

三种典型地区的微电网技术设计和 运营管理方案建议

国家能源局微电网工作组

项目信息

项目编号: G-1304-17857

Grant Number: G-1304-17857

项目期: 2013年8月1日至2014年7月31日

Grant Period: (8/1/2013 - 7/31/2014)

所属领域: 可再生能源

Sector: Renewable Energy

项目概述:为促进微电网在我国的推广应用,由国家能源局委托,能源基金会支持,中国科学院电工研究所牵头开展了“分布式发电智能微电网一期”课题研究(2011-2012),课题组基于对国内外典型的微电网实验室与示范工程的深入调研,全面细致的梳理了微电网技术、装备现状和发展趋势,并针对国情因地制宜的提出了“十二五”期间微电网示范实施方案和激励政策建议。2013年,国家能源局又委托课题组在“分布式发电智能微电网一期”课题的基础上继续深入推进,开展“分布式发电智能微网二期”课题研究,为尽快实现国内微电网后续全面发展而必需的第一步先导示范项目方案研究,包括先导项目典型示范选点和可行性方案设计、研讨会宣传、技术著作出版、推广计划和技术支撑等,本项目对我国微电网项目大规模启动具有实质性的推进意义。

Project Discription: Lead by the Chinese National Energy Administration (NEA) and supported by Energy Foundation, “Distributed Renewable Energy Smart Micro-grid First-phase Research Project” (2011-2012) has been finished by IEE CAS. During the implement process of the project, the research group made deep investigation of the current status and development trend of micro-grid in US, Europe, Japan and China. Based on study, the recommendation for implementation plan of micro-grid in 12th FYP and policy were improved and completed. In 2013, supported by National Energy Administration(NEA) too , based on the achievements from first-phase project , second-phase project about researching on implementation plan of pilot projects is proposed to make deeper research to promote the fast development of renewable energy micro-grid in China. “Distributed Renewable Energy Smart Micro-grid Second-phase Research Project” will include the selection of the sites and feasibility plan research of

typical pilot projects, workshops, technical publications, promotional programs, technical support and so on, which will have substantive significance for large-scale development of China micro-grid projects.

项目成员：许洪华，王成山，王斯成，王伟胜，吕芳，王一波，伍春生，杨子龙，何国庆，付勋波，张嘉，张德举，Chris Marnay, Feng Wei, 于金辉

Project Members: XU Honghua , WANG Chengshan , WANG Sicheng , WANG Weisheng , LV Fang , WANG Yibo ,WU Chunsheng, YANG Zilong , HE Guoqing ,FU Xunbo, ZHANG Jia , ZHANG Deju, Chris Marnay, Feng Wei, YU Jinhui

项目单位：中国科学院电工研究所；天津大学；中国电力科学研究院；北京计科电可再生能源技术开发中心；北京科诺伟业科技有限公司；美国劳伦斯伯克利国家实验室；中国电子工程设计院

Project team: Institute of Electrical Engineering Chinese Academy of Sciences (IEE CAS); Tianjin University; China Electric Power Research Institute; Beijing JKD Renewable Energy Development Center (JKD); Beijing Corona Co.Ltd; Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL); China Electronics and Engineering Design Institute(CEEDI)

关键词：微电网；设计规划；运营管理；

Key Words: Micro Grid(MG) ; Design and Planning; Operation management;

目 录

前 言	1
第一章 微电网基本概念及现状	3
1.1 分布式发电	3
1.2 微电网	3
1.3 微电网研究和发展现状	5
第二章 城市型微电网的意义与设计原则	8
2.1 发展城市型微电网的意义	8
2.2 适用范围与潜力	9
2.3 设计与配置原则	11
2.4 推广政策建议	12
第三章 边远地区微电网的意义与设计原则	15
3.1 发展边远地区微电网的意义	15
3.2 适用范围与潜力	16
3.3 设计与配置原则	17
3.4 推广政策建议	19
第四章 海岛型微电网的意义与设计原则	20
4.1 发展海岛型微电网的意义	20
4.2 适用范围与潜力	21
4.3 设计与配置原则	22
4.4 推广政策建议	24
附件一、城市型微电网案例分析—山东东营市	25
1. 资源及负荷情况分析	25
2. 微电网系统设计方案	27
2.1 微网系统设计原则	27
2.2 微网系统容量配置	27

2.3 系统总体设计框架.....	29
3. 经济效益评估.....	33
4. 商业模式及政策建议.....	36
附件二、边远地区微电网案例分析—青海兔尔干村.....	38
1. 资源与负荷情况分析.....	38
2. 微网系统总体方案设计.....	40
3. 商业模式与机制.....	48
4. 经济效益评估.....	49
附件三、海岛型微电网案例分析—广东大万山岛.....	53
1. 资源及负荷情况分析.....	53
2. 微电网系统设计方案.....	55
3. 经济效益评估.....	57
4. 商业模式及政策建议.....	58

前言

当前，我国正处于经济与社会飞速发展的重要阶段，在实现工业化、信息化及城镇化的过程中，面临着多方面的挑战。如：环境与资源对人类发展的制约；能源与环境同温室气体排放之间的矛盾；资源与能源在开发、利用效率上的平衡等等。一方面，作为世界上最大的发展中国家及全球第二大能源消费国，我国需要价格合理、长期稳定的能源供给以保证经济的持续、快速增长。另一方面，我国面临着严苛的环境问题，由于能源结构中煤炭的比例高达 70%，我国成为世界上最大的二氧化硫排放国，此外，水污染、土地荒漠化、水土流失、生物多样性破坏等问题也日趋严峻。依靠传统的化石燃料似乎已很难继续维持经济、社会的健康、协调与可持续发展。发展清洁、高效的可再生能源及相关的系统集成技术是能源工业发展的当务之急。

电力作为重要的二次能源，具有清洁、高效、方便使用的优点，是能源利用的最有效形式之一。对各种新能源的开发和利用应当通过电能的形式加以传输和利用。当前，作为集中式发电的有效补充，分布式发电及其系统集成技术正日趋成熟。随着单位千瓦电能生产价格的不断下降以及政策层面的有力支持，分布式发电技术正得到越来越广泛的应用。微电网针对中低压层面上分布式电源的接入问题而提出，是分布式发电发展的高级形式，具有提高供电可靠性和安全性的优势，能够实现分布式发电技术的灵活、高效应用，解决数量庞大、形式多样的分布式电源并网运行时的主要问题，同时由于具备一定的能量管理功能，并尽可能维持功率的局部优化与平衡。在未来，微电网技术是实现分布式发电系统大规模应用的关键技术之一。国家“十二五”可再生能源发展规划中提出要建成 30 个“新能源微网示范工程”。

由国家能源局委托，能源基金会支持，中科院电工所牵头开展了“分布式能源智能微网关键技术及微网内各种电源组合配置研究”（2011-2012）项目（以下简称“分布式微网一期项目”），并于 2012 年 6 月份顺利结题。该项目组织了国内外在微电网技术、政策、市场、经济性方面的核心专业团队，基于对国内外典型的微电网实验室与示范工程的深入调研，全面细致的梳理了微电网技术、装备现状和发展趋势，并针对国情因地制宜的提出了“十二五”期间微电网示范实施方

案和激励政策建议。以上成果为“十二五”期间微电网示范实施提供了基础研究和理论依据，为我国微电网示范和推广首次拉开序幕。

为尽快实现国内微电网的后续全面推广发展，应国家能源局的要求和委托，在能源基金会的支持下，中科院电工所牵头开展了“我国分布式可再生能源智能微电网先导示范项目方案研究”（2013-2014）项目。本项目希望在“分布式微电网一期项目”成果的基础上继续深入推进，按照具有示范和推广效应的原则，首批选择国内典型区域开展不同类型微电网先导示范项目的方案研究，旨在探索可再生能源高比例接入及安全可靠的微电网方案、技术经济性、商业模式、管理机制和激励政策，有效解决示范地区的供电供能、安全稳定、机制体制及经济性等问题，积极推动我国微电网大规模启动。

为了因地制宜地对不同类型微电网开展方案研究，将我国微电网分为三大类：城市型微电网、边远地区微电网和海岛型微电网。城市地区与大电网相连接，屋顶资源丰富，对供电安全稳定有着较高的要求，发展微电网应用于分布式可再生能源渗透率较高的地区，可以平抑分布式可再生电源并网对电网的影响，提高电网对分布式可再生能源的接纳能力；同时可应用于对电能质量和供电可靠性有特殊要求的地区，能够满足用户对电能质量的特殊要求，实现对重要负荷的不间断供电。边远地区处于无大电网连接或在电网末梢供电质量较差的地区，发展微电网可因地制宜的综合利用能源，可以解决当地能源供应紧张、能源利用方式落后及电网供电可靠性低的问题。海岛地区由于铺设海底电缆费用高，且电缆已受到渔船等的损坏，供电经济性和稳定性差，因而充分利用当地丰富的风、光、海洋等可再生能源，以微电网形式代替之前仅依靠柴油机组的供电模式，可以提高供电可靠性，降低经济成本，改善海岛民生，促进当地经济发展和能源供应可持续发展。

项目针对上述三类典型微电网，选择不同资源环境、典型区域、条件成熟的先导示范点进行方案和模式设计，同时进行经济性分析与商业模式研究，提出推广政策建议。城市型微电网示范点选择山东省东营市的石油大学园区，边远地区微电网示范点选择青海省湟源县兔尔干村新型社区，海岛型微电网示范点选择广东省大万山岛。通过以上研究，旨在对我国微电网项目大规模启动具有实质性的推进意义。

第一章 微电网基本概念及现状

1.1 分布式发电

分布式发电是指利用各种可用的分散存在的能源,包括可再生能源(太阳能、生物质能、小型风能、小型水能、波浪能等)和本地可方便获取的化石类燃料(主要是天然气)进行发电供能的技术。小型的分布式电源容量通常在几百千瓦以内,大型的分布式电源容量可达到兆瓦级。灵活、经济与环保是分布式发电技术的主要优势,但同时一些可再生能源具有的间歇性和随机性等特点,使得这些电源仅依靠自身的调节能力满足负荷的功率平衡比较困难,通常还需要其他电源的配合。

各种分布式电源的并网发电对电力系统的安全稳定运行提出了新的挑战,一些分散的小容量分布式电源对于系统运行人员而言往往是“不可见”的,而一些集中的大型分布式电源又通常是“不可控”或“不易控”的。正像大容量风电场或大容量光伏电站的接入会对输电网的安全稳定运行带来诸多影响一样,当中低压配电系统中的分布式电源容量达到较高的比例(即高渗透率)时,要实现配电系统的功率平衡与安全运行,并保证用户的供电可靠性和电能质量也会有很大困难。分布式发电技术的多样性增加了并网运行的难度,独自并网的分布式电源易影响周边用户的供电质量,同时很难实现能源的综合优化,这些问题都制约着分布式发电技术的发展。阻碍分布式发电获得广泛应用的难点不仅仅是分布式发电本身的技术壁垒,现有的电网技术也还不能完全适应分布式发电系统的接入要求。

1.2 微电网

微电网是指由分布式电源、能量转换装置、负荷、监控和保护装置等汇集而成的小型发/配/用电系统,是一个能够实现自我控制和管理自治系统。微电网可以看作是小型的电力系统,它具备完整的发电、配电和用电功能,可以有效实现网内的能量优化。微电网有时在满足网内用户电能需求的同时,还需满足网内用户热能的需求,此时的微电网实际上是一个能源网。按照是否与常规电网联结,微电网可分为联网型微电网和独立型微电网。

联网型微电网：具有并网和独立两种运行模式。在并网工作模式下，一般与中、低压配电网并网运行，互为支撑，实现能量的双向交换。通过网内储能系统的充放电控制和分布式电源出力的协调控制，可以实现微电网的经济运行，对电网发挥负荷移峰填谷的作用；也可实现微电网和常规电网间交换功率的定值或定范围控制，减少由于分布式可再生能源发电功率的波动对电网的影响。利用能量管理系统，可有效提高分布式电源的能源利用率。在外部电网故障情况下，可转为独立运行模式，继续为微电网内重要负荷供电，提高重要负荷的供电可靠性。通过采取先进的控制策略和控制手段，可保证微电网高电能质量供电，也可以实现两种运行模式的无缝切换。

独立型微电网：不和常规电网相连接，利用自身的分布式电源满足微电网内负荷的长期供电需求。当网内存在可再生能源分布式电源时，常常需要配置储能系统以抑制这类电源的功率波动，同时在充分利用可再生能源的基础上，满足不同时段负荷的需求。这类微电网更加适合在海岛、边远地区等地为用户供电。

微电网技术的提出旨在中低压层面上实现分布式发电技术的灵活、高效应用，解决数量庞大、形式多样的分布式电源并网运行时的主要问题，同时由于具备一定的能量管理功能，并尽可能维持功率的局部优化与平衡，可有效降低系统运行人员的调度难度。特别地，联网型微电网的独立运行模式可以在外部电网故障时继续向系统中的关键负荷供电，提高了用电的安全性和可靠性。在未来，微电网技术是实现分布式发电系统大规模应用的关键技术之一。

从微观看，微电网可以看做是小型的电力系统，具备完整的发/输/配/用电功能，可以实现局部的功率平衡与能量优化；从宏观看，微电网又可以认为是配电系统中的一个“虚拟”的电源或负荷。现有研究和实践表明，将分布式电源以微电网形式接入到电网中并网运行，与电网互为支撑，是发挥分布式电源效能的有效方式，具有巨大的社会与经济意义，体现在：1) 可大大提高分布式电源的利用率；2) 有助于电网灾变时向重要负荷持续供电；3) 避免间歇式电源对周围用户电能质量的直接影响；4) 有助于可再生能源优化利用和电网的节能降损等多个方面。

为了满足不同的功能需求，微电网可以有多种结构。微电网的构成有时可以很简单，如：仅利用光伏发电系统和储能系统一起就可以构成一个简单的由用户

所有的微电网；有时其构成也可能十分复杂，如：可能由风力发电系统、光伏发电系统、储能系统、以天然气为燃料的冷/热/电联供系统等分布式电源构成，一个微电网内还可以含有若干个子微电网。微电网可以是用户级，中压配电馈线级，也可以是变电站级，后两种一般属于供电公司所有，实际上是智能配电系统的重要组成部分。

微电网的出现将完全改变配电系统的结构和运行特性，许多与输电系统安全性、保护与控制等相类似的问题也同样需要关注，但由于二者在功能、结构和运行方式上的不同，关注的重点与研究方法也不同。微电网的最终目标是实现各种分布式电源的方便接入和高效利用，尽可能使用户感受不到网络中分布式电源运行状态改变（并网或退出运行）及出力的变化而引起的波动，表现为用户侧的电能质量完全满足用户要求。实现这一目标关系到微电网运行时的一系列复杂问题，包括：1）微电网的规划设计；（2）微电网的保护与控制；3）微电网能量优化管理；（4）微电网仿真分析等。这些技术问题目前大多处于研究示范阶段，也是当前能源领域的研究热点。

1.3 微电网研究和发展现状

目前，国际上已针对微电网相关技术开展了较为深入的研究工作，结合理论和技术研究的开展，很多国家建设了相关的实验示范系统，其中一些已经投入了市场化运营。

美国学者最早提出了微电网的概念，并对其组网方式、控制策略、能量管理技术、电能质量改善措施等专题进行了长期深入研究。2003年，美国布什总统提出了“电网现代化”(Grid Modernization)的目标，即将信息技术、通信技术引入电力系统以实现电网的智能化。在随后出台的“Grid2030”发展战略中，美国能源部制定了以微电网为其重要组成之一的美国电力系统未来几十年的研究与发展规划。由美国北部电力系统承建的 Mad River 微电网是美国第一个用于检验微电网的建模和仿真方法、保护和控制策略以及经济效益等的微电网示范工程。此后，在美国已经建成了包括一些大学校园微电网在内的数十个实际微电网工程。

加拿大政府针对微电网研究启动了 ICES(Integrated Community Energy Solutions)研究计划 **Error! Reference source not found.**，重点关注微电网技术在各类社

区供能环节的应用，特别强调各类分布式能源的集成利用和与社区公共设施(交通、医疗、通讯等)的相互支撑。在 ICES 项目资助下，加拿大先后建立了包括 Kasabonika 微电网、Bella Coola 微电网、Ramea 微电网、Nemiah 微电网、Quebec 微电网、Utility 微电网、Hydro Boston Bar 微电网，Calgary 微电网等在内的诸多示范工程。

