

城市环境质量综合评价指标体系研究之一

综合评价指标体系总报告

程春明 朱建平 周 泓 赵银慧

(中国环境监测总站, 北京 100012)

该研究系世行JGF项目,由国家环保局城市处组织、实施。其目的是为了城市环境综合整治定量考核的进一步深入及指标的调整提供科学依据。该研究为区域环境质量评价提供了一整套系统方法,并提出了一个城市环境质量综合指标及计算方法。

1 城市环境质量评价的基本问题

1.1 现状评价中的主要问题:纵观国内外环境质量评价的现状,环境质量评价中有如下特点和问题。

- (1) 单因子的评价为主,目的性明确;
- (2) 因子间评价结果缺乏有机的联系,难于比较(可比性差);
- (3) 评价结果缺乏层次,构不成系统;
- (4) 各国选用标准差异甚大,等标负荷中往往忽略标准的等价性问题;
- (5) 综合评价理论依据不足。主观性强,与评价目的有关。

建立合理、实用的综合评价体系难点在于,指标间关系的建立。从多方面、多层次以一体化的准则建立指标体系是综合评价的基础,没有一个相一致的标准体系支持,综合的工作难于完成,也只能象目前所进行单项评价的汇总,进行缺乏一体化的等标负荷评价等。

1.2 本课题研究的基本方法:如果以经济方法、统计学方法、毒理和生理学方法评价环境质量,有的缺乏现实可行性;有的无法从理论意义上解释指标统计结果的科学内

涵。要获得不同指标因子相应条件下第一手实验结果,变通的方法只能借鉴长期以来人们所进行的不同条件下的各种实验结论。不同的国家和民族必然存在一定个体的差异,我们只能从人类群体的概念出发,建立起一个相对科学的,以人体健康、生存条件为前提的统计指标体系,并以经济的方法来说明综合指标的可行性。这也就是本课题的研究方向和可行的技术途径。

2 指标选择和因子等级设计原则

本课题主要从水、气、物理和生物四个主要指标域(环境场)选取指标因子来反映整体环境质量状况。

在每一个分指标域中,统一采用系统分级将各因子分为五级环境效应状态,每一级给出统一的界面,划分原则如下:

(1) 一级环境效应状况:主要体现在适宜人类生活(疗养)的较安逸、舒适的清洁环境,适宜生物生长。上限界面不应超过一般的卫生标准,即卫生标准以下的基准水平环境质量,可称其为“清洁”环境质量。

(2) 二级环境效应状况:主要反映人类生活,生物生长未受到污染危害的正常环境。上限界面不应超过一般的年均环境标准,即处于卫生基准之上,年均环境标准以下的未受到环境污染的环境质量,可称其为“安全”环境质量。

(3) 三级环境效应状况:主要表现为广大人群一般尚未发生急性和明显的慢性疾

病、中毒事件,一般生物尚能正常生长,但人体和生物都存在长期效应的可能。对敏感性的生物和人体有受害现象出现。上限界面不应超过一次最大的环境标准,即处于环境均值标准和一次最大的环境标准之间,可称其为“预警”环境质量。

(4)四级环境效应状况:主要表现为人群明显存在慢性疾病和中毒事件,人类健康受到威胁,有短期效应的可能,存在长期效应,敏感个体存在急性中毒现象,生物生长一般均受明显影响,敏感生物受害严重。上限界面一般在环境阈值以下,可称其为“危险”环境质量。

(5)五级环境效应状况:主要表现为人群健康和生物受害严重,人群普遍出现急、慢性疾病和中毒现象,短期效应明显,敏感个体严重者可导致死亡,敏感生物无法生长和存活。下限界面一般以环境阈值为界,主要界面值来自毒理、生理学实验结果,或相当的资料统计结果。可称其为“危害”环境质量。

