



中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX—XXXX

城市生态综合评估技术指南

Guidelines of Urban Ecosystem Comprehensive Evaluation

(点击此处添加与国际标准一致性程度的标识)

(征求意见稿)

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前 言	III
引 言	IV
1 范围	5
2 规范性引用文件	5
3 术语和定义	5
4 总则	8
4.1 目标	8
4.2 内容	9
4.3 原则	9
4.4 技术路线	9
5 评估指标体系与技术方法	10
5.1 城市生态综合评估指标体系	10
5.2 底层指标的算法	11
5.2.1 能源使用效率 EE	11
5.2.2 水资源使用效率 WE	11
5.2.3 土地使用效率 LE	11
5.2.4 人均水足迹倒数 WF	11
5.2.5 人均碳足迹倒数 CF	12
5.2.6 地均物质存量强度 MW	12
5.2.7 气候调节服务	12
5.2.8 暴雨径流调节服务	14
5.2.9 空气净化服务	14
5.2.10 面源污染控制服务	15
5.2.11 水质净化服务	15
5.2.12 防止泥沙淤积服务	16
5.2.13 热岛效应水平的倒数 HIE	19
5.2.14 城市内涝水平的倒数 UFE	19
5.2.15 空气污染水平的倒数 APE	20
5.2.16 水体污染水平的倒数 APE	20
5.2.17 物种入侵水平的倒数 SIE	20
5.3 三级指标的算法	20
5.4 二级指标的算法	21
5.4.1 城市生态系统代谢效率指数 UEM	21
5.4.2 城市生态系统服务能力指数 UES	21
5.4.3 城市生态系统典型问题指数 UEP	21
5.5 一级指标的算法	21
5.6 指标的动态调整方法	21

6 调查与评估使用数据要求.....	22
6.1 主要数据来源.....	22
6.2 参考数据.....	23
6.2.1 各类能源的标准煤转换系数.....	23
6.2.2 各类产品水足迹转换系数.....	23
6.2.3 各类产品碳足迹转换系数.....	23
参 考 文 献.....	24

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由全国环境管理标准化技术委员会(SAC/TC207)提出并归口。

本文件起草单位：中国科学院生态环境研究中心、中国标准化研究院。

本文件主要起草人：***、***、***、***

引 言

城市生态系统，又称人类聚落生态系统，是指在人类集聚活动空间范围内，与人类生产、生活密切关联的自然生态系统。由于城市生态系统与人类活动的密切关联性，当我们对城市生态系统进行评估时，不能采用传统生态系统评估以生物指标为主的评估方式，而应该构建一种综合指标体系，用来衡量自然生态系统与社会经济发展、自然生态系统与人居环境建设之间的协调性。并通过与自然生态系统相关的指标来指导城市未来的生态建设。

本文件包括生态系统自身提供服务的能力（生态系统服务能力），生态系统与社会经济系统性适应状况（生态系统代谢效率），生态系统对人居环境的影响情况（典型生态系统问题）三个方面。每个方面包括5项基本指标。

同时，本文件为了增强不同空间规模城市之间的可比较性，减少了对规模化指标的选用，尽可能的采用人均、地均及占比等效率与强度指标；为了增强处于不同时间和发展阶段城市之间的可比较性，设定了可比参照系和可动态替换指标的指数算法；为了避免指标权重分配的主观性，在指标选取过程中剔除了相关性强的指标，并采用几何平均数方法进行降维分析。

利用本标准对城市生态系统开展评价，有利于准确把握人类集聚空间范围内的生态系统状况，有利于政府管理者开展城市生态空间质量与用途管理。

本技术要求从适用范围、规范性引用文件、术语定义与缩略语、总则、调查与评估使用数据源、调查与评估指标体系、调查与评估技术方法、评估设备配置、评估成果与精度要求8个方面对城市生态综合评估技术作出了相应的要求。

