

DOI:10. 3880/j. issn. 1004 - 6933. 2017. 04. 012

台州市生活污水处理厂设计水量中雨水混入比例研究

翁晟琳,李一平,卢绪川,戚 文

(河海大学环境学院,江苏 南京 210098)

摘要:基于台州市椒江区 2014 年污水处理厂进水量和雨量监测站的数据,进行污水处理厂日进水量频率分析和城镇污水管网中雨水混入比例分析,从而对污水处理厂设计水量进行修正。结果表明:小雨、中雨、大雨、连续暴雨时的污水量分别是晴天污水量的 1.29、1.53、1.77、2.31 倍;地下水与河水渗入量约占晴天日均污水量的 24.1%,雨天雨水混入量约占雨天日均污水量的 24.2%;随着降雨量增大,雨水混入比例由 10% 升高至 35%,最后趋于 27%;滨海城市生活污水处理厂设计水量中雨水混入比例可定为 25%~30%。

关键词:雨水混入比例;入渗流量;设计水量;污水处理厂规模

中图分类号:X703.1 文献标志码:A 文章编号:1004-6933(2017)04-0075-05

Study of rainwater mixing rate of design water quantity at domestic sewage treatment plants in Taizhou City

WENG Shenglin, LI Yiping, LU Xuchuan, QI Wen

(College of Environment, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Based on the data of inflow of a sewage plant and data from rainfall monitoring stations in the Jiaojiang District, in Taizhou City in 2014, we analyzed the daily inflow frequency at the sewage plant and the rainwater mixing rate in urban sewage pipe networks, so as to modify the design water quantity of the sewage plant. The results are as follows: the sewage quantities in the cases of light, moderate, heavy, and continuously heavy rainfall were respectively 1.29, 1.53, 1.77, and 2.31 times those on sunny days. The quantity of groundwater mixed in sewage accounted for 24.1% of the daily sewage quantity on sunny days, and the quantity of rainwater mixed in sewage accounted for 24.2% of the daily sewage quantity on rainy days. With the increase of rainfall, the rainwater mixing rate increased from 10% to 35%, and finally tended to be 27%. The rainwater mixing rate of the design water quantity for sewage plants in coastal cities can be determined as a value ranging from 25% to 30%.

Key words: rainwater mixing rate; infiltration flow; design water quantity; sewage plant scale

目前,我国的排水体制主要有 4 种:合流制、截留式合流制、分流制、混合制^[1]。我国大多数城市,尤其是老城区,采用雨污合流、混流制的排水系统,且存在管网淤塞、错接、破损、检查井渗漏、排水体制混乱等问题,导致雨水、地下水等外水直接或间接地进入管网,这些混入的外水称为入渗流量。滨海城市地处临江临海,城市河网水系相互连通,一方面,

由于降雨天数多,雨量充沛,且地下水位高,雨水难以排出,致使内涝频发;另一方面,由于地质松软,排水管网管理和维护体制欠缺,管道易淤塞、破损、混接。因此,污水处理厂设计规模与实际进水量相差较大^[2-3],明确管网中雨水混入比例是亟须解决的问题。

针对入渗流量对排水系统的影响,国内外均有

基金项目:国家自然科学基金(51579071,51379061);霍英东教育基金(141073);江苏省自然科学基金(BK20131370)
作者简介:翁晟琳(1994—),女,硕士研究生,研究方向为水环境数学模型。E-mail:382209348@qq.com
通信作者:李一平,教授,博士生导师,博士。E-mail:liyiping@hhu.edu.cn

