

成都工學院圖書館

351125

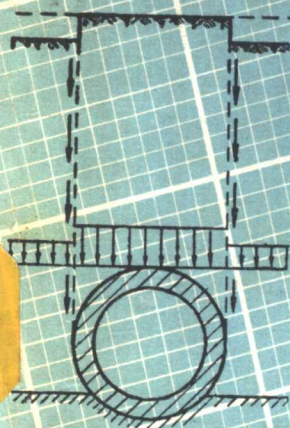
基本館藏

地下管計算

修訂版

〔苏联〕Г·К·克列恩著

金吾譯



9
6.2
中国工业出版社

地 下 管 計 算

修 訂 版

〔苏联〕Г·К·克列恩著

金 吾 譯

中 国 工 业 出 版 社

本书論述了各种材料的地下管的基本計算問題，并研究了各种荷重的作用、埋管方式的影响等。

本书与第一版（建筑工程出版社，1957年）比較，除对原有許多內容作了重大修改外，并更为詳尽地闡述了根据苏联新的建筑法規所拟定的按极限状态計算管的方法；补充研究了考虑材料塑性和把管子当作空間薄壳的計算方法，以及拼装式管、預应力鋼筋混凝土管和柔性網紋管的計算方法，还研究了在荷重作用下及形成真空的情况下，按第一类和第二类稳定性計算薄壁鋼管的方法等等。此外，还列举了更多的例题來說明各种計算公式的使用方法。

本书可供从事各种地下管道設計的工程技术人員参考。

Г. К. Клейн
**РАСЧЕТ ТРУБ,
УЛОЖЕННЫХ В ЗЕМЛЕ**
ГОССТРОЙИЗДАТ
МОСКВА—1957 (第二版)

地 下 管 道 計 算
訂 版
吾 譯

建筑工程部編輯（北京西便門外大街）

中国工业出版社出版（北京德勝門外大街10号）

（北京市书刊出版业許可証出字第110号）

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ ·印张 $6\frac{1}{16}$ ·字数156,000

1964年3月北京第一版·1964年3月北京第一次印刷

印数0001—4,361·定价（科六）1.00元

統一书号：15165·2853（建工-355）

目 录

第一章 地下管的工作情况及其按极限状态计算原理	1
1. 地下管的工作情况	1
2. 按极限状态计算管的原理	5
第二章 作用于地下管上的外力	10
1. 管自重和管内液体压力	10
2. 沟埋式管上土压力	12
3. 上埋式管上土压力	25
4. 采用无沟埋管法时管上土压力	38
5. 地面上静荷重的作用	45
6. 地下管上活荷重的动力作用	56
7. 刚性管的支点反力	65
第三章 刚性管管壁中的内力	73
1. 弹性阶段中闭合薄环的计算	73
2. 考虑材料塑性时闭合圆环的计算	87
3. 将全部荷重换算为两个集中力的计算	92
4. 刚性拼合管及沟渠的计算	97
5. 管横断面的合理形状	101
第四章 管横断面的变形和柔性管的内力	107
1. 弹性极限内管横断面的变形	107
2. 管横断面的弹-塑性变形	111
3. 在内部均匀压力作用下圆管横断面变形的减小。 圆管横断面最初略呈非圆形的影响	115
4. 管四周土的抗力影响	118
5. 拼装式铰接管管的计算	126
6. 管壁的稳定性	131
第五章 导管在纵向上的工作情况	134
1. 地面上荷重引起的纵向内力的计算	134

2. 温度影响	135
3. 压力管转弯处的液体压力	136
4. 在地震作用下导管内所产生的内力	137
5. 用大开槽法埋管时导管内所产生的内力	139
6. 采用无沟埋管法时导管中所产生的内力	142
7. 按一空间闭合壳体来计算导管	145
8. 导管的复杂应力状态	149
第六章 各种材料管壁断面的计算	151
1. 钢管	151
2. 铸铁管	162
3. 砖砌管 (沟道)	163
4. 混凝土管	164
5. 钢筋混凝土管	165
6. 预应力钢筋混凝土管	174
7. 木管	180
8. 根据机械试验资料计算管的承载力	182
参考文献	187

