

排灌机械 论文集



中国农业机械学会

一九八〇年九月

C570H
100

前 言

中国农机学会主持召开的第二次全国排灌机械学术讨论会，征集学术论文共六十三篇。为了更广泛地交流科研成果，进一步促进排灌机械学术活动的开展，我们在会议论文中，选有代表性的论文十六篇，经过修改、补充，汇编成专辑。

专辑主要内容有：各种农用泵的理论研究，叶片泵设计方法，水泵试验自动化问题，大型轴流泵装置、起动的研究，对产生和防止“水锤”的理论探讨，喷头及大型喷灌机的理论研究与设计等。可供从事排灌机械科研、教学和生产的同志使用，也可供排灌机械的管理、使用等部门参考。

由于我们水平有限，时间仓促，因此专辑中缺点、错误是难免的，敬请读者批评指正。

本专辑由《农业机械》编辑部编辑。技术主编刘大铮，责任编辑焦世玉。

目 录

水轮泵技术的发展	肖冠英 (1)
液体射流泵理论研究	陆宏圻 曾祥金 (18)
液态喷射泵基本性能的研究	胡湘韩等 (39)
事故停泵过程中主要参数简易计算	刘竹溪 (68)
论水锤产生的机理和防止措施	梁荣厚 (78)
大型内燃泵设计与应用中若干问题的探讨	赵 越 (88)
泵轴面流道几何特性方程组及其数值解法	章旭清 (96)
离心式潜水泵水力模型试验研究	袁秀文 岳文法 (108)
低比转数自吸离心泵的试验研究	瞿慎康 徐静芳 (117)
轴流和斜流泵站的启动特性	王熙时等 (129)
大型轴流泵装置的研究	刘大恺等 (139)
大型农用水泵的选型问题	林茂培 (148)
喷头设计理论研究	常文海 (153)
圆形喷灌机结构的受力分析	冯传达 (176)
平移式喷灌机喷灌质量的分析	吴崇良 高荫集 (189)
水泵试验自动采集数据与数据处理系统	竺士瑶 (197)

水 轮 泵 技 术 的 发 展

肖 冠 英

(福建省农业机械化研究所)

前 言

我国远在汉代就发明了筒车，辟水灌溉沿岸农田，流传至今。至解放初，全国拥有筒车上十万部，灌田近百万亩。

筒车还曾流传国外，称“Chinese noria”。

由于筒车效率低，不过5~15%，还易被洪水冲毁。因此近代发展了水轮机和水泵之后，国内外都有人研究应用现代技术的水轮机为动力来带水泵的水力提水机械。解放前，四川和福建都曾各自研制了这种水力抽水机。

解放后，由于人民政府重视水利，作者总结了在大田电厂从事这种水力抽水机研制和长期运行的经验。发现它不同于其它动力机带水泵，而是水泵和水轮机组合之后，其性能形影相随，扬程和输水量依存于水头为函数的特有规律，故起名为水轮泵。

由于水轮泵的能源利用最为直接，能量转换效率高达60~80%，而设备投资比从发电算起省几倍，且维修费用少，因此，从五十年代推广以来至今全国已安装近十万台，灌田近一千万亩，并从直联发展至齿轮增速，从小型发展至大型，从低扬程发展至高扬程，从山区发展至沿海，逐步形成与机灌、电灌并举的一门提水新技术。

水轮泵的结构及其水力特征

水轮泵是利用水力提水的机械，但它不同于以柴油机或电动机带水泵的机组。因为后者其动力机和水泵之间除动力传输和能量转换外，彼此间性能毫无共通之处。而水轮泵则不然，乍看起来也只是以水轮机作动力带水泵，事实上水轮机与水泵具有共通的水力学特征，是互为可逆的，两者相互依存相互制约。弄清了彼此间难解难分的内在规律。故名为“水轮泵”。

水轮泵是水轮机和水泵的组合。因利用水头的不同，水轮机有反击式和冲击式两大类。反击式中又有贯流、轴流、斜流、混流式之分；冲击式也有斜击式和切击式之别。

利用比速来判别：
$$N_s = \frac{N\sqrt{P}}{H^{5/4}} \dots\dots\dots (2-1)$$

式中：Ns 水轮机比速

N 水轮机转速（转/分）

P 水轮机出力（马力）

H 工作水头（米）

贯流式水轮机的比速，可达 1000 以上，它适于低微水头使用，卧式安装；轴流式水轮机的比速一般在 800 以内，可以立装或卧装，适于低、中水头使用，以 2~20 米为宜；混流式水轮机比速在 100~400 之间，适于中、高水头使用，常用于 15~200 米之间，但目前水轮泵工程中尚应用不多。

此外，介乎轴流式和混流式之间的还有斜流式，是近年才发展的新品种，比速在 200~500 之间，适于 15~60 米水头使用。

一般水轮泵因为使用水头不高，故多用轴流式和贯流式，特殊场合才用斜流式或混流式。

因装置方式的不同，轴流式水轮机有立轴、卧轴和明槽、涡壳式之分；贯流式中有灯泡、竖井和轴伸式之别。灯泡贯流式其通流条件很好，但只适于微型机组和大型机组；竖井贯流式所带的齿轮增速器、水泵（或发电机）都装在竖井内，进水经竖井两侧绕流，通流情况并不好，且排水、换气、散热以及监察条件也较差，为操作方便，转轮直径以不小于二米为宜；至于轴伸贯流式进出水转弯，水力损失较大，常用于小型机。

转轮是水轮机的心脏。由于它的叶型及流道条件不同，性能各异，故须经模型试验，测绘出综合特性图，择优编号使用。1955 年我们研试了具有三桨叶的比速为 800 的轴流式 ZD88 型转轮，曾经大量生产；1963 年又研试了具有斜流特征的比速近 1000 的贯流式 GD631 型转轮，用于行星增速的水轮泵上。目前我们新设计的水轮泵已采用国家推荐的 ZD760、ZD560 型轴流式和 GD004、GD003 型贯流式转轮，性能较以往有所提高。

