

DOI: 10.12097/gbc.2025.01.025

青藏高原东北缘青海省中深层地下热水资源潜力评价

刘博^{1,2},路睿^{1,2*},谢文苹^{1,2*},朱进守^{1,2},张世艳^{1,2},张盛生³,雷玉德⁴,张德森⁵,龙海忠³

(1.青海省地质调查局,青海 西宁 810000; 2.自然资源部高原荒漠区战略性矿产勘查开发技术创新中心,青海 西宁 810000; 3.青海省水文地质工程地质环境地质调查院,青海 西宁 810008; 4.青海省环境地质勘查局,青海 西宁 810007; 5.天津地热勘查开发设计院,天津 300000)

摘要:【研究目的】青海省地处青藏高原东北缘,地热资源种类齐全,尤以中深层地下热水资源分布广泛,开发利用潜力前景广阔,因此对全省地下热水资源的分布及潜力开展综合研究和评价,将为今后全省地热资源的勘查部署及开发利用提供依据。【研究方法】本文在对全省主要温泉及地热井调查的基础上,初步探讨了地下热水资源分布特征及形成规律,并采用热储法对省内主要沉积盆地及温泉的资源量进行了资源计算和潜力分析,同时对全省地热资源开发利用方向提出了意见和建议。【研究结果】计算结果表明,全省地下热水资源蕴藏丰富,采用热储法估算的青海省中深层地下热水热能资源总量为 $1.4864\times 10^{21}\text{J}$,折合标准煤 507.18 亿吨,其中,沉积盆地地下热水资源量为 $1.4737\times 10^{21}\text{J}$,折合标准煤 50.28 亿 t; 温泉资源量为 $1.28\times 10^{19}\text{J}$,折合标准煤 4.35 亿 t。【结论】在前人综合研究的基础上,我们认为青海省地下热水的出露总体受区域性控热构造及其衍生的低级序次级构造控制,总体呈现出“北部温度低且分布零散-中东部温度高-南部分布密集(北疏南密中东热)”的分段显示特征,地下热水资源的水量、温度及空间展布等特征与热储岩性变化呈规律性对应。

关键词: 青藏高原东北缘; 地下热水资源; 分布特征及规律; 潜力评价; 青海省

创新点: 首次开展了青海省中深层地下热水资源分布规律研究及潜力评价。

Potential evaluation of medium-deep level geothermal water resources in Qinghai Province, Northeastern Qinghai-Xizang Plateau

LIU Bo^{1,2}, LU Rui^{1,2*}, XIE Wenping^{1,2*}, ZHU Jinshou^{1,2}, ZHANG Shiyan^{1,2},
ZHANG Shengsheng³, LEI Yude⁴, ZHANG Desen⁵, LONG Haizhong³

(1. Qinghai Geological Survey Bureau, Xining 810000, Qinghai, China; 2. Technology Innovation Center for Exploration and Exploitation of Strategic Mineral Resources in Plateau Desert Region, Ministry of Natural Resources, Xining 810000, Qinghai, China; 3. Qinghai Survey Institute of Hydrogeology and Engineering & Environmental Geology, Xining 810008, Qinghai, China; 4. Qinghai Bureau of Environmental Geology Exploration, Xining 810007, Qinghai, China; 5. Tianjin Institute of Geothermal Exploration and Development-

¹收稿日期: 2025-01-13; 修订日期: 2025-06-16

资助项目: 青海省清洁能源矿产专项项目(编号: 2022013004qj004)和国家重点研发项目(编号: 2021YFB1507401)

作者简介: 刘博(1985-), 男, 工程师, 研究方向为地热地质勘查及地热资源评价。 E-mail: 50013842@qq.com

*通信作者: 路睿, 男(1989-), 硕士, 高级工程师, 研究方向为地热地质勘查及地热资源评价。 E-mail: 654033975@qq.com

谢文苹(1992-), 女, 硕士, 工程师, 研究方向为地热地质勘查及地热资源评价。 E-mail: 1125207830@qq.com

Abstract:**[Objective]**Qinghai Province is located on the northeast margin of the Qinghai-Xizang Plateau. It has a complete variety of geothermal resources, especially the medium- deep level geothermal water resources are widely distributed, with broad prospects for development and utilization potential. Therefore, carrying out comprehensive research and evaluation on the distribution and potential of geothermal water resources in the whole province will provide a basis for the exploration deployment, development and utilization of geothermal resources in the province in the future. **[Methods]**Based on the investigation of major hot springs and geothermal wells in the province, this article preliminarily explores the distribution characteristics and formation rules of geothermal water resources. Using geothermal reservoir method to calculate resource quantity and analyze the potential of major sedimentary basins and hot springs in the province. At the same time, opinions and suggestions were put forward on the development and utilization direction of geothermal resources in the province. **[Results]**The calculation results indicate that the province has abundant geothermal water resources. The total amount of medium- deep level geothermal water resources in Qinghai Province is estimated to be 1.4864×10^{21} J using the geothermal reservoir method, equivalent to 50.718 billion tons of standard coal. Among them, the geothermal water resources in sedimentary basins are 1.4737×10^{21} J, equivalent to 5.028 billion tons of standard coal; The hot springs resources are 1.28×10^{19} J, equivalent to 435 million tons of standard coal. **[Conclusions]**Based on previous comprehensive research, we believe that the emergence of geothermal water in Qinghai Province is generally controlled by regional heat-controlling structures and their derived low-order secondary structures. Overall, it presents a segmented feature of "low temperature and scattered distribution in the north - high temperature in the central and eastern regions - dense distribution in the south (sparse in the north, dense in the south, and hot in the central and eastern regions)". The characteristics of geothermal water resources, such as water volume, temperature, and spatial distribution, correspond to the changes in the lithology of thermal reservoirs.

Key words : Northeastern Qinghai-Xizang Plateau; geothermal resources of hydrothermal type ; distribution characteristics and laws; potential evaluation; Qinghai Province

Highlights:The study on the distribution law and potential evaluation of medium-deep level geothermal water resources in Qinghai Province was carried out for the first time.

About the first author: LIU Bo, male, born in 1985, engineer, engaged in geothermal geological exploration and geothermal resource assessment. E-mail:50013842@qq.com

About the corresponding author: LU Rui, male, born in 1989, master, engaged in geothermal geological exploration and geothermal resource assessment. E-mail:654033975@qq.com

XIE Wenping, female, born in 1989, master, engaged in geothermal geological exploration and geothermal resource assessment. E-mail:1125207830@qq.com

Fund support: Supported by the Qinghai Province Clean Energy Minerals Special Project (No.2022013004qj004) and the National Key Research and Development Program (No. 2021YFB1507401)

地热是一种洁净的可再生能源,相对于太阳能、风能、水能而言,地热资源的开发利用不受季节、气候、昼夜、地区等因素的影响。我国地热资源潜力巨大,在发电、供暖、制冷等方面有着广泛的利用前景,开发利用地热资源对于缓解能源供应压力、促进地区经济发展、提升能源保障能力具有重要的作用(藺文静等 2013; 胡圣标等, 2013; 庞忠和等, 2020; 邱楠生等, 2022)。青

海省具有独特的地质背景和优越的地热地质条件，地热资源丰富，地热能种类齐全，地热资源潜力巨大。省内地热地质调查研究工作起步较早，自上世纪 80 年末-本世纪初重点在地热地质条件好、地方需求比较强烈的西宁盆地、共和-贵德盆地等地区对地热资源进行了专项勘查及研究工作。近年来伴随共和盆地高温干热岩的发现，大量研究学者围绕共和盆地地下热水及干热岩形成相关的热源机制、水化学特征、岩石地球化学特征及大地热流等方面开展了细致的研究工作（唐显春等，2020，2023；贡晓瑞等 2020；张超等 2020；张森琦等，2021；藺文静等 2023，；张保健等，2023；刘生荣等 2024；张林友等，2024）。潜力评价方面，王贵玲等（2017）针对国内不同类型的地热资源，采用不同的评价方法分别对浅层地热能、水热型地热资源和干热岩资源进行了潜力评估；2015 年青海省也开展了省内地热资源现状评价与区划研究，以西宁盆地、共和盆地为主要对象，初步计算了全省地下热水资源总量（杨绍康等，2015；张盛生等，2015）。近年来，内蒙古、甘肃、江西、安徽、广西、河南等省份及地区在域内地热资源分布规律及特征的基础上，开展了专项的地热资源潜力评价工作（闫岩等，2017；谢娜等，2020；刘润川等，2021；倪昆等，2021；王龙平等，2022；孙明行等，2023；王安东等，2023）。

尽管前人针对青海省不同地热资源类型开展了多个方面的研究工作，但受制于勘查及研究程度，主要集中在共和-贵德盆地、西宁盆地等省域东北部人口较为集中区域，省内总体地热资源底数不明，未开展过专项潜力评价工作。同时，其他省份或地区开展的潜力评价，多是以沉积盆地型地热资源为主要对象，对隆起山地型地热资源评价偏简单。近年来，随着国家生态环境保护战略对清洁能源的需求，青海省连续制定《青海打造国家清洁能源产业高地行动方案（2021-2030 年）》《青海省促进地热能开发利用贯彻落实方案》《青海省“十四五”能源发展规划》等一系列政策规划，并加大地热资源勘查开发力度，取得了一系列重大成果，并于 2022 年启动“青海省地热资源潜力评价与开发利用方向研究”项目，旨在摸清全省地热资源家底并开展潜力评价。本文在该项目对全省主要温泉及地热井调查的基础上，开展全省地下热水资源分布特征及规律研究，并对全省地下热水资源潜力进行分析评价，为省内地热资源进一步勘查及开发利用提供参考依据。

1.研究区概况

青海省幅员辽阔，地处青藏高原东北部，东西长约 1240m，南北宽约 840km，总面积约 72 万 km²，是高山、盆地和河谷相间分布的高原。地貌上呈

北部阿尔金-祁连高山山区、中北部柴达木-黄湟河盆地区及南部青南高原的南北三分格局。大地构造位置来看，青海省地处我国西部四大块体拼合的枢纽地带，经历了加里东和华力西-印支两大构造阶段，自北而南由 13 个不同规模的蛇绿混杂岩带及其配套的弧盆系构成了总体构造格架（Pan et al, 2012；谢成良等，2012；祁生胜 2019；潘彤等，2022）。

省内从新太古代到新生代地层均有出露，其中以三叠系最为发育，分布面积约占全省地层总面积的二分之一，沉积地层的组分以不同沉积环境的碎屑岩为主，其次为海相沉积环境形成的碳酸盐岩（祁生胜等，2019）。青海省火山活动频繁，从元古代到新近纪都有火山喷发，总体而言自北向南具有形成时代逐渐变新，从早到晚由海相变为陆相的火山喷发特点；境内岩浆侵入活动频繁而强烈，全省侵入岩出露面积约为 5 万 km²，岩石从基性-超基性、中性-酸性乃至碱性都有发育，尤以中酸性岩分布最为广泛（潘彤等，2022；何书跃等，2025）。

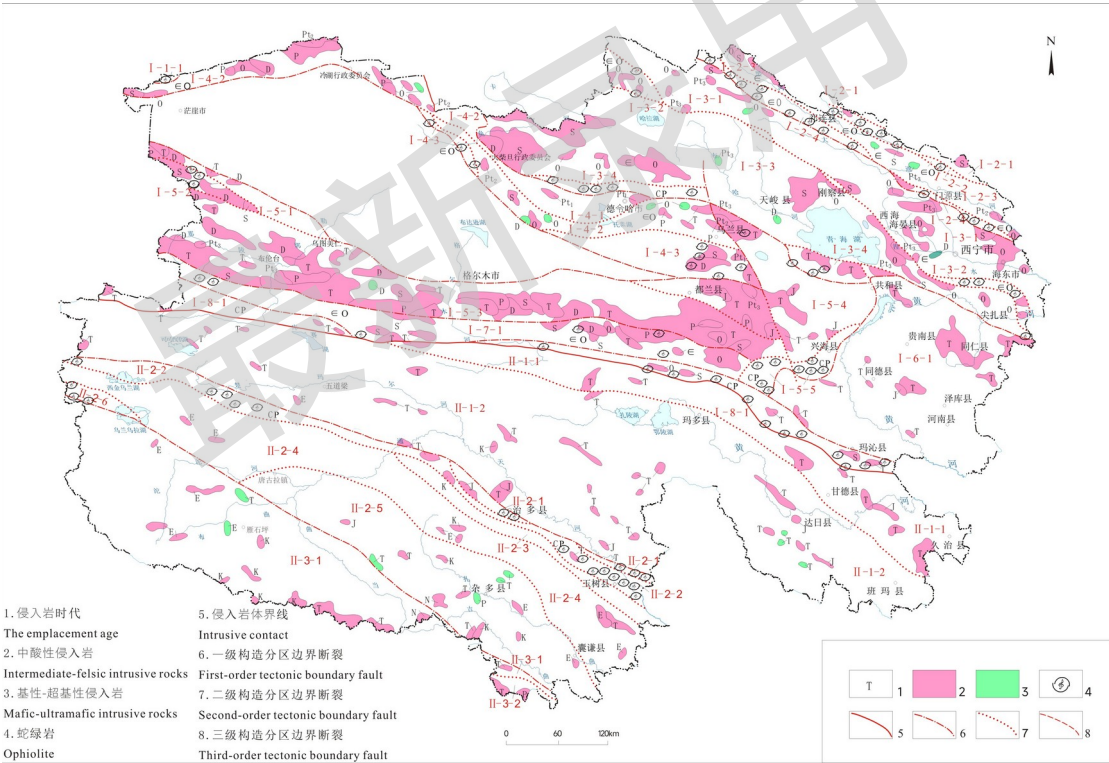


图 1 青海省地质构造简图（据祁生胜等，2019）
Fig.1 Simplified geology and tectonic map of Qinghai Province

区内构造活动强烈，断裂多数是显生宙以来特别是中生代构造活动形迹，既有继承复活性，又有改造新生性。构造以北西西向、近东西向、北西向的褶皱和断裂为主，其次为北东向、近东西向和近南北向的褶皱和断裂（张长华等，1990；卢占武等，2006；徐志刚等 2008）。《青海省区域地质志》（2021）将

区内断裂划分为三个级别，其中一级断裂 2 条，即昆中断裂和布青山南缘断裂，为板块边界断裂；二级断裂 9 条，为二级构造分区的边界断裂，三级断裂 20 条，为三级构造分区的边界断裂。受印度板块向欧亚板块俯冲影响，晚更新世以来区内形成的主要活动断裂带共 24 条（周保，2003；张培震等，2013），活动断裂控制了青海省主要热水的分布。受省内深大活动断裂控制，盆地内部基底次一级褶皱、断裂也比较发育，控制着盆地内凸起和凹陷，并储存有丰富的沉积盆地传导型层状热储资源，而受盆地边缘北西西向和北北西向深大活动断裂交互作用影响，隆起山地对流型带状热储资源也广泛分布于断裂密集发育地区（龙登红等，2021；王贵玲等，2023）。

2. 分布特征

地热资源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，按类型可分为干热岩、浅层地热能及地下热水三类（王贵玲等，2020）。根据《地热资源地质勘查规范》划分标准，青海省目前可利用的地下热水资源主要分为两大类，即天然出露的温泉及人工实施的地热井开采的地下热水。在收集资料及野外调查的基础上，本文对青海省天然温泉及地热井的分布及其主要特征进行了梳理总结。

2.1 温泉分布

温泉是最直观的地热资源在地表的显示，一般指泉口水温显著高于当地年平均气温的地下天然泉水。本次研究在前人资料的基础上，对全省主要温泉的温度、流量及开发利用现状等进行了野外调查复核。分别于 2022 年 7-8 月、2023 年 2 月和 7-8 月分三个阶段对全省主要温泉进行了调查、取样，共调查温泉 72 处。温泉调查前对 GPS 进行了校正，使用手持 GPS 定点（GPS 型号：GARMINeTrex201），采用 CGCS2000 系，85 国家高程，在野外工作前收集区内测量点对 GPS 进行参数校正，GPS 参数设置后经验证偏差均小于 5 米，符合测量要求。野外调查前调查人员统一调查方法、记录格式，采用标准温度计对温度计进行校准，最终选出本次野外调查使用的玻棒温度计和留点温度计，固定 1 人读数，精确到 0.5℃。调查中对温泉出露处的地形地貌、地层岩性、地质构造及水文地质等内容进行了详细描述，根据调查点性质在现场记录并填写相应调查表，及时对野外记录本进行检查、补充和完善，发现问题及时找出原因，并填写温泉调查卡片，达到第一手原始资料的准确、完整，与文图表相吻合。调查内容和要求等符合《地热资源地质勘查规范》(GB/T11615—2010) 要求。

关于温泉的下限温度，国际上没有统一的标准，如德国和英国的标准为高于 20℃，日本于 1948 年通过的《温泉法规》规定 25℃作为温泉的下限温度，美国对温泉温度的规定因州而异，如加利福尼亚州和科罗拉多州，温泉的最低温度要求通常为 20℃以上，然而在阿拉斯加州，温泉的最低温度要求更高，达到 37℃或更高。我国由于各地所处的气候、纬度及海拔高度各不相同，对于温泉的温度下限没有一个统一的标准，前人在研究青海省温泉过程中对温泉的温度也无明确的界限定义。国内研究温泉一般以 25℃为下限标准（陈墨香等，1992，1996，；王贵玲，2018；邱楠生等，2022），地热勘查规范中规定地热资源的最低温度下限为 25℃，但其主要是指热储层代表性温度，一般指实施的地热井井口抽水温度可以此为界限划分，但未明确温泉泉口出水温度下限；有些学者在评价其省份或地区地热资源量时，也将高于当地年平均气温 5-10℃以上作为温泉温度下限（闫岩等，2017；赵平，2020，谢娜等，2020；孙明行等，2023）。青海省地处青藏高原，年平均气温低，尤其青南、海北地区年平均气温不高于 2℃，故很多低于 25℃的温泉都被当地牧民用于洗浴等简易的开发利用，因此直接用 25℃划定下限与我省开发利用实际不相适应。本次研究综合考虑我省温泉开发利用现状及温泉温度易受气温影响等因素，通过收集全省近十年 42 个气象站的气温资料，确定全省近 10 年年平均气温为 3.7℃，参考前人以高于年平均气温 5-10℃为下限的惯用方法，取 5-10℃的平均值即 7.5℃，最终以 11.2℃取整后以 11℃作为本次研究全省温泉温度的下限。2023 年 8 月，研究组邀请省内外 10 名专家召开专项研讨会，对确定的温泉下限进行研讨，与会专家一致认为，青海省省地处青藏高原，年平均气温低，选取 25℃划定我省温泉温度下限较为保守且与开发利用实际不适应，此次研究确定的温泉温度下限基本符合青海省实际地热资源勘查及开发利用情况，因此本文采用 11℃为全省温泉划分温度下限（路睿等，2024）。

