

世界未来委员会
World Future Council



北京交通大学
中国城市研究中心

主办单位：北京交通大学中国城市研究中心
世界未来委员会

中国城市发展评论

绿色城市专辑

主 编：冯 奎 闫学东

副主编：郑明媚 陈波平 尹环英

本报告由中国环境出版社出版发行

特约顾问：刘天文 叶青 Stefan Schurig

编委会主任：刘军

编委会：（排序按姓氏笔画）

尹环英 冯奎 闫学东 刘军 刘士林 刘超 刘炆 刘晓冰 孙纪平 孙景丽 李芬
陈柳钦 朱承浩 陈波平 张栋 金凤 郑明媚 周颖 谭雪梅 Filippo Boselli, Reed
deMent

北京交通大学中国城市研究中心

编辑部主任：孙景丽

编辑部电话：010-51684602

电子邮箱：sunjl@bjtu.edu.cn

网 址：http://ccrc.bjtu.edu.cn/

世界未来委员

特约编辑：周颖

办公室电话：010-65008172

邮箱：

info.china@worldfuturecouncil.org

微信：



目录

发刊词.....	1
前言	2
第一章能源案例.....	4
一、温哥华 100%可再生能源战略	5
1.城市背景	5
2.管理者思路和决策过程	7
3.措施与办法	8
4.实施成效	20
5.启示与建议	22
二、敦煌市向 100%可再生能源城市迈进	25
1.城市背景介绍	25
2.城市和能源发展思路	28
3.城市新能源建设的三个阶段	32
4.组织管理和保障措施	35
5.实施成效	37
6.启示和建议	39
第二章城市水资源	42
一、首尔市城市水资源管理	43
1.城市背景介绍	43
2.管理思路与方法	48
3.对策和解决方案	52
4.实施成效	58
5.启示及建议	59
二、池州市城市水系统管理与实践	62
1.城市背景介绍	62
2.管理者思路与决策过程	65
3.对策与解决方案	69
4.启示与建议	78
第三章城市固废处理	81
一、德国柏林的城市固废管理.....	82
1.城市背景介绍	82
2.管理者思路与决策过程	83
3.对策与解决方案	85
4.实施成效	93
5.启示与建议	95
二、深圳市盐田区城市生活垃圾分类减量和餐厨垃圾处理.....	97
1.城市背景	97
2.管理思路与方案	98
3.实施经验	103

4.创新与启示	105
第四章城市生态系统	108
一、珠海城市生态系统管理与实践	109
1.城市背景介绍	109
2.管理者思路与决策过程	111
3.对策与解决方案	113
4.实施成效	121
5.启示与建议	122
综述	125
——建设循环城市，推动绿色城镇化发展.....	125
一、循环城市发展的国际背景.....	125
二、循环城市的基本理念与目标要求.....	126
三、中国绿色新型城镇化要解决的问题.....	128
四、循环城市发展对绿色新型城镇化建设的作用	130
五、循环城市发展的路径	132
1.加强资源高效利用和回收再利用	132
2.促进城市与区域生态系统物质循环	133
3.优化城市空间结构和布局	134
4.创新资源环境领域投融资机制	134
六、中国循环城市发展的政策建议	135
1.设立发展愿景并加强领导力	135
2.激励城市各产业各领域积极创新	136
3.加强城市资源环境标准、准则的制定	137
4.实施开放发展策略，吸引全社会积极参与	138
5.加强城市部门间协调	138
6.进一步加强国际合作	139
七、结论与展望.....	139
后记	142

发刊词

为什么而评论？

中国正在经历世界上最大规模的城镇化。一方面是追求数量的增长，表现在城镇化人口与城市数量的增加；一方面是追求质量的提升，表现在各方面热衷于讨论什么样的城市好，什么样的城市不好，以及怎样才能变得更好？可以说，“城市”已经变成了广域、广谱的话题，关于它的研讨、论坛、学术论文、科学著作，嘈嘈杂杂，生动不已。

所以，当我与我的工作伙伴们自从萌生做《中国城市评论》的时候，我们最大的困惑是，还有没有必要再去再做一本《中国城市评论》呢？我们为什么而评论？评论什么？谁来评论？怎么评论？

为什么而评论？第一个原因，是自身学习与总结的需要。第二个原因，是我们希望加入关于中国城市发展这场将一直延续的激动人心的讨论，贡献我们的资料与声音，与城市一同成长。这些原因都很平实，但也应该有道理。

当然，我们也要提供相对独特的价值，以不辜负我们的精力与读者的时间，这就是以下一些问题：

我们评论什么？我们评论城市发展的经典案例。城市发展依靠理论的指引，但也靠案例的学习与借鉴。即使是理论，也往往来源于案例的研究与提升。我们的合作伙伴网络从联合国机构、世界未来委员会到中国的大学，从高层官员到城市规划师，因而更容易接触、搜集到各方面的案例。我们希奉献出这些案例。

谁来评论？城市的政策制定者、规划专家、学者、记者……，都可以应邀为作为我们的特约评论嘉宾。我们希望的作者是对城市实践有深刻而客观观察的人。也许在我们的作者队伍里，将来会有埃比尼泽·霍华德，或者是简·雅各布斯。

怎么评论？提供不一样的视角，这本身就是最大的也是最重要的评论。我们希望我们的城市评论文章尽可能带给读者国际化的比较视野。看看别的国家、另一种城市怎么做的？这就够了。至于未来城市应该如何，那需要想象力，我们不能去限制读者的想象力。

总之，我们是一些学习者，我们希望集聚一批观察者，希望通过我们的案例提供与讨论借鉴，做城市发展的建议者、推动者。我们受益于城市，我们为什么不多为她的美好未来多做贡献呢，哪怕深知力有不及？

从北京的一间办公室向外望去，杨柳依依，樱花丛丛。在这个万物生长的时节，我们的《中国城市评论》来了，它在努力地贡献出自己的绿色、智慧！

前言

可持续发展问题已经成为国际社会的关注焦点，2015年联合国大会通过的2030年可持续发展议程，是继联合国千年发展目标后首份涵盖全球、面向发展领域各个方面的发展议程，不仅为未来15年各国的发展和国际发展合作指明了方向、勾画了蓝图，还确立了一整套可持续发展指标体系，为各国实现可持续发展目标明确了路径。作为2016年二十国集团主席国，中国推动二十国集团制定了《落实2030年可持续发展议程行动计划》，并首次同时将可持续发展和气候变化作为2016年G20杭州峰会的核心议题，各方已经就行动计划达成共识，为G20带头落实2030可持续发展目标发挥重要示范和引领功能。随后中国发布了《中国落实2030年可持续发展议程国别行动方案》，这既是中国响应G20集体行动方案的一项具体行动，更是中国为推进联合国2030议程发挥表率 and 领导作用的一项战略性举措，将成为指导中国开展落实工作的行动指南，并为其他国家尤其是发展中国家推进落实工作提供借鉴和参考。

《中华人民共和国国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》（以下简称“纲要”）2016年3月17日正式发布。面对全面建成小康社会的奋斗目标，这份长达6.6万字、共分为20篇的“纲要”对中国未来5年经济社会的发展进行了全面的部署，与以往相比，绿色发展成为贯彻“纲要”通篇的主基调，无论是今后五年经济社会发展主要目标的确定，还是各篇章内容的阐述，以及在“加快改善生态环境”篇章进行专门论述，无不体现着中国需要绿色发展理念。要完成全面建成小康社会的新目标，“纲要”提出必须牢固树立和贯彻落实创新、协调、绿色、开放、共享的新发展理念，其中绿色是持续发展的必要条件和人民对美好生活追求的重要体现，必须坚持节约资源和保护环境的基本国策，坚持可持续发展，坚定走生产发展、生活富裕、生态良好的文明发展道路，加快建设资源节约型、环境友好型社会，形成人与自然和谐发展现代化建设新格局，推进美丽中国建设，为全球生态安全作出新贡献。

城市是人口、消费、资源和废弃物方面的主要增长中心，是环境变化的新热点。城市中的各个因素联系非常紧密，产生的问题会有连锁反应，好的解决方案也会产生系列良性循环效应。城市人口已占全球总人口一半以上，联合国预测到2050年将有70%人口居住在城市，城市的绿色发展对全球减排和社会可持续发展至关重要。城镇化是世界各国工业化进程必然经历的发展阶段。目前德国的城市化率已经达到75%，从德国推进绿色城市的经验看，最重要的一点

要从城市规划抓起，对发展绿色城市进行整体系统规划，并在方方面面部署重点工程，在城市各要素如绿化、能源、水资源、垃圾处理、交通等方面获得成功经验并进行复制推广。中国也正处于城市转化发展的重要时期，如何睿智地规划城市的未来；如何科学地引领城市可持续发展；如何借鉴国内外城镇化成功的解决方案推进城市科学、健康发展，已经成为当前中国国民经济发展、制度创新和结构调整的重大课题。

面对中国当前的机遇和挑战，回顾中外城镇化的历程，我们可以清楚地看到，城市所处的具体环境不同其面临的挑战也不同，每座城市都需要因地制宜的解决方案。而城镇化是一个系统工程，无论城市的具体情况如何，都需要运用系统的思维解决生态保护、城市能源、城市资源、绿色交通等城市发展与管理重点与难点。城镇化过程中优秀解决方案的案例很多，绿色城市发展的每一个成功案例都离不开具有前瞻性的政府决策、合适的技术手段、工商业界的努力和全方位的社会支持，其中技术解决方案本身的复制和推广相比其政策与商业环境的培育更为容易，政府决策是城市绿色发展的首要环节，城市管理者在城市问题上的明智决策促成技术、资金、人才等因素的聚集从而形成良性发展。作为一个致力于推动全球可持续发展政策的国际非营利组织，世界未来委员会（World Future Council）希望通过汇集国际和国内城市能源、水资源、废弃物处理以及城市生态系统的优秀案例，阐述案例实施之前所在城市在相应领域面临的困难与挑战，深度解析城市管理者的治理思路，呈现政府管理经验和工程实践解决方案，展示实施成效，以便在城镇化过程更有效地学习和推广有关成功经验，为读者提炼绿色城市治理和发展的前瞻视野，为城市管理者提供决策参考，为城市规划设计者提供新的思路，为关心城市发展的市民提供深度阅读材料，促进全社会共同致力经济社会绿色发展的局面。

本书的完稿得到了诸多合作伙伴的诚挚信任和无私分享，衷心感谢各位作者为本案例集提供的丰富的案例材料，特别感谢北京交通大学城市研究中心及The Halo Fund同事们的大力支持和指导。

由于绿色城市内涵的多样性和系统性以及编者的知识结构和水平所限，本书难免有不当之处，恳请各位读者朋友批评指正，我们将在后续报告系列中不断充实和完善。期待本书内容能够引起社会关注和共鸣，共同促进绿色、低碳、循环城市的发展。

世界未来委员会、北京交通大学中国城市中心联合编委会

第一章能源案例

城市消耗全球总能源的 60%至 80%，在应对气候变化方面需要真正的能源变革，加大可再生能源的利用，提升能效，优化城市能源结构。城市行动包括设定可再生能源发展目标和二氧化碳减排目标、城市规划、低能耗建筑规范、税收优惠、金融支持以及政府采购与投资等。一些城市已经成为了先行者，比如，倡导 100%可再生能源城市，强制要求在新建建筑中安装太阳能热水器，为光伏建筑的太阳能组件安装提供补贴，以及为风电场及智能电网建设融资等，分别从能源供给侧和需求侧促进城市能源结构调整。



一、温哥华 100%可再生能源战略

Filippo Boselli¹, 尹环英¹

摘要：温哥华致力于到 2020 年成为世界上最环保的城市，这一决心使其在全球声名大噪。2015 年温哥华发布了 100%可再生能源战略，旨在转变目前的城市能源供应，分别从能源需求侧和供给侧采取行动，建立完全依靠可再生能源的能源供应系统，其中包括交通运输业和建筑业。本文介绍了该战略的实施途径以及发展该战略应考虑的一些关键要求，并概述了 100%再生能源战略及其发展情况。

关键词：温哥华，100%可再生能源战略，建筑与交通

1.城市背景

温哥华共有 60.5 万人，是大不列颠哥伦比亚省人口最稠密的城市，也是面积最大的城市，其人口基数在加拿大位列第八。加上市区人口，温哥华人口总数达到 200 多万。因此，温哥华为加拿大第三大都会，在加经济领域扮演重要角色。温哥华港是加拿大货物吞吐量最大的港口，温哥华港在北美西海岸的港口中位居首位。2014 年，温哥华国内生产总值为 1098 亿美元，人均国内生产总值为 44337 美元。温哥华只有三种类型的企业：中型企业（少量）、轻工业（数千万）以及中小企业。过去 25 年间，温哥华人口增长 34%，就业机会增加 30%。同时，温哥华的碳排放量净减 7%，且有望继续减少。这表明，在减轻碳污染负担的同时，温哥华能够可持续发展，并保持经济发展的强劲势头。未来 35 年，温哥华的人口有望增长 30%左右，即新增 170 万，就业机会将增加 32%。另外，每天还有约 40 万人途经此地或来此旅游。



¹Filippo Boselli, 世界未来委员会（World Future Council）气候、能源与城市政策项目官员；
尹环英，世界未来委员会（World Future Council）中国项目高级项目专家

图 1 温哥华街景

2014 年，温哥华总的能源消耗是 5.93 亿吉焦，排放二氧化碳 2800 万吨。2014 年，温哥华 69%左右的能源来自于矿物燃料，31%左右的能源来自于可再生能源。考虑到该省为多山地形，温哥华市可再生能源大部分来自大型水力发电也就不足为奇了。大多数情况下，矿物燃料用于建筑采暖（尤其是该市的能源供应的 46%来自天然气）和交通运输（大多数是汽油和柴油）。

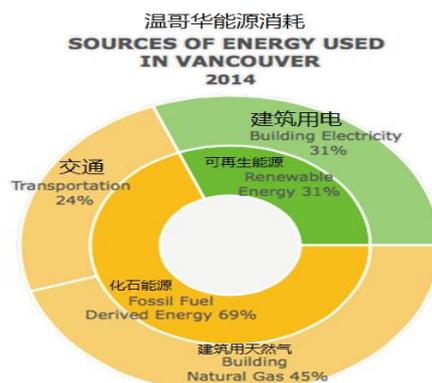


图 2 温哥华 2014 年能源消耗

在能源方面，温哥华面临着重大挑战，具体如下：

1) 长期使用矿物燃料

气候变化的影响已显露端倪，2014 年是自记录以来最热的一年。矿物燃料燃烧不仅污染大气环境、直接危害人类健康，还将导致自然生态环境恶化，农业生产受挫等等一系列不良影响。矿物燃料燃烧排放的二氧化碳使得温哥华及其周边地区面临着诸多环境变化，包括：海平面上升、极端冷热天气频发、冬涝夏旱、降雪减少等。在未来几年，这些环境问题还将持续恶化。因此，在致力于减缓环境变化的同时，还要学习如何适应这种变化。

2008 年，在温哥华气体排放总量中，55%来自于房屋供暖（以燃烧天然气为主），37%来自交通排放，8%则由垃圾场固体燃烧排放造成。而在减排总量中，39%的减排量归功于不列颠哥伦比亚省推行的省级管理条例，其中包括对车辆燃料使用效率的监管及绿色能源的使用。而绿色建筑和绿色交通分别贡献了 24%和 22%的减排量；可再生能源减排量占 11%，而零污染排放则占 4%。这些数字意味着，温哥华在推广绿色建筑及可再生能源方面仍然任重道远。

温哥华政府及居民积极应对气候变化，为缓解气候问题承担己任。100%再生能源战略将切实可行地有效减少温哥华二氧化碳排放量，进而减缓由温室气体排放所造成的全球变暖现象。

2) 人口增长和城市发展

世界人口持续增长，城市人口增长尤为显著。城市是全球经济的引擎，世界上约 70%的温室气体排放来自城市。过去 100 年来，矿石燃料为人类带来诸多益处，但仅靠矿石燃料无法支撑温哥华今后的发展—事实上，若要提高居民的生活质量，温哥华必须进行能源转型，实现 100%可再生能源利用。

3) 矿石燃料撤资和可再生能源投资

养老基金、私募股权、学术界和一些政府部门发起一项运动，撤回对矿物燃料提炼企业的投资，这是有史以来撤资最为迅速的举措之一。联邦政府提议修建一条贯穿亚伯达和温哥华的输油管道，一经建立，途经温哥华的焦油量将增加七倍之多，这对温哥华和其自然环境将产生极大的危害，而且温哥华的居民也不能直接从该项目中获益。基于道德方面的考量，一些人正在撤回对矿物燃料提炼企业的融资，而在其他人看来，这种决定是一种审慎的长期投资。

2.管理者思路和决策过程

全球范围内，个别城市把环境议程作为统一准则和主要项目，温哥华就是其中之一。从 60 年代取消大型高速公路项目起，到开展公交导向发展（TOD）和早期气候计划（1990），经过几十年的环保工作努力，现在温哥华已经制定了全面的行动规划，致力于“成为世界上最环保的城市”。2011 年，环保城市 2020 行动规划获得批准。这项规划十分鼓舞人心，不仅是因为这项规划集中了温哥华的所有部门，还因为城市可持续发展董事会设立了高目标，并且可能很快就会取得成效。

由于当今世界竞争激烈，流动性强，确保社会健康发展的因素也能使其富足。从功能上看，一个生态足迹较少的紧凑型高能效城市不仅管理成本低，而且易于持续发展。世界各地正在纷纷淘汰矿物燃料。这种转变无关于财政紧缩或做出某些牺牲，而是为了发展城市以更好地满足人类需要。可再生发展前景将给社会生活的许多领域带来新的机遇。温哥华具备所有必要条件，确保 2050 年前成功实现可再生能源的 100%利用。

为了城市居民、工作者以及游客的利益，更为了世界各国人民的利益，经过 25 年努力，温哥华成功应对了气候变化带来的冲击。温哥华共有 60.5 万人，面积达 115 平方公里，在发展紧凑型宜居社区领域处于世界领先地位，并且在发达国家中人均温室气体排放量最低。除大部分交通系统清洁、可靠的电力系统供电外，温哥华现在已经准备实现建筑业和运输业的电气化供应。

同 2013 年相比，2014 年可再生能源项目投资（不包括大型水利）增长了约 17%。同样，风力和太阳能的发电量也再创新高，比 2013 年增加了 20%。能效技术和产业转型、运营管理以及新的可再生能源将重新定义未来的经济。可再生城市战略促使温哥华经济更加强韧且趋于多样。健康的环境至关重要，这有助于温哥华吸引和留住人才，成为一个具有高度包容性就业机制的创新中心以及经济长期稳定繁荣的先锋。温哥华通过内部管理和社会试点示范，能够促进这次转型。确保周围城市、社区、建筑业、运输业、各类企业和个人接受可再生能源，这将为温哥华人的现在和未来带来更好、更健康的生活。

目前，温哥华 31%的能源供应来自可再生能源，剩余的矿物燃料主要是天然气，为个人和轻型汽车提供供暖、热水和汽油服务。温哥华的能源使用以及产生的温室气体排放主要源于建筑业和运输业，这两个因素是可再生城市战略的重点。

3.措施与办法

3.1 目标和途径

2015 年，市议会一致同意温哥华向 100%可再生能源城市转型。随后出版的“可再生城市战略 2015-2050”文件进一步概述了 2050 年前的转型路线。该战略由与本地利益相关方和专家的磋商后产生，给出了切实可行的实施方法。此战略文件核心包括以下两个目标：

到 2050 年，实现 100%再生能源利用

与 2007 年相比，到 2050 年最低减少 80%的温室气体排放

为了实现 100%再生能源这一宏伟目标，可再生城市战略明确了减少矿物燃料的方法，采取三步走战略，减少能源使用，增加可再生能源的使用和供应。

三步走战略包括以下三大目标：

1) 减少能源使用

推进节能和能效计划是未来实现可再生能源利用最有效的方法。例如，加强对建筑物隔热处理的要求、改进自行车车道等。

2) 增加可再生能源的使用

使用现有可再生能源，改进现有基础设施使其最大程度地使用可再生能源。例如，使用电动汽车或者增加与东南福溪社区能效所合作的建筑数量。

3) 增加可再生能源供给

增加可再生能源供给，增建可再生能源基础设施等。例如，提高屋顶太阳能发电量、提高交通运输的生物燃料使用量。

温哥华计划于 2050 年之前将可再生能源使用量翻一番，同时提高能源使用率，从而减少 340 万吉焦的能源需求量，这大约相当于温哥华 2014 年能源需求总量 5%。在增加可再生能源供给方面，温哥华计划扩大相应基础设施规模，增加屋顶太阳能发电量及交通部门生物燃料的使用量。大规模提高可再生能源使用率同时是一种契机，旨在实现经济的强劲、持续发展，打造宜居型城市。在温哥华发展任务中，此目标也被概述为“打造杰出城市，建立人性化环保社区，为人类居住、工作、发展创造机遇”的口号。

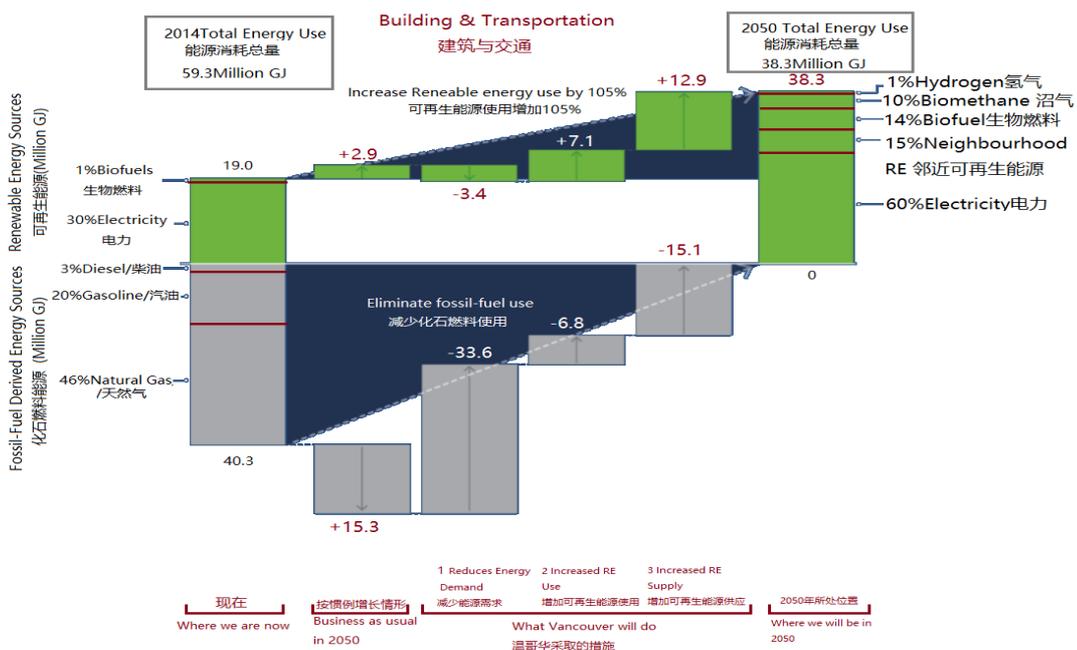


图 3 目标和方法

在《可再生城市战略》中，温哥华确立了自身的发展方向，即实现 100% 再生能源利用目标。《可再生城市战略》并非一本详尽的规划书或技术指导手册，它是一份大纲，以此为基础催生更为具体的计划和预算内容。项目和技术将作为支撑，对《可再生城市战略》实施结果进行评测，从而确保后续进程的技术可行性、环境友好性及社会和谐性。本战略是实现 100% 再生能源战略的一项可行性方案，但非唯一方案。

依照本战略，温哥华立志成为城市可持续发展中的领头羊。与此同时，《可再生城市战略》中的一些政策已实施，在环境气候政策循序渐进的改革过程中起到补充作用。这些政策集中于环境、社会和经济三个方面，即可可持续发展的三大支柱。《可再生城市战略》兼顾了这三大层面，不仅是对最绿城市 2020 行动规划的延续，也是对温哥华健康城市战略以及温哥华经济法案的补充。

更值得注意的是，自 2009 年起，温哥华开始实行《**最绿城市 2020 行动规划**》，这项计划也于 2011 年获得被市议会批准采用。之后，“**优先法案**”开始实施，这项法案在新修订的报告中也有简要说明。2012 年，温哥华颁布了《气候适应战略》，旨在面临气候变化时，城市宜居性和应对能力得到保障。为实现《可再生城市战略》和《最绿城市 2020 行动规划》中所确立的目标，温哥华制定了社区区域能源战略。其中包括：减少二氧化碳排放量，降低对矿物化石燃料的依赖性，稳定合理的能源价格，通过拓展温哥华可再生能源体系，于 2050 年之前全面实行 100% 可再生能源战略。



图 4 最绿城市活动

3.2 管理和协调机制

在政治协调方面，温哥华将地区、省级及联邦政策三大政治协调方向作为实现 100%再生能源战略的重要节点。在地区层面，温哥华以 100%再生能源战略为前提制定中央战略，比如《区域发展策略》、《综合空气质量和温室气体管理计划》以及《综合固体废物及资源管理计划》。在省级层面，温哥华需协调《不列颠哥伦比亚省气候行动规划》、《不列颠哥伦比亚省能源规划》、《不列颠哥伦比亚省生物能源战略》和《不列颠哥伦比亚省空气行动规划》之间的关系，以实现 100%再生能源战略。最后，联邦政府还需完善 100%再生能源战略中的法案，目前，已生效法案只涵盖可再生能源基础设施筹建和资金筹集两个方面。这三大协调等级具体包含以如下内容：

▪ 地区计划

若要顺利实施 100%再生能源战略，温哥华不能孤军奋战。为促进地区发展，实现 100%可再生能源战略，温哥华颁布了《地区成长计划》、《综合空气质量和温室气体管理计划》、《综合固体废物及资源管理计划》等一系列重大战略。

▪ 省级政策

不列颠哥伦比亚省政府草拟多个计划以支持 100%可再生能源战略的发展。其中包括《不列颠哥伦比亚省气候行动规划（继承下的发展）》、《不列颠哥伦比亚省能源规划》、《不列颠哥伦比亚省生物能源战略》以及《不列颠哥伦比亚省空气行动规划》。温哥华期望省政府能履行其承诺，为转型提供资源，加快改革步伐。

▪ 联邦政策

目前，联邦政府对基础设施筹建和筹资有一定限制政策，这些政策也与可再生能源的联系最为紧密。在支持可再生能源发展、提高能源利用效率和碳污染定价方面，联邦政府还需制定更为明确的联邦政策。

3.3 解决方案

3.3.1 挑战1：利用可再生能源弥补建筑供暖燃料需求缺口

如前文所示，温哥华约 45%的能源需求量来自于建筑供热系统（包括供暖和热水），目前这类需求以天然气为主。如何转化这种模式，以可再生能源使用为主，成为温哥华面临的一项挑战。总而言之，当前能源计划主要包括如下几项关键措施：

3.3.1.1 第一项：减少建筑类能源需求量

减少建筑类能源需求量对温哥华来说至关重要。据估计，若建筑行业进行改革，行业内形成达到统一相似标准，并与社区能源战略相结合实现建筑物零排放，则温哥华能源需求总量较 2014 年相比将减少约三分之一。在这种情况下，到 2050 年，可再生电力能源将满足约 70%的需求量（不论是直接供给还是电网输送），与现在相比，与建筑相关的电力需求大约将增长 15 个百分点；约 10% 的建筑能源需求来自溴乙烷，20%来自社区能源系统。

降低建筑物能源需求的主要干预措施包括：

干预措施1：提高新建筑围护结构性能

建筑物一经建立，其围护结构除非需要大面积更新或改造，否则很长一段时间都不会改变。虽然照明设施和电器可以每十年左右更换一次，建筑物不能频繁更换窗户或将墙壁重新绝缘。确保建筑物从建造之时就达到零排放标准，是保证建筑物尽量少消耗能源最有效的方法。零排放建筑，即所消耗的能源不排放温室气体的建筑，只有在极高的能源使用效率下才是可行的。随着能源使用的大幅减少，零排放建筑可以通过就地发电或连接至异地的可再生能源，如社区可再生能源系统或电网，来满足其能源需求。

超能效建筑省去了矿物燃料费用，只需收取业主和住户很低的电费，且不会使输电网络负载过大。电热法（或电阻热法）只有当建筑物达到超能效标准时才有效果，在大多数情况下，热泵能很好地替代电阻热法。当新建筑及改造建筑物开始遵循更有效的节能原则（如注意遮阳和考虑太阳方位），以及具有自备发电能力时，城市景观将会改变。建筑物和社区设计以往并不稳固，新的设计将美感与节能、与增加能源发电设计原则相结合，使建筑物和社区更好地适应不断变化的环境。

干预措施2：实施建筑围护结构性能改造

在 2050 年之前，非零排放标准建筑将在某些方面进行改造。可能进行改造的原因有两个：

1) 建筑物的某部分已经达到使用寿命(如照明设施、供暖系统、天花板等)。

2) 业主认为建筑物需要更新, 以便出租、出售或减少其能源支出等。

在第一种情况下, 照明设施、电器和其他类似部件的更换频率远高于建筑物主要部份, 如墙壁、屋顶或窗户等。在可频繁更换的部件方面, 温哥华甚至不列颠哥伦比亚省以外更大的市场力量正逐步提高其能源使用效率。该技术正在迅速发展且易于更新—而你需要做的, 就是接通电源! 照明设施虽然不如电器容易更换, 但更新起来也算比较容易, 随着 LED 技术的进步, 2050 年之前 LED 灯几乎可以满足所有照明需求。

对于已达到使用寿命却不能频繁更换的主要部件, 可以利用自然建筑更新周期, 以便更快满足零排放标准。建筑物在进行大面积改造时, 将直接更换成满足新建筑标准要求部件。

未到建筑物改造必要之时, 温哥华市提倡自主改造或制定适度改造要求, 以鼓励业主进行建筑改造, 实现节能减排。对于现有建筑物的改造, 高密度社区需连接到临近可再生能源系统, 在低密度社区的则使用热泵或就地利用可再生能源发电。

干预措施3: 更新建筑设备性能要求

对于建筑物围护结构, 开发商在施工时就应该安装当时最高效的建筑设备, 或在改造之时更新升级到最高效标准, 即使用最先进的设备获得最大的改进。然而, 围护结构更新应优先于建筑设备更新, 因为更新的设备不如围护结构使用持久, 更新后对提升能源利用率也收效甚微。

3.3.1.2 重点2: 增加建筑可再生能源的使用和供应

要实现可再生能源前景, 只提高能源效率是不够的; 建筑物必须从以矿物燃料为能源来源转为使用可再生能源。可以应用在建筑方面的可再生能源包括:

1) 光伏系统(PV): 一种由太阳能电池组成的光伏组件, 通过收集太阳能并利用太阳能电池将其转化为电能的住宅太阳能系统。

2) 太阳能热水系统: 太阳能集热器使太阳能加热的液体循环, 热流体循环可为房间供暖, 但此系统更常用于热水供应。

风能: 小型风力涡轮机产生的能量可满足一个家庭的部分电力需求。

4) 热泵及地热：热泵是可以收集空气或地面中的热量用其供暖或供热的设备。地交换系统，有时也被称为地热热泵或地源热泵，它利用地面的加热或冷却性能，使地下室冬暖夏凉，也可以为建筑物按需供暖。

5) 社区可再生能源系统：在社区可再生能源系统中，社区能源中心产生的热量通过管道输送到当地的建筑物中，用于供暖、供热或者制冷。这样，每一栋独立建筑物就不需要建造独立的锅炉、供热采暖系统或制冷设备，运作更为高效。

6) 废物用作能源：木材和食物残渣等废物可以用作能源。厌氧分解食物残渣和干净的木材燃烧系统产生的甲烷可以产生热量。液体废物也可提供可再生能源。温哥华市已经在其东南福溪社区能效所利用污水热回收为奥运村及其周边建筑供暖供热。不可再生的材料和混合固体废物流将继续被积极处理，将其负面影响降到最低，但它们不会作为原料进入我们未来的长期可再生能源系统。

实现第二大重点主要需面临如下问题：

问题 1: 工业设备的可再生能源利用

温哥华还将继续保留其工业用地，以维持长期经济实力。由于发展空间庞大、土地未充分利用，温哥华仍有机会依靠其本地发电，成为大型可再生能源枢纽城市。温哥华土地价格低廉、商业收支状况良好，这些重要因素有助于温哥华商业向可再生方向发展。从地理位置上来看，温哥华四周受限，土地面积无法再进一步扩大，因此，土地资源十分宝贵。过去十年来，土地价值持续上涨，这一趋势在未来还将延续。尽管温哥华目前大型、重型工业较少，但现有规模已足以满足该地区、本国及国际市场。由于运输模式的改变和土地经济竞争力下降，到 2050 年时，重工业或将搬离温哥华地区。

温哥华工业部门使用、生产的能源和商品是由许多服务于本市的中小型工业公司提供，因此，企业希望能保持与顾客的近距离交流，而不用搬离温哥华。保留温哥华市内工业用地关键就在此。中小型企业希望能购买或租借工业设备以及房屋等设施，其中工业设备是能源消耗的主要来源。随着矿物燃料价格上涨以及可再生能源价格下降，中小型工业公司的能源敏感性将随之增加；与此同时，各公司也将开始探索以能源使用效率和可再生能源为发展动力的新型商业模式。

问题 2: 新社区可再生能源系统的配备

《社区能源计划》及《能源中心指导方针》为温哥华社区可再生能源系统的发展做出了长远规划，重点集中在以下几个方面：

- 实现市中心和医院蒸汽供热系统从矿物燃料到可再生能源的转变。
- 为市中心、甘比街走廊地区、湖区和中央大街等快速发展的高密度地区建立拓展可再生能源系统。
- 发展社区能源，以替代现有燃气供热中所使用的锅炉设备。

