

合成氨

第三分册

[美]A.V.斯拉克 G.R.詹姆斯 主编

化学工业出版社

合 成 氣



81.39
616
3:3

合 成 氨

第 三 分 册

[美]A. V. 斯拉克 G. R. 詹姆斯 主编

大连工学院无机化工教研室 译

化 学 科 学 出 版 社

本书是《合成氨》第三分册，共分六章。第六章主要讲述压缩机的用途和压力、离心压缩机的配置和驱动系统及压缩机的操作等。第七章详细阐述氨合成的动力学和催化作用、催化剂的制造、性质及氨合成回路的设计和操作。第八章讲述计算机辅助过程分析，其中主要包括单体设备的模型和过程的模拟等。第九章主要介绍一些有关公司其中主要有凯洛格、凯米科、伍德、托普索、布朗等14家公司的工业合成氨过程及其特点。第十章综述转化、脱碳过程的主要设备、管线等的结构材料。第十一章主要讲述合成氨生产的经济性。

本书由大连工学院化工系无机化工教研室译，该院袁一同志校，北京市化肥农药公司贺炳昌同志审校。

本书可供从事合成氨生产、科研、设计方面的技术人员和大专院校有关师生阅读参考。

Fertilizer Science and Technology Series, Vol. 2

AMMONIA (IN FOUR PARTS)

PART III

edited by A. V. Slack and G. Russell James

Marcel Dekker, Inc. (New York 1977)

合 成 氨

第 三 分 册

大连工学院无机化工教研室 译

*

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850×1168¹/₃₂印张10字数262千字 印数1—8,150

1980年1月北京第1版1980年1月北京第1次印刷

书号15063·3141 定价1.25元

目 录

第六章 压缩	1
I . 概述 (J. Salviani, 美国氰胺公司).....	1
II . 用途和压力.....	3
A . 功率和费用 (J. Salviani, 美国氰胺公司).....	3
III . 离心压缩机的配置和驱动系统.....	5
A . 离心压缩机的配置和控制 (F. Frascchetti, 意大利机械制造公司; P. L. Ferrara 和 U. Filippini, 新比侬公司).....	5
B . 合成气离心压缩机的蒸汽轮机驱动装置 (R. Wickl, 西门子公司; F. Frascchetti, 意大利机械制造公司).....	28
IV . 操作.....	32
A . 大型氨厂离心压缩机的操作 (H. B. Hile, 回转产品工程公司).....	32
B . 高压装置中离心压缩机机械事故的经验 (W. A. ZECH, 克拉克公司).....	37
C . 氨厂主汽轮机驱动装置的操作经验 (V. P. Purcell 第拉瓦公司).....	53
第七章 氨的合成	60
I . 动力学和催化作用 (A. Nielsen, 托普索公司).....	60
A . 氨合成和冷凝的热力学.....	60
B . 在铁催化剂上氨合成的动力学.....	62
C . 催化作用.....	69
参考文献.....	80
I . 催化剂的制造和性质 (R. Krabetz, T. Huberich,	

巴登苯胺纯碱公司)	84
A. 催化剂的组成	84
B. 粒度	93
C. 制造程序	97
D. 经济因素	102
参考文献	104
II. 合成回路的设计和操作(J. A. Finneran,	
O. J. Quartulli, 凯洛格公司)	105
A. 氨合成流程	105
B. 合成回路的类型	107
C. 技术数据	110
D. 合成回路的物料平衡	118
E. 工艺设计的考虑要点	127
F. 氨合成塔	139
G. 经济因素	146
H. 合成催化剂开车和正常操作	158
参考文献	162
第八章 计算机辅助过程分析(D. L. Ripps,	
工业程序公司)	164
I. 序言	164
II. 单体设备的模型	165
A. 分析模型的定义	165
B. 特性关系的类型	165
C. 换热器的模拟	166
D. 化学反应器的模拟	177
E. 离心压缩机的模拟	181
F. 闪蒸槽的模拟	185
III. 过程的模拟	189
A. 迭代循环法	190
B. 多层冷激式氨合成塔的模拟	190

