

大规模氢储能技术

文/大连理工大学 袁铁江
编辑整理/本刊记者 胡 颖



袁铁江

大连理工大学教授、博导，中国电机工程学会电力电容器专委会委员

能源演进历史

安全、高效和低碳是现代能源系统转型的主要目标。回顾一下能源系统演进的历史，可以说有两条线：一是降低碳的含量，尤其在今天所处的时代特征非常明显，就是一心想摆脱传统的重化石能源；二是提高新能源占比，从单一输入、单一输出系统，过渡到多输入、多输出系统，不仅有化石能源，还有可再生能源（如风能、太阳能等）输出。

目前新能源电能存在随机性、波动性和间歇性等问题，严重威胁着电网的安全稳定运行，发展过程中也遇到了并网消纳的瓶颈，并且解决这个问题的大规模储能手段还存在成本、安全性和可靠性等的挑战。在当前技术条件下，这些特性

给我们造成了很大的困扰。据统计，2017年前全国风电装机容量达1.64亿kW，光伏装机容量达1.3亿kW，而弃电量达到了近500亿kW·h，浪费比较严重。

创新策略研究

因煤炭等化石资源储量丰富，以化石能源消耗为主的能源及能

源产品占据了主导地位，且预计较长时间内难以完全摆脱对化石能源及其附属产品的依赖。针对这个问题，我们团队提出了一个创新的思路，就是利用大规模的被弃掉的新能源来制氢，以氢作为桥梁，构建高效、可靠和清洁的风—煤能源系统，来满足我国对能源清洁可持续供给的重大战略需求。

具体创新思路的基本框架如图1所示。

由图1可知，新能源的一部分用来电解制氢，制氢可以通过两个路径：一是利用燃料电池发电，以电能的形式进行消纳；二是把它交给化工产业，化工产业的本质是氢的富集和利用，通过解决氢的问题来减少污染和降低能耗。该风—煤能源系统中间的制氢环节是个电化学的过程，如果分成不同系统的话，会发现制氢、储氢及后段的用氢各系统对能量流的具体形态以及速度等这些性质需求各异，因此不同能源系统工作特性协调和耦合机制是创新策

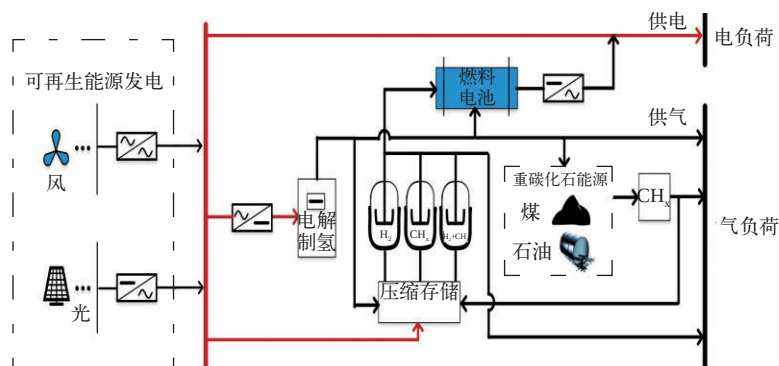


图1 创新思路的基本框架图

略需要解决的关键问题。

比如在制氢的环节中，需要高适应性、大容量和高效的电解水设备。电解水设备对风机的不稳定性功率输出具有很强的适应性，可以用于解决风电过剩问题。从技术本身的层面讲，电解水设备可以在0~100%额定功率范围内自适应风电功率的随机、间歇和波动等特性，频繁起停会导致设备寿命降低。在储氢环节，由于氢的密度较低，若想在有限的体积中储存更多能量，那么会牵扯大量的能量损耗。因此需要解决的关键技术就是低损耗、高密度和易释放的储氢技术。在输氢环节，需要解决的关键问题是低成本、长距离和高效的输氢技术。在用氢过程中，需要解决的关键问题是多形态、高效可靠的用氢技术。其中，大规模风/光电解水制氢技术已列入2018年度国家重点研发计划，我们的团队目前也在参与申请这个项目。