定性和定量的研究。为证明排水系统中雨水混入量的存在,薛梅等^[4]采用晴天污水量法计算了日本某下水道中的不明水量,研究表明雨水流入量与降雨量有良好的相关性;金银^[5]的研究表明,对于合流制管网,在不同降雨重现期的条件下,污水厂的总进水量均远远超过设计能力;董景春^[6]指出由于管道老化,市政排污量中还包括不少的雨水(地表径流);为研究雨水混入量的变化规律,Brombach 等^[7]研究发现,入渗流量具有季节性,冬季与夏季差距可达 10 倍以上;水中 H、O 元素可作为稳定同位素^[8],如 De 等^[9]指出可采用氧同位素测定排水系统入渗率的日变化规律;Lee^[10]提出根据流量数据识别入渗流量来源并确定合适的调查方法;张齐云^[11]对污水处理厂的排污口进行晴雨天水量、水质的监测,发现雨天流量是晴天流量的 1.8~4.6 倍,雨天 TN、TP 均是晴天浓度的 3 倍以上;盛政等^[12]对污水管网进行总体模拟分析,得出 6% 的降雨量进入了污水管网;吴兆申等^[13]指出连续 5 d 暴雨,降水量达 200 mm 以上,污水处理厂进水量可比同期晴天增加 60%。目前,国内外的研究主要集中在晴雨天流量变化的定性研究和排水系统中外水入渗率的测定,结论一般具有普遍性与广泛性,而关于滨海城市生活污水处理厂设计水量中雨水混入比例的研究较少。

污水处理厂的设计水量是其设计和运行的基础,直接关系其工艺的选择^[14],雨水混入和地下水入渗使其规模的确定更为复杂。在预测污水处理厂的污水量时,通常参照排水设计手册、规范等所确定的各项指标^[15],但排水设计手册和规范中均未对此进行明确规定,实际问题中污水管网的雨水、地下水入流入渗率一般取 10%。笔者针对滨海城市生活污水处理厂设计水量中的雨水混入比例开展研究,进行污水处理厂日进水量频率分析以及污水管网中雨水混入量分析,从而得出适用于滨海城市生活污水处理厂的雨水混入比例的取值范围,以为滨海城市生活污水处理厂设计水量的合理确定提供科学依据。

1 研究区域概况与方法

1.1 研究区域概况

选取典型的滨海城市——台州市椒江区进行研究。椒江区是台州市行政中心驻地,地处浙江省东部沿海,东濒东海,西临黄岩区,南连路桥区,北接临海市,是浙江东部的海上门户。椒江区境内河道纵横交错,除椒江系自然河流外,平原河流大多由人工开挖而成,呈纵横经纬格局。区内共有 356 条河道,

总长度 665.3 km,河道水域面积为 43.69 km²,河道容积 25 300 万 m³。

台州市椒江区属亚热带季风气候,温暖湿润,四季分明。多年平均降水深为 1 563 mm,降水量为 155.1 亿 m³,年降水天数为 140~180 d。降雨时空分布不均,空间分布上西南部大于北部、东部,山丘区大于盆地、平原,海岛最小;时间分布上,不仅年际有差别,而且年内分配与季风进退时间及台风活动密切相关。每年 4—6 月的梅雨期及 7—10 月的台风期的降水量往往达全年降水量的 75%~85%。

椒江的排污管线以江为界分为椒南、椒北两大系统,相对独立,各成体系。城区的主要管线为化工污水管、北线污水管、南线污水管、开发大道污水管和滨海污水管 5 大线路系统。排污体制主要为雨污合流制,问题集中在管网破损与排水体制混乱。随着社会经济的发展,用水量提高,与此同时,污水处理厂进水量存在晴雨天变化大、昼夜变化大等问题,雨天污水处理厂水量严重超过设计处理负荷,进水出水存在超标现象。因此,合理确定污水处理厂设计水量中的雨水混入比例尤为重要。

1.2 数据来源及计算方法

1.2.1 数据来源

研究所使用的污水量数据来自椒江污水处理厂提供的运行参数月报表(2014 年 1—12 月)。降雨量数据来自台州市椒江区栅浦闸、葭沚闸、杨司、海门、岩头闸、殿后陶、经四路、建设闸、井马水库、洪家和滨海工业园 11 个雨量站(图 1)提供的日降雨量数据(2014 年 1—12 月)。

