



青海省被动式太阳能采暖方式调查

□ 中国建筑科学研究院 马文生

□ 青海建筑职业技术学院 庾汉成

□ 青海省住房和城乡建设厅 冶小平

□ 青海新能源集团 党建国

摘要

青藏高原是一个多民族聚居的地区,属于典型的高原大陆性气候,具有干燥、少雨、多风、寒冷、日照时数长等特征。被动式太阳能供暖是太阳能利用领域中比较简单实用、行之有效并且在经济上能与常规能源相竞争的一种应用技术。在民居建设中推广应用太阳能,对节约能源,保护大气环境,改善广大农牧民生活水平具有十分重要的现实意义。本文通过对部分太阳能应用实例的调查与分析,探讨适合高原藏区民居建筑的太阳能应用方式。

关键词

0.引言

青海省太阳能采暖建筑的应用起步于二十世纪七十年代,先后在全省农村、牧区推广建设了一批深受群众欢迎的不同形式的被动式太阳能采暖建筑和太阳能热水器,改善和提高了城乡居民的生活质量。青海省太阳能采暖建筑以被动式太阳房为主,广泛用于城镇住宅、农牧民住宅、中小学校教室、综合办公楼、乡村

卫生院、敬老院、疗养院、光伏电站机房、光伏水泵站房、输油泵站房、通讯基站机房等众多领域。

1.青海省自然条件及农牧民生活现状分析

1.1自然条件与气候特点

青海省地处我国西北部，青藏高原东北部，位于东经 $89^{\circ}35' \sim 103^{\circ}04'$ ，北纬 $31^{\circ}39' \sim 39^{\circ}19'$ 之间。其东和东北侧与甘肃省相接，东南与四川省为邻，西南与西藏自治区毗连，西北与新疆维吾尔自治区接壤。全省东西长约1200km，南北宽约800km，总面积72.12万 km^2 。其中，可利用的草地3160万公顷，耕地54.22万公顷，森林25万公顷，其余为高山、湖泊、江河、戈壁、冰川等。面积仅次于新疆、西藏、内蒙古自治区，居全国第4位。

青海是青藏高原的一部分，地域辽阔，地势高峻，与西藏自治区同称为“世界屋脊”。全省平均海拔在3000m以上，其中海拔低于3000m的地区只占全省总面积的15%，高于4000m的地区约占61%。省内地貌复杂多样，境内横穿多条1000km以上的大山脉，海拔5000m以上的山脉大都终年积雪，广布冰川。全省最高海拔为6860m，最低海拔为1600m左右。

青海省气候属于典型的大陆性气候，由于地处高原，形成了干燥、多风、寒冷、缺氧气候特征。气温地区分布差异大，垂直变化明显，气温较低，日差较大，年差较小，冬季漫长、夏季凉爽。全省年平均气温 $-5.7 \sim 8.5^{\circ}\text{C}$ 。降水量少，垂直变化明显，降水地区差异大，东部雨水较多，西部干燥多风，属于季风气候区。大部分地区每年5月中旬以后进入雨季，至9月中旬前后雨季结束，全年全省平均降水量342.1mm毫米。气象灾害较多，大风、沙暴日数多，常见的气象灾害主要有干旱、冰雹、霜冻、雪灾和大风。青海省的冬季寒冷而漫长，却具有着丰富的太阳能资源，日照时间长，太阳辐射强。全年日照时数在2314~3650h之间，全省总辐射量在 $5637 \sim 7420 \text{ MJ} / \text{m}^2$ ，在全国各省、自治区、直辖市，仅次于西藏而居第二位。民居建筑非常适合利用太阳能来进行取暖。

1.2 生活现状、用能情况调查

青海省地处青藏高原，绝大部分地区冬季采暖期都在半年以上，部分地区甚至需要全年采暖，有些城镇建筑能耗已接近当地社会总能耗的一半左右，全省建筑能耗超过全国平均水平。全省年能源消费总量达到2263万吨标煤，建筑用能在能源总消耗中占比例约为28%，随着青海省城镇化进程不断加快和居民生活水平的提高，建筑用能迅速增加，由于经济和历史原因，青海省建筑节能工作起步晚，发展水平低，既有建筑95%以上未按建筑节能设计标准建造，属高耗能建筑。青海省建筑节能面临的形势十分严峻。

