



电力成人中专教材

汽 轮 机

下册

常桂莲 主编

力成人中专教材

汽 轮 机

下册

赠阅

常桂莲 主编

中国电力出版社

内 容 提 要

本书是电力成人中等专业学校热动专业《汽轮机》上、下册函授教材。也可作为热动专业全日制中专、高级工培训教材及参考书。

《汽轮机》上册共分五章，主要叙述了大、中型汽轮机通流部分的工作过程及汽轮机结构、调节、保护及油系统。供检修和运行人员结合本厂实际机组有选择地学习。

《汽轮机》下册共分八章，主要叙述了汽轮机工作原理、寿命管理、运行维护及经济性分析、重大设备事故的分析、处理和预防措施，主要供运行人员自学。检修学员在学习中可删去原理部分后自学。

全书各章首均有内容提要 and 教学要求，章末有复习思考题、学习指导和自测试题。上、下册最后附有自测试卷。

图书在版编目 (CIP) 数据

汽轮机 (下册) / 常桂莲主编. - 北京: 中国电力出版社, 2000
电力成人中专教材
ISBN 7-5083-0137-4

I. 汽… II. 常… III. 蒸汽透平-成人教育: 专业教育-教材
IV. TK26

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 44012 号

中国电力出版社出版、发行

(北京二里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

水利电力出版社印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2001 年 1 月第一版 2001 年 1 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 14 印张 312 千字

印数 0001—3000 册 定价 24.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

前 言

为适应电力系统函授中等专业教育的发展，我们在修订电力成人中等专业学校函授教学计划和教学大纲的基础上，组织编写了中专函授教材，以适应教学的需要。

新编的函授教材，吸收了近几年来教学改革的成果和经验，立足于调整课程结构，更新教学内容，提高教育质量。因此，在内容的深度和广度上，努力贯彻“少而精”和“理论联系实际”的原则，既注重了基础知识和基本技能，更重视知识的综合运用及知识与能力的转化，使教材更加贴近实际，贴近应用；在文字的叙述上，力求简明、精当、通俗，便于自学，易于理解；在编排形式上，将课程内容与学习指导融为一体，使之具有函授教材的鲜明特色。

针对函授学习的特点，教材在结构上力求做到突出重点，讲清概念，着重培养科学的思维方法和分析解决问题的能力。同时，教材注重于对学习思路和自学方法的指导。全书的开始增加了本课程函授学习的说明、学时分配和教学进程的建议；在每个学习阶段前后，编写了内容提要和学习指导，旨在对所学内容提出要求，对学习思路加以点拨，对重点难点进行解析和指津，使学生不再被动地在茫茫的教材中苦苦追求，而是引导学生看清知识的经纬，有目的地去探求，去思考、分析、比较、归纳和总结。此外，结合函授学习的间歇性，按学习阶段配置了测验作业，以达到边学边练的目的。从而帮助学生理清头绪，加深理解，开拓思路，巩固概念，真正将自学的钥匙送到学生手中。

函授中等专业教育起步较晚，教学改革有待深入，对函授教材应该怎样编写，教与学两方面有哪些要求，我们虽然作了一些调查研究，但是由于缺乏足够的感性认识，加上时间短促，书中难免有缺点或错误，恳请使用本书的读者提出宝贵意见。

中国电力企业联合会教育培训部

一九九七年十月

电力成人中专教材编审委员会

顾 问 李宝祺

主 任 徐玉华

副主任 冯良芳 李小白 刘 新 徐建华 潘劲松

委 员 王大平 石 玲 田金玉 冯良芳 曲福根

李小白 李宝祺 李启涛 柏吉宽 李保朝

李泽榕 吴 忠 林 东 张 鹏 杜丽川

金忠贤 熊维荣 徐 林 徐玉华 徐建华

贺相巍 高广勤 贾长坤 晏成新 陶 明

程葆忠 黄杭生 潘劲松

秘书长 金忠贤 (兼)

编 者 的 话

本书是根据中国电力企业联合会办〔1999〕25号文《1999~2000年电力成人中专教材建设规划》和新颁电力成人中等专业学校《汽轮机》课程教学大纲要求编写的。

本书在编写中努力贯彻理论联系实际和“少而精”的原则，在内容的取舍和编排上，以“必须”、“够用”为度，增强应用性和针对性，着眼于基本能力的培养。在叙述上力求做到文字通俗，易于自学，尽量回避过多的或繁琐的公式推导。并且在每章前介绍了该章内容提要 and 教学要求，每章后附有学习指导，帮助学员归纳总结，指出重点、难点。全书配有复习思考题、自测题、自测试卷，以适应函授教学特点。

