

团 体 标 准

T/ EERT ×××—2021

中小城镇水环境容量与污染负荷分配规程

Water environmental capacity of small and medium-sized towns and pollution load
distribution regulation

(点击此处添加与国际标准一致性程度的标识)

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

2021 - ×× - ×× 发布

2021 - ×× - ×× 实施

浙江省生态与环境修复技术协会 发 布

目 次

前 言.....	II
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 基本计算步骤.....	2
5 污染负荷核算.....	3
6 水环境容量计算.....	5
7 污染负荷分配方法.....	7
附 录 A （资料性） 降解系数推求方法.....	8
附 录 B （资料性） 污染负荷分配方法.....	9

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。

本文件中的某些内容可能涉及专利，文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由中国科学院城市环境研究所提出。

本文件由浙江省生态与环境修复协会标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：中国科学院城市环境研究所。

本文件主要起草人：寇丽敏、林剑艺、邓富亮、孙倩、张召基、余广炜、薛喜梅。

本文件为首次发布。

中小城镇水环境容量与污染负荷分配规程

1 范围

本文件规定了中小城镇水环境容量与污染负荷分配的技术要求、基本程序、方法以及成果的合理性分析与检验。

本文件适用于中小城镇的河流水环境容量及各行政区域污染负荷分配的计算。

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。

GBT 25173-2010 水域纳污能力计算规程

GB 18596 畜禽养殖业污染物排放标准

GB 3838 地表水环境质量标准

SL 278 水利水电工程水文计算规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

水环境容量 water environmental capacity

水体在规定的目标下所能容纳的污染物的最大负荷，其大小与水体特征、水质目标及污染物特性有关，也可称为水域的纳污能力。通常以单位时间内水体所能承受的污染物总量表示。

3.2

污染负荷分配 wastewater loads allocation

运用数学规划方法，在满足环境质量、技术约束等条件下，以区域污染控制为目标，确定污染源的污染物允许排放量。

3.3

污染物削减量 pollution reduction

指现状污染物排放量与该区域水环境容量之差；可以作为总量控制中对污染排污源规划分配的控制指标之一。

3.4

水环境功能区 water environment function zoning

为满足人类对水资源合理开发、利用、节约和保护的需求,根据水资源的自然条件和开发利用现状,按照流域综合规划、水资源保护和经济社会发展要求,依其主导功能划定范围并执行相应水环境质量标准的水域。

