

四川省遂宁市与康定市地热资源差异化开发模式及建议

闫梓萌, 左银辉*, 麻洪松

成都理工大学能源学院, 四川 成都

收稿日期: 2026年1月22日; 录用日期: 2026年2月20日; 发布日期: 2026年3月4日

摘要

“双碳”目标下, 地热能成为优化能源结构的关键能源。我国不同地质背景区域地热开发模式适配性不足, 四川省作为地热资源大省, 资源丰富但开发程度偏低, 亟需典型案例提供示范。本文以遂宁、康定为研究对象, 采用“地质背景-资源特征-工程技术-经济环境效益”结构化对比框架, 系统分析两地差异化开发路径。结果表明: 遂宁为沉积盆地型地热, 依托岩溶型层状热储, 以低碳地热现代农业产业园为试点, 构建“发电-烘干-采暖-种养-康养”全链条梯级利用的“地热+”融合模式; 康定为隆起山地型地热, 为裂隙型带状热储, 形成以集中供暖为核心、医疗康养为延伸, 同步探索地热发电、地震流体监测、温室种植的多元利用格局。研究厘清了地质背景对开发模式的核心驱动机制, 验证了因地制宜开发的合理性, 为我国不同资源禀赋区域地热精准开发、高效利用提供实践经验。

关键词

地热资源, 差异化开发, 沉积盆地型, 隆起山地型, 四川省

Differentiated Development Models and Recommendations for Geothermal Resources in Suining City and Kangding City, Sichuan Province

Zimeng Yan, Yinhui Zuo*, Hongsong Ma

College of Energy, Chengdu University of Technology, Chengdu Sichuan

Received: January 22, 2026; accepted: February 20, 2026; published: March 4, 2026

*通讯作者。

文章引用: 闫梓萌, 左银辉, 麻洪松. 四川省遂宁市与康定市地热资源差异化开发模式及建议[J]. 自然科学, 2026, 14(2): 169-177. DOI: 10.12677/ojns.2026.142019

Abstract

In the context of the “Dual Carbon” goals, geothermal energy has become a critical resource for optimizing the energy structure. However, China currently lacks adaptive geothermal development models for regions with distinct geological backgrounds. As a province rich in geothermal resources, Sichuan boasts substantial resource potential but faces a low degree of development, creating an urgent need for demonstration via typical case studies. Taking Suining and Kangding as research objects, this study adopts a structured comparative framework covering “geological background, resource characteristics, engineering technology, and economic-environmental benefits” to systematically analyze the differentiated development paths of the two regions. The results show that Suining, characterized by sedimentary basin-type geothermal resources supported by karstic layered reservoirs, has taken the low-carbon geothermal modern agricultural industrial park as a pilot and established a “Geothermal+” integrated model featuring full-chain cascade utilization across “power generation, drying, geothermal space heating, agricultural planting and breeding, and wellness.” In contrast, Kangding features uplift mountain-type geothermal resources with fracture-controlled belted reservoirs, forming a diversified utilization pattern centered on centralized geothermal heating, extended by medical and wellness services, and coupled with pilot explorations in geothermal power generation, seismic fluid monitoring, and greenhouse cultivation. This study clarifies the core driving mechanism of geological backgrounds on development models and verifies the rationality of localized development, providing practical experience for precise and efficient geothermal development in regions with varying resource endowments across China.

Keywords

Geothermal Resources, Differentiated Development, Sedimentary Basin Type, Uplift Mountain Type, Sichuan Province

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

地热能作为清洁低碳、稳定持续的可再生能源，既是替代传统化石能源的重要支撑，更在各类新能源中具备独特优势，可有效弥补太阳能、风能等间歇式清洁能源的供给短板[1]，在我国能源结构转型中占据着不可替代的重要地位。我国地热资源分布广泛且储量丰富，但受地质背景、地貌条件差异影响，不同区域地热资源类型、赋存特征差异显著[2]，导致开发模式缺乏针对性，适配性不足，制约了地热资源的规模化、高效化利用。

