图 2(c) 为皮肤电信号过对心理活动引起的汗腺变化进行测量特性曲线

其 EDA 系统组成如下：

* 皮肤电导数据分析模块　皮肤电导数据的上升一般代表注意／情绪唤醒度的升高，降低代表注意／情绪唤醒度下降。本分析模块通过多种平滑处理方法可自动提取随时间变化的皮肤电导数值（单位 μS），并一键导出文件。

* 事件相关皮电分析模块　相位的信号是潜藏在缓慢变化的基音信号活动之下，采用科学专业的算法自动化获取相位的 EDA 数据。相位的皮肤电导是指特定的皮肤电导反应，通常会伴随一定的刺激事件。除上述分析模块外，还有时相相关皮电分析模块。

1.4 呼吸信号分析（RESP 呼吸反应分析软件）架构与应用及特征

呼吸信号简称 RESP，是伴随着呼气与吸气的周期性变换，在呼吸管道以及胸腹部都会产生周期性形变产生的生理电信号这一信号与我们的认知疲劳状态息息相关。随着我们疲劳程度的加深，呼吸的幅度减弱，周期性的频率延缓。此外随着个体情绪变化，人的呼吸信号也会发生规律性变化。图 2(d) 所示为呼吸信号分析应用及特征示意图。

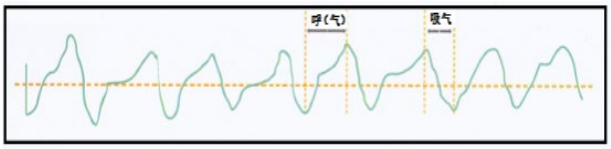

图 2(d) 所示为呼吸信号分析应用及特征示意图

1.5 肌电信号分析（EMG 肌电分析软件）应用及特征

肌电信号简称 EMG，反映神经肌肉的兴奋性，用来评估神经与肌肉的功能状态。可用于肌肉工作的工效学分析、安全操作姿态分析、康复状态功能评价、疲劳识别以及肌电假肢控制等动作模式研究等。肌电分析软件自动对原始数据进行滤波降噪处理，根据最大通气量进行数据归一化并进行分析统计。时域分析包括原始数据、处理数据、归一化数据的各类指标；频域分析的中值频率、均值频率、可视化频谱图，系统支持自动识别周期性动态用力分析。

2 可穿戴智能化设备的挑战与设计应对

2.1 应对可穿戴设备的挑战导引出联网型可穿戴设备

*那么可穿戴设备的挑战是什么呐？ 如今随着可穿戴设备和配套生态系统的成熟，核心挑战正在逐步地缓解。这些挑战源于以下事实：大多数可穿戴设备相比智能手机体积较小，且界面更简单，甚至不存在。目前，可穿戴设备主要面临电池续航时间有限、集成选项和非接性能及服务注册复杂等三大挑战。除了这些实际挑战之外，许多设备还面临准确性和稳定性的问题，还有更重要的数据安全性和设备完整性问题，这些问题正随着生成的数据敏感性或发起的交易金额上升而变得日益重要。这些问题正随着生成的数据敏感性或发起的交易金额上升而变得日益重要。还需要强调的是，随着可穿戴设备拥有的功能，尤其是支付功能不断发展，智能设备会生成越来越多个人数据，并且直接存储到设备上。

应对三大挑战则设计并导引联网型智能化可穿戴设备，其组成在可穿戴设备产业链上主要设备包括处理器和存储器、电源、无线通信、传感器和执行器。穿戴式设备中的传感器包括 MEMS 传感器、光学传感瓣、心电传感器、温度传感器等其他类型的传感器系统，它们对于可穿戴智能设备的发展是非常重要的。例如智能手表等联网型可穿戴设备更加复杂，使用范围更广，因而在日常生活中能有更大的作用，因为这些设备可以在现场重新编程，并配备不同的应用程序。这种多应用的模式还允许持续开发和将应用程序或类似应用程序的服务部署到设备上。

如今由此可开发并演变出多种可穿戴智能化设备的种类。其典型的有主要的三种智能化可穿戴设备，它们通常都带有支付功能。即支付附件（如手镯和戒指等）、智能手表、健身 / 健康追踪器 / 智能手环。这些都是被市场广为接受的可穿戴设备类型。还需要提到的一类可穿戴设备是“可听戴设备”，它们通常是无线耳机，被归为可听戴设备的设备，必须具备除基本耳机之外的额外功能。这类产品是近年来增长最快的可穿戴设备类别。值此本文仅对智能化可穿戴医疗保健设备设计方案与应用作研讨。

