

水电站建筑中的 人工加糙水道

苏联 C. B. 卡波林斯基著

申震亞 王鍾泰譯

電力工業出版社

522.23

935

本書敘述了人工加糙水道的結構和加糙物类型的選擇與計算，分析了人工加糙水道的作用和优点及水电站洩水道、魚道、筏道等對人工加糙水道的要求。書中并闡明在水电站建筑及其他水利工程中应用人工加糙水道的远景。

本書可供从事水利工程設計的技术人員及高等学校水利工程系的学生应用。

С. В. КАПЛИНСКИЙ
ВОДОТОКИ УСИЛЕННОЙ ШЕРОХОВАТОСТИ
В ГИДРОЭЛЕКТРОСТРОИТЕЛЬСТВЕ
ГОСЭНЕРГОИЗДАТ МОСКВА 1950

水电站建筑中的人工加糙水道
根据苏联国立动力出版社1950年莫斯科版翻譯
申震亞 王鍾泰譯

760S105

電力工業出版社出版(北京惠特門外大街路)

北京市書刊出版業營業許可證出字第082号

北京市印刷一厂排印 新华書店發行

787×1092 $\frac{1}{16}$ 开本 * 3号印張 * 68千字

1958年3月北京第1版

1958年3月北京第1次印刷(0001—1,000册)

統一書号: 15036·649 定价(第10类)0.55元

目 录

采用的符号及縮写字	2
第一章 人工加糙水道在水电站建筑中的应用	4
第二章 人工加糙的結構及其使用經驗的評論	7
第三章 实驗室研究及实地观察的結果	33
第四章 人工加糙水道的水力計算方法	57
第五章 人工加糙水道的靜力計算和結構特性	71
第六章 人工加糙水道今后的發展以及它在水电建設和其他 領域中应用的展望	78
参考文献	88

采用的符号及縮写字

名称	符号	因次
加糙物以上的水深.....	h	公尺
陡槽中的水深.....	H	公尺
正常水深.....	H_0	公尺
临界水深.....	H_{kp}	公尺
水力半徑.....	R	公尺
加糙物的高度.....	σ	公尺
加糙物的寬度(沿陡槽的軸綫).....	d	公尺
加糙物的間距.....	l	公尺
粗糙系数:		
按正常比率.....	n	
按巴青比率.....	γ	
陡坡的光滑部分.....	n'	
單位粗糙系数.....	K	
阻力系数.....	b	
陡槽底坡.....	i	
等速流状态的坡度.....	i_0	
陡槽底对水平綫的傾角.....	θ	
陡槽寬度.....	B	公尺
对水流挟气的校正.....	r	
寬深比——陡槽寬度对于加糙物以上的水深之比.....	$\beta = \frac{B}{h}$	
加糙物之間陡槽的收縮寬度.....	B_{CK}	公尺
收縮特性——陡槽全寬与其槽壁加糙物間的收縮寬度之比.....	$S = \frac{B}{B_{CK}}$	
陡槽中的水深与其收縮寬度之比.....	$m = \frac{H}{B_{CK}}$	
陡槽中的水深与加糙物高度之比.....	$\alpha' = \frac{H}{\sigma}$	

收縮断面处加糙物以上的水深与加糙物高度之比	$\alpha = \frac{h}{\sigma}$	
水力半徑与加糙物以上水深之比	$\beta' = \frac{R}{h}$	
陡槽的原型和模型的尺寸之比	λ	
水流流量	Q	公方/秒
單寬流量	q	公方/秒
等速流公式中的速度系数	C	公尺 ^{0.5} /秒
过水断面的面积	ω	平方公尺
潤周	χ	公尺
給定断面中的平均流速	v	公尺/秒
人工加糙水道	$BYIII$	
粗糙系数	$KIII$	

字母符号的旁註:

属于建筑物原型的	nam
属于模型中实验的	mod
最大的	max
最小的	min
極限的	$pred$
平均的	cp
通过的	mp
数字表示書末所附参考文献中的文献号码	[參 102]

第一章 人工加糙水道在水电站 建筑中的应用

水面啣接問題是水电站樞紐及其他水利經濟建築物設計中的复杂問題之一。关于水面啣接的建築物应当滿足下列基本要求：

- 1) 它們不应当破坏啣接水面的正常状态和水力条件；
- 2) 应当保證水流通過时对建築物的安全；
- 3) 应当遵守对这种啣接形式所提出的，为特殊的水利經濟要求所决定的附加条件。

跌水和陡坡是所应用的水面啣接建築物的最典型的代表。不論在实际中所遇到的跌水和陡坡有如何的多样性，它們中的每一个都可以沿着水流的方向分作四个特征部分(圖 1)：

- 1) 进口，連接上游和建築物的基本結構；
- 2) 陡槽(陡坡)或跌坎(跌水)，以一个牆或以水由建築物的上游部分往下游的降落为其特征；
- 3) “消能設備”，在这里面进行着水流动能的改变，水流在建築物的第二部分跌落下来时获得了这种动能；
- 4) 出口，把基本建筑物和下游連接起来。

当水面落差相当大时，由建築物中流出的水流可以具有非常大的力量，并且在下游引起破坏和冲刷，为了“消灭”水流的能量，需要特殊的設備。

在水面啣接的建築物中，可以有兩種方法来“消能”。在第一种方法的情况下，允許在陡槽內發展最大可能的流速，它的能量的消耗是在建築物的第三部分，在特別建筑的消能設備中(集中消能方法)。

在第二种方法的情况下，能量的“消耗”是利用陡槽的特別設備沿着水流長度逐漸进行的(連續消能方法)。在这种情形下，建築物的第三部分——消能設備——不是必需的，应取消。

目前，在唧接水面的建筑物中，集中消能的方法是在实践中占有优势的，虽然这种方法有很多固有的缺点，这些缺点在落差较大时最为明显。

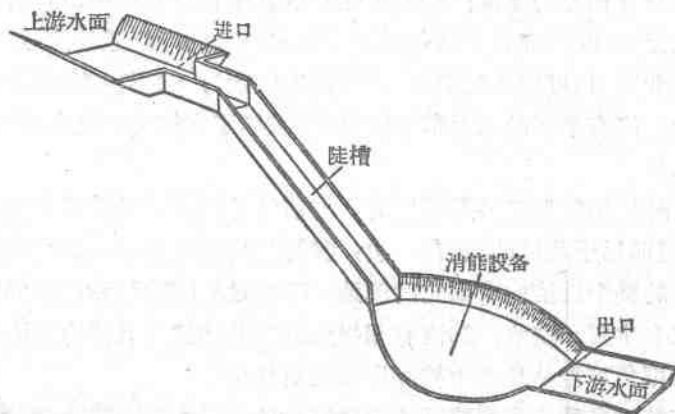


圖 1 建筑物唧接水面的特征部分

連續消能的方法暂时得到有限的应用，因为在参考文献中很少阐明，并且理論的研究也不足，虽然在近十年来已經出現了广泛应用这一方法的明显趋势。

全部或部分的利用連續消能的建筑物，在必須滿足特殊的水利經濟要求的条件下(宣洩浮冰，通过泥沙、木材，魚道，拖曳航运等等)有着很大的推广。这些建筑物根据它們所解決的問題，在参考文献中得到一些特殊的名称：增加糙率的陡槽，浮运木材的斜槽，魚道和人工加糙的筏道，拖曳航运渠道以及很多其他名称。

一切水利經濟形式，都与按照連續消能方法而建筑的建筑物的使用和結構的研究有关，并且每一种水利經濟形式对于这些建筑物都有其特殊的要求。讓我們援引某些水利經濟部門所提出的这些要求以举例說明。

