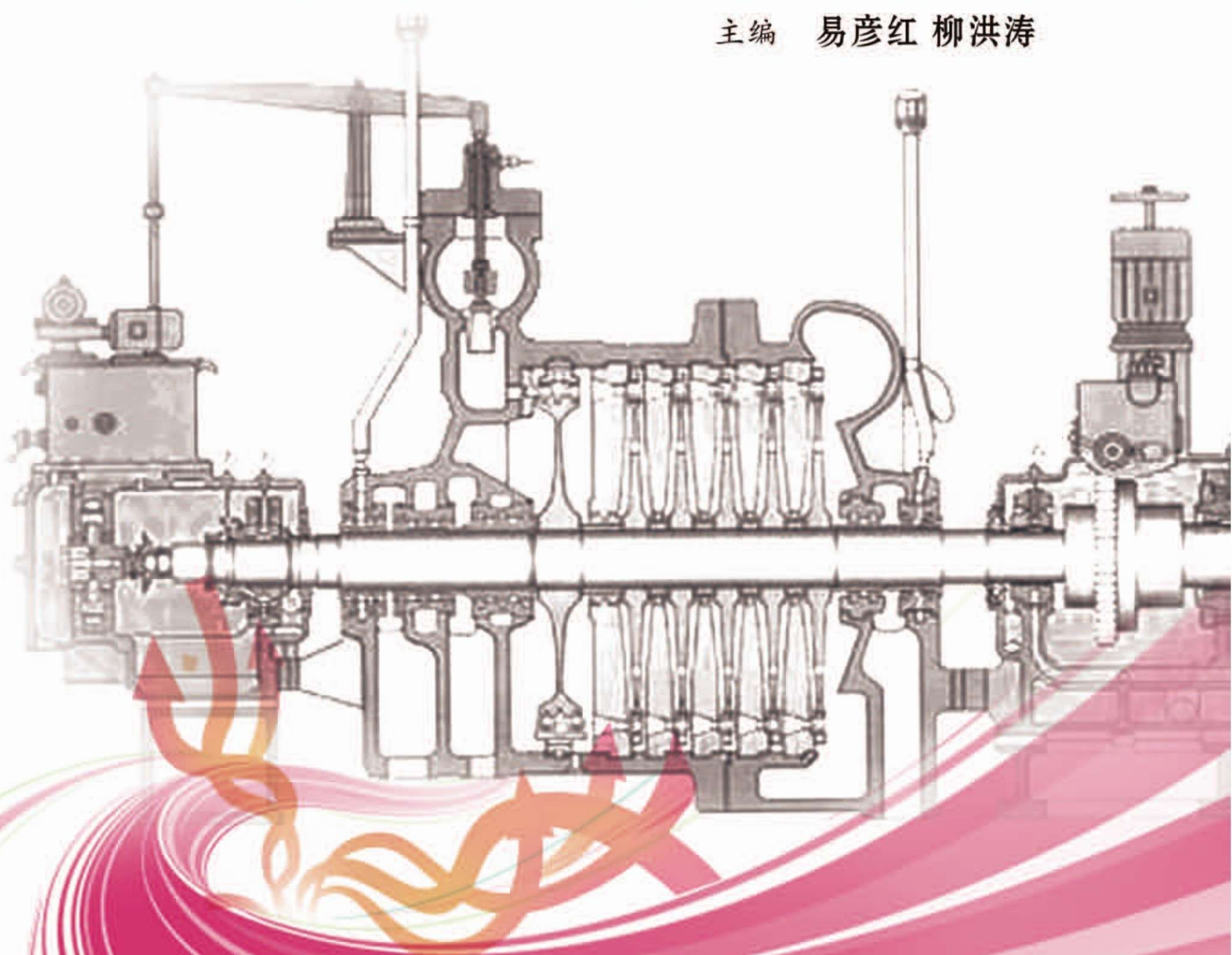




国家示范性高等职业院校建设计划资助项目

汽轮机运行实训指导

主编 易彦红 柳洪涛



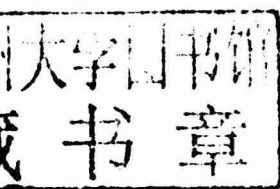
黄河出版传媒集团
阳光出版社



国家示范性高等职业院校建设计划资助项目

汽轮机运行实训指导

主编 易彦红 柳洪涛



图书在版编目 (CIP) 数据

汽轮机运行实训指导/易彦红, 柳洪涛主编. —银川: 阳光出版社, 2010. 3

ISBN 978-7-80620-600-3

I. ①汽… II. ①易…②柳… III. ①火电厂—汽轮机运行—高等学校—教学参考资料 IV. ①TM621. 4

中国版本图书馆CIP数据核字 (2010) 第045950号

汽轮机运行实训指导

易彦红 柳洪涛 主编

责任编辑 李媛媛 陈 帅

装帧设计 宁夏画报实业有限公司

责任印制 王怀庆



黄河出版传媒集团

阳光出版社 出版发行

地 址 银川市北京东路139号出版大厦 (750001)

网 址 www.nxcbn.com

网上书店 www.hh-book.com

电子信箱 nxhhsz@yahoo.cn

邮购电话 0951-5044614

经 销 全国新华书店

印刷装订 宁夏华地彩色印刷厂

印刷委托书号 (宁) 0004318

开本 185mm × 260mm 1/16

印张 4 字数 30千

版次 2010年3月第1版

印次 2010年3月第1次印刷

书号 ISBN 978-7-80620-600-3/G · 339

定 价 8.00元

版权所有 翻印必究

**宁夏职业技术学院国家示范性
高职院校建设项目教材编写委员会**

主 任

张怀斌 撒承贤

副主任

孔 斌

委 员

任全录 赵晓瑞 任 杰 李慧云 马锦才
詹发荣 冷晓红 徐 军 张 敏 殷正行

编委会办公室主任

孔 斌

