



人力智能电网——一种新型电网的构建及其可行性分析

代丹¹, 邓月光¹, 刘静^{1,2}

1. 中国科学院理化技术研究所, 北京 100190

2. 清华大学医学院生物医学工程系, 北京 100084

摘要 在能源供需矛盾日益尖锐的今天, 被忽视已久的人体能量作为一种可再生的、清洁的能源被提到了议事日程。为更高效地管理和利用由人体产生的、分散的、小功率的电能, 本文提出一种新概念型人力智能电网系统, 旨在将不同地区、不同个体运动产生的电能聚集起来, 以期为此网络区域内的用户提供不依赖于现有能源体系的、独特的、灵活的电力供应。文中构建了借助计算机和信息网络的控制, 将虽然分散但总量巨大的人力电力资源以最优方式加以配置和利用的基本途径, 评估了其可行性, 阐述了新型电网的应用特点, 总结出其中的关键科学与技术问题, 并指出了进一步发展的方向。通过这种智能电网的建立, 可望促成一系列新的能源利用技术基础与应用研究的突破。

关键词 人力智能电网; 绿色能源; 节能环保; 人体发电; 低碳能源

中图分类号 TM619

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2010)05-0104-07

Smart Network of Human Power: Construction of a New Type of Electricity Grid and Its Feasibility Analysis

DAI Dan¹, DENG Yueguang¹, LIU Jing^{1,2}

1. Technical Institute of Physics and Chemistry, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

2. Department of Biomedical Engineering, School of Medicine, Tsinghua University, Beijing 100084, China

Abstract Human power, one of the long neglected renewable and clean energies, is now put on the agenda to face the current serious imbalance between energy supply and demand. For a highly efficient management and utilization of the dispersed, low power electric energy produced by human motion, a new conceptual smart network of human power is proposed in this paper for collecting electric power from each individual at different regions and thus for supplying unique and flexible power to the customers covered in the network, without relying on the conventional electricity grid. The basic strategies to configure and make full use of the human electrical power resources, which are scattered but huge in the total amount, are proposed, based on the computer and information network controlling system. Furthermore, the feasibility of building the new network is evaluated, its features are described and some key technical and scientific issues are discussed. The prospect of developing a future smart network of human power is pointed out. The establishment of this kind of electricity grids would lead to breakthroughs in either fundamental or practical researches in the energy utilization technology.

Keywords smart network of human power; green energy; energy conservation and environmental protection; human power harvesting; low carbon energy

0 引言

18 世纪中叶瓦特发明蒸汽机后, 人类历史进入工业时代, 纯手工劳动逐渐被动力机器生产所代替, 化石能源成为社会经济发展的命脉。随着工业化的不断加深、经济的持续增长及社会的快速发展, 人类对能源的需求不断攀升, 这势

必导致有限的化石能源供不应求。据 BP 世界能源统计 2009 年的数据, 中国 2008 年末石油、天然气和煤的探明储量、产量及消费量如表 1 所示, 其中 1 吨油当量相当于① 热力单位: $420 \times 10^3 \text{J}$; ② 固体燃料: 1.5t 硬煤, 3t 褐煤; ③ 电: $12 \text{MW} \cdot \text{h}$ 。供需矛盾已十分严峻。

收稿日期: 2010-01-03

作者简介: 代丹, 硕士研究生, 研究方向为新能源、制冷与低温工程学, 电子信箱: dandai@mail.ipc.ac.cn; 刘静 (通信作者), 研究员, 研究方向为新能源、制冷与低温工程学、生物医学工程学, 电子信箱: jliu@mail.ipc.ac.cn



表 1 2008 年末中国化石能源的储量、产量和消费量^[1]

Table 1 Chinese fossil energy reserves, production and consumption by the end of 2008^[1]

能源种类	探明储量	占世界比例/%	产量	占世界比例/%	消费量	占世界比例/%
石油	21×10 ⁸ t	1.2	3795 千桶/d	4.8	7999 千桶/d	9.6
天然气	246×10 ¹⁰ m ³	1.3	761×10 ⁸ m ³	2.5	807×10 ⁸ m ³	2.7
煤	11450×10 ⁷ t	13.9	1414.5 百万吨油当量	42.5	1406.3 百万吨油当量	42.6

中国化石能源的特点^[2]是:① 能源分布极不均衡,结构以煤为主,石油及天然气对外依赖度不断加深;② 能源利用技术落后,利用效率低,浪费严重;③ 能源人均占有水平低下;④ 能源开采、运输和利用中造成严重的环境污染;⑤ 可再生能源利用不充分;⑥ 农村能源短缺;⑦ 消费需求不断增长,资源约束日益加剧。迅速增长的经济,将促使能源需求量大幅增加。为保障经济的稳步增长和人们生活水平的提升,寻求和开发可再生的、清洁的能源已经迫在眉睫。

