

第一章 概论及基本数据

第一节 概 论

一、导流方式

任何实际工程设计的导流方案，归纳起来可划分为三种类型的导流方式：

(一) 布置于河床以外的泄水建筑物导流。它是借建筑物基坑上下游围堰拦断河水，由渡槽，隧洞或河床外的渠道、涵洞等永久的或临时的泄水建筑物导流。

(二) 在河床内建筑分期围堰，缩窄河床导流。

(三) 越过围堰及枢纽建筑物导流。如围堰过流和主体工程中设置底孔、梳齿、电站引水管道或尾水管道导流。

在初建阶段有的工程只采用某一类型的导流方式，根据工程规模情况及随着工程的进展，往往到工程的完建阶段，有可能采用另一类型的导流方式或几种类型导流方式的组合。这在工程实践中是常见的，但不会超越导流方式的基本类型。

二、导流水力计算的目的

要计算出在每一类型导流方式情况下，泄水建筑物的尺寸及其泄流能力，从而确定临时挡水建筑物的高度。而且随着施工程序的变化，确定不同施工时段主体工程的填筑高程，同时明确相应施工时段中泄流建筑物上的流态及其防护措施。必须说明，对于重要工程，水力计算只能做为初步确定参数的依

据，尚需要通过模型试验进行论证。

三、计算项目内容

(一) 分期导流：根据分期围堰布置，计算河床缩窄后的泄流能力，从而确定上游水位壅高及沿纵向围堰的水位变化和流态变化等。

(二) 明渠导流：计算明渠泄流能力及水面曲线变化，从而确定明渠过水断面尺寸及上游壅水高度和渠墙高度。

(三) 隧洞导流：首先判断隧洞中的流态，然后依据确定的无压流、半有压流及有压流等状态，分别计算各自的泄流能力所需要的过水断面尺寸及上游壅水高度。

(四) 围堰过流：计算围堰及永久建筑物设置的缺口、梳齿等的泄流能力和所需要的尺寸，确定上游壅水高度。

(五) 泄水建筑水流衔接：无论分期导流、明渠导流、隧洞导流和围堰过流都有一个共同的水流衔接问题，计算其水流形态及其防护措施的拟设。

(六) 几个特殊问题：组合泄流、水库调蓄、恒定急变流等等均为导流设计中经常碰到的问题，因此特辟一章讲述。

第二节 基本数据

关于水力计算的一些基本数据，在常用的《水力计算手册》中都有刊载，为节省篇幅，此处从略。

第二章 分期导流水力近似计算

分期导流系指用分期围堰围护建筑物基坑的一部分，另一部分未围护的河床过流的导流方式，见图 2—1。

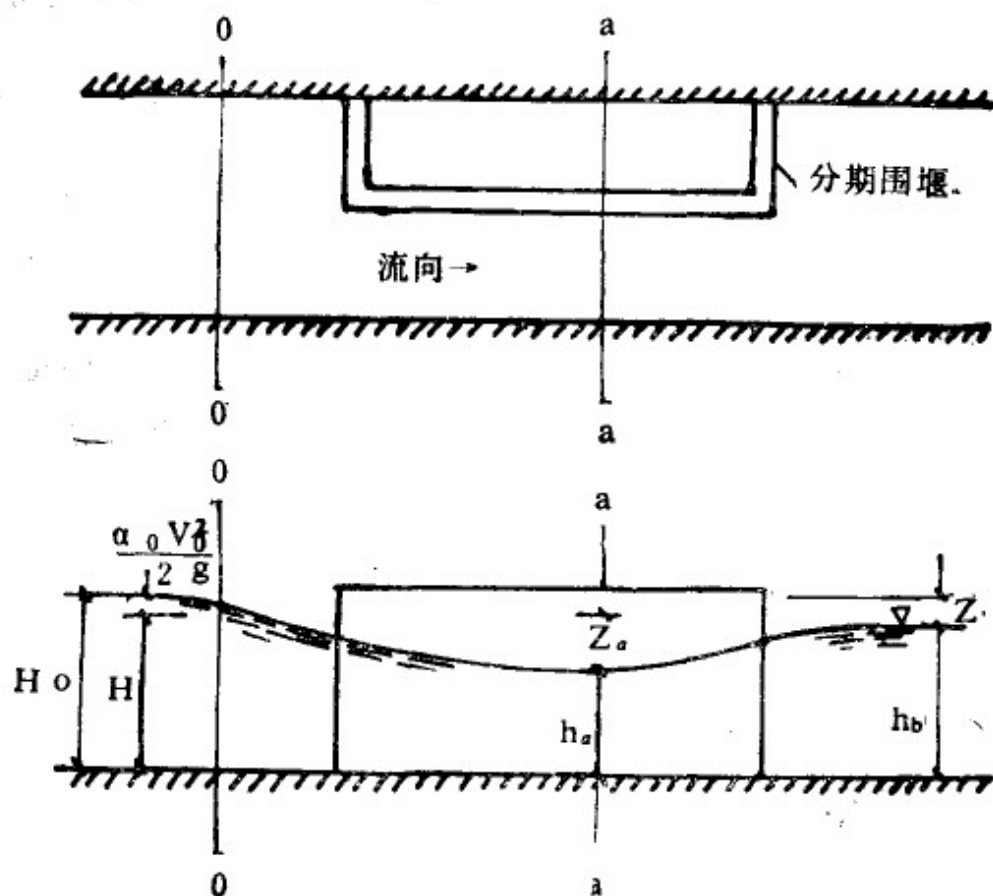


图 2—1 分期围堰示意图

