



新能源及其发电技术

东南大学电气工程学院

张建忠



第6章 地热发电

6.1 地热资源和分类

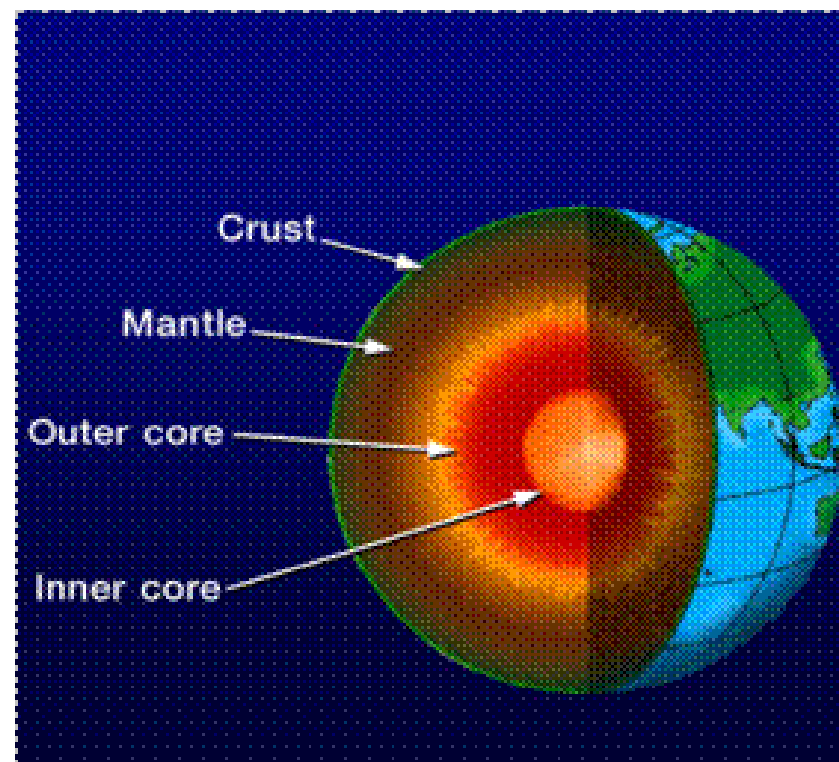
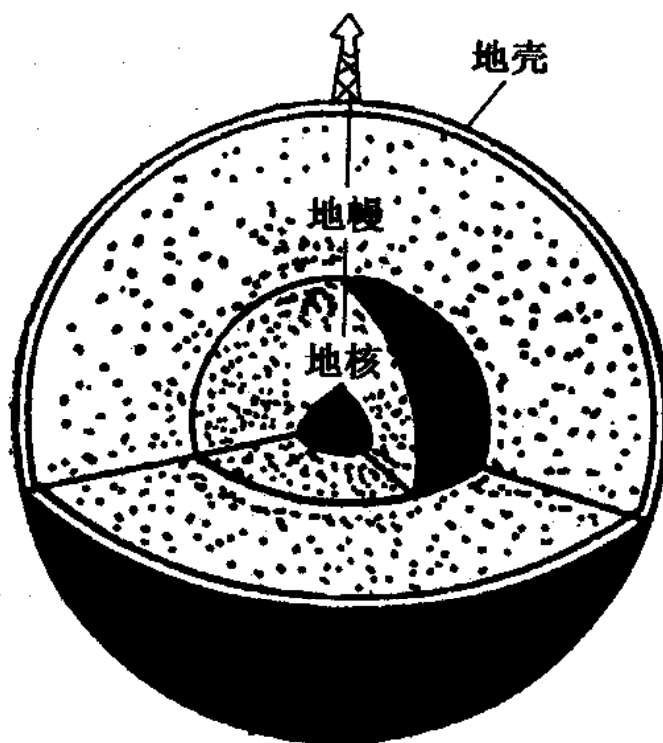
6.2 地热发电技术

