

发电厂汽机分场的 附属设备

苏联 С. Ф. 科比堯夫著

电力工业出版社

发电厂汽机分場的 附 屬 設 备

苏联工学博士 С. Ф. 科比堯夫教授著

金仲白 唐宗炎 吳祉中 蔡孝頤 魏長瑞譯

徐 学 鏞校

电 力 工 業 出 版 社

內 容 提 要

本書介紹了發電廠汽機分場熱力附屬設備各機組的構造，這些設備包括：再生加熱器、供熱加熱器、凝結器、蒸汽發生器、除氧器、噴射器、減壓減溫器和熱力網水處理裝置設備。介紹了這些設備的運行和計算方法。對這些設備的運行效率的技術經濟計算方法作了闡述。

本書供火力發電廠工程技術人員閱讀，也可供動力學院的大學生參考。

С. Ф. КОПЬЕВ

ПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ
МАШИНЫХ ЦЕХОВ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ. МОСКВА, 1954

發電廠汽機分場的附屬設備

根據蘇聯國立動力出版社1954年莫斯科版翻譯

金仲白 唐宗炎 吳山中 蔡孝頌 魏長瑞譯

徐 學 編校

684R179

電力工業出版社出版(北京東黃城根外大街25號)

北京市書刊出版業登記證出字第082號

北京市印刷一厂排印 新華書店發行

787×1092 $\frac{1}{2}$ 開本 * 102頁印張 * 220千字 * 定價(第10類)1.50元

1953年1月北京第1版

1955年1月北京第1次印刷(0001—1,500冊)

序 言

本書出版的目的是为了給电厂工程技术人员介紹汽机分場附屬設備的热工計算，技术經濟計算，以及这些設備的維護、起動、調整和运行諸問題。

我們所以要很迫切地介紹这些問題，是由于在第十九次党代表大会关于發展苏联的第五个五年計劃(1951-1955)的指示中，已提出了“为实现城市和工業企業的广泛热化，要保証热电站和热力網的建設”的緣故。

書中引用了著者已發表过的关于电厂汽机分場附屬設備的計算和运行等問題的材料、著者个人对于附屬設備調整的經驗，以及苏联电站部技术改进局所屬企業在实际工作中所取得的材料。

本書对下列各方面，給以極大重視：作为防止电厂主要設備腐蝕的主要方法的給水除氧問題、附屬設備工作的自动化問題以及节省燃料的問題。

很多計算公式和計算方法是著者首先公开发表的，尤其是給水除氧的吸收理論、噴射裝置的簡化計算、水加热器中热傳导的簡化計算。

著者对于 Я. М. 魯賓施恰因教授在校閱原稿时所給予的宝貴指示表示感謝。

讀者对于本書的內容和可能有的缺点將提出的批評，著者預先表示感謝。

意見和批評請寄：莫斯科，水閘河岸街 10 号国立动力出版社，热工技术書籍編輯部。(Москва, Шлюзовая набережная, 10, Редакция теплотехнической литературы Госэнергоиздата.)

教授，工学博士 С. Ф. 科比堯夫

目 录

序言

第一章 总論	4
1-1. 附屬設備的一般特性	4
1-2. 电厂热力系統內的附屬設備	5
1-3. 热能电能联合生产时燃料的节约問題	12
1-4. 輔助設備机組內的傳热	19
a) 基本公式	19
б) 平均溫度差	21
в) 放热	31
г) 液体阻力	45
第二章 加热器	47
2-1. 用途及構造	47
2-2. 汽水加热器	49
2-3. 水水加热器	66
2-4. 加热器的热力計算	70
第三章 加热設備	74
3-1. 再生加热設備	74
a) 再生設備的系統	74
б) 再生加热系統內的反事故保护	81
в) 再生加热器的热力計算	84
г) 再生加热器的运行	86
3-2. 热化加热器設備	89
a) 热化設備的系統	89
б) 热化設備的热力計算	97
в) 热化裝置的設備	100
г) 自动裝置	101
д) 热化設備的运行	109
第四章 蒸發器与蒸汽發生器	119
4-1. 用途和裝置	119
4-2. 蒸發器和蒸汽發生器的構造	122

