



168785



210792

大學叢書

河渠水力學

白克米德夫著



2649

人民出版社出版

著者原序

晚近工程設計中之水工問題，需要更精深之解算方法，往日工程學校所授之水力學，已感不足。今日之結構力學，已發展至『應用彈性力學』；機械設計，已進入顫動及其他高深力學之研究。水力學之研究工作，同時可適用於氣體力學及水力機械方面，而以激動 (Turbulence)，氣蝕 (Cavitation)，渦漩 (Circulation) 等問題為首要。

往日之均流 (Uniform flow) 觀念，於實際水利工程範圍內，已不盡適用，尤以土木工程師遭遇最多之河渠問題為然。河渠內之差流 (Non-uniform flow)，水躍 (Hydraulic jump)，湧波 (Surges) 等問題之理論探討，已成近日工程學術討論之主題，且正由此楔入高等水力學之境域。於實驗室中作水工模型試驗，為已闢成之另一研究途徑，且至具成效。又昔日水力學中所討論之孔口，堰等簡單之水流現象，亦進入水流物理性之精深研究矣。此等進步，可見諸費禮門氏 (Freeman) 領導編譯之『水工試驗大全』(Hydraulic Laboratory Practice) 一書。華盛頓中央水工試驗所之成立，亦為一光輝之功績也。

土木工程師於實際水工設計中所遭遇者，罕有均流問題。故水工建築物之性能，必當按差流理論設計之，始克澈底明瞭。惟誠如道和德 (Daugherty) 教授於『水力學』(Treatise on Hydraulics) 書中所稱：

『差流問題之解算，現尚乏美滿可靠之方法。』但此項解算方法，正在揭開實際應用之門，蓋差流問題之理論，法國學者早於十九世紀建立良好之基礎矣。

本書之作，即在試求適應此種需要，俾差流問題之觀念，能適合於實際工程設計之用。此一工作，源出歐戰以前，時著者在俄負責大規模水利建設事業，即以解決各種迷惑之差流問題之重責自任。俄文版『河渠之差流』一書^①，於1912年刊印問世。

該書利用『水流之比能』(Specific energy of flow)，以解釋水流現象之處頗多。複雜之差流現象，以往僅有抽象的數解法解釋者，藉此可得明確而具體之觀念。例如：臨界水深(Critical depth)，水躍，各種水面曲線等，統可由此獲致簡明之詮釋。『比能』者，水流以斷面底線為基準之能量水頭也。此項『比能方法』，為雷白克(Rehbock)氏所首創^②，至亨茲(Hinds)氏而共光大彰^③。1912年後，各家紛紛採用，但著者於1912年俄文版刊行之前，並未得有任何啓示。

著者於俄文版中，曾建議一計算差流水面曲線之新法。緣差流微分式之積分及應用，前此僅以理想化斷面圖形為限。如白利司(Bresse)，托克密脫(Tolkmitt)，呂爾門(Ruhlmann)等，均就理想斷面積分製表，以助計算。惜理想化之斷面，罕能與實際情形相吻合，故此等進步，應用頗受限制。

著者所倡議之方法，對於任何斷面圖形，均可適用。法以控制河渠內流量與水位相關之指數為根據，雖屬近似之約計，但其精度已足。此法之實用，基於本書所稱『差流函數表』之製作。而此項函數表之製作，乃為極繁重之工作。1914至1915年間，該時俄國墾殖局之研究部，首次由著者領導任此工作。但本書之表，乃由科洛杜斯基教授(Prof. Kholodosky)及彼斯特里柯博士(Dr. Pestrecov)所重行製定

① "O Neravnomernom Dvijenii Jidkesti v Otkritom Rusle," St. Petersburg, 1912.

② "Betrachtungen über Abfluss, Stau und Walzenbildung," Berlin, 1917.

③ Eng. News-Record, Vol. 85, p. 1034, 1920.

