

风光互补微动力滴灌系统

张国华 谢崇宝

传统滴灌系统一般使用电力或石油燃料驱动电动机或内燃机，为水泵提供动力，从而满足滴灌系统所需要的工作压力。为满足低水头（微动力）滴灌和作物持续用水需求，中国灌溉排水发展中心研发了一套风光互补微动力滴灌系统，用太阳能和风能代替传统能源，可克服单独采用太阳能或单独采用风能驱动稳定性差的缺点，明显提高系统运行的可靠性，且具有投资较低、效果较好等优点。

系统组成

风光互补微动力滴灌系统主要包括太阳能装置、风能装置及滴灌装置，太阳能装置和风能装置与滴灌装置串联，太阳能装置和风能装置分别与水源相连。系统总体结构如图1所示。

太阳能装置包括太阳能电池板、太阳能水泵控制器、太阳能直流水泵及太阳能直流水泵出水管，通过太阳能电池板吸收太阳光为太阳能直流水泵提供动力，太阳能水泵控制器控制太阳能直流水泵工作，太阳能直流水泵浸没在水源中。

风能装置包括风轮、风力提水控制器、扬水机及扬水机出水管，通过风能使风轮旋转为扬水机提供动力，风力提水控制器控制扬水机工作，扬水机浸没在水源中。

滴灌装置包括第一管路、第二管路、第一球阀至第四球阀、储水罐、施肥罐、过滤器、干管、支管、滴灌带、水位传感器、水位控制器及第一电磁阀，太阳能直流水泵出水管及扬水机出水管均与第一管路串联，第一管路经第一球阀及第一电磁阀连接至储水罐入口，第一管路经第一球阀与第二管路串联，第二管路上顺次设置第二球阀、第四球阀及过滤器，第

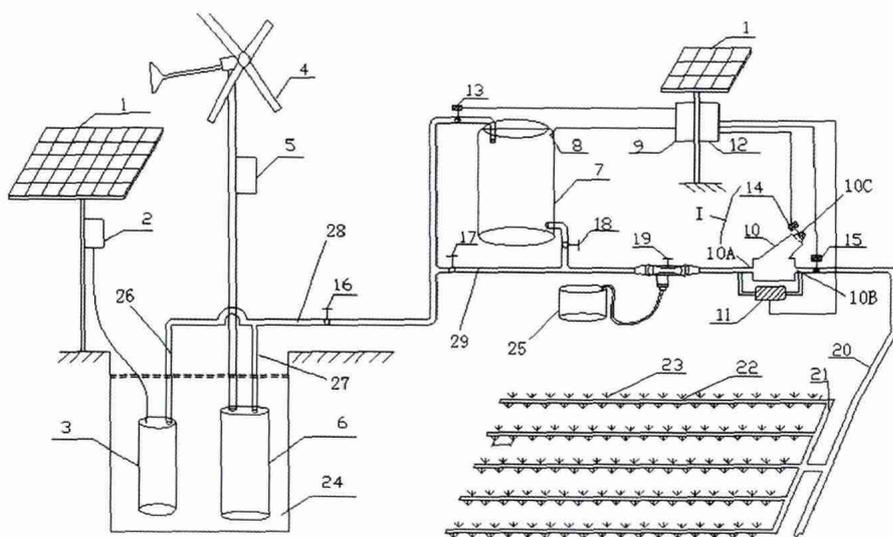
四球阀与施肥罐相连，储水罐出口经第三球阀与第二管路串联，且第三球阀设置在第一球阀与第四球阀之间，第二管路与干管相连，干管与支管相连，支管连接滴灌带，通过滴灌带为作物灌溉，水位传感器设置在储水罐中，水位控制器与水位传感器及第一电磁阀相连。

自动反冲洗过滤器包括太阳能电池板、过滤器、自动反冲洗控制器、差压变送器、第二电磁阀和第三电磁阀，太阳能电池板与自动反冲洗控制器相连，自动反冲洗控制器与差压变送器、第二电磁阀及第三电磁阀相连，过滤器设置在第二管路中，过滤器包括进口、出口和排污口，差压变送器连接在进口和出口处，第二电磁阀连接在排污口处，第三电磁阀连接在出口处。当差压变送器的读数大

