

风光水氢储一体互补的再生能源制造系统

刘友葵

引用本文:

刘友葵. 风光水氢储一体互补的再生能源制造系统[J]. 南方能源建设, 2022, 9(增刊1): 9-16.

LIU Youkui. Wind-Solar-Water-Hydrogen-Storage Integrated Complementary Renewable Energy Manufacturing System[J]. *Southern Energy Construction*, 2022, 9(增刊1): 9-16.

相似文章推荐 (请使用火狐或IE浏览器查看文章)

Similar articles recommended (Please use Firefox or IE to view the article)

电池储能系统对微电网运行特性的改善作用研究

Operation Performances Enhancement of Micro-grid by Battery Energy Storage System

南方能源建设. 2015, 2(2): 35-40 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2015.02.006>

海上风电-氢能综合能源监控系统设计

Design of Integrated Offshore Wind Power-hydrogen Energy Monitoring System

南方能源建设. 2020, 7(2): 35-40 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.02.005>

电解水制氢在电厂和氢能项目的设计应用

Design and Application of Hydrogen Production by Electrolysing Water in Power Plants and Hydrogen Energy Projects

南方能源建设. 2020, 7(2): 41-45 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.02.006>

基于风光储多能互补模式的充电基础设施效益分析

The Benefit Analysis of Charging Infrastructure Based on Multi-energy Supplement of Wind Power, Solar Power and Energy Storage

南方能源建设. 2018, 5(3): 120-126 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2018.03.020>

可再生能源绿证价格季节性测算方法研究

Research on Seasonal Calculation Method of Renewable Energy Certificate Price

南方能源建设. 2020, 7(3): 46-54 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2020.03.006>

风光水氢储一体互补的再生能源制造系统

刘友葵[✉]

(肇庆市技师学院, 广东 肇庆 526060)

摘要: [目的] 为了早日实现国家“2030年碳达峰, 2060年碳中和”的双碳目标, [方法] 积极改进现时风电、光电互补单元, 创新研发水能蓄水发电单元, 创新引入氢能发电单元以及超级电容并联锂、钠电池储电单元等, 并以可编程控制器(工业控制专用计算机PLC)、LM358运算放大器、功率继电器及固态功率继电器等为核心将五单元元素合一, 取长补短, 共同组合成新再生能源制造、生产的“开放式”系统。[结果] 该系统可以推广成为家喻户晓的新型普及节能设备, 能够满足用户通用性和特殊性的全方位需求。[结论] 风光水氢储一体互补的再生能源制造系统能够成为实现双碳目标的急先锋。

关键词: 双碳目标; 再生能源制造系统; 氢能; 储能; 互补控制

中图分类号: TM341; TM615; TN86

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2022)S1-0009-08

开放科学(资源服务)二维码:



Wind-Solar-Water-Hydrogen-Storage Integrated Complementary Renewable Energy Manufacturing System

LIU Youkui[✉]

(Zhaoqing Technician Institute, Zhaoqing 526060, Guangdong, China)

Abstract: [Introduction] In order to achieve the national goal of "carbon peak and neutrality" as soon as possible, [Method] this paper actively improved the current wind power and photoelectric complementary units, innovated and developed the hydropower storage and power generation unit, introduced the hydrogen energy power generation unit and the super capacitor parallel lithium and sodium battery power storage unit, and combined the five elements with the programmable controller (industrial control computer PLC), LM358 operational amplifier, power relay and solid-state power relay as the core to make up for each other's strong points, and jointly formed the "open" system for the manufacturing and production of new renewable energy. [Result] The system can be popularized as a new type of universal energy saving equipment, which can meet the all-round needs of users' versatility and particularity. [Conclusion] The wind-solar-water-hydrogen-storage integrated complementary renewable energy manufacturing system can be a pioneer in achieving the goal of "carbon peak and neutrality".

Key words: carbon peak and neutrality; renewable energy manufacturing system; hydrogen energy; energy storage; complementary control

2095-8676 © 2022 Energy China GEDI. Publishing services by Energy Observer Magazine Co., Ltd. on behalf of Energy China GEDI. This is an open access article under the CC BY-NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

0 引言

国家的“2030年碳达峰, 2060年碳中和”的奋斗目标, 是压在我们这一代的紧迫任务。我们具体从四个方面做起: 一是加大可再生能源的利用; 二

是实现重大交通领域、电网、通讯、城镇化等领域的基础设施低碳转型及电动化; 三是提高制造及制造业的产率和能效并降低排放; 四是大力增加植树造林(森林碳汇)和保持湖泊湿地及水土等自然碳汇。其中加大可再生能源的利用, 全力展开“风

收稿日期: 2021-08-13 修回日期: 2021-10-08

基金项目: 2020年肇庆市技师学院课题“再生能源设备研发”(2020032302)

能、光能、水力发电、氢能、储能等再生能源应用系统研发”是机电人员具体实现双碳目标的首要任务^[1]。然而，早期或现时新能源应用系统能源元素不全面^[2]，或其主部件用材缺乏先进性，不能完全满足实际应用要求，未能广泛应用。

