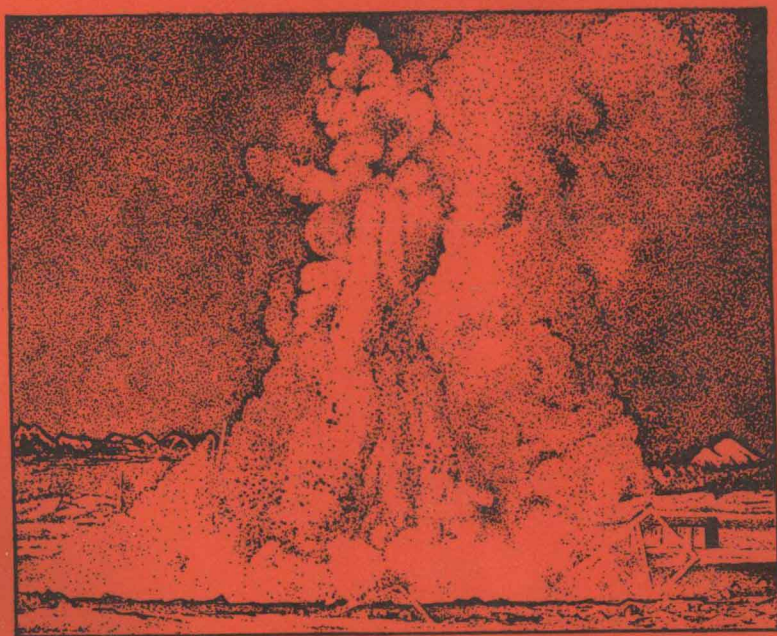


第四次全国地热学术会议

论文集

任湘 刘时彬 主编



地质出版社

第四次全国地热学术会议论文集

任 湘 刘时彬 主编



地质出版社
· 北 京 ·

(京)新登字085号

内 容 简 介

本文集为第四次全国地热学术会议的论文汇编。它汇集了我国地热工作者近年来,尤其是“八五”期间在地热勘探评价、资源开发利用、技术与推广,以及地热管理等方面所取得的成果和经验。其中,包括国家“八五”地热科技攻关部分项目的阶段成果。这些成果的交流,对我国今后地热能进入高层次的开发和利用必将起到积极的推动作用。本文集可供从事地热工作的生产、科研与教学人员,以及大专院校有关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

第四次全国地热学术会议论文集/任湘,刘时彬主编.北京:地质出版社,1994.8

ISBN 7-116-01705-4

I.第… II.①任… ②刘… III.地热-研究-文集 IV.TK529-53

中国版本图书馆CIP数据核字(94)第07720号

地质出版社出版发行

(100013 北京和平里七区十号楼)

责任编辑:戴鸿麟

*

北京邮电大学出版社印刷厂印刷 新华书店总店科技发行所发行

开本:787×1092¹/₁₆ 印张:21.125 字数:510千字

1994年8月北京第一版·1994年8月北京第一次印刷

印数:500册 定价:18.50元

ISBN 7-116-01705-4

P·1375

前 言

自1989年10月在山东淄博召开的第三次全国地热学术会议以来,我国地热战线形势大好。为了适应社会主义市场经济对能源的需求,我国地热事业正朝着设备制造工业化,勘查评价规范化,开发利用集合化和生产管理科学化、法制化的轨道迈进。在此基础上,近年来地热资源的开发利用一直是以较高速度持续健康地发展着;加之,从90年代开始的国家“八五”地热科技重点攻关课题能紧密地与生产、工程、开发以及旅游、人民生活的需求紧密结合,所以不仅获取了一批丰硕的生产与研究成果,而且也取得了可喜的经济、社会与环境效益,显示出地热能在能源构成中的应有位置。

第四次全国地热学术会议召开的目的是通过全国各省(市、自治区)地热工作者的相互交流,相互学习,取长补短,更好地把我国地热资源的开发利用推向社会,推向市场,推向世界,以崭新的面貌迎战即将到来的“九五”攻关任务。为此,我们汇编了“第四次全国地热学术会议论文集”。

文集共分四部分。第一部分为地热资源勘探与评价,介绍了我国近年来在高温地热勘探与评价领域中所取得的突破性成果。其中,包括羊八井高温热储的突破,以及在勘探方法与钻探工艺等方面的经验总结。同时,也介绍了国内近期勘查评价的热田。第二部分是地热资源的开发与利用。这里既有高温资源的动力开发成果,也有中低温资源综合开发和直接利用的成果,每篇文章都紧密地与当地经济发展、能源需求相联系,都具有一定的参考意义。技术研究与应用是文集的第三部分。它集中地反映出我国地热工作者自90年代以来,在向高层次领域进军过程中,借鉴国外的先进理论与技术,结合我国地热实际,进行推广、应用与创新,进一步推动了我国地热事业迈向世界先进行列。最后部分是管理技术。为适应市场经济的不断发展,地热资源开发与利用的管理工作必然提到重要议事日程上来。这里仅仅介绍几个单位在管理方面的经验和体会。随着形势的发展,地热管理法制化迫在眉睫。

本文集的出版,得到西藏地热开发公司等单位的大力资助和地质出版社的积极支持,仅用四个月的时间正式出版;文集中的大部分插图由北京大学地质学系绘图室徐筠同志清绘,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

