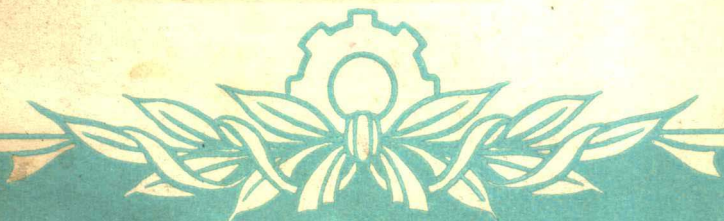


中等专业学校教学用书

水 轮 机

吉林水利水电学院编



中国工业出版社

本书是水利电力部教育司組織各地院校編写的教材之一，它是在原長春水利电力专科学校在1959年編写的“水輪机”一書的基础上，經過适当的修訂增刪而成的。

本書着重地闡述了反击式水輪机的結構与工作原理，相似理論，模型与原型試驗，以及工作特性曲綫和选择方法等；簡要地敘述了水輪机室和尾水管的作用与水力計算，水輪机的汽蝕特性及吸出高度的决定；最后还介紹了冲击式水輪机的結構和工作原理。

本書除作为水力动力裝置、中小型水电站和水力发电厂等专业的中等专业学校的教材外，也可供水輪机选择設計人員和水輪机安裝工作人員参考。

水 輪 机

吉林水利水电学院編

*

中国工业出版社出版（北京各編冊麻丙10号）

（北京市书刊出版事业許可証出字第110号）

中国工业出版社第二印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行·各地新华书店經售

*

开本850×1168 $\frac{1}{2}$ ·印張9 $\frac{1}{4}$ 插頁1·字数207,000
1961年6月北京第一版·1961年6月北京第一次印刷

印数0001—1,530·定价(9-4)1.10元

統一書号：15165·161（水电-29）

目 录

第一章	水轮机的一般概念	4
§1-1	水力机械的概念	4
§1-2	水力机械的分类	5
§1-3	水轮机的分类	5
§1-4	水轮机的尺寸及代表符号	7
第二章	辐向轴流式水轮机	10
§2-1	辐向轴流式水轮机的概述	10
§2-2	工作轮	14
§2-3	止漏装置	19
§2-4	主轴	22
§2-5	水轮机导轴承	27
§2-6	导水机构	31
§2-7	座环、基础环、蜗壳、尾水管	50
§2-8	水轮机的附属装置	52
第三章	轴流式水轮机	60
§3-1	轴流式水轮机的概述	60
§3-2	螺旋桨式与转桨式水轮机的结构	63
§3-3	轮叶转动机构	73
§3-4	贯流式水轮机	78
§3-5	农村水电站所采用的几种轴流式水轮机	81
第四章	水轮机室和尾水管	87
§4-1	水轮机室的作用和种类	87
§4-2	蜗壳类型的选择及其计算原则	93
§4-3	金属蜗壳的水力计算	95
§4-4	混凝土蜗壳的水力计算	98
§4-5	蜗壳计算图表法	107
§4-6	尾水管的作用和型式	110
§4-7	尾水管的效率及其尺寸的确定	114

第五章	汽蝕和吸出高度	121
§5-1	汽蝕及其防止方法	121
§5-2	水輪机吸出高度的決定	123
第六章	反击式水輪机的理論基础	127
§6-1	水流在工作輪中的运动	127
§6-2	液体稳定流动的动量方程式	129
§6-3	曲綫輪叶中水流的反作用	130
§6-4	反击式水輪机的基本方程式	133
§6-5	反击式水輪机的損失及对效率的分析	135
第七章	水輪机的相似理論	144
§7-1	水輪机相似理論的一般概念	144
§7-2	相似理論的換算公式	146
§7-3	水輪机的引用参数	449
§7-4	水輪机效率的修正	152
§7-5	效率修正对相似換算公式的影响	157
§7-6	反击式水輪机的比速	162
第八章	水輪机試驗	165
§8-1	模型水輪机試驗的目的及种类	165
§8-2	模型水輪机的效率試驗	166
§8-3	模型的汽蝕性能試驗	178
§8-4	水輪机的飞逸特性試驗	191
§8-5	水輪机的力特性試驗	133
§8-6	原型水輪机試驗的目的及类别	184
§8-7	原型水輪机的起動試驗	184
§8-8	原型水輪机效率測定試驗	185
第九章	特性曲綫	191
§9-1	水輪机特性曲綫的概念	191
§9-2	水輪机的綫性特性曲綫	191
§9-3	綜合特性曲綫	195
§9-4	特性曲綫的換算	203
§9-5	水电站的特性曲綫	220
第十章	水輪机选择	237
§10-1	水輪机选择的观念	237