C. 特性参数法.....	193
D. 合成回路的模拟.....	193
E. 应用范围.....	199
参考文献.....	202
第九章 工业合成氨过程 (A. V. Slack,	
田纳西流域管理局)	204
I. 凯洛格公司.....	205
II. 凯米科公司.....	212
III. 巴登苯胺纯碱公司.....	216
IV. 伍德公司.....	218
V. 奥地利制氮公司.....	221
VI. 福瑟-蒙特卡蒂尼公司	223
VII. 大派拉斯公司.....	228
VIII. 福斯特·惠勒-卡萨莱公司	230
IX. 帝国化学工业公司.....	233
X. 普利查德公司.....	240
XI. 托普索公司.....	243
XII. 捷克化工设计院.....	248
XIII. 日本机械设备协会.....	250
XIV. 布朗公司.....	252
参考文献.....	259
第十章 结构材料.....	260
I. 转化 (C. Edelednu, 帝国化学工业公司)	260
A. 导言.....	260
B. 原料处理.....	261
C. 一段转化炉.....	261
D. 转化炉管的材料.....	264
E. 炉管的损坏.....	268
F. 耐火材料和衬里.....	268
参考文献.....	270

I. 脱碳 (J. G. Feibig, 氟洛奥尔工程公司)	270
A. 导言	270
B. 吸收塔	271
C. 再生塔	273
D. 热交换器	274
E. 泵	281
F. 阀和管线	281
G. 缓蚀剂	281
参考文献	289
第十一章 合成氨生产的经济性 (G. R. James,	
詹姆士化学工程公司)	290
I. 市场	290
II. 需求量	292
III. 生产成本	293
IV. 原料和加工方法	294
V. 工厂规模的效果	302
VI. 折旧	306
VII. 税收	306
VIII. 维修	306
IX. 保险	307
A. 遇险率	307
B. 财产损失和企业停顿的保险	307
C. 免赔部分	308
D. 备品计划	308
E. 预防损失和控制损失	308
F. 责任	309
G. 一般财政方面的问题	309
X. 界外工程	310
XI. 总论	311
参考文献	312

第六章 压 缩

I. 概 述

最早的一批生产合成氨的工厂已经建成五十余年了。用现在的标准衡量，这些工厂是十分原始和粗糙的。当时所用的机器设备都有很大的局限性，并且对每一装置都必须进行设计和开发。

后来，工艺同设备都不断有了发展，由于合成塔操作压力和温度愈高，合成率也愈大，并减少了循环气体的体积，因而许多工艺过程都采用高压合成。尽管高压合成有明显的优点，随着时间的消逝，也开发了另外一些方法。

1924年伍德公司开发了第一个采用较低的温度和压力(100大气压)合成回路工业规模的氨厂。其压力比现在大型装置中低压合成回路的压力还低。

现在氨厂合成回路压力通常分为下列三类：

高压.....	500~800大气压
中压.....	240~350大气压
低压.....	100~190大气压

所有这些系统各有一定的优点，也有其本身的问题。高压回路不需要或只需要比较小的冷冻量，另一方面，除了自带增压作用的回路以外，高压循环机在维修上困难较大。低压回路需要较多的冷冻量，循环量也较大。

不管合成压力多大，规模低于每天 400 短吨的工厂与其它的厂相比，在经济上已经没有任何突出的优点。这些工厂的大多数其转化炉或制气部分都设计成常压，并且全都使用多台往复式压缩机。在大多数场合下，这些工厂对工艺热量的回收下的工夫不多，也没有仔细设计全厂的热平衡以最有效地回收能量。

在五十年代初期，凯米科(Chemico)设计和建成了第一个采用加压转化炉的氨厂，使压缩机的功率减少了20%。该厂设计的前端压力为50磅/英寸² (3.5公斤/厘米²) (表)，合成气压缩机吸入压力约20磅/英寸² (1.4公斤/厘米²) (表)。工厂由三个系列组成，并采用了多台合成气压缩机和循环机。虽然用现代的标准来衡量，投资费用高，但运行时间、年运行率以及可靠性方面也很高。任何一台关键性的压缩机或设备主要部件的事故或停车都不会造成全厂生产的停顿。这类工厂运行多年而无需全厂全部停车。

