

# 水工結構

中 冊

П. И. ГОРДИЕНКО 講  
清华大学水工結構教研組譯

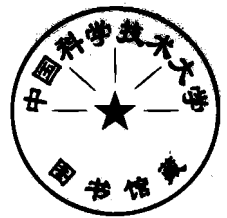
高等教育出版社



# 水 工 結 構

## 中 冊

П. И. 戈 尔 劍 科 講  
清 華 大 學 水 工 結 構 教 研 組 譯



高 等 教 育 出 版 社

---

本书系根据苏联专家戈尔剑科 (П. И. Гордженко) 前在清华大学讲授水工结构时所编讲稿由清华大学水利系水工结构教研组编译而成。专家对于这门课程, 完全按照苏联高等工业学校水工建筑学院或学系所采用的本课程教学大纲讲授, 他的讲稿内容则以苏联水工技术的经验和成就为根据。

本书分上中下三册出版。此中册内容包括第五至第八章。第五章述土坝、堆石坝及干砌石坝, 第六章述有非溢水坝的水力枢纽中的泄水结构, 第七章述混凝土及钢筋混凝土拱坝及肋墩坝, 第八章述木坝及其他类型的坝。

本书可供高等工业学校水利工程系及其他专业的水工结构课程教学参考之用, 亦可供水利工程工作人员及有关科学技术研究人员参考之用。

## 水 工 结 构

中 册

---

П. И. 戈尔剑科讲

清华大学水工结构教研组译

高等教育出版社出版 北京宣武门内承恩寺7号

(北京市书刊出版业营业许可证出字第054号)

京华印书局印刷 新华书店发行

---

统一书号 15010·304 开本 787×1092 1/16 印张 11 7/8

字数 246,000 印数 7,501-9,500 定价 (7) 1.10

1957年4月北京第1版 1980年1月北京第3次印刷

# 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. 水经过不透水基础上的土壩的渗透	160
§ 46. 水经过在透水基础上的土壩的渗透	168
§ 47. 土壩渗透问题的实验解法及图解法	173
§ 48. 土壩边坡的稳定	175
§ 49. 刚性心牆的计算	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滚压方法筑壩	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. 有開啟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	263
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. 拱壩的计算原理	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. 木壩閘門的閘墩及其他中間支承 .....	331
§ 80. 木壩的边墩 .....	334
§ 81. 新的壩型·用当地材料的低水头壩和其他壩型 .....	337

## 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、埝的材料。这些材料在筑壩地点可以找到，是当地材料。因而用它们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，在中亚、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，保證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，以其形狀及大小来說是很大胆的，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，按防滲设备的構造分，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。

б) 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:

б-1——有上游防滲棱形体的土壤;

б-2——有中央防滲棱形体的土壤。

в) 有塑性斜牆的(в-1型)或有刚性斜牆的(в-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(б-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-к)。

按壩不同的筑造方法,可举出下列几种壩型:

а) 層填或滾压土壩,由分層填土及滾压而成(圖 127-а-3)。

б) 冲积土壩(圖 127,а, б-1, б-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。

в) 半冲积土壩(圖 127,б-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

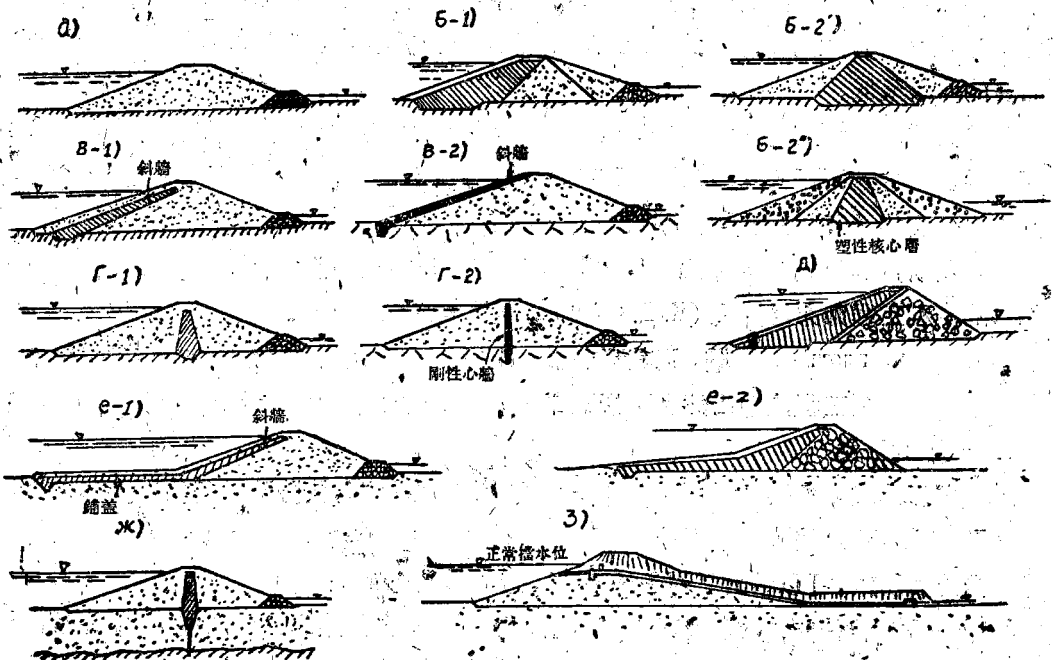


圖 127

核心層牆。

Г) 將土壤(一般是黃土)倒入水中去筑成的壩。這樣所造成的壩一般是單種土質的(圖 127-a)。這種筑壩方法又叫做爲亞別克式(蘇聯)。

Д) 用蘇聯所創造出來的少滾壓的方法所造成的壩也是滾壓式壩的一種。這種壩一般地也是單種土質的。

目前所建土壩是作為非溢水結構,不允許自壩上溢水。但是在蘇聯所做的研究(高爾竟可 П. И. Гордиенко)的著作證明:建築溢水土壩在技術上是可能的,而且在經濟方面是有利的。這種壩的構造已經研究出來了,從壩上可以溢過相當大的流量。

曾設計及建造過的高度不大的混合式壩不僅有非溢水的而且也有溢水的[比如蘇聯普澤列夫斯基教授(Н. П. Пузыревский)所設計的]。

因而土壩又可分成兩類:第一、非溢水的土壩;第二、溢水的土壩。



圖 128

### 3. 土壩的工作條件

土壩工作條件的最主要的特点可綜述如下:

- 經過壩身及壩基的水的滲透,因為任何一個土壩在某種程度上總是透水的;
- 上下游的水對壩边坡的影響,比如當有波浪的時候;
- 大氣降水及低溫對壩的影響;
- 壩基的沉陷(有時還有壩身的沉陷);
- 壩上溢水(對於溢水壩)。

壩身在一定程度上總是透水的。土壩的基礎也是這樣的。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-b),這個面在壩的橫斷面上的形狀當然是一條綫。

飽和面在壩身內的位置決定於上下游的水位(見 128-b)及排水和隔水設備在壩身內的位置(以後這一點將詳細地講述)。

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,在一定條件下能造成管涌及流土。在下降面以上有毛細水升高的區域。這個區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。水在這個區域中好像處於懸挂狀態中,同時還向下游方向移動(滲透)。

在某些情形下,經過壩身及壩基的滲透的流量可能達到很可觀的數值,實際上這種情形是很少的。如壩這樣,就必須採取特殊措施來防止這種滲透所損失的水量。

為防止波浪、風、降水(雨)及溶化的水對壩边坡的破壞作用,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)在冰冻時可能膨脹,然后在化冻時形成空穴及裂縫。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。

在設計土壩時,它們的工作条件应由計算加以校核。这些壩应进行渗透計算、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渗透

##### 1. 渗透的計算方法

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,对水經過土壩渗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。在导算这些解法时,除掉渗透区域的均匀性和等向性、液体的不可压缩性、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,預先假定渗透流速的方向(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. Угличус)、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渗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渗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,水經過土壩渗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渗透問題。此外,还可使用試驗的方法[用苏联巴甫洛夫斯基的电似法、魯可陽諾夫(Лукьянов)或古琴馬赫(Гутенмахер)的积分器]。

在苏联关于土壩渗透計算的標準方法在水工設計規範(ТУиН)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渗透計算方法。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渗透流速等于

① Н. Н. Павловский — 0 Фильтрация воды через земляные плотины, Ленинград, 1931 г.

