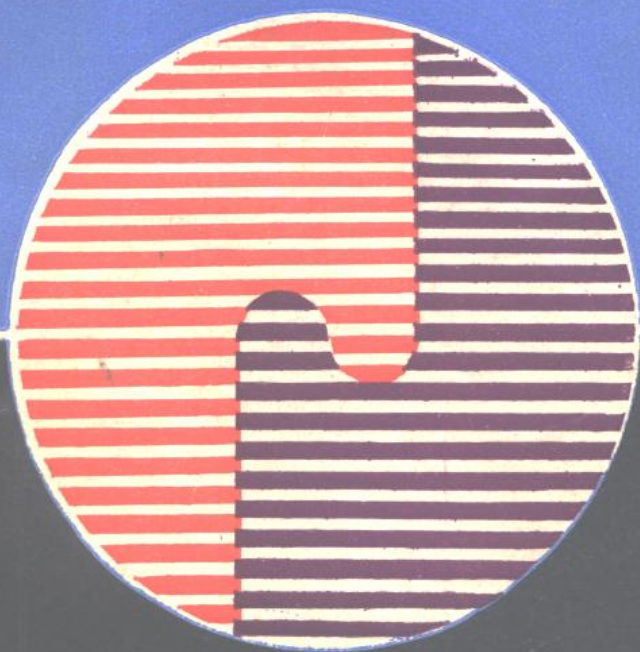


苏联工业的二次能源

苏联] С.П.苏申 А.Г.札沃尔科 М.И.明茨 著



化学工业出版社

苏联工业的二次能源

С. П. 苏申

[苏联] А. Г. 札沃尔科 著

М. И. 明茨

宋玉昇 王立功 译

化学工业出版社

内 容 提 要

本书叙述了苏联工业二次能源的利用情况，特别是对耗能大的工业企业二次能源利用现状及远景作了较详尽的介绍，同时还对废能利用的设备结构和流程、二次能源利用的经济效益和指标作了介绍。

本书第一、二、三章由宋玉昇译；四、五、六、七章由王立功译，全书由宋玉昇统一整理。

本书可供工厂、科研、设计单位的有关技术人员和能源管理人员阅读参考，也可供有关高等院校和中等专业学校师生参考。

С. П. СУШОН, А. Г. Завалько, М. И. Мини

ВТОРИЧНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СССР

Москва 《Энергия》 1978

苏联工业的二次能源

[苏联] С. П. 苏申, А. Г. 札沃尔科, М. И. 明茨 著
宋玉昇 王立功 译

责任编辑：谢丰毅

封面设计：许 立

*

化学工业出版社出版

(北京和平里七区十六号楼)

化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ 印张 $9^{3/4}$ 字数 216 千字 印数 1—3,130

1985年3月北京第1版 1985年3月北京第1次印刷

统一书号 15063·3651 定价 1.55元

前 言

随着苏联国民经济的发展，对于燃料和其它形式的能量的需求也日益增长。如何有效地利用燃料、动力资源的问题就具有越来越重要的国民经济意义。

在工业中，节省燃料的重要潜力之一是二次能源的利用。二次能源是许多耗能工艺流程必然产生的。

近年来，二次能源的利用问题引起了人们的极大的注意。

在《1976~1980年苏联发展国民经济的基本方针》中指出充分利用燃料二次能源的必要性。在工业中最大限度地利用二次能源可以进一步节省动力和工艺用燃料，从而获得极大的经济效益。

关于各种形式的二次能源在不同工业部门的利用问题和利用方法，在许多文献中已有阐述，但是基本上是涉及个别的技术或经济问题。

本书的目的是向读者比较全面地介绍苏联工业部门利用二次能源的现状，广泛探讨国民经济各个部门对二次能源的利用、计划和经济效果诸方面存在的科学技术问题和方法问题。

为此目的，书中讨论了确定二次能源的生产和利用的方法（第一章），苏联各工业部门利用二次能源的现状和前景

（第二、六章），讲述了废能利用装置的有效方案、结构和工作原理（第三、四章），阐述了在不同管理环节上如何制订二次能源利用的计划的方法问题（第五章），获得经济效果的方法以及根据各工矿企业利用二次能源的经济合理的方向进行

