

中国地热资源开发 机遇与挑战

黄少鹏

西安交通大学全球环境变化研究院
University of Michigan, Ann Arbor, USA

内容提要

- 气候变化与低碳能源
- 地热面临的挑战与机遇
- 关于地热能源开发的建议
 - 摸清家底，科学规划
 - 东西同行，干湿兼顾
 - 盆山并重，工程示范
 - 内联外合，跨越发展

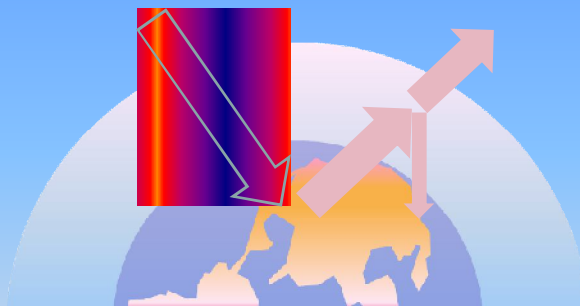
低碳经济概念

所谓低碳经济指的是最大限度减少排放二氧化碳等温室气体的经济体系和发展模式。国际上最早提倡这一经济模式的官方文件是2003年由英国能源与气候变化部发布的政府白皮书。发展低碳经济的理念是从发展应对气候变化的低碳能源衍生而来的。



我们能源的未来
— 创建低碳经济

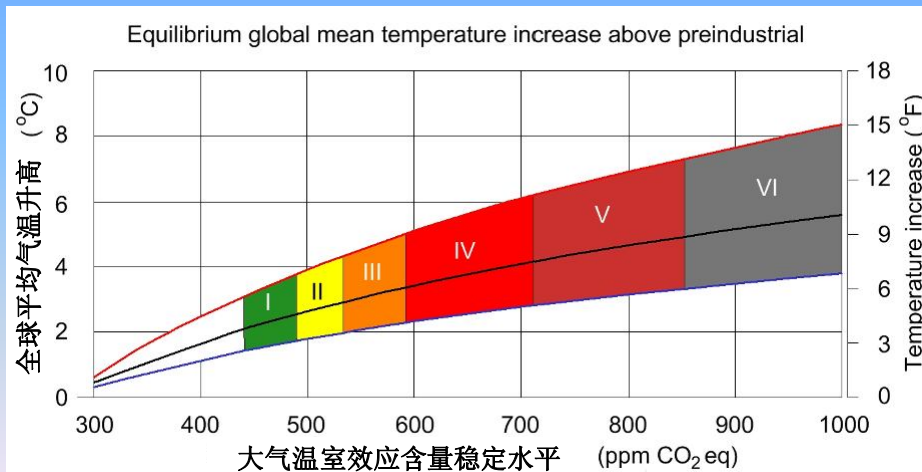
温室效应



地球大气圈（水蒸汽除外）78.084%是氮气、20.946%氧气，0.934%氩，其它气体总量占不到0.4%，包括二氧化碳、氖、氦、甲烷、氪、氢、一氧化二氮、氙、臭氧、二氧化氮等。温室气体吸收长波辐射，使大气变暖。如果没有大气温室效应，地球表面平均温度将不是15° C，而是-18° C。

