

水工結構

中 册

П. И. ГОРДИЕНКО 講
清华大学水工結構教研組譯

高等教育出版社



水 工 結 構

中 册

·П. И. 戈 尔 劍 科 講
清 华 大 学 水 工 結 構 教 研 組 譯

高 等 教 育 出 版 社



水 工 結 構

下 册

И. И. 戈 尔 劍 科 講
清 华 大 学 水 工 結 構 教 研 組 譯

高 等 教 育 出 版 社



本書系根據蘇聯專家戈爾劍科 (П. И. Гордиенко) 前在清華大學講授水工結構時所編講稿由清華大學水利系水工結構教研組編譯而成。專家對於這門課程，完全按照蘇聯高等工業學校水工建築學院或學系所採用的本課程教學大綱講授，他的講稿內容則以蘇聯水工技術的經驗和成就為根據。

本書分上中下三冊出版。此中冊內容包括第五至第八章。第五章述土壩、堆石壩及干砌石壩，第六章述有非溢水壩的水力樞紐中的洩水結構，第七章述混凝土及鋼筋混凝土拱壩及肋墩壩，第八章述木壩及其他類型的壩。

本書可供高等工業學校水利工程系及其他專業的水工結構課程教學參考之用，亦可供水利工程工作人員及有關科學技術研究人員參考之用。

2090/35

水 工 結 構

中 冊

П. И. 戈爾劍科講

清華大學水工結構教研組譯

高等教育出版社出版

北京琉璃廠一七〇號

(北京市書刊出版業營業許可證出字第〇五四號)

京華印書局印刷 新華書店總經售

統一書號 15010·304 開本 787 X 1092²/16 印張 11 7/8 字數 246,000

一九五七年四月北京第一版

一九五七年四月北京第一次印刷

印數 0001—4,000 定價 (10) 1.50

本書系根据苏联專家戈尔劍科 (П. И. Гордвенко) 前在清华大学講授水工結構时所編講稿由清华大学水利系水工結構教研組編譯而成。專家对于这門課程完全按照苏联高等工業学校水工建筑学院或学系所采用的本課程教学大綱講授,他的講稿內容,則以苏联水工技术的經驗和成就为根据。

本書分上中下三册出版。下册包括第九至第十四章,內容叙述取水結構,有坝水力樞紐中的航运动力和过魚結構,河川水力樞紐,輸水結構,治理結構,水工結構物的技术运用及研究。最后并有附录五項。

本書可供高等工業学校水利工程系及其它專業的水工結構課程教学参考之用;亦可供水利工程工作人員及有关科学技术研究人員参考之用。

水 工 結 構

下 册

EP90/35.05

П. И. 戈尔劍科講

清华大学水工結構教研組譯

高等教育出版社出版

北京琉璃廠一七〇号

(北京市書刊出版業營業許可証出字第〇五四号)

京華印書局印刷 新华書店总經售

統一書号 15010·338 開本 787×1092¹/₁₆ 印張 13 4/8 字數 272,000

一九五七年五月北京第一版

一九五七年五月北京第一次印刷

印數 0001—4,000 定價 (10) 1.70

86.83
5282
中(2)

4

中 册 目 录

第五章 土壩、堆石壩及干砌石壩.....	157
A. 土壩	157
§ 44. 土壩的分类及工作条件	157
§ 45. 水經過不透水基础上的土壩的滲透	160
§ 46. 水經過在透水基础上的土壩的滲透	168
§ 47. 土壩滲透問題的实驗解法及圖解法	173
§ 48. 土壩边坡的稳定	175
§ 49. 刚性心牆的計算	183
§ 50. 土壩所用的材料及土壩对基础的要求	184
§ 51. 土壩的構造	190
§ 52. 層填滚压土壩的施工特点	204
§ 53. 用倒土入水方法和少碾压方法筑壩	207
§ 54. 冲积壩及半冲积壩	211
§ 55. 土壩溢水的可能性	221
§ 56. 土壩壩型的選擇	223
B. 堆石壩及干砌石壩	225
§ 57. 壩的分类	225
§ 58. 对石料的要求。石料填入壩身的方法	227
§ 59. 堆石壩及干砌石壩对基础的要求	228
§ 60. 堆石壩及干砌石壩的边坡的稳定、堆石壩的沉陷变形	229
§ 61. 堆石壩的構造	232
§ 62. 干砌石壩、半堆石壩和混合式壩	241
§ 63. 在流水中用堆石攔堵河道	244
§ 64. 溢水堆石壩	246
第六章 有非溢水壩的水力樞紐中的泄水結構.....	253
§ 65. 泄水結構的功用和类型	253
§ 66. 有开敞式出水渠的河岸溢洪道	254
§ 67. 出水結構为封閉式的溢洪道	263
§ 68. 泄水孔	268
第七章 混凝土及鋼筋混凝土拱壩及肋墩壩	275
A. 拱壩	275
§ 69. 拱壩的使用范围和工作条件	275
§ 70. 拱壩的計算原理	277
§ 71. 拱壩的構造	288
B. 肋墩壩	291
§ 72. 壩的布置原則、壩型及壩对基础的要求	291
§ 73. 有平面擋水盖板的肋墩壩	293
§ 74. 連拱壩	303
§ 75. 大体积肋墩壩	315
§ 76. 肋墩壩的比較及有其他型式盖板和肋墩的壩	316

