

区域环境负荷计量的当量因子法

——以广东省佛山市富营养化污染负荷为例

王寿兵^{1,2*}, 张浩^{1,2}, 王祥荣^{1,2} (1. 复旦大学环境科学与工程系, 上海 200433; 2. 复旦大学生命科学院生物多样性研究所, 生物多样性与生态工程教育部重点实验室, 上海 200433)

摘要: 提出了一种基于当量因子的环境负荷计量方法, 其原理是根据不同环境干扰因子对同一种环境影响类型的相对贡献大小来进行计量。具体包括环境影响类型的确定、环境干扰因子的识别与归类, 以及按当量关系进行汇总 3 个步骤。该方法可为区域环境规划与污染控制提供技术支持。以广东省佛山市富营养化污染负荷计量为实证进行了研究。结果表明, 2001 年排放的富营养化污染负荷量约为 437.0 kt NO₃⁻ 当量, 其中贡献最大的是农业生产部门, 其次是工业生产部门和人类生活。主要污染物是氨的排放, 其次是 NO_x 的排放。

关键词: 环境负荷; 计量; 当量因子; 富营养化

中图分类号: X828 文献标识码: A 文章编号: 1000-6923(2004)02-0237-05

The equivalent factor method of regional environmental loads(EL) quantification —— with eutrophication pollution load in Foshan City, Guangdong Province as an example. WANG Shou-bing^{1,2}, ZHANG Hao^{1,2}, WANG Xiang-rong^{1,2} (1. Department of Environmental Science and Engineering, Fudan University, Shanghai 200433, China; 2. Key Laboratory of Biodiversity and Ecological Engineering, Ministry of Education Institute of Biodiversity Science, School of Life Science, Fudan University, Shanghai 200433, China). *China Environmental Science*, 2004, 24(2): 237~241

Abstract: Quantifying environmental loads (EL) is always the basis of making regional environmental planning and environmental impact (EI) assessment. An iso-standard method of critical dilution volume (CDV) widely used at present can not reflect scientifically the quantitative relationship between EL and EI. An EL quantification method based on the equivalent factor was proposed by the author. Its principal is quantifying based on the relative contribution scale of different environmental disturbance factor (EDF) on same type of EI, including concretely three steps: determination of EI type identification and classification of EDF, and data collection based on the equivalent relation; this method could suggest scientific basis for regional environmental planning and pollution control. A positive study on the quantification of water eutrophication pollution load (EPL) of Foshan City, Guangdong Province was also made in this papers. EPL discharged in year 2001 was about 437.0 kt NO₃⁻ equivalency, of which the greatest contribution was from agricultural production sector, next industrial production sector and human living. The main pollutant discharged was NH₃ and next NO_x.

Key words: environmental load; quantification; equivalent factor; eutrophication

在区域环境规划和环境影响评价工作中, 一般需要对某一区域(如某一城市或地区)一段时间内(通常为 1 年)排放的环境负荷进行计量。目前使用的方法多为等标负荷法^[1,2]。该方法具有简单明了, 易被理解的特点。其不足之处在于采用的环境质量标准不同, 得到的等标负荷量就会有所不同, 不同区域和不同时间段的等标负荷量之间往往难于进行比较。在汇总的过程中, 没有考虑不同的环境负荷, 其影响结果在性质上的差异, 如

有的环境负荷带来的是温室效应; 有的带来的是酸化效应; 有的带来的是臭氧耗竭效应; 很难用于指导污染控制规划和环境影响评价等工作。而当量因子法, 可以克服现有等标负荷法的不足, 为区域环境规划和环境影响评价提供技术支持。

收稿日期: 2003-07-17

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(39930040); 上海市环境保护局科技攻关项目(攻关-Q2-11)

* 责任作者, 教授, sbwang@fudan.edu.cn

1 区域环境负荷计量的当量因子法

环境负荷是资源消耗和污染物排放对环境产生的压力或胁迫大小,而这些消耗的资源或排放的污染物称为环境干扰因子.计量的最终目的是控制资源消耗和污染排放总量,减少对环境的影响.环境负荷与环境影响之间是因果关系,不能混淆.一种污染物往往会产生不止一种环境影响,如 NO_x 既能产生酸化效应,又能产生富营养化效应;而一种环境影响又往往是由多种污染物共同产生的,如能产生富营养化效应的污染物就有废水中的氨氮和磷排放、燃料燃烧过程中的 NO_x 排放等.因此,环境负荷的计量应根据其可能产生

的环境影响类型进行汇总才有意义.当量因子法的原理就是按不同的环境影响类型对区域内的环境负荷进行计量.而不同的环境污染或资源消耗是根据其对某种环境影响的相对贡献大小(用当量因子表达)进行求和.主要包括 3 个步骤,环境影响类型的确定;环境干扰因子的识别与归类;按当量因子进行汇总.

