

The background of the cover is a wide-angle aerial photograph of a city, likely Baoji in Shaanxi Province, China. The city is densely packed with buildings of various heights and colors, including many high-rise apartment complexes. In the distance, a range of mountains is visible under a bright blue sky with scattered white clouds. The title text is overlaid on the upper portion of the image.

# 陕西省宝鸡地区 地质灾害综合研究

◎ 吴树仁 王 涛 石菊松 辛 鹏 等著

地质出版社

灾害调查工作项目（编号：1212011140003）

支撑计划课题（编号：2006BAC04B05）

联合资助

支撑计划课题（编号：2012BAK10B02）

# 陕西省宝鸡地区地质灾害 综合研究

吴树仁 王 涛 石菊松 辛 鹏 张春山

韩金良 石 玲 徐 刚 李 滨 孙炜锋

杨为民 谭成轩 曲永新 易顺华 于新兵

郑达兴 周巨让 何淑军 汪华斌 梁昌玉

著

地质出版社

· 北 京 ·

## 内 容 提 要

本书以陕西省宝鸡地区地质灾害详细调查与综合研究成果为基础,结合“十一五”和“十二五”国家科技支撑课题作为示范基地研究进展,系统地介绍了宝鸡地区区域地质孕灾背景、工程地质条件、地质灾害发育特征、时空分布规律;集成分析了宝鸡地区地质灾害形成发展的影响因素和诱发条件,深入解析了典型地质灾害的形成与演化机理,重点包括宝鸡北坡大型滑坡形成演化机理、多级旋转滑坡机理和对滑式黄土滑坡机理,归纳提炼了8类典型斜坡变形破坏模式;利用定性分析与定量计算相结合的方法,研究完成宝鸡地区3个层次和多个尺度的地质灾害易发性、危险性和风险评估区划;在地质灾害风险区划的基础上,研究并协助政府部门完成宝鸡市地质灾害防治区划及其下辖12区县地质灾害防治区划,并有针对性地提出防灾减灾预案和161处重大地质灾害隐患点的防治方案;研究建立了宝鸡市地质灾害群测群防与专业监测预警相结合的信息系统,研究开发了基于GIS技术的宝鸡市地质灾害气象监测预警与风险管理信息平台。

本书以长达7年的第一手地质灾害调查资料为基础,并结合国家科技支撑课题研究进展编写而成,相关研究成果可供从事地质灾害调查评价、监测预警、风险区划等相关领域的科研和教学人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

陕西省宝鸡地区地质灾害综合研究 / 吴树仁等著.

—北京:地质出版社,2016.8

ISBN 978-7-116-09907-4

I. ①陕… II. ①吴… III. ①地质灾害-研究-宝鸡  
IV. ①P694

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第194242号

SHAANXI SHENG BAOJI DIQU DIZHI ZAIHAI ZONGHE YANJIU

责任编辑:柳青 付庆云

责任校对:王素荣

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路31号,100083

电 话:(010)66554528(邮购部);(010)66554632(编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

传 真:(010)66554686

印 刷:北京地大彩印有限公司

开 本:787mm×1092mm  $\frac{1}{16}$

印 张:21.25

字 数:520千字

版 次:2016年8月北京第1版

印 次:2016年8月北京第1次印刷

定 价:128.00元

书 号:ISBN 978-7-116-09907-4

(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)

# 目 录

|                                 |       |
|---------------------------------|-------|
| 绪 论 .....                       | (1)   |
| 第 1 章 区域地质背景与工程地质条件 .....       | (14)  |
| 1.1 气候与水文 .....                 | (14)  |
| 1.2 新构造与活动断裂 .....              | (17)  |
| 1.3 地形地貌 .....                  | (22)  |
| 1.4 区域工程地质条件 .....              | (28)  |
| 第 2 章 地质灾害类型与分布特征 .....         | (58)  |
| 2.1 地质灾害类型及发育特征 .....           | (59)  |
| 2.2 地质灾害分布特征 .....              | (74)  |
| 2.3 区县地质灾害分布特征 .....            | (83)  |
| 2.4 小结 .....                    | (105) |
| 第 3 章 地质灾害形成条件与诱发因素 .....       | (107) |
| 3.1 区域地质背景与构造地貌演化 .....         | (107) |
| 3.2 地质构造的影响 .....               | (111) |
| 3.3 地形地貌的影响 .....               | (114) |
| 3.4 地层岩性及其组合的影响 .....           | (116) |
| 3.5 斜坡结构类型的影响 .....             | (120) |
| 3.6 覆被与土地利用的影响 .....            | (121) |
| 3.7 水对滑坡的诱发作用 .....             | (122) |
| 3.8 新构造运动与地震的诱发作用 .....         | (125) |
| 3.9 人类工程活动的诱发作用 .....           | (126) |
| 3.10 小结 .....                   | (129) |
| 第 4 章 典型地质灾害形成演化机理与斜坡破坏模式 ..... | (131) |
| 4.1 渭河北岸大型滑坡形成演化机理研究 .....      | (131) |
| 4.2 历史强震对区域群发大型滑坡的诱发效应探讨 .....  | (153) |
| 4.3 多级旋转黄土滑坡形成演化机理研究 .....      | (166) |
| 4.4 对滑式黄土滑坡形成机理研究 .....         | (179) |
| 4.5 典型崩塌灾害与危岩体研究 .....          | (185) |
| 4.6 典型泥石流灾害研究 .....             | (197) |
| 4.7 典型斜坡变形及失稳模式研究 .....         | (218) |
| 4.8 小结 .....                    | (230) |

第5章 地质灾害风险评估与区划 ..... (232)

5.1 宝鸡市区域地质灾害风险评估与区划 ..... (232)

5.2 陵塬塬边地带地质灾害风险评估与区划 ..... (259)

5.3 长寿沟流域地质灾害风险评估 ..... (265)

5.4 市区北坡重点地段地质灾害风险评估 ..... (270)

5.5 小结 ..... (275)

第6章 地质灾害监测预警与信息系统研发 ..... (276)

