

doi: 10.12029/gc20170601

姜月华, 林良俊, 陈立德, 倪化勇, 葛伟亚, 成杭新, 翟刚毅, 王贵玲, 班宜忠, 李媛, 雷明堂, 谭成轩, 苏晶文, 周权平, 张泰丽, 李云, 刘红樱, 彭柯, 王寒梅. 2017. 长江经济带资源环境条件与重大地质问题[J]. 中国地质, 44(6): 1045-1061.

Jiang Yuehua, Lin Liangjun, Chen Lide, Ni Huayong, Ge Weiya, Cheng Hangxin, Zhai Gangyi, Wang Guiling, Ban Yizhong, Li Yuan, Lei Mingtang, Tan Chengxuan, Su Jingwen, Zhou Quanping, Zhang Taili, Li Yun, LiuHongying, Peng Ke, Wang Hanmei. 2017. Research on conditions of resources and environment and major geological problems in the Yangtze River Economic Zone[J]. Geology in China, 44(6): 1045-1061(in Chinese with English abstract).

## 长江经济带资源环境条件与重大地质问题

姜月华<sup>1</sup> 林良俊<sup>2</sup> 陈立德<sup>3</sup> 倪化勇<sup>4</sup> 葛伟亚<sup>1</sup> 成杭新<sup>5</sup> 翟刚毅<sup>6</sup>

王贵玲<sup>7</sup> 班宜忠<sup>1</sup> 李媛<sup>8</sup> 雷明堂<sup>9</sup> 谭成轩<sup>10</sup> 苏晶文<sup>1</sup> 周权平<sup>1</sup> 张泰丽<sup>1</sup>

李云<sup>1</sup> 刘红樱<sup>1</sup> 彭柯<sup>3</sup> 王寒梅<sup>11</sup>

(1.中国地质调查局南京地质调查中心,南京 210016;2.中国地质调查局水环部,北京 100037;3.中国地质调查局武汉地质调查中心,湖北武汉 430205;4.中国地质调查局成都地质调查中心,四川成都 610081;5.中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所,河北廊坊 065000;6.中国地质调查局油气资源调查中心,北京 100029;7.中国地质科学院水文地质环境地质研究所,河北石家庄 050061;8.中国地质环境监测院,北京 100081;9.中国地质科学院岩溶地质研究所,桂林 541004;10.中国地质科学院地质力学研究所,北京 100081;11.上海市地质调查研究院,上海 200072)

**摘要:**本文系统梳理了长江经济带以往地质研究成果,对长江经济带资源环境条件和国土规划建设应关注的重大地质问题进行了研究。研究表明,长江经济带耕地、页岩气、地热、锂等资源条件优越,0.3亿hm<sup>2</sup>无重金属污染耕地集中分布,拥有3个国家级页岩气勘查开发基地,探明储量5441亿m<sup>3</sup>,每年地热可利用量折合标准煤2.4t,相当于2014年燃煤量的19%,发现亚洲最大的能源金属锂矿床,资源环境条件有利于发展现代农业、清洁能源产业和战略新兴产业;长江经济带部分地区存在活动断裂、岩溶塌陷、地面沉降、滑坡崩塌泥石流等重大地质问题,影响过江通道、高速铁路、城市群和绿色生态廊道规划建设,应予以关注,本文提出了相关建议和对策,同时,提出了下一步支撑服务长江经济带发展地质工作设想。

**关键词:**长江经济带;资源环境条件;重大地质问题;环境地质;水文地质;灾害地质

中图分类号:P64;P66;P694 文献标志码:A 文章编号:1000-3657(2017)06-1045-17

## Research on conditions of resources and environment and major geological problems in the Yangtze River Economic Zone

JIANG Yuehua<sup>1</sup>, LIN Liangjun<sup>2</sup>, CHEN Lide<sup>3</sup>, NI Huayong<sup>4</sup>, GE Weiya<sup>1</sup>, CHENG Hangxin<sup>5</sup>,  
ZHAI Gangyi<sup>6</sup>, WANG Guiling<sup>7</sup>, BAN Yizhong<sup>1</sup>, LI Yuan<sup>8</sup>, LEI Mingtang<sup>9</sup>,  
TAN Chengxuan<sup>10</sup>, SU Jingwen<sup>1</sup>, ZHOU Quanping<sup>1</sup>, ZHANG Taili<sup>1</sup>, LI Yun<sup>1</sup>,  
LIU Hongying<sup>1</sup>, PENG Ke<sup>3</sup>, WANG Hanmei<sup>11</sup>

收稿日期:2017-09-21;改回日期:2017-10-18

基金项目:国土资源部中国地质调查局长江经济带地质环境综合调查工程(工批2015-03-02)和中国地质调查局长三角南京-上海-温州城镇规划区1:5万环境地质调查项目(DD20160246)联合资助。

作者简介:姜月华,男,1963年生,研究员,主要从事水文地质、工程地质和环境地质调查;E-mail:316664105@qq.com。

(1. Nanjing Geological Survey Center, China Geological Survey, Nanjing 10016, Jiangsu, China; 2. Water and Environment Department, China Geological Survey, Beijing 100037 China; 3. Wuhan Geological Survey Center of China Geological Survey, Wuhan 430205, Hubei, China; 4. Chengdu Geological Survey Center of China Geological Survey, Chengdu 610081 Sichuan, China; 5. Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, Chinese Academy of Geological Sciences, Langfang 065000, Hebei, China; 6. Oil and Gas Survey, China Geological Survey, Beijing 100029, China; 7. Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Shijiazhuang, 050061, Hebei, China; 8. China Institute of Geo-environmental Monitoring, Beijing 100081, China; 9. Institute of Karst Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Guilin 541004, Guangxi, China; 10. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China; 11. Shanghai Geological Survey Research Institute, Shanghai 200072, China)

**Abstract:** The previous geological research work in the Yangtze River Economic Zone is systematically summed up and arranged in this paper. Resources and environment conditions and major geological problems which have aroused much attention in the construction and the territorial planning in the Yangtze River Economic Zone are studied. The research results show that the resource conditions of cultivated land, shale gas, geothermal resources, lithium etc. are very favorable in the Yangtze River Economic Zone: 30 million hm<sup>2</sup> farmlands without heavy metal pollution exhibit concentrated distribution; there are three national shale gas exploration and development bases with explored reserves of 544.1 billion cubic meters; available geothermal resources amount to 240 million tons of standard coal per year, equivalent to 19% of the amount of coal consumption in 2014; the largest energy lithium metal ore deposit in Asia was found; resources and environment conditions are favorable for the development of modern agriculture industry, clean energy and strategic emerging industries. Nevertheless, in some parts of the Yangtze River Economic Zone, there exist some major geological problems such as active faults, karst collapse, ground subsidence, and landslide-collapse-debris flow, which affect the river-crossing channels, high-speed railway, urban groups and green ecological corridor planning and construction. The authors point out that these problems deserve much attention. For this, the relevant suggestions and countermeasures are put forward. At the same time, the paper puts forward the idea of further supporting the development of the Yangtze River Economic Zone.

**Key words:** Yangtze River Economic Zone; resource and environmental conditions; major geological problems; environmental geology; hydrogeology; disaster geology

**About the first author:** JIANG Yuehua, male, born in 1963, professor, mainly engages in the study of hydrogeology, engineering geology and environmental geology; E-mail: 316664105@qq.com.

**Fund support:** Supported by China Geological Survey Program (No. gp2015-03-02, No. DD20160246)

## 1 引 言

长江经济带横跨中国东中西三大地势阶梯,覆盖上海、江苏、浙江、安徽、江西、湖北、湖南、四川、重庆、云南、贵州等11个省(市),面积约205.3万km<sup>2</sup>,占全国陆域面积21.4%,人口5.8亿,占全国42.7%、GDP总量26万亿,占全国总量45.6%(2013年),是中国综合实力最强、战略支撑作用最大的区域之一。

推动长江经济带发展,是党中央、国务院作出的重大战略部署。2016年3月25日,中央审议通过《长江经济带发展规划纲要》,提出大力保护长江生态环境、加快构建综合立体交通走廊、创新驱动产

业转型升级、积极推进新型城镇化等重大任务。长江经济带发展战略的实施,对地质调查工作提出了新的更高要求。

本文系统梳理了以往地质调查成果,对长江经济带资源环境条件和国土规划建设中应关注的重大地质问题进行了研究,形成了四大有利资源环境条件和四个影响过江通道、高速铁路、城市群和绿色生态廊道规划建设的重大地质问题判断和认识,旨在为长江经济带发展战略提供支撑服务。

## 2 长江经济带区域地质概况

长江经济带地势西高东低,地貌与地质情况复杂,资源环境条件和重大地质问题与地貌及地质背

景密切相关。

长江经济带可划分出东部低山平原、东南低—中山地、西南中高山地和青藏高原四个地貌区。从空间分布来看,大致以十堰—邵阳一线为界,西部主要为山地地貌、东部主要为平原地貌。西部大致以广元—丽江一线为界,以西主要为极高山—高山地貌,以东主要为中山地貌。东部地区大致以邵阳—南京一线为界,以南以低山地貌为主,以北以平原为主间夹台地地貌。

长江经济带地层发育齐全,自太古界至新生界第四系均有出露。长江经济带在大地构造上,主体部分为北北东方向分布的稳定地块——扬子陆块,在其四周为一系列活动性强的造山系围限,西缘为羌塘—三江造山系,北缘为华北陆块(南缘)、秦—祁—昆造山系(东段),南缘为江绍—萍乡—郴州对接带和华夏造山系。各陆块和造山系沉积环境、岩浆作用、变质作用和构造作用均各不相同。

长江经济带地质构造演化历史复杂(舒良树, 2012; 张国伟等, 2013), 太古宙至古元古代为陆块基底形成时期, 中元古代—新元古代中期为超大陆裂解→三大洋形成发展→大陆边缘多岛弧盆系形成→转化为造山系, 新元古代晚期—中三叠世为华北和扬子等陆块陆缘增生及其彼此之间聚合时期, 晚三叠世以来主要受到西南印度板块与欧亚板块陆陆碰撞造山导致的青藏高原物质向东挤出和东部太平洋板块向西俯冲的双重影响(吴中海等, 2016; 孙玉军等, 2016)。

