

ICS

CCS 点击此处添加 CCS 号

团 体 标 准

T/CSES XXXX—XXXX

水环境承载力预警技术指南

Technical guidelines for early warning of water environment carrying capacity

(征求意见稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国环境科学学会 发布

目 次

前 言 I

引 言 II

1 适用范围 3

2 规范性引用文件 3

3 术语与定义 3

4 总体要求 6

5 主要内容 8

附录 A（规范性） 指标解释与数据来源 13

附录 B（资料性） 警度划分方法 21

附录 C（资料性） 备选双向调控排警措施 23

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。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由北京师范大学环境学院提出。

本文件由中国环境科学学会归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

引 言

水环境承载力是表征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/区域水系统规划与管理工作的重要依据。自党的十八届三中全会提出建立资源环境承载能力监测预警机制以来，国家相关部门不断加强承载力监测预警的研究，水环境承载力监测预警已成为保障流域/区域水系统与经济社会协调发展的重要抓手。水环境污染防治已进入以前瞻性预防为主、防治结合的综合治理阶段，全面开展水环境承载力预警已刻不容缓。为全面支撑水环境承载能力预警体制机制建设，规范化水环境承载力评价程序，特编制本文件。

水环境承载力预警技术指南

1 适用范围

本文件规定了水环境承载力预警的相关术语、总则、工作程序、评估内容、评估方法及技术要求。

本文件适用于流域/区域规划与管理部门的水环境承载力短期预警（年度预警）工作。

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。

GB3838 地表水环境质量标准

《地表水环境质量评价办法（试行）》（环办〔2011〕22号）

《国务院关于印发<水污染防治行动计划>的通知》（国发〔2015〕17号）

《水污染防治行动计划实施情况考核规定（试行）》（环水体〔2016〕179号）

《城市地表水环境质量排名技术规定（试行）》（环办监测〔2017〕51号）

《关于建立资源环境承载能力监测预警长效机制的若干意见》（中共中央办公厅、国务院办公厅〔2017〕28号）

《资源环境承载能力监测预警技术方法（试行）》（发改规划〔2016〕2043号）

《资源环境承载能力和国土空间开发适宜性评价指南（试行）》（自然资办函〔2020〕127号）

《水利部办公厅关于做好建立全国水资源承载能力监测预警机制工作的通知》（办资源〔2016〕57号）

《全国水资源承载能力监测预警技术大纲（修订稿）》（办水总函〔2016〕1429号）

《国土资源环境承载力评价技术要求（试行）》（国土资厅函〔2016〕1213号）

《海洋资源环境承载能力监测预警指标体系和技术方法指南》（国家海洋局 2015）

《关于开展水环境承载力评价工作的通知》（环办水体函〔2020〕538号）

3 术语与定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

水环境承载力 water environment carrying capacity

某一时期，某种环境状态下，在一定技术经济条件下，某一水系统功能结构不被破坏的前提下，可持续为人类活动（包括生活活动与生产活动等）提供支持能力的阈值。

3.2

警情 warning condition

水环境承载力超载状况。

3.3

警源 warning source

警情的来源，是给水系统带来巨大压力的风险源，如不合理的经济社会活动。

3.4

警兆 warning sign

水环境承载力超载警情爆发的先兆，是警情演变时的一种初始形态，用于预示警情的发生。

3.5

警度 warning degree

警情偏离警界线的程度，也是警情的严重或危急程度。

3.6

警限 warning limit

用于划分警度的阈值。

3.7

警情指标 warning indicator

表征水环境承载力超载状况的指标，分为压力指标和承载力指标。

3.8

先行指标 leading indicator

领先于水环境承载状况变动的指标，用来预测未来水环境承载景气变化态势。

3.9

一致指标 coincidence indicator

与水环境承载状况变动一致的指标，用来反映并监测水环境承载景气变化的当前态势。

3.10

景气指数 climate index

综合反映社会经济所处的状态或发展趋势的一种指标，亦称景气度，可分为扩散指数（DI）和合成指数（CI）两种。

3.11

扩散指数 diffusion index

评价和衡量景气指标的波动和变化状态，反映了社会经济对水环境的影响状态。其本质是在某一时刻（年、月、日），所有指标中增长指标的数量占比。当扩散指数大于 50，说明半数以上警情指标处于景气状态，即半数以上指标较上一时刻有所增长，半数以上压力指标增长或承载力指标下降；当扩散指数小于 50，说明半数以上警情指标处于不景气状态，即半数以上指标较上一时刻有所减小，半数以上压力指标下降或承载力指标增长；先行扩散指数对一致扩散指数的领先程度（设为时差 t ），可以认为先行扩散指数所预测的承载状态改变将在 t 年后出现。

3.12

合成指数 composite index

将各敏感性指标的波动幅度综合起来，不仅能反映景气循环的变化趋势，判断变化的拐点，还可以表征社会经济等指标的整体变化程度，反映社会经济对水环境的影响程度。当合成指数上升，说明社会经济对环境的影响过热，水环境污染有增加的可能，反之亦然。100 是合成指数的临界值，当合成指数大于 100 时，说明处于景气状态；当扩散指数小于 100 时，说明处于不景气状态。先行合成指数对一致合成指数的领先程度（设为时差 t ），可以认为先行合成指数所预测的承载状态改变将在 t 年后出现。

3.13

基准指标 benchmark indicator

能综合反映水环境承载状况的指标，是后续警情指标通过时差相关分析划分为先行或一致指标的基准。

3.14

综合预警指数 composite warning index

能够全面反映水环境承载力所面临的风险从而进行全面预警的指数。

4 总体要求

4.1 预警目标

对预警流域/区域未来水环境承载状态进行判别；在此基础上，在“增容与减压”双向调控与“守退补”理念指导下，根据不同的区域管理需求提出排警策略及分区调控措施；由此，为流域/区域水环境规划与管理部门提供决策支持。