水电站的建筑对洩水建筑物提出下列要求：1)在大的落差及相当大的流量情况下可以应用这些建筑物；2)水面唧接得平稳；3)水流的运动具有为建筑物側壁及底的材料所允許的流速；4)陡槽不致被泥沙

磨損；5)可以通过漂浮物；6)結構簡單，施工量尽可能的小。

水运和流送木材对相应的建筑物(筏道，拖曳航运的渠道等)也有其严格的要求；1)在最小流量时沿槽皆达到通航深度；2)沿建筑物的整个長度有相等的速度；3)在可能小的甚至相反的底速时，有尽可能大的表面流速(遵守这个条件就增加了建筑物的浮运通过能力并节约水的消費)；4)可能小的表面流速(拖曳航运)；5)平稳的水流性質和光滑的、沒有水躍的水面啣接(否則就破坏了木筏的强度和船只的安全进入)。

暂时把为漁業經濟所提出的，与魚的种类有关的純粹魚类学的要求(魚道即用于此目的)放在一边，我們提出三个基本的水力条件：1)在魚道的整个長度內有固定的流速，不超过3.5公尺/秒；2)固定的水深，沒有水躍和跌水；3)沒有相当大的上昇速度以及沒有垂直軸的漩渦，否則魚可能从魚道中被抛出或受到伤害。

在談到各种水利經濟部門对建筑物的啣接水面所提出的特殊要求时，必須注意到：近代大型的水电站建筑物总是綜合地解决水利經濟問題，即不仅要滿足基本的，主要的經濟部門(力能經濟)也要滿足所建筑的水工建筑物涉及的其他部門(例如航运，灌溉，浮运木材，漁業經濟)。因此，对建筑物水利樞紐同时要提出以上所列举的要求。

在供浮运木材，通过魚类和航运用的建筑物中，应用連續消能的方法的合理性是十分显然的。可是，对于仅仅用作洩水的，具有相当的高度和相当大的流量的建筑物，沿水流消能的問題也是现实的。

当液体的运动發生整体流动的破坏及相当大的挟气現象时，即使陡坡的計算方法有了足够的研究，由于难于在一般类型的消能設備中消除陡槽中全部巨大的速度及很大的水流动能，以致限制了普通陡坡在大落差和大流量条件下的应用。

連續消能的洩水建筑物在水电站的建筑中应当得到广泛的推广，因为它与現在常用的建筑物相比具有許多巨大的优越性：1)它的进口部分的結構完全不影响整个建筑物的工作；2)陡槽中的流速达不到磨損和破坏护面的危險的極限允許值；3)甚至在陡槽中相当大的長度內，也觀察不到沿水流方向流速的剧烈增加和水流完整性的破坏；4)

由于陡槽的特殊構造,聚集着的能量沿着水流的全程逐漸地被“消耗”,因此就沒有在建筑物的下面建造昂貴的“消能設備”的必要性了; 5)实际上可以使陡槽具有任意的坡度,这样就可以适应当地的地形,相当大的減少建筑物的長度,因而就大大的降低了建筑物的土石方的工作量; 6)这种类型的建筑物允許在平面上作曲率半徑較小的弯曲; 7)与一般的陡坡,跌水,洩水隧洞及其他类似的建筑物相比,这种类型的建筑物,在坡度較陡及落差較大时能产生最大的經濟效果。

对于小流量及小落差的水面啣接情形,如像最近十年的实验所指出的,按照沿流向連續消能的原理而工作的建筑物往往得到应用。这些建筑物的構想在于:在陡槽的底部,有时也在其側壁,裝置着特殊形狀的突出物——“加糙物”(水流能量的改造者),它創造了提高紊动性的水流,具有滿意的流速分佈的性能。这些建筑物——具有增加河床糙率的“加糙物”——可以称为“人工加糙水道”(BYIII)。在以后的叙述中,我們就轉到类似建筑物的現有类型的研究,它們的近代狀況和它們可能的發展前景。