当前,太阳能在众多的可再生能源中脱颖而出,受到了人们的普遍关注^[3-5]。尽管如此,由于其存在一系列缺陷,使其至今未能取代化石能源而得到广泛应用。其中的主要原因在于:① 太阳能随季节、地理位置及气候变化呈现很强的随机性。一天中日照强度随不同时段而变化,日照长短则随季节而变化,同一季节日照强度和长短还随地域的变化而变化;② 虽然太阳能储量巨大,但由于其分布广泛,能流密度较低;③ 限于当前的技术,太阳能的转换效率较低;④ 由于受材料及工艺等方面的技术制约,使得太阳能的收集及转换设备成本相对较高,很多能源短缺的边远地区尚无法安装、使用和维护这些设备。

基于上述因素,一度被长期忽视的人体能量,在当今严峻的能源格局下,被重新提上了议事日程。与太阳能类似的是,人体运动产生的动能也是一种可再生的、清洁的、普遍存在的能量,但是其随机性与太阳能相比较弱,而可控性则相对较强,最主要的是其受外界环境的影响不敏感,因而在很多场合,如边远山区、野外作业、灾变事件及城市限电等情况下具有独特价值。然而,人体运动产生的电力也存在较大的分散性、功率小、不稳定等缺点,使得当前一些人力发电设备只能应用到功率较低的微小电子设备上。为实现对这种能量的规模化利用,本文提出一种新型电网——人力智能电网的构想,通过计算机和信息网络控制,将虽然分散但总量巨大的人力电力资源以最优的方式加以配置和利用。

随着常规能源的日益枯竭,以及发展低碳能源技术的紧迫现实需求,可以预计在不远的将来,人力发电将得到广泛应用。特别是在无太阳光照射的情况下,人力智能电网将提供一种不同于常规能源的电力补充渠道,以最节能高效的方式管理产生的电能,从而满足从家庭、办公到各种场合的用电需求。通过计算机控制,实现与因特网的连接,人力智能电网有望获取更多人力电力方面的信息,从而实现人力电力的充分利用。

1 人力发电研究现状

目前,人力发电的研究正逐步进入人们的视野,仅有有限的人力发电设备被推出。同时,对人力发电的经济性及可行性等的评估及理论层面的研究也在不断深入。基于现有的技术,有利用潜力的人体能量包括:① 人体运动产生的动能,其收集主要涉及静电、电磁转换、压电转换等技术;② 人体代谢产生的热能,其收集主要涉及温差电技术^[6];③ 人体化学能,其收集主要是以微生物或酶为催化剂,直接将体内葡萄糖中的化学能转化为电能^[7]。人力智能电网主要用来管理和配置人体运动产生的电能。

Stamer^[8]指出,人手指运动时产生的能量为 0.33W,双臂大幅运动时产生的能量为 60W,人体行走时产生的能量约为 67W,陈圣吉等^[9]指出,成人骑自行车时的功率为 150~180W,由此可见,人体在运动时可以产生有显著实用价值的能量。Kymissis 等^[10]将压电材料钛锆酸铅(PZT)和电聚合物聚偏氟乙酸(PVDF)分别安装在气垫鞋里,利用行走时产生的能量来发电。测试结果表明,在 1Hz 步行速率下,PVDF 的输出峰值功率约为 20mW,平均功率为 1.1mW;PZT 的输出峰值功率约为 80mW,平均功率为 1.8mW。他们还利用压力驱动电磁发电的原理,辅之以飞轮储能单元,在鞋底安装了电磁发电装置,其输出的最大功率为 1.2W,平均功率为 0.23W。

Donelan 等^[11]于 2008 年提出了一种膝盖发电装置,其原理与油电混合动力车上的蓄能刹车机制相同,将人体行走或者跑步过程中多余的动能回收转化为电能。他们指出,如果双脚均绑上仪器,然后以 3.5km/h 的速度在步行机上轻快地行走,聚电器上就能产生 5W 的电力。这种发电装置的优点是比“鞋式发电器”的发电量多,比“背包式发电器”轻巧。研究人员指出,旅行者或者士兵在找不到电源时可用这一装置救急,还可将此发电装置装入假肢使用。目前市场上 Thighpod[®]品牌的膝盖发电器就是该研究组根据此项研究推出的产品,据称这种发电器可以同时为 10 部手机提供充电的功率。

Saha 等^[12]提出了一种基于电磁发电原理的发电装置,借助人体运动驱动,向一些可穿戴的传感器和小型用电器件供电。他们提出了 3 种结构形式,并对每种结构形式分别在人体行走和慢跑条件下进行了测试。结果表明,在人体运动时此发电装置可以产生 300μW~2.5mW 的电能,且人体在慢跑时产生的电能是行走时产生电能的两倍多。

随着医学技术的飞速发展,各种微型的、小功率的、可植



入式医疗器件日益增多,而如何为这些医疗器件提供长期稳定的电能成为了关键的问题。韦晓娟等^[13]提出了一种利用人体运动的能量来发电的可植入式电磁发电装置,这种装置有望对可植入式的医疗器件供电。通过理论分析、数值模拟及在体实验,他们证实了这种新型电磁发电装置可以为可植入式医疗器件提供足够的电能。

近期,Jia 等^[14]提出将液态金属作为导体来切割磁力线发电的设备,其原理是由人体运动来驱动在一个具有单向阀槽道中的液态金属流动,使其切割磁力线发电。尽管这款液态金属发电设备产生的电能最大只有毫瓦量级,但它的提出为人体发电开辟了新的领域,给后续研究工作提供了重要的参考依据。

