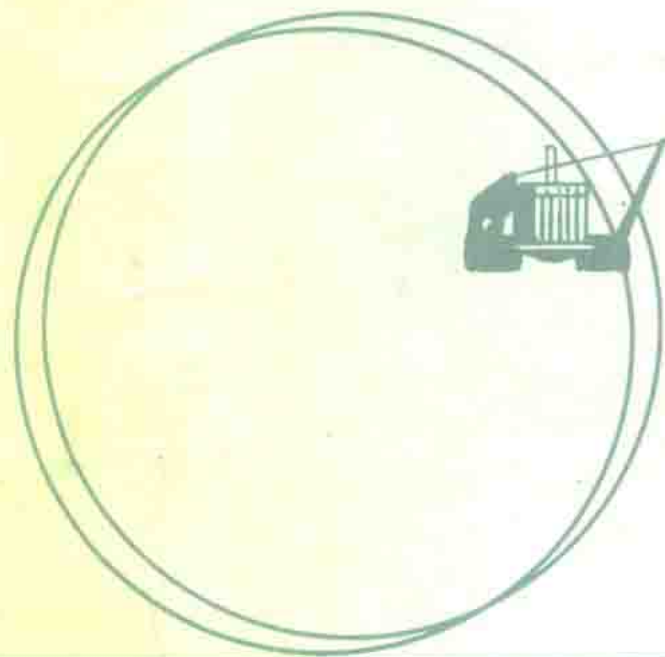


油气储运工程论文集

潘家华著



石油工业出版社

油气储运工程论文集

YOUQI CHUYUN GONGCHENG LUNWENJI

潘家华 著

石油工业出版社

(京)新登字 082 号

内 容 提 要

本论文集荟萃了著名的油气储运工程技术专家——潘家华撰写的论文 40 篇,主要论述我国管道工业的发展历史、现状和未来;大型储油罐的设计、施工和可靠性分析;长输管道的选材、强度计算和断裂分析。作者应用断裂力学的理论,分析了长输管道脆性及韧性断裂破坏现象,探索了裂纹失稳扩展的规律,研究了储油罐大型化以后,在强度计算和焊接技术方面出现的新问题。该书理论精湛,深入浅出,视野开阔,资料翔实,是一部集科学性、实用性、指导性和可读性于一体的科技文献。

文集不仅适用于油气储运界的技术人员,而且,对石油化工、给排水、煤气供应、热力管网、输煤管道等部门的技术人员和有关高等院校的师生有重要的参考价值。

油气储运工程论文集

潘家华 著

*

石油工业出版社出版

(北京安定门外安华里二区一号楼)

地矿部河北测绘中心印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

850×1168 毫米 32 开本 11 $\frac{13}{16}$ 印张 317.5 千字 印 1—3000

1993 年 10 月北京第 1 版 1993 年 10 月第 1 次印刷

ISBN 7-5021-1069-0/TE·992

定价:平装本 10 元

精装本 15 元

序

石油和天然气的管道输送是发展石油工业必须解决的重要课题之一。40年前,原石油管理总局决定在北京石油学院机械系设立储运教研室和储运专业,负责培养发展石油工业所需的储运人才。现在看来,这项决定适时地为储运人才的培养作了组织准备。40年来,经过有关院校的逐年培养,这股涓涓细流已经汇成宏大的油气储运队伍,人才已遍布全国油气生产和应用的各个行业和地方,为我国石油工业的发展做出了重要贡献。

潘家华同志是当年北京石油学院的一位青年教师,在40年的艰苦工作中,随着石油工业和石油储运事业的发展壮大已成为中国石油天然气总公司管道局的总工程师。他参加了几乎所有重要管道的建设,是一位具有坚实理论基础和丰富实践经验的管道工程专家。潘家华同志撰写了大量的有关管道工程的科技论文,这个文集荟萃了他近20年发表在国内外的40篇论文。它涉及管道强度计算、管道的断裂破坏及失稳扩展、管道用钢的可靠性分析、管道的试压及无损探伤问题以及大型油罐在强度计算和焊接技术上出现的新问题。这些论文是潘家华同志的科学研究和实践经验的总结,也在很大程度上反映了我国油气储运技术的成就和发展。