第二章 人工加糙的結構及其 使用經驗的評論

俄国的技术給出了在各种水利經濟条件下应用人工加糙水道的卓越的例子。現有的材料指出:按照水流的連續消能——人工加糙水道的原理进行工作的建筑物的構想,第一次在俄国發生并且得到了發展和實踐。指出这种情形是很有意义的:即人工加糙水道第一次得到应用,不仅是作为解决任何个别技术問題的建筑物,也是作为复杂的水利經濟綜合中的建筑物,人工加糙水道在那里多方面的显示着以上所描述的性質,整个地改善了全部綜合的工作。例如,亞-达維渠道就可以包括在內,它自1903年开始工作,在該渠道上建筑了寬10公尺,流量30公方/秒,具有独創結構的人工加糙的筏道;該筏道在213公尺的長度上承受渠道首部的大部分落差,同时保證了全部水利建筑

物綜合的工作。俄国第一个人工加糙水道的建造者的名字，到現在还不知道。

为了根本改善拉烏茨河与达烏卡夫河区域之間的林業經濟，排水網的綜合利用問題的解决是另一个例子。在这个綜合的排水-浮运網上的水面啣接只有人工加糙的陡槽才能实现(圖2，叙述見下)。

这些建筑物，作为在各种不同的水利經濟条件下合理利用人工加糙水道的例子，在外国構想人工加糙水道以前已經为俄国的水利工程师建成了。我們已經知道最早利用人工加糙水道的俄国工程师所建造的这些建筑物，很出色的解决了陡峻的落差和不大的水流速度与水量

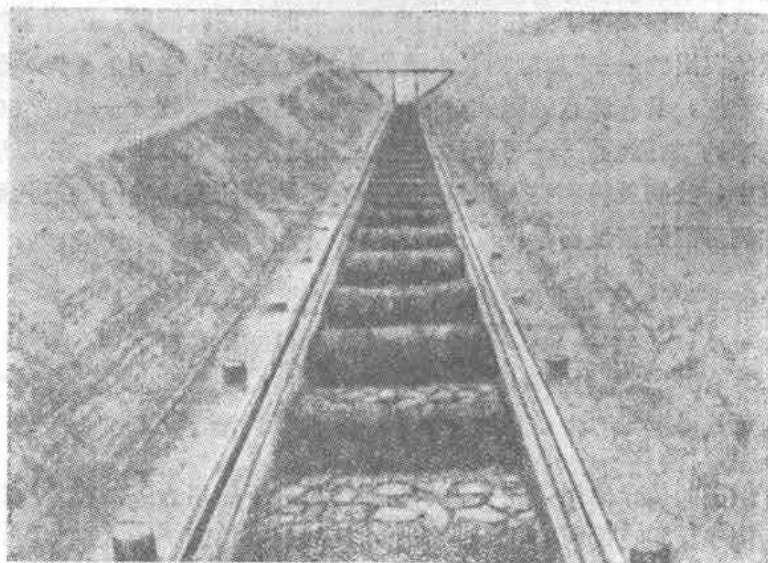


圖2 最早在俄国建立的人工加糙水道之一的普通形式，具有柔性橫向檻式的加糙物

的經濟消費相結合的問題；并且按其效果來說，給出了远远超过后来外国的實踐所达到的結果。

俄国的工程师于本世紀初在亞-达維水道上所建造的渠道——筏道，是最早的建筑物，它在技术上实现了人工加糙应用于水工技术中的構想。

該水道的引水区段之一称为浮运支渠，全長在一公里以上，并且

長 660 公尺的开始段底坡不大，等于 0.000765；然后，約 213 公尺的一段是人工加糙的筏道本身，有六个人工的阶坎——集中水的落差的坎。在結構方面，浮运支渠由三段組成。

