

[苏] B.M.阿加普金 C.H.鲍里索夫 Б.П.克里沃舍因

管道计算手册

石油工业出版社

内 容 提 要

本书简介了管道的计算方法,描述了原油、成品油和天然气的物理性能和土壤的热物理性能。着重阐述了管道的强度和稳定性计算,油气管道在原油、成品油和天然气稳定和非稳定热交换情况下的热力计算。叙述了管道的水力计算,探讨了管道的高效运行及其最佳参数的选择问题。

书中除了介绍大量的计算公式外,还列出了与之相应的诺谟图和参考用表,并涉及了计算机程序的应用问题。各种计算方法均附有实例,便于读者理解和实际应用本书所推荐的计算公式和诺谟图。

本书可供从事管道设计、施工和运行管理的工程技术人员、科研工作者及有关大专院校师生阅读参考。

В. М. АГАПКИН С. Н. БОРИСОВ

Б. Л. КРИВОШЕИН

СПРАВОЧНОЕ РУКОВОДСТВО
ПО РАСЧЕТАМ ТРУБОПРОВОДОВ

НЕДРА

1987

*

管道计算手册

В. М. 阿加普金

(苏) С. Н. 鲍里索夫

Б. Л. 克里沃舍因

许德全 译 施 奈 校

*

石油工业出版社出版

(北京安定门外安华里二区一号楼)

北京顺义县燕华印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

850×1168毫米 32 开本 67/8印张 181千字 印1—11000

1991年 9 月北京第 1 版 1991年 9 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-0534-4/TE·510

定价: 2.60 元

目 录

绪 论	(1)
第一章 管道计算方法	(3)
第一节 管道的设计任务和运行任务	(3)
第二节 管道计算的模型和方法	(10)
第三节 管道计算的诺谟图方法	(15)
第二章 所输介质的物理性质	(26)
第一节 密度	(26)
第二节 粘度	(37)
第三节 热容	(43)
第四节 导热率	(47)
第三章 管道计算时使用的环境特征	(52)
第四章 管道的热力计算	(61)
第五章 管道的水力计算	(91)
第一节 原油管道和成品油管道的计算	(91)
第二节 干线输气管道的水力计算	(114)
第三节 复杂输气管道的水力计算	(119)
第四节 输气管网的水力计算	(125)
第五节 塑料输水管道的水力计算	(130)
第六章 管道的强度和稳定性计算	(140)
第七章 工艺计算	(150)
第一节 输气管道	(150)
第二节 原油管道和成品油管道	(168)
第八章 技术经济核算	(174)
第九章 管道计算的自动化	(187)
第十章 北方管道的计算特点	(196)
第十一章 管道不稳定过程的计算	(207)
参考文献	(213)

绪 论

管道日益成为国民经济和各行各业基础设施的重要组成部分。管道运输这种新型的运输部门已经形成,并且得到迅速发展,它现在担负着苏联全国2/3以上的燃料运输任务。该部门拥有总长度达24万多公里的干线油气管道网和成品油管道系统。其中包括几条长达数千公里、直径为1420毫米的横贯大陆的管道。80年代前半期,管道增加了约4万公里,如果把管道参数的强化因素考虑在内,其长度相当于1970年末运行管道的总长度。现在,干线管道担负着几乎全部天然气、相当部分原油和成品油的运输任务。管道越来越广泛地用于大量水和各种化学产品(氨、乙烯)的远距离运输。运送煤和精铁矿的干线管道,用胶囊运送沥青的管道和用集装箱运送沙子、碎石、粮食和饲料等的管道的建设工作已经准备就绪。发展二氧化碳、液化石油气、氢和某些其他介质的干线管道运输的经济条件和技术条件已经具备。

发展国民经济的战略方针规定要继续加速发展管道运输能力。在1986~1990年及2000年前苏联经济和社会发展的基本方向中计划要发展管道运输,大量建设输气管网和成品油管道以及由此分出的送至用户的分配管道,并指出必须加强管道水力输送方面的工作。

管道运输在发展国民经济中的作用日益增强。管道从根本上加强了运输,首先是采油企业、油库和储气库、石油化学和化学工业的运输,食品行业和其他工业部门的运输,以及近年来农业企业方面的运输。管道在市政设施中的作用很大,可用于输送水、天然气和热,排放废水。

