



北京師範大學
BEIJING NORMAL UNIVERSITY

流域水环境承载力评估技术体系

北京师范大学
曾维华教授
2021年12月30日



提 纲

一

背景意义

二

**水环境承载力的概念辨析与
内涵及外延界定**

三

**水环境承载力动态评估
技术方法体系研究**

四

北运河流域动态评估案例研究

五

水生态分区保护建议



一、背景意义



研究意义

■ 背景意义

➤ 流域水系统持续发展与集成管理的需求

1. 生态文明体制改革总体方案要求: **建立资源环境承载能力监测预警机制。逐步开展省、市、县资源环境承载力评价。**
2. 《中共中央关于全面深化改革若干重大问题的决定》明确指出, “**建立资源环境承载能力监测预警机制**, 对资源超载区域实行限制性措施”。
3. 环境保护法: 树立基于**环境承载力的绿色发展模式理念**, 坚持保护优先。
4. 水十条: 建立水资源、水环境**承载能力评价体系**, 实行**承载能力监测预警**, 加快调整发展规划和产业结构、优化空间布局。

➤ “十一五”和“十二五”相关研究不足待完善:

1. 缺乏流域**水环境承载力评价、预警与分区管控**方面的研究;
2. 尚未建立**兼顾水资源、水环境与水生态**的流域水环境承载力动态评估与**预警技术方法体系**。



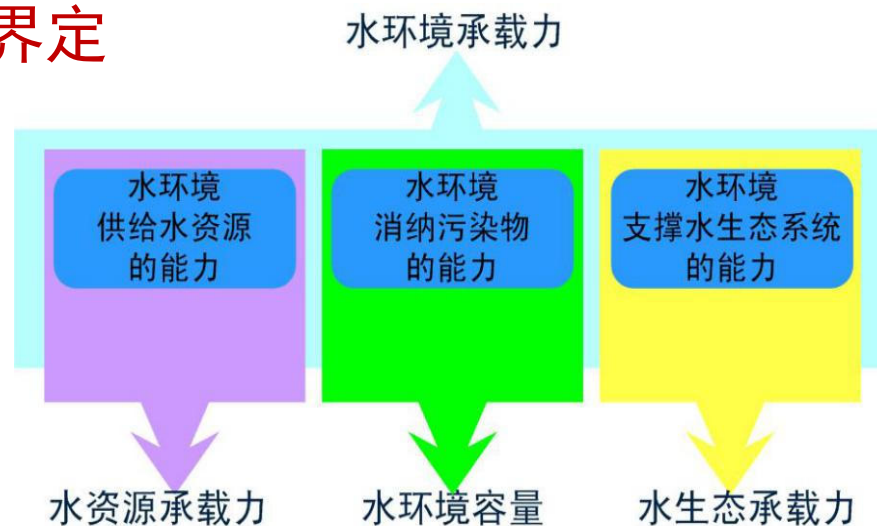
水环境承载力的概念辨析 与内涵及外延界定



水环境承载力的概念辨析与内涵及外延界定

水环境承载力的概念辨析与内涵界定

- **水环境容量**（狭义水环境承载力）是指水环境消纳污染物的能力，即“**水质**”方面的承载能力；
- **水资源承载力**指水环境供给水资源的能力或人类在生产生活中可利用水资源的能力，即“**水量**”方面的承载能力；
- **水生态承载力**强调的是水体在维持自身生态系统健康发展条件下，支撑人类活动的的能力，侧重的是水环境为生态系统提供生态用水、滋养水生生物的能力，即“**水生态**”方面的承载能力。



- **水质、水量、水生态**代表了水环境的三个方面，水资源承载力、水环境容量和水生态承载力之间既有区别，又存在相互联系；其中，水资源承载力、水环境容量和水生态承载力分别是水环境承载力这一整体概念的分量表征，都是水环境承载力必不可少的一部分。



生态环境部：关于开展水环境承载力评价工作的通知

- 为落实《环境保护法》《水污染防治法》和《水污染防治行动计划》有关规定，做好重点流域水生态环境保护“十四五”规划编制工作，生态环境部组织编制了《水环境承载力评价方法（试行）》。
- 水质时间达标率（A1）
 - 反映评价区域内水质在时间尺度上的达标情况，是所有断面（点位）水质时间达标率的算术平均值。断面（点位）水质时间达标率指在一年内不同时期水质达标次数占总监测次数的百分比。
- 水质空间达标率（A2）
 - 反映评价区域内水质在空间尺度上的达标情况，指区域内年度达标断面（点位）个数占断面（点位）总个数的百分比。
- 水环境承载力指数（Rc）
 - 定量反映水环境承载力大小的数值，将评价指标代入水环境承载力指数公式计算获得，无量纲。
- 水环境承载力评价什么？
 - 大小？
 - 承载状态？
 - 开发利用潜力？

$$A_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_i$$

$$C_i = \frac{\text{断面Y点位Y达标次数}}{\text{评价年监测总次数}} \times 100\%$$

$$R_c = \frac{A_1 + A_2}{2}$$



环境科学学会团标：水生态承载力评价技术指南

表 4-1 水生态承载力评估推荐指标及权重

专项指标	分项指标	权重	评估指标		权重
水资源 (A)	水资源禀赋指数 (A1)	0.5	人均水资源量 (A1-1)		1
	水资源利用指数 (A2)	0.5	万元 GDP 用水量 (A2-1)		0.3
			水资源开发利用率 (A2-2)		0.2
			用水总量控制红线达标率 (A2-3)		0.5
水环境 (B)	水环境纳污指数 (B1)	0.4	工业污染强度指数 (B1-1)	工业 COD 排放强度 (B1-1-1)	0.1
				工业氨氮排放强度 (B1-1-2)	0.1
				工业总氮排放强度 (B1-1-3)	0.1
水生态 (C)	水环境净化指数 (B2)	0.6	生活污染强度指数 (B1-3)	城镇生活污水氨氮排放强度 (B1-3-2)	0.075
				城镇生活污水总氮排放强度 (B1-3-3)	0.075
				城镇生活污水总磷排放强度 (B1-3-4)	0.075
			水环境质量指数 (B2-1)		0.5
			集中式饮用水源地水质达标率 (B2-2)		0.5
	水生生境指数 (C1)	0.5	岸线植被覆盖度 (C1-1)		0.25/0.35/0.3
			水域面积指数 (C1-2)		0.15/0.25/0.35
			河流连通性 (C1-3)		0.25/0.15/0.15
			生态基流保障率 (C1-4)		0.35/0.25/0.2

$$F_{ij} = \sum_{k=1}^n w_{ijk} \times P_{ijk}$$

$$Z_i = \sum_{j=1}^m w_{ij} \times F_{ij}$$

$$HECC = \frac{\sum_{i=1}^4 Z_i}{3}$$

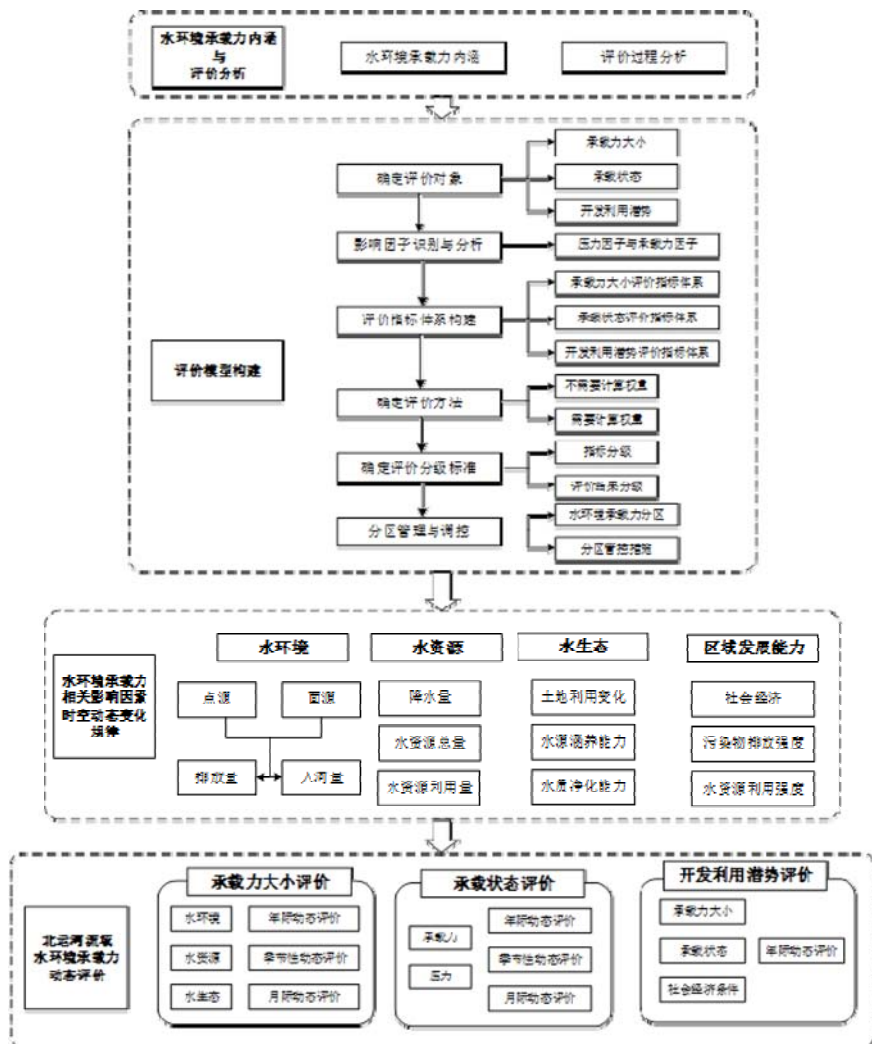


水环境承载力动态评估 技术方法体系研究



动态评估技术方法体系研究

动态评估技术方法体系构建



1.流域水环境承载力时空划分及动态评估方法体系的构建

- 时空划分（控制子单元划分、季节性划分）
- 评估指标体系构建（水资源、水环境、水生态）

2.北运河流域水环境、水资源、水生态指标分析

- 水环境
 - 水环境容量（或容量指数）
 - 水环境污染负荷
- 水资源
 - 水资源可利用量---地表水可利用量+水源涵养量
 - 水资源消耗量---生产、生活用水
- 水生态
 - 水面占比（湿地占比）
 - 水质净化
 - 水源涵养
 - 河流蜿蜒度
- 开发利用潜力指标
 - 人口密度、
 - 人均GDP
 - 三产占比
 - 环保投资

3.北运河流域水环境承载力动态评估

- 水环境承载力大小、承载状态、开发利用潜势



动态评估技术方法体系研究

时空划分

空间划分方法：

- 从流域变化上，基于国家控制单元划分成果
- 从管理尺度上，基于国家河长制分区或者行政边界

时间划分方法：

- 从年际变化角度，逐年评估或者丰水年、枯水年、平水年
- 从季节变化角度，平水期、丰水期、枯水期
- 从月际变化角度，逐月评估



动态评估技术方法体系研究

水环境承载力大小评估-指标体系构建

评估对象是流域/区域天然水系统能够为人类活动提供的支撑能力，是自然水系统的属性评估，与社会水系统给自然水系统带来的压力无关。

目标层	指标层	分指标	单位	
流域水环境 承载力 大小评估	流域水环境容量	COD容量	t	水环境容量或 水环境容量指 数
		氨氮容量	t	
		TP容量	t	
	流域水资源分量	地表水资源量	t	水资源总量
		地下水资源量	t	
		再生水量	t	
	流域水生态分量	水源涵养	%	流域生态系统 服务功能
		水质净化	%	
		水文连通性	%	
		河流蜿蜒度	%	
		湿地或水面面积占比	%	
		林草覆盖	%	

结合北运河流域的特点，由于流域闸坝较多，故选用河流/水文连通性作为评估该特征的指标；并考虑到北运河流域人为扰动大、多水源补给等特点，细化了水资源量指标，将其分为地表水资源量、地下水资源量和再生水量。



动态评估技术方法体系研究

水环境承载力承载状态评估-指标体系构建

评估对象是流域/区域水系统社会经济子系统人类活动给自然水系统带来的**压力**（用水与排水等）**超过自然水系统提供的水环境承载力的程度**。

目标层	指标层	分指标
流域水环境承载力 承载状态评估	水环境承载指数	COD承载率
		氨氮承载率
		TP承载率
	水资源承载指数	水资源承载率

反映**人类活动与水环境功能结构间的协调程度**；是**评判水系统持续健康发展**的重要手段；其指标体系即要有反映人类活动的压力指标，又要有反映自然水系统的水环境承载力指标。



动态评估技术方法体系研究

指标体系构建

目标层		分层	指标层	单位
流域水环境承载力承载状态	水环境压力	点源排放量	COD点源排放量	t
			氨氮点源排放量	t
		面源排放量	COD面源排放量	t
			氨氮面源排放量	t
			TP面源排放量	t
		水资源利用量	生活用水量	t
			生产用水量	t
			生态用水量	t
	水环境承载力大小	水环境容量	本地COD浓度	mg/L
			本地氨氮浓度	mg/L
			本地TP浓度	mg/L
			COD水质目标	mg/L
			氨氮水质目标	mg/L
			TP水质目标	mg/L
		水资源总量	降雨量	mm
			再生水量	t
			地表水量	t
			地下水量	t
		水生态分量	水面面积占比	%
			水文连通性	%
			水源涵养	%
			水质净化能力	%
			河流蜿蜒度	%



动态评估技术方法体系研究

水环境承载力开发利用潜势评估-指标体系构建

评估对象是水环境承载力开发利用潜势，评估指标除了压力、水环境承载力之外，还包括水环境承载力开发利用能力指标。

目标层	准则层	指标层	单位
流域水环境承载力开发利用潜势	流域水环境承载力大小	流域水环境分量	--
		流域水资源分量	--
		流域生态分量	--
	流域水环境承载力承载状态	水资源承载率	%
		COD承载率	%
		氨氮承载率	%
		TP承载率	
	污染物排放强度与水资源利用强度	水资源利用	人均生活用水量 m ³ /万人
			万元GDP水耗 m ³ /万元
		污染物排放	万元GDP COD排放量 t/万元
			万元GDP 氨氮排放量 t/万元
			万元GDP TP排放量 t/万元
		区域发展能力	城镇化率 %
			人均GDP 万元/人
			第三产业占比 %
			环保投资占比 %
			污水处理率 %
			污水回用率 %



动态评估技术方法体系研究

短板法

$$\begin{cases} \text{当 } P_i \text{ 为正向指标: } P = \min(P_1, P_2, \dots, P_n) \\ \text{当 } P_i \text{ 为负向指标: } P = \max(P_1, P_2, \dots, P_n) \end{cases}$$

内梅罗

$$P = \sqrt{\frac{\bar{P}^2 + P_{\max}^2}{2}}$$

$$\bar{P} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i$$

\bar{P} ——各要素承载率的平均值;

P_{\max} ——各要素承载率的最大值;

P_i ——第*i*种要素承载率。

熵权法

$$P_j = \sum_{i=1}^n \omega_i x_{ij}$$

$$\omega_i = \frac{1 - E_j}{\sum_{j=1}^m (1 - E_j)}$$

$$E_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n \delta_{ij} \ln \delta_{ij}$$

$$\delta_{ij} = x_{ij} / \sum_{i=1}^n x_{ij}$$

式中: P_j ——第*j*个控制子单元或第*j*年流域水环境承载力评估结果;

ω_i ——第*i*个指标的权重;

E_j ——第*j*个地区或年份的信息熵;

δ_{ij} ——第*i*个指标的标准化后的占比;

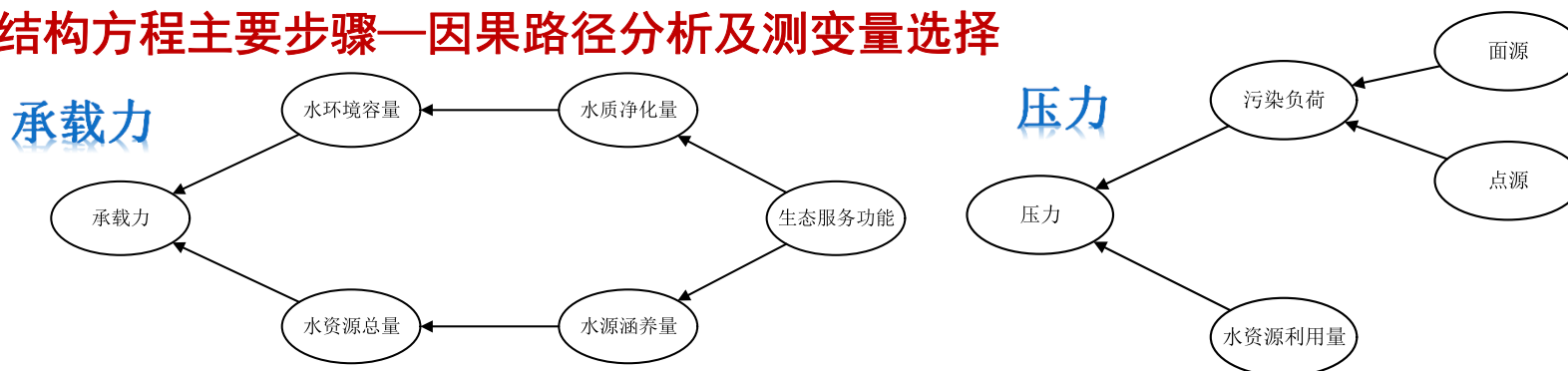
x_{ij} ——指标标准化结果;

n ——指标个数。



动态评估技术方法体系研究

■ 结构方程主要步骤—因果路径分析及测变量选择



■ 结构方程主要步骤—模型建立及检验

- 结构方程的解是否适当，包括迭代估计是否收敛、各参数估计值是否在合理范围内；
- 参数与预设模型的关系是否合理；
- 检视多个不同类型的整体拟合指数。

■ 结构方程主要步骤—模型运行结果分析与贡献度的计算

根据结构方程模型的输出结果，可以看出各变量间的关系大小和正负效应。

- 潜变量之间的计算数值表示各潜变量之间的相互影响大小
- 潜变量与测变量之间的计算数值表示各测变量对潜变量的因子载荷，计算数值越大则影响作用越显著
- 贡献率的大小是不同变化路径对水环境承载力（减排/增容）和水环境质量影响大小的量化



水环境承载力动态评估 分量核算方法 (水资源、水环境、水生态)

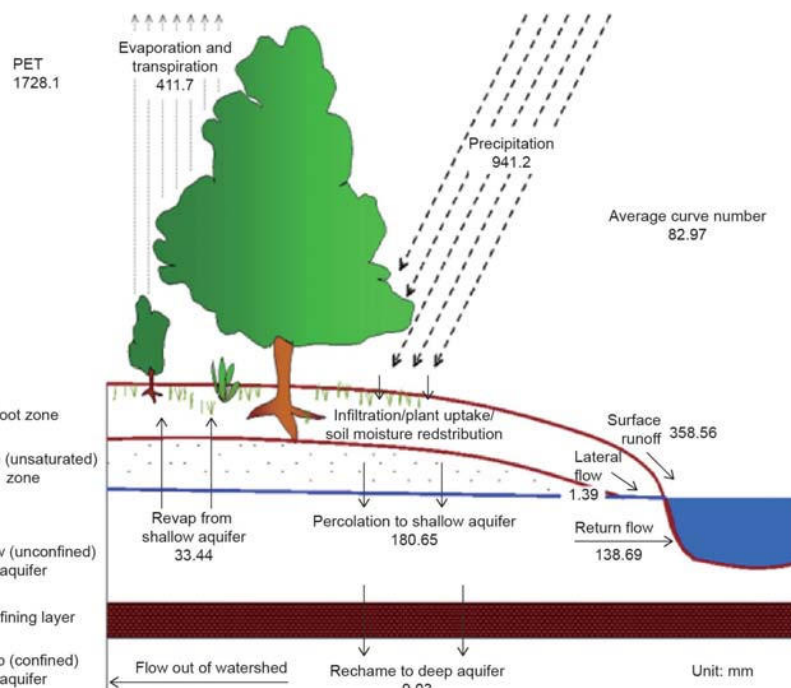
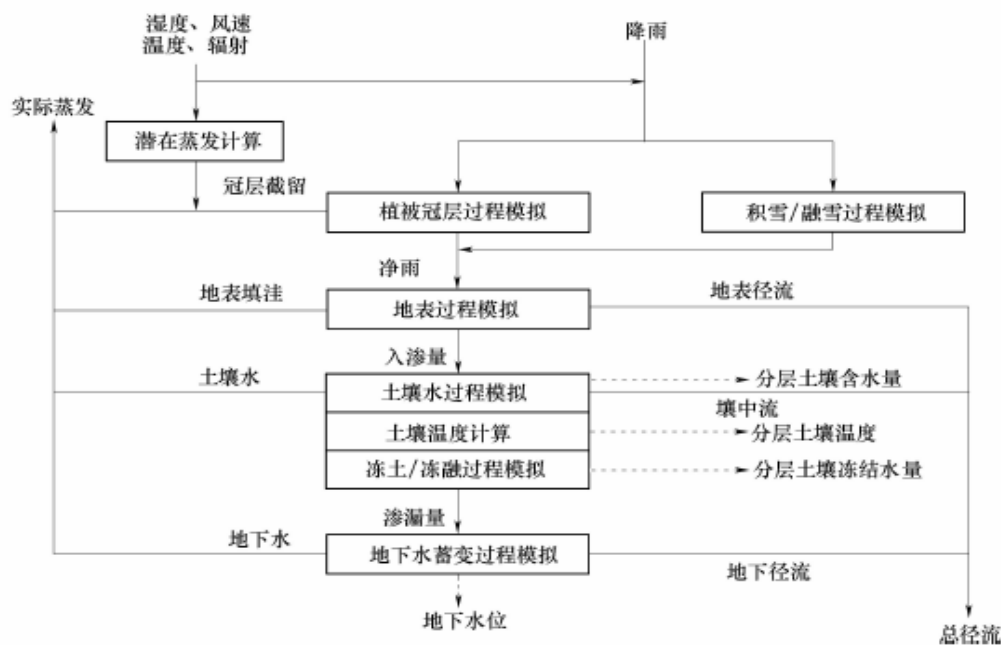


北运河流域水资源分量核算

水资源分量核算方法——SWAT产汇流模型

模型中采用的水量平衡表达式为：

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw})$$





北运河流域水资源分量核算

水资源分量核算方法——水资源可利用量与利用量核算

水资源可利用量估算公式为：

$$W_{\text{可利用总量}} = W_{\text{地表水可利用量}} + W_{\text{地下水可开采量}} - W_{\text{重复量}}$$

$$W_{\text{重复量}} = \rho(W_{\text{渠渗}} + W_{\text{田渗}})$$

蒸发量可采用高桥浩一郎公式进行核算：

$$E = \frac{3100R}{3100 + 1.8R^2 \exp\left(\frac{344t}{235+t}\right)}$$

各月的水资源量：

$$W_i = W \cdot \frac{R_i - E_i}{\sum_i (R_i - E_i)}$$

水资源利用量估算公式为：

$$Z_{\text{水资源利用量}} = Z_{\text{居民生活用水}} + Z_{\text{一产用水}} + Z_{\text{二产用水}} + Z_{\text{三产用水}} - Z_{\text{重复用水量}}$$



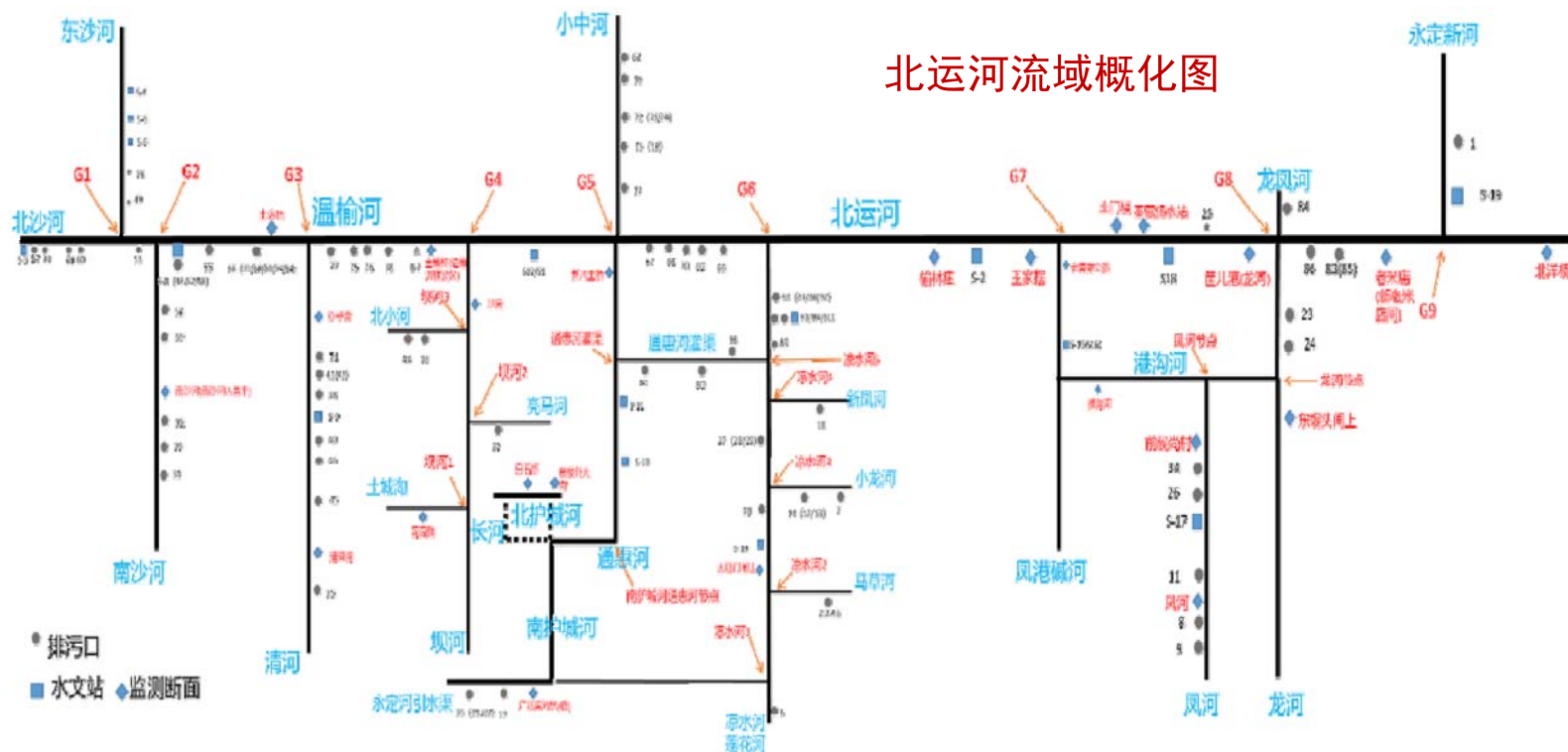
北运河流域水环境分量核算

水环境分量核算方法——反演模型

- 一维水环境质量模型（两点法）

$$M=[C_s-C_0\exp(-kx/u)](Q+Q_p)$$

C_s 为水质目标浓度值 (mg/L) ; C_0 为初始断面的污染物浓度 (mg/L) ; Q 为初始断面的入流流量 (m³/s) ; Q_p 为污水排放流量 (m³/s) ; x 为沿河段的纵向距离 (m) ; u 为设计流量下河道断面的平均流速 (m/s) ; k 为污染物衰减系数 (1/s)





