

主编 郑克棣 韩振华

科学开发中国**地热**资源

——科学开发中国地热资源高层研讨会论文集

KEXUE KAIFA ZHONGGUO DIRE ZIYUAN



地质出版社

科学开发中国地热资源

—— 科学开发中国地热资源高层研讨会论文集

主编：郑克棧 韩振华

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 简 介

本书收录了科学开发中国地热资源高层研讨会的所有演讲文稿,并扩充了2008年我国地热能源开发利用领域最新研究成果及世界新动向等内容。本书介绍了我国地热开发的形势和战略、地热勘查与热储工程、地热开发与利用工程及地热新技术与新产品,总体反映了地热资源产业发展趋势和规律,对中国地热事业发展具有较强的指导意义。

本书可供从事地热开发、利用和管理的人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

科学开发中国地热资源/郑克桢等主编. —北京:地质出版社, 2009. 9

ISBN 978-7-116-06300-6

I. 科... II. 郑... III. 地热-资源开发-中国-文集
IV. P314.2-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 154637 号

KEXUE KAIFA ZHONGGUO DIRE ZIYUAN

责任编辑:杨友爱 祁向雷

责任校对:李 玫

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路31号,100083

电 话:(010) 82324508 (邮购部); (010) 82324577 (编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@gph.com.cn

传 真:(010) 82310759

印 刷:北京长宇印刷有限公司

开 本:787 mm × 1092 mm ¹/₁₆

印 张:11.75

字 数:260千字

版 次:2009年9月北京第1版·第1次印刷

定 价:30.00元

书 号:ISBN 978-7-116-06300-6

(如对本书有建议或意见,敬请致电本社;如本书有印装问题,本社负责调换)

To my dear friends
of GCEs:
With great compliments
and deep gratitude
I acknowledge the
geothermal achievements
of China and thank
for the most generous
hospitality,

Sincerely,

Ladsi Rybach

17 May 2008

国际地热协会主席 L. 赖贝奇题词

致中国能源研究会地热专业委员会我亲爱的朋友们：

怀着巨大的敬意和深深的感激，我祝福中国的地热成就，并感谢最盛情的招待！

忠诚的拉迪斯·赖贝奇

2008年5月17日

科學開發中國
地熱資源

八十三歲馬光兆

題詞



书法家马光兆题词（马光兆现年83岁，中国书法家协会会员。曾由日本书法家协会邀请前往日本举办书法展览，当时日本左藤首相参观展览，与书法家合影，并收藏其书法作品）

前 言

地热能源具有储量大、可再生、节能环保等特点，科学开发地热资源是国际能源战略的重要组成部分。近年来，国际上地热开发利用发展迅速，高温地热资源的发电利用和常规地热资源的综合利用效率显著提高，地源热泵对浅层地热资源的利用更加充分，工程地热系统的研究展示了巨大潜能。

为积极推进地热资源的健康、持续发展，大力推动国内地热能源开发利用的发展步伐，由中国能源研究会地热专业委员会、中国石化集团新星石油有限责任公司和陕西省咸阳市地热协会联合举办的“科学开发中国地热资源高层研讨会”于2008年11月27日至29日在陕西省咸阳市顺利召开。国土资源部环境司副司长陶庆法、中国石化集团资产经营管理公司总经理刘根元，以及陕西省国土资源厅等有关部门领导到会指导，并作了重要讲话。

此次研讨会吸引了行业内外众多专家和科研人员积极参与，包括中国科学院院士汪集旸、中国工程院院士多吉，以及中国能源研究会、中国地质调查局、中国科学院地质与地球物理研究所、天津大学地热研究中心等行业内外著名研究机构的专家和学者在内，共16位地热开发利用领域的资深专家学者从不同的角度和方面做了特邀报告。来自全国地热能源开发利用战线的代表共130余人参加了会议。研讨会还得到了诸多媒体的高度关注，包括国土资源报社、咸阳日报社、陕西省电视台等多家新闻媒体的记者莅临会议现场，对会议进行了现场报道。

研讨会紧扣大会议题“科学开发中国地热资源”进行了广泛交流，围绕着当前国内外地热开发动向及最新成果，就地热勘查、地热发电、地热供暖、地源热泵、工程地热系统（干热岩）、地热尾水回灌等技术问题进行了深入研讨。专家们就如何科学、有序、可持续开发地热资源，以及围绕着地热开发是否会引发地震、地裂、地面塌陷、地面沉降等地质灾害和水污染、热污染及环境污染等问题进行了科学分析和解答。