在五十年代至六十年代中，转化炉的设计压力逐渐提高，其结果是改进了热回收，并降低了每吨氨总的动力消耗。

在1965年，凯洛格公司开发了在400磅/英寸² (28公斤/厘米²) (表) 压力范围内操作的转化炉，这就使得气体从前部到合成回路的压缩比减少到适于采用离心压缩机的范围。因为以前采用的压缩比较高，且高压端的气体体积流量较小，不可能采用当时的离心压缩机工艺和经验去设计较小规模的氨厂。这时又返回到早期设计的低压合成回路，并且将全部气体通过单系列设备，就可能在一个两缸或三缸离心式压缩机中完成全厂的升压任务。即使如此，为了保持经济的压缩机叶轮效率，所需的最低流量仍相当于每天生产500吨到600吨氨。当工厂和压缩机的生产能力增加时，压缩效率有所改进，所增加的投资费用与全厂生产能力的增加相比是较少的。这就是说，规模较大的工厂，离心压缩机效率较高，每套装置中压缩机的费用所占比例较小。

现在的经济分析表明，气体流量在日产1000吨到1500吨氨范围内时离心压缩机有较好的经济效果，因这样装置的主要投资费用较低而效率较高。

以前大型高速汽轮机受到供应上的限制。现在这类驱动装置的供应状况较之过去好多了。目前有若干个厂家可供工厂设计者选择。

今天氨厂的设计人员在选择设备和工艺时，面临的任务是需

要努力研究和仔细平衡全部技术与经济因素。必须达到一个与工厂的具体条件和市场状况相适应的既经济而又可靠的工厂设计。使用标准设计不能满足世界各地用户的特殊要求，即使是同一家设计公司，压缩机的出口压力也是随生产规模和工艺过程而异。

除了工艺和设备的经济性以外，单系列装置开停车的复杂性和所需时间也会成为能否达到计算的操作费和收回投资费的一个主要因素。诚然，大厂的车间成本是低的，不过必须在高负荷连续运转时才能实现。

不久以前建成了许多现代化工厂，使用未经考验的复杂设备以降低投资费用，其结果降低了可靠性并提高了维修费用。追求过高的热效率也导致运行时间缩短，并给操作带来一定困难。

II. 用途和压力

A. 功率和费用

合成氨厂所用的压缩机型式完全取决于它的能力大小。

在工厂能力接近或小于日产 400 吨时，一般采用往复式压缩机完全可以满足。这些压缩机可以制成为各种单一用途的压缩机，也可制成为两种或多种用途的压缩机。多用途压缩机有足够的气缸以压缩各种用途所需的气体。从设计或控制方面考虑，通常都宁愿将循环机的气缸装成单独的装置。如果只用两台压缩机，一般设计成每台为全厂设计能力的55~60%。

这些往复式压缩机的驱动机有燃气机、柴油机或其它内燃机、电动机或蒸汽轮机。所有往复式驱动机表明，从技术上讲，用蒸汽轮机驱动是最不合适的。因为通过一台蒸汽轮机和一套齿轮系统来带动往复式装置，从机械上讲基本是矛盾的。从前此问题的解决办法是采用蒸汽机直接与压缩机连接，而不用汽轮机和齿轮箱。这种办法在热平衡、乏汽和冷凝液除油等方面产生了其他的问题。

现代采用离心压缩机的氨厂需要采用的压缩机有以下几种：

压 力 范 围		1000短吨/日的 代表性马力(千瓦)
天然气压缩机	100~600磅/英寸 ² (6.8~41大气压)	1500(1100)
空气压缩机	常压~600磅/英寸 ² (0~41大气压)	8500(6300)
合成气和循环气 压缩机	400~2300磅/英寸 ² (表) (27~150大气压)	17500(13000)
冰机	0~275磅/英寸 ² (表) (0~18大气压)	10500(7800)
总计		38000(28200)

所有这些用途一般都采用单缸或多缸离心压缩机。大多数早期的低压合成工厂中合成气采用双缸离心式压缩机，其排气压力低于 2300 磅/英寸² (150大气压) (表)。最近一些更大型的合成氨厂采用3500磅/英寸² (240 大气压) (表) 的合成回路压力。此设计压力要求三缸离心式压缩机。压缩机制造厂现在已经提供三缸和四缸离心式压缩机，其排气压力高达 5000 磅/英寸² (340 大气压) (表)，总输入功率在50000马力 (37300千瓦) 以上。

