

文章编号:1000-5854(2014)05-0456-07

SOFM 神经网络在城市 空气质量信息公开指数评价中的应用

王纪利, 王林山

(中国海洋大学 数学科学学院, 山东 青岛 266100)

摘要:为推动城市大气污染治理,中国人民大学法学院与公众环境研究中心合作开发了城市空气质量信息公开指数(AQTI),并于2011年1月发布第一期评价结果,显示中国城市开展了一定的空气质量信息发布,但发布水平与发达国家(地区)的城市相比存在明显差距.分析各城市空气质量信息,正确评价城市间的环保工作状况是十分有意义的工作.提出了改进的SOFM神经网络,根据城市AQTI环境评价得分利用改进的SOFM神经网络对113个城市的环保工作状况进行分类,克服了用环境评价总得分排序法来评价城市间环保工作的片面性,并为各城市环保工作的重点提供了参考数据.

关键词:自组织特征映射;神经网络;空气质量信息公开指数;分类

中图分类号:TP 39 文献标志码:A DOI:10.11826/j.issn.1000-5854.2014.05.005

The Application of SOFM Neural Networks in the AQTI Assessment

WANG Jili, WANG Linshan

(Department of Mathematical Science, Ocean University of China, Shandong Qingdao 266100, China)

Abstract: For the promotion of urban air pollution control, Renmin University of China Law School and Public Environmental Research Center developed AQTI, and released the first phase of the evaluation result in January 2011. This result indicates that Chinese cities have carried out a certain releasing of air quality information, but have significant gaps compared to the developed countries (regions) cities. It is valuable to analysis the urban air quality information and orderly assesses the status of environmental protection work of cities. This paper proposes an improved SOFM neural network, and classify the status of environmental protection work of 113 cities in this improved SOFM neural network, according to AQTI environmental assessment score. This method overcomes the one-sidedness of using AQTI total score to evaluate the status of environmental protection work of cities, and provides reference data for the cities' environmental protection work.

Key words: SOFM; neural networks; AQTI; classify

SOFM神经网络是1981年由芬兰Helsinki大学的Kohonen提出^[1-2].Kohonen认为,一个神经网络接受外界输入模式时,将会分为不同的对应区域,各区域对输入模式具有不同的响应特征,而且这个过程是自动完成的^[3-4].自组织特征映射正是根据这一观点提出来的,其特点与人脑的自组织特性相类似.

SOFM神经网络模拟了哺乳动物大脑皮质神经元的侧抑制、自组织等特性.1984年,Kohonen利用

收稿日期:2013-06-15;修回日期:2013-09-28

基金项目:国家自然科学基金(11171374);山东省自然科学基金(ZR2011AZ001)

作者简介:王纪利(1988-),男,山东日照人,硕士研究生,研究方向为动力系统与神经网络.

SOFM 神经网络精确地构建了芬兰语言因素图;1986 年,他又利用 SOFM 神经网络组建了运动指令控制图^[5].引起了人们对 SOFM 神经网络的高度重视,形成了一类很有特色的无师训练神经网络模型.目前,SOFM 神经网络被广泛地应用于过程和系统分析(如系统辨识、故障诊断)、统计模式识别(如计算机视觉、纹理分析和分类)、通信(如自适应信号检测、信号均衡和图像编码)等多个领域.在国内外关于神经网络在 AQTI 环境评价中的应用至今未见报导,本文中,笔者将 SOFM 神经网络应用于对 AQTI 进行评估.

1 传统 SOFM 网络

1.1 SOFM 网络拓扑结构^[6-7]

SOFM 网络有 2 层,输入层模拟感知外界输入信息,输出层做出响应.输入层各神经元通过加权将外界信息汇集到输出层的各神经元.输入层节点数与样本维数相同,输出层也是竞争层,神经元的排列有一维线阵、二维平面、三维栅格阵等多种形式.

