

热化与热力网

〔苏〕Е·Я·索柯洛夫 著

(修订第五版)

机械工业出版社

热 化 与 热 力 网

(修订第五版)

[苏] Е. Я. 索柯洛夫 著

安英华 陈希博 等译

杨士正 傅颖寿 等校

机 械 工 业 出 版 社

本书是苏联编写出版的高校教材,它总结了苏联长期大规模发展集中供热的经验,全面而系统地阐述了有关集中供热各方面的问题,内容丰富并反映了最新技术及理论研究的最新成果,如:热化的能源效率;热力工况和水力工况的分析计算;热力站的自动化装置;管网腐蚀和水处理;供热系统的技术经济计算及参数优化;运行管理等内容都有精辟论述。书中大量资料与数据值得我国集中供热技术人员借鉴和采用。

本书可供从事供热设计、研究、运行管理、能源专业技术人员、研究人员及高校师生参考。

Теплофикация
и тепловые сети
ИЗДАНИЕ ПЯТОЕ ПЕРЕРЕБОТАННОЕ

Е. Я. СОКОЛОВ

— 5 - е изд. перераб —

МОСКВА ЭНЕРГОИЗДАТ 1982

* * *
[苏] Е. Я. СОКОЛОВ 著

热化与热力网

安英华 陈希博 等译

杨士正 傅颖寿 等校

*

责任编辑:贾玉兰

封面设计:方芬 版式设计:胡金瑛

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南里一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

北京龙华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092¹/₁₆·印张 20¹/₂·字数 496 千字

1988年9月北京第一版·1988年9月北京第一次印刷

印数 0,001—2,650·定价:9.80 元

*

ISBN 7-111-00513-9/TK·20

译 者 的 话

本书作者E·R·索柯洛夫是苏联热力工程界当代最有声望的学者，他的名字对于我国广大读者并不陌生，他的代表作，即本书第一版（1948年版）曾于1954年以《热力网》的书名在我国翻译出版，是我国供热技术人员长期来很重要的一份学习参考资料。众所周知，苏联40年来集中供热已有很大发展，积累了丰富经验。一向以充分反映新技术科研成果及其发展动向而著称的重要文献《热力网》（自第三版起改名为《热化与热力网》），每版的内容也不断有所丰富。当今我国正在加紧集中供热的发展步伐，本书第五版的翻译出版相信定会引起我国供热事业有关人员的广泛兴趣。

参加本书翻译的同志及其大致分工如下：第二章、第三章、第五章、第六章和附录由安英华翻译，傅颖寿校对；第四章由安英华与傅颖寿翻译和校对；第一章、第七章至第十一章由陈希博翻译，杨士正、欧阳铮校对；前言，绪论由陆兰天翻译，杨士正、欧阳铮校对；第十二章由欧阳铮与陆兰天翻译，杨士正校对。全书由安英华统稿。

华北电力设计院副总工程师吴礼中同志审阅了部分译稿并提出了宝贵修改意见，译者对此谨表衷心的感谢。

前 言

供热是动力工程的主要分系统之一。全国的一次燃料能源约有1/3用于国民经济和居民的供热。

完善这个分系统的主要方向是集中和联合生产热能与电能(热化)及集中供热。按热化和集中供热的发展水平,苏联居世界第一位。苏联建成并已投产的热电厂有1000多座,它们在为800多个城市、工业区和居民点提供热能。

战后期间,许多社会主义国家也相继建成了大型的热电厂和热网。

热电厂集中供热、合理使用经济性高的锅炉房、工业企业二次能源的利用,三者应互相配合起来。以上热源各有各的适用范围。

工业的发展与住宅、公共建筑物的大量兴建,使得热负荷在不断地增长。与此同时在大城市和工业区所进行的热负荷集中过程,也为进一步发展热化和集中供热奠定基础。

国内个别地区正在形成热负荷高度集中的巨大区域,这就引起了建立综合系统,并在区域形成过程中不同发展阶段利用不同热源的必要性。

现代化城市和工业区对生态和城市规划有严格的要求,燃用化石燃料(尤其固体燃料)以及燃用核燃料的热电厂要建立在远离热用户的地方,使供热系统的热力工况和水力工况变得复杂起来,从而对可靠性提出了更高的要求。热化和集中供热的发展带来了复杂的科学和工程技术问题,这些问题的顺利解决,在很大程度上取决于对工程技术和科学干部的培养。目前,在大多数综合技术院校和动力院校的《工业热力工程》0308专业范围内培养热化和热网方面的工程师。

为了培养这类专家,列宁和十月革命勋章获得者莫斯科动力学院于1948年编辑出版了教科书《热化与热力网》。目前,这是0308或0305专业课程唯一的教科书,也可供热化和集中供热领域的科学工作者和工程师参考及作为建筑工程院校供热与供煤气专业的教学参考书。