青海省农村能源资源匮乏，农村用能以秸秆、畜粪、煤炭和薪柴为主。按农村生活水平的差异的调研结果显示，约有10%的农户生活相对较好，25%的农户生活水平一般，65%的农户生活水平相对较低。以5口之家一年的生活用能为标准模式，户均生活用能量约为1625kg标煤，人均约325kg标煤。其生活用能以秸秆为主体，约占整个生活能耗的46%；其次是主要用于煨炕的畜粪，约占整个生活能耗的21%；第三是主要用于冬天取暖的煤炭，约占整个生活能耗的20%；第四是薪柴，约占13%。牧区

百姓则主要采用畜粪做为主要能源供给。青海广大农牧区交通不便，经济发展落后，常规能源匮乏，气候寒冷，用能需求巨大。

青海省农村用能可以归类为：

①玉树州部分乡镇及农牧区采暖供热主要以燃烧牲畜粪便和极少量燃煤炉来实现，部分有使用间断性电供热。

②果洛州部分乡镇及农牧区采暖供热主要以牲畜粪便的燃烧和少数燃煤炉来实现。

③海南州、黄南州部分乡镇及农牧区供热主要以燃煤炉、土炕，秸秆的燃烧取暖为主。

④海北州部分乡镇主要以小型锅炉和燃煤炉取暖为主，农牧区以燃煤炉、牲畜粪便的燃烧取暖为主。

⑤海西州部分乡镇农牧区建筑用能主要以煤为主，辅以牲畜粪便和秸秆的燃烧。

⑥海东市部分乡镇及农村地区大多均采用土暖气、小火炉及土炕供热取暖，秸秆的燃烧取暖也普遍存在，主要燃料为煤、秸秆。

⑦西宁市郊区及大部分农村地区采暖供热主要以土暖气及原始的一家一户一个小火炉为主。

2. 被动式太阳能采暖技术的应用调查

太阳能被动采暖技术是指靠房屋结构本身来完成集热、贮热和释热功能的采暖系统。被动式太阳房按集热形式大致可以分为五类：①直接受益式，②集热蓄热墙式，③附加阳光间式，④贮热屋顶式，⑤自然对流回路式等。虽然被动式太阳房形式的工作原理、热工特性以及基础理论研究工作已经比较成熟，实际的应用工程项目也很多，但是青海省民居建筑中如何选择适合的太阳能应用方式仍然是需要我们继续努力探讨的重要内容。太阳能建筑的应用与当地的经济发展、地理气候和太阳能资源状况等多个方面有着密切地联系。几十年来许多科技工作者在这方面做了很好的探索和实践，我们主要针对实际项目做了一些调研工作，希望从实际工程的应用中找出更为适合的被动式太阳能应用技术，详见表2.1。

另外，1999年，结合“中国农村卫生院被动式太阳能暖房全球环境基金项目”建造了30余座乡镇卫生院，并对其室内外温度进行了一个采暖期的采集和研究分析，太阳能采暖卫生院的室温达到 $11 \sim 12^{\circ}\text{C}$ 。2002年伴随我国“光明工程”送电到乡、2005~2007年结合“中德财政合作项目（KFW项目）”共设计建造不同形式光伏电站被动式太阳能机房200余座，均采用直接受益、集热蓄热墙、附加阳光间的集热方式及三种相结合的混合集热方式的太阳能采暖形式。经热性能系统测试分析，当冬季室外平均温度为 -11.67°C 时，室内平均温度为 4°C ，室内外最大温差达 23.4°C ，详见表2.2。2006~2007年为“青海三江源自然保护区生态保护和建设工程”设计建造不同形式被动式太阳能小学教室55座。以上所建设的卫生院、太阳能机房、太阳能校舍均采用被动式太阳能采暖太阳房，即集热墙、附加阳光间或者二者相