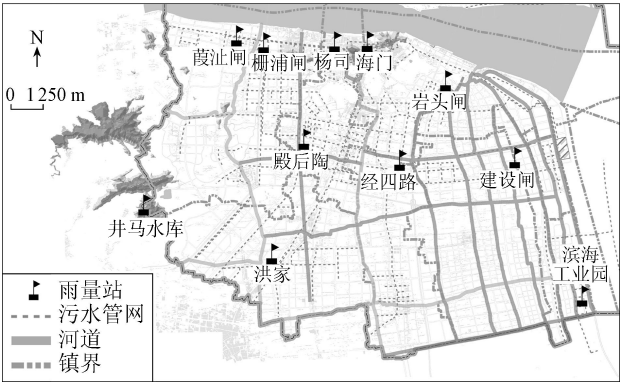


图 1 椒江区雨量站位置

1.2.2 进水量保证率计算方法

保证率是指在某一时段内,某一要素值高于或低于某一界限的频率的总和,用于说明该种状况出现的可靠程度^[16]。如污水处理厂进水量 a 的保证率为 $n\%$,即表示日进水量在 100 天中可有 n 天保证不超过 a 。保证率通过频率累计的统计计算

得出。将污水处理厂日进水量降序排列,由大到小进行频率累计并记录,以进水量组限下限值为横坐标,对应保证率为纵坐标作散点图,并拟合为平滑曲线,即可得到保证率变化曲线,以及各保证率所对应的进水量,进水量值越细分,所得结果越精确。

1.2.3 雨水混入率的定量分析方法

借鉴评估地下水渗入排污管道的方法,采用水量平衡法中的三角法^[17],对污水管网中的雨水混入率进行定量分析。将一年的日均污水量按升序排列,进行均一化处理:将时间除以一年总天数,日均污水量除以一年中的最大日污水量。以晴雨天占一年总天数的比例为横坐标,日污水量占最大日污水量的比例为纵坐标,建立坐标系,将数据绘于图表中,可得到一条曲线,见图 2。图 2 中下方矩形区域代表年原生污水量;中间区域代表年雨水混入量和年地下水、河水渗入量之和;点 A 表示一年中晴天所占的比例,从该点画垂线交曲线于一点 B,并以直线连结该交点 B 与右下角点 C,则该直线下方区域即表示年地下水、河水渗入量,上方区域表示年雨水混入量,包括年雨水流入量与年雨水渗入量。

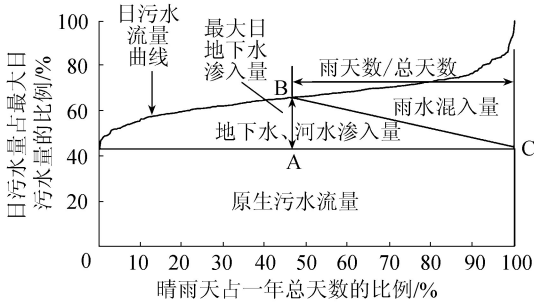


图 2 三角法原理

2 分析与讨论

2.1 污水处理厂日污水量频率分析

2014 年椒江污水处理厂日污水量与日均降雨量变化曲线见图 3,日污水量在 8 万 ~ 20 万 t/d 范围内上下波动,振幅较大,图 3 中可见明显的峰值;日均降雨量大多处于 30 mm 以下,对于超过 60 mm 的峰值,可看出与日进水量峰值具有显著的一致性。据此数据进行保证率计算,可得保证率变化曲线(图 4)。

以保证率为 0 时所对应污水处理厂进水量作为晴天污水量,保证率为 10% 时所对应污水处理厂进水量作为小雨时污水量,保证率为 50% 时所对应污水处理厂进水量作为中雨时污水量,保证率为 90% 时所对应污水处理厂进水量作为大雨时污水量,保证率为 100% 时所对应污水处理厂进水量作为连续