城市生态综合评估技术指南

1 范围

本文件规定了城市生态评估的指标体系与技术方法、使用数据要求等内容。

本文件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

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 3095 环境空气质量标准

GB 3838 地表水环境质量标准

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 城市生态系统代谢效率

3.1.1

城市生态系统代谢效率 Metabolic efficient of urban ecosystem

城市社会经济发展对主要自然资源（水、能源、土地）的利用效率，以及污染排放（二氧化碳）效率和产出（物质量）效率。

3.1.2

能源使用效率 Energy consumption efficient

单位能耗的地区生产总值产出。以指标能源效率指数 TEE 参与生态效率指数 UEM 的计算。

3.1.3

水资源使用效率 Water consumption efficient

单位水资源消耗的地区生产总值产出。以指标水资源效率指数 TWE 参与生态效率指数 UEM 的计算。

3.1.4

土地资源使用效率 Land use efficient

单位国土面积的地区生产总值产出。以指标土地效率指数*TLE*参与生态效率指数*UEM*的计算。

3.1.5

人均水足迹 Water footprint

将所有物质消耗换算成水资源当量后的人均水资源当量消耗。以指标人均水足迹指数*TWF*参与生态效率指数*UEM*的计算。

3.1.6

人均碳足迹 Carbon footprint

将所有物质消耗换算成二氧化碳排放当量后的人均二氧化碳排放。以指标人均碳足迹指数*TCF*参与生态效率指数*UEM*的计算。

3.1.7

单位面积物质质量强度 Mass intensity per unit area

将所有物质存量的重量相加后的地均物质存量重量。以指标地均物质存量指数*TMW*参与生态效率指数*UEM*的计算。

3.1.8

城市生态系统代谢效率指数 Urban Ecosystem Metabolic Efficiency Index

主要反映资源的利用效率。通常涉及“投入指标”和“产出指标”，囊括了城市的资源消耗和经济发展两个方面，城市的资源主要有水资源、化石燃料等能源及土地资源，经济发展一般用GDP衡量。

3.2 城市生态系统服务能力

3.2.1

城市生态系统服务 Urban ecosystem service

人类从生态系统获得的所有惠益，包括供给服务（如提供食物和水）、调节服务（如控制洪水和疾病）、文化服务（如精神、娱乐和文化收益）以及支持服务（如维持地球生命生存环境的养分循环）。

3.2.2

气候调节服务 Climate adjustment

城市中生态空间（透水地表）提供的蒸发、蒸腾降温加湿作用。以指标气候调节服务指数*TCAS*参与生态系统服务能力指数*UES*的计算。

3.2.3

暴雨径流调节服务 Storm water runoff retention

城市中生态空间在暴雨期间（日降雨大于50mm）提供的滞留雨水服务。以指标暴雨径流调节服务指数*TSRS*参与生态系统服务能力指数*UES*的计算。

3.2.4

空气净化服务 Air purification

城市中生态空间提供的大气污染物净化能力。以指标空气净化服务指数*TAPS*参与生态系统服务能力指数*UES*的计算。

3.2.5

面源污染控制服务 Non-point resource pollution retention

城市中生态空间提供的滞留地表污染物进入水体的能力。以指标面源污染控制服务指数*TNRS*参与生态系统服务能力指数*UES*的计算。

3.2.6

水质净化服务 Water purification

城市中水体对水体污染物的自净能力。以指标水质净化服务指数*TWPS*参与生态系统服务能力指数*UES*的计算。

3.2.7

防止泥沙淤积服务 Soil conservation

城市绿地空间滞留土壤，防止土壤流失到河道中的能力。以指标防止泥沙淤积服务指数*TSCS*参与生态系统服务能力指数*UES*的计算。

3.2.8

城市生态系统服务能力指数 Urban ecosystem services capacity index

主要用于反映现有自然生态系统为人提供的服务，取了5个指标衡量城市生态系统服务能力：气候调节服务能力、雨洪调节服务能力、生物多样性维持能力、水体净化服务能力、空气净化服务能力、碳固定服务能力等。

3.3 城市生态系统典型问题

3.3.1

城市生态系统典型问题 Typical problems of urban ecosystem

由于城市生态系统服务供给不足或生态资源错误配置对城市人类活动的产生的负面影响。

3.3.2

热岛效应 Heat-island effect

由于城市能耗和热源聚集、通风条件不足导致的高密度建成区气温高于低密度建成区气温的现象。以指标热岛效应指数 $THIE$ 参与典型生态问题指数 UEP 的计算。

3.3.3

城市内涝 Urban flood

由于城市硬化地表面积大、下渗能力不足，导致强降雨期地表积水不能及时排走，从而引起局部积水的现象。以指标城市内涝指数 $TUFE$ 参与典型生态问题指数 UEP 的计算。

