

太阳能工学

----- 太阳能电池的基本原理与应用



南京大学物理系

徐 骏

2006年9月

新能源是二十一世纪世界经济发展中最具决定力的技术领域之一。

新能源： 太阳能、生物质能、核能、风能、地热、海洋能等一次能源和二次能源中的氢能

一次能源： 以现成的形式存在于自然界中，没有经过任何转换过程的能源；

二次能源： 需要依靠其他能源来制取或产生的能源；

万物生长靠太阳-----

太阳的光除了照亮世界
使植物通过光合作用把太阳光转变为各种养分，供人们食用
产生纤维质供人们做衣服
生长木材给我们建筑房屋以外

太阳的光还可以通过太阳能电池转变为电

太阳能是一种清洁、高效和永不衰竭的新能源。在新世纪中，各国政府都将太阳能资源利用作为国家可持续发展战略的重要内容。而光伏发电具有安全可靠、无噪声、无污染、制约少、故障率低、维护简便等优点，在我国西部广袤严寒、地形多样和居住分散的现实条件下，有着非常独特的作用。

本课程主要就太阳能的特点，
太阳能电池的原理，设计制备与利用
等方面作简单介绍，使大家对这一课
题有一个初步了解。

参考文献:

刘恩科等著，半导体物理学（国防工业出版社，1994年，北京）；

滨川圭弘等著，太阳能工学（日本培风馆，1995年）；

钟伯强译，桑野幸德著，太阳电池及其应用（科学出版社，1990年，北京）；

第一章 前言

一、能源与社会

人类迄今已有400万年的历史，在这期间，人类从学会使用火开始，经过石器、铁器时代，直到近代工业化革命，各种技术发明使人类文明到达了一个前所未有的高度。同时，人类消耗的能源也日益增长，其中煤、石油等是今天主要的能源来源。