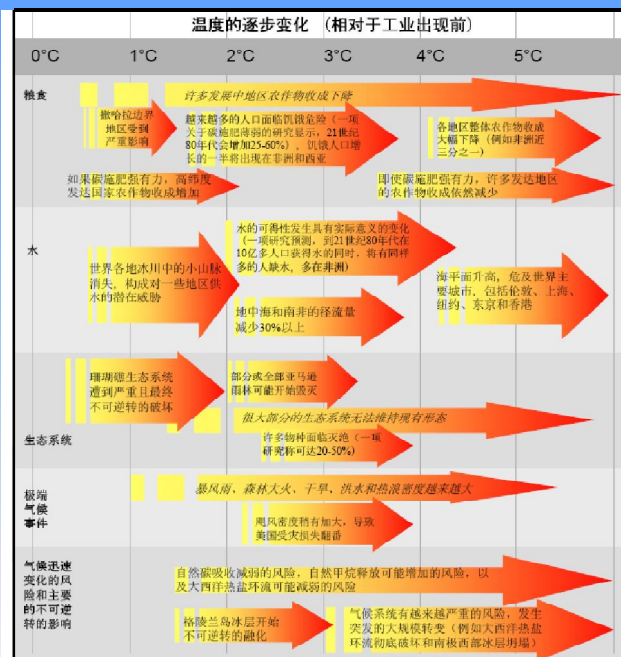
气候变暖的可能趋势

IPCC AR4 WGIII, Courtesy I Garlo



气候变暖的若干经济效应

Stern Review 2006

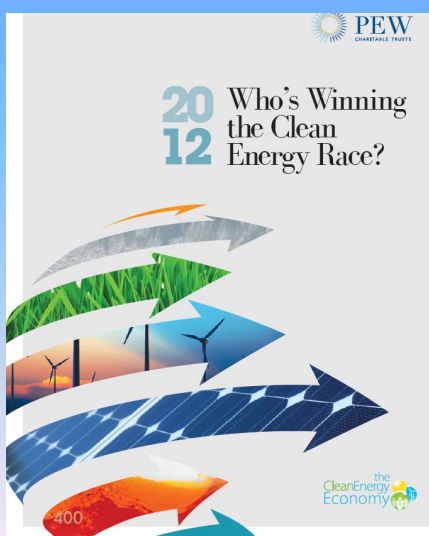


碳排放的代价



世界银行前首席经济学家兼资深副总裁斯特恩2006年从后果入手对碳排放的社会成本的估价每吨二氧化碳85美元即每吨碳311美元。2009年英国能源与气候变化部从治理的角度估计每减排一吨碳的代价是41-124美元。

中国领跑新能源？



2012 (in billions of dollars)	
China	65.1
United States	35.6
Germany	22.8
Rest of EU-27	16.3
Japan	16.3
Italy	14.7
United Kingdom	8.3
India	6.9
South Africa	5.5
Brazil	5.3

低碳能源



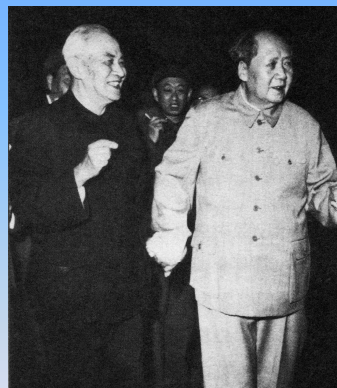
在发展新能源方面，中国几乎在所有的领域都居于世界前沿，可在资源丰富的地热领域却还处于相对原始和落后的状态。

李四光：地热能源开发的倡导者

1889.10.26—1971.4.29



1971.3.12



李四光教授早在1970年就高瞻远瞩地指出：“地下热能的开发与利用，是个大事情。这件事，就像人类发现煤炭、石油可以燃烧一样，这是人类历史开辟的一个新能源”。

维基百科：地热

http://en.wikipedia.org/wiki/Geothermal_energy

History

最古老的温泉浴池——华清池

Hot springs have been used for bathing at least since [paleolithic times](#)^[8] The oldest known spa is a stone pool on China's Lisan mountain built in the Qin dynasty in the 3rd century BC, at the same site where the Huaqing Chi palace was later built. In the first century AD, Romans conquered *Aquae Sulis*, now Bath, Somerset, England, and used the hot springs there to feed public baths and underfloor heating. The admission fees for these baths probably represent the first commercial use of geothermal power. The world's oldest

