

研究生教学用书

教育部学位管理与研究生教育司推荐

水力机械装置过渡过程

*Transients of Hydraulic
Machine Installations*

常近时 著

高等教育出版社

研究生教学用书

教育部学位管理与研究生教育司推荐

水力机械装置过渡过程

Transients of Hydraulic
Machine Installations

常近时 著

高等教育出版社

内容提要

本书阐述水轮机、叶片泵装置系统过渡过程领域的理论和计算方法,内容以作者多年从事该领域科学研究与实践活动所获取的自主知识产权的成果为主。这些成果已从理论到计算方法构成了全新的系统,并已在国内诸多大中型水电工程设计中得以应用。

全书共分八章,分别论述了常规水电站水轮机装置、抽水蓄能水电站水泵水轮机装置以及一般水泵装置各种过渡过程的基本理论与计算方法。

本书读者对象为流体机械及工程、水利水电工程等专业的研究生和科研、设计、运行管理及教学人员,也可供其他相关专业科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

水力机械装置过渡过程 / 常近时著. —北京:高等教育出版社,2005.9

ISBN 7-04-017647-5

I. 水... II. 常... III. 水力机械-过渡过程
IV. TV131.63

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 093065 号

策划编辑 林琳 责任编辑 陈大力 封面设计 李卫青
责任绘图 朱静 版式设计 史新薇 责任校对 王雨
责任印制 宋克学

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
经 销	北京蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	http://www.landaco.com
印 刷	北京中科印刷有限公司		http://www.landaco.com.cn
开 本	787×960 1/16	版 次	2005 年 9 月第 1 版
印 张	25	印 次	2005 年 9 月第 1 次印刷
字 数	420 000	定 价	39.20 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 17647-00

序

适逢研究生用书常近时著《水力机械装置过渡过程》即将出版之际,使我回忆起同作者常近时教授四十多年友谊与合作的一些情景。长期以来,常教授主要从事水电站水轮机装置过渡过程和叶片式水力机械水动力学计算两个领域的教学与科学研究工作,而我虽有不同但却有着密切的联系。长期友好的合作,使我远比一般人对他的研究工作和成果更为了解。对他所创立的水电站水轮机装置过渡过程基于内特性解析的理论 with 计算方法新体系的重要价值,有更为深刻的认识。

水电站水轮机装置与水泵站水泵装置过渡过程一直是国内外水利水电工程领域的学者与技术人员十分关注的问题,在 20 世纪 50 年代形成了一个学科分支。当时的苏联与美国的学者都在各自具有优势的轴流转浆式水轮机装置过渡过程与压力管道弹性水击等方面有过重要贡献,使过渡过程的研究大大超越了水电站调节保证计算的范畴。随着计算机技术的进步,数值计算成为过渡过程最普遍的计算手段。

我国一些专家,其中包括常教授与我在内都曾为引进美、苏两国的过渡过程理论与计算方法做了不少工作。但很快就发现这些计算方法都存在一些共同的缺陷,既均取用水轮机模型的静态全特性曲线作为边界条件,计算不准确;当没有全特性曲线时,难以计算,勉强进行计算,其结果误差很大;对于双调节元件的轴流转浆式、贯流式水轮机装置,特性曲线的前期处理工作十分繁琐,十分盲目,原则上无法进行计算。况且,在我国,没有一台水轮机具有全特性曲线,因此,这些国外的计算方法从根本上说不适于国内应用。因此,常近时教授从 20 世纪 70 年代便开始为创立不需要全特性曲线便可准确完成过渡过程计算的基础性研究工作。这是一个漫长的时间过程。他研究出用于描述过渡过程叶片式水力机械不稳定工作状态下各主要动态工况参数的解析表达式,给出了各种水力装置、各类过渡过程、考虑系统弹性与不考虑系统弹性、简单管道与复杂水力系统的过渡过程基于内特性解析的计算方法。为了验证这些理论与计算方法的正确性,在岳城、大伙房、富春江、镜泊湖、古田一级、古田四级、二龙山、覆窝、模式口、玉渊潭、石板等十余座水电站进行了百余次过渡过程现场试验,取得了大量的试验成果。在水电站进行水轮机装置过渡过程的现场试验,是一个涉及组织、协调数十人参与,需要在试验方案、试验

