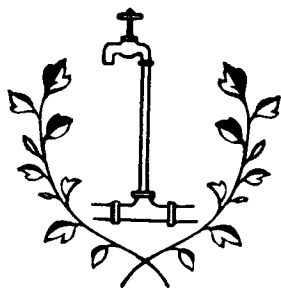


保持自來水管 輸水能力的措施



A·Γ·卡梅尔什建 著

建 筑 工 程 出 版 社

保持自來水管輸水能力的措施

伯 平、慧 善 譯

建筑工程出版社出版

• 1957 •

內容提要 本書闡明水的物理和化學性質對管道輸水能力的影響，指出造成自來水管堵塞的原因和保持根據水力計算所規定的管道輸水能力的措施。

本書可供從事工業和公用給水設計、施工和管理的工程師及技術人員參考之用。

原本說明

書名 МЕРОПРИЯТИЯ ПО СОХРАНЕНИЮ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ВОДОПРОВОДНЫХ ТРУБ

著者 А. Г. Камерштейн

出版者 Государственное издательство строительной литературы

出版地点及年份 Москва—1950

保持自來水管輸水能力的措施

伯平、慧善譯

*

建筑工程出版社出版（北京市阜成門外西便門外）

（北京市書刊出版業營業許可證出字第052號）

建筑工程出版社印刷廠印刷·新華書店發行

書號 609 75 千字 787×1092 $\frac{1}{32}$ 印張 $8\frac{15}{16}$

1957年11月第1版 1957年11月第1次印刷

印數 1—1,350 冊 定價（11）0.80 元

目 录

序 言	5
第一章 輸水管和給水管網輸水能力降低的征象	6
第二章 管道內表面粗糙度对輸水能力的影晌	12
第三章 管道的輸水能力和其使用年限	17
第四章 管道堵塞的結果	19
第一節 輸水管和給水管網的正常工作受到損害	19
第二節 增加水泵能力的必要性	19
第三節 輸水的水質变坏	22
第五章 管道內沉淀物的性質	23
第六章 形成沉淀物的原因	26
第一節 由于碳酸鈣的沉澱管道內形成水垢	27
第二節 由于水对管道內表面的侵蝕作用而形成沉 澱物	34
第三節 当輸送含鉄量高的水时的管道堵塞	40
第四節 管道的生物性堵塞	42
第七章 确定天然水的稳定性	49
第八章 輸送水的質量对管道中沉淀物性質的 影晌	56
第九章 管道輸水能力降低的計算	70
第十章 恢复管道的輸水能力	76
第一節 冲洗管道	76
第二節 管道的机械清洗	80
第三節 管道的化学清洗	88

第十一章	保持管道輸水能力的預防措施	93
第一節	水的穩定處理(酸化與鹼化)	93
第二節	水的磷化	104
第三節	管道的內表面防腐層	110
第四節	水的氯化	113
第十二章	在工業和公用給水系統中 水穩定處理的經濟合理性	118

序 言

苏联工业的蓬勃发展以及人民物质福利和文化水平的提高,引起需要铺设数千公里新的输水管和给水管网。如同研究所指出的,在许多给水系统内,管道的实际输水能力随着时间而降低,这样就造成电力的过多消耗、供水量的减少和管道使用期间的缩短,致使国民经济遭受到重大的损失。这也这就要求铺设新的自来水管线,以及造成消耗过多的金属,因此需要增加大量的费用。

因为输水管和给水管网的价值占全部给水系统的50~80%,如果能实现消除现有自来水管输水能力的降低的措施,就可以在許多情况下不用增加大量的费用。本书就是要阐明这个非常现实的问题。

管道输水能力的降低是由于在管道内表面上形成不同的沉淀物,这些沉淀物增加了管壁的粗糙度,这样也增加了管道的水力阻力。

本书叙述造成管道内沉淀的原因,并阐明输送水的物理化学性质和管道内沉淀物特性间的关系。在分析这个关系的基础上找出主要的原因,根据这些原因,可以在设计给水系统的过程中,就能确定在使用该给水水源时管道中水力阻力的增加情况。