的具体计算（第七章）。

在编写本书的过程中，曾得到苏联国家能源计划局长 А.М. 涅克拉索夫和经济科学院副教授 Е.О. 施泰因豪兹的指导和推荐。著者对他们的帮助表示感谢。编辑 Ю.В. 沃尔克维茨基对本书的出版作了大量的工作，著者在此也表示感谢。

著者的愿望是，书中所提供的资料能够对在动力工业部门担任能源计划和管理工作的专家们有所帮助，以便有理论根据地去解决二次能源的利用问题。

本书的第一、二、四章到第七章是由 С.П. 苏申写的；第三章和前言是 А.Г. 札沃尔科和 М.И. 明茨写的。

著者将感谢读者提出自己的意见和希望。

著者

目 录

第一章 二次能源的基本原理和概念	1
1-1 二次能源的一般原理和分类	1
1-2 二次能源输出量和可能利用量的确定	6
1-3 利用二次能源节省的燃料的确定	11
1-4 确定二次能源利用的经济效益	15
第二章 工业部门利用二次能源的现状	21
2-1 二次能源在工业各部门和其它企业对燃料、热量的需要 中所起的作用	21
2-2 二次能源的产生、形式、参数和利用的可能性	32
2-3 在工业生产过程中二次能源的产生和利用的特点	63
2-4 工艺因素和动力因素对二次能源的产生量和可能利用量 的影响	76
2-5 不能充分利用二次能源的原因及利用二次能源节省 燃料	93
第三章 能量密集型工业部门的废能利用装置	100
3-1 废能利用设备类型特性	100
3-2 废能利用装置的工作指标及其对二次能源利用效率的 影响	132
3-3 废能利用装置加热表面的清理方法	151
3-4 废能利用技术的发展远景和改善二次能源利用的方法	157
第四章 利用低品位二次能源制冷的问题	180
4-1 工业中利用低品位二次能源的方法	180
4-2 吸收制冷装置的特性及其操作指标	185
4-3 吸收式制冷装置利用二次能源的有效性	191
4-4 利用二次能源的吸收制冷装置的展望	203
第五章 二次能源的计划	205
5-1 二次能源在各级管理机构的计划方法问题	205
5-2 工业企业燃料 动力平衡及二次能源的计划工作	210

5 - 3	工业二次能源的统计报表的完善及其组织系统.....	215
5 - 4	二次能源产量定额及其利用是长期计划的内容.....	220
第六章	利用二次能源的前景	233
6 - 1	技术进步对二次能源产量及可能利用数量的影响.....	233
6 - 2	利用二次能源和节约燃料的前景.....	239
6 - 3	利用二次能源的预测及预测趋势的基础.....	246
6 - 4	在提高二次能源利用水平方面的科学技术问题及任务.....	257
第七章	利用二次能源的经济学.....	260
7 - 1	利用各种二次能源的经济效果.....	260
7 - 2	各工业部门回收利用二次能源的经济效率.....	276
7 - 3	利用二次能源的投资效率及经济方向.....	282
附录		289
参考文献		300

第一章 二次能源的基本原理和概念

1 - 1 二次能源的一般原理和分类

合理开发能源的重要任务是最大限度地节省国民经济中使用的能源，降低燃料在开采、运输和使用中的损失。

在工业中，节省燃料资源有两个途径：

1. 提高工艺设备利用能源的效率，方法是改善工艺流程的组织和机组工况的管理，降低非生产性的能源消耗，改善隔热设施，减少工作设备的能量流失，改进燃料燃烧过程，采取废能的回收、再生和中间预热等措施。这些措施的实行可以降低工艺机组本身的能源消耗。

2. 利用二次能源供应其它机组和工艺流程所需要的燃料、热能、电能和机械能（利用二次能源）。利用二次能源时，工艺机组中的燃料消耗实际上不改变，而燃料的节省是在代换的运力设备中减小了载能体的生产量（相当于利用二次能源的量）来实现的。

