



发电厂汽机工人丛书

汽轮机辅助设备

(修订本)

苏州电力技工学校 沈振飞 郑美蓉 编

水利电力出版社

13

内 容 提 要

本书介绍发电厂汽轮机主要辅助设备，如凝汽器、抽气器、加热器、除氧器和发电厂常用水泵等设备的作用、结构、性能以及运行维护方面的知识，对这些设备的有关计算作了介绍。修订本中以我国高压发电厂的机组为主，较为详细地叙述典型设备的结构和特性，以及对设备进行改造的技术措施。书中采用我国法定计量单位，并将相应的工程制单位放在括号内一并列出，供读者自学和工作中参考。

发电厂汽机工人丛书

汽轮机辅助设备

(修订本)

苏州电力技工学校 沈振飞 郑美蓉 编

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

850×1168毫米 32开本 11印张 289千字 1插图

1987年7月第二版 1987年7月北京第二次印刷

印数15351—23440册 定价1.95元

书号 15143·6282

前 言

本书是在原《汽轮机辅助设备》一书基础上修订而成的。从原书出版至今已有十余年过去了。十多年来，我国四个现代化的建设事业得到了蓬勃发展，汽轮机制造业和电力工业的发展也较迅速，电力部门从事汽轮机工作的职工队伍日趋壮大，他们的文化和技术水平也越来越高。为了适应电力工业的发展，本书在修订时，把原书的理论分析略为加深，内容范围稍作扩大。同时也注意到通俗易懂，由浅入深，理论联系实际的原则。

本书由沈振飞、郑美蓉两同志编写和修订，供发电厂和热电厂汽轮机检修、运行工人及从事这方面工作的有关同志在工作和自学中参考。

本书在修订编写过程中，曾得到有关电力中心试验所、电力设计院、发电厂、制造厂等单位的大力支持和热情帮助；西安电力学校李馥同志和北京电力学校朱新华同志对全书作了审阅，对此我们表示衷心的感谢。

对书中存在的缺点和错误，恳切希望广大读者批评指正。

编 者

1985年7月

目 录

前 言

第一章 汽轮机热力系统	1
一、N25-35-7型汽轮机原则性热力系统	3
二、N100-90-535型汽轮机原则性热力系统	6
三、N125-135/550/550型汽轮机原则性热力系统	8
四、N200-130/535/535型汽轮机原则性热力系统	10
五、N300-165/550/550型汽轮机原则性热力系统	13
第二章 凝汽器	18
第一节 凝汽器的功用及其真空的形成	18
一、凝汽器的任务	18
二、凝汽设备及系统	19
第二节 凝汽器的类型、构造和管束布置	21
一、凝汽器的类型	21
二、表面式凝汽器的分类	23
三、凝汽器的构造	30
第三节 典型汽轮机组凝汽器的结构特点及 工作原理	42
一、N-3500-I型凝汽器	42
二、N-11220-I型凝汽器	44
三、N-15000-I型凝汽器	46
第四节 凝汽器铜管及其腐蚀与防止	48
一、管子材料	48
二、凝汽器管子的腐蚀情况	50
三、铜管腐蚀原因的分析	52
四、铜管腐蚀的防止方法	54
第五节 凝汽器的热力计算	63
一、传热系数的确定	64

二、对数平均温度差的计算	66
三、热平衡方程式	67
四、凝汽器的传热面积、管子数及管子有效长度的确定	68
五、凝汽器的汽阻和水阻	70
六、凝汽器热力计算的一般程序	71
七、凝汽器传热面积的简易计算	72
第六节 影响凝汽设备工作的因素和运行中 的分析	76
一、凝汽器内的压力	77
二、冷却倍率以及凝汽器端差对凝汽器真空的影响	81
三、凝汽器真空系统严密性	82
四、真空计算曲线及运行真空的监视	85
五、凝结水过冷却及其监视与消除	86
六、凝汽器的污垢	88
七、对凝结水质的监视	89
八、凝汽器的极限真空	89
第七节 凝汽器的热力特性	90
一、凝汽器的热力特性	90
二、凝汽器的变工况特性估算	92
第八节 凝汽器的最有利真空	93
一、影响最有利真空的因素	93
二、冷却水最有利运行方式的估算	95
三、凝汽器最佳真空的随机条件	98
第九节 凝汽器的防污和清洗	102
一、污垢情况	102
二、炉烟处理冷却水	103
三、化学清洗凝汽器	107
四、机械清洗凝汽器	107
第十节 凝汽器的检漏	115
第十一节 凝汽器铜管振动	118
一、铜管振动试验	118
二、铜管的振动计算	120

