

文章编号: 1671-6612 (2025) 01-082-07

川西高原农宅采暖现状现场调查及发展对策研究

马荣江 易禹豪 邓梦思 章鹏鑫 胡昌越 李金伟

(西南交通大学 成都 610031)

【摘要】 通过对川西高原 6 县和对比 3 县共 562 户农户开展现场调查, 结果显示川西高原农宅具有强烈的采暖需求, 冬季采暖时间长, 采暖强度大。火炉在兼顾炊事同时也作为该地主要的采暖方式, 冬季的室内舒适性可接受程度较夏季有所下降。针对现有挑战, 建议国家将川西高原纳入中央财政支持的采暖区, 系统推进建筑采暖和人居环境改善, 全面推动以零碳建筑为基础的川西高原能源结构转型和可持续发展。

【关键词】 川西高原; 农宅; 采暖需求; 发展对策
中图分类号 TU832 文献标志码 A

On-site Investigation of the Current Situation and Development Strategies for Space Heating in Rural Housings on the Western Sichuan Plateau

Ma Rongjiang Yi Yuhao Deng Mengsi Zhang Pengxin Hu Changyue Li Jinwei
(Southwest Jiaotong University, Chengdu, 610031)

【Abstract】 This paper investigates the current situation and actual demand for space heating in rural housings on the Western Sichuan Plateau by conducting an on-site survey of 562 rural households in six counties and three contrasting counties, and the results show that rural housings on the Western Sichuan Plateau have a strong heating demand, with long heating times and high heating intensity in winter. Stoves are used as the main heating method in this area while taking care of cooking, and the acceptable level of indoor environment in winter is decreased compared with that in summer. To address the current challenges, this paper suggests that the state should include the Western Sichuan Plateau in the centralized financial support for heating areas, systematically promote space heating and living environment enhancement, and comprehensively promote the transformation of the energy structure and sustainable development of the Western Sichuan Plateau based on zero-carbon buildings.

【Keywords】 Western Sichuan Plateau; Rural housing; Heating demand; Development strategies

0 引言

青藏高原是我国重要的少数民族聚居区, 全域平均海拔约 4400 米, 自然条件非常艰苦, 冬季漫长而寒冷。我国传统上以秦岭-淮河为界的南北方划分将全国分为采暖区和非采暖区^[1], 同时近年来通过“暖心工程”“冬季清洁取暖”的持续推进,

西藏、青海、新疆和甘肃等青藏高原传统采暖区已经基本较好地解决了冬季取暖问题。而以四川省阿坝藏族羌族自治州、甘孜藏族自治州等为核心组成的川西高原仅因被划分在非传统采暖区, 其以冬季取暖为代表的人居环境现状和发展研究长期缺乏应有的关注。

基金项目: 青藏高原非传统采暖区采暖现状及需求调查研究 (中国建筑节能协会科技计划项目, 编号: CABEE2022HY004)
川西高原零碳建筑与城乡新型能源系统关键技术研究 (天府永兴实验室科技攻关任务重大项目, 编号: 2024KJGG26)

作者简介: 马荣江 (1985.10-), 男, 博士, 讲师, E-mail: mrj@swjtu.edu.cn

通讯作者: 邓梦思 (1992.08-), 女, 博士, 讲师, E-mail: mengsideng@swjtu.edu.cn

收稿日期: 2024-08-10

上述地区总面积约 29.8 万平方公里,虽然仅占青藏高原总面积的 11.5%^[2],但涉及人口却占青藏高原总人口 20.2%^[3]。这些地区中的绝大部分均属于我国建筑热工设计分区的严寒或寒冷地区^[4],理论上具有冬季取暖需求。

本文以川西高原为研究范围,在其严酷气候与脆弱生态环境约束下,开展农宅采暖现状及需求调查基础研究,科学认识实际采暖需求。研究结论将为后续川西高原人居环境改善技术路线制定奠定基础,同时为该区域各级政府制定相关人居环境改善政策提供决策依据,具有重要的现实意义和实际应用价值。

1 研究方法

1.1 基本研究方法与研究内容

本文通过现场调查的方法开展研究,调研内容包括地区调查和住户调查。

地区调查包括地区基础设施(交通、电力、通讯等)情况、采暖服务设施、主要经济来源、能源资源禀赋等,主要通过地区干部群众座谈等形式进行调查。

住户调查包括被调查对象的人口学特征、家庭经济状况、住房状况、人居环境、能源使用情况以及采暖现状及需求等。作为本文重要的调研内容,采用现场入户问卷调研的方式开展调查。

