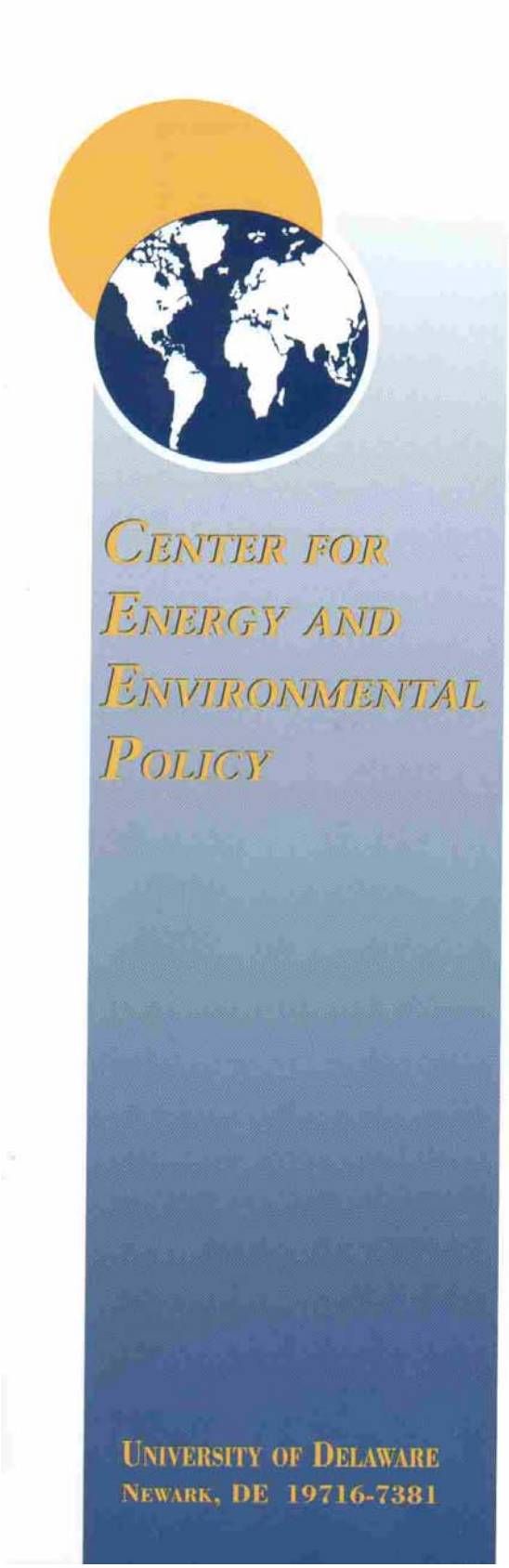



# 中国西部农村电气化过程中非联网可再生能源的选择

执行单位：美国德拉瓦大学
能源环境政策中心

资助单位：中华人民共和国农业部
美国国家可再生能源实验室

课题指导：

John Byrne
Young-Doo Wang

沈波

课题组成员：

周爱明

赵吉宏

山口卓勇

Jessie Manuta
William Smith，Jr.
Govind Gopakumar
Subid Wagley
Christopher Linn
Johanna Gregory
Kenneth Wicker
Venkatesh R Iyer

# 中国西部农村电气化过程中非联网可再生能源的选择


执行单位：美国德拉瓦大学能源环境政策中心

资助单位：　中华人民共和国农业部
美国国家可再生能源实验室

课题组成员：

周爱明

赵吉宏

山口卓勇

Jessie Manuta
William Smith，Jr.
Govind Gopakumar
Subid Wagley
Christopher Linn
Johanna Gregory
Kenneth Wicker
Venkatesh R Iyer

课题指导:

德拉瓦大学能源环境政策中心

主　任 John Byrne

副主任 Young-Doo Wang

博士后 沈波

联系办法：

电子邮件： jbbyrne@udel.edu

电　　话： (302)831-8405

传　　真： (302)831-3098

网　　址： http://www.udel.edu/ceep/

# 前言

非常高兴向美国国家可再生能源实验室(NREL)提交这份研究报告。在《美中能源效率和可再生能源技术发展与利用领域合作议定书》伞型框架下，本研究报告对非联网可再生能源系统进行了深入分析，同时对中国西部可再生能源利用作了全面的社会经济性评价。能源环境政策中心(CEEP)对报告的研究结果负责。

在项目实施过程中，得到中国农业部，中国科学院政策管理所和可再生能源发展中心(CRED)大力合作和许多建议，在此一并表示感谢。

希望此报告对今后中国农村地区可再生能源利用领域的后续研究有所帮助。

John Byrne

德拉瓦大学
能源环境政策中心主任

目　录

**概 要.....1**

**1.背景和介绍.....4**

1.1 背景.....4

1.2 目标.....4

1.3 方法.....5

1.4 可再生能源与农村电气化.....5

**2.中国西部概况.....6**

2.1 内蒙古自治区.....7

2.2 青海省.....8

2.3 新疆维吾尔族自治区.....9

**3.独立的可再生能源系统的经济性.....10**

3.1 独立的可再生能源系统.....10

3.2 RREAD 概述.....11

3.3 能量分析.....14

3.4 经济学分析.....18

3.5 敏感度分析.....20

3.6 小结.....21

**4.西部地区独立的可再生能源系统的经济性.....22**

4.1 内蒙古、青海和新疆的资源评价.....22

4.2 均摊成本分析 ..... 23

**5.非联网用户的社会经济评价模型 ..... 34**

5.1 社会经济性评价概述 ..... 34

5.2 农村可再生能源调查 ..... 34

5.3 数据整理 ..... 36

5.4 描述性和比较性的统计分析 ..... 37

5.5 影响对可再生能源系统态度的社会经济条件 ..... 39

5.6 小结 ..... 40

**6.西部农村可再生能源系统市场潜力预测 ..... 41**

6.1 对数回归模型的建立 ..... 41

6.2 确定可再生能源系统购买者关键参数的对数回归模型 ..... 42

6.3 对数回归分析的结果 ..... 51

6.4 模型的统计鲁棒性 ..... 52

6.5 西部地区潜在的可再生能源市场大小预测 ..... 52

6.6 内蒙古、青海和新疆农村未来的可再生能源系统潜力 ..... 52

6.7 结论 ..... 54

**7.加速西部地区可再生能源商业化的政策选择 ..... 55**

7.1 建立机构框架 ..... 55

7.2 推动对可再生能源市场投资 ..... 55

7.3 增强融资 ..... 56

7.4 利用可再生能源技术，改善技术服务和训练 ..... 57

7.5 国际合作 ..... 57

7.6 总结 ..... 57

**参考文献 ..... 58**

**附录 A：运行 RREAD 所需数据 ..... 59**

**附录 B：西部地区农村能源使用家庭调查表 ..... 63**

**附录 C：西部地区省级和县级社会经济评估调查表 ..... 81**

# 缩略语

| | |
|---|---|
| **AC** | 交流电 |
| **BOS** | 平衡系统 |
| **CAMS** | 中国气象科学院 |
| **CEEP** | 能源环境政策研究中心 |
| **CRED** | 可再生能源发展中心 |
| **DC** | 直流电 |
| **DOD** | 充放深度 |
| **DSM** | 需求侧管理 |
| **EOR** | 估计奇偶比 |
| **IMAR** | 内蒙古自治区 |
| **LRM** | 对数回归模型 |
| **MEP** | 中国国家电力部 |
| **NPV** | 净现值 |
| **NREL** | 美国国家可再生能源实验室 |
| **O&M** | 运行和维护 |
| **POA** | 光伏阵平面 |
| **REEZ** | 可再生能源企业开发区 |
| **REHH** | 可再生能源家庭 |
| **RERF** | 可再生能源滚动基金 |
| **RREAD** | 农村可再生能源分析和设计软件 |
| **SHS** | 户用太阳能系统 |
| **TMY** | 典型气象年 |
| **UEHH** | 无电户 |

# 概 要

## 背景

近二十多年，中国已向成千数百万农牧民提供电力(中国电力年鉴，1996)。农村电气化主要是通过电网扩建以及开发当地小水电或微型水电来实现。尽管农村电气化收效显著，但在中国农村，仍然有 6000 万人没有通电，这其中有五分之一生活在中国西部地区(中国电力年鉴，1996)。由于在这些偏远地区扩建电网成本高，同时这些地区也缺乏可开发的水电资源，因此中国政府的一项重要任务是探索如何能够为西部地区提供合适的电力。在美国能源部与中国科技部的《美中能源效率和可再生能源议定书》双边协议下，美国国家可再生能源实验室(NREL)和美国德拉瓦大学能源环境政策中心共同实施了为期八年的研究项目，对中国西部地区农村电气化过程中非联网可再生能源的选择进行了探讨和研究。

项目对 CEEP 所开发农村可再生能源资源和经济分析方法及软件进行了扩展和更新。项目涉及的地区包括内蒙古自治区，青海省和新疆维吾尔自治区三省区域。同时，对小风机(风机容量小于 300 W)和小光电系统(容量小于 120 Wp)市场潜力和大小进行评估。项目总体上分两阶段实施。第一阶段是对中国西部农村中运行的非联网可再生能源系统的经济性进行分析。经济性分析的目的在于：

(1) 评估中国西部风能和太阳能的资源潜力；
(2) 开发能用于评价为边远农村家庭提供电力服务的非联网风能和太阳能技术供电能力和经济可行性的综合分析工具；
(3) 比较不同配置的独立光伏系统和风能系统的性能（即：纯光伏、纯风机和风光互补系统）和其他选择(可再生能源与柴油发电机相比)；
(4) 通过计算各系统的均摊成本，确定不同系统配置和技术选择成本有效性。

项目第二个阶段，对中国西部地区可再生能源的利用进行了全面综合的社会经济评估。评估的目的是：

(1) 找出农村能源消费者对可再生能源系统的需求和偏好特征；
(2) 弄清影响中国西部地区可再生能源选择的社会经济条件；
(3) 评价中国西部地区可再生能源系统市场潜力和大小；
(4) 对开拓中国西部可再生能源市场提供政策建议。

在项目实施过程中，项目组开发了一套软件，还设计了具体的抽样方法。为了进行经济分析，项目组开发了电子表格式的计算模型，称作农村可再生能源分析和设计工具(RREAD)。该软件可用于评价非联网可再生能源技术（其中包括光电，风电和风光互补系统）的能源和经济运行指标，并与传统的汽/柴发电设备进行比较。RREAD 可以分析各类户用 PV 系统(22 Wp 到 120 Wp)，风机(100W 到 300W)以及风光互补系统(小型系统为 300W 风机带 35-60Wp PV，较大系统为 300W 风机带 100-120Wp PV)的

出力和经济性能。

为了评价内蒙古，青海和新疆三省区可再生能源利用的社会经济情况，项目组设计一套适用于家庭调查和抽样的理论和方法。同时，项目组与中方研究人员密切合作，调查了 22 个县内的 531 户农户，把他们作为所研究地区能源消费者样本。这些调查数据与所在县或地区的社会经济信息结合在一起，通过二分变量和对数回归的统计方法，找出影响中国西部农村家庭中对可再生能源的选择的社会的，经济的和技术的方面的因素。在抽样数据基础上，建立市场选择模型，找出可用来预测中国西部非联网可再生能源系统市场潜力和大小重要指标。

## 主要结果和建议

我们认为充分利用当地风能和太阳能资源是解决中国西部农村无电户用电问题最经济可行的办法。当前该地区的社会经济条件已经孕育了一个巨大的风能，PV 和风光互补系统市场。但要完全打开市场，必须克服一些重要的经济和机制障碍。本报告的主要结论和建议如下：

- 我们的资源评价显示在调查的地区中，大多数县有丰富的风能和/或太阳能资源。新疆在该地区中有最好的太阳能资源，而内蒙古有最好的风能资源。青海有很强的太阳能辐射和较高的日照时数。在内蒙古，风能和太阳能资源互相补充，因此可以采用风光互补系统，能够保证全年度稳定的电力供应。风光互补的技术在青海和新疆也有市场。第 4 章有我们详尽的资源评估。
- 详细的均摊成本比较分析表明小风机，PV 或者风光互补系统比三省区农村地区使用的普通化石燃料技术更经济（即非联网汽/柴发电机，参见第 4 章）。
- 对现有和潜在的市场分析结果显示，三省地区可再生能源市场潜力巨大。具体说来，有望达到 212.4 亿美元的市场销售额.第 5 章和第 6 章具体介绍了 CEEP 研究人员对市场潜力和大小的分析过程和结果。
- 虽然我们认为可靠经济的可再生能源系统可以满足中国西部农村的电力需要，但是许多障碍因素阻碍了这些分散式可再生能源技术商业化。这些障碍，从初始投资额大到资金缺乏以及不利的机构体制，阻碍了中国西部可再生能源潜力的实现。消除这些障碍，充分实现本报告所提出的可能潜力，需要为农村可再生能源的发展设计专门政策和具体的机制及对策。

我们建议如下：

- 建立促进可再生能源发展的机制框架；
- 加大对可再生能源的资金支持；

- 建立可再生能源信息系统，支持市场开发；
- 加强对可再生能源技术利用的服务和培训；
- 增强国际合作，为中国西部农户推广规模适当，价格合适并且运行可靠的可再生能源技术。

在研究基础上，第 7 章详细地介绍了政策建议。

# 1. 背景和介绍

## 1.1 背景

自七十年代以来，中国已经把电力供应和服务扩展到广袤的农村地区。能够向农村地区居民提供可靠电力是一个重大的进步。虽然成绩显著，但在中国的农村地区，依然有超过 6000 万人口没有用上电，其中五分之一生活在西部的内蒙古，青海和新疆地区(电力部,1996)。由于在该地区扩建电网成本高昂，许多该地区的居民仍然依赖于薪材或者汽/柴发电机为他们日常生活提供能源。该地区的特点是人口密度低，大多数居民为少数民族，而且收入低。该区域的居民绝大多数生活在国家贫困线水平以下(中国农村扶贫调查报告，1999)。另外，经济的增长带动化石能源消费，从而产生许多环境问题(阎，1996)。中国西部地区有丰富的太阳能和风力资源，在该地区发展可再生能源可以减少经济快速增长所造成对环境的负面影响。

为了研究中国西部农村利用可再生能源向居民提供可靠的电力服务的可行性，美国能源部和中国科技部签定了共同进行研究和市场开发的双边协议。根据协议(《美中能源效率和可再生能源技术发展与利用领域合作议定书》)，美国国家可再生能源实验室(NREL)，美国德拉瓦大学能源环境政策中心(CEEP)与中国科学院政策管理所，中国农业部规划设计研究院能源环保所，中国内蒙古自治区政府新能源办公室一起合作，承担了此研究课题。这个为期八年研究项目已经向中国政府提供了一套比较全面的分析结果和政策建议，可以用于促进西部地区利用可再生能源解决无电问题。

## 1.2 目标

此研究项目分为两阶段实施。第一阶段是可行性研究，对三省区（内蒙古，青海省和新疆）的非联网可再生能源系统的经济性和资源可获得性进行可行性研究。可行性研究的目的是：(1)开发一套综合分析软件工具，该工具可以对偏远农村家庭采用非联网光伏系统(PV)技术提供电力服务进行评估；(2)评估该地区潜在的可再生能源资源；(3)比较不同配置(即单一或者互补系统)和其他可选技术(汽/柴发电机)的性能；(4)通过均摊成本的计算，确定不同配置系统的性能价格比。

项目的第二个阶段是对西部地区可再生能源利用进行全面综合的社会经济评估。评估的目的在于：(1)找出农村能源用户的需求和偏好特征；(2)明晰影响西部地区可再生能源选择的社会经济条件；(3)预测该地区可再生能源系统的市场潜力和大小；同时(4)，为开发西部的可再生能源市场制订政策和提供建议。

## 1.3 方法

为了评价太阳能和风能资源的可获得性和可再生能源系统的经济可行性，CEEP 开发了农村可再生能源分析和设计工具(RREAD)，该软件工具是电子表格式计算机模型。该软件可以用于评估非联网的光伏系统，风力系统以及风光互补系统的能源和经济指标，将结果与常规的汽/柴发电机进行比较(John Byrne，沈波，William Wallace，1998)。CEEP 使用 RREAD 来考察各类户用光伏系统(22 Wp 到 120Wp)，风力系统(100W 到 300W)和风光互补系统(小型互补系统：300W 风机带 35-60Wp PV；大型互补系统：300W 风机带 100-120Wp PV)的经济性能。

为了对内蒙古、青海和新疆的可再生能源利用进行社会经济性能评估，CEEP 设计了一份综合调查问卷和统计抽样方法，使调查尽可能代表西部农村能源用户的现状。通过与中方紧密合作，CEEP 调查了西部二十二个县，总共 531 户农户。农牧户调查资料与各县和/或地区的社会经济统计信息相结合，通过统计分析，找出影响该地区可再生能源技术使用的社会、经济和技术因素。基于抽样调查数据，课题组建立了分对数回归模型，确定用于预测中国西部非联网可再生能源系统市场潜力和大小重要指标。

## 1.4 可再生能源与农村电气化

中国的可持续发展纲领性文件—《中国 21 世纪议程》（中国环境出版社，1994）— 建议如果中国要实现经济，能源和环境的可持续发展，就需要大力推广可再生能源。这份文件在扶贫和减缓因贫穷而引起的环境退化起积极作用。

中国要实现农村可持续发展的长期目标，可再生能源是非常重要的选择。本项目指出了有助于实现该长期目标的各种可再生能源技术选择。本报告强调走使用替代能源之路，促进可持续和平等合理发展的重要性。同时，本研究还突出了当前农村发展中存在的非持续性现象，特别强调了农村用户能源消费中存在的矛盾。当前发展道路中的得到的经验教训表明了需要有一个新的发展模式，将可再生能源纳入其中，以满足农村地区和农业经济的特殊需要。研究也着重强调了农村地区使用可再生能源所产生的经济，社会和环境效益。此报告是在美中能源效率和可再生能源议定书框架下面，CEEP 八年多来辛苦研究的成果。

# 2. 中国西部概况

光伏系统，风力系统和风光互补系统的潜在目标市场由两个主要部分组成：(1)当前还没有通电或者在今后5年内没有电网扩建的地区内的无电户家庭和商业机构；(2)仅有季节性或有限电力供应的家庭和商业机构(比如，由小水电提供六个月的电力)。

1)无电地区的家庭和商业　在内蒙古，青海和新疆，到1996年底，还有858,485户家庭没有可靠的电力供应(中国电力年鉴，1997)。 这些家庭有的从事牧业，有的务农，还有的经商。在本研究中，考虑到农村电气化的快速进程，在今后五年期间，已经安排要通电的家庭将排除在研究之外。政府目标是在2000年，农村居民实现100%通电，消灭无电村。但不论地方政府所付出多大努力，这个目标是不可能实现的。

表 2-1 说明了为何选择新疆，内蒙古和青海作为项目的研究地区。该三省区，有大量的分散居住人口，除了使用可再生能源，很难采用其他方式给他们提供电力。 某些家庭从事牧业，平均收入要比农民高。 因为他们有较高的购买力，所以是风光互补等大系统的潜在用户。

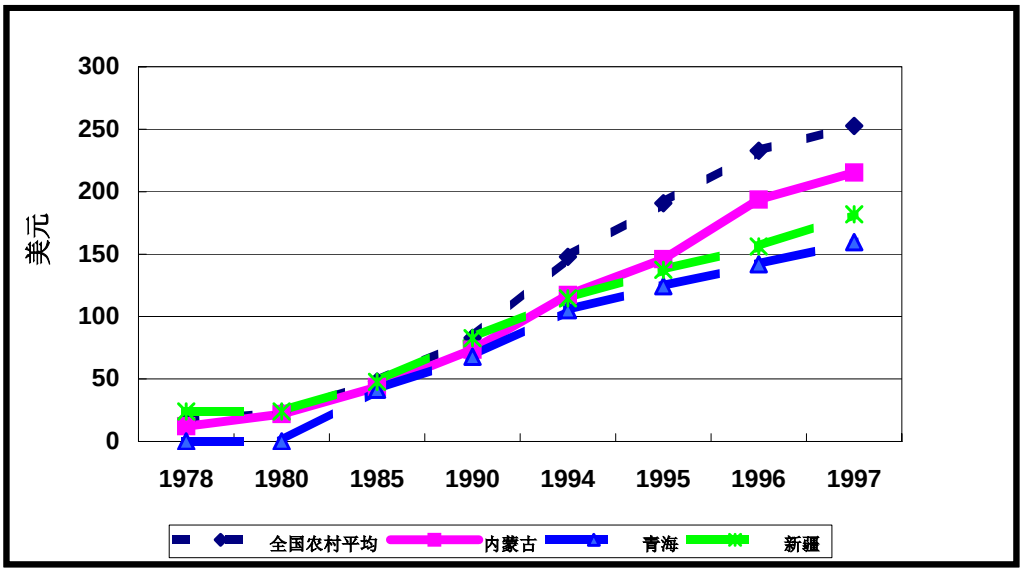
2)供电不足地区的家庭和商业　潜在市场还包括那些没有足够电力供应的农村家庭和商业。 这些地区由小水电供电，经常一年中仅能提供50-75%的需求量[1]。 但是，对于有多少这样的住户，没有确切的统计数据资料来估计。

**表 2-1：中国西部地区农村无电户数情况**

| | 1996年农村家庭总数 | 1996年农村无电户数 |
|---|---|---|
| 内蒙古 | 4,807,977 | 348,618 |
| 新疆 | 3,157,602 | 407,685 |
| 青海 | 649,853 | 100,186 |
| 合计 | 8,617,428 | 858,485 |

数据来源：1997年中国电力年鉴

[1] 由于青海位于青藏高原，小水电资源不太好；新疆有一些小水电资源，主要在天山山脉，但是该区域与我们本项目研究的区域没有重叠在一起；内蒙古小水电资源也不好。三省区可供开发的小水电分别为：青海，2000.0 MW, 新疆，3979.0 MW，内蒙古 387.0 MW（数据来源：童建栋,1998）。




数据来源： 1997 年中国统计年鉴，北京： 中国统计出版社。

图 2-1：1978~1997 年三省区农村人均年纯收入

农村人均年纯收入，内蒙古自治区(内蒙古)是三省区中最高的，新疆其次和青海最低（见图 2-1）。主要是因为由于内蒙古的牧业比例比新疆和青海要高，而牧业收入比农业收入高。