§10-2	机組台数的选择	233
§10-3	水輪机类型的选择	242
§10-4	水輪机直徑、轉速及吸出高度的选择	244
第十一章	冲击式水輪机結構	256
§11-1	冲击式水輪机的概述	256
§11-2	水斗式水輪机	261
§11-3	冲击式水輪机与反击式水輪机的比較	274
第十二章	冲击式水輪机的工作原理	275
§12-1	噴射水注对曲面上的冲击力	275
§12-2	水斗式水輪机的基本方程式及流速三角形	278
§12-3	冲击式水輪机的效率及損失	282
§12-4	冲击式水輪机引用参数的計算	284
§12-5	冲击式水輪机的比速	286
§12-6	冲击式水輪机的选择	286
主要参考书	293

第一章 水輪机的一般概念

§1-1 水力机械的概念

水力机械是一种将液体的动能轉化为机械能，或者将机械能轉化为液体的动能的机器。按能量轉化方式的不同，水力机械可以分为水力原动机和水力工作机两大类。进行第一种能量轉化的机器，称为水力原动机（如水車、水輪机），它們多用来作为原动力，直接带动机器運轉，或带动发电机发电。进行第二种能量轉化的机器，称为水力工作机（如水泵等），它們被用来抽水、輸送潤滑性液体。

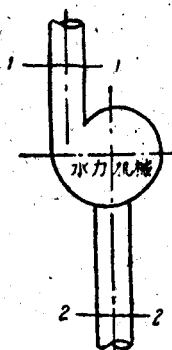


图 1-1 水力机械

液体經過水力机械时，能量就开始变化。通过水力原动机时，液体的动能就减少；而通过水力工作机时，液体的动能則增加。如图 1-1 所示，在两个管道的中間装置一水力机械。

在断面 1-1 处每公斤液体的能量为 E_1 ：

$$E_1 = Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g}$$

在断面 2-2 处每公斤液体的能量为 E_2 ：

$$E_2 = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g}$$

此水力机械若是原动机，則 $E_1 > E_2$ ；若是工作机，則 $E_1 < E_2$ 。

在水力机械中，每公斤液体能量的变化称为水头。用下式来表示：

$$H = E_1 - E_2 = Z_1 - Z_2 + \frac{P_1}{\gamma} - \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} - \frac{V_2^2}{2g} \quad (1-1)$$

凡是在水力机械中液体能量的增加不是依靠机械能转化为液体的动能，而是靠一种液体或气体的动能传递给另外一种液体，这种机器也是水力机械，称为水力装置。它的作用与水力工作机的作用相同。

除了水力原动机、水力工作机和水力装置外，还有液力传动装置，它是由水力工作机和水力原动机组成的。如图 1-2 所示，水力工作机(水泵)由主动轴驱动，以产生高压液体，传递给水力原动机，然后由水力原动机驱动从动轴转动。它起离合器、变速器、制动器的作用，一般应用在精密的金属切削机床、船舶、汽车、轧钢机及其他机器中。



图 1-2 液力传动装置

§1-2 水力机械的分类

由公式 1-1 中可看出，液体在水力机械中能量的改变是由于位能、压能或动能的变化而引起的。按能量变化形式的不同，水力机械可分为水力原动机、水力工作机和液力传动装置。

