

給水管綫与管網的  
水力計算和热力計算

馬中汉 譯

建筑工程出版社出版

• 1959 •

給水管綫与管網的  
水力計算和热力計算

馬中汉 譯

建筑工程出版社出版

• 1959 •

**內容提要** 本書闡明了給水管綫和管網的水力計算和热力計算的基本問題，以及設計方面的某些問題，其中有：水頭損失和流速的確定方法，輸水管的計算，管網佈置的設計，環狀管網的計算，敷設在冻土中的管綫的热力計算以及其他問題等。

本書可作为从事給水管道設計工作的技術員、工程師和給水專業的學生的實用參考書籍。

### 原書說明

書名 Гидравлические и тепловые расчеты водопроводных линий и сетей

著者 М. М. Андрияшев

出版者 Издательство министерства коммунального хозяйства РСФСР

出版地点及年份 Москва—1956

### 給水管綫和管網的水力計算与热力計算

馬中漢譯

\*

---

1959年3月 第1版      1959年3月 第1次印刷      4,060册

787×1092·<sup>1</sup>/<sub>25</sub>      158千字      印張6%·插頁2·定價(11)1.20元

建築工程出版社印刷厂印刷 · 新华書店發行      書号: 1219

---

建築工程出版社出版(北京市西郊百万庄)

(北京市書刊出版業營業許可証出字第052号)

# 目 录

前言 .....	5
本書所用的主要符号 .....	6

## 第一篇 水力計算

第一章 概 論 .....	7
第一节 給水管綫和管網水力計算的任务 .....	7
第二节 确定管綫水头損失的公式 .....	7
第三节 确定管綫水头損失的近似公式 .....	23
第四节 水力計算的精确度 .....	30
第二章 水力計算的技术 .....	33
第一节 确定水头損失的技术 .....	33
第二节 串联管綫和并联管綫系統的水头損失的确定 .....	44
第三节 局部水头損失的确定 .....	46
第四节 流速的确定 .....	50
第三章 輸水管的水力計算 .....	54
第一节 稳定流輸水管的計算 .....	54
第二节 輸水管水击的計算 .....	58
第四章 管網的水力計算 .....	71
第一节 管網的分区 .....	71
第二节 管網位置的設計 .....	73
第三节 管網供水情况的确定 .....	75
第四节 管網計算工作的內容 .....	77
第五节 管網計算配水点的分佈 .....	79
第六节 管綫直徑的确定 .....	84
第七节 环狀管網的計算 .....	92
第八节 管網計算中的水泵特性曲綫的計算 .....	100
第九节 設有数个压力調节水庫的管網的計算 .....	102

第十节 管網計算資料的整理	106
---------------	-----

## 第二篇 管網的热力計算

第一章 概 論	109
第一节 給水管綫和管網热力計算的任务	109
第二节 水的热含量	110
第三节 空气和土壤的溫度	113
第四节 土壤和保溫材料的热力常数	118
第五节 給水管綫热力計算的精确度	125
第二章 管綫热損失的确定	126
第一节 計算原理	126
第二节 管綫中的水向管壁的散热和从管壁或保溫層的外表面向空气或水中的散热	128
第三节 通过管壁、保溫層和土壤的傳热	135
第四节 有关計算技术的規定	146
第三章 給水管綫的热力計算	147
第一节 固定水流状态下的計算	147
第二节 非固定水流状态下的計算	153
第三节 管綫中的水不流动时水的冷却和溫热的計算	158
第四节 管綫中水的冻结和冰的融解的計算	162
第四章 管網的热力計算	163
第一节 一般指示	163
第二节 串联管綫和并联管綫的計算	165
第三节 管網热力計算資料的整理	166

## 附 录

- I 石棉水泥管水力計算圖表
- II 旧鋼管和旧鑄铁管水力計算圖表
- III 石棉水泥管、旧鋼管和旧鑄铁管水力計算用計算尺的圖样
- IV 乘方用計算尺的圖样
- V 表 1 水和空气的物理参数  
表 2 水的溫度扩散系数