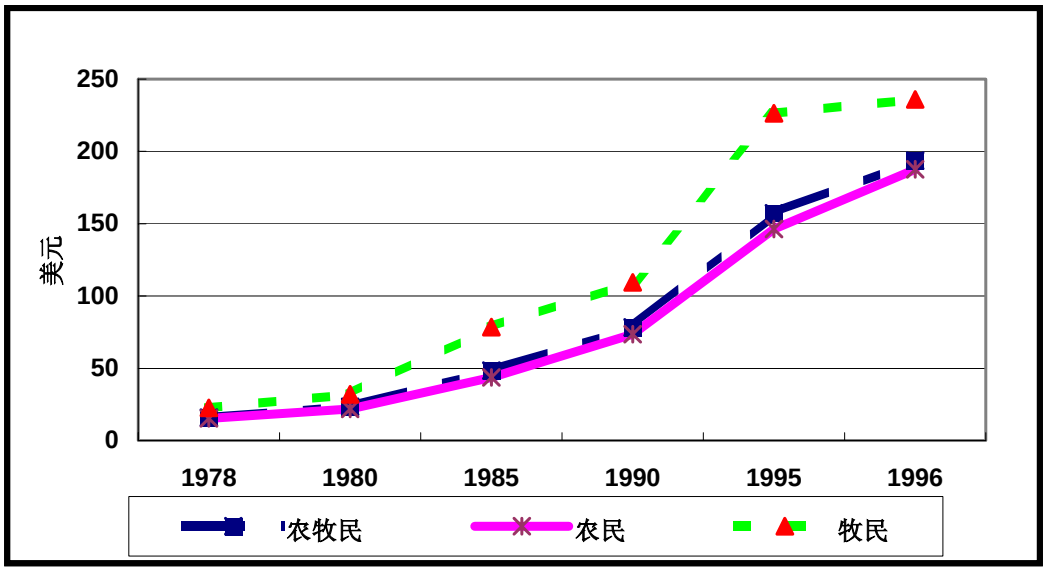
## 2.1 内蒙古自治区

内蒙古自治区是新中国成立后设立的第一个自治区，也是最大的行政区之一，总面积约 118.3 百万平方公里，占全国陆地面积的八分之一(1999 年内蒙古统计年鉴)。内蒙古的许多地区是内陆高原,海拔 1000 米左右，有戈壁沙漠和黄河。许多城市沿黄河流域分布。该地区的气候是典型的干燥内陆式，夏季温暖，冬季干冷。植被以草原为主，可以承受大量的食草动物，如绵羊，山羊，骆驼和马。

1998 年内蒙古的人口是 2345 万(1999 年内蒙古统计年鉴)，其中 2/3 居住在农村地区。在传统上，内蒙古的经济是农业为主，外加畜牧业和林业。高速公路连接内蒙古的城市,并与其他省区的城市相连；航空运输把区内的大中城市与其他大城市，如北京，相连。然而，内蒙古许多地区仍然是交通不便。

内蒙古是中国风电商业化发展潜力最大的地区之一。该地区有丰富的风力资源和对电力需求很大。当地的政府和电力局已经制定了一些经济手段来推动风电发展。

内蒙古农牧民家庭的人均纯收入从 1978 年到 1996 年稳定地增长(图 2-2)。 由图 2-2，1996 年内蒙古农牧民家庭的人均年纯收入是 194 美元，而牧民家庭的人均年纯收入要高于农民家庭的人均年纯收入。




数据来源： 1997 年内蒙古统计年鉴 北京： 中国统计出版社

**图 2-2：内蒙古历年人均年纯收入情况**

在内蒙古，农村家庭户均 4 口人。这就是说每个家庭年纯收入为 776 美元。这一收入足够可以让无电户家庭支付户用 PV，风力或者风光互补系统。因而，内蒙古的可再生能源市场潜力是非常大的。

根据中国气象科学院的研究，内蒙古的风力和太阳能资源都是国内最好的资源之一（朱，1988；何和石，1995 以及阎，1994）。中国气象科学院将中国的可再生资源划分成为三种等级地区：丰富，一般和较差。按照中国气象科学院的分类，风能密度大于 150 W/平方米，年均太阳辐射量大于 1510 kWh/平方米的地区为资源丰富去。在内蒙古，按照中国气象科学院的定义，风力和太阳能资源属于丰富区。

## 2.2 青海省

青海省位于青藏高原，总面积为全国面积的十三分之一（约 721,000 平方公里），是中国人口最少省份，1997 年人口约 496 万(1998 年青海统计年鉴)。省会西宁是唯一的大城市。汉族人口仅占总人口的三分之一； 蒙，藏，回，哈萨克是主要的少数民族。青海是黄河和长江的源头省，有国家最大咸水湖—青海湖。青海省有广阔的草原，有大量的野生动物，是鸟儿理想的栖息地。青海的现代化建设始于五十年代，

以开采矿物资源和建设从西宁到华东的铁路为标志。煤，石油和铁矿石在国内和国际的市场销售额很大，为青海省经济支柱。

1996 年底，青海省大约有 100,000 多户农牧民家庭没有通电。青海省政府已开始计划通过向其中的 70,00 户家庭提供电力服务来帮助他们脱贫致富。计划安装 1.4 MW 的太阳能户用系统，主要以 20 Wp，40 Wp 为主；同时，在县或者乡镇一级以及几千个小型社区，计划安装 340 kW 的光伏系统。在青海省，主要有两个光伏销售服务公司，占该省市场销售份额的 80%。

## 2.3 新疆维吾尔族自治区

新疆维吾尔自治区是中国最大行政区，面积为 164.7 万平方公里，是全国整个陆地面积的六分之一，1995 年新疆人口约为 1660 万。新疆大多数的城市位于天山山脉山脚，沿着古丝绸之路分布。农业是新疆的传统经济基础。新兴工业主要是开发当地资源为主，其中包括石油，天然气，和煤。近年来，与周边的中亚的独联体国家的日常消费品和工业用品边境贸易增长迅速。无庸置言，该地区十分低人口密度阻碍了其中五分之一人口的电气化。

1996 年，在新疆农村人口有 876 万。根据《1997 年中国农村统计年鉴》，新疆农村家庭人均纯收入是$156，比全国农村平均收入低得多。另外，虽然从 1995 年到 1997 年间，人均纯收入增加了$19，但增长率还低于通货膨胀率。这样过去几年内，该地区人民的实际收入没有增加。

在新疆农村地区，家庭户均人口数为 4~6 人。按此计算，每户家庭纯收入大约在$624 和$936 之间。如果一户家庭想要购买光伏系统(比如 22Wp 单晶硅系统)，一般的支付意愿为$125。由此可见，新疆的无电户家庭是能够支付得起户用光伏系统，因此，新疆潜在的光伏市场很大。然而，由于缺乏相应的户用光伏系统的信息，大多数农牧民无电户不知道去哪里可以购买这样的系统或者如何与销售单位联系。因此，亟需中央和地方政府，与国际机构合作，来开拓新疆的光伏市场。随着收入水平的提高，许多偏远地区的家庭希望能够在不久的将来用上电。因而，对于可再生能源的利用和开发的政策就非常值得研究。

# 3.独立的可再生能源系统的经济性

为了评估农村非联网光伏，风力和风光互补系统的技术及经济指标，CEEP 研究人员开发了农村可再生能源分析和设计软件工具(RREAD)。在对 RREAD 具体介绍之前，先描述一下 RREAD 评估的独立可再生能源系统。

## 3.1 独立的可再生能源系统

一般的独立的可再生能源系统(即，没有与电网相连)包括光伏系统和小风机系统。另外，不太常用但越来越受到关注的小型风光互补系统，通常是由光伏板和风机两部分组成。光伏板的工作原理是通过半导体材料把太阳能直接转换成电能。风机是一种由风力驱动的发电机，风轮在风力的作用下旋转，把风的动能转变为电能。除了光伏板和风力发电机这些发电设备之外，独立的可再生能源系统还配备有平衡系统(BOS)，诸如蓄电池、充放控制器和逆变器。

由于光伏和风力发电技术都有间歇性特点(即，每天只能在某段时间发电)，因此储能就显得格外重要。为了在用户需要电力的时候，向用户提供电力，必须要安装储能设备。蓄电池是其中的一种储存技术。光伏板和/或风机在有太阳能和/或风能资源的时候，对蓄电池充电，然后把存储的电力送到负载。为了防止蓄电池过放过充，需要安装一个充放控制器保护，当达到充放极限时，充放控制器可以自动切断充放电路。另外，给使用交流电的电器供电，需要安装一个逆变器将直流电转换为交流电。

一套完整的小型光伏或者风力系统，一般由发电设备(光伏电池板或风力发电机)和其他必要的平衡系统组成(即，蓄电池、控制器和逆变器)。风光互补系统有光伏板和风力发电机，还有上面提到辅助设备。一般的独立风光互补系统设计如图 3-1 所示。

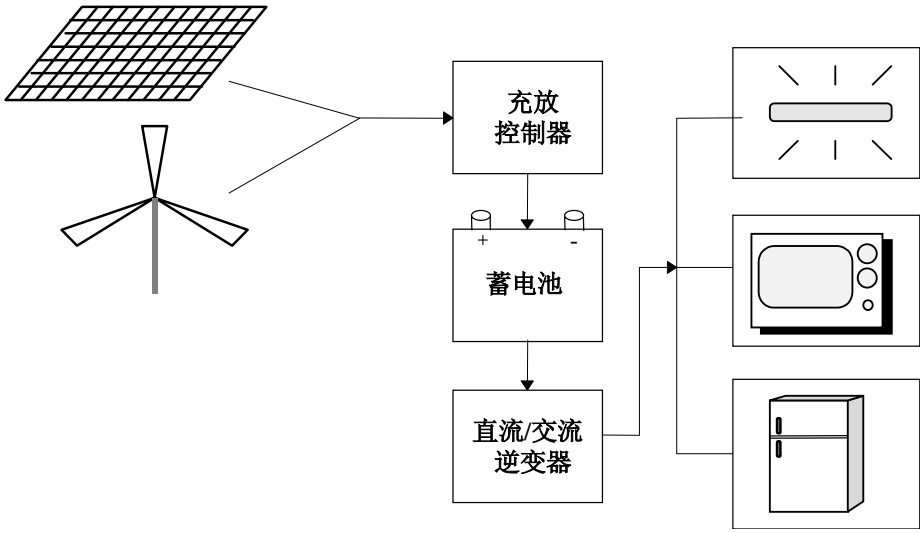



图 3-1： 独立的风光互补可再生能源系统的概念图

## 3.2 RREAD 概述

RREAD 是一个多维仿真工具，它可以从多个角度 —技术，经济，社会和环境 —对在农村推广的可再生能源系统进行评价。RREAD 包括三个模块： 数据输入模块，计算模块和输出模块(参见图 3-2)。与技术配置和相关的社会和环境的因素相结合，来处理资源，经济和财务数据。RREAD 能评估独立的光伏，风机或者风光互补系统的能源产出能力，经济可行性以及社会和环境的价值。它也能够把这些可再生能源系统与独立的汽/柴发电机相比较。

输入模块由六个数据包组成：资源数据，负载数据，系统配置，资本和运行成本，财务情况和政策方案(例如，税收减免，补贴，和一些想把社会效益和费用内部化的计划)。资源-负载数据和系统配置情况用于评价系统的总的运行情况，包括发电输出，资源-负载匹配情况以及服务的可靠性。成本，财务，以及政策信息可以衡量使用可再生能源系统所产生的经济，社会和环境价值。运行 RREAD 所需要的数据清单详见附录 A。

通过计算模块，RREAD 能列出可再生能源系统和柴油发电机性能指标，计算系统的电力输出，评估蓄电池的存储要求，把资源可利用性与负载要求相比较，确定电力短缺，并且计算系统的经济成本。图 3-3 所提供的逻辑流程图解释 RREAD 运行原理。

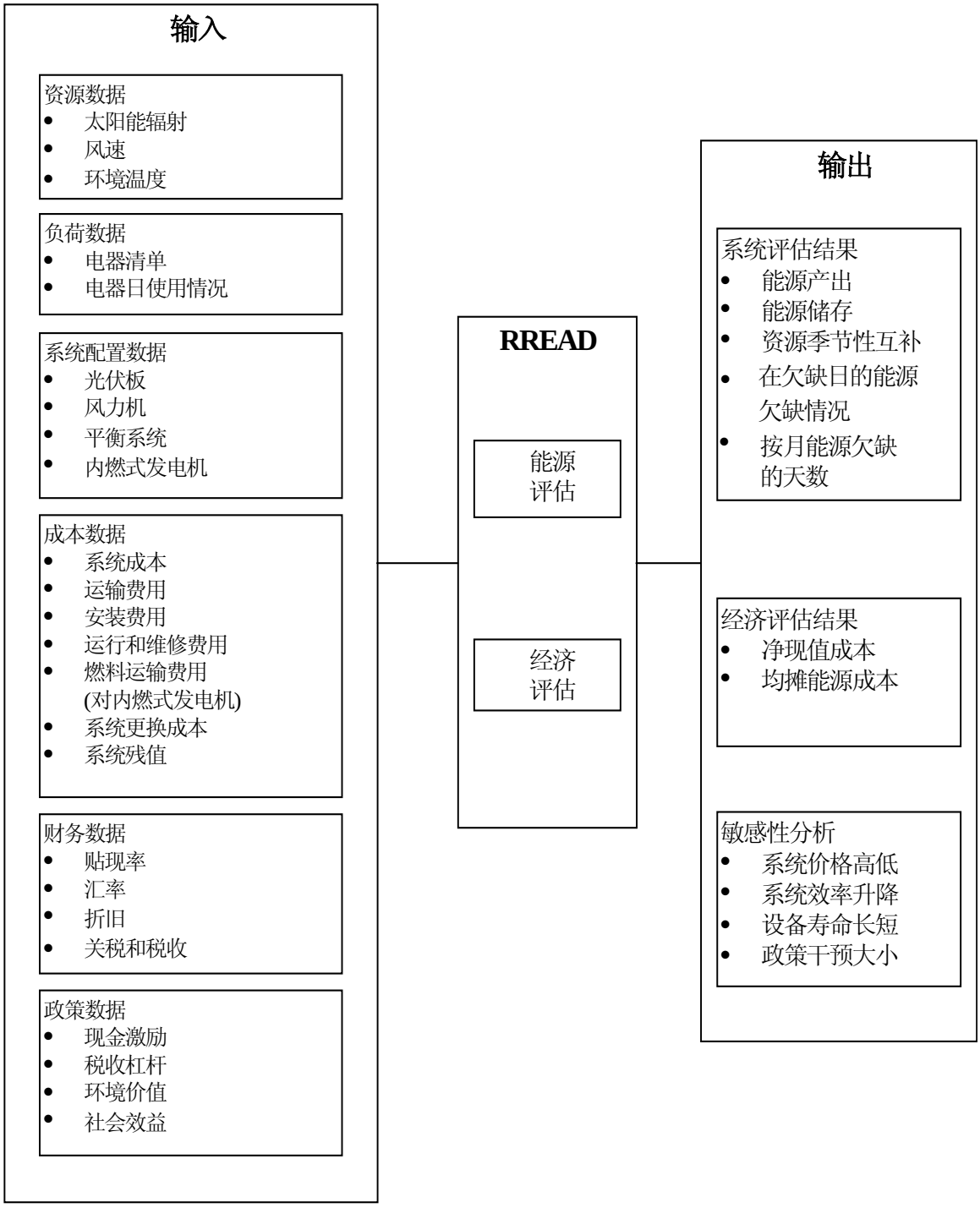



图 3-2： RREAD 的总体结构

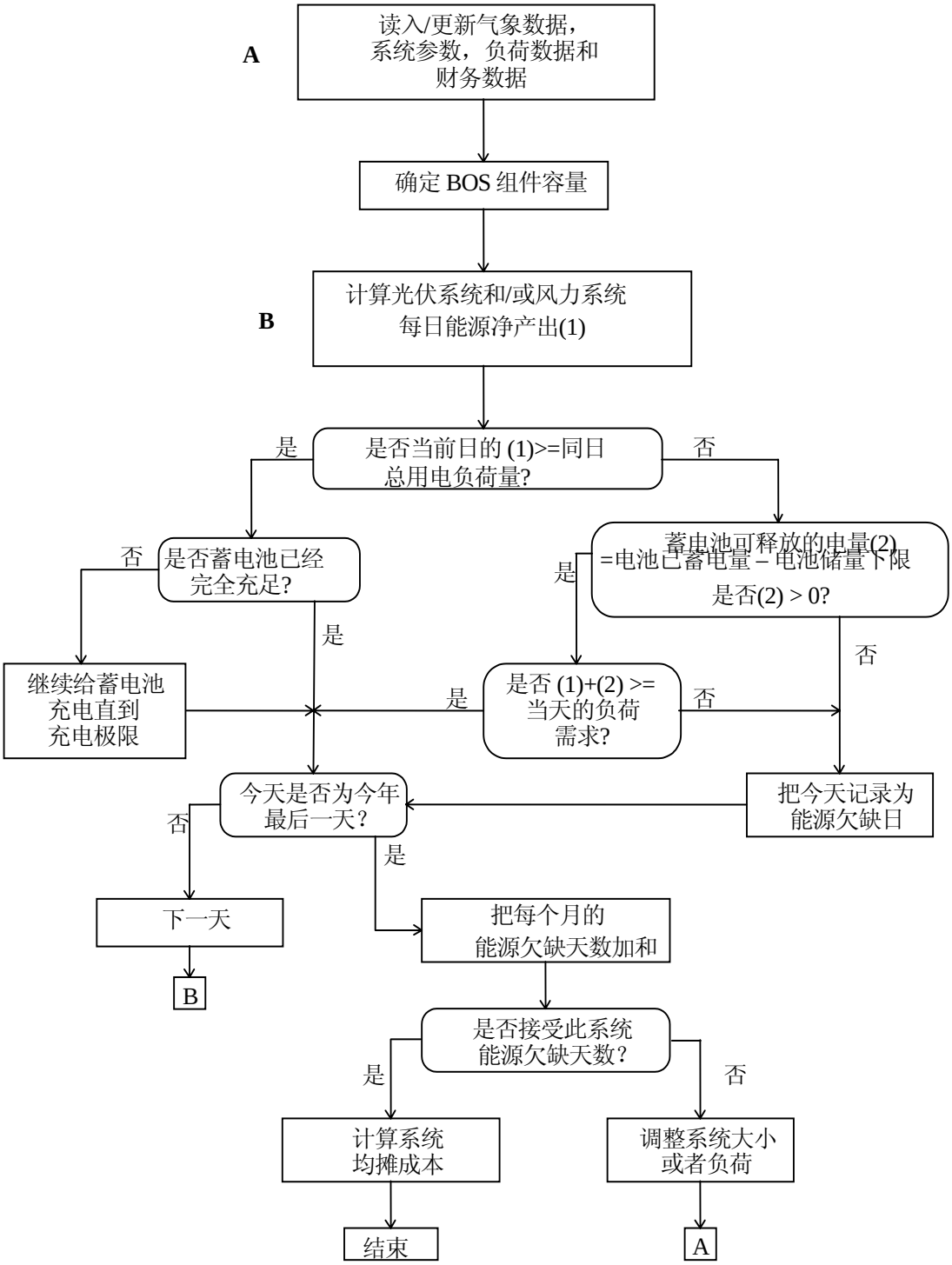



图 3-3： RREAD 的逻辑流程图

## 3.3 能源分析

有关系统技术方面的问题，包括系统设计，供电能力和电力可靠性，将在不同的独立可再生能源系统中进行评估。本章通过描述 RREAD 如何设置系统，确定系统大小，和系统组件来讨论这些技术问题，同时还估计系统发电能力，评价了系统可靠性。

### 3.3.1 确定可再生能源系统的大小

一个可再生能源系统的 BOS 组件需要大小合适地组合在一起，不正确地的使用组件不利于系统的有效运行。

汽车电瓶设计时，主要考虑在瞬间产生大电流来发动汽车；与汽车电瓶不同，可再生能源系统的电瓶设计，考虑在某时间段内，为家用电器提供稳定的电流。用于可再生能源系统的蓄电池阵的大小由若干方面决定，包括蓄电池的日供电量，放电深度和最小蓄电量。从供电角度，蓄电池大小应该与每天从系统发出的电相匹配；但是从用户角度看，蓄电池大小应该与每一天用户使用的电器所需要的电力相匹配。从供需的不同角度，所确定的蓄电池大小会不一样，RREAD 用这两个方式来计算蓄电池的大小。从供应角度，蓄电池的日供电能力用安培小时(Ah)来衡量，它是蓄电池日供电量（kWh）被蓄电池电压除以后得到的值。 例如，如果它与 100W 风机相配套，风机日发电量为 1.5 kWh，12 伏的蓄电池阵的日供电能力可以是 125Ah (即，1,500Wh ÷ 12V=125Ah)。

从用户的角度出发，蓄电池的日供电能力(Ah)是由用户的日需求量(kWh)除以蓄电池电压(V)确定。必须注意的是，用户的每日需求量必须包括从蓄电池和逆变器的电力损失(在电池放电和直流电变为交流电时，会有电力损失)。一般来说，蓄电池一个工作流程（电流由发电设备流入电池，再由电池输出到用电设备，完成一个工作流程）会有 10%到 30%的能源损失，同时还有 5%到 10%损失发生在能量转换过程中。在各组件效率被确定之后，RREAD 可以自动地计算能量损失。由于能量损失会随组件质量和使用年限变化，RREAD 允许用户自己规定 BOS 组件的效率值。

BOS 组件效率除以总能量负荷来计算蓄电池的每日总能量传送要求 —（蓄电池提供的总电量包括所有电器运行所需电力外加电力损失）。例如，如果某家庭每天要用 1.5 kWh，蓄电池电压为 12V，效率 75%以及逆变器效率 90%，则电池的日总能量传送值至少不小于 185 Ah(即，1,500Wh/天÷ 75% ÷ 90% ÷ 12V=185Ah/天)。

蓄电池会由于频繁的过放而遭到严重损坏。为防止过放，蓄电池的大小需要足够大，这样将每次只使用电池的部分容量。这一指标由放电深度(DOD)确定。例如，40% DOD 是说每天只使用电池容量的 40%。按电池的使用年限和质量，DOD 的范围可以在

30%到 80%之间。新型优质并且特殊设计的‘太阳能’蓄电池可以承受很高的放电深度，但旧式劣质或汽车电瓶，设计时没有考虑高的放电深度，只能承受很低的放电深度。RREAD 允许用户按照电池具体性能和已使用年限，指定 DOD 的值。

当天气不好而中断可再生能源系统的发电时，可再生能源系统供电会有空缺，此时蓄电池应该有储备空间以保证在遇到不可预料天气时仍有电力供应。蓄电池的作用像水库一样，储存系统发出的额外电能，而当系统供电不足时，又可以把以前存储的电能释放出来。一般来讲，蓄电池的储备能力可以维持供电 2~3 天。这就是说，在重新充电以前，蓄电池应该至少有 2~3 天的供电能力[5]。根据当地的气候和用户需求，RREAD 允许用户自己确定电池储备可以使用的天数。

当计算出电池的日供电量，确定了放电深度和储备使用天数之后，RREAD 将电池日供电量除以放电深度，然后乘以储备天数。例如，一个家用的 12 伏蓄电池，日耗电是 1.5 kWh，需要总储存能力是 926Ah(12V)。此结果可分下列三步进行计算：

第一步：计算蓄电池日供电量要求：1,500Wh/天(每日能源负荷)÷75%(电池效率)÷90%(逆变器效率) ÷ 12V(电池电压)=185Ah/天。

第二步：计算 40%放电深度限制的蓄电池的日储能要求：185Ah/天 × 40%(DOD)=463Ah/天。

第三步：计算有 2 天储备的电池总容量：463Ah/天×2 天(储能要求)=926Ah。

充电控制器和直/交流逆变器的大小确定过程相对比较简单。在 RREAD 中，充电控制器的容量大小是等于发电设备的功率。例如，如果风机的额定功率是 200W，充电控制器则也是 200W。对于逆变器，从供电角度看，RREAD 将其设定为发电设备的额定功率，如果从需求角度讲，RREAD 则把它设定为可能同时运行的所有电器的总负荷(单位用瓦特计)[6]。如果用户电器的总功率是 500W，则需要 500W 直/交流逆变器。

### 3.3.2 可再生能源系统电能产出

为了确定独立的光伏、风机或者风光互补系统的发电量，首先必须计算光伏面板

---

[5] 技术上讲，因为放电深度（DOD）可以保护蓄电池免受过放损害，所以蓄电池组的容量需要比预计的最小储量大。举例如下，如果每天需要 100 Wh 电量，假设 DOD 为 40%，最小储量是 3 天，那么一个充足了电的蓄电池可以服务 （100 Wh ÷ 40% × 3 天）÷ 100 Wh = 7.5 天。

