

海洋管道工程

张兆德 白兴兰 李磊 编著



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

海洋管道工程

张兆德 白兴兰 李磊 编著



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

内容提要

本书深入系统地介绍了海洋管道设计的基本理论及海底管道的施工方法。全书分8章,内容包括:海底管道系统的工艺设计、海底管道的环境载荷、海底管道的结构设计与强度计算、海底管道的稳定性分析、海底管道的安装与施工、海洋立管、海底管道的检测、维修与防腐等。

本书可作为高等院校船舶与海洋工程专业、海洋工程与技术专业及相关专业本科生或研究生教材,也可供海洋工程领域科技工作者和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

海洋管道工程/张兆德,白兴兰,李磊编著. —上海:上海交通大学出版社,2018

ISBN 978-7-313-20389-2

I. ①海… II. ①张…②白…③李… III. ①水下管道—海底铺管—管道工程 IV. ①P756.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 248179 号

海洋管道工程

编 著:张兆德 白兴兰 李 磊

出版发行:上海交通大学出版社

邮政编码:200030

出 版 人:谈 毅

印 刷:虎彩印艺股份有限公司

开 本:787×1092mm 1/16

字 数:228 千字

版 次:2018 年 11 月第 1 版

书 号:ISBN 978-7-313-20389-2/P

定 价:78.00 元

地 址:上海市番禺路 951 号

电 话:021-64071208

经 销:全国新华书店

印 张:11.5

印 次:2018 年 11 月第 1 次印制

版权所有 侵权必究

告读者:如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话:0769—85252189

前 言

海底管道是海上油气田开发过程中的重要设施。它可以实现海上油、气、水的运输,具有不受风浪流环境因素的影响和运行成本低等特点。传统的海底管道联接各类海洋平台及陆上设施,实现海上油气田的连续生产;近 20 年以来,逐步兴起的水下生产系统更是利用海底管道将水下井口与水下处理装置及岸上设施相联接,使得整个系统可以不受海洋恶劣环境的影响。海底管道系统是一项涉及多门学科的复杂工程。近年来,国内外油气田开发工程中不断有距离更长、水深更大、口径更粗的海底管道工程建成。随着我国海洋石油开发逐步走向深海,也将对国内海底管道工程的设计、施工技术、科学实验研究、工程建设检验法规以及人才培养等方面提出更高的要求。

本书的目的是了解海底管道的型式与构造,系统掌握海底管道设计的基本理论和基本方法,了解海底管道安装与施工方法。本书重点介绍了不同型式的海底管道在设计过程中要考虑的静力学和动力学问题;并着重分析了海底管道的强度及稳定性设计;特别介绍了立管的结构型式及涡激振动问题;并结合工程实际,阐述了海底管道的检测与维修技术。

本书的特色首先是系统地介绍了海底管道从规划设计到施工及检测维修等整个运行过程中的技术问题,特别是针对管道设计与施工中的力学问题进行了深入的讨论,并在书中加入了海底管道施工和管道内检测的国内外最新进展。本书的创新之处为提出了在管道和立管设计中利用不同计算机软件进行人工迭代的计算方法;并提出将小波变换方法应用于海底管道内检测。

全书共八章,其中第一章、第二章由李磊编著,第三章至第五章由白兴兰编著,第六章至第八章由张兆德编著。

本书在编写过程中得到了大家的支持与帮助,在此表示衷心感谢。由于时间仓促和编著者的水平有限,书中存在的不足之处,诚望广大读者批评指正。

张兆德

2017 年 4 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 海洋管道工程的发展	1
1.2 海洋管道工程的规划	2
1.3 海洋管道工程的重要术语	3
1.4 海洋管道工程的设计内容	6
第 2 章 海底管道系统的工艺设计	8
2.1 概述	8
2.2 等温输送管道的工艺计算	10
2.3 热油输送管道的工艺计算	17
2.4 油气混输管道的水力计算	26
第 3 章 海底管道的环境载荷	28
3.1 概述	28
3.2 管道风力设计与计算	28
3.3 管道波浪力的设计与计算	31
3.4 管道海流力的设计与计算	38
第 4 章 海底管道的结构设计与强度计算	41
4.1 海底管道的结构设计	41
4.2 海底管道的结构强度设计与计算	47
4.3 海底管道的结构屈曲设计与计算	55
4.4 特殊载荷作用下管壁的强度校核	60
第 5 章 海底管道的稳定性设计	67
5.1 海床基础对海底管道稳定的影响	67