者^①。

本書內容全新，大部份材料，前此迄未發表。一般言之，著者竭力避免純理論之敘述，而務期切合實用。故內容極為基要而淺顯，俾差流之物理性質，能獲得明確之解釋。

實際例題之演算，在本書中佔據極多之篇幅。差流問題之研究及學習，由經驗上可知與其他應用力學課程相同，非對數字的計算完全純熟，難以澈底領會而有把握。吾人常遇不能得之於公式之推演，而可得之於經驗之歸納者。故本書內之例題，不可僅視為詮釋之用，而應視作本書有機體之本質。根據著者之經驗，差流理論雖極簡單，但初學者必須耐心學習，經過相當之時間後，始克特作純熟合用之工具。本書演例不厭其詳，此點殆可作為理由。至於所用之計算工作，則常頗繁重，同一步驟復演多遍之情形，亦所不免。

著者並不認為各種差流問題，統可藉本書獲致解決。多種複雜之問題，實際上仍難解算，由他方面言之，此項學理迄未屆美滿之域也。但由經驗啓示，多種差流問題，已可藉此獲得簡明之處理方法矣。工程學理之發展，可視作『思索』進步之表現。故水利工程師應以差流觀念，多加『思索』，並將此項『思想』，應用及於日常之工程事務，著者於此特三致意焉。

白克米德夫

Boris A. Bakhmeteff, 1932.

① 著者之俄文版，於1928年在 Leningrad 刊行再版，該版中有1914至1915年間所作之表。

符 號

本書一律採用呎(foot), 磅(pound), 秒(second)英制。

橫斷面之水力要素及摩擦因數 C 值等, 大都由美國墾殖公司之
“Hydraulic and Excavation Tables” 中取來。

所有一切計算工作, 均用普通計算尺爲之。

y, d	水流之水深或水位
a	渠道之橫斷面積
b	頂寬; 水面寬
p	潤週
R	水力半徑
C	顯壽氏摩擦因數
v	平均流速
Q	流量
m	渠底坡度; 底坡
s	水面比降
y_0, d_0	均流之水深——正規水深
W	功
W_r	阻抗耗功
N	功率
y_{cr}, d_{cr}	臨界水深
$\delta = a/b$	平均水深
v_{cr}	臨界流速
Q_{cr}	臨界流量
$\sigma = g.p/C^2.b$	臨界底坡
σ_0	正規水深之臨界底坡
σ_{cr}	臨界水深之臨界底坡
Δ	單位體積之水重

e	能高——單位重流體所含之能,以水平基線作基準
ϵ	比能——以各斷面渠底作基準線之能高
$\mathfrak{K} = aC\sqrt{R}$	橫斷面之輸水容量
n	水力指數
$\mathfrak{N} = a\sqrt{a/b}$	寧函數
λ	水流之動率因數
l_{m-n}	(m) 站與 (n) 站間之長度
L_m	由起始站至(m)站之距離
$\eta = y/y_0$	變易水深 y 與正規水深 y_0 之比值
$B(\eta) = -\int_0^\eta \frac{d\eta}{\eta^n - 1}$	差流函數
$\beta = s_c/s$	渠底坡度與臨界底坡之比值
$\tau = y/y_{cr}$	水深 y 與臨界水深 y_{cr} 之比值
$\delta = s_0/s$	正規臨界底坡與變易臨界底坡之比值
$T(\tau)$	平底渠道之差流函數
d_1 及 d_2	水躍前後之共軛水深
j	水躍之高度;躍高
ϵ_1 及 ϵ_2	水躍前及水躍後之比能
ϵ_j	水躍之耗能
c	波速
$w = v - c$	與渠岸之相對波速或溜速
h	波浪之高度
z_0	斷面重心點之深度
$M(y) = az_0 + \frac{Oz}{ag}$	M 函數
P	堰身高度
H	堰頂水頭
Z	堰之上下游水位差
t	尾水水深
α	收縮係數
ϕ	流速係數
ζ	阻抗係數
μ	流量係數

例題中所稱之“表”,大都指差流函數表(277頁至282頁)而言。

目 錄

著者原序

符 號

第一章 定義	1
1. 均流	1
2. 差流	2
3. 變流	4
4. 水躍	4
5. 跌水	6
6. 局部變態及緩差流	6
第一編 緩差流理論	9
第二章 均流	9
7. 渠道斷面之輸水容量	9
例一	11
8. 阻抗損失	15
例二	17
9. 正規水深	17
正規流量曲線	18
第三章 差流公式	20