6.3 地热能利用的制约因素

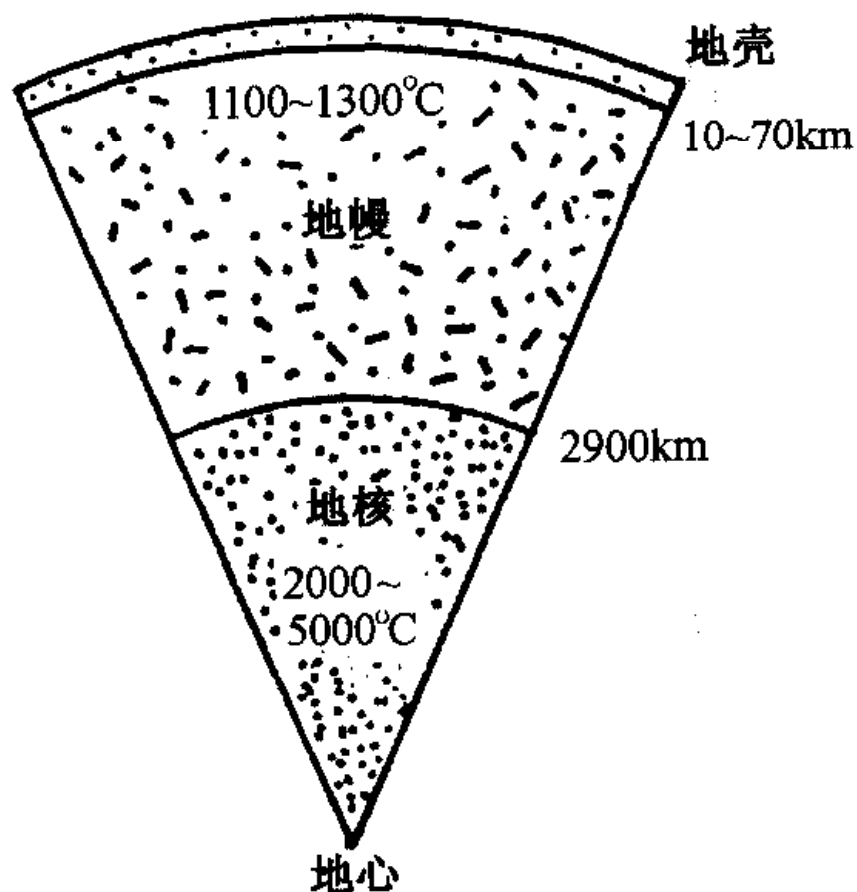
5.1 地热能资源和分类

■ 地热能是来自地球深处的热能

地球的内部是个高温、高压的世界，是一个巨大的热库，蕴藏着无比巨大的热能。



■ 地热资源



地热资源是指地壳表层以下**5000米**深度内， **15°C** 以上岩石和热流体所含的总热量。全世界的地热资源达 **$1.26\times 10^{27}\text{ J}$** ，相当于 **$4.6\times 10^{16}\text{ t}$** 标准煤，超过了当今世界技术和经济水平可采煤储量含热量的**7万倍**。

■ 地热资源的分类:

- ✓ 按照地热资源的温度不同，通常把热储温度大于 150°C 的称为高温地热资源，小于 150°C 而大于 90°C 的称为中温地热资源，小于 90°C 的称为低温地热资源。

高温地热资源位于地质活动带内，常表现为地震、活火山、热泉、喷泉和喷气等现象。

- ✓ 地质学上常把地热资源分为蒸汽型、热水型、地压型、干热岩型和岩浆型等五类。

■ 地热资源的分类

- **蒸汽型**：以温度较高的饱和蒸汽或过热蒸汽形式存在的地下储热，干蒸汽可直接进入汽轮机，是理想的地热资源。资源少，地区局限性大。
- **热水型**：以热水形式存在的地热田，资源分布广，储量丰富，占10%。

高温级 $\geq 150^{\circ}\text{C}$

中温级 $90\sim 150^{\circ}\text{C}$

低温级 $< 90^{\circ}\text{C}$

■ 地热资源的分类

- **地压型**：以高压高盐分热水的形式储存于地表以下2~3 km的深部沉积盆地中。地压水除了高压、高温的特点外，还溶有大量碳氢化合物（如甲烷），可同时得到**压力能、热能、化学能**，温度 $>150^{\circ}\text{C}$ 。占20%
- **干热岩型**：没有水或蒸汽的热岩石（ $150\sim 600^{\circ}\text{C}$ ），占30%。
- **岩浆型**：温度高达 $600\sim 1500^{\circ}\text{C}$ 的岩浆，多埋在钻探比较困难的地层中。占40%

