

DOI :10.3969/j.issn.1004-6933.2011.03.019

# 基于 DEM 的乌梁素海东部流域河网信息提取

朱 超<sup>1</sup>,于瑞宏<sup>1</sup>,刘慧颖<sup>1</sup>,孙若鹏<sup>1</sup>,刘金巍<sup>2</sup>

(1.内蒙古大学环境与资源学院,内蒙古 呼和浩特 010021;2.内蒙古大学生命科学学院,内蒙古 呼和浩特 010021)

**摘要** :以乌梁素海东部流域为研究区,基于免费获取的 3"的 Shuttle Radar Topography Mission( SRTM )数字高程模型( DEM )利用 HEC-GeoHMS 模块,确定流域不同汇流累积量阈值的河网密度,通过二者关系曲线,得出东部流域最适汇流累积量阈值为 15 km<sup>2</sup>。实现流域水系提取和子流域划分,继而将其与东部流域 1:250 000 数字地形图进行叠加。结果表明:采用 DEM 提取的水系和子流域与数字地形图匹配良好,即 3 弧秒的 DEM 可有效应用于乌梁素海东部流域河网信息的提取。

**关键词** :数字高程模型;HEC-GeoHMS;最适汇流累积量;河网信息;自动提取

**中图分类号** :TV212.5+1      **文献标识码** :A      **文章编号** :1004-6933( 2011 )03-0075-05

## Information extraction of drainage network of the eastern basin of Wuliangsuhai Lake based on DEM

ZHU Chao<sup>1</sup>, YU Rui-hong<sup>1</sup>, LIU Hui-ying<sup>1</sup>, SUN Ruo-peng<sup>1</sup>, LIU Jin-wei<sup>2</sup>

(1. College of Environment and Resources, Inner Mongolia University, Hohhot 010021, China; 2. College of Life Sciences, Inner Mongolia University, Hohhot 010021, China)

**Abstract** :Taking the eastern basin of Wuliangsuhai Lake as a study area, drainage network density was determined with different confluence cumulant thresholds by using the HEC-GeoHMS mode based on 3 second of arc Shuttle Radar Topography Mission( SRTM ) DEM. The optimal confluence cumulant threshold of 15 km<sup>2</sup> was determined by relationship between drainage density and threshold. The extraction of drainage network and subdivision of basins were realized, and it was overlaid with the digital topographic map at 1:250 000 scale. The results indicated that drainage network and sub-basins extracted from DEM was well consistent with the digital topographic map, that is to say 3 second of arc SRTM DEM could be effectively used for drainage network extraction of the eastern basin of Wuliangsuhai Lake. It could not only save time and energy in topography measurement, but also raise the accuracy of drainage network extraction.

**Key words** :DEM; HEC-GeoHMS; optimal confluence cumulant; information of drainage network; automated extraction

河网信息是反映流域特征的基本骨架,也是构建流域分布式水文模型的重要参数<sup>[1]</sup>。过去获取河网信息主要有 2 种方法:①实地量测;②从地形图、航片和卫星影像中手工提取。这 2 种方法不仅费时费力,而且其精确性很大程度上受操作者主观意愿的影响。随着计算技术、3S 技术在水文学研究中的应用,直接从 DEM( digital elevation model )中提取河

网信息的方法得到了很大的发展,并在近年来成为水文学研究的热点<sup>[2]</sup>。目前国内对流域水文信息自动提取的研究工作主要集中在洼地的填充<sup>[3-6]</sup>、汇流累积量阈值的确定<sup>[7-8]</sup>等,研究区域则集中在南方,如太湖流域<sup>[9]</sup>、鄱阳湖流域<sup>[10]</sup>、澜沧江流域<sup>[11]</sup>等,对于北方干旱区流域水文信息自动提取的研究仅见于柴达木盆地流域。

基金项目 :国家大学生创新性实验计划( 081012608 )  
作者简介 :朱超( 1987 — )男,山东菏泽人,本科生,水文水资源专业。E-mail :interzhuc@163.com  
通讯作者 :于瑞宏,副教授。E-mail :yrh0108@163.com

乌梁素海东部流域东起全盛西沟,西至昆都仑河,流域面积为 4 822.59 km<sup>2</sup>。该流域对乌梁素海的水量平衡有重要影响,实现该流域的水文信息提取不仅对流域产流和河流污染的研究有重要意义,还可以为乌梁素海生态需水量及富营养化的研究提供基础数据。目前国内就乌梁素海东部流域进行水文信息提取的研究较为少见,笔者利用 HEC 模型中的 HEC-GeoHMS 模块,在 SRTM DEM 数据的基础上,对乌梁素海东部流域进行水文信息的提取,可在一定程度上弥补该地区在水文特征模拟方面研究的不足。

