

关于《城市生态综合评估技术指南》的编制说明

一、工作简况

城市生态综合评估目的在于基于丰富详实的基础资料，计算城市内生态系统代谢效率、生态系统服务能力和生态系统典型问题，从而实现城市整体生态质量的评估。是规划生态空间、划定生态保护红线，以及落实绿水青山就是金山银山、将生态效益纳入经济社会考核体系的重要基础。对促进生态文明建设、建设美丽中国具有重要的意义

1、工作任务由来

本部分内容隶属于《国家质量基础的共性技术研究与应用》专项下，《城市可持续发展关键基础通用技术标准研究》项目中《城市生态可持续性监测和评价关键技术标准研究》课题，本课题研究主要针对在城市生态和生态系统可持续性的监测和评价方面，评价体系缺失的问题，寻找城市生态系统格局、生态系统质量、生态服务功能、生态问题、城市生态评估、城市生态监测、城市生态风险评价的适合城市可持续发展的体系，用于指导城市管理并促进城市可持续发展；重点解决生态可持续性监测和评价关键技术标准的内涵、目标和框架；生态可持续性监测和评价关键技术评级体系的指标统计和数据收集的可行性以及在我国适用性；如何从可持续发展的角度，构建科学合理的城市生态可持续性监测和生态评价关键技术标准。本部分《城市生态评估技术指南》

涉及森林、湖泊湿地、生态退化、生物多样性、水资源利用、外来物种入侵、城市快速发展、海岸带、风景旅游等各方向的生态问题、生态系统服务和生态系统代谢效率。对于如何选择合适的生态系统评估指标，并选择合适的技术方法和流程进行生态系统评估进行了研究和设计。

2、技术指南编制过程

《城市生态评估技术指南》编制坚持方法的创新性和科学性，经历以下过程：

(1) 国内外城市生态评估方法的综述研究。

2017年7月至2019年12月，在深入讨论任务文件，明确任务目标的基础上，针对城市生态评估近几年国内外文献研究进行了综述，充分吸收了国外相关领域研究的先进经验，从而结合国内城市发展、生态问题等实际情况，进行本指南的编制。

(2) 草拟城市生态评估指标体系

2019年12月至2020年1月，在充分了解城市生态评估研究现状及指标体系现状的基础上，对国内城市的发展特点、生态问题等方面进行了讨论研究，构建了具有创新性和科学性的城市生态评估指标体系。

(3) 城市生态评估指标体系细化

2020年1月至5月，在前期工作的基础上，进行指标细化。指标体系共分为三级，一级指标为城市生态综合评估；

二级指标为生态系统代谢效率、生态系统服务能力和生态系统典型问题；三级指标为二级指标下各自的次一级指标。三级指标的计算基于丰富详实的基础数据。

(3) 以深圳、北京、上海、广州四市为试点，开展本技术体系的试应用。

对构建完成的城市生态评估技术体系，进行应用层面的研究。以深圳、北京、上海、广州四市为试点，搜集相关数据，进行城市生态综合指数的核算。2010年到2018年，深圳城市生态系统综合指数由1降为0.94，其中在2015年下降到了底部0.81。其中生态系统代谢效率和生态系统服务能力是上升的，而城市生态系统典型问题出现下降后改善的特征。这个研究结论与其他课题生态资产指数变化评估特征一致。2015年间，深圳在生态系统代谢效率和生态系统典型问题上显著优于其他三个城市，但在生态系统服务能力上落后北京和广州。综合而言，深圳的城市生态系统综合指数在四个一线城市之首。

3、主要参加单位

本标准由中国科学院生态环境研究中心、中国标准化研究院共同起草制定。

二、技术指南编制原则和主要内容

1、基本原则

多维可比性原则。通过设置基准年和多年平均气候条件

的方式，使用该方法在城市间和不同年份间具有可比性。

动态调整性原则。通过指标增减的平滑过渡方法，允许不同城市和城市发展的不同阶段，对指标进行动态调整。

客观一致性原则。通过对基础指标进行相关性筛选，降低指标重复性；在降维过程中采用几何平均数方法减少人为设置权重的主观影响。

2、主要内容

在划定城市空间范围的基础上，构建城市生态系统综合指数核算体系，对城市生态系统的服务能力、城市生态系统代谢效率、城市生态系统典型问题进行评价，最终形成城市生态系统综合评价结果。

表1. 指标体系

一级指标 (正向)	二级指 标(正 向)	三级指标(正向)	底层指标(正向)	单位
城市生态 系统综合 指数 UEI	生态效 率指数 UEM	能源效率指数 TEE	能源使用效率 EE	万元 GDP/ 吨当量标 准煤
		水资源效率指数 TWE	水资源使用效率 WE	万元 GDP/ 吨水耗
		土地效率指数 TLE	土地使用效率 LE	万元 GDP/ 平方公里 硬化地表
		人均水足迹指数 TWF	人均水足迹的倒数 WF	吨水耗
		人均碳足迹指数 TCF	人均碳足迹的倒数 CF	吨二氧化 碳排放
		地均物质存量指数 TMW	地均物质存量强度 MW	吨物质量
	生态系 统 服务能	气候调节服务指数 TCAS	气候调节服务 CAS	千瓦时
		暴雨径流调节服务指数 TSRS	暴雨径流调节服务 SRS	吨削减暴 雨径流