编委会办公室副主任

任全录 吴轶勤 李 强



前言

宁夏职业技术学院于 2007 年被国家教育部、财政部确定为国家一百所示范性高等职业院校立项建设单位。项目实施以来,学院以专业建设为龙头,围绕自治区经济发展战略定位。按照“专业对接市场、课程对接能力、质量对接需求”的理念,有针对性地设置和调整专业。积极实践工学结合、校企合作人才培养模式改革和课程体系改革。以“开放、合作、包容、共赢”为原则,与区域内近二百家企业实施校企合作、人才共育。在工作过程系统化的课程体系建构和工学结合专业课程建设中,以设备、工作对象、案例、典型产品等为载体,组织教学内容,实施教学,取得了一批标志性成果。为了推广在课程建设中取得的成效,决定编辑出版部分教材和实训指导书。

特别感谢合作企业给予学校的大力支持。由于编者水平所限和时间仓促,书中难免有不妥之处,恳请业内专家和广大读者指正。

宁夏职业技术学院国家示范性高职院校
建设项目教材编写委员会

2010 年 3 月 18 日

目录

CONTENTS

绪论	1
实训一 叶片自振频率测试	3
实训二 滑动轴承油膜振荡试验	6
实训三 转子临界转速试验	9
实训四 汽轮机转子振动特性分析	12
实训五 汽轮机调节系统静态特性的测试	17
实训六 汽轮机 DEH 功能演示	22
实训七 汽轮机运行仿真操作	25
任务一 汽轮机启动	25
任务二 汽轮机停机	38
任务三 汽轮机正常运行	42
任务四 汽轮机故障处理	46
实训八 135M W 汽轮机甩负荷试验	54
参考资料	59
后记	60

绪 论

本实训为热能动力设备与应用专业的核心课程《电厂汽轮机》配套开设的实训，目的是通过实训使学生加深理解课堂学习的基本原理的同时使学生掌握火力发电厂运行中的汽轮机运行的特点及操作方法。主要包括：叶片自振频率测试、滑动轴承油膜振荡实训、转子临界转速试验、汽轮机转子振动特性分析、汽轮机调节系统静态特性的测试、汽轮机 DEH 功能演示、汽轮机运行仿真、135MW 汽轮机甩负荷实训。