本书收录了此次会议的所有演讲文稿，并扩充了2008年我国地热能源开发利用领域最新研究成果及世界新动向等内容，共29篇文章，内容涉及我国能源和节能形势分析、地热能源开发研究新进展、地热开发与地质灾害的关系、中国地热发电现状、地热资源开发新模式等方面，书中将其归纳为地热开发的形势和战略、

地热勘查与热储工程、地热开发与利用工程、地热新技术与新产品等 4 个专题，总体反映了地热资源产业的发展趋势和规律，对中国地热事业发展具有较强的指导意义。

在论文征集过程中来稿踊跃，但由于时间紧促，稿件的征集和审定工作难免有疏漏之处，敬请读者给予指正。

Preface

Geothermal energy features large reserves and renewable, clean and green resources. Scientific development of geothermal resources is an important part of international energy strategy. In recent years, international geothermal development and utilization have a rapid growth. Electricity generating capacity of high-temperature geothermal resources and comprehensive utilization efficiency of conventional geothermal resources have significantly improved. Ground-source heat pumps have been fully used for shallow geothermal resources. Enhanced geothermal system shows great potential.

To actively promote fine and sustainable development of geothermal resources and vigorously promote development and utilization of geothermal energy in China, *high-level symposium on scientific development of geothermal resources in China*, jointly organized by Geothermal China Energy Society, Sinopec Star Petroleum Co., Ltd. and Xianyang Geothermal Association, smoothly held in Xianyang, Shaanxi Province in November 27 – 29, 2008. Mr. Tao Qingfa, deputy director, Department of Geological Environment of Ministry of Land and Resources of China, Mr. Liu Genyuan, general manager of Sinopec Asset Management Corporation and leaders of Shaanxi Provincial Bureau of Land and Resources and other related departments participated and had guidance and important speeches.

The symposium attracted a large number of experts and researchers. Wang Jiyang, Academician of Chinese Academy of Sciences, Dor Ji, Academician of Chinese Academy of Engineering and some experts and researchers from China Energy Research Society, China Geological Survey, Institute of Geology and Geophysics Chinese Academy of Sciences, Geothermal Research & Training Center of Tianjin University, totaled 16 senior experts in the field of geothermal development and utilization gave presentations from different angles and aspects. More than 130 people attended the symposium. The symposium also got a lot of media attention, and reporters from some media agencies, including *China Land and Resources News*, *Xianyang Daily*, Shaanxi Television Station and otherwise, were present and conducted the live symposium.

Experts and researchers extensively exchanged on the topic “scientific development of geothermal resources in China”, focused on current development trends and latest achievements home and abroad and discussed on technical issues such as geothermal exploration, geothermal power generation, geothermal space heating, ground-source heat pump, enhanced geothermal system (dry hot rock) and reinjection of geothermal tail water. Experts scientifically analyzed and answered on the issues such as how to scientifically, orderly and sustainable develop geothermal resources, geothermal development does not cause geological disasters like earthquakes, ground fissure, ground subsidence, water pollution, thermal pollution and environmental pollu-

tion issues.

The collected papers include all the speeches in the symposium, and papers on the latest research results and new trends of geothermal energy development and utilization in China in 2008 have been added. It includes 29 papers totally, concerning energy and energy-saving situation analysis in China, new progress of geothermal energy development research, the relationship between geothermal development and geological disasters, status of geothermal power generation in China and new mode of geothermal resources development. It sums up in four parts: situation and strategy of geothermal development, geothermal exploration and reservoir engineering, geothermal development and utilization projects and geothermal new technologies and new products, generally reflecting the trend and law of geothermal industrial development and having a strong guiding significance for geothermal development in China.

Contributions were active in the process of collection, but because of stringent time, there were omissions inevitably in the collection and validation work. Dear readers, please give corrections.