## 参考文献

## 前 言

最近几年，全苏給水、排水和工程地質科学研究院(ВОДГЕО)在研究鋼管、鑄鉄管和石棉水泥管的水力学方面，以及在研究水击及其防止方法方面完成了許多巨大的工作。这些研究工作更加完善地闡明了管道水力計算的各种問題，因此作者感到有必要再版自己著作的关于給水管網和輸水管網水力計算和热力計算一書[ 6 ]，并在采用最新科学成就的基础上对該書进行修改与补充。

在旧版書中，沒有闡述全部計算方法，仅仅介紹了一些在許可精确度範圍內的最簡捷的計算方法。

本書所用的主要符号

符号	計量·單位	量的名稱
$\rho$	$кг \cdot сек^2 / м^4$ 仟克·秒 <sup>2</sup> /米 <sup>4</sup>	密度
$\gamma$	$кг / м^3$ 仟克/米 <sup>3</sup>	容重
$E$	$кг / м^2$ 仟克/米 <sup>2</sup>	彈性系数
$v$	$м / сек$ 米/秒	水流速度
$a$	$м / сек$ 米/秒	水击波速度
$\alpha$	$м^2 / сек; м^2 / час; м^2 / 秒; 米^2 / 小时$	导温系数
$g$	$м / сек^2$ 米/秒 <sup>2</sup>	重力加速度
$\mu$	$кг \cdot сек / м^2$ 仟克·秒/米 <sup>2</sup>	粘滯动力系数
$\nu$	$м^2 / сек$ 米 <sup>2</sup> /秒	粘滯运动系数
$q, Q$	$\left. \begin{array}{l} м^3 / час \text{ 米}^3 / 小时 \\ м^2 / сек \text{ 米}^2 / 秒 \\ л / сек \text{ 百升/秒} \\ дкл / сек \text{ 十升/秒} \\ л / сек \text{ 升/秒} \\ дл / сек \text{ 分升/秒} \end{array} \right\}$ $час; сек$ 小时; 秒	流量
$\tau$	$сек$ 秒	時間
$l, L$	$м$ 米	管段長度
$h, H$	$м$ 米	水头; 水头損失
$i$	—	水力坡度
$d, D$	$м$ 米	直徑
$r, R$	$м$ 米	半徑
$\delta$	$м$ 米	管壁厚度
$\Delta$	$м$ 米	粗糙突出部分的高度
$\lambda$	—	水力阻力系数
$\lambda$	$ккал / м \cdot час \cdot град$ 仟卡/米·小时·度	导热系数
$\xi$	—	局部阻力系数
$t$	$°C$	溫度
$\Delta t$	$°C$	溫度降落
$c_p$	$ккал / кг \cdot град$ 仟卡/仟克·度	重量比热(热容量)
$c_v$	$ккал / м^3 \cdot град$ 仟卡/米 <sup>3</sup> ·度	容积比热
$\beta$	$\frac{1}{град} \frac{1}{度}$	溫度扩散系数
$\alpha$	$ккал / м^2 \cdot час \cdot град$ 仟卡/米 <sup>2</sup> ·小时·度	散热系数
$Q$	$ккал / м \cdot час$ 仟卡/米·小时	1米長度上的耗热量
$Re$	—	雷諾参数
$Fr$	—	弗罗德参数
$Nu$	—	努謝尔特参数
$Pr$	—	普爾特爾参数
$Gr$	—	格拉斯高夫参数
$A$	$\frac{1}{[q]^2}$	單位水力阻力
$S$	$\frac{м}{[q]^2}$	水力阻力
$S$	$м \cdot час \cdot град / ккал$ 米·小时·度/仟卡	每米長的熱阻
$B$	$[q]$	單位水力通导能力
$P$	$\frac{[q]}{м^{0.5}} \frac{[q]}{米^{0.5}}$	水力通导能力
$M$	$ккал / м \cdot час \cdot град$ 仟卡/米·小时·度	每米長度上的單位热損失
$\Phi$	—	形狀因数

