# 河南省首届地热产业高质量发展学术交流专题报告会

## 以科技创新驱动我省地热产业高质量发展

## 报告题目：河南省地热产业发展现状及高质量发展研究

卢予北，工学博士，二级教授，河南省学术技术带头人，原河南省地矿局第二地质环境调查院院长，现任国家能源局能源行业地热能专业标准化技术委员会委员，河南省地热协会秘书长。主持国家重大专项子课题3项；主持河南省科技攻关项目和河南省地勘基金10项，发表学术论文98篇，出版《环境地质》教材及专著7部；主持参与起草行业标准10项；获得国土资源部科技二等奖2项；河南省科技进步三等奖2项；厅局级科技一等奖20余项。

# 河南省地热产业现状及高质量发展研究

卢予北　工学博士/二级教授　河南省地热协会秘书长
国家能源行业地热能专业标准化技术委员会委员

2024.12.10　河南新郑

# 目 录


0 引言

1 地热产业发展现状

2 主要问题

3 地热产业高质量发展研究

4 结语

# 0 引言

地热是大自然馈赠人类的宝贵资源和能源。具有“热、矿、水、气”四位一体特征，是一种本土品质优良的资源和能源，同时具备“分布广泛、资源丰富、安全可靠、稳定持续、节能减排、直接利用”等优点。在国内能源资源形势严峻情况下，大力推进地热产业高质量发展，具有重大的意义和广阔的应用前景。

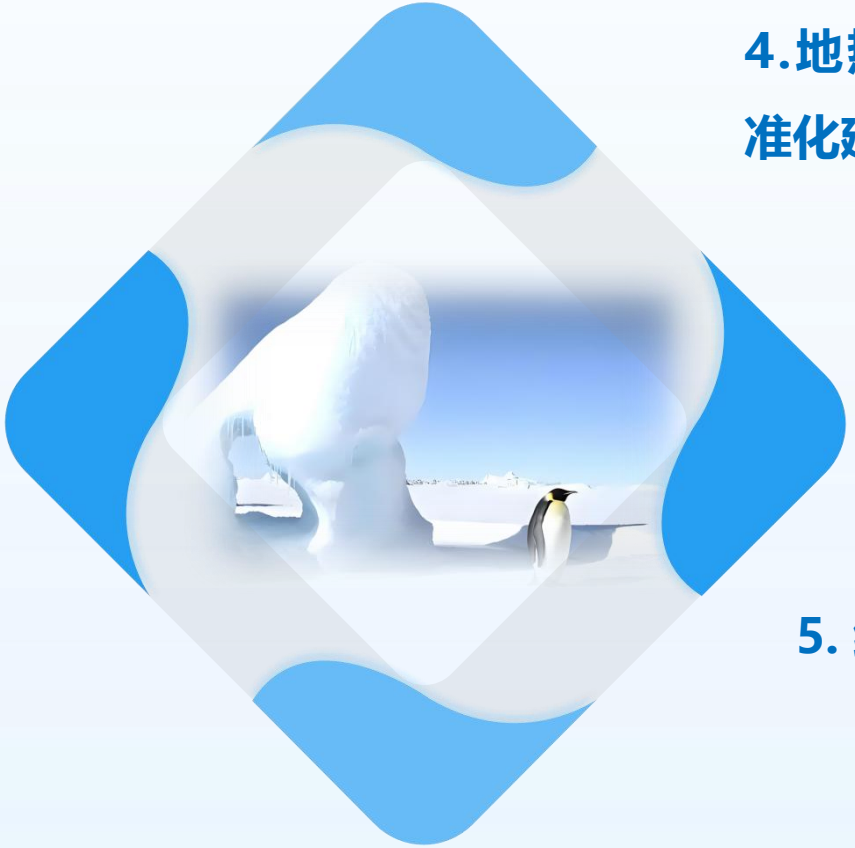
“十三五”和“十四五”期间，我省地热行业在自然资源厅和发改委领导下，积极践行习近平生态文明思想，紧密围绕“黄河流域生态保护与高质量发展、乡村全面振兴”等国家战略和“双碳”目标。大力推进地热资源开发利用，为生态文明建设、“双碳”目标的实现和新质生产力经济模式转型作出了突出贡献。

# 1 地热产业发展现状

1.政策支持方面

2.已查明地热资源及潜力

3.地热产业规模化建设



4.地热产业技术创新和标准化建设

5. 经济社会环境效益

# 1 地热产业发展现状

## 1.1 政策支持方面

“十三五”期间和“十四五”前2年是我省地热产业开启和快速发展阶段。特别是在政策方面，“十三五”和“十四五”期间政府相继出台了支持地热开发利用的相关政策文件达10余项，为产业的快速发展提供了政策依据和保障。

(1) 2017年1月，《河南省“十三五”能源发展规划》发布。

(2) 2017年8月，河南省发改委印发《河南省“十三五”可再生能源发展规划》。

(3) 2017年11月，河南省人民政府办公厅印发《河南省推进能源业转型发展方案》。

(4) 2018年8月，河南省发改委等部门印发《关于开展地热能清洁供暖规模化利用试点工作的通知》

(5) 2018年9月，河南省人民政府印发《河南省污染防治攻坚战三年行动计划（2018-2020年）》。

(6) 2019年7月，河南省发改委等联合六部门印发《河南省促进地热供暖的指导意见》

(7) 2020年10月河南省发改委等联合六部门印发印发《关于进一步做好地热能供暖有关工作的通知》

(8) “十四五”伊始，河南省人民政府相继出台了《河南省“十四五”现代能源体系和碳达峰碳中和规划》和《河南省“十四五”自然资源保护和利用规划》。

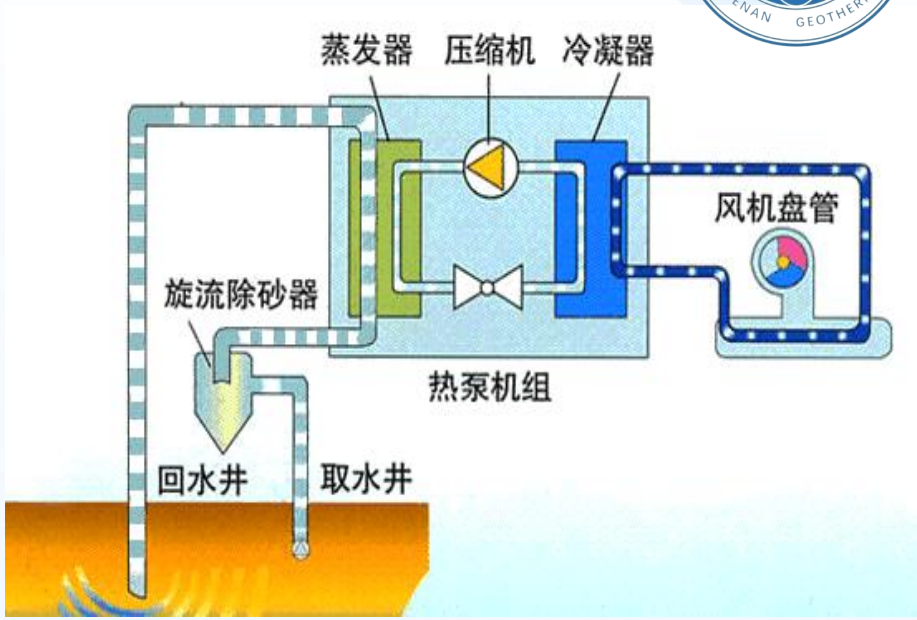
# 1 地热产业发展现状

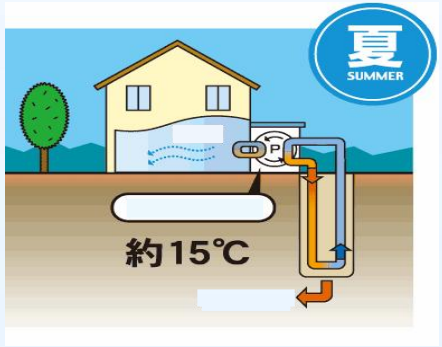
## 1.2 已查明地热资源及潜力

从“十二五”开始，对全省浅层地热能、中深层水热型地热资源和干热岩资源进行了调查和勘查评价。到“十四五”初期，经过10余年的工作，基本查明了全省1500m以浅的地热资源家底，“十四五”期间重点开展了2000m以深地热资源勘查工作。

### 1.2.1 浅层地热能

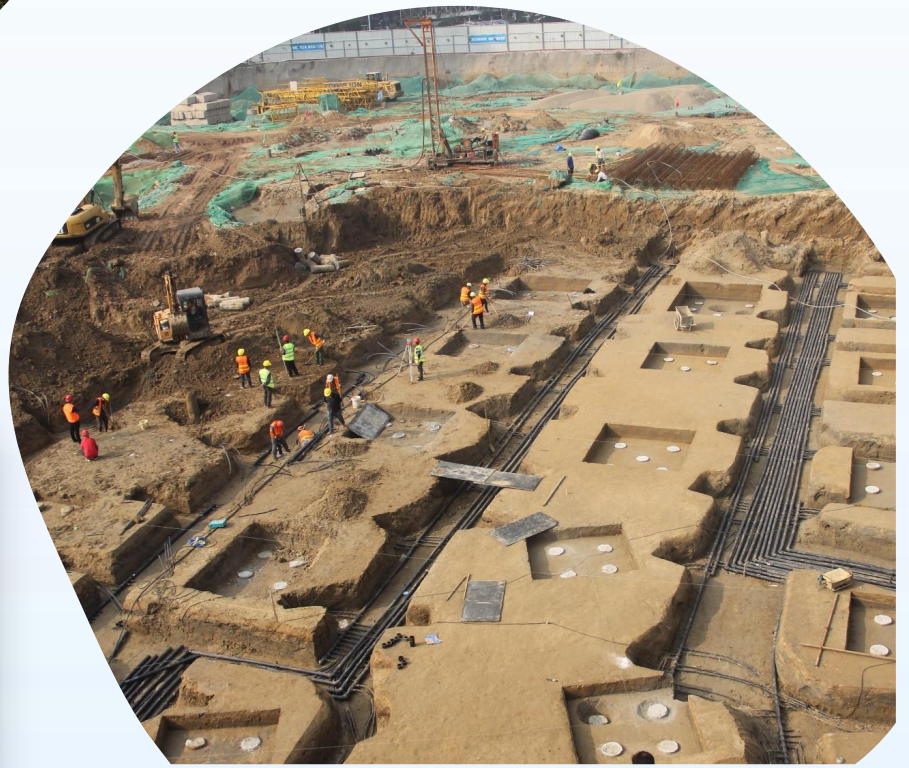
不考虑土地利用系数的情况下，全省浅层地热能可开采资源量为$1.99\times10^{17}$kJ/a，折合标煤679032.79万t/a；夏季可制冷面积$1.30\times10^{11}m^2/a$，冬季可供暖面积$1.88\times10^{11}m^2/a$，考虑土地利用系数的情况下，全省浅层地热能可开采资源量为$1.87\times10^{16}$kJ/a，折合标煤63905.60万t/a；**夏季可制冷面积$1.24\times10^{10}m^2/a$，冬季可供暖面积$1.75\times10^{10}m^2/a$。**