3.3.4

空气污染 Air pollution

由于城市大气污染物排放增加，且城市通风廊道和绿地配置不能满足净化需要，导致城市大气污染没法有效扩散和削减。以指标空气污染指数 $TAPE$ 参与典型生态问题指数 UEP 的计算。

3.3.5

水体污染 Water pollution

由于城市水体污染物排放增加，且城市水体自净能力不足，导致城市水质恶化。以指标水体污染指数 $TWPE$ 参与典型生态问题指数 UEP 的计算。

3.3.6

物种入侵 Species invasion

由于农林生产、景观种植和交通工具携带等原因导致危机本地物种和本地生态系统稳定性的问题。以指标物种入侵指数 $TSIE$ 参与典型生态问题指数 UEP 的计算。

3.3.7

城市生态系统典型问题指数 Urban Ecosystem Typical Problem Index

主要反映城市生态系统所存在的问题，选取了热岛效应、城市内涝、物种入侵、大气污染、水污染5个指标进行衡量。

4 总则

4.1 目标

本文件以社会经济统计数据、资源环境统计数据、生态系统要素和服务分析数据为基础，利用空间统计与评估方法对城市范围内的一年期自然生态系统状况进行评价。

4.2 内容

在划定城市空间范围的基础上，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。

4.3 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。

4.4 技术路线

首先进行原始数据采集，进而按照被标准给出的计算方法依次计算底层指标、三级指标、二级指标和一级指标，各指标之间的降维采用几何平均数方法。技术路线图见图1。

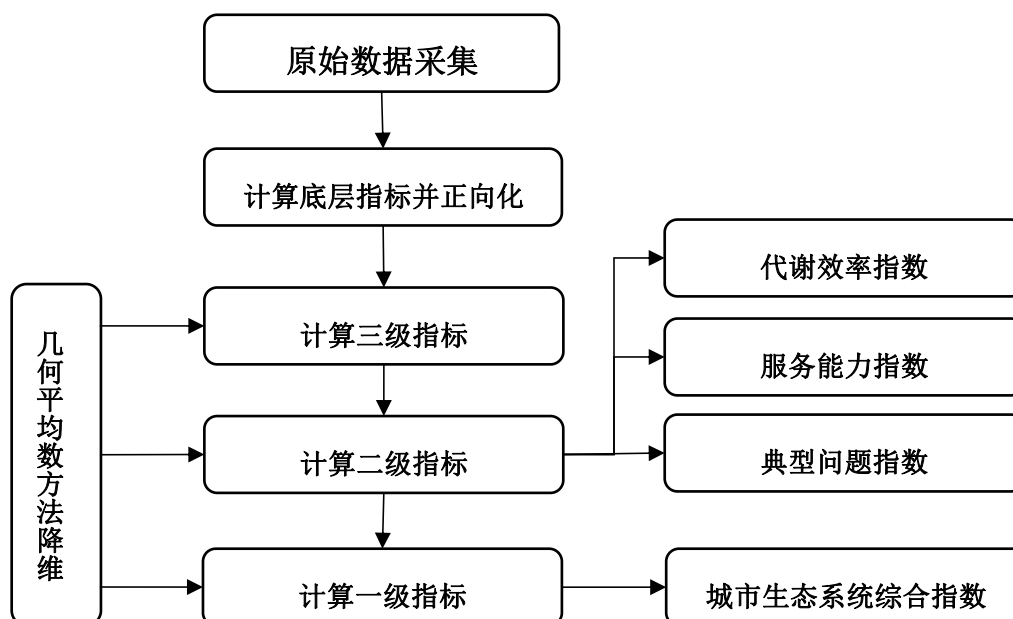


图1 技术路线图

5 评估指标体系与技术方法

5.1 城市生态综合评估指标体系

本指标体系由1个一级指标（城市生态综合指数）；3个二级指标（城市生态系统代谢效率指数、城市生态系统服务能力指数、城市生态系统典型问题指数）；18个三级指标（见表1）和18个底层指标（见表1）。所有指标，从底层指标起已经通过倒数变为正向指标。