冲击式水轮机用于高水头场合。喷嘴斜对转轮的为斜击式，比速在 25~70 之间，正对转轮的为切击式，比速在 10~26 之间。

水轮泵的水泵部分，几乎是叶片式水泵，其特征同样可用比速来判别：

$$n_s = \frac{3.65n\sqrt{q}}{h^{3/4}} \dots\dots\dots (2-2)$$

式中： n_s 泵的比速

n 泵的转速（转/分）

q 出水量（米³/秒）

h 扬程（米）

水泵为水轮机之逆运行，当两者比速相近时，结构是近似的，性能也是彼此吻合的。因此它也有贯流、轴流、斜流、混流以及离心等泵之分。分别适用于低、中和高的不同扬程场合。

过去大量生产的水轮泵，其结构型式多是水轮机和水泵结合成整体并同轴直联的。以高产牌为代表。图 1 是高产 60—6 型水轮泵的结构图。上部为离心泵部分，其叶轮与下部轴流定桨式水轮机的转轮同轴直联。流水加于转轮的轴向推力和离心压头加于叶轮的推力，是设计成相互抵消几乎平衡的。但随运行工况的不同，仍有残余的向上或向下的轴向推力，要装止推轴承来承受。原设计采用油脂润滑的圆锥滚子轴承，因在水内长期运行，止水防沙不易，导致使用寿命短促。近年已研究改用酚醛基 P23 塑料双向止推

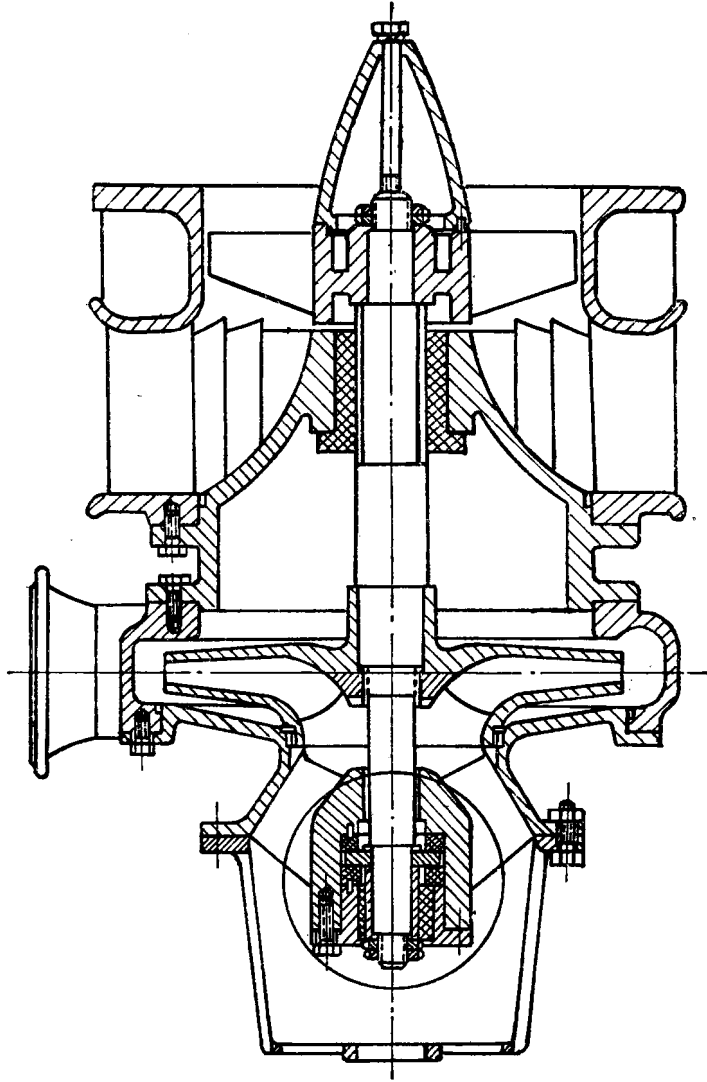


图 1 高产 60-6 型水輪泵結構圖

轴承，导流轂内则装橡胶导轴承，它们都直接用水润滑和冷却。大量实践记录，这种塑料和橡胶轴承，工作可靠，使用寿命在 5000 ~ 10000 小时以上。

高产牌水轮泵为简化结构，采用固定导叶，它是按满载工况下最优开度固定的。但潮汐水轮泵以及后期设计的一些大型水轮泵多采用活动导叶。后者造价较高，但用起来如意。

一台水轮泵在最优工况下 (η 最高) 运行，其扬程除以水头的值称为水头比。机泵直联的水轮泵，水头比是受到限制的。在低水头段 ($H \leq 8$ 米)，当用轴流定桨式水轮机时，水头比超过 6，效率就显著下降。因此，为提高水头比曾经研究过好多方案。例如双型水轮机、多级泵以及多台水轮泵串联等型式。但最容易提高水头比的莫过于用增速传动。

按一定的水头选用水轮机时，因受汽蚀性能的限制，比速不能任意取大值。对于轴流式水轮机比速与水头的关系，可按下式来计算：

$$N_s = \frac{2500}{\sqrt{\frac{H}{\sigma}}} \dots\dots\dots (2-3)$$

或 $H = \left(\frac{2500}{N_s} \right)^2$

汽蚀系数与比速的关系，可按下式计算：

$$\sigma = 0.056 \left(\frac{N_s}{117} \right)^{1.5} \dots\dots\dots (2-4)$$

例如水头 8 米，比速可取至 800；水头 16 米，比速只能取 600 左右。水泵的比速不能选得过低，小于 80 效率将显著下降。当泵的比速选取在 90~350 之间时，则在高效率区内。图 2 为从统计资料绘制的当代水泵在不同比速和输水量下的效率水平。

