

► SHANQU YOUQI GUANDAO
DIZHI ZAIHAI FANGZHI YANJIU

山区油气管道 地质灾害防治研究

主 编 孟国忠

副主编 颜宇森 郝建斌



中国大地出版社

责任编辑：程 新 陈维平

封面设计：范创博
艺术设计

SHANQU YOUQI GUANDAO
——DIZHI ZAIHAI FANGZHI YANJIU

山区油气管道 地质灾害防治研究

主 编 孟国忠

副主编 颜宇森 郝建斌

ISBN 978-7-80246-071-3



9 787802 460713 >

定 价：68.00 元

山区油气管道地质灾害防治研究

主 编：孟国忠

副主编：颜宇森 郝建斌



中国大地出版社
· 北 京 ·

内 容 提 要

本书内容丰富,实用性强,概括了我国山区油气管道地质灾害防治工作研究的最新进展。主要包括:山区油气管道选线与减灾预防、山区油气管道地质灾害区域预测、油气管道与地质灾害相互作用模型试验研究、油气管道地质灾害监测与巡视、油气管道地质灾害防治技术等。本书对管道地质灾害工程设计、施工及管理人员有一定的实用意义和参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

山区油气管道地质灾害防治研究/孟国忠主编. —北京:
中国大地出版社, 2008. 4
ISBN 978-7-80246-071-3

I. 山… II. 孟… III. 山区—油气运输—管道工程—地
质灾害—防治—研究 IV. TE973 P694

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 018399 号

责任编辑:程 新 陈维平

出版发行:中国大地出版社

社址邮编:北京市海淀区学院路 31 号 100083

电 话:010-82329127 (发行部) 010-82329007 (编辑部)

传 真:010-82329024

网 址:www.chinalandpress.com 或 www.中国大地出版社.中国

印 刷:北京北林印刷厂

开 本:889mm × 1194mm $1/_{16}$

印 张:11.75

字 数:330 千字

版 次:2008 年 4 月第 1 版

印 次:2008 年 4 月第 1 次印刷

印 数:1~1000 册

书 号:ISBN 978-7-80246-071-3/P·90

定 价:68.00 元

版权所有·侵权必究

《山区油气管道地质灾害防治研究》

编辑委员会

主 编：孟国忠

副主编：颜宇森 郝建斌

编 委：孟国忠	颜宇森	郝建斌	任国林
石 蕾	刘建平	孔纪名	王成华
陈 祥	雷海英	徐传获	白明州
祁小博	王汉平	冼国栋	柳 明
孙 盛			



前 言

截至 2005 年年底,我国输油气管道总长度已达 46262km,其途经地域广阔,特别是占一定比例的途经西部山区的油气管道,沿线沟壑纵横、地势起伏,地质环境条件复杂、恶劣,地质灾害多发。这些区域的油气管道地质灾害主要种类有:滑坡、崩塌、塌陷、泥石流、地面沉降、地面裂缝、地震等灾害,它们对油气管道施工与安全运营构成严重威胁。

为了全面掌握国内外输油气管道在建设、运营期间地质灾害防护的现状与防治状况,编者对油气管道建设、运营期间的地质灾害问题进行了较为全面的调研与分析。调研过程中查阅了国内文献 150 余篇,国外文献 42 篇。还多次对某些油气管道沿线的地质灾害进行了野外实地调查,了解管道沿线地质灾害的分布、类型及其地质环境条件等。例如,忠武天然气管道(重庆忠县—湖北武汉,全长约 1300km)渝东鄂西地区近 400km 山区地段、兰成渝(兰州—成都—重庆,全长约 1400km)成品油管道的陇西黄土高原、秦巴山区地段都是滑坡、泥石流等灾害较密集发育区。2005 年,忠武天然气管道在试运投产后的地质灾害调查表明,威胁管道的滑坡有 30 余处,对管道安全有重要影响的崩塌点有 20 余处;2005 年以来,兰成渝成品油管道地质灾害调查发现,需进行治理的滑坡等灾害仍有 100 余处之多;西气东输(新疆—上海,干线约 4000km)天然气管道受滑坡、崩塌、塌陷等灾害威胁的灾害点也有几十处;鄯乌(新疆鄯善—乌鲁木齐,全长约 300km)天然气管道沿途经过几处采空塌陷区,对管道安全生产构成重大威胁;陕京(陕北—北京,2000 余千米)天然气管道途经山西煤产区,也遭受煤矿采空塌陷等灾害的威胁。

目前,系统地介绍油气管道地质灾害防治方面的管道专业技术出版物并不多见。为满足各类工程的要求,特别是满足油气管道地质灾害防治管理技术人员的要求,我们总结归纳了油气管道施工和运营中所遇到的地质灾害问题,结合所从事的山区地段油气管道地质灾害的预测、监测、评价与防治方面的大量课题的研究成果及多年从事管道地质灾害防护管理的经验,在收集大量资料和野外考察的基础上,编写了《山区油气管道地质灾害防治研究》一书。