第一章 地下管的工作情况及其按极限 状态計算原理

1. 地下管的工作情况

牽涉面較广而且复杂的地下管計算問題，早就引起許多研究者的注意，他們对此做过許多工作并确定了許多不同的計算方法。这个問題的复杂性在于影响管荷重的分布及大小的因素太多，同时影响管子承载力的因素也太多。

与地上結構不同，地下結構物，特別是地下管的計算图解必須要能反映出这种結構物与其周围回填土的相互作用。管的回填土不只是荷重，而且也是管在其中发生变形的一种介质。

假若管在橫向上具有很大的刚性，則这种介质就变成支座，其反力即平衡荷重。反之，若管子富于柔性，則在主压力作用下而变形时，其管壁将遇到土的抗力。因此，其变形和弯矩均大大减小，而管的承载力即增加。

回填土愈密实，管的刚性愈小，这种因素的影响就愈显著，而管的刚性乃决定于管壁材料的弹性模数、管壁厚度、管横断面的大小及型式等。由此就有可能将管依其刚性分成两大类：

1) **刚性管** 計算这类管时，可将其变形忽略不計，也就是說把管視為絕對刚性的，这在实际上已足够精确。

2) **柔性管** 对于这类管，如果不計变形将得出不容許的粗略結果，甚或是完全錯誤的結果。

在大多数情况下，各种尺寸的混凝土管、石棉水泥管、鑄鉄管以及中、小型鋼筋混凝土管均屬於刚性管；而各种尺寸的鋼管和大型鋼筋混凝土管，則屬於柔性管。

除这样划分以外，管尚可分为：

1) 脆性管——鑄鐵管，混凝土管，石棉水泥管，陶質管，磚砌管等等。

2) 塑性管——鋼管和鋼筋混凝土管。

大家已熟知，脆性材料在變形不很大時也會突然損壞。通常，脆性材料在抵抗拉力和沖擊方面是不好的，並且對於局部應力非常敏感。

塑性材料則沒有這些缺點。

除此以外，在各個試樣中，脆性材料機械性質的變化範圍，要比塑性材料大得多。

塑性材料管的強度計算，可以考慮由於塑性變形所引起的應力再分布。對於脆性管，這樣做是不可能的。

從回填土傳給管的壓力——在很多情況下是主要荷重，不是在回填之後立刻達到最大值的，而是在過一、二年之後。壓力的大小決定於管在土中的埋設方法。埋設方法可分為下列三種基本情況：

1) 溝埋式：管埋設於大開槽中，這種槽的寬度不大（與其深相比），兩壁比較堅實。管上及管兩旁的空間均填以回填土（圖1）。一般上水道、下水道干管等即如此埋設。槽底寬度（不算支撐）可根據表1採用①。

表 1. 槽 底 寬 度

埋 管 方 法	各 種 管 道 的 槽 寬 (米)		
	鋼管及鑄鐵管	混 凝 土 及 鋼 筋 混 凝 土 管 (承 插 口), 陶 土 管	混 凝 土 及 鋼 筋 混 凝 土 管 (法 蘭 接 頭) 和 套 管 接 頭
整段或單節埋設，不分內徑 D_0 大小	$D_0 + 0.3$		
單節埋設，管內徑 D_0 在0.5米以下者	$D_0 + 0.5$	$D_0 + 0.6$	$D_0 + 0.8$
單節埋設，管內徑 D_0 在0.5米以上者	$D_0 + 0.8$	$D_0 + 1.0$	$D_0 + 1.2$

● Строительные нормы и правила, ч. IV, т. I, стр. 94, Гос. издательство литературы по строительству и архитектуре, 1955.