问题 3:本地区可再生能源发电的发展

人口密度较低地区（独户家庭、低楼层公寓住宅较多的区域），由于其能源需求量并不大，并未连接到社区能源系统中。因此，低密度地区需通过电网或当地可再生能源发电满足其供热（供暖和热水）需求。人口密度较低地区可利用空间大，从而电量、热量产出充足，可以达到零污染建筑物的标准，因此在当地可再生能源发电也更为适用。当地可再生能源发电的电力来自许多方面，如太阳能、太阳热能、热泵（使用电网电力），在某些情况下还会使用当地风力发电。

为建立一个效率高、运行有效、绿色清洁的电网，当地屋顶太阳能发电设备仍需考虑到以下几个因素：该项技术的市场价格、发电成本以及电网所需配备的更大系统。广泛使用的太阳能板不是满足该市可再生能源目标的必要条件，而是为公众和企业提供契机，使其满足自身能源需求的同时，通过出售多余电力创收，并朝新能源方向发展。当地发电还能够提高建筑和社区承受电力中断的能力，尤其是在遭受极端天气的情况下。

问题 4:可再生能源电网总供电量的增加

考虑到目前正在进行的建设项目，到 2050 年，温哥华对电总需求量将比现在高约 10%，对矿物燃料的使用量预计将增加约 25%。不过，通过能源高效利用以及资源节约，可再生能源战略中指出，温哥华通过提升能源效率和发展节能措施，将扩大可再生能源使用率，全面停止使用矿物燃料，电力需求从而在目前基础上增长 20%。不仅仅是温哥华，整个不列颠哥伦比亚省都需要加大可再生能源电网发电量。不列颠哥伦比亚省水利局作为唯一供温哥华用电的电力公司，需依法制定出综合能源计划，详细说明在未来的 20 到 30 年里该公司将如何满足顾客的需求。2013 年不列颠哥伦比亚省水电局提出了综合能源计划之清洁能源计划，与 100%再生能源战略有许多相似之处。新能源、实用风能和太阳

能技术在价格方面可与大型水力发电技术媲美。未来，特别是气候变化环境下，可再生电力电网发电也将按需进入市场，提高系统可靠性，维持价格可负担性。

根据现行规定，温哥华非可再生能源发电量的使用上限为 7%。与此同时，温哥华将和其合作伙伴共同努力，减少非可再生能源使用率，但若温哥华的电力供应非 100%可再生能源，温哥华将研究如何通过其他能源得到可再生电力。

本地发电和新型电网发电都处于上升阶段，为适应社会需求，输电网络须向智能化方向转变，才能发展发电、输电新模式。智能电网不仅将更好迎合顾客需求，同时也是发展诸如能源储存、电动汽车、“家庭生态系统”和城市各地现场发电等新兴技术的必然选择。出现问题时，智能电网总是更加可靠，恢复能力更强，对电气系统未来可能出现的需求也具有更高的适应性。

3.3.2 挑战 2：向 100%可再生能源交通迈进

温哥华的交通能源需求占该市能源总需求的 24%，交通领域目前几乎完全依赖于矿物燃料。这一挑战在于将目前依赖矿物燃料的交通系统转化为一个完全由可再生能源做动力的新体系。以下是要实现这一转变需要优先考虑的事情（以及单独的主要干预措施）。

3.3.2.1 当务之急 1：减少机动化交通需求

减少使用机动车辆出行的需求是温哥华市目前正在优先考虑的关键性战略干预措施之一。为了实现这一目标，主要干预措施包括：

干预措施 1：把土地利用和城市规划作为促进可持续运输的工具

城市规划在减少长途出行和旅行需求以及推广某几类交通工具方面发挥着关键性作用。例如，开辟密集紧凑的公共空间意味着构建办公区与住宅区共存的社区，这样人们就能走路或骑车去上班。温哥华市优先考虑的是以人为本的发展模式，以此促进步行、骑车，从而避免不必要的拥挤。这一规划给步行者和骑自行车者而不是汽车以更多空间，也说明了城市规划能够影响人们的出行选择。类似地，在交通运输中设立优先通行车道也会对人们选择如何出行产生影响。

干预措施 2：提倡步行和骑自行车

步行仍将为温哥华的主要交通方式。几乎每一段旅程在某个时间点上都包含着一次步行经历。对于短途旅行而言，步行是对人类和环境友好的最佳选择，而商业也能从来往的行人中获取收益。温哥华的电力网络、良好的城市规划以及合理的城市设计意味着徒步旅行直接、便利而且乐趣无穷。作为 2040 交通计划的一部分，温哥华市将弥补步行网络规划的不足，改善人行道的衔接问题，创造更多的临时性和永久性公共区域，为那些视觉和行动上有缺陷的人最大限度地提供便利。

自行车不会产生尾气排放，价格低廉，有助于增进健康，对许多温哥华人而言都是简单易得的。对于中短途旅行来说，骑自行车是最快的方式，有许多景点骑车最多需要 20 分钟便能到达。

与步行类似，越来越多的证据显示骑车也对本地的商业具有促进作用。

为了惠及更多的民众，温哥华市正打算建立一个高效连接目的地的直观的路线网络，以使得包括有孩子的家庭、老年人、骑车初学者在内的每个人都能感到舒服。和以推广和教育形式鼓励骑车成为一项日常活动一样，提供更安全、便捷、充足的停车区域，以及像淋浴、更衣室等旅行结束所需设施也十分重要。



图 5 市民自行车出行

3.3.2.2 当务之急 2：增加对可再生能源驱动下交通工具的使用

干预措施 1：增加公共交通的使用

温哥华城市布局紧凑，公共交通发达。该市大部分运输服务都已实现电气化，如空中列车、加拿大线捷运以及无轨电车。但是许多线路上的柴油巴士仍

在营运。要实现该市 100%可再生能源战略的目标,就要求拓展无轨电车的布局,并将这些非电气化的线路转化为使用再生能源的线路。



图 6 温哥华公共交通

干预措施 2: 推动拼车出行

拼车是一项会员制服务,为许多车辆提供了出租渠道。与拥有自己的交通工具相比,拼车促使人们购买小型汽车甚至省下购车费用不买车,却仍然享受购车族的福利。根据顾客需要(单途快车或是特定型号的汽车),人们往往有多种选择来满足自己特定的出行要求。一辆开展拼车业务的汽车能够代替 11 辆私家车,从而为道路的其他用途节约空间。拼车服务减少了交通工具的能源需求,而拼车车辆使用可再生能源能进一步减少这种需求。

干预措施 3: 为使用可再生能源的私家车提供更多选择

在温哥华,除电气化的空中列车、加拿大线捷运以及无轨电车之外,目前城市交通系统仍普遍使用汽油和柴油燃料。未来的交通系统将普遍比现在拥有更多样的能源和车型。

市民希望交通系统能够依据不同出行需求发展,这样一来,多数短途和本地旅行就可以选择步行或自行车,而长途旅行可选择火车,其他形式的旅行则可以选择不同类型的电动汽车。目前电动汽车数量充足,必然可以满足人们的日常需求。如果司机需要进行长途旅行,而靠各类电池技术无法实现,或者电池技术成本过高,那么就需要考虑氢气或其他可持续性生物燃料等一些替代物。现已普及的插电式混合动力电动汽车将电池与常规引擎相结合。因此,在短途旅行中,汽车可以像电动车一样运作,如果电池耗尽,常规引擎将代其运作。

对于那些经常进行长途旅行的人而言，可再生燃料可以从可持续生物燃料和可再生氢燃料电池汽车中获取。

类似的方法也可以应用到巴士、货车这类大型车辆上。

在汽车领域，我们通常要经过 15 到 20 年的时间才能实现重大变革，而要把技术应用到广大市场基本也需要花费同样长的时间。这意味着尽管汽车 7 到 10 年才会更新换代，但是我们必须立刻采取行动，尤其要支持那些即将上市的技术。

干预措施 4: 增加交通用可再生燃料的供给

“燃料等级”的建立使得新型可再生燃料的采用得心应手。由于运输和加油方便，汽车用燃料多优先选用液体燃料。尽管交通工具越大越不便于充电，然而随着电池和充电技术的革新，电力正在成为更多交通工具新的选择。

➤ 电力供给

按照大不列颠哥伦比亚省法律规定，发电用能源至少 93%应为清洁能源，进一步实施 100%可再生电力的行动将更有利于保护环境。现今以及将来，大不列颠哥伦比亚省的电力产能将能够满足因交通系统电力化而扩大的电力需求，但保障当地电力系统能满足电力化交通的需求至关重要。另外，必须保障汽车充电基础设施供应，尤其是在家庭和工作场所的充电设施。插电式混合动力汽车在市内将多用电力；电动汽车将仅用电力。

但仍有必要发展充电基础设施，并构建生物燃料加油站网络，保证驾驶人随时能够加油。动力多样化能满足共享基础设施的需求，满足增加的弹性，使得汽车不被单一燃料动力束缚。

➤ 可持续生物燃料供给

在不同发展阶段利用各种技术，草木植被甚至海藻都可制造成可持续生物燃料。在太平洋西北部和加拿大中部，开发重要可持续生物燃料产品指日可待。重要的是，用于制造生物燃料的原料须有保障，最好来自现在被视为垃圾的废物源（如农业废弃物）。由于当今产品多是出口，可持续生物燃料原料供应远大于当地的近期需求，尤其是加拿大西部出产的菜籽油。多样化的农业原料及手段降低了制造生物燃料对粮食供应和粮价的影响，只要对生物燃料产品管理得当，便不会与食品供应形成竞争。

➤ 沼气供给

厌氧分解等一些技术能利用食物残渣和肥料生产的残料制造沼气。由于沼气生产厂房较少，现今在大不列颠哥伦比亚沼气供应有限。然而，随着寻找天然气愈发必要，需求有望增多。可以靠垃圾填埋厂、厌氧分解池（利用厨余垃圾、工坊边料等有机废物生产沼气）以及废水 / 污水处理厂满足日益增加的供应需求。随着垃圾分类项目生效和废水利用优化方案的实施，来自垃圾填埋厂的沼气产量应相应减少，同时厌氧分解池的沼气产量将增加。

➤ 氢气供给

氢气是水的主要组成元素，故氢气供应源充足。然而，现今使用的氢气主要来自天然气。使用可再生电力电解水可以生产出所需数量的清洁氢气。增加氢气使用量需要建立新的加油站基础设施，这与目前的天然气站类似。

4. 实施成效

4.1 主要经济效益

投资可再生能源驱动的经济是一项长期回报的投资。接下来的十五年间，清洁能源的全球投资预计会占全球总能源投资的四分之三；事实是，加拿大有关清洁能源的工作岗位已超过油气能源，如风能、太阳能发电和国内储能电池之类的可再生能源技术，不论是工业用途还是家用都已大幅降价。这就开启了新型商业模式，个人和社区不再被动消费，而是主动生产、使用和出售其商品、服务以及生产的能源。

总而言之，温哥华旨在通过新战略取得四大经济效益：

- a) 通过企业和技术研究、培养、鼓励及示范操作，支持创新者
- b) 积极与企业合作，增加可持续能源的使用
- c) 重视与清洁技术和可再生能源有关的重要活动和组织，大力发展温哥华经济。
- d) 吸引“绿色资本”，开发更多创新融资路径。

4.2 环境与人类健康的益处

能源产品通常会对能源开发商和社会带来直接或间接的损失或盈利。一般情况下，能源产品的外部影响不在考虑范围，例如能源外化。损失可能来自空气污染或温室气体排放引起的全球变暖造成的不良影响。市场无法对技术造成的环境影响及健康影响定价收费，常被称为市场失灵。由于气候变化的影响，目前有几项研究也在努力探索碳排放与其社会成本（简称 SCC，即碳的社会成本）之间的联系。鉴于可再生能源的温室气体排放量较少，其碳的社会成本也普遍比矿物燃料低。另外，矿物燃料和生物燃料的燃烧经常排放出影响人体健康的微粒子 and 气体。许多研究都将这些健康影响换算成成本，一并纳入考虑范围。温室气体排放还对水质、土地使用、生态系统及生物多样性造成影响。

德国的一次全面调查（克里维特&斯格曼，2006）评估了各类电力发电技术的外部成本。调查显示，可再生能源的外部成本要远远低于矿物燃料。

生产每千瓦时电，所需的煤、石油和天然气所排放的氮氧化物、二氧化硫、颗粒物以及非甲烷挥发性有机化合物量要远高于非燃烧型可再生能源。而生物燃料排放污染之多仍令人忧心。大力推广使用可再生能源，诸如水能、风能、太阳能等，将会大大减少这些排放，从而促进人类健康。

另一项研究提出生态指标的说法，通过 11 个层面进行生命周期影响评估，其中包括致癌物（C）、呼吸有机物（RO）、呼吸无机物（RI）、气候变化（CC）、辐射（R）、臭氧层消耗（OL）、生态毒性（E）、酸化/水体富营养化（A/E）、土地使用（LU）、矿物（M）和矿物燃料（FF）。图 7 整体展现了生态影响的对比分析，在此图中，每一项技术按其与最小影响的比值排列。例如，生产每一千瓦时电能，一家油厂所产生的生态影响几乎是一家流体动力工厂的 154 倍。

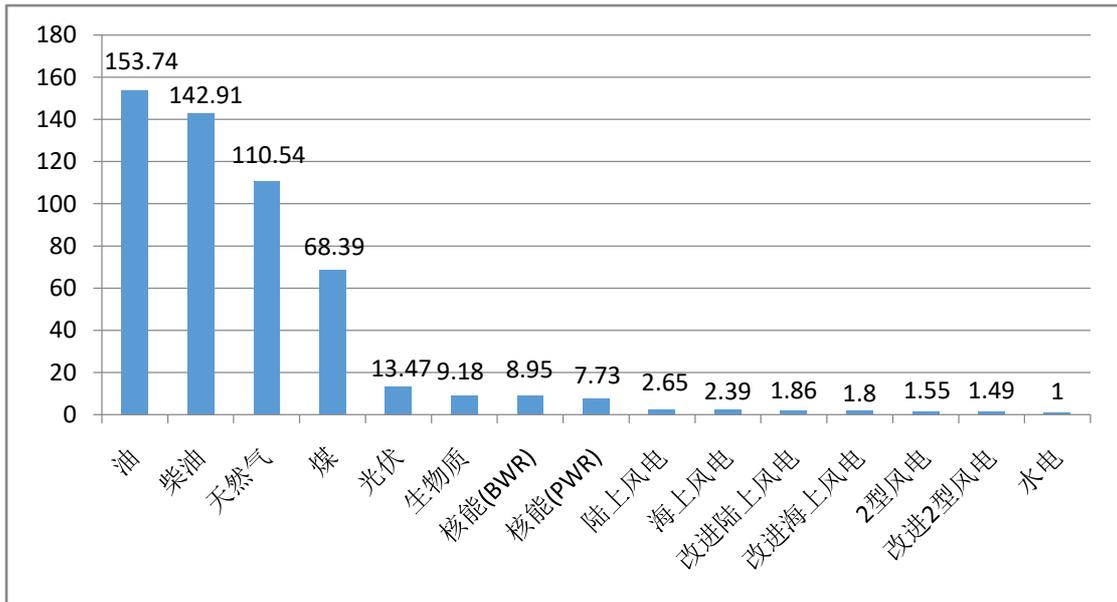


图 7 依据主要发电技术的使用寿命影响评估而得出的生态影响总值

5. 启示与建议

以下这些关键的成功因素具有非常重要的可传播、复制性，在其它任何环境应用时能发挥至关重要的作用。

1) 政治意愿及严格管控

经市议会全体一致同意，市长格雷格·罗伯逊成立了可再生能源委员会。为了推动改革，成立一个目标一致且雄心勃勃的政治领导机构十分重要。另外，地区、省级和联邦的可靠治理也是 100% 再生能源战略成功实施的关键。

2) 包容性的协商阶段和计划制定

可再生城市战略成功的关键因素是：该战略是基于世界各国专家、当地专家和公众投入的最佳做法而制定的。关键贡献来自于：

- 来自环境学、民间非营利组织、学术界、地区和省级政府、商界人士和当地公用事业公司的可再生城市行动小组代表。

- 国际上的思想领袖和同行组织，如斯德哥尔摩无矿物燃料 2050 路线图和哥本哈根 CPH2025 气候计划。

- 碳中和城市联盟这一组织，包括世界上 17 个应对气候变化处于领先地位的城市，其成员审查了初始战略草案，并给出反馈。

- 国际组织的代表，出席了 2015 年 5 月举行的可再生城市全球学习论坛。

- 2015 年，温哥华以“亮绿之夏”为主题举办了一系列活动和会谈。另外还举办了一些公共活动，包括太平洋国家展览会、温哥华门户开放日、快捷市政厅、市中心聚会和温哥华公共图书馆暑期阅读活动，小型会谈以及《说温哥华》这一平台的调查活动，调查针对可再生能源这一问题共采访了 850 人，其中 76%的受访者支持温哥华开展气候变化应对工作。

- 温哥华有着世界领先的能源系统咨询公司，可以进行调查并针对可再生能源技术的技术、融资、行为等方面的可行性进行分析。

3) 大力倡导与积极参与

温哥华在其管理下的所有地区积极推行可再生能源，并在其他地区，通过倡导和与当地机构合作，温哥华将创建一个包容性强、鼓励创新的环境。为实现 100%再生能源目标，温哥华必须进一步加强自身已很有威望的组织能力，这不仅是为了温哥华自身的管理，也能带动和引导广大公众和商界人士。同样需要确保的一点是，可再生、清洁、绿色的新兴技术都已经实现，而且人们有进一步改进的办法。温哥华可以教育和鼓励市民与企业直接进行能源生产和节约，而在这方面温哥华自身仍处于本地和国际的领先地位。在支持应对气候变化方面，温哥华有着悠久的历史，从 1990 年的《变化之云》到 2005 年的《社会气候变化行动计划》和 2011 年的《最绿城市 2020 行动规划》，再到如今的《可再生城市战略》。这些计划得到了公众、企业和政府的强力支持，并与当地公共事业机构、发展共同体、学术机构和非营利组织开展合作。

4) 全面、跨部门的详细路线图

温哥华 100%再生能源战略成功的另一关键因素在于制订了全面、包容、详细的路线图，用于指导温哥华转型，以及明确转型所带来的诸多益处。其重要性在于可以协调各方利益，并确保所有利益相关者和城市各部门紧密合作。此路线图确保了温哥华的统一，大大加快其转型步伐。

5) 市民在接受程度

另一个成功的关键因素是温哥华居民是否能够接受 100%再生能源战略。温哥华市议员安德里亚·雷蒙表示，100%再生能源这一目标得到了广泛支持。这意味着市民致力于积极行动以实现该战略。仅在 2015 年这一年里，温哥华市的二氧化碳排放量就减少了 7%，这主要归功于市民行为的转变，因为很多人认为他们有责任促进实现 100%可再生能源战略、降低能源消耗，因此变得更加负责，主动减少能源消耗。温哥华的例子说明了发动群众的重要性，他们的奉献对于真正实现改变至关重要。

参考资料：

1. Renewable City Strategy: our future to 2050,
<http://vancouver.ca/green-vancouver/renewable-city.aspx>
2. Vancouver Greenest City, http://wwf.panda.org/wwf_news/?212273

二、敦煌市向 100%可再生能源城市迈进

胡润青²

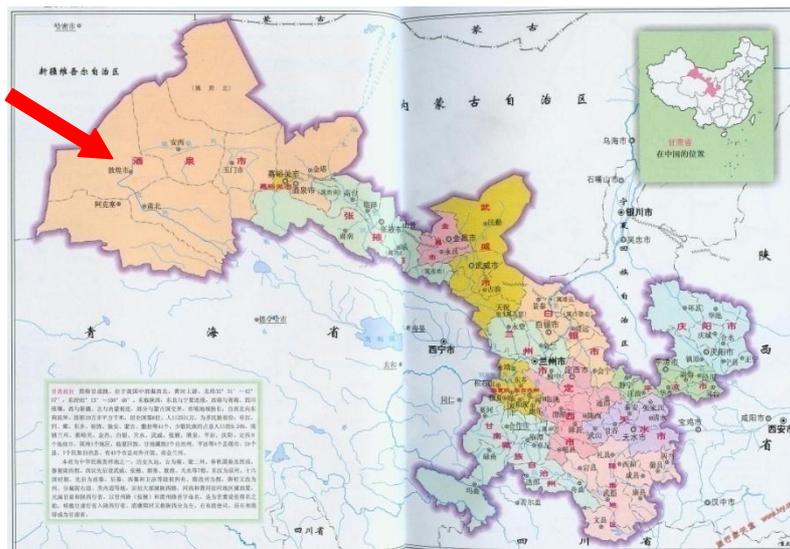
摘要：甘肃省敦煌市地处中国西北，太阳能和风能资源丰富，2009 年建立了我国第一个大型地面光伏电站，可再生能源市场快速发展，2011 年开始创建新能源示范城市，2015 年提出打造 100%可再生能源城市，城市新能源发展思路不断完善和提升，正在向 100%可再生能源城市稳步迈进。敦煌供给侧为主导的城市能源发展路线是新能源资源禀赋较好地区城市能源转型的典型代表，本文重点介绍了敦煌新能源发展思路、保障措施和实施成效，并对其示范经验的推广进行了建议。

关键词：敦煌，新能源城市，100%可再生能源城市，发展思路

1.城市背景介绍

1.1 城市概况

敦煌市位于甘肃省西部，河西走廊最西端，地处甘肃、青海、新疆三省交界处，是古丝绸之路的咽喉要地，是大漠戈壁之中的绿洲城市。敦煌是隶属甘肃省酒泉市管辖的县级市，总面积 3.12 万平方公里，下辖 9 个乡（镇）56 个行政村，总人口 20 万人。



²胡润青，国家发改委能源研究所副研究员

图 1 敦煌地理位置图

2015 年全市生产总值较上年增长 12%，达到 112 亿元，全社会固定资产投资达到 210 亿元，财政总收入实现 12 亿元，旅游接待实现 660 万人次，旅游总收入实现 63 亿元，城镇居民人均可支配收入达到 28000 元，农民人均纯收入达到 14200 元。

历史上的敦煌是丝路边塞文化和东西方文明交融汇聚的结点，是举世无双的佛教艺术圣地，是古丝绸之路上最闪亮的一颗明珠。现在的敦煌是我国“一带一路”战略的重要节点城市。敦煌是首批国家历史文化名城、首批中国优秀旅游城市。莫高窟、鸣沙山、月牙泉、雅丹魔鬼城、玉门关、阳关等文化旅游资源蜚声海内外，以旅游业为龙头的第三产业在市域经济中比重超过 50%，2013 年文化产业增加值所占比重达到 8%，文化旅游被确定为支撑和带动转型跨越、富民强市的首位产业。



图 2 敦煌莫高窟（左）和鸣沙山（右）

敦煌有丰富的风能和太阳能资源，多年来致力于可再生能源的推广和应用，是全国首批新能源示范城市、首个百万千瓦级光伏发电示范基地、国家可持续发展试验区和甘肃省循环经济示范园区，以清洁能源、资源循环利用为优势产业的新型工业已占到全市经济总量的三分之一。

1.2 能源资源条件

敦煌市化石能源资源贫乏，煤炭、石油、天然气等化石能源主要依靠外部供给。敦煌市太阳能和风能资源丰富，荒漠和半荒漠土地资源充足，电网输出条件较好，具有大规模开发应用可再生能源的条件。

太阳能：敦煌是我国太阳能资源丰富的一类地区，全年日照时数达 3,257 小时，日均光照 8.9 小时，年太阳总辐射量为 1,754 千瓦时/平方米。

风能：敦煌四季多风，风力资源丰富，正在开发建设的北湖地区可开发面积达 980 平方公里，属于荒漠戈壁，成北高南低的走势，地势平坦。70 米高度平均风速 6.9 米/秒。

地热能：敦煌地区安敦盆地地热资源主要为中低温、低温地热水，井深 1600 米水温可达到 52℃。敦煌市地形基本上分为戈壁沙漠、绿洲地形两部分。

土地资源：敦煌市地形基本上分为戈壁沙漠和绿洲两部分，可用于建设风电和光伏电站的荒漠戈壁面积约 3500 平方千米，潜在光伏装机容量达 1 亿千瓦。

1.3 能源供需状况

敦煌市化石能源匮乏，煤、油、天然气均依赖外部供应。2009 年以来，光伏发电发展迅速，2015 年新增装机容量 34 万千瓦，同比增长 110%；累计装机容量达到 58.3 万千瓦，同比增长 80%。敦煌市没有煤电厂，当地电力依靠水电和光伏发电。在光伏发电的带动下，敦煌市发电量快速增长，2015 年年发电量达到 6.4 亿千瓦时，同比增长了 88%。年发电量首次超过年用电量，实现了 100% 的可再生能源供电。

表 1 近 5 年敦煌市发电和用电情况

	单位	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年
光伏装机容量	万千瓦	2	13.3	16.3	32.3	66.3
年发电量	亿千瓦时	0.5	1.2	2.03	3.4	6.4
年用电量	亿千瓦时	3.27	3.9	4.61	4.83	5.31

2015 年，敦煌市能源消耗总量为 81.93 万吨标准煤，同比增长 7%。在能源消费总量中，8%来自于当地的水电和光伏电力，其他均来自于外购的化石能源，煤炭、石油、天然气的能源消费基本相当（如图 3 所示）。也就是说，敦煌市的电力基本可自给自足，其他能源依靠外部供给。

为增强能源自给供应能力，开发利用敦煌丰富的太阳能和风能资源是实现敦煌市可持续发展的必然选择。

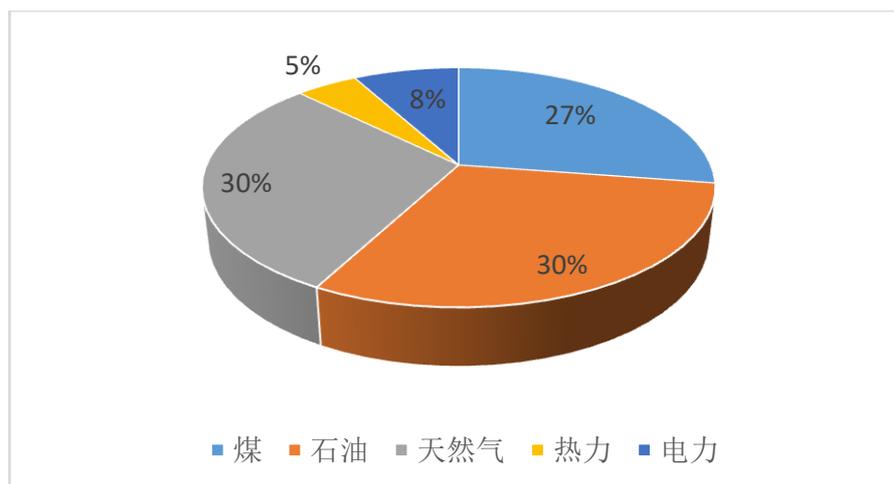


图3 2015年敦煌市能源消费结构图

2.城市 and 能源发展思路

2.1 城市发展定位

2013年9月，习近平总书记在哈萨克斯坦访问时提出了共同建设“丝绸之路经济带”的战略构想。党的十八届三中全会提出了推进丝绸之路经济带建设、形成全方位开放新格局的战略部署。建设敦煌国际文化旅游名城，促进敦煌文化的现代复兴，打造现代文化产业集群，构建国家文化向西开放的战略平台，融入丝绸之路经济带建设，成为敦煌的历史使命。



图4 敦煌街景

建设敦煌国际文化旅游名城，面临着多方面的挑战。生态环境脆弱，水资源总量小，同时还肩负保护世界文化遗产和构建生态安全屏障的重大责任；自然历史文化资源开发起步较晚，产业形态、发展效益与资源禀赋还不相称；经济总量小，人口少，财政支撑较弱，城市基础设施滞后，城市功能还不完善，全民整体素质有待提升，所有这些因素都影响和制约着敦煌的发展。

敦煌国际文化旅游名城的建设必须立足于资源禀赋，牢牢把握保护第一、有限容量、内容为王、田园城市四大建设原则，不能简单模仿一些发达地区、走大规模城市建设的粗放式发展道路，必须走出一条以有限环境容量为先决条件，以快速增长为基础，以文化旅游产业为主导产业的“内涵型巧增长”发展之路，探索资源品牌化、品牌市场化、市场资本化、资本国际化的有效路径，形成有限的城市、无限的空间，有限的资源、无限的产业，有限的产品、无限的市场。

2014年3月，甘肃省政府印发了《敦煌国际文化旅游名城建设发展规划纲要》，明确了敦煌市发展的总体定位和要求，举全省之力、谋敦煌一域、带战略全局。

- 敦煌市为限制开发区域，各类开发活动不得损害生态系统功能，产业及项目必须符合低耗能、可循环、少排放、‘零污染’的标准要求。

省政府对敦煌市的定位和规划，使敦煌市更坚定了发展可再生能源的信心和决心。基于敦煌市独特的自然、地理、文化和经济发展条件，敦煌市有强大的内在动力，必须要大力发展风光电为主的新能源，为敦煌市提供绿色发展空间。建设国家新能源示范城市，既顺应国家新型产业发展政策的导向，又符合敦煌国际文化旅游名城建设的客观要求。

2.2 城市可再生能源发展思路

从2009我国第一个大型地面光伏电站项目在敦煌落地开工，敦煌市的城市能源城市发展思路也经历了以下三个阶段：

建设百万千万太阳能发电基地：其工作思路是大力推进大型光伏电站和风电场的建设，所发电力并入电网，发展目标是风光发电基地的建设规模达到100万千瓦以上。关注的重点是能源生产端的绿色电力建设和并网外输，对消费端的关注较少。

建设国家新能源示范城市：其工作思路是着重推动各种可再生能源技术在城市中的规模化应用，提出的发展目标是到2020年可再生能源在能源消费中的比例要到28%以上。关注的重点是能源消费端的可再生能源的本地化生产和应用，特别是城市建成区的分布式项目开发和利用。大型风电场和光伏电站生产的绿色电力只有在本地消纳的部分才能计算在内。

建设 100%可再生能源城市：其工作思路是，通过节能和发展可再生能源两个方面的政策和措施，大幅度提高可再生能源在城市能源消费（包括电力、热力和交通燃料）中的比重，到达 100%可再生能源城市的宏伟发展目标。

2.3 问题和挑战

敦煌市作为全国第一批新能源示范城市，新能源示范城市建设也面临着不少的问题和挑战，其中既有敦煌特有的问题，也有与其他新能源城市共有的问题。

独特的能源资源条件和供需矛盾问题。从能源资源条件看，敦煌市常规能源匮乏，严重依赖外部能源供应，在新能源城市创建之前，敦煌市所有的能源消费（包括煤、油、电）完全依赖外部的能源供应。同时敦煌市有丰富的太阳能风能资源和荒漠土地资源，光伏发电潜力非常大，敦煌的当地能源供应只能依赖于太阳能、风能等可再生能源。2009 年国家开始推动光伏电站的规模化应用，敦煌市及时抓住了发展的机遇，争取到了全国第一个光伏特许权招标项目，大力推动百万千瓦光伏基地建设，在带动当地经济发展的同时，大幅度提高了本地能源供应比例以及当地的可再生能源电力在电力消费量中的比重。从能源需求看，敦煌是一个旅游城市，人口仅有 20 万人，用电量不超过 5.5 亿千瓦时，能源消费总量不超过 100 万吨标准煤，敦煌市的能源消纳能力有限，快速发展的光伏项目主要要依靠电网外输。从能源供需平衡看，2015 年敦煌市可再生能源电力发电量已大于全市用电量，弃光率已达到 32%；同时，由于甘肃省严重的弃风弃光问题，国家能源局停止了甘肃省全省 2016 年新增光伏电站建设规模；在弃光率不断增加的同时，敦煌市煤、油、电等消费量仍严重依赖外部能源供应。如何破解敦煌市的能源供需矛盾，如何解决光伏并网消纳问题，如何满足各种终端能源（电力、热力和交通燃料）的需要，如何平衡能源供应和需求在能源品种、能源量的不同，都是敦煌市城市能源发展面临的巨大挑战。

对高比例可再生能源目标的认识有一个逐步提高的过程。在新能源城市建设的初期，敦煌市理解的高比例是指可再生能源生产量在能源消费总量中的比例，不论光伏电力是本地消纳的还是外输的，这对敦煌市来说并不太难。随着工作的深入，敦煌市认识到，高比例可再生能源是指可再生能源消费量在能源消费总量中的比例，要真正大幅度降低当地的化石能源消费量，包括电力、热力和车用燃料的消费量，挑战很大。

一些可再生能源技术的技术成熟度和经济性尚有待提高。可再生能源发电技术成熟。近年来，可再生能源技术快速进步，经济性显著改善，在国家现在政策的支持下，风电、大型光伏电站、水电等可再生能源发电技术已经具经济可行性，可进行规模化的应用。可再生能源供热规的技术路径尚不明确。太阳能热水、地源热泵供暖制冷技术等可再生能源供热技术也基本具备了市场应用的条件，但其应用条件有一定的局限性，需要足够的建筑屋顶面积或是地面面积，城市中的大规模应用有一定的局限。可再生能源电力供暖技术（弃风弃光电力供暖技术）技术成熟，但配套的政策激励体系尚未建立，尚不具大规模应用的条件。可再生能源车辆燃料技术面临的挑战最大，电动汽车成本高，车用生物燃料的资源和技术都是存在着较大问题和挑战。