零，滲透是穩定流，滲透水流限于下降曲線以內，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所創造而且是一個經典的解法。

壩是單種土壤的，滲透係數為  $K$ 。

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)。

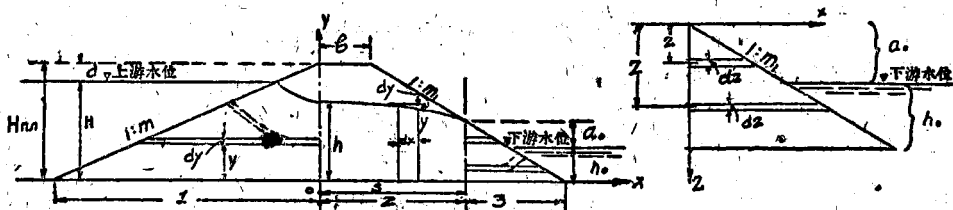


圖 129

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  $H_{II} - d - h$ 。這樣，對水平的單位流綫用達西定律( $V = kJ$ )，可得：

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

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

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

2) 對於中間部分，將垂直綫當做等水頭綫，則可得：

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

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

當  $x=0, y=h$ ，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:

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

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

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

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

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

計算時,可根據(154)將 $S$ 代入(152)式中,然後將(152)與(153)式之右部相等,求出 $h$ 來,將 $h$ 代入(150)式,然後再使(150)與(153)兩式的右部相等,則可得到只含 $a_0$ 一個未知數的方程式,可將其寫為一般的形式:

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

上式可用漸近法解之。假設2—3個 $a_0$ 的值,則可得到幾個 $F_1$ 、 $F_2$ 的值。在圖上畫出 $F_1(a_0)$ 和 $F_2(a_0)$ 的曲線,兩線的交點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)幾個方程式可以簡化,這時 $a_0=0$ , $S=S_{\text{II}}$ (見圖130),我們可用兩個方程式來代替四個:

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

$$b) \quad q = \frac{k}{2S_{\text{II}}} (h^2 - h_0^2). \quad (156)$$

嚴格地說,此處 $a_0 \neq 0$ ,但一般地其值極微小,完全可以忽略它;並認為 $C$ 與 $B$ 兩點重合(圖130)。

將巴甫洛夫斯基的方法與用精確的流體力學或實驗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與精確方法之間是有相當出入的。巴甫洛夫斯基把上游楔形體內的水頭損失 $(H_{\text{II}} - d - h)$ 計算得過大,把流出段的高度 $a_0$ 計算得過小。我們還可看出:

上游楔形体的大小的决定是相当任意的，其值决定于  $d$ ，即决定于正常挡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。

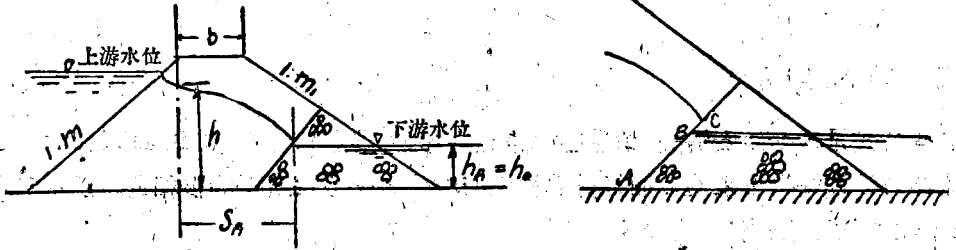


圖 130

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  $\Delta B$ 。选定  $\Delta B$  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  $\Delta B$ ，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師米哈依罗夫的公式：

$$\Delta\beta = \frac{1}{2 + \frac{1}{m}} \tag{157}$$

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  $\Delta B = \Delta\beta \cdot H$  是根据真正壩的滲漏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，当壩的宽度为無限大时， $\Delta\beta$  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。

