清華大學
Tsinghua University

ENERGY FOUNDATION
能源基金会

青海省农村散煤治理技术策略及商业模式研究

Study on technical strategy and business model of rural scattered coal treatment in Qinghai Province

清华大学

2022.08.31

Tsinghua University

August 31, 2022

关于作者

杨旭东，清华大学建筑学院副院长、教授 xyang@tsinghua.edu.cn

荣　杏，清华大学建筑学院科研助理 rongxing27@tsinghua.edu.cn

何　馨，清华大学硕士研究生 hxin2327@163.com

ABOUT THE AUTHORS

Xudong Yang, Professor, Tsinghua University, xyang@tsinghua.edu.cn

Xing Rong, Assistant researcher, Tsinghua University, rongxing27@tsinghua.edu.cn

Xin He, Graduate Student, Tsinghua University, hxin2327@163.com

致谢

本研究由清华大学统筹撰写，由能源基金会提供资金支持。

本研究是能源基金环境管理项目组下的课题。

在本项目研究过程中，研究团队得到了青海省住房与城乡建设厅、青海省生态环境厅、西宁市住房与城乡建设局、西宁市生态环境局、中国建筑节能协会、中国城镇供热协会、中国产业发展促进会生物质能产业分会以及生态环境部环境规划院的大力支持，在此向他们表示诚挚感谢。

研究团队同时感谢以下专家在项目研究过程中作出的贡献：

江　亿　　清华大学
武　涌　　中国建筑节能协会
段洁仪　　北京北控能源投资有限公司
李景明　　农业农村部农业生态与资源保护总站/中国沼气协会
刘　荣　　中国城镇供热协会
宋　波　　中国建筑科学研究院有限公司
邓高峰　　中国建筑科学研究院有限公司
刘艳峰　　西安建筑科技大学
宋玲玲　　生态环境部环境规划院
庾汉成　　青海建筑职业技术学院
李雪玉　　北大能源研究院
袁鹏丽　　中原工学院

ACKNOWLEDGEMENT

This report is a product of Tsinghua University and is funded by Energy Foundation China.

This report is part of the research project under Energy Foundation China's Environment Management Program.

The team is grateful for the generous support it received throughout this research from Housing and Urban-Rural Development Department of Qinghai Province, Ecology and Environment Department of Qinghai Province, Xining Housing and Urban-Rural Development Bureau, Xining Ecology and Environment Department, China Association of Building Energy Efficiency, China District Heating Association, China Biomass Energy Industry Promotion Association, and Chinese Academy of Environmental Planning.

The team would like to thank the following experts for their contribution to this research:

Yi Jiang	Tsinghua University
Yong Wu	China Association of Building Energy Efficiency
Jieyi Duan	Beijing Beikong Energy Investment Co., Ltd.
Jinming Li	Rural Energy Environment Agency, Ministry of Agriculture and Rural Affairs/ China Biogas Society
Rong Liu	China District Heating Association
Bo Song	China Academy of Building Research
Gaofeng Deng	China Academy of Building Research
Yanfeng Liu	Xi'an University of Architecture and Technology
Lingling Song	Chinese Academy of Environmental Planning
Hancheng Yu	Qinghai college of Architectural technology
Xueyu Li	Institute of Energy
Pengli Yuan	Zhongyuan University of Technology

----------报告正文----------

免责声明

- 若无特别声明，报告中陈述的观点仅代表作者个人意见，不代表能源基金会的观点。能源基金会不保证本报告中信息及数据的准确性，不对任何人使用本报告引起的后果承担责任。
- 凡提及某些公司、产品及服务时，并不意味着它们已为能源基金会所认可或推荐，或优于未提及的其他类似公司、产品及服务。

Disclaimer

- Unless otherwise specified, the views expressed in this report are those of the authors and do not necessarily represent the views of Energy Foundation China. Energy Foundation China does not guarantee the accuracy of the information and data included in this report and will not be responsible for any liabilities resulting from or related to using this report by any third party.
- The mention of specific companies, products and services does not imply that they are endorsed or recommended by Energy Foundation China in preference to others of a similar nature that are not mentioned.

目录

摘要.....1
Abstract.....1
1 项目背景及目标.....1
1.1 研究背景.....1
1.2 研究方法及技术路径.....2
1.2.1 文献与实地调研.....2
1.2.2 实测与情景模拟研究.....2
1.2.3 研究技术路线.....2
2 青海省散煤治理现状研究.....3
2.1 青海省能源消耗现状.....3
2.1.1 能源消耗总体现状.....3
2.1.2 农村能源消耗现状.....4
2.2 可再生能源资源量现状.....5
2.2.1 可再生能源及开发利用现状.....5
2.2.2 太阳能资源.....6
2.2.3 生物质资源.....8
2.3 农村地区散煤治理工作进展和总结.....8
2.3.1 农村地区散煤治理整体情况.....8
2.3.2 散煤治理工作主要经验总结.....9
2.4 农村地区散煤治理存在问题.....12
2.4.1 农房围护结构保温性能差，采暖能耗高.....12
2.4.2 未因地制宜利用本地资源.....13

2.4.3 未采用经济高效的“煤改电”技术 13
2.4.4 采暖和炊事方式不清洁，且存在安全隐患 13
2.4.5 农村电网容量较小 14
2.4.6 清洁用能技术宣传力度不足 14
3 青海省典型村落的现状调研 14
3.1 传统农区现状调研 14
3.1.1 西宁市大通县景阳镇土关村 14
3.1.2 海南藏族自治州贵南县茫曲镇达玉村 18
3.2 典型牧区现状调研 20
3.2.1 海南藏族自治州贵南县塔秀乡加斯村 20
3.2.2 牧区农房基本情况 21
3.2.3 牧区用能设施基本情况 22
3.3 调研小结 23
3.3.1 传统农区 23
3.3.2 传统牧区 23
4 青海省典型农房实际供热需求特征研究 24
4.1 农房供热需求特性 24
4.1.1 农房使用模式及特点 24
4.1.2 农户行为模式 25
4.1.3 农房供热模式 25
4.2 农村典型住宅户型及实际供热需求分析 26
4.2.1 大三间式农房及其实际供热需求 26
4.2.2 类三间式农房及其实际供热需求 27

4.2.3 四间式农房及其实际供热需求.....27
5 青海省农村散煤治理综合方案遴选.....28
5.1 农房围护结构节能改造技术遴选.....28
5.1.1 农房围护结构热性能改善的重要性及途径.....28
5.1.2 农房围护结构节能改造技术.....29
5.2 散煤治理技术遴选.....35
5.2.1 农村地区散煤治理典型技术.....35
5.2.2 农村地区散煤治理系统评价方法边界界定.....46
5.2.3 单体农房散煤治理系统评价指标体系.....47
5.3 “菜单式”农村建筑节能和散煤治理技术方案数据库.....56
5.3.1 典型农房基本信息.....56
5.3.2 农房围护结构改造技术方案数据库.....56
5.3.3 农房散煤治理技术方案数据库.....62
5.3.4 菜单式农房建筑节能和散煤治理技术方案遴选流程.....67
5.4 青海省农房建筑节能和散煤治理技术方案筛选和建议.....68
5.4.1 围护结构节能改造方案.....68
5.4.2 散煤治理综合技术方案.....69
6 青海省农村散煤治理商业模式研究.....78
6.1 散煤治理商业模式现状及问题.....78
6.1.1 散煤治理商业模式现状.....78
6.1.2 现有模式存在的问题.....79
6.2 散煤治理商业模式中责任主体定位.....82
6.2.1 利益定位.....82

6.2.2 决策定位.....84
6.2.3 角色定位.....88
6.3 青海省散煤治理理想发展商业模式.....90
6.3.1 散煤治理发展路径.....90
6.3.2 可再生能源替代下的散煤治理模式.....91
6.4 分布式光伏商业模式.....92
6.4.1 分布式光伏商业相关主体.....93
6.4.2 分布式光伏商业模式影响因素.....93
6.4.3 分布式光伏潜在开发主体对比分析.....95
6.4.4 分布式光伏总体商业模式.....95
6.5 可再生能源发展对青海省低碳目标贡献预测.....98
7 总结与建议.....99
7.1 总结.....99
7.2 建议.....101

摘要

本项目在我国北方清洁取暖改造、碳达峰碳中和、乡村振兴战略等大背景下，系统梳理了青海省农村散煤消费现状、可再生能源开发利用现状。总结了青海省和其他北方地区“十三五”期间散煤替代做法和经验。基于理论研究和模拟分析，建立基于经济性、环境效益、碳减排效益、可持续性的农村民用散煤替代综合评价指标体系。

基于大量的实地调研，总结提炼了青海省农房三种典型户型。通过模拟分析不同围护结构节能改造和散煤清洁替代技术效果，形成了青海省“菜单式”农房建筑节能改造和散煤治理推荐综合技术方案，提出了青海省农村散煤治理调整“四一”模式即“初投资 1.5 万元左右，运行费 1.5 千元左右，设备一键式操作，整体建立在一个顶层规划”。同时结合青海省实际，提出“被动式节能优先，主动式节能优化，菜单式方案优选，分布式能源开发”的递进式散煤治理发展路径。

通过遥感卫星影像和机器算法，统计了青海省屋顶光伏和生物质能源的开发潜力。并指出青海省农村分布式可再生能源开发应同步推进屋顶光伏和农村电力消纳及微电网建设，在满足农村自用电的前提下，实现稳定电力输出。分布式光伏开发商业模式应以“企业联合开发”和“企业独立开发”为主，“农户独立开发”为辅。在此基础上，对青海省“十四五”及中长期农村可再生能源开发效果进行了预测。为推进青海省以及我国严寒地区农村散煤治理提供了科学的依据和支撑。

Abstract

In the context of carbon peaking and neutrality, rural revitalization strategy and clean heating transformation in northern China, this project systematically compares the current situation of rural coal consumption and renewable energy development and utilization in Qinghai Province. It summarized the practices and experiences of scattered coal substitution in Qinghai Province and other northern areas during the 13th-five-year plan. Based on theoretical research and simulation analysis, this project also established a comprehensive evaluation index system of rural scattered coal substitution based on economy, environmental benefits, carbon emissions reduction and sustainability.This project summarized three typical types of farmhouses in Qinghai Province through a large-scale field investigation. By simulating and analyzing the effect of energy-saving renovation of different enclosure structures and the technical effect of clean replacement of scattered coal, it composed a “menu-style” comprehensive technical plan for the energy-saving renovation of farmhouses and scattered coal treatment in Qinghai Province. This project proposed the four-ones mode of "initial investment less than 15,000 yuan per household, annual heating cost about 1,500 yuan without subsidies, with one-touch intelligent operation equipment, and establishment of a top-level planning". At the same time, combined with the actual situation in Qinghai Province, it also proposed a progressive development path of "passive energy saving priority, active energy saving optimization, menu type solution preference, distributed energy development" for the treatment of scattered coal.

Through remote sensing satellite images and machine algorithms, this project calculated the development potential of rooftop photovoltaic and biomass energy in Qinghai Province. It suggests that the development of distributed renewable energy in rural Qinghai Province should promote the construction of rooftop photovoltaics, rural electricity consumption, and microgrids simultaneously, to export the extra energy under the premise of satisfying local demand in rural areas. It also suggests establishing a new business model of "enterprise-led, government-promoted, and farmer-supported". On this basis, this project made predictions of the effect of rural renewable energy

development in Qinghai Province in the 14th Five-Year Plan and the mid-long term, which provides a scientific basis and support to promote the treatment of rural scattered coal in Qinghai Province and the cold regions of China.

1 项目背景及目标

1.1 研究背景

2016 年 12 月，习近平总书记在中央财经领导小组第 14 次会议上指出：推进北方地区冬季清洁取暖，关系北方地区广大群众温暖过冬，关系雾霾天能不能减少，是能源生产和消费革命、农村生活方式革命的重要内容。以解决雾霾问题为主要出发点，近年来从大气污染较为严重的“2+26”城市开始实施去散煤行动。2020 年 9 月 22 日，习近平总书记在联合国大会上代表中国政府承诺：中国将提高国家自主贡献力度，采取更加有力的政策和措施，二氧化碳排放力争于 2030 年前达到峰值，努力争取 2060 年前实现碳中和。这为我国全面构建清洁低碳的能源体系提出来一个明确的时间表。由于散煤燃烧在产生大量的污染物的同时，也会排放二氧化碳等温室气体，所以无论从大气污染治理还是未来的双碳目标角度，尽快消除农村散煤都将具有重要的意义。

2021 年，习近平总书记在视察青海时提出：“保护好青海的生态环境，是‘国之大者’”。作为中华水塔，青海省之于全国的生态地位重要且独特，事关国家生态安全与长远发展。对农村地区实施清洁供暖工程，加速散煤淘汰，是农村能源生产和消费，农村生产生活方式改变的重要内容，也是生态环境保护的重大责任。

青海省地处我国严寒地区，农村地区生活用能以散煤和牛粪、秸秆等生物质直接燃烧为主。根据清华大学建筑节能研究中心发布的《中国建筑节能年度发展研究报告 2020》中的数据显示，2019 年青海省民用散煤用量约为 205 万吨。另一方面，青海省处于经济发展较为落后的地区，其气候特点、资源禀赋、农村生活习惯等都与其他北方地区存在较大差异。因此之前在京津冀地区推广的散煤治理技术和模式不一定能简单复制。截止到 2022 年 4 月，青海省海西州、西宁市成功入选北方地区冬季清洁取暖试点城市，冬季清洁取暖改造工作也将在其他城市逐步推进。

基于上述分析，青海省农村散煤治理技术路径及相应的商业模式急需深入研究。本项目将重点针对青海省农村地区开展相关的政策及实地调研，并深入研究民用散煤治理详细技术方案，争取探索出适合高寒地区农村清洁取暖的新的技术路径和商业模式。

1.2 研究方法及技术路径

1.2.1 文献与实地调研

本项目采用文献调研与实地调研相结合的方法进行，从技术和政策两方面分析青海省散煤治理的现状和存在的问题。通过对政府部门、企业及行业、媒体、民众等不同主导或参与方的发布相关政策、技术文件、意见建议等进行收集和整理，获取青海省散煤治理的政策、实施效果与问题等情况。

同时选取西宁市、海南藏族自治州的代表性地区典型村落进行实地调研。通过与政府部门的座谈，了解典型地区散煤治理工作总体进展、已有散煤治理政策、已实施的散煤治理方案、遇到的问题以及“十四五”规划等；通过入户调研的方式，了解农户建筑性能、负荷需求、资源状况、供热技术、应用效果与问题等基层现状。

1.2.2 实测与情景模拟研究

根据调研数据，提炼出青海省农村典型农房户型图及供热需求特性，对不同类型的典型户进行实测和模拟分析；分析不同供热方式下农房围护结构节能技术实际效果、存在的问题等；探索农房围护结构合理的改造方式、清洁供热方式、能源消耗、室内热舒适度、经济性等之间的关系，总结出符合典型农村地区的“菜单式”散煤治理综合技术方案；对未来不同农房围护结构技术和供热技术推广下的经济、环境、能源等影响进行情景预测。

1.2.3 研究技术路线

本课题研究技术路线如图 1-1 所示。首先梳理目前青海省农村地区建筑能耗现状，散煤治理技术现状、散煤治理推进现状，并对相关工作实施效果、存在的主要问题进行总结分析。其次，通过广泛深入的调研研究农村住宅特性和实际供热需求特征，以农房基本特点和用户使用需求为出发点，结合用户侧能效提升和热源侧清洁供能两方面，对典型散煤治理技术方案进行综合评价分析。在上述基础上，提出不同使用模式下的农房围护结构保温基本原则和清洁供热设备选用原则，形成青海省农村地区“菜单式”散煤治理综合技术方案，并对未来青海省散煤治理工作提出建议。

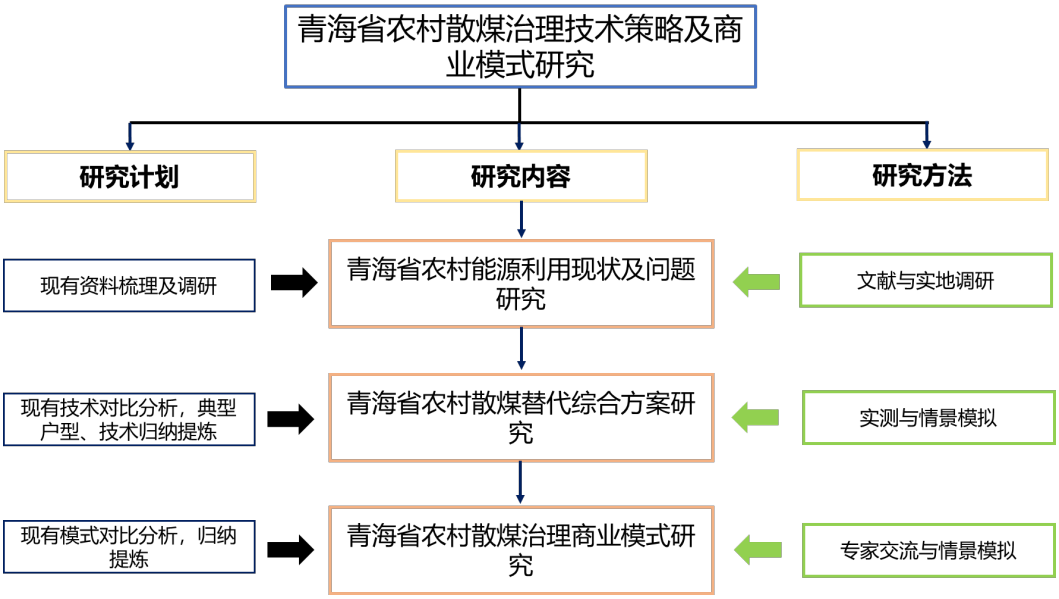


图 1-1 研究技术路线

2 青海省散煤治理现状研究

2.1 青海省能源消耗现状

2.1.1 能源消耗总体现状

根据《青海省统计年鉴 2020》和《青海省 2020 年国民经济和社会发展统计公报》的数据显示，2015-2019 年青海省能源消费总量稳重有降，煤炭消费总量自 2016 年开始持续下降，电力消费占比逐年增加。2019 年全社会能源消费总量为 4235.23 万 tce，其中煤炭占比 29.15%，石油占比 16.38%，天然气占比 16.38%，电力占比 43.6%。电力逐渐成为能源消费的主力军。

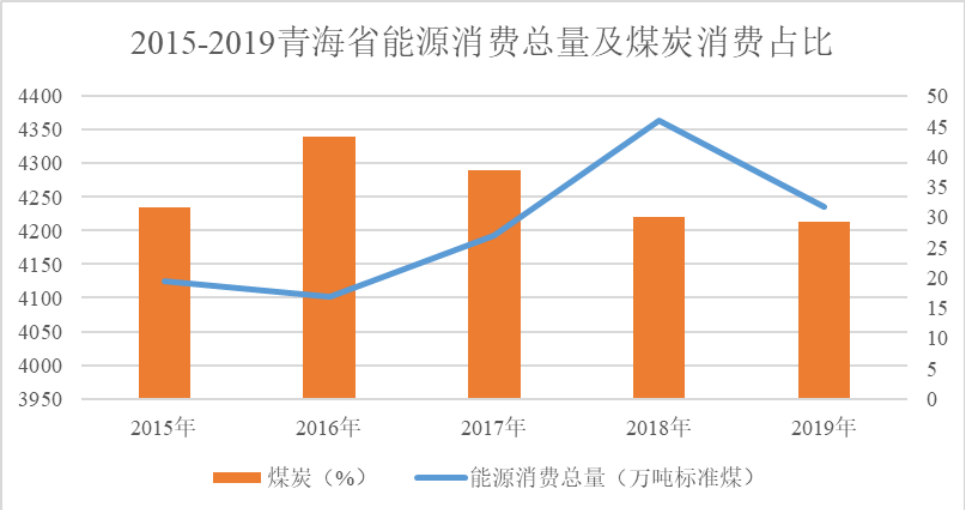


图 2-1 2015-2019 年青海省能源消费总量及煤炭消费占比。数据来源：《青海省统计年鉴 2020》和《青海省 2020 年国民经济和社会发展统计公报》

2.1.2 农村能源消耗现状

根据《青海省统计年鉴 2020》所提供的农村人口数量、户数等参数进行推算，结合相关公开数据整理，2019 年，青海省农村常住户数为 67.7 万户，农村地区生活用能总量约为 367 万 tce，占青海省能源年消费总量的 8.6%，包括用于取暖、炊事（含生活热水）、空调、生活用电（包括照明和各类家电）的能耗，统计的能源种类包括：煤炭（散煤、蜂窝煤）、液化气、电力、天然气等商品能，以及以木柴和秸秆为主的非商品能。如图 2-2 所示，农村建筑用能中商品能煤炭为 204.5 万 t（折合 144.84 万 tce）、液化气 1.1 万 t（折合 1.88 万 tce）、电 7.2 亿 kWh（折合 22.17 万 tce），非商品能生物质（包括薪柴和秸秆）总量为 345.6 万 t（折合 198 万 tce），商品能和非商品能分别占到 46%和 54%，户均能源消耗量约为 5.4tce/a。

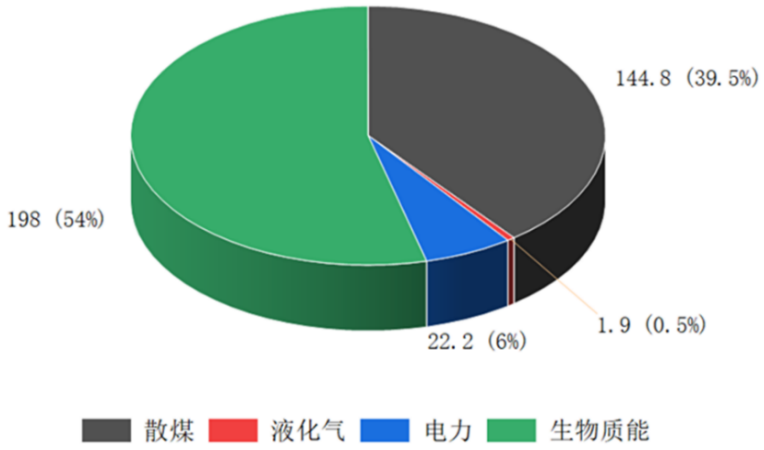


图 2-2 青海古农村地区生活用能结构（单位：万 tce）。数据来源：依照《青海省统计年鉴 2020》所提供的农村人口数量、户数等，本项目组根据《中国建筑节能年度发展研究报告》等进行推算。

2.2 可再生能源资源量现状

青海省太阳能资源尤为丰富，全省年太阳辐射总量仅次于西藏高原，西部属于一类地区，东部属于二类地区。生物质资源较为丰富，2020 年全年农作物总播种面积 571.42 千公顷，森林面积 309.66 万公顷，牧区畜禽粪污较为丰富，牧民生活用能以牛粪为主。

2.2.1 可再生能源及开发利用现状

2015-2020 年，截至 2020 年底，全省电力装机 4030 万千瓦，清洁能源装机和发电量占比分别达到 90.2%和 89.3%。风电、太阳能发电装机占比达 60.6%，是全国唯一占比过半的省份。光伏装机 1580 万千瓦，是 2015 年的 2.8 倍，其中集中式光伏装机居全国第一占全国 6%。光热装机 21 万千瓦，居全国第一。风电装机 843 万千瓦，较 2015 年增长 18 倍。海南、海西基地清洁能源装机分别达到 1841、1043 万千瓦，实现“千万千瓦级两基地”发展目标。

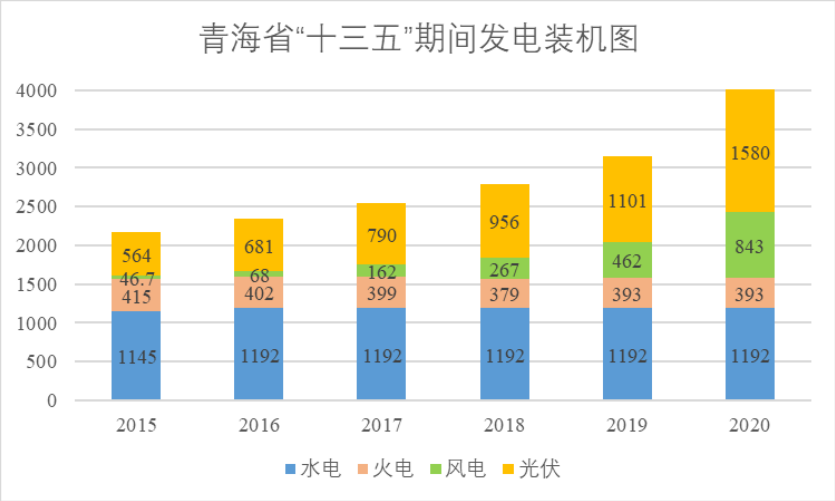


图 2-3 青海省“十三五”期间发电装机图

截止到 2021 年底，青海省水电装机 1263 万千瓦、光伏装机 1656 万千瓦、光热 21 万千瓦、风电 953 万千瓦，清洁能源装机占比 90.83%，青海省新能源装机占比 61.36%，持续保持全国最高。但除了集中太阳能光伏、风电和水电外，屋顶分布式太阳能、生物质资源尚未全面开发利用。

2.2.2 太阳能资源

青海省太阳能资源丰富，年日照时数在 3100-3600 小时之间，年总辐射量可达 5800-7400 兆焦耳/平方米，为全国第二高值区。根据《青海省“十四五”能源发展规划》，明确到 2025 年光伏装机 4580 万千瓦，光热装机 121 万千瓦。除了在荒地、山坡、农田上建设集中式地面光伏电站，分布式光伏电站最主要是建设在民宅屋面上。尤其是屋顶光伏，其主要是利用建筑屋顶铺设光伏板进行发电，能够节约用地，并且就地使用可以减少电力传输和分配的成本和损耗，是光伏发电的重要方向之一，因此本项目重点考虑屋顶分布式光伏资源。

在屋顶太阳能资源方面，本项目组根据卫星图像识别，利用遥感等手段计算，考虑遮挡、屋顶形状等因素，估算青海省城镇屋顶光伏可安装光伏板面积合计 5627 万平方米，总装机潜力为 346.6 万 kW，城镇屋顶光伏年发电潜力为 51.6 亿 kWh。按照发电折算标煤指标 0.308kgce/kWh 计算，城镇屋顶光伏发电潜力折合标准煤 158.93 万 tce。

表 2-1 青海省城镇屋顶光伏潜力估算

序号	地级市	城镇屋顶面积（万 m^2）	安装光伏板面积（万 m^2）	装机潜力（万 kW）	年发电潜力（亿 kWh）

1	西宁市	2734.0	874.9	157.7	23.5
2	海东地区	779.6	249.5	50.2	7.5
3	海北藏族自治州	246.5	78.9	16.4	2.4
4	黄南藏族自治州	243.0	77.8	15.6	2.3
5	海南藏族自治州	321.1	102.7	20.7	3.1
6	果洛藏族自治州	201.1	64.3	13.0	1.9
7	玉树藏族自治州	585.1	187.2	36.4	5.4
8	海西蒙古族藏族自治州	517.5	165.6	36.6	5.5
合计		5627.9	1800.9	346.6	51.6

青海省农村屋顶可安装光伏板面积合计 1.7 亿平方米，总装机潜力为 1662.9 万 kW，农村光伏年发电潜力为 247.7 亿 kWh。按照发电折算标煤指标 0.308kgce/kWh 计算，农村屋顶光伏发电潜力折合标准煤 762.92 万 tce。目前青海省农村地区建筑屋顶光伏利用量很少，为实现农村碳中和目标，亟待深入开发利用。

表 2-2 青海省农村屋顶光伏潜力估算

序号	地级市	农村屋顶面积（万 m^2）	光伏板安装面积（万 m^2）	装机潜力（万 kW）	年发电潜力(亿 kWh)
1	西宁市	4531.5	2175.1	392.0	58.4
2	海东地区	4892.5	2348.4	472.6	70.4
3	海北藏族自治州	962.3	461.9	96.2	14.3
4	黄南藏族自治州	757.4	363.6	73.2	10.9
5	海南藏族自治州	1933.4	928.0	186.8	27.8
6	果洛藏族自治州	428.3	205.6	41.6	6.2
7	玉树藏族自治州	971.1	466.1	90.6	13.5
8	海西蒙古族藏族自治州	2921.2	1402.2	309.9	46.2

合计	17397.7	8350.9	1662.9	247.7

2.2.3 生物质资源

青海省生物质能资源主要由农作物秸秆、畜粪资源、薪柴资源和泥潭四种。在广大农村地区，农牧民对生物质的依耐性很强，长期以来农作物秸秆、畜粪等生物质能一直是农村牧区农户生活燃料的主要来源。因此本项目重点研究农作物秸秆和畜粪。

根据《青海省 2020 年国民经济和社会发展统计公报》提供的数据，2020 年全年农作物总播种面积 553.54 千公顷，其中，粮食作物播种面积 280.2 千公顷。粮食产量 105.54 万吨，森林面积 1778.3 千公顷，每年会产生大量的生物质秸秆及林业废弃物，同时考虑农村畜禽养殖废弃物以及能源作物等，现阶段每年生物质资源潜力约为 972 万吨。但目前利用量较少，且大多数以直接散烧为主。

表 2-3 青海省农村秸秆量估算

编号	地区	播种面积(千公顷)	产量(万吨）	秸秆产生量（万吨）	可收集量（万吨）
1	小麦	102.41	40.29	49.96	37.97
2	青稞	63.85	14.41	17.87	16.44
3	玉米	20.97	14.18	13.33	12.26
4	蚕豆	10.70	2.70	5.35	4.60
5	豌豆	3.30	0.61	0.12	0.10
6	薯类	77.10	33.03	6.28	6.15
7	油菜籽	140.43	28.66	31.53	23.96
8	胡麻	1.81	0.22	0.22	0.17
9	枸杞	33.96	9.23	10.15	7.72
10	青稞料	38.13	10.12	11.13	8.46
11	其它	60.88	17.09	17.09	12.99
合计		553.54	170.54	163.02	130.81

2.3 农村地区散煤治理工作进展和总结

2.3.1 农村地区散煤治理整体情况

近年来，尤其是在国家清洁取暖行动计划开展以来，青海省散煤治理工作加快实施。2019 年以来，按照国家乡村振兴战略的要求，青海省率先提出实施农牧

区居住条件改善工程，通过重点实施农牧民外墙节能保温，更换住房外窗，建设被动式太阳能暖房，有效解决了原住房保暖性差、建筑节能高，采暖设备简陋，能源结构不合理，室内环境差等问题。经测算，在实施居住条件改善工程后，农户室内温度在同等条件下，较改造前普遍提高了 4 到 5 度。每户采暖季可减少散煤量约 1.5 吨。三年共实施 10 万户的农民居住条件改善工程，理论上共计减少约 15 万吨散煤消耗。

2020 年以来，青海省实施了三江源地区清洁采暖改造工程，在农村地区推广电热炕、电灶等设备，对有经济条件的村庄基本实现了天然气入户，并探索建立了农村燃气微管网改造工程。