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
	生态系统服务能力指数 UES	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
		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 E	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

5.2 底层指标的算法

底层指标的计算方法见附录A。

5.2.1 能源使用效率 EE

$$EE = RDP/EC \dots\dots\dots (1)$$

式中：

RDP——当年地区生产总值；

EC ——能源消耗量（标准煤）。

5.2.2 水资源使用效率 WE

$$WE = RDP/WC \dots\dots\dots (2)$$

式中：

WC ——水资源消耗量。

5.2.3 土地使用效率 LE

$$LE = RDP/LC \dots\dots\dots (3)$$

式中：

LC ——建成区面积（硬化地表面积）。

5.2.4 人均水足迹倒数 WF

$$WF = POP/WP \dots\dots\dots (4)$$

$$WP = \sum wpe_i * q_i$$

式中:

WP ——水足迹;

POP——常住人口数量;

wpe_i——第i种产品的水足迹系数;

q_i——第i种产品的数量。

5.2.5 人均碳足迹倒数 CF

$$CF = POP/CP \dots\dots\dots (5)$$

$$CP = \sum cpe_i * q_i$$

式中:

CP ——碳足迹;

cpe_i——第i种产品的碳足迹系数。

5.2.6 地均物质存量强度 MW

$$MW = TW/LA \dots\dots\dots (6)$$

$$TW = \sum w_i * sq_i$$

式中,

TW ——物质存量总重量;

LA ——国土面积;

w_i——第i种的存量物质的单位重量;

sq_i——第i存量物质的数量。

5.2.7 气候调节服务

气候调节服务核算可用实际测量生态系统内外温差、生态系统消耗的太阳能和生态系统的总蒸散量进行核算, 优先选择实际测量方法, 其次根据数据可得性选取生态系统消耗的太阳能方法或生态系统的总蒸散量进行核算。

方法一：采用实际测量生态系统内外温差进行功能量转换。

$$Q = \sum_{i=1}^n \Delta T_i \times \rho_c \times V \dots\dots\dots (7)$$

式中：

Q ——吸收的大气热量 (J/a)；

ρ_c ——空气的比热容 (J/m³·C°-1)；

V ——生态系统内空气的体积 (m³)；

ΔT_i ——第*i*天生态系统内外实测温差 (C°)；

n ——一年内空调开放的总天数。

方法二：采用生态系统消耗的太阳能量作为气候调节的功能量。

$$CRQ = ETE - NRE \dots\dots\dots (8)$$

式中：

CRQ ——生态系统消耗的太阳能量 (J/a)；

ETE ——森林、草地、灌丛、湿地等生态系统蒸腾作用消耗的太阳能量 (J/a)；

NRE ——森林、草地、湿地等生态系统吸收的太阳净辐射能量 (J/a)。

方法三：采用生态系统蒸腾蒸发总消耗的能量作为气候调节的功能量。

$$E_{tt} = E_{pt} + E_{we} \dots\dots\dots (9)$$

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

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

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⁻²·d⁻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 为生态系统类型（森林、灌丛、草地）；

E_w ——水面蒸发量（ m^3 ）；

q ——挥发潜热，即蒸发 1 克水所需要的热量（J/g）；

y ——加湿器将 $1m^3$ 水转化为蒸汽的耗电量（kwh）。

5.2.8 暴雨径流调节服务

暴雨径流调节服务的计算基于径流分析的结果进行。

$$RQ = P - R \dots\dots\dots (10)$$

式中：

RQ ——暴雨径流调节量（mm）；

P ——暴雨降雨量（mm）；

R ——暴雨径流量（mm）。

5.2.9 空气净化服务

依据污染物浓度是否超过环境空气功能区质量标准而选择不同的方法。若污染物浓度未超过环境空气功能区质量标准，则采用方法1进行核算污染物净化量；若污染物浓度超过环境空气功能区质量标准，则采用方法2进行核算污染物净化量。空气标准参考《GB 3095-2012 环境空气质量标准》。

方法1：采用污染物排放量估算。

$$Q_{ap} = \sum_{i=1}^n Q_i \dots\dots\dots (11)$$

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。

$$Q_{ap} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n Q_{ij} \times A_i \dots\dots\dots (12)$$