SOFM 网络最典型的组织方式是按二维平面组织,如图 1.网络有 m 个输出节点,按二维平面形式排列;有 n 个输入节点.所有输入节点与输出节点之间都有权值连接.

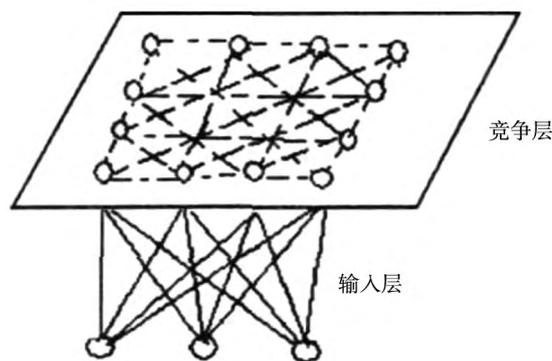


图 1 二维 SOFM 网络

1.2 SOFM 网络学习算法^[8-15]

1) 初始化.对输出层的连接权重赋予小的随机数,得到 $W_j(0), j=1,2,\dots,m$,确定初始优胜邻域 $N_j(0)$,学习率 η 赋初值;

2) 输入样本.从样本集中随机选取一个输入模式,得到 $X_p, p \in \{1,2,\dots,P\}$;

3) 寻找获胜节点.计算 $W_j(0)$ 和 X_p 的欧式距离, $j=1,2,\dots,m$,从中选取距离最小的作为获胜节点;

4) 确定优胜邻域 $N_j(t)$.以获胜节点为中心确定 t 时刻的权值调整域,一般初始邻域 $N_j(0)$ 较大,训练过程中 $N_j(t)$ 随时间逐渐缩小;

5) 调整权值.对输出层邻域 $N_j(t)$ 内的所有节点调整权值

$$W_j(t+1) = W_j(t) + \eta(t) \| X_p - W_j(t) \|, j \in N_j(t), 0 < \eta(t) < 1;$$

6) 结束本次训练.

然后,令 $t=t+1$,回到步骤(2),直到 $t=T$,其中 T 为设置的最大训练次数.

2 改进的 SOFM 网络

相对于传统的 SOFM 网络,本文中,笔者做了 2 方面的改进:第一,文献^[14]中 SOFM 网络权值初始化是随机赋值,而改进的网络是从样本集中随机选取样本向量作为网络初始权值,这样能够克服可能将全部样本分为一类的矛盾;第二,文献^[5]中 SOFM 网络学习率采用了先平稳后线性下降函数,这比文献^[12]中网络学习率采用的线性下降函数具有更快的收敛速度,而改进的网络采用一个余弦函数(见图 2),比上述文献中的网络有较高的效率和精度.

根据 2012 年 113 个城市 AQTI 评价总分和分项得分表,见表 1(附录),对各城市空气质量信息公开程度进行评估.

1) 网络结构设计.对表中 113 个城市进行编号,编号为 X_1, X_2, \dots, X_{113} ,得到样本集 $P=113$.将每个城市的 AQTI 分项的评价得分作为样本向量的一个分量,因此,样本向量 $X_i(i=1,2,\dots,113)$ 为 9 维向量.另外,由于目前没有机构和文献对 AQTI 进行系统权威的分级,故训练开始时,输出层神经元个数要适量设置,网络训练结束后没有被样本向量激活的神经元可以删掉.因此,首先设定输出层神经元个数为 9,即 $m=9$.

2) 权值初始化. SOFM 网络权重一般初始为较小的随机数,但样本整体上相对集中于高维空间的某个局部区域,权向量的初始位置却随机的分散于样本空间的较大区域,训练时离样本集最近的权向量被不断调整,并逐步进入全体样本的中心位置,而其他权向量因初始位置远离样本集而得不到调整,这样的结果可能

使全部样本都分为一类. 此处, 笔者从训练集中随机抽取个输入样本作为初始权值, 使权值的初始位置与输入样本的大致分布区域充分重合, 即

$$W_j(0) = X_{k_{ram}}, j = 1, 2, \dots, m.$$

其中 $X_{k_{ram}}$ 是从训练集中随机抽取的 m 个输入样本. 这样就克服了可能将全部样本分为一类的矛盾, 而且使训练次数大大减少.