同时，为提高农村电气化水平，通过实施农网升级改造和“三区三州”脱贫项目，完成 555 个中心村电网改造升级、326 个自然村通动力电、938 个贫困村电网改造。推进三江源地区 16 县清洁供暖配套电网建设，完成 4 个小康用电示范县电网建设，为下一步农村实施“煤改电”打下了基础。

2.3.2 散煤治理工作主要经验总结

青海省散煤治理工作主要经验包括以下三个方面：一是出台完善配套政策体系，二是制定适应地方的标准，三是创新和研究因地制宜的技术体系。

2.3.2.1 政策体系

为加快推进大气环境污染综合整治，全面改善环境质量，青海省人民政府于 2018 年印发了《青海省打赢蓝天保卫战三年行动实施方案（2018-2022）年》，提出积极推进冬季清洁取暖。坚持从实际出发，按照“宜电则电、宜气则气、宜煤则煤、宜热则热”的原则，推进利用各种清洁能源进行冬季清洁取暖。以减少大气污染和保障群众温暖过冬为立足点，以企业为主、政府推动、居民可承受为原则，先气后改、以气定改，在气量有保证、价格可接受的基础上，稳妥推进“煤改气”和集中供热工程，在供热供气管网不能覆盖的地区，大力实施电能替代燃煤供热工程。通过“煤改电”“煤改气”“集中供热”等清洁取暖工程，逐步压减城乡结合部及城中村、棚户区的煤炭散烧规模。

为进一步提高青海省冬季清洁取暖水平，减少大气污染，促进节能减排，按照国家发改委、国家能源局及青海省政府的安排部署，根据《北方地区冬季清洁取暖规划（2017—2021 年）》，2019 年，青海省发展改革委、能源局等部门印发

《青海省冬季清洁取暖实施方案》，方案中提出坚持生态优先，绿色发展。充分发挥我省清洁能源丰富的优势，综合利用天然气、太阳能、清洁电力、地热等能源实现传统供暖方式的转变，减少大气污染物排放，改善城乡空气质量，构建绿色、节约、高效、协调、适用的清洁供暖体系。方案中还明确规定各级政府在推进清洁取暖的过程中，把对既有建筑节能改造相结合，节约能源，降低供暖成本。同步出台了《清洁取暖省级奖补资金管理办法》。青海省发展和改革委员会发布了《关于调整清洁取暖峰谷分时电价政策等有关事项的通知》通知中明确在当地供暖期内，对蓄热式电锅炉，设定上午 9 点至下午 17 点(8 小时)为谷段(即电锅炉蓄热时间)，电价执行 0.16 元/千瓦时，晚上 19 点至凌晨 1 点(6 小时)为峰段，电价执行 0.54 元/千瓦时，其余时段(10 个小时)为平段，电价执行 0.35 元/千瓦时(以上电价均含基金和附加)。《青海省 2020 年控制温室气体排放工作方案》，支持清洁取暖工作开展。

2021 年，青海省人民政府先后发布了《青海打造国家清洁能源产业高地行动方案(2021—2030 年)》、《青海省“十四五”城乡住房发展规划》、《青海省“十四五”生态环境 保护规划》，文件中均明确提出完善现有农牧民住房围护结构，实施外墙节能保温、屋顶保温防水、架设被动式太阳能暖廊、更换住房外窗等重点项目。有条件地区逐步推动燃气进村入户。提高清洁能源就地消纳比重，构建以新能源为主体的新型电力系统。加快推进农网升级改造和大电网未覆盖地区延伸工程，全面提升城乡供电保障能力。

在国家双碳目标大背景下，青海省人民政府发布了《青海打造国家清洁能源产业高地行动方案(2021—2030 年)》、《关于加快建立健全绿色低碳循环发展经济体系的实施意见》、《青海省“十四五”能源发展规划》，规划方案中提出以“双主导” 带动“双脱钩”，打造以非化石能源为主的“多极支撑、多元消纳、多能互补”能源生产消费体系，建立安全高效的能源保障储备体系，探索构建以新能源为主体的新型电力系统，突破清洁能源关键核心技术并加快推广。加快推动分布式新能源发展，在环青海湖、三江源、河湟谷地等区域,因地制宜发展农光、牧光、林光、光伏治沙等多种形式的光伏应用，促进光伏应用与其他产业发展相融合。整县推动分布式光伏发电应用，积极发展分散式风电，扩大分布式清洁能源就地开发、就地消纳。加快推动清洁化供热，实施三江源地区清洁取暖工程，采

用电能替代方式进行清洁供暖改造，因地制宜开展农牧区被动式太阳能暖房改造试点，建设分布式太阳能供热供暖系统，推广低温空气源热泵采暖，鼓励地热资源丰富地区开发地热和干热岩供热。因地制宜推进生物质能的综合利用，开展核供热项目前期研究，拓展清洁供暖方式。

2022 年 7 月，青海省发展和改革委员会、青海省能源局印发《青海省关于完善能源绿色低碳转型体制机制和政策措施的意见》。到 2030 年，基本建立能源绿色低碳发展基本制度和政策体系，形成非化石能源基本满足能源需求、能源安全保障能力得到全面增强的能源生产消费格局。《意见》指出，开展超低能耗建筑、零碳建筑、可再生能源建筑、绿色健康技术和绿色建材等推广应用，推动新建建筑能效提升。加强可再生能源应用，大力发展分布式光伏系统，建设新型建筑电力系统，加快推进海西州、西宁市清洁供暖试点城市以及玛多、兴海、共和、同德、贵南、河南县清洁供暖示范县建设。

2.3.2.2 标准体系

为了规范青海省绿色建筑设计、推动青海绿色建筑发展，青海省住房和城乡建设厅于 2015 年发布了《青海省绿色建筑设计标准》对建筑设计与室内环境、建筑结构与材料、暖通空调设计等提出了具体技术要求，为青海省绿色建筑的规范和建设水平提升提供了依据。

为实现节约能源和保护环境的战略，更好的指导青海省建筑节能工作的开展，青海省住房和城乡建设厅于 2018 年发布了《青海省居住建筑节能设计标准-75%节能》，该标准明确了“被动优先、主动优化”的节能历练，提高了建筑围护结构热工性能的标准。同步发布了《青海省公共建筑节能设计标准》。

为推动青海省被动式低能耗建筑技术的应用，规范和指导被动式低能耗建筑的设计、施工和运行维护，针对青海省的气候特点和具体情况，总结近年来青海省被动式低能耗建筑方面的时间经验和研究成果，青海省住房和城乡建设厅 2018 年发布了《被动式低能耗建筑技术导则（居住建筑）》，该导则明确了设计的各项技术参数标准和具体的实施流程。基于太阳能被动房在青海省农村地区广泛应用，2020 年青海省住房和城乡建设厅发布了《青海省被动式太阳能建筑评价标准》，以合理评价被动式太阳能建筑的应用效果，提高被动式太阳能建筑的应用水平。

2017 年，结合青海省多年的被动式太阳房的经验，青海省住房和城乡建设

厅发布了《青海省被动式太阳能采暖建筑应用技术图集》。在此基础上，2020 年，青海省住房和城乡建设厅、住房和城乡建设部科技与产业化发展中心组织完成的《农村地区被动式太阳能暖房图集（试行）》，该图集由住房和城乡建设部发布实施，对推动我国北方地区被动式太阳能暖房建设，指导农村建筑能效提升，推进我国北方地区冬季清洁取暖提供了科学可行的技术路径。同年发布了《青海省农房建筑节能建设标准》。

2.3.2.3 技术体系

为做好农村散煤治理工作，青海省各级人民政府针对当地农村地区的特点，在充分尊重农户意愿的基础上，开展了一系列农村散煤治理技术体系的探索。

在农房围护结构节能改造方面，青海省率先开展了被动式太阳能暖房应用。历经了近十年的研究与实践，青海省住房和城乡建设厅先后实施了 130 余万平方米的被动式太阳能暖房工程的示范应用，组织完成了“青藏农牧区民居建设中被动式太阳能采暖方式的比较性研究与示范”、“青海农牧区低能耗绿色农房技术集成示范与推广”、“青海省被动式太阳能建筑测试和评价体系研究”等多项科技研究，形成了适应青海省地域气候特点的农牧区民居建筑建设“门源模式”。

与上面被动式太阳能暖房应用相比，在清洁取暖技术方面相对滞后。目前主要探索了通过集光伏光热、槽式集热、管式集热、低温相变储热、储电为一体的方式。在农牧区推广了一些电锅炉、太空能热泵、电热炕、电热膜等清洁取暖方式。但其实际效果有待评估，适用于本地的合理技术体系尚未建立。

2.4 农村地区散煤治理存在问题

青海省农牧区在长期的清洁取暖工作中，抓住了当地“丰富的太阳能资源”这一特点，大力推动被动式太阳能暖房（暖廊）建设，例如达玉村的 124 户全部加装了太阳能暖廊。地方政府以住房节能改造和厕所革命为抓手，积极推动住宅外墙节能保温改造工程、住宅门窗更换工程、节能炕和厨房改造、庭院建设和院墙整治工程，全方位提高村容村貌，改善群众生活品质。在实地调研中，依然存在以下问题：

2.4.1 农房围护结构保温性能差，采暖能耗高

青海省农村地区建筑多为自搭自建，形式多样，建筑面积较大但实际采暖面

积小，建筑材料老旧，围护结构保温性能差。墙体、屋顶、地面等基本未采取保温措施，绝大部分房屋外墙为水泥抹灰墙或裸露的砖墙，少量农房屋顶设置了模板或带装饰效果的吊顶，仅起到了降低层高的作用，部分门窗改为了铝合金或塑钢窗，但基本采用的单玻窗，保温效果很不理想，冬季渗透风较为严重。部分地区实施了外墙外保温，但多对外墙进行了部分保温（保温本仅敷设 3/4 的部分），保温节能效果大大减少。因此，在农村地区施行建筑围护结构保温改造是开展散煤治理作的必要基础。

2.4.2 未因地制宜利用本地资源

青海省太阳能资源属于我国二类地区。但目前青海省的太阳能资源利用主要用于提供生活热水，在冬季采暖中尚未得到较好应用。虽然当地大部分农户采用了阳光间这种被动式太阳能利用技术来达到保温的目的，但由于其主要采用单层玻璃，受材料质量和施工技术的影响，密封较差，采暖效果较差。部分农户反映太阳能暖廊“冬冷夏热”。主动式太阳能利用技术，如太阳能热风或热水系统尚未推广，仅有少量示范。

2.4.3 未采用经济高效的“煤改电”技术

目前市场上使用的“煤改电”取暖设备初投资差别较大，所需配套电网改造容量和费用也随之不同。直接电热取暖尽管设备初投资较低，但是没有充分利用电能的高品位，所需电网改造费及取暖费用都很高，给政府、农户和电网公司都带来较大的经济负担，不宜作为农房取暖的主要方式。蓄热式电暖器尽管可以利用夜间低谷电进行储热取暖，但仍属于高能低用，其能源转化效率低，总电耗大，需要政府补贴维持运行。根据前期的调研，青海省农村地区散煤治理推进试点工程均以直热式电暖气、电锅炉、电热炕等低效“煤改电”技术为主，而未采用高效适用的热泵技术。

2.4.4 采暖和炊事方式不清洁，且存在安全隐患

现阶段，结合国家清洁取暖行动，青海省部分农村地区已开通天然气，解决了农户的采暖和炊事需求，但是绝大部分农村地区采暖和炊事仍要以散煤和生物质直接燃烧为主，效率低，污染排放严重。采暖设备缺乏散热末端，很大一部分

热量直接随烟气排至室外，采暖效果差。有些农户将燃烧热源直接置于室内，加重了室内空气污染，同时存在一氧化碳中毒和火灾风险。尤其是牧区，此类问题尤为严重。

2.4.5 农村电网容量较小

2018-2020 年，青海省累计投资 86.34 亿元，实施网架补强和大电网延伸工程，新建输配电线路 2.3 万千米，新建变电站 74 座、容量 1699 兆伏安，新增配电变压器 4376 台，改造户表 9.1 万个，解决了 496 个建档立卡贫困村、279 个深度贫困村、503 个易地扶贫搬迁村用电问题，让深度贫困地区群众用上了稳定电。供电可靠率提升至 99.8%，电压合格率提升至 99.5%，户均配变容量提升至 2.48 千伏安，高于国家指标 24%，不仅满足当地群众电气化生活用电，也为当地产业发展添足了动力，但仍然无法满足大规模推广“煤改电”技术的要求。

2.4.6 清洁用能技术宣传力度不足

受经济因素、信息传播不够、传统的影响，农户主动改变现状的动力不够，对其他清洁能源和采暖炊事形式，如低温空气源热泵热风机、生物质颗粒采暖炉、太阳能热风或热水采暖等了解不多。

3 青海省典型村落的现状调研

考虑到青海省的地域特殊性，农村既有农区也有牧区，同时农村地区普遍地广人稀，海拔高度对气候和生活方式也有很大影响。因此本项目调查研究范围以传统农区为主，兼顾典型牧区。以人口相对集中、经济发展相对较高的城市周边地区为主，适当兼顾高分散高海拔地区。根据上述原则，项目组选取了青海省 3 个典型村落进行了详细调研，获取每户的建筑围护结构、用能负荷特性、经济水平、用户用能习惯、建筑空间利用率等信息。

3.1 传统农区现状调研

3.1.1 西宁市大通县景阳镇土关村

3.1.1.1 土关村基本概况

土关村位于西宁市大通县景阳镇，总面积 14.43 万平米，总户数 240 户，常住户 188 户。居住建筑较为集中，与周边村落距离均在 1~2 公里。常住人口以老人和小孩为主，户均常住人口 3~4 人，经济收入主要靠种植和养殖。土关村属大陆性高原气候，春季干旱多封，冬季干冷少雪，年平均气温 4.9℃，年平均日照时数 2506 小时，采暖期 8 个月。



图 3-1 土关村地理位置示意图

3.1.1.2 农房基本情况

土关村农房主要以单层平房为主，楼房和其他形式的房屋较少，户均建筑面积约 80-120m^2，室内环境整洁。农房结构形式主要为砖混和砖木结构。墙体大部分为实心砖墙，厚度约 37cm，石头墙、土坯墙等其他材料的墙体很少。绝大部分房屋的墙体无保温措施。窗户主要为单层塑钢窗或铝合金窗，散热量大，一部分农户采用双层单玻窗户，两层窗户的间隔约 100mm（图 3-2（a）所示）。窗户形式以推拉窗为主，密闭性较差。大部分农房设置了阳光间（暖廊）为室内提供一定的热量（图 3-2（b）），但由于阳光间结构和施工质量问题，保温性能较差。

由于很大一部分家庭的常住人口主要为老人和小孩，冬季常用卧室间数平均为 1~2 间，其他房间作为储藏室或者儿女偶尔居住，因此采暖面积远小于建筑面积。



（a）双层单玻窗户



（b）阳光间

图 3-2 土关村典型农房

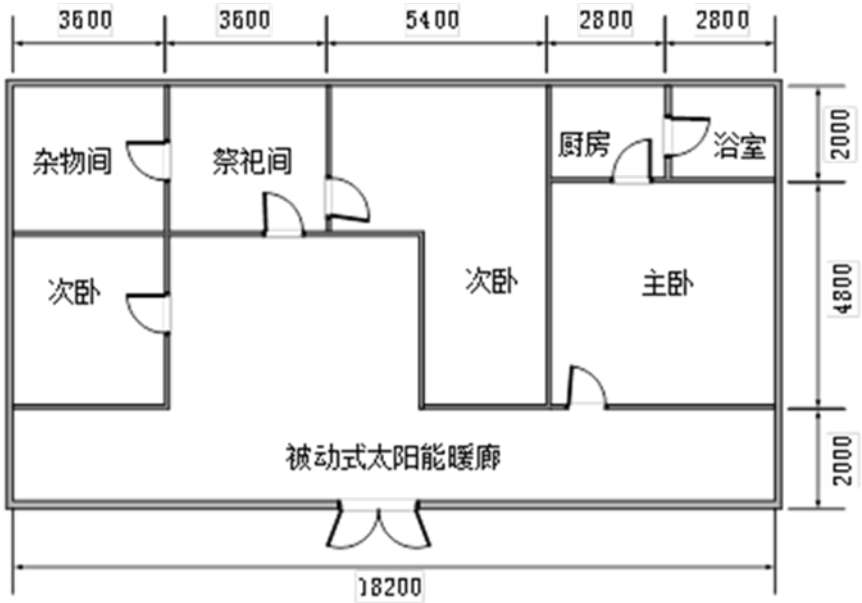


图 3-3 土关村典型农房户型图

3.1.1.3 用能设施基本情况

农户炊事能源种类主要有散煤和生物质，小部分家中有电炊事炉的农户也采用电作为辅助炊事能源。当地作为燃料的生物质主要为农作物收获后粉碎的秸秆，秸秆大量堆积在房屋周围，具有一定的安全隐患。此外，中国燃气已经在土关村建设了小型丙烷储罐供气试点（图 3-4），计划为农户提供炊事和生活热水用能，因此小型丙烷储罐供气方式也将可能成为该地常见的炊事方式。



图 3-4 土关村小型丙烷储罐供气试点

农户采暖形式主要有直接燃烧生物质（秸秆、牛粪、羊粪等）的土炕和燃煤采暖炉。这些传统采暖设备的热效率均较低，采暖效果差，室内温度仅 10℃左右，污染排放较高，会造成较严重的室外空气污染。

土炕作为一种传统采暖设备，在常住人口为老人的农村仍然得到广泛应用。一部分农户土炕的添柴口设置在室外，但由于烟道设置不合理，容易出现倒烟现象；一部分农户的添柴口设置在卧室，直接与土炕相通，易导致大量烟气进入室内，造成严重的室内污染，危害人体健康。此外，在卧室内直接燃烧生物质，容易造成火灾，具有较大的安全隐患（图 3-5）。



（a）土炕室外添柴口　　（b）土炕室内添柴口

图 3-5　农户土炕形式

燃煤采暖炉是另一种常见的采暖设备。除个别家庭安装了地板采暖末端，剩余大部分农户家中的燃煤采暖炉均未连接散热末端，仅依靠炉体和烟囱散热，采暖效果差。一些农户直接将燃煤采暖炉放置在卧室内，易造成室内严重污染和一氧化碳中毒事故。





（a）散煤　（b）燃煤采暖炉 1（无散热末端）　（c）燃煤采暖炉 2

图 3-6　燃煤采暖炉形式

当地农户每年生物质秸秆户均用量为 2 吨左右，户均燃煤消耗量约为 3 吨，当地燃煤价格为 900 元/吨，每年电费约 1000 元，因此每年用于购买生活用能的支出约 3700 元。

3.1.2 海南藏族自治州贵南县茫曲镇达玉村

3.1.2.1 达玉村基本概况

达玉村位于海南藏族自治州贵南县茫曲镇，总面积 39.66 万平方米，总户数 136 余户。居住建筑较为集中，与周边村落距离均在 1 公里左右，经济收入以种植和养殖为主。达玉村属典型高原大陆性气候，冬长夏短，日照长，辐射强，年平均气温为 2.3℃，12 月底至 1 月初气温最低，采暖期 8 个月。



图 3-7 达玉村地理位置示意图

3.1.2.2 农房基本情况

达玉村农房一般有 4 至 8 个房间，一个主卧，多个次卧，农房中部一般是用于祭祀的房间，厨房、淋浴间紧密布置，典型户型如图 3-8 所示。农房多为单层

平房，楼房和其他形式的房屋较少。建筑面积从 60 ㎡到 200 ㎡不等。农房结构主要为砖混和砖木结构。墙体大部分为实心砖墙，厚度约 370mm，房屋的墙体有保温，敷设 5-8cm 聚苯板。房顶一般为混凝土预制板铺设的平屋顶，少数房顶有彩钢板，内屋顶有带装饰效果吊顶。窗户主要为单层塑钢窗、单层铝合金窗，以推拉窗为主。大部分农房都设有被动式太阳能暖廊，暖廊一般为“铝合金门框+普通单层玻璃”结构。部分农民在太阳能暖廊的门外悬挂较厚的保温门帘。

图 3-9 典型户的住宅建于 2012 年，在 2019 年进行了节能保温改造。根据农户的反映，屋内室温相对改造前提升了 4-5℃，能耗减少 40%左右。

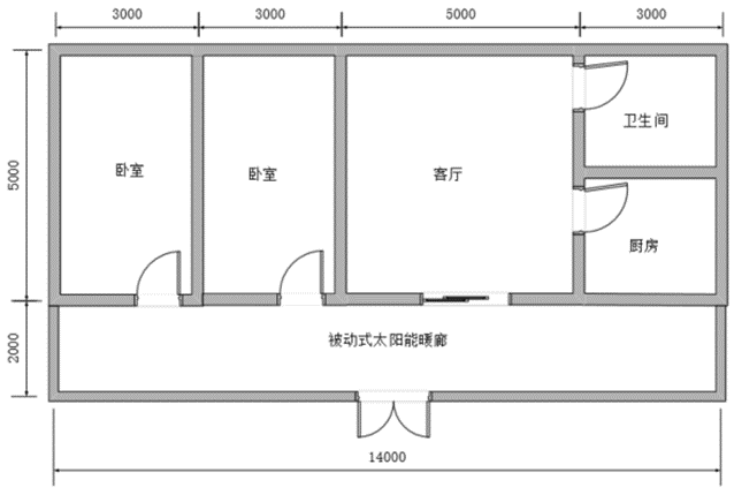


图 3-8 达玉村典型住宅户型图（单位：mm）



图 3-9 农房外观及围护结构保温情况

3.1.2.3 用能设施基本情况

达玉村已经接通燃气管道，农房内安装了燃气壁挂炉，满足做饭和采暖的需求。采暖系统的末端为散热器，各个房屋之间的散热器为串联关系。因农村人口

较少，以老人和小孩为主，其主要活动房间为主卧。为了降低能耗，其他房间的散热器的一般需要调小阀门以降低流量，保持值班温度，避免管道冻裂。为了提高主卧的室内温度，同时为了减少燃气消耗，主卧的炕保留了烟道和燃烧室，可以从室外点燃树枝、垃圾等辅助采暖。房屋用能设施如图 3-10 所示。



图 3-10 冬季采暖设施

3.2 典型牧区现状调研

3.2.1 海南藏族自治州贵南县塔秀乡加斯村

加斯村位于海南藏族自治州贵南县塔秀乡，年平均气温 1.6℃，属典型的大陆型高原气候，采暖季较长，为 8 个月。总户数 35 户，牧区农户居住比较分散，并且具有一定的流动性。经济收入主要靠养殖。牧区分为夏季草场和冬季草场，牧民在夏季前往夏季草场放牧，冬季住在固定房屋内。



图 3-11 加斯村牧区地理位置示意图

3.2.2 牧区农房基本情况

牧民住宅一般为 2 至 3 间房屋，户型如图 3-12 所示。住宅基本为单层平房，户均建筑面积约 60 ㎡至 100m²。农房结构形式主要为砖混结构和砖木结构。墙体大部分为实心砖墙，厚度约 370mm。住宅外墙敷设 5-8cm 聚苯板保温，但未敷设完全。屋顶设有带装饰效果的吊顶，如图 3-13 所示。牧区的住宅门窗与农区差异不大。窗户主要为单层塑钢窗、单层铝合金窗，以推拉窗为主。

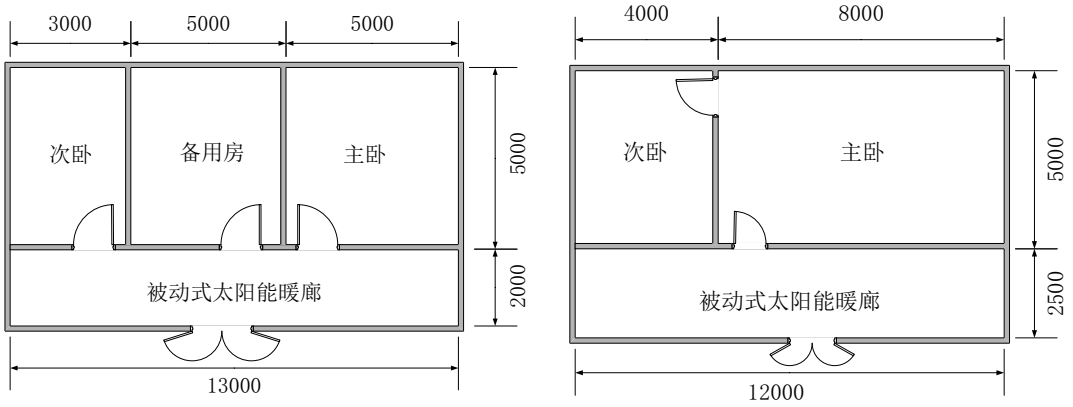


图 3-12 加斯村典型住宅户型图（单位：mm）



图 3-13 牧民住宅外观及保温情况

3.2.3 牧区用能设施基本情况

牧民住宅的主要活动房间内安装炊暖两用炉具，燃料为牛羊粪，满足烧热水、取暖的需求。卧室大多选择了“电热炕”作为主要的取暖设备，如图 3-14 所示。“电热炕”本质上为电直热设备，当地选用的是“60cm×170cm/180W”的家庭版规格，根据炕的大小选择 2 至 4 块电热板并联使用。“电热炕”作为睡眠时的局部空间取暖设备，并不能满足牧民在白天的取暖需求。牧民在主卧内安装的炊暖两用炉具可以通过辐射和对流的方式，温暖整个房间。



图 3-14 牧区农户用能设施

3.3 调研小结

3.3.1 传统农区

（1）青海省传统农区空房率较高，基本在 60%以上。农户普遍收入水平较低。常住人口以老人和小孩为主，户均常住人口 3~4 人。

（2）农区农房建筑面积较大，房间数较多。建筑面积 100~200 m^2，房间数 3~5 间，但实际采暖面积较小，约 50~70 m^2，采暖房间数多为 1~2 间，占 60%以上，有些人少的住户甚至不到 30 m^2。

（3）农区农房以四间式为主，约占 70%以上。绝大部分农房墙体厚度为 37cm，门窗以塑钢或铝合金单玻为主。大部分农房设有太阳能暖廊，屋顶设有带装饰效果的吊顶，但农房围护结构节能改造尚未开展，绝大部分农房内外墙均无保温。

（4）清洁取暖改造尚未全面系统推广。农区绝大部分农户使用高污染散煤和生物质散烧进行采暖，少量改为电锅炉、电热炕采暖，但未采用高效的热泵设备。采暖能耗较高，在间歇采暖的情况下，农区户均 4~6 吨煤。

（5）农区可再生能源利用率较低。太阳能资源利用主要用于提供生活热水，在冬季采暖中尚未得到较好应用。主动式太阳能利用技术，如太阳能热风或热水系统尚未推广，仅有少量示范。

3.3.2 传统牧区

（1）相较于农区，青海省传统牧区空房率较低，农户普遍收入水平较高。多为两代人或三代人居住，户均常住人口 3~4 人。

（2）与牧区农户生活习性有关，农房建筑面积相对较小，房间数少。建筑面积 60~100 m^2，房间数 2~3 间，基本全部采暖。

（3）牧区农房以大三间式为主，约占 80%以上。绝大部分农房墙体厚度为 37cm，门窗以塑钢或铝合金单玻为主。大部分农房设有太阳能暖廊，屋顶设有带装饰效果的吊顶，部分农房内外墙设有 5~8cm 的聚苯板。

（4）清洁取暖改造尚未全面系统推广。牧区绝大部分农户使用散煤和牛粪散烧进行采暖，少量改为电锅炉、电热炕采暖，但未采用高效的热泵设备。采暖能耗较高，户均 1~2 吨煤。

（5）牧区可再生能源利用率较高。牛粪是牧区农户生活和采暖的主要燃料，

但基本是粗放燃烧，室内环境较差。太阳能资源利用主要用于提供生活热水，主动式太阳能利用技术，如太阳能热风或热水系统尚未推广。

4 青海省典型农房实际供热需求特征研究

农村在历史传统、土地资源、生产方式、生活方式、自然条件等诸多方面都与城镇住宅有显著差异。而农村的建筑形式、人口构成，以及固有的生活模式、人员活动类型、资源特性、人员经济行为决定了农村人口与集中的城市人口不同的建筑使用模式、行为模式和室内热环境需求。因此农村建筑节能策略的制定和节能技术的开发不能沿袭“城镇路线”，农房的建筑节能以及室内热环境的改善需要另辟蹊径，走出一条符合青海省农村实际的可持续发展之路。

4.1 农房供热需求特性

与人口集中的城市显著不同的是，农村人口呈散落居住，并形成了以村落为主要行政单元的小规模聚居模式。青海省农房绝大多数采用自建的方式，建房时大多沿袭传统的粗放型模式。围护结构保温隔热性能很差，尽管大部分有被动式太阳能暖廊，但因为施工质量较差，出现了“冬冷夏热”的现象。门窗多采用单玻铝合金、单玻塑钢推拉窗，极少量的木门窗，室内温度普遍不高，供热效果不佳。要做好农房的清洁供热工作，首先需要研究农房的实际供热需求和特征。

4.1.1 农房使用模式及特点

青海省农村地区居民多以农业、牧业等非人口密集型产业为主。为保证能够充分、合理地利用可耕种的土地资源，农户往往聚居在相互分散独立的村落中，分别经营着不同区域内的土地，同时辅助以家庭手工业和养殖业，来维持自身的生存和发展。这种生产方式决定了农户特有的使用模式：农房不仅是农户的生活空间，也是其重要的生产和辅助空间。此外，农村地区还广泛存在着多代同堂的居住模式，导致农房内部空间功能和服务水平需求的广泛多样性。因此，农房需要满足不同活动和不同人群的多方面要求，生产与生活功能的兼具统一是农房的重要特点之一。

农村的生产方式和农房的使用特点决定了农村应该保持分散的居住模式，这种分散居住、自给自足经营土地的生活生产方式情况下，土地人均占有量虽然存

在着地区分布的不平衡性，但总体上远高于城镇水平，人口密度相对较小，而且青海省农房基本为单层或低层建筑、独立院落的建造模式，农村地区的外围土地资源和建筑内部空间都较为充裕，农房建设整体用地和内部布局相对宽松。

4.1.2 农户行为模式

农村分散的居住模式是农户日常生活和经济生产活动顺利进行的基础，相对宽裕的宅基地是生产和生活的必要保证。同时，农房独特的建造形式和农民传统的生活方式使其对农房室内环境舒适程度和服务水平的要求与城镇居民存在很大不同。

根据前期的调研，农户由于生产与生活习惯的原因，需要频繁进出居室，并且在室时间通常集中在 1~2 个房间，尤其是牧区农户，大多围炉而坐，所以活动区域通常集中在客厅或者主卧。同时，农户在建筑的使用上也体现出较为节俭的功能空间使用模式：将房间功能合并，例如客厅兼具餐厅功能、客厅兼具卧室功能。

农户对室温需求与城镇居民的明显差异，普遍认为 15℃左右即能满足要求，且在室内的衣着水平以室外短期活动不会感到冷作为标准，因此农房冬季供热温度低于城市集中供热水平。并且调研农户中多数认为冬季室内外温差不能过大，老人冬季在室内的衣装量明显高于城市老人冬季在室内的衣装量，起居室和卧室平均温度比城市的低 5~6℃。总体上讲，较低的冬季供热需求是农房实现建筑节能的优势条件。