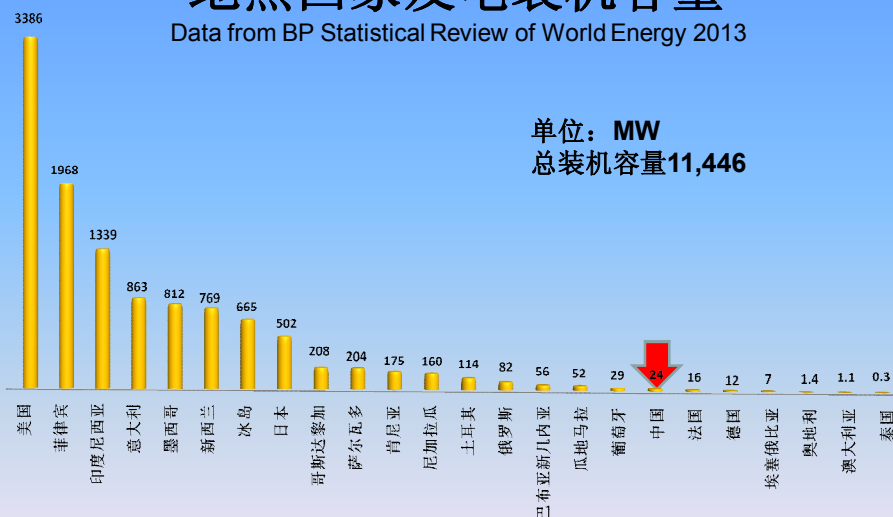


The oldest known pool fed by a hot spring, built in the Qin dynasty in the 3rd century BCE.

地热国家发电装机容量

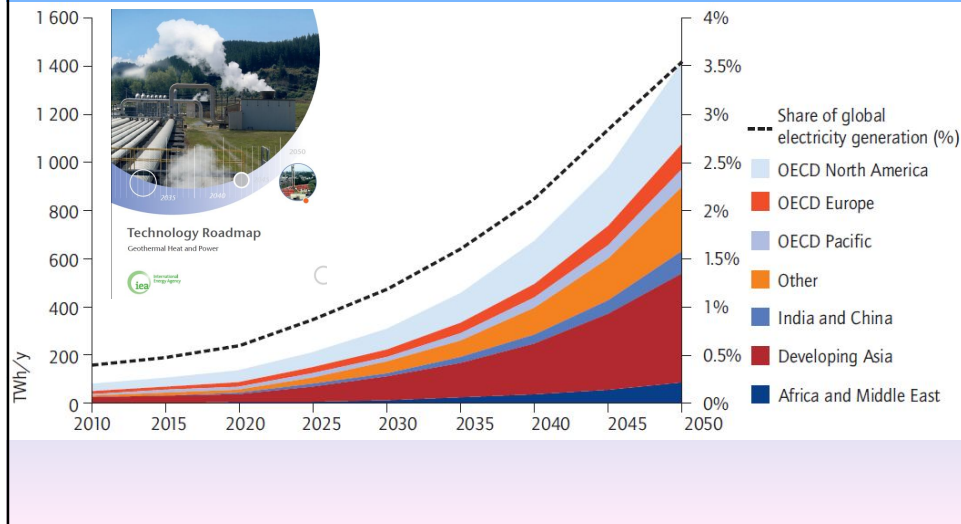
Data from BP Statistical Review of World Energy 2013

单位：MW
总装机容量11,446



地热发电量增长预测

目前美国领先，亚洲发展中国家将很快赶超，中印长期低迷



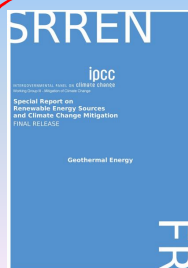
中国地热面临发展机遇和挑战



“到2015年，... 地热发电装机容量争取达到10万千瓦”

当前装机容量
不足2.5万千瓦

地热发电装机容量三年内必须翻两番



“geothermal energy could meet roughly 3% of global electricity demand by 2050”

