



苏联大百科全书选译

水 力 学



电力工业出版社

422

565



水 力 学

*

334S44

电力工业出版社出版 (北京府右街 26 号)
北京市书刊出版业营业登记证出字第 082 号
北京市印刷一厂排印 新华书店发行

*

編者：孟慶沐 校對：田德賢
787×1092¹/₃₂ 開本 * 13/16 印張 * 48 千字
1956 年 5 月北京第 1 版
1956 年 5 月北京第 1 次印刷 (00001—5,600 冊)
統一書號：17036·3 定價 (第 10 類) 0.15 元

水力学 (俄文 Гидравлика 一字源自希臘字 $\dot{\epsilon}\dot{\delta}\omega\rho$ -вода——水及 $\alpha\nu\lambda\omicron\varsigma$ -труба, трубка 管或小管——)系關於液体的平衡与运动的条件和規律、以及应用这些規律以解决实际問題的方法之科学。水力学也可下定义为液体的应用力学。

對於水道交通、水能利用、農田灌溉与排水、上下水道等之举办，桥樑或公路水管孔徑之計算，以及水輪机、水泵、水力联动机、暖气裝置、水力机械、石油制品運輸系統等之設計，液体运动規律之知識是必需的。水力学以及理論流体力学(参考流体力学 Гидромеханика 節)均研究液体之平衡与运动的規律，后者則以嚴密的数学分析作为研究的基本方法。由於运动着的真实液体之流动結構是非常复雜的，所以流体力学为了从数学概念里獲得准确而且完善的解答，把水流整体运动現象，水流結構，以至流体的物理性質加以概括(簡化)。可是在这些簡化的情况下，獲得流体力学解答，往往也是非常繁复的。

水利各部門和水力机械制造不断地發現日新月異的液体流动的形式，並且要求能簡便而充分准确地解答問題。寻求这种解答就須依靠水力学；水力学像其他应用科学一样，採取理論和实验並用的研究方法。

水力学引用了运动学和动力学的基本定律(动能变化定律、动量定律、可能位移定理)、以及运动相似律和因次論等，並应用了这些理論於液体的流动，給出水力学所固有的計算方法和各种关系；复借实验的方法，在水力試驗室里或自然条件下，以縮小的建築物模型校准之。又在流体力学中也运用試驗室实验的方法。同时，水力学也力求把大量数学的嚴密性用在它的約略性解答中。这种情形可望導致水力学最终於匯成一門科学——液体的力学，从而促使法或实验進行液体的平衡与运动的研究更臻完善。

水力学作为力学系统中的一門課目，可分为几个部門，这些部門分別研究液体平衡的規律和液体运动的規律。在液体的运动这一部門里，通常附帶叙述其实际的应用(液体在集槽和水管中的运动，孔口、管口、閘口之出流，地下水之运动等等)。在液体的平衡那一部門里考查液体在平衡状态下的受力性質，各种作用在液体上的力，及其對於水中潛浮物体的影响。液体在平衡的(靜止的)状态中，只有垂直的力(压力)作用於其所有質点上。各質点單位接触面上互相作用着的力，亦即液体重力在單位面積上所產生的力称为靜水压力(p)，以下式表示之：

$$p = p_0 + \gamma h, \quad (1)$$

式中 p ——靜水压力； p_0 ——表面压力，作用在液体單位自由表面上者； γ ——液体的容重； h ——所待决定靜水压力的那一点在自由表面以下的深度。

液体重量 P 在面積 F 的面上所產生的压力称为液体总压力。在任何面積 F 上的总压力(含压力)等於：

$$P = p_c \cdot F, \quad (2)$$

式中 p_c ——在这面積的重心上的靜水压力之值。曲面上的总压力則以其所組成的水平向和垂直向压力之几何总和表示：

$$P = \sqrt{P_1^2 + P_2^2}. \quad (2')$$

在液体的平衡这一部門中也研究下列各項：(1)阿基米德定律——液体中潛浮的物体在底面承受一种压力，其合力垂直向上，等於該物体所排除的液体的重量。从这定律引出了物体浮沉条件：若物体重量等於其同容積的水的重量，則物体在液体中呈随遇平衡的状态；若物重超过同容積水重，則物体下沉；若物重小於同容積水重，則物体上浮。(2)帕斯卡定律——