第八章 木壩及其他类型的壩	321
§ 77. 木壩的类型及其使用范围·木壩的材料	321
§ 78. 木壩的底板	322
§ 79. 木壩開門的開墩及其他中間支承	331
§ 80. 木壩的边坡	334
§ 81. 新的壩型·用当地材料的低水头壩和其他壩型	337

86.83
52824
KTU

下 册 目 录

第九章 取水結構	343
§ 82. 取水結構的功用及其分类.....	343
§ 83. 無壩的取水.....	344
§ 84. 开敞式有壩的取水.....	348
§ 85. 开敞式取水的結構物.....	353
§ 86. 沉沙池.....	358
§ 87. 封閉式深水取水.....	366
第十章 有壩水力樞紐中的航运、动力和过魚結構	370
§ 88. 有壩水力樞紐中的專門結構物.....	370
§ 89. 船閘.....	370
§ 90. 举船机.....	378
§ 91. 过木結構.....	379
§ 92. 过魚結構.....	381
第十一章 河川水力樞紐	389
§ 93. 建筑河川水力樞紐施工的特点.....	389
§ 94. 河川水力樞紐的主要施工方法.....	389
§ 95. 水力樞紐的完建.....	395
§ 96. 建筑水力樞紐所用的圍堰的型式及構造.....	399
§ 97. 河川水力樞紐的分类和水利樞紐中結構物的組成.....	404
§ 98. 水力樞紐的布置.....	405
第十二章 輸水結構	414
A 渠道及槽	414
§ 99. 渠道及槽的分类及其橫断面.....	414
§ 100. 渠道中容許的水流速度, 滲透損失.....	417
§ 101. 渠道的护面.....	421
§ 102. 渠道定綫.....	428
§ 103. 渠道上結構物的类型和用途, 連接結構物.....	433
§ 104. 渠道与水道及道路相交处的結構物.....	436
§ 105. 山洪水道.....	440
§ 106. 渠道中調節流量和水位的結構物及其他結構物.....	441
B 水工隧道	448
§ 107. 水工隧道的分类.....	448
§ 108. 山岩压力.....	445
§ 109. 水工隧道的構造.....	450
§ 110. 隧道鑽护強度的計算.....	459
§ 111. 隧道定綫及隧道施工中的一些特点.....	475
第十三章 治理結構	481
§ 112. 水流的破坏作用及其防止途徑.....	481
§ 113. 防止坡地的冲蝕.....	484
§ 114. 山坡水流及周期性作用的河床的治理.....	486
§ 115. 河床治理.....	490
§ 116. 水灾的防止.....	498

§ 117. 对治理結構構造的要求及其建筑材料	501
§ 118. 河岸保护的構造	503
§ 119. 重型治理結構	507
§ 120. 輕型治理結構	511
§ 121. 擋水的及取直的治理結構物	514
第十四章 水工結構物的技术运用及研究	517
§ 122. 水工結構物运用的任务及运用的預防措施	517
§ 123. 水工結構物的修理及恢复	519
§ 124. 水工結構物的改建	524
§ 125. 水工結構物試驗研究的目的和种类	526
§ 126. 水工結構物的水力学試驗研究	527
§ 127. 渗透現象的研究	531
§ 128. 应力及变形的研究	534
第三章的补充	541
§ 31-a 三角形剖面大体积壩用彈性理論方法的計算	541
附录 1. 土基上水流允許 (不冲刷) 平均流速	547
附录 2. 石基上水流允許 (不冲刷) 平均流速	548
附录 3. 各种保护及材料的允許 (不冲刷) 平均流速	549
附录 4. 渠道及槽的粗糙系数值	550
附录 5. 柯茲洛夫分段計算渗透法的諾莫圖	551