长江经济带水文地质和工程地质条件复杂。地下水类型较全, 包括孔隙水、岩溶水、裂隙水和孔隙裂隙水等。碎屑岩类裂隙—孔隙水主要分布于四川盆地, 基岩裂隙水分布于广大丘陵山区, 岩溶裂隙溶洞水主要分布于西部的云贵高原, 松散岩类孔隙潜水及承压水主要分布于长江三角洲平原、鄱阳湖平原及江汉和洞庭湖平原的第四系含水层中。岩土体按介质和结构特征划分, 主要有完整坚硬的基岩类、半胶结的岩类、松散土类以及特殊土等。

长江经济带地貌、地质构造、水文地质和工程地质条件复杂多变且上中下游差异显著, 因此, 导致区域活动断裂、岩溶塌陷、滑坡崩塌泥石流灾害、地面沉降等重大地质问题也呈现不同的分布特征。

### 3 长江经济带有利资源环境条件

长江经济带无重金属污染耕地资源丰富, 页岩气、地热等新型清洁能源开发利用前景好, 锂、稀土、钒钛、钨锡、岩盐等战略矿产资源储量大, 有利于支撑长江经济带发展。

#### 3.1 长江经济带无重金属污染耕地0.3亿 $\text{hm}^2$ , 绿色富硒耕地122.4万 $\text{hm}^2$ , 有利于现代农业和特色农业发展

长江经济带耕地总面积0.453亿 $\text{hm}^2$ , 占全国的33.4%。根据已完成的0.36亿 $\text{hm}^2$ 耕地质量地球化学调查结果, 耕地环境质量总体良好, 无重金属污染耕地约0.3亿 $\text{hm}^2$ (表1)<sup>①②</sup>, 占已调查面积的83.3%, 主要分布在四川盆地、江汉平原、鄱阳湖平原、巢湖平原、洞庭湖平原和太湖平原等地区(谢学锦等, 2002; 汪庆华等, 2011; 刘应平等, 2012; 成杭新等, 2015)。研究认为拟将无重金属污染耕地优先划入永久基本农田, 从而打造长江经济带粮食生产核心区和主要农产品优势区。

研究发现长江经济带绿色富硒耕地122.4万 $\text{hm}^2$ (表1, 图1), 主要分布于成都平原、江汉平原、鄱阳湖平原、太湖平原和金衢盆地等地区。湖南、湖北、江西、安徽、浙江等省富硒耕地面积均在13.3万 $\text{hm}^2$ 以上。建议推广江西丰城、湖北恩施等地区富硒耕地开发经验(张友安, 1994; 傅伯言, 2009; 张旭等, 2015; 任云辉, 2017), 科学规划和合理利用绿色富硒耕地资源, 打造一批富硒产业园或名特优农产品产业基地。

#### 3.2 长江经济带页岩气可采资源量15.5万亿 $\text{m}^3$ , 占全国62%, 有利于打造清洁低碳能源产业带

长江经济带页岩气资源潜力巨大(梁超等, 2012; 李延钧等, 2013; 郭彤楼等, 2013; 郭彤楼等, 2014; 包书景等, 2016), 可采资源量15.5万亿 $\text{m}^3$ , 占全国62%。目前我国页岩气探明地质储量5441亿 $\text{m}^3$ , 集中分布在长江经济带的重庆涪陵、四川长宁—威远、云南昭通等地(郭旭升等, 2014; 伍坤宇等, 2016; 翟刚毅等, 2017)。其中, 重庆涪陵探明页岩气地质储量3806亿 $\text{m}^3$ , 已建成我国第一个页岩气开发基地(王少勇, 2014), 年产能35亿 $\text{m}^3$ 。

2015—2017年, 国土资源部中国地质调查局在

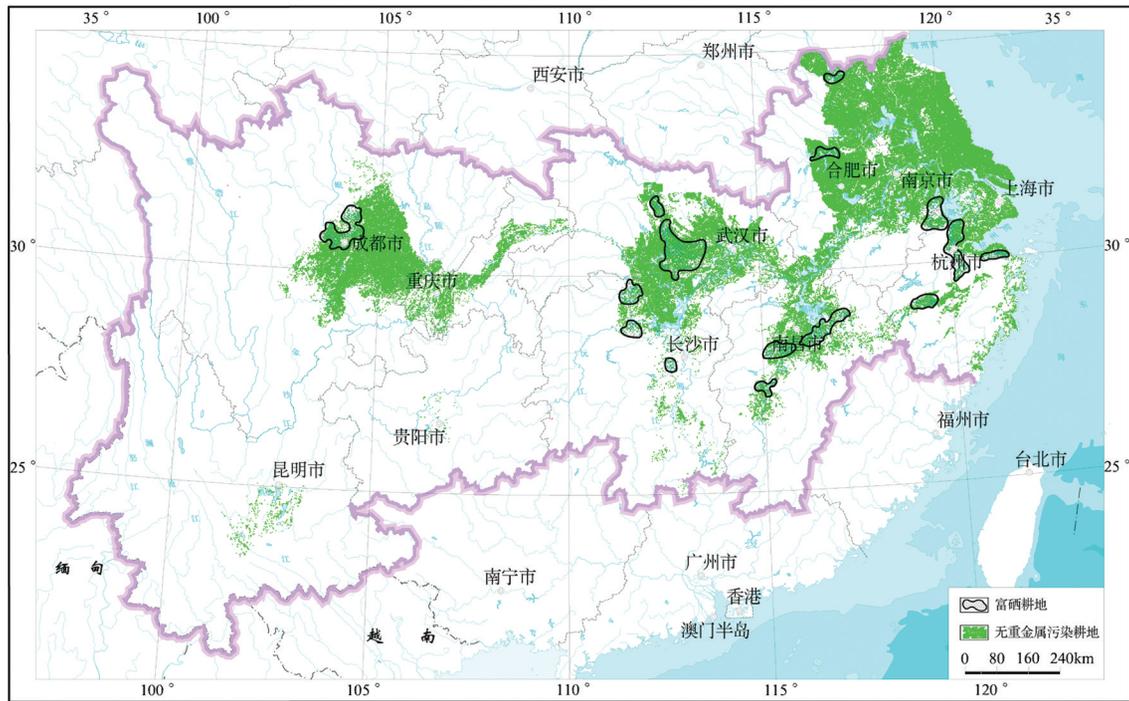


图1 长江经济带无重金属污染和富硒耕地分布图

Fig.1 The distribution of cultivated land without heavy metal pollution and rich selenium cultivated land in the Yangtze River Economic Zone

表1 长江经济带无重金属污染耕地和绿色富硒耕地分布  
Table 1 The distribution of cultivated land without heavy metal pollution and green rich selenium cultivated land in the Yangtze River Economic Zone

省(市)	绿色富硒耕地/万 $\text{hm}^2$	无重金属污染耕地/万 $\text{hm}^2$
上海	0.40	49.07
江苏	8.87	774.33
浙江	23.13	176.93
安徽	14.20	503.47
江西	21.67	222.60
湖北	23.33	467.27
湖南	17.07	149.33
重庆	2.87	181.27
四川	9.47	468.47
贵州	1.20	3.20
云南	0.20	20.67
合计	122.41	3016.61

财政部支持下,在长江经济带应用高陡构造二维地震采集处理、页岩气甜点识别预测等技术,页岩气调查取得一系列重大发现和重要进展<sup>⑥</sup>。在四川盆地周缘、武陵山、滇黔桂、中扬子、下扬子开辟6万

$\text{km}^2$  勘查新区,拓展了9套盆地外复杂构造区新层系,圈定正安—酉阳等10处页岩气远景区、优选正安、秭归等14个有利勘查区块,取得贵州遵义安页1井和湖北宜昌鄂宜页1井重大突破(翟刚毅等,2016;翟刚毅等,2017)。

安页1井在二叠系栖霞组、志留系石牛栏组、五峰龙马溪组和奥陶系宝塔组4个地质层系发现页岩气和油气,其中,石牛栏组含气地层累计厚68 m,气量测试,每日稳产超过10万  $\text{m}^3$ ,属高产天然气井。鄂宜页1井在寒武系水井沱组(地层形成于约5亿年前)获得6.02万  $\text{m}^3/\text{d}$ 、无阻流量12.38万  $\text{m}^3/\text{d}$ 的高产页岩气流,并在震旦系陡山沱组(地层形成于约6亿年前)获得迄今全球最古老页岩气藏的重大发现。鄂西秭归、湘西慈利、湘中邵阳、川东华蓥山、安徽宣城等地中国地质调查局部署实施的页岩气调查也取得重要进展。

建议加大页岩气资源调查和勘查力度,组织开展第三轮页岩气勘查区块招标,引入更多有资格条件和经济技术实力的市场主体参与页岩气勘查开发,加快推进重庆涪陵等3个国家页岩气综合开发示范区建设,加快技术创新,推动页岩气相关产

业发展。

### 3.3 长江经济带浅层地温能和热水型地热资源丰富,每年可利用热量折合标准煤2.4亿t,相当于2014年燃煤量的19%,有利于促进城市节能减排和地热相关产业发展

研究表明,长江经济带11个省会城市规划区浅层地温能潜力巨大(蔺文静等,2013;周总瑛等,2015;徐伟,2008;王贵玲等,2012),每年可利用热量折合标准煤2.0亿t。若采用地源热泵系统充分开发利用浅层地温能,每年可实现夏季制冷面积24.6亿 $m^2$ ,冬季供暖面积44.2亿 $m^2$ ,可减排二氧化碳1.66亿t。目前,11个省会城市均有浅层地温能利用工程,共计720处,供热制冷面积超过900万 $m^2$ ,经济和社会效益显著。热水型地热资源主要分布在四川盆地、江汉盆地、苏北盆地、淮北平原和川西、滇西山地(图2)(陈墨香等,1994;胡圣标等,2001;徐明等,2011),每年可采地热水69.3亿 $m^3$ ,可利用热量折合标准煤0.4亿t,目前每年利用量仅有1.2%。长江经济带地热产业处在起步阶段,资源开发利用程度低,但地热资源丰富、分布广,发展前景广阔,市场潜力巨大,在节能减排中将发挥重要作