三、铜管振动的安全性校核	121
四、凝汽器铜管振动的校核计算举例	123
第十二节 多压式凝汽器	124
第十三节 凝汽器的附属设备	130
一、抽气器的构造和原理	130
二、自动排汽门	142
三、低真空保护装置	145
第三章 加热器	148
第一节 汽轮机在热力循环中热能的利用	148
第二节 加热器的种类、型式和构造	153
一、加热器的种类	153
二、表面式加热器的型式	154
三、表面式加热器的构造	155
第三节 加热器的保护装置	160
一、疏水器	160
二、高压加热器给水侧的自动保护	167
三、高压加热器蒸汽侧的自动保护	179
第四节 给水的回热加热系统	187
一、回热加热器在系统中的连接方式及经济性分析	187
二、回热加热系统应用实例	191
第五节 影响回热过程经济性的因素	194
一、给水回热加热级数	194
二、理论上最有利的给水加热	196
三、实际上最经济的给水温度	199
第六节 回热加热系统的计算	201
一、回热系统的计算目的和方法	201
二、回热加热系统计算例题	204
第七节 回热加热器的运行和维护	219
第四章 除氧器	224
第一节 除氧器的作用和除氧原理	224
一、除氧器的作用	224

二、加热除氧原理	225
第二节 除氧器的种类和构造	232
一、除氧器的种类	232
二、除氧器的构造	234
第三节 除氧器在热力系统中的连接	241
一、除氧器的汽水连接系统	242
二、除氧器并列运行的热力系统	244
第四节 除氧器的运行和维护	246
一、运行中的调整	246
二、压水操作	247
三、滑压运行	248
第五节 化学除氧	250
第五章 循环水泵、给水泵和凝结水泵	252
第一节 泵的术语和性能	252
一、水泵的工作原理简述	252
二、泵的术语和特性曲线	254
第二节 循环水泵	264
一、循环水泵的型式和装置	264
二、循环水泵的容量	270
三、循环水泵的扬程	270
四、循环水泵的功率	273
五、循环水泵的构造	274
六、循环水泵的可能故障及消除措施	282
第三节 给水泵	284
一、给水泵的作用和要求	284
二、给水泵的构造	286
第四节 凝结水泵	292
一、凝结水泵的作用和性能	292
二、凝结水泵的构造	293
三、凝结水泵的低水位运行	301
第五节 水泵的联合工作	317
一、水泵并联工作时的性能	317

二、水泵串联工作时的性能·····	320
第六节 水泵的调节 ·····	321
一、节流调节·····	322
二、变速调节·····	322
第七节 离心式水泵的运行和维护 ·····	325
一、离心泵的启动·····	325
二、运行时的维护·····	326
三、水泵的停止·····	326
第六章 汽轮发电机的冷却 ·····	328
第一节 发电机的冷却方法 ·····	328
第二节 汽轮发电机的空气冷却设备 ·····	329
一、对空气冷却系统的要求·····	329
二、发电机的空气冷却系统·····	329
三、空气冷却器·····	330
第三节 汽轮发电机的氢冷却 ·····	331
一、氢气冷却系统的工作原理及运行方法·····	331
二、氢气冷却汽轮发电机的结构特点·····	332
三、氢气冷却发电机的轴封系统·····	332
四、密封油系统·····	333
五、冷却水的供给系统·····	334
第四节 汽轮发电机的水冷却 ·····	336
一、定子线圈的水内冷系统·····	336
二、转子线圈的水内冷系统·····	337
三、冷却水及外部水系统·····	338
附录 水泵型号介绍 ·····	340