第四次全国地热学术会议

主办单位：中国能源研究会地热专业委员会
西藏地热开发公司

赞助单位：中国能源研究会
西藏地热开发公司
西藏地矿局地热地质大队
西藏羊八井地热发电厂
华北地热中心
海南省地质矿产勘查开发局环境地质研究所
天津市塘沽区供热办公室
渤海石油水电服务公司
天津市地热勘查开发设计院
天津市潜水电机厂
天津市建筑塑料制品厂
地质科学院水文地质工程地质研究所
电力工业部西安热工研究所
地质矿产部探矿工程研究所
中国农业工程研究设计院
北京电力科学研究院
北京大学地质学系
福建省永泰县清凉地热养鳗场
福州市地热管理处
中国科学院地质研究所
福州市地热供应公司
海南大千实业股份有限公司
北京市地质工程公司

目 录

资源勘探与评价

试论地热资源勘查原则	任 湘 (1)
中国地热资源形成特点及其开发潜力	陈墨香 汪集旻 邓 孝 (6)
西藏羊八井地热田深部高温热储研究	叶建中 邓伦友 (13)
高温热田井控设备的选择和设计	杨光荣 (21)
羊八井热田定向钻井技术问题	杨建民 (26)
华北盆地北部地热地球化学及同位素研究	张锡根 (34)
地热活动形成的固体产物的地质意义	朱梅湘 (40)
高温地热钻井泥浆研究	汤松然 陶士先 (45)
西安地下热水的基本化学特征	徐继刚 (52)
地下热水的电阻率及其在地热勘查中的实用意义	叶建中 雷自孝 (56)
高温地热水泥的水化反应与强度	贾 军 李永传 (65)
试论羊八井地热田开发效应与质量补给	靳宝福 (73)
关于地热开发过程中的地质工作	白铁珊 (82)
地热田的地球化学勘查及其成效	朱炳球 余 慧 (87)
我国热矿水资源计算与评价方法的建议	郑灼华 申建梅 王贵玲 张宏达 (93)
山西地热带	白来旺 侯廷爱 (96)
从热海热田水热系统的天然热流量推论热源温度	过帼颖 (101)
赣南横径地区地下热水的水文地球化学研究	孙占学 李学礼 史维浚 周文斌 卢治平 张卫民 (105)
应用物探成果选择热储构造	张道富 (110)
热海热田粘土矿物的同位素特征及其地热意义	沈敏子 朱梅湘 (114)
新疆博乐市塔斯海地热田的地热地质特征	孙晓明 邵新民 李道鹏 (120)
羊八井北部揭示262°C高温热液的突破性意义	沈显杰 (129)
试论唐山地热资源分布规律及发展前景	岳荣石 (134)
高温地热井开发测试	卢 润 王 坤 (138)

资源开发与利用

中国地热发电现状与展望	任 湘 张振国 唐宁华 吴方之 (146)
横断山区温泉资源的开发利用与保护	佟 伟 (153)
开发地热资源 造福西藏人民	阳光玖 (160)
为西藏提供新能源——地热	刘时彬 任 湘 (164)
开发地热 服务农业 造福人类	钱午巧 (171)
低温地热供热特点	王万达 (176)

中国地热能的展望	廖志杰	(181)
安徽矿泉水	孙雄 魏玉珍	(188)
浅谈地下热水的勘查与综合利用	程鉴基	(193)
地热直接利用科学管理技术	初滨	(197)
顺应市场经济 发展沧州地热	何清洁 蔡建华 何兆伦	(204)
展望我国低温地热发电前景——以灰汤地热电站运行剖析	叶慰年	(208)
西藏地热发电展望	吴方之	(210)
利用羊八井地热发电尾水提取硼砂	颜鲁仁	(213)

技术研究与应用

地温场三维数学模拟	张菊明	(215)
地热井下换热器供热系统及在我国的发展前景	张启 梁军	(221)
地热能螺杆膨胀机-汽轮机复合动力系统	李学锋 赵峰 胡亮光 吕灿仁	(226)
集中参数模型及其在中低温地热系统模拟中的应用	王贵玲 郑灼华 张宏达	(231)
把热泵推向工程应用的途径	徐允文 廉美蓉	(237)
地热潜水电泵的应用与展望	齐金生 马思成 徐金明 柴秀强	(243)
供热规划区热储模型研究	陈松 朱家玲 戴传山 蔡义汉	(248)
地热系统化学热力学模拟及存在问题	赵平	(254)
低温地热系统水岩作用的实验研究	姚足金 陈宗宇	(261)
非金属管道应用于地热工程的可行性	史宝金	(268)
对深井热水泵结垢速率及规律的观察	张成斌 刘德华	(271)
中低温地热系统中热水与碳酸盐岩平衡的地球化学模型	陈宗宇	(275)
用全流发电技术加速开发我国藏滇地热资源	孙政 毛润治 胡亮光 吕灿仁	(280)
利用地热能烘干羊毛	邢丙丙	(284)
地热采暖系统的优化分析	李新国 王万达 朱家玲	(289)
重力异常分离的稳定迭代法及其在连江地热勘探中的应用	何丽娟 游永雄	(293)
我国输水距离最长的地热引水工程在福建省安溪县建成投产	赵钦铭 黄德赋	(297)
利用地热加快仔幼甲鱼生长速度及打破冬眠习性研究初探	江洪	(301)
无补偿设计在福建安溪地热工程中的应用	李洪山	(306)

地热管理

丹东市地热资源开发利用管理现状与初步体会	林丕佳 李国喜	(312)
海南省万宁县兴隆热矿水开发与管 理	李福	(316)
渤海石油公司地热系统运行经验总结	张诚德 刘玉胜	(320)
附：研究、开发利用地热有关单位简介		(326)

