

光伏水泵在乡村供水保障中的应用及特点分析

文 / 高旭东 阿拉善左旗防汛抗旱和河湖水事中心

摘要：本文深入探讨了光伏水泵在乡村供水保障中的应用及其独特特点。光伏水泵利用太阳能作为动力源，实现了对传统能源的替代，为偏远及水资源匮乏的乡村地区提供了稳定、清洁的供水解决方案。文章首先分析了光伏水泵的节能环保、无需蓄电池、适应性强及高效稳定等特点，随后以内蒙古自治区阿拉善左旗中北部地区的分散供水保障工程为例，详细阐述了光伏水泵的应用背景、建设任务及应用要点。通过实际应用效果的评估，光伏水泵在节能、节约成本及提升供水可靠性方面展现出显著优势，为乡村供水保障提供了有力的技术支撑。

关键词：光伏水泵；乡村供水保障；节能环保

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.08.117

引言

随着全球气候变化和城市化进程的加速，乡村地区的水资源短缺问题日益凸显，供水保障成为制约乡村发展的重要因素。传统供水方式往往依赖于化石能源，不仅能耗高、污染大，而且在偏远地区难以保障稳定供电。因此，寻找一种清洁、可持续的供水解决方案显得尤为重要。光伏水泵作为一种新型供水技术，以其独特的节能环保优势和广泛的适用性，在乡村供水保障中展现出巨大的应用潜力。

一、光伏水泵的特点分析

（一）节能环保

利用太阳能作为动力源，光伏水泵摆脱了对传统市电的依赖，这不仅为偏远地区带来了清洁、可持续的能源解决方案，而且大大减少了化石燃料的消耗与相应的碳排放。例如，在中国的一些边远山区，光伏水泵系统已经取代了传统的柴油发电机，显著降低了环境污染和噪音污染^[1]。这些地区的居民不再需要承担高昂的燃油运输成本，也不再面临因油料短缺而导致的供水中断风险。值得注意的是，光伏系统的低维护需求也为其节能环保特性加分不少。由于没有复杂的机械传动结构，这类泵几乎不需要日常保养或更换零件，只有少量的清洁工作即可保证其高效运行。此外，随着技术进步，光伏板效率逐年提高，成本持续降低，进一步增强了光伏水泵的经济性和环境友好性。

（二）无需蓄电池，减少安装和后期维护成本

光伏水泵通常采用直接驱动模式，即白天产生的电力即时用于抽水，省去了昂贵且寿命有限的储能装置——蓄电池。这种设计简化了系统架构，使得初期投资大幅减少，并且避免了定期更换电池所带来的额外费用和麻烦。更重要的是，它还消除了因电池老化而可能引起的性能衰退问题，确保了长期稳定的供水服务。自动化的控制系统是光伏水泵的一大亮点。通过智能传感器监测光照强度变化，当太阳升起时自动启动水泵；日落之后，则自动关闭以节省能量。这一特性极大地简化了运维流程，甚至在一些情况下实现了无人值守操作^[2]。比如，在非洲某些干旱区域，当地农民依靠这样的自动化机制，

即使是在最繁忙的农耕季节也能轻松管理灌溉用水，提高了农业生产效率。

（三）适应性强

光伏水泵对安装位置的要求相对宽松，无论是平原还是丘陵地带都能找到合适的场地进行部署。尤其对于那些交通不便、地形复杂的地方而言，光伏水泵凭借其轻便的设计和模块化组件，可以方便地运输到现场组装。在实际应用中，我们看到很多光伏水泵被安装在远离村庄的小溪边或是山顶上，将远处的水源引入社区，解决了当地居民长期以来面临的吃水难题^[3]。值得一提的是，该类设备具有较强的抗灾能力，一旦遇到洪水、地震等自然灾害，传统电网往往首当其冲受到影响，但基于太阳能供电的光伏水泵却能够在紧急时刻继续发挥作用，成为灾区人民生命线的重要组成部分。因此，在规划农村供水设施时，考虑到极端天气事件频发的趋势，选择具备高度适应性的光伏水泵显得尤为重要。