1.1 确定环境影响类型

根据研究目的和区域环境现状,参考国内外研究成果,确定重点要考虑的环境影响类型,见表 1.在具体的环境规划或区域环境影响评价中,可根据实际情况做取舍或添加.

表 1 环境影响类型及其影响对象与范围

Table 1 Examples for environmental impact category and their action fields and boundaries

环境影响类型	影响对象			一般影响范围	环境影响类型	影响对象			一般影响范围
	资源	人体健康	生态健康			资源	人体健康	生态健康	
不可再生资源耗竭	矿物能源资源	+		全球性	全球变暖	+	(+)	+	全球性
不可再生资源耗竭	非能源矿物质源耗竭	+		全球性	臭氧层损耗		(+)	(+)	全球性
可再生稀缺资源耗竭	淡水资源消耗	+		区域或地方性	环境酸化		(+)	+	区域性
可再生稀缺资源耗竭	生物资源消耗	+	+	全球、区域或地方性	富营养化			+	区域性
可再生稀缺资源耗竭	耕地占用	+	(+)	(+)	地方性			+	全球、区域或地方性
					污染			+	全球、区域或地方性
					水生生态毒性		(+)	+	区域或地方性
					陆生生态毒性		(+)	+	地方性

注: +表示具有潜在的直接影响; (+)表示具有潜在的间接影响

1.2 环境干扰因子的识别与归类

环境影响类型确定之后,应对涉及的环境干扰因子进行识别,并按其可能产生的环境影响类型进行归类.归类的目的在于最终得到可能产生的某种环境影响总的的环境负荷的大小,为污染控制和环境影响评价提供依据,见表 2.

1.3 按当量关系进行汇总

不同的环境干扰因子在相同质量条件下,对同一种环境影响类型产生的作用不一样.他们之间存在一定的当量关系.因此,可将他们之间的当量关系进行汇总,以求得某一区域在某一时间段内可能产生某一类环境影响的环境负荷量.目前,人们已对不同环境干扰因子之间的当量关系做

了卓有成效的研究工作,有许多重要成果可供使用.例如,不同温室气体对全球变暖影响的当量关系可从全球变暖潜力(GWP)获得(表 3)^[3].从表 3 可见,1kg CH₄ 在 100 年内对温室效应的贡献大小相当于同期 25kg CO₂ 的贡献,所以他们之间的当量关系是 25:1.以此类推,形成光化学烟雾的环境干扰因子间的当量关系可从其光化学臭氧形成潜力(POCP)得到^[4,5].

其他类似的数据如富营养化形成潜力(EP),酸化潜力(AP)^[6],臭氧耗竭潜力(ODP)^[3],资源耗竭潜力(RDP)^[7],人体毒性潜力(HTP)^[8],水生生态毒性潜力(AEP)^[8]以及陆生生态毒性潜力(TEP)^[8]等.这样,某一地区的环境负荷就可以根据其消耗

资源和排放的污染物数据,并结合相应的当量关系进行汇总,最终得到以某一资源或污染物质为参照物的环境负荷总量数据.

