



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

“十三五”国家重点出版物出版规划项目

中国生态环境演变与评估

黄河中上游能源化工区生态环境 遥感调查与评估



张全发 朱明勇 张克荣 著



科学出版社



龍門書局



“十三五”国家重点出版物出版规划项目

中国生态环境演变与评估

黄河中上游能源化工区生态环境 遥感调查与评估



张全发 朱明勇 张克荣 著

科学出版社
龙门书局

北京

内 容 简 介

黄河中上游能源化工区是我国未来发展的重点区域。本书针对该地区生态环境脆弱、生态系统稳定性差的问题,从生态系统构成与格局、生态承载力、生态环境质量、环境胁迫、水资源承载力及开发强度几个方面,主要采用主成分分析法对该区域进行系统、全面、科学的生态环境调查与评估,研究黄河中上游能源化工区生态环境质量、生态环境问题及变化趋势;构建开发强度与生态承载力、环境胁迫之间的相关关系,评价资源开发、产业发展、城市化进程等对区域生态环境的影响;针对区域水资源短缺这一最大的生态问题,进行区域水资源承载力分析;在综合评价区域生态环境质量的基础上,有针对性地提出区域可持续发展对策。

本书可作为地学、生态、环境等相关专业人员的参考书,尤其可供从事环境影响评价的相关科学研究与业务应用人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

黄河中上游能源化工区生态环境遥感调查与评估 / 张全发, 朱明勇, 张克荣著. —北京: 科学出版社, 2017. 4

(中国生态环境演变与评估)

“十三五”国家重点出版物出版规划项目 国家出版基金项目

ISBN 978-7-03-050408-1

I. 黄… II. ①张…②朱…③张… III. ①黄河中、上游-能源工业-生态环境-环境遥感-环境质量评价②黄河中、上游-化学工业-生态环境-环境遥感-环境质量评价 IV. X87

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 262830 号

责任编辑: 李 敏 张 菊 吕彩霞 / 责任校对: 邹慧卿

责任印制: 肖 兴 / 封面设计: 黄华斌

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>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017 年 4 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2017 年 4 月第一次印刷 印张: 23 1/4

字数: 600 000

定价: 210.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

《中国生态环境演变与评估》丛书编委会

主 编 欧阳志云 王 桥

成 员 (按汉语拼音排序)

邓红兵 董家华 傅伯杰 戈 峰

何国金 焦伟利 李 远 李伟峰

李叙勇 欧阳芳 欧阳志云 王 桥

王 维 王文杰 卫 伟 吴炳方

肖荣波 谢高地 严 岩 杨大勇

张全发 郑 华 周伟奇

《黄河中上游能源化工区生态环境遥感调查与评估》
编委会

主 笔 张全发 朱明勇

副主笔 张克荣

总 序

我国国土辽阔,地形复杂,生物多样性丰富,拥有森林、草地、湿地、荒漠、海洋、农田和城市等各类生态系统,为中华民族繁衍、华夏文明昌盛与传承提供了支撑。但长期的开发历史、巨大的人口压力和脆弱的生态环境条件,导致我国生态系统退化严重,生态服务功能下降,生态安全受到严重威胁。尤其2000年以来,我国经济与城镇化快速的发展、高强度的资源开发、严重的自然灾害等给生态环境带来前所未有的冲击:2010年提前10年实现GDP比2000年翻两番的目标;实施了三峡工程、青藏铁路、南水北调等一大批大型建设工程;发生了南方冰雪冻害、汶川大地震、西南大旱、玉树地震、南方洪涝、松花江洪水、舟曲特大山洪泥石流等一系列重大自然灾害事件,对我国生态系统造成巨大的影响。同时,2000年以来,我国生态保护与建设力度加大,规模巨大,先后启动了天然林保护、退耕还林还草、退田还湖等一系列生态保护与建设工程。进入21世纪以来,我国生态环境状况与趋势如何以及生态安全面临怎样的挑战,是建设生态文明与经济社会发展所迫切需要明确的重要科学问题。经国务院批准,环境保护部、中国科学院于2012年1月联合启动了“全国生态环境十年变化(2000—2010年)调查评估”工作,旨在全面认识我国生态环境状况,揭示我国生态系统格局、生态系统质量、生态系统服务功能、生态环境问题及其变化趋势和原因,研究提出新时期我国生态环境保护的对策,为我国生态文明建设与生态保护工作提供系统、可靠的科学依据。简言之,就是“摸清家底,发现问题,找出原因,提出对策”。