封閉容器中作用在液体自由面上的表面压力 P_0 。以等值傳遞到液体中任何一点，以及所有界壁，並垂直於这界壁。帕斯卡定律所指出的这种液体傳遞表面压力的性質奠定了理論的基礎，据以創造各种所謂水力傳动机械（水力压缩机、水力升降机、水力錘击机、水力起重机等）。

水力学的主要目的是研究液体运动的規律。平面水流的断面，垂直於总的流向，且为一平面的水流断面，称为过水断面（ ω ）。液体各質点以不均等的流速流过水流的过水断面；其平均值称为平均流速（ v ）。在單位時間內流过一定过水断面的液体容量称为流量（ Q ）。在流动着的实际液体里，除了相似靜水压力的垂直压力，在这情形下称为动水压力（ P ）外，还有剪力作用着。剪力產生於液体之黏滯力，称为內部摩阻力，或简称摩阻力。水力学决定液体流动的各种因素（流速、动水压力、摩阻力）和各种外力（容量的或質量的）間的理論关系，各种外力中則以重力为主。

水力学研究液体流动的下列基本形式：穩定流与不定流。在液体的穩定流中，所有質点通过一定空間点的流速，不論数值或方向，概不随時間而变。在不定流中，液体各質点的流速既随空間亦随時間而变。液体的穩定流可呈均匀流或不均匀流的形式。在不均匀流中，所有水流的因素——流速、过水断面面積、水深、直径（在水管中）等——均沿流程而变。在均匀流中，所有这些因素沿流程恆定不变。在渠道中均匀流的特点为流速及水深之恆定，因而水面坡即等於渠底坡。压力水管中的水流，其压力超过大气压力，而液体充滿水管断面者，称为有压流动；而明槽中的水流則称为無压流动。

水力学的基本規律是關於液体的穩定流者，其中沿流程的过水断面很平緩地改变着，而总的流向接近一直綫。这种穩定

流的形式称为徐变流。

以液体的平均流速 v 和过水断面面积 ω 作流量 Q 之表达式乃为稳定流的第一个基本关系式:

$$Q = v \cdot \omega. \quad (3)$$

由于水流在任何断面上的流量是一样的, 从等式(3)可推导出所谓液体连续性的水力学定律:

$$Q_1 = Q_2 \text{ 或 } \frac{v_1}{v_2} = \frac{\omega_2}{\omega_1}, \quad (4)$$

从此式可见, 各断面的平均流速和过水断面面积成反比。

关于实际液体(具有黏滞性者)的流动性质之所谓伯努利方程式, 是徐变稳定流中水力学的第二个基本关系式:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha v_2^2}{2g} + h_w, \quad (5)$$

式中 z_1 及 z_2 ——两水流断面的重心或任何其他点位于某一水平面 $O-O$ (称为基面)以上的高度(图1); $\frac{p_1}{\gamma}$ 及 $\frac{p_2}{\gamma}$ ——所谓测压管高度, 决定已知点的动水压力, 並代表水柱的高度; $\frac{\alpha v_1^2}{2g}$ 及 $\frac{\alpha v_2^2}{2g}$ ——水流的流速水头。这里 α ——一种系数, 用以计及水流断面内流速分佈之不均匀性, 其值大于1(平均值 $\alpha=1.1$); v_1 及 v_2 ——在第一及第二水流断面上的流速平均值; g ——加速度 $=9.81$ 公尺/秒²。

h_w 项代表断面 1-1 和 2-2 之间距离 L 上所發生的总的水头损失, 这种水头损失起因於沿流程摩阻力的作用, 以及由於水流边界形状之突变所產生的各种“局部阻力”(例如水流突然的擴張或縮小, 水流突然的弯轉, 各种插瓣、开关、閘門之伸入水流等等)。所有这些水头损失通常以相对流速水头之分数比例表达, 並沿流程綜合之:

$$h_w = \Sigma \zeta \frac{v^2}{2g}, \quad (6)$$

式中 ζ ——流速系数，每种阻力各借实验定出。 $z + \frac{p}{\gamma}$ 两项，称为测压管水头，表示每单位重量的水流通过一定过水断面所撞有的势能。此值决定於水流的空間位置及作用在水流上的动水压力 p 。 $\frac{\alpha v^2}{2g}$ 项是动能的一种衡量，相应平均流速 v 而为单位重量的流动液体所撞有者。