4.1.3 农房供热模式

农村地区不同的建筑特性和围护结构的多样性导致了农村建筑的基本负荷与城市不同，加之农村不同程度的空心化现象，农户对供热的个性化要求，使得农村的供热问题相当复杂，亟需对不同建筑下农户的供热需求进行梳理总结，归纳典型模式，为农房节能及清洁供热工作提供技术清单。

通过对调研结果的深度总结，农村建筑与供热需求存在以下几种匹配形式：

4.1.3.1 全时间全空间供热

该模式与城镇供热模式类似，占比约 20%。主要应用于下面两种实际情况：

（1）经济条件好、室内供热有特殊要求的农户，如家中人口较多，二代或三代

人聚居，且家中有老人或小孩，对室内温湿度要求高，需要对建筑全时间全空间供热，供热房间数 3-5 个，供热房间类型包括卧室、客厅及厨房，部分建筑包括卫生间。

（2）农房总体建筑面积小，通常为 2-3 间房，且所有房间使用频率较高，农户本身供热需求较高。

4.1.3.2 全时间部分空间供热

该模式主要应用于建筑面积较大，房间数较多，但常住人口较少的农户，占比最高，约 50%。该类农房一般为两代人居住，部分房间闲置，闲置房间不需要供热，主要对常用的 1-2 个卧室+客厅供热，厨房、卫生间等功能性配房根据需求进行供热。

4.1.3.3 部分时间部分空间供热

该模式应用于常住人口较少，只需在卧室、客厅、厨房 3 个房间使用时段进行供热的农房，占比约 30%。该类农房的客厅仅在白天使用期间供热，卧室在睡前 1~2 小时供热，厨房选择性供热，且农户对室内温湿度要求较低。

4.2 农村典型住宅户型及实际供热需求分析

根据对西宁市、海南藏族自治州等地进行的调研结果，本项目组提炼总结出青海省农村地区三种典型农房户型及对应的实际供热需求特征。

4.2.1 大三间式农房及其实际供热需求

大三间式农房是青海省牧区较为常见的建筑形式，如图 4-1 所示，约占青海省农村居住建筑 30%。通常由两侧卧室+中间客厅组成，三个房间面积均等。该类型农房建筑面积约为 40-60m^2，以两代人居住较多，常住人口 3-4 人，房间空置率低，均有人居住，但大部分时间集中在客厅。根据人口数、生产及生活习惯不同，大部分农户需要全时全空间供热，少部分农户希望部分空间部分时间供热，卧室白天不供热，仅睡眠时间供热即可。

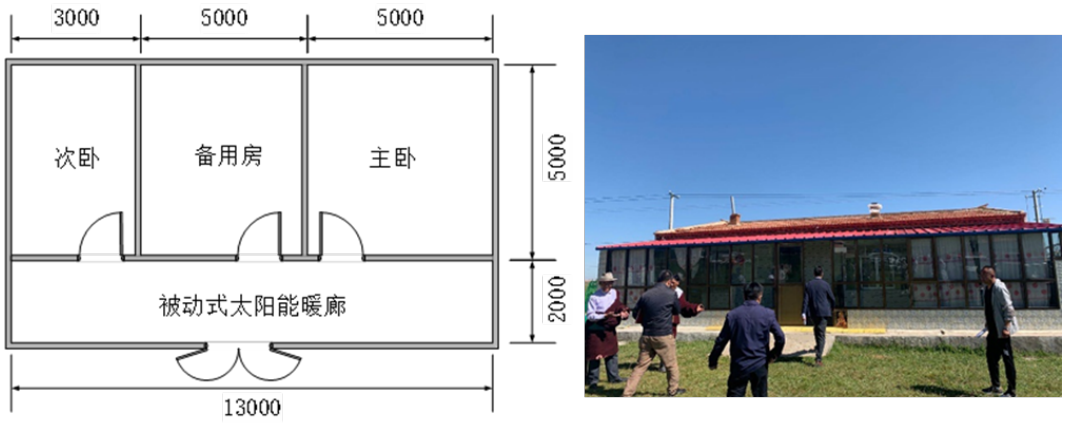


图 4-1 大三间式农房示意图

4.2.2 类三间式农房及其实际供热需求

类三间式农房也是青海省农牧区较为常见的建筑形式，随着农村经济水平的发展，农户对房间功能要求增多，不再满足于简单的客厅及卧室功能，期望房间具备明确的炊事及卫生空间，如图 4-2 所示，在原三间式农房的东侧或西侧隔出一间用于卫生间和厨房，多余客厅相连。

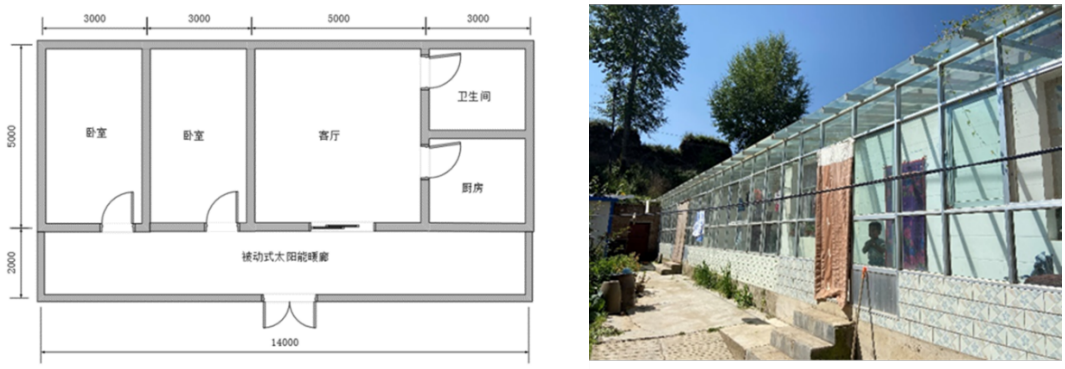


图 4-2 类三间式农房示意图

该类农房整体面积在 80~100m^2 范围内。一般为两代人居住，常住人口 3-4 人，使用频率最高的房间仍然是客厅，其次为卧室，其他功能房间使用频率稍低。受经济水平影响，该类农房对应的实际供热需求差别较大。经济条件较好的地区，基本全时全空间供热；经济水平稍差的地区，大部分采用部分空间供热的方式，仅对一卧室+客厅进行供热，实际供热面积约为建筑总面积的二分之一至三分之二，并且大部分农户希望供热设备能够独立调节，间歇运行供热。

4.2.3 四间式农房及其实际供热需求

如图 4-3 所示，该类农房中部一般是是用于祭祀的房间，厨房、淋浴间紧密布置，房间总数为 4-5 间，卧室总数为 2-3 个，建筑面积为 100~200m^2。以两代人或三代人居住为主，常住人口总数为3-5 人。由于该类建筑所有房间依次相连，农户在实际使用中，对常用的客厅及卧室的单独供热常受到相邻非供热房间传递的冷量影响。因此，部分建筑面积在 100m^2 至 120m^2 的农户采用全空间供热的方式，对卧室+祭祀间+客厅+厨房+卫生间进行供热。面积较大的用户考虑到经济性，仍然只对常用的卧室和客厅进行供热，其实际供热需求同上述大三间式。

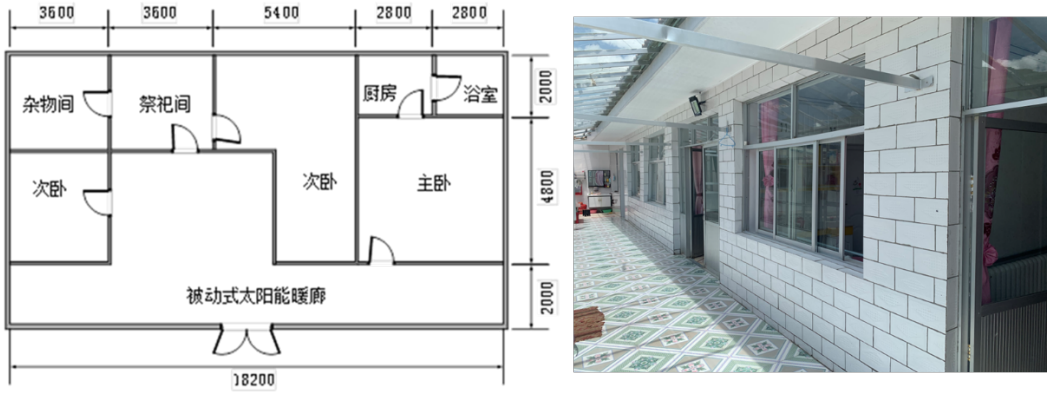


图 4-3 四间式农房示意图

5 青海省农村散煤治理综合方案遴选

5.1 农房围护结构节能改造技术遴选

5.1.1 农房围护结构热性能改善的重要性及途径

青海省地处严寒地区，冬季供热能耗过大是农房面临的最主要问题，围护结构热性能以及布局直接影响农房热环境及能耗。农房围护结构的散热途径主要包括墙体、屋顶、地面、门窗的传热损失，以及通过门窗的冷风渗透造成的热量损失。

对于单体农房建筑来说，外墙的面积一般是最大的，而一般无保温的农房外墙采用 37 cm 或 24 cm 砖墙，传热系数大。通过测试发现，寒冷地区某典型农房各围护结构的冬季散热量，东、西、南、北外墙的总散热量达到围护结构总散热量的 1/3 左右，其中由于北墙背向阳光，是墙体散热的主要部分，约占墙体散热

总量的 1/2。

屋顶也是一个薄弱环节，一方面是因为它的面积大，另一方面，在冬季，室内热气上浮，屋顶处温差比其他地方大，导致散热量较大。

门窗由于厚度比墙体和屋顶薄很多，所以散热更强，而且当门窗的缝隙较大时，渗透风量也会很大，造成室内热量的浪费。但南向、东向、西向窗户还能透射进阳光，白天会补偿部分散失的热量。

此外，热量还会从地面与墙壁相交处传到室外，尤其对于农村来说，人们通常只注重地面的装饰性，忽视了地面也是冬季散热的一个很重要的环节。

从这些方面可以看出，要做好房子的节能，就要把墙、屋顶、门窗、地面的传热损失和渗透风带来的负荷降下来。具体来说，就是做好墙面、屋顶的保温，提高门窗的热工性能和密闭性，减少地面传热，切断地角传热的途径。

5.1.2 农房围护结构节能改造技术

农村地区不同农户的供热需求在时间和空间分布上具有多样性，对于不同供热特征和经济状况的农户，应制定不同的围护结构保温改造方案。针对青海省农房实际，确定农房保温改造方案如下。

5.1.2.1 被动式太阳能暖廊改造方案

对于新建建筑或农房南墙有足够空间的农户，适合采用加设被动式太阳能暖廊的改造方式。被动式太阳能暖廊是指在农房的南墙建设阳光间的一种设计，让玻璃和墙相互间的空气夹层有所加宽，构成一个能够运用的空间。阳光间能够因为阳光照射适当加热，能够将其储存，供给房间。同时在夜晚也可以当作缓冲区，将房间的热损失减少。其采暖原理如图 5-1 所示。

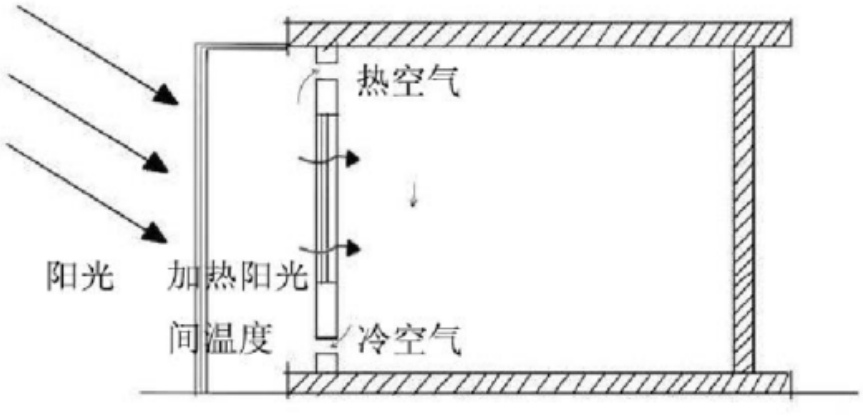


图 5-1 太阳能阳光间采暖工作原理

阳光间立面的材料主要有断桥铝单玻/双玻、塑钢单玻/双玻、铝合金单玻/双玻，封顶材料主要有玻璃、彩钢板。阳光间保温性能好，同时还起到了美观的效果。但但改造成本较高，铝合金费用在 200~280 元/m^2 左右，断桥铝费用在 520~600 元/m^2，塑钢费用在 320~360 元/m^2。封顶玻璃 680 元/m^2 左右，彩钢板 150 元/m^2 左右。具体的技术介绍如图 5-2 所示。

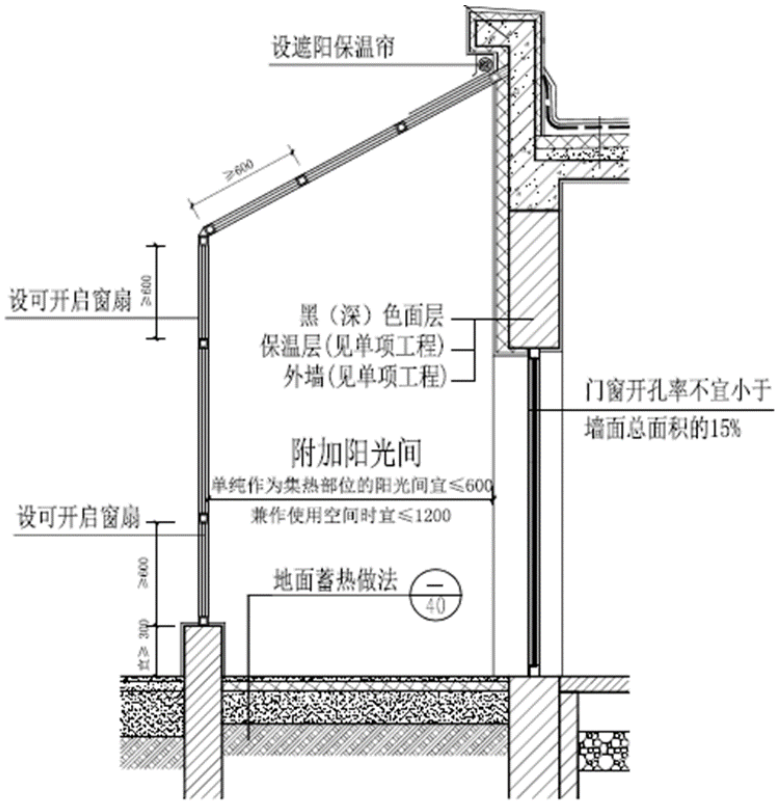


图 5-2 阳光间构造

5.1.2.2 整体保温改造方案

对于新建建筑且供热房间多、有连续供热需求的农户，适合采用围护结构整体保温改造方案，即对整个墙体、门窗和屋顶进行保温改造。这种整体改造方案节能效果最好，但改造成本最高，外墙改造费在 125 元/m^2 左右，外窗改造费用在 320 元/m^2 左右，屋顶改造费用在 50 元/m^2 左右。整体保温改造的具体技术简介如下。

外墙外保温改造

对外墙主要采取外保温的形式。外墙外保温是指在墙体外侧增加保温层，如图 5-3 所示。其技术的优点：① 无须设置隔气层，不易形成冷桥，保温效果稳定。② 提高墙体的防水和气密性，降低含湿量。③ 保护住宅主体结构，增强结构的耐久性，延长使用寿命。④ 适用范围广。缺点：① 施工时间受到限制。②

对材料和施工的质量要求较为严格。③ 造价相对较高。外墙外保温能够消除热桥的影响，不占用有效建筑使用面积，施工时不会影响住户正常使用。外墙外保温所用材料主要有膨胀聚苯板（EPS）和挤塑聚苯板（XPS），厚度根据所在地区的气候特点，以经济性和节能效果为目标进行优化。

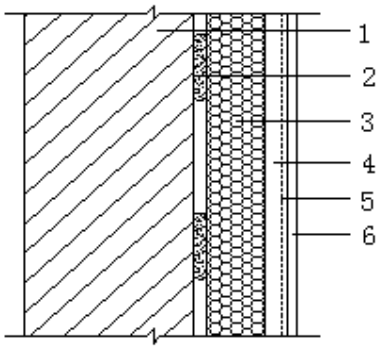


图 5-3 聚苯板外墙外保温

外墙外保温的工艺流程包括：基层清理、刷专用界面剂、配专用聚合物粘结砂、预粘板边翻包网络布、粘贴挤塑板、钻孔安装固定件、挤塑板打磨找平及清洁、中间验收、拌制面层聚合物砂浆、抹面层聚合物抗裂砂浆、挂找平外墙腻子、弹涂、面涂、验收。

门窗保温改造方案

门窗型材特性和断面形式是影响门窗保温性能的重要因素之一。框是门窗的支撑体系，可由金属型材、非金属型材或复合型材加工而成。金属与非金属的热工特性差别很大，表 5-1 给出了五种窗框材料的导热系数，木、塑材料的导热系数远低于金属材料，保温隔热性能优良。塑料具有良好的保温、隔热、隔声、耐腐蚀、美观等综合性能，PVC 塑料型材有推广价值。

表 5-1 几种材料的导热系数

材料	木材	塑料	玻璃钢	钢材	铝合金
导热系数（ W/(m•k)）	0.14-0.29	0.10-0.25	0.4-0.5	58.2	203.5

整体保温改造主要采用的门窗技术方案为双层中空塑钢窗或者断桥铝合金窗，一般情况塑钢窗造价较低，而断桥铝合金造价较高。窗户安装流程包括：测量确定门窗安装位置、弹安装线、窗框就位、窗框固定、窗扇安装、清洁、交验。

屋顶保温改造方案

新建建筑的屋顶保温可以采用坡屋顶泥背结构保温层。双坡屋顶是北方农房常见的一种屋顶形式。结构形式一般是沿房屋进深方向，用柱子支撑大梁，大梁上再放置较短的梁，这样层层叠置而形成梁架。梁架上的梁层层缩短，每层之间垫置较短的蜀柱及驼峰。最上层梁上板的中部，立蜀柱或三角形的大叉手，形成一个类似三角形屋架的结构形式。在这一层层叠置的梁架上，再在各层梁的两端，及最上层梁上的短柱上架设中等粗细的檩子，在檩间架设更细的椽子，然后在椽子上依次铺设望板，做泥背，挂屋面防水构件，从而形成一个双坡屋顶的建筑物。屋面防水构件可以采用瓦片或瓦楞铁等，如图 5-4 所示。



（a）瓦片屋面　　（b）瓦楞铁屋面

图 5-4 采用不同屋面材料的坡屋顶

5.1.2.3 经济型保温改造方案

由于很大一部分农户的活动空间集中在一到两个房间，因此这些常用房间有供热需求。相比于整体保温改造方案，仅对常用房间进行围护结构节能改造，能大幅度降低改造成本，兼顾保温效果和经济性。北墙、门窗和屋顶是围护结构的薄弱环节，加强这些部分保温性能可在节约成本的同时达到较好的保温效果。

（1）吊顶保温技术

农房主要以坡屋顶为主，层高较高，因此可以通过增加吊顶，降低层高，减少上部无效热量损失。对于已有龙骨吊顶的农房，可以充分利用农户原有吊顶龙骨，裁剪与原有吊顶板相同尺寸的保温材料，拆卸原有吊顶进行更换（图 5-5）。对已有吊顶，也可使用保温隔热包保温，其具体做法与上述整体保温改造方案中相同。



图 5-5 已有吊顶更换保温材料流程

对于没有吊顶的农房，需要新增吊顶。在屋顶内侧直接新增吊顶，可采用木龙骨支撑，覆盖合适尺寸的保温板，并采用铝合金条固定（图 5-6）。保温板可采用带饰面 3cm 厚的高分子树脂保温板或 2cm 厚带反射膜的橡塑保温层。高分子树脂保温板的导热系数约为 0.03 W/(m·K)，防火性能 B1 级。材料价格约 35 元/m^2，改造费用低。



图 5-6 新增自保温吊顶施工流程

（2）外墙内保温技术

由于经济型保温方案是针对某个常用房间进行围护结构保温改造，因此外墙改造适合采用内保温方式。

外墙内保温是在外墙内壁面粘贴保温材料，保温房间的选择和施工比较灵活。由于北墙背向阳光，且面积最大，是墙体散热的主要部分，约占墙体散热量的二分之一。因此，在实施墙体内保温技术时，北外墙最为优先，东西向外墙兼顾。内保温可采用高分子树脂保温板和壁纸自保温贴。采用高分子树脂保温板时，墙体内侧可用木龙骨做支撑，覆盖高分子树脂保温板，做法与采用高分子树脂板进行吊顶保温类似（图 5-7）。采用壁纸自保温贴时，对于不掉粉墙面，表面清理浮尘油污即可直接粘贴；对于掉粉墙面，应先清理墙面，然后刷底漆或腻子，晾至大于 12h 后可粘贴。内保温施工简单，改造面积小，费用较低，约 45 元/m^2。



图 5-7 外墙内保温技术施工

（3）门窗保温帘

除了整体保温改造方案中更换门窗材料的改造技术外，通过在门窗内侧设置保温帘也可达到一定的保温效果。外窗内保温帘是在外窗内侧增加一层带有边框的 EVA 透光材质的内保温帘，边框固定在窗洞内表面的四周（图 5-8），可通过上部卷轴做伸缩调整。保温帘与边框紧密连接，可显著增加外窗密闭性，降低冷风渗透热损失，同时保温帘与原有窗户之间形成约 3~10cm 的空气层，有效减少夜间长波辐射和温差传热损失，可提高 10%左右的节能率。该技术施工简单，成本约 60 元/m^2, 远低于双层塑钢窗或铝合金窗改造技术，且用户可以根据个人喜好选用不同颜色。



图 5-8 外窗内保温帘施工流程

外门保温帘采用磁性 PVC 自吸门帘（或布制棉帘等），将其悬挂在外门内侧或外侧（图 5-9），人员进出及时闭合与门窗缝隙覆盖，可以极大降低冷风入侵与渗透，减少外门频繁敞开的热量损失，提高室内热舒适。



图 5-9 外门保温帘

以上各项经济型保温技术可根据供热房间实际情况、供热需求和经济情况进行组合，达到“大用大保，小用小保，不用不保”的针对性高效保温效果。

5.2 散煤治理技术遴选

5.2.1 农村地区散煤治理典型技术

适合农房的独立分布式清洁供热技术，主要可分为两大类：燃烧型和非燃烧型，燃烧型主要包括燃气壁挂炉供热系统、户用生物质成型燃料供热炉系统等，对于镇等相对集中的房屋取暖，海可以采用生物质成型燃料集中供热系统、生物质打捆直燃集中供热系统；非燃烧型主要包括电直热/电蓄热、低温空气源热泵热水机、低温空气源热泵热风机和分布式太阳能供热系统和户用地源热泵供热系统等形式，如图 5-8 所示。

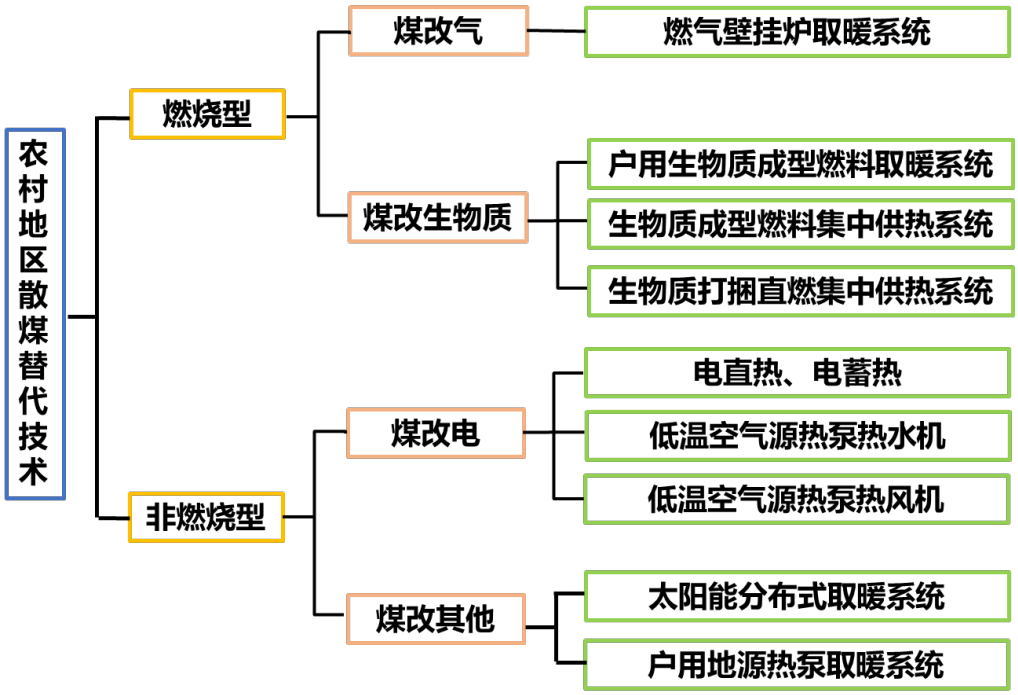


图 5-10 农村地区散煤治理典型技术分类

由于青海省大部分为高寒地区，植物生长缓慢，生物质总量少，且分布分散，无集中加工利用价值。同时由于外部环境温度较低，利用难度大，因此，根据不同地区资源情况特点，技术路径应以“煤改气”、“煤改电”、“煤改太阳能”为主。

5.2.1.1 燃气壁挂炉取暖

燃气壁挂炉采用燃气（主要是天然气）为燃料，通过温控装置控制加热温度，将直接来自管道的冷水加热，进入供热散热系统。燃气壁挂炉膨胀水箱及循环水泵内置，它具有电子点火装置，还有按标准规定安装的手动或电子计时器，可定时启动或关闭。采用强制给排气方式利用风机和专用烟筒将燃烧产生的烟气排出室外，并从室外吸入燃烧所需新鲜空气。同时具备熄火、过热、过压、防倒风等其他安全保护装置。

燃气壁挂炉具有供热和生活热水双重功能，热效率可达 90%以上，可以自主调节设定温度和时间，自动化控制程度高，使用灵活方便。燃气壁挂炉通常采用加热热水的方式产热，与低温地面辐射供热末端相结合。

天然气燃烧温度高，会将空气中的氮气转换为氮氧化物，导致氮氧化物排放较高，会加剧光化学污染和雾霾天气。燃气壁挂炉系统初投资较高，每户初投资约 1.5 万元，且天然气价格较贵，导致供热费用高，易对农户造成较大的经济负担。此外，由于农村地区天然气输配管网并不成熟，需要投入大量财政资金进行天然气管网基础设施建设，会加大地方政府的财政压力。大规模采用燃气壁挂炉

系统，易出现天然气供需失衡等现象，出现“气荒”问题。

根据调研信息，燃气壁挂炉在农村地区应用时，在建筑外侧存在天然气管道明装现象（图 5-11），农户习惯在房屋外墙存放秸秆、木柴等燃料，容易遮挡天然气管道，且干燥的秸秆和木柴属于易燃品，与天然气管道接近具有安全隐患。此外，燃气壁挂炉安装在农房室内，易靠近火源（图 5-11），后期缺乏系统的管理维护，炉具若存在漏气等问题，易对生命财产安全造成危害。



图 5-11 天然气管道明装和靠近火源图片

5.2.1.2 电直热和电蓄热取暖

电直热和电蓄热技术是将电能转化成热能直接放热，或者通过热媒介质在供热管道中循环来满足供热需求的供热方式或设备。电直热和电蓄热技术将高品位的电能转换为热，且转换效率最高不超过 100%，采用这类技术容易导致电耗过高，供热费用高。电直热和电蓄热技术的大范围利用会显著增加区域电力需求，需要对电网进行增容改造，基础设施改造初投资高，目前在部分农村地区已经禁止推广。

（1）电直热技术

电直热技术主要包括碳晶板、发热电缆和电热膜等，这类产品主要通过发热体将电能转换为热能，通过辐射和对流的形式向外传递，其电—热转换率最高不超过 100%。该类产品结构简单，即开即用，但耗电量高，并且需要较大的配电增容改造（图 5-12）。



（a）碳晶板　　（b）发热电缆　　（c）电热膜

图 5-12 电直热供热

（2）电蓄热技术

电蓄热技术是在夜间谷电时段，利用电加热设备产生热量，然后将热量蓄积在蓄热装置中(热水蓄热、镁砂固体、蓄热砖、无机熔融盐以及相变材料)，在白天用电高峰时段，电加热设备停止运行，利用蓄热装置向外供热，具有用、蓄分离的特点。电蓄热技术可以利用低谷电价，减少用电成本，但是蓄热装置体积较大。这类设备的运行费用对电价较敏感，且大功率电蓄热供热设备需要配套线路和变电改造。

5.2.1.3 低温空气源热泵热水机

空气源热泵通过电能驱动，吸收室外空气中的低品位热能，将其转化为较高温度热能，并以直接加热室内空气的形式，向建筑供热。低温空气源热泵热水机可以在-20℃的环境温度下正常工作，提供 30℃~50℃的供热热水，与地板辐射盘管或散热器组成供热系统给整户农房供热，提供稳定的供热室温（图 5-13）。



（a）室外机　　（b）室内机　　（c）散热片

图 5-13 低温空气源热泵热水机取暖系统

传统空气源热泵采用单级压缩循环（图 5-14 左），在中国北方地区较低的室外环境温度下，制热量急剧下降，还会因为压缩机排气温度过高等问题而停止运行。低温空气源热泵热水机采用准双级压缩循环（图 5-14 右），系统主要由带辅助进气口的涡旋压缩机、蒸发器、冷凝器、膨胀阀以及经济器等部件构成。主回路制冷剂经过经济器过冷，进入压缩机经过一段封闭压缩后，与来自辅助回路的

制冷剂蒸汽混合，继续进行一段封闭压缩。与相同工况下的单级压缩相比，压缩机排气温度降低，压缩比减小，可以在更低的环境温度下运行，提高系统的制热量。

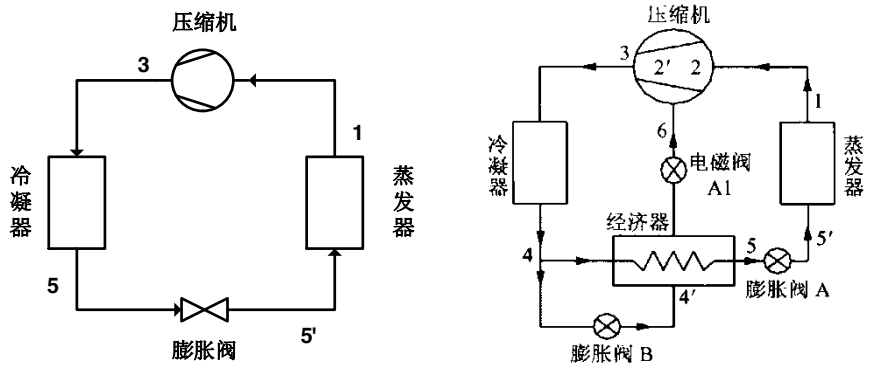


图 5-14 低温空气源热泵系统循环原理图

低温空气源热泵热水机使用电能供热，农房在当地不会产生 $PM_{2.5}$ 排放。传统空气源热泵运行的环境温度极限为-7℃，无法用于北方寒冷地区农房的冬季供热。低温空气源热泵热水机采用准双级压缩热泵循环，可以在-20℃的环境温度下运行。