1.2 调研对象确定方法与结果

1.2.1 调研抽样原则

本文采用分层多阶段整群随机抽样原则。首先将川西高原作为一层,其次根据纳入选择的县地区人口数量、地区农村人口数量、地区总体经济水平和地区农村经济水平,分别抽取被调研县。在每一个确定的被调研县,按照多阶段整群随机抽样的原则确定 5 个调查点(村)。

1.2.2 调研县抽取方法及结果

在川西高原待选县中,按照建筑热工设计分区情况、人口、农业人口、人均 GDP、农村人均第一产业增加值等因素,同时兼顾生产方式(牧区、半农半牧区)情况,抽取阿坝州马尔康市、阿坝县、黑水县和甘孜州康定市、丹巴县、石渠县共 6 个县作为被调研县。

为了更好地认识川西高原相关采暖现状及需求,本文基于上述原则、方法,在四川省夏热冬冷

地区和温和地区抽取确定将绵阳市三台县、内江市威远县和凉山州冕宁县作为对比县,同步开展调查研究。综上,本文确定调研县共 9 个。

1.2.3 调研村、调研户确定方法

对于抽中的 9 县,综合考虑各村经济发展水平、冬季寒冷程度、农/牧区比例,各自确定 5 个村作为调研村。共抽取 45 个调研村。

调研户是指要入户进行调查的居民家庭。户内的每一个家庭成员均属于调查对象。在每个调研村,由当地向导(一般为村干部)按照各户经济收入水平分为高、中、低三类,每类随机抽取 4~6 户作为调研户。在入户调研过程中,若所抽选调研户无人在家或家庭成员无法有效回答调研问题,则在同类户中随机抽取等量居民户作为调研户。每个调研县的有效调研户不少于 60 户(即有效问卷不少于 60 份)。9 个调研县的有效调研户不少于 540 户。

1.3 有效调研对象总体情况

9 个调研县理论上计划调研 45 个村,实际调研村落数为 50 个村。其主要原因是实际调研过程中,出现了某些村同一类经济收入水平调研户数量不足 4 户的情况(即该村有效调研对象小于 12 户)。经综合分析确定,此类情况由当地向导在临近同类村落中随机抽取与不足户具有相同经济水平的住户作为调研户进行补足。最终,本文获得上述 9 个县共 50 个村 562 户有效调研问卷,超过初始计划数(540 户)。

2 调研村落、家庭及建筑基本情况

2.1 村落基本情况

通过地区调查发现,川西高原除部分牧业村的远牧点外,所有调研村(包括牧业村的近牧点)硬化路面交通全覆盖、国家电网电力供应全覆盖、通信网络全覆盖。但所有调研村均没有集中采暖服务设施,有采暖需求的住户均采用自采暖形式。对于主要经济来源,农区村主要是务农、务工,而牧区村主要是畜牧、采药、务工等。除电力等常规能源和太阳能等普遍性资源外,农区村典型能源资源是秸秆和木柴,而牧区村则为牛粪和木柴。

2.2 家庭基本情况

家庭人口及居住习惯情况是影响建筑能耗的重要因素。川西高原属于少数民族聚居地区,与四川省其他地区相比,这些地区在社会习俗和生

活方式上存在显著差异,从而导致不同地区的家庭基本情况也有明显差别。

2.2.1 家庭人口与人员结构

调研 9 县平均家庭总人口数为 5.0 人/户,其中川西高原 6 县平均家庭总人口数为 5.2 人/户,而对比 3 县平均家庭总人口数为 4.5 人/户。家庭常住人口(一半时间居住在所调研农宅)是影响生活用能的直接因素。各地区的夏季常住人口数和冬季常住人口数相同。川西高原的家庭常住人口数略高于对比县,各县平均家庭常住人口数均要小于平均家庭总人口数,表明无论是川西高原还是在对比县,外出务工均较为常见。

不同的家庭人口结构有着不同的用能情况,比如小孩与青年人相比,在冬季会有更多的热需求,同时由于老人较为节俭等生活习惯也会影响一个家庭的生活用能总量。总体上看,除黑水县没有老人和小孩的家庭占比较大(接近 40%)外,各调研县大多数家庭中均有老人或小孩。川西高原和对比县的家庭结构没有明显差异。