最后， h_w 一项代表水流在断面 1-1 和 2-2 間沿途抵抗各种阻力所消耗的能的总值(圖 1)。綜合地說，方程式(5)表示实际液体在流动中的能量守恒定律。由於式中各項均屬於液体之單位重量者，故亦称水流比能的方程式。

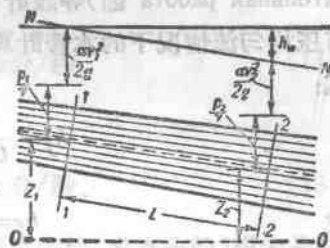


圖 1

液体均匀流的方程式是水力学中第三个基本关系式：

$$v = C \sqrt{R \cdot I}, \quad (7)$$

$$Q = C \cdot \omega \cdot \sqrt{R \cdot I}, \quad (8)$$

式中 v 和 Q ——在均匀流条件下的平均流速和流量； ω ——过水断面的面積， R ——水力半徑(参考水力半徑 Гидравлический радиус 節)，在均匀流中此值不沿流程变化； I ——槽底縱坡，在明槽的情形此值等於自由表面的縱坡； C ——实验的系数，計入了断面尺寸、水槽形狀及其边壁糙度的影响。系数 C 以巴甫洛夫斯基公式决定之：

$$C = \frac{1}{n} R^{2/3}, \quad (9)$$

式中 n ——粗糙系数，對於金屬水管此值等於 0.0125，混凝

土壁 0.014, 粗糙的塊石砌體 0.017, 土渠 0.025, 不良情況的渠道或河道(草木繁植的河岸, 大卵石槽等) 0.035 等等; y ——一指數, 視粗糙係數 n 和水力半徑 R 而定, 平均在 0.140 至 0.300 的範圍內變化。關係式(7)和(8)可用以定出已知流量和底坡的渠道之水深, 在航道、排水道、灌溉渠道, 水力發電的輸水渠道、下水道水管、以及治河工程(參考治河工程 Выпрямительная работа 節)等設計中廣泛應用之。方程式(8)亦用於有壓均勻流情況下的水管計算, 而取下列所謂“水管公式”的形式:

$$h_f = \frac{Q^2 L}{C^2 \omega^2 R} \quad (10)$$

或
$$h_f = \frac{Q^2 L}{K^2}, \quad (11)$$

式中 h_f ——沿水管長度 L 的水頭損失; $K = C\omega\sqrt{R}$ ——流量模數或流量特性數。 K 值為水管直徑 d 的函數, 按金屬水管的標準平均粗糙係數 $n=0.0125$ 計算。

通過各種水流的研究確定了兩種液體流動的狀況: 綫流或層流, 及亂流(渦流)或紊流。在綫流中, 其特點為非常小的流速, 小於所謂臨界流速 v_{kp} , 液體各質點流動如綫狀, 不相混淆。在紊流中, 流速大於臨界流速, 各質點間進行着劇烈的相互混淆。臨界流速之值視液體黏度、水流的橫斷面尺寸、水管的直徑、水力半徑之值而定, 而以一種無因次的因數, 叫做雷諾氏數(參考雷諾氏數 Число Рейнольдс 節)者確定:

$$v_{kp} = Re_d \frac{\nu}{d}, \quad (12)$$

式中 Re_d ——雷諾氏臨界數, 對於管中有壓水流此值等於 2300; ν ——運動黏滯係數, 其因次為公分²/秒; d ——水管

直徑。

明槽(渠道)中的水流狀況則用下式決定:

$$v_{kp} = Re_R \frac{v}{R}, \quad (13)$$

式中 Re_R ——雷諾氏數，等於 300。水在平均溫度 15°C 下的黏滯係數等於 0.0114 公分²/秒。因此，水管中臨界流速之值等於：

$$v_{kp} = \frac{26}{d} \text{ 公分/秒}。 \quad (14)$$

明槽中者則等於：

$$v_{kp} = \frac{3.4}{R} \text{ 公分/秒}。 \quad (15)$$

在綫流狀況下，由於阻力所產生的能(或水頭的)損失是和平均流速 v 的一次方成正比；在紊流情況下則約與平均流速之二次方成正比。把伯努利方程式應用於各種水流情況，可以據而獲得一系列計算關係式，式中引入了一些通過實驗的係數以校準之。