随着工业技术条件和经济条件的变化,将形成管道发展新方向的先决条件,产生管道运输的新工艺和新方式。对此具有促进

作用的是：把物理化学性质复杂的液体、气体和其他物质引入到生产周转中来，管道敷设区自然气候条件多样化的增加，运输过程的大规模 and 高度集约化。

管道运输的技术和工艺在如此蓬勃发展，这就提出了许多原则上全新的、越来越复杂的技术问题和经济问题。同时，管道设计和运行的传统任务更加复杂，对设计和运行方案可靠性的要求明显提高。新科学课题和工程课题的独特性和各种管道系统的特殊性加强了研究工作和设计工作的专业分工，结果，不同类型管道计算的观点和方法产生了差异，个别知识领域的发展出现了不平衡。由此可见，需要一部这样的著作：它能概述管道设计与运行的各种问题，以手册的形式系统地叙述解决这些问题的方法；总结适用于各类管道的最有价值的成果，揭示其中的共同点，并在必要的程度上反映其特殊性。实质上，就是要评述一下业已形成的管道科学和管道设计与运行的丰富实践经验。

本书就是这一重要集体著作（这一著作很大程度上已经体现在先前发表的著作^[14, 38, 41, 44, 45]等）中的一个阶段性总结。书中叙述了广为采用的管道计算方法，收集了计算所需的参考资料。本书的特点是：在方法拟定上主要采用诺谟图表示。采用诺谟图方法的用意是使计算方法简单化，更易于为广大工程技术人员所理解，而所得结果更便于分析。诺谟图方法与电子计算机采用综合程序进行自动计算并不相悖，而是相辅相成的。采用诺谟图能很快地完成必要的估算和进行对比分析。

在编写这本书时，考虑到篇幅有限，因而只着重介绍了输送天然气、原油和成品油的干线管道系统，同时也简述了配气管网和输水管道的计算。随着诺谟图计算经验的积累，该计算方法也可以推广到其他类型的管道上去。

第一章 管道计算方法

第一节 管道的设计任务和运行任务

管道是一种比较新的工程系统,具有很大的发展潜力。苏联油气工业的快速发展,各种液体和气体货流大量而稳定的存在——国民经济中业已形成的这些技术条件和经济条件,有助于进一步发挥管道高度的有效潜力。管道的用途和应用范围急剧扩大。管道的工艺结构和技术维护愈加复杂。同时,管道的外向生产经营和工艺联系日益加强。管道计算的内容和范围也相应地发生了变化。随着管道联合成复杂的统一系统(例如统一供气系统),出现了作为一个系统所具有的原则上全新的性质。对这些性质进行数量评定具有重要意义,并成为一项独立的研究课题^[24, 37]。

设计和运行时的计算内容和完成方法尽管有着很大共性,但其目的和任务却存在着本质差别。主要是设计计算中的可变参数和条件的构成在很多方面不同于运行时的构成。设计阶段研究的是各种不同的工艺和工艺流程、设备的构成和参数、管道的结构方案和敷设方案。而这些参数(管道线路、管径、壁厚、所配备的泵和压缩机的台数和型号等)在运行时都已固定,或者它们的变动只局限在比较狭窄的范围内。因此运行方式是在设计方案和施工方案所限定的范围内予以计算。另一个不同方面是,设计计算是以管道可能性最大的、通常是以平均的(在许多情况下是极端的)运行条件为对象,而运行计算则应当反映与管道有关的生产部门(包括所输产品的用户)的变化条件,应当考虑管道各部分在工作中和周围环境中的偶然性变化和不确定性变化。在过渡工作状态下,明显扩大了与评价管道输送能力有关的任务范围和

管理管道的任务范围。

管道设计和运行的众多任务，从最广泛意义讲可以分为全系统的任务和与个别管道计算有关的任务。第一类任务是比较新的，如上所述，它与具有统一管理和大量内部联系的庞大管道系统的分析有关。这些任务包括管道系统在管理和发展方面表现出来的系统的性质（经济性、可靠性、稳定性、整体性、可控性等等）的定量评价。其计算资料可用于选择管道系统的发展战略；组织业务联系和工艺联系的层次；建立和配置系统的储备；解决长期运行的其他问题；同时论证整个系统工况管理的最佳方案；协调本系统各个组成部分的工况；协调本系统与相关系统的工况以及论证本系统储备的合理配置等最佳方案。