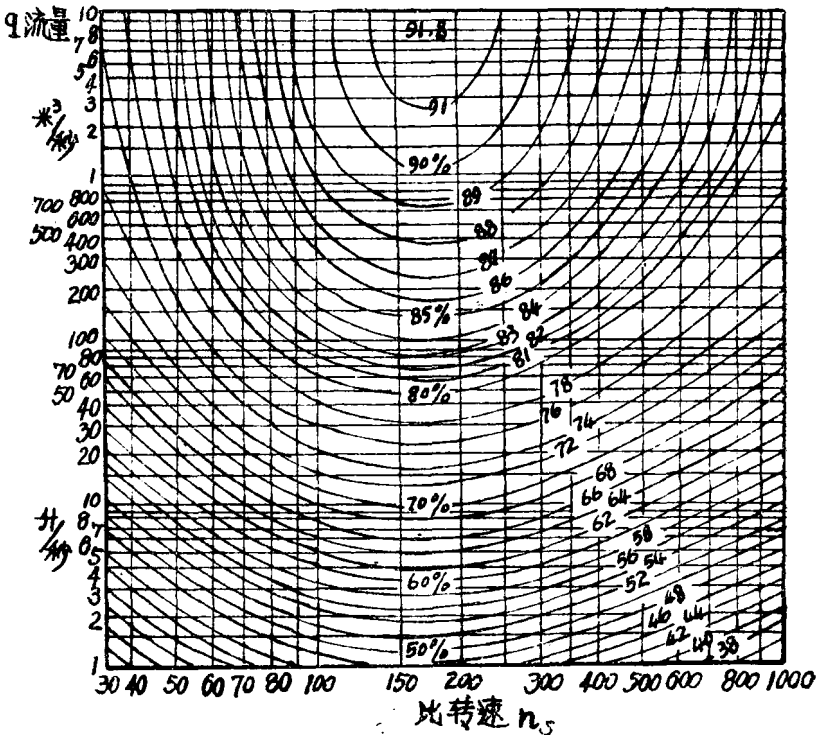


图 2 国际水泵效率水平

水轮泵的水泵部分，其比速的选配不是随意的，它由下式来决定：

$$n_s = i_n C^{\frac{1}{5}} Z^{\frac{3}{5}} \eta_p^{\frac{3}{5}} \eta_i^{\frac{2}{5}} N_s S^{-\frac{1}{2}} i_H^{-\frac{5}{4}} \dots\dots\dots (2-5)$$

或 $i_H = i_n^{\frac{4}{5}} C^{\frac{2}{5}} Z^{\frac{3}{5}} \eta_p^{\frac{3}{5}} \eta_i^{\frac{2}{5}} S^{-\frac{2}{5}} (N_s / n_s)^{\frac{4}{5}}$

式中：η_p 和 η_i 分别为水泵和增速传动的效率，

i_H 和 i_n 分别为水头比和增速比;

Z 为泵的级数, 单级泵时 $Z = 1$;

C 为水轮机单型机或双型机, 后者 $C = 2$;

S 为单吸泵或双吸泵, 后者 $S = 2$ 。

机泵直联的单机单泵单吸式, Z 、 C 、 S 、 i_n 和 η_i 均为 1, 则配泵的比速就简化为:

$$n_s = \eta_p^{\frac{1}{5}} N_s i_H^{-\frac{5}{4}} \dots \dots \dots (2-6)$$

$$\text{或 } i_H = \eta_p^{\frac{2}{5}} (N_s / n_s)^{\frac{5}{4}}$$

如果低水头段的水轮泵, 其上限水头定为 8 米, 则水轮机的比速 N_s 可选 800, 这时水头比档次按优先数系定为 1、1.6、2.5、4、6、10 和 16 时, 配泵的比速 n_s 将分别为 (800、444、256、142、85、42、25) $\eta_p^{\frac{1}{5}}$ 。泵的效率 η_p 随 n_s 和 D_2 (叶轮直径)

高 产 系 列 水 轮 泵 性 能 表

表 1

20 型 机		20-4 型		20-6 型		30 型 机		30-2.5 型		30-4 型		30-6 型	
水 头	流 量	扬 程	出水量	扬 程	出水量	水 头	流 量	扬 程	出水量	扬 程	出水量	扬 程	出水量
米	升/秒	米	升/秒	米	升/秒	米	升/秒	米	升/秒	米	升/秒	米	升/秒
1	84	4	11	6	6	1	189	2.5	42.2	4	25.7	6	16
2	109	8	15.5	12	8	2	268	5	60	8	36.4	12	22.6
3	146	12	19	18	10.4	3	328	7.5	73	12	44.5	18	27.7
4	168	16	22	24	12	4	378	10	84	16	51.4	24	32

续表 1

40 型 机		40-4 型		40-6 型		60 型 机		60-4 型		60-6 型	
水 头	流 量	扬 程	出水量	扬 程	出水量	水 头	流 量	扬 程	出水量	扬 程	出水量
米	升/秒	米	升/秒	米	升/秒	米	升/秒	米	升/秒	米	升/秒
1	336	4	47	6	29.6	1	756	4	110	6	69
2	475	8	66.5	12	41.9	2	1070	8	157	12	97.6
3	582	12	81.3	18	51.4	3	1311	12	190	18	120
4	672	16	94	24	60.2	4	1512	16	220	24	138

有较大的变化，正如前述。试取为 85%，则以上水头比档次配泵的 n_s 值将分别为 736、409、235、131、78.5、38.7 和 23，后两值均远远小于 80，故水头比在 6 以上用直联、单级泵效率低，是不宜取的。高产牌水轮泵机泵直联、单机和单泵匹配而成。当时所选用的水轮机转轮为 ZD70 型 $\varphi = +5^\circ$ 并选 $N_s = 800$ 工况，故水头比设计至 6 为止。

高产牌水轮泵原有 10 个品种，转轮直径分有 10、20、30、40 和 60 厘米五组，水头比有 2.5、4 和 6 三种。以后随着泵站的扩大，按相似结构曾再设计出 80、100 和 120 各组。表 1 为几个常用品种的性能。

考察 2—5 式，为提高水头比，有种种途径：

1. 多台水轮泵并列安装让泵部串连起来。这时 $C = n$ 、 $Z = n$ 则总水头比

$\Sigma i_H = C^{\frac{2}{5}} Z^{\frac{3}{5}} i_H = n^{\frac{2}{5} + \frac{3}{5}} i_H = n i_H$ 即总水头比增 n 倍。这是各水轮泵站习用的提高水头比的主要方法。如图 3。