# 1 地热产业发展现状

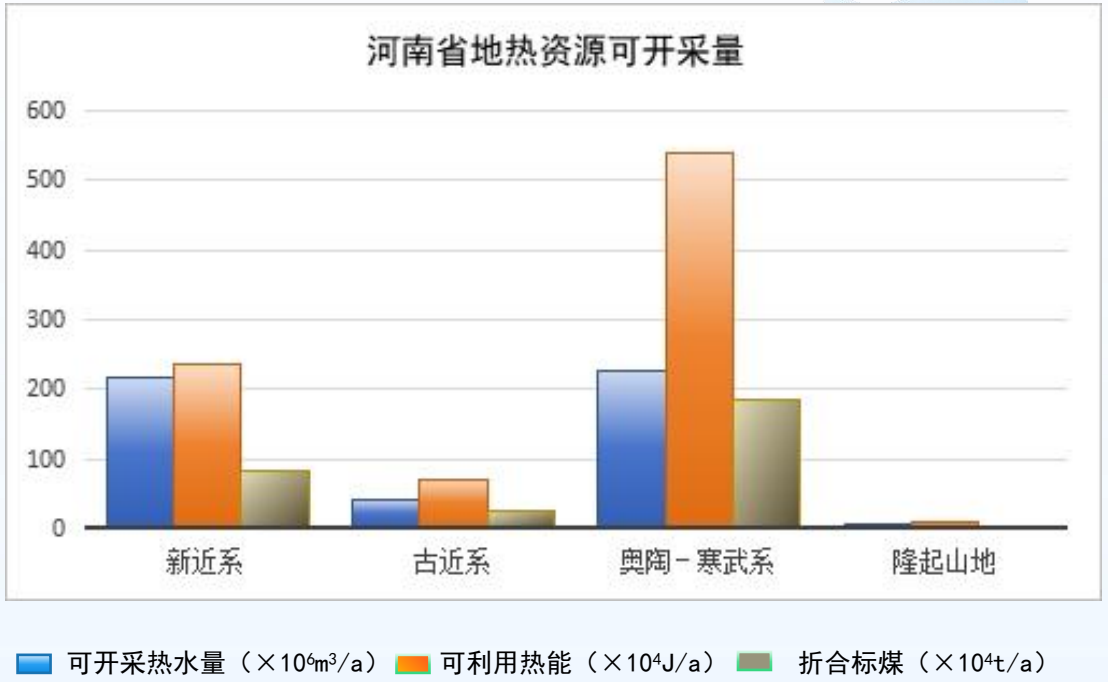
## 地下土壤源系统供暖制冷



# 1 地热产业发展现状

## 1.2.2 中深层水热型地热资源可开采量

目前，河南省地热勘查开发的热储层主要有新近系（明化镇组、馆陶组）、古近系砂岩（E）和碳酸盐（O+∈）。其中，新近系热储层可开采热水量为$2.16\times10^{8}m^{3}/a$（占比44.12%），可利用总热能量为$2.37\times10^{16}J/a$（占比27.69%），折合标准煤$8.11\times10^{5}t/a$（占比27.70%）；古近系热储层可开采热水量为$3.98\times10^{7}m^{3}/a$（占比8.13%），可利用总热能量为$7.14\times10^{15}J/a$（占比8.34%），折合标准煤$2.44\times10^{5}t/a$（占比8.34%）；下古生界奥陶 - 寒武系碳酸盐岩热储层开采热水量为$2.28\times10^{8}m^{3}/a$（占比46.58%），可利用热能量为$5.38\times10^{16}J/a$（占比62.85%），折合标准煤$1.84\times10^{6}t/a$（占比62.85%）。隆起山地可采热水量为$5.69\times10^{6}m^{3}/a$（占比1.16%），可利用热能量为$9.49\times10^{14}J/a$（占比1.11%），折合标煤32372.16t/a（占比1.11%）。如图所示。

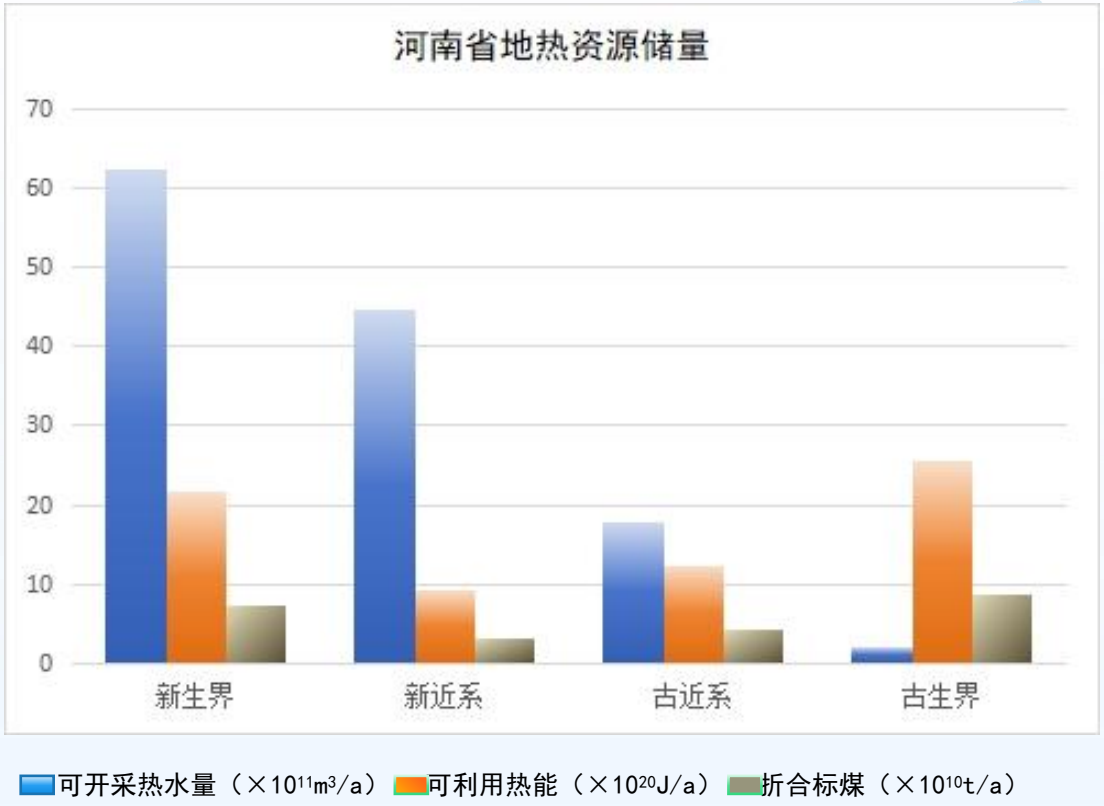



图中显示奥陶寒武热储可开采资源量和折合标准煤最大，其次是新近系。隆起山地可开采地热资源量较小，其原因是地热资源勘查工作部署较少。通过“十四五”期间的深部地热探测和钻探证实：在太行山前和豫西山区隆起山地片麻岩、碎屑岩和安山岩等储层的地热资源潜力巨大，也是未来我省地热资源勘查开发的主要方向。

# 1 地热产业发展现状

## 1.2.3 地热资源储量

沉积盆地区热储层地热水总储存量为6.44×10¹²m³，热能总储存量为4.18×10¹⁶J，折合标煤1.62×10¹¹t。其中，新生界热储层地热水总储存量为6.25×10¹² m³，热能总储存量为2.16×10²¹J，折合标准煤7.39×10¹⁰t（新近系明化镇组和馆陶组热储层地热资源量总计4.46×10¹²m³，热能总储存量为9.21×10²⁰J，折合标煤3.15×10¹⁰t；古近系热储层地热资源量总计1.79×10¹²m³，热能总储存量为1.24×10²¹J，折合标煤4.25×10¹⁰t）；古生界地热水总储存量为1.90×10¹¹m³，热能总储存量为2.56×10²¹J，折合标准煤8.76×10¹⁰t。如图所示。



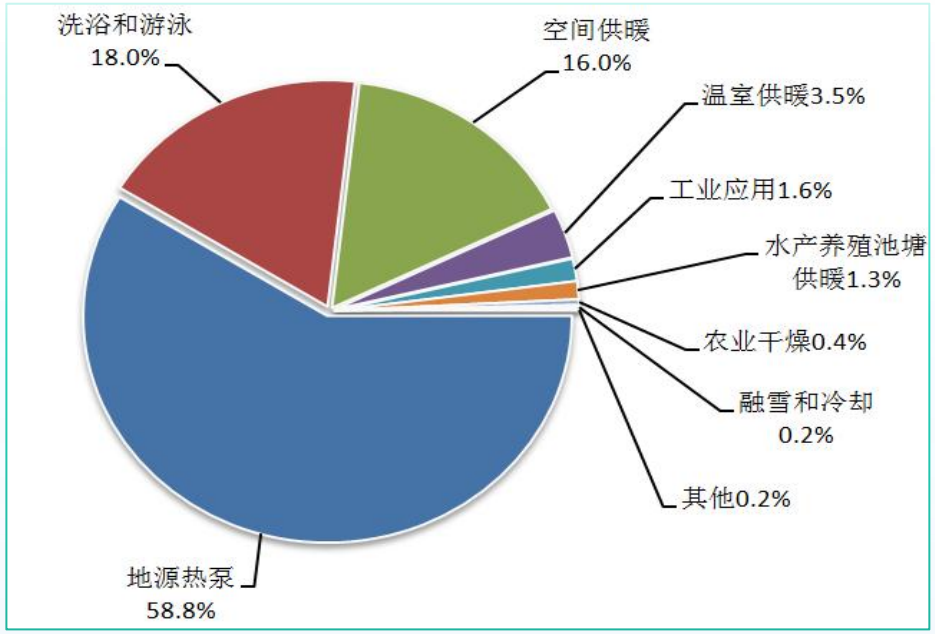

图中可以看出：新近系地热流体量最大，占比69%，主要是因为储层埋深较浅，地层孔隙率高，渗透性好。古生界仅占3%偏低，其原因有2方面，一是岩溶发育程度低或被方解石等矿物充填等地质客观因素；二是储层埋深较大，钻井过程中钻井液中固相物质充填或对储层的损害，造成裂隙或孔洞堵塞的人为因素。

古生界地热能储存潜力最大，与古近系地热流体相比，具有良好的品质。同时，开发利用对地质环境影响最小，是目前优先开采的主要热储层。

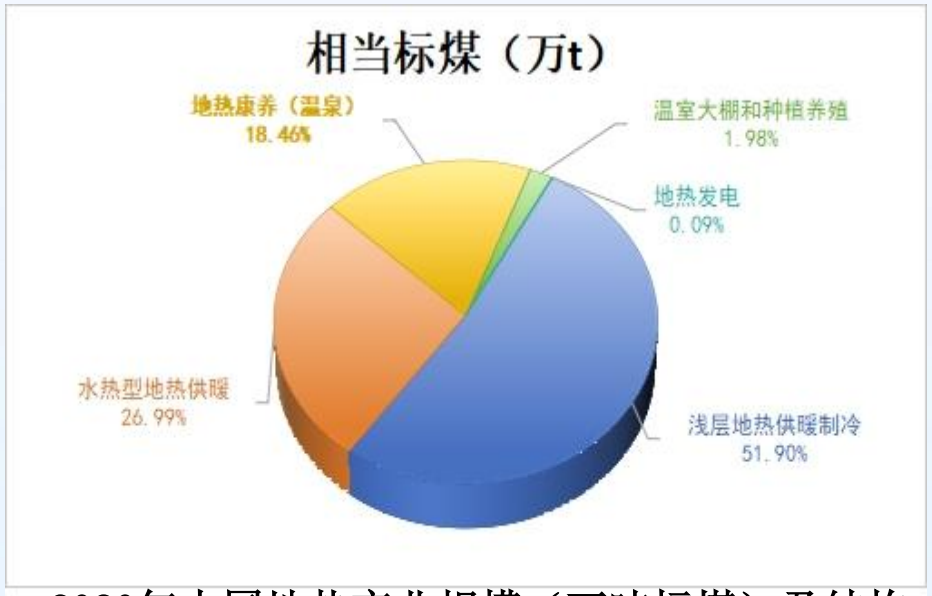
# 1 地热产业发展现状

## 1.3 地热产业规模化建设

浅层地热能和中深层水热型地热资源是全球地热直接利用最主要的方式，主要分布在北美、北欧和中国等地区。根据2021年第六届世界地热大会数据，2020年直接利用地热能的国家和地区已从1995年的28个增至88个。到2020年浅层地热能（地下水源和地下土壤源热泵）利用量占比约为58.8%。温泉康养方面，包括洗浴、游泳、娱乐等，具有很高的附加值，虽然没有政府的主动推动，却一直在自发地迅速发展，地热能利用量占比约为18%。空间供暖（其中绝大部分是区域供暖）的地热能利用量约占16%，主要集中在中国、冰岛、土耳其、法国、德国等国。此外，温室供暖的地热能利用量约占3.5%，工业应用约占1.6%，水产养殖池塘供暖约占1.3%，农业干燥占0.4%，融雪和冷却占0.2%，其他方面占0.2%,如图3所示。




