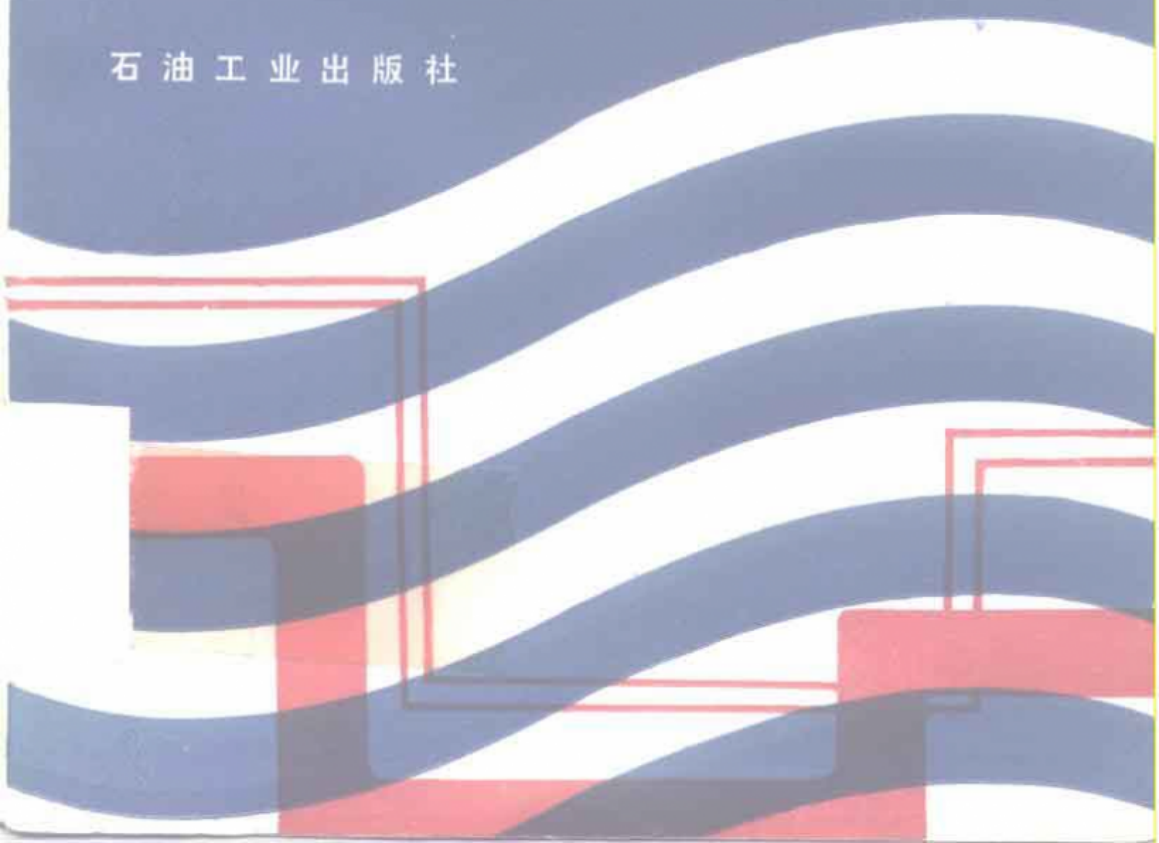


海底管线 设计原理

[美] 约翰 B. 赫比希 著

石油工业出版社





数据加载失败，请稍后重试！

071030

海底管线设计原理

〔美〕约翰 B·赫比希 著

董启贤 译

石油工业出版社

内 容 提 要

本书着重分析了海底管线的受力状况,利用二维和三维物理模型,研究埋设在浅水和深水海域中管线受到的风暴波浪的冲刷作用,及管线的稳定性问题,涉及了各种环境因素对管线的影响,并介绍了现行的海洋管线的各种设计方法。

本书可供从事海底管线的设计和施工的工程技术人员参考使用,也可供大专院校有关专业师生阅读。

JOHN B HERBICH OFFSHORE PIPELINE DESIGN ELEMENTS

1981 MARCEL DEKKER, INC

海底管线设计原理

〔美〕约翰 B.赫比希 著
董启贤 译

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

850×1168毫米 32开本 6³/₄印张 169千字 印1—2,000

1988年10月北京第1版 1988年10月北京第1次印刷

书号:15037·2948 定价:1.60元

ISBN 7-5021-0097-0/TE·96

前 言

为满足世界性能源需求,自本世纪起人类越来越依赖于海底石油储量,研究的重点是如何把现代技术运用于这种辽阔的、未经勘探的海洋环境。二十世纪六十年代,人类开始征服外层空间,而海洋和海底矿藏却是留给我们的最后一块未曾开发的领地。我满怀信心地看到:为探明并能合理利用巨大的海洋资源所必需的技术开发工作,将从本世纪八十年代开始真正兴起。