边坡可根据土壤及开槽方法采用。

2) 上埋式：管直接埋設在地面上或埋設于浅壕中（其深度与宽度相比很小），在管上堆土（图2）。經常遇到的这种情况是道路工程中的涵洞。

3) 隧道法：不用从地表破坏土的块体（图3）。此法不仅在隧道工程中采用，而且埋管时也常采用。

埋管深度应根据热工計算来决定。

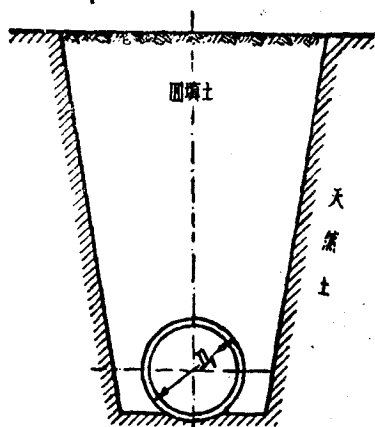


图1 沟埋式管

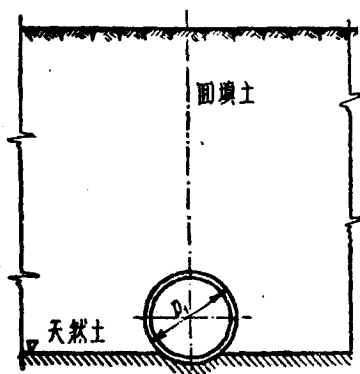


图2 上埋式管

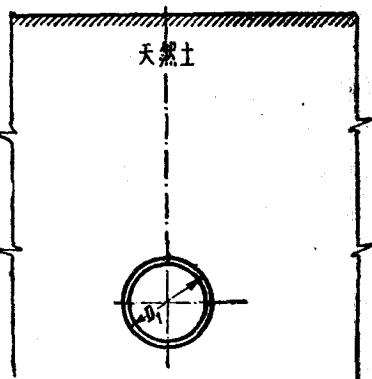


图3 隧道法埋管

自地面至下水道管（未加保温的）管頂的最小埋設深度規定如下：管径 $D < 600$ 毫米者——冰冻深度以上0.3米，但不得

● Нормы и технические Условия проектирования наружной канализации промышленных предприятий и поселков при них (НитУ 12-49), Стройиздат, 1949.

小于1米；管径 $D > 600$ 毫米者——冰冻深度以上0.5米，但亦不得小于1米。

在保证管子不受交通工具机械损伤的条件下，埋设深度可以小于1米。

地震区上水管道的埋管深度不得小于（至管底）：

9级地震区	1.75米
7~8级地震区	1.50米

在厚达3米及3米以上的大块碎石、已经密实的砾石及粗砂中，上述深度可以减少20~25%。在岩石中埋管深度没有规定。

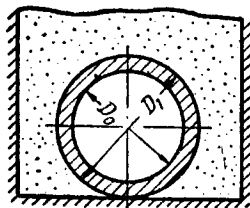


图4 素土平基

在基础上安管的方法对管的承载力有极大的影响。埋管时，可采用下列安管型式：

1) 素土平基：在这种情况下，管直接被安放在平基上（图4）；可惜这种常采用的安管方式是不适当的，因为它会给管的工作造成很不利的条件，特别是脆性管。

2) 标准安管法（图5）：管埋设在砂土及砂砾土壤的天然地基或垫土上，其表面不小于 $0.6D_1$ （管外径）宽，并随管外形作成弧形。管其余部分用土回填，并至少夯实至管顶以上15厘米。

在所有的干燥土壤中（岩石例外）埋设下列各种管时，均采用此法：各种管径的金属管及石棉水泥管，450毫米以下的陶土管及瀝青混凝土管，450毫米以下的混凝土管及钢筋混凝土管，以及600毫米以下的混凝土管和钢筋混凝土管。

若在管下填上0.15~0.20米的粗砂、卵石或碎石层，则在含水士中，上述各种管也可以采用此法。在干燥的非岩石类土中，在管径上没有什么限制。在砂质土壤中，这层管下填土是不需要的。

