

地热 · 温泉 · 旅游与 地热能综合利用

东华理工大学 刘金辉

liujh1961@163.com

2019-09-02 · 湖北秭归实习基地 ·

神奇的地热

老师们、同学们，你们**是否见过**温泉——那地下流出的热气腾腾的泉水？当你沐浴其中倍感舒适之时，**是否想知道**这种天然之水为什么会如此温暖？你**是否看过**火山爆发的奇观？**是否想弄明白**为什么地下竟会喷出如此威力无比的“火焰”？你也许会猜想地球内部一定**非常灼热**，而同时又会感到奇怪为什么平时我们会对这种热**浑然不觉**？地球内部之热如何产生？地球这个庞大的热库是否能被加以利用造福人类？



报告提纲

- 一、什么是地热能？
- 二、何谓温泉？
- 三、温泉是如何形成的？
- 四、温泉与旅游有什么关系？
- 五、地热资源指的是什么？
- 六、温泉热能应如何综合利用？

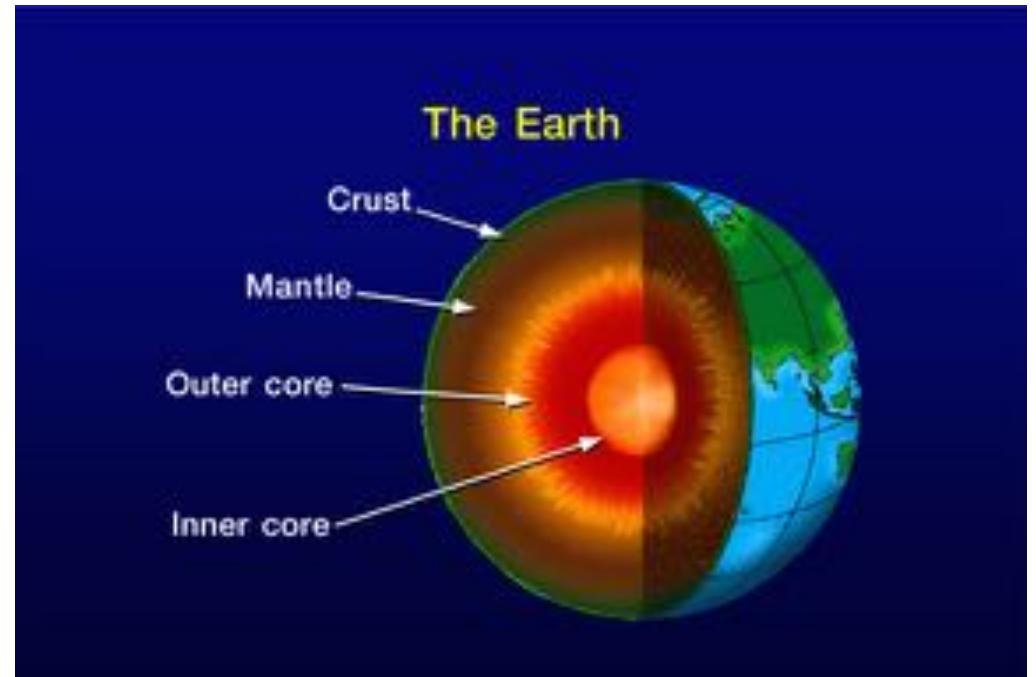
一、什么是地热能？

1. 地热能

地球内部包含的热能
叫做“地热能”。

Geo means **Earth**
Thermal means **Heat**

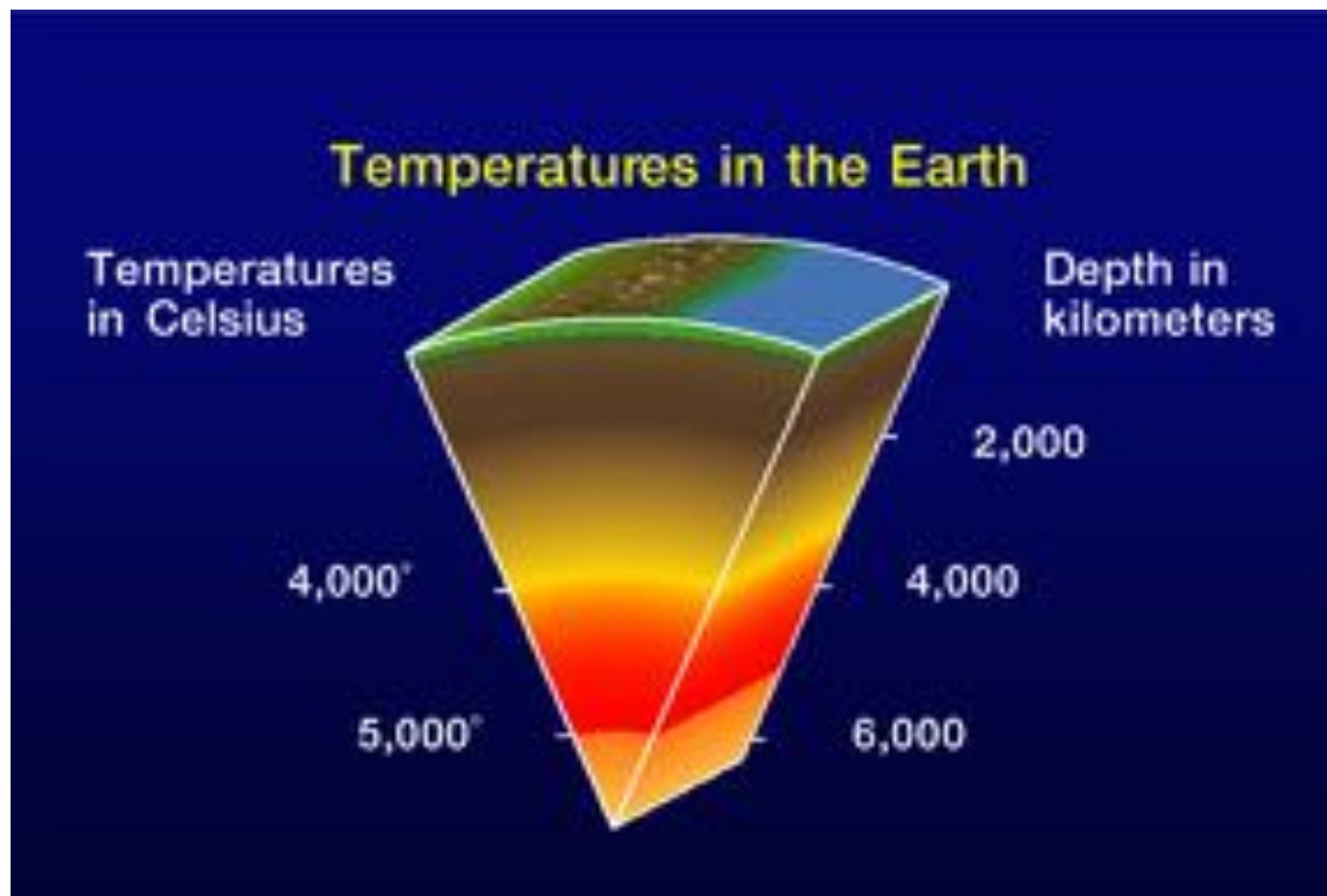
Geothermal energy



地球分为地壳、地幔、地核。地壳（平均厚约**33km**）是地球内热的“绝缘体”，地幔（平均厚约**2900km**）为半熔融状态，地核（液体外核和固体内核，厚约**3450km**）。