2.2.2 居住习惯

除了家庭情况之外,调研还获得了家庭成员冬季居住习惯以及室内停留时长等情况。9 个调研县中大多数被调研者表示冬季常在家,其中川西高原常在家占比略高于对比县。一方面与当地冬季气温有关,如川西高原的冬季气温低,农户会选择在家中采暖,因此常在家的居民占比较高。冕宁县属于温和地区,冬季白天的气温较高,居民选择部分时间外出进行生产、娱乐活动的占比较大,常在家的比例不到 60%。另一方面,对比县以种植业和务工为主,大多数被调研家庭需要参与农业生产,因此部分时间外出占比略大于川西高原。

虽然川西高原和对比县是否常在家的情况有差异,但总体上差距不大。然而两个地区在冬季室内停留时长上的情况就有着明显的不同。一般来说,一个地方冬季气温越低,越不适宜外出或进行室外生产劳动,即人员室内停留时间越长。川西高原绝大多数家庭冬季室内停留时长超过了 20h/天,也就意味着该地区人员冬天基本都待在室内,这是因为川西高原海拔较高,冬季寒冷,不适宜进行室外作业,因此室内成为了他们冬季主要活动场所。对于对比县而言,居民几乎不会在室内停留超过 20h/天。大多数受调研者均表示在室内停留时长为

10~20h/天或低于 10h/天,其中三台县室内停留时长低于 10h/天的家庭多于室内停留时长为 10~20h/天的家庭。

由于不同地区在房屋空间布局和居民生产生活习惯上的不同,影响着居民冬季常待房间的选择。在川西高原,受当地建筑结构及房间功能的影响,绝大部分居民冬季选择在客厅(兼厨房)(见图 1)停留,该房间同时具备厨房、客厅甚至卧室的功能,因此该房间也成为了当地居民的主要活动房间。而对于对比县来说,大多数居民冬季会在客厅停留,仅少数居民会选择冬季在卧室停留。



图 1 川西高原地区客厅兼厨房房间

Fig.1 A living room doubling as a kitchen in the Western Sichuan Plateau region

2.3 建筑基本情况

由于气候和人文条件的差异,川西高原和对比县农宅建筑区别明显。

在建筑层数上,川西高原除石渠县是以一层和二层为主以外,其他 5 县均是多层结构,其中丹巴县还有较多家庭是四层结构。对比县则以一层至三层为主,其中冕宁县以一层和二层为主,四层建筑在对比县较少见到。

在屋顶形式上,丹巴县、石渠县和阿坝县以平顶为主,马尔康市和黑水县以坡顶为主,而在康定市,平顶和坡顶的家庭数相差不大,且略多于平坡结合。对比县中仅三台县有较多平坡结合的屋顶,威远县屋顶以平顶为主,而冕宁县则以坡顶为主。

在屋顶的材料选择上,康定市和丹巴县主要是石头,马尔康市和黑水县以砖瓦为主,阿坝县主要是木制屋顶,而石渠县的屋顶会增添泡沫材料。除砖瓦以外,其他如石头等川西高原常见的屋顶材料在对比县均不常见,取而代之的是彩钢瓦、琉璃瓦

以及水泥等材料。

对于外墙来讲, 川西高原平均外墙厚度为 50cm, 其中康定市平均的外墙厚度最大 (69cm), 阿坝县 (58cm), 丹巴县、马尔康市和黑水县的平均外墙厚度较为接近, 分别为 51cm、48cm 和 51cm, 石渠县的外墙厚度最小, 为 32cm。对比县平均外墙厚度仅为 26cm, 明显小于川西高原的外墙厚度。

在外墙材料上, 石头是康定市、丹巴县和黑水县中最常见的外墙材料, 空心砖是马尔康市主要的外墙材料, 石渠县外墙材料中泡沫和石头均有较高的占比, 而在阿坝县中除了常见的空心砖和石头外墙以外, 还有较多土坯形式的外墙。而对比县大多数的建筑则选择实心砖作为外墙材料。

在窗户材料上, 木窗和塑钢窗是川西高原最主要的选择。除了塑钢和木头以外, 对比县还有更多的家庭选择了铝合金材质的窗框。

3 采暖现状与需求

3.1 冬季采暖率

根据调研结果, 川西高原 6 县中, 仅丹巴县有 2 户不采暖以外, 剩余其他农户均需要采暖。即丹巴县冬季采暖率为 97%, 其余 5 县采暖率均为 100%。而在对比县中, 由于冬季仍然会有较冷天气以及农户自身提升生活质量的需要, 部分家庭也会在冬季进行采暖。三台县、威远县与冕宁县的农户采暖率依次为 55%、38%和 89%。

