

能源国家标准 宣贯读本



内 容 提 要

GB 3846—83《评价企业合理用热技术导则》，经国家标准局批准，现已颁布实施。为了便于能源管理人员、热工技术人员以及生产现场的用热设备操作人员对本导则正确地了解和掌握，积极进行贯彻，我们特编写了本读本。

本读本共分六章：结论；燃料燃烧的合理化；传热的合理化；减少传热与泄漏引起的热损失；余热的回收利用和测量与记录。

本读本对标准中规定的实现企业用热合理化，从概念到实际作了比较全面、详细的讲解，是一本实用性较强的书，在工作中有一定的参考价值。

本书的编写人员还有：刘选秀、汪友培、王政民、俞颐秦、孙云凤、叶华宝。

目 录

第一章 结论.....	(1)
第一节 我国的能源问题.....	(1)
第二节 非再生能源利用的主要形式——热.....	(3)
第三节 提高热效率的有效途径——合理用热.....	(3)
第四节 企业实现合理用热的技术经济依据 ——合理用热国家标准.....	(4)
第五节 《评价企业合理用热技术导则》的主要内容.....	(4)
参考文献.....	(10)
第二章 燃料燃烧的合理化.....	(11)
第一节 基本概念	(11)
第二节 燃料燃烧的管理标准.....	(14)
第三节 燃料燃烧方面的测量与记录.....	(23)
第四节 燃烧设备的检查与维修.....	(29)
第五节 改善燃料燃烧的措施.....	(32)
参考文献.....	(53)
第三章 传热的合理化.....	(54)
第一节 基本概念.....	(54)
第二节 传热管理标准.....	(56)
第三节 与传热有关的测量与记录.....	(62)
第四节 加热设备的检查与维修.....	(64)
第五节 改善传热的措施.....	(64)
第六节 改善传热设备的运行管理.....	(83)
参考文献.....	(92)
第四章 减少传热与泄漏引起的热损失.....	(93)
第一节 基本概念.....	(93)

第二节 保温绝热.....	(96)
第三节 锅炉和炉窑外表面温度标准.....	(113)
第四节 减少泄漏引起的热损失.....	(114)
第五节 减少热损失的其他措施.....	(123)
参考文献.....	(129)
第五章 余热的回收利用.....	(130)
第一节 概述.....	(130)
第二节 关于余热、余能利用及废热排放标准.....	(135)
第三节 余热回收设备及系统.....	(146)
参考文献.....	(149)
第六章 测量与记录.....	(150)
第一节 测量与记录的意义和内容.....	(150)
第二节 计量与测试仪器、仪表的配备.....	(152)
第三节 计量与测试仪器仪表的检定.....	(159)
参考文献.....	(169)

第一章 绪 论

第一节 我国的能源问题

自一九七四年国际上提出“能源危机”以后，能源问题已举世瞩目。如何降低单位产品能耗、提高能源利用率，进行有效的节能，已成为当今世界的重要课题。

我国也不例外。虽说我国的能源储量和产量都不少，堪称世界能源大国。但是，人均能源消耗量低于世界平均水平。据统计，一九七八年世界人均能耗为2.2吨标准煤/人，而我国仅有0.6吨标准煤/人；美国是12.6吨标准煤/人，日本是4.5吨标准煤/人，苏联是5.9吨标准煤/人。人均能耗低，不仅反映我国的国民经济发展水平低、人民物质生活条件差，而且也反映能源短缺、供应情况紧张。

党中央和国务院，为解决我国到本世纪末工农业年总产值翻两番所需要的能源，已作出了正确的决定：一半靠开发，一半靠节约。“开发与节约并重，近期要把节约放在优先地位。”并指出：节能的出路是，向科学技术要能源，向管理要能源。

我国是世界上人口最多的国家，也是一个较穷的国家。如果使人均能耗达到日、美、苏等国水平，有两个制约因素，一是资金、资源、运输存在困难；二是环境污染难以控制。所以不能照搬国外情况，只能在逐步增加能源供应的同时，在能源利用上精打细算，走高效利用能源的路。用比较少的能源，比较短的时间，达到我国预期的战略目标。这不但是必须的，而且是完全可能的。因为，我国在能源利用上存在着严重的浪费现象，所以节能潜力是相当大的。由于能源管理不善，耗能设备陈旧，用能技术落后，工业单位产品能耗要比工业先进国家高很多。表1-1是我国和日、美、苏在几项能耗大的产品方面单耗数字对比。由表列数字可以看出我国浪费