经初步统计，青海省大于 11℃的温泉共有 91 处（表 1），其中西宁地区出露 6 处，平均水温 22.6℃；海东地区出露 4 处，平均水温 25℃；海北地区出露 11 处，平均水温 30.3℃；海南地区出露 9 处，平均水温 57.5℃；黄南地区出露 2 处，平均水温 63.5℃；海西地区出露 7 处，平均水温 52℃；玉树地区出露 47 处，平均水温 35.7℃；果洛地区出露 5 处，平均水温 35.5℃（图 2-a）。

按泉口水温统计，水温 60-90℃的热水点有 20 处，其中玉树 10 处，海南 5 处，海西 3 处，黄南果洛各 1 处；40-60℃的温热水点 14 处，其中玉树 8 处，海北 3 处，西宁黄南海西各 1 处；25-40℃的温水点 24 处；小于 25℃低温水点 33

处（图 2-b）。根据温泉流量分类，水量贫乏（ $<0.1\text{L/s}$ ）的温泉有 3 处，水量中等（ $0.1\text{-}1\text{L/s}$ ）的温泉有 20 处，水量丰富（ $>1.0\text{L/s}$ ）的温泉有 61 处，其余 7 个温泉暂无流量资料（图 2-c）。根据矿化度分类，91 个温泉中，淡水（ $\text{TDS}<1.0\text{g/L}$ ）32 处，微咸水 42 处（ $1.0\text{g/L}<\text{TDS}<3.0\text{g/L}$ ），咸水 9 处（ $3.0\text{g/L}<\text{TDS}<10.0\text{g/L}$ ），盐水（ $10.0\text{g/L}<\text{TDS}<50.0\text{g/L}$ ）2 处，其余 5 处暂无矿化度资料（图 2-d）(a)。

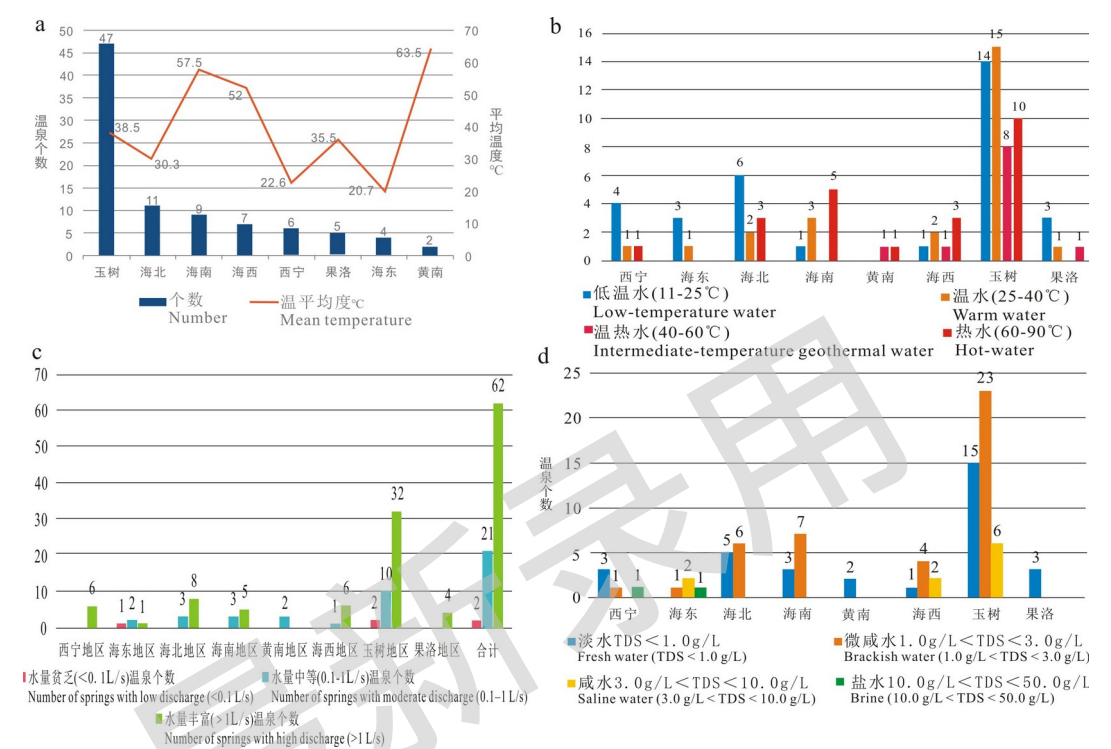


图 2 青海省温泉特征统计图
 Fig.2 Statistical chart of hot springs characteristics in Qinghai Province
 a—温泉个数及平均温度柱状图； b—温泉温度区间统计柱状图； c—温泉流量统计柱状图； d—温泉矿化度统计柱状图
 a—Histogram of hot springs number and average temperature characteristics； b—Histogram of hot springs temperature range characteristics； c—Histogram of hot springs flow rate characteristics； d—Histogram of hot springs mineralization degree characteristics

表1 青海省温泉信息统计
Table 1 Characteristics of hot Springs in Qinghai Province

序号	温泉名称	水温(℃)	流量(L/s)	矿化度(g/L)	开发利用情况	资料来源
1	西宁市西杏园温泉	15	3.62	21.02	已被埋	青海省地下热矿水分布图及说明书
2	西宁苏家河湾温泉	12.7	1.96		附件居民泡脚	2023年2月野外调查复核
3	湟源县药水村温泉	18	4.24	0.33	居民洗衣	2023年2月野外调查复核
4	湟中县门旦峡温泉	25	4.45	0.55	未开发利用	2023年2月野外调查复核
5	湟中县药水滩温泉	40-43	3.426	1.22	引流到下游宾馆疗养	2023年2月野外调查复核
6	湟中县子沟峡温泉	17-22	1.578	0.89	未开发利用	2023年2月野外调查复核
7	民和县北侧温泉	24	6.839	1.69	未开发利用	青海省地下热矿水分布图及说明书
8	平安县冰棱山温泉	16-22	0.454	5.2	当地居民饮用, 泡澡	2023年2月野外调查复核
9	循化县公伯峡药水沟沟口温泉	26	0.045	3.2	已被公伯峡水库淹没	循化彩兰基地地热报告
10	平安县北庙沟温泉	8.0-16.0	0.717	10.47	未开发利用	2015年地热区划报告
11	祁连县托勒河甲波温泉	32	8.53	1.14	未开发利用	2023年2月野外调查复核
12	祁连县冰沟村北温泉	14	0.127	1.104	已干涸	祁连地热调查报告
13	刚察县大通河上游温泉	11	50	2.55	未开发利用	2023年2月野外调查复核
14	刚察县热水煤矿温泉	30-46	10.23	0.96	当地牧民洗浴、疗养	2023年2月野外调查复核
15	刚察县江仓煤矿温泉	22-40	50	0.66	未开发利用	2023年2月野外调查复核
16	门源县狮子口矿泉	20	0.91	1.9	未开发利用	门源地热调查报告
17	门源县硫磺沟温泉	15.3	10.08	1.3	未开发利用	2023年2月野外调查复核
18	门源县岗什卡雪山温泉	13	35.7	1.1	未开发利用	2023年2月野外调查复核
19	海晏县包忽图河上游温泉	57	2.23	0.23	修建有露天游泳池 8-10 处	2023年2月野外调查复核
20	海晏县甘子河温泉	51-55	6.416	0.5	引流入附近宾馆开发利用	2023年2月野外调查复核
21	海晏县东达沟沟口南岸温泉	11-15	0.645	0.27	未开发利用	2023年2月野外调查复核
22	兴海县桑持沟温泉	78	0.221	1.05	当地牧民饮用、牲畜饮水	2022年7月野外调查复核
23	兴海县温泉乡温泉	31-64	25.31	0.84	建成游泳馆洗浴理疗	2022年7月野外调查复核
24	兴海县温泉乡南木塘村温泉	13	0.2	1.74	未开发利用	2022年7月野外调查复核
25	贵南县拉干温泉	38		2.519	龙羊峡库区淹没	共和地区 1: 20 万水文地质普查报告
26	贵德县曲乃亥温泉	83-97	1.046	1.9	已开发游泳洗浴、理疗	2022年7月野外调查复核
27	贵德县扎仓沟温泉	93-98	2.178	1.5	洗浴疗养, 目前停业	2022年7月野外调查复核
28	贵德县新街温泉	67	0.836	0.64	当地牧民洗浴、疗养	2022年7月野外调查复核
29	共和县克才温泉	25.3	1.461	1.01	无人利用, 2017年以前有曲沟温泉度假村	2022年7月野外调查复核
30	共和县阿乙亥温泉	27-37	7.283	1.67	被引流至屋内洗浴	2022年7月野外调查复核
31	同仁县兰采温泉	76	0.717	0.39	正在修建理疗、洗浴设施	2022年7月野外调查复核
32	同仁县曲库乎温泉	51	0.61	0.38	当地牧民洗浴、疗养	2022年7月野外调查复核
33	都兰县博鲁克斯坦河温泉	20	5.243	1.1	未开发利用	青海省地下热矿水分布图及说明书
34	都兰县察汗乌苏温泉	87	7.89	3.52	未开发利用	2022年7月野外调查复核
35	都兰县安固滩温泉	67	0.577	1.7	未开发利用	2022年7月野外调查复核
36	乌兰县巴硬格莉温泉	35-46	4.132	0.51	牧民引至简易水池洗浴	2022年7月野外调查复核
37	格尔木市温泉水库温泉	27-35	1.046	1.14	已被水库淹没	青海省地下热矿水分布图及说明书
38	格尔木市秀沟东温泉	39	5.0-7.0	6.87	未开发利用	2023年7月野外调查复核
39	大柴旦镇温泉	63-70	6.3	1.27	游泳馆旅游+洗浴疗养	2023年2月野外调查复核
40	青藏公路改寨温泉	19	15	2.92	未开发利用	2015年地热区划报告
41	青藏公路雁石坪东 67km 处	30	0.64	2.47	未开发利用	2023年7月野外调查复核
42	唐古拉山镇兵站温泉	63	1-2	2.09	未开发利用	2023年7月野外调查复核
43	唐古拉山镇兵站东南 800m 温泉	68	2	2.24	兵站引流洗浴	2023年7月野外调查复核

序号	温泉名称	水温(℃)	流量(L/s)	矿化度(g/L)	开发利用情况	资料来源
44	唐古拉山镇兵站南约8km日嘎温泉	67	3-4	2.89	未开发利用	2023年7月野外调查新发现
45	唐古拉山口温泉	46	0.01	2.15	未开发利用	2023年7月野外调查复核
46	唐古拉山口天曲温泉（东52公里天曲）	43	12	1.75	未开发利用	青海省地下热矿水分布图及说明书
47	可可西里温泉	90以上			未开发利用	可可西里地区区域地质调查报告
48	玉树市热水沟上游温泉	53-65	2.0-3.0	0.82	群众引流开发收费洗浴	2022年7月野外调查复核
49	玉树市热水沟哈桑查果温泉	35	1.5	1.79	牲畜饮用	2022年7月野外调查复核
50	玉树县勒涌达温泉	64	1.521	0.42	游泳、理疗、洗牲畜、洗羊毛	2022年7月野外调查复核
51	玉树市巴塘河温泉	12.5	21.7	1.26	未开发利用	2023年7月野外调查复核
52	玉树小苏莽乡西曲托吉温泉	63	0.5	1.35	牧民引流洗浴	2023年7月野外调查复核
53	玉树小苏莽乡本江村温泉	37	1.5	1.23	搭牧民建简易水池洗浴	2023年7月野外调查新发现
54	玉树市沙巴纠公主温泉	24	20.99	0.21	引至游泳馆洗浴后排入河道	2022年7月野外调查复核
55	玉树隆宝镇娥曲曲尼温泉	34	2	0.35	牲畜饮用	2023年7月野外调查复核
56	玉树市安冲乡带让村昂普寺温泉	29-33	0.8	1.02	当地牧民洗浴、疗养	2023年7月野外调查复核
57	玉树市安冲乡茶桐温泉	65	0.7	2.43	当地牧民洗浴、疗养	2023年7月野外调查新发现
58	杂多县巴额公温泉	21	10-15	1.3	未开发利用	2023年7月野外调查新发现
59	杂多县扎沟温泉	21	>100	5.1	未开发利用	2023年7月野外调查复核
60	杂多县吉耐涌温泉	20	5	0.79	未开发利用	2023年7月野外调查复核
61	杂多县扎沟上游温泉	30	150	1.06	正在修建游泳馆，目前牧民挖池洗浴	2023年7月野外调查复核
62	杂多县扎青乡色汪涌曲盐泉温泉	35-45			未开发利用	2023年7月野外调查复核
63	治多县白海螺温泉	27	0.544	0.93	当地牧民洗浴	2023年7月野外调查复核
64	治多县贡萨寺温泉	24	7.278	0.79	尚未利用（牧民奉为神泉）	2022年7月野外调查复核
65	治多县日啊日曲温泉群	20			未开发利用	2023年7月野外调查复核
66	治多县日青当江温泉	19	80-100	0.46	未开发利用	2023年7月野外调查新发现
67	囊谦县香达北山温泉	18	0.4	0.72	转经筒利用、下游洗衣	2023年7月野外调查复核
68	囊谦县吉尼塞乡玉郭温泉	25	2.5-4	1.07	未开发利用	2023年7月野外调查新发现
69	囊谦县吉尼塞乡宗尔温泉	23-25	2	0.32	转经筒、牧民洗浴	2023年7月野外调查新发现
70	囊谦县吉尼塞乡达那温泉	57	1.0	2.28	牧民引流至泉华台下面坑中洗浴	2023年7月野外调查复核
71	囊谦县吉尼塞乡达那麦曲温泉	19-24	0.02	1.73	未开发利用	2023年7月野外调查新发现
72	囊谦县尔羊乡茶滩村加翁温泉	52-59	2	2.26	修建有水泥室内浴池洗浴	2023年7月野外调查复核
73	囊谦县东坝乡兰岔滩温泉	21-27	2.0	4.06	牧民挖坑积水洗浴	2023年7月野外调查复核
74	囊谦县吉曲乡瓦卡村万康温泉	53-62	5.0	3.07	万康旅游度假区，大小浴池10余处用于洗浴	2023年7月野外调查新发现
75	囊谦县着晓乡由涌村达杰寺温泉	24	5.0-7.0	6.87	未开发利用	2023年7月野外调查新发现
76	囊谦县东坝乡瓦浩温泉	23-40	0.5	4.96	牧民洗浴	2023年7月野外调查新发现
77	囊谦县东坝乡过永村佳仁温泉	46	0.6	9.90	牧民洗浴	2023年7月野外调查复核
78	囊谦县觉拉温泉	23-27	13	0.29	泉口积水露天洗浴	2022年7月野外调查复核
79	囊谦县觉拉香巴温泉	32-38	1.5	0.51	牧民搭建水池洗浴	2022年7月野外调查复核
80	称多县挡巴沟沟口温泉	23.5	3-5	0.35	未开发利用	2023年7月野外调查复核
81	称多县挡巴温泉	26	10	0.35	简易露天洗浴、尾水排入河道，	2023年7月野外调查复核
82	称多县扎朵镇温泉	45	0.26	2.03	牧民洗浴	2023年7月野外调查复核
83	称多县扎朵乡晒柴温泉	33-38	3-5	1.28	牧民用漂石砌成水池洗浴	2023年7月野外调查复核
84	称多县清水河镇达隆沟脑温泉	24	0.717	0.15	未开发利用	称多地区1:20万区域水文普查报告
85	称多珍秦镇草院沟口温泉	16-32	3.43	1.08	未开发利用	称多地区1:20万区域水文普查报告
86	称多珍秦镇日格沙老隆巴沟口温泉	36-45	10-12	1.19	牧民开挖集水洗浴	称多地区1:20万区域水文普查报告
87	果洛地区 班玛县克柯河温泉	45-90	10.085	0.54	已被埋	2015年地热区划报告
88	班玛县俄昂沟温泉	21	8.85		神泉，未开发利用	2015年地热区划报告

序号	温泉名称	水温(℃)	流量(L/s)	矿化度(g/L)	开发利用情况	资料来源
89	玛沁县东倾沟温泉	18	12.936	0.52	未开发利用	2022年7月野外调查复核
90	玛多县黄河乡扎玛纳温泉	21			未开发利用	1994年南水北调区调报告
91	玛多县花石峡镇卓儿啦温泉	27.5	30	0.35	未开发利用、牧民饮用	1994年南水北调区调报告