表2.1 高原地区部分太阳能项目应用情况一览

序号	项目名称	建设时间	建设地点	太阳能应用方式	项目运行基本情况及存在问题
1	刚察县泉吉乡邮电所	1979年	刚察县	Trombe墙式太阳房	整个采暖期内在不使用辅助能源的情况下，太阳房内的温度一般可维持10℃以上。
2	格尔木气象站	1981年	格尔木市	采用南向集热蓄热墙集热，上下风口自然循环的被动式采暖方式。	采暖期内经测试，在不加辅助热源条件下，室内平均温度可基本保持在10℃以上。
3	湟中县多巴镇邮电局	1983年	湟中县多巴镇	南墙采用环型双玻带瓦垄铁吸热板的空气集热器，将热风利用电扇吹进预制空心板的孔中，地板蓄热向室内辐射供热采暖。供热可由开启风机控制，管理方便，太阳能与建筑结合紧密。	在无辅助热源情况下，当室外最低温度为-13℃时营业室最低温度12℃，最高温度20.8℃。该工程施工质量粗糙，钢窗缝隙过大，北墙没有足够保温措施，北窗过大且未按设计设保温窗帘，夜间热损大，降低了冬季采暖效果。
4	化隆Ⅰ号农用太阳房	1985年	化隆县	采用整个南墙为集热蓄热窗的采暖方式，单层型钢窗，南墙外加一层塑料布。	在当地冬季平均室外温度-3℃，最低达-18℃时，该太阳房不使用任何辅助热源情况下，室内平均温度为10.9℃，最高达22℃，最低为3℃。
5	德令哈农用太阳房	1985年	德令哈市	采用直接受益和特隆布墙相结合的集热蓄热方式，充分考虑了每个集热蓄热单元均便于清洁和维修。	在没有任何辅助热源的情况下，室外平均气温在-13.3℃时室内平均气温保持在8.5℃以上，太阳能贡献率达90%。
6	平安农用太阳房			由附加阳光间、直接受益式、间接受益式三结合，砖混结构、独户太阳房住宅。	经过整个冬季采暖期，在室内完全无辅助热源的情况下，该太阳房平均室温11.7℃，昼夜温度波动小，太阳房平均室温对比房高出8.2℃，热舒适性好，宽敞明亮。
7	民和县大庄乡的五幢农用太阳房	1985年	民和县	采用自然对流式的太阳能采暖方式，即太阳能加热空气集热器，集热器热量循环上升加热暖炕	暖炕温度高达35℃左右，效果比较理想。
8	平安农用太阳房	1988年	平安县	，建成由附加阳光间、直接受益式、间接受益式三结合农用被动式、砖混结构、独户太阳房住宅。	经过整个冬季采暖期，在室内完全无辅助热源的情况下，该太阳房平均室温11.7℃，昼夜温度波动小，太阳房平均室温对比房高出8.2℃，热舒适性好，宽敞明亮。
9	民和县大庄乡的五幢农用太阳房	1988年	民和县	采用自然对流式的太阳能采暖方式，即太阳能加热空气集热器，集热器热量循环上升加热暖炕，	暖炕温度高达35℃左右，效果比较理想。
10	黄南州气象局太阳能采暖楼	1991年	黄南州	为四层砖混结构建筑，南立面400m ² 玻璃钢窗，钢窗与采光窗间留有500mm厚夹层；每层楼与楼间夹层用水汽踏板隔开，防止热空气全部上升到四楼，同时便于维修和擦洗玻璃。踏板还可以起到蓄热墙的蓄放热作用，增加受热面积。墙体涂黑256m ² ，每间房留有上下各两个360×240（mm ² ）通风洞；东西墙体为490mm厚，中间夹有锯末以保温。建筑物北部设走廊作为缓冲过渡区。	太阳能采暖后，烤火期缩短一半，期间用电炉辅助取暖。太阳房比不采暖房室温高9~9.7℃。在不使用辅助热源情况下，太阳房室温一般保持在10℃以上，最高达23℃。室温大于20℃天数为10天。日平均室温最低8.4℃，最高18.4℃，平均室温14.5℃，高于室外平均气温17℃左右。
11	共和县太阳能光伏电站机房	1993年	共和县	联合国援建项目，采用附加阳光间的形式	效果良好，冬季室外零下26℃时，室内可达6℃，且维修比较简单，至今仍在使用，被选为1993年青海省十大科技新闻加以宣传报道。
12	索南达杰自然环境保护站	1998年	可可西里	采用附加暖廊和太阳能空气集热器机械循环的主动式太阳能供热，并利用燃油锅炉辅助供热。空气集热器热风机机械循环风机功率90W。	太阳房较不采暖房对比，室温高出15~20℃，高于室外气温24~28℃。