4.2 总体原则

在进行水环境承载力预警时，应遵循以下原则：

4.2.1 水环境承载力内涵表达原则

不同的指标反映水环境承载力的不同方面，并且对于不同的水环境承载力分量而言，不同的指标对其的反映程度也不同。因此，在选取指标中，应选取可以反映水环境承载力内涵的指标，即要反映经济社会对水环境的压力和承载力。

4.2.2 变动的协调性原则

研究水环境承载情况的波动就是研究各不同指标之间的相关关系，各不同的指标其变动应该与水环境承载情况的总体变动之间有着协调性，或快于、或慢于、或同步与水环境承载情况的波动。

4.2.3 变动的灵敏可靠性原则

不同的指标在反映水环境承载情况时有着不同的灵敏度和可靠度，对灵敏可靠的指标来说，水环境承载情况的轻微变化就会导致该指标的巨大变化，应选取这样的指标，提高水环境承载力监测预警的预警功能。

4.2.4 变动的代表性原则

在设置指标体系时，存在几个指标同时表征一个水环境承载力分量的情况，导致指标重复设置。因此，应选取代表性强的指标，避免指标重复。

4.2.5 变动规则的稳定性原则

在选取指标时，应摒弃变动过大的指标，减少统计的不稳定性及数据的不可靠性。选取的指标值应在一个合理范围内变化。

4.2.6 指标数据的及时性原则

为克服各类数据的监测、统计及发布流程的时滞性，应尽量选择公布快速的指标。

4.3 技术路线

在涵盖识别警源、分析警兆、评判警情、界定警度与预测警情、警情排除等 6 个阶段的预警体系框架指导下，构建基于景气指数的短期预警技术方法。该方法是一种依据经济周期性及其导致的对水环境压力的波动性的原理，在基准警情与影响警情指标体系构建基础上，利用时差相关分析方法，将指标划分为先行、一致指标；进一步基于景气指数（包括扩散指数与合成指数），对流域/区域水环境承载力超载警情进行分析；然后，利用构建的综合预警指数对未来承载状态进行判别，通过界定警度并划分警限，进行预警；最后，根据预警结果，制定排警策略。本技术指南的技术路线图如图 1 所示：

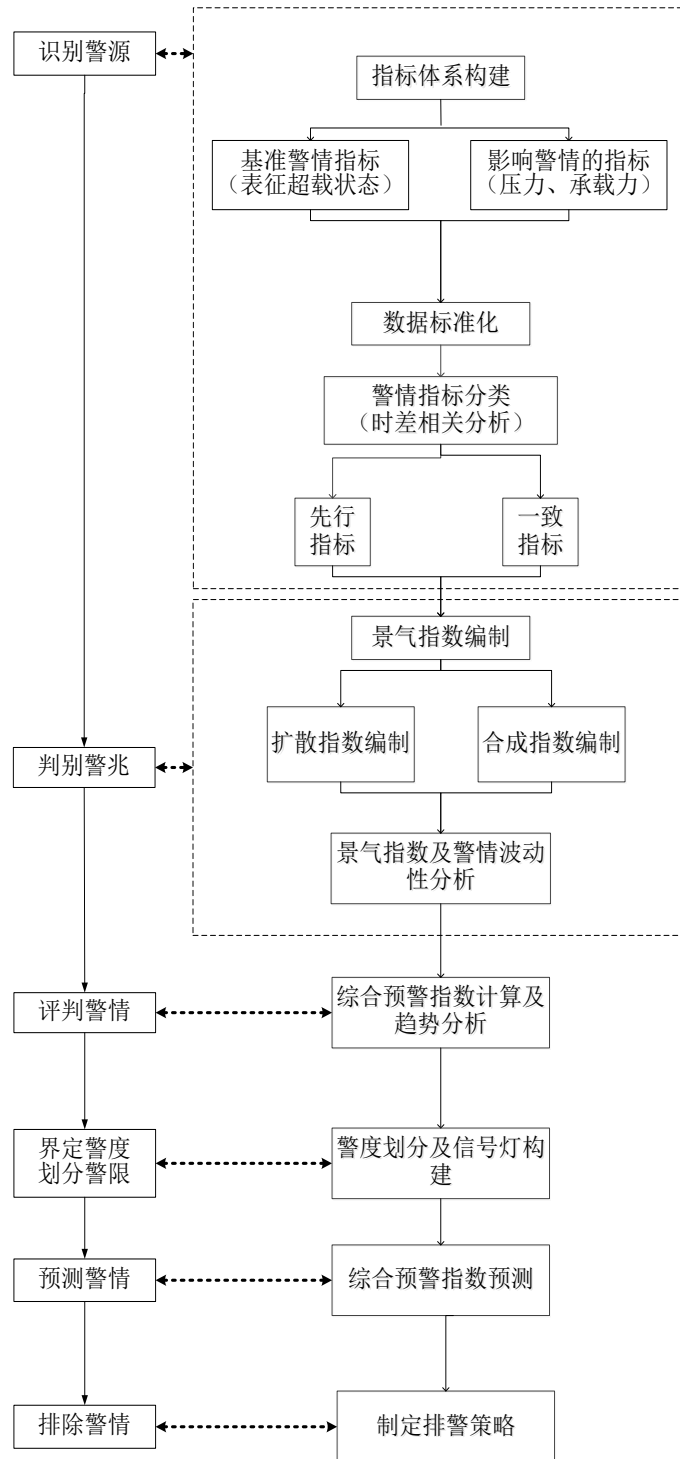


图 1 水环境承载力预警技术步骤

5 主要内容

5.1 预警指标体系构建

基于水环境承载力的概念，可从水资源承载力以及水环境容量两个方面选取水环境承载对经济活动变动敏感的指标，构建水环境承载力预警景气指标体系，如社会经济规模、结构，水资源量及用水量，污染排放及处理，生态系统水源涵养服务等；并同时考虑数据的可获取性。建议的指标体系见表 1。