附註:  $[q]$  在  $A, S, B$  和  $P$  的計量單位中是流量計量單位。

# 第一篇 水力計算

## 第一章 概 論

### 第一節 給水管綫和管網水力計算的任務

給水管綫和管網水力計算的最終目的，是確定合理的管道直徑。而這種管道應能保證把具有所需水頭的必要數量的水經濟地送達各用水點。同時，計算不應找出各供水地點、用水地點以及其他特定点上的管綫或管網中的壓力和水流速度。

只有在最簡單的情況下，才可根據已知的流量、流速或水頭損失的原始資料來直接決定管徑。在大多數情況下，由於同一管網系統需要滿足許多供水條件和用水條件（如正常的，事故的，消防的，一年或一天不同期間內用水量變化的，以及施工順序不同等的條件）的要求，計算常複雜化。在上述情況下，計算的目的就是要找出所設計的管網系統在不同使用條件下的效能的資料。

如果在計算過程中出現不適合所要求的設計水頭或流速時，那麼必須用進一步的精確計算來修正管徑。

### 第二節 確定管綫水頭損失的公式

若數學公式所反映的不是各量與不同因次間的函數關係的規律性，而是無因次的各量與參數間的關係，那麼這些公式就可以保證有最廣泛的概括性。經驗公式和半經驗公式尤其如此。

在管道水力学中有下列各主要的無因次量和參數：

水力坡度  $i = \frac{h}{L}$ ；

表征着管壁水流有紊動影響的管道內表面相對粗糙度  $\frac{\Delta}{\delta}$  或稱相對光滑度  $\Delta$ ；



雷諾参数  $Re = \frac{vd}{\nu}$ ，此值表示水力量同表证着由于液体的粘性而产生的反向內摩擦力值之間的关系；

弗罗德参数  $Fr = \frac{v^2}{dg}$ ，此参数表示水力量和地心引力間的关系。决定水力坡和水头損失的基本方程式具有下列形式：

$$i = 0.5\lambda \cdot Fr \quad (1)$$

或 
$$h = 0.5\lambda \cdot Fr \cdot l \quad (1, a)$$

式中： $\lambda$ —— $i$  与  $Fr$  間的無因次关系系数(水力阻力系数)，它是  $Re$  和  $\frac{\Delta}{d}$  的函数。

公式(1)中系数 0.5 的得来，是由于通常用速度  $\frac{v^2}{2g}$  与直徑倒数  $\frac{1}{d}$  乘积的形式(达西-維斯巴哈公式)代替  $0.5 \cdot Fr$ ：

$$i = \lambda \cdot \frac{1}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (1, b)$$

当  $Re$  值在不同的範圍內时， $\lambda$  与  $Re$  和  $\frac{\Delta}{d}$  的函数关系式是不同的。根据雷諾参数  $Re$  值的大小，在一般情况下有下列各种水流运动状态和区域，这些流态和区域是以  $\lambda$  同某些参数的特殊函数的关系表示的：

- 1) 層流状态；
- 2) 紊流状态；
- a) 光滑壁区域 ①；
- 6) 过渡区域；
- б) 平方区域 ②。

对于層流状态

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (2)$$

此公式是从理論上推导出来的，并經許多实验所証实。 $i$  同  $q$  和  $v$  的直綫关系适合于該公式，其形式如下：

① 水力学中称“光滑”管区域(譯註)

② 即水力学中所指的平方阻力区或阻力平方区。(譯註)

$$i = \frac{32\nu v}{d^2 g} = \frac{3.26\nu v}{d^2} = \frac{4.15\nu q}{d^4} \quad (2, a)$$

