

高等学校教学用书

热 网 学

Е. Я. 索科洛夫著

高等教育出版社

高等学校教学用书



热

网

学

Е. Я. 索科洛夫著
孙可宗译

高等教育出版社

本書原系根据苏联国立动力出版社(Государственное энергетическое издательство) 1948 年出版、索科洛夫(Е. Я. Соколов) 教授著“热網学”(Тепловые сети) 一書譯出, 現按 1956 年增訂第二版修訂(第一版中譯本名“熱力網”)。原書經苏联高等教育部审定为动力学院及动力系教科書。

本書内容包括: 热化的能量基础; 热網的理論和計算方法; 供热系統; 备热裝置, 热網和用戶引入裝置等各主要構件的構造; 热網运行的必要知識等。

热網的設計和使用所必需的参考材料, 列于書末附录中。

本書著者 Е. Я. Соколов 技术科学博士是荣获列宁勋章的莫斯科动力学院教授。

热 網 学

Е. Я. 索科洛夫著

孙可宗譯

高等教育出版社出版 北京宣武門內承恩寺 7 号
(北京市书刊出版业营业許可証出字第 054 号)

商务印书館上海厂印刷 新华书店发行

統一书号 15010·90 开本 787×1092 1/16 印张 147/8
字数 333,000 印数 6,501—9,200 定价(10) 羊 1.90
1954 年 11 月第 1 版 1958 年 10 月第 2 版(修訂本)
1958 年 10 月上海第 5 次印刷

第 二 版 序

本書第一版系作高等工業學校的教科書用，于 1948 年出版。

在準備第二版時，必須在符合本課程的教學大綱和不增加篇幅的原則下，在書中反映出有關熱化和熱網進一步巨大發展的各主要問題，以及在這個領域中已經進行的許多最重要的實驗、理論和實踐工作的成果。

著者已經考慮到在莫斯科動力學院七年來使用本書為教科書的經驗，以及在社会上討論本書時所發表的意見和個人談話中提出的意見。

在第二版中改善了本書材料總的安排；發展了下述各部分：熱化的能量基礎，供熱系統和規劃，熱網補充水的準備，熱化裝置的自動化，熱網設備的各元件；重寫了下述各部分：水力計算，水力工況，放熱工況，備熱裝置。

由于在 1955 年出版了索科洛夫 (Е. Я. Соколов)、格羅莫夫 (Н. К. Громов) 和薩丰諾夫 (А. П. Сафонов) 等著的教學參考書“熱網的運行” (Эксплуатация тепловых сетей)，所以在本書中關於運行方面的材料，已經大為減少。

第一版書中所有帶解的例題，已完全刪去，因為蘇聯國立動力出版社在 1956 年出版了薩丰諾夫著的“熱網學習題集”，該習題集是完全根據本書編出的。

著者對科皮耶夫 (С. Ф. Копьев) 教授、格羅莫夫和卡干 (Д. Я. Каган) 技術科學副博士深致謝忱，由於他們對本書原稿曾提出許多有益的意見。

薩丰諾夫副教授在校閱本書時曾付出巨大勞動，著者在此對他表示特別的感謝。

此外，著者認為應當指出，在原稿的修飾工作上德米特里耶夫 (И. В. Дмитриев) 工程師所做的工作以及戈爾諾斯塔依-波爾斯卡 (М. М. Горностай-Польска) 同志所給予的幫助。

目 录

第二版序		第八章 热网设备的各元件	111
緒 論	1	I. 热网的构造	111
第一章 热化的能量基础	7	8-1. 热网平面图的规划	111
第二章 热能的消费	14	8-2. 管的路綫及其立面	113
2-1. 热载荷的分类	14	8-3. 管路建筑的构造	115
2-2. 季节性载荷	15	8-4. 热絕緣	126
2-3. 工艺载荷和热水供应	19	II. 热网的机械設備	132
2-4. 全年热载荷圖	20	8-5. 管及管的連接	132
2-5. 热区圖	22	8-6. 支座	138
第三章 供热系統	23	8-7. 补偿器	144
3-1. 热介質的准备	23	第九章 热能計算	153
3-2. 水系	25	9-1. 基本計算式	153
3-3. 汽系	32	9-2. 热能計算法	158
3-4. 分站	39	9-3. 热損失和絕緣效率	161
3-5. 热網补充水的准备	41	9-4. 热介質的溫度降和凝結水的形成	162
3-6. 热介質和供热系統的选择	45	9-5. 絕緣厚度的选定	164
第四章 水力計算	47	第十章 备热裝置	166
4-1. 水力計算的任务	47	10-1. 备热裝置的型式	166
4-2. 基本計算式	47	10-2. 水加热裝置(構造和工作原理)	166
4-3. 水压圖	57	10-3. 蒸發裝置(構造和工作原理)	180
4-4. 分支热網的計算方法	62	10-4. 机械式和化学式热力压缩机	181
4-5. 汽管末端蒸汽状态的決定	64	10-5. 蒸汽喷射压缩机和水力喷射泵	183
4-6. 循环水泵各参数的決定	65	第十一章 热能輸送的經济学	196
第五章 水力工况	66	11-1. 技术經济的計算法	196
5-1. 供热系統的水力特性	66	11-2. 燃料的节省	197
5-2. 水力工况的計算	69	11-3. 热網的价值	198
5-3. 各种調节裝置的水力特性	72	11-4. 用戶系統的价值	202
5-4. 水力稳定性	76	11-5. 热介質的輸送費	203
第六章 放热工况	79	11-6. 热損失的价值	205
6-1. 符号	79	11-7. 經濟压力降的选定	206
6-2. 調节方式	80	11-8. 汽輪机撤汽口最佳蒸汽压力的选定	207
6-3. 質的調节	84	11-9. 热網最佳溫度圖的选定	208
6-4. 量的調节	87	第十二章 热網的运行	209
6-5. 質-量調节	89	12-1. 运行的組織	209
6-6. 綜合調节	90	12-2. 供热系統的工况及其調节	210
6-7. 撤汽工况和調节方式	97	12-3. 損坏的發現和消除	212
第七章 热化裝置的自动化	100	12-4. 腐蝕的防止	214
7-1. 自动化的目的	100	附录	217
7-2. 备热裝置的自动化	101	参考書目	229
7-3. 用戶引入裝置的自动化	108	索引	233