另外,徐国栋等^[15]提出并研制了一种人工驱动的超级电容快速充电型 LED 家用照明系统,此系统是利用供电电压为 25V、电流为 2.6A、功率为 65W 的手摇发电机对一个自制的电压为 27V、电容为 24F 的超级电容模组充电,通过 DC-DC 电源转换后,供给 4W(24V,0.169A)的 LED 使用。实验结果表明,体魄健康的成年男子摇动上述手摇发电机 4.67min 后即可将超级电容模组充满电能,并能维持 LED 连续正常工作约 24min,这显示了借助人体能量驱动常规家用电器的前景。

总体上,当前人力发电的研究还处于十分原始的初级阶段,相关技术的发展尚不够成熟,单一个体借助常规发电设备所产生的电力往往不敷使用。人力发电产生的电量随发电个体的性别、年龄、健康状况、数量等因素存在较大差异,相应电力的一致性较差;由于人体每次运动产生的能量有限,且人体不可能一直处于运动状态,使人体发电存在很强的间歇性;由于人体运动产生的电量较小,其利用率也较低。只有将这些分散但总量巨大的人力电力收集起来,才可能发挥作用。正是基于此,本文提出了人力智能电网技术的概念。

2 人力智能电网的概念及基本特征

在当前化石能源日益枯竭,而能源供需矛盾日益尖锐的背景下,为解决常规电网利用系数低(美国统计约为 55%),以及节能减排、清洁环保,各行各业日益普及的数字化技术对供电的可靠性及供电的质量要求越来越高等问题^[16-17],北美和欧洲已经开展有关 IntelliGrid/SHG(Self Healing Grid,自愈电网)/Modem Grid/Smart Grid^[18-22]等物力智能电网的研究。相对基于常规发电装置包括太阳能、风能等发电设备的物力智能电网而言,人力智能电网的主要目的是将人体运动产生的小功率的、分散的、但总量巨大的电能通过微型计算机及信息网络系统有效地管理起来,最终实现人力电力资源的最优配置和利用。

2.1 人力智能电网的组成

人力智能电网是一种由人体运动产生的直流或交流电力构成的网络系统,此系统不仅可以不同地区不同个体利用人体运动产生的电能连接起来,同时还能为在此网络区域内的用户提供便捷的电力供应。其电网组成包括:人力发电

设备,电力输入端口,电流输入调节模块,电力输入路径,电能存储设备,中心控制系统,电力调度系统,电力输出路径,电流输出调节模块,电力输出端口等。

其中,电力输入端口的一端和相应的人力发电设备相匹配,另一端与后续的电流调节模块相匹配。这里的人力发电设备可以是当前已有的各种人力发电装置,如手摇发电机及手脚并用发电设备等,其尺寸大小和发电量的多少均不受限制。此端口具有多个并联的与各种人力发电设备相匹配的插口,以满足各种外部的发电设备都能向此网络输入电能,它还包括接收电力调度系统指令的接收器及相应的执行器件。

电流输入调节模块的一端和电力输入端口连接,另一端与电力的传输线路连接。其直接受电力调度系统的支配,实现将输入的电能调节到与指定的储存设备相匹配,为后续的输送工作做好准备。其既能完成电路中电压及电流值的调节,又能根据系统调度环节的指令完成电力输入的各种控制芯片及执行器件的集合。

电力传输路径可以有无线、有线、有线和无线相耦合的方式。其中,有线和无线相耦合的方式是指在有些传输区段或设备接口处用有线方式连接,而有些则用无线方式连接。

电量存储设备包括了初级存储设备、次级存储设备和高级存储设备,初级存储设备直接和发电设备连接,即产生的电能如果在没有用电申请时则可立即存储于初级存储设备中。次级存储设备直接和初级存储设备相连,当初级存储设备存满后,发电设备产生的电能则向次级存储设备存储。依此类推,高级存储设备直接与次级存储设备相连,当次级存储设备存满后,发电设备产生的电能则向高级存储设备存储。

中心控制系统包括各种信号的发出和接收装置,以及信号分析处理芯片,其作用是接收各个存储设备发送的有关储电量的信息及各个用电设备发出的供电请求,其内部的微型计算机综合处理电网中各路的供需信息后,以就近原则安排各用电设备的充电过程和各发电设备的供电过程。计算完成后,中心控制系统将最优的配置方案发送给电力调度系统。

电力调度系统包括信号接收模块及发送指令模块。其作用是执行控制中心发出的指令,根据控制中心下达的指令实现各存储设备的储电及对各用电设备的供电。

电力输出途径与电力输入途径的相同之处,在于其可以有无线、有线及有线和无线相耦合的方式,不同之处在于它们的长短及输送电力的参数有所不同。

电流输出调节模块的一端与电力输出路径相匹配,另一端和电力输出端口相匹配。其直接受电力调度系统的支配,实现将输出的电流调节到与指定的用电设备相匹配,为后续的输出工作做好准备。其作用是既能完成电路中电压及电流值的调节,又能根据系统调度环节的指令,完成电力输出的各种控制芯片及执行器件的集合。