10. 水面比降與底坡之幾何關係	20
11. 差流之阻抗損失	20
12. 差流公式	21
13. 應用差流公式之限制	22
14. 棱柱體渠道	24
第四章 水流之一般性狀	26
15. 水流之比能	26
16. 臨界水深	28
η 函數	29
矩形斷面	30
例三	30
例四	31
17. 差流現象之解釋	31
水躍	31
跌水	31
瀾頂堰	34
曲面水流	36
臨界水深流量儀	36
緩差流公式	37
18. 臨界水流	38
臨界流量	38
臨界流速	39
矩形斷面	39
19. 臨界底坡	39
正規臨界底坡	41
例五	41
20. 差流公式之其他形式	43
第五章 水流特性提要	46
21. 渠道斷面之特性	46
22. 差流之基本要素	47

水流之分區.....	48
輔助曲線.....	48
第六章 水流之分類	49
23. 緩坡及急坡.....	49
24. 流態.....	50
25. 潛水障礙.....	52
26. 水流之穩定.....	54
27. 水流之動率.....	56
矩形斷面.....	56
任何斷面.....	56
例六.....	58
第七章 水面曲線之形式及其性質	61
28. 符號及名稱.....	61
凹面曲線及凸面曲線.....	61
水面曲線之分類.....	61
水面曲線之形式.....	62
29. Y^+ 曲線及 Y^- 曲線與比能之關係.....	63
水面曲線兩端之特性.....	64
30. 各種水面曲線之概要.....	66
(1) M 類.....	66
(2) S 類.....	67
(3) C 類.....	69
第八章 差流公式之積分.....	72
31. 導論及史略.....	72
32. 水力指數.....	73
淺濶矩形斷面.....	74
拋物線形斷面.....	75
摩擦係數變異時之 n 值.....	75
梯形渠道.....	76
33. 差流函數表.....	77

例七.....	78
34. $\beta=0$ 之簡約法.....	85
例八.....	87
35. 任何水力指數.....	88
圖解插比法.....	89
算術插比法.....	89
第九章 計算方法.....	92
36. M_1 式水面曲線.....	92
例九.....	94
37. M_2 式水面曲線.....	98
例十.....	98
例十一.....	101
38. M_3 式水面曲線.....	105
例十二.....	106
39. S_1 式水面曲線.....	110
例十三.....	110
40. S_2 式水面曲線.....	114
例十四.....	114
41. S_3 式水面曲線.....	116
例十五.....	116
42. 總注.....	118
計算之精度.....	119
阻抗之影響.....	119
y_{cr} 附近彎曲度之影響.....	120
第十章 平底渠道.....	122
43. 水流公式.....	122
例十六.....	124
第二編 實際應用.....	127
第十一章 渠道之運水量.....	128
44. 定義及例證.....	128

45. y_1 爲定值之情形	130
$Z-O$ 段中間諸點	130
$O-C$ 段中間諸點	131
例十七	132
46. 渠道之長度及底坡之影響	138
例十八	139
底坡之影響	142
47. 最大流量 Q_{max} 曲線	142
例十九	142
48. 當 y_2 值固定不變	143
例二十	144
49. $Q=f(y_1, y_2)$; 固定流量曲線	146
固定流量曲線	147
例二十一	149
渠道長度之影響	153
例二十二	153
第十二章 進口情形	155
50. 渠道兩端之局部變態	155
出流	155
兩門節制下之入口	155
自由進流	156
51. 進口水頭之計算; 進口段	158
進流流量曲線	159
例二十三	160
52. 均一流動	160
例二十四	161
例二十五	162
53. 運水量曲線; $Q=f(y_2)$ 等	163
例二十六	163
y_2 固定不變時	164