按伯诺里方程，在图 2—1 中，取断面 0—0 与 a—a 写能量平衡式：

$$H + \frac{\alpha_0 V_0^2}{2g} + \frac{P_0}{r} = h_a + \frac{\alpha_a V_a^2}{2g} + \frac{P_0}{r} + h_f + h_t \quad (2-1)$$

式中: $h_f = \sum \xi \frac{V_a^2}{2g}$, $h_t \doteq 0$ 则式 (2-1) 变为:

$$H - h_a = (\alpha_a + \sum \xi) \frac{V_a^2}{2g} - \frac{\alpha_0 V_0^2}{2g} \quad (2-2)$$

$$\text{令 } \varphi = \sqrt{\frac{1}{\alpha_a + \sum \xi}} \quad \text{则}$$

$$H - h_a = Z_a = \frac{V_a^2}{\varphi^2 2g} - \frac{\alpha_0 V_0^2}{2g} \quad (2-3)$$

式 (2-3) 计算时, 需按试算法原理进行。当水流为急流状态, 设 $h_a \doteq h_k$ 试算。一般情况下, 被缩窄河床后水流多属缓流, 且河床水深与下游水深差别不大, 因此近似计算中可采用 $h_a \doteq h_b$, 此时亦即 $Z_a \doteq Z$ 。

若被缩窄的河床断面形状变化较大或纵向围堰较长的情况下, 可分段依伯诺里方程求出各段的水位差。例如在断面 a—b 后再加设一个断面 c—c, 列出伯诺里方程为:

$$h_a + \frac{\alpha_a V_a^2}{2g} + \frac{P_0}{r} = h_c + \frac{\alpha_c V_c^2}{2g} + \frac{P_0}{r} + h_f \quad (2-4)$$

$$h_a - h_c = (\alpha_c + \sum \xi) \frac{V_c^2}{2g} - \frac{\alpha_a V_a^2}{2g} \quad (2-5)$$

$$h_a - h_c = Z_{a-c} = \frac{V_c^2}{\varphi^2 2g} - \frac{\alpha_a V_a^2}{2g} \quad (2-6)$$