这一类任务的解决是以所输产品在管道中移动所反映出来的物理现象和过程的计算、设备的工况计算以及与各别管道工作有关的其他计算为基础的。如果后面这一类计算已经规范化，那么研究全系统的问题在很大程度上需要个别对待，其解法大多是唯一的^[24, 37]。

就各别管道的计算而言，其设计和运行任务的总体，可以有条件地分为下列几项基本计算：优化计算和技术经济核算；工艺计算；水力计算；热力计算；强度计算；稳定性计算和变形计算（力学计算）；在与管道施工和运行有关的环境中的热力变化、力学变化及其他变化的计算；外部作用对管道影响的计算；输送过程的计算以及所输介质性质的计算。

优化计算与技术经济核算包括的任务范围很广泛，从管道设计任务书中所包括的基本参数的选择开始，一直到管道上安装的设备及其投入运行的方式的确定。其中还包括一系列任务，特别是选择管道的最佳走向和敷设条件；确定最有效的输送工艺流程和管道参数（直径、压力、温度、泵站和压缩机站的间距）；确定管道各个组成部分的合理储备水平；根据供货条件、所输产品的需要量和工艺设备输送能力的变化确定最优运行工况；确定管道运行的效益和选择改进运行特性的方式，例如提高其输送能力

以及其他任务。

工艺计算包括：选择输送工艺和工艺流程；论证管道工艺结构；确定所需设备的构成、型号及其技术性能要求；确定工艺设备的工况；按照工艺流程的要求协调工艺设备间的工况；选择设备工作的调节方式等等。

水力计算包括：确定所输介质在管道不同截面处的压力与速度，以及液流在管道各个部分的压头损失。

热力计算包括：确定所输介质的温度、计算管壁和工艺设备的热状态，以及热流在管道各部分的损失及其热阻力。

力学计算包括：计算管道、结构、装置和设备在压力、温度及其他荷载下的强度、稳定性和变形性，并选择对工艺所规定的运行工况下保证管道可靠地工作的这些参数值。

热力计算和力学计算与管道周围介质的热变化和力学变化的确定有密切关系，特别是在地下敷设的情况下。在管道的作用下，管道周围土的温度、温度场和应力会发生变化，这对管道本身的可靠性和稳定性以及生态变化是至关重要的。所完成的与此有关的计算有其特殊的目的和进行计算的独特方法。除计算管道周围介质的热力变化和力学变化之外，往往还要求对水分的渗透、冰岩的及其他的变化进行预测。

外部作用对输送过程和（作为工程构筑物的）管道影响的计算包括：确定外部介质的温度、风荷、雪荷和其他力学荷载以及评价地震程度等。

对所输介质性质的计算包括：对设计管道和预测其运行工况所必需的物理、热力、化学以及其他特性的研究。

在上述分类中，基本上采用学科特征（经济学、水力学、输送工艺学、热力学、力学的计算），但同时也反映了计算的阶段性（所输介质的性质、外部作用和荷载的资料准备）以及有关评价管道周围自然介质变化问题的特殊性。也可以有别的分类方法，即在更大程度上反映某项具体分析目的的分类方法，例如按管道系统各个组成部分（线路部分、泵站、压缩机站、泵机组、压气

机组、辅助生产部门等)或按其他职能系统(供电、阴极保护等)的设计和运行特点,对计算进行分类也是合理的。管道工作的稳定过程和过渡过程的计算必须加以区别。

是区分计算的某些特殊性,还是弄清楚计算在目的、方法和数据库中的共同点,这要取决于具体分析的任务。在管道设计和运行中所要解决的任务越复杂,则所要完成的计算方面以及它们之间的相互联系就越是多样化。图1表示各种相对独立的计算之间的联系。例如,在进行水力计算(确定管道沿线压力降曲线、压头损失和通过能力)时,必须要有关于工艺流程、液体温度和

