

水 电 站 机 电 設 备 安 装
丛 書 之 四

水輪机及其附屬設備的安裝

水利水电建設总局



水利电力出版社

內 容 提 要

本书为水电站机电设备安装丛书之四——水輪机及其附属设备的安装，它首先概述了水輪机的型式及构造、安装中所使用的精密量具与特殊工具；其次重点地阐述了辐向軸流式水輪机、轉叶式水輪机与橫軸式水輪发电机组的安装，及水輪机調速系統的动作原理、結構型式、安装与調整；最后还介绍了蝴蝶閥的安装与試驗、水电站的附属设备及管路系統的安装。

本书可供从事水电站机电设备安装工作的同志閱讀，也可供有关院校师生参考。

水輪机及其附属设备的安装

水利水电建設总局

*

2123 S 639

水利电力出版社出版（北京西郊科学路二里沟）

北京市书刊出版业营业許可証出字第105号

水利电力出版社印刷厂排印

新华书店北京科技发行所发行 各地新华书店經售

*

850×1168 $\frac{1}{32}$ 开本 * 8 $\frac{3}{4}$ 印張 * 226千字

1959年9月北京第1版

1959年9月北京第1次印刷(0001—1,920册)

統一书号：15143·1699 定价(第9类)1.50元

前 言

电力工业是我国社会主义建設中的先行工业，是实现工农业机械化和电气化的基础。我們偉大祖国的水力資源非常丰富，开发条件异常优越，但有計劃的开发水力資源是解放后才开始的。在党的领导下，在苏联大公无私的支援下，第一个五年計劃进行新建和改建的26座水电站中，到目前投入生产的共有19座，新增的总装机容量达到78万千瓦，为旧中国四十年来所建成之水电站总容量的45倍以上。

在社会主义建設中，中央确定在电力工业中采取“水电为主、火电为輔”的长远建設方針，这对水电建設是一个巨大的鼓舞和动力。当前水电建設正以飞跃的速度向前发展。全国正在建設的水电站，总容量在一千多万千瓦以上。我們深信，我国水电建設的远景是无可限量的，如目前正在設計中的长江三峡水电站，装机容量即达2,200万千瓦以上，年发电量将达1,270亿度。

几年来，我們从事水电站机电安装的全体职工在党的领导和苏联专家的培养下成长壮大起来，承担着全国水电站机电安装工作，承各方面的帮助，使我們在工作中取得了一定的成績。大跃进以来，为了适应水电建設遍地开花，我局安装公司所属人員已分别下放各省(局)，在下放之际，同志們編写了一整套水电站机电安装丛书，一方面作为公司結束时的施工总结；另一方面是为了帮助所有从事水电站安装工作的同志們更快更好地掌握业务，能起一些作用。

为了适应大批新参加水电安装工作的同志們的需要，我們在編写这套丛书时尽量使其文字通俗、說理簡明。同时为了使安装工作的同志們少走弯路，还将我們过去在安装过程中經常遇到的一些事故、預防措施及事故发生后的处理方法作了簡述。

这套丛书是由安装公司的一些业务較熟練的技术人員編写的，并經過领导干部的反复审查和修改。全套书共有下列10本：

1. 机电設備安裝的施工組織；
2. 閘門及起重設備的安裝；
3. 压力鋼管的制作与安裝；
4. 水輪机及其附属設備的安裝；
5. 水輪发电机的安裝；
6. 电气設備的安裝；
7. 机电設備的起重和运输；
8. 机电設備的試驗和調整；
9. 机电設備的起動試运转；
10. 机电安裝工程的管理。

虽然編写这部丛书的同志們在主觀上尽了努力，但由于工作經驗不足、水平不高，且缺乏写作能力，加上時間倉促，不完善或錯誤的地方无疑是存在的，我們誠懇地希望讀者們提出意見和批評，以便再版时修正。