欧洲对微电网的发展和研究，主要目的是满足能源用户对电能质量的多样性要求、满足电力市场的需求以及欧洲电网的稳定和环保要求等。2005 年，欧洲提出“Smart Power Networks”概念，并在 2006 年出台该计划的技术实现方略，作为未来的电力发展方向。在欧盟第五框架计划(5th Framework Program, FP5)中，专门开展了针对微电网的研究工作，在分布式电源建模方法、可用于对逆变器控制的低压非对称微电网的静态和动态仿真工具、孤岛和互联的运行理念、基于代理的控制策略、本地黑启动策略、接地和保护的方案、可靠性的定量分析、实验室微电网平台的理论验证等方面取得了重要研究成果。目前，欧洲一些国家已经建成了多个微电网示范工程，如：位于西班牙巴斯克地区毕尔巴鄂市的 Labein 微电网，位于意大利米兰市的 CESI 微电网，由德国 SMA 公司与希腊雅典国立大学通讯与信息研究所 (ICCS/NTUA) 合作建造的位于希腊爱琴海基克拉迪群岛上的 Kythnos 微电网，位于德国曼海姆市的 MVV 微电网等。欧洲的微电网研究计划主要围绕着系统可靠性、分布式电源可接入性、微电网运行灵活性开展研究，目的是解决未来大量分布式电源的有效接入问题。

日本本土资源匮乏，能源紧缺，对可再生能源的发展的给予了高度重视，目前日本在微电网示范工程的建设方面处于世界领先水平。由日本新能源与工业技术发展组织(new energy and industrial technology development organization, NEDO) 2003 年支持的“Regional Power Grid with Renewable Energy Resources Project”项目中，建成了多个先进的微电网示范工程，如 Archi 微电网、Kyoto 微电网、Hachinohe 微电网, Tokyo gas 微电网等。

目前，中国微电网的发展方兴未艾，国内的高校、相关科研机构及企业对微电网相关技术展开了积极的研究和探索。在理论研究、实验室建设和示范工程建设方面取得了一系列的成果。例如：2009 年，由天津大学联合其他七家大学和电网公司一起承担的国家 973 计划项目“分布式发电供能系统相关基础研究”，该项目已于 2013 年顺利通过国家科技部的验收，在微电网系统规划设计、运行控制

与能量管理、建模与仿真等方面取得了大量创新性研究成果。天津大学、合肥工业大学、杭州电子科技大学、中国电力科学研究院、浙江省电力科学研究院、中科院电工所、上海电气集团等多家高校、科研单位和企业建设了高水平的微电网实验系统。浙江东福山岛微电网、珠海东澳岛微电网、蒙东太平林场微电网、内蒙陈巴尔虎旗微电网、天津中新生态城微电网、江苏盐城大丰微电网、青海玉树微电网等一批实际微电网工程已经投运，目前还有一批微电网工程正在建设中。

值得指出的是，现阶段的微电网仍然还处于技术发展阶段，距离大规模商业化的应用还有相当长的路要走。尽管如此，微电网的发展前景依然十分乐观，这源于多方面因素：1) 微电网是智能电网的重要组成部分，微电网中电力电子变换器、电力电子变压器、直流配电、自愈控制、能量高效管理等同时也是智能配电网的核心技术；2) 微电网是智能能源网的重要组成部分，微电网中冷/热/电联供、能源梯级利用、能源替代优化、能源综合高效利用等都是能源网领域的核心技术；3) 微电网是能源互联网概念实现的基础，微电网自我管理自我控制特征、既可并网又可独立运行的特点、与电网可实现双向能量灵活交换的能力，使能源用户自由平等地实现能源的交易成为可能。微电网技术有可能成为我国未来能源应用模式变革的重要推动力。

第二章 城市型微电网的意义与设计原则

2.1 发展城市型微电网的意义

截至 2013 年末，中国大陆城镇人口比重达到 53.7%，预计到 2020 年，中国城市化率将达到 60%。随着中国城市化进程的逐步深入，人民对美好生活的向往与有限的能源资源和环境容量之间的矛盾日益凸现。我国城市能源利用的现状与问题主要体现在以下几个方面：

（1）以制造业为主的经济需要转型，从“重型”经济转向“轻型”经济；从重经济发展数量到重经济发展质量；从资源消耗型转向环境友好型，能源消费从“少增长”到“多减少”。

（2）以煤为主的能源结构，造成雾霾和大气污染，为此需要进行结构调整，以煤为主转向清洁能源+可再生能源+煤的清洁利用结合，将一次能源中的煤炭比例降低到 50%以下。

（3）能源效率低：2011 年世界平均能效为 0.25toe/1000(2005USD)，美国 0.17,德国日本均为 0.10，而我国则为 0.62。

（4）民生能耗（消费性能耗）需求增长：汽车消费、南方采暖、家用电器、休闲娱乐。

（5）现代服务业和先进制造业对环境品质的高需求、工业化时代高温高压高品位能源需求转变为后工业时代低温低压低品位能源需求、工业化时代高强度大集中能源需求转变为后工业时代高密度分散化能源需求、浪潮式的冲击性负荷、高密度城镇与低密度可再生能源利用之间的矛盾。

通过以上分析均说明，分布式可再生能源的大规模利用是未来能源的发展趋势，这必将促进微电网的发展，其意义主要体现在以下几个方面：

（1）在能源利用方面：解决大规模可再生能源间歇性、波动性、不确定性及电力电子接口给电网带来的问题，提高可再生能源的置信度；

（2）在电网升级方面：通过微电网的智能控制，构建“主动配电网”，实现能源互联网，提高已建电网利用率，延缓电网改造；

（3）在用户侧需求响应方面：综合节能用能控制，冷热电负荷解耦控制及

能量梯级循环利用，冲击性负荷的平滑控制、惯性势能的制动回馈、敏感性负荷的不间断供电与电能质量等。

2.2 适用范围与潜力

我国城市地区都有大电网存在，属于联网型微电网，一般通过联网型微电网和大电网互联时能够通过内部自身的控制平滑其输出，当大电网发生故障时，也能够自动平滑过渡到孤岛运行状态，并能保证孤岛运行状态下系统的稳定运行，因此，基于上述优势，城市型微电网主要适用于以下几种场合：

（1）分布式可再生能源渗透率较高的地区（例如：建筑光伏接入较多的工业园区和城市屋顶、配电网结构薄弱的边远地区）

在分布式可再生能源比例较高的地区，将分布式电源和负荷整合成微电网的形式，统一接入大电网，可以平抑分布式可再生电源并网对电网的影响，提高电网对分布式可再生能源的接纳能力。

除了大规模可集中利用的可再生能源之外，我国广泛分布着以分布式电源出现的分布式可再生能源。由于这些分布式电源具有明显的随机性、间歇性和布局分散性的特征，因此随着分布式发电越来越多的与大电网联合运行，将会给电力系统的运行和控制带来不利影响。微电网通过将地域相近的一组分布式源、储能装置与负荷进行整合，使其作为一个整体通过单点集中接入大电网，可通过内部不同分布式电源的互补特性、以及内部储能装置的控制，平滑分布式电源输出功率的波动，使微电网对配电网表现为输出功率平稳的可控发电单元或者负荷，从而减少了各类分布式电源直接并网对大电网的影响，能够加快我国可再生能源的发展。

（2）热电联产等多能互补地区

微电网将多种具有可互补性的分散型能源集中在同一物理网络中，通过多个能量转换环节，实现一次能源到二次能源的转化，能够有效提高对一次能源的利用效率。

目前，很多热电联产项目的供热集合程度以及综合效率发挥的并非很好，将合适容量的热力用户与电力用户组成微电网，作为一个整体供能系统，在满足用

户供电需要的同时，还能满足供热、制冷、湿度控制和生活用水等多种需求，对于提高能源利用效率，优化能源结构、减少环境污染具有重要意义。

（3）对电能质量和供电可靠性有特殊要求的电力用户

配电网中的关键用户或敏感用户如医院、军事基地等，对电能质量和供电可靠性的要求较高，不仅要提供满足其特定设备要求的电能质量，还要能够避免暂时性的停电，满足对重要负荷的不间断供电需求。

由于微电网具有定制性的特点，其主要体现在用户对电力的需求：1）微电网可以组建在中心城区，通过对负荷分级，提供分级供电，满足不同用户的电能质量需求，实现灵活供电；2）微电网通过电力电子装置、固态控制器、快速故障解除开关、储能系统等元件，确保电能质量敏感用户的供电可靠性和电能质量。因此，一方面，微电网能够满足特定用户的电能质量需求。随着当前用电设备数字化程度的提高，其对电能质量也越来越敏感，电能质量问题可以导致终端系统的故障甚至瘫痪，对社会经济发展带来重大损失。另一方面，微电网能够实时监测主电网的运行状态，在主电网故障时迅速从公共连接点解列平滑切换到独立运行状态，从而保证内部重要负荷的供电不受影响。

因此，联网型微电网在满足特定用户对电能质量和供电可靠性要求方面具备一定的适用性。

（4）灾害多发地区

在灾害多发地区的负荷中心建立微电网，可以提高供电备用，有利于故障后黑启动。微电网对提高电网整体抗灾能力和灾后应急供电能力注入了一种新的思路。首先，作为大电网的一种补充形式，在特殊情况下（例如发生地震、暴风雪、洪水、飓风等意外灾害情况），微电网可作为备用电源向受端电网提供支撑；同时，微电网能够独立运行，可以迅速与大电网解列形成“孤网，从而保证重要用户的不间断供电；另外，在自然灾害多发地区，通过组建不同形式和规模的微电网，能够在发生灾害后迅速就地恢复对重要负荷的供电，具有“黑启动”的能力。

综上，微电网表现为一个有源配电单元，而不是传统意义的无源配电、用电环节。这种无源网向有源网的转变将有助于提高终端用户的供电可靠性和电能质量，提高系统的节能减排指标并改善突发事件下对用户的供电能力。同时，微电网作为智能电网的有机组成部分，需结合自身特点，立足我国国情，充分发挥微

电网小型化、模块化、分散式的特点，并充分体现微电网的包容性、定制性、经济性和自治性的特点，积极推进微电网在我国的发展和应用。

2.3 设计与配置原则

对微电网的整体规模进行合理的规划设计，对微电网内部各种微电源进行优化配置能够在保证微电网内用户的能源需求，保障用户供电可靠性的同时，充分、合理地利用能源资源，提高分布式能源的利用效率，提高微电网及外部电网运行的安全性、可靠性和经济性。如果微电网内分布式能源类型、安装地点、容量等不合适，不仅不能发挥分布式能源的作用，还可能对配电系统运行产生负面影响，如增加电能损耗，导致电压越限等。为了建设可持续发展的微电网及配电系统，必须对微电网进行科学的规划与建设。

微电网的系统组成方式与各种电源容量的优化配置，需根据因地制宜的原则，结合当地的资源和负荷情况进行具体规划设计，实现当地可再生能源的充分利用并保障当地负荷的可靠供电。一般来说，联网型微电网内的分布式电源的优化配置，需满足以下几个基本原则：

(1) 结合当地的资源条件和气象条件，确定微电网内分布式电源的类型及安装容量。首先，充分利用当地的资源条件和能源消耗特点，确定分布式电源的类型，如在日照强度较高的地区，可选择较多容量的太阳能电池板；在风光资源在时间和空间分布上具备互补性的地区，安装一定容量的光伏和风力发电；在热能需求量较大的地区，可选用热电联产的微型燃气轮机。其次，根据用户所在地的地理位置、地形条件、气象条件、资源条件、组件（包括风机、太阳能电池、蓄电池、柴油发电机、转换器等）实际的工作特性以及用户用电需求等来确定系统各部分容量，使系统各部分尽可能工作在理想状态下。

(2) 在明确微电网联网运行方式（定交换功率、零负荷、可控负荷等）的前提下，对微电网内的分布式电源进行优化配置。

对于定交换功率型和零负荷型微电网，需要对可控型的分布式电源的容量进行优化配置，保证微电网内部自身能量的平衡。对于以可再生能源分布式电源为主的微电网，需要对可再生能源的输出功率和负荷急剧波动时，平滑输出功率所需的蓄电池的容量进行优化配置。

除了零负荷或向电网吸收功率的微电网外，向电网输出功率的微电网和包含可再生能源分布式电源的不可控型微电网接入大电网，都将对大电网造成一定的影响。由于联网运行是联网型微电网的主要工作模式，所以在对微电网内各种分布式电源的容量进行规划时，首先需要考虑微电网接入对大电网的影响，使电网能够安全经济运行，从而对微电网的规模进行限制。不可控型微电网的规划模型，通常以各种分布式电源的安装容量为决策变量，以微电网接入电网后，配电网的电压和短路电流限制、系统的功率平衡、分布式电源出力、线路的输电容量和接入点的短路容量等为约束条件，以系统的网损最小和微电网的总投资以及环境效益最优为目标，通过对该规划模型进行优化求解进而确定各微电源的最优容量。

(3) 微电网内各种微电源的优化配置需满足微电网双模式运行的需要。联网型微电网具有并网运行和孤岛运行两种运行模式，在确定微电网内各种微电源的容量时，还要保证微电网由并网转孤岛状态时以及微电网短时的孤岛运行状态下系统的稳定性、经济性和可靠性。考虑极端天气情况下，微电网孤岛运行的时间，从而确定微电网内储能装置及可控微源的容量。

(4) 在有条件建设热电联产的地区，必须同时考虑热负荷的需求。为缓解能源紧张问题，加大燃气能源利用力度，近年来，冷热电联产作为一种燃气资源高效利用的先进技术受到越来越广泛的关注。包含冷热电联产的微电网在规划设计时，要实现冷热电负荷之间的灵活匹配，提高系统整体的经济和社会效益。

2.4 推广政策建议

根据城市微电网的运营方式，可以分为以下四种：

(1) 自建型微电网

自建自用型微电网旨在提高用户侧并网的可再生能源发电的渗透率，不带储能的简单并网系统的渗透率最高 30%，带有储能系统的微电网的渗透率可高达 80% 以上。自建自用型微电网既可以建立在城市负荷中心，也可以建立在电网末梢，满足城镇化新农村的供能需求，城市微电网以光伏和燃气相结合，对有些商业区有冷热电耦合的需求。对这类微电网，对于光伏发电系统按照当地出台的相关分布式光伏发电。

(2) 合同能源管理型微电网

合同能源管理型联网微电网的设计条件、功率等级和补贴条件与自建自用型微电网一致，差别在于自建自用型微电网的开发商和用电户属于同一主体，自建自用煤油交易；而合同能源管理型微电网的开发商和用电户不是同一主体，双方需要签订合同能源管理合同，将用电户的节电效益转付给开发商。效益和补贴的测算条件与自建自用型微电网一致，如果开发商需要支付给用电户土地或屋面租金，则开发商的实际效益要小于自建自用型微电网。

合同能源管理型联网微电网可以建立在风光资源好的地区，也可以建立在城市负荷中心。在风光资源好的地区，可以建成风光互补微电网，在城市中可以建成光伏和燃气发电结合的微电网。

（3）服务型微电网

服务型微电网旨在探索微电网独立经营商德商业化机制，一旦可以独立运行的可再生能源的发电成本等于或低于电网电力，就可以通过市场竞争推广可再生能源发电。目前的经济手段和商业模式可以仿照自建自用型微电网的做法，即开发商向电网缴纳备用容量费用后，执行“净电量计量”政策。

（4）可控型分布式 RE 发电单元

带有储能系统的可再生能源发电单元可以做到恒功率输出或根据电网的需要做调峰输出。可以安装在可再生能源资源丰富的地区或者建立在有电网调峰需求的城市。

国家目前只是出台了一些关于分布式光伏发电的补贴政策，针对应用于城市型微电网还没有明确任何政策和补贴激励。城市型微电网的补贴方式可以是初投资补贴，也可以是电价补贴，补贴的原则是使城市微电网具有商业化规模推广应用，自投资金回收年限能控制在 10 年以内，以便吸引投资商投资。相关推广的政策建议如下：

（1）对于光伏发电系统，无论是哪种形式的微电网，都应该能够享受当地分布式光伏发电的优惠补贴与上网电价机制，并出台统一的计量标准与规范。

（2）对于适合安装分布式风力发电系统的场所，建议也要出台与分布式光伏发电相同的补贴政策，使其具备商业化运营的发电成本。

（3）对于微电网相比于并网系统多出的额外设备，如储能系统、能量管理系统、继电保护设备等进行初投资补贴，补贴额度根据实际微电网的情况应不少于

这些设备初投资的 50%。同时对于微电网中增加了这些设备对电网或用户带来的好处，制定相关的补贴机制。如减小配电占容量、延缓电网改造时间、无功支撑、电能质量改善带来的经济效益、消峰填谷的电价差、通过能量管理策略实现的主动式节能效果产生的经济效益、环境效益等进行有效测算并制定规范统一的补贴政策。

