

三峡700MW

水轮发电机组安装技术

中国葛洲坝集团公司 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

三峡700MW

水轮发电机组安装技术

中国葛洲坝集团公司 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内容提要

长江三峡工程是举世瞩目的大工程,经过了几代中国人的科学探索、勘测规划、精心设计、艰苦实施。700MW水轮发电机组的安装成功更是零的突破。

本书从上万张的施工图片和几百小时的影像资料中选取了454张图片展示了机电安装外在的美丽,以图文并茂的形式介绍了阿尔斯通700MW水轮发电机组的安装过程。这些内容通过三大部分涵盖了长江三峡工程的整体介绍,水轮机各部件的安装及整体组装技术,发电机各部件的安装及整体组装技术。

本书适合从事水轮发电机组安装的技术人员在实际工作中参考使用,也可供大专院校相关专业的师生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

三峡700MW水轮发电机组安装技术/中国葛洲坝集团公司组编.—北京:中国电力出版社,2005

ISBN 7-5083-3611-9

I.三... II.中... III.水轮发电机—机组—安装
IV.TM312

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第108425号

中国电力出版社出版、发行

(北京·西河沿路6号100044) <http://www.cepp.com.cn>

北京地大彩印厂印刷

各地新华书店经售

*

2006年2月第一版 2006年2月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 185印张 343千字

印数0001—3000册 定价95.00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)

《三峡 700MW 水轮发电机组安装技术》

编 委 会

主 任：杨继学

副主任：刘炎华 周厚贵 江小兵

成 员：刘灿学 郭光文 徐广涛 陈 宏

顾 问：杨浩忠 徐鸣琴 张 晔 朱京成

编 辑 部

主 编：江小兵

副主编：周 晖 乔新义

主 审：梁维燕

执 笔：江小兵 周 晖 乔新义 陈 强 禹家莲

吕桂英 马江红 李志宏 李 军

摄 影：江小兵 李 森 王志飞 徐义福

■ 序

葛洲坝集团公司江小兵总工给我一本《三峡 700MW 水轮发电机组安装技术》书稿，嘱我写篇序言。我以专业有别婉拒了。但翻阅了原稿后，又觉得很有感触，不由得拿起笔来写上几句。

经广大参建者十年的艰苦拼搏，举世瞩目的跨世纪的三峡工程在 2003 年实现了“蓄水、通航、发电”的三大目标。现在二期工程正在十分顺利的进展，可望提前一年竣工。为这座世界最大的水利枢纽建设画上圆满的句号。现在，即使是境外对三峡工程有成见甚至十分反感的人士也不得不承认，中国人民终将实现百年来的梦想——“更立西江石壁，截断巫山云雨，高峡出平湖”。

今后，三峡工程将发挥愈来愈大的综合效益。巨大的库容调蓄长江洪水，解除了中华民族的心腹大患，长江中下游千百方人民的生存和发展有了安全屏障，永久船闸通航，万吨级船队可沪渝直达，浩浩长江显现“黄金水道”本色。而最直接的经济效益则体现在发电上，三峡水电站共安装 26 台 70 万 kW 的巨型机组（另外还预留了 420 万 kW 的地下厂房），现在每天就发电 2 亿 kWh 以上。竣工后，三峡电厂连同其组成部分葛洲坝电厂年发电将达 1000 亿 kWh 以上，巨大的经济效益，不仅能如数还贷增值，而且启动了上游金沙江水电站的开发，推动了全国联网的实现，影响十分深远。在三峡工程胜利建设的鼓舞下，中国水电事业出现了前所未有的迅猛发展势头，在今后二三十年内再开发 3 亿 kW 水电，把经济可利用的水电基本开发完成，是可以做到的。这将对缓解我国能源紧张，优化电源结构、支援经济建设、提高人民生活、减轻环境污染……各个方面起到何等重大的作用啊！