[6] 理论上，逆变器的尺寸要比额定的电器功率大，这样才能满足冰箱和水泵感应电机的过压要求以及超时运行的要求。实际上，现在的逆变器设计已经考虑到过压和连续输出保护，因此可以启动高过压负载，也能提供连续输出。比如，一个 500 W 逆变器可以运行 500 W 的连续负载和 800 W 的过压负载。

[7]和/或风机的发电能力。为了模拟在某一指定地点光伏板的电力输出情况，需要以下数据—全球水平辐射(太阳能的衡量指标，以瓦/平方米为单位)和环境温度[8]。该指定地点典型气象年(TMY)的数据文件可以提供以上所需信息。根据该地的纬度和光伏板角度，将全球水平辐射量转换为光伏板平面日照辐射量。把光伏板平面日照辐射量，光伏板的光电转换效率，光伏板面积和环境温度输入 RREAD 中，就可模拟系统每小时的能量输出。

计算风机的电力输出，风速是最重要的因数。因为风机出力与风速是 3 次方关系。利用测风仪得到的小时风速，与风机的出力曲线一起，来计算每小时电力输出值。出力曲线将风速与风机的电量输出联系起来。由于各年的小时风速数据会有较大变化，RREAD 要求把多年的风速数据综合在一起，制订一个全年 8760 小时风速分布。如果万一某一特定地点的风速数据没有，RREAD 就采用该地的月风速分布[9]以及与该地点相近的另外一个地点的风速数据来模拟该地点全年 8760 小时的风速分布。

一旦独立的可再生能源系统的每小时电力输出值计算完毕，RREAD 把每小时的值综合起来，计算出每日、每月和每年的电力输出值。用日发电量来进行资源-负荷匹配分析，旨在评估系统能否比较可靠地满足终端用户日常能源需求。每年的发电量可以用于计算系统均摊发电成本，而每月发电量可用来评价系统季节性运行性能。

### 3.3.3 可再生能源系统的可靠性

对可再生能源系统的可靠性分析可以用于确定系统向终端用户提供能源服务的可靠程度。通过比较终端用户要求和系统容量的来确定系统可靠性。在 RREAD 中，用“欠缺天数”和在这些天的能源缺乏程度来衡量系统的可靠性。能源缺乏的程度是能源需求和可供能源之间的差额。当总能源需求超过总供给时，就出现欠缺。RREAD 按日欠缺量评估能源欠缺程度，同时计算每月的“欠缺天数”。每个月的欠缺天数可以看出能源缺乏的季节性曲线，而每天的欠缺额可以说明能源缺乏的程度。

为了对一指定可再生能源系统进行可靠性分析，必须知道系统用户的最大用能需求。家用电器总量和这些电器的每日使用时间表能够推算出该家庭用电要求。例如，某家庭有一 60W 电视机，平均每天看 4 小时，两个 25W 的灯，每个每晚用 4 小时，一个 12W 的灯，每晚用 5 个小时和一台 100W 冰箱，冰箱的压缩机日运行 10 小时，该家庭一天的电力最大需求为 1.5kWh(即，[60W ×4 个小时]+[2× 25W ×4 个小时]+[12W ×5 个小时]+[100W ×10 个小时]=1.5 kWh)。

---

[7] 光伏板的大小通常用峰瓦（Wp）来衡量。峰瓦输出量是指，在标准的测试条件下，即太阳辐射量为 1000 W/平方米，环境温度为 25°C，系统的最大发电功率。但是，实际情况中，如果太阳辐射强度比上述标准条件要强的话，光伏板的实际输出功率会大于峰瓦输出量

[8] 典型气象年（TMY）数据是在多年气象数据的基础上，编辑成一个典型气象年的数据。大多数典型气象年的数据是在 30 年数据的基础上得出的。

[9] 月风速分布是特定地点每月风速在 0~30 米/秒之间的时数。

值得一提的是，随着季节的变化，每天的能源需求会有所变化。例如，在夏季由于日照时间延长，家庭对照明的需求量就会减少。为了能真实反映用能的季节性曲线，需要确定某家庭的 365 天负荷曲线。这可以通过能源审计和家庭能源调查来建立。

有了家庭年负荷曲线的信息，从每年的第一天到最后一天，RREAD 把系统的日净输出减去家庭的日负荷。如果在某一天，是正数就表明系统的能量输出足够满足那天的负荷需求。系统产出的多余电力就储存在蓄电池中，直到蓄电池充电达到最大限度。如果是负数，则说明能源缺乏。 在这种情况下，用蓄电池存储能量能来补偿。如果在用蓄电池来作补充供应，结果还是负，则该天就出现了“能源欠缺”。

为了减少可再生能源系统潜在的“能源欠缺”天数(即，增加系统服务可靠性)，系统用户可以选择大系统，这样能得到更多电力(供给途径)。也能通过需求侧管理(DSM)的办法，控制家庭的用电高峰，来实现减少“能源欠缺”。 例如，前面提到的家庭， 一月份的日最高负荷是 1.5 kWh。 我们假设从可再生能源系统可输出的交流电加上从蓄电池阵的电量补充，在一月份仅为 1.4 kWh。那么，在一月份的某些日子会有 0.1 kWh 的电力缺乏。该家庭可以把所有的设备（2 个 25W 灯泡， 1 台 60W 电视机）只使用三个小时，而不是四个小时，或者只使用一个 25W 的灯泡，加上电视机，这样的话，该家庭当天的能源消费可以控制在 1.4 kWh 之内，也弥补了供能不足的问题。通过调整家中电器的使用时间，也可以减少“能源欠缺”。 例如，如果能源欠缺在某一地区的冬天更有可能发生的话，在该地区的家庭可以通过在冬天关掉冰箱来避免能量欠缺。 通过考察负荷管理，调整电器的使用时间，RREAD 把需求侧管理作为农村能源服务中一项重要的办法。

### 3.3.4 对作为竞争选择--内燃发电机系统的评价

在偏远的无电地区，独立的（使用汽/柴等化石燃料）通常可以作为一种对偏远地区供电的方式。可再生能源系统利用间歇性能源，产生直流电。与可再生能源系统不同的是，如果燃料供应充足的话，内燃式发电机可以不间断地供应交流电力。尽管内燃式发电机可以向冰箱和电泵一天连续 24 小时的供电，但是燃料供应的限制和频繁的维修使得长时间运行不太现实。因此，如果给内燃式发电机装备上必要的平衡系统（控制器，蓄电池和逆变器），这样就可以通过蓄电池对连续工作的电器提供电力。当然，诸如电视机，录音机和灯泡这些电器，每天只使用很短的时间，可以直接与发电机连接，避免使用更大的平衡系统。

对于内燃式发电机系统，平衡系统的大小确定过程与可再生能源系统一样。连续工作的电器的日负荷，考虑到其他 BOS 相关因素，比如能量存储和转化的潜在损失，蓄电池的日放电深度以及蓄电池的边际储量(以防燃料供应不足)，一起来确定蓄电池的大小。控制器的大小等于发电机额定功率。至于逆变器，可以将它设定为所有连续工作电器的总额定功率，因为只有这些电器与蓄电池连在一起。例如，如果有一个 100W 冰箱，每天运行 10 小时，同时还有其他一些非连续工作的电器，由一 500W

的内燃式发电机供电（假定蓄电池的放电深度为 40%，蓄电池和逆变器的效率分别是 75%和 90%），则该系统需要安装一个 100W 的逆变器，和一个 500W 的控制器和一个存储容量为 310Ah 的蓄电池。 设计蓄电池大小的具体计算过程如下：

(1)冰箱每日耗能： 100W × 10 个小时/天=1 kWh/天；
(2)考虑电力损失之后的实际耗能： 1kWh/天÷ 75% ÷ 90%=1.48 kWh/天；
(3)DOD 为 40%的蓄电池存储容量： 1.48 kWh/天÷ 40%=3.7 kWh。

通过计算发电机的电力输出值，RREAD 可以模拟发电机的电力性能。如果没有 BOS 设备(即，没有连续工作的电器)的系统的电能输出计算是十分简单的。例如，如果 500W 发电机每天运行 4 个小时，它每天能发电 2 kWh，或者每年 730 kWh。然而，如果 BOS 组成部分需要与发电机一起为连续工作的电器提供电力服务，那么电力输出的计算必须包括能量存储和转换的潜在损失，这样的话，发电机的电力输出就减少了。例如，假定蓄电池和逆变器效率分别为 75%和 90%，一天运行 4 小时的 500W 发电机，每天只能发 1.52 kWh 电或者每年 554 kWh(即：2 kWh/天-[(1 kWh/天÷ 75% ÷ 90%)-1 kWh/天]=1.52 kWh/天，1.52 kWh/天×365 天/年=554 个 kWh/年)，这里假设冰箱连续工作需要使用 1 kWh.

### 3.3.5 能源分析之外的社会和环境因素

可再生能源系统应该基于其性能和可靠性来进行评价。然而，系统性能不仅应该按技术评价，而且也应该从更广的范围，来考虑社会和环境因素。在可持续性发展的体系中，系统可靠性和发电等纯技术问题不是主要的考虑对象。而是在最大限度地减少环境退化的同时，满足农村居民对能源的基本需求成为对农村能源系统的最重要评价标准。

若能源系统按照他们对农村可持续性发展的贡献来评价，就必须按照下面的办法来评价，就是按发出的电可以替代传统的木柴和化石燃料，从而减少了对环境的影响。如果在没有威胁人类健康或者环境的可持续性发展情况下，可再生能源不仅能满足贫穷人们的基本能源需求，还可以促进农村的经济和社会的发展，那么在与常规能源比较时，可再生能源应该优于常规能源。总而言之，当对能源系统的进行技术方面评价时，不能忽视能源使用对社会和环境方面的影响。

## 3.4 经济学分析

分散式能源系统的能源性能评价是一项十分重要的任务，因为它能帮助我们比较不同的能源选择的技术能力，以满足农村能源需求。同样重要地是，分散式能源系统的经济学分析还能帮助我们评价多种能源选择的成本效益。RREAD 是很好的工具，

因为它能用来计算独立的光伏、风力、风光互补和化石燃料发电机系统的均摊能源成本。为了计算均摊成本，RREAD 首先需要确定每一套独立的能源系统的现金流，然后计算出净价值(NPV)。

### 3.4.1 现金流的准备和 NPV 评估

当使用一套独立的能源系统时，现金流会发生在系统整个寿命阶段。为了确定现金流，RREAD 需要估算整个评价周期内每年的成本和运行费用。这些费用包括发电设备的成本，BOS 组件费用，和年运行和维护费用(O&M)。发电设备成本包括硬件，运输和安装，诸如光伏面板，风机，或内燃式发电机。BOS 组件的费用包括购买，运输和安装蓄电池组的花费，以及控制器和逆变器的费用。发电设备和 BOS 组件的成本流包括初始和替换成本。运行和维护成本包括定期服务，维护和维修费用(如，内燃式发电机的润滑和轴套维护和维修，光伏面板的表面清理和系统电路检查)。对于发电机，运行和维护费用还包括燃料运输费。该费用是当地的燃料市场价格和燃料的运输费加总。

由于某些设备在评价期以外还有可利用的价值，所以 RREAD 采用设备直线折旧的办法，把系统中这些设备的残值计算后放到评价期内。直线折旧是两种主要折旧办法中的一种：它把设备成本在每个财务时段(在 RREAD 中为一年)分成相等的值，这样设备的价值在它的寿命周期内匀速折旧。设备残值在 RREAD 中作为收入来处理。

对系统支出和收入在整个评价期内估算后，为了计算净现值，要对现金流进行折算。RREAD 利用以下公式把在评价期内在未来时间发生的支出和收入折算为现值：

$$(NPV)_n=C_n/(1+d)^{n-1}$$

其中，

$(NPV)_n$=第 n 年的净现值，

$C_n$=第 n 年净成本(在把成本减去其他收入之后的值)

d=贴现率。

RREAD 把所有折算后的现值加总，得到总 NPV。总 NPV 与独立的能源系统年能源值一起，可以得到系统的能源均摊成本。

### 3.4.2 能源均摊成本的计算

利用财务分析中使用的等额年值的概念，可以把系统的总 NPV 在项目寿命期内均匀分摊。等额年值是项目寿命期连续发生的系列现金流。RREAD 用下面的公式来计算均摊现值成本：

$$L = NPV \frac{(1+d)^n \times d}{(1+d \times t)[(1+d)^n - 1]}$$

(L=NPV/ n，当 d=0)，

其中，

L=均摊 NPV

NPV=整个项目寿命期间的总 NPV

d=贴现率

n=项目寿命期的年数

t=付款指标(如果年底付款，t 为 0；年初付款，t 为 1)。

RREAD 算出年均 NPV($/年)后，把它除以年发电量(kWh/年)，得到均摊能源成本($/kWh)。 RREAD 从供求两个角度计算均摊能源成本。从供应角度来看，把年发电量设定为系统的净产出；从需求角度来看，把年发电量设定为系统用户的年耗电量。然而，由于资源可获得性决定了用能的上限，当年耗能量超过系统发电能力时，就要从供方角度计算。

### 3.4.3 传统经济学分析之外的社会和环境因素

由于分散式能源技术的经济分析可以帮助确定农村发展中的各种各样的能源选择的经济可行性，所以就显得很重要。但是在可持续性发展的体系中，传统的经济分析不够，因为它仅仅取决于能源选择的财务指标。从可持续性的角度进行客观地评价，必须要考虑能源选择的社会和环境内涵。

我们不但要分析设备的费用和财务偿还能力，还要对可再生能源给社会和环境带来的效益定量分析。这些效益包括：减少当地的空气和水域污染，通过减少薪柴和化石能源的消费，减缓土地退化。当然，当可再生能源系统比较广泛地适合农村低收入用户时，则社会公平性会有很大改观。当社会和环境的优点不能量化时，则非常有必要对他们进行定性分析。

## 3.5 敏感度分析

为了使模型分析是动态的，需要作敏感度分析，即考虑变化的经济、技术、市场和政策条件。通过测试这些变量，RREAD 进行了一系列的敏感度分析，旨在考察技术、市场和政府政策的的调整对非联网独立能源系统使用的影响。

### 3.5.1 技术进步和市场开发对可再生能源使用的影响

可再生能源的技术进步和可再生能源市场的开发对独立的可再生能源系统的使

用会有重要的影响。例如，更高效的光伏电池和风机会对光伏和风机系统的性能有很大的改进。因为制造技术的进步和市场的进一步拓展，PV 电池和风机的价格会降低，这将降低系统的成本。因为使用新型材料，设备寿命会延长，这也能提高可再生能源系统的性能价格比。

RREAD 对技术进步和市场开发对光伏、风机和风光互补系统的潜在影响进行了评价。它还考察了每个系统的能源和经济性能对一些变量的敏感度。这些变量包括光伏电池和风机系统的效率，可再生能源设备价格和系统部件的服务寿命。

### 3.5.2 政策干预的影响

改变现有政策(税收、金融、能源、环境以及其它有关政策)或者执行新的政策会对农村电气化中的可再生能源技术产生巨大的影响。例如，更严格的环境标准，将会使人们考虑对环境有破坏的技术所产生的额外费用。优惠的税收政策能向可再生能源技术提供等于他们的非市场效益的收益，进而改善他们与化石燃料为基础的技术的竞争性。通过进行一系列的政策方案分析，RREAD 能考察重要的政策变化对独立的可再生能源系统的经济性的潜在影响。例如，模型能评价可再生能源系统的对政府补助，用户折让和进口税的敏感程度。由于环境政策的变化所导致汽油或者柴油价格上涨后，模型可以比较不同的能源技术的成本有效性。

## 3.6 小结

RREAD 作为一套比较综合，却也容易理解的计算机分析的工具，在本章中进行了比较详细地探讨。RREAD 设计用于，在农村能源可持续发展框架下，评价分散式可再生能源技术，包括光伏，风机和风光互补系统。本章对由 RREAD 进行的能源，经济以及政策分析作了阐述。这些信息能帮助分析人员设计系统配置，评估系统容量，确定系统可靠性，评估系统经济性，把可再生能源系统与其他竞争选项做比较。

本章同时还介绍了 RREAD 如何进行敏感度分析。这些分析将用于考察技术进步，市场开发和政策干预对农村电气化工作中可再生能源技术的使用所产生的潜在影响。

# 4. 西部地区独立的可再生能源系统的经济性

## 4.1 内蒙古、青海和新疆的资源评价

西部地区的风力和太阳能资源是非常丰富的，该地区也有开发利用这些资源的丰富经验。内蒙古在开发用于农村环境的小风机方面是国际领先的(Byrne 等，1998)。青海和新疆对农村使用太阳能户用系统也有许多重要的研究。但每个省的资源不一样，因此在开发时有所不同。

内蒙古风能和太阳能资源都很丰富。研究发现风能和太阳能资源是互相补充的：在内蒙古的冬季，太阳能资源不太好，但风能却很丰富，而当在风能不好的夏天，太阳能则很丰富(Byrne 等，1998)。 由于这一特点，我们建议风光互补系统可以向内蒙古农村家庭提供稳定的电力。

在青海，只有一些县，比如门源县，有丰富的风力资源。对于大多数青海省的县，风力资源一般。可是，太阳能资源却是非常丰富。中国气象科学院把青海省列为全国太阳能辐射量最高的省份之一。青海的太阳能资源比内蒙古好(年日照小时数比内蒙古高 20%)。

新疆的风力资源比青海或内蒙古略差。然而，新疆自治区的太阳能资源是很丰富的。平均起来，新疆的日照小时数比青海的大。 表 4-1 对本研究中所涉及地区的风力和太阳能资源进行了比较。

**表 4-1：西部部分地区风力和太阳能资源情况**

| | 风能密度 ($W/m^2$) | 每年大于 3 m/s 的小时风速 | 每年大于 6 m/s 的小时风速 | 年太阳辐射总量 ($kWh/m^2$) | 年日照时数 |
|---|---|---|---|---|---|
| 按 CAMS 定义的资源丰富区域 | >150 | >4,000 | >1,500 | >1,500 | >2,800 |
| **内蒙古** | **100-300** | **4,000-7,000** | **1,000-4,000** | **1,400-1,740** | **2,800-3,400** |
| 四子王旗 | 150-200 | 5,000-7,000 | 2,000-3,000 | 1,610-1,700 | 3,100-3,300 |
| 苏尼特右旗 | 200-250 | 6,000-7,000 | 3,000-3,500 | 1,585-1,670 | 3,100-3,200 |
| 阿巴嘎旗 | 150 | 4,000-5,000 | 1,500-2,000 | 1,530-1,610 | 3,000-3,200 |
| 东乌珠穆沁旗 | 100-150 | 4,000-5,000 | 1,500-1,700 | 1,420-1,560 | 2,800-3,000 |
| **青海省** | **-** | **1,168-5,912** | **184-1,304** | **1,829-2,014** | **4,386-4,476** |
| 门源县 | - | 5,912 | 1,304 | 1,853 | 4,447 |
| 都兰县 | - | 3,976 | 360 | 2,014 | 4,443 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 玛沁县 | - | 3,304 | 888 | 1,871 | 4,386 |
| 囊谦县 | - | 1,168 | 184 | 1,829 | 4,476 |
| **新疆** | **-** | **906-2,700** | **18-876** | **1,708-2,006** | **4,406-4,704** |
| 清河县 | - | 1,890 | 288 | 1,811 | 4,505 |
| 巩留县 | - | 1,562 | 96 | 1,708 | 4,704 |
| 托克逊县 | - | 2,700 | 876 | 1,865 | 4,473 |
| 切墨县 | - | 2,298 | 324 | 2,001 | 4,476 |
| 皮山县 | - | 906 | 18 | 2,006 | 4,406 |

出处：农业部，1999.

## 4.2 均摊成本分析

对三省区现有的户用可再生能源系统进行了均摊成本分析。我们对光伏，风力和风光互补系统中的 21 种配置的系统进行了评价。 这些系统具体如下：

光伏系统（6 种）： 22Wp，35Wp，60Wp，75Wp，100Wp，和 120Wp；

风力系统（3 种）： 100W，200W，和 300W；

风光互补系统（12 种）： 35Wp 光伏--300W 风机，60Wp 光伏-300W 风机，100Wp 光伏-300W 风机，120Wp 光伏-300W 风机，35Wp 光伏-200W 风机，60Wp 光伏-200W 风机，100Wp 光伏-200W 风机，120Wp 光伏-200W 风机，35Wp 光伏-100W 风机，60Wp 光伏--100W 风机，100Wp 光伏--100W 风机，120Wp 光伏--100W 风机。

除了 120Wp 系统是美国产的以外，其他所有系统都是国产光伏电池。案例研究中的风机系统都是由当地厂家生产，共有 3 种： 100W，200W 和 300W 风机。风机与 35Wp 到 60Wp 光伏系统组合成为小型风光互补系统，与 100Wp-120Wp 光伏系统组成大型风光互补系统。所有系统按交流电负荷来评价，另外电池都为特殊设计的，国产铅酸电池(DOD 为 40%)，控制器和逆变器也为国产。

风机正常寿命为 10 年，光伏系统一般为 15 年。按照生产厂家的说明，对于风机或者小型风光互补系统，电池寿命为 3 年；对于光伏系统为 4 年；而对于大型风光互补系统则为 5 年。但是，从实际使用情况来看，这些特殊设计的电池寿命，用于风机和小互补系统的，仅为 1 年，用于光伏系统和大互补系统的，也只有 2 年。控制器和逆变器一般可以达到 10 年的寿命。

我们对 11 个县(内蒙古 2 个，新疆 5 个和青海 4 个)的户用光伏，风力，风光互补系统的均摊成本作了比较。比较中用到的一些假设和参数如表 4-2 所述。 每个系统是按其最大发电能力(kWh)来评价。为了比较不同技术的经济性，分析以系统的安装成本为基准。

被评价的PV系统只用于负荷较少的家庭用户，年使用量范围在120 kWh到240 kWh之间。 风机可以用于负荷相对较大的家庭用户，年使用量范围在 200 kWh 到 640 kWh 之间。

在内蒙古，新疆和青海完成的家庭调查显示大多数家庭每天使用 300Wh-600 Wh，主要用于照明，听收音机和使用小黑白电视。当有冰箱时，每日消费量将升高到 1.2 kWh-1.6 kWh 之间。相对较高的消费水平可以用较大额定功率的风机和互补系统来供电。我们的分析为所研究的地区提供了户用规模独立发电系统的最小成本情况（详见表 4-3，4-4，4-5）。

**表 4-2：户用系统分析中使用的假设和参数**

| 参数 | 风机 | 光伏 | 风光互补 |
|---|---|---|---|
| 系统型号 | 100 W-300 W | 22Wp-120Wp | 35Wp-120Wp, PV + 100-300 W 风机 |
| 系统总成本($/W) | $1.70-$2.78 | $7.39-$7.55 | $2.28-$3.54 |
| 风机或/和光伏板占总成本百分比 | 43%-61% | 83%-85% | 60%-77% |
| 系统寿命（年） | 10 | 15 | 10 |
| 贴现率 | 12% | 12% | 12% |
| NPV 评价周期（年） | 10 | 10 | 10 |
| 电池费用($/kWh) | $36 | $36 | $36 |
| 电池寿命(年) | 3 | 4 | 5 |
| 电池放电深度(%) | 40% | 40% | 40% |
| 逆变器费用（$/kWh) | $140-$320 | $140-$320 | $140-$320 |
| 逆变器寿命（年) | 10 | 10 | 10 |
| 控制器费用（$/kW) | $82-$116 | $82-$116 | $82-$116 |
| 控制器寿命（年) | 10 | 10 | 10 |
| BOS 能量损失率（%) | 32.5% | 32.5% | 32.5% |
| 年运行和维护费用（$/年) | $2.50 | $2.50 | $5.00 |