能源规划缺乏能源和可再生能源权威数据的支撑。敦煌市县级城市，在编制新能源城市发展规划和高比例可再生能源城市综合规划时，面临一系列的数据收集和整理问题，包括能源消费数据和可再生能源数据。我国统计体系中只有规模以上的能源消费数据，分散的户用热水、建筑供暖、小型工业锅炉等领域的能源消费情况不清晰。现有的统计体系中，有大型风电和光伏发电信息，但是分布式可再生能源发电项目和非商品化利用项目（太阳能热、地热能等）都未纳入国家的统计体系。能源和可再生能源的生产和消费数据分散在不同部门和领域，缺乏相应的统计机构和人员进行协调管理，数据缺失使城市能源规划缺乏权威数据的支撑。

缺乏国家的政策支持和引导。新能源城市创建工作契合了城市建设低碳、环保城市的内在要求，敦煌市有较强的积极性参与。但地方城市的能力和财力有限，期待中央政府能够出台有针对性的新能源城市建设激励政策，对新能源城市的能力建设和基础设施建设提供技术和财力支持。

地方技术支撑能力有待加强。作为一个县级城市，敦煌市当地的技术支撑能力非常薄弱，在新能源城市总体建设规划、设计、运营管理等方面都需要依赖外部专业研究团队的支持和支撑，在新能源宣传、人员培训、能力建设等城市新能源应用服务能力方面也同样存在较大短板，资金和人力投入普遍不足。为此，敦煌市积极寻求国内外专家团队的支持，2015年入选中德可再生能源示范城市，德国专家和国内专家组成的专家团队在敦煌市迈向100%可再生能源城市的进程中发挥着非常重要的作用。

3.城市新能源建设的三个阶段

3.1 2009 年：建设百万千瓦太阳能发电基地

基于丰富的太阳能和风能资源，敦煌市的可再生能源应用起步于大型光伏电站建设。

2009 年我国第一个 10 兆瓦光伏并网发电特许权示范项目在敦煌落地开工，拉开了敦煌市乃至全国光伏产业发展的序幕。2010 年 5 月，国务院办公厅在《关于支持甘肃经济社会发展的若干意见》中明确提出“建设以敦煌为主的百万千瓦级以上太阳能发电示范基地”。

2009 年以来，敦煌市光伏市场进入快速发展阶段。到 2015 年底，敦煌市并网光伏发电装机容量达到 66.3 万千瓦，备案装机容量达到 96.9 万千瓦。

为推动光伏风电大基地建设，必须保证风光电力的并网和消纳。为此，敦煌市在电网构架建设方面也做了大量的工作，到 2015 年底，敦煌全市已建成 750 千伏变电站 1 座，330 千伏变电站 2 座，110 千伏变电站 13 座，以缓解绿色电力输出的压力。

3.2 2011 年：建设国家新能源示范城市

在大力推动光伏发电基地建设的同时，敦煌市也清楚地认识到，从能源生产的角度，大型光伏电站建设能够有效提高绿色电力的比重；但是，从能源消费的角度，光伏发电并入中高压电网，对本地能源消费的贡献并不大，本地能源消费仍严重依赖化石能源。

为此，敦煌市提出开展新能源城市建设工作，推动分布式可再生能源在城市中的应用。早在 2011 年敦煌市就完成了《敦煌新能源城市发展规划》。同年 6 月，国家能源局批准了《敦煌新能源城市发展规划》，支持敦煌市创建国家级新能源示范城市，敦煌成为最早获批的国家新能源示范城市之一。

根据《敦煌新能源城市发展规划》，敦煌市将按照“清洁高效、多能互补、先进适用、综合协调、分步实施”的原则，以太阳能多种利用方式为重点，有序推进各类新能源技术在城市供电、用热、供暖和建筑节能中的应用。重点实施太阳能供电供热、城市微电网、建筑一体化太阳能光伏和热利用、电动汽车

以及为本地区供电的大型光伏发电和风电等项目建设，力争到 2015 年实现可再生能源生产量超过城市能源消费总量的目标。

新能源示范城市建设是我国“十二五”时期可再生能源重点建设工程之一，根据可再生能源“十二五”规划的要求，到 2015 年，要建设 100 个以分布式可再生能源应用为主的新能源城市。2012 年国家能源局启动新能源示范城市工作，明确了新能源城市的工作思路、基本条件和评价指标。根据国家能源局的文件，新能源示范城市是指在城市区域能源发展中，充分利用当地丰富的太阳能、风能、地热能、生物质能等可再生能源，使可再生能源在能源消费中达到较高比例或较大利用规模的城市。我国新能源示范城市的总体要求是：可再生能源利用量在城市能源消费总量中的比重超过 6%、两种以上的可再生能源技术应用达标。

由于敦煌市拥有丰富的太阳能和风能资源，在最初的《敦煌新能源城市发展规划》中提出的发展目标是“力争到 2015 年实现可再生能源生产量超过城市能源消费总量的目标”，立足点还是大规模的光伏基地建设。国家能源局的新能源示范城市工作思路发布后，敦煌市对其发展目标进行了调整，提出了可再生能源在本地消纳的规模及其在能源消费总量中的比例。调整后的规划目标是：

- 到 2015 年，以太阳能和风能为主的可再生能源开发量达到 220 万吨标准煤，达到届时敦煌市预测能源消费总量 78 万吨标准煤的近 3 倍。可再生能源在本地消纳的规模折合 21.31 万吨标准煤，约占能源消费总量的 27%。
- 到 2020 年，以太阳能和风能为主的可再生能源开发量达到 606 万吨标准煤，达到届时敦煌市预测能源消费总量 110 万吨标准煤 5.5 倍。可再生能源在本地消纳的规模折合 23.92 万吨标准煤，约占能源消费总量的 28%。

根据该规划，到 2015 年和 2020 年大型光伏发电和风电场装机容量将分别 300 万千瓦和 700 万千瓦，其能源量在可再生能源生产量中的比重都在 85%以上。新能源示范城市的建设仍处于推动可再生能源项目建设的阶段，能源消费端考虑较少，可再生能源系统与节能、常规能源体系、城市规划建设体系的协调配合尚有待加强。

3.3 2015 年：建设 100%可再生能源城市

“100%可再生能源地区”项目由德国联邦环境、自然保护及核安全部(BMU)发起并资助，其目的是选定那些愿意付出长期努力将其能源供应彻底转变为可再生能源的地区，为这些地区提供帮助，并最终实现这一目标。到 2014 年底，德国已有 130 余个县、乡镇及地区签约确定了这样的发展目标。

100%可再生能源意味着能源供应完全转变为可再生能源，包括电、热和交通燃料均 100%来自可再生能源。

德国法兰克福市是全球低碳和 100%可再生能源城市的先行者。在详实的可行性研究的基础上，2015 年法兰克福市批准了“法兰克福市 100%气候保护总体规划”，提出到 2050 年实现能源消费总量减少 50%、温室气体减排 95%、100%可再生能源的城市发展目标。还有汉诺威、温哥华等很多经济发达的大城市也都提出了 100%环境保护、100%可再生能源的发展目标。越来越多的承诺和经验坚定了敦煌市建设低碳、可再生能源城市建设的决心。

2015 年 1 月，敦煌市入选“中德可再生能源示范城市”，在德国和国内专家的共同支持下，开始 100%可再生能源城市的规划研究工作。目前，《敦煌市 100%可再生能源城市综合能源规划》仍在研究起草阶段。该规划将对敦煌市能源生产、能源消费和能源输送的现状和趋势进行了详实的分析和研究，包括各种可再生能源的生产潜力和趋势，分领域、分品种（电、热和车用燃料）的终端能源需求，能源转换与生产过程中的设备与效率，以及电力和能源的输入和输出途径和能力等，完成了 2015 年和 2020 年的城市能源平衡表；提出了 100%可再生能源城市建设的规划思路、重点工作和工作。

为实现 100%可再生能源的目标，新能源城市建设要实施一下重点任务：

- **在能源生产侧，以建设大型可再生能源基地为主：**建设 100 万千瓦国家级太阳能热发电示范基地、200 万千瓦大型光伏领跑者发电基地、200 万千瓦新型风力发电基地；大力发展分布式能源，确保 100%满足敦煌市可再生能源消费需求。
- **在能源输送侧，大力建设外送通道，完善本地配电网：**大力建设可再生能源供热网络，城区范围全部实现可再生能源供热；大力建设可再生能源交通网络，加快充电桩网络布局，确保敦煌市可再生能源交通稳健

推广。

- **在能源消费侧，开展能源需求侧管理：**在工业、建筑、交通三大领域全面开展，由粗放式能源管理向精细化能源管理转变，通过科技和管理手段，大力提高能源利用效率。

初步的研究成果显示，在 2030 年左右，敦煌市能够实现电力和热力的 100% 可再生能源，交通燃料的 100% 可再生能源替代则面临着较大的技术和经济性挑战。

- **100% 可再生能源电力：**敦煌市有丰富的太阳能和风能资源，光伏发电和风电装机容量快速增长，当地可再生能源电力完全能够满足 100% 的电力需求。面临的主要挑战是不同灵活性提升方案的经济成本。
- **100% 可再生能源供热：**可再生能源供热技术成熟，包括太阳能供热、地热能供热、可再生能源电力供热等；供热领域的节能潜力巨大，节能和能效措施的实施可以大幅度地减少供热领域的能源需求量。面临的挑战主要是农村地区的供热问题，以及实施能源措施的时间表。
- **100% 可再生能源交通燃料：**交通系统的能源转型面临较大的挑战。电动汽车、电制气燃料等技术可供选择，但技术成熟度和经济性都面临较大的挑战。

4. 组织管理和保障措施

4.1 加强组织领导

为强化国家新能源示范城市的组织领导，敦煌市成立由常务副市长任组长，各相关部门主要负责人为成员的“敦煌市建设国家新能源城市建设工作领导小组”，总体协调新能源城市规划与建设工作，统筹协调发展中的重大问题，细化分解落实新能源城市建设工作任务，建立新能源城市评价指标体系，并纳入社会管理综合治理责任制进行考核，确保新能源城市各项任务落到实处。领导小组下设办公室，分别从各部门抽调相关人员，由市财政配套专项经费。

4.2 加大政策扶持力度

建立强有力的政策支持体系，将新能源城市建设工作融入敦煌市经济社会长期发展规划。设立新能源城市建设专项资金，切实保障落实重点项目建设和运维资金。加强全市新能源城市建设项目专项资金的统筹力度，加大城市基础设施新能源技术利用投资，优化信息化资金结构。建立和完善银企沟通对接机制，充分利用敦煌市清洁能源投融资平台，完善多元投融资机制，吸引和鼓励多元化社会资本参与创建工作。

4.3 创新管理考评机制

加强目标考核管理，构建科学有效的综合绩效评估体系。建立方案实施目标分级责任制度，把新能源城市建设方案实施工作作为各级党政领导干部政绩考核的重要内容。加强监督检查，确保惠民实效。制定《敦煌新能源城市建设工作绩效考核指标及管理办法》等，建立严格科学的年度及月度考核制度，细化考核目标，确保新能源城市建设工作稳步推进。

4.4 加快项目建设

重点推动热电联产、分布式光伏、光伏光热建筑一体化、地水源热泵、新能源汽车推广应用。修改完善政府投资新能源项目管理办法，制定相关实施细则，加强项目全程管理，规范规划设计、立项审批、招标采购、评估验收、运行维护各环节，完善项目监理、绩效评估机制，保证项目实施的质量，全面提升政府资金投资效益。各责任单位按照职责分工，分析梳理各项工作的进展情况，明确阶段目标和建设进度，加快创建进度。

4.5 加强宣传推广

积极推广应用新能源最新研究成果、产品和成功应用案例，树立新能源应用示范典型。利用干部培训、社区服务等平台，开展多种形式宣传体验，普及新能源城市知识，扩大带动影响力。引导相关企业、社会团体、专家学者和广大市民参与新能源城市建设，形成全社会支持新能源城市建设的良好氛围。

5.实施成效

5.1 总体进展和成效

根据当地的能源供需情况和可再生能源资源特性，敦煌市从能源生产、能源消费两个方面联合推动，按照“突出重点，多能并举”的可再生能源发展模式，可再生能源产业发展呈现多元化趋势。目前，百万千瓦级光电基地初步建成，光热发电示范项目率先启动，北湖风电基地建设开始起步，新能源电力外送通道有序打通，建成全国最大规模新能源产业园，多元化分布式能源系统正在构建。

从能源消费端，敦煌市已形成多能互补利用新局面，可再生能源电力、太阳能供热、地热能供暖制冷等均有规模化的应用。

从能源生产端，已建成全国集中连片面积最大、装机容量最多的光电产业园区，可再生能源装机并网发电量达百万千瓦以上。

到2016年4月，敦煌市本地消纳的可再生能源达到22.71万吨标准煤，占能源消费总量的20%以上。可再生能源的应用可减排二氧化碳59.5万吨。

5.2 坚持应用为先，全领域推进新能源城市建设

在城市建设方面。全市新建住宅小区内安装太阳能热水器近1万台，全市太阳能热水供应面积达50.5万平方米。购置城市电动执法巡逻车和景区太阳能观光车20辆。在城区有条件的路段，对路灯、广告牌、道口交通信号灯进行了太阳能改造，安装太阳能路灯500盏。

在居民生活方面。以自来水公司的储水库作为储热介质，建成了水源热泵项目，为公司办公楼、家属楼及周边商业住宅供热制冷，已实现供热制冷面积20万平方米。敦煌研究院、莫高大酒店、敦煌农场家属楼等均利用土壤源热泵技术解决空调系统，实现了夏季制冷冬季取暖。

在新农村建设方面。启动农村太阳房、农村街道亮化、农村阳光浴室示范工程，并在农村推广安装了太阳能杀虫灯1300盏。计划将农业生产和新能源产业有机结合，对全市集中连片的农村日光大棚进行太阳能改造，建成占地8000

余亩的分布式光伏农业大棚示范园区，在满足农业大棚卷帘机、自动调控等装置用电之余，进一步增加了农民收入。

5.3 坚持项目带动，全面推广新能源技术应用

全面推广太阳能热水应用工程，在全市有条件的宾馆饭店、学校宿舍楼、住宅小区等建筑屋顶安装大型太阳能热水系统，提供生活热水，减少以天然气为主的石化能源的消耗。

光伏电站建设快速推进。2009 年中国首个 10 兆瓦光伏并网发电特许权招标示范项目于落户敦煌光电产业园区，拉开敦煌光电项目建设序幕。到 2015 年底，敦煌市光伏发电备案容量达到 96.9 万千瓦，已建成并网光伏发电项目 66.3 万千瓦。预计“十三五”期间敦煌市光伏项目装机规模新增 100 万千瓦，2020 年底光伏装机达到 200 万千瓦。

光热发电率先启动，实现“零”的突破。两个太阳能热发电项目已开工建设，在建规模 2 万千瓦。2014 年首航节能 1 万千瓦熔盐塔式光热发电示范项目开工建设，是目前国内最大的单体熔盐塔式光热发电项目，该项目建成运营可实现光热电站 24 小时发电。2015 年 1 万千瓦线性菲涅尔光热发电项目开工建设，中国最大的线性菲涅尔光热并网发电项目。另外，还有多个项目处于前期准备阶段，包括 0.9 万千瓦碟式光热发电示范项目、5 万千瓦槽式太阳能热发电项目、3×5 万千瓦太阳能热电联产示范项目等。

分布式太阳能综合应用示范稳步推进。重点开展了乡镇太阳能微电网示范和太阳能供热综合利用项目，为分布式光伏电站的建设和商业化运营模式积累宝贵经验。在亚洲开发银行的支持下，2014 年开展了七里镇秦家湾农村太阳能综合利用微电网示范项目，为 50 户农户安装了分布式屋顶光伏系统，采用“集中调峰，分户计量”的模式，为农户提供绿色电力。农村太阳能供（储）热利用项目结合园区式设施农业和田园旅游的开发，采用太阳能光伏发电、太阳能集热器供暖、电锅炉补热的方式，解决园区的用电和供暖问题。

全力推进园区建设搭建发展平台。累计投入 2.5 亿元用于光电产业园区基础设施建设，水、电、路、通信、天然气等“五通一平”已全面完成，并建设了按照零排放建筑设计的光电博览园服务中心，通过服务中心新能源科普展厅，向国内外游客充分展示新能源技术和产品的应用与示范，将光电产业园区打造成为工业与旅游相结合的 AAA 级景区、新能源科普教育基地和实训基地。光电

博览园服务中心采用了土壤源热泵、太阳能集热器、光伏瓦、太阳能电池组件、玻璃幕墙等多种可再生能源技术和节能环保技术，能够实现净零排放。

示范推广光伏农业大棚。将农业生产和新能源产业有机结合，对全市集中连片的农村日光大棚进行太阳能改造，建成占地 8000 余亩的分布式光伏农业大棚示范园区，在满足农业大棚卷帘机、自动调控等装置用电之余，进一步增加农民收入。

6. 启示和建议

6.1 拓展新能源城市发展思路

敦煌市新能源城市建设起步于大型光伏电站项目的建设，经历了到能源生产和能源消费同步推进的新能源城市建设阶段，再到目前的可再生能源应用与城市规划、建筑、交通、工业等统筹规划阶段。面对发展中的问题，城市能源发展思路不断调整和完善，目前正努力向 100% 可再生能源城市的目标迈进。

敦煌市城市能源发展思路的变化对其他城市有较大的借鉴意义。目前，多数新能源示范城市的建设仍处于推动可再生能源项目建设的阶段，可再生能源系统与节能、常规能源体系、城市规划建设体系的协调配合尚有待加强。从发展思路方面看，要从目前的城市能源建设层面，上升至能源如何促进保障城市可持续发展的层面，发展思路需拓展。

结合国家正在推动的新型城镇化工作、以及习主席提出的能源革命思路，新能源城市的工作思路应拓展至：1) 新能源生产：城市中可再生能源规模化的生产；2) 能源消费理念和体系：做好城市规划，统筹协调与建筑、交通、工业领域等的规划和建设，建立和完善本地消纳体系，倡导新型能源消费理念，为可再生能源的消纳提供更好的条件；3) 能源技术革新：支持新型可再生能源技术的试点示范工作，包括智能微电网、区域能源站、低能耗和净零能源建筑等；4) 宣传教育：普及教育，提高公众的认知度和行为模式。

6.2 提出分阶段、更高的发展目标

根据我国国家新能源示范城市的评价指标体系，新能源消费比重达到 6%、两种可再生能源技术达标，即可称为新能源示范城市。对于敦煌这样的城市，可再生能源资源条件好，可再生能源应用水平已经高于国家规定的标准；达标

后，城市会失去发展的方向和前进的动力。从全球能源转型的发展趋势看，新能源消费比重达到 6% 只是新能源城市的起步要求，距离高比例可再生能源（60% 以上）的发展方向还有很大的差距。同时，新能源城市建设工作是一个长期、持续的工作，不同城市在不同的发展阶段需要有不同的目标指引。

建议国家引入五星级新能源示范城市概念，将一星至五星级新能源城市的发展目标分别设定为新能源消费比重 6%、13%、25%、50%、80%。引导城市可根据自身的资源和开发应用条件，提出分阶段的、更高的新能源城市发展目标，逐步向高比例可再生能源城市迈进。

6.3 要重点支持地方能力建设

作为一个县级城市，敦煌市当地的技术支撑能力非常薄弱。在敦煌市新能源城市发展思路不同提升的过程中，国内外专家团队提供的专业技术支持服务非常重要，包括在能源规划和技术方案设计、新能源城市概念提升等等。从欧洲的经验看，支持地方能力建设、为地方提供咨询服务也是支持新能源城市开展工作的一个重要内容。

我国还没有出台针对新能源城市的激励政策，对新能源城市缺乏总体支持和引导。许多城市认识到可持续发展的重要性，认识到可再生能源等新技术的发展和应用是城市发展和经济转型的契机，也完成了发展规划的编制，但由于能力不足，规划实施受到制约。新能源城镇能力建设的主要内容应包括规划能力、计划实施能力、咨询服务服务、信息监测能力等，可考虑通过联盟、协会或企业合作的方面加以推进。

参考文献：

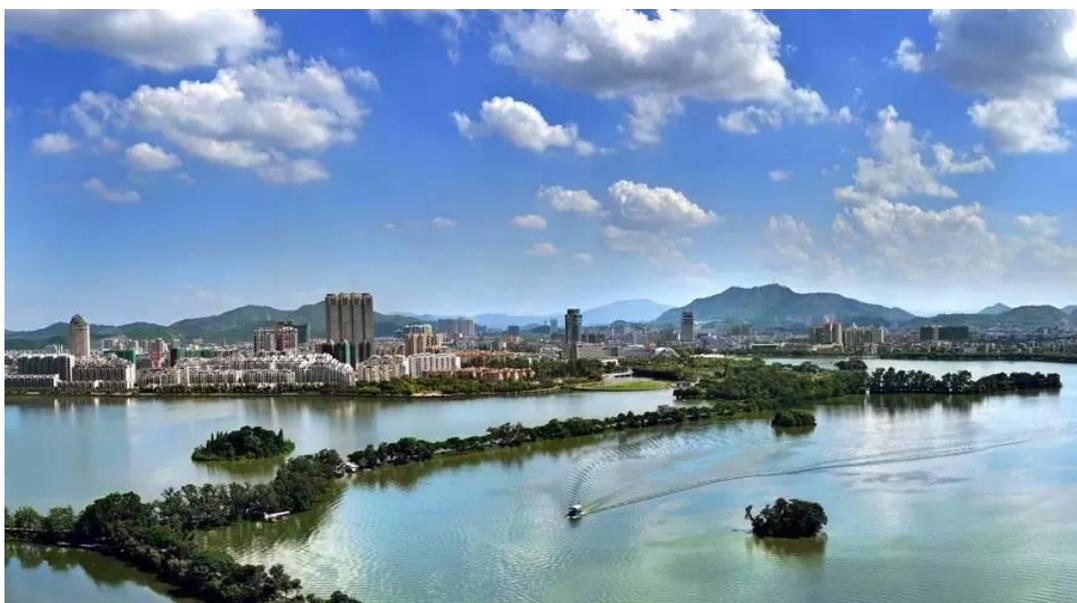
1. 赵廷乾：《中国城市向 100% 可再生能源供应系统迈进—实践与挑战》，中德新能源示范城市研讨会，德国，2016 年 5 月
2. 德国 Fraunhofer 研究院，《敦煌市能源规划编制初步成果》，中德可再生能源合作项目（CoRE）研讨会，敦煌，2016 年 4 月 26 日
3. 中德新能源示范城市建设合作项目申报书，敦煌市能源局，2015 年 1 月
4. 甘肃省人民政府办公厅，敦煌国际文化旅游名城建设发展规划纲要，2014 年 3 月 18 日，

http://www.gansu.gov.cn/art/2014/6/11/art_4364_180033.html

5. 国家能源局《关于甘肃省敦煌市新能源城市规划的复函》，国家能源局，2011 年
6. 敦煌市：《甘肃省敦煌新能源城市发展规划》，2011 年

第二章城市水资源

水与城市系统的许多方面密切相关。在水方面的利用、管理、废弃以及污染的水平很大程度上决定了城市的环境可持续发展水平。许多城市正面临水资源短缺、地下水位不断下降以及城市雨水排水和泄洪系统薄弱等问题。在城市水资源短缺情况下，城市开始日益重视水资源管理。一些城市将水系统与区域自然保护联系起来，比如保护森林、湿地、水源地，以及保护生物多样性；另外，城市也越来越多地着手雨洪管理、雨水收集、水质改善、水资源循环利用和海水淡化等。



一、首尔市城市水资源管理

Young June CHOI³

摘要：韩国首尔在过去的 60 年间经历了急速的城市化进程，在跨入国际一流大都市行列的同时也染上了区域性水循环系统恶化等都市病。为改变这种局面，通过政策和技术上的努力，实施雨洪管理、建立水循环系统、保障水质安全、构建水-能联结，探索实施智能水网，首尔市形成了有效且可持续的城市水资源管理系统，实现了城市水资源系统不再是“处理”而是“生产”资源和能源的认识上的转变。

关键词：水循环系统，雨洪管理，智能水网，水-能联结，首尔

1.城市背景介绍

1.1 首尔市介绍

首尔市是大韩民国的首都，也是韩国最大的城市。公元前 18 年到 475 年，百济的第一个首都为慰礼城，高丽时代的首都为南京，自 1394 年成为朝鲜时代的首都后，到成为大韩民国政府中央厅舍、青瓦台的所在地为止，拥有 1,000 多年的历史，在百济、朝鲜、大韩帝国、日帝强占时期的朝鲜、美军政朝鲜以及大韩民国中肩负起了政治、经济、社会、文化中心角色。

今天的首尔有汉江穿过市中心，地形呈被群山围绕的盆地城市形态。在这群山之间有许许多多的山脉和丘陵像指头一样向着市区伸展着。现在的首尔既是韩国的首都，也是韩国第一大城市，约有 24% 的南韩人口聚集在此处。在较小的面积中，聚集着众多人口，使得土地资源日益宝贵，有许多没有住宅的低收入人群寻找房价较便宜的郊区高地定居，因此这成了首尔城市的形成模式。在高地带居住地区，水管的供应方面有着很大的困难。

首尔目前是人口超过 1,000 万人的大型城市，在国际上也属于史无前例的在短期间内快速发展的城市。

³Young June Choi, 韩国首尔市首尔水研究院水研究与开发局主任

1.2 首尔的水历史

首尔市历史上第一个饮用水处理厂投产于 1903 年 12 月 9 日。当时的大韩帝国高宗皇帝向美国人科尔布伦 (C. H. Collbran) 和波斯特威 (H. R. Bostwick) 颁发了水务建设与管理的许可。1905 年 8 月从这些美国人那里获得了转让专利权的大韩水务公司 (Korean Water Works Co.) 担负起了近代水处理设施的经营和管理, 于 1906 年 8 月初开始蠶岛净水厂的慢滤池工程, 并于 1908 年 8 月完工, 自 1908 年 9 月 1 日起开始向 12 万 5 千人每日供应 12, 500 立方米的水量。蠶岛净水厂标志着韩国近代水务的开始。现代水务系统提供了卫生和便利的水资源, 带来了居民生活质量的改善和寿命延长, 并且为生产、城市防灾等社会各个领域带来了创新变化和发展契机。

由于 1910 年日本强占而大韩帝国丧失了主权, 首尔水务经营权也掌握在了日帝手中。虽然政权变更但未影响自来水的便利性和卫生性被广为宣传和接纳, 并且随着人口增加而供水需求日益骤增。1912 年只有 4 千余个给水栓, 至 1930 年增加到了 21, 121 个, 至 1945 年增加到了 61, 970 个, 增加了 15 倍。京城府为了应对爆发性的供水需求, 1910 年到 1945 年光复, 3 次扩大了水道基础设施建设。1945 年光复之后, 首尔设立了水务办公室, 开始了水务自治管理, 致力于扩大产能, 满足增长的供水需求, 提高自来水供应率。1950 年发生的韩国战争破坏了首尔自来水的大部分设施。3 年多的战争大约破坏了 30%~90% 的净水厂, 约 90% 的通信设施受到损坏。从 1954 年开始的 5 年内, 在联合国援助污水处理设施得到了修理和恢复。随着 1956 年完全由韩国技术团队设计的九宜净水厂的完工, 首尔自来水设施扩大工程步入了正轨, 1945 年人均供水量 59 升, 至 1960 年增至 163 升, 提高了近 3 倍。另外, 1960 年 11 月 1 日“地方自治法”修订之后, 水务科升级为水务局, 随着自来水业务的体系调整, 水务财政也渐渐进入了稳定状态。

1960 年代和 70 年代, 大韩民国政府积极开展了经济开发 5 年计划, 工业化和城市化也随之迅速进行。随着迁入首尔的人口增加, 供水需求骤增而急需扩大设施。1960 年到 1980 年, 首尔的人口从 245 万增加到了 837 万, 有了每年平均 28.2 万人的爆发性增长。

在这期间, 首尔市为了扩大设施和提高水务服务能力而投入了大量精力, 并于 1980 年代达到了供水稳定。1980 年代, 生产设备的扩大和人口增加减缓, 供水需求进入了稳定期。供水普及率超过了 90%, 人均每日供水量接近发达国家 400 升的标准。

经过 1980 年代和 1990 年代，自来水的主要议题从“量”转换到了“质”。这是因为全球对环境认识的加深，首尔的自来水供应量得到稳定后，自然而然地开始关注水质污染的问题。首尔的饮用水源为汉江，随着城市化、工业化而导致水质污染问题经常发生，维持上水源的水质标准成了新的问题，在地方下游经常发生水质污染事故，导致人们降低了对自来水的信赖，维持自来水的水质成了全国性的社会问题。2000 年代系统效率成了重要的政策性目标，水务公司的经营指标中，降低泄漏成了重要的问题。由于在技术、政策、经营上付出了努力，2015 年首尔市水务泄漏率降低至 5%。

2016 年首尔市紧跟联合国新发布的“可持续发展目标 (Sustainable Development Goals, SDG's)”的全球性潮流，将“可持续发展”作为新的重要政策目标。

1.3 面临的问题与挑战

比较 1970 年代和 2000 年代的每月平均降水量可以清楚看到气候变化给首尔市的降水带来的影响。

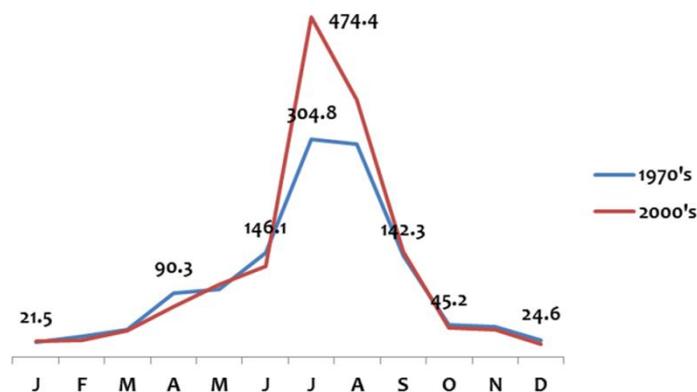


图 1. 每月降雨量的变化

一年中，约三分之二的降雨量集中在属于雨季的 7 月和 8 月，其集中度和降水量正在增加。另外，相对来说属于旱季的冬天和春天的降水量明显减少。这样的降水模式从两方面来说，对水资源的使用带来困难，第一是夏季的水灾，第二是春、秋季的旱灾。

2015 年首尔市经历了连续三年的旱灾。2004 年到 2013 年的 10 年间，占汉江流量大部分的八堂大坝径流量的平均值为 613 CMS⁴。以此类推，首尔市为了

⁴CMS, Cubic meter per second 每秒立方米的流量

自来水的生产和供应而引水的量约占整个流量的 6%。连续经历三年旱灾的 2015 年年初，此组数值从 240CMS 降到 124CMS，秋天降到了 80CMS，在 11 月更是降到了 50CMS。

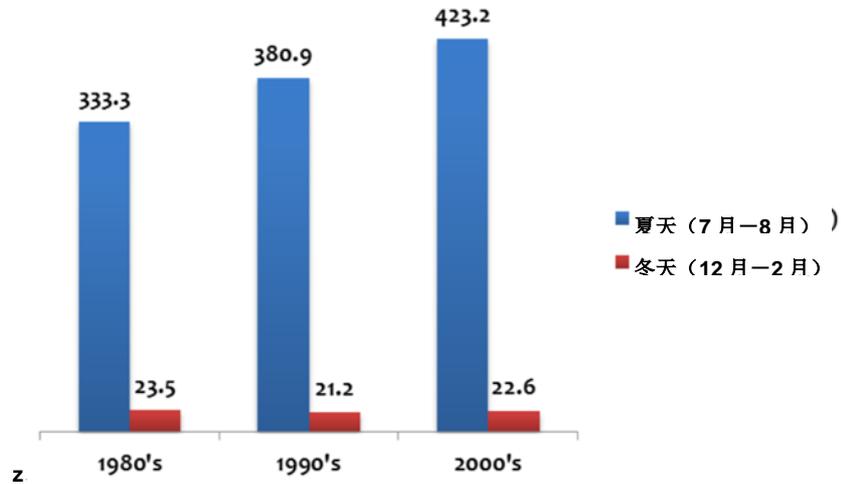


图 2. 各季节降水的变化



图 3. 2010 年夏天光化门水涝（图左）和清溪川泛滥（图右）(崔, 2016)

汉江的流量为 50CMS 的情况下，则首尔市自来水的每天取水量为汉江整体流量的 71%。假如这样的情况持续几天则首尔市水供应将面临紧急情况。幸运的是这次没有发生紧急情况，但首尔市判断这种严重程度的旱灾很可能再次发生，因此，市民用水的水资源的多样化和节约用水及应付紧急情况的体制是必要的政策要素。

现在属于首尔市唯一水源地的汉江水质也受到气候变化的影响。理化性质的水质因子通过水质改善的努力正在好转，但随着气候变化和人类活动的增加，生物、生态的变化正在增加，频繁出现的藻类和苔藓虫等新微生物、耐抗生素细菌等情况正在增加。

首尔市大部分（87.3%）的水供应为家庭使用，农业用水和工业用水很少使用（0.7%）。首尔市水资源管理的主要对象为家庭用自来水。因此，首尔市水资源管理的两大轴之一是自来水给水的需求和供应管理，另外一轴是以污水处理为中心的城市排水和再利用。

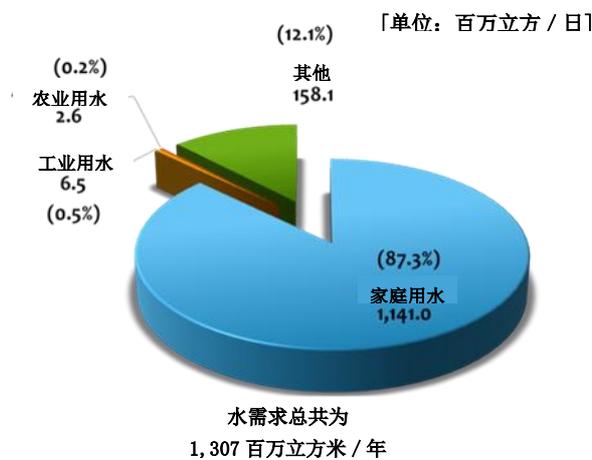


图 4. 首尔市各用途水需求(崔, 2016)