3 指标体系

3.1 指标体系结构

为了设计出满足系统论原理的指标体系,首先以指标体系构成的四个方面基本特征为前提,即总体性、多项性、层次性、关联性。

(1)总体性要求指标完整,具有总体的代表性,各分指标具有典型性,并且统一以环境效应级别为着眼点,客观反映污染物对环境的实际效应程度为共同的目标。在设计上采用高效应等级优先的指数型计算方法,既符合环境污染物的污染效应级数关系,又能较全面综合不同级别的污染状况,突出反映高污染效应级别的环境质量状况。同时,对不同种类的污染通过计权的方式,使其达到一个相对平衡,得到一个区域的总体环境质量综合指标。综合指标用 T 来表

示:

$$T = \sum_{i=1}^n W_i PI_i$$

式中, W_i 为权重 即 $\sum_{i=1}^n W_i = 1$

PI_i 为分指标

(2)多项性要求指标不只是单一的,应具有多种属性,每一种指标有各自独特的属性,多种指标具有多种属性构成一个体系所必须的综合体。就城市自然环境要素而言,我们把大气、水质、物理环境和生物环境分别视为具有独立属性的四个主要方面。以该四个方面分别做为城市质量体系的分指标 PI 来考虑,构成一个相对完整的综合体。

分指标 PI 是由若干个分指标因子组成,分指标因子是指标体系的基本元素。分指标是通过其分指标因子的统计计算而来,表达式为:

$$PI = \ln \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^{m-1} \right)$$

式中, x_i 为某因子等效级换算值,
 m 为某因子等效级别数值。

(3)层次性是指指标体系以指标的环
境效应程度分解为若干层次,反映出不同层次环境效应的差别。从指标体系整体来看,综合指标反映的是一个区域总的环境质量状况,目的是用于各城市或区域间的横向比较即空间可比性,以及从纵向来看,时间的可比性也可通过综合指标来反映;分指标反映的是某一个方面环境质量状况,比如水质、大气等,而且反映出了环境质量变化的属性,即可以反映环境污染的类型及对人体和生态污染的主要途径;分指标因子反映的是污染源或具体的污染项目,它与环境质量和环境效应有直接的关系,可以产生直接的环境效应状况,例如对人体或生态环境造成危害,分指标因子对于环境状况也存在一个量的关系,所以可以根据其产生的环境效应进一步分解出若干层次。由此看来,综合指

标→分指标→分指标因子→分指标因子等级构成了指标体系的一个由宏观到微观的系统层次结构。

分指标因子是指标层次的基本单元,同时也是环境效应等级划分层次的对象,若设 C_i 为某分指标因子的观测值则相应的分指标因子等级换算值 X_i 定义为:

$$X_i = m + \frac{C_i - C_{m1}}{C_{m2} - C_{m1}}$$

其中 m 为某因子等级级别数值;

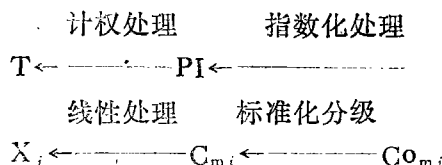
C_{m1} 为该观测值 C_i 所处等级级别下线值;

C_{m2} 为该观测值 C_i 所处等级级别上线值。

该函数的实际意义为在同一等级级内,以下线值为参照点做线性处理,假设在同一等级级内环境效应是呈线性关系的,这种关系可以简化指标计算,使指标易于应用,同时也满足指标连续性的原则。

(4) 关联性体现了指标体系中的纽带作用,各项之间和层次间都通过其内在的联系构成有机体,形成一个相互关系的完整体系。这种关联作用是指标等效可比的前提条件,我们把任何一个分指标因子的环境影响按统一给定的等级级划分,即对不同的分指标因子认为它们存在相应的环境效应等级,统一分为五个级别,在前面给出了每个环境效应等级的定性原则,在分指标研究中将对每个等级的界限定量化。关联性表现在层次