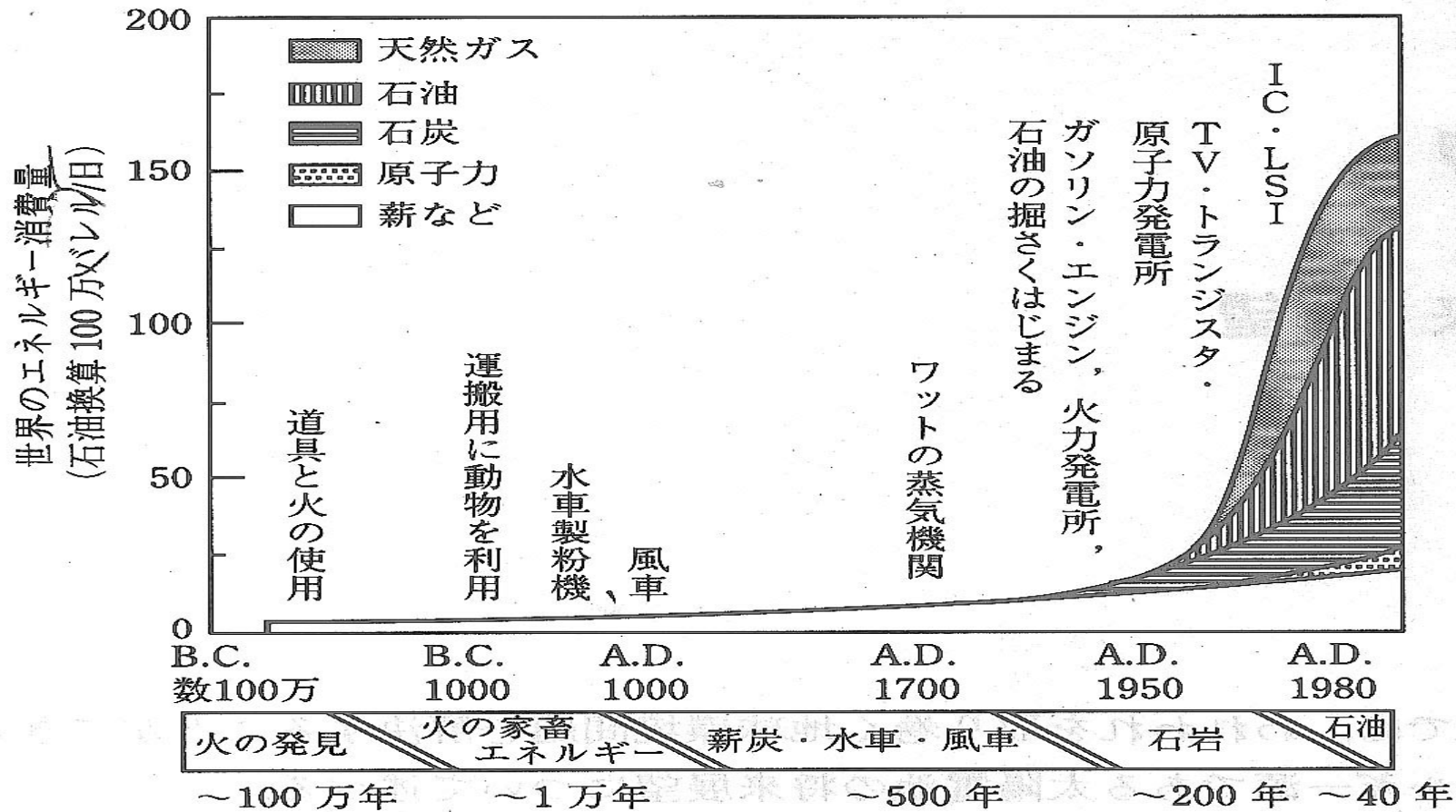


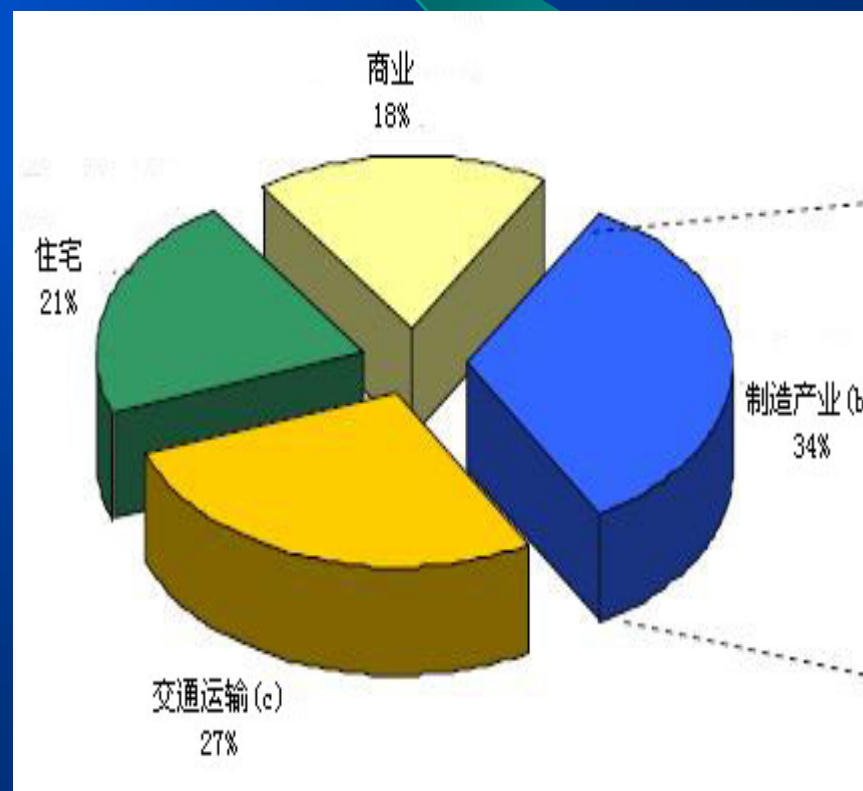
図 7.1 人類のエネルギー消費の歴史。1950年頃から消費量が等比級数的に増大してきた。



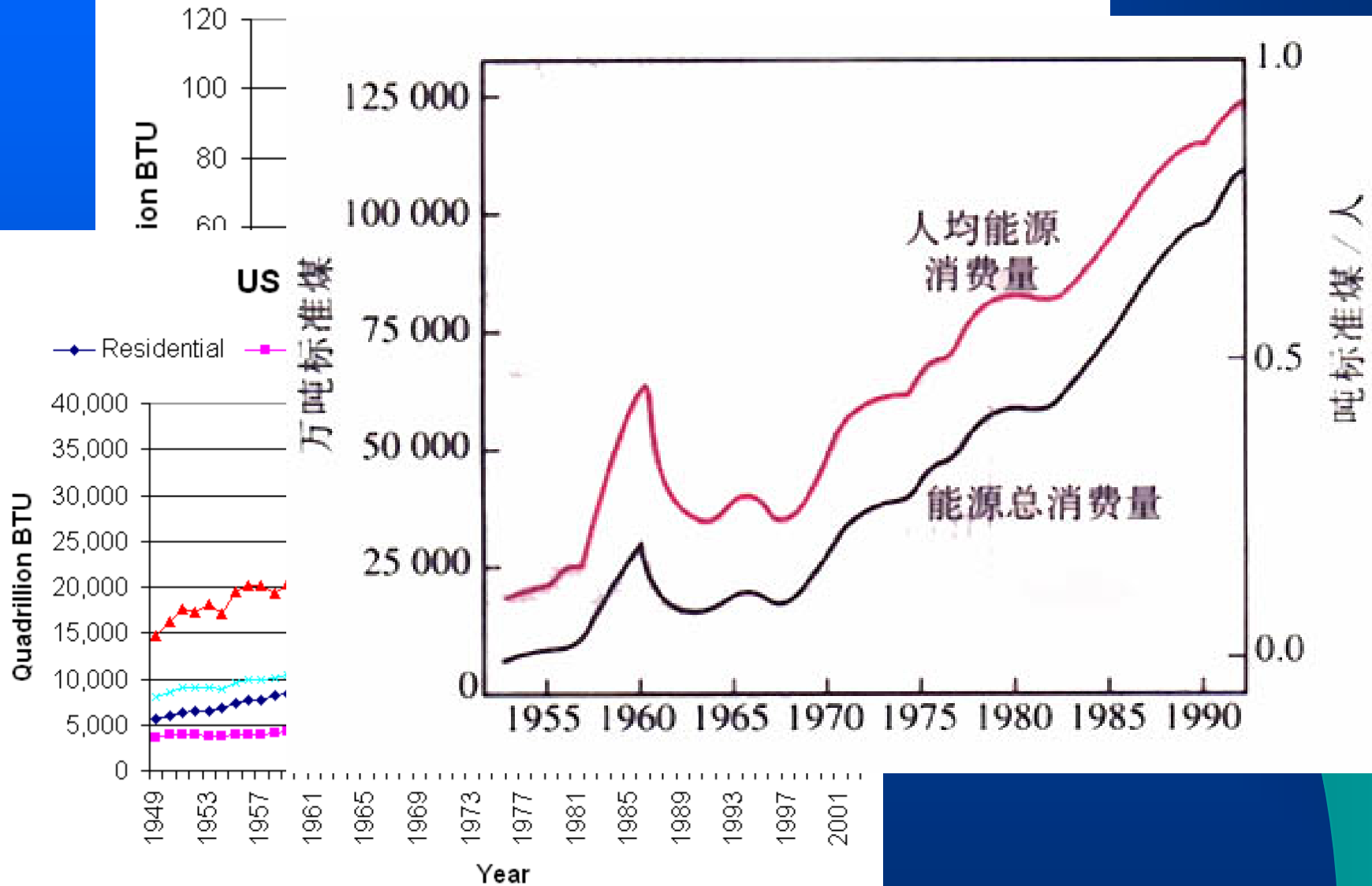
今天，能源更是人类社会赖以生存和发展的物质基础，在国民经济中具有特别重要的战略地位。