兴建一座水电站需经过规划、设计、勘探、施工……不同阶段，犹如接力赛跑，而且牵涉众多专业，哪一个环节和专业都不能忽视。我们在参观三峡枢纽时，常常感叹巍峨的大坝、巨龙吐水般的泄洪壮观和万吨船队的爬梯上升，而几台昼夜运行的机组却深藏厂房底层，不易窥见真容。事实上机电专业一样做出了不可磨灭的贡献，70 万 kW 容量的机组是世界之冠。美国大古力水电站在建造、安装、运行过程中曾一再发生问题，多次改进才得完成，何况三峡水电站的运行条件更较复杂。所以在诊治期间，将“机电”列为一个专题进行深入研究。实践证明，我国机电专业也缴了一份完美的答案。

谈到机电问题，人们首先会想到机组的制造问题——在这方面，我们确实取得出色成就。通过国际招标、技术引进、中外合作，左岸 14 台机组中的最后两台就是以我国厂家

为：制造的。而在岸12个机组则有8台完全由自己设计和制造，使我国的水电机组制造技术一跃登上国际最高水平。但在机组的安装领域上我们同样达到最高水平并做出巨大贡献则少为人知。我也是在担任了国务院三峡枢纽工程质量监督专家组成员（组长），以及三峡枢纽工程验收专家组组长后才逐渐体会到这一点。首先，三峡这样巨大复杂的机组，即使是国际第一流厂家承制交付的产品也会存在不少缺陷和问题，甚至会有一些隐患，这只能通过精心的安装调试才能一一发现，予以消除纠正。没有“消缺”这一关，机组的安全运行是不可想象的。安装调试中发现的大量缺陷和改进建议多为外国制造厂所接受，他们并为中国安装单位认真负责和高水平所折服。第二，安装质量直接决定了机组能否长期稳定运行。在三峡工程上，他们制定了比国家、行业和国家标准更为严格的“三峡标准”，使安装的精度和质量达到国际领先的水平，给我印象最深的就是所谓硬币试验。在70万kW的机组隆隆运行中，将一枚硬币竖放在发电机层楼板上竟纹丝不动，简直达到杂技表演的水平。按常规，一台机组经试运行72h后，即可转交生产。

三峡工程却要求在达标投产、无缝交接的基础上，进一步上升至新投产机组“首稳百日”安全运行考核的高度。这种70万kW巨型机组一次投产成功、运行稳定，并实现“首稳百日”目标，创造了世界纪录！第三，对三峡这样的巨型机组，原安排的安装时间已经十分紧凑，而实践结果，一台比一台提速，直到创造一年投产6台的全新记录，使左岸14台机组于2005年9月全部投产，比合同工期提前近一年，大大超越了国际同类电站的装机速度！以上事迹足以说明我国安装领域确已达到国际领先水平了。

左岸电站机组的安装工作分别由葛洲坝集团、水电八局和水电四局承担，他们在工作上既是竞赛的对手，又是亲密的战友。一方面，你追我赶，争创纪录，不落人后；另一方面，在三峡总公司的组织协调下，亲密合作，相互支援，为实现共同的目标而团结奋斗，充分体现了社会主义市场经济的特色和优点。我愿那些只强调“竞争”和“市场”，有意不提“社会主义”的经济学家们到三峡的安装现场上看看，想一想，我想这对他们将是有益的。

这本书是由葛洲坝集团编写的。葛洲坝集团是一支能打硬仗的队伍，在三峡左岸电站机电安装工程中，葛洲坝集团承担了4台阿尔斯通水轮发电机组和全厂公用设备系统的安装调试任务。编者和作者都是亲身参与安装调试的工程技术人员，大多经历过3~4座百万级水电站的安装头战锻炼，经验丰富，但他们不满足于已取得年经验，虚心学习新

知识。勇于攀登机电安装技术高峰，把技术引进、吸收、消化和创新相结合，对安装中发明的诸如“水轮机共振”、“水轮机活动导叶部件应力变化”“发电机转子磁路紧固”“机组轴系校正”等重大技术难题一一组织攻关，取得了丰硕的科技成果，积累了丰富的经验。在江总的主持下，认真分析、提炼总结，最终编辑出版了这部有实际指导意义的机电安装图书。更要指出，该书的最大特点是从编辑到内容的叙述完全遵循机电安装过程的内在逻辑。呈现在读者面前的首先是严密安装工艺流程，继之以简要的理论根据和施工方法介绍，最后以图片显示并配以文字说明，通俗易懂，图文并茂。不仅对今后大型水电站机电设备安装调试具有重要参考价值，而且是一部优秀的关于机电安装的科普图书。为此，我这个外行也写几句话，以表钦佩和资鼓励，也算是一篇序言吧。