**表 4-3:内蒙古 2 县光伏，风力和互补系统的均摊成本**

| 系统 | 旗名 | 输出范围 (kWh/年) | 均摊成本 ($/kWh) |
|---|---|---|---|
| 风力 | 苏尼特右旗 | 330~640 | 0.25~0.26 |
| | 东乌珠穆沁旗 | 196~330 | 0.31~0.37 |
| 光伏 | 苏尼特右旗 | 40~225 | 0.70~0.88 |
| | 东乌珠穆沁旗 | 37~205 | 0.76~0.94 |
| 风光互补 | 苏尼特右旗 | 400~860 | 0.30~0.39 |
| | 东乌珠穆沁旗 | 256~535 | 0.39~0.50 |

表 4-4： 新疆 5 县光伏，风力和互补系统的均摊成本

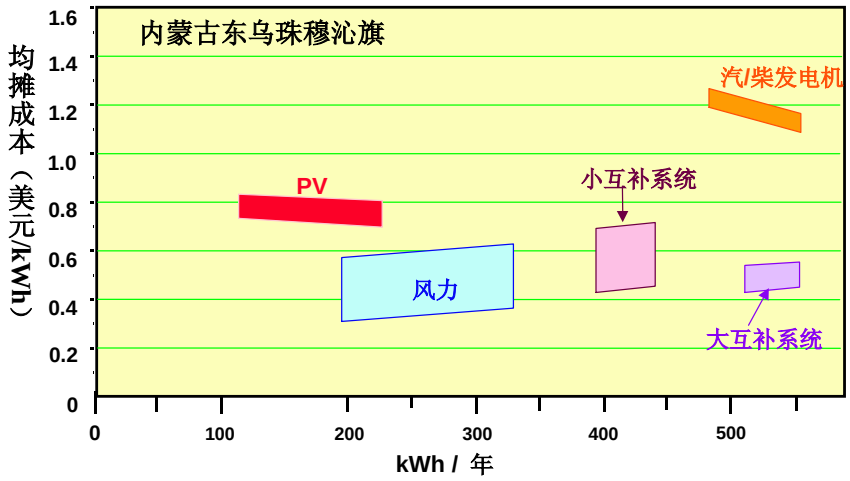
| 系统 | 县名 | 输出范围 (kWh /年) | 均摊成本 ($/ kWh) |
|---|---|---|---|
| 风力 | 清河县 | 48~88 | 0.83~1.00 |
| | 巩留县 | 21~50 | 1.32~1.72 |
| | 托克逊 | 100~212 | 0.46~0.49 |
| | 切墨县 | 56~102 | 0.73~0.85 |
| | 皮山县 | 8~23 | 2.90~4.11 |
| 光伏 | 清河县 | 73~400 | 0.45~0.54 |
| | 巩留县 | 63~344 | 0.51~0.62 |
| | 托克逊 | 60~325 | 0.52~0.64 |
| | 切墨县 | 58~318 | 0.54~0.66 |
| | 皮山县 | 55~300 | 0.56~0.68 |
| 风光互补 | 清河县 | 200~488 | 0.46~0.70 |
| | 巩留县 | 121~394 | 0.54~0.88 |
| | 托克逊 | 261~538 | 0.46~0.52 |
| | 切墨县 | 149~420 | 0.53~0.72 |
| | 皮山县 | 95~324 | 0.62~1.16 |

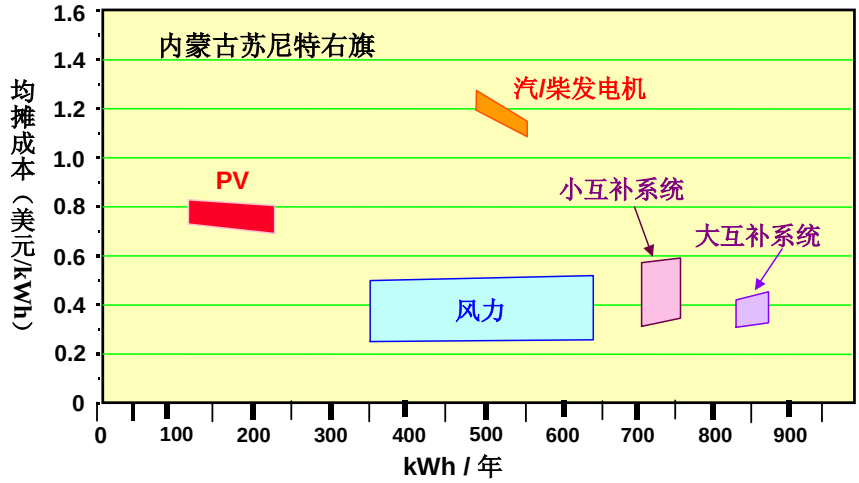
表 4-5：青海 4 县光伏，风力和互补系统的均摊成本

| 系统 | 县名 | 输出范围 (kWh /年) | 均摊成本 ($/ kWh) |
|---|---|---|---|
| 风力 | 都兰县 | 75~153 | 0.50~0.62 |
| | 门源县 | 188~342 | 0.31~0.36 |
| | 囊谦县 | 27~52 | 1.21~1.51 |
| | 玛沁县 | 120~230 | 0.40~0.46 |
| 光伏 | 都兰县 | 60~328 | 0.52~0.64 |
| | 门源县 | 58~320 | 0.53~0.65 |
| | 囊谦县 | 47~257 | 0.63~0.78 |
| | 玛沁县 | 55~304 | 0.55~0.67 |
| 风光互补 | 都兰县 | 170~481 | 0.47~0.60 |
| | 门源县 | 282~663 | 0.36~0.44 |
| | 囊谦县 | 102~310 | 0.66~1.02 |
| | 玛沁县 | 208~533 | 0.44~0.52 |

虽然地域决定了可再生能源资源的好坏，从而会影响光伏系统或者风机的发电能力，但是却不会影响供能方式最小成本的排列，也不会对不同技术的成本产生大的影响。图 4-1 给出了我们对苏尼特右旗和东乌珠穆沁旗使用可再生能源系统分析的结果。由图 4-1，尽管苏尼特右旗有较好的风力和太阳能资源，但是两个旗的成本曲

线几乎是相同的。值得注意的是，由于 100W，200W 和 300W 风机有不同的出力曲线，因此当负荷增加时，风电成本也会增加。




| |
|---|
| 1、 均摊成本是按照每个系统的最大发电量计算。 |
| 2、 每种技术的均摊成本的变化是由于所假设的电池寿命的不同。 |
| 3、 互补系统为：300W 风力发电机外加 35~60 Wp PV 是小系统；外加 100~120 Wp PV 是大系统。 |
| 4、汽/柴发电成本的计算是假定系统为连续工作的设备每天提供 1 kWh |

**图 4-1 内蒙古 2 县光伏、风力、汽/柴发电机和互补系统的均摊成本**

在均摊成本分析的基础上，CEEP 建议风光互补系统能够在相对比较稳定的成本基础上，为用户提供更多的电力。事实上，这样的互补系统比汽油发电机还便宜，另外汽/柴发电机会由于维修，部件损坏以及燃料短缺等原因而长时间中断服务。

我们对内蒙古所选择的县进行均摊成本分析，结果表明，苏尼特右旗的可再生能源系统有较低的成本（见图 4-1）。而对新疆所选的县进行均摊成本分析，结果表明托克逊县的可再生能源成本最低（见图 4-2）。同样道理，青海省的门源县可再生能源成本最小（见图 4-3）。

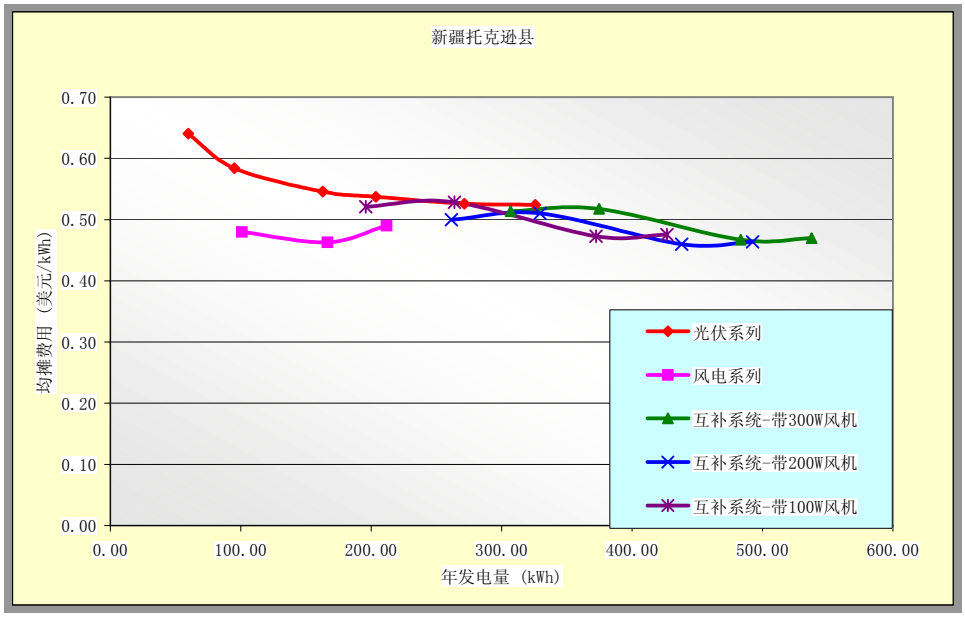



**图 4-2：新疆托克逊县光伏，风力和风光互补系统均摊成本分析**

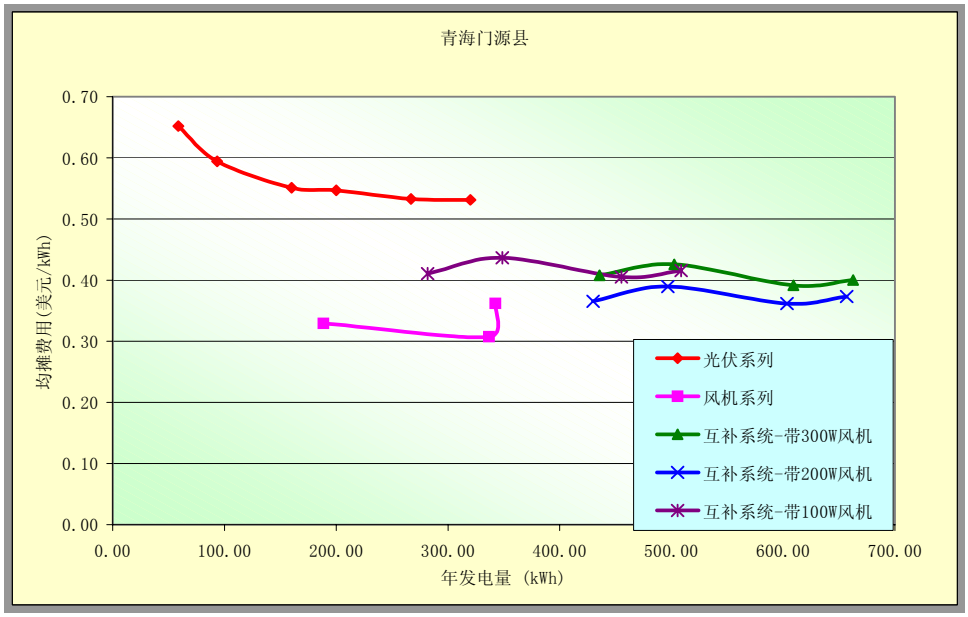



**图 4-3：青海门源县光伏，风力和风光互补系统均摊成本分析**

我们对每个县，计算了上述 21 种系统的最小均摊成本。为了把风力和太阳能资

源的分布情况与均摊成本联系起来，我们在研究中采用了比较常用的地理信息系统软件—ARCView。通过 ARCView，CEEP 的研究人员把内蒙古，青海和新疆 3 省区，资源数据可得到的县的风能资源(4m/s 以上，6m/s 以上)分布，太阳能资源分布，均摊成本和最佳系统选择作图表示（见图 4-4，4-5，4-6，4-7)。

这四幅图为这份报告提供重要的研究结果。通过他们，按照某一县的资源可获得性和经济价值，可以非常容易地确定最适合某具体县农户的可再生能源系统。这样的图也能帮助进行制订公共政策，或者商业决策(包括关于投资和市场机会的决定)。借助于这些地图，省级政府规划单位和决策单位可以制订优先发展的技术清单以及市场发展重点。国际机构也能了解什么是某地区需要的技术，合资企业，以及能力建设和融资机会。

图 4-4 和 4-5 表明，内蒙古的风力资源几乎在所有县都是非常丰富的。年风速大于 6m/s 的时间超过 3,000 小时就能建设社区一级的较大规模风电项目。在内蒙古许多县都能满足这一标准。当每年风速大于 4m/s 的时间超过 3,000 小时，则小规模的风电系统就比传统的内燃式发电系统有经济优势，而内蒙古大多数县又都能满足这样的资源条件。

相比之下，新疆和青海只有少许县有较好风力资源，适合发展风电。新疆北部的一些县和青海中北部的一些县比较适合小规模的风电系统。

太阳能资源的分布在空间上与风能资源恰好相反(见图 4-6)。内蒙古的大多数县有较好的太阳辐射量，建议使用小规模光伏系统，或者是风光互补系统。但是在青海几乎所有县的太阳辐射都很强(>1,800 kWh /$m^2$)，因此青海比较适合发展太阳能户用系统和社区规模的光电系统。新疆的情况也比较适合发展光电系统，在新疆南部和西部的县有很强的太阳辐射量，非常适合发展太阳能户用系统和社区光电系统。

如果把资源条件与均摊成本(图 4-7)进行比较，我们就能够确定出相对具体的小规模，独立的风力，光伏和风光互补系统的市场。对内蒙古来说，独立的风力系统可以为大多数县用户提供最低的成本，但是有几个县，风光互补系统的成本最小。在新疆和青海，小规模的独立光伏系统是大部分地区的最经济选择。风光互补系统的在这些省有一定的市场，当家庭的用电需求增加时，对该系统容量的需求也会明显地增长。

图 4-4 到 4-7 放在一起，就非常清楚地描绘了西部地区可再生能源发展轮廓。风力和风光互补系统在内蒙古有很大的发展潜力。因为这些系统可以对农村无电户提供最低成本的电力，所以这样的系统应该得到政策扶持和商业优惠，同时也应该得到国际机构的重视和支持。对于新疆和青海，政府决策者和商业单位，国际机构应该对独立的光伏系统优先发展。当然，这两个省也希望能够同时发展风光互补系统。

从图 4-4 到 4-7 所看到的结果，我们的分析现在就转到市场评价问题，对可再生

能源系统有购买兴趣的农村用户的特点是什么？小规模，独立的风力，光伏和风光互补系统的市场有多大？这些问题将会在第 5 章和第 6 章具体展开。

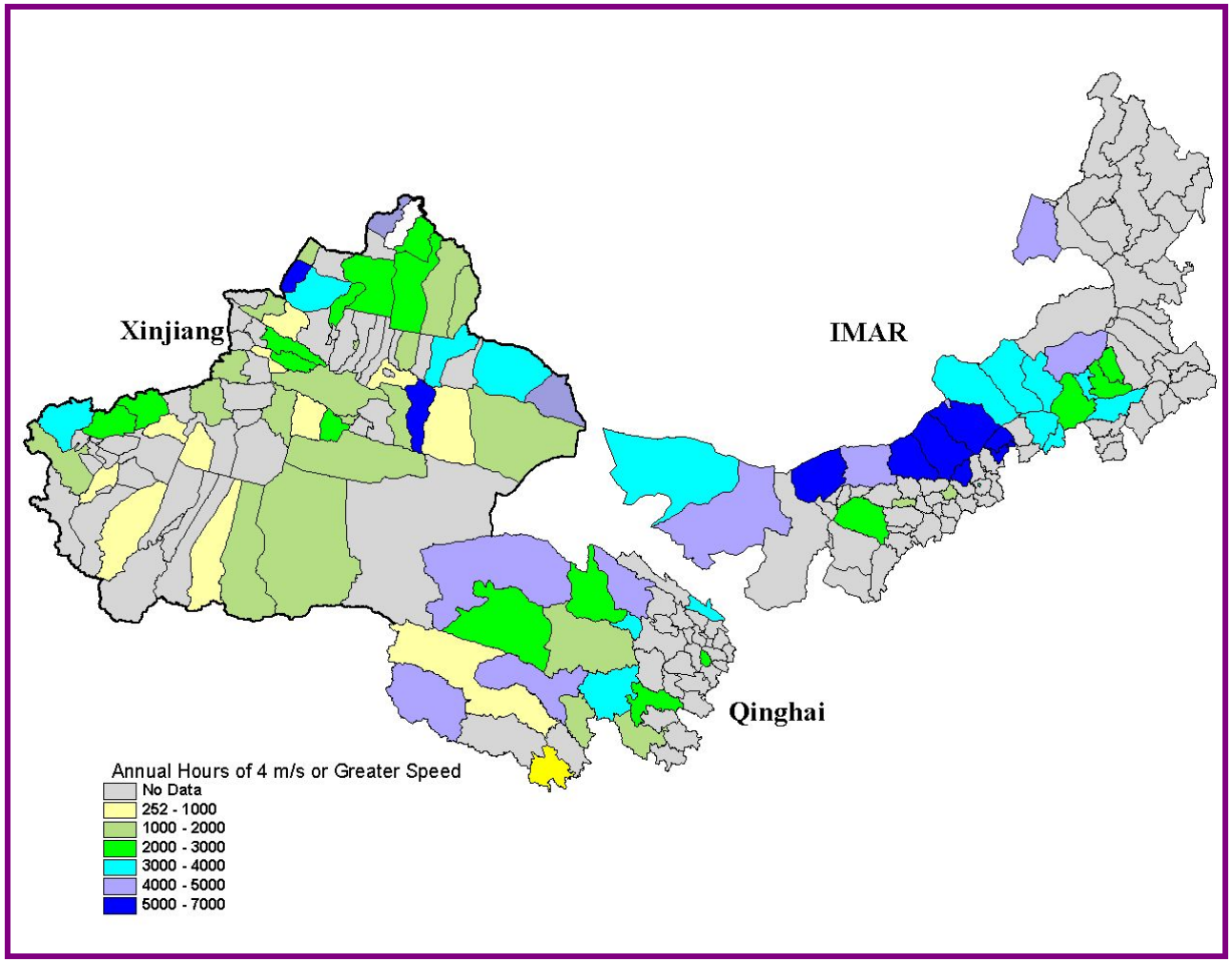



图 4-4：青海，新疆和内蒙古的风力资源分布情况(风速≥4 米/秒)

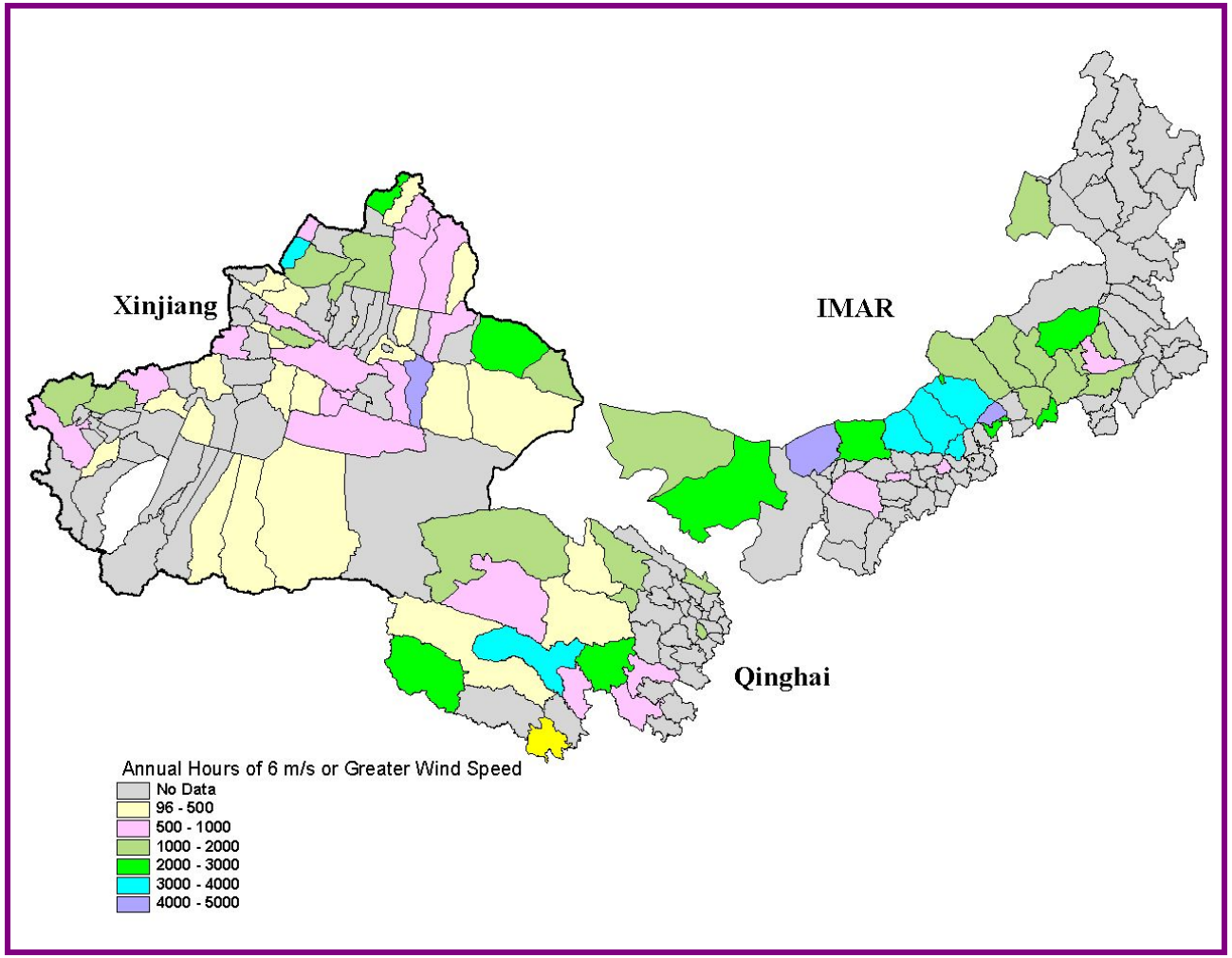



图 4-5：青海，新疆和内蒙古的风力资源分布情况(风速≥6 米/秒)