本教科书曾于1948、1956、1963及1975年出过四版。在每次出版的编撰过程中,作者都尽量补充积累的经验并报道热化技术发展的新趋势。

编辑第五版时,要求在不超出教学大纲范围、不增加篇幅的情况下,反映出促进热化,以及按苏联共产党第二十五次和第二十六次代表大会的决议提出的全国燃料动力平衡的要求,提高供热可靠性和经济性的主要途径。

因此,与第四版相比,第五版就下列问题作了补充和扩展:核热源备热装置及其输热系统示意图;供热汽轮机之间热负荷的最佳分配原理;二次能源利用中燃料节省量的计算方法;提高供热系统可靠性及后备能力的途径;水击的计算方法及其防护措施;供热系统技术经济计算方法。更新了附录。所有的单位都采用国际单位制SI。用焦耳/秒(J/s)作为热负荷的单位。

作者对在定期出版物上对本书第四版所提出的宝贵意见^[53, 98, 119],以及以口头形式提出意见的读者表示感谢,在教学大纲允许范围并在本书有限的篇幅之内,作者对这些意见均已作了考虑。

伊凡诺沃动力学院工业企业热能供应教研室在对本书审阅过程中提出了宝贵意见和建议。另外,科学技术副博士А.П.沙丰诺夫副教授对本书的编辑做了大量工作,对此,作者深表谢意。

科学技术博士、列宁奖金获得者、教授、捷尔任斯基技术大学荣誉博士

Е . Я . 索柯洛夫

第三版前言

本书作为高等院校的教科书，第一版定名为《热网学》，于1948年出版，第二版于1956年出版。

第二版问世以来，热化与热网技术有了很大的发展，热化的规模明显扩大，热电厂的容量和供热机组的单机容量有了很大提高，具有高蒸汽初参数的大型热电厂在很多地方投入运行，第一批燃气轮机供热设备已开始试运行。大容量高峰热水锅炉在热化与集中供热系统中得到了较大规模的应用。

热网的建设不断发展，供热半径不断扩大，在大城市中出现了环状热网。

近10年来，以水为热媒的热负荷的数量增长较快。在城市及许多工业区，热电厂的总热负荷中，热水供应负荷部分大为提高。因此供热系统、供热调节方法、自动化原则及热网和用户引入口的计算方法等，都必须使其现代化和进一步发展。

由于凝汽式发电厂、热电厂和区域锅炉房的不断完善及其技术经济指标的提高，供热系统的技术经济比较与评定问题就显得十分重要了。

第三版的编写，要求在保持总教学大纲的内容、书的篇幅不作明显增加的情况下，能正确反映热化与热网的最新科学技术水平及其进一步发展的主要问题。

根据动力学院和综合技术学院动力系所用的标准教程大纲的名称，本书第三版定名为《热化与热力网》。

第三版中本书总的结构根据教学主题的要求作了某些改变。对某些章节的次序以及某些章之间的材料作了重新编排。各章增加了说明主要计算方法的例子。

大部分章节作了修订。

由于苏联从1963年起，推行国际单位制（SI），书中所有主要计算公式都以两种单位表示——米制（m, kgf, s）和国际单位制（SI）。

作 者

目 录

译者的话		
前言		
第三版前言		
绪论	1	
第一章 热化的能源效率	8	
1.1 热化效益的评价	8	
1.2 汽轮机热电厂生产电能和热能的燃料消耗量的确定	8	
1.3 热电分产时标准燃料消耗量的确定	14	
1.4 汽轮机热电厂燃料绝对节约量的确定	16	
1.5 热化时燃料比节省量的确定	17	
1.6 热电厂汽轮机之间热负荷的最佳分配	19	
1.7 燃气轮机热电厂生产电能和热能的燃料消耗量的确定	20	
1.8 利用二次能源和天然热能节约燃料	22	
第二章 热需求	25	
2.1 热负荷的分类	25	
2.2 季节性负荷	25	
2.3 全年性负荷	34	
2.4 年耗热量	37	
第三章 供热系统	42	
3.1 供热系统的分类	42	
3.2 热源的热力系统	42	
3.3 热水系统	46	
3.4 蒸汽系统	61	
3.5 热媒和供热系统的选择	64	
第四章 集中供热的调节工况	66	
4.1 规定符号	66	
4.2 调节方法	66	
4.3 换热器的热力特性	69	
4.4 同类热负荷的集中调节	78	
4.5 多种类型热负荷的调节	82	
4.6 单管供热系统的集中调节	106	
4.7 供热集中调节方法的选定	109	
4.8 热电厂供热工况	110	
4.9 热电厂与高峰锅炉房的联合工作	112	
第五章 热网的水力计算	115	
5.1 水力计算的任务	115	
5.2 热网的系统图和配置图	115	
5.3 基本计算公式	118	
5.4 水力计算的方法	123	
5.5 水压图	126	
5.6 分枝热网的水力计算方法	134	
5.7 确定水的计算流量	138	
5.8 水泵参数的确定	139	
5.9 热网干线的后备能力	140	
5.10 蒸汽长输管道的计算	141	
第六章 热网的水力工况	144	
6.1 系统的水力特性	144	
6.2 闭式系统的水力工况	149	
6.3 调节机构的水力特性	151	
6.4 水力稳定性	153	
6.5 开式系统的水力工况	155	
6.6 有水泵分站和节流分站的管网水力工况	158	
6.7 环形管网中的水流分配计算	160	
6.8 热网中的水击	164	
第七章 热电厂的热化设备	171	
7.1 装置的类型	171	
7.2 汽水加热装置	172	
7.3 热水网的水处理	178	
第八章 热力站(热力点)的设备	182	
8.1 装置的类型	182	
8.2 凝结水收集装置	183	
8.3 水水换热装置	185	
8.4 换热器水的计算流量和加热面积的确定	187	
8.5 混水节点	192	
8.6 蓄热	199	
8.7 热水供应局部装置的防腐蚀、防结渣和防结垢措施	202	
8.8 热力站的自动化	206	
第九章 热网设备	214	
9.1 热力管道线路及剖面图	214	
9.2 热力管道的构造	215	
9.3 保温材料和结构	224	