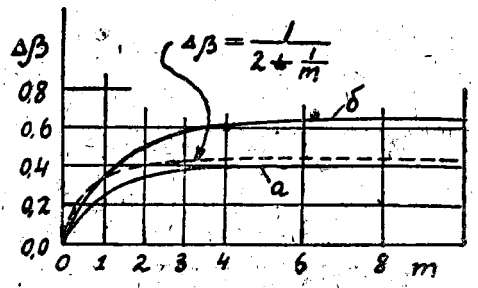


圖 131

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, 他建议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, 则用

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

这些公式是根据奴麦洛夫、柏鲁巴林诺娃柯琴娜、费利柯维奇 (С. В. Фалькович) 等的精确的流体力学方法得出来的, 而且计算结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  $\frac{q}{k} = a_0 c$ , 也就是说, 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、柏鲁巴林诺娃柯琴娜、米哈依洛夫的著作中曾经指出过。

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,

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

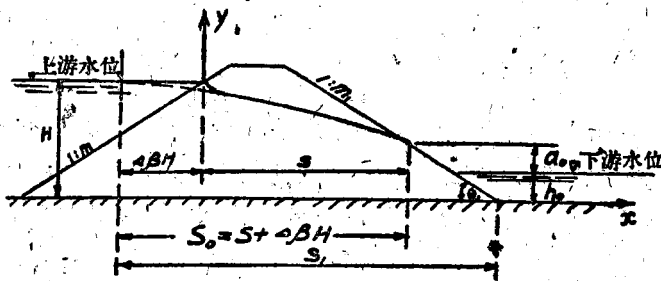


图 132

上式中的  $\theta_1$  以弧度计, 但最好还是用米哈依洛夫的公式。

当下游楔形体内没有排水而且  $h_0 > 0$ , 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线与边坡相切, 所以认为此处的渗透坡降  $J = \sin \theta_1$ , 并且得到:

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

沙马林教授曾建议过下面的公式:

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

上式符号如图 132 所示。

应当指出, 这些公式也是近似的。

根据上面所讲的, 可以写出不透水基础上单种土质壩的渗透计算公式,

\*) 对于单种土料壩, 当下游没有水 ( $h_0=0$ ) 及  $m_1 > 1$  时:

$$1) \quad q = \frac{k}{2S_0} (H^2 - a_0^2); \quad (162)$$

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

上式中  $S_0 = S + \Delta\beta H$ ;  $\Delta\beta = \frac{1}{2 + \frac{1}{m}}$ ;  $H$ ——上游深度。

如果采用巴甫洛夫斯基的公式来决定流量, 这些计算还可以简化:

$$q = \frac{kH^2}{S_1 + \sqrt{S_1^2 - m_1^2 H^2}}. \quad (163)$$

这个公式在实际使用时与流体力学的计算方法所得结果相同, 精确度达 1—5%。上式中  $S_1$  为假设的壩的剖面沿底部的全宽(圖 132)。

按(163)找出  $q$ , 然后根据(158)解  $a_0$ , 则立刻可求出逸出的高度:

$$a_0 = \frac{k}{q} \frac{1}{m_1 + \frac{1}{2}}$$

根据(161)可得出下降曲线:

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

$y$  的范围为自  $a_0 + h_0$  到  $y \approx H$ 。曲线最高的一段用手画到上游边坡的水面线即可。

6) 对于有排水的单种土质壩(圖 130), 当下游有水,  $h_0 > 0$  及  $a_0 = 0$  时用。

$$1) \quad q = \frac{k}{2S_0} (H^2 - h_x^2). \quad (156')$$

上式中  $S_0 = S_x + \Delta\beta H$ , 下降曲线照式(161)画出。当有如圖 130 的排水时, 可用  $h_x \approx h_0$ 。