此外,本书还说明保证保持管道输水能力的一些主要措施。

第一章 輸水管和給水管網輸水能力降低的徵象

自來水廠經營的經驗說明，輸水管和給水管網的輸水能力經常會逐漸降低，因而妨害到正常供水。

觀察一下使用了一定時期的管道，就可以看出，在管道的內表面上結成一些大小形狀不同的凸狀沉淀物，這些沉淀物就增加了管道的水力阻力。

在某些情況下，所結成的沉淀物多到使管道的有效截面大大減少，在給水工程中這種現象叫做管道的“堵塞”。

Л.Ф. 科莫亞金 (Комягин) 對鐵路給水壓力輸水管的研究結果示於表 1，以說明使用 20 年後管道水力阻力增加的情況。

表 1

管徑(公厘)	水頭損失增加的系數		輸水能力的降低 (%)	
		平均:		平均:
100	1.52~2.88	2.35	19~41	35
125	1.35~2.72	1.99	14~39	29
150	1.40~1.82	1.67	16~26	23
200	1.15~1.34	1.29	11~14	12

В.Г. 洛巴契夫 (Лобачев) 教授和技術科學碩士 А.М. 庫庫什金 (Кукушкин) 在測定麥蒂希斯基 (Мытищенский) 市一根用過的輸水管 (直徑為 24 吋) 的水頭損失時，查出在 39 年內這根管道的阻力增加了 0.67 倍。

根據技術科學碩士 М.М. 薩坡日依科夫 (Сапожников)

的資料，在 16 到 35 年內，列寧格勒市配水管網內的某些個別管道的水力阻力差不多增加了 1 倍。

頓巴斯城的一根水管，在使用 10 年以後，由於堵塞其水力阻力增加了 0.6 倍。

作者所進行的研究也證明，工業的和公用的給水管道的水頭損失有着顯著的增加。例如，頓巴斯城一根大的輸水管，其水頭損失在 10 年內增加了 1.5 倍，因而造成電力的大量消耗。

許多研究家由於預見到給水管網有堵塞的可能，都建議採用一些係數來提高計算的水力阻力，這些係數預計到管道在使用時期間水力阻力的增加。

例如，根據達爾西(Дарси)的提議，按他的公式計算出的阻力係數，就以嚴重污染的管道來說，無論管徑的大小如何，都應增加 50%，甚至 100%。其他許多研究家也曾建議加大管道的計算水力阻力，並引用一些他們所推薦的係數。

從逐漸積累起來的一些管道實際水頭損失的實驗資料中，可以反映出這些係數數值上的特點和計算係數的原則。

這些係數可以分為下列三個主要類別：

(1) 給水工程發展的第一階段，就指出了水頭損失的增加和管徑間的關係，也就是說，管道的口徑越小，則使用時的水力阻力就越大于計算出來的結果，這個原則就曾經被一些作者應用於他們所制訂的管道水力阻力修正係數表中。

例如，表 2 就是阿斯特羅夫(Астров)工程師按照管徑所得出的修正係數值。

表 2

管 徑 (公厘)	100	150	300	600	900	1200
水頭損失增加係數	1.45	1.40	1.33	1.28	1.27	1.25

其他的資料說明，中小管徑的修正係數，比上述數值還要大(見表3)。

表 3

管 徑 (公厘)	100	200	400	600	800	1000	1200	1400
水頭損失增加係數	2.00	1.80	1.60	1.40	1.20	1.10	1.06	1.02

1923年，薩穆斯(Самусь)教授建議用下列公式來計算阻力係數 λ ：

$$\lambda = a \left(1 + \frac{0.025}{d} + b \sqrt{d} \right) \quad (1)$$

式中 a 和 b 的數值是隨管道的情況而變的。薩穆斯教授對新管道建議用 $a=0.025$, $b=0.005$ ；而對使用過的管道，則用 $a=0.04$, $b=0.01$ 。根據薩穆斯教授的資料，使用過的管道的阻力係數比新管道大，其增大的數值應符合於表4的規定。