4-3.	蒸發設備和蒸汽發生設備的系統	136
4-4.	蒸發器和蒸汽發生器的熱力計算	141
4-5.	運行	143
第五章	除氧器	147
5-1.	概論	147
5-2.	水的加熱除氧	151
5-3.	加熱除氧器的構造	153
5-4.	除氧器工作的自動化	167
5-5.	除氧器的計算	174
5-6.	鋼屑過濾器	185
5-7.	水的化學除氧	189
第六章	噴射機械	195
6-1.	概論	195
6-2.	噴射機械的裝置	198
6-3.	噴射機械的計算	200
	a) 計算用的公式	200
	б) 噴水式昇压机	212
	в) 蒸汽注射器	213
	г) 蒸汽噴射壓縮机	217
	д) 蒸汽抽气器	220
第七章	減壓減溫裝置	229
7-1.	概論	229
7-2.	具有液力機械自動系統的減壓減溫裝置	233
7-3.	具有電力機械式自動化系統的減壓減溫裝置	246
第八章	熱網的水處理	251
8-1.	概論	251
8-2.	補充水的除氧	253
8-3.	水的淨化	255
8-4.	加熱器和熱網結垢的防護	258
8-5.	補充水的熱力處理	259
8-6.	水的化學穩定，酸處理法	263
8-7.	用表面活躍物質穩定水質	265

第一章 总 論

1-1. 附屬設備的一般特性

在电能生产的热力过程中，除了主要設備——汽机和鍋爐——以外，热力輔助設備也起着很重要的作用，这些設備的大部分通常都佈置在發電厂汽机分場內。

热力輔助設備包括：

1. 再生加热器，用汽輪机的抽汽及其附屬設備的蒸汽来加热鍋爐給水。

再生加热器提高發電厂的經濟性，在許多情況下它能節約燃料达百分之十以上。当使用这些加热器时，必須(为了保証汽輪机的安全性和整个發電厂运行的可靠性)裝設一系列的自动設備：抽汽管路上的逆止閥，水和凝結水的關閉、切换与疏水閥門，并需有一系列的轉唧泵。

2. 供热加热器，用汽輪机的抽汽或減压減温裝置来的蒸汽加热供热系統內循环的水。

裝設供热加热器比裝設再生加热器能節約更多的燃料，因为在集中供热的情況下，汽輪机抽汽的利用比之用来加热鍋爐給水要好得多。

在許多情況下，热化能使电能生产的燃料消耗量降低百分之五十以上。

采用供热加热器时需要在热电站系統中裝設热網水泵、凝結水泵和補給水泵；作为备用和补充供給加热器蒸汽的減压減温裝置；以質量良好的水弥补供热系統內的漏洩和用水損失所需的补充水設備以及一系列的自动保护設備和使加热設備能在給定方式下运行的調整器。

3. 蒸汽發生器，制造二次蒸汽供給用戶，因这些用戶不能保証送回質量良好的和有足够数量的凝結水。蒸汽發生器保存了一次蒸汽的凝結水，因此可以保証以質量好的水供給鍋爐而和用戶返回之凝結水

不發生关系。

蒸汽發生器的工作需要在發電廠热力系統內裝設一系列的特殊水泵，如除氧器、給水加熱器、一次凝結水的冷卻器、自動保護設備和調整器。

4. 蒸發器，用來製造蒸餾水以補充在發電廠管路中及供汽系統內損失的凝結水。

像蒸汽發生器一樣，蒸發器保證供給鍋爐以質量良好的水，這對高壓鍋爐特別是直流式鍋爐是十分重要的。蒸發器也需要一些輔助設備。

5. 除氧器，用來排除給水和補給水內的气体以防止管道和設備的腐蝕。給水除氧器通常裝設在再生加熱系統和補給水水處理系統內。它們在混合加熱的原理下工作並要求壓力和水位必須能自動調整。