全书分上册和下册。

上册共分五章。本课程的目的、任务和函授教学方法的一般指导，绪论，第一章由湖南电力职工中专学校常桂莲编写；第二章（1~10节）由河北电力职工中专学校李润珍编写；第三章由山东电力职工中专学校代云修编写；第四、五章由湖南电力职工中专学校周滔编写；第二章（11节）和自测试卷由湖南电力职工中专学校刘曙编写。

下册共分八章，第一、二、三章由甘肃电力职工中专学校李晓焱编写；第四章由山东电力职工中专学校代云修编写；第五章、第八章（12节）和自测试卷由湖南电力职工中专学校刘曙编写；第六、七、八章（1~11节）由湖南电力职工中专学校常桂莲编写。

全书由常桂莲高级讲师主编，上册由山东电力职工中专学校马桂琴高级讲师主审，下册由河北电力职工中专学校耿宝林高级讲师主审。

由于编者水平有限，时间仓促，编写过程中错误之处在所难免，恳请读者批评指正。

本课程的目的、任务和函授教学方法的一般指导

一、本课程的目的和任务

《汽轮机》上、下册是成人中等专业学校热动力类专业的一门主要专业课，是主干课程之一，它在热动力技术教育中占有极其重要的地位。

本课程的目的和任务是在读者学习过专业基础课程（即热工基础、流体力学、力学、材料力学等）的基础上通过自学、面授、实验等教学环节，获得本专业中等专业人才必备的关于汽轮机结构、调节、保护及运行等方面的基本理论知识和基本技能，丰富和提高从业学员在工作实践中分析问题和解决问题的能力，提高汽轮机检修和运行的理论水平。

二、本教材的内容和课程体系

为了便于读者自学，采用循序渐进的方式将全书分为上、下两册。《汽轮机》上册主要内容包括汽轮机通流部分的工作过程、汽轮机本体、汽轮机调节、保护及供油系统。重点介绍大、中型汽轮机的设备构造、调节原理及其保护装置，以满足在职学员根据不同机组有选择性地学习。

《汽轮机》下册是在上册的基础上进一步学习的内容，它包括汽轮机的工作原理、寿命管理、汽轮机运行维护及运行分析和事故预防及处理等。

汽轮机是一门涉及理论性较强、概念较多与实践密切联系的课程。其内容结构，首先讲解汽轮机通流部分的工作过程，概述了蒸汽流经汽轮机时，将其具有的热能转换成转子旋转的机械能的过程；通过汽轮机本体部分详细介绍其组成的具体部件以及这些部件基本构造和各自的作用，这是学习汽轮机知识所必须的初步阶段。汽轮机调节部分为《汽轮机》上册的核心部分，它揭示了汽轮机正常工作必须随时根据外界电能用户的需求控制进汽量而改变功率，从而引出调节系统的三大机构（转速感受机构、传动放大机构和执行机构）的作用、结构特征及其工作原理，它为实际中掌握汽轮机的工作性能打下基础。汽轮机安全运行依靠其保护装置及供油系统，在事故情况下保护装置动作，迅速切断汽源，确保汽轮机设备的安全。因此对每种保护都应了解其结构特点及工作原理。但是，保护装置的正常工作与供油系统密切相关，汽轮机的保护装置及供油系统的工作始终是围绕着汽轮机的调节为中心展开的。将结构、调节、保护装置及供油系统集合在一起形成了以调节、油路为中心的课程体系。

《汽轮机》下册以汽轮机的工作原理为基本理论部分，即热工基础、流体力学、材料力学等基本知识在汽轮机中的体现。并对热变功进行了定性和简单的定量分析；汽轮机运行、调峰、事故预防及处理部分则是在基本理论指导下引进案例教学，教材始终贯彻传授知识、指导应用、培养能力的方针，形成以提高函授学员的运行理论知识和操作水平为核心的课程体系。