北运河流域水环境分量核算

水环境分量核算方法——水环境容量指数计算

水环境容量指数就是表征水环境容量大小的指数，在不计算具体水环境容量情况下，用影响水环境容量大小的相关指标来表征水环境承载容量的大小，从而可以对比各区水环境容量的相对大小，具有一定的实际意义。

$$W = \frac{Q \times c_l}{c_0}$$

式中： W 表示水环境容量指数， Q 表示地表水资源量，万 m^3 ； c_l 表示断面水功能目标对应的污染物浓度 mg/L ， c_0 表示区域内所有断面污染物平均浓度 mg/L 。



北运河流域水环境分量核算

水环境分量核算方法——污染负荷核算 城镇居民生活源

城镇居民生活污染物的产生量是指各类生活源的污染物排入市政污水管道或周边环境

环境的量，生活源涵盖了居民家庭生活以及住宿餐饮业等范畴。

$$G_{CL} = NF_l$$

$$P_{CL} = G_{CL} \lambda [\delta_1 (1 - \mu_1) (1 - \mu_2) + (1 - \delta_1) (1 - \mu_1) (1 - \mu_2)] + G_{CL} (1 - \lambda) \theta$$

式中：Gcl——是指城镇居民生活污染物的产生量，单位g/d；

N——是指城镇居民常住人口数量，单位：人；

F1——是指污染物产生系数，单位：g/人/d；

P_{CL} ——是指城镇居民污染物排放量，单位：g/d；

G_{CL} ——是指城镇居民污染物产生量，单位：g/d；

λ 、 μ_1 ——是指城镇居民生活污水处理率、化粪池污染物去除率，单位：%；

μ_2 ——污水处理厂氨氮去除率，单位：%；

δ_1 ——是指通过生活污水通过化粪池的人口比例，单位：%

θ ——是指未经处理的污水的流失系数。



北运河流域水环境分量核算

水环境分量核算方法——污染负荷核算 农村居民生活源

农村生活污染物主要来自于居民在日常生活中产生的大量的垃圾、污水以及人粪尿等污染物。其中，生活垃圾主要来自于日常生活中产生的有机垃圾、有害垃圾、可回收垃圾等；生活污水主要来自于日常洗涤用水、淋浴等。计算公式如下：

$$P_{UL} = G_{UL} \lambda_1 \quad P_{UR} = G_{UR} \lambda_2 \theta \quad P_{Uf} = G_{Uf} \lambda_3$$

式中： P_{UL} 、 P_{UR} 、 P_{Uf} ——分别是指农村居民生活污水、生活垃圾以及排泄物中污染物排放量，单位：g/d；

G_{UL} 、 G_{UR} 、 G_{Uf} ——分别是指农村居民生活污水、生活垃圾以及排泄物中污染物产生量，单位g/d；

λ_1 、 λ_2 、 λ_3 ——分别是指农村生活污水、生活垃圾以及排泄物中污染物流失系数，单位：%；

θ 是指堆存垃圾中污染物释放系数，单位：%；



北运河流域水环境分量核算

水环境分量核算方法——污染负荷核算

工业源

工业源污染物排放量可以根据第一次污染普查所提供的系数进行核算，但是部分行业以及生产工业偏差比较大，由此根据工业的污水排放量进行反推，求出污染物的产生量。

$$G_I = W_D / [(1 - \lambda) + \lambda(1 - \mu)]$$

$$P_I = \sum_{i=1}^n Q_i C_i$$

式中： G_I ——是指工业污水中污染物产生量，单位：t；

W_D ——是指工业污水污染物排放量，单位：t；

λ 、 μ ——是指工业污水处理率以及去除率，单位：%；

P_I ——工业生产污染物排放量，单位：kg；

n ——工业点位个数，单位：个；

Q_i ——工业污水排放量，单位：L；

C_i ——工业污水污染物排放浓度，单位：kg/L。



北运河流域水环境分量核算

水环境分量核算方法——污染负荷核算

农业种植源

农业种植业的化肥施用量为种植业源污染物产生量，其中氮肥折纯量按照N折算，磷肥折纯量按照P₂O₅折算，复合肥折纯量按照主要成分N、P₂O₅、K₂O折算。

$$G_{ZN} = Q_N + 0.33Q_F$$

$$G_{ZP} = 43.66\%(Q_P + 0.33Q_F)$$

$$P_Z = (Q_f K_1 + K_2)S$$

式中： G_{ZN} 、 G_{ZP} ——分别指农业化肥氮磷的产生量，单位：t/a；

Q_N 、 Q_P 、 Q_F ——分别指是指氮肥、磷肥、复合肥的施用量的施用量，单位：t/a；

P_Z ——农业种植业污染物流失量，单位：kg；

Q_f ——单位面积肥料（或农药）投入量，单位：kg/m³；

S ——农田面积，单位：m³；

K_1 ——当季肥料（或农药）流失系数，单位：%；

K_2 ——土壤存量流失量，单位：kg/m³；



北运河流域水环境分量核算

水环境分量核算方法——污染负荷核算

农业畜禽养殖源

畜禽养殖业污染物排放方式包括两方面，一是在畜禽养殖过程中，有部分污染物随着养殖废水进入沟渠或者随降雨径流进入水体中，二是固体排泄物在进行还田过程中，随着农田流失进入水体中。

$$G_X = NF_x$$
$$P_X = N(\lambda_1 F_y + (F_x - F_y)\delta\lambda_2)$$

式中： G_X ——是指畜禽养殖污染物产生量，单位：kg/a；

N ——是指畜禽年出栏量或者存栏量，单位：头（或只、羽）；

F_x ——是指产物系数。

P_X 是指畜禽养殖氮磷排放量； N 是指当奶牛畜禽出栏量；

λ_1 、 λ_2 分别是指畜禽养殖污染物流失率、固体排泄物还田流失率0.4、0.02/0.01；

δ 固体排泄物还田率0.4

F_x 、 F_y 分别是指畜禽养殖污染物产生系数、排污系数



北运河流域水生态分量核算

水生态分量核算方法

水生态系统服务功能是指水生态系统及其生态过程所形成及所维持的人类赖以生存的自然环境条件与效用。根据水生态系统提供服务的机制、类型和效用，把水生态系统的服务功能划分为提供产品、调节功能、文化功能和生命支持功能四大类。

水生态服务功能核算指标及其核算方法

水生态服务功能	核算指标	核算方法
提供产品	生活用水	系数法
	生产用水	系数法
	水库水电生产	产水量评估模型
调节功能	水质净化	养分持留模型
	河流输送	泥沙输移比例模型
文化功能	旅游休闲娱乐	旅行费用法
支持功能	生境质量	生境质量模型



北运河流域水生态分量核算

水生态分量核算方法——水源涵养（InVEST模型）

植被可利用水含量

$$PAWC_x = 54.509 - 0.132sand - 0.003(sand)^2 - 0.055silt - 0.006(silt)^2 - 0.738clay + 0.007(clay)^2 - 2.688OM + 0.501(OM)^2$$

↓土壤砂粒含量
 ↓土壤粉粒含量
 ↓土壤粘粒含量
 ↓土壤有机质含量

植被有效可利用水

$$AWC_x = \min(\max SoilDepth_x, RootDepth_x) \times PWAC_x$$

↓最大土壤深度
 ↓根系深度

干燥指数

$$R_{xj} = \frac{k \times ET_0}{P_x}, k = \min\left(1, \frac{LAI}{3}\right)$$

潜在蒸散发量

$$ET_0 = 0.0013 \times 0.408 \times RA \times (T_{avg} + 17) \times (TD - 0.0123P)^{0.76}$$

↓太阳大气顶层辐射
 ↓日最高、低温的平均值
 ↓日最、低温的差值

年产水量

$$Y_{jx} = \left(1 - \frac{AET_{xj}}{P_x}\right) \times P_x, \frac{AET_{xj}}{P_x} = \frac{1 + w_x R_{xj}}{1 + w_x R_{xj} + 1/R_{xj}} jx$$

水源涵养量

$$Retention = \min\left(1, \frac{249}{Velocity}\right) \times \min\left(1, \frac{0.9 \times TI}{3}\right) \times \min\left(1, \frac{K_{sat}}{300}\right) \times Yield$$

↓地形指数
 ↓土壤饱和导水率
 ↓产水量

地形指数

$$TI = \lg\left(\frac{Drainage_Area}{Soil_Depth \times Percent_Slope}\right)$$

↓土壤深度
 ↓集水区栅格数量
 ↓百分比坡度



北运河流域水生态分量核算

水生态分量核算方法——水质净化（基于土地利用）

流域水质净化能力评估陆域生态系统截留面源污染的能力，主要与土地利用类型相关，水质净化能力可以综合各土地利用斑块水质净化能力得到。

$$W = \frac{\sum_{i=1}^n W_i S_i}{\sum_{i=1}^n S_i}$$

式中： W_i ——第 i 个斑块的水质净化能力，单位： %；

S_i ——第 i 个斑块的面积，单位： m^2 ；

n ——斑块数量。



北运河流域动态评估 案例研究



流域概况

■ 北运河流域概况

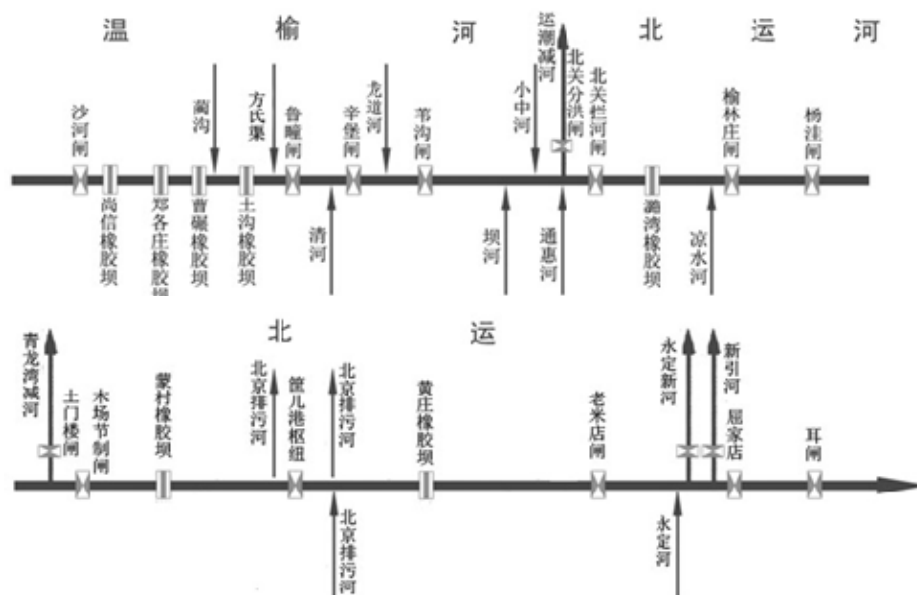
- 北运河位于永定、潮白两河之间，为海河流域北三河的主要水系之一；其发源于北京市昌平区燕山南麓军都山居庸关附近，自西北向东南流经北京市昌平、朝阳、顺义、大兴、通州区出境，经由河北省廊坊市香河县、天津市武清区、北辰区和红桥区汇入海河。
- 北运河干流全长约143km，流域面积6166km²，包括山区和平原区，其中山区面积952km²，占16%，平原面积5214km²，占84%。
- 北运河流域70%在北京境内，干流总长90km（沙河闸～市界），境内流域面积为4348km²，是北京市平原流域面积最大的水系。



流域概况

■ 北运河流域具有“**多闸坝、多水源补给和人为扰动程度高、污染程度高**”等特点。

- 北运河流域**有一级支流20条，主要二、三级支流110条。**
- 流域北京段主要包括昆玉河、长河、北护城河、南护城河等重要景观河流；有清河、坝河、通惠河、凉水河四大排水河流（系统），市区内的雨水、生活污水、工业废水都经过这四个水系最终汇入北运河。
- **为了治理北运河流域洪涝灾害，开发利用水资源，20世纪50年代起先后在上游山区修建中小型水库12座，并在北运河干流修建防洪节制闸17座，其中北京市5座，河北省1座，天津11座；并建有橡胶坝9座。闸坝阻断河流水力联系，水体流动缓慢。**



各闸坝在温榆河和北运河干流河道的位置示意图



北运河流域动态评估季节性划分

SDP季节性划分结果

通过对京津冀地区从1999-2017年近20年的降水量数据聚类分析，将一年内12月划分为平水期、枯水期、丰水期。选取2012年、2014年和2017年三个典型年，分析年际季节性差异，其中2012年为丰水年，降雨量高于600 mm，2014年为枯水年，降雨量低于400 mm，2017年为平水年，降雨量为500 mm左右。

季节性	枯水期	平水期	丰水期
月份	12月， 1-3月	4-5月， 10-11月	6-9月



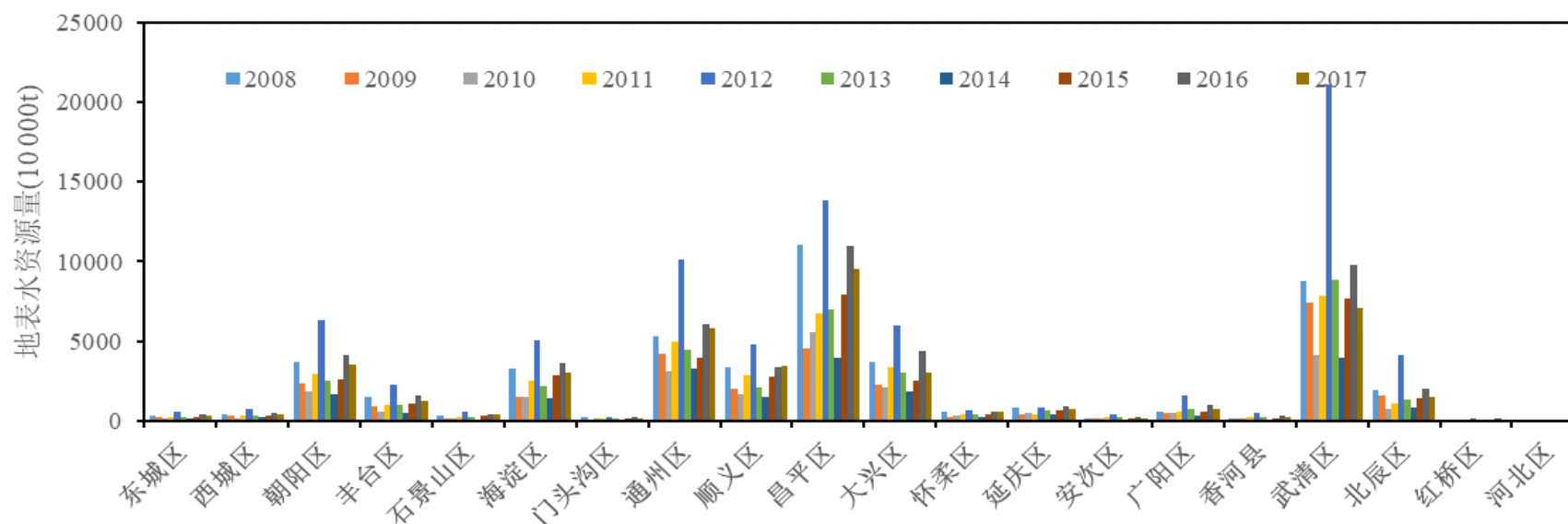
行政单元



行政单元水资源分量核算

水资源分量核算结果——水资源时空变化

地表水资源量



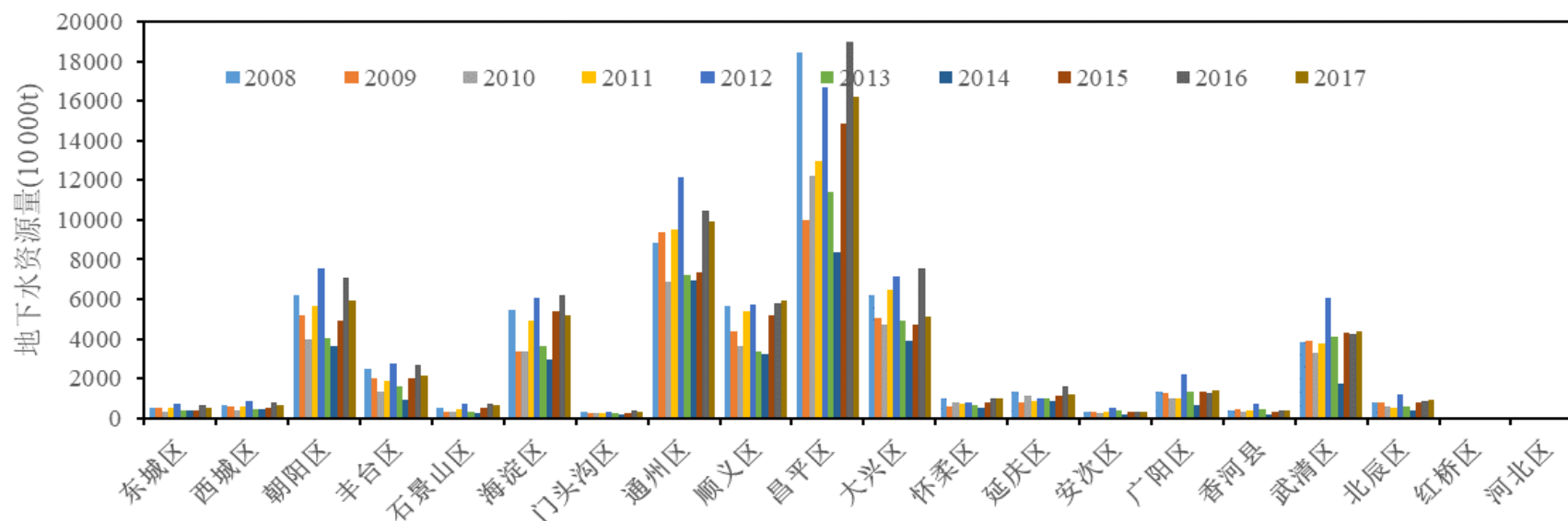
- 各地区水资源年际分配不均匀，水资源量与降雨量相关，其中2012年是丰水年，各地区地表水量明显高于其他年份，2014年是枯水年，该年地表水资源量明显低于其他年份；
- 各区之间水资源量分配不均匀，其中主河道北运河经过的区域地表水资源较为丰富，流域边缘地区地表水资源量较为匮乏。



行政单元水资源分量核算

水资源分量核算结果——水资源时空变化

地下水资源量



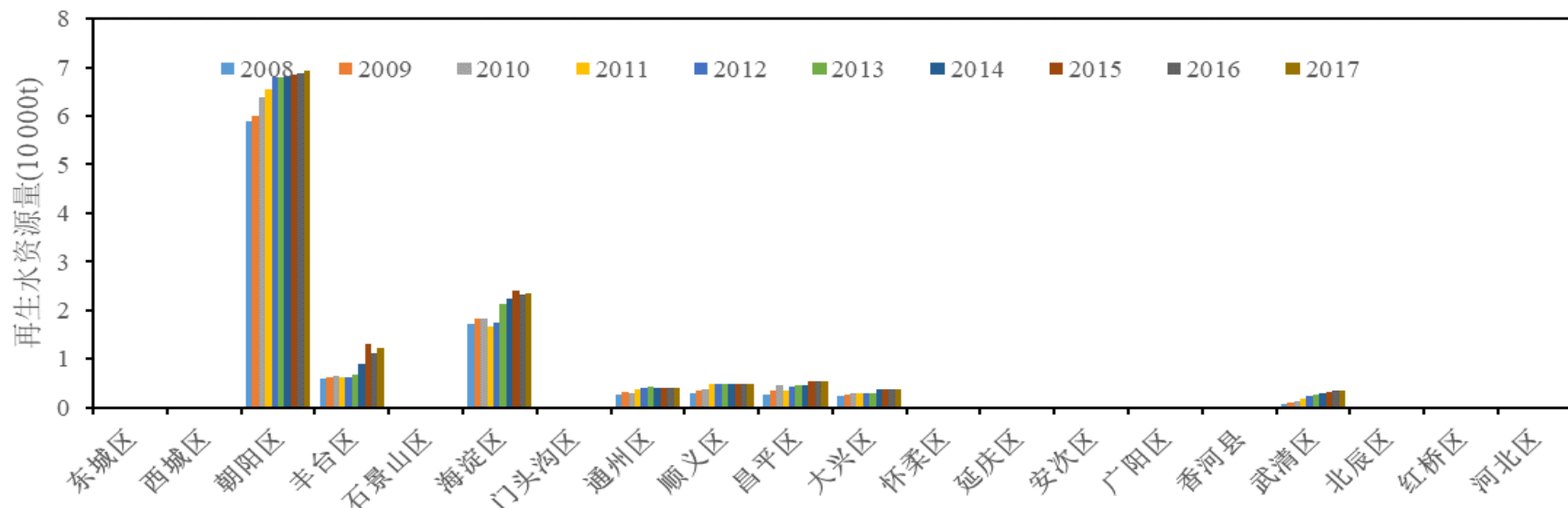
- 各地区水资源年际分配不均匀，年际差别较小，地下水资源量与降雨量略有关，2008年、2012年与2016年降雨量要略高于其他年份，地下水较为丰富，2010年、2013年与2014年降雨量要略低于其他年份，该年地下水资源量明显低于其他年份；
- 各区之间水资源量分配不均匀，其中位于流域上游地区的地下水资源较为丰富，流域边缘地区以及下游地区地下水水资源量较为匮乏。



行政单元水资源分量核算

水资源分量核算结果——水资源时空变化

再生水资源量

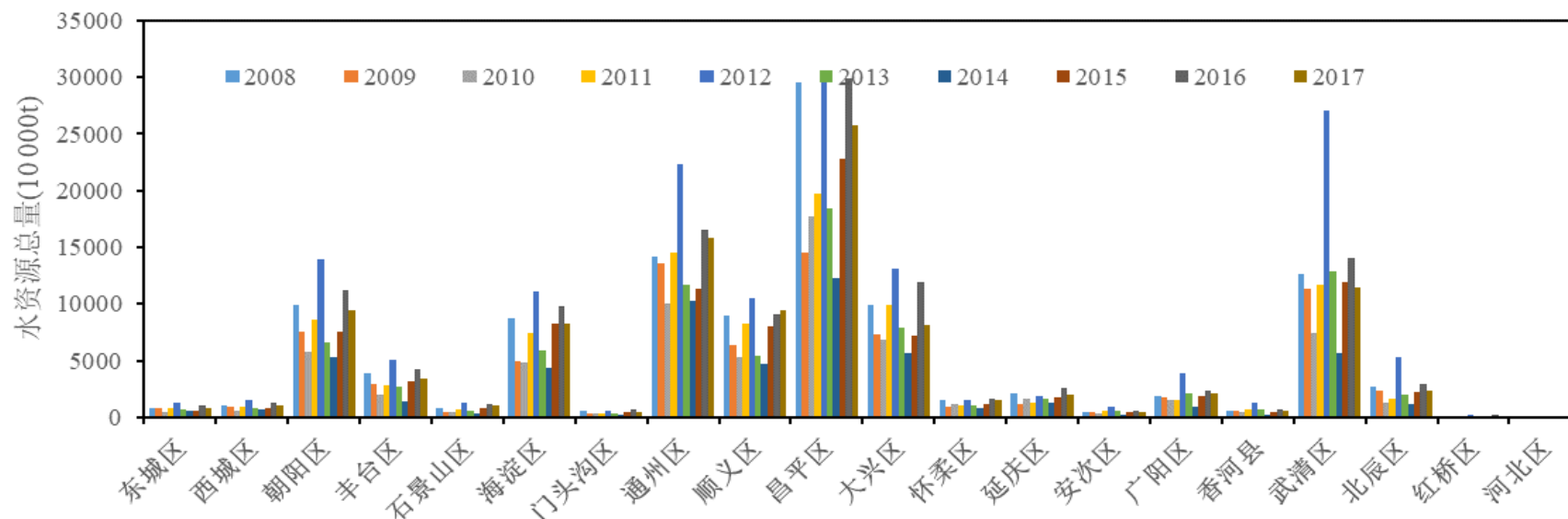


- 各地区再生水资源量年际变化较小，并逐年缓慢增加，再生水量主要与社会经济相关；
- 再生水资源量与当地再生水厂的建设相关，朝阳区的污水处理厂以及再生水厂主要收集处理东城区、西城区、朝阳区三区的生活生产废水，再生水资源丰富；而位东城区、西城区、河北区、红桥区等地区并未建设再生水厂，生活生产废水在相邻城区处理，因此本地区再生水量为0；怀柔区、延庆区、安次区等地区再生水厂的出水并不在流域范围内，不属于本流域的水资源量，因此流域内的各区水资源量为0。