2.2 可穿戴智能化医疗保健设备解决方案

可穿戴智能化医疗保健设备是传统医疗设备的延伸。通常的医院用医疗设备体型巨大、结构复杂且功耗很高，旨在用于高精度临床应用。随着传感器和半导体技术的发展，器件尺寸和功耗比原来小得多，使得可穿戴设备变为现实。医院临床使用的许多技术已从医院走向家庭，或者变为各种可穿戴设备。智能可穿戴医疗保健设备通常是无创式生命体征监护设备，易于使用和穿戴。为了提升用户体验，重量越轻、功耗越低越好。另外还要提供与其他消费电子设备的连接能力。

*可穿戴智能化医疗保健设备新理念

可穿戴智能化医疗保健设备可定义为能够自动、智能、无创地执行特定医疗监控、支持目的设备。“可穿戴”一词说明该设备要么直接佩戴于人体上，要么是一件类似于衣服的物品，并且具有适当的设计，支持其用作可穿戴配件。广义上讲，这要求该设备具有极小的尺寸和重量，功能自主，自备电源，易于使用，而且穿戴舒适。智能可穿戴医疗保健设备有多种类型，如腕带、手表、眼镜和其他可穿戴类型。执行的功能有计步器、心率监测、运动记录、生物电位测量、生物阻抗测量、血氧测量等等。

随着传感器和半导体技术的发展，器件尺寸和功耗比原来小得多，使得可穿戴设备变为现实。医院临床使用的许多技术已从医院走向家庭，或者变为各种可穿戴设备。智能可穿戴医疗保健设备通常是无创式生命体征监护设备，易于使用和穿戴。为了提升用户体验，重量越轻、功耗越低越好。另外还要提供与其他消费电子设备的连接能力。

* 可穿戴智能化医疗保健设备设计方案

其一是尺寸非常重要，大部分可穿戴设备都很轻，而且尺寸越来越小，采用先进封装技术以提高集成度，则外部元件越少越好，应用超低功耗的人体工程学设计；其二是高可靠性与传感器技术及连接技术；其三是超低功耗：功耗对于用户体验至关重要，越低越好。

由此可设计出智能化可穿戴医疗保健设备，见图 3 为智能可穿戴医疗保健设备架构。

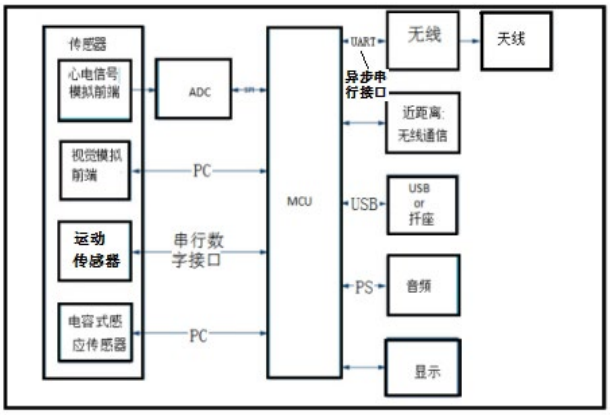

图 3 为可穿戴智能化医疗保健设备架构

* 可穿戴智能化医疗保健设备架构应用特征为：其一、由于系统尺寸原因，电池大小有限，低静态电流芯片有利于实现低功耗，延长待机时间，可穿戴设备通常需要低功耗 MCU，可穿戴设备需要低功耗连接技术；其二、应用了人体工程学设计，易于使用，防止误操作的设计，高度可靠、高灵敏度的传感器设计；其三、具有高可靠性，能适应各种环境，又有良好的机械设计，防止设备受损及有时候设备需要防水；其四、优异的传感器技术及多传感器融合，选择了具有良好生物兼容性的传感器材料，又有低功耗下具有高灵敏度；其五、在连接技术上具备需要低功耗蓝牙、WIFI 连接以访问其他智能设备功能与数据同步和应用程序自动升级。

3 可穿戴智能化设备的可靠性安全措施

可穿戴设备以及其他联网的智能设备都面临许多安全威胁挑战。如何应对则列出设计工程师与设备制造商及服务提供商应该采取的一些总体防护措施。

其一是强设备身份，设备身份不只是个安全问题，更是提供个人化安全支付服务的先决条件之一；其二是用户身份验证，设备身份得到证明之后，同样重要的是，服务提供商应在个人凭据的初始设置及之后的交易发起过程中，确认用户的意图和同意已经过正确地验证；其三是强设备身份验证，当联网设备请求发起支付或交换敏感信息时，满足此请求的服务提供商须确认设备确实是被识别用户的设备，硬件安全可支持确认设备的真实身份；其四是设备完整性，除了证明设备身份和真实性，还可通过验证设备完整性，即由专门的硬件检测和报告可能损害设备安全性的篡改企图，来进一步提升安全性；其五是远程认证，与验证设备完整性类似，远程认证有助于确认包含软件在内的设备处于指定的组态或状态，例如，这可以是建立“安全区”。