一、什么是地热能？

1. 地热能-地球内部的热能

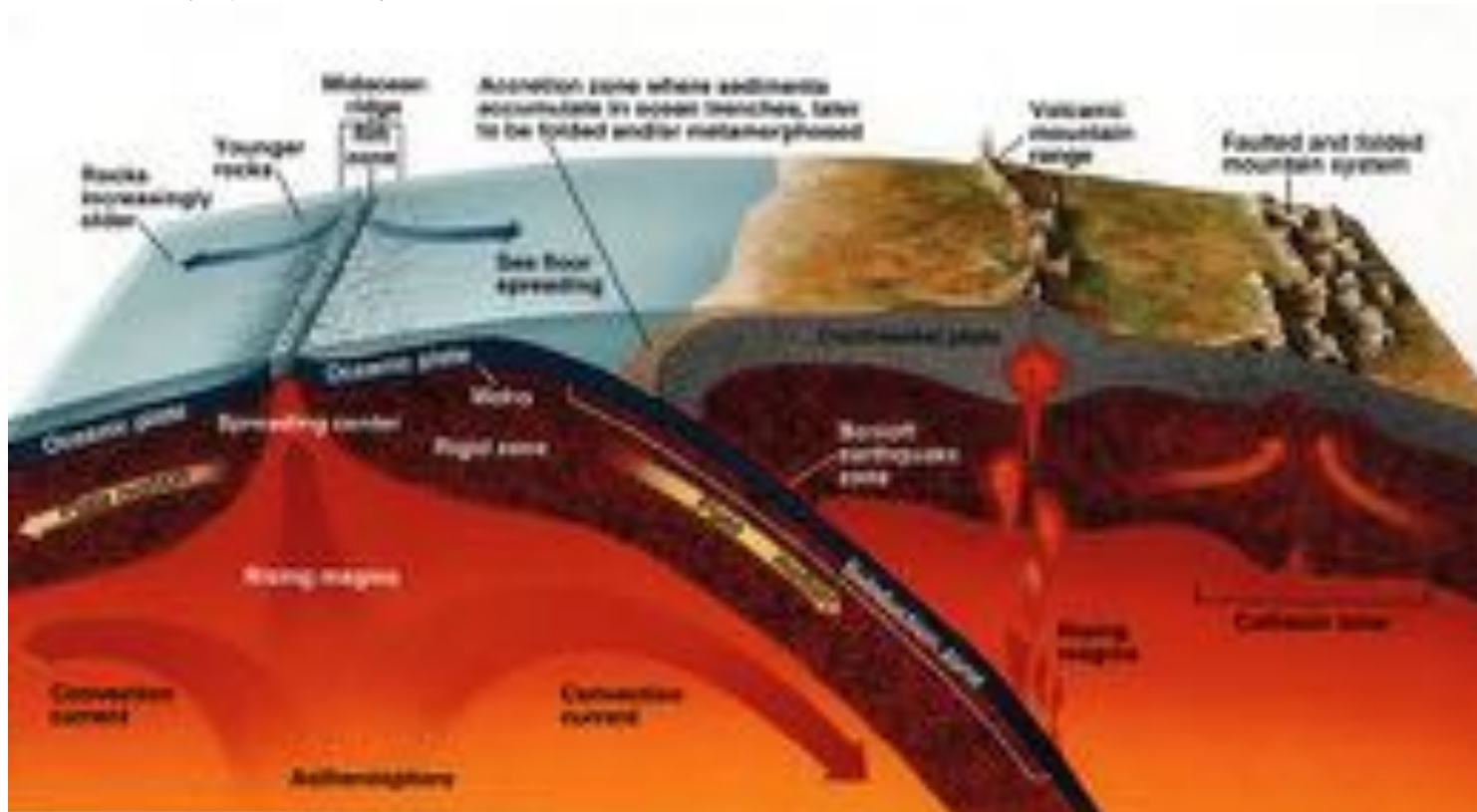


地温受地球内热的影响，越往深部，温度越高。每垂直深入地下100m或1km的地温增加，称为地温梯度，单位为 $^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 或 $^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 。

一、什么是地热能？

2. 地球内热的主要来源

地球内热的**50-80%**来自**放射性元素衰变热**，其余部分来自行星的演化余热。

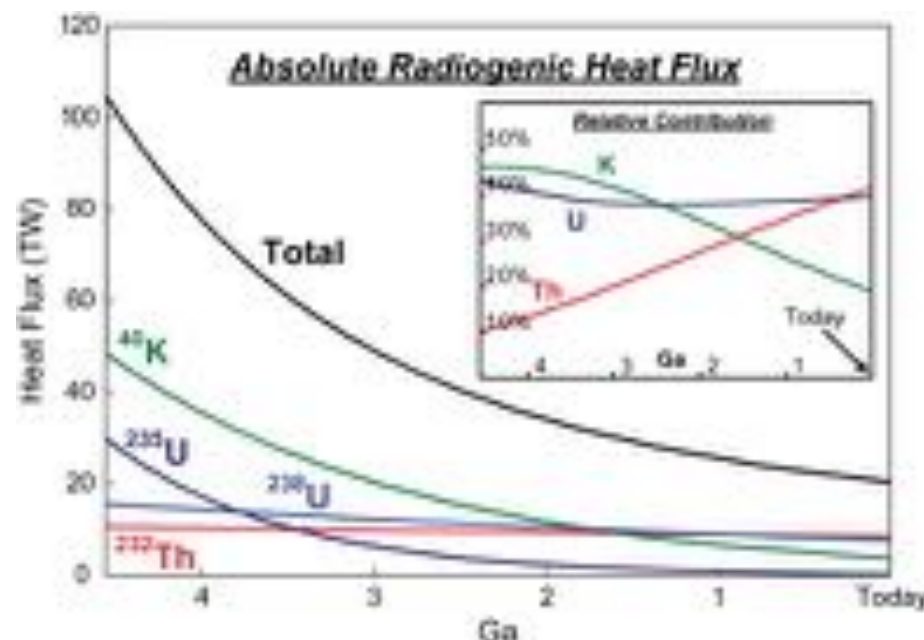


一、什么是地热能？

2. 地球内热的来源

地球以传导方式在其表面散发出巨大的热量。岩石中**半衰期长、丰度高、生热量大的U、Th、K**三种放射性元素的放射性生热是**地球内热的主要来源**。

岩石生热率（A）是指单位体积岩石中所含放射性元素在单位时间内由放射性衰变所产生的能量，单位为 $\mu\text{W}/\text{m}^3$ 。



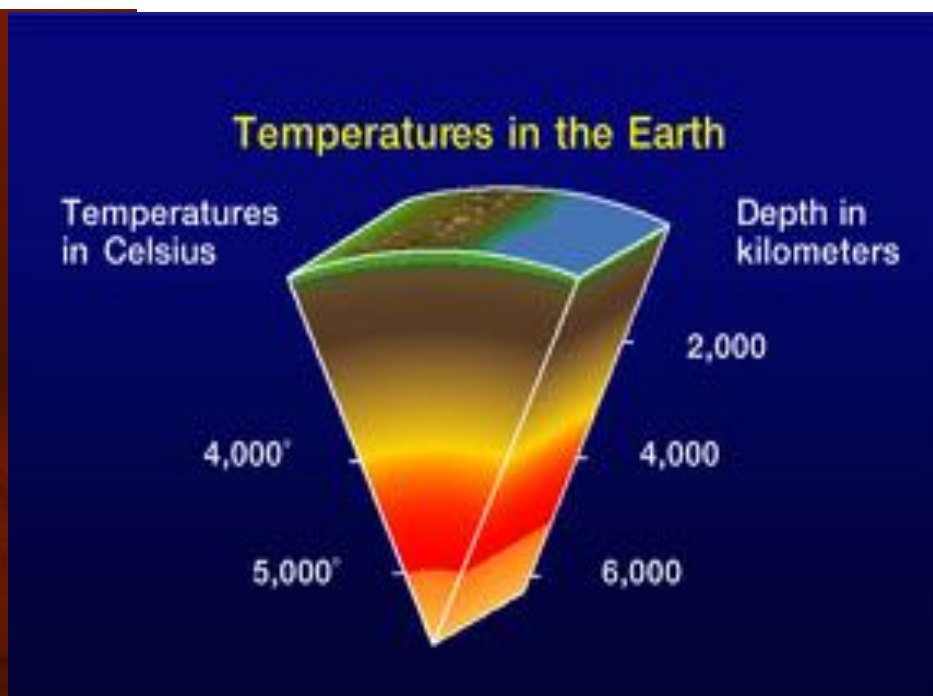
Arevalo et al. (2009)

^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th 和 ^{40}K 的半衰期分别为
 4.468×10^9 年 (^{238}U), 7.038×10^8 年 (^{235}U),
 1.41×10^{10} 年 (^{232}Th) 和 1.28×10^9 年 (^{40}K)

($1\text{TW}=10^{12}\text{W}$)

一、什么是地热能？

地球是一个巨大的火球，因地壳岩石的热导率小，使我们身居其上而浑然不觉。



奇特的地热显示



火山是最强烈的地热显示



火山是最强烈的地热显示

奇特的地热显示



火山是最强烈的地热显示



**地下热水到达地表时, 它们可以形成喷气孔、温泉、 沸泥潭
及其它有趣的地热显示(Geysers, Yellowstone)**

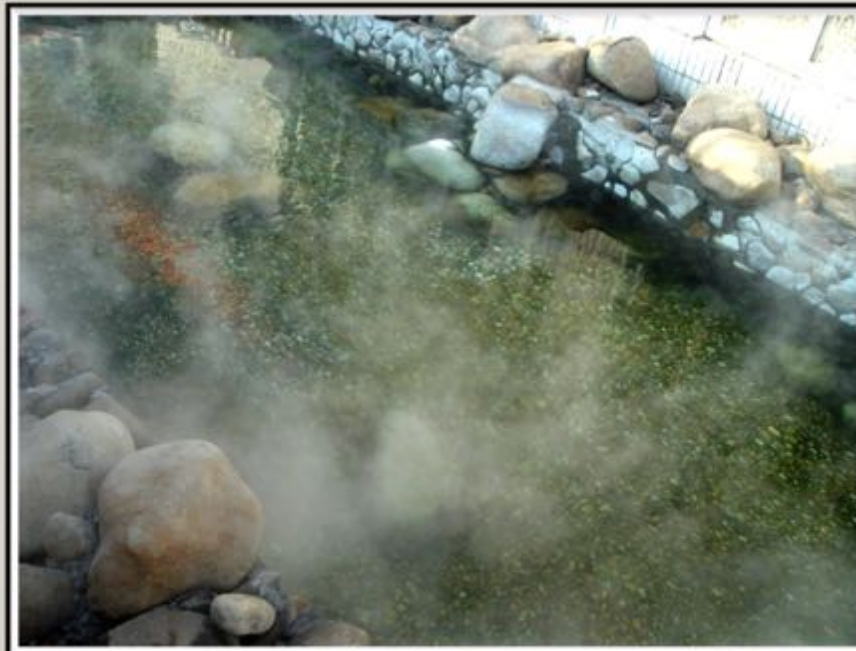
二、何谓温泉？

温泉是泉水的一种，**地下热水出露地表成为温泉**。温泉的定义，各国的标准稍有不同，例如，日本的温泉法规定：温泉泉源温度为 25°C 的矿泉水，称之温泉，意大利、法国、德国等欧洲国家是 20°C ，美国是 21°C ，中国是 25°C （台湾是 30°C ）。在学术上，温泉的学术定义中把**温度高于当地平均气温 $5-9^{\circ}\text{C}$ 的地下水的天然露头称为温泉**。

Hot spring:

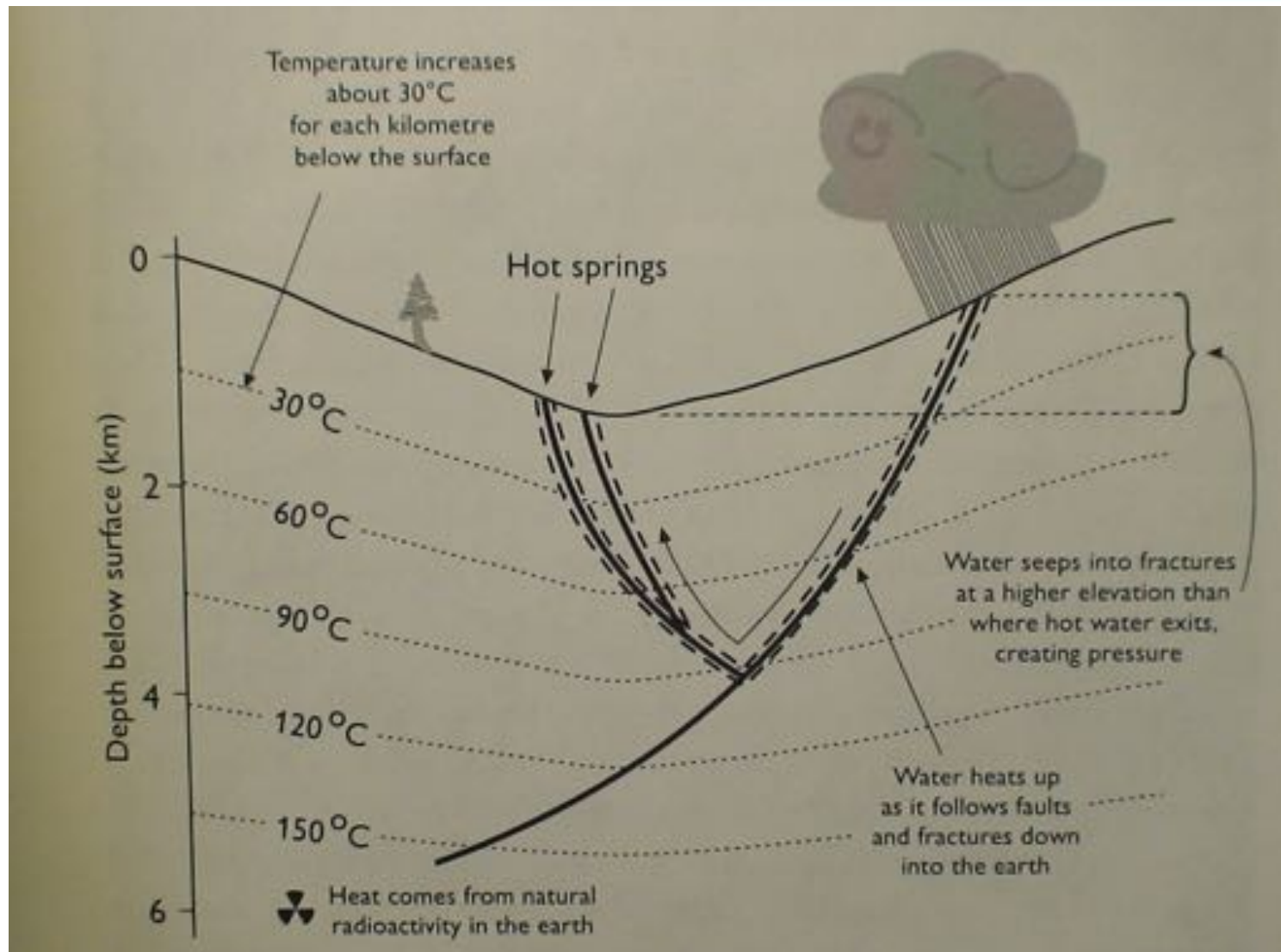


A natural spring producing warm water, usually at a temperature above that of the human body.



江西宜春温汤温泉

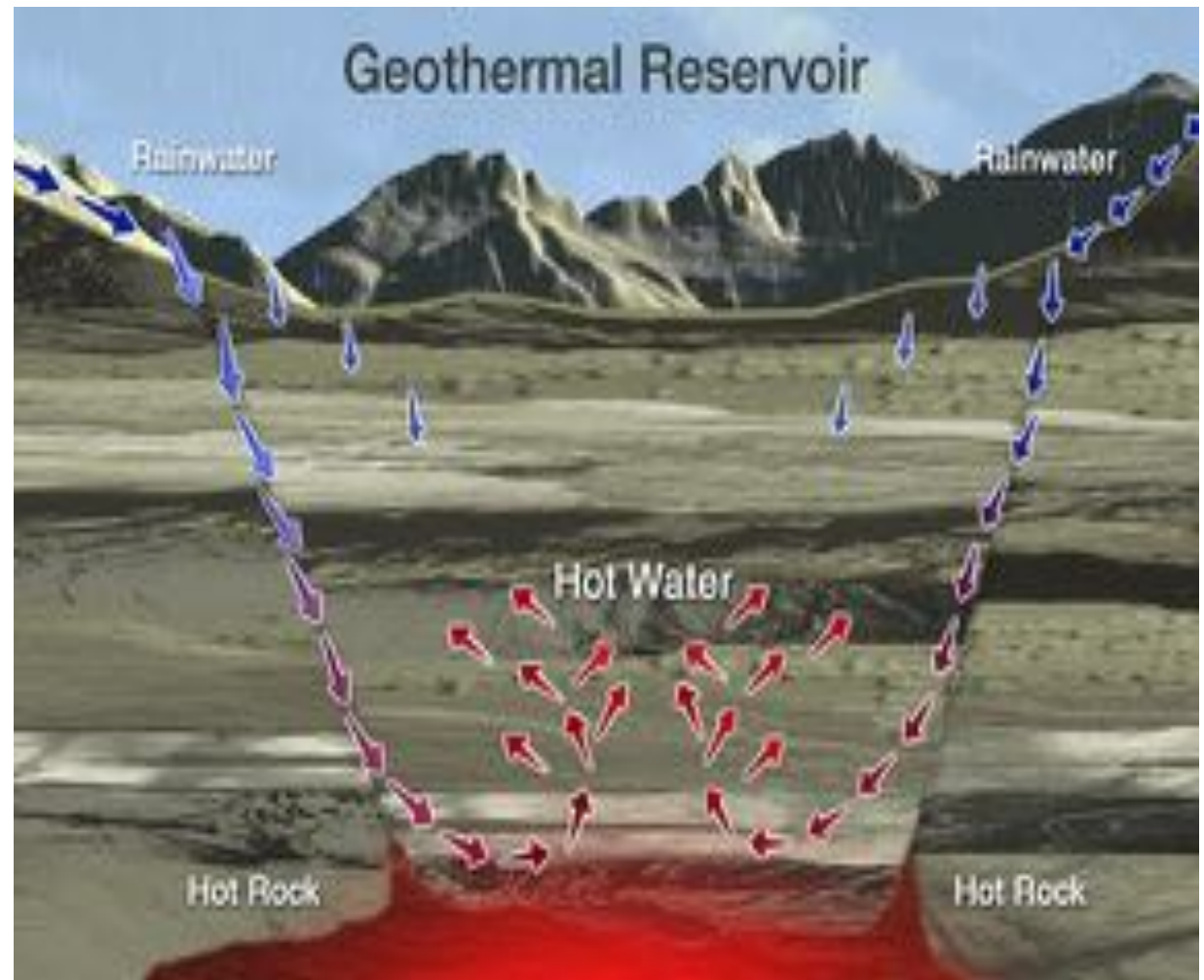
三、溫泉是如何形成的？



After G. Woodsworth , 1999

三、温泉是如何形成的？

- ◆ 地下热水中水的来源主要是大气降水。大气降水渗入到地下，进行深循环，在深处加热后，再沿断裂上升出露成泉
- ◆ 形成温泉，必须有适当的地形、地质条件，如理想的地质构造、断裂构造的存在、起伏较大的地形、充足的降水，以及异常的地温梯度