3) 优胜邻域设计.

$$N_j(t) = N_j(0)e^{-A^t/T},$$

其中, $A=2, T=2\ 000$.

4) 学习率的设计. 学习率设计为如图 2 所示函数,

$$\eta(t) = \frac{\eta(0)}{2} \left(\cos\left(\frac{\pi t}{T}\right) + 1 \right),$$

其中, $\eta(0)=0.95$. 实验证明, 在网络训练初期, 学习率由 $\eta(0)$ 缓慢下降, 网络具有较强的权值调整能力, 能较快地捕捉到样本空间的基本结构; 进而, 学习率迅速下降并缓慢降至 0, 网络计算能够以较快的速度收敛.

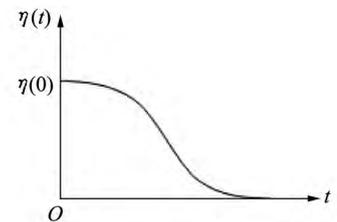


图 2 $\eta(t)$ 的函数图像

5) 结果分析. 网络训练结束后, 网络已具有聚类功能, 将样本向量逐一输入网络用 MATLAB R2010a^[16] 进行聚类计算. 其中, 输出层的 9 个神经元

有 2 个没有被任何样本向量激活, 也就是说网络将 113 个城市自组织的分成了 7 类, 结果如下:

I: $X_1, X_2, X_3, X_4, X_6, X_7, X_8, X_9$; 包括广州、深圳、东莞、中山、佛山、珠海、南京、苏州; 这些城市 AQTI 各项得分都比较高, 而且每一个分项得分都基本相同, 可见将这些城市分成一类是合理的, 但 I 类城市在挥发性有机物、铅和其他这 3 项中得分为 0, 政府应该加大对检测和工作力度.

II: X_5, X_{10} ; 包括北京、宁波; 这 2 个城市各项得分比较高但是没有划分到 I 类, 这是因为这 2 个城市在挥发性有机物、铅和其他(汞、苯并[a]芘、二噁英)这 3 项都有得分, 而其他城市这 3 项得分都为 0, 如果按照 AQTI 总分排名是反映不出北京、宁波这 2 个城市的特殊性的, 因而 SOFM 网络将这 2 个城市单独分为一类能够体现出这 2 个城市在挥发性有机物、铅和其他这 3 项所做出的成绩比其他城市要大.

III: $X_{11}, X_{12}, X_{17}, X_{18}, X_{19}, X_{20}, X_{23}, X_{24}, X_{27}$; 包括上海、武汉、西安、南宁、绍兴、天津、合肥、重庆、哈尔滨; 这些城市各项得分都处于相近水平, 但在一氧化碳和臭氧这 2 项得分都为 0 或接近于 0.

IV: $X_{13}, X_{14}, X_{15}, X_{16}, X_{21}, X_{22}, X_{25}$; 包括南通、厦门、成都、常州、无锡、扬州、连云港; 这些城市得分情况跟 III 类城市相似, 但是没有把它们同等对待, 这是因为这些城市在一氧化碳和臭氧 2 项得分都不为 0, 而 III 类城市在这 2 项都为 0 或接近 0, 这样分类就体现出了这些城市在一氧化碳和臭氧 2 方面做出的成绩比 III 类城市要大.

V: $X_{26}, X_{28}, X_{29}, X_{31}, X_{33}, X_{34}, X_{39}, X_{41}, X_{42}, X_{45}, X_{46}, X_{48}, X_{49}, X_{57}$; 包括嘉兴、太原、温州等 14 个城市; 这些城市各项得分普遍较低, 因此要加大工作力度对空气质量进行检测和发布.