图 6-1 中的曲线表明合成回路压力对压缩机工厂的相对投资费用和运转功率的影响。可以看到，在上述合成压力的范围内，功率的变化是比较小的 (约6%)。采用较高的合成回路压力对投资费用的影响比较显著，此时由于压力的升高引起压缩工序的投资费用增加20%或更高。

根据上述数字，从压缩机的观点来看，采用高压合成回路是难以理解，或者说难以作出强有力的论证。

有很多高压压缩机系列的开发，是为了使那些原来设计采用往复式压缩机的老厂现代化。现在已经有可能使用现代化的离心式压缩机组来替换陈旧的往复式设备，从而可使某些较大的老厂现代化而不致完全废弃。这里也是一样，对于任一特定的工厂或用途，作出一种合理的选择之前，为了确定其经济性，需要很仔细地进行研究。

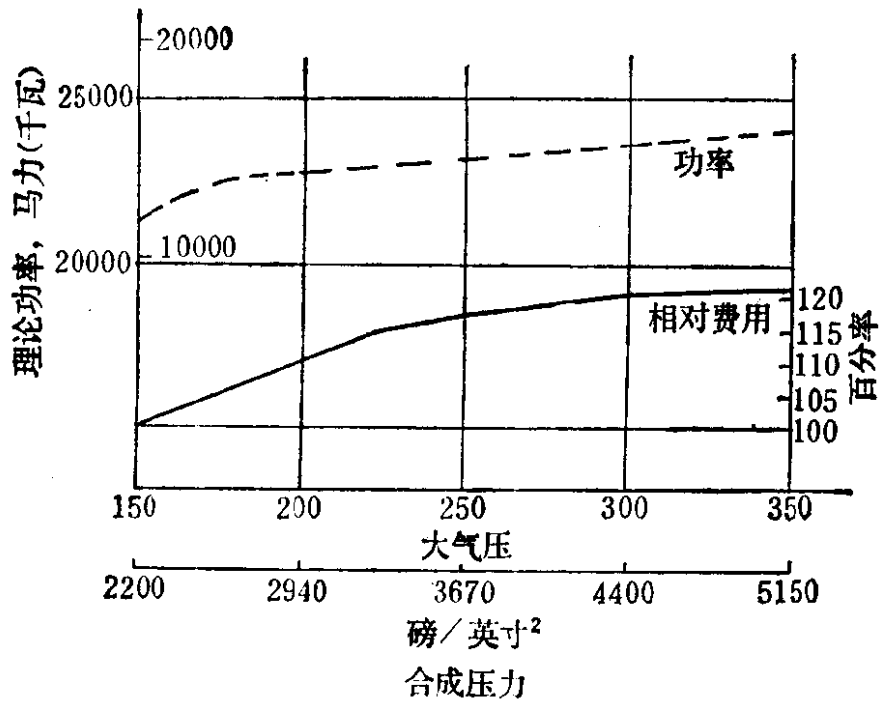


图 6-1 功率和投资费用与合成压力的关系

功率是合成压缩、合成气循环与冷冻的总计。合成气的冷凝温度对所有情况都相同。合成气压缩机的气体吸入压力为350磅/英寸²(23.8 大气压)(表)

这里未考虑其它因素对工厂经济性的影响，如在较高压力下氨合成塔较小，催化剂用量也较少，循环量以及管道也较小。采用较大的离心式压缩机的工厂有回到较高压力合成回路的倾向。不过一般尚未高到采用往复式压缩机工厂使用过的压力。

应当指出，当合成压力变化时，氨合成塔出口气体的氨冷凝温度也随之变化，这样将使不同压力下工厂的压缩机投资费用比较接近。例如，在较高压力下提高了冷凝温度，使功率降低。图 6-1 中表明的倾向仍将保持，因为在较高压力下效率较低，装置投资费用较高。

Ⅲ. 离心压缩机的配置和驱动系统

A. 离心压缩机的配置和控制

1. 离心压缩机在合成氨厂的应用

在中型和大型氨厂中，离心式压缩机正在取代往复式压缩机以压缩合成气和循环气、空气、转化工序的天然气，以及冷冻循环的氨。离心压缩机的使用已引起驱动系统全面的修改，气体流