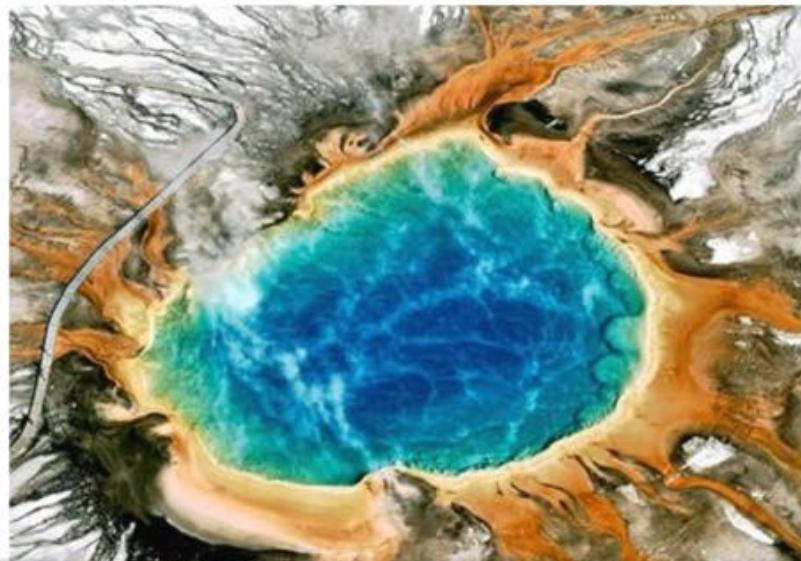


四、溫泉與旅遊有什麼關係





**地下热水到达地表时, 它们可以形成喷气孔, 温泉, 沸泥潭
及其它有趣的地热显示**



**地下热水到达地表时, 它们可以形成喷气孔, 温泉, 沸泥潭
及其它有趣的地热显示**



**地下热水到达地表时, 它们可以形成喷气孔, 温泉, 沸泥潭
及其它有趣的地热显示(Steamboat Geyser, Yellowstone)**



**地下热水到达地表时, 它们可以形成喷气孔, 温泉, 沸泥潭
及其它有趣的地热显示**



**地下热水到达地表时, 它们可以形成喷气孔, 温泉, 沸泥潭
及其它有趣的地热显示**







**温泉丰富了人们的生活方式,提高了人们的生活质量与乐趣,
充满无限的享受与快乐!**

五、地热资源指的是什么？

地热资源

赋存于地球内部的热能是一种巨大的自然能源，它通过火山爆发、温泉、间歇喷泉及岩石的热传导等形式不断地向地表传送和散失热量。

凡是在一定的技术条件下，能被经济而合理地取出来的那部分地下热能，称之为地热资源。



五、地热资源指的是什么？

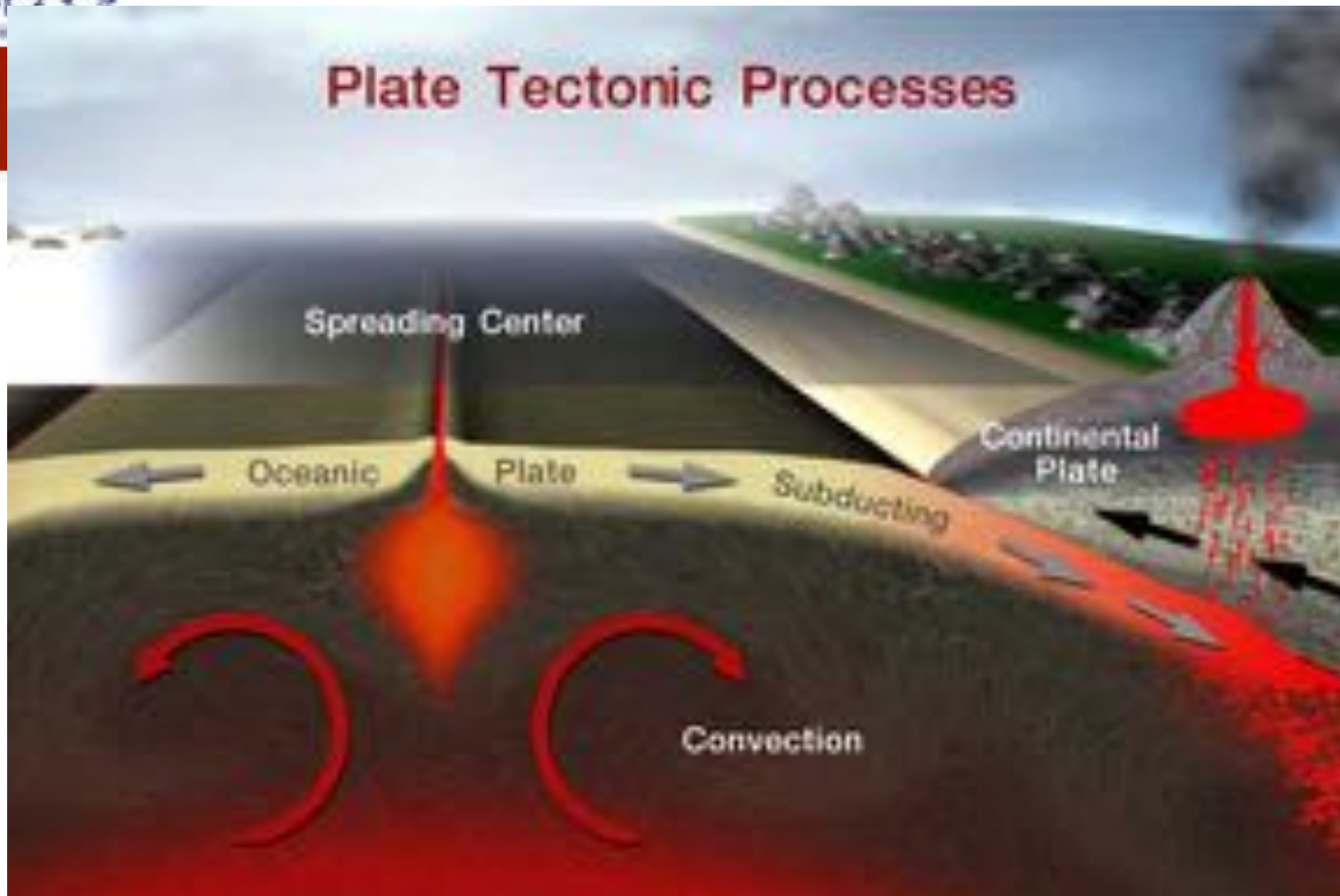
地热资源

地热资源按其形成的**四个要素**（热储层、储热盖层、热流体通道和热源）可划分为3种基本类型：

- 火山和近期岩浆活动型地热资源
- 隆起带断裂构造型地热资源
- 沉降带盆地型地热资源



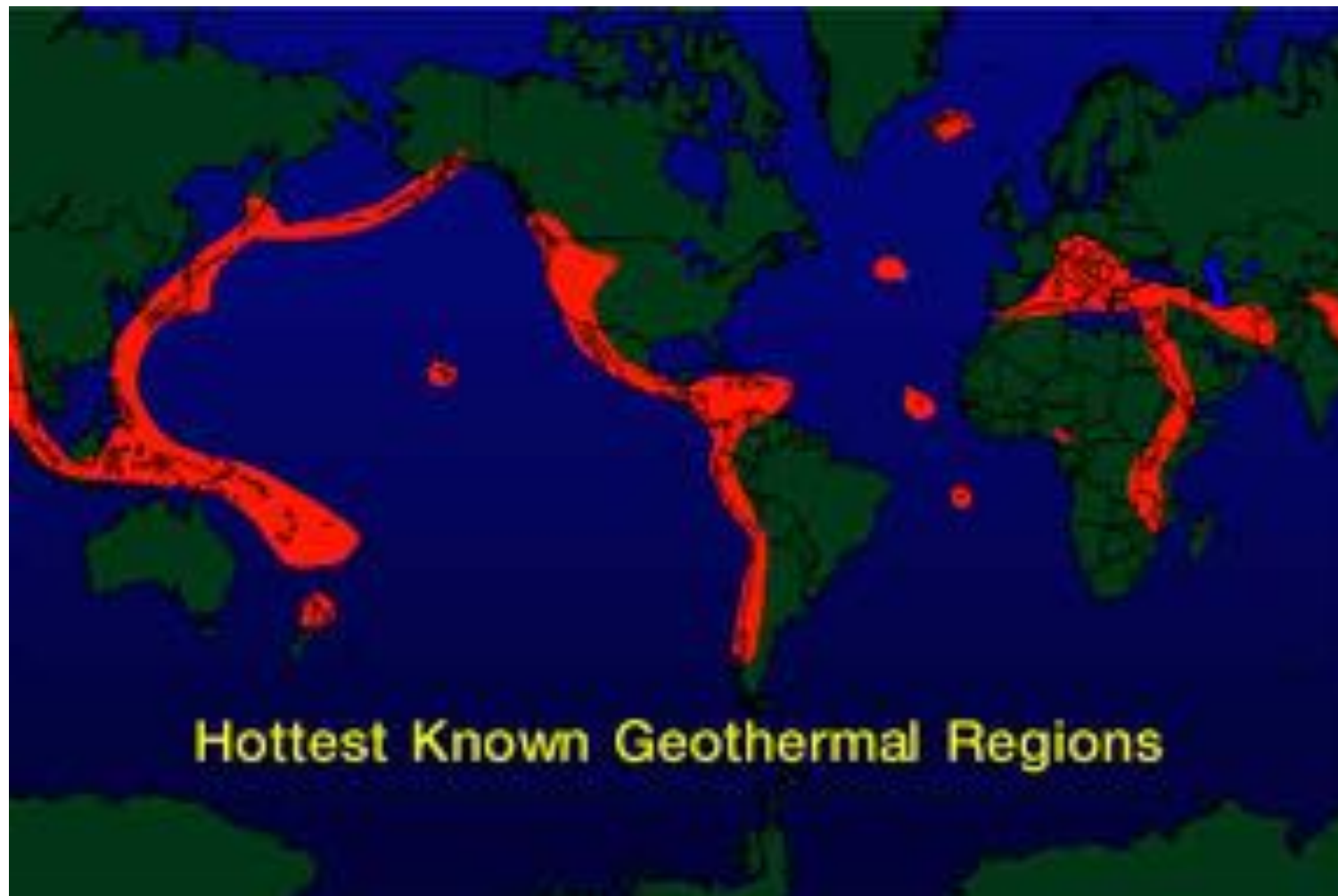
Earth's crust is broken into huge plates that move apart or push together at about the rate our fingernails grow. Convection of semi-molten rock in the upper mantle helps drive plate tectonics.



New crust forms along mid-ocean spreading centers and continental rift zones. When plates meet, one can slide beneath another. Plumes of magma rise from the edges of sinking plates.