除氧頭通常與給水箱組合在一起。系統內的補充水通常都經過除氧器。它是所有供給鍋爐、蒸發器、蒸汽發生器或供熱系統的水的中心收集站。

6. 蒸汽噴射器和水噴射器，用來壓縮蒸汽、從在真空狀態下運行的設備內吸出空氣和空氣蒸汽混合物、加熱和壓送水或用作別的用途。

噴射器的優點是構造簡單。它能保證電廠某些設備在所要求的工作方式下運行，在很多情況下並能提高發電廠的經濟性。

7. 減壓減溫裝置，它降低蒸汽的壓力和溫度至規定界限，以便能用具有過高蒸汽參數的蒸汽來保證發電廠內各種設備的備用或補充用汽。

減壓減溫裝置是一種複雜的自動化設備。它對發電廠運行的可靠性影響很大，它保證供給電廠各重要設備的備用蒸汽，如供熱加熱器裝置，蒸汽發生器，蒸發器，輔助汽輪機等。

8. 特殊的水處理設備，用來製造質量好的水供應直接取用熱水的熱力網。

1-2. 電廠热力系統內的附屬設備

上面列舉的發電廠汽機分場的輔助設備，由發電廠的熱力系統互相連接並彼此互相影響着。

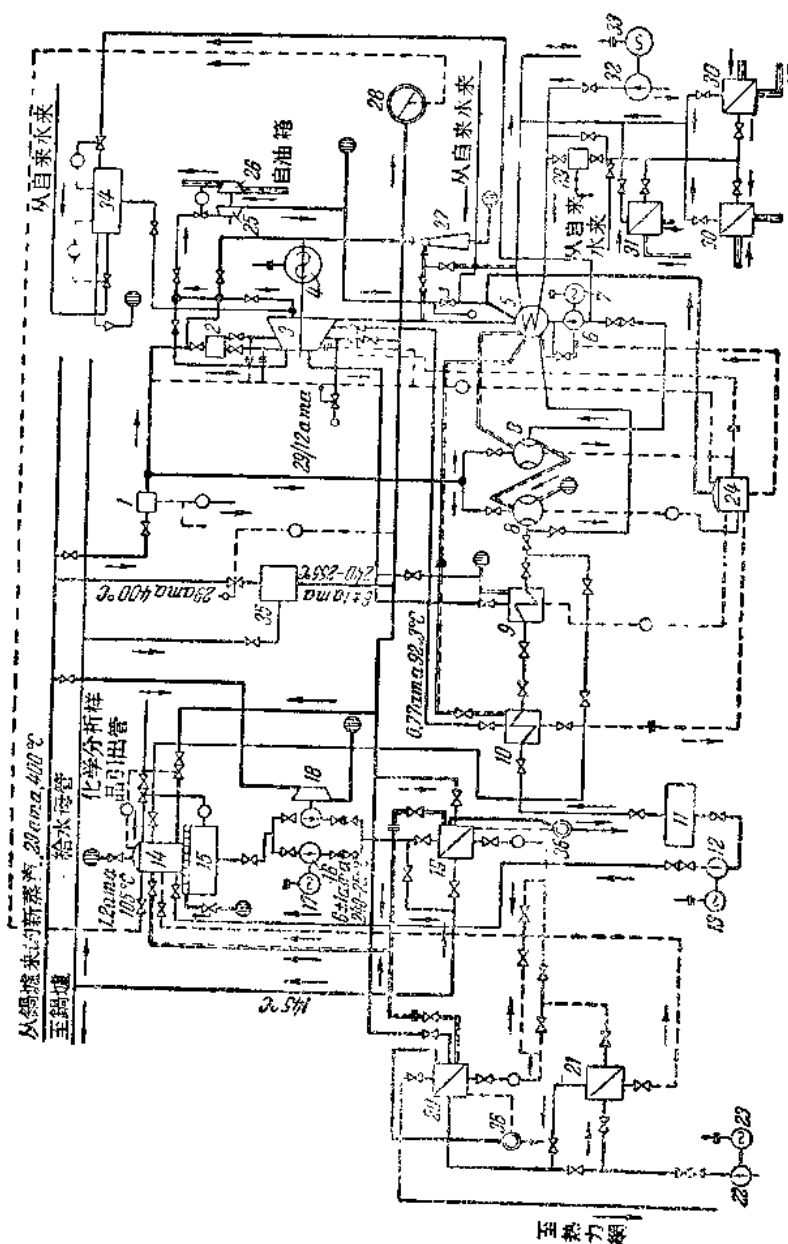




圖 1-1 具有容量为 6000 瓩的 АП-5 型汽輪机的中压热电厂的原则性热力系統圖

1—汽水分离器；2—汽輪机进汽櫃；3—汽輪机；4—發電机；
 5—凝汽器；6—凝結水泵；7—电动机；8—抽气器；9—軸封
 加热器；10—低压加热器；11—凝結水匯集箱；12—轉脚泵；
 13—电动机；14—除氧器；15—給水箱；16—給水泵；17—电
 动机；18—給水泵汽輪机；19—高压加热器；20—供热加热
 器；21—凝結水冷却器；22—热網水泵；23—电动机；24—化
 汽箱；25—油泵汽輪机；26—油泵；27—起動抽气器；28—蒸
 汽用戶；29—过滤器；30—油冷却器；31—發電机空气冷却
 器；32—循环水泵；33—电动机；34—軸封水箱；35—蒸汽冷
 却器；36—事故疏水器。