四川省地处中国大陆地势第一、二级阶梯过渡带，地质构造复杂且新构造运动活跃，是我国地热资源潜力大省，孕育了沉积盆地、隆起山地等多种类型地热资源，资源禀赋多样，但全省地热资源整体开发程度偏低[3]，优质资源闲置问题突出，亟需通过典型区域的系统研究，总结差异化开发经验，为全省乃至全国同类区域提供示范。

基于此，本文选取四川省内地热开发具有鲜明代表性的遂宁市与康定市作为研究对象，二者分别对应沉积盆地型与隆起山地型地热，资源赋存特征与开发导向差异显著。通过系统对比分析两地地热开发的核心逻辑与适配机制，针对性提出优化建议，破解不同地质背景下地热开发模式适配难题，为我国不同资源类型区域地热资源的科学开发提供理论与实践支撑。

2. 研究区地质背景

2.1. 遂宁市地质背景

遂宁市地处四川盆地中部，属川中平缓褶皱带(图 1)，区域地质简单、褶皱形态平缓，为沉积盆地型地热资源[3]。其地热成因以基底隆起聚热为主[4]，热量在川中隆起区域汇聚形成较高热背景。

本次研究聚焦遂宁市低碳地热现代农业产业园，以磨溪区块下寒武统龙王庙组为核心开采层(图 2)。该热储受益于上覆高台组优良盖层与下伏沱浪铺组致密基底的良好封闭作用，配合自身优良的孔渗特征[5]，形成了理想的地热赋存环境。

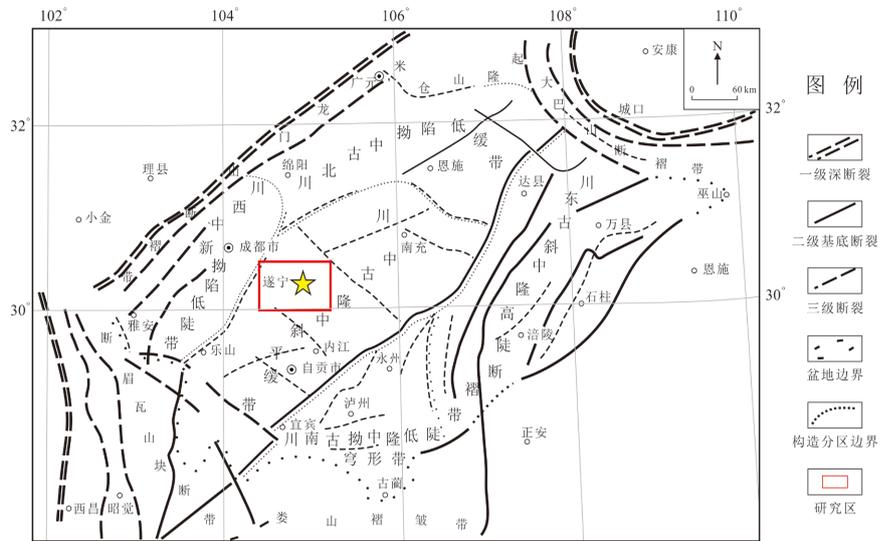


Figure 1. Regional geological tectonic location map of Suining [6]

图 1. 遂宁区域地质构造位置图[6]