目 录

前言	1
第一章 概述	5
第一节 水輪机的型式	5
第二节 水輪机的构造	9
第三节 水輪机常用的表示符号	17
第二章 安装过程中使用的精密量具与特殊工具	17
第一节 精密量具	18
第二节 特殊工具	26
第三节 设备缺陷的土法处理	33
第三章 埋設部件的安装	36
第一节 尾水管护壁的安装	36
第二节 錐形管、基础环与座环的安装	40
第三节 蜗壳的安装	45
第四节 水輪机室护壁及接力器基础的安装	52
第四章 輻向軸流式水輪机的安装	54
第一节 水輪机基础尺寸檢查及固定迷宫环定位	54
第二节 水輪机部件清扫、大件組合檢查	61
第三节 水輪机正式安装	83
第四节 导水叶轉动机构的安装	96
第五节 接力器清扫安装	105
第六节 机组联結及摆度測定	110
第七节 导軸承及盘根箱的安装	114
第五章 轉叶式水輪机的安装	121
第一节 轉叶式水輪机結構特征	121
第二节 埋入部分的安装	122
第三节 水渦輪装配找正	125
第六章 橫軸式水輪发电机组的主要安装方法	129
第一节 水輪机的安装	129
第二节 发电机的安装	131
第三节 水輪发电机组的中心找正	131

第七章 水輪机調速系統的基本概念	133
第一节 概述	133
第二节 調速机的动作原理	135
第三节 具有联合調整的調速机之动作原理	140
第八章 調速系統的结构	143
第一节 压油裝置	143
第二节 調速机部件的结构	156
第三节 P 型調速机的动作原理	174
第四节 PK 型調速机的动作原理	181
第五节 W 型調速机的动作原理	190
第九章 調速系統的安装与調整	194
第一节 調速系統基础的安装	194
第二节 压油裝置的安装	196
第三节 調速机的安装	204
第四节 复原机构的安装	208
第五节 漏油裝置的安装	210
第六节 压油裝置的調整試驗	211
第七节 調速系統的調整試驗	217
第十章 蝴蝶閥的安装与試驗	224
第一节 概述	224
第二节 蝴蝶閥的主要施工措施	229
第三节 豎軸蝴蝶閥的安装	230
第四节 橫軸式蝴蝶閥的安装	236
第五节 蝴蝶閥附属设备的安装	237
第六节 蝴蝶閥操作系統的动作过程	239
第七节 操作机构的安装及試驗	241
第十一章 水电站的附属設備	244
第一节 水系統	244
第二节 压縮空气系統	248
第三节 油处理系統	251
第十二章 管路系統的安装	254
第一节 施工前的准备工作	254
第二节 管道配制加工基本知識	256
第三节 盘根及选用	272
第四节 管道的安装	274

第一章 概 述

第一节 水輪机的型式

水輪机是水电站的原动机。水庫或压力前池內的水經引水系統流入水輪机內，冲动水輪机之水渦輪，使水的能量变为轉动的机械能，并使水渦輪按一定的轉速下旋轉，通过与水渦輪相連的主軸，用直接或間接的傳动方法带动发电机轉子旋轉，使发电机发电，将机械能轉变为电能，再經過一系列的电气設備将电能送至电力系統中供各用戶使用。

經過許多年的发展，水輪机有了很多型式，按不同的分类方法，常用的水輪机有下列几种：

一、按水輪发电机布置方式不同可分为橫軸与豎軸二种型式：

橫軸式是冲击式水輪机經常采用的一种型式。其它型式而容量較小的水輪机也有采用橫軸式的。这种水輪机的主軸是橫向（即水平方向）設置的，发电机安装在水輪机之一側，用主軸法兰直接联結傳动（图1-1、1-2，見插頁），亦可通过一套由齒輪組成的加速傳动装置与水輪机相联。

