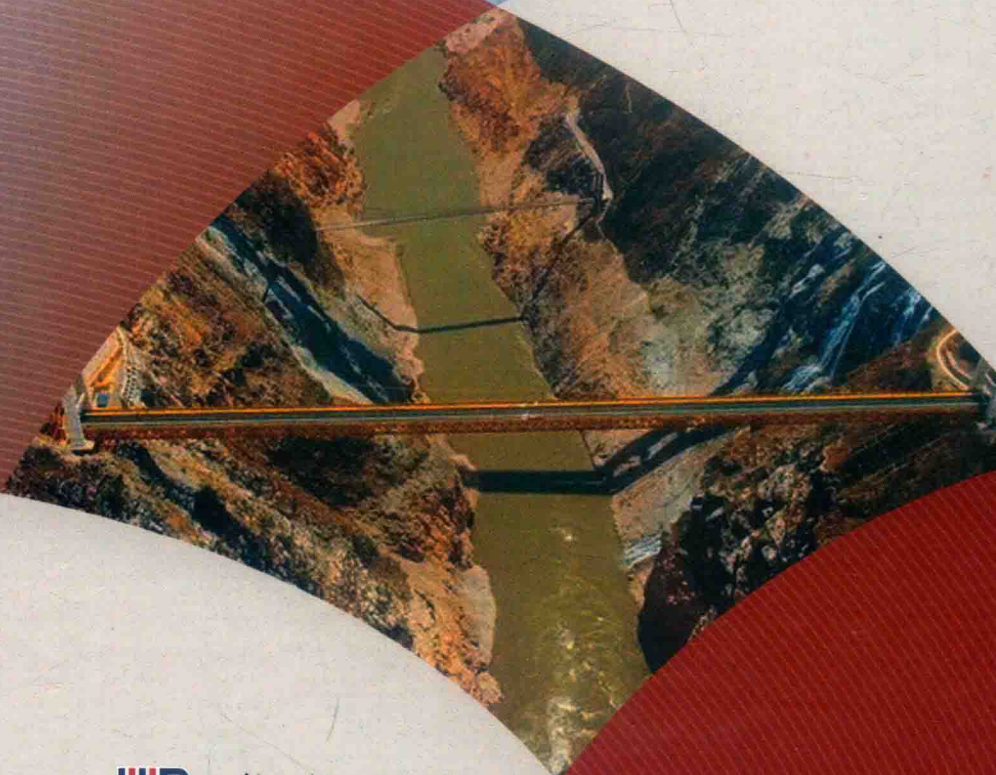




油气管道地质灾害风险评估理论与实践应用丛书

油气管道地质灾害 防治与监测技术

潘国耀 王向东 张友谊 邹维勇 等著
余东亮 杨晓东 王成锋 肖长波

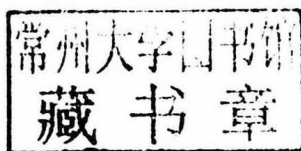


科学出版社

油气管道地质灾害风险评估理论与实践应用丛书

油气管道地质灾害防治与监测技术

潘国耀 王向东 张友谊 邹维勇 等 著
余东亮 杨晓东 王成锋 肖长波



科学出版社

北京

内 容 简 介

随着全球气候变暖,地壳活动进入一个相对活跃期,油气管道遭受地灾威胁愈加强烈。本书在总结油气管道地质灾害的危害、国内外油气管道地质灾害防治及监测技术发展现状的基础上,详细论述油气管道地质灾害调查、排查的具体内容,野外识别的方法,单体及区域地质灾害风险性评价方法。针对最为常见的四类管道地质灾害(滑坡、崩塌、泥石流、水毁),结合实际工程案例详细介绍各类地质灾害的主要预防、治理技术及监测技术,最后对管道地质灾害综合防治技术发展趋势进行展望。