第五章 土壩、堆石壩及干砌石壩

砂、砂壤土、壤粘土、粘土等各种土壤以及石块、卵石、礫石等石料都是可用来建筑壩、堤、捻的材料。这些材料在筑壩地点可以找到，是当地材料。因而用它們所造的壩叫做当地材料的壩。这种壩按照筑成壩身所用的主要材料可以分成三种：

- 1) 土壩；
- 2) 堆石壩及干砌石壩；
- 3) 用土及石块筑成的混合壩。

A. 土壩

§ 44. 土壩的分类及工作条件

1. 土壩可以很正确地被认为是最古的一种壩。还在三千年以前，在中亞、中国、印度、埃及等国就已经建造了土壩。现在这种壩仍常建造，而且在所有国家里建造土壩比其他种类的壩都多。土壩是流行最广的一种壩。而且将来建筑土壩当然也要比任何其他一种壩多。

这一点可用下面的原因来解释：а) 土壩是用当地材料造成的；б) 土壩構造簡單；в) 便宜；г) 在技术上可靠而且寿命長；д) 在任何实际上所需要的水头下，均可建造；е) 对基础的品質的要求最低。

工程地質、土壤力学、滲透理論以及土工施工方法（包括水力机械化）等科学的發展，尤其苏联学者在这方面研究的結果，保证了目前在各种水头下和在各种不同的当地条件下都可能做出合理的、經濟的土壩的構造。

在俄罗斯，很早以前就建筑了土壩。在苏联有許多很久以前所建造的土壩，比如十八世紀优秀的水利工程师弗洛罗夫（К. Д. Фролов）所造的高度为 $H = 18$ 公尺的西米依諾哥尔（Змеиногорская плотина）土壩，以其形狀及大小來說是很大胆的，直到現在仍在使用着。

在中国的水利工程史中当然也可以列举許多有趣的土壩和堤的例子来。

2. 土壩的分类

土壩可以分成很多类型。可以按壩身主要部分的構造分，按防滲設備的構造分，按壩筑造方法分，最后，可以按泄水情形分。

根据上面所講，可以举出下列各种不同構造的壩（圖 127）：

а) 用一种土壤構成的壩（或叫單种土質壩）——壩身主要部分由机械組成單一的土壤構成的。

6) 由多种土壤構成的壩——壩身主要部分由机械組成不同的几种土壤構成的。按構成防滲隔層的最不透水的土壤在壩身內的位置,多种土質壩又可分成兩类:

6-1——有上游防滲棱形体的土壩;

6-2——有中央防滲棱形体的土壩。

B) 有塑性斜牆的(B-1型)或有刚性斜牆的(B-2型)單种土質壩或多种土質壩。

Г) 中央防滲隔層为塑性核心層的單种或多种土質壩叫塑性心牆壩(Г-1型)。如壩的中央防滲隔層为刚性材料做成的牆,則这种壩叫刚性心牆壩(Г-2型)。

Д) 混合壩——壩身上游部分由一种土壤(或由几种土壤)構成,而下游部分为堆石(圖 127-Д)。

е) 土壩也可能有鋪盖,当壩筑在透水基础上时采用之。在这种情况下,鋪盖一般地用在有斜牆的壩上及混合式壩上,有时也用在有上游防滲棱形体的多种土質壩上(6-1型)。在單种土質壩上則極少用。

上述各种壩还可再分为有鋪盖的壩及有深齿牆和板樁的壩(圖 127-ж)。

按壩不同的筑造方法,可举出下列几种壩型:

a) 層填或滾压土壩,由分層填土及滾压而成(圖 127-a-3)。

6) 冲积土壩(圖 127,a, 6-1, 6-2', 3),在筑这种壩时,土由采土場挖出、运至填土地点及填入壩身是利用水,即用水力机械来进行。

Б) 半冲积土壩(圖 127,6-2''),筑壩时,土在采土場挖出及运至壩上是用机械,而將土填入壩身时是采用水力机械將土壤加以篩分,用土壤的細顆粒部分構成与冲积土壩相同的