低温空气源热泵热水机与暖气片或地暖等水系统连接，需要全天开启，防止冻管风险。由于 COP 较高，耗电量比电直热和电蓄热小，对电网增容需求比电直热和电蓄热小，可减少电网升级投资。

5.2.1.4 低温空气源热泵热风机

低温空气源热泵热风机通过新的压缩机技术、变频技术和新的系统形式，不通过热水作为换热介质，直接通过产生热风并给室内供暖。目前，我国的相关技术已经把低温空气源热泵热风机的适用范围扩展到-30℃的室外环境环境，因此对于青海冬季完全适用。

外温在 0℃左右是传统空气源热泵的热泵应用范围；外温在-10℃左右，螺杆机、涡旋机的补气增焓和转子压缩机双级压缩等技术可以将 COP 提高至大于 2。与单级压缩系统相比，双级压缩系统具有压缩比小、排气温度低、运行效率高等特点（图 5-15），可克服在寒冷地区空气源热泵系统效率低、可靠性差等缺点，实现低环境温度下正常制热，使热泵的使用范围延伸到更广的区域。

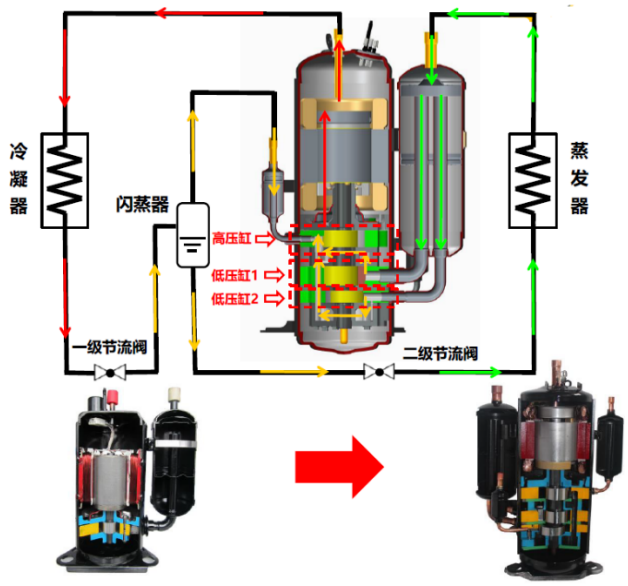


图 5-15 双级变容积比压缩机示意图

实际测试结果表明，低温空气源热泵热风机在实际测试中运行稳定、可靠，在低温环境下制热性能良好，可实现在额定制热（室外 7℃）工况下 COP 能达到 3.1，与普通空气源热泵相比能效提高 5%~10%；室外环境-20℃时 COP 可达 1.95，制热量提高 50%~100%，能效提高 20%左右。低温空气源热泵热风机使用电能供热，农房在当地不会产生 $PM_{2.5}$ 排放。与其他供热系统不同的是，低温空气源热泵热风机直接加热房间空气，可以迅速提高房间气温。如图 5-16 所示，热风机启动后，房间气温从 9℃加热到 15℃用时仅 20 分钟。因此，在客厅等没有人员长期逗留的房间，热风机可以间歇运行，没有供热需求时停机，需要供热时再启动，同样可以保证供热效果。

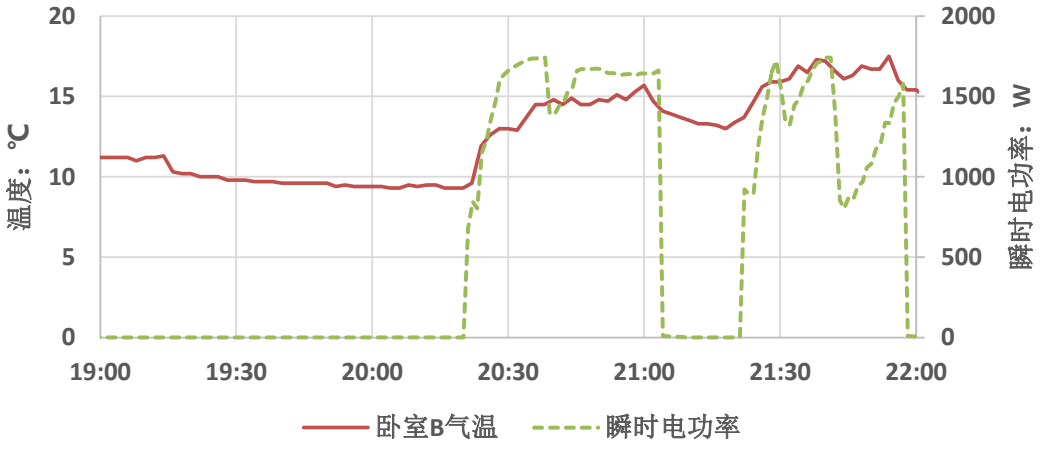


图 5-16 低温空气源热泵热风机加热房间的室温变化

此外，低温空气源热泵热风机可按供热房间分室安装，独立调节，实现间歇运行。同时，温度设定操作简易，用户可以灵活调控室温，最大限度发挥行为节能潜力。此外，由于热泵热风机无需加装暖气片、地暖等末端，夏季还能空调制冷，一个设备两个功能，非常适合于广大农村的实际情况和需求。



a.室内机　　b.室外机

图 5-17 低温空气源热泵热风机

5.2.1.5 太阳能分布式供热系统

（1）太阳能空气集热供热系统

太阳能空气集热供热系统是一种利用太阳能集热器吸收太阳辐射加热空气、送入房间进行热风供热的系统。系统主要由太阳能空气集热器、风机、风管、风口、温度控制器等构成。图 5-18 和图 5-19 为典型的太阳能空气集热供热系统示意图和实物图。集热器朝南安装在屋顶或南墙上，通过风管将集热器和进出风口连接，风机软接在集热器入口管段，温度控制器通过检测集热器出口监测点的温度控制风机启停，实现系统的自动运行。当白天太阳辐照较好时，空气集热器吸热板温度不断升高，其内部的空气通过自然对流加热并在浮升力驱动下流至集热器出口，当出口监测点监测到的空气温度超过 30~35℃（监测点控制温度根据实际工况确定）时，温控器控制风机开启，室内空气由风机送入集热器，被加热后再送入室内，进行热风供热。当太阳辐照不足时，若监测温度低于 25~30℃（可根据实际工况调整），温控器控制风机停止工作，系统循环停止。

考虑到太阳能的时间限制性，太阳能空气集热供热系统需要增加辅助热源，如燃气壁挂炉、低温空气源热泵热风机等，这会显著增加供热系统初投资。由于系统复杂，运行维护工作较为繁琐，对维护人员的技术要求高。因此，太阳能空气集热供热系统还需要技术上的进一步完善，降低系统初投资，增强系统运行可

靠性和稳定性，才能达到青海农村清洁取暖的复杂苛刻要求。

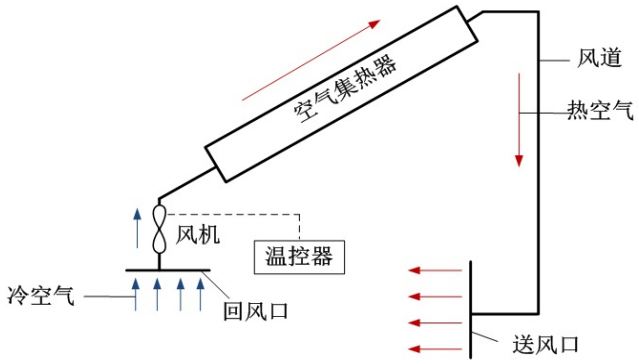


图 5-18 太阳能空气集热系统示意图



图 5-19 太阳能空气集热供热系统实物图

（2）带反射镜的太阳能热水集热系统

太阳能热水系统已在住宅建筑中投入使用多年，为建筑供热和日常使用提供热水。在所有类型的太阳能集热器中，全玻璃真空管太阳能集热器通常被更多地选用。然而，目前采用的全玻璃真空管太阳能供热系统存在如下问题：冬季时，需求和供给不匹配；在夏季容易过热，形成了高温高压环境，导致真空管炸管、整体系统性能变差、甚至系统损坏。

近年来出现的太阳能集热器和反射镜耦合的方式，能一定程度上解决真空管太阳能集热器的以上问题。如图 5-20 所示，反射镜太阳能集热装置由两部分组成，一是水平型全玻璃真空管太阳能集热器阵列，二是在太阳能集热器底部以一定倾斜角度摆放的镜面反射器。选用全玻璃真空管太阳能集热器可以减少集热原件的散热；选用反射镜一是因为其相对于传统的放置在真空管背部的内嵌式漫反射器更加便宜并且易于维护，二是采用反射镜可以进一步聚集太阳光、有效提高真空管太阳能集热器的辐照度。整个太阳能集热装置面朝正南，这样摆放可确保该太阳能集热器接收到最多的太阳辐射，尤其是在太阳正午时，太阳辐射达到最大值。并且，太阳能集热器阵列采用向下倾斜的方式，且倾角大于 90°，这点不同于传统的太阳能集热器向上倾斜的设计，能有效解决全玻璃真空管太阳能集热

器夏季容易过热的问题。

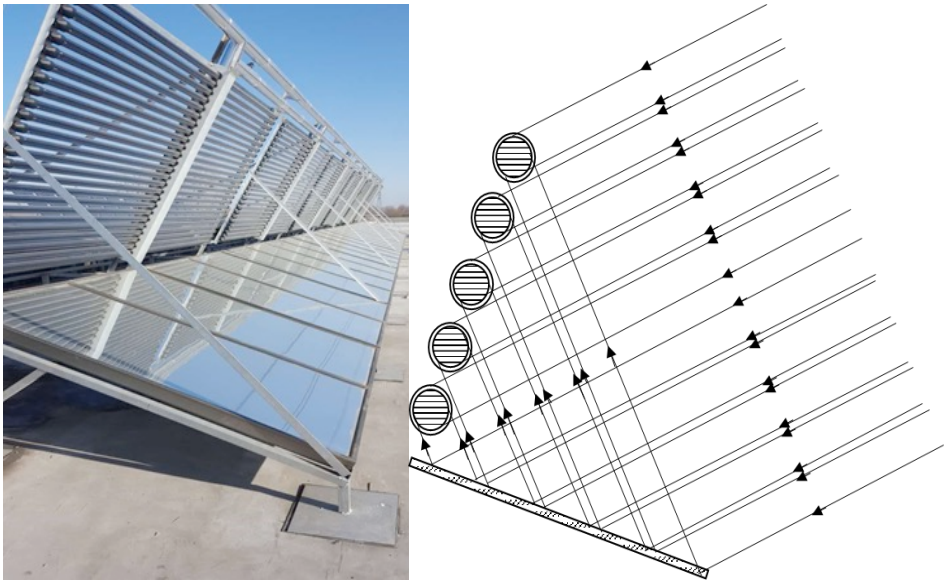


图 5-20 带反射镜的太阳能热水集热系统图

经测试，太阳能集热器和反射镜耦合系统在寒冷的天气条件下运行正常，室外干球温度最低达-20.6℃，无系统结冻现象出现。室内平均温度可达 13℃，满足农村地区室内温度的要求。

但是，太阳能热水供热系统与反射镜耦合系统也需要增加辅助热源，保证供热稳定性，系统的初投资较高。太阳能热水供热系统较为复杂，因此需要的维护工作也较多，例如更换破损的真空管、更换热水系统中的水处理装置、检修管路、维护控制箱等。

（3）季节自适应性集热器供热系统

季节自适应性集热器供热系统如图 5-21 所示，由真空管与非对称复合抛物面聚光器的组合构成。非对称复合抛物面聚光器以百叶的形式嵌入横向排列真空管的缝隙之间。通过调整管间距和安装倾角调整上下两排真空管的相对位置，在夏季，上排真空管所对应的 ACPC 反射板能对下排真空管能实现与建筑外遮阳类似的效果。即在太阳高度角低时让辐照照射至真空管上，在太阳高度角高于一定角度时为下真空管遮挡部分太阳辐照。

因此，对于上下两排真空管，中间的反射板能根据太阳高度角变化实现双重功能:在冬季太阳投影高度角低于临界接受角时，非对称复合抛物面反射板作为聚光器，将入射至反射板上的辐射全部聚焦在上排吸热管上，最大程度提升光学性能；而在夏季投影太阳高度角低于临界接受角时，ACPC 反射板不再具备聚光

功能，同时对于下排吸热管，反射板遮挡了本应照射至其上部分太阳辐射，从而起到了遮阳板的作用。

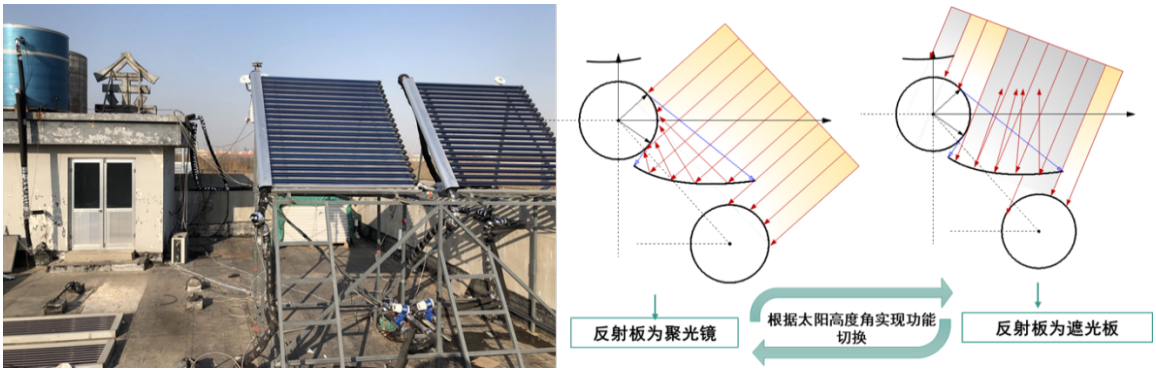


图 5-21 季节自适应性集热器供热系统图

该系统在冬季发挥较高的集热性能。而在夏季，通过反射板遮挡作用将集热器的热效率有目的降低，从而有效降低夏季由于集热过剩产生的系统过热的风险。但此类系统的初投资成本较高，系统维护成本较高。因此，此类系统在农村地区的应用还应在保证供热效果的同时降低初投资，并对后期运行维护进行科学合理规划。

（4）太阳能光伏直流驱动供热系统

以光电为主要能源的直流微网系统能够很好地满足未来农房对电力的需求，充分利用农房闲置的屋顶资源，安装光伏板，按照农户屋顶的面积大小设计光伏装机容量。屋顶光伏由电直热光伏和电器用光伏两部分组成，系统设计如图 5-22 所示。电直热光伏主要保障电热膜冬季采暖所需的电力，在初末寒期热负荷较低时或非采暖季可采用手动开关由供热模式切换为输电模式；电器用光伏只负责农房内电器的电力负荷，电动汽车和电动三轮车具有大容量储能电池，可与户内蓄电池并联，共同承担电力保障和需求响应功能。

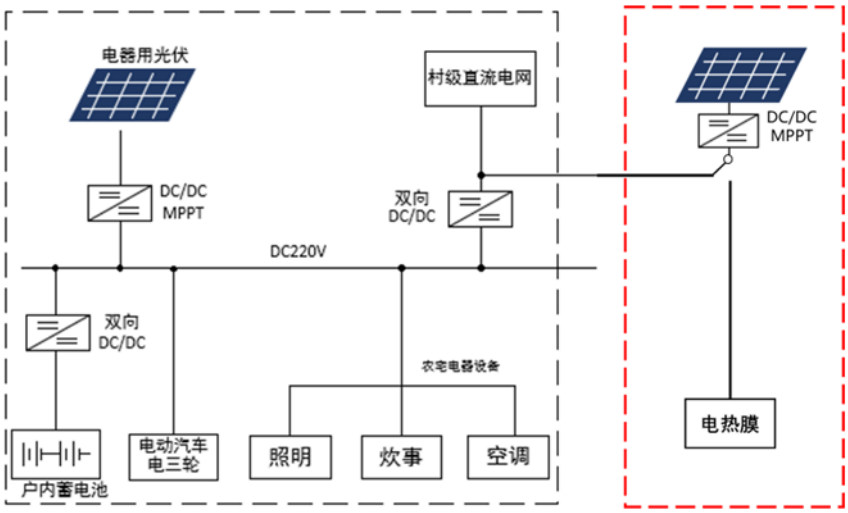


图 5-22 光储直柔配电系统示意图

对于室内侧，首先对外墙进行保温改造，然后铺设电热膜，之后砌一定厚度的蓄热墙体，最后装饰用水泥砂浆和漆面完成改造，如图 5-23 所示。取暖铺设的光伏板白天所产生的电力直接驱动电热膜发热，经蓄热墙体向室内供暖，电热膜温度可达 70℃以上，可将蓄热墙体加热至 30~40℃，所蓄存的热量在夜晚释放满足取暖需求。

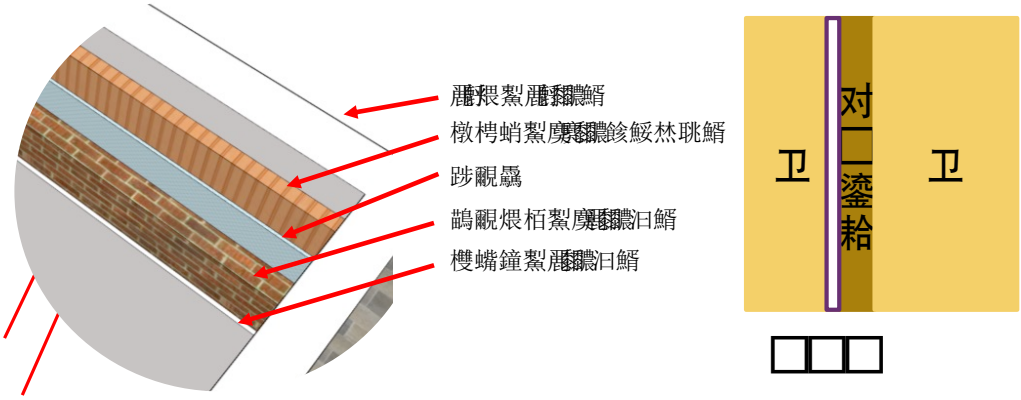


图 5-23 室内侧改造示意图

相较于传统的太阳能光热系统，系统操作简单、采暖末端成本较低。该系统在实现了闲置屋顶资源化的同时，既解决了取暖问题，还能帮农户增收，同时助力我国实现碳中和目标。此类技术的主要缺点是需要配合屋顶光伏适用，系统初投资高，并且需要解决非取暖季的光伏上网问题。

（5）太阳能光热热泵系统

太阳能光热热泵系统基本原理是将空气源热泵机组的蒸发器耦合在太阳能集热器上，如图 5-24 所示。有日照时，热泵不仅可以从空气中提取热量，还可以利用太阳能光热，可将热泵能效比提升到 4.0 以上。夜间也因蒸发器面积更大，

可以更有效地利用空气能。

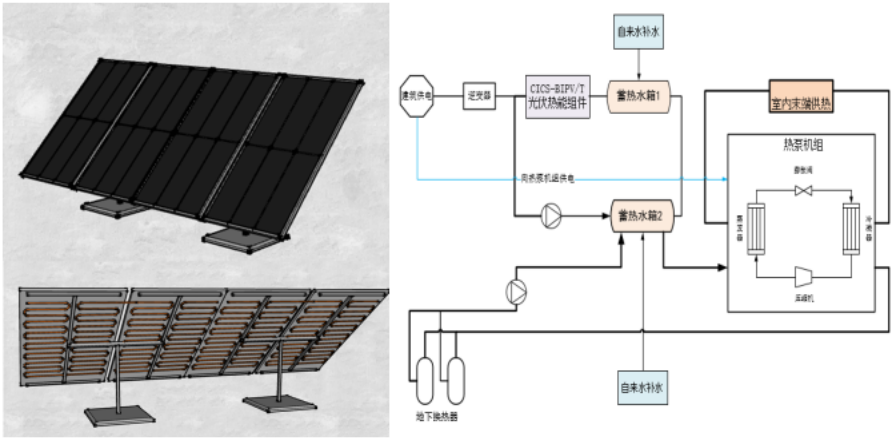


图 5-24 太阳能光热热泵系统取暖系统示意图

系统通过太阳能光热热泵系统将太阳能光热以及风能等自然能源中的热量源源不断地吸收到系统内部，并在循环主机的动力循环作用下，将热量传递到水箱或者散热末端实现供暖。相比传统直接利用太阳能的供暖设备，稳定性提升，节能率更高。但是，系统形式复杂，目前尚未在农村地区有规模化成功推广的案例。

5.2.2 农村地区散煤治理系统评价方法边界界定

农村地区常用供热系统的多样性导致了能源种类的多样性，如各种类型的煤炭（散煤、清洁煤、蜂窝煤等）、天然气、生物质、电等。能源种类多样性又导致评价边界的多变性，使得这些供热系统的性能很难进行统一比较。现有 SO 12655 标准中对整个能源利用链确定了四种边界，对于供热系统来说，分别为传递到房间的热量（E_B）、传递到建筑侧供热设备的能量（E_T）、输入到集中供热系统的能量（E_D）和建筑侧可再生能源产生的能量（E_R）（图 5-25）。

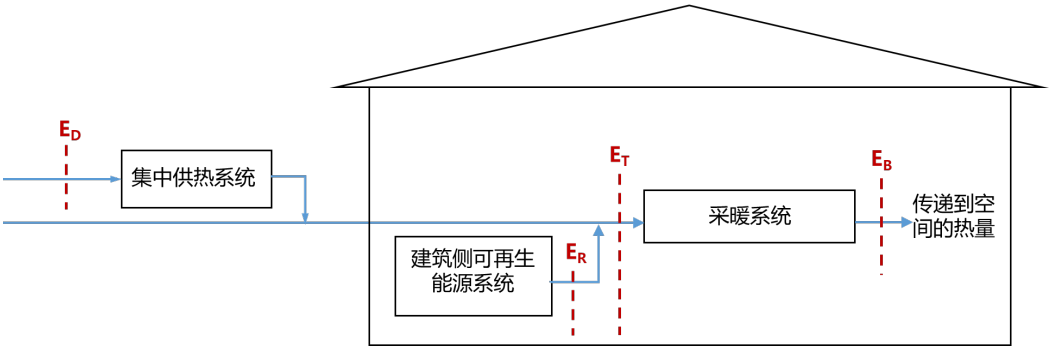


图 5-25 ISO 12655 对于能源利用边界的确定

对于燃气壁挂炉和生物质供热炉这类燃烧型供热系统，现有研究和评价主要

将其能源利用边界确定为 E_T。对于空气源热泵系统，有的研究将评价的边界设定在用户侧，也就是 E_T，用于评价供热设备在用户侧的耗电量或设备效率，有的研究却将边界设定在电厂侧，接近于 E_D，用于评价供热系统的一次能源消耗量。若按照标准中边界的划分方法为多种农村供热系统确定一个统一的边界，如 E_T，则对于已经基本淘汰的电直热型供热设备来说，其效率可以接近 100%，大幅度高于多数燃煤供热炉和生物质供热炉（一般情况下热效率＜90%）。火电厂发电效率在 40%左右，然而考虑发电成本问题，电直热供热设备因其过高的电耗和供热费用在大部分农村地区已禁止大规模推广。由此可见，对于具备能源种类多样性特点的农村供热系统来说，若将评价边界固定在能源利用链中某一个节点，可能导致与现实情况不符的评价结果。

考虑到供热系统输入侧能源种类均可溯源到一次能源，因此本项目将一次能源输入侧确定为能源利用边界，将农村用户侧的多种输入能源形式都统一转换到一次能源。对于燃煤供热炉、燃气壁挂炉和生物质供热炉供热系统，农房内热源设备输入能源则为一次能源，边界为用户侧能源输入端。对于热泵等用电供热设备而言，一次能源入口为电厂发电设备输入端。这种界定方法避免了整个能源利用链中固定位置截断导致的截断误差，同时将所有能源折算到一次能源，增强了结果的可比较性。

5.2.3 单体农房散煤治理系统评价指标体系

合理的指标体系能对评价对象的性能进行综合客观的评价。农房各种用能系统的目的是提供更好的人居环境，需要考虑舒适、环保、低碳、能耗、经济等多方面的因素。考虑到现阶段农村的实际情况，提出图 5-26 所示的指标体系，在对多类指标进行打分或者考核计算后，将多方面指标根据一定权重综合成一个综合指标值，通过这一个综合值的大小来对比农房绿色低碳改造技术的效果优劣。需要指出的是，该指标体系适用的前提条件为：从改造完成之日算起，连续使用 12 个月之后的农房。

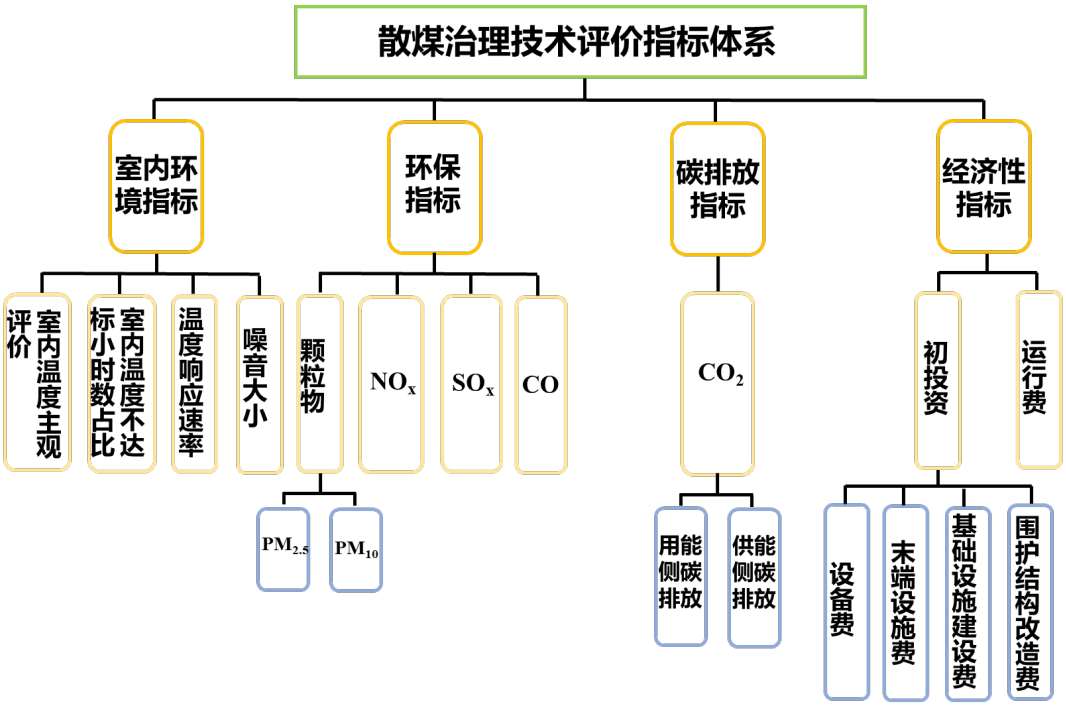


图 5-26 单体农房散煤治理技术评价指标体系

5.2.3.1 室内环境指标

室内环境指标主要衡量室内热环境的舒适性，其次是声环境。

室内热环境最终是服务于用户个人，不同的用户对热环境的需求会存在一定差别。因此，室内温度主观评价应该作为室内热环境舒适性指标的一部分，可通过入户询问获取用户对于绿色低碳改造后室内温度的主观感受。主观温度评价设置 4 个等级：非常不满意、不满意、满意、非常满意。

在主观评价基础上结合客观数据更能定量评价室内热环境舒适程度。一般来说，城市居民室内舒适的温度范围是 18-22℃（冬季）和 26-28℃（夏季），因人群年龄、性别等差异，最舒适值会略有差异。由于着装、生活习惯等不同，农村居民的室内舒适温度于城市有较大的不同，目前国家标准《农村居住建筑节能设计标准》(GB/T 50824-2013)将农村冬季室内设计温度定为 14℃。因此在进行室内舒适性评价时，应结合个体主观感受与客观测量确定温度值。该项评价指标适用于对常用房间的热环境评价，用室内温度不达标小时数占比来衡量，如式（5-1）所示：

$$\alpha_{dis} = \frac{\sum hour_{temp_dis}}{\sum hour_{stay}} \quad (5\text{-}1)$$

上式中，α_{dis}是室内温度不达标小时数，无量纲；$\sum hour_{temp_dis}$是人员在常用房

间时感到温度不满意的小时数，单位是 h；$\sum hour_{stay}$是人员在常用房间停留的时间，单位是 h。

由于每个人对室内温度的需求不同，不同功能房间（卧室和客厅）的温度需求也不同，这就要求供能系统需要具备一定的可调性。一般来说，大部分取暖系统的取暖量可通过调节能源输入量或热媒介质的流量来达到调节散热量的目的，但这些调节方式的响应速率通常是比较缓慢的。该项指标代表着取暖或者空调系统对室内温度调节的调节能力，计算方式如（5-2）所示：

$$\beta_{temp} = \frac{|T_1 - T_0|}{t_1 - t_0} \quad (5\text{-}2)$$

式中，β_{temp}是室内温度响应速率，单位是℃/min；T_1是既定的温度值，单位是℃；T_0是测量开始时的温度值，单位是℃；t_1是温度达到T_1的时刻，单位是 min；t_0是温度达到T_0的时刻，单位是 min。温度测量点应设置为最常用房间地面几何中心且距离地面 1.5 米。

噪音污染早已成为城市环境的一大公害。国外早就有“噪音病”一词。科学研究表明，噪声会损害健康，人长时间工作、生活在噪声大的环境中，对中枢神经系统的刺激大，严重者会导致中枢神经系统功能紊乱。一些用能系统室外机或室内机在运行过程中会产生较大的噪音，影响到人体的舒适度。因此要求取暖系统噪音较小，白天不能超过 50 分贝,夜间应该低于 45 分贝。

综合以上信息，室内环境指标由温度主观评价、室内温度不达标小时数占比、温度响应速率、噪音大小来体现。

5.2.3.2 环保指标

污染物排放情况能较好的反应清洁供能系统的环保性能。传统散煤在散煤取暖炉中燃烧将排放大量的颗粒物、NO_x 、SO_2、挥发性有机物等。这些污染物对室内外空气质量和人体健康都有较大影响，因此对于北方农房供能系统而言，这些污染物的排放情况应予以高度重视。

2021 年世界卫生组织基于 500 余篇学术论文提供的科学证据，修订并发布了《全球空气质量指导值（2021）》，指导值文件涵盖了 $PM_{2.5}$、PM_{10} 、NO_2、SO_2、CO 等空气污染物的指导值水平。收紧了 $PM_{2.5}$、PM_{10} 的长期暴露指标年均目标值，$PM_{2.5}$ 年均目标值由 10 μg/m^3 下调到 5μg/m^3，PM_{10} 年均目标值由 20 μg/m^3 下

