

2020.03

跬步集

不积跬步，
无以至千里。
-荀子



2020.03

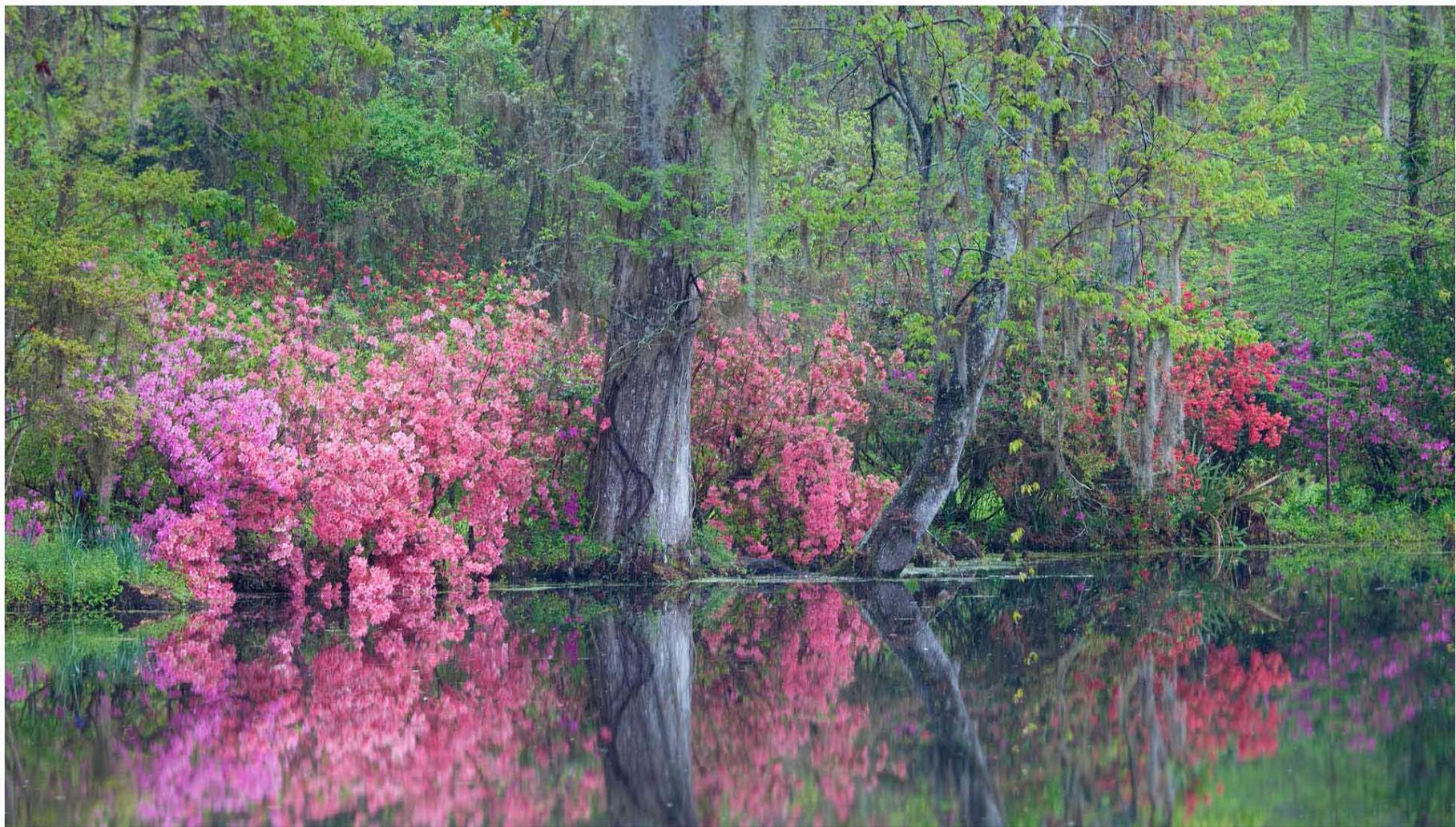
跬步集

不积跬步，
无以至千里。
-荀子



Column

安顿自己



熟悉我的人都知道，生活里的我挺“杂”的，喜欢吃的东西、看的书、听的歌儿、玩的玩意儿……方方面面，皆是如此。最喜新鲜有趣之物，而视无趣僵化为大敌。

有笃信星座的朋友曾将此归因于双子的天性敏感与好奇，我是不太信的，私以为这不本就是人类的天性么，探索未知，寻找乐趣。或者说白了，喜新厌旧罢了。倒是这突如其来的疫情，逼得我不得不囿于家中月余。得承认，一开始确实是不太适应乃至有些焦躁的。

当然人的适应性是很强的，尤其在你没什么别的选择的时候，慢慢的生理上自然也就适应了在家里生活学习的节奏。甚至于隔上几天去小区门口的钱大妈买些肉菜，偶尔照着网上的食谱给自己做顿好的改善下伙食都成了生活里的难得消遣、一抹亮色。然而，从月初看的一期许知远的《十三邀》开始，甚至心理上也起了一些变化。

许知远这人挺有意思的，一个北大计算机系毕业的“纯种”理科生却投身于文学，身上偏偏具有一种愈来愈“不合时宜”的知识分子气

不去争，不去抢，往里走，安顿自己。

质。他做的访谈节目《十三邀》我基本上每期都会瞅瞅，在与那些娱乐明星或极其精明的社会成功人士交流时，能明显感觉到他的不适和不解，节目质量也就只是差强人意；而这一期与他的本家许倬云先生的对谈却让我受益匪浅，甚至于连一次快进都没舍得按，这种感觉，久违了。