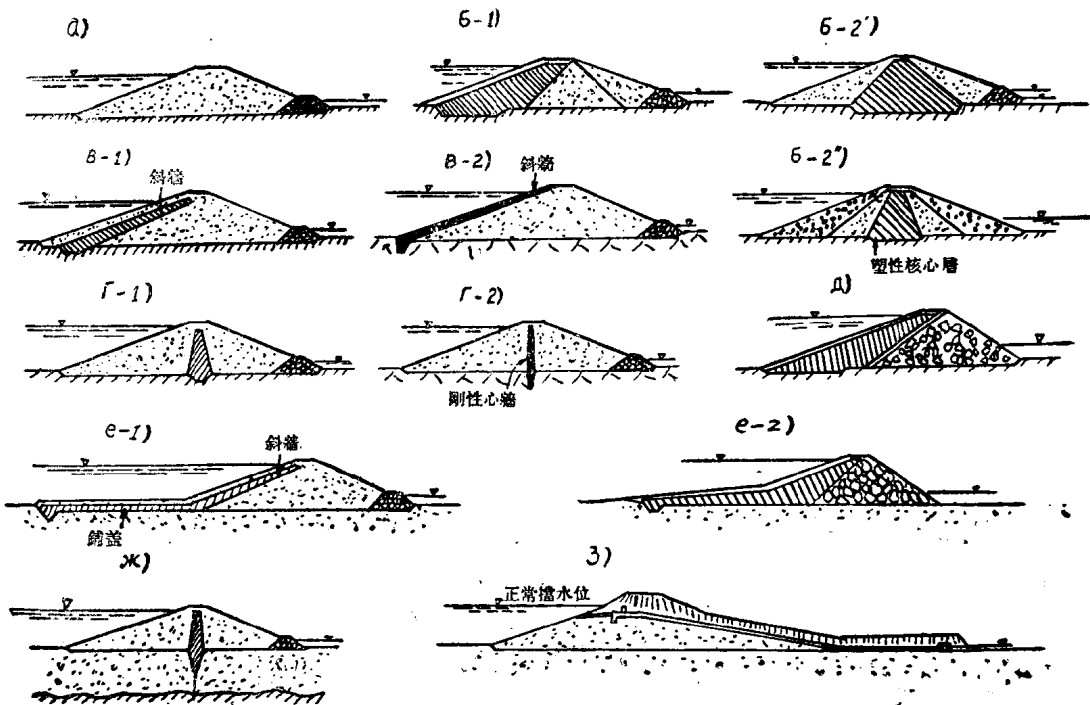


圖 127

核心層牆。

Г) 將土壤(一般是黃土)倒入水中去筑成的壩。这样所造成的壩一般是單种土質的(圖 127-a)。这种筑壩方法又叫做烏茲別克式(苏联)。

Д) 用苏联所創造出来的少滾压的方法所造成的壩也是滾压式壩的一种。这种壩一般地也是單种土質的。

目前所建土壩是作为非溢水結構,不允許自壩上溢水。但是在苏联所做的研究(高尔竟可 П. И. Гордиенко)的著作証明: 建筑溢水土壩在技术上是可能的,而且在經濟方面是有利的。这种壩的構造已經研究出来了,从壩上可以溢过相当大的流量。

曾設計及建造过的高度不大的混合式壩不仅有非溢水的而且也有溢水的[比如苏联普澤列夫斯基教授(Н. П. Пузыревский)所設計的]。

因而土壩又可分成兩类: 第一、非溢水的土壩; 第二、溢水的土壩。

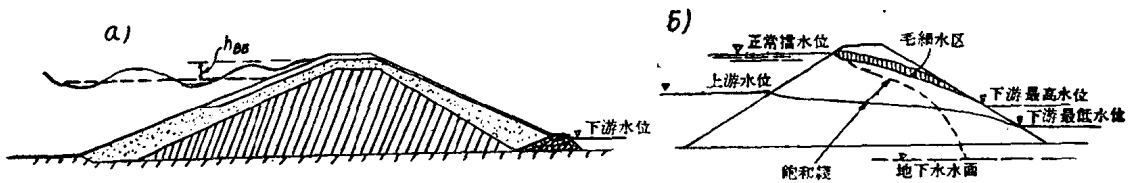


圖 128

3. 土壩的工作条件

土壩工作条件的最主要的特点可綜述如下:

- a) 經過壩身及壩基的水的滲透,因为任何一个土壩在某种程度上总是透水的;
- б) 上下游的水对壩边坡的影响,比如当有波浪的时候;
- в) 大气降水及低温对壩的影响;
- г) 壩基的沉陷(有时还有壩身的沉陷);
- А) 壩上溢水(对于滾水壩)。

壩身在一定程度上总是透水的。土壩的基础也是这样的。水經過壩身及壩基能自上游滲到下游。在壩身中的滲透水流的表面叫做飽和面或下降面(圖 128-б),这个面在壩的橫断面上的形狀当然是一条綫。