1 新再生能源制造、生产的“开放式”系统

文章构建的系统参考并改进了现时新能源风光互补现用设备，补充加入自主新研发的高效率水力与蓄水发电单元、氢能化学反应电池单元以及超级电容与锂、钠电池储电单元。五种单元新能源元素相互取长补短，共同组合成新再生能源制造、生产的“开放式”系统，下面称其为“风光水氢储一体互补的再生能源制造系统”，如图1所示。

该系统考虑元素全面，主部件用材先进（如逆变器铁心采用非晶材料，风能发电机采用具有“第三代磁王”之称的钕铁硼材料，其磁能积与矫顽力高，可大幅提高能量转换效率）。该系统考虑全面，

可广泛应用。

系统总体各组件简要阐述如下：

所有部件、器件均选购DC 12 V、DC 24 V或AC 220 V供电类型，总DC组合互补控制器负责五路直流电压的调度、接续、分配，主控件由国内合资的FX3U-32MR及FX3U-32MT可编程控制器PLC+运算放大器LM358+外功率继电器+功率固态继电器等构成，并预备将来功能扩展的接口。互补控制器的左边为输入双向信号，右边为输出负载或单双向信号^[3]。

输入包括风电、光电、水电、氢氧反应产生的电能、超级电容及新型锂、钠电储能等五路，输入均统一转换为12 V直流电压。

输出（二路输出）则包括第一路：DC-AC逆变器，输出交流220 V、380 V、10 000 V三路电压，供给交流220 V、380 V等各种需求的交流负载，同时可并网入10 kV高压；第二路输出：DC-DC多路变换器通常输出+6 V、+12 V、+24 V电压，供给各需求的直流负载。

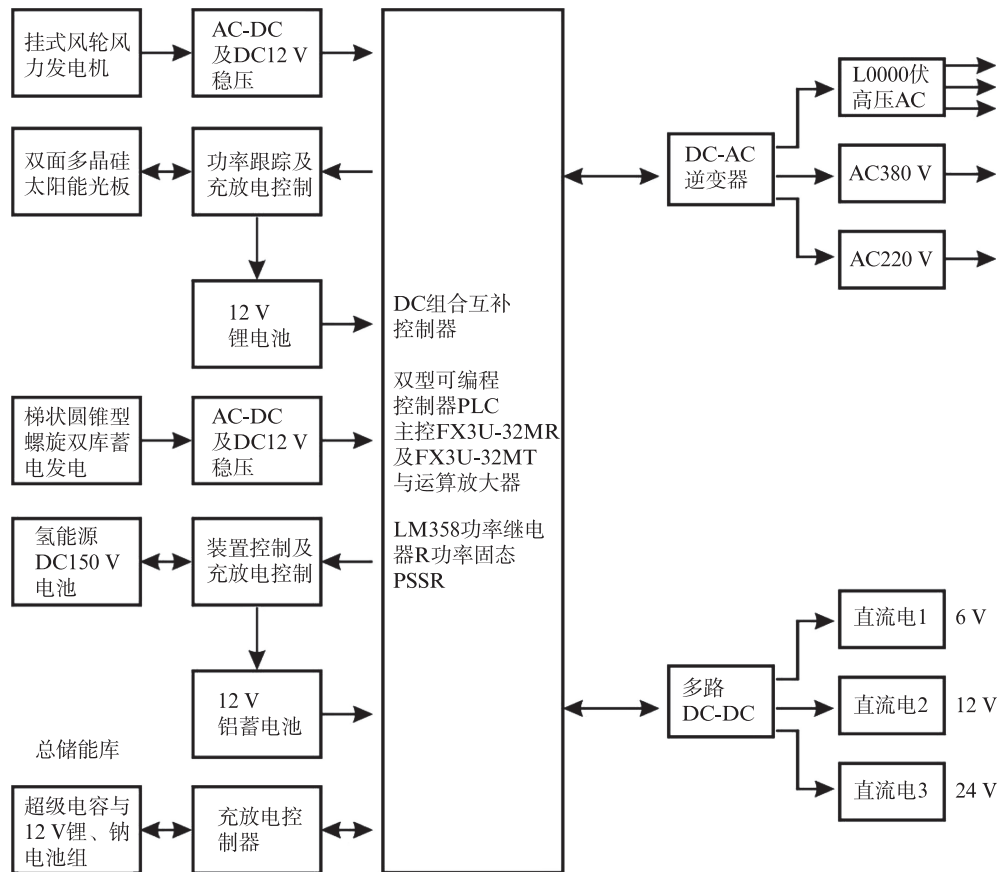


图1 风光水氢储一体互补的再生能源制造系统

Fig. 1 Wind-solar-water-hydrogen-storage integrated complementary renewable energy manufacturing system

控制电路：控制接续各路能量、风能部件、追日部件与电池充放电、水能部件、氢能部件与电池充放电、储能电池充放电（充放电电压为额定值的±20%）等^[4]。

综上所述，系统组成了一个多种能源制造生产的标准化、“公式化”的开放式系统。犹如一台台式电脑适用于各种应用一样，该系统适用于各种场合（如房屋、小区、社区、汽车、轮船、城区、地级市等）：在输入端，有条件的能源元素多接，无条件的能源元素不接，额定功率内不影响使用；在输出端，有各种常用的交流、直流电压输出。