正如前面所谈及的一样，韩国战争以后，自 1960 年代开始，经过 1970 年代和 1980 年代，1990 年代达到巅峰的韩国经济发展和城市化、工业化发展，以及人口增加导致了几何级数的水需求增加。为应对该情况，首尔市集中于自来水的生产和供应、污水处理和城市排水系统的数量上的增加。现在已具备所有水资源相关城市基础设施，可以说预算运营和政策方针在于设施的维持管理。为了有效管理包含给排水的城市水循环系统，需要整合这些系统，进行综合管理。

之前将生产自来水的流程称为“净水处理”，处理废水后放流的流程称为“污水处理”。现在净水处理或污水处理不再是“处理受污染的水”，而应该视之为生产新形态资源的“生产流程”。从这一观点来看，首尔的水资源系统应该以“水-能量联结（Water-Energy NEXUS）”的观点去了解。最近，1970 年代和 1980 年代建设的设施老化，因气候变化的灾难和灾害正在增加，应该将

较为扩大的“水-能源-风险(Water-Energy-Risk NEXUS)”讨论作为水资源管理的重要起点。

2.管理思路与方法

1960年代开始,经过1970年代和1980年代,快速城镇化(图5)和工业化、以及人口增加(图6),首尔的城市环境问题也随之加剧(图7)。但是,当时政府的政策性方向集中于城市发展和扩大,很难考虑到环境问题或水质改善。这样的社会氛围也是当时大部分市民所拥有的基本认知水平。因此,这种一味强调增长的城市发展模式给环境问题和可持续发展带来了严重的问题。

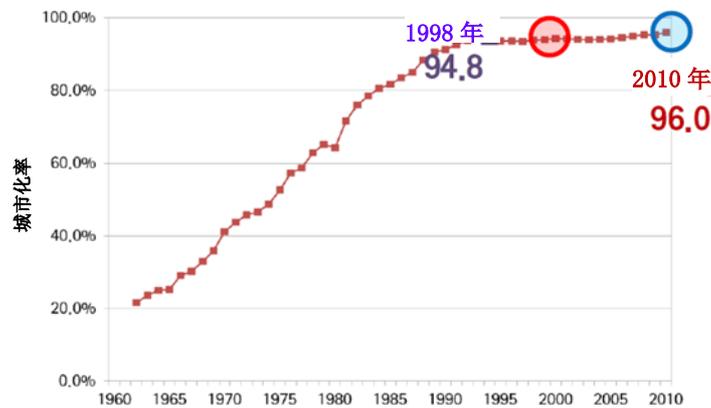


图 5. 首尔市城市化比例的变化(金, 2012)

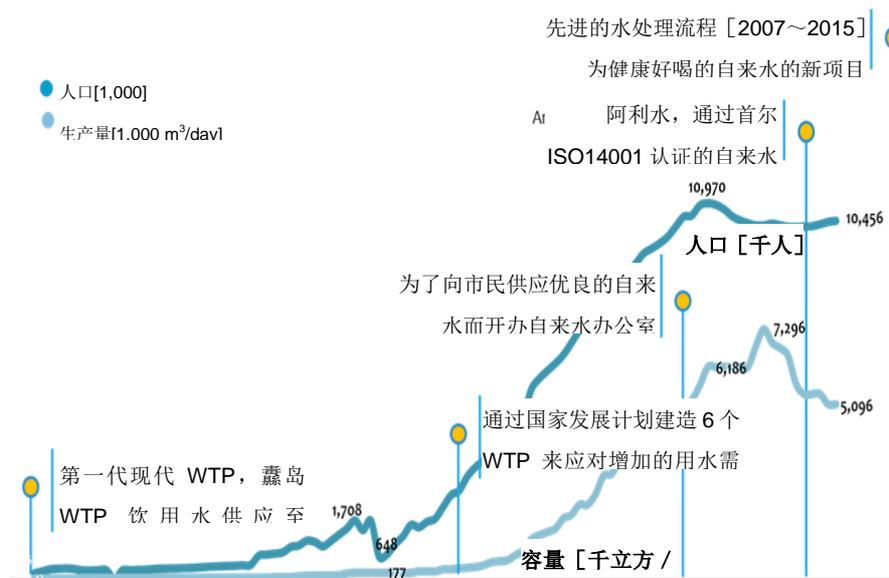


图 6. 首尔市人口和自来水生产量变化(崔, 2016)

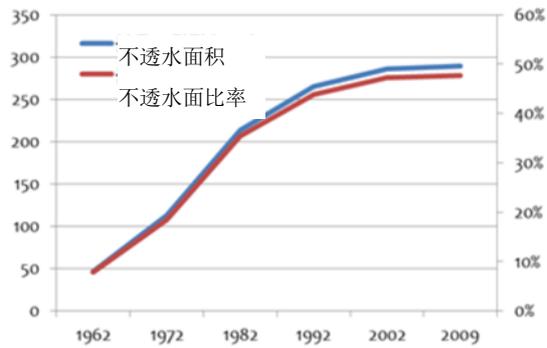


图 7. 首尔市不透水面积和比例变化(崔, 2015b)

环境的修复需要付出比保护环境多数十、数百倍的费用和努力。但是，随着政府和市民们对环境和可持续发展认识的提高，首尔市在城市环境的修复方面付出了非常多的努力。通过这样的努力，对改善汉江的水质、首尔的空气、扩大城市内绿色空间方面都起到了很好的效果。(图 8)

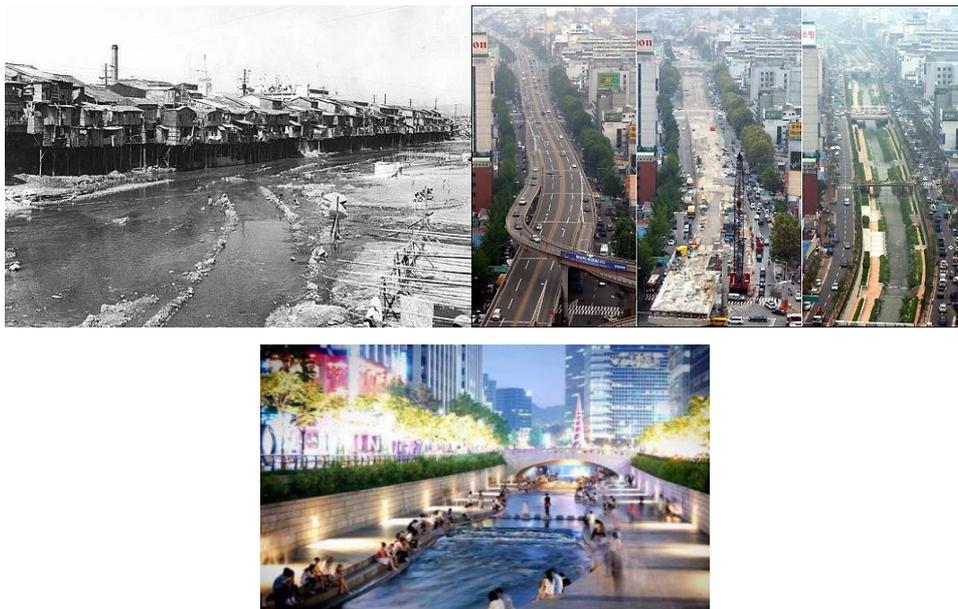


图 8. 清溪川覆盖以前（上左），覆盖之后和复原过程（上右），复原之后（下）的样貌

2.1 管理思路与决策

城市的水问题并不局限于单纯的“水”物质对象。有效解决城市的水问题要结合技术、社会、经济、环境因素等多角度进行立体考量。而且，为了解决城市水面临的挑战，需要各方面的利益相关方的参与和合作。但是，现今首尔市的水问题的解决构架中仅局限于技术、政策领域的利益相关方。这是由于存

在两个原因，一是因为地方政府和水资源公司才能经营水务事业的制度性限制，二是因为污水处理和城市排水系统等城市基础设施的规模和投资非常庞大，因此这两个因素而不得不由政府来运营。因此，为了解决与首尔市类似的巨型城市的城市水问题，必须要有市民、社会、经济领域的利益相关者的共同参与。

为了包括给排水系统的城市基础设施建设和运营需要大量的资金和相当长的时间。因此，城市基础设施的计划、设计、建设和运营不应该受到政治、经济的影响。但是，因韩国的地方政府拥有的政治性限制，现在对于城市水资源管理系统的长期计划、设计、建设、运营并不容易。另外，在开发和扩张时代构建的分割性行政结构⁵，转变为在效率和运营时代所需要的整合型体系结构颇有困难，因此很难建立起有效的城市水资源管理系统。

在已经具备城市基础设施的首尔市，为了有效的水资源管理，需要一个能够整体解决城市水问题的、拥有综合功能的组织。也就是说，为了克服机构之间重复的功能、部门之间的隔阂，需要“水资源局(Water Authority)”或“水系委员会(Water Basin Committee)”等，能够综合解决水问题的组织，这些组织将在城市内、城市之间、地区之间、国家之间、相关机构之间承担起仲裁和合作的角色。环境部或国土部等中央政府对于地区之间的仲裁角色和对于功能的能力和意愿有所限制，因此这样的组织由地方政府进行协商后组成将更好。

正如之前已经谈到的，城市基础设施特别是水资源管理设施的规划、设计、建设、运营需要有着眼于系统、长期的方法。为此，需要有长期的计划和支持计划的财政保障。举例来说，美国在未来 30 年期间需要投入 1 万亿美元的预算改善老化水管设施，水管基础设施中约有 44%已经超过了寿命时间，处于非常恶劣的状况，急需改善及更换(Morrow, 2016)。韩国水管设施的老化也越来越严重，以 2012 年为例，在国内所有 647 处净水设施中，占 32.5%的 210 处已经运行了 30 年以上。以容量来计算的话，据报告，整个 593,217 万立方米 / 年当中，997 万立方米 / 年 (38.9%) 已经老化。据报告，供水管道总长 179,159 公里，其中的 47,714 公里(26.6%)的管道已经建设超过 20 年(Gim Jingeun, 2016)。首尔市的污水管道，据报告，到 2014 年年底，在总长 10,572 公里中，占 51.2%即 5,400 公里的管道为 30 年以上的管道。为了维修和改善这些老化的城市基础设施，需要巨额预算和世代的长期计划和实施。为此，需要相关领域专家小组

⁵在开发和扩建的时代，为了水资源相关城市基础设施的量上的确保，上水和污水道以个别的方式，忙于按照各领域的需求进行了设施的计划、设计、建设，现实上也是以个别的接近方法在速度方面来说也是非常有效。因此，为自来水的组织（首尔市自来水事业本部）和为污水道的组织（首尔市水循环安全局）各自管理了自来水和污水道的行政。

制定既现实又准确的长期计划。此外，该计划应该包含技术性和工程性计划，还要有融资，例如税费和财政计划，比如设立水基金。

2.2 决策过程

水资源的管理决策过程大略如下。

详细的地区计划由地方政府制定，并需要得到政府相关部门的许可。国家层面的长期计划由中央政府所制定。其决策过程与政府的一般行政决策并没有什么不同。公务员和一些技术家或专家们是决策主体，由于结构和程序上的限制普通市民和利益相关方很难参与决策。

为了解决这些限制，各个政府通过制度规定和运行包含专家、市民的各种利益相关者等组成的水务评价委员会，在决策过程当中能够通过咨询委员会来进行咨询和收集意见，但是现实上很难聆听市民们的意见，缺乏系统的整合组织或过程。市议会决定并监督政策开展及预算和结算等相关事宜。

中央和地方政府在管理水资源中缺乏专业性将影响未来有效和超前的水资源管理，并带来负面影响。尤其是，由于婴儿潮时代的退休而形成的技术和行政管理经验的间隔，短期内在有效的水资源管理的政策性判断和执行上带来非常大的困难。公务员较短的任期也是很难确保其专业性以及相关政策持续性的因素。

为了达成有效及可持续的水资源管理决策，需要构建结构，允许各种利益相关者可以参与决策过程的结构，并确保政策和决议长期稳定实施。另外，需要有一个组织架构能制止政策决策和实施中的浪费性行为，比如由于政治取向而取消政策活着改变政策方向。

对于通过各种讨论和聆听意见后决定的事项，在政策实施期间，以及在政策完成之后，制造尽可能与市民们持续沟通、交换意见的结构，也是有效及可持续的水资源管理必要的因素。

3.对策和解决方案

3.1 政策与制度

因城镇化而导致的不透水面积扩大是城市排水相当困难的因素之一。为了解决这样的问题，有使用透水性道路材料或雨水渗透设施的方法。在首尔市，为了扩大雨水渗透，政府部门和社会建筑物和基础设施建设的一同采用了低影响开发(Low Impact Development, LID)咨询制度，使其能够收集一定容量的雨水。

在首尔市正在为扩大雨水收集设施提供资助。也就是说，在个人住宅安装雨水收集设施时，将补贴 90%的安装费用。另外，居民若通过雨水收集或中水利用来减少自来水使用的话，首尔也正在考虑出台减免其自来水费的制度激励政策。

另外，通过支持建设收集雨水示范村项目，正在实施在以村为单位的共同体中集中安装蓄水、渗透、利用雨水设施（水循环安全局，2016）。为了与市民沟通水资源管理、听取意见和发掘水管理政策，首尔每年举办水循环世博会和市民讨论会。

3.2 技术性解决方案及案例

3.2.1 雨洪管理:

为解决城市排水的相关问题，如洪水和暴雨排水等问题，首尔市将城市主管网排水系统能力从 10 年一遇提升至 30 年一遇⁶。另外，在原先的管渠中还安装了雨水贮留槽。为解决城市流水排除相关水质问题，在污水处理场安装并运营了初期雨水贮留槽，并建设外溢污水(CSOs, Combined Sewer Overflows)贮留槽来应对城市非点源污染源导致的水质问题。

2016 年，首尔市雨水贮留槽的总容量为 254,480 立方米，计划截止到 2021 年将雨水贮留槽扩大至比现在大将近两倍的容量(增加容量 253,475 立方米)。因 CSOs 的污染负荷量占全体污染排出量的 60%，首尔市从 2013 年开始实施了水质污染总量制度。为了将此管理至适当范围内，将现在 11,700 立方米的 CSO

⁶现在，设计成了支线可以应对5年、主管网10年的频度降雨，今后将在设计中提升为支线10年、主管网30年。

贮留槽容量渐渐扩大，目前正在开展到 2024 年建设总容量为 235,700 立方米 CSOs 贮留槽的计划。大暴雨的 CSOs 贮留在地下蓄水池 CSOs 贮留槽，天晴时输送至污水处理厂进行处理。

3.2.2 确保预防旱灾的代替水资源及构建可持续的水循环系统:

首尔市自来水主要通过水库来进行供应。水库的运行旨在为自来水供应而有效地利用能量，以及构建持续不断的水供应系统。截至 2016 年，在首尔市共有 102 个水库，总容量为 2,420,000 立方米。该容量是就算在净水厂无法供应自来水时，也能够向首尔市民提供 17 个小时的自来水量。当然，实施紧急供水的话，能够维持比这更长的时间。首尔市以将水库的容量扩大至能够供应 24 小时为目标，计划到 2018 年增建 2 个 18,500 立方米容量的水库。

首尔市的水源为汉江。汉江的水量虽然非常丰富，但是地表水很难应对干旱或污染情形，因此需要相关的应对措施。特别是在 2013 至 2015 年，首尔市经历了连续三年的干旱，在 2015 年 11 月份，更是发生了史无前例的占大部分汉江流量的八堂大坝的放流量低于 50 CMS (Cubic Meter per Second) 的事件。汉江的流量为 50CMS 的情况下，首尔市所需要的源水量将达到汉江流量的 71%。因此，确保替代水资源可以说是既现实又紧迫的重要问题。首尔市将水的重新利用视之为替代水资源，水的重新利用包括雨水、中水、污水处理利用三个方面。2010 年，首尔市的水重新利用率只有 4%，计划截至 2020 年，将其提高至首尔市总用水量 1,454,097,000 立方米 / 年的 14.4%。

雨水的使用，将从 2010 年的 393,000 立方米 / 年增加到 2020 年的 2,400,000 立方米 / 年，中水道将从 2010 的 2,837,000 立方米 / 年，增加到 18,351,000 / 年，以及与水处理利用从 47,266,000 立方米 / 年，扩大到 188,069,000 立方米 / 年 (Gimet al., 2013)。

2015 年在地铁等地每日发生约 160,000 立方米 / 日的污水，只有其中的 67% (11,000 立方米 / 日) 得以重新使用，其中 94% 用作流量维持用水，其余用在建筑用水或造景用水。

3.2.3 确保应对气候变化的水质安全性:

气候变化以各种形式对水质的安全性产生影响。汉江的平均水质得以改善，但因为城市化和人口高密度而导致了河流富营养化，气候变化带来的气温上升和水流速度减慢导致了产生大量藻类。为了能够有效应对因藻类而产生的水质问题，首尔市正运营藻类警报制度(表 1)。2015 年藻类警报在包括上水源的上

流地区发布了 89 天、下流地区发布了 112 天的警报，在汉江的水源保护地也发布了 19 天藻类警报。

表 1. 根据藻类警报制度的警报阶段

警报阶段	蓝藻类细胞数 [细胞/mL]
关注	1,000 以上
戒备	10,000 以上
大量爆发	1,000,000 以上

富营养化和藻类发生时应对的方法主要可分为清除起因和事后处理。为了清除富营养化和藻类发生的起因，正引进减低包括总磷和总氮气等营养物质的设施。首尔市从 2004 年到 2014 年实施了污水高度处理项目，通过该项目建设了总共 4,370,000 立方米 / 日的总磷处理设施，但该项目的目标是将最终污水处理放流水的总磷浓度降低至 2.0 毫克 / 升。为符合强化的水质标准（总磷 05 毫克 / 升），首尔市制定了分三次的总磷处理设施引进计划，并阶段性的建设实施，项目将于 2018 年完成，届时总处理容量将达到 1,750,000 立方米 / 日。

为了对藻类发生后的自来水水质进行管理，首尔市从 2007 年到 2015 年，在首尔市全部 6 个净水厂引进并运营总容量 380,000 立方米 / 日规模的深度净水处理设施。因此，首尔市民不管有没有发生藻类，都可使用干净且安全的自来水。首尔市使用的深度处理技术，是以臭氧处理和粒状活性炭吸附为基础的技术。现在该高度净水处理流程的目标是去除藻类所导致的气味，以后也可用于控制毒素或微量有害物质。目前，正在进行深度净水处理流程提升效率的优化研究和开发。

微生物导致的水质下降也是首尔市水资源管理的主要对象。除了掌控藻类之外，正进行因苔藓虫等藻类而产生的新型微生物的研究调查。与城市化、人口增加、老龄化等社会变化一起，随着持续地滥用药物，虽然并不常见，但在韩半岛南部地区的河流发现了耐抗生素细菌 (Antibiotic Resistant Bacteria, ARB)，首尔市正开展与此相关的基础研究。

3.2.4 水—能量—风险联结:

在美国，为运营给排水系统而使用的能量是总能耗中的 3% (Fillmore, 2010)。在韩国，为水资源领域而使用的能量在 2013 年是总能耗的 1.02% (崔, 2015b)。而首尔市，将首尔总能耗的 1.7% 用于水资源领域 (图 9)。

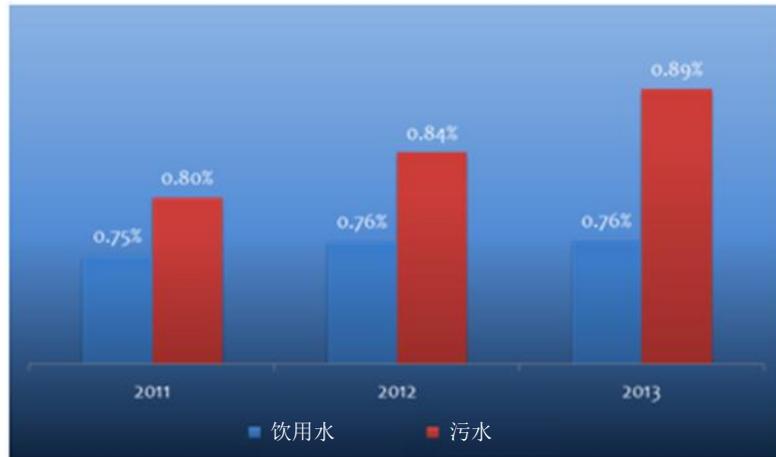


图 9. 首尔市水资源领域能量使用比率(崔, 2015b)

水和能量互相有着不可缺少的关联，相互依赖并相互影响。比如，为了牲畜养殖、生物燃料生产、石油和天然气开采、火力发电冷却等能量生产需要大量的水，反过来，为了满足城市地区的水需求，在水资源的抽取、运输、处理、使用当中需要大量的能量(USGAO, 2012)。

首尔市为了进行可持续的水资源管理，正付出相当精力构建水—能量联结(Water-Energy NEXUS)，其最为显著的方面就是可再生能源的应用。首尔市 6 个净水厂中建设的太阳光光伏发电总容量为 11,810 千瓦(图 10)。



图 10. 建设于首尔市净水厂沉淀池上部的太阳光发电模块⁷

首尔有许多山和山坡所形成的丘陵。首尔运用这样的地形特点发展小型水力发电(图 11)。首尔市计划到 2016 年将小水力发电容量扩大至 680 千瓦，并计划构建 2,930 千瓦的地热系统。

⁷http://image.fnnews.com/resource/media/image/2013/07/31/201307310320077671_1.jpg

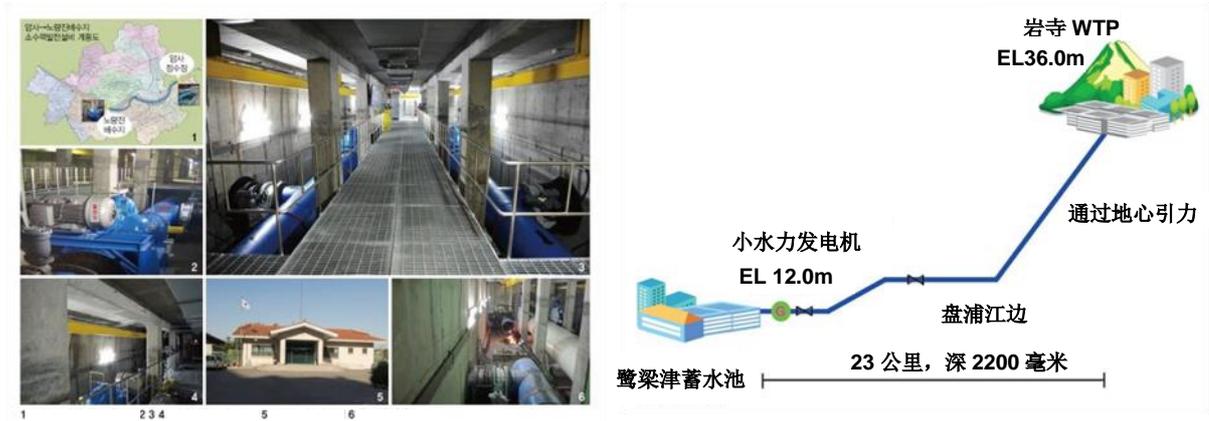


图 11. 首尔市小水力发电所(左图)和发电系统概念图(右图)⁸

污水的有机物含量十分高，因此，污水本身可以说是能源资源。现实中，在欧洲就已有许多能够自给能量的污水处理厂。首尔市污水处理系统中能源生产类型非常多，包括沼气、废水热、污泥资源化、太阳能光伏发电、过程废热等。沼气的使用范围非常广，在热电联产中使用8.9 MW，液化天然气 (LNG)的生产量为一天16,000立方米，压缩天然气(CNG)产量每天约4,000立方米左右。厨余垃圾产生约9,300立方米的沼气。小水力发电容量为0.5MW。干燥的污泥可使用为火力发电厂的燃料，1年约生产43,000吨左右。污水处理场的沉淀池占据很大的面积，正试图运用沉淀池上方空间铺设太阳能组件，安装容量约为5MW(表2)。

表 2. 首尔市污水处理系统新再生能量生产量

能量	项目	容量 [TOE]	经济可行性 [10 ³ 美金/年]	
沼气	热电联产厂(8.9 兆瓦)	电量: 56,390 兆瓦/年	11,898	
		热量: 66,924 Gcal/年	6,692	
	城市燃气	LNG: 16,000 立方米/日	5,507	1,749
	车用燃料	CNG: 4,000 立方米/日	1,377	182
	餐厨垃圾处理	沼气: 9,303 立方米/日	1,596	530
出水流量	小水力发电	电量: 0.46 兆瓦	384	122
	污水换热	热量: 95 Gcal/hr	35,157	1,386
干污泥	火力发电燃料	43,000 吨/年	12,900	391
空间	太阳能 PV	电量: 5 兆瓦	1,253	50
余热	烘干机、锅炉		2,057	
总计			78,821	8,936

⁸左: http://www.energy.co.kr/images_atl/000/000/007/000000007597/000000007597-0001.jpg,

右: [https://seoulsolution.kr/sites/default/files/images/image00003\(8\).jpg](https://seoulsolution.kr/sites/default/files/images/image00003(8).jpg)

现在虽然是示范阶段，但正试图从污水中回收资源。首尔市研究开发了从污水中回收磷的技术，用于肥料的适用性也已经完成了认证。现在正开展污水处理场现场可行性评估项目。

3.2.5 智能水网:

智能城市是首尔市正追求的一项城市功能目标。智能城市的定义可能有很多种，但是最基本的要素是以 ICT 为基础的高效城市系统，首尔市的水资源系统也在这样的智能城市的重要因素之一。因考虑到经济和社会方面的因素，还未能用于现实生活中，但首尔已完成综合智能测量系统 (Integrated Smart Metering System) 的研究开发，并完成了几个示范项目。首尔所作出的努力得到了国际认可，并在 2012 年国际水协会 (IWA) 中获得了“项目创新奖 (Project Innovation Award)”。同时，首尔向市民公开的实时水质监测系统在 2007 年建设完成并于 2011 年示范运营，除了系统的管理人之外，一般的市民都可以随时随地确认自来水水质(图 12)。除此之外，对水压、水量、水位监测和现场视频监控系统进行合并运营及控制，完成了智能水管理系统的一期工程(图 13)。



图 12. 首尔市自来水水质监测系统. Seoul Water Now 系统



图 13. 构建首尔市自来水综合管理系统（左）及综合信息中心(右)

为了确保水资源管理系统的可持续，需要一套综合管理系统。为此，需要构建以水—能量联结为基础的城市能量—水资源管理系统。以城市水资源综合管理的层面来看，该系统并不局限于水和能源，还应该包括管理风险。首尔市正在策划将城市水资源管理的外延扩大到能源和安全以及对于水资源相关灾难应对系统的研究。

4.实施成效

水资源作为资源虽然有着商品的特征，但同时也拥有作为维持生命的必要因素的属性。从应该让所有人都可公平使用的层面来说，水资源也可以说是公共物资。无论东西古今，为了成立城市共同体，必须要有满足城市成员需求的水资源。从这方面来说，有效并可持续的城市水资源管理在环境、社会、经济等所有方面来说，其价值和效果非常巨大。

从环境方面来看的话，修复并维持健全的水循环系统，能够确保整个城市环境系统的弹性(resilience)和可持续性(sustainability)。首尔市将通过污水管网和处理系统使用的水资源尽量恢复成自然状态，以此来维持水环境的可持续性，提高污水处理系统的能源独立性，从而减少首尔的碳排放。

确保充足的城市用水是实现城市水福利的必要因素。首尔市一直以来通过技术和政策上的努力，实现了让所有市民享有公平使用水资源的权利，这是营造首尔公平和宜居环境的基础。

如前所述，通过政策和技术上的努力，首尔市构建了有效且可持续的城市水资源管理系统。在这过程中，首尔实现了城市水资源系统不再是“处理”而

是“生产”资源和能源的认识上的转变。这意味着城市水资源系统除了首位的可靠性之外，还要将效率和经济视为主要目标。首尔市的城市水资源系统不仅能够减少使用能源，还能回收资源，并通过直接的能量生产，实现了巨大的经济效益。

另外，保障安全和稳定的水资源的量和质而产生的社会利益，很难用数字来计算其巨大的经济价值。

5. 启示及建议

首尔市城市水资源管理政策，在城市化初期和成长期主要集中于保障水资源供应量，进入稳定期后主要注重了质量的安全性。社会和经济稳定下来后，为提高水资源生产和供应系统的效率而付出了很多努力。今后，首尔市的城市水资源管理的目标可以说是保证其可持续性。

城市的可持续性是社会、环境、经济条件都得到满足的时候才能达到的，各个条件的满足能够保障城市的弹性、自立能力以及社会公平等(图 14)。这些结果整合之后才能实现城市的可持续发展(图 15)。

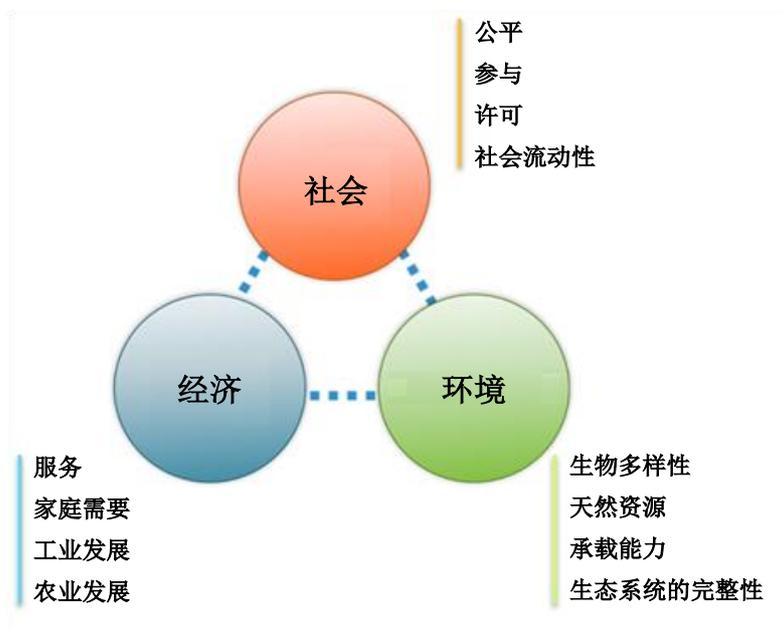


图 14. 为可持续性的条件和详细内容(崔, 2016)

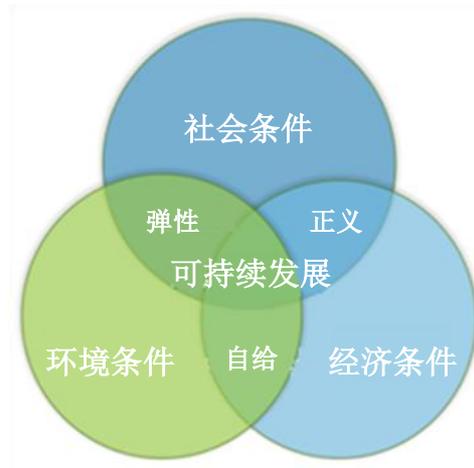


图 15. 可持续性的组成因素和相互关联(D'Amato, et al., 2016)

构建可持续的城市水资源管理系统的是首尔市的重要议题之一，也是其他城市、国家，乃至全球都应该进行的人类议题。首尔市水管理系统的特点可以说是在相对较短的时间（1960 年代到现在的大约 50 年期间）内就累积了广泛的技术、政策经验和成就。首尔市正与全球的其它城市分享其经验并也共同发展。通过与其他城市共同合作，首尔的经验和取得的成就才发挥最大价值。

参考文献

- 1.Fillmore, L., 2010, **Sustainable Treatment: Best Practice from the Strass imZillertal Wastewater Treatment Plant**, Water Environment Research Foundation
- 2.Morrow, M., 2016, **America's Water Infrastructure Is in Need of a Major Overhaul**, Fox Business, <http://www.foxbusiness.com/features/2016/01/28/america-s-water-infrastructure-is-in-need-major-overhaul.html>
- 3.United States Government Accountability Office, 2012, **Energy-Water NEXUS: Coordinated Federal Approach Needed to Better Manage Energy and Water Tradeoffs**, Report to the Ranking Member, Committee on Science, Space, and Technology, House of Representatives
- 4.Kim Yeongran, 2012, **Urbanization's effects on water cycle and the current condition of Seoul**, 2012 Water Cycle City forum
- 5.Kim Yeongran, Hwang Seonghwan, SimJuyeong, Kim Ayeong, 2013, **Seoul's water reuse management plan**, The Seoul Institute
- 6.Kim Jaeseop, 2016, **Seoul, put 306.9 billion won in expanding immediate sewage maintenance**, Gukjenews (<http://www.gukjenews.com/news/articleView.html?idxno=442987>)
- 7.Kim Jingeun, 2016, **Management of waterworks facility assets and tap water causticity**, Ministry of environment water pipe network causticity management experts forum
- Department of Water Cycle Safety, 2016, 2016 Major performances reports of 268th Regular meeting of the municipal assembly
- 8.Office of Waterworks, 2008, **A hundred years history of Seoul's waterworks (1908~2008)**, Seoul Institute

Seoul Metropolitan Government

9. Office of Waterworks, 2009, **white paper of Office of Waterworks Seoul Metropolitan Government – Arisu, 20 years of challenges and vision**, Seoul Metropolitan Government

10. Wikipedia, 2016, **Seoul Metropolitan Government** (<https://ko.wikipedia.org/wiki/%EC%84%9C%EC%9A%B8%ED%8A%B9%EB%B3%84%EC%8B%9C>)