许先生是伤残之人，身体上的不便限制了他物理空间的移动，却丝毫没有阻隔其精神世界的广博。看这两个人的对谈，许知远像是年轻的对这个时代的对抗者，而许老先生则更进一步，是个抽离者，将自己置身于时代之外来对其思考和剖析。两个深刻灵魂的交流，酣畅淋漓。

谈到教育，他说“今天教育，教育的是凡人，过日子的人，这个教育今天大学的使命不能完成了。但是今天的书刊、信息、搜索工具都很丰富，只要肯用心，一个人可以自己从基本的阅读能力、最起码的思考训练底子上，自己摸出道路来”；谈到个人，他讲“叫每个人自己懂得怎么想，看东西要看东西本身的意义，不是看它的浮面，想东西要想彻底，不是飘过去”；谈到自己，他说“我从生下来知道自己是残缺，不去争，不去抢，往里走，安顿自己。”

原谅我将许先生的原文不加修改的转述，这不是偷懒，只是大家面前实在不敢班门弄斧，唯恐曲解了他的深意。

是的，在这个多数东西都碎片化，多数人（包括我）都急功近利的时代，也许我们更需要做的是往里走，安顿自己。就在这期跬步集发出去的时候，中国的疫情已基本得到了控制，而国外的情形则令人忧心忡忡。然而在这个全球一体化的时代，没有人能独善其身，中国这个曾经疫情最严重的的地方，反倒成

了安全岛和救援物资与人力的最有利提供者，令人感叹。祸不单行，就在发稿的当日，四川的火灾也造成了18名消防员的逝去……

人类在自然面前的渺小曾经被自大到忘记，而后被数次教育终于想起，然而最近这段日子，自然母亲“补课”的频率确实令我们有些应接不暇了。

然而最近这段日子，自然母亲“补课”的频率确实令我们有些应接不暇了。

昨天刷微博刷到一张武汉市民在殡仪馆门口排长队认领亲属骨灰的图片，慨叹不已。那长长的队伍里有他们的亲人，有他们的朋友，有一场场的生离死别和天人两隔。时代的一粒灰尘落于个人头上便是灭顶之灾。

如何应对不可预知的未来，如何立命于这云波诡谲的时代？

往里走，安顿自己。

这是最好的办法，可能也是唯一的办法。

主编伯龙

REVIEW

生物燃料机动车碳组分排放特征及其环境、气候效应

李婷婷



随着国民经济高速发展，我国机动车保有量逐步上升，截止2019年6月，我国机动车保有量达3.4亿辆，随之而来的机动车污染问题日益突出，状况不容乐观。机动车尾气是造成我国城市大气污染的重要原因之一，对细颗粒物浓度的贡献高达20-50%以上。根据2015年中国环境统计年鉴显示机动车排放颗粒物（PM）55.5万吨，氮氧化物

（NO_x）585.9万吨。2016年，全国汽车排放一氧化碳（CO）2998.5万吨，碳氢化合物（HC）355.0万吨，氮氧化物534.6万吨，颗粒物51.2万吨。其中，柴油车排放的氮氧化物接近汽车排放总量的七成，颗粒物超过九成；而汽油车排放的一氧化碳超过汽车排放总量的八成，碳氢化合物超过七成。机动车尾气中的含碳物质是我国城市群大气

污染的重要污染物，机动车尾气排放的含碳物质主要包括CO、CO₂、挥发性和半挥发性有机物（VOCs和SVOCs）、大分子聚合物，以及黑碳颗粒物（BC）等。这类污染物会造成全球气温升高，降低空气质量，损害人体健康。目前，机动车排放已成为部分城市空气污染的首要来源，且在重污染期间，机动车排放在污染积累过程中的作用更明显。

目前，机动车排放已成为部分城市空气污染的首要来源，且在重污染期间，机动车排放在污染积累过程中的作用更明显。

近年来，为有效控制机动车污染物排放总量，改善城市空气质量，降低机动车尾气对人类健康的危害，加之对公路运输排放的严格限制，传统燃料价格不断上涨等原因，生物燃料在交通运输中的使用越来越普及。2001年上半年，河南省和黑龙江省的五个城市被列入了车用乙醇汽油使用的试点城市，2004年年底，河南全省以及东北三省开始全面实施车用乙醇汽油的封闭推广。2005年4月1日，八部委又联合下文将安徽省列入封闭推广乙醇汽油、禁止销售普通无铅汽油的行列，并将湖北9个地市

和山东7个地市、江苏5个地市列入试点城市。目前我国已有13个省区推广了车用E10乙醇汽油，范围包括



图 2.E10 乙醇汽油推广地区

黑龙江、吉林、辽宁、河南、安徽、广西6个省，天津市、湖北9个地市、山东7个地市、河北6个地市、江苏5个地市、内蒙古的3个盟市和广东省湛江市。

生物燃料的排放特征

燃料乙醇通常以玉米、甘蔗、薯类等为主要原料通过发酵工艺生产，而生物柴油是通过各种生物油（动物油，植物油，废弃油脂和微生物油脂）与醇类经酯转化形成的脂肪酸甲酯或乙酯。相比于化石燃料，生物燃料（E10乙醇汽油和B5生物柴油）具有含氧量高、含硫量低和具有现代碳的特点，燃烧排放的NO₂、CO、HC化合物和BC相对较少。在使用乙醇汽油期间，城市空气中的NO₂、CO季均值与使用普通汽油比较，NO₂下降了8%，CO下降5%。虽然常规污染物的排放得到了改善，但乙醇汽油机动车排放物中乙醇和羰基化合物含量较大，甲醛乙醛排放量增加显著。乙醇是乙醛和过氧乙酰硝酸盐（PAN）的前体物，PAN是大气光化学污染中的重要元凶之一，甲醛和乙醛还分别被国际癌症研究协会列为致癌物和可能致癌物，会对人类健康产生不利的影晌。