第一段是寬 10 公尺，渠壁几乎垂直的木制河槽；在長 128 公尺的該段範圍內，在兩处做有笕槽；为了横着渠道放置壘梁以調节流量。上游的壘梁直接做在船閘厚重部分範圍內的平面閘門之后；下游的壘梁佈置在离上游壘梁 96 公尺的木制河槽範圍內，木制河床与石砌的半閘墩連接着。

第二段(中段)做成土渠的形式，其边坡局部用束柴和草皮加固。

第三段(最后一段)由木材做成，和在这一段上做成的六个坎一样。选用木結構的筏道是由于需要加固坎并保持在細流沙中造成的渠道断面不被急流破坏；急流是浮运木材时在筏道內形成的。

筏道本身是六个阶的梯級，每阶高 23.4 公分，兩阶坎之間成水平，長 21.3 公尺。具有縱向圓孔的寬木板，在每一阶坎下面横着渠道放在底部。上面嵌有成束的蘆葦(加糙物)，其高度能使渠道中的水面在最小流量时坎上水深为 1 公尺。渠道水面的高差与亞河流入建筑物的流量有关。当最小流量时，每一个坎上的落差是 15 公分。当流量增加时，經過筏道的水流速度也增加，坎上的落差也相应增加，水流变得不平穩了；而当木筏經過坎而傾斜时，木筏可能淹没水中把上面的人抛出去。为了避免这种情况，規定：第一，用在底部安裝壘梁的方法調节首部的流量；第二，在坎的后面設置加糙物，它們是些有彈性的刷狀物，承受漂浮着的木筏的冲击，不讓它們淹没水中，并且由于增加了河床的糙率，相当大的抑制了水流速度。因为应用了人工加糙水道和慎重考虑的建筑物結構，它显示了高度的使用質量。木材沿着筏道运动的速度在 2.4 到 3.7 公尺/秒之間变化；而木筏通过整个浮运支渠的时间約 5 分鐘。

佈置在陡槽底部和側壁的加糙物具有曲綫形齿的形式，其末端逆着流向成环狀[參 45 和 46]，成“反波浪”形(圖 3, a)或較簡單的外形(圖 3, б)；这种陡槽得到了广泛的应用。