緒 論

在苏联的动力工程界中，“热化”系指在热能和电能联合生产基础上的集中供热。

热化由于把电能生产过程与集中供热的热能生产结合起来，因而能够显著地提高热力发电站的燃料利用程度；同时热化由于热能消费工况的组织合理以及工作人员的大量减少，因而能够显著地降低供热的价格。

除热化外，中央锅炉房的集中供热也有广泛的采用。这种集中供热没有热化的主要优点——有效地提高电能和热能生产的经济性。可是，这种集中供热的某些优点（如锅炉房的损失较小、供热调节的质量高、运行费用较低等），使它在很多情况下同各个局部锅炉房的供热比较起来，仍是较可取的供热方式。

热化装置的有效程度比集中供热的大得多，因此在苏联社会主义经济的条件下，热化得到了占优势的采用。

热化除节省燃料外，还具有许多其他的优点，即：

(1) 有可能利用当地的低级燃料作为供热的能源，而在个别用热户的小型锅炉中要燃烧这种燃料是极端困难的；

(2) 减少供热设备所需的投资和金属消费量，这是由于供热热源的并大和总后备减小的缘故；

(3) 精简工作人员并减低整个动力企业的运行费用，这是由于机组并大和繁重工作机械化的结果；

(4) 建筑物的使用面积增大，因为在各住宅中、工业和公用建筑物中不需要单独的锅炉房；

(5) 改善了环境卫生条件，因为燃料系集中在一些热电厂中燃烧，而这些厂可以建设在距城市居住区很远的地方，并且采用现代的烟气清洁法和除灰法。

热化的观念发生在十九世纪 80 年代。1877 年在美国的洛克波特城 (Локпорт) 建造了第一个集中供热装置。但是美国在很长的时期中（约 60 年）并没有将城市的集中供热与热能和电能的联合生产结合起来。在大多数情况下，美国许多城市的集中供热是利用中央锅炉房实现的。这些锅炉房中有一些曾安装了背压式机组，这些机组主要系利用来满足锅炉房自身的需要，从城市供电的观点来看，它们没有实际意义。

仅在第二次世界大战开始前不久，美国才开始建造一些城市热电厂（纽约、密尔沃基、兰辛等等）。

在美国，工业热化的发展要迅速得多。

在欧洲，第一批区域热化装置出现于二十世纪初年。1908 年在德国的德莱斯頓，第一

个区域热化装置开始运行。接着在德国的其他一些城市中以及其他的欧洲国家中出现了热化装置。但是这些装置也都仅限于極小的电功率,从这些城市的供电观点看,它們沒有起到多大的作用。

苏联热化發展的厂史与苏联动力工程总的發展有密切的关系。

在革命前的俄国,热化事業就其現代的意义講是沒有的。虽然有過一些工厂的热力装置,其中的廢汽曾被用来供热,如三山織布厂(Трехгорная мануфактура)、秦捷尔工厂(фабрика Циндель)(現今的第一印花布厂)等等,但在这些装置中供热仅限于滿足本企业自身的需要,並沒有將热能供予附近的居民区和鄰近的其他企业,所以不能够把它們看作区域热化装置。

俄国的先进科学家在偉大的十月社会主义革命前就已作过尝试,想使热化装置不仅能对于工业企业供热,并且也能对居住和公用建筑物供热。但是,这些装置也只限于一个私有区的范围内,并且在沙皇俄国的情况下它們不能够变成区域供热装置。

热化的所有优点,仅在热载荷集中以及在热电厂及热網的發展规划与需热量的增長相結合的条件下,才可能得到發揮。热化的基本原則——热能和电能的联合生产,是在苏联首先得到了大規模的实现,它使得电能生产的燃料消耗率只等于現代凝汽式热力发电站燃料消耗率的 $\frac{1}{2} - \frac{1}{2.5}$ 。

在热能和电能联合生产的情况下,燃料中含有的热能約有 75% 可以被有效地利用来供电和供热;另一方面,在电能和热能分別生产的情况下,在凝汽式热力发电站中大約仅能有效地利用燃料中热能的 30%,而在局部的鍋爐房中仅能有效地利用燃料热能的 50—60%。

根据列宁的提議而拟出并在 1920 年 12 月为全俄罗斯苏維埃第八次代表大会所批准的俄罗斯国家电气化計劃,規定了要广泛地利用当地燃料以供电气化之需。热化乃是列宁电气化計劃的基本观念的合理發展。热化使城市、工业和农业地区的供热也像供电一样能够改用当地燃料,并且能够最有效地利用这种燃料来生产热能和电能。

热化乃是利用国家燃料资源作动力供应的最合理的方法。

苏联的区域性热化开始于 1924 年。1924 年 11 月 25 日在列宁格勒市根据金切尔(Л. Л. Гинтер)工程师和德米特里耶夫(В. В. Дмитриев)教授的设计并在他們的指导下,从列宁格勒第三发电站(即現在的金切尔热电厂)建成了一条热管路,沿丰坦卡路輸送热能到 96 号房屋,其后又輸送到哥薩克浴室、奥布霍夫区涅察耶夫医院等等。1927 年,列宁格勒第三发电站的 680 千瓦凝汽式汽轮机改用惡化真空运行,于是进一步扩展了热網而將热能輸入数十个建筑物供暖气之用。