下列計算公式可用以推算通過容器牆壁、蓄水池、航道閘室、以及壩身等(圖2)的孔口之流速和流量：

$$v = \varphi \sqrt{2gH}, \quad (16)$$

$$Q = \mu \omega \sqrt{2gH}; \quad (17)$$

式中 φ ——流速係數，計及了由於液體黏滯性所產生的損失水頭；薄壁容器的孔口之 $\varphi = 0.97$ ； H ——孔口中心以上的水頭； Q ——液體的流量(每秒液體容量)； μ ——流量係數，不只計及了液體的黏滯性，且計及水流自孔口噴出後的斷面緊縮； $u = 0.6$ ； ω ——孔口面積。如水庫壁上的孔口裝有各式噴嘴

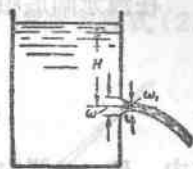


圖 2

(圖3), 則系数 φ 和 μ 表示其各种水力特性。

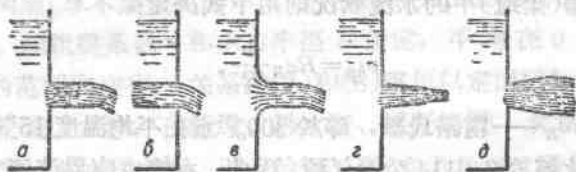


圖 3

噴 嘴 形 式	φ	μ
外伸圓管(圖3, a)	0.82	0.82
內挿圓管(圖3, б)	0.71	0.71
鐘形管口(圖3, в)	0.97	0.97
圓錐形縮口管(圖3, г)	0.964	0.956
圓錐形張口管(圖3, д)	0.46	0.46

在洩水閘底噴出射流的情形下(圖4),

$$v = \varphi \sqrt{2g(H - h_c)}, \quad (18)$$

$$Q = \mu b h_c \sqrt{2g(H - h_c)}, \quad (19)$$

式中 H ——閘內水深, h_c ——閘外收縮的水深, b ——孔口寬度。

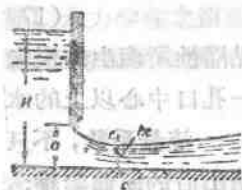


圖 4

在这种情形下, $\mu = 0.65 - 0.70$;
 $\varphi = 0.97 - 0.98$ 。从运动方程式(5)也可
 得到通过溢流堰(参考溢流堰 Водослив
 節)的基本方程式:

$$Q = mb_0 \cdot \sqrt{2g} \cdot H_0^{3/2}, \quad (20)$$

式中 m ——流量系数, 对薄壁溢流堰

(圖 5, a) 此值平均为 0.42, 通用的溢流堰(圖 5, б) 0.48—0.49, 寬頂堰(圖 5, в) 0.32—0.35; b_0 ——通过堰口水流寬度, 考慮到了兩側縮水的影响; H_0 ——溢流堰頂上的所謂总水头, 等於 $H_0 = H + \frac{v_0^2}{2g}$, H ——堰內水表面高程距溢流堰底高程之高度, $\frac{v_0^2}{2g}$ ——根据平均流速 v_0 之流速水头, 憑此流速水流瀉向溢流堰頂。

从关系式(5)產生了關於水流断面上的比能之概念。



圖 5

$$\Theta = h + \frac{v^2}{2g} = h + \frac{Q^2}{2g\omega^2}, \quad (21)$$

式中 Θ ——水流断面上的比能(單位重量的)之值; h ——水流深度; v ——水流在这断面內的平均流速。考查方程式(21)

可知, 断面比能的表达式乃是水流深度 h 的連續函数。在一定的流量下, 任何断面的比能之变化可以式 $\Theta = f(h)$ 之曲綫表示之(圖 6)。圖示当某一水流深度 h 之值, 比能有一最小值。当断面比能为最小值的水流深度 h 称为臨界水深—— h_{kp} ;

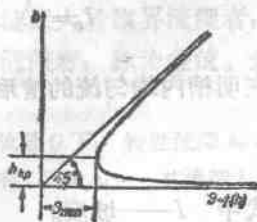


圖 6

在任何有規則形狀的河槽內, 臨界水深可用下列方程式定出:

$$\frac{\omega_{kp}^3}{B_{kp}} = \frac{Q^2}{g}, \quad (22)$$

式中 ω_{kp} ——在一定流量 Q , 且水深 $h=h_{kp}$ 的情况下的过水断面面积, B_{kp} ——同一情况下的水面宽。对于直角槽形的特殊情形, 从式(22)可以得出推算临界水深的直接表达式:

$$h_{kp} = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{g \cdot B^2}} = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}, \quad (23)$$

