

氢能技术在储能发电领域的应用

马晓霆 林 兵 管彦诏

中车青岛四方车辆研究所有限公司 山东 青岛 266000

摘 要：本文阐述了氢能技术在储能发电领域的应用。介绍了氢能制备、储存、发电的基本原理，分析了氢能技术在储能发电系统中的系统集成、能量管理、安全保障等关键环节，探讨了其在电网侧储能、分布式能源系统、工业领域储能发电的典型应用场景，并展望了氢能技术在储能发电领域的技术创新方向、产业协同发展趋势及应用拓展前景。

关键词：氢能技术；储能发电；系统集成；能量管理；应用场景

引言：随着能源需求的攀升以及可再生能源的蓬勃发展，储能发电的重要性日益凸显。氢能技术凭借自身独特优势，在储能发电领域彰显出巨大潜力。氢能可通过多种途径制备，储存方式丰富多样，还能借助燃料电池或氢内燃机实现发电。深入探究氢能技术在储能发电中的应用，对于推动能源转型、提升能源利用效率、保障能源供应稳定以及促进可持续发展意义重大。

1 氢能储能发电的基本原理

1.1 氢能制备

电解水制氢通过电能驱动水分子分解，产生氢气和氧气。碱性电解水以水溶液为电解质，利用隔膜分隔电极，在直流电场作用下，水分子在阳极分解出氧气，氢离子穿过隔膜在阴极结合成氢气。质子交换膜电解水采用质子传导膜，将水分子直接解离为质子与氧气，质子通过膜迁移至阴极与电子结合生成氢气。当前正研发改进电极材料，以提升电解效率。除电解水外，化石能源制氢通过重整反应，将碳氢化合物与水蒸气反应生成氢气和二氧化碳。生物质制氢则利用微生物或热化学手段，将有机物质转化为富氢气体。多种制氢方式结合，可互补优势，满足储能系统原料需求。这些制氢方式均与储能发电存在关联，化石能源制氢可在电力低谷期将多余电能转化为氢能，生物质制氢则提供可持续的氢能来源，满足储能系统原料需求。

1.2 氢能储存

氢气储存方式分为高压气态、低温液态与固态三类。高压气态储氢依靠压力容器压缩氢气，压力提升使氢气密度增加，实现空间内更多氢气储存。低温液态储氢通过深冷技术将氢气降温至液化点，极大降低氢气体积，提升储存密度^[1]。固态储氢借助金属合金、化学氢化物等材料，使氢气以化学键或物理吸附形式储存于固体介质内。不同储存方式各有特点。高压气态储氢成本较

低但需耐高压容器，对安全性要求极高。低温液态储氢密度大，但液化过程能耗大。固态储氢安全性好、储存密度高，不过材料成本与解吸条件限制其大规模应用。无论哪种方式，安全性始终是储存关键，需确保储存装置无泄漏风险；同时储存密度直接影响储能系统规模与效率。

1.3 氢能发电

燃料电池发电基于电化学反应，氢气在负极失去电子产生氢离子，电子通过外电路形成电流，氢离子则经电解质到达正极与氧气结合生成水。质子交换膜燃料电池以质子交换膜为电解质，工作温度低、启动快；固体氧化物燃料电池采用固态陶瓷电解质，工作温度高、发电效率高。氢内燃机发电将氢气作为燃料，通过进气、压缩、燃烧、排气四个冲程，使氢气在气缸内燃烧推动活塞做功，转化为机械能驱动发电机。与燃料电池发电相比，氢内燃机发电技术成熟度高，可沿用传统内燃机结构，但存在能量转换效率低、产生污染物等问题；而燃料电池发电能量转换效率高，仅产生水，更具清洁优势。

2 氢能技术在储能发电系统中的关键环节

2.1 系统集成

氢能储能发电系统的整体架构设计需兼顾多方面因素。该架构以可再生能源发电装置作为能量源头，为制氢系统供能。制氢系统将电能转化为氢能后，储氢系统负责暂时储存氢气，待电网需求时，发电系统将氢能重新转化为电能。各部分通过管道、电路和控制系统相互连接，形成闭环循环。制氢、储氢、发电三个子系统的协同与匹配至关重要。制氢系统产氢速率需与储氢系统的储存容量和速度相适应，避免氢气过剩或储存不足。例如，若制氢速度过快，超出储氢系统承载能力，可能导致氢气浪费；反之，则会造成制氢设备闲置。储氢系统与发电系统的匹配同样关键，需根据发电系统的功率

