



高等学校教材

水电站动力设备设计手册

河海大学 骆如蕴 主编



高等学校教材

水电站动力设备设计手册

河海大学 骆如蕴 主编

水利电力出版社

高等学校教材
水电站动力设备设计手册
河海大学 骆如蘊 主编

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

北京市京东印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 29.25印张 667千字

1990年6月第一版 1990年6月北京第一次印刷

印数0001—1670册

ISBN 7-120-00938-9/TV·307

定价6.10元

内 容 提 要

本手册内容主要包括：水轮机，水轮发电机，主阀，起重设备，调速设备，油气水设备，电气一次设备和厂房尺寸初估与工程量估算。介绍了设备的类型、结构、选择、技术参数、外形尺寸、重量及价格估算等。

本手册为《水电站动力设备》、《水利水电工程建筑》、《农田水利工程》等专业从事水电站毕业设计的学生参考书，也可供其他有关专业和水电工程技术人员参考。

前 言

本手册是根据1983年10月高等学校“水动专业”西安会议上决定编写的教学参考书，主要供《水电站动力设备》、《水利水电工程建筑》、《农田水利工程》专业从事水电站毕业设计的学生使用。

本手册主要内容有：水轮机，水轮发电机，主阀，调速设备，起重设备，油气水设备，厂房尺寸及工程量概算，电气一次设备。在编写过程中力求避免与有关教材重复，而又紧密衔接，且有一定新意。按照上述几个专业水电站毕业设计的要求和规定的编写字数，重点放在设备的类型、技术参数、选择和外形轮廓尺寸上，并尽可能广泛地收集有关最新资料。

本书第一章由云南工学院黄奋杰编写。第二、四、五、六、七、九、十章由河海大学骆如蕴编写。第三、八章由河海大学胡沛成编写。全书由骆如蕴主编，由陕西机械学院张潜曾主审。

由于编者水平有限，错误缺点在所难免，敬请广大读者批评指正。

编 者

1989年2月

目 录

前 言

第一章 水轮机	1
第一节 水轮机型式、适用范围及型号	1
第二节 水轮机基本工作参数	3
第三节 反击式水轮机选择	6
第四节 水轮机控制尺寸的估算	18
第五节 水轮机重量估算	31
第六节 水轮机主要参数表	35
第七节 水轮机转轮综合特性曲线	48
第八节 水轮机基本数据、结构和安装尺寸	95
第九节 用比转速选择水轮机参数和控制尺寸	142
第二章 水轮发电机	150
第一节 水轮发电机基本参数	151
第二节 水轮发电机的结构型式及其选择	154
第三节 水轮发电机的通风和冷却	160
第四节 水轮发电机外形尺寸、重量的估算	162
第五节 发电机基础总荷载、转矩和磁拉力的估算, 大部件运输	167
第六节 水轮发电机技术经济指标及国内外水轮发电机选编	169
第三章 水轮机进水阀	203
第一节 进水阀的作用和设置条件	203
第二节 进水阀的类型、系列、基本参数及其漏水量和漏油量标准	203
第三节 国内已生产蝴蝶阀和球阀的主要规格和外形尺寸	211
第四节 蝴蝶阀直径的选定	212
第五节 进水阀的重量及价格估算	214
第六节 压力油源及设备	215
第四章 调速系统	217
第一节 调速器	217
第二节 油压装置	228
第三节 漏油装置	230
第五章 起重设备	232
第一节 主厂房桥式起重机的选择与试验	232
第二节 起重机的轨道与阻进器	240
第三节 桥机对厂房布置的要求及重量和价格的估算	244
第四节 起重机有关资料	246

第六章 油系统	266
第一节 油系统设备的选择	266
第二节 油罐	288
第三节 油系统图	293
第四节 油库和油处理室的布置	298
第七章 压缩空气系统	299
第一节 机组制动用气	299
第二节 调相压水用气	301
第三节 维护检修及空气围带用气	304
第四节 油压装置压缩空气系统	307
第五节 压缩空气系统图和常用空气压缩装置设备及其布置	309
第八章 供排水系统	323
第一节 技术供水的对象、作用及对水的要求	323
第二节 技术供水方式和系统图	324
第三节 排水系统	330
第四节 水系统设备选择	341
第五节 消防供水	347
第六节 水泵及水环真空泵	352
第七节 供排水设备布置	372
第九章 水电站厂房尺寸及工程量概略估算	375
第一节 水电站厂房尺寸估算	375
第二节 水电站主厂房工程量估算	378
第十章 水电站主要电气设备	379
第一节 电力变压器	380
第二节 高压断路器	407
第三节 高压隔离开关	414
第四节 组合电器	425
第五节 高压负荷开关及高压熔断器	428
第六节 互感器	435
第七节 阀型避雷器	449
第八节 高压开关柜及低压配电屏	454