■ 中国的地热资源

- 环球性的地热带主要有环太平洋地热带、地中海—喜马拉雅地热带、大西洋中脊地热带和红海—亚丁湾—东非裂谷地热带等四个。
- 能用于发电的高温地热资源主要分布在西藏、滇西和台湾地区，其他省区均为中低温地热资源。
- 全国盆地型中低温地热能，相当于2500亿t标准煤的热量。主要分布在松辽盆地、华北盆地、江汉盆地、渭河盆地、太原盆地、临汾盆地、运城盆地等众多的山间盆地以及东南沿海的福建、广东、赣南、湘南等地。

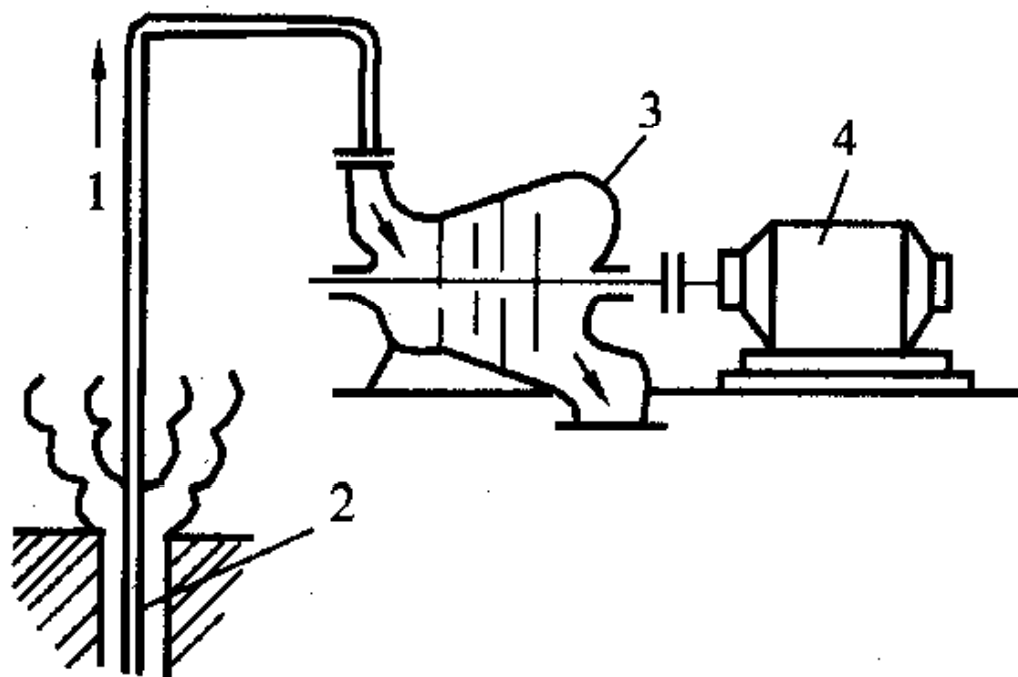
■ 中国的地热资源

- 2009年至2011年，国土资源部对城市浅层地温能、沉积盆地和山地地热资源、3000米至10000米的干热岩资源潜力进行了重新评价。
- 我国浅层地温能资源量相当于95亿吨标准煤，每年浅层地温能可利用资源量相当于3.5亿吨标准煤。每年可利用的常规地热资源总量相当于6.4亿吨标准煤，每年可减少CO₂排放13亿吨。中国大陆3000米至10000米深处干热岩资源总计相当于860万亿吨标准煤，是中国目前年度能源消耗总量的26万倍。
- 2011年，中国地热发电装机容量仅为27.3MW，而中国的风机装机量累计达62GW。

