

SHANDONGSHENG DIZHI HUANJING YANHUA
JI ZHONGDA WENTI FANGZHI

山东省地质环境演化 及重大问题防治

姚春梅 回寒星 邢立亭 徐品 刘洪亮 著



山东省地质环境演化及重大问题防治

山东科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

山东省地质环境演化及重大问题防治 / 姚春梅等
著. — 济南: 山东科学技术出版社, 2021.12
ISBN 978-7-5723-0259-6

I . ①山… II . ①姚… III . ①区域地质 - 地
质环境 - 研究 - 山东 IV . ① P562.52

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2021) 第 227847 号

山东省地质环境演化及重大问题防治

SHANDONGSHENG DIZHIHUANJING YANHUA JI
ZHONGDAWENTI FANGZHI

责任编辑: 梁天宏

装帧设计: 李晨溪

主管单位: 山东出版传媒股份有限公司

出版者: 山东科学技术出版社

地址: 济南市市中区英雄山路 189 号

邮编: 250002 电话: (0531) 82098088

网址: www.lkj.com.cn

电子邮件: sdkj@sdcbcm.com

发 行 者: 山东科学技术出版社

地址: 济南市市中区英雄山路 189 号

邮编: 250002 电话: (0531) 82098071

印 刷 者: 山东新华印务有限责任公司

地址: 济南市世纪大道 2366 号

邮编: 250104 电话: (0531) 82079112

规 格: 16 开 (184 mm × 260 mm)

印 张: 28.5 字数: 570 千

版 次: 2021 年 12 月第 1 版 2021 年 12 月第 1 次印刷

定 价: 149.00 元

审图号: SG (2021) 019 号

《山东省地质环境演化及重大问题防治》

编著委员会

编辑指导委员会

主 任 回寒星

委 员 褚福建 常允新 胡玉禄 姚春梅 王 林

编著委员会

主 编 姚春梅

副主编 回寒星 邢立亭 徐 品 刘洪亮

编 委 （排名不分前后）

王庆兵 王振涛 王延岭 刘妍芬 刘志全 刘善军

刘晓丽 刘瑞峰 毕梅祯 吴光伟 邵 明 张永伟

杨培杰 杨全城 李 壮 李常锁 孟凡奇 郑庭明

罗 梅 姚英强 商婷婷 秦 鹏 秦品瑞 高 峰

袁 芳 董玉龙 焦玉国 程 凤 蒙永辉 魏 嘉

序

环境地质学是研究与人类有关的地质环境及其问题的科学，是地质学的一个分支，是研究人类活动和地质环境相互作用的学科。地质环境工作在人类生存和经济社会发展中发挥着极其重要的作用，所有的环境问题都与地质环境密切相关。环境地质学是研究地质环境的科学，其任务是在分析地质环境组成要素的特征和变化规律的基础上，研究人类活动与地质环境的相互关系，揭示地质环境问题的发生、发展和演化趋势，全面评价地质环境质量，提出地质环境合理开发、利用和保护的对策与方法，为实现经济社会的可持续发展提供可靠的依据。

山东省地质构造复杂，社会经济发达，人类工程活动强烈，加之城镇化水平较高、人口密度大，导致地质环境问题复杂多样，成为中国东部地质环境问题较多的地区。多年来，山东省地质环境工作者以服务经济社会发展为己任，以扎实认真的工作作风和严谨求实的科学态度，在区域环境地质调查、矿山地质环境调查、海岸带开发、地质灾害防治等工作中取得了丰硕成果，为山东省地质环境保护和生态文明建设做出了重要贡献，也使得山东的地质环境工作走在了全国前列。自 20 世纪 50 年代以来，在区域水文地质调查、专项水文地质勘查、地下水资源量与地下水环境调查评价等几个大的方面，取得了丰硕的水工环地质成果。水文地质勘查方面先后完成了综合地质水文地质调查与编图工作、地下水资源评价、供水水源地勘查评价，以及专项地下水资源试验研究工作。水文地质工作的开展，为全省地质环境监测和主要地质环境问题防治打下了坚实的基础。

致力科技攻关，推动技术创新。自 1990 年以来，先后开展多项不同时段、不同精度的地质灾害调查并提交了相关研究成果，为地方政府制定地质灾害防治方案，开展汛期地质灾害巡查、预警提供了重要依据。尤其是 2011 年，山东省国土资源厅决定在全省山丘区以县(市、区)为单位，全面开展 1:5 万地质灾害调查工作，该项工作走在了全国的前列。由此，山东省地质灾害调查评价监测预警技术方法研究取得重大突破，创立了由基础因子体系、响应因子体系和引发因子体系构成的省域地质灾害空间评价体系，以及由监测信息采集系统、地下水模型系统和风险评价系统组成的岩溶塌陷地质灾害预警系统，大大提高了全省地质灾害防控的精确性和时效性。