于设定数值时，过滤器堵塞，自动反冲洗控制器控制第二电磁阀打开，控制第三电磁阀关闭；当差压变送器的读数小于设定数值时，自动反冲洗控制器控制第二电磁阀关闭，控制第三电磁阀打开，完成反冲洗工作。自动反冲洗过滤器是在现有普通过滤器基础中，根据压差允许值设计而成。当然，在系统控制面积较小时，反冲洗过滤器可选用一般的微型全塑过滤器。

施肥罐一般采用压差式施肥装置，当系统控制面积较小时，选择文丘里注入器施肥装置。

风光互补微动力滴灌系统，采用的太阳能和风能都是清洁能源。该系统通过太阳能装置和风能装置实现互补驱动，可克服单独采用太阳能或单独采用风能驱动稳定性差的缺点，明



注：1.太阳能电池板，2.太阳能水泵控制器，3.太阳能直流水泵，4.风轮，5.风力提水控制器，6.扬水机，7.储水罐，8.水位传感器，9.水位控制器，I.过滤器，10.过滤器，10A.进口，10B.出口，10C.排污口，11.差压变送器，12.自动反冲洗控制器，13.第一电磁阀，14.第二电磁阀，15.第三电磁阀，16.第一球阀，17.第二球阀，18.第三球阀，19.第四球阀，20.干管，21.支管，22.滴灌带，23.作物，24.水源，25.施肥罐，26.太阳能直流水泵出水管，27.扬水机出水管，28.第一管路，29.第二管路

图1 风光互补微动力滴灌系统

基金项目：水利部公益性行业科研项目“自驱动多功能高效节水灌溉关键设备研发（201301010）”

显提高系统运行的可靠性；与单独采用太阳能驱动相比，能明显降低工程投资。

工作原理

1. 风光互补驱动原理

风光互补微动力滴灌系统，可在多种条件下工作。在晴朗、有风天气情况下，可同时由太阳能驱动太阳能直流水泵3、由风能驱动扬水机6为系统提供有压水流；在晴朗、无风天气情况下，由太阳能驱动太阳能直流水泵3为系统提供有压水流；在阴天或夜间有风条件下，可利用风能驱动扬水机6为系统提供有压水流。

2. 储水罐水位自动控制原理

设计水力自动调节控制机构，在非灌溉期间，充分利用太阳能或风能调蓄水量。当水位低于设计调蓄低水位时，系统自动开机，为调蓄水池补充水量；当水位达到调蓄高水位时，系统自动关机。

3. 自动反冲洗过滤器原理

过滤器两端压差达到某一高值时，说明过滤器发生堵塞，需要反冲洗。因此，可根据反冲洗要求及反冲洗时间，设计自动控制装置。包括1个压差传感器、2个电磁阀、1个单片机自动控制器。当过滤器压差达到某一规定值时，启动过滤器自动反冲洗；利用反冲洗水流，完成规定时间的反冲洗后，系统自动恢复正常灌溉。

系统运行

如图1所示，本系统主要依靠太阳能和风能为滴灌装置提供能源。在非灌溉时，利用太阳能装置和风能装置为储水罐7供水，变储电为储水，再通过储水罐7将水输送到田间，当然也可以将储水罐7中的水输送到田间的小储水容器（图中未画出，类似于储水罐7）中，以备灌溉时使用；灌溉时，既可利用储水罐7或田间小储水容器中已有的水，当水量不足时也可以直接通过对太阳能装置或风能装置驱动滴灌系统进行灌溉；当遇上阴天太阳光

能不足时，可以风能作为补充，反之当风能不足时可以利用太阳能作为补充，从而实现太阳能和风能的互补，提高滴灌系统的能源保证率。

非灌溉时，第一球阀16打开，第二球阀17和第三球阀18关闭，通过太阳能或风能装置给储水罐7补水，当通过水位传感器8感应到水位低于储水罐7顶端时，通过水位控制器9打开第一电磁阀13，为储水罐7补充水量；当水位传感器8感应到水位达到储水罐7顶端时，通过水位控制器9关闭第一电磁阀13，停止给储水罐7补充水量。通过上述结构实现了储水罐7水位自动控制。

当难以利用太阳能或风能时，可利用储水罐7中的水进行灌溉。灌溉时，第一球阀16、第二球阀17及第一电磁阀13关闭，第三球阀18及第四球阀19打开，通过储水罐7中的水进行灌溉。

