

BEI YIASHI QILUNJI TIAOJIE

背压式汽轮机调节

田鹤年

江苏科学技术出版社

背压式汽轮机调节

田 鹤 年

江苏科学技术出版社

(苏)新登字第002号

背压式汽轮机调节

田 鹤 年

出版发行：江苏科学技术出版社

经 销：江苏省新华书店

印 刷：阜宁书刊印刷厂

开本787×1092毫米 1/32 印张9.375 插页2 字数210,000

1993年8月第1版 1993年8月第1次印刷

印数1—5,000册

ISBN 7-5345-1600-5

TK·4

定价：5.95元

我社图书如有印装质量问题，可随时向承印厂调换。

前 言

随着四个现代化建设事业的发展，工业生产和人民生活对电、热的需求日益紧迫，节能已被提到一个十分重要的地位。

为顺应这一形势，安装背压式汽轮机组的热力发电站已如雨后的春笋在许多城市、乡镇工业区相继出现，其发展速度之快出乎人们意料，所以培训工作已是一项刻不容缓的任务。

汽轮机是一种较精密的动力机械，而其中的调节装置作为整机的指挥机构又具有一定的复杂性。背压式汽轮机调节系统具备对机组的转速、供汽压力进行调节及安全保护控制的功能，它关系到能否安全、经济地发电及供热。热电站汽轮机工作人员为确保机组的正常运行，除应熟悉调节系统的结构、工作原理以外，还应掌握其检修工艺、运行操作、性能试验及调整方法。

由于客观上的需要，背压式汽轮机的发展日益趋向中、小型化，大多数产品为中压系列，也有少量低压系列，高压系列目前仅用于少数中型机组。长期以来国内大多数厂家的背压式汽轮机调节装置采用单泵型。这种型式的调节系统结构简单，动作可靠，使用调整方便，适于中、小型背压机组使用。此外，一些制造厂家也少量生产一些较大容量的带旋转阻尼及离心式调速系统的背压机；为了引进国外先进技术，国内少数厂家近年来引进了西门子等国外厂家的调节系

统，用于小型背压机。但总的来说，在国内背压机上，单泵型调节系统仍占大多数，生产的厂家最多，使用历史也较长。背压机调节装置的型式虽多，但其作用原理却是相似的，其调节原则及对动、静态性能的要求也几乎是一致的。为了在供电的同时可向热用户供应两种参数的热蒸汽，国内也生产了一种带调整抽汽的背压式汽轮机，其调节系统要比单纯的背压式汽轮机复杂，在调整上也具有特殊的要求。但根据实践经验，初学者在学习了某一种调节系统的作用原理，掌握了检修、试验、调整及运行操作方法并结合学习一些调节理论后，再遇到新型式的调节装置，即可举一反三，很快就能掌握其使用方法。为了便于叙述，本书用较多的篇幅以常见的单泵液压式调节系统作为实例来说明，同时也介绍了国产其他型式的调节系统。

本书在编写时结合调节原理以一定的篇幅举出了有关调整、试验、检修的实例，其目的在于使读者在掌握典型调节系统的结构原理、试验方法、检修及调整工艺的基础上，能进一步融会贯通，所以在叙述时力求说明原理，以便学习能达到预期的效果。由于编者水平有限，疏漏之处在所难免，希望批评指正。

田 鹤 年

1992年2月

目 录

第一章 背压式汽轮机及其调节系统的作用

- § 1-1 背压式汽轮机简述…………… (1)
- § 1-2 背压式汽轮机调节的特点…………… (7)
- § 1-3 背压式汽轮机调节系统的作用…………… (10)

第二章 调节系统的结构及工作原理

- § 2-1 背压式汽轮机调节系统的要求与基本性能………… (18)
- § 2-2 汽轮机调节系统的发展过程…………… (22)
- § 2-3 单泵液压式调节系统的结构及工作原理………… (26)

