

苏联重工业企业建设部设计总局

给水排水设计院

降低輸水管埋深的热工計标方法

建筑工程出版社

降低輸水管埋深的热工計祿方法

馬兆品 謝志彬 譯

邢福貴 李樹杰 校

*

1959年6月第1版

1959年6月第1次印刷

3,065册

787×1092 1/32 · 35千字 · 印張1 1/2 · 定價(10) 0.23元

建築工程出版社印刷廠印刷·新華書店發行·統一書號: 15040·1072

建築工程出版社出版(北京市西郊百萬莊)

(北京市書刊出版業營業許可証出字第052號)

降低輸水管埋深的熱工計算方法

給水排水設計院專家工作科

馬兆品 謝志彬 譯
邢福貴 李樹杰 校

建築工程出版社出版

·1959·

目 录

前 言	3
原 序	4
一、热工計算的精确度	5
二、关于进行热工計算的几点建議	6
I 确定不同深度的土壤計算溫度	6
II 輸水管中有水流时的水溫計算	8
1. 水泵中水溫的上升	9
2. 水通过輸水管时的溫度下降	9
3. 輸水管中水的摩擦增溫	11
III 輸水管內水流呈靜止状态时水溫下降持續時間的計算	12
IV 勘察要求	13
附件 1——冻结土和建筑材料的导热系数	14
附件 2——輸水管热工計算实例	14
附件 3——实例計算的結論	19
附件 4——热工計算方法与計算参数的选择土溫計算	21
图 1——11	40—47

参考书籍

前 言

“降低輸水管理深的热工計算方法”一書系苏联給水排水設計院 1951 年編写的。根据工作需要，經我院苏联专家介紹譯成中文，但由于譯者水平所限，譯文中可能仍有錯誤之处，希敬愛的讀者能予及时指正。

建筑工程部給水排水設計院

1958年6月

原 序

，土方工程費用在給水管綫敷設工程的总造价中，通常占很大比重。埋管深度若增加，土方工程費用和土方工程的劳动量也就隨之而增大。因此，埋管深度不仅对施工費用，而且对給水管綫敷設工程的速度都有着很大的影响。同时埋設深度对管理管道的方便性和管理費用同样也有很大的影响。

因此在确定給水管的必要而足够的埋深时，應該采取特別严肃的态度。

虽然如此，但直到目前为止，埋管深度一般还是按照該地区已有的管道采用的深度或根据个人的設計經驗来确定。管頂有时置于冻土綫以下200或300公厘，在很多时候，管綫埋設深度显然过大。减少普遍所采用的埋管深度(大多数是輸水管)的个别試图是缺乏应有根据的。尽管如此試驗証明，在某些情况下敷設在冻土綫以上，甚至于敷設在地面上的輸水管操作完全正常。

这就說明，降低普通所采用的輸水管埋深問題是完全现实的。

科学研究机关應該对这个問題进行詳細的研究。目前根据现有的不完全材料，可以就选择輸水管的埋設深度問題提出一些初步建議。

本书的任务是要以热工計算为根据，来証实降低普遍采用的輸水管埋設深度的建議。

本书主要参考下列一些資料：

С. Н. 阿洛諾夫——輸水管埋設深度的計算 (Определение

глубины заложения водоводов), 国立建筑书籍出版社, 1950年。

И. М. 安得利雅什夫“給水管网及輸水管的計算問題”, (Техника расчета водоводов и водопроводных сетей), 国立建筑书籍出版社1949年。

一 热工計算的精確度

輸水管热工計算的目的在于計算冬季水在輸水管內的最大降溫值, 以便确信水在輸水管內不致冻结或在輸水管末端水温不致低于最低允許溫度。

选择这种溫度时, 必須区别下列二种情况:

- 1) 如果送水到淨化构筑物 (在构筑物中水温一般要升 $1-2^{\circ}$) 或送去冷却則輸水管末端可以采用接近于 0° 的水温。
- 2) 如果水由輸水管流出, 在蓄水池、管网等处可能进一步降溫, 則必須考虑适当地提高輸水管送水水温。