2. 提高水轮机比速 N_s 和降低水泵比速 n_s ，也能适当提高水头比。但在既定水头下，因汽蚀性能的限制不允许随意提高 N_s ，且不适当地提高单位流量 Q'_1 和单位转速 N'_1 虽得到 N_s 的增加，却导致水轮机效率 η_t 的剧降，还容易滑出出力限制线外运行；对于水泵任意抑低 n_s ，则因叶轮的轮盘损失 Δp_{ps} 与叶轮直径 D_2 的五次方成正比，低比速泵此项损失特大，故 n_s 降至 60 以下，泵效率也很低。因此，在低水头段多年来虽然陆续研制了单机单泵下水头比 8 至 10 的水轮泵，其结果总是效率偏低。只有小型水轮泵以追求结构简单为理由，牺牲了一些效率取水头比增至 8~10，对于中、大型以牺牲效率换来提高水头比的设计，将浪费能源。

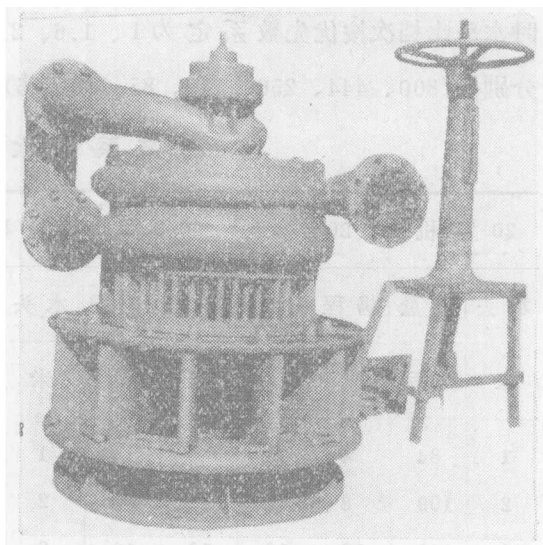


图 3 多台水轮泵串联以得到高扬程
(贵州遵义)

图 4 为具有水平中开结构的 30—8 型水轮泵。水轮机部分为贯流式，其导水装置具有六片固定导叶。导叶、转轮室和泵壳连铸一起，但分为上下两半 2 与 3，主轴 5 枕于两只塑料轴瓦 4 上，两端分别用键固定转轮 1 和叶轮。这种水轮泵用 $N_s = 950$ 的高比速的 GD631 型转轮和 $n_s = 60$ 的低比速的叶轮组合，故其水头比：

$$i_H = \eta_p^{\frac{2}{5}} N_s^{\frac{4-4}{5}} n_s^{\frac{4}{5}} = 0.75^{0.4} (950/60)^{0.8} = 8$$

这种型式的水轮泵掀开上半泵体之后，转轮即可取起修理，维护是比较方便的。

3. 提高水头比方案之三是采用多级泵。由 $i_H = Z^{\frac{3}{5}} \eta_p^{\frac{2}{5}} (N_s/n_s)^{\frac{4}{5}}$ ，设式中 Z 以下各值不变，而 Z 分别等于 2 和 3 时，则水头比将分别为单级泵式的 1.516 和 1.933 倍。在低水头段 ($H \leq 6$ 米)，当水轮机比速取上限 $N_s = 1000$ 和水泵的比速取下限 $n_s = 50$ 时，则 $(N_s/n_s)^{\frac{4}{5}}$ 之值为 11， η_p 值可达 75%，则两级泵 i_H 可达 14.8，三级泵达 18.9。由此曾设

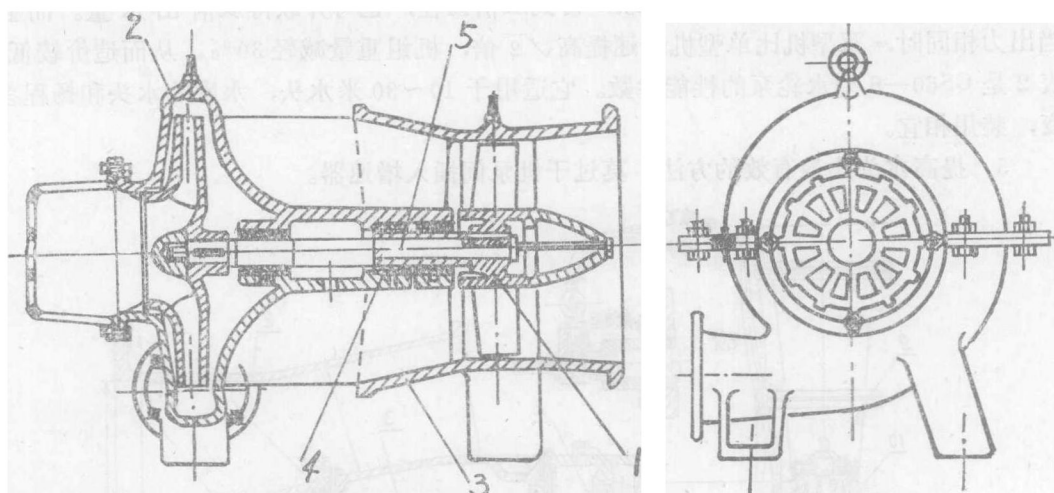


图 4 水平中开式 30-8 型水輪泵

计出两级泵的 120—12 型、60—16 型和三级泵的 40—20 型。但这种水轮泵结构笨重而效率低，且最优工况不在给定的水头比上，总是偏下。小型机尚可，大型机实不可取。图 5 为 60—16 型水轮泵的照片。

我们不否定多级泵型式，但认为不宜选用高参数。在低水头段用双级泵式，如水轮机的 N_s 值仅取 800 和水泵的 n_s 值取 80，则两级泵的水轮泵其水头比约为 9，这时的效率并不偏低。