圖 1-1 为具有 АП-6 型汽輪机的中压热电厂的原则性热力系統圖，它可以用来作为說明一切主要設備和輔助設備之間相互联系的实例。这里从鍋爐来的蒸汽通过汽水分离器进入汽輪机、启动抽气器和第一、第二兩級主抽气器、輔助油泵以及汽輪机的迷宮軸封。

除此以外，从鍋爐来的蒸汽直接进入作为 6 ± 1 绝对大气压調整抽汽管道备用的減压減温裝置，同时引至給水泵的蒸汽驅動設備。

調整抽汽被利用来供給工業热力用戶、热水網加热器、除氧器和高压再生加热器。

压力为 0.7 绝对大气压的汽輪机不調整抽汽进入低压再生加热器，从汽輪机汽封来的蒸汽則进入給水軸封加热器。

汽輪机凝結水用凝結水泵打出，經過各个低压加热器、抽气器加热器，軸封加热器及低压加热器(由汽輪机再生抽汽点供汽)。經過这些加热器后，汽輪机凝結水进入除氧器。所有低压加热器都有旁路(在故障情况下使用)。这些加热器的凝結水匯流入連通凝汽器蒸汽空間的化汽箱。从化汽箱出来的凝結水进入凝結水泵的吸水管。

由低压加热器出来的空气引入汽輪机凝汽器內。为了不使从加热器內随空气和凝結水引出过多的蒸汽，在空气和凝結水的引出管上裝节流孔板。

用这种方法从低压加热器引出凝結水是不經濟的，因为它使凝結

水的部分热量损失掉，但在另一方面这个系统不需要特殊的水泵將凝結水打入除氧器。

汽輪机、工业用戶和供热加热器的凝結水，各种疏水和化学处理过的补充水經除氧头集聚于除氧器中。为了收集全部低位疏水，特設有專用的水箱和水泵。

給水泵从除氧器內取水，然后經过高压加热器將其打入鍋爐。高压加热器有旁路管道。空气和凝結水排入除氧器。空气經过孔板引出，而凝結水通过疏水器与供热加热器的凝結水一起压入除氧头。除氧器运行时头部压力为 1.2 绝对大气压，沒有充分利用加热蒸汽的全部內能。

热網水进入加热器前先併列經过凝結水冷却器，这样做是为了避免在供热加热器高峯負荷时除氧器內有过多的热量。

前述典型热力系统現已被認為是老式的和不合理的。

在以 5—7 绝对大气压的可調整抽汽供給除氧器时，不能認為采用大气式除氧器是合适的。應該裝設压力与加热蒸汽相符的除氧器，而取消加热蒸汽压力与除氧器相同的高压加热器。