生物燃料机动车排放物具有含氧量高的特点，具体的研究表明随着汽油中乙醇含量的增加，汽车排放的含氧有机物呈上升趋势。这些有机物可以在大气中被氧化生成半挥发性有机物，进一步在气相、固相分配后形成二次有机气溶胶。这类二次有机气溶胶的生成可能会导致颗粒物中的含氧有机物（尤其是具有诸如羟基之类官能团的有机物）增加，使其具有水溶性，能够很大程度上增加细颗粒物的吸湿性，有利于细颗粒物的吸湿增长，加剧空气质量恶化。含氧有机物还易与碱性物质中合成盐，在形成云凝结核的过程中，降低其表面张力，从而改变云的形成过程，进而影响能见度。一些含氧有机化合物分子中还存在着多种具有吸光效应的基团，这些特殊基团的存在也会影响大气能见度。低温下生物燃料机动车有机排放物呈现成倍增长趋势，以乙醇汽油为例，研究表明，在低温冷启动状况下（-7℃），燃用乙醇汽油机动车排放的VOCs和大气毒害物的浓度是常温启动（24℃）状况下的7-21倍。我国东北地区冬季气候冷湿，低温下生物燃料机动车有机排放物成倍增长的同时，尾气排放物含氧量高可能会使生成的二次颗粒物中有机污染物极性更大，可能会共同促使颗粒物吸湿增长能力增强，加剧空气质量恶化。

生物燃料机动车排放物对大气中臭氧浓度也有一定的影响。乙醇汽油机动车排放的短链烃类（如乙烯、丙烯、反-2-丁烯、1-丁烯、顺-2-丁烯、1，3-丁二烯、2，2-甲基丁烷、丁炔

等)排放量比普通汽油车排放量高,生物柴油机动车NO_x的排放量高于普通柴油车。城市大气VOCs中短链烃类,尤其是C3-C5类烯烃对臭氧生成潜势贡献较大,而NO_x也是臭氧的重要前体物之一,有研究表明我国太原市环境空气中产生臭氧活性较大的VOCs物种主要来源于交通源。值得注意的是,相比我国其他地区,近年来珠三角的空气质量有明显的改善,但珠三角大气中的臭氧浓度持续上升,PM_{2.5}和臭氧协同控制成为珠三角大气污染治理的深水区。而臭氧的重要前体物如VOCs(特别是含氧VOCs)、C3-C5类烯烃的排放量在乙醇汽油使用过程中均有不同程度的增加,这对珠三角臭氧的减排来说是严峻的挑战。

研究现状

Costagliola等人研究了E0、E10、E20、E30、E85(汽油中乙醇体积比为0、10、20、30和85%)几种乙醇/汽油混合物燃料对机动车排放物的影响。结果显示,随着普通汽油燃料中乙醇含量的增加,发动机排出的颗粒物(如硝酸盐、硫酸盐、难熔黑炭等)和气态化合物(如CO₂、NO_x、NH₃和芳香烃等)排放量逐渐减少,颗粒物数量下降的范围在60%~90%之间,对于一些有毒有害气体,如苯和苯并(a)芘(分别减少了近50%和70%),然而短链烃类和含氧有机物(如甲醛、乙醛、甲醇和乙醇)的排放却有不同程度的增加。其中短链烃类尤其是C3-C5类烯烃的臭氧生成潜势贡献很高,这将会导致大气中臭氧浓度升高,导致臭氧污染。

关于生物柴油,Michael J. Haas等发现与普通柴油相比燃用B100生物柴油后,总碳氢(THC),PM,CO的排放分别下降了55%,53%,48%,而NO_x的排放却上升了9%。燃用B20生物柴油后,THC,PM,CO的排放分别下降了27.7%,19.7%,2.4%,而NO_x的排放上升了1.3%。Sergejus等,Aldawody等通过研究燃用生物柴油机动车的排放也发现了相似的结论。

何等人利用多点电喷汽油机研究了乙醇和汽油在不同掺混比下的排放特性。研究表明,随着混合燃料中乙醇含量的增加,在各种工况下THC排放均有明显改善,效果可达30%左右,而CO排放在大负荷时有明显改善,NO_x排放在中、小负荷工况下改善明显。梁等对比研究了车辆燃用E10乙醇汽油和普通汽油对颗粒物、常规污染物和醛酮化合物排放特征,研究发

现，燃用E10乙醇汽油，颗粒物排放的数浓度、表面积浓度和体积浓度比燃用普通汽油时的低，HC、CO和NOX降低的分数依次为21.42%、13.23%和4.62%，但醛酮类污染物总量比燃用汽油时高，乙醛的增幅最大，约为普通汽油车的5倍。由于乙醇是含氧化合物，E10乙醇汽油含氧量达3.5%，高于普通汽油中含氧量，促进了燃料完全燃烧，降低了常规污染物的排放。但醛酮类污染物总量比燃用普通汽油时高，其中乙醛的增幅最大。这是因为乙醇是二碳醇，可以直接脱氢生成乙醛，燃烧过程中，乙醇对汽油中其他碳氢的氧化有抑制作用，先于碳氢化合物反应生成乙醛，相比于普通汽油，E10乙醇汽油生成乙醛的前体物增加，因此增加了乙醛排放量。而Zhao等，Li等的研究也发现了醇类汽油排放的THC和CO比普通汽油低，排放的羰基化合物比普通汽油高，但发现安装新型后处理催化装置后，醇类汽油的醛酮化合物排放总量有所改善。