	力指数 UES	面源污染控制服务指数 TNRS	面源污染控制服务 NRS	吨削减面 源总磷
		水质净化服务指数 TWPS	水质净化服务 WPS	吨削减总 磷污染物
		空气净化服务指数 TAPS	空气净化服务 APS	吨二氧化 硫
		防止泥沙淤积服务指数 TSCS	防止泥沙淤积服务 SCS	吨削减泥 沙
	典型生 态 问题指 数 UEP	热岛效应指数 THIE	热岛效应水平倒数 HIE	1/摄氏度
		城市内涝指数 TUF	城市内涝水平倒数 UFE	1/暴雨径 流
		空气污染指数 TAPE	空气污染水平倒数 APE	1/吨二氧 化硫
		水体污染指数 TWPE	水体污染水平倒数 WPE	1/吨总磷
		物种入侵指数 TSIE	物种入侵水平倒数 SIE	1/物种入 侵严重性

3、核算公式

一级指标—城市生态系统综合指数UEI

$$UEI = \sqrt[3]{UEM * UES * UEP}$$

二级指标—城市生态系统代谢效率指数UEM

$$UEM = \sqrt[6]{TEE * TWE * TLE * TWF * TCF * TMW}$$

二级指标—城市生态系统服务能力指数UES

$$UES = \sqrt[6]{TCAS * TSRS * TNRS * TWPS * TAPS * TSCS}$$

二级指标—城市生态系统典型问题指数UEP

$$UEP = \sqrt[6]{THIE * TUF * TAPE * TWPE * TSIE}$$

三级指标—三级指标的计算方法

$$THREE_i = Bottom_i / Ref2010_i$$

式中， $THREE_i$ 为第i个三级指标的当年值； $Bottom_i$ 为第i个底层指标的当年值； $Ref2010_i$ 为第i个底层指标的2010年全国平均值。

三、主要条文说明

1、适用范围

“范围”部分明确了本技术标准的适用范围。即适用于人口活动集聚区域范围内的生态系统评价工作；对于城市中“区”行政单元可以参考本办法执行；在数据统计口径不能满足实际评估需要时，也可以采用城市行政区内数据加以分析。

2、规范性引用文件

该部分列出了在本技术标准中所引用的国家标准、行业技术标准与技术标准。

3.术语和定义

该部分用于解释在技术标准中使用，但在相关国家标准、行业技术标准与技术标准中无明确定义的专业术语。

四、关键技术

1、生态系统服务评估技术

生态系统服务能力指数的计算涉及城市多项生态系统服务的评估，生态系统服务评估方法如下：

减少泥沙淤积

减少泥沙淤积功能是生态系统通过林冠层、枯落物、根系等各个层次保护土壤、消减降雨侵蚀力，增加土壤抗蚀性，减少土壤流失，保持土壤的功能。本次计算采用修正后的通用土壤流失方程。基于降雨侵蚀力因子 R、土壤可蚀性因子 K、坡长坡度因子 L、S 的算法以及覆盖和管理因子 C 以及水

土保持措施因子 P，以及来源于参考文献的泥沙淤积系数和来源于监测数据的土壤容重，进行计算。

减少泥沙淤积量：

$$Q_{sd} = \lambda \times (Q_{sr} / \rho)$$

式中：

Q_{sd} ——减少泥沙量，单位为 t/a；

Q_{sr} ——土壤保持量，单位为 t/a；

ρ ——土壤容重 (t/m³)；

λ ——泥沙淤积系数。

$$Q_{sr} = R \times K \times L \times S \times (1 - C \times P)$$

式中：

Q_{sr} ——土壤保持量，单位为 t/a；

R ——降雨侵蚀力因子，用多年平均年降雨侵蚀力指数表示；

K ——土壤可蚀性因子，用标准样方上单位降雨侵蚀力所引起的土壤流失量来表示；

L ——坡长因子（无量纲）；

S ——坡度因子（无量纲）；

C ——植被覆盖因子（无量纲）；

P ——水土保持措施因子（无量纲）。

土壤容重来源于监测数据，泥沙淤积系数来源于参考文献。降雨侵蚀力因子 R、土壤可蚀性因子 K、坡长坡度因子 L、S 的算法以及覆盖和管理因子 C 以及水土保持措施因子 P 见附录 C。

减少面源污染

减少面源污染的计算也是基于修正后的通用土壤流失

方程得出的土壤保持服务结果，减少的面源污染指的是土壤保持导致土壤中没有被释放到降雨径流中的营养物。通过搜集监测数据和参考文献获取土壤中不同污染物的纯含量数据，后基于减少泥沙淤积量计算不同面源污染的减少量进行。