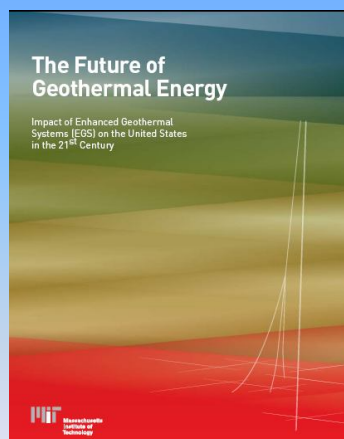
2050年中国总
电力~2.5万亿瓦

35年建造3000多座羊八井规模地热电站

对加快地热研发的建议（1）： 摸清家底，科学规划

结合国家重大地球科学项目和行业战略发展目标，开展大地热流测试和地壳热结构分析等基础地热研究，通过立法和制定行业规范，构建国家地热数据库，为科学规划提供数据支撑。

摸清家底，科学规划

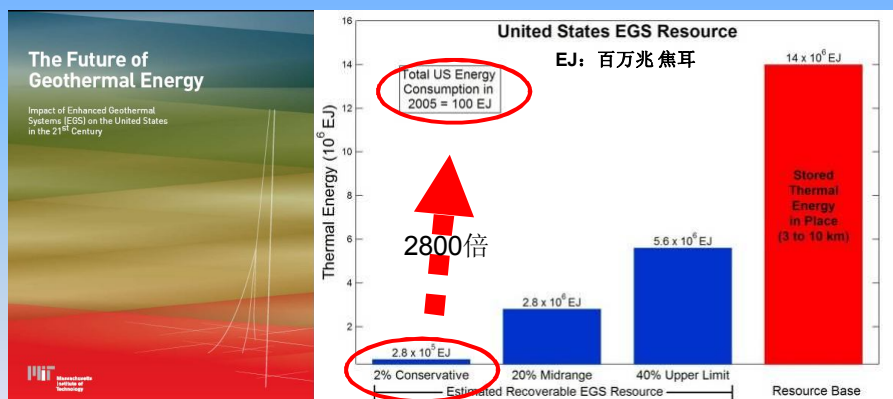


国家资助，名校牵头，18位专家，12个单位，九章372页，

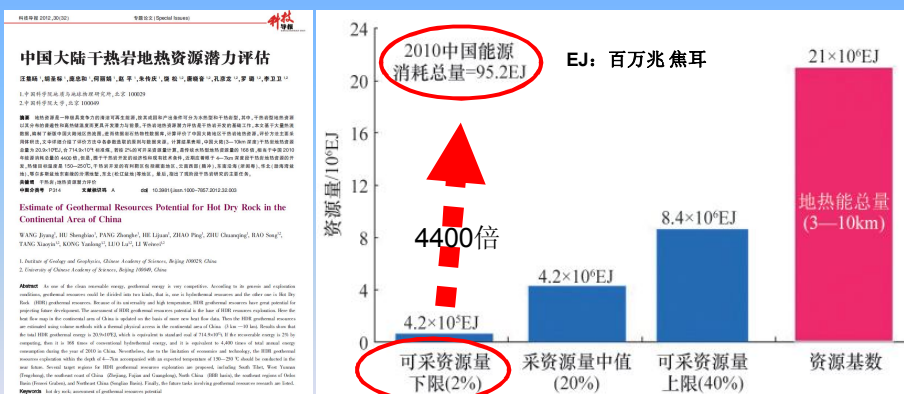


能源部斥资数十亿美元，50个州地调局和众多高校参与

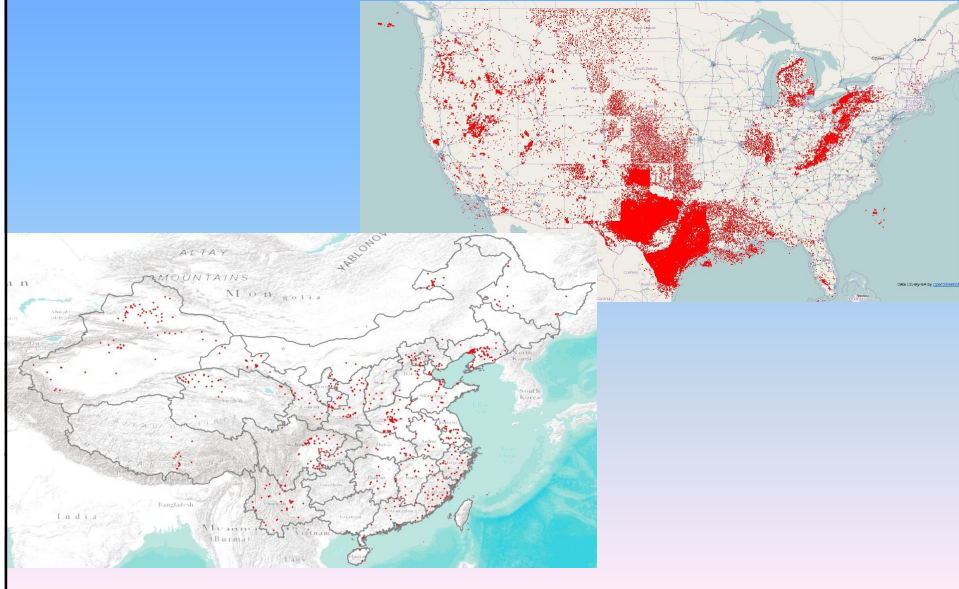
地热能的未来—麻省理工学院报告



中国干热岩资源潜力



数据是基础



可再生能源发展十二五规划

到2015年，各类地热能开发利用总量达到1500万吨标准煤，其中，**地热发电装机容量争取达到10万千瓦**，浅层地温能建筑供热制冷面积达到5亿平方米。