## 1 研究区概况

乌梁素海东部流域(图 1)位于内蒙古自治区巴彦淖尔市和包头市境内,属干旱半干旱气候区,年平均气温为 6.6℃,多年平均降雨量为 215 mm,全年降雨量 70% 以上集中在 7—9 月<sup>[13]</sup>。流域地形以山地为主(约占 60%),平均高程为 1 624 m。流域降雨主要通过黄土窑子河排入乌梁素海。

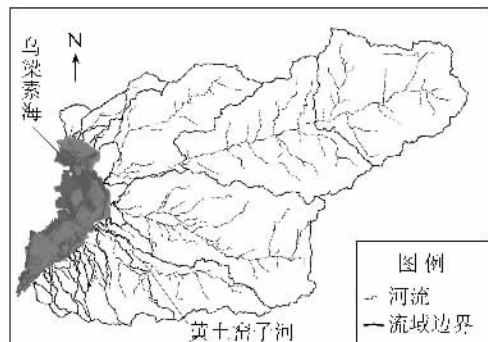


图 1 乌梁素海及其东部流域示意图

## 2 数据源

研究所用的数据为乌梁素海东部流域的 SRTM(航天飞机雷达地形测量任务)DEM 数据和国家基础地理信息系统 1:250 000 数字地形图。

DEM 根据数据结构可分为 3 类:等高线、不规则三角网和栅格型。虽然前 2 种格式的 DEM 能更好地描述地形,但栅格 DEM 由于其简单有序的数据特征而在河网提取中应用更多<sup>[14]</sup>。SRTM DEM 是由美国“奋进”号航天飞机于 2000 年 2 月 11—22 日绕地球飞行 176 圈,获取了覆盖全球 80% 地区的雷达影像后处理得到的。中国境内可用的数据为 3”(分辨率约 90 m),数据的平面基准为 WGS84,高程基准为 EGM96,垂直误差小于 16 m(90% 置信度)<sup>[15]</sup>。原始 DEM 数据可从 CGIAR-CSI SRTM 90m 数据库下载(<http://srtm.csi.cgiar.org/>),经过投影变换、图像拼接和边界裁剪等处理可得到研究区的 DEM。

## 3 研究方法

利用 HEC-GeoHMS 提取水系特征的原理是:首先确定每个栅格单元的水流方向,根据水流方向计算汇流累积量,再选择合适的汇流累积量阈值提取河网,最后由河网和出水点的位置划分子流域。主要流程为:DEM 的预处理、水流方向的确定、汇流累积量的计算、河网的生成和子流域的划分。

### 3.1 DEM 的预处理

DEM 中的洼地主要来源于原始数据、插值过程以及水平和垂直分辨率的限制<sup>[16]</sup>。某些情况下,洼地单元格的数目可以达到栅格单元总数的 5%,甚至更多<sup>[17-18]</sup>。对于小的或起伏较大的流域,由于地形的落差较高,洼地常可被忽略,而对于大的或较平坦的流域,洼地的深度常常可以超过实际高程之间的差值,这时就会给水流方向的判断带来很大的误差<sup>[19]</sup>。因此,在确定水流方向之前,要对 DEM 进行填洼处理。洼地填充的原理是:增加洼地内单元格的高程,使其与洼地边界高程最低的单元格的高程相等<sup>[20]</sup>。

### 3.2 水流方向的确定

在填洼后的 DEM 中,每个栅格单元都有一个可以定义的水流方向值。某一栅格单元的水流方向是指水流离开此单元格时的指向<sup>[21]</sup>,这一概念最早是由 Mark 等<sup>[22-23]</sup>提出的。水流方向的确定有单流向法和多流向法 2 种。单流向法包括 D8 算法、Rh08 算法、Lea 算法和 D $\infty$  算法等,多流向法则包括 MFD 算法、DAEMON 算法和 Dinf 算法等<sup>[24]</sup>。其中,最常用的是 D8 算法<sup>[25]</sup>。

HEC-GeoHMS 中采用 D8 算法进行水流方向的计算,D8 算法假定每个单元格的水流可能流向 8 个相邻的单元格,水流沿最陡坡度的方向流动,计算出中心单元格与周围 8 个单元格的坡度即可确定中心单元格的水流方向<sup>[26]</sup>。以此类推,可得到所有单元格的水流方向。

### 3.3 汇流累积量的计算

沿某单元格水流方向向上搜索至边界可算出该单元格的汇流累积量,赋予该单元格一个值,该值表示流入它的上游单元格的数目,值越高,说明其汇流能力越强。

### 3.4 河网的生成

河网的生成基于如下假设:如果某单元格的汇流累积量值大于阈值,则该单元格是河网的一部分<sup>[17]</sup>。因此,选择一个汇流累积量阈值,凡是汇流累积量大于该阈值的单元格均认为是河网的组成部分,将这些单元格连接起来,就生成了河网,阈值越

大,生成的河网的密度越小。

### 3.5 子流域的划分

子流域的划分建立在提取的河网基础上<sup>[28]</sup>。划分子流域时,首先要确定子流域的出水点。所谓出水点,一般是指2条河流的汇流点或真实地形中的水文站或大坝。找到出水点后,沿水流向上游搜索,所有流经该点的单元格都被认为是子流域的组成部分,一直搜索到流域边界,将这些单元格集结在一起就生成了子流域<sup>[29]</sup>。

## 4 结果与讨论

### 4.1 流域水系的提取

在河网提取的过程中,选择合适的汇流累积量阈值最为关键<sup>[30]</sup>。阈值的选取通常根据河网密度来确定。其原理是:随着汇流累积量阈值的增大,河道起始点的位置会向流域地势平坦处“退缩”,河长相应缩短,所提取的河流级别也会变高,河道数目就会越来越小<sup>[8]</sup>。当汇流累积量阈值增大到一临界值时,河网密度的变化趋于平缓。此时所对应的汇流累积量阈值就是最适的汇流累积量阈值。

依次选取1、5、10、15、20、25、50 km<sup>2</sup>为汇流累积量阈值,计算出对应的河网密度。汇流累积量阈值与河网密度的关系见图2。由图2可以看出,当汇流累积量阈值为大于15 km<sup>2</sup>时,河网密度的变化趋于平缓。因此,选取15 km<sup>2</sup>作为生成河网的阈值,生成的河网见图3。

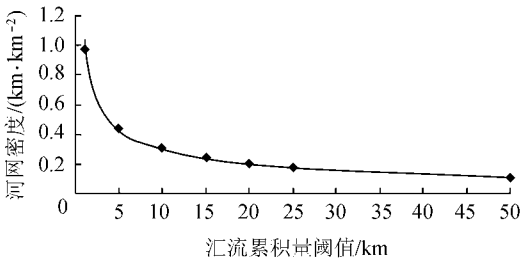


图2 河网密度与汇流累积量阈值的关系

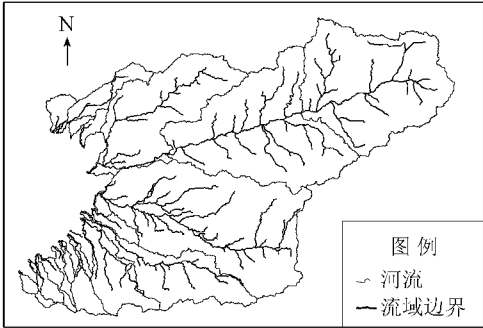


图3 阈值为15 km<sup>2</sup>时生成的河网

### 4.2 子流域的划分

图4为自动提取的乌梁素海东部流域子流域

图。整个流域共划分出18个子流域,最小子流域面积为15.32 km<sup>2</sup>,最大为1 177.31 km<sup>2</sup>。这些子流域可以和土地利用图等进行叠加运算,从而为建立分布式水文模型提供基本参数<sup>[31]</sup>。

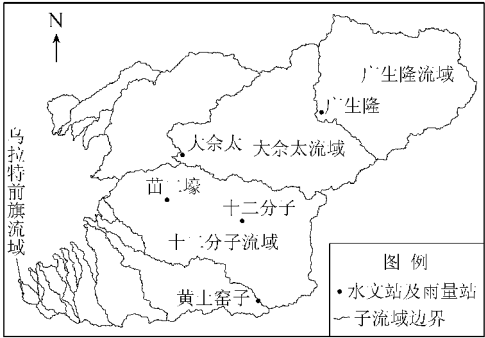


图4 乌梁素海东部流域子流域划分

### 4.3 精度检验

#### 4.3.1 基于DEM提取的水系与数字地形图中水系的比较

将从DEM中提取的水系与从1:250 000数字地形图上得到的河网相比较(图5),可以看出:二者吻合较好,特别是主干河道基本重合,且基于DEM提取的水系更详细,因为它将所有汇流累积量超过15 km<sup>2</sup>的河流都提取出来了。由于2002年版内蒙古1:250 000数字地形图中只记录了六级及以上等级河流,且目前并无更新的数字河流,所以本实验结果还可以作为其他相关研究的数据源。

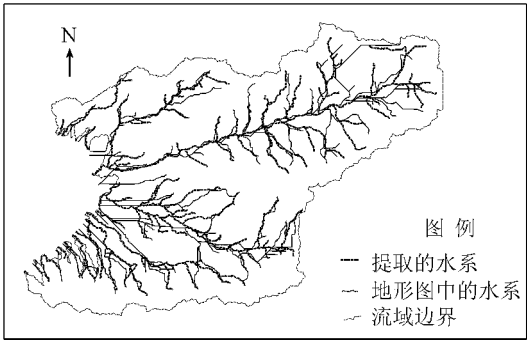


图5 DEM提取的河网与数字水系的比较

#### 4.3.2 基于DEM提取的流域与实际流域的比较

为了检验基于DEM提取的流域与实际流域之间的误差,选取了4个有代表性的子流域,计算提取的流域面积并与实际流域进行比较,结果如表1所示。不难看出,DEM提取的子流域面积与实际流域

表1 提取的流域面积与实际流域面积的比较

| 子流域   | 提取流域面积/km <sup>2</sup> | 实际流域面积/km <sup>2</sup> | 相对误差/% |
|-------|------------------------|------------------------|--------|
| 广生隆   | 963.85                 | 1 004.02               | 4.01   |
| 大余太   | 997.98                 | 951.49                 | 4.89   |
| 十二分子  | 1 177.31               | 1 156.45               | 1.81   |
| 乌拉特前旗 | 26.63                  | 28.38                  | 6.16   |

面积比较接近,在广生隆、大余太和十二分子流域,面积的相对误差在 5% 以内,但在乌拉特前旗流域的误差较大,原因可能是该地区地势较平坦,提取误差较山区为大。此外,林杰等<sup>[32]</sup>认为,HEC-GeoHMS 对人类活动影响较大的流域提取效果不佳,乌拉特前旗流域受人类活动影响较大,可能也是误差较大的原因。

# 5 结 论

以免费获取的 SRTM DEM 为基础数据,利用 HEC-GeoHMS 模块,完成 DEM 数据的预处理、水流方向的确定、汇流累积量的计算,并根据 DEM 属性数据,计算出不同汇流累积量阈值的河网密度,确定出研究流域的最适阈值为 15 km<sup>2</sup>,从而提取出流域水系,其后由水系和出水点的资料,划分出乌梁素海东部流域的各子流域,由此得到结论:

a. 将基于 DEM 的水文信息提取结果与流域数字地形图相叠加,表明水系和子流域与数字地形图匹配良好,3" 的 DEM 可有效应用于乌梁素海东部流域分布式水文模型的建立。

b. 流域参数提取的精度和详细程度取决于 DEM 的质量和分辨率<sup>[33]</sup>。考虑 DEM 数据的精度(3")和研究区面积(4 823 km<sup>2</sup>),本文的结果从效率和精度上都是较好的。

据此认为,SRTM DEM 数据可有效应用于乌梁素海东部流域水系及子流域的获取,这不仅节省了昂贵的数字地形图获取所需支付的费用,同时为干旱半干旱地区水系提取提供了高效可行的数据源。

# 参考文献:

[1] PAZ A R ,COLLISCHONN W. River reach length and slope estimates for large-scale hydrological models based on a relatively high-resolution digital elevation model[J]. Journal of Hydrology ,2007 ,343 :127-139.

[2] GRIMALDI S ,NARDI F ,BENEDETTO F D ,et al. A physically-based method for removing pits in digital elevation models[J]. Advances in Water Resources ,2007 ,30 :2151-2158.

[3] 孔凡哲 ,芮孝芳. 处理 DEM 中闭合洼地和平坦区域的一种新方法[J]. 水科学进展 ,2003 ,14(3):290-294.

[4] 王建平 ,任立良 ,吴益. 一种新的 DEM 填洼处理算法[J]. 地球信息科学 ,2005 ,7(3):51-54.

[5] 谢顺平 ,都金康 ,王腊春. 利用 DEM 提取流域水系时洼地与平地的处理方法[J]. 水科学进展 ,2005 ,16(4):535-540.

[6] 王培法 ,都金康 ,冯学智. DEM 不确定性影响评价中的填洼分析[J]. 地理与地理信息科学 ,2007 ,23(1):24-26.

[7] 孔凡哲 ,李莉莉. 利用 DEM 提取河网时集水面积阈值的

确定[J]. 水电能源科学 ,2005 ,23(4):65-67.

[8] 易卫华 ,杨平. 基于 DEM 数字河网提取时集水面积阈值的确定[J]. 江西水利科技 ,2008 ,34(4):259-262.

[9] 李晶 ,张征 ,朱建刚 ,等. 基于 DEM 的太湖流域水文特征提取[J]. 环境科学与管理 ,2009 ,34(5):138-142.

[10] 蔡玉林 ,朱红春 ,杨丽 ,等. 基于 SRTM DEM 的流域特征信息提取:以鄱阳湖流域为例[J]. 遥感信息 ,2008(4):15-17 ,70.

[11] 刘刚 ,赵荣. 基于 DEM 的澜沧江流域水文信息提取方法的研究[J]. 地理信息世界 ,2007 ,5(1):56-59.

[12] 许宝荣 ,杨太保 ,邹松兵. 基于 DEM 的干旱区河网系统模拟:以柴达木盆地流域为例[J]. 遥感技术与应用 ,2004 ,19(5):315-319.

[13] 于瑞宏 ,刘廷玺 ,许有鹏 ,等. 人类活动对乌梁素海湿地环境演变的影响分析[J]. 湖泊科学 ,2007 ,19(4):465-472.

[14] LIN W T ,CHOU W C ,LIN C Y ,et al. Automated suitable drainage network extraction from digital elevation models in Taiwan 's upstream watersheds[J]. Hydrological Processes ,2006 ,20 :289-306.

[15] JARVIS A ,REUTER H I ,NELSON A ,et al. Hole-filled seamless SRTM data V3 ,International Centre for Tropical Agriculture( CIAT)[ EB/OL ].[ 2009-12-16 ]. http ://srtm.csi. cgiar. org.

[16] LINDSAY J B ,CREED I F. Distinguishing actual and artefact depressions in digital elevation data[J]. Computers & Geosciences ,2006 ,32 :1192-1204.

[17] TARBOTON D G ,BRAS R L ,RODRIGUEZ-ITURBE I. On the extraction of channel networks from digital elevation data[J]. Hydrological Processes ,1991 ,5 :81-100.

[18] AO T Q ,TAKEUCHI K ,ISHIDAIRA H ,et al. Development and application of a new algorithm for automated pit removal for grid DEMs[J]. Hydrological Sciences Journal ,2003 ,48 :985-997.

[19] MACKAY D S. Extraction and representation of nested catchment areas from digital elevation models in lake-dominated topography[J]. Water Resources Research ,1998 ,34 :897-901.

[20] 谢顺平 ,都金康 ,罗维佳 ,等. 基于 DEM 的复杂地形流域特征提取[J]. 地理研究 ,2006 ,25(1):96-102.

[21] JENSON S K ,DOMINIGUE J O. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing ,1988 ,54 :1593-1600.

[22] MARKS D M ,DOZIER J ,FREW J. Automated basin delineation from digital elevation data[J]. Geo-Processing ,1984 ,2 :299-311.

[23] O ' CALLAGHAN J F ,MARK D M. The extraction of drainage networks from digital elevation data[J]. Computer Vision ,Graphics and Image Processing ,1984 ,28 :323-344.

[24] GONG J Y ,XIE J B. Extraction of drainage networks from

large terrain datasets using high throughput computing[ J ]. Computers & Geosciences ,2009 ,35 :337-346.

[ 25 ] HELMLINGER K R ,KUMAR P ,FOUFOULA-GEORGIOU E. On the use of digital elevation model data for Hortonian and fractal analysis of channel networks[ J ]. Water Resources Research ,1993 ,29 :2599-2613.

[ 26 ] 曹玲玲 ,张秋文.基于 SRTM 的数字河网提取及其应用[ J ].人民长江 ,2007 ,38( 8 ) :150-152.

[ 27 ] 叶爱中 ,夏军 ,王纲胜 ,等.基于数字高程模型的河网提取与子流域生成[ J ].水利学报 ,2005 ,36( 5 ) :531-537.

[ 28 ] 冯杰 ,解河海 ,成丽婷.基于子流域的 TOPMODEL 模拟研究[ J ].长江科学院院报 ,2009 ,26( 4 ) :4-8.

[ 29 ] 黄娟 ,申双和 ,殷剑敏.基于 DEM 的江西潦河流域河网信息提取方法[ J ].气象与减灾研究 ,2008 ,31( 1 ) :49-53.

[ 30 ] DA ROS D ,BORGIA M. On the use of digital elevation model data for the derivation of the geomorphologic instantaneous unit hydrograph[ J ]. Hydrological Processes ,1997 ,11 :13-33.

[ 31 ] 唐从国 ,刘丛强.基于 Arc Hydro Tools 的流域特征自动提取 :以贵州省内乌江流域为例[ J ].地球与环境 ,2006 ,34( 3 ) :30-37.

[ 32 ] 林杰 ,张波 ,李海东 ,等.基于 HEC-GeoHMS 和 DEM 的数字小流域划分[ J ].南京林业大学学报 :自然科学版 ,2009 ,33( 5 ) :65-68.

[ 33 ] CHOROWICZ J ,ICHOKU C ,RIAZONOFF S ,et al. A combined algorithm for automated network extraction[ J ]. Water Resources Research ,1992 ,28 :1293-1302.

( 收稿日期 2010-05-17 编辑 徐 娟 )

· 简讯 ·

## 第 9 届中国水论坛将在兰州举办

由中国自然资源学会水资源专业委员会等主办 ,中国科学院寒区旱区环境与工程研究所、兰州大学等共同承办的第 9 届中国水论坛 ,将于 2011 年 8 月 2—3 日在兰州召开 ,论坛将以“ 水与区域可持续发展 ”为主题 ,从多学科交叉、多学科视野深入研讨。主要议题有 :

① 干旱区内陆河流域水与生态 ,包括 :西北内陆干旱区水循环机理 ;干旱区内陆河流域出山径流对气候变化的响应 ;流域水文生态过程 ;干旱区雨水集流系统及其水文生态效应研究 ;水-生态-经济协调发展的水资源管理及绿洲农业的可持续发展 ;气候变化/人类活动条件下的湿地生态水安全 ;生态与环境需水的理论与实践等。

② 冰冻圈对水、生态及可持续发展影响 ,包括 :冰冻圈对气候变化的响应机理 ;冰冻圈变化的水文水资源效应 ;冰冻圈变化的生态效应 ;冻土及冰雪工程与环境 ;冰冻圈的脆弱性及其变化的减缓和适应对策 ;冰冻圈变化对区域发展的影响。

③ 气候变化与区域水循环 ,包括 :气候变化对青藏高原多年冻土区水循环过程的影响 ;气候变化与三江源区水循环 ;黄淮海流域气候变化与水循环 ;东北粮食主产区水循环特征 ;东南沿海诸河流域水循环变化。

④ 水与农业 ,包括 :气候变化/人类活动条件下粮食安全的水支撑 ;农业水土资源配置与调控 ;农业水旱灾害预警/管理及应急处理 ;土地利用/覆被变化/典型污染对生态水安全的影响机理及其修复等。

⑤ 水资源转化与地下水资源可持续利用 ,包括 :地下水动态过程与变化机理 ;地下水-地表水转化机理与模拟 ;土壤水对农业/生态系统的支撑 ;地下水污染控制及修复 ;地下水人工调控及模拟管理等。

⑥ 水与灾害 ,包括 :干旱、洪涝灾害 ;水土流失及次生灾害 ;地面下沉、海水入侵 ;流域生态水文过程与河流健康 ;冰冻圈灾害与气候 ;水环境与水污染等。

⑦ 城市化过程中的水问题 ,包括 :城市水循环及洪涝 ;城市水安全 ;城市用水的合理配置等。

⑧ 区域生态水文过程的人文因素 ,包括 :区域生态安全研究 ;经济水循环 ;水利工程对水循环的影响。

⑨ 水技术与观测试验、水文理论与模拟 ,包括 :水系统综合模拟、水文水资源观测系统技术的改进 ;同位素技术、系统识别技术、系统优化技术 ;数值模拟技术、PUB 问题等。

( 本刊编辑部供稿 )