讓我們来研究具有反波浪型(圖 3, a)木質加糙物的中水头人工加

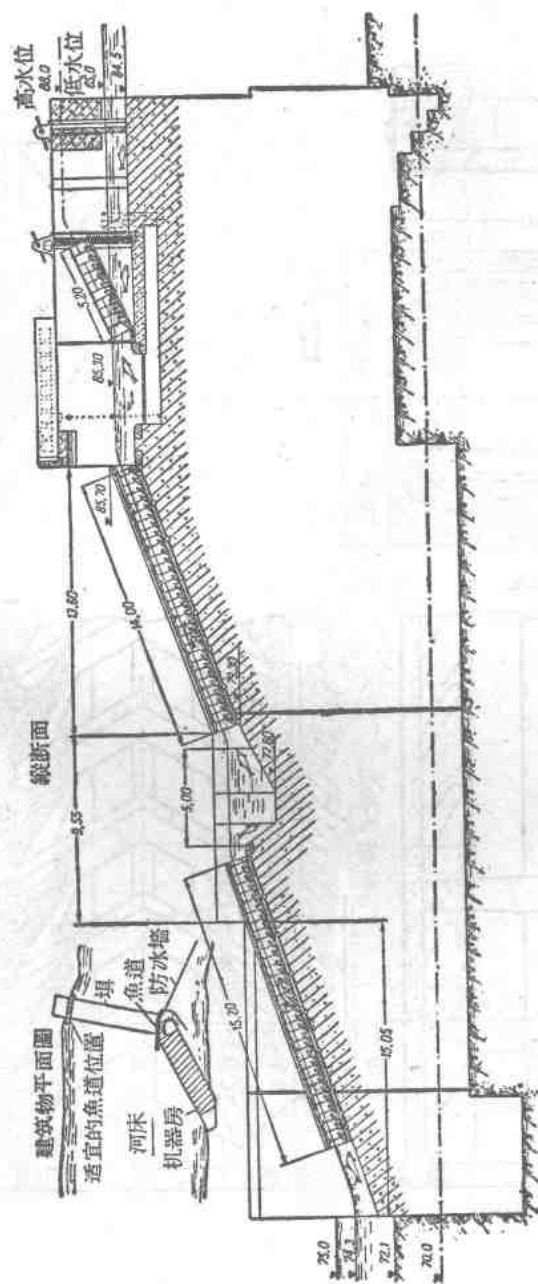


圖 4 中水头的水电站鱼道、建筑物的平面和縱断面圖

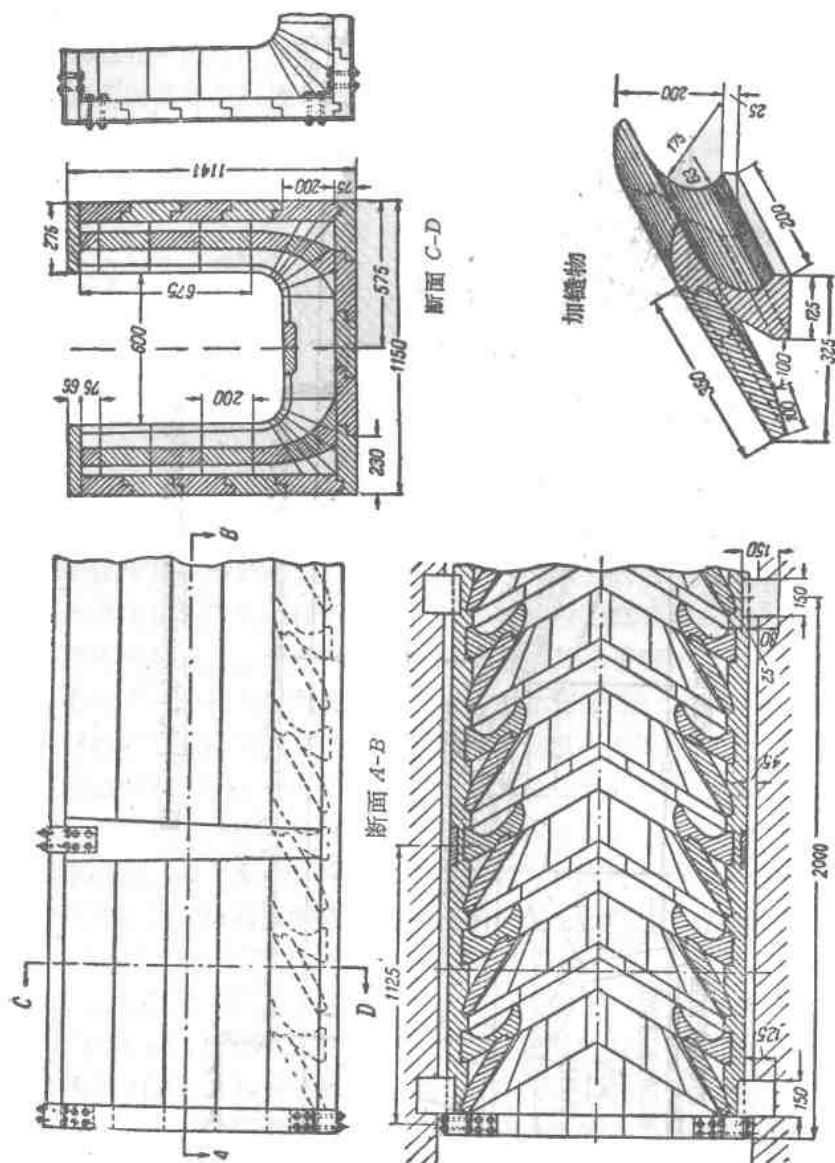