试论地热资源勘查原则

任 湘

(中国能源研究会地热专业委员会 100044)

近几年来,地热资源的开发利用,从质到量上都取得了长足的进步。广大地热科技工作者对我国地热资源增加了许多新的认识。高温地热发电是地热资源利用的突破重点。我国150余个高温水热系统主要分布在属于地中海—喜马拉雅高温地热带藏、滇、川西和台湾地区。藏滇地处高原又,是少数民族聚居的偏远山区,当地居民世代以牛粪、木柴为炊。随着工农业的发展、人口迅速增长,导致林木超伐,水土流失,生态环境被破坏,而大电网又鞭长莫及。如果充分利用地热能,对其文化、经济的发展将起到重要作用。也就是说,地热能目前虽只是辅助能源,但在局部地区可起到主导作用。例如,西藏羊八井的地热电站发电量占拉萨总供电量的40%到50%,高温地热发电的地热流体温度从90℃—150℃,又从150℃迈入200—260℃。单井生产能力将成倍增长。羊八井地热田在北区2006m深处打出262℃地热流体后,又准备施工第二口深井,为扩大供电能力提供资源条件。发达国家把地热能的开发伸向能量巨大的干热岩。我国燕山晚期、喜山期岩浆活动剧烈区和再生岩浆及岩浆囊分布的地域辽阔,肯定有非常巨大的潜力。但因出露的和已知浅部地热资源的利用尚处初期阶段,投资巨大,需要高超技术才能开发的干热岩型地热资源,目前只能跟踪世界动态而难以下手。但地热界谓之“沉睡的巨人”的地压地热资源,却通过南海石油勘查揭露出来,并且列入“八五”攻关课题进行研究;中低温地热资源的利用已向现代化、综合开发迈进。大型浴疗旅游基地相继出现,受到中外游客的青睐,例如北京的小汤山,天津的塘沽、团泊,河北的白洋淀、昌黎,辽宁的鞍山、兴城,广东的中山、从化,福建的漳州、福州,湖南的灰汤、汝城,湖北英山、应城,陕西的临潼,河南的临汝等。

地热田的开发利用带来很大的社会效益和经济效益。随之也出现了环境(地面沉降和尾水排放,有害气体的逸散等)和资源保护(掠夺性开采)等系列问题。加之,许多开发利用点是在已知温泉区或石油勘查打出的地热井,对地热资源、流体质量、热储特征等并未作过正式评价,企业部门只管赚钱而忽视对资源和环境的保护,长此下去必然产生恶性循环。做好资源勘查评价则是热田开发利用的关键,这也是本文的主题。

一、地热田勘查学

地热田勘查学是以研究地热田和热储体为基础,以勘查和评价为中心,以提高勘查地质和经济效果为目的的应用地质学。按其性质、特点,属经济地质学范畴,是一门政策性、实践性、经济性很强的应用地热科学。

勘查要解决的基本矛盾是热田和热储体变化的复杂性和人们观察研究及认识的局限性。只能根据地热田建设的需要,在技术上可行,经济上合理的前提下,采取有限的技术手段和方法,以及有限度的工程量,进行有效地揭露、取样、分析鉴定,并将所获资料进行综合整

理、分析研究，对地热田、热储体的地质条件、开发利用的技术经济因素（可行性）做出较正确的判断、评价，为地热田设计、建设和开发提供可靠的依据。

勘查的基本任务是研究热田赋存条件，热储体变化特征和变化规律，研究有效的勘查理论和方法，提高勘查的地质，经济效益。

二、勘查的性质与原则

为明确勘查指导思想，掌握勘查工作规律，考核勘查的地质经济效益，改善勘查管理方法，不断提高勘查工作水平，首先要正确认识勘查工作性质。勘查是一项调查研究工作，具有较强的探索性，这是第一特点。为满足热田设计、建设、生产而勘查，只是从勘查到开发利用的一个组成部分。勘查是热田建设的前奏，而开发利用又是勘查的继续，勘查具明显的生产性，这是第二个特点。

勘查是减少资源开发利用的风险性，提高投资的可靠性，保证热田生产的经济效益。因此，它是探索性和生产针对性很强的工作，其创造的价值，通过热田开采得以体现。

热田勘查原则，由勘查工作性质所决定，也是勘查基础理论问题。确定合理勘查原则，对学科理论和实际工作都具有重要意义。

最早（50年代）提出勘探原则的是 B. M. Kleutep 教授。

对任一热田的勘查，必须遵循以下五项原则：从实际出发，循序渐进，全面研究，综合评价，经济合理。

最基本最重要的是从实际出发的原则。热田的勘查既不凭主观臆断地部署手段和工程，又不能等到什么都研究好了才下手。被勘查的热田就是各种研究成果和技术方法综合运用评价该热田的战场。必须从实际出发，加强地质设计和建设单位的联系，工作布置既符合热田地质实际，又能满足热田建设之需。

循序渐进是地质勘查中对客观地质体认识过程的基本原则，对热田的认识贯穿于普查—勘探—开采的全过程。认识的深化是随着勘查工作的逐步深入，资料的不断积累，由粗到细，由表及里，由浅入深，由未知到已知而进行的。为了减少风险和损失，提高工作成效，按循序渐进的原则进行，但既不能在掌握了一定资料的情况下裹足不前，又不能毫无根据就乱开“方子”。例如羊八井热田，十几年前勘探浅层热储时，就通过地球化学温标计算到热储温度为220—240℃，而且有18个孔穿入花岗岩，往深部，地温并未衰减，却满足于浅层热储的开发利用而忽略了深部热储的探索，贻误了时机。