按水力机械结构特征的不同可以分为斗槽式、容积式、叶片式和射流式。表 1-1 为水力机械分类表。

§1-3 水轮机的分类

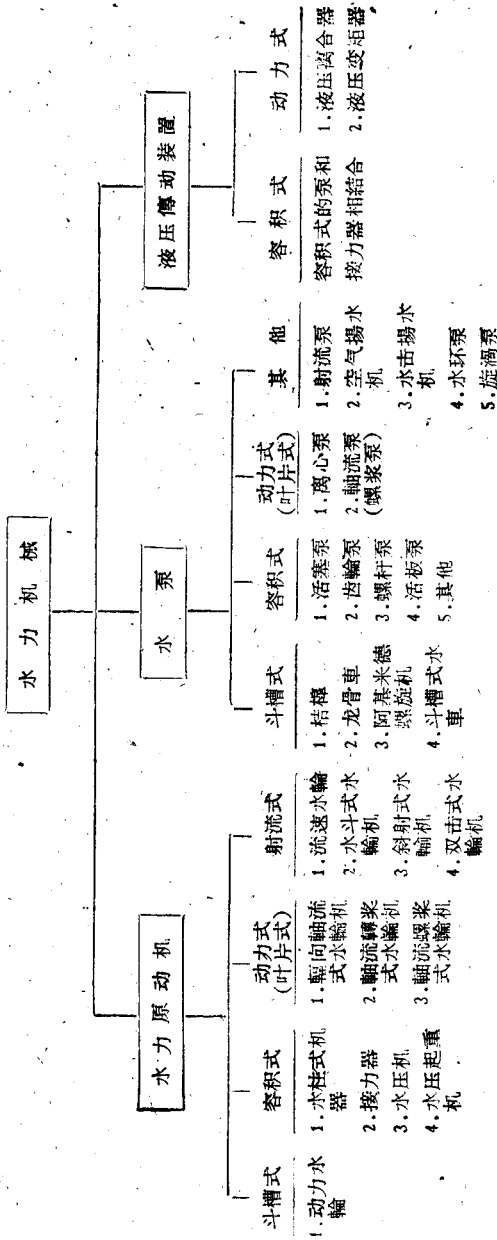
水轮机是水电站主要设备之一，它的工作情况取决于水电站的水头和流量。而水头和流量的大小是决定于河流的天然条件，对于各个水电站可以相差很大，因此，需要设计制造出很多种类型的水轮机，来适应不同情况的水电站，以充分利用水力资源。

现代水轮机的种类很多，一般可按下面的方法来分类。

1. 按水力作用的不同，所有水轮机可以分为反击式和冲击式两大类。

(1) 反击式水轮机

表 1-1 水力机械的分类



反击式水輪机是利用水流的动能和压能来进行工作的，水流流经工作輪时，动能和压能都发生改变。工作时，工作輪中充滿水流，輪叶上受有水流的作用力，使工作輪旋轉。由于水流流经工作輪时，克服輪叶的阻力，損失了一部分压力，因此，工作輪前面的压力大于后面的压力。工作輪前后的压力差愈大，則水能利用率愈高。

(2) 冲击式水輪机

冲击式水輪机工作时，工作輪內只有部分充水，工作輪进口处和出口处的压力相等，等于大气压力，水輪机里沒有反击力。水流的动能发生改变，而压力不发生变化，所以这种水輪机工作是利用水流的动能。