能源的严重程度和巨大的节能潜力。

表 1-1 中、日、美、苏四国几种工业的单位能耗

工业类别	能 耗 单 位	中 国	日 本	美 国	苏 联
		1980年	1977~1980年	1977~1980年	1977~1980年
钢 铁	吨标煤/吨钢	1.3	0.681	0.894	0.96
火 电	克标煤/变电	448	359	386	328
化 肥	吨标煤/吨氨	2.59	1.2	1.07	—
水 泥	吨标煤/吨水泥	0.207	0.121	—	—
造 纸	吨标煤/吨纸	1.88	0.79	0.59	—
玻 璃	公斤标煤/重壁箱	43.6	22.78	—	—

近年来，尽管我国的能源开发工作正在大力加紧进行，但是目前产量尚无法大量增加。因为能源开发需要相当长的时间才能建成投产。然而，随着我国工农业生产情况的好转和城乡人民生活条件的改善，目前能源缺口已在扩大，供应紧张情况有增无减。所以，当前解决能源不足的正确出路，也是最有效的出路，就是要大力开展节能工作。这不仅为缓和当前矛盾所需要，也为长远战略目标所必需。因为我们所论述的节能，其实质是充分地、有效地发挥能源的作用，使用同样数量的能源，提供更多的有效能，从而生产出更多、更好的产品，创造出更高的价值和更高的经济、社会效益，而不能简单地理解为少用能。实践证明：狠抓这样的节能，可以在能源消耗量增长较少的情况下，使国民收入保持较高的增长。这样的节能，意味着科学技术的进步。因为，只有采用先进的设备，先进的工艺和实行科学管理，才能实现这样的节能。

那么，这样的节能，企业从何着手呢？应从科学管理着手。首先要对用热进行科学管理。

第二节 非再生能源利用的主要形式——热

热对于人的重要性，犹如空气与水一样，是须臾不可离开的。自从我们的远古祖先发明钻木取火以来，热利用，就成为人类生活中不可缺少的极为重要的一项活动。人类的物质生活水平，是随着热利用的技术进步而不断提高和完善的。

人类最初的热利用，是从熟食、照明、取暖、驱散野兽开始的。尔后很快又用到了生产上。烧荒开垦、制造陶器、冶金铸造等就都是热在生产上的具体运用。燃烧树木、秸秆、杂草和畜粪，是这一时期的主要热源。可是随着生产的扩大，加之毁林开荒使树木减少，原来的能源就日益感到不足了，人类开始寻求新能源。这样，煤、石油和天然气等非再生能源，就先后一一被发现了。早在三千多年以前，中国已开始使用了煤。

由于这些能源的利用，科学技术和生产，首先是热利用技术出现了几次革命性的飞跃。正是因为煤的使用，才推动蒸汽机的广泛应用，从而改变了整个工业生产的面貌。上一世纪中叶，在美国打成第一口油井后，石油开始登上世界能源舞台。奥托发动机的发明，又一次明显地改变了人类生产、交通和生活的面貌。飞机、汽车可以说是这种变化的代表。

现代化的工农业生产，无不依赖于能源。特别是煤、石油和天然气，缺少它们，可以说，就无法进行。这些非再生能源的利用，除作原料用外，绝大多数的煤、石油和天然气都是作为燃料使用的。所以，提高它们的工程热物理过程的热效率是提高能源利用率的关键。

第三节 提高热效率的有效途径——合理用热

燃烧——加热——输配——防止热散失——废工质及烟气排放，构成了工程用热的完整链条。要提高每一环节上的热效率，必须要在“合理”上下功夫。

每一环节上的热效率，尤其是加热环节上的热效率，其“有效”和“损失”的计算，不能只停留在一般的概念上，而要从工程实际中去研究规定。只有使有限的热量发挥出最大的经济效益，用热才

是“合理”的。例如，在冶金部门，如果以钢坯加热到轧钢温度为有效，其余为损失，那么从热利用上看，被压制过的钢材带走的那部分热量，却仍有“大有可为”之处。如不再加利用，就不能不被认为是一种损失。又如冷凝式发电，通过汽轮机后排出的蒸汽仍有很高的温度，如不再利用，就更是一种损失，等等。所以，在工业生产中进行节能，必须要做到用热合理化。这是企业节能工作一定要遵守的原则。