3.2 采暖习惯

图 2 展示了不同时间段采暖农户的占比情况。在采暖季持续时间上, 川西高原的采暖季持续时间以及采暖农户比例都明显高于对比县。而在川西高原内, 不同地区的居民采暖需求也有所差异, 其中, 石渠县的采暖需求最大、采暖季时间最长, 从每年的 10 月上旬至次年的 5 月上旬皆有超过 80% 的农户需要进行采暖, 其次是康定市与阿坝县, 在每年的 11 月至次年 3 月, 几乎所有居民都需要采暖; 再其次是马尔康市和黑水县, 在每年的 11 月至次年 3 月都有超过 80% 的居民需要采暖; 采暖需求最低的是丹巴县, 仅在每年的 1 月与 2 月有超过 80% 的农户需要采暖。但即便在采暖需求最低的丹巴县, 在整个冬季持续采暖的农户也超过一半。相比之下, 对比县的采暖占比明显低于川西高原。

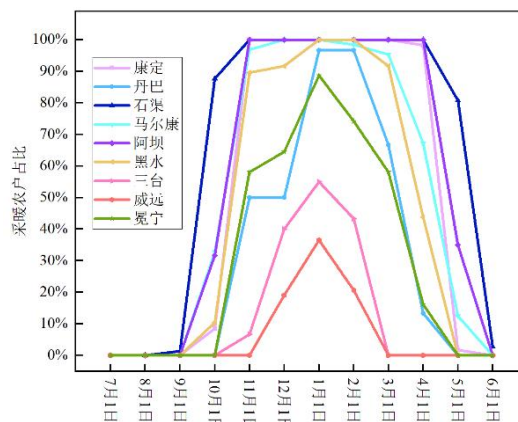


图 2 全年不同时间段采暖农户占比

Fig.2 Proportion of heating households at different time periods throughout the year

从每日的采暖时间段来看, 如图 3 所示, 绝大部分地区在晚上 21:00 至次日 6:00 的采暖农户比例都低于 10%, 而马尔康市在该时间段的采暖比例却高达 80%, 这是由于当地电热毯的普及程度和接受程度很高, 居民会在睡觉时采用电热毯进行采暖。而在夜间采暖比例相对较高的阿坝县 (超过 60%), 由于大部分居民冬季的居住房间即为火炉所在房间, 在睡觉时, 火炉处于压火状态, 利用火炉余温进行采暖。在除夜间外的时段, 川西高原石渠县、阿坝县、康定市都有超过 80% 的居民会进行采暖, 而马尔康市与黑水县的部分居民会在中午 12:00 至 15:00 暂停采暖一段时间, 但该时间段内的采暖居民总体占比依然在 60% 左右。丹巴县的主要采暖时间为晚间 18:00 至 21:00 以及早间 6:00 至 8:00。对于对比县, 整体居民采暖比例不高, 采暖时间主要集中在早上 6:00 至 9:00 与晚上 18:00 至 21:00。

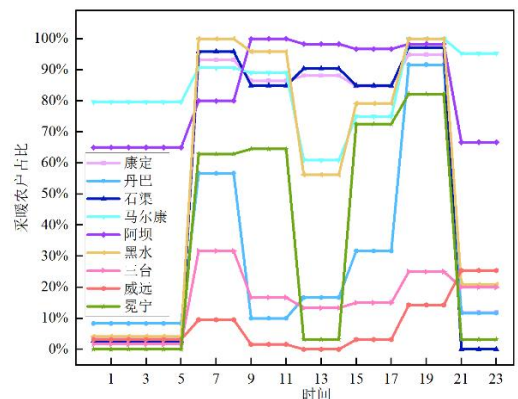


图 3 每日不同时段采暖农户占比

Fig.3 Proportion of heating households at different times of the day

在采暖模式上,如图 4 所示,川西高原康定市、丹巴县、石渠县和黑水县的大多家庭采用部分房间、部分时间的采暖方式,而在马尔康市和阿坝县中有部分家庭选择了全部时间采暖,如前所述马尔康市夜间较多使用电热毯采暖,而阿坝县在夜间较多利用压火状态火炉采暖。对比县中的三个调研县则全部采用部分房间、部分时间的采暖方式。