“全国生态环境十年变化(2000—2010年)调查评估”工作历时3年,经过139个单位、3000余名专业科技人员的共同努力,取得了丰硕成果:建立了“天地一体化”生态系统调查技术体系,获取了高精度的全国生态系统类型数据;建立了基于遥感数据的生态系统分类体系,为全国和区域生态系统评估奠定了基础;构建了生态系统“格局-质量-功能-问题-胁迫”评估框架与技术体系,推动了我国区域生态系统评估工作;揭示了全国生态环境十年变化时空特征,为我国生态保护与建设提供了科学支撑。项目成果已应用于国家与地方生态文明建设规划、全国生态功能区划修编、重点生态功能区调整、国家生态保护红线框架规划,以及国家与地方生态保护、城市与区域发展规划和生态保护政策的制定,并为国家与各地区社会经济发展“十三五”规划、京津冀交通一体化发展生态保护

规划、京津冀协同发展生态环境保护规划等重要区域发展规划提供了重要技术支撑。此外，项目建立的多尺度大规模生态环境遥感调查技术体系等成果，直接推动了国家级和省级自然保护区人类活动监管、生物多样性保护优先区监管、全国生态资产核算、矿产资源开发监管、海岸带变化遥感监测等十余项新型遥感监测业务的发展，显著提升了我国生态环境保护管理决策的能力和水平。

《中国生态环境演变与评估》丛书系统地展示了“全国生态环境十年变化（2000—2010年）调查评估”的主要成果，包括：全国生态系统格局、生态系统服务功能、生态环境问题特征及其变化，以及长江、黄河、海河、辽河、珠江等重点流域，国家生态屏障区，典型城市群，五大经济区等主要区域的生态环境状况及变化评估。丛书的出版，将为全面认识国家和典型区域的生态环境现状及其变化趋势、推动我国生态文明建设提供科学支撑。

因丛书覆盖面广、涉及学科领域多，加上作者水平有限等原因，丛书中可能存在许多不足和谬误，敬请读者批评指正。

《中国生态环境演变与评估》丛书编委会

2016年9月

前 言

在国家区域发展战略引领下，黄河中上游能源化工区正在成为我国未来发展的重点区域。该区域涵盖黄河中上游“几字湾”沿线以能源化工为主导产业的区域，包括山西、陕西、宁夏、内蒙古4省（自治区）的19个地市，面积约51万 km^2 ，跨半湿润、半干旱、干旱三种气候类型区。2000年以来，区域经济强势扩张，2010年区域GDP达到16504亿元，占全国GDP的4.1%，为2000年该区域GDP的7.86倍。该区域煤炭、石油、天然气、矿产等资源丰富，在全国占有重要的地位。该区域是我国最主要的煤炭产区和调出区、煤源重化工产品重要生产区。区域已探明煤炭储量5713.48亿t，占全国煤炭探明储量的56%。煤化工、能源电力等高耗水行业及煤炭开采业为该区重点发展产业。同时，该区域是我国西电东送北通道的重要部分，2007年电力装机容量46850MW，发电量约2111.7亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$ ，占4省（自治区）总量的43.6%，占全国总量的6.45%。因此，该区域是国家西部大开发与中部崛起战略的重要支撑，也是我国依赖资源推动经济增长的典型区域。

黄河中上游能源化工区生态环境脆弱，生态系统稳定性差，是干旱、沙尘暴、土壤侵蚀、土壤盐渍化、土地沙漠化等多重自然生态风险源集中分布区。特别是近年来随着该区重点发展产业的迅速发展，水环境污染等人为风险源开始凸现。生态用水被挤占、规划矿区粗放型煤矿开发等人为风险，加剧了区域生态的脆弱性。干旱缺水、土地沙化、水土流失、湿地萎缩等生态环境问题日益突出。人为风险源和自然生态风险源交织在一起，极易产生生态风险放大效应。因此，该区域是生态风险重点监控区。对该地区进行系统、全面、科学的生态环境调查与评估，从而制订相应的生态环境保护对策，是该区域实现可持续发展的重要保障。

本书通过遥感和地面调查，整合气象数据、水文水利数据、环境监测数据、社会经济统计数据等，研究黄河中上游能源化工区生态环境质量、生态环境问题及变化趋势，分析和评价资源开发、产业发展、城市化进程等对生态环境的影响，分析区域水资源承载力，制订黄河中上游能源化工区水资源可持续利用对策。

作 者
2016年10月

目 录

总序	
前言	
第 1 章 绪论	1
1.1 研究目标与任务	1
1.2 研究内容与指标	1
1.3 调查与分析方法	5
1.4 研究技术路线	6
第 2 章 概述	7
2.1 社会经济状况	9
2.2 自然地理概况	13
第 3 章 生态系统构成与格局及其变化分析	30
3.1 生态系统构成与分布	31
3.2 生态系统类型面积变化	49
3.3 生态系统类型面积变化率	56
3.4 生态系统类型相互转化强度	58
3.5 综合生态系统动态度	59
3.6 生态系统格局特征分析与评价	59
第 4 章 生态承载力及其变化分析	89
4.1 生态承载力的概念及内涵	90
4.2 生态承载力及其变化	93
4.3 人均生态承载力及其变化	100
4.4 生态承载力变化的经济驱动力分析	104
第 5 章 生态环境质量及其变化分析	113
5.1 生态系统质量	114
5.2 植被破碎化程度	147
5.3 土地退化	154
5.4 湿地退化	175
5.5 地表水环境	177
5.6 空气环境	184
5.7 综合评价	186

第 6 章 环境胁迫及其变化分析	202
6.1 人口密度	204
6.2 大气污染	208
6.3 水污染	230
6.4 工业固体废物	243
6.5 综合评价	249
第 7 章 水资源承载力分析	262
7.1 水资源概况	262
7.2 水资源现状评价	263
7.3 水资源开发利用存在的问题	266
7.4 水资源承载力分析	268
7.5 水资源可持续利用对策	282
第 8 章 开发强度及其变化分析	284
8.1 土地开发强度	286
8.2 经济活动强度	289
8.3 交通网络密度	293
8.4 水资源利用强度	297
8.5 城市化强度	304
8.6 综合评价	316
第 9 章 社会经济与生态环境协调发展对策	345
9.1 区域生态环境十年变化总体评价	346
9.2 经济发展与环境保护协调发展对策	347
9.3 区域生态环境的综合治理对策	349
参考文献	352
索引	359

第1章 | 绪 论

本章简要介绍开展研究区生态环境遥感调查与评估工作的背景，研究的目标与任务，研究工作的主要内容及进行评估工作所采用的方法、技术路线、评估指标的选取，列举研究工作所涉及数据的来源。

1.1 研究目标与任务

黄河中上游能源化工区是国家西部大开发与中部崛起战略的重要支撑，也是我国依赖资源推动经济增长的典型区域。但该区域生态环境脆弱，生态系统稳定性差，是干旱、沙尘暴、土壤侵蚀、土壤盐渍化、土地沙漠化等多重自然生态风险源集中分布区。

开展黄河中上游能源化工区生态环境遥感调查与评估，旨在掌握该区域的生态环境质量，明确该区域的生态环境问题及未来发展趋势，为制订区域生态环境保护对策、协调经济快速发展与资源环境约束之间的关系提供科学依据，为实现区域的可持续发展提供重要的科学支撑。

本书通过遥感和地面调查，整合气象数据、水文水利数据、环境监测数据、社会经济统计数据等，主要完成以下任务。

- 1) 揭示黄河中上游能源化工区生态环境质量及变化规律；
- 2) 明确黄河中上游能源化工区的生态环境问题及生态承载力并分析其变化趋势；
- 3) 提出生态环境保护对策。

1.2 研究内容与指标

1.2.1 研究主要内容

从生态系统质量、生态环境胁迫、生态承载力等方面开展调查和研究，分析这几个方面的现状、变化趋势、相互关系等，从而对黄河中上游能源化工区经济发展与生态环境质量之间的关系进行综合评价。具体内容如下。

- 1) 黄河中上游能源化工区生态环境质量及其变化；
- 2) 黄河中上游能源化工区生态环境问题及其变化；
- 3) 黄河中上游能源化工区生态承载力及其变化。

1.2.2 调查指标体系

针对每项任务，建立以下3套调查指标体系。

- 1) 黄河中上游能源化工区的自然、社会、经济状况调查指标体系；
- 2) 黄河中上游能源化工区的生态环境问题指标体系；
- 3) 黄河中上游能源化工区的生态环境质量及生态承载力调查指标体系。

