

杭州市生态环境质量综合评价研究¹

束加稳, 杨文培

(中国计量大学经济与管理学院, 浙江杭州 310018)

【摘要】: 在国家生态省、市、县生态环境评价指标体系的基础上, 结合杭州市生态环境发展现状和国内外城市生态环境综合评价文献, 将杭州市生态环境质量综合评价指标体系分为自然、经济、社会三个子系统, 进而选择 SO₂ 年均浓度、PM_{2.5} 浓度、NO_x 减率等 43 个具体指标; 运用 IAHP 与熵值法相结合的方法作为本论文指标最终的权重值; 运用 AHP 对 2005—2015 年杭州市生态环境质量的变化情况进行评价, 从而为杭州市生态环境建设提供科学的参考。

【关键词】: 生态环境质量 AHP 熵值法 指标体系 评价

【中图分类号】: X22 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1671-4407(2019)02-128-07

1 引言

当今城市经济社会的高速发展以及人口的不断增加导致了有限的资源与社会经济发展之间的矛盾, 进而致使生态环境问题日益突出^[1]。杭州市第十二次党代会提出建设“独特韵味, 别样精彩”的世界名城, 是杭州未来发展的战略定位, 同时杭州市“十三五”规划提出生态环境更优美的发展目标。城市生态环境质量综合评价的目的是为了对城市的生态环境综合状况给出合理的评价, 从中找出在生态环境建设过程中存在的问题, 进而更好地促进城市经济、社会与生态环境的协调发展。

2 指标体系的构建与研究方法

2.1 指标体系的构建

本论文根据其生态学的原理, 城市生态系统是以人为主体的自然、经济和社会三大子系统, 在某一特定的区域内通过这三大子系统之间的协同作用, 所形成的一个复合的系统, 将城市生态系统分为自然、经济、社会三个子系统。持续的自然资源供给以及良好的环境与合理的社会结构才能够共同促进经济的可持续发展; 经济的稳定持续发展进而能够促进社会结构的良性发展; 居民的物质与精神生活水平得到大幅度的提高, 也能够进一步促进社会对自然环境的保护与改善。本文依据科学性、系统性、代表性、独立性、可操作性、稳定性 6 项原则, 从而确定了杭州市生态环境质量综合评价指标体系由目标层, 自然生态系统、经济生态系统和社会生态系统 3 大准则层, 生态资产、生态环境质量、环境治理、经济水平、经济结构、人口、生活质量和公平 8 个要素层以及 SO₂ 年均浓度、PM_{2.5} 浓度、NO_x 削减率等 43 个指标因子组成。因此本文从自然、经济和社会三个准则层构建符合杭州市实际情况的生态环境质量综合评价指标体系^[2-7]。指标体系结构如表 1 所示。

2.2 指标权重的确定

杭州市生态环境质量状况是众多评价指标综合作用的结果, 由于每个评价指标对杭州市生态环境质量的影响程度不同, 因

¹基金项目: 杭州市科技计划软科学研究项目“推进经济高质量发展的杭州绿色创新对策研究”(20190834M36)