表 1 水环境承载力预警指标体系

分类	领域层	指标层	分类	领域层	指标层
水系统压力指标	社会经济子系统压力指标	总人口	社会经济子系统承载指标	第三产占比	
		GDP		节能环保支出占比	
		第一二产业占比		年降水量	
	水资源子系统压力指标（水资源消耗）	用水总量	水资源子系统承载指标	水资源总量	
		工业用水量		地表水资源量	
		生活用水量		地下水资源量	
		农业用水量		水面面积占比	
		万元 GDP 水耗		水源涵养量	
		人均水耗		林草覆盖率	
		工业废水化学需氧量排放量		污水处理厂个数	
	工业废水氨氮排放量	污水处理厂实际处理量			
	水环境子系统压力指标（水污染排放）	农业废水化学需氧量排放量	水环境子系统承载指标	污水处理厂处理规模	
		农业废水氨氮排放量		污水处理厂再生水量	
		农业废水总磷排放量			
		生活废水化学需氧量排放量			
		生活废水氨氮排放量			
		生活废水总磷排放量			
		污水厂化学需氧量排放量			
		污水厂氨氮排放量			
		污水厂总磷排放量			
化学需氧量排放总量					
氨氮排放总量					
总磷排放总量					
万元 GDP 化学需氧量排放总量					
万元 GDP 氨氮排放总量					
万元 GDP 总磷排放总量					
基准指标	水环境质量	可表征水环境质量或水环境承载状态的指标			

选取能综合反映水环境承载状况的指标作为基准指标，如表征水环境质量的指标（水质达标）等。但如果流域/区域没有进行单独的河流水质达标率的统计数据，可以构造“水环境综合承载率指数”作为基准指标，并采用内梅罗指数法进行计算，。公式如下：

$$CWECRI = \sqrt{\frac{[Average(R_{WE}, R_{WR})]^2 + [Max(R_{WE}, R_{WR})]^2}{2}} \quad (1)$$

$$RI_{WR} = \frac{U_{WR}}{Q_{WR}} \quad (2)$$

$$RI_{WE} = Average\left(\frac{\bar{C}_{COD}}{C_{S-COD}}, \frac{\bar{C}_{NH4}}{C_{S-NH4}}, \frac{\bar{C}_{TP}}{C_{S-TP}}\right) \quad (3)$$

式中， $CWECRI$ 为水环境综合承载率指数， RI_{WR} 为水资源承载率指数， RI_{WE} 水环境承载率指数， U_{WR} 为

水资源利用量, Q_{WR} 为水资源量, \bar{C}_{COD} , \bar{C}_{NH4} , \bar{C}_{TP} 分别为流域/区域内河流监测断面平均的化学需氧量、氨氮和总磷污染物实际浓度 (用水质监测数据计算), C_{S-COD} , C_{S-NH4} , C_{S-TP} 为对应污染物在该流域/区域内水环境功能区平均的水质目标浓度的比值。

5.2 警情指标分类

采用时差相关分析, 分别对不同的提前或滞后阶数求基准指标与所选指标的相关性, 相关性最大的阶数对应所选指标的先行或滞后性。时差相关分析法, 公式如下:

$$R_j = \frac{\sum_{i=1}^{N_i} (X_{ij} - \bar{x})(Y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N_i} (X_{ij} - \bar{x}) \sum_{i=1}^{N_i} (Y_i - \bar{y})}} \quad (4)$$

式中, j 表示移动的期数 (年、月、日等), 正数为前移, 负数为后移。在 R_j 值中, 选择其最大值, 所对应的 j 即为指标与基准波动最接近的移动期数。若 R_j 在 $j=0$ 最大, 说明指标 X_{ij} 是 Y_i 的一致指标; 若 R_j 在 $j<0$ 时最大, 说明 X_{ij} 是 Y_i 的先行指标即警兆指标。

5.3 景气指数编制

景气指数可综合反映各指标的情况, 分为扩散指数 (DI) 和合成指数 (CI) 两种。

5.3.1 扩散指数计算

扩散指数计算公式如下:

$$DI_t = \left(\frac{\sum_{i=1}^n I_P(X_i^t \geq X_i^{t-1}) + \sum_{i=1}^n I_S(X_i^{t-1} \geq X_i^t)}{n} \right) \times 100 \quad (5)$$

式中, X_i^t 为第 i 个变量在 t 时刻的波动值; n 的为指标总数; I 为指标的数量 (P 表示压力指标, S 表示承载力指标), DI_t 为扩散指数。

5.3.2 合成指数计算

计算合成指数首先需要根据指标原时间序列求出循环波动相对数时间序列的对称变化率:

$$C_{i(t)} = \frac{X_i^t - X_i^{t-1}}{\frac{1}{2}[X_i^t + X_i^{t-1}]} \times 100 \quad (6)$$