根据调查和评价目标，从自然条件、社会经济与资源、生态环境质量、生态承载力、生态环境问题5个方面选择调查指标，具体调查指标与相应数据来源见表1-1~表1-5。

表 1-1 土地利用数据

分类级数	分辨率/m	时相/年	区域
二级	30	2000、2005、2010	黄河中上游能源化工区

表 1-2 遥感反演参数

参量	分辨率/m	数据源	辅助数据	时相/年
植被覆盖度	30、250	Landsat TM /HJ-1	植被覆盖地面调查数据	2000、2005、2010
叶面积指数	30、250	Landsat TM /HJ-1	—	2000、2005、2010
净初级生产力	30、250	Landsat TM /HJ-1	气象数据	2000、2005、2010
生物量	30、250	Landsat TM /HJ-1	森林/草地生物量干重	2000、2005、2010

表 1-3 统计数据

名称	时间	数据来源
国土面积	2000~2010年	统计部门
人口	2000~2010年	统计部门
城市化水平	2000~2010年	统计部门
GDP	2000~2010年	统计部门
工业、服务业GDP	2000~2010年	统计部门
全社会用水量	2000~2010年	统计部门
水资源总量	2000~2010年	统计部门
地表水资源总量	2000~2010年	统计部门

表 1-4 环境监测数据

名称	时间	数据来源
工业COD排放量	2000~2010年	环境监测部门
生活COD排放量	2000~2010年	环境监测部门
工业废水排放量	2000~2010年	环境监测部门

续表

名称	时间	数据来源
生活废水排放量	2000 ~ 2010 年	环境监测部门
工业氨氮排放量	2000 ~ 2010 年	环境监测部门
生活氨氮排放量	2000 ~ 2010 年	环境监测部门
工业废气排放量	2000 ~ 2010 年	环境监测部门
生活废气排放量	2000 ~ 2010 年	环境监测部门
工业氮氧化物排放物	2000 ~ 2010 年	环境监测部门
生活氮氧化物排放量	2000 ~ 2010 年	环境监测部门
工业 SO ₂ 排放量	2000 ~ 2010 年	环境监测部门
生活 SO ₂ 排放量	2000 ~ 2010 年	环境监测部门
工业 CO ₂ 排放量	2000 ~ 2010 年	环境监测部门
生活 CO ₂ 排放量	2000 ~ 2010 年	环境监测部门
烟、粉尘排放量	2000 ~ 2010 年	环境监测部门
固废排放量	2000 ~ 2010 年	环境监测部门
PM ₁₀ 浓度	2000 ~ 2010 年	环境监测部门
年天气良好天数	2000 ~ 2010 年	环境监测部门

表 1-5 生态环境状况调查内容与指标

序号	调查内容	调查指标
1	自然条件	年均气温, 年极端最高气温, 年极端最低气温, 月平均气温, 月极端最高气温, 月极端最低气温
		年均降水量, 月均降水量, 逐月多年平均降水量
		地表水资源量, 地下水资源量
		主要河流、湖泊、水库水位与流量 (年均、逐月)
2	社会经济与资源	行政区国土面积
		人口总数, 城镇与农村人口, 户籍与常住人口
		国民生产总值, 分产业产值与结构
		社会用水量, 分行业用水量
3	生态系统质量	森林、草地、湿地、农田、城镇生态系统分布与构成
		各类生态系统斑块数量与面积
		植被覆盖度指数 (VC), 生物量 (biomass), 净初级生产力 (NPP), 叶面积指数 (LAI)

续表

序号	调查内容	调查指标
4	环境胁迫	工业与生活废水排放量, 工业与生活 COD 排放量, 工业与生活氨氮排放量
		废气排放量, 氮氧化物排放量, 工业与生活 SO ₂ 排放量
		工业固体废物排放量, 生活垃圾排放量
		土地退化, 各站点主要空气污染物浓度 (SO ₂ 浓度、NO ₂ 浓度、PM ₁₀ 浓度等), 河流和湖泊水质, 年天气良好天数
5	生态承载力	不同时期遥感影像, 人口数, 人均生物生产性土地面积, 均衡因子、产量因子