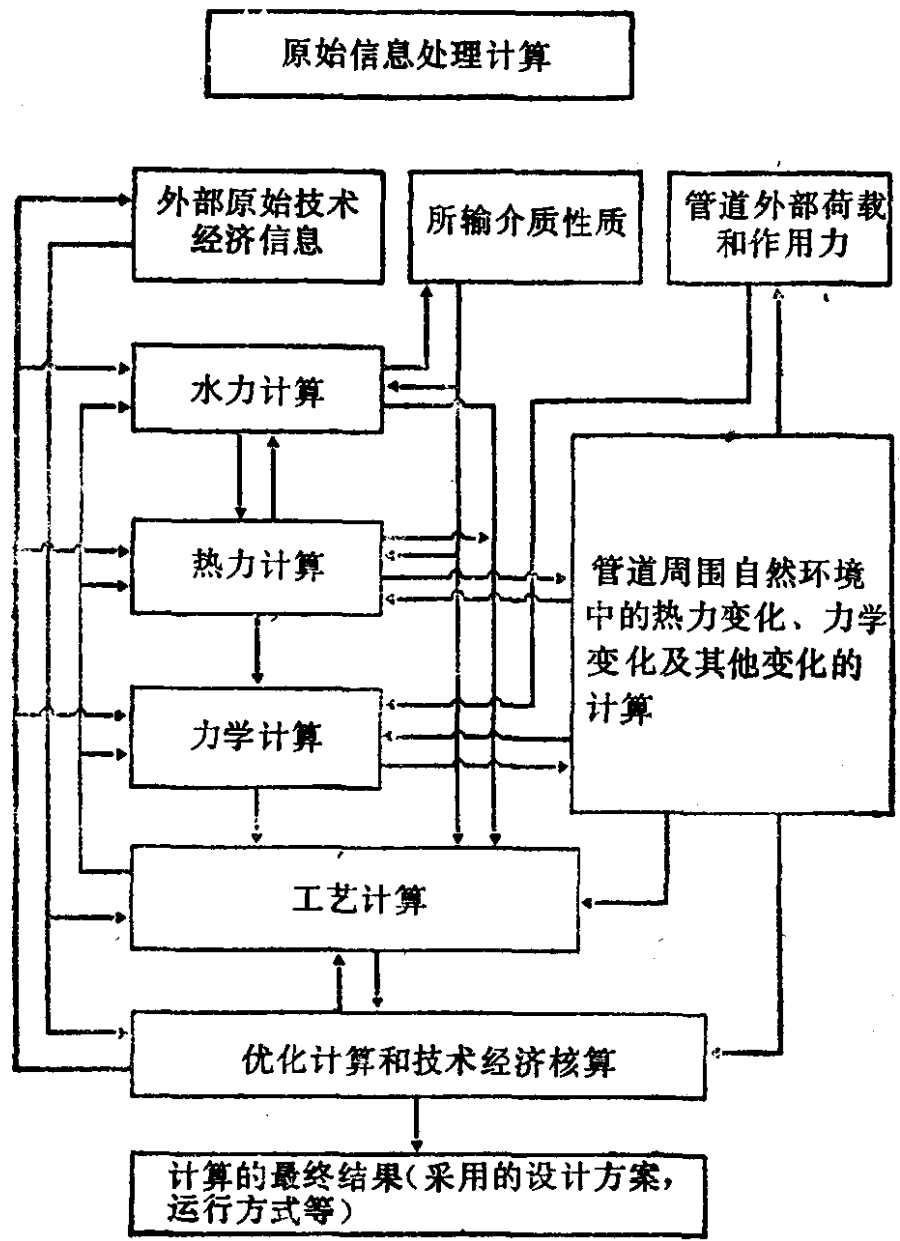


图 1 管道各类计算联系图

管道内径等方面的初步数据。同时，为了论证输送工艺流程和管道最优参数，则需要水力计算等方面的资料。计算的独立程度各不相同。如果说水力计算与热力计算之间或被输液体（或气体）热力状态与管道周围土体热力状态之间原则上不可能分开的话，那么其他计算在很大程度上是独立的；它们之间的联系则是通过对独立得到的结果，进行反复协调予以保证。这种反复协调是在现有经验的基础上从事先规定的管道工作最有可能的参数和工况出发，依次完成所有各类计算来达到的。例如，在设计时可以在典型方案的基础上规定工艺流程、管道结构及其基本参数，然后再在水力计算、热力计算、力学计算以及与周围自然介质的相互作用计算的基础上，以高度收敛性予以精确化。