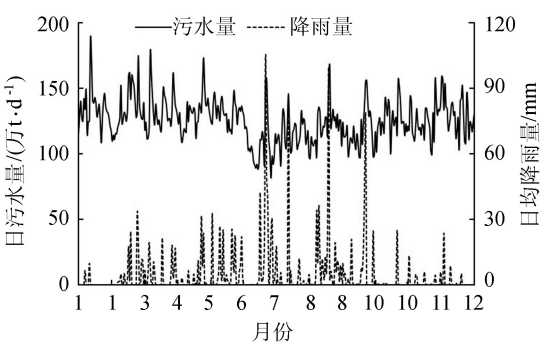


图 3 日污水量与日均降雨量变化曲线

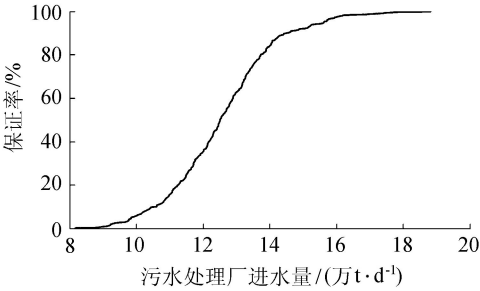


图 4 保证率变化曲线

暴雨时污水量。晴天时污水量为 8.2 万 t/d,小雨时污水量为 10.5 万 t/d,是晴天的 1.29 倍;中雨时污水量为 12.5 万 t/d,是晴天的 1.53 倍;大雨时污水量为 14.5 万 t/d,是晴天的 1.77 倍;连续暴雨时污水量为 18.8 万 t/d,是晴天的 2.31 倍。降雨强度增大,污水处理厂受到的冲击负荷也随之增加。

由此可知,椒江区管网中雨天雨水混入率较高,晴天与暴雨时的污水量有很大差距,造成污水量较大幅度地上下波动,与日污水量变化一致。这会导致水量水质的不稳定性,对污水处理厂与污水管网造成较大的冲击负荷。由于滨海城市降雨天数多且雨量充沛,雨天大量雨水进入污水管网,造成污水处理厂超负荷运行,导致进、出水水质超标,严重影响排水系统的正常运行,并造成环境污染。因此,分析污水量中的雨水混入比例是必要的,有利于合理确定污水处理厂的规模。

2.2 污水管网中雨水混入比例分析

污水管网中的总水量可分为原生污水量、地下水与河水渗入量以及雨水混入量。基于 2014 年椒江污水处理厂日污水量数据,采用三角法^[18]对污水管网中的雨水混入比例进行定量分析,结果表明:2014 年椒江污水处理厂晴天日均污水量为 10.75 万 t/d,其中地下水与河水渗入量为 2.59 万 t/d,约占晴天日均污水量 24.1%;雨天日均污水量为 14.18 万 t/d,是晴天日均污水量的 1.32 倍,其中雨水混入量为 3.43 万 t/d,约占雨天日均污水量 24.2%;地下水与河水渗入量约占雨天日均污水量的 18.3%;雨水混入量、地下水与河水渗入量较高,

管网破损漏水严重。

东部滨海城市降雨充沛,一年降雨天数的比例超过 50%,由于雨水混入比例较高,这意味着污水处理厂一年的进水量中有一半以上时间深受降雨影响,而给水日变化系数相对较小,不足以表现降雨量影响,需进行降雨量影响的量化或指标化。针对不同降雨量时的污水量进行统计分析,分别求出对应的雨水混入比例,同时参考不同降雨量所对应频率(图 5),对降雨量进行组距式分组,横坐标表示降雨量分组的上下限,即组限,主纵坐标表示雨水混入比例,次纵坐标表示降雨频率。

