



〔苏〕M.B.卢里耶等著

成品油 顺序输送 最优化



石油工业出版社

内 容 提 要

本书总结了苏联成品油长输管道顺序输送不同种类油品所取得的成果和经验。详细论述了管输中油品掺混形成混油的机理,影响混油形成的有关因素,以及计算混油的方法与公式。着重介绍了顺序输送的最优化问题,以及如何防止和减少混油形成的措施。无疑本书所述内容对于我国成品油管道工业是可以借鉴和有所裨益的。

本书可供从事原油和成品油管道输送的设计、科研和生产管理的工程技术人员阅读参考,也可供大专院校有关专业师生学习使用。

М.В.ЛУРЬЕ, В.И.МАРОН, Л.А.МАЦКИН,
М.Э.ШВАРЦ, В.А.ЮФИН
ОПТИМИЗАЦИЯ
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ
ПЕРЕКАЧКИ
НЕФТЕПРОДУКТОВ
《НЕДРА》, 1979

成品油顺序输送最优化

〔苏〕М.В.卢里耶 等 著
吕世昌 张泽溥 译 严大凡 校

石油工业出版社出版
(北京安定门外安华里二区一号楼)
北京昊海印刷厂排版印刷
新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 32开本 11¹/₈印张 243千字 印1--2,000

1989年5月北京第1版 1989年5月北京第1次印刷

书号: 15037·2995 定价: 2.70元

ISBN 7-5021-0144-6/TE·142

前 言

苏联国民经济发展计划规定，要加速扩大从油田至炼油厂的原油长输管网系统和工农业发达地区的成品油长输管网。由于西西伯利亚地区采油业的发展及开采量的增长引起输送流向上的变化，使得输送量持续上升。

如果没有完善的原油和成品油管道输送工艺，要完成石油开采与炼制工业所面临的任務是不可能的。不同种类的成品油以及不同物理化学性质的原油可以用一种称为顺序输送的方法在同一管道中输送。这种管输方法虽然有各种优点，但也有严重缺点，即在不同种类油品接触区会形成混油。

用管道输送成品油的数量在逐年增加，对于成品油输送质量的要求也在不断提高，因此如何防止混油形成的问题变得尖锐起来，不解决这一问题就不可能进一步提高不同种类成品油管道输送的效果。

在许多管道上制订了防止混油形成的措施并积累了采用液体和机械隔离器的经验。

在苏联的实践中，机械隔离器首先应用在俄罗斯石油和石油产品运输及供应总局的古比雪夫—勃良斯克管网上。本书的作者们都直接参与了这些隔离器的实际应用工作。

直接接触和应用机械隔离器的输送经验以及本书中阐述的这方面的理论研究，对其它成品油管道的管理过程也将是

有益的。

本书第一章是由 Л.А.玛茨金写的。第二章和第四章是由 В.А.尤芬写的。第三章是 В.И.马龙写的。这一章的后边四节是 М.В.卢里耶写的。第五章是 М.В.卢里耶和 В.И.马龙合写的。第六章是 М.Э.施瓦茨写的。

目 录

第一章 顺序输送的基本概念	(1)
第一节 液体的管道输送.....	(1)
第二节 用顺序输送作为原油和成品油的输送方式...	(2)
第三节 顺序输送的特点.....	(4)
第四节 顺序输送成品油时减少混油量的措施.....	(5)
第二章 顺序输送工艺	(11)
第一节 在成品油长输管道上组织顺序输送.....	(11)
第二节 不同种类成品油的混油在末站的接收和销 售.....	(15)
第三节 不同粘度油品置换过程的水力计算.....	(26)
第四节 密度不同的油品的分界面通过离心泵时管道 压力和通过能力的变化.....	(45)
第五节 顺序输送的自动化设备和监控仪表.....	(49)
第三章 顺序输送中混油的形成	(63)
第一节 不同液体在接触区混合过程的机理.....	(63)
第二节 在成品油管道横截面上混油浓度分布的试验 研究.....	(65)
第三节 在长输管道中混油的形成过程.....	(69)
第四节 纵向扩散的一维模型.....	(73)
第五节 有效扩散系数.....	(79)
第六节 计算有效扩散系数的公式.....	(80)
第七节 泰勒的纵向扩散模型.....	(84)
第八节 计算管内牛顿流体的有效系数的理论公式...	(86)