对于被缩窄河床的过水能力, 以 $H_0 = H + \frac{\alpha_0 V_0^2}{2g}$ 代入式

(2-2) 中, 经换算后得:

$$V_a = \varphi \sqrt{2g (H_0 - h_a)} \quad (2-7)$$

依水流运动连续定理得:

$$Q = AV_a = A\varphi\sqrt{2g(H_o - h_a)} \quad (2-8)$$

如考虑侧向收缩后则变为:

$$Q = \epsilon_o A \varphi \sqrt{2g(H_o - h_a)} \quad (2-9)$$

式中: Q —流量 (米³/秒);

A —过水断面积 (米²);

φ —流速系数, 按表 (2-1) 取用;

ϵ_o —侧向收缩系数, 一般 $\epsilon_o = 0.85 \sim 0.95$;

H_o —包括行近流速水头的上游水深 (米);

H —上游水深 (米);

h_b —河床下游水深 (米);

h_a —缩窄河床断面 $a-a$ 处的水深 (米);

V_a —缩窄河床断面 $a-a$ 处的流速 (米/秒);

α —流速不均匀系数, 一般取 $\alpha = \alpha_o = \alpha_a = 1.0 \sim 1.1$;

r —水容重 (牛顿/米³);

P_o —液面压力强度 (帕);

h_o —断面 $c-c$ 处的水深 (米);

h_f —断面 $a-a$ 和断面 $c-c$ 的能量损失 (米)。

$\Sigma \xi$ —局部水头损失系数总和;

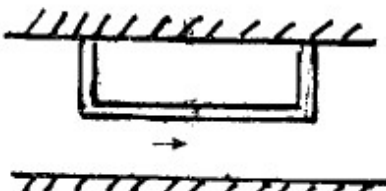
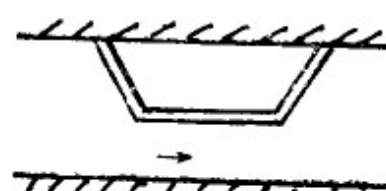
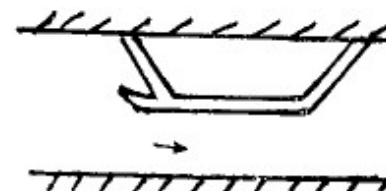
Z_a —断面 $o-o$ 与断面 $a-a$ 的水位差 (米);

Z_{ao} —断面 $a-a$ 与断面 $c-c$ 的水位差 (米);

g —重力加速度, 一般 $g = 9.81$ (米/秒²)。

对于被缩窄河床中的纵向围堰 L 较长, 且大于堰前水深 H 20 倍 ($L > 20H$) 时, 则被缩窄河床中水流已属河渠范畴, 应按渠道计算, 可参见第三章明渠导流水力近似计算。

表 2—1 不同围堰布置型式的流速流量系数

编号	布置型式	名称	流速系数 φ	流量系数 m	备注
I		矩形	0.70~0.80	0.30	(1) 梯型加挑流丁坝时其系数同 I 类
II		梯形	0.80~0.85	0.30~0.32	(2) 梯型加顺流丁坝时其系数同 II 类
III		梯型加导堤	0.85~0.90	0.32~0.35	

为简便计算，将几种不同流速系数与水位差关系列成表格（表 2—2），并绘制成曲线，以便查用。

表 2 — 2

不同流速系数与水位差关系

φ		0.70	0.80	0.85	0.90
$1/\varphi^2 2g$		0.10402	0.07967	0.07054	0.0629
V	V^2	$0.10402V^2$	$0.07967V^2$	$0.07054V^2$	$0.0629V^2$
0.5	0.25	0.026	0.02	0.018	0.016
1.0	1.0	0.104	0.08	0.071	0.063
2.0	4.0	0.416	0.319	0.282	0.252
3.0	9.0	0.936	0.717	0.635	0.566
4.0	16.0	1.664	1.275	1.129	1.006
5.0	25.0	2.601	1.992	1.764	1.573
6.0	36.0	3.745	2.868	2.539	2.264
7.0	49.0	5.097	3.904	3.456	3.082
8.0	64.0	6.657	5.099	4.515	4.026
9.0	81.0	8.426	6.453	5.714	5.095
10.0	100.0	10.402	7.967	7.054	6.290
11.0	121.0	16.964	9.640	8.535	7.611