3.5

水功能区水质目标 Water quality target of water function zone

根据水功能区水质现状、排污状况、不同水功能区的特点、水资源配置对水功能区的要求以及技术经济条件,拟定的水功能现状条件和规划条件下的水质目标。

3.6

水质目标浓度值 target concentration of water quality

与水功能区水质目标对应的某种污染物浓度限值,用表示。

3.7

初始浓度值 initial concentration

水功能区或计算河段起始断面的某种污染物浓度值,用表示。

3.8

河流 river

江河、渠道和运河的总称。

3.9

湖(库) lake

湖泊和水库的总称。

3.10

污染物入河量 pollution load entering water body

直接或通过沟、渠、管道等设施进入河流、湖(库)的污染物数量。

3.11

标准农田 farmland

指平原、种植作物为小麦、土壤类型为壤土、化肥施用量为(25-35)公斤/亩·年,降水量在(400-800) mm范围内的农田。

4 基本计算步骤

中小城镇水环境容量与污染负荷分配计算包括区域内污染负荷排放的统计计算、水环境容量的计算和各行政区域污染负荷分配。

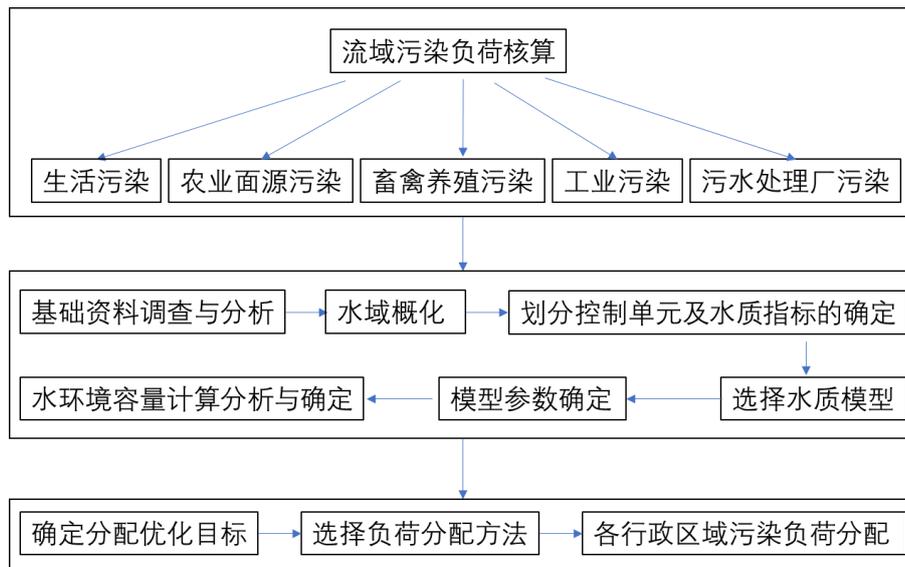


图1 水环境容量与污染负荷分配技术路线

5 污染负荷核算

5.1 范围

包括生活污染、畜禽养殖污染、农业面源污染、工业污染和污水处理厂污染等，需要逐一进行调查和计算。

5.2 生活污染计算

5.2.1 生活污染来源

主要是来自流域范围内的城镇和农村中未截污纳管进行处理的生活污水、粪便污水及生活垃圾径流污水，生活污染源排放总量计算主要按流域范围内人口、人均生活用水量和污染物排放系数估算。

5.2.2 计算公式

根据《全国污染源普查城镇生活源产排污系数手册》及《全国水环境容量核定技术指南》，可以查出城镇和农村人均用水量及排出污染物量，按下列公式计算：

$$Q_n = q_n \times N \times C_n \times P_n \times \eta \times 365 \times 10^{-6} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

Q_n ——生活污染年排放量 (t)；

q_n ——人均污水排放量 ($\text{m}^3/(\text{人} \cdot \text{d})$)；

N ——居民人口数 (人)；

C_n ——生活污水排放浓度 (mg/L)；

P_n ——生活污水排放系数；

η ——处理设施去除率 (%)。

5.3 农业面源污染计算

5.3.1 根据《全国水环境容量核定技术指南》，测算农业面源污染物排放量，并参照标准农田进行修正。按下列公式计算：

$$\text{农业种植排放量 (kg/a)} = \text{种植面积 (亩)} \times \text{修正源强系数 (千克/亩·年)} \dots\dots\dots (2)$$

5.3.2 标准农田源强系数为 COD 为 10kg/亩·年，氨氮为 2kg/亩·年。对于其他农田，对应的源强系数需要进行修正，如下：

- 坡度修正：土地坡度在 25°以下，流失系数为 1.0~1.2；25°以上，流失系数为 1.2~1.5。
- 农田类型修正：分旱地、水田、其他 3 种情况给出修正系数。旱地修正系数取 1，水田的修正系数取 1.5，其他类型修正系数取 0.7。
- 土壤类型修正：将农田土壤按质地进行分类，即根据土壤成分中的粘土和砂土比例进行分类，分为砂土、壤土和粘土。壤土修正系数为 1.0，砂土修正系数为 1.0~0.8，粘土修正系数为 0.8~0.6。
- 化肥施用量修正：化肥亩施用量在 25 kg 以下，修正系数取 0.8~1.0；在 25 kg~35 kg 之间，修正系数取 1.0~1.2；在 35 kg 以上，修正系数取 1.2~1.5。
- 降水量修正：年降雨量在 400 mm 以下的地区取流失系数为 0.6~1.0；年降雨量在 400 mm~800 mm 之间的地区取流失系数为 1.0~1.2；年降雨量在 800 mm 以上的地区取流失系数为 1.2~1.5。

5.4 畜禽养殖污染计算

5.4.1 畜禽养殖分为规模化养殖和分散式养殖两种情况。

5.4.2 规模化畜禽养殖源可采用实测法核算排污量，无法采用实测法核算的规模化畜禽养殖污染负荷，可采用产污系数法进行核算。按下列公式计算：

$$Q_x = q_x \times C_x \times N \times T \times 10^{-6} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