三、函授教学形式与本课程教学活动

函授教学的独特形式在于它有面授、辅导答疑与自学相结合,又以自学为主的教学形式。

函授教学是以分散自学和集中面授交叉进行为原则。《汽轮机》上、下册在教学中采取阶段教学的方式,安排自学、作业、面授、辅导答疑、实验、考试等六个教学环节。

函授生在分散自学和集中面授期间应完成以下所规定的教学活动。

(一) 自学期间的教学活动

在自学期间,函授生应完成阅读教材和作业(包括自测作业)两个教学环节。

1. 阅读教材

阅读教材是自学的基本形式,是函授生获取知识的重要途径,也是函授教学的主要环节。阅读教材应首先了解本章的内容提要、基本要求和学时安排。按照自学计划依次学习每节内容,要做到持之以恒,循序渐进。

阅读教材的方法一般应先粗读、再细读、后精读。粗读时大可不必过分拘泥于局部难懂细节和数学公式的推导,而应侧重于对内容有一轮廓性的认识,对难懂和不清楚的地方,应作出必要的标记。在学习目标上达到“了解”的程度。

细读时,则要仔细学习教材内容,并注意阅读每章后的学习指导,理清思路。初步理解设备的作用、基本构造和工作原理,或有关理论部分的基本概念及分析计算。对教学内容达到“懂”或“理解”的程度。在细读的同时,建议作简单的笔记,其内容可以分:①本节要解决的问题;②分析和解决问题的思路;③结论;④不清楚的概念和问题等。通过养成阅读笔记的习惯,提高自学效果和独立钻研的能力。

在细读的基础上力求精读,精读教材要由表及里,由浅入深,抓住重点,突破难点。

学习的目的是为了应用,面对现场日益更新的机组和设备,从业人员的知识不断更新,使理论紧密联系实际,促进知识从实践性向理论性转化,从理论性向应用性发展。如:出现新设备要从结构特点上与以往同类设备相比较它们之间有何不同;对新设备的结构特征体现的理论根据作出判断;列举其优点;分析更新设备带来的经济效益等。

2. 作业

作业是巩固所学知识,并将知识转化为能力的重要教学环节。为了加深对教材内容的理解,函授生要独立完成规定的复习思考题和每章的自测题。这是函授生阶段学习的自我检查和总结,也是考核平时学习的手段。它有助于发现学习中的薄弱环节。同时也有助于教师了解函授生的学习情况,帮助其解决学习中存在的问题和困难。

(二) 面授期间的集中教学活动

在这一期间,函授生应参加以下四个集中教学活动的环节:

1. 面授讲课

面授讲课是辅助自学所必须的教学形式,是函授教学的重要环节。面授课一般安排在函授生阅读教材之后,这种自学基础上的面授,通常以综合性授课方式为主,围绕教材重点,以问题为中心,即提出问题、分析问题和解决问题,从而将教学内容归纳引深,使函授生所学知识系统化、条理化。

2. 辅导答疑

辅导答疑是对函授生进行解难析疑的教学形式,是函授教学的必要环节。辅导答疑的内容,由教师根据函授生在自学中遇到的困难而提出的问题进行讲解,也可由教师从作业中归纳有共性的问题和普遍较困难的问题进行解答。辅导答疑的形式可采用个别、分散或集中相结合的方式,也可以采用补充讲课或讨论问题的方式来进行。但无论采取何种形式,辅导答疑应注意针对性、灵活性和时效性。

3. 实验

实验是巩固验证所学知识。训练实验技能的实践性教学活动,本课程安排了三个实验,函授生应按教学大纲的要求完成实验项目,达到本课程在实验技能方面的教学要求。

4. 考试

考试是课程教学效果的检查,是考核函授生学习成绩的必需环节。函授生必须在完成规定必做作业、测验作业、实验及听课后才能参加考试。

四、本课程学时分配及教学进程

表1及表2所拟定的课程学时分配及教学进程是根据汽轮机上、下册课程函授教学大纲的规定安排的。上册124个学时。下册108个学时。全书共计232个学时。

表1 《电厂汽轮机运行》和《电厂汽轮机检修》专业

章次	内 容	学 时			
		合 计	自 学	面 授	实 验
	绪 论	3	2	1	
一	汽轮机通流部分的工作过程	7	3	4	
二	汽轮机本体	44	19	21	4
三	汽轮机的调节系统	42	19	23	
四	汽轮机保安供油系统	16	9	7	
五	典型汽轮机的调节、保护及供油系统	12	9	3	

