

新能源在水利智慧灌区启闭机中的应用研究

李吉浓, 谢鹏遥

(中水淮河规划设计研究有限公司, 安徽 合肥 230000)

摘要 智慧灌区对于启闭机供电的可靠性要求比较高,传统电网与发电机模式存在覆盖盲区、成本高以及环境污染等问题。基于此,本文提出电动汽车 V2L 和风光互补蓄能这两种新能源方案,前者具有机动灵活、成本低的特点,适用于应急与巡检等场景;后者具有自给稳定、环境友好的优势,适合固定站点进行长期运行。研究结果表明,这两种方案均具备良好的可行性,能够有效降低能耗与碳排放,推动水利智慧化与可持续发展。

关键词 新能源; 智慧灌区; 电动汽车 V2L; 风光互补; 直流永磁无刷电机

中图分类号:U469.7

文献标志码: A

DOI:10.3969/j.issn.2097-3365.2025.28.026

0 引言

随着农业现代化进程持续不断地推进,智慧灌区已经成为水利工程建设的重要方向。通过物联网、自动控制和大数据技术的融合,智慧灌区能够实现对水源调度、渠道输送以及田间灌溉的精确化管理,进而明显提升水资源利用效率和农业生产效益,在这一发展过程当中,启闭机作为水利调控的关键执行设备,其运行的可靠性和供电的稳定性十分重要,然而目前现有灌区的启闭机大多依靠电网供电或者小型发电机组,这种供电模式存在着比较明显的不足之处。一方面,电网在偏远山区以及农田分散区域的覆盖不够,布线工程的投资成本非常高昂;另一方面,柴油发电机在运行过程当中燃油消耗量大、噪声高并且碳排放严重,和绿色低碳的发展理念相互违背^[1]。为了解决上述所存在的这些问题,新能源供电模式受到了广泛的关注,电动汽车 V2L 技术凭借它的移动电源特性,为偏远或者应急场景下的启闭机供电提供灵活高效的解决方案。风光互补蓄能系统则通过整合风能和太阳能,保障启闭机在无人值守条件下长期稳定运行。本文基于此提出研究构想,系统探讨两类新能源技术在水利智慧灌区中的应用可行性,构建合理的技术路线并分析经济与环境效益,为未来智慧水利建设提供参考。

1 新能源应用背景与技术原理

1.1 智慧灌区与启闭机系统

智慧灌区是现代信息技术与传统水利工程深度融合所产生的成果,借助传感器、通信网络以及自动控制系统实现灌区水量调度的实时监测、精确调控与远程管理工作。启闭机承担着涵洞和闸门启闭以及水流

调节的重要功能,其直接关联到灌溉面积、供水效率和防洪安全等方面,不同类型的启闭机在功率需求上存在着明显差异,小型机组功率通常处于 $0.5 \sim 3 \text{ kW}$ 的范围之间,大型机组功率则能够达到数十千瓦,这对供电系统的稳定性与持续性提出了较高要求。传统电网供电虽然能够满足基本的用电需求,但在偏远农田和山地灌区常常因为布线工程量、维护成本高而难以得到普及,移动式柴油发电机虽然可以提供独立的电源,但存在燃油消耗、运行噪声以及碳排放、定期运行维护等方面的问题,如何为启闭机提供安全、经济并且环境友好的供电方式,已经成为智慧灌区建设当中亟待解决的核心问题。

1.2 电动汽车 V2L 技术原理及其在水利中的应用

V2L (Vehicle-to-Load) 技术属于电动汽车能源外供的一种重要形式, 其基本原理是利用车载动力电池进行储能, 再通过逆变器把直流电转换为交流电, 然后经由 V2L 接口为外部负载来供电。和传统发电机相比较, V2L 具备清洁环保、低噪声以及即插即用的显著优势^[2]。

近些年来,主流电动车型普遍拥有 3.3 ~ 6.6 kW 的 V2L 输出能力,部分车型具有三相 15 kW 的 V2L 输出能力,能够满足小型启闭机的功率方面需求。对于水利系统来说,该技术可在电网未覆盖区域提供灵活的临时供电,还能作为突发洪涝灾害或设施检修当中的应急电源,以此确保启闭机在关键时刻能够正常运行。结合日常巡检工作,管理人员可直接利用巡检车辆完成供电任务,避免了固定电源建设与维护的高额投入。V2L 为水利智慧灌区提供了高效、经济且机动性强的新型供电途径。