调到 15μg/m^3。调整了 $PM_{2.5}$、PM_{10} 的 24 小时浓度水平，$PM_{2.5}$ 的 24 小时浓度水平由 25 μg/m^3 下调到 15μg/m^3，PM_{10} 的 24 浓度水平值由 50 μg/m^3 下调到 45μg/m^3。传统固体燃料燃烧排放的 $PM_{2.5}$ 的数量能超过颗粒物总数量的 90%，并且 $PM_{2.5}$ 由于表面积大，在环境中滞留的时间更长，吸附的多环芳烃 PAHs 和重金属等有害物质更多，并且能进入人体肺泡，对人体健康危害远高于粗颗粒。因此 $PM_{2.5}$、PM_{10} 排放是北方农房供能系统环保性能评价中不可缺少的指标。

NO_x 和 SO_2 主要对室外空气质量影响较大。NO_x 在大气中可形成硝酸和硝酸盐细颗粒物，同硫酸和硫酸盐细颗粒物一起，发生远距离传输，加速了区域性酸雨的恶化和雾霾天气的产生。此外，NO_x 在紫外光照射下，会与大气中的碳氧化合物作用，生成光化学烟雾和臭氧。与 NO_x 类似，SO_2 会加速酸雨和雾霾的形成，对整个生态系统具有严重危害。NO_x 和 SO_2 这两种污染物也是各种排放标准中的目标污染物。近年来，北方地区因用能系统运行过程中 CO 中毒事件频发。因此，NO_x 、SO_2 和 CO 是北方农房用能系统环保性能评价中的重要指标。

对于燃烧各种燃料的取暖炉，污染物排放因子是常用的排放指标。排放因子指的是单位质量燃料燃烧或者传递单位有效热量排放的污染物的量，其公式如式（5-3）和（5-4）。

$$EF_i = \frac{m_{P,i}}{M_f} \tag{5-3}$$

$$EF_{\mathrm{d},i} = \frac{m_{P,i}}{Q_{e,d}} \tag{5-4}$$

式中，EF 是基于单位质量燃料的排放因子，单位为 g/kg；EF_d 是基于单位质量燃料的排放因子，单位为 g/MJ；i 表示不同种类的污染物；m_P 为相应污染物的质量，单位为 g；M_f 为消耗的燃料量，单位为 kg；$Q_{e,d}$ 为传递的有效热量，单位为 MJ。EF 与 EF_d 的比值即为燃烧设备热量率与燃料热值的乘积。

不同燃料之间由于成分和热值差异，其排放因子不具备可比性。为了统一对比各取暖方式的排放情况，在此采用常用房间全年污染物的排放量作为评价污染物排放的指标，计算公式如式（5-5）。

$$EA_i = \frac{\Sigma m_P}{A_H} \tag{5-5}$$

其中，EA_i 是单位取暖面积污染物的排放量，单位为 kg/(m^2·a)；A_H 为取暖面积，

单位为 m^2；污染物质量$\sum m_P$可通过排放因子和消耗的燃料量计算获得，单位是 kg·a。

对于农户侧燃烧型供能系统（燃煤炉取暖系统、燃气壁挂炉、生物质取暖炉系统等），单位供能面积污染物的排放量直接通过农房内供能设备的排放因子与相关燃料消耗量即可获得。对于耗电型取暖设备（如空气源热泵），则需要将电折换到电厂的煤炭消耗量，再结合电厂污染物排放因子、发电效率和耗电量来计算单位取暖面积污染物的排放量。

农村地区家庭空气污染物来源于炊事和取暖，主要是散煤和生物质粗效直燃。特别是散煤，在我国北方农村地区广泛使用。因此环保指标要加强对清洁技术的引导，推荐将散煤的污染物的排放因子的 10%设置为清洁技术的环保目标值，相当于污染物减排 90%。

5.2.3.3 碳排放指标

近几年的气候异常现象日益严重，温室效应进一步加剧。人为源温室气体排放是造成全球气候变暖的重要因素。CO_2 作为最主要的人为源温室气体，减少其排放对于减缓温室效应具有重要意义，因此需要采用 CO_2 排放量来衡量供能系统的减碳效果，同时还可以体现农房的能耗情况。

本项目主要研究既有农房，因此仅考虑农房运行阶段净碳排总量，从用能侧化石能源消耗产生的 CO_2 排放量和供能侧可再生能源的绿色电力输出减少的 CO_2 排放量两方面考虑。用能侧主要包括暖通空调系统、生活热水、炊事、照明的碳排放量。供能侧主要指光伏发电系统、小型风力发电系统。农房运行阶段净碳排放总量应为用能侧碳排放总量减去供能侧输出碳排放总量。

（1）用能侧碳排放量计算

对于燃烧化石能源的供能系统（燃煤炉供热系统、燃气壁挂炉、液化气灶等），单位供热面积 CO_2 排放量直接通过农房内供能设备的排放因子与相关燃料消耗量即可获得，对于完全使用可再生能源的供能系统（如生物质取暖炉、太阳能热水器、传统炉灶等），其 CO_2 排放量为零。对于耗电型供能设备（如空气源热泵、蓄热式电暖气、照明设施、电炊事用具等），则需要将电折算到火电厂的煤炭消耗量，再结合电厂 CO_2 排放因子、发电效率和耗电量来计算单位供能面积 CO_2 排放量，若供热设备的耗电量来自可再生能源发电部分的 CO_2 排放量以零计算。

（2）供能侧减少的碳排放量计算

农村小型光伏发电系统和小型风电系统除了能供给农房生活所需电能外，多余的电能还能并入电网。上网部分电能可以减少部分化石能源消耗量，从而降低CO_2排放量，这一降低值即为供能侧减少的CO_2排放量。

根据《GBT 2589 综合能耗计算通则》和《GBT 51366 建筑碳排放计算标准》，农村地区使用 1 千克煤炭排放约 1.98 千克二氧化碳，使用 1 千克液化气排放约 3.11 千克二氧化碳，使用 1 度电排放约 0.56 千克二氧化碳，使用 1 立方米天然气排放约 1.94 千克二氧化碳。北方农村主要涵盖寒冷和严寒两个气候区，两个气候区目前的用能水平有较大差别。《GBT 51161 民用建筑能耗标准》约束我国寒冷地区居民建筑非供暖综合电耗 2700 kW·h/(hh·a)，严寒地区居民建筑非供暖综合电耗 2200 kW·h/(hh·a)。未来我国乡村的电气化率进一步提高，寒冷和严寒气候的农户的非取暖用电量差别不大，主要能耗差别来自于取暖。如果取暖使用生物质、光伏电等零碳能源满足取暖需求，则这一部分的碳排放可以基本降低为零。碳排放指标要体现出引导性，因此寒冷地区农房的二氧化碳排放强度应控制在 2000kg/(hh·a)以内，严寒地区农房的二氧化碳排放强度应控制在 3000 kg/(hh·a)以内。

5.2.3.4 经济性指标

由于农村地区经济水平远低于城市，因此，经济性是农户在选择供能系统时考虑的主要因素之一。根据国家统计局的数据（图 5-27），我国农村居民人均支出从 2014 年的 8383 元提高至 2020 年的 13713 元，最近 3 年增长速度正在降低。从支出用途上看，食品烟酒相关支出占到 33%，居住相关支出占 22%。在 2020 年，农村地区有 20%的家庭人均可支配收入低于 4681.5 元，有 60%的家庭人均可支配收入高于 14711.7 元。

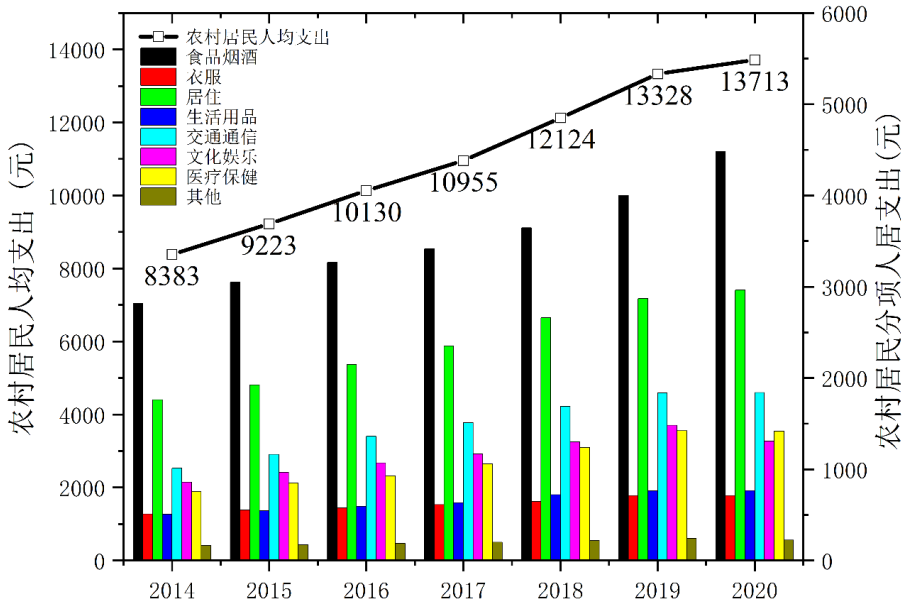


图 5-27 我国农村居民人均支出及分项构成（2014 年-2020 年）

通过前期大规模走访调研，北方农村地区的地方政府普遍反映整体财力压力大，很难进行大规模配套，每个农户改造初投资不超过 1 万元左右时基本可以承受。1 万元初投资应包含供能设备投资、房屋节能改造、基础设施投资。我国北方各省农村居民人均支出大都在 9000-12000 元之间，只有北京、天津的农村居民人均支出超过了 15000 元（图 5-28）。除去家庭其他支出外，绝大多数农村居民可以接受的运行费用为每个取暖季 1 千元左右。因此，要实现农村地区清洁取暖系统可持续推广应用，初投资应不超过 1 万元，年运行费不超过 1 千元。

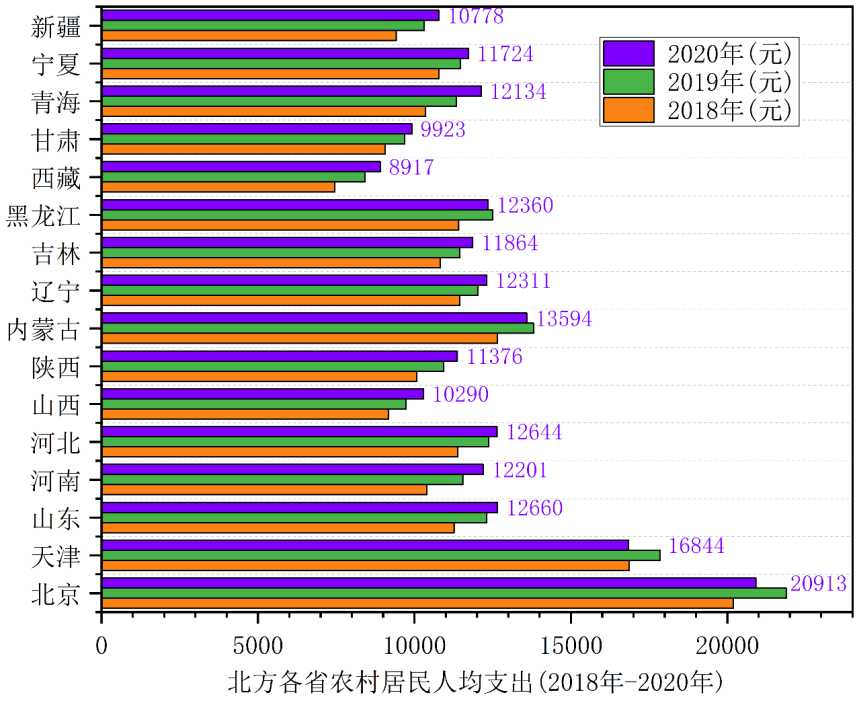


图 5-28 我国北方各省农村居民人均支出（2018 年-2020 年）

经济性指标使用取暖季单位取暖量取暖系统的运行费用进行评价，根据不同类型的设备、末端初投资以及基础设施建设费用，将初投资按照使用年限折算到运行费中，对单位取暖量的运行费进行计算。

不同类型的设备和末端的取暖方式在时间和空间上呈现不同的特征，并且不同设备在不同需求下，其设备特性、调控方法和用户使用行为会相互影响，从而产生某种实际运行状态，例如传统的燃煤锅炉以及空气源热泵热水机（以热水为加热媒介，如图 5-29）、燃气壁挂炉都是连续开启，并且无法便捷地实现分房间的控制，尤其是末端采用地暖的形式，而空气源热泵热风机（以热风为加热媒介，如图 5-30）由于其温度响应迅速、启停方便的特性，通常都是根据用户实际需求间歇运行。

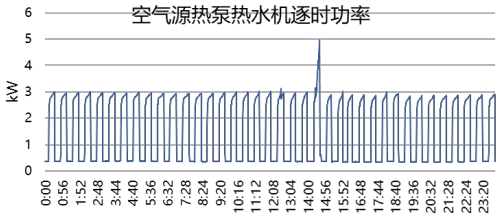


图 5-29 空气源热泵热水机典型日逐时功率

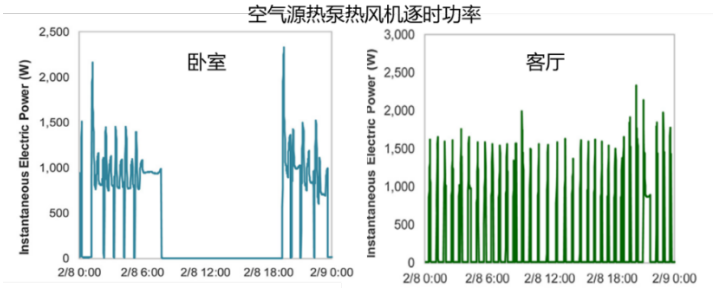


图 5-30 空气源热泵热风机典型日逐时功率

用户使用不同的设备形式会呈现不同的启停模式，例如便于调节的设备比不易调节的设备更匹配间歇的使用习惯，在不需要取暖时段的设备取暖和能源消耗较少；而不利于调节的设备的取暖量与用户实际需求量的关系更容易出现“≥”的状态，例如在用户不在室、在某一空间短暂停留的情况下依旧持续取暖，在这些情况下取暖设备的过量取暖往往不仅不会引起用户满意度的变化，还会引起过量的能源消耗从而导致更多的运行费用，增加用户的经济负担。

因此，在计算过程中如果采用同样的取暖量或者全天相同的室温状态为基础来计算不同类型设备的初投资和运行成本，就会忽略掉灵活可调节设备发挥用户行为节能的优势，有悖于针对前述实际取暖需求特征来遴选出节能环保的取暖方

式的初衷。针对这一问题，可以通过定义用户需要取暖时段的取暖量为“有效取暖量”H_e 来解决，从而不需要取暖时段的取暖量为“无效取暖量”H_{ue}，则“供需匹配系数”$P_{n,s}$ 为“有效取暖量”占总取暖量（“有效取暖量”与“无效取暖量”之和）的比例。“供需匹配系数”不仅与设备类型相关，还与实际取暖需求相关，例如，对于需要某一房间连续取暖的情况，任何设备的“供需匹配系数”都是 100%，因为只要设备连续开启，其取暖量都是“有效取暖量”；而对于某一房间一天只需要 12 小时连续或者间歇取暖的情况，连续运行的设备的“供需匹配系数”约为 50%，而可以随时灵活启停的设备的“供需匹配系数”约为 100%。因此，在计算初投资和运行费用时，用“单位有效取暖量”作为基础来进行计算：

$$P_{n,s} = \frac{H_e}{H_e + H_{ue}} \tag{5-6}$$

$$H_{s,a} = H_{s,f} P_{n,s} P_{c,ts} \tag{5-7}$$

其中：

$P_{n,s}$ 为供需匹配系数，为无量纲参数；

H_e 为有效取暖量，单位为 J；

H_{ue} 为无效取暖量，单位为 J；

$H_{s,a}$ 为实际取暖的取暖量，单位为 J；

$H_{s,f}$ 为全时间、全空间取暖所需取暖量，单位为 J；

$P_{c,ts}$ 为建筑时空利用系数百分比，为无量纲参数。

根据调研不同设备用户的使用模式结果和最常见的大三间式农房建筑形式，表 5-2 为在三种典型取暖需求模式下不同取暖设备的匹配系数：

表 5-2 不同设备的供需匹配系数

类型		全时间全空间	全时间部分空间（$P_{c,ts}$=50%）	部分时间部分空间（$P_{c,ts}$=30%）
型煤	型煤炉	100%	50%	30%
天然气	燃气壁挂炉	100%	50%	30%
电直热	直热式	100%	80%	85%
	蓄热式	100%	50%	30%
	热泵热水机	100%	50%	30%
热泵	热泵热风机	100%	100%	95%
	地源热泵	100%	60%	40%
生物质	生物质热水炉	100%	70%	50%

注：全时间全空间：三个房间取暖季 24h 取暖，室内设计温度为 14℃；

全时间部分空间：客厅兼具卧室的功能，24h 取暖，卧室夜间使用时段取暖，室内设计温度同上；

部分时间部分空间：卧室和客厅均在室使用时段开启，并在中午自然室温升高后客厅存在间歇关机的情况。室内设计温度同上。

5.3 “菜单式”农村建筑节能和散煤治理技术方案数据库

项目组基于在北京、山西、山东等地农房建筑节能改造及清洁取暖技术实施的成功经验，结合青海省农房的用能特性、保温材料的市场价格、不同地区居民经济水平的差距等因素，形成了青海省农村散煤治理“菜单式”综合方案，为推进青海省农村地区散煤治理和散煤治理工作提供系统科学的依据。

5.3.1 典型农房基本信息

基于前期调研，选择青海省最典型的农房进行分析，其平面图如图 5-31 所示，该类农宅在南向设置太阳能暖廊，室内设计温度为 16℃，且为连续采暖。住宅主要功能房间的（卧室、客厅）总面积为 81m^2，根据用户取暖模式的不同分为三间采暖、两间（卧室+客厅）采暖和一间（客厅）采暖三类。采暖面积分别为 81 m^2、59 m^2 和 36 m^2。

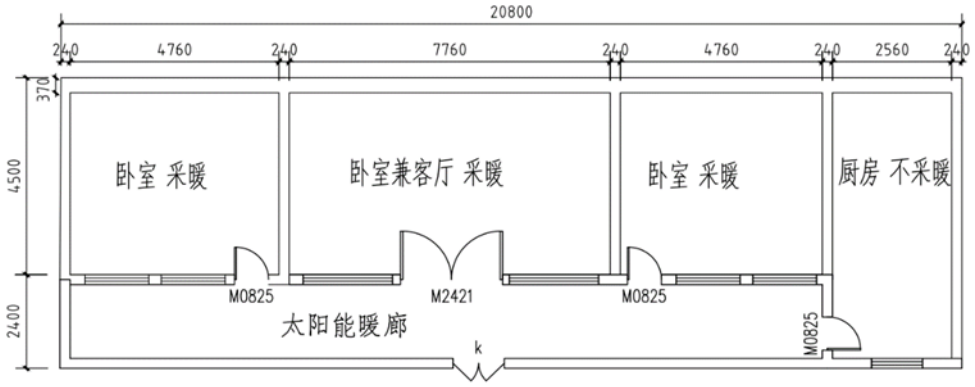


图 5-31 青海典型农房平面图

5.3.2 农房围护结构改造技术方案数据库

根据“大用大保、小用小保、不用不保”的原则，农房的围护结构节能改造主要针对外墙、门窗及屋顶三个比较薄弱的地方。针对这三处各提出不同的改造方案（如图 5-32 所示）并进行全年能耗动态模拟。

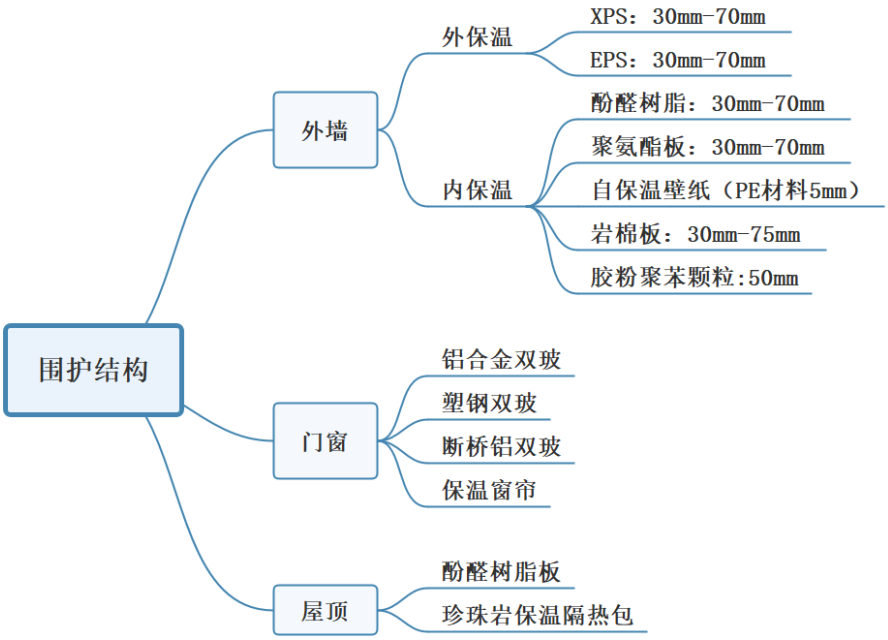
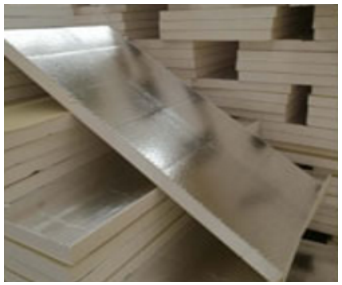
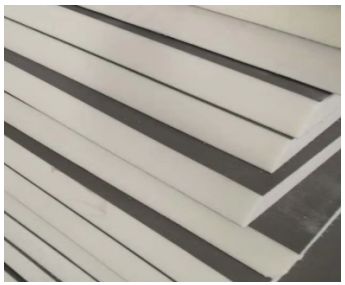


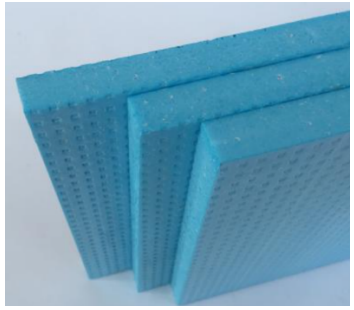
图 5-32 农房围护结构改造技术方案

以未保温改造的典型农房为基础工况，模拟计算了不同围护结构改造材料的节能率，形成如表 5-3 所示农房围护结构改造材料数据库。同时根据实际调研数据，结合农户实际供热需求，形成如

表 5-4 所示青海省农房围护结构改造方案数据库。

表 5-3 青海省农房围护结构改造材料数据库样例

围护结构类型	保温类型	材料类型	实物图	单价（元/m^2）	节能贡献率（%）
外墙	内保温	酚醛树脂板（4cm）		68	33
		聚氨酯板（4cm）		102	35
		自保温壁纸（5mm）		22	7

		岩棉板（3cm）		63	25
		胶粉聚苯颗粒（5cm）		132	28
	外保温	挤塑聚苯板（8cm)		112	37

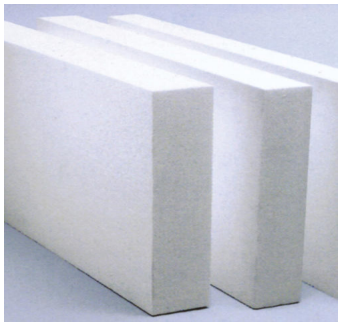
		膨胀聚苯板（8cm)		84	37
外门窗	内保温	保温窗帘		60	9
屋顶	内保温	高分子树脂保温板（4cm）		30	22

表 5-4 青海省农房围护结构改造方案数据库样例

需求模式	保温方案			年供热负荷（kWh）	节能率（%）	改造单价（元/㎡）	保温改造费用（元）
全时间全空间	无保温			13160	0	0	0
	单项改造	屋顶	高分子树脂保温板 4cm	10227	22	30	2430
		外墙	北墙挤塑聚苯板 8cm	8296	37	112	6535
			北墙挤塑聚苯板 10cm	8126	38	128	7466
			北墙保温壁纸贴 5mm	12251	7	22	990
			北墙酚醛树脂板 4cm	8806	33	68	3069
		外窗	外加保温帘	11999	9	60	3348
	综合改造	西外墙+内隔墙保温壁纸+酚醛树脂吊顶		9844	25	/	2914
		外墙（北+西）酚醛树脂内保温 4cm		7462	43	/	3819
		全墙外保温挤塑聚苯板 8cm+屋顶高分子树脂板 3cm+塑钢双层窗		6975	47	/	4994
全时间部分空间	无保温			9043	0	0	0
	单项改造	屋顶	高分子树脂保温板 4cm	4249	24	30	1740
		外墙	北墙挤塑聚苯板 8cm	3335	40	112	6535
			北墙挤塑聚苯板 10cm	3257	42	128	7466
			北墙保温壁纸贴 5mm	5156	7	22	792
			北墙酚醛树脂板 4cm	3663	34	68	2455
		外窗	外加保温帘	5059	9	60	3348
	综合改造	北外墙酚醛树脂内保温 4cm+内隔墙保温壁纸		5833	36	/	2939
		北向外墙挤塑聚苯板 8cm+屋顶高分子树脂板 3cm+塑钢双层窗		5254	42	/	3956
		全墙外保温挤塑聚苯板 8cm+屋顶高分子树脂板 3cm+塑钢双层窗		3699	59	/	4679

5.3.3 农房散煤治理技术方案数据库

基于上述典型农房的模拟，针对大三间式典型农宅，对三间采暖、两间采暖、一间采暖三种取暖模式采用不同的散煤治理技术方案的能效、经济性指标计算，结合调研数据，，形成如表 5-5 所示的青海省农房散煤治理技术方案数据库，该表仅展示大三间式三间采暖模式下的方案，其他采暖模式同理。

表 5-5 青海省农房散煤治理技术方案样例

设备名称	实物图	单价（元/台）	功率（kW）	供热面积（m^2）	能效	年供热费用（无保温）（单位：元） 持续运行
燃气壁挂炉		5000	26	50~120	0.85	2553
空气源热泵热风机		4000	2.5	25~40	2.2-3.0	1786

空气源热泵热水机		10000	5	80~100	2.0-3.0	2273
油汀式电暖器		300	2.2	5~20	0.95	5264
碳晶电采暖		1580	2.5	20~30	0.95	5264

踢脚线式电暖器		350	2.2	21~30	0.95	5264
壁挂式电采暖炉		2500	10	80~100	0.95	5264
暖风机		500	2.1	15~25	0.95	5264

生物质成型燃料炊事供热两用炉-燃料置换		4500	-	80~90	0.84	420
生物质成型燃料炊事供热两用炉-燃料购买		4500	-	80~90	0.84	3186

5.3.4 菜单式农房建筑节能和散煤治理技术方案遴选流程

菜单式农房建筑节能和清洁供热技术方案整个遴选过程按照图 5-33 中的步骤进行。首先根据农房建筑的基本信息及用户习惯建立建筑模型进行改造前的基础能耗计算；然后在农户的经济承担能力范围内，通过数据库对围护结构的不同节能改造方案及散煤治理技术方案进行寻优计算，得到建筑节能和散煤治理技术的最佳方案，即“推荐菜品”；如推荐方案在实际情况下因材料短缺、用户偏好等原因无法实施，也可修改或由用户自由选择方案，得到“自选菜品”。

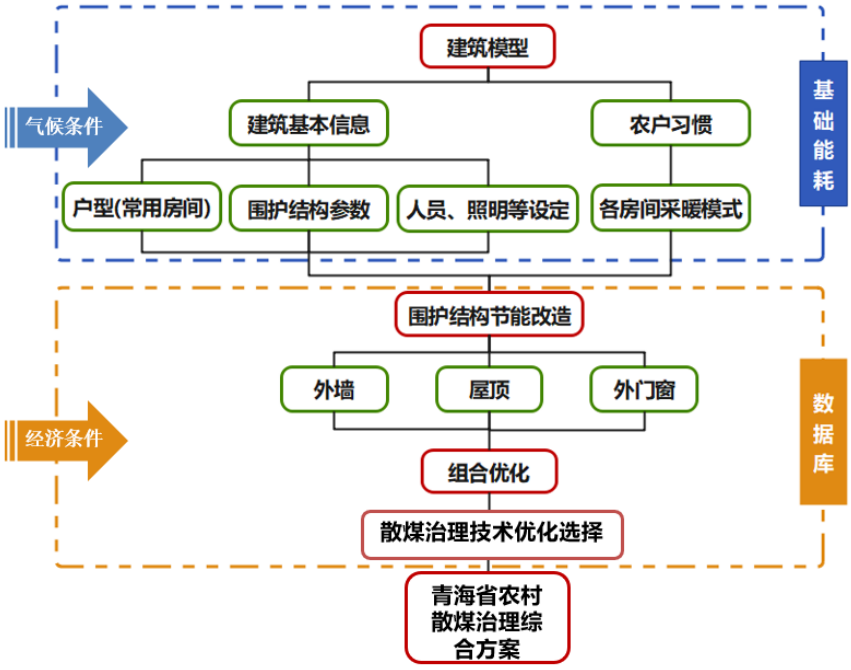


图 5-33 菜单式筛选流程

通过建立农村地区典型户模型，利用上述“菜单式”方法得到节能改造最优方案点线图，如图 5-34 所示。其中每个点代表一种改造方案，对应的横坐标代表该方案的初投资，纵坐标代表节能率；其中绿色曲线是在给定用户的改造投资预算后，在该预算内所有改造方案中节能率最高的方案。任何位于该线下面的方案都不是经济性及节能效果综合最有方案。

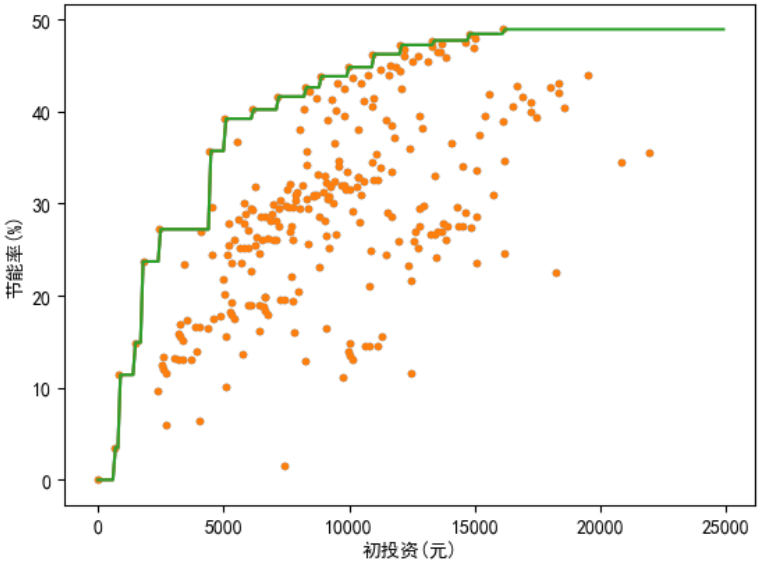


图 5-34 典型农房节能改造最优方案点线图

5.4 青海省农房建筑节能和散煤治理技术方案筛选和建议

农房建筑节能和清洁供热技术方案的确定总体上分两步进行。首先根据保温改造的预算投资，通过“菜单式”方法筛选出最优节能改造方案，并得到对应的建筑能耗模拟结果；在此基础上对各散煤治理技术进行综合的初投资、年运行费、年计算费用等的计算，再通过年计算费用这一经济性指标对各方案进行经济性排序，以此得到各户型不同取暖模式下的“金牌”、“银牌”、“一般”方案。