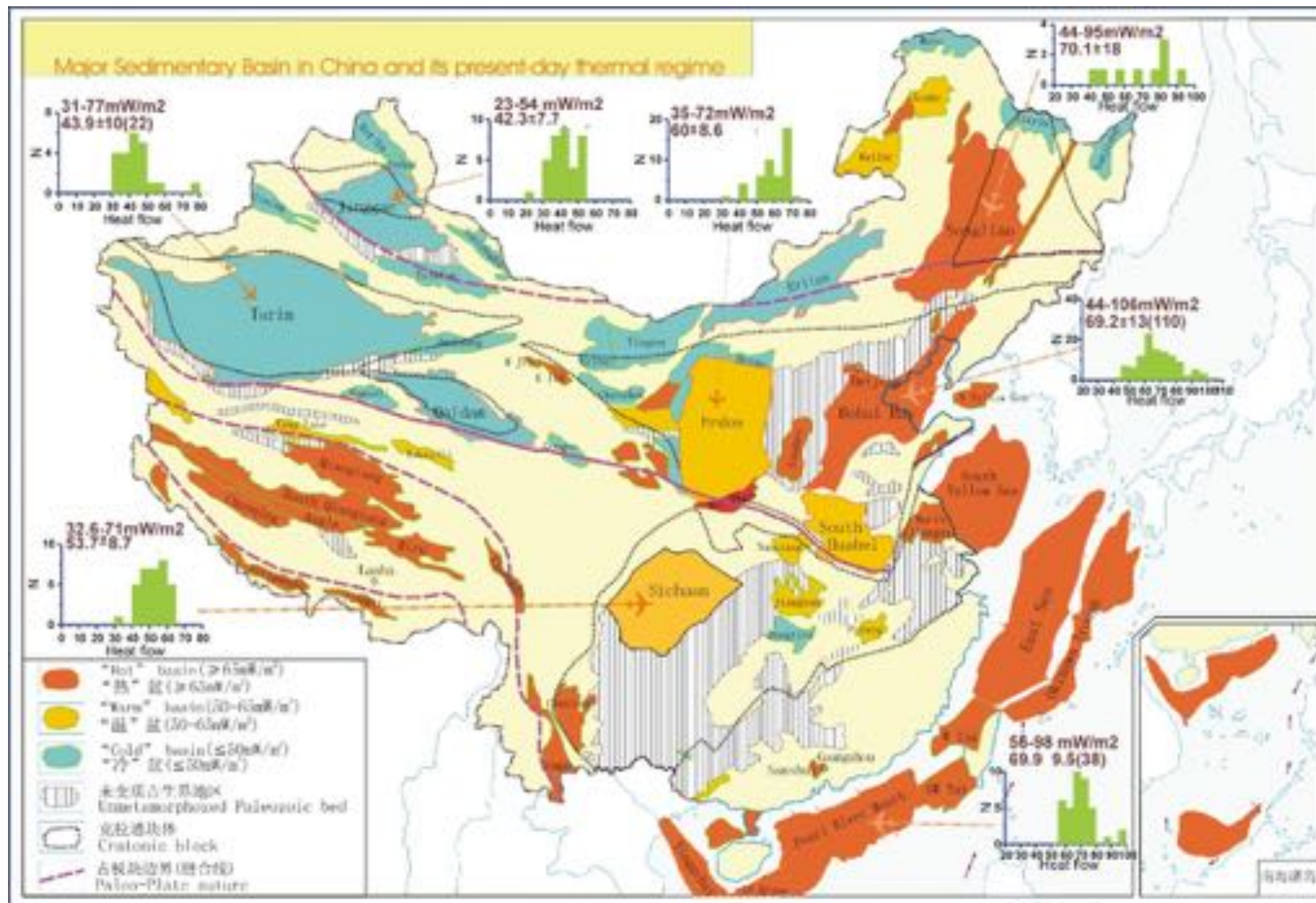
五、地热资源指的是什么？

■火山和近期岩浆活动型地热资源



五、地热资源指的是什么？

中国地热资源分布





西藏高温地热喷泉





西藏搭各加间歇喷泉
(据郑克棧, 2008)

羊八井地热井329.8°C



五、地热资源指的是什么？

■隆起带断裂构造型地热资源

A、**胶辽——东南沿海带**。包括辽东、胶东半岛、湖南、湖北、江西、福建、广东、台湾等热水点800多处，占全国总数的1/3。超过100℃的热水点不多见，但在台湾和福建有多处达到100℃以上。