- Q_x ——规模化畜禽养殖污染物年排放量 (t)；
- q_x ——每日每头废水排放量 ($\text{m}^3/(\text{头}(\text{只}) \cdot \text{d})$)；
- C_x ——废水排放污染物浓度 (mg/L)；
- N ——规模化畜禽养殖中畜禽个数 (头 (只))；
- T ——一年中养殖天数 (d)。

5.4.3 分散式畜禽养殖污染源污染负荷核算根据 GB 18596 中畜禽养殖污染源源强系数计算方法，计算各类畜禽养殖的污染物排放量。计算公式如下：

$$Q_m = \sum_{i=1}^n (q_i \times C_{im} + p_i \times C_{in}) \times N_i \times T_i \times 10^{-6} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

- Q_m ——分散式畜禽养殖污染物年排放量 (t)；
- q_i ——第 i 类畜禽个体日产粪量 (kg/d·头)；
- C_{im} ——畜禽粪中污染物平均含量 (kg/t)；
- p_i ——第 i 类畜禽个体日产尿量 (kg/d·头)；

C_{in} ——畜禽尿中污染物平均含量 (kg/t);

N_i ——第 i 类畜禽养殖个数 (头 (只));

T_i ——饲养期 (d);

n ——畜禽养殖种类, $i=1,2,3,4\dots n$ 。

注: 如本地的畜禽养殖污染物的排放有经过污水处理, 需根据污染物削减系数计算实际排放量。

5.5 工业污染及污水处理厂污染计算

5.5.1 收集计算区域内各工业污染源及污水处理厂的位置、工业废水排放量及污染物浓度等。

5.5.2 工业污水污染物的排放量计算方法: 先计算监测时段 (日) 内各个排放口污染物排放量, 及该排放口计算时段 (季或月) 内排放量, 再将各个排放口污染物排放量累加, 获得计算时段内企业污染物排放量。企业污染物年度排放总量为各计算时段排放量之和。

$$Q_w = Q_o \times C_o \times T \times 10^{-6} \dots\dots\dots (5)$$

式中:

Q_m ——污染物年排放量 (t);

Q_o ——废水每小时平均排放量 (m^3/h);

C_o ——废水中某污染物平均浓度 (mg/L);

T ——工业污水排放时间 (h)。

6 水环境容量计算

6.1 水环境容量计算包括基础资料调查与分析、水域概化、划分控制单元及水质指标的确定、选择水质模型、模型参数确定、水环境容量计算分析与确定等步骤。

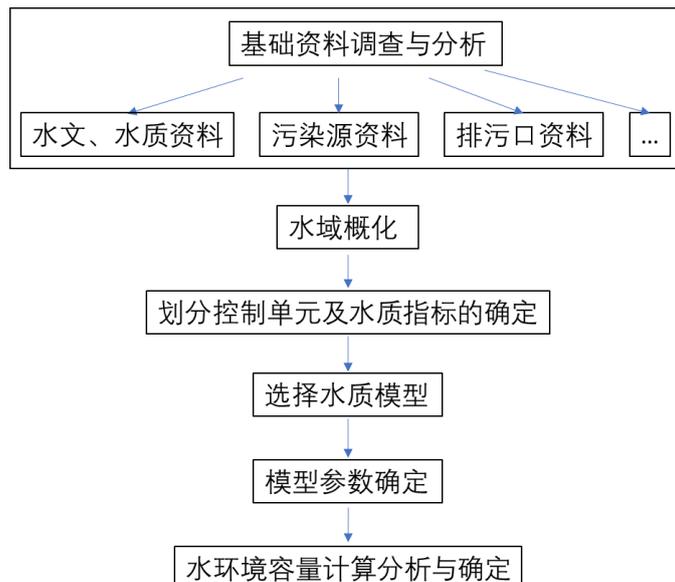


图2 水环境容量计算步骤

6.2 基础资料调查与分析

收集目标水域的水文与水质资料，包括流域面积、流速、流量、水位、污染现状等；调查目标水域内的排污口资料，包括各个排污口的污水排放量、污染物浓度和位置；调查污染源资料，包括点源污染和面源污染的排污量、排污去向和排污方式等。