之间纽带作用更为突出,从分指标因子分级到综合指标的计算过程就是一个具体的关联表。



分指标因子经过标准化分级以后,再经过三个处理过程,使众多因子综合成为一个唯一的总指标,这一过程既考虑了每一个环境要素的作用(专家计权),又考虑了主要环境影响因子与环境效应间的极数变化关系,以环境效应的出发点(分级),使综合指标与环境效应联系在一起,具有实际应用价值,接近真实环境质量的变化状况(四项分指标的建立,由本刊下期起陆续发表—编者注)。

3.2 综合指标的计算:综合指标是对城市环境状况的总体表征,它是各分指标的信息汇总,它应该反映出各分指标的对比情况和总体效应,它应该复盖主要的分指标,不应缺项和随意增加指标。综合指标的统计结果,应来自固定的分指标及指标因子。只有如此,综合指标才具有可比性,才能发挥在环境管理中的独特作用。

采取专家咨询法,通过调查表的形式征求了70余个环境监测、科研、管理部门、大专院校及环境问题专家的意见。

表1 权重调查统计结果

项 目	大 气	水 质	噪 声	生 物
平均相对权重 X_i	0.83	0.80	0.60	0.46
权重 W_i	0.30	0.29	0.24	0.17

回收的72个调查表统计结果见表1,为大气、水质、噪声、生物四个方面的平均相对权重和权重值。

人们可以在沙漠及恶劣的环境中维持生存;聋哑人听不到声音仍可以生活;一个人

可以几天不饮水,但缺少了新鲜空气几分钟也不行。这说明了人类对不同的环境要素的依赖是有时间差别的,这个统计结果映证了这样的事实。另一方面弥补了在定性设计等效环境效应级时,未对不同环境要素的响应

时间的差异进行区分和修正的缺陷。所以对于分指标结果进行加权计算综合指标具有实际意义,且十分必要。

3.3 综合指标等级

(1) 综合指标与环境效应等级的关系: 综合指标是一个地区环境质量的综合反映,它从多角度、多因子评价环境质量的整体状况,它的评价基础是各环境因子的环境效应等级值,综合指标与各环境评价因子的关系是因果关系,各环境评价因子环境效应等级通过建立起等价关系,并以环境效应等级为桥梁计算出综合指标。因此,综合指标在反

映环境评价因子状况的同时,也必然反映出了因子的环境效应等级的状况。

(2) 综合指标的等级划分: 综合指标值划分等级的目的是为了使管理者便于对众多地区和城市的综合指标进行合理的归类管理,使用者能通过综合指标值的状况总体上了解环境评价因子的污染状况,即掌握环境评价因子的相应环境效应等级水平。

环境质量的等级以综合指标值的划分见表2。其中划分原则是以分指标即环境要素的环境效应级为主要依据。

表2 总指标类别划分

总指标类别	综合指标值划分环境质量类别 相应各因子环境效应等级		总指标值 范 围	每类 差值	总 体 环境 质量
	各分指标	各环境评价因子			
一	每项至多有一个二级	不会有四级或三个三级	0—0.400	0.4	清 洁
二	每项至少有一个二级 其余无三级	不会有五级	0.40—0.90	0.5	良 好
三	每项有一个三级 其余为一级	不会有二个不同项的四 级	0.90—1.50	0.6	一 般
四	每项至少有一个三级 其余为二级	不会有二个不同项的五 级	1.50—2.20	0.7	轻度污染
五	每项至少有一个三级 其余无四级	不会有三个不同项的四 级	2.20—3.00	0.8	中度污染
六	每项有一个四级	不会有三个不同项的五 级	3.00—4.00	1.0	重 污 染
七	每项至少有一个四级 其余无五级	不会有四个不同项的五 级	4.00—5.20	1.2	严重污染
八	每项至少有一个五级	不少于四个五级	5.20—6.44	1.24	极度污染