总结

虽然乙醇汽油能有效地降低有机物的排放，但在乙醇汽油排放的尾气污染物中含氧有机物增多，关于其对大气中颗粒物的影响的研究较少。此外，乙醇汽油在燃烧过程中，乙醇和化石燃料生成污染物的贡献比例研究十分缺乏。乙醇和化石燃料哪种成分更利于生成VOCs、有机颗粒物和BC，以及低温冷启动下生成的大量有机污染物来源于乙醇还是化石燃料有待进一步研究。在城市大气气溶胶源解析研究中，放射性碳同位素可以示踪污染物的化石源和非化石源。根据尾气中不同形态的碳有机物的分子组成和部分碳组分的碳氧同位素，可以进一步探究生物燃料机动车排放的有机污染物生成机理。随着

分析仪器的完备加之样品分析技术的不断提高，将促进国内外关于生物质燃料机动车排放研究的不断深入发展，而不仅仅局限于常规污染物的检测与分析。

参考文献

1.Huang, R. J.; Zhang, Y.; Bozzetti, C.; Ho, K. F.; Cao, J. J.; Han, Y.; Daellenbach, K. R.; Slowik, J. G.; Platt, S. M.; Canonaco, F.; Zotter, P.; Wolf, R.; Pieber, S. M.; Bruns, E. A.; Crippa, M.; Ciarelli, G.; Piazzalunga, A.; Schwikowski, M.; Abbaszade, G.; Schnelle-Kreis, J.; Zimmermann, R.; An, Z.; Szidat, S.; Baltensperger, U.; El Haddad, I.; Prevot, A. S., High secondary aerosol contribution to particulate pollution during haze events in China. *Nature* 2014, 514, (7521), 218-22.

2.Huang, X.-F.; Zou, B.-B.; He, L.-Y.; Hu, M.; Prévôt, A. S. H.; Zhang, Y.-H., Exploration of PM_{2.5} sources on the regional scale in the Pearl River Delta based on ME-2 modeling. *Atmospheric Chemistry and Physics* 2018, 18, (16), 11563-11580.

3. Zhang, R.; Jing, J.; Tao, J.; Hsu, S. C.; Wang, G.; Cao, J.; Lee, C. S. L.; Zhu, L.; Chen, Z.; Zhao, Y.; Shen, Z., Chemical characterization and source apportionment of PM_{2.5} in Beijing: seasonal perspective. *Atmospheric Chemistry and Physics* 2013, 13, (14), 7053-7074.
4. 黄志辉, 机动车污染物排放量分析. 环境管理年报 2017.
5. 靳生盛, 高原地区推广使用乙醇汽油的可行性分析 2009, (49), 62-63.
6. 阳国军, 燃料乙醇发展趋势及我国石油化工企业对策研究. 酿酒科技 2019.
7. 贾莉伟. 乙醇汽油机动车排放特性与尾气净化催化剂研究. 博士, 天津大学, 2007.
8. Wallington, T. J.; Anderson, J. E.; Kurtz, E. M.; Tennison, P. J., Biofuels, vehicle emissions, and urban air quality. *Faraday Discuss* 2016, 189, 121-36.
9. Timonen, H.; Karjalainen, P.; Saukko, E.; Saarikoski, S.; Aakko-Saksa, P.; Simonen, P.; Murtonen, T.; Dal Maso, M.; Kuuluvainen, H.; Bloss, M.; Ahlberg, E.; Svenningsson, B.; Pagels, J.; Brune, W. H.; Keskinen, J.; Worsnop, D. R.; Hillamo, R.; Rönkkö, T., Influence of fuel ethanol content on primary emissions and secondary aerosol formation potential for a modern flex-fuel gasoline vehicle. *Atmospheric Chemistry and Physics* 2017, 17, (8), 5311-5329.
10. Costagliola, M. A.; De Simio, L.; Iannaccone, S.; Prati, M. V., Combustion efficiency and engine out emissions of a S.I. engine fueled with alcohol/gasoline blends. *Applied Energy* 2013, 111, 1162-1171.
11. 赵喆. α -蒎烯氧化生成二次有机气溶胶的实验研究. 博士, 清华大学, 2008.
12. 余文洋. 武汉市典型地区PM_{2.5}中含氧有机物的分布特征及来源解析. 硕士, 武汉理工大学, 2015.
13. 边海; 韩素芹; 张裕芬; 冯银厂; 吴建会; 姚青, 天津市大气能见度与颗粒物污染的关系. *中国环境科学* 2012, 32.
14. George, I. J.; Hays, M. D.; Herrington, J. S.; Preston, W.; Snow, R.; Faircloth, J.; George, B. J.; Long, T.; Baldauf, R. W., Effects of Cold Temperature and Ethanol Content on VOC Emissions from Light-Duty Gasoline Vehicles. *Environ Sci Technol* 2015, 49, (21), 13067-74.
15. Petters, S. S.; Pagonis, D.; Clafin, M. S.; Levin, E. J. T.; Petters, M. D.; Ziemann, P. J.; Kreidenweis, S. M., Hygroscopicity of Organic Compounds as a Function of Carbon Chain Length and Carboxyl, Hydroperoxy, and Carbonyl Functional Groups. *J Phys Chem A* 2017, 121, (27), 5164-5174.
16. Haas, M. J.; Scott, K. M.; Alleman, T. L.; McCormick, R. L., Engine Performance of Biodiesel Fuel Prepared from Soybean Soapstock: A High Quality Renewable Fuel Produced from a Waste Feedstock. *Energy Fuels* 2001, (15), 1207-1212.
17. 司雷霆; 王浩; 李洋; 魏永杰; 袁进, 太原市夏季大气VOCs污染特征及臭氧生成潜势. *中国环境科学* 2019, 39, (09), 3655-3662.
18. 陈皓; 王雪松; 沈劲; 陆克定; 张远航, 珠江三角洲秋季典型光化学污染过程中的臭氧来源分析. *北京大学学报(自然科学版)* 51, (4), 620-630.
19. 沈劲; 黄晓波; 汪宇, 广东省臭氧污染特征及其来源解析研究. *环境科学学报* 2017, 37 (12), 4449-4457.
20. Zhang, Y. H.; Su, H.; Zhong, L. J.; Cheng, Y. F.; Zeng, L. M.; Wang, X. S.; Xiang, Y. R.; Wang, J. L.; Gao, D. F.; Shao, M., Regional ozone pollution and observation-based approach for analyzing ozone-precursor relationship during the PRIDE-PRD2004 campaign. *Atmospheric Environment* 2008, 42, (25), 6203-6218.
21. Rogge, W. F.; Mazurek, M. A.; Hildemann, L. M., Quantification of urban organic aerosols at a molecular level: identification, abundance and seasonal variation. *Atmospheric Environment* 1993, 27, 1309-1330.