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。

5.2.10 面源污染控制服务

减少面源污染:

$$Q_{dpd} = \sum_{i=1}^n Q_{sr} \times c_i \dots\dots\dots (13)$$

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。

5.2.11 水质净化服务

依据污染物浓度是否超过地表水水域环境功能和保护目标而选择不同的方法。若污染物浓度超过地表水水域环境功能标准限值, 则采用方法 1 进行核算; 若污染物排放浓度未超过地表水水域环境功能标准限值, 则采用方法 2 进行核算。水质标准参考《GB 3838-2002 地表水环境质量标准》

方法1: 采用生态系统自净能力估算。

$$Q_{wp} = \sum_{i=1}^n Q_i \times A \dots\dots\dots (14)$$

式中:

Q_{wp} ——水体污染物净化量 (t/a) ;

Q_i ——水域对第*i*类水体污染物的单位面积年净化量 (t/km²·a) ;

A ——水域面积 (km²) ;

i ——污染物类别 ;

n ——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。

$$Q_{wp} = \sum_{i=1}^n (Q_{ei} + Q_{ai} - Q_{di}) \dots\dots\dots (15)$$

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 ——为污染物类别 ;

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。

5.2.12 防止泥沙淤积服务

城市绿地空间滞留土壤, 防止土壤流失到河道中的能力。

减少泥沙淤积量:

$$Q_{sd} = \lambda \times (Q_{sr} / \rho) \dots\dots\dots (16)$$

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。

$$Q_{sr} = R \times K \times L \times S \times (1 - C \times P) \dots\dots\dots (17)$$

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 ——为坡长因子（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 的计算方法可参照下述方法：

①降雨侵蚀力因子（ R ）

降雨侵蚀力是土壤侵蚀的驱动因子，与土壤侵蚀强度有直接的关系。采用章文波（2002）等的全国日降雨量拟合模型来估算降雨侵蚀力，是基于日降雨量资料的半月降雨侵蚀力模型。其公式如下：

$$M_i = \alpha \sum_{j=1}^k D_j^\beta \dots\dots\dots (18)$$

式中：

M_i ——某半月时段的降雨侵蚀力值 ($MJ\ mm\ hm^{-2}\ h^{-1}\ a^{-1}$)；

D_j ——半月时段内第 j 天的侵蚀性日雨量（要求日雨量大于等于 12mm，否则以 0 计算，阈值 12mm 与中国侵蚀性降雨标准一致；

k ——半月时段内的天数，半月时段的划分以每月第 15 日为界，每月前 15 天作为一个半月时段，该月剩下部分作为另一个半月时段，将全年依次划分为 24 个时段。

α 、 β 是模型待定参数：

$$\beta = 0.8363 + \frac{18.144}{P_{d12}} + \frac{24.455}{P_{y12}} \dots\dots\dots (19)$$

$$\alpha = 21.586 \beta^{-7.1891}$$

式中：

P_{d12} ——日雨量 12mm 以上（包括等于 12mm）的日平均雨量；

P_{y12} ——日雨量 12mm 以上(包括 12mm)的年平均雨量。

②土壤可蚀性因子（K）

土壤可蚀性是表征土壤性质对侵蚀敏感程度的指标，即在标准单位区域上测得的特定土壤在单位降雨侵蚀力作用下的土壤流失率。计算公式如下：

$$K = [2.1 \times 10^{-4}(12 - OM)M^{1.14} + 3.25(S - 2) + 2.5(P - 3)]/100 \times 0.1317 \dots\dots\dots (20)$$

式中，

K ——土壤可蚀性值；

OM ——土壤有机质含量百分比（%）；

M ——土壤颗粒级配参数，为美国粒径分级制中（粉粒+极细砂）与（100-粘粒）百分比之积；

S ——土壤结构系数；

P ——渗透等级。结构系数与渗透等级的定义见表 2。

美国制的粒径等级：粘粒为（<0.002 mm）；粉粒为（0.002-0.05 mm）；极细砂为（0.05-0.1 mm）；砂粒为（0.1-2.0 mm）。

表 2 结构系数与渗透等级的定义

结构性指数 S	含义	可渗透性指数 P	含义
1	非常坚固	1	快速
2	很坚固	2	中快速
3	较坚固	3	中速
4	坚固	4	中慢速
		5	慢速
		6	极慢