4 后话

4.1 设计开发中必不可缺少的重要因素

特别需要指出的是，由上可穿戴智能化设备（包括现行支付及未来）与可穿戴生理记录系统的研讨分析得知，均有其可穿戴生物传感器在设计开发中是必不可少重要因素。这是因为受技术进步、个性化健康监测需求增长和生活方式相关疾病预期增加的推动，则该类可穿戴医疗设备市场将愈来愈红火。由此为可穿戴医疗生物传感器制造商带来了丰厚的利润，但只有最适合的企业才能在竞争激烈的市场中取得成功。而其中很重要的是设计阶段的材料选择和监管要求的有效引导往往都是两个被忽视因素，从而直接影响着任何可穿戴医疗生物传感器的成功与否。为此提醒那是必不可缺少。除上述二因素外还包括研究生物兼容性及其环境条件等等因素。

4.2 可穿戴智能化设备系统的拓展及新趋势

随着越来越多消费者选择并使用穿戴设备和物联网设备，未来几年对更无缝集成和个人化的、具有嵌入式多用途服务的设备的需求将继续增长。尤其是联网型可穿戴设

备，也为银行和金融服务提供商带来了独一无二的机会，他们可借此与消费者建立全新的互动合作方式。因为能提供方便快捷的付款方式，可穿戴设备将成为许多人首选的数字支付工具。从长远来看，我们设想可穿戴设备将在某种程度上取代智能手机，成为点对点支付的推动者和共享经济的催化剂。而数字货币、稳定币和其他加密资产近年来也实现了大幅增长，全世界越来越多老牌金融机构和央行都开始拥抱和探寻新机遇。央行数字货币（CBDC）已在全球提上日程，许多致力于此的央行正在积极寻求利用这种新型“数字现金”实现安全的个人对个人（有时甚至是离线）交易。

上接146页

是高的设备利用率。蓄热发电时，稳定的发电成本，按图2所示约为4₵/kwh；剩余的50%時间，由该蓄热发电的电力来驱动水电解装置。在此期间，水电解装置在一定的输入下运转，可再生能源的变动部分全由蓄热发电进行稳定化。这样一来，平均2.4₵/kwh用于水电解装置，可在90%的设备利用率下运转(图6)。

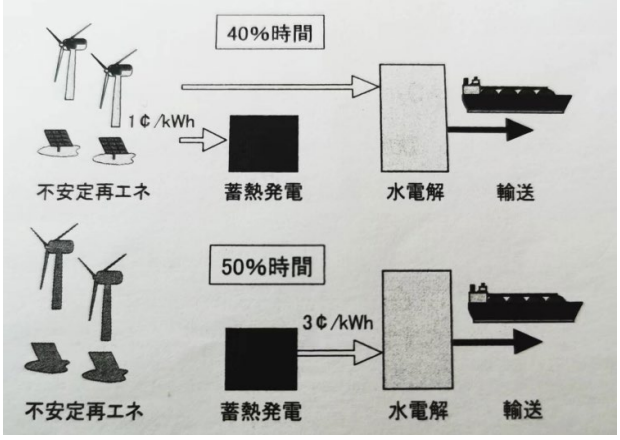

图6：与海外制氢的融合

根据其它研究，对水电解成本的分析是以13.6日元/kwh的电力单价进行试算的。为简化起见，设定1美元=100日元，该试算适用于2.4日元/kwh，氢的制造成本则为25日元/Nm^3左右。另方面，设备利用率40%情况下，适用于1日元/kwh。这对可再生能源与电解装置之间引入蓄热发电是有利的。另外，水电解装置在一定的输入下不能运转和反应条件不稳定时，以及在低的设备利用率下，预测的以上效率恐将劣化。

6 结束语

可再生能源的发电成本低，导致了引入量的不断增加。因供需结合的成本比例越来越大，故效率不高。但设备成本极其低廉的蓄热发电，则成为最经济的选择。蓄热发电适应于从数小时到2周时间左右的供需调整，不论是与短时间的蓄电池，或是与较长时间的氢等储能技术组合，均有利于构筑经济合理的能源系统。同时也展示了经济制造氢的可能性。此外，可再生能源与原子能发电的相互协调性好。

蓄热发电是将电力转换成热，其设备大、设备的利用率低。故应由简单的加热器进行廉价的电热转换，本文介绍了旋转发热机的理念。蓄热发电技术在日本，相较于世界的发展相对滞后，为了能弥补这一滞后的，正是旋转发热机。

无化石燃料社会中的主要能源，则为可再生能源或者原子能(核能)。对这两种能源，蓄热发电都是必需的技术，为确保世界能源的商业事务(business)，必须积极推进这一蓄热发电技术的开发。

原文出自　冈崎　徹，川村太郎，德水贵道，経済的脱炭素社会を実現する蓄熱発電と回転発熱機，(日)《电气评论》Vol.No6　2021　p.19-24