第四节 企业实现合理用热的技术经济依据——合理用热国家标准

判断企业用热是否合理，遵守哪些规则，具备哪些条件才会达到合理，对这些在企业能源管理中必然会遇到的问题，需要有科学而明确的规定。企业合理用热标准，是保证企业合理用热的技术规范。贯彻企业合理用热标准是企业实现合理用热的基础工作。没有标准，用热合理性的评价就没有依据，企业能源管理自然就要发生困难，更无法推动所有企业都在用热上达到普遍的合理化。国家的节能任务也就难以实现。

现在国家标准局已经颁布了GB 3486—83《评价企业合理用热技术导则》。所谓“技术导则”，是一种对同一方面的各项技术管理标准的制订与贯彻，提供原则性指导的文件。《评价企业合理用热技术导则》就是规定企业在合理用热方面的指导性原则，各行业可以根据这一导则制订各种专业性细则或标准。贯彻、实施这项国家标准，是各厂、矿、企业的一项光荣任务。

第五节 《评价企业合理用热技术导则》的主要内容

《评价企业合理用热技术导则》（以下简称《用热导则》）共有五个部分：前言、燃料燃烧的合理化、传热的合理化、减少传热与泄漏引起的热损失、余热回收利用。

首先在“前言”中明确了制订《用热导则》的目的、意义和适用范围。指出：制订本技术导则的目的是“为促进企业合理有效地用热，达到节能目的”。本导则是“在技术、经济条件允许的范围内，

规定了评价企业合理用热的技术管理原则”。本导则的适用范围是“一切用热企业”，但不适用于“交通运输等部门的各种热功转换设备及人民生活用热设备”。

在以后各章，又按制订管理标准、测量与记录、设备检查与维修、改善措施等内容分成各节，每节都给出了详细具体的规定。

一 关于燃料燃烧的合理化

燃烧，是煤、石油和天然气的化学能转化为热量的主要方式，对能源的利用程度起重要作用。所以，在节能工作中，提高燃料燃烧的热效率是需要经常加以解决的重要课题。世界各主要工业国家，早就把达到燃料完全燃烧、最大限度地提高燃烧热效率为节能的首要目标。

我国的燃料构成是以烧煤为主的。为了使燃料尽可能得到完全燃烧和尽量提高燃烧热效率，在《用热导则》中规定要控制助燃剂——空气量，给出了空气系数^(注一)（过量空气系数）的标准值和排渣含碳量的允许值。

然而要达到上述目标，就必须对燃烧进行管理。所以必须对燃料的成分及发热量、进入燃烧装置的燃料、助燃空气及雾化剂的用量、温度和压力、以及排出烟气中的含氧量和可燃成分量、灰渣中的可燃成分量等进行测量与记录，这样才能不断改进燃烧状况。对此在这一章里作了明确规定。

注一：

定义：燃料完全燃烧的实际空气用量与理论所需空气量之比。文字代号为 α 。

$$\alpha = \frac{\text{燃料完全燃烧的实际空气用量}}{\text{理论所需空气量}}$$

现在在不同行业中使用的“过量空气系数”、“过剩空气系数”、“余气系数”等，在汉语表达方式上，易使人产生误解。“过量”、“过剩”、“余气”都表示“多出了”的意思，很容易被看成是多余的东西。没能确切说明， $\alpha > 1$ 在生产实际中，由于经济因素存在，是绝对必须的。参照日本标准，将它命名成“空气系数”，涵义才是恰当的。

在检查与维修燃烧设备和改善燃烧的措施方面：要求对燃烧装置、供风及引风装置、燃烧控制系统、管道及阀门等经常进行检查与维修，使其保持良好状态，并定期检查、校正和维修计量仪表，使之正常运转。同时还要求对燃烧技术不断进行改善。如：对燃烧装置类型及其特性参数的选择必须适合燃料种类及其理化性能，适合热设备与工艺的要求，必须有足够的可调范围，以满足加热负荷变化的要求；供风、引风系统要保证必要的风量与压力；要使燃烧设备所使用的燃料品种和性质相对稳定；要不断地研究采用新的燃烧方法等。

