



气候政策研究中的数学模型评述

Discussion on Mathematical Model in Climate Policy Study

王 灿 陈吉宁 (清华大学环境科学与工程系, 北京 100084)

Wang Can Chen Jining (Dept. of Environmental Science & Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084)

邹 骥 (中国人民大学环境经济与管理系, 北京 100872)

Zou Ji (Dept. of Environmental Economics & Management, Remin University of China, Beijing 100872)

摘要 按照成本分析和综合分析2个层次,分别介绍了投入产出模型、可计算一般均衡模型、宏观计量经济模型、工程经济模型、动态能源优化模型、能源系统模拟模型、综合评估模型等不同模型方法的特点及其在气候政策分析中的应用,指出可计算一般均衡模型是应用得最为广泛的方法之一。概括了气候政策模型研究的4个发展趋势,包括加强综合评估模型的应用、扩展成本与效益的内涵、注重不同模型之间的比较、强调不确定性分析。结合中国的研究现状,分析了当前面临的问题,认为国内气候政策模型研究与中国在国际气候变化领域的地位仍不相称,强调要进一步加强研究队伍建设、扩展研究领域、跟踪国际研究前沿问题,以便为国家的气候谈判政策提供更有利的科学依据和决策支持。

关键词: 气候变化 气候政策研究 综合评估模型 不确定性分析 温室气体

1 引言

政府间气候变化专业委员会(Intergovernmental Panel of Climate Change,简称IPCC)最新的评估报告表明,除非采取重大的行动,否则到2100年,大气中CO₂的浓度水平将达到工业化以前的2倍,全球平均气温将比1900年升高1.4~5.8℃^[1]。尽管目前很难完整而准确地预料这一程度的变暖会有什么样的后果,但是有些影响可以确切地预见,例如水资源时空分布规律打乱、海平面上升、农业生产模式改变、极端气候频率上升、生态风险上升等。按照谨慎原则与预防原则,国际社会已经为应对气候变化问题展开了积极的科学研究和实际行动。在加强气候变化科学研究的同时,气候变化政策的分析评价工作也受到广泛的重视,产生了大量评价模型,形成了局面活跃、方法多样、结论不一的研究特点。

2 气候变化政策分析的基本框架

2.1 成本分析与经济模型

成本可以从项目层次、行业层次和宏观经济层次分别进行模拟和估算。通过“自上向下”、“自底向上”或混合模型研究温室气体(Greenhouse Gases,简称GHGs)排放部门(如能源系统)与整个经济系统之间的相互作用关系,可以获得气候政策在不同层次上的

成本。

2.1.1 “自上向下”模型(Top-down)

自上向下模型主要包括宏观经济模型、可计算一般均衡模型和投入产出模型等。

2.1.1.1 投入产出(Input Output,简称IO)模型

用1个组线性方程组描述经济部门间的复杂联系。传统的IO模型经过适当的扩展就可以应用于环境政策分析^[2]。如文献[3、4]分别研究了澳大利亚和英国的CO₂排放情况,文献[5、6]分别分析了澳大利亚最终消费品和巴西进出口品中的CO₂强度。

IO模型主要用于分析CO₂排放清单和减排政策的产业效果,由于模型方程中的系数是固定的,难以描述与气候变化政策相关的要素替代、技术变化以及行为变化,因此这类模型在分析减排政策的宏观经济影响时受到限制^[7]。

2.1.1.2 可计算一般均衡(Computable General Equilibrium,简称CGE)模型

近30年发展起来的、以微观经济理论为基础的经济模型,对消费者在商品和服务的需求同生产者的供给之间达成平衡的过程中,对市场均衡价格进行模拟。同时,模型中的需求和供给条件是建立在消费者和生产者分别寻求福利或利润最大化的假设基础之

第一作者王灿,男,1974年出生,1998年毕业于清华大学,现为清华大学环境科学与工程系在读博士研究生。

上的。也就是说,CGE 模型假设经济主体最终都会有效率地对任何政策变化做出响应。

坚实的理论基础和强大的模拟功能使 CGE 模型广泛地应用于气候政策的定量分析,几乎涉及到了所有的焦点问题^[7]。但是,CGE 模型反映的是各种均衡状态,一般认为适合于长期比较静态分析,而不能给出由一个状态调整到另一均衡状态的具体过程。另外,CGE 模型中的大部分参数是通过校准得到的,其可靠性受到计量经济学家们的质疑^[8],一些研究表明,模型的稳定性普遍不理想,受基准年^[9]、参数^[10]、函数形式^[11]等因素的影响较大。