B、**冀垫——雪峰带**。包括河北、山西、太行山、秦岭东段、湖南西部、广西东部等山区。热水点300多处，水温多小于60℃，为中低温热水。

C、**南北热水带**。包括云南、四川西部及宁夏等，热水点100多处，水温大多大于60℃。

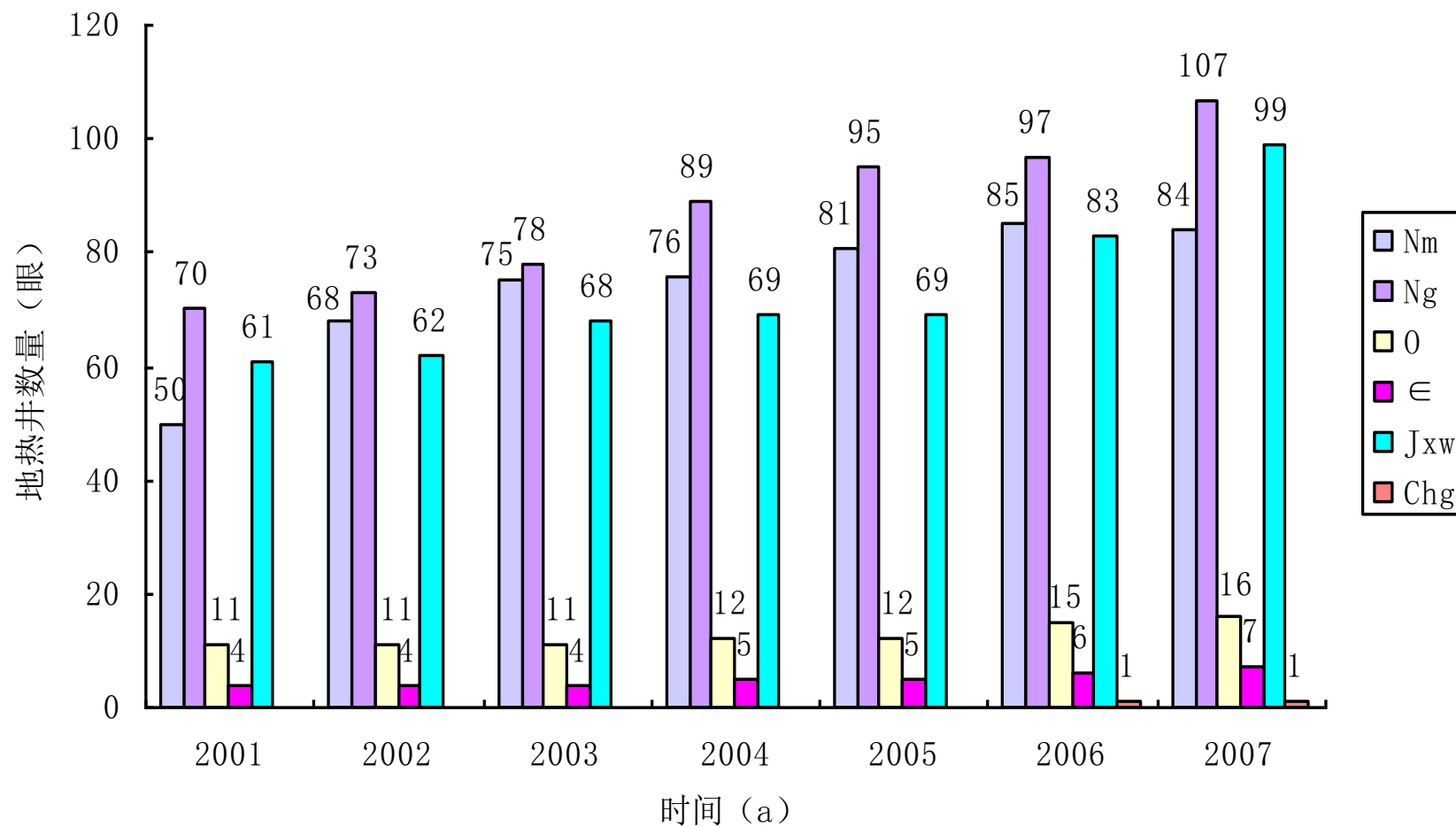
五、地热资源指的是什么？

■沉降带盆地型地热资源

A、**松辽—海南热水带** 从松辽平原—华北平原—
江汉平原—雷琼盆地。

B、**呼伦贝尔—四川热水带—呼伦贝尔—陕北高
原—四川盆地。**

天津主要地热资源开采层



据张百鸣，2008

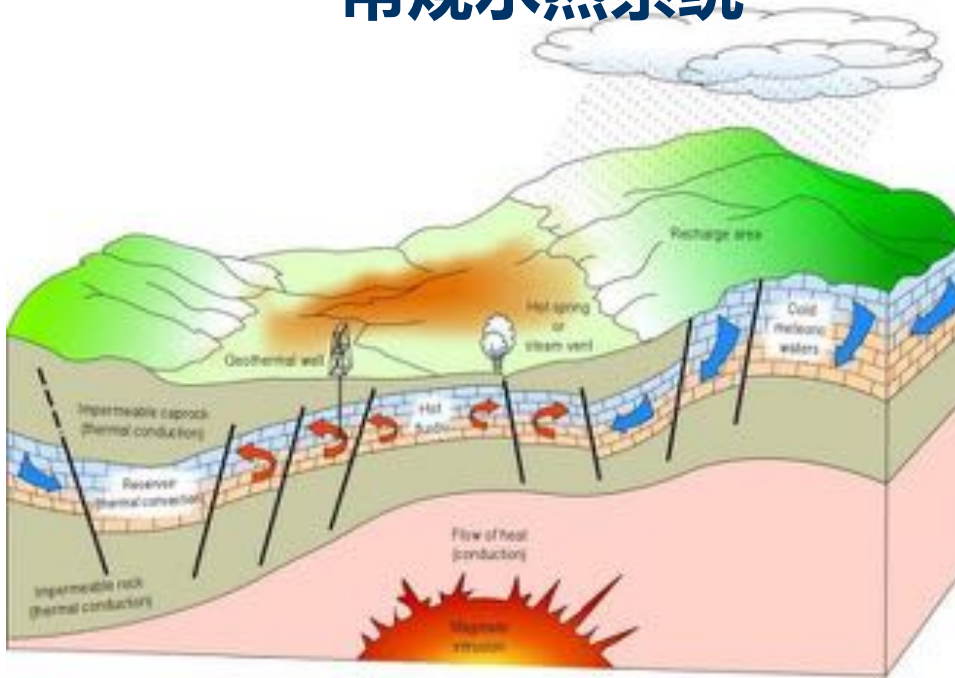
五、地热资源指的是什么？

地热资源按温度可划分为3种基本类型：

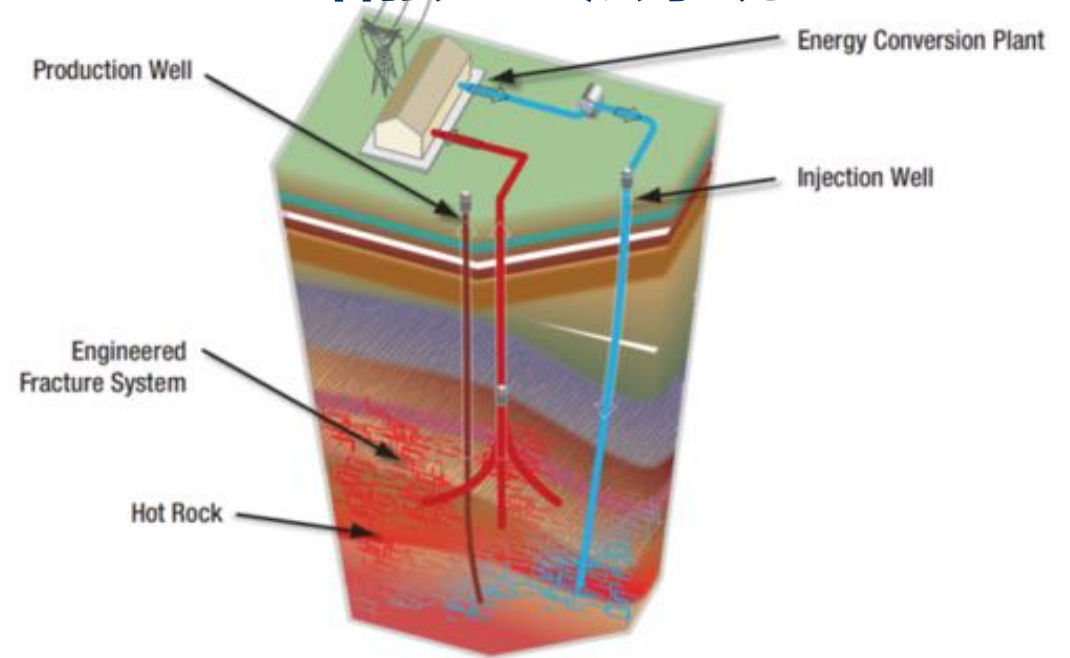
- 高温地热资源 ($t > 150\text{ }^{\circ}\text{C}$)
- 中温地热资源 ($90\text{ }^{\circ}\text{C} < t \leq 150\text{ }^{\circ}\text{C}$)
- 低温地热资源 ($t \leq 90\text{ }^{\circ}\text{C}$)

地热系统

常规水热系统



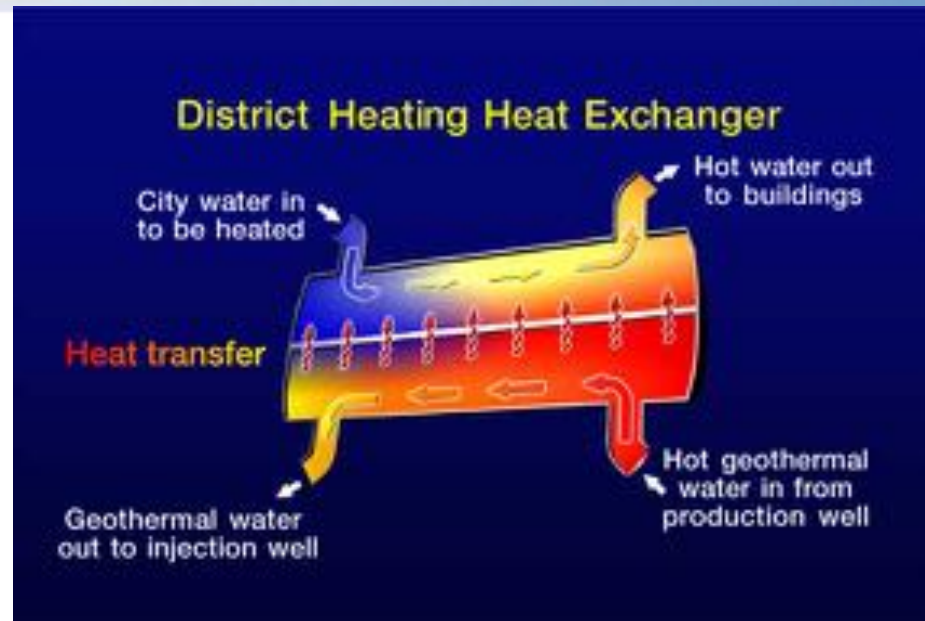
增强型地热系统



Credit: International Geothermal Association

六、溫泉熱能應如何綜合利用？

地熱采暖



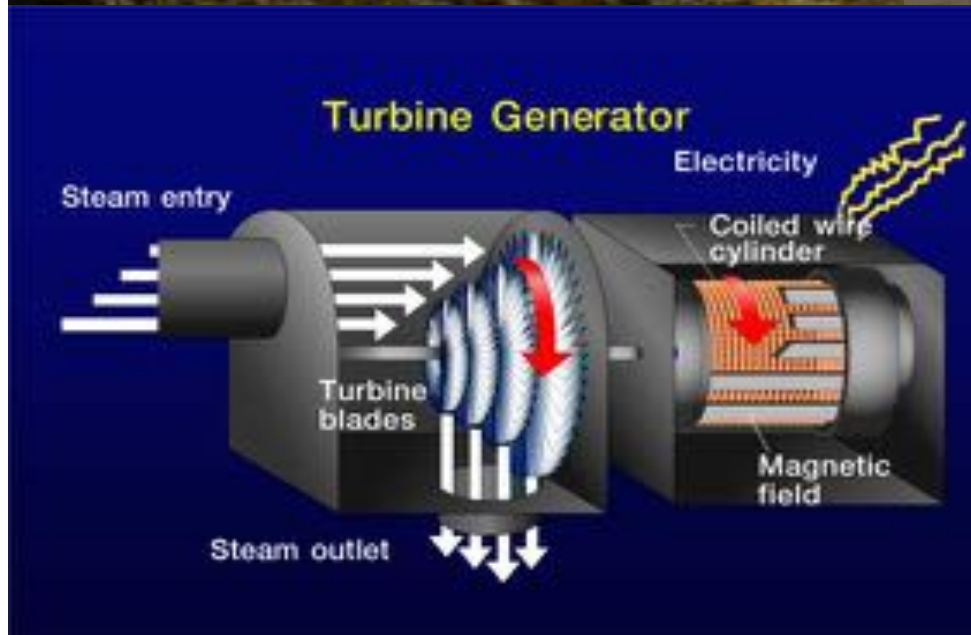
地热温室



疗养与休闲



地热发电



地热发电

❖ 羊八井地热电厂

1977年9月第一台1MW试验机组试运行成功，1991年装机容量达到24.18MW。截止到2009年6月30日，累计发电23.5亿千瓦时。2008年极端发电功率达到22MW，年发电量达到1.4635亿千瓦时，为缓解藏中电网冬春季电力供需矛盾起到了非常重要的作用。