第三章 调节系统检修工艺

- § 3-1 调节系统检修的内容…………… (51)
- § 3-2 调节系统检修的注意事项…………… (52)
- § 3-3 调节系统检修工艺…………… (55)

第四章 调节系统的特性

- § 4-1 调速系统的静态特性…………… (80)
- § 4-2 调速系统各机构的静态特性…………… (94)
- § 4-3 调压系统的静态特性…………… (103)
- § 4-4 调节系统的动态特性…………… (117)

第五章 静态特性试验

- § 5-1 试验前的准备…………… (123)
- § 5-2 调速系统的静态特性试验…………… (125)
- § 5-3 调压系统的静态特性试验…………… (142)
- § 5-4 静态试验中应注意的一些问题…………… (147)

第六章 静态特性的调整

- § 6-1 静态特性调整的基本原理…………… (153)
- § 6-2 调节系统静态特性的计算…………… (158)

- § 6-3 调速系统静态特性的调整…………… (167)
- § 6-4 调压系统静态特性的调整…………… (181)

第七章 安全保护装置

- § 7-1 安全保护系统简介…………… (187)
- § 7-2 安全保护系统的结构与工作原理…………… (193)
- § 7-3 保护装置的试验与调整…………… (208)
- § 7-4 带液动式危急遮断器调节系统的保护装置…………… (211)

第八章 安装和大修后的整体调整

- § 8-1 静止时的检查与调整…………… (215)
- § 8-2 启动试运行中的调整试验…………… (220)
- § 8-3 减温减压及背压自控装置的使用与调整…………… (223)

第九章 高压背压式汽轮机调节系统

- § 9-1 调节系统的结构及工作原理…………… (226)
- § 9-2 静态特性及其调整…………… (237)
- § 9-3 启动整体调试…………… (243)

第十章 西门子型背压式汽轮机调节系统

- § 10-1 调节系统的结构及工作原理…………… (246)
- § 10-2 启动时的调整…………… (255)
- § 10-3 速度变动率及压力变动率的调整…………… (259)
- § 10-4 热态调试中应注意的问题…………… (260)

第十一章 背压式汽轮机调节系统运行操作方式

- § 11-1 热负荷运行时同步器的位置…………… (263)
- § 11-2 单机运行时转速与背压的调节…………… (267)
- § 11-3 并网机组的调压器投入问题…………… (271)

第十二章 带调整抽汽背压式汽轮机调节系统的结构与调节原理

- § 12-1 调节的基本原理与自整要求…………… (274)
- § 12-2 带旋转阻尼调速元件的调节系统…………… (279)
- § 12-3 带高速离心调速器的调节系统…………… (287)

第一章 背压式汽轮机及其 调节系统的作用

§ 1-1 背压式汽轮机简述

自1883年瑞典人拉伐尔 (Laval) 设计制造出世界上第一台供实验用的单级冲动式汽轮机后, 经过短短数年, 于1891年拉伐尔式汽轮机即可拖动 5 马力发电机投入商业发电, 从此汽轮机就与电力工业的发展紧密地联系在一起。自本世纪初起, 随着各国工商业的迅速发展, 欧洲和美、日许多公司着手设计制造汽轮机, 以适应日益增多的发电厂的需要。工矿企业的生产除需要电能外还离不开蒸汽, 为此, 世界上第一台除发电以外又可供汽的调整抽汽式汽轮机于1907年问世, 1932年德国西门子公司生产出第一台950千瓦的辐流式背压汽轮机, 自此, 各种型式的背压式汽轮机受到世界各国的重视, 这一制造行业也得到相应发展。

背压式汽轮机是指排汽压力高于大气压力运行的汽轮机。它被装置于热力发电厂及工业自备电站中, 一方面带动发电机向电用户提供电能, 同时又以其排汽向热用户提供热能。背压式汽轮机的排汽压力 (即背压) 对于小型机组来说