式中 B ——直角槽的宽度; q ——单位槽宽上的流量。水流断面比能与临界水深的概念广泛地应用于堰流及明槽不匀流的理论里。

直接从方程式(5)可以得出水力坡度(参考水力坡度 Гидравлический уклон 節)当作水流单位流程中能(或水头的)损失之概念。在明槽内不匀流的情形下, 水力坡度之公式如下:

$$I = \frac{\left(z_1 + \frac{\alpha v_1^2}{2g}\right) - \left(z_2 + \frac{\alpha v_2^2}{2g}\right)}{L}; \quad (24)$$

在水管中有压均匀流的情形下, 则

$$I_0 = \frac{\left(z_1 + \frac{p_1}{\gamma}\right) - \left(z_2 + \frac{p_2}{\gamma}\right)}{L}; \quad (25)$$

在明槽内均匀流的情形下, 则

$$I_0 = \frac{z_1 - z_2}{L}, \quad (26)$$

式中 I ——坡度。

从式(5)也可推导出明槽里液体不匀流的基本微分方程式:

$$I = \alpha \frac{d}{ds} \left(\frac{v^2}{2g} \right) + \frac{v^2}{C^2 R}, \quad (27)$$

表示流速水头之沿程变化, 其中 s 为一段流程的长度。

稜柱体槽内的不匀流基本微分方程式则取下列形式:

$$\frac{dh}{ds} = \frac{I_0 - \frac{Q^2}{C^2 \omega^2 R}}{1 - \frac{\alpha Q^2}{g} \cdot \frac{B}{\omega^3}} \quad (28)$$

式中 $\frac{dh}{ds}$ ——水流深度沿程的变率, I_0 ——底坡。式(27)及(28)沿程各段之積分可据以推算明槽內不勻流的自由水面綫。

在不勻流条件下水流的研究引出了按水流坡度和均匀流流深 h_0 对臨界流深 h_{kp} 的比例之两种水流的分类: 安流和急流。当一定流量在均匀流按式(8)所确定的条件下, 如比能儲量为最小, 亦即当均匀流流深等於臨界流深时的水流底坡, 称为臨界坡度—— I_{kp} 。其值以下式确定:

$$I_{kp} = \frac{g \cdot \chi_{kp}}{\alpha C_{kp}^2 B_{kp}}, \quad (29)$$

式中 B_{kp} ——当流深等於臨界流深之水流表面寬度; χ_{kp} ——槽的“潤边”——当 $h=h_{kp}$ 位於槽橫断面自由表面水位以下的那一段輪廓長度; C_{kp} ——当 $h=h_{kp}$ 公式(8)中的系数 C_{kp} 。

水流的底坡小於臨界坡度而均匀流流深大於臨界流深者, 称为安流。水流的均匀流流深小於臨界流深者, 称为急流。急流之坡度大於臨界坡度(29)。

不勻流方程式(28)之研究指出: 在一定流量 Q 下, 特性流深 h_0 与 h_{kp} 划出了三个流深的区域。在安流內(圖7)有: 区域 a_1 ——其流深大於

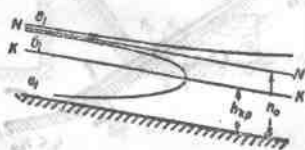


圖 7

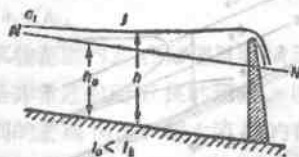


圖 8

均匀流的流深($h > h_0$)；区域 σ_1 ——其流深较小，但大于临界流深 ($h_{kp} < h < h_0$)；区域 σ_2 ——其流深小于临界流深 ($h < h_{kp}$)。在区域 σ_1 内，不匀安流当其过水面受了壅水壩、桥座、或任何障碍物之约束或阻擋($i_0 < i_{kp}$)，只呈现迴水曲线形式，其流深沿程慢慢增加(圖 8)。在区域 σ_1 内，水流自由表面綫取弯凸的落水曲线形式，其末段则有跌水；这是由于渠道或河槽施以挖泥工程后建立的跌水(礁岩)所产生者(圖 9)。在区域 σ_1 内，流深 $h < h_{kp}$ ，可能發生於下列各种情形：从壩的洩水閘下放水到下游(参考上下游 Вьюф節)，或从溢流壩(参考溢流壩 Водосливная плотина節)頂上排水，同时产生了“水躍”——陡急的水位升高，水流在短距离間自小於临界流速的深度轉向着大於临界流深的正常流深 h_0 (圖 10)。