我国当前地热发电在线装机容量不足2.5万千瓦，过去二十多年徘徊不前。今后三年地热发电装机容量“翻两翻”的可能性有多大？

可再生能源发展十二五规划

综合考虑地质条件、资源潜力及应用方式，在青藏铁路沿线、滇西南等高温资源分布地区，在保护好生态旅游资源前提下，启动建设若干“兆瓦级”地热电站，满足西部大开发及当地经济社会发展需要。在东部沿海及天山北麓等中低温地热资源富集地区，因地制宜发展中小型分布式中低温地热发电项目。

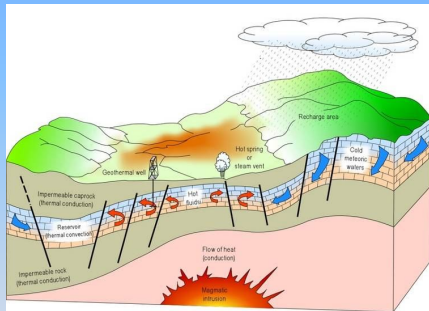
具有地表高温水热活动的藏滇地区是我国重要的地热带，应该扩大开发规模。但东部地区不仅有温泉分布，更有强烈的新生代火山活动，人口密度大、经济活动强盛，是否也应该同样鼓励发展兆瓦级地热能源项目？

对加快地热研发的建议（2）： 东西同行，干湿兼顾

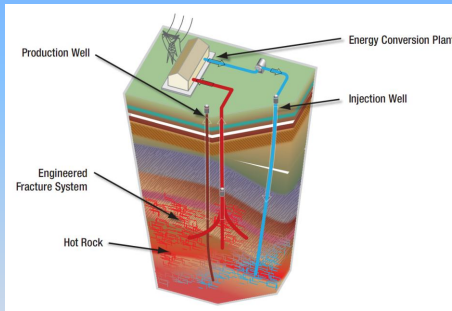
我国大陆东部虽然缺乏高温热泉，但第四纪火山活动强烈，不能排除地下具有干热岩的可能。在继续扶持西部高温水热系统地热资源开发的同时，应该重视能源需求旺盛的东部地区的干热岩增强型地热系统的开发潜力。