行政单元水资源分量核算

水资源分量核算结果——水资源时空变化 水资源总量



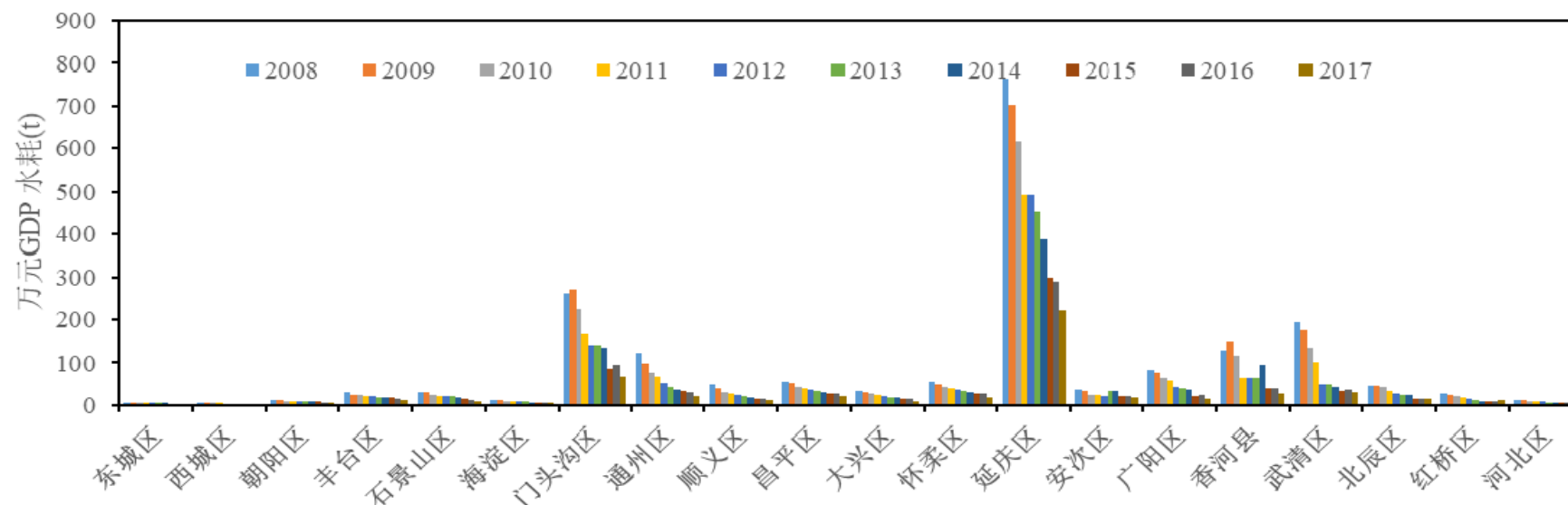
- 各地区水资源年际分配不均匀，水资源总量与降雨量相关；
- 各区之间水资源总量分配不均匀，其中主河道北运河经过的区域如昌平区、通州区、大兴区、武清区水资源总量为丰富，流域边缘地区如怀柔区、延庆区、安次区、广阳区等地区水资源总量较为匮乏。



行政单元水资源分量核算

水资源分量核算结果——水资源利用时空变化

万元GDP 水耗



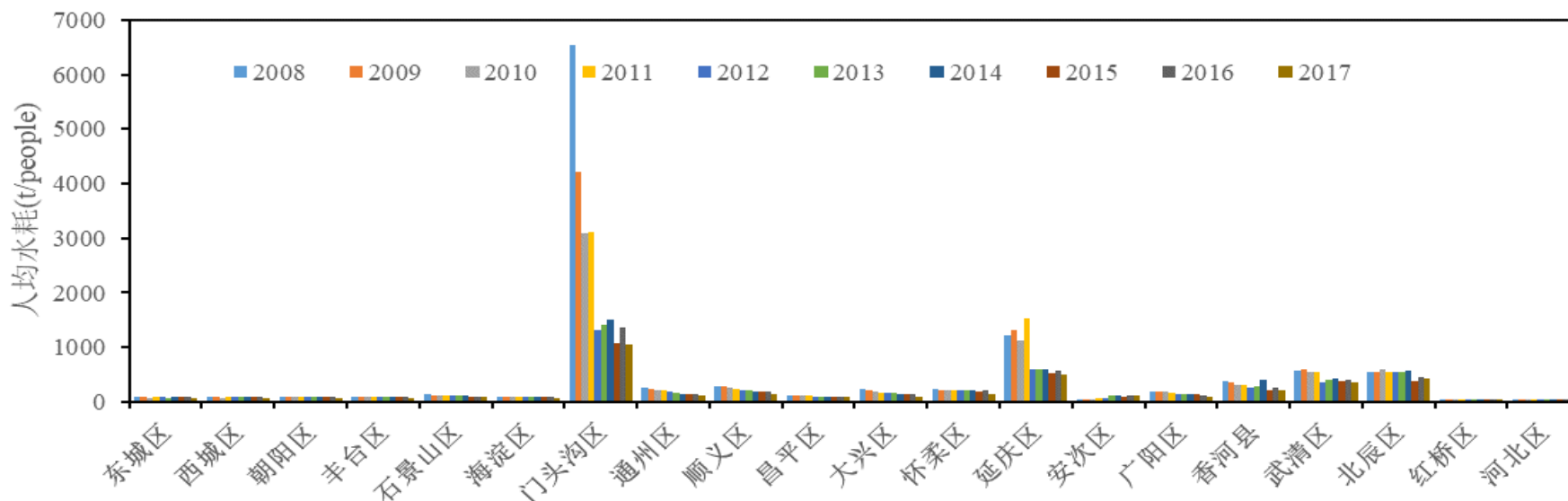
- 各地区万元GDP 水耗逐年下降，其大小与社会经济发展相关，随着社会经济的发展，GDP 的增加，节水量增加，用水量也增加，但是万元GDP 水耗逐年降低；
- 各地区万元GDP 水耗值相差较大，主要体现在经济发达且第三产业占比较高的地区，万元GDP 水耗低；经济发展较慢且一产与二产占比较高的地区，万元GDP 水耗高。



行政单元水资源分量核算

水资源分量核算结果——水资源利用时空变化

人均水耗



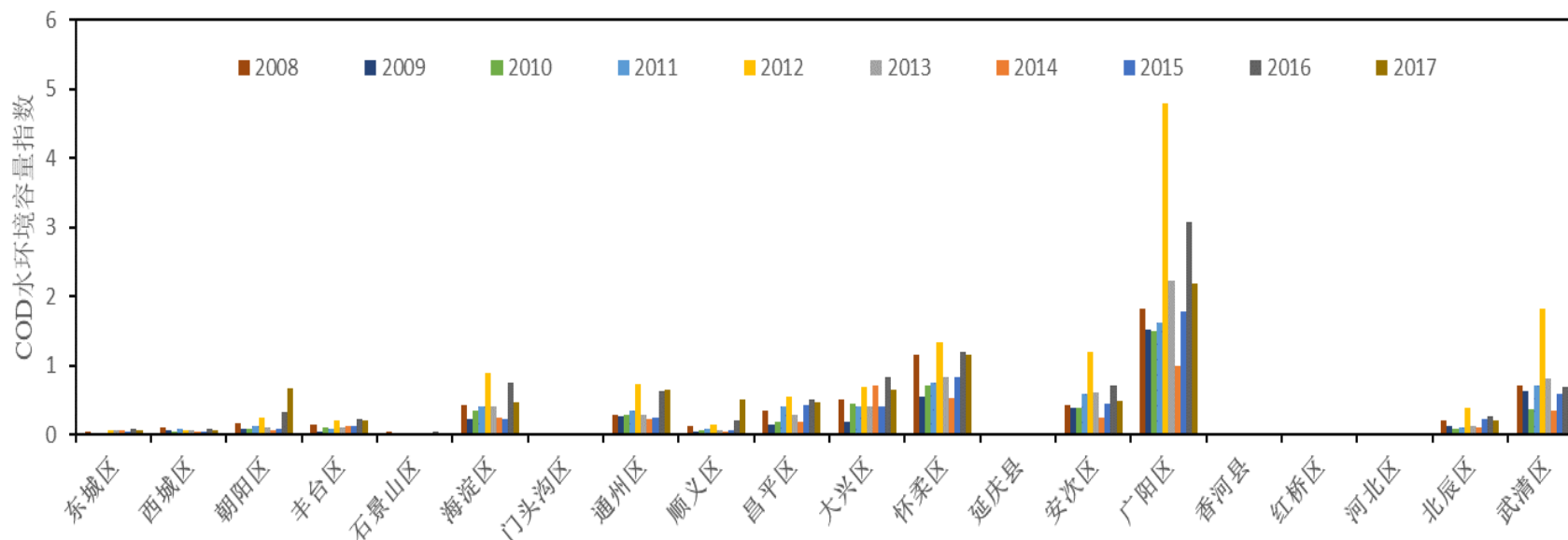
- 除门头沟区与延庆区，其它地区人均水耗逐年缓慢下降，其大小与节水效率相关，随着社会经济的发展，节水措施增加，节水效率增加，因此人均水耗逐年降低；
- 各地区人均水耗值相差较小，主要体现在经济发展较低的城市或者以工业为主的地区水资源消耗较高，人均水耗较高；经济发展较高的地区城市密集，节水效率高，人均水耗较低。



行政单元水环境分量核算

水环境分量核算结果——水环境容量指数时空变化

COD水环境容量指数



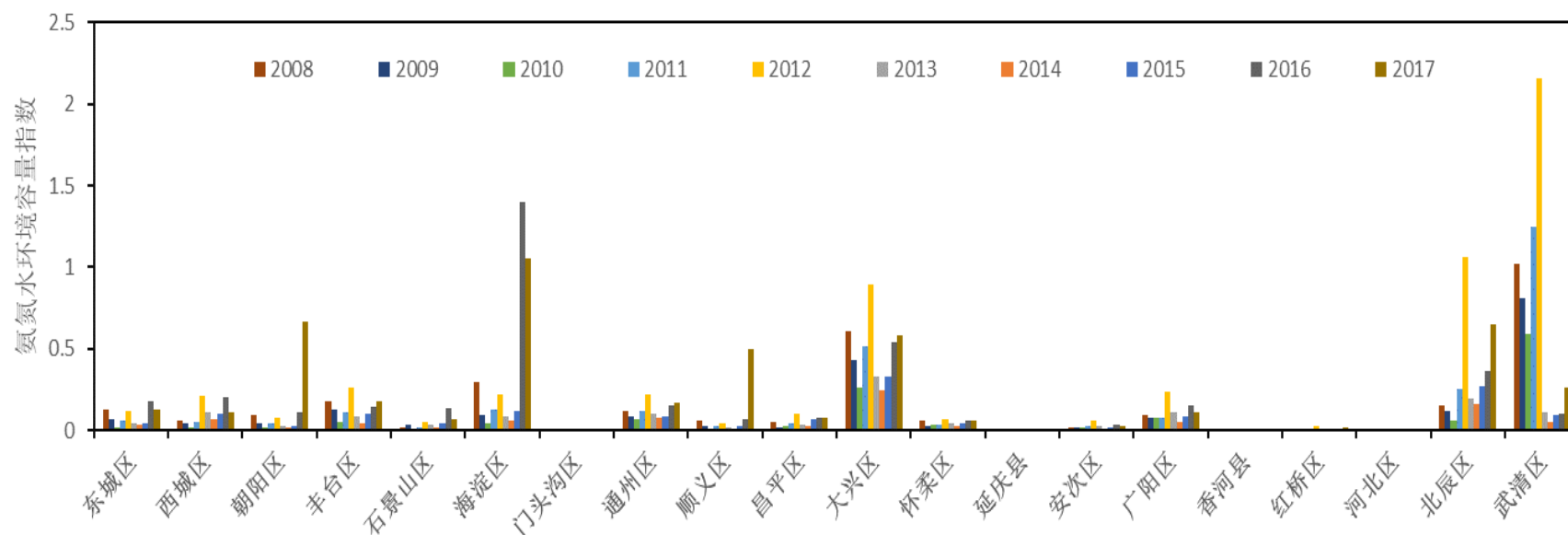
- COD水环境容量指数变化不均匀，除个别年份有所降低，总体而言在逐渐升高，COD水环境容量较低的年份为2014年，枯水年河道流量低，水质净化能力较差，污染物浓度偏高，COD水环境容量指数较低；
- 上游地区以及下游地区水质逐渐改善，随着流域治理力度增加，下游地区水质逐渐恢复，COD指数呈现逐渐升高现象。



行政单元水环境分量核算

水环境分量核算结果——水环境容量指数时空变化

氨氮水环境容量指数



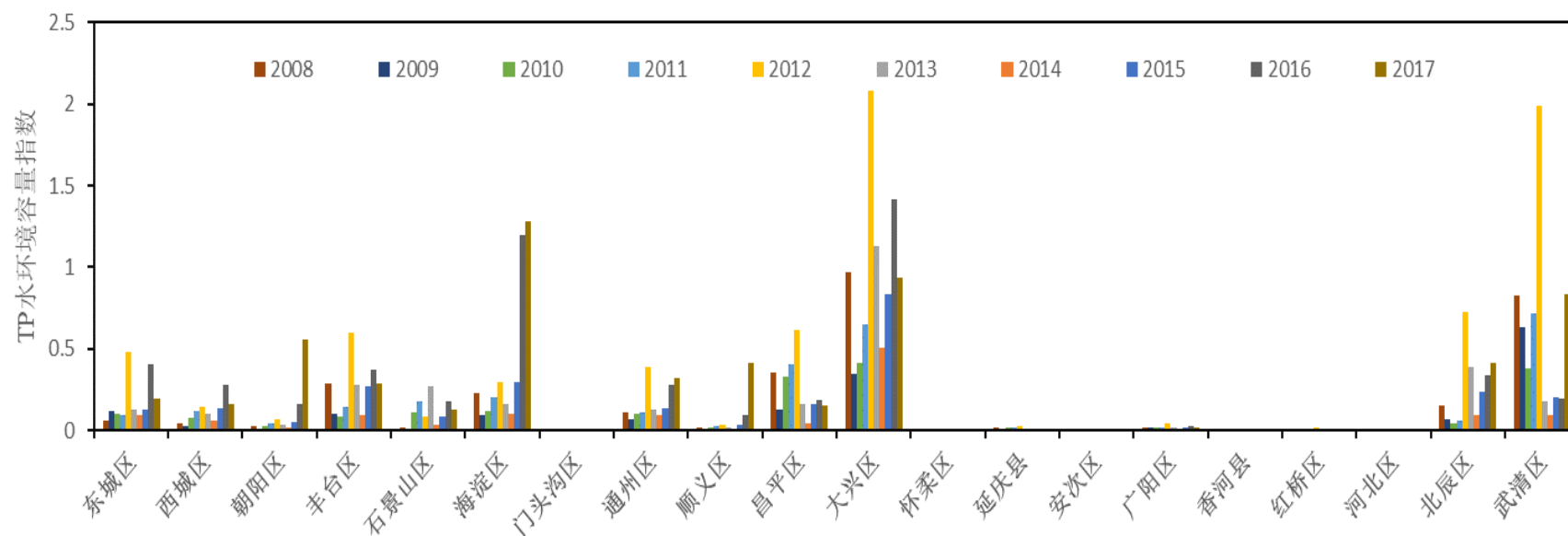
- 氨氮水环境容量指数变化极其不均匀，近几年北京地区淘汰部分重污染高耗能企业，氨氮排放量降低，
- 海淀区近两年污水处理率增加，污染物浓度降低，水环境容量指数增加武清区近几年发展较为迅速，污染物排放浓度逐渐增加，相应水环境容量指数也降低。



行政单元水环境分量核算

水环境分量核算结果——水环境容量指数时空变化

TP水环境容量指数



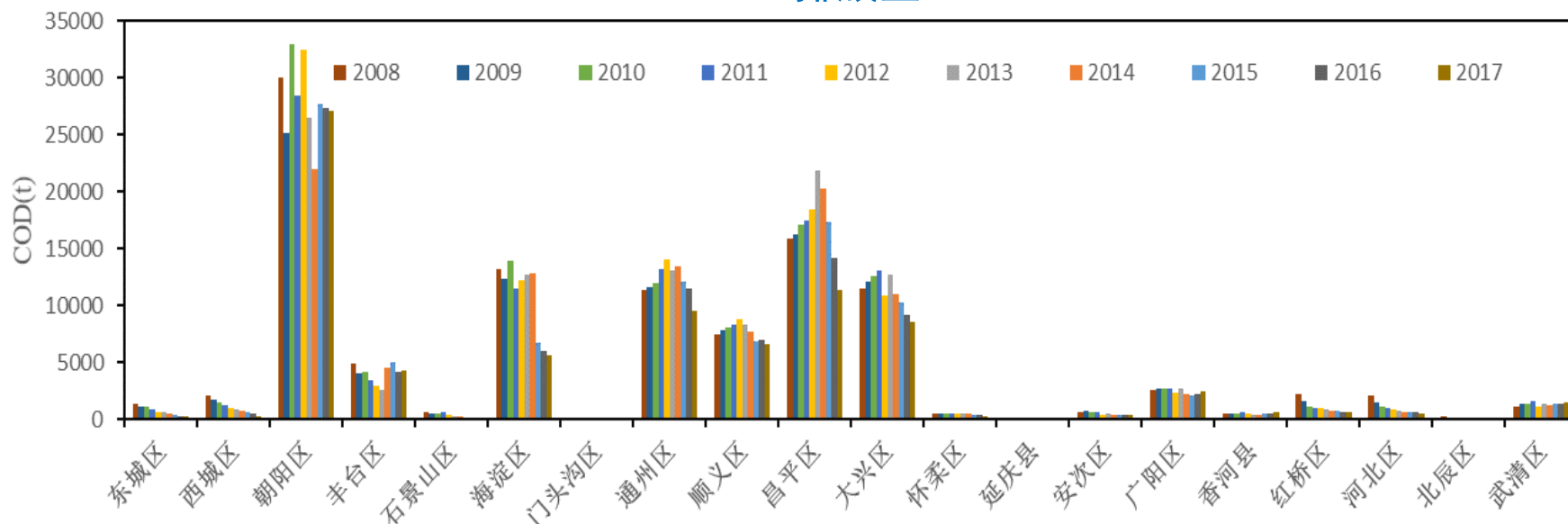
- TP水环境容量指数变化极其不均匀；
- 海淀区近两年,污水处理率增加, TP水环境容量指数增加明显；
- 武清区近五年经济发展, 污染物排放量高, TP水环境容量指数降低明显；
- 大兴区水资源丰富, 水环境容量指数一直处于较高水平。



行政单元水环境分量核算

水环境分量核算结果——污染物排放总量

COD排放量



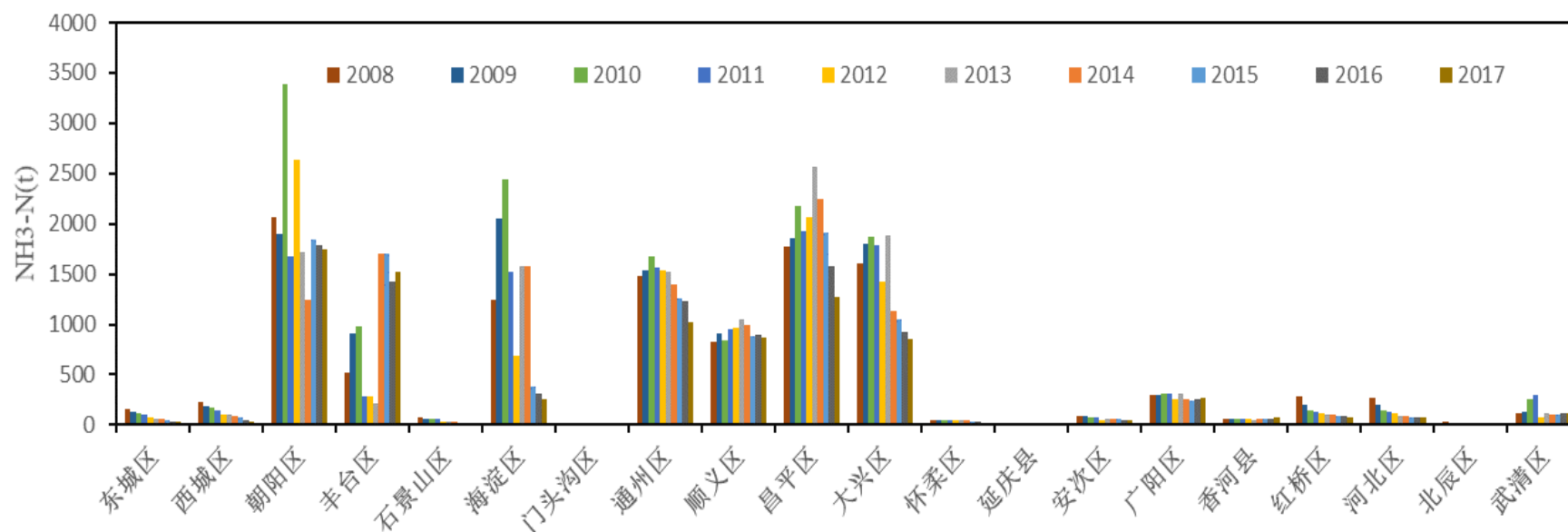
- 流域内各地区COD排放量基本上呈现逐年递减状态；
- 流域各地区COD排放量相差很大，其中怀柔区、延庆县、安次区、东城区、西城区、石景山区、北辰区等地区排放总量最小，朝阳区、海淀区、昌平区等地区较大。
- 流域各地区污染物来源相差较大，朝阳区、海淀区COD排放量主要来源集中点源；东城区、西城区等地污染主要来源于城镇面源；通州区、顺义区、昌平区污染主要来源于城市面源。



行政单元水环境分量核算

水环境分量核算结果——污染物排放总量

氨氮排放量



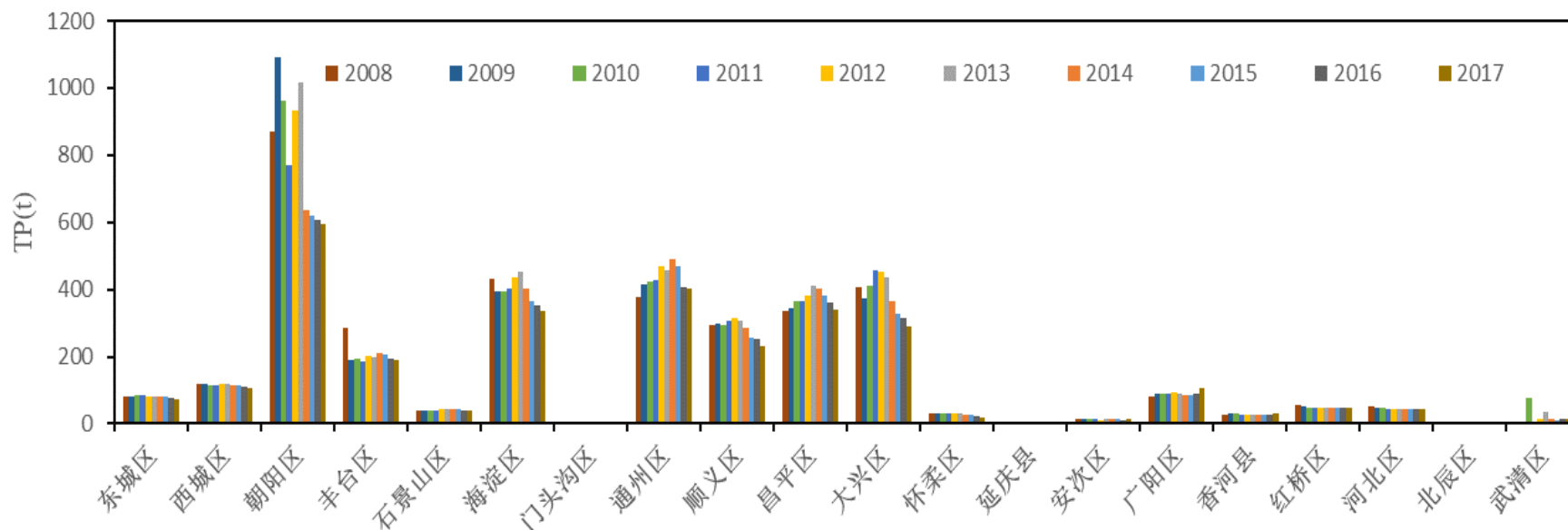
- 流域内各地区氨氮排放量基本上呈现逐年递减状态；
- 流域各地区氨氮排放量相差很大，其中怀柔区、延庆县、安次区、东城区、西城区、石景山区、北辰区等地区排放总量最小，朝阳区、海淀区、昌平区等地区较大；
- 流域各地区污染物来源相差较大，朝阳区污染主要来源集中点源；东城区、西城区、通州区、大兴区、昌平区等地污染主要来源于城镇面源；顺义区污染主要来源于城市面源与畜禽养殖。



行政单元水环境分量核算

水环境分量核算结果——污染物排放总量

TP排放量



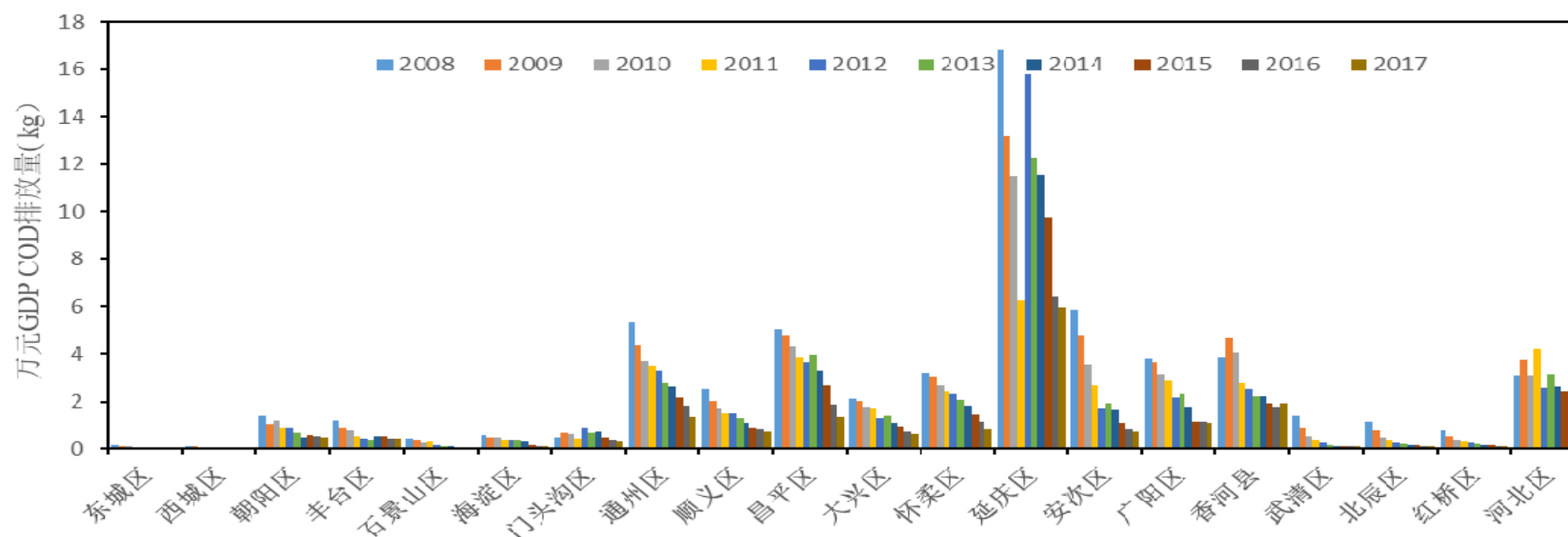
- 流域内各地区TP排放量基本上呈现逐年递减状态；
- 流域各地区TP排放量相差很大，其中怀柔区、延庆县、安次区、东城区、西城区、石景山区、北辰区等地区排放总量最小，朝阳区、海淀区、昌平区等地区较大；
- 流域各地区污染物来源相差较大，朝阳区污染主要来源集中点源；东城区、西城区、海淀区、昌平区等地污染主要来源于城镇面源；通州区、顺义区和大兴区污染主要来源于畜禽养殖源。