第九节	非牛顿流体的有效系数.....	(90)
第十节	按混油区长度和体积确定有效系数的方法...	(96)
第十一节	按浓度分布曲线的标准离差确定有效系数的方法.....	(98)
第十二节	按一种液体混入另一种液体的量计算有效系数的方法.....	(101)
第十三节	调制函数法.....	(105)
第十四节	不同粘度和密度的油品混油区中的有效扩散系数.....	(111)
第十五节	混油量与不同粘度的油品输送次序的关系.....	(127)
第十六节	所输油品的密度差对混油过程的影响.....	(130)
第十七节	在考虑所输油品密度差的模型范围内求解.....	(138)
第十八节	油品的温度对混油形成过程的影响.....	(145)
第十九节	管内不同油品顺序流动时混油区长度和体积的计算.....	(150)
第二十节	在成品油管道首站初始混油的形成和它对输送结果的影响.....	(155)
第二十一节	用变径管道输送油品时混油量的计算...	(162)
第二十二节	盲肠支管对顺序输送时形成的总混油量的影响.....	(168)
第二十三节	在有复管的管道中混油的形成.....	(174)
第二十四节	停输时的混油量.....	(179)
第四章	顺序输送过程的最优化.....	(182)
第一节	把最优化作为提高输送效率的手段.....	(182)
第二节	确定油品的最佳批量和输送循环.....	(183)
第三节	中间泵站有旁接油罐时油品的顺序输送.....	(196)
第四节	顺序输送时管道泵站工况的最优化.....	(204)

第五节	有中间泵站的成品油管道在“泵到泵”输送 时最大通过能力的确定.....	(212)
第六节	确定有隔离器和无隔离器顺序输送时的最佳 条件.....	(220)
第五章	有液体隔离塞的成品油顺序输送.....	(226)
第一节	不同种类成品油顺序输送时形成的混油评价 原则.....	(226)
第二节	用第三种成品油作隔离塞的成品油顺序输送	(229)
第三节	用被输送油品的混油作缓冲塞.....	(237)
第四节	利用成品油的级差混油作为缓冲塞.....	(239)
第五节	评价带有降低纵向扩散作用的隔离塞的顺序 输送效果.....	(244)
第六章	应用机械隔离器防止混油形成.....	(249)
第一节	机械隔离器的结构.....	(249)
第二节	球形弹性隔离器.....	(254)
第三节	球形橡胶隔离器的应用.....	(268)
第四节	顺序输送有球形隔离器时混油的形成.....	(298)
第五节	有球形弹性隔离器的成品油顺序输送工艺...	(306)
参考文献		(344)

第一章 顺序输送的基本概念

第一节 液体的管道输送

管道输送液体已有悠久的历史，古罗马的水管道可以证明这一点。其中一条是马尔茨伊大法官拨款建造的，长达91公里。

但是现代管道输送的概念主要是指用长输管道输送原油、成品油和天然气而言。

这一概念与实际情况完全相符，因为近百年来这些油品的管道输送得到了优先发展，全世界油气管网的长度已超过一百五十万公里。

石油产品管道输送的飞速发展是由于它优于铁路、水路和其它运输方式。其主要优点是运输成本比较低和不受气候条件影响。

个别大型管道长达两千公里甚至更长，直径达到一米或一米以上。大型长距离管道（以下简称长输管道——译者注）是个综合系统，除了管道主干线以外，还包括从主干线至用户的支管线，以及与其它干线的跨接管道、主泵站和分配油库等。这种管道的运行管理要求精心组织和维护人员的协同努力。因此，完善的输送工艺、过程自动化和遥控机械化具有决定性的意义。

管道输送的总发展趋势是增加将原油、成品油、天然气从油田输送至炼油厂及用户的管道长度，以及在工农业发达

地区建设成品油长输管网。同时这些输送系统的输送量也将不断增加。

长输管道是苏联运输系统的一部分，它运输的天然气、原油和成品油是苏联燃料-动力平衡中非常重要的组成部分。

管道运输事业的发展取决于石油、天然气开采量的增长以及石油炼制和石油化学工业的发展，它也被国民经济的蓬勃发展所促进。

对建设大型石油化工联合企业将予以特别注意。石油炼制工业面临的任务是不仅要增加总产量。而且要增加高辛烷值汽油、低硫柴油、航空燃料和高质量润滑油等的产量。由于输送量的增长，随之而来的是要建设新的管道网。