固定流量曲線.....	164
例二十七.....	164
第十三章 平底渠道之運水量.....	166
54. 計算方法.....	166
例二十八.....	167
第十四章 渠道之設計.....	177
55. 增加運水量.....	177
56. 變易運水量.....	178
(1) Q_s ——變易不定; Q_c ——固定不變; $Q_s \geq Q_c$	179
(2) $Q_s = Q_c$; Q_c ——變易不定.....	181
例二十九.....	182
57. 蓄水作用與緩變流.....	183
例三十.....	185
第十五章 急坡渠道.....	191
58. 運水量及進口情形.....	191
尾水影響.....	192
59. 尾水之穩定.....	192
例三十一.....	193
第十六章 天然河道之迴水曲線.....	196
60. 概論.....	196
高限界曲線.....	197
低限界曲線.....	197
河道及湍流.....	197
61. 計算方法.....	198
等效斷面.....	199
62. 一般法.....	200
高限界曲線及低限界曲線.....	201
簡略計算之近似法.....	202
第三編 水躍.....	203
第十七章 水躍理論.....	203

63. 導論.....	203
水躍之形式.....	204
64. 動量公式.....	207
例三十二.....	211
65. 水躍之固定流量曲線.....	213
第十八章 矩形渠道內之水躍	215
66. 基本關係.....	215
67. 公式之一般形式.....	216
共軛動率 λ_1 及 λ_2	216
水躍之效率.....	217
例三十三.....	218
68. $e_1 =$ 常數特性曲線.....	219
69. 水躍實驗.....	223
第十九章 水躍之位置	227
70. 水躍與立波.....	227
71. 水面波浪之波速.....	229
矩形渠道之波速 c	231
任何棱柱體渠道斷面形之簡式.....	232
例三十四.....	233
72. 湧波之停滯.....	234
以波速區別急流及緩流.....	235
波速與水流動率之關係.....	236
73. 水躍之定位.....	237
A. 湍流中之堰坝.....	237
B. 折坡渠道.....	238
例三十五.....	238
第二十章 節制閘門下之水躍	242
74. 有效水頭.....	242
75. 自由出流及潛伏出流.....	243
例三十六.....	244

76. 節制閘門下渠道內之水流	246
例三十七	248
77. 少奇氏水位降落器	254
例三十八	255
78. 水躍之消能作用	256
例三十九	257
第二十一章 滾水堰下之水躍	259
79. 白靜氏實驗	260
80. 理論上分析	260
與白靜氏實驗之比較	263
例四十	264
81. 跌水下之水躍	267
例四十一	268
附錄一：文獻史考	269
附錄二：差流函數表之計算法	273
差流函數表	277
IA. $\eta > 1$ 之 $B(\eta)$ 函數	277
IB. $\eta < 1$ 之 $B(\eta)$ 函數	279
II. $\eta = 1$ 之 $\phi(\eta)$ 函數	281
圖版	283
I. 本書例題所用各式標準渠道斷面	283
II. 各式標準渠道斷面輸水容量 $Q = aC\sqrt{R}$ 之對數曲線	284
III. A 式標準渠道斷面特性曲線	285
IV. C 式標準渠道斷面特性曲線	286
V. D 式標準渠道斷面特性曲線	287
VI. 利用差流函數表例示計算之精度	288
VII. 進口水頭曲線；係數 $1/q^2 = 1.25$	289
英漢譯名對照表	291

第一章 定 義

1. 均流 河渠中水之流動(圖1),當水深及其他水流要素如斷面積 a , 流速 v , 比降 s 等,於水流方向之各站保持均一不改者,稱曰均流(亦曰等速流)(Uniform flow)。均流之水面與渠底相平行,即水面比降 $s = \sin \alpha$,等於渠底坡度 $s_0 = \sin \alpha_0$ 。

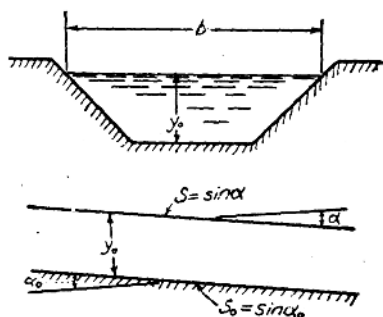


圖 1. 渠道內之均流。

嚴格言之,均流之存在,渠道本身須為整齊之棱柱體,斷面圖形各站一致,且建築於一固定之坡度上。天然之水道,甚難適合此等條件,故水流罕有能為均一流動也。

連接二蓄水池之渠道(圖2a), 當池水位使該渠兩端之水深 y_1 及 y_2 相等時, 水流呈均一狀態。渠道假定為整齊之棱柱體, 渠上任何站之水深均恒等, $y = y_1 = y_2$ 。