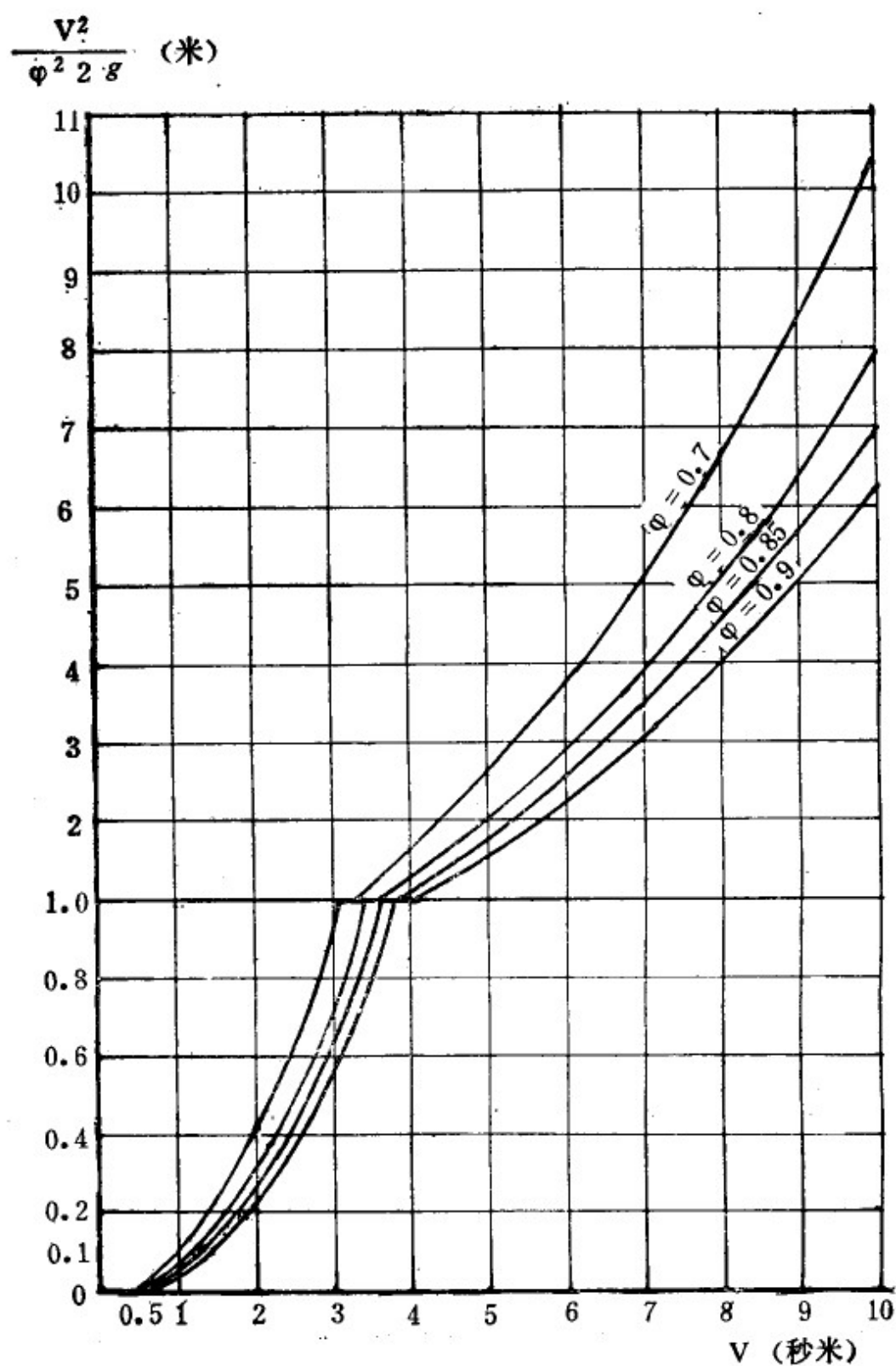


图 2—2 流速与水位差关系

〔算例〕 某水利枢纽河床泄流量 $3000\text{米}^3/\text{秒}$ ，相应河床下游水深 20米 ，河底为砂卵石层，允许流速为 $4\text{米}/\text{秒}$ ，原河床平均宽度为 120米 ，缩窄后的平均宽度为 40米 ，当流速系数 $\varphi = 0.8$ 时，试计算被缩窄河床后的壅水深？