在勘查过程切忌片面性，掌握全面研究的原则。既从热田实际情况和热田建设需要出发，又要分清主次和轻重缓急地开展工作。因此，全面研究也是一个相对概念。

热流体的温度、水质、流量、压力、质量等千差万别，是在各种空间和条件下形成的，往往有多种用途，必须注意综合评价原则。除温度的梯级利用之外，将不同用途的可行性结合起来，做到一能多用，热能榨尽（提高利用率）。

地热田的勘查是技术同经济协调性很强的工作，经济合理原则是要用有限的资金做好技术工作，以获最佳经济效益。它包括：分析国内市场需求，近、远期建设计划；国际市场动态及利用趋势；分析论证热田开发利用的技术经济条件；必要的合理勘查程度；以最低代价（投入）探明热田的措施；对热田的经济评价（进行经济效果的对比研究，因地制宜）。

三、勘探程度

勘探程度取决于用户对热田的急需程度、热田建设特点、设计要求、热田地质条件复杂性,以及热田自然经济地理条件等。要结合热田地质实际、勘探技术与方法的可能,在经济合理前提下研究确定;与利用方向、规模、开发方案及热田总体设计基本要求相适应,以满足热田建设设计的基本要求。

注意以下两关系:

1. 正确认识勘探程度与资源储量级别的关系。勘探程度是全面反映热田建设、设计的整体要求,而资源储量级别则反映热储体外部形态和内部结构的研究程度(即局部),它们是整体和局部的关系。

2. 控制程度和研究程度。二者是相辅相成的,片面强调其中任一面都是不对的,即没有一定数量和精度的勘探技术手段控制,热田研究将失去依据;而片面强调前者,忽视关键研究,充分利用好实际资料,则圈定的热田和热储体也不一定符合地质实际。

四、勘探经验

勘探经验,即在勘探过程中或结束前,对勘探手段的正确性、取样代表性、网度和布局合理性、热储圈定可靠性及储量计算精确性等进行检查,验证。以便及时发现问题,采取补救措施。检验时注意抓住重点及储量计算误差大小等(储量计算允许误差 A 级 $< \pm 5\%$, B 级 $< \pm 10\%$, C 级 $< \pm 15\%$);亦可进行加密和放稀对比,说明精度的可靠性。

勘探经济:包括勘探经济效益,热田工业评价,资源综合、梯级利用三方面。

勘探经济效益,即勘探的投入和所得间的关系,须研究提高勘探经济效益途径。

热田工业评价,即利用勘探成果进行开发技术分析、经济论证。

使用价值,即指是否有利用价值(定性)和如何利用(定量)。

研究影响评价的因素,确定合理的评价程序和评价结果的使用条件。

注意研究:(1)勘探地质与热田地质研究相结合;(2)勘探地质与热储体时空变化关系变化规律;(3)勘探与经济相结合研究勘探经效指标;(4)地质与物、化、钻探等结合。数学统计学、电子计算机、资料数据自动处理等现代技术方法应用相结合;勘探精度、误差大小及性质等相结合,提高精度,减少误差。

五、热田工业评价

1. 决定于热田自身的内在特征,热田所处自然经济地理条件,热田开采技术条件,流体利用工艺技术条件,社会经济发展水平,国家政策与市场供求关系等。即以 满足 社会政治、经济需要为前提,以对国民经济效益大小为尺度,以全面研究热田和热储体为依据。

2. 评价过程:是逐步认识、判断、预估和计算的过程。是一项地质技术经济活动。

3. 评价的合理程序划分应以体现最大经济效率为原则(使风险性最小,投资可靠性最大,周期最短,效益最佳)。

4. 按评价程序可划为远景工业评价、初步工业评价、详细工业评价。

远景评价,指普查阶段和热田外围、深部。目的在于选择工业区,利用基地和扩大已开发热田的远景,延长使用寿命或开辟新的利用领域。加强基础研究,掌握主控因素,反映各

种信息和标志,了解一般经济地理、环境等情况,为进一步工作提供依据。

热田评价同各项工作一样,都要进行经济效果比较,从中选出花钱少,收效大的地勘任务,即使用的技术方法,应当是成本最低、经济效率最高的。

所获储量单位成本的高低是勘查经济效果的指标。其高低,不能直接说明勘查经济效果的好坏。是否对国民经济建设起作用,方证明勘查经济效益(这就是经济效果与经济效益之区别)的好坏。只有当经济效果同经济效益统一了,才能免除勘查评价中有效果而无效益的矛盾。

用效果代替效益的错误论点长期存在(总储量大,而可建基地很少),就如用多快代替好省,用自然生产代替商品生产,用使用价值代替交换价值,用产值代替利润,用钻探工作量代替地质成果,用经济换算代替商业原则一样谬误。只有勘查成果符合社会经济需要,提高勘查经济效率才能得到好的经济效益。即效率越高,效益越大。反之,效率越高,损失越大(资源积压)。经济效率必须服从经济效益。(前者属于勘查技术本身,而后者属于社会)。必须使资源勘查适应市场经济。

地勘经济效益的特点:

1. 预测性。地质成果是通过使用(开发)部门所获经济效益大小来表征。因此,它只能是预测的经济效益。
2. 复杂性。成矿控制因素极复杂,在自然界找不到两个完全相同的热田。因之投入与产出间没有确定的关系。风险性、探讨性确定了勘查经济效益的复杂性。
3. 近似性。各类热田有一般规律,但人们对具体热田的认识与存在的客体总有一定的偏差,对热田外部形态和内部结构难以给出精确的数量表示。因此,勘查的经济效益总是近似的。