东西同行，干湿兼顾

西部常规水热系统

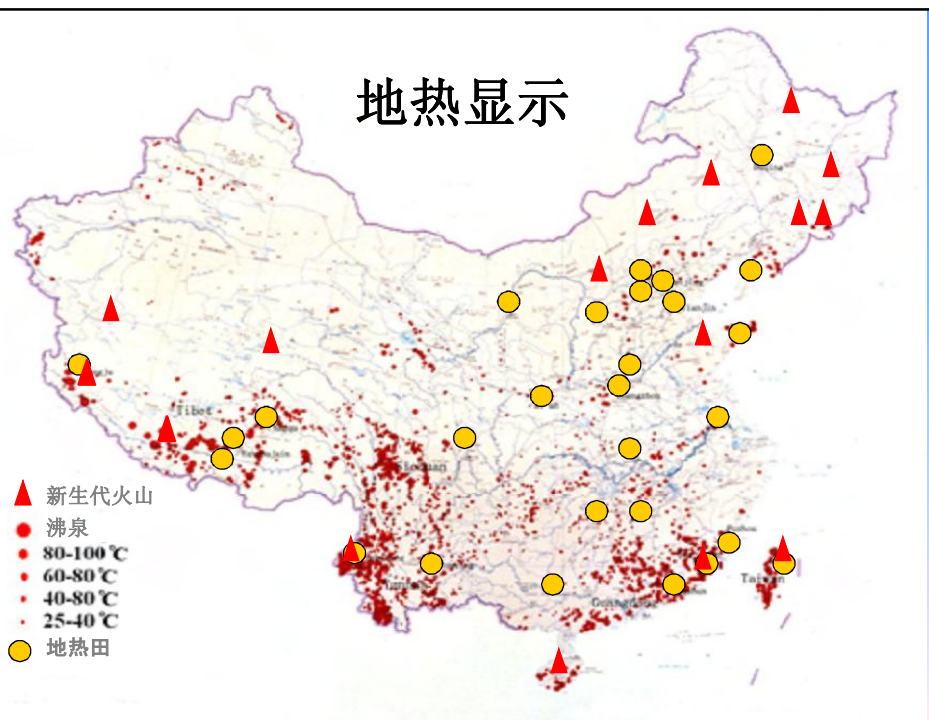


东部干热岩增强性地热系统



Credit: International Geothermal Association

地热显示

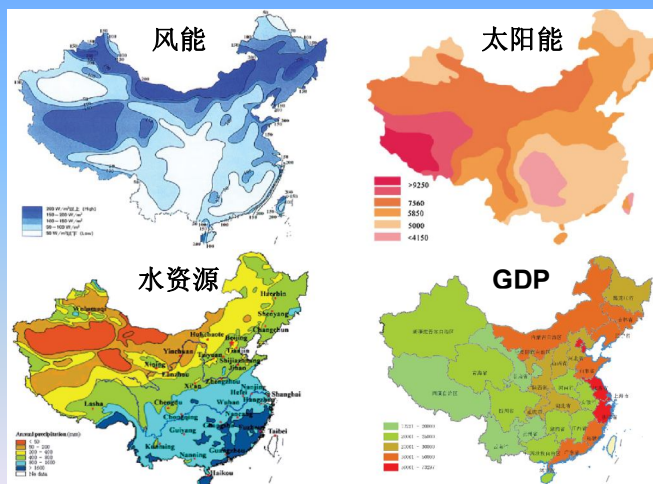


火山是最强烈的地热显示



Chile Llaima volcano, early Thursday, July 10, 2008. (AP Photo/Sernageomin-Onemi)

需要考虑的其它因素



Credit: China Meteorological Administration and China Yearbook

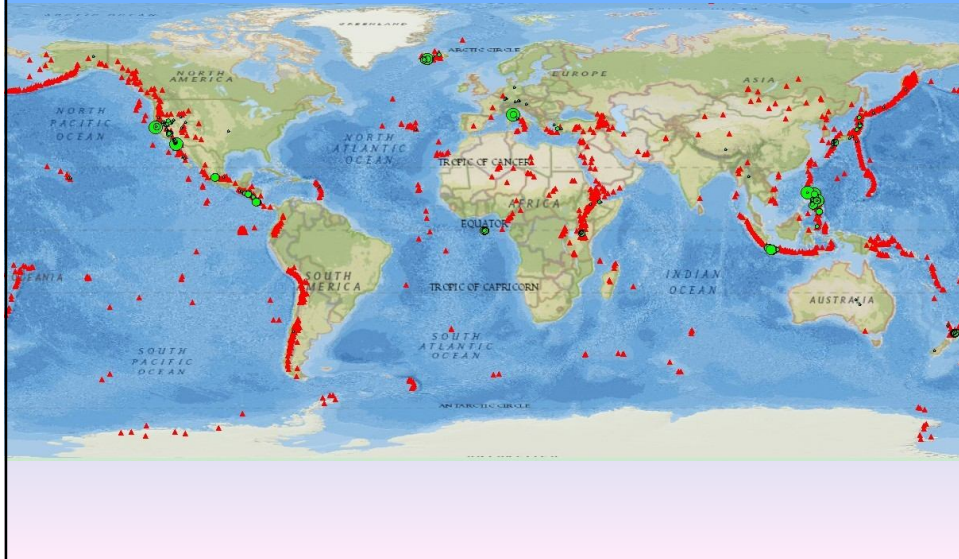
对加快地热研发的建议（3）： 盆山并重，工程示范

从资源储藏到勘探开采技术，油气与地热一脉相承，以油气工业带动地热产业顺理成章；新生代火山活动区不仅可能形成水热地热系统，而且可能具备营造干热岩增强型地热系统的地质构造条件，是开发高温乃至超临界地热能源的首选。

