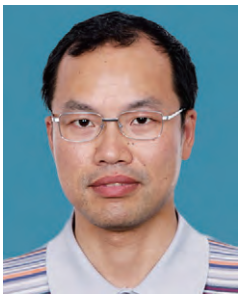
离网型风光储供电系统设计

为解决内蒙古锡林郭勒盟地区农牧民家庭生活生产用电的需求，设计了一套离网型风光储供电系统。采用逆变器为日常生活负载供电，采用DC/DC带变频器为水泵供电，解决了水泵起动电流大的难题，并降低了系统空载损耗。给出了风机、光伏和蓄电池容量配置算法，最后设计了3G模块，实现了系统使用数据的收集整理。现场使用表明，所设计的风光储供电系统可以较好地满足农牧民生活生产用电需求，为带水泵类负载的风光储供电系统设计提供了参考。

周　春　杜志超　胡　娟/上海电气集团股份有限公司中央研究院



周　春/工程师

关键词/Keywords
风光储系统·
水泵·
配置算法·
3G模块·

内蒙古锡林郭勒盟位于内蒙古自治区中部，地域辽阔，农牧民居住比较分散，用电量有限。如果采用从大电网取电，耗资巨大，可行性差。如果通过柴油发电机供电，价格昂贵，同时将造成环境污染。由于该地区蕴藏着丰富的风能和太阳能等可再生能源，因此发展风光储系统可以很好地解决供电问题。

内蒙古锡林郭勒盟地区风光资源丰富。风资源蕴藏总量高达5×105 MW以上，占全内蒙自治区总量的50%，占全国总量的20%，可开发利用量超过5×104 MW，风能质量好[1-2]。太阳辐射年总量为515～615 kJ/cm^2，年平均日照时数约为2 940.8 h，属于太阳能丰富地区，因而较适合开发应用风光互补供电系统。

风能和太阳能资源具有互补性，通常情况下，太阳能白天充足、风能晚上充足；太阳能夏季充足、风能冬季充足。风光互补发电系统充分利用了风能和太阳能的互补特性，减少了蓄电池在系统中的用量[3-4]。蓄电池作为能量存储单元，可以较好地客服风能及太阳能间歇性、随机性的缺点，并在无风无光日给负载供电，提高系统运行的可靠性[5]。

目前内蒙古锡林郭勒盟地区的大部分农牧民均为定居生活，因此方便风机及光伏板的安装。随着风光发电技术的广泛应用，农牧民的基本生活用电，如家用电器用电、照明等已经得到了解决[6-7]。但是一些必要的生产用电，如水泵供电问题，一直很难实现。这主要是因为水泵类电动机负载起动电流大，为工作电流的6～8倍[8-10]。因此，研究离网型风光储供电系统以解决水泵供电问题具有重要的现实意义。

本文以上海电气集团股份有限公司中央研究院的内蒙古锡林郭勒盟牧民风光储供电系统项目为依托，设计了一套完整的离网型风光储供电系统，旨在解决内蒙古锡林郭勒盟地区2.8万户农牧民生活生产用电难题。文章介绍了风光储系统中风机、光伏和储能的容量配置算法，采用小功率逆变器为日常生活负载供电，采用DC/DC加变频器驱动水泵，解决了水泵用电问题。最后设计了3G模块，收集整理该系统发电用电等数据，为后继系统升级提供数据支撑。该系统目前已投入现场使用，验证了所设计的供电系统方案的可行性。

负载需求

根据现场调研，牧民家用负载功率及使用时长如表1所示。

上海市科技攻关计划（13DZ1200400）。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表1　负荷分类

负荷分类	电器名称	额电功率/W	数量	使用小时数/h	用电量/W·h
基本负荷	电灯	22	3	5	330
	电视机	100	1	5	500
	电冰柜	150	1	5	750
可调负荷	电饭锅	800	1	1.25	1 000
	洗衣机	300	1	4	1 200
生产负荷	水泵	3 000	1	1	3 000
总计					6 780

从表1中可以看出，可将农牧民家庭用电分为3类。基本负荷为维持基本日常生活、每日均需使用的负荷；可调负荷为错峰使用负荷，以便降低逆变器容量；生产负荷为三相负荷，如水泵、粉碎机等，目前主要考虑的生产负荷为水泵。日用电总量为6 780 W·h。