4. 提高水头比的方法之四是采用双型机和双级泵。这不过是方案 1 的变相。例如当上限水头达 30 米，这时水轮机该选 $N_s = 300$ 的混流式，泵选 $n_s = 65$ 的离心式，则水头比 $i_H = C_{\frac{2}{5}} Z_{\frac{3}{5}} \eta_p^{\frac{2}{5}} (N_s/n_s)^{\frac{4}{5}} = 2^{0.4} \cdot 2^{0.6} \cdot 0.75^{0.4} \left(\frac{300}{65}\right)^{0.8} = 6$ 。

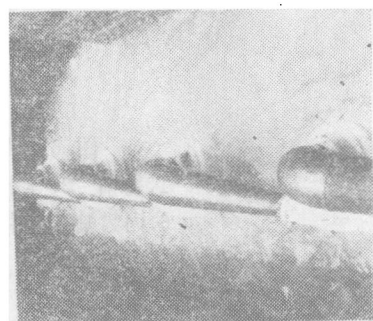


图 5 60-16型水輪泵

GS 60—6 型水轮泵性能表

表 2

水 头	流 量	功 率	轉 速	揚 程	出 水 量
米	米 ³ /秒	千 瓦	轉/分	米	米 ³ /秒
10	3.024	237	422	2×30	0.300
15	3.695	435	517	2×45	0.368
20	4.280	672	597	2×60	0.425
25	4.780	935	667	2×75	0.475
30	5.240	1235	732	2×90	0.521

这种水轮泵的特点是两泵可串联，得到双倍扬程，也可并联得双倍出水量。而且当出力相同时，双型机比单型机转速提高 $\sqrt{2}$ 倍，机组重量减轻30%，从而造价较低。表2是GS60—6型水轮泵的性能参数。它适用于10~30米水头，水库的水头和扬程多变，装用相宜。

5. 提高水头比最有效的方法，莫过于机泵间插入增速器。

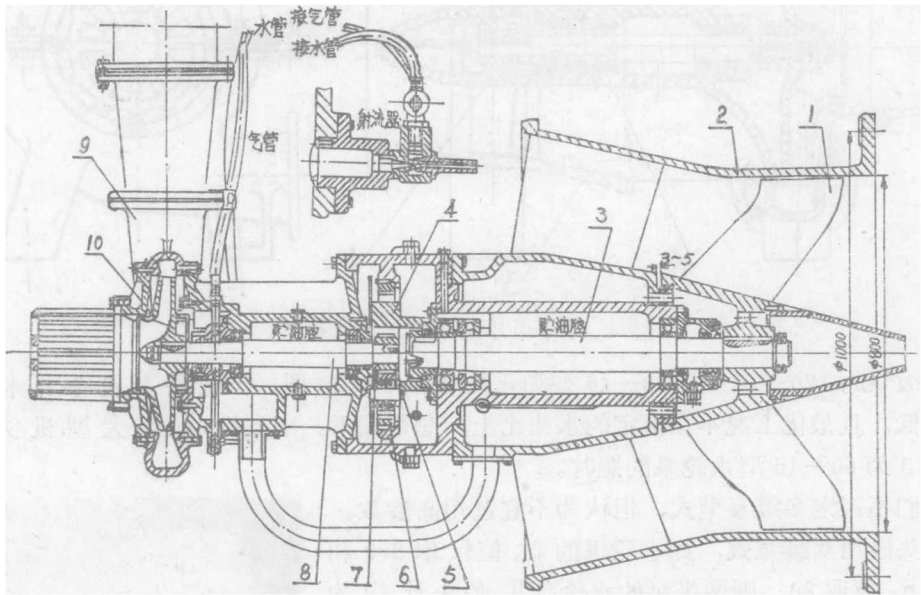


图6 具有行星齿轮增速的80-20型水轮泵

1. 转轮 2. 导水座 3. 水轮机轴 4. 转臂 5. 行星齿轮
6. 内齿轮 7. 中心齿轮 8. 水泵轴 9. 泵壳 10. 叶轮

举1963年研制的SMWC80—20型水轮泵（图6）为例，它是机泵间插入2K—H型行星齿轮增速器的水轮泵，工作水头0.5~4米，故用高比速的贯流式水轮机GD631型转轮（图7），它有较大的单位流量和单位转速使比速达到1000，同时配有比速90的泵和传动比为4.5的增速器。这样由下式计算其水头比高达20。

$$i_H = i_n^{\frac{4}{5}} (\eta_P \eta_i)^{\frac{2}{5}} \left(\frac{N_s}{n_s} \right)^{\frac{4}{5}} = 4.5^{0.8} \cdot (0.8 \cdot 0.98)^{0.4} \cdot \left(\frac{1000}{90} \right)^{0.8} = 20$$



图7 GD631型转轮

要求用油润滑的2K—H行星增速器能长年累月潜在水内运行而不渗水，必须有可靠的密封装置。为此研究了双重动态密封，第一道动态密封，由水轮机工作时在尾水管内形成的负压吸去渗入转轮及叶轮后腔的渗水；第二道动态密封为在泵部出水管上附加的微型射流器，由高速射流在射流腔内形成的负压吸去渗入第二道密封腔内的渗水。同时此密封腔还以小管接出水外，当渗水吸尽即与大气相通，以防继续形成负压把水倒吸。

2K—H行星齿轮增速器的特点是动力输出轴和输入轴在同一中心轴线上，而且彼此旋转方向相同。它的传动效率比具有定轴线传动的圆柱齿轮高，可达98~99%。单级传

动比可自 2.8~12.5，而且体积小重量轻，向为增速型的贯流式水轮发电机组所通用，应用于水轮泵上也有相似的效果。本机齿轮模数为 4，增速比 4.5，内齿轮为 70 齿，行星轮和太阳轮分别为 25 和 20 齿；应用行星架浮动方式，并依靠甩油板甩油润滑。齿轮箱潜入水内，运行时所生之热为外壁流水所冷却，故散热效果良好。