表2.2 部分光伏电站被动式太阳能机房实际测试数据

电站所在地	地 理 位 置		海 拔 [m]	太 阳 年 总 辐 射[kWh/m /y]	采 暖 形 式	建 筑 面 积 [m²]	冬季平 均温度 [室外]	冬季平 均温度 [室内]	备 注
	经 度	纬 度							
玉树县上拉秀乡	96° 97 '	33° 03 '	4100	1766	直接受益+ 集热蓄热墙	83.66	-8.5	5.8	
大柴旦工委马海	95° 36 '	37° 85 '	3980	1820	集热蓄热墙	52.53	-10.7	8.7	活动板房
祁连县热木尔村	100° 50 '	37° 33 '	3350	1860	直接受益+ 集热蓄热墙	45.74	-13.5	-0.9	
祁连县克不图村	100° 51 '	37° 34 '	3320	1860	直接受益+ 集热蓄热墙	38.15	-12.3	-1.0	
玉树县格日村	96° 97 '	33° 03 '	3800	1766	直接受益式	60.64	-3.5	4.8	
刚察县恩乃村	100° 06 '	37° 33 '	3350	1880	直接受益+ 集热蓄热墙	79.14	-10.9	-1.3	
都兰县农业东村	96° 18 '	36° 20 '	2800	1919	直接受益+ 集热蓄热墙	65.48	-12.3	1.3	
注：表内冬季平均温度〔室内〕指光伏电站机房蓄电池室室内温度。									

结合的形式，均取得了良好的效果，得到了当地政府及所在组织的大力称赞。

通过调研结果可见，被动式的太阳能应用在青海省的农村、牧区民居建筑中应该成为主导应用方式，应在实际中得到进一步推广，应用方式和技术措施应该进一步提高和发展。

3. 存在问题

青海省自开始采用太阳能采暖技术以来，一系列的太阳能采暖建筑工程项目先后得到实施，有政府或公益部门安排资金组织建设的示范项目，也有普通居民自筹资金自发建设的较为分散的太阳能房项目。这些项目一方面提高了居民的居住的舒适性，另一方面也取得了显著地节能效益。同时，在项目建设的过程中一些常规技术的应用也逐渐成熟起来，相关技术人员也积累了一系列的设计和建设的经验。但是，调研的过程中，也发现了一些问题，具体如下。

3.1 设计队伍的专业化水平不够

部分太阳能采暖建筑在建造没有进行完善的热工计算和热工设计，特别是不少被动式太阳能采暖建筑，农居用房，在不了解被动房及其部件集热、传热机理和作用的情况下，自行设计建造，没有统一的规范及技术指导，无法做到因地制宜地合理应用技术，从而导致集热和采暖系统运行效果不理想。部分主动式太阳能采暖建筑因系统设计缺陷，导致辅助电加热系统长期处于工作状态，采暖电耗很高，经济型差。这集中反映了系统的设计队伍专业化水平还有待提高。

3.2 相关技术标准需要进一步的修订和完善。

从国家层面来看，被动式太阳能采暖相关一些国家标准《被动式太阳房热工技术条件和测试方法》(GB/T 15405-2006)和行

业标准《被动式太阳能建筑技术规范》(JGJ/T267-2012)已陆续出台，青海省也出台了《青海省被动式太阳能采暖工程技术规程》(DB63/948—2010)和《青海省低层民用建筑平板主动式太阳能供热采暖系统应用技术标准》(DB63/928—2010)，不过一些工程施工和性能评价方面的标准还存在明显的缺位，另外在已有标准执行过程中也存在一些问题，需要进一步的修订。

3.3 对建筑外围护结构的重要性认识还需要进一步提高。

早期的部分被动式太阳能房项目简化甚至省去了建筑外围护结构施工，或者建筑外围护结构粗糙，使得建筑自身的保温隔热效果大打折扣。也有一些早期农村太阳房所使用的塑料薄膜等保温材料的使用寿命较短，部分被动房保温材料产品质量和施工质量达不到规范要求，从而影响了被动式太阳房的采暖效果。

3.4 项目施工的专业化水平还不够。

不少农居被动式太阳能房没有仍然采用自建方式，没有委托专业的被动房施工队伍，或者即使委托了专门的施工队伍，但因没有相关的施工和建设手续，缺乏监督,项目施工质量达不到要求，因此，项目运行效果不理想。主动式的太阳能采暖建筑也存在同样的问题，需要打造专业化的施工队伍。

3.5 科研投入不够，技术创新较慢

太阳能采暖建筑方面的技术研发主要包括两个方面，一方面是新型材料的研发，新型材料价格相对较高，缺乏与普通材料的竞争力，技术的创新能够大幅降低成本投入，便于推广；另一方面，系统集热部件的发展方向是实现和建筑的一体化,推动集热和蓄热部件建筑构件化生产是发展趋势,大力支持这个方面的研发和创新是具有非常重要意义的，但是，因这两个方面的科研投入还不够，技术革新步伐并不令人满意。

