

输油管道设计与
管理
课程设计指导书

目 录

一、输油管道课程设计概述.....	1
二、输油管道课程设计条件与要求.....	2
2.1 已知条件.....	2
2.2 总体要求.....	3
2.3 工艺计算要求.....	3
2.4 绘图要求.....	3
2.5 工艺计算要求.....	4
三、输油管道课程设计计算过程简介.....	5
3.1 基础设计参数的选取.....	5
3.2 管径与壁厚的确定.....	10
3.3 热力计算.....	13
3.4 水力计算.....	15
3.5 热泵布站.....	16
3.6 工况校核.....	16
四、输油站工艺流程设计简介.....	18
4.1 首站工艺流程.....	18
4.2 中间站工艺流程.....	19
4.3 末站工艺流程.....	19
4.4 管道清管流程.....	19
附表.....	21
附图.....	27

一、输油管道课程设计概述

管道输送是石油生产过程中的重要环节，是石油工业的动脉。输油管道工程（oil pipeline project）是指用管道输送原油、成品油及液态液化石油气的建设工程。长距离输油管道由输油站、线路以及辅助设施三部分组成。

输油管道按所输油品的种类可以分为原油管道、成品油管道及液态液化石油气管道三种。原油管道将油田生产的原油输送至炼厂、港口或铁路转运站，具有管径大、输量大、运输距离长、分输点少的特点；成品油管道从炼厂将各种油品送至油库或转运站，具有输送品种多、批量多、分输点多的特点，多采用顺序输送；液态液化石油气管道将油气田及炼厂生产的液态液化石油气输送至化工厂、用户，具有输送介质单一、输量小、分输点多的特点。

输油管道按所输油品的温度可以分为等温输油管道和热油输送管道两种。在工程实际中，一般总把那些不建设专门的加热设施的管道统称为等温输油管道，如轻质成品油（汽油、煤油、轻质柴油等）管道，凝固点（或倾点）低于地温的原油管道等；热油输送管道是指那些在输送过程中沿线油温高于地温的输油管道，对于热油管道，其沿线的油温不仅高于地温而且还高于原油的凝固点，热油输送管道要设置若干中间加热站和泵站为油流补充能量。

《输油管道设计与管理》课程是油气储运工程专业核心专业课程之一，课程全面、系统地介绍了输油管道的基本概念、等温输油管道的工艺计算与运行管理、热油输送管道的工艺计算与运行管理、成品油顺序输送管道的工艺计算与运行管理。

通过《输油管道设计与管理》课程各教学环节的学习，掌握油品管道设计和管理方面的基本概念、基本理论，掌握输油管道设计的基本过程，能够应用相关理论、方法和手段进行输油管道工程的初步设计，能分析管道系统各种运行工况，并能掌握管道系统运行管理的基本方法和手段，是本门课程对学生的基本要求。

在教师的指导下，以工程实际为背景，综合应用所学专业知进行输油管道课程设计，对于学生掌握输油管道运行及管理的理论知识，锻炼工程设计能力，并为学生以后的毕业设计、现场工作和科学研究打下坚实的基础具有重要意义。

二、输油管道课程设计条件与要求

2.1 已知条件

(1) 管道中心埋深处最低月平均地温、管道设计工作压力、管道的管顶覆土厚度不小于 0.8 m、土壤导热系数、防腐层导热系数、钢管导热系数、管道外径等设计参数见课程设计试卷；油流至管道内壁的热阻忽略不计；可选钢管类型见附表 1。

(2) 管输原油的物性参数

原油密度 $\rho_{20}=840 \text{ kg/m}^3$ ，原油平均比热 $C=2.1 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{°C)}$ ，原油凝点 25 °C 。

原油粘温方程 $\nu=37.338\times 10^{-6}e^{-0.041t} \text{ m}^2/\text{s}$ ，初馏点 62 °C 。

(3) 管道设计输油能力与最小设计输量见课程设计试卷。

(4) 沿线里程、高程

管道沿线里程、高程数据如下表所示：

管道沿线里程、高程数据

距离 km	0	3.0	7.1	19.8	30.9	39.6	50.6	61.2	71.3	80.6
高程 m	1170	1200	1172	1220	1215	1230	1234	1305	1382	1364
距离 km	94.5	104	118.5	120.5	126.5	134	138.2	151.7	164.5	/
高程 m	1475	1760	1590	1590	1525	1532	1612	1390	1320	/

