

357694

水利电力部

北京勘测设计院编



农村水电站 下册



中国工业出版社

512
40.5

农 村 水 电 站

下 册

水利电力部北京勘测设计院编

中 国 工 业 出 版 社

本书是为了支援农村办电，促进农业的技术改造而编写的。

本书分上下两册：上册为水电站的勘测、规划、水工设计及其施工部分，下册为机电设计、安装及试运转部分。

下册的主要内容是：简单介绍了水电站机电设备：水轮机、发电机、主结线及其有关机电设备的分类、构造及选择方法；对农村水电站的继电保护及自动化作了一般性的介绍；最后提出了一些机电设备布置、安装、试运转及维护的注意事项。

本书可供从事农村水电站工作的同志阅读，也可供水利水电学校的师生参考。

本书由水利电力部北京勘测设计院各专业组分工合编，最后由牛仲逸、段乐斋同志汇稿，由刘芳级、罗汀同志审核。

农 村 水 电 站

下 册

水利电力部北京勘测设计院编

*

水利电力部办公厅图书编辑部编辑(北京阜外月坛南街房)

中国工业出版社出版(北京佟麟阁路丙10号)

北京市书刊出版业营业许可证出字第110号

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印张 $10^{1/2}$ ·插页2·字数227,000

1964年9月北京第一版·1964年9月北京第一次印刷

印数0001—5,790·定价(科六)1.50元

*

统一书号：15165·3328(水电-448)

目 录

第九章 电站机电设备

编写者：郭恒春、于新生、金良法；

校核者：寿梅华、王福源。

第一节 水轮机的分类与构造	1
第二节 水轮机选择	6
第三节 调速设备	22
第四节 阀门和起重设备	30
第五节 水轮发电机组的传动	36
第六节 发电机	41

第十章 电气主结綫及主要电气设备

编写者：李伯夏、李文森、王 萍；

校核者：李文森、倪順鋈。

第一节 电气主结綫	44
第二节 变压器	54
第三节 油开关	56
第四节 隔离开关	57
第五节 负荷开关	59
第六节 开关操作机构	61
第七节 自动空气开关	64
第八节 闸刀开关与轉換开关	65
第九节 熔断器	68
第十节 电站載流引綫	72
第十一节 瓷絕緣子和瓷套管	80
第十二节 高压线路导线选择	86
第十三节 配电盘与开关柜	88

第十一章 仪表测量，继电保护及自动化

编写者：吴百寿；

校核者：徐恭楙。

第一节 仪表测量及互感器	91
第二节 短路电流	96
第三节 继电保护	103
第四节 发电机的自动电压調整	117
第五节 水电站自动化	120
第六节 小型电站的并車	123

第十二章 电站电气设备的布置、防雷和照明

编写者：李伯夏、王 萍、芦添鎮；

校核者：李文森、倪順鋈。

第一节 电气设备布置的一般原則	126
第二节 戶內电气设备的布置	127
第三节 变电站布置	131
第四节 水电站的防雷	138
第五节 水电站的接地	143
第六节 照明	149

第十三章 水轮机发电机的安装及水电站的运行

编写者：吴百寿；

校核者：王福源。

第一节 水轮机的安装	153
第二节 水电站的試运轉	158
第三节 电站设备在运行中常見的故障	159
第四节 电站运行中的检查和記錄	162
第五节 机組的检修与維護	163

第九章 电站机电設備

第一节 水輪机的分类与构造

(一)水輪机的分类 水輪机为水电站重要組成部分之一,水流通过水輪机轉輪时,依靠水的能量驅使轉輪旋轉,然后再由水輪机带动发电机发出电能。我国农村中常用以带动水碓、水磨等的水車就是水輪机的最初型式,但这种水車的效率較低,构造笨重,不能适应大容量及高轉速的要求,經過不断改善,才有現在的能适应各种水头和流量的水輪机。

根据水流作用在水輪机轉輪上不同的方式,現代水輪机可分为下列两种:

一、冲击式水輪机(又称为培尔頓式)。

二、反击式水輪机:这种型式水輪机又可分为:

(1)輻向軸流式水輪机(又称为法兰西斯式)。

(2)軸流式水輪机包括:

1.螺桨式水輪机,有定叶式、調叶式两种;

2.轉桨式水輪机(又称为卡布兰式或轉叶式)。

在本书中将只談到鉄制水輪机,至于木制水輪机及双击式水輪机已在前水利部北京勘测設計院編写的“农村小型水电站参考資料”一书中詳細介紹,故不贅述。

(二)水輪机一般构造

一、冲击式水輪机:这种水輪机主要适用于高水头小流量的工作条件,构造如图 9-1 所示。水流自水庫或前池經压力水

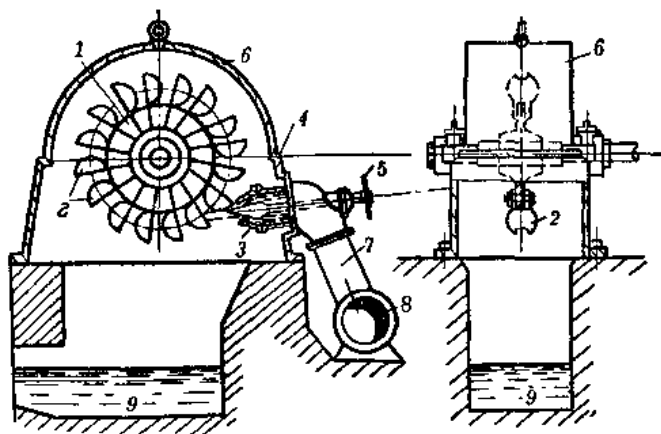


图 9-1 冲击式水輪机的安装和工作示意图

1—轉輪; 2—水斗; 3—喷嘴; 4—調节針閥; 5—調整手輪; 6—外壳;
7—進水管; 8—压力水管; 9—尾水槽。

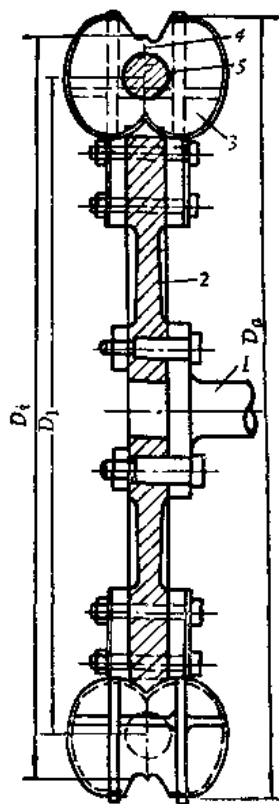


图 9-2 冲击式水輪机轉輪的横剖面

1—軸; 2—輪盘; 3—水斗; 4—銳緣;
5—噴射流束的最优位置。

管8到进水管7，然后通过喷嘴3，以很高的流速喷射在转轮1的水斗上。转轮受到水流冲击后即转动起来，带动发电机发出电能。水流通过转轮后跌落于尾水槽9中排往下游水道。冲击式水轮机的转轮是一个四周安装有水斗的轮盘，形状如图9-2。