风光资源

根据气象数据库，得到锡林浩特市近20年的平均风速和光照情况，选取最接近20年平均值的一年统计各个季度的风光资源，得到4个季度的风速和日照有效小时数分别如表2、表3所示。

表2　风能资源

10 m处风速/(m/s)	8 m处风速/(m/s)	一季度小时数/h	二季度小时数/h	三季度小时数/h	四季度小时数/h
3	2.84	386	438	490	542
4	3.78	276	396	276	216
5	4.72	270	318	180	222
6	5.67	124	158	84	166
7	6.62	72	96	66	96
8	7.57	42	72	42	42
9	8.51	30	54	6	30
10	9.46	12	24	12	12
11	10.40	6	6	0	0
12	11.35	6	6	0	6

表3　光伏资源

光伏	一季度	二季度	三季度	四季度
有效时间/（h/d）	4.47	5.52	5.24	3.95

数据库中的风能数据是距离地面10 m高度处的风速测量值。由于安装的风机高度为8 m，因此按照风速随高度变化的修正指数公式对表2中风速进行修正，即[5]

$$\frac{v}{v_0}=\left[\frac{h}{h_0}\right]^a \tag{1}$$

式中，v为高度h处的风速；v_0为h_0处的风速；a为风速切变指数，取值取决于大气稳定度和地面粗糙度，对于草地和开阔地一般取值在0.125～0.5之间。

系统设计

1. 总体方案设计

目前农牧民家庭用风光储供电系统通常采用的直流母线电压为24 V或48 V。考虑到水泵的使用，直流母线电压等级低会导致直流母线电流过大，因而本方案中设计的直流母线电压为220 V。

如果采用逆变器直接驱动水泵，由于起动电流较大，因而需要额定功率很大的逆变器。大功率逆变器体积大，不方便在农牧民家庭使用，并且空载损耗大，经济性差。本方案中采用Boost电路将直流220 V母线升高至540 V，接变频器驱动水泵。变频器的使用可以降低水泵起动电流。整体方案如图1所示。

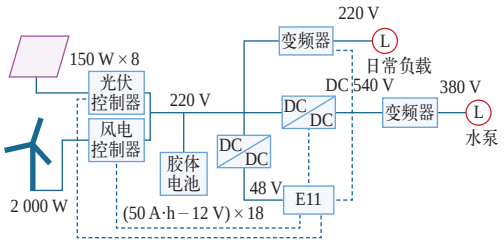


图1　离网型风光储供电系统结构图

图1中，风机光伏发电经控制器与电池连接，为电池充电，同时向负载供电；后级电路一条支路经过单相220 V逆变器给日常负载供电，另一条支路经过DC/DC升压接变频器，为水泵供电。E11是监控装置，采集控制器、逆变器和DC/DC的电压、电流量，计算显示当前风光、负载功率和电池电量，并在必要时下发切负荷信号。整个系统设计需要确定风机光伏功率、电池容量和各变流器的容量。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

2. 分布式发电功率

根据表1得到每日负荷为6.78 kW·h，考虑到系统线路损耗、各变流器的传输效率及空载损耗等因素，整套供电系统日消耗电量约为负荷电量的1.2倍，即8.136 kW·h。考虑到风机光伏发电的不稳定性，方案中分布式能源发电要比预计发电量留有10%的裕度，因而最终确定分布式能源日发电量至少为8.950 kW·h。

根据直流母线电压等级，选择2 kW风力发电机。根据表2中锡林浩特市的风力资源及如图2所示的2 kW风力发电机发电曲线，可以得到风机各个季度的发电功率如表4所示。

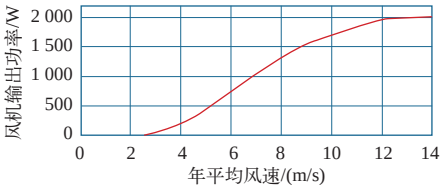


图2 2 kW风机输出功率曲线

表4 风机各季度发电量

季度	风速/（m/s）	功率/W	小时数/h	风能/kW·h
第一季度	3.78	150	276	41.40
	4.72	367	270	99.09
	5.67	633	124	78.49
	6.62	950	72	68.40
	7.57	1 200	42	50.40
	8.51	1 450	30	43.50
	9.46	1 616	12	19.39
	10.40	1 750	6	10.50
	11.35	1 822	6	10.93
总计				422.10
日均				4.69
第二季度	3.78	150	396	59.40
	4.72	367	318	116.70
	5.67	633	158	100.01
	6.62	950	96	91.20
	7.57	1 200	72	86.40
	8.51	1 450	54	78.30
	9.46	1 616	24	38.78
	10.40	1 750	6	10.50
	11.35	1 822	6	10.93
总计				592.22
日均				6.51

