

陶瓷窑炉节能

孟天雄 编著

中南工业大学出版社

目 录

第 1 章 节能概述	(1)
1.1 能源及其分类	(1)
1.2 我国能源状况	(8)
1.3 节能	(9)
1.4 陶瓷窑炉节能大有可为	(13)
第 2 章 窑体结构与节能	(15)
2.1 窑顶、窑墙	(16)
2.2 窑车	(28)
2.3 其他结构	(29)
第 3 章 燃料燃烧与节能	(31)
3.1 燃料的选择	(31)
3.2 提高燃烧效率	(34)
3.3 重油掺水	(35)
3.4 煤气化	(37)
第 4 章 匣钵与节能	(43)
4.1 建立合理的冷却制度降低出车温度	(43)

4.2	采用薄壁匣钵	(45)
4.3	无匣烧成	(47)
第 5 章	烧成温度与节能	(49)
5.1	降低烧成温度的必要性	(49)
5.2	降低烧成温度的途径	(52)
第 6 章	快速烧成	(59)
6.1	快速烧成对工艺的要求	(59)
6.2	快速烧成对窑炉结构的要求	(64)
6.3	快速烧成对燃料的要求	(65)
6.4	快速烧成对耐火材料的要求	(65)
第 7 章	自动控制与节能	(67)
7.1	窑炉自动控制的含义	(67)
7.2	热工参数的自动调节	(68)
第 8 章	余热利用	(72)
8.1	预热带离窑热烟气的余热利用	(72)
8.2	冷却带余热利用	(79)
附录	永不凋落的奇花——漫谈陶瓷釉下彩	(83)
	茶和茶具	(90)
	古陶今探	(105)
	读红楼，谈汝窑	(111)
	特种陶瓷	(114)
后记	(119)

第1章 节能概述

1.1 能源及其分类

什么是能源？简单地说，能源就是能量的来源或能量的源泉。

在自然界里，有一部分资源包含一定形式的能量，在一定的条件下，它们可以转换成人们所需要的某种形式的能量。这些自然资源，我们就称之为能源。如煤炭、石油、天然气、太阳能、风能、水力、地热、核能等等。

能源是人类生活和生产的重要资源。它的开发和利用情况是衡量一个时代、一个国家的科学技术和经济发展水平的重要标志。

能源的分类可以帮助我们了解各种能源的基本性质和它们之间的相互关系。

能源的分类方法大体有如下几种：

1.1.1 按来源分，可以分为三大类。

第一类能源，来自地球以外，主要是来自太阳的辐射能。太阳离开地球约一亿五千万公里，其直径有139万公里，比地

球直径大109倍，也就是说，在一个太阳里，可以容纳130万个地球。

太阳每秒钟向周围空间辐射的能量达 3.75×10^{26} 焦耳，约等于 1.3×10^{16} 吨标准煤所产生的全部热量。能到达地球的太阳辐射能只是其中很少的一部分，一年之内约为 8.0×10^{13} 千瓦。不要小看了这个数字，它是全世界目前每年利用各种能源产生的总能量的一万多倍。有人估计，如果把一个长300公里、宽100公里的沙漠地带一年里所接受的太阳能全部利用起来，就能满足人类目前一年里对能量的全部需要。

人类所需能源的绝大部分可以说都是来自太阳的辐射能。各种植物通过光合作用，把太阳能转变成化学能，在植物体内贮存下来。煤炭、石油、天然气等是由古代植物、动物深埋地下，经过漫长的年代，经过复杂的物理、化学变化而形成的，因此，可以看成是由古代生物固定下来的太阳能。风能、波浪能、海洋温差、水力等，也都是由太阳能转换而来的。

第一类能源除太阳能外，还有其他恒星或天体发射到地球上来的各种宇宙射线的能量。

第二类能源是地球本身蕴藏的能量，包括地球内部的热能以及地壳和海洋中储存的原子核能。

地球本身是一个大热库。它是一个巨大的实心椭圆球体，平均直径为6370公里。由三层构成：地壳（厚度不一，几公里至70公里），地幔（厚度约为2900公里），地核。除一薄层地壳外，其内部都非常热，地壳基部（25~50公里处），温度在 $200 \sim 1000^\circ\text{C}$ 范围内。从地面向下，随着深度的增加，温度不断提高，地球核心部位的温度高达 5000°C 左右。一般认为，地球物质中放射性元素衰变产生的热量是地热的主要来源。据估