第三章 边远地区微电网的意义与设计原则

3.1 发展边远地区微电网的意义

国务院总理李克强在2014年《政府工作报告》中指出：“引导约1亿人在中西部地区就近城镇化。”当前西部地方城镇化率比全国平均水平低8个百分点，是我国提升城镇化水平的重点地区和难点地区。西部地区，尤其是边远地区之所以发展滞后，往往是被欠缺的基础设施扼住了咽喉。能源电力基础设施是保障西部边远地区实现绿色、低碳的小城市和小城镇的重要保障。目前，这些地区存在的能源问题主要体现以下几个方面：

(1) 能源基础设施落后，用能成本高。受自然环境、历史因素、社会经济条件等多方面制约，西部大部分地区基础设施建设水平普遍较低，能源基础设施的铺设成本和后期维护费用都远高于其他地区，煤、油、气的销售价格也高于东部地区，东部农村500元的取暖用煤在西部农村价格高达800元，居民能源消费的支出比例高。

(2) 能源结构不合理。受能源与经济条件限制，长期以来，很多居民冬季供暖大都采用的是牛羊粪、木材等方式，供暖效果差，对环境和生态破坏较大，对居民健康也产生了巨大危害。条件好的居民采用燃煤小锅炉取暖和炊事，易造成大气污染和环境破坏。部分农牧民开始使用可再生能源，但仅解决部分照明问题。能源结构的不合理不仅给当地居民冬季正常工作生活带来很大困难，也不符合绿色、低碳的城镇化建设要求。

(3) 能源利用效率低。我国能源利用效率总体偏低，而边远地区受能源结构和地理位置的影响效率更低。煤、天然气等化石能源的在西部高原地区的燃烧利用效率只有平原地区的75%，由于缺少储热、储电和热电联供等技术措施，不能做到物尽其用，能源消费的不平衡和浪费现象严重。

(4) 城镇化对供用能系统提出新的要求。边远农村地区是西部城镇化的主战场，随着西部小城镇的建设完成，居民居住环境和生活方式将发生变化。传统分散供能和烧煤、烧柴的方式将不再存在。能源结构和利用方式解决不好，将影响

城镇化的建设水平，能源消费成本不能降低，将影响农村向城镇居民过度的积极性。

3.2 适用范围与潜力

根据国人部发[2006] 61号文件，我国艰苦边远地区有 984 个，在地广人稀的中国西部边远地区，由于居民居住偏远且分散，能源基础设施建设落后，能源保障率低。在这些地区建设以可再生能源为主的微网系统是改善生活水平、保障能源安全的有效途径。边远地区微电网的主要的适用场合有：

(1) 绿色、低碳的西部新型小城镇地区

李克强总理在政府工作报告中强调，今后一个时期，要引导约 1 亿人在中西部地区就近城镇化。我国的西部地广人稀，城市化水平较低，发展小城镇是推进西部城镇化的重要途径，是加速西部地方经济社会发展最具活力的新的增长点。从今年起到 2020 年，青海省将每年投入 8 亿元专项资金，在全省范围内打造 80 个“美丽城镇”，宁夏 2014 年启动建设了 31 个美丽小城镇、101 个美丽村庄，西藏、四川、甘肃、新疆、陕西均已开始美丽小城镇建设。

城镇化的发展会带来能源总消耗量的大规模上升已经成为不争的事实。资料显示，一个农业转移人口进入城市，其能源消费水平将提升至原来的 3 倍及以上。相比于大城市，西部小城镇的规模小，大规模的建设煤炭、天然气和电网等能源基础设施的困难较大，但西部地区太阳能、风能等可再生能源丰富，采用以可再生能源为主的多能互补微电网解决西部小城镇能源问题是投资小、见效快的最有效手段，也符合城镇化“绿色、低碳”的建设要求。

(2) 能源利用方式落后的边远农牧区

加速发展替代能源顺应追求能源安全的世界潮流，行业发展空间巨大。以西藏、青海、内蒙的农牧区为例，受能源匮乏和长期以来形成的生活习惯影响，广大农牧民主要依靠牛（羊）粪、薪柴、草皮、树根和荆棘等作为生活燃料和取暖燃料。由此带来的负面影响，是大量的林木、植被、草场等遭到砍伐和破坏，森林、草场、耕地等基本生产要素循环发展能力日益降低。薪柴能源主要用于炊事、取暖，由于气候条件和炉具的原因，薪柴利用效率只有 15%左右，不仅对资源造成了极大的浪费，而且影响生活质量。2008 年开始，西藏实施了薪柴替代战略，

大力开发水能、太阳能、风能等清洁能源，减少作为燃料的柴薪、草皮的消耗。以可再生能源为主的微电网系统不但符合能源替代战略的定位，更加重要的是可以提高能源利用率，保障能源供给可靠性。

（3）电网薄弱但分布式发电渗透率高的地区

边远地区一般出去电网的末端，由于线路长、负荷低，电网的容量和调节能力有限。近年来，依靠国家的补贴和扶贫政策，边远地区开始大规模的安装可再生能源发电。随着风电、光伏等可再生能源发电的大量接入，其发电出力波动幅度往往很大，进一步加剧了电力系统波动。当可再生能源发电的比例（渗透率）大到无法忽视，以致必须考虑电源出力的波动时，传统的电源追随负荷变化的平衡方式不再适用，电力系统动态平衡难度将进一步增加。微电网技术通过引入储能和能量管理技术，可以对区域内多个分布式电源进行协调管理，发挥不同类型电源的优势，弥补各自的缺陷，以达到较高的运行效率并降低发电波动对电网的不利影响。

（4）电能质量要求高的关键负荷

由于边远地区电网薄弱，供电能力有限，供电保障率低，停电和限电情况频发，且停电时间长，此外电网的电能质量也很低。对这些地区的一般居民来说，低可靠性、低质量的电能可以接受，但是对于医院、通信公司和银行等重要机构来说，短期停电不允许的，需要具有可靠的供电保障，用电设备对电网电能质量要求也高。微电网系统中含有储能系统和能量管理单元，提高了供电的可靠性和供电质量。

3.3 设计与配置原则

相比分布式发电系统，微电网中增加了储能、能量管理等组成部分，各部分的结构设计和容量配置随负荷运行要求也不相同，需要根据实际需求进行定制化设计。在因地制宜利用本地可再生能源，满足负荷用能要求的前提下，边远地区微电网的设计与配置原则如下：

（1）充分利用光伏、风力、太阳能热等可再生能源，使可再生能源的能量供给基本满足新型农村的能源需求，能量渗透率达 100%。分布式可再生能源并网发电系统因为有大电网的支撑，在用户的能源结构中处于补充地位，主要的能源来

源是电网和传统能源。而微电网的目的是提高可再生能源利用率，使可再生能源成为替代能源，来自于可再生能源的能量要与微电网内负荷消耗的能量平衡。考虑到储能系统的高成本和微电网的技术水平，微电网的能量穿透率可以按照年平衡、季节平衡、月平衡、日平衡的发展路线进行设计。

(2) 针对不同建筑的冷热电用能需求，设计合理的供能系统，重点解决边远地区的用电和采暖问题，降低用能成本。冬季采暖和生活用电是边远地区能源的主要需求，且具有很强的耦合性。设计边远地区微电网时不但要考虑满足生活照明炊事用电，还应将取暖系统纳入微电网中，形成冷热电联供微网系统。在西部小城镇或农村区域能源系统中，通常要含有不同类型的负荷，如居民生活类负荷、政府学校办公类负荷、商业服务业等综合类负荷，对这些负荷类型要分别进行能源系统设计，例如居民生活类供能系统要节约用能成本，同时要兼顾灵活性，满足用户的多种需求，系统要经济成熟可靠；办公类负荷的能源系统设计主要根据白天负荷大、夜间负荷小的特点选择能源类型；综合类型负荷要根据实际情况进行单独设计，可以部分负荷进行新技术的示范。

(3) 合理配置储能系统，增加能源供给的可靠性。微网中的储能包括储电和储热两种，储电技术包括铅酸电池的能量型储能和锂电池的功率型储能，储热技术包括热水储热、建筑墙体储热、相变材料储热。储能系统增加了微网的成本，但却是解决微网能量平衡问题的重要手段。在离网型微网中，储能系统必不可少，但在联网型微网中，储能系统的配置较为灵活，可以安装在微网并网点处，减小可再生能源发电系统对电网的冲击，也可以安装在负荷供能系统中，保证关键负荷的不间断供能。边远地区的电网薄弱，需要微网的并网点安装功率型储能对并网功率进行调节，在居民住宅的能源系统中选择安装储热装置，降低用能成本，在关键负荷的能源系统中安装能量型的储电装置，当电网停电时能够继续保证供能连续性。

(4) 要具有盈利的商业模式，能吸引能源业主投资，适合大范围推广应用。我国中西部地区地广人稀，艰苦边远地区的乡镇和村落数以千计万计，以可再生能源为主的微网系统虽然能够解决能源问题，但是建设经费数额巨大，紧靠政府投资远远不够，因此需要探索合理的商业模式，通过吸引外来投资和集资的方式解决资金问题。因此设计微网系统中，微网的运营模式要简单可行，避免出现经

济纠纷问题。另外微网系统要具有较好的投资回报率，使系统的使用寿命在 20 年以上，投资回收期在 8 年以内，这样才能调动社会参与的积极性，推动可再生能源系统的大规模应用。

3.4 推广政策建议

目前，我国对光伏发电、风力发电等都有较好的政策支持，有力推动了这些可再生能源的健康快速发展。微电网系统作为提高可再生能源接入比例、保障能源安全的重要形式起步较晚，还存在一些问题，尤其是边远地区的微电网系统。边远地区整体经济和技术水平与城市地区有较大差距，在前期建设和后期运营方面存在需求差异大、规模总量小、维护量大的缺点。结合相关的案例分析，为推动边远地区微电网的发展，在政策和管理方面的建议有：

(1) 推广热电联供的微网系统。取暖和用电是边远地区主要的能源需求，只建设微电网系统不能充分利用可再生能源，也不能很好的解决能源问题。在边远地区建设多能互补的热电联供微网有利于解决西部严寒地区小城镇和农村的用电和采暖问题，有利于保护生态环境，有利于推动绿色、低碳的西部城镇化建设。

(2) 制定补贴政策吸引社会投资。热电联供微网项目增加了储能、光热利用和控制系统的建设和运维成本，投资回报率比光伏、风电的低。为吸引社会资金，应由国家或省级部门给与政策补贴，补贴分为初投资补贴和电价补贴，补贴原则为投资回收期小于 8 年，具体操作方式有：

- 初投资补贴：对储能系统、可再生能源供暖系统等无国家政策支持的项目进行初投资补贴，后期维护成本由微网投资方负责，相关经济收益归微网投资方。初投资补贴资金来源可以是光伏扶贫基金或者无电地区的电力建设资金。
- 电价补贴：由于供暖和储能系统难以计量，可以通过对光伏发电的电价补贴方式对微网系统进行补贴。对西部地区较为可行的补贴的方法有将一类或二类的光伏上网电价核准为三类，增加了光伏的收益。

(3) 执行灵活的运营管理模式。目前，对分布式发电项目可以选择“和“全额上网”两种模式。为了增加微网投资方的投资回报率，对于同一分布式光伏发电项目，应允许灵活选择上网模式，对用电电价高的公共和商业建筑采用“自发自用、余电上网”，对用电电价低的住宅采用“全额上网”的模式。

第四章 海岛型微电网的意义与设计原则

4.1 发展海岛型微电网的意义

我国幅员辽阔,除了无人居住的小型海岛外,多数岛上往往存在着居民建筑和军事驻地,这些海岛地区虽然物产丰富,但其开发和发展仍受到很多客观因素的制约,如交通、运输、自然条件等,其中海岛供电问题是主要问题之一,也是最为重要和最难以解决的问题。由于受地理因素制约,海岛主要依赖柴油机组供电,而近年随着国际油价的上涨,海岛电厂的发电成本大幅上升,政府补贴压力很大,柴油机传统模式的供电不能保证岛上居民和工业用电负荷的供电质量和供电可靠性,在经济性和环保性上也不符合可持续发展的要求高昂的电价和较低供电可靠性在影响着海岛居民及驻军正常生产生活的同时,严重地制约着海岛产业及旅游的发展,影响了海岛的经济腾飞。解决海岛供电问题已成为当地政府和居民的迫切问题。

海岛地区风、光、海洋等资源较为丰富,发挥其区位、环境和资源优势,开发海上风电资源,构建海岛微电网可以实现海岛能源资源综合利用,统筹解决海岛稳定供电问题,促进社会经济可持续发展。在海岛上采用微电网供电模式,以较少的环境代价,换取较高的整体投资效益和能源转换效率。海岛微电网系统可以独立于陆地大电网孤岛运行,也可以通过海底电缆与陆地大电网互联并网运行,具有运行的灵活性。通过微电网内部多种分布式电源的相互协调补充,可以为岛上用户提供清洁可靠的电力供应。发展海岛型微电网有以下几个方面的意义:

(1) 有助于充分利用海岛风能、太阳能及周边海洋能等可再生能源资源,通过应用海岛新能源的智能微电网供电,解决海岛供电可靠性及经济性的难题,降低用电的经济成本,为经济发展提供保障。

(2) 促进节能减排、实现绿色能源的有效利用,降低常规柴油机供电造成的环境污染水平。智能微电网可充分利用海岛上丰富的可再生能源,与其他分布式发电和储能系统结合,不仅能够满足海岛居民长期稳定的用电需求,还能有效节约常规能源,减少污染,是解决海岛绿色供电用能的有效途径。

(3) 以微电网形式代替之前仅依靠柴油机组供电模式,有助于提高系统的供

电质量，保证系统电压和频率的问题，提高供电可靠性，改善海岛居民的用电现状，改善海岛民生。

(4) 具有较好的可再生能源一体化利用示范效应。以岛上风电、光伏发电及柴油机(或微燃机)发电为基础，将峰谷富余电力用于海水淡化、蓄冷制冰和电动汽车充电等，可为海岛提供清洁电力，满足淡化水需求，供应渔业用冰及实现海岛全电气化的交通系统等，有助于提高综合能源利用的安全性和可靠性。

4.2 适用范围与潜力

海岛型微电网能源利用率较高，其经济、生态效益更加显著，适用于发电成本较高、可靠性和稳定性较差的偏远海岛地区。海岛大多拥有极为丰富的可再生能源，充分利用风能、太阳能、水能、海洋能、生物质能等自然资源，构建智能、环保型微电网不仅可以解决分布式电源的大规模接入问题，充分发挥分布式源的各项优势，还可以通过各种互补的可再生能源和先进的控制技术提高用户的供电可靠性、改善电能质量。考虑到海岛敏感的生态系统，以环保、低碳、低污染为特点的微电网更是一个很好的发展方向。

随着社会和科学技术的发展，大量非线性负荷的投运，造成电能质量问题的因素也不断增加，在可再生能源比例高、电网孤立的海岛电网中问题则更加明显。通过微电网的设计以及合理规划网架、优化设计配置，综合在海岛的中低压配电系统应用电力电子技术、微处理技术以及自动控制技术等高新技术，可以有效减少谐波畸变，降低电压波动与闪变，降低电压不平衡，提高用户的电力供电质量。在微电网中应用先进的控制策略和通信技术，实现风力发电、光伏发电等多种可再生能源的安全接入和协调控制，提高能源利用效率，实现可再生能源利用最大化和排放量最小化，真正实现资源节约型和环境友好型供电。同时，依靠先进的通信技术、信息技术和控制技术，实现多种分布式能源和用电负荷的协调控制，实现微电网中重要电气设备的遥信、遥测、遥控和遥视，全面提高智能微电网的运行管理水平。

充分利用海岛风能资源建设海上风电项目，与海岛微电网项目相辅相成。海上风电为海岛微电网提供可靠的供电保障，可以优化海岛资源配置和控制策略，反过来海岛综合能源利用项目可提高海上风电项目整体的经济效益和社会效益。

此外，海上风电、海岛新能源开发及智能微电网应用是促进节能减排、实现绿色能源的有效途径，若能加大政策扶持力度，研究制定合理的电价机制，将有利于海上风电开发、海岛能源供应可持续发展。目前，我国已有多个已经投运或正在建设的海岛微电网工程，这一新的海岛供电模式的发展为海岛能源结构的调整指明了方向。

目前对微电网技术研究正在逐渐走向成熟，但也有一些技术有待进一步完善：

(1) 电力电子控制设备：微电网灵活、高效、可靠运行方式是建立在先进的电力电子控制设备基础上的。电力电子控制设备是微电网的控制中枢。掌握微电网的控制策略和控制设备的制造是微电网能否广泛推广的关键因素。海岛型微电网的功率波动比城市和边远地区更加明显，这也对电力电子控制设备的快速、准确反映提出了更高的要求。