天然温泉的分布和温度特征总体能反映地区地热地质条件。从全省温泉分布来看，玉树地区温泉分布较多，占全省温泉总数的 51.7%，从低温到高温温泉均有出露且分布广泛，地热资源丰富；黄南、海南出露温泉平均温度较高，但数量不多且分布较集中；大于 60℃中高温温泉共 19 处，约占全省温泉总数的 21.1%，主要分布于海南、海西、玉树、黄南等地，反观我省东北部西宁、海东地区共出露温泉 10 处，数量不多且温度偏低。从地质角度分析，温泉作为自然出露的异常点，主要分布于沉积盆地内和断裂带附近，总体与地下热水资源类型一致。其中，位于盆地内部的温泉有 14 个，主要集中在共和、西宁、同仁等盆地内，共和盆地地热条件最优；77 个温泉出露于全省一-三级断裂带或活动断裂带附近，以瓦洪山-温泉断裂、可可西里南缘断裂、西金乌兰湖北-玉树断裂、拉脊山北缘断裂分布最为集中，相对条件也最为优越。

2.2 地热井分布

地热井从广义上理解，凡是为地热勘查实施的钻孔及有地热异常显示的钻孔都为地热井。本次统计参考规范及前人标准，将孔口水温大于等于 25℃或全孔地温增温率显著大于 3℃/100m 的勘探井均划定为地热异常井，简称地热井。此处需要特别说明的是，柴达木盆地内大量有地温梯度异常的石油井、盐湖井，多数未进行专项抽水试验，本次仅选取了具有分布代表性的 22 眼作为异常井进行统计；同时，考虑到一般水文浅井的地温梯度计算可能受恒温层影响存在计算不准情况，此次划分统计将有地热显示的水文浅井（井深<500m）未统计为异常点。以历年全省地热资源勘查报告及收集的省内盐湖井、石油井资料为基础，对地热井进行了初步统计，全省共有地热井 94 眼，其中西宁地区实施 18 眼，平均井口水温 44.6℃；海东地区实施 8 眼，平均井口水温 52.4℃；海北地区实施 3 眼，平均井口水温 40.5℃；海南地区实施 36 眼，平均井口水温 66.8℃；黄南地区实施 1 眼，井口水温 55.4℃；海西地区实施 26 眼，平均井口水温 54.8℃；玉树地区实施 1 眼，井口水温 28℃；果洛实施 1 眼，井口水温 36.7℃（图 3-a）。

按井口水温统计，水温 90℃以上的中温地热井 7 眼，均在海南州；60-90℃的低温热水井 25 眼，其中海南 14 眼，西宁 3 眼，海东 3 眼，海西 4 眼，海北 1 眼；40-60℃的低温温热水井 21 眼；25-40℃的低温温水井 21 眼，未抽水但有明显地温梯度异常的 20 眼（图 3b）。从全省地热异常井分布来看，海南、海西、西宁地热井较多，海东次之，海北、黄南、玉树、果洛井数量较少，这也与全省地热勘查程度相对应；从井口水温来看，海南地区地热井普遍水温高，平均温度全省最高，大于 60℃的地热井有 24 眼，平均温度 66.8℃，主要与近年来共和盆地地热资源勘查取得一系列突破有关，西宁、海东地区地热异常井 26 眼，平均温度一般。地热井近年来主要针对盆地型地热资源开展，共有地热异常井 78 个，16 个井专项针对断裂带型地热资源实施，从井口温度来看，盆地型地热井条件要优于断裂带型。但总体受制于勘查程度和井深度不同，地热异常井的分布和温度特征仅作为地区地热地质条件参考。

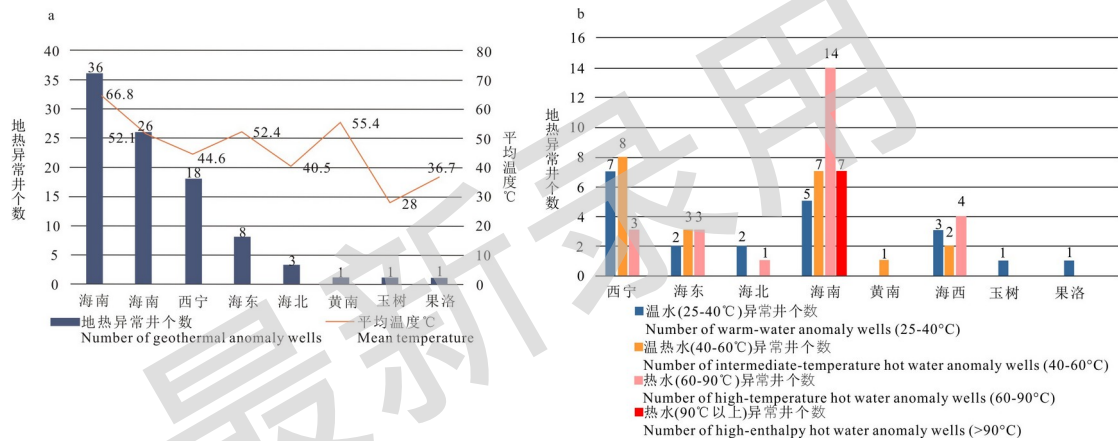


图 3 青海省地热异常井特征统计图

Fig.3 Statistical chart of geothermal anomaly wells characteristics in Qinghai Province

a—地热井个数及平均温度统计柱状图；b—地热井分布地区统计柱状图

a—Histogram of geothermal anomaly wells number and average temperature characteristics; b—Histogram of geothermal anomaly wells distribution area characteristics

3.地下热水分布规律研究

地热资源同其它矿产资源一样，严格受区域大地构造格局、区域地质构造控制，是区域构造体系与断裂活动的重要表征（蔺文静等，2024）。青海省地热资源丰富，研究省内地热资源分布规律与地质构造的关系，不仅是寻找和开发区内地热资源的依据，而且对研究青藏高原的形成与演化具有一定的意义。另外，地热热储特征受周边岩相建造和热储地层岩性的制约。综合以上几方面及省内地下热水资源分布特征，我们初步总结全省地下热水分布规律如下。

3.1 地热异常点在特定构造块体内部及边界密集分段显示

青海省位于青藏高原东北缘，地处华北、塔里木、扬子三大陆块区的结合部位，整体位于活动大陆边缘的造山系中，其中以昆中断裂和布青山南缘断裂为界，以北划分为秦祁昆造山系，以南划分为北羌塘-三江造山系，两条断裂之间为康西瓦-修沟-磨子潭地壳对接带，内部又可划分为柴达木、东昆仑、西秦岭、巴颜喀拉、三江、北羌塘等多个二级构造单元（祁生胜等，2019）。受大地构造活动影响，青海省区域性大断裂多呈北西向展布，切割深、构造体系复杂，多数区域性断裂同时具备控热控水作用，控制着省内地下热水资源分布（刘玲霞等，2024）。根据地下热水资源分布（图4）可以看出，地热异常点（温泉及地热井）在南北两个造山系及对接带中均有发育，其中秦祁昆造山系板块中地下热水主要分布在祁连造山带、东昆仑造山带和柴达木地块中；北羌塘-三江造山系中地下热水在巴颜喀拉地块、三江造山带及北羌塘地块中均有分布，以三江造山带分布最为集中。结合地下热水特征来看，北部祁连造山带主要为低温热水活动带，集中分布在中祁连岩浆弧西宁盆地及周边；中部为中低温热水活动带，主要分布于柴达木新生代断陷盆地和泽库复合型前陆盆地内，少数高温温泉出露于岩浆弧交接部位及派生的次级构造上；中南部巴颜喀拉地块多为低温热水活动，且分布较为零散；南部中高温热水活动主要出露在巴塘及开心岭-杂多陆缘弧带，且分布较为集中；部分温泉还分布在巴颜喀拉地块和三江造山带交接部位的歇武及通天河蛇绿混杂岩带内，受构造控制作用明显。总体来看，青海省地下热水主要发育在特定的柴达木、祁连、东昆仑-西秦岭、三江及巴颜喀拉地块内部及其交接部位，总体呈现出“北部温度低且分布零散-中东部温度高-南部分布密集（北疏南密中东热）”的分段显示特征。

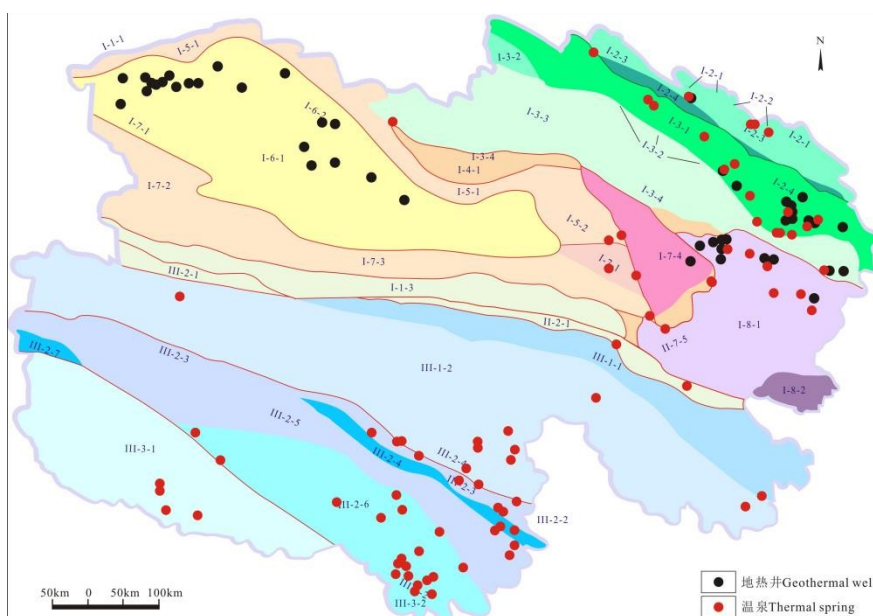


图 4 青海省大地构造单元划分及温泉分布图

Fig.4 Map of tectonic unit division and hot springs distribution in Qinghai Province

3.2 地下热水分布总体受规模性区域构造控制

省内温泉的分布与断裂关系极为密切，断裂控热作用明显。境内温泉主要沿断裂展布方向呈串珠状分布，且温度较高温泉主要密集在不同构造体系的交接复合部位和同一构造体系的转折部位（图 5）。根据省内区域性断裂分布及温泉集中出露特征，可将全省划分为十一个温泉集中区（路睿等，2024；刘玲霞等，2024），不同级别的断裂构造及其活动性造成了断裂带上的温泉流体表现出不同的地球化学特征，同时地热流体地球化学也能反应断裂、地热及地震活动规律。以瓦洪山—温泉活动断裂为例，温泉沿断裂带串珠状分布，主要有都兰安古滩温泉（65℃）、茶卡盐湖南硬格里沟温泉（42.5℃）、兴海桑持沟温泉（37~62℃）、兴海温泉乡温泉（25~58℃）等。温泉流体化学及同位素数据显示，沿瓦洪山-温泉断裂热水表现为明显的径流型特征，补给区到水热区的距离短，水循环深度浅，地下热水的温度低， δD 值均小于-85‰，水化学类型以 $Cl \cdot SO_4 \cdot Na$ 型或 $SO_4 \cdot Cl \cdot Na$ 型为主；补给区到水热区的距离长，水循环深度深，地下热水的温度则高，水化学类型表现为 $Cl \cdot Na$ 型。地热流体气体同位素数据显示，兴海桑持沟温泉气体中含有少量的幔源成因 He，占比达到 9%，说明沿该断裂带有上侵的幔源物质，即瓦洪山-温泉断裂为幔源热量的上涌提供了有利通道，为区域性的控热构造。

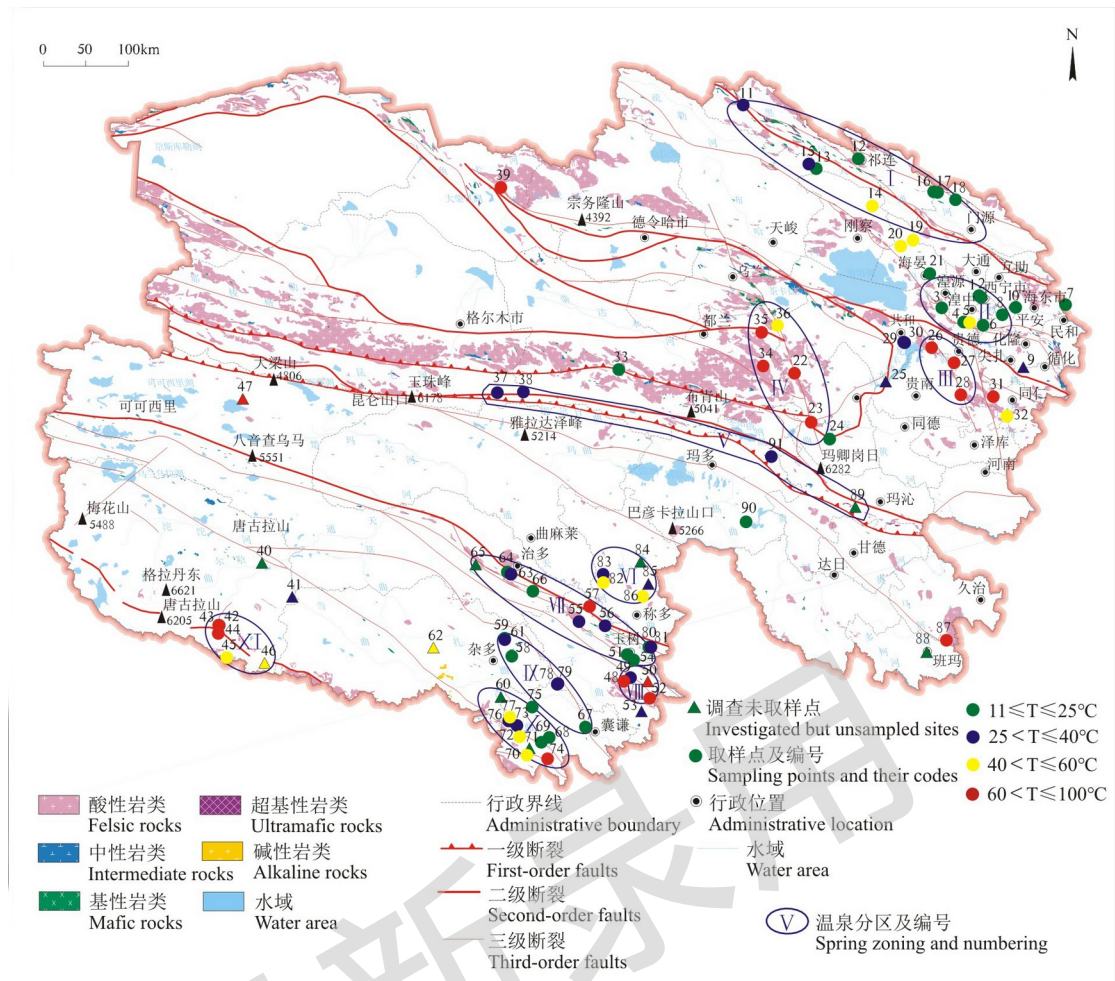


图5 青海省主要区域断裂与温泉分布图（据刘玲霞等，2024 修改）
Fig.5 Map of main regional faults and hot springs distribution in Qinghai Province

3.3 温泉和地热田的形成多与低级序断裂构造组合相关

省内温泉和地热田的形成，多数与主干断裂有关，但往往形成于主干断裂两侧的低级序的断裂网中。主干断裂切割深度深，是沟通深部热源的导热构造，主干断裂的相对位移使两侧岩层遭受扭应力作用，派生了张扭性和压扭性网状断裂，它们分别起储水和阻水（隔水）作用，从而形成良好的储水构造。以扎仓沟热水温泉所处共和盆地东缘新街—瓦里关走滑挤隆构造带为例，该构造带派生一系列北西向压扭性和张扭性二级三级断裂，包括北部的咋那断裂、中部的深沟断裂和热光断裂、南部的湾拉山—温泉—杂塘—恰力曲断裂等数条不连续的断裂（图6），为扎仓寺热水泉温泉、曲乃亥温泉的形成提供了良好的储水构造，汇集了丰富的高温热水（孔令添等，2019；张森琦等，2020；王轶等，2020；杨绍康等，2023）。

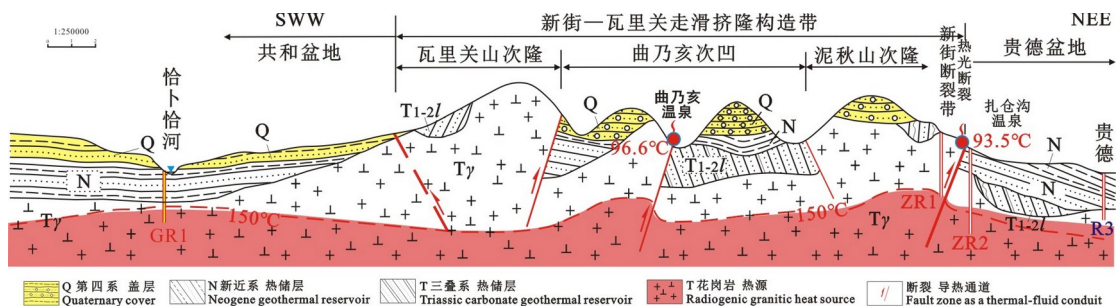


图6 贵德新街□瓦里关走滑挤隆构造带区域控热构造模型图（据张森琦等，2020 修改）
Fig.6 Schematic model diagram of the regional heat-control structure of the Xinjie-Waliguan strike-slip structure belt in Guide area

3.4 我省地下热储空间展布受所在区域岩相建造组合制约

地层岩相的渗透率、孔隙度、放射性生热等属性参数是热储可开采量、热储温度、规模的有效表征。地下热储的空间展布，尤其是盆地型地热资源的分布，受热储层、盖层、基底不同的岩相组合制约明显，“源、通、盖、储”四个条件的协同配套是良好地下热储发育的关键。青海省热储岩性主要包括砂岩、碳酸盐岩和花岗岩等类型。不同岩相的热储特征差异较大，如西宁盆地中新近生代沉积盆地，其底层主要为填充式碎屑岩和火山岩建造，中层为盆地大幅度沉降期在封闭和半封闭条件下沉积的咸水、半咸水湖相建造，上层则为坳陷条件下形成的河流-浅湖相淡水沉积建造，这套系统里上层岩性较粗，以砂岩层和泥岩层交互叠置为特征，成为主要的水热储层（图7）；柴达木盆地属于青藏高原隆起地域的一部分，在渐新世-上新世时期堆积了大量蒸发岩（膏岩层）的河湖相碎屑岩沉积，第四系为厚盐湖建造，因此赋存低盐度热水的可能性也较小；共和盆地周边温泉及已有钻孔揭露岩性表明，盆地基底有侵入岩的地区地下热水温度明显偏高，砂岩、粉砂岩等透水性良好的岩性组合是赋水性优越储层的关键，低渗透率、孔隙度岩层作为盖层是地下热储发育的重要保证。