利用太阳能或风能进行供水灌溉。灌溉时，第一球阀16、第二球阀17及第四球阀19打开，第一电磁阀13及第三球阀17关闭，通过太阳能装置或风能装置不经储水罐7直接进行供水灌溉。上述结构，利用太阳能直流水泵3或扬水机6提供的压力进行灌溉。

应用实例

1. 总体布局

如某规划区总面积20亩（1.33hm²），地块为长方形，南北长260m，东西宽51m，水源为渠道水，规划在水源引水口处建1个蓄水池，蓄水池容积50m³，长宽各5m，深2m。滴灌系统由风光互补提水系统、蓄水池、施肥罐和过滤器、输水管道和田间滴管带等部分组成。上述提水系统和其他首部结构及小地块E的毛管布置见图2。

为便于管理，划分的小地块E尺寸为80m×5m，南北向布置，总共3排小地块E，每排间距10m（为交通道），分干管C沿交通道布置。每排10个小地块E，总共30个小地块E，入棚的支管在小地块E的南端垂直小地块E布置

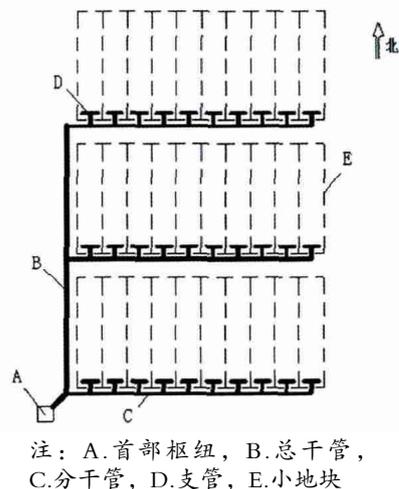


图2 田块滴灌系统管网布置

4m支管，支管上连接5条滴灌带，布置间距为1m。地块上种植土豆，行距为0.4m，株距为0.25m，每隔一行布置一条宽为0.6m的田间管理道，每两行中间布置一条滴灌带。

2. 典型工程设计参数

(1) 灌溉设计保证率

依据《节水灌溉工程技术规范》（GB/T 50363—2006）、《微灌工程技术规范》（GB/T 50485—2009），确定设计灌溉保证率为90%。

(2) 基本资料

项目区土壤主要为砂壤土，土壤干容重为1.55g/cm³，田间持水率为20%，地形坡度平均为0.3%，灌溉水利用系数为0.9，项目区主要种植作物为马铃薯。

(3) 有关技术规范与技术标准依据

主要依据为：《节水灌溉工程技术规范》（GB/T 50363—2006），《微灌工程技术规范》（GB/T 50485—2009），《喷灌与微灌技术管理规程》（SL 236—1999），《农田灌溉水质标准》（GB 5084—2005）。

3. 管网布置

(1) 干支管布置

干管分为总干管B和分干管C两级，管网布置如图2所示，从水源和首部枢纽A起往北布置一条直径为75mm总干管B，沿总干管B向东布置3条直径

为63mm分干管C, 每条分干管C北侧布置直径为50mm支管D, 支管D东西方向布置, 垂直作物种植行向。支管D北侧布置直径为16mm滴灌带, 毛管布置在间距0.4m的两行作物中间。每条支管D计划铺设长度为5m, 毛管间距为1m, 经计算每条支管D上的滴灌带条数为5条。

(2) 滴灌带布置

滴灌带采用双行直线布置的方式, 即两行作物间布置一条滴灌带。滴灌带长度为79m, 滴头间距为0.25m, 滴灌带进口至首孔距离为0.375m, 经计算1条滴灌带上的滴头数为314个。

4. 灌溉制度设计

灌水定额采用适宜水量法确定, 采用浅浇勤灌, 灌水定额取8mm。

30个小地块E分2组轮灌, 每组工作的小地块E数为15个, 每天工作时间为6小时。

考虑到本设计首部提水系统对每个地块上的储水罐进行供水, 而不是直接给田间供水。因此, 每个地块每次的灌水量为 3.2m^3 , 系统按每天6小时工作时间计算, 首部供水能力为 $48\text{m}^3/\text{d}$, 则每天能够完成灌溉的地块数为15个。即30个地块分2组轮灌, 每组工作的地块数为15个。

在每个地块上设置一个储水罐, 通过储水罐对地块进行供水, 因此储水罐的高度关系到滴灌带的实际工作压力和流量。根据上述计算, 滴灌带在设计工作压力下, 一个工作位置的持续工作时间为0.8小时; 而当设计工作压力受限时, 如何保证在2天的灌水周期内满足作物的耗水需求, 取决于储水罐的设置高度。

