

# 中国西部 地热资源开发战略 研究

刘时彬 司士荣 主编



地震出版社

# 中国西部地热资源开发战略研究

刘时彬 司士荣 主编

地震出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

中国西部地热资源开发战略研究/刘时彬, 司士荣主编. —北京: 地震出版社, 2001.8  
ISBN 7-5028-1932-0

I. 中... II. ①刘...②司... III. 地热—资源开发—经济战略—  
研究—中国 IV. F426.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 049245 号

## 中国西部地热资源开发战略研究

刘时彬 司士荣 主编

责任编辑: 蒋乃芳

责任校对: 王花芝

---

出版发行: 地震出版社

北京民族学院南路 9 号

邮编: 100081

发行部: 68423031 68467993

传真: 68423031

门市部: 68467991

传真: 68467972

总编室: 68462709 68423029

传真: 68467972

E-mail: seis@ht.rol.cn.net

经销: 全国各地新华书店

印刷: 北京地大彩印厂

---

版(印)次: 2001年8月第一版 2001年8月第一次印刷

开本: 787×1092 1/16

字数: 333千字

印张: 17

印数: 001~400

书号: ISBN 7-5028-1932-0 /P·1084 (2482)

定价: 30.00元

版权所有 翻印必究

(图书出现印装问题, 本社负责调换)

## 前 言

进行西部大开发，加快中西部地区的经济发展，是党中央在我国经济进入一个新历史时期的重大战略决策，对我国未来的繁荣昌盛和长治久安具有极其重要的意义。新能源和可再生能源是我国经济—能源—环境可持续发展战略的重要组成部分。地热是新能源家族中的重要成员之一，是集热、矿、水于一体的清洁能源。在实施西部大开发战略过程中，如何加快制定西部地区丰富地热资源的开发战略和发展规划，将其资源优势尽快转化为经济繁荣新的增长点，为促进民族团结、社会稳定、科技进步和保护环境等方面作出积极贡献，这是本文集出版的主要目的。

我国西部地区包括西南五省市（滇、黔、川、藏、渝）、西北五省区（陕、甘、宁、青、新）和内蒙古、广西，幅员面积占全国总面积的 70%。据有关资料统计，上述地区出露地表的地热显示区数量约占全国的 80%。我国大陆高温地热资源全部集中在西部，中低温资源多赋存在几个大盆地之中，诸如四川盆地、塔里木盆地、准噶尔盆地、鄂尔多斯盆地等。综上所述，西部地热资源可谓丰富。西部地区由于历史原因和受地理位置、社会经济、交通、人口分散等因素的制约，地热开发相对滞后于东部。西部大开发战略的提出，为西部地热能的开发带来了前所未有的发展机遇，大大推动了西部地热开发的进程。

《中国西部地热资源开发战略研究》一书，共收集论文 42 篇，分三部分，第一部分为“地热资源勘探与评价”，重点提出西部地热资源的分布特征及开发前景，同时也介绍其它省、市有关地热勘探方法和技术研究的成果。第二部分为“地热资源开发利用及可持续发展”，重点对西部地热开发战略提出各种对策、建议和意见。除此之外，地热战线同行也积极提出本地区、本单位地热开发利用的经验，其中包括地热开发管理的经验，为西部各省、市今后的地热开发提供了借鉴和参考。第三部分“地热利用工程及技术”，介绍我国地热工作者自 20 世纪 90 年代以来，尤其是“九五”期间，在向高新技术进军过程中，借鉴国外先进技术，给合我国资源特点，因地制宜地对地热开发利用过程中的技术进行革新与创新的工程实例。

本书论文的作者，大部分来自西部各省、市、区或长期从事西部地区地热

勘探、开发、研究的专家。他们为西部地热开发献计献策，积极提出建议和意见。因此，本书必将为西部各级政府、各个部门制定发展规划和开发方案提供有价值的参考。

本文集的出版，得到国家经贸委资源节约综合利用司、科学技术部高新技术发展及产业化司、国土资源部、地质环境司、北京地质勘察技术院、山东省第一地质矿产勘查院地热勘察开发研究所、天津甘泉集团公司等单位的大力支持和资助，在此一并致以衷心的感谢。