VI: $X_{30}, X_{32}, X_{35}, X_{36}, X_{37}, X_{38}, X_{40}, X_{43}, X_{44}, X_{47}, X_{50}, X_{51}, X_{52}, X_{53}, X_{54}, X_{55}, X_{56}, X_{58}, \dots, X_{104}$; 包括抚顺、台州、贵阳等 64 个城市; 这些城市和 V 类城市得分类似, 但是 V 类城市在 PM2.5 这项都有得分, 而这些城市 PM2.5 得分都为 0, 这样就能体现出 V 类城市在测控 PM2.5 方面做出的工作成绩比 VI 类城市要大.

VII: X_{105}, \dots, X_{113} ; 包括秦皇岛、鄂尔多斯、焦作、本溪、潍坊、济宁、日照、曲靖、金昌 9 个城市; 这些城市评价得分基本为 0 或接近于 0, 是环保工作做的最差的一类城市, 需要发挥政府的执行力和公众的监督力共同督促这些城市做好环保工作.

从结果可以看出, 如果只按照原表(见附录表 1)中 AQTI 总得分排名来评价各城市环境工作的优劣是欠合理的, 因为 AQTI 总得分反映不了各个城市在各个分项的得分情况, 反映不了各个城市政府在各个分项中的工作情况, 同时也不能确定下一步工作要着重加大对哪个具体污染物的检测和发布力度, 而以上结果明确了各城市在各个具体污染物测控方面做出的成绩和不足, 给出了各个城市下一步的环境工作方向, 如果只按总分排名来评估是得不到这种效果的, 由此可见, 根据 AQTI 环境评价得分用 SOFM 网络对城市进行分类, 为政府提供环保决策提供参考数据是十分有意义的.

6) 跟其他算法的比较. 文献[5]中采用先平稳后线性下降的学习率函数

$$\eta(t) = \begin{cases} \eta(0), & 0 \leq t \leq T_p \\ \eta(0) \left(1 - \frac{t - T_p}{T - T_p}\right), & T_p < t \leq T. \end{cases}$$

较之其他算法具有很好的收敛速度和精度. 由于 $W_j(t)$ 是 9 维向量, 在图像中观察非常混乱, 故只观察 $W_j(t)$ 的第一分量的收敛情况, 其他分量的收敛情况类似, 如图 3, 其中, 深色为用文献[5]中算法得到的权值, 浅色为用本文算法得到的权值. 横坐标为训练次数 t , 纵坐标为 $W_j(t)$ 第一分量的值. 本文算法在 $t=1600$ 时权值已基本趋于稳定, 而文献[5]中算法权值此时仍变化很大, 直到 $t=2000$ 时才逐渐趋于稳定, 由此可见, 本文算法具有更好的收敛速度和精度. 如果用文献[12]或文献[5]中的算法对 AQTI 进行评价, 要得到跟本文相同的结果, 至少需要进行 2000 次网络训练.