大多为0.25~1兆帕，适用于工业企业。

上述这种既发电又供热的热力循环方式称为热电联供循环。这是当前几种热力循环方式中最经济的一种。我们知道，在热力发电厂中的凝汽式汽轮机组即使采用了高参数蒸汽和低压排汽凝结以及回热、再热等措施，其循环的热效率仍很低，一般很少超过42%，这就是说燃料中有60%以上的热量被白白浪费。这一损失的绝大部分是汽轮机乏汽在凝汽器中凝结时传给冷却水的热量。在凝汽器中为凝结乏汽，所需要的冷却水差不多是乏汽重量的50倍，冷却水带走了大量的热量。但是，由于冷却水量太大，与常温相比温差太小，这一热量目前还无法利用，让它白白地流入江河或放入大气中。很显然，如果将汽轮机的排汽利用起来，就能大大地提高汽轮机组的运行经济性。

如何利用汽轮机的排汽热量呢？我们看到，许多工业企业的生产离不开低压蒸汽。如印染、造纸、纺织，化工、制糖、酿酒等工厂，又如企事业、机关的办公区及城市居民区也经常需要供给低压蒸汽及热水。这个问题在通常情况下是通过自备小型锅炉来解决的。如果在设计汽轮机时有目的地提高其排汽压力参数，即当蒸汽在汽轮机内膨胀作功，待压力降低到规定状态时排出，用以解决用户对热的需要，这既可大大提高汽轮机组的热效率，生产廉价的电力，又能保证供热，从而节省低压锅炉房的投资，对整个国民经济有着重要意义。这种既供电又供热的电站称为热电站。热电站的汽轮机有两种，一种是背压式汽轮机（包括背压式及抽汽背压式汽轮机），大多数属于小型机组；另一种是调整抽汽凝汽式汽轮机，大多数属大、中型机组。由于背压式汽轮机能充分利用其排汽热量，又因为它无凝汽器及其附属设备，具有

热力系统简单、投资费用低的优点，应用于工业企业最为适宜，所以背压式机组为这些部门的自备热电站所广泛采用。图1-1为国产B₃-35/5型背压式汽轮机的纵剖面图。

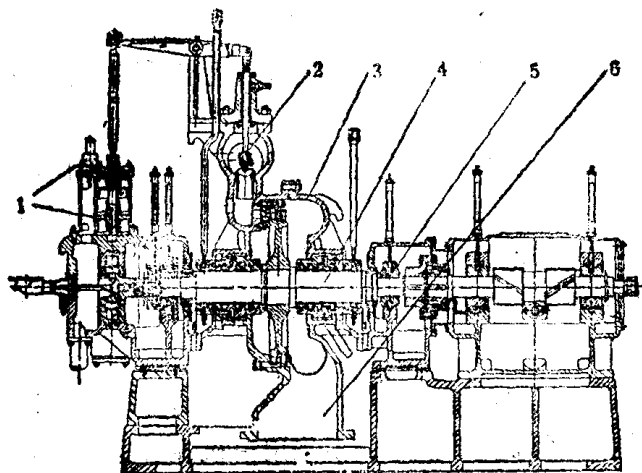


图 1-1 B₃-35/5型背压式汽轮机纵剖面图

- 1—调速器及调压器； 2—调节汽阀； 3—汽缸；
4—转子； 5—轴承； 6—排汽口

为了给用户提供一定量具有不同参数的蒸汽，在背压式汽轮机的汽缸上设置抽汽口，即形成了抽汽背压式汽轮机。这种汽轮机特别适用于各种不同热用户的集中供热，目前已被广泛采用。

由于经济建设的迅速发展及节约能源的需要，近年来装置背压式汽轮机的电站发展很快。在我国电力系统中，供热机组的容量已超过8%。在电网内所有发电机组中，背压机组的数量所占的比例是可观的。目前我国生产的背压机组容量最小的为几十千瓦，最大的为2.5万千瓦。进汽参数分为低压、次中压、中压、高压四种。其中95%以上的机组属小型机组，其进汽参数均为中压及以下，电负荷容量在1.2万