除冲击式以外，一般大、中型水輪发电机组都是豎軸布置的，水輪机安装在发电机的下端，用主軸法兰盘直接与发电机联結。

豎軸布置的水輪发电机组，不但可以簡化各軸承的結構，而主要的是将龐大的水輪发电机组豎立放置后，可大量縮小厂房的面积。

二、按水輪机出力不同可分为大、中、小型三种：

这一分类目前还没有一定的标准，根据水电事业飞跃的发展，大、中、小的含意也在不断的改变，因此尚不能严格的划分。目前我国最大的水輪机是72,500瓩，不久10万、20万甚至更大的机组也将要出現。

确定水轮机外形尺寸大小的基本条件是水头和流量。在水头低、流量大的电站，虽然水轮机的出力较小；但其各部件尺寸也会是很大的；水头高、流量较小的电站，水轮机出力虽属中型，但其各部件尺寸是比较小的。

三、按水轮机的主要工作部件——水涡轮的构造及水流在水涡轮叶片上的工作情况不同，进行水轮机的分类是最为适当的，其常见的基本型式有下述数种：

1. 辐向轴流式水轮机(图1-3)。

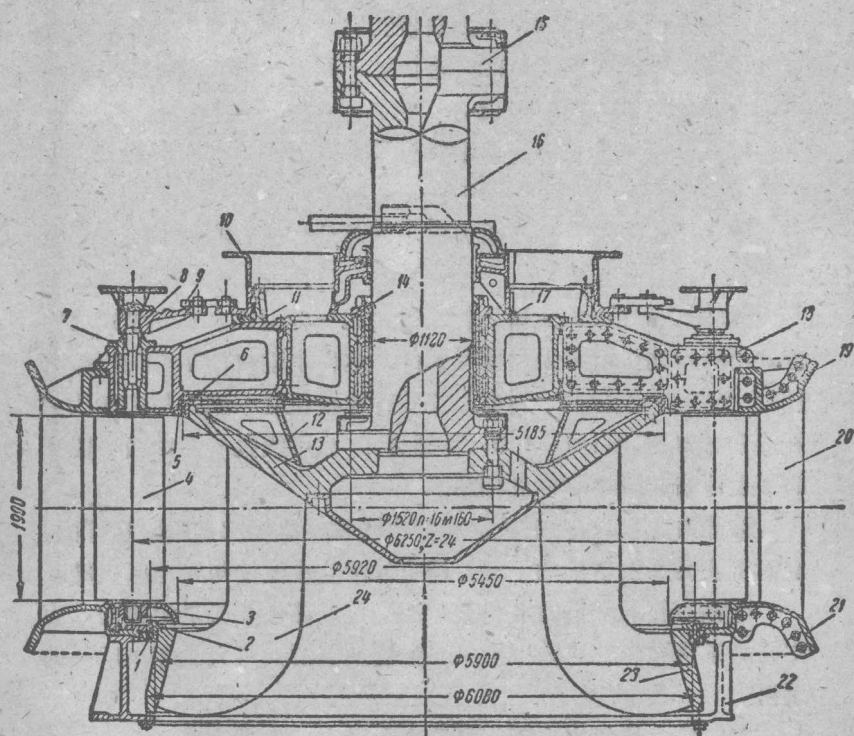


图 1-3 辐向轴流式水轮机

1—下端固定止漏环；2—下端转动迷宫环；3—底环；4—导水叶；5—上端固定迷宫环；6—上端转动迷宫环；7—导水叶轴承；8—拐臂；9—连杆；10—控制环；11—支持环；12—水涡轮引水板；13—水涡轮上冠；14—导轴承瓦；15—发电机主轴；16—水轮机主轴；17—导轴承体；18—导水机构顶盖；19—座环；20—座环固定导叶；21—座环；22—基础环；23—转轮下环；24—水涡轮轮叶。