计，仅地球表面以下10公里范围内的地热储量，相当于现在世界能源年消费量的400多万倍。每年从地球内部传到地球表面的地热能大约相当于1000亿桶石油燃烧所放出的总热量。

据有关资料介绍，全球地热能的潜在资源是巨大的，约为 4×10^{13} 兆千瓦小时。

核能是铀、钍、氘、氚等物质的原子核在发生裂变或聚变反应时释放出来的巨大能量。许多国家建立的核电站，就是使用铀原子核裂变时放出来的能量。原子核聚变放出来的能量更多，海洋里可供原子核聚变的氘和氚，聚变后释放出来的能量，按目前世界能源消耗水平，可以供给全世界使用1000亿年。

第三类能源来自地球与其他天体的相互作用，如潮汐能。

我国古籍上说：“大海之水，朝生为潮，夕生为汐。”说明我国古代的劳动人民就已经观察到了潮汐现象。

对潮汐现象的解释，在很长的时间里，都是众说纷纭，莫衷一是。古希腊哲学家柏拉图认为地球与人一样，潮汐就是它的呼吸。

17世纪80年代，牛顿在发明了万有引力定律之后，才提出了潮汐是由于月亮和太阳对海水的吸引力所引起的这一正确解释。由于月亮距地球较近，其吸引力比太阳的吸引力大2.2倍，是主要的引潮力。此外，由于地球的自转，地表海水受到离心力的作用。所以，我们说引潮力是由月亮和太阳的引力，地球自转产生的离心力合成的。由于月亮、太阳的运行有很强的周而复始的规律，因而潮汐也同样具有很强的周期性，一天之内有两次涨落。

以上所述，可归纳如表1—1。

表1—1

按来源区分的能源分类

第一类能源 (来自地球以外)	太阳 辐射能	煤、石油、天然气、油页岩、草木燃料、沼气和 其他由于光合作用而固定的太阳辐射能，风、流水、海流、波浪；海洋热能、直接的太阳辐射
	宇宙射线、流量和其他星际物质带进地球大气中的能量	
第二类能源 (来自地球自身)	地球热能	地震、火山活动；地下热水和地热蒸汽（包括温泉）；热岩层
	原子核能	铀、钍、镭、氡等
第三类能源 (来自地球与其他天体的相互作用)	潮汐能	

1.1.2 按是否需要加工转换，可分为一次能源、二次能源两大类。

天然存在于自然界，不需经过加工转换，即可使用的能源，称为一次能源；由一次能源加工转换而成的能源，称为二次能源，如表1—2所示。

表1—2

一次能源与二次能源

一 次 能 源	二 次 能 源
煤炭、石油、天然气、油页岩、地热、太阳能、水力、波浪能、风能、海洋能、生物能、核能	煤气、电力、蒸汽、沼气、液化气、氢能、焦炭、汽油、煤油、柴油、重油、酒精

1.1.3 按能否“再生”分。

在自然界中，有些能源可以循环再生，不因长期使用而减少，这一类能源，我们称之为再生能源，如太阳能、风能、水力、生物能等等。自然界中另一些能源则是不能循环再生的，用一点就少一点。这种能源我们称之为非再生能源，如煤炭、石油、天然气、核燃料等等。如表1—3所示。

表1—3 再生能源与非再生能源

再生能源	非再生能源
太阳能、海洋能、波浪能、风力能、潮汐能、水力能、地热能、生物能、草木燃料	煤炭、石油、天然气、油页岩、核燃料

当然，再生能源与非再生能源之间的区别只是相对的。例如，我们把煤炭、石油等化石燃料称为非再生能源，并不是说它们绝对不能“再生”，而是因为它们的“再生周期”非常长，所以，我们仍称之为非再生能源。

1.1.4 按能源（能否储存）性质分。

可分为含能体能源、过程性能源两大类。能量比较集中的“含能体”是“含能体能源”，能量比较集中的“能量过程”则是“过程性能源”。（表1—4）

表1—4:

含能体能源	草木燃料、化石燃料、核燃料、地下热水和地热蒸汽、高水位水库、氢能
过程性能源	风、流水、海流、潮汐、电能、地震、直接的太阳辐射

这两类能源有很大区别，过程性能源无法直接地大量储存，如果要把它们储存起来，一般必须把它们先转变成含能体能源的能量。例如，为了储存流水的动能，就要修筑水坝，把流水的动能转化为高水位的势能。又如，为了储存电能，人们发明了蓄电池。但实际上，蓄电池中储存的已经不是电能，而是化学能了。同再生能源与非再生能源之间的区别一样，含能体能源和过程性能源之间的区别，“虽然存在于自然界中，可是只具有相对的意义。”（《反杜林论》）。