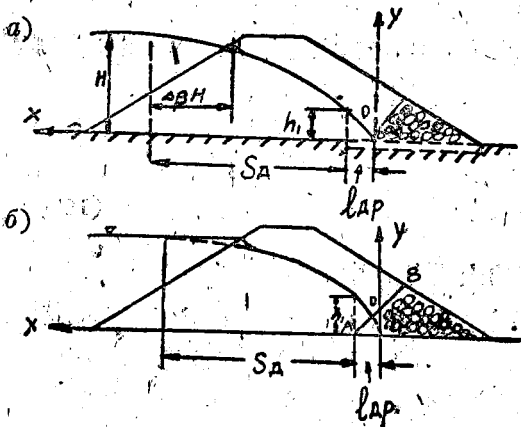


圖 133

Б) 当壩后没有排水, 下游有水时, 可以联解方程式(160)及(162), 并用(161)画饱和曲线。不过在(162)式中的  $a_0^2$  应代以  $(a_0 + h_0)^2$ , 这样即可得到:

$$q = \frac{k}{2S_0} [H^2 - (a_0 + h_0)^2]. \quad (162')$$

Г) 当壩具有水平排水时, 可用根据自无限远向水平排水渗透情形所得到的流体力学计算方法。如果壩宽超过上游水深 5 倍, 即  $\frac{S}{H} > 5$ , 我们是可以这样做的。

当下游没有水  $h_0 = 0$ , 下降曲线在排水头处的高度为(見圖 133-a):

$$h_1 = 2l_{AP} = \sqrt{S_x^2 + H^2} - S_x; \quad (164)$$

$$\text{流量 } q = k \cdot h_1; (T \approx 1); \quad (165)$$

$$\text{下降曲綫方程式 } s = \frac{y^2}{2h_1} \quad (166)$$

当排水不是水平的而内部的边坡相当平緩时,如 AB(見圖 133-6),也可用公式(164)——(166)求得近似的解答。

最后在結束这个問題时,我們再研究一下不透水基础上有垂直边坡的圍堰的滲透問題。

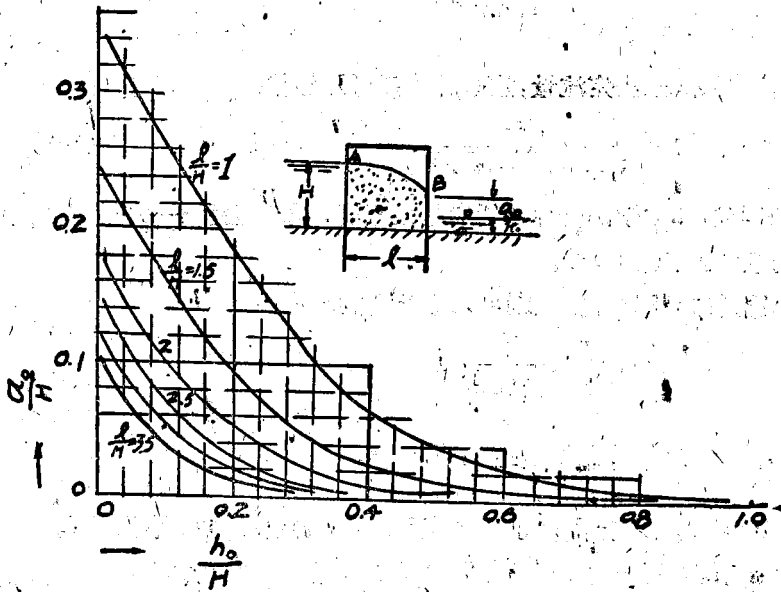


圖 134

逸出高度  $a_0$  用上游水深  $H$  的分数表示,在这种情形下可根据圖 134 来决定,該圖是根据柏魯巴林諾娃柯琴娜教授的精確解法制出的。

涅森斯可涅可夫教授曾提出,当圍堰窄的时候  $\frac{l}{H} \leq 1$ ,下降曲綫可画成一拋物綫,頂点即位于逸出点 B 上,经过上游的水面綫 A 点,(圖 134)。