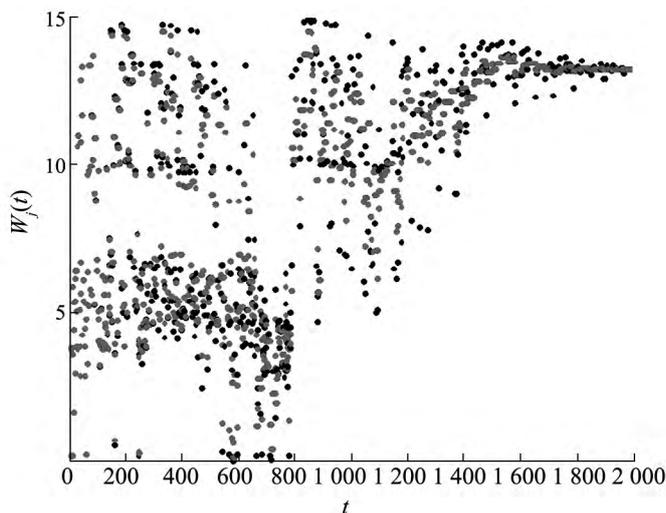


图3 权值收敛情况对比图

3 结束语

本文中, 笔者通过合理的初始化权向量, 并用一个余弦函数定义学习率, 改进了 SOFM 神经网络, 提高了网络算法的收敛速度和精度. 利用改进的 SOFM 网络对城市空气质量信息公开指数进行评估, 综合考虑了各城市在各个方面做出的成绩, 利用 SOFM 网络对高维数据有效聚类的特点, 根据 AQTI 环境评价得分有效的对城市进行分类, 提高了对城市环保工作评价的合理性, 指出了按总分排名不能全面地评价城市环保工作, 明确给出了各个城市下一步的环保工作重点. 在国内外关于神经网络在 AQTI 环境评价中的应用至今未见报导, 本文将 SOFM 神经网络应用于对 AQTI 进行评估是一个新颖的研究方向.

然而, SOFM 网络计算也存在急需解决的问题, 如处理大样本数据时, 网络神经元数目会激增, 出现 SOFM 网络的处理能力减弱的矛盾. 另外, SOFM 网络是将高维数据映射到低维空间, 而从高维映射到低维容易出现畸变问题^[17]. 因此 SOFM 网络还有很大的研究空间, 很多学者致力于 SOFM 网络学习算法的改进, 如将蚁群算法、遗传算法引入到 SOFM 网络学习算法, 也有学者在进行 SOFM 网络的应用研究, 如图像压缩、故障诊断等, 并取得了很好的研究成果. 作者将继续研究 SOFM 网络有关问题, 进一步探讨环评课题.

参考文献:

- [1] 韩力群. 人工神经网络理论设计及应用 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [2] 张乃尧, 闫平凡. 神经网络与模糊控制 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1998.
- [3] KOHONEN T. Engineering Application of Self-organizing Maps [J]. IEEE, 1996, 84(10): 1358-1384.
- [4] LAMPINEN J, OJA E. Distortion of Tolerant Pattern Recognition Based on Self-organized Feature Extraction [J]. IEEE Trans on Neural Networks, 1995, 3(6): 539-547.
- [5] 王晓雪, 王林山. 基于 SOFM 神经网络的学生综合评价 [J]. 河北师范大学学报: 自然科学版, 2011, 35(3): 239-243.
- [6] KOHONEN T. The Self-organizing Map [J]. Proceedings of the Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1990, 78(9): 1464-1480.
- [7] 朱大奇, 史慧. 人工神经网络原理及应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [8] HSIEH K L, JENG C C, YANG I C, et al. The Study of Applying a Systematic Procedure Based on SOFM Clustering Technique Into Organism Clustering [J]. Expert System with Application, 2007, 33: 330-336.
- [9] GAO W, FANG G L, ZHAO D B, et al. Chinese Sign language Recognition System Based on SOFM/SRN/HMM [J]. Pattern Recognition, 2004, 37: 2389-2402.
- [10] 陈善学, 王佳果, 彭娟, 等. 一种基于改进的 SOFM 神经网络的图像无损压缩方法 [J]. 电信科学, 2011, 7: 86-89.
- [11] 李鹏, 陈忠一. 自组织特征映射网络在故障诊断中的应用 [J]. 微型机与应用, 2011, 30(2): 116-118.