**中国能源研究会地热专业委员会**

2001年7月

# 目 录

## 第一部分 地热资源勘探与评价

中国西部地热资源分布特征及其开发利用前景·····	黄尚瑶	王 钧	(3)
利用混合模型评价西藏羊易地热田热储热流体温度·····		杜少平	(16)
内蒙古阿尔山的地热资源及开发利用前景·····	赵 平	都业君	李晓光(22)
贵州省地热资源特征、分布规律、开发现状及发展远景·····		毛健全	(29)
西安地热水回灌模拟可行性研究·····	薛华锋	王 勇	朱兴国(37)
银川盆地地热地质特征·····		王 利	张 黎(44)
广西壮族自治区桂林市地热地质条件及其 开发建议·····	欧阳成甫	张明华	梁锦叶(54)
抓住西部大开发机遇,合理开发利用新疆地热资源·····	王连成	李学亮	茹敏社(61)
林甸县地热资源勘探及开发利用前景·····		徐凤阁	李力学(70)
如何评价地热井可开采量及保护范围·····		李永壮	张晓旭(76)
浅谈福建省永春县石鼓镇地热场的分布·····		刘建安	林金发(79)
沈阳北部地热资源分布特征及控制因素·····		黄奇文	(84)
海南地热田的成因评价与开发保护·····		李 福	(88)
地热勘探中综合地球物理勘探方法运用探讨·····		于克君	汤振清(92)
花岗岩地貌热异常区寻找热水方向的探讨·····		陈文林	(100)
地热观测在地震监测预报中的应用·····		陶月潮	(105)

## 第二部分 地热资源开发利用及可持续发展

21 世纪初中国地热能发展趋势分析·····		刘时彬	(113)
我国西部发展地热直接利用潜力巨大·····		蔡义汉	(122)
中国西部地区地热资源开发战略之我见·····		郑克棣	潘小平(127)
青藏铁路的修建为开发西藏地热资源提供新的机遇·····		佟 伟	(132)
西部地热开发之我见·····		白铁珊	(136)
西部地区地热资源开发战略研究·····	刘时彬	朱化周	(141)
国内外新能源和可再生能源发展现状·····		朱俊生	(150)
我国西部地区可再生能源的开发利用·····		李 卫	(157)
科学利用地热资源 为开发西部注入活力·····	司士荣	孙平乐	(160)
依靠高科技,走产业化道路,努力开创西部地热开发利用新局面·····		张振国	(166)

云南地热资源与开发 .....	朱培秋	姜常刚(169)
咸阳市地热资源勘查开发利用综述 .....		贞培琪(174)
让地热产业在西部热起来 .....		任 湘(180)
北京地热资源开发现状及 21 世纪初可持续利用问题探讨 .....	陈建平	于秀琴(183)
热矿泉水对人体的医疗价值作用 .....		周津远(189)
北京地热资源勘探开发利用中的问题及对策研究 .....		刘树芳(192)
发挥行业优势,开发利用地热资源 .....	李苏武	凌成健 赵文龙(200)
大港油田低温地热资源开发与管理 .....	邹红丽	莫中浩(208)

### 第三部分 地热利用工程及技术

调峰地热供热系统的设计方法 .....		王万达(215)
西部大开发中地热供热节约能源方案的探讨 .....	刘学东	刘兴邦(224)
采用先进技术合理开采地热资源 .....	齐金生	马恩成(231)
选择地热间接供暖方案的原则与方法 .....	朱家玲	李春华 王 坤(237)
地热田的化学监测 .....	董志林	蔡建新(242)
利用热泵技术提高地热利用率 .....	冉伟彦	李文伟 谢栋辉(249)
热矿水除氟技术 .....	王连成	李学亮 茹敏社(254)
陕西关中地区地热井成井工艺初探 .....	王行运	王程忠(260)

# 第一部分

## 地热资源勘探与评价





# 中国西部地热资源分布特征及其开发利用前景

黄尚瑶

(中国地质科学院地质力学研究所 北京 100081)

王 钧

(中国科学院地质与地球物理研究所 北京 100029)