5.2 海底管道的稳定性设计 76

5.3 保持海底管道系统稳定的工程措施 82

第 6 章 海底管道的安装与施工 94

6.1 概述 94

6.2 海底管道铺设方法 95

6.3 管道防腐层、保温层和加重层的施工 105

6.4 海底管道施工中的重力调节 106

6.5 海底管道的埋设 107

6.6 海底管道施工、铺设中的典型受力分析 109

6.7 海底管道施工要求与维护 118

第 7 章 立管 120

7.1 立管的形式与构成 120

7.2 立管的设计 128

7.3 立管的涡激振动 135

第 8 章 海底管道的检测、维修与防腐 157

8.1 海底管道的检测 157

8.2 海底管道的维修 163

8.3 海底管道的腐蚀 166

8.4 海底管道的防腐措施 169

参考文献 175

索引 178

第 1 章 绪 论

1.1 海洋管道工程的发展

海洋管道是指敷设在水下或埋于海底一定深度的输送石油、天然气或水等的管道，它是海上油气田开发中油气传输的主要方式。

管道运输是继铁路运输、公路运输、水上运输和航空运输之后的一种重要的运输方式。在石油工业中，油(气)输送绝大部分采用管道。其中海上油田的油、气、水的集输和储运，一般是通过海底管道来完成的。

管道运输有着明显的优点。①运输的连续性。管道运输可连续不断地进行，减少中间转运环节；②管道运输可以不占用地面面积，一般不受海上环境条件的影响。由于管道运输是密闭的，它几乎可以不受风浪、水深、地形、海况等条件的影响；③建成后的营运成本低。据资料统计，管道运输原油每吨每千米的成本，只为海运的 $1/2$ 、铁路运输的 $1/4$ ，其能源消耗只为海运的 $1/4$ 、铁路运输的 $1/3$ 。在事故率方面，公路运输最高，铁路、水运次之，管道运输事故的概率最低。

同时，海洋管道运输也有明显的缺点。①海上施工成本高、一次性投资大；②维修成本高，由于管道处于海底，所以检查、维修、管理都不方便，一旦出事故，修复工程比较复杂。

近年来，海洋管道工程的发展非常快。世界上第一条商业化运营的海底管道于 1954 年由美国 Brown-Root 公司在墨西哥湾铺设成功。它是一条直径 254mm(10in)、长 16km、有水泥包裹的天然气管道，水深在 4~10m 之间。世界上第一艘专门建造的铺管船也是由 Brown-Root 公司于 1958 年建造。1961 年，第一艘卷管式铺管驳建成；1975 年第一艘卷管式铺管船建成。1998 年荷兰的一家公司还提出了水平面内螺旋管的概念。到现在为止，世界各国铺设的海底管道总长度已达十几万千米，最大管径达

1422mm(56in)以上,最大铺设水深超过 1000m。

我国海洋管道运输起步较晚,但发展速度很快。1985 年我国渤海湾按国际标准建成了第一条埕北油田海底输油管道。我国南海西部和东部也铺设了多条海底管道,1994 年建成南海崖 13-1 气田一条通往香港的 788km 长、管径 711.2mm(28in)的海底输气管道以及一条通往海南岛的 92km 长、管径 356mm(14in)的海底输气管道。1999 年在我国东海平湖气田也建成了通往上海的 400km 长、管径 406mm(16in)的海底输气管道。2005 年在舟山册子岛到宁波镇海建成了 36km 长的海底输油管道。到目前为止,我国总共建成 60 多条长距离海底管道,总长超过 4000km。随着我国海洋石油工业的蓬勃发展、原油的进口,特别是未来南中国海的石油开发,将会有更多、更长、更深的大口径海底管道工程。同时也将对我国海底管道工程的设计、施工技术、科学实验研究、工程建设检验法规以及人才培养等方面提出更高的要求。

1.2 海洋管道工程的规划

海洋管道工程规划要了解海上油气区域的海底地质构造、地球物理、水文气象、油气资源以及实际生产能力等情况,在研究设计各种油田开发方案时,作为集输方案的一部分而进行规划。海洋油气集输的方法很多,是否选用海底管道方式,要在各种方案进行技术经济评估后才能确定。