表2 《电厂汽轮机运行》专业

章次	内 容	学 时			
		合 计	自 学	面 授	实 验
一	汽轮机的工作原理	16	8	8	
二	凝汽式多级汽轮机	8	4	4	
三	汽轮机的变工况	14	7	7	
四	凝汽式汽轮机调节系统及其特性	8	3	3	2

续表

章 次	内 容	学 时			
		合 计	自 学	面 授	实 验
五	汽轮机热变形及寿命管理	10	4	6	
六	汽轮机的启动与停机	16	8	8	
七	汽轮机的运行维护及运行分析	14	6	8	
八	汽轮机的事故预防及处理	22	12	10	

注 1. 各章自学时数包括平时作业、实验预习和完成实验报告时间；

2. 各章讲课时数包括辅导答疑的时间；

3. 本教材《汽轮机（上册）》是针对电厂汽轮机检修专业和汽轮机运行专业编写的。在此基础上，《汽轮机（下册）》继续适应于汽轮机运行专业；对于汽轮机检修专业可以根据需要对教材进行取舍。另外建议本课程分为两次面授，即《汽轮机》上下册分开面授。

目 录

前言

编者的话

本课程的目的、任务和函授教学方法的一般指导

第1章 汽轮机的工作原理..... 1

§ 1.1 蒸汽在喷嘴中的流动 1

§ 1.2 蒸汽在动叶通道中的流动过程 7

§ 1.3 级内损失及效率 9

§ 1.4 速比与效率的关系 19

复习思考题 25

学习指导 25

自测试题 26

第2章 凝汽式多级汽轮机 28

§ 2.1 多级汽轮机的特点 28

§ 2.2 凝汽式多级汽轮机的极限功率 33

§ 2.3 汽轮发电机组的经济指标 36

复习思考题 40

学习指导 40

自测试题 41

第3章 汽轮机的变工况 43

§ 3.1 喷嘴的变工况 43

§ 3.2 级组的变工况 48

§ 3.3 调节级的变工况 55

§ 3.4 蒸汽参数变化对汽轮机工作的影响 59

复习思考题 61

学习指导 62

自测试题 63

第4章 凝汽式汽轮机调节系统及其特性试验 66

§ 4.1 一次调频及二次调频 66

§ 4.2 调节系统的动态特性·····	68
§ 4.3 调节系统的特性试验和调整·····	71
复习思考题·····	76
学习指导·····	76
自测试题·····	77
第5章 汽轮机的热应力、热变形及寿命管理 ·····	79
§ 5.1 汽轮机的热应力·····	79
§ 5.2 汽轮机的热膨胀及热变形·····	85
§ 5.3 汽轮机的寿命管理·····	92
复习思考题·····	98
学习指导·····	99
自测试题·····	100
第6章 汽轮机的启动与停机 ·····	101
§ 6.1 汽轮机的启动方式·····	101
§ 6.2 汽轮机冷态额定参数启动·····	107
§ 6.3 汽轮机冷态滑参数启动·····	111
§ 6.4 汽轮机的热态启动·····	124
§ 6.5 汽轮机的停机·····	128
复习思考题·····	135
学习指导·····	136
自测试题·····	137
第7章 汽轮机运行维护及运行分析 ·····	139
§ 7.1 汽轮机正常运行中的监视及经济性分析·····	139
§ 7.2 汽轮机的巡回检查与运行分析·····	144
§ 7.3 汽轮机的通流部分在运行中应注意的问题·····	146
§ 7.4 汽轮机的变压运行·····	149
§ 7.5 汽轮机的调峰运行及经济性分析·····	153
复习思考题·····	164
学习指导·····	165
自测试题·····	165
第8章 事故处理和预防 ·····	167
§ 8.1 事故处理的基本原则·····	167
§ 8.2 汽轮机大轴弯曲事故·····	168

§ 8.3 轴瓦烧损事故	172
§ 8.4 通流部分的动静磨损事故	175
§ 8.5 叶片损坏事故	177
§ 8.6 汽轮机油系统着火事故	179
§ 8.7 汽轮发电机严重超速事故	182
§ 8.8 汽轮机水冲击事故及预防	185
§ 8.9 汽轮机组的振动事故	188
§ 8.10 汽轮机真空下降	192
§ 8.11 甩负荷事故	195
§ 8.12 厂用电中断	199
复习思考题	203
学习指导	204
自测试题	205
期末自测试卷	207
主要参考文献	209