水斗形状特点是中间有一突出的锐缘，将喷射到水斗上的水柱分向两边流走。机组的喷嘴内装有针阀4，转动手轮5即可使针阀前后移动，改变喷嘴孔口开度，以调节进入的流量。若将针阀向前移动把整个喷嘴孔口堵住，水流即停止，则水轮机亦停止转动。一般在流量不大时安装一个喷嘴就够了，当流量较大时，在同一转轮上亦可安装两个喷嘴，甚至可安装两个以上的喷嘴，以提高水轮机的出力。

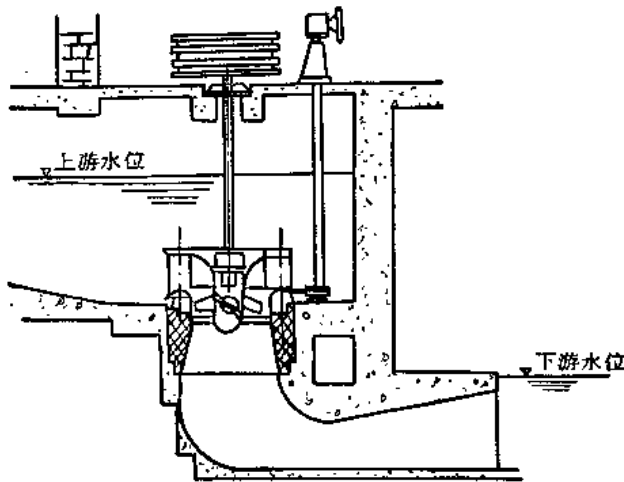


图9-3 主轴开敞式水轮机示意图

水轮机外面罩有金属外壳，以引导水流汇集于尾水槽中。该型水轮机没有尾水管，主轴一般布置为横轴的。

二、反击式水轮机 反击式水轮机包括辐向轴流式和轴流式两种型式。它们的构造区别主要是转轮形状不同，其它部分都是相似的。反击式水轮机构造上大致可分为进水、转轮、泄水三部分：

(1) 进水部分 这一部分的作用是将水流顺利地引入水轮机中，一般进水部分的形式可分为开敞式与封闭式两种。开敞式适用于水头在6米以下

低水头的小型电站，其布置形式是将水轮机安装在宽阔的水槽中，水流直接从水槽四周进入转轮室，水槽中的水位即为电站之上游水位，见图9-3。当水头大于6米时，为使发电机布置在上游水位以上，主轴增长很多，同时厂房还需要考虑受压和防止水的渗透问题，此时应采用封闭式引水。封闭式引水的优点，是水电站的水轮发电机组可布置在上游水位以下，水轮机可以布置在下游尾水位以下，同时还可以减少机组在平面上所占的面

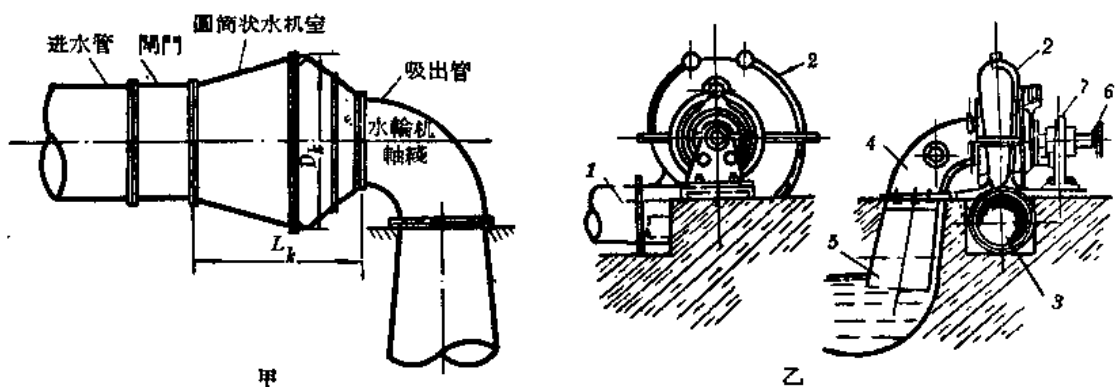


图9-4 封闭式水轮机组装置图

甲—罐式水轮机组装置

乙—蜗壳引水式水轮机组装置

1—压力水管；2—蜗壳；3—进水口；4—尾水管
弯头；5—尾水管；6—蜗壳；7—蜗壳。



图 9-5 铸铁蜗壳全貌

积。封闭式引水包括正面进水罐式和蜗壳式两种，见图9-4。

罐式引水机组在目前农村电站中用得尚不多。

蜗壳式引水为目前使用最普遍的型式。蜗壳一般有两种，即混凝土蜗壳和金属蜗壳。前者一般用于水头在30米以下的电站，后者用于水头在30米以上的电站。但对于卧式机组，由于布置需要，有时在30米以下的电站也采用金属蜗壳（如图9-4乙）。

混凝土蜗壳的设计见本书第六章。

金属蜗壳一般是钢板焊接组合而成，小型水轮机蜗壳常用铸铁制成。蜗壳形状见图9-5。

封闭引水式机组在水轮机转轮的外围圆周上装有若干导水叶，见图9-7。经过蜗壳的水流从四周沿着导水叶之间进入转轮。导水叶的作用是：1.使水流平顺地进入转轮；2.当负荷变化时，依靠导水叶的转动来调节进入转轮流量的大小。为了使全部导水叶同时以同一角度转动，在导水机构上安装有调速环及调速拉杆，转动调速环时全部导水叶即行转动，流量也就随着改变。当导水叶全关闭时水轮机即停止转动。