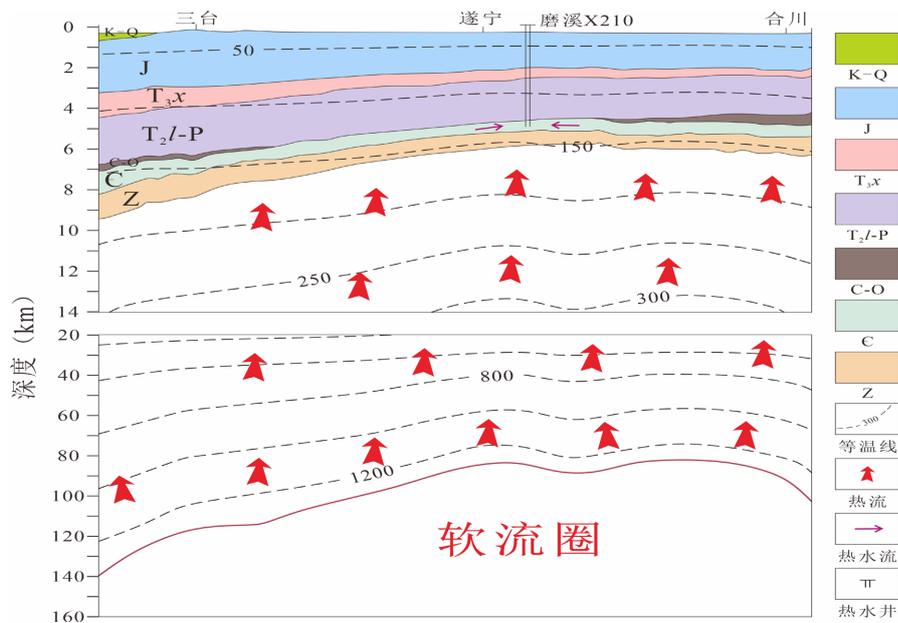


Figure 2. Genetic model of geothermal resources in the Central Sichuan Basin [7]

图 2. 川中地区地热成因模式[7]

2.2. 康定市地质背景

康定市地处著名的鲜水河断裂带上，位于四川盆地向青藏高原过渡地带，大地构造处于扬子陆块西缘与松潘-甘孜造山带结合部位(图 3)，地形呈高山峡谷特征，为隆起山地型地热资源，其热储类型为裂隙型带状热储。

受印度板块与亚欧板块挤压影响，鲜水河断裂带活动强烈，新构造运动活跃，康定区域大地热流值偏高。地热流体以冰雪融水与大气降水为双重补给，入渗地下后被加热，形成高温流体；流体自深部热储，沿深大断裂与破碎带向上运移，并与冷水混合，温度逐渐降低，后赋存于次生热储；部分流体上升至地表时，伴随气体逸出与泉华沉淀现象[8](图 4)。康定地热资源主要集中于二道桥、榆林宫、中谷三大水热区。