坚持需求导向，推动应用创新。纵观山东省水工环地质工作成果应用不难发现，越是基础性的地质工作，利用程度越高，科技含量越高，给当地经济社会发展发挥的作用也越大。鉴于此，在山东省地勘项目资金的支持下，山东半岛蓝色经济区 1:10 万区域水文地质、工程地质、环境地质调查工作自 2010 年启动，于 2018 年全面完成，大大提升了山东省水工环地质工作的深度和精度，为山东省半岛蓝色经济区和海岸带经济发展提供了水工环地

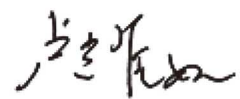
质保障。注重矿山地质环境调查评价与保护治理技术方法研究，自 20 世纪末期以来已开展三轮全省范围内的矿山地质环境调查评价工作，开创了省域矿山地质环境调查评价工作的先河。

着眼支撑服务，推动管理创新。编制“山东省地质灾害防治规划”“山东省地面沉降防治规划”“山东省矿山地质环境保护与治理规划”，研发地质灾害管理信息系统、采煤沉陷环境恢复治理信息化系统和山东省地质灾害气象风险精细化预警预报体系，出台山东省地质灾害勘查、设计、施工、监理技术方面，以及山东省绿色矿山建设方面的地方标准五项，建立起符合山东实际的矿山地质环境调查评价体系和矿山地质环境管理信息系统，使山东省地质灾害防治和矿山地质环境管理工作走在全国前列，为全省自然资源管理工作提供了重要技术支撑。

为了系统总结梳理改革开放 40 年以来山东省环境地质工作成果，山东省地质环境监测机构组建专门科研团队，完成了“山东省地质环境演化及重大问题防治”研究成果，并以此形成专著。该专著作者为长期工作在生产第一线和技术管理岗位上的中青年专业技术人员，他们具有扎实的专业理论功底和丰富的野外实践经验，学术水平高，业绩突出，我为他们在本课题中取得的优异成果感到由衷的高兴。

近年来，随着山东省经济社会快速发展，尤其是在黄河流域生态保护和高质量发展上升为国家战略以后，新的形势对山东省水工环地质工作提出了新的要求，因此，积极推进水工环地质工作更加紧密地与国民经济发展规划相结合，更加主动地为经济社会服务，满足自然资源规划、管理、保护与合理利用的需求，已成为当今水工环地质工作的首要任务。衷心祝愿山东省水工环地质工作再上新台阶，再做新贡献！

中国工程院院士



2021 年 6 月

前 言

水文地质、工程地质和环境地质工作是整个地质工作的重要组成部分，因其涉及人类生存和社会发展的条件而备受关注。山东省境内地层比较齐全，岩性与构造复杂，地形地貌多样，加上全省社会经济快速发展，各类工程、经济活动范围和强度不断扩大、增加，易产生各种水工环地质问题，严重制约社会、经济的可持续发展。因此，开展水工环地质工作是经济社会环境发展的必然需要。

自 20 世纪 50 年代以来，山东省在水文地质勘查方面开展了大量工作，体现在区域水文地质调查、专项水文地质勘查、地下水资源量与地下水环境调查评价等几个大的方面，取得了丰硕的水文地质成果，为山东省经济发展、社会进步做出了重要贡献。改革开放以来，随着人类经济活动对地质环境的影响，环境地质工作越来越引起社会和专业人士的关注，也逐步开展起相关的调查评价和科学研究工作。

山东省地质环境监测工作始于 20 世纪 50 年代末期，开始主要是针对地下水的监测工作，2000 年以后通过国家和省级地下水监测工程的实施，目前已基本建成覆盖全省的地下水环境监测网络，也因此积累了全省 60 多年的监测资料，对分析地下水水位、水质长期动态变化特征提供了依据。通过地下水监测发现：与监测初期相比较，全省多数富水地段和水源地地下水水质变差、富水程度降低，可开采资源量大幅减少；同时，因地下水不合理开采引发的环境水文地质问题愈发突出，如鲁北地下水降落漏斗、土壤盐渍化，鲁中岩溶塌陷，鲁东海水入侵等。结合地下水长期监测结果，自 20 世纪 90 年代开始又相继开展了环境水文地质问题调查勘查工作，旨在查明发育现状，研究形成机理，提出防治对策建议。

区域性环境地质调查评价工作重点体现在“十一五”期间，根据中国地质调查局项目安排，省地质调查院和省地质环境监测总站承担完成了“环渤海地区（山东部分）地下水资源与环境地质调查评价”“黄河下游（山东段）环境地质调查评价”与“淮河流域（山东段）环境地质调查”等工作，取得了区域性调查成果，计算评价了区域地下水资源量和开采潜力，查明了影响经济社会发展及重大工程建设的主要地质环境问题，进行了国土规划适宜性分区研究。2010—2018 年，在省直地质勘查资金支持下，省地质环境监测总站组织开展了山东半岛蓝色经济区 1:10 万区域水文地质工程地质环境地质综合调查工作，共完成陆域面积 6.23 万 km² 范围，涉及 1:10 万标准图 55 个（其中完整图幅 32 个，不完整图幅 23 个）的水文地质、工程地质、环境地质填图工作。该项工作大大提升了山东省水工环地质工作的深度和精度，为山东省半岛蓝色经济区和海岸带经济发展提供了水工环地质保障。