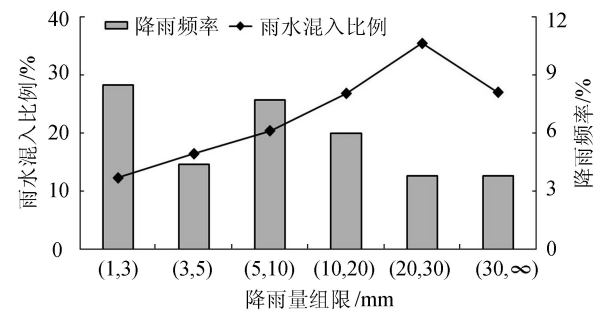


图 5 雨水混入比例随降雨量变化

根据降雨频率,可以看出暴雨频率相对较低,一般雨量集中在 5~20 mm 区间,而 1~3 mm 区间降雨频率虽然较高,但雨水混入比例较低。因此,在研究雨水混入比例的取值范围时,可主要参考 5~20 mm 区间段。降雨量较小时,在 1~3 mm、3~5 mm、5~10 mm 区间内,雨水混入比例分别为 12.3%、16.5%、20.4%;降雨量较大时,在 10~20 mm、20~30 mm 区间内,雨水混入比例分别为 26.8%、35.5%。随降雨量增大,雨水混入比例由 10% 左右逐渐升高至 35% 左右。降雨量增大至一定数值后,雨水混入比例趋于 27%,这是由于降雨量较小时,不能形成径流,当降雨量较大时,形成径流,通过直流或管道渗漏进入污水管网中,增加了总水量。根据调查可知,污水量增加到一定数值后,污水处理厂考虑自身处理负荷,将适时关闭一些污水泵站,而随着降雨量的进一步增加,污水泵站已不能发挥调节作用,污水将通过超越管线排入河中,这解释了雨水混入比例有所下降并趋于稳定的原因。

2.3 滨海城市污水处理厂规模的合理确定

污水处理厂的设计水量一般由供水量经日变化系数^[19]、污水排放系数、入渗比、截流倍数^[20]修正后确定。雨水混入和地下水入渗使得污水厂规模的确定更为复杂,但排水设计手册和规范中均未对此进行明确规定,实际问题中污水管网的雨水、地下水入流入渗率一般取 10%。

我国东部沿海城市由于降雨充沛,地下水位高,

导致地质松软,管道易破损,排水管网管理和维护体制不足等因素,具有特殊性。合肥市合流制地区雨天出流是旱季流量的 2.3 倍^[21],桂林市雨天污水平均进水量是晴天的 1.5 倍^[22],相比内陆地区,深圳某污水处理厂按照雨天流量是旱季流量的 3 倍计算^[23],可见滨海城市雨量较多,晴雨天污水量变化较大。李田等^[24]认为应采用占污水总量的比例作为渗入量指标,并建议上海市区的新建排水系统的渗入量指标定在 10%~20%,陈旧管道需进一步研究;周宏斌等^[25]对城市供排水系统进行水量平衡分析,得出昆明城区雨水混入量占污水总量的 23%;对日本 26 个排水区域中,平均渗入量是污水总量的 25.9%^[26];英国平均旱季流量中入渗率为 15%~50%^[27];德国污水厂普查数据显示平均入渗率约 30%^[28],34 个污水处理厂中污水、雨水和渗水量分别占 30%、35%、35%^[29],10% 污水厂的旱季流量入渗率超过 50%^[30]。总体来说,发达国家雨水混入量比例较高,我国滨海城市比内陆城市略高,且老城区比新城区略高。

对于椒江污水处理厂,经过计算、分析雨天雨水混入比例为 24.2%,随降雨量增大,雨水混入比例由 10% 左右逐渐升高至 35% 左右,降雨量增大至一定数值后,雨水混入比例趋于 27%,均远大于 10%。因此在设计滨海城市生活污水处理厂的规模时,雨水混入比例可定为 25%~30%,与地下水渗入率分开考虑,老旧管网的地下水渗入率也应适当提高。此外,完善城市排水系统,实行雨污分流、雨水资源化利用、污水管网检修是长期、细致和十分必要的工作^[31-33]。

3 结 论

台州市椒江区污水处理厂设计水量中雨水混入比例是地下水与河水渗入量约占晴天日均污水量 24.1%,占雨天日均污水量的 18.3%,雨天雨水混入量约占雨天日均污水量 24.2%。确定滨海城市生活污水厂规模时,雨水混入量的比例可定为 25%~30%,老城区可取较大值,而新城区取较小值,同时也需注意维护和完善排水系统。

参考文献:

[1] 胡春明. 雨污分流,还是“同流合污”[J]. 广西城镇建设,2009(4): 41-42. (HU Chunming. Distribution of rain and sewage or combined system[J]. Cities and Towns Construction in Guangxi, 2009(4): 41-42. (in Chinese))
[2] 徐振宇,李大海. 秦皇岛市污水处理厂运行现状与存

- 在问题的对策[J]. 黑龙江水利技, 2014(10): 233-234. (XU Zhenyu, LI Dahai. Operation status quo and countermeasure of existing problems of sewage treatment plants in Qinhuangdao City[J]. Heilongjiang Science and Technology of Water Conservancy, 2014(10): 233-234. (in Chinese))
- [3] 李津. 浅谈污水管网的存在问题及对策:以厦门市某污水处理厂污水管网为例[J]. 企业技术开发, 2013, 32(5): 160-161. (LI Jin. The existing problems and countermeasures of sewage pipe network: using the pipe network of sewage treatment plant in Xiamen City as an example [J]. Technological Development of Enterprise, 2013, 32(5):160-161. (in Chinese))
- [4] 薛梅,周柯锦,郭一令,等. 下水道中不明水的调查及防治对策[J]. 中国给水排水, 2006, 22(17):53-56. (XUE Mei, ZHOU Kejin, GUO Yiling, et al. Survey of unknown-water in sewers and corresponding countermeasure [J]. China Water & Wastewater, 2006, 22(17):53-56. (in Chinese))
- [5] 金银. 雨污水对污水厂运行的影响及其控制对策研究[D]. 天津:天津大学, 2014.
- [6] 董景春. 城市污水测算统计方法[J]. 环境科学与技术, 2003, 26(3):30-31. (DONG Jingchun. A statistical method for projection of municipal sewage [J]. Environmental Science and Technology, 2003, 26(3):30-31. (in Chinese))
- [7] BROMBACH H, WEISS G, LUCAS S. Temporal variation of infiltration inflow in combined sewer systems [J]. Global Solutions for Urban Drainage, 2002, 24(4):1-10.
- [8] KRACHT O, GRESCH M, GUJER W. Innovative tracer methods for sewer infiltration monitoring [J]. Urban Water Journal, 2008, 5(5): 173-185.
- [9] DE B J, BERTRAND-KRAJEWSKI J L. Measurement of infiltration rates in urban sewer systems by use of oxygen isotopes[J]. Water Science & Technology A Journal of the International Association on Water Pollution Research, 2005, 52(3):229-37.
- [10] LEE R K. Interpreting storm flow data to determine types of infiltration and inflow[C]//Pipeline Division Specialty Conference. Houston: Pipeline Division of ASCE, 2005: 497-509.
- [11] 张齐云. 沌口污水处理厂水质水量调查与预测[D]. 武汉:武汉理工大学, 2004.
- [12] 盛政,刘旭军,王浩正,等. 城市污水管道入流入渗监测技术研究与应用进展[J]. 环境工程, 2013, 31(2): 17-21. (SHENG Zheng, LIU Xujun, WANG Haozheng, et al. Research and application progress on monitoring technology of urban sewage pipeline inflow and infiltration [J]. Environmental Engineering, 2013, 31(2):17-21. (in Chinese))
- [13] 吴兆申,皇甫佳群,金家明. 城市给排水工程规划水量规模的确定[J]. 给水排水, 2003, 29(4):29-31. (WU Zhaosheng, HUANGPU Jiaqun, JIN Jiaming. Capacity determination in municipal water and wastewater engineering planning [J]. Water and Wastewater Engineering, 2003, 29(4):29-31. (in Chinese))
- [14] 曾向前. 南太子湖污水处理厂水质水量分析与预测[D]. 武汉:武汉理工大学, 2005.
- [15] 方娟,梅亚青,曾巍,等. 采用差异化用水量指标预测污水处理厂的规模[J]. 中国给水排水, 2013, 29(17): 77-80. (FANG Juan, MEI Yaqing, ZENG Wei, et al. Application of different water consumption indicators to forecasting scale of wastewater treatment plant[J]. China Water & Wastewater, 2013, 29(17): 77-80. (in Chinese))
- [16] 侯保灯,高而坤,占许珠,等. 用水保证率内涵、计算及应用探讨[J]. 中国水利, 2015(17):12-15. (HOU Baodeng, GAO Erkun, ZHAN Xuzhu, et al. Connotation, calculation and application of guarantee rate of water use[J]. China Water Resources, 2015(17):12-15. (in Chinese))
- [17] 郭帅,张土乔, DAVID Z Z. 地下水渗入排污管道的定量方法[J]. 中国给水排水, 2013, 29(4): 21-25. (GUO Shuai, ZHANG Shiqiao, DAVID Z Z. Quantitative methods for groundwater infiltration into sewer system [J]. China Water & Wastewater, 2013, 29(4): 21-25. (in Chinese))
- [18] 郭帅. 城市排水系统地下水入渗及土壤侵蚀问题研究[D]. 杭州:浙江大学, 2012.
- [19] 马人骄. 某污水处理厂污水量预测的比较研究[J]. 科技与企业, 2012(24): 146. (MA Renjiao. A comparative study on the prediction of wastewater in a sewage treatment plant [J]. Science-Technology Enterprise, 2012(24):146. (in Chinese))
- [20] 张超,姜应和. 合流制排水系统截流倍数优选[J]. 环境工程学报, 2015, 9(6):2771-2776. (ZHANG Chao, JIANG Yinghe. Optimization of interception ratio of combined sewer system [J]. Techniques and Equipment for Environmental Pollution Control, 2015, 9(6): 2771-2776. (in Chinese))
- [21] 李田,钱静,沈军,等. 合肥市排水系统雨天出流水质监测与分析[J]. 给水排水, 2014, 40(2):40-44. (LI Tian, QIAN Jing, SHEN Jun, et al. Water quality monitoring and analysis on rainy days in Hefei City drainage system[J]. Water and Wastewater Engineering, 2014, 40(2):40-44. (in Chinese))
- [22] 文彪. 城镇污水厂雨季运行中的问题及对策[J]. 江西建材, 2014(3):70-71. (WEN Biao. Problems and countermeasures in the operation of the rainy season in the urban sewage plant[J]. Jiangxi Building Materials, 2014(3):70-71. (in Chinese))

[19] 杜贱增,王根绪,李元寿. 基于马尔科夫链模型的长江源区土地覆盖格局变化特征[J]. 生态学杂志, 2015, 34(1):195-203. (DU Jizeng, WANG Genxu, LI Yuanshou. Changes of land cover pattern in the source region of Yangtze River based on Markov process[J]. Chinese Journal of Ecology, 2015, 34(1):195-203. (in Chinese))

[20] 李德成,徐彬彬,石晓日. 利用马氏过程模拟和预测

土壤侵蚀的动态演变:以安徽省岳西县为例[J]. 遥感学报, 1995(2):89-96. (LI Decheng, XU Binbin, SHI Xiaori. Simulation and forest of soil erosion development with Markov process; a case study in Yuexi, Anhui Province[J]. Journal of Remote Sensing, 1995(2):89-96. (in Chinese))

(收稿日期:2016-12-30 编辑:徐 娟)

(上接第 9 页)

而 2015 年长江流域社会经济耗水量仅 847 亿 m³。当然,河北省本地的地表水、地下水等,不是一点不用,但是,一个大城市必须有安全足量的主水源和多个备用水源。地下水可以作为生活用水备用水源,但区域地下水超采问题必须逐步解决。从目前看,河北省地下水超采问题尚未找到十分有效的办法。