1.3 风光互补供电技术原理

风光互补供电技术把风能和太阳能这两种清洁能源进行有机结合,克服了单一能源受时间和气候制约的缺点。白天光照充足的时候,光伏组件会将太阳能转化为电能,到了夜间或者阴雨天时,就由风力发电机来补充供电,进而实现全天候稳定运行。系统一般是由风力发电机、光伏电池板、蓄电池组、充放电控制器和逆变器组成,能够实现对电能的高效采集与合理分配,其核心关键在于蓄能环节,蓄电池可以储存富余电能并在负荷需要时释放,保障启闭机能够连续供电,特别是当启闭机采用直流永磁无刷电机时,可与直流蓄能系统直接匹配,减少交流逆变环节来提升系统效率与可靠性。与传统供电方式相比,风光互补系统具备绿色环保、运行成本低和维护简便等优势,是智慧灌区长期运行中可持续且稳定的供电选择。

2 新能源在水利智慧灌区启闭机中的应用模式与技术路线

2.1 模式一: 电动汽车 V2L 供电模式

2.1.1 技术路线

电动汽车 V2L 供电模式依靠车载动力电池和逆变器装置,经由标准化接口向启闭机输出 380 V 交流电,其核心是利用电动汽车高容量锂电池作为储能单元。通过车载逆变器把直流电转化成稳定交流电,以此满足启闭机电机额定电压和功率需求,实施过程中需要配置符合启闭机功率等级的 V2L 接口与电缆,并且在控制柜里设置安全保护装置,从而确保供电稳定和人身安全。

2.1.2 适用场景

该模式非常适合偏远且无电网覆盖灌区的小型启闭机,在应急抢险的状况下能够快速投入使用。例如:洪水来临时的紧急泄洪操作,水利部门日常巡检和短时维护工作也可借助电动汽车当作临时电源,以此避免额外建设固定供电设施,它所具备的移动性和灵活性让其在多点分散且用电不连续的环境当中优势显著。

2.1.3 优缺点分析

该模式的主要优点是机动灵活能即插即用,并且不需要额外投资固定电源设施,运行过程还能做到清洁环保。不过它的局限性也很明显,一方面,供电能力会受车辆电池容量和剩余电量限制,很难长时间持续运行;另一方面,如果想驱动大功率启闭机,就对车辆型号和逆变器输出能力有比较高的要求^[3]。所以,这种模式更适合中小型启闭机和应急临时场景,而不适合长期固定运行的需求。

2.2 模式二: 风光互补蓄能供电模式

2.2.1 技术路线

风光互补蓄能系统是由风力发电机、太阳能光伏组件、蓄电池组、充放电控制器和逆变器共同组成的。它的运行原理是在白天的时候利用光伏发电,到了夜间或者阴雨天就依靠风力来补充能源,以此实现能源的时空互补。蓄电池作为整个系统的核心储能单元,它的作用是存储富余的电能并且在启闭机运行的时候输出,若启闭机采用的是直流永磁无刷电机,就能够直接和蓄电池直流系统相连接,这样可以减少逆变环节进而提升供电效率与系统稳定性。

2.2.2 适用场景

该模式比较适合用于固定站点的启闭机,特别是那些长期无人值守或者电网覆盖不足的区域,它具备稳定供电的特性,能够保证启闭机在汛期调水、防洪泄洪以及日常调度时持续运行,并且因为运行成本比较低、系统使用寿命长,所以适合建设在大中型灌区管理枢纽里面,从而成为智慧水利的基础功能平台。

2.2.3 优缺点分析

风光互补系统的优势是能长期稳定供电且自给自足,运行过程可实现零排放,符合绿色水利建设要求,后期维护成本相对较低。不过它的不足也较为明显,初始投资金额高且建设周期长,发电量受地理条件制约,在光照不足或风速偏低地区效果有限。所以,该模式适合在具备较好自然条件的固定场所部署,以满足长期稳定的电力需求,而不适合应急或高机动场景。

2.3 两种模式的对比与适用性分析

电动汽车 V2L 供电模式和风光互补蓄能模式在智慧灌区启闭机应用方面都有各自的优势,前者依靠电动汽车车载电池,具备移动性强、即插即用成本低的特点,适合偏远应急或临时检修等无长期用电条件场景,但其供电时间受限于电池容量不适合连续运行;后者通过风能与太阳能互补实现全天候自给自足稳定供电,能有效保障固定站点启闭机长期运转,适合无人值守灌区,然而该模式建设成本高且受地理条件影响较大^[4]。综上两种模式并非相互替代,而是互为补充,V2L 模式突出灵活性,风光互补模式强调持续性,在智慧灌区建设中可依据地理环境与运行需求选择或结合应用以实现经济性与可靠性平衡。