行政单元水环境分量核算

水环境分量核算结果——污染物排放强度

万元GDP COD排放量

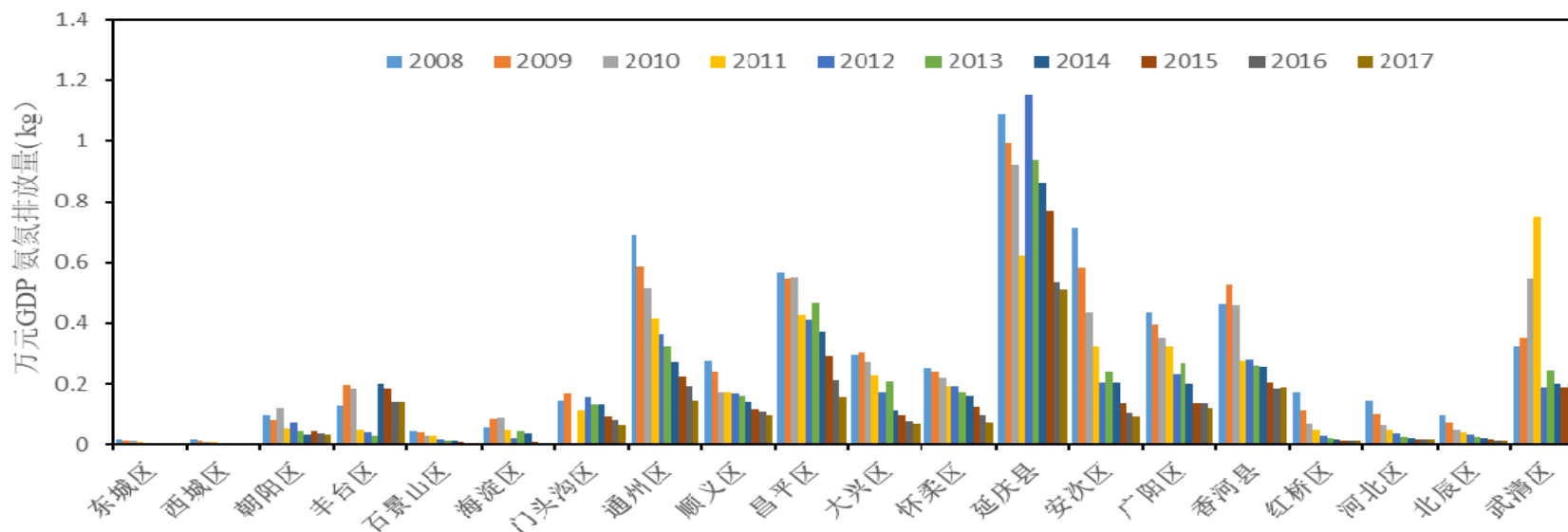


- 流域内各地区万元GDP COD排放量基本上呈现逐年递减状态；
- 流域内各地区万元GDP COD排放量相差很大，其中东城区、西城区、石景山区、北辰区等经济发达地区最小，昌平区、怀柔区、安次区等地较大，延庆区万元COD GDP排放量最大；
- 面源污染是影响地区万元GDP COD排放量的主要原因。



行政单元水环境分量核算

水环境分量核算结果——污染物排放强度 万元GDP 氨氮排放量



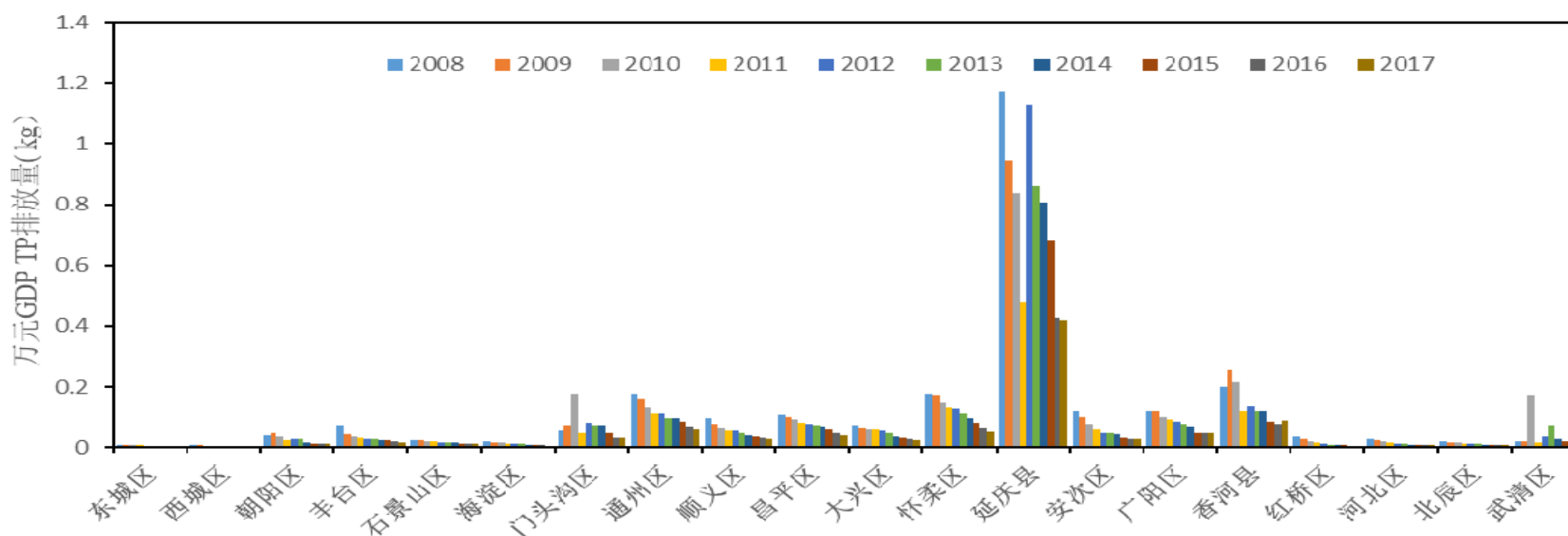
- 流域内各地区万元GDP 氨氮排放量基本上呈现逐年递减状态；
- 流域内各地区万元GDP 氨氮排放量相差很大，其中东城区、西城区、石景山区、海淀区等经济发达地区最小，通州区、昌平区、怀柔区、安次区等地较大，延庆区万元COD氨氮排放量最大；
- 面源污染是影响地区万元GDP 氨氮排放量的主要原因。



行政单元水环境分量核算

水环境分量核算结果——污染物排放强度

万元GDP TP排放量



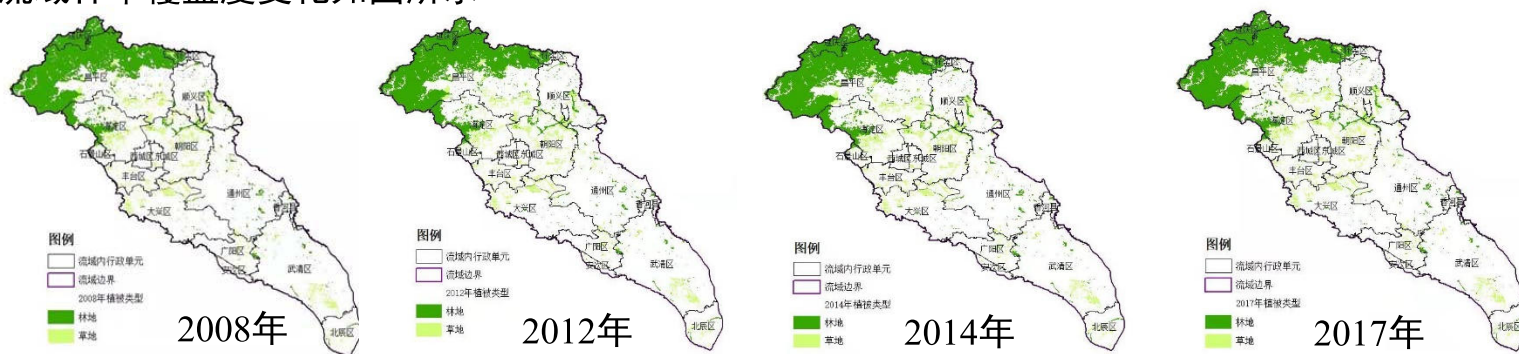
- 流域内各地区万元GDP TP排放量基本上呈现逐年递减状态；
- 流域各地区万元GDP TP排放量相差较小，延庆区万元COD TP排放量最大；
- 山区面源污染是影响地区万元GDP TP排放量的主要原因。



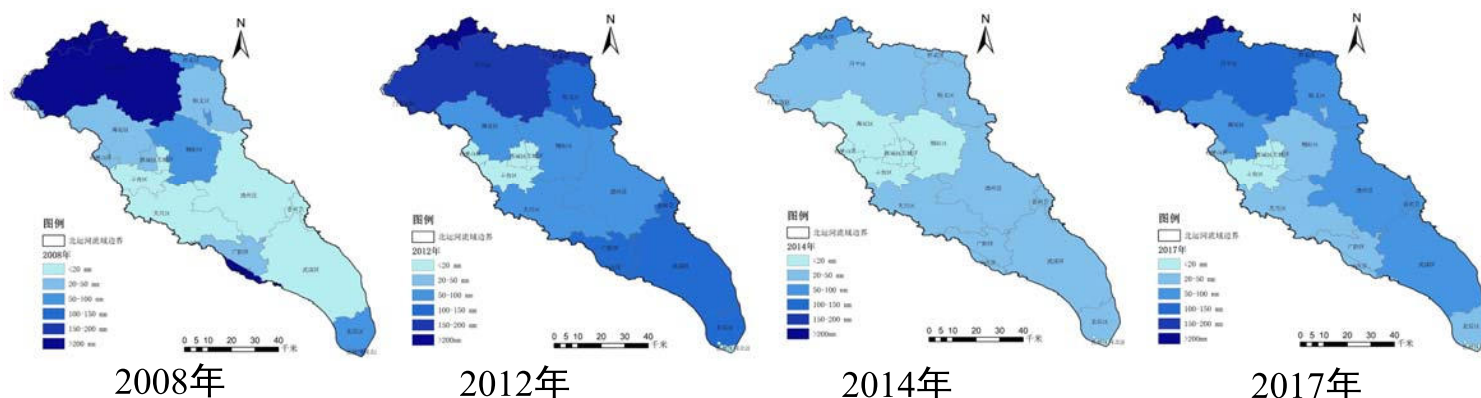
行政单元水生态分量核算

水生态分量核算结果——水源涵养（基于30m土地利用）

- 流域水源涵养与陆域植被覆盖度、降雨量有关，林地水源涵养能力最强，草地次之，最后是耕地；流域林草覆盖度变化如图所示



- 流域西北部属于山地地区，林草面积占比比较大，水源涵养量大；
- 流域大部分属于平原地区，城市建设用地以及耕地面积众多，降雨截留能力差，水源涵养能力差；流域内水源涵养量变化如图所示

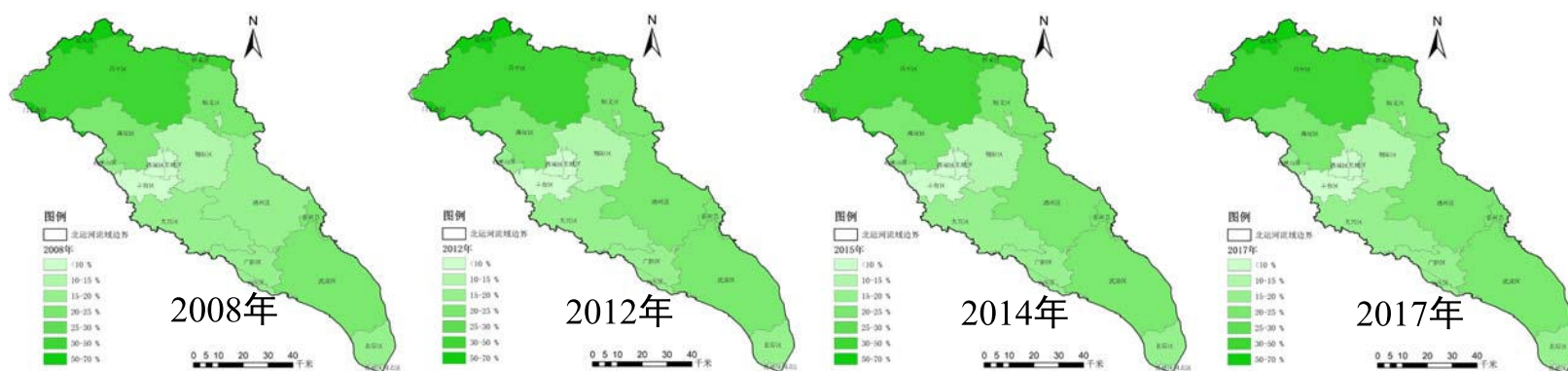




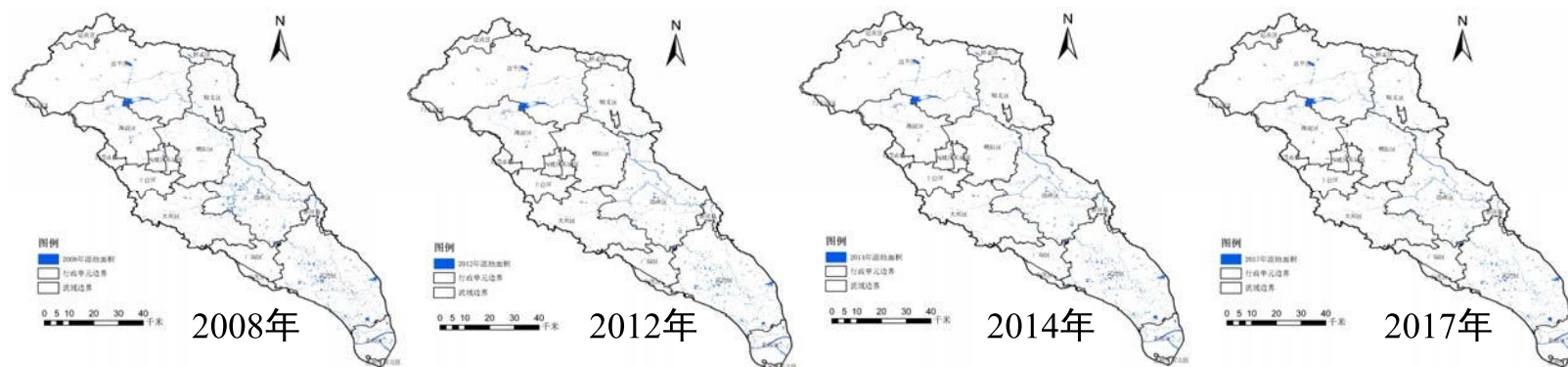
行政单元水生态分量核算

水生态分量核算结果——水质净化和湿地面积（基于30m土地利用）

- 流域水质净化与土地利用类型相关，流域水质净化变化如图所示



流域内湿地面积变化如图所示

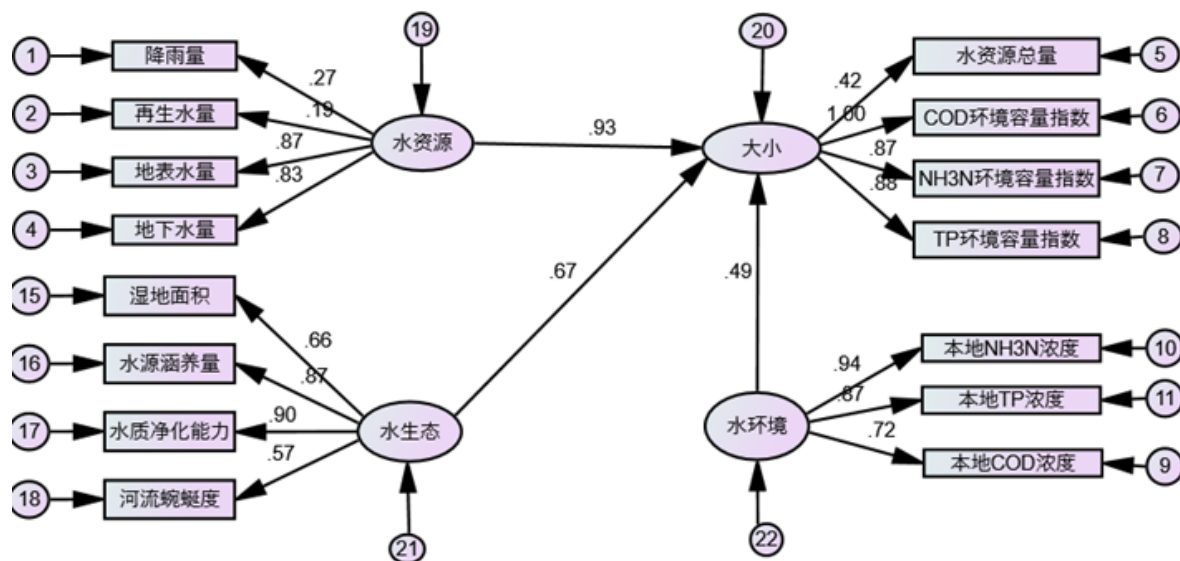




基于行政单元的水环境承载力大小评估

水环境承载力大小评估-指标体系及权重

AMOS结构方程路径分析结果





基于行政单元的水环境承载力大小评估

水环境承载力大小评估-指标体系及权重

目标层	指标层	一级权重	分指标	二级权重
北运河流域 水环境承载力大小指标 体系	水环境分量	0.234	本地COD浓度	0.067
			本地NH3-N浓度	0.087
			本地TP浓度	0.081
	水资源分量	0.445	降雨量	0.056
			再生水量	0.039
			地表水量	0.179
			地下水量	0.171
	水生态分量	0.321	湿地面积	0.071
			水源涵养能力	0.093
			水质净化能力	0.096
			河流蜿蜒度	0.061

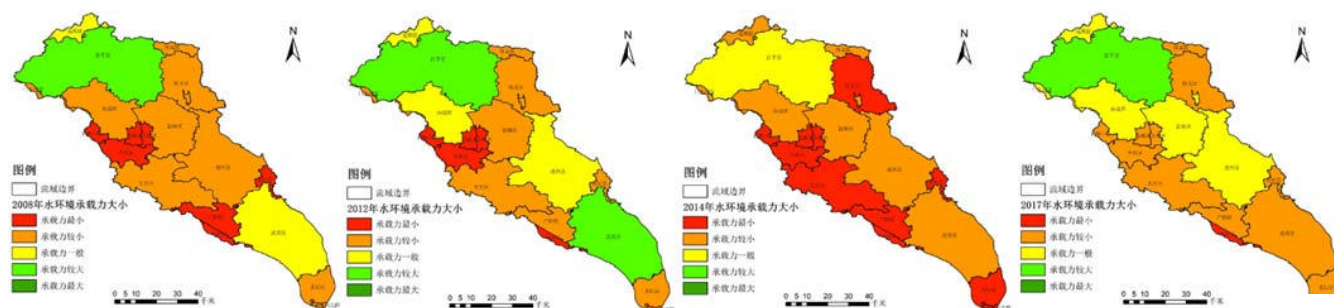
评估结果等级划分

分级标准	$X \leq 0.234$	$0.234 < X \leq 0.416$	$0.416 < X \leq 0.584$	$0.584 < X \leq 0.766$	$X > 0.766$
等级	承载力最小	承载力较小	承载力一般	承载力较大	承载力最大
颜色					



基于行政单元的水环境承载力大小评估

水环境承载力大小评估-年际动态评估结果



从时间尺度上分析

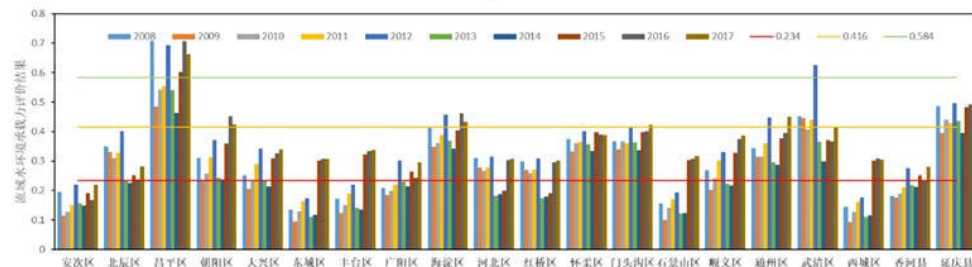
丰水年的水环境承载力较大、枯水年较小，随着环保措施的施行，水环境质量明显改善，水环境承载力也呈现**逐渐增大**的趋势。