后续章节对系统的风光水氢储和DC互补控制器以及元部件用材创新等部分分别描述。

2 新系统的风能发电部分创新

目前常用水平轴风能发电系统如图2所示，发电机的风叶采用普通三叶、五叶等片状结构，围绕着水平轴旋转，将机械能转变成交流电能，再通过AC-DC变换电路转换成直流，给电池组充电。其原理直接，结构简单，成本低。但是该风能发电系统对周围环境要求高，占用面积大，如有飞鸟碰触会损坏叶片、断杆、烧毁发电机，甚至引发火灾。此外，水平轴风力发电机的叶片在旋转一周的过程中，受惯性力和重力的综合作用，叶片所受的是交

变载荷，这对于叶片的疲劳强度非常不利。该类发电机实测的利用率在26%左右。

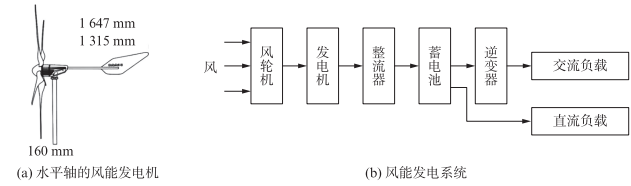


图2 目前常用水平轴的风能发电系统

Fig. 2 Currently commonly used horizontal axis wind power generation systems

为了改善上述情况，新研制的新X型和H型垂直轴风叶如图3所示，新X型风叶磁悬浮垂直轴风力发电系统如图4所示。

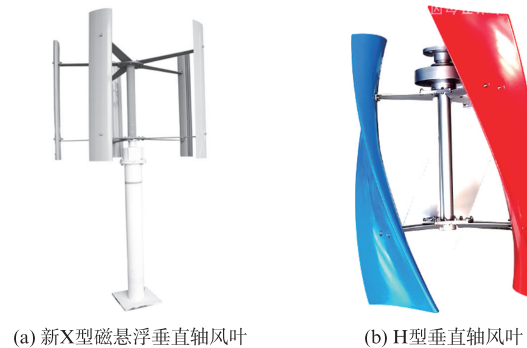


图3 新X型和H型垂直轴风叶

Fig. 3 New X-type and H-type vertical axis wind bladeaxis wind blade

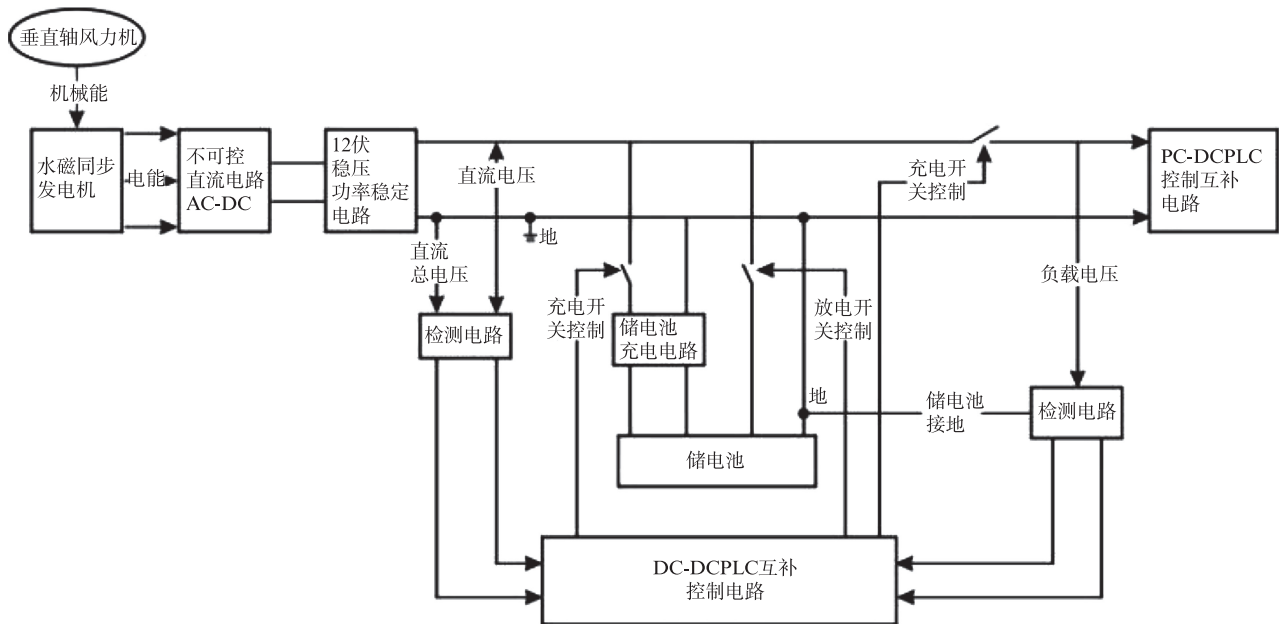


图4 新X型风叶磁悬浮垂直轴风力发电系统

Fig. 4 New X-type wind blade maglev vertical axis wind power generation system

3 光能发电系统部分创新

现时单一独立的光伏发电系统如图5所示。其优点是电路简单，制作容易，缺点是没有功率跟踪控制，太阳从东边移动到西边时功率会发生变化，斜对太阳功率变少。此外，该系统采用单面硅板，效率不高^[5]。