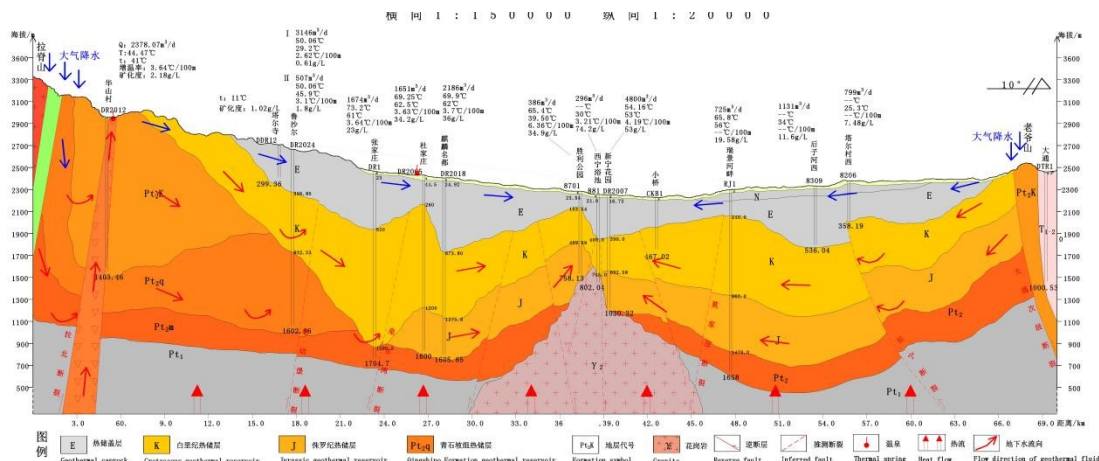


图7 西宁盆地地热地质剖面示意图

Fig.7 Schematic diagram of geothermal geological profile in Xining Basin

3.5 我省温泉特征与热储岩性变化呈规律性对应

通过对全省主要温泉的温度、流量、矿化度等特征与其热储主要岩性的统计和对比分析，热储岩性为火成岩或周边有大面积出露火成岩地区的温泉，温度普遍较高、水量偏小；出露于侵入岩或周围有侵入岩的温泉共计 13 处，水温 31-98℃，平均 71.0℃，水量 0.22-10.09L/S，平均 4.99 L/S，矿化度 0.38-3.52g/L，平均 1.16g/L。这些温泉大部分都出露于深大断裂或活动断裂附近，推测温度高的原因是热源除受地层正常增温或断裂控热以外，岩体放射性生热提供了附加热源，而水量小的原因可能是断裂内的带状热储不同于盆地内分布面积大、储层厚的层状热储，断裂带状热储空间有限，且火成岩相对砂岩结构致密，储水率远低于砂岩。对应热储岩性为碳酸盐岩的地下热水，一般具有水量大、温度低、矿化度低的特征。青海省出露于灰岩地区或热储岩性为灰岩的温泉共计 34 处，水温 11-57℃，平均 24.36℃，水量 0.54-150.0L/S，平均 19.96L/S，矿化度 0.29-2.55g/L，平均 0.91g/L。水量大的原因是灰岩岩溶裂隙发育，储水条件较好导致，而温度偏低分析其原因一方面推测岩溶裂隙发育，热水在上升过程中混入了地表水或浅层冷水，从而对温度起到“中和”作用，另一方面推测是岩溶水流量大、流速快导致换热不充分，温度未能提升（图 8）。

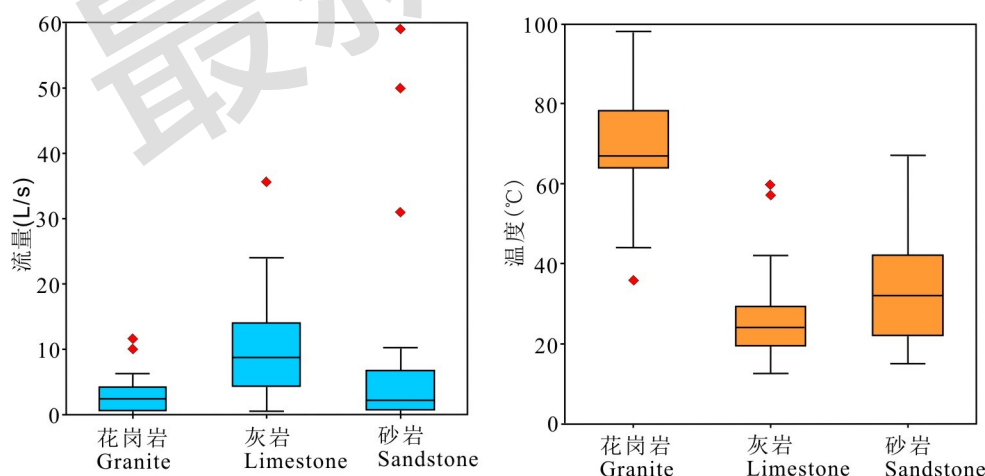


图 8 青海省温泉特征（温度、流量）与储层岩性箱式统计图

Fig.8 Box plot of hot springs characteristics(temperature and flow rate) and reservoirs lithology in Qinghai Province

4.地下热水资源潜力评价

结合地下热水资源类型及我省勘查工作程度，本节以沉积盆地和隆起山地

两种资源类型为基础，分别计算评价其资源量，具体计算时以沉积盆地整体和温泉两个层次的资源量作为主要评价对象，其中沉积盆地整体估算的资源量代表沉积盆地型资源量，温泉资源量代表隆起山地型地热资源量，整体评价方法及参数选择按照《地热资源地质勘查规范（GB/T 1615—2010）》及《地热资源评价方法及估算规程（DZ/T 0331-2020）》等规范执行。

4.1 资源计算分区

温泉评价对象为以 11℃划定的温泉，全省共 91 处温泉；沉积盆地以前人资料划分出青海省及邻区中生界典型盆地为基础（王鸿杰等，1983；祁生胜等，2019），此次对划分的西宁盆地、共和盆地、柴达木盆地、民和盆地、海晏东大滩盆地、囊谦盆地、哈拉湖盆地、苏里盆地、门源盆地、唐古拉山温泉盆地、循化与化隆盆地、兴海—泽库盆地、玛多残留盆地、曲麻莱—治多盆地、可可西里—沱沱河盆地、同仁盆地共 16 个沉积盆地地下热水资源量进行评价（表 2）。

表 2 青海典型沉积盆地特征
Table 2 Characteristics of sedimentary basins in Qinghai Province

序号	盆地名称	沉积时代	形成机制	主要沉积环境及沉积物
1	柴达木盆地	E-N	断拗	E ₁₋₂ 为河湖相紫红色砂岩、砾岩、粉砂质泥岩、泥岩夹石膏；E ₃₋₂ -N ₁ 为湖相、三角洲相杂色泥岩、粉砂质泥岩夹砂砾岩和石膏；N ₂ 为河湖相紫红杂色泥岩、粉砂岩、砂岩夹石膏。
2	哈拉湖盆地	E ₃ -N	断陷	
3	苏里盆地	N		
4	民和盆地	E-N	断拗	E ₃ 为冲积扇-河湖相紫红等杂色砾岩、砂岩、粉砂质泥岩、泥灰岩夹石膏；N为杂色河湖相砾岩、砂岩、粉砂岩和泥岩。
5	西宁盆地	E-N	断拗	E ₁ 为冲积扇-河流相桔红色砾岩、砂岩夹粉砂岩；E ₂ 为湖相棕红色泥岩夹杂色砂岩、泥岩,富含石膏层；E ₃ 为冲积扇-河湖相砖红、紫红色砾岩、砂岩、泥岩；N ₁ 为河湖相紫红等杂色粉砂岩、泥岩夹砂砾岩；
6	循化与化隆盆地		断陷	
7	共和盆地	N	拗陷	N ₂ 为河流相-冲积扇紫红等杂色砂岩、粉砂岩、泥岩和砾岩。
8	兴海-泽库盆地	N	断陷	
9	东大滩盆地	N	拉分	N ₁ 为冲积扇-河流相紫红色砾岩、砂岩夹粉砂岩和泥岩；N ₂ 为河湖相紫红等杂色粉砂岩、泥岩夹砂砾岩。
10	可可西里-沱沱河盆地	E-N	断拗	E ₁ 为冲积扇-河流相砾岩、砂岩和泥岩；E ₂ -N ₁ 早期为湖相砂岩、泥岩、灰岩和凝灰岩和砾岩；N ₁ 晚期和N ₂ 为冲积扇-河湖相砾岩、砂岩和泥岩；N发育喷出岩。
11	玛多盆地	E-N	拉分	E ₁₋₂ 为冲积扇-河湖相砾岩、砂岩、泥质粉砂岩、泥岩；E ₃ -N ₁ 为湖相泥灰岩、泥质石膏层、砂岩和砾岩；N ₂ 为冲积扇-河湖相砾岩-砂岩-砾岩的韵律层夹粉砂岩和泥岩，局部夹薄层泥晶灰岩；N分布查保马组喷出岩。
12	曲麻莱盆地			
13	囊谦盆地			
14	同仁盆地	E-N	断陷	N ₂ 为冲积扇-河流相橘红色、桔黄色泥岩、砂质泥岩；E ₁ 为砖红色-紫

				红色泥质砂岩、泥质砂砾岩
15	门源盆地	N	断陷	N ₁ 为冲积扇-河流相紫红色砾岩、砂岩夹粉砂岩和泥岩；
16	唐古拉山温泉盆地	T	断陷	T为火山喷发形成的灰绿块层状蚀变玄武岩、安山岩、流纹岩、岩屑凝灰岩等

4.2 计算方法

本次地下热水资源储量的计算，分别进行热储中的热储存量、可开采量，热储存量统一优选热储法计算，盆地及温泉可开采量采用回收率法进行计算。

对盆地和温泉热储存量均采用热储法计算，计算公式为：

$$Q=Q_r+Q_w$$

$$Q_r=Ad\rho_r c_r(1-\varphi)(t_r-t_0)$$

$$Q_w=Q_L c_w \rho_w(t_r-t_0)$$

$$Q_L=Q_1+Q_2$$

$$Q_1=A\varphi d$$

$$Q_2=ASH$$

式中： Q —热储中储存的热量，单位为焦（J）； Q_r —岩石中储存的热量，单位为焦（J）； Q_L —热储中储存的水量，单位为立方米（m³）； Q_1 —截止计算时刻，热储孔隙中热水的静储量，单位为立方米（m³）； Q_2 —水位降低到目前取水能力极限深度时，热储释放的水量，单位为立方米（m³）； Q_w —水中储存的热量，单位为焦（J）； A —计算区面积，单位为平方米（m²）； d —热储层厚度，单位为米（m）； ρ_r —热储岩石密度，单位为千克每立方米（kg/m³）； c_r —热储岩石比热容，单位为焦每千克卡[J/(kg·K)]； φ —热储岩石的孔隙率，无量纲； t_r —热储温度，单位为摄氏度（℃）； t_0 —当地年平均气温，单位为摄氏度（℃）； ρ_w —地热水密度，单位为千克每立方米（kg/m³）； S —弹性释水系数，无量纲； H —水位降低到目前取水能力极限深度时计算热储起始点以上水头高度，单位为米（m）； c_w —水的比热容，单位为焦每千克开[J/(kg·K)]。

4.3 计算参数选取

计算区面积：沉积盆地按照热储层分布范围在地图上圈定，温泉据《地热资源地质勘查规范》附录 B，B2.1.2 确定，若热储范围界线模糊不易圈定，以地热异常点 1km² 作为热储计算范围。

热储厚度：一般为地层厚度与砂厚比的乘积。沉积盆地取值采用钻孔、物

探资料及其他区域地质资料控制相结合的办法，先根据热储厚度不同划分区域，整个盆地的热储厚度则为每个区块的厚度及其区域面积占盆地比例的乘积之和；温泉先根据水化学温标计算出热水循环深度，没有水化学数据参考规范取值 1km 作为循环深度，然后类比砂岩储层，统一采用循环深度乘以砂厚比 0.4 作为温泉的热储厚度。

热储岩石密度：省内沉积盆地主要热储层几乎均为砂岩，参考《地热资源评价方法及估算规程》附录 B，表 B.1 砂岩取经验值 $2600\text{kg}/\text{cm}^3$ ；温泉根据热储层的不同岩性，参考《地热资源评价方法及估算规程》附录 B，表 B.1 砂岩经验值为 $2600\text{kg}/\text{m}^3$ ，花岗岩和石灰岩取值 $2700\text{kg}/\text{m}^3$ 。

热储岩石比热：省内沉积盆地主要热储层几乎均为砂岩，参考《地热资源评价方法及估算规程》附录 B，表 B.1 砂岩经验值为 $878\text{J}/\text{kg}\cdot^\circ\text{C}$ ；温泉根据热储层的不同岩性，参考《地热资源评价方法及估算规程》附录 B，表 B.1 砂岩经验值 $878\text{J}/\text{kg}\cdot^\circ\text{C}$ ，花岗岩为 $794\text{J}/\text{kg}\cdot^\circ\text{C}$ ，石灰岩为 $920\text{J}/\text{kg}\cdot^\circ\text{C}$ 。

热储岩石孔隙度：省内沉积盆地主要热储层几乎均为砂岩，参考经验值取值为 0.015；温泉有勘查报告资料，沿用前人资料，没有勘查资料，沿用相邻地区勘查资料。

热储温度：沉积盆地一般采用热储层（顶板-底板）/2 计算，在没有勘查资料时，采用地温梯度推算顶底板温度；温泉底板温度采用温标法计算，顶板温度采用所在地年平均气温。

地热水密度：沉积盆地、温泉地热水密度均通过《地热资源地质勘查规范》附录 C—表 C.2 查表确定。

弹性释水系数：我省以往勘查报告对“弹性释水系数”和“导水系数”有所混用且无固定标准，二者数据差别较大，本次计算统一用弹性释水系数计算；温泉参考前人勘查成果，储层为砂岩统一采用 0.00014，储层为花岗岩破碎带取值 0.00020，储层为石灰岩破碎带取值 0.00023。

计算热储起始点以上水头高度：沉积盆地考虑到经济开发利用和目前水泵生产工艺，沉积盆地计算热储起始点以上水头高度取值 500 m；温泉综合考虑开发利用扩产及环境资源保护要求，保守取值 100 m。

回收率：根据《地热资源评价方法及估算规程》附录 B.2.3—“热储地热能

回收率应根据热储的岩性、有效孔隙率、热储温度以及开采回灌技术条件合理确定。勘查程度较低，资料较少时，可取经验值。对于大型沉积盆地的新生代砂岩孔隙型热储，孔隙率大于 20% 时，回收率可取 25%；对于岩溶型裂隙热储，回收率可取 15%~20%；对于中生代砂岩和以花岗岩为代表的火成岩型裂隙热储，回收率可取 5%~10%”。沉积盆地热储层多为砂岩，温泉热储多以灰岩、砂岩为主，本次统一保守取值为 0.1。

沉积盆地及温泉计算参数详细取值见表 3 及表 4。

4.4 地下热水资源量计算与潜力评价

沉积盆地地下热水资源量计算结果见表 5，合计储存地热总资源量为 $1.4737 \times 10^{21} \text{J}$ ，可采资源量 $1.4737 \times 10^{20} \text{J}$ ，折合标准煤 50.28 亿 t，折合发电量 $4.09 \times 10^{13} \text{kwh}$ ，折合发电功率 $4.67 \times 10^4 \text{MW}$ 。温泉资源量采用热储法计算温泉地下热水资源量，计算结果见表 6。合计储存地热总资源量 $1.28 \times 10^{19} \text{J}$ ，折合标准煤 $4.35 \times 10^8 \text{t}$ ，可开采资源量为 $1.28 \times 10^{18} \text{J}$ ，折合标准煤 $0.435 \times 10^8 \text{t}$ ；总体上，采用热储法估算的青海省中深层地下热水热能资源总量为 $1.4864 \times 10^{21} \text{J}$ ，折合标准煤 $507.18 \times 10^8 \text{t}$ ，按 10% 的热储地热能回收率计算，可采资源量为 $1.48 \times 10^{20} \text{J}$ ，折合标准煤 $50.72 \times 10^8 \text{t}$ （表 7）。

本次资源量计算与前人计算（杨绍康等，2015；张盛生等，2015）相比，总量有所增加，主要原因是前人对全省资源量计算主要针对研究程度较高西宁盆地地热区、共和盆地恰卜恰地热区和贵德盆地地热区三部分进行了计算评价，隆起山地型地热资源只对当时统计的 31 处温泉进行了计算评价，本次研究对全省 16 个沉积盆地和最新调查统计的全省 91 处温泉全部进行了评价，本次计算涉及内容更为全面，因此资源总量规模有大幅提升。综合来看，青海省中深层地下热水资源蕴藏丰富，未来勘查及开发利用远景潜力较大。

表 3 沉积盆地计算参数取值表
Table 3 Parameter values of geothermal resources in sedimentary basins