减少面源污染：

$$Q_{dpd} = \sum_{i=1}^n Q_{sr} \times c_i$$

式中：

Q_{dpd} ——减少面源污染量；

Q_{sr} ——土壤保持量，单位为 t/a（方法同上）；

i ——土壤中污染物种类数量， $i = 1, 2, \dots, n$ ；

c_i ——土壤中污染物的纯含量（%）。

土壤中污染物的纯含量来源于监测数据或参考文献。

降低大气温度

城市生态空间中植被空间部分可通过蒸腾作用降低环境温度。此模型主要利用本地植被蒸腾系数法计算气温高于 26℃ 时生态系统蒸散作用带来的降温效应。总计消耗能量由生态系统植被蒸腾消耗的能量与生态系统水面蒸发消耗的能量两部分组成。前者基于不同生态系统类型单位面积蒸腾消耗热量，结合各类生态系统面积、空天能效比、空天开放天数等参数，计算生态系统植被蒸腾消耗的能量；后者水面蒸发量、挥发潜热等参数计算生态系统水面蒸发消耗的能量。两者加总即为生态系统蒸腾蒸发消耗的总能量

$$E_{tt} = E_{pt} + E_{we}$$

$$E_{pt} = \sum_i^3 EPP_i \times S_i \times D \times 10^6 / (3600 * r)$$

$$E_{we} = E_w \times q \times 10^3 / (3600)$$

式中：

E_{tt} ——生态系统蒸腾蒸发消耗的总能量（kW·h/a）；

E_{pt} ——生态系统植被蒸腾消耗的能量（kW·h/a）；

E_{we} ——生态系统水面蒸发消耗的能量（kW·h/a）；

EPP_i ——i类生态系统单位面积蒸腾消耗热量（kJ.m-2d-1）；

S_i ——i类生态系统面积（km²）；

r ——空调能效比：3.0，无量纲；

D ——空调开放天数(天)；

i ——生态系统类型（森林、灌丛、草地）；

E_w ——水面蒸发量（m³）；

q ——挥发潜热，即蒸发1克水所需要的热量（J/g）；

生态系统分类与面积数据分辨率应优于5m。

每类生态系统单位面积蒸腾耗热量为文献参数。

固定二氧化碳

固碳功能是指自然生态系统吸收大气中的二氧化碳合成有机质，将碳固定在植物或土壤中的功能。该功能有利于降低大气中二氧化碳浓度，减缓温室效应。此次计算主要采用生物量法，基于生态系统面积、两年生物量、生物量-碳转化系数、碳-二氧化碳转化系数等参数，计算生态系统在一定年限内吸收大气中的二氧化碳量。

从生态系统的生物量可以测算出生态系统固定二氧化碳的量：

$$Q_{tCO_2} = M_{CO_2}/M_C \times A \times C_C \times (AGB_{t2} - AGB_{t1})$$

式中：

Q_{tCO_2} ——生态系统固碳量 (t·CO₂/a) ；

A——生态系统面积 (ha) ；

C_C ——生物量-碳转换系数；

AGB_{t2} 、 AGB_{t1} ——第t2和第t1年的生物量 (t/ha) ；

$M_{CO_2}/M_C=44/12$ ——C转化为CO₂的系数。

面向本地惠宜的二氧化碳固定量：

$$Q_{lCO_2} = \begin{cases} Q_{tCO_2}; & E_{tCO_2} > Q_{tCO_2} \\ E_{tCO_2}; & E_{tCO_2} \leq Q_{tCO_2} \end{cases}$$

Q_{lCO_2} ——面向本地惠宜的生态系统固碳量 (t·CO₂/a) ；

生物量和二氧化碳的转换系数来源于参考文献；两年的生物量数据来源于监测数据。

释放氧气

释放氧气是基于固定二氧化碳结果计算得到的。生态系统中的植物通过光合作用释放出的氧气总量。结合生态系统固定二氧化碳量和二氧化碳-氧气转化系数进行生态系统释氧量估算。

$$Q_{Op} = M_{O_2}/M_{CO_2} \times Q_{tCO_2}$$

式中：

Q_{O_2} ——生态系统释氧量 (t氧气/年) ;

$M_{O_2}/M_{C_2}=32/44$ —— CO_2 转化为 O_2 的系数;

Q_{tCO_2} ——生态系统固碳量 (tC/a) 。

洪水调蓄

洪水调蓄功能是指自然生态系统所特有的生态结构能够吸纳大量的降水和过境水,蓄积洪峰水量,削减并滞后洪峰,以缓解汛期洪峰造成的威胁和损失的功能。此次计算在城市范围内利用 SCS 模型计算指标削减径流量,以及利用监测数据计算湖泊、水库的滞留水量。综合考虑城区植被、郊野植被、水库、等多空间种类的吸纳和截留作用。

水源涵养

水源涵养服务是生态系统通过植被空间拦截滞蓄降水,增强土壤下渗、蓄积,涵养土壤水分和补充地下水,增加可利用水资源的功能。本服务通过水量平衡方程计算。搜集深圳产流降雨量、地表径流量、蒸散发量等数据,通过方程求得最终的深圳生态系统水源涵养服务功能量。

$$Q_{wr} = \sum_{i=1}^n A_i \times (P_i - R_i - ET_i) \times 10^{-3}$$

式中:

Q_{wr} ——水源涵养量 (m³/a) ;

P_i ——产流降雨量 (mm/a) ;

R_i ——地表径流量 (mm/a) ;

ET_i ——蒸散发量 (mm/a) ;

A_i —— i 类生态系统的面积 (m²) ;

i ——第 i 类生态系统类型;

n ——生态系统类型总数。

核算区域的产流降雨量、地表径流量、蒸散发量等数据通过气象部门或核算区域的相关文献中获取。

消减交通噪声

深圳城市生态空间对交通噪声的消减主要通过道路用地两侧绿化带来实现的,考虑到全市非高架道路路段宽度、流量、道路等级的差异性,采用本地典型样地实测后的公式拟合的方法。