2. 差流 當水流之水深及其他水流要素如斷面積, 流速, 比降等, 於各站未能均等時, 則成差流 (亦曰變速流) (Varied flow, non-uniform flow)。

圖3 由攔河堤抬起之迴水曲線(Backwater curve), 為其著例。水道之原有水面為 $ABC \cdots$ 曲線, 渠築成後, 水面曲線改為 $A'B'C' \cdots$ 。抬水高 Z , 在堤面為最大, 向上游漸次減小, 故迴水曲線與原有水面漸近相切。普通水力學教科書中所討論之差流問題, 常限於此種曲線, 但此僅為一種差流, 工程師於實際水工問題中, 恒尚遇見其他多

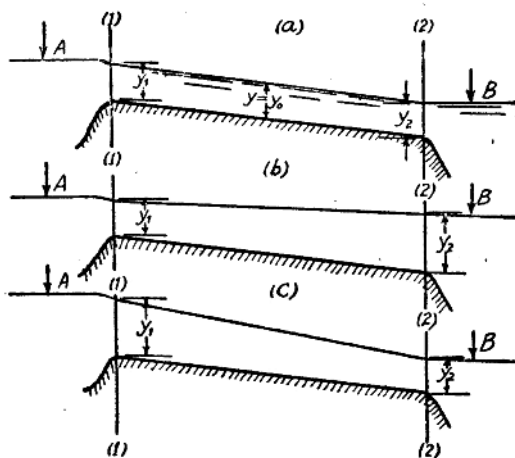


圖 2. 二水池間渠道內之均流及差流。

種差流問題。圖2渠道兩端之水深不等時, 即為差流之一例。當 $y_2 > y_1$ (圖2b), 水位向下游漸次增高, 稱曰漸昇水面曲線 (rising surface

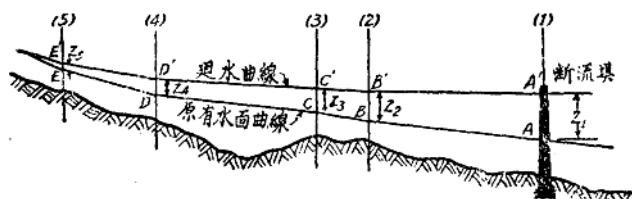


圖 3. 天然水道內之迴水曲線。

curve); 若 $y_2 < y_1$, 水位向下游漸次降落, 則稱漸降水面曲線 (falling surface curve)。圖 4 所示, 亦為差流之一種重要情形, 渠道之出口, 設有節制閘門, 水深 y_2 隨閘門所啓之孔高及通過之流量而定。圖中 AB' 為漸升水面曲線, AB'' 為漸降水面曲線, 其間當 $y_2 = y_1$, 則為均流。水位 B 愈低, 即水深 y_2 愈小, 由水池 A 所流出之水量愈多。

圖 2 及圖 4 所示者, 問題在求渠道內流量隨兩端水位昇降而改變之法則, 為差流問題中最重要之一種。

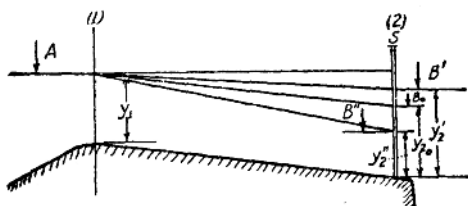


圖 4. 受閘門節制之差流。

以圖 3 之天然水道與圖 2 之人工渠道相比較, 其間又有一區別存在。天然水道之橫断面及其他種種水流要素, 均極不規則, 為最廣義之差流。同樣, 圖 5 之擴散水流 (divergent flow), 收斂水流 (convergent flow), 及渠底坡度變易不定之水流, 亦為廣義之差流。

圖 2 及圖 4 之情形, 則與圖 5 不同, 前二者之断面圖形, 全渠一致而有正規, 底坡亦恒一不變。故此等渠內之差流, 可稱為穩住體渠