飽和面在壩身內的位置决定于上下游的水位(見 128-б)及排水和隔水設備在壩身內的位置(以后这一点將詳細地講述)。

壩身的土壤在下降曲綫之下充滿了水,受水的上浮力并受滲透水流的作用,在一定条件下能造成管涌及流土。在下降面以上有毛細水升高的区域。这个区域的高度在沙性土壤中能达到 15 公分左右,而在粘土性土壤中能达到 1.5 公尺或更多。水在这个区域中好像处于悬挂状态中,同时还向下游方向移动(滲透)。

在某些情形下,經過壩身及壩基的滲透的流量可能达到很可觀的数值,实际上这种情形是很少的。如果这样,就必須采取特殊措施来防止这种滲透所損失的水量。

为防止波浪、風、降水(雨)及溶化的水对壩边坡的破坏作用,常須在壩边坡及壩頂上設

置保护面(保护),有系統地將大气降水自边坡及壩頂引走。

壩身、斜牆、鋪盖內的粘土性土壤(粘土,壤粘土)在冰冻时可能膨脹,然后在化冻时形成空穴及裂縫。这种土壤在过干的情形下也能裂开。为了防止發生这种現象,壩身內的粘土性土壤多用相当厚的一層非粘性材料(砂,礫石)掩盖起来。这層土壤的厚度决定于造壩地点土壤冰冻(或干枯)的深度。

在設計土壩时,它們的工作条件应由計算加以校核。这些壩应进行滲透計算、波浪作用的計算。壩边坡及壩基的稳定性、壩基的沉陷等也应用計算加以校核。

§ 45. 水經過不透水基础上的土壩的滲透

1. 滲透的計算方法

在最近大約 25 年自科学院院士巴甫洛夫斯基 (Н. Н. Павловский)^① 的一些經典著作开始,許多学者,主要是苏联的学者,对水經過土壩滲透的問題做了研究并作出一系列的解决方法。这些方法可分为兩类: 1) 水力学的; 2) 流体力学的。

水力学的方法是近似的解答。在導算这些解法时,除掉滲透区域的均匀性和等向性、液体的不可壓縮性、达西方程式的正确性等,在 § 13 所講到的一些一般的假設外,另外还做了許多补充的、有时是一些任意的假設,以簡化問題的解法。这些假設有,比如說,預先假定滲透流速的方向(或者假設流綫的位置,一般多用水平方向)假定出等位綫的分布等等。

由于巴甫洛夫斯基、沙馬林、烏根丘斯 (А. А. Угинчус)、米哈依罗夫 (К. А. Михайлов)、山京 (П. А. Шанкин)、木黑塔梁 (А. М. Мхитарян) 等的工作成果,得到了一些簡單的、方便的水力学解法,适用于大量的各种構造不同的土壩的計算情形。

当然,只有精确的流体力学的方法才能对水的滲透問題給出最完全的解答。这些方法在苏联学者巴甫洛夫斯基 (1922 年)、涅森斯可涅可夫、柏魯巴林諾娃柯琴娜 (П. Я. Полубарина-кочина)、奴麦洛夫 (О. Н. Нумеров)、阿拉芬 (В. И. Аравин) 等的著作中基本上已經得到了闡明,这些方法比水力学的方法复杂。但現在这些方法已有充分的研究,足可以解决很多实际問題,并可校核水力学方法的精确性,或加以改正使水力学方法更为精确。米哈依罗夫在这方面曾做过很有意义的工作,他將巴甫洛夫斯基不透水基础上單种土質壩滲透的水力学計算方法和精确的流体力学的解法加以比較后,对巴甫洛夫斯基的水力学方法提出修正。

現在,水經過土壩滲透的理論已有很深刻的研究,能以实际上所要求的足够的精确度計算任何所設計的土壩的滲透問題。此外,还可使用試驗的方法[用苏联巴甫洛夫斯基的電似法、魯可陽諾夫 (Лукьянов) 或古琴馬赫 (Гутенмахер) 的积分器]。

在苏联关于土壩滲透計算的标准方法在水工設計规范 (ТУИП) 中已有推荐。

我們現在研究一下簡單的,应用最广的,在实用中相当精确的土壩滲透計算方法。首先,我們把巴甫洛夫斯基的方法,作为一个水力学解法的經典例子来研究一下。

我們按一般的情形,仅只研究平面的問題。假設垂直于壩橫断面方向的滲透流速等于

① Н. Н. Павловский — О Фильтрации воды через земляные плотины, Ленинград, 1931 г.