六、衡量勘查经济效益的标准

地质成果能否适应,满足社会经济需要是起码界限,适应则有效,不适应则无效。

影响勘查经济效益的因素:(1)国民经济因素:需求程度,勘查投资额,产品价格(值),国家资源政策及市场供求变化;(2)地质因素:储量规模,热田构造,热储形态、产状、质量等;(3)热田开采利用因素:埋深、热储温度、压力、腐蚀、结垢等,汽水比;(4)经济地理因素:地理位置,交通条件,水源生活资料,劳力、能源等;(5)地质技术因素:科技水平,方法的适应性,灵敏度等;(6)地质经济因素:勘查工作方法,工作量,工作效率,勘查资金利用状况等;(7)组织管理因素:管理体制,组织形式,管理方法等;(8)人的因素:领导才能,技术水平,身体素质等;(9)不可预见因素:气候(天灾)、地震、交通阻塞(滑坡、塌方)火山;机械及孔内、人身事故;孔底温度大大超过原设计、井喷。

七、评价勘查经济效益的基本原则

以勘查成果及有关地热勘查技术资料为依据,联系国民经济需要,利用有关国民经济资料,使用多种技术经济分析与预测方法,对勘查经济效益作出定性和定量说明。研究影响效益大小的因素,指出提高勘查经济效益的途径。勘查成果经济效益应以其成果能否在后续生产部门产生的经济效益来衡量,以此计算勘查成果经济价值的标准。目前勘查只是一种技术商品,而不是物质商品,其特点:一是只能一项由一套班子去完成,无法比较;二是勘查成

果究竟需多少劳动时间，实际上无法精确计算；三是其成果所费劳动时间，即投入产出比例关系，难以确定（不成比例）。所以用直接评价法计算不出来，只有后续的生产效益才是衡量它的准绳。

中国地热资源形成特点及其开发潜力

陈墨香 汪集旻 邓 孝

(中国科学院地质研究所 100029)

本文根据国家计划委员会资源节约和综合利用司委托的“中国地热资源调研”专项研究成果,分析和讨论了地热资源形成和分布的地质构造-热背景,温泉分布的基本特点及其地热学属性,中、新生代沉积盆地地下热水的赋存特点及形成机制,全国热水资源量级的估算及其开发前景评述。

一、地热资源的形成和分布受我国地质构造格局和其在全球构造中所处部位所控制

高温($>150^{\circ}\text{C}$)地热带形成和展布,与岩石圈板块的发生、发展和演化有着密切的联系,全球性的地热带一般都出现于地球表面各大板块的边缘附近。低温($<90^{\circ}\text{C}$)和中温($90-150^{\circ}\text{C}$)地下热水的出露和分布,与板块内一些活动性深断裂和沉积盆地的发育和演化有关。因此,高温地热田是特定构造部位的产物。有开发远景和开发潜力大的地热带,以及当前技术上可行,经济上合理,可以开发的地下热水资源,仅赋存于一些特定的地质构造单元和地质构造部位。

我国地处欧亚板块的东部,为印度板块、太平洋板块和菲律宾海板块所夹持,新生代以来,我国西南侧和东侧发生了重大的构造-热事件。在西南侧,由于印度板块与欧亚板块的碰撞,形成藏南和滇西地区聚敛型大陆边缘活动带;在东侧,由于欧亚板块与菲律宾海板块的碰撞,形成台湾岛中央山脉两侧的碰撞边界。这两条碰撞边界及其邻近地区是当今世界上构造活动最强烈的地区之一,并共同呈现高热流异常($85-120\text{mW}/\text{m}^2$),具有产生强烈水热活动和孕育高温水热系统必要的地质构造条件和热背景。远离板块边界,包括众多中、新生代沉积盆地在内的广大板内地区,构造活动性减弱或为稳定的块体,热背景正常以至偏低($40-75\text{mW}/\text{m}^2$),一般形成中低温地热系统,其中绝大多数为低温地热系统。

二、温泉众多,带状展布

我国现有 $>25^{\circ}\text{C}$ 的温泉(水热区)2200处,其中 $25-40^{\circ}\text{C}$ 者为859处, $>40-60^{\circ}\text{C}$ 者为807处, $>60-80^{\circ}\text{C}$ 者为398处, $>80^{\circ}\text{C}$ 者为136处,各温度级温泉数分别占全国温泉总数的39%、37%、18%和6%。全国温泉放热总量为 $10190 \times 10^{13}\text{J}/\text{a}$,各温度级温泉的放热量分别为 3198×10^{13} 、 2149×10^{13} 、 2886×10^{13} 和 $1957 \times 10^{13}\text{J}/\text{a}$,分别占全国总量的32%、21%、28%和19%。

温泉分布按省(区)统计,除了上海和天津两市无温泉出露,黑龙江和宁夏两省(区)无 $>25^{\circ}\text{C}$ 的温泉之外,包括北京市在内的其余各省(区)都有数量不一的 $>25^{\circ}\text{C}$ 的温泉。其中温泉数居全国前列者为云南(603处)、西藏(283)、广东(257)、四川(220)和福建