(2) 储能装置：储能装置是微电网不可缺少的重要设备，其削峰填谷的作用，可以提高间歇式能源的利用效率。海岛型微电网多为独立运行，因此储能装置还要肩负起对电压/频率进行调节的作用。目前关键要解决储能装置容量和造价问题。

(3) 可再生能源发电：近年来，虽然各种可再生能源发电的成本一直在下行，但与传统发电模式还有很大差距，同时大规模的可再生能源发电所带来的功率波动、调控困难等问题在海岛型微电网中表现得也更为突出，对微电网的构建提出了很大的挑战。目前可再生能源发电的蓬勃发展是在国家优惠政策的推动下实现的。

虽然微电网还有些技术需要完善，海岛型微电网在规划和建设阶段也存在着诸多问题，但随着经验的积累和技术的进步，微电网在海岛开发中具有良好的应用前景，其发展潜力将更加明显。

4.3 设计与配置原则

与城市和小城镇相比，海岛地区风资源大多数较为丰富，因此采用风力发电是有基础的，然而其波动性也更为明显，而且大多呈现明显的季节特性，多表现为春夏季节风速较小而秋冬季节风速较大；海岛一般辐射条件都比较好，采用光伏发电是不错的选择，同时光伏发电设备性能稳定，寿命长；以旅游业为主的海岛地区，其负荷分布也具有一定的季节特性，旅游旺季（多为4~9月份）负荷较大，旅

游淡季（多为10~次年3月）则负荷较小。

海岛型微电网多与大电网相互隔离，其运行方式以独立运行、自发自用为主。海岛地区的风、光等自然资源多较为丰富，故海岛微电网风机、光伏容量在允许的条件下可以设置的大些，可再生能源发电所占比例较大。海岛微电网与城市和边远地区相比，交通运输更加困难，设备和燃料的运输及安装成本较高，同时岛上自然条件更为恶劣，对电网的要求更高，导致其总建设成本较高。因此在设计方案时，要兼顾海岛自身的资源、负荷分布特性以及独立型微电网的运行特点，选择合适的设备类型和容量。

（1）选择风机时，既要考虑当地的风资源情况，又要考虑负荷大小及分布特性，同时还要考虑不同种类风机的控制方式及运行特性。由于海岛地区风资源较为丰富，但风资源大小的季节性变化和负荷的季节性需求常常不一致，此时选择风机容量时要权衡系统的经济性和弃风情况，同时要考虑风速波动情况对风机的功率控制要求，建议尽可能采用可通过变桨距等方式实现风功率控制的风机。此外，应选择技术较为成熟或应用范围比较广的风机产品。

（2）选择光伏时，不仅要考虑当地的光照资源及负荷情况，还要考虑具体的空间限制。由于海岛生态环境、建筑物屋顶面积等的约束，安装容量需要依据现场条件仔细勘察。由于光伏发电的高峰季节与旅游类海岛的负荷高峰季节具有一致性，同时考虑到光伏系统的控制易于实现，在可能的情况下可以尽可能多配置光伏。

（3）选择储能系统容量时，需要充分考虑价格因素。储能在离网系统中，除了“削峰填谷、平移功率波动”作用外，还要在柴油机关闭时作为主电源进行功率调节和电压/频率控制。由于储能价格相对较高，在配置时其容量应尽可能合理。通常情况下，以能够独立支撑系统内功率瞬时波动为最小功率容量，同时确定容量时还要明确具体的系统运行策略。

（4）对于柴油机，应尽可能将其作为备用电源，在风/光/储不能满足负荷时才开启，同时考虑到柴油机的运行效率与运行功率有关，若容量过大，不仅造成较大的空载损耗，还使得柴油机长期运行在低负载率下，效率较低。因此要根据负荷情况选择合适的柴油机容量，必要的时候可以选择多台小容量机组代替单台大容量机组，以保证柴油机的运行效率。

综上所述，对于海岛类微电网，总体而言应以可再生能源供电为主，储能主要用于平移功率波动以及调频调压，尽量少用柴油机供电。同时由于海岛型微电网需要长期独立运行的特殊性，要通过合理的设备容量配置以及较为完善的运行监督维护，保证其可靠运行。

4.4 推广政策建议

国家微电网示范工程不但要解决相关的技术装备问题，还要解决其经济发展模式和相关法律法规问题。若政府能够在规定电价以外给予更加优惠的财税政策，将有利于减轻海岛用户的用电负担。电价的下降还将带来海岛用电量的进一步增长，因此对于政府而言，相应的财政补贴不仅能够有效减轻用户的用电负担，促进海岛社会经济的快速和可持续发展，而且能够大大降低政府的经济负担，体现了良好的经济效益。

对于独立型微电网，延续国家“无电地区电力建设”项目的政策，初投资由中央和地方政府解决；为了更为有效地保证电站的后期运营管理和服务，也可以考虑电价补贴方式。针对于此，相应政策建议如下：

1) 鉴于上网电价政策不适用于海岛离网微电网，目前只有财政部的金太阳工程对离网光伏发电系统有补贴政策（初投资的70%），建议用离网微电网形式解决无电海岛的供电问题时，享受金太阳补贴类似政策，能够获得系统初投资的70%补贴。

2) 按照能源局十二五规划，计划在全国范围内建设30个微电网示范。建议按照“成熟一个，建设一个”的原则，将符合条件的海岛微电网工程纳入示范工程，争取全部初投资由国家承担。

3) 海岛地区投资成本通常比较高，若电价定得偏高，则有可能造成海岛居民和企业无法承受；若电价定得偏低，则不能在项目周期内收回成本。因此通常需要政府对电价进行补贴，以保证项目的正常进行，建议国家或地方政府对海岛微电网的电价给予适当补贴。

附件一、城市型微电网案例分析—山东东营市

1. 资源及负荷情况分析

中国石油大学（华东）校区位于山东省东营市东营区，而东营市位于山东省北部黄河三角洲地区，中华民族的母亲河——黄河的入海口。整个校园总面积 300 公顷。

目前，中国石油大学（华东）主校区已经搬至青岛黄岛，校园内只保留一些研究生。规划该区域将建成为一个新的产业孵化基地，作为国家大学科技园，发挥其良好的组织中心平台作用。并结合东营市新能源示范城市的建设需求，在该区域打造以可再生能源为主的典型城市园区智能微网的示范应用基地。

1.1 自然条件及资源情况

该地具有丰富的风能、太阳能、地热能、垃圾能等资源，发展可再生能源产业条件优越，主要自然资源状况和开发利用情况介绍如下：

风能：由于东营市东、北邻渤海，海岸线长 413 公里，距海岸线 10 公里陆地和 20 公里近海海域范围风资源丰富，风速历史极大值 32.9m/s。70m 高度平均风速 8.0m/s，50 米高度年平均风功率密度分别为 337 瓦/平方米，70 米高度年平均风功率密度分别为 379 瓦/平方米，根据《风电场风能资源评估方法》制定的风功率密度等级划分标准，风功率密度达到 3 级，风电场的风能年有效利用小时数为 7733，70 米高度湍流强度较小，属风能资源较好地区。目前该地风电享受电价补贴政策：0.70 元/千瓦时。

太阳能：东营地处中纬度，属暖温带大陆性季风气候，气候温和，太阳辐射能量大，全年平均日照时数 2715 小时，年平均日照率在 60%以上，平均年太阳辐射总量大于每平方米 5000 兆焦。参照《太阳能资源评估方法》（QX/T 89—2008），在全国范围内，东营市整体的太阳能资源属于二类地区，即资源很丰富地区。目前电价享受政策：光伏地面电站 1.2 元/千瓦时，分布式光伏发电国家补贴 0.42 元/千瓦时。

地热能：全市已探明东营中心城区、河口城区、孤岛-仙河、东营港四个大型地热田，低热资源量、可利用量折合标准煤分别为 92.3 亿吨、20.09 亿吨，地下水热水资源量、可采量分别为 3447.68 亿立方米、562.61 亿立方米，允许开采量 154.14 万立方米/天。

垃圾能：东营市中心城日产垃圾 600 吨，年产垃圾 21 万吨。规划建设垃圾焚烧电站装机 2.4 万千瓦时，日处理垃圾 1200 吨。目前，重钢环保公司在我市投资建成装机 1.2 万千瓦时东营垃圾焚烧电站一期工程，日处理垃圾 600 吨。目前垃圾发电电价享受政策 0.61 元/千瓦时。

1.2 负荷情况（冷、热、电需求）

建成后的中国石油大学国家科技园主要以商业为主，将新建一座低碳科技大厦。还包括校园区已有的师生宿舍与抽油机。统计主要负荷需求情况如下表 1 所示。

表 1 中国石油大学校园区冷热电负荷情况一览表

用能区域	负荷类型	负荷大小预测	负荷特点
商业区	办公照明用电	500kW	早 9 点至晚 5 点高峰
	大厦制冷或取暖地源热泵机组	2MW	可控负荷
居民区	200kW 居民日常用电	200kW	早 6 点至晚 12 点
	300kW 居民取暖地源热泵机组	300kW	可控负荷
工业区	10 台抽油机供电	300kW	冲击性负荷、 24 小时不间断供电

1.3 电网建设情况

东营电网位于山东电网的末端，供电面积为 7923 平方公里。随着当地商业及居民用电量需求的不断提高，电力缺口将不断增加，因此将结合该地的自然资源情况，因地制宜发展以可再生能源为主的多能互补微网系统，建设光伏发电、风力发电、生物质发电项目，缓解用电需求。

2. 微电网系统设计方案

2.1 微网系统设计原则

考虑到中国石油大学国家科技园属于典型的城市园区，本地有大电网存在，负荷类型包括商业、居民和工业三种，并且有冬季供暖、夏季制冷的需求；另外本地可再生能源资源丰富，可安装光伏、风电、垃圾发电、地热、光热等可再生能源。针对以上特点，微网系统设计时主要本着以下几个设计原则：

(1) 可再生能源的容量安装本着“因地制宜、就地消纳、少量上网”的原则，优先最大限度使用光伏、风电等可再生能源；

(2) 应尽可能减少储能电池的容量，并网时，作为可控电源，用于平抑高渗透可再生能源接入电网的功率波动、改善冲击性负荷对电网的电能质量影响、实现削峰填谷；独立时，作为组网单元，满足本地重要敏感负荷的不间断供电；

(3) 充分利用当地的垃圾资源条件，建设园区垃圾发电系统，一方面将垃圾发电作为整个微电网中的可控电源，实现高比例可再生能源接入的稳定可靠运行，另一方面作为多能互补微网系统示范研究的重要组成部分，研究垃圾发电或生物质发电对城市园区微网的稳定性调控作用及经济可行性评估；

(4) 充分发挥冷热电负荷的时空耦合关系，地源热泵机组作为冷热负荷的动力源的同时又可作为电网的可控负荷，并依托绿色节能建筑对冷热量的存储特性，从而实现电能与冷热能间的转换；

(5) 针对当地的电网及商业、居民、工业三类典型负荷特性，整个石油大学国家科技园区微网采用分层互连的架构，并通过城市园区综合能效平台实现多种可再生能源互补运行及冷热电负荷响应的优化控制；

(6) 根据当地的电网及负荷特点，中国石油大学微网系统共分三个子网在负荷侧就近接入电网，并归属电网统一管理，电价机制按照电网公司规定的可再生能源接入电网的补贴政策计算。

2.2 微网系统容量配置

根据先期的实地调研，中国石油大学园区微网将建成包括光伏、风电、垃圾

发电、地热、光热、蓄电池等可再生能源的冷热电联供微网系统。其中光伏发电系统安装容量 2MWp、风力发电装机容量 850kW、垃圾发电机组容量 100kW，日处理垃圾 8 吨、蓄电池 1MWh、系统容量具体配置及设计原则如下：

(1) 光伏发电的安装本着因地制宜，并且能够展示建筑节能的潜力和最新建设技术，既美化了建筑形象，节约运营成本，又创造了优质的工作、生活空间。总装机容量为 2.0041MWp，建设项目具有多样性，其中低碳大厦屋面、师生宿舍为混凝土屋面，湖面走廊为铝合金材质，以上两部分结构强度较高，选择光伏组建最佳倾角 31° 铺设，铺设方式为单块组件立式安装，阵列间距为 2.216 米，低碳大厦南立面实施条件较好，在南立面上平铺设光伏组件，呼应了光伏发电与建筑一体化结合的理念。湖面采用在湖底打桩形式安装固定式光伏组件也按照 31° 倾角铺设，铺设方式为 2 块组建横式安装，阵列间距 2.69 米。车棚顶面可利用面积较大，采用在原有造型平面选用光伏组件平铺的方式，实现了光伏与车棚建筑的有效结合。

(2) 坐落于校园区的荟萃湖中心有个小岛，并通有通往河面的走廊，该区域场地平整、物料运输堆放方便、风机电缆到控制室距离也适中，利于基础实施，安装作业方便，另外从景观上来看非常协调美观，并与办公和居民有一定的距离，不会受风电噪音的影响。经现场调研勘测，并结合技术及经济型的原则可安装一台 850kW 的分布式风力发电机组。

(3) 根据经验人均生活垃圾 0.8kg/人天，高峰 1.2kg/人天，该园区系统设计拟建立日处理垃圾 5 吨的规模，每吨垃圾焚烧可发 300 度电，这样可安装垃圾发电机组 100kW。

(4) 根据以上尽可能减少储能系统的设计原则，为减少光伏、风电等间隙能源接入对电网的冲击，使分布式能源接入电网的能量调度可控，储能系统至少要提供 10 分钟的能量支撑，考虑到风电与光伏总的安装容量为 2.85MW，储能系统放电深度为 50%，整个系统设计出能容量为 1MWh。

(5) 设计建造 300 口浅层地热井，为师生宿舍供冷暖，冬季采暖量为 1500kW，夏季制冷负荷按 1250kW 计算，热泵机组型号为 PSRHH-Y5414,1 台。单台制冷量为 1753kW，制热量为 1732kW，用电功率为 300kW；设计建造两口深层地热井为低碳大厦供暖，低碳大厦制冷采用冷却塔+水源热泵机组，低碳大厦建筑面积冷负

荷 $150\text{W}/\text{m}^2$ ，热负荷 $90\text{w}/\text{m}^2$ ，制冷负荷 15523kW ，总采暖负荷 9313kW 。选用 5 台散热量为 3000kW 的冷却塔，结合 5 台 PSRHH-Y9604，机组单台制冷量为 2947.1kW ，制冷功率 400kW ，共计总用电功率 2MW 。

2.3 系统总体设计框架

根据当地的电网架构以及负荷的特性分布情况，中国石油大学国家科技园区共分商业、居民、工业三个区域子微网。每个子微网既可以并网运行也可以独立运行，并网运行时，每个子微网间能源共享，互通有无，实现可再生能源利用的最大化的同时保证用户运行利益的最大化。中国石油大学国家科技园区微网系统总体架构如下图 1 所示。



图 1 中国石油大学微网系统架构图

整个微网系统的设计充分发挥不同能源间的互补特性及能量的循环再生利用理念。首先从能源的利用形式来看，系统可分为微电网、微冷网和微热网；微电网能源供应形式主要包括光伏、风电、垃圾发电，并以蓄电池为媒介来实现电能的存储；冷热网能源供应采用地源热泵技术，制冷季利用地源热泵进行制冷并向地表传输热量，采暖季利用地源热泵进行制热并从地表提取热量，从而实现季节性蓄冷/蓄热的循环利用过程；光伏/风电通过大自然的循环实现可再生能源利用，而蓄电池存储单元可通过电动车储电、电网储电、回收修复及处理等利用形式实现储能单元的梯级能量利用；工业、商业、居民用垃圾通过处理进行发电再利用；同时，从能源耦合角度来看，地源热泵本身又是微电网的负荷，通过用户侧冷热电的需求响应特性分析可实现冷热电联供微网的优化运行。另外方案还设置了污水/中水处理、雨水回收等多项能源再利用形式，同时这些系统均可看作微电网的