千瓦以下。

小型化是背压机组的一个特点，这是因为：

①背压机组目前绝大部分用于国营厂矿、轻纺工业及乡镇工业区。这些用户虽离不开低压蒸汽，但就其单个用户来说，往往用汽量并不太大，据统计每个用户大多在 5~100 吨/时的范围内。

②工业企业自备电站大多为企业的一个附属部门，虽然提高背压机组的进汽参数能显著提高其经济效益，但为了节省投资、方便管理以及便于利用余热等原因，目前背压机组的进汽大多数采用了中压及以下的参数系列，这就决定了机组的小型化。

③为了使机组能稳定供热，背压机组的排汽应当并入热网管线运行。企业自备热电站多采用单机容量小、台数多的装机方式。例如：在相同的压力系数下，装置一台6000千瓦的机组就不如装四台1500千瓦或两台3000千瓦的机组合理，因为这样既可提高热网压力的稳定性，又能确保单机容量满发，提高经济效益，便于灵活调度，便于对机组轮流检修。

④我们知道，发电厂并入公共电力系统的机组的启停，甚至带多少负荷，都是由电网调度室决定的，但是背压机组有它自己的特殊性，它依赖电网维持其运行的稳定，而发电量的多少又只能由热用户来决定。单机容量过大，机组的启停及负荷大幅度的变化必然会对电力网有所影响，单机容量小，就不会产生上述缺陷。

当然，随着大型工业企业的增加，循环效率更高的高压系数、容量为2.5万千瓦的背压机组将陆续投入使用，但从发展趋势来看，今后小型背压机组在数量上仍将占优势。

热电站中背压机组运行的热力系统如图1-2所示。由锅

炉1来的蒸汽经蒸汽母管及调节汽阀2进入汽轮机3做功。汽轮机的排汽经排汽阀4送到热力网5供热用户使用，回收的凝结水经给水泵9送回锅炉。

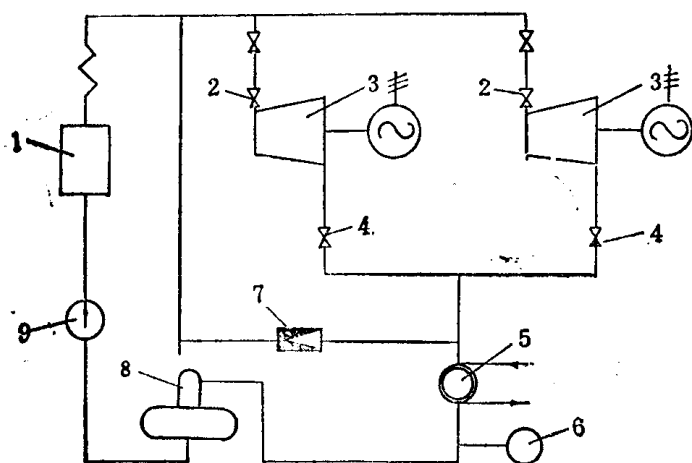


图 1-2 背压式汽轮机组热力系统简图

- 1—锅炉； 2—调节汽阀； 3—汽轮机；
4—排汽阀； 5—热用户； 6—制水站；
7—减温减压装置； 8—除氧水箱； 9—给水泵

一般地说，排汽经热用户使用后的凝结水大多无法回收，所以还需要安装一座制水站向锅炉补充合格的除盐水。

当汽轮发电机满载电负荷后其排汽仍不能保证热用户的需要时，可以启用主蒸汽旁路管上的减温减压装置，由锅炉向热网送汽，以满足供热需要。

热、电联供的机组可供选择的型式有：背压式、不调整抽汽背压式、调整抽汽背压式、调整抽汽（单抽或双抽）凝汽式等多种。兴建热电站时，出于安全性及经济性的考虑，对机组的选型应遵循下列原则：