电力输出端口的一端与电流输出调节模块相匹配,另一端和各种用电设备相匹配。此端口具有多个并联的与各种用电设备相匹配的插口,以满足各种外部的用电设备都能通过

此网络得到所需电能。另外,其还包括接收电力调度系统指令的接收器及相应的执行器件。这里的用电设备包括各种小功率的用电设备,如:笔记本电脑、手机、MP3、MP4、电动玩具乃至电信、Internet 网络系统等用电设备,也可包括台式电脑、家用照明 LED 灯、电动自行车等各种较大功率的用电设备。

此人力智能网络的优点是:可部分缓解当前的能源危机,将由低品位的、分散的、人体动能产生的、低能量密度的电力捕捉收集起来;绿色环保,此电网不涉及危害环境的环节,对低碳经济有积极贡献;通过计算机控制,整个网络得以有效管理,人力电力资源也得到合理分配和使用;与因特网相联,能最大限度地获得人力电力方面的信息,实现最大范围内人力电力的优化配置;由于电力是以最优的方案进行传输,所以此电网电力输送的过程损失小,提高了人力产生的电能的利用率;为人们提供了安全可靠、便捷高效的用电模式,若在整个社会加以推广,则可以产生总量巨大的电力,其实用价值十分可观。

2.2 人力智能电网的基本特征

人力智能电网系统由电能传输的能量网络和控制电网中各种设备工作的信息网络组成。其中,信息网络控制能量网络中电能的传输,同时能量网络也向信息网络发出反馈信息,信息网络接收到反馈信号后重新对电能的传输方案进行调整,最终实现能量网络的最优配置。其主要的特征如下:

- 1) 人力智能电网系统主要传输、配置由人力发电设备产生的直流或交流电力,此电网在实现自动化、数字化、信息化和互动化等基本技术的前提下,具有可观测、可控制及自适应等主要特点。
- 2) 人力智能电网系统具有较低的能耗、阻塞、系统运行和维修费用、发电及输配电的资产投入及能量成本;较高的可靠性、电能质量及系统安全性。
- 3) 人力智能电网系统可以根据电网覆盖的范围确定所设立的中心控制系统的数量。如果存在多个中心控制系统,各个中心控制系统既彼此独立又相互联系,以实现各个中心控制系统既能独立工作又能与其他中心控制系统之间共享

信息及能源,最终达到最大程度地配置电力。

4) 人力智能电网系统具有计费设备。其作用在于,一方面可以根据用户所用电量、电力输运距离来确定用电的价格,另一方面根据发电量的多少给发电者相应的奖励和报酬。另外,为使用户统筹高效地利用自己的时间,此设备还具备显示用户从发出用电请求到可以进行充电所需时间的功能。

5) 人力智能电网系统所涉及的范围可以是一幢建筑,一个社区,一座城市,也可以是一个国家甚至全球。连接方式可以是以一个社区作为子网单元,一个城市的人力智能电网可以由社区子网单元彼此连接构成。同理,一个国家的人力智能电网可由城市作为子网单元来构成,以此类推,最后,人力智能电网可以延伸和覆盖整个世界。其中各个子网连接的拓扑结构可以是总线、环形、星型等,同时,在大电网受到破坏时,保存完好的子网系统可形成孤岛微网向用户供电。

6) 人力智能电网系统中信息的传输具有双向性,数据的处理具有实时性,系统的保护具有自适应性,故障的处理具有自愈性,同时还具有电磁干扰小、谐波小、噪音低、辐射小、供电可靠便捷等优点。

7) 人力智能电网系统所连接的发电设备都是人力发电设备,所以此系统中没有煤耗、排水及排污等物力电网所必须的检测设备,因而系统结构简单、耗能小、成本低。

3 人力智能电网的应用范畴

3.1 供应生活用电

人力智能电网最主要也最基本的作用,在于直接给在此网络区域范围内的各种小功率用电器供电。图 1 反映了人力智能电网的信息传递途径。

在人力智能电网运行时,作为运算单元的中心控制系统接收来自电力输入端口、电力输出端口、电流输入调节模块和电流输出调节模块的反馈信息,其内部的微型计算机将这些信息进行处理,最后得出整个电网的输入和输出电能的最优方案,然后将这个方案的内容传递给电力调度系统。中心控制系统以就近原则来分配电力资源。例如:某一时刻一个

