

排水管网的水力计算

Н. Ф. 费多洛夫 著

5526

建筑工程出版社

524

5/5526

524
5/5526

排水管網的水力計算

(附表格)

秦裕珩 譯 徐樹森 校

建筑工程出版社出版

• 1959 •

內容提要 本書內列有按照苏联最新排水工程設計标准及技術规范 (ННТУ 141-56) 所推荐的水力計算公式的詳細表格。表格包括了对圆形、蛋形、槽形、矩形和梯形等截面管渠的水力計算数据。

此外, 本書还簡要地分析了原排水管網水力計算公式的缺点, 并介紹了最近在排水管網水力計算方面的研究成果。本書除供排水管網設計人員应用外, 亦可作为給、排水专业的科学研究人員和学校师生的参考之用。

· 原本說明

書 名 ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ СЕТЕЙ (Расчетные таблицы)

著 者 Н. Ф. Федоров

出版者 Издательство министерства коммунального хозяйства РСФСР

出版地点 及 年 份 Москва—1958

排 水 管 網 的 水 力 計 算

秦裕珩 譯 徐树森 校

*

1959年3月第1版	1959年8月第1次印刷	4,045册
850×1168 $\frac{1}{32}$ • 174千字 • 印張6 $\frac{5}{8}$ • 定价(10)1.05元		
建筑工程出版社印刷厂印刷 • 新华書店发 • 書号: 1577		

建筑工程出版社出版(北京市西郊百万庄)

(北京市書刊出版业营业許可証出字第052号)

目 录

作者序	(1)
一、在排水管網中污水的流动状态	(3)
液体流动时的两种状态	(3)
均匀流和不均匀流	(4)
压力流和无压力流	(5)
在排水管網中污水的流动条件	(5)
二、对紊流的新观点	(6)
三、新的研究和計算公式	(8)
应用于計算的公式	(8)
新的研究及其分析	(9)
通用公式	(17)
四、表格說明	(21)
五、水力計算的例題	(28)
1. 在滿管时管道的計算	(28)
陶土管	(28)
混凝土管	(29)
鑄鉄管	(31)
2. 在部分充滿度时管道的計算	(32)
表1 圓形截面 $D = 150$ 公厘	(35)
表2 圓形截面 $D = 200$ 公厘	(37)
表3 圓形截面 $D = 250$ 公厘	(39)
表4 圓形截面 $D = 300$ 公厘	(41)
表5 圓形截面 $D = 350$ 公厘	(43)
表6 圓形截面 $D = 400$ 公厘	(45)
表7 圓形截面 $D = 450$ 公厘	(47)
表8 圓形截面 $D = 500$ 公厘	(49)

表 9 圓形截面 $D = 550$ 公厘	(51)
表10 圓形截面 $D = 600$ 公厘	(53)
表11 圓形截面 $D = 650$ 公厘	(55)
表12 圓形截面 $D = 700$ 公厘	(57)
表13 圓形截面 $D = 750$ 公厘	(59)
表14 圓形截面 $D = 800$ 公厘	(61)
表15 圓形截面 $D = 850$ 公厘	(63)
表16 圓形截面 $D = 900$ 公厘	(65)
表17 圓形截面 $D = 950$ 公厘	(67)
表18 圓形截面 $D = 1000$ 公厘	(69)
表19 圓形截面 $D = 1100$ 公厘	(71)
表20 圓形截面 $D = 1250$ 公厘	(73)
表21 圓形截面 $D = 1400$ 公厘	(76)
表22 圓形截面 $D = 1500$ 公厘	(78)
表23 圓形截面 $D = 1600$ 公厘	(80)
表24 圓形截面 $D = 1750$ 公厘	(82)
表25 圓形截面 $D = 1900$ 公厘	(84)
表26 圓形截面 $D = 2000$ 公厘	(85)
表27 圓形截面 $D = 2250$ 公厘	(88)
表28 圓形截面 $D = 2500$ 公厘	(90)
表29 在最大容許充滿度時對圓形截面管道的綜合性表格	(92)
表30 在滿管時對圓形截面管道的綜合性表格	(95)
表31 圓形截面壓力管道的通過能力	(93)
表32 蛋形截面 $B \times H = 200 \times 300$ 公厘	(102)
表33 蛋形截面 $B \times H = 300 \times 450$ 公厘	(104)
表34 蛋形截面 $B \times H = 400 \times 600$ 公厘	(106)
表35 蛋形截面 $B \times H = 500 \times 750$ 公厘	(108)
表36 蛋形截面 $B \times H = 600 \times 900$ 公厘	(110)
表37 蛋形截面 $B \times H = 700 \times 1050$ 公厘	(112)
表38 蛋形截面 $B \times H = 800 \times 1200$ 公厘	(114)
表39 蛋形截面 $B \times H = 900 \times 1350$ 公厘	(116)
表40 蛋形截面 $B \times H = 1000 \times 1500$ 公厘	(118)
表41 蛋形截面 $B \times H = 1100 \times 1650$ 公厘	(120)