第一作者简介: 束加稳(1989-), 男, 安徽舒城人, 硕士, 研究方向为低碳经济。E-mail: 670459366@qq.com

此需要对每个指标进行赋权，以体现出各个指标相对于评价对象的相对重要程度。

目标层	准则层	要素层	指标层	单位	属性	权重	
杭州市生态环境质量综合评价指标体系(A)	自然生态系统(A ₁)	生态资产(B ₁)	人均耕地面积(C ₁)	m ² /人	+	0.0052	
			人均水资源占有量(C ₂)	m ³ /人	+	0.0467	
			人均公共绿地面积(C ₃)	m ² /人	+	0.0217	
			建成区绿化覆盖率(C ₄)	%	+	0.0074	
		生态环境质量(B ₂)	空气质量大于等于二级标准的天数(C ₅)	天	+	0.0556	
			细颗粒物PM _{2.5} 均浓度(C ₆)	mg/m ³	-	0.0450	
			二氧化硫年均浓度(C ₇)	mg/m ³	-	0.0478	
			工业氮氧化物排放总量(C ₈)	万吨	-	0.0148	
			工业烟(粉)尘排放总量(C ₉)	万吨	-	0.0277	
			城市区域环境噪声平均值(C ₁₀)	分贝	-	0.0189	
			降水pH平均值(C ₁₁)	-	-	0.0051	
			酸雨率(C ₁₂)	%	-	0.0131	
		环境治理(B ₃)	城市年均温度(C ₁₃)	℃	-	0.0101	
			集中式饮用水源水质达标率(C ₁₄)	%	+	0.0159	
			城镇生活污水集中处理率(C ₁₅)	%	+	0.0085	
			工业固体废弃物利用率(C ₁₆)	%	+	0.0037	
			工业用水重复率(C ₁₇)	%	+	0.0039	
			二氧化硫削减率(C ₁₈)	%	+	0.0568	
			氮氧化物的削减率(C ₁₉)	%	+	0.0126	
		经济生态系统(A ₂)	经济水平(B ₄)	工业废气烟(粉)尘去除量(C ₂₀)	万吨	+	0.0040
				污染治理投入占GDP比例(C ₂₁)	%	+	0.0439
	年人均GDP(C ₂₂)			元/人	+	0.0433	
	GDP增长率(C ₂₃)			%	+	0.0098	
	年人均财政收入(C ₂₄)			元/人	+	0.0458	
	城乡收入比(C ₂₅)			-	+	0.0095	
	旅游年收入占GDP比重(C ₂₆)			%	+	0.0053	
	固定资产投资占GDP比重(C ₂₇)			%	+	0.0069	
	经济结构(B ₅)		社会销售品零售额(C ₂₈)	亿元	+	0.0573	
			进出口总额(C ₂₉)	亿美元	+	0.0151	
			第三产业占GDP比例(C ₃₀)	%	+	0.0164	
			单位GDP能耗(C ₃₁)	吨标煤/万元	-	0.0187	
			单位GDP电耗(C ₃₂)	千瓦时/万元	-	0.0080	
			单位GDP水耗(C ₃₃)	m ³ /万元	-	0.0435	
			R&D投入占GDP比例(C ₃₄)	%	+	0.0290	
	社会生态(B ₆)	人口	人口密度(C ₃₅)	人/km ²	-	0.0049	
		人口自然增长率(C ₃₆)	%o	+	0.0135		

系统 (A ₃)		城市化水平 (C ₃₇)	%	+	0.0091
		高等教育入学率 (C ₃₈)	%	+	0.0143
	生活 质量 (B ₇)	恩格尔系数 (C ₃₉)	—	—	0.0201
		人均住房建筑面积 (C ₄₀)	m ² /人	+	0.0133
	社会 公平 (B ₈)	亿元 GDP 安全事故死亡率 (C ₄₁)	%	—	0.1035
		城镇登记失业率 (C ₄₂)	%	-	0.0391
		基尼指数 (C ₄₃)	—		0.0062

注：“+”表示正向指标，表示负向指标。

本论文首先运用 IAHP 来构造判断矩阵，进而确定指标的权重向量 $w=(w_1, w_2, \dots, w_n)$ ，然后将原始数据的决策矩阵标准化，运用熵值法确定指标权重向量 $\beta=(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)$ ，最后将上述两种确定指标权重的方法结合在一起，进而确定最终的指标权重值，公式如下：

$$m_j = \frac{w_j + \beta_j}{2} \quad (1)$$

$$u_j = \frac{m_j}{\sum_{j=1}^n m_j} \quad (1 \leq j \leq n) \quad (2)$$

其中： w_j 是运用 IAHP 法确定的指标权重值； β_j 是运用熵值法确定的指标权重值；是运用 IAHP-Entropy 法确定的指标权重值，各指标权重值如表 1 所示。

2.3 研究方法

2.3.1 改进的层次分析法

AHP 是一种较好的权重确定方法。AHP 的运用既可以避免人为因素的影响，又可以客观地确定评价指标的权重值。本论文运用 IAHP，不仅有效地改善了传统的 AHP 在构造判断矩阵上的主观随意性，而且还可以使得判断矩阵更加科学^[8]。运用 IAHP 确定指标权重，其具体计算步骤如下。

(1) 建立层次结构模型。这一步骤与一般的 AHP 一样，将杭州市生态环境质量综合评价指标体系按照目标层、准则层、要素层与指标层依次列出，建立层次结构模型。

(2) 建立比较矩阵 A_{ij} 。运用三标度法，进行指标之间两两比较其相对重要性，得出比较矩阵 A_{ij} 。

$$A = \begin{bmatrix} A_{11} & \dots & A_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{n1} & \dots & A_{nn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$A_{ij} = \begin{cases} 2 & \text{(第 } i \text{ 指标比第 } j \text{ 指标更加重要)} \\ 1 & \text{(第 } i \text{ 指标比第 } j \text{ 指标同等重要)} \\ 0 & \text{(第 } j \text{ 指标比第 } i \text{ 指标更加重要)} \end{cases} \quad (4)$$