注重矿山地质环境调查评价与保护治理技术方法研究。自 20 世纪末期以来已开展三轮全省范围内的矿山地质环境调查评价工作，开创了省域矿山地质环境调查评价工作的先河。山东省作为矿业大省，矿业资源开发始于明清时代，而大规模开采主要始于改革开放以来，矿山地质环境发生了明显改变，采空塌陷、矿山地质灾害调查与防灾减灾对策研究、大中型闭坑矿山地质环境问题调查、全省矿山地质环境调查评价和全省废弃矿井调查工作，自 20 世纪末期以来相继开展，查明了矿山地质环境家底，为政府宏观决策提供了地质依据。十八大以来，党中央高度重视生态文明建设，将矿山地质环境恢复和综合治理摆在更加突出的位置。2016 年，国土资源部（现自然资源部）等五部局联合下发了《关于加强矿山地质环境恢复和综合治理的指导意见》，山东省委、省政府印发了《关于加快推进生态文明建设的实施方案》。为落实文件精神，省国土资源厅在全国率先组织开展了全省矿山地质环境调查工作，共完成 1:5 万矿山地质环境调查 34 290 km²，遥感图斑核查 14 650 个。该成果全面摸清了我省采空塌陷、地形地貌景观破坏、土地资源占损、含水层破坏等矿山地质环境问题发育现状，查明“三区两线”可视范围内尚有历史遗留矿山 897 处未治理（破损山体面积 84.04 km²）；采用模糊数学法对全省矿山地质环境进行了评价，划定矿山地质环境影响严重区 83 个、较严重区 250 个、轻微区 179 个；以“保护优先、预防为主、自然恢复”等原则，对全省进行矿山地质环境预防与治理分区，共划分矿山地质环境保护预防区 54 个、重点治理区 37 个、一般治理区 51 个。该成果系统总结了我省主要矿山地质环境治理模式，探索建立了矿山地质环境恢复与综合治理技术标准，研发了矿山地质环境信息数据库，编制了《山东省矿山地质环境保护与治理规划（2018—2025 年）》，为今后一段时期我省矿山地质环境治理和生态文明建设工作提供了科学依据。

最早系统开展的地质灾害调查评价监测预警和防治工作，是作为威胁人民生命财产安全的突出地质环境问题而进行的。山东省地质灾害的形成既有自然因素引发，又有人为因素影响。随着人类活动的不断加强，近几十年来人为因素引发的地质灾害居多，致灾规模、发生频率及危害程度不断发展。全省专门性地质灾害调查分别于 1990 年和 1992 年共开展了两轮，均由省地质环境监测总站承担。1990 年开展的调查主要手段是资料收集，辅以岩溶塌陷、煤矿采空塌陷及引发的房屋开裂的现场调查，按海（咸）水入侵、地面沉降、地面塌陷、地裂缝、水土流失、土地盐渍化、地下水开采漏斗、地方病、地震及砂土液化为地质灾害类型进行研究总结。第二轮调查于 1992 年 6 月开始，在分析利用首轮调查成果资料基础上，以海（咸）水入侵、采空塌陷、崩塌、滑坡、泥石流、岩溶塌陷、第四系塌陷、地面沉降、地裂缝、土壤盐渍化、水土流失、地震及砂土液化、黄河淤积及尾闾摆动、特殊类土作为地质灾害类型，首次应用遥感技术——通过室内镜下目视解译山地丘陵 1:5 万可见光航片，配合定点与路线穿插相结合的调查验证，于 1995 年 11 月提交《山东省地质灾害调查与评价报告》。

2000—2009 年，省地质环境监测总站承担国土资源大调查和省矿产资源补偿费投资项目，共完成 52 个县（市、区）1:10 万地质灾害调查与区划工作，调查工作依据国土资

源部《〈县（市）地质灾害调查与区划基本要求〉实施细则》进行，遵循“以人为本”的原则，对人口居住地、重要交通干线、重要工程设施及附近的地质灾害发生及分布情况进行了全面调查，查清了各类地质灾害点的分布范围、规模、结构特征、形成机理和引发因素。总计调查面积 77 897.85 km²，查出隐患点 2 312 处，建立群测群防点 1 273 个，初步建立群测群防网络。2010 年，完成《山东省山丘区突发性地质灾害综合研究图集及数据库建设》，全面整合了 52 个县（市、区）1:10 万地质灾害调查成果。

2010—2012 年，为落实省政府第 82 次常务会议决定，山东省在 12 个市的 56 个山丘陵县（市、区）和 4 个开发区开展了 1:5 万地质灾害调查工作。各市、县（市、区）国土资源局落实调查资金 3 300 多万元，招标确定了 14 个地勘单位的 60 支专业调查队伍，联合各级国土资源部门 1 270 余人参与了野外调查，总计调查面积 78 285.58 km²，查出各类地质灾害隐患点 2 332 处，建立群测群防点 1 314 个，建立健全了群测群防网络。2012 年，山东省地质环境监测总站整合 60 个县（市、区）地质灾害调查成果，完成《山东省山丘区 1:5 万地质灾害调查与综合研究报告》，建立了 60 个县（市、区）地质灾害数据库，并以此为基础修编了《山东省地质灾害防治规划》。之后在“十三五”期间，依据本次调查成果又相继开展了 1:5 万全省地质灾害排查，以及重要地质灾害隐患点勘查治理工作，成效显著。

山东省地面沉降调查与监测工作最先在德州市开展。1980 年，省地质局第二水文地质工程地质大队以德州城区以南的于官屯乡新庄南为测量起算点，进行过专门的德州城区地面沉降水准测量，发现已发生地面沉降；1989 年，该队与省地矿局地质测绘队共同开展了“德州市地面沉降观测研究”工作。地面沉降区域性调查工作始于 2005 年 4 月，由中国地质调查局下达。在“十一五”期间，地调局共下达工作资金累计 500 万元，完成了覆盖鲁北平原主要地面沉降区域的 1:10 万地面沉降地质调查 8 700 km²；修建了 60 个 GPS 监测墩，并于 2010 年在德州、东营和滨州三地进行了高精度 GPS 测量工作；初步建立了地面沉降大地水准测量监测网络，在 2008—2010 年共开展二等水准测量 1 435.8 km。依靠国家地调项目资金的支持，加上山东矿产资源补偿费项目的补助，针对地面沉降调查和监测工作，目前已初步建立覆盖整个鲁北平原地区的地下水动态监测网和水准测量路线、GPS 监测网络等地面沉降监测体系，为进一步开展山东省地面沉降监测与防治研究奠定了基础。近年来，在山东鲁西南地区的济宁市、菏泽市，地面沉降监测和调查工作也有开展，京沪高铁山东段境内沿线也设立了地面沉降监测点，这些地区已成为山东省地面沉降监测与防治的重点对象。

地质灾害预报预警主要包括由强降水引发的突发性地质灾害气象预报预警、与地下水动态变化相关的岩溶塌陷预报预警和群测群防中的临灾预警。2003 年 7 月，省国土资源厅、省气象局联合下发《关于转发〈国土资源部和中国气象局关于联合开展汛期地质灾害气象预报预警工作的通知〉的通知》，省地质环境监测总站和省气象中心共同研发山东省地质灾害气象预报预警系统，联合开展汛期（6 月 1 日—9 月 30 日）地质灾害气象预报预警工

作，预报范围主要为鲁中南中低山丘陵区 and 鲁东低山丘陵区，预报灾种为主要由降水引发的突发性崩塌、滑坡、泥石流。截至 2019 年，省级地质灾害气象预警预报已通过电视台、广播电台、网站等途径向公众发布黄色及以上预警预报信息 186 次，通过移动代理服务器、企业短信通以及手机，为全省各级国土资源管理部门相关领导、技术人员及群测群防员发送预警信息三十五万余条，成功预报地质灾害 233 起。由于提前预警、防范措施到位，实现了多次强台风过境期间人员零伤亡，最大限度避免了人民群众的生命财产损失，取得了良好的防灾减灾效果。

新时代新征程，新的形势对山东省水工环地质工作提出了更高的要求。本书旨在系统总结梳理改革开放 40 年以来山东省环境地质工作成果，分析研究山东省地质环境演化特征，提出重大地质环境问题防治技术方法，为下一步积极推进水工环地质工作更加紧密地与国民经济发展规划相结合，更加主动地为经济社会服务，满足自然资源规划、管理、保护与合理利用的需求提供参考。

本书得到国家自然科学基金北方岩溶水系统优势径流通道特征研究（41772257）、内陆平原区黏土对浅层地下水与中深层咸水循环交替的阻滞作用（41472216）、山东省高校院所创新团队项目（2018GXRC012）的资助；本书凝聚了几十年来山东省地质环境监测相关单位广大水文地质、工程地质和环境地质专业技术工作者的辛勤劳动和智慧，在此一并表示感谢！

编者

2021 年 6 月

目 录

第一篇 地质环境背景	1
第一章 地质环境条件	1
第一节 自然地理	1
第二节 地质条件	9
第三节 水文地质条件	17
第四节 工程地质条件	36
第五节 矿产资源赋存条件	49
第二章 地质环境分区	57
第一节 分区原则与分区方法	57
第二节 环境地质特征分述	66
第三章 地质资源开发	77
第一节 地下水资源开发	77
第二节 矿产资源开发	84
第三节 地下水库建设	92
第二篇 地质环境条件演化	105
第一章 水文地质条件演化	105
第一节 地下水动力场的时空演化	105
第二节 地下水化学场的时空演化	146
第三节 主要环境水文地质问题	162
第二章 生态地质环境条件演化	174
第一节 海岸带变迁	174
第二节 湿地演化特征	184
第三节 土壤盐渍化演化特征	189
第三章 矿山地质环境演化	193
第一节 主要矿山地质环境问题	193
第二节 主要矿山地质环境演化特征	210
第三篇 地质灾害	220
第一章 崩塌滑坡泥石流地质灾害发育特征	220
第一节 崩塌滑坡泥石流发育现状	220

第二节 崩塌滑坡泥石流影响因素分析	227
第二章 岩溶塌陷发育特征	239
第一节 岩溶塌陷发育现状及分布规律	239
第二节 岩溶塌陷影响因素及形成机理	253
第三章 地面沉降发育特征	259
第一节 地面沉降现状	259
第二节 形成机理分析	262
第四篇 重大地质环境问题防治	265
第一章 地质灾害监测预警	265
第一节 地质灾害气象预警预报	265
第二节 崩滑流自动化监测技术	275
第三节 岩溶塌陷监测预警	287
第四节 地面沉降监测预警	296
第五节 海(咸)水入侵在线监测	302
第二章 地质灾害勘查与治理	308
第一节 地质灾害勘查与治理技术	308
第二节 典型地质灾害治理技术应用	315
第三章 基于城市规划建设的岩溶大泉保护技术	327
第一节 城市规划建设对岩溶大泉影响研究现状	327
第二节 城市规划建设对岩溶大泉的影响	330
第三节 与城市发展相协调的岩溶大泉保护关键技术	358
第四节 济南岩溶泉域地下水监测网优化设计	394
第四章 矿山地质环境治理技术	402
第一节 露天矿山地质环境治理技术	402
第二节 废弃矿井治理技术	415
第三节 历史遗留非煤矿山采空区治理技术	418
第四节 采煤塌陷治理技术	422
第五章 地质环境管理信息系统应用研究	428
第一节 建设背景及过程	428
第二节 地质环境管理信息系统建设内容	430
第三节 系统应用及总结	436
参考文献	439

第一篇 地质环境背景

第一章 地质环境条件

第一节 自然地理

山东省位于我国东部沿海，地处黄河下游。地理坐标：东经 $114^{\circ} 47' 30'' \sim 122^{\circ} 42' 18''$ ，北纬 $34^{\circ} 22' 54'' \sim 38^{\circ} 24' 00''$ 。南北最宽 420 km，东西最长 700 km，省域国土总面积 15.79 万 km^2 。境域包括半岛、内陆两部分，半岛三面环海，海岸线长 3 024.4 km。近陆岛屿 299 个，岛屿岸线长 693.2 km。内陆自西北向东南分别与河北、河南、安徽、江苏四省接壤。省会济南，位于山东省中部，是著名历史文化名城，因泉水众多而以“泉城”著称。

一、地形地貌

（一）地形

山东省地处我国地势第三阶梯的东缘，西部、北部、西南部低洼平坦，中部山地突起，东部缓丘起伏，构成以低山丘陵为骨架、平原盆地台地环列交错的地势。山东省海拔高度较低，除一小部分山地超过千米以外，大部分山地丘陵都在 500 m 左右，地势起伏较小，相对高度多数在 200~350 m，坡度在 20° 以下，岩石多裸露，土层较薄，山地中谷地开阔，多干谷，山间盆地和河谷平原面积较大。泰山雄踞中部，主峰海拔 1 532 m，为全省最高点，黄河三角洲一般海拔 2~10 m，为全省陆地最低处。

全省山地丘陵面积约 53 397 km^2 ，占全省总面积的 34%；平原盆地面积约 101 855 km^2 ，占全省总面积的 65%；河流湖泊面积约 1 683 km^2 ，占全省总面积的 1%。

（二）地貌

山东省按地貌类型及其形态特征可分为鲁中南中低山丘陵区、鲁东低山丘陵区 and 鲁西北平原区三个区（图 1-1-1）。

1. 鲁西北平原区

鲁西北平原区包括鲁西南和鲁北平原，由黄河泛滥冲积而成，是华北平原的组成部分，东与胶莱平原相接，包括菏泽市、聊城市、德州市、滨州市、东营市的全部，济宁市大部、泰安市部分；海拔大多在 50 m 以下，面积约 52 100 km^2 ，占全省总面积的 34%；为平坦无际的冲、洪积平原，略成弧形环绕在鲁中南山地的西北方，主要由巨厚的第四系冲积物堆积而成；地势平缓，由西南向东北倾斜，坡降 1/5 000~1/10 000。按成因分为黄河冲积

平原、黄河三角洲平原、海积平原和山前冲、洪积平原。

2. 鲁中南中低山丘陵区

该区位于省内中南部，东界为沂沭断裂带，东南为苏鲁两省边界，北部以胶济铁路为界，西部以津浦铁路为界，西南以苍山—郯城为界，主要包括临沂市、枣庄市、淄博市和泰安市大部、济南市东南部、潍坊市西南部。该区中部高，边缘低，泰山、鲁山、沂山、蒙山的主峰海拔均在千米以上，构成该区脊部。脊部两侧为海拔 500~600 m 的丘陵，丘陵外缘是山麓堆积平原，地表倾斜平缓，海拔千米以上的中山地形位于中部，西起泰山，东至沂山，构成断续的略呈弧形的泰沂山脉，各山之间分布许多小型的山间盆地和山间谷地。按成因可分为侵蚀构造中山地形、构造剥蚀低山丘陵地形及堆积平原地形。

3. 鲁东低山丘陵区

该区位于沂沭断裂带以东，主要包括烟台市、青岛市、威海市，由火成岩组成。北部地势较高，有大泽山、艾山、昆嵛山、伟德山等呈东西向分布构成断续的低山区，各山峰海拔皆在 700~1 000 m；青岛市东北的崂山峰顶 1 133 m，为半岛最高点；其他均低于 700 m，大部为海拔 200~300 m 的波状丘陵。坡缓谷宽，地形起伏平缓，是典型的丘陵区。丘陵之间为断陷盆地，按其成因可分为侵蚀构造低山地形、构造剥蚀丘陵地形及堆积平原地形。

二、气象水文

(一) 气象

山东省位于暖温带半湿润季风气候区，夏季盛行偏南风，炎热多雨；冬季以偏北风为主，寒冷干燥；春季天气多变，干旱少雨多风沙；秋季天气清爽，冷暖适宜。东部受海洋气候影响，湿润凉爽；西部受大陆季风气候制约，冬冷夏热。全省气候的基本特点：降水集中，雨热同期，春秋短暂，秋凉春旱，冬夏较长，夏热冬寒，四季分明。降水量、相对湿度东部高于西部，南部高于北部。受地形影响，山区和平原气候也有所不同。总体来说，基本特点是冬季寒冷干燥，夏季温热潮湿，降水集中于夏、秋。多年平均气温 13.4℃，年均蒸发量 1 100~2 200 mm，全年分配不均，冬季少，春末夏初强烈，由西北向东南递减。

根据 1951—2017 年多年降水资料统计，省内多年平均年降水量为 671 mm，最大年降水量为 1 164 mm（1964 年），最小年降水量为 418 mm（2002 年）（图 1-1-2）。降水量在一年内的分配不均匀，其中 6~9 月份降水量比较集中，约占全年降水总量的 77%，7 月份降水量最大，12 月至翌年 3 月份降水量较少，1 月份降水量最少。

从多年降雨量差积曲线（图 1-1-3）分析可知，1951—2017 年年降雨共分三个周期：（1）1951—1989 年为第一个周期，年平均降水量为 671.92 mm。其中，1951—1975 年属平偏丰年份，平均年降水量为 718.62 mm；1976—1989 年属平偏枯年份，年平均降水量为 588.53 mm。（2）1990—2002 年为第二个周期，年平均降水量为 638.87 mm。其中 1990—1995 年属平偏丰年份，年平均降水量为 699.24 mm；1996—2002 年属平偏枯年份，年平均降水量为 587.13 mm。（3）从 2003 年开始进入第三个周期，2003—2013 年属平偏丰年份，年平均降水量为 730.42 mm；2014 年开始进入平偏枯年份。