从空间尺度上分析

水资源丰富、林草覆盖度较高、水质状况发较好区域水环境承载力较大。

2012年流域水环境承载力承载状态较大，2014年最小。

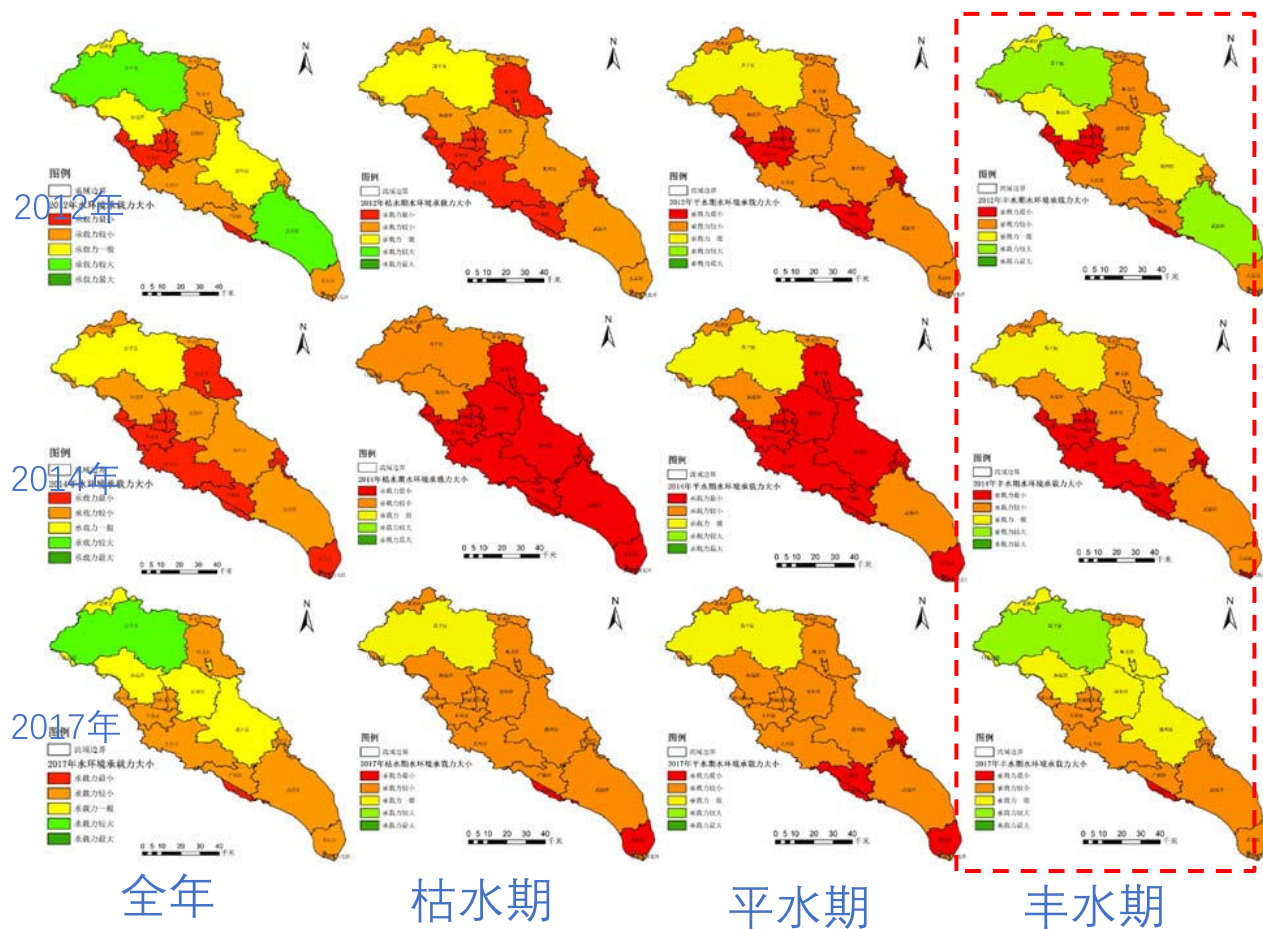
在流域内，昌平区水环境承载力评估结果高于0.584，承载力较大。





基于行政单元的水环境承载力大小评估

水环境承载力大小评估-季节性动态评估结果



➤ 从同一年相比较

水环境承载力大小：丰水期
>平水期>枯水期；

枯水期与平水期与丰水期相比，水资源量匮乏，水质变化较为显著，水环境承载力较小。

➤ 从空间角度分析

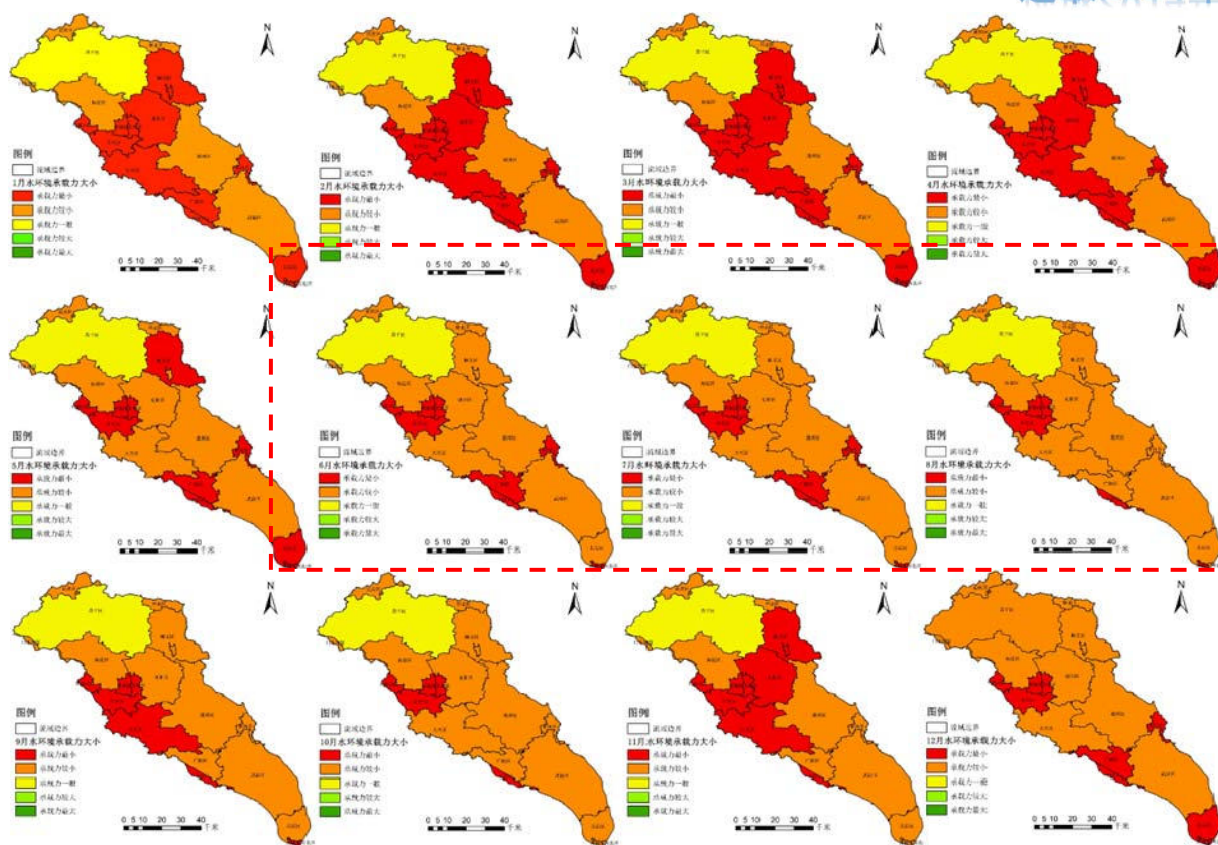
水环境承载力较大地区季节性变化明显，水环境承载力较小地区季节性变化较小。



基于行政单元的水环境承载力大小评估

水环境承载力大小评估-月际动态评估结果

选取2014年（枯水年）进行月际动态评估分析



1-4月份水环境承载力最小，6-8月份水环境承载力较小。

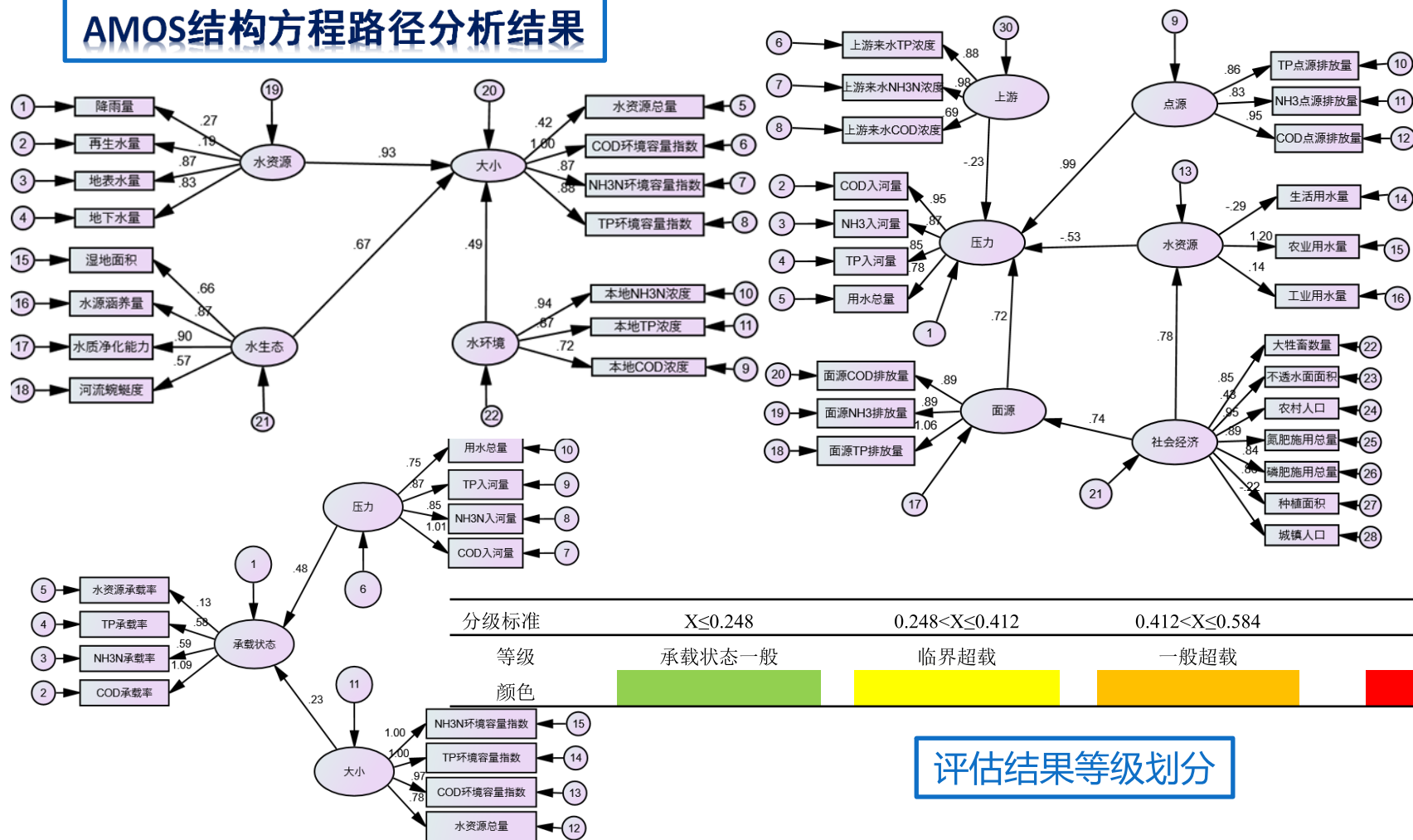
流域内水环境承载力最大的区域为昌平区，但是昌平区的水环境承载力大小评估结果为承载力一般，流域水环境承载力大小最小的区域为东城区、安次区、西城区、石景山区与丰台区。



基于行政单元的水环境承载力承载状态评估

水环境承载力承载状态评估-指标体系及权重

AMOS结构方程路径分析结果



分级标准	$X \leq 0.248$	$0.248 < X \leq 0.412$	$0.412 < X \leq 0.584$	$X > 0.584$
等级	承载状态一般	临界超载	一般超载	严重超载
颜色				

评估结果等级划分



基于行政单元的水环境承载力承载状态评估

水环境承载力承载状态评估-指标体系及权重

目标层	分层	指标层	一级权重	分指标层	二级权重
北运河流域水环境承载力承载状态评估指标体系	水系统压力	点源排放量	0.208	COD点源排放量	0.098
				氨氮点源排放量	0.085
				TP点源排放量	0.088
		面源排放量	0.149	COD面源排放量	0.062
				氨氮面源排放量	0.062
				TP面源排放量	0.074
		水资源利用量	0.109	生活用水量	0.026
				工业用水量	0.107
				农业用水量	0.012
	承载力大小	上游来水压力	0.042	上游来水COD	0.017
				来水NH3N	0.024
				来水TP	0.022
		水环境容量	0.076	本地COD浓度	0.022
				本地氨氮浓度	0.028
				本地TP浓度	0.026
		水资源总量	0.144	降雨量	0.018
				再生水量	0.013
				地表水量	0.058
				地下水量	0.055
				湿地面积占比	0.023
		水源涵养能力	0.030		59



水环境承载力承载状态评估-年际动态评估结果

► 从时间尺度上分析

丰水年水环境承载力承载状态较好，随着水环境质量的明显改善，流域大部分地区水环境承载力承载状态呈现逐渐变好的趋势。

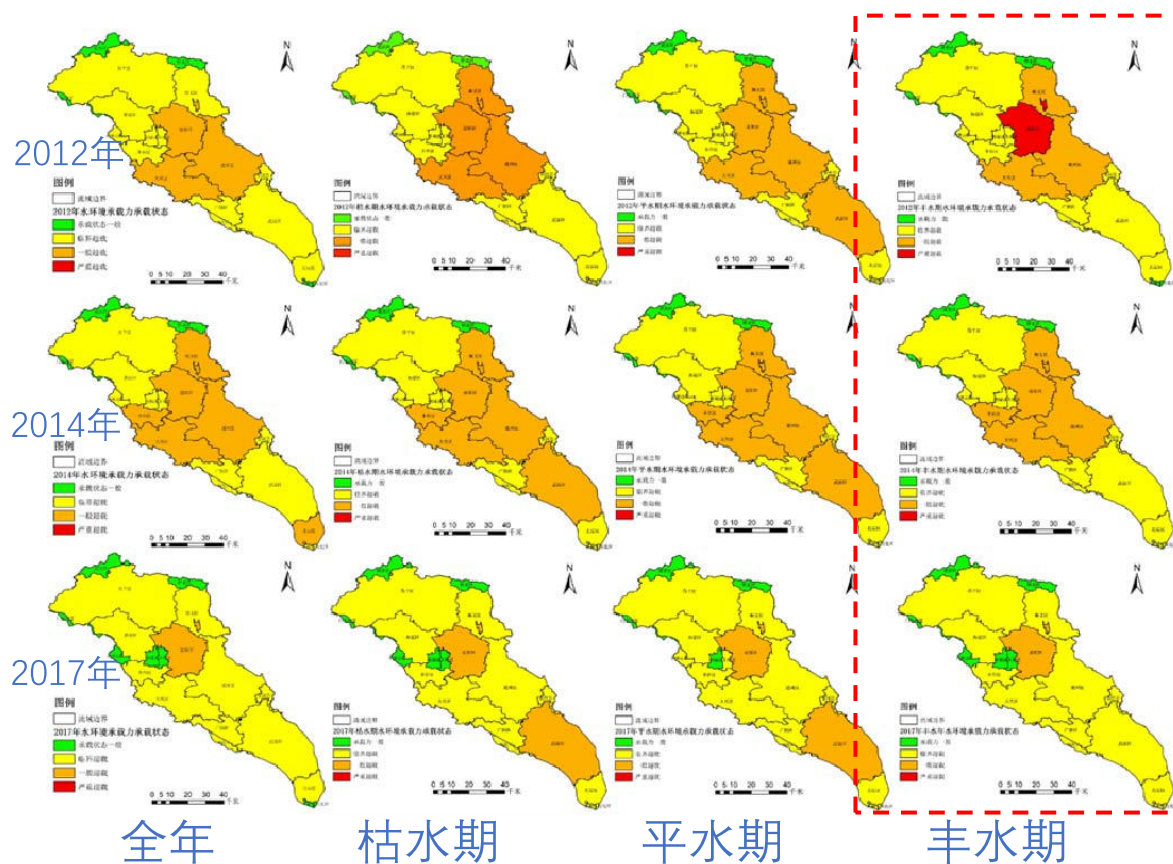
► 从空间尺度上分析

生活污水排放量较高、用水量较多、种植业面积较大、畜禽养殖较多、水环境承载力较小的地区承载状态较差。



基于行政单元的水环境承载力承载状态评估

水环境承载力承载状态评估-季节性动态评估结果



➤ 从同一年相比较

部分地区：丰水期>平水期>枯水期

降水量较高的季节，水资源供给能力强，水生态服务功能高，水环境承载力较大；点面源污染物排放较低区域，相对水环境承载状态较好；

➤ 从空间角度分析

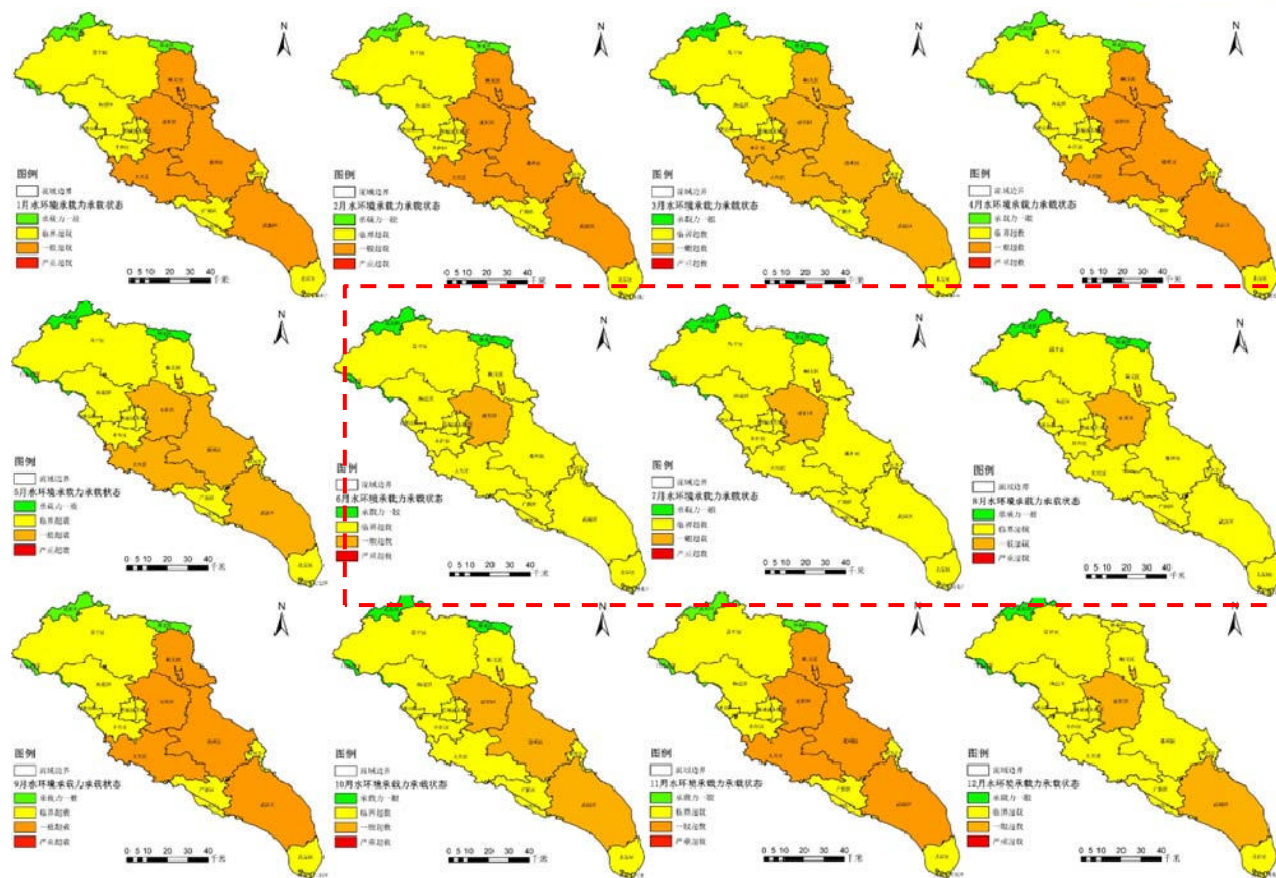
农业活动强度较高地区季节性变化较为显著；地表径流携带大量的污染物进入附近的河流，污染负荷量增加，水质显著恶化；水环境压力呈现季节性变化。



基于行政单元的水环境承载力承载状态评估

水环境承载力承载状态评估-月际动态评估结果

选取2014年（枯水年）进行月际动态评估分析



9月、1-4月份承载状态较差，
6-8月份处于临界超载状态

原因：3-4月份以及9-10月华北地区农作物主要种植时期，农业灌溉以及化肥施用量较高，则农业种植源污染物排放量较高，水系统压力较大；6-8月份处于收获季节，农业灌溉量较低，主要的污染物来源于城镇地表径流产生的城镇面源污染。



基于行政单元的水环境承载力开发利用潜势评估

水环境承载力开发利用潜势评估-评估指标体系及其权重

评估指标体系及权重

熵权法

北运河流域水环境承载力开发利用潜势指标体系

目标层	指标层	一级权重	分指标	二级权重
	承载力大小	0.1903	——	0.1903
	承载状态	0.0806	——	0.0806
	污染物排放强度与水资源利用强度	0.6098	水资源	人均水耗 0.1390 万元GDP水耗 0.1259
			污染物	万元GDP COD排放量 0.0967 万元GDP氨氮排放量 0.1092 万元GDP TP 排放量 0.1391
				城镇化率 0.0171 人均GDP 0.0343
			区域发展能力	第三产业占比 0.0175 环保投资占比 0.0417 污水处理率 0.0086

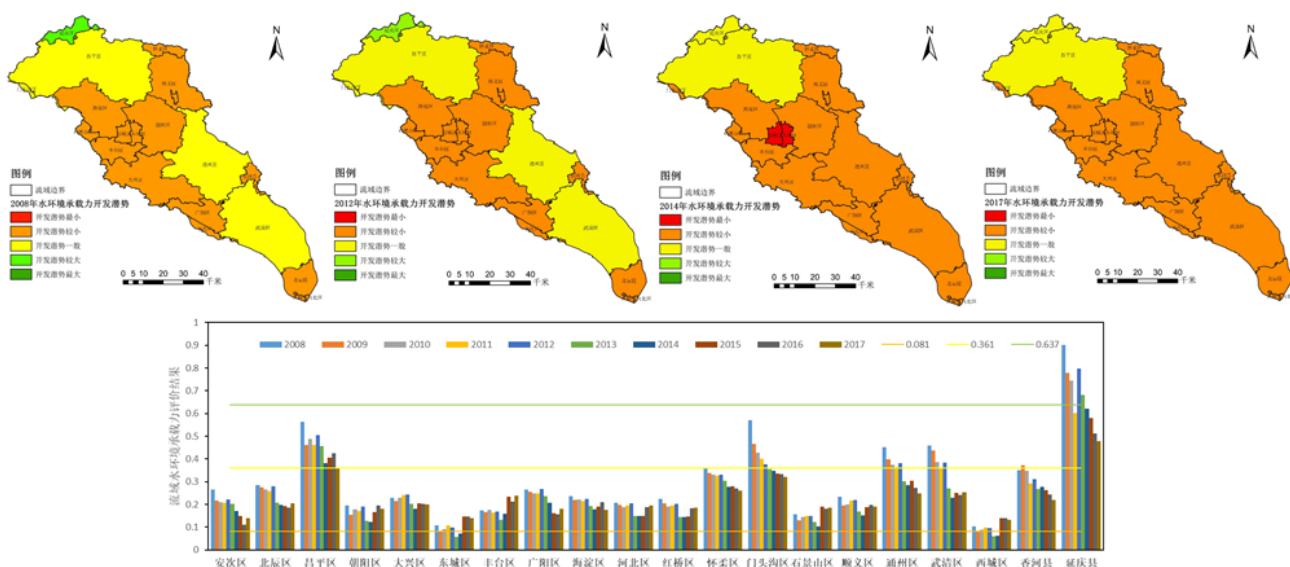
评估结果等级划分

分级标准	$X \leq 0.081$	$0.081 < X \leq 0.361$	$0.361 < X \leq 0.637$	$0.637 < X \leq 0.919$	$X > 0.919$
等级	开发潜势最小	开发潜势较小	开发潜势一般	开发潜势较大	开发潜势最大
颜色					



基于行政单元的水环境承载力开发利用潜势评估

水环境承载力开发利用潜势评估-年际动态评估结果



从时间尺度上分析

除2014年与2012年以外，总体而言，从2008年至2017年流域水环境承载力开发利用潜势在逐渐降低。

从空间尺度上分析

水环境承载力越大、承载状态越好、污染物排放强度大、水资源利用强度较大、区域发展能力强的地区开发利用潜势较大；

流域最上游地区开发潜势较大，如门头沟区、怀柔区等；

流域中心地区污染物排放强度低，开发利用潜势最低，如西城区、东城区；

流域中下游地区农业种植业和畜禽养殖业较多，区域发展能力较低、污染物排放强度较大，开发利用潜势一般。



基于行政单元的水环境承载力动态评估

北运河流域水环境承载力动态变化分析

年内变化

丰水期水环境承载力大小、承载状态明显高于枯水期，部分评估单元水环境承载力季节性变化较明显；从月际变化而言，流域水环境承载力大小以及承载状态变化相对不显著。

年际变化

随着生态环境的改善，流域水环境承载力大小逐渐变大、承载状态逐渐改善，开发利用潜势逐渐降低。但丰水年的水环境承载力大小、承载状态明显高于会优于其他年份。

空间分布

流域内评估单元水环境承载力差异性较大。

流域上游延庆等地水环境承载力较小，承载状态一般，其开发利用潜势较大；
中游地区朝阳区水环境承载力较大，处于一般超载状态，开发利用潜势较小；
中游西城区、东城区等地，水环境承载力较小，处于临界超载状态，开发利用潜势较小；
流域中下游通州等地区水环境承载力一般，超载风险较大，开发利用潜势较小；
流域下游地区水环境承载力较小，承载状态一般，开发利用潜势较小。

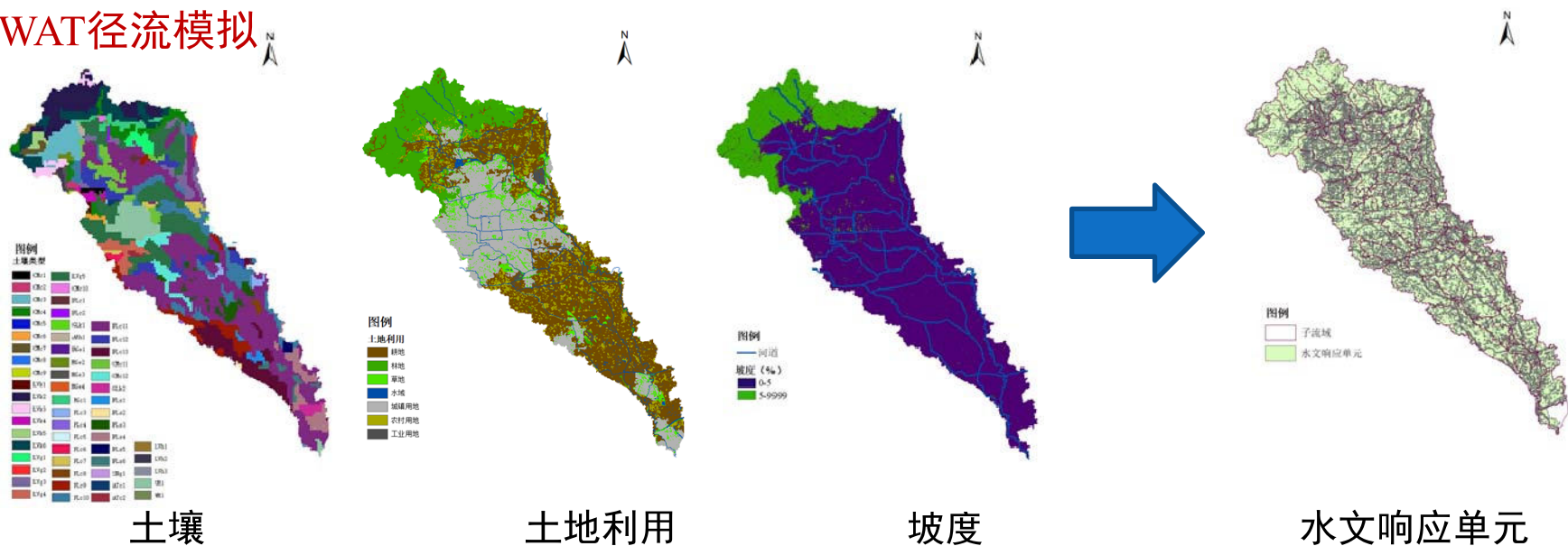


控制单元



控制单元水资源分量核算

SWAT径流模拟



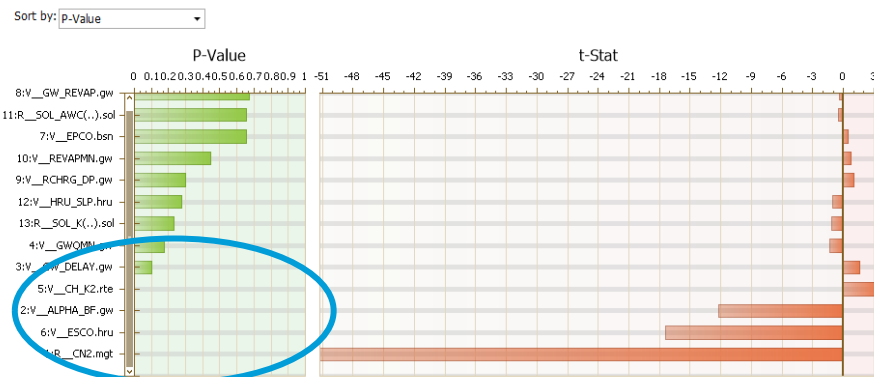
输入数据

DEM数据	90m 中科院资源环境科学数据中心
土壤类型	1:100万 世界土壤数据库 (FAO及IIASA构建)
土壤数据库	根据HWSD数据库及SPAW软件制作
土地利用	30m 课题内部
降雨、气象数据	CMADS大气同化驱动数据集v1.1
水文数据	沙河、羊坊闸、通县闸下3个水文站点2011-2015年逐月流量



控制单元水资源分量核算

参数敏感性分析



参数率定结果

Goal_type=Nash_Sutcliff... No_sims=100... Best_sim_no=42...