1.1.5 按使用时间分，可分为常规能源与新能源。

有一些能源为人类所利用的时间长，应用的范围广、人们对它们很熟悉，这样一些能源就称为常规能源。如煤炭、石油、天然气、水力、电力等等。

另一些能源则是新近才开始利用，逐渐为人们所重视，虽然在目前使用的能源中所占比例很少，但很有发展前途，今后会愈来愈重要。这样一些能源，我们称之为新能源（即非常规能源，有时可称为替代能源）。常规能源与新能源的划分是相对的，现在的常规能源过去也曾是新能源，今天的新能源将来又会成为常规能源。例如，核裂变能应用于核电站，在我国刚开始建造，是新能源；在许多发达国家，除快中子反应堆和核聚变外，已把核能作为常规能源。即使对于常规能源，目前也正在研究多种新的利用技术，如磁流体发电，就是利用煤炭、石油、天然气等燃料，使气体加热成为高温等离子体，在通过强磁场时直接发电。常规能源与新能源如表1—5所示。

1.1.6 能源利用小史

人类利用能源，经历了草木时期、煤炭时期、石油和天然气时期，现已开始进入了核能时期。据估计，到21世纪，人类

表1—5

常规能源与新能源

常 规 能 源	新 能 源
煤炭、水力、焦炭、煤油、石油、 电力、蒸汽、重油、天然气、酒 精、汽油、液化气、油页岩、煤气、 柴油	太阳能、生物能、核裂度、 风能、波浪能、核聚变、地 热、潮汐能、海洋温差、氢 能

将进入太阳能与核聚变时期。

在1875年以前，人类使用的主要能源是草木，1875年以后，才进入煤炭时期，一直到1950年，能源仍以煤炭为主。

第二次世界大战以后，随着科学技术的进步，工业的发展，石油的使用愈来愈广泛。特别是本世纪50年代末，60年代初，各主要工业国完成了能源以煤为主到以石油为主的过渡。从而使石油成为继薪柴和煤炭之后的第三代能源，成为工业发达国家经济增长的主要动力。西欧，日本和美国这三个世界最大的石油消费地区，每年都要进口本国石油消费量的40%~95%，形成了工业化国家依赖从产油的发展中国家大量进口石油的局面。

1973年中东战争爆发，阿拉伯国家以石油为武器，实行减产、禁运、国有化和提价，引发了资本主义世界的能源危机。石油提价后，石油进口国为了减少支出，加上经济上停滞，各主要工业国都缩减了石油消费量。因此，在1977年~1978年，市场上出现了石油过剩的现象。1979年~1980年石油第二次提价后，1981年又出现了石油过剩现象。不管世界石油供求状况如何，工业发达国家再不能无限增加石油消费了。这样，各国纷纷研究解决本国能源问题的办法。一般认为节能是近期解决能

源危机的主要途径。同时，还积极开展替代能源和再生能源的开发研究。

1.2 我国的能源状况

我国地大物博，资源丰富。据1992年2月8日《中国环境报》载：世界上已有的矿产在中国大地上都找到了，有探明储量的达148种。查明了16000多处矿产地，45种主要矿产的价值约10万亿元，居世界第三位。新中国成立四十多年来，能源工

表1—6 我国能源生产状况

时间	原煤产量 (亿吨)	原油产量 (亿吨)	天然气产量 (亿立方米)	水力发电量 (亿度)
1949	0.3243	0.0012	0.07	7
1952	0.6649	0.0044	0.08	13
1957	1.3073	0.0146	0.70	48
1965	2.3180	0.1131	11.12	104
1970	3.5399	0.3065	28.7	205
1975	4.8224	0.7706	88.5	476
1980	6.0724	1.0591	138.6	567
1983	7.15	1.0607	122.1	863.6
1988	9.7	1.37		1080
1989	10.4	1.37		1182
1991	10.9	1.39		1235

业得到了迅速的发展。

1.3 节能

1.3.1 节能及其重要性

节能，是节约能源的简称。节能，就是要减少能源在开采、运输、加工、转换以及使用各过程中的损失和浪费，从而提高能源的利用率，使能源发挥最佳的经济效益。

值得注意的是，节能，并不是简单地减少能源的供应量，更不是降低生产和生活水平，而是要用先进的技术手段、科学的管理制度、切实可行的节能措施，消除浪费、挖掘潜力、提高能源的利用率。