圖 4a 中水頭的水电站魚道。魚道断面

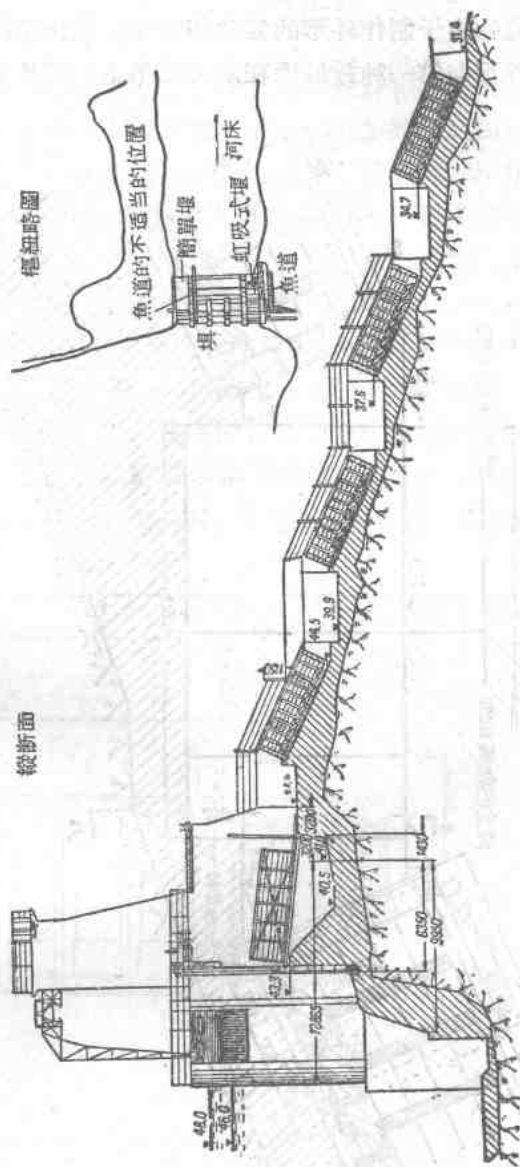
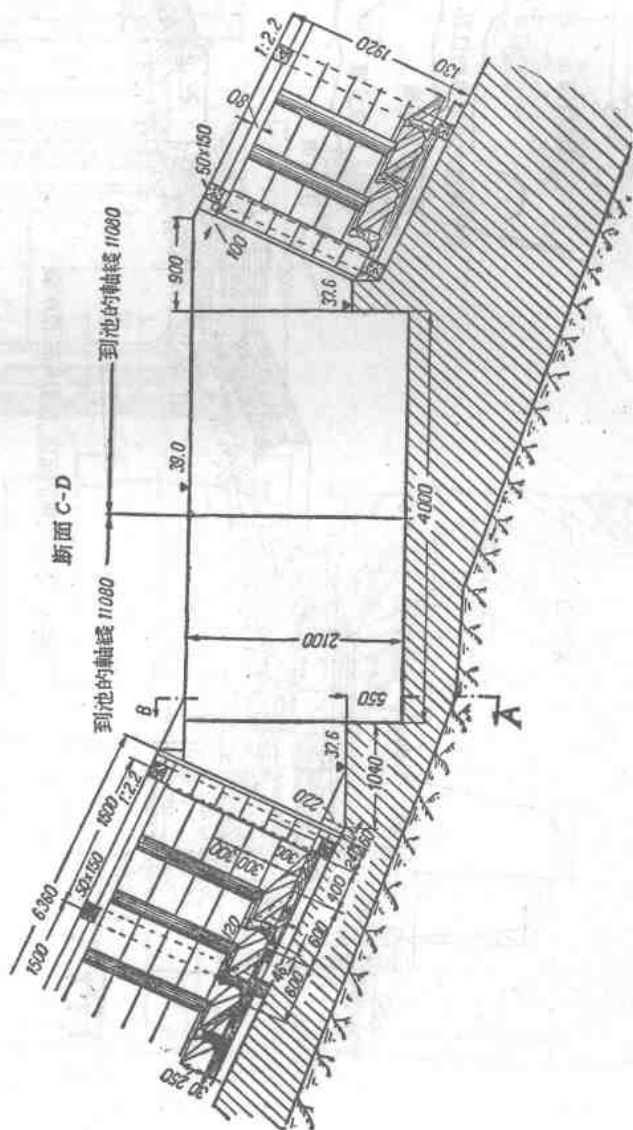