海洋管道工程规划的主要内容是:根据油田开发方案中所拟定的生产系统,即井位布置、平台、海底井口和陆上设施的位置以及被输送介质种类(油、气、水)的特性和日输送量,再根据海区的工程地质、水文气象和登陆点的位置等,初步选择所要铺设的海底管道的类型、轴线的位置以及各类管道的长度、管径、结构型式、施工方法和工程进度计划,估算投资额、作业费、维护管理及运行费,计算整个工程的造价,从而对工程进行决策。

海洋管道的类型通常按其使用范围分为 4 类:①出流管,它是连接井口的管汇与平台之间的管道,靠地下油气层的压力输送介质,它通常是直径 102~254mm(4~10in)的油气输油管道,也可以是一组管束。②集油管,是连接平台与平台之间的管道或管束,管内介质(油或油、气)靠泵或压缩机加压流动,工作压力一般为 6.9~9.7MPa,管径为 203~406mm(8~16in)。③长输管道,又称干管,其作用是将海上油气输送到岸上,管径一般为 406~1016mm(16~40in)。④装卸管道,是连接平台或海底管汇与装油设施之间的管道,管径有大有小,大的为 762~1422mm(30~56in),小的与出流管相当,

通常只输送液态油类,这类管道也可以从岸敷设到海上装卸终端。

海洋管道工程规划中重要的一环就是管道线路的选择,它是工程中所有问题的综合抉择,体现了工程主体的优劣态势,决定整个工程的成败,所以必须慎重选择。

1.3 海洋管道工程的重要术语

海洋管道工程中常用重要术语释义如下:

1.海洋管道系统

用于输送石油、天然气或水的海底管道工程设施的所有组成部分,包括海底管道、立管、支撑构件、管道附件、防腐系统及附件、配重层及稳定系统、泄漏监测系统、加热系统、压力与温度测量系统、报警系统、应急关闭系统和与其相关的全部海底装置。

2.海底管道

在最大潮汐期间,海底管道系统中,全部或部分位于水面以下的管道(包括与岸上连接的管段)。海底管道也称作海洋管道。

3.立管

连接海底井口与海洋平台之间的管段。

4.管道附件

与管道或立管组装成一个整体系统的零部件,如弯头、法兰、三通、阀件和固定卡等。

5.一区与二区

一区:距生产平台或海上建筑物 500m 以外的海床地段。

二区:距生产平台或海上建筑物 500m 以内的海床地段。

6.设计高/低水位

在有潮位历史累积资料时,设计高/低水位可采用历史累积频率 1%/历史累积频率 98% 的潮位,也可采用高潮(潮峰)累积频率 10%/低潮(潮谷)累积频率 90% 的潮位。

7.重现期

按照波浪长期统计分布规律进行计算,再次出现某一给定的波高、风速、流速等更为严重情况所需的概率平均年数。

8.校核高/低水位

重现期为 50 年或 100 年一遇的高/低潮位。

9.飞溅区

以高天文潮位加上 100 年一遇波高的 $\frac{2}{3}$ 为上限,以低天文潮位减去 100 年一遇波高的 $\frac{1}{3}$ 为下限的海平面高度区间。

10.淹没区

海洋飞溅区以下的区间,包括海水、海床和埋没带的区域。

11.大气区

海洋飞溅区以上的区域。

12.管道运行期(在位状态)

指管道安装完成后的状态,包括运行(正常运行与不正常运行)与维护(可以是停工)状态,但不包括检修状态。

13.管道安装期(施工状态)

指在全部安装完成前的各种状态,如铺设、拖曳、埋置、吊装、运输等,运行期中的检修状态也包括在内。

14.内压与设计内压

管道内压指管道内部的绝对压力值。设计内压指在正常流动状态下,管道内最大内压力与最小外压力之差。

15.外压与设计外压

管道外压指管道外部直接作用的绝对压力值。设计外压是指管道最大外压力与最小内压力之差。

16.试验压力

制造施工完成时,或者经过适当运行期后,施加于管道、容器和各种部件上的规定压力。

17.强度试验压力

为进行强度检验施加的数值大于试验压力,而持续时间较短的压力。

18.约束管道

受固定支座或管道与土壤之间摩擦力的约束,而在轴向不能膨胀或收缩的管道。

19.非约束管道

最多有一个固定支架,没有相应轴向约束、没有显著轴向摩擦力的管道。

20.整体屈曲与局部屈曲

整体屈曲指沿管道长度方向的屈曲模式;局部屈曲指沿管道的径向而发生的横截

面变形屈曲。

21. 腐蚀裕量

在设计阶段为补偿在运行过程中由于腐蚀而使管壁(内、外)变薄而增加的管壁厚度。

22. 设计寿命

设备或系统从最初安装或使用到永久性停产的时间周期。原设计寿命可经重新评估后予以延长。

23. 静水压力试验

在钢管厂进行的静水压强度试验。

24. 极限状态

超出这个状态结构物就不再满足使用要求。对海底管道有以下相关极限状态:

SLS——操作极限状态;

ULS——极端极限状态;

FLS——疲劳极限状态;

ALS——偶然极限状态。

25. 名义外径

规定的管子外直径,即应是真实外径。

26. 名义管壁厚

规定的管子无腐蚀壁厚,它等于最小的壁厚加上制造公差。

27. 不圆度

钢管圆周与圆的偏差。可用椭圆(%)或局部不圆度,即扁率(mm)表示。

28. 设计压力

管道正常运行期间最大的内压,该压力要指明在设计管道或管道段的哪一高度上。设计压力必须考虑所有流量范围内的稳流状态以及在使用恒定设计压力的管道或管段上可能的堵塞和关闭条件。

29. 负浮力

管道的负浮力也称为下沉力,是指单位长度管道在水中的重力。它等于单位长度管道在空气中的重力减去其在海水中的浮力。

30. 管道设计比率

管道设计比率为管道在空气中单位长度的重力与浮力之比。

1.4 海洋管道工程的设计内容

海洋管道工程设计的最根本要求,就是在一定的设计条件下,保证管道能安全、高效地完成海洋油气输送,在使用期中保证管道在设计环境条件下安全运转,在施工安装中保证管道能经受各种施工外载荷的作用。

海洋管道工程设计的主要内容包括如下几个方面:

(1)论证并确定管道设计的基础数据。基础数据包括环境条件数据和工艺条件数据,环境条件数据主要指管道的设计水深、潮位、风、波浪、海流、冰凌、地基土、地震、温度和海生物等情况,并合理确定其设计标准;工艺条件数据指所输送介质的流速、密度、黏度、凝固点、出口压力、温度以及服役年限等。

(2)对管道路线进行设计及综合优化。确定海底管道线路的一般原则为:①要满足生产工艺和总体规划的要求。②使线路的起点至终点的距离尽量短而且合理。③线路力求平直,避免跨越深沟或较大起伏的礁石区,且所选海底力求平坦,无活动断层、较弱滑动土层和严重冲刷或淤积。④避开繁忙航道、水产捕捞和船舶抛锚区。⑤海底管道的干管与海底障碍的水平距离一般不小于500m,距其他管道或海底电缆不小于30m。交叉时,其垂直距离不小于30cm。⑥登陆管道的登陆上岸地点极为重要,它与岸坡地质地貌、风浪袭击方位、陆地占地面积和施工条件等因素有关。根据以上原则,结合具体工程情况做出合理的设计。

(3)管道工艺设计计算。其目的是选择合理的管径及其附属材料,使其既能满足输送量的要求,又使能量的损耗不大,也就是流速和压降的损失都合适。根据输送介质的不同,可分为单相油(或气)的输送和油气两相混输。对高黏度、高凝点的油品,因流动时的压力、温度都有变化,有时会影响流动甚至造成堵管事故。为改善输送条件,需将油加热到较高的温度,并对管道进行保温,进行热油输送,这时流动原油的压降不但和流速有关,还和温度变化后引起的介质黏度变化有关,所以还要进行管道的温降计算,以确定输送时初始需要加热的温度和中途需要加热的程度以及加热站的布置。

(4)管道的稳定性设计。其目的是使管道在使用期间基本保持在原位,假若管道发生较大的上升、下沉或侧向移动,会影响管道系统的安全运转。管道稳定性丧失是由于外力引起的管道与环境之间平衡的破坏,所以要从长期运转的角度出发,进行满足这一平衡的管道稳定性设计,采取各种工程措施保证管道的稳定性。

(5)立管设计。浅海立管的设计主要是立管和膨胀弯的结构型式、布置、保护结构

和联接方式的设计,立管系统整体强度的分析计算以及立管系统的施工安装方法和施工中的强度分析计算。深海立管的设计要考虑立管布放的形式、平台的运动特性及海洋环境条件,对端点预张力、立管结构静强度、立管与平台运动耦合下的动强度以及立管涡激振动及疲劳等问题进行分析与设计。