6.3 水域概化

天然水域受到各种环境因素的共同作用，形状往往呈现不规则性。水域概化既能减少水环境容量计算的工作量，也能保证其相对准确性。可根据《全国水环境容量核定技术指南》的要求，对研究水域进行概化。将天然水域（河流、湖泊、水库等）概化成计算单元，如天然河道概化为笔直河道，复杂河道地形的简化，非稳态水流简化为稳态水流等。同时，支流、排污口等也需要进行一定程度的概化，如多个较近排污口可简化为集中排污口。

6.4 划分控制单元及水质指标的确定

根据水体水功能区划、水质敏感点和已有的控制断面将水体划分为多个控制单元，不同的控制单元执行不同的水质达标标准。

6.5 选择水质模型

选择合适的水质模型是水环境容量计算的关键。选择适合于目标水体的水质模型不仅可以减少计算的工作量，还能提高计算准确度。常用的水质模型可以分为零维、一维、二维和三维水质模型。水环境容量研究中应用较多的水质模型还有：S-P模型体系、QUAL-2K模型体系、WASP模型体系、MIKE模型体系和QUASAR模型体系等。典型水质模型见《GBT 25173-2010 水域纳污能力计算规程》。

6.6 模型参数确定

参数确定是水环境容量计算的关键，几个重要的参数及其确定方法如下：

a) 本底浓度

是水域的初始浓度，其取值应该是研究水域中上断面的污染物浓度。如果上断面污染物的真实浓度低于上断面的水质标准所规定的浓度，则取上断面的水质标准浓度。

b) 目标浓度

选取主要污染控制因子、划分控制断面后，根据各个控制断面的水质目标，按照GB 3838要求，确定污染物对应的目标浓度值。

c) 设计流量

主要有水文保证率法、最枯月平均流量法、径流系数法等计算方法，一般采用枯水期、保证率为90%以下的流量。设计水文条件的计算按SL 278的规定执行。

d) 流速

——当实测资料比较丰富时，能绘制出水位—流量、水位—面积关系曲线，若设计流量已知，则可推出各断面的设计水位和相应的面积；

——当资料不足时，可采用经验公式法计算各个断面的流速，也可通过实测法确定。

e) 降解系数

影响因素包括水文特征、污染物自身性质等，计算方法主要有水团追踪实验法、实测资料反推法、类比法、分析借用法等。典型降解系数推导见附录A。

6.7 水环境容量计算分析与确定

选择合适的水质模型进行水环境容量的计算。每个水环境功能区可以调整设计条件得出多个水环境容量计算结果，根据前述的容量确定原则，分析各个排污口污染负荷削减的技术经济可行性，利用线性规划模型或其他的数学方法，从一组水环境容量结果中确定合理的水环境容量。

7 污染负荷分配方法

7.1 分配方法

常用的总量分配方法包括等比例分配法、基尼系数法、层次分析法、信息熵法和最优化模型法等。典型分配方式见附录B。

7.2 等比例分配法

- 适用于排污口（点源）的定向分配，是一种以区域内分配对象的现状排放量，按等量的削减比例分配排污量的分配方法；
- 优点是操作简便，能够较好地依托于实际情况，符合当前我国的实际经济水平；
- 缺点是没有考虑到各个区域经济水平之间的差异以及各个排污口的实际情况，无法在有效提高水资源处理效率的同时降低资源处理成本。

7.3 基尼系数法

- 是基于公平性原则进行污染物的总量分配，也是一种比较实用的定量方法。在环境领域基尼系数的概念反映各个区域的单位经济、社会或环境资源指标所负荷污染物排放强度的平等程度；
- 优点是在分配的同时考虑社会、经济和环境等多个方面的因素，通过建立合理的逻辑关系，使分配更合理、更公平；
- 缺点是作为决策依据的评价指标体系，存在指标少、不够全面的问题，并且忽略了不同指标在负荷分配过程中的差异性，导致结果模糊不准确，并且其自身也无修正方案。