**摘 要:** 中国西部地热资源丰富, 分布广泛, 类型俱全, 不仅有大量温泉出露地表, 而且在盆地深部, 也蕴藏着丰富的地热资源。由于西部处在特定的大地构造环境下, 既有利于形成板缘岩浆活动型地热资源, 又有利于形成板内隆起断裂型及板内沉积盆地型地热资源; 既有高温蒸汽资源, 又有中低温地热水; 既有淡热水, 也有高矿化热卤水, 还有热矿水, 为发电、温室、采暖、养殖、提取化工原料、制取饮用淡水及瓶装矿泉水、旅游、医疗等方面的广泛利用提供了极好的资源条件。近年来, 随着我国西部大开发战略目标的实施, 西部地热工作已逐步得到加强, 并已取得新进展。

**关键词:** 地热资源 分布特征 开发利用前景 中国西部

## 一、导 言

我国西部处于欧亚板块内部及欧亚和印度洋两大板块的碰撞边界, 在其构造运动影响下, 在板缘地带形成岩浆活动型高温地热资源, 而在板块内部地壳隆起区和地壳沉降区, 则分别形成隆起断裂型及沉降盆地型中低温地热资源。在这有利的大地构造环境下, 形成了西部具有不同温度、矿化度和特殊化学成分的地热资源, 既有高温蒸汽资源及中低温地下热水, 又有淡热水、高矿化热卤水及热矿水, 为发电、温室、采暖、养殖、提取化工原料、制取饮用淡水及瓶装矿泉水、旅游、医疗等方面的广泛利用提供了极好的资源条件。本文列举实例表明, 中国西部地热资源类型多、分布广, 具有开发利用的广阔前景。

## 二、中国西部温泉资源分布特征

据统计, 全国水温 $\geq 25^{\circ}\text{C}$ 的温泉总数为 2796 处, 其中有 1750 处分布在我国西部<sup>[1]</sup>, 占全国温泉总数的 62.6%, 接近 2/3。分布在西部的 1750 处温泉中, 西南、西北分别为 1614 及 136 处(表 1), 其中, 水温 $\geq 60^{\circ}\text{C}$ 的温泉数, 西南 375 处, 西北 24 处。此外, 我国迄今发现的水温 $\geq 100^{\circ}\text{C}$ (或当地沸点)的 93 处沸泉中有 81 处集中分布在藏南、滇西及川西地区, 分别为 45、27 及 9 处<sup>[1]</sup>, 其中包括世界罕见的间歇喷泉。由此可见, 我国西部温泉资源的分布具有西南部温泉多、水温高、显示类型俱全、分布密集, 而其以北、以东地区则温泉少、水温低、显示类型单一、分布稀疏等特征, 即有从我国大陆西南边缘向内陆(基本上由南向北、由西向东)由高温温泉、沸泉、喷泉、喷汽孔等强烈水热活动带逐步过渡到中低温温泉带的总趋势。这一特征明显反映了我国西部所处的大地构造环境: 其西南部边缘处在欧亚和印度洋两大板块的碰撞边界; 西南部大部分及西北部均处在欧亚板块内部。沿板块边界, 构造活动强烈, 具有高热背景, 形成了我国温泉数量最多、延伸最长、规模最宏伟的高温温泉密集带, 被称之为喜马拉雅地热带<sup>[2、3]</sup>、雅鲁藏布江地热带<sup>[4]</sup>或藏滇地热带<sup>[5-8]</sup>、藏南—川西—滇西水热活动带<sup>[9]</sup>抑或滇藏地热带<sup>[10]</sup>。在板内地壳隆起区, 构造活动性较弱并具有低热背景, 因而多形成沿断裂带展布的中低温温泉密集带, 其规模小、水温低, 如沿南北构造带展布的滇川温泉密集带, 被称之为滇川地热带<sup>[5-8]</sup>及新疆北天山温泉密集带等。