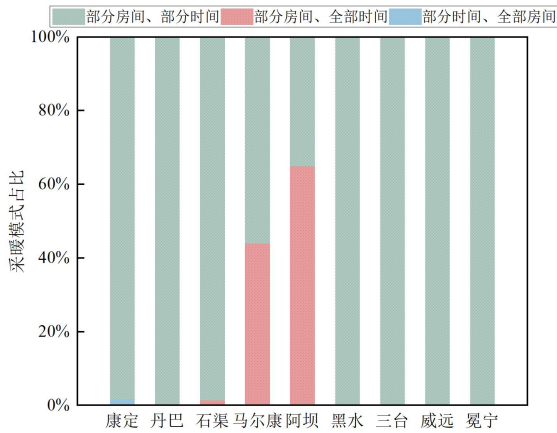


图 4 调研农户采暖模式占比

Fig.4 Proportion of heating modes of surveyed households

对于每日供暖时长,除丹巴县(平均每日供暖时长仅为 4.3h)外,川西高原其他 5 县每日供暖时间较长,其平均时长均超过了 12h。在对比县中,整体平均每日供暖时长为 5.6h,其中冕宁县的平均供暖时长最长为 6.8h,威远县最短,为 3.5h。

由于采暖方式和采暖场景的不同,不同地区采暖时室内的温度也不尽相同。在川西高原中,采暖房间与日常生活地点相近甚至相同,而牛粪燃烧等采暖方式难以控制火力大小,所以该地区的采暖房间室温较高,有大多数家庭采暖时室内温度高于 14℃。而在对比县中大多数家庭采暖时室内温度低于 11℃。

3.3 采暖设备与能源

如图 5 所示,在川西高原最主要的采暖设备是火炉,而主要的采暖能源是牛粪和木柴。除了火炉以外电暖器和电热毯也是该地区常见的采暖设备,其中电暖器主要分布在石渠县、丹巴县和康定市,而电热毯主要在马尔康市、石渠县、丹巴县和康定市中使用,因此电能也是川西高原中的一大采暖能源。在对比县中,采暖设备则多种多样,柴灶、电暖器、电热毯和空调等在对比县中都比较常见,因此木柴和电是最主要的两种采暖能源。

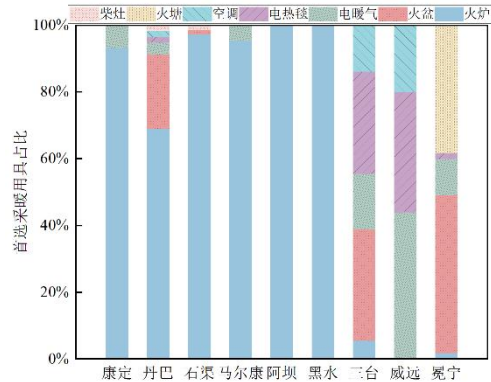


图 5 调研农宅首选采暖用具

Fig.5 Preferred heating appliances of surveyed households

3.4 电采暖设备情况

如 3.3 节所述,虽然在川西高原中牛粪/木柴与火炉的组合是最常见的采暖能源与设备,但同时各种电采暖设备在这个地区也是较为常见的。其中康定市、丹巴县和石渠县以移动式的电采暖设备为主,马尔康市以固定式的采暖设备为主,而阿坝县和黑水县的电采暖设备拥有量较少。值得注意的是,许多拥有电采暖设备的农户,由于用电成本较高的原因,不会首选电采暖设备进行采暖。在对比县中,三台县和威远县均有较多的电采暖设备,并且形式多样,而冕宁县的电采暖设备使用较少。

3.5 采暖期间室内环境情况

3.5.1 室内舒适度

在个人舒适度方面,如图 6 所示,在康定市、丹巴县和石渠县,冬季和夏季室内舒适度感受有明显不同。在夏季,康定市和石渠县绝大多数家庭认为室内环境舒适,而在丹巴县,部分家庭认为室内舒适度较差,认为室内舒适的家庭占比也远小于另外两个地区。而在冬季,室内舒适度较差感受明显增加,尤其是在丹巴县和石渠县,这两个县认为冬季室内舒适度较差的家庭占比明显占主导。在马尔康市、阿坝县和黑水县,冬季和夏季对于室内舒适度的感受相差不大,并且大部分的家庭认为室内舒适度在一年四季均一般,认为舒适度较好的家庭要多于认为舒适度较差的家庭。在对比县中,冬季和夏季舒适度感受也有明显不同,但与川西高原不同的是,在对比县中认为夏季室内舒适度较差的家庭要远多于认为冬季室内舒适度较差的家庭,其中一个主要的原因是对比县的夏季十分炎热,制冷方式