要进行热工計算必須知道敷設輸水管地区的土壤溫度及輸水管与土壤間溫度交換的規律。

土壤的冻结深度及各层土壤的溫度是取决于下列条件: 例如, 土壤的种类、土壤湿度、土壤表层的性質、雪盖层的厚度、日照条件和气温等等。在計算时, 要想正确地估計所有这些随管綫长度以及年代不同而变化的条件是不可能的, 因为这样会給計算造成一些不可避免的誤差, 有时是相当大的。

輸水管与周围介质之間的溫度交換条件是很复杂的, 因此导出計算公式时, 一般允許与现实条件有一些出入, 以便于解决各种問題。例如: 假設輸水管周围的土壤完全一样, 无论是土中或

是在管旁都沒有熱流，管道以上的表土溫度固定不變，輸水管周圍土壤的等溫綫集中於管上。這些假設使得熱工計算公式成為近似公式，因而也給計算造成了誤差。這裡必須補充一點，輸水管的熱工計算公式還很少根據實際資料校核。

因此，輸水管的熱工計算，目前還只能視為近似的計算，因此在運用其計算結果時，必須考慮到這點。

二 關於進行熱工計算的幾點建議

輸水管之熱工計算分為二部分：

I. 確定輸水管軸綫選用深處之土壤計算溫度；

II. 已知輸水管軸綫所在深度，計算管內水的降溫。

如果在輸水管選定的埋設深度處，輸水管中水流溫度的下降與已知的不同，那麼必須用其它埋深重新計算。

在選擇埋設深度時，為了更好地定位，最好進行3—4個不同深度的計算，並將計算結果製成圖表，用來表示輸水管埋深與其末端水溫的關係。

除了檢查工作著的輸水管內水溫下降之外，還必須檢查水在停止工作的輸水管內降溫的持續時間，因為它有時也能影響輸水管埋深的選擇。

所推薦的輸水管熱工計算方法的依據列於附件4中。

I. 確定不同深度的土壤計算溫度

要計算地面以下不同深度的土壤溫度，首先必須確定溫度 0° 侵入土壤的深度。這個深度採用直接測量法最為準確。如果沒有這種資料，該溫度確定可以根據現有的任何一種這類公式計算之。

該公式應考慮到輸水管綫路上的土壤性質，該區氣候條件和用 $\Sigma(-t)$ 表示的寒天日數。

如 $\Sigma(-t)$ 大於 500，則本書建議採用 Г. И. 拉波金公式，其算式如下：

$$h = K \left[\frac{0.9 \Sigma(-t)}{1000} + 0.7 \right]$$

式中：

h ——地面无雪時，溫度 0° 侵入土壤的深度(公尺)；

K ——係數：

砂質壤土及砂質粘土 $K = 1$ ；

礫砂土 $K = 1.33$ 。

(作者沒把係數“ K ”按照土壤種類作更詳細的分類)。

如 $\Sigma(-t)$ 等於或小於 500，可以採用布特尼科夫公式：

$$h = 0.02 \lambda \sqrt{\Sigma(-t)}$$

式中： λ ——土壤導熱係數(見附件 1)。

前後兩個公式都能求出地面无雪蓋層時，溫度 0° 侵入土壤的深度。

計算可以利用這些公式所繪出之圖表(圖 1)代替。

寒天日數可以用“氣象學手冊”中之“月平均氣溫”表確定。該表所列之月平均負溫度，乘以相應月份之日數並將所得之積相加。

在地面无雪蓋層時，根據上述公式所計算出的溫度 0° 侵入土壤的深度為平均深度，因為用“氣象學手冊”求得的寒天日數是平均數。要求得最大凍結深度，必須把用公式所求得的深度乘以 1.2。

已知溫度 0° 侵入土壤的深度，可以按照下列公式求出深度為 h_x (離地面較近的)處的土壤最低溫度。

$$t_x = t \left(1 - \frac{h_x}{h} \right)^2$$

式中： t_x ——深度为 h_x 处的土壤温度；
 h ——温度 0° 侵入土壤之深度；
 t ——一月份之平均气温(见“气象学手册”)。

为加快计算速度可采用图(2)之表，其表中：

$$a = \left(1 - \frac{h_x}{h}\right)^2, \quad a \text{ 值的大小随 } \frac{h_x}{h} \text{ 而定。}$$

