# 海绵城市建设的地质影响及适宜性评价
## ——以徐州为例

黄敬军[1,2)],武鑫[1,2)],姜素[1,2)],崔龙玉[1,2)],魏永耀[1,2)],张丽[1,2)],陆华[1,2)]
1)国土资源部地裂缝地质灾害重点实验室,南京, 210018;
2)江苏省地质调查研究院,南京, 210018

**内容提要**:海绵城市建设是落实生态文明建设的重要举措,是雨洪管理的一种可持续的城市建设模式,目前已成为众多行业和科技领域的讨论热点之一。海绵城市建设的核心是城市水安全,但要充分考虑"海绵体"承载体(岩土)的物性,即地质环境条件的差异,因此,建设海绵城市应重视地质环境条件研究。本文在分析地质环境条件对海绵城市建设影响的基础上,研究了徐州市海绵城市建设与地质环境条件之间的相互关系,建立了徐州市海绵城市建设的地质适宜性评判指标体系,基于地质环境条件划定了海绵城市适宜建设区、控制建设区和不宜建设区,为徐州海绵城市建设提供地质依据。

**关键词**:海绵城市;地质条件;地质适宜性评价;徐州

城市是人类文明的标志,是创新要素集聚与发展的关键载体。然而新型城镇化建设及城乡一体化进程中形成了大量的硬质铺装,改变了城镇化区域原有的自然生态本底和水文特征,频繁出现"城市看海"现象,传统的依赖市政管网建设和灰色基础设施将雨水快速排出的思想已经不能满足现代城市雨水管理的需要(陈珂珂等,2016),构建完善的雨洪管理系统刻不容缓。为此,2013年在《中央城镇化工作会议》上习近平总书记提出:建设自然积存、自然渗透、自然净化的"海绵城市"。2014年住房和城乡建设部出台《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建(试行)》;2015年国务院印发《关于推进海绵城市建设的指导意见》提出:"通过海绵城市建设,最大限度地减少城市开发建设对生态环境的影响。

海绵城市建设的核心是城市水安全,根本问题是水的系统治理问题(张建云等,2016),但海绵城市建设绝不能"就水论水",要实现有效的"径流控制",不仅要从形成雨水汇流的源头(降雨、产流)着手,建立以水循环为纽带、将城市暴雨—径流、水污染治理和城市生态绿地、湿地建设与市政建设(排水、排污)规划管理联系为一体的"城市水系统"(夏军等,2017),而且要考虑"海绵体"承载体的物性,其入渗雨水能力(包气带岩性)、储蓄雨水能力(含水层储存空间)及储蓄雨水的危险性(诱发环境地质问题)等地质条件(安守林等,2015)。因此,海绵城市建设中不仅要进行城建、园林和水利方面的研究工作,还应加强城市地质条件的调查研究工作。本文试图从地质学角度,进行海绵城市建设的适宜性评价。

## 1 海绵城市建设的措施及地质影响

### 1.1 海绵城市建设的主要措施

海绵城市建设的核心是低影响开发,就是采用"渗、滞、蓄、净、用、排"等六位一体的综合排水措施,构建从源头到末端的全过程控制雨水系统,将大部分降雨就地消纳和利用,实现城市良性水文循环。

"渗"是通过改变各种路面和地面铺装材料,改造屋顶和绿地绿化,从源头将降水"渗"入地下,减少地表产流,涵养地下水;"滞"是通过微地形调节,延缓雨水汇集速度和调节产流大小,用时间换空间,既留住了雨水,又降低了洪涝灾害风险;"蓄"是将雨水储蓄在地下蓄水池或含水层中,降低峰值流量,调节时空分布,为雨水利用创造条件;"净"是通过

注:本文为徐州市人民政府、江苏省国土资源厅合作项目"徐州城市地质调查"的成果。
收稿日期:2018-01-09;改回日期:2018-10-18;责任编辑:章雨旭。Doi: 10.16509/j.georeview.2018.06.011
作者简介:黄敬军,男,1962年生。研究员级高级工程师,主要从事水文地质和环境地质研究等工作。通讯地址:210049,南京市栖霞区百水桥99号。Email:hjjhfy@163.com。

土壤、植被、绿地系统、水体等过滤措施减少雨水污染，改善城市水环境；“用”是将储蓄的雨水净化或污水处理之后再利用；“排”是利用防洪排涝设施与天然水系河道将无法消减的雨水产流排放到市政雨水管网中。

### 1.2　影响海绵城市建设的地质因素

显然，海绵城市建设各项措施的实施成效都与地质条件相关，从降水（大气水）形成地表产流（地表水），通过包气带入渗（土壤水）储蓄于含水层（地下水），再排泄于地表水的四水转化都是在与地质介质相互作用下进行的，而“渗、滞、蓄、净”等海绵城市建设措施与地质环境条件响应更明显。

#### 1.2.1　地质条件对降雨产流的影响

雨水落于地表后的侧向及垂向运动受陆面地形、地貌、植被、土壤质地等影响（凌敏华等，2010），城市化后水文过程又受控于地表硬质化程度。因此，地形、包气带特性、地下水位等地质条件是决定降雨产流大小的关键因素，在相同的气候和包气带特性条件下，陡峻流域的产流量比缓坡流域的产流量大。城市汇水区域由微地貌控制的分水线和汇流网络构成，在一定的降雨条件下产流随汇水区域面积增加而增大，而汇水区域主要受地形地貌控制。砂性土包气带及地下水埋深大的区域，因降雨入渗量大，仅剩余少量形成产流。地表硬质化区域降雨因无入渗而全部形成产流。