众所周知, 藏滇地热带是著名全球地热带——地中海—喜马拉雅地热带的重要组成部分, 属缝合线型或陆—陆碰撞型板缘高温地热带。它包括了西藏喜马拉雅山脉主脊线以北至冈底斯—念青唐古拉山系以南, 往东至横断山脉沿三江峡谷及其间地区以及往南至滇西腾冲、龙陵、临沧、澜沧及景洪一带。从白垩纪开始至始新世, 印度洋板块北移和欧亚板块接触并全面碰撞。始新世以后, 高原结束了洋壳演化的历史, 大陆岩石圈开始俯冲, 导致地壳缩短和加厚并使高原不断隆升。伴随陆—陆碰撞型造山带的形成, 在上部地壳中发生大规模的断裂作用和岩浆活动, 为形成高温地热活动提供了区域地质构造和热背景条件。据文献<sup>[11]</sup>, 西藏地壳厚度多在 60~70km, 上地壳硅铝层底部有一低速低阻层, 厚 5~10km, 波速 5.5~5.6km/s, 对地震活动、水热活动、岩浆作用及构造变形起着重要作用。据文献<sup>[12, 13]</sup>, 西藏以班公湖—怒江为界, 北部块体热流值介于 40~47mW/m<sup>2</sup>, 南部块体介于 61~319mW/m<sup>2</sup>, 平均值在 100mW/m<sup>2</sup>以上, 南部大大高于北部; 另文献<sup>[14]</sup>, 南部块体的热流估算值为 80mW/m<sup>2</sup>, 属高值。

表1 中国西部各省、市、自治区温泉资源分布概况

序号及名称	拥有温泉的市县数	≥25°C温泉数	沸泉数	实 例
1.四川省	54	276	9	
川 西	47	269	9	热坑间歇喷泉, 88°C, 1.6g/L, HCO <sub>3</sub> -Na 嘎波库沸泉, 85°C, 0.6g/L, HCO <sub>3</sub> -Na-Ca
川东南	7	7	0	筠连温泉, 56°C, 4.9g/L, Cl-Na
2.重庆市	18	29	0	南温泉, 43°C, 2.9g/L, SO <sub>4</sub> -Ca
3.贵州省	38	72	0	息烽温泉, 56°C, 0.4g/L, HCO <sub>3</sub> -Ca-Mg
4.云南省	107	931	27	
滇 西	53	681	27	腾冲硫磺塘, 96°C, 2.8g/L, Cl-HCO <sub>3</sub> -Na 瑞丽棒蚌沸泉, 101°C, 1.0g/L
滇 东	54	250	0	安宁温泉, 45°C, 0.4g/L, HCO <sub>3</sub> -Ca-Mg
5.西藏自治区	56	306	45	
藏 南	37	190	45	搭格加间歇喷泉, 85°C, 1.6g/L, HCO <sub>3</sub> -Cl-Na 谷露间歇喷泉, 86°C, 3.9g/L, HCO <sub>3</sub> -Cl-Na 宁中沸喷泉, 125°C (140 m), 2.4g/L, Cl-HCO <sub>3</sub> -Na
藏 北	19	116	0	羊八井地热田 ZK4001, 257°C (1459 m) 龙马尔温泉, 70°C, 1.5g/L, HCO <sub>3</sub> -Cl-Na
6.陕西省	9	14	0	华清池温泉, 43°C, 0.83g/L, SO <sub>4</sub> -Cl-Na 汤峪温泉, 62°C, 0.6g/L, SO <sub>4</sub> -Na
7.甘肃省	11	14	0	汤池河温泉, 60°C, 1.3g/L, SO <sub>4</sub> -Cl-Na-Ca
8.宁夏回族自治区	1	2	0	硝口温泉, 25°C, 134.3g/L, SO <sub>3</sub> -Cl-Na-Ca
9.青海省	24	44	0	扎仓寺温泉, 93°C, 1.13g/L, Cl-SO <sub>4</sub> -Na 大柴旦温泉, 73°C, 1.26g/L, Cl-SO <sub>4</sub> -Na 新青峰沸泉, 92°C
10.新疆维吾尔自治区	25	62	0	水磨沟温泉, 30°C, 7.9g/L, HCO <sub>3</sub> -Na 乌苏南温泉, 44°C, 0.38g/L, SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub> -Na
西南地区	273	1614	81	川、渝、黔、滇、藏
西北地区	70	136	0	陕、甘、宁、青、新
总 计	343	1750	81	

表明北部块体古老, 构造活动稳定, 而南部属年青块体, 构造活动性强烈。据汪缉安, 徐青等人<sup>[15]</sup>, 位处藏滇地热带东南端的腾冲地区, 其热流平均值为 85mW/m<sup>2</sup>, 最高值达 118mW/m<sup>2</sup>, 也属高热流区。据推断, 在大约 10~15km 深