随着列宁格勒市之后,开始了莫斯科的热化事業。莫斯科热化的創始者是全苏热工研究所。

在 1928 年敷設了由全苏热工研究所的實驗热电厂到“吉納摩”(“Динамо”)和“帕罗斯特罗依”(“Парострой”)兩工厂的热管路,并且开始以 5 絕对大气压压力的、由汽轮机撤汽口引出的乏汽向这些企业供热。

列宁格勒和莫斯科兩地第一批热化裝置的投入生产,刺激了罗斯托夫、哈尔科夫、基輔、雅罗斯拉夫里、伊万諾沃、薩馬尔、嘉桑和苏联其他許多城市热化事業的發展。在1924到1930的时期中,苏联的热化事業主要是根据一些个别先进动力專家的倡议而發展的。这时期中缺乏建設热电厂和热網的远景规划。

这个时期的特点是設計和建造一些不大的工業發电站,主要为某一个企業和毗連的居住区服务,而絲毫未广泛考虑鄰近的其他用热戶。起初在一些紡織和造紙工業中建造一些功率不大的热电厂(2—8兆瓦),例如:克拉斯諾普列年热电厂(現在的莫斯科动力局第七热电厂),奥列霍沃-祖耶夫热电厂、巴拉赫宁热电厂、奥庫洛夫热电厂、“無产者”織布厂的热电厂(加里宁城)等等。

其后在化学、冶金、机器制造工業中开始出現了較大功率的热电厂,例如:頓索特热电厂、格罗茲年热电厂、別列茲尼科夫热电厂、烏拉尔馬格尼托斯特罗亚热电厂等等。这些工厂热电厂中有很多在后来变成区域热电厂。在1930年热电厂的总功率达到200000千瓦,而供热量达到 1.5×10^6 百万大卡。

在1931年6月联共(布)中央全体會議決議之后,苏联的热化事業开始普遍地發展。在联共(布)中央六月全会的決議中指出:

“联共(布)中央認為今后的国家电气化計劃应当充分考虑到大規模建設大型热电厂的任务,首先要在大工業中心建立热电厂,無論是在原有的工業中心(莫斯科、列宁格勒、哈尔科夫等),或是在新的工業中心(齐略宾斯克、斯大林格勒等)都要建立。

中央全体會議提議由最高国民經濟委员会制定大功率热电厂的建造計劃并加快热化問題的实地解决”。

在中央六月全体會議以后,除了在一些个别工業企業和小城市中繼續建造中小功率的热电厂以外,同时在許多大城市中(为区域供热用)和若干新建的大型工業联合工厂中开始建造大功率的热电厂(100000—200000千瓦)。轉变到建造大功率热电厂再加上热化的加速度發展,就大大改善了热化事業的經濟指标,因为用于建造大功率热电厂的投資率小于建造小功率热电厂的投資率,并且大功率机組的效率照例高于小功率机組的效率。

从苏联第一个热化裝置开始工作直到偉大的衛国战争开始之前的17年中,苏联的热化事業得到了巨大的成就。在大多数的旧城市中以及在所有的新建城市和新工業区中,全都建設了热电厂和热網。

在1940年,运行中的热电厂的总功率达到200万千瓦,热網的总長度有650千米,供热量超过 25×10^6 百万大卡,而每年節約的燃料量約为250万吨标准燃料。以运行中的热化裝置的总功率、热能和电能的联合生产量、热網的总長度等来比較,苏联都超过了西欧所有国家的总和。

在偉大的衛国战争的初期,德国法西斯侵略者占領了苏联的大片領土,給予热化事業以巨大的破坏。位在德寇占領区中的热化裝置全部被毀。被占領者所破坏的有哈尔科夫、基輔、頓巴斯、罗斯托夫省、莫斯科附近地区、斯大林格勒的大功率热电厂和其他很多工業用和

公用的热化裝置。

热化裝置的重大損失不仅是由于軍事行动和占領者的有意破坏，并且也是由于在靠近前綫的区域和遭到封鎖的城市中热化設備在冬季停止运行的結果。譬如在列宁格勒由于个别区段的冰冻，使热網因閘閥、焊縫、鑄鉄补偿器等破裂而大量损坏。

偉大的衛國战争曾經是全国整个动力事業包括苏联热化事業在內的严重考驗。虽然在極其困难的情况下，苏联在偉大衛國战争的年代中热化裝置的功率仍然有增無減，这是由于將靠近前綫地帶的大部分电站設備拆迁到东部，由于在战争的年月在烏拉尔、西伯利亞和伏尔加等区开展了热化裝置的建設，以及驅逐了德寇之后热化裝置迅速恢复的緣故。

在战争时期缺乏燃料和材料的困难条件下，热电厂和热網在战时大大增加了供热量而完成了它們对工業所担負的責任，并且不間断地以热能供予城市和工業区的居民。在偉大衛國战争的年代中，热網的建設虽然由于鋼管的極端缺乏而仅以極其有限的規模进行，但始終沒有停止过。对于被破坏的热網，也以加快的速度进行了修理和恢复工作。

在战后年代中，热化事業有了特別巨大的發展。苏联 1946—1950 年發展国民經济的五年計劃規定了热化事業进一步的發展，其中包括：完成 21 个热电厂的建設和繼續發展莫斯科、列宁格勒、基輔、哈尔科夫、斯維尔德洛夫斯克、頓河岸罗斯托夫的热化事業。这个計劃已經超額完成了。在五年計劃的时期中，热电厂的功率增加了一倍，全年供热量达到 50×10^6 百万大卡，即为战前的兩倍。在 1950 年內由于热化而节省的燃料約为 450 万吨。