零，滲透是穩定流，滲透水流限于下降曲綫以內，毛細管上升區域的水不計在內。

2. 不透水基礎上單種土質壩的滲透

我們現在研究這個問題的水力學解法，這是巴甫洛夫斯基院士所創造而且是一個經典的解法。

壩是單種土壤的，滲透系數為 K 。

壩的剖面分成三部分：1) 上游楔形體——自上游邊坡到經過該邊坡肩綫所引的垂直綫；2) 中部——自該垂直綫到經過下游邊坡下降曲綫逸出點所引的垂直綫；3) 下游楔形體——第二根垂直綫以後的部分(圖 129)。

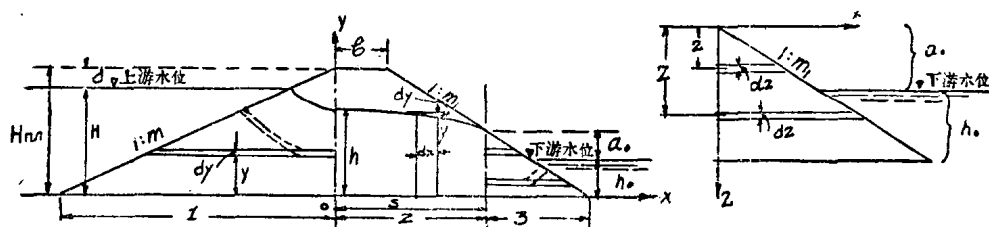


圖 129

1) 在上游楔形體範圍之內，滲透水流的流綫可假設為水平的，此處的水頭降落等于 $H_{\text{上}} - d - h$ 。這樣，對水平的單位流綫用達西定律 ($V = kJ$)，可得：

$$dq = k \frac{H_{\text{上}} - d - h}{m(H_{\text{上}} - y)} dy;$$

$$q = \frac{k}{m} (H_{\text{上}} - d - h) \int_0^h \frac{dy}{H_{\text{上}} - y}$$

或

$$q = \frac{k}{m} (H_{\text{上}} - d - h) \ln \frac{H_{\text{上}}}{H_{\text{上}} - h}. \quad (150)$$

2) 對於中間部分，將垂直綫當做等水頭綫，則可得：

$$J = -\frac{dy}{dx}; \quad q = -ky \frac{dy}{dx}; \quad q \int dx = -k \int y dy;$$

$$qx = -k \frac{y^2}{2} + C,$$

$$\text{當 } x=0, y=h, \text{ 所以 } C = \frac{kh^2}{2};$$

$$x = \frac{k}{2q} (h^2 - y^2). \quad (151)$$

也就是說，下降曲綫是一根拋物綫，上式即其方程式。

$$\text{當 } x=S; y=a_0+h_0, \text{ 因而 } q = \frac{k}{2S} [h^2 - (a_0+h_0)^2]. \quad (152)$$

這樣，我們就得到了杜波(Дюпюи)方程式。

3) 對於下游楔形體，流綫當做水平的，並將下游水位以上的及以下的水流分別加以研

究,則:

$$J_1 = \frac{1}{m_1}; \quad dq_1 = \frac{k}{m_1} dz; \quad q_1 = \frac{k}{m_1} \int_0^{a_0} dz = \frac{ka_0}{m_1}.$$

$$J_2 = \frac{a_0}{m_1 z}; \quad dq_2 = \frac{k}{m_1} \frac{a_0 dz}{z}; \quad q_2 = \frac{ka_0}{m_1} \int_{a_0}^{a_0+h_0} \frac{dz}{z} = \frac{ka_0}{m_1} \ln \frac{a_0+h_0}{a_0};$$

$$q = q_1 + q_2 = \frac{ka_0}{m_1} \left(1 + \ln \frac{a_0+h_0}{a_0} \right). \quad (153)$$

4) 將剖面中間部分長度的方程式写出来即可得到第四方程式:

$$S = b + m_1(H_{\text{II}} - a_0 - h_0). \quad (154)$$

最后可得下列的方程式系統:

$$\text{a)} \quad q = \frac{k}{m} (H_{\text{II}} - d - h) \ln \frac{H_{\text{II}}}{H_{\text{II}} - h}; \quad (150)$$

$$\text{б)} \quad q = \frac{k}{2S} [h^2 - (a_0 + h_0)^2]; \quad (152)$$

$$\text{в)} \quad q = \frac{ka_0}{m_1} \left(1 + \ln \frac{a_0+h_0}{a_0} \right); \quad (153)$$