处形成地壳局部熔融区，为藏滇地热带提供了强大的热源。带内岩浆活动型高温地热资源丰富<sup>[5, 8]</sup>，是我国开发利用高焓地热能资源的远景地区，分布在该带内的著名地热田有藏南当雄的羊八井地热田、滇西腾冲的热海地热田等。

滇川地热带位于印度与欧亚两大板块交接带以东纵贯滇川南北，沿南北构造带展布。南北构造带主体部分由峨嵋—金阳断裂带、小江断裂带和安宁河断裂带组成。峨嵋—金阳断裂带北起洪雅，经峨嵋、峨边、雷波，南至金阳。小江断裂带北起甘洛，经昭觉、宁南、东川，南至宜良。安宁河断裂带北起石棉，经冕宁后大致沿安宁河展布，向南沿雅砻江下游至罗次、易门一线。滇川地热带位于藏滇地热带的东侧。因该带位于板块内部，较之位于板块边界的藏滇地热带而言，构造活动性明显减弱，温泉的数量、温度和密集程度远不及藏滇地热带，但由于直接与板缘地热带相毗邻，晚近时期构造活动仍较强烈，地震频繁，温泉分布广泛，并沿上述三大断裂带呈南北向展布。位处滇川地热带南段的攀西古裂谷，是一条后地台型大陆（陆内）裂谷带，它是在康滇地轴陆壳基础上，沿袭基底早先生成的南北向主干断裂带以及伴生的北东向和北北西向断裂网络发育起来的<sup>[16]</sup>。据文献[17, 18]热流测试结果，攀西古裂谷热流数据为 $(63 \pm 15) \text{ mW/m}^2$ ，接近全球陆地热流平均值。分布于滇川地热带的温泉数有300余处<sup>[1]</sup>，南段较密集，温度多在 $60^\circ\text{C}$ 上下，个别在 $90^\circ\text{C}$ 以上；北段较稀疏，水温多在 $60^\circ\text{C}$ 以下。带内隆起断裂型地热资源丰富<sup>[5, 8]</sup>，是我国以直接利用为主的中低温地热资源的有利开发地区。著名温泉有四川康定的榆林宫（ $92^\circ\text{C}$ ）<sup>[19]</sup>及云南安宁温泉（ $45^\circ\text{C}$ ）等。

如表1所示，由于西部处于不同的大地构造环境下，分布在上述板缘高温地热带和板内中低温地热带的温泉，因区域构造、热背景、热源性质以及水文地质条件等不同，地表地热显示类型、温泉的温度、矿化度和水化学特征等，都有着显著的差异。

### 三、中国西部沉积盆地地热资源分布特征

我国中、新生代沉积盆地十分发育，分布广泛，全国面积在 $10 \text{ 万 km}^2$ 以上的9大盆地中，就有5个分布在西部地区，即鄂尔多斯盆地、四川盆地、柴达木盆地、准噶尔盆地和塔里木盆地。我国西部还分布有如渭河、银川等面积较小的新生代沉积盆地。由于西部大部分地区处在欧亚板块内部，构造活动性较弱，并具有低热背景（表2、表3），因此，在盆地的深部，多形成沉降盆地型中低温地热资源<sup>[5, 8]</sup>。

我国西部的准噶尔、塔里木及柴达木等三大盆地，既是大型油气盆地，又

是主要的储卤盆地。在这些盆地的深部地层中,均在不同程度上赋存有中低温热水及热卤水资源。按盆地地温梯度及不同深度的地温排列,柴达木盆地略高于准噶尔盆地及塔里木盆地,而与鄂尔多斯盆地和四川盆地相近<sup>[14]</sup>。如与东部相比,西部盆地的地温梯度一般较东部低约  $1.00^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ,同一深度的温度要低  $5\sim 20^{\circ}\text{C}$ 。如准噶尔盆地和塔里木盆地,地温梯度分别为  $2.02^{\circ}\text{C}/100\text{m}$  及  $1.76^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ,  $3000\text{m}$  深平均温度为  $70\sim 80^{\circ}\text{C}$ ;而华北盆地分别为  $3.4^{\circ}\text{C}/100\text{m}$  及  $90\sim 100^{\circ}\text{C}$ ,明显高于西部(表 2、表 3)。由于各大盆地所处的大地构造环境不同,构造活动性、热背景及地热资源赋存条件等明显呈现出“东强西弱”、“东高西低”、“东部优于西部”等总体特征。