目次

国际地热协会主席 L. 赖贝奇题词
书法家马光兆题词
前 言

地 热 开 发 的 形 势 和 战 略

从世界地热看我国地热能开发利用问题	汪集旸 (3)
我国能源和节能形势分析及对策建议	鲍云樵 (7)
中国地热能开发的新进展	郑克棧 (13)
我国地热资源中长期战略研讨	韩再生 郑克棧 宾德智 (18)
西安地热开发与地面沉降、地裂缝及地震的关系分析	王德潜 康金栓 (28)
地热资源科学开发新模式	王行运 张福礼 孙启邦等 (34)
陕西省地热资源开发利用及管理对策	肖平新 (39)
近年我国地热相关法规、政策的出台与修编	司士荣 (43)
欧洲地热能委员会 2008 ~ 2030 年地热能战略研究议程	
..... 孙燕冬 (译) 郑克棧 (校) (50)	

地 热 勘 查 与 热 储 工 程

关中盆地复合型地热系统特征与可持续开发利用	庞忠和 黄天明 杨丰田 (65)
北京小汤山地热回灌机理的研究	潘小平 (67)
天津地热资源勘查及开发利用	林黎 刘九龙 (74)
山东省地热地质条件及开发利用	康凤新 张忠祥 徐军祥等 (79)
厦门开展地下热水资源调查的做法及意义	关自强 (84)
地热钻井工程几个问题的探讨	杨民治 邹彦荣 孙佳等 (87)
江苏地热资源勘查评价及地热能开发可行性论证的新技术	孙贤恺 周宏葵 (96)
遥感技术在勘查地热资源中的应用	霍明远 舒克盛 (100)

地热开发与利用工程

21 世纪地热利用中关键技术的研究与发展	朱家玲 (107)
中国地热发电现状及前景分析	多吉 郑克棧 (110)
地热地面利用工程设计概述	齐金生 季喜廷 (115)
浅层地热 (温) 能资源和地源热泵	冉伟彦 杨俊伟 (122)
科学管理, 综合开发, 努力建设全国首家 “中国地热城”	贡培琪 (128)
日本的温泉理疗研究	庄宇 (133)

地热新技术与新产品

可控源音频大地电磁法在北京地区应用效果分析	刘延忠 (141)
大地电磁测深方法在华北某地地热资源探测中的应用	董浩 魏文博 方连育等 (150)
水热系统中碳酸盐固定 CO_2 的室内及现场试验	A. Ueda (上田晃) Y. Kuroda K. Sugiyama 等 (156)
中低温地热与热泵结合供暖实现节能减排	李力学 马大林 (161)
上海地区采用工程型地热系统可行性的初步分析	徐剑斌 (166)
板式换热器的蓝海	杜国明 (169)

封面照片说明

左上: 科学开发中国地热资源高层研讨会在咸阳召开

右上: 羊八井地热电厂新增 1000 kW 螺杆膨胀动力机利用发电废热水发电

左下: 中石化新星石油公司的海上平台

右下: 亚洲地热资源直接利用国际研讨会在天津召开

CONTENTS

Preface

Epigraph by L. Rybach, President of IGA

Epigraph by MA Guangzhao, Calligrapher

Situation and Strategy of Geothermal Development

Issue of geothermal resources development and utilization in China based on geothermal in the world	Wang Jiyang (3)
Analysis and proposal on energy and energy saving in China	Bao Yunqiao (7)
New progress of geothermal energy development in China	Zheng Keyan (13)
Discussion on medium-and long-term strategies for geothermal resources in China (2020, 2030, 2050)	Han Zaisheng, Zheng Keyan, Bin Dezhi (18)
Analysis on the relationship between geothermal development and surface subsidence, ground fissure and earthquake	Wang Deqian, Kang Jinshuan (28)
New mode of scientific development of geothermal resources: scientific development by government in combination with enterprises is a successful way to achieve sustainable development in Weihe Basin	Wang Yunxing, Zhang Fuli, Sun Qibang, Zou Yanrong (34)
Strategies of development utilization and management of geothermal resources in Shaanxi Province	Xiao Pingxin (39)
Publishment and revision of regulations and policies related with geothermal in recent years in China	Si Shirong (43)
Research agenda for geothermal energy strategy 2008 to 2030 (European Geothermal Energy Council)	Sun Yandong (translator) (50)

Geothermal Exploration and Reservoir Engineering

Water-rock interaction and sustainable development utilization of rift valley geothermal system in Guanzhong Basin	Pang Zhonghe (65)
Study on the mechanism of geothermal reinjection in Xiaotangshan, Beijing	Pan Xiaoping (67)
Exploration and development utilization of geothermal resources in Tianjin	Lin Li, Liu Jiulong (74)
Geological conditions and development utilization of geothermal resources in Shandong Province	Kang Fengxin, Zhang Zhongxiang, Xu Junxiang, et al. (79)