〔解〕依据式（2—3）计算缩窄河床后的壅水深。

设缩窄后的河床水深与下游水深接近，则取 $h_a \div h_b = 20\text{米}$ ，已知 $b = 40\text{米}$ ，验算流速 $V = \frac{Q}{bh_b} = \frac{3000}{40 \times 20} = 3.75(\text{米}/\text{秒})$ ，故 $V < [V]$ —指允许流速。利用图表（2—2）计算，当 $V = 3.75(\text{米}/\text{秒})$ $\varphi = 0.8$ 时查得 $Z_a \div 1.13(\text{米})$ 。

$$\text{行近流速 } V_o = \frac{Q}{H_o B} = \frac{3000}{(20 + 1.13) 120} = 1.183(\text{米}/\text{秒})$$

$$\frac{\alpha_o V_o^2}{2g} = \frac{1.0(1.183)^2}{19.62} = 0.071(\text{米})$$

$$\begin{aligned} H_o &= h_b + Z_a + \frac{\alpha_o V_o^2}{2g} \\ &= 20 + 1.13 + 0.071 = 21.2(\text{米}) \end{aligned}$$

第三章 明渠道流水力近似计算

明渠以及渡槽、无压涵洞、底孔、隧洞等，在导流时，水流运动可能出现均匀流或非均匀流两类流态。这两类水流的水力计算，都是近似地确定渠道断面尺寸和上下游衔接形式及其保护设施。

第一节 明渠均匀流

一、基本原理

在明渠中，当渠底与水平面成倾斜角，渠内水面与渠底相平行时，就产生均匀流。据均匀流的水力特性，按能量方程可求得均匀流公式。

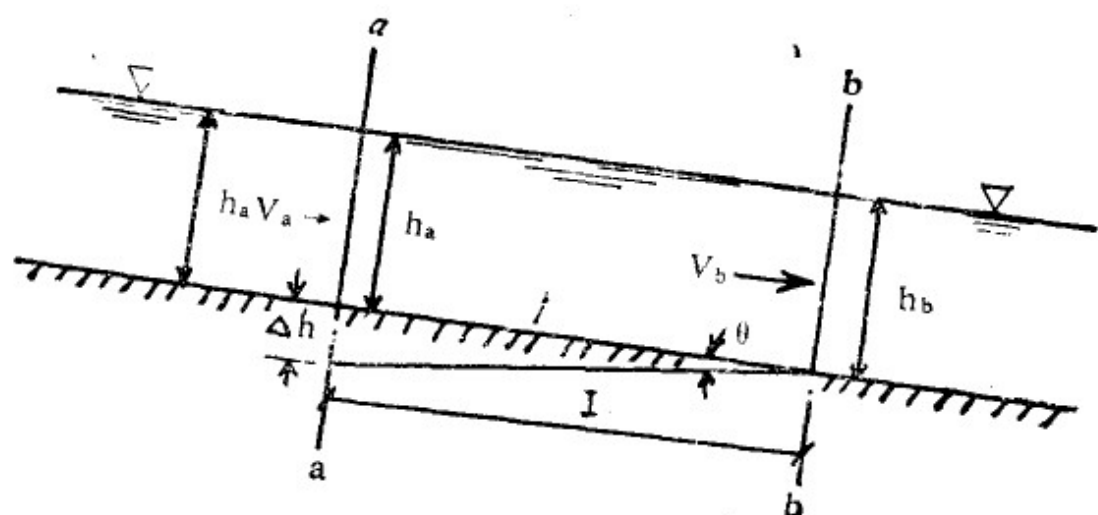


图 3—1 明渠纵剖面示意图

$$h_a + \frac{V_a^2}{2g} + \Delta h + \frac{P_0}{r} = h_b + \frac{V_b^2}{2g} + \frac{P_0}{r} + h_f \quad (3-1)$$