6.2 地热发电技术

■ 地热发电的原理

地热发电主要利用水热资源。可分为干蒸汽田、湿蒸汽田和热水地热田。



1-地热蒸汽；2-地热蒸汽井；3-汽轮机；4-发电机

■ 地热发电类型

- 地热蒸汽发电
- 地下热水发电
- 全流发电
- 干热岩发电

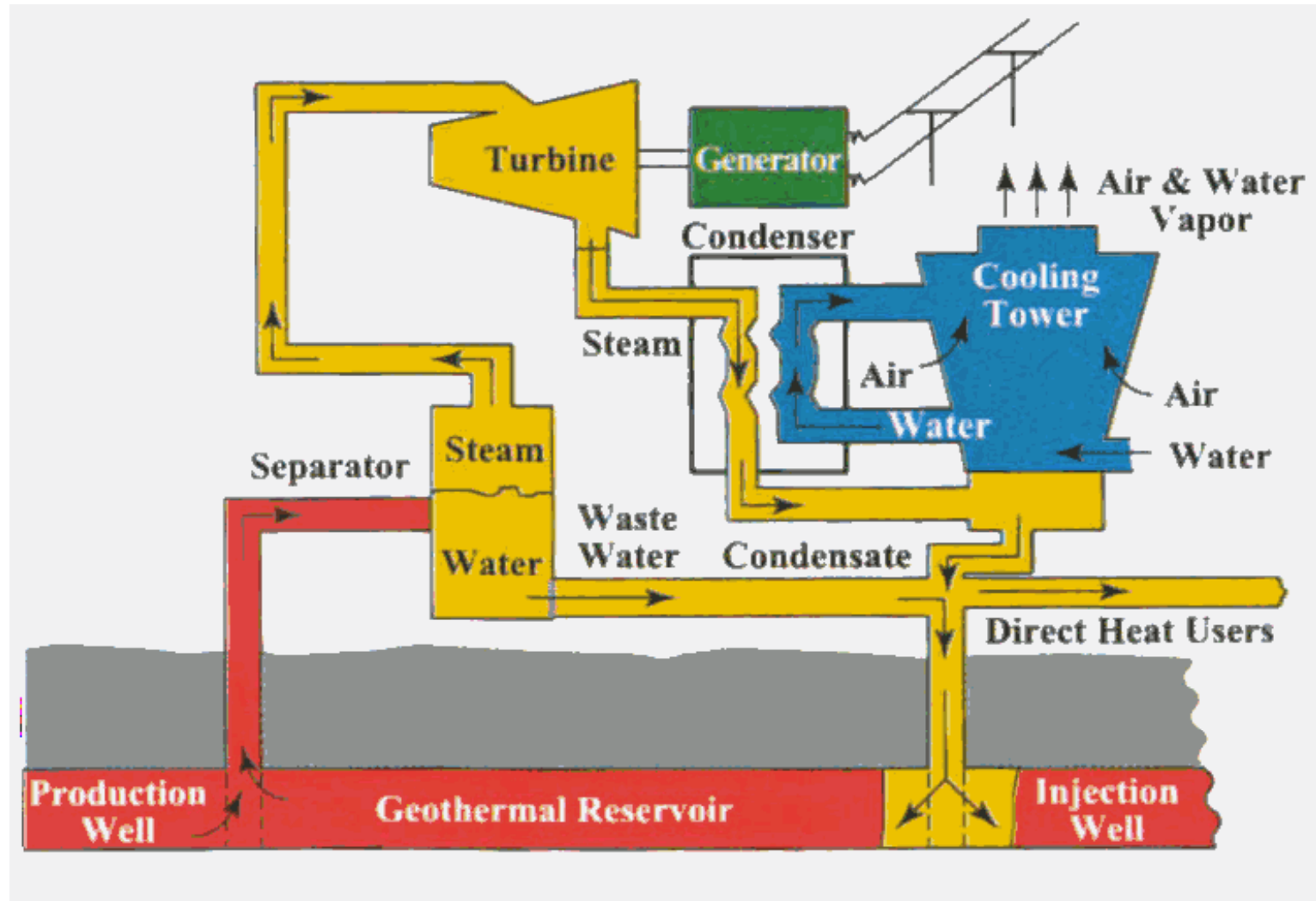
1、直接利用地下热蒸汽进入汽轮机工作

这时井口流体为汽水混合物。经净化后的湿蒸汽进入汽水分离器，分离出的蒸汽再进入汽轮机口膨胀做功。

2、利用地下热水发电

——**闪蒸地热发电**：扩容降压的原理从地热水中产生蒸汽。分单级闪蒸发电和两级闪蒸发电两种系统。

闪蒸地热发电基于扩容降压的原理从地热水中产生蒸汽。水的汽化温度与压力有关，在1个绝对大气压下水的气化温度是100℃，如果在0.3个绝对大气压下水的汽化温度是68.7℃。通过降低压力而使热水沸腾变为蒸汽，以推动汽轮发电机转动而发电。