Methods and significance of the investigation of geothermal water resources in Xiamen	Guan Ziqiang (84)
Some topics on geothermal drilling projects	Yang Minzhi, Zou Yanrong, Sun Jia, He Guoliang (87)
New technologies of exploration and evaluation of geothermal resources and feasibility study of geothermal development in Jiangsu Province	Sun Xiankai and Zhou Hongkui (96)
Application on geothermal resources exploration of remote sensing technology, taking Taizhou for an example	Shu Kesheng, Guo Guangmeng, Huo Mingyuan (100)

Geothermal Development and Utilization Projects

Research and development of key technology in geothermal utilization in 21st Century	Zhu Jialing (107)
Analysis on status and prospects of geothermal power generation in China	Duo Ji, Zheng Keyan (110)
Overview of design of geothermal utilization engineering	Qi Jinsheng, Ji Xiting (115)
Shallow geothermal energy and ground source heat pump	Ran Weiyan, Yang Junwei (122)
The first “China Geothermal Town” with efforts of scientific management and comprehensive development; a introduction of geothermal resources development and management in Xianyang	Yun Peiqi (128)
Study on hot springs physical therapy in Japan	Zhuang Yu (133)

Geothermal New Technologies and New Products

Analysis on application effect of CSAMT in Beijing Area	Liu Yanzhong (141)
Application research on magnetotellurics investigation of geothermal reservoir in north China	Dong Hao and Wei Wenbo et al. (169)
Laboratory and field experiments on carbonate fixation of CO ₂ at hydrothermal system; “Georeactor”, A case study at Ogachi hot dry rock site, Japan	A. Ueda, et al. ; Li Juan (translator) (150)
Heating by medium-and low-temperature geothermal combined with heat pump to achieve energy-saving and emission reduction	Li Lixue, Ma Dalin (156)
Preliminary analysis on the feasibility of enhanced geothermal systems in Shanghai Area	Xu Jianbin (161)
The Blue Sea of plate heat exchanger: New type copper alloy plate heat exchanger	Du Guoming (166)

地热开发的形势 和战略

从世界地热看我国地热能开发利用问题

汪集旻

(中国科学院地质与地球物理研究所 北京 100029)

1 引言

能源和环境是当今人类面临的两大问题。原国家发改委能源局局长张国宝在国际可再生能源大会(2004.6)上说:“使用可再生能源是解决人类现阶段遇到的能源资源和环境问题的最根本方法。”

世界地热发展趋势,主要体现在以下几个方面:从高温地热发电转向中低温地热非电直接利用;从地热资源丰富国家向地热资源相对贫乏、甚至“无”地热资源国家延伸;从浅层地热能开发利用向深部地热进军;热泵技术的采用使地热能开发利用跨上新台阶;温泉洗浴日益受到人们青睐并具有广阔的市场前景。

中国地热能开发利用面临前所未有的机遇与挑战——节能环保、CO₂减排、绿色能源,但是也存在一些问题:包括如何继续保持我国地热直接利用世界领先地位;采用热泵技术,科学开发浅层地热资源,向南方特别是长三角、珠三角地区扩展,解决热泵空调问题;向深部进军——开展我国“增强地热系统”(Enhanced Geothermal System)开发利用的前期调研和准备工作。

2 世界和我国地热的开发利用现状

地热是新能源大家族中最为现实并最具竞争力的能源之一。据估算,全球地热可采资源量为500 EJ/a,已超过全球一次性能源的年消耗量(400 EJ/a)。可见,地热能资源开发利用的潜力很大(图1)。据国际地热协会(IGA)统计,截至2005年,全球已有24个国家正在进行地热发电,总装机容量和年产能值分别为8900 MW和57000 GWh。71个从事地热非电直接利用的国家其总装机容量和年产能值已分别达到27825 MWt和72622 GWh。

利用当前技术,有可能将现有10 GW的世界地热发电总量增加到2050年的70 GW,若技术得以创新,更可将其提高到140 GW。目前仍在实验阶段的增强型地热系统会有巨大潜力开发地球深部的热储。如果地热发电取代天然气,每