9.4 管子及其连接	225	12.1 技术经济计算方法	259
9.5 支座	229	12.2 动力设备的投资及其扣除额	263
9.6 温度形变的补偿	234	12.3 年度燃料费用	265
第十章 热力计算	243	12.4 电网附加投资及其扣除额	268
10.1 基本计算公式	243	12.5 热网投资及其扣除额	268
10.2 热力计算的方法	246	12.6 用户装置的投资及其扣除额	270
10.3 热损失和保温效率	248	12.7 热媒的输送费用	271
10.4 热媒的温度降和凝结水的排出	249	12.8 热损失费用	272
10.5 保温层厚度的选定	252	12.9 维护费用	273
第十一章 热力网的运行管理	253	12.10 供热系统的优化	274
11.1 运行管理的组织	253	12.11 最佳热化系数的确定	276
11.2 提高供热的可靠性	255	12.12 热网水最佳计算温度的确定	279
11.3 热网破裂及泄漏的探测和排除 方法	257	12.13 热网最佳比压降的确定	279
第十二章 供热系统技术经济计算	259	附录	284
		参考文献	312

绪 论

20 世纪下半叶的科学技术革命,使动力工程在世界各地得到迅速发展。动力工程就是把一次能源资源转换为国民经济和居民所需要的能量并将能量由产地输送给用户的系统和装置。

虽然一次能源资源及所生产出的能量形式多种多样,苏联的动力工业还是在有计划地与燃料基地相结合,作为统一的燃料动力综合工程来发展的。

苏联是世界上唯一的完全在自己的燃料动力资源基础上发展自己经济的工业大国。在建设开采一次能源资源并把它转换为可利用的能量的燃料动力综合工程方面的经费约占工业总投资的30%。

动力工业独立自主,是我国经济最大的优点,也是经济稳步发展的重要前提。为了发挥这一优点,必须合理、经济地利用一次能源资源和所生产出来的各种能量。

在生产的多种形式的能量中,使用最广的是电能和中、低品位^①热能。目前苏联在这方面所用的一次燃料能源资源占总耗量的55%以上。在当今世界上,电能具有特殊意义,它在发展社会生产力中起着首要作用。

弗·伊·列宁认为以电气化作为动力工业的发展方向,不仅要建造生产、输送和分配电能的系统及设备,而且更重要的是使我国国民经济的发展建立在技术的基础之上。

电气化对我国全面发展的意义,可以用列宁的著名公式来表述:“共产主义就是苏维埃政权加全国电气化”。这一列宁主义观点在我国所有发展阶段的苏联共产党纲领性文件中都得到了具体体现。

我国在苏维埃政权的65年内,在电气化发展的规模上取得了巨大的进展。苏联的电能生产(发电量)已由20世纪初沙皇俄国时期的最末几位,跃居到欧洲第一位和世界第二位(仅在美国之后)。1980年发电 $1295 \times 10^9 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。耗费了全国燃料能源资源总耗量的23%以上。

在国民经济和居民生活中广泛使用低、中品位的热能。在住宅、公用设施、工业建筑的采暖、通风、热水供应及为城镇、工业及农业区的工厂企业的蒸汽供应等方面,1980年用热量为 $13 \times 10^9 \text{ GJ}$,用于这部分热能生产方面的燃料超过我国燃料能源资源总耗量的32%。

目前,我国生产电能和热能的主要资源为化石燃料,不久的将来(5~10年),除化石燃料外,还将利用核燃料。

根据国家计划,1985年电能生产应达到 $550 \sim 1600 \times 10^9 \text{ kW} \cdot \text{h}$,即比1980年的电能产量增加 $255 \times 305 \times 10^9 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。原子能电厂和水力发电站的发电量将有显著增加(相应地增至 $220 \sim 225 \times 10^9 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 和 $230 \sim 235 \times 10^9 \text{ kW} \cdot \text{h}$)。