潘家铮

2005年10月31日

■ 前言

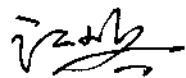
上大学时,我有个梦想,就是能亲手建设三峡工程,因为三峡是伟人孙中山先生提出的构想,毛泽东同志描绘的宏图。是中华巨龙腾飞工程,是为炎黄子孙造福的工程。是中华民族骄傲。既然选择了水电,就要摘取三峡这颗皇冠上的明珠。当时,我还有个遗憾,就是,大学时《水轮发电机安装》这门课程学得不好,因为这门课的教材枯燥,进度虽快,又没有任何参考书籍,这种感觉不是我一个人,几乎是绝大部分同学。作为一个想摘取三峡这颗皇冠上明珠的学生,专业主课学得不好,那不过憾吗?

为了梦想的实现,大学毕业后,我选择了葛洲坝集束式原动机工程局,成为了一名水电建设者。二十年转战南北,参加了葛洲坝、云贵漫湾、五强溪等十多座水电站的建设,我成熟了。2001年,我终于在三峡左岸电站(拦粗毛)安装中践行了我的梦。

举世瞩目的长江三峡工程,经过几代中国人民科学探索、勘测规划、精心设计、艰苦实施,才迎来了机电安装——三峡工程的收获期。700MW的水轮发电机组(中国尚没有先例,国外也只是在20世纪80年代初有过实践),所以,三峡700MW水轮发电机组安装技术对中国人来说是从零开始,但通过我们在三峡精心组织、科学攻关,借鉴我们中国自己的安装技术和经验,使三峡首台机组一从就安装成功,运行参数全部达到制造厂的质量要求和我国的质量标准,在安装进度上也达到了前所未有的水平(如4号机组从转轮安装到转了安装只用了20天,从转了安装到充水试运行只用了30天)。在以后的安装中,我们不断的研究和改进安装工艺和安装技术,使700MW水轮发电机组安装技术日趋完善,达到了国际先进水平。

在三峡左岸机电安装中,我除了正常地组织施工、技术攻关外,还考虑通过以三峡机电安装为基础,编写一本最新的水轮发电机组安装技术,既作为全国的水电同行们学习交流,也想作为大学水电安装专业的教材或参考书籍,也算是对我大学遗憾的弥补吧。

在思考编写本书时,我选择了图文并茂的形式,图文并茂既能展示机电安装外在的美丽,激发学子们对水电的热情,又通俗易懂,能提高学习兴趣,使更多的人掌握这门技术。为了编写好这本书,我们在三峡机电安装全过程的每一道工序都进行了拍照和摄像,最终积累了上万张图片 and 几百小时的影像资料,为本书的编写提供了殷实和丰富的素材。这些内容涵盖了长江三峡工程的整体介绍、水轮机各部件的安装及整体组装技术、发电机各部件的安装及整体组装技术等方面。是水轮发电机组安装领域的一本内容丰富、风格独特的书,希望能为从事水轮发电机组安装的同行和大专院校师生提供一本实用的、可读性强的技术书籍。若能如此,我也就感到欣慰了。



2005年11月

目 录

序

前 言

第一部分 综述	1
1 长江三峡工程简介	1
2 水轮发电机组主要技术特性	2
3 水轮发电机组结构	6
4 水轮发电机组安装程序	16
5 安全防护	17
第二部分 水轮机安装	23
1 机坑测定	23
2 底环安装	33
3 导水机构预装	52
4 转轮安装与座环机加工	65
5 导水机构安装	81
6 主轴安装	108
7 主轴补气系统安装	117
8 水导、水封安装	123
9 调速器机械部分安装	140
第三部分 发电机安装	149
1 发电机定子组装	149
2 发电机定子绕组组装	168
3 发电机转子组装	188
4 下机架及推力轴承组装	219
5 发电机定子安装	233
6 发电机下端轴及下机架安装	241
7 发电机转子安装	253
8 上机架组装及安装	259
9 发电机总装及盘车调整	266