作为一门实训教材，主要用于《电厂汽轮机》课程的配套实训，适用于高职高专的热能动力设备与应用专业。

实训目的和意义

本实训是为热能动力设备及应用专业的核心课程“电厂汽轮机”配套开设的实训，通过实训使学生加深理解课堂学习的基本原理的同时使学生掌握火力发电厂运行中的汽轮机运行的特点及操作方法。具体目标如下：

加深理解汽轮机运行中叶片及转子震动的原因及解决办法。

掌握汽轮机静态特性的调节。

掌握正确使用仿真设备的方法，能够及时发现仿真机的异常。

掌握典型汽轮机的冷态启动、温态启动、热态启动的全过程操作要点与注意事项。

掌握单元制机组启动的协调、配合及注意事项。

掌握汽轮机微机监控和操作的技术及特点。

掌握汽轮机机各类事故现象，能准确判断，正确处理。

先导课程

工程热力学、传热学、工程流体力学、电厂汽轮机、热力发电厂、热工仪表及自动化、金属学及热处理。

实训总体要求

由于实训内容涉及知识范围较广,在实验之前需要提前预习相关内容。要求学生熟悉汽轮机的工作原理及能量转换过程、了解仿真机的基本原理和功能,熟悉汽轮机负荷、汽耗、热耗等技术经济指标和意义等内容。

实训总体纪律要求

- 1.学生应严格遵守学校和实验实训相关规定及制度,按时参加实验实训,不得迟到、早退和无故缺席。
- 2.在实验实训中一般不准请事假,特殊情况需要请事假者,应持证明办理请假手续。
- 3.学生因病不能参加实验实训的,在一天以上者需持医生证明办理请假手续。
- 4.学生请病、事假在一天以上者,需经班主任批准;在三天以上者除班主任同意外,须经系领导批准。
- 5.凡未办理请假手续,擅自不参加实验实训的,按旷课处理,除按学籍管理办法进行处理外,还纳入实验实训成绩的考核。
- 6.凡旷课者以及影响师生关系者;凡影响正常实验实训者;凡打架、吵架影响社会治安者,视其情节轻重、态度好坏,改正错误的程度,由班主任分别给予批评教育,停止实验实训作检查,送交系部检查处理。

成绩评定方法

实验实训 70%,实习报告占 30%,以上两项相加再扣除缺勤分即为最后成绩。迟到、早退每次扣 5 分;旷课 1 小时扣 10 分;病事假每天扣 2 分。

学时分配

序号	项目名称	学时分配	备注
1	叶片自振频率测试	2	
2	滑动轴承油膜振荡试验	2	
3	转子临界转速试验	2	
4	汽轮机转子振动特性分析	2	
5	汽轮机调节系统静态特性的测试	4	
6	汽轮机 DEH 功能演示	8	示教
7	汽轮机运行仿真操作	2W	
8	135MW 汽轮机甩负荷试验	8	
合计		2W+28	

实训一 叶片自振频率测试

一、实训目的

- 1.掌握测定叶片频率及判别振型的基本方法；
- 2.通过实验，加深理解单个叶片的振动特性以及叶根紧力对自振频率的影响。

二、实训器材

低频信号发生器，示波器，功率放大器，橡皮锤，拾振器，实验测试用叶片。

三、实验原理

常用的测试单个叶片静频率的方法有自振法、共振法。

自振法

用自振法测定叶片的自振频率的原理图见图 1-1。

实验时,用橡皮锤轻轻敲击叶片，则叶片将作自由衰减振动。通常为 A_0 型切向振动，用拾振器将叶片的机械振动信号送至阴极示波器的垂直轴(y)轴。同时将低频信号发生器产生的频率信号送至示波器的水平轴(x)轴。一边用橡皮锤敲击叶片，一边调节低频信号发生器的频率数值，当示波器的荧光屏上出现稳定的李沙茹图形见图 1-2 时，低频信号发生器上的频率读数即为叶片的自振频率或它的整数倍。例如：当示波器上出现稳定的椭圆形图形时，说明垂直输入和水平输入的频率相等，这时的低频信号发生器刻度盘上所指示的频率数值即为叶片的自振频率。用自振法则出的自振频率(或称固有频率)仅有一个频率值。