（四）高效稳定

晴朗的日子里，光伏水泵能够连续工作6至8个小时，足以满足大多数农村地区的日常用水需求。其工作原理决定了只要存在阳光照射，就能产生足够的电力支持正常运转。即便是在阴天或者多云的情况下，现代高效的光伏板依然可以捕捉到部分光线并转化为电能，维持基本的供水功能。这对于缺乏可靠电力供应的乡村地区来说尤为关键，从长远来看，光伏水泵系统的稳定性和可靠性经过了时间考验^[4]。许多案例表明，即使在电网不稳定甚至是完全缺失的环境中，这些设备依旧表现出色，例如，在南美洲的一个小村落，自从安装了光伏水泵后，村民们再也不用担心突然停电导致的断水情况发生。不仅如此，由于整个过程都是自然力量驱动的结果，所以几乎没有额外的人力介入，真正做到了“取之于自然，用之于民”。

二、光伏水泵在乡村供水保障中的应用

（一）应用背景

在实施内蒙古自治区高质量发展战略的背景下，阿拉善左旗中北部地区面临着严峻的供水挑战。2024年分散供水保障工程被确立为关键项目，旨在通过技术创新

提升供水能力，确保农牧民的基本生活用水需求得到满足。该工程不仅关乎农牧民的健康和生活方式，更是推动地区可持续发展和生态文明建设的重要一环。

阿拉善左旗因其特殊的地理位置、环境气候条件和复杂的水文地质条件，地下水资源分布不均，且受干旱影响日益严重，导致水源水量减少、水质不稳定。此外，现有供水管理模式相对落后，运行成本高，保障能力薄弱，难以满足牧区供水保障要求。因此，采用高效、节能、可靠的光伏水泵技术成为解决这一问题的关键。

(二) 建设任务

针对阿拉善左旗中北部地区的供水难题，本次分散供水保障工程计划新建一系列供水设施，其中包括机电井、集水井、筒井、截伏流、蓄水池以及配套管网附属设施等。尤为重要的是，工程将安装 29 台太阳能水泵及相应的太阳能发电设备，以替代传统能源驱动的水泵系统。

具体建设任务包括：

新建机电井 37 眼、集水井 24 眼、筒井 5 眼、截伏流 1 处，以及蓄水池 41 座，以满足不同地区的供水需求。铺设管道 116.78 公里，确保水源能够稳定、高效地输送到农牧户家中。安装潜水泵 1 台及太阳能水泵 29 台，利用太阳能发电驱动水泵运行，降低运行成本，提高供水可靠性。配套建设管网附属设施，如检查井、排气井、排泥井等，确保供水系统的正常运行和维护。

通过这些措施，工程旨在解决阿拉善左旗共 6 个苏木（镇）29 个嘎查的 294 户 895 人的供水保障问题，同时满足羊 41195 只、牛 3485 头、骆驼 9019 峰的饮水需求。这一工程不仅将提升农牧民的生活用水保障水平，还将为地区的社会经济均衡发展和生态环境保护作出积极贡献。

(三) 光伏水泵应用要点

1. 太阳能供电设计

太阳能电池是一种将光能转化为电能的装置。一般用于光伏电站、供电不方便的用电场所，考虑本次项目区均为偏远牧区，无供配电设施，结合配套太阳能直

水泵，本次设计采用单晶硅太阳能电池发电（图 1 所示）。

(1) 玻璃：超白布纹钢化玻璃，厚度 3.2mm，在太阳能电池光谱响应的波长范围内（320-1100nm）透光率达 91% 以上，耐紫外光线的辐射，透光率不下降。钢化玻璃制成的组件可以承受直径 25 毫米的冰雹以 23 米 / 秒的速度撞击。