序号	地热田名称	计算区面积 A (106m ²)	热储厚度 M (m)	热储岩石密度 pr (kg/m ³)	热储岩石比热 cr (J/(kg· °C)	热储岩石孔隙 度 φ (无量 纲)	热储温度 tr(°C)	当地平均 气温 t0 (°C)	地热水密度 pw (kg/ m3)	弹性释水系 数 S (无量 纲)	计算热储起始点 以上水头高度 H (m)	水的比热容 cw (J/(kg· °C)
1	西宁盆地	5808	285	2600	878	0.015	67	4.7	980.5	0.0001	500	4180
2	共和盆地	3754	256	2600	878	0.015	51	5.3	988	0.0001	500	4180
3	柴达木盆地	14156	388	2600	878	0.015	55	4	985.7	0.0001	500	4180
4	民和盆地	500	350	2600	878	0.015	55	9.5	985.7	0.0001	500	4180
5	海晏东大滩盆地	1623	252	2600	878	0.015	40.5	1.7	992.2	0.0001	500	4180
6	囊谦盆地	1354	105	2600	878	0.015	27.5	7.5	997.1	0.0001	500	4180
7	哈拉湖盆地	3500	185	2600	878	0.015	37.5	2	994.1	0.0001	500	4180
8	苏里盆地	3564	147	2600	878	0.015	33	-2.5	994.1	0.0001	500	4180
9	门源盆地	365	225	2600	878	0.015	44.5	-0.1	990.2	0.0001	500	4180
10	唐古拉山温泉盆地	1688	243	2600	878	0.015	50	5.6	988	0.0001	500	4180
11	循化与化隆盆地	7517	123	2600	878	0.015	32	1.8	995.1	0.0001	500	4180
12	兴海-泽库盆地	1355	123	2600	878	0.015	32	1.8	995.1	0.0001	500	4180
13	玛多残留盆地	8950	149	2600	878	0.015	47.5	-3.2	990.2	0.0001	500	4180
14	曲麻莱-治多盆地	620	298	2600	878	0.015	60	7.2	983.1	0.0001	500	4180
15	可可西里-沱沱河盆地	1800	142	2600	878	0.015	43	2.4	990.2	0.0001	500	4180
16	同仁盆地	560	238	2600	878	0.015	52.5	-3.2	988	0.0001	500	4180

表 4 温泉计算参数取值表
Table 4 Parameter values of hot springs geothermal resources

序号	温泉名称	计算区 面积 A 106m ²	循环深 度 (m)	热储厚 度 d (m)	热储岩石 密度 pr (kg/ m ³)	热储岩石 比热 cr (J/ (kg* °C)	热储岩 石空隙 度 ψ (无量 纲)	热储底 部温度 tr (°C)	当地平 均气温 t0 (°C)	热储平 均温度 t (°C)	地热水密 度 ρw (kg/m3)	弹性释水 系数 S (无量 纲)	计算 起始 点以 上高 度 H (m)	水的比热 cw (J/ (kg* °C)	泉水 流量 Q' (L/s)	泉水 温度 tq (°C)
1	共和县阿乙亥温泉	1.00	1352.00	540.80	2600.00	878.00	0.120	42.0	5.4	23.70	992.20	0.00014	100	4180.00	7.28	37.0
2	共和县谢玛龙哇温泉	1.00	1458.00	583.20	2600.00	878.00	0.120	40.0	5.4	22.70	992.20	0.00014	100	4180.00	1.46	25.3
3	兴海县桑持沟	1.00	2069.00	827.60	2700.00	794.00	0.100	94.7	2.0	48.35	961.70	0.00020	100	4180.00	25.31	64.0
4	兴海县温泉乡温泉	1.00	2087.00	834.80	2700.00	794.00	0.120	95.5	2.0	48.75	961.70	0.00014	100	4180.00	25.31	64.0
5	兴海县温泉乡楠木塘村温 泉	1.00	919.50	367.80	2700.00	794.00	0.120	23.0	2.0	12.50	997.10	0.00014	100	4180.00	0.20	13.0
6	贵南县拉干温泉	1.00	2301.65	920.66	2700.00	878.00	0.120	57.5	3.0	30.27	983.10	0.00014	100	4180.00	1.50	38.0
7	贵德县曲乃亥温泉	1.00	2774.00	1109.60	2700.00	794.00	0.100	125.5	9.0	67.25	938.70	0.00020	100	4180.00	1.05	97.0
8	贵德县扎仓寺温泉	1.00	2714.00	1085.60	2700.00	794.00	0.100	122.8	9.0	65.90	938.70	0.00020	100	4180.00	2.18	98.0
9	贵德县新街温泉	1.00	2627.00	1050.80	2700.00	794.00	0.100	82.0	9.0	45.50	971.60	0.00014	100	4180.00	0.84	67.0
10	同仁县兰采温泉	1.00	2936.00	1174.40	2700.00	794.00	0.100	82.0	7.2	44.60	971.60	0.00020	100	4180.00	0.72	76.0
11	同仁县曲库平乡温泉	1.00	2483.00	993.20	2700.00	794.00	0.100	66.0	7.2	36.60	980.50	0.00020	100	4180.00	0.61	51.0
12	都兰县夏日哈镇安固滩温 泉	1.00	2534.00	1013.60	2700.00	794.00	0.150	82.0	3.9	42.95	971.60	0.00020	100	4180.00	0.58	67.0
13	都兰县热水乡察汗乌苏河 温泉	1.00	2603.00	1041.20	2700.00	794.00	0.100	118.7	3.9	61.30	942.80	0.00020	100	4180.00	7.89	87.0
14	都兰县博鲁克斯坦河温泉	1.00	1280.00	512.00	2700.00	794.00	0.100	32.0	3.9	17.95	994.10	0.00023	100	4180.00	5.24	20.0
15	乌兰巴硬格里沟温泉	1.00	2079.00	831.60	2700.00	794.00	0.100	95.1	4.4	49.75	961.70	0.00020	100	4180.00	4.13	46.0
16	格尔木市秀沟东温泉	1.00	4727.67	1891.07	2600.00	878.00	0.100	118.2	6.6	62.40	990.20	0.00014	100	4180.00	7.00	39.0
17	格尔木温泉水库温泉	1.00	2600.00	1040.00	2600.00	878.00	0.120	65.0	6.6	35.80	950.70	0.00014	100	4180.00	1.05	35.0
18	大柴旦镇温泉	1.00	2000.00	800.00	2700.00	794.00	0.100	84.0	4.9	44.45	968.40	0.00020	100	4180.00	6.30	70.0
19	班玛县克柯河温泉	1.00	2000.00	800.00	2700.00	794.00	0.100	105.0	3.7	54.35	954.50	0.00020	100	4180.00	10.09	90.0
20	班玛县俄昂沟温泉	1.00	1440.00	576.00	2600.00	878.00	0.100	36.0	3.7	19.85	994.10	0.00014	100	4180.00	8.85	21.0
21	玛沁县东倾沟温泉	1.00	1333.00	533.20	2700.00	794.00	0.100	28.6	1.2	14.90	995.10	0.00023	100	4180.00	12.94	18.0
22	玛多县黄河乡扎玛纳温泉	1.00	1200.00	480.00	2600.00	878.00	0.100	30.0	-2.5	13.75	995.10	0.00014	100	4180.00	3.00	21.0
23	玛多县花石峡镇卓儿啦温 泉	1.00	1943.87	777.55	2700.00	794.00	0.100	48.6	-2.5	23.05	988.00	0.00020	100	4180.00	30.00	27.5
24	西宁市西杏园温泉	1.00	800.00	320.00	2600.00	878.00	0.140	20.0	6.2	13.10	998.30	0.00014	100	4180.00	3.62	15.0
25	西宁药王庙温泉	1.00	850.00	340.00	2600.00	878.00	0.140	21.3	6.2	13.73	998.30	0.00014	100	4180.00	1.96	12.7
26	湟源县药水村温泉	1.00	1604.00	641.60	2700.00	920.00	0.019	40.1	4.7	22.40	992.20	0.00023	100	4180.00	4.24	18.0
27	湟中县门旦峡温泉	1.00	1727.00	690.80	2700.00	920.00	0.019	43.2	5.0	24.09	990.20	0.00023	100	4180.00	4.45	25.0
28	湟中县子沟峡矿泉	1.00	1708.00	683.20	2700.00	920.00	0.019	42.7	5.0	23.85	990.20	0.00023	100	4180.00	1.58	22.0
29	湟中县药水滩温泉	1.00	1719.00	687.60	2700.00	920.00	0.019	43.0	5.0	23.99	990.20	0.00023	100	4180.00	3.43	43.0
30	民和县北侧温泉	1.00	1411.00	564.40	2600.00	878.00	0.080	35.3	9.5	22.39	994.10	0.00014	100	4180.00	6.84	24.0
31	平安县冰棱山温泉	1.00	2810.00	1124.00	2600.00	878.00	0.140	70.3	8.1	39.18	977.70	0.00014	100	4180.00	0.46	22.0
32	平安县北庙沟温泉	1.00	2816.00	1126.40	2600.00	878.00	0.140	70.4	8.1	39.25	977.70	0.00014	100	4180.00	0.72	16.0
33	循化公伯峡药水沟沟口温 泉	1.00	1680.00	672.00	2600.00	878.00	0.140	42.0	8.1	25.05	977.70	0.00014	100	4180.00	0.05	26.0
34	祁连县冰沟村北温泉	1.00	1000.00	400.00	2600.00	878.00	0.140	25.0	2.2	13.60	997.10	0.00014	100	4180.00	0.13	14.0
35	祁连县托勒河甲波温泉	1.00	1198.00	479.20	2700.00	794.00	0.047	42.6	2.2	22.40	990.20	0.00014	100	4180.00	8.53	32.0
36	刚察县大通河上游温泉	1.00	2005.00	802.00	2700.00	920.00	0.031	50.1	0.8	25.46	988.00	0.00023	100	4180.00	50.00	11.0
37	刚察县热水煤矿温泉	1.00	1983.00	793.20	2600.00	878.00	0.031	75.6	0.8	38.20	974.70	0.00014	100	4180.00	10.23	46.0
38	刚察县江仓煤矿温泉	1.00	1629.00	651.60	2600.00	878.00	0.140	60.7	0.8	30.75	983.10	0.00014	100	4180.00	50.00	40.0

序号	温泉名称	计算区 面积 A 106m ²	循环深 度 (m)	热储厚 度 d (m)	热储岩石 密度 pr (kg/ m ³)	热储岩石 比热 cr (J/(kg* °C))	热储岩 石空隙 度 ψ (无量 纲)	热储底 部温度 tr (°C)	当地平 均气温 t0 (°C)	热储平 均温度 t (°C)	地热水密 度 ρw (kg/m3)	弹性释水 系数 S (无量 纲)	计算 起始 点以 上高 度 H (m)	水的比热 cw (J/(kg* °C))	泉水 流量 Q' (L/s)	泉水 温度 tq (°C)
39	门源县狮子口温泉	1.00	1819.00	727.60	2700.00	920.00	0.019	45.5	2.4	23.94	990.20	0.00023	100	4180.00	0.91	20.0
40	门源县硫磺沟温泉	1.00	1000.00	400.00	2700.00	920.00	0.019	25.0	2.4	13.70	997.10	0.00023	100	4180.00	10.08	15.3
41	门源县岗什卡雪山温泉	1.00	1950.00	780.00	2700.00	920.00	0.019	48.8	2.4	25.58	988.00	0.00023	100	4180.00	35.70	13.0
42	海晏县包忽图河源头温泉	1.00	4646.16	1858.46	2600.00	878.00	0.050	116.2	1.7	58.93	946.80	0.00014	100	4180.00	2.23	57.0
43	海晏县甘子河温泉	1.00	3476.19	1390.48	2700.00	794.00	0.050	86.9	1.7	44.30	965.10	0.00020	100	4180.00	6.42	55.0
44	海晏县东达沟沟口南岸温 泉	1.00	3176.26	1270.50	2700.00	794.00	0.050	79.4	1.7	40.56	971.60	0.00020	100	4180.00	0.65	15
45	治多县白海螺温泉	1.00	2056.00	822.40	2700.00	920.00	0.019	69.1	0.3	34.70	997.70	0.00023	100	4180.00	0.54	27.0
46	治多县贡撒寺温泉	1.00	1744.00	697.60	2700.00	920.00	0.019	58.8	0.3	29.55	983.10	0.00023	100	4180.00	7.28	24.0
47	治多县日啊日曲温泉	1.00	1600.00	640.00	2700.00	920.00	0.019	40.0	0.3	20.15	992.20	0.00023	100	4180.00	5.00	20.0
48	治多县日青当江温泉	1.00	1911.63	764.65	2700.00	920.00	0.075	47.8	0.3	24.05	988.00	0.00023	100	4180.00	100.0 0	19.0
49	称多县扎朵镇温泉	1.00	2000.00	800.00	2600.00	878.00	0.075	60.0	-3.2	28.40	983.10	0.00014	100	4180.00	0.26	45.0
50	称多县扎朵乡晒柴沟温泉	1.00	2905.98	1162.39	2600.00	878.00	0.075	72.7	-3.2	34.73	974.70	0.00014	100	4180.00	5.00	38.0
51	称多县清水河镇达隆沟脑 温泉	1.00	1400.00	560.00	2600.00	878.00	0.075	35.0	-3.2	15.90	994.10	0.00014	100	4180.00	0.72	24.0
52	称多县珍秦镇草院沟口温 泉	1.00	1600.00	640.00	2600.00	878.00	0.075	40.0	-3.2	18.40	992.10	0.00014	100	4180.00	3.43	32.0
53	称多县珍秦镇日格隆巴沟口 温泉	1.00	3279.50	1311.80	2600.00	878.00	0.075	82.0	-3.2	39.40	971.60	0.00014	100	4180.00	12.00	45.0
54	称多县挡巴沟沟口温泉	1.00	2014.33	805.73	2700.00	920.00	0.075	50.4	-3.2	23.58	990.20	0.00014	100	4180.00	5.00	23.5
55	称多县挡巴温泉	1.00	2014.33	805.73	2700.00	920.00	0.075	50.4	-3.2	23.58	990.20	0.00023	100	4180.00	10.00	26.0
56	可可西里温泉	1.00	4600.00	1840.00	2700.00	794.00	0.075	115.0	-4.4	55.30	946.80	0.00023	100	4180.00	10.00	90.0
57	杂多县巴额公温泉	1.00	1983.37	793.35	2700.00	920.00	0.019	49.6	1.9	25.74	988.00	0.00023	100	4180.00	15.00	21.0
58	杂多县扎沟温泉	1.00	1435.43	574.17	2700.00	920.00	0.019	35.9	1.9	18.90	988.00	0.00023	100	4180.00	150.0 0	21.0
59	杂多县吉耐涌温泉	1.00	1200.00	480.00	2700.00	920.00	0.019	30.0	1.9	15.95	995.10	0.00023	100	4180.00	5.00	20.0
60	杂多县扎沟上游温泉	1.00	1878.78	751.51	2700.00	920.00	0.019	47.0	1.9	24.44	990.20	0.00023	100	4180.00	150.0 0	30.0
61	杂多县杂青乡色汪涌曲盐 泉温泉	1.00	2120.00	848.00	2700.00	920.00	0.019	53.0	1.9	27.45	985.70	0.00020	100	4180.00	1.00	45.0
62	青藏公路改寨温泉	1.00	1040.00	416.00	2600.00	878.00	0.075	26.0	-4.4	10.80	997.10	0.00014	100	4180.00	15.00	19.0
63	青藏公路雁石坪 67km 处温 泉	1.00	1680.00	672.00	2600.00	878.00	0.075	42.0	-4.4	18.80	992.20	0.00014	100	4180.00	0.64	30.0
64	唐古拉山兵站温泉	1.00	5860.08	2344.03	2600.00	878.00	0.075	146.5	-4.4	71.05	921.40	0.00014	100	4180.00	2.00	63.0
65	唐古拉山兵站东南 800m 温 泉	1.00	4830.70	1932.28	2600.00	878.00	0.075	120.8	-4.4	58.19	942.80	0.00014	100	4180.00	2.00	68.0
66	唐古拉山兵站南约 8km 日 嘎温泉	1.00	4364.83	1745.93	2600.00	878.00	0.075	109.1	-4.4	52.36	950.70	0.00014	100	4180.00	4.00	67.0
67	唐古拉山口温泉	1.00	3424.00	1369.60	2600.00	878.00	0.075	85.6	-4.4	40.60	968.40	0.00014	100	4180.00	0.01	46.0
68	唐古拉山口温泉 (东 52 公 里)	1.00	3424.00	1369.60	2600.00	878.00	0.075	85.6	-4.4	40.60	968.40	0.00014	100	4180.00	12.00	43.0
69	玉树市热水沟上游温泉	1.00	2368.00	947.20	2700.00	794.00	0.020	79.4	3.6	41.50	971.60	0.00020	100	4180.00	3.00	65.0
70	玉树市热水沟哈桑查果温 泉	1.00	2344.00	937.60	2700.00	920.00	0.075	58.6	3.6	31.10	983.10	0.00023	100	4180.00	1.50	35.0
71	玉树市勒涌达温泉	1.00	3040.00	1216.00	2700.00	920.00	0.075	76.0	3.6	39.80	974.70	0.00023	100	4180.00	1.52	64.0