11. Choi Yeongjun, 2015a, **Water-Energy NEXUS in Seoul**, The 7th World Water Forum, Daegu, Korea

12. Choi Yeongjun, 2015b, **Seoul's water management policy**, Seoul Solution (<https://goo.gl/TpjH VY>)

13. Choi Yeongjun, 2016, **Sustainable Water Management of Seoul, International Forum on Urban Policy for SDG's**, UNESCAP, CityNet and Seoul Metropolitan Government, Seoul, Korea

14. Ministry of environment, 2013, **Manual for Low Impact Development (LID) technique application for environmental effects evaluation**

二、池州市城市水系统管理与实践

邹涛⁹

摘要：池州是中国第一批海绵城市试点城市之一，近十几年来持续关注城市水系统中存在的各类问题，不断思考并提出解决方案，通过各类工程和管理措施实现了既定目标，从政策制定、协调机制到激励措施，都有其可取之处。本文重点以清溪河整治工程、水环境综合整治及主城区水系贯通工程、海绵城市示范区建设，以及一系列相关配套措施为例，针对城市水系统管理相关议题分析其经验并提出若干建议。

关键词：城市水系统，管理，实践，池州

1.城市背景介绍

1.1 城市简介

池州位于安徽省西南部，北与安庆市隔江相望，南接黄山市，西南与江西省九江市为邻，东和东北分别与芜湖市、铜陵市、宣城市接壤。池州是长江南岸重要的滨江港口城市，省级历史文化名城，也是安徽省“两山一湖”（黄山、九华山、太平湖）旅游区的重要组成部分。池州市辖贵池区、东至县、石台县和青阳县，池州市总面积 8272 平方公里，人口 162 万。

池州生态环境优美，素以生态闻名，有“天然大氧吧”之称。市域内森林覆盖率近 60%，主要河流水质均在优、良以上，全年空气质量优良，主城区建成区绿化覆盖率达 43.4%、绿地率 38.4%、人均公园绿地 13.1m²，环境质量在中东部地区首屈一指，非常适宜人居。气候温暖，四季分明，雨量充足，属暖湿性亚热带季风气候。东南部以九华山、牯牛降为主体构成南部山区骨架，是皖南山区的组成部分，中部为岗冲相间的丘陵区，西北部沿江地带为洲圩区，地势低平，河湖交错。受华东季风和西南暖湿气流共同影响，池州境内气候湿润，降雨丰沛，年均降水量 1400 至 2200mm，境内水资源总量达 63.7 亿 m³，占全省的 11%。境内有三大水系十条河流，流经池州的长江干流长 162km，秋浦河等 7

⁹邹涛，北京清华同衡规划设计研究院技术创新中心副主任，生态城市研究所所长。

大河流注入长江，中小型水库 377 座，万亩以上圩口 15 处，千亩至万亩圩口 63 处，通江涵闸 56 座，属典型的农业大市、水利大市。



图 1 池州城市一景

池州市主城区水系发达，水面宽阔。城北是长江之水浩瀚东流，南依月亮湖、齐山湖、天堂湖等湖泊湿地，白洋河绕城西入江，清溪河由南至北穿城而过，平天湖镶嵌城中，整体呈现为“滨江环湖、依山绕水”的独特城市格局。

自 1988 年池州恢复地区建制以来，池州一直秉持生态优先的发展方向，经过多年努力获得了相当的成绩。1997 年，池州被国家计委列为实施中国 21 世纪议程地方试点之一，1998 年被联合国环境规划署确定为中国地方 21 世纪议程能力建设项目 6 个重点实施单位之一；2000 年经国家环保局正式批准为国家级生态经济开发区，2004 年成为安徽生态省建设的三大综合示范基地之一，2008 年获得安徽省人居环境奖，2009 年获得国家住建部授予国家级园林城市称号。2012 年底池州市天堂湖新区成为第一批“国家绿色生态示范城区”之一。2013 年池州又相继荣获“国家森林城市”称号和“中国人居环境奖”。2015 年，池州成为住建部海绵城市建设试点城市。

1.2 案例实施前的城市水系统问题的难点与挑战阐述

水资源时空分布极度不均，是池州市始终面临的一大难题之一。虽然全市多年平均年降雨量丰沛，但全年降水主要集中在 4 至 7 月，且年际变化较大。同时，降雨量的地区差异也较大，山丘区明显较圩区易旱。由于降水时空分布严重不均，池州水旱灾害频发，甚至多次同年发生较大的水旱灾害。据统计，新中国成立以来池州发生水灾频率为 3 至 4 年一次，发生旱灾 5 至 6 年一次，严重制约了全市经济社会的发展。

池州城市水系统长期面临的具体问题，包括以下四点。

1.2.1 河湖水系逐步隔离碎片化

历史上的池州城四面环水，各水系相互贯通，每至汛期，一片汪洋，江、河、湖成为一体，浩淼不分，枯水季节，江、河、湖泊方可分辨。解放初期，由于池州城市无城防设施，汛期时内遭白洋河山洪入侵，外受江水倒灌，农田被淹、交通受阻、街市行舟、钉螺密布，疫疾和水患给区内居民造成无穷的灾难。

建国后，池州市大力加强水利建设，又因上世纪 60 年代为防治血吸虫病，围垦灭螺，在池州城东、北、西面分别修筑了白洋河堤、平天湖堤和城区江堤，将白洋河在下游云子畈圩改道绕城西切岗入江，故道成为城中内河，即清溪河。平天湖退建，城区东南面分别形成了南湖和齐山湖。原先相互贯通的自然水系，逐渐形成为现在秋浦河、白洋河、清溪河、平天湖、南湖等相互独立的水体。昔日广阔的水域滩涂大部分已演变为人烟稠密的城区和物产丰富的农田。

上世纪八九十年代因道路建设、城市开发，清溪河在城南门环岛、湖心路、秋浦东路、百牙路、清风路五处被隔断，清溪河活水变成死水。至此，城内的各水体“井水不犯河水”，各由各的“水龙王”掌控。平天湖 75km² 的来水蓄于湖内，1983、1996、1999 年汛期遭遇超标准洪水向城内分洪，造成城东一片汪洋，洪灾损失巨大，居民弃水而居、谈水色变。水多、水脏，人水争地的矛盾和问题制约了城市经济和社会发展。

1.2.2 城市水体污染、水质逐步恶化问题。

在一段时期内，水产养殖曾是城区水面的主基调，湖内养殖无节制地投放有机饲料；同时，城区人口集聚，加上城市管理不力，居民环境意识不强等因素，河道、湖泊承受着城市生产生活污水的超负荷排放和垃圾倾倒，加剧了河道、湖泊的污染，昔日美丽清澈的河、湖变成了“龙须沟”。

另一方面，城镇化导致自然生态缓冲区减小，初期雨水冲刷地表造成面源污染。城市内河水质个别断面在一些时间出现个别指标超 IV 类，甚至达到 V 类。城市部分内河季节性缺水，加之河势平缓，水流不畅，降低了河水的自净能力，主要特征污染因子数值呈逐年升高趋势，水质恶化风险越来越高。

1.2.3 水质性缺水问题突出，备用水源单一

从用水情况来看，存在供水保障率低和水质性缺水问题。池州市虽然水资源总量大，但主要靠地表水，受径流变化影响很大，缺乏其他备用水源地，一旦河道出现低流量过程，或者受污染事故影响，供水就可能中断，供水保证率不高。水污染问题严重，水质性缺水问题很突出。

平天湖作为池州市城区惟一的备用水源地，该流域无工业污染源，其污染源主要为居民生活、农业面源、畜禽养殖以及少量的水产养殖，如果平天湖污染严重，将影响城市供水安全。亟需采取有效措施，对平天湖进行生态修复，加强水源涵养建设，加大水源地保护工作力度。

1.2.4 城市排涝标准亟须提高

随着池州城镇化步伐加快，城市地面硬化程度增加，城市调蓄水面被逐渐“蚕食”，造成“调蓄功能逐渐减弱，原有自然海绵体系功能削弱，城市内涝”的现状。城市排水系统不完善，排水管网建设质量标准不高，无法及时排除积水。中心城区现状易涝点高达 228 个，积水严重区域主要集中在老城区。池州城区受到长江洪水和上游山洪的双重威胁。一方面，下游城区段直接受长江水位顶托；另一方面，上游山洪未得到有效控制，加重下游城区涝情。

2.管理者思路与决策过程

2.1 城市管理者对城市水系统问题的思考

城市水系统问题与地方经济社会发展阶段和水平密切相关，是一项涉及多方面内容的复杂系统工程。

而自上世纪 80 年代恢复地区建制以来，池州历届党委、政府立足于良好的自然生态环境本底条件，始终坚持做打基础、管长远、增后劲的工作。从上个世纪 90 年代初提出的“不会治山治水就不会治区”，到 90 年代末的“以青山清水为本，发展生态经济”，到“十五”时期的确立“生态立市”战略，再到“十一五”的“不失绿水青山，打造金山银山”，继而到 2012 年提出建设生态文明示范市，生态文明上升成为池州发展的行动纲领，地位越来越突出、方向越来越清晰、成效越来越显著。从发展理念、道路和纲领上，坚定了生态文明的主线地位。

在“生态立市”战略引领下，池州对城市水系统问题作了客观的分析和反思，伴随同时期国家水利、环保、住建等相关部委政策的鼓励和支持，并在市

人大代表们的积极推动和建言献策下，池州市在近十几年中一致能够做到直面问题，积极应对。

2.1.1 直面清溪河整治问题

面对清溪河的河道垃圾淤塞、污染严重、环境脏乱等问题，2002年池州市人大一届二次会议上，市人大代表联名将清溪河整治问题郑重提出，市人代会将其作为该次会议的唯一议案，从而引起市委、市政府的高度重视。此次会议后，池州市政府将清溪河环境综合整治工程列为一号工程，计划投资3亿元，用三年时间，分三期全面完成清溪河整治任务。

2.1.2 深刻反思河湖水系分隔蚕食带来的问题

2008年，池州学者谈家胜等发表《近代以来安徽池州圩田开发及其对环境的影响》一文，深入分析池州地区自清末民初兴起的圩田开发的利弊共性：圩田开发一方面改变了滩涂旧貌，改善了生态环境，另一方面也造成“夹江束水，压缩河湖水面，生态水灾频发”、“河湖淤积，河道改向，水产资源生态系统失衡”等问题。文章通过历史学方法研判了河湖体系变化带来的生态安全问题，同时剑指当代“征地开发的新一轮城市化圈地运动”造成“残存河湖面积进一步萎缩，原本脆弱的自然水系更趋紊乱”的发展失衡问题。文章其他作者来自池州水务局，显示此方面研究在相关管理部门已有认识和讨论。而仅在一年之后的2009年，池州便提出结合水环境综合整治工作，开展主城区水系贯通工程，对主城区水系加大整治力度，并提升了防汛标准。

2.1.3 积极结合新思路，探索创新系统解决途径

在实现了河道环境整治、河湖水系贯通之后，国家提出建设海绵城市的各项目标和措施。池州面向新的历史机遇，再提出新的目标，“建设为全国新型中小城市海绵城市新样板，对滨江港口城市具有典型示范作用”。池州市委书记赵馨群表示，一方面从自身需求出发，另一方面以海绵城市建设的先进理念来提升城市建设的品质。尤其是在建设规划修编中，全面植入海绵城市的理念和相关的技术概念。还将把海绵城市建设的理念融入山水城市、生态城市建设的战略中，落实到城市建设、管理的方方面面。

而池州市人大城建环资工委主任朱霖认为：“海绵城市建设是一项综合的巨大的工程，绝非一朝一夕所能完成，许多问题有待深思。”城市化区域对雨洪的综合性管理，涉及到方方面面，不仅包括传统的城市水网管道的建设，还

包括城市的发展模式、规划、土地利用等各方面的配合。池州正在朝向新的系统解决途径作出自己的尝试。

2.2 解决思路

2.2.1 整治修复河道，维护河流生态健康

维护河流健康是对新时期治水思路和理念的丰富。健康的河流要有充足的水量天然的流态和良好的水质，河岸和河床条件应当符合自然、稳定、渐变的态势；沿河动植物尤其是水生生物应保持丰富和多样性。

河流健康的社会经济价值应体现在满足区域和流域生产生活的需要。池州市提出，清溪河环境整治直观目标就是让河水清起来，让两岸绿起来、让城市靓起来，让人感受到诗人李白在清溪行中所描述的“清溪清我心、水色异诸水”的优美意境。



图 2 池州水景

河道整治修复的主要任务是改善水文条件和河流生态条件。通过水源调度维持河流生态水量；通过污水处理，控制污水排放，改善河流水质；恢复城区的河流和沟渠网络，保持纵横水路的畅通，避免河床材料的硬质化、单一化，利于水生植物生长和鱼类栖息。

2.2.2 贯通水系、整合需求、做足做活水文章

贯通池州城区河湖水系，整治水环境，以“恢复河流形态、实现水系贯通、提高防洪保安能力，改善河湖水质、营造旅游环境”的治水新理念，创新规划，创新建设体制，多部门联动，以整治清溪河，贯通河、湖水系等工程措施和退养还湖、集中管理等非工程措施为手段，让池州千年古城尽显“城在山水中，山水在城中”之美。通过河湖水系贯通整治，提升城区防洪排涝保安能力，改

善水环境，实现城区水系水质、水量的可控、可调、可用，促进城市生态水利的发展。

贯通河湖水系在规划上摒弃了传统观念，整合了水利、市政、旅游、交通、景观等综合需求，以充分利用水资源，做足、做活水文章，打造旅游休闲宜居城市为目标，最终形成方案为贯通河湖、整合景区、建设节点、改建桥梁(闸)、退养还湖，让城区水“活”起来、“动”起来、“靓”起来。

2.2.3 突破传统雨洪管理思路，建设海绵城市新样板

生态建设是池州市长期以来的工作重点，海绵城市建设与生态池州发展总体理念高度契合。作为全国第一个“国家生态经济示范区”试点，池州坚持“以青山绿水为本，走可持续发展之路”，在城市开发建设中，致力于保持河流、湖泊、湿地、坑塘、沟渠等水生态敏感区，优先利用和整治贯通自然排水系统，提高水生态系统的自然修复能力，维护城市良好的水生态环境。以其适宜的气候、起伏的地形、发达的水系形成以腹地森林生态系统和沿江湿地生态系统为主的优越自然环境，生态资源丰富，并通过后续的持续保护，池州维持了天然的海绵城市架构。



图 3 城市公园

面对每年汛期排水防涝、多雨季节城市内涝等问题，如何突破“以排为主”的传统雨洪管理理念，池州市迫切需要通过建设海绵城市系统解决相关问题。池州市因此提出，将以海绵城市为契机，为滨江港口城市水环境突出问题、生态环境保护与城市发展矛盾冲突问题、城镇化海绵城市建设融合问题、水环境监测与管控问题谋寻解决方案，充分发挥天然优势，实现从“自发”向“有序”的海绵城市建设模式转变。

3.对策与解决方案

3.1 政府管理和协调机制

3.1.1 人大代表积极监督，领导高度重视

池州城市水系统的各项治理工作，在新世纪之初国务院批准设立地级池州市之后，才得以全面启动。在地方人大代表的积极促进下，市委市政府领导高度重视，始终坚持“生态立市”战略旗帜，长期坚持各项治理工作，取得的进步和成效非常突出。

2002年，在广大代表的强烈呼吁和极力建议下，清溪河综合整治工程被列为池州市一届人大二次会议一号议案。尽管刚刚建市的池州百业待兴，财力薄弱，但时任市政府领导仍然高度重视议案办理工作，积极筹措资金，决定三年投入三个亿对这条河流实施彻底整治。更为可贵的是，“功成未必在我任，一任接着一任干”，经过两届市人大及其常委会的不辍监督和市政府的不懈努力，综合整治阶段性成果全面实现。2013年，为了再现李白笔下的“清溪清我心，水色异渚水”的美丽景象，市政府又投入巨资对这条河流进行新一轮水环境整治。

面对海绵城市的建设命题，池州市政府成立了高规格的海绵城市试点建设工作领导小组，建立市长总负责、分管市长具体抓、部门负责人实际落实的综合管理模式，以确保对池州市海绵城市建设工作的有力推进。

3.1.2 政府组织、专家领衔、部门协作、公众参与

池州在实现城市水系统管理的过程中，非常重视专家的领先作用。在主城区水环境综合整治工程论证过程中，市委、市政府高度重视，提出在不破坏原有城市生态的基础上，更好地发挥整治后的生态效益、园林景观效益和社会效益，聘请了国家和安徽省多名著名专家现场调研、反复论证。专家组最终制定了综合整治规划目标，提出了切实可行的实施方案，为池州市水环境综合整治奠定了坚实基础和有力保障。不仅如此，政府也十分重视社会各界的意见。按照“政府组织、专家领衔、部门协作、公众参与”的原则，高起点规划，并对规划方案通过网络进行公示，征求社会各界意见

3.1.3 充分发挥 PPP 模式的作用

池州市主城区污水处理及市政排水设施购买服务 PPP 项目(“厂网一体化 PPP 池州模式”)为财政部在 2014 年推出的 30 个 PPP 项目中的首个签约项目,同时也被财政部和住建部共同列入试点的 PPP 项目,被业界称为“池州模式”的 PPP 污水项目。住建部力推污水管网特许经营和污水厂与污水管网打包市场化,在池州项目取得突破。该项目在解决社会资本进入门槛及融资难等问题上,都有很好的先行经验分享。



左图: 赴深圳水务集团实地考察城市排水设施建设右图: 池州主城区污水处理及排水设施购买服务招标

图 4 池州水务相关活动

根据池州市主城区污水处理设施的现状,按照“厂网一体化”的要求,采用特许经营、政府购买服务组合的 PPP 模式进行运作。

3.2 形成的支持与激励政策、规定、规划等文件内容

3.2.1 营造以生态文明为引领的地方政策环境

在安徽省委、省政府坚强领导下,以“全面转型、加速崛起、兴市富民”为主线,大力实施“生态立市、工业强市、旅游兴市、商贸活市、文化名市”发展战略,着力推进经济、政治、文化、社会和生态文明建设。2012 年 3 月,池州市出台了《关于加快推进生态文明建设的决定》,围绕生态环境、生态产业、生态人居、生态文化、生态制度等五大体系,制定 40 项指标、16 项配套政策,涉及考核评价制度、资源有偿使用和生态补偿制度、市场化机制等 13 项《决定》配套政策,多数已拟定出台。《决定》中明确提出了多项涉及城市水系统管理的目标和措施。

具体层面，在海绵城市建设引导过程中，池州市出台了主城区海绵城市低影响开发雨水系统建设项目奖励办法，安排奖励资金 3000 万元，专项用于海绵城市低影响开发雨水系统建设，调动社会资本投资海绵城市建设的积极性。

3.2.2 科学规划引领，多专业协同推进

在池州落实各项水环境综合整治工程之初，都非常注重水利、环保、住建等相关专业专家的系统参与，科学编制相关规划。

针对海绵城市建设，池州市已编制完成《池州市海绵城市建设试点城市三年实施计划(2015~2017)》。并修编了一系列相关的专项规划，并在防涝综合规划、绿地规划、平天湖和清溪河水环境综合治理规划等专项规划中都落实了海绵城市建设理念。特别值得一提的是，天堂湖新区于 2012 年成为全国第八、安徽省唯一的“国家级绿色生态示范城区”，它按绿色、生态、低碳理念编制完成总体规划、控制性详细规划以及建筑、市政、能源等专项规划，并建立《池州天堂湖绿色生态示范城区指标体系及技术实施导则》，涵盖了低影响开发技术实施导则，为池州市城市生态建设进一步积累了经验。

3.2.3 积极引入社会资本，推荐示范项目

池州相关部门认识到，海绵城市项目符合赤道银行规则，属于银行支持重点，社会资本进入顺畅，可以直接利用民间资金。在全国首个正式签约实施的 PPP 示范项目池州市污水处理及市政排水设施政府购买服务项目感召下，为进一步破除市场准入限制，处理好政府与市场的关系，池州市发改委草拟提交市政府出台《政府向社会力量购买服务实施办法》；推进民间投资项目示范试点，已先后引进民营企业四家，筛选池州市污水处理及市政排水购买服务 PPP 项目二期、池州市平天湖清溪河水上游线项目等 4 个项目上报省发展改革委，拟推荐向社会资本开放。

3.3 工程实践重点技术和方案

3.3.1 清溪河整治工程

贯通疏浚河道，恢复自然形态。多年来，城市修建道路，采用直接堵截河道的方法，五处河道被截，。清溪河形成了分散的水塘，破坏了天然河流的连续性，影响了水流的畅通，减少了城市水面面积。规划对所有填河道路全部贯通，并兴建桥梁，清除沿河垃圾，恢复原有的河道断面，对河道实施全线清淤处理，净化河道。

根据清溪河现状，南外环以上河段以自然型河道为规划理念，维持自然河道的地貌特征，土堤、缓坡或台阶状，利于两岸涝水、土壤中水分自然汇集、渗透河道。岸边种植水草、水竹等植物，利用植物根系稳定边坡，同时为水生物提供自然的栖息环境。南外环至白牙路桥刀河段位于市中心区，水面宽广，两岸房屋林立，交通繁忙，是居民生活、观光、休闲娱乐区。结合城市道路、桥梁、景观建设对河岸进行必要的防护，以保持河岸的稳定，防止波浪冲刷，提供亲水平台方便市民活动。河流岸线整治维持老河道走向，尽可能地维持或扩大水面面积，通过清淤保持一定的水深，为游船、划艇等水上活动创造条件。护岸采用复式断面，阶梯型布置，以满足枯水期和主汛期河道水位变化情况下亲水性的要求。护岸结构采用干砌石，或少量水泥砂浆砌筑或采用透水泥混凝土，保证土壤水分与河水的自然交换，部分河段采用缓坡断面直入河床。在斜坡面上分散布置水生植物，满足鱼类的栖息。白牙路桥以下河段位于行政办公段，两岸以绿化为主，边坝顶坡整理成缓坡，以草皮、灌木自然延伸至水面，使水与林草融为一体，让工整的楼宇之间留有难得的自然风貌，增添恬静的魅力。

截污引流处理，控制污染。因池州城区此前没有建设污水处理厂，工业废水、生活污水和雨水一起混合排入清溪河内，成为清溪河最大的污染源。在非汛期清溪河水直接流入长江，汛期要经泵站机排入长江污，水对泵站抽水设备造成严重腐蚀。规划在清溪河两岸分别布置截污干管收集污水，在白沙泵站附近兴建一座日处理能力 4.0 万吨的污水处理厂期目标为日处理能力达 8.0 万吨实现污水达标排放。

引水入城增强水体自净能力。天然水体具有自净能力。按照“以动治静、以清释污、以丰补枯、改善水质”规划思路，引水入城，带动整个河流水体流动，提高水体稀释自净能力，改善水环境。清溪河流域年降水量充足，水质良好，流域来水水质常年达到 II-III 类水标准，非常适合作为引人的水体。规划在主城区清溪河上游的云子贩处兴建一座拦水坝，并设置控制闸、对进城水量进行调控。同时，按水利相关要求采取多种措施，消除钉螺滋生的环境。在截污、引水工程实施后，投放适合当地生长的鱼、虾等水生动物，形成有效食物链，降低水体污染物浓度，促进水体净化，改善河流水质。

3.3.2 水系贯通主要措施

清溪河贯穿城市中心南北，城区段全长 15km，河面宽 50~80 m，在城区段为封闭性水体，其水位由杏花村、南湖、白沙 3 座排涝泵站控制在 7.60~8.10 m。平天湖位于城区东郊，来水面积为 75 km²，平天湖的水位控制在 10.80~12.10 m，

面积 11~12km²。南湖位于老城区以南，目前南湖被分割为几段，大部分为鱼塘、藕塘、水田等，相互之间仅以若干涵管勉强连通。天堂湖仅通过若干排涝沟与清溪河连通。

池州市水环境综合整治工程总结概括为“3538”工程，即贯通平天湖、南湖、清溪河三大水系，整合搏浪平湖等五大景区，建设齐山峡谷等三大节点，改建万罗山路桥等八大桥梁。对清溪河、南湖等水体进行综合整治，促进水体流动，增强自净能力，恢复南湖湿地的自然生态环境，维护动植物物种的多样性，构建环绕平天湖—南湖—清溪河的水上观光航线，将池州市优美的山水风光和丰富的人文景观串联起来，形成独具特色的旅游资源。

贯通水系。利用现有河湖水网优势，实施水系贯通。一是开挖连通河道，将平天湖、齐山湖、清溪河等城内河湖贯通，让水连起来。二是建清溪河引水渠，将清澈白洋河水引入清溪河，让水活起来。三是贯通平天湖与丰收湖水系，实现跨流域调水。

整治河道。对清溪河及相关河道岸坡进行综合整治，清淤护砌，分段置石、植柳，设置亲水平台和游船码头，以体现其亲水性、生态性和多样性。

退养还湖。将城区内养殖水面退养还湖，挖除养殖塘坝，恢复齐山湖、东湖、南湖湿地，建生态湿地公园 134hm²。同时市政府出台了“池州市清溪河水位控制办法”和“池州市平天湖水位控制办法”，依法科学调度水位和水质，以保障生态、景观用水。

排水截污。按雨污分流原则布设排水管道，分别承担区域内污水和雨水的排放，保障雨水入河，污水送至污水处理厂，杜绝污染源。

完善交通。在连通水系的河道上改建和新建了八大桥梁，桥梁的建设满足交通功能的同时，充分展现景观和池州深厚文化底蕴。

整合旅游资源。构建环绕平天湖~南湖~清溪河水上游光航线 20km，将池州优美的山水风光和丰富的人文景观串联起来，建设齐山峡谷、体育会展中心、升船机等节点，并在沿线整合多个景区，形成独具特色的旅游资源。

3.3.3 海绵城市建设主要措施

池州选取中心城区核心区 18.5 平方公里的范围作为海绵城市建设示范区，覆盖池州老城区和天堂湖新区。其中，老城区面积为 10.68 平方公里，天堂湖新区 7.82 平方公里。

作为总体的策略方向，池州市海绵城市建设综合考虑城市下垫面及基础设施建设，对低影响开发各类措施进行适用性分析，确定池州市海绵城市建设适用措施，优先应用“净”，综合应用：“渗”、“滞”、“蓄”、“排”，适当应用：“用”。

根据“池州市海绵城市建设以全国新型中小城市海绵城市新样板，对滨江港口城市(生态基础好，水环境问题突出)具有典型示范作用”这个总体目标，对照《海绵城市建设技术指南》等，池州市根据 GIS 空间地理数据分析技术、流域水文模型，结合池州市近 30 年降雨数据分析，确定了池州市试点区域年径流总量目标。在绩效考评方面，以“国家海绵城市建设要求和池州海绵城市建设实施计划确定的各项指标全部达标”为依据，重点解决海绵城市积涝点、城市黑臭水体、水安全保障、水环境整治、初期雨水污染、湿地保护等一系列问题。到 2017 年，要求示范区城市内涝防治标准达 30 年一遇，城市防洪标准达 100 年一遇，防洪堤达标率为 100%、排涝达标率为 80%、饮用水源地水质达标率为 80%、降水滞蓄率为 10%、水域面积率为 11%，雨水资源化利用率为 3%。对照国际经验，要达到这样的高标准，就必须防止项目的碎片化。为此，池州通过科学评估整体的“经济账、生态账、政治账”，制订清晰、科学的海绵城市顶层系统方案，将海绵城市试点建设区域重新归纳为四个汇水片区，既相对独立又有内在联系，彻底实现“打通城市水系的奇经八脉”。

遵照“源头减排、过程控制、系统治理”的海绵城市的技术路线和池州具体的水系结构，围绕清溪河流域采取从源头至末端的综合治理方式，将示范区分为老城区改造片区(合流制溢流控制+海绵城市)、观湖赵圩片区(黑臭水体+海绵城市)、汇景片区(既有建筑改造+海绵城市)、天堂湖新区(新城开发+海绵城市)四大主要片区。《池州市海绵城市项目建设落地方案》对建筑小区与公共建筑、城市道路、公园、市政管网系统与城市积水点、黑臭水体进行了全面梳理，确定各分地块的雨水控制目标。

3.4 实施成效

3.4.1 水环境综合整治及水系贯通工程效果明显

自 2003 年起，经过多年治理，清溪河已然成为池州主城区一条靓丽的景观带。通过多项工程的实施，已经基本实现了让河水清起来，让两岸绿起来，让城市靓起来的目标。

水环境综合整治工程实施后，平天湖、南湖、清溪河这三大水系已完全贯通，新增城市公共绿地面积 150hm²，大大改善城市生态环境，提升城市品味。池州市主城区清溪河和平天湖、南湖等湖泊形成了串珠状格局，构成了池州自然环境中最为特色的景观资源。该水系航线长、覆盖面域广，水域面积接近城区面积的 1/10。

具体成效包括：

提高了防洪保安能力。池州主城区河湖水系贯通后，整治的齐山湖、南湖和新开挖的贯通河道增加了主城区洪水调蓄面积，实现了流域内和跨流域调水，改善了城区排涝渠道行洪能力，提高了排涝泵站工程效益，减轻了暴雨对城区的压力。在 2010 年汛期池州主城区遭遇 20 年一遇的暴雨而未出现内涝，防洪保安效益十分显著。

改善了生态环境。疏浚河道、对岸坡分段针对性地采取硬护、生态防护、恢复生态湿地等工程措施，以及退养还湖和统一管理水资源等非工程措施，杜绝了污染源头，增强了水体自净能力。通过开挖河道，合理调配水源，促进城内清溪河、南湖、齐山湖、丰收湖水体流动，活化水质，恢复了自然生态环境，为动植物物种的多样性繁衍生息创造了条件。2010 年底来平天湖、南湖、齐山湖繁衍栖息野鸭、白天鹅等候鸟较往年明显增多，成为城市中一道靓丽的风景。

营造了旅游休闲居住环境。贯通水系不仅解决了由于水系分割带来的水污染日益加剧、生态环境退化等问题，而且通过贯通水系将池州“一城五区”组团有机连接起来，将齐山、平天湖、清溪河等景观串联，体现“城在山水中、山水在城中”，营造了旅游休闲居住环境。

传承了池州历史文化。作为一座千年古城，历史上的池城自然水系相互贯通，历史文化遗存众多。水系贯通后不仅使城区众多文化遗存以水为轴相连，便于统一管理和保护，而且通过一定深度和范围的软硬件建设，将自然生态景观与历史人文景观相融合，挖掘传承优良历史人文，使得自然景观和人文景观相融合，弥漫出浓厚的山水文化气息。



图 5 池州城市水景

3.4.2 海绵城市试点建设有序开展，预期效益巨大

良好的规划和技术路线，有力地促进了池州海绵城市试点建设的提速。截至目前，在项目进度方面，2015 年政府直接投资工程项目 55 个，总投资 14.32 亿元，已开工项目涉及汇水面积约 2.3 平方公里，已完成项目涉及汇水面积约 0.76 平方公里。2015 年已完成投资 6.5 亿元(不含房地产项目)，其中中央资金 0.8 亿元、地方财政资金 5.2 亿元、社会资本投入 0.5 亿元。确定池州一中、三台山公园、齐山大道、南湖沟黑臭水体整治等工程作为海绵城市首批示范项目。在建设管理方面，确定海绵城市制度管控体系、规划体系、投融资体系三大类共“61+1”项内容。在融资渠道方面，池州充分利用已实施的 PPP 项目创新融资渠道。市排水公司 2015 年已经完成管网建设投资约 3700 万元；2016 年以海绵城市建设为重点工作，配合黑臭水体整治，实施清溪河截污干管改造和初期雨水治理、清溪污水处理厂提标改造等工程，投资估算约 5.88 亿元。海绵城市建设试点的“池州速度”开始显现。

在海绵城市建设中，池州的经验是突出“五化并举”。

一是突出生态化，发挥自然积存功能。在市中心约 4.36 平方公里区域上建设平天湖湿地公园，并作为城市的蓄洪区，保护城市原有的河流、湖泊、湿地、坑塘、沟渠等，构建了城市生态涵养系统，提升城市自然积存、自然渗透、自然净化能力。

二是突出模块化，发挥海绵渗滞功能。采取“块、线、点”一体化推进，编制 7 大类 117 个项目、总投资 211.6 亿元，目前开工实施了 75 个项目，其中齐山大道、池州一中、三台山公园的“海绵体”总调蓄容积分别达到 3065、2274、3887 立方米。

三是突出精细化，发挥管网畅排功能。为畅通城市水脉，自 2015 年 1 月成功实施城市污水处理及市政排水设施 PPP 项目以来，迅速完成了管网普查，建立了池州排水管网 GIS 地理信息系统，累计疏通雨水管渠约 655 公里，检查井 1.18 万座，雨水口 5.49 万座，清出淤泥量约 3017.2 立方米，完成工程化改造 80 多项，城市内涝点从 25 个下降至 5 个。市本级完成老旧小区雨污分流改造管网 60 公里，新建改管网 15 公里。

四是突出工程化，发挥河湖调蓄功能。大力实施水安全工程、水环境整治工程，进一步贯通了平天湖、天堂湖、清溪河、丰收湖四大水系。

五是突出专业化，发挥市场主体功能。2015 年通过 PPP 项目引入了大型综合水务服务商——深圳市水务（集团）公司，并合资成立池州市排水公司，实现了“专业的人做专业的事”，先后投入 390 万元，购置了国内先进的 CCTV 管道机器人检测车、大型抢修车等，有效提升了专业应急处置能力。在应对强降雨过程中，充分发挥专业的团队、设备、技术三大优势，全天候进行专业抗洪抢险作业，及时处置了城区多个积涝点，使城区不再出现“看海”现象。