(5) 可供选择的加热炉、泵的性能

① 加热炉

加热炉发热能力分别为 1000、1500、2000、2500、3000、3500、4000、4500、5000kW。当热负荷不小于加热炉发热能力的 80%时，炉效 $\eta_R=0.85$ ，原油热值 $B_H=4.2\times 10^4 \text{ kJ/kg}$ 。

② 离心泵

可供选择的输油泵型号见附表 2-附表 5，泵进口压力范围 0~80 m 油柱，电动机效率 $\eta_e=0.98$ 。

(6) 站内压降：热泵站取 20 m 油柱，泵站或加热站取 10 m 油柱。

(7) 全线最小动水压力不低于 30 m 油柱。

2.2 总体要求

课程设计中进行输油管道工程设计时,从工艺设计计算、图纸绘制到设计报告的编写,要尽量符合实际输油管道工程设计的相关规范和标准。为此,在进行输油管道课程设计时,学生首先要学习了解国家、石油行业规范与标准的相关要求:

(1)《输油管道工程设计规范 GB 50253—2014》

(2)《SY-T 0082.2—2006 石油天然气工程初步设计内容规范第2部分:管道工程》

(3)《SY 0003—2003 石油天然气工程制图标准》。

2.3 工艺计算要求

工艺计算按密闭输油工艺计算。

(1) 根据给出的管道外径和设计压力,通过强度计算并考虑稳定性和抗震方面的要求确定管材及壁厚(根据抗震计算,满足管道抗震要求的最小壁厚为 6.4 mm)。

(2) 首站进站油温 30°C,按照进站温度高于原油凝点 3~5°C 确定设计进站温度,按照出站温度的确定原则确定设计出站温度(可在 50~60°C 范围内选取),考虑摩擦升温,根据最小设计输量计算管道所需加热站数及热站间距。

(3) 按平均温度法计算站间摩阻,选泵及泵的组合方式,根据设计输油能力确定所需泵站数(按维持进站温度不变运行计算)。

(4) 在管道纵断面图上布置加热站、泵站,并按泵站、加热站尽量合并的原则,调整站数或站址。(用坐标纸绘制纵断面图并布站)

(5) 分别计算最小设计输量和设计输油能力下冬季加热站的热负荷,按照其中最大者选择各站加热炉型号及台数(加热炉台数不得少于 2 台,并考虑夏季轮流检修确定加热炉的型号和台数,夏季地温按 24 °C 计算)。

(6) 按设计输油能力计算冬季(地温 $t_0=5\text{ }^{\circ}\text{C}$) 全线月耗电、耗油量。

(7) 给出最小设计输量下冬季的开泵点炉方案(含调节措施)。

2.4 绘图要求

绘制中间热泵站工艺流程图 1 张。输油管道设计过程中图纸的绘制应符合

《石油天然气工程制图标准》(SY/T 0003—2003)和《石油地面工程设计文件编制规程》(SY/T 0009—2004)等相关的标准和要求。

2.5 课程报告要求

整理计算过程和结果, 写出课程设计报告。

三、输油管道课程设计计算过程简介

3.1 基础设计参数的选取

3.1.1 年设计输量

管道输量是设计输油管道的最基本依据，它通常由设计任务书规定。

设计任务书中给出的输量是管道全年完成的任务，单位是万吨/年，进行工艺计算时常用体积输量，要根据设计温度下的油品密度和年输油时间进行换算。

考虑到管道的维修和事故停输及输量的不均衡等因素，为了使设计的管道具有一定的输送裕量，规范规定年工作天数为 350 天，每天按 24 小时计算，全年工作时数为 8400 小时。

3.1.2 线路数据

(1) 线路纵断面图：在直角坐标上表示管路长度与沿线高程变化的图形称为线路纵断面图。横坐标表示管路的实际长度，即管路的里程；纵坐标表示管路的海拔高度，即管路的高程。