第一章 水 轮 机

本章内容主要是介绍大、中、小型反击式水轮机的选择,外形尺寸及重量的估算方法,并广泛收集了各型水轮机的有关参数,计算数据、图表和曲线。

第一节 水轮机型式、适用范围及型号

一、水轮机的型式及适用范围

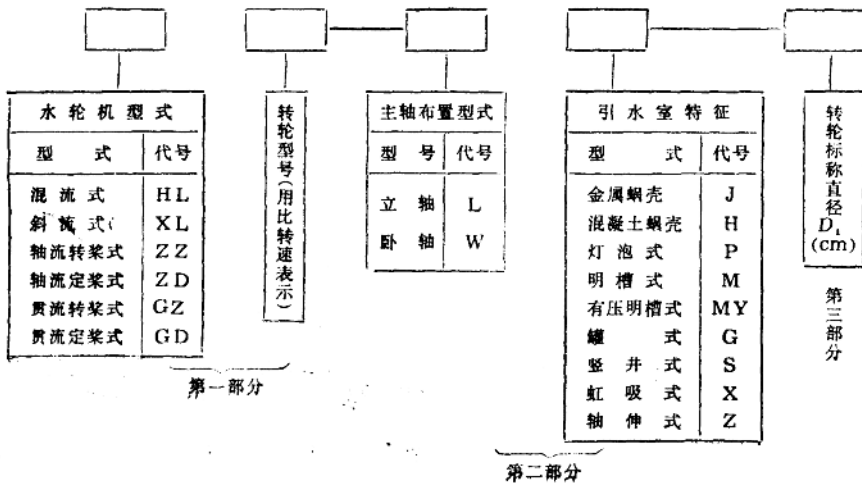
水轮机的类型及其适用水头范围、比转速见表1-1。

表 1-1 水轮机的类型及适用水头、比转速范围

水 轮 机 型 式			适用水头范围	比 转 速 范 围
按能量转换分	按水流方式分	按结构特征分	(m)	$n, [m \cdot kW]$
反 击 式	贯 流 式	定 桨 式	<20	600~1000
		转 桨 式		
	轴 流 式	定 桨 式	30~50	250~700
		转 桨 式	3~80	200~850
斜 流 式		40~120	100~350	
混 流 式		30~700	50~300	
冲 击 式	射 流 式	双 击 式	5~80	35~150
		斜 击 式	25~300	30~70
		水 斗 式	>200	5~35

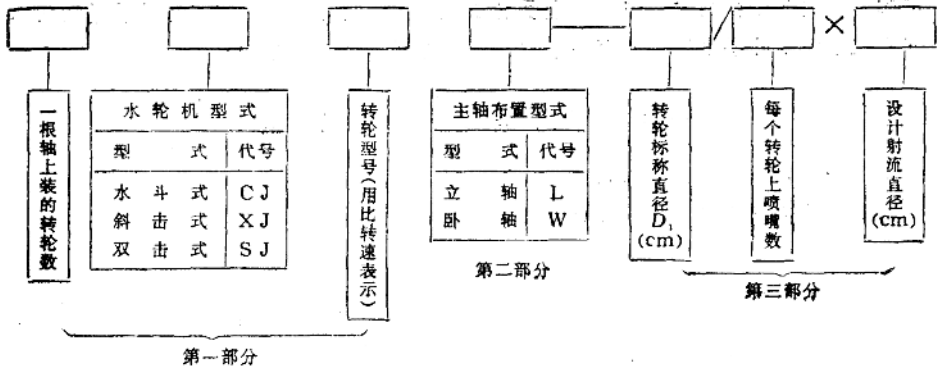
二、水轮机型号

反击式水轮机型号由三部分组成:



【例】 HL240-LJ-140表示混流式水轮机，转轮型号为240（比转速为240），立轴，金属蜗壳，转轮标称直径为140cm。

冲击式水轮机型号也由三部分组成：



【例】 CJ22-W-92/1×11表示单转轮的水斗式水轮机，转轮型号为22，卧轴，转轮直径为92cm，单喷嘴，喷嘴射流直径为11cm。

三、各类型水轮机转轮标称直径的规定（见图1-1）

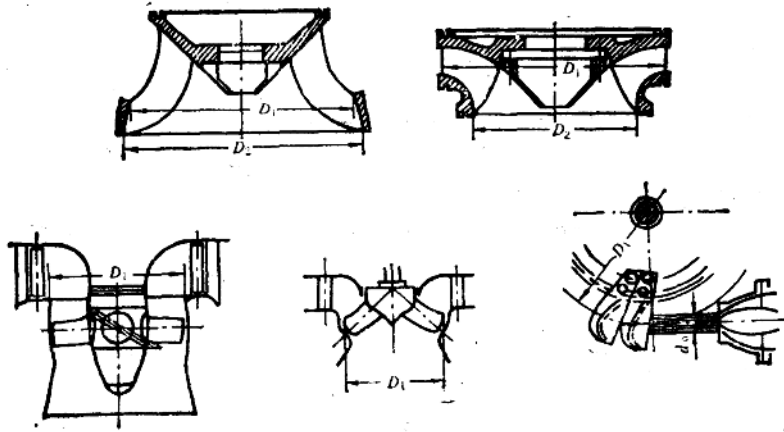


图 1-1 各类型水轮机转轮标称直径的规定

- 1) 混流式水轮机转轮标称直径指转轮叶片进口边的最大内径。
- 2) 斜流式、轴流式水轮机转轮标称直径指转轮叶片轴线与转轮室相交处的转轮室内径。
- 3) 水斗式水轮机转轮标称直径指转轮与射流中心线相切处的节圆直径。

第二节 水轮机基本工作参数

水轮机基本工作参数如下:

(1) 静水头(毛水头) H_s 水电站上、下游水位差(m)。

(2) 净水头(工作水头) H_n 水轮机做功的有效水头,等于水轮机进、出口断面的单位能量差(m)。

(3) 最大水头 H_{max} 允许水轮机运行的最大净水头(m),通常由水轮机强度决定。

(4) 最小水头 H_{min} 能保证水轮机安全、稳定运行的最小净水头(m)。

(5) 加权平均水头 H_w 加权平均水头为考虑了各种水头可能持续的时间的平均水头(m),即:

$$\text{按时间加权} \quad H_w = \frac{\sum H_i T_i}{\sum T_i} \quad (1-1)$$

$$\text{或按电能加权} \quad H_w = \frac{\sum H_i T_i N_i}{\sum T_i N_i} \quad (1-1)'$$

式中 T_i 、 N_i ——各水头 H_i 出现的相应持续时间和出力。

选择水轮机时尽可能使 H_w 通过水轮机的最高效率区的中心。这样,可以保证水轮机以最大的运行小时数在最高效率区运行。

(6) 设计水头(计算水头) H_d 水轮机发出额定出力时的最小净水头(m)。在运转综合特性曲线上,此水头是水轮机和发电机出力限制线交点所对应的水头。

我国设计水头 H_d 的定义相当于西方国家的水轮机额定水头。西方国家额定水头指水轮机全开度运行时发出发电机额定容量的净水头。此外,西方国家设计水头则指相应于最高效率、最优转速的净水头,此水头接近加权平均水头 H_w 。

在水轮机选型设计时,若选择的设计水头越接近于最小水头,则所要求的水轮机直径 D_1 越大,运行效率越低。反之,若设计水头选得过大, D_1 虽可减小,但运行期间受阻容量将很大。水轮机受阻容量应由相应的电力系统的备用容量进行补偿。因此,设计水头 H_d 的选择应经过全面的动能经济比较后才能确定。