#### 1.2.2　地质条件对降雨入渗的影响

影响降雨入渗量的因素除降雨强度与降雨历时外，主要体现在包气带岩性、厚度和地下水位等地质条件，砂性土包气带透水性好，利于雨水入渗进入地下水；粘性土包气带透水性差，不利用雨水入渗进入地下水。包气带厚度小于潜水蒸发极限深度条件下，随着包气带增厚，降水入渗速率和补给量减小；包气带厚度大于潜水蒸发极限深度条件下，随着包气带增厚，降水入渗速率趋于稳定（张光辉等，2007）。地下水埋深大，包气带厚度增大，滞留的水分也大，雨水入渗量大；地下水埋深浅，雨水渗入难，即使渗入也会导致地下水位过高。地形坡度大会使地表坡流迅速流走，使地表径流增加，平缓与局部低洼的地势，有利于滞积表流，增加雨水入渗量。耕地土质疏松，利于雨水入渗，林地次之，建设用地使土壤硬质化，不易雨水入渗，易形成地表径流，但城市绿地可滞留雨水径流、增加雨水入渗、减少暴雨径流（张彪等，2015）。

#### 1.2.3　地质条件对储蓄雨水的影响

地下含水层是储存入渗雨水的载体，雨水通过包气带入渗后进入潜水含水层或与潜水连通的微承压含水层构成的海绵体之中，海绵体产生“海绵效应”的能力含水层水文地质条件相关，含水层空间分布特征（含水岩性、厚度、空隙度），含水层调节能力（给水度、释水系数、地下水水位）影响储蓄雨水空间。含水层发育、地下水位埋深大，则可接纳更多的雨水进入含水层中。徐州市平原区 20 m 以浅均为第四纪全新统沉积物，且多为黄泛沉积物，含水岩性为粉质粘土、粉土、粉砂、粘土。其中，废黄河古河道及两侧高漫滩区域多为细砂含水层，且含水层厚、地下水水位埋深大，储水空间大、调节能力大；丘陵区多为强烈岩溶化区，残坡积的包气带渗透性极强，雨水易入渗并可直接补给下伏岩溶水，是理想的储“蓄”雨水场所。

河流、湖泊、湿地、坑塘、沟渠等水生态敏感区也是储存入渗雨水的载体，由于众多水生态敏感区被城市建设破坏或占用，保留的水生态敏感区已不能满足整个“海绵城市”对调蓄容积或渗透能力的设计要求，这就要求合理规划建造部分人工湿地，增加水域面积，以便雨水径流就近及时排入湿地，促进雨水的积存。徐州市作为全国著名的煤炭城市，仅城市规划区就形成 207.57 $km^2$ 的采煤塌陷地，长年积水或季节性积水的塌陷地 121.54 $km^2$，塌陷虽使地表水系紊乱，但积水的塌陷地稍作整治，即可变成为消纳雨水径流、去除污染的人工湿地，将在海绵城市建设中发挥重要作用。

#### 1.2.4　地质条件对净化雨水的影响

雨水初期形成的地表径流中往往汇集了降雨对城市地表冲刷形成的面源污染物，有固态废物碎屑（城市垃圾、动物粪便、城市建筑施工场地堆积物）、化学药品（草坪施用的化肥农药）、空气沉降物和车辆排放物等，这些污染物的危害性大，多数对生物有毒有害（韩冰等，2005）。海绵城市建设多采用绿色屋顶、植被缓冲带、初期雨水弃流设施等截污技术，通过土壤渗虑净化、人工湿地净化和生物处理来净化雨水，人工湿地净化和生物处理效果不言而喻，但土壤渗虑净化效果则与包气带岩性相关。单一粘性土的包气带，雨水虽不易入渗，但能吸附雨水中的污染物，土壤中的微生物也能降解雨水的有机污染物，而单一砂性土的包气带，不能吸附和降解雨水中的污染物，易使雨水中的污染物进入地下含水层，没有起到净化的作用。

人工湿地作为一种低影响开发设施,具有较好的吸纳径流、径流污染控制作用,常被作为依托进行低影响开发系统的设计(刘然彬等,2016),而徐州121.54 $km^2$的积水塌陷地,是改造人工湿地的最佳场地,已建成的九里湖、潘安湖、南湖等湿地公园的设计都是以塌陷地积水区为基础,根据周围环境进行功能区域划分,集"基本农田再造、采煤塌陷地复垦、生态环境修复、湿地景观开发"四位一体,将其整合为消纳雨水径流、休闲娱乐为一体的大型湿地公园。

#### 1.2.5 滞留、储蓄雨水危险性的地质条件分析

低影响开发雨水系统的雨水利用不外乎雨水集蓄利用和雨水渗透利用,通常采用屋顶蓄存设施、下沉式绿地、生态缓坡和河套湿地公园等来滞留或储蓄雨水。但低影响开发工程设施建设将改变或破坏地质环境,可能诱发重大地质灾害或环境地质问题。

高潜水区域因土壤入渗率低.土层蓄水总量小,雨水渗透利用将抬高水位,可能造成土壤盐渍化;大坡度山地区域因多为残坡积松散沉积物,土体颗粒粗,雨水易入渗,大量雨水滞留和浸透将减弱土体抗滑力,易诱发滑坡、泥石流地质灾害;湿陷性黄土区域因土体非饱和、欠压密,强度虽高,但遇雨水浸湿时强度显著降低,引起土体承载力减弱或消失,致使建筑设施、道路塌陷(戴慎志等,2017);包气带为单一砂性土区域因防污性能弱,初期雨水中的污染物易进入地下水含水层,造成地下水污染;岩溶塌陷高易发区,雨水滞留入渗增加孔隙水水头压力,易沟通与岩溶水的入渗通道,造成雨水渗透流失,诱发岩溶塌陷。

## 2 徐州海绵城市建设地质适宜性评价

### 2.1 徐州海绵城市建设必要性分析

#### 2.1.1 水资源短缺及水污染严重

徐州市多年平均降雨量为889 mm,多年平均水资源总量116.70×$10^8$ $m^3$,人均水资源占有量424 $m^3$,仅为全国人均量的18%,一般干旱年份缺水约5.70×$10^8$ $m^3$,特殊干旱年份缺水12.00×$10^8$ $m^3$,水资源匮乏,是全国40座严重缺水的城市之一。徐州市年内、年际降雨变化大,在500.5~1360 mm/a之间,枯水年633.8 mm,丰水年1056.4 mm,汛期6~9月降水量581.3 mm,占全年的69%,降雨集中、强度大、历时短,且多属暴雨,暴雨加剧地表径流。

徐州市处于城市化和工业化加速发展的过程中,工业废水和生活污水排放量逐年增加,污水处理设施建设却相对滞后,高消耗和重污染的低水平增长所导致的化工、医药、酿造和农药等结构性污染相当突出,2013年全市排污总量为323.87 Mt,49个水功能区中,仅20个达省政府批复的水功能区水质目标,达标率40.8%。76个水质监测断面全年均值达到Ⅲ类以上的断面仅占45.2%,劣Ⅴ类水质的9个,占总监测断面的19.1%。"水质型"缺水问题日益突出,加剧了水资源短缺。

#### 2.1.2 城市化进程加剧洪涝灾害

徐州古称彭城,历史上为华夏九州之一,但直到1949年城市规模仍然较小,建成区用地仅12 $km^2$。80年代后城市呈"指状生长",1989年建成区用地增至48.9 $km^2$,增长速率0.6 $km^2$/a;进入1990年代后,城市向北、西、南呈星状内部充填扩展,1999年建成区用地67.6 $km^2$,增长速率2.2 $km^2$/a;本世纪随着新城区、经济开发区建设,城市进入全面扩张,2005年建城区面积突破100 $km^2$、2014年增至255.2 $km^2$(图1a),增长速率13.1 $km^2$/a,形成以新、旧中心区"双心"为核心的城市空间结构。

林地、耕地等具有较好蓄水能力的土地利用减少,从而导致土地不透水地面的增加,改变了原有自然生态本底和水文特征,破坏了自然"海绵体",已有研究表明不透水地面的增加会提高区域降雨径流系数,使得同样降雨条件下的地表径流和河川径流增加(邹宇等,2015)。经计算,徐州市区径流系数由1978年的0.22增加到2006年的0.69(表1),毋庸置疑,增大的径流系数造成市区的洪涝灾害和积水(薛丽芳等,2009)。

据徐州水利志,1949年以来出现洪涝灾害十余次,最严重是1997年7月,徐州普降特大暴雨,造成直接经济损失11亿元(表2)(薛丽芳等,2009),灾情显示,城市化进程的加快,使城市洪涝灾害加重,受淹面积及灾害带来的人员伤亡和经济损失迅速增

**表1 徐州城区径流系数变化表**

**Table 1 Change of runoff coefficient in Xuzhou urban**

| | 1978 | 1987 | 1990 | 1995 | 2000 | 2002 | 2004 | 2005 | 2006 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 建成区面积($km^2$) | 41.3 | 47.3 | 49.8 | 59.1 | 71.7 | 81.9 | 96.8 | 118 | 127.1 |
| 综合径流系数 | 0.22 | 0.28 | 0.33 | 0.32 | 0.39 | 0.44 | 0.52 | 0.64 | 0.69 |