（续）

季度	风速/（m/s）	功率/W	小时数/h	风能/kW·h
第三季度	3.78	150	276	41.40
	4.72	367	180	66.06
	5.67	633	84	53.17
	6.62	950	66	62.70
	7.57	1 200	42	50.40
	8.51	1 450	6	8.70
	9.46	1 616	12	19.39
	10.40	1 750	0	0
	11.35	1 822	0	0
总计				301.82
日均				3.28
第四季度	3.78	150	216	32.40
	4.72	367	222	81.47
	5.67	633	166	105.08
	6.62	950	96	91.20
	7.57	1 200	42	50.40
	8.51	1 450	30	43.50
	9.46	1 616	12	19.39
	10.40	1 750	0	0
	11.35	1 822	6	10.93
总计				434.37
日均				4.72

根据直流母线电压等级及每日发电量需求，光伏发电选择8块150 W/36 V光伏板串联。参照表3，根据光伏发电量＝光伏额定功率×光伏发电有效时间，得到光伏各季度发电量，如表5所示。

表5 光伏各季度发电量

光伏	一季度	二季度	三季度	四季度
有效时间/（h/d）	4.47	5.52	5.24	3.95
发电量/kW·h	5.364	7.617	6.288	4.740

根据表4、表5得到各季度分布式能源日发电量，如表6所示。

表6 风光各季度日均发电量

风机＋光伏	一季度	二季度	三季度	四季度
发电量/kW·h	10.054	14.127	9.568	9.460

从表6中可以看出，第三、第四季度分布式能源发电量相对较低，但仍满足日发电量大于8.95 kW·h。因而，按照本方案配置分布式发电，可以保证全年生活及生产用电需求。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

3. 储能容量

储能电池容量需要根据连续无风无光天数确定。本方案可以确保农牧民连续3天无风无光日的基本负荷用电。如表1所示，每日的基本负荷为1.58 kW，考虑到系统的损耗，每日需要储能释放电量为1.896 kW·h，因而储能电池可用电量至少为5.688 kW·h。系统直流母线电压为220 V，按照蓄电池放电深度为60%计算，电池容量应为

$$Q=\frac{1000W}{\eta U} \qquad (2)$$

式中，W为电池电量；η为电池放电深度；U为直流母线电压；Q为电池容量，A·h。根据式（2）可得到电池所需容量为43.1 A·h，因此选择50 A·h/12 V胶体电池18节进行串联，可以满足连续3天无风无光日的基本负荷用电需求。

4. 变流器容量

（1）逆变器

逆变器为日常负荷供电。根据表1可以看出，最大日常负荷为电饭锅，并且可以错峰使用，因此选用容量为1.5 kW的单相逆变器可以满足日常负荷用电需求。

（2）变频器

利用变频器驱动水泵可实现软起动。水泵起动时，频率缓慢增加，保持起动电流始终小于或等于额定电流，起动过程平稳。由于起动电流小，因而对系统和电动机无冲击，并且降低了变流器容量。经过试验测试，使用变频器驱动水泵时，起动电流始终不大于水泵的额定电流，因而选用变频器的容量为3 kW。

（3）DC/DC

DC/DC采用Boost电路，将220 V直流母线电压升高至540 V，给变频器供电。

从以上分析可以看出，日常负荷与水泵是通过两个支路分别供电，这种方案相较采用一个大功率逆变器向水泵和日常负载供电的方案而言，可以大幅降低逆变器的额定功率，从而降低逆变器的空载损耗，并且在不用水泵时可以将该支路变流器关断，从而进一步降低系统损耗，提高系统效率。