在初估时,设计水头 H_d 一般可取:

$$\text{河床式水电站} \quad H_d = 0.9 H_w \quad (1-2)$$

$$\text{坝后式水电站} \quad H_d = 0.95 H_w \quad (1-2)'$$

河床式水电站应取洪水期的 H_w 值,坝后式水电站则应取调节期间的 H_w 值。

(7) 额定转速 n_n 设计选定的同步转速(r/min)。

(8) 设计流量 Q_d 在设计水头和额定转速下,水轮机发出额定出力时通过的流量(m^3/s)。

(9) 额定出力 N_n 在设计水头、设计流量和额定转速下水轮机的轴功率(kW)。

(10) 单位转速 n_{11} 转轮直径为1m,水头为1m时水轮机的转速(r/min):

$$n_1' = \frac{nD_1}{\sqrt{H}} \quad (1-3)$$

式中 n ——水轮机转速 (r/min)。

(11) 单位流量 Q_1' 转轮直径为1m, 水头为1m时水轮机的流量 (m^3/s):

$$Q_1' = \frac{Q}{D_1^3 \sqrt{H}} \quad (1-4)$$

式中 Q ——水轮机过流量 (m^3/s)。

(12) 模型汽蚀系数 σ_M 由模型试验获得, 见表1-17~表1-20。

(13) 装置汽蚀系数 σ_z 根据模型汽蚀系数确定。通常 $K_\sigma = \sigma_z / \sigma_M$ 在 1.1~1.35 之间选用 (大的可到 1.85, 如丹江口水电站实测值达 1.706~1.85)。对 HL310、HL230、HL110 表 1-18 中所给出的为装置汽蚀系数 σ_z 值。

(14) 吸出高度 H_s , $H_s(m)$ 可用下式计算:

$$H_s \leq 10 - \frac{\nabla}{900} - \sigma_z H \quad (1-5)$$

式中 ∇ ——水轮机装置高程 (m);

H ——工作水头, 一般可按设计水头计算, 对轴流式水轮机需用最小水头及相应的 σ_z 值进行核算, 对混流式水轮机还需用最大水头及相应的 σ_z 值进行核算。

(15) 水轮机效率 η 水轮机轴功率与水流出力之比值。

根据 IEC 规定, 原型和模型水轮机的最高效率存在以下关系:

对轴流式水轮机

$$\eta_{T_{max}} = 1 - (1 - \eta_{M_{max}}) \left(0.3 + 0.7 \sqrt{\frac{D_{1M}}{D_{1T}}} \sqrt[10]{\frac{H_M}{H_T}} \right) \quad (1-6)$$

对混流式水轮机:

$$\eta_{T_{max}} = 1 - (1 - \eta_{M_{max}}) \sqrt[5]{\frac{D_{1M}}{D_{1T}}} \quad (1-7)$$

非最优工况:

$$\eta_T = \eta_M + \Delta\eta \quad (1-8)$$

效率修正值

$$\Delta\eta = \eta_{T_{max}} - \eta_{M_{max}} \quad (1-9)$$

式中脚标 T 、 M 分别为原型和模型机的标注。

制造厂所提供的保证效率值, 因工艺及制造误差关系通常比上两式计算值低。

小型立轴混流式机组效率修正值 $\Delta\eta = -0.5\% \sim -4\%$, 轴流式机组 $\Delta\eta = -1\% \sim -1.5\%$, 基本上按 D_1 递降排列。一些直径较大的小型机组 $\Delta\eta$ 能保持厂家的计算值。

对卧轴混流式机组 $D_1 = 0.65 \sim 0.84m$, $\Delta\eta = -4\%$; $D_1 = 0.5 \sim 0.6m$, $\Delta\eta = -5\%$; $D_1 = 0.88, 1.00m$, $\Delta\eta$ 保持厂家计算值。

(16) 比转速 n_s , 水头为1m, 出力为1kW时 [$m \cdot kW$] 的水轮机转速:

$$n_s = \frac{n \sqrt{N}}{H^{5/4}} \quad (1-10)$$

(17) 水轮机飞逸转速 n_f , 当甩去全负荷, 水轮机输出功率为零, 导水机构不关闭,

水流通过转轮产生的最大转速称为飞逸转速 (r/min)。

反击式水轮机飞逸转速 n_f 与水轮机水头 H 、导叶开度 α_0 有关, 其中转桨式水轮机飞逸转速还和叶片转角 φ 有关。设计时主要是计算最大飞逸转速 $n_{f, \max}$ 。