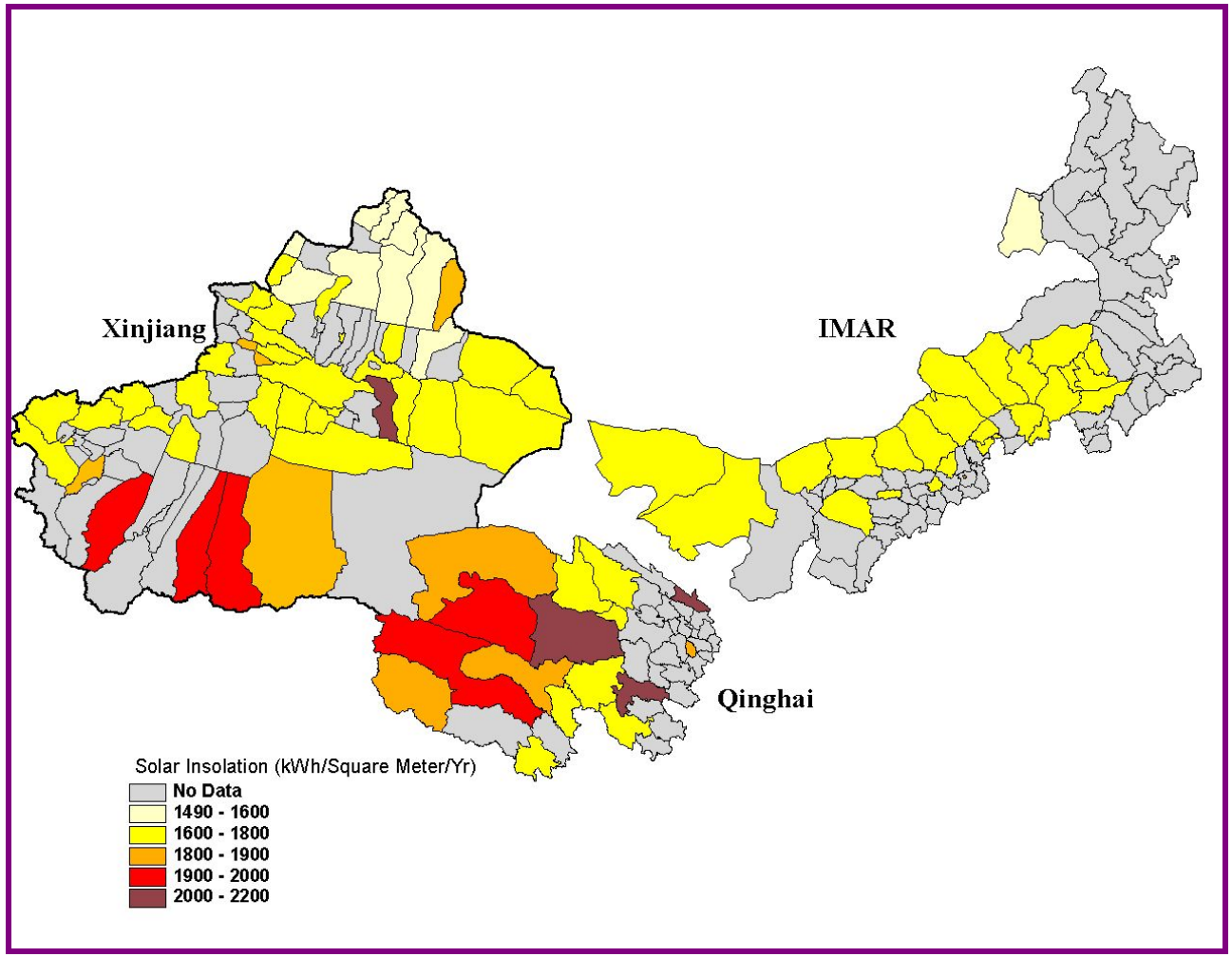



图 4-6：青海，新疆和内蒙古的太阳能资源分布情况

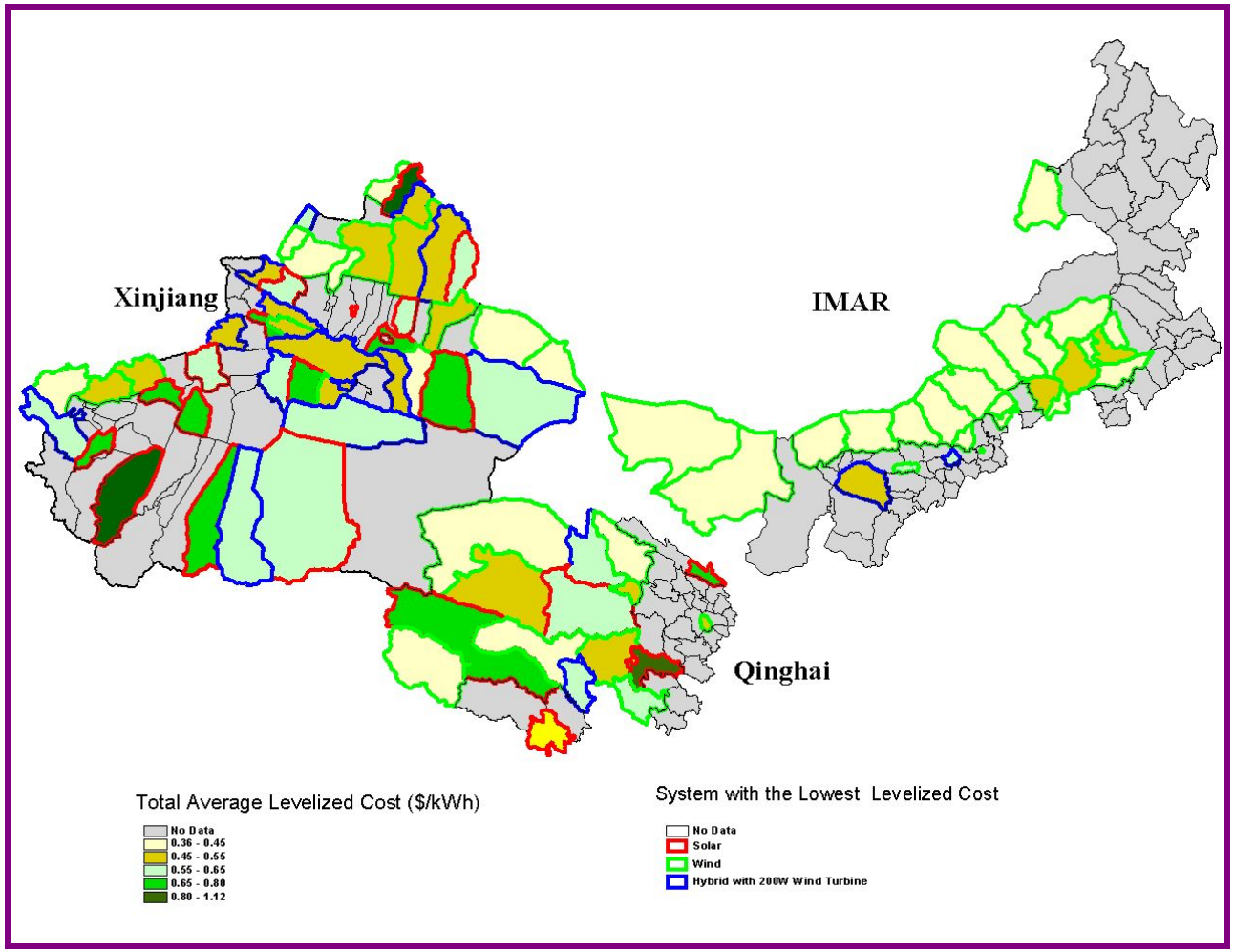



图 4-7：青海，新疆和内蒙古各县总的均摊成本分布和最小成本系统的选择

# 5.非联网用户的社会经济评价模型

CEEP 的资源评价和均摊成本分析的研究结果表明西部地区可再生能源发展有很大潜力。下一步工作是有必要了解制约该地区农户可再生能源使用的社会和经济情况。基于此目的，CEEP 对内蒙古，青海和新疆进行了全面的社会经济评价。评价的目标是确定西部农村能源用户的特点，了解社会经济条件对他们使用可再生能源的影响，同时找出西部可再生能源发展的机会和障碍。本章介绍了进行社会经济评价所使用的方法和我们的评价结果。

## 5.1 社会经济性评价概述

社会经济评价分为四个步骤。第一步，可再生能源调查问卷设计，共有 59 个问题(其中一些问题会有若干子问题)；第二步，调查抽样设计。第三步，对三个省区进行抽样调查。抽样调查总共有 531 户。第四步，县级和省级社会经济统计调查设计(三省区，和三省区的 22 个县)。 调查数据经过处理，编码，录入，然后转换为 SPSS 可以使用的数据，利用 SPSS 进行描述分析，以便了解影响这些地区可再生能源使用的社会经济条件。我们的社会经济评价的研究框架如图 5-1 所示。

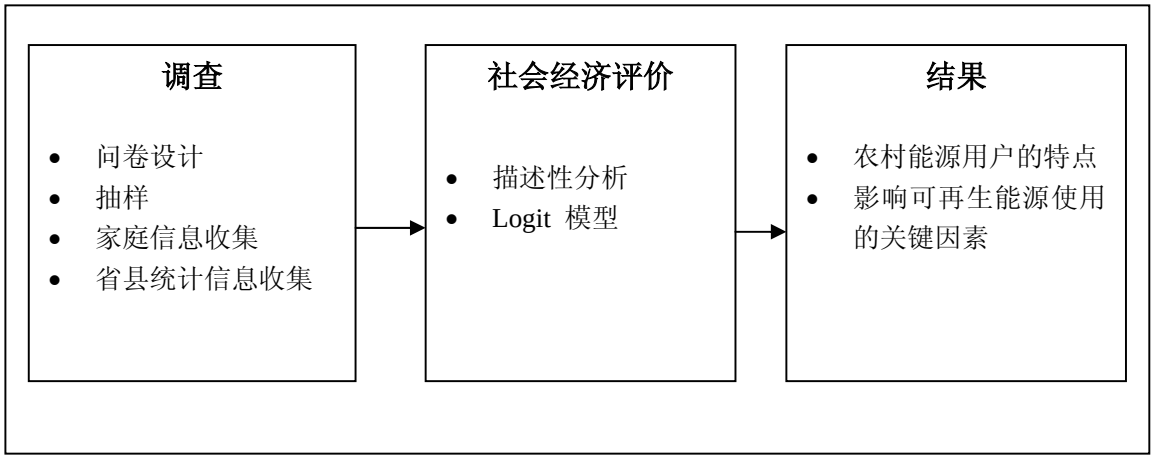



**图 5-1： 社会经济评价的研究框架**

## 5.2 农村可再生能源调查

### 5.2.1 调查问卷

CEEP 的社会经济调查由两个层次：微观(家庭)和宏观(县和省)。我们设计的调查问卷用于收集家庭用能的原始数据，社会经济特征，对可再生能源的态度。 调查问卷分为四个部分：

- 每户家庭的一般情况；
- 家庭能源负荷和燃料使用情况；
- 当前使用的能源系统的详尽信息；
- 对农村能源选项的总的态度，尤其对可再生能源的态度。

调查问卷详见附录 B。

此外，CEEP 社会经济评价还包括县级和省级统计数据调查。主要侧重在它集中于若干区域：

- 人口统计信息；
- 综合经济数据；
- 家庭收入；
- 农村电气化程度；
- 当前使用可再生能源系统的程度和未来情况；
- 对可再生能源系统的补贴；
- 能源公司和服务站的资料。

县和省级调查表见附录 C。

### 5.2.2 抽样设计

为了保证调查结果有很好的代表性，我们采用了一种分层抽样的方法。 每个省中样本县的选择反映可再生能源资源的不同分布，收入范围和家庭特点。每个县中的农户抽样也反映出各类能源用户和他们的特点。农户调查的抽样设计情况如图 5-2 所示。

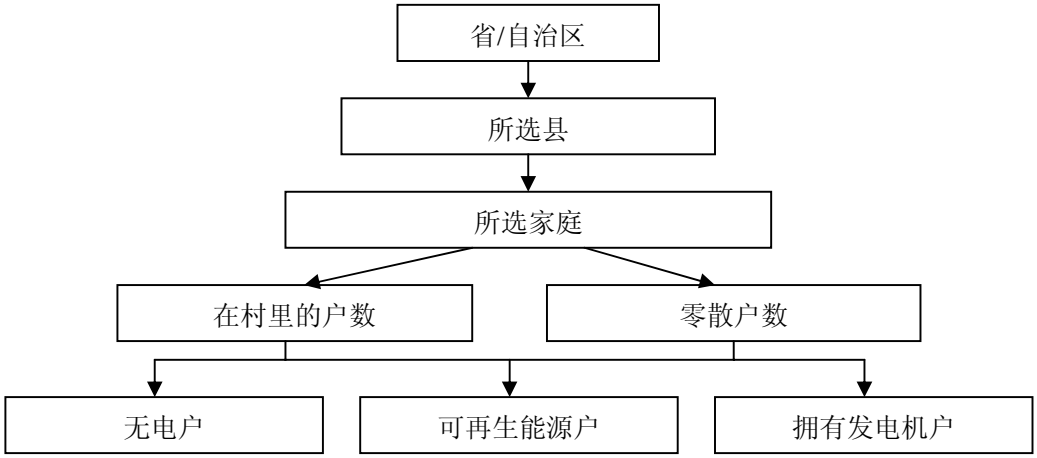



图 5-2：农户调查的抽样设计

我们对三类家庭进行了调查：无电户， 汽/柴发电机用户，和可再生能源用户。在每类用户中，从地理分布上分为两个小类：村庄家庭（生活在小村庄里）和偏僻

地区的散户家庭（户与户间隔很远）。抽样设计的概况见表 5-1。

**表 5-1：抽样设计概况**

| | 内蒙古 | 青海 | 新疆 |
|---|---|---|---|
| 调查县数 | 11 | 6 | 5 |
| 每县抽样村数 | 5 | 4 | 4 |
| 无电户 | 30/10* | 30/10 | 30/10 |
| 内燃式发电机用户 | 20/10 | 12/18 | 12/18 |
| 农村能源系统用户 | 100/30 | 40/30 | 40/30 |
| 总计 | 200 | 140 | 140 |

* 30/10 中 30 是村庄家庭一层的数目，10 是的偏僻家庭的数目。表 5-1 是按家庭类型分，3 个省区的抽样情况。

这里要强调的是，实际的抽样并没有严格地按照上述设计进行。对初始的调查数据进行清理的同时，我们做了一些适当的调整。例如，当完成了对内蒙古调查之后，我们发现无电户数比期望的少，而可再生能源系统用户比期望的多。所以，我们又在内蒙古调查了另外 40 户无电户。我们的调查在三省区的最终户数，内蒙古：240；青海：163；新疆：128。

## 5.3 数据整理

原始调查数据由中方合作单位—中科院（负责对内蒙古的调查），农业部（负责对青海和新疆的调查）用电子文件(Excel 格式)发送到 CEEP。每户调查家庭的资料都以 CEEP 的调查问卷形式记录。原始数据通过两个步骤转换为可以进行分析的标准统计格式。

首先，CEEP 研究人员在 Excel 之内编写了一个 Visual Basic 的程序，把数据从每户家庭调查表中提取出来，然后输入到电子表格中。这些宏程序会建立一个新的表格，并且把每户家庭的数据放到里边。运行宏程序的结果是，所有的调查信息会编辑整理到一张工作表（合成表）中 — 以问题按行，家庭按列的格式排列。

然后，合成表改变成 SPSS 格式文件，这样就可以开始做统计分析。通过一系列描述性和比较性的统计分析，我们得到西部地区农村能源用户的基本情况。

在进行描述性和比较性的统计分析之前，需要提高调查结果的可读性。家庭的调

查答案用顺序变量，名义变量和比例变量表示。二分支的回答（是/否）转换为数值形式（0/1）。使用 SPSS 中的标准函数，对描述性的统计信息进行处理分析。当对各地区的统计进行比较之后，社会经济评价也就完成了。

寻找西部农村能源用户的特点通过三步进行。第一步，找出家庭结构，收入来源和消费情况；第二步，是建立农村能源发电，使用和输配的信息库；最后一步是描述被调查人对可再生能源的态度。

## 5.4 描述性和比较性的统计分析

### 5.4.1 家庭特点

农户调查在内蒙古 11 个县，青海 6 个县以及新疆 5 个县进行，分别调查了 240 户，163 户和 128 户，被调查人的平均年龄为 42 岁。

图 5-3 给出了三省区中的家庭成员的教育水平。在内蒙古中的调查所有家庭成员都接受过不同程度的正规教育。而在青海和新疆的调查中，分别有 11%和 3.9%家庭成员没有上过学。调查中家庭成员最高教育程度是高中文化程度。

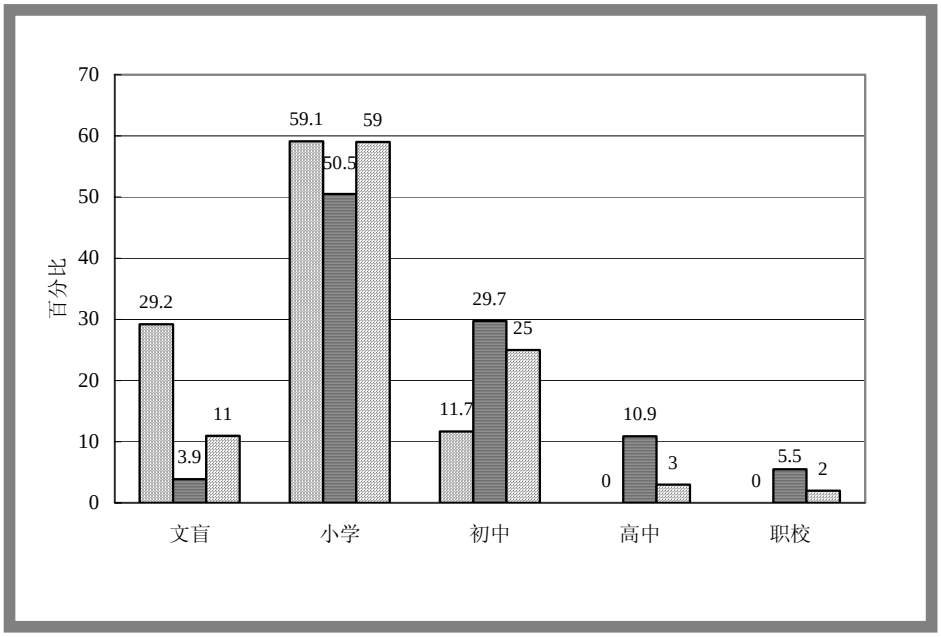



**图 5-3： 家庭成员的教育程度**

表 5-2 内蒙古、青海和新疆家庭概况

| | 内蒙古 | 青海 | 新疆 |
|---|---|---|---|
| 家庭平均人口 | 5 | 7 | 6 |
| 平均居住面积（米 $^2$） | 86 | 107 | 80 |
| 家庭年收入（元） | 40,395 | 23,914 | 15,176 |
| 家庭年支出（元）<br>能源支出<br>非能源支出<br>总支出 | <br>656 (2.4%)<br>26,472 (97.6%)<br>27,128 | <br>866 (5.5%)<br>14,950 (94.5%)<br>15,816 | <br>1,114 (11.9 %)<br>8,246 (88.1%)<br>9,360 |
| 家庭年均节余（元） | 13,267 | 8,098 | 5,816 |
| 收入节余比例 | 32.8 % | 33.9 % | 38.3 % |

表 5-2 列出了三省区中被调查家庭的平均人口，居住面积，收入和支出情况。内蒙古，家庭收入主要依靠畜牧业，而青海和新疆的家庭收入取决于农业和副业。在新疆，大约 12%的支出与燃料消费有关，而内蒙古的调查显示至少 2.4%的总收入用于能源消费；在青海，大约 5.5%的收入用于能源消费。平均来看，家庭年收入的三分之一可以节余下来。

### 5.4.2 家庭用电情况和能源系统

通过调查，我们得到了三省区中有关农村能源供应和消费的综合情况，同时可以找出对能源使用和消费的偏好。

研究所涉及的三个省区主要是农村地区，人口居住比较分散。这两个特点使得能源用户（主要指农户）和电网之间的距离很远。用户与电网的平均距离，在内蒙古是 21.5 公里，青海是 23.3 公里，新疆是 36.1 公里。人均用能低，负荷分散使得电力公司没有积极性给这些用户使用电网通电。唯一可行的选择是向这些农村地区的用户，按照他们的需求大小，安装分散式能源系统。通常可以使用的能源系统包括光伏系统，风力发电机，风光互补系统和汽/柴发电机。

表 5-3:各省发电系统分布情况

| | 内蒙古 | 青海 | 新疆 |
|---|---|---|---|
| 拥有风机的家庭数目 | 187<br>(77.9 %) | 48<br>(29.4 % ) | 38<br>(29.7 % ) |
| 拥有光伏系统的家庭数目 | 10<br>(4.2 %) | 96<br>(58.9 % ) | 50<br>(39.1 % ) |
| 拥有柴油发电机的家庭数目 | 16<br>(6.7 %) | 无 | 13<br>(10.2 % ) |

PV 系统的容量有小于 30W 的，也有超过 100W 的。从调查的结果来看，在青海大多数安装的系统小于 30W；在新疆，四分之三的系统小于 30W，剩下的 25%在 30-100W 之间。在内蒙古，60%的光伏系统在 30-100W 之间，20%高于 100W，只有 20%是小于 30W。从调查中发现，内蒙古的风机中，97%是 100W 系统，只有 3%是 300W 系统；青海，54%为 100W 系统，15%为 200 W 系统，23%为 500 W 系统，剩下的 8%为 600W 系统。表 5-4 和 5-5 列出了这些结果。有关柴油发电机系统的调查结果是，内蒙古，63%的系统是 400W，31%为 450W 和 6%为 600W。青海和新疆的调查没有关于柴油发电机的数据。

**表 5-4：PV 系统概况**

| | 内蒙古 | 青海 | 新疆 |
|---|---|---|---|
| 光伏系统型号分布 | < 30 W – 20 %;<br>30-100 W– 60%;<br>> 100 W – 20 % | <30 W – 100 % | < 30 W – 74 %;<br>30- 100 W – 26 % |
| 系统平均投资（元） | 3760 | 1504 | 1713 |
| 年平均维修费用（元） | 20 | 50 | 30 |
| 预计寿命（年） | 15 | 没有数据 | 没有数据 |

当地的一些诸如地理和社会选择偏好等条件会在三省区中有所变化。社会和经济条件能反映到能源使用的意向中。虽然内蒙古的调查没有提供终端用能的情况，但在青海，最愿意拥有的电器是电视机，77%；其次为电冰箱，12%；然后为洗衣机，7.5%；最后是卡式录音机，3.5%。在新疆，37%的用户愿意，通过能源系统看上电视，17%希望能有洗衣机，14%想拥有电冰箱，8.6%要听录音机，10.4%要使用放像设备。

**表 5-5：风机系统概况**

| | 内蒙古 | 青海 | 新疆 |
|---|---|---|---|
| 风机系统型号分布 | 100 W –97 %;<br>300 W – 3 % | 100 W –54 %;<br>200 W –15%;<br>500 W – 23%;<br>600 W – 8 % | 100 W – 64 %;<br>150 W – 36 % |
| 系统平均投资(元) | 1,195 | 1,449 | 1,645 |
| 年均维修费用(元) | 100 | 50 | 60 |
| 预计寿命（年） | 10 | 6 | 10 |

## 5.5 影响对可再生能源系统态度的社会经济条件

通过长距离电网把电力输送到农村地区，这是发达国家普遍采用的供电方式。美国和其他发达国家使用中央能源系统为农村地区供电的模式已经开始扩展到发展中国家。这样的模式的确提高了农村居民的生活质量，但是，从这次调查中发现，内蒙古，青海和新疆的情况并不这样。根据对该地区的调查，该地区的农户喜欢使用