由于西西伯利亚石油开采的发展，为把石油输送至苏联欧洲部分和远东地区，提出了建设管道系统的任务。

第二节 用顺序输送作为原油和成品油的输送方式

要完成石油开采和石油炼制工业所承担的计划，以及可靠地保证国民经济对石油产品的需求，没有管道输送工业的发展是不可能的。因此，不仅要增加管道系统的长度，而且应当完善管输油品的工艺方法。

目前各种成品油和物理化学性质不同的原油的输送是采用顺序输送的方法实现的。这一方法是将不同种类的成品油或从不同油田来的原油一种接一种地顺序沿同一条管道输送。这些油品在首站从各自的储罐进入管道，并在管道末端单独接收，以使它们不互相掺混。

顺序输送方法在苏联和其它一些国家已得到广泛应用，

这是因为这种方法成功地使长输管道最大限度地满负荷输送，从而保证了工农业对各种成品油的需求，并减轻了其它运输方式（如水路、铁路）的运输负荷。

此外，用顺序输送方法把不同种类的原油输至炼油厂，可避免原油在首站罐内混合，简化了原油的加工工艺。

苏联于 1930~1932 年，工程师 A.A.卡谢也夫曾在巴库—巴杜姆的煤油管道上进行煤油和粗柴油首次顺序输送的工业试验。他完成的这项试验表明，被输送的油品形成的混油量并不大。这些观测奠定了在该领域内继续研究的基础。

B.C.雅布隆斯基教授于 1940~1946 年期间在试验室内进行了大量模拟不同流动工况下的顺序输送试验研究〔58〕。

工业上实现轻成品油的顺序输送是 1943 年由直属于部长会议的苏联石油运销总局完成的。1929 年美国进行了三种汽油和丁烷沿长 1230 公里，直径 0.2 米的管道顺序输送的试验〔68〕。

目前，苏联和其它国家有几十条管道实现了不同种类成品油的顺序输送〔19, 89〕。其中最大的输送系统为苏联的古比雪夫—勃良斯克，西欧的莱因—美因，美国的科洛尼尔等管道系统。

在许多管道上，为了降低不同油品在接触区的混油量，应用了液体和机械的隔离器。这些隔离器可以限制混油区和防止它在输送过程中扩大〔19, 82〕。目前顺序输送是长距离输送原油和成品油最有前途的方式。

第三节 顺序输送的特点

利用周期性顺序输送的现代工艺方法能够沿同一条管道同时输送几十批不同种类的成品油。当分批量周期输送时，可按油品性质相近程度分组。例如，把汽油放在一组中，而把柴油放在另一组中。属于不同组的两批油品构成一个循环。

开始输送之前，对于每一循环应编制批量成品油排列的工艺图表，在该图表上表示出各种成品油的顺序及其批量体积。在管道首站组织各批量循环是根据这一工艺图进行的。油品的各批量应这样构成，即在一个循环内从一批油品转变到另一批油品时，其物理化学性质不应急剧变化，以使最贵重的油品（如高辛烷值汽油）至输送过程的终点时保持其性质不变。

例如，目前苏联俄罗斯石油和石油产品运输及供应总局在古比雪夫—勃良斯克的成品油管道上，采用顺序输送的方法输送各种牌号的汽油、低硫、中硫及高硫柴油。这些油品组的顺序输送是按一个个循环进行的。每一循环包括不同牌号的汽油和柴油批量。每年平均输送几十个循环。

古比雪夫—勃良斯克管网是一条一千多公里长的复杂管道系统，按上述方法组织成品油的输送过程，保证了苏联欧洲部分中间区域农业和运输业所必须的燃料。

尽管顺序输送有其优点，但它也有该方法本身所特有的缺陷。这就是顺序输送过程中，当一种油品直接跟在另一种油品之后时，接触区会发生不同种类油品的混合，形成混油区。形成的混油在物理化学性质上与所输的两种油品都不同，不能作为合格的油品销售。