对于组织全国合理的能量供应,热化具有特别重要的意义,它是集中供热的一种最先进的方法,是降低电能生产燃料消耗率的一种主要方法。

热化这个词可理解为在联产基础上,即在热能和电能联合生产基础上的集中供热。热化与所谓热电分产法的主要区别在于联产。热电分产的方法是由凝汽式发电厂生产电能,而热

^①能满足使用要求的热媒其温度在150℃以下的称为低品位热能,150~350℃的属于中品位热能。

能则由锅炉房提供。

热化的主要能源效率在于使用从电厂热力循环中抽出、已作过功的蒸汽的热量，来替代在分别供能方式中由锅炉房生产的热量。因此，就消除了火电厂在把燃料的化学能转换为电能的过程中，及在原子能发电厂把燃料的核内能转换为电能的过程中，对周围环境排放热量所造成的浪费。

在热化的情况下，热电厂是电能和热能的来源。

高品位（高温和高压）工质（水蒸汽或燃气）的热能首先用于汽轮发电机发电（转换为机械能再转换为电能），然后把已经作过功的低品位工质的热能用于集中供热。在这种联合利用的情况下，生产电能的热耗率要比热电分产时小得多（因为分开生产时在汽轮机内作过功的工质的热能排放到大气中而被浪费掉了^[23, 120]）。

图B-1中， $T-s$ 图表示卡诺理想循环——凝汽式循环（图B-1a）及热化循环（图B-1b）。输给每一种循环的热量是相等的，等于 $Q_n = T_B \Delta s$ 。得到的功为

$$\text{凝汽式循环} \quad l_p^k = (T_B - T_{o.c.}) \Delta s$$

$$\text{热化循环} \quad l_p^r = (T_B - T_H) \Delta s$$

式中 T_B ——向循环输入热能的温度（K）；

$T_{o.c.}$ ——环境温度（K）；

T_H ——热化循环中用于供热的温度（K）。

用于供热的废热有效利用量

$$\text{凝汽式循环} \quad q_r^k = 0$$

$$\text{热化循环} \quad q_r^r = T_H = T_H \Delta s$$

功的热耗率

$$\text{凝汽式循环} \quad q_p^k = \frac{q_n}{l_p^k} = \frac{T_B \Delta s}{(T_B - T_{o.c.}) \Delta s} \quad (B-1)$$

$$\text{热化循环} \quad q_p^r = \frac{q_n - q_r^r}{l_p^r} = \frac{(T_B - T_H) \Delta s}{(T_B - T_H) \Delta s} = 1 \quad (B-2)$$

凝汽式循环与热化循环中功的热耗率之差

$$\Delta q = q_p^k - q_p^r \quad (B-3)$$

式（B-3）表示热化与热电分产相比，产生单位功的热耗率减少量。

发展电能联产是不断改善我国电力生产的热经济性主要途径之一。由于电能的联产，目前每年节约标准燃料38Mt，为全部火力发电厂燃料消耗量的11%左右。

图B-2表示最近20年来（1961~1980）苏联动力和电气化部火力发电厂的标准燃料比耗（净）变化动态^[95]。在此期间热电厂平均标准燃料比耗（净）由462g/(kW·h)下降到264g/(kW·h)，降低了198g/(kW·h)。

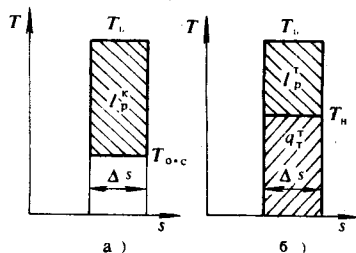
虽然凝汽式发电厂的经济性也在提高，但是凝汽式发电厂和热电厂平均燃料比耗量的差数仍在不断增大，1980年达到了91g/(kW·h)。

在此期间苏联动力和电气化部全部火力发电厂平均标准燃料比耗（净）从459g/(kW·h)降到328g/(kW·h)。

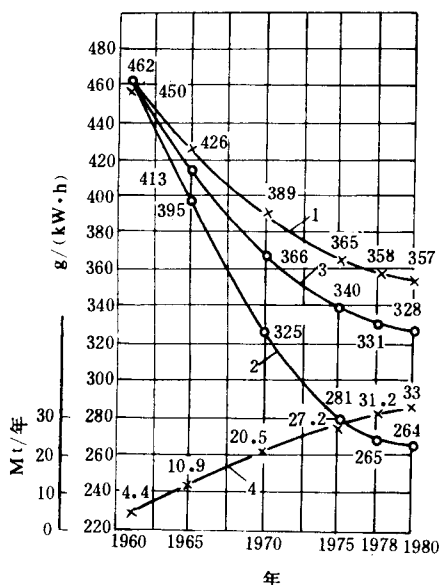
在热化中实现了合理供能的两个基本原则：

a) 在热电厂联产热能和电能；

b) 集中供热，即从一个热源向众多的用户供应热能。



图B-1 卡诺理想循环 $T-s$ 图



图B-2 苏联动力和电气化部所属火力发电厂供电燃料比耗（净）变化动态

- i — 凝汽式发电厂平均比耗
- 2 — 热电厂平均比耗
- 3 — 火力发电厂平均比耗
- 4 — 热电厂发电平均比耗
- 4 — 热电厂发电的标准燃料节省量
- 曲线 i ~ 3 — $g/(kW \cdot h)$
- 曲线 4 — $Mt/年$