5. 滴灌工程设计

首部枢纽A设计: 根据项目区水中固体砂颗粒含量很少的情况, 过滤设备采用1"离心+过滤器, 过流量 $3\text{m}^3/\text{h}$ 。本系统选用容积为13L的施肥罐。

滴灌带选择: 典型地块灌水器选择壁厚0.2mm的内镶式滴灌带, 滴头工作压力为100kPa, 滴头间距为0.25m, 毛管布置间距为1m, 滴水流量为 $2.5\text{L}/\text{h}$ 。

管网设计: 根据当地类似工程实

表1 各级管道设计管径计算表

管道	流量 (m^3/h)	计算管道内径 (mm)	双壁厚 (mm)	设计管径 (mm)
总干管 (UPVC管)	8	48.5	4.4	75
分干管 (UPVC管)	8	48.5	4.4	75
支管 (PE管)	4	34.3	4	50
滴灌带	0.11	5.7	0.4	16

践经验, 总干管B和分干管C选择UPVC管材, 支管D和毛管采用PE管材, 管网的干、分干、支、毛各级管道管径按经验公式计算, 计算管径和选取管径见表1。

水泵的选型: 经计算, 毛管水头损失为 3.214m , 干管水头损失为 0.582m , 总干管B水头损失为 0.283m 。整个系统的局部水头损失按沿程损失的0.15倍计, 首部过滤按 0.5m 损失计, 施肥罐按 0.5m 损失计, 闸阀按 0.5m 损失计, 滴头设计工作压力为 10m , 水面至地面高差为 1m , 经计算总水头为 17.19m 。故水泵选用型号为LKPS150C的太阳能直流水泵, 流量为 $8\text{m}^3/\text{h}$, 扬程为 20m ; 扬水机选用型号为FS4.4—QZY—L, 流量为 $8\text{m}^3/\text{h}$, 扬程为 20m 。

6. 太阳能装置设计

根据水泵参数, 选用太阳能电池板与型号为LKPS150C的太阳能水泵配套。

7. 风能装置设计

根据水泵参数, 选用风力机—气泵提水机与型号为FS4.4—QZY—L的风力水泵配套。

8. 施肥罐选择

施肥罐选常用的文丘里施肥罐, 容积为13L。考虑到本系统的工作压力较小, 为了能使施肥罐正常工作, 在管道上安装1个调节阀, 通过调节阀使管内流速增大, 产生局部负压, 将肥料从施肥罐吸入管道。过滤器选流量为 $3\text{m}^3/\text{h}$ 的叠片式过滤器。

9. 过滤器设计

包括1个全塑网式过滤器、1个压差传感器、2个电磁阀、1个单片机自动控制器。压差传感器接在过滤器进

出口两端, 2个电磁阀分别安装在过滤器的出口和排污口。

创新点

该系统主要创新点体现在三个方面: 一是以高效、节能、节水为目标, 基于作物耗水规律, 以需定供, 实现供水与耗水的和谐统一, 有利于作物的高产优质, 降低了提水设施的建设成本, 体现需水管理思想。二是以太阳能和风能互补驱动作为滴灌系统动力, 有效克服了单一使用太阳能和风能的不稳定性, 保证了滴灌系统的正常运行。三是开发自动反冲洗过滤器, 可人为设定反冲指令, 即压差指令, 自动完成反冲洗, 有利于保证系统的正常运行。

应用前景分析

系统以太阳能和风能为动力, 适合保护地、干旱缺水地区, 特别是远离村庄和供电线路的偏僻田块上发展滴灌。

单独采用太阳能驱动的滴灌系统投资较高, 单独采用太阳能或风能驱动的滴灌系统稳定性较差, 采用风光互补驱动能有效降低工程投资, 明显提高系统运行的稳定性, 因而具有更好的推广应用前景。

在水资源、能源和环境问题日益受到关注和重视的今天, 作为清洁能源的太阳能和风能, 以其独特优势应用于滴灌系统, 为推进高效节水灌溉规模化发展提供强大动力支持, 具有广泛的应用前景。■

(作者简介: 张国华, 中国灌溉排水发展中心, 高级工程师; 谢崇宝, 中国灌溉排水发展中心, 教授级高级工程师)