第1章 汽轮机的工作原理

【内容提要及教学要求】

(一) 内容提要

本章主要介绍蒸汽在喷嘴和动叶中的流动过程；速比与效率的关系；各项损失及效率的计算。

(二) 教学要求

掌握蒸汽流经喷嘴和动叶中的能量转换规律及其计算；理解轮周功率、轮周效率、速比及最佳速比的概念；了解级内各项损失及效率的计算公式。

在上册第一章中已经介绍了汽轮机通流部分的工作过程，并对其基本工作原理进行了讨论。在此基础上，需要进一步对蒸汽在汽轮机中的流动规律及能量转换过程进行分析和计算，从而了解汽轮机工作的完善程度。

§ 1.1 蒸汽在喷嘴中的流动

喷嘴是将蒸汽的热能转变成动能的部件，根据其几何形状的不同一般分为渐缩形喷嘴和缩放形喷嘴。蒸汽流经不同的喷嘴，所获得的膨胀程度也不相同。下面我们主要讨论蒸汽流经喷嘴的膨胀规律及动能计算。

一、蒸汽在喷嘴中的流动

(一) 蒸汽在喷嘴出口的理想速度 c_{1t} 与实际速度 c_1

如图 1-1 所示，当不考虑蒸汽在喷嘴中的流动损失时，其理想流动为一等熵过程。喷嘴出口处的蒸汽速度为喷嘴出口理想速度 c_{1t} 。即

$$h_0 + \frac{c_0^2}{2} = h_{1t} + \frac{c_{1t}^2}{2} \quad (1-1)$$

$$c_{1t} = \sqrt{c_0^2 + 2(h_0 - h_{1t})} \quad (1-2)$$

实际上，由于蒸汽在流动中具有摩擦等原因造成一部分能量损失，使喷嘴出口实际速度 c_1 小于理想速度 c_{1t} ，这部分损失掉的动能又重新转变成热能被流动的蒸汽吸收，使其出口比焓值升高了 Δh_n ，因此其出口实际比焓值为 h_1 ，实际速度 c_1 为

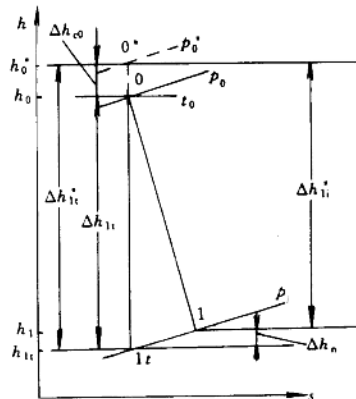


图 1-1 蒸汽在喷嘴中的膨胀过程

$$c_1 = \sqrt{c_0^2 + 2(h_0 - h_1)} \quad (1-3)$$

从式 (1-2)、式 (1-3) 可以看出, 当 $c_0 = 0$ 时, 其计算可简化许多。为此, 我们可将进口状态点 “0” 等熵至滞止进口状态点 “0*”。结合图 1-1, 此时进口状态参数分别为滞止参数, 即 $c_0 = 0$, 比焓为 h_0^* 。式 (1-2)、式 (1-3) 可写成

$$c_{1t} = \sqrt{2(h_0^* - h_{1t})} = 1.414 \sqrt{\Delta h_{1t}^*} \quad (1-4)$$

$$c_1 = \sqrt{2(h_0^* - h_1)} = 1.414 \sqrt{\Delta h_{1t}^*} \quad (1-5)$$

(二) 喷嘴的速度系数 φ 及动能损失 Δh_n

蒸汽在喷嘴出口的实际速度 c_1 与理想速度 c_{1t} 之比称为 喷嘴的速度系数 φ , 即

$$\varphi = \frac{c_1}{c_{1t}} \quad (1-6)$$

蒸汽在喷嘴中的动能损失简称 喷嘴损失 Δh_n , 可用下式表示

$$\Delta h_n = \frac{1}{2}(c_{1t}^2 - c_1^2) = \frac{c_{1t}^2}{2}(1 - \varphi^2) \quad (1-7)$$