本书主要包括:山区油气管道选线与减灾预防、山区油气管道地质灾害区域预测、油气管道与地质灾害相互作用模型试验研究,油气管道地质灾害监测与巡视、油气管道地质灾害防治技术等。本书内容丰富,实用性强,书中论述的内容概括了我国山区油气管道地质灾害防护工作研究的最新进展,对管道地质灾害工程设计、施工及管理人员有一定的实用意义和参考价值。

我们衷心希望本书的出版能够成为相关专业的工程技术人员、科研人员以及管理人员有用的参考工具。由于编者水平有限,书中难免有不妥与疏漏之处,恳请读者赐教、指正。

在多年管道地质灾害防护课题研究及本书的编写过程中,得到了中国石油大学王芝银教授以及中国石油管道公司副总经理崔涛等领导、专家的指导;同时,中国地质环境监测院、中国石油天然气股份有限公司管道兰成渝输油分公司、北京环宇正泰地质科技开发有限公司的同行也给予了大力协助,在此一并表示由衷的感谢!

编 者

2007 年 10 月

目 录

1 我国山区自然地质环境基本特征	(1)
1.1 我国山区气候的基本特征	(1)
1.2 我国山区地形地貌的基本特征	(2)
1.3 我国山区地质构造的基本特征	(4)
1.4 我国山区岩土体基本特征	(13)
1.5 我国山区水文地质基本特征	(17)
1.6 我国山区油气管道自然与地质环境特征概述	(20)
2 我国山区地质灾害形成条件及对油气管道的危害	(21)
2.1 我国山区主要地质灾害概述	(21)
2.2 滑坡灾害	(21)
2.3 崩塌灾害	(26)
2.4 泥石流灾害	(31)
2.5 黄土塌陷灾害	(35)
2.6 山洪冲蚀灾害	(37)
2.7 岩溶(喀斯特)塌陷	(40)
2.8 采空塌陷	(44)
2.9 地裂缝	(46)
3 山区油气管道选线与减灾预防	(47)
3.1 山区油气管道选线原则与理论依据	(47)
3.2 自然地质环境下的油气管道选线	(47)
3.3 山区油气管道选线过程与方法	(55)
4 山区油气管道地质灾害区域预测	(56)
4.1 山区油气管道地质灾害危险性区划	(56)
4.2 油气管道沿线地质灾害危险性分段与预测	(68)
5 地质灾害与油气管道相互作用分析及试验	(72)
5.1 滑坡对管道作用分析	(72)
5.2 管道与灾害模型试验的主要类型与原理	(76)
5.3 管道与滑坡作用的物理模型试验	(77)
5.4 管道与滑坡作用的数值模拟试验	(79)
6 油气管道主要地质灾害巡视及监测	(82)
6.1 管道主要地质灾害巡视	(82)
6.2 滑坡监测的基本方法	(99)
6.3 滑坡不同发育阶段的观测技术方法	(105)
6.4 泥石流监测方法	(106)
7 油气管道地质灾害防治技术	(109)
7.1 管道穿越不稳定斜坡的防治方法	(109)

7.2	管道沿线崩塌灾害防治方法	(121)
7.3	管道穿越泥石流沟的灾害防治方法	(121)
7.4	黄土地区管道防护措施	(127)
7.5	管道穿越河流可能产生的灾害及其防治方法	(131)
8	山区油气管道地质灾害防治实例	(140)
8.1	兰成渝管道苏木沟滑坡治理	(140)
8.2	兰成渝管道康县 K481 滑坡治理工程	(142)
8.3	忠—武输气管道顺溪 I 滑坡治理工程	(146)
8.4	忠—武管道张家沟危岩治理工程	(155)
8.5	某沿江路管道上方局部危岩塌落损伤管道	(168)
8.6	煤矿采空区塌陷危及管道安全	(174)
参考文献		(177)

1 我国山区自然地质环境基本特征

油气管道地质灾害的形成与自然地质环境紧密相关。我国山区自然地质环境比较复杂, 仅就其主要方面的特征概括如下。

1.1 我国山区气候的基本特征

气候诸因素中对地质灾害形成影响最大的是气温、降水量和蒸发量。

1.1.1 降水

我国东、南面濒临太平洋, 西南面离印度洋不远。这两大海洋是我国降水的主要水汽来源。此外, 偏北气流从北冰洋带来的水汽对我国新疆北部地区的降水也起一定的作用。

我国年降水量的分布, 总的趋势是由东南沿海向西北内陆逐渐减少。等降水线大致是东北—南西走向, 大致可以分为3个带。以大兴安岭、阴山、贺兰山、巴颜喀拉山、冈底斯山为界, 此线以西和以北广大地区, 除一些高山地区降水稍多外, 气候为干旱, 年降水量大致在200mm以下。此线以东以南至青藏高原的东南部—青海东部—甘肃南部—秦岭南坡—淮河以北至山东半岛一线之间地区, 除东北的长白山和大、小兴安岭山区外, 均属半干旱、半湿润气候区, 其降水量大致在200~800mm之间。此线以南的广大地区则属湿润地区, 降水量一般大于800mm。