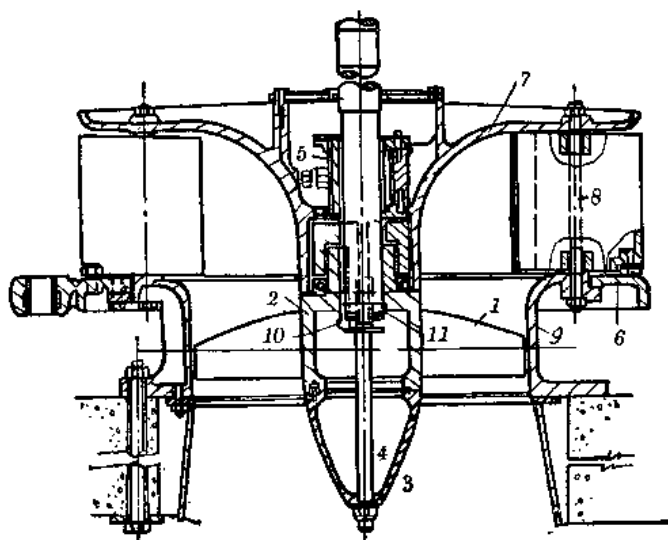


图 9-6 螺旋式水轮机结构图

1—轮叶；2—轮毂；3—泄水锥；4—长螺杆；5—胶合木轴瓦的导轴承；6—调速环；7—水轮机盖；8—导水叶轴；9—支承底环；10—轴键；11—垫圈。

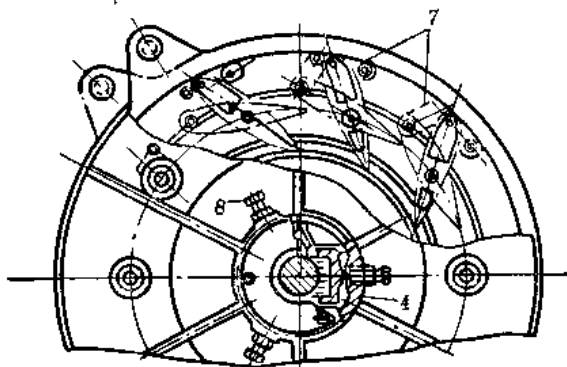
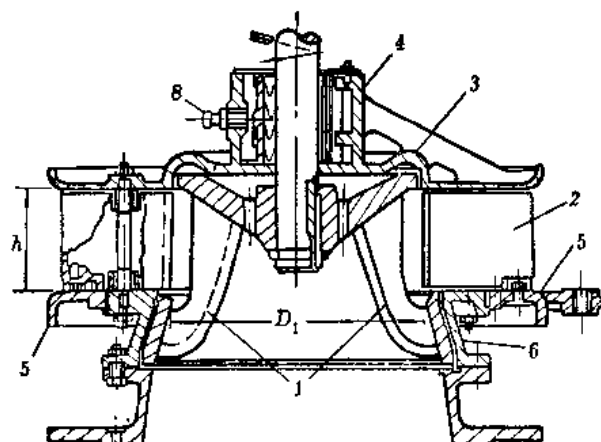


图 9-7 辐向轴流水轮机结构图

1—转轮；2—导叶；3—水轮机盖；4—导轴承；5—调速环；6—支承底环；7—联接杆；8—调节螺栓。

图9-6及图9-7为螺旋式水轮机及辐向轴流式水轮机的结构图。

(2) 轉輪部分 轉輪是水轮机中最主要的部分, 各种类型水轮机之区别主要在于轉輪型式的不同。

輻向軸流式轉輪, 是由許多扭曲形的叶片和在叶片上端的輪冠及叶片下端的輪箍所組成, 見图9-8及图9-9, 叶片固定在輪冠和輪箍之間。工作水头不大的小型水轮机, 一般轉輪是在浇制鑄鉄的輪冠和輪箍时, 中間嵌以普通碳鋼板弯成的叶片一体鑄造而成。

較大尺寸的水轮机轉輪在水头不高的情况下, 整体用鑄鉄浇鑄而成。

輻向軸流式轉輪叶片断面形状为流綫型, 叶片数目一般是12~20个。

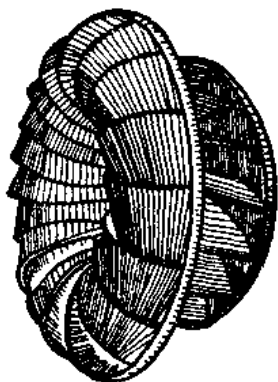


图 9-8 輻向軸流式水轮机轉輪

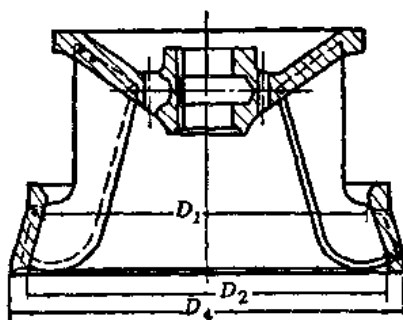


图 9-9 輻向軸流式水轮机轉輪剖面表示图

螺旋式(軸流調叶式)水轮机的轉輪, 是由一个輪轂和装設在輪轂上的扭曲形叶片构成, 見图9-10。这种水轮机的叶片有时做成嵌入式, 按不同的水头把叶片安在不同轉角的固定位置上。叶片断面为流綫型, 与飞机或輪船上的螺旋桨相似。叶片数目一般常見的是2~4片。

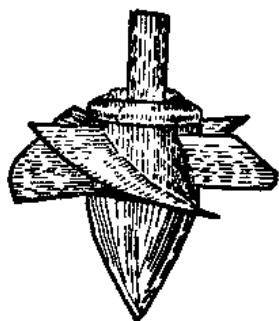


图 9-10 螺旋式水轮机轉輪

轉桨式(軸流轉叶式)水轮机的轉輪和螺旋式水轮机轉輪形状完全一样, 只是轉桨式轉輪的叶片可圍繞叶片軸心旋轉, 机组有两套協調动作的自动調节机构, 以使水轮机在負荷或水头变化的情况下經常保持較高效率运行。由于这种水轮机构造复杂, 造价昂貴, 維護麻煩, 故小型水电站都不采用。

(3) 泄水部分 水流从轉輪流出时还含有很大能量, 特別是軸流式水轮机, 这些能量的利用对于提高水轮机的效率有着很大意义。为了收回这部分能量(使水轮机下端产生負压力), 在轉輪下面装有泄水装置, 一般称为尾水管。

尾水管有多种不同型式, 一般常用的有直錐形和弯曲形两种, 見图9-11。直錐形效率高, 但由于尾水管較长, 修建水电站厂房时基础需要开挖很深, 故这种型式仅用于小型水电站。大中型水电站都采用弯曲形尾水管。

关于尾水管的尺寸和重量等技术数据, 参考表9-1。直錐形尾水管的尺寸一般在水轮机制造厂家的图紙上都已制定。尾水管錐形部分下面的圓筒部分长度, 可按电站的允許吸出高度及电站厂房布置与厂家共同协商确定。一般要求尾水管底緣埋入水深至少300~500

毫米(根据最低尾水位)。尾水管底缘距尾水渠底的距离应为 $1.3 D_1$, 而尾水渠的宽度应不小于 $4.0 D_1$ (D_1 是转轮的直径)。直锥形尾水管的锥角 θ (如图9-11甲所示)一般采用 4° 至 9° 。小角度用在长尾水管上, 直锥形尾水管的长度和锥角与尾水管效率的关系如表 9-2所示, 可供选择尾水管长度时参考。