早在俄罗斯国家电气化计划，即俄罗斯国家电气化委员会（ГОЭЛРО）的计划中就已提出把热电联产作为苏联动力工业发展的一个主要方向。这个计划是根据列宁的提议制定的，并于1920年经第八次全俄罗斯苏维埃代表大会批准。这个已被苏联发展热化的经验所完全证明了的正确思想正在我国各城市和各工业区广泛得到实现。为了使热化事业顺利发展，必须拟订热源、热网和用热设备在规模及施工投产日期方面相协调的计划并使之付诸实施。我国的计划经济有条件并能够实现这一任务。

苏联的热化事业纪念日是1924年11月25日，这一天苏联的第一条公用热力管道在列宁格勒投入运行。这一工程是根据苏联热化事业的先驱金捷尔（Л. Л. Гинтер）工程师和得米特里耶夫（В. В. Дмитриев）教授的设计和在他们的领导下建成的。

苏联热化事业在联共（布）中央委员会六月（1931年6月）代表大会以后开始得到广泛发展，这次会议为动力工业的这一领域开辟了新纪元。

对大城市区域供热和在新建的大型工业联合企业内大量地建造了当时的大功率（100~200MW）热电厂。

在伟大的卫国战争年代，我国的热化工程和其它动力工程一样，遭到严重破坏。然而，尽管如此，在卫国战争时期热化设备的功率并没有减少。苏联的动力工作者迅速地把前线地区的大部分电厂设备拆迁到远东地区，在乌拉尔西伯利亚及伏尔加地区建设热化工程。

第一个原则的实质已在上面作了分析。

第二个原则——集中供热，这不是热化的特点。因为，不仅可以从热电厂，而且也可从其它热源如大型锅炉房或工业废热回收装置来实现集中供热。尽管在集中供热中有额外的热网热损失，集中供热还是可以节省燃料，因为大型区域锅炉房、工业锅炉房及现代化热电厂的大容量锅炉的效率比分散的小锅炉房要高。

供热集中化合理程度的选定，即满足地区热负荷来选定热源的数量，取决于经济上和当地的一系列条件。随着集中化程度的提高，即减少热源的数量，通常可提高热能生产的经济性，降低热源的初投资和运行费用。但热网的初投资和输送热能的运行费用则相应有所增加。

集中供热可促进供热地区设备完善，提高用热建筑物的舒适性，减少城市和工业的供热设施维护管理劳动消费，也有利于劣质燃料的应用。

采用分产方式由锅炉房进行集中供热时，生产热能和电能所消耗的燃料总量要比热化时为大。热化是集中供热的最高形式，是合理利用国家燃料资源供应热能和电能的一种最好方法。由于有社会、经济和生态方面的优越性，热化成了我国动力工业发展的一个主要方向。

战后热化事业得到了更大的发展。图B-3表示热化事业从开始创建到第十个五年计划末的发展情况指标。1980年热电厂的装机容量达到了76GW。热电厂生产电能 $380 \times 10^9 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。其中以联合生产法生产的达 $245 \times 10^9 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。从热电厂输出的热能为 $4.5 \times 10^9 \text{ GJ}$ ($1.06 \times 10^9 \text{ Gcal}$)。这个数目大致相当于其它集中供热设备所生产的全部热能,即相当于由工业锅炉房、区域锅炉房、小区锅炉房和工厂企业的余热回收装置所生产的热能。

随着工业的发展和城市人口的增长,热负荷在不断地进行集中。目前苏联约有一亿人口,即全国城市人口的60%居住在十万以上人口的城市里,这些城市集中了全国用热总量的2/3,即超过 $9 \times 10^9 \text{ GJ/年}$ (1980年),预计到1990年用热量约为 $13 \times 10^9 \text{ GJ/年}$ 。这一热负荷是进一步发展热化和集中供热的基点。