1.2.3 评价指标体系

在调查指标的基础上, 筛选一定数量的指标或组建一定数量的新指标来评价黄河中上游能源化工区的生态环境综合质量及其效应 (表 1-6)。

表 1-6 生态环境评估内容与指标

评价目标	评价内容	关键指标
生态系统构成与格局	生态系统构成	生态系统面积
		生态系统构成比例
	生态系统构成变化	类型面积变化率
	生态系统景观格局特征及其变化	斑块数 (NP)
		平均斑块面积 (AREA_MN)
		类斑块平均面积 (MPST)
	生态系统结构变化、各类型之间相互转换特征	边界密度 (ED)
		生态系统类型变化方向
		综合生态系统动态度
	生态承载力	生态承载力
各地区林地、耕地、草地、建设用地和水域面积		
产量因子		
均衡因子		
生态承载力变化强度		生态承载力变化率
生态承载力驱动力	总人口、城镇人口、GDP、人均 GDP、GDP 增长率、非农业产值比率等社会经济指标	
生态系统质量	植被破碎化程度	斑块密度
	植被覆盖	植被覆盖面积及其所占国土面积比例
	生物量	植被单位面积生物量

续表

评价目标	评价内容	关键指标
环境胁迫	地表水环境	河流Ⅲ类水体以上的比例, 主要湖库面积加权富营养化指数
	空气环境	年空气质量达二级标准的天数
	人口密度	单位国土面积人口数
	大气污染	单位国土面积 CO ₂ 排放量、单位国土面积 SO ₂ 排放量、单位国土面积烟尘排放量
	水污染	单位国土面积 COD 排放量
	酸雨侵蚀	酸雨发生的量、强度和频度
开发强度	土地开发强度	建设用地面积占评估单元总面积的比例
	经济活动强度	单位国土面积 GDP
	交通网络密度	单位面积道路建设长度
	水资源利用强度	用水量与水资源总量的比值
	城市化强度	土地城市化 (城市建成区面积占评价单元面积的比例), 经济城市化 (第一产业、第二产业和第三产业比例), 人口城市化 (城市化人口比例)

1.3 调查与分析方法

利用 RS/GIS 平台, 解译不同时相的遥感影像, 统计 2000 年、2005 年和 2010 年黄河中上游能源化工区内森林、草地、湿地、荒漠、城市等生态系统的面积, 分析 2000 ~ 2010 年各类生态系统的时空变化。

利用遥感数据、地面调查数据, 分析 2000 年、2005 年和 2010 年该区域不同评价单元内的森林、草地、湿地、荒漠等生态系统的植被覆盖度和生物量, 分析其时空变化。运用地理信息系统 (GIS) 平台, 统计不同程度荒漠化、草地退化、水土流失等退化面积比例。利用部门监测数据, 在建立评价指标体系的基础上, 主要运用主成分分析法等, 综合评价大气、水等环境要素质量现状及其变化。

运用多元统计分析 (如主成分分析、相关分析等), 研究经济发展与生态环境变化的关系, 从土地利用变化、大气环境、水环境、资源开发等方面评估黄河中上游能源化工区的生态环境胁迫特征, 分析经济快速发展的生态环境影响。

整合分析自然因素 (如气候、水文、植被、土地利用等) 与社会经济发展因素 (如产业发展等), 研究在自然与社会经济双重影响下水土流失、湿地退化等生态环境问题, 辨识区域生态环境问题形成与发展的关键驱动力, 分析区域生态足迹及生态承载力。

1.4 研究技术路线

本研究分析黄河中上游能源化工区生态系统与环境质量状况，评价 2000 ~ 2010 年黄河中上游能源化工区的生态环境综合质量，分析生态环境质量综合指数、环境胁迫指数等与经济驱动力指标之间的相互关系，提出不同经济发展模式的生态环境问题及对策，具体技术路线如图 1-1 所示。