7.4 层次分析法

- 较多地适用于以区域主体的水环境污染物的总量分配。
- 优点是全面地考虑了影响污染物排放的因素，同时还考虑了各区域差异的因素，是综合了社会、经济、技术以及环境等方面的一种分配方法，具有很强的科学性和全面性。
- 缺点是需要大量的基准数据，操作性差，权重的确定多采用专家打分法，具有较强的主观性。

7.5 信息熵法

- 既适应于行政区划，也适应于自然流域，但其操作较为繁琐，且需耗费一定的人力物力。

7.6 最优化模型法

- 以效率为分配要义，力求分配过程中实现效益最大，可同时适用于流域污染源和行政区域分配。
- 采用线性规划模型、非线性规划模型、动态规划模型等最优化模型，通过设定目标函数和约束参数，计算出模型的优化解，并从中得出最优化的污染物总量分配方案。
- 限定条件较多，需要制定详细的数据模型，且模型会依据分配主体而发生变化，导致不具备大规模的使用前提。

附录 A

(资料性)

降解系数推求方法

A.1 水团追踪试验法

选择合适的河段，布设监测断面，确定试验因子。测定排污口污水流量、污染物浓度（试验因子），测定试验河段的水温、水面宽、流速等。根据流速，计算流经各监测断面的时间，按计算的时间在各断面取样分析，并同步测验各监测断面水深等水文要素。整理分析试验数据，计算确定污染物降解系数。

A.2 实测资料反推法

用实测资料反推法计算污染物降解系数，首先要选择河段，分析上、下断面水质监测资料，其次分析确定河段平均流速，利用合适的水质模型计算污染物降解系数，第三采用临近时段水质监测资料验证计算结果，确定污染物降解系数。

河段选择时，为减少随机因素对计算结果的影响，应尽量选择没有排污口、支流口的河段作为计算河段，这样可以排除入河污染物量和入河水量随机波动对水质监测结果的影响。

$$K = (\ln C_1 - \ln C_2) u / l$$

其中： C_1 、 C_2 分别为河段上、下断面污染物浓度， L 为上下断面距离， U 为流速。

A.3 类比法

根据国内外有关文献提及的部分河流污染物降解系数，选择水文条件相近的河流类比运用。

A.4 分析借用法

对于以前在环境影响评价、环境规划、科学研究、专题分析等工作中可供利用的有关数据、资料经过分析检验后采用。

A.5 模型率定法

可根据污染排放与水质响应关系模型及实测数据对综合衰减系数进行率定，模型验证宜采用与模型参数率定不同组实测资料数据进行。

附录 B

(资料性)

污染负荷分配方法

B.1 基尼系数法负荷分配

20 世纪初，意大利数学家基尼通过对洛伦茨曲线的研究提出了基尼系数。基尼系数最初主要用来衡量一个地区的居民收入和财富分配的不平等程度。现已逐渐应用于污染物总量分配、能源分布和资源消耗的公平性评价。

B.1.1 评价指标的选取

在研究污染物总量分配公平性的过程中，选取合适的评价因子至关重要。为了保证污染物削减分配结果具有较好的操作性，分配模型可将社会人口、公共财政收入、土地面积、污染物排放量等作为主要考虑因素。

B.1.2 分配模型权重的计算

(1) 效益系数的计算

根据选择的评价指标，通过权重的分配对在水环境总量进行分配。整个分配过程中需遵循公平和效益的原则，客观反映分配结果体现经济性、社会性和历史性。分配模型如下：

$$W_i = W \cdot (a_1 \cdot S_i + a_2 \cdot E_i + a_3 \cdot D_i + a_4 \cdot T_i)$$

$$S_i = S_i^1 / \sum S_i^1$$

$$E_i = E_i^1 / \sum E_i^1$$

$$D_i = D_i^1 / \sum D_i^1$$

$$T_i = T_i^1 / \sum T_i^1$$

式中， W 为水文控制单元内水环境容量，单位为t/a；

W_i 为第*i*个区域分配到的水环境容量，单位为t/a；

S_i 为第*i*个区域的社会效益系数， S_i^1 为第*i*个单元人口总数；

E_i 为第*i*个区域的经济效益系数， E_i^1 为第*i*个单元的公共参政收入，单位万元；

D_i 为第*i*个区域的污染物贡献率， D_i^1 为第*i*个单元的污染物排放量，单位t/a；

T_i 为第*i*个区域的土地面积占比系数， T_i^1 为第*i*个单元的土地面积大小，单位km²；

a_1 、 a_2 、 a_3 、 a_4 为各指标权重。

(2) 权重确定

分析各指标权重的大小一般会进行一次等比例分配，比如对4个指标进行分配，各指标的分配权重均为25%。以等比例为参考，结合区域实际情况，对个指标的权重值进行调整。首先考虑各因素对分配结果的影响，可以适当的增加本区域内对污染物排放影响较大的因素的权重，减少影响较小因素的权重。