当前,我国石油工业正处于一个新的发展时期,联接东部各油区的输油干线已运行了20余年,将陆续进行更新改造。中部川陕油气区不断发现新的资源,有必要建设几条新的重要管道。西部各油区的勘探开发,也需要建设新的管道。特别是中西部的管道建设,面临着条件十分复杂,不可避免地要穿过几个剧烈活动的地震带,对管道可靠性要求极高,需要采用比以往任何管道都要严格的技术规范、管道用钢规范和工程质量保证体系。这些在这本文集中都已涉及。

另一方面,我国炼油工业的加工量已经超过一亿吨,但是,在成品油一次运输中,管道输送量占的比重极小。为了减少铁路运输

的负担,早已有过不少建设成品油管道的呼吁。现有的成品油管道也面临着要在极严酷的自然条件下进行技术改造的任务。

很明显,随着石油和石化工业的发展,管道行业也进入一个新的发展时期,这本文集的出版,对更好地解决我们面临的工程技术问题无疑是有益的。我们希望通过这本文集的出版,更加活跃管道事业的学术活动,推动管道技术更快的进步,跟上国民经济深化改革的需要,跟上石油工业发展的需要。这也是文集作者的愿望。

由于管道技术是一项跨行业、跨部门的技术,这本文集阐述的内容对石油化工、给排水、煤气供应、热力管网、管道输煤等方面也有重要参考价值。

李天相

1992年10月12日



作者近照

作者简介

潘家华：教授级高级工程师，1930年3月31日生于江苏省苏州市，1952年毕业于原北洋大学机械系。现任中国石油天然气管道局总工程师，兼任上海交通大学、天津大学、石油大学、解放军后勤工程学院、抚顺石油学院教授，中科院金属研究所客座研究员，中国石油学会常务理事，中国石油学会储运学会理事长，《油气储运》杂志编委会主任。

自70年代以来，潘家华同志参加了我国大部分长输管道工程的勘察、设计、研究、审核、施工、运行、技术改造以及重大事故的处理工作，先后赴美国、日本、加拿大、意大利等国考察、讲学。在我国长输管道工程中建树累累，著述丰厚，出版了《圆柱形金属油罐设计》、《油气管道的断裂力学分析》和《油罐及管道强度设计》三本专著，在国内外科技杂志上发表论文七十余篇。

1972年大庆至铁岭复线工程嫩江穿越处，试气时发生脆性断裂，裂纹扩展100m以上，引起了他的注意，联系到国内外一些管线上出现的类似现象，成功地应用断裂力学的理论对这一现象进行分析研究，探索了管道脆性断裂破坏、失稳扩展的规律，对于长输管道的设计、施工和制管工艺有重要的指导意义。他通过对油罐断裂破坏现象的分析，指出了油罐大型化以后在强度计算和焊接技术上出现的新问题。1985年6月在《油气储运》杂志上发表了“埋地管道强度设计中存在的一些问题”一文，提出了“约束度”的概念，对埋地管道的嵌固理论进行修正，这一理论使管道设计更加经济、安全。

国务院表彰他为发展我国工程技术事业的突出贡献，发给政府特殊津贴。他的名字曾被“世界名人录”、“有成就的男士”、“国际名人字典”、“世界5000名人物”等十家世界名人录入选。

编者说明

1. 应广大读者的要求,选编了这本论文集。这本文集概括地反映了我国管道工业的发展历史,对长输管道及大型储油罐的强度计算和断裂力学分析作了重点的论述。

2. 入选的文章都曾发表过,这次选编在文章的内容和观点方面未作改动。为了说明文章原载的报刊和发表的时间,对每篇文章的标题加了题注。

3. 为了全书文章格式统一,根据 GB1. 1—87 的原则,作了一些调整。按照法定计量单位的要求,对公式和图表中非法定计量单位进行了换算,但对文中引用国外经验公式中的单位,为了保持公式原貌,未作换算。

