

文章编号: 1005-8893 (2004) 04-0044-05

关于太阳放射特性与地球能源的调查与研究

张牛牛¹, 梶井宏修²

(1. 江苏工业学院 机械工程系, 江苏 常州 213016; 2. 近畿大学 理工学部建筑学科, 日本 大阪府 558-0811)

摘要: 叙述了太阳对地球的放射及能源收支等关系, 同时还对世界各国在化石燃料的开发、配置、使用、价格等关系及人类在现代建筑中对太阳放射的利用等方面作了一些调查, 阐述了它们之间的一些关系。论述了人类在开发太阳能技术方面的重要性和必要性。

关键词: 太阳放射; 热环境; 热收支; 地球能源

中图分类号: TU 83

文献标识码: A

自产业革命以来的 200 年间, 人类将地球上埋藏着的化石燃料毫无保留地开采和利用着, 起先人们还没有意识到地下资源的珍贵性, 然而由于 1973 年 10 月的中东战争而引起全世界的石油危机以后使人们清楚地认识到我们现在所使用的石油埋藏量实际上是有限的, 这对于人类是一个很大的意识革命, 人类开始以代替石油的新能源为目的, 作为一个课题, 投入了很大的人力与财力, 并且将相当大的一部分视线转向了太阳能资源的利用, 许多科学家认为如果能将太阳放射到地球大气层外的能源利用起来的话, 它那巨大的能量, 将是现在地球上埋藏的任何能源都不能相比拟的自然资源。

1 太阳放射及能源收支

1.1 地表的日射能源收支

图 1 是地表的日射能源变换的示意图^[1]。地球受到太阳的放射, 以地球全面积平均数为 338 W/m^2 , 其中 172 W/m^2 到达地表面, 7 W/m^2 经地表面反射到宇宙中, 剩下 165 W/m^2 被地表面吸收, 余下 166 W/m^2 ($338 - 172$) 中 95 W/m^2 受到大气中的水蒸气及烟雾质反射回到宇宙中去, 71 W/m^2 被大气所吸收, 被地表面吸收的 165 W/m^2 中, 23 W/m^2 被热传导及乱流扩散, 78 W/m^2 由于蒸

发等原因, 将热能向大气中移动, 剩下的 64 W/m^2 中减去与大气之间的长波长辐射热交换值 44 W/m^2 ($371 - 327$), 20 W/m^2 透过大气回到宇宙

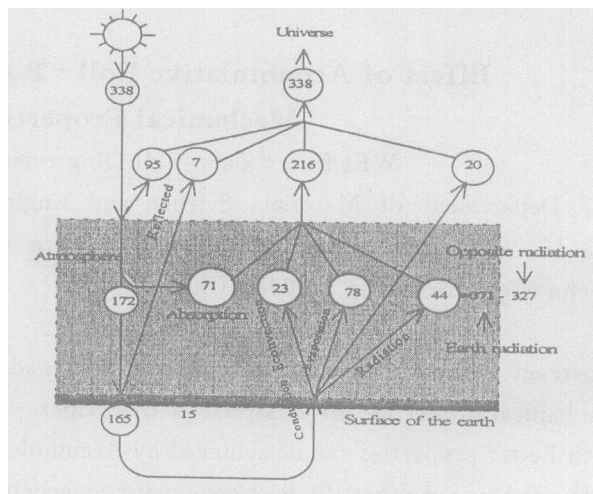


图 1 地表的日射能源变换示意图

Fig. 1 Solar energy change guide map on the surface of the earth
宇宙中去。所以被大气吸收的放射能源为: $71 + 23 + 78 + 44 = 216 \text{ W/m}^2$, 这些能源最后还是送回到宇宙中去, 送回到宇宙中去的能源把前面所述反射与辐射的部分加在一起, 一共有: $216 + 7 + 95 + 20 = 338 \text{ W/m}^2$, 与原先所述的从太阳那儿入射的能源值正好相等。由于寒带与热带的地区差别, 有可能产生多少数字差别。即使是同一个地区, 由于季节