线路纵断面图是进行水力计算和布置泵站的依据，在本课程设计中，线路纵断面图根据任务书中给出的高程里程数据表绘出。

线路纵断面图上的地形起伏情况并不是线路所经地区的实际地形。在作纵断面图时，各测点之间用直线连接，不要用曲线连接。

(2) 管道埋深：一般情况下，在寒冷地区，管道至少要敷设在土壤冰冻线以下；在非寒冷地区，土壤冰冻线较浅，管道埋深不根据冰冻深度而是按照保障管道不受来自地面的人为损害的要求确定，在这种情况下，管道埋深可能大于冰冻深度。规范规定，一般地区管顶覆土不得小于 0.8 m，在某些特殊情况埋深还要大些，目前热油管道的埋深大都取 2~3 倍管径，或按管顶覆土 1.2~1.5 m 来设计。只有知道了管道埋深，才能从有关气象部门或从已有的气象资料中收集和查找管道埋深温度。

3.1.3 管子数据

管道线路工程是管道工程的主体部分，约占管道工程总投资的 2/3，管材的选取对于整个工程投资有非常大的影响。

(1) 管材钢级：实际工程设计中往往通过比较各钢种等级的钢管性能、质量、供货资源和供货周期、用量和投资，分析对工程的适应性后，提出推荐选用的钢种等级。

目前油气管道多采用按 API 标准划分等级的 X56、X60、X65、X70 号钢，对管径大于 DN1000 以上的大口径、高压力（10 MPa 以上）钢管，宜将 X80 管材等级纳入比选范围。

管材等级选择时，若计算壁厚圆整后，壁厚规格相同，则应尽量选择低强度等级的钢管。

(2) 许用应力：工艺设计阶段要进行管壁厚度及管道强度计算，需知道所用管材的许用应力值。许用应力按下式计算：

$$[\sigma] = K \cdot \phi \cdot \sigma_s \quad (1)$$

式中 $[\sigma]$ ——许用应力（MPa）；

K ——设计系数，输送 C₅ 及 C₅ 以上的液体管道除穿跨越管段按国家现行标准《原油和天然气输送管道穿跨越工程设计规范》（SY/T 0015）的规定取值外，输油站外一般地段取 0.72；

σ_s ——钢管的最低屈服强度（MPa）；

ϕ ——焊缝系数。

《输油管道工程设计规范 GB 50253—2014》中列出了常用输油管道钢的最低屈服强度和焊缝系数，如附表 1 所示。

(3) 管子直径与壁厚

管子的壁厚应按 GB 50253 的规定进行计算，然后将壁厚圆整至标准壁厚，并按照相关标准选取相应直径与壁厚的管子。

对于输油管道，DN400 及以下小口径管道宜选用直缝电阻焊钢管或螺旋缝埋弧焊钢管，DN400 以上管道宜选用螺旋缝埋弧焊钢管，大型穿跨越等特殊地区可选用直缝埋弧焊管。热煨弯管宜选用无缝钢管或直缝钢管。

国内部分钢管尺寸规格可参阅《输油管道设计与管理》附录一、附录二。

(4) 防腐层厚度：埋地输油管道的防腐绝缘层有石油沥青防腐层、环氧煤沥青防腐层、煤焦油瓷漆防腐层、聚乙烯防腐层、熔结环氧粉末防腐层等多种形式。

其中，石油沥青防腐层的结构如附表 6 所示，在防腐层设计时，应结合管道所处的环境因素来设计选取石油沥青防腐层的结构。

在课程设计过程中，学生可以选择石油沥青防腐层、三层 PE 防腐等多种防腐层结构，并确定防腐层总厚度。石油沥青防腐层的选取要符合《埋地钢质管道石油沥青防腐层技术标准》SY/T 0420 的相关规定。

3.1.4 压力数据

根据已知条件，中间热站及泵站损失为 10 m 油柱，中间热泵站损失为 20 m 油柱，全线最小动水压力大于 30 m 油柱。

3.1.5 温度数据

(1) 环境温度 T_0 ：对于埋地管道， T_0 取管道埋深处的土壤自然温度；管道埋深确定后，向有关气象部门或从已有的气象资料中收集和查找管道埋深温度；进行热油管道设计计算时， T_0 应取管道中心埋深处的最低月平均地温，运行时按当时的实际地温进行校核。

(2) 土壤导热系数：根据综合实验资料的统计数据，其中含水量的影响最大，含水量越大导热系数越大，土壤导热系数也与温度有关，单位为 $W/(m \cdot ^\circ C)$ 。