程也有了不同的安排，以便适应新机器的特性。

这里讨论合成气和循环气压缩机的某些驱动系统和配置，以及这样的装置所配备的控制和保护系统的基本特性。牵涉的问题很广，可能解决的办法又是多种多样，使得只限于讨论那些已经实现了的或正在研究中的主要系统。

本章介绍了一些工作原理和控制图，这对工厂设计人员详细地研究离心压缩机这一新领域可作为有益的指导。

为了阐明这些原理和控制图，特别是开车、控制和停车的图，需要具有这方面的专门知识并进行周密深入的调查。文字叙述部分现只限于一般的说明，以便对于不需要详细研究工厂控制问题的工艺工程人员也会感兴趣。

论述涉及到近代产生的工程领域，它们仍处于开发和改进之中，以适用于特殊的需要。下面论述这些技术知识的作用，如果它能对现有的工厂布置的改进起到一些作用的话，那将是很值得的。

驱动系统

所有驱动系统都适于使用蒸汽轮机。至少全部利用二段转化和合成这两个放热反应所生产的蒸汽，或者更普遍地说，从利用工艺中由加热吸热反应所副产的废热而产生的蒸汽，从这一观点出发，应当使用蒸汽轮机。额外的动力仍可以蒸汽形式供给，或以燃气轮机驱动某些压缩机。用于驱动大多数往复式压缩机的电动机，仅限于在有大量廉价电力供应的地方使用。

图6-2至6-4表示了只使用蒸汽轮机的驱动系统。通常采用的蒸汽压力为100~130公斤/厘米²，温度为480~530℃。在此条件下的蒸汽进入用于驱动合成气和循环气压缩机的汽轮机。事实上，这台汽轮机是功率最大转速最高的一台汽轮机。在这台汽轮机里，蒸汽经过第一次膨胀后送到另外几台汽轮机中，还有一部分蒸汽用于蒸汽转化，有时也用于邻近的化工厂中。

在图6-2所示的系统中，压缩机用一台背压35公斤/厘米²的汽轮机驱动。抽出的蒸汽，一部分用于几台凝汽式汽轮机以驱动

另外的压缩机，一部分用做转化蒸汽。这种系统中，中压汽轮机提供了总功率中很大的一部分。所以，适于合成压力较低，或者为使氨冷凝而需要高冷冻能力的工厂。按此安排，可将一台单缸高速汽轮机直接与合成气压缩机连接。

当合成气压缩机需要的功率在总功率中占较大的份额时，使用图6-3所示的布置型式。这里主汽轮机是单缸抽汽-背压式。抽出的蒸汽送去蒸汽转化。低压网路的蒸汽送入另外的汽轮机，再排入冷凝器。尽管不同汽轮机的负荷可能发生变化，由于不同压力的管网间有旁路，仍可保持压力恒定。抽汽压力由转化的工艺要求而定，而主汽轮机的排汽压力和其它汽轮机的进料量，可根据压缩机功率的相互比例关系而变。

图6-4的布置中，合成气压缩机用抽汽式汽轮机驱动，它由两个缸组成，第二缸通常是双流式。一个单独的管网接受主汽轮机抽出的蒸汽并供给转化工序和其它汽轮机。此管网的压力是通过驱动合成气压缩机的汽轮机进汽阀的动作来保持，也可以通过连接中压管线与新鲜蒸汽管线和去冷凝器的管线的旁路管来保持。虽然中压管网的压力由蒸汽转化过程所决定，但由于有可能改变从主汽轮机送往冷凝器的蒸汽量，所以采用这种系统的灵活性仍得到保证。

在所有布置中考虑，合成气和循环气压缩机都由一台蒸汽轮机驱动，它由一个缸或两个缸所组成，连接于压缩机组的一端。实际上，当机组的功率超过与转速直接有关的某一定值时，就不能再用一个联轴节来传动。在此情况下，必须使用双出轴的汽轮机，即从轴的两端输出功率；或者将压缩机分成两组，每组用一台汽轮机驱动。