本书可供地质工程、岩土工程、油气储运工程、城市燃气工程等专业及其相关领域的技术人员、研究人员、大专院校的教师、研究生和高年级大学生参考使用。

审图号:GS(2018)5676号

图书在版编目(CIP)数据

油气管道地质灾害防治与监测技术/潘国耀等著. —北京:科学出版社, 2019.01

ISBN 978-7-03-059962-9

I. ①油… II. ①潘… III. ①油气运输—长输管道—地质灾害—灾害防治 ②油气运输—长输管道—地质灾害—监测 IV. ①TE973 ②P694

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第278536号

责任编辑:罗 莉/责任校对:彭 映
责任印制:罗 科/封面设计:墨创文化

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

http://www.sciencep.com

四川煤田地质制图印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2019年1月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2019年1月第一次印刷 印张:9 1/2

字数:222 300

定价:98.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

“油气管道地质灾害风险评价理论与实践应用丛书”

编著委员会

主 任：邹永胜 安世泽

副 主 任：刘奎荣 冼国栋 张 鹏

 时建辰 钱江澎 刘宗祥

委 员：苏灵波 王向东 周 广 潘国耀

 余东亮 张 林 王成锋 谭 超

 伍 颖 陈渠波 唐 侨 吴 森

 辜寄蓉 袁 伟 张 恒 陈国辉

 邓 晶 刘文涛

《油气管道地质灾害防治与监测技术》

作者名单

潘国耀 王向东 张友谊 邹维勇

余东亮 杨晓东 王成锋 肖长波

汪天寿 徐江 罗本全 吴瑶

叶小兵 袁亚东

序

管道作为油气的主要运输手段，承载着我国 70%的原油和 90%的天然气的运输重任，助力我国经济的发展。长输油气管道分布范围广，不可避免要穿越山高谷深、地形陡峻、地震及活动断裂发育的地带，面临滑坡、崩塌、泥石流、山洪等灾害风险。

位于我国西部的兰（州）—成（都）—渝（重庆）成品油、兰（州）—郑（州）—长（沙）成品油、兰（州）—成（都）原油、中（卫）—贵（阳）天然气、中缅原油及天然气等重要能源管道建成运营以来，为了加大管道沿线风险预控，中石油西南管道公司协同四川省地质工程勘察院、西南石油大学先后完成了地质灾害风险评级体系与评价模型研究、地质灾害风险性图形库建设、地质灾害监测预警系统开发等相关课题，形成了国内首批针对油气管道地质灾害方面的系统性研究成果。以《地质灾害危险性评估规范》（DZ/T 0286—2015）、《滑坡崩塌泥石流灾害调查规范（1：50000）》（DZ/T0261—2014）等技术规范为基础，结合《油气田及管道岩土工程勘察规范》（GB 50568—2010）、《油气管道地质灾害风险管理技术规范》（SY/T 6828—2017）等技术规范，首次系统地构建了管道沿线地质灾害风险评级体系与评价模型，建立了地质环境风险性图形库，为管道沿线地质灾害风险防控规范评价体系的确立提供了参考；结合管道地质灾害特点，研发针对管道地质灾害的监测预警方法，填补了油气管道地质灾害防治领域的诸多空白。

为了总结油气管道地质灾害防治系统性研究成果，为科研、设计、运营管理、领导决策提供参考依据，中石油西南管道公司组织专家学者和科研人员共计 100 余人，历时两年编撰了“油气管道地质灾害风险评价理论与实践应用”丛书，该系列共有 4 个专题分册，分别为：《地质灾害下油气管道安全可靠性的研究》《油气管道地质灾害风险性评价原理与方法》《油气管道沿线地质灾害风险管控平台建设与应用》《油气管道地质灾害防治与监测技术》。其中：《地质灾害下油气管道安全可靠性的研究》系统研究油气管道在遭受滑坡、水毁、崩塌、泥石流等地质灾害下的力学行为；《油气管道地质灾害风险性评价原理与方法》系统总结油气管道地质灾害风险性评价原理与方法；《油气管道沿线地质灾害风险管控平台建设与应用》系统介绍管道沿线地质环境风险管控平台建设

与应用；《油气管道地质灾害防治与监测技术》系统阐述油气管道地质灾害防治与监测技术。

这套技术丛书，既是对油气管道地质灾害系统性研究成果的提炼总结，也是对未来油气管道地质灾害防治工作的展望。希冀此套丛书成为地灾风险防控工作的新起点，为管道安全运行提供支撑和保障。