裝設供热加热器的凝結水过冷却器，显然是为了尽量降低除氧器內的压力，但是这样会使系统不必要地复杂化。

从高压加热器和供热加热器經常放出空气至除氧器是绝对不需要的。工作压力高于大气压的加热器一般不需要經常排气。这里只要定期地向大气中排气即已足够了。

在上面所举的系统中沒有热水網补充水設備也是不对的。如果不能正确地組織優質水的供給，那么網路的銹蝕及水力工况的破坏將無法避免。

圖 1-2 所示为裝有汽鼓式高压鍋爐及 BT 型汽輪机的热电厂的原則性热力系统圖。

这个系统与前一系统的区别在于供热設備內除基本加热器外，尚有高峯加热器，这个加热器是用从鍋爐来的經过減压減溫裝置的蒸汽来加热的。这里基本加热器的汽源是用 1.2—2.5 绝对大气压的汽輪机調整抽汽。

第三个加热器由調整抽汽(热化抽汽)、蒸發器的二次蒸汽和蒸發器的凝結水加热。

兩級蒸發器用来补充电厂内部蒸汽和凝結水的損失。蒸發器供以化学淨水，这化学淨水預先用鍋爐和第二級蒸發器的排污水加热。水在蒸發器內分級蒸發可使排污量減低而使蒸餾水的質量提高。蒸發器的一次加热蒸汽为汽輪机供热抽汽点前的再生抽汽。該抽汽同时供給除氧器。如此除氧器在运行时除氧头內压力一般高于大气压力，这是十分合理的，因为提高压力后除氧器的工作比在大气压力下运行更为稳定和可靠。

兩台高压加热器由相应的再生抽汽加热，使进鍋爐前的水溫达到 200°C 。高压加热器有自动切换器，当加热器的管子破裂时，可改由加热器的旁路向鍋爐供水。

由高压加热器来的凝結水逐級依次流入除氧器內。低压加热器的凝結水(抽气器加热器的除水)收集在第二加热器內用水泵打入除氧器。这个系統比之將所有低压加热器凝結水引至汽輪机凝汽器的系統

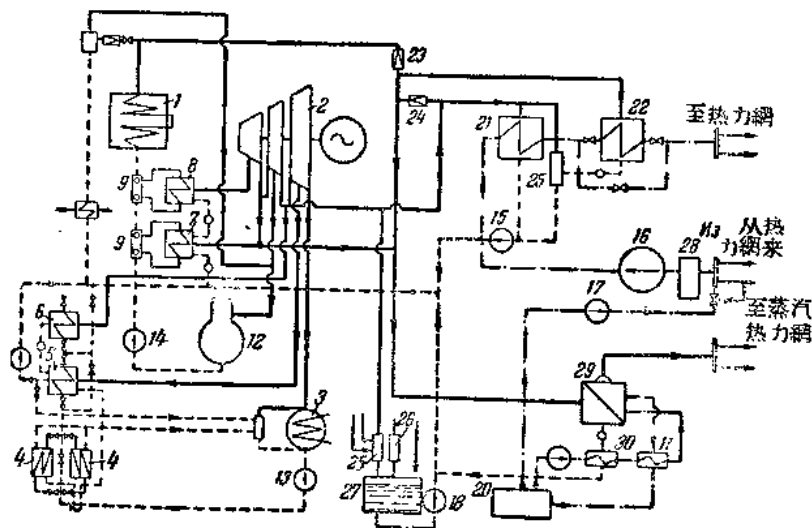


圖 1-3 裝有 BIT 型汽輪机的热电厂的原則性热力系統圖
29—蒸汽發生器；30—凝結水冷却器；其余符号与圖 1-2 相同。

較為節省燃料。

電廠所有疏水收集在裝于低處之特殊水箱內，然後打入除氧器。

鍋爐和蒸發器的排污水進入水處理設備，然後被利用作為熱力網的補給水。

圖 1-3 所示為裝有 BMT 型汽輪機和直流鍋爐的熱電廠的原則性熱力系統圖。這個系統內沒有補充凝結水損失用的蒸發器。當供汽給工業用戶（電廠區以外的）時凝結水的損失可能很大。在此種情形下，為了保存凝結水，電廠經由蒸汽發生器供給蒸汽。從汽輪機工業抽汽點來的蒸汽用作蒸汽發生器的加熱蒸汽，產生二次蒸汽供給用戶。工業抽汽全部凝結並回收，後經除氧器後供給鍋爐。蒸汽發生器供以化學淨水，這水用一次蒸汽的凝結水及排污水預先加熱。