5.4.1 围护结构节能改造方案

根据前期调研，青海省大部分农宅均设有太阳能暖廊，因此本方案基于农房已有太阳能暖廊的条件下，通过寻优计算，得到不同投资预算（2000 元~5000 元）下，农房不同取暖方式下的最佳节能改造方案。经计算得知，太阳能暖廊带来的节能效益可达 10%以上，因此只需再投资 4000 元左右就能实现节能率 40%。以总投资 4000 元为约束目标，该典型户不同取暖模式下的推荐保温方案如表 5-6 所示。

表 5-6 青海省农房节能改造推荐方案

采暖方式	改造方案	初投资(元)	节能率(%)	标煤节省量(t)
三间采暖	外墙（北+西）酚醛树脂内保温 4cm	3819	43	2.3
两间采暖	北外墙+内隔墙酚醛树脂内保温 4cm	3956	42	1.6

一间采暖	北外墙+内隔墙酚醛树脂内保温4cm+酚醛树脂吊顶	4081	62	1.5

5.4.2 散煤治理综合技术方案

农房散煤治理综合技术方案通过“年计算费用”确定。计算费用法亦称“折算费用法”，是静态计算法的一种，指将初投资折算到寿命周期中的每一年，并用“费用”来反映设计方案对物质及劳动量的消耗多少，以此评价设计方案优劣的方法。“年计算费用”越小，表明该方案的经济性越好，该方案越值得推荐。

年计算费用的计算公式如下：

$$S = \mathrm{I}\frac{i(i+1)^m}{(i+1)^m-1} + \mathrm{Y} \qquad (5\text{-}8)$$

式中，S——方案的年计算费用，元/年；

I——方案的初投资，元；

Y——方案的年运行费用，元/年；

i——回收率，取 10%；

m——使用寿命，年。

将各方案的年计算费用从小到大排序，可以看出其大致呈阶梯状排列，下面以三间采暖方式为例说明“金银一般”方案的确定方法，如表 5-7 所示。

需说明的是，各方案的初投资包括用户侧投资和基础设施投资。其中用户侧投资是农房的保温改造费、供热设备费及末端设备费三者之和，后者则指热源建设费、电网改造费等。

由表可知，该取暖模式下的各技术方案的年计算费用总体上呈＜3000，3000~4000，4000~5000，5000~6000，＞6000 分布。因青海省可用来做颗粒燃料加工的生物质资源较少，所以生物质炊暖炉技术路径现实中不太容易推行，基于该现状，定义年计算费用＜4000 的方案为“金牌”方案，4000~5000 的为“银牌”方案，5000~6000 的为“一般”方案，＞6000 的方案为“差”方案，在“金”、“银”、“一般”方案具备实施条件下，这些“差”方案因经济性差而不具备实用性。

表 5-7 青海省技术方案对比分析表

技术路径	保温改造费（元）	设备及末端费（元）	基础设施投资（元）	初投资（元）	年运行费（元）	年计算费用（元/年）	实施条件
生物质炊暖炉-置换	3819	6740	840	11399	0	2003	1、生物质资源丰富且集中； 2、配套建设生物质成型燃料加工厂
倒倾角太阳能集热器	3819	12240	0	16059	1218	3329	1、太阳能资源丰富； 2、有 20 ㎡的安装面积
生物质炊暖炉-购买	3819	6740	0	10559	2168	3556	有生物质成型燃料购买渠道
低温空气源热泵热风机	3819	8000	5000	16819	1215	3426	单台设备所需电网容量达 2.5kW
低温空气源热泵热水机	3819	12240	7500	23559	1547	4644	单台设备所需电网容量达 5kW
燃气壁挂炉	3819	7240	12000	23059	1737	4768	燃气管网敷设到户
电直热-暖风机	3819	2000	16000	21819	3582	6450	单台设备所需电网容量 2.1kW
电直热-油汀式电暖气	3819	1200	17000	22019	3582	6477	单台设备所需电网容量 2.2kW
电直热-踢脚线式电暖器	3819	1400	17000	22219	3582	6503	单台设备所需电网容量 2.2kW
电蓄热-蓄热式电暖器	3819	5400	19000	28219	3110	6820	单台设备所需电网容量 3.2kW
电直热-壁挂式电采暖炉	3819	4740	20000	28559	3582	7336	单台设备所需电网容量 10kW
电直热-碳晶电采暖板	3819	6320	20000	30139	3582	7544	单台设备所需电网容量 2.5kW

注：（1）居民电价 0.378 元/kWh，气价 1.63 元/Nm^3；
（2）蓄热式电价-峰段（19:00-1:00）0.54 元/kWh，谷段（9:00-17:00）0.16 元/kWh，平段（10h）0.35 元/kWh；
（3）生物质颗粒 1000 元/吨；
（4）电网增容改造 2000 元/kVA。

“生物质炊暖炉-置换”指农户自筹成立农村合作社或第三方投资商建设生物质颗粒燃料加工厂，农户可用自家的秸秆置换相应的颗粒，如 3 吨秸秆换取 1.5 吨燃料，不够冬季采暖使用量的部分需额外购买；“生物质炊暖炉-购买”指农户直接从附近或其他地区的现存生物质颗粒加工厂购买颗粒燃料，该方式虽

然减少了前期投资建厂的费用，但是其运行费用较高，目前生物质颗粒燃料市场价为 1000 元/吨。

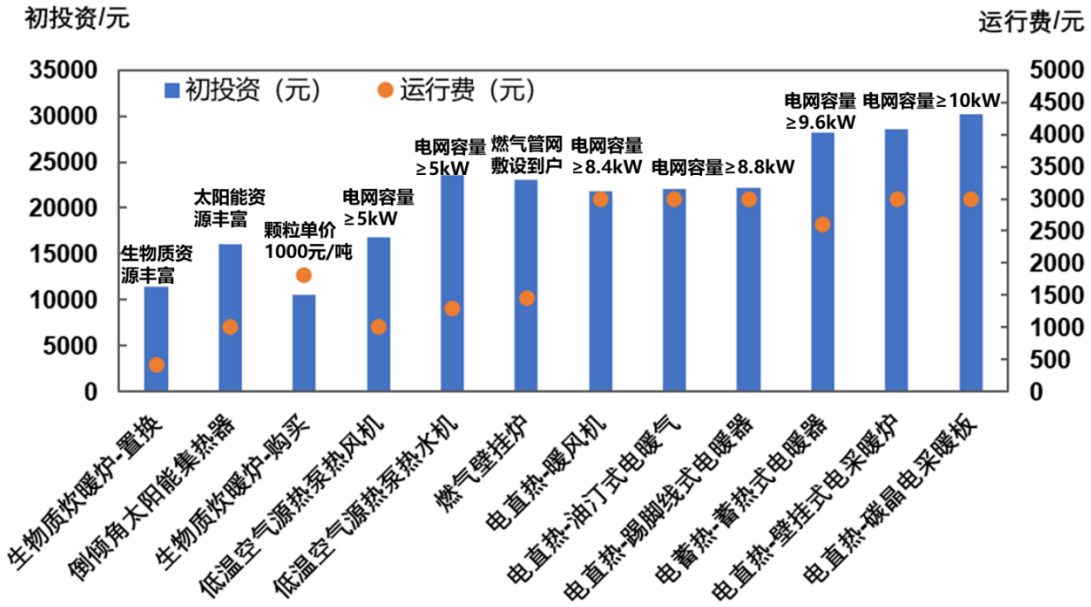


图 5-35 展示了各方案的初投资与运行费，可以直观看出“金牌”方案——生物质炊暖炉（置换）具备最低的运行费，生物质炊暖炉（购买）具备最低的初投资，但由前所述，该类路径因生物质资源少这一客观因素而不被优先考虑；另外两个路径——低温空气源热泵热风机和先进太阳能热水系统，初投资均在 1.6 万左右（包含 3819 元的保温改造费），运行费则在 1200 左右，是经济性最好的方案。“银牌”方案——低温空气源热泵热水机初投资在 2.3 万左右（包含 3819 元的保温改造费及 7500 元电网改造费），运行费 1500 元左右；“煤改气”——燃气壁挂炉方案初投资也在 2.3 万左右（包含 3819 元的保温改造费及 12000 元的管网敷设费）。“一般”方案有三个，都是“煤改电”技术，分别是暖风机、油汀式电暖气及踢脚线式电暖器，该类电直热技术主要投资花在农网改造方面，运行费 3500 元左右。

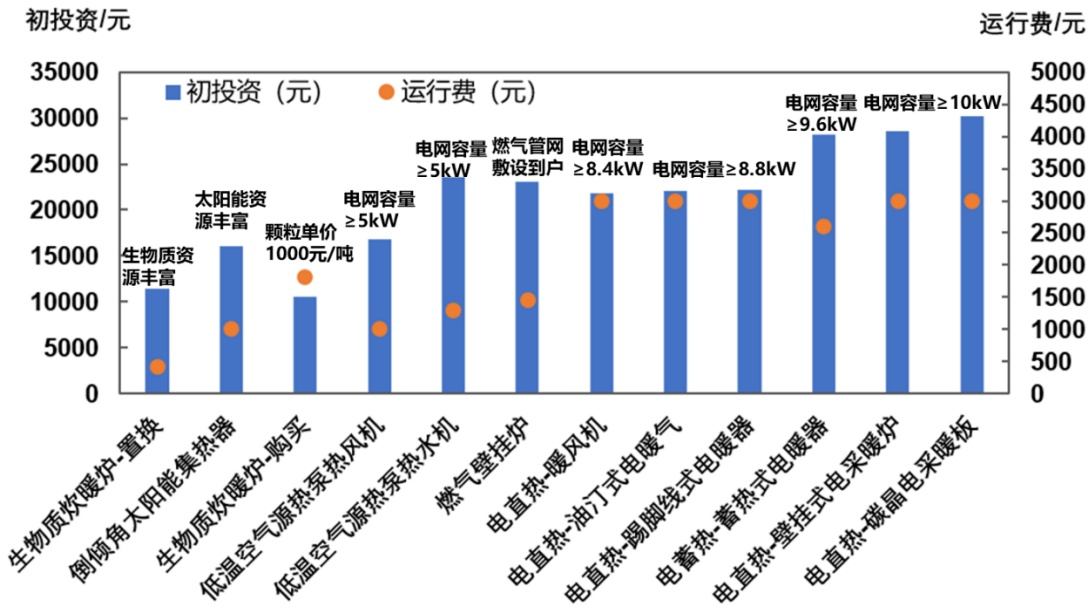


图 5-35 技术方案对比图

根据前期调研，青海省目前民用采暖气价为 1.63~1.93 元 $Nm^{3,}$，冬季采暖费用低于燃煤采暖费用，尤其是目前煤价上涨较为严重，因此受到农户欢迎程度较高，但目前青海省气源紧张，且管网敷设费用较高，因此该方式仅适合于城市周边有气源且燃气管网容易辐射到的村落。

根据上述方法对各户型以及各取暖模式下的清洁取暖技术进行对比分析，基于生态环境保护第一位的历史使命及其可再生能源分布热点，分别得出青海省典型农宅三类取暖模式下的“金牌”、“银牌”、“一般”方案。

5.4.2.1 “金牌”方案

1）围护结构节能改造方案：

围护结构节能改造总投资 4000 元左右，具体方案如下：

i. 三间采暖：外墙（北+西）酚醛树脂内保温 4cm，投资 3819 元；

ii. 两间采暖：北外墙+内隔墙酚醛树脂内保温 4cm，投资 3956 元；

iii. 一间采暖：北外墙+内隔墙酚醛树脂内保温 4cm+酚醛树脂吊顶，投资 4081 元。

2）采暖末端投资：

热水取暖技术的末端均为散热器，不同取暖模式的投资如表 5-8 所示。

表 5-8 采暖末端投资信息表

	三间采暖（81m^2）	两间采暖（59 m^2）	一间采暖（36 m^2）

投资（元）	2240	1618	995

经计算，典型农宅的清洁供热金牌方案如表 5-9 所示。

表 5-9 青海省典型农宅清洁供热金牌方案

取暖方式	技术路径	保温改造费（元）	设备及末端费（元）	基础设施投资（元）	初投资（元）	运行费（元）	费用年值（元/年）	碳排放（t）	实施条件
三间采暖	倒倾角太阳能集热器	3819	12240	0	16059	1218	3329	2.2	1、太阳能资源丰富； 2、有 20 ㎡的安装面积
	低温空气源热泵热风机	3819	8000	5000	16819	1215	3426	2.2	电网容量≥5kW
	生物质炊暖炉-置换	3819	6740	840	11399	0	2003	0.0	1、生物质资源丰富且集中； 2、配套建设生物质成型燃料加工厂
	生物质炊暖炉-购买	3819	6740	0	10559	2168	3556	0.0	有生物质成型燃料购买渠道
两间采暖	倒倾角太阳能集热器	3956	11618	0	15574	916	2963	1.7	1、太阳能资源丰富； 2、有 20 ㎡的安装面积
	低温空气源热泵热风机	3956	8000	5000	16956	856	3085	1.5	电网容量≥5kW
	生物质炊暖炉-置换	3956	6118	840	10914	0	1939	0.0	1、生物质资源丰富且集中； 2、配套建设生物质成型燃料加工厂
	生物质炊暖炉-购买	3956	6118	0	10074	1526	2851	0.0	有生物质成型燃料购买渠道
一间采暖	电蓄热-蓄热式电暖器	4081	1800	3000	8881	947	2115	2.0	电网容量≥3.2kW
	生物质炊暖炉-置换	4081	5495	840	10416	0	1873	0.0	1、生物质资源丰富且集中； 2、配套建设生物质成型燃料加工厂
	生物质炊暖炉-购买	4081	5495	0	9576	660	1919	0.0	有生物质成型燃料购买渠道

注：（1）居民电价 0.378 元/kWh，气价 1.63 元/Nm^3；
（2）蓄热式电价-峰段（19:00-1:00）0.54 元/kWh，谷段（9:00-17:00）0.16 元/kWh，平段（10h）0.35 元/kWh；
（3）生物质颗粒 1000 元/吨；
（4）电网增容改造 2000 元/kVA。

其中，生物质炊暖炉单价为 4500 元/台；倒倾角太阳能集热器整套设备初投资 1 万左右；蓄热式电暖器单价 1800 元/台，输入功率 3.2kW/台，每个房间安置 1 台；低温空气源热泵热风机 4000 元/台。各采暖模式下的方案均满足 5.2.3 中严寒地区碳排放指标 3000kg/a 的要求。

三种取暖模式下的金牌方案里均有生物质炊暖炉技术路径，但鉴于青海生态保护以及可加工利用的生物质资源较少、分布分散这一现状，两类技术均不被优先考虑。所以三间采暖及两间采暖均推荐倒倾角太阳能集热器技术和低温空气源热泵热风机技术路径，一间采暖推荐蓄热式电暖器技术。

5.4.2.2 “银牌”方案

1）围护结构节能改造方案：

围护结构节能改造总投资 4000 元左右，具体方案如下：

i. 三间采暖：外墙（北+西）酚醛树脂内保温 4cm，投资 3819 元；
ii. 两间采暖：北外墙+内隔墙酚醛树脂内保温 4cm，投资 3956 元；
iii. 一间采暖：北外墙+内隔墙酚醛树脂内保温 4cm+酚醛树脂吊顶，投资 4081 元。

2）采暖末端投资：

热水取暖技术的末端均为散热器，不同取暖模式的投资如

表 5-10 所示。

表 5-10 采暖末端投资信息表

	三间采暖（81m^2）	两间采暖（59 m^2）	一间采暖（36 m^2）
投资（元）	2240	1618	995

典型农宅的清洁供热银牌方案如

表 5-11 所示。

表 5-11 典型农宅清洁供热银牌方案

采暖方式	技术路径	保温改造费（元）	设备及末端费（元）	基础设施投资（元）	初投资（元）	年运行费（元）	费用年值（元/年）	碳排放（t）	实施条件
三间采暖	低温空气源热泵热水机	3819	12240	7500	23559	1547	4644	2.8	电网容量≥5 kW
	燃气壁挂炉	3819	7240	12000	23059	1737	4768	1.9	燃气管网敷设户
两间采暖	电蓄热-蓄热式电暖器	3956	3600	3000	10556	2190	3578	4.5	电网容量≥6.4kW
	电直热-暖风机	3956	1500	5500	10956	2522	3962	4.5	电网容量≥6.3kW
	低温空气源热泵热水机	3956	11618	7500	23074	1089	4122	2.0	电网容量≥5 kW
	燃气壁挂炉	3956	6618	12000	22574	1223	4191	1.4	燃气管网敷设户
一间采暖	低温空气源热泵热风机	4081	4000	5000	13081	370	2090	0.7	电网容量≥2.5kW
	电直热-暖风机	4081	500	5500	10081	1090	2416	2.0	电网容量≥2.1kW
	倒倾角太阳能集热器	4081	10995	0	15076	508	2490	0.9	1、太阳能资源丰富； 2、有 20 ㎡的安装面积
	光伏蓄热墙	4081	15381	0	19462	0	2559	0.0	1、太阳能资源丰富； 2、有 40 ㎡的安装面积

注：（1）居民电价 0.378 元/kWh，气价 1.63 元/Nm³；
（2）蓄热式电价-峰段（19:00-1:00）0.54 元/kWh，谷段（9:00-17:00）0.16 元/kWh，平段（10h）0.35 元/kWh；
（3）生物质颗粒 1000 元/吨；
（4）电网增容改造 2000 元/kVA。

其中，低温空气源热泵热水机单价 10000 元/台，输入功率额定值 5kW；蓄热式电暖器单价 1800 元/台，输入功率 3.2kW/台，每个房间安置 1 台；暖风机单价 500 元/台，输入功率 2.1kW/台，卧室安置 1 台，客厅安置 2 台；除了两间采暖模式下的电直热和电蓄热两种技术外，其他方式均满足 5.2.3 中严寒地区碳排放指标 3000kg/a 的要求。

从经济性角度看，两间采暖模式下蓄热式电暖器技术路径初投资最低，年计算费用最小，但碳排放超出标准，低温空气源热泵热水机技术和燃气壁挂炉技术初投资虽然高，但运行费低，碳排放少，具体可视方案的实施条件以及政府对经济和环保的侧重性进行选择。

5.4.2.3 “一般”方案

1）围护结构节能改造方案：

围护结构节能改造总投资 4000 元左右，具体方案如下：

i. 三间采暖：外墙（北+西）酚醛树脂内保温 4cm，投资 3819 元；

ii. 两间采暖：北外墙+内隔墙酚醛树脂内保温 4cm，投资 3956 元；

iii. 一间采暖：北外墙+内隔墙酚醛树脂内保温 4cm+酚醛树脂吊顶，投资 4081 元。

2）采暖末端投资：

热水取暖技术的末端均为散热器，不同取暖模式的投资如表 5-12 所示。

表 5-12 青海省农区农房清洁供热一般方案

采暖方式	技术路径	保温改造费（元）	设备及末端费（元）	基础设施投资（元）	初投资（元）	年运行费（元）	费用年值（元/年）	碳排放（t）	实施条件
三间采暖	电直热-暖风机	3819	2000	16000	21819	3582	6450	6.5	电网容量≥8.4 kW
	电直热-油汀式电暖气	3819	1200	17000	22019	3582	6477	6.5	电网容量≥8.8 kW
	电直热-踢脚线式电暖器	3819	1400	17000	22219	3582	6503	6.5	电网容量≥8.8 kW
两间采暖	电直热-油汀式电暖气	3956	900	11500	16356	2522	4672	4.5	电网容量≥6.6 kW
	电直热-踢脚线式电暖器	3956	1050	11500	16506	2522	4692	4.5	电网容量≥6.6 kW
一间采暖	电直热-油汀式电暖气	4081	300	11500	15881	1090	3178	2.0	电网容量≥2.2 kW
	电直热-踢脚线式电暖器	4081	350	11500	15931	1090	3185	2.0	电网容量≥2.2 kW
	燃气壁挂炉	4081	5995	12000	22076	529	3431	0.6	燃气管网敷设到户

	低温空气源热泵热水机	4081	10995	7500	22576	471	3439	0.8	电网容量≥5 kW
	电直热-碳晶电采暖板	4081	1580	13750	19411	1090	3642	2.0	电网容量≥2.5 kW
注：（1）居民电价 0.378 元/kWh，气价 1.63 元/Nm^3； （2）蓄热式电价-峰段（19:00-1:00）0.54 元/kWh，谷段（9:00-17:00）0.16 元/kWh，平段（10h）0.35 元/kWh； （3）生物质颗粒 1000 元/吨； （4）电网增容改造 2000 元/kVA。									

其中，暖风机单价 500 元/台，输入功率 2.1kW/台，卧室安置 1 台，客厅安置 2 台；油汀式电暖气单价 300 元/台，输入功率 2.2kW/台，卧室安置 1 台，客厅安置 2 台；踢脚线式电暖器单价 350 元/台，输入功率 2.2kW/台，卧室安置 1 台，客厅安置 2 台；低温空气源热泵热水机单价 10000 元/台，输入功率额定值 5kW；碳晶电采暖板单价 1580 元/台，输入功率 2.5kW/台，卧室安置 1 台，客厅安置 2 台。

三种采暖模式的一般方案均为电直热技术，三间采暖和两间采暖模式下技术路径的碳排放量均超出标准；一间采暖模式从经济性角度看油汀式电暖气以及踢脚线式电暖器技术最优，从碳排放角度看燃气壁挂炉和低温空气源热泵热水机技术优越性好。但实际条件允许的情况下，应首先考虑前述“金牌”及“银牌”方案。

5.4.2.4 青海省农村“四一模式”可行性分析

“四一模式”是指**初投资每户平均不超过一万元、无补贴的年取暖运行费每年不超过一千元、设备一键式智能化操作，并整体建立在一个顶层规划**的北方农村清洁取暖改造模式。该模式从北方农村清洁取暖工作的财政约束、经济约束、技术约束、统筹规划约束出发，通过因地制宜的科学规划，有效推进了农村地区居民生活的“无煤化”进程，走出了农户能承受，政府能承受，资源能承受的可持续发展模式。目前该模式已在河南省鹤壁市和山东省济南市商河县成功推广实施。

青海省属于高原大陆性气候，冬季气温较低且供暖期长，一般为 180 天以上，且农户习惯持续性采暖，冬季采暖能耗较高。基于前述清洁取暖技术方案的对比分析可以发现，三间连续采暖和两间连续采暖模式下技术方案无法满足“四一”模式要求，一间连续模式下 “生物质炊暖炉-购买”“蓄热式电暖器”技术方案均

可满足“四一”模式要求，但是受青海省大部分农村生物质资源不够丰富且分散的因素，生物质炊暖炉技术不予考虑。

因此，基于以上分析提出符合青海省农村实际的“四一”模式，即“初投资每户不超过 1.5 万元，无补贴的年采暖费 1500 元左右，设备一键式智能化操作，并整体建立在一个顶层规划”。青海省农村地区散煤治理“四一”模式的方案如表 5-13 所示。

三间和两间连续采暖模式推荐低温空气源热泵热风机和倒倾角太阳能集热器技术，一间采暖优先推荐蓄热式电暖器，其次是空气源热泵热风机、倒倾角太阳能集热器以及电直热技术。

表 5-13 青海省农村四一模式技术方案

	取暖方式	技术路径	保温改造费（元）	设备及末端费（元）	基础设施投资（元）	初投资（元）	运行费（元）	费用年值	碳排放（t）
调整四一	三间采暖	**低温空气源热泵热风机**	**3819**	**8000**	**5000**	**16819**	**1218**	**3329**	**2.2**
		倒倾角太阳能集热器	**3819**	**12240**	**0**	**16059**	**1215**	**3426**	**2.2**
		生物质炊暖炉-置换	3819	6740	840	11399	0	2003	0.0
	两间采暖	**低温空气源热泵热风机**	**3956**	**8000**	**5000**	**16956**	**916**	**2963**	**1.5**
		倒倾角太阳能集热器	**3956**	**11618**	**0**	**15574**	**856**	**3085**	**1.7**
		生物质炊暖炉-置换	3956	6118	840	10914	0	1939	0.0
		生物质炊暖炉-购买	3956	6118	0	10074	1526	2851	0.0
	一间采暖	**电蓄热-蓄热式电暖器**	**4081**	**1800**	**3000**	**8881**	**947**	**2115**	**2**
		低温空气源热泵热风机	**4081**	**4000**	**5000**	**13081**	**370**	**2090**	**1**
		电直热-暖风机	**4081**	**500**	**5500**	**10081**	**1090**	**2416**	**2**
		倒倾角太阳能集热器	**4081**	**10995**	**0**	**15076**	**508**	**2490**	**1**

		电直热-油汀式电暖气	**4081**	**300**	**11500**	**15881**	**1090**	**3178**	**2**
		电直热-踢脚线式电暖器	**4081**	**350**	**11500**	**15931**	**1090**	**3185**	**2**
		生物质炊暖炉-置换	4081	5495	840	10416	0	1873	0.0
		生物质炊暖炉-购买	4081	5495	0	9576	660	1919	0.0
传统四一	一间采暖	**电蓄热-蓄热式电暖器**	**4081**	**1800**	**3000**	**8881**	**947**	**2115**	**2.0**
		生物质炊暖炉-置换	4081	5495	840	10416	0	1873	0.0
		生物质炊暖炉-购买	4081	5495	0	9576	660	1919	0.0

6 青海省农村散煤治理商业模式研究

6.1 散煤治理商业模式现状及问题

6.1.1 散煤治理商业模式现状

农村散煤治理市场化运行机制不健全，目前主要依靠政府推动，依赖政府直接投入，存在融资难、融资贵的问题。部分地区开展以特许经营或政府和社会资本合作（PPP）模式引入社会资本（如热力、电力、燃气企业）投资建设和运维，但并未规模化应用。根据公开资料整理，除河南和天津外，其它省份均以财政资金投入为主，占比达到 67.6%~88.6%。大部分市县考虑农户自身经济水平，普遍采用既补贴初投资又补运行费用的方式，给地方财政造成了严重的经济负担。个别县市如河南省鹤壁市、山东省济南市商河县实施了“只补初装不补运行费”的模式。由于散煤治理项目公益性强，盈利水平较低，市场积极性不高，“企业为主、政府推动、居民可承受”的运营模式尚未真正建立起来。

近年来，市场上虽然存在绿色信贷、绿色债券、绿色产业基金、融资租赁、绿色信托等丰富的绿色金融产品，但是金融支持清洁取暖的主要力量仍是银行信贷，支持形式较为单一。根据《2021 年金融机构贷款投向统计报告》显示，截止到 2021 年末，中国 21 家银行绿色信贷超 15.9 万亿元，其中清洁能源产业为 4.21

万亿元。2018 年，山东济南清洁取暖项目获亚洲开发银行 4 亿美元贷款支持，主要用于济南市中央商务区区域能源工程、商河冬季清洁取暖无煤化示范县项目、济南西部“外热入济”废热利用及多能互补清洁用能项目。2022 年农发行辽宁省阜新市分行营业部以 4 亿元信贷规模支持阜新市清洁取暖“光热+电”项目。

6.1.2 现有模式存在的问题

6.1.2.1 财政补贴政策未充分体现差异化

试点城市改造任务量各不相同，部分城市差距较大。目前，中央补贴按照行政级别支付定额补助，属于同一行政级别的试点城市，尽管任务量差距可能较大，但获得的补助金额仍然相同。例如，在第二批的 23 个试点城市中，改造任务量最大的地级市为邯郸，三年计划改造 132.71 万户，任务量最低的是阳泉，三年清洁取暖改造任务量为 16.16 万户，前者任务量是后者的 8.2 倍，但是获得的中央补贴金额相同。这造成了试点城市每户能够享受到的中央财政补贴力度差异较大。此外，中央财政补贴非常有限，在第二批 23 个试点城市中，每户可获得中央财政补贴（用可获得的中央资金除以改造总户数）最高的城市，户均也仅为 9282 元，而很多城市每户不足 1000 元。因此，技术方案的经济合理是保证本项工作可持续开展的关键因素。

6.1.2.2 财政补贴标准与技术方案匹配度不高

各地市出台的补贴政策针对不同的改造方式差别较大，这一标准的差别度主要跟地方政府对技术路径的选择未进行科学的论证有关。不同技术路径初投资、运行成本、适用条件、资源供保障程度差别巨大。如山西省临汾市尧都区人民政府办公室发布的《尧都区 2021 年清洁取暖工程实施方案》中针对“煤改电”改造用户，按购置采暖设备费用 70%给予补贴，每户最高补贴 7000 元。采暖季每户用电量在 10400 千瓦时以内的，按补贴电价 0.2862 元/度计价；超过 10400 千瓦时的部分，按 0.507 元/度计价。“煤改电”设备价格差异化较大，如空气源热泵热水机（5kW 额定输入功率）市场价约 12000 元/台，低温空气源热泵热风机市场价约为 4500 元/台，补贴政策会引导农户选择贵的设备，而不会选择适宜的设备。

6.1.2.3 地方配套资金到位率较低，社会资本积极性不高

部分试点城市地方配套资金到位率较低，首批 12 个试点城市 2017 年度平均

地方财政资金到位率为 65.35%。随着试点工作的持续推进，地方财政补贴压力将不断加大。2017 年首批 12 个试点城市运行补贴支出占当年一般公共预算收入的 0.05%～3.67%，平均为 0.97%，如果要完成三年示范期所有农村改造任务，且沿用目前的补贴水平，补贴支出占城市一般公共预算收入的比例为 0.16%～12.09%，平均为 3.31%。据前期调研显示，目前地方政府补贴普遍存在拖欠现象，施工企业、设备企业垫资难以在短期内收回，加剧了社会资本积极性不高的现象。

6.1.2.4 项目投资回报机制不健全，社会资本积极性不高

农村散煤治理项目实施周期较短，模式较为单一，并且其改造及运维成本高，农户收费难以覆盖成本，因此商业模式较为欠缺，市场化程度不高。项目普遍面临着初期设备投资费用巨大、投资回收期较长、运行成本偏高等问题，削弱了社会资本投资散煤治理项目的意愿。同时整个行业对政府补贴依赖成都极高，政府补贴是否及时、可靠成为影响企业偿债能力的重要因素，企业风险较高。