2.1.1.3 宏观计量经济模型

通过经济变量之间在过去的统计关系来预测经济行为,并突出了与 GHGs 减排政策相关的短期动态机制。Clarke 等人综述了宏观计量经济模型在 GHGs 控制政策研究中的应用情况^[12]。虽然这类关系是从经济理论中发展起来的,但是,当宏观模型得出对政策变化的预期反应时,并不直接假设经济主体可以做出有效率的或者有预见性的响应。

宏观经济模型只反映经济系统过去相应时间段的行为特点,因此适合于进行较少政策变化的短期或中期预测,而不适合于分析较大的政策变化(如高碳税)或长期的政策影响^[13]。宏观计量经济模型与 CGE 模型之间具有互补性,已有人尝试将二者进行结合研究^[14]。

2.1.2 “自底向上”模型(Bottom-up)

与自上向下模型相对,自底向上模型以详细的技术信息为基础,描述各种能源技术的性能和可行性。

2.1.2.1 工程经济计算模型

逐项地计算所要模拟的各种能源技术的成本和效率,并按照成本有效性进行排序,然后根据减排目标将成本有效的技术进行加总,就得到了整个经济系统的减排成本和效果。

2.1.2.2 动态能源优化模型

以能源供给与需求技术的详细信息为基础,以能源系统的成本最小化为目标,在 40~50 年的时间跨度上计算能源市场的局部均衡,如 MARKAL 模型^[15]、POLES 模型^[16]。优化模型多用于动态地分析活动中的 GHGs 减排潜力及成本。

早期的优化模型主要研究如何以最低的成本满足能源需求,近年来的发展方向一是允许需求对能源价格做出反应^[17],二是将其引入其它经济部门,进行宏观经济政策分析。但是,优化模型对其他经济部门的描述往往高度集中,决定了它难以分析不同产业减排 GHGs 的详细影响,因此常常用于粗略的全球分析

而很少用于详细的单个国家行业分析^[18]。

2.1.2.3 能源系统模拟模型

通过考虑经济主体的“净成本”最小化来客观地模拟现实中的决策行为。模型中经济主体的决策并不完全由技术成本最小这一标准决定,同时还考虑了便捷性、个人偏好等因素。这些模型一般由成本最小化的优化模型改进而成^[19],所以它们的气候政策成本要高于成本最小化模型。

2.1.3 混合模型(Hybrid Model)

自上向下模型和自底向上模型在结构、经济理论基础、关键假设等方面的区别造成了模拟结果的差异,文献^[20]系统地比较了两者之间的差别,IPCC 在其第 2 次评估报告中也对此进行了深入讨论^[21]。图 1 显示了影响模型结构的主要因素及自上向下模型与自底向上模型之间的区别。

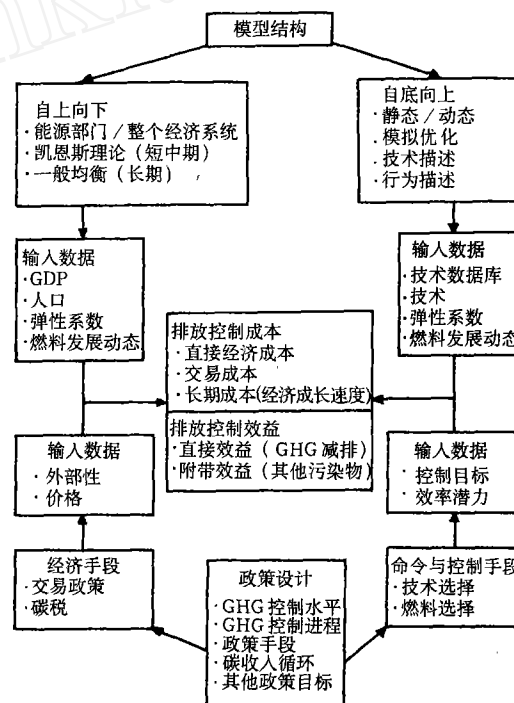


图1 影响模型方法的主要因素

Figure 1 Main factors influencing modeling

从模型结构出发的 2 条路径,表明了 2 类模型的理论基础、数据需求的差异。从政策设计出发的 2 条路径表明了 2 类模型所侧重的分析对象不一样,自上向下模型侧重于经济手段的气候政策,而自底向上模型则侧重于命令与控制手段的气候政策。中间 2 条路径的殊途同归,表明这 2 类模型都可以进行气候政策的成本效益分析。