其中：A_{ij}第 i 指标与第 j 指标相对重要性的比值。

(3) 计算重要性排序指数。

$$r_i = \sum_{j=1}^n A_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (5)$$

$$r_{\max} = \max \{r_i\}, \quad r_{\min} = \min \{r_i\} \quad (6)$$

(4) 构造判断矩阵 B_{ij}对每组因素构造判断矩阵，其元素 b_{ij}的计算方法如下：

$$b_{ij} = \begin{cases} \frac{r_i - r_j}{r_{\max} - r_{\min}} (k_m - 1) + 1, & (r_i \geq r_j) \\ \left[\frac{r_j - r_i}{r_{\max} - r_{\min}} (k_m - 1) + 1 \right]^{-1}, & (r_i < r_j) \end{cases} \quad (7)$$

$$k_m = \frac{r_{\max}}{r_{\min}} \quad (8)$$

(5) 计算出判断矩阵 B_{ij}的传递矩阵 C_{ij}中的元素。

$$c_{ij} = \lg b_{ij} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (9)$$

(6) 计算出传递矩阵 C_{ij}的最优传递矩阵 D_{ij}中的元素。

$$d_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (C_{ik} - C_{jk}) \quad (10)$$

(7) 计算出判断矩阵 B_{ij}的拟优一致性矩阵 B' 中的元素。

$$b'_{ij} = 10^{d_{ij}} \quad (11)$$

(8) 计算 B' 的特征向量。先计算 B'_{ij} 中每一行各元素乘积 $M_i = \prod_{j=1}^n b'_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, n)$ ，再计算 M_i 的 n 次方根 $\bar{w}_i = \sqrt[n]{M_i} \quad (i = 1, 2, \dots, n)$ ，

最后对向量 $\bar{w}_i = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ 进行归一化：

$$w_i = \frac{\bar{w}_i}{\sum w_i} \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (12)$$

进而得出 $w=(w_1, w_2, \dots, w_n)$ 即为每组单排序的结果。

(9) 进行总层次排序。总层次排序要结合每一个指标的子指标进行乘积赋权，比如假设所求权重为 W_i ，某一指标的权重为 α ，那么其下层指标的权重为 $w=(w_1, w_2, \dots, w_n)$ ，最后的总排序后这些指标的权重为：

$$W_i = \alpha w_i \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (13)$$

2.3.2 熵值法

熵值法是依据评价指标的变化幅度对指标的影响来确定评价指标的权重，如果某一个评价指标值的变化幅度越大，那么其熵值就越小，说明这个指标所提供的信息量就越大，其指标权重值就越大；反之，就越小。熵值法是一种客观的评价指标权重的确定方法，它比主观确定的评价指标权重值更加客观。运用熵值法确定指标权重，操作简单，目前已经广泛应用到各行各业的评价工作中。

设有 m 个区域， n 个评价指标，指标值为 $X_{ij}(1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n)$ ，对于区域 j 的某项评价指标 i ，指标值 X_{ij} 间的差距越大，那么说明这个指标在综合评价中所起的作用就越大；如果某项指标的指标值全相等，那么说明这个指标在综合评价中就不起任何作用。因此，可以根据各个评价指标值的差异程度，以信息熵为工具来计算各个指标的权重，为多指标综合评价指标权重的计算提供了科学的依据^[9]。本论文运用 Excel，步骤如下：

对决策矩阵 $X=(x_{ij})_{m \times n}$ 用线性比例变换法作标准化处理，得到标准化矩阵 $Y=(y_{ij})_{m \times n}$ ，其中 $y_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j^*} (1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n)$ ， $x_j^* = \max x_{ij} \neq 0$ 并对标准化矩阵进行归一化处理，从而得到：

$$p_{ij} = \frac{y_{ij}}{\sum_{i=1}^m y_{ij}} \quad (1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n) \quad (14)$$

计算第 j 项指标的信息熵。

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m p_{ij} \ln p_{ij} \quad (1 \leq j \leq n) \quad (15)$$

计

其中： $k > 0$ ，是与 m 有关的常数， $k=(\ln/m)^{-1}$ ， $e_j > 0$ 。

计算第 j 项指标的差异性系数 g_j 对于给定的 j ， x_{ij} 的差异性越小，则 e_j 越大，当 x_{ij} 全部相等时， $e_j=e_{\max}=1$ ，此时对各区域间进行比较，指标 X_j 起不到任何作用；当各区域评价指标的取值相差越大时，那么 e_j 越小，说明这项指标评价所起作用越大。定义差异性系数 $g_j=1-e_j$ ；则当 g_j 越大时，说明这个指标就越重要。

计算指标权重值。计算公式为：

$$\beta_j = \frac{g_j}{\sum_{j=1}^n g_j} \quad (1 \leq j \leq n) \quad (16)$$

从而得出指标的权重向量 $\beta = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)$ 。

2.3.3 评价方法 层次分析法

本文运用层次分析法来计算杭州市生态环境质量综合评价指数 A。

(1) 要素层评价指数的计算。

$$B_i = \sum_{i=1}^n C_i W_i \quad (17)$$

其中 B_i 为第 i 个要素层评价指数值； n 为指标层所含的指标个数； C_i 为指标层的第 i 个指标层的指标评价指数； W_i 为指标层 i 个指标的权重值。