系统集成

按照所设计的方案，集成了离网型风光储供电系统，如图3、图4所示。

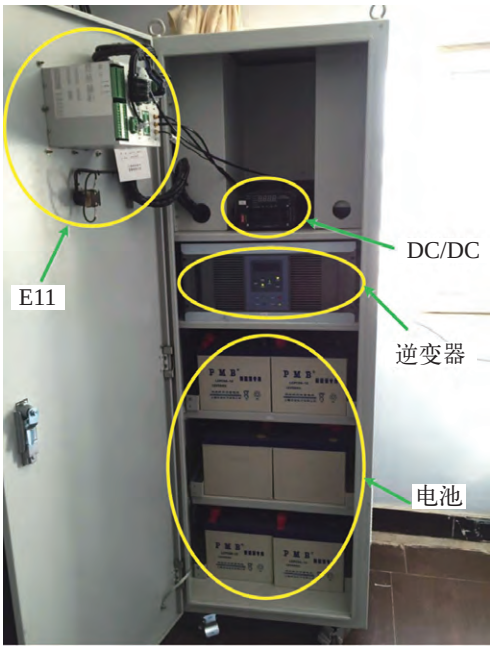


图3 离网型风光储供电系统正面图

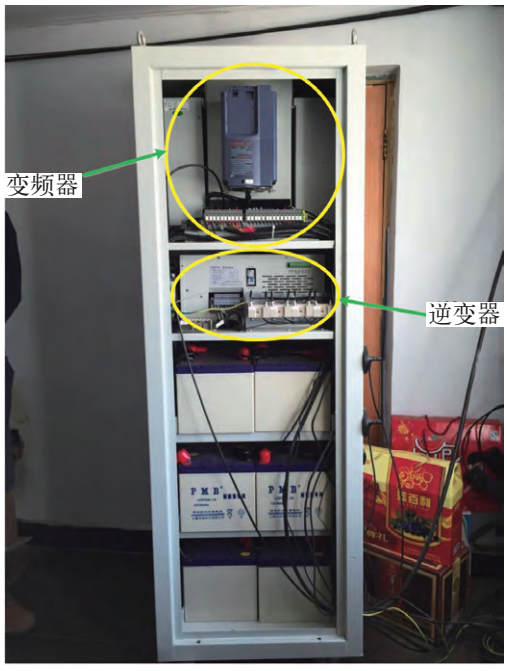


图4 离网型风光储供电系统背面图

该供电系统已经投放在内蒙古锡林郭勒盟地区运行，经实际使用表明，本供电系统可以满足农牧

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

民的用电需求，证明了本方案设计的合理性。

结束语

设计了一套离网型风光储供电系统，用于内蒙古锡林郭勒盟地区农牧民家庭使用。该供电系统中，采用变频器驱动水泵，解决了农牧民水泵供电的难题。日常负荷采用逆变器单独供电，降低了系统损耗，提高了系统效率。通过实地负荷调研、风光资源考察，给出了风机、光伏、储能容量配置算法，从而形成了一套完整的风光储供电系统方案。通过在锡林郭勒盟地区实际使用检验，该供电系统可以较好地满足农牧民的用电需求，验证了本方案设计的合理性，为内蒙地区带水泵型离网风光储系统设计提供了参考。

参考文献

[1] 苏龙噶．内蒙古锡林郭勒盟农牧区移动式风光互补发电系统应用 [J]．农业工程，2012，2 (5)：27-29.

[2] 冯祖莹．一种实用型风光互补发电系统远程无线监控技术的研究与实现 [D]．上海：上海交通大学，2010.

[3] 王志新，刘立群，张华强．风光互补技术及应用新进展 [J]．电网与清洁能源，2008，24 (5)：40-45.

[4] 钟勇．风光互补发电系统中蓄电池充放电控制器的研究 [D]．合肥：合肥工业大学，2006.

[5] 江全元，石庆均，李兴鹏，等．风光储独立供电系统电源优化配置 [J]．电力自动化设备，2013，33 (7)：19-26.

[6] 菜国伟，孔令国，潘超，等．风光储联合发电系统的建模及并网控制策略 [J]．电工技术学报，2013，28 (9)：196-204.

[7] 高明杰，惠东，高宗和，等．国家风光储输示范工程介绍及其典型运行模式分析 [J]．电力系统自动化，2013，37 (1)：59-64.

[8] 张东续．小型风光互补供水提水系统的专用变频器研究 [D]．呼和浩特：内蒙古大学，2013.

[9] 陈少雄．变频器在水泵应用中的研究 [D]．南京：南京工业大学，2004.

[10] 梅盼，雷必成．新型风光互补水泵控制器的设计 [J]．电子设计工程，2015，23 (1)：170-173.

（收稿日期：2015－04－02）EA

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net