在降水量较大或集中降水的山区, 不良物理地质作用与地质灾害较多。在干旱气候区, 大陆盐渍化作用强烈, 地下水具有高矿化度性质, 其水质常具有侵蚀性。

1.1.2 气温

气温分布明显地受地理纬度、海陆分布和地势起伏的影响。我国所跨纬度较大, 南北温差大, 就年平均气温而言, 从南海诸岛的25℃以上到黑龙江省北部的-5℃以下, 相差达30℃以上。其分布情况在东半部大致自南向北随纬度增加而逐渐降低, 南岭以南在20℃以上, 长江流域在16℃左右, 黄河流域12℃~14℃, 东北及内蒙古全境在10℃以下, 大小兴安岭低于0℃。西半部由于地势抬升的影响, 青藏高原大部分地区年平均气温在0℃以下, 藏北地区最低达-8℃以下, 而其北面的新疆境内除天山和阿尔泰山山区外都在0℃以上, 南疆塔里木盆地和吐鲁番盆地的大部分地区在10℃以上。

气温对环境地质条件的影响非常明显, 在低温地区, 如青藏高原、黑龙江北部有多年冻土分布, 冻融物理地质现象发育。而在高温湿润地区岩土风化作用强烈。由于气温的季节性变化, 在冬季寒冷地区则出现季节性冻土, 也常发生冻融等地质灾害。

1.1.3 我国气候地带性规律

各种气候要素和天气现象在不同季节的相互配合使得各地产生不同的气候分布特点, 这种气候特点也对自然界其他自然因子如植被、土壤、地貌等产生巨大作用, 这些自然因子反过来, 又影响当地气候。根据我国的自然景观, 可以把全国划分为三大区, 即: 东部季风区、西北干旱区及青藏高原区。

东部季风区从黑龙江省的北部一直到南海诸岛。年内受到季风的交替影响,风向有着明显的季节变化。温度夏季南北差异小,冬季差异大。降水集中在温暖的下半年。

西北干旱区约占全国土地总面积的30%,主要特点是全年降水偏少,夏季温暖,甚至炎热,冬季寒冷。又因为空气干燥,蒸发量大,该区多为荒漠和草原。

青藏高原区气候严寒只有暖季和寒季之分,周边垂直分带明显。冻土区冻结期长达7个月以上。高原面上平均气温在 -2°C ~ 6°C 以下,气温年较差 15°C ~ 26°C ,平均日较差可达 10°C ~ 19°C ;高原北部冻土区年降水量在300mm左右;雅鲁藏布江河谷增到400mm以上;西藏东南部降水量500~800mm;高原西部在100mm以下。

在上述三大区的背景条件下,还可以根据南北的温度差异划分出不同的温度带,除青藏高原外,可划分为温带、亚热带、热带三大带。温带和亚热带的分界大致在淮河秦岭一线,亚热带和热带的分界线大致通过台湾省的南部、广东省雷州半岛的北端以及云南省的南部。

1.2 我国山区地形地貌的基本特征

1.2.1 我国山区地形地貌的基本特征

我国是位于欧亚大陆东部的多山国家,在约960万 km^2 的土地上,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。

我国地形西高东低,从号称世界屋脊的青藏高原,由西向东逐级下降,明显的形成3个阶梯。

第一阶梯为青藏高原,海拔一般为4500~5200m,地势最高点为海拔8844米的珠穆朗玛峰。这一阶梯的形成是印度板块与欧亚板块碰撞所致,从4000万年前的渐新世开始,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之间,其间有大高原和大盆地。第二阶梯形成时代很古老,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。它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,耸立着不少高山。

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,则是碧波万顷的海洋,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,地热平坦,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。

1.2.2 我国山脉纵横、定向排列,山盆相间

我国多山,且其排列颇有规律,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。

东西向山脉主要有三列,最北的一列为天山—阴山—燕山;中间的一列为昆仑山—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—武陵山—雪峰山，即第二阶梯和第三阶梯的分界线；中间的一系列包括长白山、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—南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型构造体系所控制。

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脊柱控制。

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。

全国各类地形的百分比是：山地约 33%，高原约 26%，盆地约 19%，平原约 12%，丘陵约 10%。我国习惯上说的山区，包括山地、丘陵和比较崎岖的高原，约占全国面积的 2/3。