经过圍堰的滲透流

量可用上面所曾引用的公式来决定:

$$Q = \frac{k}{2l} [H^2 - (a_0 + h_0)^2]$$

当圍堰的相对寬度  $\frac{l}{H} \leq 0.6$ ,而且下游沒有水,即  $h_0 = 0$  时,根据柏魯巴林諾娃柯琴娜教授的意見:

$$Q = \frac{\pi}{2} a_0 k \quad (167)$$

而当  $\frac{l}{H} > 1$  时,則:

$$Q \approx 1.35 a_0 k \quad (167')$$

### 3. 不透水基础上經過有塑性核心層或斜牆的土壩的滲透

在一般情形下,核心層前后的壩身可能由滲透系数不同的  $k_1$  及  $k_2$  的土壤筑成,而核心層,則由更不透水的滲透系数为  $k_0$  的土壤筑成。一般地核心層的厚度下面較大,但計算时則采用上游水位处与壩底兩断面处的厚度的平均值(圖 135)。

当用巴甫洛夫斯基水力学方法来解决这个問題时,壩身中部所用的公式(152)則由下面三个公式来代替:

$$q = \frac{k_1}{2l} (h^2 - h_1^2); \quad (152')$$

$$q = \frac{k_0}{2\delta} (h_1^2 - h_2^2); \quad (152'')$$

$$q = \frac{k_2}{2L} (h_2^2 - h_0^2). \quad (153''')$$

上三式符号可看圖 135。壩內沒有排水時，最後一方程式中將是  $(h_0 + a_0)^2$  而不是  $h_0^2$ 。這幾個方程式再加上 (150)、(153)、(154) 這六個方程式構成一個系統，可用漸近法解決。

巴甫洛夫斯基還提出另外一個所謂轉化法解決這個問題，按照這個方法滲透係數為  $K_0$  的核心層由一相當的核心層來代替，但是其滲透係數為  $k$ ，與壩身的滲透係數相等，其長度則為  $S$ ，為原來核心層厚度  $\delta$  的  $\frac{k}{k_0}$  倍。

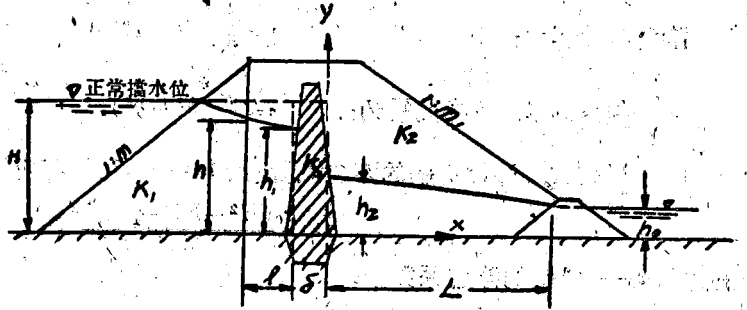


圖 135

$$S = \delta \frac{k}{k_0} \quad (168)$$

(這裡我們假設  $k_1 = k_2 = k$ )。

這樣我們所得到的計算形狀是一個已知的單種土料壩，其頂寬乃由  $b$  變為

$$b + \left( \frac{k}{k_0} + 1 \right) \delta.$$

對於有核心層的壩，我們還可以舉出阿拉芬和奴麥洛夫根據基本上與巴甫洛夫斯基所用的相同的假設所得出的計算函數，根據他們兩人的計算(見圖 135)，核心層上游邊緣處的水深為：

$$h_1 = - (L + \delta \sigma_2) \sigma_1 \nu + \sqrt{[H + (L + \delta \sigma_2) \sigma_1 \nu]^2 + h_0^2 - H^2}. \quad (169)$$

核心層下游邊緣處的水深為：

$$h_2 = \sqrt{h_0^2 + 2L \sigma_2 \nu (H - h_1)}. \quad (170)$$

經過壩的滲透流量為：

$$q = k_1 \nu (H - h_1). \quad (171)$$

式中

$$\sigma_1 = \frac{k_1}{k_2}; \quad \sigma_2 = \frac{k_2}{k_0}; \quad \nu = 1.12 + \frac{1.93}{m}.$$