理念和测试技术等方面做认真准备,耗时费力的繁重工作,而且还带有很大的风险,一不留神就会损坏设备。我参加了绝大部分由常教授主持的现场试验,深刻体会到水电站过渡过程现场试验的辛苦和获得有价值的研究成果的艰难。正是大量的科学试验为常教授新过渡过程理论与计算方法的建立打下了坚实的基础。试验与理论计算成果的比较表明,这些基于内特性解析的计算理论与计算方法,远比传统的国外计算方法优越:数据前期处理简便,计算结果准确,无需已知水轮机全特性曲线,对具有双调节元件的水轮机装置计算十分方便。

常教授的方法已在国内沙溪口、岳城、天生桥二级、洪家渡、大朝山等十余座大中型水电站设计中应用,计算结果与后来的实测结果相当一致。

此外,我也曾将常教授的理论用于水轮机的调节系统分析。这些理论与方法还成功地在我国首台大型水电站全范围仿真机的研制中应用。

综观上述情况,常教授所创立的水电站与水泵站水力装置过渡过程基于内特性解析的理论与计算方法,已形成一个崭新的体系。全部理论与计算方法均具有中国人自主知识产权。这样全面、系统、具有重要价值、形成体系的科技成果,至少在我国水电站科技领域极为少见。1991年机械工业出版社出版了他的专著《水力机械过渡过程》,基本反映了他在20世纪90年代前的科研成果。这本书获出版社优秀图书奖与国家教委科技进步奖,我荣幸地为该书作了序。此后10年,他又在抽水蓄能水电站、贯流式水轮机装置、复杂水力装置等过渡过程方面取得不少的研究成果。现在把前后两部分成果合起来出一本研究生用书《水力机械装置过渡过程》,将会使读者更加全面地了解 and 领会这些理论与计算方法的优越性以及使用条件和要求。应当说,这本书对推广应用这些理论与计算方法将会起到重要的促进作用,从而为我国水利水电工程建设带来重大的技术经济效益。

寿梅华

2005年3月

前 言

水力机械装置过渡过程是指水轮机、水泵水轮机、叶片泵及与其相连的电动机、管道、阀门、调压设备所组成的装置系统由一种稳定工况向另一种性质不同的稳定工况过渡的过程。过渡过程又可称为暂态过程或瞬变过程,即在过渡过程中所有工况参数的大小和方向都是时间的函数,而且过程终了至少有一个主要工况参数发生正、负、零即方向的改变。这样的过程又称为大波动不稳定过程。

在水力机械装置过渡过程中将发生一系列由惯性附加动力引起的不稳定现象。过大的动态附加荷载能造成机组、引水管道和调压室等的损坏,甚至引起整个水电站灾难性的事故。所以,任何一个水电站和水泵站的设计都要做过渡过程计算,其结果作为评价工程方案是否可行的基本条件之一。

过渡过程品质的好坏同系统的调节元件运动规律有关。要保障机组与装置系统在各种过渡过程中的安全,就必须经严格的科学计算确定相应的调节元件运动规律,正确揭示动态特性,评价系统中各组成部分的结构与尺寸是否合理。因此,过渡过程计算同水动力工程整体的综合技术经济水平密切相关,是一项直接影响工程安全性与经济性的重要技术工作。

我国水动力装置过渡过程计算长期采用国外引进的基于叶片式水力机械综合全特性曲线的特征线解法和刚性理论解法,简称外特性法。这种方法在缺少全特性曲线时不能应用,即使勉强应用,其计算结果也不准确;对于双调节的机组,则无法进行计算。考虑我国的实际,作者经过多年的研究,创立了过渡过程基于叶片式水力机械内特性解析的理论与计算方法,简称内特性法,并已在十余个大中型水电站工程设计中应用,经十余个水电站水轮机装置超过百次过渡过程试验,证实了此理论与方法的正确性。本书系统地阐述内特性法的理论与计算方法及其具体应用,对传统的外特性法只做简单介绍。