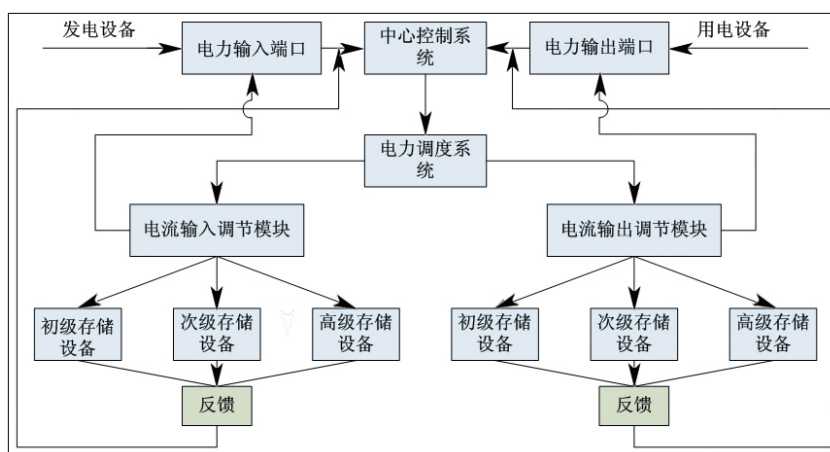


图 1 人力智能电网信息传递图

Fig. 1 Information transmission of human smart grid

用电设备向电力输出端口发出用电请求,此时电力输出端口将此信息传递给中心控制系统,中心控制系统会立即确定此用电器在电网中的地理位置,然后检测距离此用电器最近的人力电力输入端口的信息。如果在此用电器附近恰好有电力输入端口向中心控制系统发出输入电力的请求,则此请求马上得到应答,外界的发电设备可以从此端口向电网供电。从此端口输入的电能将直接供给上述发出用电请求的用电设备。如果在此用电设备附近没有输入人力电力的请求,则中心控制系统将检测距离此用电器最近的储能设备的储存情况,若储量满足需要,则其可以向用电设备供电;反之,则中心控制系统将调度远端存储设备向此用电器供电。同理,当外界的发电设备向电网输入电能时,也是先供给就近的用电设备,然后存储到就近的存储设备,最后才考虑存储到远端的设备中。

电力调度系统得到中心控制系统的方案后,将中心控制系统发出的方案转换成电网中各种设备可执行的指令,然后再向电流的输入、输出调节模块发出这些指令。于是,根据电力调度系统的控制,各端口及各级电能存储设备开始动作,实现发电设备向电网的供电及电网向用电设备的供电,另外,各级存储设备还可以根据自身储存电量的情况向中心控制系统发出反馈信息。图2是人力智能电网的子网结构图。从图中可以看到一个基本人力电网的拓扑结构。

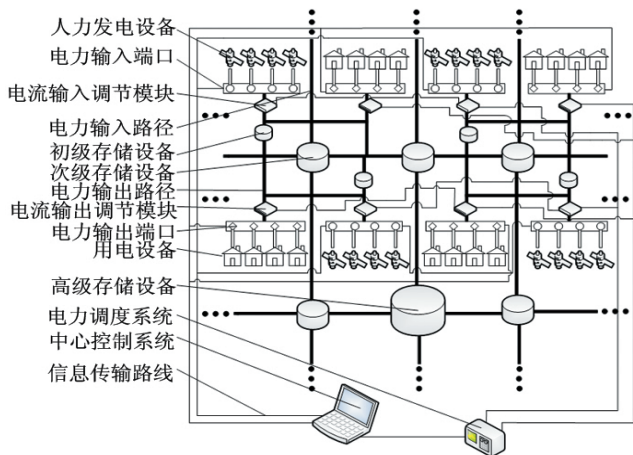


图2 人力智能电网的子网结构图

Fig. 2 Subnet structure of human smart grid

当前的大多数人力发电设备都是一对一的连接,即:一种人力发电设备对应着一种用电设备,彼此之间存在固定的电力调节环节和储能环节,其作用是将发电设备产生的电流调节到与用电设备所需的电流相匹配,因而难以得到广泛应用。而人力智能电网可以将各种人力发电设备并入网络,同理,各种用电设备也可以通过此网络得到所需电能。借助各种调节模块、调度和控制系统,人力智能电网可以实现发电设备与用电设备之间一对一、一对多、多对一及多对多的连接,从而使有限的资源得到最优配置和利用。

3.2 供应紧急用电

2008年2月我国南方大部分地区及西北地区东部的冰

雪灾害,导致当地电网的大面积瘫痪,带来了南方大部分地区停电停水,造成了严重的损失。如果当时这些地区建有人力智能电网,那么被困在家里的人们就可以通过人力智能电网实现自救。基于人力发电的人力智能电网,不仅可以为城市及边远山区的居民提供生活基本用电,为野外、黑夜、海底及矿井等特殊环境中作业的工人提供所需的电能,还可以为灾变事件提供紧急供电。在人力智能电网整体大面积瘫痪的情况下,一些保存完好的子网还可以形成微网或孤岛,独立为用户供电,这种系统可在风暴及冰雪等恶劣天气、地震及洪水等灾害事件、恐怖袭击及战争等突发事件造成大电网严重破坏时,为医院、广播电视及交通枢纽等重要的用户提供紧急供电,将灾变事件造成的损失降到最小。

另外,此人力智能电网还具备一些对天气及灾害事件进行检测及预警的设备,以及早做好防范准备。具体包括:储存足够的电力供灾害事件发生时使用;在灾害事件来临时将处在灾害事件区域内的子网与主体电网脱离,以减小灾害事件对大电网的影响。同时,针对地形复杂或常出现恶劣气候的地区,应设计和建立适合这些特殊环境的线路和杆塔等基础设施,以保证其运行的可靠性,并应对灾害事件的破坏。