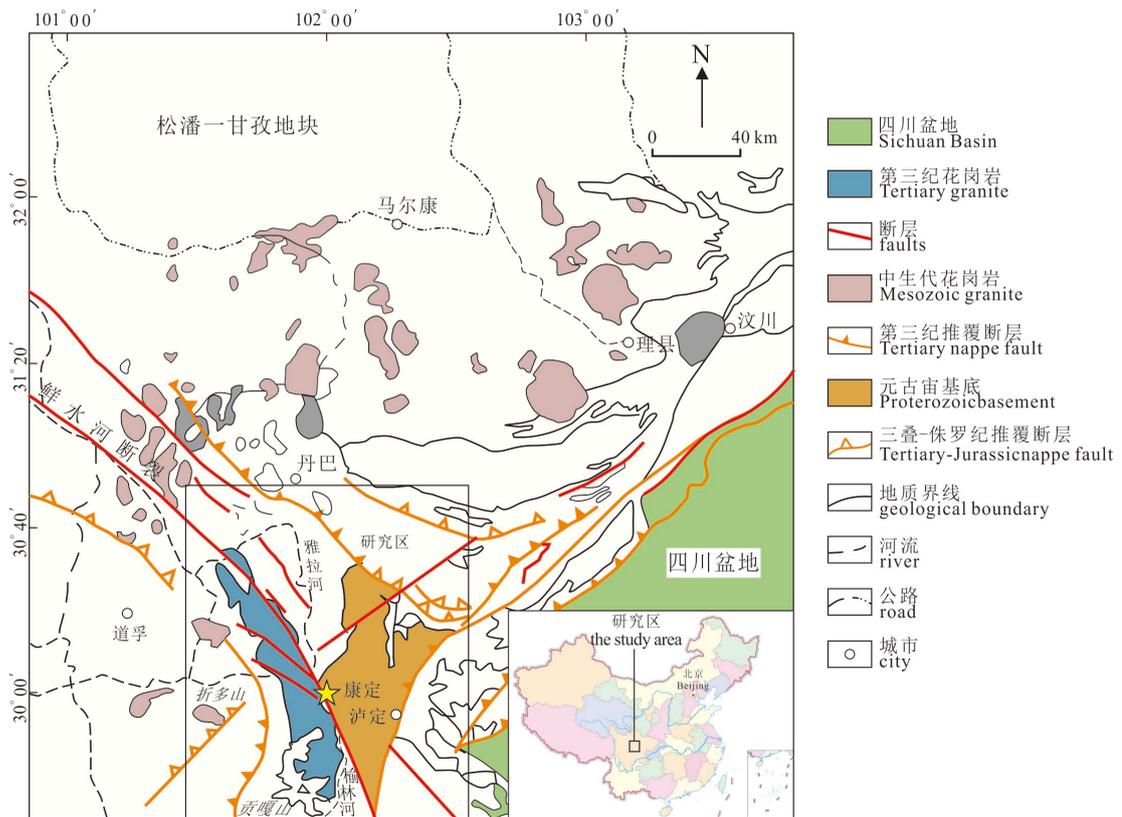


Figure 3. Regional geological tectonic location map of Kangding Area [9]
图 3. 康定区域地质构造位置图[9]

地质背景是地热资源形成与赋存的核心基础，两地地质条件的本质差异，直接造就了截然不同的地热资源类型：遂宁市依托盆地稳定平缓的构造格局，以基底聚热作用为核心，发育岩溶型层状热储，其中寒武系龙王庙组优良的孔渗条件与储集特性，为省级低碳地热现代农业产业园的建设与开发提供了关键地质支撑；康定市则受板块挤压影响，构造活动强烈，鲜水河断裂带作为地热资源形成与赋存的核心控制因素，孕育了特征各异的高温水热资源，形成了区域分布不均的资源格局。

基于上述不同地质背景，遂宁市低碳地热现代农业产业园与康定市各规划区块的地热资源特征呈现显著差异，其在资源规模、热储品位等核心指标上的分异，不仅明确了两地地热资源开发的核心方向与潜力边界，更为后续开发模式的工程技术选型及经济环境效益评价提供了关键依据。

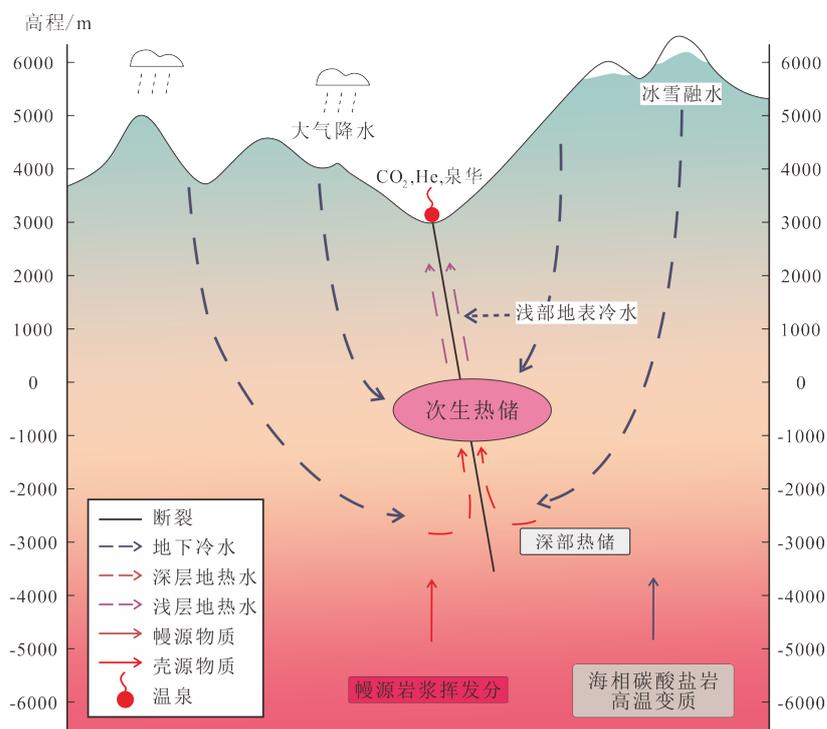


Figure 4. Genetic model of geothermal resources in Kangding [8]