为进一步说明我国西部沉积盆地型地热资源分布特征,在原有分类的基础上,将板内沉降盆地型地热资源划分为板内裂谷断陷盆地型(I)、板内克拉通拗陷盆地型(II)及板内造山作用拗陷盆地型(III)等三种类型。我国西部盆地型地热资源多属第 II 或第 III 类。如表 3 所示,各类地热资源的温度、矿化度、水化学成分等由东向西,有水温由高到低、矿化度由低到高、水质类型由  $\text{HCO}_3-\text{Cl}-\text{Na}$  型,  $\text{Cl}-\text{HCO}_3-\text{Na}-\text{Ca}$  型、 $\text{SO}_4-\text{Cl}-\text{Na}-\text{Ca}$  型及  $\text{SO}_4-\text{Na}-\text{Ca}$  型逐步过渡到  $\text{Cl}-\text{Na}$  型及  $\text{Cl}-\text{Na}-\text{Ca}$  型的总体变化特征。这一特征与盆地的形成、演化、地质构造、盆地的古今水文地质条件和盆地地层的岩性及其结构等密切相关<sup>[20]</sup>。但在盆地深部的一些特定部位,还常常见到不同于上述总体变化特征的一些实例。如在东部一些盆地拗陷的中心部位  $2000\sim 2500\text{m}$  深处,地热水的水温仅有  $50\sim 60^{\circ}\text{C}$ ;而在西部,在大约同一深度处,地热水的水温可达  $60\sim 80^{\circ}\text{C}$ (表 3)。这一客观地质规律的存在对西部来说尤为重要,它说明在西部,无论裂谷断陷盆地或克拉通拗陷盆地,抑或造山作用拗陷盆地,在其深部有利的构造部位,同样具备形成和赋存水量丰富并具有较高温度的地热水资源。

### 1. 渭河盆地

陕西省境内的渭河盆地位于鄂尔多斯盆地之南汾渭盆地系的南西段,北东接运城盆地,大体上由西安经咸阳往西直至宝鸡。该盆地为新生代断陷盆地,沉积厚度达  $3000\sim 4000\text{m}$ 。西安地热田地质构造处在渭河盆地中部、西安凹陷之东南部边缘。1972 年打成第一口地热井,井深约  $1600\text{m}$ ,井口水温达  $64^{\circ}\text{C}$ ,矿化度  $2.80\text{g/L}$ ,  $\text{SO}_4-\text{Na}$  型<sup>[21]</sup>(表 3)。近 10 年来,西安地热田勘查工作不断加强,全市已成井 90 余口,井深一般  $1500\sim 2000\text{m}$ ,井口水温多介于  $60\sim 70^{\circ}\text{C}$ ;目前已打成一口井深达  $4005\text{m}$  的地热井,水温已过  $100^{\circ}\text{C}$ ,自流量在  $120\text{m}^3/\text{h}$  以上<sup>[22]</sup>。咸阳地热田于 1993 年打成第一口地热井,目前,已成井 9 口,井深  $1600\sim 3000\text{m}$ ,井口水温多在  $60\sim 70^{\circ}\text{C}$  以上,最高达  $104^{\circ}\text{C}$ ,据初步估算,年可采资源量达  $2\text{亿 m}^3$ ,水质优良<sup>[23]</sup>。

表2 中国大型中新世沉积盆地地温梯度及不同深度的温度<sup>[14]</sup>

序号	盆地名称	地温梯度/ (°C/100m)	1000m 深温度/ °C		2000m 深温度/ °C		3000m 深温度/ °C	
			平均	最高	平均	最高	平均	最高
1	华北盆地	3.4~3.6	40~45	60~70	70~80	90~100	90~100	130~150
2	苏北盆地	2.64(3.5)	40~45	45~60	60~70	90~100	90~100	120~130
3	汾渭盆地系		40~45	60	70~80	90~100	90~100	130~140
4	松辽盆地	3.8 (3.8)	40~50	60~70	70~80	100~110	90~110	140~150
5	鄱阳湖盆地		40~45	60~70	70~80	90~100	90~100	120~130
6	鄂尔多斯盆地	2.88(2.90)	35~40	50~60	60~70	80~90	90~100	120~130
7	四川盆地	2.44(2.59)	35~45	50~60	60~70	90~100	90~100	120~130
8	准噶尔盆地	2.02(2.36)	30~40	40~45	50~60	70~80	70~80	90~100
9	塔里木盆地	1.76(2.46)	35~40	40~50	50~60	60~70	70~80	90~100
10	柴达木盆地	2.73(3.2)	35~40	50~60	50~70	80~100	80~100	120~130