表 2 环境干扰因子归类

Table 2 Examples for classification of environmental disturbance factors

环境影响类型		环境负荷
不可再生资源	矿物能源资源	煤、石油、天然气等的消耗
再生资源	非能源矿物资源	铁、铜、铝、金、锌、镍、锡矿等的消耗
耗竭		
可再生	淡水资源	地表水、地下水的消耗
稀缺资源	生物资源	森林资源的消耗
源耗竭	耕地占用	固体废物排放
	全球变暖	CO ₂ 、CH ₄ 、N ₂ O、CFC _s 等排放
	臭氧层损耗	CFC _s 、CF ₂ Br、Halon 等的排放
	光化学臭氧合成	VOC、NO _x 、CO 等的排放
环境污染	环境酸化	NH ₃ 、SO ₂ 、NO ₂ 、HCl 等排放
	富营养化	NH ₃ 、NO ₃ ⁻ 、NH ₄ ⁺ 、PO ₄ ³⁻ 等排放
	人体毒性	砷、镉、钡、铅、铜、汞、Cr ⁶⁺ 、镍、苯、硫化氢、PM ₁₀ 、氨、SO ₂ 、NO ₂ 、甲醛等的排放
	水生生态毒性	(同人体毒性)
	陆生生态毒性	(同人体毒性)

表 3 温室气体的全球变暖潜力(以 CO₂ 为参照物)

Table 3 The global warming potentials for some substances (referee to CO₂)

温室气体	全球变暖潜力(a)			估计存留时间(a)
	20	100	500	
CO ₂	1	1	1	150
CH ₄	62	25	7.5	10
NO ₂	290	320	180	120
CO	2	2	2	<1
NO _x	-	-	-	<0.1
N ₂ O	270	290	190	150
NM VOC	-	-	-	<0.1
CCl ₄	2000	1400	500	42
CHCl ₃	15	5	1	0.55
CH ₂ Cl ₂	28	9	3	0.41
CH ₃ Cl	92	25	9	0.7
CF ₄	4100	6300	9800	50000
CFCl ₃	5000	4000	1400	50
CHF ₃	9200	12100	9900	250
CF ₃ Br	6200	5600	2200	65
SF ₆	16500	24900	36500	3200

注: - 表示该物质存在时间短,其 20 年以上的 GWP 不存在

环境负荷总量计算公式为:

$$EL_i = \sum_{j=1}^n m_j p_{ij} \tag{1}$$

式中:EL_i 为产生第 i 类环境影响的环境负荷总量,kg; m_j 为消耗的第 j 类资源量或排放的第 j 类污染物质,kg; P_{ij} 为第 j 类资源或污染物对第 i 类环境影响贡献的潜力大小(是一个以参照物为基准的相对量,kg/kg 参照物).

2 广东省佛山市富营养化污染负荷计量

佛山市位于广东省中部偏南,全境位于北纬 22°38'~23°34',东经 112°22'~113°23'之间.总面积 3869.06km².2001 年全市人口 335.85 万,人口密度 880 人/km²,人均 GDP3.21 万元*.主要环境问题之一是水体富营养化严重,为此,首先对产生富营养化的污染物排放总量、构成及来源进行量化分析(数据以 2001 年为基础),以为为污染物总量控制、排污收费和排污权交易等提供科学依据.

进入佛山市生态系统的富营养化物质主要有排入大气中的 NH₃ 和 NO_x;排入水体中的总 N、总 P 及其他有机物(用 COD 表征)等 5 类.限于数据的可得到性,作者仅考虑畜禽养殖、农业施肥、人粪尿和生活污水、工业废水、机动车和工业燃料消耗等污染源.

2.1 NH₃ 的排放

2.1.1 畜禽养殖 NH₃ 的排放 畜禽养殖的 NH₃ 排放量可根据佛山市总的畜禽养殖量乘以相应畜禽 NH₃ 的年排放系数^[9]得到.结果表明,佛山市因畜禽养殖排放的 NH₃ 为 45577.60t,其中以鸡、猪和鸭为主,分别占到总量的 42.04%,30.60%和 21.57%.其余鹅和牛分别占 4.31%和 1.48%.

2.1.2 氮肥施用中的 NH₃ 排放 氮肥施用中 NH₃ 排放的大小与氮肥种类、土壤性质及气象、气候条件密切相关.据报道,我国氮肥施用后挥发损失的量约占施入量的 20%左右^[10].2001 年佛

* 佛山市统计局.佛山市统计年鉴,2002.

山市共施用化肥 63051t(按 N 计)*,佛山市因氮肥施用造成的 NH_3 排放量约为 15312.40t.

2.1.3 人粪尿中 NH_3 的排放 用佛山市 2001 年人口 3358471 人,乘以人均粪尿的 NH_3 排放系数 1.3kg/(人·a)^[9],可得到 NH_3 的排放量约为 4366.01t.