(174) 5个省(区), 约占全国温泉总数的70%。温泉密度(1万 km^2 之温泉数) >10 者有5个省(区), 其中以台湾为最高(19.2), 云南次之(15.9), 广东(14.3)和福建(14.1)并列居全国第3位, 海南(10)居第5位。温泉放热量 $>300(\times 10^{13}\text{J/a})$ 者有10个省(区), 按其大小依次为: 西藏(3604)、云南(1930)、陕西(726)、四川(553)、广东(507)、福建(398)、山西(393)、台湾(337)、湖北(330)和湖南(314)。这10个省(区)温泉放热量占全国总量的89%。陕西和山西两省的情况十分特殊, 仅有温泉13处和6处, 放热量却分别居全国第3位和第7位, 此乃是该两省有几个特大水量的喀斯特泉所致。

在 $>80^\circ\text{C}$ 的温泉中, 达到或略高于当地高程水的沸点而为沸泉者全国有近70处。其中, 藏南地区为37处, 滇西为17处, 台湾为8处, 青海至少有2处, 川西至少有4处。这近70处沸泉区中, 有的还具有间歇喷泉、水热爆炸和喷气孔等高温地表热显示。按地球化学温标推算, 热储基准温度也高于 150°C , 可视为高温水热系统($>150^\circ\text{C}$), 其中少数水热区已为钻探资料所验证。

按水热活动的强度和温泉的密度, 并结合其地质条件。划分了若干主要的水热活动密集带, 如藏南-川西-滇西、台湾、东南沿海地区、胶辽半岛等水热活动密集带。其中, 前两者为高温地热带, 即喜马拉雅地热带和台湾地热带。喜马拉雅地热带是绵延上万公里的地中海地热带的重要组成部分; 台湾地热带是环西太平洋地热带的一部分, 但无该地热带的典型特征。后两者为中低温地热带。

三、水热活动和水热区宏观分布特点十分鲜明

1. 水热活动的强度随远离板块边界而减弱。我国西南部的水热活动由南向北(西藏)和由西向东(云南和川西)减弱, 以青藏高原为例, 温度较高($>80^\circ\text{C}$)水热区的数量则由北而南增加, 分别占喜马拉雅地体和拉萨-冈底斯水热区总数的25%和20%; 而在羌塘地体, 目前仅发现1处 $>80^\circ\text{C}$ 之温泉。包括沸泉在内的各种高温地热显示, 几乎集中分布于雅鲁藏布江缝合带的两侧, 有人因之称为雅鲁藏布江地热带(李春煜, 1981)。占全藏面积不到1/5的由喜马拉雅地体和拉萨-冈底斯地体(南部)组成的藏南地区, 泉水放热量竟占全藏总量的2/3以上; 而远离板块边界的广大藏北地区, 泉水放热量尚不足全藏总量的1/3(佟伟等, 1981)。西藏高原现代水热活动南强北弱的特点, 看来是在印度板块迅速北移和欧亚大陆自北向南阻挡这一双向挤压所形成的强大应力场持续作用下, 使西藏高原发生整体性差异活动, 形成构造活动南强北弱, 大地热流背景值南高北低以及壳幔热结构的南北不均一性(沈显杰等, 1990)在地热显示上的反映。

我国东部地区水热活动则有由东向西减弱的特点。其中, 尤以东南地区最为鲜明。处于碰撞边界的台湾岛, 温泉广布, 密度居全国各省区之冠, 包括沸泉在内的其他高温地热显示集中分布在碰撞边界的两侧。以闽粤琼三省为主体的我国东南沿海地区, 温泉众多, 占全国温泉总数的25%, 成为我国大陆东部地区温泉最密集的地带, 终因距板块边界远, 无沸泉和其他高温地热显示; 但温度较高($>80^\circ\text{C}$)的温泉颇多(24处), 并主要集中分布于近海岸地带。远离海岸向着大陆方向, 该温级温泉数大为减少, 仅占该区该级温泉数的10%, 并过渡为 $<60^\circ\text{C}$ 的温泉分布区。我国东南地区水热活动东强西弱的特点, 是受欧亚板块和菲律宾海板块的碰撞以及南海块体沿马尼拉海沟向东俯冲的影响, 使台湾块体构造活动十分强烈和

呈现高热背景,并使东南沿海岸地带处于引张应力状态和具有相对高的热背景;而远离板块边界的扬子断块区,则为构造稳定和低热背景区等有规律的变化在地热显示上的反映。

2. 高温水热区总体上远离晚新生代火山分布。我国有53群晚新生代火山,其中只有5群落在高温水热区分布范围之内,即西南隅的腾冲,台湾北端的大屯、基隆和龟山岛以及台湾纵谷东侧的奇美。在这5群火山中,基隆火山(更新世)附近无温泉,奇美火山(中新世-上新世)附近仅有两处 60°C 左右之温泉。按地球化学温标推算,热储温度为 150°C ,未必属高温水热系统。因此,高温水热系统落在第四纪火山区的仅有大屯、龟山岛和腾冲3处。

我国高温水热系统总体上与晚新生代火山相背离的事实(佟伟等,1990)说明以下两点:(1)火山活动并不是孕育高温水热系统唯一必要的条件;(2)远离第四纪火山的板缘地区,即可能存在浅成年轻侵入或壳内熔融活动的地区,同样可以形成高温水热系统。藏南地区的高温水热系统即是这种机理形成的。这是属于陆-陆碰撞板缘型的水热系统,是一种独特的“潜火山”地热带。据初步估算,规模宏大的喜马拉雅地热带(藏南部分)仅拥有近100万kW地热发电潜力(沈显杰,1992),亦即意味着包括羊八井地热田在内的单个高温水热系统的发电潜力平均为1万kW级,这或许是喜马拉雅陆-陆碰撞型地热带在成因上有别于近代火山岛弧型或扩张型地热带单个高温水热系统的发电潜力一般为10万kW级的反映。