22. Nunes, T. V.; Pio, C. A., Carbonaceous aerosols in industrial and coastal atmospheres. *Atmospheric Environment* 1993, 27, 1339–1446.
23. 朱仁成. 汽油特性对汽车颗粒物排放影响及预测模型研究. 博士, 南京航空航天大学, 2017.
24. Gentner, D. R.; Jathar, S. H.; Gordon, T. D.; Bahreini, R.; Day, D. A.; El Haddad, I.; Hayes, P. L.; Pieber, S. M.; Platt, S. M.; de Gouw, J.; Goldstein, A. H.; Harley, R. A.; Jimenez, J. L.; Prevot, A. S.; Robinson, A. L., Review of Urban Secondary Organic Aerosol Formation from Gasoline and Diesel Motor Vehicle Emissions. *Environ Sci Technol* 2017, 51, (3), 1074-1093.
25. 李立琳. 乙醇/生物柴油燃烧过程试验研究与理论分析. 博士, 江苏大学, 2013.
26. 丁红元. GDI汽油机乙醇汽油闪急沸腾喷雾研究. 博士, 华中科技大学, 2013.
27. 李鹏辉, 美国发展清洁能源燃料乙醇的经验. *世界环境* 2016, (06), 72-73.
28. Karavalakis, G.; Short, D.; Vu, D.; Villela, M.; Asa-Awuku, A.; Durbin, T. D., Evaluating the regulated emissions, air toxics, ultrafine particles, and black carbon from SI-PFI and SI-DI vehicles operating on different ethanol and iso-butanol blends. *Fuel* 2014, 128, 410-421.
29. Dawody, A.; F, M.; Bhatti, S. K., Experimental and Computational Investigations for Combustion, Performance and Emission Parameters of a Diesel Engine Fueled with Soybean Biodiesel-Diesel Blends. *Energy Procedia* 2014, 52, 421-430.
30. Lebedevas, S.; Vaicekauskas, A.; Lebedeva, G.; Klaipeda, L.; Makareviciene, V.; Janulis, P.; Kazancev, K., Use of Waste Fats of Animal and Vegetable Origin for the Production of Biodiesel Fuel: Quality, Motor Properties, and Emissions of Harmful Components. *Energy Fuels* 2006, 20, 2274-2280.
31. 何邦全; 闫小光; 王建昕; 肖建华; 郝吉明, 电喷汽油机燃用乙醇_汽油燃料的排放性能研究. *内燃机学报* 2002, 20, (5), 399-402.
32. 梁宾; 葛蕴珊; 谭建伟; 代培培; 叶文韬; 付明亮; 余林啸, 汽油车燃用乙醇汽油的颗粒物与醛酮排放特性. *燃烧科学与技术* 2013, 19, (4), 341-346.
33. Chen, L.; Stone, R., Measurement of Enthalpies of Vaporization of Isooctane and Ethanol Blends and Their Effects on PM Emissions from a GDI Engine. *Energy & Fuels* 2011, 25, (3), 1254-1259.
34. Li, L.; Ge, Y.; Wang, M.; Peng, Z.; Song, Y.; Zhang, L.; Yuan, W., Exhaust and evaporative emissions from motorcycles fueled with ethanol gasoline blends. *Sci Total Environ* 2015, 502, 627-31.
35. Zhao, H.; Ge, Y.; Hao, C.; Han, X.; Fu, M.; Yu, L.; Shah, A. N., Carbonyl compound emissions from passenger cars fueled with methanol/gasoline blends. *Sci Total Environ* 2010, 408, (17), 3607-13.

REVIEW

重金属污染土壤修复技术体系研究 —基于化学浸提-电动力学法

张庆



土壤中重金属的输入与累积非常普遍，主要有自然源和人为源。人们最为关注的土壤重金属污染是指工业矿业排放“三废”、农业中施用化肥和农药、大气沉降及污水灌溉等导致土壤中重金属含量明显高于背景值，并造成现存或潜在的土壤质量退化、生态与环境恶化的现象，这将日益加剧土壤资源的短缺。随着工业、城市污染的加剧和农用化学

物质种类、数量的增多，土壤重金属污染已日益严重。

据2014年4月7日国家环境保护部和国土资源部联合发布的《全国土壤污染调查公报》显示，全国土壤总的超标率为16.1%，其中无机污染物超标点位数占全部超标点位的82.8%。西南、中南地区土壤重金属超标范围较大；镉、汞、砷、铅4种无机污染物

做好土壤重金属污染的治理修复工作对于保障人民的生命财产安全具有重要意义

含量分布呈现从西北到东南、从东北到西南方向逐渐升高的态势。耕地环境质量堪忧，调查范围耕地土壤超标率达到19.4%，主要污染物为镉、镍、砷、汞、铅等。工矿业废弃地等典型地块土壤环境问题突出，如工业废弃地污染比例34.9%，主要为铬、铅、汞、锌和砷污染；工业园区土壤污染比例29.4%，主要为镉、铅、铜和砷污染；采矿区土壤污染比例33.4%，主要为镉、铅、砷污染；污染灌溉区土壤污染比例26.4%，主要为镉和砷污染。