2.2 NO_x 的排放

2.2.1 工业生产部门 NO_x 排放 限于数据可得性,作者仅考虑国有工业企业及私人规模以上工业企业燃料消耗过程中的氮氧化物排放.由燃料消耗量**和相应燃料的 NO_x 排放系数^[11]可计算得到佛山市重点工业企业燃料消耗过程中的 NO_x 排放量约为 47783.7t.

2.2.2 机动车引起的 NO_x 排放 据有关调查研究表明,佛山市区的摩托车、小型车、大中型车平均每年行驶的里程数分别为 4380,13140,43800km.广州市环境保护监测站的实测数据表明,相应的 NO_x 排放系数分别为 1.0,2.2,3.2g/(辆·km)[#].根据 2001 年佛山市不同车型总的拥有量计算得到 NO_x 排放量为 24472.29 t.

2.3 水体总 N 排放

2.3.1 工业废水氨氮排放量 2001 年重点调查的 844 家工业企业废水中共排放氨氮 636.29t^{##},废水总排放量为 10015.5 万 t,工业废水中氨氮平均排放浓度为 6.35g/t,根据当年总的工业废水排放量 11026.44 万 t,可计算得到总的氨氮排放量为 700.52t.

2.3.2 生活污水中氨氮的排放 根据 2001 年佛山市城镇生活污水排放量计算,佛山市区城镇生活污水的氨氮平均排放浓度为 12g/t,若所有城镇生活污水氨氮浓度均按此计为 16152 万 t,可得到其氨氮排放量为 1938.24t.农村生活污水排放量根据其总用水量 1.9 亿 m^3 的 52.1% 估计为 0.99 亿 m^3 ,若同样按 12g/t 的浓度计算,可得到其氨氮排放量为 1188t,两项合计为 3126.24t.

2.3.3 农业生产中 N 的排放 根据有关资料,氮肥施入土壤后,被作物吸收利用的仅占其施入量的 30%~40%^[12].氮肥施入土壤后,经淋溶和地表径流进入水系的量常因地理区位和植被类型

而有所不同^[13,14].根据佛山市 2001 年氮肥施用总量的 15% 计算,得到农业生产的总 N 排放约为 9457.65t.

2.4 水体中 P 的排放

工业废水和生活污水中 P 的来源非常复杂,其计量工作在国际上也是一个难题.本研究仅根据通常的氮磷比进行估算.一般认为,总 TP 占总 TN 的 5% 左右^[15],据此可得到佛山市工业废水和生活污水中总 P 的排放量分别为 35.03, 156.31t.

另外,根据有关文献,农业施用的磷肥中,估计有 5%~10% 进入地表水.我国大陆地区的 N、P 施用比例约为 1:0.14^[16],佛山市磷肥施用量按 TN 肥施用量的 14% 计算,为 8827.14t,假设平均流失率为 7%,则可得到有关的 P 排放量为 617.90t.

2.5 水体 COD 排放量

据统计,2001 年佛山市工业废水中 COD 排放总量为 7802.42t,城镇生活污水 COD 排放量为 40218t,城镇生活污水排放量为 16152 万 t,其平均排放浓度为 0.25kg/t.农村生活污水中 COD 排放量按类似 TN 的计算方法,为 26688.24t.

2.6 佛山市富营养化物质排放总量及构成

根据前面的计算结果和各类物质的富营养化潜力当量因子(表 4),可最终计算得到 2001 年佛山市排放的富营养化污染负荷量约为 437.0kt NO_3^- 当量.其中 64.83% 来自农业生产部门,16.14% 来自工业生产部门,7.56% 来自公路运输部门,11.47% 来自人类生活.从污染物构成看, NH_3 排放占 54.35%, NO_x 占 22.32%,TN 排放占 5.93%,TP 排放占 5.93%,COD 排放占 3.93%.从排放强度看,平均每 km^2 国土面积接受的污染负荷为 112.94kt,远远高于全国平均水平.

* 佛山市环境保护局.佛山市生态环境现状调查报告,2002.

** 佛山市环境保护局.佛山市生态环境概况,2003.

中山大学环境科学研究所,佛山市环境保护局.佛山市区环境规划(2001-2010),2001.

佛山市环境保护局.佛山市工业企业“三废”排放及处理利用情况,2001.