若热水温度低于 100°C 时，全热力系统处于负压状态。缺点：设备尺寸大，容易腐蚀结垢，热效率较低；由于系直接以地下热水蒸汽为工质，因而对于地下热水的温度、矿化度以及不凝气体含量等有较高的要求。

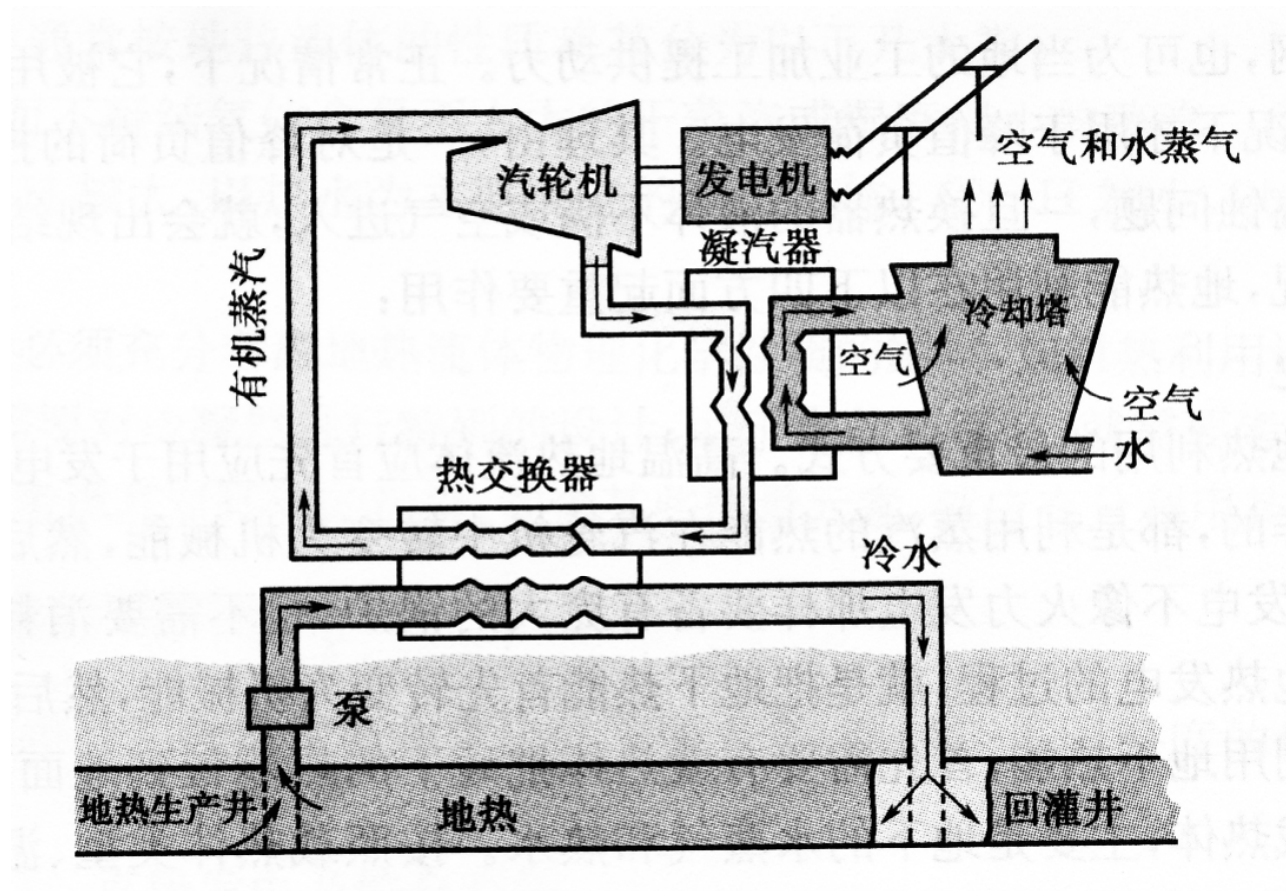
——**中间介质法地热发电**：利用地下热水间接加热某些低沸点物质来推动汽轮机做功的发电方式。