图1在总体上表示了所研究的这种联系。以热力计算为例，这种计算是多种多样的，而且相当复杂。如果说10~15年前只有少数管道（主要是输送高温液体的管道）进行热力计算，那么现在由于工艺的复杂化和干线管道单位功率的提高，这种计算已变成普遍现象。同时，只考虑管道的热交换条件已经不够，而且要主动地控制管道的热力状态，因为热力状态已成为确定输送工艺、管道结构、运行可靠性和保护周围自然环境的重要因素。管道热力状态的预测和控制已成为一个很重要的问题。

热力状态的预测和控制有几个方面。其中的第一个方面是人所共知的，即工艺方面。是指温度条件对输送工况的影响，并将温度作为一个可控制工艺参数来考虑，例如重油管道、热输管道以及其它需要加热或冷却所输介质的管道在运行时，其性质主要取决于温度。

另一个方面是温度条件对选择管道结构的影响。为了限制温度对管道应力应变状态的影响，以及热荷载对周围介质的影响，应当改变管道的结构，即采用保温层、补偿器、伴随管等等。在进行蒸汽管道和埋设在承载能力较低的土中的管道的设计和运行时，尤应首先注意这些问题。

管道结构的变更经常辅以施工方案的变更，首先是管道的敷

设方式、合拢条件和施工工艺的变更。这里就出现了控制管道热力状态的施工方面的问题，它对于大型输气管道系统（特别是敷设在极端自然气候条件下的输气管道）是重要的。

下一个方面与所输产品的质量有关。温度对液体和气体的物理化学性质有着很大影响，因此将温度保持在一定范围内，就意味着通过管道交付用户的产品能够保证所要求的质量（原油粘度、天然气的含水量、蒸汽的温度等）。

最后应当强调管道的热力状态在生态方面的问题。这就是对管道的热力工况进行调整，以保证管道线路带内的生态接近于自然状态。这主要与北方地区的大型管道有关，因为北方管道的敷设对多年冻土的状态有很大影响。

尤其应当重视可靠性和经济性方面的问题。这两个方面综合了管道热力状态对管道工艺、结构、施工方案、周围自然环境和所输产品质量的影响。可靠性和经济性指标是最终的指标，它们不代替其它指标，而是对管道热力状态计算的目的和方法给出在性质上全新的概念。

在强调管道与周围自然环境的热力相互作用过程不同方面相互制约的联系的同时，还应当注意，在许多情况下这一过程可能归结为最简单的、局部的过程。例如，南方地区高粘液体管道在运行时，液体的粘度系数与温度的关系很大，但加热的程度并不大，此时只有温度对液体流动状态的影响才是重要的。因此，管道与自然环境的热力相互作用过程的全部多样性，会有条件地归结为液体、管道本身以及周围环境相互制约的热交换过程对工艺状态的影响。对于输气管道来说，这种过程在大范围内对输气能力和水力摩阻几乎没有影响，但是从控制管道应力和应变的角度来看，却是非常重要的。