殷跃平研究员

国际滑坡协会主席

自然资源部地质灾害防治技术指导中心首席科学家

前 言

中国是最早采用管道输送流体的国家，据《华阳国志》记载，早在公元前 200 多年的秦汉时代，蜀郡采气煮盐，将打通的竹节连接起来输送天然气，称之为“火筧”，输送卤水的则称之为“水筧”。但是直到中华人民共和国成立前，我国长距离输油管道建设一直处于空白状态。中华人民共和国成立后，一些大型油气田开发带动了管道工业的发展。1959 年我国建成了第一条新疆克拉玛依至独山子长距离原油管道，全长 147 千米，拉开了新中国油气管道建设发展的序幕。经过 60 多年的发展，截至 2017 年底，中国油气长输管道总里程累计约 12.6 万千米，其中天然气管道约 7.43 万千米（已扣减退役封存管道），原油管道约 2.62 万千米，成品油管道约 2.55 万千米。已初步形成了“北油南运、西油东送”“西气东输、海气登陆、就近外供”的油气输送格局。

随着油气管道的高速发展，管道段地质灾害对管道的威胁剧增，构成了管道安全运营的主要风险源，通常会导致油气的大量泄漏、巨大的财产损失和环境破坏以及长时间的服务中断。我国现役油气管道相当一部分经过地质条件复杂的山区或环境恶劣的沙漠、戈壁、高寒地区，这些地区发育有数量众多、形式多样的地质灾害，对长输油气管道的安全运营造成极大威胁。为减少或避免地质灾害对管道造成的损毁，管道地质灾害的预防、治理、监测工作引起管道运营者的高度关注，纷纷采取有效防范措施，降低地质灾害带来的损失。

管道地质灾害在我国是自 2000 年以来伴随西气东输管道、忠武输气管道、兰成渝成品油管道及川气东送管道等长距离穿越山区管道的建设而新涌现出来的一类灾害形式。多年来，我国管道地质灾害已逐步被认识和重视。为能及时发现管道地质灾害并且有效地进行管道地质灾害防治，建立管道地质灾害综合治理及监测系统是目前急需解决的问题之一，但因对管道地质灾害防治及监测的探索和实践才刚开始，尚未形成系统的管道地质灾害综合治理及监测技术，故结合管道地质灾害的特点，充分利用和借鉴地质灾害领域中先进的防治方法及监测预警技术，服务于管道地质灾害预报预警，在吸收的基础上再创新，是目前我国管道地质灾害防治与监测技术工作的方向。

本书针对油气管道沿线最为常见的滑坡、崩塌、泥石流、水毁等地质灾害类型，系统介绍了常见油气管道地质灾害类别的调查识别、风险评价、工程防治及监测管理技术，详细阐述了典型地质灾害的治理设计要点、监测技术方法和典型工程案例，并展望了油气管道地质灾害综合治理与监测技术的发展前景。

感谢“油气管道地质灾害风险评价理论与实践系列”编委会专家在本书编写过程中给予的支持和指导，向所有为本书做出贡献的同仁表示感谢。

本书编写过程中参考了许多同领域专家、学者的著作和研究成果，在此表示衷心的感谢。由于时间仓促、编者水平有限，书中错误、疏漏和不足之处在所难免，恳请广大专家读者批评、指正。

目 录

第 1 章 油气管道地质灾害防治与监测技术概述	1
1.1 油气管道地质灾害的危害	1
1.1.1 概述	1
1.1.2 油气管道地质灾害的类型与特点	1
1.1.3 我国管道地质灾害分布特点	2
1.2 油气管道地质灾害防治的原则	7
1.2.1 避让原则	8
1.2.2 防护原则	8
1.3 油气管道地质灾害监测的目的与任务	8
1.4 油气管道地质灾害防治、监测、评价技术和国内外现状	9
1.4.1 油气管道地质灾害防治技术和国内外现状	10
1.4.2 油气管道地质灾害监测技术国内外现状	12
1.4.3 国内外管道地质灾害评价技术现状	15
1.5 未来油气管道地质灾害风险管理的发展趋势	17
第 2 章 油气管道地质灾害的调查、巡查、识别与评价	19
2.1 油气管道地质灾害的调查	19
2.1.1 基础资料收集	19
2.1.2 地质灾害隐患点排查	20
2.1.3 油气管道地质灾害详查	20
2.2 油气管道地质灾害巡查	21
2.2.1 巡查监测制度	21
2.2.2 日常巡查	21
2.2.3 汛前排查	22
2.2.4 汛期巡查	23
2.2.5 汛后复查	23
2.3 油气管道地质灾害的识别	23
2.3.1 滑坡的识别	23
2.3.2 崩塌的识别	26
2.3.3 泥石流的识别	29
2.3.4 水毁的识别	32
2.4 油气管道地质灾害的评价	33
2.4.1 管道地质灾害评价的目的、原则及其限制因素	33