可控负荷，便于实现整个微网系统的能量供需平衡。

2.4 子微网的方案设计及运行

在商业区子微网中，考虑到用能需求高峰在早 9:00~晚 5:00，微网系统架构如图 2 所示。

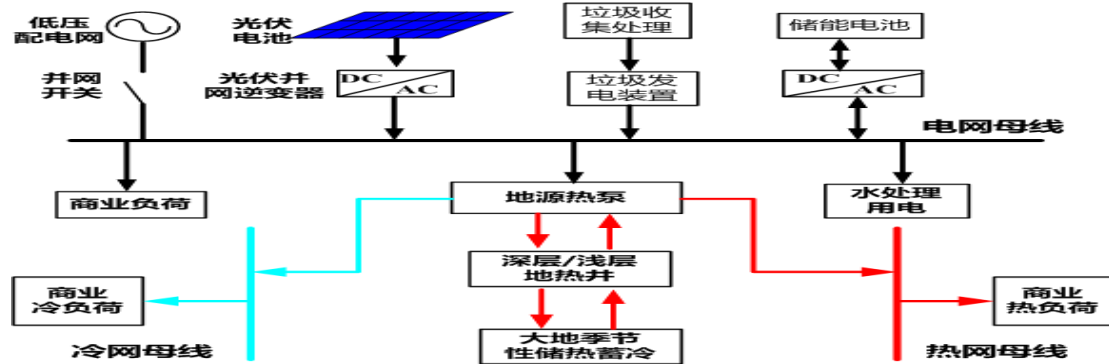


图 2 商业区子微网架构图

在运行方式上，系统可以并网运行也可以独立运行，并以并网运行方式为主。在并网运行时，大电网作为整个电网的支撑单元，负责电网的电压和频率组建；光伏发电并网接入，并就地供应负荷；垃圾发电与储能电池作为可控发电单元，平抑光伏发电间歇性输入特点及负荷波动对电网的冲击，并通过能量管理系统的优化调度实现对电网的削峰填谷与电网优化支撑；冷热网充分利用当地的地热能优势，通过地源热泵来建立，并将大地作为季节性储热蓄冷的介质，实现商业区的制冷或采暖；对电网来讲，地源热泵可看作为电网的可控负荷，依托节能绿色建筑，利用其冷热电在时空上的耦合关系，实现整个商业区子微网系统的能量平衡与优化运行；另外本方案中还配置了中水处理及水循环利用等节能设施，这些实施也都可以看作电网的可控负荷点，并作为系统负荷响应通过能量管理系统进行优化控制。当大电网出现故障或电网不稳定时，系统转为独立运行，通过垃圾发电或储能电池作为组网单元，光伏发电作为并网发电单元；在独立运行状态下，系统根据发电源的情况最大限度地满足子微网的供能需求，但出现电力供应不足情况，会根据本地负荷的重要性，通过能量管理系统逐一实现对负荷的投切控制。

商业区子微网系统的源荷储配置情况如下表 2 所示。

表 2 商业区子微网源荷储配置情况一览表

可再生能源			
可再生能源	装机容量	年平均满发小时数	年总发电量
光伏发电	1.0041MWp	1050h	1,054,305kWh
垃圾发电	100kW	5475h	547,500 kWh
年总发电量			1,601,805kWh
负荷			
负荷	功率	*额定年小时数	年总用电量
一般商业用电	500kW	2044h	1,022,000 kWh
制冷/采暖用电	2MW	896h	1,792,000kWh
年总用电量			2,814,000kWh
储能			
蓄电池容量			300kWh
可再生能源能量渗透率			56.92%

*说明：一般商业用电按照每天 8 小时，满发系数 0.7 来计算，一年共计 $365 \times 8 \times 0.7 = 2044h$ ；取暖按照 100 天/年，制冷按照 100 天/年计算，工作时间 8 小时，考虑到假期时间系数取 0.7 来，考虑到节能建筑的保温效果热泵功率系数取 0.8，一年共计 $200 \times 8 \times 0.7 \times 0.8 = 896h$ 。

在居民区子微网中，考虑到用能需求高峰在早 8:00~晚 12:00，微网系统架构如图 3 所示。

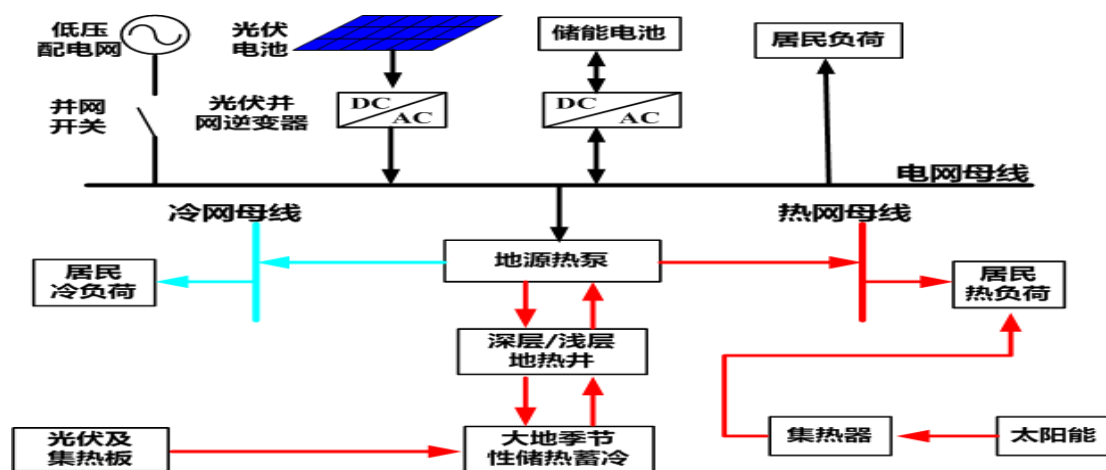


图 3 居民区子微网架构图

在运行方式上，居民区子微网系统与商业区子微网类似，但考虑到经济性和用户需求的不同，在生活热水方面采用了太阳能集热器来提供，并通过热利用技术，将光伏及太阳集热板的热量导入大地存储起来，实现对土壤中热量的平衡。

系统源荷储配置情况如下表 3 所示。

表 3 居民区子微网源荷储配置情况一览表

可再生能源			
可再生能源	装机容量	年平均满发小时数	年总发电量
光伏发电	700kWp	1050h	735,000kWh
年总发电量			735,000kWh
负荷			
负荷	功率	*额定年小时数	年总用电量
一般居民用电	200kW	3504h	700,800 kWh
制冷/采暖用电	300kW	2400h	720,000kWh
年总用电量			1,420,800kWh
储能			
蓄电池容量			200kWh
可再生能源能量渗透率			51.73%

*说明: 一般居民用电按照每天 24 小时, 满发系数 0.4 来计算, 一年共计 $365 \times 24 \times 0.4 = 3504\text{h}$; 取暖按照 100 天/年, 制冷按照 100 天/年计算, 工作时间 24 小时, 时间系数取 0.5, 一年共计小时数为 $200 \times 24 \times 0.5 = 2400\text{h}$ 。

在工业区子微网中, 抽油机负荷需要 24 小时不间断供电, 并且在采油时电机负荷瞬间会有 3~5 倍的功率波动, 系统架构如图 4 所示。

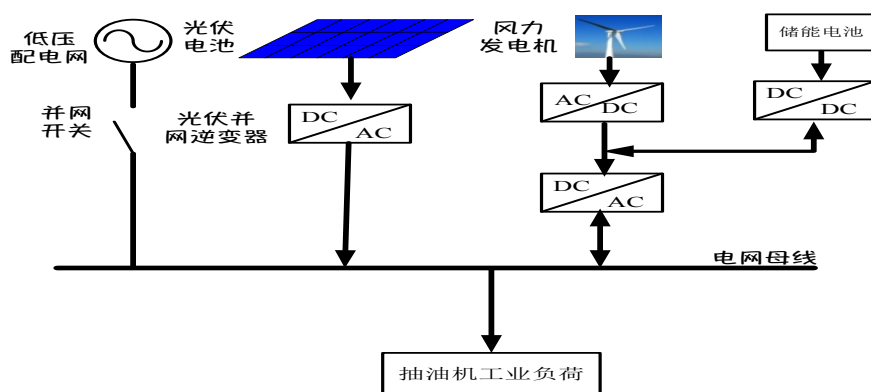


图 4 工业区子微网系统架构图

此微网系统中, 没有冷热负荷, 只有电负荷, 考虑到抽油机负荷的特点, 微电网中以风/光互补发电作为供电电源。在运行方式上, 整个微电网既可以并网运行也可以独立运行, 但以并网运行为主。在并网运行时, 大电网作为整个电网的支撑单元, 负责电网的电压和频率组建; 光伏与风力发电并网接入, 并就地供应负荷; 另外通过在风机直流侧接入储能装置, 将风机作为一个完全可控的单元, 平抑风力发电与光伏发电间歇性输入特点及负荷瞬间功率波动对电网的冲击。大电网出现故障或电网不稳定时, 系统转为独立运行, 带储能的全功率变换的可控风力发电机组作为组网单元, 光伏发电作为并网发电单元; 在独立运行状态下,

系统根据发电源的情况最大限度地满足子微网的供能需求，但出现电力供应情况，会根据本地负荷的重要性，通过能量管理系统逐一实现对负荷的投切控制。

系统源荷储配置情况如下表 4 所示。

表 4 工业区子微网源荷储配置情况一览表

可再生能源			
可再生能源	装机容量	年平均满发小时数	年总发电量
光伏发电	300kWp	1050h	315,000kWh
风力发电	850kW	1500h	1,275,000 kWh
年总发电量			1,590,000kWh
负荷			
负荷	功率	额定年小时数	年总用电量
抽油机负荷用电	300kW	8760h	2,628,000 kWh
年总用电量			2,628,000 kWh h
储能			
蓄电池容量			500kWh
可再生能源能量渗透率			60.5%

说明：抽油机工业负荷用电按照每天 24 小时计算，园区内共有 10 台，每台额定功率 30kW。

3. 经济效益评估

根据以上方案及系统配置，中国石油大学国家大学园区风光储微网系统的设备造价及每年收益如下表 5 所示，微网系统经济效益评估计算模型参数如表 6 所示。

表 5 设备成本构成一览表

费用名称	装机容量	单位造价	年发电小时数(h)	总投资(万元)	年发电量(kWh)	电价补贴(元/kWh)	电价(元/kWh)	年收益(万元)
总光伏系统	2.0041MWp	9 元/Wp	1050	1803.69	2104305	0.42	0.63	220.952025
商业区	1.0041MWp	9 元/Wp	1050	903.69	1054305	0.42	0.62	
居民区	700kWp	9 元/Wp	1050	630	735000	0.42	0.55	
工业区	300kWp	9 元/Wp	1050	270	315000	0.42	0.85	
风电系统	850kW	11 元/W	1500	935	1275000		0.70	89.25
储能系统	1MWh	2 元/Wh		200	--		--	--
*储能更换	1MWh	2.8 元/Wh		280	--		--	--
垃圾发电	100kW	43 元/W	5475	430	547500		0.62	33.945
EMS	--	--		120				
冷热系统				2000				300

总投资		5488.69	--			644.147025
-----	--	---------	----	--	--	------------

*说明: 当地商业用电为 0.62 元/度, 居民用电为 0.55 元/度, 工业用电为 0.85 元/度, 考虑到有部分需要评价上网, 综合考虑光伏平均电价为 0.63 元/度, 风电平均电价为 0.7 元/度计算。储能介质更换按照寿命期 25 年内 4 次, 考虑到折旧费用, 每次按照 0.7 元/Wh, 寿命期内共需 $4 \times 0.7 = 2.8$ 元/Wh。储能介质每 5 年更换一次, 每隔 5 年按照现金投入的方式计算。

表 6 东营石油大学微网系统经济评估模型输入参数

运营方式	自发自用
建设期(年)	1
运行期(年)	20
折旧期(年)	15
基准收益率(%)	8.00%
投资	
流动资金(万元)	运营总成本的 150%
资本金比例(%)	30%
贷款利率(%)	6.55%
贷款年限(年)	15
固定资产残值	总投资的 10%
税率	
购项增值税率(%)	17.00%
销项增值税(%)	8.50%
所得税率(%)	25.00%
销售税金及附加税率(%)	8.00%

基于表 5 和表 6, 在现有电价政策下, 不同可再生能源系统的投资及收益情况一览表如表 7 所示。

表 7 不同可再生能源配置的投资及收益对照表

供能系统	装机容量	初投资 (万元)	年运维费 (万元)	年均收入 (万元)	内部 收益 率	投资回收 期 (年)
光伏发电	2.0041MWp	1803.69	20	220.95	9.74%	10.45
风力发电	850kW	935	8	89.25	6.11%	15.9

垃圾发电	100kW	430	4	33.40	<0	/
地热系统	2.3MW	2000	50	300	10.27%	9.78
风光储微电网	850kW+2MWp +1MWh+能量管理	3058.69	28+280(储能更 换)	310.20	2.59%	21.81
风光储垃圾地热园区微网	850kW+2MWp+1M Wh+100kW+2.3MW +能量管理	5488.69	82+280(储能更 换)	643.606	4.91%	18.27

按照以上财务模型，贷款金额按照初投资的 70% 计算，利率按照现有银行利率，现有政策条件下的经济评估结果很难吸引开发商进行投资开发，主要经进行评估结果如下：

- ❑ 分布式光伏发电，该地电价为 1.05 元/度电，回收期为 10.45 年；
- ❑ 分布式风电，该地电价为 0.7 元/度电，回收期为 15.9 年；
- ❑ 小规模垃圾发电，该地电价为 0.62 元/度电，寿命期 25 年内无法收回成本；
- ❑ 地热供冷取暖系统，回收期为 9.78 年；
- ❑ 风光储垃圾微电网，回收期为 21.81 年；
- ❑ 整个冷热电微网系统，回收期为 18.27 年。

为保证整个微电网系统的投资回收期在 10 年以内，采用初投资+电价补贴的方式，具体补贴办法为：对微电网系统需要额外增加的储能及能量管理系统部分进行 100% 初投资补贴，占整个系统投资的 5.83%。对微电网系统中其他可再生能源均享受与光伏发电相同的 0.42 元/度的电价补贴，补贴年限 20 年。增加补贴后，各个系统的电价清苦如下表 8 所示。

表 8 补贴政策表

供能系统	电价补贴	初投资补贴
光伏系统	1.05 元/度	0
风电系统	1.12 元/度	

垃圾发电		
地热系统		
储能系统	200 万	200 万
能量管理系统		120

基于表 8 的补贴政策，不同可再生能源组成的系统的经济性评估测算如表 9 所示。

表 9 加补贴后不同可再生能源配置的投资及收益对照表

供能系统	装机容量	初投资 (万元)	年运维费 (万元)	年均收入 (万元)	内部 收益 率	投资回收 期 (年)
风力发电	850kW	935	8	142.8	19.89%	6.12
垃圾发电	100kW	430	4	56.94	15.61%	7.63
风光储 微电网	850kW+2MWp+1MW h+能量管理	2738.69	28+280(储能更 换)	363.752	11.45%	12.71
风光储 垃圾地 热园区 微网	850kW+2MWp+1MW h+100kW+2.3MW+能 量管理	5168.69	82+280(储能更 换)	720.69	15.14%	8.25

按照表 8 所示补贴后，中国石油大学冷热电微网系统的回收期为 8.25 年，收益率为 15.14%。

4. 商业模式及政策建议

4.1 商业模式

本项目由中国石油大学东国家科技园区服务公司筹建设，并进行微网的运维管理项目采用用户侧并网，尽可能满足自发自用，余量上网的原则，上网电量价格按照自发自用的价格进行差额补贴。

4.2 政策建议

- 针对微网系统，分布式光伏并网发电的相关补贴政策对微网有效；
- 针对适宜开展分布式风电的地方，建议可更加安装的规模进行相应的初投资补贴，补贴水平在 2 ~ 4 元/W；
- 对于小规模(<1MW)垃圾发电，经济性很差，一般不建议建设，如需建设，建议进行初投资补贴，补贴水平在 30 % ~ 50 %，具体需要根据规模和当地的资源情况来定；
- 采用地热供暖制冷系统一般可以商业运行，可根据当地资源优先使用；
- 储能系统需要全额进行初投资补贴，储能容量应尽可能少。

附件二、边远地区微电网案例分析—青海兔儿干村

1. 资源与负荷情况分析

1.1 兔儿干新型农村社区简介

青海兔儿干新型农村社区被列为青海省政府重点支持的新型农村社区示范点，是我国西部小城镇的典型代表。该村是青海省西宁市湟源县日月乡的乡政府所在地，距离湟源县城约 23 公里，距离西宁市 78 公里，平均海拔 3100 米，兔儿干村现有居民 380 户，是全日月藏族乡政治、经济、文化中心。根据青海省人民政府办公厅《关于印发推进我省新型农村社区试点建设实施意见的通知》（青政办【2012】261 号）文件精神，兔儿干新型农村社区被列为青海省政府重点支持的新型农村社区示范点。县政府计划到 2015 年新建 700 户住宅，安置兔儿干村周边散居农牧民，以解决其现状居住环境自然灾害频发、交通不便、远离集镇，村民“行路难、就医难、生产生活发展难”的局面，届时兔儿干村居民将达到 1080 户，未来还将进一步发展旅游业和商业。