在均匀流时, $h_a = h_b = h_0$, $V_a = V_b$, 则式 (3—1) 变为:

$$\Delta h = h_f = il \quad (3-2)$$

按明渠水流沿程水头损失:

$$h_f = \lambda \frac{l}{4R} \frac{V^2}{2g} \quad (3-3)$$

$$\text{故 } il = \lambda \frac{l}{4R} \frac{V^2}{2g}$$

$$V = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}} \sqrt{Ri}$$

$$\text{令 } C = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}}, \text{ 则}$$

$$V = C \sqrt{Ri} \quad (3-4)$$

式 (3—4) 即著名的谢才公式, 也就是均匀流渠道水力计算的基本公式。

根据水流连续原理, 明渠泄流量为:

$$Q = AV = AC \sqrt{Ri} \quad (3-5)$$

式中: C —谢才公式系数, 惯用满宁公式, 即

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6}, \quad (3-6)$$

R —水力半径 (米), $R = \frac{A}{x}$;

A —过水断面面积 (米²);

x —湿周 (米);

n —糙率系数;

λ —水流摩阻系数;

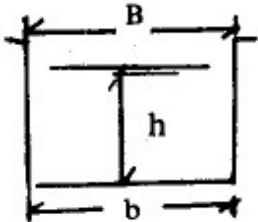
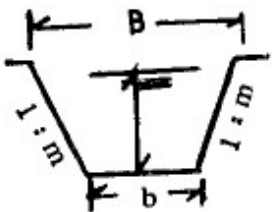
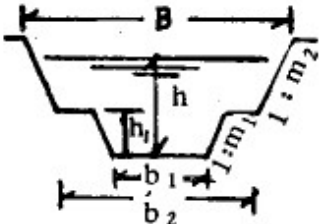
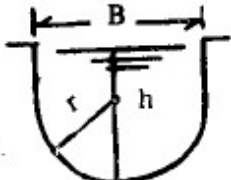
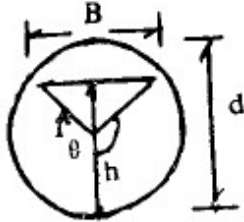
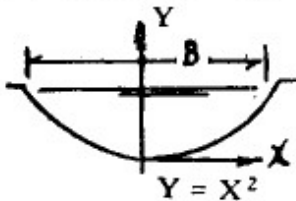
l —两断面间距离 (米);

g —重力加速度 (米/秒²)。

二、渠道水力参数表 (表 3—1)

表 3—1

渠道水力

断面型式	过水面积 A	湿周 X
	bh	$b + 2h$
	$(b + mh)h$	$b + 2h\sqrt{1 + m^2}$
	$(b_1 + m_1 h_1)h_1 + [b_2 + m_2(h - h_1)](h - h_1)$	$b_2 - 2m_1 h_1 + 2h_1\sqrt{1 + m_1^2} + 2(h - h_1)\sqrt{1 + m_2^2}$
	$\frac{1}{2}\pi r^2 + 2r(h - r)$	$\pi r + 2(h - r)$
	$\frac{d^2}{8}(\theta - \sin\theta)$	$\frac{d}{2}\theta$
	$\frac{2}{3}Bh$	$\sqrt{1 + 4h}h + \frac{1}{2}\ln(2\sqrt{h}) + \sqrt{1 + 4h}$

* 圆形断面中有如下关系式 $\cos \frac{\theta}{2} = 1 - \frac{2h}{d}$.