户用分散式非联网能源系统。

由于可再生能源的资源条件决定了可再生能源系统的电力输出，一些用户关心当没有太阳或者没有风力的时候，能源短缺就无法避免。例如，青海和新疆被调查家庭对系统可靠性的看法不太一样。在这个问题的回答上，内蒙古没有相应的数据，但青海的调查显示：69%的人认为光伏系统是可靠的，26%的人认为风光互补系统是可靠的，而 4%的人认为汽/柴独立系统是可靠的；在新疆的调查显示：72%的人认为风光互补系统是可靠的，16%认为光伏系统是可靠的，而 11%则认为风力系统是可靠的。总的来说，如果配置合适，西部地区农村用户认为可再生能源系统是可靠的。

我们的抽样结果认为，利用分散式独立的可再生能源系统完全可以满足农村无电家庭的用能需要。在青海和新疆，90%多的人表示愿意购买可靠的可再生能源系统。在内蒙古，大约有 53%的人表示愿意花少于 10,000 元($1209)购买这样的系统，大约有 44%人说他们愿意为这样的系统花 10,000 元($1209)到 20,000 元($2418)，而 3%的人愿意支付超过 20,000 元($2418)。

调查中没有发现有人愿意购买汽/柴发电机或者使用其他化石燃料的发电系统。这主要归因于高昂的燃料运输费用和这些发电系统的维修费用。所以这些系统对于农村用户来说，比可再生能源系统反而显得不是很可靠。

## 5.6 小结

根据在内蒙古、青海和新疆调查，系统的投资，设备的质量，和售后服务是影响他们对可再生能源系统的购买决定的最重要因素。维修和服务，特别是电池故障，寿命不长，会影响对可再生能源系统的态度。 因此，通过提高电池质量，强调售后服务的市场策略，政策干预等手段来改善系统的可靠性是开拓西部可再生能源系统的关键所在。这些手段将大大地转变人们对可再生能源系统的态度，从而改善农村居民的社会经济条件。

# 6. 西部农村可再生能源系统市场潜力预测

本章预测了西部农村地区未来可再生能源系统市场的潜力。CEEP 预测分成两步进行。第一步是建立了一个对数回归模型来找出西部地区未来可再生能源用户的关键参数。接着。利用县级和省级的统计信息和此模型，计算出这些可再生能源系统的市场大小。

## 6.1 对数回归模型的建立

除了进行描述性的分析之外，社会经济评价的另外一个重要任务是预测西部地区未来农村可再生能源系统的市场大小。这就需要先找到影响可再生能源系统购买决定的因素，也就是说，确定什么样的类型的消费者是潜在的可再生能源系统用户。“潜在的可再生能源系统购买者”就是一个类变量，在指定的两个值中取一个（1 或者 0）。

由于最小二乘回归法经常会算出预测值少于 0 或者大于 1，这样的值在我们的预测中是不可接受的值。所以我们要使用另外一种方法来进行预测。对于一套非类独立变量，对数回归模型(或者简称为 LRM)可以用于计算某一类变量的概率。

LRM 使用让步比来解释，是成功的概率与失败的概率相比较。 通过使用最大似然法，LRM 可以计算让步比自然对数。根据抽样数据，我们能建立如下模型：

$$\ln(EOR) = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \ldots + a_kx_k$$

其中,

EOR=估算的让步比；

$a_i$=回归系数；

$X_i$=自变量。

一旦 LRM 用在一组数据上,就可以计算出让步比的值,或者简称 EOR。再作一下简单的数学变换，具体如下，

$$EOR=e^{\ln(EOR)}$$

得到 EOR 之后，就可以计算成功的概率了。

成功的概率=EOR/(1+EOR)。

举个例子可以清楚地解释一下这一方法。假设对数回归模型已经确定，比如说，家庭收入是预测是否能成为光伏系统潜在用户的一个重要因子。同时，让步比的估计表明一户年收入在 3000 元以上的家庭比另外一户年收入不到 3000 元家庭成为光伏系统的可能性更大（收入变量作为一自变量，在这里用“是”或“否”表示，“是”代表收入在 3000 元以上；“否”代表收入在 3000 元以下）。如果估算的“是”的让步比（或者 EOR）是 2，那么使用光伏系统的概率为 0.66(即，EOR/(1+EOR))。 这也就是说年收入为 3000 元或更高的家庭购买光伏系统的不等几率比是 2 比 1,以及 66%的这样的家庭会有望购买 PV 系统。

上述的讨论概念性地描述了在社会经济因素的基础上,如何建立 LRM 以及估算购买系统决定的概率。通过统计软件，例如 SPSS，SAS 或者其它统计软件，可以直接完成 LRM 模型的建立和购买概率的计算。在本研究采用 SAS。

## 6.2 确定可再生能源系统购买者关键参数的对数回归模型

我们利用 SAS(版本 6.0，UNIX 平台)来建立我们对数回归模型。尽管我们的目标是用大量的抽样数据来建立模型，但我们还是面临许多实际的问题，许多被调查的家庭并没有填完整个问卷，这样就使得可以用的调查问卷减少了许多。由于这样的情况，用于我们的模型中总共为 100 份完整的调查问卷。

### 6.2.1 模型变量

- 因变量

西部地区，不同型号的可再生能源系统市场大小都不一样，因此，每种系统的市场大小需要分别确定。因此，我们不但要估计什么样的因素促使无电家庭决定购买光伏系统，或者风力系统，或者风光互补系统，还要确定这些家庭是否更愿意购买大系统或小系统(大系统是指大于 100W 风机或 100W 风机/50Wp 光伏的系统)。从这点来看，就很有必要了解某家庭是否愿意用贷款来帮助支付 3,000 元或者更贵的系统。

鉴于上述原因，我们确定了下列五个应变量用于对数回归模拟，列于表 6-1 中。

**表 6-1：模型中的应变量**

| 变量名称 | 变量意义 | 编码 |
|---|---|---|
| PV | 是否为可能的光伏系统用户? | 0=’否’ 1=’是’ |
| WIND | 是否为可能的风机系统用户? | 0=’否’ 1=’是’ |
| HYBRID | 是否为可能的互补系统用户? | 0=’否’ 1=’是’ |
| LGSYS | 是否为可能的大系统用户?<br>(>100w 风机或/和 >50$w_p$光伏) | 0=’否’ 1=’是’ |
| WTPLGELN | 是否愿意支付 3,000 元或更多来购买大系统(可以得到贷款)? | 0=’否’ 1=’是’ |

- 解释变量

我们的农户调查有上百个问题，所以我们首先考察这些变量和我们需要的变量之间的相关性。对用于对数回归模型的解释变量的选择是按照下面 3 条准则：与因变量之间的相关性高，观测值很少丢失，一般理论推理。 关于最后一条，可以参考经济学中的“愿意使用/购买”定义(见 Michael Parkin，微观经济学，第二版)。我们选择的变量都符合统计学准则，并且与经济学的需求理论一致。

为了确定解释变量，我们要进行相关性关系分析来确定哪些变量与这五个因变量中的任何一个相关。我们选择那些变量，在显著性水平为 0.05 的时候(p>95%)，相关系数在中等程度（0.3~0.6 之间），或者较高程度（0.7~1.0 之间）。如果变量不能满足这样的要求，我们不再考虑。然后我们开始寻找那些变量，在所有的观测值中，遗漏次数少于 3 次（在 100 次观测中，变量有 97 有效值）。把那些有缺失值的变量删掉的原因有二，一方面，如果把这样的变量考虑进来，那么我们会减少其他变量或解释变量的观测值；另外一方面，这些有缺失值的变量在统计学上降低了评估的可靠程度。

在相关关系分析之后，我们一共筛选出 13 个解释变量用于我们的模型。所有的变量在理论上都是经过了证明，适合在模型中使用。 另外，相关关系的符号与它对结果的影响是一致的，比如，收入与支付意愿是正相关，就说明高收入家庭更有可能购买大系统。

由于因变量只可能有两个值(0 或者 1)，解释变量也应只有两个值(0 或者 1)。为了把现有的解释变量从数值变量改为分类变量，我们设置了一系列的对偶变量，见表 6-2。从该表中可以看出，一些数值变量给改成了二分变量。例如，为了确定农业收入对支付愿意影响的精确程度，我们把这个变量改为二分变量—是否某家庭属于低农业收入或中等农业收入。对数回归模型中的常数项则反映高农业收入对结果的影响程度。基于此，我们采用标准程序把数值变量改换为分类变量。

**表 6-2：模型中解释变量**

| 变量名称 | 变量含义 | 代码 |
|---|---|---|
| 1. ABLEPAY | 支付 3000 元以上购买可再生能源系统的能力 | 0=’否’ 1=’是’ |
| 2. AGEGRP1 | 答卷人的年龄小于 40 岁 | 0=’否’ 1=’是’ |
| 3. AGEGRP2 | 答卷人的年龄≥40 岁但<50 岁 | 0=’否’ 1=’是’ |
| 4. AGICMLW | 家庭年农业收入少于 5000 元 | 0=’否’ 1=’是’ |
| 5. AGICMMD | 家庭年农业收入≥5000 元但<10000 元 | 0=’否’ 1=’是’ |
| 6. NOEDU | 没有任何教育 | 0=’否’ 1=’是’ |
| 7. ELMTSCHL | 小学 | 0=’否’ 1=’是’ |
| 8. MIDSCHL | 中学 | 0=’否’ 1=’是’ |
| 9. FUELEPLW | 年燃料支出<600 元 | 0=’否’ 1=’是’ |

| | | |
|---|---|---|
| 10. FUELEPMD | 年燃料支出≥600 元但<1000 元 | 0=’否’1=’是’ |
| 11. HHSIZE | 家庭人口<5 人 | 0=’否’1=’是’ |
| 12. HSAREASM | 居住面积<70 $m^2$ | 0=’否’1=’是’ |
| 13. HSAREAMD | 居住面积≥70 $m^2$但<100 $m^2$ | 0=’否’1=’是’ |
| 14. KM_SHORT | 与电网的最近距离< 10 km | 0=’否’1=’是’ |
| 15. KM_MID | 与电网的最近距离≥10 km 但<60 km | 0=’否’1=’是’ |
| 16. NONAGLW | 年非农业收入< 1000 元 | 0=’否’1=’是’ |
| 17. NONAGMD | 年非农业收入≥1000 元但< 5000 元 | 0=’否’1=’是’ |
| 18. PAY1 | 现金购买可再生能源系统 | 0=’否’1=’是’ |
| 19. PAY2 | 贷款购买可再生能源系统 | 0=’否’1=’是’ |
| 20. TOTAEPLW | 家庭年花费< 6000 元 | 0=’否’1=’是’ |
| 21. TOTAEPMD | 家庭年花费≥6000 元但< 11000 元 | 0=’否’1=’是’ |
| 22. TOTAIMLW | 家庭年收入<10000 元 | 0=’否’1=’是’ |
| 23. TOTAIMMD | 家庭年收入≥10000 元但<15000 元 | 0=’否’1=’是’ |

### 6.2.2 建立模型

我们使用 SAS 进行对数回归分析。由于我们要评估 5 个不同因变量，所以需要建立五个单独的模型，其中这五个变量作为自变量，而 13 个变量为解释变量(13 对偶变量)。建模时采用两种方法：截距排除法和逐步回归法。

按照实际的对数回归的响应曲线，对所有的变量来说，成功的概率对所有可能的 X 值应该在 0 和 1 之间。所以，我们让 SAS 把那些模型中的拦截设定为零，因为截距非零会使响应曲线 Y 值所对应的 X 值不在 0 和 1 的区域内。

此外，其实有些变量在许多情况下不是真正地与其他变量是“独立”的关系。 他们有可能是相关的。如果这些相关程度适中或很高(如 0.5 或者更高)，那么对回归的结果影响很大。例如，变量 B 的系数告诉我们该变量对因变量 A 的贡献。如果变量 B 是回归模型中的唯一变量，那么没有问题存在。但是，如果另外还有一个自变量 C 加入到模型中，同时如果 B 和 C 高度相关，那么 B 对因变量 A 贡献就不是唯一了。为了避免这种问题，我们用逐步回归的方法找自变量，每次找一个自变量，放到模型中，直到所有的变量添加到模型中之后或者达到某一指定的准则。 这些准则通常是某一统计学的显著性，比如：如果把变量加到模型中，不再有回归变量会显著，或者添加下一个回归变量时所得到的$\gamma^2$太小了，都无法进行调整。

SAS 可以允许五种不同的逐步回归法，即：FORWARD，BACKWORD，STEPWISE，MAXR 和 MINR。我们使用 STEPWISE 方法，就是把最佳的一个回归变量放到模型中，然后添加下一个最佳的变量，依次类推。我们对加入到模型中的变量又作了依次检查，看看当新变量加入后，他们是否还显著。我们对数回归分析的结果见下文。

### 6.2.3 模拟结果

- 风力系统用户

预测某户家庭是否是一可能的小风力系统用户的结果见表 6-3。

因变量： WIND(可能为风力系统用户？ 0=″否”，1=″是″)
观察数目： 100

**表 6-3：最大似然法分析：风力系统用户**

| 变量 | 参数估计 | 标准差 | 概率 > | 让步比 |
|---|---|---|---|---|
| ELMTSCHL | 2.1533 | 0.7979 | 0.0070 | 8.613 |
| FUELEPMD | -2.1568 | 0.8405 | 0.0103 | 0.116 |
| HHSIZE | 2.6335 | 0.8627 | 0.0023 | 13.922 |
| NONAGLW | 2.2348 | 1.0627 | 0.0355 | 9.344 |
| NONAGMD | 1.8251 | 0.8716 | 0.0362 | 6.204 |

**预测概率和观测反应的相关性**

| | |
|---|---|
| Concordant = 88.4% | Somers' D = 0.801 |
| **Discordant = 8.2%** | **Gamma = 0.829** |
| Tied = 3.4% | c = 0.90 |

其中,

ELMTSCHL = 小学文化程度（0=’否’ 和 1=’是’）

FUELEPMD = 家庭年燃料花费中等(即：介于 600 和 1,000 元)
(0=’否’ 和 1=’是’)

HHSIZE = 家庭人口少于 5 人 (0=’否’ 和 1=’是’)

NONAGLW = 年非农业收入低 (小于 1000 元) (0=’否’ 和 1=’是’)

NONAGMD = 年非农业收入中等程度 (介于 1000 和 5000 元之间)
(0=’否’ 和 1=’是’)

该模型表明某一家庭成为小风机系统用户的可能性取决于用户的教育程度，家庭规模，年燃料花费和年非农业收入。ELEMSCHL，HHSIZE，NONAGLW 和 NONAGMD 的系数为正，表明某具有小学文化程度、同时家庭人口小于 5 人、非农业收入低（每年少

于 5000 元）的用户使用风力系统的可能性很大。而 FUELEPMD 的系数是负，则意味着当年燃料花费中等（在 600 和 1,000 元之间)的家庭比年燃料花费低(少于 600 元)的家庭使用风力系统的可能性要小。这可以解释为，低收入家庭更愿意购买小风力系统，而高收入家庭对能源需求大，更愿意购买大容量的系统。

让步比(通过计算系数的逆对数，我们得到让步比)可以解释为使用小风力系统的可能性比例。如果家庭人口少(少于 5 人)，用户有小学文化程度，家庭每年非农业收入低于 1000 元，或者中等程度非农业收入（1000 元到 5000 元之间)，使用小风力系统的可能性就会增加 12.9，7.6，8.3，5.2 倍。但是，与燃料花费低（小于 1000 元）相比，家庭年燃料花费中等水平（在 600 和 1000 元之间）的用户使用风力系统的让步比就降低了 88.4%(即，1-0.116=0.884)。

要提一下，“支付能力”变量在小风力系统中不是很显著。这可以解释为在购买风力系统时，给农户补贴的项目的存在（主要在内蒙古)。这些项目使得小风机系统在农牧户中大量推广，从而几乎没有答卷人认为他们买不起小风力系统。

- 光伏用户

预测某户家庭是否是一可能的光伏系统用户的结果见表 6-4。

因变量： PV（可能为光伏系统用户？ 0=″否”，1=″是″）
观察数目： 99（1 个缺失值）

表 6-4：最大似然法分析：光伏用户

| 变量 | 参数估计 | 标准差 | 概率 > | 让步比 |
|---|---|---|---|---|
| ABLEPAY | 3.0749 | 1.3532 | 0.0231 | 21.648 |
| FUELEPLW | 3.3767 | 1.0349 | 0.0011 | 29.274 |
| FUELEPMD | 3.5827 | 1.1516 | 0.0019 | 35.970 |
| HSAREASM | 6.1945 | 1.4451 | 0.0001 | 490.056 |
| HSAREAMD | 3.7987 | 1.0656 | 0.0004 | 44.645 |
| NONAGLW | -3.1685 | 1.0431 | 0.0024 | 0.042 |
| NONAGMD | -2.0700 | 0.8310 | 0.0127 | 0.126 |
| PAY1 | -3.8774 | 1.4180 | 0.0062 | 0.021 |

预测概率和观测反应的相关性

Concordant = 94.1% Somers' D = 0.896

**Discordant = 4.6%** **Gamma = 0.907**

Tied = 1.3%　　c = 0.948

其中，

ABLEPAY　=　购买可 3000 元或更贵的可再生能源系统的支付能力 (0=’否’ 和 1=’是’)

FUELEPLW　= 家庭年燃料花费低 (少于 600 元) (0=’否’ 和 1=’是’)

FUELEPMD　= 家庭年燃料花费中等程度 (介于 600 和 1,000 元之间) (0=’否’ 和 1=’是’)

HSAREALW = 居住面积少于 70 $m^2$ (0=’否’ 和 1=’是’)

HSAREAMD = 居住面积在 70-100 $m^2$ 之间(0=’否’ 和 1=’是’)

NONAGLW = 每年非农业收入低 (少于 1000 元) (0=’否’ 和 1=’是’)

NONAGMD = 每年非农业收入中等程度(介于 1000 和 5000 元之间) (0=’否’ 和 1=’是’)

PAY1 = 可以一次支付可再生能源系统 (0=’否’ 和 1=’是’)

结果显示某家庭成为光伏系统用户的可能性在于用户的财务能力，支付偏好，家庭居住面积，家庭年燃料花费以及每年非农业收入。回归结果表明如果某家庭能够支付 3000 元或更多，家庭居住面积较小（少于 100 $m^2$），则该家庭购买 PV 系统的可能性比较大；如果某家庭的燃料花费处于低或中等水平(每年少于 1000 元)—这也是表明在当前低燃料消费水平的情况下，该家庭可能愿意支付更多的能源消费，这样的家庭购买光伏系统的可能性也很大。但是，当家庭中每年的非农业收入少于 5000 元，和必须支付现金购买系统时，购买光伏系统的可能性就开始降低。这些结果也强调了光伏系统在新疆和青海受欢迎的原因是由于新疆和青海的收入低。如果要扩大市场，就必须能向低收入用户提供贷款服务。

- 风光互补系统用户

预测某户家庭是否为可能的风光互补系统用户的结果见表 6-5。

因变量： HYBRID（可能为风光互补系统用户？ 0=″否”，1=″是″）
观察数目： 99（1 个缺失值）

表 6-5：最大似然法分析：风光互补用户

| 变量 | 参数估计 | 标准差 | 概率 > | 让步比 |
|---|---|---|---|---|
| AGEGRP2 | 1.5979 | 0.6001 | 0.0078 | 4.942 |
| AGICMLW | -2.7232 | 0.8513 | 0.0014 | 0.066 |
| FUELEPLW | 4.0334 | 1.2384 | 0.0011 | 56.452 |
| FUELEPMD | 3.8271 | 1.1702 | 0.0011 | 45.931 |
| PAY1 | -2.8281 | 1.0824 | 0.0090 | 0.059 |

预测概率和观测反应的相关性

Concordant = 86.1% Somers' D = 0.735

**Discordant = 12.6% Gamma = 0.745**

Tied = 1.3% c = 0.867

其中,

AGEGRP2 = 用户年龄在 40 岁到 50 岁之间(0=’否’ 和 1=’是’)

AGICMLW = 每年农业收入少于 5,000 元 (0=’否’ 和 1=’是’)

FUELEPLW =每年燃料花费低 (小于 600 元) (0=’否’ 和 1=’是’)

FUELEPMD = 每年燃料花费程度中等(介于 600 和 1,000 元之间)

(0=’否’ 和 1=’是’)

PAY1 =可以一次支付可再生能源系统 (0=’否’ 和 1=’是’)

结果表明某家庭能够成为风光互补系统用户是取决于用户年龄，财务状况，家庭每年燃料花费和农业收入。回归结果说明当某家庭现在的燃料花费比较低或中等水平（每年少于 1000 元）— 这表明家庭当前的燃料支出，有可能会花更多的钱在能源消费上，这样的家庭使用风光互补系统可能性比较大。结果还说明，用户年龄在 40 岁到 50 岁之间，比其他年龄段用户更有可能成为风光互补系统使用者。当家庭不能得到贷款，每年农业收入低于 5000 元，成为风光互补系统的可能性就会降低。

总的来说，上述结果与只考虑风力系统或光伏系统的结果是一致的。成为风光互补系统用户的主要因素是年龄和收入： 年纪较大的用户，同时收入适中或者较高比较愿意购买风光互补系统。这也是因为年纪较大的家庭收入较高，同时他们也可能已经有使用过可再生能源系统的经验，能够也愿意使用操作相对比较复杂的风光互

补系统。

- 大系统用户

预测某户家庭是否为可能的大系统（100W 以上风机带/不带 50Wp PV）用户的结果见表 6-6。

因变量： LGSYS(可能为风光互补系统用户？ 0=″否”，1=″是″)
观察数目： 99（1 个缺失值）。

**表 6-6：最大似然法分析：大系统用户**

| 变量 | 参数估计 | 标准差 | 概率 > | 让步比 |
|---|---|---|---|---|
| AGICMMD | 1.6810 | 0.6705 | 0.0122 | 5.371 |
| FUELEPLW | 4.3054 | 1.2320 | 0.0005 | 74.098 |
| FUELEPMD | 4.6331 | 1.3723 | 0.0007 | 102.827 |
| HSAREASM | -3.8527 | 0.9319 | 0.0001 | 0.021 |
| HSAREAMD | -2.3240 | 0.8338 | 0.0053 | 0.098 |
| PAY1 | -2.4931 | 1.2278 | 0.0423 | 0.083 |
| PAY2 | 4.0212 | 1.5445 | 0.0092 | 55.766 |

预测概率和观测反应的相关性

Concordant = 92.5.1% Somers' D = 0.864

**Discordant = 6.2%** **Gamma = 0.875**

**Tied = 1.3%** **c = 0.93**

其中,

AGICMMD = 每年农业收入介于 5,000 和 10,000 元之间 (0=’否’ 和 1=’是’)

FUELEPLW = 年燃料花费低 (小于 600 元) (0=’否’ 和 1=’是’)

FUELEPMD = 年燃料花费中等(介于 600 和 1,000 元之间) (0=’否’ 和 1=’是’)

HSAREALW = 居住面积小于 70 $m^2$ (0=’否’ 和 1=’是’)

HSAREAMD = 居住面积在 70 和 100 $m^2$ 之间(0=’否’ 和 1=’是’)

PAY1 =可以一次支付可再生能源系统 (0=’否’ 和 1=’是’)

PAY2 =需要贷款购买可再生能源系统 (0=’否’ 和 1=’是’)