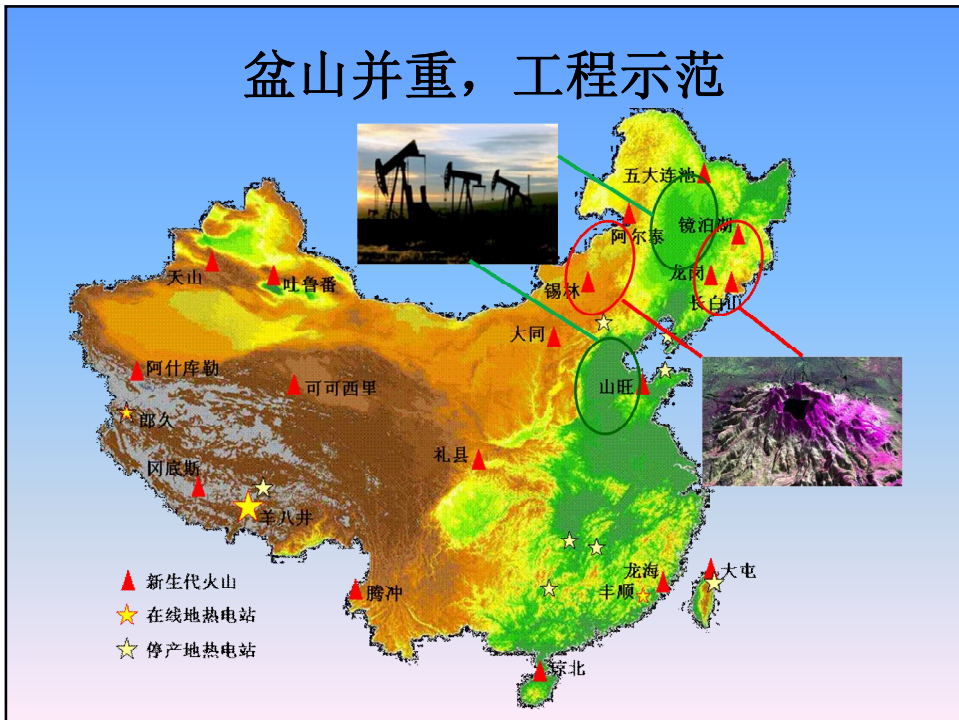
含油气体盆地在地热上大有作为

- 我国沉积盆地地热资源量巨大，可开采资源量相当于标准煤2560亿吨
- 热水是许多油气田的副产品
- 油田废弃钻孔可以改造用于地热开发
- 老油田区具有地热开采所需要的地质、地球物理和地球化学资料
- 可以利用油田设施、技术、资料高效开展EGS实验

兆瓦级地热电站与火山分布图



盆山并重，工程示范



对加快地热研发的建议（4）： *内联外合，跨越发展*

在国内新能源行业中，地热是弱势；在国际地热能源产业中，中国也是弱势。国内地热能源勘探开发的现状，既与我国丰富的地热资源潜力不相称，也与发展低碳可再生能源的国家战略不相符。地热学界和产业界需要抱团取暖，内联外合，直面挑战，充分发挥产学研优势，才能抓住机遇，实现跨越发展，让地热资源更好地为中国社会经济可持续发展加力、为人类造福。



温度测量（1）

武汉东方大地勘查应用技术研究**所HW-III型**
3000m和400m钻孔测温仪

测温范围：**0℃-100℃**
分辨率：**0.1℃**
测量深度：**400m、3000m**
显示读数：三位半液晶显示
采样速度：每秒二次。



温度测量（2）

日本**JFE**公司产**COMPACT-CT/TD**
水温-水深-电导率自动测量仪



温度传感器 - 热敏电阻
测量范围：**-5-40℃**
分辨率：**0.001℃**
测量精度：**±0.05℃**
电导率传感器：半导体
标准：**25/40/100/200/500m**
水深：**1000m**
分辨率：**1/6500 FS**
测量精度：**±0.03% FS**