能源相当于城市的血液，它驱动着城市的运转。现代化程度越高的城市对能源的依赖越强，因为能源在维系以下重要功能：

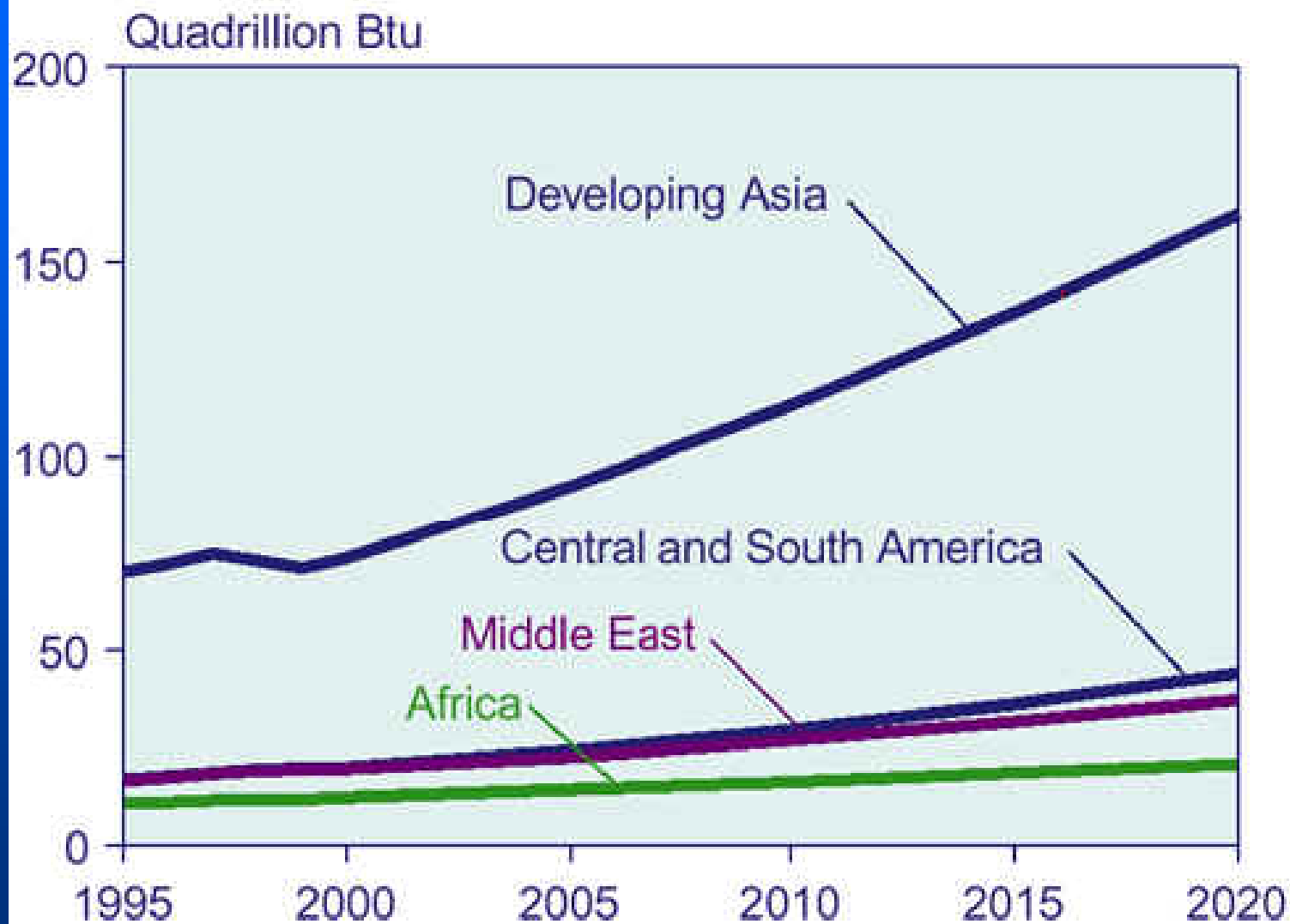
- * 照明
- * 交通
- * 餐饮
- * 供暖
- * 降温
- * 自动化管理系统



Total US Energy Consumption



Energy Consumption in the Developing World by Region, 1995-2020



World Total Energy Consumption 1990 -2020 (Quadrillion Btu)

Region/Country	1990	1997	2020
United States	84.0	94.2	120.9
Western Europe	59.9	64.0	78.4
Japan	18.1	21.3	25.4
China	27.0	36.7	97.3
Former Soviet Union	61.0	40.8	57.3
Total World	346.7	379.9	607.7

能源的单位：

各种能源其单位含能量的多少是不同的，为了能相互比较和换算，必须折合成某一标准单位。国际上习惯采用两种标准燃料：标准煤和标准油。

$$1\text{kg标准煤}=29307.6\text{KJ}=7000\text{kcal}$$

$$1\text{kg标准油}=41868\text{KJ}=10000\text{kcal}$$

注意，这里的标准煤和标准油只是一能量计量单位，而不是指某一种煤或油。

另外，国际上在计算原油日产量和出口量时，常用“桶”这一容积单位计量。一般以世界平均比重的沙特阿拉伯34度轻原油为准，该油每吨折合7.33桶，每桶折合42US gal, 1US gal = $3.785 \times 10^{-3} \text{m}^3$ 。

在涉及能源消耗时还常用到单位： BTU

BTU = British Thermal Unit.

equal to the amount of heat required to raise the temperature of one pound of water at its maximum density [which occurs at a temperature of 39.1 degrees Fahrenheit ($^{\circ}$ F)] by 1° F, at sea level.

One BTU is approximately equivalent to the following:

251.9 calories=1055 joules=107.5 kilogram-meters= 0.0002928 kilowatt-hours

Energy Units

1 J (joule) = 1 Ws = 4.1868 cal

1 GJ (gigajoule) = 10^9 J

1 TJ (terajoule) = 10^{12} J

1 PJ (petajoule) = 10^{15} J

1 kWh (kilowatt hour) = 3,600,000 Joule

1 toe (tonne oil equivalent)