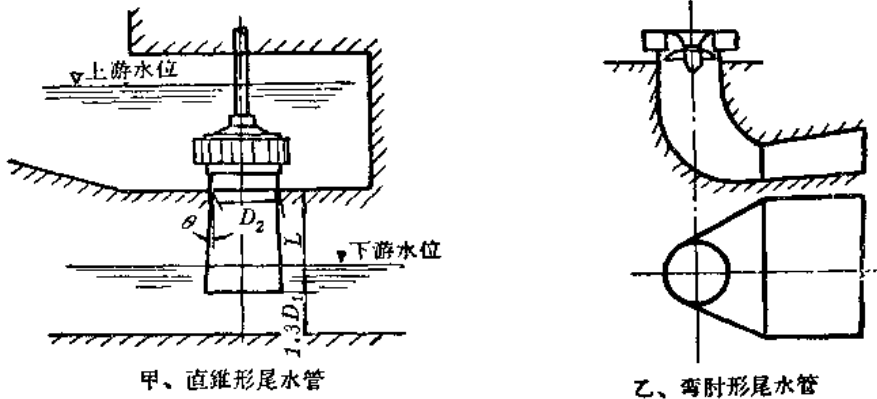


图 9-11 尾水管图

小型水轮机尾水管尺寸表

表 9-1

水轮机型号	尾水管 进口 直径 (毫米)	尾水管 圆锥角 (2θ) 度	尾水管长度 (米)											
			1.5		2.0		2.5		3.0		3.5		4.0	
			尾水管 出口直 径 (毫米)	管重 (公斤)	尾水管 出口直 径 (毫米)	管重 (公斤)	尾水管 出口直 径 (毫米)	管重 (公斤)	尾水管 出口直 径 (毫米)	管重 (公斤)	尾水管 出口直 径 (毫米)	管重 (公斤)	尾水管 出口直 径 (毫米)	管重 (公斤)
ZD70-LM-60	605	11~13	945	—	1020	180	1085	230	—	—	—	—	—	—
ZD70-LM-80	810	12~16	1235	—	1300	240	1330	290	1440	370	—	—	—	—
ZD70-LM-100	1010	12~18	1485	—	1575	310	1625	380	1695	450	1745	600	—	—
ZD70-LM-120	1210	13~19	1710	—	1805	370	1915	460	1950	550	2010	700	—	—
HL300-LM-42	510	13	—	—	965	170	965	220	965	270	965	320	965	370
HL300-LM-50	605	13	945	130	1060	190	1060	250	1060	310	1060	370	1060	430
HL300-LM-59	720	13	1065	150	1175	210	1175	280	1175	350	1175	420	1175	490
HL300-LM-71	850	13	1190	170	1305	240	1420	320	1420	400	1420	480	—	—
HL300-LM-84	1010	13	1350	200	1465	280	1580	360	1695	450	1695	540	—	—

尾水管长度和锥角与最大效率的关系

表 9-2

$K = \frac{L}{D_2}$	10	6	4	2.5
圆锥角 θ°	4	6	8	10
尾水管最大效率 $\eta_{max}\%$	86.5%	82.5	76.5	71

尾水管在低水头电站中对水轮机效率影响很大, 因为低水头电站甚至有30%以上的水头靠尾水管收回来, 故机组容量较大须安装弯曲形尾水管时应先与制造厂进行协商, 确定尾水管尺寸。图9-12和表9-3所推荐的尾水管型式和尺寸, 可作为设计电站时的参考。

尾水管的结构计算详见本书第六章。

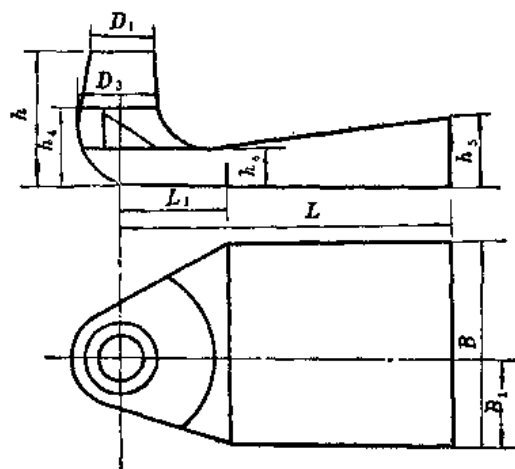


图 9-12 弯尾水管主要外形尺寸图

弯曲形尾水管主要外形尺寸与转轮直径 D_1 的关系

表 9-3

h	h_4	h_5	h_3	D_3	L_1	L	B	B_1
$2 \sim 2.4 D_1$	$1.25 \sim 1.4 D_1$	$1 \sim 1.2 D_1$	$0.62 \sim 0.72 D_1$	$1.25 \sim 1.4 D_1$	$1.2 \sim 1.55 D_1$	$3.5 \sim 4.9 D_1$	$2.5 \sim 2.9 D_1$	$1/2 B$

注：对于轴流式水轮机宜选用较大的尺寸。

第二节 水轮机选择

(一) 水轮机主要参数及其意义 为了正确地选择水轮机，我们应弄清楚水轮机的主要参数及其意义。

一、传给发电机的水轮机有效出力或额定出力，可按下列式计算：

$$N_r = \frac{1000 \times Q \times H \times \eta}{102} = 9.81 Q H \eta \text{ (瓩)} \quad (9-1)$$

式中 Q ——通过水轮机的流量(米³/秒)；

H ——计算水头(米)；

η ——水轮机的效率，在初步计算中，一般用0.70~0.80；

N_r ——水轮机的有效出力(瓩)。

发电机出力为：

$$N_g = N_r \times \eta_g \text{ (瓩)} \quad (9-2)$$

式中 N_g ——发电机有效出力(瓩)；

η_g ——发电机效率，一般采用0.88~0.90。

上式发电机的出力计算中，考虑机组为直接传动。

二、水轮机的计算水头(或称设计水头)，是指保证水轮机发出额定出力的最小水头，这是选择水轮机的主要参数，一般书中常用 H_p 表示。

三、电站毛水头(或称静水头)，是指水电站上下游水位的差值。选择水轮机时应采用

淨水头計算(或称有效水头), 当我们已测得电站毛水头时, 則电站的淨水头可按下式求出:

$$H = H_0 - h_1 - h_2 \quad (9-3)$$

式中 H_0 ——电站毛水头(米);

H ——电站淨水头(米);

h_1 ——水輪机引水设备的水头损失(包括渠道、引水管、水槽等等);

h_2 ——泄水设备中的水头损失(此部分损失不大, 往往可忽略不計)。

四、最大工作水头 是指电站工作中可能出現的最大水头。一般发生在上游处于最高正常高水位, 而下游相当于机組最小出力时的流量的水位。电站最大工作水头, 决定了水輪机叶片承受的工作应力。