装在永太嵩口站的一台水轮泵，自 1965 年建成一直工作了十三年，运行了近三万小时才换过一套新齿轮，说明密封及齿轮性能是可靠的。

鉴于齿轮增速器潜在水内检查困难，故新设计的大型水轮泵，把齿轮增速器和水泵部分移出水外运行。

机泵间装有增速器，因增速比档次可比较任意取值，这时泵的扬程 $h \propto (i_n N D_2)^2$ ，而 $n_s \propto i_n$ 容易选取合适的增速比档次来得到较高比速的泵，而且泵部尺寸大为缩小。所以这个变数 i_n 的插入，使高水头比水轮泵的技术经济指标出现了质的飞跃。按给定的工作水头 H 和水头比 i_H 选用 N_s 和 n_s 时少受掣肘，容易匹配。试举低水头段适用的 200—10 型水轮泵设计为例。上限水头 $H_{max} = 8$ 米，选用 ZD760 型转轮，工况点 $N_s = 860$ 。初按单级泵不增速设计，其泵部叶轮直径 D_2 达 2.35 米， n_s 不到 45，泵部重量达 33 吨，且效率很低。象这样的大型水轮泵效率才 62%；按双级泵不增速设计，有两只叶轮， D_2 还要 1.7 米，泵重 22 吨，但 n_s 已增至 70，水轮泵效率也增至 73%；以后采用行星齿轮增速，当 $i_n = 3.55$ 时，可配现成的 32SA—10 型双吸泵， D_2 才 0.99 米，泵重只 8.3 吨。加上 NGW710—3.55 型行星增速器重 3.5 吨在内才 11.8 吨，而水轮泵效率却近 80%。这时水轮泵的比速 N_s 才 790，在 8 米水头下工作，无负的吸程，枢纽水下挖方少。泵的扬程为 80 米，出水量 1.95 米³/秒。

为低微水头设计的 GD004—WM—100 型贯流式水轮机 $N_s = 1000$ ，它采用固定导叶的导水装置，外用筒闸调速。径向及止推轴承全部用水润滑的酚醛基塑料轴承。这种带固定导叶的贯流机结构简单，造价低廉。通过 NGW 系列行星增速器可分别和 14sh—19、14sh—13A、12sh—13、12sh—9 和 10sh—6 型双吸泵构成水头比为 8、10、12.5、16 和 20 的水轮泵组。表 3 为这种低微水头水轮泵的性能参数。

低微水头适用组合式水轮泵性能表

表 3

水 輪 泵 組 型 号	配 泵 型 号	水 头 比	在 1 米 水 头 工 作 时 的 性 能						許水 用 最 高 头	許揚 用 最 大 程	在揚出 最程水 高下量
			流 量	出 水 量	揚 程	機 轉 速	增 速 比	泵 轉 速			
		/	米 ³ /秒	升/秒	米	轉/分	n	轉/分	米	米	升/米
W100—20	10Sh-6	20	2.59	80	20	185	4.5	832	3.5	70	160
W100—16	12Sh-9	16	2.59	108	16	188	4	752	4	64	214
W100—12.5	12Sh-13	12.5	2.59	144	12.5	185	5	925	3	37.5	250
W100—10	14Sh-13A	10	2.59	175	10	192	4	770	4	40	350
W100—8	14Sh-19	8	2.59	220	8	185	4.5	832	3.5	28	415

Z120—12.5 型中水头 (5~14 米) 水轮泵是为永安鸭母潭水轮泵站设计的机组。水

轮机部分采用轴伸贯流式，通过NGW101—4型行星增速器带动14sh—6型双吸泵组成，这种机组有较好的运行环境，但进水经两次转弯损失略多。该站水头10~11米，扬程120米，装三台灌田万余亩。表4为该机组的性能参数。

Z 120—12.5 型行星增速水轮泵组性能表 表 4

水 輪 机			GD003 - WZ - 120				$\varphi = +10^{\circ}$		
水 泵			14Sh - 6						
水 头	流 量	机轉速	出 力	揚 程	出水量	泵轉速	增速比	增 速 器 型 号	总 效 率
米	米 ³ /秒	轉/分	千 瓦	米	升/秒	轉/分	i _n		%
1	2.10	116.5	17.15	12.5	106.5	464	4	NGW101 - 4	63.7
7	5.56	309	319	87.5	282	1230			
8	5.95	331	388	100	302	1315			
9	6.30	350	465	112.5	320	1395			
10	6.61	368	542	125	337	1465		NGW121 - 4	
11	6.98	388	627	137.5	354	1540			

NGW系列行星齿轮增速器，增速比按10级优先数系分档次。单级传动有2.8、3.15、3.55、4、4.5、5、5.6、6.3……各档，其功率范围已至1000千瓦。而带有增速装置的水轮泵所用的水泵，基本上可以现有水泵系列选配。

当然带有行星增速的水轮泵也有不足之处，那就是结构比较复杂，维修比较困难。故当容量小于100千瓦场合，可用皮带增速。

小水头比及分数水头比水轮泵

农田水利条件千差百殊，并不尽是所有水轮泵都要有高水头比。例如滨海平原河川末游感潮区，潮差不高，扬程也低，因此潮汐地区多用水头比1以至2.5的水轮泵。由

$n_s = \eta_p N_s i_H^{-\frac{5}{4}}$ ，如 $i_H = 1$ 并设 $N_s = 800$ $\eta_p = 0.8$ ，则 $n_s \approx 700$ ，这时所配的泵应为轴流泵；如 $i_H = 2.5$ 则 $n_s \approx 240$ 应配混流泵。

降水头比则流量比增。在相同水头工作时，一台60—1.2型水轮泵要比60—16型出水量大15倍之多。表5为该两种水轮泵的参数对比。图8为闽江末游长乐黄面潮汐水轮泵站在水闸上安装60—1.2型水轮泵图。该站潮差3~4米，工作水头1.5~2.5米之间，扬程2~3.5米，灌田二千余亩。

60—1.2 型水轮泵性能

60—16 型水轮泵性能

表 5

水 头	流 量	扬 程	出水量	效 率	水 头	流 量	扬 程	出水量	效 率
米	米 ³ /秒	米	升/秒	%	米	米 ³ /秒	米	升/秒	%
1	0.58	1.2	300	62	1	0.728	16	21.4	47
2	0.82	2.4	425		2	1.030	32	33	
3	1.00	3.6	520		3	1.260	48	27.1	
4	1.16	4.8	600		4	1.456	64	42.8	
5	1.29	6.0	670		5	1.628	80	47.8	
6	1.40	7.2	735		6	1.784	96	52.5	