1.2 能源现状分析

兔儿干村距离西宁市较远，建设天然管道成本太高。煤炭运输困难，价格每吨 800 元，且不宜在新建住宅建筑中大量使用。当地电网处在西宁电网末梢，供电保障率不高，扩建电网的投资规模大。受能源与经济条件限制，长期以来，冬季供暖大都采用的是煤炭、牛羊粪、木材等方式，供暖效果差，对环境和生态破坏较大，且能源利用效率低，能源利用结构不合理。在非采暖季，居民的炊事生活用能已经习惯于用电，随着生活水平提高，用电成本将会大幅提高，当地薄弱的电网不能满足当地居民的需求。随着当地旅游业的发展，公共事业、商业、服务业的用能需求将大幅提高。因此，兔儿干社区对增加能源供给、改变传统能源利用方式具有迫切需求。

我国西部地区具有很好的太阳能、风能、水能等可再生能源，充分利用可再生能源是解决兔儿干等西部小城镇的用能问题的有效途径。兔儿干地区地处内陆，

属于大陆性季风气候,主要特点是日照时间长,太阳辐射强。年平均气温约 3.0℃,近年来最高气温 28.3℃(2010 年 7 月 28 日),最低气温-23.5℃(2011 年 1 月 15 日)。根据国家气象局西宁 1993 年到 2010 年的月辐射量,利用光伏设计软件进行组件倾斜面上的辐射量计算,在倾斜角度为 35 和 36 时,倾斜面所接收到的年总辐射量最大,达到 1802kWh/m²·year,太阳能资源十分丰富,年均光伏发电运行小时数可达到 1400 小时。兔儿干地区全年以西北风为主,其中冬季主导风向为偏西风,10 分钟极大风速为 24.7 米/秒(2012 年 12 月);夏季以偏东风为主,极大风速为 17.0 米/秒(2009 年 6 月);近几年年平均风速为 1.9 米/秒,风向频率以西北风最多。兔儿干村拥有小水电站一座,额定功率 400kW,电站类型为径流式,可进行日调节。每年 11 月到次年 4 月电站因河流结冰,电站停止发电;5 月到 10 月,电站全天发电,年发电量 100 万 kWh。

1.3 冷热电用能需求分析

兔儿干社区的用能习惯和需求具有典型西部小城镇用能特性。海拔高,气温低,全年近七个月是采暖季,采暖负荷是当地的主要负荷。距离大城市较远,没有天然气供应,普通家庭目前冬季采暖普遍采用小煤炉,每户每年冬季采暖用煤量约 5 吨,折合人民币 4000 元,炊事和生活照明的用电量每年约 3000 度,折合人民币 1200 元。当地公共事业建筑主要有学校、乡政府和卫生院等,其中寄宿制的日月中心学校供电、供热负荷最重,并且冬季全天需要供暖、供热水和供电,教学楼、宿舍、食堂等设施的用能需求和用能时间存在较大差异。乡政府供电、供热负荷其次,并且具有典型的办公负荷特征,负荷高峰出现在工作时间,并且对供能快速性要求较高,在工作时间以外的负荷极低。卫生院对供电可靠性提出了较高要求,疫苗、药品等需要长期冷藏,断电会导致一些药品变质。当地的商业建筑主要是餐馆和商店,具有制冷、炊事和用电需求,夏季是旅游旺季,制冷和炊事用能较多,冬季采暖需求较多。

因为采暖负荷是兔儿干社区的主要负荷,所以在进行社区用能分析过程中,将兔儿干用能需求分为采暖季和非采暖季进行分析。采暖季为 10 月到次年 3 月,共 6 个月 182 天,非采暖季从 4 月到 9 月,共 6 个月 183 天。新建建筑按照节能建筑进行设计,采暖方式考虑电采暖,采暖季每天需要的电量为 14kWh。其他建

筑的采暖方式保持原有方式不变。各主要负荷需求情况统计如表 1 所示。

表 1 兔儿干社区冷热电负荷情况一览表

计量单位: kWh

类型	建筑	日用能@采暖季		日用能@非采暖季		建筑数量	年用电统计
		热(冷)	电	热(冷)	电		
居民	既有住宅	煤/粪	4.5	煤/粪	4.5	380	62.4 万
	新建住宅	14	4.5	0	4.5	700	293.3 万
公共建筑	学校	煤	300	20	100	1	7.7 万
	乡政府	煤	80	0	40	1	2.2 万
	卫生院	煤/10	30	10	10	1	1.1 万
商业	餐馆	煤	20	10	10	15	11 万
	商店	煤/10	3	5	3	10	3.8 万
其它	\	\	\	\	\	\	5 万
合计		采暖季 268.1 万		非采暖季 99.3 万		\	367.4 万

2. 微网系统总体方案设计

根据边远地区微电网的设计原则对青海兔儿干新型农村社区进行微网系统设计。因为兔儿干社区中含有的多种负荷用能需求各异，可再生能源形式也多种多样，常规的单一供能系统难以同时兼顾各负荷的运行要求。因此，根据社区建筑类型和用能特点，结合不同的建筑供暖适应方案，通过现场调研和专家论证，在居民住宅建筑中分散安装光伏、光热系统，形成分散的供能单元；在公共建筑中示范建设热电联供微网系统，充分利用可再生能源满足能源需求；在农村周边安装集中光伏和储能系统，满足整个社区的能源需求和能量平衡，最终形成了以可再生能源为主的“一大/三小/多分散”式分层微网互联系统。所谓“一大”，指的是整个新农村社区作为一个大的可再生能源供用能系统，光伏发电、太阳能热、水力发电、电网是主要的能量来源。所谓“三小”，是指卫生院、乡政府、学校三个典型的公共建筑，根据三种建筑的不同用能需求组建成三个可再生能源冷热电联供微网。“分散”指分散的住宅建筑，在新建住宅屋顶安装光伏发电系统、太阳能热利用系统和储能系统满足用能需求，对既有住宅建筑不改变原有生活方式。“一大/三小/多分散”的系统结构如图 1 所示，多个微网以电网为骨架，可以实现协调运行。

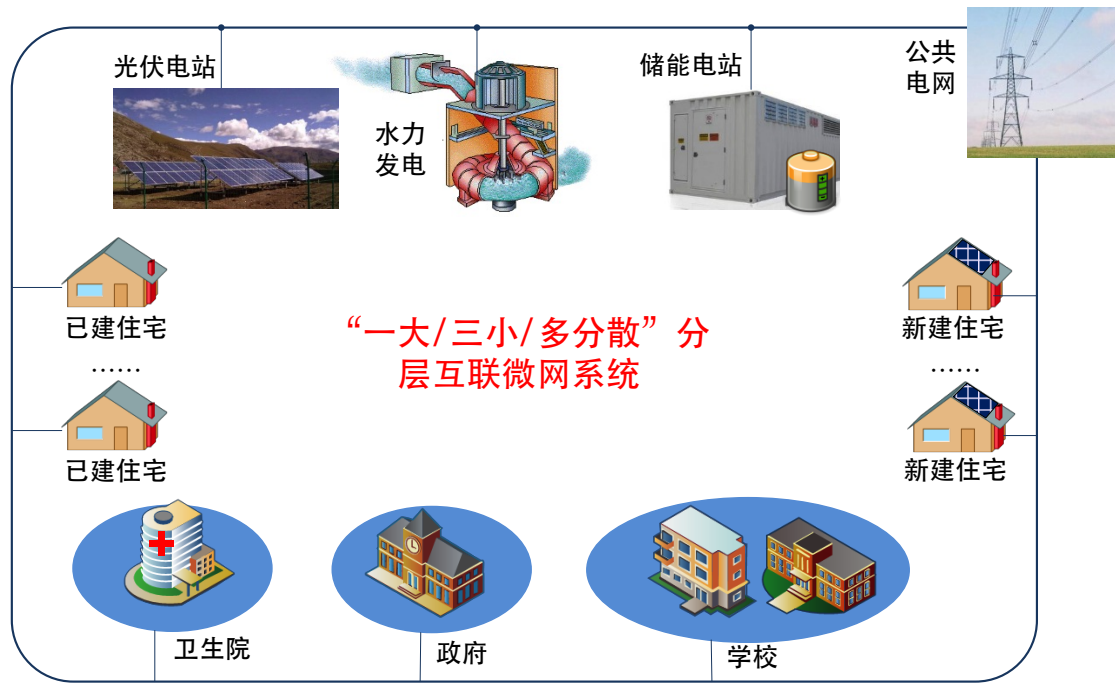


图 1 兔儿干新型农村社区微网系统总体方案

2.1 新建住宅能源方案

在新建的分散住宅建筑的能源设计中，采用低能耗建筑和主动式太阳能综合利用相结合方案。低能耗建筑主要从建筑的围护结构改进和被动式阳光房两方面进行设计，采用带有保温效果的 CL 墙体结构（复合混凝土剪力墙结构），并在建筑的南立面安装玻璃窗做成阳光房接受日光照射。经节能设计后，大幅降低建筑供暖能源需求以及供暖系统投资和运行费用，建筑能耗由 100 W/m^2 降低为 15W/m^2 。

主动式太阳能综合利用的技术措施包括每户屋顶安装 1 套光伏发电系统、1 套太阳能热水系统、1 套分体式空气源热泵；室内选择安装蓄热式电暖气。当日照强时，将光伏能量存储起来，夜间将能量释放，不足部分由电网补充。

根据《湟源日月乡兔尔干村新型农村社区修建性详细规划》中相关图纸进行测算。每个新建住宅屋顶安装太阳能热水器一套，水箱容量 150L，满足生活热水需求。光伏系统安装设计以居民建筑中户型数量最多的 B 户型为例，建筑面积 110m^2 ，其屋顶面积约 55 平方米，受房屋结构的影响，最大可安装光伏阵列 750W，采暖季日发电量 3kWh，非采暖季日发电量 3.38kWh，年发电量约 1164kWh。

新建居民住宅可再生能源系统的源荷储配置情况如表 2 所示。

表 2 新建居民住宅建筑源荷储配置情况一览表

可再生能源				
能源类型	容量	采暖季发电量	非采暖季发电量	年总发电量
光伏发电	750Wp	546 kWh	618 kWh	1164 kWh
太阳能热水	/	0	0	0
总发电量		546 kWh	618 kWh	1164 kWh
负荷				
负荷类型	电功率	采暖季用电量	非采暖季用电量	年总用电量
一般用电 (照明/炊事)	3 kW	819 kWh	824 kWh	1643 kWh
采暖用电 (电暖器)	3 kW	2621 kWh	0 kWh	2621 kWh
总用电量		3440 kWh	824 kWh	4264 kWh
储能				
储能类型	功率	时间	容量	
无	/	/	/	
可再生能源能量渗透率				
/	20%	75%	27%	

*说明:一般居民用电按照满发系数 0.4,日工作 5 小时来计算,一天共计 $3\text{kW} \times 0.3 \times 5\text{h} = 4.5\text{kWh}$;取暖用电分为采暖季(182 天)和非采暖季(183 天),采暖季按照满发系数 0.6,日工作 8 小时来计算,日用电量 $3\text{kW} \times 0.6 \times 8\text{h} = 14.4\text{kWh}$,采暖季共用电 $14.4\text{kWh} \times 182\text{day} = 2621\text{kWh}$,非采暖季不用电。

2.2 公共建筑能源方案

对卫生院、乡政府、学校三个典型的公共建筑,综合运用多种可再生能源形势满足不同用户需求,将其改造设计三个冷热电子微网,如图 2 所示。

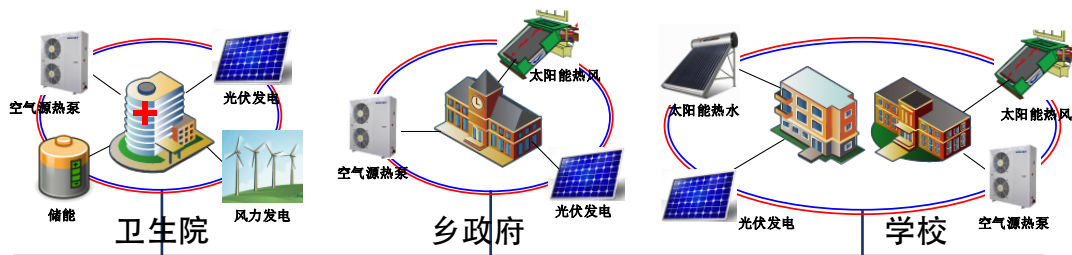


图 2 公共建筑冷热电子微网系统

三个子微网既可以分开运行,满足各自能量平衡;又能组成多微网互联系统,调剂余缺;同时还作为可调节负荷,参与社区功率平衡的调节。

2.2.1 卫生院冷热电子微网方案

对卫生院这一重要负荷,必须保证他的用电用能的可靠性,因此将其设计成

既可独立又可并网的双模式微网系统。系统中采用成熟可靠的空气源热泵满足供暖需求，安装风光互补发电系统保证充足的电能供应，配置能量型电池满足微网独立运行时的冷热电负荷不断电。电网有电时，充分利用可再生能源；电网停电时，能保证微网系统连续工作 4 个小时以上。

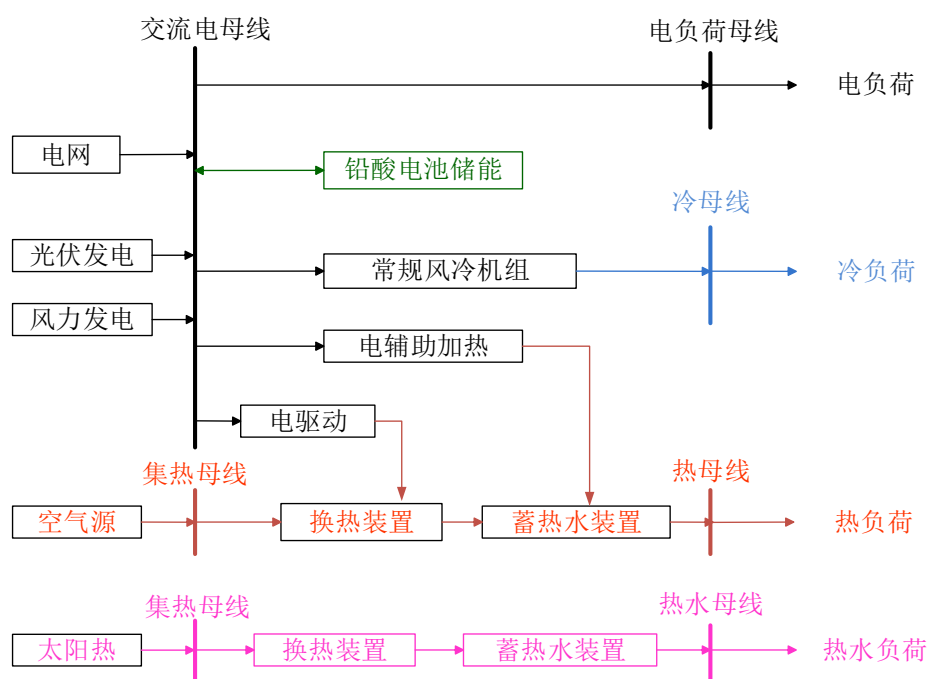


图 3 卫生院等关键负荷冷热电系统方案

根据现场调研结果，卫生院建筑面积 700m²，可用屋顶面积 240m²。通过工程优化设计，光伏发电系统的可装机容量为 10kW，设计风力发电装机容量为 10kW。兔儿干采暖期按照 182 天计算，卫生院的采暖期耗热量指标按照 20kWh/m² 计算，卫生院采暖全年耗热量为 17751kWh/m²。离网运行时最大功率为 15kW，储能系统应保证离网运行时间不小于 4 小时，系统配置如表 3 所示。

表 3 卫生院建筑源荷储配置情况一览表

可再生能源				
能源类型	容量	采暖季发电量	非采暖季发电量	年总发电量
光伏发电	10 kWp	7280 kWh	8235 kWh	15515 kWh
风力发电	10kW	5450 kWh	5490 kWh	10940 kWh
太阳能热水	/	0	0	0
总发电量		12730 kWh	13725 kWh	26455 kWh
负荷				
负荷类型	电功率	采暖季用电量	非采暖季用电量	年总用电量
一般用电 (照明/设备)	10 kW	2700 kWh	3600 kWh	6300 kWh
采暖用电	20 kW	17751 kWh	0 kWh	17751 kWh