一般说来，第一条途径具有较高的能量和经济效果。因此，利用二次能源节省燃料的问题只有在实现了各措施之后才能考虑，因为这些措施可减小二次能源的消耗。

所谓“二次能源，”是指工艺机组（设备和工艺流程）中产生的产品，废物、副产品和中间产品的能位，它不是工艺设备本身使用的，而是部分地或全部地作为其它设备（工艺流程）的能源。

“能位”是指上述产物中存在的一定能量贮备(化学热, 物理热, 余压的势能)。

燃料加工装置(炼焦装置、燃气发生装置、浮选煤装置等)产生的化学热以及二次能源源机组中以再生热量形式利用的废物都不属于二次能源。

二次能源源设备应理解为形成二次能源的整套设备(工艺炉, 反应器, 使用蒸气的设备, 冷冻机等)。

在能源机组中形成的二次能源可满足于燃料和能量的需求, 或直接利用(不改变载能体的形态), 或在废能利用装置中生产热量、电能、冷量或机械能)。

图1.1是能源利用和二次能源流量分配的基本流程图。图中标出了各个流量的名称, 并用流量截面表示出相应指标的数值。从图1.1可以看到, 在二次能源的利用中有下列术语和概念:

二次能源输出量是在一定的工艺设备的生产中形成的二次能源数量。

二次能源的生产量是在废能利用装置中依靠二次能源获得的热量、冷量、电能或机械能的量。

二次能源的生产量还可分为可能生产量, 经济合理生产量, 计划生产量和实际生产量。

可能生产量在考虑到能源装置和废能利用装置的工况的情况下, 依靠一定形式的二次能源实际上可能获得的热量、冷量、电能或机械能的最大量。

经济合理生产量在废能利用装置中获得的热量、冷量、电能或机械能的最大量。在废能利用装置中获得此量的合理性(在考查的周期内)可由经济核算来签定。

对于所设计的装置来说, 经济合理生产量就是依靠二次

能源获得的热量、冷量、电能或机械能的数量，用户利用这些能量以获得最大的经济效益。由于废能利用装置的参数是按最大效率的条件选取的，所以它的可能生产量等于经济合理生产量。

计划生产量是某生产单位、企业或部门在一定时期实现某生产的发展计划时，在考虑到引进新的废能利用设备和改进现有的，换掉陈旧的废能利用装置的情况下，计划依靠二次能源获得的热量、冷量、电能、机械能的数量。

实际生产量在核算周期内由现有的废能利用装置实际上获得的热量、冷量、电能或机械能的数量。

二次能源的利用量，和二次能源的生产量一样，也可分为经济合理利用量，可能利用量，计划利用量和实际利用量（图1-1）。应当指出，在确定二次能源的可能利用量和经济合理利用量时，应当考虑到二次能源的利用要有技术上成熟的和经过验证的方法及结构，废能利用装置的安装问题和能量的需求情况等。

正如图1-1所示，通过废能利用装置变换载能体的二次能源的利用中，可能利用量等于可能生产量，在数值上相等。二次能源生产量的系数是一重要的计算指标，它是实际生产量（计划生产量）与经济合理生产量（可能生产量）之比。二次能源的生产量系数对于二次能源的单机组，对于一组同类型的设备，对于一个车间、企业、部门，均可按每种形式的二次能源进行计算。

在工矿企业中，利用二次能源可以节省大量的矿物燃料。

由二次能源节省的燃料指标是由于利用二次能源而节省的一次燃料的数量。根据二次能源的利用情况，燃料的节省也可分为可能的节省，经济合理的节省，计划的节省和实际

的节省。燃料的实际节省（计划节省）与经济合理节省（可能的节省）之比决定了二次能源的利用系数。对于二次能源的单机组或一组设备，对于一个企业、部门，此系数既可按每种形式的二次能源进行计算，也可按能源的全部形式进行计算。