4. 参考文献为便于读者查阅,按文集分别编码,录于相应的论文末尾。

5. 本书的出版,得到了中国石油天然气总公司领导同志的全力支持。

6. 参加本书编辑工作的人员有刘良坚、艾德谔、柳广乐、杨维聪、张明智、王沙、吕彦、仇斌、杨芳、初红光、艾秀祺。

著 者 的 话

“油气储运论文集”即将出版了,在这期间,编辑人员、出版人员,付出了辛勤劳动,为此深表感谢。

本文集从 70 余篇中选了 40 篇。这既是一本科学论著,可供油气储运工作者参考,同时也反映了我们这一代人中的大多数,在 20 余年的时间跨度内,对油气储运发展途径的认识,对油气储运这一多种科学综合技术的不同部分和侧面不断实践、不断探索和不断认识的过程。所以,它也是管道发展史的一部分。

为了保持原来面貌,原文未加任何更动,有些文章,前后观点略有差异,这也反映了认识过程的前进。

拙作中难免有偏颇和不足,还望读者谅解、指正。

对我的老朋友、老同学、老领导李天相同志为本书作序,深表感谢。

对给予我帮助的各位朋友在此再次表示感谢。

潘家华

1993 年夏

责任编辑：刘良坚

特约编辑：艾德谟

封面设计：艾秀祺

ISBN 7-5021-1069-0/TE·992

定 价：10 元（平装本）
15 元（精装本）

目 次

第一部分 我国管道工业的发展历史、现状和未来

管道输送的经济分析	(1)
关于管道输送问题	(10)
长输管道的发展前景和我们的赶超方向	(17)
长输管道的断裂及可靠性分析	(40)
管道在试压过程中的承压能力逆转现象	(47)
对美国油、气管道规范中气压试验限制使用的剖析	(57)
我国管道工业面临的挑战	(66)
我国管道工业及其面临的问题	(70)
浅谈我国古代的管道工业	(74)
迎接我国管道工业第二个发展高潮	(77)
我国管道工业存在的问题和对策	(85)
我国管道工业二十年	(87)
国外输油钢管发展情况	(94)
我国焊管工业的发展前景及面临的问题	(99)

第二部分 大型储油罐的设计、施工和可靠性分析

国外储油罐发展概况及在发展过程中出现的问题	(105)
油罐大型化的趋势及出现的问题	(114)
日本大型油罐罐底设计及施工特点	(128)
5万 m ³ 油罐浮顶沉没试验及改进意见	(138)
金属油罐的脆性破坏	(152)
油罐角焊缝形状对裂纹疲劳寿命的影响	(164)
油罐断裂破坏分析	(171)
全面提高我国油库的安全性	(181)

第三部分 长输管道的选材、强度计算和断裂分析

对管道钢管质量的要求	(187)
管道表面机械损伤对断裂的影响及其修复	(198)
断裂力学在油气管道工程上的应用	(207)
长输管道的断裂	(223)
Fokete 对埋地管线强度计算的错误论点	(233)
长输管道裂纹脆性和韧性的失稳扩展及止裂	(240)
管道的断裂问题	(249)
埋地管道强度设计中存在的一些问题	(261)
埋地长输管道强度设计中的几个基本概念	(268)
螺旋焊缝管的断裂特点	(274)
ERW 钢管的发展前景和面临的课题	(283)
对钢管冲击韧性的要求	(289)
管材及钢管选用中的一些问题	(299)
UOE 钢管与螺旋钢管可靠性分析	(309)
钢管水压试验后无损探伤的必要性	(321)
影响管道断裂的主要因素	(326)
盱眙淮河管桥吊点断裂原因分析	(343)
长输管道试压断裂的分析	(355)

管道输送的经济分析*

管道作为一种输送手段,与其它输送方式相比,有其长处也有其短处。要想取得经济利益,就要“趋利而避害”。因此,经济分析是研究管道输送利弊首先需要考虑的问题。

1 管道输送的优点

1.1 输送成本较低

据美国 1979 年的统计资料,各种输送方式的价格比见表 1:

表 1 美国各种输送方式的价格比

管道	海运	内航	铁路	汽车
1	0.40	1.60	4.60	20.68

前苏联的统计资料见表 2:

表 2 前苏联各种输送方式的价格比

管道	海运	内航	铁路	汽车
1	1.34	2.31	2.33	59.30

日本 1974 年的统计资料见表 3:

表 3 日本各种输送方式的价格比

管道	铁路	汽车	内航
1	1.60	4.60	0.30

由以上 3 个表中均可看出,管道输送价格是比较低的,海运虽然价格更低,但受地理位置的限制,只能做远洋或沿海的运输。

1.2 建造价格低,施工周期短

管道的建造费与铁路相比,其价格还是比较低的,据日本的统计资料,输油管道建造 1km 约需 1.5~2 亿日元,而铁路需 4~10 亿日元,相差 2.6~6.7 倍。另外管道的施工周期也比铁路短。

* 本文原载《油气管道技术动态》,1980 年 01 期

1.3 占地面积小

管道穿过田野时,上面仍可种植农作物,而其它如铁路、公路则不允许。

1.4 节省能源

据日本的统计资料,各种输送方式所需能源的比见表 4:

表 4 输送每 t·km 所需能源比

管道	铁路	内航	汽车
1	3	5	16

由表 4 中可看出管道输送的能源消耗只有铁路的 1/3。

1.5 节省人力

日本以一条 700 万 t 输送能力的管道作比较,以 100km 为基数,则直接参与运输的操作人数之比见表 5:

表 5 各种输送方式参与操作人数的比值

管道	铁路	汽车
1	2	90

由上表看出,管道所用人力只有铁路的一半。此外,由输送费用中劳动工资所占的比例也可看出管道输送是比较节省人力的。据日本“产业立地研究所”资料,其所占的比例见表 6。

表 6 输送费中劳动工资所占的比例

输送方式	劳动工资所占费用/%
管道	15
海运	30
内航	35
汽车	50

由上表看出管道的运输成本中劳动力工资所占比例最少,只有其它方式的 1/2~1/4。

1.6 安全性高

根据日本的统计资料,每 16.09 亿 t·km 死亡事故发生率,管道为 0.0007,铁路为 0.347,管道仅为铁路的 1/1400。

1978 年美国国家安全运输委员会发布了一份资料。美国大约有 175 000km 石油管道,每年要输送 9 亿 t 以上的原油和成品油,

全部管道在这一年中由于事故死亡 33 人；而铁路事故中死亡 1 696 人；海运事故中死亡 1 500 人，公路事故中死亡 50 145 人。管道输送事故死亡只占全部运输系统总死亡人数的 0.06%。

1.7 公害小

在各种运输手段中，管道输送是公害最小的，它几乎没有污染。

1.8 供给安定

管道输送不受气候和交通事故的影响。在资本主义国家由于码头、铁路和海员工人罢工往往造成其它输送方式的中断，而管道输送由于所用劳动力很少，因而几乎没有发生过由于罢工而中断输送的情况。

1.9 价格稳定

运输价格，常常受物价的波动和通货膨胀的影响，但是在管道输送中，由于包括折旧费等固定费所占比例大，而包括工资等变动费用所占比例小，所以管道输送价格比较稳定。根据日本“产业立地研究所”1968 年的资料，各种输送方式所占固定费及变动费的百分比见表 7：

表 7 固定费与变动费

输送方式	固定费/%	变动费/%
管道	75.0	25.0
海运	30.0	70.0
内航	30.0	70.0
汽车	17.5	32.5

2 管道输送的缺点

2.1 输送弹性差

输送弹性差主要表现在两方面：

2.1.1 输送量的经济范围小

输送量与输送价格的关系见图 1。图 1 为 M. Hubbard 根据欧洲 8 国原油管道的实际情况绘出的。M. Hubbard 指出，如果输送成品油，价格还要增加 30%。

每种不同的管径都有其各自的输送价格曲线, M. Hubbard 曲线(以下简称 M·H 曲线)由两条线组成, 下面一条曲线为各种不同管径价格曲线的包络线, 是价格的下限, 另一条线在下限的上方, 是价格的上限, 两曲线中间为价格的合理范围。