自日本富士川痛痛病和水俣病事件被爆出后，一系列研究表明，由于重金属具有高毒性、累积性和不可降解性，土壤重金属污染引起的后果有植物吸收后使植物生理功能紊乱、营养失调，进而造成减产；或重金属在植物籽实中富集，转化为毒害性更大的甲基化合物，通过食物链进入人体，危害人体健康。由此，做好土壤重金属污染的治理修复工作对于保障人民的生命财产安全具有重要意义。

目前，用于治理修复土壤重金属污染的技术都有一定的局限性，还没有一项修复技术可以完全解决土壤重金属污染问题（X. Tang, 2016），因此需要研究出一套简单、高效而经济的治理方法来很好地处理重金属污染土壤。

研究现状

关于土壤重金属污染治理思路主要有三种：一种思路是将重金属从土壤中去掉，第二种是转变重金属形态使其呈现无毒或者低毒性，第三种是减小重金属的迁移使其稳定在土壤中，不参与生物链循环。

土壤重金属污染的修复技术主要有工程措施、物理化学修复技术、生物修复技术以及联合修复技术。化学浸提和电动力学修复属于其中的物理化学修复技术，涉及物理、电化学、土壤化学、分析化学和生物等多学科的交叉领域。化学浸提主要通过化学浸提剂，主要有无机浸提剂、螯合剂、络合剂及复合浸提剂等将土壤中的污染物洗脱出来，因需要和土壤充分接触反应，适用于渗透性较好的土壤，不适合黏土含量 30%以上的土壤。土壤粘性强、渗滤性低时，与浸提剂混合不充分，洗脱修复效果不好 (Gusiatin et al., 2012)。而电动力学修复是从饱和土壤层、污泥、沉积物中分离提取有机污染物、重金属的过程，主要用于低渗透性土壤（由于水力传导性问题）的修复，适用于大部分无机污染物，也可用于对放射性物质及吸附性较强的有机物的治理。

由于土壤的酸碱缓冲能力和阳离子交换量都很高，会阻止土壤的酸化过程，从而降低电动修复过程中对有毒重金属的提取效率。在此类情况下，加入土壤浸提剂可以增强电动修复过程中对重金属的提取。结合化学浸提-电动修复能拓宽两种修复单独应用时适于的土壤类型，能更有效地增大电动系统中电解质含量，促进电动修复中金属离子从土壤中脱离出来，降低 pH 对电动修复效果的影响；同时能将电场下促进化学浸提对重金属的转移固定，降低浸提废液二次处理的问题。

自上世纪九十年代，一些欧美国家开始将电动力学修复技术应用于污染土壤的修复治理 (US EPA, 1997)。Acar (1993) 最早提出将电动力学技术用于重金属污染土壤的修复，同时他开展了直接采用电动力学法去除土壤中重金属的研究。由于电动力学修复具有能将重金属从土壤中彻底去除，操作较易，能耗和成本低，且修复速度快等优势，同时近年来在国内外几项中等规模试验和修复示例中有可观的修复效果，电动力学修复技术得到业界的大量关注 (Virkytyte, et al, 2002)。

为了描述污染物的迁移状况和修复区域内剖面土壤 pH 的分布状况，Kim 等 (2010) 建立了以 pH、zeta 电位、水相反应、吸附解吸平衡、溶解沉淀平衡等物化参数为主的数值模型进行研究，结果表明 pH 是电动力学修复系统中 Pb 溶解和吸附的关键因子。在化学平衡假设下得到的模拟结果表明，与实验数据相比，Pb 的去除速度较慢。在化学动力学模型的应用下 (M.

Masi, et al.2019) , 在阳极室附近的钙质土壤中模拟结果准确地再现了实验数据。实验数据与化学平衡模型结果的差异可能与阴极附近土壤的化学沉淀反应有关。而低pH值的环境促进了矿物的更快溶解。

Gent等 (2004) 用柠檬酸调节酸度, 显著提高了土壤中铬和镉的提取效果, 并将该技术应用于现场修复, 修复结果表明经过六个月的电动力学修复, 土壤中铬去除率达到 78%, 镉的去除率达到 70%。周东美等 (2005) 通过调节阴极pH值, 同时施加重金属螯合剂EDTA溶液以及乳酸和柠檬酸, 提高了黄棕壤中铬的去除率。低pH条件下的阳极电解和质子化是导致重金属金属-EDTA络合物在阳极上释放自由金属阳离子的两种可能的机制 (Yue Song, et al. 2019) 。此外, 研究证明可用作土壤阴极缓冲液的还有草酸、有机脂肪酸等, 同时也有采用只在阴极辅加导电溶液的控制方法。

通过实验室小试筛选了合适的增强试剂 (乳酸、柠檬酸), 南京土壤所在江苏常熟某电镀场地开展重金属污染土壤的电动修复工程示范。示范面积为16m², 深度1m, 采取平行成对的电极布设方式, 通过选用可生物降解的增强试剂来提高土壤中重金属的去除率。试验现场外接民用交流电, 通过稳压直流电源转换成直流电提供给电动修复使用, 电压梯度为7.5V/m, 运行电流为0.85-1.7A。经过48d的修复后, 土壤总铜总铜去除率最高达81%, 处理能耗为13.6kW·h/m³ (包括直流电源、各种数据记录仪等设备的耗电), 单位体积单位去除率的能耗仅为0.22-0.26kW·h/ (%·m³), 修复成本约200元/m³, 优于其他修复技术和国外报道中的电动修复成本 (刘慧等, 2016) 。

T. Suzuki等 (2014) 在应用可生物降解的[S,S]-EDDS作为土壤中电动修复Cd的螯合剂实验中发现, [S,S]-EDDS固然可以在保持土壤中性条件下显著提高Cd的溶解性从而促进其在电场中迁移, 然而Cd²⁺与带负电的Cd-EDDS迁出方向不一致, 导致Cd集中到电场中部区域, 不利于提高修复效果。JieLuo等 (2018) 在EDTA强化电动-植物修复实验中, 证实EDTA抑制植物蓝桉 (*Eucalyptus globulus*) 的生长, 表明螯合剂具有一定环境风险。

电动修复中对土壤溶液的处理普遍采用化学沉淀法去除而不回收废水中的重金属离子。电动修复过后土壤溶液为较强酸性, 需要投入大量石灰先中和, 再加入硫化钠产生重金属硫化物

的沉淀。化学沉淀需要使用大量化学试剂而且反应过程中会产生有害气体不利于操作人员的健康。离子交换法将是含重金属土壤溶液中有效分离和回收金属离子的又一重要的可行性处理方法。Blige Alyüz等 (2009) 使用离子交换树脂Dowex HCR S/S 在对废水中Zn、Ni的吸附实验中结果显示, 最理想吸附条件下 (pH分别为6.0、4.0; 平衡时间分别为120min、90min) 两种重金属的去除率均超过98%。

以上多为当前修复技术的一些机制研究, 而在实际应用中仍存在几个问题: 1) 电动修复受限于污染物的溶解度及污染物自土壤中脱附的能力, 需克服目标离子浓度很低而非目标离子浓度很高的情况; 2) 电动力学修复需克服极化现象和pH跃升, 这都会降低电动力学处理重金属的效率; 3) 需克服电场做功引起的土壤发热而导致去除率降低, 减少电位损失; 4) 场地修复效果均匀性差, 增加了局部土壤的健康风险。

参考文献

- X. Tang, Q. Li, M. Wu, et al. Review of remediation practices regarding cadmium-enriched farmland soil with particular reference to China[J]. *Journal of Environmental Management*, 2016, 181.
- Bo-Kyong Kima, Kitae Baekb, Sung-Hwan Koc, et al. Research and field experiences on electrokinetic remediation in South Korea. *Separation and Purification Technology*, 2011, 79: 116–123.
- S. Environmental Protection Agency. Resource Guide for Electrokinetics Laboratory and Field Processes Applicable to Radioactive and Hazardous Mixed Wastes in Soil and Groundwater from 1992 to 1997. Air and Radiation, 1997, 402-R-97-00(6601J).
- S. K. Puppala, A. N. Alshawabkeh, Y. B. Acar, et al. Enhanced electrokinetic remediation of high sorption capacity soil. *Journal of Hazardous Materials*, 1997, 55(1-3): 203~220.
- B. Gent, R. M. Bricka, A. N. Alshawabkeh, et al. Bench and field-scale evaluation of chromium and cadmium extraction by electrokinetics. *Journal of Hazardous Materials*, 2004, 110(1-3): 53~62.
- M. Pazos, M. A. Sanroma, C. Cameselle. Improvement in electrokinetic remediation of heavy metal spiked kaolin with the polarity exchange technique. *Chemosphere*, 2006, 62(5): 817~822
- J.H. Choi, S. Maruthamuthu, H.G. Lee, et al. Electrochemical studies on the performance of SS316L electrode in electrokinetics. *Metal and Materials International*, 2009, 15: 771–781.
- S.H. Kim, H.Y. Han, Y.J. Lee, et al. Effect of electrokinetic remediation on indigenous microbial activity and community within diesel contaminated soil, *Science of Total Environment*. 2010, 408: 3162–3168.
- B. Alyüz, S. Veli. Kinetics and equilibrium studies for the removal of nickel and zinc from aqueous solutions by ion exchange resins. *Journal of Hazardous Materials*, 2009, 167 :482-488.

Tasuma Suzuki, Masakazu Niinae, Toshiyuki Koga, et al. EDDS-enhanced electrokinetic remediation of heavy metal-contaminated clay soils under neutral pH conditions[J]. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 2014, 440.

Matteo Masi, Juan Manuel Paz-Garcia, Cesar Gomez-Lahoz, et al. Modeling of electrokinetic remediation combining local chemical equilibrium and chemical reaction kinetics[J]. Journal of Hazardous Materials, 2019, 371.

Jie Luo, Limei Cai, Shihua Qi, et al. The interactive effects between chelator and electric fields on the leaching risk of metals and the phytoremediation efficiency of Eucalyptus globulus. Journal of Cleaner Production. 2018. 202 :830-837.

Yue Song, Long Cang, Hongting Xu et al. Migration and decomplexation of metal-chelate complexes causing metal accumulation phenomenon after chelate-enhanced electrokinetic remediation. Journal of Hazardous Materials. 2019. 377: 106-112.

环境保护部, 国土资源部. 全国土壤污染状况调查公报[R]. 北京: 环境保护部, 2014.

孙宁, 王兆苏, 卢然等. “十三五”重金属污染综合防治思路和对策研究[J]. 环境保护科学, 2016, 42(02): 1-7.

孟凡生, 王业耀. 污染高岭土电动修复适宜电压研究. 农业环境科学学报, 2007, 26(2): 449~452.

郑燦燦, 申哲民, 陈学军等. 逼近阳极法电动力学修复重金属污染土壤. 农业环境科学学报, 2007, 26(1): 240~245.

杨秀敏, 任广萌, 李立新, 罗克洁. 土壤pH值对重金属形态的影响及其相关性研究[J]. 中国矿业, 2017, 26(06): 79-83.