①背压式汽轮机热、电生产的规律是以热定电，机组的

选型及规范选择应主要以热负荷为依据。

②背压式汽轮机在热力网中承担基本热负荷，抽汽背压式机组担任基本热负荷和中间热负荷。

③尖峰热负荷由抽汽凝汽式汽轮机或锅炉减温减压装置承担。

④当机组是单元制时，机组的最小热负荷不得低于煤粉锅炉或液态排渣锅炉额定出率的2/3，否则应考虑增装抽汽凝汽式汽轮机，将多台汽轮机组的热力系统并列安装。

为了热、电生产的灵活性，装有多台汽轮机组的热电站汽轮机的组合不宜采用单一型式，一般推荐如下组合方案：

(1) 单台汽轮机组

方案一：安装一台背压式汽轮机。适用于需一种供汽参数且热负荷稳定的热电站。

方案二：安装一台背压式汽轮机加一级减压减温供汽装置。适用于需一种供汽参数，但具有尖峰热负荷的热电站。其中背压机承担基本热负荷，尖峰热负荷则由锅炉减温减压装置承担。

方案三：安装一台调整抽汽背压式汽轮机加二级减温减压供汽装置。适用于需两种供汽参数，且具尖峰热负荷的热电站。

方案四：安装一台调整抽汽（单抽或双抽）的汽轮机。适用于电负荷或热负荷均不稳定或所安装的锅炉对负荷率要求较高的热电站。

(2) 两台汽轮机组

方案一：安装一台背压式汽轮机加一台抽汽凝汽式汽轮机。普遍适用于具有一种或两种供汽参数，具有变动热负荷的热电站。由于并入电网的抽汽凝汽式汽轮机的排汽量可随

生产的需要而改变，具有相当的灵活性，因此可由背压式汽轮机带基本热负荷，由抽汽凝汽式汽轮机带尖峰热负荷，这就避免了减温减压装置的能量损失。

方案二：安装一台背压式汽轮机加一台调整抽汽背压式汽轮机（或调整抽汽的凝汽式汽轮机）另加两级减温减压装置。适用于短时间内两台汽轮机尚不能承担尖峰热负荷的热电站。当热电站需安装两台以上汽轮机时，可按上述原则选型组合。

§ 1-2 背压式汽轮机调节的特点

背压式汽轮机兼顾发电与供热，它与凝汽式汽轮机相比在调节上具有如下特点：

①调节系统应能调节转速与背压两个参数，对带调整抽汽的背压机还有抽汽参数。因此，它除了应具备与凝汽式汽轮机一样完整的调节系统外，还应在调节系统中设置调压装置。

②背压式汽轮机在发电与供热两项任务中只能以热定电。我们知道，发电量与供热量之间具有对应关系。背压式汽轮机的排汽量取决于汽轮机的进汽量，因此，排汽量就与进汽量呈相应关系。欲向热用户增加供汽，就需增加进汽量，这样发电量就相应增加了。供热量的最大限度取决于最大发电量。在热电站中，背压式汽轮机的主要任务是供汽，发电任务往往处于第二位。机组所带电负荷的多少，只能根据所要求的供汽量来决定，因此对发电与供热两者的需要会

发生矛盾，使发电与供热两者不能兼顾，只能以一方为主。这就是说要么调节汽阀受调压器控制，采取热负荷方式运行；要么受调速器控制，采取电负荷方式运行，两者只能取其一，而且只能以热定电。

由于调节系统具有上述两种运行方式，因此，为了防止超速，在调节系统的结构设计上应有特殊的考虑。这些我们将在后面详细叙述。

背压式汽轮机的运行方式有下列三种：

(1) 按热负荷方式运行

我们知道，有自备热电站的工业企业大多有电网保证其用电，装置背压式汽轮机组的主要目的是为了本企业用汽的需要，发电的目的是占第二位的。企业的用汽量是经常变化的，只有时刻保持供汽母管压力的稳定，才能保证用汽的需要，这就必须保证各背压式汽轮机的排汽压力稳定在一定的范围内，因此必须采取投入调压器保持热负荷的运行方式。