6.1.2.5 参与企业非头部企业，资金能力有限

目前，农村散煤治理项目多为地方政府通过招投标形式选择承担企业，其中“煤改气”项目多由当地燃气公司承担，“煤改电”项目中标企业多以设备厂商、供热企业或者平台运营公司为主，根据《中国空气源热泵行业草根调研报告 2020》数据显示，2020 年格力、美的、海信、海尔四大品牌低温空气源热泵热风机产品在清洁取暖市场中的占比不足 40%。“煤改生物质”改造设备更是均为小型民营企业。清洁取暖项目均无行业内头部企业作为主导。

6.1.2.6 可再生能源开发利用机制尚未建立

农村能源未来的发展路径主要有三种：第一种是维持现状路径，仍将产生大量的碳排放，严重污染环境并影响农民健康，并且使得城乡不平等，因此这一路径是完全不可行的。第二种是目前通过“煤改气”或“煤改电”等简单替代高污染能源路径，这一路径会产生较高的基础设施投资，包括电网和气网的改造，而且运行费用较高农户难以承受。此外，天然气并非零碳能源，无法实现将来的碳中和目标。第三种是大力发展农村丰富的可再生能源，主要包括太阳能、生物质能、小水电等，能够有效促进农村碳中和，通过就地利用能够改善居民生活条件，而且所需投资并不高于简单替代路径，是可持续的发展路径。

但是目前农村地区可再生能源应用项目多为试点示范项目，未形成规模化的

散煤治理拓展项目，带动社会资本的积极性，并且各项配套政策不完善。个别城市形成了产业，并取得了两个的经济和社会效益，如山东省阳信县，它是全国优质麦生产基地县和全国畜牧百强县，以现有每年产生的秸秆、牛粪、树枝、锯末测算，年可生产颗粒燃料 100 万吨，基于这些丰富的生物质资源，该县积极主动构建了“农户就地收集、企业就近加工、全域就地使用”的阳信模式，初步实现了生物质清洁取暖和电代煤、气代煤等多能互补的清洁取暖格局，建成了全国首个农村生物质清洁取暖示范县。

6.1.2.7 实施方案趋同性强，管理机制不健全

根据前期的调研，受散煤治理项目“时间紧、任务重、涉及面广”的影响，使得大多数地方政府各种规划任务化，忽略了技术路径的正确与否是散煤治理项目投融资成功可持续发展的必要前提。在技术路径选择过程中，大多借鉴别的城市的经验，而未根据本地实际进行深入的研究和科学的论证，建设试点工程。

大多数城市市级政府在项目申请成功后，根据本地实际情况制定总体规划、实施方案和配套政策，但实施方案只制定了大体方向，并不明晰，具体的实施任务和资金直接下放至县和县级市。县政府前期不参与总体规划、技术路径制定，只负责实施，并将任务下发至基层政府。基层政府对当地实际情况和农户取暖需求了解最深，但最没有话语权，前期无任何参与，并且散煤治理的推广，对基层政府的显性政绩并不明显，因此缺乏积极主动性，导致很多地方技术路径选择了好实施的或者“面子”工程，而不是经济性好、服务好、性价比高且符合本地实际情况的产品，很多地方已经出现了二次改造的情况，费钱且费力，农户也对散煤治理失去耐心和信心。

6.2 散煤治理商业模式中责任主体定位

在散煤治理工作推进中，各方参与者之间的相互关系和定位尤为重要。无论是以政府为主，还是企业为主，或是居民为主，都需要理清楚清洁取暖中参与者在实施过程中的相互关系以及定位，这样才能真正实现多方共赢、持续发展的目标。

6.2.1 利益定位

散煤治理项目的责任主体有：政府（各级政府）、企业、居民。三者之间利

益定位情况如图 6-1 所示。

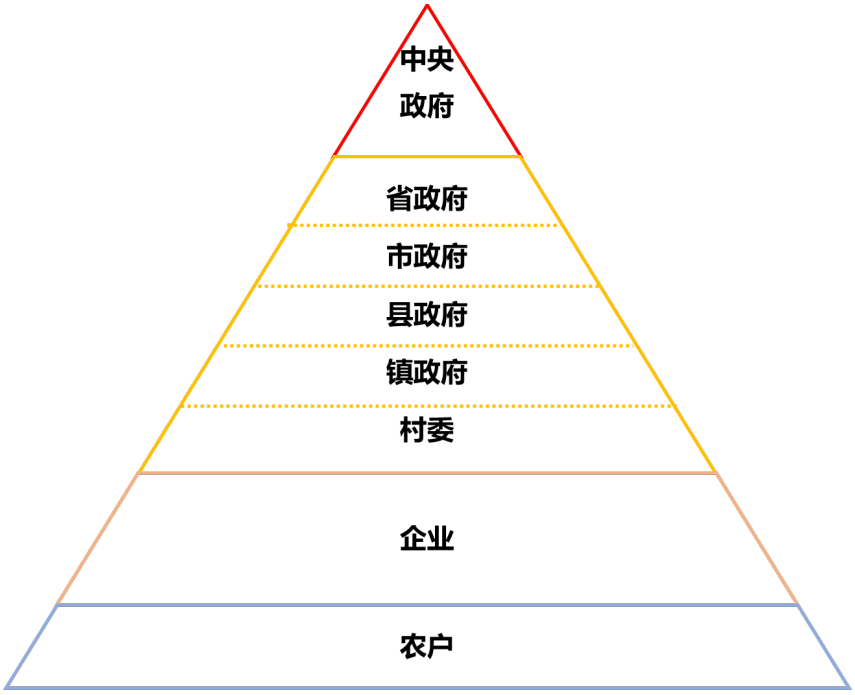


图 6-1 散煤治理中各责任主体利益定位情况

政府位于金字塔的顶端，其中中央政府位于金字塔的“最顶端”，主要职责是制定散煤治理任务目标，发布政策，相对于其他方有完全主动权。然后是地方政府，省级政府其主要职责是根据中央政府文件组织各市申报散煤治理项目，制定符合本地实际的总体目标和配套政策，属于上传下达的角色。市级政府相对于省级政府有一定的主动权，主要职责是以省级政府发布的政策为基础，确定符合本市实际经济情况、资源禀赋、农户实际的技术路径以及补贴政策，确定具体的改造户数，然后上报给省级政府，并根据补贴激励政策下发补贴。之后是县级政府，相对于其他两级政府基本处于完全被动的状态，但相对于企业有组织开展治理工作的主动权，其主要职责是组织实施清洁取暖改造工作并下发规定的补贴资金，若自身资金有限的话，可补贴一部分资金，剩余资金由居民承担。镇政府和村委相对于省、市、县三级政府而言，基本处于执行任务阶段，村委主要的职责为摸清本村基本情况、确定改造户数，上报镇政府，镇政府根据村委上报数据上报至县政府。各级政府的利益诉求基本一致，以社会效益为主。

其次是企业，不同的清洁取暖方式会对应着不同类型的企业，总体上可划分为设备制造公司、能源服务公司、运营公司三种企业，由于这三种企业在清洁取暖实施中均会获得经济效益，所以他们都拥有一定的主动权。表 6-1 对其利益情况进行定性分析，并用星的个数表示各企业的获利机会和风险机会。

表 6-1 散煤治理中不同企业利益情况表

清洁取暖方式	企业名称	获利机会	风险机会
煤改气	燃气公司	★★	★★★
	燃气壁挂炉设备公司	★★★★	★
煤改电	电网公司	★★	★★★
	各类电采暖设备公司	★★★★	★
煤改太阳能	太阳能采暖设备公司	★★★★	★
	光伏组件生产及安装公司	★★★★	★
煤改生物质	生物质炉具设备公司	★★★★	★
	生物质燃料生产供应公司	★★★	★★
——	运营企业	★★★★★	

由表 6-1 可以看出，运营企业的获利机会大于设备企业，其原因在于运营企业为政府委托的第三方管理公司，为政府和企业搭建沟通桥梁，前期无投资。设备企业的获利机会大于能源供应企业，前者通过售卖设备已经获利，后者需要前期投入基础设置建设，后期通过运行逐渐回收成本，这就需要考虑投资回收期时长，若时间较长，一些不确定因素可能会影响企业的利润，如燃气公司前期投入大量的管网建设费用，运行过程中因上游冬季气价上涨，出现气价倒挂现象，同时因为气价较高，农户弃用，前期投入可能无法回收。

最后，位于金字塔“最底层”的是农户，他的利益是最容易被其他三方忽视的，随着政策的改变，农户几乎是完全被动地接受散煤治理改造，但因散煤治理可使农户生活得到改善，农户的态度也可化被动为主动。改造前，由于散煤治理时间紧、任务重，多数政府缺乏对政策和技术路径的宣传，农户对散煤治理设备没有深入的了解，所以基本处于被动接受状态。改造后，在使用过程中，农户的的态度也发生了改变。一是在国家、地方政府的补贴政策激励下，居民只需负担很少一部分费用就可以实现清洁取暖；其二是清洁取暖设备操作简单，与烧散煤相比，室内外环境变好，部分设备更省钱了。基于以上原因，农户从被动接受转变为主动改造。

6.2.2 决策定位

对散煤治理中几方参与者的决策定位也很重要。在清洁取暖改造工作中，各方参与者均根据自身的需求，决策实际可行的方案，其中，由于中央政府、省级政府主要的职责是发布政策、确定目标、改造执行过程中的监督和验收，不参与后期的决策过程，所以在对几方参与者决策定位时，只考虑市、县政府、企业和农户。

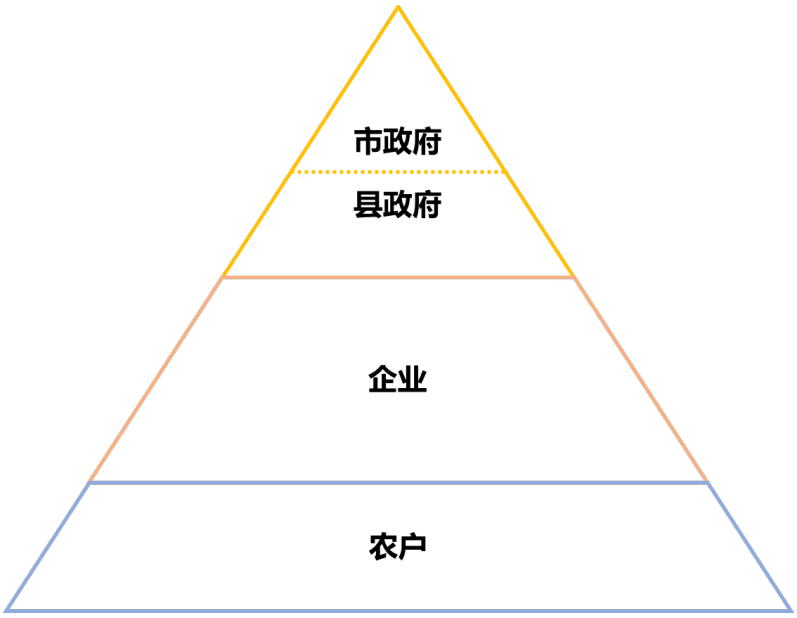


图 6-2 散煤治理中各方参与者决策定位情况

从图 6-2 可以看出，在决策方面，市政府位于金字塔的“最顶端”，其根据中央政府、省政府规定的任务目标，决策实际可行的、能指导全局的散煤治理任务目标以及技术路径；县政府则是以市政府确定的技术路径为基础，决策具体的改造户数，上报市政府，组织开展改造工作，决策具体的实施方案，并向乡镇政府下达具体工作任务。其次是企业，根据县级政府确定的改造方案，及时落实改造工作，相对而言，几乎没什么决策权。最后是居民，由于信息的不对等，他们对不同的清洁取暖技术路径不太熟知，所以，基本是被动地配合改造工作，但改造后使不使用的决策权在他们。

在决策过程，有两个主要的因素影响着各方参与者的决策权，分别是补贴和技术路径。为了更进一步探究某个因素对各方参与者决策权的影响，建立了稳定状态和动态两种模型，其中，稳定状态指的是有补贴且决策的技术路径合适的状态，而动态指的是有无补贴或者选择的技术路径是否合适的两种状态。

6.2.2.1 稳定状态下的决策过程

为了更形象地描述某个因素对各方参与者决策权的影响，模拟了他们的具体

的决策过程，稳定状态下的决策过程如图 6-3 所示。

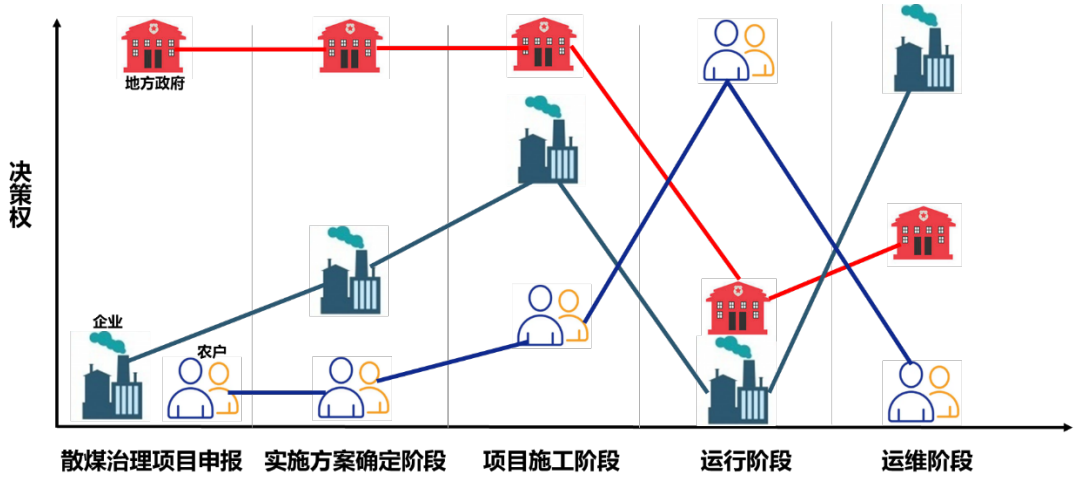


图 6-3 稳定状态下各方参与决策过程情况

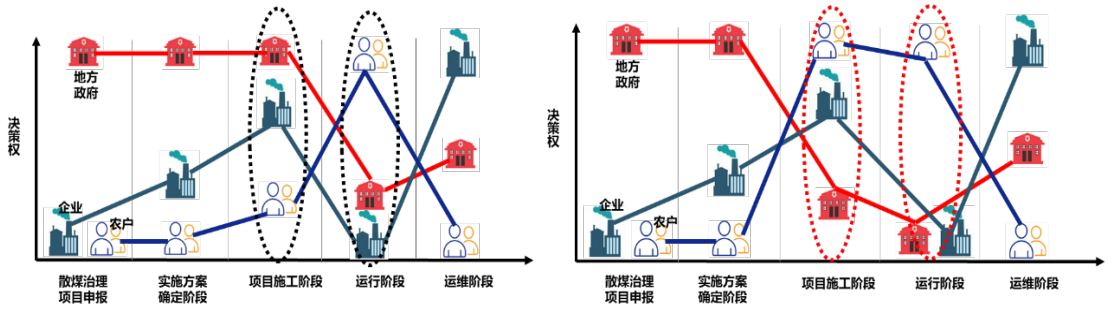
散煤治理的整个实施过程分为五个阶段，分别是提出散煤治理项目申报、实施方案确定、项目实施、运行和运维。在提出申请阶段，主要的参与者是地方政府，他决策是否实施散煤治理项目并向中央政府提出申请。在实施方案确定阶段，市政府基于中央政府的总体方针策略，结合本地经济水平、资源禀赋、农户用能特性等，制定合适的实施方案。项目实施阶段，县级政府组织开展改造工作，决策具体实施方案，同时在此阶段，企业充当的角色是主要工程的实施者，而农户的角色是配合实施工作，三个主体利益方均拥有一定的决策权，但由于他们地位不同，其决策权大小也不同的，具体排序为：县政府＞企业＞居民。运行阶段，该阶段主要是指取暖设备的使用，农户作为使用者，该阶段决策权最高。运维阶段，农村以老人和留守儿童居多，文化程度普遍较低，对于一些复杂的取暖系统，农户无法自行维修，需由企业派专业人士上门维修，所以，企业在该阶段的决策权最高，同时考虑到地方政府可通过合同等约束企业提供售后服务，则地方政府也拥有一定的决策权。

6.2.2.2 动态状态下的决策过程

（1）有无补贴激励政策

经济成本是农户关注的首要因素。2021 年，城镇居民人均可支配收入 47412 元，农村居民人均可支配收入 18931 元，低收入组人均可支配收入 8333 元，根据课题组前期的调研显示，农户可承受的初投资不超过 5000 元，运行费不超过 2000 元。为了提高农户的使用意愿，政府运用财政补贴政策作为“药引子”，建立良好的市场环境，满足农户基本需求，使散煤工作顺利进展。但补贴只有三年

期限，一旦补贴停止，农户该如何承担高于自身承受能力的清洁取暖成本，其使用意愿会不会大幅度降低，这成了目前各方最为关心的话题。为了分析各方参与者在有无补贴激励政策条件下决策权的变化，同样模拟了他们的决策过程。



（1）有补贴　　（2）无补贴

图 6-4 有无补贴情况下各方参与者决策过程对比

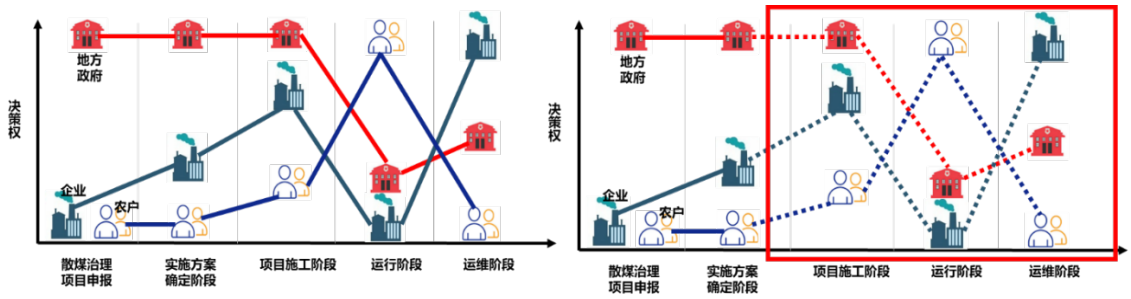
由图 6-4 所示，有无补贴激励政策，基本不会影响散煤治理项目的申报和实施方案确定两阶段，主要影响改造工作实施阶段和运行阶段各方参与者的决策权。补贴在散煤治理中发挥着比较核心的作用，主要是调动企业的积极性和提高居民使用意愿，若不再补贴，企业的积极性和居民使用意愿就会降低。某调研结果显示，以山西省为例，约 86%的受访者表示愿意使用清洁能源取暖的前提是政府提供足额补贴，而无补贴情况下愿意改造的用户数量仅占 4.8%。所以，在改造工作实施阶段，地方政府不再拥有最高的决策权，反而是农户拥有最高的决策权，其次是企业，最后是地方政府，企业需在权衡利弊后，认为该工程可获得经济效益，再开展实施工作。而在运营阶段，农户同样拥有最高决策权，可根据改造后运行非得高低决定是否使用设备，企业和地方政府这个阶段基本没有决策权利。

补贴固然重要，但不同的参与者对补贴真正意义的理解不同，以政府角度来看，给予企业补贴是为了激励企业提高产品质量，降低成本。给予农户补贴是为了让农户以低的价格使用高效清洁的取暖设备，既提升舒适度，又减少了能耗，降低取暖成本。以企业角度来看，为了追求利益最大化，大多数企业并没有将政府补贴用于产品研发和质量提升上，而只是为了获得补贴带来的经济利益，这就会导致市场上的设备良莠不齐，农户的使用意愿低。以农户角度来看，一部分农户用补贴购买了低价清洁取暖设备，但并不会使用，根据《中国散煤综合治理研究报告 2021》数据显示，“改而不用”现象突出。以煤改电为例，部分地区改而未用、基本不用、低水平使用的用户，约占总改造户数的七至八成，有些地区甚至出现农户以低价购买清洁取暖设备，验收过后就将设备卖掉。因此补贴并不是一

件完全的“好事”，有时也会起到反作用，造成不必要的浪费。

（2）技术路径是否合理

散煤治理工作必须“坚持从实际出发，宜电则电、宜气则气、宜煤则煤、宜热则热，确保北方地区群众安全取暖过冬”。散煤治理技术路径是整个散煤治理工程的核心内容，若选择的技术路径不合适，有可能会阻碍散煤治理工作的推进，具体决策过程如图 6-5 所示。



（1）合理　　（2）不合理

图 6-5 技术路径选择是否合适情况下各方参与者决策过程对比

由图 6-5 可知，若地方政府决策的散煤治理技术路径不合适，那么在实施方案确定这一阶段后，散煤治理工作就可能无法继续推进下去，但如果政府愿意给予更多的激励资金，在足够的经济驱动下，散煤治理工作也可能可以继续推进。

6.2.3 角色定位

中央财经领导小组第十四次会议中，国家发改委发布了《关于北方地区清洁取暖价格政策的意见》。文件指出，要按照“企业为主、政府推动、居民可承受”的方针，遵循因地制宜、突出重点、统筹协调的原则，宜气则气，宜电则电，建立有利于清洁取暖价格机制，综合运用完善峰谷价格、阶梯价格，扩大市场化交易等价格支持政策，促进北方地区加快实现清洁取暖。但是目前散煤治理工作仍然以政府主导，企业和农户配合为主，企业为主的模式尚未形成。

6.2.3.1 政府主导

基于前面的分析，各级政府利益诉求以社会效益为主，在顶层规划和政策制定方面有绝对的决策权。中央政府主要的职责制定顶层规划、资金支持、后期考核验收。省政府基于中央政策，制定相应的规划及政策。散煤治理工作推进主要在市县两级政府。市县将任务下放至基层，导致很多地方项目实施过程中基本是依靠补贴或强制手段推行，技术方案并不符合实际，很多地方也出现了二次改造

的情况，费钱且费力。

若以地方政府为主，为达到“企业能创新，居民能承受”的目标，地方政府必然会选择给予企业和居民一定的财政补贴，来提高他们的散煤治理改造意愿。但就目前来看，资金有限是最突出的矛盾，在有限的资金情况下，如果这些钱非但未能充分发挥应有作用，反而被频繁浪费，那么便会加重国家和地方政府的负担。因此散煤治理不应以政府为主。

6.2.3.2 企业主导

企业一般是指以盈利为目的，运用各种生产要素，向市场提供商品或服务，实行自主经营、自负盈亏、独立核算的法人或其他社会经济组织。也就是说，企业的目标是追求自身利益最大化。那么未来散煤治理是否以企业为主，以什么样的企业为主需要深入探究。

（1）设备生产或销售企业

若以设备生产或销售企业为主，各企业为了自己获得更大的市场份额，必然会开始一场企业与企业的“价格战”，而参与价格战的企业都会追求自身利益最大化。同类产品企业都是足够理性的，为了获得更多的市场份额和利益，他们必然会选择降低价格，来谋取更大的市场份额和利益，那么，同类企业在经过互相之间轮番降价竞争后，价格会降到贴近成本再也没有下降的空间，这时对企业来说往往意味着危机的到来，企业缺乏资金积累，无法实现持续发展，最终就形成一种类似“两败俱伤”的局面。

但对于企业而言，他们是不可能希望这样的事情发生的，于是，他们在面对价格战带来的利益受损的同时，不得不做出另一种方式来弥补——降低成本。企业缩减产品的成本也是有选择的，固定成本的存在必然导致企业只能从单位变动成本着手，比如降低产品的生产、检验流程，减少产品用料和用量，是最直接的缩减单位变动成本的途径。所以，在恶性循环的价格战影响下，企业开始削减产品的成本，降低产品质量，力图让自己在这场产品价格战中立于不败之地，而看似最得意的消费者（农户），却成了这场战争的最终牺牲者，同时市场也遭到了严重的损害。所以，散煤治理以不能以设备生产或销售企业为主。

（2）能源供应企业

我国能源供应企业以国有企业和中央企业为主，它们承担了 90%以上的油

气供应、60%以上的电力供应及25%以上的煤炭供应。相对于民营企业，国有企业和中央企业具备承担社会责任的能力，比如居民电价，长期以来都维持在较低的水平，尽管电厂可能因此利润受到较大影响，但是作为关乎国计民生的居民电价来说，牺牲企业的利益，实际就是一种企业的社会责任。其次国有企业和中央企业的融资能力非民企可敌，它们与政府、银行有着天然的"亲缘"关系，大部分国有企业在银行的授信额度、贷款的利率水平都好于民营企业。这一属性让国企在许多高投入、大规模的行业中有着无与伦比的先天优势。自2017年北方冬季清洁取暖试点行动以来，部分地方采用了引进能源供应企业的方式推进工作，并取得了良好的社会效益。如石家庄蓝天环境治理产业转型参与石家庄农村“煤改气”项目，通过蓝天基金投资控股燃气主管网，管网建设、终端运营引入中国燃气、新奥燃气等全国性燃气运营商，解决投资资金不足、管网建设“散乱少”、后期运营安全性差等问题。

因此，若以能源供应企业为主，那么既可以保障能源供应，还能为散煤治理项目解决融资难的问题，但各类能源企业需形成合力，避免散煤治理变成单一能源替代。

（3）综合服务运营企业

不同于设备生产、销售企业、能源供应企业，综合服务运营企业提供的是管理服务，包括散煤治理项目的全生命周期管理、投融资等服务。这类企业上对政府，下对企业、农户，成为了政府、企业、农户间的桥梁。对政府，这类企业提供了全过程技术咨询、确村确户、实施方案把控、招投标、搭建数据管理平台、推广宣传、投融资等服务，减轻政府繁琐的工作，帮助政府省心、省力、专业全面系统完成散煤治理工作。对企业，这类企业拥有专业的技术人才，可对各类设备进行筛选和质量把控，从而提高产品市场门槛，保证优质产品进入市场。对农户，这类企业可进行入户宣传，提供专业的产品宣传和讲解，让农户更深入的了解各类散煤治理的产品和技术。

因此，若以综合服务运营企业为主，既可为政府制定科学合理的技术路径，同时还可提供投融资服务，解决散煤治理改造基础设施投入大、资金难的问题。但需由国企或央企组成的综合运营服务企业，而非民营企业。

6.2.3.3 农户主导

若以农户为主，一方面农村散煤治理是重大民生工程和民心工程，与各地农村的资源禀赋、生活习惯、经济条件等现实基础有很大关系，所以在“因地制宜多能互补”的基础上应该具体落实到每家每户，充分尊重每户居民的经济承受能力和实际需求，让居民有自主选择适宜自身需求取暖设备的权力；另一方面散煤治理的主要服务对象是农户。理想状态下是农户对不同的散煤治理技术熟知后根据自身需求和经济承受能力，选择适合自己的散煤治理设备。但往往散煤治理工作，时间紧、任务重，农户并没有充分的时间了解各类技术路径，施工单位也不太可能一户一方案。

另外，大部分农户看到优惠的政策补贴，积极的参与进来，但是完全是看到了经济性和从众性，在意识上仍认为传统燃煤是最经济实用的取暖方式，出现享受了政策但是依旧不放弃燃煤，甚至考虑方便性，私自订购未经质检的散煤。因此，农户不能作为散煤治理推进的主导。

6.3 青海省散煤治理理想发展商业模式

6.3.1 散煤治理发展路径

农村散煤治理未来的发展路径面临选择问题。如图 6-6 所示，主要有三种路径：第一种是维持现状路径，仍将产生大量的碳排放，严重污染环境并影响农民健康，并且使得城乡不平等，因此这一路径是完全不可行的；第二种是目前通过“煤改气”或“煤改电”等简单替代高污染能源路径，这一路径会产生较高的基础设施投资，包括电网和气网的改造，而且运行费用较高农户难以承受。此外，天然气并非零碳能源，无法实现将来的碳中和目标；第三种是大力发展农村丰富的可再生能源，主要包括太阳能、生物质能、小水电等，能够有效促进农村碳中和，通过就地利用能够改善居民生活条件，而且所需投资并不高于简单替代路径，是可持续的发展路径。

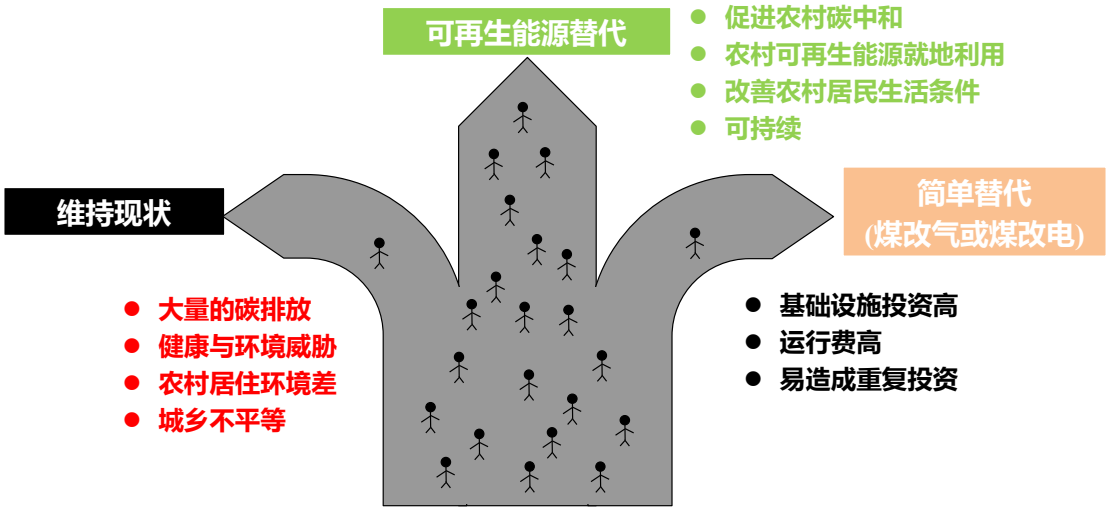


图 6-6 农村散煤治理面临发展路径的选择

6.3.2 可再生能源替代下的散煤治理模式

2022 年 7 月，青海省发展和改革委员会、青海省能源局印发《青海省关于完善能源绿色低碳转型体制机制和政策措施的意见》，提出到 2030 年，基本建立能源绿色低碳发展基本制度和政策体系，形成非化石能源基本满足能源需求、能源安全保障能力得到全面增强的能源生产消费格局。并强调大力发展分布式光伏系统，建设新型建筑电力系统。基于此，青海省未来农村散煤治理应依托太阳能资源开发，打破以往“政府为主、企业为辅”的格局，形成“以生态保护为目标，企业为主、政府推动、农户参与”的良性发展模式，如图 6-7 所示。