单一, 而空调的高使用成本让大多农村家庭选择偶尔使用, 所以在夏季有较多家庭认为室内舒适度较差。冕宁县在夏季有较多家庭认为室内舒适度较好, 这与当地温暖宜人的气候有关。

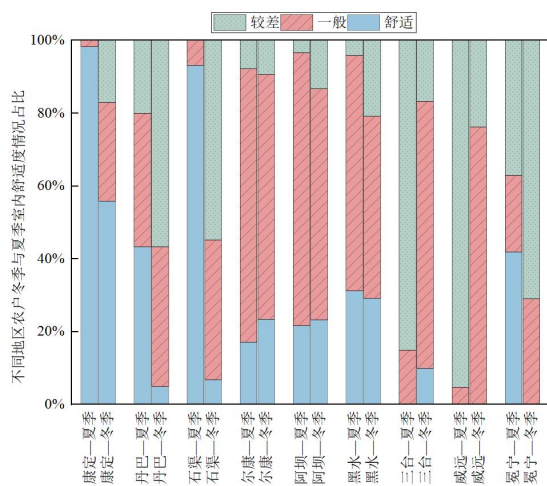


图6 调研农户室内舒适度情况

Fig.6 Indoor comfort level of surveyed households

3.5.2 室内空气质量

固体燃料和火炉是农村地区常见的取暖组合, 而冬季取暖期间大多数家庭会紧闭门窗以获得更好的取暖效果, 这就使得燃料燃烧产生的烟气会长时间停留室内从而影响室内空气品质。然而调研结果显示, 大多数的家庭都认为冬季采暖时的室内空气品质与平时相差不大。在川西高原中, 厨房、卧室和客厅一体的布局较为常见, 因此平时炊事时的室内环境与取暖时室内环境相差不大, 而当地人由于常年处于这种环境下已然习惯, 这可能是一个最主要的原因。

4 发展对策分析与建议

4.1 系统性对策

(1) 川西高原冬季漫长而寒冷, 采暖需求强烈, 现有冬季人居环境亟待提升。在吸取青藏高原传统采暖区及北方地区冬季清洁取暖等相关工作经验基础上, 结合本文调研情况, 建议国家将川西高原纳入可获得中央财政资金支持的“暖心工程”或“冬季清洁取暖”等采暖区范围, 进而系统科学推进该地区建筑采暖及人居环境提升工作。

(2) 室内空气氧浓度、湿度和空气质量与温度一样, 影响着高原人居环境的舒适性和居民身体健康, 传统的采暖方式往往只关注提供热量, 而忽

视了室内空气环境其他方面的同步改善问题。有研究显示, 适宜的氧浓度、湿度和空气质量不仅能提升人员舒适性保障身体健康, 还能降低采暖热需求量^[5]。因此, 建议以系统性改善高原地区人居环境为出发点, 将川西高原采暖工作与供氧、增湿、提升室内空气质量统筹考虑, 协同推进。

(3) 传统能源视角下川西高原化石能源匮乏、能源系统架构薄弱, 生态环境脆弱。大规模引入燃煤、燃气等化石能源作为这一地区的基础能源, 不仅与能源革命和“双碳”战略目标相左, 而且由于化石能源燃烧排放的硫化物、氮氧化物等形成草原酸雨, 还将对当地生态环境造成不可恢复的破坏^[6]。因此, 不应推广以化石能源作为主要供暖能源的传统供暖模式。该地区太阳能、风能、地热能等可再生能源资源禀赋得天独厚^[7,8], 且当地建筑以多层及低层为主, 为可再生能源的建筑应用创造了较好的条件。在川西高原以全面电气化、零碳化为目标建设新型能源系统, 不仅能就地解决该地区能源供给和清洁采暖问题, 还能为整个青藏高原地区的能源革命作出有效的先行示范。因此, 建议以系统性解决社会民生、能源安全和生态保护问题, 将采暖热源、建筑用能和新型能源系统建设统筹考虑。

(4) 川西高原山地、平原、河谷、雪山、冰川、沼泽、戈壁、森林等地形地貌种类繁多, 分布不均。不同城市、乡镇、村庄可再生能源资源密度和用能密度各不相同, 全域统筹、城乡一体、区域协同, 有利于实现资源的最优配置, 提高资源利用效率。因此, 建议以发展成果最大限度惠及人民群众为着力点, 将工作重心由城镇扩展为城市、乡镇、村庄全域统筹考虑, 整体推进。

