



DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2016.03.011

刘瑜, 杨慧, 李银, 等. 天津市用于滨海河口生态补水的非常规水资源估算[J]. 南水北调与水利科技, 2016, 14(3): 62-66. LIU Yu, YANG Hui, LI Yin, et al. Estimation of Tianjin unconventional water for supplying ecological water to coastal estuaries[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2016, 14(3): 62-66. (in Chinese)

天津市用于滨海河口生态补水的非常规水资源估算

刘瑜¹, 杨慧¹, 李银¹, 刘红磊², 李昌乐³

(1. 天津市水利科学研究院, 天津 300061; 2. 天津市环境保护科学研究院, 天津 300191;
3. 辽宁省本溪市征地服务处, 辽宁 117000)

摘要: 随着天津滨海河口入海径流量逐年降低, 以及城市水资源供需矛盾日益加剧, 入海径流量远不能满足目前滨海河口生态需水量, 因此, 非常有必要开发非常规水源对滨海河口进行生态补水。在天津非常规水源(包括海水、雨水和再生水)现状分析的基础上, 通过水资源利用途径分析和水量估算, 得出雨水和再生水资源的可利用量完全可以满足滨海河口适宜生态需水量, 并提出了滨海河口生态补水的措施。

关键词: 非常规水源; 滨海河口; 生态补水; 海水淡化水; 雨水; 再生水

中图分类号: TV213.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2016)03-0062-05

Estimation of Tianjin unconventional water for supplying ecological water to coastal estuaries

LIU Yu¹, YANG Hui¹, LI Yin¹, LIU Honglei², LI Changle³

(1. Tianjin Hydraulic Science Research Institute, Tianjin 300061, China; 2. Tianjin Academy of Environmental Sciences, Tianjin 300191, China; 3. Benxi Land Service of Liaoning Province, Liaoning 117000, China)

Abstract: With the yearly decreasing discharge into sea and the increasing contradiction between the water resources supply and demand in urban area, the amount of discharges can not meet the ecological water demand of Tianjin coastal estuaries. As a result, it is very necessary to develop unconventional water compensation to ecological water for coastal estuaries. In this paper, unconventional water resources in Tianjin were surveyed, which included seawater, rainwater and reuse water. Combined with the utilization ways of unconventional water resources in Tianjin, the water amount which could be used for supplying ecological water to coastal estuaries was estimated. The results showed that the amount of rainwater and reuse water could absolutely meet the ecological water demand of coastal estuaries. And measures for ecological water supplement in coastal estuary were put forward. This research will provide technical reference for the effective development and utilization of unconventional water in Tianjin as well as effective supplement of ecological water for coastal estuaries.

Key words: unconventional water; coastal estuary; ecological water supplement; desalinated seawater; rainwater; reuse water

河口生态需水量是指为保持河口稳定、河口与近岸海域生物多样性及生态系统完整性所需的淡水入流量。受全球气候变化以及人为活动的影响, 世界上主要大江大河均有入海径流量减少的现象, 这

对河口生态系统甚至全球生态系统造成的影响将不可估量^[1-7]。李莉等人通过计算河口水循环需水量、河口生物种群需水量, 以及河口生物栖息地需水量, 核定了海河、永定新河、独流减河河口的适宜生态需

收稿日期: 2015-12-02 修回日期: 2016-01-13 网络出版时间: 2016-05-05

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20160505.1337.029.html>

基金项目: 天津市水务局科技计划项目(KY2014-03); 水利部公益性行业科研专项(201101059)

Fund: Science and Technology Project of Tianjin Municipal Water Affairs Bureau(KY2014-03); Public Welfare Industry Research Special Ministry of Water Conservancy(201101059)

作者简介: 刘瑜(1986), 女, 江西萍乡人, 高级工程师, 博士, 主要从事环境污染治理及生态修复领域的研究工作。Email: liuyu@tjhri.com

水量,分别为 0.814 亿 m^3 、1.738 亿 m^3 和 2.076 亿 m^3 ^[8],而杨艳霞^[9]研究发现,2001 年-2008 年海河、永定新河和独流减河的年均入海径流量分别为 1.679 亿 m^3 、0.0619 亿 m^3 和 0.219 亿 m^3 ,对比发现,2001 年-2008 年间,海河干流年均入海径流量达到适宜河口生态需水量的两倍左右,入海径流完全可以满足目前海河河口生态需水要求;但永定新河与独流减河的入海径流量远低于最小河口生态需水量,入海径流远不能满足目前河口生态所需。为此,必须对永定新河与独流减河河口进行生态补水,以满足河口最小生态需水量。

然而,在城市水资源供需矛盾日益加剧的背景下,开发传统水资源并不现实,因此迫切需要开展非常规水源利用研究和利用^[11],包括海水淡化利用、雨水收集利用、污水再生回用等多种水资源开发利用。

1 天津非常规水资源

非常规水资源是指在传统水利观念下不被列为开发利用对象的供水水源类型,一般包括海水、雨水、再生水等。

1.1 海水淡化水

海水利用的途径主要为:海水替代淡水作为工业用水和生活杂用;海水淡化获得的低质水,可直接替代淡水作为工业用水和生活用水,用于诸如工业冷却、冲厕、灌溉等;海水淡化制取的高质淡水,可供高压锅炉所用;淡化水经矿化后也可做饮用水^[12]。根据第一次全国水利普查数据,截至 2011 年,天津市共有海水淡化厂供水企业 4 家,均位于天津市滨海新区,分别是天津国投津能发电有限公司(北疆电厂)、天津大港新泉海水淡化有限公司、天津泰达新水源科技开发有限公司和大港发电厂,总设计供水能力为 21.6 万 t/d ,产水总量为 7.68 万 t/d 。供水用途包括生活饮用和工业用水。

1.2 雨水资源

随着水资源紧缺问题的全球化,越来越多的国内外学者致力于研究雨水资源的收集利用^[12-15]。天津地处中温带至南温带季风气候区,每年有相当数量的降雨,降水量由北向南递减,为 720~560 mm,雨水资源化潜力很大。由于降雨多集中在 6 月-8 月份,进一步的收集利用较为困难;而且降雨本身会汇集成径流流入河道,最终通过河口入海,本身即是对河口水量做出了贡献,是河口生态补水的重要组成部分。刘伟等^[16]通过开展天津市非常规水资源

利用研究,对所收集雨水进行了成分分析,分别测定了天然降水水样、蓄水池水样和绿地水样中 pH 值、总硬度、硫酸盐、氯化物、硝酸盐氮、亚硝酸盐氮、氨氮、高锰酸盐指数、挥发酚等指标的含量,对比地表水环境质量标准,得出雨水收集利用可以代替部分常规水源。但天津降雨量年际不均,枯水年份雨水资源量难以保证,对其核算时要分丰水年与枯水年^[17]。

1.3 再生水资源

经污水处理厂处理达标后的再生水,按分质供水的原则,主要用于农业灌溉,经深度处理后,用于城市绿化或道路浇洒、河湖环境、市政杂用和工业冷却等方面。刘伟等^[16]对比分析了天津市纪庄子污水处理厂二级出水水质与再生水回用于冷却水、景观水体、生活杂用水以及农业灌溉水质标准,得出再生水回用于工业冷却水、景观水体用水、生活杂用水及农业用水等技术可行。李璨^[18]通过研究天津滨海新区再生水利用及市场化,得出天津滨海新区具有巨大的再生水利用潜力。根据第一次全国水利普查数据,截至 2011 年,天津市共有再生水厂总数 10 座,已经建成的再生水厂 8 座,在建的再生水厂 2 座。目前已运行再生水厂的可统计实际供水量为 85 109.8 m^3/d ,即 3 106.51 万 m^3/a 。

2 非常规水源可用于滨海河口生态补水的 水量估算

利用非常规水源的主要途径有:海水利用、雨水收集利用、污水再生利用。

2.1 海水淡化利用

海水淡化不仅成本高、能耗大,而且能源燃烧过程产生的废气对大气的污染也是不容忽视的环境问题。同时,目前多数海水淡化厂的盐水是直接排入海的,这种处理方式对海洋生物具有破坏性的影响^[19]。因此,海水作为非常规水源,虽受到越来越多的关注,世界上也不乏开发利用海水的国家,我国也有一些海水利用的示范工程,但海水的利用量无论在国外还是国内都依然有限。据调查,天津海水淡化厂的供水用途也尚无生态用水。因此,海水淡化水将不作为河口生态补水的一种水资源进行考虑。

2.2 雨水资源

雨水收集利用具有以下优点:一是建设投资相对较少,二是运行和后期维护较为简单易行,三是运行费用相对较低。据近三年天津市水资源公报显示,2010 年全市平均降水量 470.4 mm,比上年度偏

少 22.16%，比多年平均值偏少 18.18%，属于偏枯年份。2011 年天津市平均降水量 593.1 mm，折合降水总量为 70.70 亿 m^3 ，比上年度偏多 26.1%，比多年平均偏多 3.2%，属于平水年份。2012 年，全市平均降水量 850.3 mm，折合降水总量为 101.35 亿立方米，比常年偏多 47.9%，比 2011 年偏多 43.4%，属于丰水年份。对于大多数地区，城市年均可收集雨量估算可以采用以下公式^[20]：

$$Q = \phi \cdot \alpha \cdot \beta \cdot A \cdot (H \cdot 10^{-3})$$

式中： Q 为城市年平均可收集雨量(m^3)； ϕ 为平均径流系数，可通过对各汇流单元的径流系数加权平均求得； α 为季节折减系数， $\alpha = \text{汛期平均降雨量} / \text{年平均降雨量}$ ； β 为初期弃流系数； A 为集雨面积(m^2)； H 为年平均降雨量(mm)。

考虑到本研究收集利用的雨水资源是供给滨海河口生态系统的，因此集雨面积包括了城市建设用地面积和入海河口河道城区段水面面积。由于天津市城区入海河道主要是海河，因此本研究中 $A = \text{城市建设用地面积} + \text{海河城区段水面面积}$ 。根据第一次全国水利普查数据，海河流经天津市城区段的总长度为 25.51 km，按海河平均宽度 150 m 计算，海河城区段水面面积为 3.83 km^2 。根据 2012 年统计年鉴^[22]，2011 年天津市城市建设用地总面积为 710.6 km^2 ，按建设用途分为居住用地、公共设施用地、工业用地、仓储用地、对外交通用地、道路广场用地、市政公用设施用地、绿地和特殊用地，分别占 190.71 km^2 、86.50 km^2 、159.54 km^2 、49.53 km^2 、29.43 km^2 、78.62 km^2 、19.44 km^2 、86.17 km^2 、10.66 km^2 。因此，算得集雨面积 A 为 714.4 km^2 。平均径流系数 ϕ 可计为城市各类下垫面径流系数加权平均，考虑到天津市建设用地除了 86.17 km^2 绿地，其他下垫面绝大部分是各种屋面、混凝土和沥青地面，而各种屋面、混凝土和沥青地面的径流系数为 0.90^[21]，绿地的径流系数为 0.15^[21]，海河水面径流系数按 1.0 计算，通过加权计算得到 ϕ 值为 0.81。季节折减系数 α 是根据城市平均每年汛期降雨量总和和同年均降雨量的比值求得，考虑到天津市每年 85% 的降水量集中在 6 月—9 月，且主要集中在 7 月下旬和 8 月上旬^[23]，因此季节折减系数取 0.85。由于本研究是考察雨水对河口生态补水的可行性，因此不考虑初期弃流，雨水全部排入河道进入河口，故 β 值取 1.0。

利用公式(1)计算出天津市偏枯年、平水年、丰水年和多年平均可收集雨量分别为 2.3137 亿 m^3 、2.9172 亿 m^3 、4.1823 亿 m^3 、2.8282 亿 m^3 (表 1)，

开发潜力巨大。

表 1 天津市雨水收集利用潜力

Tab. 1 Rainwater harvesting potential of Tianjin

天津	平均径流系数 ϕ	季节折减系数 α	初期弃流系数 β	集雨面积 A / km^2	年平均降雨量 H / mm	可收集雨量 $Q / 亿 m^3$
偏枯年(以 2010 年为例)	0.81	0.85	1.0	714.4	470.4	2.3137
平水年(以 2011 年为例)	0.81	0.85	1.0	714.4	593.1	2.9172
丰水年(以 2012 年为例)	0.81	0.85	1.0	714.4	850.3	4.1823
多年平均 ^[16]	0.81	0.85	1.0	714.4	575.0	2.8282

2.3 再生水水资源

如前文所述，2011 年，天津市已建污水处理厂的可统计处理污水总量为 61 752.38 万 m^3/a ，已运行再生水厂的可统计实际供水量为 3 106.51 万 m^3/a 。再生水厂进水约为再生水厂实际供水量的 1.1 倍，计算得 2011 年天津市再生水厂的进水约 3 417.16 万 m^3/a 。据天津市 2011 年水资源公报显示，2011 年全市再生水中农业灌溉利用量为 2 159 亿 m^3 。因此，计算得可用于生态补水的再生水量为 3 644 亿 m^3/a 。换句话说，天津全市实际污水处理水量总量除去再生利用量外，其余均排入河道，并通过滨海河口入海，该部分水量为 3 644 亿 m^3/a ，这部分水源可作为河口生态修复补水水资源考虑。

表 2 天津非常规水源可供水量

Tab. 2 Available unconventional water supply of Tianjin

水源(亿 m^3/a)	偏枯年份	平水年份	丰水年份	多年平均 ^[16]
雨水资源	2.3137	2.9172	4.1823	2.8282
再生水	3.644	3.644	3.644	3.644
总计	5.9577	6.5612	7.8263	6.4722

综上，天津非常规水源可供水量见表 2。当河口地区实际生态可用水量满足各个时期不同等级的生态水量需求时，即可实现与各等级水量相对应的保护区管理目标的要求。将表 2 的非常规水源可供量和滨海河口生态需水量进行对比，可以看出，天津市偏枯年、平水年、丰水年和多年平均可收集利用的雨水和再生水总量分别为 5.9577 亿 m^3/a 、6.5612 亿 m^3/a 、7.8263 亿 m^3/a 和 6.4722 亿 m^3/a ，而滨海河口最小生态需水量和适宜生态需水量分别为 2.093 亿 t 和 3.814 亿 t^[8]，因此，天津雨水和再生水资源这两种非常规水源的可利用量完全可以满足滨海河口适宜生态需水量，足够对滨海河口进行生态补水。

3 滨海河口生态补水的措施

考虑到天津市降雨年内分配很不均匀,保证干旱年和枯水季节的入海径流对保证河口生态需水尤为重要。基于年均生态需水量,为增强非常规水资源配置的可操作性,应确定滨海河口生态补水的恢复对象、模式和等级,采取措施首要保证枯水年份和枯水季节的生态需水量,避免断流对河口生态系统的破坏。杨志峰^[24]等根据时空优化配置原则,建立了不同恢复等级(优、中和差)和恢复模式(保育、修复和重建)下生态基流量的配置方案(高、中和低),计算了3年内不同月份的生态基流量,得出在高中低方案中,生态基流量的最大值均在8月份,最小值均在2月份。郑建平^等^[25]分析了典型年份塘沽观测站逐月生态需水量,生态需水量的最大值在8月份,最小值在5月份。

因此,为满足滨海河口生态需水要求,可以采取如下措施:(1)针对天津滨海河口生态需水的实际情况,可参考杨志峰^[24]的河口生态修复原则及配置方案,分析确定现阶段主要恢复等级,确定最适宜的生态补水方案。(2)综合考虑入海径流量以及补水区下垫面地表、地下水和植被耗水的季节性,建议水资源管理部门高度关注枯水年份和枯水季节的生态基流量,结合不同年份和不同季节滨海河口的生态需水量,制定水资源的实时调度规则,协调好生活、生产和生态之间的用水关系,建立有效的水资源开发利用保障系统,实现水资源的优化配置和可持续利用。(3)考虑到可收集雨水量巨大,可参考海绵城市的理念及相关技术,推进雨水收集调蓄设施建设,有效利用雨水资源。(4)削减陆源污染物、改善近海水质、加强河口水质监测与保护、启动外流域调水工程等也是满足河口生态需水非常必要的措施。

4 结论

本文基于天津非常规水源调查及其可用于滨海河口生态补水的水量估算,得出如下结论:

(1)通过分析河口生态需水量现状及对比历史径流量,提出永定新河与独流减河的入海径流量远低于最小河口生态需水量,非常有必要开展生态补水。

(2)收集了天津所有海水淡化厂的产水量、污水处理厂的处理量、再生水厂的供水量及天津市降雨量等资料,开展了非常规水源可用于滨海河口生态补水的水量估算,结果表明,雨水和再生水资源开发潜力巨大,天津市偏枯年、平水年、丰水年和多年平均可收集利用的雨水和再生水总量分别为 5.9577

亿 m^3/a 、6.5612 亿 m^3/a 、7.8263 亿 m^3/a 和 6.4722 亿 m^3/a 。

综上,雨水资源和再生水资源这两种非常规水源的可利用量完全可以满足滨海河口适宜生态需水量,足够对滨海河口进行生态补水。建议水资源管理部门结合不同年份和不同季节滨海河口的生态需水量,制定水资源的实时调度规则,建立有效的水资源开发利用保障系统,推进雨水收集调蓄设施建设,实现水资源的优化配置和可持续利用。

参考文献(References):

- [1] Frihy O, Lawrence D. Evolution of the modern Nile delta promontories: development of accretional features during shoreline retreat[J]. *Environmental Geology*, 2004, 46(6-7): 914-931.
- [2] Kravtsova V, Mikhailov V, Kozyukhina A. Hydrological-morphological and landscape features of the Niger River delta[J]. *Water Resources*, 2008, 35(2): 121-136.
- [3] Rowell K, Flessa K W, Dettman D L, et al. The importance of Colorado River flow to nursery habitats of the gulf Corvina (*Cynoscion Othonopterus*) [J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2005, 62(12): 2874-2885.
- [4] Jian J, Webster P J, Hoyos C D. Large-scale controls on Ganges and Brahmaputra River discharge on intraseasonal and seasonal time-scales[J]. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 2009, 135(639): 353-370.
- [5] Inam A, Clift P D, Giosan L, et al. The geographic, geological and oceanographic setting of the Indus River[J]. *Large Rivers: Geomorphology and Management*, 2007: 333-46.
- [6] Jiongxin X. The water fluxes of the Yellow River to the sea in the past 50 years, in response to climate change and human activities[J]. *Environmental management*, 2005, 35(5): 620-631.
- [7] Qiong S, Huapeng Q, Guangtao F. Environmental and ecological impacts of water supplement schemes in a heavily polluted estuary[J]. *Science of the Total Environment*, 2014, 15(472): 704-711.
- [8] 李莉,邵晓龙,于丹,等.海河、永定新河、独流减河三河口生态需水量研究[J]. *水利水电技术*, 2013, 44(12): 24-28. (LI Li, SHAO Xiaolong, YU Dan, et al. Study on eco water demands for Haihe River, Yongdingxinhe River and Duliujianhe River Estuaries[J]. *Water Resources and Hydropower Engineering*, 2013, 44(12): 24-28. (in Chinese))
- [9] 杨艳霞.海河流域生态修复需水量的思考[J]. *水利规划与设计*, 2005(2): 40-43. (YANG Yaxia. Ecological restoration water demand of the Haihe River Basin[J]. *Water Resources Planning and Design*, 2005(2): 40-43. (in Chinese))
- [10] 张晓春,马春,陈卫平,等.天津滨海新区湿地生态恢复需水量评估[J]. *南水北调与水利科技*, 2012, 10(5): 63-66. (ZHANG Xiaochun, MA Chun, CHEN Weiping, et al. Wetland restoration water demand assessment of Tianjin Binhai New Area[J]. *South to North Water Transfers and Water Science & Technology*, 2012, 10(5): 63-66. (in Chinese))

- [11] 刘杰,郭晶晶,马云霞.天津市非常规水资源利用现状分析[J].海河水利,2011(1):11-14. (LIU Jie, GUO Jingjing, MAYunxia. Analysis of unconventional water resources utilization situation in Tianjin [J]. Haihe Water Resources, 2011(1): 11-14. (in Chinese))
- [12] 高培然.天津滨海新区海水利用管理研究[D].天津:天津大学,2009. (GAO Peiran. Seawater utilization management of Tianjin Binhai New Area [D]. Tianjin: Tianjin University, 2009. (in Chinese))
- [13] 张艳红.城市雨水利用的趋势、现状和措施探讨[J].南水北调与水利科技,2005,3(3):27-29. (ZHANG Yanhong. Exploration on the tendency, present situation and countermeasures of urban rainfall utilization [J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2005, 3(3): 27-29. (in Chinese))
- [14] Kim R H. Developing technologies for rainwater utilization in urbanized area [J]. Environmental Technology, 2005, 4: 401-410.
- [15] Sazakli E, Alexopoulos A, Leotsinidis M. Rainwater harvesting, quality assessment and utilization in Kefalonia Island, Greece [J]. Water Resources, 2007, 41(9): 2039-2047.
- [16] 刘伟.非常规水资源利用基本问题的研究[D].天津:天津大学,2004. (LIU Wei. Basic issues of using unconventional water resources [D]. Tianjin: Tianjin University, 2004. (in Chinese))
- [17] 王情,张广录,王晓磊,等.中国北方城市雨水资源利用探讨[J].水资源保护,2009,25(4):86-90. (WANG Qing, ZHANG Guanglu, WANG Xiaolei, et al. Rainwater resources utilization of Chinese Northern Cities [J]. Water Resources Protection, 2009, 25(4): 86-90. (in Chinese))
- [18] 李臻.天津滨海新区再生水利用及市场化研究[D].天津:天津理工大学,2010. (LI Can. Water reuse and marketization of Tianjin Binhai New Area [D]. Tianjin: Tianjin Polytechnic University, 2010. (in Chinese))
- [19] 王效琴.城市水资源可持续开发利用研究[D].天津:南开大学,2007. (WANG Xiaojin. Sustainable development and utilization of urban water resources [D]. Tianjin: Nankai University, 2007. (in Chinese))
- [20] 曹秀芹,车武.城市屋面雨水收集利用系统方案设计分析[J].给水排水,2002,28(1):13-15. (CAO Xiurqin, CHE Wu. Design analysis of urban roof rainwater harvesting system [J]. Water & Wastewater Engineering, 2002, 28(1): 13-15. (in Chinese))
- [21] 孙慧修.排水工程(4版,上册)[M].北京:中国建筑工业出版社,1999. (SUN Huixiu. Wastewater Engineering (4th edition, 1st volume) [M]. Beijing: China Building Industry Press, 1999. (in Chinese))
- [22] 天津市统计局.天津统计年鉴(2012)[M].北京:中国统计出版社,2012. (Tianjin Statistics Bureau. Tianjin Statistical Yearbook of 2012 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2012 (in Chinese))
- [23] 王晓霞,徐宗学,阮本清.天津市降水量变化趋势的时空分布特征[J].干旱区资源与环境,2008,22(9):92-96. (WANG Xiaoxia, XU Zongxue, RUAN Benqing. spatiotemporal trend of precipitation in Tianjin City [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2008, 22(9): 92-96. (in Chinese))
- [24] 杨志峰,刘静玲,肖芳,等.海河流域河流生态基流量整合计算[J].环境科学学报,2005,25(4):442-448. (YANG Zhifeng, LIU Jingling, XIAO Fang, et al. Conformity calculation of river ecological basic flows in the Hai He River Basin [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2005, 25(4): 442-448. (in Chinese))
- [25] 郑建平,王芳,华祖林,等.海河河口生态需水量研究[J].河海大学学报:自然科学版,2005,33(5):518-521. (ZHENG Jianping, WANG Fang, HUA Zulin, et al. Research on ecological water requirement of Haihe River Estuary [J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2005, 33(5): 518-521. (in Chinese))

(上接第 47 页)

- [15] 魏凤英.现代气候统计诊断与预测技术[M].第二版.北京:气象出版社,2007. (WEI Fengying. Modern climatic statistical diagnosis and prediction technology [M]. The second edition. Beijing: China Meteorological Press, 2007. (in Chinese))
- [16] Ichiyangl K, Yamanaka M D, Muraji Y. Precipitation in N. Cpell between 1987 and 1996 [J]. International Journal of Climatology, 2007, 15(2): 245-256.
- [17] 曹洁萍,迟道才,武立强,等. Mann Kendall 检验方法在降水趋势分析中的应用研究[J].农业科技与装备,2008(5):35-37. (CAO Jieping, CHI Dao cai, WU Li qiang, et al. Mann Kendall examination and application in the analysis of precipitation trend [J]. Agricultural Science & Technology and Equipment, 2008(5): 35-37. (in Chinese))
- [18] Wang X, Yang X, Liu T, et al. Trend and extreme occurrence of precipitation in a mid latitude Eurasian steppe watershed at various time scales [J]. Hydrological Processes, 2014, 28(22): 5547-5560.
- [19] 卢燕宇,吴必文,田红,等.基于 Kriging 插值的 1961~2005 年淮河流域降水时空演变特征分析[J].长江流域资源与环境,2011,20(5):567-573. (LU Yanyu, WU Biwen, TIAN Hong, et al. Spatial and temporal variability characteristics of precipitation in Huai River Basin during 1961~2005 [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2011, 20(5): 567-573. (in Chinese))
- [20] 王新龙,钟平安,万新宇,等.淮河流域洪涝时空分布规律[J].水电能源科学,2013,31(003):45-49. (WANG Xinlong, ZHONG Pingan, WAN Xin yu, et al. Spatial and temporal distribution of flood disaster in Huaihe Basin [J]. Water Resources and Power, 2013, 31(003): 45-49. (in Chinese))