总体环境质量状况共分为八个类别,每个类别都与各因子环境效应等级建立起一个相应的关系。如总体环境质量状况的一类水平,相对于环境效应等级为每个环境要素(分指标)中至多有一个因子为二级水平。对应于所有评价因子而言,一类水平中,不会出现环境效应级为四级的因子,或同时出现三个因子环境效应级为三级的现象。

每个类别的类差来看,从一类到八类类差是逐步递增的。由综合指标的计算过程可知,当所有评价因子的环境效应级都为一级时,综合指标值为零。当所有评价因子的环境效应级都为五级时,综合指标值约为6.44,因此,综合指标值的值域为0—6.44。

4 指标论证

4.1 典型城市指标值分析论证：为了检验新指标体系的合理性，我们选出了具备计算条件的十个城市分别按第3部分的计算过程，92年度指标值见表3。十个城市中有西北地区的乌鲁木齐，西南地区的昆明，东北地区的长春，华北地区的济南，华南地区的广州，华东的上海、苏州、杭州，华中合肥、南昌，具有一定地域代表性。

从十个城市的类型来看，包括了重污染和轻污染的城市。大气污染重的城市包括了乌鲁木齐、济南；水质污染重的城市包括了济南、长春、昆明、上海等；噪声污染重的城市包括了上海、广州。十个城市中还包括了旅游城市杭州、苏州、昆明等，以及污染相对较轻的合肥、南昌等城市。由此看来，十个城市具有一定的典型性（表3）。

表3 十城市分指标及综合指标值

序 号	城市名称	API	WPI	NPI	BPI	T
1	济 南	3.01	5.70	2.49	5.36	4.06
2	杭 州	1.57	0.28	2.49	3.61	1.76
3	南 昌	1.55	1.20	2.60	2.50	1.86
4	合 肥	0.56	4.85	2.27	4.22	2.84
5	长 春	1.41	5.08	1.06	4.13	2.85
6	昆 明	1.25	5.29	1.09	3.49	2.76
7	广 州	1.96	4.67	2.74	3.21	3.15
8	苏 州	1.52	4.20	2.59	4.12	3.00
9	乌鲁木齐	2.12	5.06	2.25	1.66	2.93
10	上 海	1.86	5.50	2.74	1.75	3.13

从分指标分析，大气质量评价的四项因子十个城市四十个数据中仅有一个达到环境效应四级，占2.5%为TSP项；环境效应三级的为13个，占32.5%；环境效应二级的为20个，占50%；环境效应一级的为6个，占15%。这个比例与大气污染的现状分析比较吻合。

从水环境质量评价的6个有机污染评价因子来看，十个城市中有6个数据达到了环境效应最高级五级，占10%，且集中在溶解氧和BOD₅两项上；达到环境效应四级的占28.33%；三级的占13.33%；二级的占20%，一级的占28.33%。明显地表现出水体的有机污染两极分化，并且污染水体已达十分严重的程度，十个城市中有1/2的出现水体重金属污染。这也与水体环境现状相一致。

声环境是以单一性指标因子分贝数来评

价，按功能区分别计算与相应标准差值，面积加权统计出全市平均等效声级水平，然后转换为环境效应等级，从十城市统计来看，80%为环境效应三级，其余为二级。总体上与环境现状相符。从各城市区的情况来看，超标十分普遍，约占2/3，个别区域超标达到了严重污染的程度，十个城市的居民文教区全部超标，这也是多年群众来信来访上告噪声污染居首位的主要原因之一。

水生生物的评价因子为三个，达到环境效应五级的有一个，约为4.3%，四级的约占40%，三级的约占20%，二级的约占20%，一级的约占13%。由此可见，水生生物的环境状况与水体环境质量状况大体相同，部分水生生物面临严重威胁，个别水体水生生物无法长期生存，只有1/3的水体适合水生生物的生存。这一评价结果与目前水生生物环

境现状基本相同。

从十个典型城市四项环境要素来分析, 水体污染是首要问题, 与其相应的水生生物的生存环境面临威胁; 噪声污染普遍而且严重; 大气环境1/3以上受到污染, 且个别北方城市非常严重。