表42 蛋形截面 $B \times H = 1200 \times 1800$ 公厘	(123)
表43 蛋形截面 $B \times H = 1300 \times 1950$ 公厘	(125)
表44 蛋形截面 $B \times H = 1400 \times 2100$ 公厘	(127)
表45 蛋形截面 $B \times H = 1500 \times 2250$ 公厘	(129)
表46 在满管时对蛋形截面渠道的综合性表格	(131)
表47 槽形截面 $B \times H = 600 \times 380$ 公厘	(133)
表48 槽形截面 $B \times H = 800 \times 507$ 公厘	(135)
表49 槽形截面 $B \times H = 1000 \times 634$ 公厘	(137)
表50 槽形截面 $B \times H = 1200 \times 761$ 公厘	(139)
表51 槽形截面 $B \times H = 1400 \times 888$ 公厘	(141)
表52 槽形截面 $B \times H = 1600 \times 1014$ 公厘	(143)
表53 槽形截面 $B \times H = 1800 \times 1141$ 公厘	(145)
表54 槽形截面 $B \times H = 2000 \times 1268$ 公厘	(147)
表55 槽形截面 $B \times H = 2200 \times 1395$ 公厘	(149)
表56 槽形截面 $B \times H = 2400 \times 1522$ 公厘	(151)
表57 槽形截面 $B \times H = 2600 \times 1648$ 公厘	(153)
表58 槽形截面 $B \times H = 2800 \times 1775$ 公厘	(155)
表59 槽形截面 $B \times H = 3000 \times 1902$ 公厘	(157)
表60 在满管时对槽形截面渠道的综合性表格	(159)
表61 矩形截面 $B = 200$ 公厘	(161)
表62 矩形截面 $B = 250$ 公厘	(162)
表63 矩形截面 $B = 300$ 公厘	(163)
表64 矩形截面 $B = 350$ 公厘	(165)
表65 矩形截面 $B = 400$ 公厘	(166)
表66 矩形截面 $B = 500$ 公厘	(167)
表67 矩形截面 $B = 600$ 公厘	(169)
表68 矩形截面 $B = 800$ 公厘	(170)
表69 矩形截面 $B = 1000$ 公厘	(172)
表70 矩形截面 $B = 1200$ 公厘	(173)
表71 矩形截面 $B = 1400$ 公厘	(174)
表72 矩形截面 $B = 1600$ 公厘	(176)
表73 矩形截面 $B = 1800$ 公厘	(177)
表74 矩形截面 $B = 2000$ 公厘	(178)

表75 对矩形截面渠道的綜合性表格	(130)
表76 梯形截面 $B = 400$ 公厘, 边坡 $1:1$	(182)
表77 梯形截面 $B = 600$ 公厘, 边坡 $1:1$	(183)
表78 梯形截面 $B = 800$ 公厘, 边坡 $1:1$	(184)
表79 梯形截面 $B = 1000$ 公厘, 边坡 $1:1$	(185)
表80 梯形截面 $B = 1200$ 公厘, 边坡 $1:1$	(188)
表81 梯形截面 $B = 400$ 公厘, 边坡 $1:1.5$	(189)
表82 梯形截面 $B = 600$ 公厘, 边坡 $1:1.5$	(190)
表83 梯形截面 $B = 800$ 公厘, 边坡 $1:1.5$	(192)
表84 梯形截面 $B = 1000$ 公厘, 边坡 $1:1.5$	(193)
表85 梯形截面 $B = 1200$ 公厘, 边坡 $1:1.5$	(194)
表86 梯形截面 $B = 400$ 公厘, 边坡 $1:2$	(195)
表87 梯形截面 $B = 600$ 公厘, 边坡 $1:2$	(197)
表88 梯形截面 $B = 800$ 公厘, 边坡 $1:2$	(198)
表89 梯形截面 $B = 1000$ 公厘, 边坡 $1:2$	(200)
表90 梯形截面 $B = 1200$ 公厘, 边坡 $1:2$	(201)
表91 对梯形截面渠道的綜合性表格	(203)