- [12] 马勇,阮洋. 基于改进的 SOFM 神经网络的矢量量化方法 [J]. 计算机工程与科学,2011,33(12):126-129.
- [13] 陈善学,杜锋,吴立彬. 一种改进的等误差自组织特征映射矢量量化算法 [J]. 重庆邮电大学学报:自然科学版,2011,23(2):155-160.
- [14] 王焱,王磊明,孙雁鸣. SOFM 模型在杂草图像识别中的应用 [J]. 计算机工程与科学,2011,33(4):98-101.
- [15] 魏淑珍,王菲凤,张江山. 基于 SOFM 网络法的天然草地分类 [J]. 草业学报,2011,20(1):175-182.
- [16] 张德丰. MATLAB 神经网络应用设计 [M]. 北京:机械工业出版社,2009.
- [17] ELMAGHRABY W. The Effect of Asymmetric Bidder Size on an Auction's Performance; Are More Bidder Always Better [J]. Management Science,2005,51(12):1763-1776.

附录:

表 1 2012 年 113 城市 AQTI 评价总分和分项得分

序号	城市	空气质量 信息评价 总得分 (满分 100 分)	可吸入 颗粒物 PM10 (15 分)	细颗粒物 PM2.5 (15 分)	二氧化硫 SO ₂ (15 分)	二氧化氮 NO ₂ (15 分)	一氧化碳 CO (10 分)	臭氧 O ₃ (10 分)	挥发性有 机物 VOCs (10 分)	铅 Pb (5 分)	其他(汞、 苯并[a]芘、 二噁英) (5 分)
1	广州	76	15	12.8	15	15	9.6	8.6	0	0	0
2	深圳	75	15	12.8	15	15	8.6	8.6	0	0	0
3	东莞	69	13.4	12.8	13.4	13.4	8	8	0	0	0
4	中山	67.6	13	12.2	13	13	8.2	8.2	0	0	0
5	北京	64.8	15	6.2	15	15	3.6	3.6	0	2.8	3.6
6	佛山	64.8	12.8	11.2	12.8	12.8	7.6	7.6	0	0	0
7	珠海	56.4	10	11.2	10	10	7.6	7.6	0	0	0
8	南京	56	13.8	6.2	13.8	13.8	4.2	4.2	0	0	0
9	苏州	55.2	12.8	7.6	12.8	12.8	4.8	4.4	0	0	0
10	宁波	54.8	12	6.2	12	12	4.2	4.2	1.6	0	2.6
11	上海	50.2	13.8	8.8	13.8	13.8	0	0	0	0	0
12	武汉	47.4	13.8	6	13.8	13.8	0	0	0	0	0
13	南通	44.2	10	6.2	10	10	4.2	3.8	0	0	0
14	厦门	43	10	6.4	10	10	0	6.6	0	0	0
15	成都	42.6	10	5.4	10	10	3.6	3.6	0	0	0
16	常州	39.6	7.8	7	7.8	7.8	4.8	4.4	0	0	0
17	西安	38.6	11	5.6	11	11	0	0	0	0	0
18	南宁	38.6	12.2	0	12.2	12.2	1	1	0	0	0
19	绍兴	37.8	11	4.8	11	11	0	0	0	0	0
20	天津	33.6	10.2	3	10.2	10.2	0	0	0	0	0
21	无锡	31.8	6.2	5.6	6.2	6.2	3.8	3.8	0	0	0
22	扬州	31.2	6.2	5.4	6.2	6.2	3.6	3.6	0	0	0
23	合肥	30.6	10.2	0	10.2	10.2	0	0	0	0	0
24	重庆	30.6	10.2	0	10.2	10.2	0	0	0	0	0
25	连云港	28.8	5.4	5.4	5.4	5.4	3.6	3.6	0	0	0
26	嘉兴	28.6	6.8	7.2	6.8	6.8	0	0	1	0	0
27	哈尔滨	27	9	0	9	9	0	0	0	0	0
28	太原	25.4	6.4	6.2	6.4	6.4	0	0	0	0	0
29	温州	24	6.4	4.8	6.4	6.4	0	0	0	0	0