将全市非高架道路路段按照宽度、流量、道路等级进行分类,每类道路两侧设置监测样点采集相关数据。

$$ANA = \frac{\sum_{i=1}^n R_i \times NA_i}{\sum_{i=1}^n R_i}$$

ANA ——为全市交通噪音平均消减量 (db)。

R_i 为——第 i 类道路的长度 (km);

NA_i ——第 i 类道路两侧的平均降噪分贝 (db)

海岸带防护

海岸带防护即海岸带生态系统对自然岸线起到的保护服务,此次计算的是海岸带收到生态系统保护的长度数据。

基于 InVEST 海岸带模型,可分为三个计算阶段。第一阶段

计算地貌、地形、海平面变化、风暴露、波暴露等自然物理因子背景下的海岸带脆弱性指数；第二阶段基于第一阶段的计算结果计算植被重要性指数；第三阶段计算植被重要性指数>0 时最终的海岸带防护长度。

海岸带脆弱性指数：

通过对海岸带地貌、地形、海平面变化、风暴露、波暴露、波浪潜能、近海自然植被等自然物理因子进行风险等级量化（表 2-2），通过公式（1）计算每个岸段的脆弱性指数：

$$CVI = (R_{geomorphology}R_{relief}R_{slc}R_{wave}R_{wind}R_{surge}R_{habitat})^{1/7} \quad (1)$$

- CVI 为海岸带脆弱性指数，无量纲；
- $R_{geomorphology}$ 为地貌等级因子，无量纲；
- R_{relief} 为地形等级因子，无量纲；
- R_{slc} 为海平面变化等级因子，无量纲；
- R_{wave} 为波暴露等级因子，无量纲；
- R_{wind} 为风暴露等级因子，无量纲；
- R_{surge} 为波浪潜能等级因子，无量纲；
- $R_{habitat}$ 为植被等级因子，无量纲。

表 4-1. 海岸带防护功能评估参数的等级划分方法

参数	风险等级 R				
	很低	低	中等	高	很高
	1	2	3	4	5
地貌	多岸石；高悬崖；峡湾；低浅峡湾；海堤；	中等悬崖；湾形海岸；防水墙；小型海堤；	低悬崖；冰碛；冲积平原；护岸；抛石墙；	鹅卵石；海滩；河口；泻湖；断崖；	滨外滩；沙滩；海岸泥滩；三角洲；
植被	红树林；珊瑚礁；海岸林；	高风积沙丘；盐沼；	低风积沙丘	海草床；海藻；	无植被
地形*	0-20%	21-40%	41-60%	61-80%	81-100%
海平面变化*	0-20%	21-40%	41-60%	61-80%	81-100%
波暴露*	0-20%	21-40%	41-60%	61-80%	81-100%

波浪潜能*	0-20%	21-40%	41-60%	61-80%	81-100%
-------	-------	--------	--------	--------	---------

*表示采用数据概率分布范围的分位数作为等级划分的阈值

植被重要性指数：

由于气候变化和人类活动的综合影响，近海自然植被完全消失时植被对海岸带的防护功能最低，此时自然植被因子的风险等级最大 ($R_{\text{habitat}}=5$)，通过公式 (1) 计算得到每个岸段的最大脆弱性指数 CVI_{max} 。通过公式 (2) 计算植被重要性指数：

$$HRI = CVI_{\text{max}} - CVI \quad (2)$$

海岸带防护长度：

通过统计 $HRI > 0$ 的岸段数量，运用公式 (3) 估算海岸带的防护总长度。

$$D = \sum_1^n (d \times N_{HRI > 0}) \quad (3)$$

D 为海岸带防护长度，km；

n 为植被对海岸带起防护作用的岸段数量；

d 为单位栅格长度，km。

海岸带边界文件从国土部门取得；海岸带地貌数据通过遥感数据分析结合实地调查取得；海岸带地形数据从美国国家海洋和大气管理局获取；海平面变化数据从海洋局海平面公报资料获取；近海风暴露、波暴露、波浪潜能数据从美国国家海洋和大气管理局获取；近海自然植被类型与分布数据从联合国环境与世界自然保护监测中心，结合参考文献获取。

空气净化

空气净化功能是指生态系统吸收、过滤、阻隔和分解大气污染物，净化空气污染物，改善大气环境的功能。空气净化功能主要体现在净化污染物和阻滞粉尘方面。有利于生产生活环境改善。根据是否合规选择采用污染物排放量（合规）或者生态系统自净能力估算（不合规）。前者是对一定年限内不同类型污染物排放量进行加总即可；后者基于不同生态系统类型对不同类型污染物的净化系数，引入生态系统面积参数，对生态系统空气污染物总净化能力进行计算。

方法1：采用污染物排放量估算。

$$Q_{ap} = \sum_{i=1}^n Q_i$$

式中：

Q_{ap} ——大气污染物排放总量 (kg/a)；

Q_i ——第*i*类大气污染物排放量 (kg/a)；

i ——污染物类别，无量纲；

n ——大气污染物类别的数量，无量纲。

方法2：采用生态系统自净能力估算。

$$Q_{ap} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n Q_{ij} \times A_i$$

式中：

Q_{ap} ——生态系统空气净化能力 (kg/a)；

Q_{ij} ——第*i*类生态系统第*j*种大气污染物的单位面积净化量 (kg/km²·a)；

i ——生态系统类型，无量纲；

j ——大气污染物类别，无量纲；

A_i ——第*i*类生态系统类型面积 (km²)；

m ——生态系统类型的数量，无量纲；

n ——大气污染物类别的数量，无量纲。

污染物排放数据从环保部门获取，单位面积污染物净化量从参考文献中获取。

水体自净

水体自净功能是指水库、河流等水域湿地生态系统吸附、降解、转化水体污染物，净化水环境的功能。有利于改善生活环境，降低生产成本。与空气净化服务模型类似，根据是否合规选择采用排放量（合规）或者污染物净化模型（不合规）。若污染物浓度超过地表水水域环境功能标准限值，则采用生态系统自净能力进行核算，基于总径流量，利用总氮、总磷、COD 等不同类型污染物二级水质标准浓度进行计算；若污染物排放浓度未超过地表水水域环境功能标准限值，则采用根据质量平衡模型进行核算。

方法1：采用生态系统自净能力估算。

$$Q_{wp} = \sum_{i=1}^n Q_i \times p_i$$

式中：

Q_{wp} ——水体污染物净化量 (kg/a)；

Q_i ——总径流量 (m³/a)；

p_i ——i 类污染物二类水质标准的浓度 (ug/m³)，包括总氮、总磷、COD，氨氮；

i——污染物类别；n 为水体污染物类别的数量。

方法2：根据质量平衡模型，核算生态系统对各种污染物的净化量。

$$Q_{wp} = \sum_{i=1}^n (Q_{ei} + Q_{ai} - Q_{di})$$

式中：

Q_{wp} ——污染物净化总量 (kg/a)；

Q_{ei} ——某种 (类) 污染物入境总量 (kg/a)；

Q_{ai} ——区域内某种 (类) 污染物排入河流总量 (kg/a)；

Q_{di} ——某种 (类) 污染物出境量 (kg/a)；

i——污染物类别；

n——水体污染物类别的数量。

污染物排放数据、污染物入境总量和出境水量均从环保部门获取。

自然景观溢价

自然景观溢价是指由于高质量生态系统而导致的房地产溢价。此次计算采用链家房地产交易数据的拟合公式模拟。考虑当年房屋买卖交易中的自然景观溢价和当年酒店客房出租中的自然景观溢价两部分。

考虑自然景观溢价包括两部分：1、当年房屋买卖交易中的自然景观溢价；
2、当年酒店客房出租中的自然景观溢价。

①房屋买卖交易中的自然景观溢价

对当年已知的房产交易处所，即调查样本空间位置及其成交单价(P)，进行以处所为中心的双圈层缓冲区分析。

假设半径 50m 缓冲区内的生态空间比例 (林占比 FPC、草占比 GPC、水体占比 WPC) 为小区内自然环境，道路与硬化地表占比(CP)为小区建筑密度。

半径 R (>=100m) 缓冲区内的生态空间比例 (林占比 FPS、草占比 GPS、水体占比 WPS) 为小区周边环境，道路占比 (RP) 为交通便捷性，建筑占比 (BP)

为服务设施便捷性。

$$P = a \times FPC + b \times GPC + c \times WPC + aa \times FPS + bb \times GPS + cc \times WPS + d \times CP + e \times RP + f \times BP + C$$

由于 $FPC+GPC+WPC+CP=1$ ，以及 $FPS+GPS+WPS+RP+BP=1$ ，为了消除共线性，去掉变量 CP 和 BP。

有：

$$P = a \times FPC + b \times GPC + c \times WPC + aa \times FPS + bb \times GPS + cc \times WPS + e \times RP + C$$

当该公式显著，且所有显著的系数时，认为公式成立；否则应当调整缓冲区半径 R，以及解释变量个数，以使公式成立。

a, b, c, aa, bb, cc, e ——分别为回归方程系数。

C ——为回归方程常数项；

计算单位面积房屋的景观溢价水平：

$$PP_i = P_i(FPC, GPC, WPC, FPS, GPS, WPS, RP) - P_i(0,0,0,0,0,0, RP)$$

PP_i ——第 i 个样本房屋的单位面积房屋的自然景观溢价。

总的房屋销售溢价为：

$$TP = (\sum PP_i / \sum P_i) \times TE$$

TP——城市总体销售房屋自然景观溢价

TE——城市总体销售房屋金额

②酒店房屋租赁中的自然景观溢价

$$THP = \sum \left(\frac{PV_i - P_i}{PV_i} * \frac{M * PV_i}{M * PV_i + N * P_i} * TH_i \right)$$

THP-----酒店房屋租赁中的景观溢价；

PV_i -----第 i 片区的景观房平均价格；

P_i -----第 i 片区的非景观房平均价格；

M,N-----调查获得景观房与非景观房按照 M: N 比例销售；

TH_i -----第i片区的总体酒店营业收入

2、城市水足迹评价与核算方法

城市是人类活动对水资源系统产生影响最大的区域，人

类活动对水资源系统的影响在于对水资源及其提供的产品和服务的消费过程中产生的，因此如何用指标量化人类对水资源的真实需求及其实际消费便为关键。近年来发展的水足迹分析方法为定量测度区域人类真实水资源消费提供一个新视角。水足迹概念最早由 Hoekstra 在 2002 年提出，其经过多年发展应用，已广泛用于全时间各地及各类产业的水资源核算，核算体系已相当成熟，在这便不多叙述。针对深圳水资源消耗情况，城市水足迹可以定义为城市居民消费的所有资源所需要的水资源数量，其可分为蓝水、绿水及灰水足迹 3 个二级账户，整体计算公式为：

$$WF_t = WF_{green}^t + WF_{blue}^t + WF_{grey}^t$$

式中： WF_t 表示在特定年份 t 深圳城市总水足迹； WF_{green} 、 WF_{blue} 和 WF_{grey} 分别表示当年城市绿水足迹、蓝水足迹和灰水足迹。其中，蓝水与绿水足迹既包括城市人类活动造成的实体水消费（如工业用水量，生活用水量、城市公共用水量以及生态环境用水量等），也包括生产和服务过程中所耗费的包含在商品中看不见的那部分水资源，即虚拟水，在城市范围内核算过程通常指的是农业产品生产过程消耗的水量，包括农作物生产用水及动物生产用水。城市贸易进出口虚拟水核算不纳入本研究范围内，因深圳城市贸易实物量数据以及城市投入产出表数据缺失，本研究采取国内应用最为广泛的自下而上法来计算深圳城市蓝水与绿水足迹，采用文献将水体氮污染物稀释至达到环境水质标准所需水量进行灰水足迹衡量。

①城市绿水足迹：这部分水足迹主要包括城市农作物生产和动物产品生产导致的虚拟水消耗量。对于农作物生产用水，其虚拟水量取决于农作物的类型、生长区域等自然地理条件及灌溉系统方式等。一般假设农作物处于理想状态下且

不考虑自身含水量（深圳城市没有种植含水量高的农产品），那么农产品的绿水足迹就可用其生长期间的蒸发蒸腾量来估算，作物需水的标准参考主要采用联合国 FAO 组织推荐的标准彭曼公式（Penman-Monteith）计算。深圳市农业占产业比例非常低，除了柑橘橙和荔枝种植，因市政府“菜篮子”工程需求保留几个蔬菜基地，种植小面积谷稻、薯类和花生。对于动物产品生产用水，其涵盖动物生长周期过程中饲料消耗的虚拟水含量，以及包括饮用、圈舍清洁及加工饲料等用水量。由于涉及因素多，计算过程需要很多数据都难以获得。一般都是采用国际通用有关中国动物产品虚拟水的计算结果。深圳城市牲畜养殖规模不大，主要动物产品为肉类、家禽和牛奶。

②城市蓝水足迹：城市蓝水足迹即城市发展过程中的实体水消费量，主要包括工业生产、城市生活、公共卫生及生态环境用水等。以上数据来自深圳市各年的水资源公报相关统计结果。

③城市灰水足迹：不同于以往研究中城市灰水足迹仅基于农业肥料流失得出，本研究城市灰水足迹的核算主要基于深圳城市氮代谢流失，灰水足迹在《水足迹评价手册》中的定义为以自然本底浓度和现有的水质标准为基准，将一定的污染物负荷吸收同化所需的淡水体积，即水体污染程度及规模可以通过被相应的淡水量来稀释至无害来反映，而这种用

于稀释污染物的水量并非真实消耗掉了，其为刻画污染氮素流失对水环境影响提供一个直观的指标量化工具。

本研究基于国内通用的灰水足迹计算方法，衡量灰水足迹的关键污染物都为氮元素，其主要采用的是将水体氮污染物稀释至达到环境水质标准所需水量进行衡量。不同于以往研究中灰水足迹只针对农田氮肥淋失，因本研究灰水足迹的计算主要基于城市氮代谢各类水体排放过程，分别量化农业、工业、生活源水体氮排放造成的水污染影响，具体方法如下介绍。

农业部门的灰水足迹：本研究综合各类农业面源水体氮流失来进行计算，以往农业灰水足迹计算大都只涵盖氮肥施用流失，并基于固定的氮肥淋失率直接求出结果，少数研究也涵盖畜禽养殖排泄物流失。对于农耕地较少但水产业较为发达的沿海城市深圳而言，此处计算还包括渔业饵料氮流失部分，公式如下所示：

$$GWF_{agr} = \frac{\sum_{i=1}^n Nr_i}{C_{max} - C_{nat}}$$

式中， GWF_{agr} 为农业灰水足迹($m^3 \cdot a^{-1}$)， Nr_i 为农业水体活性氮流失量， i 为水体氮源数量，包括农业地表径流、土壤淋洗、土壤侵蚀、畜禽养殖及水产饲养等 5 项氮流失源。 C_{max} 为污染物水质标准浓度($kg \cdot m^{-3}$)，本研究选择 III 类水硝酸盐标准浓度作为农业部门灰水足迹的依据，标准浓度限值为 $10 \text{ mg} \cdot L^{-1}$ (以 N 计)。 C_{nat} 为收纳水体的自然本底浓度($kg \cdot m^{-3}$)，一般假设为 0。