二次能源根据其形式可分为三类：

1) **可燃（燃料）二次能源**是对含碳或碳氢化合物原料进行化学和热化学加工过程中产生的残留物的化学能。在实际上，可燃二次能源指的是可直接用作燃料的残留物（未被利用的或不适于下一步工艺加工的）：高炉煤气，炭黑炉尾气，生产合成橡胶的单基物的吸附气体，生产氨时的氧-碳组分，生产纸浆时的碱液和焦油蒸馏的残留物等。

2) **二次热能源**是指工艺机组排放气的物理热，主要生产的产品、副产物、中间产品和残留物的物理热，工艺机组和设备的强制冷冻系统的工质的物理热，工艺和动力装置排放的热水、蒸气的热量。

二次热能源还应包括工艺机组和动力设备附带产生的全部热量（蒸气 and 热水形式）。

排放的水蒸气应当列为单独的一类，因为它们既可作为二次热能源，也可作为余压二次能源来利用。

3) **余压二次能源**是由工艺设备排放的有剩余压力的气体和液体的势能。在下一步使用这些液体（或气体）或将它们排入大气之前，剩余压力必须降下来。

同一类二次能源还可根据其来源进行分类。例如，平炉排放气的热量，加热炉排放气的热量，石油加工管道炉排放气的热量等。二次能源按形式的分类实际上决定看二次能源在国民经济中利用的方向。

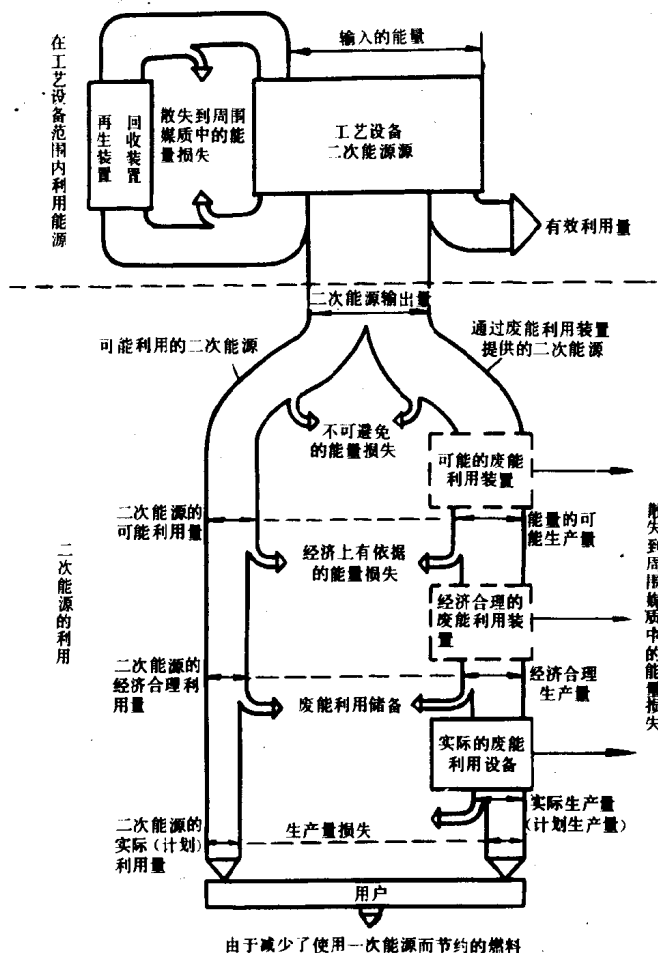


图 1-1 能源利用示意图

根据二次能源的形式和参数可分为四个基本利用方向：

- 1) 用作燃料直接利用可燃二次能源作为燃料。
- 2) 用作热源利用获得的二次能源或在废热利用装置中由二次能源产生的热。在吸附冷冻设备中由二次能源产生的

冷量也属于此类。

3) 用作动力在废能利用装置(废能热电站)中由二次能源同时产生的热和电能(或机械能)。

1-2 二次能源输出量和可能利用量的确定

二次能源的输出量和可能利用量,通常按照二次能源源设备每单位产品或每单位工作时间(1小时)来计算。在单产品生产情况下,二次能源输出量和利用量是指基本生产的单位产品而言,或在多产品生产中的单位原料(燃料)的消耗。