不少经济学家认为应当综合地应用这 2 种方法,因为它们在很多情况下是互补而不是替代关系^[22]。

由2类模型组合而成的混合模型既可以分析如碳税之类的自上向下政策,也可以分析如电厂技术规范、能耗标准等自底向上政策。GLOBAL2100模型^[23]是最早进行这方面尝试的研究之一,该模型由能源技术信息丰富的线性规划模型ETA与宏观经济增长模型MACRO衔接而成。NEMS模型^[24]以及文献^[25]等都是混合模型的典型实例。

2.2 综合分析—综合模型

由于气候问题涵盖了社会、气候系统、生物圈等相互关联的诸多因素,决策者除了需要了解气候政策的经济成本外,通常还希望知道政策对缓解气候变化的效果及相应的社会经济影响,这就需要进行综合分析。对气候变化政策进行综合分析的基本过程为:首先定义所要分析的政策并通过社会经济模型描述经济活动水平和结构;其次根据排放模型预测相应的GHGs排放量及控制成本;然后估计出气候变化;最后计算气候变化产生的一系列影响,并将这些影响反馈到社会经济系统中。

综合分析的主要工具就是气候变化综合评估模型(Integrated Assessment Model,简称IAM),它是以气候变化系统物理特性为基础,在假设若干输入条件的前提下进行有关计算的模型,其要素主要包括人类活动、大气成分、气候和海平面、陆地生态系统,基本结构如图2所示。

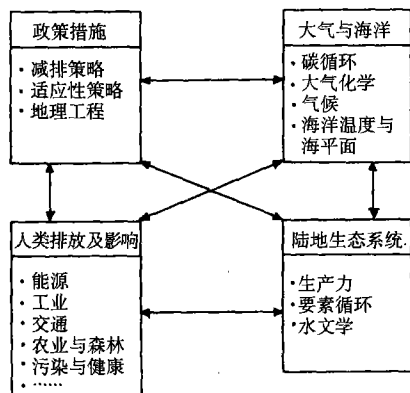


图2 综合评估模型系统框架
Figure 2 Systematic framework of IAM

IAM得出的结果不是预测未来会发生什么,而是提供不同外部假设条件下以及多个因子同时作用时气候变化可能产生的影响,它至少在评价气候变化政策、整理知识及描述不确定性、进行可比较的风险分析以及指导科学研究等4个方面发挥着重要的作用^[26]。IAM目前面临的挑战主要表现在两方面:一是由于IAM所涉及的许多领域的科学知识尚不完备,模型

的研究工作必须处理好与相关学科发展之间的关系,既无法超越它们,又不能过于依赖它们而止步不前;二是由于结构复杂、不确定性大等问题,IAM对政策决策的直接贡献还十分有限^[7]。

3 气候政策模型研究的发展方向

3.1 在研究手段上,加强IAM的应用

早在20世纪70年代,综合评估方法就已经应用于全球环境问题,但是直到80年代后期,用于气候评估的综合模型仍然寥寥无几,只有世界资源研究所的MCW、美国环保局的ASF和荷兰开发的IMAGE等少数几个^[26]。进入90年代,随着气候变化问题的升温,IAM迅速发展。1993年10月国际系统分析研究所(IIASA)召开了关于气候变化的社会经济生态影响综合评价的研讨会;随后多篇文献相继对气候变化IAM的分析结果、发展现状、研究方向等问题进行了综述与讨论^[26,27];2000年,Baltzer科学出版集团创办了国际性专业刊物《Integrated Assessment》,这些都标志着IAM无论是数量还是质量方面都取得了较大的突破。在过去的10余年间,气候变化领域的IAM研究项目民经增加到了40多个。

3.2 在研究内容上,扩展成本与效益的内涵

早期的气候政策成本分析主要集中于经济成本,Nordhaus曾对此进行过综述^[28];效益分析则主要集中于避免气候变暖所带来的破坏损失,如农业损失、海平面升高、生物多样性损失、水资源变化等。随着气候谈判的前进,气候政策逐渐具体,对政策的分析也越来越详细。在成本方面,不仅包括经济成本,还包括社会成本、政治可接受程度等内容,如减排政策的公平问题、对就业率的影响、对收入分配的效果等。在效益方面,除了分析直接带来的GHGs减排量外,更多地关注了气候政策的共生效益(或称协同效益)。如Dessus用CGE模型评估了在智利采取GHGs减排措施带来的附带效益和“无悔”程度^[29],Wang评估了中国能源部门减排GHGs的健康效益^[30];OECD用1个线性规划模型研究了400多种技术的GHGs减排潜力及其与物料消耗的关系,并由此探讨了减排措施对废物产生与管理的若干效果^[31]。相对而言,发达国家这方面的研究更活跃些^[32],IPCC在第3次评估报告中总结了近年来应用于共生效益分析的一些主要模型。