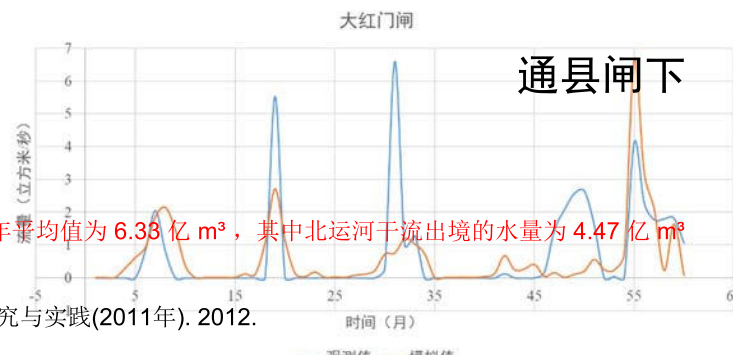
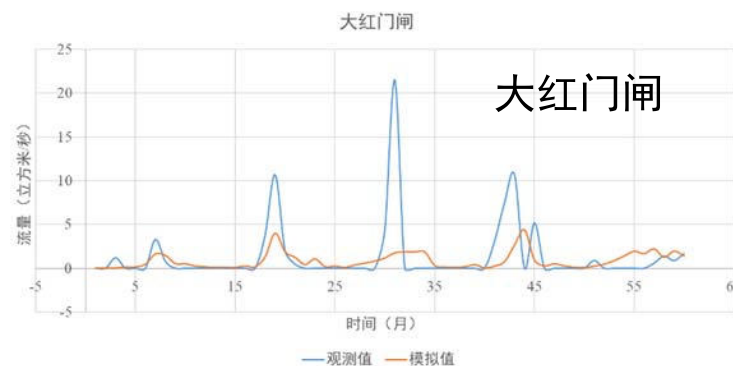
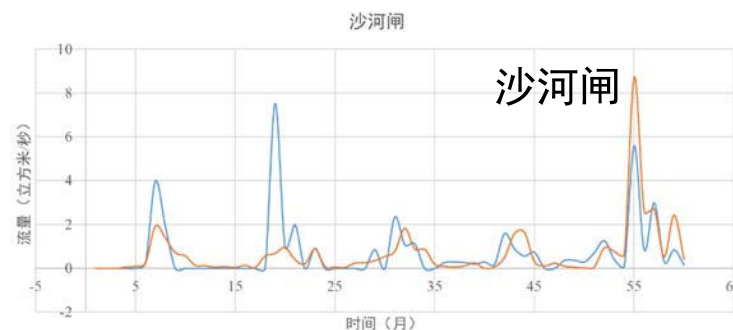
Variable	p-factor	r-factor	R2	NS	bR2	M
FLOW_OUT_19	0.27	0.92	0.32	0.18	0.1642	1
FLOW_OUT_36	0.05	0.66	0.03	-0.99	0.0073	2
FLOW_OUT_45	0.08	0.19	0.17	-0.52	0.0874	2

序号	参数	率定值	最小值	最大值	替换方法
1	径流曲线数 (CN2)	-	-	-0.692757	原始值乘以
2	土壤蒸发补偿系数 (ESCO)	0.001462	-0.084687	0.085905	替换原始值
3	基流消退系数 (ALPHA_BF)	0.005000	0.000000	1.000000	替换原始值
4	主河道水力传导度 (CH_K2)	347.4969 48	-0.010000	500.00000 0	替换原始值

模拟结果参考依据及文献:

- 1961~2000 年北运河水系的多平均出境量为 9.03 亿 m^3 。1999~2007 年 出境流量减小, 多年平均值为 6.38 亿 m^3 , 其中北运河干流出境的水量为 4.47 亿 m^3
来源: 高旭阳. 基于SWAT的北运河流域入河污染物分析[D]. 2013.
- 1961~1998年平均出境水量9.31亿立方米;
来源: 潘兴瑶, 吴文勇, 尹世洋, 等. 基于SWAT模型的北运河流域水量水质模拟[C]// 北京水问题研究与实践(2011年). 2012.

参数率定: 2011年1月-2015年12月逐月流量数据
去掉点源流量后以三个水文站的实测数据校正, 其中
沙河闸的模拟效果最好, 其次是通县闸下



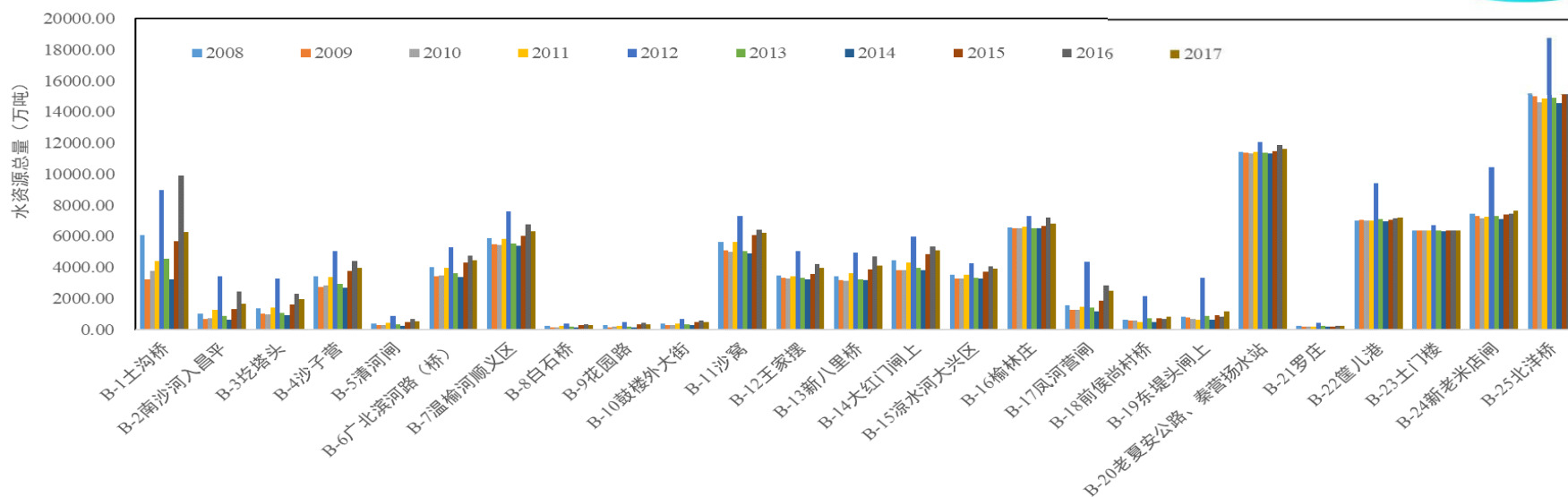
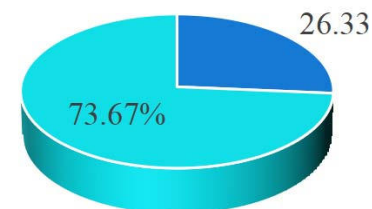


控制单元水资源分量核算

水资源分量核算结果——水资源时空变化

水资源总量

■ 自然产水%
■ 退水%



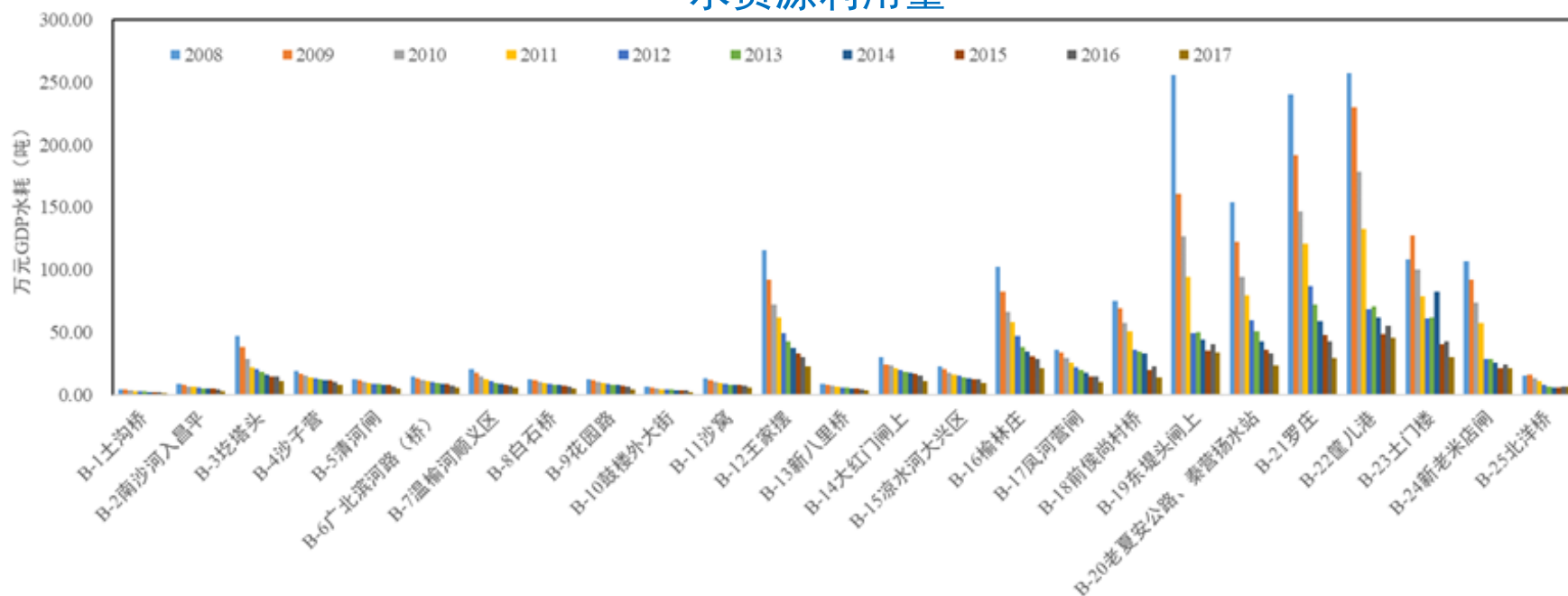
- 从时间尺度看，各控制单元水资源总量年际分布不均，水资源总量与降雨量相关，**丰水年2012年的水资源总量较大，枯水年2014年的水资源总量较小**；
- 从空间分布看，各地区之间水资源总量分配不均匀，其中老夏安公路、北洋桥等控制单元水资源总量较为丰富，清河闸、白石桥、花园路、鼓楼外大街、罗庄等控制单元水资源总量较为匮乏。



控制单元水资源分量核算

水资源分量核算结果——水资源利用时空变化

水资源利用量



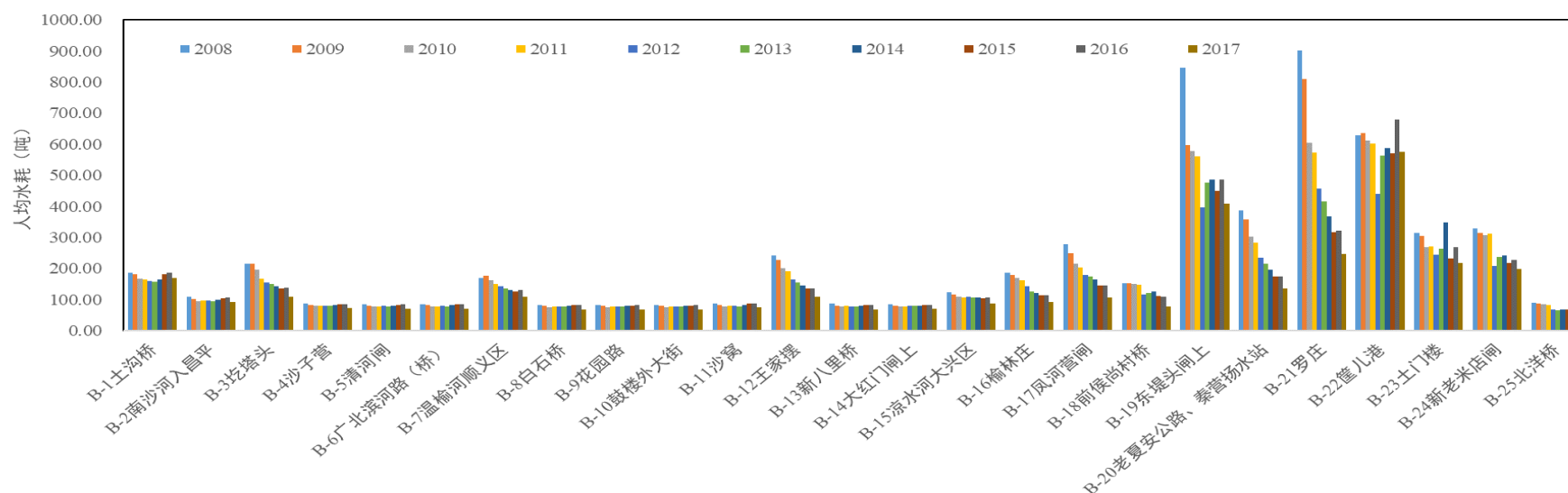
- 从时间尺度，各地区万元GDP 水耗逐年下降，其大小与社会经济发展相关，随着社会经济的发展，GDP增加，用水量增加，节水量也增加，但万元GDP 水耗逐年降低；
- 从空间尺度上看，各地区万元GDP 水耗值相差较大，主要体现在经济发达且第三产业占比较高的区域，万元GDP 水耗低；经济发展较慢且一产与二产占比较高的地区，万元GDP 水耗高。



控制单元水资源分量核算

水资源分量核算结果——水资源利用时空变化

人均水耗



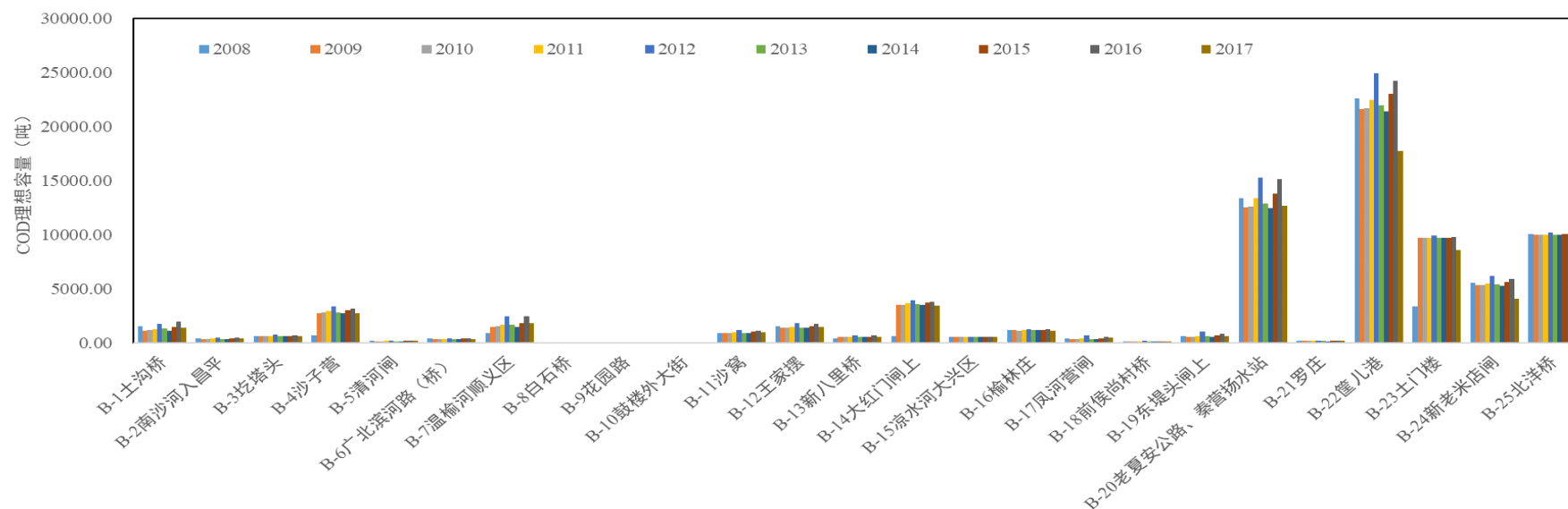
- 从时间尺度上看，各控制单元人均水耗主要呈现逐年下降趋势，其大小与节水效率相关，随着社会经济的发展，节水措施增加，节水效率增加，因此人均水耗逐年降低；
- 从空间尺度上看，除个别地区，各地区人均水耗值相差不大，主要体现在经济发展较差或者以工业为主的地区水资源消耗较高，人均水耗较高；经济发展较好的地区节水效率高，人均水耗较低。



控制单元水环境分量核算

水环境分量核算结果——水环境容量时空变化

COD水环境容量



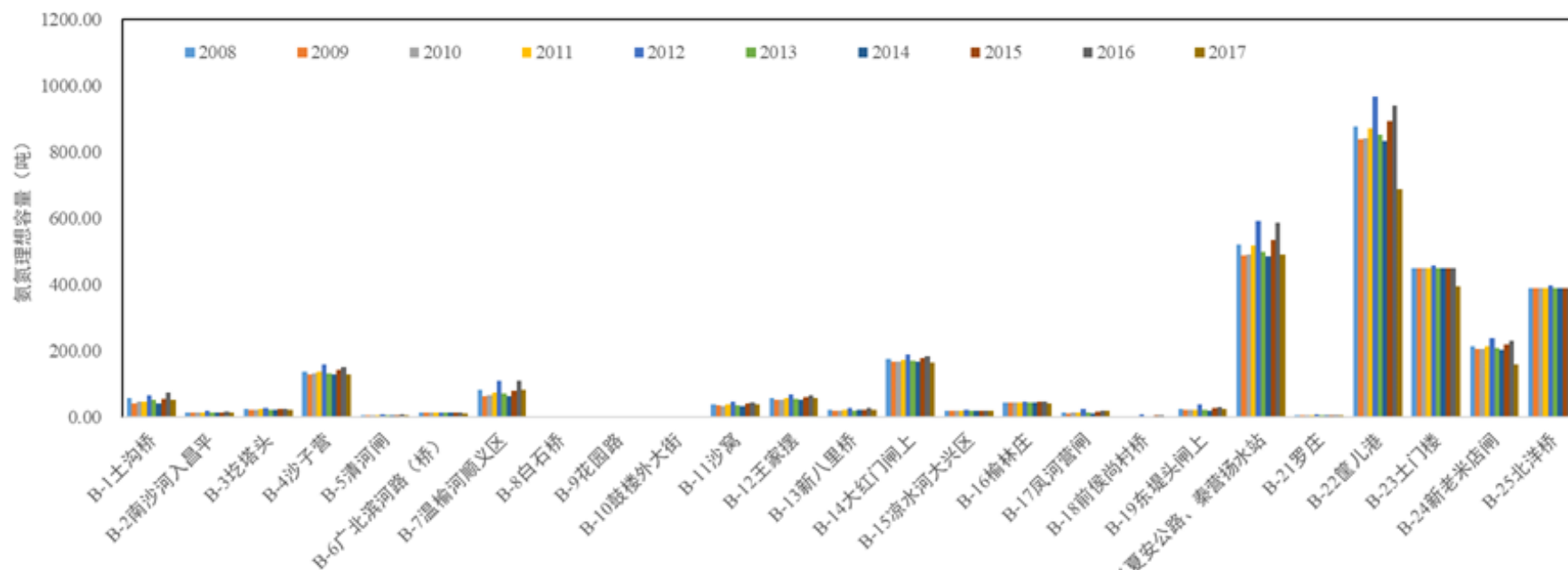
- 从时间尺度上看，各控制单元COD水环境容量呈现**丰水年较高、枯水年较低**的特点，丰水年，降水量较大，流域水环境容量较高，而枯水年，河道流量低，水质净化能力较差；
- 从空间尺度分析，位于流域中游城镇化水平最高，区域面积小，地区人口众多，河流中污染物浓度高，COD水环境容量低；随着水量增加，COD水环境容量升高。



控制单元水环境分量核算

水环境分量核算结果——水环境容量时空变化

氨氮水环境容量



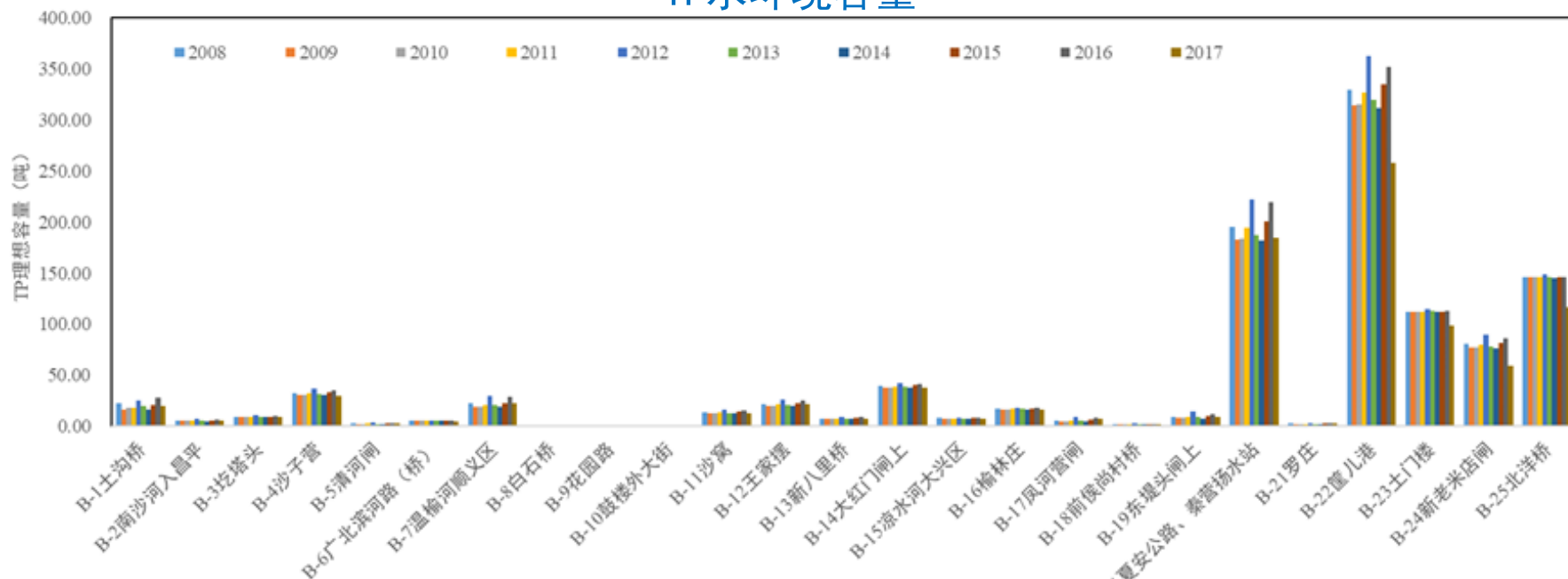
- 从时间尺度上看，控制单元氨氮水环境容量在丰水年较高、枯水年较低；
- 从空间尺度分析，流域中游农业种植面积大，氮磷肥的施用量大，且畜禽养殖数量较多，畜禽养殖业污染较大，氨氮排放量高，河流中污染物浓度高，氨氮水环境容量低；较大的退水量稀释了中游的污染物浓度，下游氨氮水环境容量升高。



控制单元水环境分量核算

水环境分量核算结果——水环境容量时空变化

TP水环境容量



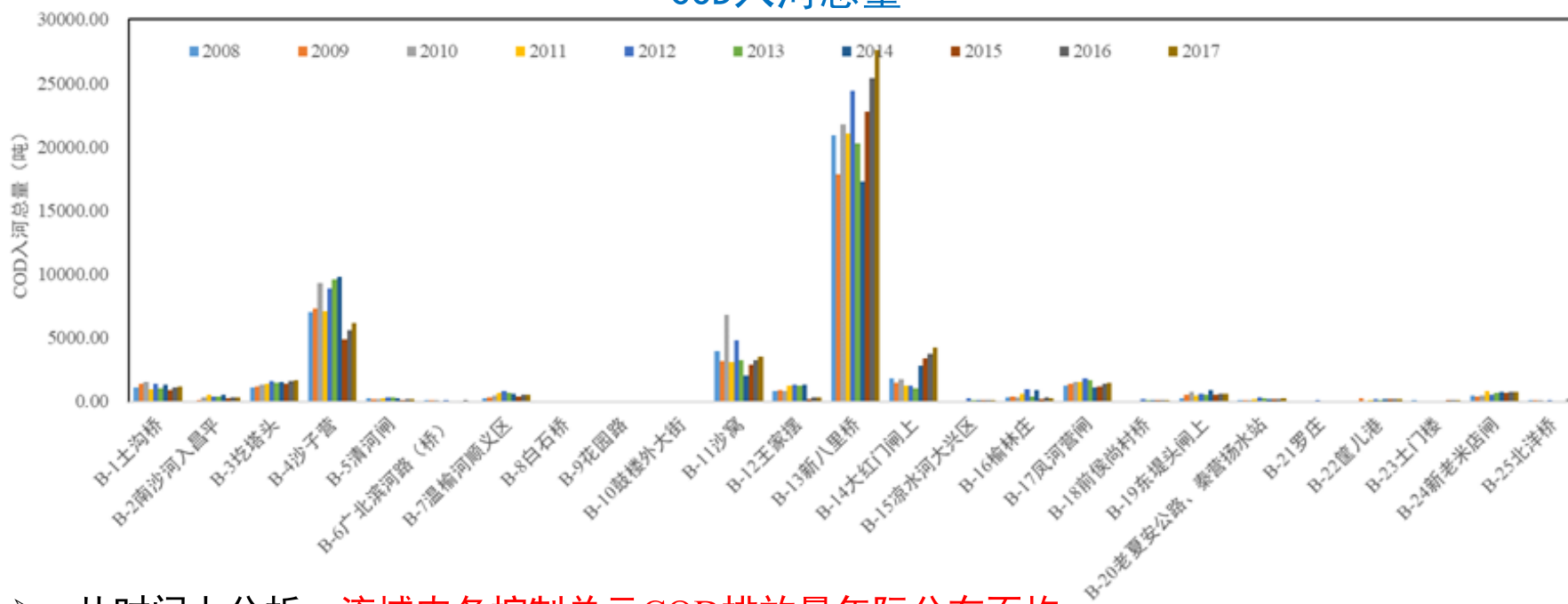
- 从时间尺度上看，控制单元TP水环境容量在丰水年较高、枯水年较低；
- 从空间尺度分析，位于流域中游的控制单元TP排放量高，河流中污染物浓度高，TP水环境容量低；位于流域下游的控制单元由于退水量大，稀释了中游的污染物浓度，且退水污染物浓度相对较小，TP水环境容量升高。



控制单元水环境分量核算

水环境分量核算结果——污染物排放总量时空变化

COD入河总量



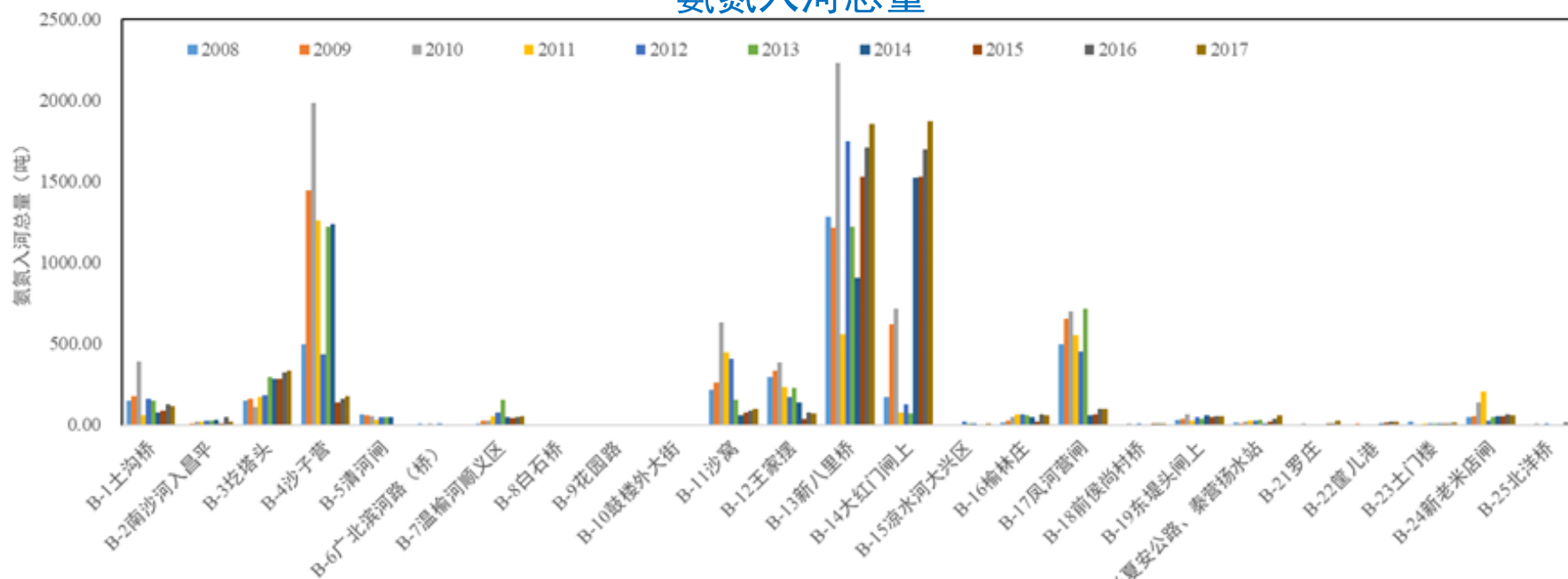
- 从时间上分析，流域内各控制单元COD排放量年际分布不均；
- 从空间上分析，流域各地区COD排放量相差较大，新八里桥、沙子营、沙窝、大红门闸上等控制单元的污水处理厂处理范围较大，污水收集量及处理量均较大，因此较其他地区COD排放总量较大，排放源主要来自污水处理厂；其余地区COD排放量相对较小，排放源包括污水处理厂及面源污染等。