五、最小工作水头 是指电站工作中可能出現的最小水头。在小型电站一般发生于使尾水位升高的洪水期。水輪机允許的最低工作水头是由水輪机最低效率或运轉的稳定性限制的。

六、水輪机計算流量 是指在計算水头下机組在額定出力时, 通过水輪机的流量。对于各种水輪机來說在一定水头下, 可能通过的最大流量值是一定的。

七、水輪机額定轉数 是指水輪机正常运轉时每分钟旋轉的次数。确定水輪机的額定轉数时, 应根据电站的工作水头及轉輪直径以选择效率最好时的轉数。

当水輪机处于无負荷的情况下水輪机的导水叶开启在最大位置上, 則机組将产生飞逸轉数, 一般水輪机的飞逸轉数为額定轉数的二到三倍, 水輪机和发电机的强度, 均应保证在短時間內(一般为2分钟)安全承受在飞逸轉数下产生的应力。

(二)水輪机的代表符号 为了便于水輪机規格的統一和工作方便起見, 現在均采用代表符号來說明水輪机的技术性能和特征。代表符号分为三个部分: 第一部分表示水輪机的型式和模型轉輪試驗序号。第二部分表示水輪机的主要結構(包括主軸裝置方式, 引水室布置等)。第三部分表示水輪机轉輪直径(以厘米計)。現將代表符号及其意义列于表9-4。

水輪机代表符号

表 9-4

第 一 部 分 代 号					第 二 部 分 代 号					
水 流 路 綫		叶片固定方式		俄文符号	軸 的 布 置 方 式			引 水 室 型 式		
符号	代表意义	符号	代表意义		符号	俄文	代表意义	符号	俄文	代表意义
Z	軸 流 式	Z	轉 叶 式	ПП	W	Г	臥 式	M	О	明 槽
		D	定 叶 式	ПР	L	В	立 式	H	Б	混凝土蜗壳
		T	調 叶 式	ПРК	G		罐 式	J	М	金屬蜗壳
HL	混 流 式 (輻向軸流式)			PO或Φ				Z	Φ	正面进水 (罐式)
QJ	冲 击 式			ПК						

例如: HL123-LH-100 型水輪机, 即輻向軸流式水輪机, 模型轉輪序号为123, 机組結構为立軸混凝土蜗壳, 轉輪直径100厘米。如用苏联的代表符号則为PO123-BE-100型。

(三)水輪机的选择方法 当电站的最大水头、平均水头、最小水头及最大流量、最小流量、平均流量、电站装机容量等参数，根据水电站的规划和水能计算结果确定以后，即应进一步考虑选择水輪机的型式、轉数、台数、轉輪直径、机組出力等参数。由于水輪机是电站的原动机，故在一定的水头、流量和出力条件下，水輪机型式、轉数等都直接影响整个电站的运行效率和生产的电能，因此水輪机选择在設計电站工作中是很重要的一部分。

为便于設計时初步选择水輪机参考，现将我們收集到的几种水輪机技术资料汇编于后。我国中小型水輪机系列正在不断修正补充，因此在进行电站設計选择水輪机时，应向制造生产部門联系，取得最新的正式資料。

各类小型水輪机的应用水头范围表

表 9-5

水 輪 机 类 型	应用水头范围 (米)	备 注
輻 向 軸 流 式	5~130	HL360 HL300 包括HL123 HL702 HL130
軸 流 定 叶 式	2~20	包括ZD70 ZD661
冲 击 式	80~200	包括QJ27.5 QJ27.2

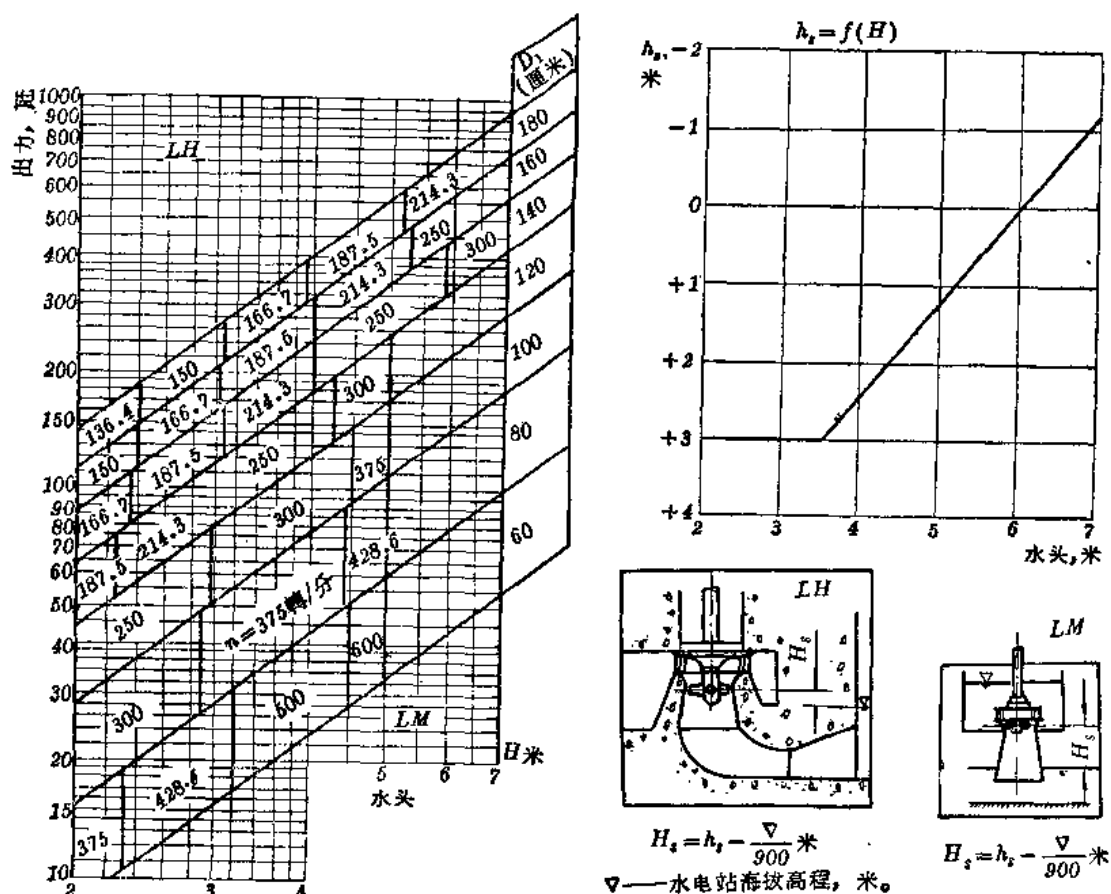


图 9-13 ZD70-LH, LM 水輪机使用范围图

图9-13至图9-19表示了各种水輪机的适用范围，設計时可以根据水能规划的要求，參照表 9-6 及上述各图初步选定水輪机机型及直径，然后再同制造部門进一步商談落实。