类似的分析揭示了管道的其他各类计算与设计任务和运行任务的联系，也揭示了设计任务与运行任务之间的联系。

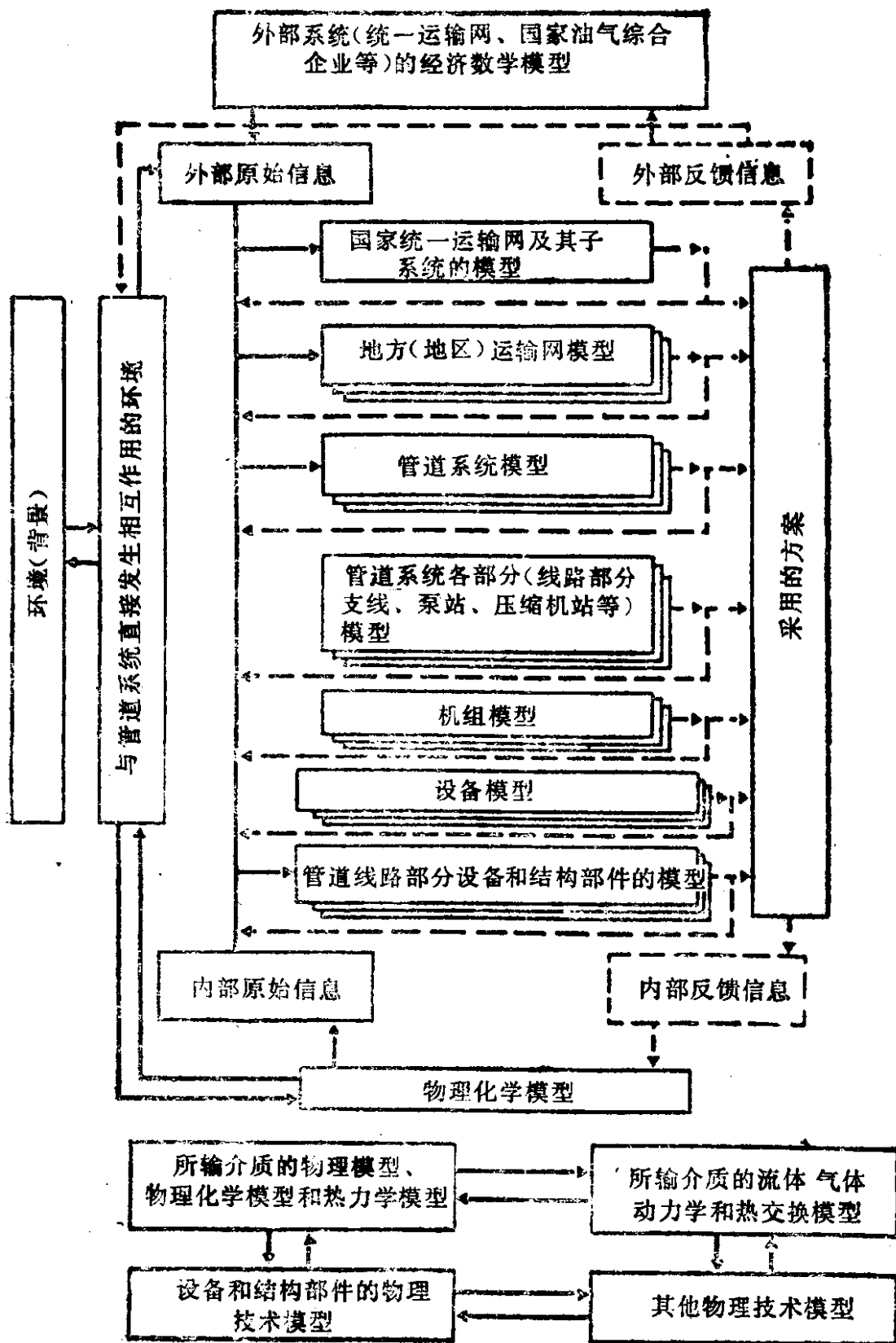


图 2 管道计算的数学模型系统

第二节 管道计算的模型和方法

管道计算依靠的是能以具体分析所需要的准确度反映（作为工程系统和生产经营系统的）管道本质性质的模型。图 2 表示最一般的数学模型系统。它包括管道网及其子系统按层次建立起来的全部经济数学模型和物理技术模型，一直到各别管道的设备和结构组成部分的模型。经济数学模型的用途，是优化设计和运行中的管道网各个组成部分的参数和联系；规划管道的生产经营活动。经济数学模型与物理技术模型是密切联系的，后者能反映所研究的工程系统在工作时产生的重要现象及过程，用以确定工艺参数和经济参数。物理技术模型描述所输介质沿管道的运动，伴随着这种运动的热交换和质交换以及管子和设备的应力和应变的过程。物理技术模型还描述管道设备、各种结构、管道配件和其他组成部分的工作，以及所输液体和气体的性质。物理技术模型主要描述管道系统功能的内部规律性，而经济数学模型则从经济性、可靠性、使用年限和生产率等合成指标的角度来反映这些规律性。两种型式的模型构成一个统一的轮廓，从而保证对管道系统的完整描述。同时两种模型各有其独立的作用，并用于不同的目的。随着研究对象的扩大，如果只要求对某种工艺过程实现的技术可能性作出评价时，经济数学模型的作用就提高。反之，如果研究工作只涉及设备和结构的组成部分的模型时，通常对经济数学分析的要求就降低，而这时物理技术模型的作用就增加，因为这一水平和低于这一水平的主要问题已不属于经济学，而属于力学、流体动力学、热力学、热物理学、金相学、物理化学和其他技术学科。