二 关于传热的合理化

热的利用，都是靠传递进行的。所以，传热，对热利用起着关键性作用。为了有效地进行节能，必须对传热过程进行管理和控制，尽可能地提高用热设备的热效率、降低单位产品能耗、增加实际经济效益。为此，在这一章里对各行业、各企业提出必须制订被加热或被冷却物体的温度和用于加热的蒸汽或其他载热体的温度、压力、流量及其他与传热有关的管理标准。其次，提出必须制订主要用热设备的热效率和单位产品热耗的专业标准。另外，要求根据厂房的建筑物结构，设备的配置，作业的工艺特点，制订采暖、降温 and 空调的温度及通风次数管理标准。

在这一章里还规定要测量与记录被加热或被冷却物体的温度及载热体的温度、压力与流量，以及表征设备热工状况的其他参数。对采暖、降温和空气调节的厂房，要测量与记录湿度、温度及其他必要的参数。

在设备维修方面：要求对传热设备及其附件经常进行检查和维修，保证使它完好正常。为此，要不断清除设备内积沉的灰渣、水垢及其他附着物；清除空气调节设备的堵塞物、热交换器的结霜和冷凝器的水垢，使这些设备总处于良好的工作状态，有充分的传热性能。对计量仪表要求要定期进行检查、校正和维修，保证其能长期正常运行。此外，还要求对工业锅炉、电站锅炉和冷却构件，按

GB 1576—79《低压锅炉水质标准》和《电力工业技术管理法规》进行水质管理。

改善热设备的传热性能和用热工艺，是企业在节能中需要紧紧抓住的环节。在这方面《用热导则》做了较为详细的规定。

在设备方面，要求注意改善设备换热部分和工业炉内壁表面的性能和形状，以提高其热传递能力。改进加热设备的本体、台架以及运送被加热物的台车、链爪、轨道等的结构，减少其重量，采用比热及导热率小的材料，以降低其蓄热量及热损失，提高设备的加热速度及热效率。增加多效重复利用罐的级数，合理延长炉子长度，增设并合理布置热交换装置，高温与低温加热设备配合使用来多次利用热效能，提高综合利用率。加热设备的排烟系统应有适当的抽力，多台设备共用同一排烟系统时，每台设备均应有单独的调节闸阀。整个排烟系统应有良好的气密性，以保证设备内的压力分布的调节能力。

在用热工艺方面：要求根据工艺过程的可能，在降低综合能耗条件下，降低加热温度的规定值，准确控制被加热或被冷却物体的温度，防止超出规定的温度范围。对于使用蒸汽等载热体的设备，要准确控制载热体的温度、压力与流量，防止供给的热量过剩。对于温度稳定、连续工作的加热设备，要控制各点的加热量，以保证被加热物按规定的温度制度加热。为进一步提高热效率，应研究改进温度制度，合理分配各点的供热量。对于周期性工作的热设备，在各工作阶段，应按规定的热制度控制供热量。为提高热效率，要研究更为合理的热制度。此外，只要可能，要求要尽量采用直接（明火）加热、浸没燃烧等加热方法，进一步缩小间接加热的范围。对尚不能采用直接加热工艺的，应研究改进间接加热的效果。

除了提出上述改善措施外，在本章对传热设备的运行管理也提出了需要改善的要求，还提出要采用高效设备和节能工艺流程，以及在有条件的地方（企业）实行热电合供等。

三、关于减少传热与泄漏引起的热损失

减少传热与泄漏引起的热损失，即通常所说的要堵塞跑、冒、

滴、漏和隔热保温（或保冷），非常重要。在这方面管理不善，所造成的损失可达15%~20%，浪费惊人。因此在这一章提出了限制措施，使它减少到最低程度。

《用热导则》规定，输送载热体的管道、装置以及热设备的保温、保冷标准，要按GB 4272—84《设备及管道保温技术通则》及有关专业规定执行。还规定，工业锅炉外壁表面温度不得超过50℃，其他工业窑炉外壁表面温度也列表给出了上限。