在设计管道时，应根据线路具体条件确定土壤导热系数。缺乏线路实测资料或估算时，可查阅有关资料或按附表 7 中的平均值选取。

(3) 钢材导热系数：见课程设计试卷，单位为 $W/(m \cdot ^\circ C)$ 。

(4) 防腐层导热系数：见课程设计试卷，单位为 $W/(m \cdot ^\circ C)$ 。

(5) 出站油温 T_R 的确定

加热站出站油温的选择一般考虑 3 个方面的因素：

① 油品性质： T_R 一般低于原油的初馏点，以免原油中的轻组分气化影响泵的吸入；另外，一般原油和重油中都含有水，为了防止突沸 T_R 不能超过 $100^\circ C$ ；从粘温特性方面考虑，对于含蜡原油，在凝点附近粘温曲线很陡，而当温度高于凝点以上 $30 \sim 40^\circ C$ ，粘度随温降的变化较小，曲线变得较平缓，升高油温的降粘效果不大，而且热输含蜡原油管道常在紊流状态下输送，摩阻与粘度的 0.25 次方成正比，提高油温对摩阻的影响较小，而热损失却显著增大，故应使 $T_R <$

凝点温度+ (30~40) °C；对于重油，在 100 °C 以下的温度范围内，粘温曲线均较陡，提高油温的降粘效果显著，故重油管线的出站油温较高，为了减少热损失，管外常有保温层。

②管线条件：确定出站温度时，还必须考虑由于运行和安装温度的温差而使管路遭受的温度应力是否在强度范围内，防腐保温层的耐热能力是否适应等。

③经济比较：加热温度越高，油的粘度下降越多，油流在管路中的摩阻损失越小，因此动能费用减少，但热能费用却增加；反之，亦然。因此必定存在一个最优的加热温度，即在此温度下，动能费用和热能费用之和为最小。

(6) 加热站进站油温 T_z 的选择

加热站进站油温的选择一般考虑 2 个方面的因素：

①油品性质：油品性质主要是受凝点的限制。为了避免初凝及再启动困难，一般至少要高于凝点 3~5 °C，即 $T_z \geq T_{凝} + (3 \sim 5) \text{ } ^\circ\text{C}$ 。

②经济比较： T_z 高，粘度小，动力费用减小，可降低泵站投资，但同时油温高，热损失大，燃料费用大，热站投资也大，故存在一个最优的进站油温 T_z ，使管线的综合经济指标最优。

3.1.6 原油物性数据

进行热油管道设计计算，必须掌握以下原油物性数据，可以通过对所要输送的原油样本在实验室进行测量获取，也可以在油田收集得到。

(1) 密度 ρ_{20} ：20°C 时的原油密度 ρ_{20} ，kg/m³。其它温度下的密度可按下式计算：

$$\rho_t = \rho_{20} - \xi(t - 20) \quad (2)$$

式中 ρ_t 、 ρ_{20} ——温度为 t °C 及 20°C 时的油品密度，kg/m³；

ξ ——温度系数， $\xi = 1.825 - 0.001315\rho_{20}$ ，kg/(m³·°C)。

(2) 燃油热值：在进行加热炉方案选取及方案经济评价时的重要数据，kJ/kg。

(3) 凝固点：凝固点是指在规定的热力条件和剪切条件下，被测油样刚刚失去流动性的最高温度，°C。凝固点温度是热油管道设计中确定原油进站温度和进行安全停输时间计算的重要参数。

(4) 比热容：单位质量的某种物质升高单位温度所需的热量， $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})$ 。进行热力计算的最基本参数。