这里的结果表示某家庭购买大风力或光伏系统的可能性由家庭财务能力，家庭人

口数，年燃料花费和家庭的农业收入所决定。回归结果显示，如果某家庭每年农业收入大于 5000 元，购买大系统可以得到贷款，那么该家庭就非常有可能购买大系统。如果某家庭的年燃料花费较低或适中（每年小于 1000 元），那么该家庭购买大系统的可能性会比较大。但是，如果某家庭的住宅面积较小（少于 100 $m^2$），则会降低该家庭购买大系统的可能性。

这些结果又与其它系统分类的结果保持一致。大系统用户比较倾向于有较高收入，较大居住面积和燃料费用适中。但是这些家庭仍然需要贷款援助来购买大的风力或者 PV 系统。

- 利用贷款支付大系统的意愿

如果某家庭愿意使用贷款支付 3,000 元或者更多的钱来购买大于 100W 的风力系统带或不带 50Wp 光伏系统，预测这样的意愿，结果与我们在分析其他系统购买意愿时所得到的结果是一致的，见表 6-7。

因变量： WTPLGELN(愿意找贷款来购买 3,000 元以上的大系统贷款报酬支持？
0=’否’ 和 1=’是’)
观察数目： 99(1 个缺失值)

**表 6-7：最大似然法分析：愿意得到贷款，用贷款购买大系统**

| 变量 | 参数估计 | 标准差 | 概率 > | 让步比 |
|---|---|---|---|---|
| ABLEPAY | -6.0158 | 1.5109 | 0.0001 | 0.002 |
| AGICMLW | 3.0006 | 0.8524 | 0.0004 | 20.098 |
| FUELEPLW | -3.5589 | 0.9289 | 0.0001 | 0.028 |
| FUELEPMD | -2.6489 | 0.7854 | 0.0007 | 0.071 |
| HHSIZE | 1.8586 | 0.7461 | 0.0127 | 6.415 |
| TOTAEPLW | 3.1503 | 1.0384 | 0.0024 | 23.343 |

**预测概率和观测反应的相关性**

Concordant = 94.3% Somers' D = 0.904

**Discordant = 4.0% Gamma = 0.919**

Tied = 1.7% c = 0.952

其中,

ABLEPAY = 能够支付得起 3000 元或更多的钱来购买可再生能源系统
(0=’否’ 和 1=’是’)

AGICMLW = 每年农业收入低于 5,000 元(0=’否’ 和 1=’是’)

FUELEPLW = 家庭年燃料花费较低 (小于 600 元) (0=’否’ 和 1=’是’)

FUELEPMD = 家庭年燃料花费中等程度 (介于 600 和 1,000 元之间)

(0=’否’ 和 1=’是’)

HHSIZE =家庭人口数小于 5 (0=’否’ 和 1=’是’)

TOTAEPLW = 家庭年支出较少(少于 6,000 元) (0=’否’ 和 1=’是’)

上面的结果说明，关于某家庭是否愿意获得 3,000 元以上贷款来购买一大系统是家庭的财务能力，家庭年总支出，年燃料花费，每年的农业收入和家庭人口数所共同决定。回归结果揭示了，如果某家庭每年的农业收入和它每年的总支出较少，分别少于 5000 元和 6000 元，那么该家庭愿意使用 3,000 元或者更多的贷款来购买一套大的可再生能源系统(即，大于 100W 风力系统带或不带 50Wp PV)。再进一步，当某家庭人口数比较少时（少于 5 人），那么该家庭更可能愿意使用贷款购买系统。人口数少说明由于人口少，该家庭收入来源少。但是，如果某家庭有能力用现金来购买系统，那么该家庭愿意使用贷款来购买系统的可能性就降低了。如果某家庭每年的燃料花费比较小少于 1,000 元，那么该家庭也不太可能用贷款购买系统，因为该家庭可以家庭收入中分配部分钱用于能源消费。ABLEPAY 变量，其系数值为负，表示高收入家庭将宁愿用现金购买系统，而不用贷款。

## 6.3 对数回归分析的结果

我们对数回归分析的结果建议，三大因素—家庭财务状况（年收入/年支出），家庭人口数目和居住面积—是决定某家庭是否愿意购买可再生能源系统的关键因子。

对于那些年收入在平均值之上的家庭(西部地区标准)是有能力支付得起 3000 元或更多来购买一可再生能源系统，而且愿意以现金支付。但是，当能得到贷款时，购买更贵的风光互补系统的愿望就开始加强。缺少贷款帮助时，这样的家庭不太愿意购买大于 100W 的风力系统外带或不带 50Wp 光伏系统。当燃料花费不高(每年 1000 元以下）的家庭，对风光互补系统（大于 100W 的风机外带或不带 50Wp 光伏的系统）感兴趣的可能性会加大。

中等收入（小于 5000 元/年）和年支出低的家庭，如果是在内蒙古，这样的家庭会更可能购买风力系统，如果是在新疆和青海地区，那么这样的家庭会更可能购买小光伏系统（小于 50 Wp 的系统)。另外，这些家庭也愿意使用贷款来购买可再生能源系统，尤其是大于 100W 的风力外带或不带 50W 光伏的系统。

有中等居住面积的家庭（少于 100 $m^2$）更可能购买小光伏系统。另外，人口小于 5 口的家，在没有贷款帮助的情况下，不太可能购买大于 100W 的风力系统或者大于 50Wp

的光伏系统。

## 6.4 模型的统计鲁棒性

最后，我们模型统计质量可以通过 Somers‘D，Gamma，Tau-b 和 c 以及与 logit 回归相关的衡量值来评估。所有的统计值是对预测概率和观测反应的相关性的衡量。这些值的大小表明了相关性的高低。每一个统计量的值应该落在-1 和 1 之间(负/正的关系)。绝对值越大，关系越紧密。在我们的对数回归模型中，所有的值都趋近于 1，表示预测概率和观测反应之间有很紧密的联系。

## 6.5 西部地区潜在的可再生能源市场大小预测

对数回归模型(LRM)可以用来识别出影响农村家庭使用可再生能源系统的意愿的因素。在 LRM 模型帮助下，我们能够确定精确提供对家庭使用可再生能源技术意愿的解释变量。这些变量现在是用来预测西部地区潜在的可再生能源市场大小。为了按省区来预测可再生能源市场的大小，我们把省级社会经济的统计信息与我们 LRM 的参数结合起来。

CEEP 估算可再生能源市场的潜在大小的方法如下。按照上面所使用的 LRM，把家庭年收入作为一个重要的预测因子来考虑，我们可以推出年收入等于或大于 3000 元的家庭比年收入小于 3000 元的家庭更有可能购买光伏系统（“是”的让步比为 2，使用 PV 系统的概率是 0.66）。

如果我们仔细考察某个省区的家庭收入分布情况，就可以估算出可能的光伏系统用户的数量。比如，如果某省 70%的农村无电家庭年收入等于或高于 3000 元，我们可以作出结论认定大约 46%的农村无电家庭有望成为光伏系统用户(即，0.66 × 70%=46.2%)。通过所获得的县和省级社会经济数据，结合 LRM 的结果，我们就可以进行西部地区潜在的可再生能源市场大小的预测了。

## 6.6 内蒙古、青海和新疆农村未来的可再生能源系统潜力

在由可再生能源发展中心（CRED）所提供的社会经济数据的基础上，结合上述对数回归模型，CEEP 将内蒙古，青海和新疆可再生能源系统的市场潜力估算如下：

表 6-8 :西部市场潜力分析：拥有或购买可再生能源系统的意愿

| | 拥有意愿 | | | | 购买可再生能源系统的意愿 |
|---|---|---|---|---|---|
| | 光伏 | 风力 | 互补系统 | 大系统 | |
| 内蒙古 | 93.00% | 95.41% | 64.71% | 57.57% | 60.39% |
| 新疆 | 91.18% | 78.92% | 73.38% | 66.18% | 51.11% |
| 青海 | 95.19% | 92.82% | 70.26% | 63.54% | 61.55% |

- 光伏系统的潜力：我们的分析显示，在内蒙古，大约 93%的农村非联网家庭会有兴趣拥有一套 PV 系统，在新疆和青海分别是 92%和 95%；
- 风力系统的潜力：在内蒙古愿意拥有一套风力系统的比例是最高的。在内蒙古，大约 95%的农村无电户对拥有一套风力系统有兴趣，而新疆和青海分别是 79%和 93%；
- 互补系统的潜力：在三省区中，对拥有互补系统的意愿比单独的光伏系统或风力系统要来得低。我们的研究显示，在内蒙古，新疆和青海分别有 65%，73%和 70%的农户对购买互补系统表示感兴趣；
- 大互补系统的潜力：在内蒙古，大约 58%的农户有兴趣拥有一套大的互补系统，而在新疆和青海，拥有大系统的意愿分别是 62%和 64%；
- 支付的意愿：当西部农村家庭表现出对可再生能源系统（不论是光伏系统，风力系统或者风光互补系统）的极大偏好，愿意购买系统的家庭比例还是比愿意拥有系统家庭比例要小。这一事实是因为，尽管西部地区可再生能源技术的市场很大，但该市场仍然处于早期开发阶段，农户按现在的市场价格去购买的能力还是有限。显然，可再生能源产业，如果想不断增长，那么就需要利用各种市场手段来克服一系列的市场障碍。这样就能加速西部可再生能源市场的扩大。

按照上面的估算，同时结合表 2-1 中三省区中对农村无电户的统计数据，我们可以用下面的计算方法来估算各省区可再生能源市场的大小

市场大小=各省区农村无电户数×愿意拥有系统的比例×愿意购买系统的比例

在内蒙古，新疆和青海，单独的光伏系统，风力系统，风光互补系统以及大系统的市场大小如表 6-9 所列。在计算市场潜力时，CEEP 假定 PV 系统平均容量大小是 50 Wp，风力系统为 100 W。

表 6-9:内蒙古，新疆和青海可再生能源系统的市场大小

| | 总销售套数 | | | | 总销售容量 (MW) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 光伏 | 风力 | 互补系统 | 大系统 | 光伏 | 风力 |
| 内蒙古 | 195,793 | 200,867 | 136,234 | 121,202 | 9.79 | 20.09 |
| 新疆 | 189,990 | 164,444 | 152,900 | 137,898 | 9.50 | 16.44 |
| 青海 | 58,698 | 57,237 | 43,325 | 39,182 | 2.93 | 5.72 |

最近的世界银行的报告--西北农村地区可再生能源市场评估—(Tuntivate Voravate 等,1999)对中国西北地区的光伏系统市场做了分析预测，结果如表 6-10 所示。

表 6-10:世行对内蒙古，新疆和青海光伏系统市场大小预测

| | 总的光伏系统可售套数 | |
|---|---|---|
| | 小系统 | 大系统 |
| 内蒙古 | 180,186 | 133,348 |
| 新疆 | 196,991 | 84,421 |
| 青海 | 60,026 | 23,226 |

**资料来源**: 西北农村地区可再生能源市场评估,1999

把 CEEP 的预测和世界银行的结果相比，很容易发现，两家对光伏系统的市场预测(小的和大的系统)是很接近的。这也从某种程度上说明了两家研究机构对该市场大小评价的正确性。

## 6.7 结论

本章估算了西部地区潜在的可再生能源系统市场的大小。该地区许多家庭有兴趣拥有可再生能源系统，同时许多愿意按当前的市场价格来购买可再生能源系统—事实上，我们认为大约有 850,000 多农户愿意购买。他们的购买意愿取决于家庭年收入，用户年龄和其他因素。从表 6-8 和 6-9，明显可以看出可再生能源系统在西部地区发展潜力巨大。近期，我们认为大约 22 MW 的光伏系统和 42MW 的风力系统可以在三省区中销售，主要用于农村无电家庭。在下一章中，我们要讨论加速西部地区可再生能源系统商业化的政策选择。

# 7.加速西部地区可再生能源商业化的政策选择

当分析表明经济可靠的可再生能源系统能解决西部地区农村电力需求问题，但是还有许多阻碍这些分散式技术商业化障碍。主要的障碍比如初期投资成本太高，缺少贷款服务会严重阻碍可再生能源系统在西部市场潜力的全部实现。要克服障碍，充分把握我们分析所提到的市场机会，就需要针对农村可再生能源系统的政策和机制。我们所建议的政策希望能够有助于非联网可再生能源市场的开拓。这些政策建议有：(1)建立机构框架；(2)增强融资服务；(3)建立可再生能源市场；(4)改进针对可再生能源技术使用所提供的服务和培训；(5)国际合作。

## 7.1 建立机构框架

中国需要建立一套有效的机构框架以促进可再生能源的应用，尤其在常规电网无法覆盖的农村地区。可再生能源的选择应该与政府的农村工作计划结合在一起。农村电气化规划一定要把可再生能源技术，特别是分散式技术，作为给农村居民解决供电的技术清单中一个重要组成部分。中国处在为 21 世纪建设经济基础设施的过程中，同时也对可再生能源的利用制定了远大目标，希望通过可再生能源，在实现经济发展目标的同时，帮助实现社会和环境的目标的实现。此外，那些有关发展农村可再生能源技术的政府目标能激励分散式系统在期望能够在不久能够通电，从而不愿意购买可再生能源系统的农村地区中使用。

为了加强政府部门在农村可再生能源发展中的协调合作，现有组织体系的改革能够对中国可再生能源发展会有积极的影响。我们建议：(1)设置一协调单位，比如叫国家可再生能源发展委员会；(2)把可再生能源发展中心的智能扩展，加强与本地对口单位的合作，共同管理当地的可再生能源服务单位。

另外，省级政府部门也要努力建立更加完善，又能适合可再生能源发展的基础设施，包括：(1)制订和采用专门支持可再生能源发展具体措施；(2)建立可持续发展训练中心，把可持续发展的理论转化为实践；(3)增强省级单位和地方单位之间，省级部门和企业之间的合作，以有利于可再生能源发展；(4)加强可再生能源的宣传和教育，普及可再生能源技术。

## 7.2 推动对可再生能源市场投资

中国政府应该考虑采用一些针对可再生能源的优惠政策来吸引对可再生能源技术的投资。按比例向生产厂家和开发商返还投资税，向个人用户提供优惠等措施能尽快打开可再生能源市场。国外一些比较成功的激励手段有：

- 对第一次购买可再生能源的用户，系统可以抵税；
- 对购买与可再生能源开发有关的基金，免除利息税；
- 对于利用贷款购买可再生能源系统，按揭利息可以减税。

根据可再生能源的社会和环境效益，适当调整可再生能源企业和用户的减税比例。诸如此类的激励政策可以有利于可再生能源技术早日使用。

除了这些经济激励政策，中国政府也可以筛选和制订市场策略，帮助可再生能源技术市场实现繁荣。首先，建立可再生能源企业群（REEZs）是一个很好的途径。可再生能源企业区可以促进对可再生产业基础设施的投入，降低可再生能源的生产成本。其次，省级和地方政府应该制定加强使用可再生能源具体目标。这样，可再生能源企业就会相应地确定最低成本的技术，加快特定技术的开发来满足市场需求。第三，寻找可再生能源的对应市场。找出市场后，政府和电力部门帮助开拓这一市场。第四，通过政府补贴项目，以及在用于商业化开发的政府拨款竞标，改善和增强政府部门，可再生能源生产企业和可再生能源服务单位之间的合作伙伴关系。最后，在政策制定的过程中，政府部门，企业，社区和研究机构需要一起合作，确定当地的可再生能源发展潜力和机会，通过政策和机制的改革鼓励可再生能源的发展。

## 7.3 增强融资

为了培育自我扶持的西部农村可再生能源市场，需要强力的融资服务。西部可再生能源的商业化要求建立适合农村的能源市场。为了培育这样的市场，就必须增加对可再生能源发展的投资。融资渠道有通过发行可再生能源发展基金，建立绿色电力投资基金，和征收化石燃料生产和消费税。

设立农村可再生能源滚动基金(RERF)作为向农村可再生能源发展提供资金的融资手段，这一做法值得考虑。农村家庭一般都缺乏得到商业融资的途径，滚动基金则可以很好地解决这个问题，把公共种子资金作为投资的启动资金。家庭把贷款返还后，就能随着时间扩大基金。通过扩大购买可再生能源系统的家庭和乡村的数量，这样的基金能极大地帮助开拓市场。

农村的融资计划应该包括由政府向低收入家庭提供低息贷款。如果低收入家庭能够在初期付很少的钱，当他们的生意好一点以后，逐渐多付一些（或者他们可以在头几年，借款利息低，后几年借款利息高）。通过这样的措施，可以帮助实现农村经济发展和电气化的双重目标。进而，为了向用户提供更多的选择，政府也应该探索其它有效的融资手段，比如厂家融资，销售部门融资，合作融资，还有租借和租-购协议。

## 7.4 利用可再生能源技术，改善技术服务和训练

可再生能源的商业化成功与否取决于社会对技术的可接受性。因此，非常有必要改进可再生能源的服务和维修协议。农村用户应该在当地就能得到完善的维修和维护服务。同时，也要向用户提供基本操作技能培训，如电器连接和电池的正确使用方法，还包括一些日常的维护技巧，例如如何向电池加水，怎样清洁 PV 面板或者风机叶轮。用户培训还应该包括负荷控制技巧，帮助用户有效管理每天的用能，减少对可再生能源系统大容量储能设备的需求。加强对用户培训，能够与改进系统设计，提高可再生能源系统质量，扩大系统服务范围一起提高用户的满意程度。反过来，能加大市场份额，扩大可再生能源系统在农村的使用。

## 7.5 国际合作

中国需要在能源规划，制度改革，市场转换和政策干预等方面，从多边发展组织，双边援助和开发机构寻求能力建设和支持。中国也应该采取行动，明确定义与其他国家的机制合作基础，从而帮助进行可再生能源技术转让。另外，通过在全球范围内，交换与可再生能源相关的能源和环境信息，开发更大的可再生能源市场。

## 7.6 总结

农村电气化是也将是西部农村发展重要组成部分。可再生能源技术，诸如 PV，风力和风光互补系统，是满足西部农村家庭的经济实用，同时又能保护环境的具有可持续性的技术选择。采取有效的政策 — 建立机构框架，支持可再生能源发展；建立高效的融资体系，为可再生能源发展提供资金；采用激励机制，加速可再生能源发展；实行市场转换策略，鼓励可再生能源发展；加强国际合作，促进可再生能源技术发展 — 会成为可再生能源技术与化石燃料等传统技术竞争“杠干”。

毋庸置疑，西部地区面临着巨大的挑战。如果把可持续发展的理论应用到经济，能源和环境的政策，如果国际的支持能够符合西部需要，那么这些挑战就可以克服。中国政府和国际社会应该共同创新，制定新政策来实现西部大开发框架下的可持续发展。

# 参考文献


Byrne, John, Bo Shen and William Wallace. 1998. *"The Economics of Sustainable Energy for Rural Development: A Study of Renewable Energy in Rural China."* Energy Policy, Vol. 26 (1), pp.45-54.

Byrne, John, Bo Shen and Xiuguo Li. 1994. *"Energy Efficiency and Renewable Energy Options for China's Economic Expansion."* Proceedings of the 1994 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, Volume 4, pp. 25-36. Washington, DC: American Council for an Energy-Efficient Economy.

Byrne, John, Bo Shen and Xiuguo Li. 1996. *"The Challenge of Sustainability - Balancing China's Energy, Economic and Environmental Goals."* Energy Policy, Vol. 24 (5), pp. 455-462.

Byrne, John, Young-Doo Wang, Bo Shen and Xiuguo Li. 1994. *"Sustainable Urban Development Strategies for China,"* Environment and Urbanization, Vol.6 (1), pp. 174-187.

Byrne, John, Young-Doo Wang, Bo Shen, Chongfang Wang, Craig Kuennen and Xiuguo Li. 1993. *"Urban Sustainability During Industrialization: The Case of China."* Bulletin of Science, Technology & Society, Volume 13 (6), pp. 324-331.

国务院扶贫办公室，世界银行，UNDP, 1999, 中国农村地区扶贫调查报告，WWW.CNSP.ORG.CN/ZTBD/FPZLYT。

中国 21 世纪议程—21 世纪中国人口，环境和发展白皮书，北京：中国环境科学出版社，1994。

1996 年中国电力年鉴，中国电力年鉴编辑委员会，北京：中国统计出版社。

1997 年内蒙古统计年鉴， 北京：中国统计出版社。

1999 年内蒙古统计年鉴， 北京：中国统计出版社。

1997 年中国统计年鉴，北京：中国统计出版社。

中国农业部，西部地区风力和太阳资源统计资料，1997。

西北可再生能源调查报告，1999， 北京：国家计委能源所可再生能源发展中心。

Shen, Bo. (1998). *Sustainable energy for the rural developing world: The potential for renewable energy to assist developing countries in pursuing sustainable rural development. Ph.D. Dissertation.* University of Delaware.