表 4

管子情況	管 徑 (公厘)						
	100	150	200	250	300	400	500
沾污的管子	1.31	1.29	1.32	1.27	1.28	1.30	1.20
舊 管 子	1.81	1.79	1.82	1.77	1.81	1.80	1.75

(2) 進一步的研究確定了管道的水頭損失和使用期間的關係。根據試驗資料，有些作者估計水頭損失每5年約增加15~20%，並建議在計算時，無論管道直徑的大小如何，均應採用適當的係數。

(3) 第三類係數是考慮到管徑及使用期間兩者影響的係數。例如，А.А. 薩特凱維奇(Саткевич)教授在薛齊

(Шесл)公式 $v = C \sqrt{Ri}$ 中采用表5的系数 C 值。

表 5

管子情况	系 數 C 值					
	管徑爲 100 公厘時	管徑爲 250 公厘時	管徑爲 500 公厘時	管徑爲 750 公厘時	管徑爲 1000 公厘時	管徑爲 1250 公厘時
新管.....	21.4	54.4	65.8	68.4	72.4	74.6
使用過5年的舊管...	34.4	47.4	54.6	62.8	65.8	68.6
使用過10年的舊管...	27.0	40.2	51.4	65.8	59.4	62.6
使用過15年的舊管...	12.8	26.6	37.4	42.6	47.0	50.0

薩特凱維奇教授根据对許多公式的分析，以及根据將它和試驗結果所进行的比較，提出了計算系数 C 的一般公式：

$$C = 82.2 - 1.2(2v - n) - \frac{10(7 - v) + 0.4}{4d + 1} \quad (2)$$

式中： v ——水流速度(公尺/秒)；

n ——使用年限；

d ——管道直徑。

在計算管道的使用年限对水头損失增加的影响时，B.Γ. 洛巴契夫教授建議采用他所編制的表(表6)。表內的数值是根据許多試驗的結果計算出来的，將表中涂瀝青面的新鑄鐵管的平均水头損失取为1。

表 6

使用期限	水 頭 損 失 增 加 系 數		
	小口徑水管	大口徑水管	平均數值
新管.....	1.07	0.93	1.00
5年.....	1.85	1.20	1.49
10年.....	2.63	1.49	1.97
20年.....	4.90	1.85	2.90
30年.....	7.10	2.19	3.80

美国的威廉和赫生 (Вильямс и Хазен) 也曾编制过类似的水力阻力增加系数表(表 7)。

表 7

管径 (公厘)	使 用 年 限					
	5	10	20	30	40	50
100	1.21	1.48	2.13	3.01	4.13	5.59
200	1.19	1.42	1.95	2.45	3.17	4.00
300	1.17	1.37	1.83	2.29	2.85	3.45
400	1.17	1.35	1.76	2.23	2.64	3.26
600	1.17	1.32	1.69	2.13	2.53	3.09
750	1.17	1.32	1.69	2.09	2.45	2.93
900	1.17	1.32	1.69	2.09	2.45	2.93
1000	1.17	1.32	1.69	2.09	2.45	2.85

1933 年, 特别委员会调查过美国 19 个城市的管道输水能力。这个委员会证明, 所调查过的管道, 都遭受了严重的堵塞, 因而平均直径为 500 公厘的涂沥青面铸铁管, 在使用 30 年后, 其输水能力平均降低 52%。根据威廉和赫生以及这个委员会的资料而绘成的管道输水能力降低曲线, 如图 1 所示。这些曲线说明: 按照委员会的资料, 水管输水能力的降低数值, 比按威廉和赫生的表所计算还要低, 因此, 可以断定, 威廉和赫生所假定的数值应该说是极其乐观的。

这样, 根据上述情况就可以明确下列几点:

(1) 管道在使用过程中的堵塞现象, 使水力阻力显著增加, 并使输水能力大大地减少。

(2) 计算堵塞所推荐的一些修正系数是有很大差别的。例如, 按照洛巴契夫教授的資料, 计算使用了 20 年的水管时, 小口径水管的计算水力阻力增加了 3.9 倍, 平均增加了 1.9 倍; 可是, 按照表 3 的数据, 不管使用年限多长, 水力阻力

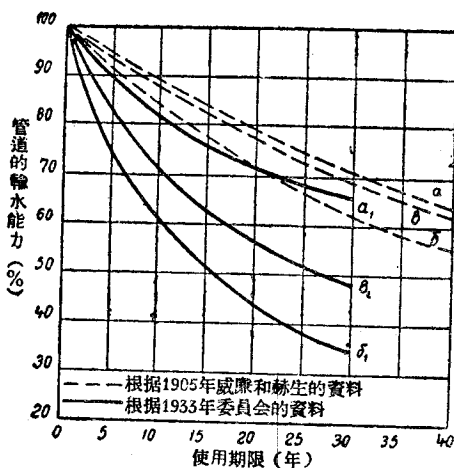


圖 1 管道輸水能力降低曲綫圖

a —直徑400公厘以上的管道； δ —直徑400公厘以下的管道； σ —86根管道的平均值； a_1 —直徑400公厘以上的管道； δ_1 —直徑400公厘以下的管道； σ_1 —473根管道的平均值

些根据可能正确地反映出所調查的管道的实际水头損失；但是，如果沒有找到加大水头損失的这个复杂現象的原因實質，就机械地把所得数量指标搬到所有的管道設計上去，同时也不考虑到不同的使用条件以及所輸送水的物理化学性質，那就錯誤了。最后应当指出，并不是所有管道都无例外地要受堵塞，而有些給水系統中管道的輸水能力，經過許多年以后並沒有降低。

(3) 不論管道的实际工作条件如何，为了保証管道將來正常的工作，而采用这些系数时，均需要加大管道直徑。

对所有管道來說，不論工作条件怎样，从經濟观点来看，采用一些堵塞的安全系数，在大多数情况下还是完全合理的。

都增加了0.6~1.0倍。薩特凱維奇教授估計直徑为500公厘水管使用20年后的輸水能力降低43%，而威廉和赫生却估計为23%。这些差別說明，以上作者用輸送含有各种化学成分的水在不同城市、不同国家和不同使用条件下的管道，来进行自己的观察或用来做为水头損失的根据。这

第二章 管道內表面粗糙度对輸水能力的影响

管道內表面的情况对水力阻力有重大的影响。粗糙面的凸起部分,能增加水紊流运动的混乱性,并造成漩渦和間断表面等,因而增加了管道的水力阻力。

紊流与层流不同,在紊流状态中局部的流速比平均流速的增減变化快。这个現象說明,紊流状态中液体的个别部分,是靠所謂“位移”过程从一层移到另一层的。

紊流状态中液体的摩擦应力,可以用下列的方程式表示:

$$\tau = \mu \frac{d\bar{U}}{dy} + \rho l^2 \left(\frac{d\bar{U}}{dy} \right)^2 \quad (3)$$

式中: τ ——摩擦应力;

μ ——粘性系数;

ρ ——密度;

$\frac{d\bar{U}}{dy}$ ——平均流速坡度;

l ——移动路程長度。

公式 3 說明层流状态的液体流动中沒有“位移”,也就是說,移动路程長度 $l=0$ 时,摩擦应力就和粘性系数及速度的一次微分成正比。紊流状态的特点,是雷諾尔德斯(Рейнольдс)系数大和移动路程長,因而公式 3 的第 2 項数值大,而第 1 項粘滯应力却可以省略不計。所以,紊流状态下的管道水力阻力,要比层流状态大許多倍。

很显然,在相当粗糙的管道中,其水力阻力系数,可用下

列方程式來計算：

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = A + B \lg \frac{r}{k} \quad (4)$$