2.4.2	管道地质灾害风险的主要特征	35
2.4.3	管道地质灾害风险构成与基本要素	36
2.4.4	定性评价	37
2.4.5	半定量评价	39
2.4.6	定量评价	40
2.4.7	管道地质灾害风险区域评价	42
第3章	油气管道地质灾害防治技术	46
3.1	油气管道地质灾害预防	46
3.1.1	滑坡的预防	46
3.1.2	崩塌的预防	47
3.1.3	泥石流的预防	48
3.1.4	水毁的预防	48
3.2	油气管道地质灾害治理工程设计要点	49
3.2.1	崩塌治理工程设计要点	49
3.2.2	滑坡治理工程设计要点	54
3.2.3	泥石流治理工程设计要点	55
3.2.4	水毁治理工程设计要点	56
3.3	崩塌治理措施	57
3.3.1	危岩主动治理工程措施	57
3.3.2	危岩被动防护工程措施	59
3.3.3	工程实例(某输油管道四川段崩塌)	62
3.4	滑坡治理措施	66
3.4.1	截排水工程	66
3.4.2	减载反压	67
3.4.3	抗滑桩	68
3.4.4	锚杆	74
3.4.5	预应力锚索	77
3.4.6	格构锚固	80
3.4.7	锚拉桩	83
3.4.8	重力式抗滑挡墙	83
3.4.9	工程实例(某管道K1244滑坡治理工程)	87
3.5	泥石流治理措施	91
3.5.1	泥石流排导工程	91
3.5.2	泥石流拦挡工程	92
3.5.3	泥石流固坡工程	93
3.5.4	工程实例(某天然气管道泥石流治理工程)	93
3.6	水毁治理措施	94
3.6.1	截排水工程	95

3.6.2 坡面防护	95
3.6.3 护岸工程	96
3.6.4 护底工程	99
第4章 油气管道地质灾害监测技术	101
4.1 管道地质灾害监测内容与分级	101
4.2 管道地质灾害监测目的与任务	101
4.3 管道地质灾害监测类型	102
4.3.1 变形监测	102
4.3.2 物理与化学场监测	102
4.3.3 地下水监测	103
4.3.4 诱发因素监测	103
4.4 管道地质灾害监测方法	103
4.4.1 宏观地质观测法	103
4.4.2 简易地质监测法	104
4.4.3 专业监测法	106
4.5 单体地质灾害监测	117
4.6 滑坡监测	118
4.6.1 滑坡监测的主要内容	118
4.6.2 滑坡监测传统方法	119
4.6.3 滑坡监测新技术	120
4.6.4 滑坡监测实例(某滑坡监测)	121
4.7 崩塌监测	125
4.7.1 崩塌监测的主要内容和目的	125
4.7.2 崩塌监测方法	125
4.7.3 监测仪器类型	126
4.8 泥石流监测	126
4.8.1 泥石流监测的目的和内容	126
4.8.2 泥石流监测方法	127
4.9 水毁监测技术	127
4.9.1 水毁监测内容和方法	127
4.9.2 水毁监测技术	128
4.9.3 水毁监测实例(某油气管道水毁监测方案)	128
第5章 油气管道地质灾害监测预警技术展望	131
5.1 现状特点	131
5.2 发展趋势	133
参考文献	136

第1章 油气管道地质灾害防治与监测技术概述

当前,全球油气管道沿线崩塌、滑坡、泥石流等突发性地质灾害日益增加,对管道地质灾害的防治已经成为一个全球性问题。特别是随着全球气候变暖,地壳活动进入一个相对活跃期,世界各国正在遭受前所未有的管道沿线地质灾害的威胁。为了应对威胁,各国均对典型的管道沿线地质灾害进行了研究与防治,油气管道地质灾害防治技术及监测技术日益成熟。