1991年机械工业出版社出版了作者的一本专著《水力机械过渡过程》,它基本包括了20世纪90年代之前作者在过渡过程领域的科研成果。该书受到两次奖励和业内人士的欢迎。但是,书中主要介绍的是有关轴流转桨式水轮机过渡过程基于内特性解析的计算理论与计算方法,

而且只针对简单的装置系统。近 10 年,作者主要从事带调压室的复杂水力装置系统、抽水蓄能水电站复杂水力系统、贯流式水轮机装置等过渡过程的研究,且均采用内特性理论建立各种类型过渡过程的计算方法,此外,还做了许多现场试验研究。这些成果在校内整理出版作为研究生用的教材《水力机械过渡过程(续)》。现将这两本书合成一本,作为研究生用书出版。相信会对我国水利水电事业的发展以及水力装置过渡过程这一学科分支学术水平的提高起到积极的作用。

本书的出版得到教育部的支持,高等教育出版社的编辑同志为此书出版做了大量卓有成效的工作,我的博士研究生张兰金为书稿的整理花费了不少时间,在此一并表示衷心感谢!

本书由于涉及的内容广泛,难免有疏漏与错误之处,欢迎读者批评指正。

常近时

2005 年 3 月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 水力机械的工作特点	1
第二节 水力机械过渡过程的主要类型与基本特征	4
第三节 研究水力机械过渡过程的技术经济意义	7
第四节 水力机械装置过渡过程研究的现状和研究方法	10
第二章 水力机械过渡过程的基本理论	15
第一节 叶片式水力机械的全特性曲线	15
第二节 叶片式水力机械各种过渡过程的历程分析	26
第三节 叶片式水力机械的广义基本方程式	32
第四节 轴流式水轮机动态轴向水推力的解析表达式	41
第五节 水力机组转动部分的运动方程式	44
第六节 水力机械装置水力系统中不稳定流动的基本方程	45
第七节 水轮机装置水力系统刚性理论水击的基础方程式	53
第八节 水力装置管道弹性理论水击的基础方程式	57
第九节 叶片式水力机械工况参数的相似换算	65
第十节 水力机械装置过渡过程的模拟	67
第十一节 水力机械装置过渡过程计算问题的提法	69
第三章 水轮机装置的过渡过程	71
第一节 水轮机装置过渡过程概述	71
第二节 水轮机装置过渡过程的计算方法	77
第三节 水轮机压力引水管道中水击的解析计算	79
第四节 水轮机甩负荷过渡过程及其解析计算方法	82
第五节 导叶分段关闭时水轮机甩负荷过渡过程转速瞬变规律 的解析计算方法	100
第六节 水轮机装置甩负荷过渡过程基于水轮机外特性的数值 计算方法	109
第七节 水轮机装置甩负荷过渡过程基于内特性解析的数值 计算方法	120
第八节 水轮机装置甩负荷过渡过程基于内特性解析的特征 线解法	131
第九节 轴流转浆式水轮机装置甩负荷过渡过程的合理控制	

方式	134
第十节 退出飞逸过渡过程计算及防飞逸保护措施	143
第十一节 突减与突增负荷过渡过程及其内特性解析的数值 计算方法	150
第十二节 轴流转桨式水轮机发电转调相过渡过程及其内特 性解析的数值计算方法	153
第十三节 零流量工况轴流转桨式水轮机的轴向水推力与轴 力矩的计算方法	156
第十四节 轴流转桨式水轮机转动部分上抬事故及其有关 计算	162
第十五节 轴流转桨式水轮机组起动过渡过程及其计算	170
第四章 叶片泵装置的过渡过程	180
第一节 叶片泵装置过渡过程的类型和主要的研究对象	180
第二节 叶片泵不稳定工况的基本方程	181
第三节 叶片泵的运行工况点	184
第四节 泵机组起动过渡过程的计算	187
第五节 泵机组动力突然切断调节元件失控拒不关闭的过渡 过程及其计算	193
第六节 泵机组动力突然切断调节元件受控关闭的过渡过程 及其计算	198
第七节 水泵长压水管道末端阀关闭的水压计算	200
第八节 水体分离理论及其计算	202
第五章 复杂水轮机装置系统的过渡过程	207
第一节 复杂水轮机装置系统过渡过程概述	207
第二节 压力引水管道调压室水动力微分方程及其解法	212
第三节 调压室水位波动的稳定性	218
第四节 尾水调压室的水动力学计算	222
第五节 带上调压室的水电站水轮机装置过渡过程计算	225
第六节 带下调压室的水电站水轮机装置过渡过程计算	232
第七节 带上、下调压室的水力装置过渡过程计算	241
第八节 不考虑弹性效应的带上、下调压室的水力装置过渡 过程的内特性解析算法	244
第六章 贯流式水轮机装置过渡过程	249
第一节 贯流式水轮机装置过渡过程概述	249
第二节 贯流式水轮机基本力特性的解析表达式	255