3.3 在研究结果上,注重不同模型之间的比较

气候政策研究的模型越来越多,用不同的模型对相同问题所作的分析在表面上很少达成一致。例如,为了在2030年将美国的CO₂排放量稳定在1990年

的水平上,有的研究认为需要征收高达430美元/t的碳税,总成本将达到当年GDP的2.5%;而另一些研究则认为可以通过小得多的碳税实现,对经济的总体影响很小甚至可能是有利的^[33]。由此产生了许多关于模型比较的研究。例如,世界资源研究所从16个影响广泛的模型中汇总了162种不同的预测结果,并列出每个预测所对应的8个主要假设,然后利用统计学方法将这些假设同162个预测数据点进行相关性分析,从而考察了模型结果差异的来源^[34]。

气候政策领域最有影响力的模型比较研究,当属1976年在斯坦福大学成立的能源建模论坛(Energy Modeling Forum,简称EMF)所开展的工作。EMF成立以来一直致力于能源规划与政策研究中的分析方法与模型比较,分别针对能源部门CO₂减排政策的经济影响、气候变化综合评估模型、京都议定书的能源经济影响等与气候政策相关的专题做了大量开创性的工作^[7]。

3.4 在研究方法上,强调不确定性分析

气候变化系统存在大量的不确定性,这一点已经广泛地反映在各种模型研究中。气候政策分析应该为决策者明确地提供各种不确定性信息。实践中,大多数研究只对某些因素的不确定性或敏感性进行定量分析,例如GHGs气候效果的概率^[35]、气候变化损害的不确定性^[36]、碳循环对CO₂浓度升高的不确定性^[37]、折旧率带来的不确定性^[38]、投资的不确定性^[39]、以及经济系统对结构变化(如技术变化方向)的敏感性^[40];也有研究探索了综合考虑一些因素的不确定性时气候变化问题的最优决策^[41];对于复杂的综合评估模型来说,几乎所有的研究项目都进行了不同程度的不确定性或参数敏感性分析^[42]。

总的来看,不确定性分析在气候政策研究中的地位与现状可以从权威科学杂志《Science》最近对IPCC第3次评估报告的辩论中得到体现。Reilly等人^[43]提出的批评是,气候变化研究必须建立标准的、科学的不确定性分析方法,它的严谨程度不应低于模型本身所应用到的自然科学和社会科学理论的严谨程度;IPCC作为气候变化领域最权威的科学研究机构,其综合评估报告更应当给出一些关键结果的不确定性分析,而事实上没有做到,例如关于2100年气温升高的预测,只指出将升高1.4~5.8℃,没有计算升高不同程度数对应的概率是多少,而后面这个问题对决策者来说非常重要。Allen等人^[44]的回应是,IPCC并不是没有意识到不确定性分析的重要性,而是因为到目前为止还没有被IPCC所认同的关于全球气候变化预测不

确定性分析的研究方法和成果。可以看出,不确定性分析应当成为气候政策模型开发与应用研究中的必要组成部分,而目前这一领域中的研究远未成熟,必将成为今后研究的焦点之一。

4 中国的气候政策模型研究

自从1992年签署《联合国气候变化框架公约》(UNFCCC)以来,中国政府积极地参与气候变化的国际谈判与合作。我国科学界在气候变化领域开展了大量的研究工作,如“中国的全球气候变化国家对策研究”、“中国温室气体控制的问题与对策”、“北京市温室气体排放及减排对策研究”、“中国气候变化国别研究”等;同时,在分析工具的开发应用上,国家计委能源研究所参与开发亚太综合模型(AIM)、与美国、荷兰合作引入SGM、IMAGE等综合评估模型并将它们应用于中国的气候变化研究;中国社科院构建了一个包括118个部门、30个地区的大型CGE模型,并分析了征收碳税对中国CO₂减排的效果和对国民经济各方面的影响;国务院发展研究中心建立了一个可用于气候政策分析的经济/环境模型;清华大学核能研究院开发了以能源优化模型为主体、与宏观经济模型相连接的中国Markal-MACRO,并用于中国的气候政策分析;清华大学环境科学与工程系和中国人民大学环境经济与管理系共同建立的经济学与政策研究联合项目也正在开发气候政策动态CGE模型,并进行CGE模型的不确定性研究。