作 者 序

目前城市排水工程的建造和管理是在現代科学和技术最新成就的基础上进行的。

卫生工程方面的許多專家曾指出，在按污水最小流速的原有公式計算的排水管網中常发生沉渣沉淀現象，特别是在直徑大的管道中。沉渣在管網中发生堵塞，使管理費用大大增加。此外，在居民区清除管網內的沉渣，使居民区的卫生情况恶化。

在不久以前，計算排水管網是按計算給水管網相同的公式进行的，其仅有的差別在于所采用的管道和渠道粗糙系数略高。

众所周知，原有的排水管網計算方法是不考虑污水的物理化学成份的。

實質上，污水和城市給水在物理化学成份方面是有很大差別的。污水是不勻質液体，它含有大量的机械雜質、胶質，因此，和給水相比具有較高的粘滯度。

考虑到这一点，作者从1944年开始借助于已有的管網和試驗設備进行了广泛的試驗，研究了污水沿管道和渠道流动的基本規律性，同时也分析了其他專家們(Б·О博图克、Н·А·馬斯連尼科夫、А·А·卡尔宾斯基等)的研究資料。其結果指出，当污水沿管道和渠道流动时，紊流状态不仅发生于平方区，同时也发生于水力光滑区以及介于上述二者之間的过渡区。

作者于1951年首次建議的排水管網計算新公式考虑了这种情况。此公式可用以进行排水管網的水力計算，它考虑到污水的溫度、污水中所含悬游物量和粘滯度。

此公式已列入新的“居民区排水工程設計标准及技术规范”ННТУ141-56中，在此以前，曾經由工程技术界和科学界人士进行了广泛的討論。

公式曾于1954年列入設計标准及技术规范的草案〔8〕中，并分发以征求苏联各机关和專家們的意見。

考慮到这一种情况，即按作者公式所編制的計算表較設計标准及技术规范 ННТУ141-56 出版要迟一些，因此在設計标准及技术规范 ННТУ141-56 中仍将 Н·Н·巴甫洛夫斯基公式保留，按照 Н·Н·巴甫洛夫斯基公式編有計算表格，同时該公式适用于紊流平方区內的計算，即适用于較大的設計流速。

作者对科学技术副博士 Л·Е·沃尔科夫創造性地参加表格編制工作并在此項工作中付出的巨大劳动表示深切的感謝。

有关本書的批評和意見請寄至下列地址：Москва К—12, Ипатьевский пер., 14, Издательство Министерства коммунального хозяйства РСФСР.

一、在排水管網中污水的流动状态

液体流动时的两种状态

当液体沿管道和渠道流动时水力摩阻的研究表明, 能量损失(水头损失)主要取决于液体颗粒的性状。液体颗粒流动可分二种。当液体流动并不呈现能使水流颗粒混合的流速发生脉动时称为层流(俄文字 ламинарный 来自拉丁字 lamina, 即“层”的意思)。反之, 当液体流动具有使水流颗粒混合的流速发生脉动时称为紊流(俄文字 турбулентный 来自拉丁字 turbulentus, 即“混乱”的意思)。

研究结果指出, 液体流速在不同的流动状态下对水头损失发生不同的影响(图1)。

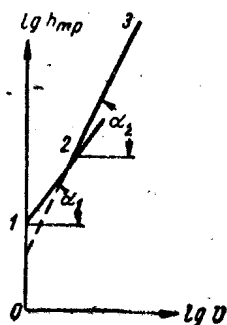


图1 $\lg h_{mp}$ 和 $\lg v$ 的关系图

水头损失可用下式表示:

$$h_{mp} = b \cdot v^m \quad (1)$$

式中: b ——考虑到管道大小、管壁性质和污水种类的系数;
 m ——考虑到液体流速(v)对能量损失($m = \operatorname{tg} \alpha$)影响的幂次。