2. 按水流流入轉輪方向可分为輻向軸流式、軸流式。

(1) 輻向軸流式水輪机

工作时，水流的方向沿輻向流入，逐漸地轉为軸向。

(2) 軸流式水輪机

工作时，水流的方向始終是沿着軸的方向。

3. 按軸的装置位置可分为豎軸式水輪机、橫軸式水輪机和斜軸式水輪机三种。大、中型水輪机多采用豎軸装置，橫軸装置及斜軸装置則应用于小型水輪机中。

§1-4 水輪机的尺寸及代表符号

水輪机的几何尺寸是以工作輪的标准直徑 D_1 表示的。

轉桨式及螺旋桨式水輪机的直徑是轉輪室的最大直徑，它比轉輪的直徑大两条隙縫，約为 $0.001D_1$ ，如图1-3a所示。

輻向軸流式水輪机的直徑是轉輪进水处的最大直徑，如图1-3b及c所示。

水斗式水輪机的直徑，是与噴咀射出的射流的中心綫相切的圓周直徑，如图1-3a所示。

在苏联，水輪机的直徑 D_1 是标准化的，它的尺寸規格以厘米計算。如：30, 35, 42, 46, 50, 59, 71, 80, 84, 100, 120,

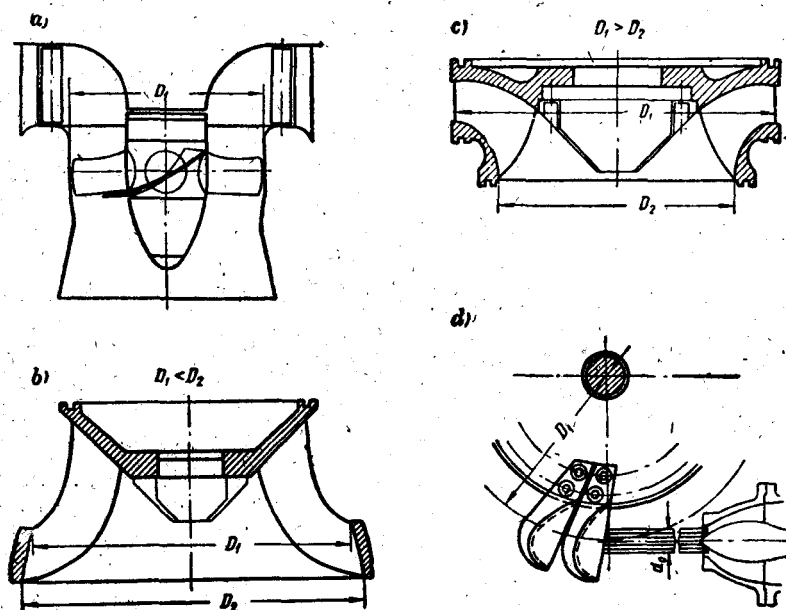


图 1-3 工作輪标准直徑

140, 160, 180, 200, 225, 250, 275, 300, 330, 370, 410, 450, 500, 550, 600, 720, 800, 900。

苏联对各种类型的水輪机采用了統一的符号。

表示水輪机类型的符号：

PO——輻向軸流式水輪机；

ПЛ——轉桨式水輪机；

ПР——螺旋桨式水輪机；

KB——水斗式水輪机。

表示水輪机軸的装置方式的符号：

В——豎軸装置；

Г——橫軸装置。

表示水輪机的引水方式的符号：

О——开敞式；

B——混凝土蜗壳；

M——金属蜗壳；

ΦP——正面进水的圆筒式。

标号前面的符号代表水轮机类型，数字表示该类水轮机工作轮的不同型式，中间的符号表示水轮机轴的装置方式及引水方式，最后的数字则表示转轮直径。例如：PO638-BM-500，即表示辐向轴流式水轮机，638型工作轮，竖轴、金属蜗壳，直径为500厘米。

我国水轮机的代表符号正在拟订中，但目前在设计中多采用苏联的代表符号。

小型农村水电站的水轮机的代表符号，基本上和大中型水轮机的代表符号一样。

第二章 輻向軸流式水輪機

§2-1 輻向軸流式水輪機的概述

輻向軸流式水輪機由于構造上比較簡單和在運轉中的可靠性較高，所以在現代水電站中被廣泛的使用。近幾年來由于設計、製造技術的不斷改進和提高，使水輪機的应用範圍也大大擴大了，現代的輻向軸流式水輪機的使用範圍，由水頭 1.5 米到水頭 500 米。過去許多高水頭的水電站只採用水斗式的水輪機，而現在也逐漸改用輻向軸流式水輪機了。因而增大了轉速，降低了發電機的全部造價。在小容量低水頭的水電站中也常常採用輻向軸流式水輪機。