3) 刚性基础（图6）：管安放在混凝土或钢筋混凝土的连续支座上，若其下面的地基为松散土壤，则应填充夯实的碎石或卵

石层。

α 角愈大，管将愈处于有利状态。这一点也同样适用于直接在土上安管的标准法。

在基础上安管和前法一样，在所有上述情况下为了减小管的弯矩均可采用。

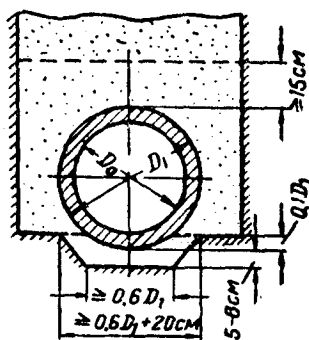


图 5 标准安管法

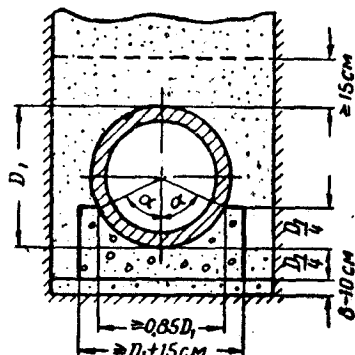


图 6 刚性基础

在下列各种情况下，必须做混凝土基础（或混凝土垫层，厚 0.10~0.15 米，并按管形做成弧状）：岩石地基——各种管径；含水土中埋设陶土管及沥青混凝土管——大于 450 毫米者，埋设混凝土及钢筋混凝土管——大于 600 毫米者。

在流砂及沼泽土壤中，混凝土基础以下应筑钢筋混凝土板地基，下面则设桩基、格床或框架以及夯实碎石上加混凝土枕基等等。

也可能还采用其他安管方式，但均介于上面所列举的几种方法之间，或在性质方面与其略有差别。

2. 按极限状态计算管的原理

根据 1955 年 1 月 1 日付诸实行的建筑法规（СННП），地下管计算也和其他所有的结构物一样，应按极限状态进行计算。此法在苏联是在功勋科学家 В.М. 克勒第士和苏联科学院通讯院士

H·C·斯特瑞列茨基领导下集体研究出来的。

此法的基本特点在于：

1) 规定出结构物工作极限状态的精确的和总的标准，即以结构物不能再满足其所担负的工作要求为准，也就是结构物失去抵抗外力作用的能力，或发生非允许的变形及局部损伤。

2) 规定出三种极限状态：

(1) 失去承载力（失去强度、稳定性或耐久性）；

(2) 特殊变形有所发展；

(3) 形成裂缝或开裂，或者出现其他局部损伤。

3) 统一了不同材料的结构和结构物基础的设计方法；

4) 按承载力计算结构时，计及材料塑性的可能；

5) 以下列三个设计系数来代替按允许应力及破坏荷重所采用的单一安全系数：

(1) **超载系数 n** ——此系数考虑的是荷重超过（个别情况下小于）其标准值的危险性，也就是结构在正常使用情况下的最大允许荷重。因此，设计荷重是由标准荷重乘以超载系数而得到的。

(2) **材料的匀质系数 k** ——此系数考虑的是材料抗力由于材料机械性质的变化而小于标准抗力的危险性；材料的设计抗力是由其标准抗力乘以匀质系数而得到的。材料抗力和匀质系数均应根据建筑法规采用。

(3) **工作条件系数 m** ——此系数为考虑结构工作的特殊性（例如，侵蚀介质及应力集中等影响，脆性破坏的可能性等）；此系数可大于1或小于1。管工作条件系数应依其所用材料按建筑标准与规范采用。

按第一极限状态计算 也就是按承载力计算。在所有情况下均为必要。此法通常是以强度计算为主。

但对于埋设较浅的地下管，若管上地面交通车辆来往频繁，则管将经受反向应力，因而可能在荷重小于静力作用下的破坏荷重时管即破坏，所以，在这种情况下考虑材料动力性质对管进行