有天然雪盖层的土壤，其冻结深度是由无雪盖处所求得的冻结深度中，减去二倍雪盖层而得，换言之，在计算中考虑的不是实际的，而是高于实际地面二层雪盖层厚的假定地面。

冬季雪盖层的最大厚度根据“气象学手册”采用之。

根据雪盖层在输水管线上的积存条件，还必须对手册中所提出的多年平均值加以修正。

如果输水管线全线埋深、土壤或其它影响输水管水温下降的条件不同时，输水管应分段计算。

II. 输水管中有水流时的水温计算

若输水管埋设在温度为零度以下的地带，则水通过此输水管时，会由于外界介质热交换的影响而变冷，同时水也由于在输水管内水头损失所引起的摩擦而增温。

水在泵中也要增温，因此进入输水管内的水温亦增高。水在水泵及输水管中因摩擦而引起的水温增高不大，通常以十分之一或百分之一度计之。但是，在个别情况下，水源的水温低，它对计算的结果也会有相当大的影响。当输水管管径在250公厘以下时，不需考虑水泵及输水管内水温的上升，在计算中可以将之视为安全系数。如果输水管管径很大并且流入输水管的低水温以十分之一或百分之一度测量，那么水泵中水温上升对计算成果的影响就相当大。

1. 水泵中水温的上升

水通过水泵时水温的增高应按下列公式计算之：

$$\Delta t = 0.0021 H \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right) \text{ 以度计}$$

式中： η ——水泵的有效系数；

H ——扬程(公尺)。

为了求得进入输水管时的水温应该将进入水泵站的水温加以 Δt 值。

2. 水通过输水管时的温度下降

输水管末端水温“ t_2 ”按照下列公式计算之：

$$t_2 = (t_1 - t_c) e^{-\varphi} + t_c$$

式中： e ——自然对数根；

t_1 ——进入输水管的水温；

t_c ——输水管周围介质的温度，对埋于土壤中的输水管来说， t_c 是输水管轴线水平上的土壤温度；

φ —— $0.00028 \frac{l}{RQ}$ ；

l ——输水管长度(公厘)；

Q ——输水管内的流量(立方公尺/秒)；

R ——输水管传热的直线阻力(其计算叙述如下)。

要进行热工计算必须具备下列资料：

(1) 进入输水管的水温—— t_1

一级泵站水温 t_1 确定为冬末水源地的最低水温。当输水管管径大于 250 公厘，而进入输水管的水是来自地表水源时，建议将水源地水温加上水通过水泵时的增温(II, 1)。二级泵站在计算温度 t_1 时，应考虑到水在一级泵站后输水管净化构筑物中，温度的

变化。

(2) 輸水管周围介质的温度 t_c 。

敷設在地面上的輸水管，温度 t_c 按“气象学手册”中的“平均最低气温表”采用之。

敷設在地下的輸水管，温度 t_c 采用輸水管軸綫处的土壤温度(见一)。

(3) 冻结土壤的导热系数 λ 可根据附件 1 采用之。

如果由地面到輸水管軸綫之間不同深度內的土壤成分也不同，那么导热当量系数是按下式求得之：

$$\lambda_{\text{当量}} = \frac{h}{\frac{h_1}{\lambda_1} + \frac{h_2}{\lambda_2} + \dots}$$

式中： h_1, h_2, \dots ——每种土层的厚度

$\lambda_1, \lambda_2, \dots$ ——相应的导热系数

(4) 系数 α 防风好的地段采用 15，风寒侵袭强烈的敞曠地段采用 8，在一般地段采用 10—12。

(5) 輸水管管径 D (公尺)。

(6) 輸水管长度 l (公里)。

(7) 輸水管的流量 Q (立方公尺/秒)。

(8) 輸水管軸綫的埋深 h (公尺)。

計算按下述程序进行之：

1) 确定热阻力 R 值

(1) 敷設在地下的輸水管， $R = \frac{\rho}{\lambda}$

式中：

$$\rho = \frac{\ln \left[\frac{2h}{D} + \frac{2\lambda}{\alpha D} + \sqrt{\left(\frac{2h}{D} + \frac{2\lambda}{\alpha D} \right)^2 - 1} \right]}{2\pi}$$