= 7.4 barrels of crude oil in primary energy

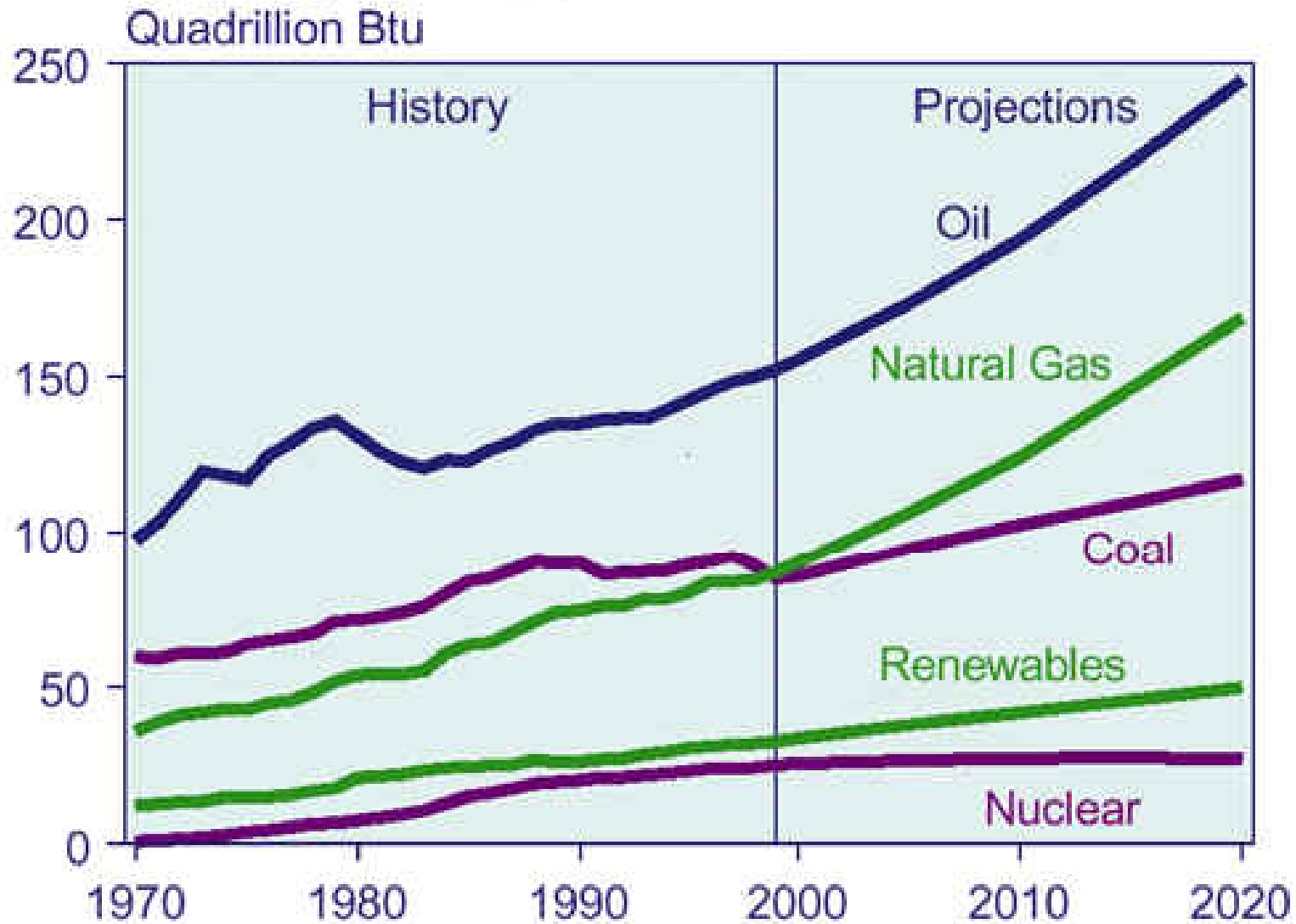
= 7.8 barrels in total final consumption