自振法特点：简单、准确并能迅速测定自振频率，但由于叶片的高频自由振动不易发生，即使发生，振幅很小、消失也快，故难以用自振法测定，无法区分其振型，所以，自振法多用于测定中、长叶片的 A_0 型振动。

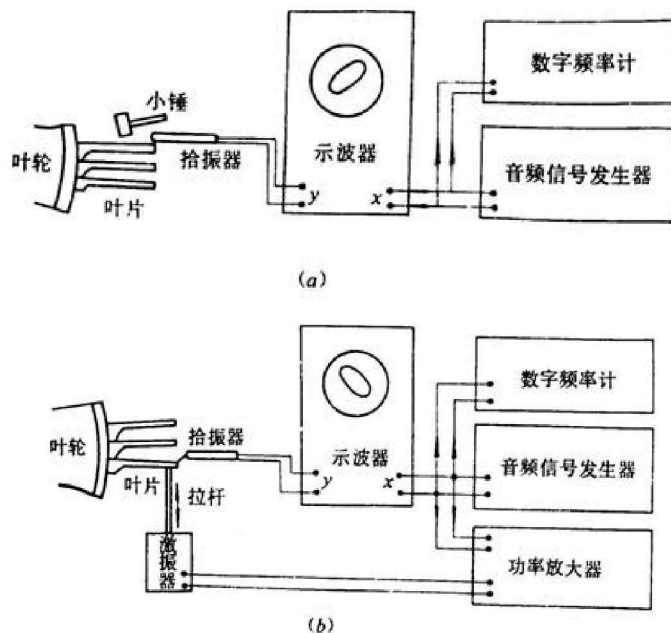


图 1-1 测量叶片自振频率的原理图 (a) 自振法 (b) 共振法

共振法

用共振法测定叶片自振频率原理图见图 1-1。

共振法与自振法不同点为叶片所受的激振力不是敲击产生的，而是用激振器激发和维持的；并且叶片产生的振动是强迫振动。

共振法是由低频信号发生器发生的信号，除输入示波器外，还输入功率放大器。当低频信号发生器给定的频率与叶片的固有频率相等时，从示波器上可看到稳定的李沙茹椭圆图形，见图 1-2。连续调节音频信号发生器输出的频率信号，依次使被测叶片共振，就可确定叶片各阶的自镇频率值。

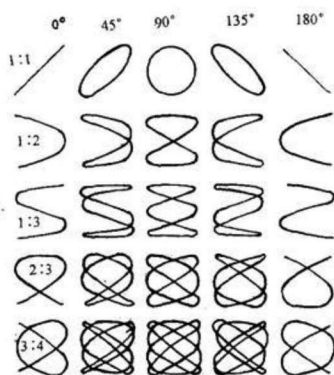


图 1-2 李沙茹图形

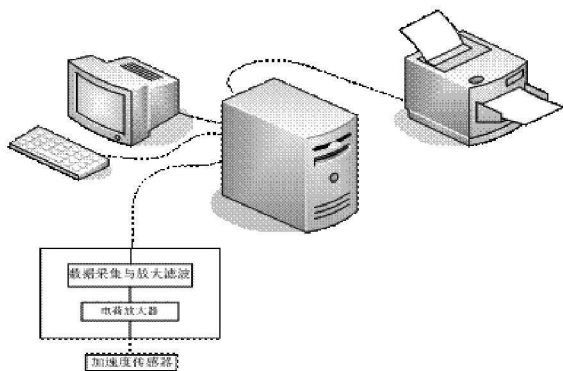


图 1-3 叶片自振频率测量系统构成示意图

四、实验要求及步骤

实验内容：

- 1.用自振法测定叶片的自振频率,并观察不同频率下的李沙茹图形。
- 2.用共振法测定叶片的自振频率,判别振型,并观察叶根紧力对振动的影响。

实验要求：

本次实验内容涉及汽轮机原理课程中的叶片振动、静频率和动频率等多方面知识,实验方法涉及自振法和共振法测频以及热工检测课程中的传感器技术,在试验之前学生预习相关内容。