计算标准化因子 A_i :

$$A_i = \sum \frac{|C_{i(t)}|}{n-1} \quad (7)$$

式中, n 为标准化期间的年份, 用 A_i 将 $C_{i(t)}$ 标准化, 得到标准化变化率为 $S_{i(t)}$:

$$S_{i(t)} = \frac{C_{i(t)}}{A_i} \quad (8)$$

计算平均变化率 R :

$$R(t) = \frac{\sum S_i W_i}{\sum W_i} \quad (9)$$

式中, W_i 代表第 i 项指标的权重, 由各指标的时差相关性系数决定。

令 $\bar{I}_{(0)} = 100$, 则

$$I_{(t)} = I_{(t-1)} \times \frac{200+R_{(t)}}{200-R_{(t)}} \quad (10)$$

得到合成指数计算公式:

$$CI_{(t)} = 100 \times \frac{I_{(t)}}{\bar{I}_{(0)}} \quad (11)$$

用以上公式, 分别计算压力合成指数 $CI_{(t)P}$ 及承载力合成指数 $CI_{(t)S}$, 并最终计算出综合合成指数 $CI_{(t)integrated}$:

$$CI_{(t)integrated} = \frac{CI_{(t)P}}{CI_{(t)S}} \quad (12)$$

5.4 综合预警指数构建及计算

首先, 选取先行指标反映综合承载情况, 并采用极值法将指标标准化, 将每个指标对应的时差相关系数与其同类(压力或承载力)指标相关系数之和的比例作为各指标权重; 分别计算先行压力指标的预警指数及先行承载力指标的预警指数, 并以比值作为综合预警指数。

极值法标准化计算公式如下:

$$T_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{i(min)}}{X_{i(max)} - X_{i(min)}} \quad (13)$$

式中, T_{ij} 为归一化后的警情指标, $X_{i(max)}$ 与 $X_{i(min)}$ 分别为第 i 个警情指标的上限和下限值。

将每个指标对应的时差相关系数与其同类(压力或承载力)指标相关系数之和的比例作为各指标权重; 分别计算先行压力指标的预警指数及先行承载力指标的预警指数, 并以比值作为综合预警指数。

$$EWI_{j(P \text{ or } S)} = \sum_{i=1}^m Coe_i T_{ij} \quad (14)$$

$$EWI_j = \frac{EWI_{j(P)}}{EWI_{j(S)}} \quad (15)$$

式中, Coe_i 为指标时差相关系数, 即每个警情指标的权重; T_{ij} 归一化后的警情指标, $EWI_{j(P \text{ or } S)}$ 为压力或承载力预警指数, EWI 为综合预警指数, m 为压力或承载力先行指标的个数。

5.5 景气信号灯及预警界限构建

将综合预警指数为 1 作为恰不超载状态, 以 0.5 为一档, 构建预警界限, 并不同颜色的预警信号灯表示。“绿”“黄”“橙”“红”等 4 种颜色代表整个承载状况中“无警”“轻警”“中警”“重警”等 4 种情形。

表 2 景气信号灯及预警界限

信号灯	符号	范围	含义
绿灯	●	<0.5	表明目前的经济社会规模匹配水环境承载力, 水环境承载力在负担当前经济社会规模下还有少量结余, 经济社会环境协调发展。
黄灯	●	[0.5,1.0]	表明经济社会发展对水环境造成的压力较大, 需要警惕经济社会进一步发展会导致

			的超载状况，应加大水环境保护力度，控制经济发展速度。
橙灯	●	(1.0,1.5]	表明经济社会发展对水环境造成的压力很大，经济社会过快发展，已经超出了水环境能承受的范围，各种环境问题开始出现，这时必须限制经济发展，采取有效措施减轻环境压力。
红灯	●	> 1.5	表明水环境承载力系统已处于严重超载状态，应采取紧急预警措施，防治水环境状况出现不可逆转的恶化。

5.6 综合预警指数预测

分别对下一时刻的压力预警指数和承载力预警指数进行预测，得到下一时刻的综合预警指数，公式如下：

$$CEWI_{t+1} = CEWI_t \cdot \frac{\left[1 + \frac{(RCI_{t+1}+1)(CEWI_t - CEWI_{t-1})}{(CEWI_t + CEWI_{t-1})} \right]}{\left[1 - \frac{(RCI_{t+1}+1)(CEWI_t - CEWI_{t-1})}{(CEWI_t + CEWI_{t-1})} \right]} \quad (16)$$

式中： RCI 为先行指标的综合合成指数变化率， $CEWI$ 为预警指数。

5.7 制定排警措施

根据水环境承载力预警结果，在“增容与减压”双向调控与“守退补”理念指导下，根据不同的区域管理需求提出排警策略及分区调控措施：对于承载状态良好，没有出现警情的地区特别是上游源头水与水源地，需守住水生态底线；对于临近超载的地区，应尽量腾退生态空间，留出承载余量，防治水生态系统健康状态恶化；对于已严重超载地区，从提高水环境承载力与降低人类活动对水系统带来压力，即双向调控角度，采取补救措施，极大恢复流域自然水生态系统。

附录 A
(规范性)
指标解释与数据来源

A.1 水系统压力指标 (P)

● 社会经济子系统压力指标

a) 总人口 (P1)

含义：流域/区域内人口总数。

计算方法：人口普查、人口抽样调查或人口变动情况抽查。

数据来源：国家/地区统计局网站、《中国/地区统计年鉴》。

b) GDP (P2)

含义：流域/区域内地区生产总值，是一个国家（或地区）所有常住单位在一定时期内生产活动的最终成果。

计算方法：GDP 核算的方法一般有三种，包括生产法、支出法和收入法。生产法简单来说就是计算各个国民经济部门生产商品、服务的增加值之和；支出法为消费、投资、政府购买和净出口的总和；收入法为各个单位工资、利息、利润、租金、间接税和折旧总和。

数据来源：国家/地区统计局网站、《中国/地区统计年鉴》。

c) 第一二产业占比 (P3)

含义：流域/区域内第一产业和第二产业 GDP 占第一产业、第二产业和第三产业总 GDP 的比重。其中第一产业主要指生产食材以及其它一些生物材料的产业，包括种植业、林业、畜牧业、水产养殖业等直接以自然物为生产对象的产业（泛指农业）；第二产业主要指加工制造产业；第三产业是指第一、第二产业以外的其他行业（现代服务业或商业），主要包括交通运输业、通讯产业、商业、餐饮业、金融业、教育、公共服务等非物质生产部门。

计算方法：

$$P3 = \frac{\text{第一产业 GDP} + \text{第二产业 GDP}}{\text{第一产业 GDP} + \text{第二产业 GDP} + \text{第三产业 GDP}}$$

数据来源：国家/地区统计局网站、《中国/地区统计年鉴》。

● 水资源子系统压力指标

水资源子系统压力指标是从不同行业水资源消耗角度构建的。

d) 用水总量 (P4)

含义：流域/区域内所有用水户所使用的水量之和，通常是由供水单位提供，也可以是由用水户直接从江河、湖泊、水库（塘）或地下取水获得。

计算方法：

$$P4 = \text{生活用水量} + \text{工业用水量} + \text{农业用水量} + \text{生态环境用水量}$$

数据来源：《中国/地区统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《水资源公报》。

e) 工业用水量 (P5)

含义：流域/区域内工业生产过程中使用的生产用水及厂区内职工生活用水的总量。生产用水主要用途是：①原料用水，直接作为原料或作为原料一部分而使用的水；②产品处理用水；③锅炉用水；④冷却用水等 (t)。

计算方法：

$$P5 = \text{原料用水} + \text{产品处理用水} + \text{锅炉用水} + \text{冷却用水}$$

数据来源：《中国/地区统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《水资源公报》。

f) 生活用水量 (P6)

含义：流域/区域内人类日常生活所需用的水量。包括城镇生活用水和农村生活用水。城镇生活用水由居民用水和公共用水 (含服务业、餐饮业、货运邮电业及建筑业等用水) 组成，农村生活用水除居民生活用水外还包括牲畜用水在内 (t)。

计算方法：

$$P6 = \text{城镇生活用水} + \text{农村生活用水}$$

数据来源：《中国/地区统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《水资源公报》。

g) 农业用水量 (P7)

含义：流域/区域内用于灌溉和农村牲畜的用水总量 (t)。

计算方法：

$$P7 = \text{灌溉用水} + \text{农村牲畜用水}$$

数据来源：《中国/地区统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《水资源公报》。

h) 万元 GDP 水耗 (P8)

含义：流域/区域内平均每万元 GDP 耗水量 (t)。

计算方法：

$$P8 = \frac{\text{评估区内总年用水量}}{\text{评估区内以万元计的 GDP 总量}}$$

数据来源：《中国/地区统计年鉴》、国家/地区统计局网站。

i) 人均水耗 (P9)

含义：流域/区域内平均每人每年耗水量 (t)。

计算方法：

$$P9 = \frac{\text{评估区内总年用水量}}{\text{评估区内总人口}}$$

数据来源：《中国/地区统计年鉴》、国家/地区统计局网站。

● 水环境子系统压力指标

水环境子系统压力指标是从水环境污染排放角度进行构建的。

j) 工业废水化学需氧量排放量 (P10)

含义：流域/区域内的工业废水中以化学方法测量水样中需要被氧化的还原性物质的量的总量 (t)。

计算方法：

$$P10 = \frac{\text{样品中化学需氧量总量}}{\text{样品总体积}} \times \text{工业废水总排放量}$$

数据来源：《中国/地区统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《水资源公报》。

k) 工业废水氨氮排放量 (P11)

含义：流域/区域内的工业废水中以氨或铵离子形式存在的化合氮的总量 (t)。

计算方法：

$$P11 = \frac{\text{样品中氨氮总量}}{\text{样品总体积}} \times \text{工业废水总排放量}$$

数据来源：《中国/地区统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《水资源公报》。

l) 农业废水化学需氧量排放量 (P12)

含义：流域/区域内的农业废水中需要被氧化的还原性物质的量的总量 (t)。

计算方法：

$$P12 = \frac{\text{样品中化学需氧量总量}}{\text{样品总体积}} \times \text{农业废水总排放量}$$

数据来源：《中国/地区统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《水资源公报》。

m) 农业废水氨氮排放量 (P13)

含义：流域/区域内的农业废水中以氨或铵离子形式存在的化合氮的总量 (t)。

计算方法：

$$P13 = \frac{\text{样品中氨氮总量}}{\text{样品总体积}} \times \text{农业废水总排放量}$$

数据来源：《中国/地区统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《水资源公报》。

n) 农业废水总磷排放量 (P14)

含义：流域/区域内的农业废水中各种形态的磷转变成正磷酸盐后测定的总量 (t)。

计算方法：

$$P14 = \frac{\text{样品中总磷总量}}{\text{样品总体积}} \times \text{农业废水总排放量}$$

数据来源：《中国/地区统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《水资源公报》。

o) 生活废水化学需氧量排放量 (P15)

含义：流域/区域内的生活废水中需要被氧化的还原性物质的量的总量 (t)。

计算方法：

$$P15 = \frac{\text{样品中化学需氧量总量}}{\text{样品总体积}} \times \text{生活废水总排放量}$$

数据来源：《中国/地区统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《水资源公报》。

p) 生活废水氨氮排放量 (P16)

含义：流域/区域内的生活废水中以氨或铵离子形式存在的化合氮的总量 (t)。

计算方法：

$$P16 = \frac{\text{样品中氨氮总量}}{\text{样品总体积}} \times \text{生活废水总排放量}$$

数据来源：《中国/地区统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《水资源公报》。

q) 生活废水总磷排放量 (P17)

含义：流域/区域内的生活废水中各种形态的磷转变成正磷酸盐后测定的总量 (t)。

计算方法：

$$P17 = \frac{\text{样品中总磷总量}}{\text{样品总体积}} \times \text{生活废水总排放量}$$

数据来源：《中国/地区统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《水资源公报》。

r) 污水厂化学需氧量排放量 (P18)

含义：流域/区域内的污水厂废水中需要被氧化的还原性物质的量的总量 (t)。

计算方法：

$$P18 = \frac{\text{样品中化学需氧量总量}}{\text{样品总体积}} \times \text{污水厂废水总排放量}$$

数据来源：《中国/地区统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《水资源公报》。

s) 污水厂氨氮排放量 (P19)

含义：流域/区域内的污水厂废水中以氨或铵离子形式存在的化合氮的总量 (t)。

计算方法：

$$P19 = \frac{\text{样品中氨氮总量}}{\text{样品总体积}} \times \text{污水厂废水总排放量}$$

数据来源：《中国/地区统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《水资源公报》。

t) 污水厂总磷排放量 (P20)

含义：流域/区域内的污水厂废水中各种形态的磷转变成正磷酸盐后测定的总量 (t)。

计算方法：

$$P20 = \frac{\text{样品中总磷总量}}{\text{样品总体积}} \times \text{生活废水总排放量}$$

数据来源：《中国/地区统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《水资源公报》。

u) 化学需氧量排放总量 (P21)

含义：流域/区域内的工业、农业、生活与污水厂废水中需要被氧化的还原性物质的量的总量（t）。

计算方法：

$$P21 = \text{工业废水化学需氧量排放量} + \text{农业废水化学需氧量排放量} + \text{生活废水化学需氧量排放量} + \text{污水厂化学需氧量排放量}$$

数据来源：《中国/地区统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《水资源公报》。

v) 氨氮排放总量（P22）

含义：流域/区域内的工业、农业、生活与污水厂废水中以氨或铵离子形式存在的化合氮的总量（t）。

计算方法：

$$P22 = \text{工业废水氨氮排放量} + \text{农业废水氨氮排放量} + \text{生活废水氨氮排放量} + \text{污水厂氨氮排放量}$$

数据来源：《中国/地区统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《水资源公报》。

w) 总磷排放总量（P23）

含义：流域/区域内的工业、农业、生活与污水厂废水中各种形态的磷转变成正磷酸盐后测定的总量（t）。

计算方法：

$$P23 = \text{工业废水总磷排放量} + \text{农业废水总磷排放量} + \text{生活废水总磷排放量} + \text{污水厂总磷排放量}$$

数据来源：《中国/地区统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《水资源公报》。

x) 万元 GDP 化学需氧量排放总量（P24）

含义：流域/区域内每万元 GDP 所产生的需要被氧化的还原性物质的量的总量（t）。

计算方法：

$$P24 = \frac{\text{化学需氧量排放总量}}{\text{评估区内以万元计的 GDP 总量}}$$

数据来源：国家/地区统计局网站、《中国/地区统计年鉴》、《中国环境统计年鉴》、《水资源公报》。

y) 万元 GDP 氨氮排放总量（P25）

含义：流域/区域内每万元 GDP 所产生的以氨或铵离子形式存在的化合氮的总量（t）。

计算方法：

$$P25 = \frac{\text{氨氮排放总量}}{\text{评估区内以万元计的 GDP 总量}}$$

数据来源：国家/地区统计局网站、《中国/地区统计年鉴》、《中国环境统计年鉴》、《水资源公报》。

z) 万元 GDP 总磷排放总量（P26）

含义：流域/区域内每万元 GDP 所产生的各种形态的磷转变成正磷酸盐后测定的总量（t）。

计算方法：

$$P26 = \frac{\text{总磷排放总量}}{\text{评估区内以万元计的 GDP 总量}}$$

数据来源：国家/地区统计局网站、《中国/地区统计年鉴》、《中国环境统计年鉴》、《水资源公报》。

A.2 水环境承载力指标（C）

● 社会经济子系统承载指标

a) 第三产占比 (C1)

含义：流域/区域内第三产业 GDP 占第一产业、第二产业和第三产业总 GDP 的比重。其中第一产业主要指生产食材以及其它一些生物材料的产业，包括种植业、林业、畜牧业、水产养殖业等直接以自然物为生产对象的产业（泛指农业）；第二产业主要指加工制造产业；第三产业是指第一、第二产业以外的其他行业（现代服务业或商业），主要包括交通运输业、通讯产业、商业、餐饮业、金融业、教育、公共服务等非物质生产部门。

计算方法：

$$C1 = \frac{\text{第三产业 GDP}}{\text{第一产业 GDP} + \text{第二产业 GDP} + \text{第三产业 GDP}}$$

数据来源：国家/地区统计局网站、《中国/地区统计年鉴》。

b) 节能环保支出占比 (C2)

含义：流域/区域内为解决现实的或潜在的环境问题,协调人类与环境的关系,保障经济社会的持续发展而支付的资金与地区国民生产总值的比值。

计算方法：

$$C2 = \frac{\text{评估区内各类环保支出}}{\text{评估区内总 GDP}}$$

数据来源：《中国/地区统计年鉴》《中国环境统计年报》《国民经济和社会发展统计公报》和国家/地区统计局网站。

● 水资源子系统承载指标

水资源子系统承载指标是从水资源来源、构成角度构建的。

c) 年降水量 (C3)