一般來說，輻向軸流式水輪機的效率較高，最高達 94 % 以上，又最适用于中水頭的水電站，而我國的大多數水電站都是中水頭，所以都是採用這種類型的水輪機。

圖 2-1 是豎軸裝置輻向軸流式水輪機的布置圖，水流從壓力水管 3 流經蝸殼 7 及導水機構 1 流入水輪機工作輪 8，而使工作輪 8 旋轉，然後通過水輪機軸和發電機軸 6 帶動發電機一起旋轉發出電流。當外界負荷改變時，水輪機的出力亦應隨之變化，以適應外界負荷的大小，此時調速器 4 動作，通過壓力油控制的接線器來操作導水機構，改變導水機構開度的大小來調節流量的大小。經過工作輪的水流然後由尾水管 9 流出，排泄到下游水中去。

輻向軸流式水輪機的構造是由工作輪、主軸、軸承、導水機構、蝸殼、座環、基礎環及尾水管等主要構件所組成。各構件相互間的結構關係可從圖 2-2，2-3 中看出。

座環支柱(固定導葉) 20 固定在座環頂緣 19 和座環底緣 21 之間，工作時它不動。導水葉 4 則裝在上蓋 16 和底環 3 的軸承中，借拐臂 8、連杆 9 與控制環(調速環) 10 相連，控制環則支持在支

持环11上，而控制环又用銷子和接力器的推杆28联在一起，由接力器26来操作使之轉动。輪叶24固定在輪殼(輪冠)13和輪环23上而組成水輪机的工作輪，工作輪則用螺栓与主軸16联接成一体，由主軸将水輪机的机械能傳遞給发电机主軸5再傳給发电机。为了防止主軸在運轉时产生摆动和振動，在主軸靠近工作輪的地方，装有导軸承，它是由軸瓦14及軸承体17組成。