式中：A及B——根據粗糙度而定的係數，也就是說，根據管道內表面上凸出部分的形狀、相互位置和結度而定；

r——是管道半徑；

k——是粗糙面的凸出高度。

尼庫拉澤 (Никурдзе) 曾用實驗來確定A和B兩係數的數值，實驗時，在管道內表面上撒下同樣大小的砂粒，以造成人工的粗糙管壁，這樣就可以得到完全均勻的粗糙度。

尼庫拉澤在25到100公厘的管子上，分別利用0.1到1公厘的砂粒做實驗，相當於粗糙度：

$$\varepsilon = \frac{1}{15}; \frac{1}{30.6}; \frac{1}{60}; \frac{1}{126}; \frac{1}{252} \text{ 和 } \frac{1}{507}$$

雷諾爾德斯係數的數值是介於4,000和1,000,000之間。

實驗結果見圖2，從圖2可以看出，層流狀態中的阻力係數λ是條直線1，且和管道粗糙度無關。而後，當雷諾爾德斯係數在2,000 (lg Re=3.3) 到3,200 (lg Re=3.5) 之間時，也就是從層流轉為紊流時，所有粗糙度數值的實驗點都相當密。當雷諾爾德斯係數再大時，液體流動即變成紊流，且阻力係數隨粗糙度和雷諾爾德斯係數而變化。最後，當雷諾爾德斯係數在40,000 (lg Re=4.6) 以上時，阻力係數就不再有變化了，此和雷諾爾德斯係數值無關。從這點起就開始是平方區域；粗糙度愈大，則平方區域就在雷諾爾德斯係數愈小時開始。

除了 $\frac{r}{k} = 15$ 和 30.6 兩個情形以外，曲線上所有的點，都集中在布拉齊烏斯 (Блазиус) 直線的一邊(II)，這條直線代

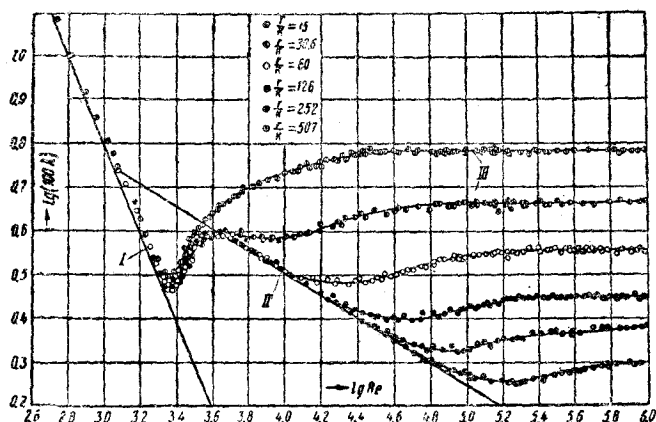


圖 2 尼庫拉澤實驗的阻力系数 λ 与雷諾尔德斯系数及管道粗糙度关系图

I. 層流; II. 紊流——光滑水管(布拉齊烏斯式直線); III. 紊流——粗糙水管

表光滑水管內的阻力規律。這說明管內粗糙面的凸出部分等于盖上层流层,也就是說,在這種情況下,从水力观点来看,粗面的管道可以說是光滑的。

根据實驗結果,尼庫拉澤得出公式 4 的系数值: $A=1.74$;

$$B=2.0。因而 \frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 1.74 + 2 \lg \frac{r}{k} \quad (5)$$

公式 5 仅指均匀的粗糙度而言,而不适合于其他类的粗糙度。

进一步研究的目的,是要研究粗糙面凸起的形狀和其相互位置对管道水力阻力的影响。已經查明,粗面密度增加到一定限度以前,系数值 λ 也随着增加;超过这个限度时,則 λ 將开始降低。