含义：流域/区域内从天空中降落到地面上的液态或固态（经融化后）水，未经蒸发、渗透、流失而在水平面上积聚的深度，称作降水量。一年中每月降水量的平均值的总和就是年降水量。

计算方法：通常用雨量器测定，每天定时(8 点和 20 点)观测两次。一年降水量的总和，称为年降水量。

数据来源：中国气象数据网、《中国/地区统计年鉴》、《中国环境统计年鉴》、《水资源公报》。

d) 水资源总量 (C4)

含义：流域/区域内降水所形成的地表和地下的产水量，即地表径流量和降水入渗补给量之和。

计算方法：

$$C4 = \text{地表水资源量} + \text{地下水资源量}$$

数据来源：《中国/地区统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《水资源公报》。

e) 地表水资源量 (C5)

含义：流域/区域内陆地表面上动态水和静态水的总量，包括各种液态的和固态的水体，主要有河流、湖

泊、沼泽、冰川、冰盖等 (t)。

计算方法:

$$C5 = \text{河流水} + \text{湖泊水} + \text{沼泽水} + \text{冰川水} + \text{冰盖水}$$

数据来源:《中国/地区统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《水资源公报》。

f) 地下水资源量 (C6)

含义: 流域/区域内地下水面以下饱和含水层中的水量 (t)。

计算方法:

$$C6 = \text{渗入水} + \text{凝结水} + \text{初生水} + \text{埋藏水}$$

数据来源:《中国/地区统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《水资源公报》。

g) 水面面积占比 (C7)

含义: 水域面积占流域/区域总面积的比例。

计算方法:

$$C7 = \frac{\text{水域面积}}{\text{评估区总面积}}$$

数据来源:《中国/地区统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《水资源公报》。

h) 水源涵养量 (C8)

含义: 生态系统通过其特有的结构与水相互作用, 对降水进行截留、渗透、蓄积, 并通过蒸发实现对水流、水循环的调控的能力。

计算方法:

$$C8 = \min\left(1, \frac{249}{\text{流速系数}}\right) \times \min\left(1, \frac{0.9 \times TI}{3}\right) \times \min\left(1, \frac{\text{土壤饱和导水率}}{300}\right) \times \text{年产水量}$$

$$\text{年产水量} = \left(1 - \frac{\text{各土地利用类型栅格单元上年平均蒸发量}}{\text{栅格单元}}\right) \times \text{栅格单元}$$

数据来源: 国家/地区统计局网站、中国科学院地理科学与资源研究所资源环境科学与数据中心网站 (<https://www.resdc.cn/>)。

i) 林草覆盖率 (C9)

含义: 乔木林、灌木林与草地等林草植被面积之和占流域/区域土地面积的百分比。

计算方法:

$$C9 = \frac{\text{林草植被面积}}{\text{评估区总面积}}$$

数据来源: 国家/地区统计局网站、中国科学院地理科学与资源研究所资源环境科学与数据中心网站 (<https://www.resdc.cn/>)。

● 水环境子系统承载指标

水环境子系统承载指标是从污水处理厂规模和设备参数等角度进行构建的。污水处理厂是城镇污水的

终端，可以作为水环境对污染物承载水平的有效度量。

j) 污水处理厂个数 (C10)

含义：流域/区域内污水处理厂的总个数。

计算方法：统计区域内污水处理厂的总数。

数据来源：国家/地区统计局、生态环境部门网站。

k) 污水处理厂实际处理量 (C11)

含义：流域/区域内的污水处理厂实际处理的污水量，包括物理处理量、生物处理量和化学处理量。

计算方法：

$$C11 = \text{物理处理量} + \text{生物处理量} + \text{化学处理量}$$

数据来源：国家/地区统计局、生态环境部门网站。

l) 污水处理厂处理规模 (C12)

含义：流域/区域内所有污水处理厂所能处理的污水最大量。

计算方法：

$$C12 = \sum \text{某一污水处理厂最大处理量}$$

数据来源：国家/地区统计局、生态环境部门网站。

m) 污水处理厂再生水量 (C13)

含义：流域/区域内所有污水处理厂经适当处理后，达到一定的水质指标，满足某种使用要求，可以进行有益使用的总水量。

计算方法：

$$C13 = \sum \text{某一污水处理厂再生水量}$$

数据来源：国家/地区统计局、生态环境部门网站。

附录 B

(资料性)

警度划分方法

警度等级的划分主要有以下几种：

(1)将承载力状态划分为 3 个等级：可承载、临界承载、超载或不预警、临界预警、预警等。

(2)将承载力状态划分为 4 个等级：强可持续发展、基本可持续发展、弱可持续发展和不可持续发展等。

(3)将承载力状态划分为 5 个等级：承载力高、较高、一般、较低、低或是优秀、良好、轻度超载、中度超载和重度超载状态等。

一般来说，确定警度首先需要划分警限，划分的方法通常有系统化方法、突变论法、校标法、专家确定法和控制图法。

(1)系统化方法

通过对大量的历史数据进行定性分析，总结各类预警方法的经验，根据各种并列的原则或者标准对警限进行研究，综合多个方面的意见再进行适当调整，从而得出科学的结论。主要包括以下几种原则：多数原则（根据定性分析的结果，超过三分之二以上的数据区间作为有警和无警的分界）、均数原则（在假设研究对象的现状水平低于历史水平的情况下，将历史数据的平均值作为无警的界限）、半数或中数原则（将一半以上处于无警状态的样本数据作为警限）、少数原则（将少数表现为无警状态的指标界限作为无警的界限）、负数原则（将零增长或增长为负的数值作为有警的标准）及参数原则（参考与研究对象相关指标的标准值来确定警限）等。