2020年全球地热能各领域直接利用量占比




2020年中国地热产业规模（万吨标煤）及结构

# 1 地热产业发展现状

河南省在政策和公益性财政资金支持下，企业积极参与，全省从“十三五”到“十四五”后期，在地热资源勘查开发利用产业方面累计投入资金高达3999.4亿元，其中，地热资源调查评价地勘基金约2.8亿元（含全省浅层地热能调查评价），占比0.07%；浅层地热能开发利用2011.6亿元，占比50.30%；中深层水热型地热供暖1125亿元，占比28.13%；地热康养860亿元，占比21.50%。

地热清洁供暖或制冷面积高达15305.5万$m^2$（含地热康养面积折算）。其中，浅层地热能供暖制冷面积6705.5万$m^2$,占比43.81%；中深层水热型地热供暖面积7000万$m^2$，占比45.74%；规模化地热康养（温泉）30余处，总用热能力638017.92KW（换算供暖面积为1600万$m^2$），占比10.45%。如图所示。

# 1 地热产业发展现状

综上可以看出：（1）河南省地热资源利用方面与国内外地热产业规模及结构比例类似，主要以浅层地热能供暖制冷、中深层水热型地热供暖和地热康养为主，占比较高。在工业利用、农业烘干、温室大棚、种植养殖和地热发电方面占比较低，有些甚至为零。（2）在政策大力支持的情况下，少量的公益性地勘基金的投入（2.8亿元），带动了3996.6亿元的社会资金投入。（3）浅层地热能投入是中深层水热型地热投入的1.79倍，中深层水热型地热供暖，较低的投入能实现较大面积的清洁供暖。说明中深层地热供暖经济性优于浅层地热能。（5）地热康养发展迅速，说明人们对健康理念的认识进一步提升。同时，也带动了特色小镇、温泉度假、医疗保健、旅游观光、温室大棚、种植养殖和健康养老等产业的发展和经济增长。

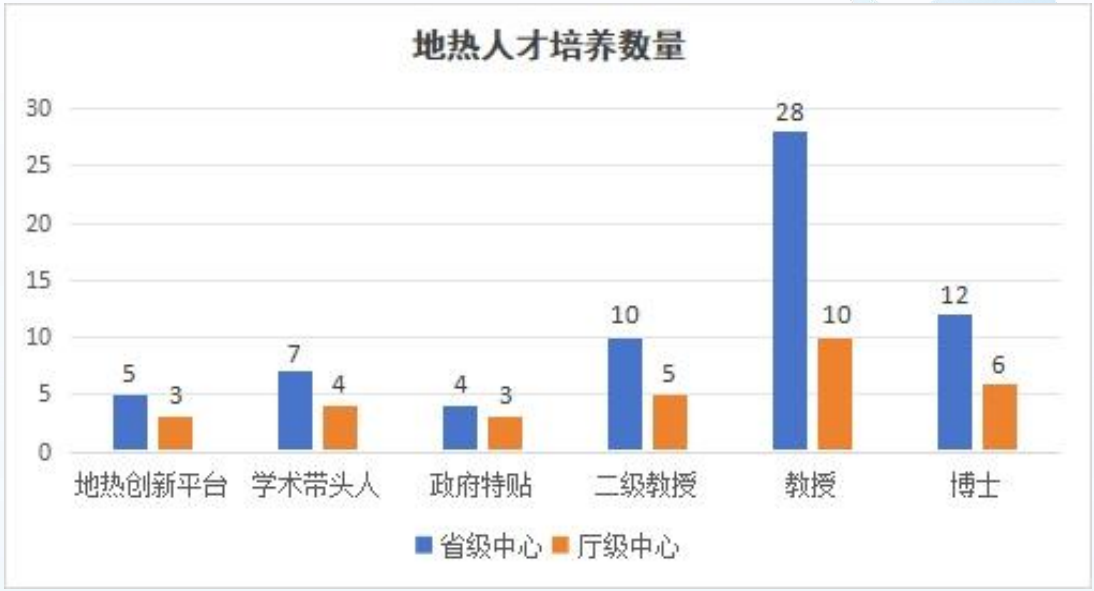
河南省在浅层地热能供暖制冷、中深层水热型地热供暖面积和地热康养方面位居全国前列。

# 1 地热产业发展现状

## 1.4 地热产业技术创新和标准化建设

### 1.4.1 人才培养方面

“十三五”和“十四五”期间，我省从事地热资源勘查、研究单位26家，主要是全省地勘队伍，从业人员达5000余人次；地热投资企业由“十三五”初期的100余家，减少到目前的10余家；省级和厅级地热工程技术研究中心8个。原地矿局1名地热专业技术人员



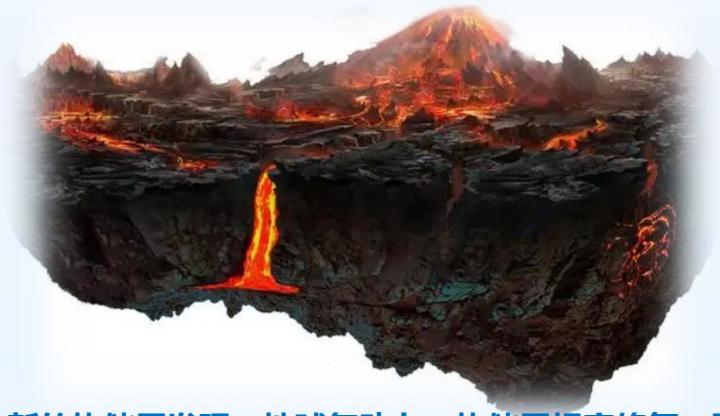

连续二届被国家能源局聘为国家能源行业地热能专业标准化技术委员会委员，3名被聘为第二届地热能专业标准化技术委员会专家；11名评为河南省学术技术带头人，7名享受国务院政府特贴。近年来共培养地热方向二级教授16名、教授和教授级高级工程师38名、高级工程师97名、博士18名、硕士40余名。在我省初步形成一定规模的地热科研、勘查、施工和运营的专业队伍和技术力量，如图所示。

# 1 地热产业发展现状

## 1.4.2 地热科技创新方面

在地热科技创新方面，我省地勘单位同样走在国内前列。完成了“云南腾冲火山地热构造带科学钻探工程”国家深部探测专项1项（1100万元），省重点研发专项5项（1100万元）。据初步统计，近十年来共完成地热科技攻关和科研项目（省级、高校、厅局级和院级）53项（3000万元）。目前承担的省级重点研发专项3项；授权发明专利8余项，目前申请受理的发明专利4项；发表学术论文80余篇。其中，由河南省地质研究院和省地质局生态环境地质服务中心共同完成的《地球气体动力与地热煤系气形成机制研究》课题，被认为实现了基础理论重大突破、填补了国内外空白，成果为国际先进、国内领先。对国内外地热系统理论进行了完善和发展，为今后深部地热资源和煤系气资源的甜点预测和靶区选定具有重要的指导意义。原省地矿局环境二院完成的《“二合一”空气钻井技术研究与应用》和《地热资源增产技术研究与应用》等课题，在豫西深部地热钻探中使钻探效率提高70%~160%，减少了钻井液的污染，实现了绿色勘查目的。在火成岩、变质岩和沉积岩中通过热储层改造，分别使地热井增产270%、300%、142%。这些技术均处在国内领先水平。

# 1 地热产业发展现状

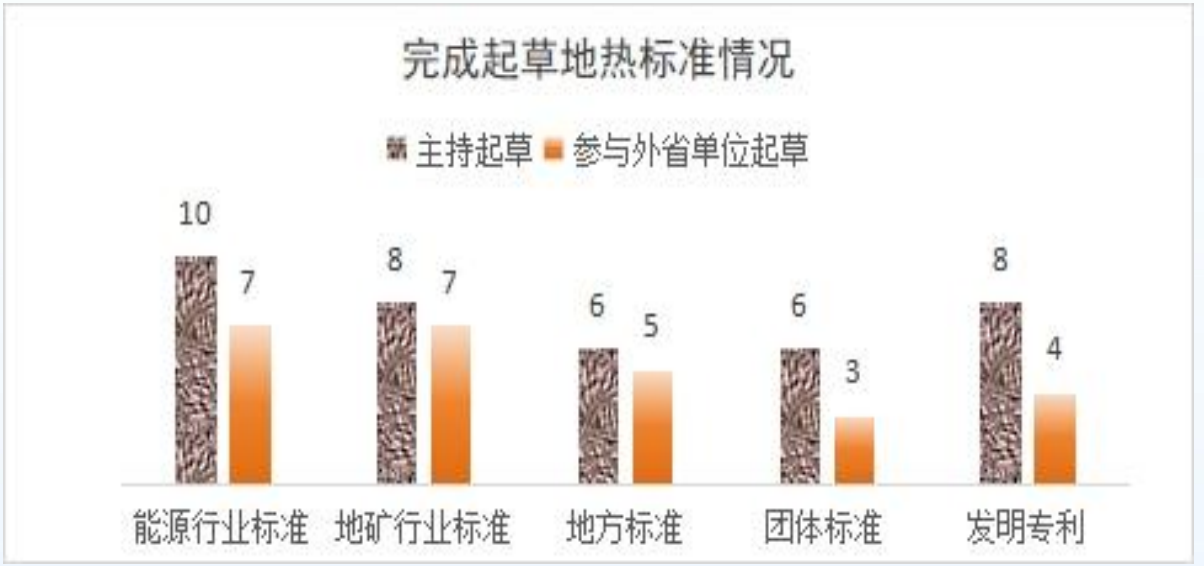


新的热储层发现、地球气动力、热储层损害修复、同井抽采回灌技术等方面均取得了重大成果

# 1 地热产业发展现状

### 1.4.3 地热标准化建设

近年来，我省主持和参与编制的国家能源行业（地热）方面行业标准17项,其中，《浅层地热能地下换热工程验收规范NB/T10276-2019》、《浅层地热能钻探工程技术规范NB/T10277-2019》、《地热井钻井地质设计规范NB/T 10267—2019》、《地热井井身结构设计方法NB/T 10696—2021》等已发布。《地热资源开发利用区域规划编制规范》、《地热资源开发利用绿色矿山建设规　范》、《地热储层损害改造增产技术规范》和《地热储层保护技术规程》已批准立项，目前编制中。主持地矿行业标准起草6项，作为主要起草单位参编了地矿行业地热标准5项，分别是：《地热钻探技术规程DZ/T 0260-2014》、《多工艺空气钻探技术规程DZ/T 0304-2017》和《液动冲击回转钻进技术规程DZ/T 0053-2021》。2024年中国地质学会团体标准《地热康养利用规范》，目前已通过立项答辩，正在编制草稿。另外，立项通过省内协会团体标准6项、地方标准10余项。内容涉及中深层水热型地热资源开发利用方案、地热资源监测、地热监测设备安装、浅层地热能开发等，如图所示。



# 1 地热产业发展现状

## 1.5 经济社会环境效益

全省地热资源利用节煤直接经济效益　　单位：×10⁶万元/a

| 地热类型 | 浅层地下水源 | 浅层地下土壤源 | 中深层水热型 | 总 计 |
|---|---|---|---|---|
| 不考虑土地利用系数 | 1.98 | 12.1 | 0.174 | 14.25 |
| 考虑土地利用系数 | 0.316 | 1.09 | 0.174 | 1.58 |

全省地热资源利用主要污染物减排量　　单位：×10⁴t/a

| 主要污染物 | 二氧化硫 | 氮氧化物 | 二氧化碳 | 粉 尘 | 灰 渣 |
|---|---|---|---|---|---|
| 地下水源 | 47.97 | 1.69 | 6732.28 | 22.57 | 1128.67 |
| 地下土壤源 | 294.88 | 104.07 | 41386.62 | 138.76 | 6938.48 |
| 中深层地热 | 4.92 | 1.74 | 690.67 | 2.32 | 28.95 |
| 累 计 | 347.77 | 107.50 | 48809.57 | 163.65 | 8096.10 |

地热资源可广泛应用于清洁供暖或制冷、地热康养、特色小镇、温泉度假、旅游观光、农业烘干、工业利用、种植养殖、温室大棚等领域。无论是城市还是乡村，地热资源的利用可以带动民生工程和当地经济发展。在人员就业、设备仪器制造、施工安装、监测等方面起到带动作用。同时，对生态文明建设和“双碳”目标的实现具有重大意义。如：洛阳凤翔温泉山庄，仅1口地热井（120m³/h、98℃）就安置当地农民400余人就业，通过室外泳池、露天泡池、观景窑洞、山地汤池和温泉酒店（会议）等形式，吸引国内外游客，平均年营业收入过亿元。河南省工人温泉疗养院（60m³/h、63℃），每年免费接待省级劳模、先进工作者和一线工人3000余次，安排当地人员160人从事中医+地热康养理疗工作，通过中医理疗和地热康养，每年额外创收2100万元。所以，地热资源的开发利用的社会效益与经济效益和环境效益一样显著。