耐久性計算則成为必要。

对于可能承受真空作用的薄鋼管，檢驗其抵抗外部大气压力造成扁平的第一类及第二类稳定性是必要的。

按第二极限状态計算 即按变形計算，只是对于大管径的薄鋼管才重要。

按第三极限状态計算 即按形成开裂或裂縫来計算管。对于钢筋混凝土管及干管这是必需的。对于鋼管，当管道断开及其中出現裂縫时，管壁及其接头的整体性发生破坏，应列为第三种极限。

按第一极限状态来計算强度时，实际上是滿足下列条件：

$$M_{расч} \leq M_{np}, \quad (I.1)$$

式中 $M_{расч}$ ——計算荷重在最不利組合情况下总作用的計算力矩（弯曲力矩、核心力矩、偏心力矩等）；

M_{np} ——管壁断面对于弯曲或弯曲并受压的承载力。

也可以直接利用作用于管上的荷重設計条件：

$$P_{расч} \leq P_{np}, \quad (I.2)$$

式中 $P_{расч}$ ——管上計算荷重的总和，为了方便起見可以簡化为两个正相反的集中力；

P_{np} ——在此种負荷下管的承载力，由計算或直接根据机械試驗資料确定。

若按内部或外部均匀压力来計算时，計算条件与压力 p 或法向力 N 的关系采取下列形式：

$$p_{расч} \leq p_{np} \text{ 或 } N_{расч} \leq N_{np}. \quad (I.3)$$

因为管的計算图解是一个超靜定系，所以由計算来确定其承载力时，可采用下列两种方法：

(1) 不考虑由于塑性变形而发生的应力再分布情况，也就是确定弹性阶段的設計弯曲力矩和法向力。对于脆性管这是唯一的方法；但是对于脆性管最好还是用机械試驗来直接确定承载力，因为計算得出的結果不够准确。

(2) 考虑由于塑性变形而发生的应力再分布，也就是按极限

平衡法确定承载力。我們在計算鋼管及无压鋼筋混凝土管时才采用此法。

按第二极限状态計算管，实际上即滿足下列条件：

$$f \leq f_{np}, \quad (1.4)$$

式中 f ——在超载系数等于 1 时，在荷重作用下管鉛直直径的变形（挠度）；

f_{np} ——以不能再繼續使用为条件的管鉛直直径的极限变形（极限挠度）。决定此值应考虑导管用途及其埋设地区。在任何情况下，对于鋼管此值不应超过其直径的 5%。

按第三极限状态計算管不外乎是按形成裂縫驗算管壁，或是确定其开裂寬度。

在第一种情况下，应滿足下列不等式：

$$M \leq M_{rp}, \quad (1.5)$$

式中 M ——管在弹性阶段中标准荷重所产生的力矩；

M_{rp} ——出現裂縫时管壁所承受的极限力矩。

在第二种情况下，設計不等式如下：

$$a \leq a_{rp}, \quad (1.6)$$

式中 a ——标准荷重下的裂縫寬度；

a_{rp} ——决定于导管用途及其工作条件的最大允許裂縫寬度。

按承载力計算管子时，荷重应采用下列各种組合：

(1) 主要組合——由使用时經常发生作用的荷重組成。下列荷重均属于这一类：管自重；經常有水的管道內液体压力（上水道、下水道管等）；土压力；正常水位下的地下水压力；鉄路、公路、街道路口、飞机场或工业場地等处地下管上的地面荷重；导热管的温度影响（热力管）。

(2) 附加組合——由計入不經常发生的作用的主要荷重及非正常使用情况下发生的荷重联合組成。属于非正常情况发生的荷重計有：形成真空时的大气压力；水位急涨时的地下水压力；不