$$n_{f, \max} = n'_{f, \max} \frac{\sqrt{H_{\max}}}{D_1} \quad (1-3)$$

式中 $n'_{f, \max}$ ——最大单位飞逸转速。

混流式或轴流定桨式水轮机的 $n'_{f, \max}$ 可按原型导叶最大可能开度 $\alpha_{0, T}$ ($1.05\alpha_{\max}$, 由底环上限位块所定开度) 换算成相对应的模型开度 $\alpha_{0, M}$, 并在飞逸特性上查得。

$$\alpha_{0, M, \max} = \alpha_{0, T} \frac{Z_{0, T} D_{1, M}}{Z_{0, M} D_{1, T}} \quad (1-11)$$

式中 Z_0 ——活动导叶数。

转桨式水轮机飞逸转速应按保持协联关系计算。在特殊情况下 (如引进机组或出口机组) 可按协联关系破坏计算。按保持协联关系计算时, 根据协联关系求出各个水头下的最大飞逸转速, 绘制成 $n_f = f(H)$ 曲线, 取 n_f 的最大值 $n_{f, \max}$ 。部分转轮的 $n'_{f, \max}$ 值列于表 1-2 中。

表 1-2 部分转轮采用的 $n'_{f, \max}$ 值 (单位: r/min)

转轮型号	HL310	HL310*	HL240	HL230	HL220	HL200	HL110	ZZ600	ZZ460
$n'_{f, \max}$	163	174	155	128	133	131	93	352/(280)	324/(240)

注 括号内的数值系保持协联关系时的数值;

* 系等厚叶片。

初步设计时如没有飞逸特性曲线或最大单位飞逸转速 $n'_{f, \max}$, 可按飞逸系数 K_f 近似估算飞逸转速 n_f , 即:

$$n_f = K_f n \quad (1-12)$$

对混流式或水斗式水轮机 $K_f = 1.7 \sim 2.0$;

对保持协联关系的转桨式水轮机 $K_f = 2.0 \sim 2.2$;

对协联关系破坏的转桨式水轮机 $K_f = 2.4 \sim 2.6$ 。

飞逸转速对水轮发电机组及厂房均是有害的, 制造厂一般保证允许飞逸持续时间为 2min。

(18) 轴向水推力 P_z 水流流经转轮时引起的一种轴向力称为轴向水推力 (kN)。轴向水推力可按下式计算:

$$P_z = 9.81 K_z \frac{\pi}{4} D_1^3 H_{\max} \quad (1-13)$$

式中 K_z ——轴向水推力系数, 由试验获得。

表 1-3

轴流式水轮机水推力系数

叶 片 数	4	5	6	7	8
水推力系数 K_z	0.85	0.87	0.90	0.93	0.95

表 1-4

混流式水轮机水推力系数

转 轮 型 号	HL310	HL240	HL230	HL220	HL200 HL180	HL160	HL120 HL110	HL100
水推力系数 K_z	0.37~0.45	0.34~0.41	0.18~0.22	0.28~0.34	0.22~0.26	0.20~0.26	0.60~0.13	0.08~0.11

第三节 反击式水轮机选择

水轮机选择应综合考虑，不同的水轮机方案将有不同的调速设备，水轮发电机及电气设备等，它们将影响厂房布置、结构、尺寸和工程量的大小，以及整个电站造价和动能经济指标。

水轮机选择的过程是：拟定几个可能待选方案，对各方案分别求出动能经济指标，进行比较，从而选出最优方案。单就水轮机本身来讲，决定的内容主要为：

- 1) 确定机组台数及单机容量。
- 2) 选定水轮机型号及装置方式。
- 3) 选定水轮机转轮的标称直径及转速。
- 4) 计算水轮机的吸出高度及安装高程。
- 5) 绘制水轮机的运转综合特性曲线。
- 6) 估算水轮机外形尺寸、重量及价格。

完成上述内容时，首先必须收集有关水轮机的型谱系列，模型水轮机的综合特性曲线，水轮机的制造情况，河流梯级开发方案，水库调节性能，电站枢纽布置，地形、地质和水电站装机容量及其在电力系统中的运行方式等有关资料，并对水电站的特征水头、流量进行必要的验算。