注：括号内数据引自张业成等人，1990。

表3 中国沉积盆地地热资源基本类型及形成特征<sup>[1, 5, 8, 9, 14]</sup>

基本类型	(I)裂谷断陷盆地型	(II)克拉通拗陷盆地型	(III)造山作用拗陷盆地型
盆地名称	华北、苏北、汾渭、松辽	鄂尔多斯、四川	准噶尔、塔里木、柴达木
构造活动性	基底断裂系统发育	无重大构造破坏，褶皱构造发育	盆地稳定下沉
盖层	中、新生代沉积	中生代沉积	中、新生代沉积
热储层	N, K, O, Pt, A等	K, J, T, P, O等	N, J, T, C, O等
地表显示	盆地边缘有少量温泉出露	无或盆地边缘有少量温泉出露	无
3000m深温度/°C	70~<100	60~<100	50~<100
地温梯度(°C/km)	30~40, 最高60~80	24~26, 最高32	18~27, 最高32
热流(mW/m <sup>2</sup> )	60~75	50~60	40~60
水化学类型	HCO <sub>3</sub> -Na-Ca, Cl-HCO <sub>3</sub> -Na-Ca	SO <sub>4</sub> -Na-Ca, Cl-SO <sub>4</sub> -Na-Ca, Cl-Na	Cl-Na, Cl-Na-Ca
矿化度(g/L)	<0.5~2.5, 最高8.0	2.0~30.0, 最高>350.0	10.0 ~ 20.0, 最高>350.0
水源	大气降水, 古沉积水	大气降水, 古沉积水	大气降水, 古沉积水
热源	正常热传导及局部热对流	正常热传导	正常热传导
实例	华北盆地: 天津, 96°C, 2g/L, Cl-HCO <sub>3</sub> -Na (井深1400~1600m) 天津, 84°C (井深约1400m) 渭河盆地: 西安, 64°C, 2.8g/L, SO <sub>4</sub> -Na (井深约1600m)	四川盆地: 宜汉热卤井, 87°C, 353g/L, Cl-Na (井深约3200m) 蓬基井, 79°C, 200g/L, Cl-Na (井深约2200m) 忠县大池干, 31°C, 22g/L, Cl-Na (718.9m)	准噶尔盆地: 油气探井, 70°C 柴达木盆地: 油气探井, 65°C, 368.5g/L, (井深约2400m)

## 2. 银川盆地

银川盆地位于鄂尔多斯盆地的西侧，为一新生代断陷盆地，沉积厚度达 2000~3000m。近年来，结合国家对西部实施大开发的重大决策，宁夏地矿厅在银川盆地中部的银川市开展地热地质调查，在此基础上进行地热钻探工作，自 1998 年以来，先后成功打成两口地热井，井深约 3000m，井口水温在 55℃ 以上，水量达 1400 m<sup>3</sup>/d，矿化度 15 g/L，Cl-Na 型，水中含多种微量元素，已达医疗热矿水标准，有重要医疗保健价值<sup>[24]</sup>。

## 3. 鄂尔多斯盆地

文献[25]在整理分析油气勘探成果的基础上，获得了一些有关该盆地地热水的信息。在盆地东部约 500~1000m 深处，地热水的温度介于 25~42℃，矿化度 1.5~3.0g/L，比深部多超过 5g/L。在盆地中部和西部 800~1400m 深处，温度多介于 25~55℃，矿化度 0.5~3.0g/L。在盆地的中部，钻孔自流量可达 1000~3000m<sup>3</sup>/d，水温约在 25~30℃。在盆地西部约 1500~2000m 深处，水温可达 50~70℃，热水矿化度在 20~30g/L 以上。