由图 2 可看出，除封闭的内部范围外，模型系统还与外部生产经营系统和周围自然环境有着正向和反向联系。正向联系属于经济数学模型，而周围自然环境的（特别是与管道系统有直接相互作用的）描述是以物理模型为基础的。外部系统的特性对于管道设计和运行所采用的方案是稳定的，因而使经济方案和工艺方

案优化的多阶段（通常由两个阶段，即“自下而上”和“自上而下”构成）的协调工作成为可能。同时所用信息的详尽程度随“自下而上”运动而减少。作为外部系统的周围自然环境，其特点是不单单是一些稳定的指标（管道沿线的气候、地形和工程地质特征等），而且也是依赖管道敷设条件和运行条件而变化的变化过程（土的融化和冻结、地区的沼泽化等）。因此，图2标示出了反映自然环境中这种变化的模型。

管道计算所用模型的建立取决于具体分析的目的，一般包括：物理现象、工艺过程和经济规律的拣选和分析；被研究对象、过程和规律的本质特征和非本质特征、重要因素和次要因素的确定；以微分方程组或其他方程组、收支平衡表、准则函数等形式建立物理模型、技术模型和经济模型的数学比拟；将外部现象、过程和联系予以等效化，即将其表达成最简单的数学模型的形式；搜集模型输出输入处的信息；将所研究模型分解成若干个相互联系比较简单的模型；独立研究其中的每一模型，随后在各个模型之间协调所得到的结果。

经济数学模型以平衡关系、目标函数的形式以及管道系统（其子系统和组成部分）的准则指标与专门选定的检验区间内的变异标志的另一种关系形式反映出来。在模型建立之前，需要确定计算的任务和目的；查明固定标志和变异标志以及效果因素；确定准则指标和优化（效果）准则；分析模拟对象的技术内容和工艺结构。根据对所研究对象可能建立的方案和发展条件的分析，形成能反映研究对象的工艺和经济的费用与效果的比例关系，这种比例关系便构成计算模型的基础。这一模型还应当包括描述准则指标（通常是经济指标）与输送工艺、管道设备、装置和线路部分的技术特性之间联系的模块。此外，还应当包括能构成外部联系等效的模块。这样的经济数学模型通常还应当增加启发性分析要素，以便能反映某些虽然难以进行定量评价但是对于优化方案的论证和效果的评定（例如评价社会效果和影响）却是很重要的因素和条件。

上述经济数学模型多数是离散型的，但是在选择最佳工艺制度时可能会是连续型的或中间型的。优化比较小的系统（机组、设备），一般采用静态模型；而优化比较大的系统，则采用动态模型，因为动态模型能反映管道加载时的变化、管道建设的阶段性、价格的变动以及其他变化着的条件。对于大型生产经营系统（例如国家的统一管道网及其地区的子系统或职能子系统）的分析，则采用动态平衡模型，因为它能考察逐年的所有直接费用和相关费用以及直接收益和相关收益，并能确定绝对效益。这种模型可用于长期规划（例如，与新工艺的开发与掌握，管道的技术改造等有关的规划）的评价。对于比较小的规划和项目，折算费用可用作模型。所有模型的共同点是：能以某种形式反映下列五组指标：对所研究系统（项目）输入处指标的经济评价；一次性直接费用；经常性直接费用；包括对自然环境影响有关的费用（效益）在内的相关生产部门的经济效益（损失）；所研究系统（项目）输出处指标的经济评价^[10]。

与实现经济数学模型有关联的计算方法要求根据这些模型中所采用的函数关系，预先确定经济指标，并在此基础上选择较好的设计方案或工艺方案。当参与比较的方案较多时，则采用相应的线性规划和动态规划方法。对于连续型模型则采用熟知的目标函数极值搜索法。

管道计算中所采用的物理技术模型更是多种多样。其中最主要的是描述所输介质的流动模型和换热模型，这些模型是以连续介质的能量守恒、物质守恒、动量守恒的平衡方程式为基础，并考虑运动液流与周围环境的换热特点。模型的详尽程度取决于研究的目的、对于研究结果可靠性的要求、数学方法的可能性，并在很大程度上也取决于原始信息的误差和不确定性。