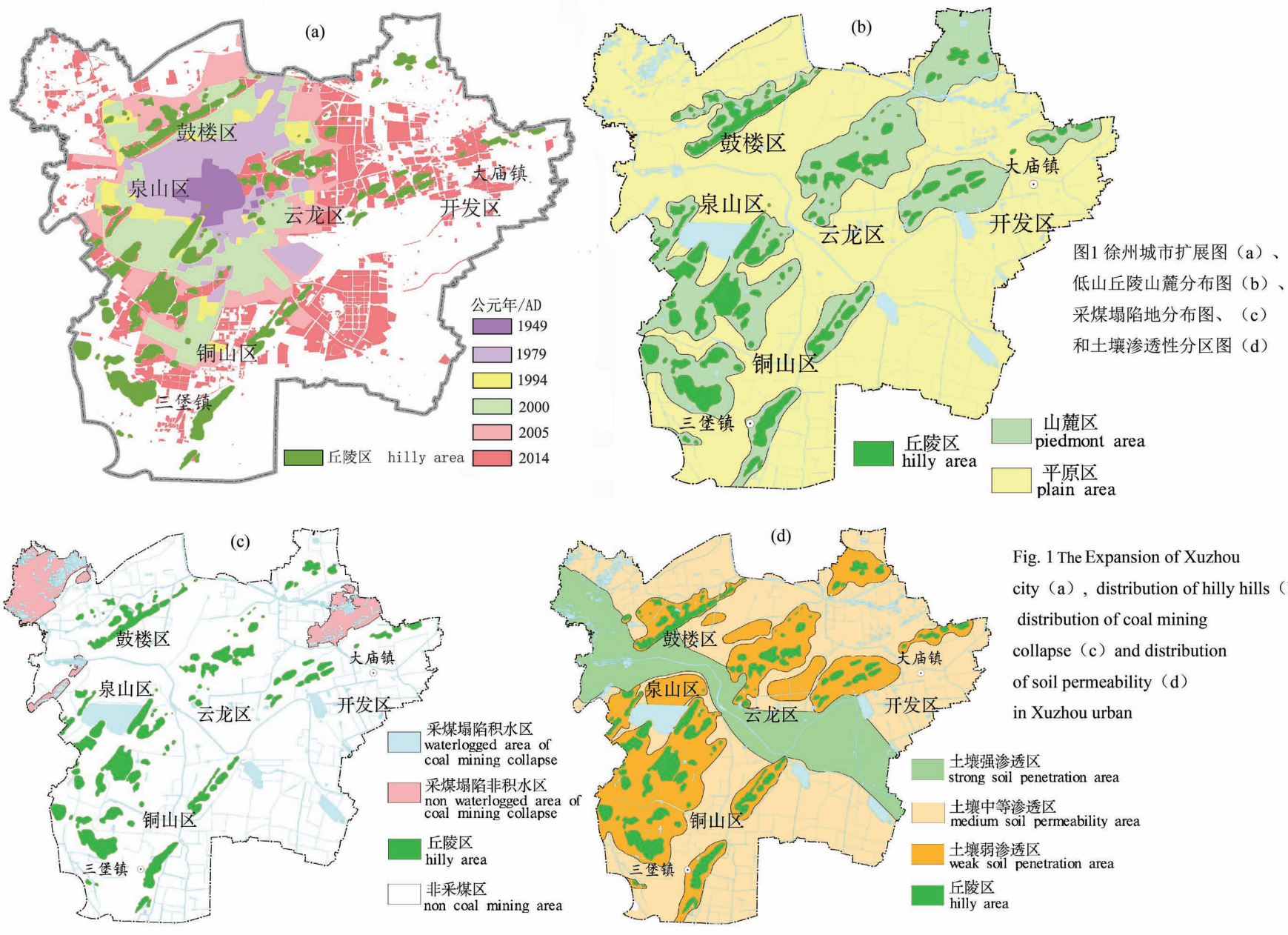


图1 徐州城市扩展图（a）、低山丘陵山麓分布图（b）、采煤塌陷地分布图、（c）和土壤渗透性分区图（d）

Fig. 1 The Expansion of Xuzhou city（a）, distribution of hilly hills（b）, distribution of coal mining collapse（c）and distribution of soil permeability（d）in Xuzhou urban

表 2 徐州城区洪涝灾害统计表

Table 2 Flood disasters happened in Xuzhou urban

| 时间 | 暴雨特点 | 建城区灾情 |
|---|---|---|
| 1949-07-04 | 日降雨 210 mm | 受淹面积 0.7 $km^2$ |
| 1950-07-11 | 日降雨 210.1 mm | 受淹面积 0.85 $km^2$,倒塌房屋 1460 间 |
| 1963-07-08 | 日降雨 211.1 mm | 铜沛路积水水深 1.3 m,倒塌房屋 9000 余间,死伤 40 余人,交通中断 |
| 1972-07-01~04 | 暴雨总量 314.6 mm | 积水水深 1 m,近 20 家工厂停产,受灾 8000 余户 |
| 1980-08-24 | 1h 降雨 119.3 mm | 受淹面积 4.00 $km^2$,积水时间长达 72h,受淹 2 万户,101 家工厂停产 |
| 1982-07-21 | 日降雨 291.6 mm | 受淹面积 6.00 $km^2$,受淹 2.5 万户,受灾人口 10 万,经济损失 2000 万元 |
| 1989-07-24 | 4h 降雨 180 mm | 积水水深 0.4~1.0 m,积水时间长达 13h,倒塌房屋 35 间,经济损失 170 万元 |
| 1997-07-07 | 日降雨 345 mm | 受淹面积 18.00 $km^2$,积水水深 0.5~1.65 m,7 人死亡,219 人受伤,,经济损失 11 亿元 |

大。因此,降雨量不充沛、干旱半干旱地区的徐州,建设海绵城市——构建低影响开发雨水系统也十分必要,可解决水资源短缺、水污染防治和城市内涝问题。

## 2.2 海绵城市建设的地质适宜性评价

### 2.2.1 评价思路与方法

海绵城市建设地质适宜性评价是以地质环境条件(问题)为导向,对影响海绵城市建设的主要地质环境因素进行筛选,按照由表(表层)及里(深层)、由主(主要)至次(次要)原则,建立海绵城市建设地质适宜性评价的指标体系,分层次进行适宜性评判,划分海绵城市适宜建设区、控制建设区和不宜建设区。

#### 2.2.1.1 考虑表层地质环境因素

表层地质环境要素指人类工程活动所在区域的地质环境要素,考虑将地形特征(地表起伏度或坡度)及地表形迹改造(如塌陷地)等作为海绵城市建设适宜性的划分依据。据徐州实际情况,可将低山丘陵山麓区和采煤塌陷地积水洼地作为海绵城市建设适宜区。低山丘陵山麓区,指山体与平原相接地带,地形坡降大,松散层薄(厚小于 5 m,局部 5~10 m),多为残坡积沉积物,颗粒粗,易降雨入渗(图 1b)。该区域适宜构建低影响开发雨水系统,可控制低山丘陵区地表迳流进入平原低洼地,避免造成涝灾。其次,徐州低山丘陵山麓区下伏基岩多为碳酸盐岩,岩溶发育,雨水入渗后可迅速储蓄在岩溶水系统内,可增加岩溶水水源地的补给量。但山麓区的滑坡地质灾害高易发区应控制海绵城市建设。

徐州是江苏重要的煤炭基地,形成大面积的采煤塌陷地,建城区内采空区趋于稳定。塌陷地常年积水或季节性积水洼地是储存地表迳流雨水的理想载体,可通过地表水系构通,适宜地表迳流雨水滞留和净化,构建水生态敏感区(图 1c),但采空区不稳定区应控制海绵城市建设。

#### 2.2.1.2 考虑浅表地质环境因素

浅表地质环境要素指指人类工程活动所涉及空间的地质要素,土壤包气带岩性和结构特征及土地利用类型等作为海绵城市建设适宜性的划分依据。据徐州实际情况,将土壤强渗透区作为海绵城市建设适宜区。土壤强渗透区包气带岩性多为粉砂、粉土,入渗系数大于 1.0 m/d,适宜雨水入渗和储存,可构建低影响开发雨水系统,而弱渗透区包气带岩性多为粘性土,入渗系数小于 0.1 m/d,,雨水难以下渗,应控制海绵城市建设(图 1d)。

#### 2.2.1.3 考虑深部地质环境因素

深部地质环境因素指浅层以下区域的地质环境因素。对于海绵城市建设而言,主要指浅层水含水层储存空间、调节能力及可能诱发的环境地质问题。故将浅层水富水性、水位埋深和地质灾害易发性作为第三层次划分依据。据徐州实际情况,可将浅层水水位深埋区、强富水区划为海绵城市适宜建设区;浅层水水位浅埋区、弱富水区划为海绵城市控制建设区(图 2a、b);岩溶塌陷高易发区划为海绵城市建设的不宜建设区;中易发区划为海绵城市控制建设区(图 2c)。

徐州市海绵城市建设地质适宜性评判思路及评判表见(表 3、图 3)。

### 2.2.2 评价结果综述

依据前述评价思路与方法,徐州市建城区共划定海绵城市适宜建设区 9 个、海绵城市不宜建设区 1 个,其他为海绵城市控制建设区(图 2d)。海绵城市适宜建设区以山麓区为主,其次是强渗透性的废黄河故道和采煤塌陷地积水区,面积 224.0 $km^2$,占国土面积 39.1%;海绵城市不适宜建设区为岩溶塌陷高易发区,面积 5.6 $km^2$,占国土面积 1%;海绵城市控制建设区面积 343.4 $km^2$,占国土面积 59.9%。

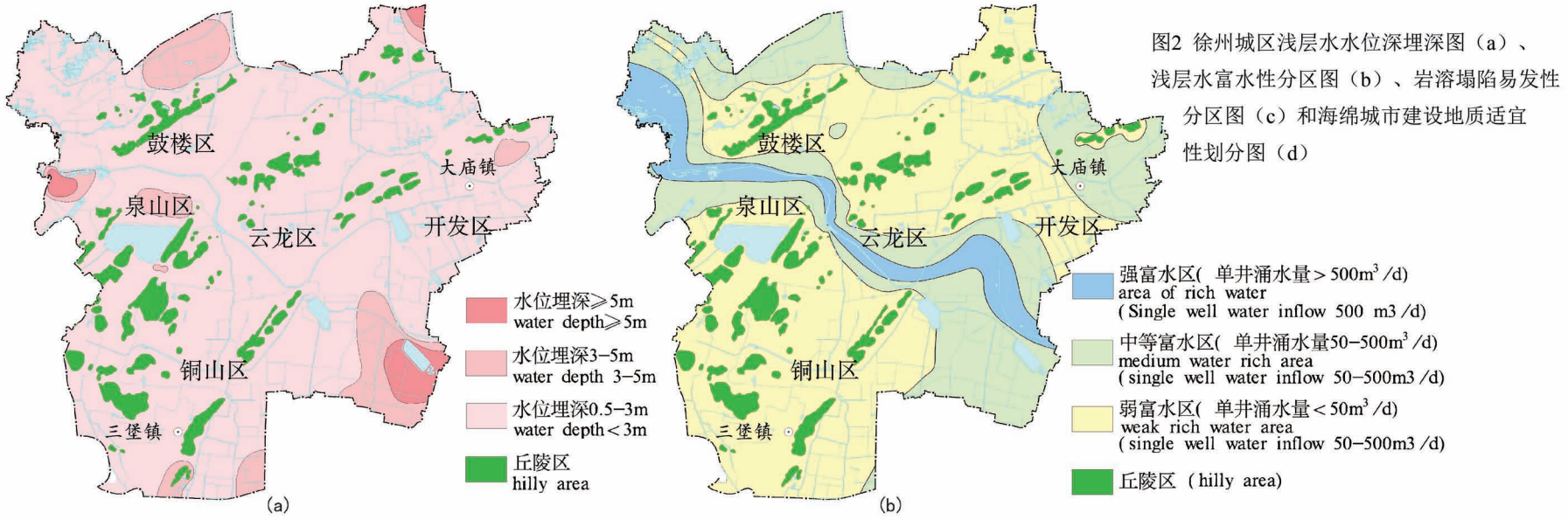


图2 徐州城区浅层水水位深埋深图（a）、浅层水富水性分区图（b）、岩溶塌陷易发性分区图（c）和海绵城市建设地质适宜性划分图（d）

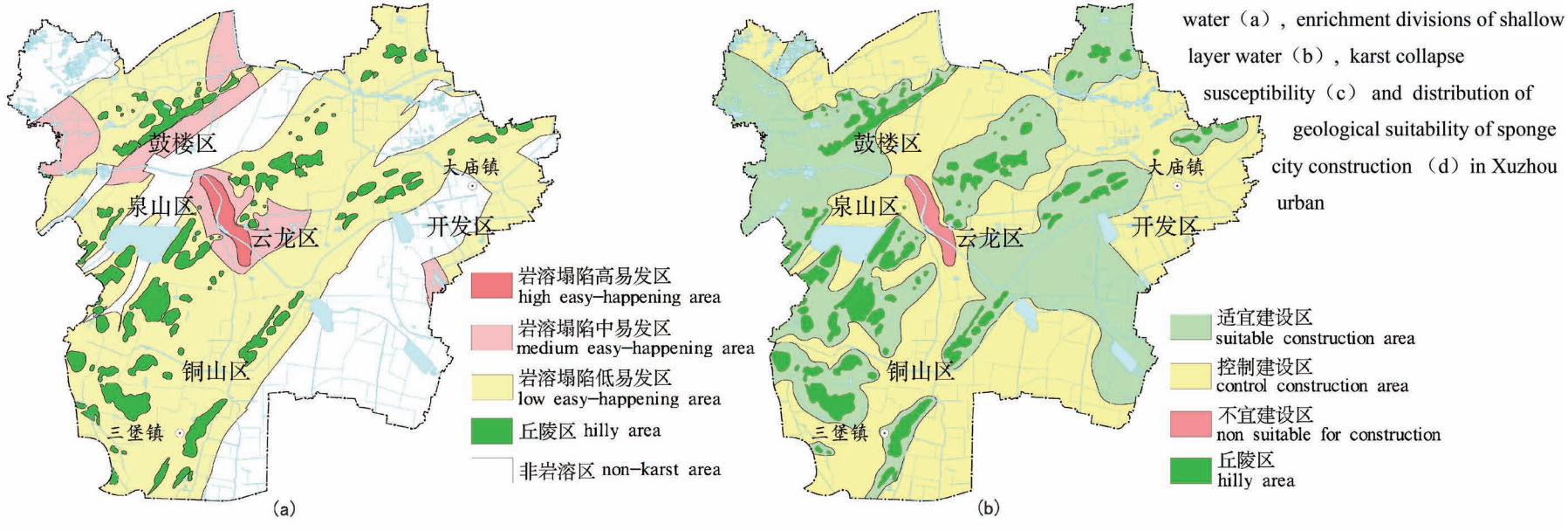


Fig. 2 Map of level depth of shallow layer water（a）, enrichment divisions of shallow layer water（b）, karst collapse susceptibility（c） and distribution of geological suitability of sponge city construction （d） in Xuzhou urban

**表 3 徐州海绵城市建设地质适宜性评判表**

**Table 3 Geological suitability evaluation table of sponge city construction in Xuzhou**

| | | |
|---|---|---|
| 地形特征 | 低山丘陵山麓区 | 适宜建设区 |
| | 滑坡高易发区 | 控制建设区 |
| 地表形迹改造 | 采煤塌陷地积水区 | 适宜建设区 |
| | 采煤塌陷地非积水区 | 控制建设区 |
| 土壤渗透能力 | 包气带—单一砂性土 | 适宜建设区 |
| | 包气带—单一粘性土 | 控制建设区 |
| 地下水水位 | 水位深埋区($h$>5 m) | 适宜建设区 |
| | 水位浅埋区($h$≤0.5 m) | 控制建设区 |
| 地下水富水性 | 富水区($q$>500 $m^3$/d) | 适宜建设区 |
| | 贫水区($q$≤50 $m^3$/d) | 控制建设区 |
| 地质灾害易发性 | 岩溶塌陷高易发区 | 不宜建设区 |
| | 岩溶塌陷中易发区 | 控制建设区 |
| | 滑坡崩塌高易发区 | 控制建设区 |
| | 采煤塌陷非稳定区 | 控制建设区 |

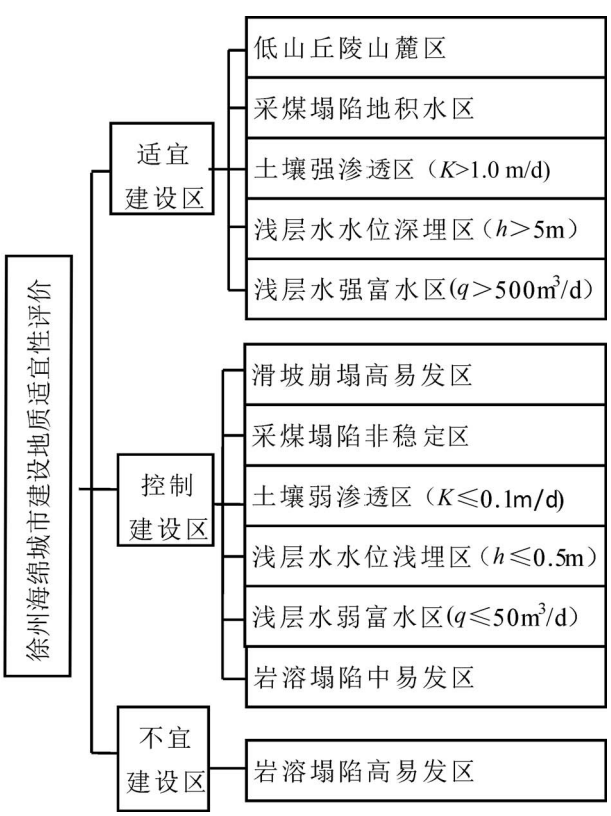


图 3 徐州海绵城市建设地质适宜性评判框图

Fig. 3 Block diagram of geological suitability evaluation of sponge city construction in Xuzhou

## 3 结论

(1) 海绵城市建设是雨洪管理的一种可持续的城市建设模式,根本问题是水的系统治理问题,不仅要研究形成雨水汇流的源头—水文气象条件,而且要研究“海绵体”承载体的物性—地质环境条件。因此,海绵城市建设是一个庞大的系统工程,涉及多部门、多学科,其规划必须与各专业规划相协调,使低影响开发雨水设施与城市雨水管渠系统、超标雨水径流排放系统有效衔接,真正实现“自然积存、自然渗透、自然净化”(崔广柏等,2016)。

(2) 海绵城市建设的“渗、滞、蓄、净、用、排”等六位一体措施中,“渗、滞、蓄、净”措施与地质环境条件响应显著。单一砂性土结构的包气带和深埋地下水增加雨水“渗”透能力;平缓或低洼的地形地貌特征有助于雨水“滞”留;单一粘性土结构的包气带和塌陷地等人工湿地可“净”化雨水中的污染物;地下含水层的含水空间决定“蓄”存雨水的多少;地质灾害高易发区“滞”留、“蓄”存雨水存在诱发地质灾害的风险。因此,海绵城市规划建设应以地质条件为导向,不同的地质条件采取不同的措施。

(3) 海绵城市建设的地质适宜性评价即是基于地质条件落实雨水“渗、滞、蓄、净、用、排”等用途的低影响开发设施的区域。首先考虑浅表层地质环境因素,基于地形特征和地表形迹改造圈定适合可“滞”留和“净”化雨水的区域;其次考虑浅层地质环境因素,基于土壤包气带渗透性圈定适合“渗”透雨水作用强烈的区域;再则考虑深部地质环境因素,基于含水层储存空间和地质灾害易发性圈定适合可“蓄”存雨水的区域和“滞”留、“蓄”存雨水危险性的区域。划分海绵城市适宜建设区面积 224.0 $km^2$、控制建设区面积 343.4 $km^2$、不宜建设区面积 5.6 $km^2$。

## 参 考 文 献 / References

(The literature whose publishing year followed by a “&” is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a “#” is in Chinese without English abstract)

安守林,黄敬军,张丽,缪世贤,姜素. 2015. 海绵城市建设下城市地质调查工作方向与支撑作用——以徐州市为例. 城市地质,10(4):6~10.

陈珂珂,何瑞珍,梁涛,田国行. 2016. 基于“海绵城市”理念的城市绿地优化途径. 水土保持通报,36(3):258~264.

崔广柏,张其成,湛忠宇,陈玥. 2016. 海绵城市建设研究进展与若干问题探讨. 水资源保护,32(2):1~4.

戴慎志. 2017. 高地下水位城市的海绵城市规划建设策略研究. 城市规划,41(2):57~59.

韩冰,王效科,欧阳志云. 2005. 城市面源污染特征的分析. 水资源保护,21(2):1~4.

凌敏华,陈喜,程勤波,魏玲娜,张志才. 2010. 地表水与地下水耦合模型研究进展. 水利水电科技进展,30(4):79~84.

刘然彬,赵亚乾,沈澄,王文科,王彤. 2016. 人工湿地在“海绵城市”建设中的作用. 中国给水排水,32(24):49~53,58.

夏军,石卫,王强,邹磊. 2017.海绵城市建设中若干水文学问题的研讨. 水资源保护,33(1):1~8.

薛丽芳,谭海樵,孔祥光. 2009. 基于水安全的徐州城市发展策略. 成

都理工大学学报(自然科学版),36(5):516~522.
薛丽芳,谭海樵. 2009. 城市化进程中的洪涝灾害与雨水水文循环修复. 安徽农业科学,37(23):11058~1106.
张彪,王硕,李娜. 2015. 北京市六环内绿色空间滞蓄雨水径流功能的变化评估. 自然资源学报,30(9):1461~1471.
张光辉,费宇红,申建梅,杨丽芝. 2007. 降水补给地下水过程中包气带变化对入渗的影响. 水利学报,38(5):611~617.
张建云,王银堂,胡庆芳,贺瑞敏. 2016. 海绵城市建设有关问题讨论. 水科学进展,27(6):793~799.
邹宇,许乙青,邱灿红. 2015. 南方多雨地区海绵城市建设研究——以湖南省宁乡县为例. 经济地理,35(9):65~71.
An Shoulin, Huang Jingjun, , Zhang Li, Miao Shixian, Jiang Su. 2015&. The urban geological survey working direction and supporting role on sponge city construction——Take Xuzhou city as an example. Urban Geology, 10(4):6~10.
Chen Keke, He Ruizhen, Liang Tao, Tian Guohang. 2016&. Optimization approach of urban green space based on concept of "sponge city", Bulletin of Soil and Water Conservation, 36(3):258~264.
Cui Guangbo, Zhang Qicheng, Zhan Zhongyu, Chen Yue. 2016&. Research progress and discussion of sponge city construction. Water Resources Protection, 32(2):1~4.
Dai Shenzhi. 2017&. Study on sponge city planning and construction strategy of high groundwater level city. City Planning, 41(2):57~59.
Han Bing, Wang Xiaoke, Ouyang Zhiyun. 2005&. Analysis on characteristics of urban non-point source pollution. Water Resources Protection, 21(2):1~4.
Ling Minhua, Chen Xi, Cheng Qinbo, Wei Linna, Zhang Zhicai. 2010&. Advances in coupled surface water and groundwater models. Advances in Science and Technology of Water Resource, 30(4):79~84.
Liu Ranbin, Zhao Yaqian, Shen Cheng, Wang Wenke, Wang Tong. 2016&. Application of constructed wetlands to construction of sponge city. China Water & Waste Water, 32(24):49~53,58.
Xia Jun, Shi Wei, Wang Qiang, Zou Lei. 2017&. Discussion of several hydrological issues regarding sponge city construction. Water Resources Protection, 33(1):1~8.
Xue Lifang, Tan Haiqiao, Kong Xiangguang. 2009&. Water security-oriented development strategy of Xuzhou city. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 36(5):516~522.
Xue Lifang, Tan Haiqiao. 2009&. Flood and waterlog and rainwater hydrological cycle rehabilitation during Urbanization. Journal of Anhui Agri. Sci., 37(23):11058~1106.
Zhang Biao, Wang Shuo, Li Na. 2015&. Assesment on the runoff detention produced by urban green spaces within the 6th ring road of Beijling. Journal of Natural Resources, 30(9):1461~1471.
Zhang Guanghui, Fei Yuhong, Shen Jianmei, Yang Lizhi. 2007&. Influence of unsaturated zone thickness on precipitation infiltration for recharge of groundwater, Journal of Hydraulic Engineering, 38(5):611~617.
Zhang Jianyun, Wang Yintang, Hu Qingfang, He Ruimin. 2016&. Discussion and views on some issues of the sponage city. construction in China. Advances in Water Science, 27(6):793~799.
Zou Yu, Xu Yiqing, Qiu Canhong. 2015&. The research on sponge city construction in southern hilly area——a case study of Ningxiang county in Hunan Province, Economic Geography, 35(9):65~71.

# Geological Influence and Suitability Evaluation of the Construction of Sponge City——a Case of Xuzhou

HUANG Jingjun[1,2], WU Xin[1,2], JIANG Su[1,2], CUI Longyu[1,2], WEI Yongyao[1,2], ZHANG Li[1,2], LU Hua[1,2]

1) *Key laboratory of Earth fissures Geological disaster, Ministry of Land and Resources, Nanjing*, 210018;

2) *Geological Survey of Jiangsu Province, Nanjing*, 210018

**Abstract**: Sponge city construction is an important measure to implement the construction of ecological civilization, and it is a sustainable urban construction model of rainwater management. It has now become one of the hot topics in many industries and science and technology fields. The core of sponge city construction is urban water security, but we must fully consider the physical properties of the "spongy" bearing body (rock and soil), that is, the difference in geological environment conditions. Therefore, the construction of sponge cities should pay attention to the study of geological environment conditions. Based on the analysis of the influence of geological environmental conditions on the construction of sponge city, the relationship between the construction of sponge city and geological environment in Xuzhou is studied, and the evaluation index system of geological suitability for the construction of sponge city in Xuzhou is established, and then theconditions define the proper construction area, control construction area and infeasible construction area for the sponge city. The research results could provide the geological basis for the construction of the sponge city in Xuzhou.

**Keywords**: spongy city; geological conditions; geological suitability evaluation; Xuzhou

**Acknowledgements**: This study was financially supported by the cooperation projects "Xuzhou Urban Geological Survey" which was organized by Xuzhou Municipal People's Government and Jiangsu Provincial Department of Land and Resources

**First author**: HUANG Jingjun, male, born in 1962 in Yixing, Jiangsu Province, senior engineer (prof.), mainly engaged in hydrogeology and environmental geological research. Address: No. 99, Maqun Baishui Bridge, Qixia District, Nanjing. Email: hjjhfy@163.com

Manuscript received on: 2018-01-09; Accepted on: 2018-10-18; Edited by: ZHANG Yuxu

**Doi**: 10.16509/j.georeview.2018.06.011

(上接第 1437 页)

**3 郭旭升. 2014. 南方海相页岩气"二元富集"规律——四川盆地及周缘龙马溪组页岩气勘探实践认识. 地质学报, 88(7): 1209-1218.**

内容简介:页岩气作为新型非常规能源在中国经济发展中具有重要的地位。中国南方寒武系、奥陶系和志留系海相页岩地层发育,是页岩气勘探开发的重要战略选区。作者在通过对四川盆地及周缘海相龙马溪组勘探层系的多口代表不同区块和类型的探井的岩性、有机地球化学、岩石矿物含量、物性、储集类型、微观孔隙结构特征、裂缝发育程度、含气量和气井产量、压力等钻探成果及分析测试资料进行深入解剖研究,创新性地提出了复杂构造区海相页岩气"二元富集"规律,即:深水陆棚优质泥页岩发育是页岩气"成烃控储"的基础;良好的保存条件是页岩气"成藏控产"的关键。这是我国页岩气勘探专家在吸收借鉴美国页岩气勘探开发成功经验的基础上,结合自身实践和我国南方区域地质条件,总结出的中国南方海相页岩气成藏特征和富集高产规律,其中特别强调了保存条件对于页岩气成藏和产量的关键性控制作用。该研究是对当时页岩气勘探开发的经验和研究成果的及时总结和理论提升,对此后中国南方海相页岩气的高效勘探开发起到了重要的借鉴和指导作用。

(刘恋 供稿 章雨旭 编辑)

**表 1 中国科学技术协会地球科学集群"2018 年中国科技期刊年度优秀论文"**

| | 论文题目 | 作者 | 发表期刊 | 发表时间 | 期刊主办单位 | 期刊主管单位 | 学科 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | The first data release(DR1) of the LAMOST regular survey | A Li Luo 等 | Research in Astronomy and Astrophysics | 2015/8 | 中国科学院国家天文台 | 中国科学院 | 天文学 |
| 2 | 弹性 PNT 基本框架 | 杨元喜 | 测绘学报 | 2018/7 | 中国测绘地理信息学会 | 中国科学技术协会 | 测绘学 |
| 3 | 芦山地震序列震源机制及其构造应力场空间变化 | 罗艳,赵里,曾祥方,高原 | 中国科学:地球科学 | 2015/4 | 中国科学院,国家自然科学基金委员会 | 中国科学院 | 地球物理学 |
| 4 | 寻找消失的大陆 | 任纪舜,徐芹芹,赵磊,朱俊宾 | 地质论评 | 2015/11 | 中国地质学会 | 中国科学技术协会 | 地球物理学 |
| 5 | Meteorological conditions for the persistent severe fog and haze event over eastern China in January 2013 | ZHANG Renhe, LI Qiang, and ZHANG Ruonan | SCIENCE CHINA Earth Sciences | 2014/1 | 中国科学院和国家自然科学基金委员会 | 中国科学院 | 大气科学(气象学) |
| 6 | The first quantitative joint observation of typhoon by Chinese GF-3 SAR and HY-2A microwave scatterometer | LIN Mingsen, YE Xiaomin, YUAN Xinzhe | Acta Oceanologica Sinica | 2017/11 | 中国海洋学会 | 中国科学技术协会 | 海洋学 |
| 7 | 地理学综合研究的途径与方法:格局与过程耦合 | 傅伯杰 | 地理学报 | 2014/8 | 中国地理学会 | 中国科学院地理科学与资源研究所;中国科学院中国科学技术协会 | 自然地理学 |
| 8 | 寒武纪大爆发的因果关系 | 张兴亮,舒德干 | 中国科学:地球科学 | 2014/6 | 中国科学院,国家自然科学基金委员会 | 中国科学院 | 古生物学 |
| 9 | 南方海相页岩气"二元富集"规律-四川盆地及周缘龙马溪组页岩气勘探实践认识 | 郭旭升 | 地质学报 | 2014/7 | 中国地质学会 | 中国科学技术协会 | 地质学 |
| 10 | The Kiloton Class Jiaojia Gold Deposit in Eastern Shandong Province and Its Genesis | SONG Mingchun 等 | ACTA GEOLOGICA SINICA (English Edition) | 2014/6 | 中国地质学会 | 中国科学技术协会 | 地质学 |

**LIU Lian: The Third Session Excellent Scientific Papers of *China Association of Science and Technology* Announced——3 Papers from the Periodicals Sponsored by *Geological Society of China* Selected**