在海洋科学和海洋工程领域里,约翰B.赫比希博士早已走到前列。《海底管线设计原理》一书,对于从事海底管线设计和建设的人极为有用,而对那些在近海地带使用管线的部门也是必不可少的。该书着重地阐述了运用于海洋工程和海洋科学的技术文献,还介绍了征服这块最后领地的人所取得的成功经验。

赫比希博士学识渊博,他致力于海底疏浚和海洋工程。在改进海底疏浚和海洋工程技术方面,他是一位成就卓著的学者。使传统的海底疏浚和海洋工程发展成为一门现代学科。所有从事海洋工程的人都极为赞赏赫比希博士多年来所完成的有价值的贡献和研究。

美国陆军工兵部
水利资源维持中心
疏浚分部总职业工程师
Willian R. Murden

序

由于工业废水和／或城市排污管线，核电站冷却水管道和从海上平台输送天然气或原油管道的事故率比较高，这使我想到了要把这类资料汇编成书——海底管线设计原理。

在特定的海域，海底管道设计和建设进展虽已令人满意，但可供采用的资料仍有着一定的局限性。设计师设计市政工程、发电厂和工业装置时，常常因没合适的通用资料而影响工作。这本书在这点上至少会有所补益的。

书内涉及了影响管线的环境因素，如腐蚀、作用于海底管线的力、管道四周海底物质的冲刷或冲蚀，以及海床滑移的可能性。讨论的其它问题包括管道周围土壤的液化和管线的漂浮、埋设在浅水海域内管道的压覆问题。

由于波浪作用的影响，浅水海域里的高能带、潮汐和底潮流、沉积物的可变性、斜坡的稳定性、断层地带等会使环境条件有着明显的差异。作用于海底管线的各种力是相互关联的，而且常常难以预料。因此，设计就相当的困难，尤其当设计者难以取得有关沉积物、波浪和潮流的合理数据时，就更是这样。本书的另一个目的是为使设计者设计时注重海底管线四周的多种影响因素。

从1972年到1981年期间，不少人参加了得克萨斯州的A & M University的水力学实验室所做的有关海滩受波浪冲刷和海底管线周围的冲蚀研究工作。早期的工作多由Saifur Rahman和Harold Alexander博士（海洋工程规划部）、David C. Smith IV（海洋学部）合作完成的。而对于直敷海底管线所受的波浪力是由Michael Parker和David A. Knoll研究的，

他俩是学海洋工程的。早期的手稿已交给苏格兰的爱丁堡大学 (University of Edinburgh, Scotland) 高级科学委员会。

我衷心地感谢几位研究生的帮助, 尤其是 Ronald K. Watanabe 和 Pui C. Lui, 他们为本书的许多章节定稿做出了贡献。手稿由 Joyce Hyden 审定, 对此我十分感激。

有关管道周围的冲刷研究大多是由国家海洋和大气管理机构的海洋分部主持的, 而相应的费用由得克萨斯工程试验站提供。

约翰 B. 赫比希

目 录

第一章 绪论	(1)
1.1 目的和范围.....	(1)
1.2 方法.....	(1)
1.3 海底管线所需的恰当设计.....	(3)
1.4 海底管线事故报告.....	(4)
第二章 环境因素	(10)
2.1 腐蚀和有机物损坏.....	(10)
2.2 锚造成的撞击损坏.....	(12)
2.3 由于波浪或潮流形成的冲刷和悬空.....	(20)
2.4 波浪的水动力.....	(24)
2.5 由于沉积物液化而产生的浮力.....	(28)
2.6 滑移或沉积物的迁移.....	(30)
2.7 飓风.....	(32)
2.8 海上勘测.....	(34)
第三章 管线和其它物体周围的冲刷现象	(38)
3.1 冲刷动力学.....	(38)
3.2 早期沉积物迁移.....	(39)
3.3 管线周围的冲刷作用.....	(41)
3.3.1 概述.....	(41)
3.3.2 最大冲刷深度.....	(42)
3.4 埋在海岸线附近的海底管线.....	(69)
3.5 在中等水深和深水海域里的管线.....	(80)
3.6 由于冲刷而产生的沉降.....	(82)
3.6.1 概述.....	(82)
3.6.2 冲刷深度.....	(83)
3.7 冲刷模式.....	(86)