新研发的光伏发电系统在发电板输出直流电给储电池前，就对太阳板增加超级电容和追日功能，即增加跟踪器，使光板始终垂直正对太阳光线，保证电池板有稳定的输出功率、稳定的输出电压^[5]。此外，该系统采用双面硅片发电板，硅板一面接收太阳光线，另一面接收硅板背面的光辐射热能，大大提高发电效率，如图6所示。

光伏的跟踪系统，又称为追日系统，太阳东

升西落，光板组件可以实现 270°上下、左右旋转，而再采用双面硅片发电板+追日系统后，经测试其功率相对于无追日的单面硅板的太阳能发电系统提高了 80% 以上。在中国，硅片价格不高，因此双面硅片+追日光伏发电是光伏工程必由之路。

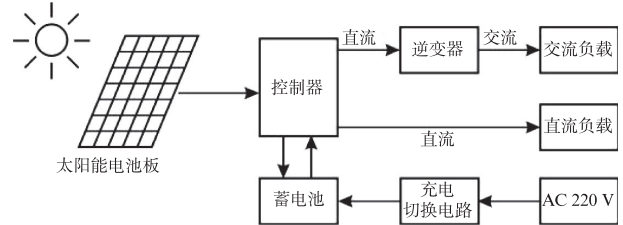
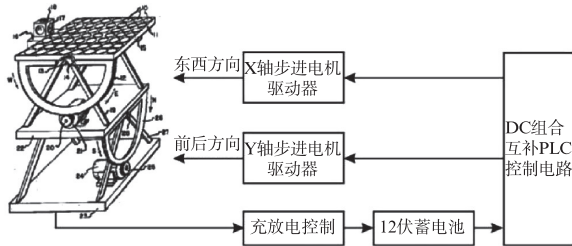
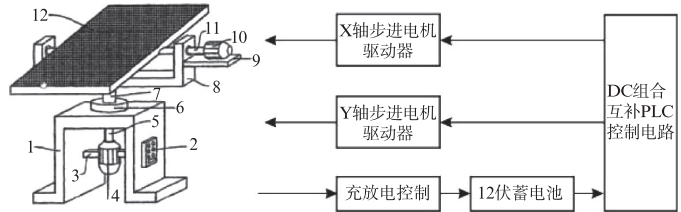


图5 单一独立的光伏发电系统

Fig. 5 A single independent photovoltaic power generation system



(a) 双面硅片发电板的X与Y轴转追日方式



(b) 双面硅片发电板的主轴与X轴旋转追日方式^[6]

图6 双面硅发电板的两种追日方式

Fig. 6 Two ways of chasing the sun for double-sided silicon power generation panels

图6 (a) 图6 (b) 为双面硅发电板的两种追日方式，其电控部分由可编程控制器PLC、二路光敏电阻、步进电机及其驱动器和电源组成。通过2个光敏电阻的光阻变化来检测光照，光敏电阻放在板子的2端，若2个光敏电阻的阻值相同，则阳光正对，若2个光敏阻值不同，则阳光没有正对，此时步进电机调整板子正对太阳光。

4 最新自主重点研发的水力发电系统部分创新

现时有效率的水力发电多采用涡流涡轮+双水库式系统，这种方式优点是稳定可靠使用时间长，缺点是造价高占地面积大，如长江三峡等国家级大型水电站或跨几省华东地区级水电站。

新研发的水力发电系统采用梯状圆锥型塑材外筒、配套梯状圆锥型铝塑螺旋叶片+两个水位有高低落差相连的水池“水库系统”，这种方式优点为

稳定有力、效率极高造价低、占地面积不大。我们称该系统为“新型梯状圆锥型铝塑材螺旋叶片水力发电系统”，如图7所示。该水力发电系统的应用可

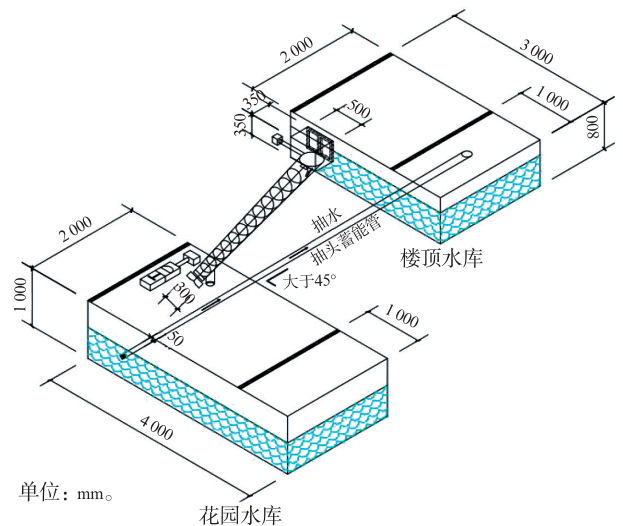


图7 新型梯状圆锥型铝塑材螺旋叶片水力发电系统

Fig. 7 A new type of trapezoidal conical aluminum-plastic spiral blade hydroelectric power generation system