$$\text{г)} \quad S = b + m_1(H_{\text{II}} - a_0 - h_0). \quad (154)$$

为解这些方程式可以使用諾莫圖[比如沙馬林及西平可(П. И. Шипенко)的“水工結構的圖解計算”],或可用漸近法解之。

計算时,可根据(154)將 S 代入(152)式中,然后将(152)与(153)式之右部相等,求出 h 来,將 h 代入(150)式,然后再使(150)与(153)兩式的右部相等,則可得到只含 a_0 一个未知数的方程式,可將其写为一般的形式:

$$F_1(a_0) = F_2(a_0). \quad (155)$$

上式可用漸近法解之。假設2—3个 a_0 的值,則可得到几个 F_1, F_2 的值。在圖上画出 $F_1(a_0)$ 和 $F_2(a_0)$ 的曲綫,兩綫的交点則可定出我們的答案 a_0 。

如下游沒有水 $h_0=0$, 或者壩有排水,則(150)—(154)几个方程式可以簡化,这时 $a_0=0$, $S=S_a$ (見圖 130),我們可用兩個方程式来代替四个:

$$\left. \begin{aligned} \text{a)} \quad q &= \frac{k}{m} (H_{\text{II}} - d - h) \ln \frac{H_{\text{II}}}{H_{\text{II}} - h}; \\ \text{б)} \quad q &= \frac{k}{2S_a} (h^2 - h_0^2). \end{aligned} \right\} \quad (156)$$

严格地說,此处 $a_0 \neq 0$, 但一般地其值極微小,完全可以忽略它,并認為 C 与 B 兩点重合(圖 130)。

將巴甫洛夫斯基的方法与用精确的流体力学或实验的方法所求出的結果加以比較,可以看出:巴甫洛夫斯基的方法与精确方法之間是有相当出入的。巴甫洛夫斯基把上游楔形体内的水头損失 $(H_{\text{II}} - d - h)$ 計算得过大,把流出段的高度 a_0 計算得过小。我們还可看出:

上游楔形体的大小的决定是相当任意的，其值决定于 d ，即决定于正常壩水位以上壩頂的超高。而实际上这对于水穿过壩身的渗透根本没有影响。我們應該說明一点，即巴甫洛夫斯基本人并没有認為自己的方法是精确的，还在 1928 年的时候他就劝告采用流体力学的方法来計算土壩的渗透。

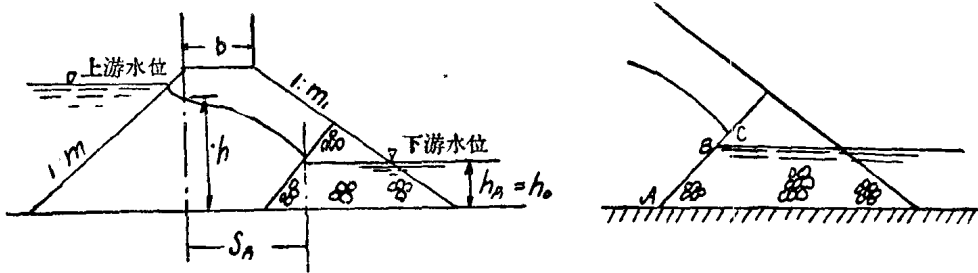


圖 130

然而采用这些方法来計算梯形剖面壩的渗透，使得解决这个問題很繁复，所以有許多作者們建議在計算的圖形方面用垂直的上游边坡来代替斜的，不过將垂直的边坡自水面綫向上游方向移动一段距离 ΔB 。选定 ΔB 的值时，須使上游楔形体内（現在楔形体为自上游边坡到經過上游边坡的水面綫所引的垂直綫）渗透流量这时仍保持不变。一般不是去研究 ΔB ，而是 $\Delta\beta = \frac{\Delta B}{H}$ 。

有許多的公式可以計算 $\Delta\beta = \frac{\Delta B}{H}$ ，其中最成功的則应推工程师米哈依罗夫的公式：

$$\Delta\beta = \frac{1}{2 + \frac{1}{m}} \quad (157)$$

上式中 m 为上游边坡的余切，而 H 为上游的深度。米哈依罗夫是根据两种極限情形来分析 $\Delta B = f(m)$ 的值而得到这个公式的：(1) 壩为無限寬；(2) 壩为三角形剖面，下游边坡为垂直的。对于这两种壩奴麦洛夫和毛古力斯 (M. M. Моргулис) 已求出很精确的流体力学的解法。