第一章 汽轮机热力系统

在火力发电厂的热力生产过程中，除了主要的热力设备——锅炉和汽轮机之外，还必须有各种辅助设备以及把主、辅设备连接起来的各种热力系统。这些辅助设备及热力系统对发电厂运行的可靠性和经济性都有一定程度的影响。为了适应从事汽轮机专业人员的需要，本书仅就装设在发电厂汽机车间的辅助设备来进行讨论。

装设在发电厂汽轮机车间的辅助设备很多，主要有：

(1) 冷凝汽轮机排汽，形成高度真空，提高循环热效率，并回收凝结水用的凝汽器；

(2) 为抽除凝汽器及其真空系统里的空气用的抽气器；防止凝汽器内压力过高，保护凝汽器用的向空排汽门及防止凝汽器真空过低的低真空保护装置；

(3) 为了提高热力循环效率而设置的高压和低压给水回热加热器；为了在高压加热器管子泄漏时能自动切除并保证锅炉供水不会中断而设置的高压加热器保护装置；

(4) 为除去锅炉给水和补充水中的溶解氧，保护热力设备及管道，免遭腐蚀用的给水除氧器；

(5) 形成热力系统工质循环用的各种水泵，如锅炉给水泵、凝结水泵、循环水泵和疏水泵等等；

(6) 为了满足某种用汽需要而设置的蒸汽减温减压器。

发电厂汽轮机车间的主要热力系统有：

(1) 连接锅炉和汽轮机的主蒸汽系统；

(2) 供给各回热加热器和除氧器用汽的汽轮机抽汽系统；

(3) 抽出凝汽器中凝结水并送往各回热加热器和除氧器去的主凝结水系统；把除氧器中的给水，升压送至高压加热器和锅炉的给水系统；

- (4) 补充汽水循环中工质损失的补充水系统;
- (5) 排出汽轮机本体疏水和其他热力设备疏水、放水的疏放水系统;
- (6) 向凝汽器供应冷却水的冷却水系统;
- (7) 向各种转动机械轴承、发电机冷却设备及汽轮机的冷油器供应低温冷却水的工业水系统;
- (8) 发电厂的水源供水系统。

如果发电厂采用中间再热的单元制机组时，除以上各热力系统之外，还有再热蒸汽系统和为了适应这种机组起停要求的旁路系统。

有供热汽轮机的热电厂，还要有热力网加热器，热力网水泵和向用户供热水和蒸汽的热力网系统。

发电厂中汽轮机辅助设备和热力系统的设计、安装和运行管理直接影响发电厂的投资、设备及人身安全、运行的经济性。根据历年的统计资料说明，发电厂由于辅助设备和热力系统方面造成的事故所占的比例是比较大的；另外，在一些发电厂里，虽然主机，主炉的设备较完善，工作性能良好，但由于辅助设备和热力系统方面存在缺陷，使整个机组的安全和经济性得不到应有的保证。有时由于辅助设备和热力系统方面造成的损失，远远超过主要设备改进后的收益。事实证明，辅助设备及热力系统的改进，往往容易实现，而且潜力很大，经济效益显著。所以目前电力工业部门的科研、设计及发电厂对它都是非常重视的。

近年来，随着高参数、大功率机组的不断出现，汽轮机辅助设备和热力系统方面需要解决的新问题也不断提出。这些问题有：如何设计和制造大容量超高压给水泵、如何改善凝汽器和除氧器的性能、如何完善和简化大功率机组的热力系统、如何对热力系统的经济性，提出准确简便的计算方法、如何提高辅助设备的效率问题等等。我国和世界工业发达的国家一样，对这些问题也投入一定的人力、物力，在制造厂、科研部门和发电厂中都进行了不同程度的研究工作，并且在某些方面已取得了一定的成

果。但是，目前仍有不少课题需要我们研究解决。

根据水利电力部制定的《电力生产和火电建设工人技术等级标准》，各级汽轮机工人必须熟悉汽轮机各辅助设备的工作原理、工作性能、运行方式及相互之间的联系，掌握基本的专业知识。为了帮助各级汽轮机工人在学习汽轮机各种辅助设备之前，对这些辅助设备在生产过程中的地位、作用及它们与主要热力设备的联系有必要的了解，必须先讨论一下国产几种典型的机组的原则性热力系统。所谓原则性热力系统就是把主要热力设备和辅助设备按工质热力循环顺序连接起来的简化系统。原则性热力系统只表示设备在正常工作时的互相联系，对同类型，同参数的设备只表示一台，而且不包括备用设备及配件。它的作用是概括发电厂热力循环的工质流程和热力设备之间的联系，表明发电厂热力循环的工质在能量转换及利用过程中的基本变化规律，说明发电厂的技术完善程度和热经济性的高低。