广泛深入寻常百姓家或普通小区、城区之中。

5 新能源氢能电池及其发电系统部分创新

5.1 产氢储氢方法及储氢改进

目前产氢系统有三种，分别是电解纯水、提炼焦炭和天然气。其中在我国，电解纯水是最环保低

碳的，如图8所示。

现时氢的储存经过 35~70 MPa 加压入瓶，瓶压 2 MPa，再经过运输运送到目的地，这样其储存及运输存在困难。最新试验表明，将氢气冷却到零度及以下或采用现场风光互补制氢，可大大改善上述问题。

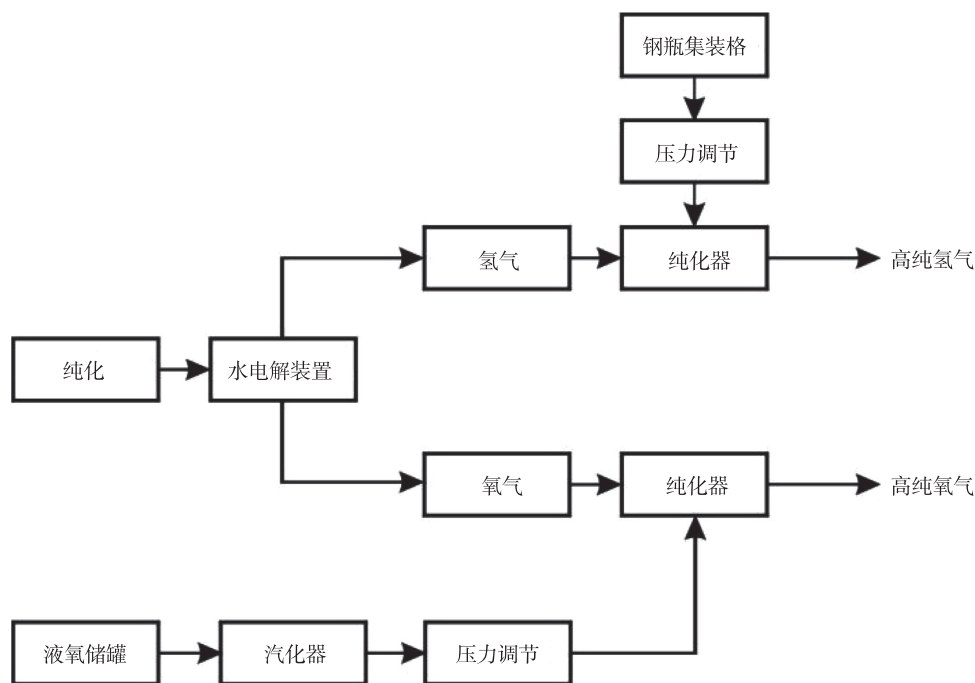


图8 电解纯水产氢系统^[7]

Fig. 8 Electrolytic pure water hydrogen production system

5.2 氢能电池及其发电系统

氢电池内各层分别为氢气或空气（氧气）加入层、电极（正负）、铂（或低铂、非铂）催化剂层及质子交换膜层。新改进的氢能实用发电系统如图9所示。

气道系统方面：一端 2 MPa 左右的氢瓶在互补控制系统的 PLC 与步进式电动减压阀控制下在加氢层徐徐加入氢气，大部分氢元素经过电极层、催化剂层、质子交换膜后，与经过滤尘的空气中的氧气发生化学反应，排出水分并流入循环冷却水回收管道，被互补控制系统的 PLC 与水泵抽回循环冷却水供应罐。少部分氢气经过 PLC 与压缩泵回收进入储氢瓶。另一端经过滤尘的自然空气经过互补控制系统的 PLC 与步进式电动减压阀控制下在加氧层徐徐加入氧气，大部分氧在质子交换膜层与氢发生化学反应排出水分。多余的空气直接向大气排空。

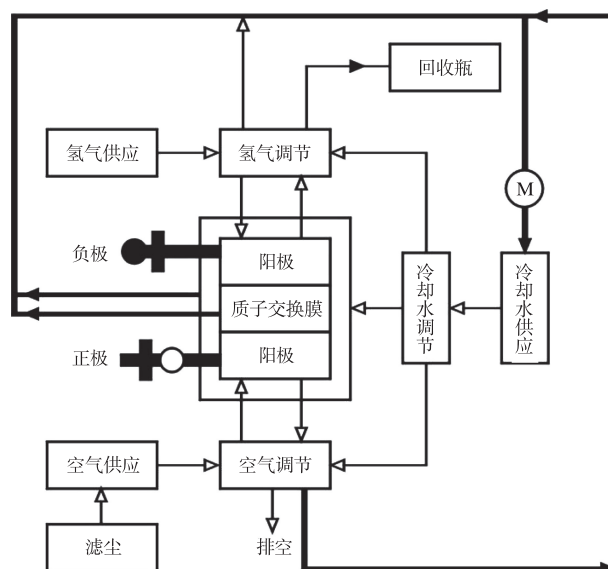


图9 氢能实用发电系统

Fig. 9 Hydrogen utility power generation system

冷却水系统方面：为保证氢电池外壳氢气及空气调节腔等都处于低温状态，对它们进行循环水冷却。供水输出均采用针阀控制，上述三个部位回水+质子交换膜层化学反应排水，均流入循环冷却水回收管道，被抽回循环冷却水供应罐。因此用