圖 5 中水頭壩的魚道。樑紐略圖縱断面

道。

波浪形加糙物由于制作外形的复杂和困难，促使工程师们寻求较简单的形式，外形与第一种近似而在水力效果上则不比它差。圖7所



示为結構非常簡單的具有木齿的一段魚道。这种齿的結構在構造上与最初的齿型結構非常不同。

人工加糙水道被捷克工程师应用于設計和建筑大的筏道中。建筑筏道是为了經过坝把木材送到下游；筏道是傾斜的矩形断面的陡槽，槽寬与水深之比通常超过十倍。筏道中水深的增加引起了流速的增加，对于木材的流放来說是危险的。所以在一般筏道中，木筏的安全通过只有在固定的水深时进行。为了避免在一般筏道中出現的沿着水道不均匀的逐漸增加的流速，促使捷克工程师应用加强筏道底部糙率。筏道与魚道不同，它的坡度相当小，有相当大的横断面，并且要求較大的“通过”深度——加糙物以上較大的深度，这已經在筏道中被实现了，如图 8 所示。筏道的长度为 105 公尺，一般落差为 2.7 公尺，底坡为 0.027。石砌的陡槽断面寬为 12 公尺，高为 1.1 公尺。筏道进口处的水深为 1.05 公尺，而在筏道內保持为常数——80 公分；虽

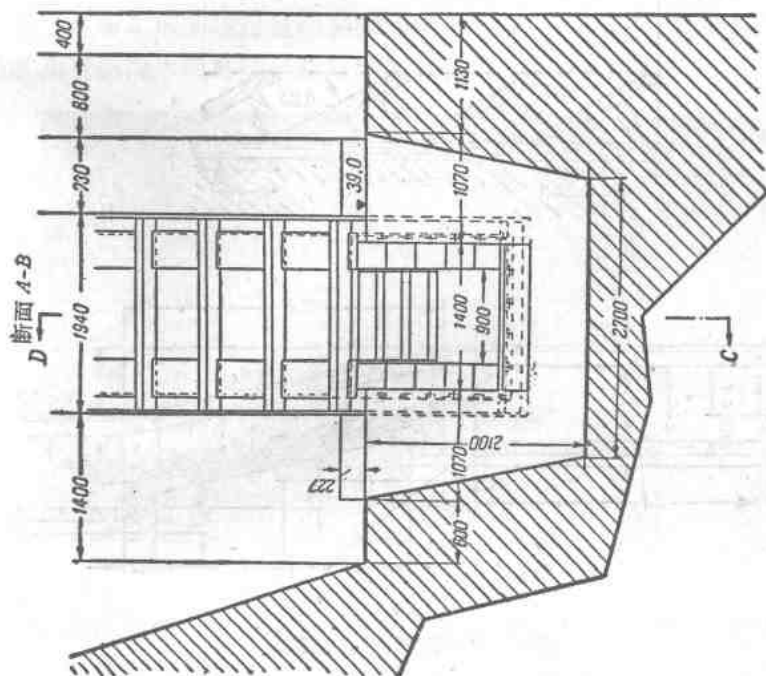


圖 5a 中水头坝的魚道。断面圖