控制单元水环境分量核算

水环境分量核算结果——污染物排放总量时空变化

氨氮入河总量



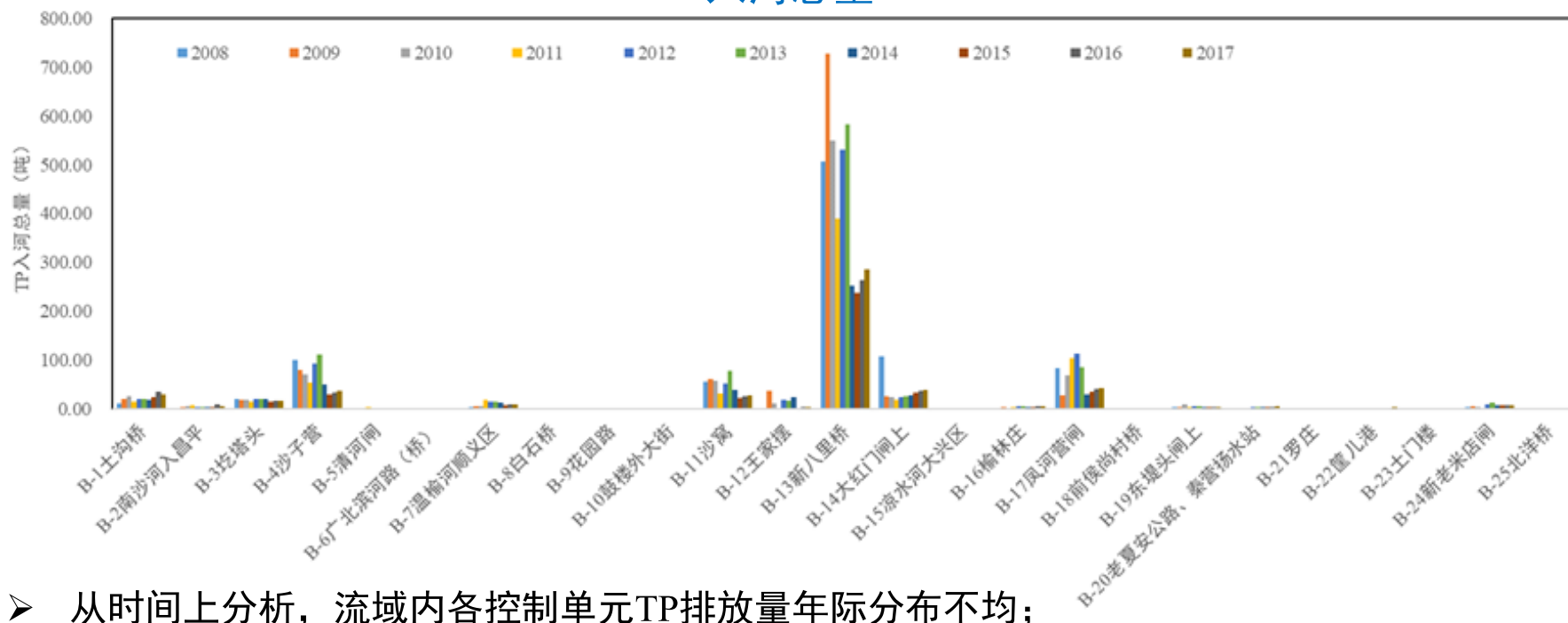
- 从时间上分析，流域内各控制单元氨氮排放量年际分布不均；
- 从空间上分析，流域各地区氨氮排放量相差较大，其中新八里桥、沙子营、大红门闸上、凤河营闸、沙窝等控制单元氨氮排放总量较大，因区域内污水处理厂处理规模较大，污水收集量及处理量均较大；其余地区氨氮排放量相对较小，排放源包括污水处理厂及面源污染等。



控制单元水环境分量核算

水环境分量核算结果——污染物排放总量时空变化

TP入河总量



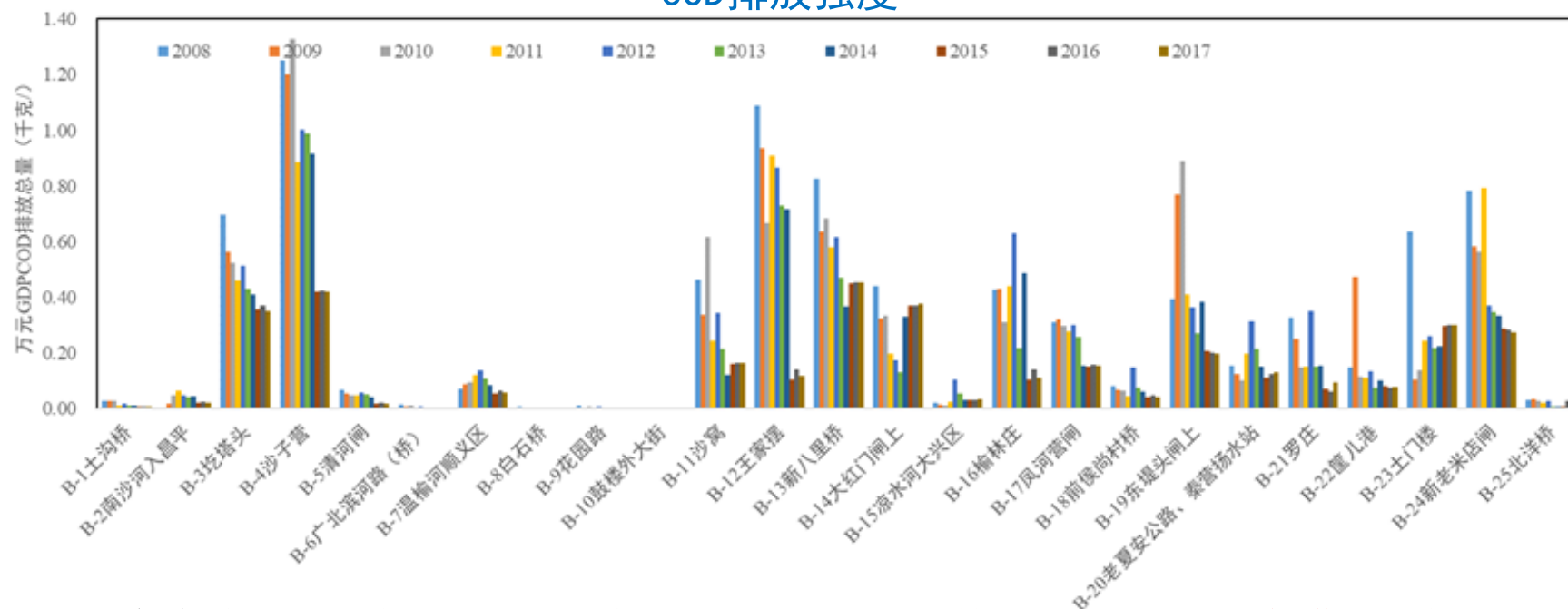
- 从时间上分析，流域内各控制单元TP排放量年际分布不均；
- 从空间上分析，流域各地区TP排放量差异较大，其中新八里桥的TP排放量最大，其次是沙子营、凤河营闸、沙窝等控制单元，因新八里桥所在区域内污水处理厂收集范围较广，污水处理规模较大，相比其它地区污水收集量及处理量均较大，因此TP排放量也相对较大，排放源主要来自污水处理厂，此外还有部分来自面源污染等。



控制单元水环境分量核算

水环境分量核算结果——污染物排放强度时空变化

COD排放强度



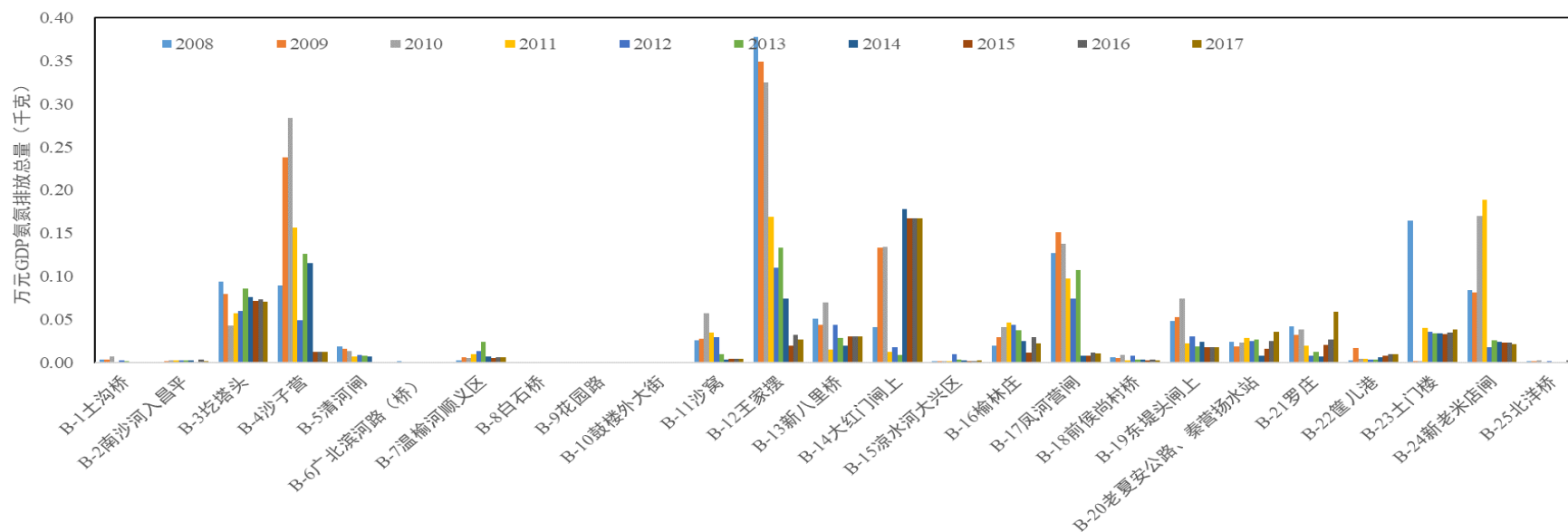
- 从时间角度分析，流域内各控制单元万元GDP COD排放量基本上呈现逐年递减状态；
- 从空间角度分析，流域内各控制单元万元GDP COD排放量差异较大，其中沙子营、王家摆、新八里桥等控制单元COD排放强度较大，主要原因在于此区域内污水处理厂纳污范围较广，污水处理规模较大；由于区域内无污水处理厂，白石桥、花园路、鼓楼外大街等控制单元COD排放强度较小。



控制单元水环境分量核算

水环境分量核算结果——污染物排放强度时空变化

氨氮排放强度



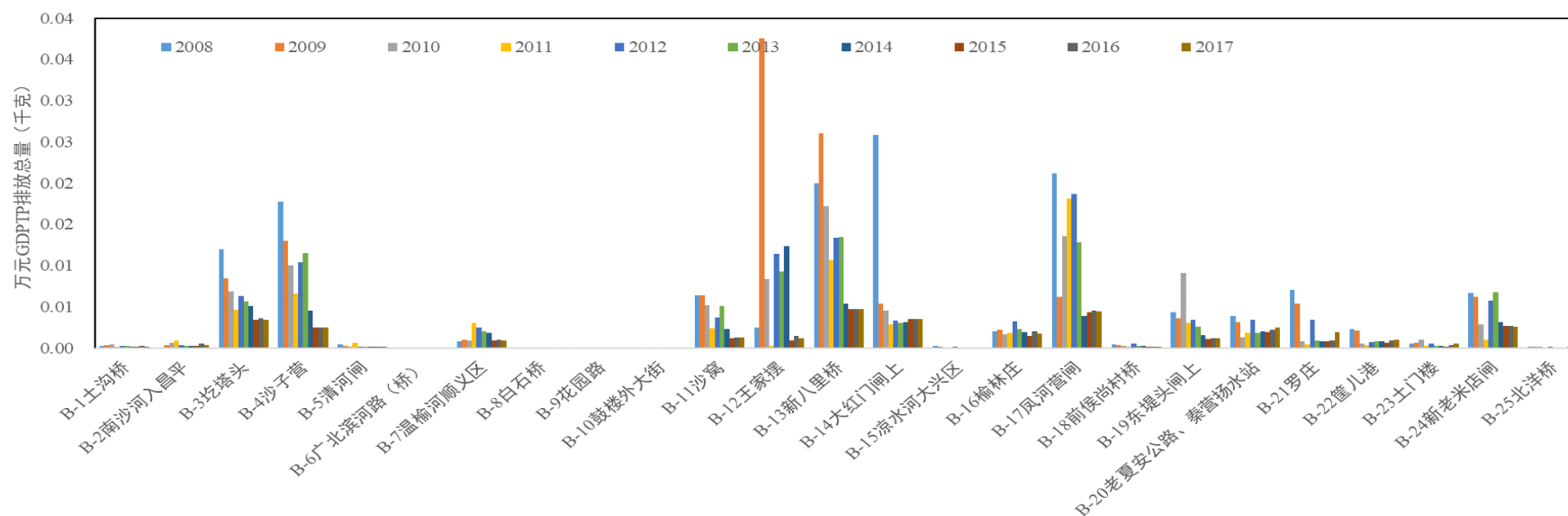
- 从时间角度分析，流域内各控制单元万元GDP 氨氮排放量基本呈递减趋势；
- 从空间角度分析，流域内各控制单元万元GDP 氨氮排放量差异较大，其中沙子营、王家摆、大红门闸上、凤河营闸等控制单元氨氮排放强度较大，主要原因在于此区域内污水处理厂处理规模较大，处理了大量其他地区的氨氮；由于区域内无污水处理厂，白石桥、花园路、鼓楼外大街等控制单元氨氮排放强度较小。



控制单元水环境分量核算

水环境分量核算结果——污染物排放强度时空变化

TP排放强度



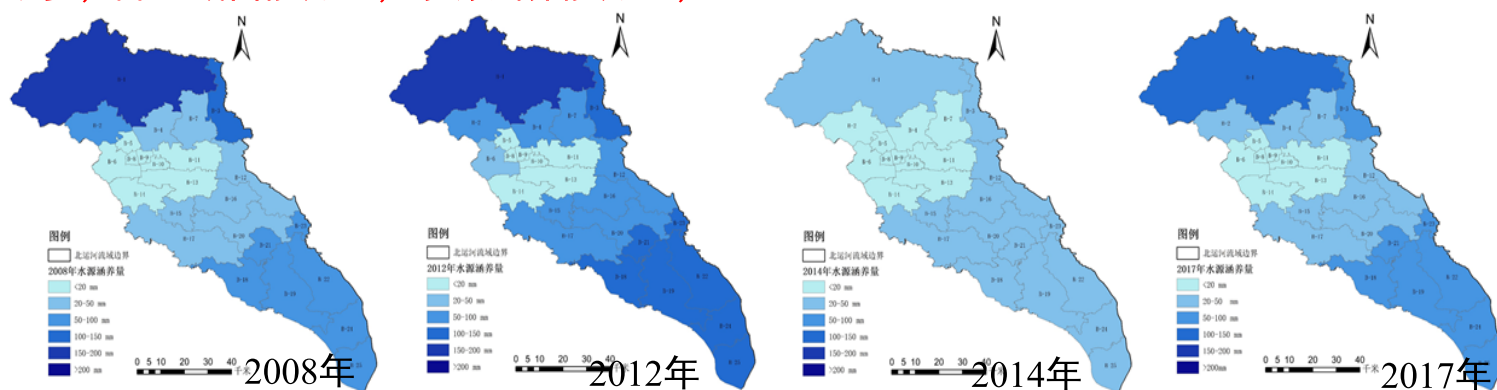
- 从时间角度分析，流域内各控制单元万元GDP TP排放量基本呈递减趋势；
- 从空间角度分析，流域内各控制单元万元GDP TP排放量差异较大，其中沙子营、王家摆、新八里桥、大红门闸上、凤河营闸等控制单元TP排放强度较大，主要原因在于此区域内污水处理厂纳污范围较广，处理了大量其他地区的TP；由于区域内无污水处理厂，白石桥、花园路、鼓楼外大街等控制单元TP排放强度较小。



控制单元水生态分量核算

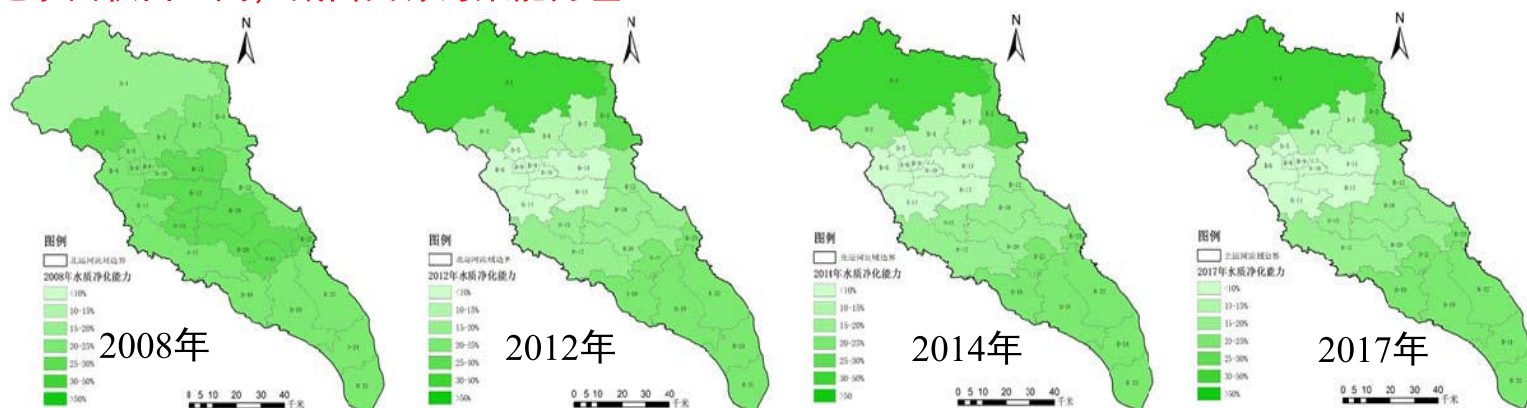
水生态分量核算结果——水源涵养（基于30m土地利用）

- 流域西北部属于山地地区，林草面积占比比较大，水源涵养量大；平原地区，城市建设用地以及耕地面积众多，降雨截留能力差，水源涵养能力差；



水生态分量核算结果——水质净化和湿地面积（基于30m土地利用）

- 流域水质净化与土地利用类型相关，上游地区林草覆盖面积广，能够截留的面源污染能力强；中游城市不透水面积占比高，截留面源污染能力差

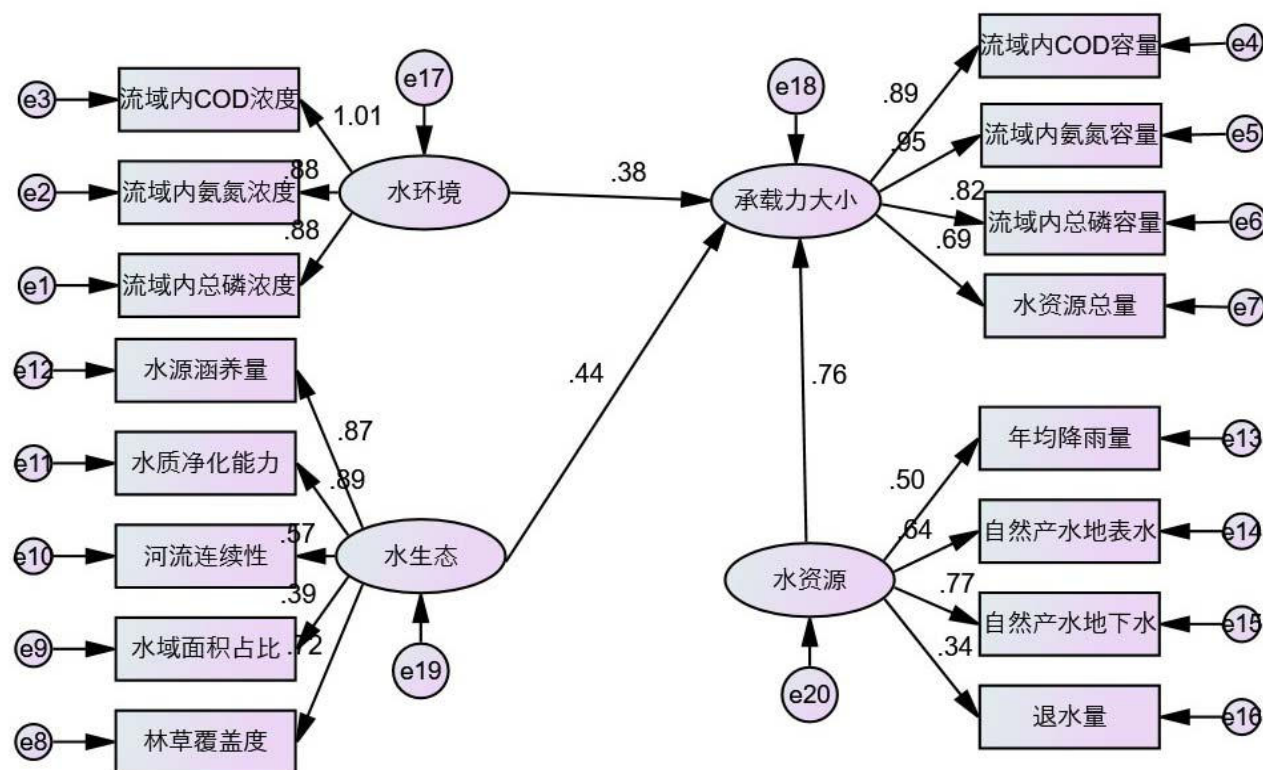




基于控制单元的水环境承载力大小评估

水环境承载力大小评估-指标体系及权重

AMOS结构方程路径分析结果










基于控制单元的水环境承载力大小评估

水环境承载力大小评估-指标体系及权重

目标层	指标层	路径系数	分指标	二级指标
北运河流域 水环境承载力 大小指标体系	水环境分量	0.241	本地COD浓度	0.088
			本地氨氮浓度	0.077
			本地总磷浓度	0.077
			年均降雨量	0.106
	水资源分量	0.481	地表水量	0.140
			地下水量	0.164
			退水量	0.071
			水源涵养量	0.069
			水质净化能力	0.072
	水生态分量	0.278	河流连续性	0.046
			水域面积占比	0.032
			林草覆盖度	0.059

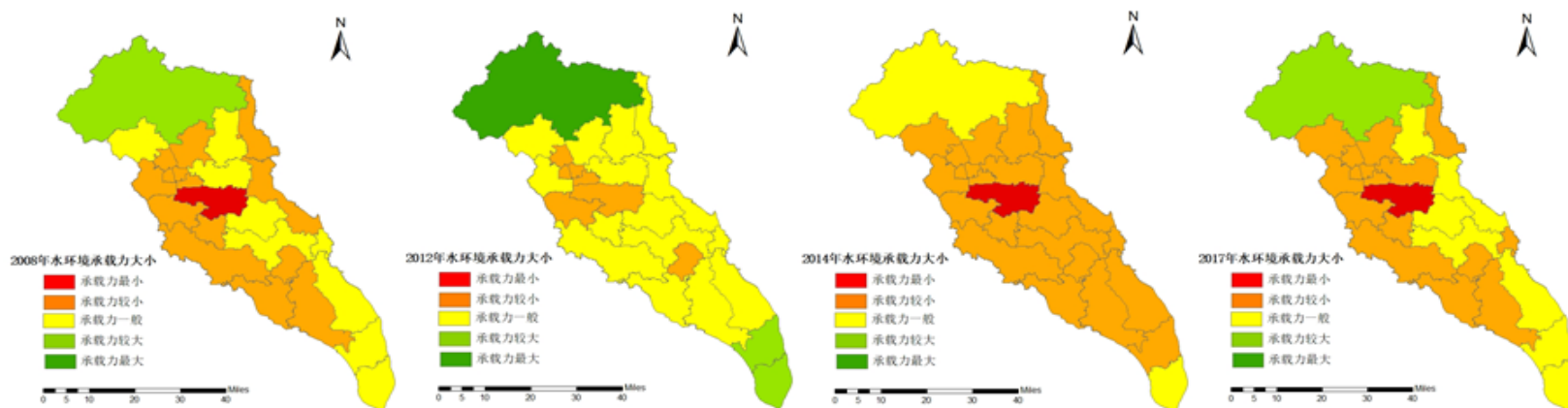
评估结果等级划分

分级标准	$X \leq 0.242$	$0.242 < X \leq 0.417$	$0.417 < X \leq 0.575$	$0.575 < X \leq 0.759$	$X > 0.759$
等级	承载力最小	承载力较小	承载力一般	承载力较大	承载力最大
颜色					



基于控制单元的水环境承载力大小评估

水环境承载力大小评估-年际动态评估结果



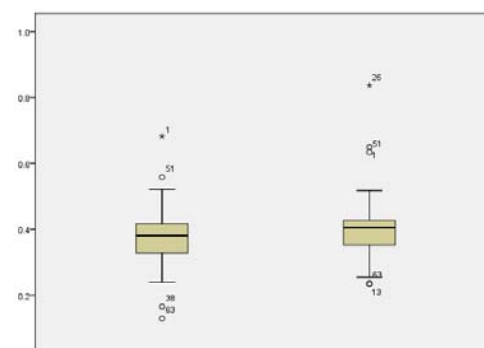
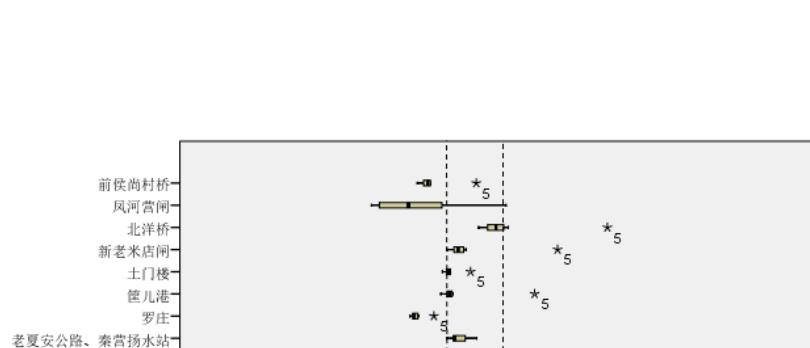
从空间尺度上分析