序号	温泉名称	计算区 面积 A 106m ²	循环深 度 (m)	热储厚 度 d (m)	热储岩石 密度 pr (kg/ m ³)	热储岩石 比热 cr (J/(kg* °C))	热储岩 石空隙 度 ψ (无量 纲)	热储底 部温度 tr (°C)	当地平 均气温 t0 (°C)	热储平 均温度 t (°C)	地热水密 度 ρw (kg/m3)	弹性释水 系数 S (无量 纲)	计算 起始 点以 上高 度 H (m)	水的比热 cw (J/(kg* °C))	泉水 流量 Q' (L/s)	泉水 温度 tq (°C)
72	玉树市巴塘河温泉	1.00	972.00	388.80	2700.00	920.00	0.019	24.3	3.6	13.95	997.10	0.00023	100	4180.00	21.70	12.5
73	玉树市小苏莽乡西曲托吉 温泉	1.00	4758.76	1903.50	2600.00	878.00	0.019	119.0	3.6	61.29	942.80	0.00014	100	4180.00	0.50	63.0
74	玉树市小苏莽乡本江村温 泉	1.00	1960.00	784.00	2700.00	920.00	0.019	49.0	3.6	26.30	988.00	0.00023	100	4180.00	1.50	37.0
75	玉树市沙巴纠公主温泉	1.00	3274.00	1309.60	2600.00	920.00	0.019	81.9	3.6	42.73	971.60	0.00023	100	4180.00	20.99	24.0
76	玉树市隆宝镇娥曲曲尼温 泉	1.00	3684.26	1473.70	2700.00	794.00	0.019	92.1	3.6	47.86	965.10	0.00020	100	4180.00	2.00	34.0
77	玉树市安冲乡带让村昂普 寺温泉	1.00	2910.78	1164.31	2700.00	920.00	0.019	72.8	3.6	38.19	974.70	0.00023	100	4180.00	0.80	33.0
78	玉树市安冲乡茶桐温泉	1.00	4055.16	1622.06	2600.00	878.00	0.019	101.4	3.6	52.49	958.10	0.00014	100	4180.00	0.70	65.0
79	囊谦县香达北山温泉	1.00	2014.33	805.73	2700.00	920.00	0.019	50.4	5.6	27.98	988.00	0.00023	100	4180.00	0.40	18.0
80	囊谦县吉尼塞乡玉郭温泉	1.00	2986.16	1194.46	2700.00	920.00	0.019	74.7	5.6	40.13	974.70	0.00014	100	4180.00	4.00	25.0
81	囊谦县吉尼塞乡宗杂温泉	1.00	2277.93	911.17	2700.00	920.00	0.019	57.0	5.6	31.28	985.70	0.00023	100	4180.00	2.00	25.0
82	囊谦县吉尼塞乡达那温泉	1.00	4072.44	1628.98	2700.00	920.00	0.019	101.8	5.6	53.71	958.10	0.00023	100	4180.00	1.00	57.0
83	囊谦县吉尼塞乡达那麦曲 温泉	1.00	1720.00	688.00	2700.00	920.00	0.019	43.0	5.6	24.30	990.20	0.00023	100	4180.00	0.02	24.0
84	囊谦县尕羊乡茶滩村加翁 温泉	1.00	4506.75	1802.70	2700.00	920.00	0.019	112.1	5.6	58.84	950.70	0.00014	100	4180.00	2.00	59.0
85	囊谦县东坝乡兰岔滩温泉	1.00	2304.27	921.71	2700.00	920.00	0.019	57.6	5.6	31.61	983.10	0.00023	100	4180.00	2.00	27.0
86	囊谦县吉曲乡瓦卡村万康 温泉	1.00	3594.88	1437.95	2700.00	920.00	0.019	89.9	5.6	47.74	965.10	0.00014	100	4180.00	5.00	62.0
87	囊谦县着晓乡由涌村达杰 寺温泉	1.00	2161.55	864.62	2700.00	920.00	0.019	54.0	5.6	29.82	985.70	0.00023	100	4180.00	7.00	24.0
88	囊谦县东坝乡瓦浩温泉	1.00	2822.56	1129.02	2700.00	920.00	0.019	70.5	5.6	38.05	977.70	0.00014	100	4180.00	0.50	40.0
89	囊谦县东坝乡佳仁温泉	1.00	3120.56	1248.22	2700.00	920.00	0.019	78.0	5.6	41.81	971.60	0.00014	100	4180.00	0.60	46.0
90	囊谦县觉拉温泉	1.00	1447.00	578.80	2700.00	920.00	0.019	36.2	5.6	20.89	994.10	0.00023	100	4180.00	13.00	27.0
91	囊谦县觉拉香巴温泉	1.00	2650.07	1060.03	2700.00	920.00	0.019	66.5	5.6	36.05	985.70	0.00023	100	4180.00	1.50	38.0

表 5 沉积盆地地热资源量计算结果表
Table 5 Calculation results of geothermal resources in sedimentary basins

序号	地热田名称	岩石中储存的热量 Q_r ($10^{15}J$)	热储中储存的水量 Q_L (10^8m^3)	热储孔隙中的静储量 Q_1 (10^8m^3)	水位降到取水极限时释放的水量 Q_2 (10^8m^3)	水中储存的热量 Q_W ($10^{15}J$)	热储中储存的热量 $Q=Q_r+Q_w$ ($10^{15}J$)	可采热量 Q_{Wh} ($10^{15}J$)	折合标准煤 t (10^4)	折合发电量 kwh (10^8)	折合发电功率 (MW)
1	西宁盆地	231880.1693	251.196	248.292	2.904	3572.470325	235452.6396	23545.26396	80338.42403	65403.511	7466.154224
2	共和盆地	98753.9619	146.0306	144.1536	1.877	1523.449047	100277.4109	10027.74109	34215.49733	27854.83637	3179.775842
3	柴达木盆地	629863.6565	830.9572	823.8792	7.078	9674.23639	639537.8929	63953.78929	218215.7164	177649.4147	20279.61355
4	民和盆地	17904.14308	26.5	26.25	0.25	275.24861	18179.39169	1817.939169	6202.961582	5049.831024	576.4647287
5	海晏东大滩盆地	35682.46764	62.1609	61.3494	0.8115	550.5755018	36233.04314	3623.304314	12363.01954	10064.73421	1148.942261
6	囊谦盆地	6393.549817	22.0025	21.3255	0.677	100.454614	6494.004431	649.4004431	2215.809016	1803.89012	205.9235297
7	哈拉湖盆地	51685.91633	98.875	97.125	1.75	801.2770675	52487.1934	5248.71934	17909.07253	14579.77594	1664.357984
8	苏里盆地	41820.33213	80.3682	78.5862	1.782	651.2990707	42471.6312	4247.16312	14491.67833	11797.67533	1346.76659
9	门源盆地	8235.962028	12.50125	12.31875	0.1825	127.2788266	8363.240855	836.3240855	2853.60823	2323.12246	265.1966278
10	唐古拉山温泉盆地	40951.11965	62.3716	61.5276	0.844	632.1755849	41583.29524	4158.329524	14188.57062	11550.91534	1318.597642
11	循化与化隆盆地	62785.69399	142.44715	138.68865	3.7585	982.0386291	63767.73262	6376.773262	21758.08753	17713.25906	2022.061537
12	兴海-泽库盆地	11317.62876	25.67725	24.99975	0.6775	177.0203994	11494.64916	1149.464916	3922.07112	3192.958099	364.4929336
13	玛多残留盆地	152027.2212	204.5075	200.0325	4.475	2366.928085	154394.1493	15439.41493	52680.58432	42887.26369	4895.806358
14	曲麻莱-治多盆地	21935.42082	28.024	27.714	0.31	337.7784284	22273.19925	2227.319925	7599.803206	6186.99979	706.2785149
15	可可西里-沱沱河盆地	23334.09585	39.24	38.34	0.9	363.6829123	23697.77876	2369.777876	8085.881737	6582.716322	751.4516349
16	同仁盆地	16692.61103	20.272	19.992	0.28	257.7624533	16950.37348	1695.037348	5783.610218	4708.437079	537.4928172
合计		1451263.95	2053.13115	2024.57415	28.557	22393.67595	1473657.626	147365.7626	502824.3957	409349.3405	46729.37677

表6 温泉地热资源量（热储法）计算结果表
Table 6 Calculation results of hot springs geothermal resources (geothermal reservoir method)

序号	温泉名称	岩石中储存的热量 Q_r ($10^{15}J$)	热储中储存的水量 Q_L (10^6m^3)	热储孔隙中的静储量 Q_1 (10^6m^3)	水位降到取水极限时释放的水量 Q_2 (10^6m^3)	水中储存的热量 Q_W ($10^{15}J$)	热储中储存的热量 $Q=Q_r+Q_w$ ($10^{15}J$)	可采热量 Q_{Wh} ($10^{12}J/a$) (回采系数, 按 0.1 计算)	折合标准煤 t (10^4) (回采系数, 按 0.1 计算)	折合发电量 kwh (10^8) (回采系数, 按 0.1 计算)	折合发电功率 MW (回采系数, 按 0.1 计算)
1	共和县阿乙亥温泉	19.881	2.049	0.649	1.400	31.102	50.983	5098.313	17.396	14.162	161.666
2	共和县谢玛龙哇温泉	20.268	2.100	0.700	1.400	30.133	50.401	5040.084	17.197	14.000	159.820
3	兴海县桑持沟	74.011	2.828	0.828	2.000	105.369	179.380	17938.030	61.206	49.828	568.811
4	兴海县温泉乡温泉	73.626	2.402	1.002	1.400	90.273	163.899	16389.881	55.924	45.527	519.720
5	兴海县温泉乡楠木塘村温泉	7.282	1.841	0.441	1.400	16.109	23.391	2339.108	7.981	6.498	74.173
6	贵南县拉干温泉	52.375	2.505	1.105	1.400	56.138	108.514	10851.366	37.026	30.143	344.095
7	贵德县曲乃亥温泉	124.707	3.110	1.110	2.000	142.146	266.852	26685.216	91.052	74.126	846.183
8	贵德县扎仓寺温泉	119.182	3.086	1.086	2.000	137.780	256.961	25696.113	87.677	71.378	814.818
9	贵德县新街温泉	74.001	2.451	1.051	1.400	72.660	146.661	14666.121	50.042	40.739	465.060
10	同仁县兰采温泉	84.745	3.174	1.174	2.000	96.433	181.178	18117.837	61.820	50.327	574.513
11	同仁县曲库乎乡温泉	56.339	2.993	0.993	2.000	72.133	128.473	12847.271	43.836	35.687	407.384
12	都兰县夏日哈镇安固滩温泉	72.126	3.520	1.520	2.000	111.662	183.788	18378.820	62.710	51.052	582.789
13	都兰县热水乡察汗乌苏河温泉	115.312	3.041	1.041	2.000	137.589	252.900	25290.024	86.292	70.250	801.941
14	都兰县博鲁克斯坦河温泉	13.879	2.812	0.512	2.300	32.834	46.714	4671.379	15.939	12.976	148.128
15	乌兰巴硬格里沟温泉	72.764	2.832	0.832	2.000	103.242	176.006	17600.602	60.055	48.891	558.111
16	格尔木市秀沟东温泉	216.777	3.291	1.891	1.400	152.006	368.783	36878.301	125.832	102.440	1169.403
17	格尔木温泉水库温泉	61.005	2.648	1.248	1.400	61.454	122.459	12245.925	41.784	34.016	388.316
18	大柴旦镇温泉	61.047	2.800	0.800	2.000	89.653	150.700	15070.000	51.420	41.861	477.867
19	班玛县克柯河温泉	78.180	2.800	0.800	2.000	113.167	191.347	19134.707	65.289	53.152	606.758
20	班玛县俄昂沟温泉	19.112	1.976	0.576	1.400	26.521	45.633	4563.333	15.570	12.676	144.702
21	玛沁县东倾沟温泉	14.094	2.833	0.533	2.300	32.290	46.384	4638.431	15.827	12.885	147.084
22	玛多县黄河乡扎玛纳温泉	16.025	1.880	0.480	1.400	25.415	41.440	4143.991	14.140	11.511	131.405
23	玛多县花石峡镇卓儿啦温泉	38.331	2.778	0.778	2.000	58.616	96.946	9694.647	33.079	26.930	307.415
24	西宁市西杏园温泉	4.335	1.848	0.448	1.400	10.642	14.977	1497.664	5.110	4.160	47.491
25	西宁药王庙温泉	5.023	1.876	0.476	1.400	11.782	16.805	1680.453	5.734	4.668	53.287
26	湟源县药水村温泉	27.682	2.420	0.120	2.300	35.530	63.211	6321.120	21.568	17.559	200.441
27	湟中县门旦峡温泉	32.141	2.429	0.129	2.300	38.383	70.524	7052.357	24.063	19.590	223.629
28	湟中县子沟峡矿泉	31.392	2.428	0.128	2.300	37.883	69.275	6927.468	23.637	19.243	219.669
29	湟中县药水滩温泉	31.824	2.429	0.129	2.300	38.172	69.997	6999.658	23.883	19.443	221.958
30	民和县北侧温泉	15.276	1.852	0.452	1.400	19.830	35.107	3510.655	11.979	9.752	111.322
31	平安县冰棱山温泉	68.572	2.974	1.574	1.400	75.528	144.099	14409.910	49.168	40.028	456.935

序号	温泉名称	岩石中储存的热量 Qr (10 ¹⁵ J)	热储中储存的水量 QL (10 ⁸ m ³)	热储孔隙中的静储量 Q1 (10 ⁸ m ³)	水位降到取水极限时释放的水量 Q2 (10 ⁴ m ³)	水中储存的热量 QW (10 ¹⁵ J)	热储中储存的热量 Q=Qr+Qw (10 ¹⁵ J)	可采热量 QWh (10 ¹² J/a) (回采系数, 按 0.1 计算)	折合标准煤 t (10 ⁴) (回采系数, 按 0.1 计算)	折合发电量 kwh (10 ⁸) (回采系数, 按 0.1 计算)	折合发电功率 MW (回采系数, 按 0.1 计算)
32	平安县北庙沟温泉	68.884	2.977	1.577	1.400	75.795	144.679	14467.920	49.366	40.189	458.775
33	循化公伯峡药水沟沟口温泉	22.362	2.341	0.941	1.400	32.430	54.792	5479.165	18.695	15.220	173.743
34	祁连县冰沟村北温泉	8.952	1.960	0.560	1.400	18.625	27.578	2757.764	9.410	7.660	87.448
35	祁连县托勒河甲波温泉	19.787	1.623	0.223	1.400	27.136	46.923	4692.314	16.011	13.034	148.792
36	刚察县大通河上游温泉	47.609	2.549	0.249	2.300	51.917	99.525	9952.526	33.959	27.646	315.593
37	刚察县热水煤矿温泉	65.621	1.646	0.246	1.400	50.159	115.781	11578.062	39.505	32.161	367.138
38	刚察县江仓煤矿温泉	38.313	2.312	0.912	1.400	56.916	95.229	9522.874	32.493	26.452	301.968
39	门源县狮子口温泉	38.198	2.436	0.136	2.300	43.432	81.630	8163.035	27.853	22.675	258.848
40	门源县硫磺沟温泉	11.018	2.375	0.075	2.300	22.369	33.387	3338.692	11.392	9.274	105.869
41	门源县岗什卡雪山温泉	44.062	2.446	0.146	2.300	46.818	90.881	9088.054	31.009	25.245	288.180
42	海晏县包忽图河源头温泉	230.638	2.329	0.929	1.400	105.503	336.141	33614.088	114.694	93.372	1065.896
43	海晏县甘子河温泉	120.637	2.695	0.695	2.000	92.637	213.274	21327.430	72.771	59.243	676.288
44	海晏县东达沟沟口南岸温泉	100.538	2.635	0.635	2.000	83.169	183.707	18370.740	62.683	51.030	582.532
45	治多县白海螺温泉	68.960	2.454	0.154	2.300	70.405	139.364	13936.437	47.552	38.712	441.922
46	治多县贡撒寺温泉	49.738	2.430	0.130	2.300	58.427	108.165	10816.513	36.907	30.046	342.989
47	治多县日啊日曲温泉	30.967	2.420	0.120	2.300	39.840	70.807	7080.705	24.160	19.669	224.528
48	治多县日青当江温泉	41.710	2.875	0.575	2.300	56.387	98.096	9809.615	33.471	27.249	311.061
49	称多县扎朵镇温泉	53.369	2.002	0.602	1.400	51.984	105.353	10535.329	35.947	29.265	334.073
50	称多县扎朵乡晒柴沟温泉	93.067	2.274	0.874	1.400	70.277	163.344	16334.406	55.734	45.373	517.961
51	称多县清水河镇达隆沟脑温泉	22.581	1.821	0.421	1.400	28.907	51.488	5148.803	17.568	14.302	163.267
52	称多县珍秦镇草陇沟口温泉	29.184	1.881	0.481	1.400	33.703	62.887	6288.734	21.458	17.469	199.414
53	称多县珍秦镇日格隆巴沟口温泉	117.962	2.386	0.986	1.400	82.567	200.529	20052.943	68.422	55.703	635.875
54	称多县挡巴沟沟口温泉	49.568	2.006	0.606	1.400	44.468	94.036	9403.629	32.086	26.121	298.187
55	称多县挡巴温泉	49.568	2.906	0.606	2.300	64.420	113.988	11398.810	38.894	31.663	361.454
56	可可西里温泉	217.783	3.684	1.384	2.300	174.069	391.852	39185.186	133.703	108.848	1242.554
57	杂多县巴颜公温泉	46.102	2.448	0.148	2.300	48.211	94.313	9431.315	32.180	26.198	299.065
58	杂多县扎沟温泉	23.786	2.407	0.107	2.300	33.793	57.579	5757.877	19.646	15.994	182.581
59	杂多县吉耐涌温泉	16.439	2.390	0.090	2.300	27.932	44.371	4437.093	15.140	12.325	140.699
60	杂多县扎沟上游温泉	41.281	2.441	0.141	2.300	45.527	86.808	8680.793	29.620	24.113	275.266
61	杂多县杂青乡色汪涌曲盐泉温泉	52.813	2.159	0.159	2.000	45.447	98.260	9826.034	33.527	27.295	311.581
62	青藏公路改寨温泉	13.349	1.713	0.313	1.400	21.702	35.051	3505.130	11.960	9.736	111.147
63	青藏公路雁石坪 67km 处温泉	32.913	1.905	0.505	1.400	36.666	69.580	6957.970	23.741	19.328	220.636
64	唐古拉山兵站温泉	373.369	3.163	1.763	1.400	183.812	557.181	55718.098	190.115	154.772	1766.809
65	唐古拉山兵站东南 800m 温泉	255.303	2.853	1.453	1.400	140.737	396.040	39604.035	135.132	110.011	1255.836