工业和生活部门的灰水足迹：工业和生活部门消费水资源过程中会产生大量水体 Nr 流失，属排入水体的点源氮污

染源，基于上述计算的工业与生活氮排放量结果，工业与生活灰水足迹（GWF_{ind}和GWF_{dom}）计算也可按照上述公式来求出。

基于上述结果，深圳城市区域灰水足迹总量可由农业灰水足迹、工业灰水足迹、生活灰水足迹3部分组成，计算公式如下所示：

$$GWF_{sz} = GWF_{agr} + GWF_{ind} + GWF_{dom}$$

式中，GWF_{sz}表示深圳城市灰水足迹(m³·a⁻¹)。其中，深圳城市市域各行政区的灰水足迹可根据各区农业、工业与生活用水量占全市的比例得出。

鉴于目前关于深圳市多年国内外贸易数据尚缺，造成贸易虚拟水量估算的很大不确定性，故本城市水足迹估算仅着重于城市内部水足迹，结果在下文叙述。

3、城市社会经济系统碳排放核算方法

针对城市生态系统特征，基于城市代谢分析框架理论，追踪碳在整个城市生态系统中的流动过程，其研究可以很好地理解城市碳元素的流转过程及其环境影响。目前城市碳代谢核算研究主要关注局部过程，如社会经济能源燃烧碳排放，主要集中于社会经济过程弱化自然过程。

现行的城市碳排放计算方法主要是基于城市通过消耗掉的碳素能源通过一定的基准换算来估算的，其计算依据是整个城市的能源消耗量，其优势在于数据的初始性和完备性，能将碳排放责任明确于单个城市，有利于将计算成果与全国范围城市之间进行低碳化对比。由于化石能源为代表的传统

能源消费是造成城市活动碳排放的主要因素，因此本文主要考虑煤炭、焦炭、原油、成品油（包括柴油、汽油、煤油、燃料油），天然气等传统高碳能源的碳排放。工业能源消费量数据来自于深圳城市统计年鉴，由于数据缺乏，生活能源数据主要来自于广东省统计年鉴中的人均生活能源用量（煤炭、燃油与液化石油气）与深圳人口数相乘得到，计算框架如下图所示，基本原则：终端为本地消耗、抓主要和始端。步骤如下：

①原煤、原油、天然气作为一次能源，在加工转换过程中产生的二次能源，如汽油、柴油、燃料油、液化石油气、热力。电力等最后都会在终端消耗掉。为了避免重复计算，本文选取初级阶段的一次能源作为计算基准，在本地加工转化为二次能源将不另外纳入计算。