第三节	贯流式水轮机装置甩负荷过渡过程基于内特性解析 的数值计算方法	260
第四节	贯流式水轮机甩负荷过渡过程的合理控制方式	266
第七章	抽水蓄能水电站水泵水轮机装置过渡过程	268
第一节	抽水蓄能水电站与水泵水轮机	268
第二节	混流式水泵水轮机的全特性曲线	274
第三节	混流式水泵水轮机全特性曲线的理论绘制与特征工 况点的确定方法	279
第四节	抽水蓄能电站混流式水泵水轮机装置水轮机工况下 的过渡过程问题	289
第五节	水泵水轮机装置水泵工况下的起动过渡过程和起动 方式	294
第六节	水泵水轮机组为改善泵工况起动特性的技术措施	300
第七节	混流式水泵水轮机装置泵工况直接起动过渡过程考 虑导叶漏水转矩的计算	302
第八节	混流式水泵水轮机装置泵工况断电过渡过程的解析 计算方法	309
第九节	混流式水泵水轮机装置泵工况断电过渡过程基于内 特性解析的特征线解法	319
第十节	混流式水泵水轮机装置甩负荷过渡过程的仿真	328
第八章	水轮机装置过渡过程的现场试验研究	336
第一节	水轮机装置过渡过程的现场试验研究的意义	336
第二节	轴流转桨式水轮机装置甩负荷与突减负荷过渡过程 试验	337
第三节	混流式水轮机装置甩负荷过渡过程现场试验	343
第四节	水轮机动态流量瞬变规律的现场实测	346
第五节	轴流转桨式水轮机装置起动过渡过程的现场试验 研究	354
第六节	轴流式水轮机装置突增负荷过渡过程试验	360
第七节	轴流转桨式水轮机装置发电转调相过渡过程现场 试验	362
第八节	具有尾水调压室与长尾水隧洞的水电站过渡过程 现场试验	367
参考文献	372
索引	376

第一章 绪 论

第一节 水力机械的工作特点

水力机械是以水为工作介质的能量转换和能量传输机械。将水的能量转换成机器机械能的水力机械称为水力原动机。相反,将机器机械能转换成水的能量的水力机械称为水力工作机或泵。而通过水的能量来传递机械能的装置,则统称为液力传动装置。因此按照传统,水力机械包括水力原动机、水力工作机与液力传动装置三种。

按工作原理,可将水力机械分为动力式与容积式两大类。

动力式水力机械通常又被称为叶片式水力机械或水轮机机械,其中用以实现能量转换的主要部件是具有叶片的转轮,它的工作原理是液体同转轮叶片系的动力学相互作用。动力式水力机械中的原动机称为水轮机,工作机称为叶片泵,液力传动装置则被称为动力式液力传动装置。图 1-1 示出了这三种动力式水力机械的简图。

动力式水力机械的一个重要特点是:其流量 Q 与能头 H 有关。图 1-2 示出了当转速 n 一定时,离心式水泵的工作特性曲线。可见,当系统的能头(扬程)变化时,泵的流量将随之变化。

容积式水力机械能量转换的主要部件中,均具有决定其排量大小的体积可变的工作腔体,它的工作原理是液体同能量转换主要部件的静力学相互作用。容积式水力机械中原动机称为液压马达;工作机械称为液压泵;传动装置被称为容积式液压传动装置或液压传动装置。液压马达、液压泵及液力传动装置的种类很多。图 1-3 示出了容积式水力机械简图,这里列出的只是这种机械最简单最常见的两种。