經常有水的管道內的液体压力（排水管、雨水管等）；压力管发生水錘时內压的升高；有交通運輸或堆放材料处的地面上的临时性质的荷重；非导热管的溫度影响。

（3）特殊組合——由計入在意外情况下发生的事故性的作用荷重主要荷重与附加荷重联合組成。

特殊荷重包括：地震，洪水时的水压力等等。

地下管荷重的組合系数，也和所有的結構物一样，应采取：

主要組合.....	1.0
附加組合.....	0.9
特殊組合.....	0.8

第二章 作用于地下管上的外力

1. 管自重和管内液体压力

沿管线分出一段等于单位长度的管，将全部荷重加于其上，

因此在变形方面属于平面问题。

管壁厚度固定的圆管自重即是沿横断面中心线均匀分布并垂直向下作用的荷重（图 7）。

管周单位长度上的荷重为：

$$g_c = \gamma_c h, \quad (\text{I.1})$$

该荷重的合力为：

$$G_c = 2\pi\gamma_c r h, \quad (\text{I.2})$$

式中 γ_c ——制管材料的容重；

r ——管横断面的平均半径；

h ——管壁厚度。

假若管横断面不是圆形的，或管壁厚度不固定，则管自重虽仍保持垂直，但已不再沿其横断面中心线均匀分布。

制管所用各种材料的计算容重列于表 2。

根据建筑法规的基本指示，对于管自重应采取超载系数 $n_c = 1.1$ 。

为了方便起见，管内压力流液体的内压力可分为：

(1) 满流管中无压液体的静水压力（图 8 a）；在圆管中这种液体的重量为：

$$P_0 = \pi\gamma_0 r_0^2, \quad (\text{I.3})$$

式中 r_0 ——管横断面的内半径；

γ_0 ——液体容重，其标准值一般采取：淡水——1吨/米³；

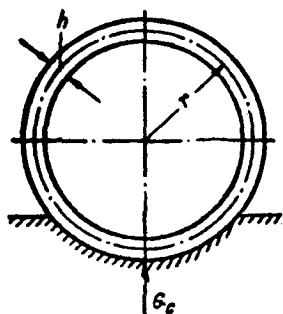


图 7 在自重作用下管的计算图

海水—— 1.03 吨/米^3 ；污水(根据性质)—— $1.01 \sim 1.08 \text{ 吨/米}^3$ ；液体静水压力的超载系数应采用 $n_0 = 1.1$ 。

表 2 制管用各种材料的计算容重

材 料	容 重 (公斤/米 ³)	材 料	容 重 (公斤/米 ³)
鋼	7,850	木材—針叶树类及軟质闊 叶树类(松、杉、柏、 椴)	850
鑄鉄	7,200	木材—硬质闊叶树类(橡、 山毛櫸、樟树、櫟树、 槭树、千金櫸)	1,000
未經振搗的混凝土	2,300		
經過振搗或离心的混凝土	2,400		
未經振搗的鋼筋混凝土	2,400		
經過振搗或离心的鋼筋混凝土	2,500		
磚砌体	1,800		

(2) 均匀压力(图 8δ), 等于頂点压力 p_0 。这个分压力在圆管中仅引起管壁拉伸。

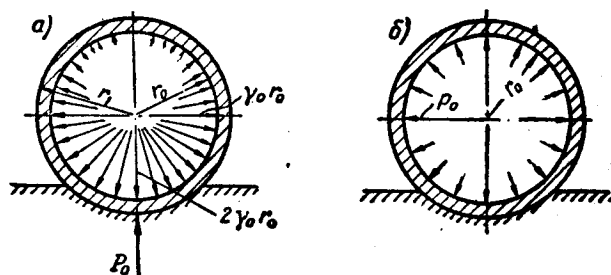


图 8 在管内液体压力作用下管的计算图

a—无压液体的静水压力；δ—有压液体的均匀压力

此分压力的超载系数可由发生水锤时水位或水头的升高来计算。在后一种情况下，计算内压应根据水力计算采用，但不得小于1.15倍的静水压力。根据 Y-96-50⁽⁴⁰⁾，对于预应力钢筋混凝土管，考虑水锤作用的内压时，应采取：管内工作(标准)压力在5个大气压以下者，等于二倍工作压力；管内工作压力等于或大于5个大气压者，等于工作压力加上5个大气压。

对于无压管，管内液体所产生的压力按其充满度计算。显