对于水，当  $t=0^\circ$  时，

$$i = \frac{7.43 \times 10^{-4} q}{d^4} \quad (2, b)$$

当 Re 值小于 2,200 时發生稳定的層流运动。

在稳定的層流运动中，甚至当流速和方向都有改变时（包括在水流中有相互碰撞的环流时）也不存在紊动。

当水温  $t=0^\circ$  时，与層流运动边界条件  $Re=2000$  相当的  $v=0.004/d$  米/秒，亦即  $d=1.0$  米时  $v=4$  毫米/秒； $d=0.1$  米时  $v=4$  厘米/秒；而  $d=0.01$  米时  $v=0.4$  米/秒。

当雷诺数 Re 由 2,200 到 12,000~13,000 或更大时，液体的运动可能是層流也可能是紊流。如果能消除水流紊动的原因，即使流速增加到相当于 Re 值接近 150,000 时，仍能保持層流状态。

上述 Re 值范围的下限表征着由紊流状态向層流状态的过渡；而其上限则表征着相反的过渡，即由層流状态过渡到紊流状态；此时随着 Re 值的增加，層流状态愈来愈不稳定。在这一 Re 值的范围中，由于水力现象很复杂， $\lambda$  同 Re 和其他因素的数学关系式尚未能建立起来。同时，这个 Re 值的范围在給水工程中并没有多大的实际意义，因为与該范围相应的水流速度是較小的，并且它的范围也不大。

当水流为紊流时，在光滑壁区域中  $\lambda$  值仅与 Re 有关，在过渡区中  $\lambda$  值和  $Re$  及  $\frac{\Delta}{d}$  都有关系，而在平方区中  $\lambda$  仅与  $\frac{\Delta}{d}$  有关系。在上述三区中，第一区是具有光滑管壁的管道的特点，它所以取得这个名称也可以用这一点来说明；而在最后一区中， $\lambda$  值对任何速度均为定值，而  $i$  和流量或流速的平方成正比，所以就称这一区为平方区。

在各个紊流区域中函数关系不同的特点，决定于近壁層流层的厚度和管壁粗糙突出部分的不同比值。

新的無縫銅管、黃銅管以及質量良好的新玻璃管和新鉛管都属于水力光滑管，对于这类管子可使用下列指数公式：

对于 Re 值由 4,000 到 100,000 [11]：

$$\lambda = \frac{0.316}{Re^{0.25}} \quad (3)$$

相应的

$$i = \frac{0.0161 v^{0.25} v^{1.75}}{d^{1.25}} = \frac{0.0246 v^{0.25} q^{1.75}}{d^{4.75}} \quad (3,a)$$

对于水当  $t=0$  时:

$$i = \frac{0.00090 q^{1.7}}{d^{4.75}} \quad (3,b)$$

对于  $Re$  值由 100,000 到 3,000,000 时:

$$\lambda = 0.0032 + \frac{0.221}{Re^{0.237}} \quad (4)$$

相应的

$$\begin{aligned} i &= 0.000163 \frac{v^2}{d} + \frac{0.0112 v^{0.237} v^{1.763}}{d^{1.237}} = \\ &= \frac{0.000264 q^2}{d^5} + \frac{0.0672 v^{0.237} q^{1.763}}{d^{4.763}} \end{aligned} \quad (4,a)$$

对于水当  $t=0$  时:

$$i = \frac{0.000264 q^2}{d^5} + \frac{0.000589 q^{1.763}}{d^{4.763}} \quad (4,b)$$

对于带有接头 (能引起水流的某些紊动) 的技术光滑管 (如带有套箍的玻璃管), 以及粗糙度较小的水管 (如石棉水泥管、新钢管和新铸铁管), 在光滑壁区域中可用公式 (5) 和 (5.a):

$$\lambda = \frac{a_1}{Re^{p_1}} \quad (5)$$

$$i = \frac{0.051 a_1 v^{p_1} v^{2-p_1}}{d^{p_1+1}} = \frac{0.051 \times 1.273^{2-p_1} a_1 v^{p_1} q^{2-p_1}}{d^{5-p_1}} \quad (5,a)$$