(2) 准则层评价指数的计算。

$$A_i = \sum_{i=1}^n B_i W_i \quad (18)$$

其中： A_i 为第 i 个准则层评价指数值； n 为要素层所含的指标个数； B_i 为要素层的第 i 个指标层的指标评价指数； W_i 为要素层第 i 个指标的权重值。

(3) 目标层指数的计算。

$$A = \sum_{i=1}^n A_i W_i \quad (19)$$

其中： A 为目标层评价指数值，即杭州市生态环境质量综合指数； n 为准则层所含的指标个数； A_i 为准则层的第 i 个准则层的指标评价指数； W_i 为准则层第 i 个指标的权重值。

3 杭州市生态环境质量综合评价

3.1 数据来源以及处理

杭州市生态环境质量综合评价指标体系中的各个指标的原始数据来源于 2006—2016 年《中国城市建设发展公报》《浙江省

统计年鉴》《杭州市统计年鉴》《杭州市水资源公报》《杭州市国民经济和社会发展统计公报》《杭州市环境状况公报》及环保局网站。

为使指标数据具有可比性，采取以下方式进行标准化处理，以消除其单位和量纲的影响，即当指标为正向指标时， $C_i = M_i / N_i$ ；当指标为负向指标时 $C_i = N_i / M_i$ 。其中， C_i 是第 i 个指标的评价指数值， M_i 是第 i 个值的数值， N_i 是第 i 个指标的标准值，参考国家标准，国家、省、市生态示范区标准，城市生态发展规划标准等。

3.2 评价指数的计算

根据公式(18)、(19)算出的准则层指数结果如表 2 所示，目标层综合指标指数结果如表 3 所示。

表 2 评价指标体系中的准则层指标计算数值

指标	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年
自然生态系统(A ₁)	0.565	0.625	0.616	0.653	0.717	0.779	0.751	0.843	0.773	0.761	0.955
经济生态系统(A ₂)	0.436	0.480	0.514	0.543	0.595	0.630	0.698	0.748	0.797	0.920	1.028
社会生态系统(A ₃)	0.457	0.480	0.485	0.533	0.545	0.601	0.655	0.718	0.752	0.791	0.837

表 3 评价指标体系中的目标层指标计算数值

指标	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年
杭州市生态环境质量综合指数(A)	0.502	0.548	0.556	0.593	0.642	0.694	0.714	0.787	0.776	0.818	0.952

3.3 生态环境质量综合评价的分级标准

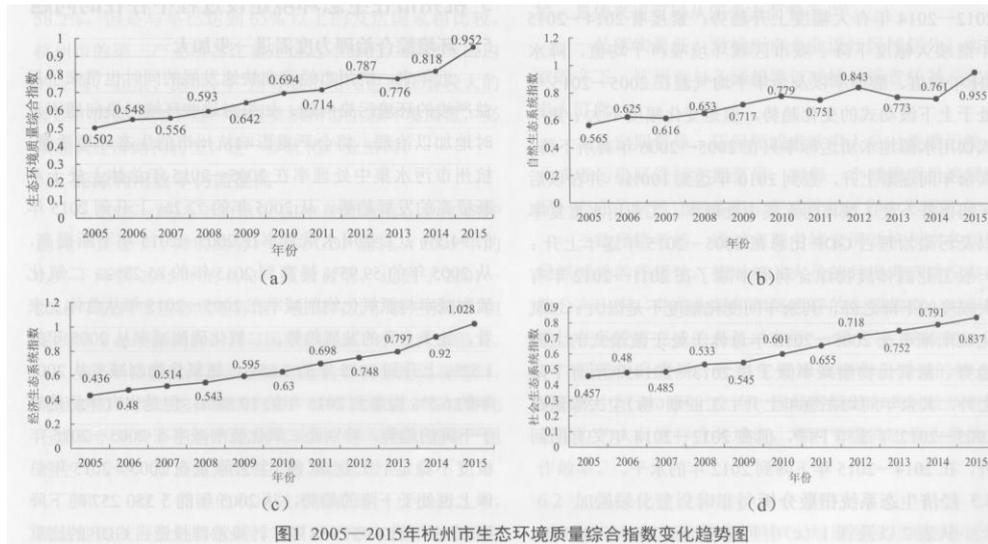
杭州市生态环境质量综合指数的数值大小并不能直接形象地反映出杭州市生态环境质量的状况，因此需要对其进行分级标准的界定^[10]，见表 4。