用(国土资源部地质环境局,2007;方国安,2011;杨如辉等,2011;王琦等,2016)。

建议加大浅层地温能和热水型地热资源等公益性地质勘查,降低商业勘查风险,并通过价格补贴、税收优惠等政策鼓励推进开发利用,支撑地热供暖制冷、温室养殖和温泉旅游等产业发展。

### 3.4 长江经济带锂、稀土、岩盐等战略矿产资源储量大,有利于推进新材料、高端制造、新能源汽车等新兴产业发展

长江经济带稀土、钨等矿产储量占全国80%以上,锂、钨、锡、钒等资源储量占全国50%以上。四川甲基卡发现亚洲最大的能源金属锂矿床,探明资源储量188万t。安徽金寨发现特大钨矿床,资源储量246万t,属亚洲第一、世界第二。重稀土储量大,居世界前列,主要分布在江西赣州、湖南岳阳等地(袁忠信等,2012;王登红等,2013,2016;王瑞江等,2015)。钒钛探明储量6.6亿t,主要分布在四川、湖南等地。钨锡探明储量650万t,主要分布在江西、湖南、云南。长江经济带岩盐资源十分丰富,拥有二十三个地下大中型岩盐矿(图3),其中,江苏淮安盐矿探明储量2500多亿t(徐元田,1993),居世界前

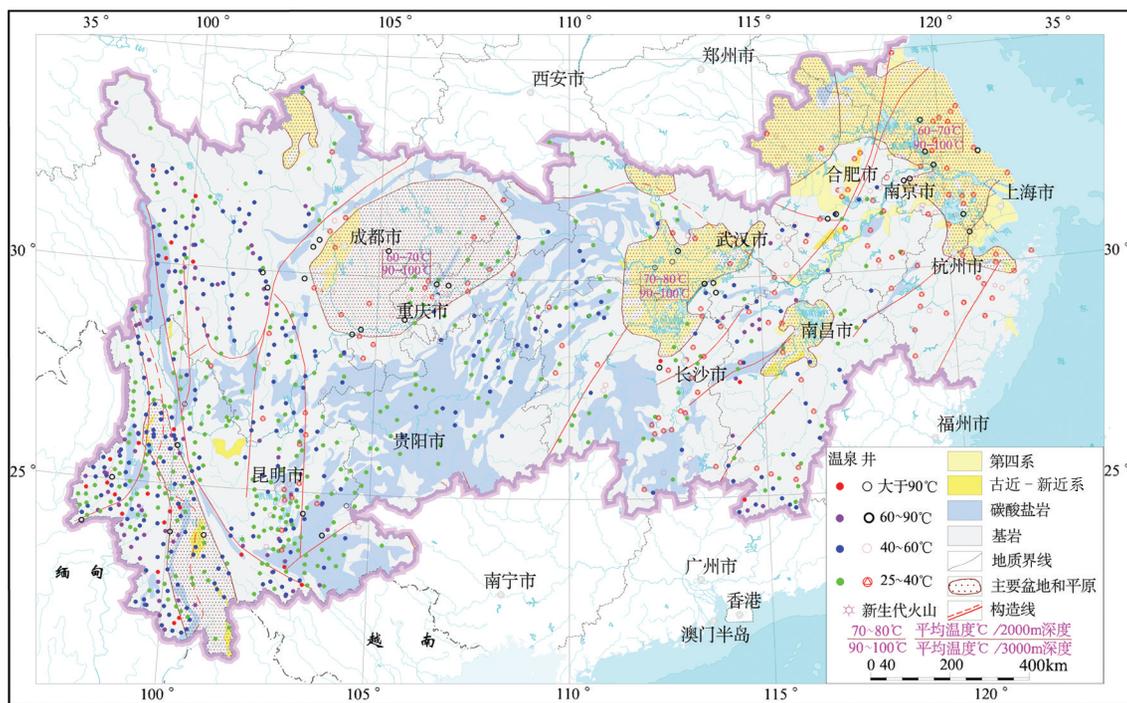


图2 长江经济带地热资源分布图

Fig.2 The distribution of geothermal resources in the the Yangtze River Economic Zone

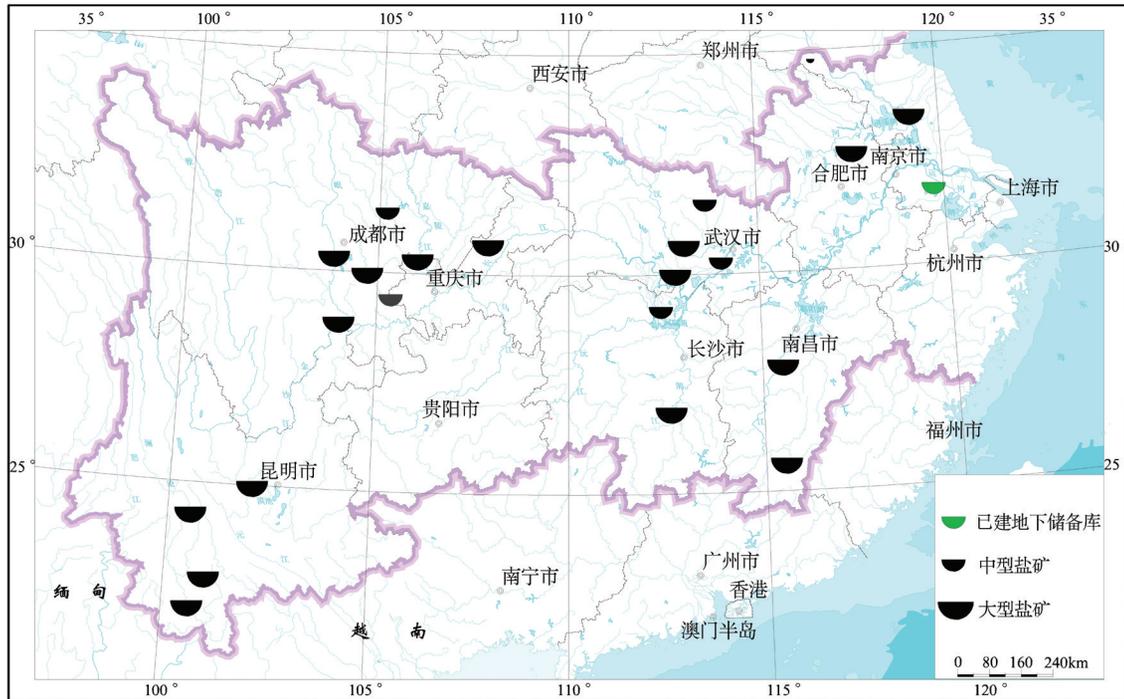


图3 长江经济带大中型盐岩矿分布图

Fig.3 The distribution of large and medium-scale salt rocks in the Yangtze River Economic Zone

列,盐层埋藏深度在地下700~2500 m,盐层累计厚度240~1050 m,最大单层厚度130 m。岩盐开采形成的盐穴空间巨大,有利于进口油气和“西气东输”的安全储存。与地面储油气设施相比,盐穴被称为“具有高度战略安全的储备库”(宋桂华等,2004;丁国生等,2006)。目前世界上共有2000多个盐穴被开发利用,美国已拥有数百座,德国也有近百座且数量还在不断增加(U.S. Energy information administration,2013; Gas Infrastructure Europe,2013; 殷建平等,2014;潘楠,2016)。

建议充分利用锂、钼、稀土、钒钛、钨锡等战略矿产资源,推进锂电池、火箭和热核反应燃料、特种合金、超导材料、航空航天工业等战略性新兴产业发展。建议加强淮安等地下岩盐层精细地质结构勘查和适宜性评价,加快推进地下储油储气库建设,打造国家油气战略地下储备首批示范基地。

#### 4 影响国土规划建设的重大地质问题与建议

长江经济带横跨东中西三大地势阶梯,地貌单元多样,地质条件复杂,活动断裂、岩溶塌陷、滑坡

崩塌泥石流灾害、地面沉降等地质问题突出。研究表明,区内主要活动断裂带94条(图4)(吴中海等,2016),岩溶塌陷高易发区23.5万 $\text{km}^2$ (图5),滑坡崩塌泥石流灾害隐患点10.7万余处(图6)(李媛等,2013;曲雪妍等,2016),地面沉降严重区约2万 $\text{km}^2$ (姜月华等,2015),过江通道、高速铁路、重要城市群等规划建设应对这些重大地质问题予以高度关注。

##### 4.1 规划的95座过江通道中,83座地质适宜性良好,12座地质适宜性较差,建议针对活动断裂、岩溶塌陷等地质问题,进一步开展地质勘查,合理确定通道位置和过江方式

根据活动断裂、岩溶塌陷对过江通道安全的影响,初步评价了过江通道位置地质适宜性。评价结果表明,规划的95座过江通道中,83座通道位置地质适宜性良好,12座通道位置地质适宜性较差(表2,图7)。其中,江苏常泰、湖北武穴、四川白塔山等9座通道位置受活动断裂影响,湖北武汉11号线、嘉鱼、赤壁等3座通道位置存在岩溶塌陷隐患。建议在过江通道规划建设中,针对相应问题进一步开展地质勘查,合理确定过江通道具体位置。