仅莫斯科一地热电厂的功率即达到了数十万千瓦。莫斯科七个热电厂每年所供給的热能超过了 3.5×10^6 百万大卡。莫斯科的热網將热能供予 100 个以上的工業企業和 1500 座以上的建筑物。莫斯科热網的長度达到 200 千米。按照热網的長度，莫斯科居世界第一位。在許多“老”城市，历史上初次出現了完全热化的区域：莫斯科的加里宁区、伏龙芝区、基輔区、列宁格勒的斯摩尔尼区，在这些区域中热網上既接有以前裝設着中央鍋爐房的大建筑物，也接有小的住宅，这些住宅原来的火爐供暖都已改成了集中供暖。

在党的第十九次代表大会关于苏联 1951—1955 年五年發展計劃的決議中拟定了热化事業进一步的巨大發展。代表大会对于這個問題作出指示說：“为实现各城市和工業企業的普遍热化要保証热电厂和热網的建設”。

这个任务的完成把苏联的热化事業提到了更高的水平。在 1955 年內由热电厂供給的热量是战前的 4 倍，全年由于热化而节省的燃料达到 800 万吨标准燃料。

苏联是全世界第一个在有計劃的、科学的基础上發展热化事業的国家，因此关于热化的許多主要技術問題，在苏联得到了与在西欧或美国根本不同的解决。

在世界上是苏联第一次提出了远距离供热的課題，把它当作大力淨化市区空气、改善城市規劃条件和减少城市燃料輸入量的方法。苏联的热化事業从一开始發展就以区域热电厂为基础，在这些厂中用联合生产的方法生产热能和电能。

苏联各城市的热化，主要利用水作为热網的热介質。苏联今日拥有全世界最龐大的水網。采用水为热介質就可能利用热化式汽輪机撤汽口的低压乏汽作供热之用。城市的主要

热载荷通常可以用 1.2—2.5 絕對大气压乏汽的热能来满足。利用低压乏汽就可提高热化的有效程度,这是由于以供热量为准的發電量提高了的緣故。

解决有关热化技术原理的改进、热化可靠性和有效程度的提高等許多技术問題的荣誉,都属于苏联的科学家和工程师們。热化的能量有效程度在很大程度上取决于热电厂蒸汽的初参数。因此,苏联的热化事業从一开始發展就采取了在热电厂中用高蒸汽初参数的方針。苏联第一批建設的热电厂所用的蒸汽初参数都是在 30—36 絕對大气压和 400—425°C 的范围内,虽然在那个时期中大多数原有热力發電站的蒸汽初参数为 18—20 絕對大气压和 250—275°C。苏联第一批建成并掌握其运行的高蒸汽初参数热力發電站都是热电厂。

但是在偉大的衛国战争以前建設的热电厂,絕大多数是中压热力發電站。在战后时期中苏联的机器制造厂已經开始成批生产高压 (90 絕對大气压, 480°C) 鍋爐和热化式汽輪机。并且已經开始广泛建設高压热电厂以及用安裝前置式汽輪机的办法將部分中压热电厂改建成为高压热电厂。从 1954 年起新建的热电厂中照例都裝設高压汽輪机。

在苏联由于热化事業的广泛發展,就把制造大功率热化式汽輪机的問題提到了工作日程上。这个問題已經被苏联的汽輪机制造設計师胜利地解决了。列宁格勒金屬工厂 (ЛМЗ) 創造了本国設計的热化式汽輪机。从 1934 年起該工厂就安排了蒸汽初参数为 29 絕對大气压和 400°C、功率为 25000 千瓦的热化式汽輪机的成批生产。

在偉大的衛国战争之前,列宁格勒金屬工厂在 1939 年制出了世界上最大的 АП-50-1 型热化式汽輪机,該机的功率为 50000 千瓦,撤汽口的压力为 7 絕對大气压。

偉大的衛国战争稍稍阻碍了苏联汽輪机制造業的發展。

在偉大的衛国战争結束以后,列宁格勒金屬工厂轉而成批生产功率为 25000 千瓦的高压 (90 絕對大气压, 500°C) 热化式汽輪机。这个工厂在 1949 年制出了第一台 БИТ-25 型 25000 千瓦功率的高压汽輪机,該机有两个可調压的撤汽口。这种汽輪机的 1.2—2.5 絕對大气压低压撤汽可以供城市热化用,而 8—13 絕對大气压的高压撤汽則可供工業热化用。这些汽輪机的制成使热电厂在混合 (工業和公用) 热载荷情况下的經濟性有可能提高,这是由于进入凝汽器的全年平均蒸汽通过量降低了的緣故。

現时苏联的工厂也出产 БИТ-50 型功率为 50000 千瓦的高压汽輪机。

苏联的工程师們設計了并且制造了在热电厂內为預热循环水用的大容量汽-水换热器,也創造了用戶引入裝置的有效且緊湊的分节式水-水加热器。

苏联的科学研究所 (波尔祖諾夫中央鍋爐輪机研究所 ЦКТИ 和捷尔仁斯基全苏热工研究所 БТИ) 已經研究出为提高蒸汽压力用的蒸汽压缩机的理論和計算及設計的方法。热力發電站和工業設備中都需要采用这种裝置。

苏联工程师已經研究出在各种敷設条件下地下热管路的構造以及热網和用戶引入裝置的設備。現代構造的热管路是由預先在工厂中制成的各个元件裝配起来的。热網的建設就在于靠各种适当的起重运输机械和建筑裝配工作的各种其他机械化工具的帮助,將現成的

元件在管的路綫上裝配起來。

蘇聯的科學研究所以及管理和運行機關(ВТИ, 國家區域電站技術改進局 ОПИЭС, 莫斯科動力總局熱網局 Теплосеть Мосэнерго)等已研究出熱網, 用戶引入裝置和熱電廠裝置等水力工况和熱力工况自動調節儀器的多種新型構造。