图 4. 康定地热成因模式[8]

3. 地热资源特征分化

3.1. 遂宁市地热资源特征

遂宁市地热能开发多局限于建筑供暖与制冷的零星应用，尚未形成规模化、体系化开发格局。鉴于此，本次研究以当地省级地热资源开发重要试点——低碳地热现代农业产业园为核心研究对象，聚焦地热在现代农业领域的应用探索。园区依托磨溪 X210 井开展地热开发利用，该井完钻井深约 5300 m，井底温度 140℃、井口 103℃，日均产气田水 600 m³，属中高温高品位地热[9]，适配地热发电试验及农业全链条梯级利用，契合园区定位。

磨溪 X210 井的核心开采层为寒武系龙王庙组碳酸盐岩热储，据已有评价成果，采用体积法并按自然资源部 15%回收率标准核算，四川盆地磨溪地区龙王庙组可开采量为 3.06×10^9 GJ，折合标准煤 1.04 亿 t[5]，具备规模化开发资源基础。但目前遂宁市仅聚焦产业园局部开发，全域勘查不足，尚未实现资源全域高效利用，且尾水处理与资源化利用存在短板，为后续开发留下技术瓶颈。

3.2. 康定市地热资源特征

康定市目前有流量数据及温度的地热点共有 60 余个，完成地热钻井数十口，具备初步开发利用条件。受高原复杂地形、勘探技术水平及资金投入不足等多重因素制约，康定区域地热钻井资料匮乏、热储关键参数缺失，故本次采用天然流量法(计算系数取 15)测算资源量。该方法依托地表热显示监测数据推算热能产率，无法覆盖深部热储，测算结果仅为资源量的最小估计值。测算结果显示，二道桥、中谷、榆林宫三大核心水热区年可开采热量整体量级达 10^{15} J 级别，其中二道桥为 0.54×10^{15} J、中谷为 1.47×10^{15} J、榆林宫为 4.1×10^{15} J[10]。目前，深部热储的赋存规模、温度品位与实际开发潜力均未纳入定量评估。

从热储品位来看，榆林宫和中谷地区热储温度高；流体温度、流量大，属中高温地热资源，适宜优

先布局地热发电与集中供暖,二道桥地区温度较低,开发方向以地热旅游康养为主[11];从矿物成分来看,依据《理疗热矿水水疗标准》评价,二道桥、中谷地区热矿水流体优势明显[12],兼具理疗价值与矿泉水开发潜力。

4. 地热开发模式的工程技术对比

4.1. 遂宁市地热开发模式的工程技术

遂宁市低碳地热现代农业产业园地热开发以“地热 + 特色农业”为核心定位,聚焦中高温地热资源的全链条梯级利用,构建“发电 - 烘干 - 采暖 - 种养 - 康养”的能源模式,充分契合低碳地热现代农业产业园的发展定位,实现地热资源的高效、多元利用。

核心技术路径围绕地热资源的梯级利用与安全开发展开:园区首先依托磨溪 X210 井开展 ORC (Organic Rankine Cycle) 地热发电,利用中高温地热流体实现小规模发电;发电后的中温地热流体先用于农产品烘干、园区采暖,再延伸至种植养殖温控等农业生产环节,替代传统化石能源,降低农业碳排放;梯级利用后的低温地热流体进一步用于农业休闲康养等场景,实现能源利用最大化。但该地龙王庙组流体矿化度高[13],存在较强结垢与腐蚀风险,需采取防腐防垢措施;同时当前园区地热梯级利用效率仍有提升空间,加之技术升级、全域勘查所需的资金与专业人才短缺,进一步制约了“地热 + 农业”模式的深度融合与拓展。

4.2. 康定市地热开发模式的工程技术

康定市地热资源开发利用方式多元,目前已形成以集中供暖为核心、医疗康养为主要延伸的发展格局,同时同步推进地热发电、地震流体监测及地热农业等领域的探索利用,构建起多元开发利用体系。