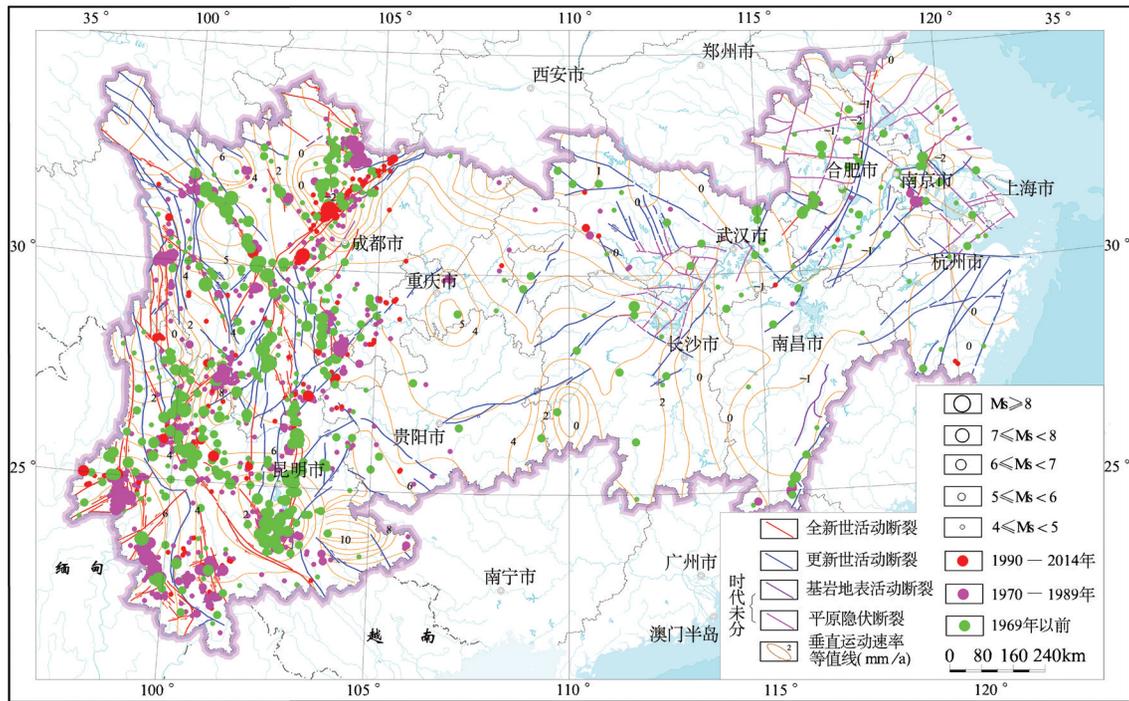


图4 长江经济带活动断裂与地震分布图  
Fig.4 The distribution of activity fractures and earthquakes in the Yangtze River Economic Zone

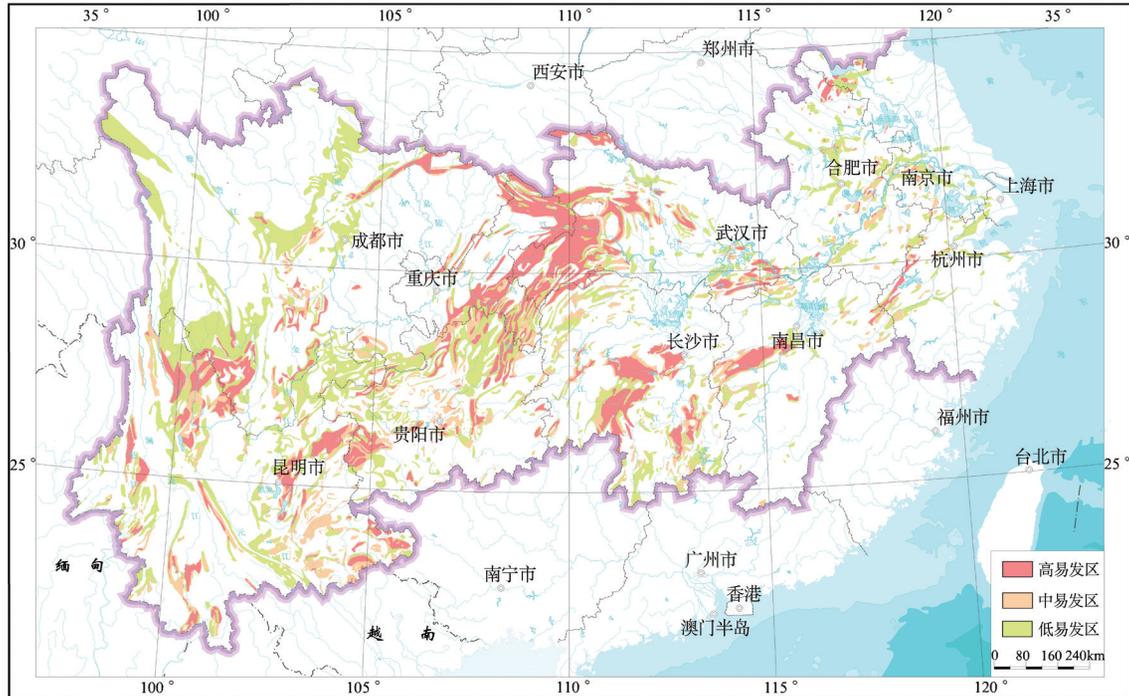


图5 长江经济带岩溶塌陷易发性评价图  
Fig.5 The susceptibility evaluation map of karst collapse in the Yangtze River Economic Zone

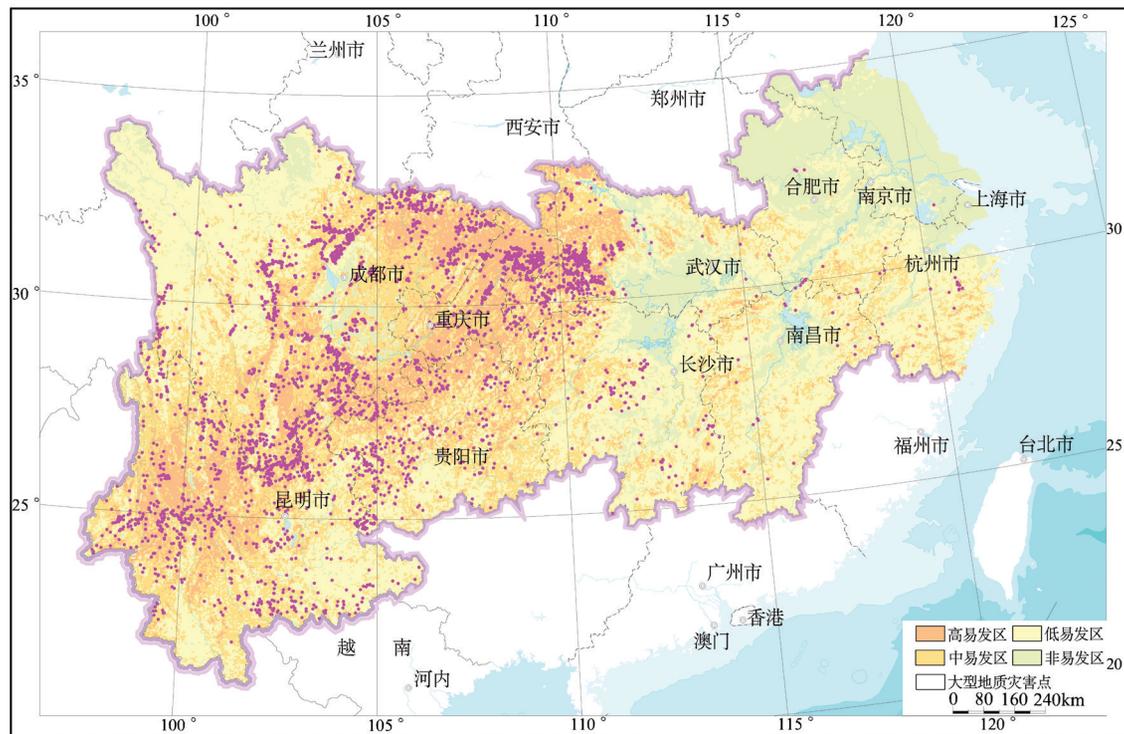


图6 长江经济带滑坡崩塌泥石流分布及易发性评价图

Fig.6 The distribution and susceptibility evaluation map of landslide, collapse and debris flow in the Yangtze River Economic Zone

表2 影响长江经济带过江通道建设的重大地质问题

Table 2 Major geological problems affecting the construction of the river-crossing channels in the Yangtze River Economic Zone

所属省份	过江通道位置	重大地质问题	防控建议
江苏省	常泰	无锡-宿迁断裂	
江苏省	五峰山	无锡-宿迁断裂、茅山断裂	
江苏省	张靖	金坛-南渡断裂	
江苏省	上元门	南京-湖熟断裂	开展活动断裂详细勘查,进一步确定活动断裂位置和 活动性。若活动断裂穿过规划位置,建议调整规划位 置。如果不调整,则需做好工程防震减震措施和运营 期地震监测
湖北省	武穴	襄广断裂、郟庐断裂	
湖北省	棋盘洲	襄广断裂	
湖北省	鄂黄第二	襄广断裂	
四川省	绵遂内宜铁路	华蓥山断裂	
四川省	白塔山	华蓥山断裂	
湖北省	武汉 11 号线	岩溶塌陷	加强隐伏岩溶区岩溶地质详细勘查,查明溶洞准确位 置。若规划位置存在大型溶洞,则建议调整大桥位置。 如果不调整,则建议做好工程处理,并开展岩溶塌陷 变形监测
湖北省	嘉鱼	岩溶塌陷	
湖北省	赤壁	岩溶塌陷	

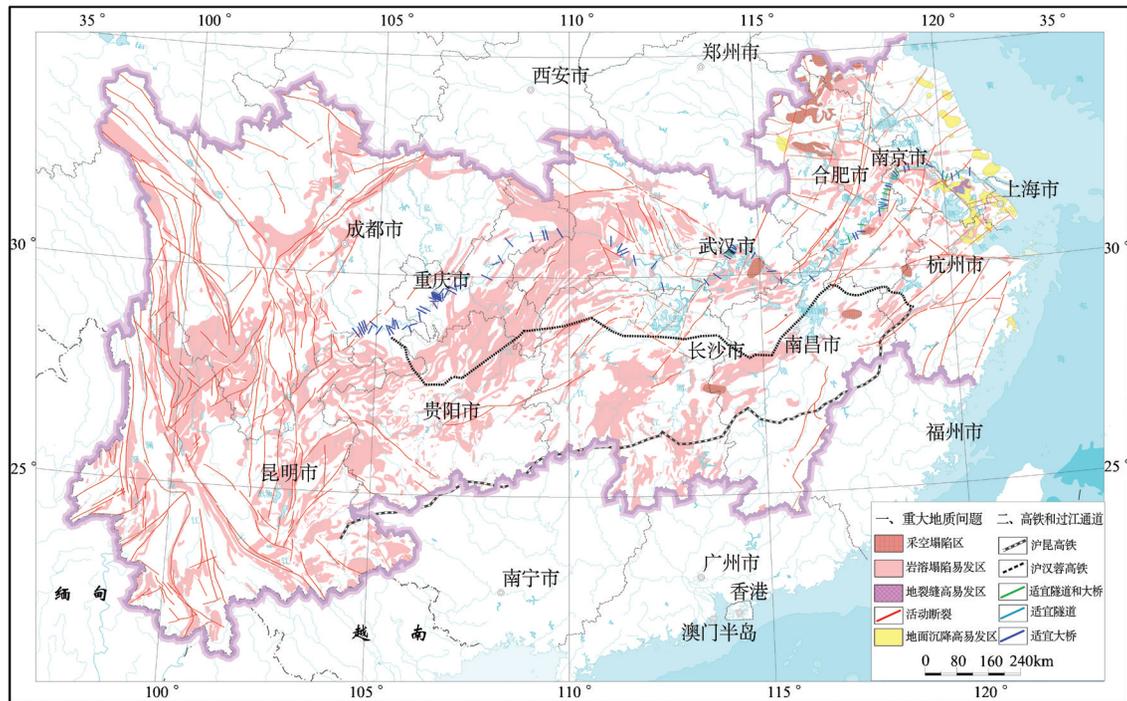


图7 长江经济带高速铁路、过江通道及重大地质问题图

Fig.7 The distribution of the high-speed railway, river-crossing channels and major geological problems in the Yangtze River Economic Zone

从工程建设的地质适宜性角度,对95座通道的过江方式进行了初步比选。长江上游(宜昌以上)的48座过江通道位于河道深切、河床卵砾石层厚的江段,不利于隧道施工,同时,基岩埋藏浅、江岸稳定,有利于大桥建设,宜采用桥梁方式。综合考虑河道切割深度、河床沉积物厚度及均一性、河流深水线位置、江岸稳定性等因素,长江中下游27座过江通道宜采用大桥方式,12座宜采用隧道方式,8座采用桥梁和隧道方式均可(表3)。建议进一步勘查河道水下地形、水文条件、河床沉积物工程地质与岸线稳定性条件,结合施工工艺和交通状况,合理确定通道过江方式。

#### 4.2 沪昆高铁线路有434 km存在地质安全隐患,建议加强监测预警与防控;沪汉蓉高铁南京—安庆段、武汉—万州段规划选线应高度关注岩溶塌陷和软土沉降等问题

沪昆高速铁路全线长度2264 km,穿越长江中下游平原、湘赣丘陵山地、云贵高原等地貌单元,有434 km线路存在地质安全隐患。沪昆高铁嘉兴段有24公里穿越地面沉降区,近年监测表明,虽然整体沉降趋缓,但局部年沉降量仍大于10 mm,建议加

强地下水位变化与地面沉降监测。江西樟树一萍乡、湖南湘潭—娄底、贵州普安—盘县等路段岩溶发育,煤矿集中分布,采煤大量抽排地下水,容易诱发地面塌陷,影响392 km高铁运营安全,建议加强高铁沿线煤矿区地下水抽排引起的地下水位和地面塌陷变形监测。云南嵩明段活动断裂发育,有18 km穿越IX—X度地震烈度区,历史上多次发生地震,1833年地震震级达8级,建议做好工程防震减灾措施和运营期地震微动监测。

拟建的沪汉蓉沿江高速铁路,南京至安庆段、武汉至万州段规划选线时,应高度关注岩溶塌陷、软土沉降等地质问题。南京至安庆段,长江南岸繁昌—铜陵—池州一带岩溶分布面积1780 km<sup>2</sup>,已发生岩溶塌陷超过100处,同时,长江南岸软土大范围连续分布,面积4900 km<sup>2</sup>,而长江北岸和县—无为—安庆一带地质条件良好,建议规划优先选择南京—无为—安庆线路方案。武汉至万州段,潜江—荆州—枝江一带软土问题严重,软土层厚度大于5 m的线路绵延190 km;天门—荆门一带存在大范围岩溶和采空塌陷,面积2400 km<sup>2</sup>;而天门—当阳一带基岩埋藏浅,路基稳定性好,建议规划优先选择武汉—

表3 长江经济带过江通道方式建议  
Table 3 Suggestions for river-crossing channel ways in the Yangtze River Economic Zone

过江通道位置	比选依据	数量/座	过江方式建议
湖北红花套、伍家岗、宜昌轨道、陡山沱；重庆安张铁路、奉节、安坪、故陵、万州绕城高速、西沱、顺溪、兴义、长寿第三、长寿第二、珞碛、雷家坡、果园、郭家沱、铁路东南环线、新田、新田港铁路、黄桷坪、鹅公岩、李家沱、小南海、韩家沱、黄桷沱、白居寺、五举沱、油溪、白沙；四川榕山、合江新城、合江县城、泰安第二、沙茜、蓝田、纳溪、安富第二、安富第一、江安第二、南溪、罗龙、盐坪坝、绵遂内宜铁路、白塔山、普和金沙江、豆坝	位于长江上游，河床深切，卵砾石层厚，不利于隧道施工，同时，基岩埋藏浅，江岸稳定，有利于大桥建设	48	大桥
江苏锡通、江阴第二、五峰山、宁仪、七乡河、上元门；安徽慈湖、姑孰、弋矶山第二、龙窝湖、横港、梅龙、江口、海口、赣皖宿松；湖北武穴、棋盘洲、鄂黄第二、武汉10号线、青山、杨泗港、沌口、嘉鱼、赤壁、石首、荆州第二、枝江	位于长江中下游，河床深切，岩土体性质不均一，河床沉积厚度小，不利于隧道施工。同时，最大深水线居中，河道顺直，江面和滩地窄，有利于大桥建设	27	大桥
江苏张靖、常泰、南京4号线、南京第五、锦文路、安徽泰山路、九华路、池安、安庆、武汉7号线、8号线、11号线	位于长江中下游，最大深水线靠岸，岸线侵蚀强烈，不利于大桥建设。同时，河道切割浅，岩土体性质均一，河床沉积厚度大，有利于隧道施工	12	隧道
江苏江阴第三、南京和燕路、汉中西路、安徽马鞍山湖北路、龙山路、芜湖城南、铜陵开发区、池州	位于长江中下游，地质条件均有利于隧道和桥梁建设	8	桥梁或隧道

天门—当阳—万州线路。

#### 4.3 长三角、长江中游、成渝城市群面临的主要地质问题分别是地面沉降、岩溶塌陷和滑坡崩塌泥石流灾害，建议加强城镇地质安全风险评价，科学规划城镇布局

长三角城市群经历了城镇化蔓延式发展阶段，地下水严重超采，导致了严重的区域地面沉降。上海、苏锡常、杭嘉湖等地区地面沉降严重，累计沉降量大于200 mm的沉降区面积接近1万 km<sup>2</sup>，经多年防治，已经得到了有效控制，沉降速率趋缓，2014年

沉降量普遍低于7 mm。但是，在江苏盐城、大丰等地新发现地面沉降现象，且呈发展态势，累计沉降量大于200 mm的沉降区面积超过1万 km<sup>2</sup>（表4），2014年最大沉降量超过25 mm。建议合理调控上海、苏锡常、杭嘉湖等地地面沉降趋缓区地下水开采，严格限制江苏沿海地面沉降加剧区地下水开采，进一步加强地面沉降监测预警和风险管控。

长江中游城市群城镇化主要面临岩溶塌陷问题。调查表明，岩溶塌陷高易发区主要分布于武汉市、黄石—鄂州沿江地区、瑞昌—九江—彭泽沿江

表4 长三角城市群地面沉降及其影响城市

Table 4 Ground subsidence of and its influence on the city in urban groups of the Yangtze River delta

地区	累计沉降量大于200 mm 面积/km <sup>2</sup>	影响城市	累计最大 沉降量/mm	平均沉降速率 /(mm/a)
上海市	1068.6	市区，闵行、浦东、嘉定、宝山、青浦和松江局部	2980	5.2
苏锡常	5240.2	苏州、吴江、昆山、太仓、常熟、张家港、无锡、江阴、常州	2800	4.4
杭嘉湖	3545.7	嘉兴、海宁、平湖、桐乡、嘉善、海盐、湖州东、杭州北	1097	6.9
江苏沿海	10590	盐城、大丰、阜宁、射阳、滨海、灌南、响水、南通	717	25.6

地区、乐平—丰城—萍乡一带、湖南宁乡等地,19个城市规划建设区受到岩溶塌陷影响,面积达4700 km<sup>2</sup>(表5)。武汉市受岩溶塌陷威胁最为严重,近10年发生岩溶塌陷23处,其中,17处为桩基施工或地下水疏排诱发。建议加强城镇建设用地岩溶塌陷风险分区评价,加强岩溶塌陷防治和监测预警,规范工程建设施工。

成渝城市群(图7)城镇化主要面临地震和滑坡崩塌泥石流灾害问题。都江堰、石棉、宝兴等24个县(市)多个重要城镇沿龙门山断裂带、荣经—盐津断裂带分布,受地震影响较大,汉源、屏山、云阳、万州等26个县级以上城市位于四川盆地周边山区,存在滑坡崩塌泥石流灾害隐患(表6)。建议适当控制活动断裂影响区城镇人口规模,科学开展区内城镇

表5 长江中游城市群岩溶塌陷及其影响城市

Table 5 The karst collapses and their influences on the cities in the middle urban groups of the middle reaches of the Yangtze River

岩溶塌陷地区	面积/ km <sup>2</sup>	影响城市
武汉市、黄石—鄂州、咸宁—嘉鱼	2027	武汉、鄂州、黄石、大冶、咸宁、嘉鱼、赤壁、崇阳
瑞昌—九江—彭泽沿江地区	440	瑞昌市、九江市、湖口县、彭泽县
萍乡—丰城—乐平一带	1630	芦溪、宜春、分宜、新余、上高、高安、樟树、丰城、乐平、弋阳
湖南长株潭地区	320	长沙岳麓、宁乡、湘潭、株洲、株洲
常德地区	229	常德
京山—钟祥地区	55.3	京山、钟祥

表6 成渝城市群主要地质问题及其影响城市

Table 6 Major geological problems and their influences on the cities in Chengdu—Chongqing urban groups

地级以上市	县(市、区)	地质问题
成都市	都江堰市、彭州	地震
德阳市	绵竹县、什邡	地震
绵阳市	平武县、安县	地震
雅安市	雨城区、名山区、荣经、汉源、石棉、天全、芦山、宝兴	地震、地质灾害
南充市	南部县、仪陇县	地质灾害
乐山市	金口河区、峨边县、马边县	地震、地质灾害
泸州市	叙永县、古蔺县	地质灾害
内江市	内江市	地质灾害
	隆昌县	地震
宜宾市	翠屏区、筠连县、珙县、兴文县、屏山县	地质灾害
	长宁县、高县、筠连县	地震
自贡市	自贡市	地质灾害
	自贡市、荣县、富顺	地震
重庆市	忠县、万州、云阳、涪陵	地质灾害



表7 长江经济带大型矿产资源基地  
Table 7 Distribution of large-scale mineral resources in the Yangtze River Economic Zone

资源基地名称	保有资源储量	矿山总数/个
安徽铜陵、马鞍山铜铁资源基地	铜: 96.4 万 t 铁: 6.7 亿 t	90
鄂东南—江西九瑞铁铜矿基地	铜: 331.4 万 t 铁: 2.6 亿 t	90
湖北荆州—襄阳磷矿基地	磷: 9.7 亿 t	164
湖南香花岭—骑田岭锡矿基地	锡: 5.1 万 t	51
江西德兴铜金矿基地	铜: 552 万 t 金: 36.2 t	23
黔西南金矿基地	金: 126 t	69
贵州翁福磷资源基地	磷: 2.1 亿 t	19
云南昆阳磷资源基地	磷: 5.4 亿 t	54
贵州遵义锰资源基地	锰: 2495 万 t	36
黔北铝土矿基地	铝土矿: 4889 万 t	16
云南会泽铅锌资源基地	锌矿: 46.8 万 t	9
四川攀枝花钒钛磁铁矿基地	铁: 19.9 亿 t	159
云南个旧锡资源基地	锡: 27.5 万 t	11
云南兰坪铅锌银资源基地	铅矿: 46.8 万 t 锌矿: 640 万 t	17

造等重大任务为目标,以研究解决影响和制约长江经济带发展的重大地质问题为导向,开展长江经济带地质调查,主要部署在“4个经济区”(长三角、皖江、长江中游和成渝)、“3条发展线”(沿江、沿海和高铁沿线)和“4个重点区”(重大工程区、重要成矿区、重大问题区和重要生态区),包括七个方面工作:

一是围绕新型城镇化战略,开展长三角、长江中游、成渝等城市群环境地质调查;二是围绕产业转型升级,开展长江中下游、西南三江、湘西鄂西等重要成矿区带矿产资源调查和川渝、鄂西、滇黔等地区页岩气资源调查;三是围绕重大工程和重大基础设施建设,开展沿江、沿海和沿高铁发展带工程地质调查;四是围绕重大地质问题,开展长江中上游地区岩溶塌陷调查、主要断裂带活动断裂调查、上游山区城镇滑坡崩塌泥石流调查;五是围绕现代农业发展,开展中西部地区1:25万和东部地区1:5万耕地质量地球化学调查;六是围绕生态廊道建

设,开展丹江口库区、鄱阳湖地区、三峡库区等生态脆弱区环境地质调查;七是围绕大流域地质环境特点,加强长江经济带晚更新世以来长江河湖演化与地质灾害耦合关系、重大水利工程与地质环境多元响应和地球关键带和资源环境承载力评价等研究,探索长江经济带大流域地球科学系统理论方法。

为加快推进长江经济带地质调查工作,国土资源部中国地质调查局将联合长江经济带11省(市)国土资源部门召开各年度“长江经济带地质调查工作研讨会”,创新构建中央和地方地质工作联动协调机制,在财政部的支持下,按照中央与地方事权财权划分的原则,统筹地方财政资金,共同推进地质调查工作,构建国土资源环境承载力评价与监测预警体系,更加有力地支撑服务长江经济带发展战略。

## 6 结 论

(1)长江经济带耕地、页岩气、地热、锂等资源条件优越,0.3亿 $\text{hm}^2$ 无重金属污染耕地集中分布,拥有3个国家页岩气勘查开发基地,探明储量5441亿 $\text{m}^3$ ,每年地热可利用量折合标准煤2.4亿t,相当于2014年燃煤量的19%,发现亚洲最大的能源金属锂矿床,拥有23个地下大中型岩盐矿,盐穴资源丰富,资源环境条件有利于发展现代农业、清洁能源产业和战略新兴产业。

(2)长江经济带地貌单元多样,地质条件复杂,活动断裂、岩溶塌陷、滑坡崩塌泥石流灾害、地面沉降等地质问题突出,区内存在主要活动断裂带94条,岩溶塌陷高易发区23.5万 $\text{km}^2$ ,滑坡崩塌泥石流灾害隐患点10.7万余处,地面沉降严重区约2万 $\text{km}^2$ ,过江通道、高速铁路、重要城市群等规划建设应对这些重大地质问题予以高度关注,并提出了相关建议与对策。

(3)以需求—问题—目标为导向,提出了“十三五”支撑服务长江经济带发展地质工作设想,主要围绕“4个经济区”(长三角、皖江、长江中游和成渝)、“3条发展线”(沿江、沿海和高铁沿线)和“4个重点区”(重大工程区、重要成矿区、重大问题区和重要生态区)部署环境地质和能源矿产等七个方面调查和研究工作。

**感谢:** 国土资源部中国地质调查局、中国地质调查局南京地质调查中心、中国地质调查局武汉地

质调查中心、中国地质调查局成都地质调查中心、中国地质环境监测院、中国地质调查局天津地质调查中心、中国地质调查局水文地质环境地质调查中心、中国地质科学院水文地质环境地质研究所、中国地质科学院岩溶地质研究所、中国地质科学院地质力学研究所、中国地质调查局青岛海洋地质研究所、中国地质科学院地质研究所、中国国土资源航空物探遥感中心、中国地质调查局发展研究中心、全国地质资料馆、中国土地勘测规划院,以及江苏、浙江、上海、安徽、江西、湖北、湖南、四川、重庆、云南、贵州11个省(市)国土资源厅(局)、地质矿产勘查开发局、地质调查院、地质环境监测总站等单位各级领导对长江经济带成果编制给予了无微不至的关心、指导和支持,参加研究工作人员还有包书景、周国华、徐敏成、印萍、孙继潮、张进德、李瑞敏、吴中海、黄波林、张森琦、杨齐青、荆继红、李明辉、祁帆、陆华、李晓、林清龙、李运怀、李志刚、肖尚德、李书涛、范毅、汪凡、杨曼、魏昌利、刘喜、罗维、孟伟、朱广毅、朱悦彰、邵长生、何军、齐信、曾春芳、戴建玲、孟辉、曲雪妍、赵建康、于军、孙建平、伏永朋、谢忠胜、谭建民、马滕、周迅、黄金玉、田福金、邢怀学、贾军元、杨辉、孙强、刘林、杨国强、金阳等,在此一并表示衷心感谢。

### 注释:

① 国土资源部中国地质调查局. 2015. 支撑服务长江经济带发展地质调查报告.

② 国土资源部中国地质调查局. 2015. 中国耕地地球化学调查报告.

③ 国土资源部中国地质调查局. 2016. 中国能源矿产地质调查报告.

### References

- Bao Shujing, Lin Tuo, Nie Haikuan, Ren Shoumai. 2016. Preliminary study of the transitional facies shale gas reservoir characteristics: taking Permian in the Xiangzhong depression as an example[J]. *Earth Science Frontiers*, 23(1):044–053(in Chinese with English abstract).
- Cheng Hangxin, Li Kuo, Li Min, Cheng Xiaomeng. 2015. Management target value(MTV) and rectification action value (RAV) of trace metals in urban soil in China[J]. *Earth Science Frontiers*, 22(5):215–225(in Chinese with English abstract).
- Chen Moxiang, Wang Jiyang. 1994. China's Geothermal Resources—The Formation Characteristics and Potential Assessment[M]. Beijing: Science Press: 1–39(in Chinese with English abstract).
- Chen Xinjun, Bao Shujing, Hou Dujie, Mao Xiaoping. 2012. Methods and key parameters of shale gas resources evaluation[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 39(5): 566–571(in Chinese with English abstract).
- Ding Guosheng, Xie Ping. 2006. Salt cavern available for state strategic petroleum storage[J]. *Oil and Gas Storage and Transportation*, 25(12):16–19(in Chinese with English abstract).
- Geological Environment Bureau of Ministry of land and Resources. 2007. The Proceedings of Shallow Geothermal Energy: National Geothermal (Shallow Geothermal Energy) Development and Utilization of Field Experience Exchange Symposium[C]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Fang Guoan. 2011. Rationally, orderly, continuously, pushing the development and utility of shallow geothermal energy in Shanghai[J]. *Shanghai Land & Resources*, 32(2):21–24(in Chinese with English abstract).
- Fu Boyan. 2009. China ecological selenium valley—Fengcheng brand—Jiangxi Fengcheng survey[J]. *Old District Construction*, (9):7–9 (in Chinese).
- Gas Infrastructure Europe, 2013. GSE Storage Map (Version: July 2013) [EB/OL].[2013–07]. <http://www.gie.eu/index.php/maps-data/gse-storage-map>.
- Guo Tonglou, Liu Ruobing. 2013. Implications from marine shale gas exploration breakthrough in complicated structural area at high thermal stage: Taking Longmaxi Formation in Well JY1 as an example[J]. *Natural Gas Geoscience*, 24(4): 643–651(in Chinese with English abstract).
- Guo Tonglou, Zhang Hanrong. 2014. Formation and enrichment mode of Jiaoshiba shale gas field, Sichuan Basin[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 41(1):28–36(in Chinese with English abstract).
- Guo Xusheng, Hu Dongfeng, Wen Zhidong, Liu Ruobing. 2014. Major factors controlling the accumulation and high productivity in marine shale gas in the Lower Paleozoic Sichuan basin and its periphery: A case study of the Wufeng–Longmaxi Formation of Jiaoshiba area[J]. *Geology in China*, 41(3):893–901(in Chinese with English abstract).
- Hu Shengbiao, He Lijuan, Wang Jiyang. 2001. Compilation of heat flow data in the China continental area (3rd edition) [J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 44 (5):611–626 (in Chinese with English abstract).
- Jiang Yuehua, Su Jingwen, Zhang Taili, Wang Hanmei, Wang Guangya, Zhao Jiankang, Shi Bin, Wu Jichun, Zhang Lizhong, Zhou Aiguo. 2015. Environmental geology in the Yangtze River delta economic zone[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese with English abstract).
- Liang Chao, Jiang Zaixing, Yang Yiting, Wei Xiaojie. 2012. Characteristics of shale lithofacies and reservoir space of the

- Wufeng - Longmaxi Formation, Sichuan Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 39(6): 691-698(in Chinese with English abstract).
- Lin Wenjing, Liu Zhiming, Wang Wanli, Wang Guiling. 2013. The assessment of geothermal resources potential in China[J]. Geology in China, 40(1): 312-321 (in Chinese with English abstract).
- Li Yingping, Chen Wende, Xu Wei, Peng Peihao. 2012. Soil Quality geochemical evaluation of Chengdu economic area[J]. Geoscience, 26(5):865-875(in Chinese with English abstract).
- Li Yanjun, Feng Yuanyuan, Liu Huan, Zhang Liehui, Zhao Shengxian. 2013. Geological characteristics and resource potential of lacustrine shale gas in the Sichuan Basin, SW China[J]. Petroleum Exploration and Development, 40(4): 423-428(in Chinese with English abstract).
- Li Yuan, Qu Xueyan, Yang Xudong, Fang hao, Yin Chunrong. 2013. The spatial and temporal distribution of China geo-hazard and key prevention area[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 24(4):71-78(in Chinese with English abstract).
- Pan Nan. 2016. The status quo and outlook for US, EU, Russia and Ukraine UGS[J]. International Petroleum Economics, 24(7):80-92 (in Chinese with English abstract).
- Qu Xueyan, Li Yuan, Yang Xudong, Fang hao, Yin Chunrong. 2016. The general characteristics and situation analysis of geo-hazards in China[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 27(4):109-113(in Chinese with English abstract).
- Ren Yunhui. 2017. The investigation and evaluation of selenium content of Enshi Native Produce[J]. Hubei Agricultural Sciences, 56 (8):1420-1421(in Chinese with English abstract).
- Song Guihua, Li Guotao, Wen Qinghe, Liu Fei. 2004. Historical review and prospect of worldwide salt caves using [J]. Natural Gas Industry, 24(9):116-118(in Chinese with English abstract).
- Shu Liangshu. 2012. An analysis of principal features of tectonic evolution in South China Block[J]. Geological Bulletin of China, 31 (7): 1035-1053(in Chinese with English abstract).
- Sun Yujun, Wu Zhonghai, Jia Fengqin. 2016. Lithospheric thermal-rheological structure and deep geodynamics in the Yangtze river economic belt [J]. Journal of Geomechanics, 22(3): 421-429(in Chinese with English abstract).
- U.S. Energy information administration. 2013. Total Natural Gas Underground Storage Capacity[EB/OL][2013-08-30]. [http://www.eia.gov/dnav/ng/ng\\_stor\\_cap\\_a\\_epgo\\_sac\\_mmcfa.htm](http://www.eia.gov/dnav/ng/ng_stor_cap_a_epgo_sac_mmcfa.htm).
- Wang Denghong, Fu Xiaofang. 2013. A breakthrough in lithium ore prospecting in Jijika periphery, Sichuan[J]. Rock and Mineral Analysis, 32 ( 6): 987(in Chinese).
- Wang Denghong, Wang Ruijiang, Li Jiankang, Zhao Zhi, Yu Yang, Dai Jingjing, Chen Zhenghui, Li Dexian, Qu Wenjun, Deng Maochun, Fu Xiaofang, Sun Yan, Zheng Guodong. 2013a. The progress in the strategic research and survey of rare earth, rare metal and rare-scattered elements mineral resources[J]. Geology in China, 40(2): 361-370(in Chinese with English abstract).
- Wang Denghong, Wang Ruijiang, Sun Yan, Li Jiankang, Zhao Zhi, Zhao Ting, Qu Wenjun, Fu Xiaofang, Jiang Shanyuan, Huang Huagu, Feng Wenjie, Xu Ping, Li Shengmiao, Huang Xinpeng, Zhou Hui, Zhu Yongxin, Tu Qijun, Li Xinren, Fang Yiping, Zhou Yuanyuan. 2016. A Review of Achievements in the Three-type Rare Mineral Resources (Rare Resources, Rare Earth and Rarely Scattered Resources) Survey in China[J]. Acta Geoscientia Sinica, 37(5): 569-580(in Chinese with English abstract).
- Wang Guiling, Lin Wenjing, Zhang Wei. 2012. Evaluation on utilization potential of shallow geothermal energy in major cities of China[J]. Building Science, 28(10): 1-8(in Chinese with English abstract).
- Wang Qi, Fan Guanyu, Zhu Qizhi, Shi Chunhua, Zhang Shasha, Chen Yanan. 2016. Discussion on the application of groundwater heat pumps in Nantong urban area[J]. Jiangsu Water Resources, (8): 9-11(in Chinese with English abstract).
- Wang Qinghua, Dong Yanxiang, Song Mingyi, Liu Junbao, Huang Chunlei. 2011. Study on integrating method of land quality geochemical assessment and farmland gradation outcome[J]. Shanghai Land & Resources, 32(4):20-24(in Chinese with English abstract).
- Wang Ruijiang, Wang Denghong, Li Jiankang, Sun Yan, Li Dexian, Guo Chunli, Zhao Zhi, Yu Yang, Huang Fan, Wang Chenghui, Liu Jiajun, He Hanhan, Zheng Guodong, Huang Wenbin, Zhou Yuanyuan, Li Xiaomei, Liu Lijun, Cai Xiao, Zhao Ting, Song Yang. 2015. The Exploitation and Utilization of Rare-metals, Rare-earth and Rare-scattered Metals Mineral Resources[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- Wang Shaoyong. 2014. China's first shale gas exploration and development demonstration base in Fuling[N]. China Land and Resources News, the 2014-04-22 home page(in Chinese).
- Wu Kunyu, Zhang Tingshan, Yang Yang, Liang Xing, Zhou Songyuan, Zhang Zhao. 2016. Geological characteristics of Wufeng - Longmaxi shale - gas reservoir in the Huangjinba gas field, Zhaotong National Shale Gas Demonstration Area[J]. Geology in China, 43(1):275-287(in Chinese with English abstract).
- Wu Wenliang, Zhang Zheng, Lu Yong, Xu Feng. 2010. Expand Strategy on Creative Industry for Chinese Ecological Se-techat Jiangxi Fengcheng. Innovational Edition of Farm Products Processing,(3):72-75(in Chinese with English abstract).
- Wu Zhonghai, Zhou Chunjing, Tan Chengxuan, Sun Yujun, Ma Xiaoxue. 2016. The active tectonics and regional crustal stability features in the area of Yangtze River economic belt[J]. Journal of Geomechanics, 22(3): 379-411(in Chinese with English abstract).
- Xie Xuejin, Cheng Hangxin, Xie Yuanru. 2002. Analytic methods and quality in the compilation of 76 elements geochemical atlas of Sichuan, Yunnan, Guizhou, Guangxi Provinces of China(1): Similarity of geochemical maps compiled from data generated by

- different laboratories—exaples from Ag, Cs,Ga, and Ge analyses[J]. Geological Bulletin of China, 21(6):277–283(in Chinese with English abstract).
- Xu Ming, Zhu Chuanqing, Tian Yuntao, Rao Song, Hu Shengbiao. 2015. Borehole temperature logging and characteristics of subsurface temperature in the Sichuan Basin [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2011, 54(4):1052–1060(in Chinese with English abstract).
- Xu Wei. 2008. Research Report on the Development of Ground Source Heat Pump in China[M]. Beijing: China construction industry press (in Chinese with English abstract).
- Yang Ruhui, Zou Shenghua, Liu Caixia. 2011. Preliminary Discussion on the development and utilization of shallow geothermal energy[J]. Journal of Xuzhou Institute of Technology (Natural Sciences Edition), 26(2): 69–72(in Chinese with English abstract).
- Yin Jianping, Tang Yanjiao. 2014. Natural gas storage situation of 6 European countries and the U.S.[J]. Natural Gas Geoscience, 25(5): 783–790(in Chinese with English abstract).
- Yuan Zhongxin, Li Jiankang, Wang Denghong, Zhen Guodong, Lou Debo, Chen zhenhui, Zhaozhi, Yu yang. 2012. Metallogenic Regularity of REE Ore Deposits in China[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- Xu Yuantian. 1993. Develop and utilize planning and status quo of salt mine development in Huaiyin[J]. China Well Salt Mine, (1):15–17 (in Chinese).
- Zhai Gangyi, Bao Shujing, Pang Fei, Ren Shoumai, Chen Ke, Wang Yufang, Zhou Zhi, Wang Shengjian. 2017. Reservoir-forming pattern of “four-storey” hydrocarbon accumulation in Anchang syncline of northern Guizhou Province[J]. Geology in China, 44(1): 1–12 (in Chinese with English abstract).
- Zhai Gangyi, Bao Shujing, Pang Fei, Ren Shoumai, Zhao Fuping, Zhang Fu, Zhou Zhi, Wang Dule. 2016. Breakthrough of the Natural Gas of Paleozoic Marine Strata in Wuling Mountain Complex Tectonic Zone[J]. Acta Geoscientica Sinica, 37(6): 657–662(in Chinese with English abstract).
- Zhai Gangyi, Bao Shujing, Wang Yufang, Chen Ke, Wang Shengjian, Zhou Zhi, Song Teng, Li Haohan. 2017. Reservoir accumulation model at the edge of palaeohigh and significant Discovery of Shale Gas in Yichang Area, Hubei Province[J]. Acta Geoscientica Sinica, 38(4): 441–447(in Chinese with English abstract).
- Zhang Xu, Xie Zhendong, Zhong Cundi, Yin Guosheng, Li Guohua, Xu Zhengliang. 2015. An experimental study of white sesame planting in Se-rich soil[J]. Journal of Geology, 39(2):292–295(in Chinese with English abstract).
- Zhang Youan. 1994. The distribution and exploitation of the selenium-rich resources in Enshi state[J]. Resource Development & Market, (4):161–162(in Chinese).
- Zhou Zongying, Liu Shiliang, Liu Jinxia. 2015. Study on the characteristics and development strategies of geothermal resources in China[J]. Journal of Natural Resources, 30(7):1210–1221 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Guowei, Guo Anlin, Wang Yuejun, Li Shanzhong, Dong Yunpeng, Liu Shaofeng, He Dengfa, Cheng Shengyou, Lu Rukui, Yao Anping. 2013. Tectonics of South China continent and its implications [J]. Science China: Earth Sciences, 2013, 43(10): 1553–1582(in Chinese).