收稿日期: 2004-06-07

作者简介: 张牛牛 (1951-), 男, 上海人, 工学博士, 副教授, 主要从事建筑环境、能源等方面的研究。

变化也可能产生数字差别。

1.2 太阳定数

日射是从太阳放射到地球上的辐射能源, 能够到达地球上的辐射能源仅仅不到太阳全辐射能的 20 亿分之一。太阳的主体是氢, 太阳放射是由于氢的核融合反应形成 He 时发生了巨大的能源, 在表 1 中列举了太阳的诸定数。日射的太阳定数是指地球大气圈外的太阳辐射强度, 关于太阳定数值, 自 20 世纪以来有许多科学家都经过了测定, 本文选用的测定值是美国航空宇宙局 (NASA) 在飞机上观测的结果, 经过专门技术协会整理后发表的 NASA 标准值, 由于地球和太阳的距离是变动的, 所以它的太阳定数也在每日变动, 它的年平均值是 $1\,350\text{ W/m}^2$, 一年的变动幅度在 50 W/m^2 左右。

表 1 太阳定数

Table 1 Fixed numbers of the sun	
年龄	至少 45 亿年
与地球的距离	平均 $1.5 \times 10^8\text{ km} \pm 1.5\%$
直径	$1.39 \times 10^6\text{ km}$ (地球的 109 倍)
体积	$1.41 \times 10^{33}\text{ km}$ (地球的 130 倍)
质量	$1.99 \times 10^{30}\text{ kg}$ (地球的 333 000 倍)
化学成分/%	$w(\text{氢}) = 73.46$ 、 $w(\text{He}) = 24.85$ 、 $w(\text{其他}) = 0.63$
	全太阳 $3.83 \times 10^{23}\text{ kW}$
太阳放射量	太阳平均表面积 $6.29 \times 10^4\text{ kW/m}^2$
	地球大气圈外 1.36 kW/m^2
温度	中央部 $15\,000\,000\text{ K}$; 表面 $6\,050\text{ K}$

1.3 日射的波长分布与日射强度的衰减

NASA 提供的大气圈外的日射的波长分布值, 在波长 $0.48\text{ }\mu\text{m}$ 处为最大值 $2\,074\text{ W/m}^2$, 在可见光范围的波长 $0.74\text{ }\mu\text{m}$ 以下的短波长区域, 约占了全日射的 47%, 在波长 $4.0\text{ }\mu\text{m}$ 以上的长波长范围不超过全日射的 1%。

可是日射在到达地面之前它受到大气中的空气分子的瑞利散乱, 及烟雾质 (浮在空气中的固体与液体的微粒子) 的个别散乱, 紫外线范围几乎被空气分子吸收, 红外线范围的大部分被大气中水蒸气所吸收, 以使放射到地面的能量大为衰减。所以地面上的波长分布与大气圈外的波长分布情况有着很大的差异, 它的衰减状况是指数式的, 是在瑞利散乱及烟雾状个别散乱影响后的日射强度, 再加上 OZONE 与 CO_2 等大气的吸收。由于个别散乱及前面所述的散乱部分, 列出了地上分波长日射强度近似值。图 2 是浦野良美・渡道俊行利用这个近似公

式作成的日射强度的波长分布曲线图, 图中大气的质量系数为 m (大气圈外 $m=0$), 与太阳放射通过大气层的距离系数相关, 近似于太阳高度的正弦系数的倒数, $m=1$ 的时候是太阳在头顶上, $m=2$ 的时候是太阳高度在 30° 位置。日射强度意味着波长 λ 的法线面直射日射的强度衰减的原因大部分是由于空气中水蒸气 CO_2 、OZONE 的吸收。另外还有被污染的城市的大气中浮游尘埃及种种物质的因素吸收了太阳的放射能。