表 1-1 我国主要山脉简表

山脉名称	一般海拔/m	主峰名称及海拔/m	山脉名称	一般海拔/m	主峰名称及海拔/m
喜马拉雅山	平均 6000	珠穆朗玛峰（中、尼）8844	祁连山	4000 以上	祁连山 5547
昆仑山	5000 ~ 7000	木孜塔格峰 7723	秦岭	2000 ~ 3000	太白山 3767
天山	3000 ~ 5000		博格达山	4000 以上	博格达峰 5445
阿尔泰山	1000 ~ 3500	友谊峰（中、蒙）4374	大兴安岭	1500	黄岗梁 2029
冈底斯山	6000 左右	冈仁波齐峰 6656	太行山	1500 ~ 2000	小五台山 2882
念青唐古拉山	5000 ~ 6000	念青唐古拉峰 7111	吕梁山	1500 左右	关帝山（南阳山）2831
唐古拉山	6000	各拉丹冬 6621	南岭	1000	越城岭（真宝顶）2123
可可西里山	5000		武夷山	1000 ~ 1500	黄岗山 2158
巴颜喀拉山	5000 ~ 6000	巴颜喀拉山 5267	台湾山	3000 ~ 3500	玉山 3997
阿尼玛卿山	4000 ~ 5000	玛卿岗日 6282	罗霄山	1500 ~ 2000	万洋山（南风面）2120
横断山	2000 ~ 6000	玉龙山（玉龙雪山）5596	大巴山		大神农架 3053
大雪山	4000 ~ 5000	贡嘎山 7556	阴山	1000 ~ 2000	
喀喇昆仑山	6000	乔戈里峰 8611	长白山	1000 以上	
阿尔金山	3500 ~ 4000	阿尔金山 5798			

表 1-2 我国主要高原、平原简表

名称	位置	一般海拔/m	地表特征
青藏高原	中国西南部	4000 ~ 5000	平行岭谷相间，藏北多湖泊。
云贵高原	青藏高原东南	1000 ~ 2000	地面崎岖，岩溶地貌分布很广。
黄土高原	黄河中游一带	1000 ~ 2000	黄土丘陵和特殊的塬、梁、峁、川等黄土地形。
内蒙古高原	中国北部	1000 ~ 2000	波状起伏，沙漠、草原广布。
塔里木盆地	新疆南部	800 ~ 1300	由边缘向中部，戈壁、绿洲、沙漠成带状分布。
准噶尔盆地	新疆北部	500 ~ 1000	中部多固定沙丘，南缘冲积扇成广阔平原。
柴达木盆地	青海省西北部	2700 ~ 3000	自边缘至中心，为戈壁、丘陵、平原、湖泊。
四川盆地	四川东部	400 ~ 800	底部自东至西北分为平行岭谷、方山丘陵、成都平原。
吐鲁番盆地	天山山东麓	最低 - 155	最低处为湖底。
南阳盆地	河南西南部	200 以下	亦称南阳平原。
东北平原	东北中部、南部	200 以下	波状起伏，沿河多沼泽。
华北平原	黄、淮、海河流域	50 以下	平坦，东部有洼淀、盐碱地。
长江中下游平原	长江中下游沿岸	50 以下	湖泊众多，港汊纵横，河口为巨大三角洲。
珠江三角洲	广州市附近	50 左右	河网纵横，孤丘散布。
河套平原	内蒙古、宁夏黄河沿岸	1000 左右	渠道纵横。
渭河平原	陕西中部	500 左右	亦称关中平原，河岸有三级黄土阶地。
成都平原	四川盆地西北部	600 左右	自西北向东南倾斜，河渠成网。
台南平原	台湾西南部	100 左右	由若干三角洲组成，滨海有沙丘。

1.2.3 我国地貌类型

无论是从成因,还是从形态来看,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等。

青藏、云贵、内蒙古和黄土高原是我国著名的四大高原。塔里木、准噶尔、柴达木和四川盆地,是我国著名的四大盆地。长江、黄河、珠江、黑龙江等大河大川,在辽阔的土地上奔流,堆积成许多广阔的平原。东部平原上散布着低山丘陵。西部有很多高山峻岭。

在地面隆起的地区,在外营力作用下形成剥蚀平原或高原,地面较平坦,但与堆积平原相比,则起伏较大,覆盖物较粗而松散,覆盖层薄。隆起强烈地区形成剥蚀高原,如青藏高原、云贵高原等。

黄土高原是一种特殊的地貌类型,在中国分布较广。黄河中游约40万 km^2 的地区,为典型的黄土高原和黄土丘陵。地面为自北向南颗粒渐细的第四纪黄土覆盖,厚度不等,最厚可达100m以上。土质疏松,垂直节理发育,经侵蚀常成陡直的沟壁。由于人类工程活动强烈,地面植被大面积遭受破坏,经流水切割,形成沟谷深切的黄土高原和黄土丘陵,分布着特有的塬、梁、峁、川等地貌形态,地面破碎,是中国水土流失最严重地区之一。流失的土层是黄河泥沙的主要来源。黄土母质肥沃,利于耕垦。大力进行水土保持工作是这一地区改造自然、发展农业生产最重要的任务。

山地在中国占有广大的面积,构成山体的物质有各时代的岩浆岩、沉积岩和变质岩;大部分经过复杂的构造运动,存在大量的褶皱、断裂,并至今有程度不等的升降运动;同时经受着复杂的外力作用。大致5000m以上的极高山区,以冰川剥蚀作用和寒冻风化作用为主,一般剥蚀、切割强烈,冰川地貌和冰缘地貌发育,不少地区为冰川覆盖;3500m以上为高山,基本上没有森林分布,融冻机械风化作用为主,形成了陡峻的山坡和粗大的堆积物;1000m以下的中山和低山在中国东部分布很广,这里流水侵蚀作用占优势,在湿润的气候环境下,化学风化作用强烈,造成山地破碎、风化壳很厚的特点;向西北干燥区过渡,则干燥剥蚀及风蚀作用逐渐加强而占优势,山形和缓,向准平原化方向发展。

丘陵不以绝对高度划分,其特点是起伏和缓、没有明显的山脉走向,相对高度一般小于200m,极少突出的高峰,多见于山前地带或平原地区。海拔较低的丘陵地区多已辟为梯田或经济林区。

岩溶(喀斯特)地貌在中国多数省区均有分布,多在石灰岩分布区的中度隆起带,以广西、贵州、云南面积最广。岩溶是石灰岩地区长期在水的溶蚀、侵蚀作用下形成的地貌,有石芽、峰林、漏斗、溶蚀洼地、坡立谷、落水洞、竖井、溶洞等特殊形态,河流常潜入地下成伏流。由于各地在新构造运动中升降幅度的差异和气候条件的不同,岩溶地貌有多层性和地带性的分布特点,中国亚热带地区岩溶地貌最典型,以山清水秀的优美风景区,如桂林山水、路南石林等。石灰岩区的地表形成石芽则不利耕垦,且由于漏水,常造成干旱,须根据农业生产的需要进行改造。

1.3 我国山区地质构造的基本特征

1.3.1 我国主要构造体系

按照地质力学观点,在我国境内,具有一定规模的构造体系主要有以下几种类型

1.3.1.1 巨型纬向构造体系

主要有3条东西向的复杂构造带横亘全国,每一构造带自成一个构造体系。①阴山—天山构造带:大致位于北纬 $40^{\circ} \sim 43^{\circ}$ 之间;②秦岭—昆仑构造带:大致位于北纬 $33^{\circ} \sim 36^{\circ}$ 之间;③南岭

构造带：大致在北纬 $23^{\circ}30'$ ~ 26° 之间。上述三条东西复杂构造带的主体，一般是由古老变质岩系和一部分古生代及中生代地层的紧密褶皱和挤压性断裂等构成，伴生有张性及扭性断裂，并有花岗岩体及超基性岩带等掺杂其中。这类构造体系具有悠久的发育历史，反复经过多次强烈的构造运动，最晚的一次，大约在侏罗纪以后。此外，出现在海南岛及附近海域、大兴安岭北段的東西构造带，可能分别属于另外两个巨型纬向构造带的一部分。其他散布各地、规模较小的一些东西构造带，一般称为区域性东西构造带。

1.3.1.2 经向构造体系

走向南北的构造中，自成体系的，属于经向构造体系。在国内，经向构造体系的构造带多为挤压带，主要由褶皱和挤压性断裂构成，主要发育在四川、云南、贵州、湖南等地区，山西西部及太行山东麓等地也有散布。这些构造带从燕山运动以来均断断续续发生过褶皱和隆起，有的历史悠久，有的追溯到古生代甚至更早。

1.3.1.3 各种扭动构造体系

可以分为多字形、山字形及歹字形等各种构造型式。

(1) 新华夏构造体系：是发育在中国东部及东亚大陆濒太平洋地区的一个巨型多字型构造体系。它幅员辽阔，主体部分由燕山运动以来形成的、总体走向北北东的隆起褶皱带和沉降褶皱带组成。在地形上表现为三条分别由山脉、丘陵、岛屿构成的隆起，和相辅而行的、三条由高原—盆地、平原、大陆边缘海构成的凹陷。在这个范围内，走向大体与新华夏构造带方向一致的、与隆起和沉降褶皱带发生在同一构造运动时期的褶皱，以及与褶皱有密切联系的各种断裂，一般均属于新华夏构造体系。新华夏系大约在新近纪末期发展到成熟的阶段，局部地区至今仍有活动。

(2) 华夏构造体系和华夏式构造体系：中国东部广大地区在古生代时期形成的走向北东的褶皱带和挤压性断裂带群，属于华夏构造体系。它是一个古老的巨型多字型构造体系，完成于古生代末。由于新地层的掩盖及新的巨型构造体系的干扰与破坏，它看起来不像新华夏系那样发育，但踪迹确是很明显的。此外，在我国东部地区的白垩系或第三系岩层中有类似华夏系的构造带出现，但形成时期晚，不同于华夏系，称为华夏式构造体系。

(3) 山字形构造体系：中国具有一定规模的山字形构造体系有：祁吕贺山字形、淮阳山字形、云南山字形、广西山字形、粤北山字形及山东山字形(?)等。这类构造体系的共同点：在北半球主要由向南(偶有向西)凸出的弧形褶皱带和它后面大致走向南北的挤压构造带，以及二者之间相对稳定的地块等组成。弧形褶皱带的两翼常分别形成南北凸出的反射弧。反射弧后面也常出现走向南北的挤压带。

(4) 歹字形构造体系：在中国西南地区分布着两个巨型歹字形构造体系：①青藏歹字形构造体系以川滇地区一群强大的弧形构造带为主体，向北展布到昆仑山以北，向南伸入缅甸、老挝、越南，并延伸到泰国、马来西亚、印度尼西亚等。②帕米尔—喜马拉雅歹字形构造体系以喀喇昆仑山、喜马拉雅山等从帕米尔地区跨中国边界向东南伸展的诸山脉为主体。这两个歹字形均有较长的发育历史，但在新生代才形成剧烈褶皱，构造运动达到高峰。

(5) 其他扭动构造型式：包括各种形式的旋构造及尚待进一步研究其归属的构造带等。

1.3.2 我国山区地壳稳定性

地壳稳定性对山区地质灾害的形成和油气管道安全运营有很大的影响，决定地壳稳定性的主要有地震、活动性断裂、第四纪岩浆活动、地壳垂直形变、现今构造应力场特征等。

1.3.2.1 活动性断裂

岩土工程勘察规范规定^[2]：①全新活动断裂为在全新地质时期(1万年)内有过地震活动或近期正在活动，在今后100年可能继续活动的断裂；全新活动断裂中、近期(近500年来)发生过

地震震级 $M \geq 5$ 级的断裂, 在今后 100 年内, 可能发生 $M \geq 5$ 级的断裂, 可定为发震断裂; ②非全新活动断裂: 1 万年以前活动过, 1 万年以来没有发生过活动的断裂, 可定为发震断裂。

全新活动断裂可按表 1-3 分级。

表 1-3 全新活动断裂分级

指 标		活 动 性	平均活动速率 v $\text{mm} \cdot \text{a}^{-1}$	历史地震震级 M
I	强烈全新活动断裂	中晚更新世以来有活动, 全新世活动强烈	$v > 1$	$M \geq 7$
II	中等全新活动断裂	中晚更新世以来有活动, 全新世活动较强烈	$1 \geq v \geq 0.1$	$7 > M \geq 6$
III	微弱全新活动断裂	全新世有微弱活动	$v < 0.1$	$M < 6$

第四纪以来, 特别是现今有活动特征表现的断裂, 谓之活动性断裂。

我国各地的活动性断裂在规模、活动方式、活动历史和活动强度等方面具有一定的差异性。综合分析活动性断裂的特点, 按地域可划分为华北地区、东北地区、华南地区、西南地区 and 西北地区以及台湾地区。各地区活动性断裂主要特点如下:

1) 华北地区活动性断裂主要特点

在现今构造应力场的作用下 (现今构造应力场的主压应力方向为北东向与南西向), 活动性断裂主要走向为北东方向和北西方向。主要活动性断裂有: 郯城—庐江断裂带、太行山前断裂带、沧东断裂带和汾渭断陷带。

华北地区的活动性断裂大多数是中新世以来的继承性断裂, 特别是走向北东和北东方向的活动性断裂, 规模较大, 垂直差异性活动较强烈, 其中有一部分断裂对华北平原边缘和内部结构起控制性作用。在华北地区的活动性断裂带中有我国东部规模最大的活动性断裂带和断陷带, 如郯城—庐江活动性断裂带和汾渭断陷带。据对强震的分析结果, 华北地区的主要活动性断裂带亦是强地震带, 地震活动周期性比较明显, 强度大, 但频度不很高, 现今处于地震的活跃时期。

2) 东北地区活动性断裂主要特点

东北地区的北东—北北东方向主要断裂具有继承性活动特点, 但活动性在逐渐减弱, 表现于现今仅在主要活动性断裂的特殊构造部位和主要盆地中有少数地震发生, 地震频度和强度都较低。北西向活动性断裂规模比北东—北北东向活动性断裂小, 生成时代较新, 但活动性强, 表现在与其他走向的断裂交汇部位一般都是现今地质构造活动性强的地区。东北地区主要活动性断裂有: 伊通—依兰断裂带、敦化—密山断裂带和嫩江断裂带。

3) 华南地区活动性断裂主要特点

华南地区的现今构造应力场与中生代的构造应力场相同, 即主应力方向为北西向—南东向, 因而华南地区的主要活动性断裂具有继承性的特点。华南地区主要活动性断裂有: 长乐—诏安断裂带、邵武—河源断裂带和王五一文教断裂带。