φ 值越大, 喷嘴出口实际速度越高, 喷嘴损失越小。

影响 φ 值大小的主要因素有喷嘴高度、表面光洁度、汽道形状以及流速等许多因素。

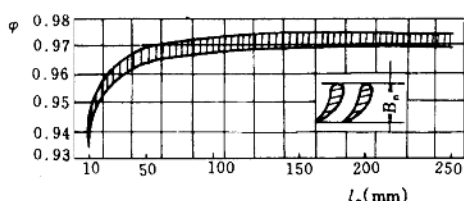


图 1-2 渐缩喷嘴的 φ 值与喷嘴出口高度 l_n 的关系曲线

如图 1-2, 为渐缩喷嘴的速度系数 φ 与喷嘴出口高度 l_n 之间的关系曲线。由图可知, φ 值随喷嘴高度的减小而减小。当喷嘴出口高度小于 12mm 时, 速度系数急剧下降。因此, 在设计时要求喷嘴出口高度不得小于 15mm, 而 φ 值一般在 0.93 ~ 0.98 范围内选取。

(三) 喷嘴的实际流量 G_n 及流量系数 μ_n

通过喷嘴的理想流量为

$$G_{nt} = A_n \frac{c_{1t}}{v_{1t}} \quad (1-8)$$

通过喷嘴的实际流量为

$$G_n = A_n \frac{c_1}{v_1} \quad (1-9)$$

式中 A_n ——喷嘴出口截面积, m^2 ;

v_{1t} 、 v_1 ——分别为喷嘴出口截面上蒸汽的理想比容和实际比容, m^3/kg 。

通过喷嘴的实际流量与理想流量的比值, 称为流量系数 μ_n , 即

$$\mu_n = \frac{G_n}{G_{nt}} \quad (1-10)$$

将式 (1-8)、式 (1-9) 代入式 (1-10) 中, 得

$$\mu_n = \frac{A_n \frac{c_1}{v_1}}{A_n \frac{c_{1t}}{v_{1t}}} = \frac{c_1}{c_{1t}} \cdot \frac{v_{1t}}{v_1} = \varphi \frac{v_{1t}}{v_1} \quad (1-11)$$

或

$$G_n = \mu_n G_m = \varphi \cdot \frac{v_{1t}}{v_1} \cdot G_m \quad (1-12)$$

上式表明, 流量系数 μ_n 与 φ 及 $\frac{v_{1t}}{v_1}$ 有关。流动中损失越大, φ 值越低, v_1 与 v_{1t} 的差别也越大, 因而 φ 与 μ_n 之差别也相应越大。

当整个喷嘴都在过热区工作时, 由于蒸汽吸收了由损失转变来的热量使 $v_1 > v_{1t}$, 且比值不受过热度的影响, 又因 $\varphi < 1$, 故流量系数 $\mu_n < 1$, 而且在过热区基本保持不变。

但当蒸汽在饱和区膨胀时, 由于蒸汽的流速很高, 使本来应该凝结成水珠的那部分蒸汽来不及凝结而形成过饱和状态, 又称过冷状态。这时出口蒸汽的温度因没吸收凝结潜热而低于平衡状态下的出口温度, 因而比容 v_1 比平衡状态时小, 使 $v_{1t}/v_1 > 1$, 即可能出现 $\mu_n > 1$ 的情况。当 $\mu_n < 1$ 时, 实际流量小于理想流量; 当 $\mu_n > 1$ 时, 实际流量大于理想流量。

喷嘴的流量系数 μ_n 及动叶的流量系数 μ_b 值可由试验数据绘制的曲线查得, 如图 1-3 所示。对于过热蒸汽常取 $\mu_n = 0.97$, 对于饱和蒸汽常取 $\mu_n = 1.02$ 。

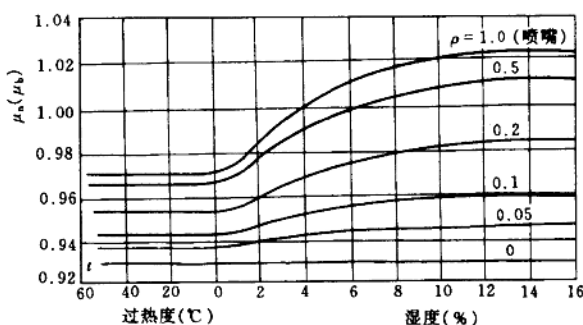


图 1-3 喷嘴和动叶的流量系数

通过《热工学》可知, 任何喷嘴都有一个临界流量, 根据理想临界流量可确定出实际临界流量的计算公式。

过热蒸汽 ($\mu_n = 0.97$)

$$G_{ct} = 0.667 A_{min} \sqrt{p_0^* / v_0^*}$$

饱和蒸汽 ($\mu_n = 1.02$)

$$G_{ct} = 0.637 A_{min} \sqrt{p_0^* / v_0^*}$$

将上两式分别代入式 (1-10), 可看出在实用中无论是过热蒸汽还是饱和蒸汽, 均可用下式计算通过喷嘴的实际临界流量

$$G_c = 0.65 A_{min} \sqrt{p_0^* / v_0^*} \quad (1-13)$$

式中 G_c ——通过喷嘴的实际临界流量, kg/s;

A_{min} ——喷嘴的最小截面积, 对于渐缩喷嘴为出口截面积; 对于缩放喷嘴为喉部截面积, m^2 ;

p_0^* ——喷嘴进口的滞止压力, Pa;

v_0^* ——喷嘴进口的滞止比容, m^3/kg 。

【例 1-1】 已知喷嘴出口理想速度 $c_{1t} = 427.5 \text{ m/s}$, 喷嘴理想焓降 $\Delta h_l = 83.7 \text{ kJ/kg}$, 速度系数 $\varphi = 0.95$, 则进入喷嘴的初速度 c_0 为多少? 喷嘴损失 Δh_n 又为多少?

解 如图 1-4 所示, 绘制出该喷嘴的热力过程线。根据已知条件, 代入下述能量方程式

$$\begin{aligned} \frac{c_0^2}{2} + h_0 &= \frac{c_{1t}^2}{2} + h_{1t} \\ c_0 &= \sqrt{c_{1t}^2 - 2(h_0 - h_{1t})} = \sqrt{c_{1t}^2 - 2\Delta h_l} \\ &= \sqrt{427.5^2 - 2 \times 83.7 \times 10^3} = 123.9 (\text{m/s}) \\ \Delta h_n &= \frac{c_{1t}^2}{2} (1 - \varphi^2) = \frac{427.5^2}{2} (1 - 0.95^2) \\ &= 8909.4 (\text{J/kg}) \approx 8.91 (\text{kJ/kg}) \end{aligned}$$

答: 蒸汽进入喷嘴的初速度为 123.9 m/s , 喷嘴损失为 8.91 kJ/kg 。

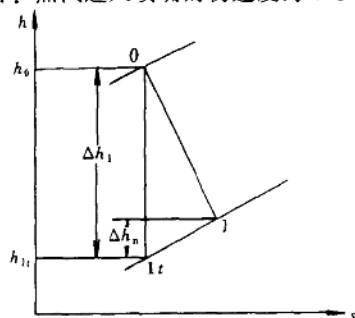


图 1-4 例 1-1 题热力过程线

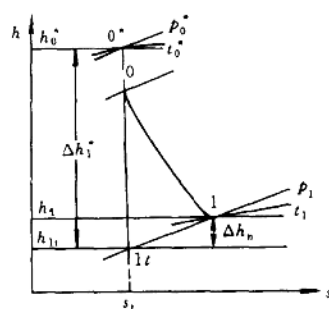


图 1-5 例 1-2 题热力过程线

【例 1-2】 已知, 渐缩喷嘴出口截面处的速度为 $c_1 = 450 \text{ m/s}$, 喷嘴后的压力 $p_1 = 490 \text{ kPa}$, $t_1 = 250^\circ\text{C}$, 流动时有损失, 速度系数 $\varphi = 0.95$ 。求喷嘴前的滞止参数 p_0^* 、 t_0^* 。

解 如图 1-5 所示, 绘制出蒸汽在喷嘴中流动的热力过程线。

根据 $p_1 = 490 \text{ kPa}$, $t_1 = 250^\circ\text{C}$, 查焓—熵图得喷嘴出口的实际比焓值 $h_1 = 2968 \text{ kJ/kg}$ 。

$$\text{由于 } \Delta h_n = \frac{c_1^2}{2} \left(\frac{1}{\varphi^2} - 1 \right) = \frac{450^2 \times 10^{-3}}{2} \left(\frac{1}{0.95^2} - 1 \right) = 10.938 (\text{kJ/kg})$$

则喷嘴出口理想工作点 “1t” 点的比焓值为

$$h_{1t} = h_1 - \Delta h_n = 2968 - 10.938 = 2957.1 (\text{kJ/kg})$$

沿 $p_1 = 490 \text{ kPa}$ 的等压线找出比焓值为 h_{1t} 的点, 即为 “1t” 点。

在 “0*” 点和 “1t” 点之间列出能量关系式。