刘慧, 仓龙, 郝秀珍等. 铜污染场地土壤的原位电动强化修复[J]. 环境工程学报, 2016, 10(07): 3877-3883.

樊广萍, 朱海燕, 郝秀珍等. 不同的增强试剂对重金属污染场地土壤的电动修复影响[J]. 中国环境科学, 2015, 35 (05): 1458-1465.

周东美, 仓龙, 邓昌芬. 络合剂和酸度控制对土壤铬电动过程的影响. 中国环境科学, 2005, 25(1): 10~14.

TRAVEL

记三位陌生人

徐步青



离开欧洲之后的一月余，刷着疫情扩散、欧洲已彻底沦陷的新闻，我想起了几个月来在欧洲遇到的三位陌生人。

第一位是一个意大利老人。遇见他的时候，我正跟着旅行团，从比萨大教堂出来，斜着穿过一段铁轨。地中海畔的落日昏黄，悬挂在铁轨尽头的天空，在地面上斜斜地投下一片倒影。在铁轨旁的一栋小洋房的二层阳台

上，他正站着，悠然地欣赏着夕阳。看到我们这一大群游客陆续从楼下走过，他突然笑着向我们每个人都依次招手，笑容如同当时融融的阳光一般温暖，直到我们尽数穿过铁轨，消失在拐角处。这条小路距离著名的比萨斜塔只有几百米的距离，每天都有络绎不绝的游客经过。我想他这些年来一定常常会站在阳台上那个挂着好看的弧形百叶窗

前，对无数个擦肩而过的游人表达过意大利最和煦的善意。

我想他这些年来一定常常会站在阳台上那个挂着好看的弧形百叶窗前，对无数个擦肩而过的游人表达过意大利最和煦的善意。

第二位是我在冰岛的导游兼司机大叔。在结束最后一天的行程后，我们准备离团，打算从雷克雅未克前往机场旁的小镇住一晚，并搭乘第二天一早的飞机，但恰巧错过了去机场的班车。导游大叔停好旅游大巴后，非常好心地开着他的私家车送我们过去。聊天的时候我们才知道，他退休前曾经是一艘大邮轮上的船长，年轻时跟着大船在远洋航行，从格陵兰海的港口出发，沿着俄罗斯北方航道，穿越北冰洋，跨过白令海峡，到过很多地方。他语气平淡地和我们说起些关于大海，关于远航的故事。到了目标小镇，我们却迟迟找不到地图上的旅店。也许是冰岛太过荒芜，谷歌地图的导航都不甚准确，汽车在雪地上兜了一圈又一圈。我们倍感愧疚，便一再要求下车，且想来旅店就在附近，徒步寻找也并非难事。他却毫不在意地宽慰我们：“没关系的，其实我也非常好奇这家旅馆到底在哪儿。”



他多次问路，反复漂移过弯，又急刹掉头，我们转遍了小镇后，终于找到了目的地。他事了拂衣去似的点了支烟，挥挥手，在马达轰鸣中消失在灰色的雪雾中。我想起前四史中的古人传记，常有“任侠”、“少以侠闻”类的评价，自魏晋之后，侠风渐微，再鲜见关于“侠”的记载。而如今我竟也莫名在这位维京大叔身上想起了茫茫冰海，想起了江湖侠气，想起了归隐的剑客，想起了辛弃疾笔下的“壮岁旌旗拥万夫，锦



也许文学就是这样，能跨越语言和民族，与人类的精神相通。

檐突骑渡江初”。

第三位是在瑞典遇到的售货小哥。从斯德哥尔摩回国的前一天，我去斯京的中央大街筹备些手信。打包付款时，导购小哥得知我是中国人，眼神忽然冒光，异常兴奋地拉着我问是否知道中国一位非常有名的作家“Hua Yu”。我愣了会儿，才明白他说的作家应是余华。接着他如数家珍地和我分享几本他看过的余华小说，告诉我——他读《活着》的时候情感随着富贵的人生跌宕，在喜悦和难受中的反复交织，如同“roller coaster”。后来我陆续得知，他读莫言，也读过沈从文。我想不明白远在北欧的普通人也能共情于文化差异极大，诞生于中国特殊时代中的乡土文学。但在国内，亦不乏许多北欧文学的拥趸者，安徒生、斯特林堡、特朗斯特罗姆……更不必提源于北欧历史的

《冰与火之歌》都在国内耳熟能详。也许文学就是这样，能跨越语言和民族，与人类的精神相通。

也许一年前的我，看到如今国内疫情稳定，但灾难面前美国束手，欧盟溃败，也许还会暗自窃喜腐朽的资本主义根本不堪一击，而天佑中华，无产阶级就要打破枷锁，解放世界。现在，因为他们，我也开始理解到“死亡人数并不是一个数字，那是一个个鲜活的生命”这句话背后的沉重。生命无论民族，无论国界。他们有梦想，有爱与被爱的人，有很长的故事。他们中有可能也会人热爱生活，喜欢在闲暇时欣赏夕阳，会对每个路过的人表达淳朴的善意；会有人如同东方侠客，一身义气，急人所难；会有人在文学的共情下，期待上了遥远的中国，憧憬着去重庆吃一次火锅。在政治之外，这个世界里到处都有许多可爱的人们。



因此，尽管如今各国相互攻讦，世界像一幅铺开的浮世绘，各路妖魔鬼怪轮番登场，现实而又魔幻。我们每天都被无数呼啸而过的负面信息裹挟，情感起伏如同大浪里的一叶扁舟。但是因为他们，我还是愿意相信美好，相信善良。

鲁迅先生在《且介亭杂文·这也是生活》里写道，“外面进行着的夜，无限的远方，无穷的人们，都与我有关系”。期待和平，静候安宁。