## 4. 四川盆地

四川盆地通过多年大规模的油气、盐卤、煤、地热等资源的勘探，已打有数万口探井。经钻探揭露，在盆地深部赋存有丰富的地热水、热矿水和热卤水资源。四川盆地西部的花水湾地热井，原是一口油气探井，约在 1800~2500m 井段见地热水。1994 年对该井捅井成功，井口水温 68℃，自流量达 8840m<sup>3</sup>/d，水头压力达 +5m，矿化度 10.32g/L，属 Cl-SO<sub>4</sub>-Na 型<sup>[26, 27]</sup>。四川盆地蓬基井在井深约 2200m 深处打出水温 79℃、矿化度达 180~200g/L 的热卤水，自 50 年代以来，迄今已开采 40 余年。

重庆市位于四川盆地的东部，地热水、热矿水及热卤水资源丰富，其埋深多在 1000~2000m，已打有大量钻孔。重庆市南岸一井深约 1100m 处打出水温 40℃ 的自流热矿水，矿化度 2.87g/L，SO<sub>4</sub>-Ca-Mg 型，已达医疗热矿水标准。在盆地东部的宣汉，由井深约 3200m 处，打出水温 87℃，矿化度高达 353g/L 的热卤水。在忠县大池干井深 718.9m 处，打出水温 31℃、矿化度 22.31g/L 的低温热卤水<sup>[28]</sup>。

## 5. 准噶尔盆地

准噶尔盆地是在华力西及加里东造山作用过程中形成的，为一由古生代结晶基底组成的稳定地块，其上部为中生代沉积盖层，其厚度达 1500~8000m。如表 2 所示，盆地 1000m、2000m、3000m 深处，地温分别为 30~40℃，50~



60℃和 60~70℃<sup>[14]</sup>。在该盆地油气勘探过程中，发现盆地深部赋存有丰富的中低温、高矿化热卤水。如盆地东部一井在约 2000m 深处见地热水，井口温度达 70℃。

## 6. 塔里木盆地

塔里木盆地为一以元古界为基底的稳定地块，上部为古生代—中生代沉积盖层。盆地 1000m 深地温为 35~40℃，2000m 及 3000m 深地温同准噶尔盆地（表 2）<sup>[14]</sup>；在 5000~6000m 深处，地温达 115~160℃<sup>[20]</sup>。在盆地深部，赋存有丰富的热卤水资源，其埋深多在 1000~6000m，温度 30~150℃，矿化度多在 100~250g/L。在盆地边缘及中部隆起的西部，见有矿化度低于 30g/L 的热水。

## 7. 柴达木盆地

柴达木盆地的基底系由太古界和古生界地层组成，也具有巨厚的中生代盖层。柴达木盆地的地温较上述两盆地的地温要高，1000m，2000m 及 3000m 深地温分别为 35~45℃，50~70℃和 80~100℃（表 2）<sup>[14]</sup>。柴达木盆地在油气勘探和供水水文地质勘探过程中取得大量有关地温和中低温热卤水资源的信息，约在 1500~2500m 深处见水温 55~65℃的热卤水，矿化度高达 358g/L。

# 四、中国西部地热资源开发利用前景

据文献[1]统计，我国西部已经调查的温泉 1750 处，广泛分布于西南川、渝、黔、滇、藏及西北陕、甘、宁、青、新等 10 个省、直辖市、自治区的 343 个市、县（表 1），占全国拥有温泉市、县总数（681 个）的 1/2；而且，直辖市——重庆市及成都、贵阳、昆明、西安、银川、西宁、乌鲁木齐等 7 个省会城市均拥有地热资源。这是我国西部的一大优势，在世界也是不多见的。西部还有不少地热区处在人口相对集中、交通也较便利的县城或乡镇附近，这对地热资源的开发利用也是十分有利的。近年来，在政府各有关部门的积极重视和大力支持下，我国西部在地热勘察、评价及开发利用等方面的工作已逐步得到加强，并已取得新进展。目前，西部各地的地热资源，包括地热（湿）蒸汽资源、中低温地热水以及淡热水、热矿水和强烈矿化的热卤水等，已因地制宜、有效地利用于发电、采暖、热供水、沐浴、温室、养殖、灌溉、旅游、医疗以及提取化工原料、瓶装热矿水等多种用途。

我国藏南、滇西、川西的一些沸泉、沸喷泉和间歇喷泉区，不仅拥有高能