# 2.主要问题

1.地热属性和概念模糊问题

2.管理与监管方面问题

3. 资源利用方面问题

4.地热系统理论及工程技术问题

# 2 主要问题

## 2.1 地热属性和概念模糊问题

地热资源和地下水资源都属于原始状态下自然形成的矿产资源。国家标准《地热资源地质勘查规范》定义了地热资源概念：是指能够经济地被人类所利用的地球内部的地热能、地热流体及其有用组分，目前可以利用的地热资源主要包括：天然出露的温泉、通过热泵技术开采的浅层地热能、通过人工钻井直接开采利用的地热流体以及干热岩中的地热资源。水利部行业标准《地下水资源勘察规范》定义的地下水资源概念：是指含水层中具有利用价值的地下水水量。根据《中华人民共和国矿产资源法（2009年修正）》、《矿产资源勘查区块登记管理办法（中华人民共和国国务院令第240号）》、《中华人民共和国矿产资源法实施细则（中华人民共和国国务院令第152号）》等法律法规明确了地热属于能源矿产，地下水和矿泉水属于水气矿产，《中华人民共和国可再生能源法》明确地热为可再生能源，由此可见：**地热资源和地下水资源属于不同类别的矿产资源，地热属于可再生的能源矿产资源。**

# 2 主要问题

## 2.2 管理与监管方面问题

（1）管理职能交叉错位：由于地热资源和地下水资源概念不清，造成了不同地区行政管理部门的理解差异和管理体制机制未理顺，出现了职能交叉、错位等问题。最终导致地热产业发展滞后、企业投资困惑等问题。

（2）产业规划难以落实：国家和省级层面相关可再生能源和地热规划出台后，多数地区尚未依据当地的能源资源情况编制“区域的地热专项规划”，且基本没有纳入城市总体发展规划和土地规划中。所以，出现了国家和省级层面的规划任务目标完成困难。

（3）税费政策缺乏针对性：目前，我国地热产业税费政策有关规定并未考虑地热资源开发利用特殊情况，缺乏针对性，基本上都是按照抽取地热水量计税，而不考虑回灌量。这样以来显然不合理，在增加企业成本的同时，也伤害了企业投资的积极性。

（4）缺乏监管和业务指导：行政管理、地热勘查、企业投资、工程施工、动态监测、可持续评价等单位各自为战，缺乏协调性和事前、事中、事后监管。从而导致地热资源开发利用粗放、地热尾水随意排放、综合梯级利用不合理等问题。

# 2 主要问题

## 2.3 资源利用方面问题

（1）地热能利用率满足不了最低指标

根据中华人民共和国地质矿产行业标准《矿产资源"三率"指标要求 第 15 部分：地热、矿泉水》（未发布）和《矿产资源工业要求参考手册》要求，地热资源高效利用主要从地热尾水回灌率和地热能利用率2个指标评价

地热能利用率评价指标

| 类 别 | 孔隙型 | 岩溶裂隙型 | 供暖地热利用率 |
|---|---|---|---|
| 领跑指标 | 热流体回灌率不低于90% | 地热流体回灌率不低于98% | 地热能利用率不低于90% |
| 一般指标 | 地热流体回灌率不低于80% | 地热流体回灌率不低于95% | 地热能利用率不低于 80% |
| 最低指标 | 地热流体回灌率不低于60% | 地热流体回灌率不低于90% | 地热能利用率不低于 60% |

地热回灌率计算公式：$\varepsilon=\frac{Q_{灌}}{Q_{采}}\times 100\%$

式中：ε—地热流体回灌率，%；$Q_{灌}$—回灌的地热尾水量，$m^3$；$Q_{灌}$—实际开采地热流体资源量，$m^3$。

地热能利用率计算公式：$\eta=\frac{t_1-t_2}{t_1-t_0}\times 100\%$

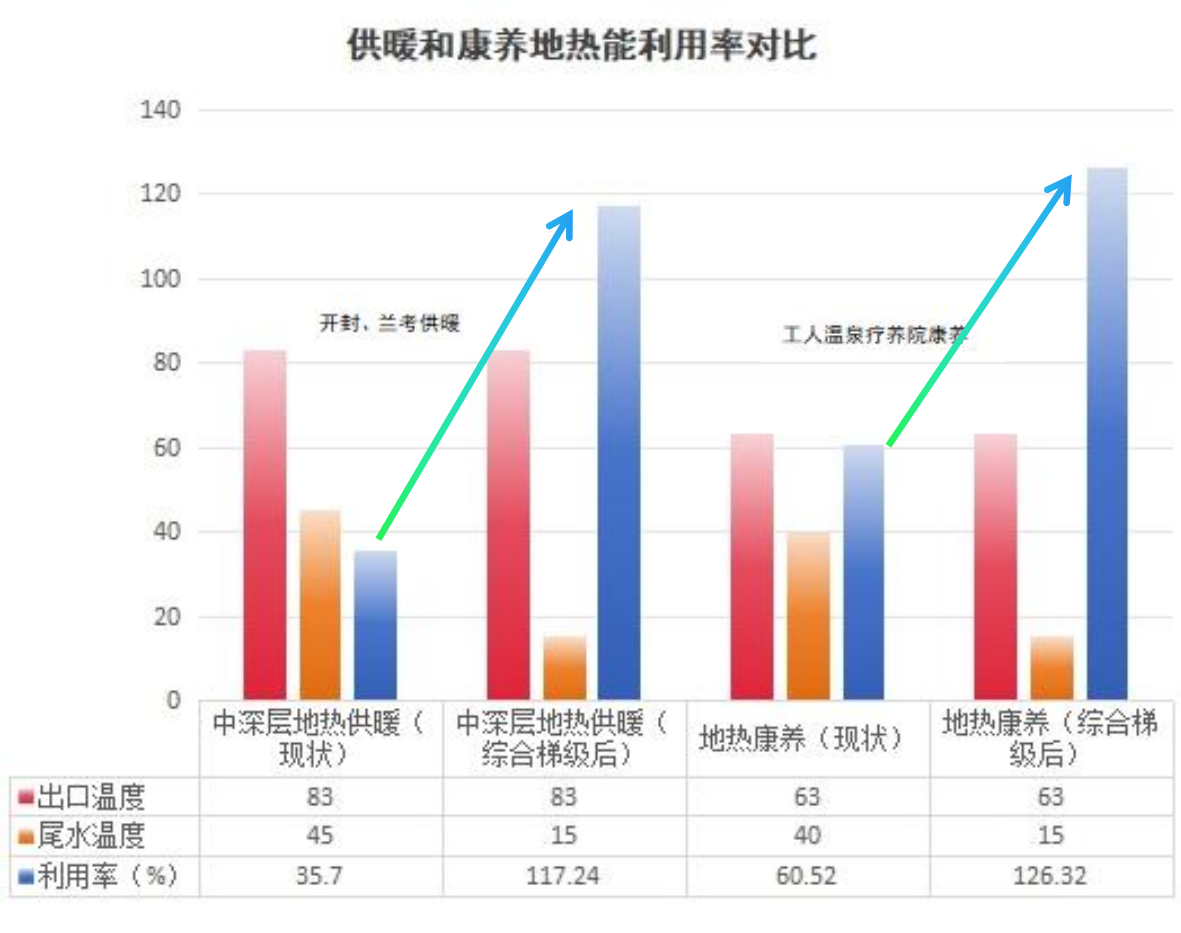
式中：η—地热能利用率,%；$t_1$—平均地热出水温度，℃；$t_2$—平均地热尾水温度，℃；$t_0$—基准温度，℃。在计算地热能利用率时，供暖型地热矿山，基准温度取25℃。

# 2 主要问题

以开封、兰考地热供暖为例（孔隙型地热资源）：地热出水温度为83℃，尾水回灌温度为45℃。按照上述公式计算可知：地热回灌率为35.7%，地热能利用率为65.52%。如果采用多梯级利用，将地热尾水温度降到15℃以下回灌，则地热能利用率将达到117.24%。

以洛阳凤翔温泉山庄（地热出水温度98℃）、河南省工人温泉疗养院（地热出水温度63℃）和荥阳溪谷温泉（地热出水温度45℃）地热康养为例（岩溶裂隙型地热资源），地热康养尾水排放温度平均为40℃，按照利用率计算公式分别得出地热能利用率分别为79.45%、60.52%和25%。全省地热康养几乎都处于山区、山前等乡镇，如果把地热供暖（康养区或周边建筑物）—地热康养—游泳池—温室大棚（花卉或蔬菜）综合梯级利用，将尾水降至15℃后再处理排放（回灌），则地热能利用率将分别提高到113.70%、126.32%和150%。

通过上述计算和图可知：目前我省的地热回灌率和热能利用率均低于最低指标。如果做到梯级综合利用，同样的资源和温度，其地热能利用率将大幅度提高，均可超过领跑指标。




| | 中深层地热供暖（现状） | 中深层地热供暖（综合梯级后） | 地热康养（现状） | 地热康养（综合梯级后） |
|---|---|---|---|---|
| 出口温度 | 83 | 83 | 63 | 63 |
| 尾水温度 | 45 | 15 | 40 | 15 |
| 利用率（%） | 35.7 | 117.24 | 60.52 | 126.32 |

# 2 主要问题

（2）综合利用和梯级利用程度低

目前，我省地热资源开发利用方式单一、粗放。有些地区地热供暖为了减少热泵开启时间、节省电耗，在相对高温（≥70℃）高水量（≥70m³/h）条件下，直接采用抽水换热一级供暖模式，把40~50℃地热水作为尾水回灌，出现地热利用率低问题。豫北、豫西山区地热康养基本直接排放，没有把地热供暖、康养、农业烘干、温室大棚结合起来进行综合利用。这些都是造成资源、能源浪费和企业效益不佳的直接原因。

# 2 主要问题

## 2.4 地热系统理论及工程技术问题

### （1）地热系统理论问题

目前，国内关于地热系统理论许多专家学者认为：地热系统主要由“热源、通道、水源、储层、盖层”5个方面构成，同源共生-壳幔生热-构造聚热”的新观点，对我国中深层水热型地热资源勘查开发起到了一定作用。但是，随着勘查开发深度的增加，目前我省地热资源勘查开发深度基本上都在2000~3800m。实际效果却不及预期，特别是岩溶热储的地热资源勘查开发风险更大。通过已有的地热资源勘查和钻井工程实践来看，达到预期成果和效果的不足50%。其表现形式主要有：有热无水、有水无热、无热无水等。有些地热井布置在主要控热和导热构造带上，却无热无水或温度、水量都较低，而距构造带几十千米的地热井却温度、水量都远远高于近处；有些地热井在同一断裂带和水文地质单元上，井间距相差不足几百米，而水量和温度却相差很大等等。这些地热井位都满足了“热源、通道、储层、盖层”的地热系统要求，为什么存在这种天壤之别现象？由此看来：在深部地热资源形成机制方面，由于地质条件和深部构造差异较大、热储层非均质性强，到目前为止，还没有形成一套成熟的地热地质学理论，从而导致深部地热资源靶区精准选定和甜点预测等问题。

# 2 主要问题

（2）地热储层类型及损害机理研究尚未关注

地热储层类型划分与损害机理研究至今尚未引起人们的关注和重视。目前，在地热资源勘查开发中仅出现砂岩热储和岩溶热储2种类型的概念。由于储层概念和类型的含糊不清，从而造成了钻井方法、钻井液选择不当和资源评价失真现象。在热储层损害机理和损害程度评估方面，更是没有规范要求，使地热完井工序缺失，最终导致水量小、温度低，甚至报废等问题。