常用低沸点工质：氟里昂、异戊烷、异丁烷、正丁烷、氯丁烷

缺点：工质价格贵、易燃、易爆、有毒等

利用中间介质发电方法，既可以用**100℃**以上的地下热水（汽），也可以用**100℃**以下的地下热水。

单级中间介质法地热发电



3、全流地热发电

全流地热发电系统是把地热井口的全部流体，包括蒸汽、热水、不凝气体及化学物质等，不经处理直接送进全流动力机械中膨胀做功，而后排放或收集到凝气器中，这样可以充分利用地热流体的全部能量。该系统由螺杆膨胀器、汽轮发电机组和冷凝器等部分组成。它的单位净输出功率可比单级闪蒸法和两级闪蒸法发电系统的单位净输出功率分别提高**60%**和**30%**左右。

3、全流地热发电

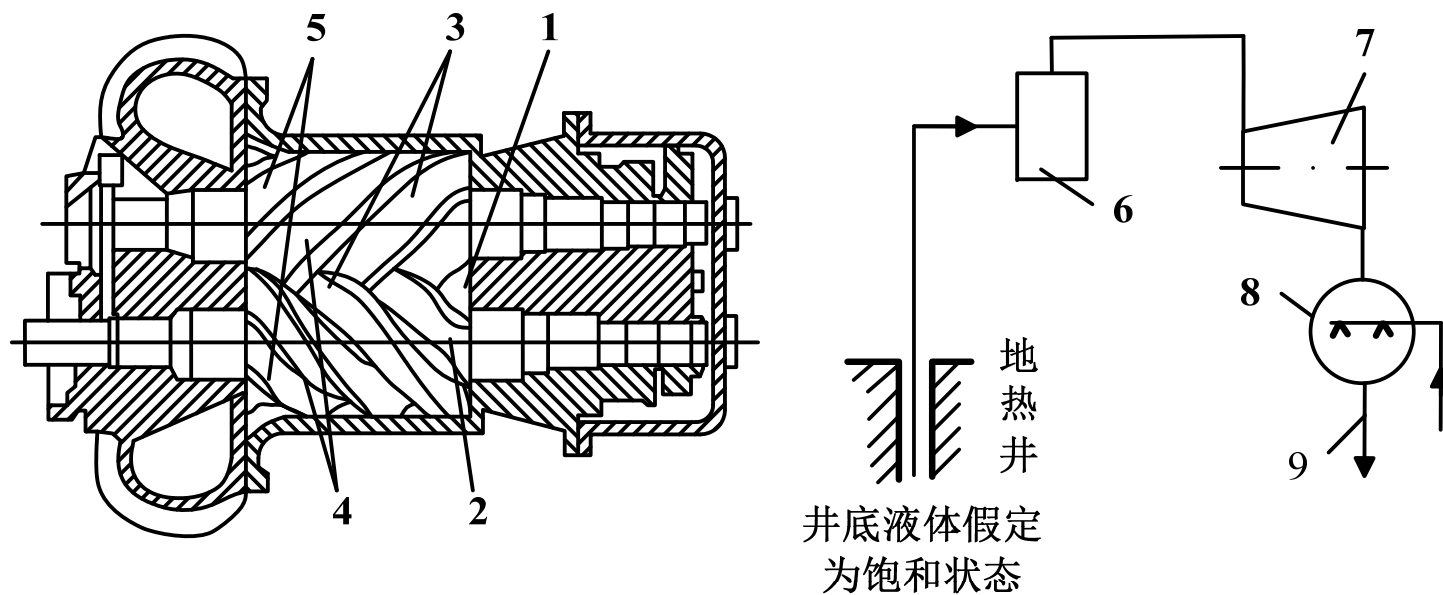


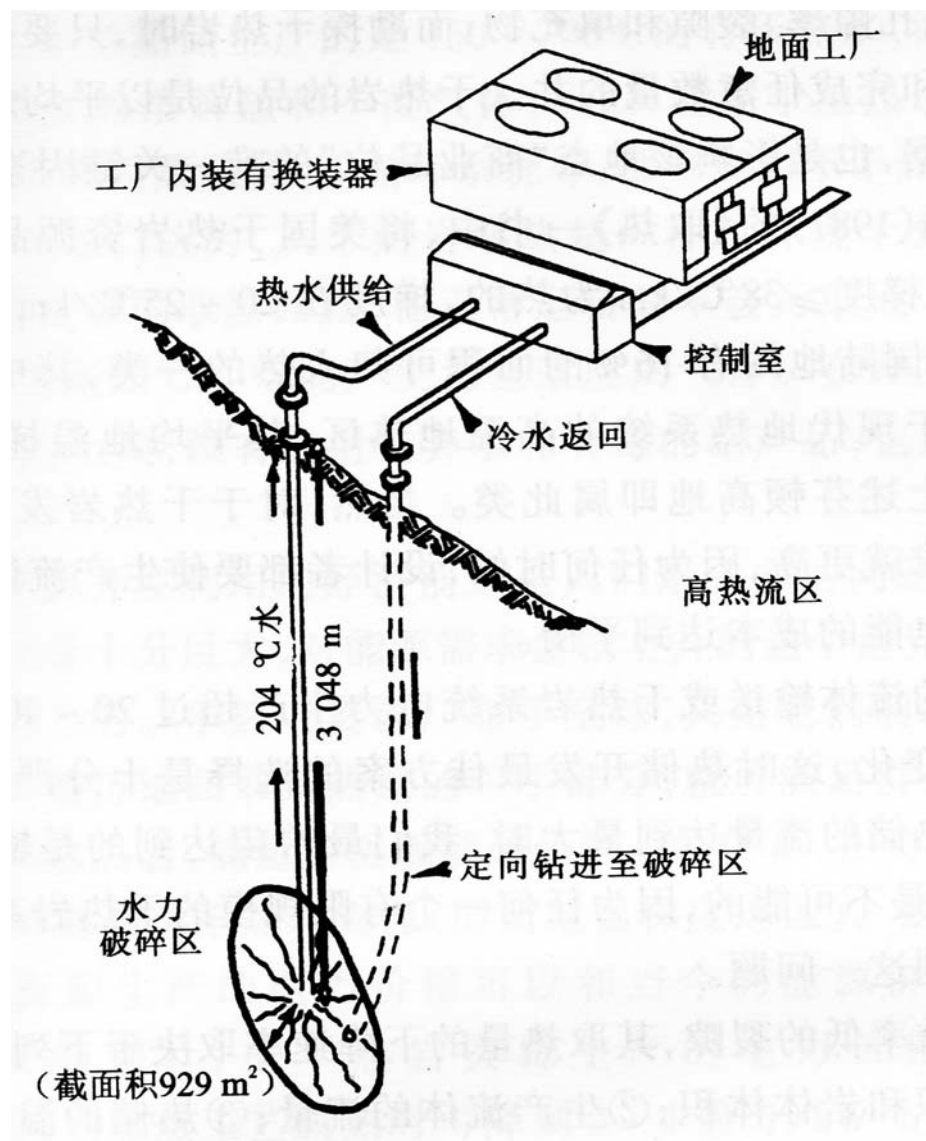
图6-7 全流地热发电系统示意图

1—高压气室 2、3、4—啮合螺旋转子 5—排出口 6—全流膨胀器 7—汽轮发电机组 8—凝汽器 9—热水排放

4、干热岩发电