一、机组台数的选择

每台机组的容量应考虑它占系统容量的比重，电站的初期及远期的规模，机组和水库的运行方式，电站枢纽布置，机组制造安装水平及运输条件等。一般来说，当机组台数较多时，单位千瓦所消耗的材料多，相应的闸门、管道、调速器、辅助设备和电气设备将增加，厂房的投资和机组安装维护运行费用也相应增加，但机组台数增多，机组的平均效率将有所增加。总的来说，在技术经济条件相当的情况下，选用较大单机容量的机组是有利的，但单机容量在电力系统中所占的比重，根据运行经验，以不超过系统总容量的15%为宜。为提高电站运行的可靠性，机组台数不宜少于两台。

二、水轮机型号的选择

水轮机型号的选择是在已知单机容量和各种特征水头的情况下进行的，一般常用下列两种方法。

1. 根据水轮机系列型谱选择 (表1-17~表1-19)

根据水轮机的水头情况，可直接从型谱表中选择出适合于该水电站的水轮机型号。由

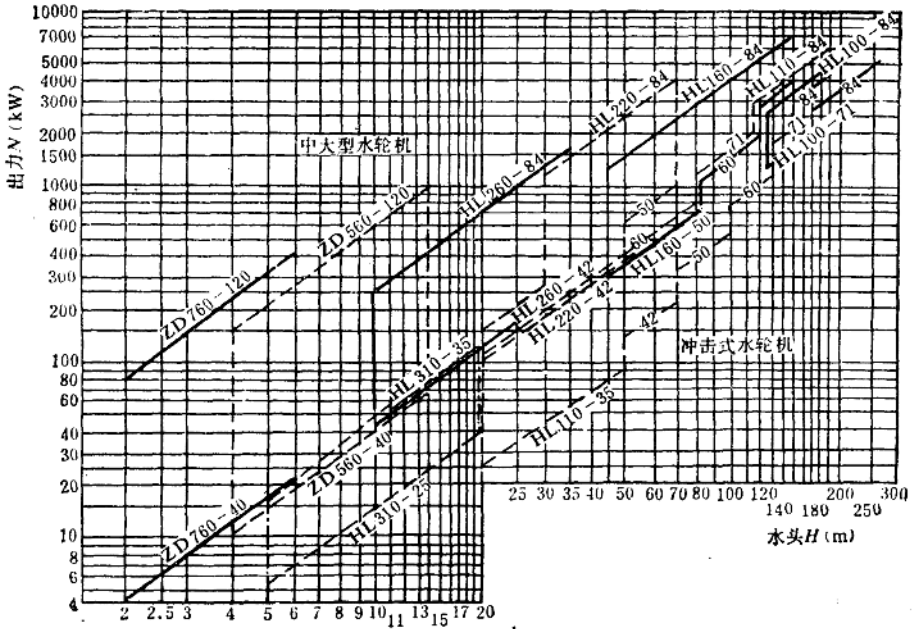


图 1-2 中小型反击式水轮机应用范围总图

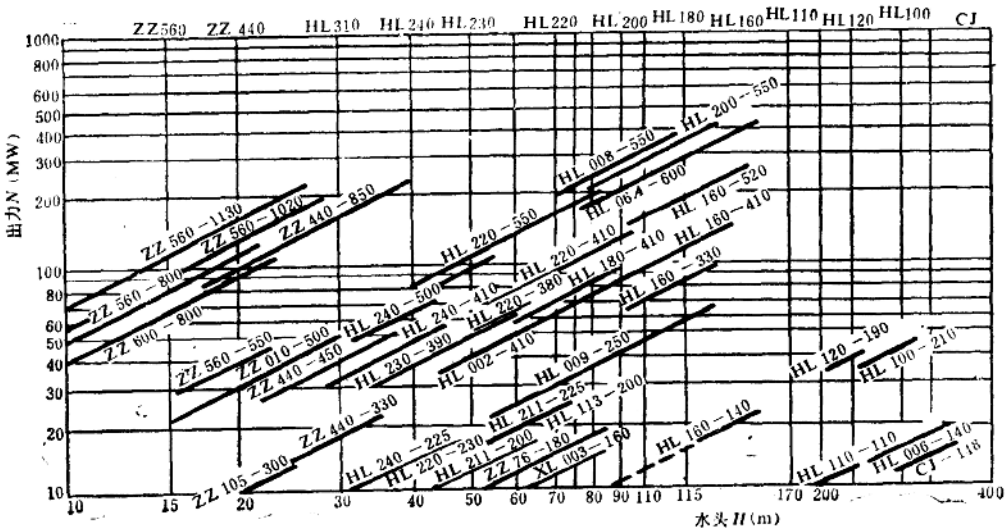


图 1-3 大中型水轮机应用范围总图

于不同型号水轮机适用水头有搭接情况，所以可能选出几种不同型号的水轮机，此时可将它们均列入待选方案进行比较。

2. 根据系列范围应用总图选择

根据水轮机设计水头及单机容量在系列范围应用总图上查得。若适用于几种型号水轮机，则将它们均列入待选方案。

三、水轮机主要参数选择

1. 用系列应用范围图选择水轮机的主要参数

根据水轮机设计水头和单机出力，利用选定的水轮机的系列应用范围图（见图1-4~图1-13），可确定该型号水轮机所需的标称直径、转速以及理论吸出高度 h_s （ $H_s = h_s - \frac{\nabla}{909}$ ）。当选择点落在四边形的斜线上（见图1-4），说明可采用两组参数，为使水轮机在容量方面有一定富裕，可选用较大的直径。