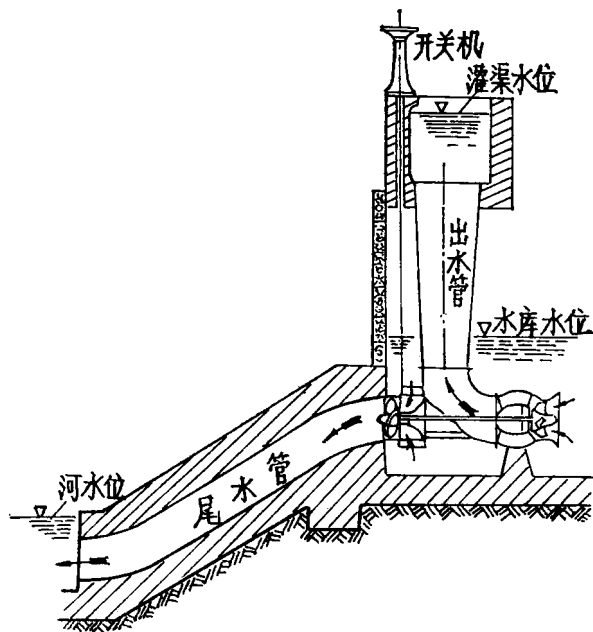


图 8 黄石潮汐站安装 60-1.2 型水轮泵

在特殊场合，还要分数水头比的双水源水轮泵。例如高地的山塘水库和灌渠灌溉河滩田的场合，在放水下田时，可通过这种水轮泵来扬升田下河水上田增益水量。图 9 为切击式水轮机带立式斜流泵的双水源水轮泵示意图。表 6 列有这种水轮泵的性能参数。

山区河流两岸洋田扬程不高，而山上却可建高水头的山塘水库。在山麓装此种水轮泵，水库下放一份水，可抽取几份河水上田，使一个水库顶得上几个水库用。

变水头比水轮泵

由公式 2—5 可知，设 C 、 Z 、 S 、 i_n 、 η_i 值为定数，则 $i_H = K \eta_p^{\frac{2}{5}} (N_s/n_s)^{\frac{4}{5}}$ 。如让泵也按相似工况运行，则 n_s 和 η_p 也为定数。这时 $i_H = K' N_s^{\frac{4}{5}}$ 。而桨叶转角 φ 可调的水轮

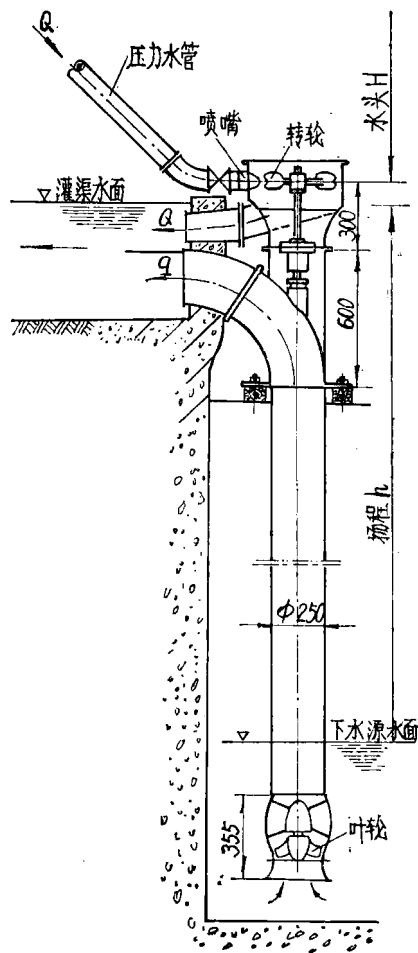


图9 双水源水輪泵安装示意图

QX25/1×2-1/10型双水源水輪泵 QX25/1×3.2-1/10型双水源水輪泵性能 表 6

水头	流量	轉速	出力	揚程	出水量	水头	流量	轉速	出力	揚程	出水量
米	升/秒	轉/分	千瓦	米	升/秒	米	升/秒	轉/分	千瓦	米	升/秒
10	4.0	480	0.3	1	26	10	10.2	450	0.775	1	65
50	8.9	1070	3.4	5	58	50	22.8	1000	8.7	5	145
60	9.8	1170	4.5	6	64	60	24.9	1100	11.4	6	159
70	10.6	1270	5.7	7	69	70	26.5	1190	14.3	7	172
80	11.3	1350	6.9	8	73	80	28.8	1270	17.5	8	184
90	12.0	1440	8.3	9	78	90	30.6	1350	20.9	9	195
100	12.6	1515	9.7	10	82	100	32.2	1420	24.4	10	205
120	13.8	1660	12.7	12	90	120	35.5	1500	32.2	12	225
140	15.0	1800	16.0	14	97	140	38.2	1680	40.6	14	243
160	16.0	1920	19.5	16	104	160	40.8	1800	49.7	16	260

机, 运行时 N_s 有大幅度的变化, 自然水头比将随之变化。当利用水库有压放水, 安装水轮泵灌高田时, 因为水库的水位变化导致水头高时扬程低, 水头低时扬程高。水头比变幅常达三、四倍, 只有引用转桨式水轮机才能胜任。

更进一步是水泵部分也采用轴流或斜流转桨式。当水头高而扬程低时, 调小水轮机桨叶转角的同时调大水泵桨叶转角, 使出水量大增。反之则相反。这种双转桨式水轮泵在大型潮汐扬水站, 以及以水轮泵扬程代替部分建坝高程场合, 用它是适宜的。

水轮泵的性能

水轮机和水泵, 彼此间具有共通的水力学特征。

首先是水泵的轴功率与水轮机的出力应设计得相等。而在运行中, 当泵负载发生变化时 (扬程与出水量不同引起泵轴功率的变化), 水轮部分能自动变速以相适应。彼此间出现了自我调节相互补偿的过程, 达到新的能量平衡。