原则性热力系统由锅炉和汽轮机的连接系统、凝结水和给水的回热系统、除氧器和给水泵连接系统、补充水系统、锅炉连续排污利用系统以及热电厂的对外供热系统等组成。下面介绍国产几种典型机组的原则性热力系统。

一、N25-35-7型汽轮机原则性热力系统

N25-35-7型汽轮机系中压凝汽式机组，配用130/39/450型锅炉其原则性热力系统见图1-1。该机组进汽参数为3.4323兆帕[35公斤力/厘米²]绝对压力，450℃，排汽压力为0.00588兆帕[0.06公斤力/厘米²]绝对压力，额定功率为25000千瓦，经济功率为20000千瓦。汽轮机有五段不调整抽汽，供回热加热系统使用，其抽汽量和参数见表1-1。

汽轮机的第一、二段抽汽供两台高压加热器加热给水泵送来的高压给水，使锅炉给水温度在额定负荷时达到172℃。第三段抽汽供除氧器加热凝结水进行除氧，除氧器工作压力为0.1176兆帕(1.2公斤力/厘米²)绝对压力。第四、五两段抽汽供两台低压加热器加热凝结水。第二、三两段抽汽有一联络管，用一电动阀

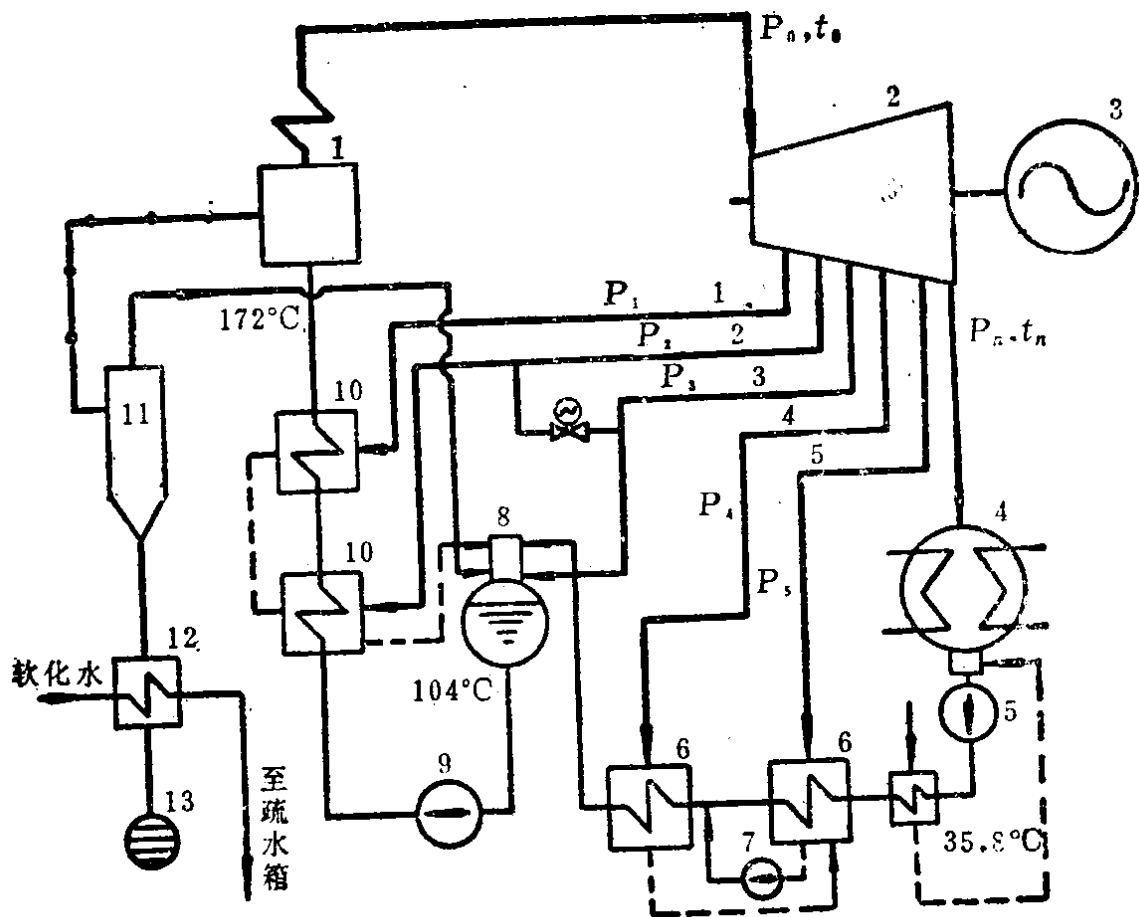


图 1-1 N25-35-7型汽轮机原则性热力系统

1—锅炉；2—汽轮机；3—发电机；4—凝汽器；5—凝结水泵；6—低压加热器；7—疏水泵；8—除氧器；9—给水泵；10—高压加热器；11—连续排污扩容器；12—排污水冷却器；13—地沟

控制。当机组负荷低于18000千瓦、第三段抽汽压力低于额定值不能保证给水除氧要求时，能自动切换到第二段抽汽向除氧器供汽，以保持除氧器内压力稳定在工作压力下运行。这时机组由五级回热变为四级回热运行，热经济性明显下降。

汽轮机的主凝结水由凝结水泵升压后，流经第1、2号低压加热器，进入除氧器。经加热除氧后的水称为锅炉给水。锅炉给水再由给水泵升压经高压加热器再加热后送入锅炉。

加热器运行时，加热蒸汽（即各段抽汽）放热后冷凝下来的凝结水通常叫疏水。这些疏水必须及时排出，否则将影响加热器的正常工作。在该原则性热力系统中，各加热器均利用压差逐级自

表 1-1

N25-35-7型汽轮机各段抽汽参数和抽汽量

参 数	工 况 段 数	经 济 工 况				
		一	二	三	四	五
压力, 兆帕(公斤力/厘米 ²)		0.7453	0.3158	0.1422	0.08581	0.02697
绝对压力		(7.6)	(3.22)	(1.45)	(0.875)	(0.275)
温度, °C		272	184	116		
抽汽量, 吨/时		5.17	2.624	1.58	3.9	4.00

参 数	工 况 段 数	额 定 工 况				
		一	二	三	四	五
压力, 兆帕(公斤力/厘米 ²)		0.9611	0.3982	0.1824	0.1098	0.03678
绝对压力		(9.80)	(4.06)	(1.86)	(1.12)	(0.375)
温度, °C		293	203	131	102	74
抽汽量, 吨/时		7.25	5.10	0.40	5.25	5.63

流排出疏水。为了保持加热器正常工作时的压力, 限制疏水量, 故在疏水管上加装了一定孔径的节流孔板。高压加热器疏水逐级自流入除氧器; 低压加热器的疏水也采用疏水自流方式, 最后由疏水泵送入 1 号低压加热器出口的主凝结水管道中, 这样可使疏水的热量全部被主凝结水吸收, 避免热损失。

发电厂运行时, 各处均有可能存在汽水损失, 这些损失需要补充。该系统采用软化水(由化学水处理车间送来的)补充。软化水经锅炉连续排污水冷却器加热后, 进入疏水箱与其它各处来的疏水汇集起来, 由疏水泵送入除氧器中。锅炉连续排污水经过 I 级排污扩容器, 产生的蒸汽引入除氧器, 扩容器排出的浓缩排

污水经排污冷却器加热补充水后，放入地沟。

该机组在抽汽情况下的设计热耗率，经济负荷时为11263.03千焦耳/千瓦·时（2690大卡/千瓦·时），额定负荷时为11334.21千焦耳/千瓦·时（2707大卡/千瓦·时）。

二、N100-90-535型汽轮机原则性热力系统

国产N100-90-535型汽轮机系高压双缸双排汽口凝汽式机组，其进汽参数为8.826兆帕（90公斤力/厘米²）绝对压力，535℃，排汽压力为0.0049兆帕（0.05公斤力/厘米²）绝对压力。配用锅炉为HG400/100型高压锅炉，其原则性热力系统见图1-2。该机组共有七段不调整抽汽各段抽汽参数和抽汽量见表1-2。

表 1-2 N100-90-535型汽轮机各段抽汽参数及抽汽量

参 数	段 数	一	二	三	四	五	六	七
兆帕 压力， (公斤力/厘米 ²) 绝对压力		2.86 (29.15)	1.7171 (17.51)	0.9463 (9.65)	0.5815 (5.93)	0.1898 (1.935)	0.1255 (1.28)	0.0383 (0.39)
温度，℃		399	344	265	213	118		
抽汽量，吨/时		20.1	24.2	4.5	19.2	23.1	18	17.6

该机组的第一、二段抽汽供两台高压加热器，高压加热器均带有内置式过热段，用以提高给水温度，减小端差。第三段抽汽作为0.5884兆帕（6公斤力/厘米²）绝对压力除氧器加热汽源，第四、五、六、七各段抽汽分别供给四台低压加热器。当低负荷运行时，第三段抽汽不能保证除氧器需要，这时自动切换阀门打开，由第二段抽汽供除氧器用汽。这时该系统的效率有所下降。

汽轮机的主凝结水由凝结水泵升压送入轴封加热器加热。轴封加热器也是表面式加热装置，它是利用汽轮机轴端轴封的漏汽

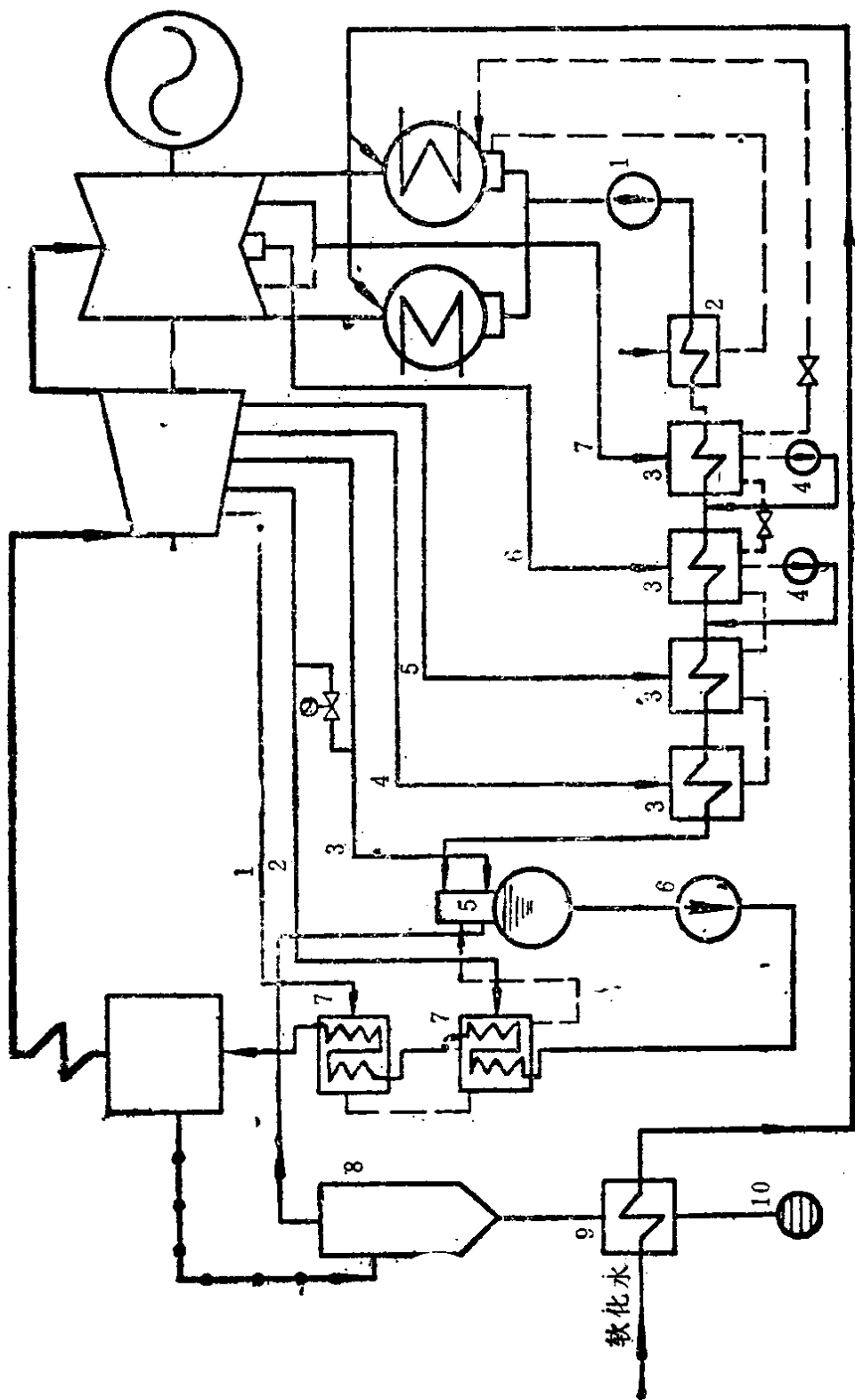


图 1-2 国产N100-90-535型汽轮机原则性热力系统

- 1—凝结水泵；2—轴封加热器；3—低压加热器；4—疏水器；5—压力除氧器；
6—给水泵；7—高压加热器；8—排污扩容器；9—排污水冷却器；10—地沟

来加热主凝结水的。其作用是回收热量，提高循环热效率。主凝结水由轴封加热器出来依次经过四台低压加热器后送入除氧器。除过氧的给水经给水泵升压，再经过两台高压加热器将给水温度提高到 222°C 后进入锅炉。高压加热器的疏水也采用逐级自流法排入除氧器中。低压加热器的疏水也采用疏水自流，流至2号低压加热器后用疏水泵送入该加热器出口的主凝结水管中。这样可以避免压力较高的疏水进入1号低压加热器中汽化并排挤第七段抽汽，使汽轮机的效率下降。这个机组的第七段抽汽量较大，因此1号低压加热器的疏水量较多。为了收回这部分疏水的热量，也设有一台疏水泵，将疏水送入该加热器出口。轴封加热器的疏水量很少通过U型管送入凝汽器中。

该机组因锅炉排污量不多所以采用一级排污扩容系统。扩容器的压力为 0.6865 兆帕（ 7 公斤力/厘米²）绝对压力，扩容器分离出来的二次蒸汽送入 0.5884 兆帕（ 6 公斤力/厘米²）绝对压力的除氧器，从扩容器排出的浓缩排污水加热化学补充水后排入地沟。

化学补充水经锅炉排污冷却器加热后进入凝汽器汽侧，进行真空除氧，所以该系统省掉一级大气压力式补给水除氧器。

该机组在额定工况运行时，其热耗率为 9203.86 千焦/千瓦·时（ 2198.2 大卡/千瓦·时）。

三、N125-135/550/550型汽轮机原则性热力系统

N125-135/550/550型汽轮机是额定功率 12.5 万千瓦超高压中间再热、双缸双排汽口的凝汽式机组，其原则性热力系统见图1-3。该机组的进汽参数为 13.24 兆帕（ 135 公斤力/厘米²）绝对压力， 550°C 。蒸汽在高压缸内膨胀做功，在设计工况下压力降到 2.55 兆帕（ 26 公斤力/厘米²）绝对压力，温度降到 331°C ，再流回再热器重新加热，使蒸汽温度又升至新蒸汽温度 550°C 。由于再热器及其来回管道中存在阻力，再热蒸汽进入中压缸时的压力下降为 2.295 兆帕（ 23.4 公斤力/厘米²）绝对压力。它具有七段不调整抽汽，在额定工况下其抽汽参数和抽汽量见表