1989年江泽民同志在其译著《机械制造厂电能的合理使用》的序言中指出：“能源的供需矛盾日益尖锐，成了制约国民经济发展的主要因素。我国的现代化建设正面临能源的重大挑战。事实教育我们，要想搞好四化，必须优先解决能源问题。开发能源固然重要，搞好节能却是更为必要。”又说：

“党的十二大指出，1980年——2000年间，要在不断提高经济效益的前提下，力争使全国工农业总产值翻两番。但是到本世纪末，能源只能翻一番，要用能源翻一番来确保翻两番的工农业总产值，唯一的出路只能靠节能。为此，我国能源工作的总方针是坚持‘开发和节能并重’，……只要全国能源工作者乃至全国人民提高节能意识，树立长期节能思想，在各个领域里，特别是工业企业依靠科技进步和科学管理，靠真本领下硬功夫，并辅之以必要的制度、政策，用节能来缓和能源供需矛盾和促进经济的发展是完全可能的”。

从当今85个发展中国家和地区1975年的能耗数据看，每人年产值800美元及1000美元的能耗为1.28吨到1.6吨标准煤。从几个工业发达国家美、日、德来看，1978年这几个国家每人年产值800美元及1000美元的平均能耗为0.75吨到0.95吨标准煤。随着工业的发展、技术水平的提高，节能工作的进展，单位产值的能耗是会不断下降的。

如到20世纪末，我国单位产值能耗达到上述几个工业发达国家70年代末的平均水平，即人均年产值达到800至1000美元，能耗为1吨标准煤左右，当时我国的人口以12亿计算，那么，能量消费总量将从1980年的6亿吨标准煤上升为12亿吨标准煤，即产值翻两番能源需翻一番。根据我国的能源生产形势，20世纪末达到年产12亿吨标准煤是完全可能的。但能耗水平达到工业发达国家70年代末的水平还需要作很大的努力，必须依靠科学技术的进步，依靠科学管理的实行，依靠节能工作的进展。

我国能源消费量不多，但能源利用效率低。据估算，我国1980年耗能6亿吨标准煤，其中约4.2亿吨白白浪费掉了，再者，我国能源消耗的绝对数很大，但人均占有能源数却很小。例如，1979年我国生产的能源总量中除了少量出口以外，都用于国内的生产和生活，折合标准煤为5.87亿吨，仅次于美国和苏联，居世界第三位。但由于我国人口多，人平占有能源数量（不含农村生物能——非商品能源），仅有600公斤，是美国的二十分之一，苏联的十一分之一，只相当于世界平均水平的四分之一。这一方面说明我国尽管能源消耗的绝对数量大，但生产的产品不多，产值不高，因而节能的潜力很大；另一方面，按人口平均占有的能源数很少，说明还必须加快能源开

发，增加能源的产量。这也就是说，解决我国能源问题的途径有二：一是开源，二是节流。即一手抓能源开发，一手抓节能。节能是利在当代，功载千秋，造福子孙万代的事业，我们一定要高度重视，认真研究、切实执行。

1.3.2 直接能耗与间接能耗

各种产品在生产过程中的能源消耗包括两大部分。其一是生产这种产品过程中的直接能源消耗，其二是生产这种产品所需原材料，设备、厂房与其开发、建造过程中的能源消耗。这部分能耗、对产品来说，是间接的能耗。因此，我们在全面地研究能源消耗问题时，应同时考虑直接能耗与间接能耗，两者总称为“全能耗”。

产品的全能耗可表示如下：

全 能 耗	直接能耗	一次能源消耗（煤、油、天然气等）
		二次能源消耗（电、煤气、蒸气等）
耗	间接能耗	原材料（流动资金）
		设备、厂房（固定资产）

由此可见，在开展节能过程中，既要千方百计降低单位产品或单位产值的直接能耗，又要千方百计降低原材料的消耗，充分发挥设备、厂房的作用，使单位产品或单位产值的间接能耗最低。

1.3.3 节能潜力

节能潜力可分为理论节能潜力与现实节能潜力两种。

所谓理论节能潜力，是指供应能量中除了有效利用的部分和不可避免的损失之外，一切理论上可以避免的能量损失总量。

所谓现实节能潜力，是指世界上已经达到的节能先进水平与本国、本省、本部门、本单位的实际节能水平的差距。这种差距，通过努力是完全可以消灭的。我国能源科技水平和能源管理水平不断提高的过程，也就是不断挖掘现实节能潜力的过程，不断缩小乃至消灭与世界先进节能水平差距的过程。