若是被输送油品的主要物理化学性质指标有质量潜力，则可以把混油分成几级并以所需比例分别同几种油品混合。但是，炼油工业总的发展趋势是增加品种和提高所供应油品的质量，故上述销售混油的方法已不可能。这些混油作为不合标准的油品会在管道末站的罐区积存起来，因而处理混油的困难逐年增加。

顺序输送原油时，也会发生类似的混油情况。但是输送原油时形成混油的问题不象输送成品油时那样突出。就这一点而言，在原油顺序输送和成品油顺序输送之间有着重大差别。

输至炼油厂的原油按其批量的体积来说是大批量的，所以形成的混油量相对不大。在炼油厂可以用二至三种原油炼制不同的成品油，这些成品油以不大的批量进入管道首站，然后以一万立方米左右的较小批量沿管道输送。对成品油提出的要求是非常高的，因为几立方米的一种油品混到另一种油品中时都会使后者不符合苏联国家标准（ГОСТ）。因此在组织运输之前就提出了混油储存与销售的问题。

第四节 顺序输送成品油时减少混油量的措施

为避免混油量过度增加，不同种类油品的顺序输送应该保持最大输量。泵的功率和管道的输量应使管道中的油流达到高度紊流状态。在这种情况下，一种油品混入另一种油品的量是不大的，在管道横截面上油品的混合是均匀的。

管道的现代化技术装备能使混油量减少。但是，首先必须清除管路内的“死区”，装备完善的速动闸阀，简化泵站的流程等。

为减少顺序输送时形成的混油量，每一循环内各批量可用机械的或液体的隔离器彼此分开。

液体隔离塞是用成品油或不溶于被输送油品的其它液体形成的，这些液体可以是稠化的，或保持自然状态的，这会引起液体隔离塞对接触区混合过程的作用机理的变化。

用缓冲油品的输送技术在其它国家已推广应用，在苏联管道上只是近年来才开始应用。

根据国外期刊的资料^[10]，有缓冲塞的顺序输送已在莱因—美因管道系统上实现了。在这条管道上用的缓冲油品是煤油或铂重整汽油。后者可以用 TC-1 燃料来代替。煤油应用在中间馏分和汽油之间，也可以应用在中间馏分和化学中间产品之间。

三十年代，苏联进行了用水对不同成品油的接触区作隔离塞的顺序输送试验。1939 年，“全苏石油管道”托拉斯在长 683 公里的巴库—巴杜姆成品油管道上进行了用水作隔离塞的输送试验。

由于水在重力作用下的漫流作用，这些试验的结果是否定的。此外，用水作隔离塞顺序输送的管理比直接接触法也要复杂得多。

应用成品油作液体隔离塞是有前途的，因为在该情况下，液体隔离塞就是成品油，就其性质而言与所输送的油品中的每种都能相溶，而且比所输的油品相互间更相溶。这就意味着缓冲液可以大量地补充到每一种成品油中去，这比把一种油品混入另一种油品时对油品质的影响要小些。

应用成品油作隔离塞的主要优点是与原有油品的高度相溶性。

应用缓冲塞的效果取决于本身长度及其与所输油品的相溶性。若缓冲塞过短，减少混油的效果不大。相反，若选用过长的缓冲塞，则可能导致增加不合标准的混油量，这是因为缓冲塞本身总是第三种油品的原故。

缓冲塞的长度取决于所用缓冲液同所输油品的相溶性和输送条件。在这种情况下，液体隔离塞有个最佳长度，在该长度时可取得最佳效果。

也可以利用以前在该管道上或其它成品油管道输送油品时所形成的混油作缓冲液。

我们的兴趣在于用粘稠液体作液体隔离塞。这样的液体具有高粘度和非牛顿流特性，它影响混油的机理与成品油作缓冲塞是不同的。因为它可把一种油品同另一种分开，取得隔离效果。在粘稠液体中及其附近的成品油中流速断面的变化要比主流中平缓，因此从根本上减少了接触区内的纵向混合。

在苏联的顺序输送工艺中尚未采用液体隔离塞，但理论研究的结果^{〔20 21〕}和其它国家的经验^{〔41〕}已为在苏联成品油管道上的应用提供了基础。

在苏联的实践中，最有效的和已经实现的是用机械隔离器把顺序输送的油品分开的方法。有各种型式的机械隔离器，诸如盘式、皮碗式、球式、活塞式和联合式等。从专门报道机械隔离器及其在管道中应用的期刊中可以看出，在技术先进的国家，如美国、联邦德国和日本在改进隔离器、创造新结构及改善其应用工艺方面正不断地进行着工作。例如前面提到的莱因—美因管道采用了氯丁橡胶制的球形隔离器。在油品的作用下隔离器的材料膨胀，从而弥补了因磨损