在壩下游部分範圍內下降曲線方程式為  $x = L + \frac{k_2 (h_0^2 - y^2)}{2q}$ ，在本式中  $h_0 \leq y \leq h_2$ 。

上面所講的方法對於核心層下游邊緣處的滲透水流深度是近似的計算法。當滲透係數  $k_0$  和  $k_2$  差別較大時，為更精確的決定這個深度，應該用柏魯巴林諾娃柯琴娜的解上下游面為垂直的圍堰所用的方法(見圖 134)。

關於不透水基礎上有斜牆的壩的滲透，我們可舉出阿拉文和奴麥洛夫所求得的計算函



数(圖 136-a)。假設斜牆及壩身的滲透系数相应为  $K_0$  及  $K$ , 計算中使用斜牆的平均厚度  $\delta$ , 并不考虑上游边坡处斜牆上面松散土料内的水头損失, 作者得到下面的决定断面  $Oy$  (圖 136-a) 处滲透水深的公式:

$$h = \sqrt{\frac{k_0(H^2 - \delta^2 \cos^2 \varphi) + kh_0^2 \delta \sin \varphi}{k_0 l + k \delta \sin \varphi}} \quad (172)$$

滲透流量仍为:

$$q = \frac{k}{2l} (h^2 - h_0^2)$$

当  $h_0 \leq y \leq h$  时, 下降曲线为:

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

經過混合式壩型斜牆的滲透流量(圖 136-b), 可用巴甫洛夫斯基公式决定:

$$q = \frac{k_0(H^2 - h_0^2 - \delta^2 \cos^2 \varphi)}{2\delta \sin \varphi} \quad (173)$$

上式中  $k_0$  — 斜牆的滲透系数。

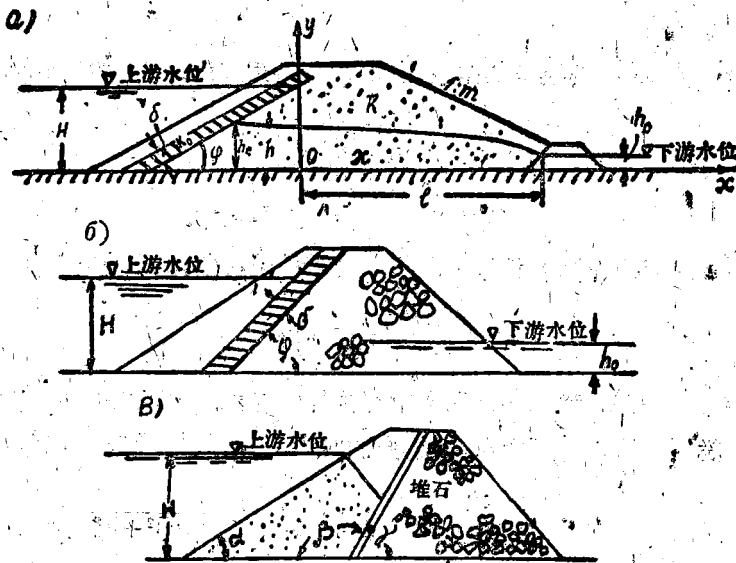


圖 136

对于上游有防滲棱体的混合壩, 可以使用涅森斯可涅可夫的解法, 这个方法可使用的情形是: 滲透水流是穿过三角形的块体, 块体頂端与上游水位平(沒有自由表面的滲透)。在这种情形下, 下游沒有水时經過棱体的滲透流量为(圖 136-b):

$$q = kH \frac{\sin \gamma}{\sin \alpha \cdot \sin(\beta - \gamma)} \quad (174)$$

#### § 46. 水經過在透水基础上的土壤的滲透

##### 1. 深度大的透水基础上的單种土質壩的滲透

对于基础和壩身我們这里用一样的滲透系数。这个问题在 1936 年由涅森斯可涅可夫