1.1 油气管道地质灾害的危害

管道地质灾害是指对管道输送系统安全和运营环境造成危害的地质作用或与地质环境有关的灾害。常见的管道地质灾害类型有滑坡、崩塌、泥石流、水毁、地面塌陷等。我国长输油气管道分布广阔,经常不可避免地穿越地形地质条件复杂的地区,这些地区常常有发育的各种地质灾害,严重威胁管道的安全运营。

1.1.1 概述

受地理环境、气候及人类活动等因素的影响,管道工程中的地质灾害种类繁多、危害程度也各不相同。地质灾害引发土壤运动和地表变形,从而导致埋地管道产生弯曲、压缩、扭曲、拉裂、局部屈曲等破坏行为。欧洲天然气管道事故数据小组(European Gas Pipeline Incident Date Graup, EGIG)调查1970~2001年的西欧管道事故中发现,7%的事故是由地质灾害导致的;美国交通部统计的1984~2001年天然气输送数据表明,8.5%的事故是由地质灾害引起的;加拿大国家能源委员会调查显示,影响加拿大运营的管道事故中12%是地质灾害导致的。某些极端情况,如南美安第斯山区的Andean管道,地质灾害导致的事故占到50%以上。

其次,地质灾害导致管道破坏的统计频率掩盖了地质灾害对工业造成的风险损失。地质灾害相关的事故通常导致管道油气的大量泄漏、事故巨大的财产损失和对环境的破坏,以及长时间的服务中断,致使地质灾害导致管道事故的损失往往比其他事故损失要大。由美国交通部管道安全办公室提供的事故数据得知,地质灾害(地面移动)导致的损失仅次于第三方破坏。

1.1.2 油气管道地质灾害的类型与特点

1. 油气管道地质灾害的类型

管道地质灾害可分为岩土类灾害、水力类灾害和地质构造类灾害三大类。

(1) 岩土类灾害是由侵蚀、人工活动、地震、冻融等因素引起的岩土体移动,包括滑坡、崩塌、泥石流、地面塌陷(包括采空区塌陷和岩溶塌陷)、特殊类岩土(如黄土湿陷、膨胀土胀缩、冻土冻融、盐渍土溶陷盐胀、风蚀沙埋等)等灾害类型。这种灾害发生频率高、危害大,特别是滑坡、崩塌、泥石流等灾害,常常造成管道长距离失效,是管道地质灾害的主要类型。

(2) 水力类灾害是由水力因素引发的,包括坡面水毁、河沟道水毁、台田地水毁等。河沟道水毁又可以细分为河床局部冲刷、河床下切、堤岸垮塌、堤岸侵蚀、河流改道五种。水力类灾害发生频率高,但规模小,其危害比岩土类灾害和构造类灾害小。常导致管道埋深不足、露管、悬管等现象,不利于管道防护,是山区管道最常见的管道地质灾害类型。

(3) 地质构造类灾害主要是由地壳构造运动等内应力因素引起的,主要指断层错动、地震(地震引起的砂土液化、地面移动、海啸等)、火山喷发等。这类灾害发生频率很低,但其影响区域大,能够直接破坏几条管道或管道的几个截面,并引发岩土类地质灾害或水力类地质灾害,对管道造成间接破坏。因此,地质构造类灾害对管道的危害同样不可小觑。

目前,管道上常见的、危害较大的灾害类型主要是岩土类灾害和水力类灾害,包括滑坡、崩塌、泥石流、采空区塌陷、黄土湿陷、风蚀沙埋、冻土、盐渍土和三类水毁(坡面水毁、河沟道水毁和台田地水毁)。构造类灾害由于其特殊性,运营期间的管道地质灾害防治及治理工作很少涉及。

2. 油气管道地质灾害的特点

(1) 突发性、不确定性。地质灾害的发生往往非常突然,征兆不明显,发生过程历时短,不易预知。如滑坡、崩塌灾害,在几分钟甚至几秒钟的时间内,可能造成数万立方米甚至几百万立方米的岩土体快速运动和移位。