轻工行业的节能潜力是很大的，有关专家认为，从轻工业成本构成来看，原材料和能源消耗占总成本的70%，而且成本还在大幅度上升。1989年约为1400亿元，如果节约3%，即可节约40多亿元。

1.3.4 节能评价

节能效果的评价指标一般有如下几种：

1. 单位产品能耗下降率

$$\text{单位产品能耗下降率} = \frac{\text{单位产品能耗下降量}}{\text{基准年单位产品能耗}} \times 100\%$$

2. 节能率

$$\text{计划节能率} = \frac{\text{计划节能量}}{\text{计划耗能总量}} \times 100\%$$

$$\text{实际节能率} = \frac{\text{节能量}}{\text{实际耗能总量} + \text{节能量}} \times 100\%$$

3. 能源利用效率

$$\text{能源利用效率} = \frac{\text{有效利用的能量}}{\text{供给的能量(指一次能源)}} \times 100\%$$

4. 单位工业生产总产值耗能

一般企业用万元产值综合能耗，省或国家常用亿元工业产值综合能耗。

$$\text{综合能耗(标准煤吨/万元)} = \frac{\text{各种能耗总量(标准煤吨)}}{\text{总产值(万元)}}$$

5. 单位利润值能耗:

$$\text{单位利润值综合能耗} = \frac{\text{本期各种能耗总量(标准煤吨)}}{\text{本期利润总额(万元)}} \\ (\text{标准煤吨/万元利润})$$

上述五种指标, 1、2两种可以直观反映出能源的消耗和节约情况, 计算较易。3种从能源利用方面反映企业面貌, 计算较繁。4、5种从经济效果和经营管理方面说明能源利用情况, 在一定程度上反映企业能源利用的综合经济效果。

1.4 陶瓷窑炉节能大有可为

我国是一个陶瓷大国。据统计, 我国共有县属以上日用陶瓷生产企业973家, 职工38万人, 1988年生产日用陶瓷53.2亿件, 总产值23.15亿元, 出口陶瓷8.37亿件, 创汇2.22亿美元, 平均每件换汇0.265美元。轻工系统内的陶瓷企业生产各种工业陶瓷58万吨, 产值6.6亿元。目前我国日用陶瓷产量和出口数量均居世界首位。近年来, 我国的建筑卫生陶瓷有了较快的发展, 墙地砖年产量已超过1亿米², 卫生陶瓷1000万件, 轻工系统的瓷厂生产的建筑卫生陶瓷占总产量的一半以上。陶瓷工业, 是高耗能的产业。我国陶瓷工业目前的能耗相当高, 万元产值耗标准煤, 1985年为15.43吨; 1986年为13.96吨; 1987年为12.66吨; 1988年为11.40吨。每吨瓷耗标准煤1.2吨, 比国际上的能耗高1~2倍以上。按陶瓷行业“八五”规划的要求, 到1995年, 万元产值耗标准煤9.9吨, 比“七五”期间降低10%以上。

陶瓷工业的热能主要消耗在烧成和干燥两个工序上。据英国陶瓷研究协会的调查, 英国陶瓷工业的热能消耗大致为: 烧

成占61%，干燥占25%，取暖占8%，动力和照明占9%。如果机械化水平低，环境条件差，则烧成与干燥这两项合计所占的比重还会更大些，我国陶瓷工业目前正属于这种类型。

目前，我国陶瓷烧成主要是两种窑：连续式的隧道窑和间歇式的倒焰窑。在烧成过程中，实际用于制品烧成的热能，所占比重极少。以隧道窑论，坯体水分蒸发和坯体物理化学反应的吸热只有2%左右，如果是倒焰窑，这个比例更少，绝大多数热能都损失了。

据测定，烧成一公斤陶瓷的理论热耗（加热坯体、蒸发水分、理化反应的热耗）一般在839~932焦耳/公斤之间，而我国目前在隧道窑中实际烧成一公斤瓷的热耗，一般都在26076~33552焦耳/公斤左右，比理论热耗高出几十倍。据最近的资料表明，国外各种隧道窑烧瓷的热耗一般在7456~14912焦耳/公斤之间，某些单层快烧窑，可达5592焦耳/公斤左右。由此，我们可以看到差距，同时，也充分说明陶瓷窑炉的节能潜力很大，是大有可为的事业。