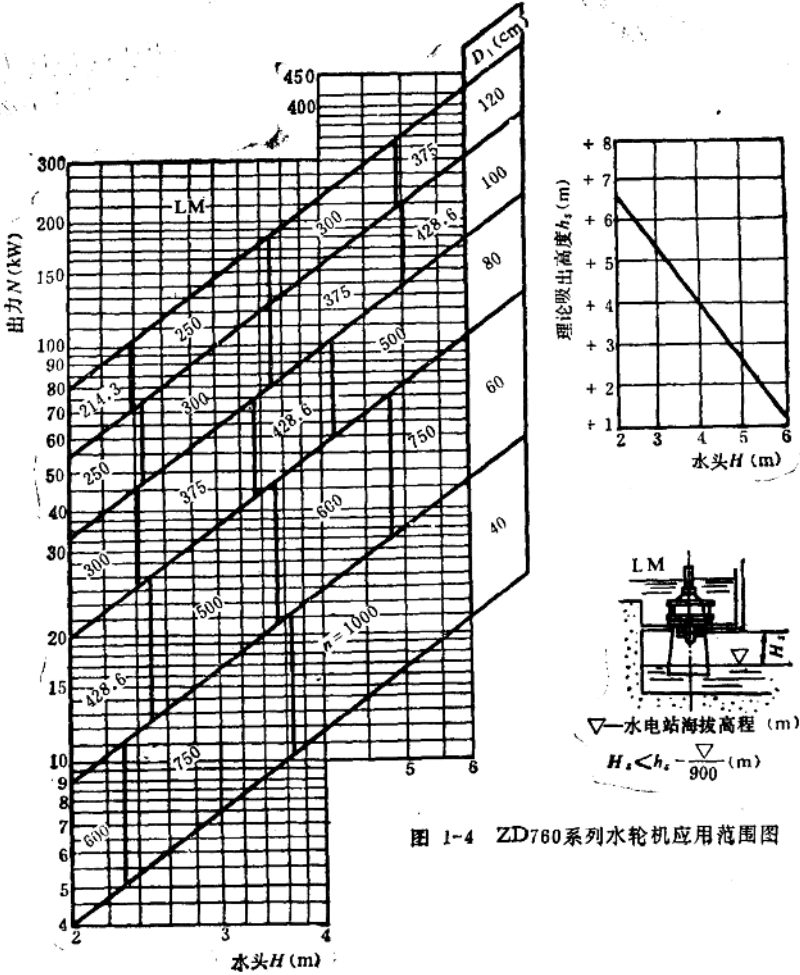


图 1-4 ZD760系列水轮机应用范围图

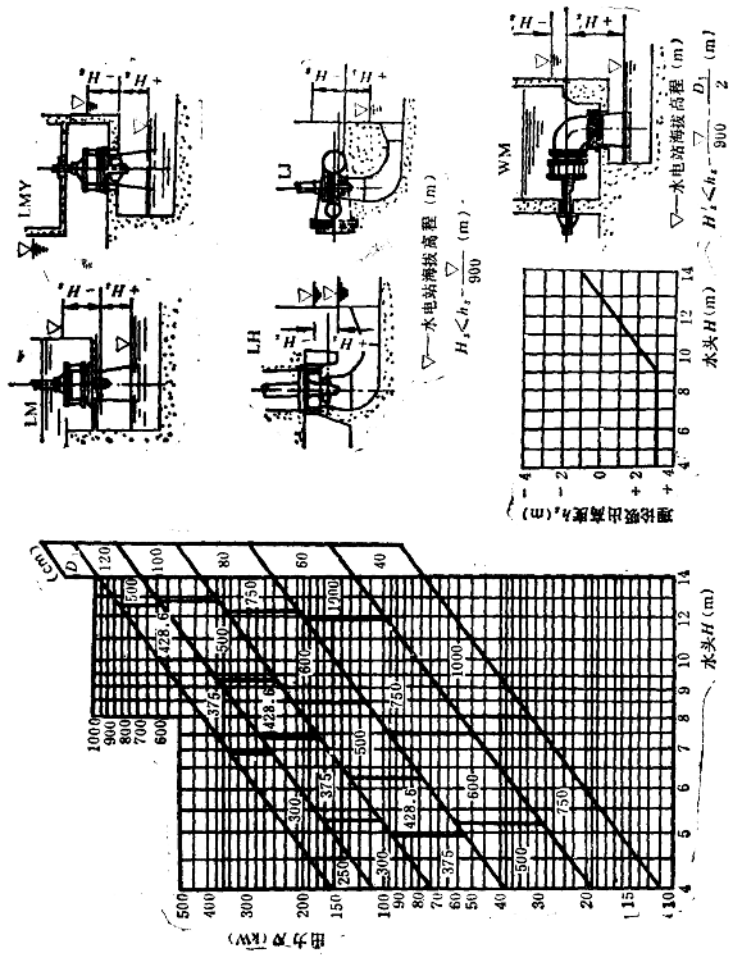