但是,与国际上的气候政策模型发展相比,国内的模型研究工作同中国在国际气候谈判中的地位与作用仍不相称。首先,研究力量不足,主要集中在少数几家研究机构,模型数量屈指可数,难以进行模型间的比较研究;其次,研究内容不全面,多用于减排成本的分析,对于国际气候合作机制的宏观经济影响等问题缺乏定量研究;再次,研究深度不够,现有大多数模型是由国外模型直接移植而成,缺少对模型方法学前沿问题的研究与讨论。由前述原因导致的结果之一就是气候政策模型的影响力小,一方面表现为对国家气候政策的决策支持作用不明显,另一方面表现在国际气候政策研究领域声音微弱。

5 参考文献

- 1 IPCC. Climate Change 2001: The Scientific Basis. UK: Cambridge University Press, 2001, 86.
- 2 Lee K S. A generalized input-output model of an economy with environmental protection. Review of Economic Statistics, 1982, 64: 466-473.

- 3 Common M. Accounting for changes in Australia CO₂ emissions. *Energy Economics*, 1992, 217 ~ 225.
- 4 Gay P. CO₂ production by the UK economy: an input-output assessment. *Applied Energy*, 1993, 44:113 ~ 130.
- 5 Lenzen M. Primary energy and greenhouse gases embodied in Australian final consumption: an input-output analysis. *Energy Policy*, 1998, 26(6): 495 ~ 506.
- 6 Schacffer R, A Leal de Sa. The embodiment of carbon associated with Brazilian imports and exports. *Energy Conversion and Management*, 1996, 37(6 ~ 8):955 ~ 966.
- 7 IPCC. *Climate Change 2001: Mitigation*. UK: Cambridge University Press, 2001, 326.
- 8 Harrison G. How robust is applied general equilibrium analysis. *J. Poli. Modl*, 1993, 15(1):99 ~ 115.
- 9 Roberts B. Calibration procedure and the robustness of CGE models. *Econ. Plann*, 1994, 27: 189 ~ 210.
- 10 Abler D, Rodriguez A, Shortle J. Parameter uncertainty in CGE modeling of the environmental impacts of economic policies. *Environmental and Resource Economics*, 1999, 14(2):75 ~ 94.
- 11 McKittrick R. The econometric critique of computable general equilibrium modeling: the role of functional forms. *Economic Modelling*, 1998, 15: 543 ~ 573.
- 12 Clarke R, Boero G, Winters L A. Controlling greenhouse gases: survey of global macroeconomic. *Bulletin of Economic Research*, 1996, 48(4): 269 ~ 308.
- 13 Capros P, Karadeloglou P, Mentzas G. An empirical assessment of macroeconomic and CGE approaches in policy modeling. *Journal of Policy Modeling*, 1990, 12:557 ~ 585.
- 14 Deepak M, Carol T, Spreen J. Local government portfolios and regional growth: some combined dynamic CGE/Optimal control results. *Journal of Regional Science*, 2001, 41(2): 219 ~ 253.
- 15 Fishbone L G, Abilock H. MARKAL-A linear programming model for energy systems analysis. *International Journal of Energy Research*, 1981, 5: 353 ~ 375.
- 16 Criqui P, Mima S, Viguier J. Marginal abatement costs of CO₂ emission reductions, geographical flexibility and concrete ceilings: an assessment using the POLES model. *Energy Policy*, 1999, 27: 585 ~ 601.
- 17 Loulou R, Lavigne D. MARKAL model with elastic demands: Application to GHG emission control, In: C. Carraro, A. Haurie (Eds.). *Operations Research and Environmental management*, Kluwer Academic Publishers, Boston, 1996, 201 ~ 220.
- 18 Zhang Z X, Folmer H. Economic modelling approaches to cost estimates for the control of carbon dioxide emissions. *Energy Economics*, 1998, 20:101 ~ 120.
- 19 Jaccard M, Bailie A, Nyboer J. CO₂ emission reduction costs in the residential sector: behavioral parameters in a bottom-up simulation model. *Energy Journal*, 1996, 17(4):107 ~ 134.
- 20 Wilson D, Swisher J. Exploring the gap: Top-down vs bottom-up analyses of the cost of mitigating global warming. *Energy Policy*, 1993, 21(3):249 ~ 263.
- 21 IPCC. *Climate Change 1995*. UK: Cambridge University Press, 1996, 189.
- 22 Bohringer C. The synthesis of bottom-up and top-down in energy policy modeling. *Ener. Econ.*, 1998, 20:233 ~ 248.
- 23 Manne A, Richels R. *Buying Greenhouse Insurance*. Massachusetts: MIT Press, 1992.
- 24 Kydes A S. Energy intensity and carbon emission responses to technological change: The U. S. Outlook. *The Energy Journal*, 1999, 20(3):93 ~ 121.
- 25 Koopmansa C, D te Veldeb. Bridging the energy efficiency gap: using bottom-up information in a top-down energy demand model. *Energy Economics*, 2001, 23(1):57 ~ 75.
- 26 Parson E. Integrated assessment models of global climate change. *Ann. Rev. Ener. Envi.*, 1997, 22: 589.
- 27 Dowlatabadi H. Integrated assessment models of climate change. *Energy Policy*, 1995, 23(4/5): 289 ~ 296.
- 28 Nordhaus W. The cost of slowing climate change: A survey. *The Energy Journal*, 1991, 12(1):37 ~ 65.
- 29 Dessus S, Connor D. *Climate policy without tears: CGE-based ancillary benefits estimates for Chile*. Paris: OECD Development Centre Technical Papers, 1999, 156.
- 30 Wang X, Smith K R. Secondary benefits of greenhouse gas control: Health impacts in China. *Environmental Science and Technology*, 1999, 33:356 ~ 361.
- 31 OECD. *Instruments and technologies for climate change policy: an integrated energy and materials systems modelling approach*. Paris: OECD ENV/EPOC/GEEI (99)15, 1999.
- 32 Ekins P. How large a carbon tax is justified by the secondary benefits of CO₂ abatement? *Resource and Energy Economics*, 1996, 18:161 ~ 187.
- 33 Nordhaus W. Optimal greenhouse-gas reductions and tax policy in the DICE model. *The American Economic Review*, 1993, 83(2):313 ~ 317.