第一部分



——三峡700MW水轮发电机组安装技术

综 述

1 长江三峡工程简介

1.1 工程概况

长江以防洪为主，三峡工程位于湖北省宜昌市三斗坪镇，距下游已建成的葛洲坝工程约40km。

三峡工程具有防洪、发电、航运等综合效益，枢纽工程由大坝、电站厂房和通航建筑物三大部分组成。拦河大坝为混凝土重力坝，大坝轴线全长2309.47m，坝顶高程185m。拦河大坝由泄洪坝段、厂房坝段和非溢流坝段三部分组成；泄洪坝段位于主河床中部，前缘总长483m，设23个深孔及22个表孔，在表孔正下方布置22个临时导流底孔，另外还布置了3个排漂孔，7个排沙孔。泄洪坝段两侧是厂房坝段和非溢流坝段，左岸厂房坝段全长581.5m，设14个引水孔；右岸厂房坝段全长525.0m，设12个引水孔。

通航建筑物位于枢纽左岸，设有双线五级连续梯级船闸和单线一级垂直提升式升船机。施工期另设单线一级临时通航船闸，现已建成2孔冲沙闸。

三峡水电站为坝后式厂房，设左、右岸两座电站，共安装26台单机容量为700MW的水轮发电机组，其中左岸电站14台，右岸电站12台，总装机容量为18200MW。在右岸还预留6×700MW机组的地下厂房，与右岸厂房并列。左岸电站的14台混流式水轮发电机组中VGS（伏依特、加拿大GE、西门子）集团供货6台，阿尔斯通集团供货8台。

1.2 水利枢纽的主要特征参数

坝址上游水库蓄水面积	100 万 km ²	防洪限制水位	145m
多年平均年降雨量	1147.2mm	初期防洪限制水位	135m
多年平均气温	16.9℃	坝顶高程	185m
极端最高气温	43.9℃	最大坝高	181m
极端最低气温	- 9.8℃	坝轴线长度	2309.47m
多年平均水温	18℃	电站装机容量	18200MW
最大瞬时风速	34m/s	其中：左岸电站	9800MW
多年平均流量	14300m ³ /s	右岸电站	8400MW
设计洪水流量	98800m ³ /s	多年平均年发电量	847 亿 kWh
总库容	393 亿 m ³	最大水头	113m
防洪库容	211.5 亿 m ³	最小水头	61m
兴利调节库容	165 亿 m ³	额定水头	80.6m
正常蓄水位	175m		

2 水轮发电机组主要技术特性

2.1 水轮机主要技术特性

本节描述主要是阿尔斯通供应的机型。

2.1.1 技术参数 (见表 1-2-1)

表 1-2-1 水轮机主要技术参数

项 目	单 位	参 数
型式		立轴混流式
台数	台	8
转轮名义直径	mm	9800
最大水头	m	113.0
额定水头	m	80.6
最小水头	m	61.0

续表

项 目	单 位	参 数
额定出力	MW	710
最大连续运行出力	MW	767
对应发电机 $\cos\varphi = 1$ 的水轮机最大出力	MW	852
额定流量	m^3/s	991.8
额定转速	r/min	75
安装高程 (海拔)	m	57.0
比转速	$\text{m} \cdot \text{kW}$	261.7
旋转方向		俯视顺时针
蜗壳形式		金属蜗壳

2.1.2 特征高程 (见表 1-2-2)

表 1-2-2 水轮机特征高程

项 目	高程 (m)
水轮机轴与发电机下端轴连接界面高程	64.5
水车室进入廊道高程	61.24
水轮机安装高程	57.0
蜗壳进入廊道高程	56
尾水管锥管进入廊道高程	49.0
尾水管扩散段进入廊道高程	44.0
蜗壳、尾水管放空阀操作廊道高程	44.0
尾水管底板高程	27.0
机组检修排水廊道高程	24.0

2.1.3 主要部件尺寸及重量 (见表 1-2-3)

表 1-2-3 水轮机大件及重量

名 称	外形尺寸 (mm × mm)	分件 (瓣) 数	单件 (瓣) 重 (t)	重量 (t)
底环	$\phi 13270 \times 700$	4	28	112
顶盖	$\phi 13670 \times 2275$	4	95	380
导叶	$1724 \times 436 \times 5710$	24	9.5	230.4