輻向軸流式水輪機也稱為法蘭西斯式。

水輪機運轉時，由引水系統流入的壓力水從水渦輪四周均勻的並與水渦輪軸綫成輻射方向流入渦輪葉片上，然後在葉片中逐漸的轉為軸向，向下流出葉片至尾水管（吸出管）中。

2. 轉葉式水輪機（圖1-4，見插頁）。

轉葉式水輪機也稱卡普蘭式，其水渦輪之葉片成輻射狀布置在輪轂上。水輪機運轉時，葉片可根據不同的出力及水頭繞本身之軸轉至適當的角度。流入水渦輪的水流順軸向流過葉片後轉入尾水管中。

3. 螺旋槳式水輪機（圖1-5，見插頁）。

螺旋槳式水輪機與轉葉式不同之點，僅在於其水渦輪葉片是固定在輪轂上的，出力及水頭改變時葉片不能轉動至符合水流之方向，故其效率較低，因此這種水輪機只有在水電站水頭變化不大、機組的負荷也很少變動的情況下才適用。

對轉葉式及螺旋槳式水輪機來說，因水流都是軸向流過水渦輪葉片的，故可通稱為軸流式水輪機。

由於上述水輪機的水渦輪葉片是連續的在水中工作的，此連續水流又具有一定的壓力與速度，且進入水渦輪之壓力大於由水渦輪流出時的壓力，為了與衝擊式水輪機的工作特性區分明確，輻向軸流式及軸流式水輪機總稱為反擊式水輪機。

4. 衝擊式水輪機（圖1-6）。

衝擊式水輪機又稱別爾頓式，它應用在高水頭的水電站上。水渦輪的葉片呈斗形，由裝在機殼上的幾個噴咀（一般為1~4個）把高壓水噴射出來，全部變為很高的流速，直接衝擊斗葉，使水渦輪產生旋轉運動。噴咀中有一個針閥，運轉中經調速機手動或自動操作針閥前後移動，因而改變了水流斷面的大小，控制了流量的多少，調整了水輪機的出力，噴咀全部關閉時，水流不能進入斗葉，機組即可停止運行。

為了使水輪機能得到較好的運轉條件（在效率、汽蝕等方面），在不同水頭的水電站中，常按具體情況分別選用合適型式

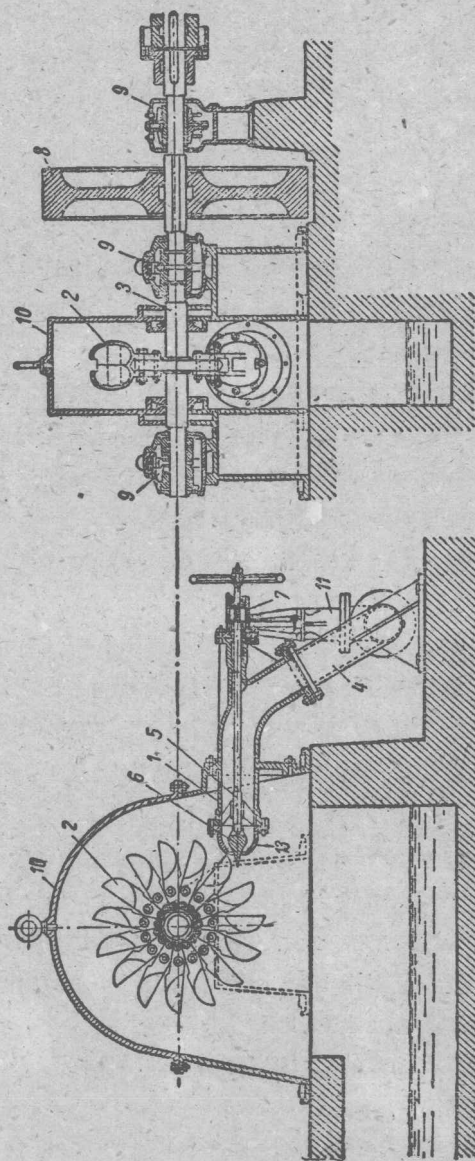


图 1-6 冲古式水轮机

1—喷嘴管；2—水涡轮；3—主轴；4—引水管；5—调节针阀杆；6—针阀；7—操作机构；8—飞轮；
9—导轴承；10—机壳；11—阀门；12—尾水管；13—喷嘴。

的水輪机。

各种水輪机应用水头的范围：螺旋桨式水輪机适用于水头在25公尺以下的电站；轉叶式水輪机适用于水头在35公尺以下的电站；輻向軸流式水輪机适用于水头在25~350公尺的电站；冲击式水輪机适用于水头在200公尺以上的电站。