当层流时(线段 1—2, $\alpha_1 = 45^\circ$)沿程水头损失和速度的一次幂($m=1$)成比例。

当紊流时(线段 2—3, $\alpha_2 > 45^\circ$)幂数 m 变化于 1.75—2.0 的范围内。

众所周知, 无因次的雷诺数(Re)用以表示水流状态的特征, 圆管的雷诺数可用下式表示:

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} \quad (2)$$

式中: v ——液体流速;

d ——管徑;

ν ——运动粘滯系数。

研究清水流动的结果表明, 当没有扰动条件时, 若 Re 小于 2320, 流动状态将为层流, 而当 Re 大于 2320 时, 则为紊流。

此数相当于摩阻系数 λ 值

$$\lambda = \frac{64}{Re} = \frac{64}{2320} = 0.0276 \quad (3)$$

相当于系数 C

$$C = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}} = \sqrt{\frac{8 \times 9.81}{0.0276}} = 53.2 \quad (4)$$

因此, 在临界速度、直径和运动粘滯系数之间的关系以公制表示时可用下式:

$$v_{kp} = \frac{2320 \cdot \nu}{d} \quad (5)$$

由公式(2)和(5)得出, 当液体流速较小时发生层流状态。层流状态对于排水管网的水力计算并不具有实际意义, 因此层流状态的规律性下面不再论及。

均匀流和不均匀流

流体在管道和渠道内的流动可分为均匀流和不均匀流。

均匀流——当水流在管渠沿程流动时, 其平均流速不变者称为均匀流。均匀流发生于下列情况下:

1. 流量不变 ($Q = \text{常数}$), 管道横截面不变 ($\omega = \text{常数}$), 当无压力流时和管渠底坡相等的水力坡降不变 ($I = i = \text{常数}$) 以及在压力流起点的压力不变 ($p = \text{常数}$);
2. 管渠沿程及横截面的湿润周的粗糙度相同;
3. 没有局部摩阻。

不均匀流——在管渠的各断面上水流的平均速度不等时称为不均匀流。

目前，排水管網的水力計算根据液体均匀紊流状态的公式进行。

压力流和无压力流

当污水沿排水管網流动时可分为无压力流和压力流。

当压力流时仅有硬壁作为水流的縱向边界，水流在压力作用下流动。

无压力流仅部分縱（横）向边界由硬壁組成，其他部分则为具有一些压力的自由表面。

在自流排水管網中此压力通常为大气压力。

在排水管網中污水的流动条件

一些專家們（A·A·卡尔宾斯基、H·Φ·費多洛夫等）曾对已有排水管網的污水流动情况进行过研究，結果指出，在管網内发生者为不均匀流。在无压力（自流）排水管網中形成污水不均匀流的主要原因如下：

1. 轉弯、坡度和直徑常常改变；
2. 側面接綫和跌水；
3. 施工中的缺点和随后产生的变化（沉陷、生草等）。

此外，在排水管網中常沉有大块物質（礫石、碎石等），这些物質促使不均匀流的形成。

上面已經談到，排水管網的水力計算是按均匀流公式进行的。这种方法是可采用的，因为在目前尚未具有其他实际可行的計算方法。由于局部摩阻（跌水、轉弯、側面接綫）使管網内形成极大的不均匀流，因此对局部摩阻应首先予以考虑。

在污水設計流速范圍内，在光滑区、粗糙区以及介于上述二者之間的过渡区均有紊流，正如目前所考虑的不仅在粗糙区内才有紊流。

二、对紊流的新观点

最近几十年来各国学者（普兰德里、卡尔曼、尼庫拉德节、M·A·維里卡諾夫、A·H·柯尔莫戈罗夫等）在研究紊流的問題上有着卓越的貢獻。在紊流的结构和性質方面出現了新的观点。可是这个問題的許多基本原理到目前为止仍建立在假定的基础上。