为便于設計参考，我們將各型水輪机，按几种常用的直径，詳細計算了有关主要参数，列于表 9-7 至表9-19，从表中可以查找某一型式的水輪机，当直径、水头一定时，相应的出力，流量和轉数值。

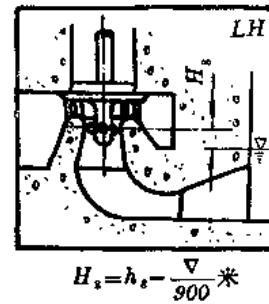
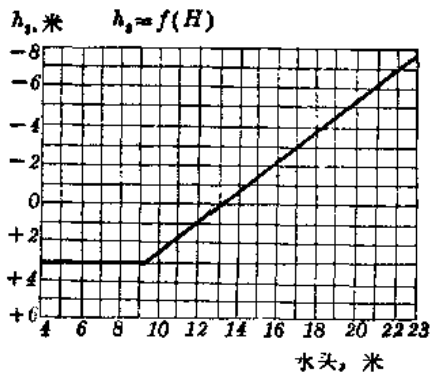
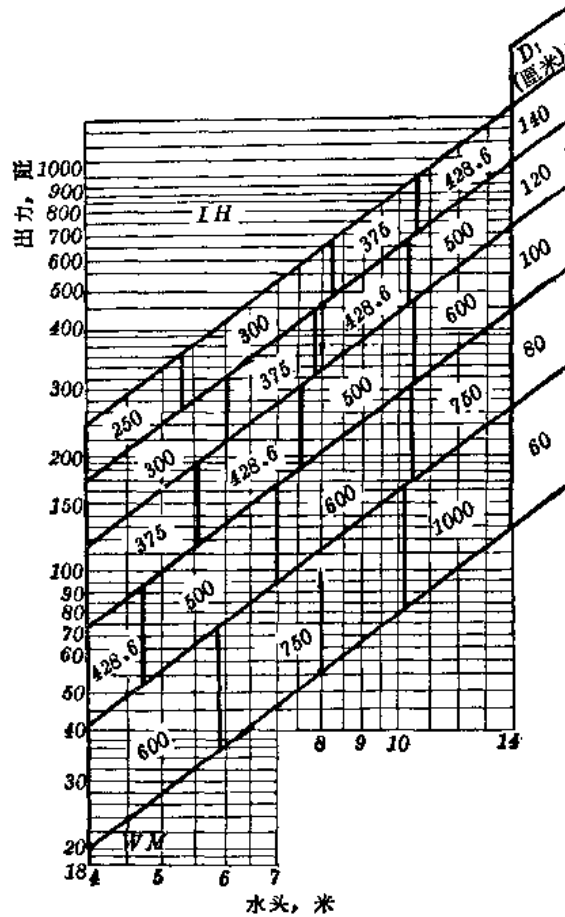
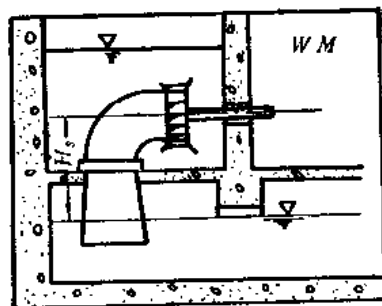
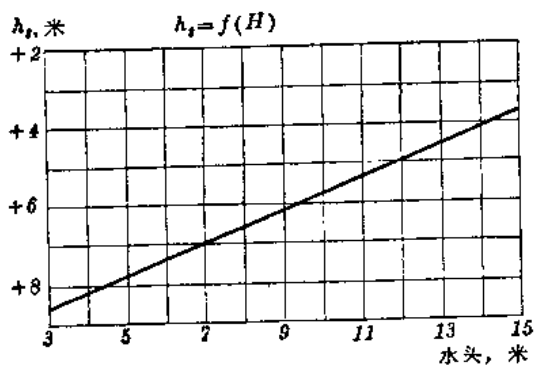
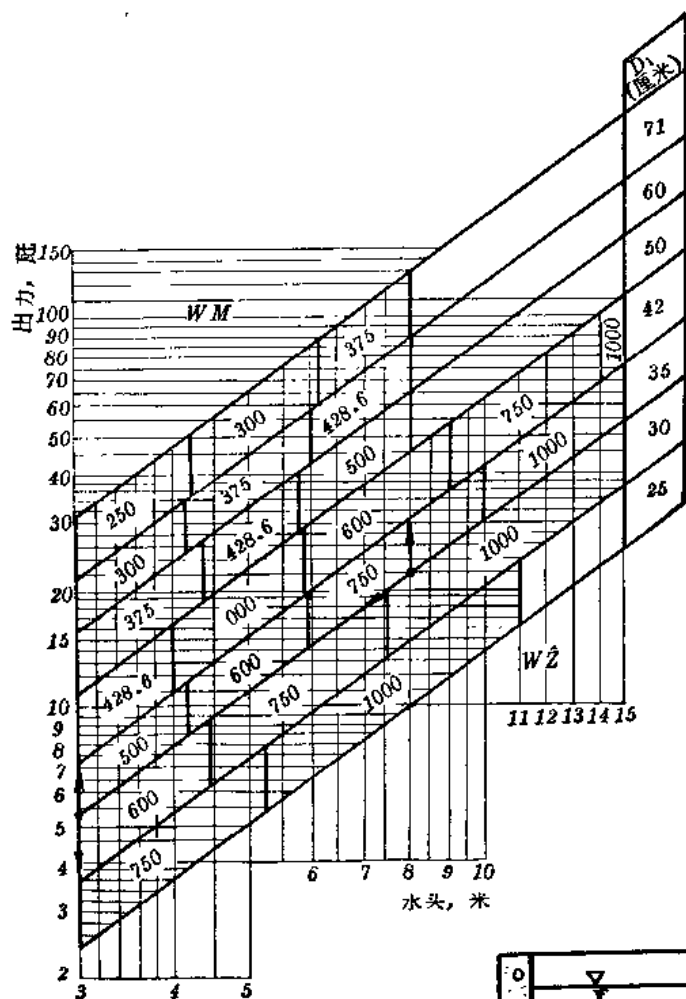