当然上述不是一个絕對的規定，在确定水輪机型式时还要考虑其它一些很重要的因素，同时各型水輪机也正在不断的向更广泛的应用范围发展，因此不能生搬硬套。

第二节 水輪机的构造

水輪机大致可归納为四个部分：

埋設部分：埋設在厂房的基础混凝土中，包括尾水管、基础环、座环及渦壳等；

固定部分：包括有頂盖、底环、导水机构及軸承等可以拆卸检修的部件；

工作部分：包括有水渦輪、主軸等运轉工作的部件；

水輪机的調速系統：包括有压油装置、調速机、管路系統等。

由于輻向軸流式水輪机在我国应用比較普遍，因此我們重点的将其結構介紹如下。

一、尾水管

尾水管可使水渦輪高出下游水位的一段落差及离开水渦輪的流速得到充分的利用，大大地提高了水輪机的效率。小型水輪机的尾水管是圓錐型的，从水渦輪的下部垂直伸至下游的水中（图1-7b）。在大型水輪机中，尾水管的尺寸很大，管子势必很长，如果仍为直錐管，則基础开挖量增加很多，因此将其制成断面逐渐扩大的弯肘形尾水管（图1-7a）。

尾水管各部形状和尺寸，都是按各类型水輪机不同的工作条件經過試驗确定的。弯肘形尾水管的弯管以下部分一般都是在电

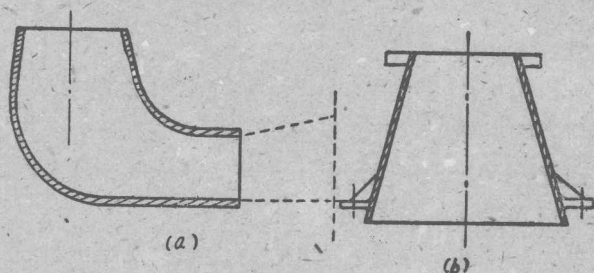


图 1-7 尾水管

站施工时就地用钢筋混凝土浇筑而成的，上部圆锥管段的流速较大，汽蚀也较严重，故常用钢板制成里衬，保护管壁可能受到局部汽蚀和振动冲刷的破坏。

二、蜗壳及座环

蜗壳是因其外形很象蜗牛的外壳而得其名。蜗壳的上游管口与输水管道相连接，压力水流通过蜗壳均匀的引至水轮机内。蜗壳内部各处的水压都是相等的，水流均匀地从水轮机四周进入水轮机内。在良好的引水条件下，希望蜗壳有最小的外形尺寸，以缩短各机组间的距离，减少建筑面积。

根据水头及水轮机出力大小的不同，蜗壳可由混凝土、钢板、铸钢等材料做成。低水头的蜗壳(40~50公尺以下)，可用钢筋混凝土就地浇筑，其断面形状常为矩形。中、高水头电站蜗壳常用钢板弯卷焊接或用铸钢制成，其断面常为圆形，断面逐渐变小，到尾部时成为椭圆形，以便与座环相接。一般小型水轮机常用铸造的蜗壳并与座环铸成一个正体。

座环(固定导水翼)由上、下两个圆环，中间用数个固定导叶联结构成。上下两个圆环向外伸出之边缘用电焊与蜗壳相联结，座环下部连接基础环与尾水管联结(有时亦有无基础环的)。尾水管、座环与蜗壳互相联结一体成为水轮机的埋设部分。水轮机的导水机构及所有固定不动的部件都装在座环上，水轮机位于座环的中心，竖轴水轮发电机组的全部荷重，均通过座环传到厂房的基础上去。