热化和集中供热可解决我国城市和工业区对低品位和中品位热能需要的80%左右。

按热化和集中供热的发展规模,苏联居世界首位^[95]。这种先进的供热方法将在我国进

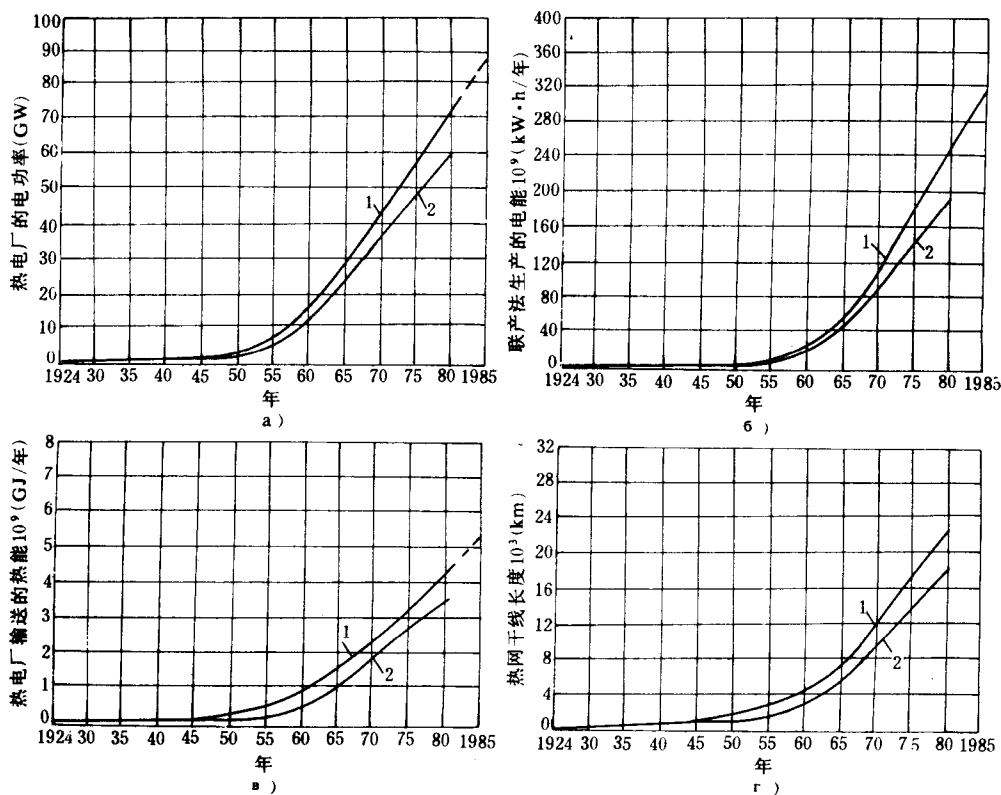


图 B-3 苏联热化的发展

- a) 热电厂的电功率
- b) 联产法生产的电能
- v) 热电厂输出的热能
- r) 热网干线长度
- 1—总计
- 2—公用电厂
- 虚线……—估计值

一步得到发展。

苏联的近期规划规定,要用建设热电厂和大型锅炉房的办法保证进一步发展用户的集中供热、降低燃料消耗率和电能、热能的成本。

现以苏联首都莫斯科热化和集中供热的一些数据为例作为介绍。

1980年莫斯科市的供热有14个热电厂。这些电厂发电总容量为6.3GW,供热总容量为25GJ/s(22 000 Gcal/h)。其中由汽轮机抽汽的热容量为13GJ/s(11 000 Gcal/h)。另有20座大型区域锅炉房,其总热容量为6 GJ/s(5 000 Gcal/h)。

莫斯科热电厂的额定电功率有88%以上采用的蒸汽初参数等于或高于13MPa。

集中供热热源的可用热容量约占城市热负荷的73%,而热电厂的热容量则为城市热负荷的57%。

热电厂和大型区域锅炉房保证了46 000幢居住、公用建筑及500个工厂企业的供热。从热电厂和区域锅炉房到联片、当地热力站(热力点)的热网总长度已超过3000km。莫斯科热电厂1979年生产热能约 280×10^6 GJ(60×10^6 Gcal),其中84%是汽轮机的抽汽,生产的电能达 33×10^9 kW·h,其中有72%为联产法所生产。

在由汽轮机抽汽供热基础上的热电联产的平均发电率为116kW·h/GJ(485kW·h/Gcal)。1979年莫斯科热电厂的标准燃料比耗量(净):用于供电的为225g/(kW·h),相当于净效率55%,用于供热的为40kg/GJ(168kg/Gcal),相当于净效率85%。

沿着苏联道路发展的还有其他社会主义友好国家。战后,保加利亚、匈牙利、德意志民主共和国、罗马尼亚、捷克斯洛伐克、南斯拉夫联邦共和国的热化及集中供热事业均得到了发展^[89, 121, 122]。许多资本主义国家,包括奥地利、比利时、英国、荷兰、丹麦、冰岛、加拿大、美国、法国、芬兰、德意志联邦共和国、瑞典等国家也都采用了热化和集中供热。由于能源危机,许多资本主义国家的热化事业近年来得到迅速发展。

苏联热化的发展是在科学的基础上有计划地进行的。苏联的热化以区域热电厂为基础,由热电厂向工厂企业、附近城市和居民点输送热量。为满足居住、公用建筑和工厂企业的采暖、通风和日常生活的负荷需要,一般主要地利用水作为热媒。以水作为热媒可利用作过功的低压蒸汽来供热,由于增加了在热负荷基础上的发电率,从而可提高热化的效率。