③坡长和坡度因子（L、S）

由于坡度和坡长因子相互之间联系较为紧密，因此通常将它们作为一个整体进行考虑。坡长因子是指在其它条件相同的情况下，某一长度的田块破面上的土壤流失量与 72.6 英尺（标准单位小区的长度）长坡面上的流失量的比值；坡度因子是指在其它条件相同的情况下，某一坡度的田块坡面上的土壤流失量与 9%（标准单位小区的坡度）坡度的坡面上流失量的比值。坡度坡长因子的算法为：

$$L = \left(\frac{\lambda}{22.13} \right)^m \dots\dots\dots (21)$$

$$m = \beta / (1 + \beta)$$

$$\beta = \left(\frac{\sin \theta}{0.0896} \right) / [3.0 * \sin \theta^{0.8} + 0.56]$$

$$S = \begin{cases} 10.8 \sin(s) + 0.03, & \theta < 9\% \\ 16.8 \sin(s) - 0.50, & 9\% \leq \theta \leq 18\% \\ 21.91 \sin(s) - 0.96, & \theta > 18\% \end{cases}$$

式中:

L ——坡长因子;

S ——坡度因子

λ ——坡长 (m);

m ——无量纲常数, 取决于坡度百分比值,

θ ——坡度, 单位是弧度。

④盖度和管理因子 (C)

盖度和管理因子是指在一定的覆盖度和管理措施下, 一定面积土地上的土壤流失量与采取连续清耕、休闲处理的相同面积土地上的流失量的比值, 为无量纲数, 介于 0-1 之间。要确定 C 因子的值, 需要详细的气候、土地利用、前期作物残留量、土壤湿度等资料, C 值可采用如下计算方法:

$$C = \begin{cases} 1 & f = 0 \\ 0.6508 - 0.3436 \lg f & 0 < f \leq 78.3\% \\ 0 & f > 78.3\% \end{cases} \quad (22)$$

上述公式中, 植被覆盖度 f 基于植被指数 NDVI 数据计算得到, 公式如下:

$$f = \frac{(NDVI - NDVI_{soil})}{(NDVI_{max} - NDVI_{soil})} \quad (23)$$

式中:

$NDVI_{soil}$ ——纯裸土象元的 NDVI 值;

$NDVI_{max}$ ——纯植被象元的 NDVI 值。

5.2.13 热岛效应水平的倒数 HIE

$$HIE = RT/UT$$

式中:

UT ——城市区域空气平均温度;

RT ——非城市区域平均温度。

5.2.14 城市内涝水平的倒数 UFE

$$UFE = LA/UFA \quad (24)$$

$$UFA = \sum ufa_i * uft_i$$

式中:

UFA ——城市受淹硬化地表面积;

ufa_i ——第*i*块受淹区域的面积大小;

uft_i ——第*i*块受淹区域的受淹时长(天)。

5.2.15 空气污染水平的倒数 APE

$$APE = GAD/365 \dots\dots\dots (25)$$

式中, GAD为空气质量优良天数。

5.2.16 水体污染水平的倒数 APE

$$WPE = GWA/AWA \dots\dots\dots (26)$$

式中:

GWA ——达标水体面积;

AWA ——总水体面积。

5.2.17 物种入侵水平的倒数 SIE

$$SIE = \left(\frac{LA}{IA}\right) * \left(\frac{TS}{IS}\right) \dots\dots\dots (27)$$

式中:

IA ——入侵植被面积;

TS ——总当地植被物种数;

IS ——总外来物种数。

5.3 三级指标的算法

5.3.1 设置2010年全国平均水平为参考系Ref2010_i

5.3.2 三级指标的计算方法

$$THREE_i = Bottom_i/Ref2010_i \dots\dots\dots (28)$$

式中:

THREE_i ——第*i*个三级指标的当年值;

Bottom_i ——第*i*个底层指标的当年值;