# 2 主要问题

（3）深部地热钻探技术问题

随着地热资源勘查开发深度的增加，由以往1000~1500m新近系明化镇组、馆陶组孔隙型为主的地热储层，增加至目前1500~4000m碳酸盐岩溶热储和其它岩性裂隙型热储。钻遇地层主要有新生界、中生界、古生界、元古界及太古界地层等，钻井深度的增加不仅使钻井工艺、钻井液选择、井内事故处理、洗井方法等工程技术难度的增加，更重要的是在钻井和开发过程中，由于人为工程的扰动或井内事故处理，诱发热储层原始地质环境（应力、温度、水化学成分、动力）的改变。这些改变将对热储层造成不同程度的损害，轻者使地热井水量下降，重者则导致地热井报废，特别是传统的正循环泥浆钻进工艺，其钻井液侵入和井内压力液柱静、动压力是热储层损害的主要因素，也是不可避免普遍存在的问题。再者，多数地热井完井后仅用潜水泵抽水洗井，根本起不到储层损害修复改造作用。如郑州华南城2口3600m和3800m地热井，嵩县滑雪场3000m地热井，都是岩溶热储。但是，单井出水量均不足3$m^3$/h。其人为因素都是钻井周期长，采用正循环泥浆钻进，出现钻井液侵入储层发生物理化学结构性破坏和固体颗粒堵塞。裂隙和孔洞发育程度越低，其损害程度越高。

# 2 主要问题

**地热尾水回灌不是问题，大家不要过分强调回灌问题！**

## （4）地热尾水回灌问题

地热尾水回灌工作开始于上个世纪60 年代后期，从国外文献来看：回灌的主要目的是：解决储层流体压力降低、避免地热流体污染、生活工业污水排放等问题。冰岛是地热资源开发利用较早和规模较大的国家，从上世纪70年代后期开始大规模开发地热，主要用于地热发电、建筑物供暖、地热康养和道路融雪等，因为大多数中低温热储的地热水矿化度较低，对环境构成的威胁相对较小，而且由于地质构造环境的特殊性，地下水补给充足，所以都未进行尾水回灌。我国从90年代开始，最早在北京、天津开始，政府鼓励地热尾水回灌，后开始在全国推广应用。据统计：全国地热尾水回灌率平均不足50%。回灌率过低，不能说明地热尾水回灌问题和技术性难题。无论是孔隙型（新近系），还是裂隙、溶洞型热储层。只要地下水头压力过大，几乎都不可能实现100%回灌。如：西安咸阳市是我国大规模开发利用地热资源的城市，目前使用的105口地热井和8口回灌井，回灌量小、回灌持续时间短，其主要原因是由于关中盆地主要热储层蓝田灞河组孔隙热储埋深大，储层原始压力大因素。我省栾川九龙山温泉疗养院1200m和1800m地热井（安山岩热储）使用6年从未回灌，目前，地热井水位仍保持在25m、30m未变化。主要原因是属于构造对流型地热资源，同时，地下水补给快、可再生能力强。

# 3 地热产业高质量发展研究

1.能源与环境形势

2.地热产业及高质量发展标志

3.高质量发展目标任务

4.优化管理职能和税收政策，简化审批程序

5.中低温地热发电潜力巨大

6.打造地热+品牌，推进地热综合梯级利用

7.推进地热温泉文化建设，打造康养度假产业

8.加强地热地质基础理论研究和工程技术创新

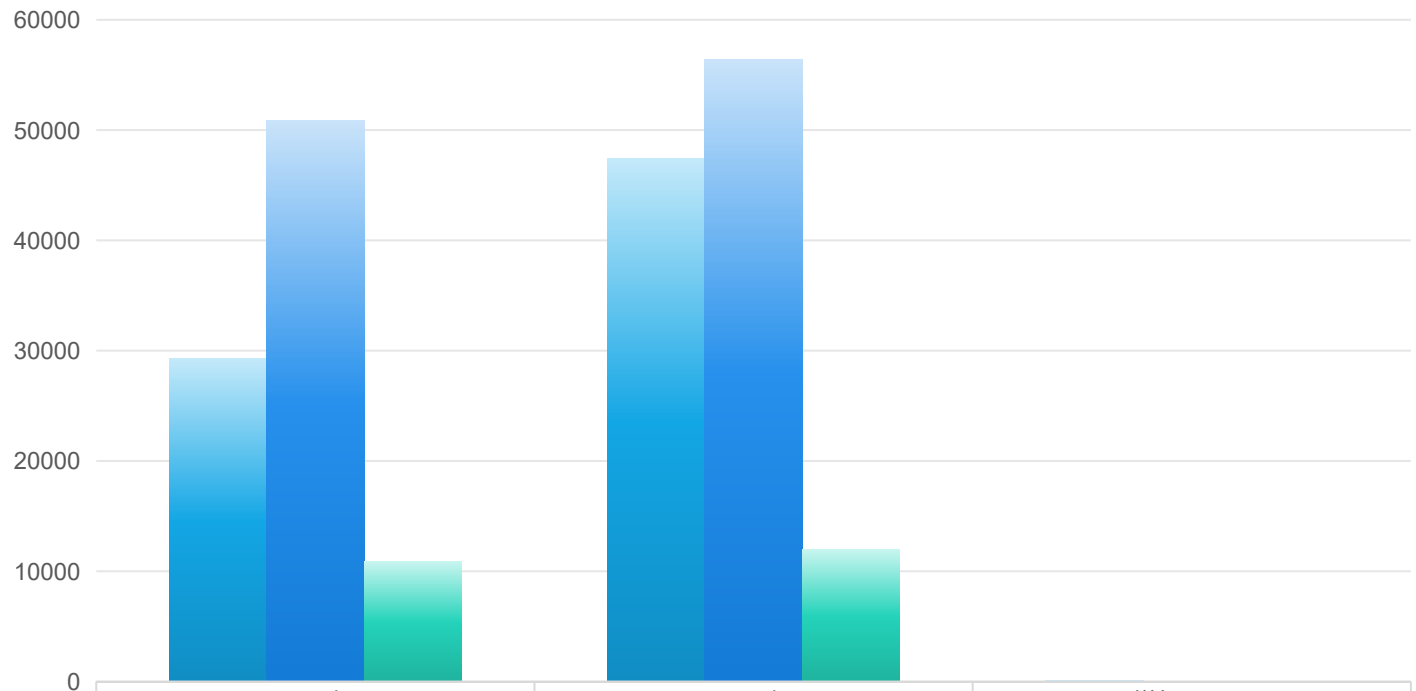
# 3 地热产业高质量发展研究

发展清洁能源，是改善能源结构、保障能源安全、推进生态文明建设的重要任务。 ——习近平

## 3.1 能源与环境形势

能源是国家安全和经济发展的基础，也是碳排放的最主要来源。目前，我国能源与环境形势依然严峻，煤炭消费仍占主导地位。右图为2022年和2023年我国进口能源情况。

### 2022年、2023年中国化石类能源进口情况




| | 2022年 | 2023年 | 增长（%） |
|---|---|---|---|
| 进口原煤（万t） | 29320 | 47442 | 61.8 |
| 进口原油（万t） | 50828 | 56399 | 11 |
| 进口天然气（万t） | 10927 | 11997 | 9.9 |

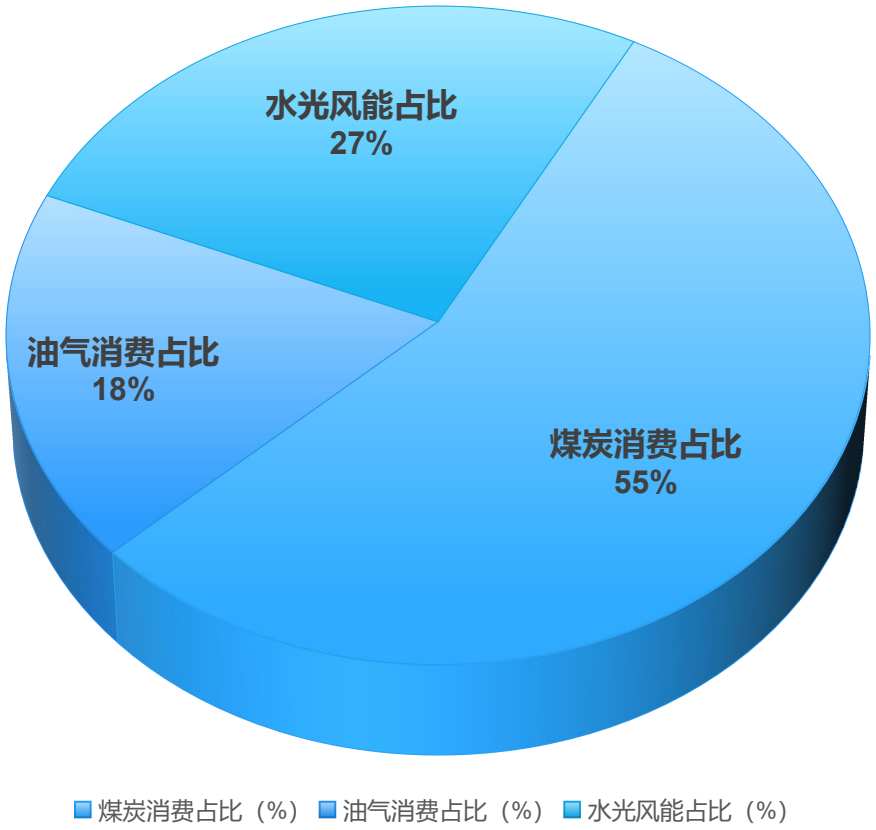
# 3 地热产业高质量发展研究

生态环境是关系党的使命宗旨的重大政治问题，也是关系民生的重大社会问题。——习近平

2023年我国的能源消费总量为57.2亿吨。水电、风电和太阳能发电虽然属于可再生能源，其占比略有上升，但是，遇到干旱和极端气候时发电能力具有极不稳定性和“靠天吃饭”问题。**2023年我国的温室气体排放量为126亿吨二氧化碳当量，较2022年的121亿吨增加4.13%。**

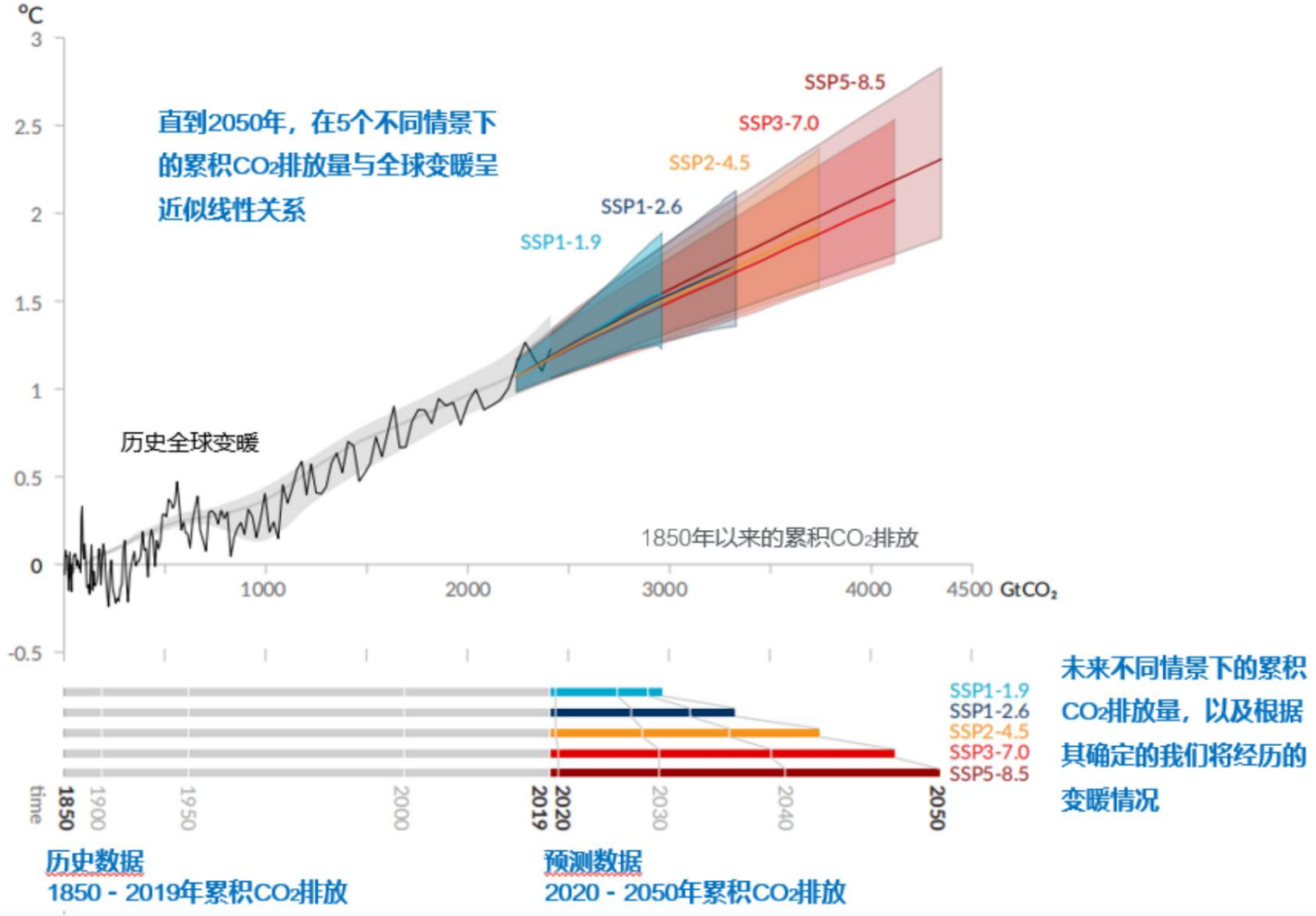
所以，我国能源资源依旧存在大的缺口，以煤炭消费为主，势必对生态环境和“双碳”目标的实现造成巨大压力。