(2) 长期性、动态性。管道地质灾害的形成、演化是一个长期的并且动态变化的过程,因此管道地质灾害的防治不是一朝一夕就能解决的,将伴随着管道的整个寿命周期。

(3) 危害巨大。地质灾害体往往体积大、重量大,管道与其相差悬殊,在地质灾害作用下管道不堪一击。地质灾害导致的管道失效事故通常是管道断裂导致大量油气的泄漏、巨大的财产损失和环境破坏,且可能造成长时间的服务中断,其导致的损失往往比其他事故大。

1.1.3 我国管道地质灾害分布特点

油气管道地质灾害的形成与自然地质环境紧密相关。我国是位于欧亚大陆东部的多山国家,自然环境比较复杂,山脉纵横,丘陵起伏,地形地貌的基本特征是西高东低,呈阶梯状分布,山脉定向排列,山盆相间,地貌类型多样,山区面积广,地形起伏大。

1.1.3.1 我国地形地貌的总体特征

1. 地势西高东低，呈阶梯状分布

我国地形总体上西高东低，从“世界屋脊”的青藏高原由西向东逐级下降，明显地分成三个阶梯（图 1.1）。



图 1.1 我国地势分梯示意图

第一阶梯为青藏高原，海拔一般为 4500~5200m，地势最高点为海拔 8844m 的珠穆朗玛峰。这一阶梯的形成是印度板块与欧亚板块碰撞所致，从 4000 万年前开始，印度板块不断北移，致使青藏高原成为世界上最高的高原。

第二阶梯位于昆仑、祁连山以北，横断山脉以东，大兴安岭、太行山、巫山、雪峰山

以西的广大地区，地势急剧下降到 1000~3000m，其间有大高原和大盆地。第二阶梯形成的时代古老，有些在一亿年前的白垩纪就已形成，比较新的也有 3000 万年的历史。其经受了多次地壳运动，地壳断陷和抬升也较显著，断陷处往往形成盆地，在这一阶梯面上，高山耸立。

第三阶梯位于大兴安岭、太行山、巫山、雪峰山以东到海岸线，高度由海拔 1000m 降到几十米甚至几米。自北而南有东北平原、华北平原、长江中下游平原，辽东半岛、山东半岛和长江以南的一片广阔的低山丘陵。只有少数山岭的海拔高度可达到或超过 1000m。从海岸线向东是碧波万顷的海洋，岛屿星罗棋布，水深不足 200m 的大陆水下延伸部分为浅海大陆架区，也可以称为我国地形的第四个阶梯。第三阶梯地势低平，形成时代也较新。

我国这三大阶梯特点决定了各阶梯范围内迥然不同的环境地质特征。第一阶梯，海拔高，气候寒冷，形成多年冻土，致使环境地质条件复杂；第二阶梯，山地起伏较大，地形条件复杂；第三阶梯，地势平坦，地形条件简单，然而多为第四纪沉积，土质松软，土体条件复杂。