3.6 运行管理和技术培训不够

在被动式太阳能采暖建筑运行管理方面相对比较简单，只需要掌握进气孔和排气口的打开和闭合，集热部件灰尘的清理等操作方法就可以了，但是，调研中我们还是发现部分居民不清楚进出气孔的打开和闭合时间要求，甚至有用其他物件堵塞进气孔的现场，这显然是对居民的培训不够导致的运行管理问题。

对于主动式太阳能采暖建筑来说，其系统更为复杂，运营管理难度大，技术培训更为重要，系统的运行效果显然跟运行管理情况息息相关，调研中我们也发现一些项目集热器积满灰尘，热水管道保温层破损等现象，影响系统性能。

4. 建议

综合考虑青海省的气候特点、生态地位、太阳能资源特点、以及建筑用能特点等方面，在青海省发展太阳能采暖建筑是非常适宜的，这已经成为青海省推动建筑节能工作的一个重要内容，推广潜力很大。针对第五章中提高的在推进太阳能采暖建筑应用的过程中存在诸多问题，经过分析，提出以下建议：

4.1 因地制宜地选择适宜的太阳能采暖的技术形式

依据主被动式太阳能采暖技术类型的适宜性不同，结合考虑建筑物业主的不同情况，选择适宜的技术类型。城镇居住建筑屋顶面积充足的多层居住建筑，在建设资金充足的情况下，可以推广应用主动式的太阳能采暖技术；学校、医院、孤儿院、养老院、寺院、农牧区、游牧民定居点等公益性项目优先采用被动式太阳能采暖应用技术，以满足农牧区人们的采暖需求；沿天然气管线一带及附近城镇高层住宅可以考虑采用主动式太阳能采暖技术，可以采用壁挂炉锅炉作为辅助加热。

4.2 重视学科教育和技术培训，

培养太阳能采暖建筑专业化的技术队伍

太阳能采暖建筑是一个新领域，专业人才普遍缺乏，没有响应的学科培养渠道，目前青海建筑职业技术学院太阳能工程应用技术专业也是刚刚成立，其他大中专院校均未设置相关专业，太阳能采暖建筑应用技术人才严重不足。因此，针对这种情况，一方面，大中专院校要积极争取完善学科建设；另一方面，要多组织太阳能采暖建筑应用相关的技术培训活动，积极邀请省外专家来青进行技术交流和培训，提高青海省相关人才队伍的水平。

4.3 加快推进技术标准、施工图集、建设指南等的编制和修订工作

4.4 加大科研投入，促进技术革新

太阳能采暖建筑集热和蓄热新材料的研发，集热部件和建筑一体化建筑构件的开发，保温隔热新材料的研发等都是推动太阳能采暖技术进步的重要研发内容，需要舍得进行研发投入，以促

进相关技术的突破性进展。

4.5 加大宣传力度，普及对太阳能采暖建筑的正确认识

无论在设计、施工、还是运行维护中存在的一些问题，都与我们对太阳能采暖建筑的认识不够有关，加大宣传力度，纠正已有的一些错误观念，科学地认识和推动太阳能采暖建筑的应用是非常必要的。

4.6 在进行既有建筑节能改造的项目中

可以采用适宜的太阳能采暖技术

目前，全国都在开展既有建筑的节能改造工作，对一些高能耗既有建筑，如具备相应的技术和资金条件，提倡采用适宜的太阳能采暖技术进行改造。

5. 结语

按照城镇供热方式发展农牧区的集中供热显然是农牧区经济状况所不能支撑的，也是我国能源供应所不可承受的。对于新建的民居建筑采用太阳能采暖方式是解决高原藏区广大群众住宅采暖的关键。在住宅建设过程中还应特别注意太阳能与建筑的一体化设计，尽量减少太阳能系统对环境和建筑本身带来的不利影响，在建设中实现人—居—环境关系的和谐发展，是符合当地特殊条件的“适宜技术”，是与当地社会经济的发展水平与速度相吻合的。

目前，全世界都在倡导“可持续发展”策略，太阳能具有巨大的开发空间与潜力。我们必须抓住时机，大力推进，从被动式太阳能技术着手，逐步加入主动式技术。尤其针对处于高寒地区的高原藏区而言，因为它不仅常年处于恶劣的气候环境当中，而且经济条件、思想意识都相对落后，这就更需要挖掘其潜在优势，因地制宜，实施可行的太阳能利用技术策略。与此同时，还必须加大宣传力度，使这一新兴技术深入人心，使广大牧民群众真切地体会到这一技术的优越性和必要性，以减少技术推广的阻力。C