由於熱網長度大和分支多, 熱介質各參數(壓力、溫度、流量)的遠距離檢查和關斷及調節裝置的遠距離操縱的問題, 就特別迫切需要解決了。

莫斯科動力學院已經研究出一種用來遠距離檢查熱介質各參數(壓力、溫度、流量)的儀器——“送號器”(диспетчерский рапорт), 這種儀器利用電話綫傳送信號而不會破壞電話裝置的工作。用這個儀器可以將熱網上任一點的讀數傳送到調度所來, 並且將讀數記載在帶子上。有了這個儀器, 可以在不敷設專用通訊綫的情況下進行熱網工作的檢查。

在蘇聯已經把熱化事業的主要部分之一——熱網的理論——研究出來而且系統化了。把熱網理論加以研究並發展成為一門獨立科學的功績, 首推蘇聯的科學家們。這門科學無論在西歐或美國都還沒有創立。

在蘇聯共產黨第二十次代表大會關於蘇聯 1956—1960 年發展國民經濟的第六個五年計劃的指令中, 規定了蘇聯熱化事業的進一步發展。在這次代表大會的決議中指出: 對於熱力發電站、水力發電站、電網和熱網等必須加快建設速度、改善建設質量和進一步提高技術水平, 並且提出“要保證進一步發展工業企業和大城市的热化事業, 要消除熱網建設工作中的落後狀況”。

第一章 热化的能量基础

热电厂 (теплоэлектроцентраль) 发出电能和热能两种形式的能。这两种能的經濟价值并不相等, 因此我們不可机械地仅用 1 千瓦小时等于 860 大卡的热当量值来比較它們。电能是比較完善的、同时也是比較貴重的能的形式。产生电能所損失的能量, 較之产生热能的損失要大得多。

高压 (90 絕對大气压, 500°C) 凝汽式發电站, 它的电能生产效率約为 30%, 可是局部小型鍋爐的热能生产效率則約为 50—60%。

在热能和电能联合生产的情况下, 在热电厂內燃料的热能大約有 70—80% 是被有效利用了。因此, 在热电厂中每产生一單位热能的燃料消耗量只等于局部鍋爐房內燃料消耗量的 $\frac{1}{1.3} - \frac{1}{1.5}$, 而在热电厂中每产生一單位电能的燃料消耗量仅为凝汽式發电站燃料消耗量的 $\frac{1}{2.5}$ 。

为了估算热化 (теплофикация) 的有效程度时常利用所謂燃料利用系数。該系数 (用符号 η_u 表示) 是热电厂發出的热能及电能热当量之和对燃烧了的燃料热能的比值:

$$\eta_u = \frac{Q + 860\vartheta}{BQ_{\text{н}}}, \quad (1-1)$$

式中 Q —热电厂输出的热能量, 大卡;

ϑ —热电厂输出的电能量, 千瓦小时;

B —燃烧了的燃料量, 千克;

$Q_{\text{н}}$ —燃料的低热值, 大卡/千克。

燃料利用系数并不能給予热化的国民經济有效程度在量上的正确估价。这是由于在式 (1-1) 中, 电能是直接用它的热当量 (860 大卡/千瓦小时) 换算成为热能而和直接發生的热能相加的結果。

若减低热电厂的發电量而增加供热量, 則可造成燃料利用系数的某些提高, 这是由于汽輪發电机的机电損失 (электромеханическая потеря) 减小了的緣故。但热化的国民經济的有效程度則行降低, 因为热电厂所少發的电能必須由效率較低的凝汽式發电站發出。

增加热电厂的發电量, 就提高了热化的国民經济有效程度, 因为最昂貴形式的能量 (电能) 生产系統的燃料消耗量减少了, 虽然在此情况下热电厂的燃料利用系数 (η_u) 有些降低。

根据燃料节省量来評定热化的有效程度是最合理的, 这个燃料节省量是根据滿足給定的热能和电能的需要量来定出的。

設在热能和电能联合生产情况下的燃料消耗量用符号 B_k 表示, 而在两种能量分別生

产情况下生产同量能量的燃料消耗量用符号 B_p 表示, 则 $\frac{B_k}{B_p}$ 比值可以表明热化方式与热电分产方式比较时的有效程度, 而 $(B_p - B_k)$ 则表示热化方式与热电分产方式比较时燃料的绝对节省量。

热电厂中热能和电能 (不计凝结蒸汽所发出的电能^①) 联合生产的燃料消耗量, 可以由下列两项之和求出:

$$B_k = B_{k.e} + B_{k.m}, \quad (1-2)$$

式中 $B_{k.e}$ —生产电能的燃料消耗量;

$B_{k.m}$ —生产热能的燃料消耗量。

如果将燃料总消耗量 B_k 按照与热能及电能的热当量比例地加以分配, 则上式中的两项可以由下列两式决定 [参考书目 67]:

$$B_{k.e} = \vartheta \frac{860}{7000 \eta'_k \eta_{\text{эм}}} = 0.123 \frac{\vartheta Q}{\eta'_k \eta_{\text{эм}}} \text{ 千克标准燃料}^{\text{②}}; \quad (1-3)$$

$$B_{k.m} = Q \frac{10^6}{7000 \eta'_k} = 143 \frac{Q}{\eta'_k} \text{ 千克标准燃料}, \quad (1-4)$$

式中 Q —由合产过程所生产的热量, 百万大卡;

ϑ —用合产方法生产的发电率, 即以每单位被利用的废热为准的发电量, 千瓦小时/百万大卡;

η'_k —发电站的锅炉效率;

$\eta_{\text{эм}}$ —汽轮发电机的机电效率 (机械效率与发电机效率的乘积)。

乘积 $\vartheta = \vartheta Q$ 是用合产方法生产出的电能量 (千瓦小时)。

ϑ 值由下式求出:

$$\vartheta = \frac{H \eta_{oi} \eta_{\text{эм}} \cdot 10^6}{860 (i - t_{k.n})} = 1160 \frac{H \eta_{oi} \eta_{\text{эм}}}{(i - t_{k.n})} \text{ 千瓦小时/百万大卡}, \quad (1-5)$$