参数表

水力半径 R	水面宽 B	断面平均 水深 $D = \frac{A}{B}$	断面 因数 $Z = A \sqrt{\frac{A}{B}}$
$\frac{bh}{b+2h}$	b	h	$bh^{1.5}$
$\frac{(b+mh)h}{b+2h\sqrt{1+m^2}}$	$b+2mh$	$\frac{(b+mh)h}{b+2mh}$	$\frac{[(b+mh)h]^{1.5}}{\sqrt{b+2mh}}$
$\frac{A}{X}$	$b_2+2m_2(h-h_1)$	$\frac{A}{B}$	$A\sqrt{\frac{A}{B}}$
$\frac{r}{2}\left[1+\frac{2(h-r)}{\pi r+2(h-r)}\right]$	$2r$	$\frac{\pi r}{4}+(h-r)$	$\frac{\left[\frac{\pi r^2}{4}+r(h-r)\right]}{\sqrt{r(\pi-4)-4h}}$
$\frac{d}{2}\left(1-\frac{\sin\theta}{\theta}\right)$	$\left(\sin\frac{\theta}{2}\right)d$ 或 $2\sqrt{h(d-h)}$	$\frac{1}{8}\left(\frac{\theta-\sin\theta}{\sin\frac{\theta}{2}}\right)d$	$\frac{\sqrt{2}(\theta-\sin\theta)^{1.5}}{32\left(\sin\frac{\theta}{2}\right)^{0.5}}d^{2.5}$
$\frac{4/3h^{1.5}}{[\sqrt{(1+4h)h}+\frac{1}{2}\ln(2\sqrt{h}+\sqrt{1+4h})]}$	$2\sqrt{h}$	$\frac{B\sqrt{h}}{3}$	$\frac{2\sqrt{3}}{9}B^{1.5}h^{1.25}$

三、均匀流简化计算

为了计算方便，下面将几种常用的断面型式的计算进行简化，其基本原理是依据谢才公式（3—5）和谢才公式系数采用满宁公式及依据各种断面型式中水深与底宽比值 β ，进行水力要素（过水面积、水力半径、湿周）换算，然后代入谢才公式，即可得到各种断面型式综合过流的基本公式：

$$Q = \frac{1}{n} \frac{1}{a} h^{8/3} i^{1/2} \quad (3-7)$$

式中： a —过流断面系数；

n —糙率系数；

β —各种断面型式水深与底宽比值。

由于 a 是随 β 而变化的数值， β 值又是未知数，因此直接求解困难，故设不同断面型式时的 β 值来求相应的 a 值。

依据上述原理，对各种不同断面型式进行计算后，列成表格，以供查用。

表 3—2 常用梯形过水断面 a 与 β 值关系表

计算情况	a	a	β	A
梯形断面 已知水深 h 求底宽 b	$a_b = \frac{\beta(1+2\beta\sqrt{1+m^2})^{2/3}}{(1+\beta m)^{5/3}}$	$a_b = \frac{h^{8/3} i^{1/2}}{nQ}$	h/b	$h^2(1/\beta+m)$
梯形断面 已知底宽 b 求水深 h	$a_h = \frac{(1+2\beta\sqrt{1+m^2})^{2/3}}{(\beta+m\beta)^{5/3}}$	$a_h = \frac{b^{8/3} i^{1/2}}{nQ}$	h/b	$b^2(\beta+m\beta^2)$

表 3 — 3

 a_b 与 β 值关系表

β	a_b						
	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
0.05	0.05328	0.05149	0.05034	0.04950	0.0488	0.04816	0.04757
0.06	0.06471	0.06212	0.06044	0.05922	0.0582	0.05728	0.05643
0.07	0.07639	0.07283	0.07054	0.05886	0.0675	0.06622	0.06505
0.08	0.08832	0.08363	0.08062	0.07842	0.0766	0.07496	0.07344
0.09	0.1005	0.09451	0.09068	0.08789	0.0856	0.08352	0.08160
0.10	0.1129	0.1055	0.1007	0.09727	0.0944	0.09188	0.08953
0.125	0.1450	0.1332	0.1257	0.1203	0.1159	0.1120	0.1084
0.15	0.1787	0.1612	0.1504	0.1427	0.1364	0.1309	0.1260
0.20	0.2503	0.2183	0.1990	0.1855	0.1748	0.1656	0.1576
0.25	0.3276	0.2762	0.2462	0.2257	0.2019	0.1965	0.1851
0.30	0.4104	0.3346	0.2918	0.2633	0.2417	0.2741	0.2092
0.35	0.4985	0.3933	0.3358	0.2985	0.2709	0.2488	0.2304
0.40	0.5919	0.4149	0.3781	0.3314	0.2975	0.2710	0.2492
0.45	0.6903	0.5104	0.4188	0.3622	0.3220	0.2910	0.2659
0.50	0.7937	0.5685	0.4578	0.3911	0.3446	0.3092	0.2809
0.55	0.9019	0.6262	0.4952	0.4122	0.3653	0.3257	0.2945