第四章 冲刷保护	(90)
4.1 浅水域埋管.....	(90)
4.2 深水域埋管.....	(91)
4.3 用岩石盖层压覆管线.....	(97)
4.4 填石和堆石坡.....	(99)
4.4.1 填石.....	(99)
4.4.2 堆石坡.....	(100)
4.5 抛石方法.....	(104)
4.5.1 从抛石船侧舷抛石.....	(106)
4.5.2 从中开底货船抛卸.....	(109)
4.5.3 用导管抛石.....	(110)
4.5.4 挖泥-钻井船组合.....	(110)
4.5.5 由挖泥船内直接抛石.....	(110)
4.6 保护垫.....	(112)
4.6.1 用岩石压覆的Fascine垫.....	(112)
4.6.2 块状垫.....	(113)
4.6.3 笼式垫.....	(114)
4.6.4 Colcrete垫.....	(114)
4.6.5 石块-沥青垫.....	(114)
4.6.6 压舱垫.....	(114)
4.7 估计冲刷的不确定因素.....	(118)
第五章 管线的稳定性	(121)
5.1 漂浮.....	(121)
5.2 液化.....	(126)
第六章 管线受力	(128)
6.1 概述.....	(128)
6.2 理论上的考虑.....	(129)
6.2.1 无量纲力.....	(129)
6.2.2 波浪理论.....	(130)
6.2.3 Morison方程.....	(130)
6.3 试验设备和方法.....	(131)
6.3.1 设备.....	(131)

6.3.2 方法	(133)
6.4 结果	(135)
6.5 综述	(145)
6.6 波浪振荡	(146)
6.7 潮流力	(146)
6.8 滑陷力	(159)
6.9 浮力	(163)
第七章 管线的稳定	(169)
7.1 锚固和压重	(169)
第八章 环境设计准则	(176)
8.1 波高	(176)
8.2 波浪周期	(177)
8.3 波谱	(178)
8.4 海底水平流速	(179)
8.4.1 对数据的解释	(179)
8.5 潮流	(192)
8.6 地基的稳定性	(197)
8.7 埋深	(199)
符号表	(205)
本书所用单位与法定计量单位换算表	(208)

第一章 绪 论

1.1 目的和范围

本书意在介绍用以设计、分析海底埋地管线的现行方法，并着重地叙述了运用物理模型技术研究土壤和管线之间的相互作用。本书还涉及了对管线有影响作用的环境因素，如腐蚀、作用于管线的各种力、管线周围海底物质的冲刷（或冲蚀）作用和海床移动的可能性。书内还讨论了减少海流对管线周围土壤或对埋设在浅水域内管线冲刷作用的各种方法。

1.2 方 法

海底管线设计要点是根据下述顺序确定的。

把有关海底管线的事故报告编辑归档，找出造成事故的共同原因。在第1.4节内讨论了各种事故报告。

研究已有的海底管线文献，确定应当开拓的研究领域。Raston和Herbich(1968)介绍了与埋设管线有关的冲刷作用及稳定性研究文献。Lai等(1973)编辑了海底管线的资料目录而涉及海底管线设计的研究成果是由Manley和Herbich(1974)介绍的。

很多有关冲刷作用和稳定性试验模型的研究是由Rahman(1975)、Alexander(1973)、Smith(1975)和Herbich(1970)完成的。

上述研究的五个主要方面是：

1) 收集和评价 因风暴或飓风所造成的海底管线事故的资料。风暴或飓风引起的冲刷和底部基础的损坏。

2) 用物理模型确定当海底管线埋设在沿岸击浪段时, 风暴波浪对它的冲刷影响; 也研究冲刷深度和冲刷坑穴曲线。

3) 确定影响管线动态和静态稳定性的主要参数。

4) 测定作用在部分海底埋设管线上的波浪诱发力。

5) 制定新的或修改已有的设计准则, 使埋设在深水和浅水海域的管线事故率降至最少。

主要关心的问题之一是探讨那些影响管线周围冲刷作用的参量, 并对其效应进行单独的估算。与海底管线有关的冲刷作用被定义为冲蚀或海底管线附近沉积物的淤积。基本影响因素有管线埋深、管线相对于海滩的倾角、管线走向与破波段的相对位置和水深。

1. 管线周围的冲刷作用

a. 由暴风雨引起的波浪对岸边埋地管线的冲刷效应是用二维物理模型研究的。在波谷段还研究了三维冲刷效应。针对波高、波浪周期、波浪方向、水深、管线埋深、海滩坡度和沉积物的多少等多种变量, 评述了埋地管线周围的冲刷深度和冲刷模式。

b. 运用物理模型研究了防冲设施, 并根据波浪特征、波深和管线埋深, 确定防护物的遮盖高度、防护物的大小和为提供适当的保护作用所必需的反向滤波层结构型式。为此, 采用了二维和三维模型。