续表

名 称	外形尺寸 (mm × mm)	分件 (瓣) 数	单件 (瓣) 重 (t)	重量 (t)
接力器	4750 × 1460 × 1660	2	25	50
转轮	φ 10600 × 5080	1	445	445
水轮机轴	φ 4000 × 6680	1	110	110
座环	φ 15800 × 4640	6	65	390
水轮机总重				3308

2.2 发电机主要技术特性

2.2.1 技术参数 (见表 1-2-4)

表 1-2-4

发电机主要技术参数

项 目	参 数
额定容量 (MVA) / 额定功率 (MW)	777.8/700
最大容量 (MVA) / 功率 (MW)	840/756
额定电压 (kV)	20
额定电流 (A)	22453
最大容量时电流 (A)	24249
额定功率因数	0.9
最大容量时功率因数	0.9
额定效率 (%)	98.77
最大容量时效率 (%)	98.76
加权平均效率 (%)	98.76
额定容量时 X_d' (不饱和值)	0.315
最大容量时 X_d' (不饱和值)	0.340
额定容量时 X_d'' (饱和值)	0.20
最大容量时 X_d'' (饱和值)	0.216
额定容量时短路比	1.2
最大容量时短路比	1.1
GD^2 (t · m ²)	450000
定子槽数	540
定子绕组并联支路数及接线	5Y

续表

项 目	参 数
定子绕组型式	波绕
定子绕组额定电流密度 (A/mm ²)	3.77
定子绕组最大电流密度 (A/mm ²)	4.07
定子绕组单相对地电容 (μF)	2.03
额定转速 (r/min)	75
飞逸转速 (r/min)	150
允许飞逸时间 (min)	5
发电机冷却方式	定子绕组水内冷、定子铁芯及转子绕组空冷

2.2.2 特征高程 (见表 1-2-5)

表 1-2-5 发电机特征高程

项 目	高程 (m)
水轮机与发电机下端轴连接界面高程	64.5
发电机下机架基础高程	65.5
发电机定子机坑高程	67.8
发电机层高程	75.3

2.2.3 大件重量与尺寸 (见表 1-2-6)

表 1-2-6 发电机大件重量与尺寸

序号	部件名称	部件尺寸 (mm)	重量 (t)
1	定子机座 (5 瓣)	$\phi 22028 \times 6035$	206
	定子铁芯	$\phi 19720 / \phi 18800 \times 2950.4$	508
	定子绕组 (1080 根)	单根周向宽 790mm, 高 4080.7	90
	整体定子 (含基础部件)	23100×6380	714
2	转子中心体和支臂 (17 块)	中心体: $\phi 5997 \times 2690$ 支臂: R8305/R3900 $\times$ 3255	394
	磁扼	$\phi 18086 / \phi 16650 \times 3190$	975
	磁极 (80 个)	$685 \times 3480 \times 326$	410
	整体转子	$\phi 18738 \times 3600$	1780

续表

序号	部件名称	部件尺寸 (mm)	重量 (t)
3	发电机下端轴	$\phi 4000 \times 4935$	112.8
4	推力头及镜板	推力头: $\phi 5200 \times 1100$	68.27
5	推力轴承及支架、下盖板	下机架: $\phi 15100 \times 4880$	392
6	发电机上端轴	$\phi 2710 \times 2215$	27.55
7	上导轴承及支架、上盖板	上机架: $\phi 23380 \times 1875$	140
8	空气冷却器 (20 个)		7.5
9	发电机总重		3333.5t/台

3 水轮发电机组结构

3.1 水轮发电机组结构

水轮发电机组为半伞式立式混凝土机组, 设 2 段轴, 推力轴承在下机架上, 有 3 个导轴承, 冷却方式为半水内冷 (见图 1-3-1)。

3.2 水轮机结构

水轮机由导水机构、转动部分、导轴承及主轴密封、接力器、辅助设备等组成。

3.2.1 导水机构

水轮机导水机构由底环、顶盖、活动导叶及其操作机构组成。

底环、顶盖为钢板焊接结构, 底环顶盖上的不锈钢抗磨板和止漏环用螺栓固定。上、中、下导叶轴套轴衬系含油酮基的自润滑材料, 表面喷涂 DG22 的黑色涂料, 其中含有聚四氟乙烯粉粒及黏结剂, 长期运行中可保证良好的润滑性能。