容积式水力机械的重要特点是:当转速一定时,理论上其流量 Q 与能头 H (或压力 p) 无关。图 1-4 示出了这一理论关系。

水力机械是流体机械的一种,它的液体工作介质压缩性很小。它与流体机械中的气体机械(或称热力机械)有所不同,一般在稳定工况下的工作过程不涉及工作介质体积变化的影响。水力机械中液体能量的变化与热力机械(汽轮机、燃气轮机、压气机等)中气体能量的变化有相近之处,描述工作介质运动规律的基本方程也有类似的地方,所以这些机械的

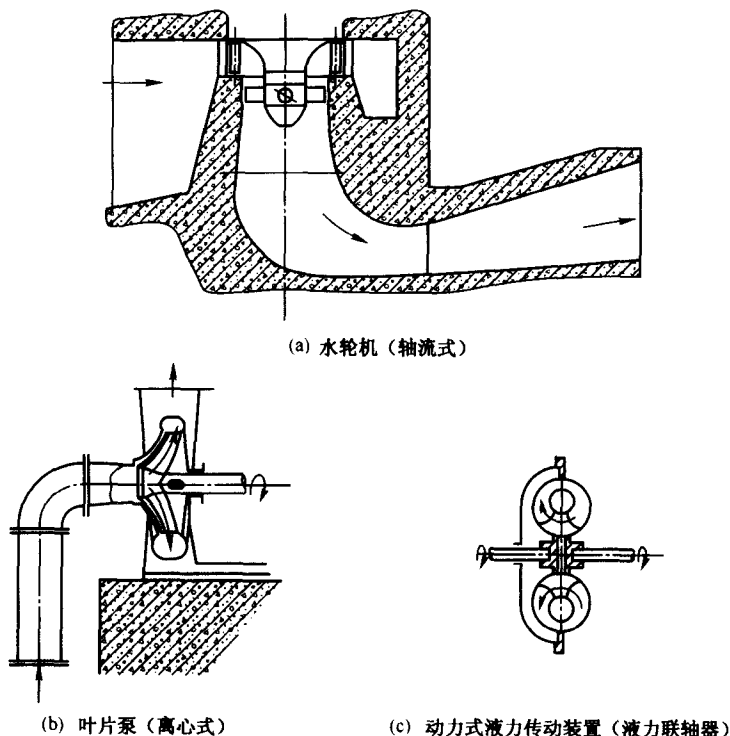


图 1-1 动力式水力机械简图

通流元件的几何形状也很相近。但是,水力机械仍有自己的独特之处。

一般地说,气体的密度约是水的 $1/1000$,因此,水力机械的功率密度比相应的热力机械大。例如,为了得到 60 万 kW 的轴功率,在汽轮机中工作介质需要连续通过 60 个级,且初始的压力为 25 MPa;而对于水轮机,只需初始压力为 1~3 MPa 的工作介质,经过一级能量转换便可获得相同的功率。

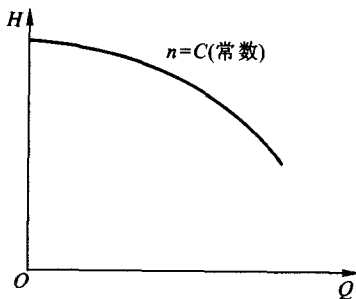
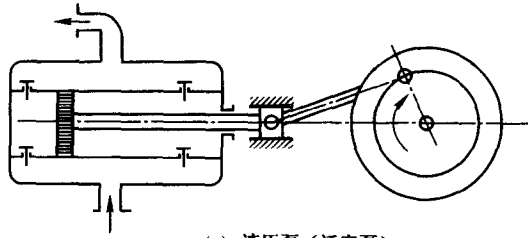