下面我們將詳細討論水輪机主要部件的結構。

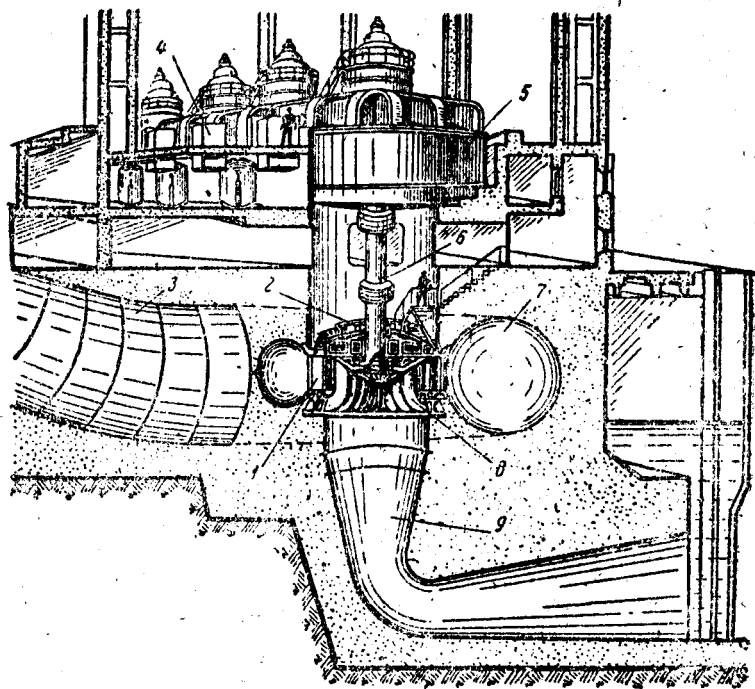


图 2-1

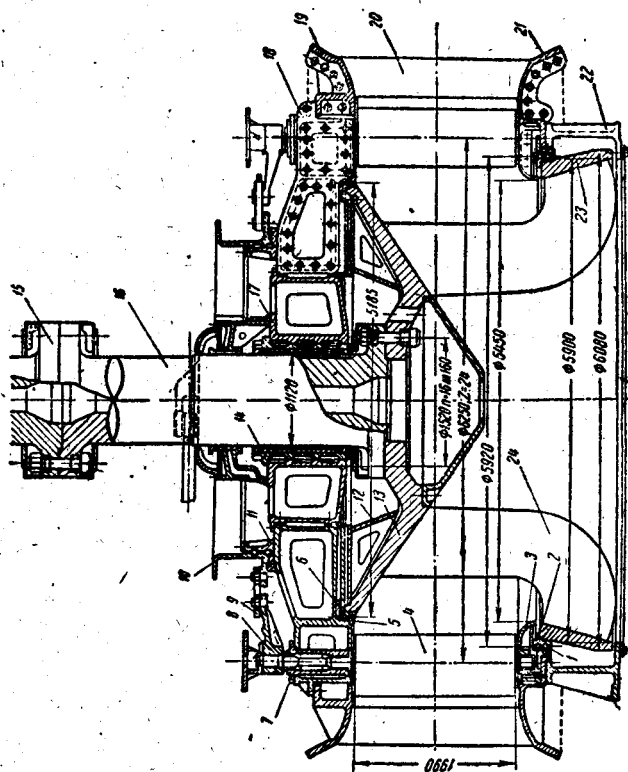


图 2-2 大型辐向轴流式水轮机剖面图

1—下部固定止漏环；2—下部转动止漏环；3—导水机构底环；4—上部固定止漏环；5—上部转动止漏环；6—导叶拐臂；7—导叶轴；8—连杆；9—控制环；10—支持环；11—工作轮引水板；12—工作轮轴；13—导轴承瓦；14—发电机电机主轴；15—水轮机主轴；16—导轴承顶盖；17—导水机构顶盖；18—导水环固定导叶；19—座环底缘；20—座环顶缘；21—工作轮底缘；22—基础环；23—工作轮顶缘；24—工作轮轴。

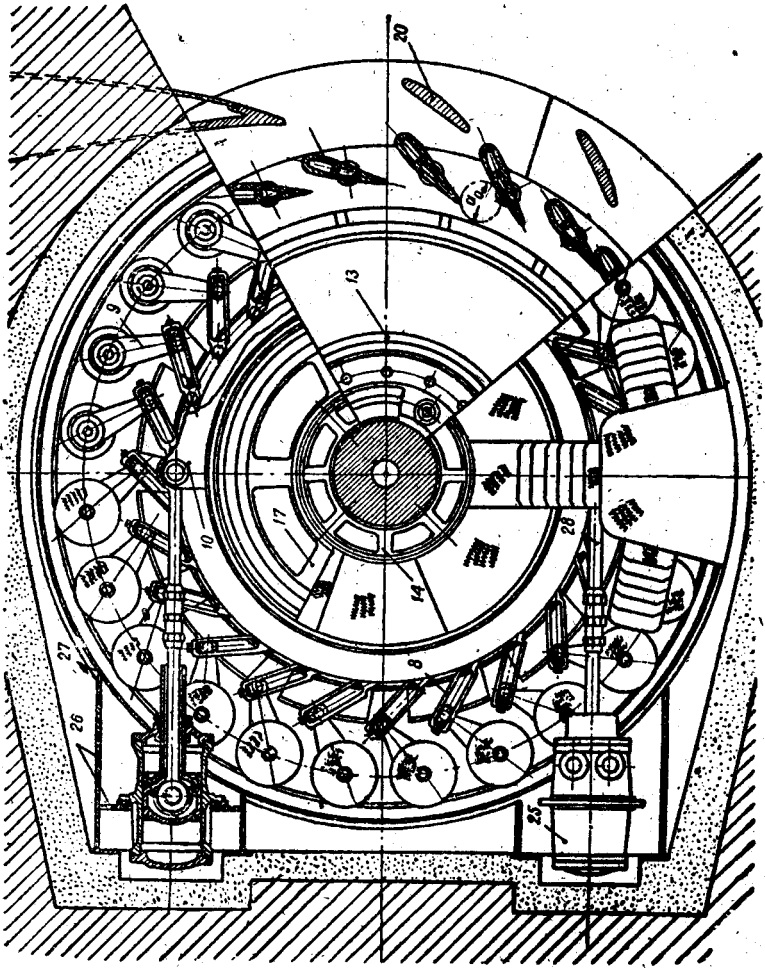


图 2-3 大型辐向轴流
式水轮机平面图

25—导水机构接力器；
26—导水机构接力器坑
衬；27—水轮机坑衬；
28—接力器推拉杆。

§2-2 工作輪

工作輪是水輪機最主要的部件，水流流過工作輪使之旋轉，並將水的能量轉化為水輪機的機械能。

輻向軸流式水輪機的工作輪是由許多輪葉和與輪葉上、下端連接的輪殼、輪環所組成。輪葉本身呈扭曲狀，其下端的扭曲程度較急，上端較緩。各輪葉均勻地分布在工作輪的圓周上。輪葉扭曲程度和數目，都會影響水輪機的性能。其數目自12片到20片，常用的是14片~15片。我國製造的水輪機輪葉數目有14片的，有16片的，也有17片的。