温度测量（3）

美国Kuster产 K10 系列高温高压测试系统



传感器类型：硅蓝宝石传感器
直径：1.25英寸
压力分辨率：0.0003% 满量程
压力精度：0.024% 满量程
压力等级：15 K Psi (105MPa)
温度分辨率：0.001 °C
温度精度：± 0.25 °C
测温范围：0-150/177 °C (电子)
测温范围：0-350 °C (机械)
电池型号：双 “C”型锂电池
内存容量：1,400,000 组数据
采样速率：最快1组数据/1秒

温度测量（4）

英国ASL 产F200 高精度温度测量仪



测量范围：-200°C - +850°C
测量精度：优于±0.01 °C
分辨率：0.001 °C
复现性：±0.002 °C
稳定性：长期一般<0.002W/a
探针电流：1mA恒源电流
操作条件：0°C - 50°C
电源：90 - 264 VAC
最大输入：30 VA

热物性测试（1）



斯洛伐克Applied Precision产ISOMET 2114便携式热导仪

非稳态快速测量型热导仪

测量原理: $K = \frac{Q[\ln(t/t_0)]}{4\pi(\Delta T - \Delta T_0)}$

测量范围: **0.15-6W/(m·K)**

测量精度: **5%-10%**

复现性: **±3.0%**

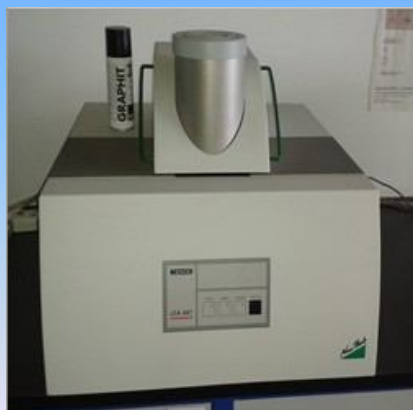
温度范围: 常温

测量时间: **10-16分钟**

样品尺寸: 无特殊要求

热物性测试（2）

德国Netzsch产激光导热仪LFA447 NIB/447/2-4I-BU



温度范围: **RT - 300℃**

热扩散系数范围: **$10^{-8} - 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$**

导热系数范围: **0.1 - 2000 W/(m·K)**

数据采集频率: **500 kHz**

样品直径: 圆片, $\phi 12.7 \text{ mm}$

样品厚度: **0.1 - 6 mm**

同步测量热扩散系数和比热

热物性测试（3）

夏溪XIA-TC-THW-S-02导热系数测量仪



测量原理：瞬态热线法
参考标准：ASTM D2717-95
测量范围：0.005-20 W/(m·K)
测量精度：±2%
恒温环境：-40-120 °C
复现性：±1%
分辨率：0.0005 W/(m·K)
测量时间：2-200s
样品形状：无特殊要求
样品尺寸：最小厚度0.3mm，
最小直径10mm

热物性测试（4）

德国L-GM Lippmann公司产快速高精度激光热导仪



测量范围：0.02 - 25 W/(m·K)
测量精度：3%
测量时间：1 - 1.5 min/个

温度范围：常温
样品尺寸：一面抛光，粗糙度<1 mm
形状不要求，长度不小于40 mm

能谱测量

捷克GF Instruments产1024道伽马射线
能谱分析仪Gamma Surveyor II



测量范围: 30keV - 3MeV

工作温度: -10 °C - 50 °C

测量精度: ± 0.8 ppm U
 ± 1.5 ppm Th
 ± 0.14 % K

大地电磁测深



结束语

随着地热勘探开发技术的进步特别是增强型地热系统技术的日益成熟，地热资源已经不再局限于水热系统，也包括干热岩。中国西部沸泉众多，具有丰富的高温水热系统，中国东部中生代火山活动强烈，很可能具有丰富的干热岩资源。我们应该与时俱进，改变观念，调整国家地热能源开发战略布局，在继续鼓励西部高温水热系统地热能源开发的同时，大力开展盆地地热和火山地热能源勘探开发，选址选择打造示范工程，产学研精诚合作，打造示范工程，实现中国地热产业的跨越式发展，让地热资源更好地为中国社会经济可持续发展加力、为人类造福。

敬请指正
期待合作