作者定出 $\Delta B = \Delta\beta \cdot H$ 是根据真正壩的渗透流量与假設的上游边坡为垂直的壩的渗透流量相等的条件。很明显，当壩的寬度为無限大时， $\Delta\beta$ 最小；下游边坡为垂直时， $\Delta\beta$ 最大。这些計算結果即如圖 131 所示。曲綫 $\Delta\beta = \frac{1}{2 + \frac{1}{m}}$ ，自

然，接近于底下的極限。公式 (157) 当 $m > 1$ 时可以使用，而实际情形也多是这样。

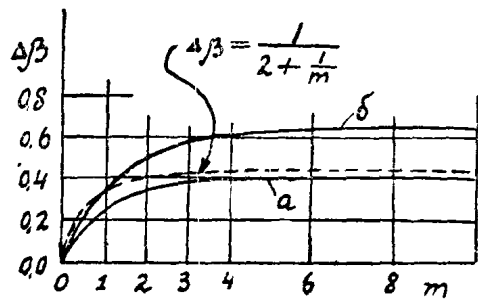


圖 131

找到 $\Delta B = \Delta\beta \cdot H$ 之后，我們所得到的壩的計算形狀其上游边坡將是垂直的。这样，巴甫洛夫斯基計算公式系統中第一个方程式就没有了，同时計算的精确程度也加大了。用公式 (157) 所得的結果与流体力学計算的結果很近似。

米哈依罗夫曾用已有的精确的方法, 当 $h_0=0$, 即下游没水时, 对下游楔形体的渗透水流加以分析, 他建議在下游楔形体内用下面的公式:

当下游边坡的余切 $m_1 > 1$ 时,

$$q = \frac{ka_0}{m_1 + \frac{1}{2}}; \quad (158)$$

当 $m_1 < 1$ 时, 則用

$$q = \frac{4ka_0}{3(1+m_1)}. \quad (158')$$

这些公式是根据奴麦洛夫、柏魯巴林諾娃柯琴娜、費利柯維奇 (С. В. Фалькович) 等的精确的流体力学方法得出来的, 而且計算結果与流体力学方法所得的很相近。巴甫洛夫斯基的公式减少了逸出的高度 (有时达 16%)。

从公式(158)还可以得出一点, 即 $\frac{q}{ka_0} = \text{常数}$, 或 $\frac{q}{k} = a_0 c$, 也就是說, 逸出段的大小与 $k=1$ 时的化引渗透流量成正比。这在奴麦洛夫、柏魯巴林諾娃柯琴娜、米哈依洛夫的著作中曾經指出过。

巴甫洛夫斯基所用的壩中間部分方程式, 不須再加修正。

根据涅森斯可涅可夫当 $h_0=0$ 及 $\theta_1 < 30^\circ$ 时,

$$a_0 \approx \frac{H^2}{2S_1\theta_1}. \quad (159)$$

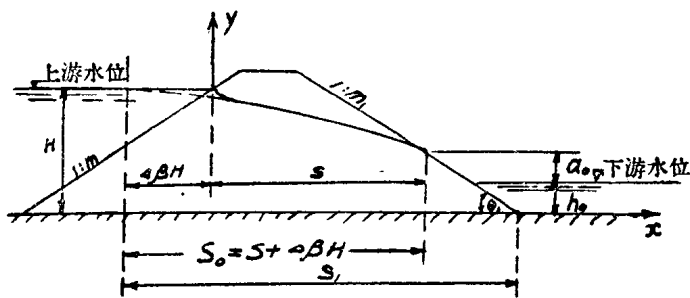


圖 132

上式中的 θ_1 以弧度計, 但最好还是用米哈依洛夫的公式。

当下游楔形体内沒有排水而且 $h_0 > 0$, 即下游有水存在时, 曾有几个作者提出修正的方法。

山京 (П. А. Шанкин) 根据下游边坡水逸出处下降曲綫与边坡相切, 所以認为此处的渗透坡降 $J = \sin \theta_1$, 并且得到:

$$q = ka_0 \sin \theta_1 \left[1 + \ln \frac{a_0 + h_0}{a_0} \right]. \quad (160)$$

沙馬林教授曾建議过下面的公式:

$$a_0 = \frac{S_1}{m_1} - \sqrt{\left(\frac{S_1}{m_1}\right)^2 - (H - h_0)^2}. \quad (161)$$

上式符号如圖 132 所示。

应当指出, 这些公式也是近似的。

根据上面所講的, 可以写出不透水基础上單种土質壩的渗透計算公式。

a) 对于單种土料壩, 当下游沒有水 ($h_0=0$) 及 $m_1 > 1$ 时: