



陕北黄土工程地质

王治军 骆建文 李荣建 李喜安 耿生明 著



地质出版社

陕北黄土工程地质

王治军 骆建文 李荣建 李喜安 耿生明 著

地质出版社

内 容 提 要

“陕北黄土工程地质”属于区域工程地质范畴,陕北黄土地区特殊的地质、地貌和气候条件使得该区域素以强烈的土壤侵蚀和频发的地质灾害而著称。由于缺乏全面的工程地质资料和系统的黄土力学强度理论,往往会给相关工程的问题处理带来一定的困难。在开展大量的野外调查、地质勘察、现场试验和室内试验的基础上,本书系统总结了陕北黄土区的地形、地貌、水文、气候和区域地质发展史等资料,建立了陕北黄土地区黄土地层标准剖面,探讨了黄土湿陷性、渗透性和崩解性等水理性质,通过拉伸试验、扭剪试验、三轴试验研究提出了一种能综合考虑结构性黄土抗拉和抗剪特性的联合强度理论,结合黄土载荷试验和确定地基承载力的新方法提出了陕北黄土地基承载力新表,将陕北黄土地区进行了合理的工程地质分区,针对油区重点开采区的工程地质条件进行了全面分析和评价。本书研究成果不仅可以服务于长庆油区地面工程建设中的勘察和设计,亦可为地方政府在黄土区域的建设规划、勘察和设计中提供重要的技术参考。

本书可供工程地质、土木工程、公路铁道、水利工程和防灾与减灾工程等相关专业的高年级本科生与科研人员阅读,亦可成为工程技术人员在工程地质勘察和岩土工程评价与分析方面的实用工具书。

图书在版编目(CIP)数据

陕北黄土工程地质 / 王治军等著. —北京:地质出版社, 2017. 6

ISBN 978-7-116-10231-6

I. ①陕… II. ①王… III. ①黄土-工程地质-研究-陕北地区 IV. ①P642.13

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 012281 号

Shanbei Huangtu Gongcheng Dizhi

责任编辑:李惠娣

责任校对:韦海军

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号, 100083

咨询电话:(010)66554646 (邮购部); (010)66554579 (编辑室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

传 真:(010)66554582

印 刷:北京印匠彩色印刷有限公司

开 本:787 mm×1092 mm $\frac{1}{16}$

印 张:28.5

字 数:690 千字

版 次:2017 年 6 月北京第 1 版

印 次:2017 年 6 月北京第 1 次印刷

审图号:陕 S (2017) 024 号

定 价:160.00 元

书 号:ISBN 978-7-116-10231-6

(如对本书有建议或意见,敬请致电本社;如本书有印装问题,本社负责调换)

前 言

陕北黄土工程地质属于区域工程地质范畴。区域工程地质对资源开发、土地使用、国民经济建设以及生态环境都有着举足轻重的作用。要想科学地、合理地做好工程规划与工程建设,首先要全面地进行工程地质勘察,掌握区域工程地质条件,只有这样才能把建筑物特点与场地地质条件充分结合,通盘考虑,整体布局,科学规划。

陕北黄土高原是我国黄土高原的主体部分,北与内蒙古自治区、西与甘肃省、东与山西省毗邻,南与渭南市、咸阳市相连接,地势西北高东南低,北部为风沙区,南部是丘陵沟壑区。该区主要包括延安、榆林两个地级市,共辖 25 个县区,约占陕西省总面积的 45%。由于该区地处黄土高原的北部,属于不同典型地理单元的过渡区域,因此分布着十分复杂的地貌类型,除长城沿线分布的风沙地貌和部分山地地貌外,大部分地区分布着种类齐全的黄土地貌。也由于其地理位置的特殊性,世界独一无二的黄土国家地质公园及著名的洛川黄土标准剖面即位于此区域。长期以来,该区已经成为国内外学者研究黄土力学与工程特性不可多得理想天然试验场,国内外许多学者在这里进行过许多开拓性工作,曾在黄土的成因、黄土地貌的形成演化、黄土地层层序学、黄土力学与工程特性等方面获得过许多奠基性的成果,为世界黄土的研究做出了杰出贡献,陕北黄土高原也因此在世界黄土研究领域久负盛名。

长庆油田长期进行地面工程建设的实践表明,工程建设的规划、设计、施工无不受场地工程地质条件的制约,工程建设的方式、规模和类型依赖于场地工程地质条件,工程地质条件的优劣、工程地质资料的翔实与否直接影响工程建设的质量和成本,只有正确认识工程建设与地质环境相互制约的内在规律,才能合理有效地开发利用并妥善保护地质环境,达到工程建设与地质环境相协调,同时也能够保证各类工程发挥其最大效益,因此陕北黄土工程地质评价是长庆油田陕北工区开展各类地面工程建设的必要前提。

长庆油田陕北工区多数位于黄土地貌之上,在长期实践中经常会遇到各种类型工程问题,如黄土地基湿陷变形问题、黄土边坡灾害问题和黄土潜蚀问题等,但由于缺乏相关的工程地质资料和系统的黄土力学强度理论,往往会给这些工程问题的处理工作带来极大困难,长期困扰着工程建设的规划、设计、施工乃至运营。这些工程问题归根结底是由于对该区黄土工程地质特征缺乏研究和黄土力学强度缺乏全面系统的掌握所造成的。因此,通过深入研究该区黄土力学特性,全面把握陕北地区黄土力学性

质与工程地质条件,在此基础上进行黄土工程地质分区和综合评价,并使其及时有效地服务于长庆油田陕北工区的各类建设,是长庆油田陕北工区各项工程实践面临的、亟待完成的科技任务。

鉴于此,西安长庆科技工程有限责任公司于2014年7月正式启动了“长庆油田陕北区黄土工程特性应用研究”科研项目,由西安长庆科技工程有限责任公司与西安理工大学(陕西省黄土力学与工程重点实验室)密切合作,历时3年,圆满完成课题研究任务。

研究项目首先开展了大量的野外调查、工程地质勘察、现场试验和室内试验,获得了大量的基础性资料;系统总结了陕北黄土地区的地形地貌、水文、气候、区域地质发展史等资料;系统归纳总结了第四纪各地层的具体界限及其客观证据,建立了陕北黄土地区黄土地层标准剖面,为陕北黄土分布区的建设规划、勘察、设计提供了重要依据;通过各种试验手段对黄土湿陷性、渗透性和崩解性等水理性质开展了深入研究;通过拉伸试验、扭剪试验、三轴试验研究,提出了一种真正意义上能综合考虑结构性黄土抗拉和抗剪强度的联合强度公式,并通过工程应用验证了其合理性,此外,将联合强度引入非线性邓肯一张模型中,建立了一种黄土非线性增湿本构模型;基于黄土地基浅层平板载荷试验,通过确定地基承载力的新方法计算得到的地基承载力值与规范中承载力表的承载力值进行比较,提出了陕北黄土地基承载力新表;通过研究确立了陕北黄土区的工程地质分区原则,最终将陕北地区分为5个工程地质区14个亚区;针对长庆油田陕北工区重点开采区,进行了系统的工程地质分析和评价,全面揭示了油田重点开采区的工程地质特征。课题研究充分重视理论与实际密切结合,力图使研究成果直接、有效地服务于长庆油田陕北区各类地面工程建设及地方的经济发展。

本书是项目研究成果的总结和升华,研究成果将服务于长庆油田陕北工区地面工程建设中的勘察、设计和施工实践。

全书共分七章,前言由王治军、李荣建撰写,第一章由王治军、李喜安撰写;第二章由李喜安、王治军撰写;第三章由骆建文、李喜安撰写;第四章由李荣建、耿生明撰写;第五章由骆建文、李荣建撰写;第六章由王治军、骆建文、李喜安撰写;第七章由耿生明、李喜安撰写。另外,长庆科技工程有限责任公司的杜志伟、潘俊义、朱桥川、赵胜杰,西安理工大学的刘军定、陈阳、李振菲、谈永光、刘振山、王帅帅、洪勃、王力、李林翠、郭泽泽等同志参与了项目研究及部分编写工作。

在本书编写过程中参阅了大量的文献资料,结合了许多前人研究成果,得到了研究单位各级领导的大力支持和有力协助,使得项目能够顺利圆满完成预定目标,在此一并表示衷心的感谢!

作者

2017年5月

目 录

前 言

1 自然地理及区域地质	(1)
1.1 研究区范围及地理概况	(1)
1.2 地形地貌	(2)
1.2.1 构造堆积侵蚀地貌	(5)
1.2.2 现代构造(变形)地貌	(9)
1.2.3 湿陷变形地貌	(10)
1.2.4 侵蚀地貌	(10)
1.3 气候	(14)
1.3.1 气温	(14)
1.3.2 季节	(17)
1.3.3 霜期和无霜期	(17)
1.3.4 日照时间	(19)
1.3.5 风	(21)
1.3.6 降水	(23)
1.3.7 蒸发	(25)
1.4 水文	(26)
1.4.1 主要河流水系	(26)
1.4.2 泥沙	(37)
1.4.3 冰情	(38)
1.4.4 径流特征	(39)
1.4.5 天然湖泊	(39)
1.5 地质发展史	(40)
1.5.1 地质	(40)
1.5.2 地层	(44)
1.5.3 构造	(51)
1.6 水文地质	(53)
1.6.1 地下水类型	(53)
1.6.2 地下水补给量	(55)
1.6.3 地下水水化学特征	(55)
2 陕北黄土地层及标准剖面	(57)
2.1 第四纪划分	(57)

2.1.1	第四纪下限问题	(57)
2.1.2	早更新世与中更新世的界限 (Q_{p1}/Q_{p2})	(60)
2.1.3	中更新世与晚更新世的界限 (Q_{p2}/Q_{p3})	(60)
2.1.4	晚更新世与全新世的界限 (Q_{p3}/Q_h)	(60)
2.2	第四纪黄土地层的划分及野外识别的标志层	(61)
2.2.1	第四纪黄土地层的划分	(61)
2.2.2	黄土地层野外识别标志	(64)
2.3	陕北黄土典型剖面	(65)
2.3.1	府谷高家窑则黄土剖面	(65)
2.3.2	榆林双山黄土剖面	(66)
2.3.3	榆林蔡家沟剖面	(66)
2.3.4	榆林三道沟剖面	(67)
2.3.5	榆林王家砭黄土地质剖面	(68)
2.3.6	榆林碾面房榆溪河剖面	(69)
2.3.7	横山狄青塬黄土剖面	(69)
2.3.8	横山魏家楼黄土边坡地层	(72)
2.3.9	横山武家坡黄土剖面	(74)
2.3.10	横山响水堡剖面	(74)
2.3.11	靖边破山剖面	(76)
2.3.12	靖边糜地湾地质剖面	(76)
2.3.13	靖边阎家湾黄土剖面	(77)
2.3.14	靖边芦草台滑坡剖面	(79)
2.3.15	靖边沙渠村黄土剖面	(79)
2.3.16	靖边五里湾钻孔剖面	(80)
2.3.17	靖边小河乡钻孔剖面	(80)
2.3.18	靖边杨渠郭家梁剖面	(82)
2.3.19	靖边长渠沟剖面	(84)
2.3.20	靖边二里湾剖面	(85)
2.3.21	安塞黄土剖面	(86)
2.3.22	安塞化子坪黄土剖面	(88)
2.3.23	安塞王家湾钻孔剖面	(88)
2.3.24	安塞镰刀湾钻孔剖面	(90)
2.3.25	延安市区黄土剖面	(91)
2.3.26	延安任家窑子黄土剖面	(92)
2.3.27	延安新区黄土剖面	(94)
2.3.28	延安下康家沟黄土剖面	(96)
2.3.29	延安柳化峪麦草梁剖面	(96)
2.3.30	延安河庄坪钻孔剖面	(97)
2.3.31	甘泉油粉沟黄土崩塌剖面	(98)

2.3.32	甘泉下寺湾钻孔剖面	(99)
2.3.33	甘泉石门乡钻孔剖面	(99)
2.3.34	洛川黑木沟黄土剖面	(101)
2.3.35	洛川北汉寨黄土剖面	(116)
2.3.36	洛川清池黄土剖面	(117)
2.3.37	洛川秦家寨和谷嘴黄土剖面	(120)
2.3.38	洛川刘家河黄土剖面	(122)
2.3.39	洛河—崾崄公社黄土剖面	(122)
2.3.40	黄陵黄土剖面	(122)
2.3.41	黄陵洛河秦家川剖面	(136)
2.3.42	黄陵狼牙齿沟黄土剖面	(137)
2.3.43	佳县方塌附近黄土剖面	(139)
2.3.44	佳县马铺村黄土剖面	(140)
2.3.45	米脂郭兴庄钻孔剖面	(140)
2.3.46	子洲黄土地层	(141)
2.3.47	子洲三川口钻孔剖面	(142)
2.3.48	绥德四十里铺黄土剖面	(142)
2.3.49	绥德韭园沟地质剖面	(143)
2.3.50	清涧高杰村剖面	(144)
2.3.51	清涧麻谷岔黄土剖面	(145)
2.3.52	延长张家滩黄土剖面	(145)
2.3.53	定边黄土地层	(146)
2.3.54	定边安边镇钻孔剖面	(148)
2.3.55	定边砖井镇钻孔剖面	(148)
2.3.56	吴起黄土地层	(149)
2.3.57	吴起土佛寺黄土剖面	(150)
2.3.58	吴起铁边城黄土剖面	(153)
2.3.59	吴起大路沟沟口剖面	(153)
2.3.60	吴起后袁老庄黄土剖面	(154)
2.3.61	吴起白豹镇钻孔剖面	(155)
2.3.62	吴起王瓜子钻孔剖面	(155)
2.3.63	志丹黄土地层	(156)
2.3.64	志丹八大黎剖面	(158)
2.3.65	志丹王南沟钻孔剖面	(158)
2.3.66	志丹吴堡乡钻孔剖面	(159)
2.3.67	子长黄土地层	(161)
2.3.68	子长钟山石窟剖面	(161)
2.3.69	子长栾家坪钻孔剖面	(161)
2.3.70	吴堡阶地地层剖面	(162)

2.4	陕北地区典型剖面对比	(166)
2.5	陕北黄土地层的基本特征	(166)
2.5.1	基于野外调查的陕北黄土地层典型剖面对比	(166)
2.5.2	陕北地区黄土—古土壤序列中黄土层的总体特征	(175)
2.5.3	陕北地区黄土—古土壤序列中古土壤的特征	(176)
2.5.4	陕北黄土地层厚度特征	(177)
2.5.5	陕北黄土地层的粒度特征	(178)
3	黄土的水理性质	(180)
3.1	黄土湿陷性成因	(180)
3.1.1	黄土湿陷性研究的意义	(180)
3.1.2	黄土湿陷性成因机理国内外研究综述	(182)
3.1.3	基于微结构理论的黄土湿陷性成因	(187)
3.1.4	基于 IPP 图像处理软件的湿陷性黄土微观结构定量分析	(200)
3.2	黄土渗透性试验	(216)
3.2.1	研究方法及试验内容	(217)
3.2.2	试验结果及分析	(218)
3.3	黄土湿陷对渗透系数的影响	(223)
3.3.1	研究意义	(225)
3.3.2	试验土样的基本性质	(225)
3.3.3	湿陷试验以及渗透试样的制备	(225)
3.3.4	湿陷后土体的渗透试验	(228)
3.3.5	湿陷对渗透系数影响的微观机理分析	(233)
3.4	黄土崩解动力学研究	(236)
3.4.1	研究意义	(236)
3.4.2	试验内容	(236)
3.4.3	结果与讨论	(238)
3.5	黄土大试块及原位崩解试验	(243)
3.5.1	大试块黄土崩解仪及崩解试验	(243)
3.5.2	原位崩解试验	(244)
3.5.3	基于大试块和原位崩解试验的黄土崩解机理	(244)
3.5.4	黄土崩解性的影响因素及其机理	(247)
3.5.5	黄土崩解过程的边界效应	(247)
3.6	黄土抗冲性试验	(249)
3.6.1	黄土大试块冲刷试验	(249)
3.6.2	黄土地层原位冲刷试验	(254)
4	陕北黄土强度变形特性与增湿本构建模研究	(260)
4.1	黄土力学性质及研究现状	(260)
4.1.1	黄土的力学特性	(260)
4.1.2	非饱和和结构性黄土边坡稳定性研究背景	(261)

4.1.3	非饱和和结构性黄土边坡稳定性研究现状	(262)
4.1.4	研究目标	(269)
4.2	岩土的经典强度理论	(269)
4.2.1	直剪试验及经典的莫尔-库仑强度理论	(269)
4.2.2	特雷斯卡准则与广义特雷斯卡准则	(272)
4.2.3	米泽斯和广义米泽斯准则	(273)
4.2.4	莫尔-库仑强度准则	(274)
4.2.5	特雷斯卡、米泽斯和莫尔-库仑三个强度准则的讨论	(275)
4.2.6	关于强度理论的讨论	(276)
4.3	黄土联合强度特性及其理论构架	(277)
4.3.1	陕北靖安油田大路沟黄土抗拉强度试验	(277)
4.3.2	陕北靖安油田大路沟黄土三轴试验与结果分析	(278)
4.3.3	基于陕北靖安油田大路沟黄土的联合强度理论构架	(279)
4.4	基于陕北靖安油田大路沟黄土的扭剪强度试验与联合强度验证	(283)
4.4.1	黄土的扭剪试验研究方案	(283)
4.4.2	靖安油田大路沟黄土扭剪试验成果整理与分析	(285)
4.4.3	基于抗拉、扭剪和压剪试验的联合强度研究	(287)
4.5	联合强度理论在陕北典型黄土中的拓展与评价	(290)
4.5.1	安塞王家湾乡墩也村 Qh 黄土联合强度特性	(290)
4.5.2	延安下寺湾插输站 Qp ₃ 黄土联合强度特性	(293)
4.5.3	陕北志丹双河乡野山插输站粉性黄土联合强度特性	(296)
4.5.4	联合强度理论在四种黄土中应用时的综合评价	(299)
4.6	基于综合结构势的黄土联合强度理论	(299)
4.6.1	非饱和和结构性黄土结构性参数变化规律及其改进	(299)
4.6.2	基于可考虑结构性参数的结构性黄土联合强度理论	(303)
4.7	结构性黄土联合强度公式的破坏应力修正算法	(305)
4.7.1	拉伸破坏区的应力修正	(305)
4.7.2	拉剪应力区的破坏应力修正	(306)
4.7.3	压剪应力区的破坏应力修正	(308)
4.7.4	结论	(308)
4.8	基于联合强度理论的黄土邓肯-张非线性本构模型	(309)
4.8.1	邓肯-张 (Duncan-Chang) 双曲线模型背景	(309)
4.8.2	切线变形模量 E_t	(309)
4.8.3	切线泊松比	(313)
4.8.4	卸载-再加载模量	(313)
4.9	基于增湿条件下黄土邓肯-张非线性本构模型	(314)
4.9.1	黏聚力与含水量的关系	(314)
4.9.2	内摩擦角与含水量的关系	(314)
4.9.3	单轴抗拉强度与含水量的关系	(315)

4.9.4	非线性增湿本构模型的建立	(315)
4.10	黄土联合强度的工程评价与应用	(317)
4.10.1	结构性黄土边坡稳定性的应用评价	(317)
4.10.2	桩基扩孔效应对黄土地基结构性参数的影响评价	(320)
5	陕北黄土地基承载力研究	(328)
5.1	概述	(328)
5.2	规范中的地基承载力	(329)
5.2.1	规范中的地基承载力分类	(329)
5.2.2	地基承载力之间关系辨析	(331)
5.3	临塑荷载、临界荷载、极限荷载定义及其公式	(332)
5.3.1	临塑荷载、临界荷载和极限荷载	(332)
5.3.2	临塑荷载、临界荷载、极限荷载的计算公式及其推导	(333)
5.4	载荷试验原理与试验分析	(342)
5.4.1	深层平板载荷试验	(342)
5.4.2	浅层平板载荷试验	(343)
5.4.3	黄土地基的现场载荷试验	(344)
5.5	黄土地基承载力的确定及其新方法	(349)
5.5.1	传统的地基承载力确定方法	(349)
5.5.2	确定地基承载力的新方法	(350)
5.5.3	本研究针对新方法的进一步改进	(353)
5.6	基于地基承载力新方法的黄土地基承载力研究	(354)
5.6.1	地基承载力表的历史演变	(354)
5.6.2	基于新方法完善黄土地基承载力基本值的研究方法	(354)
5.6.3	基于新方法的黄土地基承载力基本值的完善	(355)
5.6.4	黄土地基承载力新表及规范承载力表的对比分析	(368)
5.7	陕北黄土地基承载力新表	(368)
5.7.1	晚更新世、全新世湿陷性黄土承载力基本值新表	(368)
5.7.2	饱和黄土承载力基本值新表	(369)
5.7.3	新近堆积黄土承载力基本值新表	(369)
6	陕北黄土工程地质分区	(370)
6.1	分区原则	(370)
6.2	工程地质分区	(371)
6.3	各分区工程地质特征	(376)
6.3.1	风沙地貌区(Ⅰ)	(376)
6.3.2	白于山—崂山黄土丘陵沟壑地貌区(Ⅱ)	(376)
6.3.3	东部丘陵沟壑地貌区(Ⅲ)	(377)
6.3.4	黄土高原沟壑地貌区(Ⅳ)	(378)
6.3.5	黄龙山—子午岭土石山地貌区(Ⅴ)	(379)
7	陕北部分油区工程地质	(380)

7.1 宝塔区油区工程地质	(380)
7.1.1 概述	(380)
7.1.2 地形地貌	(380)
7.1.3 分区工程地质条件	(380)
7.2 安塞油区工程地质	(384)
7.2.1 概述	(384)
7.2.2 地形地貌	(384)
7.2.3 各分区工程地质条件	(386)
7.3 吴起油区工程地质	(391)
7.3.1 概述	(391)
7.3.2 地形地貌	(391)
7.3.3 各分区工程地质条件	(392)
7.4 志丹油区工程地质	(395)
7.4.1 概述	(395)
7.4.2 地形地貌	(396)
7.4.3 各分区工程地质条件	(396)
7.5 榆阳区油区工程地质	(401)
7.5.1 概述	(401)
7.5.2 地形地貌	(402)
7.5.3 各分区工程地质条件	(403)
7.6 定边油区工程地质	(406)
7.6.1 概述	(406)
7.6.2 地形地貌	(406)
7.6.3 各分区工程地质条件	(407)
7.7 靖边油区工程地质	(416)
7.7.1 概述	(416)
7.7.2 地形地貌	(417)
7.7.3 各分区工程地质条件	(417)
7.8 子洲油区工程地质	(425)
7.8.1 概述	(425)
7.8.2 地形地貌	(425)
7.8.3 各分区工程地质条件	(427)
参考文献	(430)

1 自然地理及区域地质

鄂尔多斯地台亦称陕北构造盆地，东接山西台背斜（吕梁山脉），西接贺兰台向斜，南到渭北山地，北抵内蒙古台向斜（阴山山脉），在构造上是一个台向斜，其轴部大致在盐池与定边之间。陕北地区处于鄂尔多斯台向斜中段的东翼和东南角，所见古生代和中生代地层均向西倾斜，构成一个平缓的单斜构造。200 多万年以来，其上沉积了最大厚度近 200 m 的第四系黄土，在后期各种营力的作用下，最终形成现存的沟壑纵横、支离破碎的黄土地貌。

1.1 研究区范围及地理概况

本项目研究区范围为陕北地区。陕西省分为陕北、关中、陕南三个地理单元（图 1.1），其中陕北地区指陕西省的北部，位于黄土高原，也称陕北黄土高原。按照目前的行政区划，陕北涵盖了榆林市和延安市共 25 个县（区）；按水文和地貌要素划分，陕北还包括铜川和渭南的部分地区。

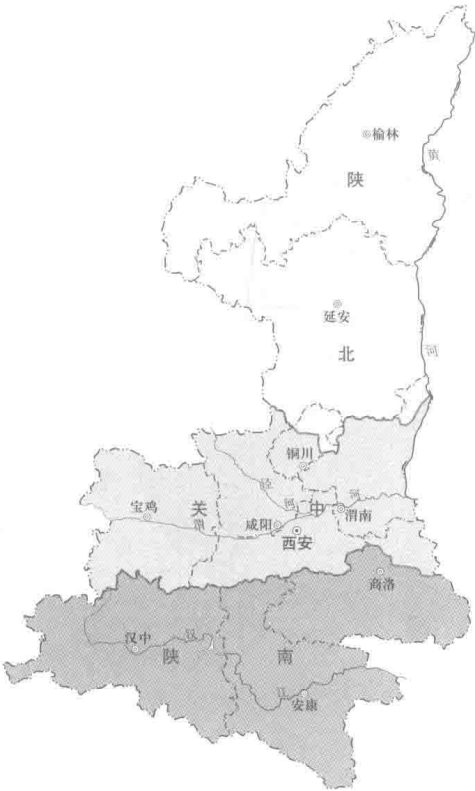


图 1.1 陕北、关中、陕南分布图

陕北和关中的具体界限为：由西向东依次为黄陵—旬邑分界；印台区玉华镇；宜君县哭泉乡、云梦乡、王石凹镇；印台区—富平县分界；白水县林皋镇、尧禾镇、北塬乡；白水—洛川分界；黄龙—澄城、合阳分界；韩城—合阳分界；韩城市芝阳镇、巍东乡、新城街道、西庄镇、龙门镇。陕北—关中具体分界点的经纬度坐标详见表 1.1。

表 1.1 陕北—关中分界点坐标一览表

序号	经度	纬度	序号	经度	纬度
1	108°36′54″	35°32′54″	19	109°29′24″	35°16′46″
2	108°40′05″	35°31′24″	20	109°31′25″	35°19′14″
3	108°45′24″	35°29′26″	21	109°31′14″	35°22′44″
4	108°47′19″	35°25′38″	22	109°32′30″	35°24′52″
5	108°49′49″	35°23′00″	23	109°38′21″	35°25′49″
6	108°53′05″	35°18′44″	24	109°42′06″	35°24′03″
7	108°55′30″	35°17′07″	25	109°45′45″	35°25′47″
8	109°02′28″	35°17′02″	26	109°52′32″	35°23′57″
9	109°10′19″	35°18′58″	27	109°57′50″	35°24′42″
10	109°10′19″	35°10′36″	28	110°03′32″	35°24′12″
11	109°11′06″	35°05′36″	29	110°09′40″	35°22′52″
12	109°16′36″	35°05′22″	30	110°15′38″	35°20′36″
13	109°21′12″	35°06′09″	31	110°20′31″	35°23′21″
14	109°24′06″	35°04′08″	32	110°22′36″	35°26′43″
15	109°26′51″	35°05′52″	33	110°25′43″	35°31′08″
16	109°27′14″	35°08′40″	34	110°29′12″	35°35′11″
17	109°24′27″	35°12′12″	35	110°31′41″	35°36′52″
18	109°23′47″	35°14′29″	36	110°35′34″	35°39′40″

陕北地区总面积 $8.3 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，占陕西省总面积的 40%（图 1.2），平均海拔 1224 m，平均地形坡度 17° ，河网密度 0.08 km/km^2 ，城镇密度 $5.0 \times 10^{-3} \text{ 个/km}^2$ ，人口密度 66.0 人/km^2 。本项目即以陕北地区作为研究对象进行系统总结和研究。

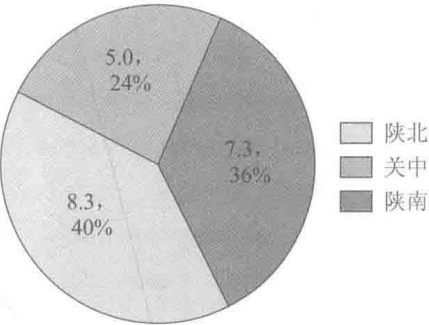


图 1.2 陕北、关中、陕南面积（ 10^4 km^2 ）统计图

1.2 地形地貌

鄂多斯盆地内部主要为单斜构造，这一构造特点在陕西黄土高原内部尤为明显。陕北

地区处于鄂尔多斯台向斜中段的东翼和东南角, 所见古生代和中生代地层均向西倾斜, 构成一个平缓单斜构造, 被称为“陕北斜坡带”。全区海拔一般在 800~1600 m 之间, 平均海拔 1224 m。总体上地势西高东低, 由西北向东南倾斜。最高处在定边县白于山, 海拔达 1900 m。黄河峡谷河谷阶地地势较低, 海拔 500~800 m, 全区最低点在宜川县猴儿河汇入黄河交汇处, 海拔 450 m。第四系黄土沉积厚度最厚可达 150~200 m。

按照地貌类型, 陕西省可划分为风沙过渡区、黄土高原区、关中平原区、秦岭山地区、汉江盆地区和大巴山地区六个地貌类型区域, 陕北地区由风沙过渡区和黄土高原区两个地貌区域构成(图 1.3), 其中北部为毛乌素沙漠风沙过渡区, 南部是黄土高原区(表 1.2)。黄土高原区北部以黄土梁、峁为主, 南部以塬、残塬和台塬为主。风沙过渡区—黄土高原区具体分界点的经纬度坐标详见表 1.3。

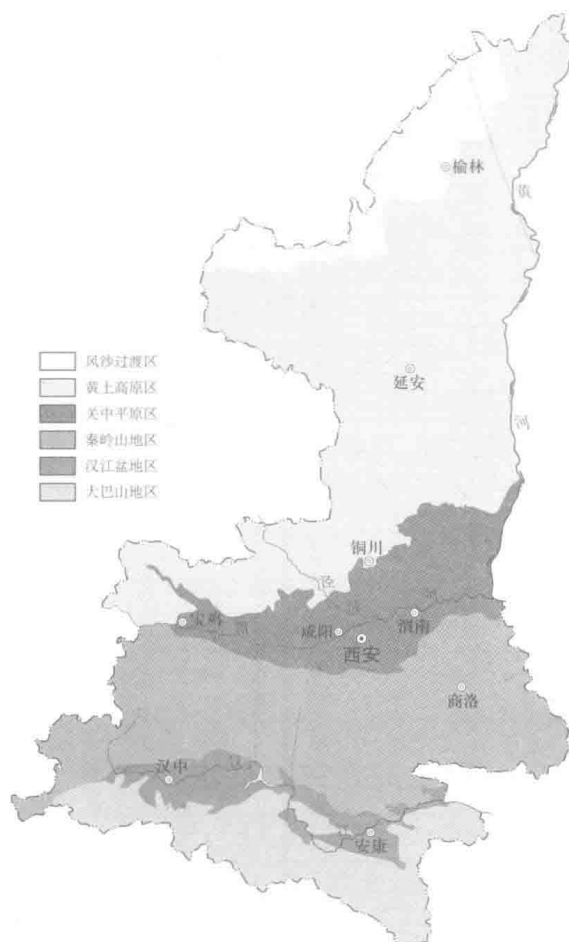


图 1.3 陕西省地貌类型分区图

表 1.2 陕北地貌分类及信息表

序号	名称	面积/ 10^3 km^2	平均海拔/m	平均起伏度/m	平均坡度/(°)
1	风沙过渡区	1.6	1265	17	3.2
2	黄土高原区	8.3	1216	105	19.9

风沙过渡区与黄土高原区界限为(由西向东): 定边县三山口、路梁子、兰家坡、墩湾、刘家梁、刘新庄; 靖边县峁林峁、后马鞍山、鲍新窑、横山县桃树湾、东沟畔、酒房

沟村、石马圪、贺家沟；榆阳区王沙圪村、任家沟村、色草前湾、后沙河沟；神木县水掌、炭窑峁、南门沟、沙哈拉村、梁家园则、榆树林、上石拉沟村、王家店、阴坡塔、营盘盖各、布袋壕村。

表 1.3 风沙过渡区—黄土高原区分界点坐标一览表

序号	经度	纬度	序号	经度	纬度
1	107°17'10"	37°23'10"	32	109°08'11"	37°51'56"
2	107°22'31"	37°24'11"	33	109°10'00"	37°56'38"
3	107°26'20"	37°26'16"	34	109°13'07"	38°00'38"
4	107°34'25"	37°25'09"	35	109°17'32"	38°02'44"
5	107°40'35"	37°24'14"	36	109°22'46"	38°02'03"
6	107°46'26"	37°22'31"	37	109°27'49"	38°00'03"
7	107°50'06"	37°25'29"	38	109°34'03"	38°00'17"
8	107°53'47"	37°26'35"	39	109°39'00"	38°01'60"
9	107°58'33"	37°24'47"	40	109°48'10"	38°01'40"
10	108°03'08"	37°22'32"	41	109°48'41"	38°06'58"
11	108°06'17"	37°24'11"	42	109°52'07"	38°10'55"
12	108°10'29"	37°23'31"	43	109°48'14"	38°14'24"
13	108°13'10"	37°25'55"	44	109°50'27"	38°18'29"
14	108°17'55"	37°28'42"	45	109°54'48"	38°20'36"
15	108°21'51"	37°29'50"	46	109°58'55"	38°23'24"
16	108°26'18"	37°30'10"	47	109°57'28"	38°29'37"
17	108°29'28"	37°29'04"	48	110°00'27"	38°31'31"
18	108°32'55"	37°30'40"	49	110°10'26"	38°31'13"
19	108°35'51"	37°28'03"	50	110°15'39"	38°31'02"
20	108°42'02"	37°31'36"	51	110°14'48"	38°38'45"
21	108°46'51"	37°33'01"	52	110°18'02"	38°44'04"
22	108°49'22"	37°34'11"	53	110°20'17"	38°47'30"
23	108°53'38"	37°29'51"	54	110°20'48"	38°50'41"
24	109°01'37"	37°31'22"	55	110°28'41"	38°51'24"
25	109°05'24"	37°35'07"	56	110°27'40"	38°57'56"
26	109°10'21"	37°33'20"	57	110°26'25"	39°04'02"
27	109°12'52"	37°35'59"	58	110°24'32"	39°11'57"
28	109°11'48"	37°39'42"	59	110°22'25"	39°19'05"
29	109°09'10"	37°43'02"	60	110°16'41"	39°23'25"
30	109°12'02"	37°47'30"	61	110°09'02"	39°27'06"
31	109°07'14"	37°48'05"			

研究区内黄土高原区的地貌单元主要包括构造堆积侵蚀地貌、现代构造（变形）地

貌、湿陷变形地貌、侵蚀地貌等。风沙过渡区的地貌单元主要包括沙丘沙地、沙丘草滩、草滩盆地、风沙河谷等。黄土高原区的地貌单元类型见表 1.4。

表 1.4 黄土高原区地貌成因分类一览表

成因	类型	种类
构造堆积 侵蚀地貌	黄土覆盖的山地	黄土覆盖的中山
		黄土覆盖的丘陵，包括黄土丘陵（黄土梁、黄土梁峁、黄土峁等）和盖沙黄土丘陵
	黄土覆盖的河流阶地（黄土覆盖阶地、黄土阶地）	
	断陷盆地	
	黄土高平原和 黄土台地	黄土塬、破碎塬（残塬）
		黄土台塬
		黄土涧地（含杖地、掌地）
		黄土坪（破涧）
		黄土覆盖的平原
现代构造 （变形）地貌	黄土构造节理、构造裂缝、构造沟槽	
	黄土断层台阶	
湿陷变形地貌	黄土湿陷碟、湿陷坑、湿陷节理（裂缝）	
侵蚀地貌	地表水力侵蚀地貌	细沟、浅沟、切沟、悬沟、冲沟、坳沟、河沟、冲穴、水凼窝、跌穴等
	地下水力潜蚀地貌	黄土陷穴：葫芦状陷穴、漏斗状陷穴、竖井状陷穴、串珠状陷穴
		黄土暗穴：单汇单排暗穴、单汇多排暗穴、多汇单排暗穴、多汇多排暗穴；单层暗穴、双层及多层暗穴
	蚀余地貌	黄土墙、黄土崕崕、黄土柱、黄土林、黄土劣地、黄土桥等
	黄土重力侵蚀地貌	黄土滑坡、崩塌、滑塌、剥落、错落、土爬、泥石流、原生节理、风化节理、卸荷节理及相关堆积物等

1.2.1 构造堆积侵蚀地貌

1.2.1.1 黄土覆盖的山地

目前一般以海拔大于 5000 m 为极高山，3500~5000 m 为高山，1000~3500 m 为中山，小于 1000 m 为低山，相对高度一般在 200 m 以上。考虑到黄土高原的区域特殊性，可将中山、低山的界限提高到海拔 1300 m。黄土丘陵一般不受绝对海拔的限制，相对高度一般在 60~150 m 之间。陕北地区黄土基本分布在海拔 3500 m 以下的地区，以中山和丘陵为主，没有极高山和高山，低山较不发育。下面主要介绍黄土覆盖的中山和丘陵。

(1) 黄土覆盖的中山

陕北黄土高原黄土覆盖的中山海拔介于 1300~3500 m 之间。主要分布于白于山、崂山、子午岭主脊周围、黄龙山主脊外围，其中以白于山和崂山为典型。此外，陕北地区还有流水侵蚀作用的中山和岩溶作用的中山。流水侵蚀作用的中山包括子午岭、黄龙山等山地，岩溶作用的中山主要分布在北山地区。这两类山地大部分基岩裸露，仅有部分地面为