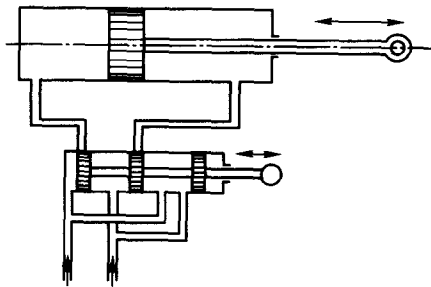
图 1-2 离心泵的工作特性曲线

水力机械的工作构件,特别是叶片式水力机械的转轮和容积式水力机械的工作腔体,承受很大的水动力与水静力载荷,叶片根部与工作腔体内承受很大的应力。所以,水力机械的通流元件的结构与允许的工作参数,往往不得不根据强度条件选取。

水力机械的转速比热力机械要低很多,以避免液体通流元件中造成很大的圆盘摩擦损失和水力损失。此外,水力机械的转速有时还受空化



(a) 液压泵 (活塞泵)



(b) 液压缸

图 1-3 容积式水力机械简图

条件的限制,过高的转速将导致通流元件中低压区域出现深度真空,从而诱发空化。

水力机械工作过程中发生的空化可以看作是工作介质发生的相变过程。空化不仅能恶化水力机械的工作特性,而且还能导致通流元件表面的空蚀。空蚀也是妨碍水力机械向较高参数发展的主要因素之一。

由于液体的密度比气体大得多而可压缩性甚小,所以当水力机械处于不稳定工况运行时,工作介质运动速度的突然改变,将导致通流元件与引、排水系统中压力的突然改变,因而给水力机械的强度和控制带来一系列必须注意加以解决的问题。

水力机械一般均有可逆的工作特性,即水力工作机可以作水力原动机运转。例如,叶片式水泵逆转逆向流动时,便可做水轮机运转;液压泵可以做液压马达使用。但是,对于一般的水力机械,如果设计时并没有要求兼顾两种相逆的工作状态,做可逆机使用时,逆向工作性能将远不如其正向工作性能好。

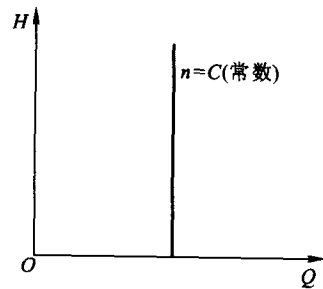


图 1-4 活塞泵的理论工作特性

第二节 水力机械过渡过程的主要类型与基本特征

通常,描述水力机械工作状态与性能的基本数据,如流量 Q 、能头 H 、转速 n 、轴端力矩 M 、效率 η 、轴向水推力 S 以及通道中某些特征点的压力 p 等,被称为水力机械的工作参数或工况参数。其中,前四个为主要工况参数,它们可以确定水力机械的工况及其相应的特性,而其他工况参数将随主要工况参数的变化而变化。

对于某种水力机械来说,它的工况参数不仅可以有大小的变化,而且可以有方向即符号的改变。由四个主要工况参数正、负、零值的组合构成了叶片式水力机械不同性质的工况区域,即不同的工作状态。

水力机械在运行过程中,上述工况参数的大小与方向均不随时间变化时,称为稳定工况。此时有

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\partial Q}{\partial t} = \frac{\partial n}{\partial t} = \frac{\partial M}{\partial t} = 0 \quad (1-1)$$

当上述工况参数的大小或方向随时间变化即是时间的函数时,则称为不稳定工况。

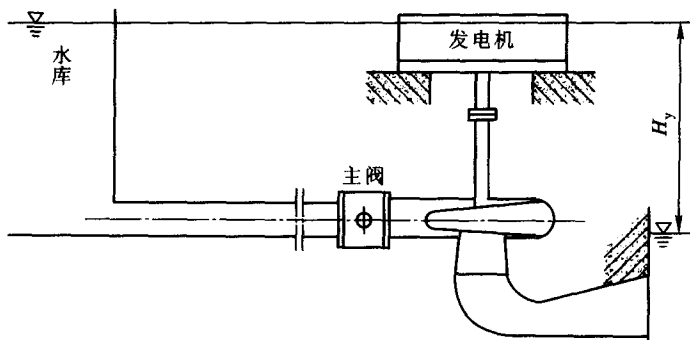
水力机械不稳定工况常发生在由某一稳定工况点向另一个稳定工况点的过渡过程中,此时式(1-1)的关系已不存在,从而带来一系列流体和机械的动力学问题。