如上所述, 水轮机的出力与水泵的轴功率两者自相平衡, 故其基本关系式是:

$$P_t = P_p$$

$$\eta_t QH = qh/\eta_p \quad \text{即} \quad \eta_t \eta_p QH = qh$$

$$\text{令} \quad \eta_0 = \eta_t \eta_p$$

$$\text{则} \quad \eta_0 = \frac{q}{Q} \cdot \frac{h}{H} \dots\dots\dots (2-6)$$

式中: P_t 、 P_p 分别为水轮机和水泵的轴功率

η_t 、 η_p 分别为水轮机和水泵的效率

η_0 为水轮泵总效率

如果机泵之间不是直联而是用齿轮或皮带传动, 则上式尚应加入传动效率 η_i

如以 i_H 代 h/H , 称为水头比 (或称单位扬程——1 米水头时的扬程); i_Q 代 q/Q , 称为流量比。则:

$$\eta_0 = i_H i_Q \text{ 或 } i_H = \eta_0 / i_Q$$

水轮泵的相似律

设有两台水轮泵, 其过流部分相对应的尺寸的比值为一常数, 其相对应的角度相等, 则这两台水轮泵为几何相似。并设工作时相对应的液体质点或运动部分的速度, 其大小的比值为一常数, 速度之间相对应的角度相等, 则这两台水轮泵运动相似。于是可得:

$$\frac{Q_a}{Q_b} = \frac{D_{1a}^2 H_a^{\frac{1}{2}}}{D_{1b}^2 H_b^{\frac{1}{2}}} \qquad \frac{n_a}{n_b} = \frac{D_{1b} H_a^{\frac{1}{2}}}{D_{1a} H_b^{\frac{1}{2}}}$$

$$\frac{q_a}{q_b} = \frac{D_{1a}^2 H_a^{\frac{1}{2}}}{D_{1b}^2 H_b^{\frac{1}{2}}} \qquad \frac{h_a}{h_b} = \frac{H_a}{H_b}$$

$$\frac{P_a}{P_b} = \frac{D_{1a}^2 H_a^{\frac{3}{2}}}{D_{1b}^2 H_b^{\frac{3}{2}}}$$

还可以写成:

$$\frac{Q_a}{D_{1a}^2 H_a^{\frac{1}{2}}} = \frac{Q_b}{D_{1b}^2 H_b^{\frac{1}{2}}} = Q'_1 = \text{常数}$$

式中: Q'_1 即为水轮机部分的单位流量

$$\frac{n_a D_{1a}}{H_a^{\frac{1}{2}}} = \frac{n_b D_{1b}}{H_b^{\frac{1}{2}}} = n'_1 = \text{常数}$$

$$\frac{q_a}{D_{1a}^2 H_a^{\frac{1}{2}}} = \frac{q_b}{D_{1b}^2 H_b^{\frac{1}{2}}} = q'_1 = \text{常数}$$

$$\frac{h_a}{H_a} = \frac{h_b}{H_b} = h'_1 = \text{常数}$$

对于所有相似的水轮泵, 若其工况也相似, 则其 Q'_1 、 n'_1 、 q'_1 和 h'_1 均相等。

为便于比较和应用, 在计算时我们把 D_1 取为水轮泵的转轮直径。

若 $H = 1$ 米、 $D_1 = 1$ 米, 则 $Q = Q'_1$ 、 $n = n'_1$ 、 $q = q'_1$ 和 $h = h'_1$ 。所以水轮泵单位参数的物理意义, 是工作水头为 1 米, 转轮直径为 1 米时的水轮泵参数。

值得指出的, 单位扬程 $h'_1 = h/H$ 与 D_1 无关, 故物理意义可进一步说明水轮泵在水头为 1 米时的扬程。单位扬程又称水头比。

相似定律的一种特殊情况, 即两个相似水轮泵相对应的线性尺寸相等, 也可以说是同一个水轮泵当工作水头不同而运行于等角状态, 其工况相似, 则以上各式可进一步简化为:

$$\frac{h_a}{h_b} = \frac{H_a}{H_b} \quad \frac{Q_a}{Q_b} = \left(\frac{H_a}{H_b}\right)^{\frac{3}{2}} \quad \frac{n_a}{n_b} = \left(\frac{H_a}{H_b}\right)^{\frac{1}{2}} \quad \frac{q_a}{q_b} = \left(\frac{H_a}{H_b}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\text{或 } h \propto H, Q \propto H^{\frac{3}{2}}, n \propto H^{\frac{1}{2}}, q \propto H^{\frac{1}{2}}.$$

以上各式说明同一个水轮泵在工作水头改变而工况相似的情况下, 过流量、转速、出水量、扬程与水头之间的比例关系, 故称为比例定律。

以水轮机为动力带水泵的这种机泵间性能彼此吻合的内在水力规律, 为水轮泵所特有, 非其它动力带泵所能比拟, 因此水轮泵可称是理想的水力机械。

水轮泵的特性图

转轮直径 $D_1 \leq 60$ 厘米的水轮泵, 一般在能量台上实测其性能。并就此测得的数据换算至水头为 1 米时的性能绘制其特性图。如图 10 为高产 30—4 型水轮泵性能曲线。如果要知道不同水头下的性能, 可通过 $h = i_H H$, $q = q_1 H^{\frac{1}{2}}$, $Q = Q_1 H^{\frac{3}{2}}$ 换算而得。如表 7。

对于利用现有水轮机和水泵组合的水轮泵组, 则水轮机和水泵的性能曲线为已知, 组成水轮泵后不难直接由换算而得水轮泵组

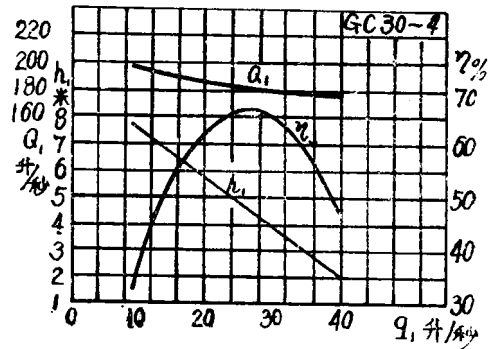


图10 高产30—4型水輪泵性能曲綫图