當水輪機工作時，沉重的輪葉因旋轉而產生巨大的離心力，輪葉受離心力的作用如同懸臂梁一樣，全部荷重都集中在輪葉的上端。為了減輕上端的荷重，需要用下端的輪環來分擔，此時離心力使輪環受到張力的作用。

在輪殼的中心裝有一錐體狀部件，叫做“引水錐”，是用來引導輻向的水流順利地折成軸向，這樣可以避免從輪葉夾道出來的水流互相撞擊而造成水力損失，保證了水輪機的效率。引水錐是用螺絲和輪殼連接在一起的，為了防止鬆動，連接後可用電焊將螺帽點焊牢固。

輪殼上開有數個小孔，其目的是在於減小工作輪頂上的水壓力，來改善水輪發電機推力軸承的工作情況（參閱§2-6，圖2-37）。

輻向軸流式水輪機按比速（參閱§7-6）的不同，可分為低比速（ $n_s = 70 \sim 150$ ）輻向軸流式水輪機；中比速（ $n_s = 150 \sim 250$ ）輻向軸流式水輪機；高比速（ $n_s = 250 \sim 400$ ）輻向軸流式水輪機。圖2-4，2-5，2-6，2-7，2-8，2-9，2-10是各種不同比速的輻向軸流式水輪機的示意圖。從圖中可看出，不同比速的輻向軸流式水輪機的工作輪形狀不一樣，它們之間的差別在於低比速水輪機工作輪的進口直徑 D_1 大於出口直徑 D_2 ，而高比速的則反之；低比速的水輪機工作輪的進口高度 b_0 與 D_1 之比，小於高比速的比值（ b_0/D_1 ）；水流流過低比速水輪機工作輪時，輻向的距離大於軸

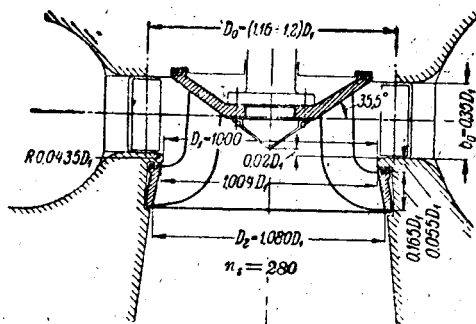


图 2-4 PO123型工作輪的尺寸

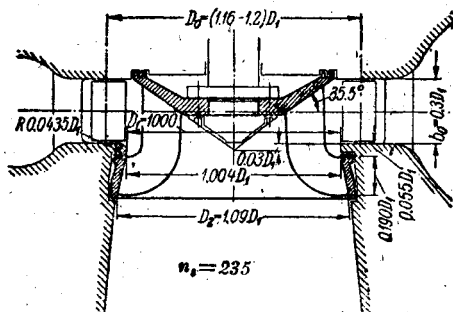


图 2-5 PO211型工作輪的尺寸

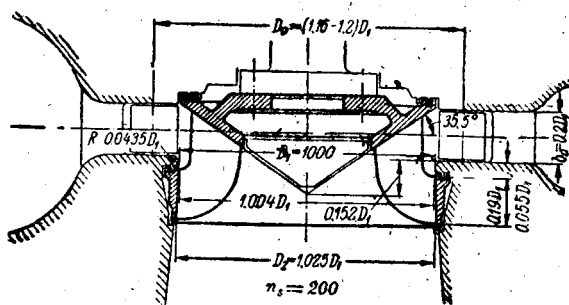


图 2-6 PO82型工作輪的尺寸