底环、顶盖上各有 8 个预留的压缩空气补气孔, 作为改善水轮机运行稳定性的后备措施, 视运行情况决定是否使用。

顶盖上有 6 根 $\phi 640\text{mm}$ 的平压管与尾水肘管平段相连, 及转轮上冠上的 15 个 $\phi 196\text{mm}$ 减压孔是用来减低转轮上冠与顶盖之间的水压, 从而降低机组的水推力。

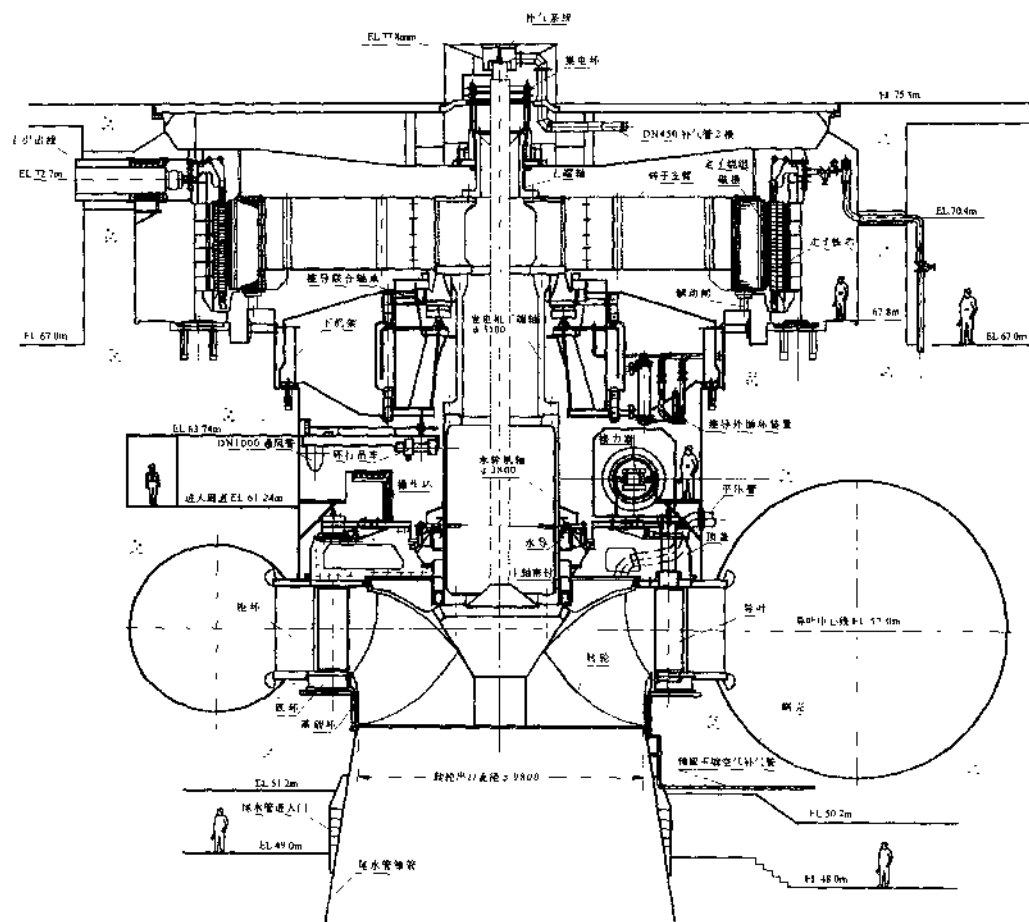


图 1-3-1 水轮发电机组结构图

24个不锈钢活动导叶，导叶过流高度2990mm，与顶盖、底环间的总端部间隙范围为1.5～2.5mm，导叶端部密封为带橡胶垫的钢板密封，导叶立面密封为刚性金属线接触密封。