地热供暖作为康定市核心的发展方向,目前已经实现康定新城部分小区、宾馆、学校的集中供暖[14],未来还将持续提升中高温地热资源的供给能力,逐步推进康定市全城集中供暖的建设。医疗康养是当前康定地热最核心的延伸利用方式,依托热矿水中特有的化学组分与天然温热特性开展洗浴、理疗、保健等康养服务,也是现阶段当地地热资源延伸利用中应用最广泛、发展最成熟的形式[13]。

除集中供暖、医疗康养这两种成熟的利用方式外,康定市也在同步探索地热发电、地震流体监测、温室种植等其他地热利用形式,各领域发展进展存在明显差异:地热发电方面,康定中谷、榆林宫地区均开展过相关实验,但尚未实现商业化运营,目前相关工作处于停滞状态;地震流体监测方面,当地依托甘孜州深大断裂控制的热水活动区布设监测点,通过持续监测泉水的物理化学指标、水位及水量变化,开展地震测报相关工作;温室种植方面,依托热矿水的温热资源开展作物培育与种植,该模式目前仅在康定市雅拉河流域有零星应用,未形成规模。整体来看,这类探索性的地热利用方式目前均未形成规模化、商业化的发展态势,多数仍处于初步尝试阶段,部分领域甚至处于阶段性停滞状态,后续规模化开发仍需进一步探索推进。

5. 地热开发经济与环境效益评价

两地地热资源差异化开发模式,均实现了经济效益与环境效益的双重提升,但因资源禀赋、开发定位不同,效益呈现出明显的区域差异。

遂宁市方面,效益聚焦农业生产提质与绿色低碳发展。经济效益方面,通过地热全链条梯级利用替代传统化石能源,降低农产品烘干、种养温控等环节用能成本,提升农产品品质与生产效率,推动园区农业产业提质增效;环境效益方面,大幅减少化石能源消耗带来的碳排放与污染物排放,契合农业绿色发展与“双碳”目标,实现农业生产与生态保护协同推进。

康定市方面，效益侧重民生改善、区域经济升级与高原生态保护。经济效益方面，地热集中供暖替代传统燃煤供暖，降低居民供暖成本、提升供暖保障水平，同时减少燃煤供暖设施建设与运维投入；依托热矿水发展温泉康养产业，带动区域旅游增收与本地就业，推动区域经济结构优化。环境效益方面，清洁地热供暖有效削减大气污染物排放，改善高原地区空气质量；依托可再生地热资源实现可持续供能，避免化石能源开发利用对高原脆弱生态的破坏，契合高原生态保护核心要求。

6. 地热开发全维度对比分析

基于前文对两地地质背景、资源特征、工程技术及效益评价的系统分析，本章整合核心关键指标，构建全维度对比大表(表 1)，旨在清晰厘清地质背景对开发模式的核心驱动机制，直观呈现两地差异化开发的核心逻辑与差异本质。

Table 1. Full-dimensional comparative analysis of geothermal development between Suining and Kangding

表 1. 遂宁 - 康定地热开发全维度对比分析

对比维度	遂宁	康定
地质背景	基底隆起聚热；岩溶型层状热储	鲜水河断裂带控热；裂隙型带状热储
热储类型	沉积盆地型	隆起山地型
核心利用区	遂宁市低碳地热现代农业产业园	二道桥，榆林宫，中谷
热储品位	中高温高品位	地表温泉多为中低温，深部热储中高温
流体参数	磨溪 X210 井日均产水 600 m ³ ；矿化度高，需防腐	流量差异大；部分热矿水达标理疗标准
核心开发模式	“地热 + 农业”梯级利用	“民生供暖 + 医疗保健”为核心，多元模式
经济效益核心	降常规能耗、提农产品品质、促产业升级	降供暖成本、带康养文旅、促就业
环境效益核心	减碳降污，契合“双碳”	减污护生态
现存问题	全域勘查不足，梯级利用效率待提升，资金、人才短缺，尾水处理有短板	深部勘探滞后，供暖覆盖不全，发电试点未盘活，地震监测不完善，温室种植零星利用