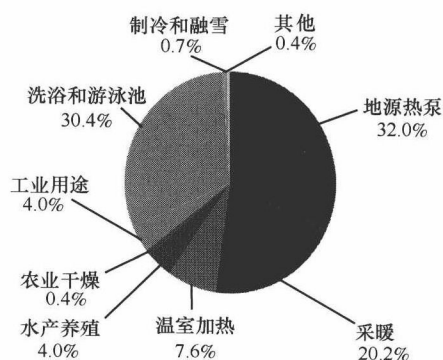


图1 2004年世界范围内地热直接利用方式
占总能源利用的比例
(Lund等, 2005)

年可减少潜在的 5 亿 t CO₂ 排放, 若取代煤, 则可减少 10 亿 t。

利用当前技术, 相当有可能将地热直接利用的容量由现在的 60 GWh 增加到 2050 年的 800 GWh, 其中 90% 将会是热泵系统, 因为在世界大部分地区, 它可以用来同时满足供热制冷需求。在 2050 年, 地热直接利用可减少潜在的每年 3 亿 t CO₂ 排放量。如果热泵输入电能由可再生能源诸如水力、风力或地热能提供, 减排量将会更多!

2004 年地热直接利用前 10 个国家排序为: 中国 12.605 GWh/a, 瑞典 10.000 GWh/a, 美国 8.678 GWh/a, 土耳其 6.900 GWh/a, 冰岛 6.806 GWh/a, 日本 2.862 GWh/a, 匈牙利 2.206 GWh/a, 意大利 2.098 GWh/a, 新西兰 1.968 GWh/a, 巴西 1.840 GWh/a。

我国是一个以中低温地热资源为主的国家, 目前非电直接开发利用已居世界首位(装机容量和年产能值分别达 3 687 MWt 和 12 605 GWh)。

地热发电在我国规模较小, 最大的西藏羊八井地热电站总装机容量也只有 25.18 MW, 但曾提供拉萨市电力供应的 50% (冬季达 60%), 后开发羊卓雍水电后, 目前占藏中电网的 13%。除羊八井地热电站外, 西藏还曾建过朗久 2 MW 和那曲 1 MW 地热电厂, 但因结垢等问题已停运。另外, 中低温地热电站: 广东丰顺的邓屋 300 kW 和湖南宁乡灰汤的 300 kW 都运行了 30 多年。

3 热泵技术

需要特别加以指出的是, 目前正在蓬勃发展中的地源热泵技术, 也称地热热泵, 它能把常温的地下水用于冬季供暖、夏季制冷(空调)和四季提供生活用热水的所谓“三联供”, 具有广阔的市场前景。地源热泵的效率最高, 因此节能显著。

地源热泵效率(COP)达 300%~400%, 而空调机(包括空气源热泵)为 200%, 常规的电供暖为 100%, 燃油供暖为 90%, 燃煤供暖只有 55%。

热泵也是目前市场上可获得 CO₂ 减排量最大(6%)的单项技术之一。

3.1 地源热泵技术在国外的发展概况

1912 年在瑞士安装成功世界上第一台水源热泵, 20 世纪 70 年代热泵技术因能源危机而受到重视, 20 世纪 80~90 年代地源热泵系统在欧美国家得到快速发展, 技术趋于成熟。科学家和工程技术人员进一步致力于对地下系统进行研究。

美国地源热泵系统已安装 40 万台以上, 目前正以每年 35% 的速度快速递增, 成为国际上发展和使用地源热泵规模最大的国家。政府支持地源热泵技术的发展和向市场的推广, 资助示范性工程项目的建设, 最大的地源热泵工程建筑面积 33 万 m²; 地埋管数量达 8000 余孔。

挪威、瑞士、瑞典、奥地利等中、北欧国家地源热泵技术成熟, 主要采用土壤源热泵技术, 政府采取补贴政策, 鼓励发展地源热泵系统。以瑞典为例, 90% 以上新建筑采暖用地源热泵。地源热泵应用已从户式中央空调发展到大型建筑群, 挪威奥斯陆大学城建筑面积达 20 万 m²。研究重点是重视地下工程试验研究、热泵工质及效率研究和环保评估。

3.2 我国地源热泵系统发展状况简介

我国自 20 世纪 80 年代起在中国科学院开始研究, 90 年代末开始有少量示范工程投入应用。自 2005 年中起呈迅猛发展之势, 地源热泵生产企业达 80 余家。中美政府间对地