众所周知，在紊流中由于液体顆粒經常混合的結果，使各层之間发生流动量的变换，这种变换消費很多轉为热的动能。

考虑到液体粘滯度的影响，总应力将为下式：

$$\tau = \mu' \frac{du}{dy} + \rho \cdot l^2 \left(\frac{du}{dy} \right)^2 \quad (6)$$

式中： τ —— 切应力；

ρ —— 液体的密度；

$\frac{du}{dy}$ —— 流速梯度；

μ' —— 紊流系数或称虛粘滯度。

由公式（6）得出：

1. 当液体为层流时，上列等式右面的第二項等于零。此时切应力將符合牛頓定律：

$$\tau = \mu' \left(\frac{du}{dy} \right) \quad (7)$$

由公式（7）可見切应力仅由粘滯度确定，而摩阻則和水流平均速度的一次幂成比例；

2. 当液体为具有較大雷诺数的紊流时，公式（6）右面的第二項較第一項大許多倍，因此粘滯度实际上可以略而不計。

此时切应力由第二項决定，同时摩阻与速度的平方成比例。在这种情况下称为摩阻平方定律（粗糙管）。

除上述二种流动形式外，还有过渡区，在过渡区切应力由粘滞度和引起水流中流动量变换的附加应力来确定。在这种情况下摩擦将和水流速度的1.75—2.0次幂成比例。

根据普兰德里的理论，当紊流时在管壁附近有带有层流的极薄层(σ_A)，此层有时称之为层流层。

由图2可以看出，在紊流中有紊流核和围绕紊流核的层流层。在液体流速较小(或雷诺数 Re 较小)的情况下，当层流层的厚度大于管壁粗糙度突出高度时，该种管道在水力学上称为光滑管($\sigma_A > \Delta$)。

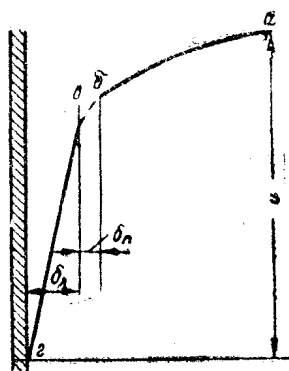


图2 普兰德里理论

在这种情况下管道的粗糙度对于流动不发生任何影响。

层流层随雷诺数 Re 的加大(即随水流速度的加大)而减小，及当管壁粗糙度突出高度全部露出时，该种管道称为粗糙管($\sigma_A < \Delta$)。此时在突出部分附近将出现水束分离现象和形成漩涡。这些漩涡激烈地促成紊流扰动，因而导致摩擦增大。

在粗糙管中摩擦系数 λ 为相对粗糙度 $\frac{\Delta}{r}$ 的函数。

在光滑管和粗糙管的中間地区称为过渡区。在过渡区内层流层的厚度大约与管壁粗糙度突出高度相等($\sigma_A = \Delta$)，摩擦系数 λ 则取决于粘滞度和相对粗糙度。

如果在编制公式时对紊流状态的不同地区和不同材料的管道分别予以进行，这将使公式多样化并导致生产者(工程师、设计人员)在选择合理的公式时发生极大困难，同时也使计算复杂化。因此，适宜编制通用公式。

三、新的研究和計算公式

应用于計算的公式

根据排水管網的計算具有下列二个基本公式:

均衡流量

$$Q = \omega \cdot v \quad (8)$$

和水流速度 (舍吉公式)

$$v = C \sqrt{R \cdot I} \quad (9)$$

式中: Q ——液体流量;

ω ——水流断面面积;

v ——平均流速;

R ——水力半徑;

I ——水力坡降;

C ——摩阻系数。

摩阻系数值(舍吉) C 在苏联排水管網計算实践中根据H·H·巴甫洛夫斯基公式(10)确定。H·H·巴甫洛夫斯基公式仅对粗糙管,換言之,仅对紊流状态的摩阻平方定律才是正确的。

$$C = \frac{1}{n} R^y \quad (10)$$

式中: y ——变数, 它取决于水力半徑 R 和粗糙系数 n 。幂数 y 系根据H·H·巴甫洛夫斯基的建議按下式計算:

$$y = 2.5 \sqrt{n} - 0.13 - 0.75 \sqrt{R} (n - 0.10) \quad (11)$$

为了便于按照H·H·巴甫洛夫斯基公式計算起見, 編制了在苏联計算实践中广泛使用的有关計算表格(7.3)。H·H·巴甫洛夫斯基公式适用于水力半徑值較大的范圍內, 同时在与其它公式