从地面竖进钻到干热岩体，形成一口注射进，并在适当部位加压，使加压点周围产生宽几毫米、长几百米的裂缝，再向其中注水，水吸收热量长温到**200-300度**。在裂缝另一端打一口喷汽进，热水会伴随蒸汽喷出，用于发电。

利用干热岩发电



◆ 中国潜力地区：

在环太平洋区域，包括台湾、福建、广东一带有一定的潜力，有掩体的资源存在。青藏高原在隆升过程中形成了若干的南北向拉开的裂谷带，其中有很多浅层的岩浆侵入，也是非常巨大的。

◆ 干热岩发电技术难点

技术方面，目前干热岩最大的特点就是温度没有水，怎么样把水加进去，然后把水采出来，这是需要解决的技术问题。其中最大的问题就是地层深度系数怎么样搞一个核电发电一样的燃料棒，在下面发生反应堆，怎么样把水加进去，再采出来，国际上正在研究。我们国家最大的问题就是如何研制耐受300度以上或者400度以上温度的钻井材料。

■ 地热电站介绍

➤ 西藏羊八井地热电站

位于拉萨西北**91.8km**的当雄县境内。海拔**4300m**，南北两侧的山峰均在海拔**5500~6000m**。**1977年**羊八井地热田建起第一台**1000kW**的地热发电机组，**1981年**、**1982年**和**1985年**分别建起**3000kW**的发电机组，电站总装机容量已达**10MW**。