至于同处板缘火山区的高温水热系统,火山活动在其形成中是否一定有直接联系,也要作具体的分析。台湾岛北端的大屯和龟山岛高温水热系统处于第四纪火山(更新世,主要为安山岩)背景之中,火山活动中滞留于地壳浅部的岩浆囊应是高温水热系统的理想“点热源”。正因为大屯高温水热系统属火山型,它的发电潜力较大,与世界著名火山地热带,如日本的松川和大岳等同为10万kW级(转引自张宝堂,1979)。腾冲火山群出现于欧亚与印度两大板块的碰撞衔接部位,火山体主要由碱性玄武岩组成(K-Ar同位素年龄为 $0.09-17.84\text{Ma}$),不是消减带附近那种典型的酸性火山(佟伟等,1990)。基于高温水热系统出现于玄武岩分布区的周边,以及热背景值也高,认为该区晚第三纪以前的岩浆活动和上新世以来喷发到地表的火山都不可能构成现代高温水热系统的热源,而上地壳内很可能存在的后续性的岩浆活动才是该区高温水热活动得以存在的关键因素(廖志杰,1989)。

3. 低温温泉大多与碳酸盐岩分布区相联系。我国低温($<60^{\circ}\text{C}$)温泉分布大多与碳酸盐岩分布区相联系,并于黔南、滇东和桂西之间出现一大片基本上无温泉的地区,而较高温的温泉($>60^{\circ}\text{C}$),则大多处于非碳酸盐岩区或者碳酸盐岩与花岗岩体的接触边界上。这种情况系由这些地区喀斯特发育特点和区域水文地质特点所决定的。

华北碳酸盐岩分布区,最突出的喀斯特水文地质特点是出现许多大流量($>1\text{m}^3/\text{s}$)的喀斯特泉,单个大泉控制的流域面积可达几百至 3000km^2 。由于地下水的积极浅循环,泉水的温度低,与该区地面多年平均温度相当。一些循环深度稍大的或者沿断裂有深位热水上涌的地段,泉水温度略高,一般为 $<40^{\circ}\text{C}$,个别温度高者亦不超过 60°C 。

黔南、滇东、桂西和鄂西地区。是我国碳酸盐岩分布最集中和各类型喀斯特现象发育最全的地区。该区最突出的特点是洞穴广泛发育,暗河密布且流量颇大。显然,在暗河密布的地区,即使有热水沿断层上涌,到达近地表与暗河水混合也会成为常温水。只有远离暗河密集的地区,如黔北和桂东等地区才有温泉出露,但该区为构造稳定的低热背景区,除于桂东象州出现一处 $>60^{\circ}\text{C}$ 的温泉外,其余的地区由于地下水循环深度一般为约1km,最大深度也不超过2km,泉水温度均在 60°C 以内。

四、东南沿海地区的水热区属于板内型中低温水热系统

中外学者对我国东南沿海地区水热系统的属性有不同的认识。有不少人认为在福建漳州和福州，在广东阳江的新洲和海南岛的某些地区，在不太深处有可能找到高温地热资源。我们对该区构造-热背景的分析和研究，以及对典型地热田的剖析说明如下：

1. 该区不具备孕育高温水热系统的地质构造条件和高热背景。台湾岛虽属西太平洋岛弧的一环，在其演化历史中，现今大陆板块向东消减到海洋板块之下，而不是继承中生代古板块向西俯冲。在这种构造格局下，闽、粤、琼地区不可能出现像现代岛弧系统那样的高温水热系统。在构造上，东南沿海地区处于板内地区，而不是板缘地带。区域大地热流测试也表明，其背景值为 75mW/m^2 左右，热流值正常或略偏高，但远低于喜马拉雅和台湾两个板缘型高温地热带的热背景值（ $85-120\text{mW/m}^2$ ）。

2. 热储温度不高，且大多数为开启型水热系统。本区无沸泉分布，按地球化学温标测算，地下热储的基准温度最高者仅为 140°C 。地热田的结构除少数几个外，绝大多数属缺乏盖层的开启型的水热系统。热水储为断裂所控制，获取温度更高之热水不在于钻井的深度，而是钻井是否钻遇水断裂破碎带。目前钻遇破碎带的钻井最高温度为 121.5°C ，井口水温最高为 105°C 。

因此判定，漳州、福州、东山湖和新洲等几个地热田为中低温水热系统（ $>90^\circ\text{C}$ ），其余的绝大多数为低温水热系统（ $<90^\circ\text{C}$ ）。中低温水热系统的形成与地下水循环深度较大（ $3.5-4\text{km}$ ）有关，并非有高温岩浆热源的作用。

五、可用层控热储一侧向径流补给一大地热流供热的模式概括中、新生代沉积盆地地热系统的形成机制

按照这一模式，可以引伸出下面几点认识：

1. 一般只赋存低温热水。热背景值正常或略偏低（ $40-75\text{mW/m}^2$ ），决定了沉积盆地 3000m 左右深度内的地热系统是低温地热系统，盆地内一般只具有低温热水（ $<90^\circ\text{C}$ ），仅在断陷型盆地中的某些局部地热异常区（段）可赋存中温热水（ $90-150^\circ\text{C}$ ）。