= 1270 m³ of natural gas

= 2.3 metric tonnes of coal

1 Mtoe (million tonne oil equivalent) = 41.868 PJ

World Energy Consumption by Fuel Type, 1970-2020

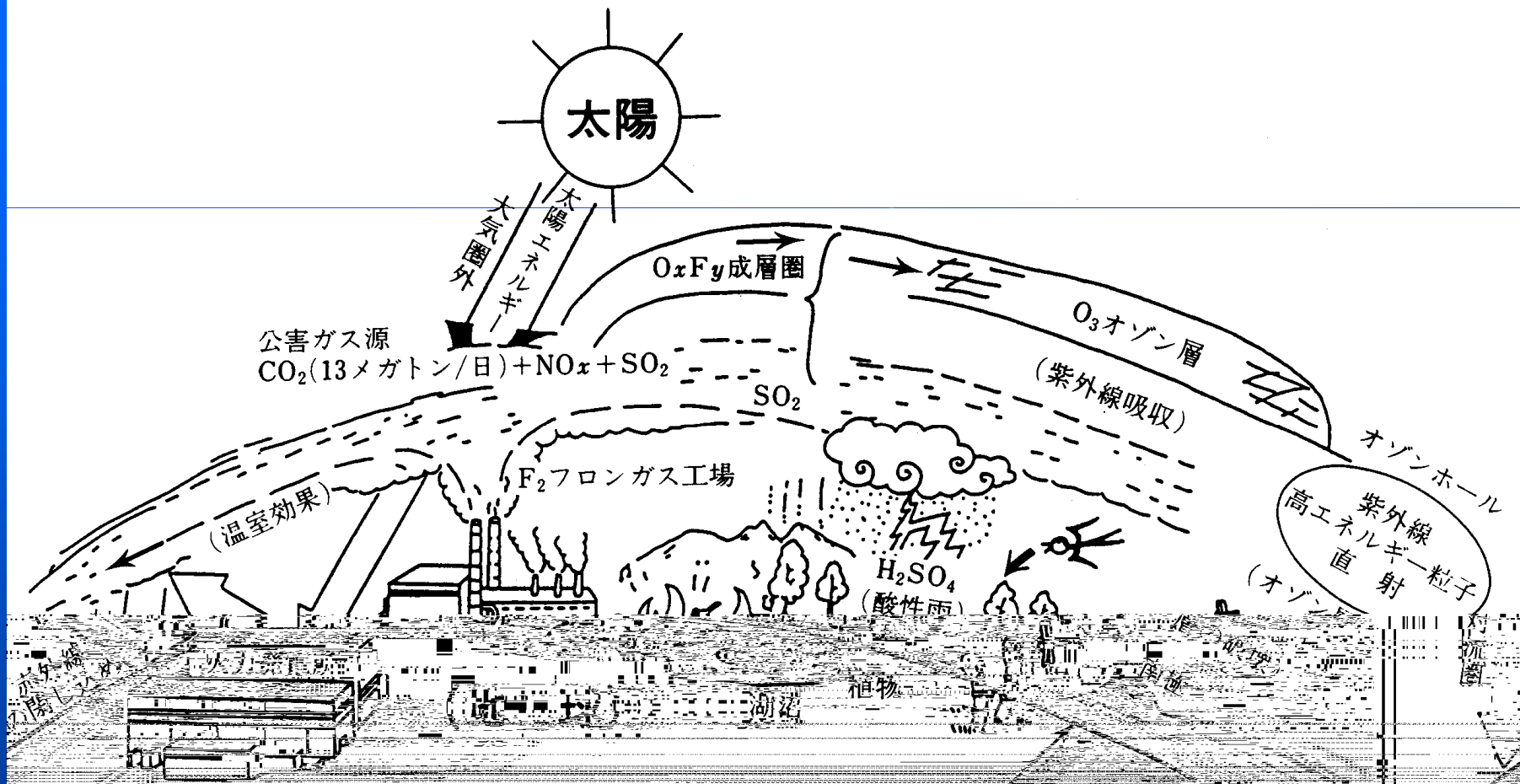


当能源主要依靠燃烧化石燃料（煤炭、石油、天然气）而获取时，能源消耗越高，越会影响人类社会的可持续发展。



一是因为大量燃烧化石燃料会带来多种环境问题（尤其是气候变化问题），

二是由于化石燃料不可再生，资源终将枯竭。



温室効果	オゾン層破壊	酸性雨	氷が溶ける
◎生態系異常	◎紫外線	◎魚, 貝類の死滅...	◎平均気温が
◎異常気象・気温上昇	◎高エネルギー粒子	◎植物が枯れる	3℃上昇
◎砂漠化	◎の直射		

図 1.4 化石燃料の大量消費と工場排ガスによる大気汚染とその公害

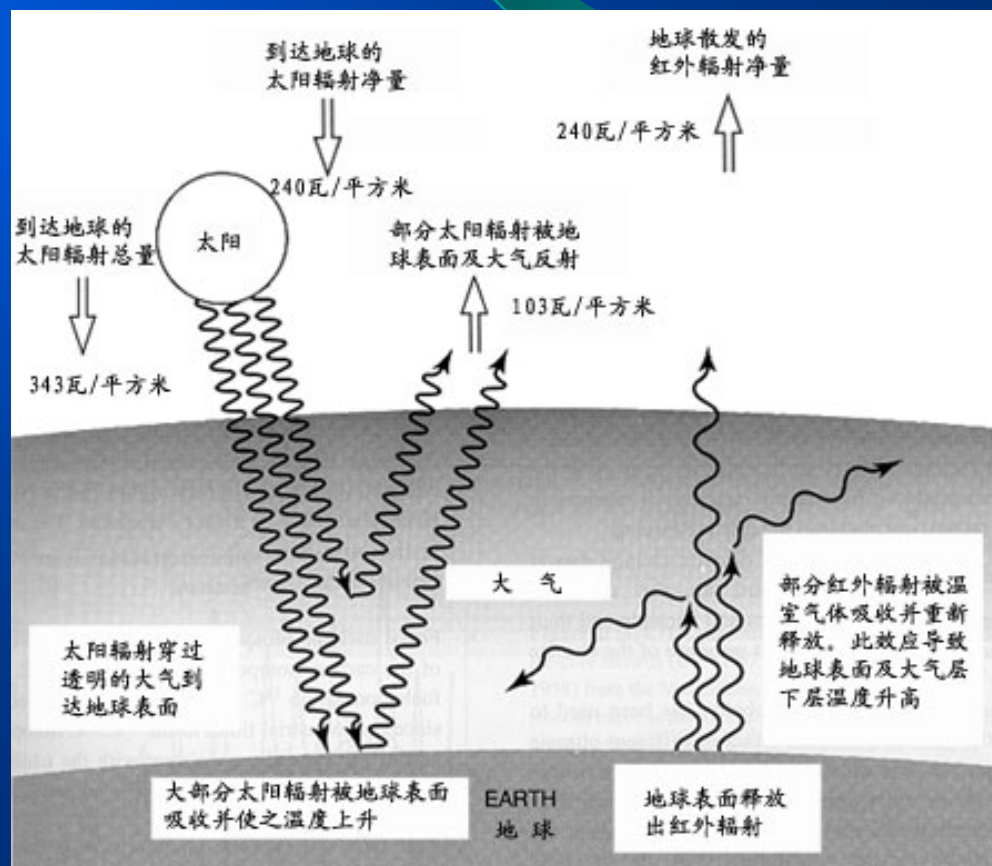
全球变暖是目前全球环境研究的一个主要议题。根据对100多份全球变化资料的系统分析，发现全球平均温度已升高0.3~0.6摄氏度。其中11个最暖的年份发生在80年代中期以后。全球变暖将带来非常严重的后果，如冰川消退、海平面上升、荒漠化，还给生态系统、农业生产带来严重影响。

人类活动引起的大气温室效应增长可能是主要因素。

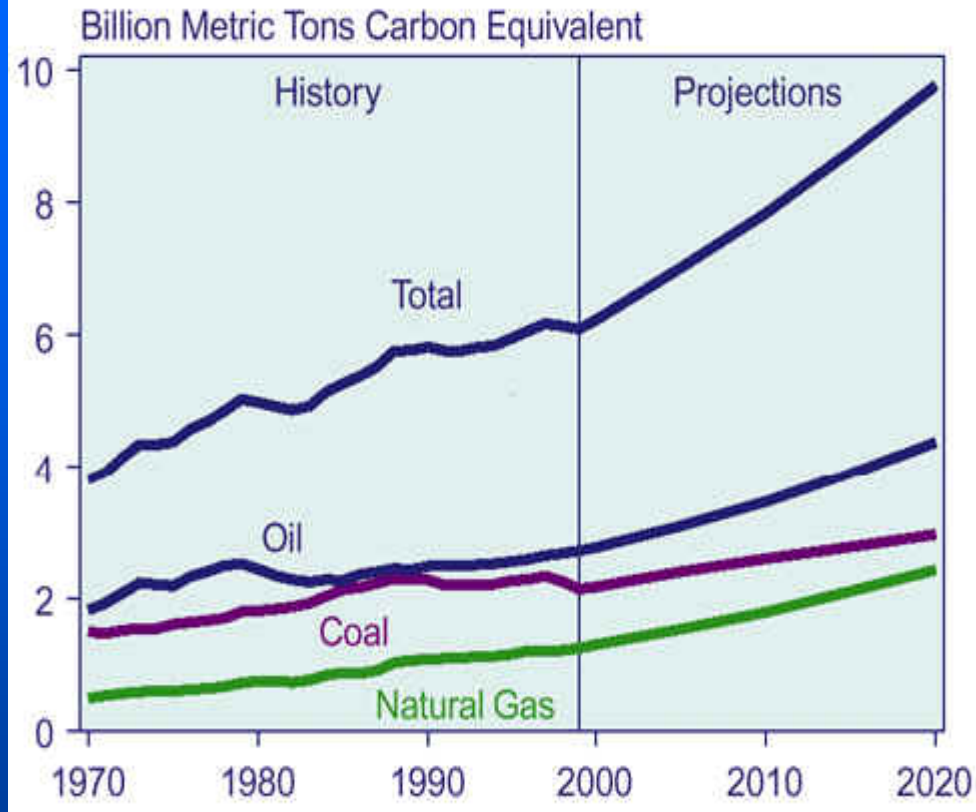
温室效应

大气中的二氧化碳浓度增加，阻止地球热量的散失，使地球发生可感觉到的气温升高，这就是有名的“温室效应”。

二氧化碳是数量最多的温室气体，约占大气总容量的0.03%，许多其它痕量气体也会产生温室效应，其中有的温室效应比二氧化碳还强。



World Carbon Dioxide Emissions by Fuel Type, 1970-2020



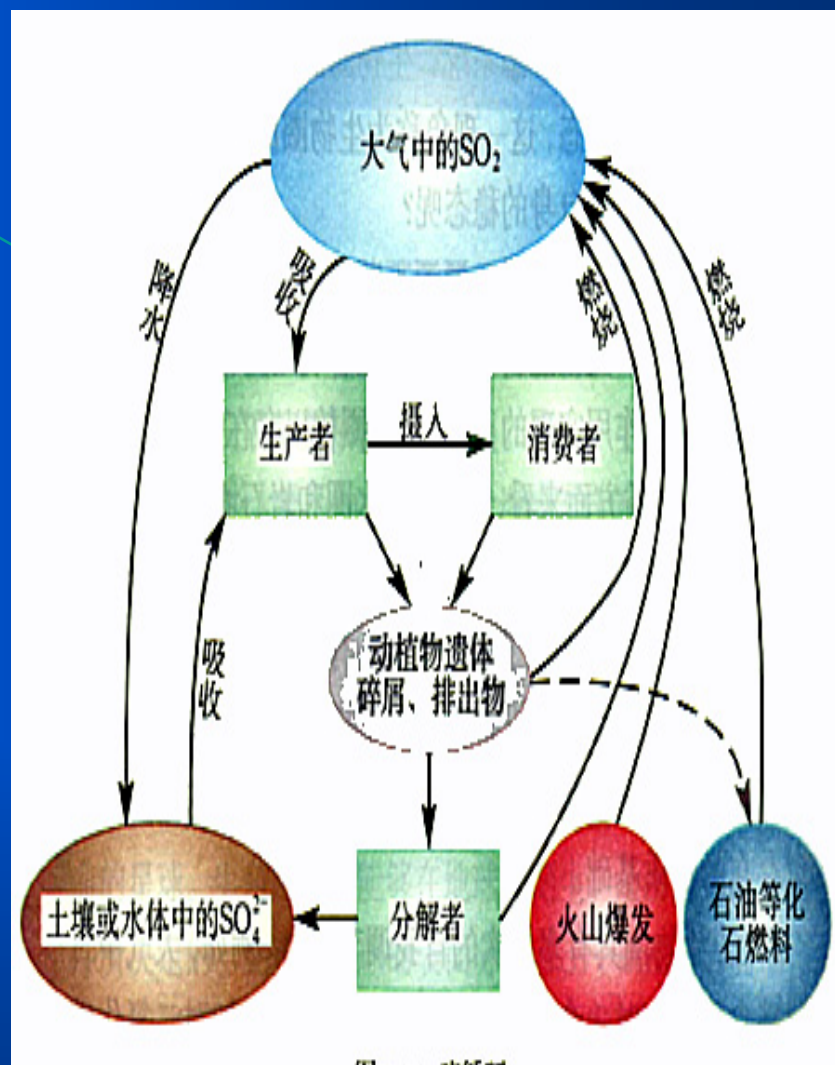
由于二氧化碳这类气体只允许太阳光进，而阻止其反射，进而实现保温、升温作用，因此被称为温室气体。大气中的每种气体并不都能强烈吸收地面长波辐射，在法律意义上被确认为影响气候变化的温室气体，除了二氧化碳外，还包括甲烷(CH₄)、一氧化氮(N₂O)、氟氯碳化物(HFCs，氟里昂是其中一种)、全氟化碳(PFCs)、六氟化硫(SF₆)等。

种类不同，吸热能力也不同，每分子甲烷的吸热量是二氧化碳的21倍，一氧化氮(N₂O)更高，是二氧化碳的270倍。不过和人造的某些温室气体相比就不算什么了，目前为止吸热能力最强的是氟氯甲烷(HFCs)和全氟化碳(PFCs)

酸雨

酸雨是指引空气污染而造成的酸性降水，通常认为大气降水与二氧化碳气体平衡时的酸度PH5.6为降水天然酸度，并将其作为判断是否酸化的标准，当降水的PH低于5.6时,降水即称为酸雨。

近代工业革命，从蒸气机开始，锅炉烧煤,产生蒸汽,推动机器；而后火力电厂星罗齐布,燃煤数量日益猛增。遗憾地是，煤含杂质硫，约百分之一，在燃烧中将排放酸性气体 SO_2 ；燃烧产生的高温尚能促使助燃的空气发生部分化学变化，氧气与氮气化合，也排放酸性气体 NO_x 。它们在高空中为雨雪冲刷，溶解，雨成为了酸雨；这些酸性气体成为雨水中杂质硫酸根、硝酸根和铵离子。

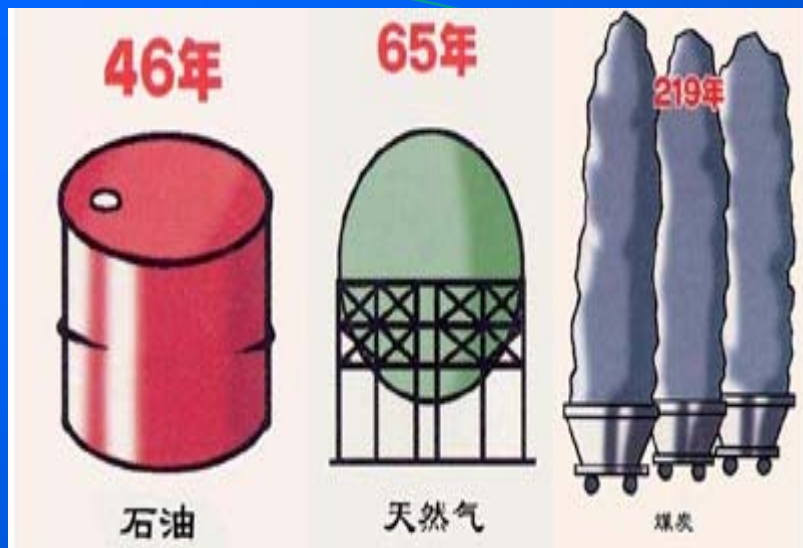


目前，全球有三大块酸雨地区：

西欧，北美和东南亚。我国长江以南也存在连片的酸雨区域。

资源的枯竭

1973年的世界性石油危机使人们认识到：人类资源是有限的。于是，寻找新的替代传统能源的开发计划在世界范围内开始。



从探明的储量分析，现在地球上的石油、天然气和煤炭的总储量分别为：

石油 1万亿桶

天然气 120万亿立方米

煤炭 1万亿吨

按照目前全世界对化石燃料的消耗速度计算，这些能源可供人类使用的时间大约还有：

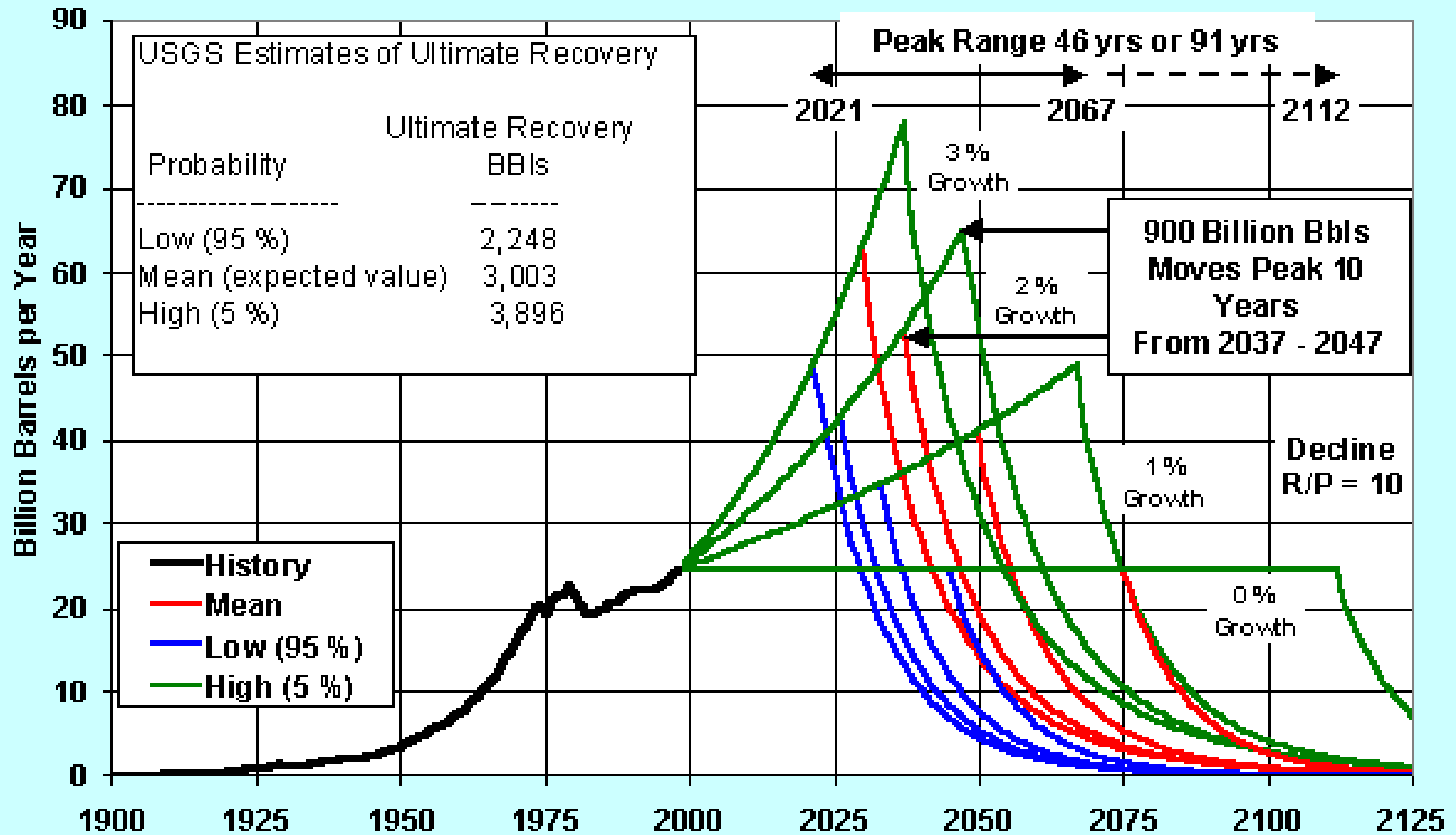
石油 45-50年

天然气 50-60年

煤炭 200-220年

如果考虑到地球的人口在过去四十年增加了28亿，在今后的五十年中将再增加50亿，而且世界能源消耗量在过去的10年间以平均每年1.6%的速度增加，则现存的煤炭、石油等的可用年数还将大大缩短。

12 EIA World Conventional Oil Production Scenarios



Note: U.S. volumes were added to the USGS foreign volumes to obtain world totals.