童建栋（1998）。中国小水电，中国,杭州:国际小水电杂志社。

阎长乐（1996）。中国能源发展报告。中国，北京：经济管理出版社。

朱瑞兆（1988）。中国太阳能和风能资源及其利用。中国，北京：气象出版社。

附录 A: 运行 RREAD 所需数据

资源和气象数据

| 变量 | 描述 |
| --- | --- |
| 平均水平面太阳小时辐射量 (kWh/m$^2$) | 某一地区的太阳能平均水平辐射量以一整年的小时数（8,760 小时）为基础进行衡量。如果一整年的数据没有，RREAD 要求使用每个月的典型日 24 小时的数据(288 个数据)。 |
| 小时风速 (m/s) | 特定地点的风速测量是用风速测量仪在某一高度每小时测一次。建议用多年的数据算出整年的风速分布 (8,760 个数据). |
| 月平均风速(m/s) | 特定地点每个月风速从 0 到 30 m/s 的小时数（12 种情况）。如有必要，这一数据信息可以与小时风速一起，但是从不同的角度描绘该地点 8760 个小时的风速情况 。 |
| 小时环境平均温度 (°C) | 某指定地点的环境平均温度是对一年 8760 个小时的测量。如果没有一年 8,760 小时的数据，RREAD 要求使用每个月的典型日 24 小时的数据 (288 个数据)。 |

负荷数据

| 变量 | 描述 |
| --- | --- |
| 电器种类 | 家用电器种类有：紧凑型荧光灯（CFL），荧光灯，白炽灯，半导体收音机，录音机，电视机，录象机，电热器，电熨斗，电扇，电饭煲，洗衣机，电冰箱，空调，电泵等 |
| 每类电器数量 | 各种电器的数目 |
| 电器额定功率 (W) | 电器的额定功率 |
| 日使用小时 (小时) | 每个电器按月每天使用时间(12 条数据). |

系统配置数据

| 变量 | 描述 |
|---|---|
| ***光伏系统*** | |
| 纬度(度) | 系统运行地点的纬度 |
| 光伏面板角度 (度) | 光伏面板与水平面之间的倾斜角度 |
| 光伏面板面积($m^2$) | 光伏面板的表面积 |
| 光伏电池转换效率 (%) | 在 PTC 标准条件下，光伏面板把太阳能转化为直流电的系数 |
| 光伏面板寿命(年) | 光伏面板的期望使用寿命 |
| ***风力系统*** | |
| 塔架高度 (m) | 风轮轴心到塔基的距离 |
| 风轮直径 (m) | 风轮直径 |
| 风力机出力曲线(kW) | 风力机在不同的风速条件下有不同的发电能力（把风机附带能量损耗考虑在内） |
| 风力机寿命(年) | 风力机的期望使用寿命 |

系统配置数据(续)

| 变量 | 描述 |
|---|---|
| ***系统平衡组件*** | |
| 蓄电池组容量(Ah) | 蓄电池的储存能力 |
| 蓄电池平均放电深度<br>(额定容量的百分比) | 蓄电池每天允许释放的电量占最大容量的比例 |
| 蓄电池一个充放周期的能量损失 (%) | 蓄电池充放电过程中能量损失比例 |
| 蓄电池寿命 (年) | 蓄电池的期望使用寿命 |
| 充放控制器规格 (W) | 用于防止蓄电池过放的充放控制器规格 |
| 充放控制器寿命 (年) | 充放控制器的期望使用寿命 |
| 直流/交流逆变器规格(W) | 把直流电转换为交流电的逆变器规格 |
| 逆变器寿命 (年) | 逆变器的期望使用寿命 |
| 逆变器能耗 (%) | 直流转化为交流过程中的能量损失 |
| ***内燃式发电机*** | |
| 发电机额定功率 (W) | 发电机的名义输出功率 |
| 日运行小时数 (小时) | 发电机每天工作时间 |
| 发电机马达更换周期 (小时) | 发电机的常规更换安排 |
| 发电机大修周期 (小时) | 发电机的常规大修安排 |
| 燃料消耗率 (升/小时) | 发电机的燃料消耗率 |
| 润滑油消耗率(升/小时) | 发电机的润滑油消耗率 |

成本数据

| 变量 | 描述 |
| --- | --- |
| 光伏系统成本（$） | 光伏面板的初始成本加上运费，安装费及保修费 |
| 风力系统成本（$） | 风力发电机的初始成本加上运费，安装费和保修费 |
| 内燃式发电机成本($) | 发电机费用，加上运费，安装费和保修费 |
| 光伏电池板更换成本($) | 整个寿命评价周期更换光伏面板的成本 |
| 风力发电机更换成本($) | 整个寿命评价周期更换风力机的成本 |
| 内燃式发电机大修费用($) | 每次大修时的维修费用 |
| 内燃式发电机的更换费用($) | 整个寿命评价周期更换发电机的费用 |
| 光伏面板残值($) | 在寿命评价周期之后光伏面板剩下的价值 |
| 风机残值($) | 在寿命评价周期之后风机剩下的价值 |
| 内燃式发电机残值($) | 在寿命评价周期之后发电机剩下的价值 |
| 年运行和维修费（O&M）（$） | 每年清理光伏面板表面的灰尘，小修，风机维护，润滑，内燃式发电机的维修，电路和平衡系统定期检修等 |
| 燃料费用（$/升） | 当地燃料单价 |
| 润滑费用（$/升） | 当地润滑油单价 |
| 燃料运费（$/升） | 把燃料从市场运到发电地点的单位成本 |
| 润滑油运费（$升） | 把润滑油从市场运到发电地点的单位成本 |
| 蓄电池成本（$） | 蓄电池的零售价格，最好有当地的价格表 |
| 控制器成本（$） | 控制器的当地零售价格，最好有当地的价格表 |
| 逆变器成本（$） | 逆变器的当地零售价格，最好有当地的价格表 |

财务数据

| 变量 | 描述 |
| --- | --- |
| 贴现率（%） | 把将来某一时间的资金金额换算成现在时间的等值金额所使用的利率 |
| 评估周期（年） | 用于年数 |
| 汇率 | 外汇与本国货币间的转换率 |
| 进口关税（%） | 对于进口部件征收的税赋 |

政策数据

| 变量 | 描述 |
| --- | --- |
| 补贴（$） | 由政府向生产厂家或用户直接支付的钱 |
| 折扣（$） | 由厂家向用户退返的金额 |
| 化石燃料税（$/升） | 政府对使用化石燃料所征收的能源税 |
| 土地使用费($) | 当地政府对使用当地的土地所征收的使用费 |

附录 B：西部地区农村能源使用家庭调查表

## 家庭情况

***第一部分 答卷人地址***

家庭编号：　　邮编：

省份：　　农业部调查员姓名：

县/市：　　调查日期：

村/镇：

***第二部分 家庭一般情况***

1.1 答卷人姓名：

1.2 答卷人性别：

1.3 答卷人年龄：

1.4 答卷人文化程度：

［1］文盲
［2］小学
［3］初中
［4］高中
［5］职高
［6］大学以上

1.5 答卷人职业：

［1］工人
［2］农民
［3］教师
［4］商人
［5］管理人员
［6］其他(请说明)

**如果答卷人不是户主，请填写这一部分。**

1.6 户主姓名：

1.7 户主性别：

1.8 户主年龄：

1.9 户主文化程度：

［1］文盲
［2］小学
［3］初中
［4］高中
［5］职高
［6］大学以上

1.10 户主职业：

［1］工人
［2］农民
［3］教师
［4］商人
［5］管理人员
［6］其他(请说明)

1.11 答卷人与户主的关系：

［1］户主自己
［2］户主配偶
［3］户主女儿
［4］户主儿子
［5］户主儿媳

[6] 户主女婿
[7] 其他 (请说明)

1.12 家里有几口人
(按年龄大小填写)
0 - 6 岁: 人
7 - 17 岁: 人
18 - 60 岁: 人
61 岁以上 人
总计: 人

1.13 家庭年收入和来源
农业: 元
非农业: 元
合计: 元

1.14 家庭年支出:
1.14.1 农业支出: 元
1.14.2 非农业支出 (合计): 元
[1] 食品: 元
[2] 电器: 元
[3] 运输设备和维护: 元
[4] 水: 元
[5] 电: 元
[6] 燃料: 元
[7] 教育和娱乐: 元
[8] 其他(请说明): 元
1.14.3 年总支出: 元

1.15 房子面积: $m^2$

1.16 如何供热?
[1] 没有供热系统
[2] 独立的蒸汽供热
[3] 小型区域供热
[4] 电热炉
[5] 使用煤炭，木炭或薪柴
[6] 其他(请说明):

1.17 你家使用什么燃料做饭?
[1] 煤炭和/或木炭
[2] 秸杆和/或牛粪

[3] 电
[4] 气
[5] 其他(请说明):

1.18 你家有没有空调?(有或没有)

1.19.1 以前你家用什么照明?
1.19.2 现在你家用什么照明?
[1] 电
[2] 煤油
[3] 干电池
[4] 蜡烛
[5] 其他(请说明):

## 家庭电和燃料使用情况

**第一部分：概况**

2.1 你用电吗？ (是或否)？

2.2 电的来源？？
[1] 网
[2] 自己发电

2.2.1 如果你自家发电，用什么样的发电机?
[1] 柴油/汽油发电机
[2] 风力发电机
[3] 光伏系统
[4] 风光互补
[5] 其他(请说明)：

2.3 你家在近几年有没有可能通过电网通电(是或否)？

2.4 联网通电，你要花多少钱? 元
*[如果不知道，请农业部调查员填写这一信息]*

2.5 你家离最近的电网的距离? 公里
*[如果不知道，请农业部调查员填写这一信息]*

2.6 每月电和燃料使用情况

| 种类 | 每月数量 | 每月费用 |
|---|---|---|
| 电 | KWh | 元 |
| 煤 | 公斤 | 元 |
| 薪柴 | 公斤 | 元 |
| 木炭 | 公斤 | 元 |
| 煤油 | 升 | 元 |
| 柴油 | 升 | 元 |
| 汽油 | 升 | 元 |
| 液化石油气/天然气 | 升 | 元 |
| 秸杆/牛粪 | 公斤 | 元 |
| 木屑 | 公斤 | 元 |
| 稻壳 | 公斤 | 元 |

| | | |
|---|---|---|
| 其他（燃料名:　　） | 单位(　　) | 元 |
| 其他（燃料名:　　） | 单位(　　) | 元 |

*第二部分：按设备功能分类的能源使用情况*

2.7 食品处理设备

| 设备种类 | 生产厂家 | 功率或规格 | 品牌年份 | 燃料种类 | 每天运行时间 |
|---|---|---|---|---|---|
| 炉子 1 | | | | | |
| 炉子 2 | | | | | |
| 加热器 1 | | | | | |
| 加热器 2 | | | | | |
| 电水壶 1 | | | | | |
| 电水壶 2 | | | | | |
| 饭锅 1 | | | | | |
| 饭锅 2 | | | | | |
| 灶 1 | | | | | |
| 灶 2 | | | | | |
| 其他(名字:　　) | | | | | |
| 其他(名字:　　) | | | | | |

2.8 照明

| 种类 | 生产厂家 | 功率或规格 | 品牌年份 | 燃料种类 | 每天运行时间 |
|---|---|---|---|---|---|
| 荧光灯 1 | | | | | |
| 荧光灯 2 | | | | | |
| 荧光灯 3 | | | | | |
| 荧光灯 4 | | | | | |
| 白炽灯 1 | | | | | |
| 白炽灯 2 | | | | | |
| 白炽灯 3 | | | | | |
| 白炽灯 4 | | | | | |
| 紧凑型荧光灯 1 | | | | | |
| 紧凑型荧光灯 2 | | | | | |
| 紧凑型荧光灯 3 | | | | | |
| 紧凑型荧光灯 4 | | | | | |
| 煤油灯 1 | | | | | |
| 煤油灯 2 | | | | | |
| 煤油灯 3 | | | | | |
| 煤油灯 4 | | | | | |
| 应急灯 1 | | | | | |
| 应急灯 2 | | | | | |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 蜡烛 | | | | | |
| 其他(名字:　　) | | | | | |
| 其他(名字:　　) | | | | | |

2.9 冰箱和制冷设备

| 种类 | 生产厂家 | 功率或规格 | 品牌年份 | 燃料种类 | 每天运行时间 |
|---|---|---|---|---|---|
| 冰箱 1 | | | | | |
| 冰箱 2 | | | | | |
| 冷柜 1 | | | | | |
| 冷柜 2 | | | | | |
| 空调 1 | | | | | |
| 空调 2 | | | | | |
| 电扇 1 | | | | | |
| 电扇 2 | | | | | |
| 其他(名字:　　) | | | | | |
| 其他(名字:　　) | | | | | |

2.10 家用电器

| 种类 | 生产厂家 | 功率或规格 | 品牌年份 | 燃料种类 | 每天运行时间 |
|---|---|---|---|---|---|
| 收音机 1 | | | | | |
| 收音机 2 | | | | | |
| 收录机 1 | | | | | |
| 收录机 2 | | | | | |
| 黑白电视机 1 | | | | | |
| 黑白电视机 2 | | | | | |
| 彩色电视机 1 | | | | | |
| 彩色电视机 2 | | | | | |
| 录象机 1 | | | | | |
| 录象机 2 | | | | | |
| 计算机 1 | | | | | |
| 计算机 2 | | | | | |
| 传真机 1 | | | | | |
| 传真机 2 | | | | | |
| 熨斗 1 | | | | | |
| 熨斗 2 | | | | | |
| 洗衣机 1 | | | | | |
| 洗衣机 2 | | | | | |
| 洗碗机 1 | | | | | |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 洗碗机 2 | | | | | |
| 水泵 1 | | | | | |
| 水泵 2 | | | | | |
| 吹风机 1 | | | | | |
| 吹风机 2 | | | | | |
| 电剪子 | | | | | |
| 其他(名字: ) | | | | | |
| 其他(名字: ) | | | | | |

2.11 其他

| 种类 | 生产厂家 | 功率或规格 | 品牌年份 | 燃料种类 | 每天运行时间 |
|---|---|---|---|---|---|
| 汽车 | | | | | |
| 卡车 | | | | | |
| 摩托车 | | | | | |
| 拖拉机 1 | | | | | |
| 拖拉机 2 | | | | | |
| 碾磨机 1 | | | | | |
| 碾磨机 2 | | | | | |
| 其他(名字: ) | | | | | |
| 其他(名字: ) | | | | | |

***第三部分：未来能源符合增长***

2.12 你是否计划在近几年购买新电器 (是或否)?

2.12a 如果是，请给出所需电器的种类和规格

| 电器种类 | 电器规格 |
|---|---|
| | W |
| | W |
| | W |
| | W |
| | W |
| | W |
| | W |

2.13 在今后 5 年你每个月大概要用多少电?

年 每月用电

1 kWh

| | |
|---|---|
| 2 | kWh |
| 3 | kWh |
| 4 | kWh |
| 5 | kWh |

## 户用能源系统情况

### *第一部分 柴油/汽油发电机*

3.1 如果你家使用柴油/汽油发电机，请回答以下问题。

[1] 燃料种类 (柴油或汽油):
[2] 发电机规格: W
[3] 日运行时数: 小时/天
[4] 系统成本: 元
[5] 发电机寿命: 年
[6] 发电机费用: 元
[7] 年维修费用 t: 元/year
[8] 燃料消耗: kg/hr
[9] 润滑油消耗: kg/hr
[10] 燃料单价: 元/kg
[11] 燃料运费: 元/kg
[12] 润滑油单价: 元/kg
[13] 润滑油运费: 元/kg
[14] 你用这个系统时，有没有遇到问题(是或否)?

### *第二部分 风力系统*

3.2 如果你家使用风力系统或风光互补系统，请回答下列问题:

[1] 风机生产商
[2] 风机额定功率: W
[3] 塔架高度: m
[4] 风轮直径(m) / 风轮扫略面积($m^2$) 1/m
[5] 系统功率损失: %
[6] 系统投资: 元
[7] 风机寿命: Years
[8] 风机成本: 元
[9] 风机残值: 元
[10] 年维修费用: 元/year
[11] 你用这个系统时，有没有遇到问题(是或否)?

### *第三部分 光伏系统*

3.3 如果你家使用光伏系统或风光互补系统，请回答下列问题:

[1] 光伏电池生产厂家
[2] 电池类型
[3] 系统额定功率 峰瓦
[4] 光伏面板面积 $m^2$

[5] 光伏面板倾角 弧度
[6] 光伏电池效率 %
[7] 系统投资 元
[8] 光伏电池寿命 年
[9] 光伏电池单价 元/峰瓦
[10] 光伏电池残值 元
[11] 年维修费用 元/年
[12] 你用这个系统时，有没有遇到问题(是或否)？

*第四部分 设备平衡系统（BOS）*

3.4 如果你家系统配有电池，逆变器或/和控制器，请回答下列问题：

[1] 电池生产厂家
[2] 电池型号
[3] 电池种类
[4] 电池数量
[5] 电池电压 V
[6] 电池容量 安培小时
[7] 电池充放深度 %
[8] 电池寿命 年
[9] 电池成本 元/每个电池
[10] 逆变器规格 KW
[11] 逆变器寿命: 年
[12] 逆变器成本: 元/每个逆变器
[13] 控制器规格: KW
[14] 控制器寿命: 年
[15] 控制器成本: 元
[16] 平衡系统电力损耗: %
[17] 你用平衡系统时，有没有遇到问题(是或否)?

## 家庭态度

*第一部分 你对可选能源技术的观点*

4.1 请回答你对以下能源的观点。
使用值 1 到 4 对这些选择打分。“1” 表示最好，“4” 表示最差。

| 种类 | 成本 | 可获得性 | 可靠性 | 方便程度 | 清洁程度 | 安全性 | 综合 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 网电 | | | | | | | |
| 风光互补系统发的电 | | | | | | | |
| 风力系统发的电 | | | | | | | |
| 光伏系统发的电 | | | | | | | |
| 汽/柴发电机发的电 | | | | | | | |
| 煤 | | | | | | | |
| 天然气 | | | | | | | |
| 煤油/柴油 | | | | | | | |
| 薪柴/木炭 | | | | | | | |
| 秸杆/牛粪 | | | | | | | |

4.2 你愿意购买以下哪种独立系统，为什么？
用 1 到 4 进行打分. “1” 表示最好 “4” 表示最差

| 种类 | 你的需要程度 | 可靠性 | 价格 |
|---|---|---|---|
| 风力系统 | | | |
| 光伏系统 | | | |
| 风光互补系统 | | | |
| 汽/柴发电机 | | | |

4.3 电力带来的好处

| 类别 | 是 | 否 |
|---|---|---|
| 经济效益 | | |
| 方便 | | |
| 娱乐（如看电视等） | | |
| 信息和教育 | | |
| 清洁 | | |
| 安全 | | |

4.4 用可再生能源发电的好处

| 类别 | 是 | 否 |
|---|---|---|
| 可靠性 | | |
| 低成本 | | |

| | | |
|---|---|---|
| 容易维修 | | |
| 灵活（自我控制） | | |
| 清洁 | | |
| 安全，有益身体健康 | | |

*第二部分 需求侧管理*

4.5 你认为你家能源支出(燃料和/或电)是:

[1] 太贵了
[2] 贵
[3] 一般
[4] 便宜
[5] 我不花钱买燃料

4.6 如果你家能源支出很高，什么原因?

[1] 能源过度消费
[2] 燃料价格高(燃料:_____ 价格: 元/kg )
[3] 电价高 (价格: 元/kWh)
[4] 其他原因 ( )

4.7 你如何评价供电的质量,?

[1] 非常满意
[2] 满意
[3] 可以接受
[4] 由于经常停电和电压不稳，不太满意
[5] 我不关心

4.8 如果供电质量不好，你有什么经历:

[1] 停电造成经济损失
[2] 电压不稳，电器损坏
[3] 以上两者都有

4.9 你有没有采取过节能措施 (是或否)?

4.10 如果一些节能措施不贵，你是否愿意采取一些措施减少用电量（是或否）?

4.11 当你购买电器时，你最关心的是什么?

[1] 品牌
[2] 价格
[3] 功能
[4] 节能
[5] 其他(请说明:)

*第三部分.　对可再生能源系统的购买意愿和付款能力*

4.12 如果电力供应可靠，你愿意为用电多付钱吗？ (是或否)?

4.13 在不久你愿意购买系统的种类:

[1] <100W 风力系统
[2] 100W-200W 风力系统
[3] 200W-300W 风力系统
[4] >300W 风力系统
[5] <50W 光伏
[6] 50W-100W 光伏
[7] >100W 光伏
[8] 小型风光互补系统(<100W 光伏和 <100W 风机)
[9] 大型风光互补系统(>100W 光伏和 >100W 风机)
[10] 汽/柴发电机

4.14 你能够花多少钱购买可再生能源系统?

[1] 少于 3000 元
[2] 3001 - 5000 元
[3] 5001 - 10000 元
[4] 10001 - 15000 元
[5] 15001 - 20000 元
[6] 多于 20000 元

4.15 你愿意花多少钱购买可再生能源系统?

[1] 少于 3000 元
[2] 3001 - 5000 元
[3] 5001 - 10000 元
[4] 10001 - 15000 元
[5] 15001 - 20000 元
[6] 多于 20000 元

4.16 你愿意贷多少钱?

[1] 少于 3000 元
[2] 3001 - 5000 元
[3] 5001 - 10000 元
[4] 10001 - 15000 元
[5] 15001 - 20000 元
[6] 多于 20000 元

4.17 如果你买可再生能源系统，你想怎么付款?

[1] 一次付清

[2] 分两次付

[3] 分三次付

[4] 租赁(每月付钱)

*第四部分. 有关可再生能源使用的一些问题*

4.18 当你购买可再生能源系统时，你最关心什么方面?

[1] 成本
[2] 质量
[3] 售后服务
[4] 功率

4.19 使用可再生能源系统时，你最关心什么方面?

[1] 维护
[2] 零配件
[3] 修理和服务

4.20 以下哪个设备，你碰到过什么问题?

[1] 风力发电机
[2] 光伏系统
[3] 电池
[4] 控制器
[5] 逆变器
[6] 汽/柴发电机

附录 C：西部地区省级和县级社会经济评估调查表

**1. 一般信息**

1　县（旗）名/:
2　总面积:　　$km^2$
3　纬度:
4　经度:
5　总人口:
6　总户数:
7　牧民人口:
8　牧民户数:
9　无电户数:

**2. 经济和财务数据**

| | | 1996（元） | 1997（元） |
|---|---|---|---|
| 10 | 总产值 | | |
| 11 | 牧业产值 | | |
| 12 | 人均收入 | | |

**3. 按收入划分，家庭分布情况**

13　1996 年户均收入水平　　元
14　1997 年户均收入水平　　元
15　1997 总户数:

| | | | |
|---|---|---|---|
| 16 | 1997 年收入水平(元) | 家庭数 | 百分比（%） |
| | > 50000 | | |
| | 20000 - 50000 | | |
| | 10000 - 20000 | | |
| | < 10000 | | |

**4. 按羊只数量，家庭分布情况**

| | | | |
|---|---|---|---|
| 17 | 1997 年羊只数量 | 家庭数 | 百分比（%） |
| | > 1000 | | |
| | 600 - 1000 | | |
| | 400 - 600 | | |
| | < 400 | | |

**5. 无电乡镇，村和户的分布情况**

| | | 数量 | 无电 | 联网通电 |
|---|---|---|---|---|
| 18 | 乡镇 | | | |
| 19 | 村 | | | |
| 20 | 户 | | | |

**6. 风力系统和光伏系统的应用情况**

21 有风力系统的总户数
22 有 300 W 风力系统的总户数
23 有 200 W 风力系统的总户数
24 有 100 W 风力系统的总户数
25 有光伏系统的总户数
26 有大于 50W 的光伏系统的总户数
27 有小于 50W 的光伏系统的总户数

**7. 打算更新系统的户数**

28 有风力系统或光伏系统的总户数
29 愿意在 1 年内更新系统的户数
30 愿意在 2 年内更新系统的户数
31 愿意在 3 年内更新系统的户数
32 愿意在 4 年内更新系统的户数

**8. 风力系统和光伏系统的当前市场价格**

零售价格

33 100W 风力系统: 元/套
34 200W 风力系统: 元/套
35 300W 风力系统: 元/套
36 单晶硅光伏系统: 元/套
37 多晶硅光伏系统: 元/套
38 非晶硅光伏系统: 元/套

**9. 补贴和优惠措施**

39 100W 风力系统补贴: 元/套
40 200W 风力系统补贴: 元/套
41 300W 风力系统补贴: 元/套
42 光伏系统补贴: 元/套
43 对 16 Wp 光伏系统补贴: 元/套
44 其他优惠措施

## 10. 服务站和销售商的信息

(由服务站工作人员和销售商回答下列问题)

45 可再生能源服务站的总数

46 可再生能源销售商总数

47 1995 销售额: 元

48 1996 销售额: 元

49 1997 销售额: 元

| 50 | 售出的风力和光伏系统数 | 1995 | 1996 | 1997 |
|---|---|---|---|---|
| | 300W 风力系统 (　套) | | | |
| | 200W 风力系统 (　套) | | | |
| | 100W 风力系统 (　套) | | | |
| | <50W 光伏系统 | | | |
| | 50W-100W 光伏系统 | | | |
| | >100W 光伏系统 | | | |
| | 电池 | | | |

51 你从哪里进这些产品

[1]生产厂家

[2]批发商

[3]其他 (请说明 )

52 你如何得到这些产品?

[1]投标

[2]订单

[3]其他 (请说明: )

53 你有没有对这些产品进行测试(是或否)?

54 你是否提供保修服务(是或否)?

55 如果提供保修，一般你保修多长时间?

[1]短于 6 个月

[2]6 个月 - 1 年

[3]超过 1 年

56 顾客抱怨最多的是什么部分? (请给打分排列)

| 类别 | 打分 |
|---|---|
| 光伏板 | |
| 风机 | |
| 电池 | |
| 逆变器 | |
| 控制 | |

57 你如何扩大用户?

[1]市场直销

[2]广告

[3]其他（请说明）

58 系统售出后，你多长时间回访你的顾客?

[1]一年不到一次

[2]一年两次

[3]一年多于两次

59 你是否对你的顾客提供培训，如果是，你怎么提供?

[1] 提供培训班

[2] 现场培训

[3] 提供书面材料

注：省级和县级数据由选定的调查员收集。