序号	温泉名称	岩石中储存的热量 Qr (10 ¹² J)	热储中储存的水量 QL (10 ⁸ m ³)	热储孔隙中的静储量 Q1 (10 ⁸ m ³)	水位降到取水极限时释放的水量 Q2 (10 ⁴ m ³)	水中储存的热量 QW (10 ¹⁵ J)	热储中储存的热量 Q=Qr+Qw (10 ¹⁵ J)	可采热量 QWh (10 ¹² J/a) (回采系数, 按 0.1 计算)	折合标准煤 t (10 ⁴) (回采系数, 按 0.1 计算)	折合发电量 kwh (10 ⁸) (回采系数, 按 0.1 计算)	折合发电功率 MW (回采系数, 按 0.1 计算)
66	唐古拉山兵站南约 8km 日嘎温泉	209.211	2.713	1.313	1.400	122.386	331.598	33159.763	113.144	92.110	1051.489
67	唐古拉山口温泉	130.11	2.43	1.03	1.40	88.53	218.64	21863.90	74.60	60.73	693.30
68	唐古拉山口温泉 (东 52 公里)	130.11	2.43	1.03	1.40	88.53	218.64	21863.90	74.60	60.73	693.30
69	玉树市热水沟上游温泉	75.45	2.19	0.19	2.00	67.28	142.74	14273.59	48.70	39.65	452.61
70	玉树市热水沟哈桑查果温泉	59.23	3.01	0.71	2.30	67.92	127.15	12715.02	43.38	35.32	403.19
71	玉树市勒涌达温泉	101.12	3.21	0.91	2.30	94.82	195.94	19593.89	66.86	54.43	621.32
72	玉树市巴塘河温泉	9.81	2.37	0.07	2.30	20.47	30.28	3027.94	10.33	8.41	96.02
73	玉树市小苏莽乡西曲托吉温泉	245.97	1.76	0.36	1.40	79.84	325.81	32580.90	111.17	90.50	1033.13
74	玉树市小苏莽乡本江村温泉	43.38	2.45	0.15	2.30	45.87	89.25	8925.32	30.45	24.79	283.02
75	玉树市沙巴纠公主温泉	120.27	2.54	0.24	2.30	80.88	201.15	20114.53	68.63	55.87	637.83
76	玉树市隆宝镇娥曲曲尼温泉	137.20	2.28	0.28	2.00	81.25	218.45	21845.33	74.54	60.68	692.71
77	玉树市安冲乡带让村昂普寺温泉	98.15	2.52	0.22	2.30	70.95	169.11	16910.80	57.70	46.97	536.24
78	玉树市安冲乡茶桐温泉	177.65	1.70	0.30	1.40	66.70	244.35	24434.83	83.37	67.87	774.82
79	囊谦县香达北山温泉	43.95	2.45	0.15	2.30	45.30	89.26	8925.56	30.45	24.79	283.03
80	囊谦县吉尼塞乡玉郭温泉	100.52	1.62	0.22	1.40	45.67	146.19	14619.14	49.88	40.61	463.57
81	囊谦县吉尼塞乡宗杂温泉	57.02	2.47	0.17	2.30	52.27	109.29	10929.18	37.29	30.36	346.56
82	囊谦县吉尼塞乡达那温泉	191.01	2.60	0.30	2.30	100.36	291.37	29136.88	99.42	80.94	923.92
83	囊谦县吉尼塞乡达那麦曲温泉	31.36	2.43	0.13	2.30	37.60	68.96	6895.61	23.53	19.15	218.66
84	囊谦县尕羊乡茶滩村加翁温泉	233.92	1.74	0.34	1.40	73.50	307.42	30742.12	104.89	85.39	974.83
85	囊谦县东坝乡兰岔滩温泉	58.43	2.47	0.17	2.30	52.84	111.27	11126.68	37.97	30.91	352.82
86	囊谦县吉曲乡瓦卡村万康温泉	147.69	1.67	0.27	1.40	56.74	204.42	20442.15	69.75	56.78	648.22
87	囊谦县着晓乡由涌村达杰寺温泉	51.04	2.46	0.16	2.30	49.13	100.18	10017.62	34.18	27.83	317.66
88	囊谦县东坝乡瓦浩温泉	89.30	1.61	0.21	1.40	42.73	132.04	13203.64	45.05	36.68	418.68
89	囊谦县东坝乡佳仁温泉	110.16	1.63	0.23	1.40	48.04	158.19	15819.28	53.98	43.94	501.63
90	囊谦县觉拉温泉	21.57	2.41	0.11	2.30	30.60	52.16	5216.49	17.80	14.49	165.41
91	囊谦县觉拉香巴温泉	78.68	2.50	0.20	2.30	62.69	141.36	14136.48	48.23	39.27	448.26
合计	总资源量	6950.081	220.608	53.008	167.600	5801.534	12751.615	1275161.467	4350.958	3542.115	40435.105

表 7 地下热水资源量总表
Table 7 Total results of geothermal water resources

类型	资源量 (10 ¹² J)	资源量折合标准煤 (亿吨)	可采资源量 (10 ¹² J)	可采资源量折合标准煤 (亿吨)
沉积盆地	147.36	502.83	14.736	50.283

温泉	1.28	4.35	0.128	0.435
合 计	148.64	507.18	14.864	50.718

5.地下热水资源开发利用

5.1 地热供暖

共和县州人民医院曾利用院内的 DR5 井（井口水温 60℃，流量 1680 m³/d）作为燃气锅炉的补充热源进行供热，贵德县扎仓沟地区曾利用地热井水经长距离管道输送为县城宾馆供暖及洗浴，供暖面积约 1.3×10⁴ m²，西宁瑞景河畔家园供暖项目采用“地热+板换”方式为小区供热，供暖面积 13×10⁴ m²，这些项目多因井口结垢堵塞或因矿业权问题均已停止运行。目前青海省现有地热供暖项目 1 个，位于海南州共和县城北新区 1 号片区，项目 2020 年新建两口地热井，组成“一采一灌”系统，采用“地热+热泵”方式，供热面积达 22×10⁴ m²，出水水温最高达 95℃，水量 2241 m³/d，供热系统一般工况下，回灌水温在 21~24℃。

5.2 温泉理疗

温泉理疗目前以西宁市夏都博汇温泉水乐园、海西州大柴旦雪山温泉等 8 个规模化开发利用项目为代表（表 8），项目周边辐射人口多、经济基础较好、旅游资源较丰富，对应温泉或地热井地热流体多具有水温高、水量大、水质好的特点。省内部分温泉为初步开发利用，虽然温泉资源条件较好，但周边辐射人口少、经济基础差，只建有简易洗浴或理疗设施，产生经济效益较小，影响范围有限，比如共和阿乙亥温泉、贵德扎仓沟温泉（泉口最高流温 98℃，流量 2.178 L/s，矿化度 1.486 g/L）、同仁曲库乎温泉、囊谦达那寺温泉等。还有一些温泉虽然资源条件一般，虽然没有市场化开发，但已被当地居民巧妙地融入日常生活之中，包括生活用水、洗浴、利用温泉水高差流动为转经轮提供动力等，如囊谦县香达北山温泉、觉拉温泉等。

表 8 青海省地热资源开发利用现状（温泉理疗方向典型项目）

Table 8 Current development and utilization situation of geothermal resources in Qinghai Province (typical projects in the direction of hot spring physiotherapy)

序号	项目名称	对应温泉或地热井	行政区	开发利用现状
1	夏都博汇温泉水乐园	南川工业园区张家庄 DR1 地热井	西宁市	建有集温泉养生、康体娱乐、商务休闲为一体的综合性温泉度假区。建筑面积 3.9 万平方米。其中，温泉水乐园 16300 平方米、温泉健身中心 4400 平方米、游泳馆 3200 平方米、配套用房 8900 平方米，包括温泉洗浴和游泳馆。项目投资 5.5 亿元。目前每天开采 200 多方，正在筹备开凿回灌井。
2	大柴旦雪山温泉	大柴旦温泉群	海西州大柴旦行委	建有温泉客栈、温泉自驾车服务中心、自驾车野外木屋，自驾车营地、温泉游泳馆，由青海瀚海雄狮文化旅游开发有限责任公司开发，项目

序号	项目名称	对应温泉或地热井	行政区	开发利用现状
				已累计投资 4000 万元。
3	达玉温泉康养休闲度假基地	甘子河温泉群	海北州海晏县	又称西海神泉，甘子河乡达玉村狮子山脚下建有达玉温泉酒店，共计客房 20 间，AB 馆酒店各 450 平方米、停车场 2700 平方米、绿化 7000 平方米，广场 2800 平方米；温泉区泡池共设置 21 个泡池。洗浴中心 870 平方米，分为室内泳池区、花溪林隐区、茶禅养生区、功能服务区等区域；总投资 1715 万元。
4	唐蕃古道温泉景区	兴海温泉乡温泉	海南州兴海县	景区建有游客接待中心、温泉游泳馆、露天温泉池、家庭式温泉泡馆、兴旺宾馆、生态停车场等。其中，游客接待服务中心占地面积 600 平米，温泉游泳馆占地 800 平米，馆内泳池长 25 米、宽 15 米、水深 1.5 米，温泉游泳馆旁边附带家庭式泡馆 7 间、露天温泉池 11 座。景区于 2018 年全面建成投入运营，总投资 1320 万元。
5	兰采天然温泉康养基地	兰采温泉	黄南州同仁市	拥有 25 套温泉房及 4 个室内温泉水池，日接待能力 150 人次，总建筑面积 2116 平方米，总投资 1000 万元。
6	曲乃亥医养温泉度假村	曲乃亥温泉	海南州贵德县	基地总占地面积 28986 平方米，包括传统药浴温泉池、休闲游泳池、住宿接待区、服务中心、休闲广场、停车场等功能区域，开业以来累计收益 20 余万元。
7	公主温泉理疗景区	勒巴沟公主温泉	玉树州玉树市	建有煜祺文成公主度假村，2018 年 7 月底正式竣工交付全乡铁力角村委会投入使用，包括 418 平方米的综合用房、生态木屋 4 套，10 至 40 平方米的藏式度假帐篷 13 顶，项目总投资 322 万元。
8	麻尼磨台温泉度假村	共和县麻尼磨台村地热井	海南州共和县	始建于 1995-1997 年，现已建成接待能力 2000 人次/天、1460 平方米的游泳池和 40 余间温泉泡澡堂。目前游泳池分为标准游泳池、儿童游泳池和老年游泳池，同时还修建了可容纳 200 多人同时就餐的餐饮区。

5.3 地热发电

共和恰卜恰城北地热开发示范项目曾利用地下热水进行试验性发电，通过将基地内 DR4 井的地热流体（井口水温 91℃，流量 2080 m³/d）输送至 ORC 螺杆膨胀机进行发电（额定功率 160 千瓦），并于 2016 年 9 月进行调试发电，尾水排放温度为 70℃，基本达到预期试验目的，每小时发电 90 千瓦，但每小时耗电却达到 190 千瓦。该项目现已停用，目前该井正在进行单孔取热试验。

5.4 存在问题及建议

地热供暖是目前青海省地热资源开发较为高效的利用方式，但前期项目多由于成井工艺、高矿化度地热水腐蚀结晶及矿政问题导致停摆，未来地热供暖需要在改进成井工艺、加强回灌工作、创新开发模式、防腐阻垢等方面加强研究工作，推广“一采两灌”或者“一采多灌”的开发模式的同时，积极争取政策支持，加强地热资源的保护措施。在温泉理疗利用方面，要改造利用工艺，对于已建成的温泉理疗方向的地热项目，尤其是通过钻井形式开发的，建议给出利用工艺升级改造路线图和时间表，如按期补建回灌井和增加尾水处理设备等。地热发电包括干热岩发电多处于试验研究阶段，未来仍需加大研究投入，多方拓展资金渠道，争取政策支持。

整体来看，青海省地下热水资源开发利用目前尚处于初级阶段，仍存在开发利用程度较低、利用方式单一、缺乏整体规划、利用方向不明等问题。针对

省内地下热水资源禀赋及开发利用条件，建议从优化资源配置、统筹保护与开发管理、发挥示范工程引领作用、加大科技攻关力度等方面加强省内地下热水资源的开发利用。隆起山地对流型地热资源宜在保持资源平衡基础上限量开采，推动其在理疗康养、生态农业等方面的应用。可结合旅游资源分布，选择开发利用潜力大的温泉点，补充勘查评价工作，提高地热资源保障能力。采用“取热取水+梯级利用+达标排放”工艺和技术，发展以理疗为主、供暖、农业种养殖等综合利用相结合的产业，打造一批温泉-采摘-休闲为一体的开发利用示范工程，带动地区经济发展，满足人民对高品质生活的需求。对供暖类地热尾水，具备回灌条件的，宜采取回灌措施。理疗康养类地热尾水排放必须符合生态环境保护的规定。沉积盆地传导型地热资源用于供暖是首选开发利用方向。在进行资源评估、环境影响评价和经济性测算的基础上，优先采用“取热不耗水”技术和“同层等量回灌”要求开发利用地热资源，在有条件的地区探索采用“取热不取水”技术开发利用地热资源。同时在资源保护方面，建议统筹保护与开发管理，发挥示范工程引领作用，加大科技攻关力度。在政策引导下优化资源配置，提升保障能力，坚持生态优先、保护优先，强化资源管理对资源环境的源头保护作用。

6. 结 论

经初步统计，以 11℃ 为温泉温度下限，青海省内共出露温泉 91 处，其中水温 60~90℃ 的热水点 20 处，40~60℃ 的温热水点 14 处，25~40℃ 的温水点 24 处，小于 25℃ 低温水点 33 处；全省地热井共 94 眼，水温 90℃ 以上的中温地热井 7 眼，60~90℃ 的低温热水井 25 眼，25~40℃ 的低温温水井 21 眼，未抽水但有明显地温梯度异常的 20 眼。

以热储法对全省 91 处温泉及 16 个主要沉积盆地地下热水资源量进行了计算评价，其中沉积盆地合计储存地热总资源量为 $1.4737 \times 10^{21} \text{J}$ ，可采资源量 $1.4737 \times 10^{20} \text{J}$ ，折合标准煤 $50.28 \times 10^8 \text{t}$ ；温泉合计储存地热总资源量 $1.28 \times 10^{19} \text{J}$ ，折合标准煤 $4.35 \times 10^8 \text{t}$ ，可开采资源量为 $1.28 \times 10^{18} \text{J}$ ，折合标准煤 $0.435 \times 10^8 \text{t}$ ；总体上，采用热储法估算的青海省中深层地下热水热能资源总量为 $1.4864 \times 10^{21} \text{J}$ ，折合标准煤 $507.18 \times 10^8 \text{t}$ ，按 10% 的热储地热能回收率计算，可采资源量为 $1.48 \times 10^{20} \text{J}$ ，折合标准煤 $50.72 \times 10^8 \text{t}$ 。

青海省地下热水资源分布在特定构造板块内部及边界密集分段显示，总体呈现出“北部温度低-中东部温度高-南部分布密集（北疏南密中东热）”的分段显示特征；热水点的出露严格受区域性控热构造及其衍生的低级序次级构造控制；地下热水资源的水量、温度及空间展布等特征与热储岩性变化呈规律性

对应，热储岩性为火成岩或周边有大面积出露火成岩地区的温泉，温度普遍较高、水量偏小，热储岩性为碳酸盐岩的地下热水，一般具有水量大、温度低、矿化度低的特征。地下热水的分布规律也为青海省地热资源勘查及开发利用格局指明了方向，未来建议优选省内中东部温度较高的区块，加大勘查力度，力争提交一批规模大、温度高、品质佳的地热田，推进地热供暖、地热发电、梯级利用等开发利用模式，扩大开发利用规模；同时建议在青海南部条件较好地区优先开展地热资源调查评价，查明地热资源分布特征，提交一批可供进一步勘查的靶区，以温泉疗养为主攻方向，适当打造一批规模化、绿色化、标准化温泉康养小镇，融合当地特色产业，为地方经济发展提供“地热+”思路。

青海省地下热水开发利用方面，目前有地热供暖、温泉理疗、地热发电等利用方向，整体来看尚处于初级阶段，仍存在开发利用程度较低、利用方式单一、缺乏整体规划、利用方向不明等问题，未来沉积盆地传导型地热资源用于供暖是首选开发利用方向，隆起山地对流型地热资源建议在理疗康养、生态农业等方面的加大应用。

References

- Chen M X. 1992. A new map of hot springs in China and its explanation[J]. *Scientia Geologica Sinica*, (S1): 322-332 (in Chinese with English abstract).
- Chen M X, Wang J Y, Deng X. 1996. The map of Geothermal system types in China and its brief explanation[J]. *Scientia Geologica Sinica*, (2): 114-121 (in Chinese with English abstract).
- He S Y, Bai G L, Liu Z G, et al. 2025. A preliminary discussion on the metallogenetic pattern of Qinghai Province[J]. *Geological Bulletin of China*, 44(4):649-678(in Chinese with English abstract).
- Hu S B, Huang S P, He L J, et al. 2013. Lithospheric thermal structure and geothermal resources potential in mainland China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 87(S1): 36 (in Chinese with English abstract).
- Kong L T, Li D P, Zhang S Q, et al. 2019. Preliminary study on hydrothermal sediment and hydrothermal alteration of Qu Naihai hot spring in Guide county, Qinghai province[J]. *Journal of Qinghai University*, 37(4): 83-89 (in Chinese with English abstract).
- Lin W J, Gan H N, Zhao Z, et al. 2023. Lithospheric Thermal-rheological Structure and Geothermal Significance in Gonghe Basin, Qinghai Province[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 44(1): 45-56 (in Chinese with English abstract).
- Lin W J, Liu Z M, Wang W L, et al. 2013. The assessment of geothermal resources potential of China[J]. *Geology in China*, 40(1): 312-321 (in Chinese with English abstract).
- Lin W J, Wang G L, Gan H N. 2024. Differential crustal thermal structure and geothermal significance in the gneous region of southeastern China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 98(2): 544-557 (in Chinese with English abstract).
- Liu L X, Lu R, Xie W P, et al. 2024. Distribution and hydrogeochemical characteristics of hot springs in Northeastern Tibetan Plateau[J]. *Earth Science*

Frontiers(in Chinese with English abstract).