- **上游**：流域内水量丰富，污染物浓度低，林草覆盖度高，水源涵养与水质净化能力高，地表水与地下水资源量较高，**水环境承载力较大**；
- **中游**：城镇化水平高，植被覆盖度低，生态服务功能低，水资源供给能力差，且污染物浓度较高，**水环境承载力较小**；
- **下游**：水面面积占比大，**地表水与地下水资源量高**，但污染物浓度较高，**水环境容量较低**。



基于控制单元的水环境承载力大小评估

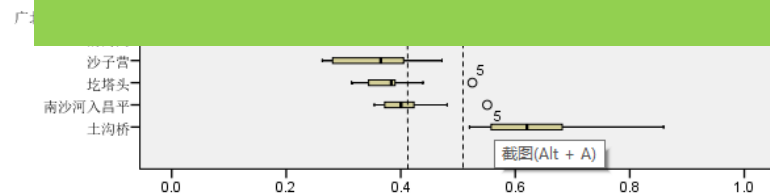
水环境承载力大小评估-年际动态评估结果



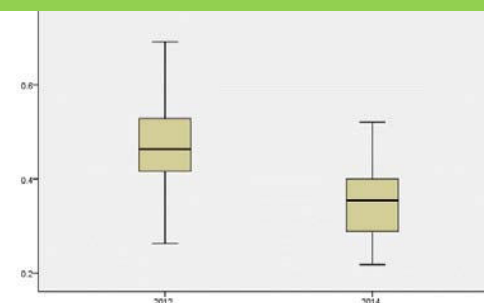
从时间尺度上分析

丰水年： 降水量大、地表水资源量以及地下水资源量较高，水资源供给能力高。水环境承载力较大。

2015-2017年相比于2008-2010年：
水环境承载力变大，波动幅度变小



各控制单元水环境承载力大小箱线图



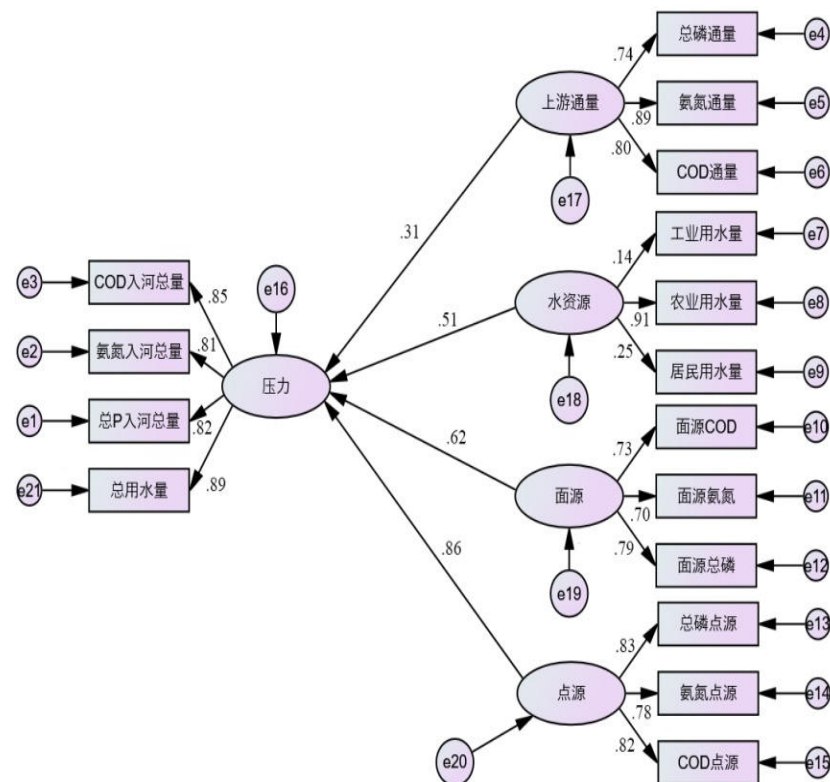
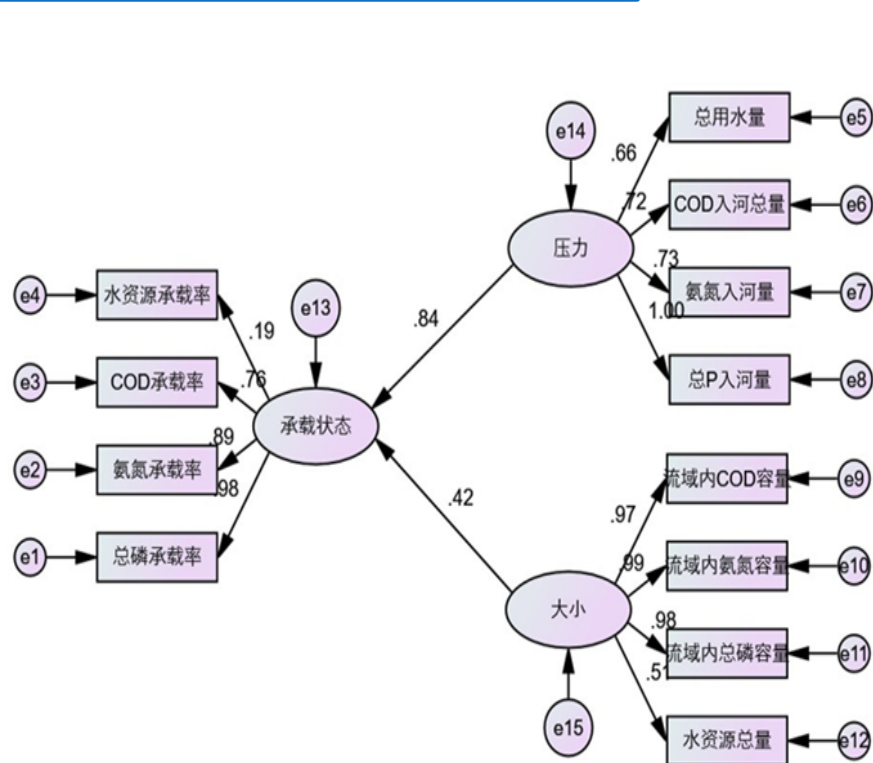
丰(2012)枯(2014)水年水环境承载力大小箱线图



基于控制单元的水环境承载力承载状态评估

水环境承载力承载状态评估-承载状态影响因子路径分析

AMOS结构方程路径分析结果





基于控制单元的水环境承载力承载状态评估

水环境承载力承载状态评估-指标体系及权重

目标层	分层	指标层	一级权重	分层指标	二级权重
北运河流域控制单元水环境承载力承载状态评估指标体系	水系统压力	上游来水压力	0.088	总磷通量	0.027
				氨氮通量	0.032
				COD通量	0.029
		水资源利用量	0.147	工业用水量	0.016
				农业用水量	0.103
				居民用水量	0.028
	承载力大小	面源排放量	0.178	面源COD	0.059
				面源氨氮	0.056
				面源总磷	0.063
		点源排放量	0.247	点源总磷	0.085
				点源氨氮	0.080
				点源COD	0.082
		水环境分量	0.082	COD浓度	0.030
				氨氮浓度	0.026
				总磷浓度	0.026
		水资源分量	0.164	年均降雨量	0.036
				地表水量	0.048
				地下水量	0.056
				退水量	0.024
		水生态分量	0.094	水源涵养量	0.023
				水质净化能力	0.024
				河流连续性	0.016
				水域面积占比	0.011
				林草覆盖度	0.020

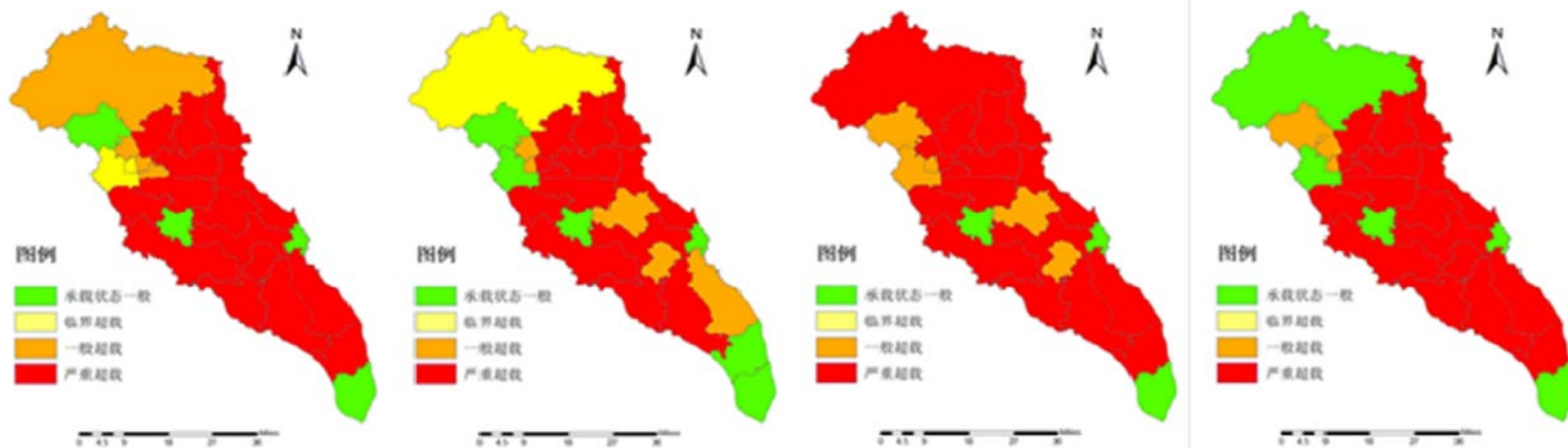
评估结果等级划分

分级标准	0-0.225	0.225-0.2465	0.2465-0.25829	0.25829-∞
等级	承载状态一般	临界超载	一般超载	严重超载
颜色				



基于控制单元的水环境承载力承载状态评估

水环境承载力承载状态评估-年际动态评估结果



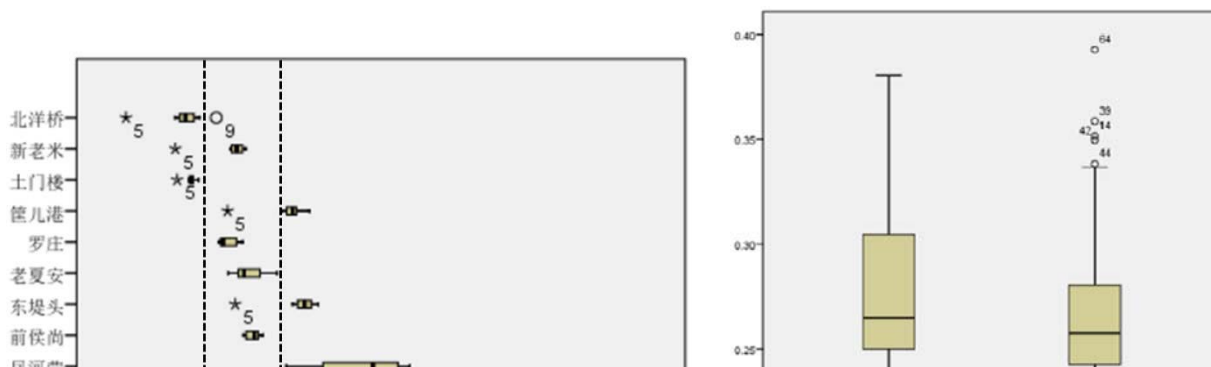
► 从空间尺度上分析

- **上游**：较好。
- **中游**：较差。中游城市化水平高，污染物排放量高，水资源利用量大，流域水系统处于超载或临界超载的状态；
- **下游**：较好。生活、工业、农业污水处理系统先进，退水污染物浓度相对中游污染物浓度更小，且退水量大，稀释了中游的污染物浓度，使下游的超载问题得到缓解。

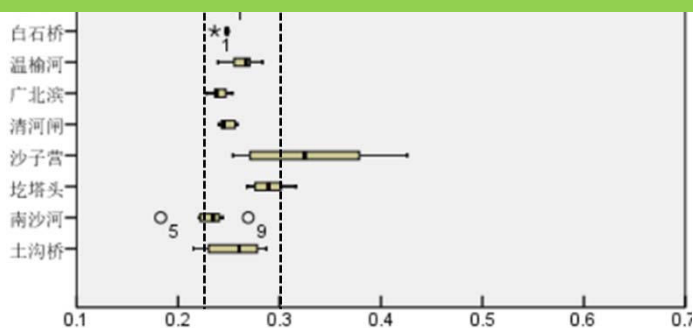


基于控制单元的水环境承载力承载状态评估

水环境承载力承载状态评估-年际动态评估结果



2015-2017年相比于2008-2010年：
水环境承载状态数值变小,水环境承载状态逐渐变好



各控制单元水环境承载状态箱线图



丰(2012)枯(2014)水年水环境承载状态箱线图

➤ 从时间尺度上分析

- 丰水年水环境承载力承载状态明显优于枯水年，流域水环境承载力承载状态季节性变化较为显著。
- 水环境承载力承载状态的年际变化较明显，与降水量、流域水环境承载力大小、农业活动以及城镇不透水面面积相关。



基于控制单元的水环境承载力开发利用潜势评估

水环境承载力开发利用潜势评估-评估指标体系及其权重

评估指标体系及权重

熵权法

目标层	指标层	一级权重	分指标	二级权重
北运河流域水环境承载力开发利用潜势指标体系	承载力大小	0.0821	——	0.0821
	承载状态	0.1480	——	0.1480
	污染物排放强度与水资源利用强度	0.5786	水资源	人均水耗 0.1098 万元GDP水耗 0.1135
			污染物	万元GDP COD排放量 0.0865
				万元GDP 氨氮排放量 0.1370
				万元GDP TP 排放量 0.1316
			城镇化率	0.0266
	区域发展能力	0.1913	人均GDP	0.0502
			第三产业占比	0.0360
			环保投资占比	0.0758
			污水处理率	0.0027

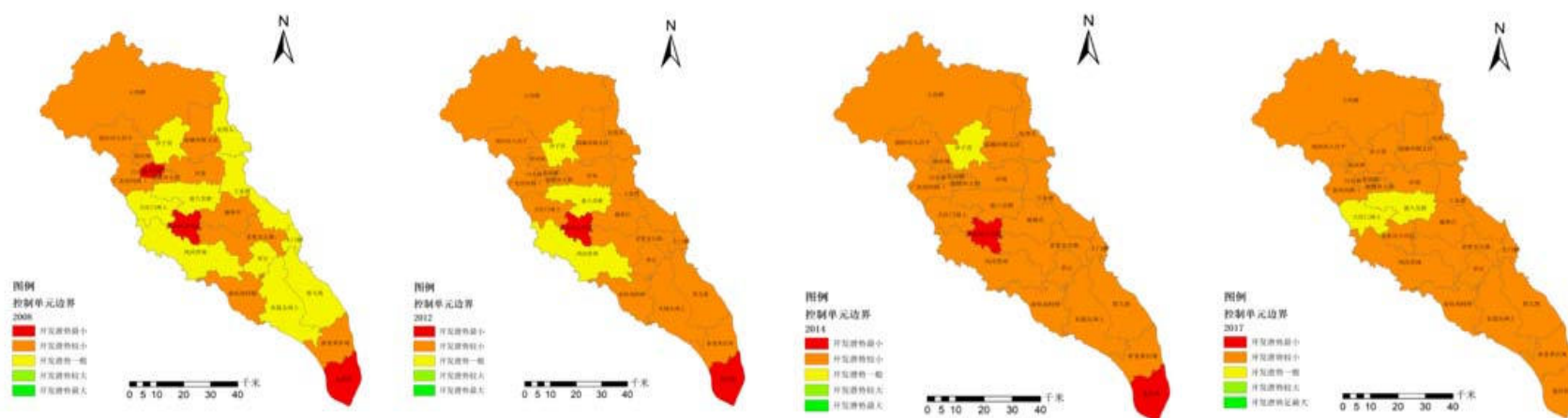
评估结果等级划分

分级标准	$X \leq 0.148$	$0.148 < X \leq 0.382$	$0.382 < X \leq 0.614$	$0.614 < X \leq 0.852$	$X > 0.852$
等级	开发潜势最小	开发潜势较小	开发潜势一般	开发潜势较大	开发潜势最大
颜色					



基于控制单元的水环境承载力开发利用潜势评估

水环境承载力开发利用潜势评估-年际动态评估结果



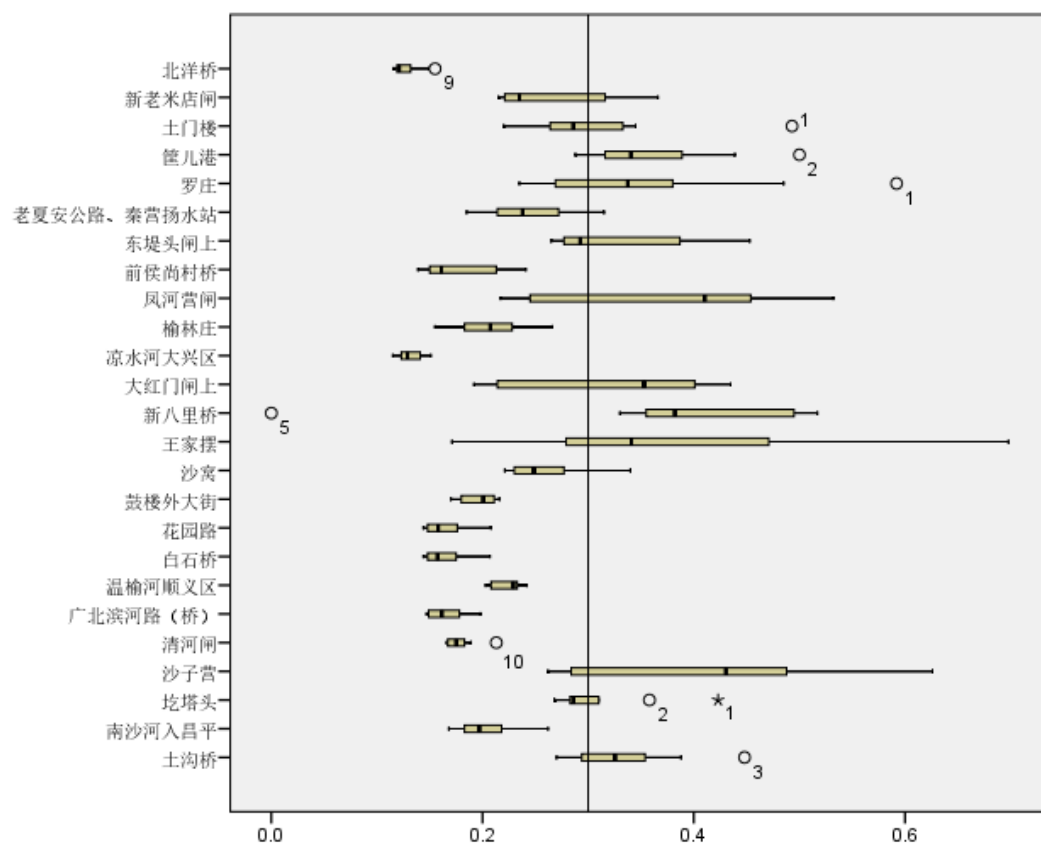
➤ 从空间尺度上分析

- ❑ 新八里桥控制单元水环境承载状态较好，且区域发展能力大。
- ❑ 土沟桥控制单元农业种植业面积与畜禽养殖数量较大，污染物排放强度较高，水环境承载力开发潜势较其他地区较高。
- ❑ 白石桥、花园路等控制单元服务业发达，第三产业占比高，区域发展水平极高，但污染物排放强度与水资源利用强度较小，流域水环境承载力开发利用潜势相对较小。
- ❑ 下游地区的新老米电闸、北洋桥控制单元虽然水环境承载力较大，但该区域污染物排放强度与水资源利用强度较小，区域发展能力较低，因此水环境承载力开发利用潜势较小。

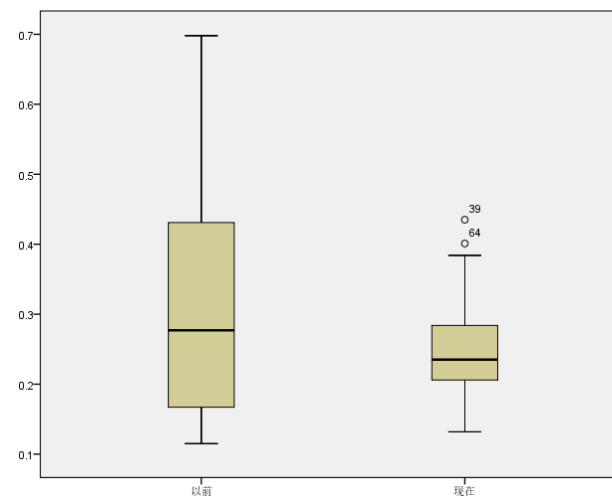


基于控制单元的水环境承载力开发利用潜势评估

水环境承载力开发利用潜势评估-年际动态评估结果



各控制单元水环境承载力开发利用潜势箱线图



平水年以前（2008-2010年）和现在（2015-2017年）水环境承载开发利用潜势箱线图

➤ 从时间尺度上分析

流域水环境承载力开发利用
潜势在逐渐降低。



水生态保护建议



问题与建议

□ 流域水环境承载力评估技术体系问题：

- 概念界定不清，缺乏对水环境承载力的系统认知；
- 评价对象或目的不明确，指标体系构建过于随意，缺乏针对性与目的性；
- 评价指标体系庞杂，指标选取与权重确定过程过于主观片面，导致评价结果的可解释性不足；
- 评价分级标准划分缺乏科学依据，评价结果可比性不差；
- 亟待研发可推广、可复制、被广泛认可流域水环境承载力评价技术规范。

建议：

- 科学界定水环境承载力的概念及内涵，明确水环境承载力评价对象及目的；
- 在明确评价对象基础上，合理构建水环境承载力评价指标体系；
- 科学确定权重，制定可推广的水环境承载力技术规范；
- 制定科学的评价分级标准，加强评价结果的合理性与可比性；
- 规范水环境承载力评价技术体系，制定可推广、可复制的技术规范；
- 科学分析水环境承载力承载状态，健全流域水监管考核机制。

- 水专项专报《关于完善流域水环境承载力评价方法体系，健全流域水系统监管考核机制的建议》

水专项关于完善流域水环境承载力评价方法体系，健全流域水系统监管考核机制的建议

【摘要】流域水环境承载力是表征流域水系统所能承受社会经济活动所带来压力的阈值，是指导流域水系统规划管理工作的重要依据。国家“生态文明体制改革方案”以及“水十条”中都明确指出要严格控制流域污染物排放，建立流域水环境承载力监测评价工作，实行承载力监测预警，指导流域生态环境保护工作。但目前我国流域水环境承载力评价仍存在概念不清、评价对象不明确、指标选取过于随意、评价标准与权重制定不合理等问题；到目前为止，尚未形成一套公认的可复制、可推广且科学的流域水环境承载力评价方法体系及其规范。因此，建议在科学界定流域水环境承载力概念及内涵、明确评价对象及目的的基础上，完善流域水环境承载力评价方法体系，制定形成可推广且科学的流域水环境承载力评价规范，科学分析流域水环境承载力评价的时空变化特征，为健全流域水环境监管考核机制提供科学支撑。

一、流域水系统监管与考核对于水环境承载力评价的需求 (一) 流域水环境承载力承载状态堪忧，急需建立流域水环境承载力评价方法体系与基于评价的考核机制

随着我国社会经济的快速发展，导致人类活动对流域水环境压力日益增大，很多区域都超过了水环境承载力可支撑的阈值；



评价结论与建议

□ 北运河流域水环境承载力评估结论

- 时间尺度上，随着生态环境的改善，流域水环境承载力大小逐渐变大、承载状态逐渐改善，开发利用潜势逐渐降低。丰水年的水环境承载力大小、承载状态明显高于其他年份；
- 空间尺度上，流域内评估单元水环境承载力差异性较大。上游地区水环境承载力较小，承载状态一般，其开发利用潜势较大；中游地区水环境承载力较大，处于一般超载状态，开发利用潜势较小；下游地区水环境承载力较小，承载状态一般，开发利用潜势较小。



水生态保护分区保护建议

□ 北运河流域水生态分区保护建议

➤ 通过对评价结果进行综合聚类分析，将流域分为保护开发区、限制开发区、控制开发区以及重点治理区，实行流域“自下而上”的分区精细化管理：

- 限制开区：超载风险低，承载状态一般。需要严格控制本地区内畜禽散养、植被砍伐等行为，形成环境友好型的产业结构，降低水环境承载力超载风险；
- 保护开发区：受不同水年的影响，农业面源污染物排放量较大，且流域内居民点较多，需减少农业面源污染物排放，调整供水结构，增加节水量，进一步提高水环境承载力承载状态；
- 控制开发区：区域差异较大，如中心城区面积较少，人口密度较大，城镇化水平较高，需要增加生活污水收集效率，降低生活面源污染物排放，加大再生水回用力度；
- 重点治理区：水环境承载力承载状态处于一般超载状态，主要由于单元面积较大，虽然水环境承载力较大，但点源污染物排放量较大，部分地区农村生活面源污染较大，从水资源子系统考虑，增加区外调水等可利用水资源量。从水环境子系统，加大生活污水的收集力度和农业畜禽养殖污染物的处理力度，降低污染物排放总量。从水生态子系统，加强岸边带建设，减少陆域污染物入河量；增加城市绿化面积，提高流域水源涵养能力和水质净化能力。



北运河流域水环境承载力评估和预警系统设计及开发

主要建设成果

微信公众号: bnu_ecc



微信搜一搜

持续健康水系统



“十三五”水专项

持续健康水系统



北运河流域水环境承载力动态评估与预警技术体系研究

研究报告 文章 系统简介 其它成果

北运河流域水环境承载力动态评估与预警技术体系研究 (简介)



北运河流域水环境承载力动态评估



北运河流域水环境承载力预警方法体系



北运河流域水环境承载力动态评估与预警技术体系研究

持续健康水系统 7月31日



谢谢聆听！
请多指正！