②电力和热力是在加工转换过程中直接产生的二次能源，其本身不会导致二氧化碳排放量。由于其初级一次能源已经计算在内，所以在本地电力和热力不再纳入碳排放计算中。

③因非本地能源加工转换产生的进口或者上年末储存的二次能源量数据缺乏，在这里直接采用二次能源年度总消费量来计算碳排放。

五、征求意见情况

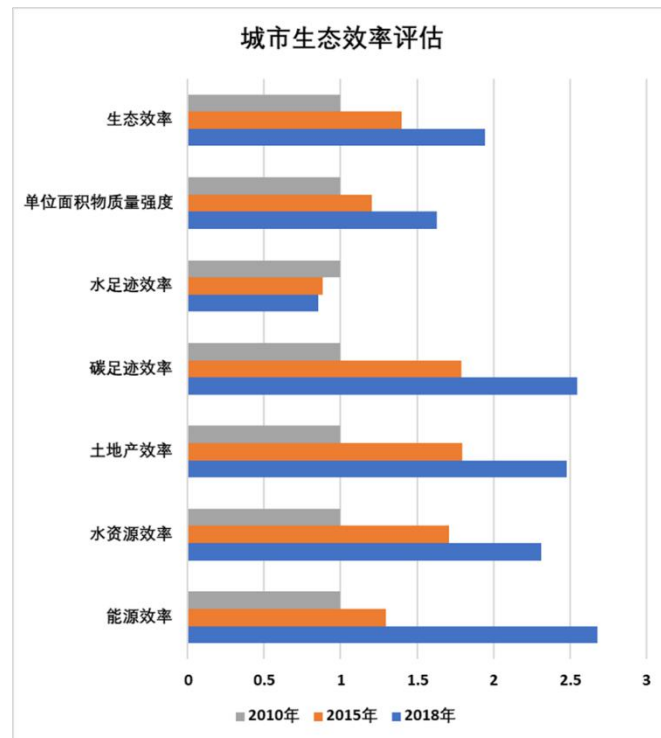
即将开展征求意见。

六、主要试验（或验证）分析

依据以上城市生态综合评估方法，以深圳为例进行了案例研究。结果如下：

1、生态系统代谢效率得分

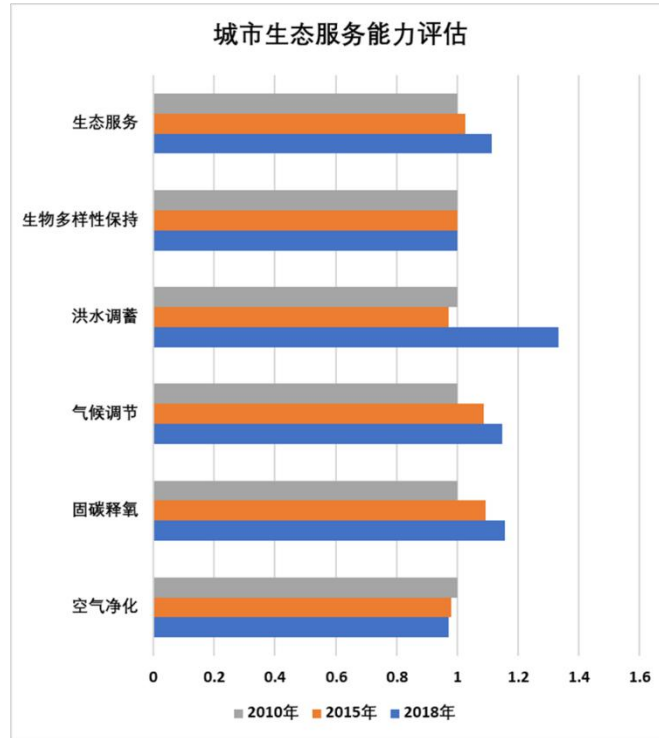
2010年到2018年，除水足迹效率下降外，生态系统代谢效率综合指数及其核心指标普遍呈现上升趋势，尤其是能源效率上升速度最快。通过比较水足迹和水耗效率的区别，发现工业用水效率提升迅速，但居民生活用水效率改善仍旧不足（GDP产出效率低的用水需要增加节约）。



2、生态系统服务能力得分

2010年到2018年，除空气净化能力持续下降外，洪水调蓄服务在2015年后得到恢复，其他核心指标和生态服务综合指标均呈现上升趋势。通过各类服务功能的构成要素，

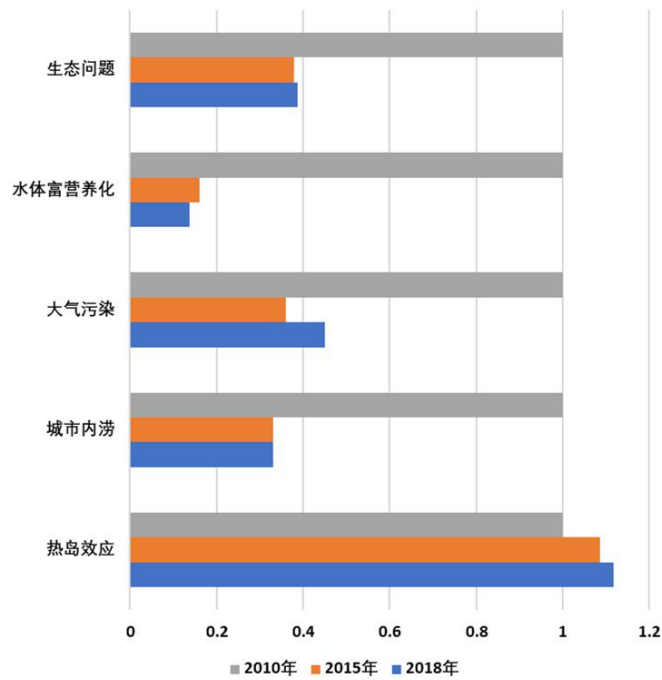
发现导致服务功能降低的主要原因是生态空间面积下降显著，而质量提升不足以抵消面积下降的影响（空气净化收面积影响大于质量影响）。



3、生态问题得分

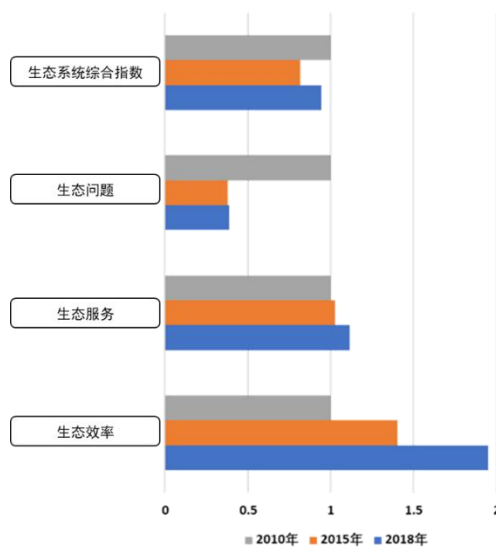
2010年到2018年，除热岛效应问题得到持续缓解外，其他城市病均劣于2010年，但大气污染问题从2015年起有所好转，总体生态问题也从2015年起出现好转。分析成因认为热岛效应改善主要是因为城市建成区绿地斑块增加导致；城市内涝的恶化是由于建成区面积扩大径流增强导致；而水污染和空气污染问题的恶化，主要原因是对污染排放不足导致，生态系统综合质量的减少是次要原因。

城市生态问题评估（正向指标）



4、城市生态综合评估

2010年到2018年，深圳城市生态系统综合指数由1降为0.94，其中在2015年下降到了底部0.81。其中生态系统代谢效率和生态系统服务能力是上升的，而城市生态系统典型问题出现下降后改善的特征。这个研究结论与其他课题生态资产指数变化评估特征一致。



七、与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系

本标准与相关法律、法规、规章及相关标准协调一致，没有冲突。

八、重大分歧意见的处理经过和依据

无

九、国家标准作为强制性国家标准或推荐性国家标准的建议

建议将该标准作为规范性国家标准发布实施。

十、废止现行有关标准的建议

无

十一、其他应予说明的事项

无