地热是大自然馈赠人类的宝贵资源和能源。具有“热、矿、水、气”四位一体特征，是一种本土品质优良的资源和能源，同时具备“分布广泛、资源丰富、安全可靠、稳定持续、节能减排、直接利用”等优点。



# 每吨二氧化碳排放对全球变暖的加剧情况

自1850 - 1900年以来，地球表面温度升高（℃）与累积$CO_2$排放（$GtCO_2$，10亿吨$CO_2$）的关系

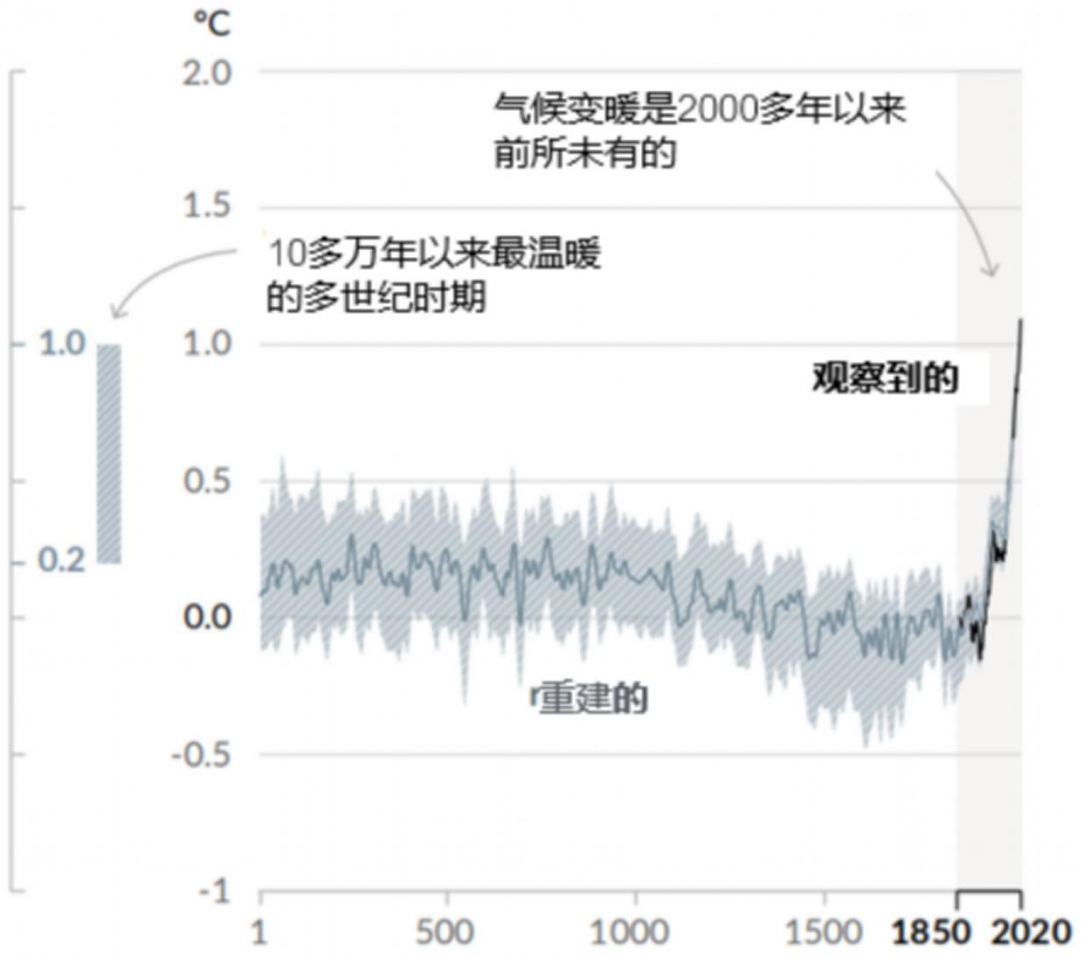



未来不同情景下的累积$CO_2$排放量，以及根据其确定的我们将经历的变暖情况

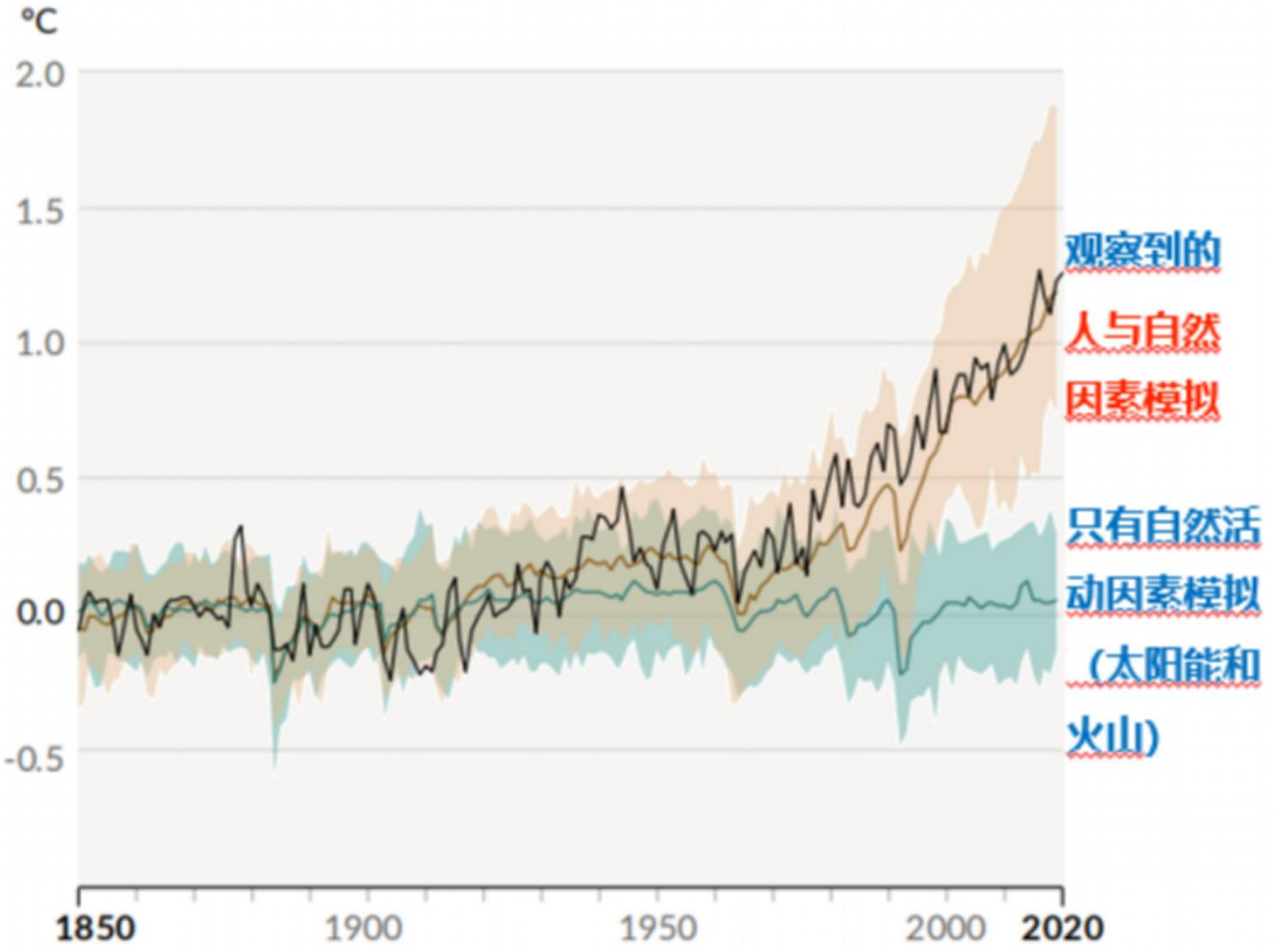
1. SSP1可持续发展：以可持续发展为重点的增长与平等世界；
2. SSP2中度发展：“道路中间”的世界，发展趋势大致遵循历史模式；
3. SSP3局部或不一致发展：零散的“复兴民族主义”世界；
4. SSP4不均衡发展：不平等日益加剧的世界；
5. SSP5常规发展：经济产出和能源使用快速且不受限制的增长的世界。

# 相对于1850-1900年地球表面温度的变化情况

a）重建的（1-2000年）以及观察到的（1850-2020年）地球表面温度变化（十年平均水平）




b）观察到的以及使用人与自然和只有自然活动因素模拟的（都是1850-2020年）地球表面温度变化（每年平均水平）



# 3 地热产业高质量发展研究

## 3.2 地热产业及高质量发展标志

地热资源产业化是指参与地热资源勘探、开发、应用等一系列过程活动的企事业单位集合体。地热产业主要由地热调查评价与监测、地热应用技术、地热人才培养体系、地热设备制造、地热工程设计施工以及地质环境管理等要素构成。

实现地热产业化高质量发展的标志是：一是资源勘探、规划设计、开发利用（地热产品）、监测保护及其相关设备的研制、生产、销售和人才培养等有机结合、互相衔接；二是资源综合梯级利用，实现绿色勘查和开发，地质环境安全性评价良好，地热能利用率≧90%。

# 3 地热产业高质量发展研究

## 3.3 高质量发展目标任务

### 3.3.1 总体思路

政策支持为前提、自主创新为核心、保护开发和热电并举、地热+综合梯级利用为需求导向。

### 3.3.2 近中期发展目标

近中期优先发展供热，用于建筑物供暖、温泉旅游、理疗康养、种植养殖、温室大棚、工业利用（锂、氦及卤水提取）、粮食烘干和蔬菜脱水等。

### 3.3.3 中长期发展目标

随着科技发展，可适时发展地热发电产业。资源利用方式追求高效，在热电利用基础上，努力形成“地热＋”多种新能源协同发展模式；以地热资源梯级利用为导向，通过工艺改造和创新，改变地热发电、地热供暖的传统设计方法，实现高低温逐级利用，最大限度地提高地热资源开发利用的经济价值

### 3.3.4 加大农村地热应用推广力度

北方农村地区供暖年消耗约$2\times10^8$ t标准煤，占北方供暖用煤年消耗的1/2。冬季农业、畜牧业地热应用市场和前景广阔。

# 3 地热产业高质量发展研究

## 3.4 优化管理职能和税收政策，简化审批程序

美国确立地热能法律属性，并将地热资源从各州收归联邦内政部统一管理，明确管理权责主体，以此规范地热资源管理、提高资源利用效率。此外，美国还通过地热租约权限和权利金（资源补偿费）调整两种手段进行监管。对地热资源的开发利用规定了严格的标准，赋予业绩稳定的项目运营企业优先权，租约期限最长可达80年；根据项目开发情况对权利金费率进行调整，从而实现对运营商地热项目的动态监管。为促进地热资源开发利用，多国设定了地热发展目标，或通过法案规定地热等可再生能源在国家能源消费结构中必须占一定比例。