3.3 配合常规物力电网使用

人力智能电网除直接给在网络内的用电设备供电外,还可以配合常规的物力电网使用。即:在用电高峰时,其可以向物力电网供电以减小物力电网的供电压力;在用电处于低谷时,物力电网可以将多余的电能存储在人力智能电网中。同理,在人力智能电网供不应求时,物力电网也可以向人力电网输入电能;当人力智能电网供过于求时,其也可以向物力电网输送电能。通过两网的协调作用,使电力资源得到最优的配置和利用,最终给人们带来一个便捷高效的供电平台。

以上虽然只给出了人力智能电网的几个基本应用方向,但随着人力智能电网的深入发展,相信其应用范围将会得到不断的拓展和延伸。

4 人力智能电网的技术可行性分析

人力智能电网正常运行所涉及的技术包括两大部分:信息网络中信息的传递技术和电力网络中电能的传输技术;为实现电力系统正常运行而采取的实时监测、预警控制、动态安全分析、优化调度,以及紧急状态下的协调控制、辨识故障及故障自愈等功能。人力智能电网与常规智能电网的基本环节^[23-25]类似,主要包括:通信技术,控制技术,电能存储技术,配电技术,高级计量体系,电网保护技术等。下面简要阐述各环节的基本途径。

1) 通信技术主要包括:数据无线传输技术,数据有线传输技术,数据处理技术。其中数据无线传输技术包括短距离和长距离的传输。短距离的数据传输可以通过蓝牙(Bluetooth)、zigbee、射频、红外等方式完成;远距离的数据传输可以通过无线载波、GSM、CDMA、Internet网络等方式完成。数据有线传输可以通过电话线、光纤等传输方式来实现。数据处理

依靠微型计算机、大型计算机甚至超级计算机来完成。通过上述技术,最终建立一个高速、双向、实时、集成的通信系统。

2) 控制技术主要包括:传感器技术、系统快速仿真与模拟技术。其中传感器技术包括有线传感器和无线传感器。可以使用各种各样的传感器来满足此电网中信息传输的需求。快速仿真与模拟(Fast Simulation and Modeling)技术^[16]是指含风险评估、自愈控制与优化的高级软件系统。其作用是提供实时的状态估计,系统性能的连续优化,比实时还要快的预测仿真,量化市场、政策及风险对系统的安全性和可靠性的影响。

3) 电能存储设备可以根据电网所覆盖区域的大小设计多级存储设备,所选用的设备包括:超级电容器、锂电池、超导磁能储能、钠硫蓄电池、铅酸蓄电池等多种直接蓄电设备。当电力严重过剩时,还可将电能以其他形式的能量储存起来,如:电解水制氢,将电能转换为氢能;用电把水蓄到水塔,将电能转换为水的重力势能;飞轮储能,将电能转换成机械能等。

4) 配电技术主要包括电压调节技术、电能无线传输技术、电能有线传输技术。其中电压调节技术可以包括:① 利用智能万用变压器进行调压,实现升压和降压等基本目的,其调压方式可分为无载调压和有载调压两种。与传统的变压器相比,智能万用变压器的优点在于其一可为用户提供可选择的服务项目,可实现电力从单相到三相的转换、调压、谐波过滤等功能;其二可改善系统运行效益,较传统变压器而言,其内部没有危险液体介质,重量和尺寸都有所减小。② 改变电力网的无功功率分布进行调压,即在输电线末端,靠近电力输出端口处装设并联的无功补偿设备。电网的无功补偿设备主要有同期调相机、静电电容器、静止补偿器等。电能无线传输技术是指将电能转换成其他可以无线传输的能量形式,以此作为电能的载体进行传输。所述电能的载体可以是电磁波、激光、红外等。电能有线传输可以使用导电率较高的材料作为输电线,如:石墨、碳管、超导体等材料。电力传输的方式以高压为主,视传输距离的远近各电压等级配合使用。传输电流的形式可以是交流、直流和交直流相耦合的方式传输。

5) 高级计量体系^[20]由安装在用户端的智能电表、位于电力公司内的计量数据管理系统和连接它们的通信系统组成。其主要作用在于提供电网系统内连续即时的电力供求信息,降低负荷峰值,提高电力利用率;提供实时电价,使用户参与到即时的电力市场中,最终达到自动调节电网负荷的目的;即时检测系统故障及系统非技术性能量损失等。

6) 在整个人力智能电网系统中,电网供电的安全性和可靠性是最重要的环节。此电网的保护技术主要有电压保护和电流保护,整个保护系统包括各个设备的主保护系统和后备保护系统,主要由继电保护设备来实现电网的保护。

由于人力电力功率较小,为使电能得到高效利用,人力智能电网中各种设备设计的基本原则是:安全可靠,测量准确性高,抗干扰性强,低功耗,低成本。另外,本文只是初步描

述了人力智能电网构建中最基本的技术环节,其详细的实施办法,特别是硬件系统的构筑还有待进一步研究和具体化,但当前的科技水平已为此提供了重要保障。

5 人力智能电网的经济性分析

相对于渐入佳境的物力电网而言,人力智能电网还处在一个雏形阶段,很多技术和工艺方面尚不够成熟,甚至在当前并无任何市场份额。但是基于其诸多优点,不难看出人力智能电网具有很大的市场潜力。