(下转第454页)

一个地球”和“明天与今天一样重要”^[8],这是环境教育的重要目标。它包括培养人们的道德伦理意识和环境忧患意识。新的环境道德要求当代人之间、当代人与后代人之间,以及人类和自然界所有物种之间的生存与发展机会都是平等的。建立普遍的环境道德规范,通过约束人的行为,来协调人与自然的关系。同时,开展环境警世教育,充分揭露环境破坏和污染事故的严重情况,只有这样,才能使人们形成危机意识。这是提高公众环境意识的必要选择。

3.4 行为目标

行为目标作为环境教育的最终目标,是针对环境参与意识而言的。在提高人们环境保护意识的基础上,培养其对环境保护的使命感、责任感以及自觉的行为习惯。同时,利用所学技能,积极参与到解决环境问题的行动中去,从而完成从认识到参与的发展历程,为实现可持续发展从概念到行动的转变提供坚实的保障。

4 结语

综上所述,为了更好地实现以上所提出的环境教育目标,推进环境教育工作的深入开展,作者认为:首先,环境教育是科学教育不可缺少的一部分。因此,在普及全民族科学教育的同时,应充分认识到环境教育的地位与作用,将环境教育作为进行科学教育的重要内容和形式。其次,应当加强青少年环境教育。环境保护是一项长期的事业,解决环境问题必须经过几代人

坚持不懈的努力,因此,环境教育要从娃娃抓起。要正确认识环境教育和素质教育之间的关系,将环境教育作为德育工作的重要组成部分。再次,开辟更多开展环境教育的渠道。比如,充分利用高等院校和科研院所的人才、资源、信息等优势条件,为提高公众,尤其是青少年的环境意识,做出贡献。最后,还应加大环境法规和制度的宣传力度。公众只有在知法、懂法的前提下,才能更好地守法,执法工作才能得以顺利开展。只有公众的环境意识提高了,环境问题才能够真正有效地得以解决。

5 参考文献

- 1 庄国泰.论环境意识的基本内涵.中国环境科学,1991,11(5):375~379.
- 2 余谋昌.环境意识与可持续发展.世界环境,1995,(4):12~16.
- 3 王民.论环境意识的结构.北京师范大学学报(自然科学版),1999,35(3):423~426.
- 4 徐嵩岭.环境意识关系到中国的现代化前途.科技导报,1997,(1):46~49.
- 5 陈敏豪.价值危机:当代人类困境的实质.科技导报,1996,(10):58.
- 6 余谋昌.惩罚中的醒悟——走向生态伦理学.广州:广东教育出版社,1995.
- 7 张美华.高校环境意识培养的非课堂教学方式初探.环境教育,1998,(2):15~16.
- 8 方一兵,尹华.环境意识——可持续发展的基础.山东工业大学学报(社科版),1998,(4):39~40.