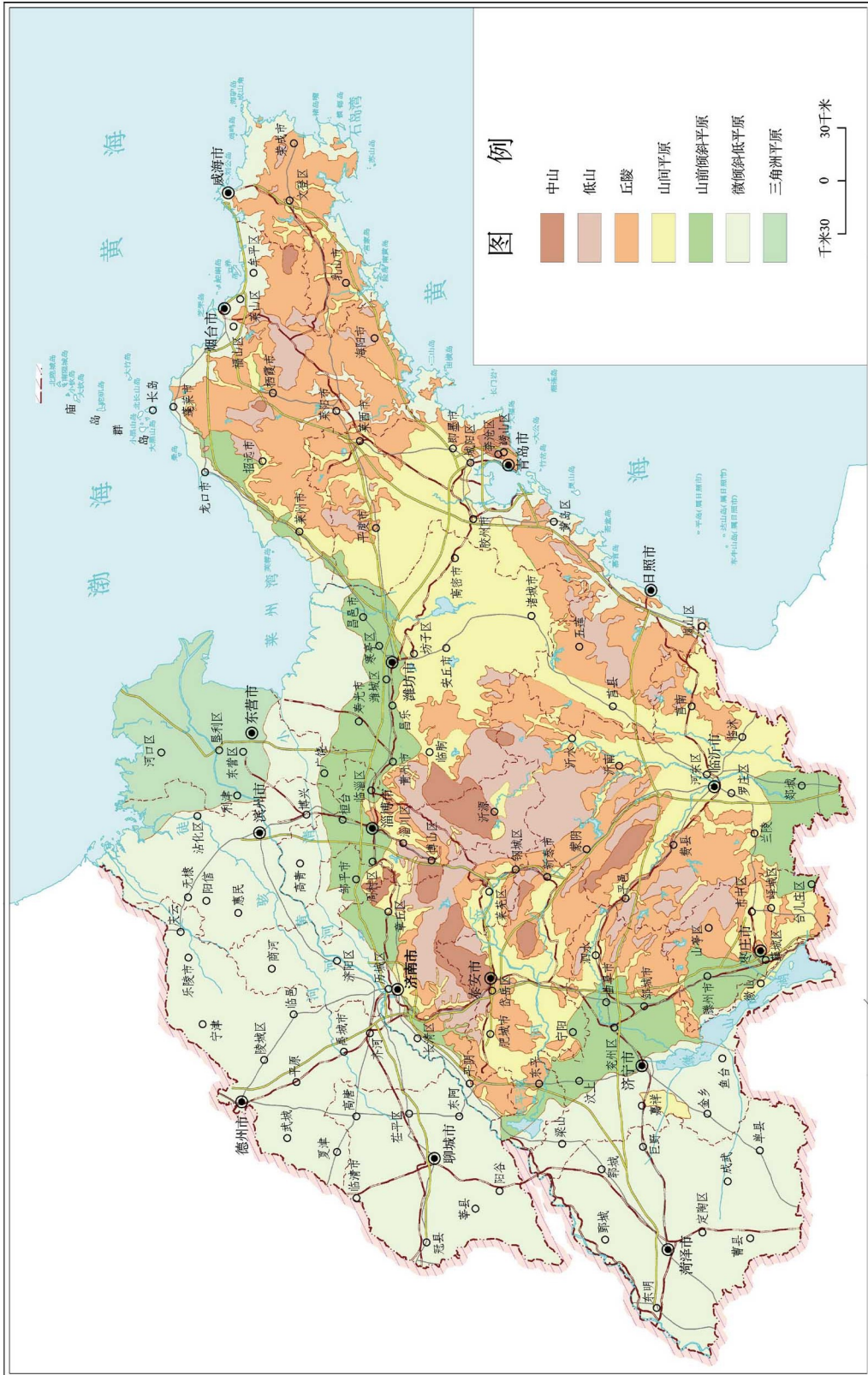


图 1-1-1 山东省地貌略图

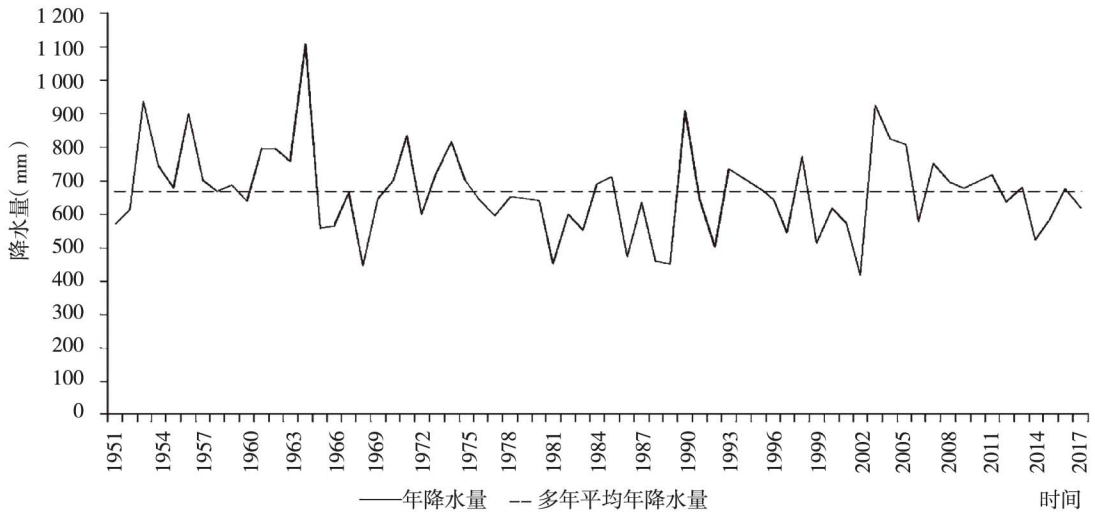


图 1-1-2 1951—2017 年年降水量曲线图

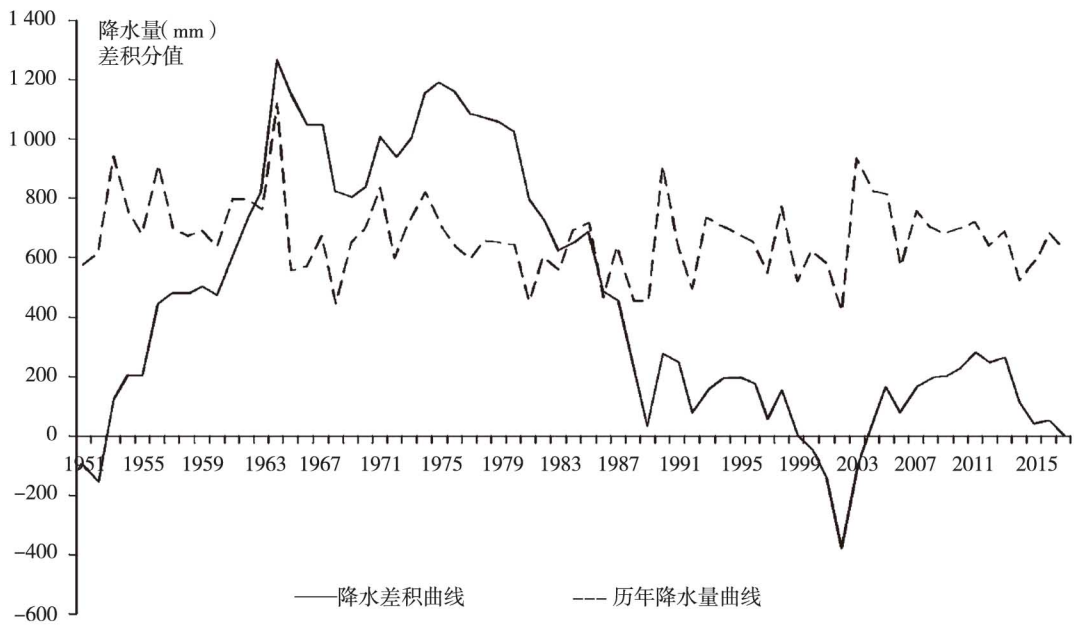


图 1-1-3 1951—2017 年年降水量及差积曲线图