(2)突变论法

突变论法是由法国数学家伦尼托姆最早提出，是一种数学拓扑理论，已经成为了一门新的数学分支。突变论顾名思义就是指系统突然发生灾难性变化，因而需要提前发出警报来阻止灾难性变化的发生，突变论可以用来定量研究警限的大小。其研究流程是：首先分析预警指标的内在规律，然后据此建立数学模型，运用拓扑学等相关数学理论，确定预警指标变化过程中发生非连续性突变的临界点，这就是用来划分警度的警限。理论上的科学性和严谨性是突变论方法确定警限的突出优点，是确定预警指标警限非常理想的方法，但是可以看出该方法对数学的要求很高，数学分析非常困难。

(3)校标法

校标法确定警限就是将预警管理取得较好成效的国家或地区作为标准，并将其所获得的结果作为警限划分的标准。这种确定警限的方法局限性较大，不同区域的情况不尽相同，在使用该法时需要结合当地的具体情况进行适当的修正，以符合本地的实际，属于对比判断法，

(4)专家确定法

在许多预警方法体系研究中，主要是根据实践中的经验来确定警限，基于此提出了专家确定法。主要是依靠各领域专家的智慧和丰富的实践经验来确定水环境承载力预警的警限，主观性很强，警限的合理程度取决于专家自身专业水平及判断能力。

(5)控制图法

控制图法(Control Chart)即 3 σ 法，是一种常用的质量管理方法，其确定警限的原理来自于控制图报警系统，控制图报警系统利用系统中的异常点来运作。控制图法是质量管理的核心，其基本原理是：假设被考察的质量指标 X 服从正态分布 $N(\mu, \sigma)$ ，当产品的生产工序处于正常状态时，其产品的指标 X 应以 99.73% 的概率落在 $[-3\sigma, +3\sigma]$ 范围之内。如果 X 落在 $[-3\sigma, +3\sigma]$ 范围之外，则认为工序受到了干扰，处于异常状态，此时系统发出警报，来提醒操作者采取措施来排除异常情况。控制图法在实际操作中，可采用 $\bar{X}-R$ 中心线控制图法、 $\bar{X}-R$ 中位数或极差控制图法等。控制图法确定警限的前提是假定预警指标服从正态分布，比较其预警期望值 \bar{X} 与标准差 σ 之间的偏离程度，测算 $[\bar{X}-3\sigma, \bar{X}+3\sigma]$ ，以此作为预警区间的警戒线。该方法判断结果相对客观且操作可行。预警等级的确定要与研究区实际情况结合，不同情景下警度代表不同的意义。在某些情况下，环境承载力超载状态的发展趋势也是确定警度所需要考虑的。发展趋势向好说明该区域有警度变低的潜力，如果水环境承载力超载情况持续加剧，则需要加大预警力度重点关注，这些也是预警需要体现的内容，应该再划分警度时得以体现。

这里拟将水环境承载力承载状态分为四个等级，结合交通信号灯设计原理，拟设置 4 个预警警度，分别用绿灯、黄灯、橙灯和红灯表示。

警限标准	$(-\infty, a)$	$[a, b)$	$[b, c)$	$[c, +\infty)$
承载力预警状态	不超载	轻度超载	中度超载	重度超载
警度	无警	轻警	中警	重警
警示灯颜色	绿色	黄色	橙色	红色

“绿灯”表示区域水环境承载力承载状态良好，水环境足以支撑目前的经济活动，经济社会与环境协调发展，是比较满意的状态。

“黄灯”表示区域水环境承载力出现轻微超载现象而产生轻警，但是水环境承载力超载状态是趋缓的，需要采取一定的措施让水环境持续向好消除警情，最终回到安全状态。

“橙灯”表示区域水环境承载力系统处于较为严重的超载状态，各种环境问题开始出现，必须采取有效的措施来改善超载状况，防止情况进一步恶化。

“红灯”表示区域水环境承载力超载状态处于危险的水平，水环境系统可能会进入失调衰败的状态。

附录 C

(资料性)

备选双向调控排警措施

调控角度	存在问题	调控方案
压力减小措施	总磷浓度大	减少总磷排放
	氨氮浓度大	减少氨氮排放
	化学需氧量浓度大	减少化学需氧量排放
	经济与生态不相适应	调整经济增速、产业经济结构转型升级、加大环保投入
	人口增长过快	调整人口规模
承载力提升措施	污水排放量大	推进生产生活节水、提高水回用率
	污染物排放量大	推行清洁生产，减少生产污染物排放
	水资源利用率低	提高污水收集处理率、节水回用以减少生活污染物排放
	河流总磷污染严重	定期清淤
承载力提升措施	河流化学需氧量污染严重	控制合流制污水溢流
	生态承载率过大	限制移民和建设卫星城
	河流监管不力	建立健全“河长制”责任体制与考核奖惩机制
	城市化严重	提高植被覆盖度
	污水处理能力不足	提高污水处理厂处理能力、增设污水处理厂或尾水处理设施
承载力提升措施	水环境承载率过大	充分利用污水处理厂并扩建污水管网
	生态承载率过大	构建生态廊道
	缺水	从外区域调水
	水资源利用率低	通过水利设施蓄水、雨水回用
	污水排放量大	提高污水处理量、完善截污管网以提高污水再生回用率
承载力提升措施	水资源总量短缺	增加调水、净化海水、接收雨水