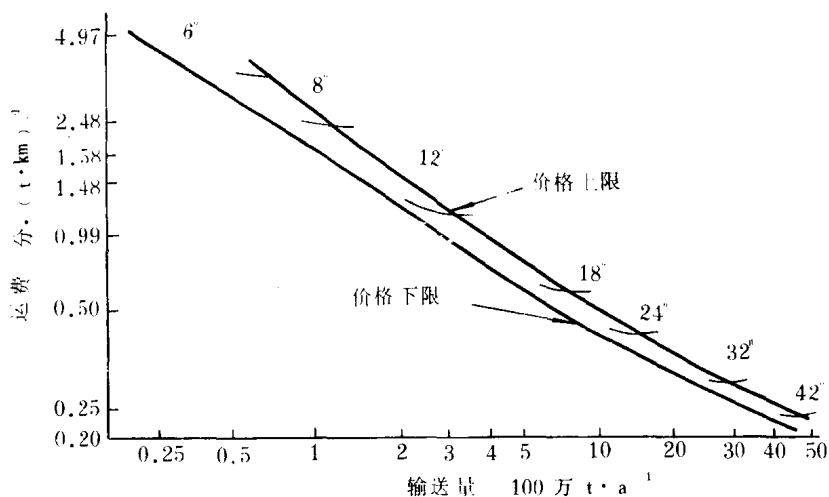


图 1 M·H 曲线

由图 1 看出, 某一条特定直径的管道, 在某一输送量时输送价格是最底的, 向两侧偏离, 即输送量增加或减少都会造成价格上涨。

还应特别指出的是对于加热输送的管道, 价格对于输量降低的敏感性更高。M·H 曲线是根据常温输送的条件绘出的, 热输时由于降低输量使燃料油的单耗增加, 故某一特定管径的价格曲线, 对于热输来说, 在最佳输送点的左侧实际曲线较图 1 中所绘出的斜率更大。

对于这一状况就要求设计输量与实际输量比较接近。我们前面谈到的输送成本低, 是指在合理的输送量这一前提下的, 离开这

一前提,管道的输送费用有可能会比其它输送方式更高。

2.1.2 输送量的极限范围小

管道最大输量受泵的能力或加压站间距及管子强度的限制。最小输量,对于热输管道来说,受加热站间距的限制。由于这种限制,要想临时增加或减小输量往往是很困难的,而这对于用火车或汽车运输却很容易解决。美国有些输油管道,在开始投入使用的最初十多年内,均能在经济输量内运行;可是后期,由于油田减产,输量逐渐减小,有时他们采取间歇输送的办法,如采用输三天停二天。在输送的时间仍采用最佳输量。但对于热油输送来说,由于不能停输,碰到这种情况往往需要返输,就像我国某些管道采用的那样。所以对于高倾点的原油输送,这种“强直性”的缺点就表现得更为突出。

2.2 起输量高

我们由图 1 看出,输量越大,单位输送费用越低,这是管道输送本身的属性所决定的。按照 $M \cdot H$ 曲线,输量为 2 000 万 t/a 时,输送费用为 0.35~0.40 分/(t·km);1 000 万 t/a 时,输送费用为 0.65~0.80 分/(t·km);100 万 t/a 时,输送费用为 1.59~2.5 分/(t·km),如此类推,管道输送至某一输量时的输送费用往往很高,使管道输送还不如用火车甚至汽车输送更经济。目前国外直径在 150mm、200mm 以下的管道已很少建造。

由于“起输量高”这一特点,使小油田或大油田开发的初期难以采用管道输送。为了克服管道输送的这些缺点,就要求在确定“是否要建管道?”“什么时候建管道?”“建多么大口径的管道?”等问题上特别慎重。国外在决定修建一条管道以前要做大量的工作,一般称为“可行性研究”。对管道输送事业来说,可行性研究具有特别重要的地位。

③ 我国输油管道面临的任务

我国的管道工作者当前面临着两方面的任务。一是旧线的改造,二是为设计和建造我国第二代的、水平较高的管道做好准备。