二次能源的单位产量决定于载能体的单位数量与其能位的乘积。

我们用质量单位(千克,吨)来计量载能体的数量。计量气态载能体数量时用体积单位(标准状态下立方米)。

载能体的能位决定于:

对于可燃二次能源,决定于最低发热量 Q_H^p ;

对于二次热能源,决定于焓降 Δi ;

对于余压二次能源,决定于等熵膨胀功 l 。

为计量能位,我们用能量单位(千焦耳)。

二次能源输出率由下列各式确定:

对于可燃二次能源,有

$$q_{\text{взр}}^r = m_{\text{взр}} Q_H^p \quad (1.1)$$

可燃二次能源的输出量通常用千克或吨的标准燃料来表示,此时

$$q_{\text{взр}}^r = \frac{m_{\text{взр}} Q_H^p}{Q_y} \quad (1.2)$$

对于二次热能源, 有

$$q_{B \rightarrow P}^T = m_{B \rightarrow P} \Delta i \quad (1.3)$$

对于余压二次能源, 有

$$q_{B \rightarrow P}'' = m_{B \rightarrow P} / \quad (1.4)$$

式中 $m_{B \rightarrow P}$ ——固态、液态或气态产物形式载能体的单位数量 (千克, 吨, 米^3); Q_v ——标准燃料的发热量; 等于 29300 千焦耳/ 千克。

载能体的单位数量 $m_{B \rightarrow P}$ 可从二次能源源设备的物质平衡计算中确定, 或从它的能量工艺特性、生产规程来确定, 也可从相应的仪表读数来确定。

可燃二次能源的最低发热量可用实验方法或根据它的基本组分由公式未确定。

二次热能源的焓降 Δi 在一般情况下由下式来确定:

$$\Delta i = c_i t_i - c_0 t_0 \quad (1.5)$$

式中 t_i ——二次能源源设备输出端的载能体温度 ($^{\circ}\text{C}$); c_i ——温度为 t_i 时载能体的热容 (对于气体来说是指恒压时), 千焦耳/ (千克 $\cdot ^{\circ}\text{C}$); t_0 ——进入下一工艺过程时载能体的温度, 或周围介质的温度 (为简化计算起见, 可取周围介质的温度 $t_0 = 0$); c_0 ——温度为 t_0 时载能体的热容, 千焦耳/ (千克 $\cdot ^{\circ}\text{C}$)。

温度 t_i 由二次能源源设备的热平衡计算来确定, 或按动力工艺特性来确定, 也可用相应的仪表测定。载能体的热容可查相应的手册。

液体的等熵膨胀功 (兆焦耳/ 千克) 可由下式来确定:

$$l = -\frac{P_1 - P_2}{\rho} \quad (1.6)$$

式中 P_1 ——工艺设备输出端的液态载能体的压力(兆帕);
 P_2 ——进入下一耗能阶段时的载能体的压力,或载能体排入大气时周围介质的压力(兆帕); ρ ——液体密度(千克/米³)。

对于气态载能体来说,

$$l = (i_1 - i_2) \times 10^{-3} \quad (1.7)$$

式中 i_1 ——气体在膨胀前压力为 P_1 、温度为 T_1 时的焓(千焦耳/千克); i_2 ——等熵膨胀到 P_2 时温度为 T_2 的气体的焓(千焦耳/千克)。

等熵膨胀结束时气体的温度 T_2 由下式确定

$$T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{(k-1)/k} \quad (1.8)$$

式中 k ——在 T_1 和 T_2 温度之间的平均等熵指数,按气体的真实热容来确定。

二次能源的输出量决定于工艺特性的许多因素,因此在一般情况下二次能源的每日输出量都是极不均匀的,因而二次能源的单位输出量:最大输出量,最小输出量(最低保证输出量)和平均输出量都不相同。一般在计算中是确定二次能源的平均输出。