(2) EVA：厚度为 0.5mm 的优质 EVA 膜层作为太阳能电池的密封剂和与玻璃、TPT 之间的连接剂。具有较高的透光率和抗老化能力。

(3) 电池片采用晶体硅太阳能电池片。晶体硅太阳能电池片，设备成本相对较低，光电转换效率高，在室外阳光下发电比较适宜。

组成部分

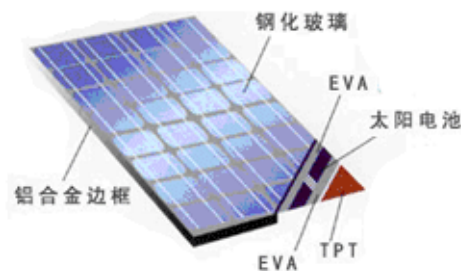


图 1 水泵太阳能电池

(4) EVA 作用如上，主要粘结封装发电主体和背板；

(5) TPT 背板作用，密封、绝缘、防水、铝合金保护层压件，起一定的密封、支撑作用；

(6) 接线盒保护整个发电系统，起到电流中转站的作用，如果组件短路接线盒自动断开短路电池串，防止烧坏整个系统。接线盒中最关键的是二极管的选用，根据组件内电池片的类型不同，对应的二极管也不相同；

(7) 硅胶密封作用，用来密封组件与铝合金边框、组件与接线盒交界处。有些公司使用双面胶条、泡棉来替代硅胶，国内普遍使用硅胶，工艺简单，方便，易操作，而且成本很低。

(8) 本次设计采用太阳能直流泵，故不考虑蓄电池等。

表 1 本项目太阳能配板统计表

序号	项目名称	型号	开路电压范围	数量	330W 太阳能板 (块)	太阳能板配板设计
1	木仁水源配套工程 (戍边户)	3FLA2-110-1.5	210-450	1	8	串联
2	苏海图嘎查 (那日苏) 供水管道工程	3FLD5-50-72-750	42-100	1	4	串联
3	苏海图嘎查 (马立军) 供水管道工程	3FLA2-110-1.5	210-450	1	8	串联
4	马中权水源井工程	3FLA2-110-1.5	210-450	1	8	串联
5	通格图嘎查供水管道工程	3FLA2-110-1.5	210-450	1	8	串联
6	都尔勒吉水源井工程	3FLA2-110-1.5	210-450	1	8	串联
7	敖登其其格水源井工程	4FLA2-180-2.2	350-800	1	11	串联
8	布仁乌力吉水源井工程	4FLA2-180-2.2	350-800	1	11	串联
9	陈忠明水源井工程	3FLA2-110-1.5	210-450	1	8	串联
10	哈日木格台嘎查供水管道工程	3FLA2-110-1.5	210-450	1	8	串联
11	刘胜光水源配套工程	3FLD3.2-120-72-1.1	63-150	1	6	3 串 2 并
12	阿木吉日格勒水源配套工程	3FLD3.2-120-72-1.1	63-150	1	6	3 串 2 并

续表

序号	项目名称	型号	开路电压范围	数量	330W 太阳能板 (块)	太阳能板 配板设计
13	图克木嘎查(阿拉腾苏和)供水管道工程	3FLD5-50-72-750	42-100	1	4	2串1并
14	图克木嘎查(庆8钻孔)供水管道工程	4FLA3-150-2.2	350-800	1	11	串联
15	图克木嘎查(庆8钻孔)供水管道工程(二级)	4FLA3-150-2.2	350-800	1	11	串联
16	查干德日斯嘎查供水管道工程	4FLA4-100-2.2	350-800	1	11	串联
17	和平嘎查供水管道工程	4FLA4-100-2.2	350-800	1	11	串联
18	西尼乌苏嘎查供水管道工程	4FLA3-90-1.5	210-450	1	8	串联
19	阿拉腾扣水源井工程	4FLA2-180-2.2	350-800	1	11	串
20	那仁孟克水源井工程	3FLD3.2-120-72-1.1	63-150	1	6	3串2并
21	图雅水源井工程	4FLA3-150-2.2	350-800	1	11	串联
22	五条山水源井工程	4FLA3-150-2.2	350-800	1	11	串联
23	三号取水点水源井工程(王建平)	4FLA3-150-2.2	350-800	1	11	串联
24	阿日善嘎查供水管道工程	4FLA3-90-1.5	210-450	1	8	串联
25	嘎拉布斯太嘎查水源井工程	4FLA3-150-2.2	350-800	1	11	串联
26	格日勒图嘎查供水管道工程	4FLA3-150-2.2	350-800	1	11	串联
27	伊克尔嘎查水源井工程	4FLA3-150-2.2	350-800	1	11	串联
28	扎海乌苏嘎查水源井工程	4FLA3-150-2.2	350-800	1	11	串联
29	苏木图嘎查水配套工程	4FLA3-150-2.2	350-800	1	11	串联