为了对热量的传输进行管理，掌握热设备的热损失情况，要求定期做保温、保冷状况参数的测试，并进行记录和分析。

堵塞跑、冒、滴、漏的最有效办法，就是对热设备、它的附件和保温结构进行经常的检查和维修。对此，在这一章里也作了明确的规定。

由于我国目前的用热设备多数都比较陈旧落后，再加上管理不善，热流失及热工质的泄漏问题比较大，亟待改善。所以，在减少热损失的措施上，提出：热设备的砌体（外壳），包括炉底、吊挂炉顶、炉门等均应具有完好的绝热层。在技术、经济合理的前提下，应适当地增加绝热层厚度，采用多层绝热和耐火纤维材料；应尽量减少工业窑炉内水冷或汽化冷却构件的数目、尺寸。炉内冷却构件均应有可靠的绝热。在可能的条件下，适当提高冷水的出口温度，减小流量。减少炉门等孔口的面积与数目，提高其严密性或采用双层密封孔门，减少孔门的开启次数、时间与幅度。炉墙也必须有良好的气密性，尽可能包以钢板。控制炉内压力。热设备中的连接、旋转部分应有可靠的密封。合理布置输送载热体的管路、输送高温物体的设备要加盖罩等，以减少热损失。

四 关于余热的回收利用

我国的能源利用率非常低，只有28%左右，不及日本的一半（日本是57%）。能源利用率低的原因之一是，热末能被多次利用。以冷凝式发电机组为例，发电热效率只有35%~40%。如能使汽轮机排出的蒸汽热不被循环水带走，而加以再利用，供给其他工业企业

或居民使用，热效率就可以提高到60%~70%。这方面的节能潜力非常之大，是节能挖潜的重点。

因此，在《用热导则》最后部分专门规定了工业锅炉排烟温度标准和烟气余热回收利用标准，并要求各行业，对于必须回收余热的冷凝水、低温液体、可燃成分、高温固态或液态物体（和废物）制订回收利用标准，以便使余热、余能得到充分利用。

在回收利用的热设备的设置上，在《用热导则》中提出了如下几个原则：

1. 根据余热的种类、排出情况、介质的温度、数量及利用的可能性，进行综合热效率及经济可行性分析，再决定余热回收利用热设备需要设置的类型和规模。

2. 余热回收，应优先用于设备本系统。如预热助燃空气或煤气、预热被加热物等。

3. 如无法用于设备本身，或用后还有可再利用的余热、余能，则应再用于生产蒸汽、热水或产生动力等方面。

为了掌握余热介质的温度和数量、可燃物质的成分和数量、余能载体的压力和流量，以及余热和余能回收装置的运行参数等，必须进行有关的测量与记录，以便及时提供余热回收利用的情况，作为改进工作的依据。

为使余热回收设备正常工作，对其热交换器、余热锅炉、热泵等应经常进行检查和维修，以保证设备完好。

在改善余热回收利用方面，要求输送载热体的烟道、管道及其闸阀等尽可能保持严密，防止吸入冷空气或渗入地表水，并应改善其保温性能，以减少载热体的热损失；改进余热回收装置的传热面性能和形状，增加其面积，以提高其余热回收率。还要研制、采用余热回收率高、预热温度高或产生蒸汽压力高、消耗耐热金属少、占地小、漏率低的新型高效余热回收装置。

为了便于用热设备的技术管理人员了解、掌握和贯彻《评价企业合理用热技术导则》，下面对其各章的主要内容作较为详细的阐述。

编者：刘选秀

参 考 文 献

- 〔1〕《中国能源政策》（研究报告），中国能源研究会。
- 〔2〕《工程热力学原理和应用》，〔美〕黄福赐。
- 〔3〕《能源趣谈》，〔日〕崎川彪行。
- 〔4〕《节能技术政策汇报提纲》，计委节能局。

第二章 燃料燃烧的合理化

第一节 基本概念

企业合理用热,首先需要做到的是合理使用燃料和燃烧合理化,要使燃料最大限度地放出其热量。为便于理解,先列出三个定义:

(1) 燃料——能进行燃烧释放热量的物质。

(2) 燃烧——燃料中的可燃成分(如碳、氢、硫及氢化物等)发生剧烈的氧化作用,并同时放出热量的过程,称为燃烧。燃料燃烧后,生成灰渣和烟气。

(3) 燃料燃烧的合理化——合理地分配、使用燃料,并使燃料在燃烧过程中尽可能地完全燃烧,最大限度地将化学能转换成热量,尽可能地降低燃烧时所需其他能源的消耗,并在可能条件下最大限度地降低燃烧热损失。