3 经济性与环境效益分析

3.1 投资与运营成本

电动汽车 V2L 模式在初期投资方面有明显优势,不需要额外建设固定供电设施,只需借助已有电动车

的 V2L 接口和适配线缆就能供电，其边际成本极低甚至可忽略不计，主要是适配器、电缆等小额支出，运行成本取决于电动车充电电价，若以底层电网价格估算约为 0.5 ~ 0.8 元 /kW · h，即便在多次巡检或短期应急情况中也体现出经济性较优。相比之下，风光互补蓄能系统初期投资明显高于 V2L 模式，根据远程离网系统成本估算，一套小型光伏或风能系统建设成本通常在 25 万至 42 万元人民币之间，若考虑小型水利启闭机实际容量与系统规模可适当下调，但初期投入依然较大。不过这类系统运行维护成本极低，无需燃料且维护周期较长、能耗几乎为零，加上光伏与风电的寿命可达 20 年以上，长期运营性价比高。总体来看，V2L 模式适合低成本且移动灵活的小规模或应急场景，风光互补模式适用于对供电稳定性有更高要求的固定部署环境，具备更优的长期经济性。

3.2 环境效益

新能源供电模式能明显降低碳排放和环境污染。首先电动汽车运用 V2L 或 V2G 类似技术，能够实现零尾气排放，并且其全生命周期温室气体排放比传统燃油车低超 50%。虽然制造阶段电动车可能会有更高排放，但这些“碳债”通常能在约两年驾驶过程中“偿还”，后续阶段可实现净减排效果。此外，V2L 在应急供能当中替代柴油发电，能够进一步减少局部长碳排与空气污染。风光互补系统也具备非常卓越的环境优势。一项关于风光—太阳能混合系统的研究表明，该系统可实现常规柴油系统高达 77% 的碳排放削减，另一项分析指出混合系统在特定应用中每年减少 CO₂ 近 11.4%，年碳排放降低 21.7%。在离网偏远地点部署混合能源系统能极大地减少柴油燃料依赖，比如南极科研站采用光伏 + 风力 + 电池系统，可减少柴油使用量 95%，年减排大约 1 200 吨 CO₂。综合来看，这两种新能源模式不但实现了能源供应绿色化，还大幅增强了环境可持续性，契合现代水利工程“节能减排”发展方向。

3.3 可持续发展潜力

新能源在水利智慧灌区启闭机当中的应用，不但解决了供电不足方面的问题，还体现出可持续发展所具备的潜力，电动汽车 V2L 模式能够与水利设施形成柔性互动，推动电动交通和智慧水利实现深度融合，实现资源的跨领域共享。风光互补系统利用可再生能源替代化石燃料，符合国家“双碳”战略目标的要求，能够长时间支撑灌区实现清洁化运行，减少对电网以及传统能源的依赖^[5]。这两种模式都具备技术拓展的空间，一方面，可以结合物联网以及智能调度平台，

实现远程监控与能效优化的目标；另一方面，在政策支持 and 成本下降的推动之下，有望形成标准化、模块化的推广模式，新能源供电为水利工程的绿色化、智慧化和可持续发展奠定了坚实的基础^[6]。

4 结论与展望

4.1 结论

本文围绕智慧灌区启闭机供电问题展开，探讨了电动汽车 V2L 技术和风光互补蓄能系统的应用模式。研究表明，V2L 技术依靠电动汽车的移动性和即插即用特性，能在偏远、应急和巡检场景里提供低成本且灵活可靠的电力支持。风光互补系统则是通过整合风能和太阳能，实现长期稳定的自给自足供电，适合固定站点和无人值守的环境。这两种模式在不同应用条件下各有优势，都能够有效降低能源消耗和碳排放，提升水利工程的绿色化与智慧化水平。

4.2 未来研究展望

未来的研究可以从以下几个方面展开：其一，要探索 V2L 和风光互补系统的深度融合，构建混合供电方案，实现移动灵活与固定稳定的双重保障；其二，需开发更为智能的能源管理与调度平台，借助大数据和人工智能优化启闭机电策略，提升运行效率；其三，应结合国家“双碳”目标和新能源推广政策，研究适合水利行业的商业模式与政策激励，推动规模化应用；其四，要加强实地试点工作和运行数据积累，完善系统的经济性与环境效益评估方法。通过持续不断的探索，新能源和智慧水利的融合将为农业现代化和生态文明建设提供坚实有力的支撑。

参考文献：

- [1] 殷欢庆,王贻森,赵飞,等.启闭机闸门锁控防盗装置研究及在灌区中的应用[J].河南水利与南水北调,2016(01):71-72.
- [2] 刘香坤,付铁军.直流电在簸箕李引黄灌区闸门启闭中的应用[J].山东工业技术,2018(06):162-163.
- [3] 姜震宇,田菁,郭殷奇,等.数字孪生技术在水利设备全生命周期管理中的应用[J].设备管理与维修,2023(17):154-155.
- [4] 俞有赞.水利智能信息化技术在农业灌区节水灌溉工程中的应用[J].科技与创新,2024(10):172-174.
- [5] 张鸿.水利信息化技术在灌区节水灌溉工程中的应用[J].现代农业科技,2025(13):133-136,146.
- [6] 毕彦杰,崔力凡,薛伟.智慧灌区建设中水利专业模型集成的关键技术研究[J].水利水电工程设计,2025,44(03):16-24.