6.1 地质灾害群测群防体系的完善 ..... (276)

6.2 地质灾害专业监测体系的建设 ..... (276)

6.3 地质灾害气象预警 ..... (288)

6.4 地质灾害监测预警与风险评估信息系统研发 ..... (290)

6.5 小结 ..... (301)

第7章 宝鸡市地质灾害防治规划建议 ..... (302)

7.1 地质灾害防治现状与面临的形势 ..... (302)

7.2 指导思想、原则与目标 ..... (307)

7.3 宝鸡市地质灾害防治区划 ..... (308)

7.4 主要任务及工作部署 ..... (310)

7.5 保障措施 ..... (323)

7.6 小结 ..... (324)

参考文献 ..... (326)

# Contents

|                                                                                                                |       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| <b>Introduction</b> .....                                                                                      | (1)   |
| <b>Chapter 1 Regional geological context and engineering geological conditions</b> .....                       | (14)  |
| 1.1 Climate and hydrology .....                                                                                | (14)  |
| 1.2 Neotectonics and active faults .....                                                                       | (17)  |
| 1.3 Geomorphology .....                                                                                        | (22)  |
| 1.4 Regional engineering geological conditions .....                                                           | (28)  |
| <b>Chapter 2 Landslide types and distribution characteristics</b> .....                                        | (58)  |
| 2.1 Landslide types and development characteristics .....                                                      | (59)  |
| 2.2 Landslide distribution characteristics .....                                                               | (74)  |
| 2.3 Landslide distribution characteristics of each county .....                                                | (83)  |
| 2.4 Brief summary .....                                                                                        | (105) |
| <b>Chapter 3 Landslide formation conditions and inducing factors</b> .....                                     | (107) |
| 3.1 Regional geological context and tectonic geomorphology evolution .....                                     | (107) |
| 3.2 The influence of geological structures .....                                                               | (111) |
| 3.3 The influence of geomorphology .....                                                                       | (114) |
| 3.4 The influence of lithologies and their combinations .....                                                  | (116) |
| 3.5 The influence of slope structure types .....                                                               | (120) |
| 3.6 The influence of landcover and landuse types .....                                                         | (121) |
| 3.7 The inducing effect of water to landslide .....                                                            | (122) |
| 3.8 The inducing effects of neotectonics and earthquake to landslide .....                                     | (125) |
| 3.9 The inducing effect of human engineering activities to landslide .....                                     | (126) |
| 3.10 Brief summary .....                                                                                       | (129) |
| <b>Chapter 4 Typical landslide formation and evolution mechanisms and slope failure modes</b> .....            | (131) |
| 4.1 Study on formation and evolution mechanisms of large-scale landslides in north Weihe river bank .....      | (131) |
| 4.2 Study on inducing effect of historical strong earthquakes to regional large-scale landslide clusters ..... | (153) |
| 4.3 Study on formation and evolution mechanisms of multi-rotational loess landslide .....                      | (166) |
| 4.4 Study on formation mechanism of opposite-sliding loess landslides .....                                    | (179) |

|                   |                                                                                                                 |              |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 4.5               | Study on typical collapses and dangerous rock-masses .....                                                      | (185)        |
| 4.6               | Study on typical debris flows .....                                                                             | (197)        |
| 4.7               | Study on slope deformation and failure modes .....                                                              | (218)        |
| 4.8               | Brief summary .....                                                                                             | (230)        |
| <b>Chapter 5</b>  | <b>Landslide risk assessment and zoning .....</b>                                                               | <b>(232)</b> |
| 5.1               | Regional landslide risk assessment and zoning of Baoji city .....                                               | (232)        |
| 5.2               | Local landslide risk assessment and zoning of Ling tableland rim slope .....                                    | (259)        |
| 5.3               | Basin landslide risk assessment of Changshou gully .....                                                        | (265)        |
| 5.4               | Key sties landslide risk assessment of downtown north slope .....                                               | (270)        |
| 5.5               | Brief summary .....                                                                                             | (275)        |
| <b>Chapter 6</b>  | <b>Landslide monitoring and early warning and information system<br/>research and development .....</b>         | <b>(276)</b> |
| 6.1               | Landslide civil measurement and prevention system improvement .....                                             | (276)        |
| 6.2               | Landslide professional monitoring system construction .....                                                     | (276)        |
| 6.3               | Landslide meteorological warning .....                                                                          | (288)        |
| 6.4               | Landslide monitoring and early warning and risk assessment information system<br>research and development ..... | (290)        |
| 6.5               | Brief summary .....                                                                                             | (301)        |
| <b>Chapter 7</b>  | <b>Landslide prevention and control planning advice of Baoji city .....</b>                                     | <b>(302)</b> |
| 7.1               | Actuality and facing situation of landslide prevention and control .....                                        | (302)        |
| 7.2               | The guiding ideology, principles and objectives .....                                                           | (307)        |
| 7.3               | Landslide prevention and control zonation of Baoji city .....                                                   | (308)        |
| 7.4               | Main tasks and work deployment .....                                                                            | (310)        |
| 7.5               | Supporting measures .....                                                                                       | (323)        |
| 7.6               | Brief summary .....                                                                                             | (324)        |
| <b>References</b> | <b>.....</b>                                                                                                    | <b>(326)</b> |

# 绪 论

秦岭山区和黄土高原是我国地质灾害主要的高易发、频发地区之一（徐张建等，2007），陕西省宝鸡地区位于秦岭山脉与黄土高原交汇部位（刘东生，1985），因此，宝鸡地区地质灾害研究，特别是沿宝成铁路线的地质灾害调查与防治研究（王恭先等，1993；鄢毅，1993；张亨纲等，2005；王恭先等，2008）和渭河北岸黄土塬边大型滑坡灾害研究（胡海涛等，1965；刘传正等，1998）一直受到高度关注。随着西部大开发和宝鸡市经济建设的快速发展，宝鸡地区地质灾害减灾防灾调查研究成为重大工程建设、土地开发利用和城镇居民生活安全的迫切需要。

为了更好体现地质调查工作在国家减灾防灾和土地利用过程中的基础性和定位，中国地质调查局部署全国地质灾害高易发区 1:5 万调查工作，其中，2006 年启动的“西北黄土高原区地质灾害详细调查”计划项目，首批包括“宝鸡地区地质灾害详细调查”工作项目（编号：1212011140003），由中国地质科学院地质力学研究所承担，从 2006 年开始宝鸡地区 12 区县地质灾害详细调查，到 2011~2012 年的综合研究，在长达 7 年时间的详细调查和综合研究过程中，逐步完成了以下调查研究任务：

- 1) 宝鸡地区 12 区县地质灾害详细调查与数据库建设。
- 2) 宝鸡地区 12 区县工程地质条件调查。
- 3) 宝鸡地区 12 区县地质灾害易发性、危险性、风险评估区划。
- 4) 建立宝鸡地区 12 区县地质灾害信息系统，编制（或完善）地质灾害防治规划（建议）。
- 5) 宝鸡市地质灾害综合研究与评价区划。
- 6) 宝鸡地区重大滑坡形成演化机理与成灾模式研究。
- 7) 宝鸡地区新构造运动、活动断裂与地质灾害演化过程研究。
- 8) 宝鸡地区地质灾害监测预警研究。
- 9) 宝鸡地区地质灾害监测预警信息系统集成与风险评估模型研发。

结合项目组承担的国家“十一五”科技支撑计划课题：“地质灾害风险评估技术研究”（编号：2006BAC04B05）和国家“十二五”科技支撑计划课题：“重大工程扰动区特大滑坡灾害防治与示范”（编号：2012BAK10B02），逐步在宝鸡地区建立地质灾害风险评估管理示范基地，对地质灾害风险评估技术方法进行系统探索研究，并提出“地质灾害风险评估技术指南”（吴树仁等，2009a，2012）；不断探索黄土城镇扰动区重大滑坡灾害主动减灾防灾和综合防治关键技术，研究提出宝鸡市地质灾害防治规划建议。本书是在总结集成上述 3 个项目成果的基础上编写而成。

0.1 宝鸡地区概述

陕西省宝鸡市位于“八百里秦川”西部，是关中西端的门户，也是陕西省的第二大城市，辖3个区，9个县，共有105个乡镇，15个街道办事处，1729个村民委员会，168个居民委员会，常住人口373万（其中市区人口88.2万，市区建成面积100km<sup>2</sup>）。宝鸡市西与甘肃省天水市接壤，北与甘肃省平凉地区相邻，东、南分别与陕西省咸阳市、西安市和汉中地区相邻。地处东经106°18′~108°09′，北纬33°35′~35°06′。东西长156.6km，南北宽约160.6km。总面积约18116km<sup>2</sup>。

宝鸡市有国道G310，G316和省道S209，S210，S212，S306构成公路网，更有陇海、宝成和宝中铁路在此处交汇，是连接中原和西南、西北的交通枢纽。此外，还有西宝、西天高等级公路，交通相对比较便利（图0.1）。宝鸡地区整体地势为南、西、北三面环山，向东开口的簸箕状；地貌类型主要以黄土高原为主，沟谷众多，山高坡陡，时常发生不同规模的崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害，制约着本区经济的快速发展。

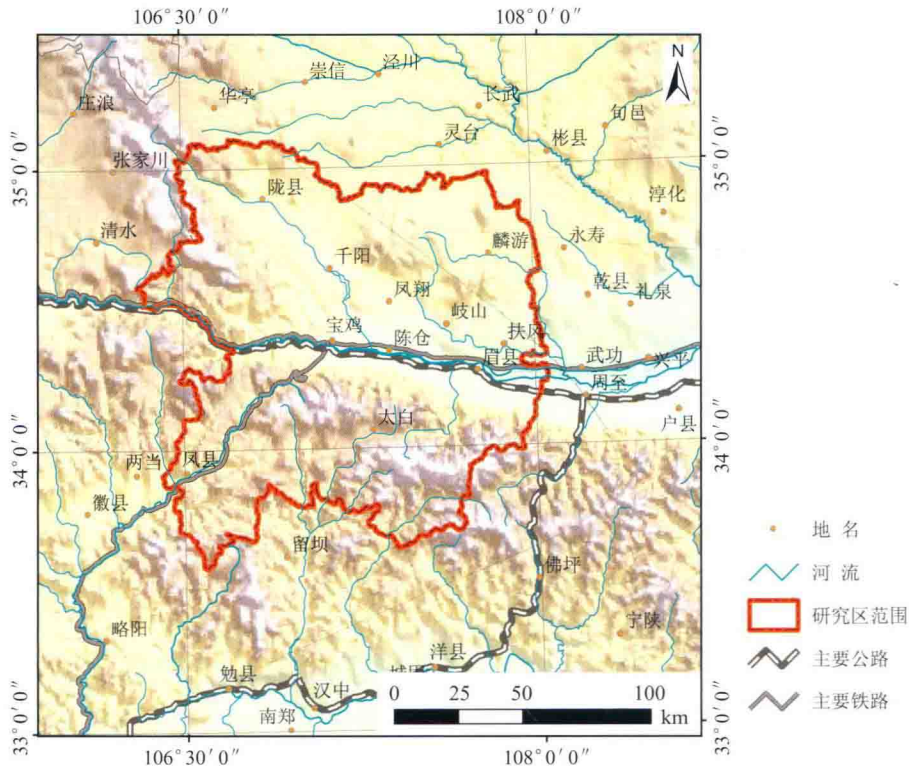


图 0.1 研究区范围图

0.2 前期工作与研究进展

长期以来，宝鸡地区已经开展了较多的基础地质和专项地质工作，并进行了县市地质灾害调查。

### 0.2.1 已往区域地质工作

#### (1) 全面区域调查阶段

从1956年开始,原地质、石油、煤炭等部门所属地质单位,先后在黄土高原、关中盆地开展了以地质找矿为主的1:20万区调工作;与此同时还开展了区域地球物理和区域地球化学调查工作。此阶段的地质工作填补了大面积地质调查空白,获得了大量的实际资料,全面提高了黄土高原地区地质研究程度。

#### (2) 综合研究和1:5万区调阶段

20世纪70年代以后,在一些重点地区部署开展了1:5万区域地质和矿产地质调查,在1:20万和部分1:5万区域地质调查成果基础上,于80年代晚期出版了陕、甘、青、川、鄂、豫、晋、宁等省区区域地质志,全面系统地总结了秦巴和黄土高原地区地质调查研究的新进展;70年代初,原地质部第三石油普查大队和长庆油田合作编写了陕北、关中盆地石油普查地质报告,煤炭部门编制了渭北煤田普查地质报告;90年代开始,随着新理论新技术、新方法和在区域地质调查工作中的应用和地学工作服务领域的拓宽,在黄土高原地区开展了多个1:5万区调图幅,其调查研究内容更加广泛,对生态环境地质和灾害地质等领域进行了探索性工作,初步查明了工作区地质灾害现状、类型、分布规律,分析了形成条件,指出了危害性,初步提出了相应的防治对策。

#### (3) 国土资源大调查阶段

21世纪初,为适应新一轮国土资源大调查工作的需要,秦巴和黄土高原地区部署开展了多幅1:25万区调修测图幅,目的是在原1:20万、1:5万和专题研究基础上,运用新理论、新技术、新方法,对辖区进行国土资源综合调查研究,其宗旨是更新一批地质图件,编制系列图件,为社会各部门服务。调查研究内容除传统地质矿产外,根据图幅的地理位置和社会需求还涉及生态环境地质、灾害地质、工程地质、农业地质等领域;如宝鸡市幅区调,尝试性地开展了灾害地质调查工作,根据地质灾害产生的环境因素、区域性分布特征,将测区地质灾害划分为三个区域地质灾害组合类型,即秦巴山地地质灾害组合、黄土高原地质灾害组合和断陷盆地地质灾害组合,对不同的地质灾害类型提出了相应的防治对策。

### 0.2.2 以往水工环地质工作

#### (1) 水文地质

工作区内的水文地质工作主要经历了4个阶段:

第一阶段:1956~1980年,为区域水文地质普查阶段,1956年在工作区内部署开展了区域水文地质普查,1958年编制了关中平原区域水文地质报告,随后相继开展了黄土丘陵区1:20万区域水文地质普查,秦巴地区1:50万水文地质普查,西安市供水水源地勘察等工作。20世纪60年代,为配合抗旱及适应社会主义经济建设发展的需要,开展了1:10万农田供水勘查,60年代编制了分省水文地质图,1979年出版的《中华人民共和国水文地质图集》(国家地质总局水文地质工程地质研究所,1979),基本上系统地反映了从20世纪50年代以来,区域水文地质工作的主要成果。70年代,在西安等城市找到了地下热

水,并开展了综合利用的试点工作,同时开展了部分工矿企业与城市供水水源地勘查,积累了较丰富的点上勘查资料。

第二阶段:1980~1995年,为供水与技术方法研究阶段,主要结合经济建设对水资源的需求,针对城镇供水普遍日趋紧张及地质环境明显恶化的状况,开展了一系列针对性强的勘查及科研工作。水文地质工程地质技术方法研究也取得了明显的效果。在地质方面对寻找岩溶水、黄土地下水、研究地方病成因、控制地面沉降、平原区合理开采地下水等方面都取得了新的进展。区内的地级以上城市均不同程度地开展了供水水文地质勘查工作。

第三阶段:1995~1999年,为“西北特别找水计划”实施阶段,勘查工作转入严重缺水且找水难度大的地区,在陕、甘、宁、内蒙古等地开展了找水示范工作,在陕西省富平、乾县、靖边、甘肃平凉等地找到丰富的地下水,同时,还开展了县(市)级地下水资源开发区划工作。

第四阶段:1999年至今,为地质大调查项目实施阶段,区内部署了鄂尔多斯盆地地下水勘查、山西六大盆地水文地质调查、宁南地下水勘查等大调查项目,在区内的陕、甘、宁、内蒙古等地还实施了找水示范工程。

## (2) 工程地质

20世纪50年代地质部成立初期,为适应国家第一个五年计划建设的要求,组建了水文地质工程地质专业队伍,开展了以水利工程和铁道工程为主的工程地质勘查工作。在工作区主要开展了黄河、汉江、流域规划和水库坝址的工程地质勘查与评价。在完成流域规划的同时,1956年开始进行宝成铁道工程地质勘查。随着城市发展,70~90年代围绕城市建设开展了不同精度的不同尺度的城市工程地质勘查工作。区内有代表性的区域工程地质工作是80年代初完成的分省工程地质远景区划报告和黄河中游工程地质报告,对区域工程地质条件及不良地质现象作了较系统地描述。90年代之后,围绕高等级公路、铁路建设和水电站建设,开展了沿线或点上的工程地质初勘和详勘工作,区域工程地质工作基本处于停滞状态。总体上来说,区内对工程地质工作主要是围绕着城市与工程建设来部署和开展的,点上和线上的工作较多,且工作深入,而面上的工作不多,且投入的勘查工作量极少,多为小比例尺的调查与描述。

## (3) 环境地质与灾害地质

20世纪80年代以来,区内的大部分城市,围绕环境水文地质和环境工程地质问题,开展了环境地质或水工环地质调查或勘查,重要的经济区带部署开展了区域环境地质调查工作。“八五”和“九五”期间,以省为单元,区内各省开展了以地质灾害为主的1:50万区域环境地质调查工作,基本查清了区内的环境地质背景,人类工程经济活动与地质环境相互作用和影响,初步查明了开发利用自然环境遇到和诱发的各种主要自然灾害、特殊不良地质环境条件和环境地质问题的发育特征和分布规律。为各级政府制定减灾、防灾、国土开发与整治、经济建设和社会发展规划,以及地质环境监督管理提供了宏观决策依据,这项工作是本次地质灾害调查参考的重要基础资料之一。

区内的地质灾害调查工作起步较早,20世纪50年代开展的以水利工程和铁道工程为主的工程地质勘查工作中均涉及地质灾害(当时称不良地质现象)工作,随后的城市与建设工程地质勘查均不同程度的包含有地质灾害工作内容。早期有影响的区域地质灾

害调查与编图工作包括以省为单元的崩滑流编图、黄河中游工程地质等, 90 年代代表性成果有: 在原国家计委和地矿部组织下, 由中国水文地质工程地质勘查院的段永侯等编制的《中国地质灾害》(段永侯等, 1993), 重点论述了崩塌、滑坡、泥石流、地面沉降、地裂缝、地面塌陷等地质灾害的类型, 灾害发生的基本特点, 发展趋势, 以及防治灾害的任务与对策; 宝成铁路(宝鸡—绵阳)沿线环境工程地质勘查报告, 以地质灾害为主的分省 1:50 万环境地质调查报告。20 世纪 90 年代末至今, 区内绝大部分地区已开展了县(市)的地质灾害调查工作, 该项工作是在“以人为本”的原则指导下, 以县(市、区)为单元, 通过走访每一个城镇及行政村, 重点调查崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷、地裂缝等地质灾害及其隐患的分布状况, 划出了地质灾害易发区, 初步建立了地质灾害信息系统, 健全了群专结合的监测网络, 有效地保护了人民生命财产安全, 是我国地质灾害防治工作的一次质的飞跃, 该项成果将作为本次调查最重要的参考资料。

总之, 前人在工作区作了系统的、富有成效的工作, 这些成果对于本次工作具有重要的参考价值。但是, 以往工作成果还远不能满足国民经济发展和新时期防灾减灾工作的需要, 主要存在以下问题: 调查资料不够系统, 需要补充一定实际资料; 精度还需提高, 多数灾害点缺乏地理坐标; 形成机理需进一步揭示, 地质灾害发生规律和分布状况尚不完全清楚; 勘查的灾害点较少, 缺乏重大地质灾害规划前勘查资料; 综合研究还需提高, 缺乏综合分析、评价和全面合理的规划; 对人类工程活动与地质灾害形成演化之间的关系, 调查研究还不够深入。

此外, 宝鸡地区从未开展过详细的地质灾害危险性评价和风险评价, 没有将地质灾害调查与发展区域经济结合起来。因此, 对宝鸡地区进行地质灾害的详细调查, 并进行地质灾害分布特征和形成条件等区域研究、进而进行危险性评价和风险评价, 并在此基础上, 在重点地质灾害点建立地质灾害监测预警系统, 开展监测预报研究是非常必要的。通过上述研究, 不仅可以为区域国土资源规划、减灾防灾提供科学依据, 同时还可以为修建各种工程设施提供地质灾害基础资料。开展风险评价可以把地质灾害与经济发展紧密地结合起来, 起到促进区域经济发展和典型示范的作用。

## 0.3 研究思路与技术路线

### 0.3.1 研究思路

以地质灾害的灾变论和动力学分析原理为指导, 以《滑坡崩塌泥石流灾害详细调查规范》(下简称“调查规范”)为标准(中国地质调查局, 2006), 以宝鸡市区、各县城和人口密集的重要集镇及国家重大生命线工程(铁路、高速公路)为主线, 以地质灾害多发、频发区为重点, 利用当代 3S 技术集成, 将遥感解译与地面调查相结合, 调查评价与专题研究相结合, 定量测试与模拟计算相结合, 开展 3 个层次的地质灾害详细调查(即全区 1:5 万; 重要城镇 1:1 万; 重大单体地质灾害 1:2000), 建立区域地质灾害空间数据库, 查明区内地质灾害和地质灾害隐患的分布状况, 形成地质环境条件和发育特征, 评价其危害程度, 圈定地质灾害易发区和危险区, 建立地质灾害信息系统和气象预警系统, 揭示黄土高原地区地质灾害形成机理和发育规律, 探索黄土高原地区地质灾害风险评

估管理和预测预报模型；协助地方政府建立健全地质灾害群测群防网络体系，制定防灾减灾规划，为地方政府防灾减灾和风险管理提供技术支撑。

### 0.3.2 技术路线

在系统收集宝鸡地区前期工程地质和地质灾害资料的基础上，将遥感解译与地面调查相结合，调查评价与专题研究相结合，定量测试与模拟计算相结合，利用3S技术，开展3个层次的地质灾害详细调查，建立区域地质灾害空间数据库和信息系统，进行地质灾害易发程度、危险性和风险评价区划，制定防灾减灾和土地利用规划，建立健全地质灾害群测群防网络体系和气象预警系统，探索黄土高原地区地质灾害的形成机理、发育规律及预测预报模型，研究黄土高原地区地质灾害风险评估管理技术，为地方政府防灾减灾和风险管理提供技术支撑。具体技术路线包括（图0.2）。