责任编辑 方如康 (收到修改稿日期:2002—02—08)

(上接第439页)

- 34 Repetto R, Austin D. The costs of climate protection. New York: WRI papers, 97-60932,1997.
- 35 Morgan D, Keith D. Subjective judgments by climate experts. Envi. Sci Tech., 1995, 29(10): 468~476.
- 36 Roughgarden T, Schneider S. Climate change policy: quantifying uncertainties for damages and optimal carbon taxes. Energy Policy, 1999, 27:415~429.
- 37 Kaufmann R. Assessing the DICE model: uncertainty associated with the emission and retention of greenhouse gases. Climatic Change, 1997, 35: 435~448.
- 38 Chapman D. Rolling dice for the future of the planet. Contemporary Economic Policy, 1995, 13(3):1~9.
- 39 Birge J, Rosa C. Incorporating investment uncertainty into greenhouse policy models. The Energy Journal, 1996, 17(1):79~90.
- 40 Grubb M. Technologies, energy systems and the timing of CO₂ emissions abatement: an overview of the economic issues. Energy Policy, 1997, 25: 159~172.
- 41 Pizer W. The optimal choice of climate change policy in the presence of uncertainty. Resource and Energy Economics, 1999, 21(3/4):255~287.
- 42 Rotmans J, M van Asselt. Uncertainty management in integrated assessment modeling: towards a pluralistic approach. Environmental Monitoring and Assessment, 2001, 69(2):101~130.
- 43 Reilly J, Stone P, Forest C, et al. Uncertainty and climate change assessments. Science, 2001, 293(5529):430~433.
- 44 Allen M, Raper S, Mitchell J. Uncertainty in the IPCC's third assessment report. Science, 2001, 293(5529):430~433.

责任编辑 王 芬 (收到修改稿日期:2002—03—14)

only by using traditional treatment technology, but put off the development trend. The ecological project of sewage reuse based on soil purification can not only protect biological environment, but also reduce the expenses of water treatment, with full use of assimilation and self-purification of water area, physical, chemical, biological operation of soil, and scientific sewage treatment.

Key words: Sewage Reuse Ecology Benefit

Improvement of Fuzzy Mathematics Decision Method and Its Application to Domestic Refuse Treatment Mode Assessment

Chen Shaowei

(School of Environmental Science & Engineering, Tongji University, Shanghai 200092)

Guo Guangzhai Lu Zhengming

(Shanghai Waste Disposal Company, Shanghai 200063)

Suitable objective is often determined during construction and management of environment, and fuzzy mathematics decision method is one of the effective qualitative methods. But in traditional fuzzy mathematics method, result often questioned on account of artificial factors. As far as incineration used on the city municipal solid waste disposal, evaluation is different with different people. The fuzzy mathematics decision method has been improved in the paper, and the result showed that improved method was more reasonable.

Key words: Fuzzy mathematics decision method
Domestic refuse Compost
Incineration Landfill

Real Case of Calculating the Diversion Flow through Intake Gate along Yangtze River in Tidal Area

Yang Kai

(Dept. of Environmental Science, East China Normal University, Shanghai 200062)

Yuan Wen

(Yangtze Valley Institute, East China Normal University, Shanghai 200062)

Teng Qilin

(Water Conservancy Bureau, Jiading District, Shanghai, 201800)

Shu Gou intake gate which located in the north area of Shanghai city along Yangtze River, plays an important role in controlling water resources and meeting regional water demand. However, it is difficult to calculate the diversion flow due to the changed water level that was for control both by considerations of safety and the needs of diversion operation scheme. This paper tried to use regression and discharge coefficient methods to solve the problem and the main results were as follows: 1, The main factor that effects

the diversion flow is the area of flow section of the gate; 2, the methods of discharge coefficient can modify the field-test data of diversion flow but it is hard to show the effect of instantaneous changing of flow section in the diversion process; and 3, there is a reversed relation between the change of water level and the area of flow section of the gate under diversion operation scheme. Study showed that Shu Gou intake gate could ensure a steady flow in different hydrological year for human control is stronger.

Key words: Intake gate Diversion flow Shanghai Regression Discharge coefficient method

Application of Modified Natural Polymer Water Treatment Reagent Treating Oilfield Wastewater

Pan Luting Zhao Jianfu

(State Key Lab. of Pollution Control and Resource Reuse, Tongji University, Shanghai 200092)

Xiao Jin

(College of Paper and Environmental Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510641)

Experimental study on treating oil field wastewater by using FIQ-C has been conducted. The result showed that FIQ-C possessed good functions of flocculation, corrosion inhibition and disinfection. Turbidity of filtered water was below 2.5NTU, inhibiting efficiency 58%, bactericidal rate was up to 99% with dosage 5mg/l. The dosage of FIQ-C used for flocculation, corrosion inhibition and disinfection was well matched so that there functions could be achieved simultaneously through only one dose.