图6-5表示使用几台蒸汽轮机和一台燃气轮机的驱动系统图。合成气和循环气压缩机由一台燃气轮机和一台由中压蒸汽管网供汽的凝汽式汽轮机通过增速齿轮箱驱动。这个中压管网还供应转化用蒸汽，也供应工厂其他汽轮机的蒸汽。燃气轮机的排气热量用于产生蒸汽或者用于转化炉。

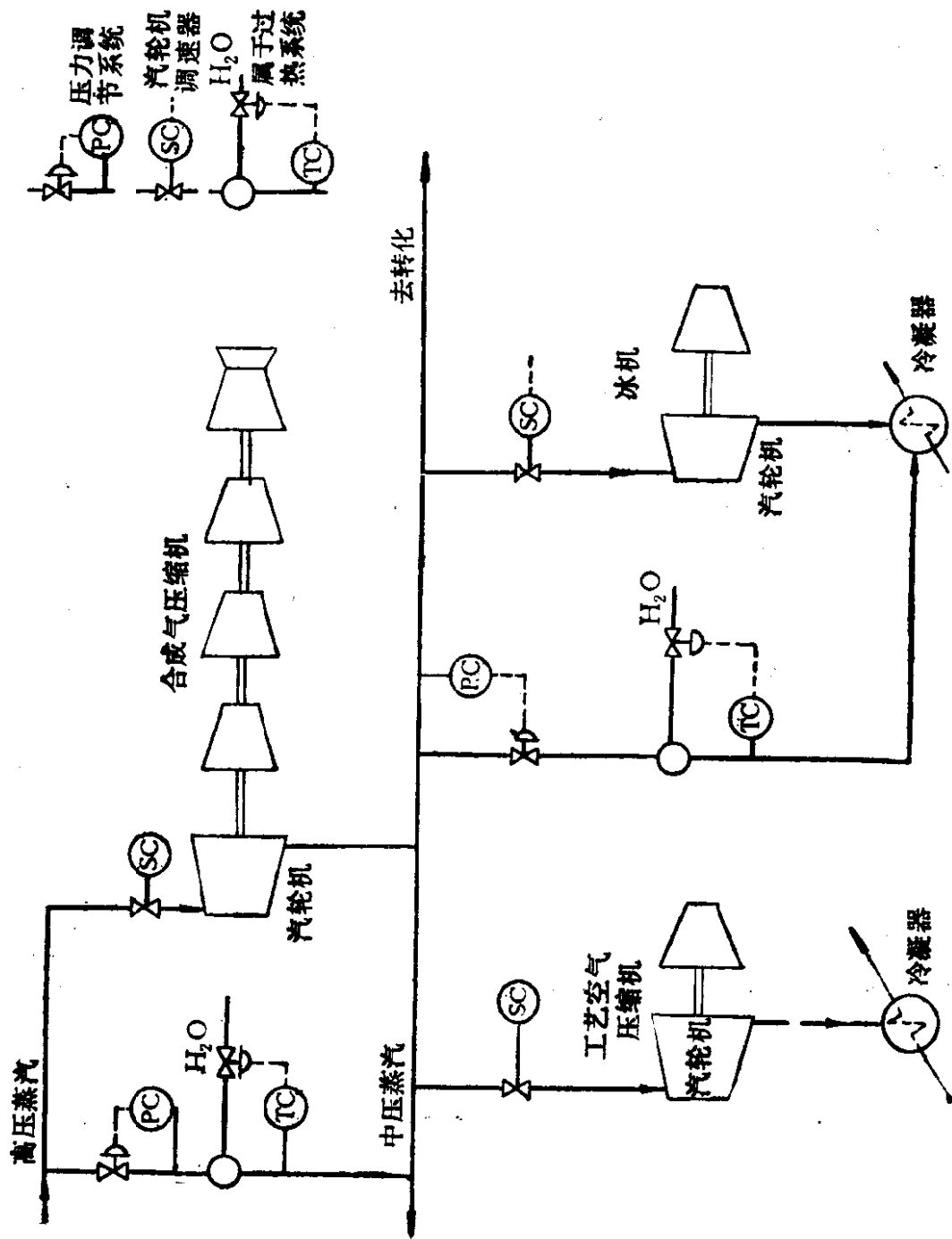


图 6-2 由背压式汽轮机驱动合成气压缩机的工厂的蒸汽系统

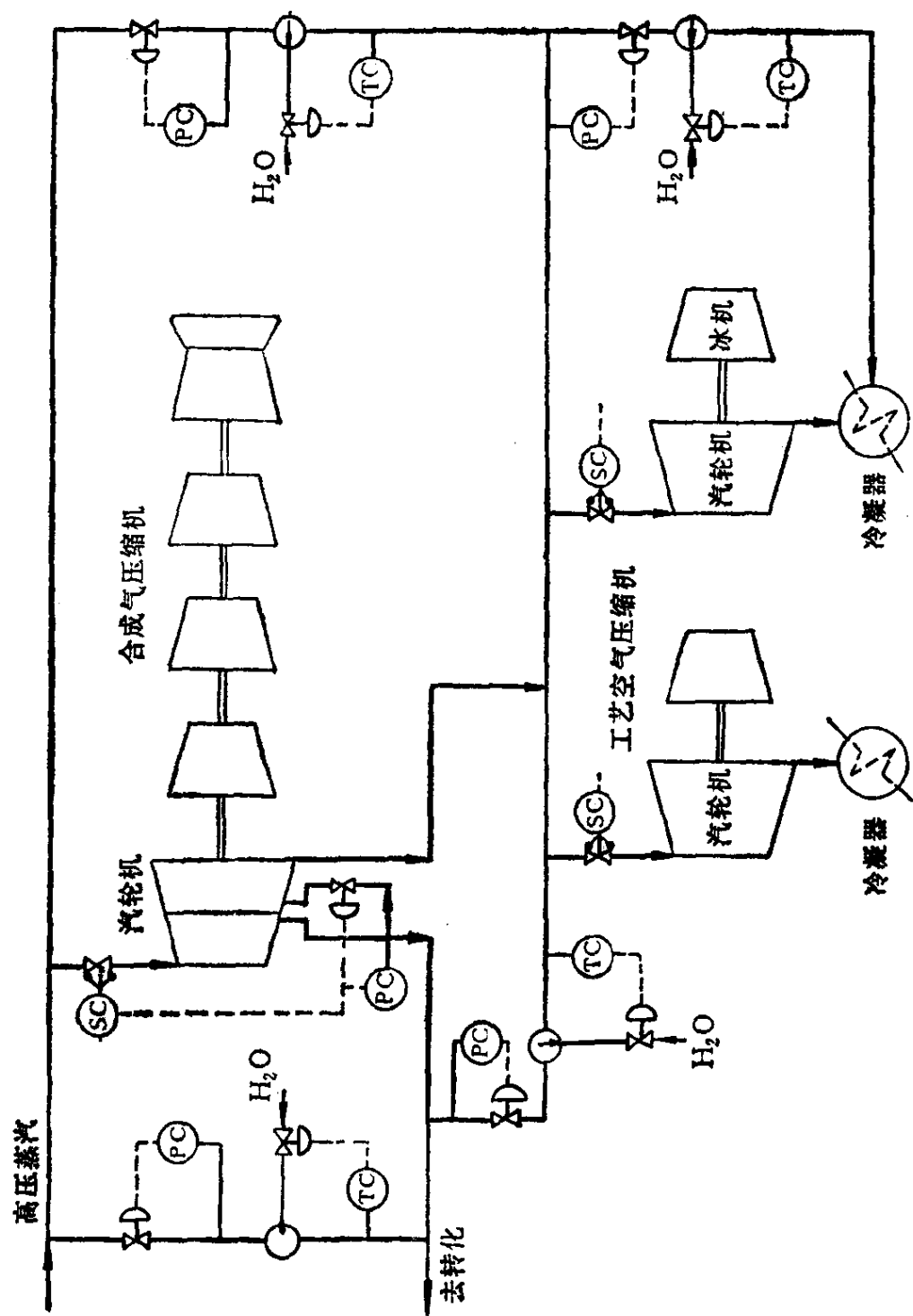


图 6-3 由抽汽-背压式汽轮机驱动合成气
压缩机的工厂的蒸汽系统