(5) 初馏点：指油样在规定条件下蒸馏时，第一滴馏出物从冷凝管末端落下的瞬间温度， $^{\circ}\text{C}$ 。初馏点是确定最高加热温度的依据。

(6) 油品的粘温关系：油品的粘温关系通常以数据表格或者曲线形式给出，在设计计算中，往往需要由数据拟合出粘温关系式来进行相关计算。

牛顿流体状态油品的粘温关系一般可用粘温指数公式计算：

$$\nu_t = \nu_0 e^{-u(t-t_0)} \quad (3)$$

式中 ν_t 、 ν_0 ——分别为 t 和 t_0 温度下的运动粘度， m^2/s ；

u ——粘温指数， $1/^{\circ}\text{C}$ ，与油品有关。

ν_0 、 u 可根据实测数据用最小二乘法求得。

3.1.7 设备数据

在设计中，应按照相关标准进行泵机组、加热炉、油罐、阀门等设备的选取。在设计前需掌握不同型号的泵机组、加热炉、油罐、阀门等设备的具体参数，以供设计时选择。

所需的设备和材料应立足国内供货为主以降工程造价，提高管道经济效益。当国内设备和材料受到技术水平限制时，可适当考虑国外产品。

(1) 离心泵的选取：由于离心泵具有排量大、扬程高、效率高、流量调节方便、运行可靠等优点，在长输管道上得到广泛应用，很少使用其他类型的泵。在设计过程中可根据设计要求和标准，参考相关泵手册等进行查找选取。

离心泵机组的选取应从以下几方面考虑：

- ① 泵的结构形式宜为水平中开式，构造简单，拆卸维修方便；
- ② 流量、压力平稳，工作时振动小，无故障连续运行时间不应少 3 年；
- ③ 串联泵的泵壳、进出口、机械密封的承压能力应满足串联时最后一台泵的出口承压能力；
- ④ 并联泵的进口及机械密封的承压能力，要能满足密封输油的要求；
- ⑤ 输油泵应有较宽的高效区范围，泵的正常工作点处于最佳效率区，额定工作点的效率不应低于 85%。

⑥ 泵样本上给出的效率 η 、流量 q_v 、扬程 H 都是以输水为基础的数据。泵用于输油时，应根据输油温度下的油品粘度，对泵的 η 、 q_v 、 H 值进行修正。

对于给油泵的选取，应选用低扬程、高效率的离心泵，要求泵具有一定的吸入能力，给油泵应和输油主泵相匹配，保证长期持续可靠运转。

(2) 加热炉的选取

加热炉的选择需要根据运行工况、管理要求和技术经济比较结果综合确定。采用直接炉时，需要有防偏流、断流、结焦的自控保护系统，对流管应选用耐低温腐蚀材料。

3.2 管径与壁厚的确定

3.2.1 根据经济流速确定管径

在进行热油管道设计时，通常是根据规定的输量，按照经济流速选取几种管径设计方案，进行水力、热力计算，求出各方案所需的泵站、热站数，然后计算出各管径所对应方案的经济指标，对经济指标进行对比，确定出经济方案及最优管径。

(1) 粘温、密温的计算公式

粘温方程已在 2.1 节中给出；密温方程已在 3.1.6 节中给出。

(2) 平均温度的计算

确定了进、出站温度分别为 T_Z 、 T_R ，则平均温度为：

$$T_{Rj} = \frac{1}{3}T_R + \frac{2}{3}T_Z \quad (4)$$

(3) 平均密度的计算

由公式(2)，计算平均温度下的平均密度 ρ_{pj} 的值，单位为 kg/m^3

(4) 体积流量的计算

把年输量按照平均密度和年工作天数转化为体积流量为 Q_{pj} ，单位为 m^3/s

(5) 管道内径的确定

根据经济流速，选择管径。由于各国情况不同，其设备、材料价格、基建工程费用、燃料及动力价格均不同，因而各国的经济流速也不同，动力价格低的国家其经济流速高。我国长距离输油管道中原油和成品油管道的推荐流速如附表 8

所示。

由公式：

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}} \quad (5)$$

式中： Q ——流量， m^3/s ； V ——流速， m/s 。

计算出管径 d ，按照国内钢管和 API 标准的部分钢管尺寸规格选择一个与计算结果较近的管径 d 。

(6)设计压力选择

在进行设计压力 P 初选时，可根据附表 9 原苏联长输管道设计中不同直径管道的经济输量及工作压力范围给出。根据已知条件，本课程设计管道设计工作压力为 6~10 MPa。

3.2.2 离心泵的选择

在泵的选择中我们必须遵守以下原则：

- (1) 充分利用管路承压能力；
- (2) 泵在高效区工作；
- (3) 满足输量要求；
- (4) 当在输送温度下油品的粘度在 100 mPa·s 以下时，宜选用离心泵；油品中溶解或夹带气体量大于 5%（体积）时，不宜选用离心泵；
- (5) 当输量变化很大，或管道翻越高山，泵的扬程主要用于克服静压差时，输油主泵宜采用并联方式；当输油主泵主要用于克服管道摩阻损失，且输量变化较小时，宜采用串联方式；
- (6) 泵机组的泵的台数至少设置 2 台，但不宜多于 4 台，其中 1 台备用。