氢能源，零排放，清洁环保可再生。氢电堆输出150~200 V左右，经DC150 V-DC14 V变换电路，输出14 V，最后由12 V储电池储存，作本系统的一路输入。

氢电池输出及其处理新型电路如图10所示。

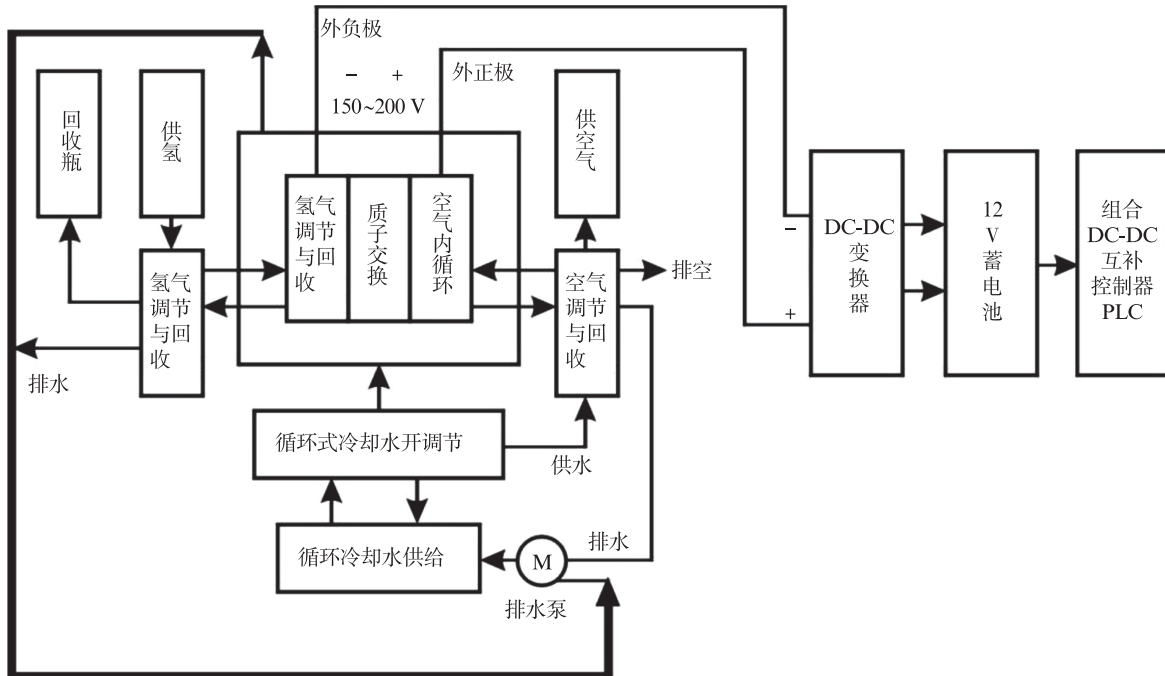


图10 氢电池输出及其处理电路

Fig. 10 Hydrogen battery output and its processing circuit

由图10可知，氢能发电是零排放和可再生的，值得深度研发推广应用。

6 储能系统新材料与器件部分创新

6.1 超级电容

超级电容性能介于普通电容与电池特性之间，容量极大且能快速充放电。因此我们将它直接或间接与锂或钠电池并联大胆应用于机电设备之中^[8]。

6.2 锂电池工作原理与优点

新能源锂电池的工作原理：锂电池是一种反复可充放电，但不能快速充放电的电池，主要依靠锂离子在正负极之间移动，又称摇椅电池。

充放电过程中， Li^+ 插层脱嵌在两个电极之间：在充电电池中， Li^+ 从正电极上被借记，通过电解质插入负极，负极处于富锂状态；在放电过程中，则相反^[9]。

锂电池由正负极、电解液、隔膜、外壳几部分组成。其良好性能体现在高储能密度上，为铅酸蓄电池的6倍，且质轻寿长环保无害^[10]。

6.3 钠电池工作原理与优势

新能源钠离子电池的工作原理与锂离子电池大致相似，它是利用钠离子在正负极之间嵌、脱过程实现充放电。充电时， Na^+ 从正极脱出经过电解质嵌入负极，同时电子的补偿电荷经外电路供给到负极，保证正负极电荷平衡。放电时则相反， Na^+ 从负极脱嵌，经过电解质嵌入正极。在正常的充放电情况下，钠离子在正负极间的嵌入脱出不破坏电极材料的基本化学结构。