(空气源热泵)			
总用电量	20451 kWh	3600 kWh	24051 kWh
储能			
储能类型	功率	时间	容量
铅酸电池	15 kW	4 hour@80%DOD	60 kWh
可再生能源能量渗透率			
/	采暖季渗透率	非采暖季渗透率	年渗透率
/	62%	381%	110%

注 1: 采暖季用电量和非采暖季用电量为 2013 年电力公司统计数据

2.2.2 乡政府冷热电子微网方案

乡政府属于办公型建筑，办公用电和采暖时间为 9:30 到 18:30，工作时间外负荷很低。对乡政府子微网，将其设计成功率可调节微网，采用太阳能热风系统满足工作时间快速供暖需求，并配置光伏发电为照明办公用电提供电能，不安装储电和储热装置。

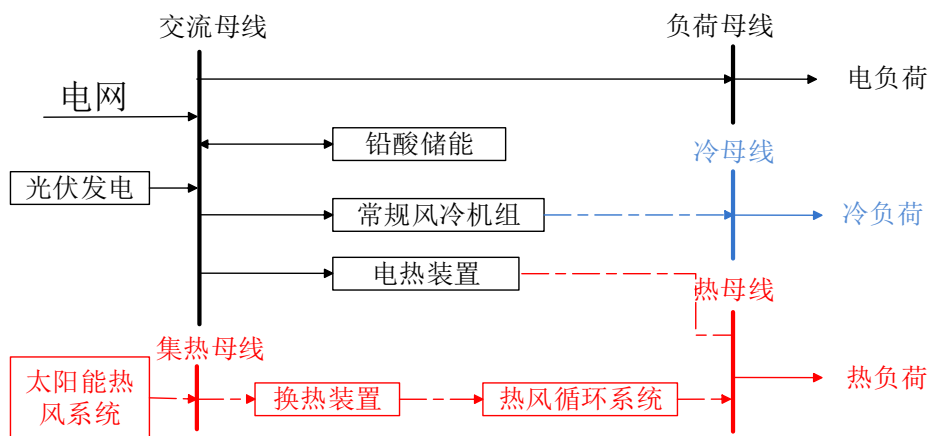


图 4 乡政府等办公负荷冷热电系统方案

根据现场调研结果，乡政府建筑面积 1890m²，可用屋顶面积 750m²。乡政府办公楼的采暖选用“太阳能热风系统+辅助热源”方案，依据相关厂家资料，1 m² 太阳能空气集热板可供 4m² 的建筑面积供暖，室内外温差可达 10 度以上，因此乡政府需要安装太阳集热板面积为 500 m²，安装位置选择楼顶、中心花园和建筑外墙南立面，辅助热源选择 10kW 的空气源热泵源。光伏发电安装在办公楼楼顶，可安装光伏发电系统容量为 20kW。

乡政府一般用电的峰值负荷为 30kW，太阳能热风系统用电负荷只有风机负荷，乡政府房间面积为 86 间，按照每间房间的风机功率 35 瓦计算，峰值电功率为 3kW。辅助热源空气源热泵的电功率为 10kW。

乡政府供用能系统的配置如表 4 所示。

表 4 乡政府办公建筑源荷储配置情况一览表

可再生能源				
能源类型	容量	采暖季发电量	非采暖季发电量	年总发电量
光伏发电	20 kWp	14560 kWh	16470 kWh	31030 kWh
太阳能热风	500m ²	0	0	0
总发电量		14560 kWh	16470 kWh	31030 kWh
负荷				
负荷类型	电功率	采暖季用电量	非采暖季用电量	年总用电量
一般用电 (照明/设备)	30 kW	6370 kWh	7320 kWh	13690 kWh
太阳能热风 (热风风机)	3 kW	2621 kWh	0 kWh	2621 kWh
采暖辅助 (空气源热泵)	10kW	5460 kWh	0 kWh	5460 kWh
总用电量		14451 kWh	7320 kWh	21771 kWh
储能				
储能类型	功率	时间	容量	
铅酸电池	15kW	2 hour@80%DOD	30kWh	
可再生能源能量渗透率				
/		采暖季渗透率	非采暖季渗透率	年渗透率
/		101%	225%	143%

注 1：采暖季用电量和非采暖季用电量为 2013 年电力公司统计数据

2.2.3 学校冷热电子微网方案

兔儿干的中心学校属于寄宿制学校，有教学楼、宿舍楼和食堂，兼有生活类负荷和办公类负荷，属于综合性负荷。对寄宿制的中学子微网，对不同负荷设计不同供能模式，采用可储热的太阳能热水系统满足宿舍全天的供暖需求，采用太阳能热风系统满足教室的白天供暖需求，供暖不足の場合由电采暖补充，电负荷和冷负荷主要有光伏发电提供，不足部分电网补充。

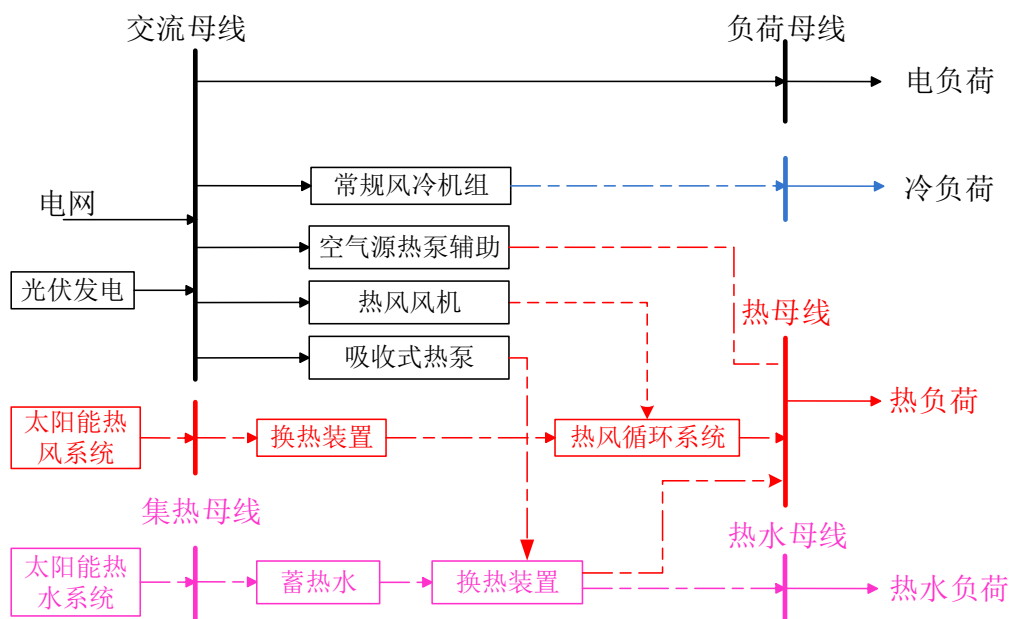


图 5 学校等办公生活综合型负荷冷热电系统方案

根据现场调研结果，兔儿干中心学校的教学楼为 3 层，建筑面积 5803m²，屋顶面积 1730m²；宿舍楼为 3 层，建筑面积 1416m²，可用屋顶面积 640m²；食堂、临街商铺、操场主席台等建筑屋顶面积 700m²。

学校教学楼和宿舍楼采用不同的供能方式。教学楼采用“太阳能热风+辅助热源”方式供暖，在教学楼顶安装太阳能空气集热板 1500 m²，辅助热源选用电功率 20kW 的空气源热泵。宿舍楼选择“太阳能聚光式/真空管集热+吸收式热泵+辅助热源”方式供暖和供热水，在宿舍楼屋顶安装聚光式集热器 500 m²，安装蓄热水池和吸收式进行热交换，辅助热源选用 10kW 空气源热泵。在食堂、临街商铺、操场主席台等建筑屋顶剩余屋顶安装光伏发电系统 30kW。

学校一般用电的峰值负荷为 50kW；太阳能热风系统用的风机峰值电功率为 5kW。教学楼辅助空气源热泵的电功率为 20kW，宿舍楼吸收式热泵电功率 10kW，辅助空气源热泵的电功率为 10kW。

表 5 学校教学楼和宿舍楼源荷储配置情况一览表

可再生能源				
能源类型	容量	采暖季发电量	非采暖季发电量	年总发电量
光伏发电	30 kWp	21840 kWh	24705 kWh	46545 kWh
太阳能热风	1500 m ²	0	0	0
太阳能热水	500 m ²	0	0	0
总发电量		21840 kWh	24705 kWh	46545 kWh
负荷				
负荷类型	电功率	采暖季用电量	非采暖季用电量	年总用电量

一般用电 (照明/设备)	50 kW	13500 kWh	18000 kWh	31500 kWh
教学楼热风机	5 kW	4368 kWh	0 kWh	4368 kWh
教学楼采暖辅助(热泵)	20kW	10920 kWh	0 kWh	10920 kWh
宿舍楼采暖耗电	5kWh/ m ² ·a	7080 kWh	0 kWh	7080 kWh
总用电量		35868 kWh	18000 kWh	53868 kWh
储能				
储能类型	功率	时间	容量	
铅酸电池	30kW	2 hour@80%DOD	60kWh	
可再生能源能量渗透率				
/	采暖季渗透率	非采暖季渗透率	年渗透率	
/	61%	137%	165%	

注 1: 采暖季用电量和非采暖季用电量为 2013 年电力公司统计数据

2.3 社区微网能源平衡系统方案

根据表 1 中的统计,兔儿干新型农村社区建成后每年消耗的电能将达到 386.5 万 kWh,供暖季耗电量为 284.8 万 kWh,占全年的 73.7%。由于当地电网处于农村电网末端,供电能力有限,因此供暖季电力缺口巨大。

在采暖季,按照可再生能源能量供给基本满足新型社区的能源需求,若提供兔儿干社区供暖季 268.1 万 kWh 的用电量,需要安装光伏发电系统容量为 3.5MW。在 3 个子微网和 700 户新建住宅建筑中,已经设计安装了总容量为 600kW 的光伏发电系统,还需要建设 2.9MW 的光伏发电系统。将这些光伏发电系统设计为可调度光伏发电系统,安装在兔儿干配电线路的关键节点,参与配电网的电能质量调节。

在非采暖季,兔儿干社区的耗电量为 101.7 万 kWh,而光伏发电量为 193.5 万 kWh,本地未消纳的光伏发电电量将送到电网。

为减小光伏发电对电网的冲击,平抑光伏功率波动,提高重要负荷的供电保障率,需要为社区微电网配置储能系统。配置原则按照保障 500kW 的重要负荷连续工作 2 小时进行计算,储能容量为 1MWh。

3. 商业模式与机制

3.1 光伏发电系统可能的商业模式

根据国能新能[2014]406号文件，利用建筑屋顶及附属场地建设的分布式光伏发电项目，在项目备案时可选择“自发自用、余电上网”或“全额上网”中的一种模式。另外，还有一种处于探索期的微电网独立运营模式可以参考。具体对比如表6所示。

表6 光伏系统商业模式

商业模式	特点	存在问题
模式1： 自发自用、余电上网	光伏业主与住宅用户签订能源管理合同 (0.37+0.42) = 0.79 元 光伏业主与公共建筑签订能源管理合同 (0.67+0.42) = 1.09 元 上网部分与电力公司结算 (0.392+0.42) 元	西部农村居民电价低 (0.37 元/kWh) 工商服务业比例小 (0.67 元/kWh) 逐户收电费难度大
模式2： 全额上网	电全部卖给电网，租用屋顶 执行二类区标杆上网电价 0.95 元	适合上网电价较低场合
模式3： 微电网独立运营	类似吐鲁番微电网运营模式，成立独立运营商，与电网公司协商 35kV 并网点上下网电价	需要发改委、财政部、国家电网批复 执行和运维难度大

3.2 兔儿干微网系统的商业模式

根据现有的能源政策，青海兔儿干微网系统采用的商业模式按照收益最大化进行设计，具体方案如表7所示。

表7 兔儿干社区多能源综合利用微网系统商业模式

系统组成	投资模式	运营模式
700户新建住宅供能系统	光伏系统：光伏业主投资 采暖设备：居民自筹 热水系统：政府投资	光伏全额上网 (0.95 元/kWh) 支付屋顶租金
卫生院子微网	光伏系统：光伏业主投资	光伏全额上网 (0.95 元/kWh)

乡政府子微网	采暖系统：光伏业主投资 储能系统：光伏业主投资	收取取暖费用（4.9 元/平米/月）
学校子微网		
光伏电站 (2.9MWp)	光伏业主投资	光伏全额上网（0.95 元） 场地租赁
储能站 (1MW/200kWh)	光伏业主投资	暂无盈利模式

4. 经济效益评估

4.1 投资成本指标

对建筑供能系统的投资成本分析，包括初投资成本和运维成本。在“一大三小多分散”的可再生能源微网设计方案中，分别在新建住宅、卫生院、乡政府、学校等不同的建筑上设计了多种可再生能源利用形式。对此微网系统进行经济性分析中，首先建立各种系统的投资及运行费用指标。根据市场调研，多种可再生能源利用形式的初投资和运维成本如表 8 所示。

表 8 可再生能源供能系统初投资及年运行费用指标

方案	适用建筑	初投资	运行费用*
光伏发电（居民屋顶）	普遍适用	10 元/W	1%
光伏发电（集中电站）	普遍适用	9 元/W	1%
风力发电（50kW 以下）	普遍适用	15 元/W	2%
太阳能热水器（150L）	普遍适用	3500 元	0
铅酸电池储能系统（包含变流器等）	关键负荷不间断供电	3 元/Wh	0.2 元/Wh
锂电池储能系统（包括控制系统）	电能质量调节系统	10 元/Wh	0.4 元/Wh
平板集热器+空气源热泵	3 层以上的公共建筑、居住建筑	700 元/m ²	4 元/m ² ·a
太阳能热风供暖+电采暖	2 层以下（学校、办公建筑等仅需白天供暖建筑）	250 元/m ²	5 元/m ² ·a
空气源热泵供暖系统（楼栋式）	3 层以上对采暖需要较高的公共建筑	420 元/m ²	7.2 元/m ² ·a

*注：根据商业用电 0.8 元/kWh，居民用电 0.4 元/kWh 计算运行费用；铅酸储能电池按照每 5 年更换一次计算运行费用，锂电池按照每 8 年更换一次计算运行费用。

4.2 经济效益测算

微网系统中各部分的经济评估模型输入参数按照表 9 所列参数进行计算。光伏发电系统的年满发小时数按照 1400 小时进行测算，上网电价按照二类地区的 0.95 元/kWh 进行测算。

表 9 兔儿干微网系统经济评估模型输入参数

运营方式	全额上网
建设期(年)	1
运行期(年)	20
折旧期(年)	15
基准收益率(%)	8.00%
投资	
流动资金(万元)	运营总成本的 150%
资本金比例(%)	30%
贷款利率(%)	6.55%
贷款年限(年)	15
固定资产残值	总投资的 10%
税率	
购项增值税率(%)	17.00%
销项增值税(%)	8.50%
所得税率(%)	25.00%
销售税金及附加税率(%)	8.00%

对兔儿干微网系统的总体设计方案按照表 8 和表 9 进行经济性测算，结果如表 10 所示。新建住宅和集中式的光伏发电系统在全额上网的模式下，经济收益率超过了 10%，具有较好的投资价值。但是卫生院、乡政府和学校的微网系统以及储能系统，由于缺少政策支持和补贴经费，投资回收年限超过 25 年甚至不能收回成本，难以吸引业主投资。由于集中式光伏系统在兔儿干微网系统所占的比重较大，因此整个兔儿干社区的能源系统投资回报率为 9.77%，投资回收期为 10.27 年。

表 10 兔儿干微网经济性评估结果

系统分类	商业装机容量	初投资 (万元)	年运维费 (万元)	年均收入 (万元)	内部收益率	投资回收期 (年)
新建住宅	700 户屋顶光伏 525kW	525	9.0	电: 70	10.6%	9.68
卫生院微网	10kW 光+10kW 风 空气源热泵系统 15kW/60kWh 铅酸	25 29 12 总 66	0.25 0.5 1.2 总 1.95	电: 2.66 暖: 1.72 总 4.38	<0	/
乡政府微网	20kW 光伏 太阳能热风供暖系统	20 47 总 67	0.23 0.95 总 1.18	电: 2.66 暖: 4.63 总 7.29	2.5%	28
学校微网	30kW 光伏 宿舍热水供暖系统 教室热风供暖系统	30 99 148 总 267	0.3 0.56 29.5 总 30.36	电: 3.99 暖: 17.93 总 21.92	<0	/
集中式光伏	2.9MW @1400hour	2610	20	电: 386	16.28%	6.90
集中储能站	1MW/200kWh 锂电池储能站	200	12	0	<0	/
社区系统 合计	/	3787.5	74.19	489.59	9.77%	10.27