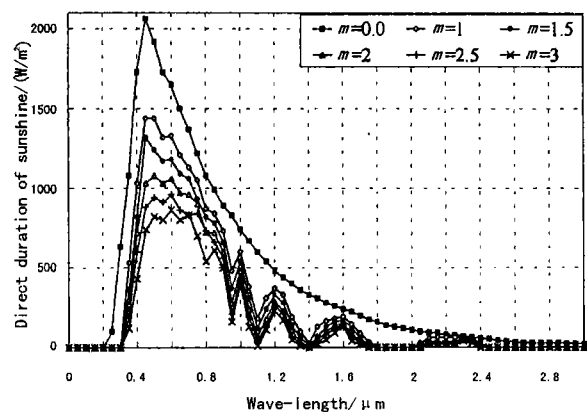


图 2 直达日射量和它的波长分布

Fig. 2 Direct duration of sunshine and wavelength distribution

1.4 大气透过率

太阳在天顶的时候, 大气圈外与地球表面太阳放射量的比值称大气透过率, 这从物理上来讲是一个非常含糊的概念值。比方说: 江苏地区不在赤道线上, 要观测太阳不是从头顶上通过的江苏地区的日射量的时候, 既使用根据太阳高度的大气质量系数来进行逆算所得到的假想的数值的话, 也不能称为实际的大气透过率。这是因为太阳放射通过大气时短波长成分比较早被吸收, 剩下的都是长波长成分的原因。可是大气透过率作为日射量综合的指标, 现在还是被广泛地应用于日射的理论计算。

2 现代人与太阳

1973 年 10 月的中东战争引起了全世界的石油危机, 使人们认识到: 现在为止被认为使用不尽的石油资源, 实际上埋藏量是有限的, 这对于人类是一个很大的意识革命, 人们已经开始着眼于加入开发寻找代替石油资源的新能源的行列中。在日本国, 出现了曾在 1960 年开发的由于在石油低价格时期销路不太好的太阳能热水器也开始重新复兴起来。1979 年日本国政府部门 JIS 制定的条文中

规定,太阳能热水器虽然不是大家心目中所喜欢的商品,但是作为对付能源危机的象征性商品,必须得到社会上的认可。

近 200 年以来许多人拟定了目前可以将地球上的化石燃料无保留地开发使用,然后再用几十年的时间创造出新能源的再生目标。另外也有人认为:投入精力开发新的燃料的同时,必须将我们身边到目前为止所使用的低价能源有没有存在浪费现象而作出反省,现在应该从各个方面响起节能的呼声。在建筑领域里:建筑材料的表面分光波反射特性与表面温度、放射量的研究^[2,3],及日射吸收率的测定等也正在深入研究中。在建筑设计与施工中,为

了降低空调的负荷损失,加强了保温和居室气密化,适当地调整室内控制温度等对应策略,已经从政府到民间广泛推进。可是所谓节省能源,普遍认为在不降低环境素质的情况下,必须朝着再小的浪费都不能放过的方向而努力。

表 2 是根据联合国国际能源机构 1997 年 12 月归纳的地球上能够开采的能源的埋藏量的统计资料,当时已明确地表明了地球上可开采的化石燃料的埋藏量:其中石油的可开采年数为 43 年,天然气的可开采年数为 61.6 年,煤炭的可开采年数为 231 年,URAN 的可开采年数为 73 年。综上所述将开发新能源作为当今的课题是没有错的。

表 2 世界的能源埋藏量

Table 2 Energy quantity of the burying in the ground fworld

	石油	天然气	煤炭	URAN
确认可采埋藏量	1998 年 1 月 1 日—现在:	1998 年 1 月 1 日—现在:	1993 年末:	1995 年 1 月:
	10 195.46 亿 BARREL ¹⁾	143 兆 m ³ ²⁾	10 316 亿 t ³⁾	451 万 t ⁴⁾
北美	2.6%	4.6%	24.2%	17.0%
中南美	12.4%	5.6%	1.1%	5.8%
西欧	1.8%	3.3%	7.3%	3.1%
中东	66.4%	33.9%		
亚洲、太平洋	4.1%	6.3%	30.9%	24.0%
非洲	6.9%	6.9%	6.0%	16.6%
CIS、东欧	5.8%	39.4%	30.6%	33.5%
年生产量	1997 年 64 940 千 BARREL/d	1996 年 233 亿 m ³	1993 年 44.7 亿 t	1994 年 3.1 万 t
可采年数	1997 年 43.0 年	1995 年 61.6 年	1995 年 231 年	1994 年 73.0 年 ⁵⁾

1) 摘自 oil & Gas Journal (1997 年 12 月 29 日); 2) 摘自 oil & Gas Journal (1997 年 12 月 29 日) 及 oil & Gas Journal (1997 年 3 月 10 日); 3) 摘自世界能源会议; 4) 摘自 OECD/NEA/IAEA (1995 年); 5) 关于 URAN 资源, 因为现在库存有很多原因, 所以确定年生产量的计划是按每年市场需要量减去库存量 (6.1 万 t) 的方法。因此确认埋藏量可采年数是按确认库存量减去年需要量的 6.1 万 t 的方法。

现在人类一年消费的能源量根据 1976 年的统计为: $2.73 \times 10^{17} \text{ kJ}$ (サンシャイン計畫推進本部編; (改訂) 輝ける太陽エネルギー、東京大蔵省印刷局, 1980)。

然而太阳放射到地球圈外的能量单纯地计算的话: (地球大气圈外热射量) $1.35 \text{ kW/m}^2 \times$ (地球断面面积) $1.275 \times 10^{14} \text{ m}^2 = 1.73 \times 10^{14} \text{ kW}$ 。

(通过上述数据分析, 地球只需要 40 min 的太阳放射量, 就能解决 1 年的能源问题, 而且是对地球环境没有什么危害的清洁能源。) 因此说如果能将太阳放射到大气圈外的热能利用起来的话, 它的巨大能源是地球上埋藏的任何能源都不能相比的自然资源。

经过 1973 年的第 1 次石油危机, 1979 年的第 2 次石油危机, OPEC 诸国与先进石油消费国之间的石油需给关系中原油的价格在 1978 年 12 月的 13.3 US\$/BARREL, 1980 年 11 月 OPEC 总会 GSP (Government selling price; 改变了原来由价

格成员国决定为产油国政府决定原油价格的新方针) 决定上升为 32 US\$/BARREL, 1981 年 10 月总会 GSP 决定价格为 34 US\$/BARREL, 此价格一直冻结到 1982 年底, 1987 年 2 月恢复了公开贩卖价格制。起定价格设定为 18 US\$/BARREL, 1996 年全年中原油的移动价格由图 3 所示, 约在

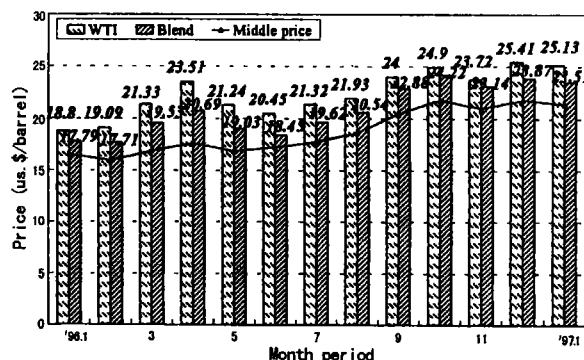


图 3 世界原油价格动向 (1996 年 1 月~1997 年 1 月)

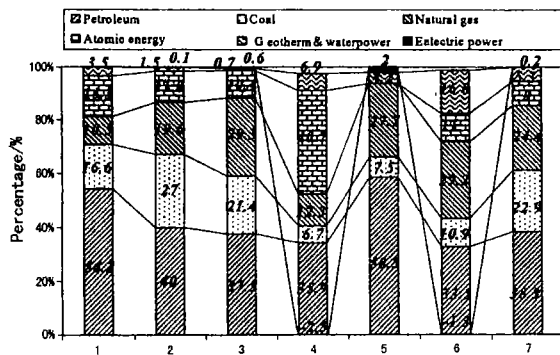
Fig. 3 World petroleum spot price trend (Jan, 1996–Jan, 1997)

20~25 US\$/BARREL (根据 REUTERS 采用每

日最终调查的卖值与买值的中间值)。今年以来, 由于中东局势不稳定, 原油价格已经超过了 54 US \$ /BARREL 大关 (中国海洋石油总公司油价信息 2004 年 10 月 15 日: WTI: 54.66, BLEND: 51.18, MIDDLE-PRICE: 49.90), 是 1978 年 12 月时期的 4 倍, 所以从长期的眼光来看, 由于石油资源的有限性, 各国政府都在研究了本国能源政策的基础上, 对石油的需求立了预测案。

3 关于太阳能的利用

图 4 是根据 IEA (国际能源机构) 登记为基础的 1995 年世界先进国家的一次能源供给量, (TPES) 与其他各能源构成比 (图中括号内的数字为折合石油单位 100 万 t), 日本在 1995 年一次能源的需求量为折合石油单位 4 亿 9 千 4 百万 t,



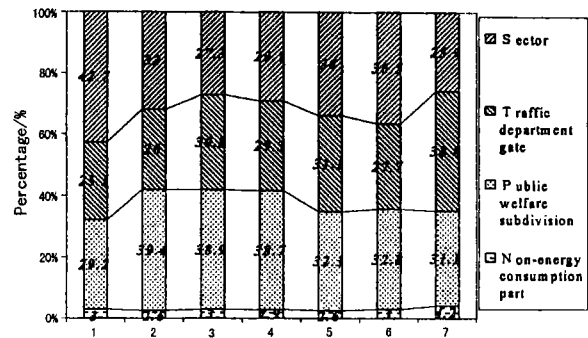
1. Japan (494); 2. Germany (339); 3. United Kingdom (222); 4. France (241); 5. Italy (161); 6. Canada (233); 7. America (2 078)

图 4 主要先进国家的一次能源需要量与供给量

Fig. 4 First energy supply and demand quantity of the main advanced nations

其中石油占 54.2%，煤炭占 16.6%，天然气占 10.5%，原子能占 15.3%，水力/地热占 3.5%，石油的需求量占了一半以上。图 5 是 1995 年主要先进国家的最终能源消费与各部门构成比 (图中括号内的数字为折合石油单位 100 万 t)。日本在 1995 年最终能源消费量为折合石油单位 3 亿 4 千 6 百万 t, 其中非能源消费部门占 3%，民生部门占 29.2%，运输部门占 25.1%，产业部门占 42.7%，产业部门能源消费量将近占了一半。图 6 是 1995 年主要先进国家的总发电量与各生产电源使用的燃料的构成比 (图中括号内的数字单位为亿 kWh)。日本在 1995 年的总发电量为 9 809 亿 kWh, 其中生产电源使用的燃料比率为原子能占 29.7%，煤炭占 17.8%，石油占 22.9%，天然气占 19.5%，

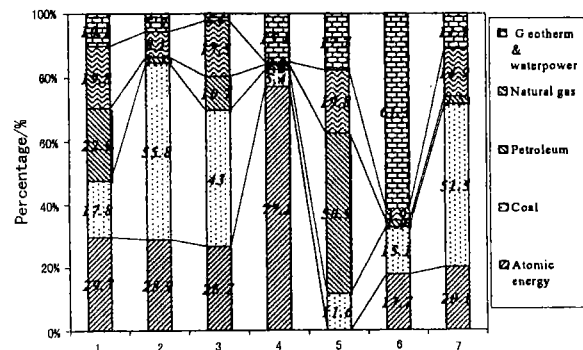
水力/地热占 10.1%。以上 3 个例图主要介绍了世界先进国家在 1995 年度的能源需给梗概情况, (摘自: OECD ENERGY BALANCES 1994-1995), 几乎没有考虑到关于太阳能利用的正式计划, 可是太阳放射到地球表面 172 W/m^2 的巨大自然资源, 人类怎样把它列入正式使用计划, 是我们今后几十年间必须考虑的重大课题。



1. Japan (346); 2. Germany (246); 3. United Kingdom (156); 4. France (159); 5. Italy (125); 6. Canada (178); 7. America (1 403)

图 5 主要先进国家的各部门最终能源消费量

Fig. 5 Each subdivision last energy consumption in the main advanced nations



1. Japan (9 809); 2. Germany (5 326); 3. United Kingdom (3 329); 4. France (4 893); 5. Italy (2 374); 6. Canada (5 514); 7. America (35 584)

图 6 主要先进国家生产电力消费的各燃料量

Fig. 6 The fuel which consumed production electric power quantity to the main advanced nations

在主要先进国家会议中, 各国在确定本国长期能源供给的方针上都设定了进口石油的目标, 图 7 是世界先进国家对能源进口的依存度关系图, 日本的全能源依存度为 99.7%，石油的依存度为 80%，其中关于太阳能的能源利用计划还没有正式列入议程, 可是日本政府已经制定了太阳能的供给计划, 并且年年在进行修改, 其中通商产业省对利用太阳能施政方面制定了一系列的优惠政策, 在这些优惠

政策下,日本的太阳能利用方面取得了一定的成绩,在表 3 中介绍了日本从 1975~1982 年推广使用太阳能热水器的实绩。从 1975 年的 2 068 件到 1982 年的 51 565 件,7 年中增加了 25 倍。

能战略规划、国际太阳能公约,设立国际太阳能基金等,推动全球太阳能和可再生能源的开发利用。

自“六五”计划以来,中国政府一直把研究开发太阳能和可再生能源技术列入国家科技攻关计划,大大推动了中国太阳能和可再生能源技术和产业的发展。

目前为止:中国太阳能热水器的年生产量已经是欧洲的 2 倍,北美的 4 倍,年总产值超过 60 亿元,并以每年 20% 至 30% 的速度递增,到 2010 年,国内市场容量将达到 600 亿元(摘自:中国太阳能信息网,北京雨昕阳光太阳能工业有限公司,2003 年 10 月)。

4 结 论

本研究经过调查证实:现在人类对于太阳能技术的利用还没有考虑到列入能源利用计划的正式轨道,还是属于摸索推进的阶段,其中 90% 左右用在热水加热器上,民用住宅用得比较多,企业一般都用在暖气加热系统方面。因此,本研究认为:如果人类要真正做到控制、配置太阳能资源的话,还必须进一步作出努力。

参考文献:

- [1] 木村建一,吉野正敏,浦野良美,等.新建築大系 8 [M]. 東京:日本建築學會,1984.80-93.
- [2] 成澈哲生,大森俊則,今井潔,等.分光光度計による建築材料の分光透過率、反射率の測定 [A]. 日本建築學會建築環境工學學術研究發表會資料 [C]. 東京:日本建築學會,1986.1-6.
- [3] 張牛牛,成澈哲生,西岡利晃,等.表面の異なる建築材料の分光反射特性と表面温度及び放射量に関する研究、空氣調和 [A]. 衛生工學會論文集 [C]. 東京:日本空調,衛生工學會,2001.9-18.

Research about Solar Radiation Characteristics and Earth Energy

ZHANG Niu-niu¹, KAJIL Hironobu²

- (1. Department of Mechanical Engineering, Jiangsu Polytechnic University, Changzhou 213016, China;
2. Department of Science and Engineering, Kinki University, Osaka 581-0811, Japan)

Abstract: The relation between the solar energy heat income and the earth energy consumption is explained. Also, issues such as the use of solar energy and other energy sources, economic development, oil price and so on, have been investigated. All these studies show the necessity and importance of the use of the solar energy.

Key words: solar radiation; heat environment; heat income and consumption; earth energy

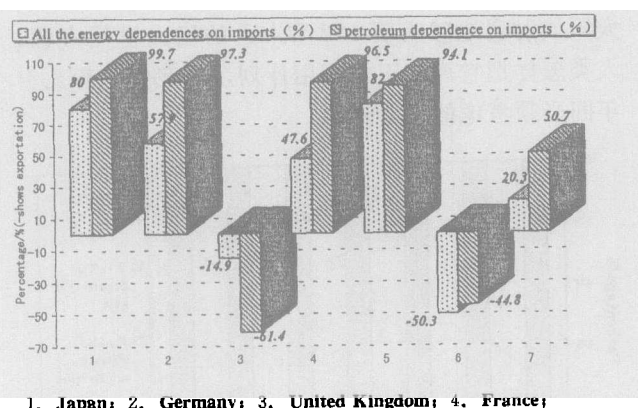


图 7 主要先进国家的能源进口依存度

Fig. 7 Energy dependence on imports of the main advanced nations

表 3 太阳能装置设置件数

Table 3 Solar energy appliance installation quantity

年	1975~1978	1979	1980	1981	1982	计
户建住宅	1 814	2 305	24 420	30 525	50 428	109 519
共同住宅	19	11	60	37	62	189
民生业务用	192	251	981	1 462	1 043	3 929
产业用	16	13	69	55	32	185
计	2 068	2 580	25 530	32 079	51 565	113 822

1973 年,美国制定了政府级的阳光发电计划,1980 年又正式将光伏发电列入公共电力规划,累计投入达 8 亿多美元。1992 年,美国政府颁布了新的光伏发电计划,制定了宏伟的发展目标。德国等欧共体国家及一些发展中国家也纷纷制定了相应的发展计划。90 年代以来联合国召开了一系列有各国领导人参加的高峰会议,讨论和制定世界太阳