据估算，此次海绵城市的全部工程建成后，预计将改善老旧小区 34 个，年平均减免洪灾损失 3650 万元，每年可节约自来水费 203.13 万元，土地增值效益两亿元，增加 4000 余个相关工作岗位，源污染负荷消减率达到 50%以上，城市内河水系达标率达到 100%。开展海绵城市建设，是提高池州承载力、打造美丽池州的重大行动，可以提高城市品位，增强社会凝聚力，促进人水和谐，将产生巨大的社会效益、经济效益和生态效益。在社会效益方面，池州市海绵城市的建设，改造老旧小区，改扩建观湖公园、护城河遗址公园、三台山公园、改造街头游园，提高居住质量，扩大公共休憩空间面积，满足广大市民对休闲空间和环境的需求。

值得一提的是，池州市主城区经受住了 2016 年历史罕见洪灾的考验。面对此次历史罕见的持续超强降雨造成的洪涝灾害，位于长江、平天湖、白洋河等河湖包围中的池州市主城区在滔天洪水中安然无恙，市区百姓生活秩序井然。在已经实施海绵城市建设改造的齐山大道南端、池州市第一中学操场、池阳路人行道、百牙路机动车道等地，在强降雨面前显示出良好的“吸水”功效，海绵工程排水排涝效果明显，几处地段均未出现大面积内涝、长时间积水现象，切实保障了城市防洪安全。

4. 启示与建议

4.1 启示

4.1.1 生态文明引领、生态立市战略营造良好软环境

近年来，池州市多次强调要打好“生态牌、九华牌、长江牌”，着力建设经济繁荣、环境优美、社会和谐、生活富裕的幸福池州。生态文明引领、生态立市战略，都为池州实现城市水系统管理及海绵城市建设目标，提供了良好的软环境。“以青山绿水为本，走可持续发展之路”，社会各界对于可持续发展导向的基本底线和要求易于达成共识，对于实现水系统管理相关目标的实现十分有利。

4.1.2 与历史观、生态观紧密结合的城市水系统管理导向

池州人内心深处的历史观和生态观，也体现在了水系统管理策略的全面性、整体性、系统性观点上。追忆古诗词句，反思圩田夹江，都为充分认识和理解城市水系统出现的各类问题奠定了基调。与其它地区比较，池州人更易理解大区域的流域管理和水系格局对于局部洪涝问题的重要意义，而这也是池州能够以较短的时间实现河道整治、贯通自然水系，维持天然的海绵城市架构的根本思想基础。

4.1.3 政策导向长期持续，不断自我突破

纵观十几年来池州的水管理历程，总体的政策导向从来没有发生过重大变化，市委市政府始终坚持综合治理的各项目和任务，也没有在已实现的目标上原地踏步，而是不断提出新的、更高的自我要求，不断尝试实现自我突破。从一开始的河道环境整治，到河湖体系综合治理，再到海绵城市的打造，池州并未停止过努力。长期持续的政策导向，对于实现各类管理目标极为重要。

4.1.4 充分运用 PPP 模式处理好政府与市场的关系

“池州模式”将对全国市政污水管网及污水厂的改革起到示范作用，具体的“池州模式”有以下 5 个亮点。政府高度重视、厂网一体市场化运营、污水管网实行政府购买服务模式，新增管网和旧网改造也实行同模式、项目公司 (SPV) 实行混合所有制、公开招标，实现市场化竞争。池州市“PPP 模式”启动后，成功盘活多年存量资产，减轻政府的债务负担。通过专业公司做专业服务(第三

方治理)、政府出资购买服务的方式,把过去政府相关部门“既当裁判员、又当运动员”的状况,转变为“不当运动员、只当裁判员”,从而使政府部门腾出时间和精力,专注于做好监管和督查,进一步提升建设、运营效益。

4.2 推广建议

由于历史地理原因,池州在城市水管理方面有其先天优势,本底生态条件良好,也为城市水管理的快速和良性转变奠定可能性。对于其他地区的城镇,既可能存在类似的条件,也可能基本情况差异巨大。如果需要借鉴池州案例,不应过分关注基础条件之间的差异,而应把握好以下几点:(1)对于相关事务,一把手领导应首先充分重视起来,并且特别需要关注顶层设计,充分调动一切积极因素,营造良好的政策软环境;2)关注专业化引领,充分尊重科学规律,实事求是解决问题,开放体系编制规划,开放程序做建设,开放模式做管理;3)充分应用 PPP 等模式工具调动市场积极性,建立沟通平台机制,协调好利益相关方格局;4)确保政策导向具有长期性。

参考文献

- 1.方曙祥.池州城区河湖贯通措施与成效[J].江淮水利科技,2011,03:7-8.
- 2.高玫.生态文明建设的池州模式与经验借鉴[J].老区建设,2013,22:15-19.
- 3.彭文季.池州市水资源管理对策与措施[J].中国水利,2010,11:42-43.
- 4.王英,方曙祥.池州“十一五”期间水利建设成效分析[J].江淮水利科技,2012,06:7-8.
- 5.陆桃正.池州市水环境综合整治探析[J].现代农业科技,2012,01:257-260.
- 6.周凌云.池州打造海绵城市[J].绿色视野,2015,09:27-32.
- 7.孙光敏.池州市清溪河环境治理与生态修复[J].江淮水利科技,2006,02:5-6.
- 8.谈家胜,方向明.近代以来安徽池州圩田开发及其对环境的影响[J].安徽农业科学,2008,26:11470-11472.
- 9.吴胜友 记者吴昊.安徽池州试点建设“海绵城市”[N].中国县域经济报,2015-06-25002.
- 10.李新兵.PPP 模式的特点、类型、操作流程以及在水务工程中的案例浅析[J].中国市政工程,2016,01:42-45+93.
- 11.刘宏伟.池州:海绵城市建设试点“技术控”[N].中国建设报,2016-05-12001.
- 12.纪洁,朱斌.池州市主城区水上旅游开发研究[J].池州学院学报,2015,03:85-89.

13.刘航波.追梦“海绵城市”的“生态池州”[J].中国招标,2015,21:12.

14.黄文生,胡宇平.池州打好“生态牌、九华牌、长江牌”的对策研究[J].安徽农业大学学报(社会科学版),2013,01:37-40.

第三章城市固废处理

城市废弃物管理是城市可持续发展需要面临的主要问题之一。城市废弃物收集、分类、资源化和再利用是城市循环发展的重要环节。废弃物减量是一种重要策略，同时，废弃物的回收利用也非常重要。越来越多的城市通过协同处理、资源梯级利用方式，变废为宝，利用废弃物产生沼气、集中供热、生产有机肥、回收利用等循环经济理念推广，法律法规约束，以及社会多方共同参与的可持续运营模式都是城市废弃物管理成功的关键因素。



一、德国柏林的城市固废管理

尹环英¹⁰

摘要：德国是城市固废管理先进的国家之一，本文从德国的废弃物管理法律法规基础出发，较为系统地介绍了柏林城市垃圾处理问题的解决思路、生产者责任及消费者责任方面的政策与经济手段、技术方案、多方参与的运营方式和实施效果，并结合柏林的成功实践，就城市固废管理经验推广提出了具体建议。

关键词：柏林城市垃圾，资源化，生产者责任，绿点组织，循环经济

1.城市背景介绍

柏林位于德国东北部，四面被勃兰登堡州环绕，施普雷河注入哈弗尔河口处，有 750 年历史，超长有悠久的历史，1991 年成为德国的新首都，是德国最大的城市，政治、经济中心，面积 8.92 万平方公里，市区全长 234 公里，现有居民约 350 万人。柏林原来分为 23 个区。2001 年 1 月，柏林实行政改改革，把 23 个区合并为 12 个区。每一个区再细分成为分区，代表着传统的都市化地方。在行政改革以后，地方政府之间的重组仍然不断。现时，整个柏林的 12 区合共有 96 个地方政府，而每个地方政府由下属数个街区组成。

随着城市化和工业化进程的推进，城市数量和城市人口集聚增加，城市生活垃圾污染问题逐渐成为政府关注的环境问题之一。20 世纪 80 年代中期，德国许多城市，包括柏林，城市垃圾处理也与世界上许多城市工业化进程中的情况一样，不是被焚烧，就是被填埋，而随之带来的影响是垃圾填埋场无法容纳城市不断增多的生活垃圾，且带来日益严重的水环境和空气污染。

¹⁰尹环英，世界未来委员会（World Future Council）中国项目高级项目专家



图 1 柏林垃圾处理

2.管理者思路与决策过程

德国是一个资源匮乏的国家，政府从单纯的城市固废处理应对，到认识到废弃物应是一种资源，应该加以回收利用，实现物质“从摇篮—到坟墓—再到摇篮”的闭合循环，到循环经济的思想产生和实施，其在固废处理领域相关法规的演化历程较好地反映了城市垃圾处理的解决思路：

1972年，德国第一部《废弃物处理法》出台，标志着德国循环经济探索的开始。二战结束后，德国致力于经济的恢复和发展，使德国经济得到迅猛发展。但与此同时，德国的生活和工商业垃圾也成倍增加。在1972年以前，这些垃圾的处理方式主要是堆放或焚烧，到20世纪70年代，德国(西德)大约有5万多个垃圾堆放场，且大部分管理混乱，为使垃圾处置规范化和关闭原来不合理的垃圾场，改善环境质量，1972年出台德国历史上第一部《废弃物处理法》，该法律确定了废弃物处理的几个关键原则：无害化处理；处理责任的划分；污染者付费等，开启了废弃物排放后的末端处理。

1973年，发生在西方国家的石油危机使德国意识到垃圾中所蕴含的资源和能量。1975年，德国政府发布了第一个国家废物管理计划，该计划的目标包括：废物处置的优先顺序是预防—减少—循环和重复利用；在污染者付费原则之后，针对处置进行成本分担，该计划实现了从废物处置向废物经济的转变。

1986年，针对垃圾变得越来越多的现实，德国政府在1972年法律基础上修订颁布了《废弃物限制处理法》，规定了预防优先和垃圾处理重复使用原则，并首次对产品生产者的责任进行了规定，发展方向从“怎样处理废弃物”

的观点提高到了“怎样避免废弃物的产生和如何循环利用废弃物”，在此基础上，德国于1991年通过了《包装条例》，要求将各类包装物的回收规定为义务，设定了包装物再生循环利用的目标。

1996年德国提出了新的《循环经济与废弃物管理法》(简称《循环经济法》)，这是世界上第一次在国家法律中出现循环经济概念，把废弃物处理提高到发展循环经济的高度，并建立了配套的法律体系。

从1972年的《废弃物处理法》到1996年的《循环经济法》，是德国政府为适应不同时期生活垃圾的性质和时代要求而制定的垃圾法。德国的垃圾管理思路由“末端处理—循环利用—避免产生”逐渐过渡转变到“避免产生—循环利用—末端处理”的方式上，尤其是1991年《包装条例》和1996年《循环经济法》的实施，更是对这一思路的确立和肯定。《循环经济法》的制定实施引导德国生活垃圾综合处理走向新的转折点——循环经济的开始。《循环经济法》是目前最完整地体现了废弃物减量化、资源化和无害化，并符合可持续发展要求的废弃物管理法，它强调了对垃圾的处理是为了实现整个资源、环境与经济的良性循环，而不再是对废弃物的简单处置。

新的垃圾管理思路严格规定了垃圾处理的原则：①要在生产和消费中尽可能地减少废弃物的产生量；②对不可避免已产生的废弃物，应以无害化方式最大程度地循环利用，包括对能源的回收利用；③对不可避免产生并无法回收利用的垃圾要采用合理的与环境相容的处置。

德国发展循环经济主要采取了以下原则：

一是生产者负责的原则。即谁生产、谁负责回收。如汽车生产商有责任回收报废的汽车，并承担处置费用。这就促使生产厂商从一开始就注意环保，考虑到将来商品报废后的回收问题。

二是行业自律的原则。政府鼓励工业界自觉自愿地执行《循环经济法》。如德国饮料包装行业规定，72%的包装物必须进行二次利用。

三是透明原则。即生产厂商有责任公开商品的生产过程，使消费者有选择商品的权利。

3.对策与解决方案

3.1 垃圾处理的法律法规制定

建立法律法规是德国推动生活垃圾管理的重要手段。德国实施的垃圾管理的法令和条规数目很多，涉及各个方面和具体技术细节。主要有以下几个：

最早颁布的是 1972 年的《废物处理法》，要求关闭无人管理的垃圾堆放场，代之以集中的由地方政府严密监管的垃圾场，建立垃圾中心处理站，进行焚烧和填埋。石油危机后，德国开始从垃圾焚烧中获取电能和热能。

1986 年，颁布了新的《废弃物防止与管理法》，确立了废物减量和再生利用优于废物处理的原则，首次规定了石油企业向消费者回收废油，并以环境友好的方式处理的义务。这是著名的“延伸生产者责任”（EPR）的雏形，以解决垃圾的减量和再利用问题。

1991 年德国通过了《包装条例》，设定了包装物强制性循环利用的两阶段目标，并对其进行循环利用。规定将环境经济学中一般性的“污染者付费”原则延伸到生产消费领域，即商品进入市场的生产者、包装者和销售者对其产品包装的回收和利用负有责任。其核心思想是“生产者负责”，该原则不仅解决了消费垃圾的回收和处置问题，更重要的是它通过价格杠杆鼓励生产商从源头上减少垃圾，例如改进技术节约原材料的用量、使用回收材料或者简化产品包装等等，向环境友好方向发展。《包装条例》首次对废弃包装的回收、重新利用和利用比率做了相关规定，除非生产企业能够提供自己回收利用的证明，否则必须委托相应的公司（下文提到的“绿点公司”）进行收集和处理，并交纳相应的费用。根据该法规，德国明确了“Duales System Deutschland GmbH”（DSD 公司），即“绿点公司”的地位，由该公司负责收集处理所有印有“绿点”（如下图 2）标注的废弃包装物，该公司本身并不进行垃圾处理，而是与分装垃圾分拣处理公司签订合同，由他们进行处理。



图 2 绿点标志

对《包装条例》最近一次修正案是 2005 年 5 月生效，明确一次性饮料包装实行强制押金制度。除上述几个重要法规外，德国还颁布了《商业垃圾条例》《报废汽车条例》《电子垃圾条例》《电池条例》等，细化到不同类型垃圾和具体的技术层面。

在主要领域的一系列实践后，1996 年德国提出了《循环经济法》，把废弃物提高到发展循环经济的思想高度。《循环经济法》在世界上具有广泛影响，也开启了德国的循环经济，它是德国发展循环经济和垃圾处理方面的纲领性法规。该法令确定了垃圾处理中的一些原则：首先是污染者付费原则；其次在回收和处理处置之前，减量化时最优先考虑的因素；第三，焚烧和回收利用处于等同的地位，根据具体情况对其进行选择；第四，生产者对产品产生的垃圾负责；第五，促进垃圾处理的私有化。与此法规相补充的还有若干条更细致的法规，例如《生物垃圾规定》、《垃圾填埋规定》、《污泥处置规定》、《垃圾运输审批规定》、《专业垃圾处置企业规定》等近 20 项具体的细则。在其于 1996 年 10 月 6 日颁布之后，该法经历了数次的修订，最近一次修改实在 2009 年 8 月 11 日，修改后的法律条文于 2010 年 3 月 1 日生效。

《循环经济法》在实施的过程中有着严格的管理细则，特别是《垃圾技术参考总则》和《居民生活垃圾技术参考总则》。前者对垃圾堆放、化学/物理/生物处置、垃圾焚烧以及高危垃圾储存的有关技术指标做了解释和说明；后者对居民生活垃圾的清运、利用、处置做了详细的规范。特别值得注意的是，《居民生活垃圾技术参考总则》是在 1993 年随着居民生活垃圾量的急剧增加、未经处理的生活垃圾严重危害环境的背景下制定的。因此，它规定了自 2005 年 6 月起，在德国范围内，未经处理的居民生活垃圾严格禁止进入填埋场。

3.2 垃圾管理机构

德国垃圾管理机构分为五级，即：国家、州和联邦、地区、市县、社区。

德国环境保护部和专业机构联邦环境保护局，是德国垃圾管理的最高管理机构，主要负责颁布法律、国际合作和科研项目等；

联邦、州环境部与相应地区机关、国家工商监察局，属于高级管理机关，主要负责相关法规的实施；

地区垃圾管理机构属于中级管理机构，负责审批具体的垃圾处理项目。

市县垃圾管理局属于基层垃圾管理机构，负责垃圾收集、运输、处理及处置的全过程。社区时垃圾收集的基本单元。

柏林市的垃圾管理机构为柏林市政规划环保局。

3.3 监督机制

对于生产和销售商，根据法规，每年排放 2000 吨以上具有危害性垃圾的生产企业有义务事先提交垃圾处理方案，以便于卫生监督部门进行监督。生产企业必须要向监督机构证明其有足够的回收能力回收废旧产品才会被允许进行生产和销售活动。企业必须保证在生产过程中最大限度地控制垃圾的产生，必须有措施保证垃圾能得到有效回收利用并对环境不造成危害。某些产品只有在保证其产生的垃圾可以得到符合规定的利用和处理的前提下才可以进行生产和销售。所有的企业必须有分离垃圾的装置，将废纸、玻璃、塑料以及金属等废料分开放置，保证所有的废料能够得到最大程度的再利用。

从上世纪 70 年代开始，德国各地陆续建立了环境警察岗位，监督环保法规实施。环境警察是联邦内政部警察部门的公职人员，属于警察队伍中的一个分支，各地根据实际情况，设立数量不等的的环境警察岗位。对于城市居民而言，日常生活中要接受环境警察的监督。首先，环境警察会监督居民区的垃圾问题。若有居民区的垃圾乱堆乱放，环境警察就会找到房屋管理部门和垃圾处理部门，要求他们及时处理。其次，环境警察每周不定期抽查各居民区的垃圾分类情况，有时甚至会翻看垃圾，确保所有垃圾分类正确。通常一栋楼的居民共用一个垃圾站，若环境警察在里面发现大量分类错误的垃圾，会随时将垃圾站封闭，禁止整栋楼的居民使用。同时，环境警察还会经常在路边监督街边公共垃圾箱的清洁程度。

3.4 主要政策手段

垃圾管理的主要政策手段包括税收和非税收收入手段，包括环境税收、垃圾处理费收费、财政补贴、生产者责任（产品费）、押金返还制度等。

(1) 环境税收，德国环境政策中以能源税收改革为核心的生态税革新法案，是环境税收的典型例子，其主要的目标是为了减少能源消耗和环境污染，并且

提高就业率。环境税收虽然提高了能源的价格，但却以稳健的步伐推动了经济刺激手段在能源领域的应用。德国通过各种税收优惠鼓励垃圾焚烧发电，以促进资源再生利用。

(2) 垃圾收费制度，按照“污染者付费原则”区分垃圾处置者的责任划分，政府、个人都有自己的处理责任，并各自支付相应的费用，强制居民和生产商增加对垃圾的回收和处理投入，从源头上减少垃圾的产生，促使居民自觉实现垃圾的回收和再利用。对垃圾收费不仅是筹集垃圾处理费用的方式之一，也表明垃圾的产生者使用处理垃圾的公共设施，包括垃圾转运站，垃圾填埋场，垃圾焚烧厂等，必须支付相应的费用。

对于居民收费而言，德国的各个城市的垃圾收费方法不尽相同，归纳起来居民垃圾处理费的征收形式主要有三类：

1. 按照垃圾容器 / 计量收费：按照垃圾桶容量为准，每年按照一定额度收费，如 90 升的垃圾桶，每年收费额为 360 马克左右。另外，有城市在垃圾桶（箱）上安装微晶片，自动识别和测算居民排出的垃圾量，并将数据传送到垃圾收集车驾驶室的电脑上，作为收费凭证。
2. 按户收费：就是以户为单位，按照住房面积核算，缴纳年度费用。
3. 基数与计量收费相结合：按照家庭人口缴纳基本费用，然后在基本费用基础上，按照不同垃圾箱的容量和收集频率缴纳计量额外处理费用。

由当地从事公共垃圾管理服务单位收取费用，当地政府或市政政府监督，在柏林主要由 BSR 采用按户收费方式，按月缴纳垃圾处理费用。

(3) 产品费的征收，这是德国垃圾收费政策中的重要部分。产品费属于前端性的环境管理经济手段，同产品费直接相关的法律概念是“生产者责任”或“全民责任制度”两种。产品费要求生产商对其生产产品的整个生命周期负责。产品费的征收对于约束生产商使用过多的原材料，促进生产技术的创新，以及筹集垃圾处理资金都有较大的帮助。在包装类废弃物回收方面，根据包装材质、重量、数量等进行收费，也促进产品生产节约原材料，减少过度包装。

(4) 押金抵押返还制度，《包装条例》最近一次修正案中明确一次性饮料包装实行强制押金制度。在《包装条例》中规定，如果液体饮料的容器时不可回收利用的，购买者必须为每个容器必须至少多付 0.25 欧元的押金，当容器容量超过 1.5 升时，需要至少多付 0.5 欧元。只有容器按《包装条例》的要求返还时，押金才能退回。

(5) 财政补贴制度，德国政府通过现金补贴、国家担保贷款或税收优惠等经济政策鼓励垃圾焚烧这类环保产业的发展，如企业建立环保设施，所需土地享受低价优惠。

3.5 运营模式

垃圾处理运营的管理模式大致有三种：

1) 政府管理运行模式

部分城市是由政府的环卫部门负责城市生活垃圾管理和处理。柏林城市垃圾以前就由环卫局负责，1994 年进行改革后成立了由柏林市政府所有的公有制企业 BSR。BSR 公司设立管理委员会、理事会和监督局，其中管理委员会代表政府，由政府议员组成，监督局从市政局和公司职工中选出，理事会负责公司日常管理工作，公司完全按市场化运作，独立核算、自负盈亏，政府除了减免其 19% 的企业增值税之外并没有额外的财政补贴，居民缴纳的垃圾处理费是公司的主要经济来源。BSR 公司每年处理柏林家庭和企业产生的近 100 万吨垃圾，清扫总面积 136 平方公里的街道，可以说是德国任务最重的垃圾处理公司。

2) 企业运营模式

私营企业运作城市垃圾收集、运输、处理和处置，并同 DSD 公司合作进行包装垃圾的回收和处理。

销售包装的制造商和销售商参与到了 DSD 的二元回收系统中，向 DSD 缴纳“绿点”费用。DSD 为家庭附近的收集、分类和回收付费，委托垃圾回收和利用公司进行包装垃圾的收集、清理、分拣和循环利用。销售商以包装成品的形式向零售商供货。消费者把使用过的空包装放置在 DSD 的收集容器中。废物管理公司将包装废弃物进行收集和分类后转发给相应回收厂。废旧包装在回收过程中转化为二次原材料和新产品。

Operating principle of Duales System Deutschland GmbH



图 3 绿点公司运营模式

3) PPP 模式

私营企业和政府合作，共同进行垃圾处理，如政府与企业以股权合作形式运营垃圾焚烧场。

3.6 垃圾管理

3.6.1 垃圾分类

垃圾的分类收集是垃圾末端处理的前提和基础。只有在分类收集的基础上，才能确定什么需要回收，而什么需要焚烧，最后进入垃圾填埋场。德国首都柏林实施垃圾精细分类，努力实现废物减量、增加回收利用，并降低垃圾填埋处理比例满足法律限制要求。

根据产生源头，柏林垃圾分类包括：①生活垃圾，主要来源于私人家庭；②贸易垃圾，由企业产生，大多来自服务供应商、零售商和小企业公司；③商业垃圾，由小企业、销售店、服务公司、公共机构或工业企业产生；④大件垃圾，主要来自私人家庭；⑤道路清扫物，包括车辆轮胎粒、毁坏的路面、枯叶和冬季弥漫的细沙。

在德国，消费者一般将销售包装分为三类：纸/纸板、轻型包装（铝、马口铁、塑料、复合材料）、玻璃。在纸张分拣厂中，废纸混合物被分离成不同的类别，然后转发给纸厂。轻包装分为不同的材料和委托相关行业回收。玻璃制品直接将瓶子运输至处理厂清理并按照颜色准确分类。以这种方式得到的玻璃颗粒状材料用来生产新的玻璃瓶罐。



图 4 柏林街头垃圾桶

3.6.2 垃圾收集

一般垃圾通过以下方式收集：

①家庭垃圾由公共废物公用事业部门采用标准容器定期收集运输，以做进一步处理。所有家庭必须参与，并缴纳垃圾收集费。

②贸易垃圾与家庭垃圾一起收集。在柏林市中心居住楼里，通常小企业与同栋楼公寓居住者共用废物箱。

③商业垃圾多用大、小型容器收集，由小企业、服务公司、公共机构或工业企业等产生者自己收集或者签订协议委托专门收集公司收集，运至处置场，与家庭垃圾一起处理。

④大件垃圾由 BSR 收集、运输以回收或处置，通常该服务需收费。柏林公众也可自己将私人大件物品免费运送至本城市 BSR 的回收场。

⑤道路清扫物由 BSR 道路清扫车辆收集和处置。

3.6.3 垃圾回收

柏林的垃圾管理关键政策首要考虑废弃物的回收、循环和再利用，目前正向着资源管理的方向发展，即促进高效的物质回收、能量回收及二次原料回收。针对可生物降解的来自家庭和市政服务产生的纸类和生物垃圾，BSR 回收策略为：①生物垃圾单独收集、处理，减少进入填埋场的可生物降解垃圾；②增加纸类、玻璃、塑料和金属等物料回收；③增强垃圾转化为能源和气候保护活动。

对于包装垃圾的回收，根据《包装条例》，基于延伸生产责任制原则，生产者对其产生的垃圾在整个生命周期内都负有责任，但对于许多较小的生产商和销售商来说，建立独自の回收处理系统则是较大的负担。鉴于此，1990年在德国工业联合总会、德国工商业协会支持下，95家零售业、消费品和包装业的公司自发建立了DSD公司，即绿点公司，是一家非营利性质的私营股份制企业。绿点公司主要针对的是包装垃圾，通过建立一个二元回收系统，一方面使得生产商和销售商承担其产品包装回收的责任，另一方面也降低其成本。

DSD公司采用的“绿点”商标许可证策略对限制和减少废旧包装材料起着重要的作用。每个包装的生产商、运输商、代理商和销售批发商等都得向DSD公司支付相应的许可证费，方可获得在其产品上标注“绿点”标志的权利。“绿点”商标许可证收费标准按包装的材料、重量和数量计算。企业为减少“绿点”许可证费用，会尽可能改善和优化其产品包装，使得包装废弃物大量减少而节约了资源。而居民将印有“绿点”标志的废品丢进专用垃圾箱，就可享受免费清运。但如果把这样的垃圾丢进其他垃圾桶，就得额外支付垃圾清运费。目前德国约90%以上的商品包装上都印有“绿点”标志。DSD公司每年收取的“绿点”费用约十几亿欧元，平均每名德国人每年支付约20欧元，用于包装废弃物的处理和循环利用。

DSD组织的回收标志“绿点”只使用在一次性销售包装上，可多次使用的包装，如啤酒瓶则不使用“绿点”标志，而是通过付“押金”办法进行回收再利用。凡是印有“绿点”标志的包装废弃物，由于包装材料已由DSD组织的成员付过费，因此不仅不用交钱，而且还有专业人员定期上门回收包装材料。如果消费者对包装垃圾不进行分类，清理垃圾箱的次数便会增多，消费者就要为此多支付垃圾清理费，而且也面临着未进行垃圾正确分类的处罚。这是“绿点”鼓励消费者回收包装材料的得力措施。

柏林的轻质包装采用黄色垃圾箱或黄袋收集，由DSD系统运营者委托的公司收集回收。

3.6.4 处理技术

经过分类后，不可回收的生活垃圾主要有 3 种处理方式：

一是机械处理和焚烧，并由此获得能源，如发电、远程供热等。机械物理稳定化处理（MPS）和机械处理是环境友好和创新性的固废处理方法，二者均需要垃圾分类，分出可燃烧部分或可生物降解部分，将大件和不可利用垃圾被筛选出来，再经过破碎机破碎，破碎后的垃圾经过磁选筛选出黑色金属，然后经过滚筒筛分选出有机部分和高热值部分。在进行预处理后，大部分的垃圾可以用来生产垃圾衍生燃料（RefuseDerivedFuel, RDF），仅一小部分剩余物质需要进行最终处置。

二是堆肥或发酵。易腐有机垃圾经堆放、高温发酵生产成堆肥，用于农田；或者有机垃圾发酵后产生沼气经净化、处理和浓缩后甲烷含量达 98%，随后进入气体供应系统，为 BSR 使用天然气的垃圾收集车辆提供燃料或进入城市燃气网络。

三是填埋。填埋是柏林垃圾管理决策的最后选择。填埋场德国垃圾法规定，可燃物小于 10% 的垃圾才准许填埋。填埋场底部铺设了管道，以便收集垃圾降解生成的可燃气体，并进一步回收利用，如发电、供气等。

柏林目前共建有 15 个可回收垃圾站，1 个转运分发中心、1 个垃圾处理中心和 4 个分类处理厂，3 座垃圾填埋场，这构成了整个柏林的垃圾处理体系。

4. 实施成效

柏林按照可再生资源保护利用的要求，综合利用分类后的废弃物，进行回收利用，形成固废经济或循环经济。分类后的垃圾成重要的能源载体和次级原料，如回收的所有塑料垃圾中，有 40% 按照种类被严格分拣，用新原料生产 1 吨塑料的费用在 1200 欧元~1400 欧元之间，而用回收废塑料生产的再生塑料，成本只要 500 欧元，与原始的回收相比，再生原料增值 3~4 倍。德国国内也因此形成了一个营业额超过 2000 亿欧元的生态垃圾经济产业。该产业产值每年增长 14%，为大约 25 万人创造了就业岗位。

1992 年柏林垃圾产生量（包括可回收物量和垃圾处置量）为 $2.594 \times 10^6 \text{t}$ ；2012 年垃圾产生量下降为 $1.481 \times 10^6 \text{t}$ ，比 1992 年降低了 43%，其中 79% 的垃圾来自家庭住户，其余 21% 来自商业部门（含道路清扫物）。其垃圾成分中塑料占比最高（23%），其次是纸张（20%）、食品废物（15%）。

从1990年起，柏林垃圾处置量持续下降（见图5）：1992年垃圾处置量达 $2.325 \times 10^6 \text{t}$ ；2012年垃圾处置量降为 $8.57 \times 10^5 \text{t}$ ，降低了近65%，垃圾处置量持续下降归因于纸类、有机垃圾、轻质包装和玻璃等可回收物的分类收集。1992—2012年，柏林垃圾回收利用量显著增加，1992年仅 $2.69 \times 10^5 \text{t}$ 垃圾得到回收，2012年垃圾回收量达到 $6.24 \times 10^5 \text{t}$ ，回收率由10.4%增加到42.1%。以玻璃收集回收为例，柏林已实现整个城市的玻璃分类收集，住户公寓配置有绿色、棕色带轮容器；另外，柏林大约有6000个公共玻璃瓶回收站方便公众投放旧玻璃物品。来自带轮容器和玻璃瓶回收站的玻璃由不同类型的公司收集、回收。柏林每年约收集玻璃 $7.0 \times 10^4 \text{t}$ ，人均20kg，回收玻璃占新生产玻璃的90%。

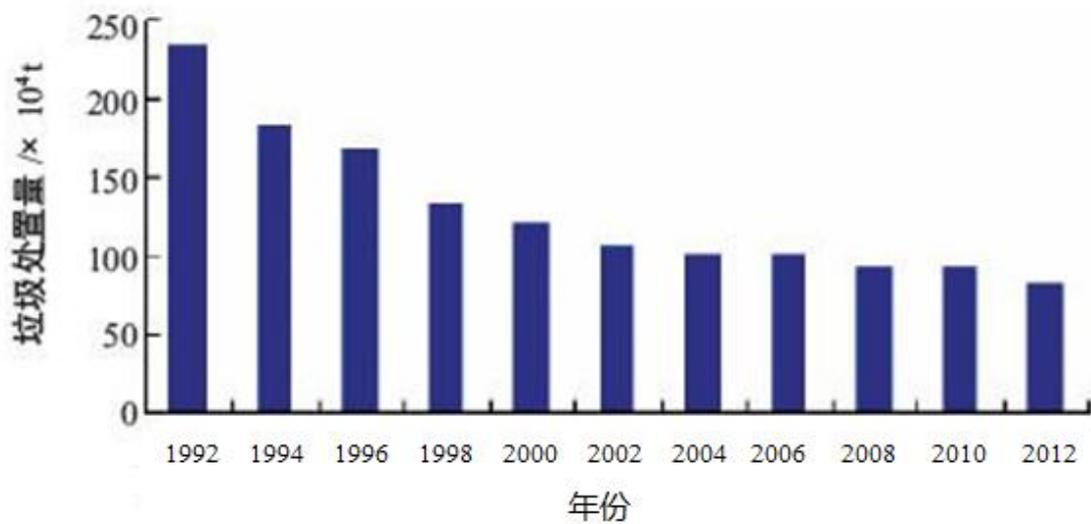


图5柏林1992—2012年垃圾处置量情况

柏林的垃圾管理策略不仅仅局限于垃圾安全处置，更着力关注气候和资源保护。柏林通过焚烧蒸汽产电供热、填埋气发电以及机械物理稳定化处理和机械处理产生可燃性物料和燃料等方式回收大量能量，减少了气候影响。研究显示，2010年柏林通过垃圾管理（焚烧发电、堆肥与发酵沼气利用、填埋场甲烷收集与利用）减少温室气体排放量约 $9.0 \times 10^5 \text{tCO}_2$ 当量。通过优化不同类型垃圾处理、完善家庭及商业垃圾中可回收物和有机垃圾分类收集、促进物质与能量的更高效回收利用，并强制要求政府机构和公众团体为产品和服务制定规则时遵循环境保护标准等，将会带来温室气体排放量的进一步减少，预计可减少约 $2.48 \times 10^5 \text{tCO}_2$ 当量。因此，柏林垃圾处理的提升将减少温室气体排放总量达 $1.148 \times 10^6 \text{tCO}_2$ 当量，将促进柏林气候保护目标的实现，减少环境影响。