续表 1

序号	城市	空气质量 信息评价 总得分 (满分 100 分)	可吸入 颗粒物 PM10 (15 分)	细颗粒物 PM2.5 (15 分)	二氧化硫 SO ₂ (15 分)	二氧化氮 NO ₂ (15 分)	一氧化碳 CO (10 分)	臭氧 O ₃ (10 分)	挥发性有 机物 VOCs (10 分)	铅 Pb (5 分)	其他(汞、 苯并[a]芘、 二噁英) (5 分)
30	抚顺	22.8	7.6	0	7.6	7.6	0	0	0	0	0
31	徐州	22.2	3.2	5.4	3.2	3.2	3.6	3.6	0	0	0
32	台州	22	6.8	0	7.6	7.6	0	0	0	0	0
33	杭州	20.4	4.6	6.6	4.6	4.6	0	0	0	0	0
34	唐山	19.8	4.8	5.4	4.8	4.8	0	0	0	0	0
35	贵阳	19.8	6.6	0	6.6	6.6	0	0	0	0	0
36	铜川	19.8	6.6	0	6.6	6.6	0	0	0	0	0
37	泰安	19.2	6.4	0	6.4	6.4	0	0	0	0	0
38	荆州	19.2	6.4	0	6.4	6.4	0	0	0	0	0
39	石家庄	19.2	4.6	5.4	4.6	4.6	0	0	0	0	0
40	宜昌	18.6	6.2	0	6.2	6.2	0	0	0	0	0
41	保定	18.6	4.4	5.4	4.4	4.4	0	0	0	0	0
42	盐城	18.6	2	5.4	2	2	3.6	3.6	0	0	0
43	南昌	18.6	6.2	0	6.2	6.2	0	0	0	0	0
44	烟台	18.6	6.2	0	6.2	6.2	0	0	0	0	0
45	临汾	18.2	4	6.2	4	4	0	0	0	0	0
46	湖州	18	3.8	6.6	3.8	3.8	0	0	0	0	0
47	安阳	18	6	0	6	6	0	0	0	0	0
48	阳泉	17.6	3.8	6.2	3.8	3.8	0	0	0	0	0
49	大同	17.4	4	5.4	4	4	0	0	0	0	0
50	株洲	16.8	5.6	0	5.6	5.6	0	0	0	0	0
51	昆明	16.8	5.6	0	5.6	5.6	0	0	0	0	0
52	宝鸡	16.8	5.6	0	5.6	5.6	0	0	0	0	0
53	九江	16.2	5.4	0	5.4	5.4	0	0	0	0	0
54	青岛	16.2	5.4	0	5.4	5.4	0	0	0	0	0
55	汕头	16.2	5.4	0	5.4	5.4	0	0	0	0	0
56	北海	16.2	5.4	0	5.4	5.4	0	0	0	0	0
57	长治	15.8	3.2	6.2	3.2	3.2	0	0	0	0	0
58	泉州	15.6	5.2	0	5.2	5.2	0	0	0	0	0
59	宜宾	15.6	5.2	0	5.2	5.2	0	0	0	0	0
60	石嘴山	15.6	5.2	0	5.2	5.2	0	0	0	0	0
61	福州	15	5	0	5	5	0	0	0	0	0
62	银川	15	5	0	5	5	0	0	0	0	0
63	锦州	14.4	4.8	0	4.8	4.8	0	0	0	0	0
64	芜湖	14.4	4.8	0	4.8	4.8	0	0	0	0	0
65	开封	14.4	4.8	0	4.8	4.8	0	0	0	0	0
66	洛阳	14.4	4.8	0	4.8	4.8	0	0	0	0	0
67	平顶山	14.4	4.8	0	4.8	4.8	0	0	0	0	0
68	常德	14.4	4.8	0	4.8	4.8	0	0	0	0	0
69	韶关	14.4	4.8	0	4.8	4.8	0	0	0	0	0
70	湛江	14.4	4.8	0	4.8	4.8	0	0	0	0	0
71	柳州	14.4	4.8	0	4.8	4.8	0	0	0	0	0
72	兰州	14.4	4.8	0	4.8	4.8	0	0	0	0	0
73	西宁	14.4	4.8	0	4.8	4.8	0	0	0	0	0