在此系統內每一低壓加熱器在水側都有加熱器損壞時所必需的旁路管（這管路在原則性系統圖上有时不表示出來）。加熱器各有單獨的自動切換器，以代替圖 1-2 所示的系統的兩具加熱器共用的一个自動切換器。

在高压疏水管路上裝有擴容箱，後者與汽輪機的供暖抽汽管路相連接。這避免了水在疏水箱內沸騰的可能性，從而節約一些熱量。

圖 1-1、1-2、1-3 所示的熱力系統足夠清楚地說明了電廠汽機分場每一種輔助設備的用途。這些輔助設備的總體工作不僅大大影響電廠運行的經濟性，並且也影響其可靠性。但不應忘記，設計不良和維護不周時輔助設備會招致相反的結果。決不能為了得到些微的燃料節約，事先又不對改變系統後的全部得失因素加以周密考慮，就使電廠系統複雜化起來。

常常在設計良好的系統內，某些輔助設備由於某種原因而在運行上完全不起作用，有些設備的運行方式與設計不符，有些則沒有利用全部出力。其結果可使預期的燃料節約變為過量的燃料消耗，提高可靠性變為降低可靠性，增加容量變為減低容量。

例如，由於某種原因停止使用再生加熱器時，不僅可能增加燃料消耗，而且可能降低汽機的額定出力。當熱力負荷很小時抽汽調節系統的使用，由於進入汽輪機抽汽點以後輪葉的蒸汽受着節流作用，將

引起发电厂經濟性的降低。蒸發器和蒸汽發生器的不良运行，將使給水質量不好而招致鍋爐設備的損壞，從而引起鍋爐分場及汽機分場出力的普遍降低，使供給用戶的蒸汽不足。热力網水处理裝置和補給水設備的不良运行，將使它們的出力降低，寿命減短，供热質量變壞等。

因此，很重要地，所有輔助設備不仅要設計良好，安裝正確，同時要使它們經常处于正常狀態，并按給定的方式运行。

因为在全厂热力系統內所有設備都是彼此相關的，所以必須考慮到当系統中某一設備因故停用时，所有其余設備均能繼續工作。最重要的設備应考虑备用。

在电厂的热力系統內进行某些改变时(当热能和电能的送出方式變更时)从經濟观点来校核不同的系統方案是很重要的，因为將任何机組从某一热源切換到另一热源时，既会引起电厂絕對燃料消耗量的改变，也会引起單位燃料消耗量的改变。

为了便于进行計算，以判断电厂任一热力系統方案的經濟性，下面介紹一些有关的計算方法。

1-3. 热能电能联合生产时燃料的节约問題

如大家所知道的，热能电能的联合生产由于热損失的減少而大大节约燃料。在現代汽輪机中，热量的节约是依靠減少到凝汽器去的蒸汽量从而減少排汽的热損失而达到的。

在热电联合生产的条件下，当全部排汽被利用来供热时，就能节约大量燃料。这在下列情况下可实现：采用不良真空的汽輪机，此时凝汽器冷却水的全部热量得到利用，或采用背压式汽輪机，此时汽輪机的全部排汽完全得到利用。但还应当注意，在这些情况下排汽的内能愈低，燃料节约愈多。

热电联合生产时燃料节约的計算方法有好几种。其中最通行的方法是建立在計算由于供热而产生的电能“生产不足”上。我們認為这种方法对于很多工程师是不够便利的。將同一汽輪机的能量生产划分为两种形式，即“在热力需要下生产的能量”和“在凝汽方式下生产的能量”是不很便利的。能量(这种或那种形式)生产不足这一概念不很清