导叶操作机构（见图1-3-2）由拐臂、控制环、连接板、双连臂等组成。控制环带动双连臂，拐臂和连接板之间装有摩擦装置和拉断螺栓，用夹紧螺栓来调整摩擦力。正常情况下，靠摩擦力带动导叶转动，当导叶关闭的阻力大于摩擦力时拉断螺栓将破断，个别导叶将发生偏转，这样可以不影响其余导叶的传动和操作。个别导叶发生偏转后，摩擦力仍起作用，可以防止导叶受水力冲击而摆动，摩擦力的大小在现场安装时通过试验来确定。拐臂下方有限位块限制导叶的最大开度。

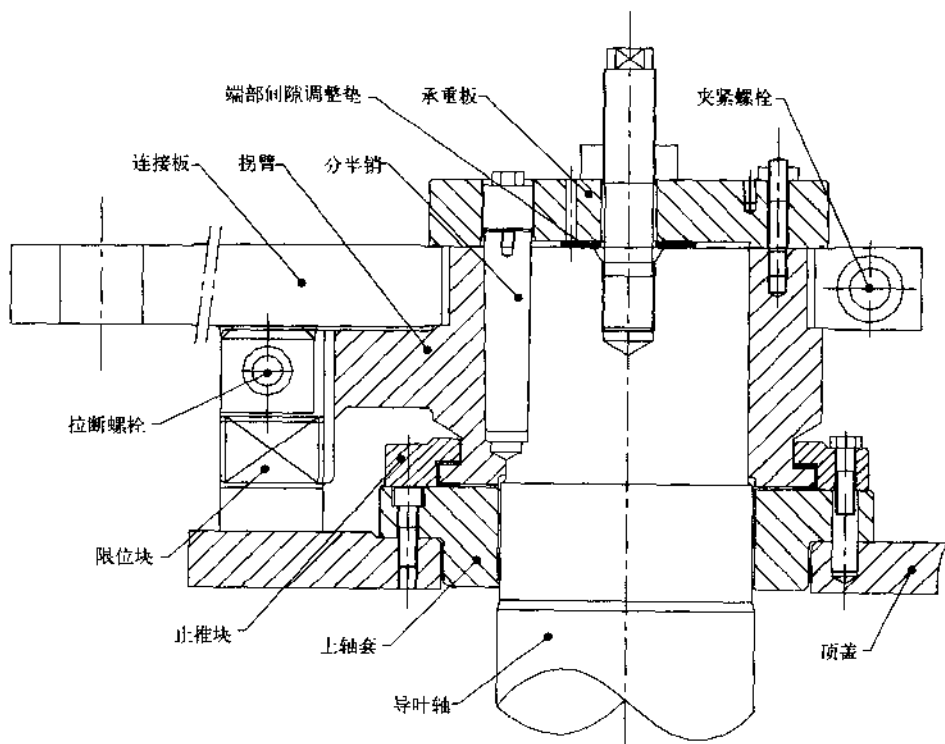


图 1-3-2 导叶传动机构简图

3.2.2 转动部分

转动部分包括转轮、轴、补气管及补气阀。

转轮为不锈钢铸焊结构，上冠、叶片和下环分别制造，在工厂组焊加工成整体转轮运至工地。转轮全部采用抗空蚀、抗磨损并具有良好焊接性能的不锈钢材料制造，其材料为ASTMA 743CrCA-6NM。为保证叶型和通流部件的质量和精确度，叶片采用五轴数控铣床加工。15片X型叶片，其特点是叶片进水边采用负倾角，叶片出水边为扭曲形状，从转轮进口看，叶片呈X形，与常规叶型相比，X型叶片能比较好地适应变幅大的水头和负荷，运行稳定性好。

水轮机轴材料为ASTM A668，由钢板卷制焊接而成，内、外都进行机加工，以保证平衡。上、下均为内法兰，下部用销钉螺栓与转轮连接，销孔在工厂用模板加工好，保证转轮可以互换；水轮机轴上部用销套螺栓与发电机下端轴连接，销孔在工地同镗加工。

$\phi 680\text{mm}$ 的补气管布置在轴内，通过固定在水轮机轴和发电机下端轴上的4层支架