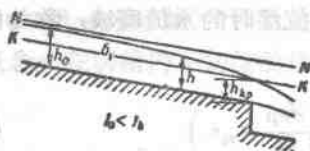


圖 9

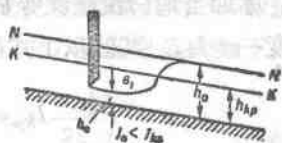


圖 10

在急流里同样也有三个区域，但其不匀流的自由水面綫形状則和紊流者相反。在区域 σ_{II} 内(圖 11)，上游的水被壅水壩或其他緊縮河槽的建築所壅起，形成了弯凸的迴水曲线以及从正常流深 $h_0 < h_{kp}$ 流向流深 $h > h_{kp}$ 的水躍。在区域 σ_{II} 内，当流深 $h_{kp} < h < h_0$ ，則得出一种凹弯的落水曲线，从流深 h 渐渐流向均匀流的流深 h_0 ，在陡坡跌水处中可以看見(参考陡坡跌水 Быстроток 節)(圖 12)。在区域 σ_{II} 内，当深度 $h < h_0$ ，

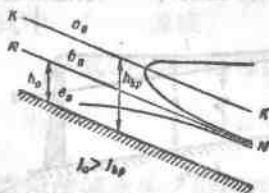


圖 11

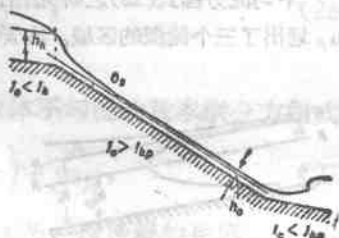


圖 12

見於從閘下放水流到陡坡跌水處(圖 13)的情形, 呈迴水曲綫, 平滑地流向均勻流的流深 h_0 。

苏联學者研究不勻流的理論時, 又指出了水工建築中常遇到的平底槽($I_0=0$)以及倒坡槽($I_0<0$)上水流自由表面綫之各種可能形狀。在這種情形下, 只可能有兩種形式, 屬於區域 $a_{III}(a_{IV})$ 及 $b_{III}(b_{IV})$ (圖 14, a 及 14, 6); 其狀為落水曲綫, 最後呈跌水; 或為迴水曲綫, 最後呈水躍。

水躍的理論及其實際應用對於工程水力学具有非常重要的價值。當水流從小於臨界流深之流深向着大於臨界流深者, 即 $h > h_{kp}$ (圖 15), 水躍必然發生。水躍的基本微分方程式如下:

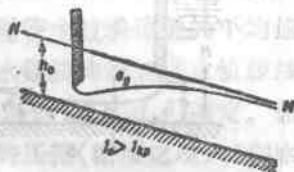


圖 13

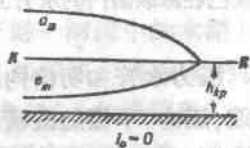


圖 14a

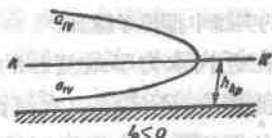


圖 14b

$$\frac{Q^2}{g\omega_1} + z_{01} \cdot \omega_1 = \frac{Q^2}{g\omega_2} + z_{02} \cdot \omega_2. \quad (30)$$

式(30)可按已知的水躍前流深(h_1)或水躍后流深(h_2)求出另一個水躍的流深。水躍可以是: (1) 遠驅式的(圖 16, a), 如水躍前深度 h_1 大於堰脚或閘下噴出的流深 h_0 ; (2) 淹沒式的(圖 16, 6), 如 $h_1 < h_0$ 。