$Ref2010_i$ ——第*i*个底层指标的2010年全国平均值。

5.4 二级指标的算法

5.4.1 城市生态系统代谢效率指数 UEM

$$UEM = \sqrt[6]{TEE * TWE * TLE * TWF * TCF * TMW} \dots\dots\dots (29)$$

5.4.2 城市生态系统服务能力指数 UES

$$UES = \sqrt[6]{TCAS * TSRS * TNRS * TWPS * TAPS * TSCS} \dots\dots\dots (30)$$

5.4.3 城市生态系统典型问题指数 UEP

$$UEP = \sqrt[6]{THIE * TUFE * TAPE * TWPE * TSIE} \dots\dots\dots (31)$$

5.5 一级指标的算法

城市生态系统综合指数UEI

$$UEI = \sqrt[3]{UEM * UES * UEP} \dots\dots\dots (32)$$

5.6 指标的动态调整方法

对于该指标体系日后需要调整指标以满足生态建设新要求的情况，新增（减少）核心指标的方法，需保证在增减指标当年对得分无影响的平滑过渡方法。如，计划在 m 年新增（减少）核心指标，则应当保证该指标在 m 年对指数核算无影响，从 $m+1$ 年才体现出影响。

情况 1：假设 m 年时，新增指标 x ， x 属于指数 X 的核心指标， x 的当期数值为 X_{m-1} ，指标 x 的基期数值为实际数值/ X_{m-1} ；任意多个新增的 x ，同前。

情况 2：假设 m 年时，减少指标 y ； y 属于指数 Y 的 k 个核心指标之一，剩余其他指标名 y' ， y' 的当期数值为 $\sqrt[k]{y'^{k-1} * y}$ ，指标 y' 的基期数值变为 实际数值/ $\sqrt[k]{y'^{k-1} * y}$ ；任意 n 个去除的 y ，有 $\sqrt[k]{y'^{k-n} * \prod_1^n y}$ ，类前。

情况 3：假设 m 年时，对于同一指数下的多个核心指标，同时进行增减，则参考上述两条，先考虑总减少，再考虑增加。

6 调查与评估使用数据要求

6.1 主要数据来源

城市生态评价主要使用遥感解译的土地利用数据、统计年鉴数据、市政府部门数据等。城市生态评估数据要求见表3。

表3 城市生态评估数据要求

相关数据指标	数据来源
各类能源消费量	城市能源部门
各类能源的标准煤转换系数	本文件提供
地区生产总值	城市发改部门
水资源消耗量	城市水务部门
建成区面积	城市国土部门
主要产品产出	城市发改部门
各类产品水足迹转换系数	本文件提供
常住人口总数	城市公安部门
各类产品碳足迹转换系数	本文件提供
各类存量物质重量当量	本文件提供
近三十年日降雨量	城市气象部门
大气温度	城市气象部门
POI 数据	年度高德数据
通勤距离数据	年度高德数据
内涝面积时长数据	城市城管部门
空气质量数据	城市环境监测部门
水质数据	城市环境监测部门
水体面积数据	城市国土部门
本地物种与外地物种数据	城市林业部门

6.2 参考数据

6.2.1 各类能源的标准煤转换系数

各类能源的标准煤转换系数见表4。

表4 各类能源的标准煤转换系数

序号	能源类型	1标准量	折算为标准煤量
1	电	1千瓦时	0.4040千克
2	燃气(天然气)	1立方米	1.2143千克
3	燃气(焦炉煤气)	1立方米	0.5714-0.6143千克
4	燃气(其它煤气)	1立方米	0.3570千克
5	集中供热量	1百千焦	0.1229千克
6	煤	1千克	0.7143千克
7	液化石油气	1千克	1.7143千克
8	汽油	1千克	1.4714千克
9	煤油	1千克	1.4714千克
10	柴油	1千克	1.4571千克

我国规定每公斤标准煤的含热量为29306千焦
 能源折标准煤 = 某种能源实际热值(千卡/千克) / 7000(千卡/千克)

6.2.2 各类产品水足迹转换系数

各类产品水足迹转换系数参考《国际水足迹评价手册(中文版)》提供的数据^[1]。

6.2.3 各类产品碳足迹转换系数

各类产品碳足迹转换系数参考《中国碳排放数据库》提供的数据^[2]。

参 考 文 献

- [1] ArjenY.Hoekstra, 胡克斯特拉, Chapagain,等. 水足迹评价手册[M]. 科学出版社, 2012.
- [2] Shan Y , Huang Q , Guan D , et al. China CO₂ emission accounts 2016016unts 20entific Data, 2020, 7(1).
-