图 1-5 ZD560 系列水轮机应用范围图

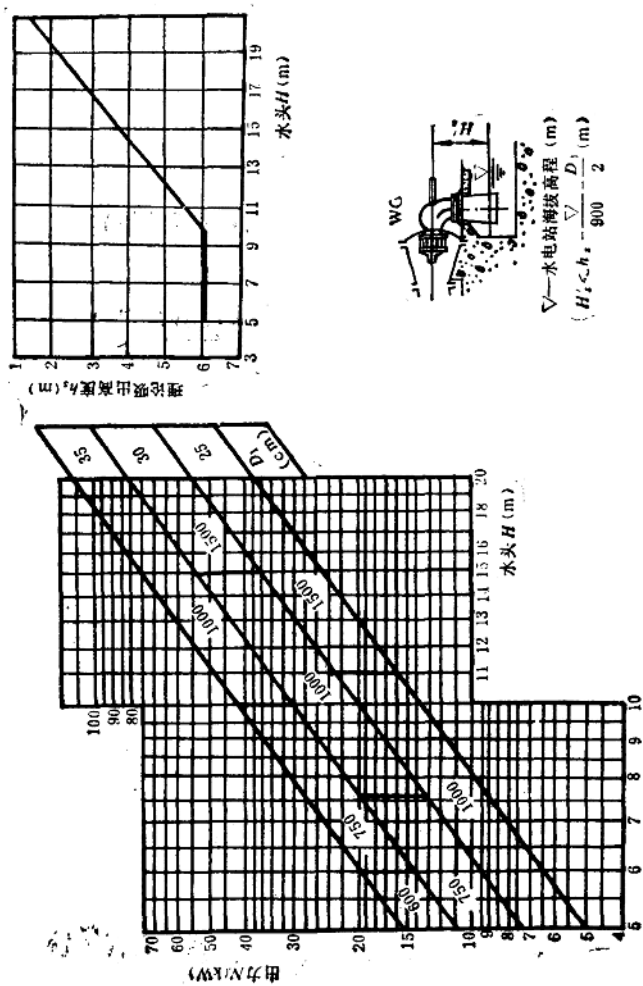


图 1-6 HL310系列水轮机应用范围图