通过对遂宁与康定地热开发模式的全维度对比可见，两地在实现经济与环境双重效益的同时，仍分别面临资源底数不清、技术瓶颈待破、产业融合不深及机制保障不完善等现实挑战。为精准破解上述瓶颈，下一章将针对性提出差异化优化建议。

7. 发展建议

7.1. 对遂宁市的发展建议

强化资源勘查，夯实开发基础：建议遂宁市政府设立专项勘查资金[15]，综合运用二维/三维地震勘探、地球化学勘探及钻探验证等技术，精准查明热储关键参数，重点分析流体化学组分，绘制高精度地热资源潜力分布图。

深化“地热+”融合，构建产业生态：以产业园为核心，拓展“地热+”应用场景。利用地热能培育绿色食品加工产业集群；结合地热温泉，建设农文旅融合的田园综合体[16]，构建多元产业链，提升综合附加值。

创新投融资机制，拓宽资金渠道：构建多元化投融资体系，成立地热开发引导基金撬动社会资本；推广 PPP 模式，引入具备实力的战略投资者，建立风险共担、利益共享机制[17]，保障资金供给、降低地

方债务风险。

构建人才高地，强化智力支撑：出台专项引才育才政策[18]，柔性引进地热领域顶尖专家组建咨询委员会；与地质能源类高校共建研发中心，定向培养专业人才、设立博士后工作站，破解人才瓶颈。

7.2. 对康定市的发展建议

拓展多元利用场景，延伸价值链条：以集中供暖为基础，重点拓展高附加值利用场景，盘活榆林宫、中谷等地地热发电试点项目[16]，探索合理上网电价机制、推进技术升级，逐步实现规模化并网；持续深化地震流体监测体系建设，因地制宜推进地热温室种植规模化落地，规划高端温泉康养、地热科普项目，构建“供暖 + 发电 + 康养 + 旅游 + 监测 + 种养”多元业态，提升抗风险能力。同时，同步推进深部热储参数勘探，破解深部勘探滞后难题，为多元场景拓展提供资源支撑。

完善供暖网络，实现全域普惠：按“先主后次、先易后难”原则，推进集中供暖管网向乡镇、村庄延伸；对人口分散区域，采用地源热泵等互补技术[19]，构建“集中 + 分散”全域供暖体系，提升民生保障水平。

构建监测预警体系，坚守生态底线：建立覆盖地热开采区、热储层及地表水系的立体化监测网络，引入先进在线监测设备，实现相关指标实时监控[20]；构建风险预警模型、制定应急预案，防范生态地质风险，保障资源可持续利用。

打造地热文旅品牌，提升区域影响力：挖掘“雪域高原地热供暖”特色，打造城市名片；通过举办地热文旅节、开发科普研学路线等方式[21]，强化康定低碳旅游品牌形象，培育发展新亮点。

8. 结论

本文以四川典型沉积盆地型(遂宁)与隆起山地型(康定)地热为研究对象，经全维度对比研究，得出以下核心结论：

(1) 两地地热核心差异源于地质成因，遂宁受基底隆起聚热作用影响，具备规模赋存、温度稳定的天然禀赋，康定受断裂带控热作用制约，表现出区块化、功能多元、深部潜力大的特点，这些本质差异直接决定了两地开发模式与技术路径的分化。

(2) 遂宁打造的“地热 + 农业”梯级利用模式、康定构建的“民生供暖 + 医疗保健”为核心，同步探索地热多元利用模式，均深度契合各自资源禀赋与区域发展需求，充分验证了因地制宜开发地热资源的合理性与可行性。

(3) 两地开发均实现经济与环境双重效益提升，但仍存在明显技术瓶颈，遂宁因矿化度高易产生结垢腐蚀问题，康定则面临深部勘探滞后与生态保护区域较大的挑战，需通过技术优化与政策支持进一步提质增效。

(4) 因地制宜、差异化适配是地热资源高效开发的核心逻辑，后续四川省地热开发应充分借鉴两地实践经验，构建与区域资源特征相适配的开发模式与技术体系，兼顾经济、环境与社会效益，为双碳目标实现提供有力支撑。

