

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2012.03.007

我国降雨变化趋势分析

张宝信,谢自银

(南京水利科学研究院水文水资源研究所,江苏 南京 210029)

摘要:为分析气候变化背景下我国降雨的变化趋势,将 Mann-Kendall 秩次相关检验、Spearman 秩次相关检验等方法相结合,对 1951—2008 年全国长序列站雨量资料 1d、3d 雨量极大值和年平均降雨量变化趋势进行了显著性分析,并探讨了其空间分布。结果表明:西北地区降雨在 1d、3d 极值、总量上变化趋势都较为明显,且有增加的趋势,而南方特别是东南诸省降雨在极值、总量上变化都不显著。

关键词:降水量;极值;统计方法;趋势检验

中图分类号:P333.1

文献标志码:A

文章编号:1000-1980(2012)03-0281-06

Analysis of change trend of precipitation in China

ZHANG Bao-xin, XIE Zi-yin

(Hydrology and Water Resources Department, Nanjing Hydraulic Research Institute,
Nanjing 210029, China)

Abstract: The Mann-Kendall rank correlation method and the Spearman rank correlation method were used to study the change trend of precipitation affected by climate change in China. Significance analysis was conducted on the change trends of one-day and three-day extreme precipitation and annual average precipitation using the data obtained at stations with long-term time series of precipitation from 1951 to 2008. The spatial distribution of the precipitation was also analyzed. The results show that one-day and three-day extreme values and the total amount of precipitation changed significantly and had an increasing trend in the northwest, while they did not change significantly in the south, especially in southeastern provinces.

Key words: precipitation; extreme value; statistical method; trend test

目前,降雨变化的趋势分析是气候变化研究的一个重要方面,强降雨等极端气候事件严重影响水库大坝调蓄库容、防洪,并危及人民生命、财产的安全。随着气候变化问题重视程度的不断增加,国内外建立了许多全球、区域的气候变化模型,利用历史资料分析降雨时空分布规律及变化趋势。翟盘茂等^[1]研究了中国过去 45 a 降水量、降水频率、降水强度等方面的极值变化趋势;任国玉等^[2-3]根据 1951—1996 年地面气象记录资料,计算了我国全年和季节降水量长期变化趋势特征指数,并对降水的时空分布及趋势变化空间特征进行了分析;梅伟等^[4]运用现行趋势法、Mann-Kendall 检验对长江中下游地区降水变化趋势进行了分析,表明该区域年降水量变化趋势并不明显,但不同季节间变化趋势并不相同;张志才等^[5]利用 Mann-Kendall 检验、反距离权重插值法对贵州近 44 a 的降雨时空变化趋势进行了分析,推求了极端降雨的情况;陈峪等^[6]将全国按流域划分为 10 个区域,根据近 50 a 的月降水资料,分析了各流域年、季降水量的多年平均状况,年际变化特征及其长期变化趋势;徐宗学等^[7]应用非参数检验法对黄河流域内近 50 a 的降水资料进行了趋势检验,并用线性回归法进行了比较分析;张文纲等^[8]利用 Mann-Kendall 检验结合主成分分析,讨论了青藏高原降水量 40 a 的时间变化趋势和空间演变特征。

考虑年降水量在水资源分配以及雨量极大值在设计洪水、防洪安全中的巨大影响,本文应用 Mann-Kendall 秩次相关检验、Spearman 秩次相关检验、游程检验以及滑动平均等方法^[9-14]分析 1 d 3 d 雨量极大值和年降水量的变化趋势,探讨长系列雨量站降水量、降水强度的变化趋势。

1 研究资料

研究资料为 1951—2008 年逐日 20—20 时雨量资料。考虑建站时间、运行时间、缺测等因素的影响,不同测站、不同年份资料的详尽程度存在差异,为充分利用现有资料,将资料年限设定在连续 40 a 及以上。Karl 等^[15]指出,将与时间有关的资料缺测假设为零时,会在降水变化趋势研究中引起误差,因此缺测部分考虑用邻近站及历史资料等进行插补。

2 方法

水文时间序列具有显著变化趋势时,通过简单的滑动平均法即可直观地反映变化趋势,但在实际中降雨、径流等时间序列的变化趋势可能不十分显著,单纯使用滑动平均法无法看出趋势变化。使用非参数检验方法比使用参数检验方法在水文气象非正态分布的数据中更为适合,但是考虑其他检验方法也具有方便和简洁等优点,因此本文主要采用 Mann-Kendall 检验、Spearman 检验、游程检验相结合的方法来进行分析。

3 降雨趋势变化分析

3.1 1 d 雨量极大值趋势分析

当显著性水平 α 为 0.05 时, Mann-Kendall 检验、Spearman 检验、游程检验下雨量极大值趋势变化显著的站点数分别为 53、45 和 45,占总数的 7.8%、6.6% 和 6.6%。结合站点 5 a 滑动平均结果,大部分站点并未表现出明显的变化趋势,即全国大部分地区 1 d 雨量极大值变化并不明显。单一方法中雨量极大值变化趋势明显的站点有 104 个,占总数的 15.2%。2 种方法中雨量极大值变化趋势明显的站点有 15 个,占总数的 2.2%。3 种方法中雨量极大值变化趋势都明显的站点有 3 个,占总数的 0.4%,如图 1 所示。

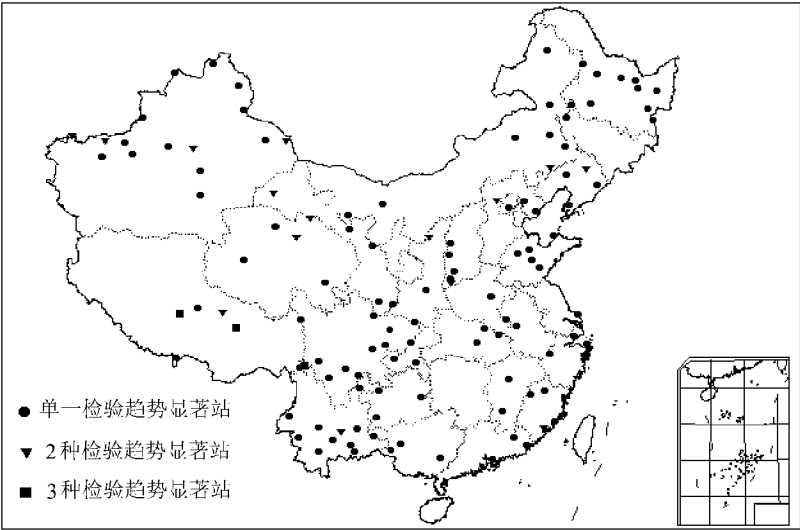


图 1 1 d 雨量极大值趋势变化站点分布

Fig. 1 Distribution of stations with significant change trend of one-day extreme precipitation

从图 1 可以看到,雨量极大值变化趋势较为明显的站点主要分布在四川东南部、云南、新疆北部、环渤海、中西部、东北地区,南方特别是东南部省份站点 1 d 雨量极大值变化并不突出,湖南、广东、广西、海南、江西等省 1 d 雨量极大值显著变化的站点极少。

考虑不同方法在前提假设以及置信区间差异对于检验结果的影响,对 3 种方法雨量极大值同时出现显著变化趋势的结果进行探讨。检验中均出现明显变化趋势的站点是西藏申扎站、西藏嘉黎站和四川得荣站。对上述 3 站 1 d 雨量极大值进行 5 a 滑动平均,如图 2 所示。

3 种方法检验下雨量极大值均出现显著变化趋势的站点其变化趋势较为显著,但这样容易遗漏其他出

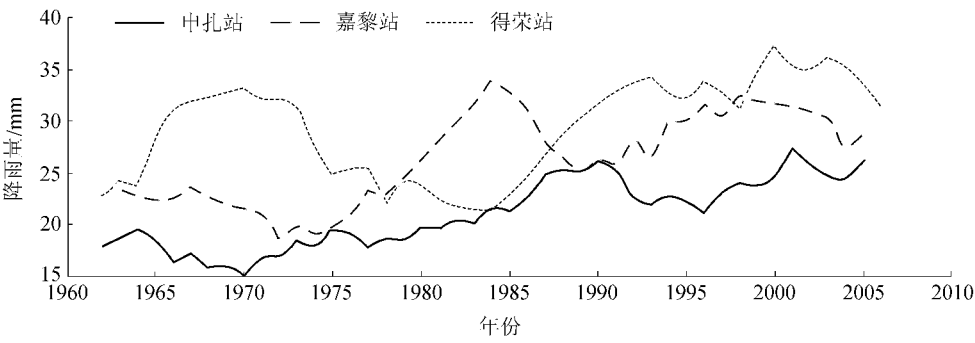


图 2 1d 雨量极大值趋势显著站 5a 滑动平均

Fig. 2 Five-year moving average of one-day extreme precipitation at stations with significant change trend

现显著变化趋势的站点.结合滑动平均分析,认为 2 种方法检验下雨量极大值出现显著变化趋势时基本可认为该站点趋势变化较为明显.2 种及以上方法均出现显著变化趋势的站点仅为 2.6%,认为 1 d 雨量极大值的变化趋势并不明显.这与任国玉等^[3]得出的 1951—1995 年间 1 d 最大降水没有出现明显变化的结论一致.

3.2 3d 雨量极大值趋势分析

在显著性水平 α 为 0.05 时,Mann-Kendall 检验、Spearman 检验、游程检验计算出的雨量极大值显著变化趋势的站点数分别为 65、52 和 31,分别占 9.5%、7.6% 和 4.5%,比 1 d 雨量极大值结果分布略有增加,但大部分站点在 3 d 雨量极大值上也并未反应有明显的变化趋势.单一方法中雨量极大值出现明显变化趋势的站点有 114 个,占总数的 16.7%.2 种方法中变化明显的站点有 14 个,占总数的 2.1%,在 3 种统计方法中均变化明显的站点有 2 个,占总数的 0.3%,如图 3 所示.

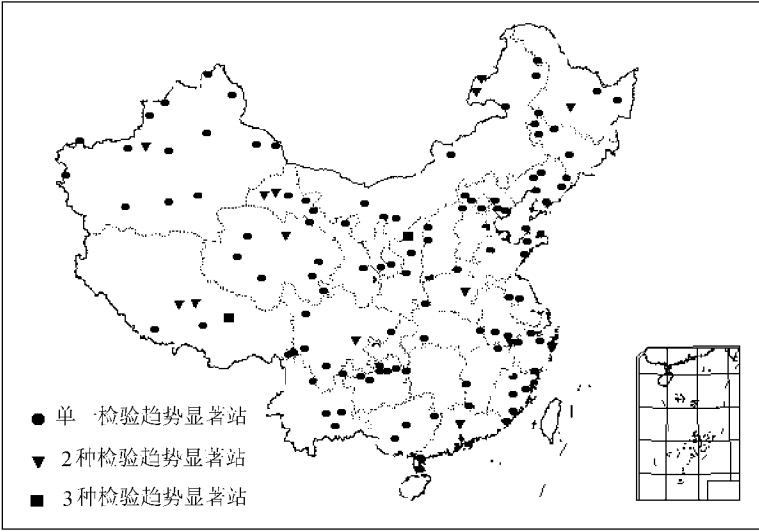


图 3 3d 雨量极大值趋势变化明显的站点分布

Fig. 3 Distribution of stations with significant change trend of three-day extreme precipitation

图 3 表明 3 d 雨量极大值变化趋势较为明显的站点主要分布在西部地区、环渤海、长江上游和下游、黄河中上游等地区.湖南、湖北、江西、广东、广西等众多东南方省份变化不显著.3 种方法结果下雨量极大值都有明显变化趋势的站点有 2 个,分别是陕西横山站和西藏嘉黎站.对其 3 d 雨量极大值做 5 a 滑动平均,如图 4 所示.结果表明陕西横山站 3 d 雨量极大值、最大值有下降的趋势,而西藏嘉黎站 3 d 雨量极大值增加的趋势较为明显.2 种及以上方法雨量极大值均出现显著变化趋势的站点仅为 2.4%,可以认为 3 d 雨量极大值的变化趋势并不明显.这与任国玉等^[3]得出的 1951—1995 年间 3 d 最大降水没有出现明显变化的结论一致.

3.3 年平均降雨量趋势分析

在显著性水平 α 为 0.05 时,Mann-Kendall 检验、Spearman 检验、游程检验计算出的年平均降雨量变化趋势显著的站点数分别为 134、153 和 88,有明显变化趋势的站点所占的百分比分别为 19.6%、22.4% 和 12.9%,平均约为 20%.表明年平均降雨量较 1 d、3 d 雨量极大值已经有了较为明显的变化.计算出现明显变化趋势的站点有