式中 H —蒸汽在汽轮机中由初态至撤汽压力间的绝热焓降, 大卡/千克;

η_{oi} —汽轮机内部相对效率;

i —汽轮机撤汽口蒸汽的焓, 大卡/千克;

$t_{k.n}$ —撤汽的热能被利用后其凝结水的温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

在图 1-1 上表示按照公式 (1-5) 画出的诺谟图。

用分别生产方式产生同量热能和电能的燃料消耗量, 同样地也可以用两项之和表示:

$$B_p = B_{p.e} + B_{p.m}, \quad (1-6)$$

式中 $B_{p.e}$ —凝汽式发电站产生同量电能的燃料消耗量;

$B_{p.m}$ —用热户局部锅炉房产生同量热能的燃料消耗量。

这两项又可以分别表示为:

① конденсационная выработка.

② условное топливо, 标准燃料, 每千克的低热值以 7000 大卡计——译者注。

$$B_{p.s} = 9 \frac{860}{7000 \eta'_k \eta_i \eta_{s.m}} = 0.123 \frac{9Q}{\eta'_k \eta_i \eta_{s.m}} \text{ 千克标准燃料,} \quad (1-7)$$

$$B_{p.m} = Q \frac{10^6 \eta_c}{7000 \eta_k} = 143 \frac{\eta_c}{\eta_k} Q \text{ 千克标准燃料,} \quad (1-8)$$

式中 η_i —凝汽式汽轮机的内部绝对效率;

η_k —各用热户锅炉房的效率;

η_c —热网的效率。

凝汽式发电站的内部绝对效率 η_i 等于热效率与汽轮机内部相对效率的乘积:

$$\eta_i = \eta_m \eta_{oi}$$

在公式(1-8)中,热网的效率 η_c 被放在分子上,因为为了要得到一样的有用效果,在用热户处的局部锅炉房中需要发出的热能量应该比在中央锅炉房处少掉热网的热损失量。

对于普通情形可以采用如下的各效率值:

发电站的锅炉房效率.....	$\eta'_k = 0.8 - 0.9$
汽轮机的内部相对效率.....	$\eta_{oi} = 0.8 - 0.85$
各用热户的锅炉房效率.....	$\eta_k = 0.5 - 0.6$
汽轮发电机的机电效率.....	$\eta_{s.m} = 0.9 - 0.95$
热网的效率.....	$\eta_c = 0.92 - 0.95$

比较热电合产和热电分产的两种燃料消耗量式,可以看出最大的燃料相对节省量是在电能生产上获得的。

用热电合产方式和热电分产方式产生同量电能的两种燃料消耗量的比值为:

$$\frac{B_{k.s}}{B_{p.s}} = \eta_{io} \quad (1-9)$$

高压(90 绝对大气压, 480°C) 凝汽式发电站的内部绝对效率设为 $\eta_i = 0.40$; 则比值 $\frac{B_{k.s}}{B_{p.s}}$ 大约

等于 0.4, 就是用热电合产方式发电的燃料消耗量仅为凝汽式发电站发出同量电能所需燃料消耗量的 1/2.5。

生产热能所获得的燃料节省量, 比上值小得很多。

用热电合产方式和热电分产方式产生同量热能的两种燃料消耗量的比值为:

$$\frac{B_{k.m}}{B_{p.m}} = \frac{\eta_k}{\eta_c \eta'_k}, \quad (1-10)$$

当 $\eta_c = 0.92$, $\eta'_k = 0.8$ 和 $\eta_k = 0.6$, 则该比值

$$\frac{B_{k.m}}{B_{p.m}} = \frac{0.6}{0.92 \times 0.8} \approx 0.82。$$

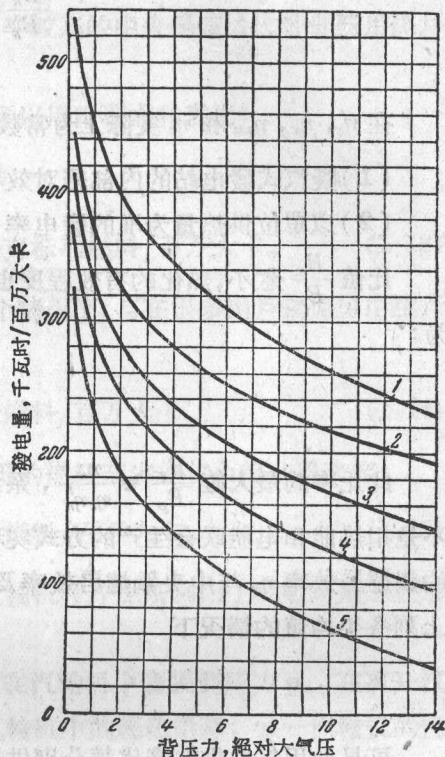


圖 1-1. 热能和电能联合生产的诺模图

($\eta_{oi} \eta_{s.m} = 0.72$):

- 1—蒸汽初参数 $p_0 = 130$ 绝对大气压, $t_0 = 535^\circ\text{C}$;
中间再热参数 $p_{nn} = 30$ 绝对大气压, $t_n = 525^\circ\text{C}$;
- 2—蒸汽初参数 $p_0 = 90$ 绝对大气压, $t_0 = 480^\circ\text{C}$;
- 3—蒸汽初参数 $p_0 = 55$ 绝对大气压, $t_0 = 450^\circ\text{C}$;
- 4—蒸汽初参数 $p_0 = 35$ 绝对大气压, $t_0 = 435^\circ\text{C}$;
- 5—蒸汽初参数 $p_0 = 20$ 绝对大气压, $t_0 = 360^\circ\text{C}$ 。