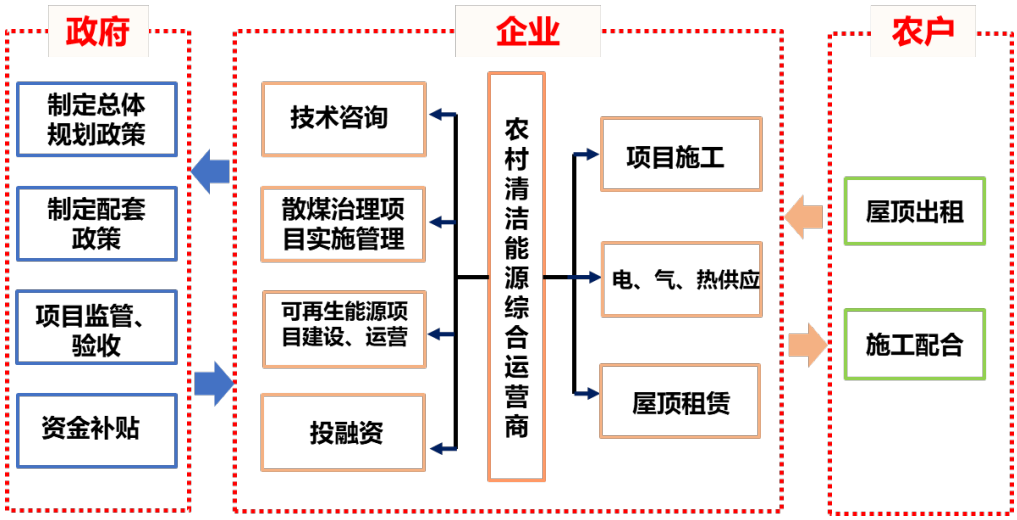


图 6-7 未来散煤治理的理想模式

散煤治理项目公益性强、盈利性差，应将散煤治理项目与可再生能源开发组合、肥瘦搭配，拓宽项目的收益来源，提高企业投资积极性。同时发挥头部企业

的作用，以其作为主体，设立农村清洁能源综合运营商，建立以区域、县为单位整体同步实施散煤治理、可再生能源开发。

地方政府以区域、县市为单位，将散煤治理和可再生能源开发打包成散煤治理综合项目，通过招投标形式选择农村清洁能源综合运营商承接。对散煤治理综合项目进行整体把控并给予资金补贴

农户主要参与和配合散煤治理综合项目的实施。

6.4 分布式光伏商业模式

随着太阳能光伏组件效率的显著提升和成本的持续下降，分布式光伏发电已具备良好的应用场景，同时太阳能光伏发电系统简单高效，运行维护要求较低，是可再生能源建筑应用的主要技术选择之一，农村“光储直柔”将成为分布式光伏的主战场。因此立足于青海省丰富的太阳能资源，青海省可再生能源开发以分布式光伏为主，同步推进农村微电网建设。

目前，我国光伏发电项目投资多元化，投资驱动力复杂化，应用较为普遍的商业模式主要有三种，即统购统销模式、用户自发自用模式和合同能源管理模式。但现行的商业模式更多地受到监管和政策因素的驱动，而非技术因素。光伏政策与市场及产业既相互促进又相互制约。在推进农村屋顶光伏革命过程中，要着力避免光伏政策与市场及产业间的不良互动，应通过合理的模式设计，促进光伏产业与市场的良性互动发展。

6.4.1 分布式光伏商业相关主体

分布式光伏商业模式相关主体主要包括投资开发商、用户和融资的金融机构，除此之外还包括其他推动光伏式发电项目良性运营的相关主体，包括政府、电网公司、光伏设备厂商等相关机构。

其中，投资开发商对分布式光伏产业起着引领作用，投资主体一般分为个人和企业两种，个人作为投资主体来说模式较为简单，项目建设的复杂度较小，需协调的相关方较少。相较而言，企业作为投资开发商，一般建设的项目复杂、数量较大，运营过程中需要大量协调政府、金融机构的相关关系。用户一般相当于消费者，是分布式能源的受益者之一，是电能的最终使用者，也是商业模式利益来源的主体。融资的金融机构主要负责建设资本提供和筹集，是整个分布式光伏

项目的资金来源渠道，决定着商业模式中资金周转的有效性，其决定着商业模式是否能正常开展。政府主要负责制定并出台相关政策、行业发展规范，开展市场监管，准和发放各类补贴，同时出台相关的法律对其他的市场主体行为进行约束，化解市场中出现的争端和冲突，为分布式光伏发展营造良好市场氛围。电网公司主要负责分布式光伏并网、电力输送，同时现阶段电网公司还需要负责电量、电费及补贴等的计量与结算，其对辅助分布式光伏发展具有重要作用。光伏设备厂商是分布式光伏系统设备的提供者，其提供的光伏组件对项目质量有着决定性的影响，从长远角度来看，分布式光伏发电效率的提升主要依赖于技术发展，而设备厂商则主要肩负着系统技术研发的重任。

6.4.2 分布式光伏商业模式影响因素

分布式光伏商业模式经济性影响因素主要分为外部影响因素与内部影响因素两大类，二者共同影响着商业模式的内部收益率、动态投资回收期和投资回报率等经济性指标。其具体影响关系如图 6-8 所示。

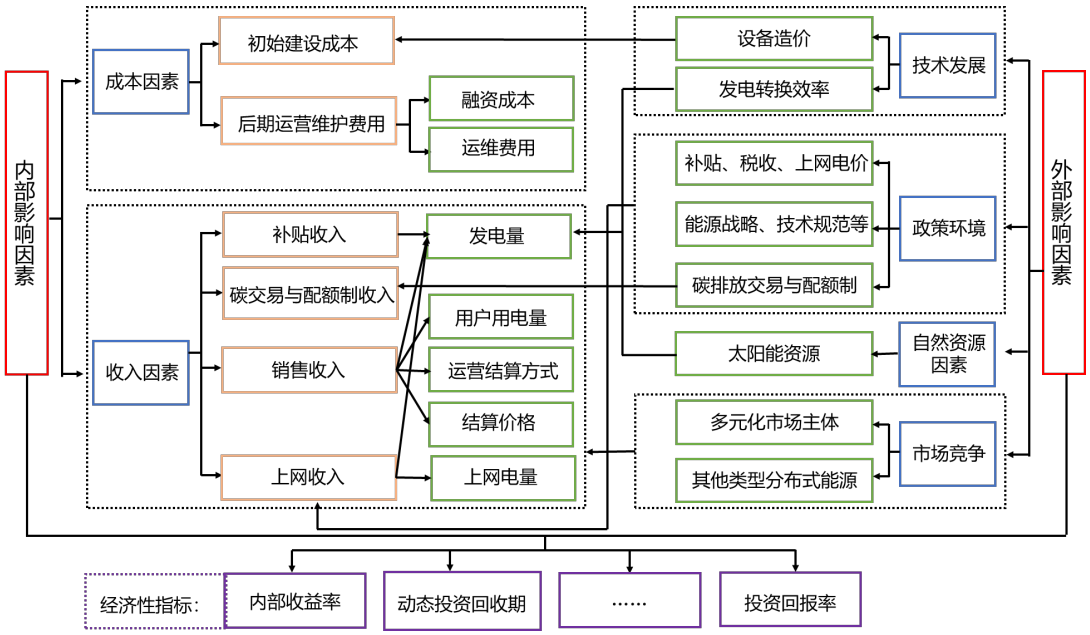


图 6-8 分布式光伏商业模式影响因素

分布式光伏商业模式影响因素中成本因素和收入因素是分布式光伏商业模式经济是否可行的关键，其与外界因素之间相互影响，相互作用。其中成本因素主要受到企业融资能力和外界技术水平的影响，收入因素又与外部政策因素、自然资源等方面紧密联系，其各自变化将动态地对模式经济性指标产生影响。

技术发展对分布式光伏商业模式经济性影响主要体现在系统发电转换效率和设备造价两个方面，其中系统发电转换效率通过系统发电量影响模式收入，设备造价通过影响初始投资成本，进而影响商业模式经济性。

政策对分布式光伏商业模式经济性影响主要包括两方面，一是国家和地方补贴、税收、电价等一系列财政政策和环境政策对分布式光伏项目收入的直接影响，二是国家发展战略、技术规范等辅助政策对分布式光伏发展的间接影响。

分布式光伏产业带有强烈的国家导向特点，现阶段国家在相关政策上都给予分布式光伏较大优惠。目前从税收政策来看，国家分别在增值税、企业所得税两个方面对分布式光伏发电项目给予优惠；从电价政策来看，对于分布式光伏不征收并网费、备用费和各类附加基金；从补贴政策来看，国家对“自发自用，余电上网”类型的分布式电源采用的是度电补贴的形式，补贴水平一般会占到总体电价的一半左右。除此之外，地方为扶持当地分布式光伏的发展还在国家补贴的基础上，增加了地方补贴，各省份补贴水平不一。

市场竞争因素对分布式光伏商业模式经济性的影响因素主要来源于两个方面，一是不同市场投资主体之间的竞争，二是不同种类分布式能源之间的竞争，其主要通过影响收入进而影响项目经济性。

6.4.3 分布式光伏潜在开发主体对比分析

随着电力体制改革逐步深化，售电侧逐步放开，越来越多社会资本开始走进电力市场进行投资。基于前期的调研和走访发现，在分布式光伏产业中，由于分布式光伏系统一次性初始投资大、融资困难，普通用户或者小型企业即使有需求也难以承担较大的资金压力直接进行电站建设，这样将直接限制了分布式光伏的发展。因此，项目组对分布式光伏开发的潜在主体竞争力比较，结果如表 6-2 所示。

表 6-2 分布式光伏开发主体对比分析

开发主体	投资方面	运营方面
电网企业	资金雄厚，投资能力强、融资成本低	具有电网和终端系统的建设和运营优势，便于协调、调度和结算；但管理流程繁琐，服务种类单一
发电企业	投资能力强，拥有丰富的能源工程建设经验，具有技术优势，降低建成本	技术能力强，缺少电网和终端系统的支持
用户	投资能力较弱但政策支持力度大	缺乏技术支持和专业人才，多为自发自用，项目规模受到限制

新能源和技能服务公司	投资能力相对不强，政策支持力度较强	具有一定的客户基础，运营灵活性强，服务种类丰富，但缺乏晚上的结算体系
售电公司	投资能力相对不强	具有一定的客户基础，运营管理灵活，具有完备的服务体系，结算和交易便捷，缺少分布式能源供应系统技术运营经验
供水供热供气等公共服务行业	地方政府关系密切，投资能力较强	具有完备的服务网络、服务渠道、服务人员，了解客户需求，但对电力行业缺乏经验

基于以上分析，为保证分布式光伏可持续发展，其开发主体应以电网企业和发电企业等头部企业为主，用户为辅。

6.4.4 分布式光伏总体商业模式

从分布式光伏产业链中可以看到，其开发利用过程主要涉及到投资、融资、设备采购、建设与运行。主要商业模式主要有三种：农户独立投资开发、企业独立投资开发、企业合作投资开发三种方式。

6.4.4.1 农户独立投资开发模式

农户独立投资开发模式是指农户作为独立投资者进行分布式光伏系统投资建设，独立拥有分布式光伏系统所有权、经营权的一种方式，如图 6-9 所示。农户独立投资开发模式资金由农户自筹，经济条件较好的地区，一般为农户自有资金，少部分农户通过银行绿色贷款或传统银行贷款的手段获得资金。此种模式下，农户的自主性较高，可以自行决定项目后期的运营方式，而且权责清晰，不涉及利益的分配问题，但在后期运行过程中需独立承担政策影响、自然灾害等不可抗力所带来的各种风险，同时还需要自行维护。

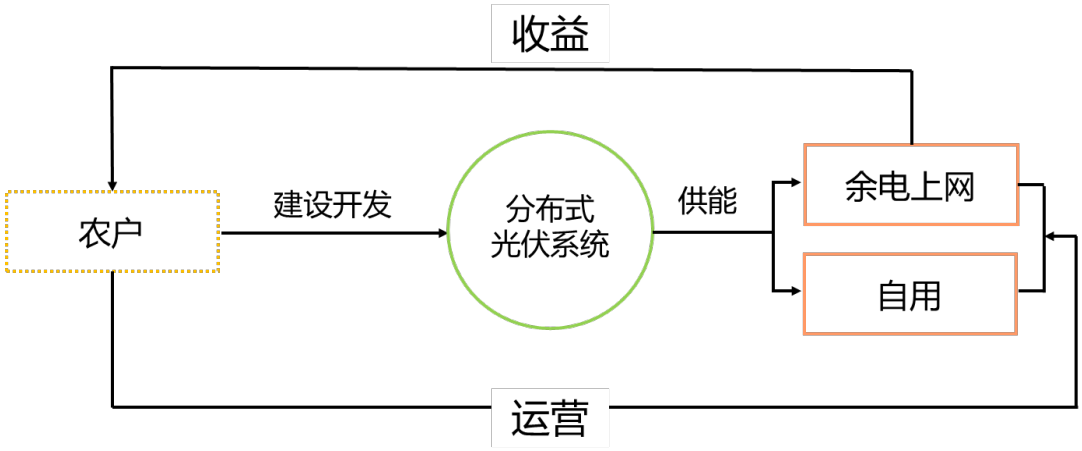


图 6-9 农户独立投资开发模式

随着经济发展和城乡一体化的提高，农村居民家用电器种类逐渐接近城镇居民，户均光伏装机 10kW 在冬季可基本实现就地消纳。光伏余电问题主要出现在夏季，目前通过“光伏+”的模式解决，且已在农村部分地区有很好的试点和应用。未来碳指标、碳交易等政策和制度成熟后，农户还可参与碳交易，成为“卖碳翁”，获得额外的收益，加快投资回收。

6.4.4.2 企业独立开发模式

企业独立投资开发模式是指分布式光伏开发企业作为独立投资者进行分布式光伏系统投融资、建设和运营，独立拥有分布式发电系统全部所有权、经营权的一种投资方式，如图 6-10 所示。企业独立投资开发模式一般除企业自有资金外，其余资金普遍采用绿色贷款或融资的手段获得。在此类投资方式中投资主体自主性较高，可以自行决定项目后期的运营方式，而且投资者权责清晰，不涉及利益的分配问题，但在前期建设阶段大量的资本投资会造成投资方的投资压力较大，后期运行过程中需独立承担资金周转困难、自然灾害等不可抗力所带来的各种风险。

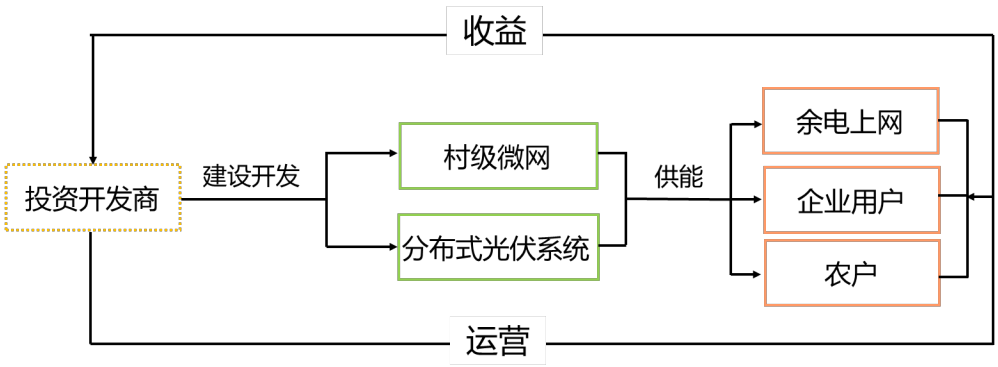


图 6-10 企业独立开发模式

该种模式独立投资主体的责任比较大，因此企业在分布式光伏开发建设过程中需要达到技术、投资周转资金等多方面的要求，运营经验要比较丰富，投资开发商需要拥有较好的企业资质和能力。因此，该模式投资主体应为头部企业，如电网公司、发电企业等。该模式中开发商租赁农户屋顶，农户、企业优先消纳光伏电，余电通过村级微网统一上网，降低户用光伏电不稳定，减少对电网的冲击。

6.4.4.3 企业合作开发模式

合作投资开发模式是指两个或多个投资主体合作进行分布式光伏开发建设，并负责后期运营管理的一种投资方式，该模式的具体运行方式如图 6-11 所示。

各主体之间可以形成合作联盟共同进行分布式光伏开发，共担风险、共享利润，对分布式光伏系统享有共同所有权，共同决定项目后期运营方式。企业间的合作的方式简单分为以下两种，一是按照不同投资主体所提供资本的比例为标准进行效益分配，合作主体共同负责项目运营；二是从技术、设备、管理经验等角度其他角度加强战略合作，按照约定比例进行收益分配，进而提高合作主体在市场中的综合竞争实力。在该模式下建立对应的项目开发与运营账户，账户主要负责整个分布式项目的资金的流入与流出管理，便于各主体进行成本及效益分摊。

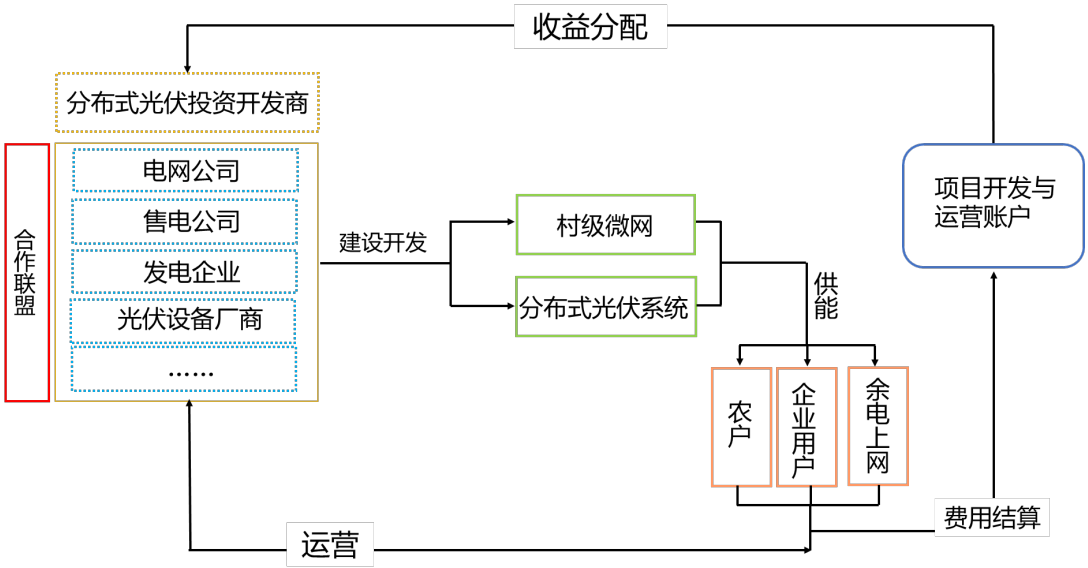


图 6-11 企业合作开发模式

企业合作投资开发模式通过建立合作联盟来达到放大融资能力、分担投资风险的作用，并且各合作主体也可以有效将技术、人才、资金、客户群体等不同特长或优势相结合，优势互补，优化合作。并且也从宏观角度来说，通过对各类资源的整合将有利于促进分布式光伏商业模式的进一步的发展。模式整体效益不变，但是该模式涉及利益分割，各个投资主体获得的收益相比较独立投资开发模式相比会减少。若初期合同签署的利益分配方法不明确，易引起资金纠纷，合作主体彼此之间存在较强的依赖性，一旦一方撤资或者不继续进行合作将直接导致资金链断裂，项目将难以持续，造成企业的巨大风险。

因此，该种模式依然以行业头部企业作为合作主体，并且在投资过程中需要对项目的管理工作进行一定程度的协调。

6.5 可再生能源发展对青海省低碳目标贡献预测

基于 2.2 节中青海省可再生能源的资源量统计，分理想情景和保守情景预测

可再生能源开发利用趋势。

理想情景下，到2030年，供给侧，生物质和农村屋顶光伏均开发至30%左右，30%的供热农房进行了围护结构改造，农村屋顶光伏发电优先自用，农村生物质开发量和屋顶光伏发电量合计折算标煤量约为116万tce。需求侧，农村生活能耗约为284万tce。碳排放方面，2030年净输出能源可减少碳排放132万吨。到2050年，生物质和农村屋顶光伏均开发至90%左右，且90%的供热农房进行了围护结构改造，农村此时已无直接燃烧产生的碳排放，输出能源可用于替代化石能源碳排放约320万吨。投资需求方面，2030年用户侧改造总投资约162亿元，生物质和农村屋顶光伏投资约298亿元。2050年，用户侧总投资增加约26亿元，生物质和农村屋顶光伏总投资增加约596亿元。

保守情景下，到2030年，供给侧，生物质和农村屋顶光伏均开发至15%左右，15%的供热农房进行了围护结构改造，农村屋顶光伏发电优先自用，农村生物质开发量和屋顶光伏发电量合计折算标煤量约为58万tce。需求侧，农村生活能耗约为289万tce。碳排放方面相比2018年可净减少碳排放139万吨。到2050年，生物质和农村屋顶光伏均开发至50%左右，且50%的供热农房进行了围护结构改造，农村此时已无直接燃烧产生的碳排放，输出能源可用于替代化石能源碳排放约128万吨。投资需求方面，2030年用户侧改造总投资约96亿元，生物质和农村屋顶光伏投资约149亿元。2050年，用户侧总投资增加约57亿元，生物质和农村屋顶光伏总投资增加约347亿元。

目前，青海省散煤消耗量为144.84万tce，未来，如果将所有屋顶光伏和生物质都有效开发，并且所有供热农房均进行围护结构节能改造，则青海省散煤和散烧生物质将完全清零，农村此时已无直接燃烧产生的碳排放，向城市输出能源可用于替代化石能源碳排放约373万吨，总共相当于减少碳排放735万吨。

7 总结与建议

7.1 总结

项目通过调研摸清了青海省农村能源利用现状及存在的问题，结合卫星图像和神经网络算法，统计了青海省农村可再生能源资源量，梳理了“十三五”期间清洁取暖试点城市的实施模式，总结了其存在的问题和经验。同时通过技术方案

的对比明确了青海省农村散煤治理的路径，主要形成了如下结论：

（1）全面分析了青海省能源消费尤其是农村地区能源消费现状。青海省煤炭消费总量自 2016 年开始持续下降，电力消费占比逐年增加。青海省农村地区生活用能总量约为 367 万 tce，占全社会能源消耗总量的 8.6%。其中散煤 204.5 万 t（折合 144.8 万 tce）、液化气 1.1 万 t（折合 1.9 万 tce）、电 7.2 亿 kWh（折合 22.2 万 tce），非商品能生物质 345.6 万 t（折合 198 万 tce），商品能和非商品能分别占 46%和 54%，户均能源消耗量约 5.4tce/a。

（2）通过卫星图像和 U-net 神经网络相结合方法，统计了青海省屋顶太阳能光伏和生物质资源现状：城镇屋顶光伏总装机潜力为 346.6 万 kW，年发电潜力为 51.6 亿 kWh。农村屋顶总装机潜力为 1662.9 万 kW，年发电潜力为 247.7 亿 kWh。年生物质资源潜力约为 972 万吨，但其分布分散，无集中加工利用价值。因此可再生能源开发应以屋顶光伏开发为主。

（3）在农房围护结构节能改造方面，青海省率先开展了被动式太阳能暖廊应用，并及时总结近年来被动式太阳能暖廊方面的经验和研究成果。根据前期的调研，青海省大部分农房实施了被动式太阳能暖廊的工程，但是部分农户反应太阳能暖廊施工质量差，甚至 “冬冷夏热”，没有达到预期效果。丰富的太阳能资源条件是青海省农村散煤治理改造中得天独厚的优势，应继续推动太阳能暖廊建设，同时提升太阳能暖廊的施工工艺和设计，提高其节能保温效果。

（4）青海省农房形式多样，建筑面积较大但实际采暖面积小，建筑材料老旧，围护结构保温性能差。墙体、屋顶、地面等基本未采取保温措施，绝大部分房屋外墙为水泥抹灰墙或裸露的砖墙。少数地区农房实施了外墙局部外保温。总体来看，青海省农房围护结构保温性能差，导致冬季采暖能耗较高。因此要坚定不移地把农房围护结构节能改造放在散煤治理的突出位置上。

（5）目前青海省部分农村地区已开通天然气，解决了农户的采暖和炊事需求，青海省气价相对较低，“煤改气”成为了受欢迎的改造方式之一。但是绝大部分农村地区仍以散煤和生物质直接燃烧为主，效率低，污染排放严重。且大部分炉具并未连接散热器，很大一部分热量直接随烟气排至室外。有些农户将燃烧热源直接置于室内，加重了室内空气污染，同时存在一氧化碳中毒和火灾风险。牧区农房的此类问题尤为严重。

（6）根据前期的调研，青海省农房按照空间格局可以分为三大类：大三间式农房、类三间式农房、四间式农房，其中四间式农房占比最大，约占 40%以上。农户的供热需求分为三大类：全时间全空间供热、全时间部分空间供热、部分时间部分空间供热。因青海省处于严寒地区，但农村常住人口较少，全时间部分空间采暖占比最高，约占 50%。不同的农户对供热的要求不同，将会导致散煤替代的路径有较大差异，因此，需科学地选择合理的技术路径。

（7）利用 DeST 能耗动态模拟软件，基于典型户型，模拟计算了不同围护结构改造材料和散煤治理设备的节能率。基于青海省农村实际，形成了青海省农村“菜单式”散煤治理综合技术方案。基于生态环境保护优先、技术经济优化及本地可再生能源分布特点，分别给出了青海省典型农宅三类取暖模式下的“金”、“银”和“一般”方案。三间采暖及两间采暖的金牌方案为低温空气源热泵热风机或倒倾角太阳能集热器技术路径；一间采暖推荐蓄热式电暖器技术或低温空气源热泵热风机技术；牧区推荐清洁生物质技术。

（8）青海省气候严寒，农户必须持续性采暖，采暖能耗较高。在做好节能改造和科学选择技术路径的前提下，本研究提出符合青海省农村实际的“四一”模式，即“初投资每户不超过 1.5 万元，无补贴的年采暖费 1500 元左右，设备一键式智能化操作，并整体建立在一个顶层规划”。项目研究表明，该模式在青海省农村地区可行，可大力推广。

（9）青海省农村散煤治理应建立以“企业为主、政府推动、农户参与”的发展模式。主导企业应为头部企业设立的农村清洁能源综合运营商。可再生能源开发以分布式屋顶光伏开发为主，同步推进农村微电网建设，在满足农村自用电的前提下，实现稳定电力外输，让农村家庭变成零碳甚至负碳。农户从“买炭翁”变成“卖碳翁”。分布式光伏开发商业模式应以“企业联合开发”和“企业独立开发”为主，“农户独立开发”为辅。

（10）青海省农村散煤治理应建立“被动式节能优先、主动式节能优化、菜单式方案优选、分布式能源开发”递进式发展路径，争取在 2030 年前后实现农村地区散煤清零。未来，如果屋顶光伏和生物质都有效开发，并且供热农房均进行围护结构节能改造，散煤和散烧生物质可完全清零，同时向城市输出能源可用于替代化石能源碳排放约 373 万吨，总共相当于减少碳排放 735 万吨。

7.2 建议

（1）大力推进太阳能暖廊+经济型节能保温，全面提升用户侧能效

根据调研结果显示，青海省农村地区建筑大部分增设了被动式太阳能暖廊，但绝大部分未做墙体和门窗的节能保温改造，导致采暖季能耗较高，室内温度较低。因此在大力推广被动式太阳能暖廊的同时，积极开展农村地区建筑屋顶、外墙和门窗的节能改造。改造应坚持经济、适宜、本地化的原则，科学制定和评估节能潜力，推广“菜单式”经济型靶向节能保温改造，坚持“大用大保，小用小保，不用不保”的建筑围护结构保温理念，避免不顾建筑实际使用特性，“一刀切”地对整个建筑进行保温的做法。

（2）着力推动符合青海农村实际的准“四一模式”在农村散煤治理中的应用

基于青海省农村地区气候条件和农户的用能习惯，项目提出符合青海省农村实际的“四一”模式，即“初投资每户 1.5 万元左右，无补贴的年采暖费 1.5 千元左右，设备一键式智能化操作，并整体建立在一个顶层规划”。若选取合理的技术路径，完全可行，如经济型保温+高效的低温空气源热泵热风机、倒倾角太阳能集热器技术以及蓄热式电暖气等，该模式应在农村地区推广。

（3）重视发展农村屋顶光伏资源推动农村全面电气化

充分利用青海省丰富的可再生能源资源，大力推进农村屋顶光伏建设，并积极推广光伏发电在农村生产生活中的应用。充分利用光伏、光热、水电、风电等多种形式的可再生能源，推进“源网荷储”一体化微能源网建设，达到少用或不用甚至反哺市电的目标，探索农村能源自给或外送途径。对于经济条件良好的农村地区，在上述微能源网建设的基础上，可以适当打造若干直流建筑示范项目，探索建立适合农村电气化和零碳用能新模式，为未来的建筑用电模式的革命迈出第一步。

（4）注重可再生能源开发助力乡村振兴战略

立足于青海省丰富的可再生能源资源，大力太阳能、水电等可再生能源，结合农户生产生活需求，推进“屋顶光伏”、“农光互补”、“鱼光互补”、“牧光互补”等，实现农村土地粮食和生物质能源“双生产双输出”、闲置屋顶资源化，促进农业增效、农民增收。同时通过市场化运行，助力乡村振兴，形成农村可再生能源新产业，带动社会资本投入，破解未来资金、减污降碳等难题。基于青海省双

控目标，理想情景下，到2030年，生物质和农村屋顶光伏均开发至30%左右，投资约298亿元，净输出能源可减少碳排放132万吨。到2050年，生物质和农村屋顶光伏均开发至90%左右，投资增加约596亿元，输出能源可用于替代化石能源碳排放约320万吨。

（5）建立“企业主导、政府推动、农户参与”的新机制

目前，散煤治理项目依然是“政府主导，企业配合”的局面，导致“市场失灵”和“政府失灵”的问题凸显，未来农村散煤治理应建立“企业主导、政府推动、农户参与”的新机制，政府的补贴仅仅起到“药引子”的作用，刺激社会资本投入，引导头部企业设立农村清洁能源综合运营商，以资金源动力带动体制和机制创新，打破各种部门和利益集团约束，形成持续创新能力，真正发挥市场在资源配置中的决定作用和政府的引导作用。以市场的方式，在突破体制、完善市场、整合资源等方面形成独立平台，在技术支撑、模式创新、产业发展方面形成原动力。

（6）探索“以奖代补”新模式

“以奖代补”就是用奖励机制取代财政补助“杠杆”，将政府“主办”变为“协办”，将企业“配合”变为“主导”，将农户“要我参与”变为“我要参与”，从“要我做”变为“我要做”，充分调动群众的积极性、主动性和创造性，激发农户自主参与散煤治理的积极性。同时建立配套的奖惩制度，对于骗补、挪用补贴资金等违法行为，一经发现，从重处罚，并通过媒体公开曝光，追究有关责任人的行政责任，加大违法者的违法成本。

（7）提高农村建筑节能能力建设

根据入户调研，农户普遍反映被动式太阳能暖廊施工材料质量参差不齐、施工质量差，效果并不理想，“冬冷夏热”现象严重。因此应提高农村建筑节能能力建设，紧扣“乡村振兴”战略，加强农村建筑工匠技能培训，提高其农房节能设计和建造能力。充分挖掘本地长期积累的节能技术资源和民间能工巧匠的作用，在农村创建技术服务机构、培训机构，形成人人参与、鼓励创新、提升质量的创新型技术发展和管理新模式。政府既要加强对农民的知识普及，发放指南和手册，同时要加强对企业的监督管理，严格市场资质评估，严禁质量不过关材料和技术不过关的施工队进入农村。