(6)管道的施工设计。主要是根据施工现场和管道的具体情况,选定管道施工方法,设计管道的加工、焊接、开沟、铺设,管段的联接和就位、埋置等施工步骤,分析完成这些步骤所需的设备、材料和人力,研究管道在施工中的受力和稳定性情况,同时根据工期安排施工进度,并做出工程预算。

(7)管道的防腐设计。目的是控制管道的腐蚀,设计减缓内、外腐蚀的具体方法。

综之,海洋管道设计工作的具体流程如图 1-1 所示。

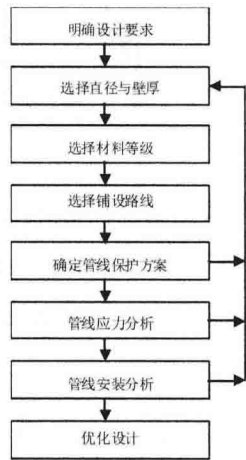


图 1-1 海洋管道设计流程

思考题

- (1)海洋管道系统包括哪些部分?
- (2)海洋管道系统设计的要求有哪些?
- (3)海洋管道工程规划的依据和内容有哪些?
- (4)海洋管道系统的主要设计内容有哪些?

第 2 章 海底管道系统的工艺设计

2.1 概 述

海底管道系统的工艺设计是根据海上油田总体设计规划中确定的工艺流程,对管道系统进行压降与温降计算、段塞上流分析、允许停输时间、再启动分析、注水注剂计算等一系列的工艺计算与分析。其中最主要的是压降、温降所必需的水力计算和热力计算。其目的是根据最大输送流量和输送温度,来选择合理管径和管断面型式,并计算压力及沿线温降等,同时为选择泵机组和加热设备等提供必要的技术参数,也为后续的管道结构强度计算与设计提供基础。

根据海底管道输送的介质不同,可以有单相油输送、单相气体输送和油气二相混输送状态。

海底管道管径确定的主要依据是流量,同时也要考虑流速和压降,它们和输送的介质(如黏度、天然气含量等)有关,确定管径的准则是:

(1)按使用期的最大流量计算。一般取最大流量的 1.2~1.5 倍。

(2)管道内的压降应包括各种管道附件如阀、弯头和三通等引起的压降。计算时,通常用一段当量压降的管长代替。有时在海底管道系统初选时因各类管附件类型、数目不太齐全,初步计算中应将管道计算长度增大 5%~15%(对长距离管道,取值可以小些)。表 2-1 为不同管径管道各种附件的当量压降管长度值。

表 2-1 不同管径管道上各种附件的当量压降管长度值

管径		球心阀球型 单向阀/m	角阀/m	插板式 单向阀/m	旋阀 闸阀 球阀/m	45° 弯头/m	小曲径 弯头/m	大曲径 弯头/m	T 形 支管/m
/in	/mm								
6	152.4	66.7	33.3	16	1.3	1.3	3.7	2.7	9.3
8	203.2	86.7	41.7	21.3	2	2	5	3	12.3
10	254	110	53.3	26.7	2.3	2.3	6	4	15.7
12	304.8	133	63.3	31.7	3	3	7.3	4.7	18.3
14	355.6	150	70	35	3.3	3.3	8.7	5.3	20.7
16	406.4	166.7	80	40	3.7	3.7	9.7	6	24
18	467.2	183	93.3	46.7	4	4	11	6.7	27.3
20	508	216.7	100	51.7	4.7	4.7	12	7.7	30
22	558.8	229	111.7	56.7	5	5	13.3	8.3	33.3
24	609.6	250	123.3	61.7	5.3	5.3	14.7	9	36.7

(3)计算出的管径要依工程实际情况做出必要的调整,使管径规范化。如果管道内径取得小,管道本身的费用低,但管内的摩擦损失大,就要增加输送压力和泵的容量,使输送的营运费增加。相反,管道内径取得大,管道本身的费用虽然增加,但输送的营运费可减少。因此,应在强度条件许可的情况下,选取管道的最佳内径,使管道本身费用与输送营运费用之和为最小。

一般在长距离输油管道中,若采用高压油泵则可选小的内径,若采用低压油泵则应选大的内径。选取管道内径时,应根据管道内石油的流动状态(层流还是紊流)考虑管路的摩阻损失。同时,由于原油内含有天然气,当原油在管道内流经一定距离后而压力不足或者管道内径大而流量足时,天然气会从原油中释出,形成油气两相流动,甚至在管内汇集成一大段天然气团把管内原油流动隔断,使得管路中的压头损失增大,原油从管道出口端断断续续流出,时而喷气时而出油,形成所谓“涌流”现象,因此在长距离输油的海底管道设计中,不应选比设计流量所要求的内径大很多的管径,以避免涌流现象。