式中:  $a$  和  $p_1$  表示用不同材料作成的管道的参数, 其值载于表 1 中。

对于上述某些种类的管道 (玻璃管、石棉水泥管、新钢管), 用公式 (5) 所算出的  $\lambda$  曲线, 在其可应用的范围内符合于或非常接近于

表 1

管 道	$p_1$	$a_1$	当 $t=0^\circ$ 时 $a_1 \nu^{p_1}$	資 料 来 源
玻璃管	0.25	0.316	0.0107	列宁格勒公用事業科学 研究院 (ЛНИИ АКХ)
石棉水泥管	0.19	0.165	0.0126	全苏給水、排水与工程 地質科学研究院
新鋼管	0.226	0.25	0.0115	全苏給水、排水与工程 地質科学研究院
新鑄鉄管	0.284	0.77	0.0164	全苏給水、排水与工程 地質科学研究院

水力光滑管的曲綫。而对于新鑄鉄管， $\lambda$  曲綫几乎平行于水力光滑管的曲綫，但位于光滑管曲綫之上（參看圖 1. a 和 1. б）。

作为光滑壁区域的界限的  $Re$  值上限，同管壁的粗糙度有关。

在光滑壁区域内的石棉水泥管、新鋼管和新鑄鉄管的水力計算，可以采用基本上适合于过渡区的 ВОДГЕО 公式 [21, 23]；这些公式在实用上是足够精确的。

在石棉水泥管，新、旧鋼管和鑄鉄管中，当流速增加时， $\lambda$  值平稳地減少到平方区的  $\lambda_{\kappa_0}$  值。同时，根据全苏給水、排水及工程地質科学研究院的資料来看， $\lambda$  值不会降低到  $\lambda_{\kappa_0}$  值以下，这种情况在普蘭特爾-尼古拉茲的研究中也曾發現。曾經假定，在普蘭特爾-尼古拉茲的实验中， $\lambda$  曲綫的特殊形式是决定于塗在表面上的一層清漆所造成的人为粗糙度的特点。彼此相靠近的突出部份所形成的均匀粗糙度，在一定的流速范围内能对个别不均匀的突出部份起最大的遮盖作用。

全苏給水、排水与工程地質科学研究院的研究証明，对于一定形状和一定程度的粗糙度的每种材料和管道，都有它独特的  $\lambda$  曲綫公式。

但是，所有的这些曲綫都是用同一类型的公式决定的。

Ф. А. 塞維列夫 (Шевелев) [21, 23] 提出了下列計算  $\lambda$  的公式：

$$\lambda = K_1 K_2 \left( \frac{1}{d^{p_2}} + \frac{1}{Re} \right)^{p_2} = \frac{a_2}{d^{p_2}} \left( 1 + \frac{\nu}{b_2 v} \right)^{p_2} \quad (6)$$

式中:

$$a_2 = K_1 K_2 A \quad (6, a)$$

$$b_2 = \left( \frac{A}{B} \right)^{\frac{1}{p_2}} \quad (6, b)$$

相应的  $i$  值公式如下:

$$i = \frac{0.051}{d^{1+p}} \left( 1 + \frac{v}{b_2 v} \right)^{p_2} v^2 = \frac{0.0826 a_2}{d^{5+p}} \left( 1 + \frac{v}{b_2 v} \right)^{p_2} q^2 \quad (6, c)$$

各种管道的上述系数与参数  $K_1$ 、 $K_2$ 、 $p_2$ 、 $A$ 、 $B$ 、 $a_2$ 、 $b_2$  和  $\frac{v}{b_2}$  的值载于表 2 中。

表 2

管 道	$K_1$	$K_2$	$p_2$	$A$	$B$	$a_2$	$b_2 10^6$	t°C 时的 $\frac{v}{b_2}$		
								0	10	20
石棉水泥管	1.15	—	0.190	0.0096	0.16	0.011	0.37	4.85	3.51	2.70
新钢管	1.15	1.18	0.226	0.0117	0.23	0.0159	1.90	0.949	0.684	0.530
新铸铁管	1.15	—	0.284	0.0125	0.75	0.0144	0.55	3.62	2.36	2.02
旧钢管和铸铁管	—	—	0.300	0.018	1.00	0.0179	1.50	1.194	0.867	0.667