由于水流通道中产生漩涡和压力脉动等,水力机械不可能处于严格的稳定工况下运转。实际上,一般所说的稳定工况只是准稳定工况,即工况参数随时间有微小的变化,但其平均值是基本不变的。

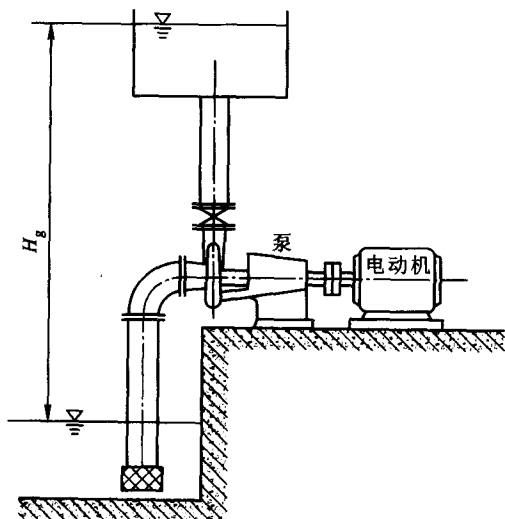
由于水力机械总是在某一装置系统中工作的,例如水轮机在水电站,水泵在泵站等装置系统中工作,因此对水力机械不稳定工况的特性,往往不能脱离它所在的系统单独加以研究。

水力机械装置是指由水力机械自身以及与之相联系的电机、管道、阀门、调压设备等的总体。图1-5分别示出了水轮机、水泵及液力传动装置系统的示意图。系统中的其他部分的性能对水力机械不稳定工况的特性有着十分重要的影响,因此研究水力机械的过渡过程问题,更确切地说是研究水力机械装置的过渡过程问题。

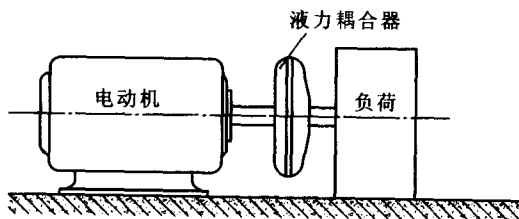
水力机械在系统中运行时,由于工作条件经常变化,使它总是处于不同工况点之间的过渡过程之中。此时,工况参数只发生小幅度的数值变化,而不发生大幅度乃至符号的变化,这种过渡过程可以泛称为小波动过



(a) 水轮机装置系统



(b) 水泵装置系统



(c) 液力传动装置系统

图 1-5 水力机械装置系统示意图

渡过程。一般说来,它们不作为水力机械过渡过程的研究对象。而这里所说的水力机械过渡过程是指水力机械从一种工作状态向另一种工况性质不同的工作状态过渡的瞬变过程。此时,不仅工作参数的数值发生大幅度变化,而且符号也发生改变。任一主要工作参数符号的改变,意味着

工作状态的根​​本变化。通常,将这类过渡过程泛称为大波动过渡过程。

在各种类型的水电站、泵站和液力传动系统中,可能由于各种原因,特别是事先无法预料的原因导致水轮机、水泵、液力传动装置处于大波动过渡过程中运转。虽然过渡过程的历时短暂,但伴随着工况参数的大幅度的急剧变化,在系统中由水流惯性与机器运动惯性引起很大的动态附加载荷和一系列复杂的物理现象,对水电站、泵站和液力传动系统运行的安全可靠性及运行质量有着极其重要的影响。在水电站、泵站和液力传动系统的设计时,就必须进行相应的计算,以确定水力机械装置最重要的一些基本结构参数及相应的过渡过程动态品质。

为了改善动态品质,有时不得不将上述的这些基本结构参数,如管道的壁厚、机组的尺寸与质量等增大;或者寻求良好的大波动过渡过程的控制方式与手段。因此,过渡过程的研究直接同提高水力机械装置系统的经济性有关;而过渡过程的计算,常被视作水电站、泵站和设有液力传动装置的动力系统等设计中最重要的技术方案决策过程之一。