首先,能源危机使得人们不得不为日益枯竭的常规能源寻求可再生的替代能源。太阳能作为一种“取之不尽,用之不竭”的能源成为关注的焦点,但其受天气变化的制约导致随机性很大,在夜晚、阴雨天或者在海底、外太空等没有阳光到达的地方,太阳能供电设备往往受到严重影响。而人体运动产生的能量是与人类的存在相生相伴的,是真正意义上的取之不尽、用之不竭的能源,同时也是对环境友好的绿色能源。在能源供需矛盾日益激化的今天,这种能量的重要性得以显示,在不久的将来,人力发电设备可能会普及到每一个国家、每一座城市、每一个社区乃至每一个家庭。如果全世界 60 亿人中的大多数都能参与到人力发电中来,那么由此产生的总能将将是巨大的。而这些电能只有通过一个管理和配置工具,才能得到高效的利用,人力智能电网正是这样一种工具,其理念的提出具有前瞻性科学意义和潜在应用前景。

其次,虽然中国当前的平均电价是 0.50 元/kW·h^[27],但物力发电带来的一系列环境及生态问题也需要人们在将来为之买单。所以,物力发电的真实价格将远高于其现在表面上的价格。而且,随着化石能源的日益枯竭,环境污染的加深,物力发电的成本也会不断增加。当然,人力电网并不能替代当前电网向用户供电,但可作为物力电网的后备力量,在用电负荷加大时向用电设备供电,减小常规电网负担。人力智能电网的构建顺应全球对发展低碳经济的共识,为积极响应节能减排的号召,适应低碳经济的发展,鼓励环保,人力发电及人力电网搭建中的部分成本可由政府或公益机构买单。

再次,人力智能电网可为不同型号的人力发电设备和用电设备提供接口,人们可以通过运动随时向此网络输入电能,同时也可以随时从中获得所需电能。当前的人力发电设备大多都是和相应用电设备捆绑在一起使用的,而人力电网可以使发电设备和用电设备分开,这样,用户无需随时携带人力发电设备,从而减轻了出行装备。所以,人力智能电网的构建为人们提供了一个便捷的用电平台。

最后,随着人们生活节奏的加快,工作压力的加大,很多心理和生理疾病相继出现。而定期适量的运动可以有效地缓解人们心理的压力和身体的疲劳,通过各种与运动相匹配的发电设备,人们在运动过程中产生的能量还可回收用来发电,从而达到一举两得的目的。合适的方案或措施,可起到鼓励和表扬那些使用发电型健身器材进行体育锻炼的人群的作用,由此可促使公众经常定期参加运动,在保持身心健康

的同时提供部分电力,从而为社会创造效益。要使由不同性别、年龄、身体素质的个体运动产生的电力真正得到有效的应用,迫切需要一个收集这些分散电力的工具。所以,人力智能电网的构建具有很强的必要性。

虽然当前人力智能电网还不能取代物力电网而存在,但基于其上述特性,作者认为,在不久的将来人力智能电网会走入实际。随着科技的进步,各种新材料的不断发现及工艺水平的持续提高,加之政府的鼓励措施,构建人力智能电网的成本将会不断降低,从而大大提升相应技术的市场潜力。

6 小结与展望

本文提出了一种崭新的人力智能电网概念,可借助微型计算机和信息网络系统的优化管理和配置,将由人体运动产生的、分散的、小功率的电力有效地收集、配置和利用。通过对人力智能电网的技术和经济可行性进行分析,可以看到,这种新型电网的构建不仅是可行的,也是十分必要的。在不久的将来,随着人力智能电网真正走入人们的生活,用户在小区活动、健身房健身乃至更多工作和实践环节,即可方便地通过各种人力发电设备向此电网中输送电能。同时,在出差、旅游、地下及黑夜作业时,人们将无须携带各种笨重的发电及充电器件,只需向无处不在的人力智能电网发送请求信号,即可得到所需的电能。这种新型电网的提出引申出了诸多可供探索的理论与技术问题。

虽然人力智能电网具有众多的优点,但是其研究还处于初级阶段,尚有很多技术问题需要进一步研究,例如:整个电网的效率有待进一步分析和提升。其中包括:人力电力在电网中传输、变化、存储及再传输的能量损失和作为控制及管理的信息网络消耗的能量都需进一步论证。另外,为了降低整个电网搭建的成本,其设计的方案也需进一步优化。

参考文献 (References)