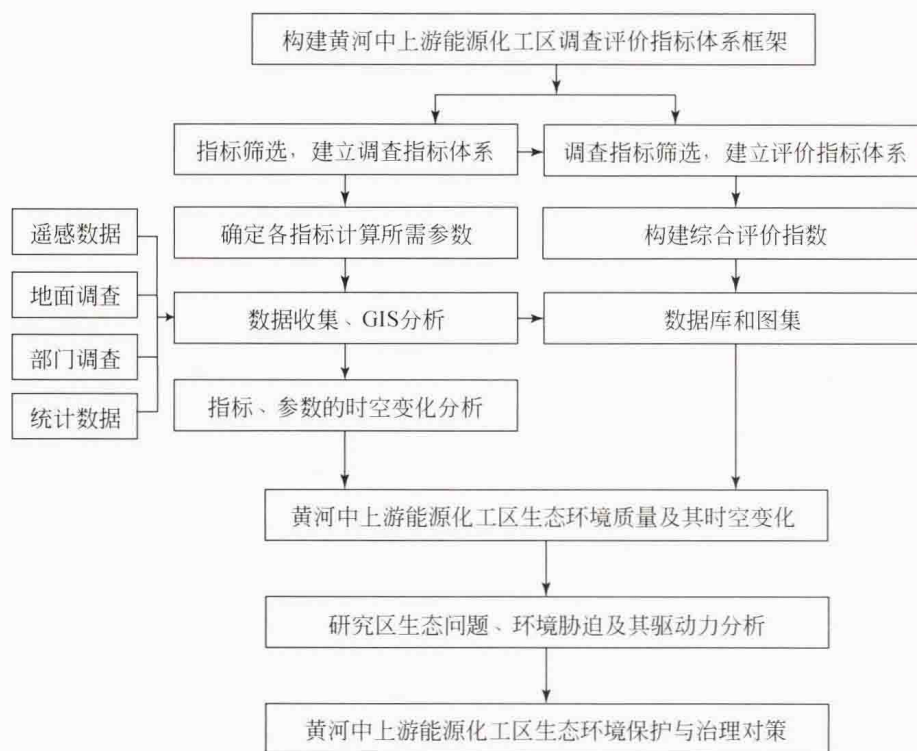


图 1-1 黄河中上游能源化工区生态环境评价技术路线图

| 第 2 章 | 概 述

本章从自然（地形、水系、降水、气温、土壤、植被）和社会经济（地理位置、行政区划、人口、经济）两方面对研究区黄河中上游能源化工区进行简要的介绍。

黄河中上游能源化工区地处我国中西部（97°10'E ~ 112°43'E、33°35'N ~ 42°47'N），西与青海省、甘肃省接壤，东南部毗邻华中地区、华北地区。行政范围包括宁夏回族自治区、内蒙古自治区、陕西省、山西省沿黄河流域的 19 个地市（旗），分别是宁夏回族自治区的中卫市、吴忠市、银川市、石嘴山市，内蒙古自治区的阿拉善左旗、乌海市、巴彦淖尔市、鄂尔多斯市、包头市，陕西省的榆林市、延安市、渭南市、铜川市、咸阳市、宝鸡市，山西省的忻州市、吕梁市、临汾市和运城市（表 2-1）。区域东西长约 895km，南北长约 1018km；面积 50.83 万 km²，约占我国陆地面积的 5.4%。黄河在研究区内经宁夏回族自治区中卫市的下河沿断面流入，至山西省运城市以下的三门峡断面流出。

表 2-1 黄河中上游能源化工区 2010 年行政区划表

省（自治区）	市（旗）	县（市、旗、区）
山西省 (57)	忻州市 (14)	忻府区、原平市、代县、繁峙县、静乐县、定襄县、五台县、神池县、五寨县、岢岚县、偏关县、河曲县、保德县、宁武县
	吕梁市 (13)	离石区、汾阳市、孝义市、交城县、文水县、交口县、石楼县、柳林县、中阳县、方山县、岚县、兴县、临县
	临汾市 (17)	尧都区、侯马县、霍州县、洪洞县、翼城县、隰县、汾西县、安泽县、永和县、古县、浮山县、曲沃县、襄汾县、吉县、乡宁县、大宁县、蒲县
	运城市 (13)	盐湖区、永济市、河津市、绛县、夏县、新绛县、稷山县、芮城县、临猗县、万荣县、闻喜县、垣曲县、平陆县
陕西省 (66)	宝鸡市 (12)	渭滨区、金台区、陈仓区、凤翔县、岐山县、扶风县、凤县、太白县、眉县、陇县、千阳县、麟游县
	咸阳市 (14)	秦都区、杨陵区（属代管）、渭城区、兴平市、三原县、泾阳县、乾县、礼泉县、永寿县、彬县、长武县、旬邑县、淳化县、武功县
	渭南市 (11)	临渭区、韩城市、华阴市、潼关县、华县、大荔县、蒲城县、富平县、合阳县、澄城县、白水县
	铜川市 (4)	王益区、印台区、耀州区、宜君县
	延安市 (13)	宝塔区、延长县、延川县、子长县、安塞县、志丹县、吴起县、甘泉县、富县、洛川县、宜川县、黄龙县、黄陵县
榆林市 (12)	榆阳区、府谷县、神木县、定边县、靖边县、横山县、米脂县、佳县、子洲县、吴堡县、绥德县、清涧县	