三、水 渦 輪

輻向軸流式水輪機之水渦輪在不同的水頭、不同的比速系數下，其輪葉的彎曲形狀、輪葉進水端的高度和各輪葉間的開口距離等方面都有很大的差別，圖1-8a為高水頭下比速系數較小的水渦輪，圖1-8b為低水頭比速系數較大的水渦輪。

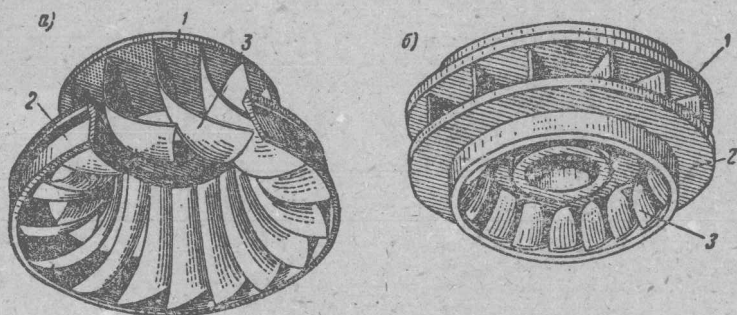


圖 1-8 輻向軸流式水輪機之水渦輪
a—比速系數較小的水渦輪； b—比速系數較大的水渦輪。
1—水渦輪上冠； 2—水渦輪下環； 3—水渦輪葉片。

水渦輪由上部錐環、輪葉和下部環鑄成一体，目前大多數為鑄鋼；小型水渦輪的葉片有時可用鋼板压制，然後將葉片插入鑄鋼的上、下輪環中去。上部錐環和下部輪環的周圍，裝有迷宮環，與旋轉的水渦輪相對應的頂蓋和底環上裝有固定迷宮環，各迷宮環間形成一個很小的間隙，使水流入水渦輪工作時，漏水損失達到最小程度。迷宮環的構造有兩種，常用的為帶有溝槽的迷宮環，如圖 1-9 所示。另一為梳齒式迷宮環，如圖 1-10 所示。