使隔离器减小的尺寸。当输送油品对分隔质量要求特别高时，应采用氯丁橡胶球。为了发送和接收隔离器，管道应装有特殊设备和仪器，这些仪器能对隔离器的位置和所输油品接触边界的移动进行监测。隔离器投入油流的方式应使隔离器能限制混油区并防止混油区进一步扩大。

置于所输油品接触区中的隔离器起着把两种油品分开的一种移动式隔板的作用。在隔离器密封件表面与管道内表面之间有环形缝隙，在间隙中产生油品的逆向流动。

在这样的逆向流动中液层掺合，决定了通过隔离器的油品量。

机械隔离器的几何尺寸不大时（与管道直径相当），只对油流的紊流结构产生局部影响。就这个意义讲，隔离器对油流中的掺合强度没有影响。因为油品不经隔离器渗流，混油是等距离地分布在隔离器两侧的长度上；机械隔离器并不减少混油区尺寸。由于使用机械隔离器的效果与降低一种油品混入另一油品的量有关，因此也就与降低每种油品的总混入量有关。

对有隔离器输送时的油品浓度分布曲线进行分析，可以得出隔离器对混油区内浓度分布影响的概念^{〔62〕}。这些曲线示于图 1-1。纵坐标轴是在前面流动的油品浓度，而横坐标轴是混油量^①。图中虚线表示在首站投入隔离器以后的初始混油浓度分布。实线表示进入管道末站时混油区的浓度分布。

在首站，容积为 18.6 米^3 的初始混油区内，以间距为

①应为以混油量表示的混油段长度。——校者注

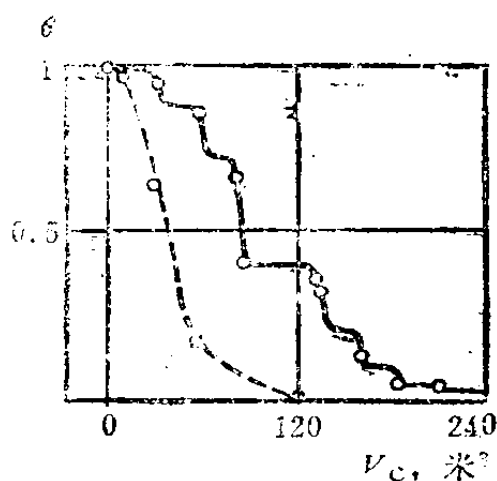


图 1-1 武德-里维尔奇成品油
管道上隔离器间浓度分布

4.7 米，依次发出五个球形隔离器。通过了 145.5 公里，在阿乌勃尔恩中间泵站在混油区投入七个球形隔离器，在西勃利中间泵站（294.4 公里），隔离器的数目增加至九个。这些隔离器通过管道的最后段到终点阿尔戈站（402.3 公里）。

由于油流中有隔离器，对混油区浓度的分布产生重大影响。浓度分布曲线具有阶梯形状，这证明在各隔离器之间浓度是均匀的。浓度均匀是隔离器之间混油几乎完全被隔离的证据。

在进行上述工业试验初期，发球的自动化系统尚不完善，那时发球靠手工进行，隔离器间的距离也是不精确的，但毕竟进入阿尔戈站的混油只有 $38.1 m^3$ ，无机械隔离器输送时，形成了 $143 \sim 149 m^3$ 的混油。

在古比雪夫—勃良斯克管道进行的工业性试验没能得到阶梯形浓度分布曲线。混油区内隔离器的数目不超过 3~4

个，其间距又是足够大的（100~150 米）。在中间泵站把新隔离器投入混油区时，要考虑该站的混油情况。所以，每一批球形隔离器通过了泵站间长达 100 公里的管段，在这段时间内，隔离器之间的混油还来不及均化其浓度。

但是，当有隔离器输送时，混油区内浓度分布比直接接触时要陡。这证明隔离器减少了所输油品彼此混合的量。