受地形、气流运动等因素影响，降水量时空分布不均，由东南向西北递减，山区多于平原（图 1-1-4）。胶东半岛多年平均降水量为 693 mm，鲁中南山区多年平均降水量为 737 mm，鲁西北平原多年平均降水量为 586 mm。其中临沂地区多年平均降水量 804 mm，为全省最大；德州地区多年平均降水量 543 mm，为全省最少（表 1-1-1）。

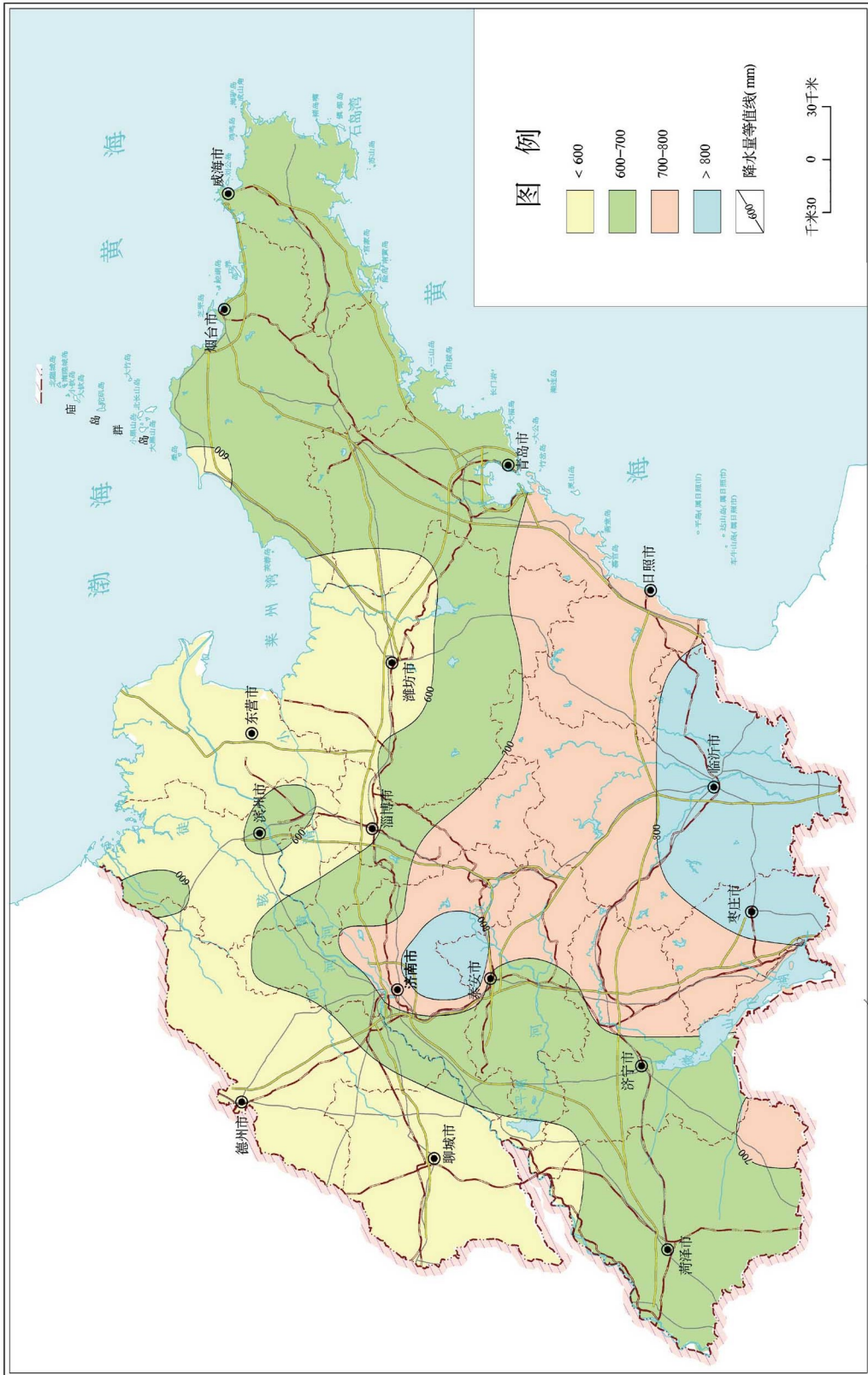


图 1-1-4 山东省 1951—2017 年多年平均降水量等值线图