实验步骤：

1 实验系统与仪器的调试

(1)粗略估计叶片自振频率,由低频信号发生器给定频率。将低频信号发生器输出细调旋钮逆时针旋至最小位置,电压输出衰减旋到最小位置。

(2)示波器的衰减旋钮放在最小位置,扫描范围旋钮旋至外接位置。若荧光屏上的光点不居中,可适当调整 y 轴位置和 x 轴位置。

(3)将低频信号发生器的输出细调旋钮顺时针旋之,示波器荧光屏上的光点被拉长至适中距离。

(4)用橡皮锤在叶顶上下间歇地敲击,调节低频信号发生器频率,直至示波器荧光屏出现稳定的李沙茹图形,即可确定叶片的自振频率。

2. 实验数据的整理与要求

- (1)记录用自振法测定叶片的固有频率。
- (2)记录用共振法测定叶片的固有频率。
- (3)按实验要求作好测试记录并整理。在实验前预习实验指导书。实验做完后,整理实验报告。

五、注意事项

- 1.按图示接好线后,应请老师检查合格后方能开机实验。
- 2.无论是开机和关机都必须首先将低频信号发生器的输出细调放在最小位置。
- 3.暂时不用示波器时,应将荧光屏上的光迹调至最暗。

【思考题】

- 1.什么是叶片的静频率和动频率? 根据本次试验内容,说明实验测量得到的频率为叶片的静频率还是动频率?
- 2.何为调频叶片和不调频叶片?

实训二 滑动轴承油膜振荡试验

一、实训目的

通过对试验台转子系统发生油膜振荡时有关现象的观察和分析，掌握油膜振荡的物理本质和特点。

二、实训器材

1. 转子振动试验台(台座、含油轴承、测振支座、驱动电机、调压器)，见图 2-1。
2. 单、双轮盘转子。
3. 涡流传感器、前置器各两个。
4. ZXP-II 型振动表。
5. XJ4630 型慢扫描二踪示波器，见图 2-2。
6. 直流电源(由指导教师调整好)。

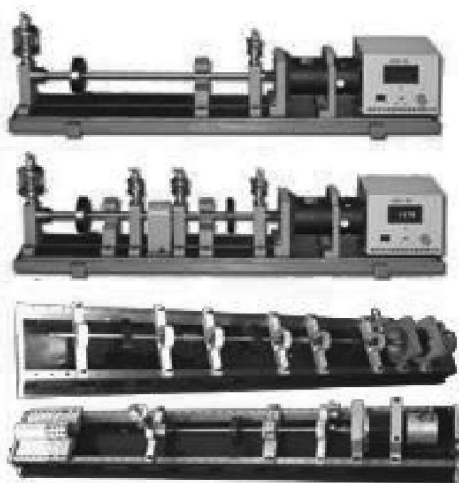


图 2-1 转子振动试验台



图 2-2 XJ4630 型慢扫描二踪示波器

三、实训要求及步骤

实训要求

对实验中记录的数据及观察结果进行合理分析, 绘制转速——振幅曲线和轴心轨迹变化情况。

实训步骤

1.按临界转速测试系统图相似接线(区别在于: A 涡流传感器安装于油膜振荡试验轴上; BM3 电磁传感器固定在 3# 轴承座上)。经指导教师检查后接通电源。

2.接通电源。将 ZXP-II 型表量程开关打在 5 微米;将其频率选择钮打在“通频”状态。

3.缓慢升速, 监视转速表指示值, 当转速值达到 1000r/min 左右时, 将频率选择钮打在“选频”状态, 停止升速, 频率读数稳定后开始测量。将选频旋钮调到转速对应的频率值, 记录振幅、频率、转速;再将“选频”旋钮调到转速对应频率一半左右, 使其读数量大, 记录频率和振幅。同时将示波器调到 X-Y 状态, 观察轴心轨迹。

4.以 200 r/min~400 r/min 为档, 升速并稳定, 重复 3 的测量。当升速到 8500r/min 时结束测量工作。在油膜振荡发生时, 仅测两次即可。

5.将油膜振荡轴承外移 5mm 左右, 重复 3、4 的测量工作。(选做)

6.将轮盘向油膜振轴承移动几厘米, 重复 3、4 的测量工作。(选做)