相比較时还具有下列优越性，該公式的結構便于在計算时由一个粗糙系数 n 变为另一个粗糙系数，換算时只需引用附加乘数即可。

某些其他作者的具有代表性的公式，特别是在目前許多国家广泛使用的曼宁公式是 H·H·巴甫洛夫斯基公式的一个特殊情况。曼宁公式的形式如下：

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6} \quad (12)$$

当液体沿管槽流动时，对于确定能量损失的各种实验資料和公式进行分析的最完善的方法是編制摩阻系数 λ 和雷诺数 (Re) 之間的无因次通用图表：

$$\lg 100 \lambda = f(\lg \text{Re}) \quad (13)$$

采用这个关系式是因为 λ 代入达而西公式 (14) 对于液体在任何流动状态下都是正确的：

$$I = \frac{h_{mp}}{l} = \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} = \frac{\lambda}{4R} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (14)$$

C 和 λ 之間具有下列关系式：

$$C = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}}$$

若将此式代入公式 (14)，則得：

$$I = \frac{v^2}{C^2 \cdot R}$$

即为前面介紹过的、但以另一种方式表示的舍吉公式 (9)。

众所周知，系数 λ 为无因次数值，这就是它的优点之一，而系数 C 是具有因次的 (公尺^{1/2}/秒^①)。

新的研究及其分析

用以确定系数 C 的舍吉公式和其他許多公式是“旧的”經驗公式。这些公式在許多專門的著作 [2.4] 中已进行过分析。图 3 为按 Г·П·扎克 [4] 所完成的研究工作而得出的关系式 $C = f(R)$ 的图表。

① 原書誤为公尺^{1/2}/2秒——譯者注。

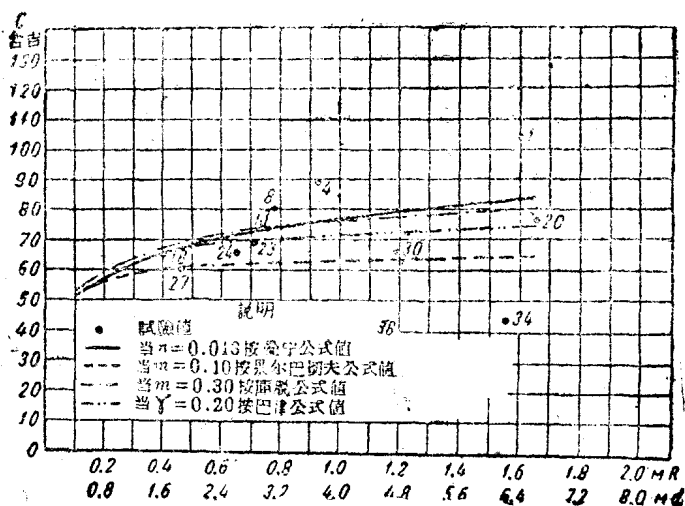


图 3 关系式 $C=f(R)$ 的图表

达而西-维斯巴赫公式和确定系数值 λ 的“新的”公式是在紊流問題新的研究基础上得出的半經驗公式。

图 4 所示为尼庫拉德节在均匀顆粒粗糙度的管道試驗中所得的結果。

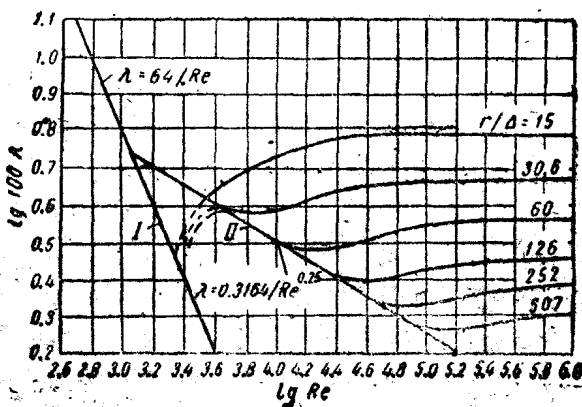


图 4 系数 λ 和 Re 数值的关系