- [1] BP 世界能源统计 2009[EB/OL]. <http://www.bp.com/statisticalreview>.
- [2] 邓志茹, 范德成. 我国能源结构问题及解决对策研究 [J]. 现代管理科学, 2009, 6: 84-85.
Deng Zhiru, Fan Decheng. *Modern Management Science*, 2009, 6:84-85.
- [3] 赵玉文. 21 世纪我国太阳能利用发展趋势 [J]. 中国电力, 2000, 33(9): 73-77.
Zhao Yuwen. *Electric Power*, 2000, 33(9): 73-77.
- [4] 赵玉文. 太阳能利用的发展概况和未来趋势[J]. 中国电力, 2003, 36(9): 63-69.
Zhao Yuwen. *Electric Power*, 2003, 36(9): 63-69.
- [5] 王炳忠. 太阳能辐射资源太阳能应用 [M]. 北京: 人民教育出版社, 1995.
Wang Bingzhong. *Solar radiation resources solar energy application*[M]. Beijing: People's Education Press, 1995.
- [6] Yang Y, Wei X J, Liu J. Suitability of a thermoelectric power generator for implantable medical electronic devices[J]. *J Phys D: Appl Phys*, 2007, 40: 5790-5800.
- [7] 康峰, 伍艳辉, 李佟茗. 生物燃料电池研究进展[J]. 电源技术, 2004, 28(11): 723-727.
Kang Feng, Wu Yanhui, Li Tongming. *Chinese Journal of Power Sources*, 2004, 28(11): 723-727.

- [8] Stamer T. Human powered wearable computing [J]. *IBM Systems Journal*, 1996, 35: 618-629.
- [9] 陈圣吉, 郑阳, 段波, 等. 基于电力电子控制电路的健身单车发电系统的研制[J]. 科技创新导报, 2009(4): 79-79.
Chen Shengji, Zhen Yang, Duan Bo, et al. *Science and Technology Innovation Herald*, 2009(4): 79-79.
- [10] Kymissis J, Kendall C, Paradiso J, et al. Parasitic power harvesting in shoes [C]// Second IEEE Int'l Conf on Wearable Computing. Los Alamitos: IEEE CS, 1998: 132-139.
- [11] Donelan J M, Li Q, Naing V, et al. Biomechanical energy harvesting: Generating electricity during walking with minimal user effort [J]. *Science*, 2008, 319(5864): 807-810.
- [12] Saha C R, O'Donnell T, Wang N, et al. Electromagnetic generator for harvesting energy from human motion[J]. *Sensors and Actuators A*, 2008, 147(1): 248-253.
- [13] 韦晓娟, 刘静, 周一欣. 人体动能驱动的可植入式电磁感应供电方法研究[J]. 科技导报, 2009, 27(6): 65-71.
Wei Xiaojuan, Liu Jing, Zhou Yixin. Implantable electromagnetic induction power generation based on human kinetic energy method [J]. *Science & Technology Review*, 2009, 27(6): 65-71.
- [14] Jia D, Liu J, Zhou Y. Harvesting human kinematical energy based on liquid metal Magnetohydrodynamics [J]. *Physics Letters A*, 2009, 373: 1305-1309.
- [15] 徐国栋, 邓月光, 刘静. 人工驱动的超级电容充电型 LED 家用照明系统[J]. 照明工程学报, 2009, 20(4): 43-47.
Xu Guodong, Deng Yueguang, Liu Jing. *China Illuminating Engineering Journal*, 2009, 20(4): 43-47.
- [16] 余贻鑫, 栾文鹏. 智能电网[J]. 电网与清洁能源, 2009, 25(1): 7-11.
Yu Yixin, Luan Wenpeng. *Power System and Clean Energy*, 2009, 25(1): 7-11.
- [17] 王明俊. 智能电网的推动因素、研发路线和难点问题 [J]. 供用电, 2009, 26(4): 1-6.
Wang Mingjun. *Distribution and Utilization*, 2009, 26(4): 1-6.
- [18] EPRI. Power delivery system and electricity markets of the future [R]. Palo Alto: EPRI, 2003.
- [19] EPRI. Technical and system requirements of advanced distribution automation [R]. Palo Alto, CA: EPRI, 2004.
- [20] EPRI, EDF-R&D. Profiling and mapping of intelligent grid R&D programs [R]. Palo Alto, CA: EPRI, 2006.
- [21] Hasse P. IntelliGrid: A smart network of power [J]. *EPRI Journal*, 2005: 26-32.
- [22] 陈树勇, 宋书芳, 李兰欣, 等. 智能电网技术综述[J]. 电网技术, 2009, 33(8): 2-7.
Chen Shuyong, Song Shufang, Li Lanxin, et al. *Power System Technology*, 2009, 33(8): 2-7.
- [23] 施婕, 艾芊. 智能电网实现的若干关键技术问题研究[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(19): 1-4.
Shi Jie, Ai Qian. *Power System Protection and Control*, 2009, 37(19): 1-4.
- [24] 朱涛. 智能电网及其关键技术探讨 [J]. 云南电力技术, 2009, 37(4): 18-19.
Zhu Tao. *Yunnan Electric Power*, 2009, 37(4): 18-19.
- [25] 孙元章, 李蕊, 吴云亮. 智能电网安全经济与清洁运行机制 [J]. 电力建筑, 2009, 30(6): 11-14.
Sun Yuanzhang, Li Rui, Wu Yunliang. *Electric Power Construction*, 2009, 30(6): 11-14.
- [26] Advanced metering infrastructure [R]. Research Reports International, 2007: 5-21.
- [27] 邵洁. 国外工商业电价通常比居民电价低 我国居民电价低于世界多国 [EB/OL]. [2009-11-24]. http://qnc.kyol.com/content/2009-11/24/content_2952082.htm.

(责任编辑 齐志红)