地壳中含钠量是锂的500倍之多，大力研发钠电池大有可为。钠电池的优势是质轻寿长，无毒无公害，储存丰富，铝材作负极成本低，充放电及防爆性优。

6.4 机电设备的超级电容与锂、钠电池新组合应用

如图 11 所示，由于超级电容工作电压为 0~3 V，不存在过充、过放电而毁坏，而锂、钠电池

工作在 2.5~4.2 V，存在过充、过放电的毁坏。因此将超级电容和锂、钠电池并联，提高机电设备蓄电容量。

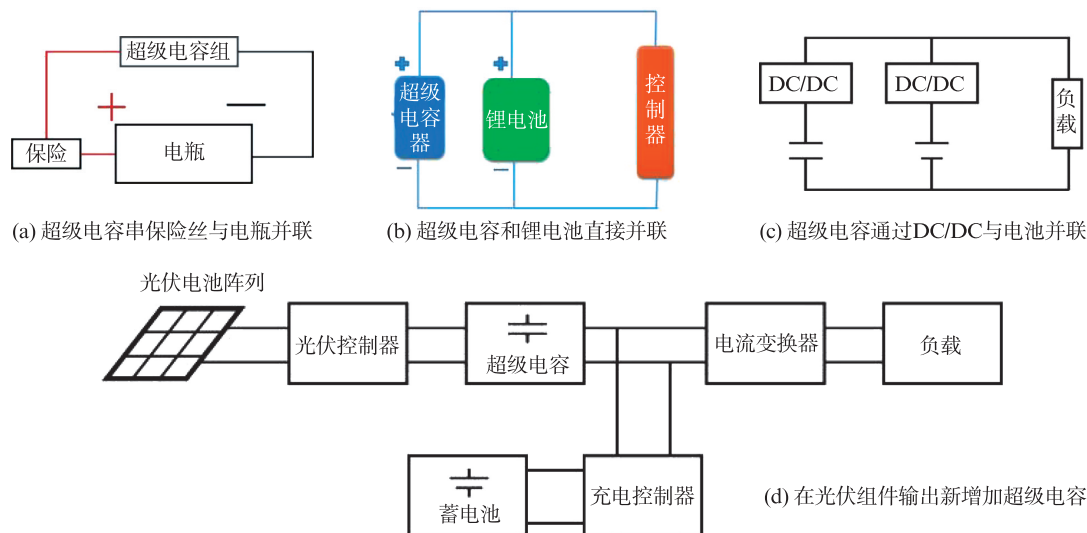


图 11 超级电容的连接形式

Fig. 11 Connection form of super capacitor

选用超级电容与锂、钠电池并接入本文中的再生能源制造系统中作总储电池，可大大提高系统储能总容量，使系统达到最高能效^[11]。

7 DC 组合互补控制器框图主件优选

DC 组合互补控制器采用专为工业控制用的计算机（可编程控制器 PLC）作主控件：FX3U-32MR（32 点 I/O，继电器输出）作接通/断开，即开/关量类的输入输出控制；而 FX3U-32MT（32 点 I/O，晶体管输出），作步进电机如 X、Y、主轴、水闸门等控制。运算放大器 LM358、固态功率继电器 PSSR 均选用低功耗的 CMOS 材料 IC，两器件与电阻电位器等元件构成电压比较器而作为蓄储电池的智能充放电控制电路，保证电池电压为额定值的 $\pm 20\%$ ，保护电池。

8 能量的变换与传输及旋转部件用材创新

目前硅钢片、矽钢片、高频铁氧体等材料被应用在相关变换或逆变电路中作磁芯，转换效率不高，特别在功率电路中转换效率欠理想。目前风电轮机组轴承及发电机磁材也欠缺先进性，发电效率还有提升空间。

在新研制过程中，其一变换电路采用非晶材

料、电工纯铁等高导磁材料，应用在现有的 DC-DC、DC-AC 等变换电路作磁芯，使其效率大大提高，并应用在图 2 再生能源制造系统中，使整机能效大大提升。其二在新系统的风力、水力发电机定子转子、磁悬浮转轴时均采用钕铁硼材料，使机组能效大大得到提升。多采用新技术、新工艺、新材料、新设备，系统才永久广泛应用。

9 结论

为了早日实现双碳目标，还需不断优化五位一体互补的“开放式”再生能源制造系统。未来将有更多新能源应用加入本系统的备用 I/O 接口中，如清洁能源材料的微光发电石墨烯、地热能及生物质能等，这些将是后续的研究方向。

参考文献：

- [1] 李凯, 康世崴, 闫方, 等. 基于风光火储的多能互补新能源基地规划分析 [J]. 山东电力技术, 2020, 10(47): 17-21+35. DOI: 10.3969/j.issn.1007-9904.2020.10.004.
- LI K, KANG S W, YAN F, et al. Planning analysis of new energy base based on wind-photovoltaic-thermal-energy storage multi-energy complementary [J]. Shandong Electric Power, 2020, 10(47): 17-21+35. DOI: 10.3969/j.issn.1007-9904.2020.10.004.