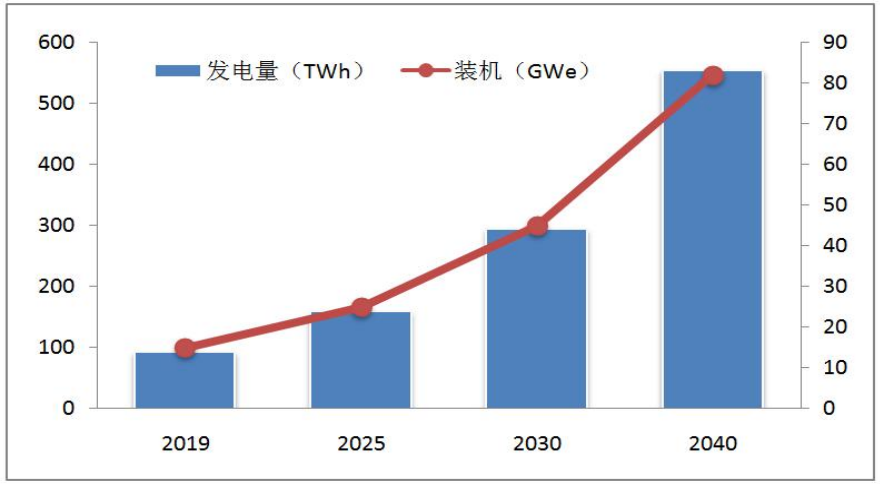
借鉴国内外经验，明确地热属性和管理部门，按照资源和热储类型、补给条件和地质环境安全性等进行地热开发利用分类管理和监管（优先、支持、控制和严控）。我省新近系明化镇组地热水质几乎都达到锶、偏硅酸天然饮用矿泉水标准，对于该储层严格保护和限采。对于新近系馆陶组、古近系、岩溶裂隙等储层地热流体几乎都是咸水、矿化度高等，不能用于生活、工业、农业、渔业和牧业，只能用于热能供给和康养理疗。所以，不能一刀切按照一般地下水进行管理。对于地热供暖工程，尾水回灌的不应再计税，对于完全排放的尾水则可按照当前政策进行税费收缴。

# 3 地热产业高质量发展研究

## 3.5 中低温地热发电潜力巨大

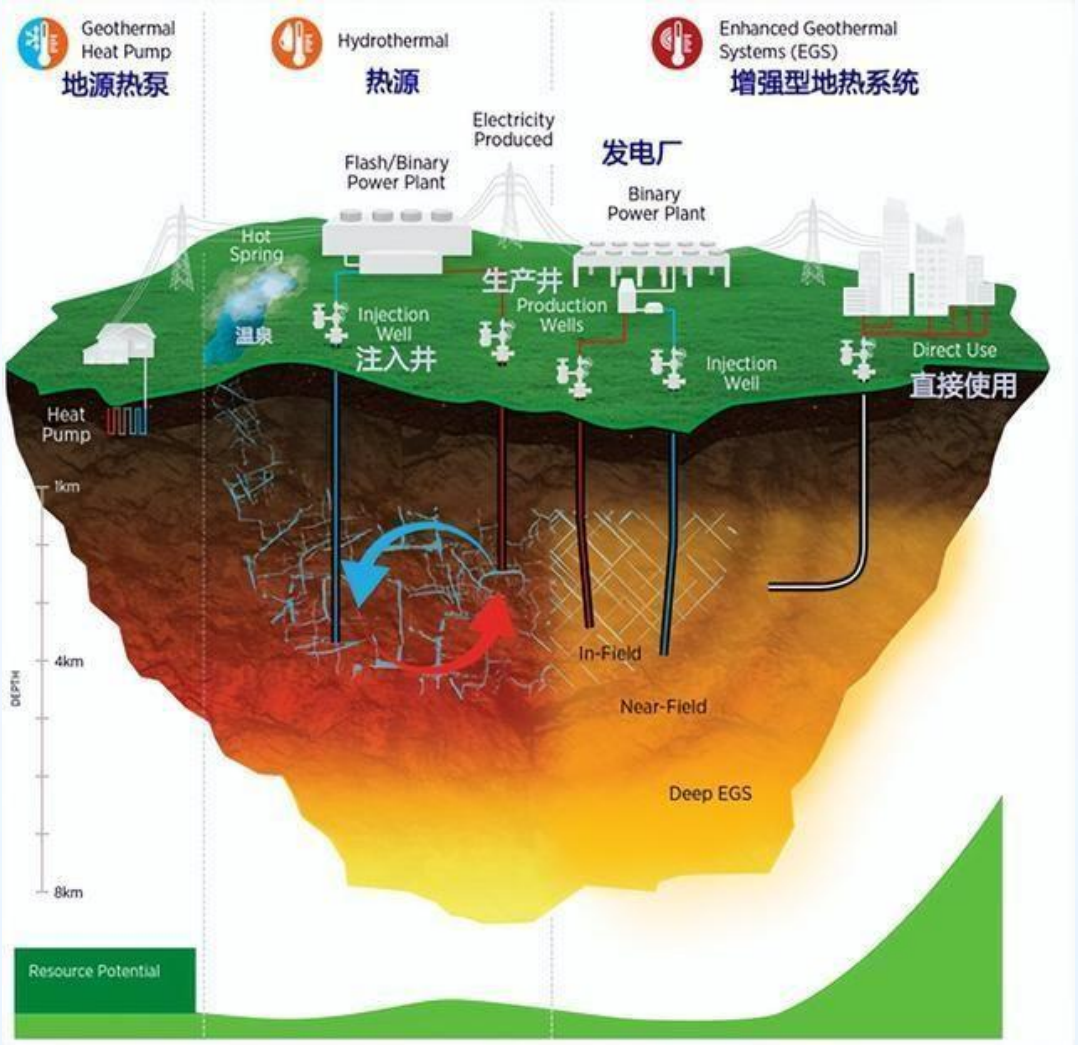
地热发电的机组利用率（容量因子）在0.70以上，是太阳能发电的5倍、风能发电的4倍、生物质能的1.5倍。地热发电全生命周期的$CO_2$排放潜值均值为15g$CO_2$当量/KWh，小于太阳能发电（46g）、风能发电（15.35g）和生物质能发电（25g）的排放潜值。2010-2019年期间，地热发电装机成本由5254美元/KW，降至3916美元/KW，降幅25.5%。随着科技进步，未来地热发电装机成本预计将降至2600美元/KW左右。

国际能源署可持续发展情景（SDS）的发展目标，将全球平均温升控制在2摄氏度以内，到2040年，全球地热发电装机容量将增至82吉瓦，地热发电量将增至553太瓦时，分别是当前水平的5倍以上。




全球未来地热发电量和装机容量目标

# 3 地热产业高质量发展研究



我省豫西山区南太行东麓构造型地热资源丰富，目前已发现最高温度达107℃，并且水量巨大。无论是从资源量方面，还是地理位置方面，都是地热发电的适宜区。所以，未来我省应该从中高温地热资源勘查及靶区选定、地热发电模式和设备研发方面加大力度，从政策和经费方面优先考虑，鼓励企业投资，尽早填补我省地热发电空白。

# 3 地热产业高质量发展研究

## 3.6 打造地热+品牌，推进地热综合梯级利用

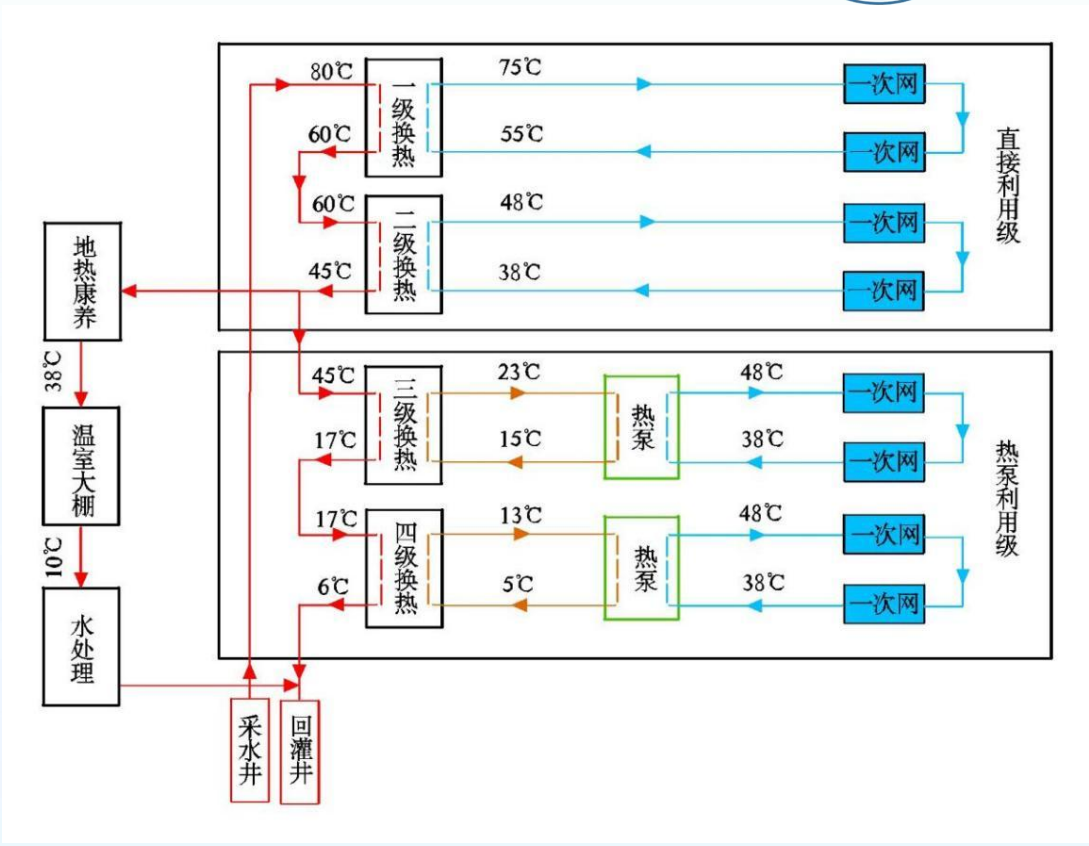
我省地热资源分布广泛、资源量大，特别在山区发现中高温地热资源。所以，利用优势资源带动其它产业，是地热能高质量发展的必然趋势。在地热能高质量发展方面，应该结合地域、资源和需求建立不同特色的综合梯级利用模式。

（1）城市：采用浅层地热能供暖制冷+中深层水热型地热供暖+地热康养（温泉）+公共场建筑热水供应（学校、医院、体育馆等）模式。

（2）农村：采用浅层地热能供暖制冷+中深层水热型地热供暖+农业烘干+地热康养（温泉）+温室大棚+种植养殖模式。

（3）山区：采用地热康养+温泉度假+自身建筑物供暖+观光旅游+温室大棚模式。

（4）中高温地热地区：地热发电+供暖+温泉度假。




中深层水热型地热综合梯级利用示意图

# 3 地热产业高质量发展研究

## 3.7 推进地热温泉文化建设，打造康养度假产业

有记载的用温泉洗浴和治病是公元前3000-4000年埃及人，中国利用温泉有2500年。一开始，人类动物在温泉中恢复疲惫，后来人类渐渐把泡温泉作为休闲养生、解压甚至治疗的方法，这种趋势迅速在全球漫延。日本人爱好温泉的程度达到三步一小汤，五步一大汤，泡汤对日本人而言已经成为日常生活中非常重要的一部分，也发展出一套不同于其他各国的泡汤文化及温泉疗效整理。中国早在先秦的《山海经》里就有了“温泉治百病”的记载。西安临潼县南骊山西北麓秦始皇当上皇帝后第一个工程就是建“骊山汤”，目的是为了治疗疮伤；唐太宗时扩建，改为“汤泉宫”，到747年，唐玄宗又在此大兴土木，就山势兴建行宫，改名为“华清宫”，并演绎了和杨贵妃爱情故事。李白、白居易等诗人也留下了不少创作，足见我国悠久的温泉历史文化。

我省深部多数地热流体中的氟、偏硅酸、锶、锂、溶解性总固体含量均达到国家医疗热矿水标准，对皮肤病、风湿、关节炎、血管硬化、妇科病、忧郁症等都具有良好的疗效。所以，在鼓励地热供暖的同时，支持和积极推进我省的地热温泉文化建设，使地热康养和旅游度假产业的新质生产力得到良性发展。