4.3 微网系统的结论和建议

基于兔儿干的商业模式和经济型评估结果，本案例的分析结论和建议如下：

(1) 商业项目与示范项目结合：住宅建筑采用光伏发电和电采暖的纯用电系统，能源利用方式简单，易进行商业运营；在耗能较大、用能集中的公共建筑中建设多种能源综合利用的热电联供微网系统，但初投资较大，宜示范建设，探索推广应用方式；光伏业主与微网业主应统一；

(2) 分散和集中的光伏系统结合：兔儿干新型农村采暖季能源需求量大，可再生能源的供给要首先满足采暖季的用能需求；住宅屋顶不满足面积要求，应在周边建设集中型光伏电站，既保证能源供给，又易吸引业主投资。

(3) 混合的光伏售电模式：考虑到分散居民的电价较低，安装光伏发电系统后电费收取难度大，宜采用全额上网的售电模式，具有较好商业投资价值；对公共建筑、商业等电费较高的场所，光伏发电系统采用“自发自用、余量上网”运营模式，但兔儿干微网中，能够采用自发自用模式的光伏发电规模较小，难以对提高整个项目的投资回报率起到作用。

(4) 光热系统和储能系统收益难，建议采用初投资补贴或电价补贴的方式吸引业主投资。按照项目的内部收益率达到 13%以上，投资回收年维持在 7~8 年左右的预期目标，采用倒推方法，计算出的补贴方案如表 11 所示。

表 11 兔儿干微网的建议补贴方式

	初投资补贴	电价补贴
补贴水平	储能和供暖系统全部补贴 763 万元	光伏发电每度 1.05 元
补贴后的内部收益率	29.3%	13.34%
补贴后的投资回收期	8.15 年	8.03
补贴年限	\	20 年

附件三、海岛型微电网案例分析—广东大万山岛

1. 资源及负荷情况分析

万山区是广东省第一个地方性海洋综合开发试验区，拥有大小岛屿 106 个，海域面积 3200 平方公里，海岛陆地总面积 80 多平方公里，岛岸线总长 289 公里，蕴含丰富的海洋海岛资源，是全省、全市重要的海洋经济发展基地。大万山岛位于万山群岛西南部，珠江口外的最南端，西临小万山，北望白沥岛，南临南海，西北距澳门 31.2 公里，该地区经济发展以渔业和旅游业为主，面积 8.066 平方公里，主峰大万顶海拔 443.13 米，目前人口约 3000 人。

1.1 资源概述

大万山岛位于广东珠海正南约 40 公里处，岛上居民大多以捕鱼为生。场区附近的小蒲台测风塔，有一年以上的测风资料。其中，冬半年的平均风速大于夏半年，7 月是全年风速最小的风份。根据《风电场风能资源评估方法》(GB/T18710-2002)的风资源等级定义，本场区风资源等级为 4 级，当地风资源极为丰富。

大万山岛地区太阳辐射呈现明显的季节性，大万山岛地区太阳辐射的月际变化较大，其数值在 $200\text{MJ}/\text{m}^2$ - $600\text{MJ}/\text{m}^2$ 之间，其中 5、6 两月的总辐射基本相同，9、10 两月的总辐射比较接近，太阳总辐射在经历峰值前后均有一个稳定的过渡台阶。太阳总辐射主要集中在 5~10 月。根据《电力工程气象勘测技术规程 (DL/T5158-2012)》进行等级评估，大万山岛地区太阳能资源丰富程度属于资源一般区，太阳能资源稳定程度属于较稳定等级。相比于风资源，当地光照资源相对较为匮乏。

1.2 负荷情况概述

大万山岛以旅馆、居住用地为主，此外还有部分港口、行政办公等其它用地性质。负荷分别聚集在万山山顶、海岛西南、西北三地。通常海岛旅游旺季用电

负荷较高，旅游淡季用电负荷较低，尤其是以旅游为主的海岛，旅游淡季负荷不足夏季最高负荷的 20%。万山海岛旅游旺季为 5-10 月，旅游淡季为 1-4、11-12 月。大万山岛系统中峰值负荷约为 800kW，全年负荷主要分布在 150kW 到 350kW 之间，约占整体负荷的 59%。

统计当地全年的风速、光照强度、负荷信息如图 1、图 2、图 3 所示。

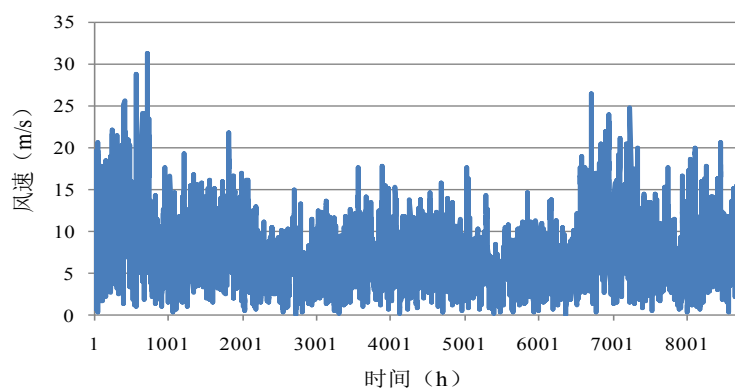


图 1 全年 8760 个小时风速数据

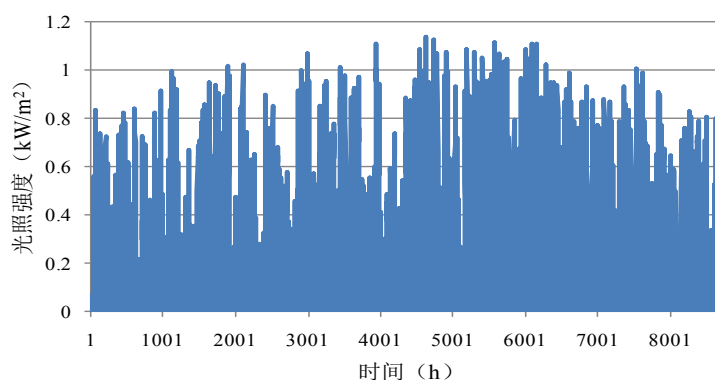


图 2 全年 8760 个小时光照强度数据

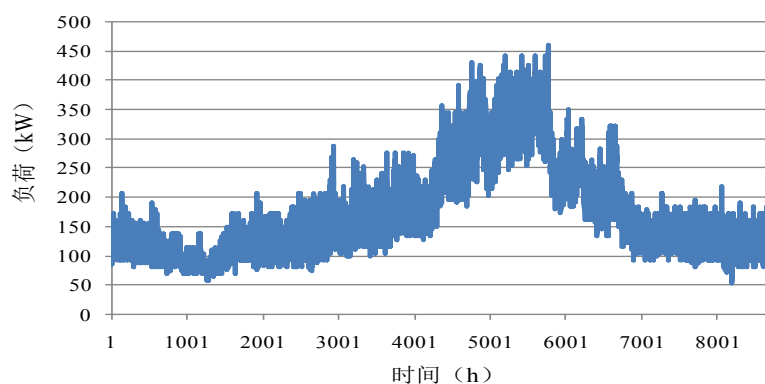


图 3 全年 8760 个小时负荷数据

2. 微电网系统设计方案

图 4 给出了大万山岛微电网的系统结构，规划的目的就是选择系统中风力发电机、光伏系统、柴油发电机、蓄电池系统的类型和容量。

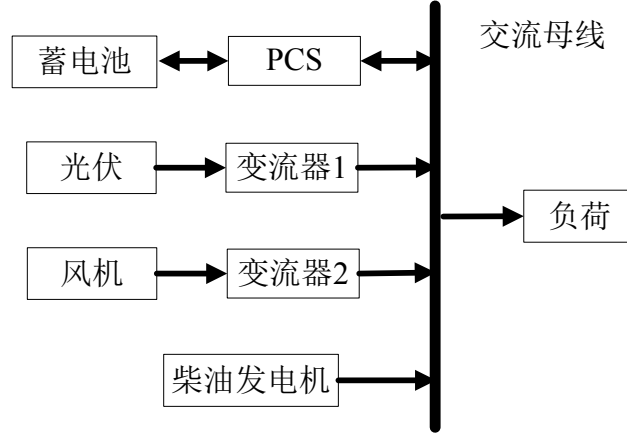


图 4 大万山岛微电网系统结构图

2.1 目标函数

以项目周期（25 年）内总收益净现值最大为优化目标，其目标函数为：

$$\max f = B_{net}^{pre} - C_{TEI}^{pre}$$

式中， f 为总的净收益现值， B_{net}^{pre} 表示项目周期总收益现值， C_{TEI}^{pre} 表示项目周期总成本现值。

$$C_{TEI}^{pre} = C_1 + \sum_{l=1}^{25} (C_{D,l} / (1+r)^l)$$

式中，设备初始投资 C_1 主要包括风机、光伏、蓄电池储能系统、柴油机、PCS 等相关设备的购置成本，设备第 l 年的设备更换投资 $C_{D,l}$ 主要考虑了蓄电池储能系统和柴油机的更换，由于风机、光伏及 PCS 寿命较长，故不考虑其更换投资，若该年不需更换设备，则 $C_{D,l} = 0$ ， r 表示折现率。

$$B_{net}^{pre} = \sum_{l=1}^{25} (B_{ele,l} - C_{fuel,l}) / (1+r)^l$$

式中， $B_{ele,l}$ 表示第 l 年的卖电收益， $C_{fuel,l}$ 表示第 l 年的消耗柴油成本。

2.2 运行策略介绍

微电网采用孤网方式运行，储能系统与柴发轮换作为系统主电源，提供系统

电压和频率支撑。选取较为常用的负荷跟踪运行策略进行分析。在该运行策略下，优先使用风/光/蓄供应负荷，蓄电池作为系统主电源，当风/光发电功率大于负荷，有多余电能时，蓄电池储能系统充电存储盈余电能；当风/光发电功率小于负荷时，蓄电池储能系统放电以供应负荷。当风/光/蓄发电功率无法满足负荷时，柴油发电机启动，并工作在负荷跟随模式，只需满足净负荷需求，柴油发电机有最低运行功率限制，仅当柴油发电机运行在最低功率且风/光/柴发电功率仍大于负荷时，蓄电池储能系统充电；当风/光/柴发电功率无法满足负荷时，蓄电池储能系统放电。当风/光发电功率可以满足负荷时，柴油发电机关停，重新进入风/光/蓄运行方式。

2.3 优化内容

综合考虑成本和技术的成熟性，由于峰值负荷为 810kW 时，选用目前市场上较为成熟和应用效果较好的 850kW 直驱式风机进行供电；对于光伏设备，鉴于空间限制等相关条件，光伏容量不宜过大，此处设定容量上限为 200kWp；储能要在柴油机关闭时要作为主电源供给负荷，同时由于柴油机的启动过程较为缓慢，因此储能还要满足风机、光伏发电的瞬时功率波动，考虑最恶劣情况，即风机、光伏瞬时都变为 0，此时就要由储能供给负荷。一般认为该特殊情况下，储能的放电功率可以达到 0.5c，根据负荷大小以及铅酸电池储能的市场行情，此处设定储能的容量范围为 2000kWh~5000kWh，相应的 PCS 容量为 1000kW。

2.4 优化配置

采用负荷跟踪策略进行优化，得到相应的优化配置容量如下：

表 1 优化配置方案

设备名称	配置方案
风机	1 台 850kW
光伏	200kWp
铅酸蓄电池	2000kWh
PCS	1000kW
柴油机	2 台 500kW

计算该优化配置下的初始投资成本如下：

表 2 初始投资成本

费用名称	设备购置及工程费用（万元）
风机	850
光伏	200
柴油发电机组	80
电池组及 BMS	360
PCS	200
初始总投资	1690

此时，风机实际年发电量为 142.7 万 kWh，约占总发电量的 53.35%，年平均满发小时数为 1680 小时；光伏实际年发电量为 15 万 kWh，约占总发电量的 5.61%，年平均满发小时数为 750 小时；柴油发电机年发电量为 109.8 万 kWh，约占总发电量的 41.05%。柴油机 1 的年运行小时数为 3870 小时，柴油机 2 的年运行小时数为 172 小时，总的柴油耗量为 440100L。年弃风电量为 69.4 万 kWh，约占风机年发电总量的 32.72%；年弃光电量为 7.2 万 kWh，约占光伏年发电总量的 32.43%；每年总的可再生能源丢弃比例为 32.69%；未满足负荷量为 0。

各月发电对比图如图 5 所示，可再生能源丢弃情况如图 6 所示：

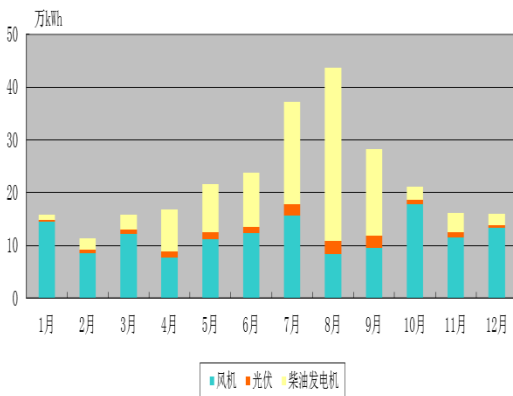


图 5 各月发电对比图

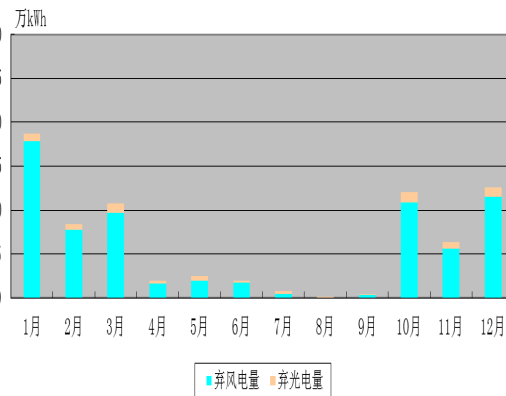


图 6 各月弃风、弃光情况

由上图可知，由于风速冬季较大夏季较小，负荷情况表现为冬季较小夏季较大，因此柴油机主要在风光资源不能满足负荷的 4~9 月份开启。同时，当地风资源极为丰富，光照资源较为一般，所以两种负荷情况均会存在弃风或弃光情况，弃风量较大且主要发生在风速较大而负荷较小的冬季，弃光量相对较小。

3. 经济效益评估

根据银行利率，取折现率为 8%，报告中指出项目周期为 25 年，由此可得到

相应的经济性指标如下：

表 3 优化配置经济性指标

经济指标	单位	指标值
项目周期	年	25
初始投资	万元	1690
折现率	%	8
用户电价	元/kWh（税后）	2.00
安装，运输、人工等费用	万元	6.15
资本金比例（自有金/贷款）		0.3/0.7
投资回收期	年	>25
年运行成本	万元	332.83
年卖电收益	万元	522.55
年净收益	万元	189.72
项目周期内总收益净现值	万元	-122.15
内部收益率	%	5.925%
储能寿命	年	6.33
储能更换次数	次	3
柴油机 1 更换次数	次	4
柴油机 2 更换次数	次	0

由经济分析结果可以看出，目前该项目的内部收益率较小，甚至整个项目周期内都不能收回成本，故在没有政府补贴的前提下无法商业化运行和推广。

4. 商业模式及政策建议

对于独立型微电网，延续国家“无电地区电力建设”项目的政策，初投资由中央和地方政府解决；为了更为有效地保证电站的后期运营管理和服务，也可以考虑电价补贴方式。

针对本案例，分别考虑初投资补贴和电价补贴两种补贴形式。根据要求，补贴之后内部收益率至少达到 8%，投资回收年维持在 7~8 年左右，再由此反推出相应的补贴办法及补贴水平。相应的补贴水平和补贴结果如表 4 所示：

表 4 补贴水平及补贴结果

	初投资补贴	电价补贴
补贴水平	初始投资补贴 70%	每度电补贴 0.4 元
补贴后的内部收益率	29.3%	26.323%
补贴后的投资回收期	8.15 年	8.31
补贴年限	\	10 年

由表 4 可以看出，若采用初始投资补贴方式时，补贴水平为 70%，此时的内部收益率达到了 29.3%，投资回收期也缩短为 8.15 年，达到了预期要求；若采用电价补贴方式时，在税后电价 2.00 元/kWh 的基础上每度电再额外补贴 0.4 元，补贴年限为 10 年，则可达到内部收益率为 26.323%，投资回收期缩短为 8.31 年的效果。