根据式(1-2) — (1-8) 不难找得用热电合产方式对于热电分产方式产生同量能量的燃料消耗量的比值:

$$\frac{B_{\kappa}}{B_p} = \frac{1 + 1160 \frac{\eta_{\text{э.м}}}{\vartheta}}{\frac{1}{\eta_i} + 1160 \frac{\eta_c \eta_{\kappa} \eta_{\text{э.м}}}{\eta_{\kappa} \vartheta}} \quad (1-11)$$

在 η'_{κ} , η_{κ} , $\eta_{\text{э.м}}$ 和 η_c 实际上为常数的情况下, 比值 $\frac{B_{\kappa}}{B_p}$ 实质上由下列两个量来决定:

- (1) 凝汽式发电站的内部绝对效率 η_i ;
- (2) 以单位供热量为基准的发电率 ϑ 千瓦小时/百万大卡。

比值 $\frac{B_{\kappa}}{B_p}$ 愈小, 热化的有效程度也愈高。当 ϑ 之值由 0 增到无限大时, $\frac{B_{\kappa}}{B_p}$ 的变化范围为:

$$\frac{\eta_{\kappa}}{\eta_c \eta'_{\kappa}} \geq \frac{B_{\kappa}}{B_p} > \eta_i$$

此比率的最大值 $\frac{B_{\kappa}}{B_p} = \frac{\eta_{\kappa}}{\eta_c \eta'_{\kappa}}$, 系当 $\vartheta = 0$ 时发生, 即当集中供热系由中央锅炉房实现而不是用热能和电能联合生产的方式实现时发生。这种情况下热化的有效程度等于各用热户的锅炉房效率 η_{κ} 与中央锅炉房效率及热网效率乘积 $\eta_c \eta'_{\kappa}$ 的比值。在锅炉房和热网效率为上述各平均值的情况下

$$\frac{B_{\kappa}}{B_p} = 0.82。$$

可见如用集中供热来代替分别供热, 则在上述条件下的燃料节省量达到 18%。

比率 $\frac{B_{\kappa}}{B_p}$ 的最小值, 在 $\vartheta = \infty$ 时出现, 它等于 η_i 。因为实际上比发电量 ϑ 是有限值, 故永远地 $\frac{B_{\kappa}}{B_p} > \eta_i$, 即热能和电能的联合生产对于热电分别生产两者燃料消耗量的比值, 永远大于凝汽式发电站的内部绝对效率。

降低撤汽口的蒸汽压力将使以供热量为基准的发电率 ϑ 之值增大, 同时提高了热化的有效程度。例如将 AT 型汽轮机撤汽口的蒸汽压力由 2 绝对大气压降低至 1.2 绝对大气压, 则以供热量为基准的发电率将由 200 千瓦小时/百万大卡增大到 250 千瓦小时/百万大卡, 而比率 $\frac{B_{\kappa}}{B_p}$ 将由 0.64 变为 0.61。其时, 由于热化的燃料消耗量与热电分产的总消耗量相比较的燃料节省量, 由 36% 增加到 39%。

热化与分别生产两者相比较的燃料绝对节省量, 可以用两项之和表出:

$$\Delta B = \Delta B_s + \Delta B_m, \quad (1-12)$$

式中

$$\Delta B_s = (B_{p,\vartheta} - B_{\kappa,\vartheta}) = \frac{0.123\vartheta Q}{\eta_{\kappa} \eta_{\text{э.м}}} \left(\frac{1}{\eta_i} - 1 \right); \quad (1-12a)$$

$$\Delta B_m = (B_{p.m} - B_{\kappa.m}) = \frac{143}{\eta'_\kappa} Q \left(\frac{\eta_c \eta'_\kappa}{\eta_\kappa} - 1 \right). \quad (1-126)$$

第一項 ΔB_s 表示由于电能的联合生产, 即由于消除了在凝汽式发电站中所發生的廢熱白白地排入周圍介質中去这个損失而获得的燃料节省量。

第二項 ΔB_m 表示由于供热的集中化, 即由于用效率較高的中央鍋爐房代替那些用热戶的小鍋爐房所获得的燃料节省量。

以发电站每百万大卡供热量計的燃料节省率, 也可以用兩項之和表出:

$$\begin{aligned} \Delta b &= \frac{\Delta B}{Q} = \Delta b_s + \Delta b_m = \\ &= \frac{0.123}{\eta'_\kappa \eta_{\text{э.м}}} \vartheta \left(\frac{1}{\eta_i} - 1 \right) + \frac{143}{\eta'_\kappa} \left(\frac{\eta_c \eta'_\kappa}{\eta_\kappa} - 1 \right) \text{ 千克标准燃料/百万大卡。} \end{aligned} \quad (1-13)$$

在由中央鍋爐房集中供热的情况下, $\vartheta = 0$ 。在这个情况下, 与在很多用戶鍋爐房中生产热能比較的燃料节省率, 仅由第二項决定:

$$\Delta b_m = \frac{143}{\eta'_\kappa} \left(\frac{\eta_c \eta'_\kappa}{\eta_\kappa} - 1 \right) \text{ 千克标准燃料/百万大卡。} \quad (1-14)$$

与由中央鍋爐房的集中供热比較, 由于热化而获得的燃料节省率仅由第一項决定:

$$\Delta b_s = \frac{0.123}{\eta'_\kappa \eta_{\text{э.м}}} \vartheta \left(\frac{1}{\eta_i} - 1 \right) \text{ 千克标准燃料/百万大卡。} \quad (1-15)$$

凝汽式汽輪机裝置的内部絕對效率 η_i , 等于在汽輪机叶片上所利用了的焓降对于在形成蒸汽时傳給蒸汽的热量的比值。

設蒸汽在进入汽輪机时的压力为 p_0 , 焓为 i_0 , 它在汽輪机中膨脹到压力 p_κ , 在离开汽輪机时的焓值为 i_κ 。令 H_κ 大卡/千克代表蒸汽在汽輪机中的絕热焓降; η_{oi} —汽輪机的内部相对效率; t_κ —凝結水的焓值。