表 4 富营养化当量因子(以 NO_3^- 为基准)^[6]Table 4 The eutrophication potentials for some pollutants (referee to NO_3^-)

富营养化物质	当量因子	富营养化物质	当量因子
NO_3^-	1.00	总 N	4.43
NO_x	1.35	总 P	32.0
NH_3	3.64	COD	0.23

3 结语

提出了一种基于当量因子的环境负荷计量方法.其核心思想是根据不同环境干扰因子对同一种环境影响类型的相对贡献大小进行计量.主要包括环境影响类型的确定、环境干扰因子的识别和按当量关系进行汇总 3 个步骤.该方法能克服等标负荷法的不足,适用于区域环境规划与污染控制.

利用所提出的当量因子法,计算得到广东省佛山市 2001 年排放的富营养化污染负荷量约为 437.0kt NO_3^- 当量,其中贡献最大的是农业生产部门,其次是工业生产部门和人类生活.主要污染物是 NH_3 的排放,其次是 NO_x 的排放.

参考文献：

- [1] 刘天齐,孔繁德,刘常海,等.城市环境规划规范及方法指南 [M]. 北京:中国环境科学出版社,1993.
- [2] 史宝忠,何金凤.环境影响评价理论方法与实践 [M]. 西安:陕西科学技术出版社,1991.
- [3] Allan Astrup Jensen, Leif Hoffman. Life cycle assessment: a guide to approaches, experience and information source [R]. European environment agency, environmental issues series no.6, 1997.
- [4] Andersson-Skold Y, Grennfelt P, Pleijel K. Photochemical ozone creation potentials: a study on different concepts [J]. Journal of Air Waster Manage., 1992,42(9):1152-1158.
- [5] Heijungs R, Guinee J B, Huppes G. Environmental life cycle assessment of products. a guide II: Backgrounds [R]. Leiden: CML, 1992.
- [6] Hauschild M, Wenzel H. Environmental assessment of products. Volume 2: scientific background [M]. London: Chapman and Hall, 1998.
- [7] 王寿兵,王如松,吴千红.生命周期评价中资源耗竭潜力及当量系数的一种算法 [J]. 复旦学报,2001,40(5):553-557.
- [8] Huijbregts M A J, Thissen U, Guinee J B, et al. Priority

assessment of toxic substances in life cycle assessment part I: calculation of toxicity potentials for 181 substances with the nested multi-media fate, exposure and effects model USES-LCA [J]. Chemosphere, 2000,41:541-573.

- [9] 王文兴.中国氨的排放强度地理分布 [J]. 环境科学学报,1997, 17(1):2-6.
- [10] 庞金华,钱永清,金遐良,等.上海农业生产中的自身污染与对策 [J]. 长江流域资源与环境,1994,3(2):173-177.
- [11] 王文兴,王 纬,张婉华,等.我国 SO_2 和 NO_x 排放强度地理分布和历史趋势 [J]. 中国环境科学,1996,16(3):161-167.
- [12] 陈同斌,曾希柏,胡清秀.中国化肥利用率的区域分异 [J]. 地理学报,2002,57(5):531-538.
- [13] 何增耀,叶兆杰,吴方正,等.农业环境科学理论 [M]. 上海:上海科学技术出版社,1991.
- [14] 周根娣,章家骥.上海市郊氮肥流失及去向研究 [J]. 上海环境科学,1996,15(4):37-39.
- [15] 杨建新,徐 成,王如松.产品生命周期评价方法及应用 [M]. 北京:气象出版社,2002.
- [16] 彭 奎,朱 波.试论农业养分的非点源污染管理 [J]. 环境保护,2001,(1):30-32.

作者简介：王寿兵(1970-),男,四川省富顺县人,博士,副教授.主要从事城市生态规划、生态评价与工业生态学研究.发表论文 22 篇.

致谢：研究中有关原始数据由佛山市环境保护局提供,在此表示感谢.

环保信息

北京三成家庭装修有污染 近日,北京市消费者协会发布了北京市家庭装修环境污染情况调查结果,在 294 户被调查对象中,室内空气质量有污染的为 85 户,占总数的 29%,其中,仅重度污染的就 29 户,占总数的 10.0%.

摘自《中国环境报》

2004-03-19