热电厂的热经济性可以通过提高蒸汽初参数、降低汽轮机抽汽压力、采用网路水多级加热、增加抽汽热功率利用小时数、限制热电厂凝汽发电份额等方法得到改善。扩建热电厂、增加锅炉和汽轮机组单台功率、成套布置设备以及采用廉价的热热水锅炉和低压蒸汽锅炉,用以承担季节性和工业临时高峰热负荷并作为供热备用等措施则有助于改善经济指标。在热化发展的开始阶段,用大功率热水锅炉和蒸汽锅炉集中供热,在一般情况下,按这样的程序基建投资是经济的,因为可用最少的经费建设热源,以便在热电厂尚未投入使用之前对热用户进行集中供热^[29]。热电厂投入运行之后,这些锅炉可用于满足高峰热负荷和备用供热。

在热电厂设计中推行提高工厂化加工程度的先进设计方案,可以促进热化事业的发展。这种设计方案规定采用不同类型的汽轮机和同一类型的锅炉的成套组合安装施工方法,因而可大大减少(5~10%)建造热电厂的单位基建投资和劳动支出费用,并缩短建设周期。

目前我们的工厂可以成批生产适用于各种燃料的大功率动力锅炉,和蒸汽初参数为高参数(13MPa)与超临界参数(24MPa)的采暖抽汽(T)、生产—采暖抽汽(ПТ)以及背压(P)大功率高经济性能供热汽轮机。

在以燃气为主要动力燃料的地区,一般情况下宜采用大功率燃气轮机和蒸汽—燃气装置的热电厂。第一座燃气轮机热化装置已在克拉斯诺达尔热电厂建成并已投入运行。这一经验将用于今后燃气轮机热电厂的建设。

苏联拥有丰富的自然资源,其中包括化石燃料。但是由于主要的动力资源地区(亚洲部分)和最主要的消费地区(欧洲部分)之间受地理条件的限制,出现了化石燃料的短缺情况。

为了达到改善我国燃料动力的平衡,首先缩减用于电厂的一部分石油,采取的主要措施是:大规模地以天然气代替重油;迅速发展原子动力,用核燃料发电和供热;迅速完成埃基巴斯图兹(Экибастузский)、坎斯克-阿钦斯克(Канско-Ачинский)、库兹涅茨(Кузнецкий)燃料动力综合工程,并架设相应的输电线路。

这些措施应该和全国最主要的任务——节约热能和电能结合起来。因此在发展计划中必须考虑过时的动力设备的更新、加速技术改造、广泛采用节能工艺、提高工业建筑和住宅建筑的热稳定性等问题。

改善我国燃料动力平衡的主要途径之一,在于不仅利用核燃料发电,而且还要满足我国欧洲部分以及远离化石燃料基地的其他地区对热负荷增长的需要。为此,在不久的将来要建设许多使用核燃料的各种类型的热源:原子能热电厂和原子能《锅炉房》,即城市和工业供热的原子能供热厂^[25, 59, 95]。

与化石燃料热电厂相比,原子能热电厂有下列优点:

1. 原子能热电厂的布局与燃料基地有相对的独立性,因为产生同样热量所费核燃料比化石燃料少得多。大约小五个数量级[1 kg正常浓缩的核燃料(3~3.5%铀²³⁵)所发出的热量相当于80~100 t标准燃料所产生的热量]。

2. 不排放污染环境的有害烟气。正在运行的苏联原子能发电厂的经验表明,这些电厂不排放被放射性污染的物质。放射性气体和气溶胶在排入通风管之前已被严格地加以净化。在正常运行情况下,不必担心原子能电厂会对外界环境产生有害的作用^[13]。

苏联目前正在进行大功率区域性原子能热电厂的设计研究工作,研究工作表明,当计算热负荷很大[大约1750 MJ/s (MW) (1500 Gcal/h)或更大]时,在燃料昂贵的地区,例如苏联的欧洲部分,原子能热电厂在经济上完全能够同化石燃料热电厂相竞争。

由于需要进一步发展苏联欧洲部分的供热,在化石燃料的运输受到限制和计划向此地区大量引入核燃料发电的条件下,在建设原子能发电厂的同时,还迫切需将大城市附近化石燃料、核燃料的大型凝汽式发电厂改为热化工况^[12, 95]。这样的改造为取消小型的工业锅炉房和民用锅炉房,为降低城市供热事业的劳动费用以及由燃气重油燃料(一般为小型锅炉使用)转为固体燃料创造了更为有利的条件。与此同时,转为热化工况也就提高了电能生产的热经济性。

热力网是热化系统的重要组成环节,通过它,热能从热源输送到热用户。

由于提高了对城市规划质量和城市大气清洁度的要求,许多新建的大型热电厂,首先是那些为大城市供应动力的热电厂将建造在远离热用户的地区,而且往往建在市界以外,这就要求修建长距离的供热管道,因而增加了热网的初投资。

降低修建热网的初投资和输送热能的运行费用的主要方法之一,是提高供水管中水的计算温度,由目前已经掌握并且广为采用的150℃温度水平提高到170~190℃或更高的温度水平^[39]。开式供热系统改为单向(单管)输送,则能较大地降低输送热能的初投资。防止钢管外腐蚀以提高地下热网的寿命是一项迫切的任务。必须继续研究在各种气候和土壤条件下地下热力管道的温度和湿度状况,并在此基础上进一步完善地下管道的结构^[14, 41, 81]。