7.将记录数据交指导教师检查, 并按要求做好试验台的善后工作。

四、注意事项

1.油膜振荡发生时, 要注意停留时间不要过长。

2.实验时要打开针形阀, 并注意及时打油。

3.实验时要及时调整振动表的最程。

五、数据记录表

转速 项目	升速				降速	轴心 轨迹 变化
	基频振幅	半频振幅及频率	失稳转速	油膜振荡转 速	油膜振荡消 失转速	

【思考题】

- 1.油膜振荡产生的原因及其危害有哪些？
- 2.在实际生产中若发生油膜振荡应怎样做？

实训三 转子临界转速试验

一、实训目的

- 1.通过试验观察转子振动现象,初步掌握分析转子振动原因的方法,加深对临界转速的概念及其影响因素的理解。
- 2.通过对波特图的测定,找出转子的临界转速。

二、实训器材

- 1.转子振动试验台(台座、含油轴承、测振支座、驱动电机、调压器),见图 2-1。
- 2.单、双轮盘转子。
- 3.涡流传感器、前置器各两个。
- 4.ZXP-II 型振动表。
- 5.XJ4630 型慢扫描二踪示波器,见图 2-2。
- 6.直流电源(由指导教师调整好)。

三、实训设备接线图

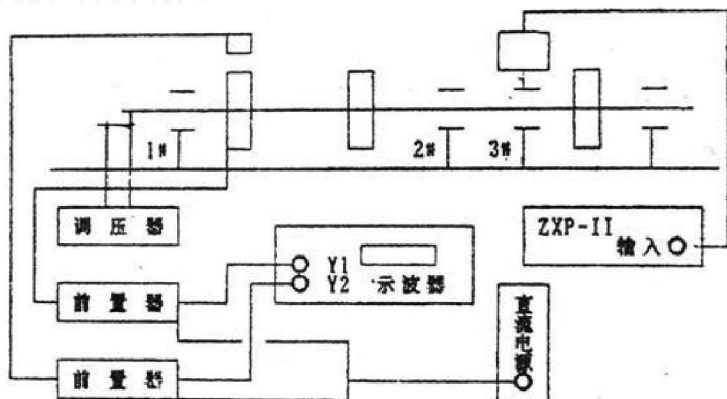


图 3-1 实验设备接线图

四、实训要求及步骤

实训要求

- 1.结合理论计算值对实验现象和数据进行分析讨论
- 2.绘制波特图，并说明临界转速。

实训步骤

- 1.按图 3-1 接好测试系统，经教师检查后方可接通电源。
- 2.接通电源，将 ZXP-II 型表的量程调到 5 微米；将其频率进择钮打在“通频”状态。
- 3.缓慢升速(调速器的电流不应超过 2A)，监视转速表指示值，当转速指示值达 1500r/min 时，将频率选择钮打“选频”状态，停止升速，待转速稳定后开始测量。
- 将选频钮调到对应转速读数的频率值上。分别将传感器安装于三个轴承座上测量各自的振幅和相位(注意:是相对相位)，记入相位记录表中。同时将示波器调到 X-Y 状态，观察双轮盘转子轴心轨迹。
- 4.以 50r/min 转为档，升速并稳定，重复 3 的测量，(当振幅急剧增大时应以 100r/min~200r/min 升速为宜)。当升速到最高转速时结束测量。
- 5.调整轮盘的位置，重复 3、4 的测量工作(选做)。
- 6.将记录数据交指导教师检查，按要求做好试验台的善后工作。

五、注意事项

- 1.测量过程中要注意及时调整振动表量程。
- 2.升速调压器的调整量不能太大，在接近额定转速时要等一会儿，待转速稳定，然后开始测定、记录。在临界转速附近(振幅急剧增大时)不能长期停留，应尽快完成工作，以防转子发生永久变形。
- 3.实验时要给含油轴承加一到两次油。
- 4.实验全过程严禁对转子有冲撞行为。
- 5.实验中涡流传感器的间隙值应控制在 2mm 左右，以防轮盘碰撞涡流传感器。

六、数据记录

项目 转速	1# 轴承		2# 轴承		3# 轴承		轴心轨迹观察
	振幅丝	相位	振幅丝	相位	振幅丝	相位	

【思考题】

- 1.为什么转子会产生振动？
- 2.临界转速的概念及影响因素。