图 9-14 ZD661-LH 水輪机使用范围图



$$H_s = h_f - \frac{\nabla}{900} - \frac{D_I}{2} \text{ 米}$$

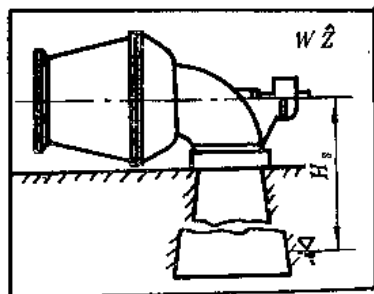
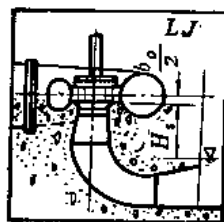
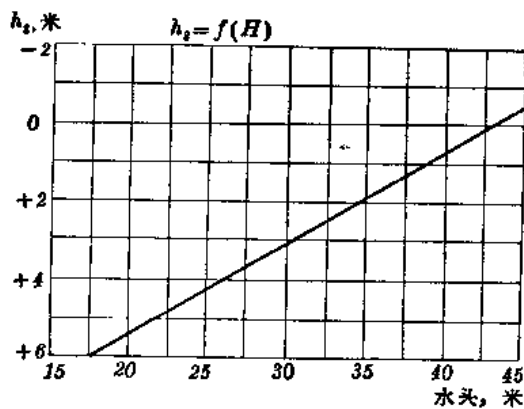
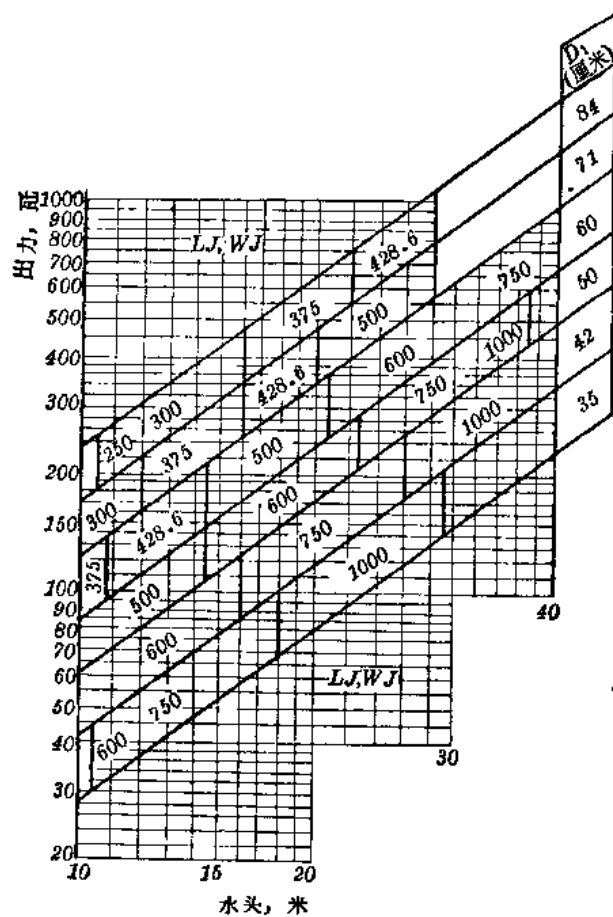