表 2-2 为俄罗斯输油管道的技术指标。

表 2-2 输油管道的技术指标

原油管道			成品油管道		
管外径 /mm	压力 /MPa	输送能力 /10 ⁴ (t/a)	管外径 /mm	压力 /MPa	输送能力 /10 ⁴ (t/a)
530	5.4~5.5	600~800	219	9.0~10.0	70~90
630	5.2~6.2	1000~1200	273	7.5~8.5	130~150
720	5.0~6.0	1400~1800	325	6.7~7.5	180~230
820	5.0~6.0	2200~2600	377	5.6~6.5	250~320
920	4.8~5.8	3200~3600	426	5.5~6.5	350~480
1020	4.5~5.6	4200~5000	530	5.5~6.5	650~850
1220	4.4~5.4	7000~7800			

用于海底管道的钢管一般采用无缝钢管或直接焊接钢管。当钢管直径不大时可采用碳素钢、碳锰钢和低合金钢的钢管；直径大时可采用高强度钢、合金钢钢管，例如美国石油学会的 API 5LX 规格的 X52、X56、X60、X70 等级的钢管。一般来说，所采用的钢材应具有足够的强度、延性、韧性和抗腐蚀性，而且易于焊接。API 5LX 型钢材最为合适，一般常用 X52 与 X56 等级，API 5LX52 的力学性能为：抗拉强度 455MPa；屈服强度 359MPa；延伸率 25%。

近年来，海底管道工艺设计普遍使用计算机模拟进行分析，如美国的 PIPESIM 软件、PIPEPHASE 软件和加拿大的 PIPEFLOW 等软件。这些软件中均汇编了多种计算方法以及一些修正系数、参考数据库等供设计者选择。

2.2 等温输送管道的工艺计算

对于低黏度、低凝固点的油或沿线温降很小的热油管道，在工程上都可称为等温输送管道。这类管道的工艺计算，是以一般输送过程的水力计算为主。

2.2.1 单相输油管道

对于单相输油管道，在输送最大流量时，为了减小通过控制阀前的油中气体因压力突降而分离或闪蒸，流速不应超过 3m/s；而为了不使流动油液中的砂粒或其他固粒淤积管内，实际流速也不应小于 1m/s。

对于等温输油管道进行水力计算时,由给定的正常输油量 Q 和大致选定的平均流速 V (可采用经济流速参考值,如表 2-3 所示),由式 $D_i = 1.128 \sqrt{\frac{Q}{V}}$ 初步选定一个或几个管内径。

表 2-3 管路中油流(或气流)的经济流速参考值

油品运动黏度 /(mm/s)	平均流速/(m/s)	
	吸入管路	排出管路
1~12	1.5	3.5~2.5
12~28	1.3	2.5~2.0
28~72	1.2	2.0~1.5
72~146	1.1	1.5~1.2
146~438	1.0	1.2~1.1
438~977	0.8	1.1~1.0
压缩性气体	8~20	
饱和蒸汽	30~40	
橡胶软管	一般 6~9,极限 13~15	

有了流量 Q 、流速 V 、管内径 D_i ,再根据输送油品的特性和条件(黏度、温度等)以及管路内部的油流流态,即可进行水力计算,计算后,取压降最小的内径作为设计管径。计算 ΔP 时可采用以下两种方法。

1.用管道水力学方法计算

管道在等温输送时的压降 ΔP (即摩阻损失 h)为沿程摩阻损失 h_L 和管道上局部摩阻损失 h_g 之和,即 $\Delta P = h = h_L + h_g$ 。

(1)沿程摩阻损失为:

$$h_L = \lambda \frac{L}{D_i} \frac{\bar{V}^2}{2g} \text{ (m)} \tag{2-1}$$

式中, L ——管道计算长度(m);
 D_i ——管道内径(m);
 $\bar{V}$ ——管路内油流平均流速(m/s);
 g ——重力加速度(m/s²);
 λ ——水力摩阻系数,与管路内油流的流态有关,由雷诺数 Re 以下列方法确定。

管路内油流的液态,用 Re 的大小表示时可分为三种流态:层流、紊流和介于两者之间的过渡状态。

在紊流状态中再根据 Re 的大小和管路内壁粗糙度,又可细分为紊流阻力光滑区、