1) 充分搜集、研究和利用已有基础地质、水文地质、工程地质、灾害地质、水文、

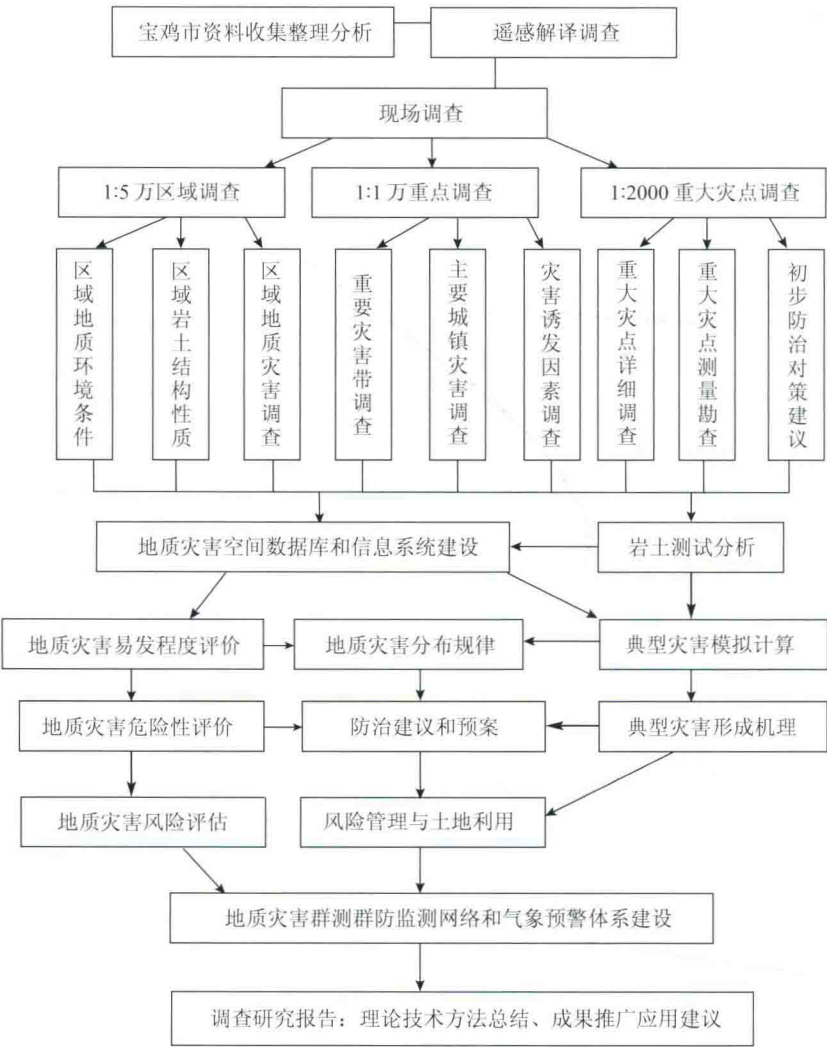


图 0.2 项目总体技术路线简图

气象等与地质灾害相关资料；搜集调查区城镇、居民点、学校、矿山、交通、通信、油气管道、水库等重要工程设施分布情况。

2) 以遥感解译工作为先导,在区域上利用 SPOT 数据影像解译调查,重点地段利用 Quickbird 数据影像解译调查,通过不同精度的遥感信息解译调查,结合前人资料,确定地质灾害种类,划分重点调查区和一般调查区,开展必要的野外踏勘,编写地质灾害详细调查设计。

3) 对重点区进行详细地质灾害调查,依照“调查规范”要求,分 3 个层次进行详细地质灾害调查:即按 1:5 万图幅要求,调查宝鸡地区每一个城镇、自然村和公路、铁路干线附近的工程地质环境条件和地质灾害;按 1:1 万精度调查宝鸡市重要城镇、公路和铁路干线、群发地质灾害;按 1:2000 调查、勘查重大单体地质灾害。查清已发生的滑坡、崩塌、泥石流、地面塌陷等地质灾害的形成条件、发育特征、发生历史、造成的损失、复活的可能性以及潜在的崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷等地质灾害对居民点及重要设施的威胁,测量每个重要单体灾害的平面图和剖面图。并对稳定性差、危及人民群众生命财产安全的地质灾害体进行测绘,辅以山地工程和监测手段。必要时还应开展拟搬迁地选址调查与建议;对于一般地区根据遥感资料和其他信息进行地质灾害调查或核查,查明黄土原区地质灾害分布、形成的地质环境条件和发育特征,确定地质灾害隐患点与村镇、居民点、重要设施和交通、通信及油气管道等的关系,圈定危险范围。

4) 利用 GIS 平台建立宝鸡地区地质灾害空间数据库和信息系统。对地质灾害进行易发性现状和预测评价,形成宝鸡地区地质灾害易发性分区图;利用综合信息模型评价地质灾害危险性,编制宝鸡地区地质灾害危险性分区图;探索地质灾害风险评价与风险管理方法。

5) 结合重大危险滑坡的勘查、滑坡三维仿真模拟计算,总结宝鸡地区地质灾害分布规律和发育特征,揭示黄土地区地质灾害的形成机理,提出地质灾害防治对策建议和重要场地地质灾害防治和搬迁移民建议。

6) 将地质灾害知识宣传和群测群防网络建设贯穿于地质灾害调查始终,通过调查,完善宝鸡市地质灾害防灾规划建议,建立地质灾害群测群防监测网络和气象预警系统。

7) 编写调查报告,总结宝鸡地区地质灾害分布规律和形成演化机理,依据地质灾害危险性评价分区,提出减灾防灾建议和预案;依据风险评估,提出土地利用规划建议和风险管理建议;总结地质灾害详细调查、风险评估管理与气象预警相结合的关键技术、推广应用途径和经验。

## 0.4 主要成果和认识

宝鸡地区地质灾害详细调查与综合研究从 2006 年初开始,到 2012 年底结束,历时 7 年,在项目执行过程中,坚持调查与研究相结合,在完成调查任务和为宝鸡市减灾防灾服务的同时,研究探索一些感兴趣的和有创新意义的问题,取得良好成效。先后完成宝鸡市 12 个区县 1:5 万地质灾害调查评价、建立 12 区县地质灾害数据库,完成宝鸡市重大滑坡机理、活动断裂与滑坡关系等专题研究及其综合研究工作,在宝鸡市区域地质环境条件、工程岩土性质、地质灾害分布规律、典型滑坡研究、重大滑坡灾害形成机理研究、地质灾

害危险性与防治区划和监测预警信息系统、基地建设和人才培养等方面取得了重要进展。主要包括下列 10 方面。

(1) 初步揭示了宝鸡地区区域地质环境条件的多样性、边界性和差异性是导致地质灾害频发、多发的主要原因之一

1) 宝鸡地区地形地貌的边界性和差异性特征。宝鸡地区位于我国 3 大构造地貌单元的交叉部位,即位于秦岭山脉、小陇山山地和陕北黄土高原的交汇部位,区内地貌类型主要包括中高山地、黄土台塬及之间的过渡带——山前丘陵和黄土梁峁,特别是黄土台塬和黄土梁峁斜坡易于发生崩塌滑坡灾害。