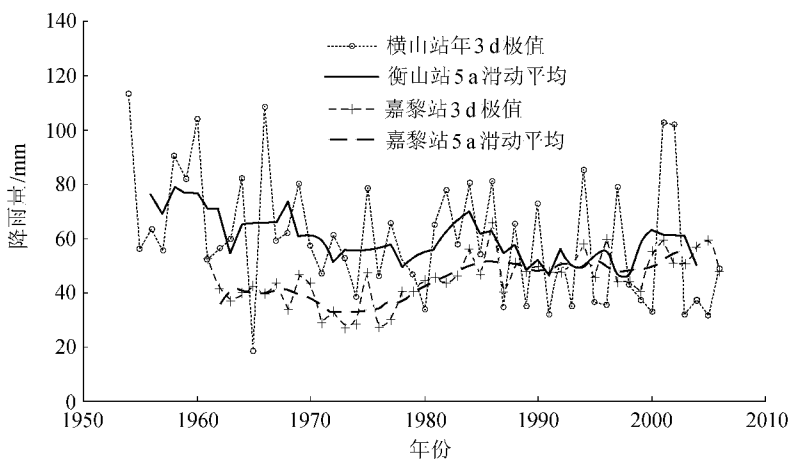


图 4 3 d 雨量极大值趋势显著站 5 a 滑动平均

Fig. 4 Five-year moving average of three-day extreme precipitation at stations with significant change trend

215 个 , 占总数的 32% 约占全部站点的 1/3 表明年平均降雨量有一定的变化趋势. 在单一方法中年平均降雨量出现明显变化趋势的站点有 102 个 , 占总数的 15% , 在 2 种方法中出现明显变化趋势的站点有 66 个 , 占总数的 9.7% 3 种检验下都出现明显变化趋势的站点有 47 个 , 占总数的 6.9% 如图 5 所示.

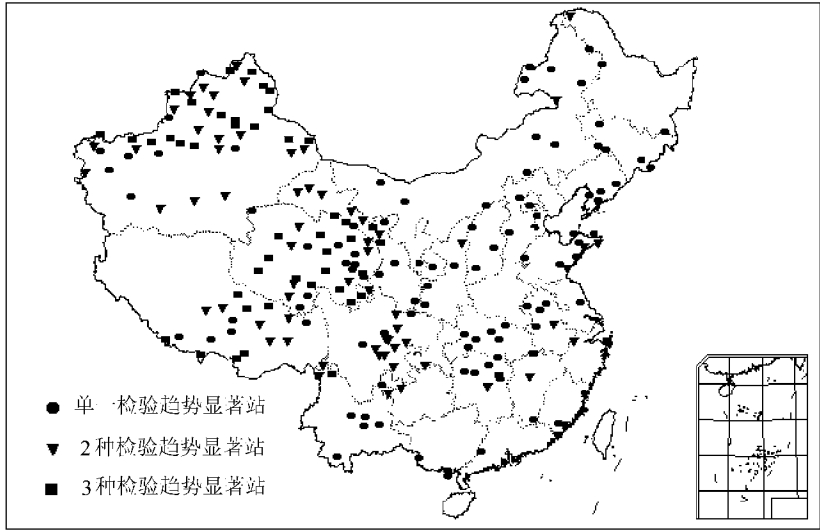


图 5 年降雨量趋势变化站点分布

Fig. 5 Distribution of stations with significant change trend of annual average precipitation

从图 5 可以看出 , 年平均降雨量变化趋势较为明显的站点主要分布在西北省份 , 如新疆北部、青海、西藏东部 , 以及华北、华中等地区 , 而广大的东南沿海 , 诸如浙江、江西、福建、广东、广西以及贵州等省份趋势变化显著的站点极少. 3 种方法均检验出年平均降雨量有明显变化趋势的站点较 1 d 3 d 雨量极大值出现变化的站点数有明显增多 , 主要集中在新疆北部、青海和西藏东部 , 2 种及以上方法均出现显著变化趋势的站点为 16.6% , 即有约 1/6 站点出现较为明显的变化趋势 , 表明年平均降雨量有了一定的变化趋势.

对任一方法下 1 d 3 d 雨量极大值以及年平均降雨量中均出现显著变化的 27 站点进行 5 a 滑动平均 , 对其变化趋势进行统计分析 , 如表 1 所示.

不同参数、不同统计方法下都表现出显著变化趋势的站点 , 在 1 d 3 d 雨量极大值和年平均降雨量上的变化趋势往往较为一致 , 其中降雨量极大值、总量均增大的约占 63% , 均减小的约占 22% , 说明在目前背景下 , 降雨量不论是从极大值或是总量以及区域来说 , 增加的趋势均略微强于减少的趋势. 部分站点的变化趋势并非简单的增加或者减少 , 青海玛沁站的 1 d 3 d 雨量极大值和年平均降雨量或增或减 , 云南德钦站和福建厦门站则表现为先减小再增大. 从表 1 可以看出 , 新疆、西藏、内蒙、青海等西部省(自治区) 雨量在极大值、总量上趋于增加 , 而河北、辽宁等北方省份趋于减少 , 东南、西南省份趋势较为复杂 , 需要进一步分析.

表 1 站点变化趋势统计

Table 1 Change trend statistics for stations

站 名	1 d	3 d	年	站 名	1 d	3 d	年
新疆哈巴河	+	+	+	北京	-	-	-
新疆富蕴	+	+	+	西藏班戈	+	+	+
新疆阿克苏	+	+	+	西藏申扎	+	+	+
新疆轮台	+	+	+	青海玛沁	- +	-	+
新疆吐尔尕特	+	+	+	西藏嘉黎	+	+	+
新疆若羌	+	+	+	四川资阳	-	-	-
新疆巴里坤	+	+	+	云南德钦	- +	- +	- +
新疆淖毛湖	+	+	+	云南昭通昭阳	-	-	-
甘肃敦煌	+	+	+	云南玉溪红塔	+	+	+
内蒙古巴彦诺尔公	+	+	+	云南泸西	-	-	-
青海德令哈	+	+	+	重庆沙坪坝	+	+	+
青海五道梁	+	+	+	贵州毕节	- +	-	-
河北怀来	-	-	-	福建厦门	- +	- +	- +
辽宁宽甸	-	-	-				

注 : - 代表减小趋势 , + 代表增大趋势 , - + 则表示变化趋势为先减小后增大 , + - 表示变化趋势为先增大后减小。

4 结 论

- a. 结合 Mann-Kendall 检验、Spearman 检验、游程检验以及滑动平均等多种方法分析了 1 d 3 d 雨量极大值及年平均降雨量的变化趋势。从全国范围来看,不同区域间趋势变化的显著性差异较大。
- b. 对 1 d 3 d 雨量极大值趋势分析中有明显趋势变化站点所占的比例分别为 2.6% 2.4% ,表明 1 d 3 d 雨量极大值在全国范围内近 60 a 没有明显的变化趋势。而年平均降雨量有明显变化趋势的站点达到了 16.6% ,表明在全国范围内有了一定的变化趋势,主要集中在中部、西北地区,包括青海、甘肃、新疆北部、西藏东部以及四川东部等地区,且有一定的增加态势,其他地区年平均降雨量变化零散,趋势不明显,有待进一步的分析和研究;1 d 3 d 雨量极大值以及年平均降雨量的变化趋势基本一致。

参考文献 :

[1] 翟盘茂,任福民,张强.中国降水极值变化趋势检测[J].气象学报,1999,57(2) :208-216.(ZHAI Pan-mao ,REN Fu-min ,ZHANG Qiang. Detection of trends in China 's precipitation extremes[J]. Acta Meteorologica Sinica ,1999,57(2) :208-216.(in Chinese))

[2] 任国玉,吴虹,陈正洪.我国降水变化趋势的空间特征[J].应用气象学报,2000,11(3) :322-330.(REN Guo-yu ,WU Hong ,CHEN Zheng-hong. Spatial patterns of change trend in rainfall of China[J]. Quarterly Journal of Applied Meteorology ,2000,11(3) :322-330. (in Chinese))

[3] 任国玉,封国林,严中伟.中国极端气候变化观测研究回顾与展望[J].气候与环境研究,2010,15(4) :337-353.(REN Guo-yu ,FENG Guo-lin ,YAN Zhong-wei. Progresses in observation studies of climate extremes and changes in mainland China[J]. Climatic and Environmental Research ,2010,15(4) :337-353. (in Chinese))

[4] 梅伟,杨修群.我国长江中下游地区降水变化趋势分析[J].南京大学学报:自然科学版,2005,41(6) :577-589.(MEI Wei ,YANG Xiu-qun. Trends of precipitation variations in the mid-lower Yangtze River valley of China[J]. Journal of Nanjing University : Natural Sciences ,2005,41(6) :577-589. (in Chinese))

[5] 张志才,陈喜,王文,等.贵州降雨变化趋势与极值特征分析[J].地球与环境,2007,35(4) :351-356.(ZHANG Zhi-cai ,CHEN Xi ,WANG Wen ,et al. Analysis of rainfall trend and extreme events in Guizhou[J]. Earth and Environment ,2007,35(4) :351-356. (in Chinese))

[6] 陈峪,高歌,任国玉,等.中国十大流域近 40 多年降水时空变化特征[J].自然资源学报,2005,20(5) :637-643.(CHEN Yu ,GAO Ge ,REN Guo-yu ,et al. Spatial and temporal variation of precipitation over ten major basins in China between 1956 and 2000[J]. Journal of Natural Resources ,2005,20(5) :637-643. (in Chinese))

[7] 徐宗学,张楠,黄河流域近 50 年降水变化趋势分析[J].地理研究,2006,25(1) :27-34.(XU Zong-xue ,ZHANG Nan. Long-term trend of precipitation in the Yellow River Basin during the past 50 year[J]. Geographical Research ,2006,25(1) :27-34. (in Chinese))

[8] 张文纲,李述训,庞强强.青藏高原 40 年来降水量时空变化趋势[J].水科学进展,2009,20(2) :168-176.(ZHANG Wen-gang ,LI Shu-xun ,PANG Qiang-qiang. Changes of precipitation spatial-temporal over the Qinghai-Tibet Plateau during last 40 years[J].

Advances in Water Science 2009 20(2):168-176. (in Chinese))

[9] 裴益轩, 郭民. 滑动平均法的基本原理及应用[J]. 火炮发射与控制学报, 2001(1):21-23. (PEI Yi-xuan ,GUO Min. The fundamental principle and application of sliding average method[J]. Gun Launch & Control Journal 2001(1) 21-23. (in Chinese))

[10] 宋萌勃, 郑国鸿. 水文时间序列趋势分析方法初探[J]. 科技信息 : 教学科研, 2007(27):42-43. (SONG Meng-bo ,ZHENG Guo-hong. The analysis of research mothed in hydrological series[J]. Science & Technology Information 2007(27) 42-43. (in Chinese))

[11] 吾喻明. 水文时间序列趋势分析的研究与应用[D]. 南京 : 河海大学, 2007.

[12] 王国庆, 张建云, 贺瑞敏, 等. 黄河中游气温变化趋势及其对蒸发能力的影响[J]. 水资源与水工程学报, 2007, 18(4):32-36. (WANG Guo-qing ,ZHANG Jian-yun ,HE Rui-min ,et al. Variation trends of temperatures in the middle Yellow River Basin and its impact on potential evaporation[J]. Journal of Water Researchs and Water Engineering 2007, 18(4) 32-36. (in Chinese))

[13] SVENSSSEN C ,KUNDSEWICZ Z W ,MAURER T. Trend detection in river flow series :flood and low-flow index series[J]. Hydrological Sciences Journal 2005, 50(5) 811-824.

[14] 丁晶, 王文圣, 金菊良. 随即水文学[M]. 2 版. 北京 : 中国水利水电出版社, 2008.

[15] KARL T R ,KNIGHT R W ,PLUMMER N. Indices of climate change for the United States[J]. Bulletin of American Meteorological Society ,1995, 77: 279-292.

· 简讯 ·

国际水文科学协会 2013—2022 科学计划主题战略国际研讨会在河海大学举行

2012 年 5 月 11—13 日,国际水文科学协会(IAHS)2013—2022 科学计划主题战略国际研讨会在河海大学隆重举行. 河海大学校长王乘和国际水文科学协会中国国家委员会主席张建云院士参加开幕式并致欢迎词. 中国科学院汪集 院士,国际水文科学协会主席戈尔登杨、秘书长克吕斯托福库登耐克、前任秘书长匹艾尔赫伯特等出席开幕式. 开幕式由国际水文科学协会副主席任立良主持.

会议研讨了国际水文科学协会主导的未来 10 年水文科学计划的主题、目标、方案,这是协会实施无资料流域水文预报 10 年科学计划之后再次启动的一项新的科学计划,将在 2013 年 7 月瑞典哥德堡召开的国际水文科学大会上发布. 会议由国际水文科学协会主办,水文水资源与水利工程科学国家重点实验室、河海大学水文水资源学院和国际水文科学协会中国国家委员会承办. 会议得到了教育部、国家外国专家局“ 111 计划 ” 水文学及水资源学科创新引智基地 ” 项目的资助.

来自加拿大、法国、荷兰、意大利、瑞典、澳大利亚、俄罗斯、南非,以及中国科学院、长江水利委员会、清华大学、北京师范大学、河海大学和水文水资源与水利工程科学国家重点实验室的相关专家和学者参加了研讨会.

(本刊编辑部供稿)