B.1.3 初始容量分配

根据各水文控制单元内行政区域的划分，按照确定的权重对各区域初始容量进行分配。

B.1.4 公平性评估

采用基尼系数法对分配结果进行公平性评估。基尼系数是一个经济学概念，它是通过绘制洛伦茨曲线计算得来，在经济学里可以反映社会收入的公平性。基尼系数最大为“1”，最小等于“0”。基尼系数越接近0表明收入分配越是趋向平等。国际惯例把0.2以下视为收入绝对平均，0.2-0.3视为收入比较平均；0.3-0.4视为收入相对合理；0.4-0.5视为收入差距较大，当基尼系数达到0.5以上时，则表示收入悬殊。

在分配结果评估过程中，选择区域内人口数、公共财政收入、土地面积及排污量等为分配指标，分别计算单位人口、单位公共财政收入、单位土地面积和单位排污贡献率下的百分比，通过递增的顺序进行排列，然后分别与累计的人口比、公共财政收入比，土地面积比和排污贡献率进行相关计算，得到5种方案下的各指标的基尼系数。

基尼系数的计算公式如下：

$$G_{ini} = 1 - \sum_{i=1}^n (X_i - X_{i-1})(Y_i + Y_{i-1})$$

式中， X_i 为评估指标的累计比(%)； Y_i 为累计削减容量比(%)； i 为分配对象数量，当 $i=1$ 时， $(X_{i-1}, Y_{i-1}) = (0, 0)$ 。

B.2 层次分析法负荷分配

层次分析法，简称AHP，是指将与决策总是有关的元素分解成目标、准则、方案等层次，在此基础上进行定性和定量分析的决策方法。

B.2.1 建立层次结构模型

将决策的目标、考虑的因素（决策准则）和决策对象按它们之间的相互关系分为最高层、中间层和最低层，绘出层次结构图。最高层是指决策的目的、要解决的问题。最低层是指决策时的备选方案。中间层是指考虑的因素、决策的准则。对于相邻的两层，称高层为目标层，低层为因素层。

B.2.2 构造判断(成对比较)矩阵

在确定各层次各因素之间的权重时，如果只是定性的结果，则常常不容易被别人接受，因而Saaty等人提出一致矩阵法，即不把所有因素放在一起比较，而是两两相互比较，对此时采用相对尺度，以尽可能减少性质不同的诸因素相互比较的困难，以提高准确度。如对某一准则，对其下的各方案进行两两对比，并按其重要性程度评定等级。 a_{ij} 为要素 i 与要素 j 重要性比较结果，表1列出Saaty给出的9个重要性等级及其赋值。按两两比较结果构成的矩阵称作判断矩阵。判断矩阵具有如下性质：

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$$

判断矩阵元素 a_{ij} 的标度方法如下：

表B.1 比例标度表

因素i比因素j	量化值
同等重要	1
稍微重要	3
较强重要	5
强烈重要	7

极端重要	9
两相邻判断的中间值	2, 4, 6, 8

B.2.3 层次单排序及其一致性检验

对应于判断矩阵最大特征根 λ_{\max} 的特征向量，经归一化(使向量中各元素之和等于1)后记为 W 。 W 的元素为同一层次因素对于上一层次因素相对重要性的排序权值，这一过程称为层次单排序。能否确认层次单排序，则需要进行一致性检验，所谓一致性检验是指对 A 确定不一致的允许范围。其中， n 阶一致阵的唯一非零特征根为 n ； n 阶正互反阵 A 的最大特征根 $\lambda \geq n$ ，当且仅当 $\lambda = n$ 时， A 为一致矩阵。