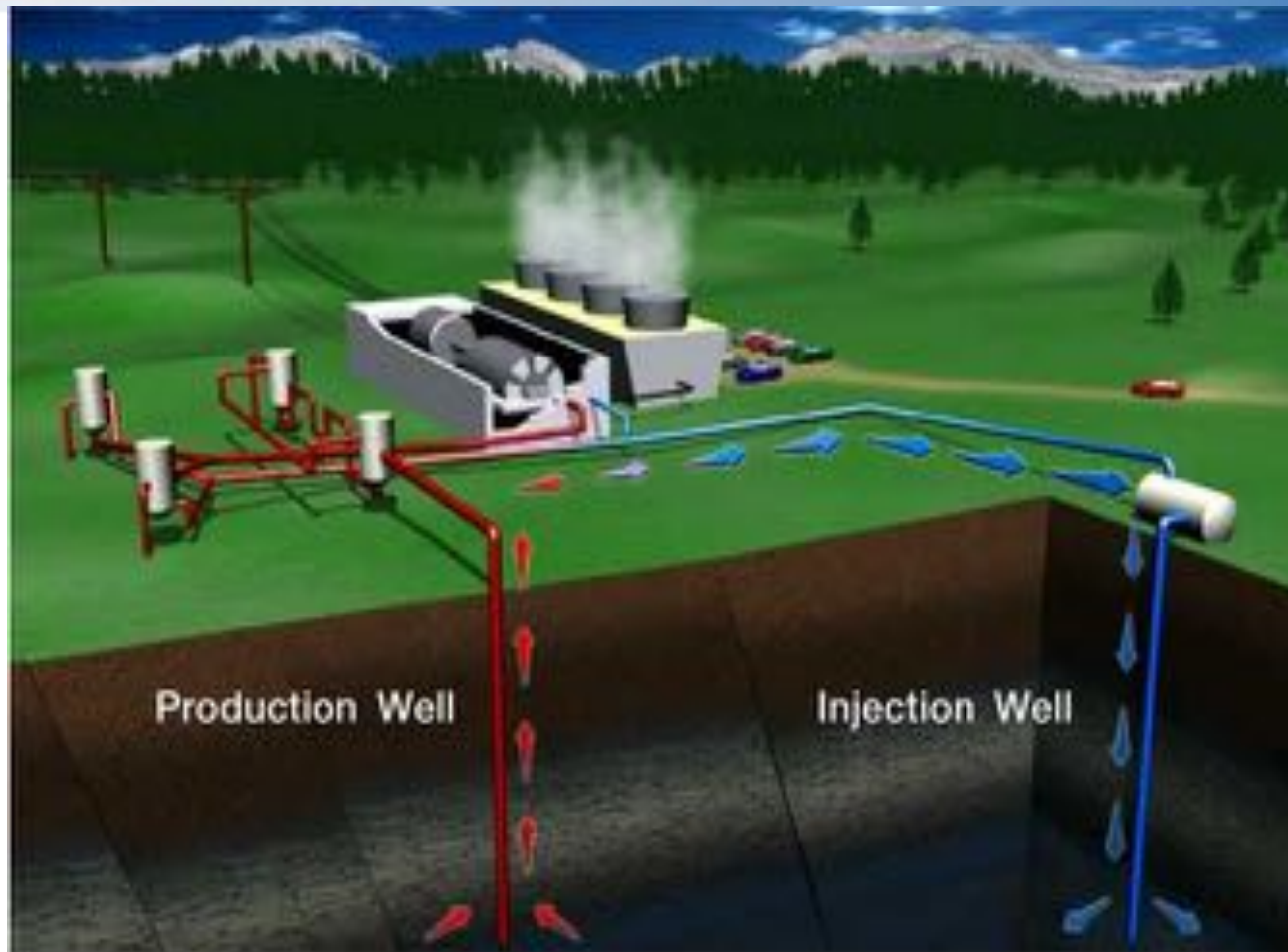
羊八井地热田第一次发电试验现场

The first test site for electricity generation in
Yabajing Power Plant, Tibet





干热岩地热发电



在高温但无水或无渗透率的热岩体中，通过**水力压裂**等方法制造出**一个人工热储**，将地面**冷水注入**地下深部获取热能，然后在地表建立换热站和发电厂进行发电。

地源热泵



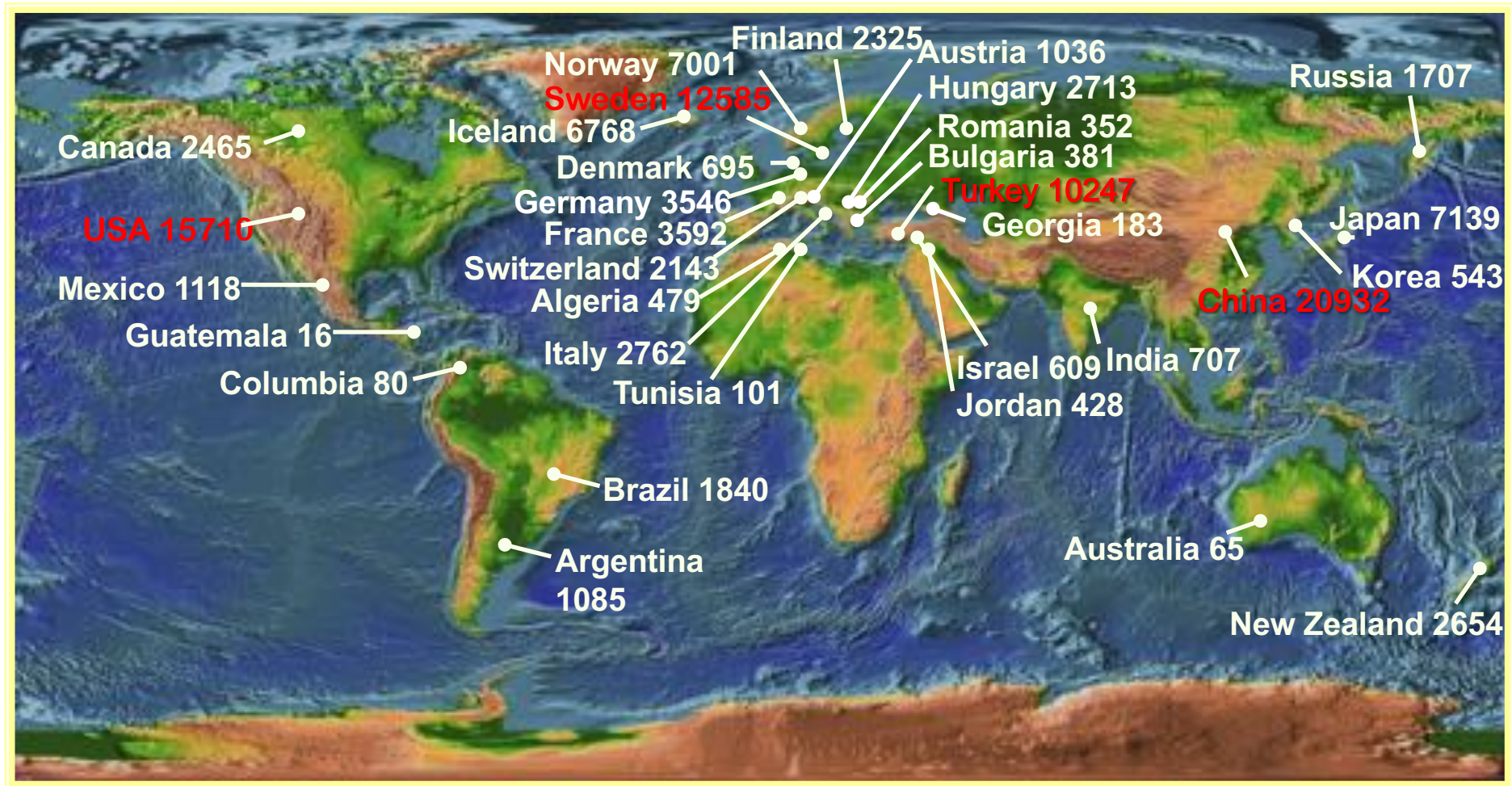
国家游泳中心景观水池
(Water Cubic)



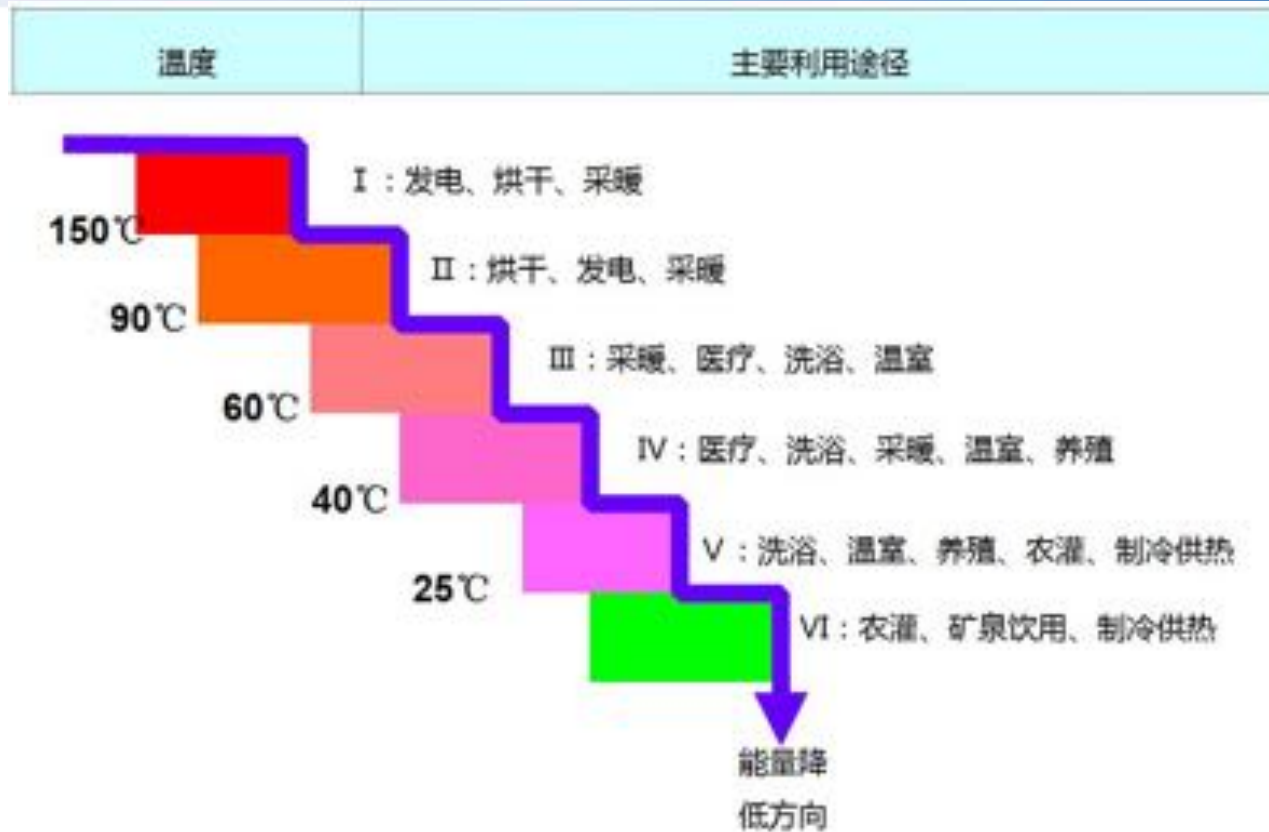
奥运村
Olympic Village

北京地源热泵利用已逾1000万 m^2 ，沈阳地源热泵利用已逾1800万 m^2

全球地热直接利用量(GWh/a)