如果以 F_1 表示所研究管表面上的全部粗糙凸出部的投

影面积,以 F_2 表示表面面积,則当 $\frac{F_1}{F_2} = 0.4$ 时,球形凸起部的粗糙度 λ 值为最大。

作者对使用中的鑄鉄管和鋼管的水力阻力进行了研究,研究結果也說明,在使用的头几年(3~6年)当中,水力阻力的增長比后几年快。这可以用下面的現象來說明:在使用期的头一阶段中,管內的沉淀物形成許多單个的凸起物。以后,凸起物的数量增加到这样程度,使管的內表面都被它蒙盖起来,因而管道中的水力阻力的增加并不大。

实际上,不論新管道或使用中的管道,都有各种不同的粗糙度,和尼庫拉澤所試驗的等粒狀的粗糙度并不一致。因此,为了对管道粗糙度做出評价,应该采用“相当粗糙度”这个概念。公式5中的粗糙度数值,就作为“相当粗糙度”,此时,該管道的系数 λ 在平方区域里和实际的粗糙度数相等。

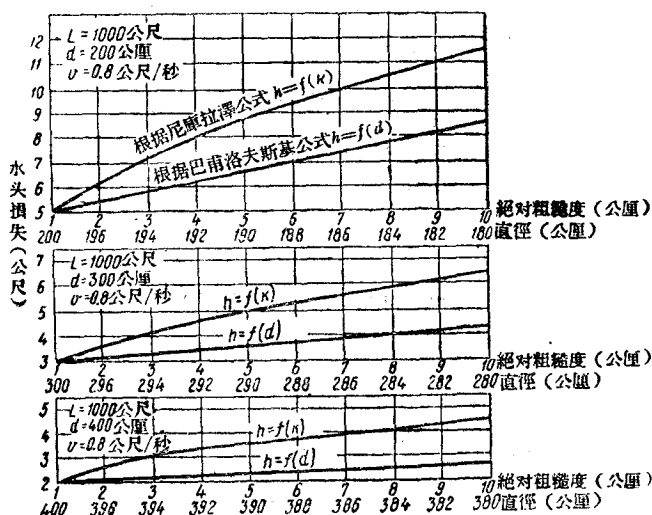


圖 3 粗糙度增加及管徑减小 2λ 时,管道水头損失增加的曲綫图

管壁粗糙时，管道中的水力阻力，比管道直径减小 $2k$ 时增加得多，从图 3 中可看出，上面的曲线，是表示由于粗糙度的增加（根据尼库拉泽公式）而造成的水头损失；下面的曲线，是表示由于管道直径减小（根据巴甫洛夫斯基〔Павловский〕公式）而造成的水头损失。

如果系数 $C = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}}$ ^①，同时將下式粗糙水管的 λ 值代替 λ ：

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \lg \frac{3.7D}{k} \quad (6)$$

則薛齐公式中的系数 C 可写成：

$$C = 2\sqrt{8g} \lg \frac{3.7D}{k} \quad (7)$$

当管道直径自 D_0 加大到 D_1 ，而粗糙度自 k_0 增加到 k_1 时，薛齐公式中的系数 C 就变成：

$$C_0 - C_1 = 2\sqrt{8g} \left(\lg \frac{3.7D_0}{k_0} - \lg \frac{3.7D_1}{k_1} \right) \quad (8)$$

如果粗糙度增加而管径不变时，依据公式 8 可以写成：

$$C_0 - C_1 = 17.7 \lg \frac{k}{k_0} \quad (9)$$

反过来说，如果粗糙度不变而管径减小时，依据公式 8 則写成：

$$C_0 - C_1 = 17.7 \lg \frac{D_0}{D_1} \quad (10)$$

下面再举一个例子，即計算一根 $D=500$ 公厘的輸水管輸水能力的降低数值，計算的条件是：1) 当絕對粗糙度自 $k_0=0.5$ 公厘增加到 $k_1=5$ 公厘时；2) 当直径自 $D_0=500$ 公厘减小到 $D_1=490$ 公厘，且 k 值不变时。

^① Н. И. 阿格羅斯基 (Агроский) “水力學”，國立動力出版社，1944 年俄文版，第 60 頁。