表 4 杭州市生态环境质量综合指数分级标准界定表

分级	生态环境质量综合指数值	评价
1	≥0.80	可持续发展性强，自然、经济、社会高度协调
2	0.65 ~0.80	可持续发展性一般，自然、经济、社会比较协调
3	0.35 ~0.65	可持续发展性弱，自然、经济、社会不太协调
4	0.20 ~0.35	可持续发展受到阻碍，自然、经济、社会不协调
5	≤0.20	可持续发展严重受到阻碍，自然、经济、社会 非常不协调

3.4 评价结果动态变化趋势图

为了便于研究分析杭州市生态环境质量状况，更加直观地反映杭州市生态环境质量在 2005—2015 年的变化情况，本论文根据 3.2 节的计算结果，做出杭州市生态环境质量综合指数变化趋势图(图 1)。



4 杭州市生态环境质量综合评价结果分析

4.1 杭州市生态环境质量综合指数分析

从表 3 和图 1(a)中可以看出, 2005—2015 年杭州市生态环境质量整体上呈现良好的发展态势。杭州市生态环境质量综合指数由 2005 年的 0.502 上升到 2015 年的 0.952, 等级由 2005 年的三级标准到 2010 年首次达到二级标准, 再 2014 年首次达到一级标准, 杭州市生态环境质量可持续发展性由弱变为一般再变为强, 自然、经济与社会生态系统由不太协调发展到比较协调再到高度协调。

尽管 2012—2013 年杭州市生态环境质量等级都为二级, 但是杭州市生态环境质量综合指数有所下降, 由 2012 年的 0.787 下降到 2013 年的 0.776。从图 1(c)、图 1(d)中可以看出, 尽管经济生态系统指数与社会生态系统指数均呈现良好的发展态势, 但是从图 1(b)可知, 自然生态系统指数大幅度的下降, 从而使得 2012—2013 年杭州市生态环境质量综合指数有所下降。具体来说, 在 2012—2013 年, 自然生态系统指数大幅度的下降, 主要是因为空气质量大于等于二级国家标准的天数大幅度下降, 由 2012 年的 336 天下降到 2013 年的 217 天; 人均水资源占有量大幅度下降, 由 2012 年的 2513.8m³/人下降到 1596m³/人; 工业烟(粉)尘排放量也大幅度上升, 由 2012 年的 33015 吨上升到 2013 年的 40243 吨。

4.2 自然生态系统指数分析

从表 2 以及图 1 (b)中可以看出, 2005—2015 年, 杭州市自然生态系统指数呈现波浪式上升的发展趋势。从整体上来看, 自然生态系统指数从 2005 年的 0.565 上升到 2015 年的 0.955, 但是从局部来看, 自然生态系统指数从 2005 年的 0.565 上升到 2006 年的 0.625, 再从 2006 年的 0.625 下降到 2007 年的 0.616, 从 2007 年的 0.616 上升到 2010 年的 0.779, 再从 2010 年的 0.779 下降到 2011 年的 0.751, 从 2011 年的 0.751 上升到 2012 年的 0.843, 再从 2012 年的 0.843 下降到 2014 年的 0.761, 从 2014 年的 0.761 上升到 2015 年的 0.955。

在 2005—2015 年, 杭州市自然生态系统指数呈现波浪式上升的发展趋势, 这是自然生态系统方面具体指标的各年数值的变化幅度以及各指标的相应权重的综合作用的结果。从具体指标的角度来分析, 主要是人均耕地面积在 2006—2015 年一直处于下降的趋势; 人均水资源占有量的变化趋势与自然生态系统指数的变化基本一致; 人均公共绿地面积在 2005—2010 年连续增长, 但是其之后年间略有所下降; 空气质量大于等于二级的天数在 2005—2012 年变化不大, 但从 2012—2013 年其天数变化很大,

由 2012 年的 336 天下降为 2013 年的 217 天，此后略有上升；建成区绿化覆盖率总体上呈现上升趋势；市区空气中二氧化硫浓度、细颗粒物 PM_{2.5} 年均浓度以及工业氮氧化物排放量都是逐渐下降；工业烟（粉）尘排放量在 2005—2012 年均在逐年下降，但在 2012—2014 年有大幅度上升趋势，紧接着 2014—2015 年继续大幅度下降；城市区域环境噪声平均值、降水 pH 年均值、酸雨率以及全年平均气温在 2005—2015 年处于上下波动式的变化趋势，但是变化幅度不大；集中式饮用水源地水质达标率只在 2005—2006 年有所下降，其余年间逐渐上升，直到 2010 年达到 100%，并在以后年间保持不变；城市污水集中处理率、工业用水重复率以及污染治理占 GDP 比总在 2005—2015 年逐年上升；一般工业固体废物综合利用率除了在 2011—2012 年有大幅度的下降之外，其余年间变化幅度不是很大；二氧化硫削减率在 2005—2015 年总体上处于波浪式的上升趋势；氮氧化物削减率除了在 2013—2014 年所有下降之外，其余年间均在逐年上升；工业烟（粉）尘去除量在 2005—2012 年逐年下降，但在 2012—2014 年又有所回升，在 2014—2015 年下降到 2012 年的水平。