羊八井地热发电采用二级扩容循环和混压式气轮机，热水进口温度**145℃**。

西藏羊八井 地热电站



■ 地热电站介绍

➤ 湖南宁乡灰汤地热电站

1972年筹建，1975年9月底建成。采用闪蒸法发电系统，设计功率300kW，由一口560m深的地热井供热水，水温91℃。

该电站排出的水温为68℃，日排出量为100t左右。排出的热水，一部分送往0.5亩农业温室，每年大约节省煤炭1400t；另一部分送往规模较大的省总工会疗养院使用，同时还供澡堂、卫生院、商店及附近居民以热水。此外，电站的冷却水排出后，尚可自流灌溉农田800余亩。从投资情况来看，该电站不包括钻井费和试验研究费在内，全部投资为1460元 / kw。

■ 地热电站介绍

➤ 美国盖瑟斯地热电站

盖瑟斯地热田是目前所知世界最大的地热田，位于美国加州旧金山北面约**120**公里处，面积超过**140**平方公里，储集层蒸汽温度最高达**280℃**。**1988**年，该地热田电厂的总装机容量达到**202.3**万千瓦，真正称得上世界第一。

■ 地热能利用的制约因素

➤ 地热回灌

把经过利用的地热流体或其他水源通过地热回灌井重新注回热储层段的方法，回灌可以很好解决地热废水问题，还可以改善或恢复热储的产热能力，保持热储的流体压力，维持地热田的开采条件。

技术要求复杂，成本高

地热回灌存在的问题与水质和井的渗透率有关

➤ 地热田的腐蚀

地热流体中含有许多化学物质，其中主要的腐蚀介质有：溶解氧 O_2 、 H^+ 、 Cl^- 、 H_2S 、 CO_2 、 NH_3 和 SO_2 。，再加上流体的温度、流速、压力等因素的影响，地热流体对各金属表面都会产生不同程度的影响，直接影响设备的使用寿命。

➤ 常见的防腐措施：

- ①使用耐腐蚀的材料，采用不锈钢材质的设备及部件，但这种措施往往成本较高；

➤ 防腐措施

②对主要腐蚀部件的金属表面涂敷防腐涂料，但涂层一旦划破，会加速金属材料的腐蚀。

③采取相应的密封措施，防止空气中的氧进入系统。

④针对不同类型的局部腐蚀采取相应的防腐措施，例如选材时应尽量避免异种金属相互接触，以避免电偶腐蚀。

➤ 地热田的结垢

地热水资源中矿物质含量比较高，在抽到地面做功的过程中，温度和压力均发生很大的变化，影响到各种矿物质的溶解度，必然导致矿物质从水中析出产生沉淀结垢。在井管内结垢会影响地热流体的采量，加大管道内的流动阻力进而增加能耗；如换热表面结垢则会增加传热阻力；垢层不完整处还会造成垢下腐蚀。

➤ 防结垢措施

- ①用HCl和HF等溶解水垢，为了防止酸液对管材的腐蚀必须加入缓蚀剂；
- ②采用间接利用地热水的方式，在生产井的出水与机组的循环水之间加一个钛板换热器，可以有效防止做功部件腐蚀和结垢，但造价很高；
- ③采用深水泵或潜水泵输送井中的流体，使其在系统中保持足够的压力，在流体上升过程和输送过程中不发生气化现象，从而防止碳酸钙沉积；
- ④选择合适的材料涂衬在管壁内，防止管壁上的结垢。

■ 环境影响

地热水中含有大量的有毒矿物质，例如我国羊八井的地热水中含有硫、汞、砷、氟等多种有害元素，地热发电后大量的热排水直接排放掉的话，会对环境产生恶劣影响。

影响	遇到的可能性	结果的严重性	影响的持续性
化学污染或热污染	中	中至高	短期至长期
空气污染	低	中	小
水污染	低	中	长期
土壤污染	中	低至中	短期至长期
地面沉降和诱发地震	低	低至中	长期
噪声污染	高	中至高	短期
与文化和考古的冲突	低至中	中至高	短期至长期
社会经济问题	低	低	短期
固态废弃物的处理	中	中至高	短期