为了计算和计划二次能源的利用量必须知道在一定的周期内(月、年)二次能源的输出量,它可由下面公式来确定

$$Q_{\text{БЫХ}} = q_{\text{БЫХ}}^{\text{УД}} M \quad (1.9)$$

$$\text{或} \quad Q_{\text{БЫХ}} = q_{\text{БЫХ}}^{\text{УС}} \tau \quad (1.10)$$

式中 $q_{\text{БВХ}}^{\text{Y.а}}$ ——二次能源的比输出量； M ——在一定周期内归于二次能源比输出的基本产物的生产量（或原料、燃料的消耗）； $q_{\text{БВХ}}^{\text{a.c}}$ ——二次能源的每小时输出量； τ ——二次能源源机组在规定周期内的工作时数。

作燃料用的可燃二次能源的可能利用量，在大多数情况下等于它的输出量。但是，在某些情况下也有不可避免的损失，这些损失是由于工艺过程的特点以及回收、预处理（清洗，贮存等）造成的。在这种情况下，二次能源的可能利用量要比其输出量减小了所损失的数量。变换载能体而利用的二次热能源，它们的可能利用量等于在回收装置中由二次能源可能产生的能量。

在回收装置中由二次热能源产生的蒸气或热水形式的热能可能生产量，在一般情况下由下面公式确定

$$Q_T = (i_1 G_1 - i_2 G_2) \beta (1 - \xi) \quad (1.11)$$

冷量的可能生产量

$$Q_X = Q_T \epsilon \quad (1.12)$$

公式中的 G_1 ——在回收装置输入端的载能体数量； G_2 ——在回收装置输出端的载能体数量； i_1 ——二次能源源工艺机组输出的载能体的焓； i_2 ——回收装置输出端的温度为 t_2 时载能体的焓； β ——回收装置与机组的工况和工作时数不相符时要考虑的系数； ξ ——回收装置在周围介质中损失热量的热损系数； ϵ ——致冷系数（生产的冷量与消耗的热量之比）。

回收装置输出的载能体的温度可根据技术经济指标并考虑到回收的工艺条件（燃烧产物的含尘量，露点温度，载能体的腐蚀性，回收装置的工作可靠性），由载能体的结构特性来确定。

回收装置输出的载能体的数量由于损失或由于气道吸入空气而与输出的数量有差异。

回收装置中热量的可能生产量也可由下面公式来确定

$$Q_r = Q_{\text{BBIK}} \eta_y \quad (1.13)$$

式中 η_y ——回收装置的规定效率。

在利用工艺机组排出的有余压的气体（液体）的势能中，回收装置可能生产的能量可用不同的公式来确定。例如，依靠余压二次能源工作的透平机可能生产的电能可用下式计算

$$W = M m_{\text{BOP}}^{\text{vap}} l \eta_{oi} \eta_M \eta_r \quad (1.14)$$

或

$$W = m_{\text{BOP}}^{\text{vac}} \tau / \eta_{oi} \eta_M \eta_r \quad (1.15)$$

式中 η_{oi} ——透平机的相对内效率； η_M ——透平机的机械效率； η_r ——发电机的效率。

回收装置综合利用二次能源生产出的高参数蒸气送入供暖透平机使用。供暖透平机的基本特性有：用于生产电能以供供暖需要的热量消耗 q_T ，用单位排放气生产的电能量 $\mathfrak{D}$ 。如果已知供暖透平机的这些特性，就可根据废热利用装置供给透平机的热量 Q_T 来计算热排放量 Q_0 和电能产量 W ：

$$Q_0 = \frac{Q_T}{1 + \mathfrak{D} q_T} \quad (1.16)$$

$$W = \frac{\mathfrak{D} Q_T}{1 + \mathfrak{D} q_T} \quad (1.17)$$

回收装置的高参数蒸气进入制冷透平机时，其电能生产量可按下面公式确定

$$W = Q_T / q_k \quad (1.18)$$