### 附中文参考文献

- 包书景, 林拓, 聂海宽, 任收麦. 2016. 海陆过渡相页岩气成藏特征初探:以湘中坳陷二叠系为例[J]. 地学前缘, 23(1):044–053.
- 成杭新, 李括, 李敏, 成晓梦. 2015. 中国城市土壤微量金属元素的管理目标值和整治行动值[J]. 地学前缘, 22(5):215–225.
- 陈墨香, 汪集旸. 1994. 中国地热资源——形成特点和潜力评估[M]. 北京: 科学出版社, 1–39.
- 陈新军, 包书景, 侯读杰, 毛小平. 2012. 页岩气资源评价方法与关键参数探讨[J]. 石油勘探与开发, 39(5): 566–571.
- 丁国生, 谢萍. 2006. 利用地下盐穴实施战略石油储备[J]. 油气储运, 25(12): 16–19.
- 方国安. 2011. 大力推进上海市浅层地热能开发利用[J]. 上海国土资源, 32(2):21–24.
- 傅伯言. 2009. “中国生态硒谷”——丰城品牌——江西丰城市调查[J]. 老区建设, (9):7–9.
- 郭彤楼, 刘若冰. 2013. 复杂构造区高演化程度海相页岩气勘探突破的启示:以四川盆地东部盆缘JY1井为例[J]. 天然气地球科学, 24(4): 643–651.
- 郭彤楼, 张汉荣. 2014. 四川盆地焦石坝页岩气田形成与富集高产模式[J]. 石油勘探与开发, 41(1):28–36.
- 国土资源部地质环境局. 2007. 浅层地热能:全国地热(浅层地热能)开发利用现场经验交流会论文集[C]. 北京: 地质出版社.
- 郭旭升, 胡东风, 文治东, 刘若冰. 2014. 四川盆地及周缘下古生界海相页岩气富集高产主控因素——以焦石坝地区五峰组—龙马溪组为例[J]. 中国地质, 41(3):893–901.
- 胡圣标, 何丽娟, 汪集旸. 2001. 中国大陆地区大地热流数据汇编(第三版)[J]. 地球物理学报, 44(5):611–626.
- 姜月华, 苏晶文, 张泰丽, 王寒梅, 王光亚, 赵建康, 施斌, 吴吉春, 张礼中, 周爱国. 2015. 长江三角洲经济区环境地质[M]. 北京: 地质出版社.
- 梁超, 姜在兴, 杨懿婷, 魏小洁. 2012. 四川盆地五峰组—龙马溪组页岩岩相及储集空间特征[J]. 石油勘探与开发, 39(6): 691–698.
- 蔺文静, 刘志明, 王婉丽, 王贵玲. 2013. 中国地热资源及其潜力评估[J]. 中国地质, 40(1): 312–321.
- 刘应平, 陈文德, 许伟, 彭培好. 2012. 成都经济区土壤质量地球化学评估[J]. 现代地质, 26(5): 865–875.
- 李延钧, 冯媛媛, 刘欢, 张烈辉, 赵圣贤. 2013. 四川盆地湖相页岩气地质特征与资源潜力[J]. 石油勘探与开发, 40(4): 423–428.
- 李媛, 曲雪妍, 杨旭东, 房浩, 尹春荣. 2013. 中国地质灾害时空分布规律及防范重点[J]. 中国地质灾害与防治学报, 24(4):71–78.
- 潘楠. 2016. 美欧俄乌地下储气库现状及前景[J]. 国际石油经济, 24

- (7): 80-92.
- 曲雪妍,李媛,杨旭东,房浩,尹春荣. 2016. 中国地质灾害总体特征与形势分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2016/04
- 任云辉. 2017. 恩施州土特产硒含量调查与评价[J]. 湖北农业科学, 56(8): 1420-1421.
- 舒良树. 2012. 华南构造演化的基本特征[J]. 地质通报, 31(7): 1035-1053.
- 宋桂华,李国稻,温庆河,刘飞. 2004. 世界盐穴应用历史回顾与展望[J]. 天然气工业, 24(9): 116-118.
- 孙玉军,吴中海,贾凤琴. 2016. 长江经济带地区岩石圈热流变结构和深部动力学[J]. 地质力学学报, 22(3): 421-429.
- 王登红,付小方. 2013. 四川甲基卡外围锂矿找矿取得突破[J]. 岩矿测试, 32(6): 987.
- 王登红,王瑞江,李建康,赵芝,于扬,代晶晶,陈郑辉,李德先,屈文俊,邓茂春,付小方,孙艳,郑国栋. 2013a. 中国三稀矿产资源战略调查研究进展综述[J]. 中国地质, 40(2): 361-370.
- 王登红,王瑞江,孙艳,李建康,赵芝,赵汀,屈文俊,付小方,江善元,黄华谷,冯文杰,徐平,李胜苗,黄新鹏,周辉,朱永新,涂其军,李新仁,方一平,周园园. 2016. 我国三稀(稀有稀土稀散)矿产资源调查研究成果综述[J]. 地球学报, 37(5): 569-580.
- 王贵玲,蒯文静,张薇. 2012. 我国主要城市浅层地温能利用潜力评价[J]. 建筑科学, 28(10): 1-8.
- 汪庆华,董岩翔,宋明义,刘军保,黄春雷. 2011. 土地质量地球化学评估与农用地分等成果整合方法研究——以浙江嘉善县和慈溪市为例[J]. 上海国土资源, 32(4): 20-24.
- 王琦,范冠宇,朱奇志,施春华,张沙沙,陈亚楠. 2016. 南通市主城区地下水热泵应用探讨[J]. 江苏水利, (8): 9-11.
- 王瑞江,王登红,李建康,孙艳,李德先,郭春丽,赵芝,于扬,黄凡,王成辉,刘家军,何哈哈,郑国栋,黄文斌,周园园,李晓妹,刘丽君,蔡肖,赵汀,宋扬. 2015. 稀有稀土稀散矿产资源及其开发利用[M]. 北京: 地质出版社.
- 王少勇. 2014. 我国首个页岩气勘查开发示范基地落户涪陵[N]. 中国国土资源报, 2014-04-22 首页.
- 伍坤宇,张廷山,杨洋,梁兴,周松源,张朝. 2016. 昭通示范区黄金坝气田五峰—龙马溪组页岩气储层地质特征[J]. 中国地质, 43(1): 275-287.
- 吴文良,张征,卢勇,徐峰. 2010. 江西省丰城市“中国生态硒谷”创意产业的发展战略[J]. 农产品加工(创新版), (3): 72-75.
- 吴中海,周春景,谭成轩,孙玉军,马晓雪. 2016. 长江经济带地区活动构造与区域地壳稳定性基本特征[J]. 地质力学学报, 22(3): 379-411.
- 谢学锦,成杭新,谢渊如. 2002. 川滇黔桂76种元素地球化学图编制中分析方法与分析质量研究,(一)不同实验室产生地球化学图的相似性——以Ag,Cs,Ga,Ge为例[J]. 地质通报, 21(6): 277-283.
- 翟刚毅,包书景,王玉芳,陈科,王胜建,周志,宋腾,李浩涵. 2017. 古隆起边缘成藏模式与湖北宜昌页岩气重大发现[J]. 地球学报, 38(4): 441-447.
- 翟刚毅,包书景,庞飞,任收麦,陈科,王玉芳,周志,王胜建. 2017. 贵州遵义地区安场向斜“四层楼”页岩油气成藏模式研究[J]. 中国地质, 44(1): 1-12.
- 翟刚毅,包书景,庞飞,任收麦,赵福平,张福,周志,王都乐. 2016. 武陵山复杂构造区古生界海相油气实现重大突破[J]. 地球学报, 37(6): 657-662.
- 张旭,谢振东,袁存堤,尹国胜,李国华,许政良. 2015. 富硒土壤种植白芝麻试验研究[J]. 地质学刊, 39(2): 292-295.
- 张友安. 1994. 恩施州富硒资源的分布及其开发利用[J]. 资源开发与市场, (4): 161-162.
- 徐明,朱传庆,田云涛,饶松,胡圣标. 2011. 四川盆地钻孔温度测量及现今地热特征[J]. 地球物理学报, 54(4): 1052-1060.
- 徐伟. 2008. 中国地热热泵发展研究报告[M]. 北京: 中国建筑工业出版社.
- 徐元田. 1993. 淮阴盐矿开发利用规划和现状[J]. 中国井矿盐, (1): 15-17.
- 杨如辉,邹声华,刘彩霞. 2011. 浅层地热能的开发利用[J]. 徐州工程学院学报: 自然科学版, 26(2): 69-72.
- 殷建平,汤妍姣. 2014. 欧洲6国及美国国家天然气储备状况[J]. 天然气地球科学, 25(5): 783-790.
- 袁忠信,李建康,王登红,郑国栋,娄德波,陈郑辉,赵芝,于扬. 2012. 中国稀土矿床成矿规律[M]. 北京: 地质出版社.
- 张国伟,郭安林,王岳军,李三忠,董云鹏,刘少峰,何登发,程顺有,鲁如魁,姚安平. 中国华南大陆构造与问题[J]. 中国科学: 地球科学, 2013, 43(10): 1553-1582.
- 周总瑛,刘世良,刘金侠. 2015. 中国地热资源特点与发展对策[J]. 自然资源学报, 30(7): 1210-1221.