参考文献

- [1] 刘素平, 粟琼玉, 旷巍, 等. 中深层同轴地埋管换热系统的换热性能研究[J]. 太阳能, 2025(5): 96-102.
- [2] 谌洋. 我国地热能高质量开发利用面临的问题及对策建议[J]. 水电与新能源, 2025, 39(5): 1-4.
- [3] 胡亚召, 屈泽伟, 徐小青. 四川省地热资源综合利用开发对策研究[J]. 地球科学前沿, 2023, 13(12): 1337-1344.
- [4] Yang, W., Luo, W., Yang, S., Zheng, W., Zhang, L., Lai, F., *et al.* (2025) Thermal Accumulation Mechanisms of Deep Geothermal Reservoirs in the Moxi Area, Sichuan Basin, SW China: Evidence from Temperature Measurements and

- Structural Characteristics. *Energies*, **18**, Article 3901. <https://doi.org/10.3390/en18153901>
- [5] 郑伟, 李忠权, 赖芳, 等. 四川盆地磨溪地区龙王庙组地热资源评价[J]. 矿业安全与环保, 2025, 52(5): 128-133.
- [6] 蒋裕强, 王猛, 刁昱翔, 等. 川中低孔渗砂岩成岩相定量评价与快速预测——以遂宁-蓬溪须二段为例[J]. 中国地质, 2014, 41(2): 437-449.
- [7] 张禄权, 左银辉, 孙义高, 等. 川中地区栖霞-茅口组地热资源评价探讨[J]. 沉积与特提斯地质, 2023, 43(2): 261-270.
- [8] 余毅. 川西康定地区高温地热流体地球化学特征[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2021.
- [9] 灵动安居网. 新时代 新征程 新伟业|因地制宜推进地热能科学开发利用磨溪 X210 井采出水地热利用先导试验工程即将投入使用[EB/OL]. https://snsaij.sczfwf.gov.cn/art/2022/12/29/art_35757_204237.html?areaCode=510904000000, 2022-12-29.
- [10] 康定市自然资源局. 康定市地热资源专项规划(2022-2035 年)(征求意见稿)[EB/OL]. <http://www.kangding.gov.cn/gsgg/article/535754>, 2023-10-18.
- [11] 余春梅, 张超, 杨宇, 等. 川西地热资源综合梯级利用[J]. 天然气勘探与开发, 2021, 44(3): 102-111.
- [12] 屈泽伟, 张恒, 胡亚召, 等. 川西地区地热资源概况及开发区划探讨[J]. 矿产勘查, 2019, 10(5): 1233-1242.
- [13] 苏敏, 吴康军, 李志军, 等. 川中北部磨溪-高石梯地区地层水特征及其油气地质意义[J]. 岩性油气藏, 2021, 33(3): 54-62.
- [14] 杨孟双, 兰珍. 室温 20℃, 雪域高原上“温暖过冬”[EB/OL]. <https://www.sc.gov.cn/10462/10464/10465/10595/2022/10/21/e3d41806562549939c3fc3e3ce567e92.shtml>, 2022-10-21.
- [15] 孙婉, 杨梅芳, 黄坚. 上海地热资源利用现状及发展策略探讨[J]. 上海国土资源, 2024, 45(2): 161-165.
- [16] 杨勇. 源用储联清洁热能体系在胜利油田的应用[J]. 石化技术, 2025, 32(11): 449-451.
- [17] 颜翠翠, 郭静, 李爱敏, 等. 德州市地热资源开发利用与管理探讨[J]. 山东国土资源, 2024, 40(5): 65-69.
- [18] 江天. 探究“双碳”背景下智慧供热的创新发展[J]. 中国设备工程, 2026(1): 33-35.
- [19] 孔令峰, 杜建林, 孔梓拯, 等. 系统推进油气煤与新能源协同融合发展促进新型能源体系建设[J]. 国际石油经济, 2025, 33(2): 11-24.
- [20] 关铤. 地热资源经济评价方法与应用研究[D]: [博士学位论文]. 武汉: 中国地质大学, 2014.
- [21] 祁梦颖, 张凯, 苏晓敏. 低碳视角下青海省共和县地热产业发展调研报告[J]. 产业创新研究, 2024(3): 62-64.