4.3 经济生态系统指数分析

从表 2 以及图 1 (c) 中可以看出，2005—2015 年，

杭州市经济生态系统指数呈现平稳的上升趋势，经济生态系统指数由 2005 年的 0.436 上升到 2015 年的 1.028。其中，常住人口人均 GDP 由 2005 年的 40003 元一直持续上升到 2015 年的 112268 元；年人均财政收入由 2005 年的 7079.7 元一直持续上升到 2015 年的 24825.25 元；旅游总收入由 2005 年的 465 亿元一直持续上升到 2015 年的 2200.67 亿元；固定资产投资由 2005 年的 1277.8 亿元一直持续上升到 2015 年的 5556.32 亿元；社会消费品零售额由 2005 年的 975.43 亿元一直持续上升到 2015 年的 4697.23 亿元；进出口总额由 2005 年的 298.61 亿美元一直持续上升到 2015 年的 665.66 亿美元；第三产业占 GDP 比重由 2005 年的 44.1% 一直持续上升到 2015 年的 58.2%；单位 GDP 能耗、单位 GDP 电耗、单位 GDP 水耗总体上持续下降；城乡收入比总体上也处于下降趋势；R&D 投入占 GDP 比重处在上升趋势。

4.4 社会生态系统指数分析

从表 2 以及图 1 (d) 中可以看出，2005—2015 年，杭州市社会生态系统指数呈现平稳的上升趋势，社会生态系统指数由 2005 年的 0.457 一直持续上升到 2015 年的 0.837。其中，高等教育入学率由 2005 年的 47% 一直持续上升到 2015 年的 60.4%；城镇居民人均住房面积由 2005 年的 20.7m² 一直持续上升到 2015 年的 35.5m²；亿元 GDP 安全事故死亡率由 2005 年的 0.33 一直持续下降到 2015 年的 0.0688；城镇登记失业率由 2005 年的 3.71% 一直持续下降到 2015 年的 1.74%；同时人口密度持续增加。

5 杭州市在生态环境建设过程中存在的问题

5.1 环境综合治理力度需进一步加大

近年来，杭州市经济在快速发展的同时也带来了日益严峻的环境污染问题，如果对这些环境污染问题不及时地加以治理，将会严重影响杭州市的生态环境质量。杭州市污水集中处理率在 2005—2015 年总体上处于不断提高的发展趋势，从 2005 年的 72.2% 上升到 2015 年的 94.3%；工业用水重复率在 2005—2015 年不断提高，从 2005 年的 59.95% 提高到 2015 年的 85.23%；二氧化硫削减率与氮氧化物削减率在 2005—2015 年从总体上来看，处于上升的发展趋势，二氧化硫削减率从 2005 年的 1.52% 上升到 2015 年的 7.65%，氮氧化物削减率从 2005 年的 6.5% 提高到 2015 年的 10.88%，但是也有年份是处于下降的趋势，特别是二氧化硫削减率在 2005—2015 年极度不稳定；工业烟（粉）尘去除量在 2005—2015 年总体上也处于下降的趋势，从 2005 年的 5350257 吨下降到 2015 年的 4051458 吨；污染治理投资占 GDP 的比重在 2005—2015 年不断增加，从 2005 年的 0.52% 上升为 2015 年的 1.28%。杭州市要实现在“十三五”规划提出的生态环境更优美的发展目标，要使生态环境质量排在国内城市的前列，还需要进一步加大环境污染投资占 GDP 的比例，进一步加大对环境污染的治理力度。

5.2 绿化建设有待进一步提高

从 2005—2015 年的杭州市建成区绿化覆盖率的数据来看,呈现明显的上升趋势,从 2005 年的 37.31%一直上升到 2015 年的 40.43%。根据 2017 年中国城市建成区绿化覆盖率及公园绿地面积分析报告来看,我国华东地区城市的绿化覆盖率为 40.77%,而杭州市是低碳生态试点城市,2015 年的绿化覆盖率只有 40.43%;从 2005—2015 年的杭州市人均公园绿地面积的数据来看,在 2005—2010 年呈现明显的上升趋势,但之后年间呈现下降趋势,即从 2005 年的 10.19m²上升到 2010 年的 18.34m²,再下降到 2015 年的 15.1m²。尽管从中国城市的总体上来看,杭州市人均公园绿地面积不算低,但是与广东、北京、山东、重庆的这些城市相比,仍然存在差距。杭州市要建设独特韵味别样精彩的世界名城,同时要实现杭州市“十三五”规划提出的生态环境更优美的发展目标,杭州市绿化建设需要进一步提高。

5.3 产业结构需进一步优化

目前,杭州市依然处于工业化进程中,产业结构难以快速改变,从 2005—2015 年的第三产业所占比重可知,杭州市的产业结构一直在持续优化,第三产业所占比重越来越高,直到 2015 年第三产业所占比重为 58.2%。但是与早已达到 65%以上的发达国家相比较,杭州市的第三产业所占比重是远远不够的,即使与国内的上海、北京、深圳、广州等城市相比也存在着较大的差距。因此,为了进一步提高杭州市生态环境质量,必须加快经济结构转型,进一步优化产业结构。

5.4 能源利用效率仍需提高

从 2005—2015 年的单位 GDP 能耗来看,单位 GDP 能耗一直处于下降的趋势,单位 GDP 能耗从 2005 年的 0.87 下降到 2015 年的 0.43,成效显著,达到了 2001—2010 年杭州市生态规划标准,在国内处于领先水平,但是杭州市必须深刻意识到与国际先进水平差距还很大。

第一,目前杭州市的主要能源消费仍然是化石燃料,而且能源种类的选择相当有限,更何况煤炭、石油等化石燃料的消费不但会产生烟气和细小颗粒物,造成严重的空气污染,而且能源的利用效率也比较低。

第二,除了能源的利用效率需要进一步提高之外,清洁能源发展机制等碳减排项目还不够完善,这些都阻碍着杭州市生态环境质量的进一步提高。

第三,低碳技术的匮乏及推广受限。由于缺乏系统的低碳建设专项财政政策和相应的研究机构,低碳化方向的技术研究不够深入、范围不够宽泛,创新能力不足,加之低碳人才的紧缺使得低碳技术的发展较为缓慢。即使是现有的低碳技术也因为资金、制度和其本身技术的不成熟等方面的限制难以推广。目前,低碳技术的应用仍缺乏强有力的政府支持和引导,仍需要进一步突破。

5.5 居民生活质量需继续提高根据对杭州市 2005—2015 年的生态环境质量综合评价的结果来看,要素层生活质量的权重比较高,但是最终的得分却比较低,说明杭州市生活质量需要进一步提高。在 2005—2015 年,城镇恩格尔系数总体上处于下降趋势,从 2005 年的 34.85 下降到 2015 年的 26.68,虽然达到了杭州市 2001—2010 年生态规划标准,但还需继续进一步提高。

6 提高杭州市生态环境建设的对策

6.1 加大环境综合治理力度

在杭州市经济社会的迅速发展的过程中,也会引起资源过度开发,生活污水、工业废水、NO_x、SO₂等排放量增大。杭州快速

城市化给杭州市带来了一系列的环境污染问题，杭州市生态环境面临一些问题，需加大环境的综合治理力度。

要把 NO_x、SO₂ 等主要污染物的减排任务作为环保的核心工作来落实，从而才能真正做到一切都是为了减排。具体来说可以从四个方面着手^[11]。

一是落实责任。对杭州市企业进行区域划分，实施双管齐下，杭州市与各区都签订减排目标责任书，实行专人盯靠。

二是定期督导。环保局或者政府人员对重要污染企业或者污染区进行定期督导，对每一个减排项目进展情况、存在的问题详细备案，在减排的过程中不留死角。

三是严格考核。通过定期考核来调动杭州市各级领导抓减排的积极性。把对相关人员的月度考评情况及时地公布出来，并作为每年年终考评的主要依据，对年底累计任务没有完成的人员，实行“一票否决”的机制。

四是提升素质。针对主要污染物专业性强的特点，采取集中培训、网上交流、现场答疑等方式对杭州市区总量办的人员进行业务培训，有利于提升工作人员的工作效率。

6.2 加强绿化建设和维护

杭州市应当因地制宜的扩大绿地面积，根据各区域差异合理布局，优化绿化结构，使之努力朝着立体化方向发展，深入开展屋顶的绿化项目，利用建筑空间优化空气的同时美化环境。积极开展和鼓励全民义务植树活动，推广个人碳足迹计算器的使用，给公众一个直观的认识。此外，应当充分发挥杭州市水资源丰富的优势，在继续做好绿化、湿地保护工作的同时，加强对湿地水文条件和种植水生物的修复^[12]。

6.3 加快产业结构优化

杭州市必须找准定位，合理地利用区位优势，融入长三角，重视企业环节改造，并增强环保意识，积极引进低碳技术和设备，贯彻低碳生产理念。政府应该制定更高的企业排放地区标准，制定和完善产业政策，并辅之以准确有效的监测手段，加大调整力度，继续加强对高能耗产业和产品的控制、改造和淘汰工作，加大对低碳示范企业的奖励力度；要抓好重点用能