2) 宝鸡地区地质构造的多样性和差异性特征。受秦岭造山带和六盘山构造带及鄂尔多斯地块的影响,近东西向、北西向断裂发育,且多为活动性断裂,新构造运动十分活跃,垂直差异性升降运动十分明显。南部秦岭山区及北部塬区相对渭河断陷处于大面积抬升,近东西向断裂大体以渭河为界,以北的断裂向南陡倾斜,以南断裂向北陡倾斜,构成了阶梯状下降的复式地堑盆地,正是这种高角度活动断裂控制黄土塬边大型深层黄土带状分布。

3) 宝鸡地区气象和水文条件的边界性和差异性特征。宝鸡地区位于我国南北气候分带和南北水系分水岭,局部极端降雨量与黄河流域的渭河水系和长江流域的嘉陵江及汉江水系冲蚀作用,极易诱发表层黄土变形破坏。

(2) 研究揭示宝鸡地区区域工程地质条件的特殊性和脆弱性是导致地质灾害成带、成群集中分布,特别是大规模深层滑坡成带分布的主要原因之一

1) 宝鸡地区发育 2 大类易滑岩组。研究发现宝鸡地区分布 6 大类工程岩组,其中分布广泛的软弱薄层状岩组(泥岩、砂泥岩互层和薄层状变质岩)和黄土夹古土壤属于易滑易变形岩组,这两类易滑岩组分布在宝鸡市黄土高原及其边界地区,大约占总面积的 1/2。

2) 宝鸡黄土属于黏黄土,尽管工程地质性质优于其他黄土,但仍属于易滑土体。通过黄土塬钻探剖面系统测试分析研究,初步揭示:宝鸡地区黄土属于黏黄土,与古土壤性质类似,故两者组合为均质土体,黄土强度、渗透性、湿陷性、变形模量和斜坡自稳定性等工程地质性质整体优于其他黄土,但是,相对于岩体而言,仍然是易滑土体。

3) 宝鸡地区有 3 类斜坡结构属于典型的易滑结构。调查研究初步揭示,宝鸡地区主要斜坡结构类型分为黄土斜坡、黄土+软岩、黄土+基岩、河谷阶地和山区基岩斜坡 5 大类,前 3 类斜坡结构属于典型的易滑易变形结构,它们广泛分布在黄土塬边及黄土与基岩山区过渡带,是导致宝鸡地区地质灾害、特别是浅层滑坡和深层滑坡多发、集中成带发育的主要原因。

4) 初步发现宝鸡市北坡大型滑坡带形成演化与活动断裂密切相关。①野外调查与地球物理勘查结构初步显示:渭河北缘活动断裂以地堑式结构控制北坡塬边斜坡带地形地貌特征,主断裂面倾向南,倾角平均度数为  $68^{\circ}$ ,控制塬边斜坡坡度,而次级断面结构组合控制斜坡结构,影响塬边大型黄土滑坡结构。②典型地段塬边主断裂面产状与大型黄土滑坡后缘滑壁产状一致,特别是多个大型滑坡后壁陡峻产状的一致性和成带性,表明塬边分布的活动断裂面可能控制和影响滑坡后缘滑壁的形成过程;而活动断裂最大下挫距离 7.1m,无论是蠕滑还是黏滑,都可能影响大型滑坡的发生过程。③北坡分布的活动断裂

地堑式结构,局部次级断面控制塬边多级滑动面的结构及其形成演化过程,局部滑坡剪出口产状陡峻也受断裂结构控制。

(3) 基本查明宝鸡市地质灾害及隐患点发育特征、威胁对象,先后建立宝鸡市 12 区县地质灾害数据库和信息系统,初步揭示宝鸡市地质灾害分布规律

1) 基本查明宝鸡市地质灾害及其隐患点。调查统计分析结果显示:截至 2012 年 5 月,宝鸡市 12 区县发生地质灾害累计为 1626 处,其中,滑坡 903 个(大于  $1000 \times 10^4 \text{ m}^3$  滑坡 58 处)、崩塌 364、泥石流 110、不稳定斜坡 238、地裂缝 10、塌陷 1,陈仓区、太白县和凤县是宝鸡市地质灾害最多的地区,分别为 256 处、212 处、203 处;直接威胁人员安全的地质灾害隐患点 880 处,累计威胁人员为 85351 人,其中,威胁 100 人以上的重大地质灾害隐患点 161 处,其中金台区是重中之重,潜在受威胁人数占宝鸡市 60% 以上,是未来减灾防灾和监测预警研究的重点地区,其次是陈仓区和陇县。

2) 初步研究揭示宝鸡地区地质灾害总体分布规律。宝鸡市地质灾害主要分布在渭河北岸黄土塬边斜坡地带,秦岭北缘山前地带、千河谷地,黄土梁峁斜坡和嘉陵江、汉江源头支流两岸以及秦岭山区主干公路两侧。其中,深成大型黄土滑坡主要集中分布于渭河北岸黄土塬边,最大面密度达到 93%,是宝鸡市地质灾害防治的重中之重。这些大型黄土滑坡多为古老滑坡,其整体稳定性较好,现今局部复活主要是滑坡后缘扩展、滑体陡坡小型崩塌和小规模滑坡,特别是不同人工边坡形成的崩塌和老窑洞坍塌是造成宝鸡地区人员和财产损失的主要地质灾害。而浅层中小滑坡主要分布在渭河南岸秦岭北缘、凤县嘉陵江两岸、陇县和麟游县中北部;崩塌灾害主要集中分布在公路两侧人工边坡、城镇居民房前屋后人工边坡,具有数量多、分布广、潜在危害大的特征,是宝鸡市地质灾害防治的重点。