水渦輪的上部錐環中心部分有數個通孔（又稱減壓孔），在運轉中使上部迷宮環的漏水，經頂蓋的排水隔板引至此孔排入水渦輪的下部。在水渦輪葉片中間，上部錐環的下

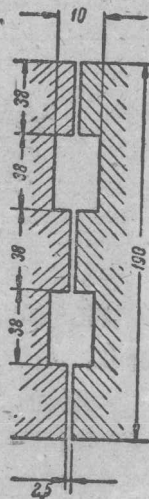


圖 1-9 溝槽式迷宮環

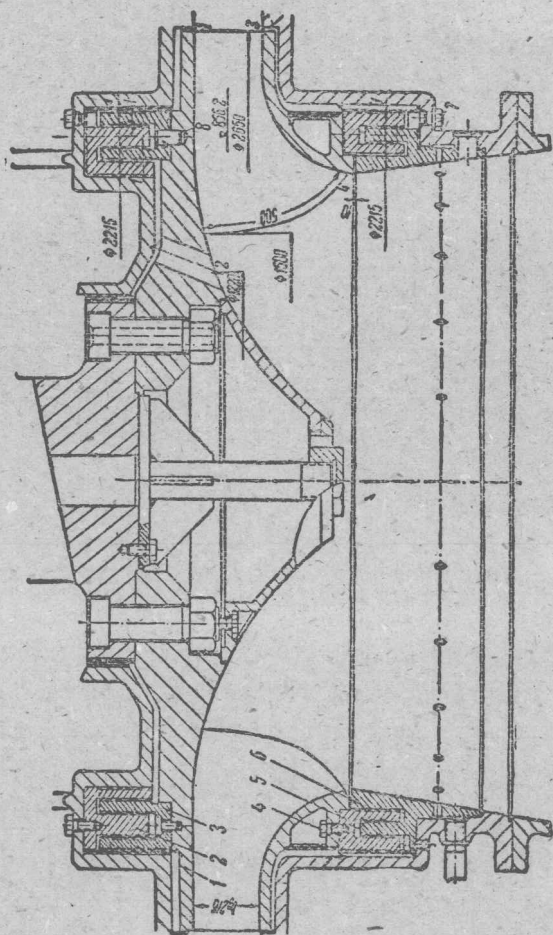


图 1-10 梳齿式迷宫环

端，装有一渦輪冠，用以防止水流的紊乱(渦流)，并引导水流向下流出。

水渦輪的形状复杂，又在高速下旋轉，若水渦輪的各处的重量不对称相等时，就会因离心力产生不平衡而引起机組振動，故水渦輪为正体时，应在制造厂作靜平衡試驗，若有不平衡的情况时，在上部錐环上用灌鉛或加焊鋼板解决之。

四、主 軸

水輪機主軸的作用是将水渦輪所得到的机械能，通过主軸以扭轉力矩的形式傳結发电机。主軸通常是鍛制而成的，主軸下端以法兰盘用螺絲与水渦輪相連，上端法兰盘用螺絲与发电机軸联結。为了保证发电机軸与水輪機軸联結后成一直綫，法兰盘的組合面上是有止口的，以便法兰盘連接时找对中心，法兰盘面应与軸綫垂直，防止主軸連接后产生过大的曲折。法兰盘上的联結螺絲孔是在制造厂将水輪機主軸和发电机主軸联結找好中心后，在鏜床上一次鏜出的，水輪機导軸承若是用水潤滑时，則在安装軸承段的主軸上鑲有一层不銹鋼板，防止主軸銹蝕。

直徑較大的主軸都是空心的，不但节省了鋼材，且便于質量檢查、減輕重量和防止主軸因溫度不同而變形等。

五、导水机构

导水机构是一总称，它是由底环、导水叶、頂盖、导水叶軸承、拐臂、連臂、支持环、控制环、推拉杆及接力器等机件构成（如图1-11，見插頁），其主要作用有三点：

第一、使水流以一定的速度和方向流入水渦輪叶片上。

第二、是根据机組的轉速和需要发出的功率来調节通过水輪机的流量之大小。

第三、导水叶关闭后，水流即不能进入水渦輪內，机組即停止運轉，故导水叶亦可以起閘門的作用。

现将各部件分別叙述如下：

1. 导水叶及其調整机构 导水叶为鑄鋼制成，断面为流綫型，导水叶一般有12~32个，这些导水叶相等的分布在水渦輪的外围，与底环、頂盖形成一个水流通路。导水叶下部軸頸裝在底环上的軸承孔內，上部軸頸裝在頂盖的上部軸承中，在导水叶上端軸頸上裝有操作导水叶的拐臂，拐臂与导水叶軸頸用两半圓的楔形鍵联成一体，再用連臂和控制环連系起来，控制环套裝在支

持环上，由推拉杆推动可以在支持环上转动一个角度，转动的力矩经连臂、拐臂带动各导水叶开关至任一适当的角度，以满足水轮机的需要。

推拉杆的动作是接力器控制的，当水轮发电机组负荷发生变化时，通过调速机操作主配压阀，使压力油进入接力器内推动活塞移动，而使推拉杆动作。

导水叶轴颈中心的通孔是下部轴承的注油孔，可以从装在导水叶轴颈顶端的油咀向下部轴承的青銅軸瓦中注入黃油。导水叶下部軸瓦也可用压合木制做，轴承由水来潤滑，不需要注送黃油。