由于 λ 连续的依赖于 a_{ij} ，则 λ 比 n 大的越多， A 的不一致性越严重，一致性指标用 CI 计算， CI 越小，说明一致性越大。用最大特征值对应的特征向量作为被比较因素对上层某因素影响程度的权向量，其不一致程度越大，引起的判断误差越大。因而可以用 $\lambda - n$ 数值的大小来衡量 A 的不一致程度。定义一致性指标为：

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1}$$

$CI = 0$ ，有完全的一致性； CI 接近于0，有满意的一致性； CI 越大，不一致越严重。

为衡量 CI 的大小，引入随机一致性指标 RI ：

$$RI = \frac{CI_1 + CI_2 + \dots + CI_n}{n}$$

其中，随机一致性指标 RI 和判断矩阵的阶数有关，一般情况下，矩阵阶数越大，则出现一致性随机偏离的可能性也越大，其对应关系如表2：

表2 平均随机一致性指标 RI 标准值

(不同的标准不同， RI 的值也会有微小的差异)

矩阵阶数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

考虑到一致性的偏离可能是由于随机原因造成的，因此在检验判断矩阵是否具有满意的一致性时，还需将 CI 和随机一致性指标 RI 进行比较，得出检验系数 CR ，公式如下：

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

一般，如果 $CI < 0.1$ ，则认为该判断矩阵通过一致性检验，否则就不具有满意一致性。

B.2.4 层次总排序及其一致性检验

计算某一层次所有因素对于最高层(总目标)相对重要性的权值，称为层次总排序。这一过程是从最高层次到最低层次依次进行的。方案层对总量的分配权重为：

$$W = (W_1, W_2, W_3, \dots, W_n)^T$$

各区域分配总量为：

$$W_i = \text{diag}(W_z)W$$

其中， W_i 为各区域分配的总量， W_z 为区域的目标总量， W 为方案层的目标权重系数。

B.3 信息熵法负荷分配

B.3.1 数据标准化

将各个指标的数据进行标准化处理。

假设给定 k 个指标 X_1, X_2, \dots, X_k ，其中 $X_1 = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 。假设对各指标数据标准化后的值为 Y_1, Y_2, \dots, Y_k ，那么 $Y_{ij} = \frac{X_{ij} - \min(X_i)}{\max(X_i) - \min(X_i)}$ 。

B.3.2 求各指标的信息熵

根据信息论中信息熵的定义，一组数据的信息熵 $E_j = -\ln(n)^{-1} \sum_{i=1}^n (p_{ij} \ln p_{ij})$ 。其中 $p_{ij} = \frac{Y_{ij}}{\sum_{i=1}^n (Y_{ij})}$ ，

如果 $p_{ij} = 0$ ，则定义 $\lim_{p_{ij}=0} (p_{ij} \ln p_{ij}) = 0$ 。

B.3.3 确定各指标权重

根据信息熵的计算公式，计算出各个指标的信息熵为 E_1, E_2, \dots, E_k 。通过信息熵计算各指标的权重：

$$W_i = \frac{1 - E_i}{k - \sum E_i} \quad (i = 1, 2, \dots, k)。$$

B.4 最优化模型法负荷分配

B.4.1 确定决策变量和目标变量；

决策变量和参数。决策变量是由数学模型的解确定的未知数。参数表示系统的控制变量，有确定性的也有随机性的。

B.4.2 确定目标函数的表达式；

这是作为系统决策变量的一个数学函数来衡量系统的效率，即系统追求的目标。

B.4.3 寻找约束条件；

由于现实系统的客观物质条件限制，模型必须包括把决策变量限制在它们可行值之内的约束条件，而这通常是用约束的数学函数形式来表示的。

B.4.4 建立最优化模型。

将一个最优化问题用数学语言来描述，即为求函数 $u = f(x), x = (x_1, \dots, x_n), x \in \Omega$ 在约束条件 $h_i(x) = 0, i = 1, 2, \dots, m$ 和 $g_i(x) \geq 0 (g_i(x) \leq 0), i = 1, 2, \dots, p$ 下的最大值或最小值，其中 $f(x)$ 为目标函数， x 为决策变量， Ω 为可行域。