汽輪机叶片所利用的焓降, 显然等于 $H_\kappa \eta_{oi}$ 大卡/千克。每千克蒸汽所傳得的热能, 在忽略回热的情况下, 等于 $(i_0 - t_\kappa)$ 大卡/千克。

因之, 凝汽式汽輪机的内部絕對效率等于:

$$\eta_i = \frac{H_\kappa \eta_{oi}}{i_0 - t_\kappa}. \quad (1-16)$$

計算燃料节省率的公式(1-13), 如果將方程式(1-5)的發電率值和方程式(1-16)的凝汽式汽輪机内部絕對效率的值代入, 則該式可以大为簡化。

于經過适当的演变后, 就得到热化方式与热电分产方式比較燃料节省率式如下:

$$\begin{aligned} \Delta b &= \Delta b_s + \Delta b_m = \frac{143}{\eta'_\kappa} \frac{H}{H_\kappa} \frac{i_\kappa - t_\kappa}{i_0 - t_{\kappa.n}} + \\ &+ \frac{143}{\eta'_\kappa} \left(\frac{\eta_c \eta'_\kappa}{\eta_\kappa} - 1 \right) \text{ 千克标准燃料/百万大卡。} \end{aligned} \quad (1-17)$$

第一項表出由于热能和电能联合生产而获得的燃料节省率, 第二項为由于供热集中化而获得的燃料节省率。

在推导式(1-17)时, 將热化式和凝汽式两种汽輪机的内部相对效率取用为相等, 对于初

步計算这是完全允許的。

对于实际計算,还可以認為

$$\frac{i_k - i_k}{i - i_{kn}} = 1,$$

这样做以后所得到的結果,它的精确度是足够的。

在这个情况下,由于热能和电能联合生产而获得的燃料节省率等于:

$$\Delta b_s = \frac{143}{\eta'_k} \frac{H}{H_k} \text{ 千克标准燃料/百万大卡。} \quad (1-18)$$

取用 $\eta'_k = 0.8$, 得:

$$\Delta b = 180 \frac{H}{H_k} \text{ 千克标准燃料/百万大卡。} \quad (1-19)$$

假如能够利用热化式汽轮机凝汽器所放出的热能作为供热之用,則热能和电能联合生产方式的燃料节省率就能达到最大值。在此情况下 $\frac{H}{H_k} = 1$, $\Delta b = 180$ 千克/百万大卡。

实际上,用为供热之用的热能照例需要較高的能位(温度)。因此,必須选用压力較凝汽器内的压力为高的蒸汽作为供热之用。

因为絕热焓降的比率 $\frac{H}{H_k} < 1$, 故以供热量为标准的燃料节省率必定 $\Delta b < 180$ 千克/百万大卡。

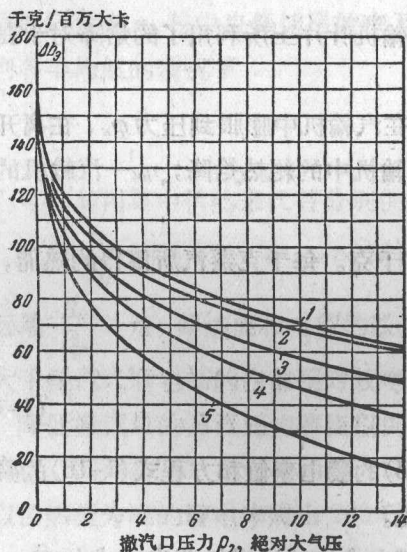


圖 1-2. 热能和电能联合生产的燃料节省率。
(当輪制諾謨圖时采用发电站的鍋爐效率 $\eta'_k = 0.8$; 汽輪机内部相对效率 $\eta_{oi} = 0.8$; 凝汽器压力 $p_k = 0.04$ 绝对大气压)。

- 1—蒸汽初参数 $p_0 = 130$ 绝对大气压, $t_0 = 535^\circ\text{C}$;
中间再热 $p_{nn} = 30$ 绝对大气压, $t_n = 525^\circ\text{C}$;
- 2—蒸汽初参数 $p_0 = 90$ 绝对大气压, $t_0 = 480^\circ\text{C}$;
- 3—蒸汽初参数 $p_0 = 55$ 绝对大气压, $t_0 = 450^\circ\text{C}$;
- 4—蒸汽初参数 $p_0 = 35$ 绝对大气压, $t_0 = 435^\circ\text{C}$;
- 5—蒸汽初参数 $p_0 = 20$ 绝对大气压, $t_0 = 350^\circ\text{C}$ 。

由式(1-17)的分析指明在热化方式下所获得的燃料节省率由兩組因素决定:

(1) 进入汽轮机时蒸汽的各参数, 撤汽口处的蒸汽压力和凝汽器内的蒸汽压力; 这組因素决定了絕热焓降的比率 $\frac{H}{H_k}$;

(2) 发电站装备, 热網和局部鍋爐等構造の完善程度, 它决定了 η'_k , η_k , η_c 等效率的大小。

在求得(1-18)公式后, 就容易决定由于热能和电能联合生产而获得的燃料节省率。为計算便利計, 可以利用圖 1-2 所示的諾謨圖。

降低汽輪机撤汽口处的蒸汽压力, 將使絕热焓降 H 增大, 并且使由于以供热量为标准的电能的联合生产所获得的燃料节省率 Δb_s 增大。

提高蒸汽的初参数, 將使它在汽輪机中膨脹到撤汽口压力的絕热焓降 H 大卡/千克以及膨脹到凝汽器压力的絕热焓降 H_k 大卡/千克同时增大。但是 H 的值比 H_k 增大得快。因此, 提高发电站蒸汽的初参数將使比率 $\frac{H}{H_k}$ 增大, 并且使由