2. 自动控制系统

根据现场需要,对在水源井处太阳能水泵自动控制实现水泵启停。通过对水源旁玻璃钢蓄水池安装浮球液位控制器,利用有线方式传输至太阳能水泵控制器,并由控制器发出控制指令,对现场水泵进行自动控制。光伏水泵的自动控制系统是其高效运行的关键。本系统通过在水源井处安装太阳能水泵控制器,并结合玻璃钢蓄水池中的浮球液位控制器,实现了对水泵启停的自动控制。当蓄水池水位下降时,浮球液位控制器发出信号,通过有线方式传输至太阳能水泵控制器,控制器随即启动水泵进行抽水;当蓄水池水位达到预设高度时,控制器则自动关闭水泵。这一自动化控制系统极大地简化了运维流程,提高了供水系统的稳定性和可靠性,同时也降低了人力成本。自动控制系统如图2所示。

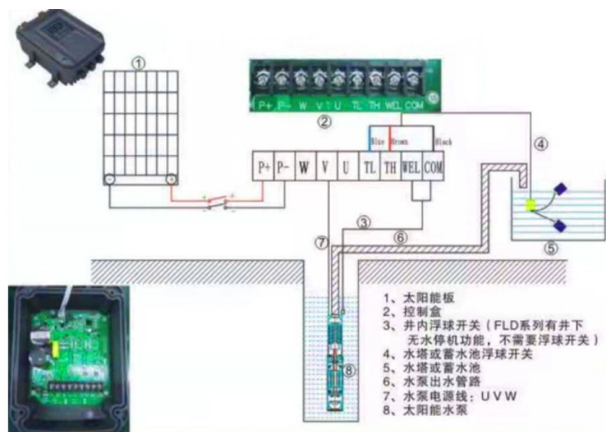


图2 自动控制系统

3. 本项目光伏水泵的应用效果

本项目光伏水泵在实际应用中展现出了卓越的运行效果,在晴朗天气下,光伏水泵能够连续工作6至8个小时,满足大多数乡村地区的日常用水需求,即便在阴天或多云天气下,现代高效的光伏板仍能捕捉到部分光线并转化为

电能,维持基本的供水功能。此外,光伏水泵的自动控制系统确保了供水的连续性和稳定性,即使在电网不稳定或完全缺失的环境中也能保持正常运行。这一特点对于偏远及电网覆盖不到的乡村地区尤为重要。本项目利用太阳能作为动力源,光伏水泵摆脱了对传统市电的依赖,大大降低了化石燃料的消耗和相应的碳排放。同时,光伏水泵无需蓄电池等储能装置,简化了系统架构,降低了初期投资和后期维护成本,此外,光伏系统的低维护需求和长期稳定运行也进一步减少了运维成本。

结语

光伏水泵作为一种清洁、可持续的供水技术,在乡村供水保障中展现出巨大的应用潜力和实际价值。通过本文的分析可知,光伏水泵具有节能环保、无需蓄电池、适应性强及高效稳定等特点,能够满足偏远及水资源匮乏乡村地区的供水需求。同时,光伏水泵在实际应用中展现出了卓越的运行效果和显著的节能、节约成本优势。未来,随着技术的不断进步和成本的进一步降低,光伏水泵有望在乡村供水保障领域发挥更加重要的作用,为乡村振兴和生态文明建设作出更大贡献。

参考文献

[1] 高林朝,张香萍,谢毅,等.农田灌溉光伏水泵系统性能测试分析[J].河南农业大学学报,2024,58(01):106-114.

[2] 林嘉伟,王志新,严胜,等.光伏水泵提水系统功率补偿控制策略研究[J].太阳能学报,2021,42(03):323-330.

[3] 朱勋梦,王文仪,刘祖明,等.光伏水泵系统应用分析[J].云南师范大学学报(自然科学版),2018,38(05):14-18.

[4] 薛辉.浅析太阳能光伏水泵的优势[J].南方农机,2018,49(13):118.

作者简介:高旭东(1968—03),男,高级工程师,主要从事防汛抗旱及水利工程项目管理工作。