综合指标表明, 十个城市的环境质量不同程度上都受到了污染(表4), 其中环境质量达到严重污染程度的城市有一个, 属于重污染的有三个城市, 中度污染占50%, 属

轻污染的城市也仅有一个。就严重污染的济南市而言, 其污染程度四项环境要素中的三项都排在十城市之冠, 大气中TSP的环境效应级为四级, 是大气中唯一的一个四级; 水体有机污染评价因子中有两个达到环境效应五级, 并存在重金属污染问题, 水生生物中唯一的一个环境效应五级也出现在济南; 噪声的全市平均等效声级处于环境效应三级水平, 位于十个城市的中等程度。

表4 十城市T等级

序 号	城市名称	T 值	T 等 级	等级说明
1	济 南	4.11	7	严重污染
2	杭 州	1.80	4	轻度污染
3	南 昌	2.31	5	中度污染
4	合 肥	2.85	5	中度污染
5	长 春	2.85	5	中度污染
6	昆 明	2.76	5	中度污染
7	广 州	3.58	6	重 污 染
8	苏 州	3.39	6	重 污 染
9	乌鲁木齐	2.95	5	中度污染
10	上 海	3.57	6	重 污 染

轻度污染的杭州市而言, 仅在水生生物中(叶绿素)出现一个环境效应四级, 大气中(降水酸度)出现一个三级, 噪声为三级, 其余均为二级以下水体又无重金属污染, 该评价结果较为客观地反映了杭州市的环境质量现状。

从十个城市环境质量排序来看, 济南污染最重环境质量最差; 杭州受污染程度最轻, 环境质量相对最好。十个城市环境质量由差到好排序为济南, 广州, 上海, 苏州, 乌鲁木齐, 长春, 合肥, 昆明, 南昌, 杭州。

广州排在第二位是因为水体评价因子中出现环境效应五级水平, 且生物项出现了四级水平。上海排在第三位主要是因为水体中

不仅出现环境效应五级水平和多个四级水平, 并且还出现重金属污染。苏州排在第4位是由于水体中出现4个环境效应四级, 并且噪声项和生物项都出现了四级水平。

4.2 方法对比论证: 以往的环境质量评价多是以单环境要素评价为主, 很少以整体环境来进行评价, 所以我们首先以新指标体系的分指标排序与常用的单因素评价指标排序进行对比, 然后以综合指标排序与城市综合整治定量考核中, 环境质量部分的排序进行分析论证, 阐述新体系的合理性及其特点。

从三个环境要素排序对比中可以发现, 新指标体系与原评价方法总体上是相关的, 且相关性较好。其原因是两者都是以因子的观测值为基础。

从大气环境来看,降水酸度做为指标因子替代降尘从整体未产生大变化,第一、二位和第十位未改变。指标有延续性,新体系指标对受酸雨影响的南方诸城市有微小前提,如广州、上海、南昌等;北方城市中仅尘较

重的城市名次后移明显,如长春。这种排序符合大气环境质量现状,较为客观地反映了各城市人为大气污染对环境质量的作用程度。

表5 新体系与原评价方法排序对比

序号	城市名称	大 气		水 质		噪 声	
		P值法	API	P值法	WPI	均值法	NPI
1	济 南	1	1	1	1	7	5
2	杭 州	6	5	10	10	1	6
3	南 昌	9	6	8	9	2	3
4	合 肥	10	10	4	6	6	7
5	长 春	3	8	3	4	9	10
6	昆 明	7	9	6	3	10	9
7	广 州	4	3	7	7	3	1
8	苏 州	8	7	5	8	5	4
9	乌鲁木齐	2	2	9	5	8	8
10	上 海	5	4	2	2	4	2
相关系数r		0.745		0.757		0.745	