在每一具体情况下，单独研究和评价数学模型的适合性固然重要，但还是应当强调若干带有普遍性的基本因素和公认的假设条件。

液体（气体）在管道中的流动，是一种物质和能量传递的相

互制约的统一的物理过程。在此过程中，速度分布和温度分布既在它们之间相互关联地产生，又在周围环境（管壁、热绝缘层、土体和邻近的大气层）的热质交换过程中产生。这就是说，数学模型应当是液流和周围环境中进行的热质交换的完全（共轭）方程组，并补充以共轭条件，边界条件以及液体的物理特性与状态参数的关系式。在这一统一的方程组中，可以有条件地分出反映液流中热质交换的方程（内部问题）和在外环境中的热质交换方程（外部问题）。

在描述内部问题时，一般认为液体是正压的，其物理性质与温度的关系不大，可以不计温度对它的影响；与对流传热相比，在热量传递中可以不考虑热的传导。对于许多问题来说，有可能认为能量耗散很小。在参考文献〔3, 17, 19, 22, 23〕中叙述了稳态流体力学过程和非稳定运动的相应的能量方程、连续性方程和运动方程。在一般情况下，该系统的这些方程考虑了管道截面处的温度场剖面 and 速度场剖面。但对于大多数工程问题来说，采用流动的一维模型是正确的。这样做可以不必用数学方法对管道截面上的速度场和温度场特点进行单独的研究，而可用实验方法求出的局部传热系数和水力摩阻系数的平均值进行评价。在一维模型中考察速度和温度在截面处的平均值。把管壁内表面温度与液体温度成比例的差，取作管壁上的局部热流密度。液体温度场剖面对水力摩阻的影响通过修正系数来计算，而修正系数则通过较一般的数学方法，即标准模型解出或通过实验方法求出。

在描述外部问题时，认为热量传递是穿过管壁通过导体的热传导进行的。热绝缘层中热量传递机制也与此相近（如果其防火有保证的话）。管子金属和绝缘层的热物理特性可认为是常数，取其作为平均计算温度条件。也允许不考虑管子和绝缘层沿管道方向的热流，因为它们实在太小。

有关土中热质转移是需要专门讨论的问题。众所周知，土是多相分散系统，物质在土中可能处于固相、液相或气相状态。在这种系统中的热交换过程，是通过传导、对流、辐射和质量交换

的作用进行的。将决定土中热量传递的所有因素和现象考虑在内，就能得到分子热传导、质量交换、对流换热和辐射换热的微分方程组。但是在干燥和微湿土中起主要作用的是热传导，而其余成分的影响很小。因此参考文献〔54〕建议把土看作是准均质固体，并用热传导方程式来描述。同时，其他机制对热量传递的影响则根据经验用有效导热系数来计算。当分子热传导占优势时， $\lambda_{r,p}$ 的值接近于导体的导热系数值，但是在湿土中由于有自然对流， $\lambda_{r,p}$ 的值可能增加数倍。当土中存在相变时，热物理特性在融土区和冻土区的各自范围内多少呈平缓变化，而在其边界上几乎呈阶跃式变化。相过渡边界可以分为两类：其一，与土表面上空气温度的季节波动有关；其二，与管道的热力作用有关。因此，对于每一土区，应当建立各自的热传导方程，而在其分界边境上给出温度的连续条件和斯捷凡（Стефан）热流平衡关系。

近地大气层的变化影响着每天土表面的能量和质量交换过程。这些过程的机制在参考文献〔54〕中有详尽的研究。根据这一研究，可以认为用带有与空气相邻边界上第三类等价条件的热传导方程的解，来代替“土-大气”共轭问题的解是有根据的。包括在这一边界条件中的传热系数，根据经验应当考虑土表面换热的所有因素。草层和雪的热阻力影响可以作为“附加层”近似地加以计算。这样，在边界条件中包含着其变化与管道热力状态无关的物理特性，它们可以直接测定。这就是空气的温度、太阳辐射程度等。其值随时间而变化，而且这种变化对管道中热质交换过程可能是很重要的。

因此，外部问题的微分方程组包括穿过管壁、绝热层及其他圆筒型层（管子内壁上坚硬结垢层和防水层等）的热传递方程和土中的热传递方程。对于架空管道和水下管道，外部问题应当包括在管道热影响区边界上相应条件下的邻近空气和水体的冲量转移方程和能量转移方程。

上述方程组还应当包括所输产品和周围环境的物理特性与状态参数（温度和压力）的关系式，还有管道内外表面上的共轭条