在我国工业生产中,各企业几乎每天都在燃烧燃料。我国每年开采出的煤炭,大约有二分之一是在大大小小的工业锅炉和工业炉窑中被烧掉的。为了充分利用我国的燃料资源、减少浪费,首先必须使燃料燃烧做到合理化。这是企业合理用热第一步就应当解决的问题。要做到这样,需要先使燃料能得到合理的分配和使用,并尽可能地提高燃烧热效率^(注一)和设备热效率。

一、我国燃料的种类与分布特点

燃料按其物态可分成固体、液体和气体三种;又可按其取得方式分成一次燃料和二次燃料。

各种加热设备主要常用燃料见表2-1。

注一: 燃烧热效率 = $100 - (q_1 + q_2)$, %

其中:

q_1 —— 化学不完全燃烧热损失, %;

q_2 —— 机械不完全燃烧热损失, %。

表 2-1 加热设备主要常用燃料

种 类	一 次 燃 料	二 次 燃 料
固体燃料	木柴、泥煤、褐煤、烟煤、 贫煤、无烟煤、煤矸石	木炭、半焦炭、焦炭、煤砖、 煤粉等
液体燃料	石 油	重油、汽油、煤油、柴油、渣 油、煤焦油、液化石油气等
气体燃料	天然气	高炉煤气、发生炉煤气、炼焦 炉煤气、水煤气、地下气化煤气等

我国的燃料，种类虽然很多，但是，品种分布却不均匀。工业布局又大都偏离能源供应基地。结果造成：一方面燃料运输量巨大，品种质量也很不稳定；另一方面，一些地区为避免上述矛盾，就搞因地制宜，燃用劣质煤和天然气。结果使得我国的燃烧设备和燃烧装置在设计制造上具有了多样化的特点。因而也就促使我国在工业生产中，必须积极研究和采用新的燃烧技术以适应各种燃料，尤其在设法适应燃烧劣质煤方面，进行进一步的探索。

二 燃料燃烧的合理化

1. 燃料分配与使用的合理化

燃料燃烧的首要内容为合理匹配使用燃料。以煤为例，挥发分从小于 5 % 到大于 30 % ~ 40 %，发热值从小于 2000 kcal / kg 到 7000 ~ 8000 kcal / kg，成分和性能变化范围是很大的。如果把热值高的燃料用于加热以水为工质的电站锅炉和工业锅炉是明显的浪费。不仅如此，如果把热值低的燃料用于冶金和某些加工工艺温度要求较高的工业窑炉，那就无法获得工艺所要求的温度，结果导致加热能力低，甚至会使生产无法进行。所以，按生产特点和工艺要求合理地分配使用燃料，是不可忽视的一个重要问题。

目前，我国燃料分配使用的原则，总结起来可以归纳为下列几点：

(1) 根据各企业的生产特点、工艺要求以及某些企业的特殊需要供应燃料，实现燃料对路供应。

(2) 中、低质煤及一些工业废气和低质副产品供应锅炉及其他一般性工业炉窑。

(3) 把燃料油用在最需要的地方，压缩燃料用油。除在生产工艺、产品质量、燃烧温度等方面有特殊要求的工业炉之外，各种加热设备原则上不允许以油为燃料。

(4) 对一些生产煤矸石及劣质煤的地区，要充分发挥这些燃料的潜力，积极研究和采用适合这种燃料的燃烧技术和设备，以减少国家燃料供应的负担和减轻运输部门的压力。

工业主管部门在安排分配燃料时要统筹兼顾，按照上述原则，把燃料用在最需要、最合适的地方，使各种燃料都能发挥其最大的作用，同时要求各企业必须按照燃料热值梯度使用的原则，合理、节约地使用燃料，并要从燃烧合理化着手，想方设法取得最高的热效率。

2. 燃烧的合理化

根据GB 2588—81，设备热效率的计算公式如下：

$$\eta = \left(1 - \frac{Q_{ss}}{Q_{GG}} \right) \times 100\% \quad (2-1)$$

其中：

η ——设备热效率；

Q_{GG} ——供给能量；

Q_{ss} ——损失能量。

对燃烧设备来说，供给能量为燃料的化学热和物理热、助燃空气带入的热量（以环境温度为基准）、燃烧设备用电及其他外界能。损失能量包括以下几部分：

(1) 化学不完全燃烧热损失 (q_3) ——燃料中的可燃物质没有与氧气充分反应，而在排出的烟气中含有CO、H₂、CH₄等可