(5) 川西高原建筑采暖及人居环境提升是一项复杂系统工程, 需要综合考虑气候、资源、建筑、生命健康、能源安全、生态环境、经济增长、社会民生、成本投入等诸多因素。因此, 建议以有组织科研引领和支撑工作布局。以科学的方法和理论为指导, 通过数据分析和实践验证, 进行综合性的分析和研究, 提供具有准确科学依据的整体的、系统性解决方案和全过程技术支撑, 既避免盲目行动和资源浪费, 又避免单一因素的片面应对。

4.2 科学性建议

(1) 建议针对川西高原已建成投用供暖、供

氧、供气等典型项目开展实地运营测试和全面后评估。实地测评现有项目，系统梳理总结现有项目经验、特点，为后续全域技术路径的遴选论证提供科学依据和本地实践案例。

(2) 建议开展川西高原资源禀赋、人居环境、城乡用能现状调研及发展规划研究。全面掌握该地区城乡自然资源禀赋和社会经济发展情况，为后续城乡整体能源规划及相关政策制定奠定基础。深度挖掘川西高原集中式光伏、分布式光伏、集中式风电、小型水电、生物质能源等零碳资源，结合不同类型建筑、重点企业用能现状，以及各地城乡发展规划及碳中和背景下的未来电力需求和变化特征，制定川西高原中长期可再生能源利用规划，为城乡能源结构转型和新型能源系统构建指明方向。

(3) 建议开展川西高原零碳建筑关键技术研究及示范。川西高原零碳建筑关键技术研究包括生态适应性设计技术、本体关键技术及产品研究和室内环境主动营造技术及产品研发。生态适应性设计技术通过分析川西高原建筑的历史、文化、资源、经济等因素，构建绿色低碳生态适应性设计策略和技术措施，实现高原零碳建筑目标。本体关键技术通过分析高原零碳建筑的特点和当地人民生活习惯，设计热性能指标和绿色低碳建筑材料和结构，研发可匹配用能的围护结构技术和产品。室内环境主动营造技术及产品研发针对不同气候和地理条件，研究室内环境主动营造系统架构和利用光、风、水能的优化方式，开发适应高原气候的室内环境主动营造技术和产品。该研究将为川西高原建筑环境的零碳营造提供关键技术支持，并通过建设示范样板推动规模化发展。

(4) 建议开展川西高原城乡建筑新型能源系统研究与示范。川西高原城乡建筑新型能源系统研究主要包括城乡建筑新型能源系统架构研究、零碳建筑能源系统关键设备装置研发和零碳能源系统调控技术研究。在城乡建筑新型能源系统架构研究中，根据川西高原不同城镇和乡村的用能特征、产能潜力和储能资源等方面，以全面电气化为目标构建适宜川西高原和生活习惯的能源系统架构。在零碳建筑能源系统关键设备装置研发中，重点关注相关设备在川西高原低温、低气压条件下的适应性。在零碳能源系统调控技术研究中，研发包括建筑负荷调节技术和农村基于直流母线电压波动信号的

自适应调控技术。

(5) 建议开展发展路径、配套政策与标准化研究。考虑川西高原城乡用能需求和可再生资源供给的同步性，以及与当地经济社会发展和可再生资源开发的衔接关系，研究城乡建筑采暖及人居环境提升零碳化的实施策略和推广模式。研究分析现行能源政策对川西高原零碳建筑和新型能源系统发展的影响，并提出针对性建议，支持可持续配套政策和机制制定。研究符合川西高原特殊气候和资源条件的建筑采暖及人居环境提升零碳化技术和工程建设标准体系，研究制定施工、验收、运营管理通用性工程建设标准，太阳能、地热能、空气热能、生物质能等可再生能源建筑应用的专用性工程建设标准，以及适应高寒高海拔气候条件产品标准。

5 结论

川西高原农宅建筑风格多样，建材及建造方式特殊。为抵御严寒，建筑常拥有厚重的墙体，但基本无额外保温措施。

该地区寒冷的气候环境导致当地农宅具有强烈的采暖需求。几乎所有家庭在冬季都需要进行采暖，家庭采暖时间长，采暖强度大。但采暖特点差异明显，采暖方式多样。一方面在采暖期的不同时间段，不同的地区采暖率呈现差异，另一方面在一天内的采暖时刻及时长也有所差异，此外大部分家庭选择“有人采暖，人走即关”的采暖习惯；火炉在兼顾炊事同时也作为该地主要的采暖方式，以电力为能源的电采暖器及电热毯在多县得到了应用。