2. 山脉众多，起伏显著

我国多山，且排列颇有规律，大多数为东西走向和北东-南西走向，部分为北西-南东走向和南北走向（图 1.2）。东西向山脉主要有三列，最北的一列为天山-阴山-燕山；中

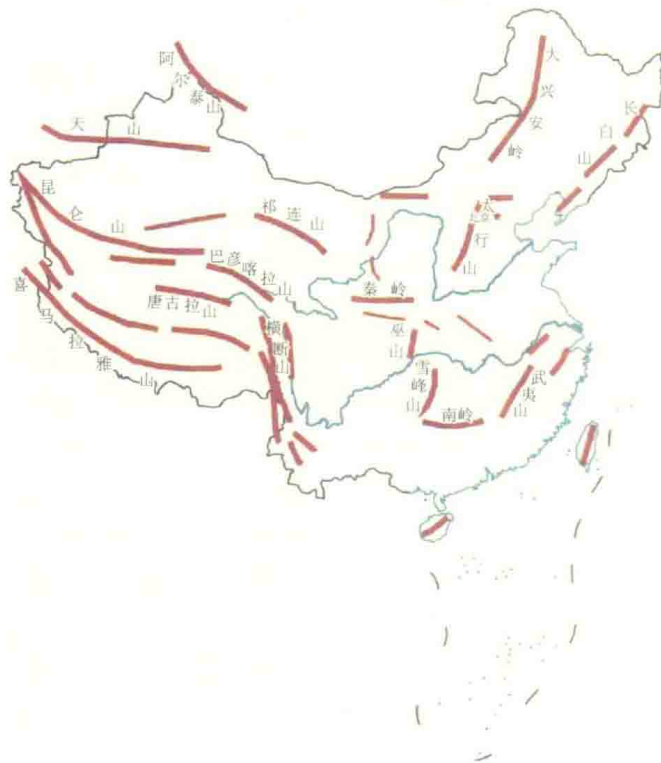


图 1.2 我国山脉分布图

间的一列为昆仑山-秦岭-大别山；最南一列为南岭。这三列山脉主要受纬向构造体系所控制。

北东-南西向山脉，多分布在东部，山势较低，自西而东有三列。最西一列是大兴安岭-太行山-巫山-武夷山-雪峰山，即第二阶梯和第三阶梯的分界线；中间的一列包括长白山、辽东丘陵、山东丘陵和闽浙一带的山地丘陵；最东一列则是位于海上的台湾山脉。这些山脉主要受新华夏系和华夏系构造体系控制。

北西-东向山脉多分布在西部，由北向南有阿尔泰山、祁连山和喜马拉雅山。它们主要由北西向构造体系或有关山字形构造体系所控制。

南北向山脉纵贯我国中部，主要包括贺兰山、六盘山、横断山脉。它们主要受经向构造体系和山字型构造体系控制。

以上山脉是我国地形的基本骨架，为网格状。在山脉分隔的网格中间，有高原、盆地和平原，形成山盆相间的格局。

3. 地貌类型复杂多样

无论是从成因还是形态上来看，我国地貌类型都是多种多样的。有急剧抬升的高原和山地，有强烈断陷和拱曲下降的平原和盆地，有流水作用为主的侵蚀和堆积地貌，有风力作用为主的浩瀚的沙漠，有别具特色的冰川地貌，有景致奇特的岩溶地貌，有受海水雕刻的侵蚀地貌和堆积地貌等。

我国的地貌类型按地貌形态区分可分为山地、高原、丘陵、盆地、平原五大基本类型。分布有四大高原、四大盆地、三大平原。以山地和高原的面积最广，分别占全国面积的33%和26%；其次是盆地，占19%；丘陵和平原占的比例都较少，分别为10%和12%。

2. 我国地形地貌对油气管道的威胁

《中长期油气管网规划》明确提出到2020年，全国油气管网规模达到16.9万千米，其中原油、成品油、天然气管道里程分别为3.2万千米、3.3万千米和10.4万千米，储运能力明显增强。到2025年，全国油气管网规模达到24万千米，原油、成品油、天然气管网里程分别达到3.7万千米、4万千米和16.3万千米（图1.3~图1.5）。

我国的长输油气管道分布范围十分广阔，油气管道经过区的自然地质环境复杂多变。在役管网和规划管网穿越高山、中山、低山、丘陵、河流、谷地及平原地区，管网区不仅发育大量滑坡、崩塌、泥石流、地面塌陷等不良地质现象，而且特殊岩土体（黄土、膨胀土、冻土、盐渍土、软土等）发育分布范围也较广。

山区地形条件复杂多变，且地壳表面的物质组成也很复杂，除第四系的松散地层外，成岩地层更复杂。从元古代的地层到新生代的半成岩地层有数百种，每种又可分为许多岩性组。山区的人文地理、自然生态、水文气象也较复杂。地质灾害主要分布于山区沟、河两岸陡坡地带，有少数分布在丘陵缓坡地带，并受地层岩性的控制。黄土地面塌陷受黄土性质、降水分布、黄土分布的控制。大部分地面塌陷发生在石灰岩分布区的岩溶发育带和地下采空区；滑坡发生在软岩、易滑地层分布区；膨胀土的胀缩性、冻土的冻融破坏、盐渍土的盐胀融沉以及风蚀沙埋等地质灾害对管道的正常运营均存在很大的直接或潜在的



图 1.3 中长期原油主干管网规划图



图 1.4 中长期成品油主干管网规划图