地热资源最集约的利用途径——综合梯级利用



所谓的地热资源综合梯级利用就是**分批次**，按照各种用途的水温要求，**由高到低、依次利用**，以求**最大程度地提高地下热水的有效利用温差**，从而达到地热能的高效利用。

广东丰顺地热开发利用

光辉历史



一号机：1970年第一台试验用86kW单级闪蒸发电机组发电成功，填补了国内地热发电的空白，使我国成为世界第5位地热发电国家。

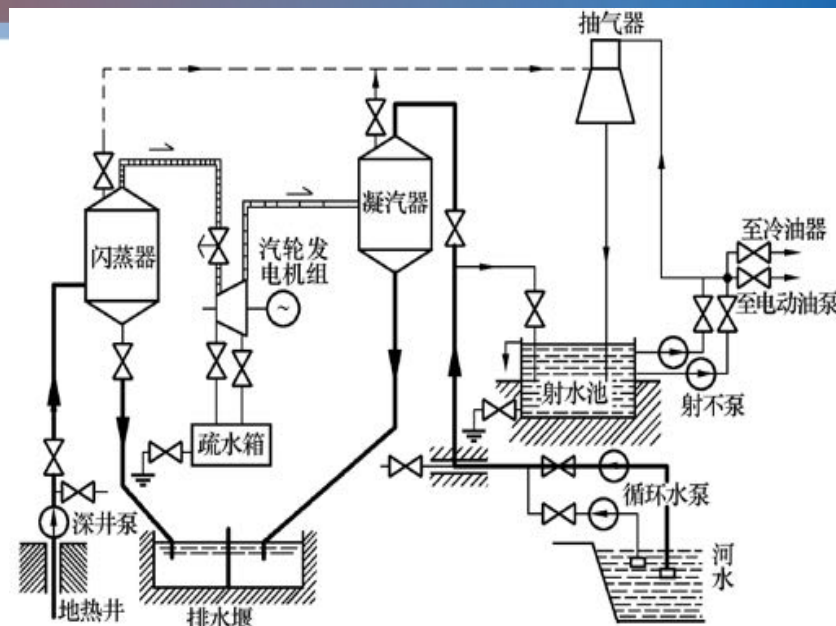
二号机：1978年一台200kW双工质循环发电机组发电试验成功。

三号机：1982年建成300kW单级闪蒸发电机组，一直稳定运行至今，实现了地热电站的长期运行的目标。

广东丰顺地热开发利用



91℃地热水进入闪蒸器产生蒸汽推动汽轮机发电，产生300kW电力输出。20年运行154692h，机组平均年利用系数88%，远远高于世界平均水平（73%）。



序号	主要参数	设计工况	实际运行工况
1	热水初温	91℃	91℃
2	热水流量	230t/h	228.3t/h
3	循环水年平均温度	28℃	14.4℃
4	循环水量	418.6t/h	515t/h
5	闪蒸压力	34kPa	29kPa
6	蒸汽流量	7.362t/h	8.805t/h
7	进汽压力	32kPa	26kPa
8	排汽压力	7.8kPa	6.3kPa
9	发电功率	0.293MW	0.32MW
10	汽耗率	25.1kg/kW·h	27.5kg/kW·h
11	热耗率	61745kJ/kW·h	62189kJ/kW·h
12	单位热水发电量	1.27kW·h/t	1.4kW·h/t
13	厂用电	125kW	90kW

注 实际运行工况为 1984 年 1 月 12 日测记数据。

地热资源综合梯级利用集成技术研究

国家科技支撑计划 (2012-2014)

■ 针对南方地区地热资源利用率低、地热水排放温度过高的问题，结合地热温泉旅游，在南方地区建成了**首套地热资源综合梯级利用示范系统**。



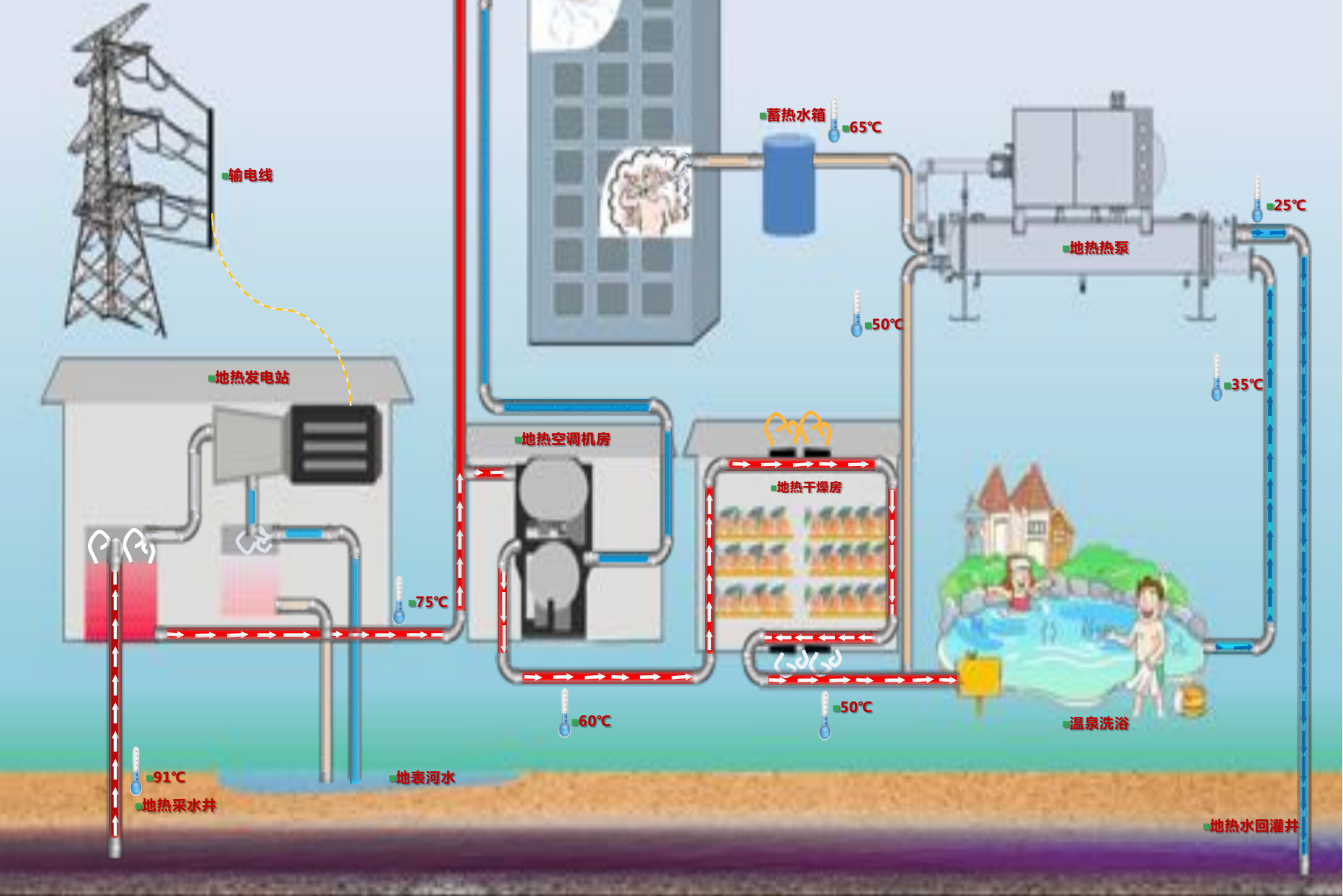
➤ 现有开发模式:

$$\eta = \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t_0} = \frac{91 - 73.5}{91 - 21.4} = 25.1\%$$

➤ 综合梯级利用模式:

$$\eta = \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t_0} = \frac{91 - 34.2}{91 - 21.4} = 81.6\%$$

地热资源综合梯级利用集成系统



地热综合梯级利用示范系统

2014年，建成了国内南方地区首套地热资源综合梯级利用示范系统，实现地热资源利用率高达**80%**，节能减排效益显著，该示范系统列入国家节能减排综合政策示范城市（梅州）重点工程。



示范系统全景



示范点
丰顺金德宝酒店



示范系统数据监测平台

前景与展望

- 1、**地热产业规模将不断扩大**，实现**地热资源可持续发展**
- 2、地热的**直接利用和梯级利用**成为主要发展趋势
- 3、**地热水在农、林、牧、副、渔业**方面有更广泛的利用
- 4、**浅层地温能**前景广阔，应用面积仅占北方城镇建筑面积的1.6%，发展空间很大
- 5、**增强型地热（干热岩地热）**系统全球瞩目，是地热能研究与开发利用的重要方向
- 6、地热在**旅游业**和房地产业的开发利用

谢谢大家！
敬请批评指正！