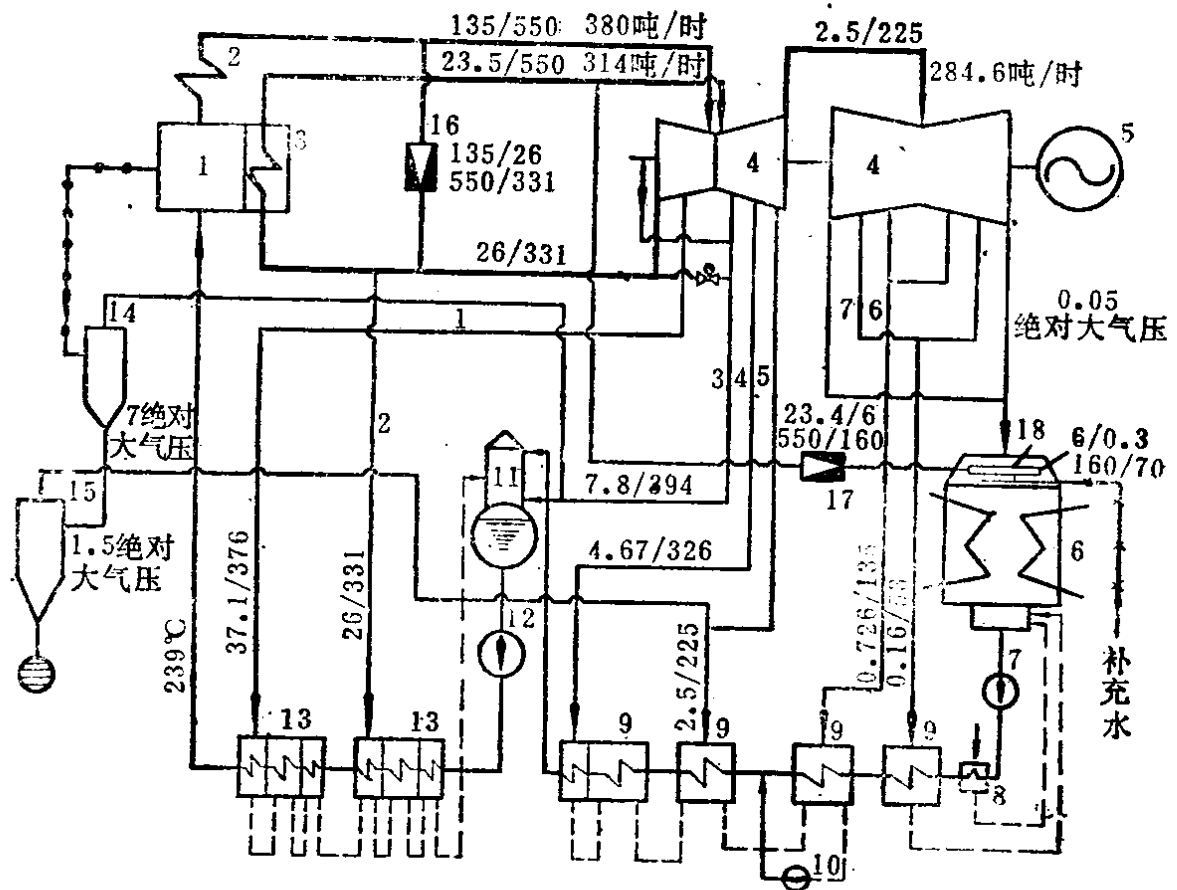


图 1-3 N125-135/550/550型汽轮机原则性热力系统

1—锅炉；2—过热器；3—再热器；4—汽轮机；5—发电机；6—凝汽器；
7—凝结水泵；8—轴封加热器；9—低压加热器；10—疏水泵；11—压力除
氧器；12—给水泵；13—高压加热器；14—I级排污扩容器；15—II级排污
扩容器；16—I级旁路减温减压器；17—II级旁路减温减压器；18—III级
减温减压器

表 1-3 N125-135/550/550型汽轮机各级抽汽参数及抽汽量

参 数	段 数	一	二	三	四	五	六	七
兆 帕 压力, (公斤力/厘米 ²) 绝对压力		3.64	2.55	0.77	0.458	0.2452	0.0712	0.0157
		(37.12)	(26)	(7.85)	(4.67)	(2.5)	(0.726)	(0.16)
温度, °C		376	331	394	326	255	135	53
抽汽量, 吨/时		14.24	41.4	3.855	12.4	19.86	13.7	8.77