续表 3—3

0.60	1.0149	0.6833	0.5311	0.4436	0.3845	0.3408	0.3067
0.65	1.1326	0.7397	0.5656	0.4675	0.4023	0.3547	0.3178
0.70	1.2548	0.7955	0.5986	0.4900	0.4189	0.3675	0.3280
0.75	1.3815	0.8505	0.6303	0.5112	0.4343	0.3792	0.3373
0.80	1.5127	0.9047	0.6607	0.5312	0.4486	0.3901	0.3459
0.85	1.6481	0.9581	0.6899	0.5501	0.4621	0.4002	0.3538
0.90	1.7879	1.0106	0.7180	0.5680	0.4747	0.4096	0.3611
0.95	1.9319	1.0623	0.7449	0.5850	0.4665	0.4184	0.3679
1.00	2.0801	1.11308	0.7708	0.6011	0.4976	0.4266	0.3742
1.25	2.8815	1.3540	0.8865	0.6706	0.5446	0.4607	0.4007
1.50	3.7798	1.5738	0.9830	0.7257	0.5807	0.4863	0.4194
1.75	4.7699	1.7739	1.0645	0.7705	0.6094	0.5063	0.4342
2.00	5.8480	1.9562	1.1342	0.8076	0.6326	0.5224	0.4459
2.50	8.2548	2.2746	1.2468	0.8653	0.6680	0.5464	0.4634
3.00	10.9779	2.5421	1.3337	0.9082	0.6937	0.5637	0.4758
3.50	14.0000	2.7693	1.4028	0.9413	0.7132	0.5766	0.4850
4.00	17.3070	2.9642	1.4589	0.9675	0.7285	0.5867	0.4922
4.50	20.8872	3.1331	1.5055	0.9889	0.7409	0.5947	0.4978
5.00	24.7304	3.2807	1.5447	1.0066	0.7501	0.6013	0.5025

表 3—4

 a_h 与 β 值关系表

β	a_h						
	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
0.05	157.03	151.77	148.38	145.89	143.82	141.96	140.21
0.06	117.28	112.58	109.55	107.33	105.49	103.83	102.27
0.07	91.785	87.506	84.755	84.742	81.068	79.565	78.160
0.08	74.328	70.379	67.848	65.998	64.462	63.087	61.805
0.09	61.780	58.097	55.746	54.030	52.609	51.340	50.162
0.10	52.415	48.953	46.751	45.149	43.825	42.647	41.558
0.125	37.133	34.090	32.177	30.795	29.662	28.664	27.753
0.15	28.128	25.385	23.682	22.463	21.473	20.611	19.833
0.20	18.297	15.958	14.547	13.560	12.776	12.109	11.520
0.25	13.208	11.136	9.9256	9.0986	8.4574	7.9238	7.4630
0.30	10.175	8.2970	7.2351	6.5282	5.9925	5.5562	5.1865
0.35	8.194	6.4664	5.5194	4.9063	4.4520	4.0891	3.7870
0.40	6.814	5.2030	4.3530	3.8155	3.4225	3.1196	2.8688
0.45	5.805	4.2921	3.5216	3.0462	2.7081	2.4473	2.2364
0.50	5.040	3.6098	2.9068	2.4834	2.1878	1.9632	1.7839