在表 2 中所载的旧管道,是指曾使用二年或二年以上的管道而言。

公式(6)中的  $A$  值系用绝对粗糙度  $\Delta$  所表示的近似公式  $A = 0.146 \Delta^{p_2}$  来计算,因此,  $\Phi. A.$  塞维列夫公式的第一项便成为相对粗糙度  $\frac{\Delta}{d}$  的函数。

ВОДГЕО 二项式的公式和上式的差别就在于,当减小  $Re$  和  $v$  时括弧中算式的第二项增大而第一项的值减小,并且这个公式和用于光滑管的没有第一项的公式相接近。反之,随着  $Re$  和  $v$  值的增加,第二项比第一项减小,此时该公式接近于平方区的公式。在这一区域中,每种管径  $d$  均有一定的常数值。

对于石棉水泥管、新钢管和新铸铁管,在公式(6)中引入系数  $K_1$ ,以便从实验室条件转换为实地条件。在实验研究的条件下,管道可以仔细拼成直线形,并且可以完全按照管道敷设规程来铺设;但

在实际中常常由于下述情况引起附加的水力阻力：如在接头处管轴的转弯，接头连接的毛病，設有附件，接头配件和其他等。

系数  $K_1$  是按照对許多使用中的石棉水泥管、新鋼管和鑄鉄管的研究資料确定的。此外，在实验室中，也对安設在垂直面和水平面上的、接头处管轴有很大折曲的石棉水泥管段进行了研究。

在上水道管綫的水力計算中，通常不考慮与水的粘滯性有关的水温。但是，在光滑壁区域和过渡区域中，水的粘滯性对  $\lambda$  值有显著的影响。这种影响可用表 3 中的資料表明。在表中列出了当  $v = 0.5$  和 1.0 米/秒、 $t = 0^\circ$  和  $20^\circ$  时的  $\lambda$  值，这些数值是以  $t = 10^\circ$  时的  $\lambda$  值的百分比計算的。

表 3

管 道	$v=0.5$ 米/秒			$v=1.0$ 米/秒		
	$\lambda_0$	$\lambda_{20}$	$\lambda_0 \sim \lambda_{20}$	$\lambda_0$	$\lambda_{20}$	$\lambda_0 \sim \lambda_{20}$
石棉水泥管	105.5	95.8	9.7	105.1	96.2	8.9
新鋼管	104.6	96.8	7.8	103.3	97.8	5.5
新鑄鉄管	109.1	94.1	14.0	107.0	94.9	12.1
旧鋼管和旧鑄鉄管	106.8	95.5	11.3	105.0	96.7	8.3

全苏給水、排水与工程地質科学研究所制定的关于石棉水泥管，新鋼管和新鑄鉄管的水力計算表，引用了系数  $K_1 = 1.15$ ，所根据的水温为  $10^\circ$ 。从表 3 可以看出，对于水粘滯性增加的最不利的温度情况 ( $t = 0^\circ$  时)，相应的儲备系数平均等于 1.1。

应用包含系数  $K_1$  的公式时，不必像某些設計人現在所作的那样，为了考虑輸水管和管綫的局部阻力，在計算中引入补充的附加值。

全苏給水、排水与工程地質科学研究所引用系数  $K_2$ ，只是为了用于新鋼管和考虑在基本的实验研究中沒有考虑到的焊接接头的附加阻力。

根据全苏給水、排水与工程地質科学研究所的資料可知，当管長为 3.0 米时，在管徑为 78.5~302 毫米的管道内表面上有凸出缺陷的焊接接头，会使  $\lambda$  值增大 0.13~0.23 倍。上述系数的平均值为 1.18，

Φ. A. 塞維列夫就采用这一数值作为  $K_2$  的计算值。

正如 Φ. A. 塞維列夫在自己的書中所指出的那样，采用  $K_2=1.18$  是有一定儲备的。因为，通常不是每隔 3.0 米而是距离更远一些才有焊接接头。可以想像，在大口径的管道中，儲备系数是很大的，因为随同管径的增加焊接接头的数目將减少。但是，这仅仅对于兩端口径很准确的管道才是正确的。