为了便于計算，可根据 $\frac{h}{D}$ 的比，在图 3 中列出了不同 N_n

$= \frac{aD}{\lambda}$ 值的 ρ 值來。

(2) 敷設在地表以上并有保暖層的輸水管：

$$R = \frac{D_2 - D_1}{\pi \lambda_1 (D_2 + D_1)}$$

式中： D_1 ——保溫層里口直徑；
 D_2 ——保溫層外口直徑；
 λ_1 ——保溫層的導熱係數。

如保溫層之外面為正方形，則 D_2 等於正方形之一邊乘以 1.1。

(3) 敷設在土中并有保溫層的輸水管，其保溫層和土壤的熱阻力 R 分別計算并加在一起。在這種情況下，計算土壤阻力 R 時，帶入計算中的不是輸水管的外徑而是保溫層的外徑。

2) 阻力 R 值計算以後，計算 $\varphi = 0.00028 \frac{e}{RQ}$ 值，然後再求 $e^{-\varphi}$ 值。在計算後者時，為了簡化計算，編制了圖表（圖 4—6）。

3) $e^{-\varphi}$ 值確定之後，根據下面的公式計算輸水管末端的未知水溫 t_2 。

$$t_2 = (t_1 - t_c) e^{-\varphi} + t_c \text{ (見 9 頁)}$$

3. 輸水管中水的摩擦增溫

上面所列举的輸水管末端水溫 t_2 的計算法不考慮水溫因摩擦而升高的情況。這種上升的溫度不大，在計算中可以不考慮，因此可以將其視為計算中的安全係數。但是在某些情況下，特別是在輸水管水流速度很大的時候，把水溫的上升估計進去可能是很適合的。水通過輸水管時，水溫的增高可用下式計算：

$$\Delta t = 2.34 A F^2 V^2 = 2.34 A Q^2$$

式中：
 A ——管子单位阻力；
 F ——管子断面面积(平方公尺)；
 V ——水流速度(公尺/秒)；
 Q ——流量(立方公尺/秒)；
 Δt ——每一公里增高的温度(度)。

III. 輸水管內水流呈靜止状态时水温下降持續時間的計算

輸水管停止工作后直到管壁結冰時間(小时) T 的計算如下：

(1) 位于地面以上的輸水管：

$$T = 1800 D^2 R \lg \frac{t_1 - t_c}{-t_c}$$

式中：
 t_1 ——用計算确定的輸水管在停止工作时的水温；
 t_c ——气温計算与工作輸水管水温下降时計算相同(II, 2)；
 D ——輸水管的直径(公尺)；
 R ——輸水管保温层之热阻力，其計算与輸水管工作时水温下降的計算同(II, 2)。

(2) 敷設在地下的輸水管：

$$T = 300 \frac{fn}{q_{cp}}$$

式中：
 f ——除去管子面积的融区断面面积(平方公尺)；
 q_{cp} ——每公尺管子的平均散热量；
 n ——土壤吸热水分含量，占全部含水量25--30%。

若計算融区断面的面积，必須知道其直径，該直径根据下列公式計算之：

$$d = D \times 10 \frac{2.73(t_1 - t_0)\lambda}{q_{cp}}$$

式中： d ——融区直径(公尺)；
 D ——管道直径(公尺)；
 λ ——融冻土的导热系数；
 t_1 ——輸水管停止工作一刹那的管内水温；
 t_0 ——土壤中水分冻结开始时的温度，砂子为 0.6° ，粘土为 1.5° ；

q 值算式表示如下：

$$q = \frac{t - t_c}{R}$$

式中： t ——輸水管内的水温；
 t_c ——輸水管軸綫上的土壤温度；
 R ——土壤之热阻力与上述相同；(见II, 2)；
 q_{cp} ——当 $t = t_1$ 和 $t = 0$ 时，所求得之 q 值間的算术平均数。