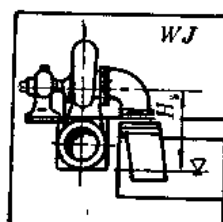
图 9-15 HL-360-WM, WZ 水轮机使用范围图



$$(甲) H_1 = h_2 - \frac{\nabla}{900} \text{ 米}$$

$$b_0 = 0.25 D_1$$

▽——水电站海拔高程, 米



$$(乙) H_1 = h_2 - \frac{\nabla}{900} - \frac{D_1}{2} \text{ 米}$$

图 9-16 HL123-LJ, WJ 水轮机使用范围图

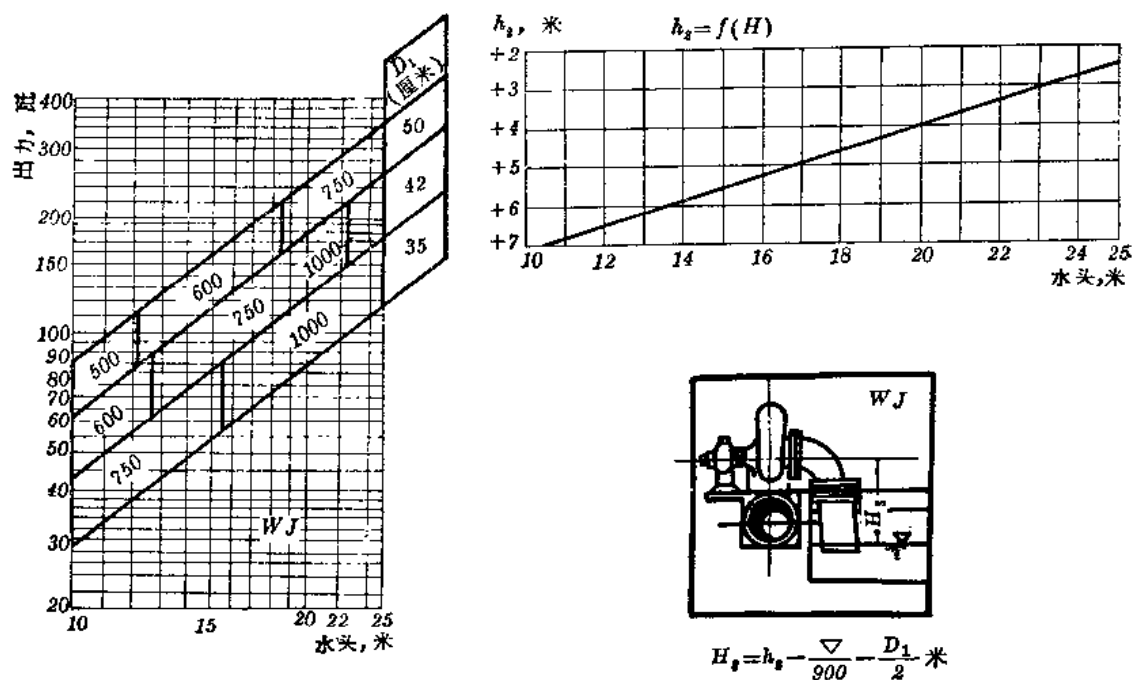


图 9-17 HL300-WJ 水轮机使用范围图

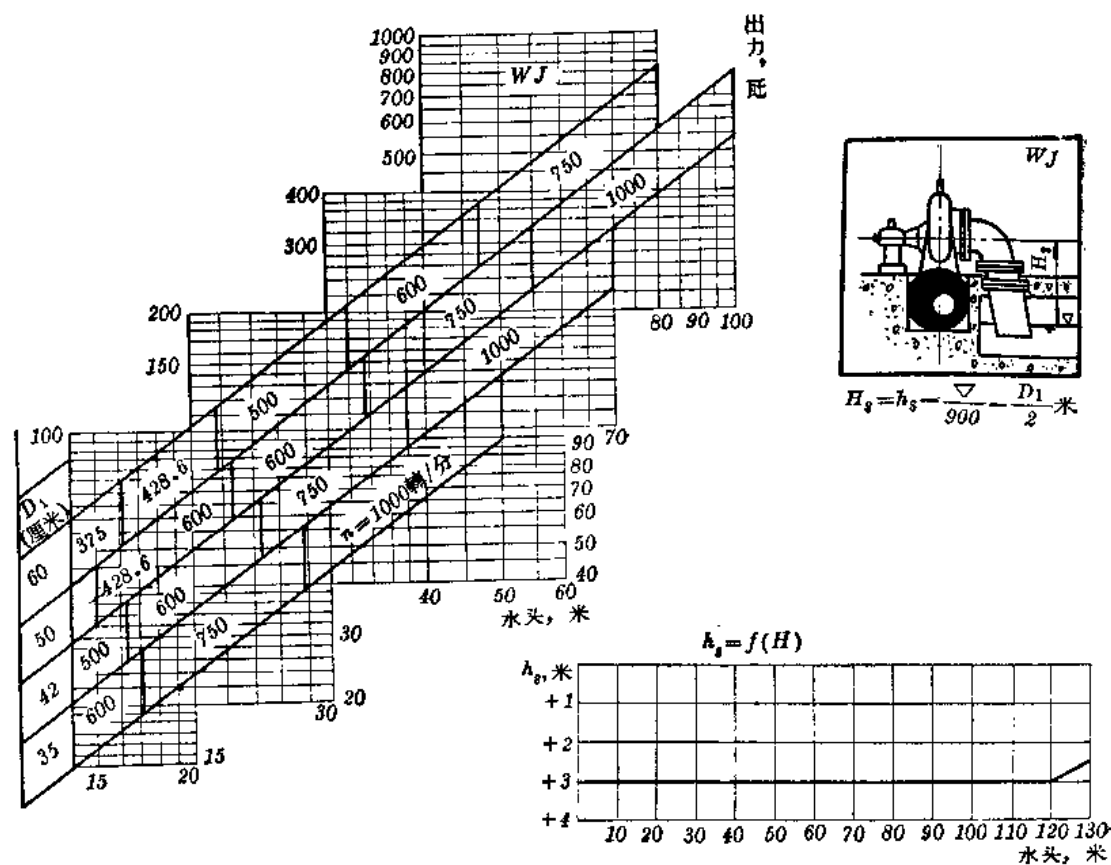


图 9-18 HL130-WJ 水轮机使用范围图

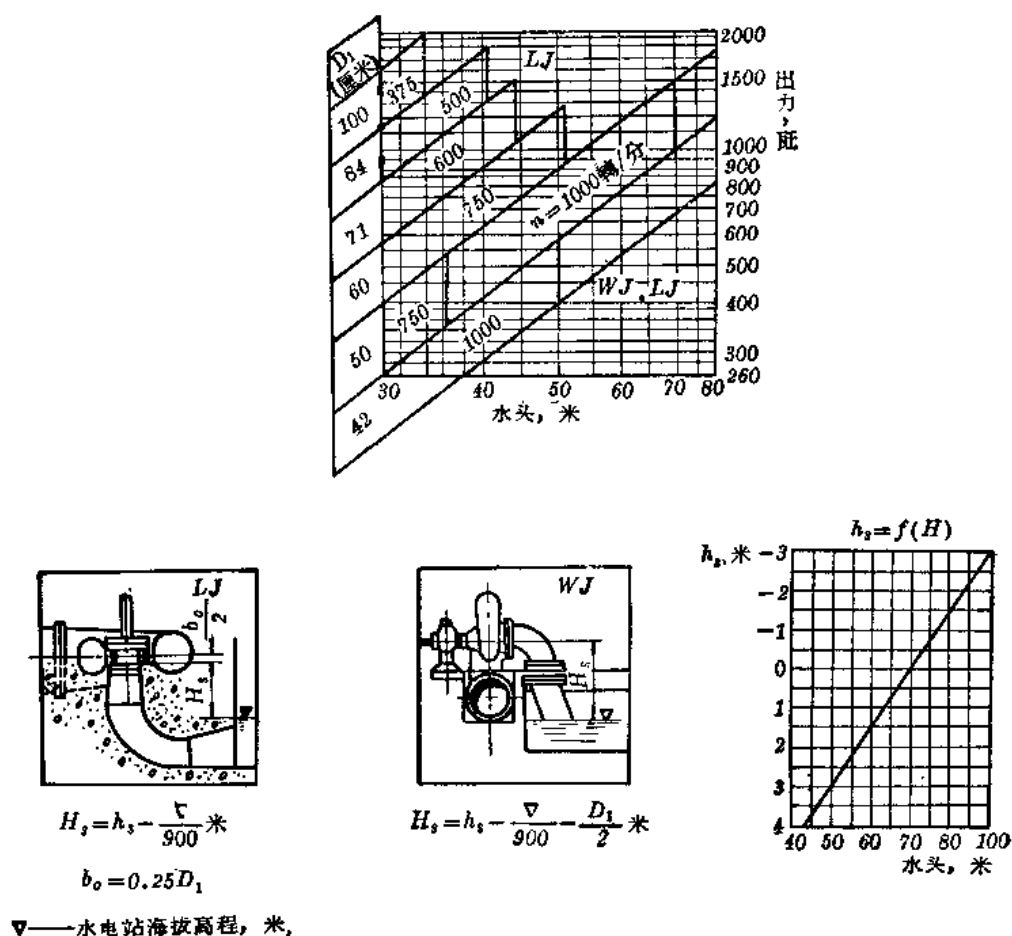


图 9-19 HL702-WJ, LJ 水轮机使用范围图

选择水轮机的具体步骤:

一、首先确定电站的水头、流量、出力。这部分工作对整个电站来讲非常重要(见本书水能计算部分), 设计者应使可利用的自然能量得以充分利用。

二、根据已知的计算水头和单机出力, 在表9-6中初步选定水轮机类型。

三、根据初步选择之水轮机, 再由表9-7至表9-19中进一步选出水轮机的直径、转速, 出力及机组配套方式。

例题9-1 某电站的计算水头为17米, 计算流量1米³/秒, 要求水轮机出力125瓩。应选择何种型式水轮机最为合适? 转轮直径, 转速为多少?

题解步骤:

(1) 首先由表9-6中查出选用轴流式水轮机中的 HL300 型水轮机。

(2) 按电站计算水头 ($H_p=17$ 米), 计算流量 ($Q=1$ 米³/秒), 由表9-14中查出, 水轮机设计水头17米, 计算流量0.98米³/秒, 出力137瓩, 则水轮机转轮直径应选为0.42米, 转速786转/分。

(3) 故最后可选用HL300-WJ-42型水轮机。因为该型水轮机和电站的具体条件非常接近。