对于旧鋼管和鑄鉄管，公式 (6) 中的各参数值不是根据实验而是根据实地研究算出的，所以沒有引用系数  $K_1$  和  $K_2$ 。

应该指出，对于旧鋼管和旧鑄鉄管，公式 (6) 中的参数是根据有限数量 (9 根鋼管和 2 根鑄鉄管) 的管道的資料算出的。上述資料与公式所采用的平均值的偏差为从 -19% 到 +4%。

全苏給水、排水与工程地質科学研究院的研究証实，由于沒有腐蝕的存在，沒有內部沉积的旧石棉水泥管在水力性能方面同新管沒有什么差別。

过渡区和平方区的边界可用  $\frac{Re}{d} = \frac{v_{2p}}{\nu}$  的值确定。該值以及相当于  $t=10^\circ$  和  $\nu=1.3 \times 10^{-6}$  的  $v$  值載于表 4 中。

表 4

管 道	$\frac{v_{2p} \cdot 10^{-6}}{\nu}$	$t=10^\circ$ 时 $v_{2p}$	$\alpha_3$
石棉水泥管	6.0	7.8	0.0103
新鋼管	2.4	3.12	0.0121
新鑄鉄管	2.7	3.51	0.0143
旧鋼管和旧鑄鉄管	0.92	1.21	0.0210

从表 4 可以看出，平方区主要是对旧鋼管和鑄鉄管才有实际意义。在平方区中  $\lambda$  值可用下列公式計算：

$$\lambda_3 = \lambda_{\alpha_3} = \frac{\alpha_3}{d^{0.2}} \quad (7)$$

相应的  $i$  对  $q$  和  $v$  的关系式如下：

$$i = \frac{0.051a_3v^2}{d^{1+p_2}} = \frac{0.0827a_3q^2}{d^{5+p_2}} = \frac{K_3}{d^{5+p_2}}q^2 \quad (7, a)$$

公式中的方指数  $p_2$  和系数  $a_3$  的各数据, 分别载于表 2 和表 4 中。

根据 Ф. А. 塞維列夫的方法, 系数  $a_3$  和绝对粗糙度的关系可用下式表示:

$$a_3 = 0.16\Delta^{p_2} \quad (7, b)$$

石棉水泥管的绝对粗糙度与钢管和铸铁管相比是很小的。显然, 这是因为石棉水泥管的表面没有突起物, 而只有一些小洞的原故。

在过渡区和平方区的边界, 公式 (6) 和 (7) 是可用的, 因此我们可以确立  $a_2$ ,  $a_3$  和界限速度  $v_{2p}$  间的下列关系:

$$a_2 \left( 1 + \frac{v}{b_2 v_{2p}} \right)^{p_2} = a_3$$

即

$$1 + \frac{v}{b_2 v_{2p}} = \left( \frac{a_3}{a_2} \right)^{\frac{1}{p_2}}$$

为了鉴定 ВОДГЕО 公式; 在圖 1. a 和圖 1. b 中繪出了直径为 100 毫米和 1000 毫米的管道的  $\lambda$  曲线。这些曲线包括了实验条件和实地条件两种情况。为了比较, 也根据 Н. Н. 巴夫洛夫斯基公式在圖中繪出系数  $n=0.010$ ,  $n=0.011$ ,  $n=0.012$  和  $n=0.013$  时的  $\lambda$  值的直线。

圖 1. a 和 1. b 中所示的  $\lambda$  曲线为  $Re$  的函数。由于  $d=0.1$  米时  $Re=10vRe$  和  $d=1.0$  米时  $v=vRe$ ,  $\lambda$  和流速  $v$  米/秒的关系式也可以轉換求得。 $v$  值载于附录 V 中。