取得工作进展

针对前面提到的创新策略，我

们也做了一些工作，目前也取得了一定进展。

1) 针对整个系统架构的设计，研制了“风/光—氢（储能）—煤多能耦合系统规划软件平台”，这里存在一个技术难点就是环节多，耦合能流形态和特性差别较大，所以使用设计函数建模是非常困难的。我们的解决方法，也可以说创新策略就是各环节能流基于能量进行归一化，然后建立系统等效设计函数，并且也有一些成果，比如我们的研究项目获得了国家自然科学基金、国网科技项目资助，同时也申请了专利。在西部示范工程中也用到了这个平台，开发的系统规划平台已具备基础数据库录入与管理模块功能，同时兼备系统部分关键设备参数的选型、经济效益评估以及生产线模拟等功能。

2) 针对一次系统构建风/光—氢（储能）—煤多能耦合一次系统EMR模型，它的技术难点在于多物理量、高阶、强非线性系统和数学建模难，采取的创新策略是利用EMR模型，模块化、图形化建模，

忽略掉一个系统到另一系统间过渡的能流变化，简化了建模过程。针对这部分，我们也有相应的文章和专利。具体的建模效果如图2所示。

由图2可得如下结论：在电解槽压力和温度等环境参数保持恒定的情况下，电解槽制氢的速率与输入电解槽的富裕风电变化速率的变化趋势相同，这与实际的电解槽制氢速率受电解槽输入功率控制的结论是一致的，验证了所提出的氢储能系统电解槽模型的正确性，也进一步验证了氢气储能系统可以在0~100%额定功率范围内自适应风电功率的随机、间歇和波动等特性，并在一定意义上表明了我们提出的创新策略的基本思路是合理的。

3) 在系统控制层面，提出氢储能系统荷电状态表征方法。系统储能介质为氢气，以气体的形式进行存储，和传统电池的存储状态不一样，因为影响状态表征因素也很多，比如温度、压力等，所以这是一个技术难点。那么我们创新策略就是利用氢储能系统的压力，考虑到外界的因素来等效表征整个系统SOC的状态。

针对此系统进行仿真运行，风电场出力及负荷变化曲线如图3所示。

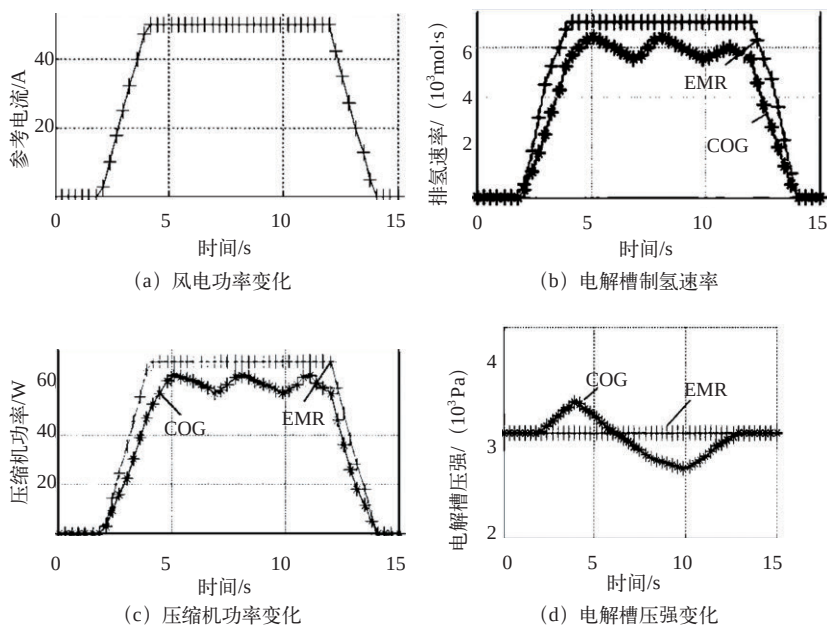


图2 一次系统建模效果图

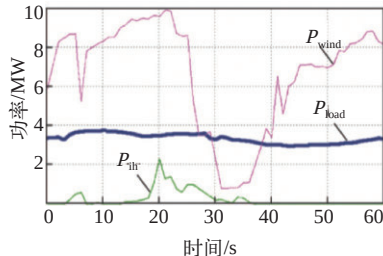


图3 风电场出力及负荷变化曲线

由此可以证明：利用这个创新策略可使ESOC变化正常，氢储能系统运行稳定，系统控制策略效果理想，因此实现了风能的高效利用。EA