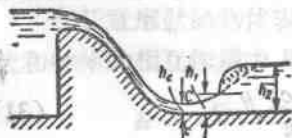


圖 15

在建築物範圍內或在河槽里形成遠驅式水躍是非常危險而不良的現象。因為水躍四周的漩渦情況和極大流速的存在導致河床的冲刷或破壞, 威脅建築物的穩固與耐久。為了減少水躍的冲刷作用, 須設法改變遠驅式水躍為淹

液式水躍，並消滅剩余的水流動能；通常設立消能池或消能檻(參考消能池及消能檻 Волобойный колодец или подобная стенка 節)或各種消能設備(參考消能設備 Гаситель энергии потока 節)以達到此目的。

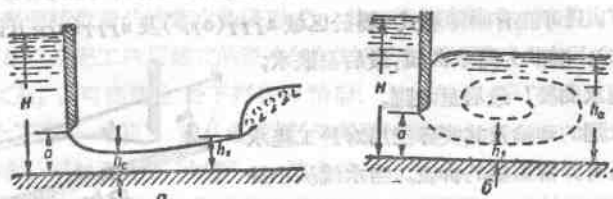


圖 16

蘇聯學者對於不勻流理論與水躍理論的詳盡研究，創造了卓越地發展蘇聯水工建築物的可能性，這些建築業已在蘇聯國內的水力工程建築偉大的實踐中獲得了驗證。

在近代水力學最複雜的部分中，壓力水管和明槽內的液體不定流屬之。不定流中水流因素(流速、壓力)不僅隨縱橫座標或空間位置而變，亦且隨時間而變。有壓不定流之發生往往聯系到管道中水錘現象。Н. Е. 茹可夫斯基(參考茹可夫斯基 Н. Е. Жуковский 節)曾完善地研究了水管中水錘的理論。他指出，當管閘急速關閉時，發生壓力之陡升(水擊)，很快地向上游逆流傳遞。這種壓力可能發生管道系統中或水泵、水力發電廠管路中的失事，隨着接头或有時水管本身的破裂。茹可夫斯基這樣地定出了水錘情形下壓力的增高：

$$\Delta p = \rho \cdot c \cdot v = \frac{\gamma \cdot c \cdot v}{g}, \quad (31)$$

式中 Δp ——水錘下的壓力增值； v ——關閉前水流的平均速度； c ——水錘波沿管道向上游傳遞的速度，等於：

$$c = \frac{\sqrt{\frac{E_{\kappa}}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{E_{\kappa}}{E} \cdot \frac{d}{\delta}}}, \quad (32)$$

式中 E_{κ} 及 E ——水及管壁材料的彈性模數； d ——水管內徑； δ ——管壁厚度； ρ ——水的密度。金屬管中波浪傳遞的平均速度 $c=1000$ 公尺/秒。式 (32) 表示，水錘波傳遞速度之值視液體性質 (E_{κ}, ρ)、水管尺度及管壁材料的性質 (E, d, δ) 而定。茹可夫斯基曾指出，在水击中會發生水的壓縮 (密度之增大) 和水管之張大 (直徑增大)。

河渠明槽中的不定流常於下列情形中發生：攔水壩水閘的啓閉、水力發電廠之日調節，為了通航从水庫中的放水 (以增高壩下游一河段中的水深)、攔水壩或水力發電廠的毀壞、洪水的陡漲等等。不定流的特性是一系列正波 (水流中水位增漲着) 和負波 (水位降落着) 之產生與傳播。水波有的是順向的，如沿流程向下游傳播；有的是逆向的，如逆流上遞。

關於液體噴射固定的或活動的物體表面的動力作用 (即噴流的壓力或水击) 之研究對於水力機械製造之發展具有重大的價值。這種現象的深入研究始於二百年前彼得科學院成員 A. 伯努利和 П. 歐勒的工作，他們最早建議應用動量和動量矩的變化之動力學定律於液體噴射物體表面的壓力 (或水击) 之狀況。

在任意形狀的物體表面上的噴射壓力之一般性情況中，噴流和物體的相互作用力 R 可以用下列公式求出：

$$R = \frac{m_0 v_0 - m_1 v_1 \cos \alpha_1 - m_2 v_2 \cos \alpha_2}{\cos \beta}, \quad (33)$$

式中 R ——在表面上噴流水击力的反射力； m_0 與 v_0 ——接觸表面以前的噴射質量與流速； m_1, m_2 與 v_1, v_2 ——水击表