通过问卷调查还得知该地区部分县居民对冬季的室内舒适性可接受程度较夏季有所下降，但居民对于室内舒适性整体可接受程度总体较高。家庭抽油烟机通风设备利用较少，固体燃料大量使用带来的室内烟气危害并没有得到居民的较多关注，室内烟气处理未来需更多关注。

针对川西高原冬季采暖和人居环境提升挑战，本文建议国家将其纳入中央财政支持的采暖区，系统推进建筑采暖和人居环境改善；统筹考虑供暖、增湿、室内空气质量，提升居住舒适性和健康；发展以可再生能源为主的零碳能源系统，保障能源安全和避免大规模使用化石能源进一步破坏生态；全域统筹城乡能源规划，以科研引领，提供系统性解决方案和全过程技术支撑。同时，（下转第 126 页）

参考文献:

- [1] 茅新丰,潘登,耿世彬,等.地源热泵在地下工程的应用研究与展望[J].地下空间与工程学报,2015,11(S1):252-256.
- [2] 童仙敏.深基坑软土地基地源热泵直埋式换热管施工技术[J].施工技术,2014,43(1):64-66.
- [3] 陈剑亮.临江软基承压水环境下超深基坑的地源热泵埋管施工关键技术[J].建筑施工,2016,38(5):607-609.
- [4] 高鹏,刁乃仁,石磊.建筑基础下埋管钻孔设计施工探析[J].制冷与空调,2017,31(3):276-280,285.
- [5] 高朋,刘启明,魏俊辉,等.基坑内埋管换热系统水平集管热干扰模拟分析[J].建筑节能,2019,47(2):21-25.
- [6] 齐志安.基坑内地源热泵埋管换热孔管涌处理的研究[J].建筑技术开发,2020,47(24):131-133.
- [7] 鲍超,魏俊辉,褚赛,等.布置于建筑下的地源热泵埋管系统连接工艺研究[J].暖通空调,2021,51(S2):376-382.
- [8] 北京市勘察设计研究院有限公司.北京城市副中心职工周转房(北区)项目 11 号地块岩土工程勘察报告[R].北京,2017.
- [9] 明达海洋工程有限公司.丽泽金融商务区数字金融科技示范园项目岩土工程勘察报告[R].北京,2023.
- [10] 北京市勘察设计研究院有限公司.北京市通州经济开发区西区南扩区三、五、六期棚户区改造项目 FZX-1102-6002 地块 F3 其他类多功能用地项目岩土工程勘察报告[R].北京,2022.
- [11] 张志尧,鲍超,王珏,等.布置于地上的地源热泵埋管系统连接工艺研究[J].暖通空调,2021,51(S2):370-375.
- [12] 辛立明,高朋,王玉超,等.埋管地源热泵系统水平集管连管方式的研究[J].制冷与空调,2022,36(3):517-522.

(上接第 88 页) 建议开展实地测评、现状调研与能源利用规划、零碳建筑技术研究和新型能源系统研究,制定配套政策和标准,全面推动川西高原能源结构转型和可持续发展。

参考文献:

- [1] 孙延勋.关于我国采暖分区问题的历史回顾[J].暖通空调,2014,(6):1-6.
- [2] 张懿铨,李炳元,郑度.论青藏高原范围与面积[J].地理研究,2002,21(1):1-8.
- [3] 四川省统计局.国家统计局四川调查总队.四川统计年鉴 2023[M].北京:中国统计出版社,2023.
- [4] GB50176-2016,民用建筑热工设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2016:63-64.
- [5] 刘国丹.无症状高原反应域低气压环境下人体热舒适研究[D].陕西:西安建筑科技大学,2008.
- [6] 姚凌云.生态安全屏障建设下的西藏能源发展问题探讨[J].西藏发展论坛,2013,(2):25-30.
- [7] 中国气象局风能太阳能中心.中国风能太阳能资源年景公报[R/OL].(2024-02-22)[2024-08-09]. https://www.cma.gov.cn/zfxgk/gknr/qxbg/202402/t20240222_6082082.html.
- [8] 钱江澎,谭超,袁伟,等.四川省地热资源特征及开发潜力[M].北京:科学出版社,2024.