四是水事纠纷问题。越缺水的地方,水事纠纷越多。雄安新区建设在缺水的河北省,难免有城乡之间、省区之间用水的矛盾。如,新区建设中,集中开采地下水作为供水水源,可能导致地下水位下降,影响当地农民用水等。新区建设需要很好的

水环境,保定等上游地区肯定面临巨大的治污压力,而治污工程建设及运行的资金又难以筹措。如此种种的水事问题需要统一考虑。水管理方面,可吸取目前上海、北京、深圳的水务一体化管理经验,统一处理涉水事务。

以上 4 种问题相互交织,在以水定城理念指引下,从流域的视角,综合考虑雄安新区建设的防洪安全、供水系统、水环境保护与水污染治理、水景观、湖泊保护等问题,将这些问题纳入一个大的水规划中统筹解决,把新区真正建设成一个“水城深度共融”的样板。

(收稿日期:2017-04-17 编辑:徐 娟)

(上接第 79 页)

[23] 邱悦宁. 深圳市福永污水处理厂设计介绍[J]. 城市道桥与防洪,2014(7):248-251. (QIU Yuening. Design introduction of Fuyong sewage treatment plant in Shenzhen City[J]. Urban Roads Bridges and Flood Control, 2014 (7):248-251. (in Chinese))

[24] 李田,时珍宝,张善发. 上海市排水小区地下水渗入量研究[J]. 给水排水, 2004, 30(1):29-33. (LI Tian, SHI Zhenbao, ZHANG Shanfa. Study on the infiltration of groundwater in Shanghai drainage area [J]. Water and Wastewater Engineering, 2004, 30 (1): 29-33. (in Chinese))

[25] 周宏斌,何佳,张英,等. 湖滨城市供排水平衡分析及对策:以昆明市为例[J]. 环境科学导刊,2015(2):44-47. (ZHOU Hongbin, HE Jia, ZHANG Ying, et al. Analysis and countermeasures of water supply and drainage balance of waterfront city by taking Kunming as an example [J]. Environmental Science Survey, 2015 (2): 44-47. (in Chinese))

[26] 日本下水道维护管理协会. 下水道维护与管理手册[M]. 东京:日本下水道维护管理协会, 1997.

[27] WHITE M, JOHNSON H, ANDERSON G, et al. Control of Infiltration to Sewers [C]// Construction Industry Research and Information Association Report R175. London: Construction Industry Research and Information

Association, 1997:72.

[28] PELTRET J. Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung 2001: Wiesbaden[R]. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt, 2003.

[29] WEISS G, BROMBACH H, HALLER B. Infiltration and inflow in combined sewer systems: long-term analysis[J]. Water Science & Technology, 2002, 45(7):11.

[30] ATV-DVWK Arbeitsgruppe Fremdwasser. Fremdwassersituation in Deutschland [J]. KA-Abwasser Abfall, 2003, 50: 70-81.

[31] 张小义. 新余市城市排水工程专项规划若干问题研究[D]. 南昌:南昌大学,2014.

[32] 汪晶,王菊,韦诚,等. 江苏城市雨水利用模式研究[J]. 中国水利, 2015 (15): 31-33. (WANG Jing, WANG Ju, WEI Cheng, et al. Study on urban rainwater utilization modes in Jiangsu Province[J]. China Water Resources, 2015(15): 31-33. (in Chinese))

[33] 杨文进,雷培树,李树苑. 地下水渗入排水管道的危害性和渗入量分析及防渗建议[J]. 给水排水, 2007, 33 (11): 113-115. (YANG Wenjin, LEI Peishu, LI Shuyuan. Analysis of harmfulness and infiltration quantity of groundwater seepage in drainage pipe and suggestions [J]. Water and Wastewater Engineering, 2007, 33(11): 113-115. (in Chinese))

(收稿日期:2016-09-29 编辑:王 芳)