无论在苏联，还是在其他国家，建设热力管道的主要成就是在提高可靠性和寿命的同时降低管道的初投资、劳动消耗、缩短施工周期。这些成就是走了工业化的道路而取得的。也就是在工厂条件下用机械化方法生产热力管道的组件。同时，热力网、附件室、检查井、热力站及用户引入口的建造与安装也必须机械化 [41, 46, 48]。

大城市集中供热系统的重要任务是现代化改造。改造的方向是：扩大水力工况的容许变化范围；切实利用一个或几个热电厂供热干线之间的连锁联线；减少干线发生故障时的网路水损失；保证采暖装置中水的独立自主循环，而不受热网影响；更广泛地应用局部及分片调节，以补充在热源所进行的集中调节等等。而最后这个问题则又与供热调节系统和调节仪表的研制有密切联系 [32, 76, 80, 93, 96, 111]。

首要的问题之一，是在大型热网中研究和应用遥测、遥控技术；完善自动调节和保护装置的仪表，研究无需开挖管道地沟就可测定热媒渗漏点的仪器及其检测方法。

从工艺及动力过程和能源最优化的消耗合理配合观点上看，完善工业用热装置的系统及设备是重要的任务。为了平衡热电厂的年热负荷，最好在工业企业和公用建筑的空气调节系统中利用废热以蒸汽喷射和吸收式装置进行制冷。在最近几年里，必须而且首先要在气候炎热的地区（中亚细亚和外高加索加盟共和国）大大增加这种负荷。必须改进用热装置，首先要改善住宅和公共建筑的采暖装置，方向是提高采暖散热器的机械强度、降低其单位计算热耗量的比容积和提高传热效率。而解决这个问题的主要措施则是采用对流散热器、辐射采暖和空气加热装置 [36]。

一个重要的科学技术问题，在于拟定一个集中供热可靠性的定量计算方法。

对于热源类型、热源功率、热源数量不同的城市和工业区，必须总结出关于集中供热系统运行组织管理及选择运行管理企业最佳结构的科学论据。

与生产实践密切结合的研究工作促进了苏联热化事业的顺利实现。除了科学工作者之外，工程技术人员、热化装置的设计、施工和运行管理人员也都积极参加了这些研究工作。苏联的动力工作创造了一门科学，这门科学能够正确解决热化技术的全部主要问题和技术经济问题，并且能够指出热化进一步发展的道路。

本书主要阐述供热系统、热电厂热化装置、热力网、热力站及用户引入口等计算原理。这些知识对现代热化装置的正确设计和组织合理的运行是必须掌握的。

第一章 热化的能源效率

1.1 热化效益的评价

热化的动力效益由燃料的节省量 ΔB 进行评价。 ΔB 是由热电厂满足一群用户或整个地区一定的能量(电能和热能)需求,与分产法满足同样负荷,即以凝汽式电厂生产电能,以锅炉房生产热能所消耗的燃料相比,而节省的燃料为

$$\Delta B = B_o - B_r \quad (1-1)$$

式中 B_o ——电、热分产时的燃料消耗量;

B_r ——热化时的燃料消耗量。

另一种可以评价热化效益的方法是所谓燃料的热利用系数 η_u 法,但这种方法不具有代表性,也不客观,因为利用系数 η_u 高未必等于燃料节省得多,也就是说未必等于动力效益高。

问题在于燃料的热利用系数是热电厂供热量和发电量的热当量与耗用燃料的热当量之比,即

$$\eta_u = (Q + \mathfrak{Q}) / (B Q_H^p) \quad (1-2)$$

式中 Q ——供热量;

$\mathfrak{Q}$ ——发电量;

B ——燃料消耗量;

Q_H^p ——燃料的低位热值。

式(1-2)中的电量按热当量计算并与热量相加。但是电能和热能不是等价的能量,因此将两种能量按热当量使其等价虽然与热力学第一定律并不矛盾,但在经济上却是很不公平的^[3,22]。

电能是最完善的一种能量,因此,热电厂发电的费用要比生产热能的费用大得多。

增加产热量来降低热电厂发电量时,由于降低了汽轮发电机组的机电损耗,会使燃料的热利用系数有某些提高。但是此时热化的国民经济效益有所下降,因为热电厂发电量的不足额需由效率低得多的凝汽式发电厂来补足。

增加热电厂的联产发电量时,热化的国民经济效益则有所提高,因为此时虽然热电厂的燃料热利用系数 η_u 稍有下降,但动力系统中用于产生最贵重的能量(即电能)的燃料消耗量则有所下降。

1.2 汽轮机热电厂生产电能和热能燃料消耗量的确定

汽轮机热电厂生产电能和热能的燃料消耗量可按下列两项之和确定:

$$B_T = B_{T,\mathfrak{Q}} + B_{T,T} \quad (1-3)$$

式中 $B_{T,\mathfrak{Q}}$ ——用于生产电能的燃料消耗量;