采取这种运行方式的机组，在调压器装置的作用下，汽轮机进汽量随热用户所消耗的蒸汽量变化，发电机所发出的功率也随之相应变化。热负荷增加时，通过汽轮机的蒸汽量就要增加，电功率也相应增大；反之，热负荷减小时，蒸汽流量、电功率均随之减小。在这种情况下，如果采取单机运行方式，发电机发出的电能根本无法与用户的需要相平衡，汽轮机的转速因失去调节手段会忽高忽低，不能保持供电周率的稳定，所以按热负荷方式运行的机组应并入电网运行，让机组的转速与电网同步。由于电网的周率是由网内机组共同维持的，所以相对来说是稳定的，这时背压式汽轮机组的转速无须调整。调节系统的主要任务就是维持排汽压力的稳定，而调速器的任务是启动、升速，一旦运行中机组甩去全

负荷时能及时关小调速汽阀以防止转子超速。

背压式汽轮机绝大多数都应采用热负荷运行方式。

(2) 按电负荷方式运行

所谓按电负荷方式运行，就是指调压器处于退出状态。这时，整个调节系统就与凝汽式汽轮机调速系统相同，它能保证外界电负荷与机组的进汽量相平衡，以确保转速在额定数值，但不能保证汽轮机的排汽量与热用户所需相平衡。在这种情况下应采取适当措施，例如，将汽轮机排汽与低压锅炉或锅炉减温减压器蒸汽管道相并列，形成一个具有一定富裕容量的热网，以保证供汽压力的稳定。

背压式汽轮机在特殊情况下也有按电负荷方式运行的。例如，有一些远离电网的边远地区的小型工业企业，为了供电方面的需要而装置背压式汽轮机组，均采取单机运行方式。因为在此情况下，不能同时满足发、供两方面的平衡，在原则上应首先保证汽轮机转速的稳定，而要达到这一点，只能采取电负荷方式运行。

(3) 热、电负荷经常切换的运行方式

当前，各地乡镇企业大多数由电网供电。为了确保城市重点企业的用电，供电部门经常对这些乡镇企业实行停电、限电。这些小企业要保证可靠而经济地供电及供热，只有采用小型背压式汽轮机组，并普遍采用热负荷与电负荷互相切换的运行方式，即在电网供电时，合上并网开关，采用热负荷方式运行；在电网停电时，则断开并网开关，退出调压器使汽轮机在调速器控制下运行。这时应采取措​​施来维持供热的稳定。

背压式汽轮机组目前较少采用电负荷方式运行的原因是：

①与电网分离的工业企业目前已经越来越少，因而采取电负荷单独运行的背压式机组已不多见。

②单机采取电负荷运行方式的机组，其热用户必须经常依赖锅炉的减温、减压蒸汽来维持供汽压力的稳定，这是很不经济的。

§ 1-3 背压式汽轮机调节系统的作用

背压式汽轮机是一种既拖动发电机发电、又供热的动力装置，它既要确保发电和供汽的质量，又要确保机组本身的连续安全运行，因此，在背压式汽轮机上安装了调速及调压这两种既相互制约、又在一定程度上各自独立的自动调节系统。下面分别叙述这两种调节系统的作用。

一、汽轮机转速的调节

背压式汽轮机的调速系统是在凝汽式汽轮机调速系统的基础上发展而成的，这里首先介绍汽轮机的转速调节。电能的重要质量指标之一是周率。要确保电周率的正常，就必须使发电机按规定的转速运行，这就要求运行中汽轮机的转速严格保持在所规定的范围内。用于发电的汽轮机几乎一开始就将进汽的自动调节装置用来控制转速。

要进一步了解调速系统的作用，首先需弄清机组在带电负荷运行时负荷和转速的关系。电力的生产、输送与使用的过程几乎是在同一时间内完成的，交流电能是不能储存的，要想不间断地保质（周率、电压）保量（功率）地输送电能，在任何时间内都要求三者处于平衡状态。对汽轮机来