Key words: Natural polymer Oilfield wastewater Multifunctional water treatment agent Modified

Discussion on Mathematical Model in Climate Policy Study

Wang Can Chen Jining

(Dept. of Environmental Science & Engineering, Tsinghua University, Beijing 10084)

Zou Ji

(Dept. of Environmental Economics & Management, Renmin University of China, Beijing 100872)

Under classification of two policy analysis levels of cost estimation and integrated assessment, different modeling methods were discussed, including input-out model, computable general equilibrium model, macro econometric model, engineering economics model, dynamic energy optimization model, energy system simulation model, and integrated assessment model, etc. The characteristics of these models were introduced and their application to climate policy analysis were reviewed. Based on which, it was pointed out that the computable general equilibrium modeling is the most

widely useful approach in such field. Then, four development trends of climate policy modeling were summarized, including strengthening the application of integrated assessment models, expanding the connotations of cost-benefit analysis, enhancing comparative research on different models, and emphasizing uncertainty analysis. Finally, the *status quo* and problems of China's climate policy modeling were briefly surveyed and discussed.

Key words: Climate change Climate policy study
Integrated assessment model
Uncertainty analysis Green house gas

Study Progress on Treatment of Refractory-degraded Organics by Electro-Fenton Method

Zhang Naidong Zheng Wei Peng Yongzheng
(School of Architecture & Civil Engineering, Harbin University of Technology, Harbin 150090)

Review on application of Electro-Fenton method to wastewater treatment, including principles, advantages and disadvantages of the method and *status quo* of study around the world, and its development trend etc. have been presented

Key words: Fenton reagent Hydroxyl radical
Electrolysis Hydrogen peroxide

Disposal of Residual and Sludge in Water Supply Plant

Qi Haiyan He Pinjing Zhang Hua
(State Key Lab. of Pollution Control and Resource Reuse, Tongji University, Shanghai 200092)

During water treatment processes, residuals are produced from coagulation/filtration unit and filter operation which amount to 4-7 percent of the whole water flow. So far, residuals in water supply plant are disposed mainly by direct discharge to surface water or discharge to wastewater treatment plants(WWTP). Sludge, produced from residuals treatment, is disposed mainly by land application or landfill. Some water supply plants discharge their residuals into surface water, which do harm to environments. In this paper, characteristics and environmental impact of disposal methods were introduced. According to the situation of China, a reasonable disposal strategy, land application after treatment, was proposed in this paper.

Key words: Water supply plant Residual
Residuals and sludge in water supply plant
Disposal of sludge Land application

Approach on Cumulative Watershed Effect and Problems in Its Assessment

Wu Jian You Wenhui

(Dept. of Environmental Science, East China Normal University, Shanghai 200062)

Description on the concepts of cumulative effect, cumulative watershed effect and cumulative effect assessment were presented. In addition, the technical issues, philosophical issues and sociocultural issues in assessment of cumulation watershed were emphatically discussed. Through study and perspective of the cumulative watershed effects assessment to propose a more perfect and resonable thought of watershed ecological management.

Key words: Cumulative watershed effect Assessment
Watershed ecological management

Approach on Development Relationship between Economic Efficiency and Environmental Management

Liao Hong Zhu Tan
(School of Environmental Science & Engineering, Nankai University, Tianjin 300071)

Through analyses on the concept and development of eco-economic efficiency, relation between eco-economic efficiency and sustainable development and the reason of why the eco-economic efficiency does not further development in China, to describe how to promote the strategies target and measures of eco-economic efficiency, and recommend the need for further study and analysis and application of eco-economic efficiency to local and regional levels, which can play a key role in sustainable development in China.

Key words: Eco-economic efficiency
Environmental management
Sustainable development

Connotation of Environmental Awareness and Objective of Environmental Education

Chen Feixing Xu Binbin
(Dept. of Environmental Science and Engineering, Beijing Normal University, Beijing 100875)

It is urgent to improve public environmental awareness to resolve the exacerbating environmental issues, and education is the main measure to foster environmental awareness. Possessing a correct and comprehensive connotation of environmental awareness is the first step to be developed. At the same time, it is the important gist for this paper to bring forward four objectives according to the analysis of the connotation of the environmental awareness, those are: knowledge, value, moral and behavior objective. Finally, it offered some suggestions to help to achieve these objectives.

Key words: Environmental awareness Objective
Connotation Environmental education