需求,精准控制氢气释放量,确保发电稳定,避免因氢气供应不稳定引发的发电波动。

2.2 能量管理

储能系统能量管理策略以灵活调度为核心。在可再生能源发电高峰期,多余电能驱动制氢系统大规模产氢,并将氢气储存起来;当可再生能源发电不足或电网负荷升高时,储氢系统释放氢气,通过发电系统转化为电能,补充电网缺口。根据可再生能源发电情况、电网负荷需求进行氢能制备、储存与发电的优化调度,需借助智能控制系统实现^[2]。该系统实时监测可再生能源发电量、电网负荷变化,预测未来能量需求趋势,进而调整制氢、储氢、发电设备的运行状态。在风电充足的时段,优先制氢储能;用电高峰时,快速启动发电系统,实现氢能高效利用。能量转换效率分析与优化贯穿系统运行全程。从电能到氢能的转化,到氢能储存,再到氢能发电,每个环节都会产生能量损耗。优化电解水制氢设备参数,改进储氢材料性能,提升燃料电池发电效率,都能减少能量损失。对系统各环节进行精细化管理,降低能量传输过程中的损耗,也能提高整体能量转换效率。

2.3 安全保障

氢能全流程存在潜在风险。制氢过程中,电解设备老化、电路故障可能引发氢气泄漏;储氢环节,高压容器疲劳破损、低温储罐隔热层失效,会导致氢气快速释放;运输途中,管道腐蚀、运输车辆碰撞,同样带来泄漏隐患。氢气与空气混合形成可燃混合气,遇火源、静电易引发爆炸。安全防护技术贯穿各环节。泄漏检测依靠高灵敏度传感器,实时监测环境氢气浓度,一旦超标立即触发声光报警。防火防爆措施包括采用防爆型电气设备,在氢气存储区设置静电消除装置,严禁明火进入。建设设施时选用阻燃材料,划分防火分区,设置隔离带,防止事故蔓延扩大。此外,在系统设计中还会配备紧急切断装置,当检测到严重泄漏或危险情况时,可迅速切断氢气供应管道,防止事态恶化,确保氢能储能发电系统安全运行。

3 氢能技术在储能发电领域的典型应用场景

3.1 电网侧储能

电网用电负荷呈现显著的周期性变化,日间工商业活动频繁形成用电高峰,夜间居民用电减少出现低谷,季节性用电差异同样明显。氢能储能系统参与电网调峰,在电力供需低谷阶段,利用多余电能驱动电解水装置,将水电解生成氢气与氧气,实现电能向氢能的转化与储存;当用电高峰来临,储存的氢气通过氢燃料电池

发电,将氢能重新转化为电能并入电网,平衡电力供应缺口。在调频环节,氢能储能发挥快速响应特性。电网频率受发电与用电功率平衡状态影响,当负荷突变导致频率偏离额定值,氢能储能系统迅速启动,依据频率偏差调整氢气发电功率。频率下降时增加发电功率补充电能,频率上升时减少发电功率,通过精准的功率调节维持电网频率稳定。面对极端天气、设备故障等突发事件,氢能储能作为备用电源可快速投入运行,避免电网局部故障引发连锁停电,保障电力持续稳定供应,增强电网整体抗风险能力。

3.2 分布式能源系统

偏远地区、海岛远离主电网覆盖区域,常规电力输送成本高昂且稳定性差。氢能在离网型分布式发电中提供有效解决方案。利用当地丰富的太阳能、风能资源,配置光伏组件、风力发电机组,在风光资源充足时段,将多余电能用于电解水制氢,氢气储存于高压储罐或通过金属氢化物吸附保存。当风光资源不足时,储氢装置释放氢气,驱动氢燃料电池发电,满足区域内居民生活、小型产业用电需求,摆脱对外部输电线路的依赖^[3]。在微电网运行体系中,氢能与多种能源协同互补。微电网内太阳能、风能发电存在间歇性,生物质能、地热能输出功率相对稳定。氢能充当灵活的能量调节枢纽,风光发电过剩时将多余电力转化为氢能储存;风光发电不足时释放氢能发电填补缺口。与生物质能配合,生物质气化产生的合成气可用于制氢,提升能源转化效率;与地热能结合,地热能驱动的热发电系统为电解水制氢供电,实现能源梯级利用,优化微电网能源结构,提高能源自给率与运行可靠性。

3.3 工业领域储能发电

钢铁、化工等高耗能产业生产过程能源消耗巨大且用电负荷波动频繁。氢能作为清洁能源,在这些行业具有能源替代潜力。钢铁冶炼环节,传统以焦炭为还原剂的工艺产生大量二氧化碳,氢气可替代部分焦炭参与铁矿石还原反应,降低碳排放同时提高产品纯度;化工生产中,氢气作为重要原料参与合成氨、甲醇等化工产品制造,优化生产工艺流程。企业可配套建设氢能储能系统,在生产用电低谷时段利用剩余电力制氢储存,高峰时段通过氢燃料电池发电补充电力供应,降低用电成本,提高能源利用效率。工业生产伴随大量余热产生,氢能技术为余热回收开辟新路径。钢铁厂高炉煤气余热、化工厂反应余热可驱动蒸汽轮机发电,所发电力用于电解水制氢;或利用余热产生高温蒸汽,直接驱动氢燃料电池发电。通过这种方式,原本被浪费的工业余热