2. 管线稳定性

a. Lai等(1974)运用数字化模型研究了埋地管线的土壤分类, 以便分析和估计其稳定条件。试验研究的结果用以校核数字化模型。该模型模拟的并不是试验研究内采用的那些条件。修改计算机程序使之能给出适于确立设计准则的有用资料。

b. Parker和Herbich(1978)利用物理模型估算了深水域内的埋地管线、部分埋地管线和直敷管线所受的波浪力。用应变仪测定不同的波浪特征作用在管线上的水平分力和垂直分力值。

根据对上述早期研究和试验结果的分析,推荐使用过一组海底管线的环境设计准则。

1.3 海底管线所需的恰当设计

近年来,海底管线的口径、数量和应用范围都在稳定地增长。能源危机使得大陆架下的石油和天然气资源的开发有所增加,而把这些石油和天然气从海上平台输至岸上的最经济的手段就是用海底管线。在深水湖或海区内处理市政和工业废料,是海底管线的另一个广泛应用领域。技术进步还跟不上海底管线的迅速增长。由于这种管线通常都处于恶劣的环境条件之下,尤其是在击岸浪地段,管线事故率正在增加。石油化学工业正在评价海底管线事故和设计实践,但这些资料一般都有局限性,不能直接引用。由于设计工程师们意识到管线事故所造成的高额修复费用和环境条件的危险性,埋地管线有时候设计得过于保守,而使建设费用过于昂贵。

1969年,美国土木工程学会指定任务委员会确定了主要问题,并给出设计和建设海底管线的技术标准。委员会关于海底管线的最终报告(美国土木工程学会,1973年)阐明,在环境、设计和建造诸因素的当前技术水平范围内未考虑到的不足之处是:

- 1) 结构和外部压力影响;
- 2) 管线埋深;
- 3) 海底管线的经济性;
- 4) 文献记录。

本书涉及上述第1、2和4三个方面。

美国天然气学会(1974年)资助研究海底管线,尤其是那种处于200多英尺水深的海底管线。研究结果表明:

- 1) 为更准确地估算管线和土壤之间的作用力,要求有更多的可供考虑的数据;

2) 应取得由暴风雨所引起的海底水流颗粒速度和加速度的实测数据。

实验研究已经在许多国家进行,尤其是在美国、荷兰和日本。这些研究主要是在实验室进行的,但也有一些是在现场进行的。在影响海滩形成的各种变量之间有着相当复杂的关系,多个变量之间的相互影响使试验数据的分析更复杂了。

大量的资料研究表明,海滩外形的二维模型研究已为 Meyer (1936)、Waters(1939)、Johnson(1949)、Rector(1954)、Wiegel等(1949)、Saville(1957)、Iwagaki和Noda(1972)、Nayak(1970)、Eerattupuzha(1974) 和Sunamura和Horikawa(1974) 所引用。尽管有大量早期的调查研究,“规模效应”的知识(或模型与实体之间的真实关系)还是不充足的。

1.4 海底管线事故报告

海底管线的损坏有着多种形式。为减少事故率应当单独地研究每一种事故模式。然而,由于海洋环境条件极其复杂,要详细地描述海底管线事故的特定模式是困难的。

在石油贸易杂志、刊物和技术报告里偶尔会有管线事故资料,但删掉了有关管线事故的专题报导部分。腐蚀和波浪力常常被看成是造成故障的潜在原因。

Arnold(1967) 分析了从1958年至1965年期间所记载的,发生在密西西比河三角洲的管线事故资料。其结果综述示于表1-1。造成管线损坏的基本原因是土壤的滑移或在浅水域和松软沉积区的潮流。其次是腐蚀、锚损坏和未能发现的机械断裂。在这种特定的地区内、因飓风所造成的损坏是极少的。

自1969年起,美国地质勘察局(1976)记载了发生在租用联邦海岸区内的管线断裂和泄漏的资料。对每次事故的记录包括:发生日期、泄漏量、所属公司、管径和容量、管线方位和泄漏地点、可能的原因和检修活动。

表 1-1

密西西比河三角洲管线事故统计

	1958—1965 (包括飓风)	Carls (1961)	Hilda (1964)	Eetsy (1965)	总计
腐蚀	79				79
锚或桩	23				23
加强环漏	19		1	1	21
摩擦	21	1	2	1	25
沉入泥内	10	5	5	5	25
张力管	2	5	5	0	12
立管受力	4	4	6	1	15
平均地平线上的断裂	0	4	4	14	22
未知的机械断裂	22	11	6	10	49
合计	180	30	29	32	271

由于土
壤迁移
或潮流
所致

取自 Arnold, 1967.