续表 1

序号	城市	空气质量 信息评价 总得分 (满分 100 分)	可吸入 颗粒物 PM10 (15 分)	细颗粒物 PM2.5 (15 分)	二氧化硫 SO ₂ (15 分)	二氧化氮 NO ₂ (15 分)	一氧化碳 CO (10 分)	臭氧 O ₃ (10 分)	挥发性有 机物 VOCs (10 分)	铅 Pb (5 分)	其他(汞、 苯并[a]芘、 二噁英) (5 分)
74	乌鲁木齐	14.4	4.8	0	4.8	4.8	0	0	0	0	0
75	济南	13.8	4.6	0	4.6	4.6	0	0	0	0	0
76	枣庄	13.8	4.6	0	4.6	4.6	0	0	0	0	0
77	郑州	13.8	4.6	0	4.6	4.6	0	0	0	0	0
78	长沙	13.8	4.6	0	4.6	4.6	0	0	0	0	0
79	湘潭	13.8	4.6	0	4.6	4.6	0	0	0	0	0
80	岳阳	13.8	4.6	0	4.6	4.6	0	0	0	0	0
81	桂林	13.8	4.6	0	4.6	4.6	0	0	0	0	0
82	西昌	13.8	4.6	0	4.6	4.6	0	0	0	0	0
83	邯郸	11.4	3.8	0	3.8	3.8	0	0	0	0	0
84	赤峰	11.4	3.8	0	3.8	3.8	0	0	0	0	0
85	沈阳	11.4	3.8	0	3.8	3.8	0	0	0	0	0
86	鞍山	11.4	3.8	0	3.8	3.8	0	0	0	0	0
87	长春	11.4	3.8	0	3.8	3.8	0	0	0	0	0
88	吉林	11.4	3.8	0	3.8	3.8	0	0	0	0	0
89	齐齐哈尔	11.4	3.8	0	3.8	3.8	0	0	0	0	0
90	大庆	11.4	3.8	0	3.8	3.8	0	0	0	0	0
91	马鞍山	11.4	3.8	0	3.8	3.8	0	0	0	0	0
92	淄博	11.4	3.8	0	3.8	3.8	0	0	0	0	0
93	张家界	11.4	3.8	0	3.8	3.8	0	0	0	0	0
94	攀枝花	11.4	3.8	0	3.8	3.8	0	0	0	0	0
95	泸州	11.4	3.8	0	3.8	3.8	0	0	0	0	0
96	遵义	11.4	3.8	0	3.8	3.8	0	0	0	0	0
97	克拉玛依	11.4	3.8	0	3.8	3.8	0	0	0	0	0
98	延安	9.6	3.2	0	3.2	3.2	0	0	0	0	0
99	大连	9	3	0	3	3	0	0	0	0	0
100	牡丹江	9	3	0	3	3	0	0	0	0	0
101	绵阳	9	3	0	3	3	0	0	0	0	0
102	呼和浩特	8.4	2.8	0	2.8	2.8	0	0	0	0	0
103	包头	8.4	2.8	0	2.8	2.8	0	0	0	0	0
104	威海	7.2	2.4	0	2.4	2.4	0	0	0	0	0
105	秦皇岛	5.4	0	5.4	0	0	0	0	0	0	0
106	鄂尔多斯	4.2	1.4	0	1.4	1.4	0	0	0	0	0
107	焦作	4.2	1.4	0	1.4	1.4	0	0	0	0	0
108	本溪	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
109	潍坊	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
110	济宁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
111	日照	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
112	曲靖	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
113	金昌	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(数据见:小颗粒,大突破——2012年113城市空气质量信息公开指数(AQTI)报告 20121023 第8页)

网址: <http://wenku.baidu.com/view/261be374f242336c1eb95e3f.html>

(责任编辑 白占立)