楚，因为各个汽轮机和整个电厂通常生产着用户所需要的电能数量，而一切生产不足只被理解为向用户供应不足的能量。

因此我们推荐另一种方法来计算热电联合生产时的燃料节约。

如大家所知道的任何汽轮机的汽耗可由下式表示：

$$D = d_e x N_n + d_e (1-x) N_p + \Sigma \beta D_o, \quad (1-1)$$

式中 d_e ——额定负荷时的汽耗率，公斤/瓩时；

x ——空转汽耗系数；

N_n ——汽轮机额定容量，瓩；

N_p ——汽轮机工作容量，瓩；

D_o ——抽汽量，公斤/时；

β ——汽轮机内抽汽利用不足系数。

$$d_e = \frac{860}{H \eta_{os}}, \quad (1-2)$$

式中 H ——完全绝热膨胀的热降，大卡/公斤；

η_{os} ——汽轮机的相对电效率；

$$\eta_{os} = \eta_{os} \eta_m \eta_g, \quad (1-3)$$

式中 η_{os} ——汽轮机的相对内效率；

η_m ——汽轮机的机械效率；

η_g ——发电机效率。

$$\beta = \frac{i_o - i_k}{i_n - i_k}, \quad (1-4)$$

式中 i_o ——抽汽的热焓，大卡/公斤；

i_n ——蒸汽的初热焓(汽轮机前)，大卡/公斤；

i_k ——蒸汽的终热焓(汽轮机后进入凝汽器时)，大卡/公斤。

上述的实际热焓 i_o 和 i_k 可由绝热过程下相应的理论热焓 i_o' 和 i_k' 换算(用 is 图)而求得。

$$\left. \begin{aligned} i_o &= i_n - (i_n - i_o') \eta_{os} = i_o' - H_o \eta_{os}, \\ i_k &= i_n - (i_n - i_k') \eta_{os} = i_k' - H \eta_{os}. \end{aligned} \right\} \quad (1-5)$$

因为利用不足系数 β 永远小于 1，所以汽轮机由于抽汽所增加的蒸汽消耗量将永远小于抽汽量。

这一部分节约的蒸汽是由于抽汽时进入汽轮机凝汽器的排汽减少而得到的。

抽汽的压力愈低，或汽轮机前蒸汽的初压愈高，则上述蒸汽的节约愈大。

当利用汽轮机抽汽的热量时，由于减少了汽轮机凝汽器冷却水所带走的热量损失，故可节约锅炉所燃用的燃料（与利用新蒸汽相比）。

热电联合生产的经济性的本质已如前述。从经济观点来看，背压式汽轮机和真空不良的汽轮机，可看作是通过最后几级汽叶的蒸汽全部被抽出供热的抽汽式汽轮机。把上述汽轮机与在正常凝汽情况下运行的汽轮机相比较，即可估算其经济性。我们首先研究一下凝汽式汽轮机给水再生加热过程的经济性。

没有再生加热的凝汽式汽轮机的热耗可由下式决定：

$$Q_k = D_k(i_k - q_k), \quad (1-6)$$

而当有一级再生抽汽时，由下式决定：

$$Q_{kp} = [D_k + \beta \alpha D_{ko}](i_k - q_k), \quad (1-7)$$

式中 D_{ko} ——当有再生抽汽时汽轮机凝汽器内凝结的蒸汽量：

$$D_{ko} = \frac{D_k}{1 + (1 - \beta)\alpha}, \quad (1-8)$$

式中 α ——1 公斤水（凝结水）中加热量 Δq 大卡/公斤时所需的相对抽汽量：

$$\alpha = \frac{\Delta q}{i_o - q_o}. \quad (1-9)$$

$1 - \beta$ 的大小可以用汽轮机内抽汽点以前的热降 h_o 与全部热降 $h = H\eta_{os}$ 之比来表示。

$$\text{这样,} \quad 1 - \beta = \frac{h_o}{h}. \quad (1-10)$$

由于再生加热而节省的绝对热量 ΔQ_p 显然等于凝汽器内所减少的热损失。这一节约可表示如下：

$$\Delta Q_p = \frac{D_k(1 - \beta)\alpha(i_k - q_k)}{1 + (1 - \beta)\alpha}. \quad (1-11)$$