转化为氢能或电能,实现能源二次利用。氢能储能系统可平衡工业生产中波动的能源需求,在余热产生不稳定时段,利用储存的氢能保障生产用电连续性,推动工业生产向绿色低碳、高效节能方向转型。

4 氢能技术在储能发电领域的发展趋势

4.1 技术创新方向

在制氢技术层面,未来将涌现多种高效、低成本的新型方案。光催化分解水制氢有望取得突破,通过特殊半导体材料吸收光能,直接驱动水分解反应,减少对电能的依赖,降低制氢能耗。生物制氢技术也极具潜力,利用微生物代谢过程产生氢气,原料来源广泛且成本低廉,有望实现规模化应用。热化学循环制氢同样值得关注,借助金属氧化物等物质的氧化还原反应,将太阳能或工业余热转化为氢能,提高能源综合利用效率。储氢材料与设备的改进是另一重要创新方向。金属氢化物储氢材料将向高储氢容量、低释放温度方向发展,以提升储氢密度,降低释放氢气所需能量。有机液体储氢材料因便于运输和储存,会在结构设计与性能优化上持续深入,增强稳定性与安全性。新型储氢设备将更加注重紧凑化、轻量化设计,例如采用复合结构容器,在保证储氢压力的同时减轻重量,提高运输便利性。储氢设备的智能化程度会不断提升,实现氢气储量、压力等参数的实时监测与精准控制。

4.2 产业协同发展

氢能产业与传统能源、新能源产业的融合发展趋势愈发明显。与传统化石能源产业结合时,氢能可作为过渡能源,在炼油、化工等行业替代部分煤炭、石油,优化生产流程,降低碳排放。在新能源领域,氢能与太阳能、风能的协同互补将进一步深化。风光发电场配套建设氢能储能系统,在发电过剩时制氢储存,电力不足时利用氢能发电,实现能源的跨时段调配。氢能还可与核能结合,核电站稳定的电力输出为大规模电解水制氢提供条件,形成清洁、高效的能源生产组合。产业链上下游的联动也将不断加强^[4]。上游制氢环节,原材料供应商与制氢设备制造商紧密合作,共同研发新型催化剂、电解槽等关键部件,提高制氢效率。中游储运环节,运输企业与储氢设备厂商协同,根据不同运输需求开发适配的储氢罐车、管道等设施,降低氢气损耗。下游应用领

域,发电企业与燃料电池厂商协作,针对不同场景优化发电系统设计,提升氢能发电的可靠性与经济性。这种上下游的深度联动,有助于形成完整、高效的氢能产业生态链。

4.3 应用拓展前景

在新应用场景探索方面,氢能在交通领域的储能发电应用将进一步拓展。除常见的氢燃料电池汽车,氢储能系统可应用于轨道交通,为列车提供辅助动力,减少对电网的依赖。在航空航天领域,液氢作为高能量密度燃料,结合燃料电池技术,可为无人机、小型航天器提供动力,开拓氢能应用新边界。此外,家庭储能领域也存在发展潜力,小型化、集成化的氢储能设备可满足家庭日常用电需求,实现能源自给自足。从全球市场发展趋势来看,氢能技术在储能发电领域的应用范围将不断扩大。随着各国对清洁能源的重视,更多地区将加大氢能基础设施建设投入,推动氢能储能发电项目落地。不同国家和地区间的技术交流与合作将日益频繁,加速氢能技术的全球化推广。同时市场竞争也将促使企业不断优化产品与服务,降低氢能储能发电成本,提高市场竞争力,推动氢能技术在全球储能发电市场占据更重要的地位。

结束语

氢能技术在储能发电领域的应用前景广阔。从原理到实践,各个环节不断优化,应用场景持续拓展。技术创新推动着制氢、储氢等环节的进步,产业协同促进了上下游的紧密合作。未来,随着技术的进一步成熟和成本的降低,氢能将在更多领域发挥重要作用,为构建清洁、低碳、高效的能源体系贡献力量,助力全球能源可持续发展。

参考文献

- [1]杨凯鹏.氢能技术现状及其在储能发电领域的应用[J].化工设计通讯,2023,49(7):157-159.
- [2]谷梦瑶,李森.氢能技术现状及其在储能发电领域的应用研究[J].中国航空,2022(3):145-147.
- [3]李杨楠,张国昀,程一步.不同储能技术的经济性及应用前景分析[J].石油石化绿色低碳,2023,8(3):1-8.
- [4]张文.氢能技术现状及其在储能发电领域的应用[J].百科论坛电子杂志,2021(22):2329-2330.