Demars等(1977)发表了从1967年至1975年期间,发生在墨西哥湾的125例管线事故分析结果,资料主要是依据美国地质勘察局(USGS)的记载。分析结果示于图1-1。管线事故的四大类别为:

1) 腐蚀,主要是由于用管道输送腐蚀液体引起的内腐蚀,其次是外腐蚀。内衬渗漏和压力控制也包括在这种腐蚀之内。

2) 在管线横截面上波浪诱发冲蚀作用,主要是管接和截面上的疲劳破坏,其中包括腐蚀疲劳,即在腐蚀环境下承受周期性荷载而引起的腐蚀疲劳破坏。

3) 管线附近的施工作业,如导管架钻井、狂风暴雨时船锚碰撞损坏、收锚和与其它不明之物撞击损坏。

4) 沉积物的下滑移动,包括塌陷或缓移滑动。

尽管腐蚀是致使管线损坏的主要原因,但一半以上事故直

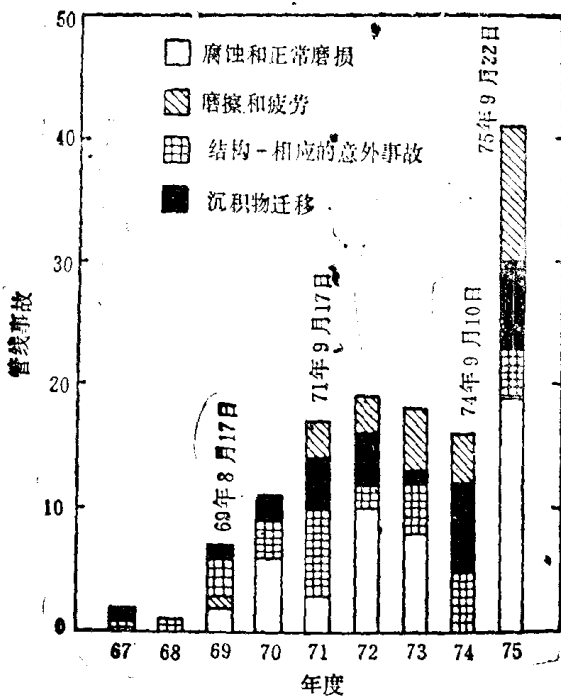


图 1-1 1967~1975 管线事故图
(取自 Demars 等的著作, 1977)

接地或间接地与沉积物不稳定有关系。大约只有25%的事故是在飓风期间发生的。重要的沉积物不稳定性包括大面积的下滑移动、波浪-沉积物-管线谐振(疲劳), 以及与危险作业有关的施工作业, 如锚的撞击。

表1-2给出了从1974年9月至1977年4月美国墨西哥湾地区, 新近的USGS管线事故统计。表1-3总括了美国国家管理局(B-LM)大陆架管理处提出的另一种近期管线事故统计。

表 1-2

USGS: 管线事故 (1974.9~1977.4)

事故原因	事故次数				
	1974	1975	1976	1977	总计
腐蚀 (内腐蚀和外腐蚀)		19	12		31
不明 (没有可引用的资料)		5	4	11	20
来往船只 (碰撞、锚损坏)		7	2		9
机械损坏 (阀漏、密封件破损、阀门破裂)		5			5
不确定原因造成的损坏 (焊口和套管卡箍穿孔、龟裂、阀门损坏)			3	2	5
泥土滑移	1	3			4
波浪损坏		1			1
结构 (较为意外的事故)		1			1
误操作		1			1
合计	1	42	21	13	77

表 1-3

BLM: 管线事故 (1976.6~1977.2)

时间	地点	管线类别	原因
1976.6	168区块浅水域	20"天然气管线	立管至海底管线连接法兰上针孔漏油
1976.7	28区块浅水域	平台输油管线	发动机油路故障引起漏油
1976.8	83区东Cameron区块	天然气管线	立管上针孔漏油
1976.11	250区块Eugene岛	18"天然气管线	拖船锚损坏
1976.12	297区块Eugene岛	输送原油、凝析油和液态烃的14"管线	渔船把水深为200英尺的管接头和球阀拖出
1977.1	320区块东Cameron区块	6"油管线	放水后安全排水阀关不严,处于半开状态
1977.2	313A区块Eugene岛	20"油管线	不明外力拉连接器引起管线破裂