5. 启示与建议

5.1 法律法规先行

建立法律法规是德国成功推动生活垃圾管理的重要手段。全面完善垃圾管理法律和条例是德国经验的关键点。各级政府应制定切实可行的法规，并严格监管，特别是对执行的细节，都应该有相应的规定，例如垃圾分类回收的要求以及如何分类等。柏林生活垃圾的成功处置，生活垃圾成为原材料，生态垃圾经济成为一大产业，关键靠法律法规制度的执行。

5.2 监督实施机制

仅依靠个人和企业自身的自觉性是无法保证固废管理的环境效益实现，必须建立强有力的监督机制加以保证。柏林正是在这种强制管理和监督下，才保证垃圾收集与处理不对环境产生二次污染；对于企业而言，严格的监督管理将垃圾处理的环境管理目标和企业的经济效益紧密联系在一起，通过改变企业的生产成本改变着企业的环境行为，从而将企业的环境管理完全纳入到严格的监督管理框架下。

5.3 经济手段

经济手段是解决垃圾分类回收问题的有效途径。德国的垃圾管理政策手段中，“生产者责任制”是其循环经济政策成功关键；关于生活垃圾收费制度，针对未经正确分类的混合垃圾的收费往往高于其他类型的垃圾，也激励人们对垃圾进行更细致的分类。相比之下，虽然国际上很早就许多城市开展垃圾分类回收试点工作，但其结果却往往流于形式，大街小巷遍布的可回收和不可回收垃圾箱并没有起到分类作用，人们在丢弃垃圾时并不做任何区分。国际上其他发达国家的数据和研究也表明垃圾收费及押金返还经济手段对垃圾减量和分类回收具有显著效果，其经验值得借鉴。

5.4 宣传教育

强化公民的环境意识和环境参与意识，推动垃圾减量化和分类。垃圾分类是循环利用的前提，是一个细致繁琐的工作，需要经常性地展开内容丰富、

形式多样的垃圾分类宣传教育活动，大力宣传垃圾分类知识，促进人们节约意识的养成。另一方面，引导大众推行极简主义生活方式，发扬勤俭节约的优良传统。

5.5 社会参与

由德国 DSD 创新的绿点标志运营模式是其成功实现包装减量、回收、处理、利用过程的关键，我们也能看到有效的社会参与机制建立的重要性。要改变城市垃圾处理现状，必须创新性地改变政府部门包办城市垃圾处理的体制机制，允许国企、民营企业广泛参与生活垃圾的处置、加工，形成政府扶持、企业主导、公众参与的垃圾处理模式，进而实现生活垃圾的资源化利用，促进生态垃圾产业的发展，为创造美丽洁净、生态环保的生活环境，促进资源的再生利用，实现绿色发展和可持续发展做出积极努力。

参考文献：

1. <http://www.gruener-punkt.de/en.html>
2. waste policy:
<http://www.bmub.bund.de/en/topics/water-waste-soil/waste-management/waste-policy/>
3. data on the environment 2015: <http://www.umweltbundesamt.de/en/data>
4. 陈洁,逢辰生,张瑞久:德国城市固体废物管理与综合处理分析(下),《节能与环保》2008
5. 谭灵芝,王国友:德国生活垃圾焚烧处理的管理政策,《世界环境》,2006(3):40-43;
6. 邵靖邦:德国生活垃圾处理现状及发展趋势,
http://wenku.baidu.com/link?url=Ih3yib0Mojbngr3mUpenifpC4IDuSH5_-boTNB0Evo29MFAQiwIhI2jBoXrYruaBMma0eCpHzv9dfa0MNoRsOwrBMlIFXn-cYc01zEEieQ3
7. 李华友,肖学智:德国城市生活垃圾管理政策分析,《环境保护》,2003.5 p58-61

二、深圳市盐田区城市生活垃圾分类减量和餐厨垃圾处理

张振山¹¹ 叶浩峰¹²

摘要：深圳盐田区获 2014 年度“中国人居环境范例奖”，这是中国唯一因处理垃圾而获奖的城市项目。在城市快速发展面临垃圾增长的巨大压力情况下，盐田区结合辖区情况，建立管理制度，引入市场机制，采取各种灵活方式加强公众参与，本文详细介绍了盐田城市生活垃圾分类和减量以及餐厨垃圾处理的创新做法并总结了其成功经验，在城市生活垃圾处理方面将起到很好的借鉴作用。

关键词：生活垃圾 餐厨垃圾 垃圾分类 垃圾减量

1.城市背景

深圳是中国南部海滨城市，毗邻香港。位于北回归线以南，东经 113°46' 至 114°37'，北纬 22°27' 至 22°52'。地处广东省南部，珠江口东岸，东临大亚湾和大鹏湾；西濒珠江口和伶仃洋；南边深圳河与香港相连；北部与东莞、惠州两城市接壤。全市面积 1991 平方公里，截至 2015 年末，常住人口 1137.89 万人，比上年末增加 60 万人，增长 5.6%，其中户籍人口 354.99 万人。随着深圳市经济的快速发展和城市化的进程，人口逐年增长，高度聚集。深圳属亚热带海洋性气候，温润宜人，降水丰富。常年平均气温 22.4℃。全市日产垃圾超过 20,000 吨，不包括建筑垃圾。焚烧填埋约 15,800 吨，回收纸质垃圾 3,600 吨，厨余垃圾 2000 吨。

盐田区位于深圳市的东部，距市中心 12 千米，辖区面积 72.63 平方千米，东起大鹏湾背仔角与龙岗区相接，西至梧桐山与罗湖区相邻，南连香港新界，北靠龙岗区。2012 年年末盐田区常住人口 21.26 万人。其中，户籍人口 5.05 万人，非户籍人口 16.21 万人。辖区内有国际四大深水港之一的盐田港，有风景优美的三洲田自然景观和三洲田孙中山庚子首义旧址、东部华侨城旅游项目等人文景观，有闻名遐迩的“盐田海鲜一条街”等。自 2007 年起，旅游景点年接待游客量均超过千万人次。

¹¹张振山，联合国人居署驻华代表处负责人

¹²叶浩峰，深圳市盐田区城管局



图 1 盐田城市概貌

近年来，盐田区跟深圳其他各区一样，面临着城区发展中的垃圾困扰：辖区内人口不多，但垃圾增长压力不小。盐田作为旅游区，常住人口为 21.26 万人，每年前来旅游度假的游客超过千万人次，辖区日人均产生量远远高于全市平均水平。盐田区面积 72.63 平方千米，虽地方不大，但垃圾集中处理难度不小。辖区有近 50 平方公里的土地位于生态线内，实际可利用土地仅约 23 平方公里，可供建设用地基本用罄，在垃圾处理设施不足的情况下，已无法腾出空间建立大型垃圾处理场所，周边城区也没有适合场地代为处理，垃圾集中处理难以有效实施。居民对生态环境要求高，但对垃圾处理设施容忍度小。垃圾混合投放后，餐厨和厨余垃圾易腐烂变质，在收集、运输、处理过程中，产生的污水和臭气易造成二次污染，影响周边环境。对此，辖区居民急盼解决，但垃圾处理设施属于“避邻设施”，居民普遍心存忧虑，设施的选址及建设举步维艰。

开展垃圾分类，达到减量化和资源化是垃圾处理的必由之路。深圳市政府高度重视垃圾处理工作，将其作为重点民生实事。盐田区委、区政府将垃圾处理作为生态建设的关键环节，从自身实际出发，制定工作方案，全方位扎实开展垃圾分类减量及餐厨垃圾无害化处理工作。已经取得了显著成效，本文以盐田区为例详细介绍盐田区开展垃圾分类减量及餐厨垃圾处理成功的经验。

2.管理思路与方案

2.1 垃圾分类减量

盐田区作为旅游区，辖区日均产生垃圾约 260 吨，其中餐厨垃圾（含厨余垃圾）约占 1/3，垃圾年均增幅达 8%。约 200 吨垃圾由焚烧处理。其余 60 吨由

餐厨垃圾处理厂处理。垃圾增长与垃圾减量化和资源化处理矛盾日益尖锐，解决方案却成世界性难题之时，盐田区通过几年的探索，不仅历史性地实现垃圾焚烧“零增量”，甚至在 2015 年交出了一张“负增长”的优异答卷。

2015 年，盐田区获 2014 年度“中国人居环境范例奖”，这是全国唯一因处理垃圾而获奖的项目。

为做好垃圾减量及资源化利用，盐田区城管局对辖区情况作了认真的分析和科学论证。在辖区和周边没有合适集中处理点的情况下，决定采取垃圾分类减量化和资源化的方法。



图 2 盐田垃圾减量分类培训

欧美、日本等发达国家很早就采用了垃圾分类的方法。各国（各个城市）根据自身的情况，分类的方法也不尽相同，但都取得了很好的效果。东京 2008 年的垃圾年产量，比 1988 年减少了 50%；台北市 2000 年开始在家庭进行垃圾分类试点，2005 年实施强制分类，到 2010 年垃圾减幅达 59%。中国大陆城市也在很早的时候就开始尝试垃圾分类，但一直没有取得理想的效果，究其原因主要有两个，一是中国有废品回收系统，可资源化的垃圾，如塑料、纸制品、金属等通过废品收购系统进行了回收；二是中国城市的运输和处理系统不完善。分类的垃圾不能得到相应的处理，往往是最终回到填埋场或焚烧厂。因此，垃圾分类必须实行分类收集、分类运输、分类处理的方法。



图3 盐田区生活小区分类垃圾桶

盐田区结合辖区实际情况，打通垃圾前端分类、中端收运、末端处理各环节和链条，建立辖区低价值可回收物、有害垃圾等分类收运和资源化处理体系，深度回收利用废旧织物、玻璃等低价值可回收物，并实施大件垃圾、年花年桔、园林绿化垃圾等专项回收处理，辖区分类垃圾资源化利用水平不断提高，取得巨大成效。

具体做法包括：

（一）是大力开展“资源回收日”活动，引导居民积极参与垃圾分类活动。积极发动宣传，固定每周六在不同社区、住宅小区（城中村）组织开展“资源回收日”活动，以兑换奖品的方式引导居民养成在家中暂时存放可回收物并在“资源回收日”集中分类投放的良好习惯，建立规模、经济、高效的回收物深度回收体系。



图4 盐田资源回收日活动

2016年5月14日，壹海城广场迎来热闹的小马甲团队，来自盐田区的36个家庭80位亲子志愿者通过实际行动宣传“资源回收日”环保常识，现场回收废金属、废纸、废塑料、废玻璃、废织物等，通过实际行动让越来越多的市民了解垃圾分类回收知识，提高居民生活垃圾减量分类的知晓率和参与率。活动现场环保志愿者积极宣传垃圾分类政策法律及知识，引导居民将垃圾分类投

放到对应的垃圾箱中，并通过有奖兑换有害垃圾和可回收物的方式吸引居民参加。特别是亲子志愿者，虽然下了早雨，依然积极踊跃参加此次活动。孩子们现场学习生活垃圾分类和减量知识读本，响亮的阅读声吸引众多的过路市民纷纷围观，过来了解资源回收日活动，学习垃圾分类。

（二）是开展大件废旧家具及园林绿化垃圾资源化处理工作。结合辖区实际情况，委托专业公司开展全区大件木质垃圾、废旧木质家具和园林绿化垃圾统一收运，进行集中粉碎处理后，作为餐厨垃圾处理的辅料实现循环利用，截至 2016 年 8 月份，全区大件木质垃圾、废旧木质家具减量 1706.43 吨左右、园林绿化垃圾 674 吨左右，有效实现了垃圾的前端减量分类，为垃圾无害化处理及资源化利用奠定良好基础。

（三）是开展废电池、废荧光灯管等有害垃圾收集转运工作。建立覆盖全区的废电池规范回收和综合利用网络，组织开展全区废电池专项回收服务，统一回收日常生活、工作中产生的废电池、废荧光灯管，并进行无害化处理和资源化利用。截至目前辖区所有住宅小区（城中村）、办公场所及各类公共场所设置电池箱 849 个、灯管箱 115 个、可回收物桶和有害桶 733 个，引导市民分类投放。

梧桐苑作为盐田区第一个实现垃圾分类的小区，垃圾分类工作在小区内的认同度很高。在小区的空地上，摆放着一排垃圾桶，盛放厨余垃圾的垃圾桶上有显示屏以及刷卡处，参与垃圾分类的小区家庭都有一张卡，每次倒放厨余垃圾将卡刷一下，信息一目了然，其数据还能作为居民兑换奖品的依据，小区居民垃圾减量分类行动已由原来的人工登记转变成“智能化”分类管理模式。

（四）是开展年花年桔专项回收处理行动。通过政府提供临时场地，市政垃圾清运公司（城中村由城中村清扫企业负责）负责收运的方式，开展预约免费上门回收废弃年花年桔的活动。全区于春节过后统一收集清运各小区指定区域存放的年花年桔及其他绿化垃圾，共计收运各类年花年桔 2000 棵左右至区餐厨垃圾循环利用示范基地，减量达 21 吨左右。收运的年花年桔，长势良好的年花年桔进行集中养护后，统一返回给苗圃基地。长势较差的年花年桔，果实作为餐厨垃圾原料，树叶树枝作为园林绿化垃圾，进行无害化处理。

（五）是开展废弃织物专项回收处理行动。建立回收利用渠道，引进有分拣场所和再生利用渠道的回收企业升东华环保有限公司，在住宅小区（城中村）设置醒目标注统一编号、回收用途、城管投诉热线 12319 等信息的专用废弃织

物回收箱 120 多个，同时在垃圾中转站、部分小区配置 660L 回收箱 80 多个，进一步提高了辖区废弃织物资源化利用水平。

为进一步加强从事垃圾减量分类工作的企业的监督，按要求制定生活垃圾分类投放管理责任人记录并定期报送责任范围内产生的生活垃圾种类、数量、运输者、去向等情况。2016 年 1 月至 8 月，全区共计减少焚烧并无害化处理城市生活垃圾约 4874.68 吨（其中大件废旧家具、木质垃圾 1706.43 吨、园林绿化垃圾 674 吨、废旧织物 50.1 吨、玻璃 1239.85 吨、有害垃圾 10.3 吨、年花年桔 21 吨等、示范小区厨余垃圾 1173 吨），在城区人口不断增长，垃圾总量不断增加的情况下，生活垃圾焚烧量保持平稳，垃圾减量化资源化成效明显。

2.2 餐厨垃圾处理

深圳市盐田区是个面积、人口小区，但却是滨海旅游大区，每年有逾千万游客光顾，景点丰富，酒楼众多。这样的基因使盐田成为深圳开展垃圾减量分类一个较好的试验田和突破口。2012 年 3 月，盐田区正式启动了垃圾减量分类试点创建工作，盐田区把突破口选择了最难啃的“骨头”上——餐厨垃圾。

餐厨垃圾在生活垃圾中的比重在深圳市的平均值约 18%。“在全区每天焚烧的 200 吨生活垃圾中，有 28 吨左右的小区（城中村）厨余垃圾没有分拣出来，加上已经收运处理的 60 吨餐厨垃圾，其总量达到 88 吨左右，在每天 260 吨生活垃圾中的比例，就占到三分之一以上，处理难度很大。

餐厨垃圾极易腐烂发臭，如果不能做到全密闭运输，又会造成对环境的二次污染。就算拉到垃圾焚烧厂焚烧，也要加入大量柴油助燃。更令人担忧的是，一部分餐厨固形物被周边城市的养猪户以极低廉的价格收走，废弃食用油脂则流入地下回收加工市场，存在炼成地沟油再回流餐桌的重大隐患。”

在盐田区委、区政府实现垃圾减量分类的“棋盘”中，先啃治理餐厨垃圾这块“硬骨头”预期收效巨大：通过对餐厨垃圾的高标准收运和一体化处理，不仅在环境上解除了“湿垃圾”这一最大破坏性因素，还能从社会责任的角度有效防止了地沟油的危害。

为有效提升辖区餐厨垃圾无害化处理成效，盐田区认真督促特许经营企业不断优化工艺路线，不断完善污水、臭气处理等环保设施，日常积极开展宣传执法，不断扩大餐厨收运范围，同时率先实现将公共餐饮单位产生的餐厨垃圾及其他垃圾统一收运工作，提高了餐饮单位分类积极性。截至今年 8 月份，在

各街道办、各成员单位的积极配合下已签订餐厨垃圾收运合同 734 家，签订率达 91.7%，辖区中大型餐饮服务企业实现了全覆盖收运，同时逐步将农贸市场、超市、沿街水果门店纳入餐厨分类收运系统，根据统计全区每天约收运固形物 50 吨，油污水 10 吨，全部进行压榨脱水脱油减量后进行无害化处理。

为了巩固前期已经取得成效，盐田区不断强化对餐厨废弃物的监督管理，充分利用餐厨废弃物物联网监管系统及第三方监管单位对前端分类、收运处理、数据报送等各环节实行全程严格监督管理。为了有效打击餐厨非法收运工作，盐田区认真组织各街道执法队开展餐厨垃圾收运处理专项整治“百日行动”，有效打击了非法收运处理餐厨垃圾、“地沟油”等违法行为，从源头上杜绝“泔水猪”、“地沟油”的生存空间。在“百日行动”专项行动中，出动执法人员 629 人次，执法车辆 154 车次，开展专项行动 4 次。排查餐厨垃圾产生单位 427 家次，巡查路面 240 次、垃圾中转站 80 余次，现场查扣车辆 9 辆。

为进一步做好垃圾减量分类工作及考虑城区环卫远期发展需求，区委、区政府通过充分调研，本着节约用地，合理布局的原则，正积极开展餐厨废弃物无害化处理新址项目建设，建设内容包括生物质原料、生物柴油原料油及园林绿化垃圾、大件废旧家具破碎制气生产线，以及项目整体废气废水处理等相关配套设施，设计日平均处理餐厨垃圾（含地沟油）为 200 吨，产品为生物质原料和生物柴油原料油，建成后可以有效解决盐田区产生的所有餐厨垃圾（含地沟油）。

自 2012 年正式启动垃圾减量分类试点创建工作以来，坚持从辖区实际情况出发，秉承“政府主导、公众参与、企业运作、科技支撑”的工作思路，积极探索、大胆实践，创造性将居民垃圾分类及社会公众餐饮垃圾实现一体化处理，着力实现垃圾处理的“减量化、资源化、无害化”，并一直处于全市领先水平。盐田区餐厨垃圾处理项目先后荣获 2013 年度“广东省宜居环境范例奖”，2014 年被确定为广东省第一批餐厨垃圾处理唯一试点单位，2014 年底荣获“中国人居环境范例奖”。

3. 实施经验

总结盐田区成功开展垃圾分类和餐厨垃圾处理的经验，主要包括：

3.1 建立完善的管理机制

为加强对垃圾减量分类及餐厨垃圾处理的建设和管理，区政府成立了以区长任组长，相关区领导任副组长，政府各相关职能部门和街道一把手为小组成员的城市生活垃圾减量和分类工作的领导小组，并建立垃圾减量分类及餐厨垃圾无害化处理工作联系会议制度，研究并制定了《垃圾减量分类创建工作实施方案》，明确了垃圾减量分类工作的总体目标、阶段步骤和实施办法，实行层层发动、层层抓落实的工作机制大力开展垃圾减量分类等相关工作，努力形成分工明确，协调处理，通力合作，全面推进的工作氛围。

同时为确保全区垃圾减量分类的各项规定得到有效执行，不断提高盐田区垃圾减量分类工作，特制定了《盐田区垃圾减量分类工作综合考评办法》，对承包辖区垃圾减量分类各相关业务的企业进行分类考核检查。

按照“整体规划、科学实施，以点带面、逐步推广”的工作原则，2016年在历年创建生活垃圾减量分类示范单位（小区）的基础上选取42个较大规模物业小区继续按可回收物、有害垃圾、厨余垃圾和其他垃圾分四类，日常采取“互联网+”模式开展生活垃圾分类工作，通过发放“可降解垃圾袋”、“刷卡扫描”、“有奖兑换”等方式鼓励居民积极参与垃圾分类。其他小区及全区机关企事业单位按照“四小一大”模式开展垃圾分类工作，日常进行督导。

3.2 引入市场机制

为此外，本项目运作中，充分引入市场机制，充分发挥社会资本作用，将政府基础设施投入与企业设备、技术的投入紧密结合，积极探索高效可行的商业运营方式，加大城市生活垃圾处理市场化运作，直接减少政府投入，扎实推动垃圾减量分类可持续发展。在过程中，注重发动街道、学校、社区、企事业单位、物业公司、社会组织以及辖区广大居民积极参与，不断培养居民的环保意识和理念，将生态文明建设深入推进。

3.3 加强公众参与

为充分调动广大居民参与该项工作，依托电视、电台、新媒体、大型立柱广告、社区橱窗等载体，不断加大垃圾减量分类知识、餐厨垃圾处理法规、技术宣传力度，营造浓厚的宣传舆论氛围，提高辖区居民对垃圾减量分类的认可

认知度，同时，注重发动街道、社区、企业、物业公司、社会组织参与，引导市民积极参与垃圾减量分类行动。同时在选择处理点位置方面，本着科学布点的原则，广泛征求区人大代表、政协委员，各街道办社区工作站、辖区居民及新闻媒体意见，合理制定项目开展方案。在项目运行中，盐田们引进市场机制，发挥社会资本作用，将政府基础设施投入与企业设备、技术的投入紧密结合，积极探索高效可行的商业运营方式。



图 5 盐田垃圾分类减量宣传活动

3.4 奖励引导

以兑换奖品的方式引导居民养成在家中暂时存放可回收物并在“资源回收日”集中分类投放的良好习惯，建立规模、经济、高效的回收物深度回收体系。

通过以上多种方式，不断深化机制创新，加大政府投入，激励社会参与，积极推动垃圾处理资源收益的市场化分配，进一步提升垃圾减量分类的经济效益和社会效益。

4. 创新与启示

通过几年的努力摸索实践，盐田区垃圾减量分类及餐厨垃圾（含厨余垃圾）无害化处理和资源化利用工作从试点到推广，依靠“四个依托”真正实现了“三个转变”。

“四个依托”内容分别为：

（一）依托物管单位“精细化分类”。发挥物业公司每天都与居民面对面的优势，逐户发放专用厨余垃圾袋，持续宣传减量分类知识；居民小区设置垃

圾分类物联网服务站，全天候收集自动扫描登记；同时，物管单位指定专人负责，引导居民正确分类投放；公共餐饮及单位食堂由特许经营公司培训专人持证上岗，上门指导垃圾精细分类，确保后续有效收运处理。

（二）依托科技创新“无害化降解”。遴选瑞赛尔公司“油水分离与高温生物降解”技术，将厨房油污水经过油水分离机萃取制成脱水油脂再提炼生产生物柴油，分离水经无害处理后排入市政污水管网；餐厨固形物用特殊菌种高温降解剩余 15%的降解料，再进一步生产高效有机肥或生物燃料棒。

（三）依托现有设施“分区处理”。针对盐田区土地资源紧缺无合适集中处理点的实际，依托生活垃圾中转站升级改造及原有环卫基地的空余基础设施，按片区分散建设餐厨垃圾前端处理站，再由密闭环保车收运至末端厂房集中处理，既不新增利用土地，又有效减少了运输成本、收运环节滴漏及异味对环境的影响。

（四）依托专业公司“市场化运营”。引进专业企业采用物联网等高新技术与商业运作相结合的模式，以返还积分兑换服务等方式引导居民参与垃圾减量分类活动，建立规模、经济、高效的回收物深度回收体系，大大提高了工作效率，在垃圾产生量年均 7.7%递增的基础上，历史上首次实现垃圾焚烧“零增量”。

“三个转变”内容为：

（一）变“混合收运”为“前端分类”。城市生活垃圾减量分类处理的根本问题是要解决生活垃圾源头混合投放问题，居民小区、城中村、大型食街、餐饮门店是城市垃圾混合投放的源头也是垃圾减量分类处理工作的重点，必须在这个环节就要实现垃圾的减量和初步分类。为完成创建工作任务，采取了分期分批、先易后难、形式多样的办法不断推进。2016年在历年创建生活垃圾减量分类示范单位（小区）的基础上选取 42 个较大规模物业小区继续按可回收物、有害垃圾、厨余垃圾和其他垃圾分四类，日常采取“互联网+”模式开展生活垃圾分类工作，通过发放“可降解垃圾袋”、“刷卡扫描”、“有奖兑换”等方式鼓励居民积极参与垃圾分类。其他小区及全区机关事业单位按照“四小一大”模式开展垃圾分类工作，日常进行督导，并通过积分兑换礼品等形式吸引广大居民朋友积极参与；同时，以盐田海鲜街、环卫车队等区域餐饮门店为重点，通过激励与约束举措并举，实施了餐厨垃圾就地固液分离减量，使前端分类与前端处理紧密衔接，实现了垃圾减量分类的源头化处理。

（二）变“简单处置”为“精细利用”。在开展垃圾减量工作之前，盐田区多数餐厅及单位饭堂将餐厨垃圾直接卖给了养猪户，居民小区的厨余垃圾、有害垃圾、低价值可回收物等与其他垃圾混合，经垃圾转运站转运至焚烧厂进行焚烧处理。另外，即使通过法规和手段进行了前端的分类处理，如果没有科学有效的利用技术，也难以避免“前端分类后端大锅烩”的情况发生。为了让垃圾减量分类工作不流于形式，盐田们以资源的精细化利用为目标，科学设计处理环节，建设辖区低价值可回收物、有害垃圾等分类收运和资源化处理体系，深度回收利用废旧织物、玻璃等低价值可回收物，并实施大件垃圾、年花年桔、园林绿化垃圾专项回收工作，进行集中粉碎处理后，作为餐厨垃圾处理的辅料实现循环利用；同时全面强化流程监控，推动垃圾处理及资源化利用。

（三）变“集中处理”为“分区处理”。在前期没有合适集中处理地点的情况下，采取“分区处理”的方式，即依托现有的城市生活垃圾转运站、环卫工具房等中小型环卫基础设施，建设了餐厨垃圾前端处理站，并配置油水分离机、高温生物降解机等设备，以此为节点就近无害化处理周边大型酒楼、食街、工业区饭堂的餐厨垃圾及附近小区厨余垃圾。数据表明，餐厨垃圾中的固体经高温处理可降解85%，仅剩15%的残渣，液体可完全脱水化，并且可以有效避免餐厨垃圾转运处理的二次污染问题，有效实现了垃圾处理的减量化、无害化。

通过以上“三个转变”，盐田区生活垃圾分类处理工作取得了初步成效，找到了投资小、占地少、见效快的垃圾处理办法，形成了符合辖区实际的垃圾减量分类和餐厨垃圾无害化处理“盐田模式”。目前，盐田区垃圾减量分类及餐厨垃圾无害化处理工作走在深圳市前列，整体推进良好，得到了市领导的肯定和各兄弟区的好评，充分肯定了盐田区通过政府、企业、社会等力量整合，积极探索出生活垃圾处理的商业模式，在垃圾减量分类和无害化处理、资源化利用等工作上取得的显著成效，同时要求不断加强宣传，增强全体市民的垃圾分类意识，通过环境保护工作创新，提升全市生态文明水平。

第四章城市生态系统

城市生态系统服务广泛来自于城市内部以及周边的大自然。而自然生态系统所提供的服务广度经常被人们低估。它们为城市净化空气和水,减少噪音,减轻洪水灾害、封存二氧化碳,提供水和食物,调节当地气候,提供可再生能源和保护生物多样性,他们还有助于促进居民身心健康。一些城市已经开始维护生物多样性和生态系统服务——为当前和未来人类的利益,保护和重建公共绿地,自然公园和水道,开发建设中通常优先考虑自然保护。



一、珠海城市生态系统管理与实践

李海龙¹³

摘要：珠海可谓是生态文明的“试验田”，长期秉承生态环境保护与社会经济建设协调发展理念，通过系统的城市规划、完善的法律法规体系、严格的环保与开发管理政策以及先进的园林城市、生态城市、森林城市建设理念等保障和推进了城市生态环境建设，同时大力开展了多项生态系统提升与优化工程，实现了给城市经济发展带来“后发”优势的同时，留住了优质的自然环境。珠海的城市生态系统管理探索对于我国其它城市具有重要的借鉴与学习意义。

关键词：城市生态系统、管理、实践、珠海

1.城市背景介绍

1.1 城市简介

珠海位于广东省珠江口的西南部(见图1)，东与香港、深圳隔海相望，南与澳门陆地相连，西邻新会、台山，北与中山接壤，占地总面积约 1732.33 平方公里，常住人口 163.41 万（2015）。城市气候宜人，冬夏季风交替明显，终年气温较高，年、日温差小，属典型的南亚热带与热带过渡型海洋性气候。珠海海岛众多，海域辽阔，是珠三角地区海洋面积最大、岛屿最多、海岸线最长的城市，素有“百岛之市”美誉。



图1珠海地理位置图

作为一座美丽的滨海城市，珠海城市生态系统类型多样，全域范围内几乎涵盖了山地、丘陵、平原、森林、农田、河流、湖泊、滩涂、海岸带、海洋、海岛等多种生态系统，景观类型多样，生态多样性丰富，塑造了山城相依、水网纵横、陆岛相望的独特山水自然环境。珠海从南到北形成了 4 条水网骨架（虎跳门-崖门水道、黄杨河-鸡啼门水道、西沥河-磨刀门-宽口水道以及情侣路海岸线），从东到西形成了 6 大山系组团（凤凰山组团、黑白将军山组团、大横琴山组团、黄杨山-锅盖山-大岭山组团、眼浪山组团以及高栏岛组团）。水

¹³李海龙，北京大学人文地理博士，中国城市科学研究会生态城市规划建设中心副主任，生态城市研究专业委员会副秘书长，住建部中欧低碳生态城市合作项目办公室主任

网骨架与山系组团之间形成围合、渗透、镶嵌的空间关系，早在 1991 年珠海就成为全国唯一以整体城市景观入选“全国旅游胜地四十佳”的城市。

珠海虽地处我国空气污染最为严重的三大区域之一的珠三角地区，但城市空气质量仍常年位居全国前列。统计数据显示，珠海 2015 年全年有 323 天空气质量达到我国优良标准，在全国 74 个重点城市中位列第九位；同时，全年实现地区 GDP 增速达 10.0%，排在珠三角首位。珠海用事实证明，良好的生态环境是最公平的公共产品，是最普惠的民生福祉。

当下的珠海，依旧保持着强大的生态定力。无论是横琴新区，还是西部中心城区，珠海在其规划之初就高度强调“生态”的重要性。例如，珠海西部中心城区在其发展之初就定位为粤港澳合作的高端要素聚集区、西岸崛起的生产性服务中心、特区转型的新兴服务区以及生态宜居示范区，特别强调了“生态宜居”的重要地位。自 2010 年 12 月 26 日挂牌施工以来，珠海西部中心城区一直采用以生态理念为指导的发展模式，最大限度地保留了片区的自然原始风貌，构建了科学合理的城市布局。

1.2 难点与挑战

自 1979 年设市至今，珠海始终坚持生态环境保护与社会经济建设协调发展策略，由昔日的边陲渔村发展成为一个经济活跃、市容整洁、空气清新、人口适度、交通顺畅、秩序井然、环境优美的现代化滨海花园城市，并率先获得“国家园林城市”、“国家生态示范区”、“国家环保模范城市”、“国家生态市”、“国家生态园林城市”以及联合国人居中心“国际改善人居环境最佳范例奖”等一系列荣誉称号。然而，珠海环境与经济的发展并非一帆风顺。

珠海经济特区创办之初，起步区面积只有 6.81 平方公里，直到 1984 年才扩大至 121 平方公里，当时在珠海掀起了第一轮开发热潮，一时间的粗放开发使生态环境受到威胁。但珠海执著追求绿色繁荣，在市政府的直接干预下，先后有 67 项严重污染的工业项目被否决，32 项因选址不当而重新改址，40 多家采石场被关闭，城区所有大烟囱被拆除，政府为此耗资数十亿元。这对于在创办之初仅有“一间百货、一个红绿灯和一条马路”的珠海而言，是一个极具魄力的选择。

改革开放以来，珠三角城市快速推进以劳动密集型制造业为主体的内源型（如佛山、中山）和外源型（如深圳、东莞）工业化发展道路。这种工业化道

路在取得城市经济繁荣的同时，亦以土地粗放利用、城市化质量不高、环境严重污染、社会矛盾激化等为代价。而珠海则选择了一条差异化的发展道路，先于珠三角其它城市提高了环保标准和项目准入门槛，通过产业选择较好地避免了土地资源浪费以及生态环境恶化的弊病，初步实现人与自然和谐发展的目标。

正是长期坚持的对城市生态系统的严格保护，在珠三角经济发展对环境容量构成巨大压力的今天，珠海却打造了山海相拥、陆岛相望、海天一色的城市风貌，拥有了其它城市所缺乏的环境优美、资源丰富等优势，展现出从后赶上的巨大潜力与后劲。但目前珠海迎来了快速发展时期，人口增长迅速，城市规模扩大，土地资源紧缺已成为制约珠海发展的瓶颈之一，也将持续对珠海生态系统造成巨大的潜在压力。未来如何持续对城市优良生态系统保护也是当前面临的首要问题。

2. 管理者思路与决策过程

2.1 城市管理者对城市生态系统问题的思考

珠海拥有着绝佳的生态环境本底——城市三面临海、山海相拥、陆岛相望、河湖纵横，享誉着“海上云天，天下珠海”美名。在这样一片绿色的土地上进行开发建设，选择怎样的发展道路，是珠海历届管理者最关注的问题。