单位的节能降耗工作，合理协调各产业之间的能源分配，明确下达节能目标；严格把关新进企业的审批环节，坚决禁止高能耗、低产出项目的进入。

6.4 加快提高能源利用效率

6.4.1 积极开发并推广低碳能源

要从根本上解决能源利用效率低的问题，杭州市必须加快开发新能源的脚步。杭州市应当充分利用自然资源条件，开发利用太阳能、潮汐能等新的清洁能源，全面落实阳光屋顶工程的实施，推进生活垃圾发电等工程，加快建设农村沼气池项目，积极推广秸秆等燃料的使用。此外，坐落于钱塘江畔的杭州也完全可以建设潮汐能水电站，利用钱塘江丰富的潮汐能。同时还要积极思考新能源的推广利用，进而来替代煤炭、石油等传统的能源，提高低碳能源的消费比重，这也是杭州市未来发展的重点^[13]。

6.4.2 加大对低破技术的扶持力度

在低碳技术的发展方面，政府起着非常重要的作用。政府应当完善财税、税收、价格、金融等政策措施，设立专项资金，支持和鼓励低碳技术和低碳能源的市场化应用和普及，严把审批和监督环节；对办公用房、商场等大型商业建筑要及时进行能源审计，并公开其能源消耗情况，对碳的超额排放量进行收费；重视交流与合作，搭建好国内外平台，积极构建低碳生态城市发展合作机制和联盟，并招贤纳士，设立和投资专业研发团队，为促进杭州低碳生态城市更好地发展提供理论和技术支撑。

6.5 继续提高居民生活质量

根据对杭州市 2005—2015 年的生态环境质量综合评价的结果来看，要素层生活质量的权重比较高，但是最终的得分却比较低，说明杭州市生活质量需要进一步提高。在 2005—2015 年，城镇恩格尔系数总体上处于下降趋势，从 2005 年的 34.85 下降到 2015 年的 26.68，虽然达到了杭州市 2001—2020 年生态规划标准，但还需继续进一步提高。

6.5.1 统筹城乡环境基础设施建设

杭州市环境保护“十三五”规划，明确提出统筹城乡环境基础设施建设，并明确指出从三个方面推进：一是提升污水的集中处理能力；二是积极推进垃圾无害化处置；三是加强农村环境基础设施建设，从而将环境保护工作落到实处，让市民有更多的获得感。

6.5.2 调整城乡居民消费结构

从分析数据可以看出，杭州市城乡收入比尽管在逐年下降，但是差距依然很大。从住房、消费水平来看，均有大幅度地提升，消费结构也在不断优化，从恩格尔系数来看，食品消费支出占总支出的比例逐渐在减少。杭州是低碳生态试点城市，因此政府要积极引导市民践行绿色消费，提倡低碳交通，绿色出行。

参考文献:

- [1] 崔秀萍.城市生态环境质量现状与可持续发展研究 [J].未来与发展, 2011(7):8-11.
- [2] 董锁成,张佩佩,李飞,等.山东半岛城市群人居环境质量综合评价 [J].中国人口·资源与环境, 2017(3):155-162.
- [3] 万本太,王文杰,崔书红,等.城市生态环境质量评价方法 [J].生态学报, 2009(3):1068-1073.
- [4] 张强.基于栅格和层析分析法的生态环境质量评价研究——以平凉市为例 [J].甘肃科技, 2016(15):26-27.
- [5] 纪芙蓉,赵先贵,朱艳.西安城市生态环境质量评价体系研究 [J].干旱区资源与环境, 2011(10):48-51.
- [6] 杨金权,张杰.嘉兴市生态环境质量状况评价与对策建议 [J].绿色科技, 2013(1):16-19.
- [7] 宁小莉,周璇,朱丽.包头市城市人居环境中生态环境质量评价 [J].内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2014(1):54-58.
- [8] 杨文培,何曙慧,杨播.基于 DPSIR 模型的城市大气评价指标设计 [J].统计与决策, 2017(3):59-62.

-
- [9] 朱蕾. 基于主成分分析法的扬州市生态环境质量评价 [D]. 扬州: 扬州大学, 2013.
- [10] 谢杨. 什邡市城市生态环境质量评价 [D]. 成都: 成都理工大学, 2014.
- [11] 安丰雪. 淄博市城市生态环境质量评价与可持续发展研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012.
- [12] 张瑜. 发达城市生态环境指标体系的优化与评价——以太仓市为例 [D]. 南京: 南京师范大学, 2012.
- [13] 杨文培, 束加稳, 王昕, 等. 杭州市能源—经济关系分析与节能促进机制研究 [J]. 生态经济, 2017(6): 33-37.