Liu R C, Ren Z L, Ye H Q, et al. 2021. Potential evaluation of geothermal resources: exemplifying some municipalities and key strata in Ordos Basin as a study case[J].Geological Bulletin of China, 40(4): 565-576 (in Chinese with English abstract).

Liu S R, Luo X G, Gu P Y, et al. 2024. Deep Tectonic Framework of Gonghe Basin and Its Influence on Heat Source of Dry Hot Rock[J].Northwestern Geology, 57(5): 130-141 (in Chinese with English abstract).

Long D H, Zhou X L, Yang K G, et al. 2021. Research on relationship between the deep structure and geothermal resource distribution in the Northeastern Tibetan Plateau[J].Geology in China, 48(3): 721-731 (in Chinese with English abstract).

Lu R, Xie W P, Liu B, et al. 2024. Research Report on the Achievements of Geothermal Resources Potential Assessment and Development Utilization Direction in Qinghai Province[R]. Qinghai: Qinghai Geological Survey (in Chinese with English abstract).

Lu Z W, Gao R, Li Q S, et al. 2006. Deep geophysical probe and geodynamic study on the Qinghai-Tibet Plateau (1958-2004)[J].Chinese Journal of Geophysics, 49(3): 753-770 (in Chinese with English abstract).

Ni K, Lu L, Chen F Y, et al. 2021. Study on the characteristics and potential evaluation of hydrothermal geothermal resources in Sedimentary basins of Henan Province[J].Ground Water, 43(1): 13-16 (in Chinese with English abstract).

Pan G, Wang L, Li R. 2012. Tectonic evolution of the Qinghai-Tibet plateau[J].Journal of Asian Earth Sciences, 53: 3-14.

Pan T, Wang G R, Wang F D, et al. 2022. China Mineral Geology · Qinghai Volume[R]. Qinghai: Report of Qinghai Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development (in Chinese with English abstract).

Pan T, Xue G Q, Li Z Y, et al. 2022. Review and prospection of resource geology and geophysical exploration in Qinghai Province[J].Progress in Geophysics, 37(1): 238-250 (in Chinese with English abstract).

Pang Z H, Luo J, Cheng Y Z, et al. 2020. Evaluation of geological conditions for the development of deep geothermal energy in China[J].Earth Science Frontiers, 27(1): 134-151 (in Chinese with English abstract).

Qi S S. 2013. Division of geotectonic units and characteristics of mineralization in Qinghai Province [J].Qinghai Territorial Economics, (5): 53-62 (in Chinese with English abstract).

Qi S S, Li W F, Yu W J, et al. 2019. Regional Geology of China · Qinghai Volume[R]. Qinghai: Report of Qinghai Institute of Geological Survey (in Chinese with English abstract).

Qiu N S, Tang B N, Zhu C Q. 2022. Deep thermal background of hot spring distribution in the Chinese continent[J].Acta Geologica Sinica, 96(1): 195-207 (in Chinese with English abstract).

Sun M H, Wang R H, Liang L G, et al. 2023. Characteristics and potential evaluation of geothermal resources in Guangxi[J].Geology in China, 50(5): 1387-1398 (in Chinese with English abstract).

- Tang X C, Wang G L, Ma Y, et al. 2020. Geological model of heat source and accumulation for geothermal anomalies in the Gonghe basin, northeastern Tibetan Plateau[J].Acta Geologica Sinica, 94(7): 2052-2065 (in Chinese with English abstract).
- Tang X C, Wang G L, Zhang D L, et al. 2023. Coupling Mechanism of Geothermal Accumulation and the Cenozoic Active Tectonics Evolution in Gonghe Basin, Northeastern Margin of the Tibetan Plateau[J].Acta Geoscientica Sinica, 44(1): 7-20 (in Chinese with English abstract).
- Wang A D, Sun Z X, Lin W J, et al. 2023. Occurrence features of geothermal resources and geothermal potential assessment of Jiangxi Province[J].Geology in China, 50(6): 1646-1654 (in Chinese with English abstract).
- Wang G L. 2018. China Geothermal Records[M]. Beijing: Science Press (in Chinese with English abstract).
- Wang G L, Lin W J, Liu F, et al. 2023. Theory and survey practice of deep heat accumulation in geothermal system and exploration practice[J].Acta Geologica Sinica, 97(3): 639-660 (in Chinese with English abstract).
- Wang G L, Liu Y G, Zhu X, et al. 2020. The status and development trend of geothermal resources in China[J].Earth Science Frontiers, 27(1): 1-9 (in Chinese with English abstract).
- Wang G L, Zhang W, Liang J Y, et al. 2017. Evaluation of Geothermal Resources Potential in China[J].Acta Geoscientica Sinica, 38(4): 449-459 (in Chinese with English abstract).
- Wang H J, Shi R J, Tang X J, et al. 1983. Report on Hydrogeological Zoning in Northeastern Qinghai Province[R]. Qinghai: No.2 Hydrogeology and Engineering Geology Team of Qinghai Geology Bureau (in Chinese with English abstract).
- Wang L P, Wei Y X, Cheng H C, et al. 2022. Characteristics and potential evaluation of geothermal resources in Anhui of Yangtze River Economic Zone[J].Geology in China, 49(6): 1765-1777 (in Chinese with English abstract).
- Wang Y, Tong J, Li X L, et al. 2020. Geological characteristics and generation mechanism of Qunaihai Hot spring in Qinghai province[J].Journal of East China University of Technology (Natural Science), 43(3): 248-256 (in Chinese with English abstract).
- Xie C L, Ye G F, Wei W B, et al. 2012. Electrical features of the main faults beneath Northern Tibetan Plateau[J].Chinese Journal of Geophysics, 55(12): 3991-4002 (in Chinese with English abstract).
- Xie N, Yu S B, Ding H W, et al. 2020. Occurrence features of geothermal resources and geothermal potential assessment in Gansu Province[J].Geology in China, 47(6): 1804-1812 (in Chinese with English abstract).
- Xu Z G, Chen Y C, Wang D H, et al. 2008. Scheme of Metallogenic Belt Division in China[M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract).
- Yan Y, Zhang D, Zhao G C, et al. 2017. Distribution characteristics and potential evaluation of geothermal resources in Inner Mongolia[J].Journal of Arid Land Resources and Environment, 31(10): 51-57 (in Chinese with English abstract).
- Yang S K, Li T B, Li W B, et al. 2023. Geological characteristics and genetic analysis

of Lancai hot spring in Tongren City of Qinghai[J].Mineral Resources and Geology, 37(4): 837-843 (in Chinese with English abstract).

Yang S K, Luo Y F, Zhao Z, et al. 2015. Report on Current Status Evaluation and Zoning of Geothermal Resources in Qinghai Province[R]. Qinghai: Qinghai Environmental Geology Exploration Bureau (in Chinese with English abstract).

Yun X R, Chen X J, Cai Z H, et al. 2020. Preliminary study on magmatic emplacement and crystallization conditions and deep structure of hot dry rock in the northeastern Gonghe basin, Qinghai Province[J].Acta Petrologica Sinica, 36(10): 3171-3191 (in Chinese with English abstract).

Zhang B J, Lei Y D, Zhao Z, et al. 2023. Geodynamic processes and mechanisms of the formation of hot dry rock in the Gonghe Basin[J].Earth Science Frontiers, 30(5): 384-401 (in Chinese with English abstract).

Zhang C H, Ma T L, Song Y G, et al. 1990. Characteristics of Tectonic Systems and the Formation and Evolution of the Qinghai-Tibet Plateau[M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract).

Zhang C, Hu S B, Song R C, et al. 2020. Genesis of the hot dry rock geothermal resources in the Gonghe basin: constraints from the radiogenic heat production rate of rocks[J].Chinese Journal of Geophysics, 63(7): 2697-2709 (in Chinese with English abstract).

Zhang L Y, Li X F, Zhu G L, et al. 2024. Geothermal geological characteristics and genetic model of Hot Dry Rocks in Gonghe Basin, Qinghai Province[J].Geology in China(in Chinese with English abstract).

Zhang P Z, Deng Q D, Zhang Z Q, et al. 2013. Active faults, earthquake hazards and associated geodynamic processes in continental China[J].Scientia Sinica Terrae, 43: 1607-1620 (in Chinese with English abstract).

Zhang S Q, Li X F, Song J, et al. 2021. Analysis on Geophysical Evidence for Existence of Partial Melting Layer in Crust and Regional Heat Source Mechanism for Hot Dry Rock Resources of Gonghe Basin[J].Earth Science, 46(4): 1416-1436 (in Chinese with English abstract).

Zhang S Q, Wu H D, Zhang Y, et al. 2020. Characteristics of regional and geothermal geology of the Reshuiquan HDR in Guide County, Qinghai Province[J].Acta Geologica Sinica, 94(5): 1591-1605 (in Chinese with English abstract).

Zhang S S, Zhang L, Li J, et al. 2015. Research Report on the special planning of geothermal resources Exploration, development and utilization in Qinghai Province[R]. Qinghai: Qinghai Institute of Hydrogeology, Engineering, Geological Environment and Geological Survey (in Chinese with English abstract).

Zhao P. 2020. Tibet Hot Springs[J].Tibetan Medicine Feature, (3): 108-117 (in Chinese with English abstract).

Zhou B. 2007. Distribution characteristics of active faults in Qinghai Province and their harm to highway engineering[D]. Xi'an: Chang'an University (in Chinese with English abstract)

附中文参考文献

- 陈墨香. 1992. 新编中国温泉图及其说明[J]. 地质科学, (S1): 322-332.
- 陈墨香, 汪集旻, 邓孝. 1996. 中国地热系统类型图及其简要说明[J]. 地质科学, (2): 114-121.
- 何书跃, 白国龙, 刘智刚, 等. 2025. 青海省成矿规律初探[J]. 地质通报, 44(4):649-678.
- 胡圣标, 黄少鹏, 何丽娟, 等. 2013. 中国大陆地区岩石圈热结构与地热资源潜力[J]. 地质学报, 87(S1): 36.
- 孔令添, 黎敦朋, 张森琦, 等. 2019. 青海贵德曲乃亥温泉热水沉积及水热蚀变研究[J]. 青海大学学报(自然科学版), 37(4): 83-89.
- 蔺文静, 刘志明, 王婉丽, 等. 2013. 中国地热资源及其潜力评估[J]. 中国地质, 40(1): 312-321.
- 蔺文静, 甘浩男, 赵振, 等. 2023. 青海共和盆地岩石圈热-流变结构及地热意义[J]. 地球学报, 44(1): 45-56.
- 蔺文静, 王贵玲, 甘浩男. 2024. 华南陆缘火成岩区差异性地壳热结构及地热意义[J]. 地质学报, 98(2): 544-557.
- 刘玲霞, 路睿, 谢文苹, 等. 2024. 青藏高原东北部温泉分布及水文地球化学特征[J]. 地学前缘.
- 刘润川, 任战利, 叶汉青, 等. 2021. 地热资源潜力评价——以鄂尔多斯盆地部分地级市和重点层位为例[J]. 地质通报, 40(4): 565-576.
- 刘生荣, 罗新刚, 辜平阳, 等. 2024. 共和盆地深部构造格架及其对干热岩热源的影响[J]. 西北地质, 57(5): 130-141.
- 龙登红, 周小龙, 杨坤光, 等. 2021. 青藏高原东北缘深部地质构造与地热资源分布关系研究[J]. 中国地质, 48(3): 721-731.
- 卢占武, 高锐, 李秋生, 等. 2006. 中国青藏高原深部地球物理探测与地球动力学研究(1958-2004)[J]. 地球物理学报, 49(3): 753-770.
- 路睿, 谢文苹, 刘博, 等. 2024. 青海省地热资源潜力评价与开发利用方向研究成果报告[R]. 西宁: 青海省地质调查局.
- 倪昆, 卢磊, 陈飞阳, 等. 2021. 河南省沉积盆地水热型地热资源特征及潜力评估研究[J]. 地下水, 43(1): 13-16.
- 庞忠和, 罗霖, 程远志, 等. 2020. 中国深层地热能开采的地质条件评价[J]. 地学前缘, 27(1): 134-151.
- 潘彤, 王贵仁, 王福德, 等. 2022. 中国矿产地质志·青海卷[R]. 西宁: 青海省地质矿产勘查开发局.
- 潘彤, 薛国强, 李战业, 等. 2022. 青海省资源地质与地球物理勘查概述与展望[J]. 地球物理学进展, 37(1): 238-250.
- 祁生胜. 2013. 青海省大地构造单元划分与成矿作用特征[J]. 青海国土经略, (5): 53-62.
- 祁生胜, 李五福, 于文杰, 等. 2019. 中国区域地质志·青海卷[R]. 西宁: 青海省地质调查院.
- 邱楠生, 唐博宁, 朱传庆. 2022. 中国大陆地区温泉分布的深部热背景[J]. 地质学报, 96(1): 195-207.
- 孙明行, 王瑞湖, 梁礼革, 等. 2023. 广西地热资源特征与潜力评价[J]. 中国地质, 50(5): 1387-1398.
- 唐显春, 王贵玲, 马岩, 等. 2020. 青海共和盆地地热资源热源机制与聚热模式[J].

地质学报, 94(7): 2052-2065.

唐显春, 王贵玲, 张代磊, 等. 2023. 青藏高原东北缘活动构造与共和盆地高温热异常形成机制[J]. 地球学报, 44(1): 7-20.

王安东, 孙占学, 蔺文静, 等. 2023. 江西省地热资源赋存特征及潜力评价[J]. 中国地质, 50(6): 1646-1654.

王贵玲. 2018. 中国地热志[M]. 北京: 科学出版社.

王贵玲, 蔺文静, 刘峰, 等. 2023. 地热系统深部热能聚敛理论及勘查实践[J]. 地质学报, 97(3): 639-660.

王贵玲, 刘彦广, 朱喜, 等. 2020. 中国地热资源现状及发展趋势[J]. 地学前缘, 27(1): 1-9.

王贵玲, 张薇, 梁继运, 等. 2017. 中国地热资源潜力评价[J]. 地球学报, 38(4): 449-459.

王鸿杰, 石荣建, 唐秀江, 等. 1983. 青海省东北部水文地质区划报告[R]. 西宁: 青海省地质局第二水文地质工程地质队.

王龙平, 魏永霞, 程宏超, 等. 2022. 安徽长江经济带地热资源赋存特征及潜力评价[J]. 中国地质, 49(6): 1765-1777.

王轶, 童珏, 李晓龙, 等. 2020. 青海省曲乃亥温泉地质特征及成因分析[J]. 东华理工大学学报(自然科学版), 43(3): 248-256.

谢成良, 叶高峰, 魏文博, 等. 2012. 藏北高原主要断裂带电性结构特征[J]. 地球物理学报, 55(12): 3991-4002.

谢娜, 喻生波, 丁宏伟, 等. 2020. 甘肃省地热资源赋存特征及潜力评价[J]. 中国地质, 47(6): 1804-1812.

徐志刚, 陈毓川, 王登红, 等. 2008. 中国成矿区带划分方案[M]. 北京: 地质出版社.

闫岩, 张迪, 赵国春, 等. 2017. 内蒙古自治区地热资源分布特征与潜力评价[J]. 干旱区资源与环境, 31(10): 51-57.

杨绍康, 李铜邦, 李文斌, 等. 2023. 青海兰采温泉地质特征及成因分析[J]. 矿产与地质, 37(4): 837-843.

杨绍康, 罗银飞, 赵振, 等. 2015. 青海省地热资源现状评价与区划报告[R]. 西宁: 青海省环境地质勘查局.

负晓瑞, 陈希节, 蔡志慧, 等. 2020. 青海共和盆地东北部干热岩岩浆侵位结晶条件及深部结构初探[J]. 岩石学报, 36(10): 3171-3191.

张保建, 雷玉德, 赵振, 等. 2023. 共和盆地干热岩形成的地球动力学过程与成因机制[J]. 地学前缘, 30(5): 384-401.

张长华, 马天林, 宋友贵, 等. 1990. 青藏高原的构造体系特征与高原的形成演化[M]. 北京: 地质出版社.

张超, 胡圣标, 宋荣彩, 等. 2020. 共和盆地干热岩地热资源的成因机制: 来自岩石放射性生热率的约束[J]. 地球物理学报, 63(7): 2697-2709.

张林友, 李旭峰, 朱贵麟, 等. 2024. 青海共和盆地温度场特征、干热岩成因及资源潜力[J]. 中国地质.

张培震, 邓起东, 张竹琪, 等. 2013. 中国大陆的活动断裂、地震灾害及其动力过程[J]. 中国科学: 地球科学, 43(10): 1607-1620.

张森琦, 李旭峰, 宋健, 等. 2021. 共和盆地壳内部分熔融层存在的地球物理证据与干热岩资源区域性热源分析[J]. 地球科学, 46(4): 1416-1436.

张森琦, 吴海东, 张杨, 等. 2020. 青海省贵德县热水泉干热岩体地质—地热地质特

征[J]. 地质学报, 94(5): 1591-1605.

张盛生, 张磊, 李健, 等. 2015. 青海省地热资源勘查及开发利用专项规划专题研究报告[R]. 西宁: 青海省水文地质工程地质环境地质调查院.

赵平. 2020. 西藏温泉[J]. 西藏人文地理, (3): 108-117.

周保. 2007. 青海省活动断裂展布特征及其对公路工程的危害[D]. 西安: 长安大学.

最新录用