导水叶的上部轴承很长，它装在頂盖中，在軸套上有上、下两个青銅軸瓦，上軸瓦內徑要比軸頸大的多，一般約有 1 公厘的間隙(具体数值由計算得出)，运转时导水叶受水压及扭力后产生变形，导水叶軸頸与上軸瓦接触成为一支点，可使导水叶各处受力情况均匀。在軸套的下端，装有V型牛皮盘根的水封装置，以防止压力水从导水叶軸頸处漏出，在軸套上还設有排水管以排除小量的漏水。

在关闭导水叶停机时，若个别导水叶之間存有一些杂物（如木头、石头和廢鋼材等）时，則一个导水叶将影响全部不能关闭，水流繼續进入水轮机內，机组不能停止下来，同时推拉杆繼續推动控制环，致使各传动的工作部分产生永久变形，严重时可能造成机件的破坏，因此常在連臂或拐臂上装有安全螺絲。当导水叶关闭时，若某一导水叶間留有杂物而被卡住，这时安全螺絲最小断面处的最弱点即能发生破断，而不影响其它导水叶的正常关闭及停机。安全螺絲的結構甚多，常見的有三种，如图4-44、4-45等所示。

导水叶关闭后，蜗壳內的水从导水叶上、下及各导水叶間的立面間隙中要不断的向水渦輪中漏出。若間隙較大时，漏水損失是很大的，为了减少这一損失，在不影响导水叶转动灵活的情况下，常把导水叶上、下間隙做得很小。导水叶立面間隙在安装中

調整至要求的嚴密程度，除了這些措施外，還有採用防漏的橡皮盤根，裝在頂蓋底環及導水葉立面的梯形槽內，使漏水至最小程度。

2. 底環 為鑄鋼制成，安裝在座環上，導水葉下軸頸的軸承分布其上，底環的上部表面作成適于引導水流的曲面。許多水輪機的下部固定迷宮環都裝在底環上，與水渦輪上的迷宮環相對應，但個別大型水輪機也常將迷宮環裝在底環的下部。

3. 頂蓋 常用鑄鐵或鑄鋼制成，也有採用鋼板焊接的。頂蓋位於導水葉及水渦輪的上端，用螺絲固定在座環上，頂蓋上裝有導水葉的上部軸承支持環、控制環，其中心部分裝設水輪機的導軸承。為了便于運轉人員在水輪機室檢查各機件的動作情況，在頂蓋上還裝有腳踏板和欄杆。

在頂蓋的底部鑲有一整圈的鋼板，除了保護鑄鐵的頂蓋不受高流速的沖刷外，還可以減輕機組的軸向水壓力，減少推力軸承的負荷，其構造如圖 1-12 所示，當壓力水從上部迷宮環漏至水渦輪上部後，由於水渦輪旋轉產生的離心力，使水渦輪上部錐形環上的壓力水均流入頂蓋上的通路內，然後流入水渦輪的中心部分，從排水孔流至水渦輪下部的水流中去。頂蓋這一結構使壓力水不能作用在大面積的上部錐環上，減輕了水渦輪的軸向壓力。

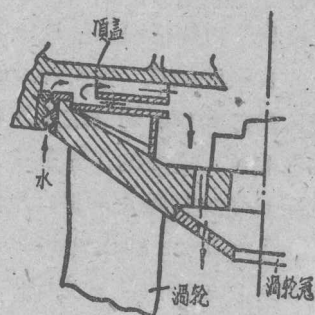


圖 1-12 頂蓋引水板

4. 接力器 由接力器缸、活塞、推拉杆等組成，用壓力油管路与調速機相聯，借壓力油操作接力器活塞作往復的移動，並通過拉杆帶動

導水機構開關。大中型水輪機的接力器裝設在水輪機附近，接力器缸固定於埋入混凝土中的基礎法蘭上。小容量的接力器調速機合併在一起，用一中間傳動軸延伸至水輪機層與拉杆相接傳動。

停機時，為了防止水壓力將導水葉壓開，或誤動作時導水葉