华南地区的活动性断裂分区性比较明显, 具有较大规模的活动性断裂大多数集中分布在东南沿海一带, 并且越靠近大陆边缘, 断裂的活动性越强, 表现在对第四纪断陷盆地的控制、强震的发生以及新近纪—第四纪玄武岩喷发等方面。在大陆内部也有少数活动性较强的活动性断裂, 它们大多数分布在江汉—洞庭地区, 但规模都小于沿海地区的主要活动性断裂。华南地区的北西向和东西向断裂亦具有一定的活动性, 与北东—北北东方向断裂的交汇部位, 常常是现今地壳稳定性较差的地区。

4) 西南地区活动性断裂主要特点

西南地区是我国西部受喜马拉雅构造运动影响最强烈的地区。因此, 区内不但存在喜马拉雅构造运动期形成的大型活动性断裂, 如喜马拉雅山南缘活动性断裂, 而且亦具有继承性活动特点, 现今仍

有强烈活动表现的较老的断裂带,如展布于川西—滇中一带的南北向断裂带。西南地区的主要活动性断裂有:雅鲁藏布江断裂带、昆仑—秦岭断裂带、青藏川滇断裂带和贺兰、川滇南北向断裂带。

西南地区的活动性断裂带走向多呈近东西—北西—北北西弧形和南北向,分布于青藏、川西、云南的山前地带和山间盆地旁侧并沿一些江河展布。地质构造活动强烈,特别是活动性断裂的强烈活动,造成了西南地区显著的构造地貌形态,高山深谷较普遍;第四纪断层痕迹和地震断层规模较大,清晰可见;地震活动强烈,历史破坏性地震在单位面积上所释放的能量在我国居第二位;与活动性断裂密切相关的第四纪岩浆活动在青藏南部和滇西均有发现。

5) 西北地区活动性断裂主要特点

西北地区是我国活动性断裂非常发育,且活动性强烈的地区之一,该区主要活动性断裂有:阿尔金山断裂带、天山北缘断裂带、可可托海—二台断裂带、天山南缘断裂带和祁连山北缘断裂带。

西北地区活动性断裂多分布于主要山脉和山前地带和准噶尔、塔里木等大型盆地周边以及一些山间盆地中。活动性断裂主要走向为近东西向和北西向,少数为北东走向,性质以压扭性为主。十分发育的地质构造和活动性断裂的强烈活动造成了西北地区显著的构造地貌形态,高山峻岭、深切沟谷较普遍,山岭与盆地相间,高程悬殊。活动性断裂的强烈活动使西北地区成为我国强震区之一,地震的强度和频度仅次于台湾和西南地区。我国最新的火山活动区亦位于西北地区的活动性断裂带之中。

6) 台湾地区活动性断裂主要特点

台湾地处现今世界构造活动最强烈的环太平洋构造带之中。该区的新构造运动在我国最为强烈,表现于以下四方面:活动性断裂十分发育,规模大,多为北东—北北东走向,活动性有由西向东相对加强的特点;构造地震频频发生,地震的数量和单位面积中地震所释放的能量居我国首位;构造地貌形态显著,垂直差异极其明显,特点是该区中央山脉以东地带;台湾岛东西两侧海底有近代火山活动。台湾地区主要活动性断裂有:台东断裂带和台西断裂带。

综前所述,我国活动性断裂规模西部相对大于东部,活动性一般亦是西部相对强于东部(台湾和华北地区的少数主要活动断裂例外),华南和台湾地区活动断裂的规模和活动性由北西向南东相对加强;我国西部多古生代以来的继承性活动断裂和新生代活动断裂,东部多中新生代以来的继承性活动断裂;活动性断裂在我国华南西部和大型断块盆地之中(如塔里木盆地、准噶尔盆地等)相对来说不甚发育或活动性不太强烈。

1.3.2.2 强烈地震的活动特点

我国是一个多地震的国家。为突出破坏性地震,使人们在工程—经济活动中更加重视其危害,了解其规律,从而加以设防,6级以上为强震。

地震按其成因可划分为构造地震、火山地震、陷落地震和人为地震。我国的强震绝大多数属于构造地震。我国强震的分布、强度和发震频度都有一定规律性。简要归纳如下:

1) 强震的分布规律

我国强震的地理分布和震源深度分布都具有一定的规律性。

(1) 强震的地理分布规律。

我国的强震在东北地区分布较少,华北地区分布较多,中南、东南分布较少、西北、西南分布较多,台湾省是我国强震分布最密集的地方。

在强震发生较多的地区,强震沿活动性断裂呈带状分布。如我国中部的贺兰山—六盘山—川滇南北向断裂带即是我国中部的强震活动带,称为南北地震带。

(2) 强震的震源深度分布规律。

我国大多数地区的强震属浅源地震,震源深度5~80km;中源地震台湾(震源270km);新疆南部(西昆仑山)震源120~160km,青藏南部(震源达180km);深源地震东北震源约500km。