根据任务输量 Q 和输送压力 P 的大小，根据选泵原则进行选泵，并确定泵的台数。在泵型号选定后，根据相关标准选取原动机。

泵选定后计算出泵站的特性方程，再根据泵站特性方程计算出计划输量下的泵站扬程 H_c ，并将 H_c 作为管道的设计压力 P 。

3.2.3 壁厚计算

针对确定的管径，按照下面的公式计算管子的壁厚：

$$\delta = \frac{PD}{2[\sigma]} \quad (6)$$

式中 P ——设计压力 (MPa); D ——钢管外径 (mm);

$[\sigma]$ ——钢管许用应力(MPa), 应根据所选材质按照附表 1 及公式 1 进行计算。

然后将壁厚圆整至标准壁厚, 并按照国内钢管和 API 标准的部分钢管尺寸规格选取管子壁厚及管子型号。对于小口径管选取壁厚应圆整到大于 5 mm 的规格壁厚。

3.2.4 判断流态

国标 GB 50253—2014《输油管道设计规范》规定的流态划分标准如下:

- (1) 层流: $Re < 2000$
- (2) 过渡流: $2000 < Re < 3000$
- (3) 紊流水力光滑区: $3000 < Re < Re_1$
- (4) 紊流混合摩擦区: $Re_1 < Re < Re_2$
- (5) 紊流完全粗糙区: $Re > Re_2$.

其中, 紊流区临界雷诺数 Re_1 和 Re_2 分别为:

$$Re_1 = \frac{59.7}{\varepsilon^{8/7}}; \quad Re_2 = \frac{665 - 765 \lg \varepsilon}{\varepsilon}$$

式中: ε ——管壁的相对粗糙度, $\varepsilon = 2e/D$

规范中规定了各种管子的绝对粗糙度:

无缝钢管—0.06 mm;

直缝钢管—0.054 mm;

螺旋焊缝管— $DN=250\sim 350$ 时, 0.125 mm; $DN>400$ 时, 0.1 mm;

对于各管道在规定输量下管内原油的雷诺数 Re :

$$Re = \frac{4Q}{\pi d \nu} \quad (7)$$

式中 ν ——粘度, 取平均温度 T_{pj} 下原油的粘度 m^2/s ; d ——内径, m;

Q ——体积流量, m^3/s 。

通过计算各管径方案时的 Re , 然后根据临界雷诺数来确定各管径方案管道中油品的流态。

3.3 热力计算

3.3.1 不保温管道总传热系数的确定

管道的传热系数 K 按照下面公式计算:

$$\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2} \quad (8)$$

式中 α_1 ——油流至管内壁的放热系数, $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$;

α_2 ——管外壁至土壤的放热系数, $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ 。

(1) 紊流状态下的油流至管内壁的放热系数要比层流时大得多, 通常情况下都大于 $100 W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ 。两者可能相差十倍。因此, 紊流时其对总传热系数的影响很小, 可以忽略。

(2) 钢管壁导热热阻很小, 管壁的导热可以忽略。

(3) 管外壁至土壤的放热系数为 $\alpha_2 = \frac{2h_t}{D_\omega \ln \left[\frac{2h_t}{D_\omega} + \sqrt{\left(\frac{2h_t}{D_\omega} \right)^2 - 1} \right]}$ (9)

式中 D_ω ——管道的结构外径, 即钢管的外防腐层所形成的外径, m;

λ_t ——土壤导热系数, $W/m \cdot ^\circ C$;

h_t ——管中心埋深, m。

由此得出不同管径方案的总传热系数 K 。

3.3.2 不保温管道加热站间距和热站数的确定

(1) 计算加热站间距 l_R :

$$l_R = \frac{GC}{K\pi D} \ln \frac{T_R - T_0 - b}{T_Z - T_0 - b} \quad (10)$$

式中: $a = \frac{K\pi D}{GC}$, $b = \frac{gi}{Ca}$; l_R ——热站间距, m; D ——管道外直径, m;

i ——油流水力坡降, m/m; G ——质量流量 (kg/s);

C ——进出站平均温度下所输送油品的比热容 [$J/(kg \cdot ^\circ C)$]。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/508077003057006044>