水环境来看,新体系整体上也未有大变化,如第一、二位和第七、十位未变,延续性强,相关性较好。新指标体系突出了水体重金属污染的作用,如昆明和乌鲁木齐名次明显前提。五个水体重金属污染的城市分别排在前6位,同时兼顾了有机污染等级高的城市,如排在第五位的长春,虽无重金属污染,但有机污染评价因子中出现了一个五级、4个四级水平,有机污染相对严重。从另一角度反映出原评价方法可以看做是有机污染程度的一个排序。

十城市噪声排序来看,原有平均值法来考虑各区的要求(标准不同),简单算术平均也未顾及到各功能区面积的大小,因此计算出的结果难免不出现较大误差,如排在第一位的杭州各功能区的声级水平都较为接近0分贝左右,仅交通干线两侧为69分贝,未

超过标准。各城市功能区比较来看,杭州市的各功能区声级水平都不是最高的,噪声源来看杭州市也不是最多,交通车辆远不及广州等城市。所以杭州市排在第一位说明了原有方法存在很多问题。新的评价方法杭州市仅排在第六位,比较符合杭州市噪声污染的现状。若去除杭州外,新方法的统计排序与原方法的顺序较为接近,一般新方法结果比原结果排序提高一、二位。从新方法的结果看,广州、上海,排在十城市噪声污染的前两位其结论较为合理、可信。

新指标体系的综合指标T值与城考92年结果比较来看,城考的环境质量部分排序与T排序相关性很好。新体系增加了水生生物部分,济南的水生生物的环境效应等级最高为五级,危害最为严重。从而使得十城市中城考环境质量失分排在第二的济南变成了污

表6 与城市考核排序比较

序号	城市名称	环境质量		大 气		水 质		噪 声	
		城 考	T	城 考	API	城 考	WPI	城 考	NPI
1	济 南	2	1	1	1	2	1	8	5
2	杭 州	7	10	6	5	10	10	1	6
3	南 昌	8	9	8	6	5	9	5	3
4	合 肥	10	7	9	10	3	6	4	7
5	长 春	5	6	5	8	6	4	3	10
6	昆 明	9	8	4	9	9	3	7	9
7	广 州	4	2	3	3	8	7	6	1
8	苏 州	6	4	10	7	4	8	10	4
9	乌鲁木齐	3	5	2	2	1	5	9	8
10	上 海	1	3	7	4	7	2	2	2
相关系数r		0.770		0.648		0.248		0.618	

染第一位。使评价结果更趋合理。

从其它几项来看,城考选用评价因子数量较少,因此分单项比较相关性自然不会很好。

5 结论

本项课题研究,通过对环境质量变异的理论入手,分析和明确了城市环境质量评价指标的基本特性,设计了符合城市环境质量的分指标,建立了一整套从因子等级到分指标极数化计算模式,和专家调查权值计算的综合指标体系,通过方法对比,和十个典型城市的验算论证进一步说明了该指标体系的合理性、实用性。

5.1 指标的选择上遵从了典型、实用的原则,从实际工作出发,指标因子基本为常用的监测项目,使指标体系具有较强的实用性。

5.2 通过该项研究以环境效应程度划分环

境因子的污染状态,使各不同因子的环境效应等级相互关联,根据环境污染规律建立因子间的内在联系,使得环境质量真正成为一个有机的整体,解决了长期无法整体定量评价一个城市或地区环境质量的问题。

5.3 建立起了一整套分指标体系,通过对比论证表明,分指标具有较强的延续性,与历史的评价结果有较好的相关性,且解决了分指标因子的代表性问题。

5.4 用专家系统的方法,建立起了环境要素加权计算体系并以环境效应等级为依据,计算出了综合指标等级,即8类环境质量类别,对环境质量类别有了一个明确的划分。

5.5 环境质量评价指标体系不是一成不变的,但应具有相对的稳定性,这是可比的必要条件,指标是为管理服务的,指标的调整与环境认识、管理的水平密不可分,因此指标体系也是一个动态的体系,有一个不断调整完善的过程。

收稿日期:1994-09-10