2. 大型盆地有利于热水聚存。大型盆地有足够的规模使盆地的水动力环境呈现明显的分带性，即盆地边缘为径流积极交替带（外带），盆地内部为径流缓滞带（内带）。因此，华北、苏北等大型盆地的内带具有积存和形成热水的理想环境。与之相对应，规模小的盆地，特别是狭小的山间盆地，地下水处于积极交替环境之中，整个盆地在相当大的深度内为低温水流所控制，成为冷盆。太原盆地即是其中一个典型的例子。

3. 热水储层的发育和分布与盆地的沉积建造岩相特征有关。我国东部大型中、新生代盆地沉积建造在垂向上具有明显的三分特点，即底层属于初期断陷阶段。在分割的盆地中堆积了充填式碎屑岩和火山岩建造；中层为盆地大幅度沉陷期在封闭和半封闭湖盆条件下沉积的咸水、半咸水湖相建造；上层为盆地演化后期，接近夷平状态转为全区性拗陷条件下形成的广盆式河流-浅湖相淡水沉积建造。在这套地层中，底层和中层为含有较高或高盐度地下水的封闭系统，由于盐度高和储集条件差，一般不构成有价值的热水储层。上层为分布广，厚度可观的淡水相沉积，岩性较粗，结构呈砂岩层和泥质岩层交互叠置，以高的或较高孔隙度的砂岩层构成富含低盐度的低温热水储层，成为我国东部盆地热水主要的赋存层位。因此，

华北盆地、苏北盆地、下辽河盆地、江汉盆地和雷琼盆地的上第三系，松辽盆地的上白垩统，为可水热并用的主要的水热储层。

4. 热水的赋存和开采条件以裂谷型盆地为优。沉积盆地按其成因基本上可分三种类型，即裂谷型（以华北和苏北断陷盆地为代表）、造山型（以塔里木和准噶尔盆地为代表）和克拉通型（以鄂尔多斯和四川盆地为代表）。后两者以具有较均一而低的地热为特征，前者以具有变幅不很大而稍高的地热为特征。我国裂谷式的中、新生代断陷盆地，由于受多组断裂的控制，形成一系列的断陷和断隆，以及其次级构造——凸起和凹陷，从而表现为在新生界或中、新生界掩盖下，古生界和前古生界基岩构造呈多凸多凹，和凸凹构造相间带状分布的构造格局。在这种构造格局的控制之下，地热分布呈现高低相间带状展布的图式。当基岩隆起幅度和盖层厚度配置适当时，凸起区盖层地温梯度一般 $>4.0^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ，热流值 $>65\text{mW}/\text{m}^2$ ，形成局部的地热异常。这种热异常主要由地壳浅部岩石热性质在横向上和纵向上的不均一性所引起，是地壳深处较均一的热流在传导过程中于地壳上部再分配的结果。某些控制凸起区边界的断裂为开启性断裂，有深位热水沿其上涌，在断裂破碎带及其邻近地段发生局部的水热对流，对流传热和传导传热相叠加，会形成更鲜明的地热异常。盖层地温梯度可高达 $5-7^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ，最高者达 $9-11^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 。冀中牛驼镇凸起和天津市郊双窑凸起和小韩庄凸起的情况即其中的典型例子。华北和苏北盆地数十片局部热异常区的总面积为 2.53万 km^2 ，于 $700-2000\text{m}$ 的深度内有两个主要热水储层，上为上第三系砂岩热储，下为古生界和中、上元古界碳酸盐岩热储。局部热异常区是沉积盆地中开发利用地下热水最优越的地段。

六、我国热水资源有一定的开发潜力，宜作为辅助能源

我国2200处温泉的放热量为 $10190 \times 10^{13}\text{J/a}$ 。泉水每年携带出之热量折合标准煤为354万t，如加上一些地区其他地表热显示的放热量，则全国水热区的天然放热量折合标准煤为530万t。按经验估算，一个水热区“能够从热储提取的热能量为天然放热量的4—10倍，而且至少10a内对热储无严重的影响”（White和Williams, 1975），则我国水热区每年可采热水之热能量折合标准煤最多不超过0.5亿t。我国东中部10个大中型盆地2000m深度内积存热水量为 $628500 \times 10^8\text{m}^3$ ，热水含热量为 $7360 \times 10^{18}\text{J}$ ，折合标准煤为2500亿t；在无回灌开采条件下可采热水量为 $4910 \times 10^8\text{m}^3$ ，热水含热量折合标准煤为18.5亿t（可采热水资源量平均为积存量的1.1%）。此数字虽不是我国沉积盆地型热水资源的全部，但它囊括了我国最主要的有开发前景的热水盆地，基本上反映了我国大陆地区沉积盆地地下热水资源的量级。

我国热水资源作为能源看待，其潜力是有限的，仅单独合我国煤炭资源量4万亿t。而经勘察查明的储量为8594亿t（能源部，1989）相比，就足以说明在目前和可以预见的将来，地热在我国能源的构成中不可能占有重要的位置，只宜作为辅助能源。据任湘等（1990）向1990年国际地热能研讨会提交的国家报告的统计，我国大陆地区热水发电装机容量为2.088万kW（1989），非电直接利用热水所含热量为 $4122 \times 10^{13}\text{J/a}$ ，折合标准煤为140万t，我国地热的贡献与我国当年一次能源的消费量达10亿t煤当量的巨大数字相比，虽显得微不足道，但毕竟取得了有意义的进展，而且居世界直接利用热能量的第二位。

七、地热作为一种新能源，应予积极而稳妥地开发利用

虽然我国地热资源的潜力不很大，在目前和可以预见的将来，地热在我国能源结构中不