IV 勘察要求

为了使輸水管的热工計算更加准确，正确地确定距地面不同深度处的土壤温度、土壤的热传导系数、雪盖层形成的条件和雪盖层的厚度是非常重要的。

要获得这些資料必須进行非常細致的、长时期的勘察工作，但是，实际上在設計时是办不到的。

因此只好限于用普通勘察时所能获得的那些資料設計，从而热工計算是不完全精确的。

在勘察时必须取得下列一些資料

(1) 有关第一加压站后輸水管的資料——在土壤冻结深度最大时，水源地的最低水温(一般是在三月間观测)。为此，最好是使用附近现有給水管的多年观测記錄；

(2) 地面三公尺深处的土壤成分，以及其含水量。确定土

壤融化及冻结状态时的导热率最好是在試驗室进行；

(3) 促使管綫上雪盖层形成的条件。

附件 1

凍結土和建築材料的导热系数

編 号	名 稱	含 水 量 (按重量計)%	導 熱 系 數
1	采砂場的砂.....	15以下	2.0
2	同 上	30以下	2.5
3	砂質壤土及砂質粘土.....	15 //	2.2
4	同 上	30 //	2.8
5	粘土.....	15 //	2.8
6	//	30 //	3.0
7	碎石夾砂或粘土夾砂.....	10	3.0
8	泥炭土.....		0.6
9	石棉水泥.....		0.45
10	木屑.....		0.11
11	葦草壓制板.....		0.09
12	錐碎的稻草.....		0.04

附注：1. 融化土的導熱系数為凍結土導熱系数的0.7—0.8。

2. 本表是很据1951年鐵道出版社出版的B.C. 卢克揚諾夫教授所著的“土壤凍結深度計算法”一書中所列舉的資料編制的。

附件 2

輸水管热工計算实例

例 1 輸水管直径为1.0公尺,长为4.8公里,敷設于凱麦罗沃地区,該区为重砂質粘土,其湿度为30%。流入水泵站的水温为 $+2^{\circ}$ 。

輸水管輸水量为1.5立方公尺/秒。

按“气象学手册”查得寒天日为数 $\Sigma(-t) = 2265$,一月分的平均气温为 -19.3° 。

按表1冻结砂质粘土的导热系数为2.8，融化土的导热系数为 $2.8 \times 0.8 = 2.24$ 。

砂质粘土的土壤水分开始冻结的温度为 -1.5° 。

输水管线路通过不避风的地区散热系数 $\alpha = 8$ 。根据同一原因，同时也为了在计算中取得一些安全系数，故在计算土壤冻结深度时，不考虑雪盖层。

输水管中心线深度采用1公尺。

(1) 土壤计算温度的确定

温度 0° 侵入土壤的深度用下列公式计算之：

$$h = K \left[\frac{C \cdot 9 \Sigma(-t)}{1000} + 0.7 \right] \times 1.2$$

砂质粘土的系数“K”为1； $\Sigma(-t) = 2265$

$$h = \left[\frac{0.9 \times 2265}{1000} + 0.7 \right] \times 1.2 = 3.29 \text{公尺}$$

1公尺深处的土壤温度

$$\begin{aligned} t_x &= t \left(1 - \frac{h_x}{h} \right)^2 = -19.3 \times \left(1 - \frac{1}{3.29} \right)^2 \\ &= -19.3 \times 0.49 = -9.46^{\circ} \end{aligned}$$

(2) 在输水管工作时管内水温的计算

水泵中水温的上升

流入泵站的水温为 $+2^{\circ}$ 。水通过扬程 $H = 70.0$ 公尺，有效系数为0.3的水泵时，水温的增高，其计算如下：

$$t_0 = 0.0021H \left(\frac{1}{\eta} - 1 \right) = 0.0021 \times 70 \left(\frac{1}{0.8} - 1 \right) = 0.04^{\circ}$$

水在输水管首端的温度：

$$t_1 = 2.0^{\circ} + 0.04^{\circ} = 2.04^{\circ}$$