上述 ВОДГЕО 公式的优点, 在于既有理論計算也有实验依据。公式的结构越合理正确, 就可以更好地使用实际测量所积累的資料, 并且根据这些資料来确定計算粗糙度同水质和其他条件的关系。

在管径为 250 毫米以下 (包括 250 毫米) 的旧钢管和旧铸铁管用的水力計算表中; Ф. А. 塞維列夫考虑了由于腐蝕或堆积物而使管道内径有 1 毫米的减小。对于大直径的管道, 这项减少值可以不計, 因为它没有实际意义。

直径绝对值的等量减小, 相当于不同的直径的相对变化。由于公称直径的变化是有条件的, 需要計算的, 所以在計算公式中, 为了考虑管道的变旧最好保留公称直径来代替减小了的直径。这点可以用公



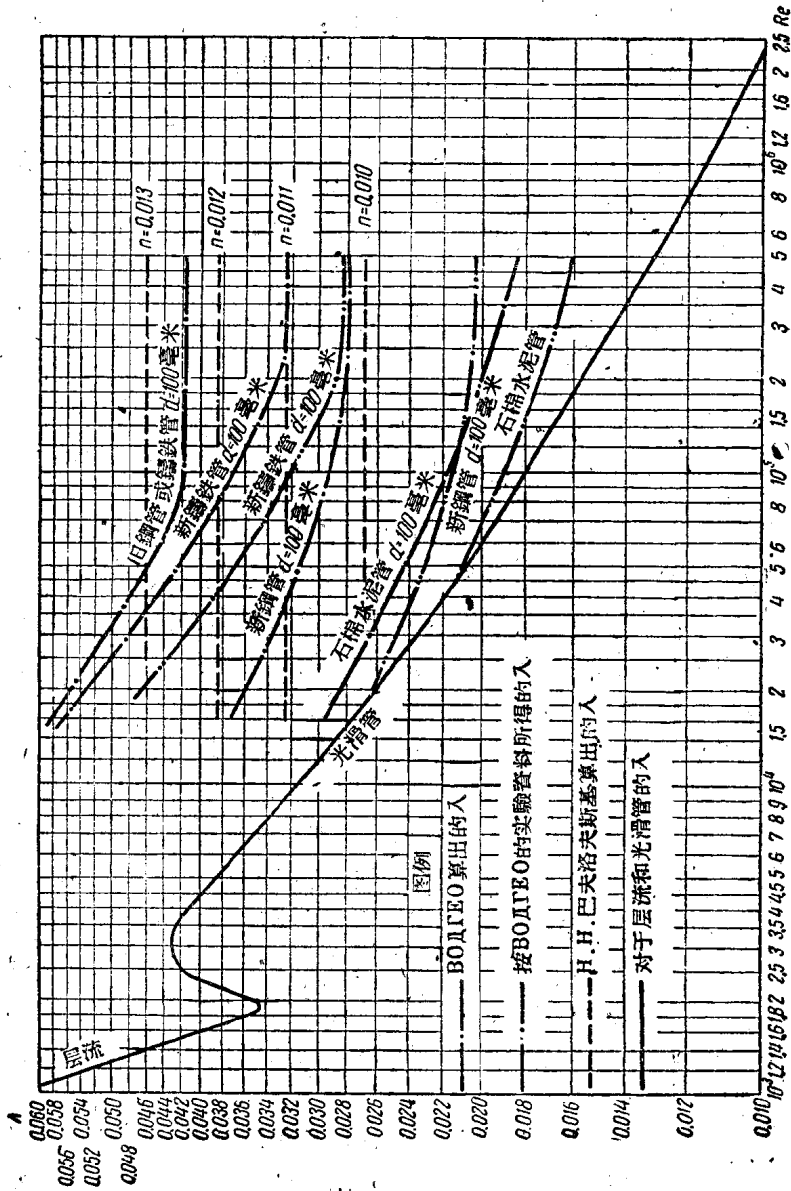


圖 1.00 各種材料作成的管道的  $\lambda$  曲綫  $d=100$  毫米