3) 先后建立宝鸡地区 12 区县地质灾害数据库和信息系统。先后完成宝鸡地区 12 区县数据库建设,完成宝鸡市地质灾害数据库与信息系统综合集成,完成 12 区县地质灾害隐患点逐一排查和群测群防体系建设。

4) 初步提出地质灾害隐患点销号的思路和方法。完成宝鸡市 12 区县近年来汛期主要地质灾害回访调查和重大隐患点排查分析,初步提出 2 种地质灾害隐患点销号的思路和方法,即地质灾害演化趋于稳定销号和搬迁治理销号法,共计排除原有地质灾害隐患点 105 处;基本查明各区县地质灾害及威胁人员的隐患点类型、数量、分布特征,为宝鸡市减灾防灾提供技术支撑。

(4) 研究提出宝鸡地区重大地质灾害主要变形破坏模式,研究揭示典型对滑式黄土滑坡和北坡大型深层滑坡带形成演化机理及其滑动带微观变形过程、强度衰减趋势及其滑动摩擦机理

1) 研究归纳宝鸡地区斜坡变形 3 大类 8 种破坏模式。总结提炼了宝鸡地区 5 种滑坡、2 种崩塌及 1 种泥石流灾害,共计 8 种典型坡体失稳演化模式。其中滑坡形成演化模式包括:①多级旋转型黄土滑坡。②旋转-平移式黄土滑坡。③平移式岩质滑坡。④折线型黄土滑坡。⑤浅表层黄土及残坡积层滑坡。崩塌形成演化模式包括:①裂隙黄土崩塌。②弯折倾倒式岩质崩塌。泥石流重点剖析了浅层新近堆积黄土的坡面泥流形成演化模式。为进一步开展重点地质灾害问题的风险评估及综合防治研究提供了基本依据和科技生长点。

2) 研究提出宝鸡黄土地区对滑式黄土滑坡形成机理。冲沟两侧对滑式群发黄土滑坡

是黄土地区的典型滑坡特征之一，其形成过程表现为：冲沟一侧发生滑坡后，滑坡体短时堵塞沟谷排水，导致对面边坡地下水位上升，降雨期间沟谷水流冲刷对岸坡脚，从而诱发对岸坡体发生滑坡；彼此循环作用，导致不断向下游发展的冲沟两侧对滑黄土滑坡群发育。

3) 研究揭示宝鸡市北坡深层大型黄土滑坡形成演化机理。系统研究宝鸡北坡深层大型滑坡形成演化过程，初步揭示北坡大型深层黄土滑坡3种破坏模式：即厚层均质黄土控制的多级旋转破坏模式、深部层状软弱黏土岩控制的旋转-平移式破坏模式和活动断裂控制的复合破坏模式；并以多级旋转滑坡为例，研究提出多级旋转滑坡的3种扩展模式：即后缘扩展式多级旋转滑坡、前展（渐灭）式扩展多级旋转和复合型多级旋转滑坡。

4) 初步揭示北坡大型深层滑坡滑动带微观变形过程、强度衰减趋势及其滑动摩擦机理。通过深层滑坡滑动带变形前后组构、变形特征的对比研究发现，深层滑坡黏土岩层面形成演化为滑带分为3个阶段：①初始碎裂阶段。黏土岩因应力集中出现裂隙化，泥岩内部裂隙逐渐增多，缓慢的变形，变形接近屈服极限，应力接近峰值强度。②面理化阶段。泥化、碎裂化的滑动带因与地下水的渗流作用加强，与外界物质成分交换作用加快，蒙脱石等黏土矿物在该阶段增加，随着稳定蠕变的发展，碎裂化的黏土岩逐渐呈面理状，黏土矿物定向排列。③滑动摩擦阶段。滑体快速滑动，滑动带进入结构性完全破坏、塑性变形阶段，并达到滑动带的残余强度。

(5) 探索提出一种研究历史强震对区域群发滑坡诱发效应的新思路，利用基于 Newmark 位移模型的地震滑坡位移分析方法，初步反演揭示近远场数次强震对渭北塬边大型滑坡的诱发效应

源于汶川地震在渭河中游地区形成的高烈度异常及震害现象的启示，分析区域活动构造和历史地震资料，利用基于 Newmark 位移模型的地震滑坡位移分析方法，研究强震诱发滑坡的最远致灾震中距和大型滑坡的优势坡向，对宝鸡地区周边 300km 范围内 4 次关键历史强震可能诱发区内的滑坡位移，进行了反演计算和危险性评估，借助成功率曲线定量地比较了强震诱发滑坡位移计算结果与现有大型滑坡分布的空间匹配程度，初步揭示关键历史强震对区内群发大型滑坡的诱发效应由强至弱依次为：天水南地震 > 海原地震 > 华县地震 > 岐山地震，为渭河中游群发大型滑坡的诱发机理研究开拓新思路。

(6) 研究揭示宝鸡北坡斜坡变形演化的分段性特征，西、中、东 3 段滑坡面密度有明显差异，总体趋势上，自西向东滑坡活动强度逐渐降低；古老滑坡现今活动主要集中于西段和中段的局部陡坎部位

利用历史地貌演化法、平衡剖面计算、滑坡强度评估和动态数值分析，研究揭示宝鸡北坡斜坡变形演化的分段性特征，西、中、东 3 段滑坡面密度有明显差异，总体趋势上，从西向东滑坡活动强度逐渐降低；古老滑坡现今活动主要集中于西段和中段的局部陡坎部位，并以中段蔡家坡滑坡群为例，研究分析蔡家坡段滑坡形成时序、滑坡活动频率及相应的活动强度，并根据古滑坡体上工程边坡扰动规模，评价滑坡现今局部活动强度和危险性，为北坡古老滑坡带减灾防灾提供依据和技术支撑。

(7) 采用定性分析与定量计算相结合，研究完成宝鸡地区 3 个层次地质灾害易发性、危险性和风险评估区划，为地质灾害防治区划和土地利用规划提供依据

1) 利用 GIS 平台和信息量模型定量计算分区的基础上，综合分析定性因素，评价获