水力机械的过渡过程总是同其自身和其所在系统的固有特性、工作职能与工作条件等有关。因此,各种类型的水力机械装置均有一些最主要的,特别影响其运行安全性和系统经济性的过渡过程问题需要着重加以研究。

在一般常规发电的水电站中,水轮机装置经常发生起动、停机、大幅度增负荷、突减负荷、事故甩负荷、紧急事故停机、调速系统与防飞逸设施失灵机组甩负荷后进入飞逸工作状态、退出飞逸、发电转调相等一系列过渡过程。研究这些过渡过程问题的目的在于:寻求合理的控制方式,以提高水电站与水轮机组运行的可靠性、速动性、灵活性,从总体上降低水电站与机组的造价,提高它们的经济性。

在抽水蓄能水电站中,除上述各种过渡过程外,还将经历水泵工作状态下的起动、停机、动力突然切断调节元件不能关闭与迟缓关闭导致水泵水轮机倒流倒转等过渡过程。这些过渡过程,对抽水蓄能电站的安全运转和电力系统的稳定运行有着重要影响。

在一般的水泵站中,水泵装置除经历起动、停机、动力切断等过渡过程外,有时还发生由于供水管阀门突然动作引起的过渡过程及管道中汽水分离的过渡过程。它们可能引起管道中异常的压力升高或压力降低,从而危及设备的安全运行。

在设有动力式液力传动装置的动力系统中,从动轴的高速制动是最引人注目的过渡过程;在容积式液压传动装置的动力系统中,装置的起动、工作机构的高速制动、滑阀与转阀的迅速动作等,则被视为主要的过

渡过程。在这些过渡过程中,均伴有系统压力与轴端扭矩的突然升高,这是动力系统设计与运行时必须加以充分考虑的问题。本书不讨论液力传动装置系统的过渡过程问题。

第三节 研究水力机械过渡过程的技术经济意义

研究水力机械过渡过程的目的是,在于揭示各种水力机械及其装置系统在可能经历的各种过渡过程中的动态特性,并寻求改善这些动态特性的合理控制方式和技术措施,以便提高水力机械装置运行的可靠性、速动性、灵活性与总体的经济性,即提高其技术经济水平。

过渡过程中的水力机械及其装置系统均将承受动载,在构件中会引起动态附加应力。有时,由于过渡过程品质恶劣,导致很高的动态附加应力,致使这些构件破坏。表 1-1 列出了国内外水电站发生过的水轮机装置过渡过程的一些实际事故。这些只是已经发生的事故的一部分。

在常规发电的水电站中,机组由于电力系统事故而突然甩负荷,水轮机导水机构迅速自动关闭,因而引起压力引水管与蜗壳中的水压升高。如果导水机构关闭时间太短或关闭规律不良,则在引水系统中可能引起异常的水击压力升高,乃至使管道破坏,酿成危及整个水电站安全的重大事故。特别在高水头水电站中,这种事故的危害性尤为严重。而当导水机构关闭时间太长时,虽然压力上升可以减小,但机组转速上升将明显增大,这对机组安全运转与辅助设备工作可靠性,均带来很不利的影响。因此,过渡过程的研究将揭示水轮机装置系统中水击压力升高、机组转速上升等同调节元件关闭规律的关系,进而改善关闭规律,以保证压力上升与转速上升均在合理的范围之内。有时,由于电站的基本条件所限,例如具有很长的引水系统,改善关闭规律也无法使水压上升值降到合理的范围内而不得不在引水系统中增设调压井或调压阀。是否需要和需要增设何种调压设备,亦应由过渡过程计算结果来确定。所以,在水电站和水轮机组设计阶段就应当就各种方案的水轮机装置甩负荷过渡过程进行详尽的计算,以确定相应的机组转速上升值、压力引水管道与蜗壳中水压上升值以及调节元件动作规律等的若干组计算结果。从技术经济的角度出发,从中选取一组最佳方案,作为确定水轮机装置总体方案的重要依据之一。显然,水轮机装置甩负荷过渡过程的品质,对整个水电站的总体布局与造价有着重要的影响。

对于轴流式水轮机装置,在突甩负荷、自动紧急停机、发电转调相以及退出飞逸过渡过程中,还存在轴向水推力改变方向,引起抬机事故的