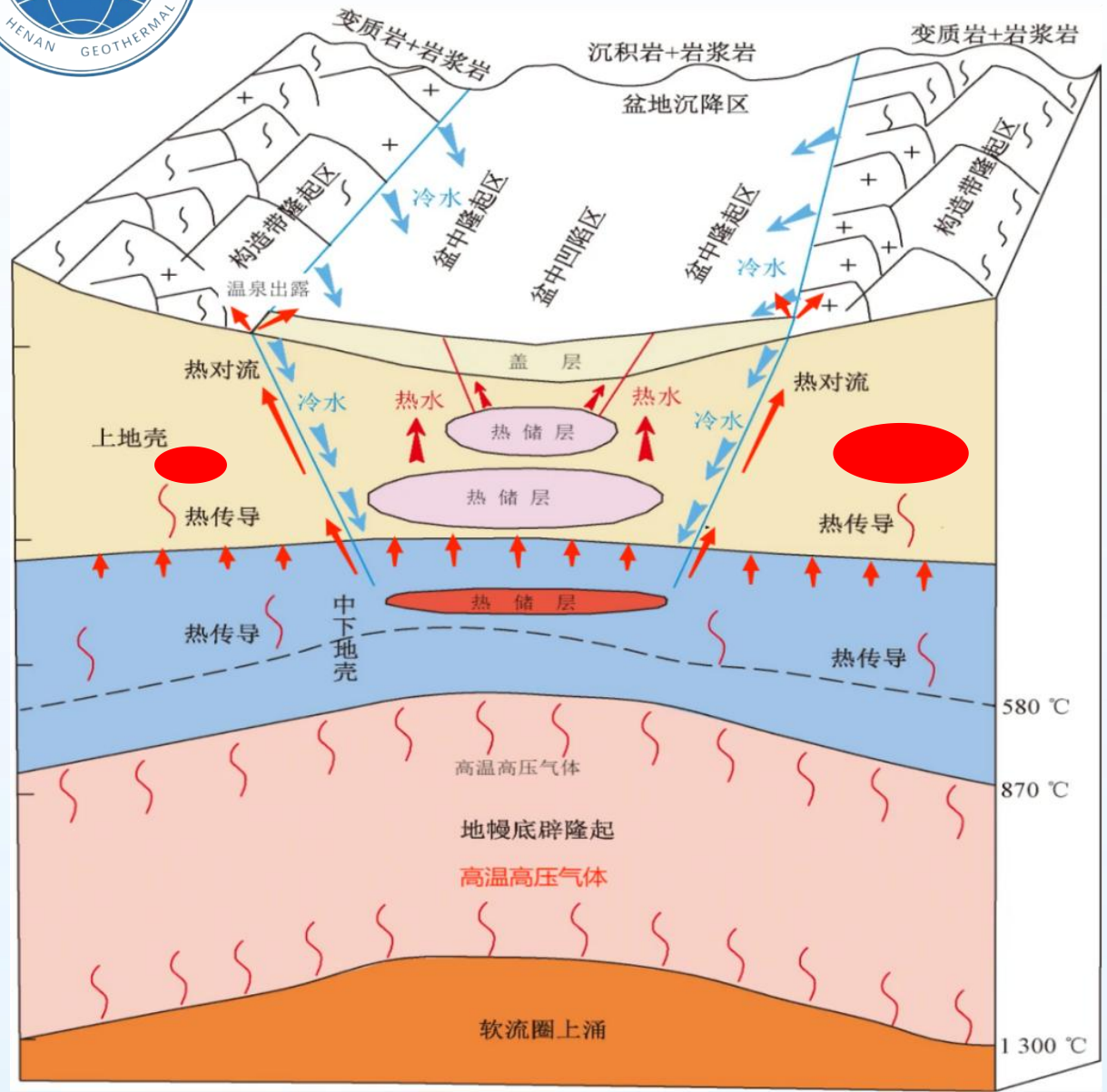
# 3 地热产业高质量发展研究

## 3.8 加强地热地质基础理论研究和工程技术创新

### 3.8.1 地热地质理论创新

传统的地热系统要素构成是：热源、通道、储层和盖层。新的地热系统由通道（浅部构造和深大断裂）、气体（地球深部气体）、储层（孔隙、裂隙、溶洞等相对封闭的空间）、水源（大气降水、地表水）、盖层（导热系数低粘土和泥岩砂岩层）五个要素构成。其新的成藏模式是：通道、储层和盖层是地热资源成藏的地质环境条件，气体起到携带深部热和驱动深部热向浅部运移的作用，水源是水热型地热资源持续稳定的基础，地球气体和水源是地热资源成藏的必要条件。在新的地热系统理论基础上，更新靶区选定的新思路和新方法。

# 地热系统新模式




1.中深层水热型地热资源和超深层干热岩同源，但不能共生！持续的浅部地表水将把热携带出地面。水热型地热和温泉出露是干热岩找矿标志。

2.地球深部的热通过导热性好的岩石向上传导，或高温高压气体通过构造、裂隙以对流形式将热驱逐携带聚集在地壳浅部的储层中。

3.深部构造破碎带是热的向上通道，浅部破碎构造带是地表水（大气水）是向下通道，满足这2种基本条件，再加上合适的空间（储层）和盖层，就可以形成良好的水热型地热资源。

# 3 地热产业高质量发展研究

## 3.8.2 深部地热钻探技术创新

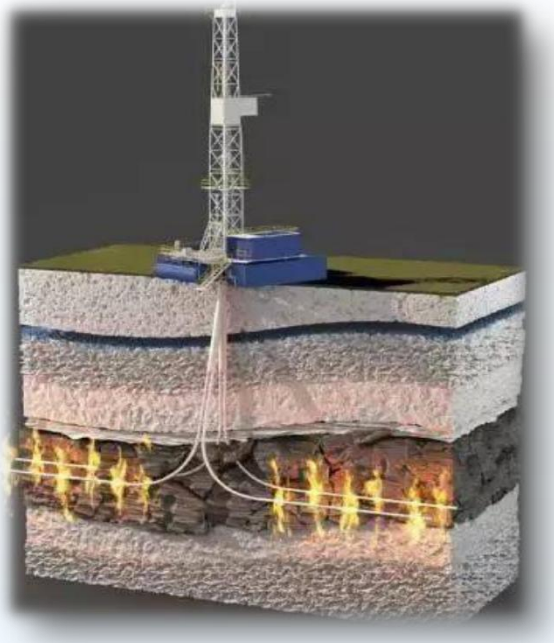
目前，地热钻探工艺基本都是沿用水文地质钻探的思路和油气正循环泥浆钻井工艺。地热钻探主要是在城市、县城等建筑物密集区，采用油气钻井工艺，将会造成场地设备占地面积大、施工噪音等问题。特别是采用正循环泥浆钻井工艺，导致热储层钻井液侵入、堵塞问题，从而严重影响了地热资源量。另外，对生态环境保护的意识和制度严控，废弃钻井液排放和污染，势必会造成严重影响。所以，未来的深部地热钻探工程必须遵循“高效、低耗、绿色、智能、安全”原则。设备研发方面体现出占地面积小、自动化程度高、机械噪音低、拆迁便利等优势。在钻探工艺方面在地质条件允许的情况下，优先采用“空气潜孔锤+气举反循环”二合一钻进工艺；其次是“正循环泥浆钻进+螺杆马达+气举反循环”三合一钻进工艺（或“正循环泥浆钻进+气举反循环”二合一钻进工艺）。

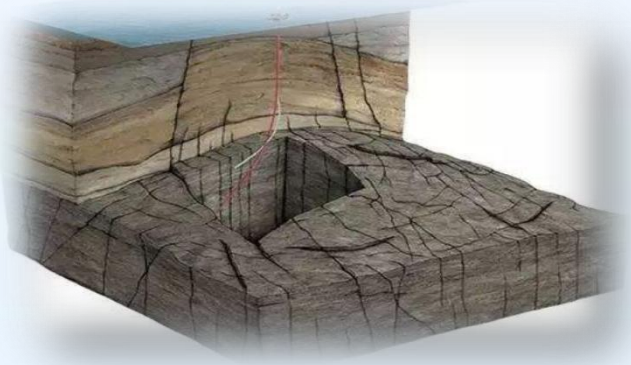
# 3 地热产业高质量发展研究

空气潜孔锤钻速最高，其次是气举反循环钻进，据统计资料分析，气举反循环在奥陶系灰岩中大口径钻进（215mm），其钻效在1.91～4m/h，是常规钻井液正循环钻进的1.8～3.2倍。由于上返速度高、携渣能力强，岩屑均程体积块状，几乎没有重复破碎问题。

# 3 地热产业高质量发展研究

随着深部地热资源勘查开发规模化的实施，深部钻井工艺和热储层保护与修复面临着新的挑战和问题。目前的深部地热钻井工程，都采用正循环水基钻井液钻进工艺，不可避免地造成热储层损害。在热储层损害修复方面，国内还没有形成强制性的标准和规范，从而出现了许多地热完井后未进行合理规范的修复改造就进入降压或抽水试验，造成地热资源评价失真和合同纠纷等问题。所以，从地热储层损害形式、热储层岩性和堵塞充填物主要矿物组分、修复与增产机理等方面加强试验研究。利用HCl、HCl+HF和超临界$CO_2$对热储层中的堵塞物或裂隙，具有溶解、溶蚀、驱逐、置换和扩充作用机理，重视热储层损害修复技术，把热储层修复增产的基本方法和热储层修复改造作为地热钻井工程重要组成部分（工序）。





# 3 地热产业高质量发展研究

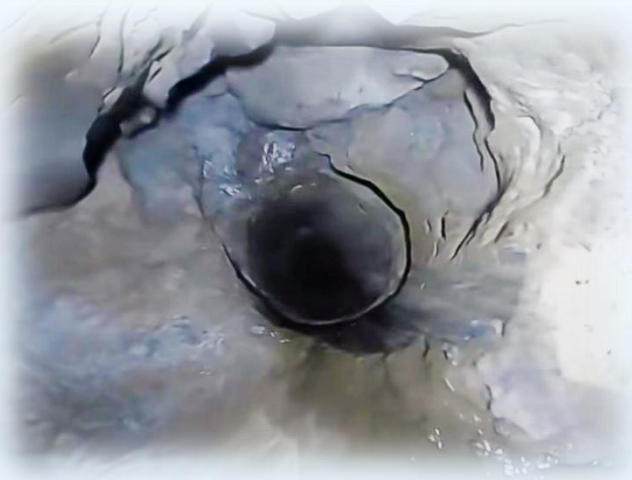
热储层损害修复增产方法

机械方法：活塞

化学方法：酸浸

物理方法：二氧化碳压裂、清水压裂、爆破洗井

化学物理方法：酸浸+二氧化碳压裂



储层修复后井壁情况

HF+HCl与硅酸盐岩屑反应情况

现场化学物理修复

# 4 结语

“十五五”期间，因地制宜培育和发展新质生产力将作为核心，必将致力于在科技创新、产业升级、绿色发展、民生改善等方面取得新的突破。能源资源的保障能力事关国家安全和经济社会发展全局。当前，我国以煤炭为主的化石类能源消费约占全部能源消费的80%，能源与环境形势严峻。为此，加大地热清洁能源的勘查开发具有一定的现实意义。

我省地热资源丰富、分布广泛，并且具有一定的产业基础。所以，围绕“黄河流域生态保护与高质量发展”、“乡村振兴”等国家战略，通过创新驱动和先立后破的发展理念，将传统地热产业转型升级为新质生产力支撑的可持续发展产业。需要政府、企业和社会各方高度融合、相互支持和共同努力。根据不同地区地热资源禀赋、产业基础和发展潜力，鼓励和支持地方根据自身条件探索地热产业发展的新路径和新模式，科学合理把传统产业和地热产业的有机结合，推动新质生产力与地热产业高质量发展。

- 地热是大自然馈赠人类宝贵资源。
- 地热资源的开发利用可实现传统能源替代，减少二氧化碳排放，达到碳达峰碳中和目的。更重要利用地热品牌，可带动清洁供暖、康养、旅游、特色农业、工业烘干等相关产业，在生态文明建设、双碳目标实现、乡村振兴战略和黄河流域生态保护和高质量发展战略发挥着巨大作用。

**不足之处请指正！**

**谢谢！**