2) 强震的发震频度规律

根据历史地震的统计,我国强震的发震频度各地有较大的差别。一般来说,现今断裂构造活动强烈地区强震发生频度较高,周期较短,反之则频度较低,周期较长。我国主要地震区强震活动期及频度见表 1-4。

3) 强震活动的强度规律

强震活动的强度指强震发生的次数和释放能量的多少。强震活动的强度统计见表 1-5。

近年来随着地震工作的研究深化,人们将地震活动具有共同特征和相互联系、地震地质条件密切相关的地区划分成地震区、带,为国民经济建设和进一步研究地震服务。国家地震局有关单位将我国地震活动地区划分为 10 个地震区,23 个地震亚区和 30 个地震带见表 1-6。

表 1-4 我国主要地震区强震活动分期及频度表

地震区	地震活动期	平静期历年	活跃期历年	平均地震活动频度/年
华北	第一活动期 (公元 1069 ~ 1368 年)	139 年	159	约 112
	第二活动期 (公元 1369 ~ 1730 年)	114 年	246	
	第三活动期 (公元 1731 ~)	83 年	至 1976 年已 161 年	
华南	第一活动期 (? ~ 公元 1660 年)	149 年	215 年	约 149
	第二活动期 (公元 1661 ~)		至 1976 年已 178 年	
青藏高原北部	第一活动期 (公元 1353 ~ 1739)	207 年	178 年	约 172.5
	第二活动期 (公元 1740 ~)	138 年	至 1976 年已 97 年	
台湾西部				
新疆中部	第一活动期 (公元 1717 ~ 1812 年)	47 年	47 年	约 34.5
	第二活动期 (公元 1813 ~ 1914 年)	28 年	72 年	
	第三活动期 (公元 1915 ~)	28 年	至 1976 年已 32 年	
青藏高原中部	第一活动期 (公元 1689 ~ 1786)	43 年	53 年	约 38.7
	第二活动期 (公元 1787 ~ 1893)	45 年	60 年	
	第三活动期 (公元 1960 ~)	28 年	至 1976 年已 53 年	
青藏高原南部	第一活动期 (公元 1917 ~ 1959)	12 年	29 年	约 14
	第二活动期 (公元 1960 ~)	至 1976 年已 16 年		
台湾中部	第一活动期 (公元 1901 ~ 1922)	7 年	13 年	约 6.3
	第二活动期 (公元 1923 ~ 1952)	7 年	22 年	
	第三活动期 (公元 1953 ~ 1975)	5 年	17 年	
	第四活动期 (公元 1975 ~)			

注:地震活动期包括平静和活跃期。

资料来源:据《中国地震烈度区划工作报告》资料,有改动。地震资料截至 1976 年。

表 1-5 我国主要地区强震次数和释放能量表

	强震分级				合计次	释放能量 E 尔格
	5.8 ~ 5.9	6.0 ~ 6.9	7.0 ~ 7.9	> 8.0		
华北区	125	34	7	3	169	2.04×10^{24}
东北区	21	14	5		40	2.190×10^{23}
华南区	99	25	5	2	131	4.470×10^{24}
西南区	511	161	21	3	696	8.155×10^{24}
西北区	335	102	29	9	475	8.074×10^{24}

注:华南区包括了中南行政区。

表 1-6 我国地震区、带划分简表

地震区	地震亚区	地震带	地震活动程度
台湾地震区	台湾东部亚区 台湾西部亚区		强度大、频度高 (西部频度较低)
华南地震区	东南沿海亚区	泉州—汕头带 邵武—河源带 广州—阳江带 吴山带 雷琼带	中强地震活动，频度较低 东南沿海强度较大
	长江中下游亚区	扬州—铜陵带 麻城—常德带	
	秦岭—大巴山亚区		
华北地震区	华北平原亚区	邢台—河间带 许昌—淮南带 营口—郑城带	强度大、频度较高
	山西亚区	怀来—西安带	
	阴山—燕山亚区	三河—滦县带 五原—呼和浩特带	
东北地震区			强度小频度低
青藏高原南部地震区	滇西南亚区 腾冲亚区 阿隆岗日亚区 察隅—墨脱亚区 雅鲁藏布江亚区		强度大、频度高
青藏高原中部地震区	川滇亚区	下关—剑川带 通海—石屏带 东川—嵩明带 马边—昭通带 冕宁—西昌带 炉霍—康定带	强度大、频度高
	可可西南—三江亚区 西昆仑亚区 托素湖亚区		
青藏高原北部地震区	宁夏—龙门山亚区	龙门山带 松潘带 天水带 西海固带 民勤带 银川带	强度大，频度较高
	祁连山亚区	柴达木带 祁连山带 河西走廊带	
	阿尔金山亚区		
新疆中部地震区	北天山亚区		强度大、频度高
	南天山亚区	拜城—和静带 柯坪—喀什带	
新疆北部地震区	阿尔泰亚		区强度大，频度高

注：南海地震区未列入表内。据国家地震局《中国地震烈度区划工作报告》。