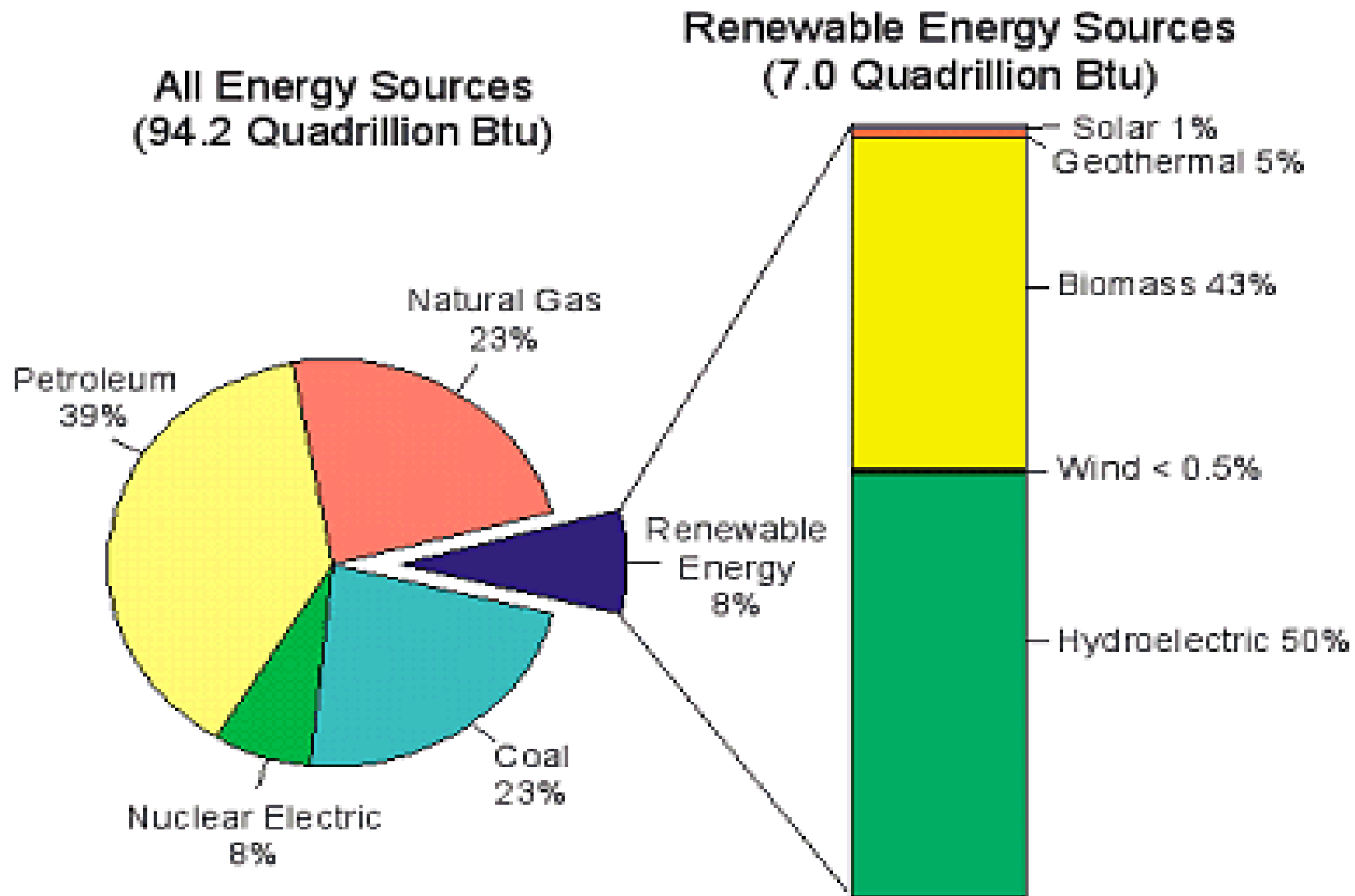
Non-Renewable Energy Sources

- Conventional
 - Petroleum
 - Natural Gas
 - Coal
 - Nuclear
- Unconventional (examples)
 - Oil Shale
 - Natural gas hydrates in marine sediment

Renewable Energy Sources

- Solar photovoltaics
- Solar thermal power
- Passive solar air and water heating
- Wind
- Hydropower
- Biomass
- Ocean energy
- Geothermal
- Waste to Energy

U.S. Energy Consumption by Source, 1998



Totals may not equal sum of components due to independent rounding.

我们的地球每天都接受着太阳的恩惠，地球上的每个国家或多或少也都得到一部分太阳能，阿拉伯半岛的国家和地区每年日照时间可达4000小时。以地球上所有天然沙漠为例，其每天受到的太阳能量为 163.2×10^{12} 千瓦小时，每年就是 60×10^{15} 千瓦小时，若有5%的能量被利用，则每年有 300×10^{13} 千瓦小时的太阳能变为可用能源，是估计的2000年全世界能量需求总量 50×10^{12} 千瓦小时的60倍。这是太阳赐予我们的一份珍贵礼物，如何开发和利用太阳能已成为全世界各国共同的研究课题。

太阳能的法力无边，其中：由于在地球上的日照不平均，所以造成冷热温度对流而生成风，而风力亦可发电，所以在美国，风力发电也归太阳能的一种。此外太阳能的应用又可分为热能的“太阳能热水器”及光直接转换电的“太阳能电池”。

中国必须大力发展太阳能风能的理由

同国外相比，我国的能源系统更加不具备可持续发展特点

- **能源枯竭的威胁可能来的更早。**人口多，人均资源占有量仅及世界的一半，石油和天然气资源仅占世界人均量的17.1%和13.2%；加之能源利用技术落后，效率低下，能耗高，枯竭速度可能会比国外更加迅速，能源匮乏的威胁可能来的更早、
- **能源供需缺口将越来越大。**2020年全国需求量27亿吨TOE，尚缺4.8亿吨标煤；2050年一次需求量达到40亿吨标煤，缺口达10亿吨标煤，短缺25%以上。
- **过度依赖煤炭，环境影响更加严重。**煤炭几乎满足了我国一次能源需求的70%，66%的城市大气颗粒物的含量和22%的城市的二氧化硫含量均超过国家空气质量二级标准，在冬季这些污染物的浓度更大，通常为夏季的2倍。环境专家估计，大气中90%的二氧化硫和70%的烟尘来自于燃煤
- **煤废料的处理仍是问题。**煤炭开发利用过程中产生的大量的矸石、腐蚀性水、煤泥、灰渣和飞灰等，已构成对工农业生产和生态环境的危害，成为制约所在地区可持续发展的一个制约因素

人类的发展需要寻找能够代替传统能源的新型的清洁能源，其中一个重要的方面就是太阳能的开发和利用。