- [2] 王刚, 周志莹, 顾为东. 利用非并网风电进行海水淡化系统的优势分析 [C]//中国工程院, 上海市能源研究会. 新形势下长三角能源面临的新挑战和新对策——第八届长三角能源论坛, 2011-11-17. 上海: 科学技术出版社, 2011: 139-141.
WANG G, ZHOU Z Y, GU W D. Advantages analysis of desalination based on no-grid-connected wind power [C]//Chinese Academy of Engineering, Shanghai Energy Research Society. New challenges and strategies for energy in the Yangtze River Delta under the new situation——Proceedings of the eighth Yangtze River Delta Energy Forum, Shanghai, November 17, 2011. Shanghai: Science and Technology Press, 2011: 139-141.
- [3] 林利彬, 张昱, 刘智, 等. 基于西门子 S7-200 Smart PLC 的贴标机控制系统设计与实现 [J]. 包装与食品机械, 2018, 36(4): 62-64. DOI: 10.3969/j.issn.1005-1295.2018.04.014.
LIN B, ZHANG Y, LIU Z, et al. Design and realization of the labeling machine control system based on Siemens S7-200 smart PLC [J]. Packaging and Food Machinery, 2018, 36(4): 62-64. DOI: 10.3969/j.issn.1005-1295.2018.04.014.
- [4] 徐笑, 阳浩, 裴璐遥. 基于风光储多能互补模式的充电基础设施效益分析 [J]. 南方能源建设, 2018, 5(3): 120-126. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2018.03.020.
XU X, YANG H, PEI L Y. The benefit analysis of charging infrastructure based on multi-energy supplement of wind power, solar power and energy storage [J]. Southern Energy Construction, 2018, 5(3): 120-126. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2018.03.020.
- [5] 贺冠南, 黄波. ZnO 陷光结构材料的制备及其太阳能电池性能的研究 [J]. 华南师范大学学报(自然科学版), 2019, 51(4): 1-6. DOI: 10.6054/j.jscnun.2019056.
HE G N, HUANG B. Preparation of ZnO light trapping materials and their performance in solar cells [J]. Journal of South China Normal University (Natural Science Edition), 2019, 51(4): 1-6. DOI: 10.6054/j.jscnun.2019056.
- [6] 张俊, 俞文政, 申彦波. 太阳辐射变化对光伏电站最佳倾角的影响分析 [J]. 华南师范大学学报(自然科学版), 2019, 51(4): 86-92. DOI: 10.6054/j.jscnun.2019070.
ZHANG J, YU W Z, SHEN Y B. An analysis of the influence of solar radiation variation on the optimum dip angle of photovoltaic power plant [J]. Journal of South China Normal University (Natural Science Edition), 2019, 51(4): 86-92. DOI: 10.6054/j.jscnun.2019070.
- [7] 江丰, 李林涛. 化合物半导体 $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ 太阳能电池与人工光合作用制氢 [J]. 华南师范大学学报(自然科学版), 2020, 52(6): 1-9. DOI: 10.6054/j.jscnun.2020086.
Jiang Feng, Li Lintao. Compound semiconductor $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ solar cells and artificial photosynthesis for hydrogen production [J]. Journal of South China Normal University (Natural Science Edition), 2020, 52(6): 1-9. DOI: 10.6054/j.jscnun.2020086.
- [8] 缪建麟, 常毅, 蔡俊超, 等. 直接回收锰酸锂制备超级电容器 MnS 材料的研究 [J]. 华南师范大学学报(自然科学版), 2019, 51(2): 45-49. DOI: 10.6054/j.jscnun.2019023.
MIAO J L, CHANG Y, CAI J C, et al. A study of direct recovery of LiMn_2O_4 and its use as the MnS material for manufacturing supercapacitors [J]. Journal of South China Normal University (Natural Science Edition), 2019, 51(2): 45-49. DOI: 10.6054/j.jscnun.2019023.
- [9] 王鹏磊, 安亚斌, 耿琳彬, 等. 锂离子电容器碳酸乙烯酯电解液的研究 [J]. 华南师范大学学报(自然科学版), 2020, 52(6): 22-27. DOI: 10.6054/j.jscnun.2020089.
WANG P L, AN Y B, GENG L B, et al. The ethylene carbonate-based electrolyte of lithium-ion capacitors [J]. Journal of South China Normal University (Natural Science Edition), 2020, 52(6): 22-27. DOI: 10.6054/j.jscnun.2020089.
- [10] 黄炜昭, 徐曙, 陈荔, 等. 基于模糊逻辑的多特征参量综合锂电池 SOH 评估 [J]. 南方能源建设, 2019, 6(3): 98-104. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2019.03.017.
HUANG W Z, XU S, CHEN L, et al. Multiple characteristic variables comprehensive SOH evaluation based on fuzzy logic for lithium-ion battery [J]. Southern Energy Construction, 2019, 6(3): 98-104. DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2019.03.017.
- [11] 姜伟, 张春雷, 时林林, 等. 基于单/多参数的 DC-DC 模块电源健康评估技术研究 [J]. 华南师范大学学报(自然科学版), 2019, 51(2): 14-20. DOI: 10.6054/j.jscnun.2019017.
JIANG W, ZHANG C L, SHI L L, et al. Research on health evaluation model of DC-DC power module based on mahalanobis distance method [J]. Journal of South China Normal University (Natural Science Edition), 2019, 51(2): 14-20. DOI: 10.6054/j.jscnun.2019017.

作者简介:



刘友葵 (通讯作者)

1963-, 男, 本科, 广东省肇庆市技师学院电气工程系电子高级理实一体化教师, 电子工程师, 主要从事电工电子、自动化、机电一体化等领域的教学教研与设备制造科研工作 (e-mail) 2215015142@qq.com.

刘友葵

(责任编辑 叶筠英)