早在珠海经济特区成立初期，珠海市委、市政府确立了“发展工业绝不能以破坏自然环境为代价、发展经济绝不能以牺牲生态环境为条件”的可持续发展思路。推行经济建设、城市建设与环境建设同步规划、同步实施、同步发展的原则，城乡规划、建设和管理布局合理、功能配套、环境优美的原则，人口增长与全市经济发展相适应、与人口素质提高相结合的原则，发展高新技术、高附加值、低能耗的产业与提高经济质量相结合的原则，追求“金色财富”与“绿色财富”的共同拥有，努力使人们在享受工业文明带来的巨大财富的同时能够拥有一个绿色家园。

此后，珠海历届市委、市政府虽先后多次根据不同历史背景和发展条件，科学调整城市基调和功能布局。但不论如何变化，生态保护和环境建设的理念始终贯穿其中，并在长期的探索实践中逐步凝炼升华，使珠海的青山绿水、蓝天白云以及空气清新得以保住。

2.2 解决思路与决策过程

从珠海发展经验来看，孕育了“城市规划先行、环境保护优先、基础设施先导、制度法规护航”的城市发展核心策略。在此策略指引下，珠海运用“后发”优势，科学规划城市，坚持不懈地按照可持续发展思路进行政策优化、体制创新、生态环境管理创新等，并取得一系列卓有成效的探索。

早在 1987 年第二轮城市总体规划中，珠海就确立了“现代化花园式海滨城市”的发展目标，并强调加强城市绿化和环境保护的规划，调整城市布局以及实行环境功能分区。在 1992 年第三轮城市总体规划中，珠海明确提出“坚持经济建设、城市建设、环境保护同步规划、同步建设、同步发展”的原则，规划拆迁有污染的工业项目以及严格控制污染项目的上马。1998 年，珠海召开第四次党代会，提出“实施可持续发展的总体战略”和“把珠海建设成为花园式的海滨城市 and 现代化的经济特区”的城市发展目标，重点强调促进环境保护与经济建设协调发展。

进入 21 世纪，珠海已初步形成有自身特色的环境与经济协调发展模式。面向新阶段，珠海于 2004 年底出台《珠海生态市建设规划》，将环保实绩考核纳入区党政领导班子和经济功能区党政领导班子的绩效考核，彰显珠海市委、市政府走可持续发展道路的决心。2006 年初，珠海正式提出打造“最适宜居住、最适宜创业、最富有魅力”的海滨山水城市目标，采取“东延、西拓、强海、优山、美江、活岛”的城市空间发展策略，促使珠海城市规划建设获得了新一轮发展。

2008 年底，国务院批准了《珠江三角洲地区改革发展规划纲要（2008-2020 年）》，珠海进一步明确“建设生态文明新特区、争当科学发展示范市和珠江口西岸核心城市”的奋斗目标，提出按照经济发展与环境保护双赢的原则，构建交通、产业和城市三大格局，夯实物质、环境、社会和制度四大基础，充分发挥特区品牌、地理区位、生态环境、发展空间和科教人文五大优势，建设经济发达、生态良好、社会公平，既具魅力又有实力的现代化区域城市和珠江口西岸核心城市的总体思路。珠海先后出台了推进交通发展、整合工业园区、加强生态建设等多项政策措施。

时至 2015 年，珠海完成第五版城市总体规划编制工作，提出“按照生态文明新特区、科学发展示范市的定位和国际宜居城市标准，与港澳共建国际都会区，打造美丽中国城市样板”的城市发展目标，明确从合理控制城市开发与建

设用地增长边界、划定耕地与生态红线、通过土地集约高效利用促进城市空间结构优化、促进城乡统筹发展、构建城乡一体的公共服务设施体系、探索“多规融合”等方面推动新型城镇化发展，实现城市发展理念的进一步更新升级。

30 多年来，珠海大胆借鉴国内外城市成功建设经验，坚持发展经济不以牺牲环境为代价的可持续发展思想，同步开展城市建设、经济发展和环境保护与建设，较好地促进了经济、社会、环境的协调发展，目前已成为珠三角地区环境质量最好、土地开发强度最小、人口密度最适合、社会和谐平安的城市之一。从生态文明视角来看，珠海牺牲低端经济发展，留下了城市的青山绿水，无疑是选择了一条正确的发展道路。

3.对策与解决方案

3.1 政府管理和协调机制

3.1.1 通过概念性空间发展规划和总体规划确立发展与保护空间格局

30 多年来，珠海先后 8 次调整城市基调和功能布局。自第一轮城市总体规划开始，珠海就树立了绿色发展、集约高效的理念，逐步形成了分片组团、自然与城市有机融合的城市形态。2015 年最新修订的《珠海市城市总体规划（2001-2020 年）》（下文简称《总规》）以超前的理念将生态建设和绿地系统规划内容合二为一，从生态管制和城市绿地建设两个方面促进城市建设与生态系统的和谐相融。《总规》构建了“东西贯通、陆海相连、疏通廊道”的生态空间布局战略，将珠海划分为不同类型的生态功能区，为维护区域生态安全、促进资源合理利用、生态系统保育以及环境条件改善提供了科学依据和管理手段。规划对城市中的生态退化区域，提出加大治理力度、恢复受损生态系统、维护区域生态安全格局的要求。

与《总规》强调城市生态空间布局一脉相承的是，《珠海城市概念性空间发展规划（2010-2060）》（下文简称《概规》）贯彻生态优先的理念，尊重珠海现有山体、水体、岸线、湿地等自然环境，注重路网绿带、水网绿带、城市各级公园绿地等的建设，构建了自然系统和人工系统相结合的生态格局。按此格局，在珠海全市划定了 1006 平方公里的生态控制线，约占全市陆域面积的 58%，保护的生态开敞空间面积超过全市陆域面积的 70%。《概规》为珠海绘制了一幅终极发展蓝图，在 2015 年底被《珠海市人民代表大会常务委员会关于珠海城市概念性空间发展规划的决定》正式确定为珠海市最高规划。

3.1.2 以完善的法律法规体系保障和推进生态环境建设

自 1996 年全国人大授予珠海经济特区立法权之后，珠海迅速制定了具有自身特色的《珠海市城市规划条例》、《珠海市环境保护条例》、《珠海市土地管理条例》、《珠海经济特区人口规划管理条例》、《珠海市道路交通管理条例》五个基础性法规，将珠海土地管理“五个统一”、城市建设管理“八个统一”、环境保护“八个不准”等城市管理经验法定化，以及把全市人民“不以牺牲环境获得一时发展”、“在城市发展同时共享山水资源”等共识及时体现到法规条文之中，为珠海营造了可持续发展的法制环境，使生态建设和环境保护工作逐步走上法制化轨道。

随后，珠海结合城市地域特点，在已有的环境保护系列法规的基础上，编制出台了市容和环境卫生管理条例、排水条例、森林防火条例、公园管理办法、城市绿化办法、绿道管理办法等条例法规，通过立法有力推动了珠海生态文明建设。在国家生态文明战略引领下，珠海 2013 年通过了《珠海经济特区生态文明建设促进条例》，正式将创建国家生态市作为珠海生态文明建设的阶段奋斗目标，确定在珠海划定了 4 个一级生态功能区、12 个二级生态功能区和 86 个三级生态功能区，实行禁止开发区、限制开发区、重点开发区和优化开发区 4 大分区控制对策，并明确了生态控制线。这些规定为优化和完善珠海城市发展的空间格局，确保城市生态安全，奠定了坚实的基础。

截至 2015 年，珠海已颁布、修订了 17 件地方性法规和 12 件政府规章，涵盖了规划布局、产业发展、土地开发、执法查处、污染治理等领域，为珠海生态环境法治保障奠定了坚实的法律基础，促使珠海生态文明建设理念和做法得以长期坚持和优势实施，走出了一条法治生态的可持续发展道路。

3.1.3 执行严格的环保政策与开发管理政策以保护城市生态系统

在总体规划指导下，珠海实施了严格的生态保护与建设工程。结合珠海生态系统特征，在全市范围内将重点建设 1 个国家级自然保护区、1 个省级自然保护区和 6 个市县级自然保护区。同时，珠海还将规划 9 处森林公园和建设 19 处郊野公园。

在滨海生态环境保护方面，珠海规划了加大对红树林、水松林、近岸滩涂等自然资源的保护和生态建设，将自身打造成珠三角最大、全国著名的滨海湿地保护之城；加强典型湿地生态系统的保护，以淇澳岛、磨刀门河口、鸡啼门

河口、前山河等河口、滩涂湿地为重点建设区，维护红树林与木麻黄林等自然原生植被，恢复已经退化的湿地生态系统，提升其生态环境服务功能和价值。

在实施严格的生态保护与建设工程的同时，珠海还设定了产业项目的准入门槛。特区创立之初，珠海就提出了“市区不发展有污染、耗能高及耗费原材料大的工业”的发展思路。市人大常委会在 1998 年制定的环保条例中明确规定严格限制建设资源消耗大、污染严重的项目，在市区范围内不得新办严重污染项目；规定严禁在市区以煤、重油或者塑胶作为燃料使用。该条例于 2009 年进行了修订，坚持了严格项目准入的相关要求，并予以了科学细化，同时配套规定了决策环评、招商引资预评估等机制。以立法为依托对产业实行严格准入的制度，有力推动珠海逐步成为珠三角地区环境质量最好、土地开发强度最小、低端产业布局最少的城市，积累了可贵的后发优势。

3.1.4 通过园林城市、生态园林城市、森林城市打造城市绿色空间

珠海在城市绿色空间建设方面一直走在全国前列，早在 1992 年就被评为国家首批园林城市，2000 年成为全国唯一以整个城市命名的国家级生态示范区，于 2016 年 5 月获得国家首批“生态园林城市”称号，而目前正积极开展国家森林城市的创建工作。

《珠海市森林城市建设总体规划（2014-2025）》以创建国家森林城市、建设宜居环境为目标，在分析珠海生态环境本底特征的基础上，提出了“山海林城、美丽珠海”的建设理念和“四带、五心、十核、百廊、百岛、百村”的总体布局，确定了以生态、产业、文化为主要内容的重点工程布局。规划提出了近、中、远期建设目标，致力于到 2017 年实现森林覆盖率达到 37.93%，城区绿化覆盖率达到 49.96%，全面达到国家森林城市指标，建成国家森林城市。

珠海将“公园之城、彩色飘带、千里绿廊、生态水网”四大行动作为建设国家森林城市的抓手，致力于打造 52 个都市特色公园、7 个森林郊野公园、315 个社区公园，建设 1430 公里生态廊道，建成 1 个国家级森林公园和 2 个国家级湿地公园、2 个省级湿地公园，以及实现城镇社区公园 500 米服务半径全覆盖，切实把珠海打造为“城在林中、林在城中”的城市生态环境，切实让每位市民都可以充分地享受森林。

3.2 工程实践重点技术和方案

3.2.1 建设社区公园

为创造更加优美的生态环境，珠海大力推进社区公园建设。自 2012 年起，珠海充分利用城市快速发展中遗留的边角闲置土地，在全市范围内先后建成了 284 个社区公园，总面积达 212 万平米，基本实现全市“一社区一公园”，把绿地福利带到了市民的家门口，成为市民健身、游憩的首选场所。

珠海坚持“四个理念”打造社区公园绿地，一是“建什么样的公园市民说了算”，以市民需求为导向，建设小型化、开放性、家门口、多功能、生态型公园，并配套建设一批广受市民欢迎的体育健身设施以及凉亭、书吧、咖啡屋、便利店、淋浴房、卫生间等；二是“把公园建在市民家门口”，实现大多数市民步行 15 分钟左右就能抵达，并与绿道网和慢行系统无缝衔接，构成绿色低碳全民健身休闲网络；三是“用不一样的办法建不一样的公园”，从用地、审批、资金以及规范建设方面形成社区公园的规划建设标准；四是“让市民共享共管公园”，让社区公园成为基层自治创新孵化器，实行自我管理场地、自我开展活动、自我维持秩序，并自发制定“乡规民约”。

如今，珠海已初步形成了以大镜山社区公园为代表的群众体育特色、以海滨社区公园为代表的滨海浪漫特色、以梅华城市花园为代表的生态林蔬特色、以昌平社区公园为代表的商业闹市特色、以北山社区公园为代表的历史时空特色、以濂泉社区公园为代表的城乡结合特色等六大特色（见图 2）。



图 2 珠海社区公园示例

珠海社区公园的建设，一方面改善了城市生态环境，实现了资源集约利用；另一方面引导了健康生活方式，繁荣了群众文体活动，实现了“民意建园、园暖民心”，珠海由此获得了“2014 年广东省宜居环境范例奖”。

3.2.2 打造城市绿道网

绿道是兼具生态保护与休闲游憩功能的国际流行做法，具有防洪固土、清洁水源、净化空气、缓解景观破碎化、提供动物通行廊道、提高环境质量、约束城市无序蔓延、保护乡土文化遗产等重要作用。

珠海在全国较先编制了《珠海市城市绿道网总体规划（2010-2020）》，要求绿道网建设秉承因地制宜、因形就势、因陋见巧原则，依托山边、水边、林边，在建设过程中不征地、不拆迁、不砍树，体现生态化、本土化和多样化，充分结合城市组团分布、生态格局、自然人文景观分布形成“四纵、两横、二环、六岛”的绿道网空间结构（见图 3），规划建设绿道网总长度达 1003.02 公里。

自 2010 年启动绿道网建设以来，珠海在崇尚自然的基础上，结合城市广场、公园绿地、文体场所、交通枢纽、人文节点、驿站等建设，充分利用城市内外现有资源加以整合、挖掘、提升，巧妙打造绿道“兴奋点”（见图 4），吸引更多群众多形式使用绿道，为市民提供休闲、健身和开展户外活动的良好开敞空间。截至 2015 年底，珠海已建成绿道 896 公里，建设各级驿站 48 个。



图 3 珠海绿道空间结构图 4 珠海绿道“兴奋点”示例

2016 年，珠海计划打造“升级版”绿道，以充分挖掘绿道的各项功能，提升绿道功效，同时结合“公园之城”、“幸福村居”、“生态水网”等建设工作，以社区体育公园、水岸公园、森林公园等为重点，串联起各类兴趣节点。此外，珠海还制定了《美丽珠海——千里绿廊行动计划》，提出在 2016-2018 年期间，将着力推进生态景观林带、城市绿道、健康步道、林荫道、乡村风情道等“一带四道”建设，打造千里绿廊网络体系，塑造又一个绿色生态品牌，深入推进国家森林城市的创建。

3.2.3 划定生态控制线

生态控制线主要是为了保障城市生态安全，优化城市空间结构和布局，在尊重城乡自然生态系统和合理环境承载力的前提下，围绕保护重点生态要素划定的城市开发边界控制界限。

为切实做好生态环境保护、保障生态系统安全，珠海市住房和城乡建设局组织编制了《珠海市生态线控制性规划》，并于 2015 年 12 月获市政府批复。规划划定市域生态控制线面积 1051.08 平方公里，占陆域面积的 58.44%，涵盖生态保育用地、休闲游憩用地、安全防护用地、垦殖生产用地四大类生态用地（见图 5）。同时，将市域生态控制线划分为两级管制区，一级管制区是具有关键作用的生态保护空间，是生态控制线的核心区域，共划定面积 397.44 平方公里，占总生态用地的 37.84%；二级管制区面积 653.01 平方公里，占总生态用地的 62.16%。



图 5 珠海市域生态控制线范围

继规划出台之后，珠海于 2016 年 7 月公布了《珠海市生态控制线管理规定（征求意见稿）》，拟对生态控制线实施分级管制，严格保护控制线内各类资源，控制线内禁止相关建设，建筑物不合规定或被清退。规定还明确了相关的行政主体责任，强调对于违反规定的行政机关及工作人员，将按规定责令整改，如果涉嫌犯罪，将移送司法机关依法处理。

3.2.4 开展前山河流域环境综合提升工程

河流湖泊是珠海最重要的生态系统类型。其中，前山河发源于中山五桂山东南麓，流经中山三乡、坦洲以及珠海南屏、前山、拱北、湾仔，经石角咀水闸注入青州湾出海，全长 41 公里，是珠海主城区内唯一的淡水河流。20 世纪 80 年代初，前山河曾作为珠海饮用水源。但多年来，随着农业污染和工业污染的不断加剧，前山河污染持续恶化，成为影响珠海城市环境建设的重要难题。

为解决前山河污染问题，珠海出台了《前山河流域环境综合提升工程方案（2013-2017）》，提出通过实施污水处理设施建设、截污纳管整治、“三旧”社区更新、堤岸景观提升、畜禽养殖清理“五大工程措施”和规划统筹、部门协调、区域合作、共治共管、立法执法“五大非工程措施”，全面推进前山河

流域环境综合整治工程，并要求到 2017 年实现“水清、岸绿、景美”的规划建设目标。

经多年的持续治理，前山河的水生态环境改善工作成效显著（见图 6）。截至 2015 年底，前山河水质已达到地表水Ⅳ类水体标准，部分河段达到地表水Ⅲ类水体标准，190 条河涌和沟渠均落实管理责任，排洪渠脏臭和近岸水域污染状况基本得到解决，河道绿化普及率达到 90%。



图 6 珠海前山河现状图

为继续推进前山河整治，2016 年 7 月 28 日起施行《珠海经济特区前山河流域管理条例》，对水污染防治、生态保护、污水管网建设、考核评议机制、规划建设等方面提出更高要求。

3.2.5 建设海绵城市

海绵城市作为新一代城市雨洪管理方式，在适应环境变化和应对雨水带来的自然灾害等方面具有良好的“弹性”，实现了治水与自然共生共存的绿色理念。

在国家推进海绵城市战略背景下，珠海组织编制了《珠海市海绵城市专项规划》及两个示范区海绵城市建设详细规划，明确以“人水和谐、生态宜居、滨海特色”的海绵城市建设为总目标，在市域尺度上构建“山、水、林、田、城、湿地”一体化的城市海绵体。2016 年 4 月，珠海以第二名的成绩入选国家海绵城市建设第二批试点城市。

珠海选择横琴新区和西部中心城区共 52 平方公里区域作为海绵城市建设的试点区域，以分解和细化海绵城市专项规划以及各详细规划提出的低影响开发控制目标及要求，结合建筑密度、绿地率等约束性控制指标，提出各地块的单位面积控制容积、下凹式绿地率及其下沉深度、透水铺装率、绿色屋顶率等控制指标，确定地块内的低影响开发设施类型及其规模，并将规划成果纳入地块规划设计要点作为土地开发建设的规划设计条件。

3.2.6 开展“一带九湾”情侣路浪漫风情海岸带建设工程

沙滩历来被认为是防止海岸侵蚀的较佳手段。对沙滩进行修复，其首要功效是护岸，同时也具备美化城市景观、维护生态系统平衡、提供旅游休闲功能、

提高城市品位等功效。珠海情侣路是 20 世纪 90 年代修建的滨海路，一度成为其对外旅游开放的城市名片。随着海洋保护理念、生态文明需求的深入，珠海对于情侣路沿线的规划理念也不断变化，开展沙滩修复工程，把环境保护上升到生态恢复的高度，有利于推动珠海海岸和海洋保护。

2015 年 3 月，《珠海市情侣路浪漫风情海岸整体提升规划》经市政府批准实施，明确以“浪漫之旅、国际海岸”为发展目标，从交通体系、水陆融合、公共性、文化内涵、海视角、城市特色等方面对情侣路海岸进行全面提升，塑造“一带九湾”的总体空间格局（见图 7），建设更蓝、更绿、更美的浪漫风情海岸。规划范围包括情侣路全线——北至珠海与中山交界、西至珠海大道与磨刀门交汇处路段，路段总长度约 55 公里，腹地总面积约 85.6 平方公里。



图 7 珠海“一带九湾”情侣路浪漫风情海岸带示意图

2014 年至 2015 年期间，珠海已实施了海滨泳场一期改造提升工程、香炉湾沙滩修复工程、凤凰湾沙滩修复工程等沙滩修复项目。从修复效果来看，新修复完成的香炉湾沙滩已备受珠海市民和外地游客青睐，成为珠海生态环境建设带给市民生活的新“红利”。

3.2.7 创建特色村居

村居作为城市建设的重要组成部分，也得到珠海的高度重视。珠海坚持园林绿化城乡共进策略，通过实施特色产业发展、环境宜居提升、民生改善保障、特色文化带动、社会治理建设、固本强基等六大工程推进幸福村居建设，在全社会打造了 209 个更加富裕、美丽、和谐、幸福的珠海特色村居（见图 8）。

在环境宜居提升工程方面，珠海完善了村居基础设施建设硬环境，通过建设污水处理设施、封闭式垃圾收集房等使村居环境的景观更加优美。同时，注重村居的美化绿化。结合《广东省创建幸福村居五年行动计划》，珠海坚持适地适树、花草结合原则，高标准、高质量地推进了村庄道路、河道、庭院、宅旁绿化和公共绿地的建设工作。如在斗门区莲江村进行了村内道路硬底化和两旁房屋的“穿衣戴帽”工程、河畔和公园绿化、三公里河涌清淤、森林公园的

观光塔等建设。通过特色村居的创建，珠海乡村呈现一派绿意盎然、生机勃勃的景象，农村居民的生产、生活环境得到改善。

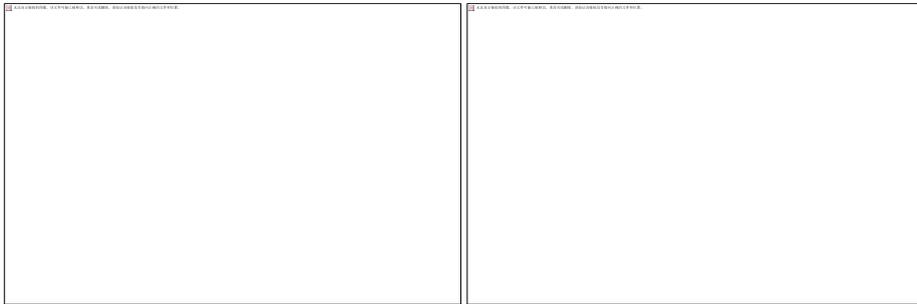


图 8 珠海特色村居示例

4.实施成效

与珠三角其它城市相比，珠海现状经济总量偏低，其核心工作仍是经济发展，但其它城市的拼资源、拼汗水、拼土地式发展模式已难以为续，而珠海却保持着强大的生态定力和拥有着“后发”优势。

统计数据显示，截至 2015 年，珠海森林覆盖率达 35.94%，林业用地面积达 48481 公顷，湿地总面积 189066.85 公顷，人均公园绿地面积 19.5 平方米，建成各类绿道约 896 公里，划定生态控制线面积 1051.08 平方公里。与此同时，珠海 2015 年有效监测天数 359 天，空气质量达到优良级别共 323 天，占 90.0%，在环保部公布的 74 个重点城市年度空气质量排名中位居第九位；全市各主要河流、饮用水水源地水质、近岸海域水质保持 100%稳定达标率。此外，珠海 2015 年全市地区 GDP 总值为 2024.98 亿元，增速位居广东省首位。

在多层次的生态系统管理与实践下，珠海 2015 年生态文明建设再创佳绩——成功创建国家生态市和国家生态园林城市，成为首批国家级海洋生态文明示范区、全国第二批水生态文明城市建设试点市和广东省海洋经济生态示范市，以及荣获首届“中国生态文明奖先进集体”金色奖牌。2016 年 5 月 30 日，中国社科院、中国社会科学出版社等共同发布《2016 年中国城市竞争力报告》显示，珠海实现连续三年问鼎“中国最宜居城市”。

毫无疑问，珠海已较好实现环境保护与经济社会的协调发展，优良的生态环境质量已成为珠海最具城市竞争力、最重要的可持续发展的本底。同时，严格控制生态和产业两条红线，不搞劳动密集型的低端制造业，拒绝污染产业，

发展集约型、高端产业，不仅给珠海带来了经济发展“后发”优势，还留住了碧海蓝天。

5. 启示与建议

5.1 珠海实践值得学习的地方

珠海可谓是生态文明的“试验田”，其用自身实践证明，一座城市想要望得见山、看得见水、记得住乡愁，就必须坚持以人为本，坚守生态红线，坚持经济发展与生态文明同步，给人们城市生活染上一抹翠绿。回顾与归纳总结珠海建市 30 多年来的城市生态系统管理实践经验，其中有以下几方面内容尤为值得我国其它城市借鉴与学习。

1) 规划先行，坚持生态优先

在城市建设与发展过程中，珠海始终坚持“先谋划、再策划、再规划”策略。从 1988 年第一轮城市总体规划到 2015 年第五版城市总体规划，再到城市最高规划——《珠海城市概念性空间发展规划》，以及为配合落实总体规划和《概规》的规划目标而出台的山体、水岸线保护与利用、河流水系生态建设、水土保持、湿地保护规划、绿地建设、水体保护等系列规划，无一不把“生态优先”摆在突出位置，通过形成具有前瞻性、指导性、可操作性的城市规划建设体系，为目标定位的落实保驾护航。

2) 法律保障，推进生态建设

珠海生态文明建设的成功离不开强有力的法律保障。自 1996 年以来，珠海充分发挥特区立法权的优势，以改革创新的精神，编织了一张由 17 件地方性法规和 12 件政府规章有机构成的“绿色法网”，推进生态保护的法治，为城市生态文明建设破解体制机制障碍以及提供可靠保障。

3) 政策严格，保护生态系统

为保护生态系统，珠海执行了严格的环保政策和开发管理政策。一方面，从环境保护、生态文明考核方面对各类生态系统加以保护；另一方面，从设定产业项目的准入门槛方面拒绝高污染、高能耗产业准入珠海市场，为城市留下碧海蓝天。

4) 理念先进，打造生态空间

珠海的城市生态系统管理探索还见证着先进生态理念在我国的践行。从 20 世纪 90 年代的园林城市到 21 世纪的生态园林城市，再到现阶段的森林城市、海绵城市、宜居城市等，珠海邀请了刘太格、卡尔索普、吴志强、张庭伟、李晓江、彼得·卡尔索普、丹尼尔·瑞金斯汀、户田芳树、欧阳志云等国内外大师级的城市规划师为珠海城市建设“把脉问诊”，借鉴国内外先进理念打造城市生态空间。

5) 多管齐下，共建生态城市

珠海生态城市的建设，还有赖于其多方位的生态系统提升与优化工程，如在全市域范围内建设社区公园、打造城市绿道网、划定生态控制线、建设海绵城市等，针对农村区域创建特色村居，以及针对前山河流域水环境、情侣路沙滩修复等开展具体的建设工程。通过具体的工程项目，逐步提升与优化城市生态系统服务水平，为市民打造一个真正的生态之城。

5.2 复制与推广珠海实践的建议

珠海之所以能够成为生态文明的“试验田”，是其城市先天优势与后天不懈努力的共同产物。对于国内外其它希望通过复制、推广珠海实践实现城市生态文明建设的城市而言，第一，开展城市生态环境本底调查，明确其城市生态系统管理的目标；第二，以目标为导向，编制与之相匹配的城市规划、法律、政策等系列文件，为城市生态文明建设提供理论依据和政策保障；第三，将城市规划与政策落实到项目，以项目为抓手，明确阶段性任务，逐步提高城市生态系统服务能力；第四，要有生态保护的恒心，对于生态文明的建设不能急于求成，搞“一刀切”工程或者因一时的挫折而气馁，要持之以恒地、坚定不移地向既定目标前进。

参考文献

1. [1] 《2016 珠海概览》，珠海市统计局，
<http://www.stats-zh.gov.cn/zhgl/201605/P020160525405231099842.pdf>, 2015-05-25.
2. [2] 《珠海市城市绿道网总体规划（2010-2020）》，珠海市规划设计研究院, 2011-04.
3. [3] 《2015 年度珠海市环境质量报告书》，珠海市环境保护局, 2016-06.
4. [4] 《珠海去年生产总值 2024.98 亿元 GDP 增速居全省首位》，珠海特区报，
http://zh.southcn.com/content/2016-01/24/content_141378621.htm, 2015-01-24.
5. [5] 《珠海西部中心城区概念规划》，上海威尔考特建设设计有限公司, 2010-01.
6. [6] 《珠海：拓展可持续发展空间》，人民日报, 1998-10-04（第一版）

8. [7] 《2015 年度珠海市环境质量报告书（公众版）》，珠海市环境保护局, 2016-07-01.

综述

——建设循环城市，推动绿色城镇化发展

杨亮¹⁴，陈波平¹⁵

摘要：国际城市发展的探索表明，可持续的城市发展不仅仅要减少对生态环境的破坏，还要进一步追求促进生态环境的良性循环发展，即建设循环城市。循环城市理念超越传统的可持续发展模式，涵盖广泛的制度、金融、经济、技术创新，旨在创造宜居、健康、参与性和服务性的城市。它还意味着必须提升城市的能源和资源自给率，改善城市的生态环境以及气候适应能力。中国的城市 and 城市化发展正面临着严峻的环境压力，转型发展势在必行。循环城市也反应了中国的“新常态”社会经济发展模式，是以人为本、中速发展、鼓励创新、扩大内需等有益于环境保护的新型城镇化发展策略。循环城市的建设要求决策层有长期视野、强烈的政治决心和高效的领导能力，同时鼓励所有的利益相关者协同合作，充分利用公众参与，推动合理的规划和发展，并加快整个转型过程。

关键词：循环城市，资源循环再生，绿色城市，新型城镇化，海绵城市

一、循环城市发展的国际背景

今天全球 50%以上的人口已经居住在城市，到 2030 年，近 60%的世界人口，即约 50 亿人将聚居在城镇地区。作为商业、文化、科技、生产生活、社会发展的枢纽，城市在带给人们空前丰富的物质和精神财富的同时，也产生了前所未有的挑战。快速的城市化导致了人口膨胀、交通拥挤、环境污染、资源紧缺、贫富差距、文化冲突等日益严峻的城市问题。可持续的城市繁荣与发展已成为 21 世纪全球社会面临的最紧迫挑战。

因此，国际社会越来越多地致力于倡导新型可持续的发展，并赋予城市在这一转型过程中以引领作用。2015 年 9 月联合国大会批准了 17 个可持续发展目标（SDGs）。这是政府间协议设置的一系列发展目标，是要替代 2015 年底到期的千年发展目标（MDGs）。新的可持续发展目标不仅仅涉及最贫穷国家，还

¹⁴杨亮，德国基尔大学景观-人类发展学院博士后，世界未来委员会中国项目研究员

¹⁵陈波平，世界未来委员会（World Future Council）中国区总监

包括更广泛更全面的目标群，涵盖了更多样化的议题。这 17 个 SDGs 中的第 11 个目标，也被称为城市 SDG，特别强调了“具有包容性，安全，有恢复能力和可持续城市和社区”。

并行于可持续发展目标的还有将于 2016 年 10 月在厄瓜多尔首都基多（Quito）举行的联合国全球峰会——人居 III 会议。在这次会议上近 200 个联合国成员国将共聚一堂，共同发布一个“新城市议程”。该议程将提供协议性不具约束力的准则和策略，为未来 20 年全球城市居住区的发展提供指导。该文件预计将协助各国政府制定明确的指南，支持构建国家和地方层面的发展政策框架，以应对城市化挑战。

在实践层面，全球许多城市已经在以前有未有的规模消耗和浪费着各种资源，也正在遭受着水污染和空气污染等诸多严峻的环境威胁，很明显，维持现在的发展状态是不行的。无论是新城市的规划管理还是旧城区的更新改造，其现有发展模式都需要进行深刻的转变。跨出转型的脚步已经势在必行。城市可持续发展目标的批准以及即将到来的全球新城市议程将毫无疑问地为世界各地的城市带来广泛的发展机会。这意味着要超出传统上的可持续性概念，探讨更广泛的城市发展模式。在探索过程中，建设循环再生型城市是在经济、社会和技术上最具可操作性的发展模式。建设循环城市，就是不再把重点放在维持城市的资源环境系统，而是强调促进城市生态系统的循环再生，真正满足城市发展和环境改善同步的要求。

二、循环城市的基本理念与目标要求

循环城市可以被定义为：能够循环利用资源并持续地恢复和改善其与所依赖的生态系统之间的关系的城市。具体来说循环城市就是要重建城市与自然之间的循环与互动关系。循环城市发展理念使城市从线性的“消耗资源-破坏生态”的系统转型为与周围生态环境互惠共生的系统（图 1）。传统的可持续理念要求尽可能减少对生态环境的破坏，而循环再生理念则追求促进生态环境的良性循环发展。



图 1，循环城市概念示意图。在循环再生的城市系统中，城市不仅消耗资源而且还能够自我生产资源以及再利用所消耗的资源。比如，城市将优先利用附近周边地区的资源；能源可以由当地的可再生能源供应；一个部门的废弃物可以被其他部门回收再利用；水也可以回收或经过处理之后再排放到自然水体中；有机废弃物经处理后可作为肥料返回土壤，等等。

循环城市的发展包含三种基本的循环特点（图 2）。

1 资源循环利用

高效化：减少资源消耗，要求大力提高资源利用效率，从源头上减少消耗，节约资源使用量。

循环化：向垃圾要资源，要求大力提升垃圾回收、处理和再利用率。

服务化：提倡功能性超越所有权的理念，要求注重资源的实用性，将资源配置在最能发挥其功效的地方，而不是低效或闲置于拥有者手中。

2 生态系统循环再生

城市是生态系统循环再生的中心：激励城市扮演资源-经济-社会-环境系统循环发展的引领者和推动者。

城市是生产系统的枢纽：将城市从单纯的资源消费者转变为同时也是资源生产者。

城市是决策管理的领导者：推动分散化管理和相关的政策支持，鼓励基层组织或个人积极参与循环发展实践。

3 城市空间再利用

紧凑结构：更新升级现有的布局而不是大规模扩张，利用高效紧凑的规划设计提升城市空间利用效率。

以人为本：建设包容性、安全性、韧性和可持续性的城市社区，以居民生产生活总体方便舒适为核心。

绿化空间：鼓励推行绿色建筑发展，充分考虑绿化区域的规划建设

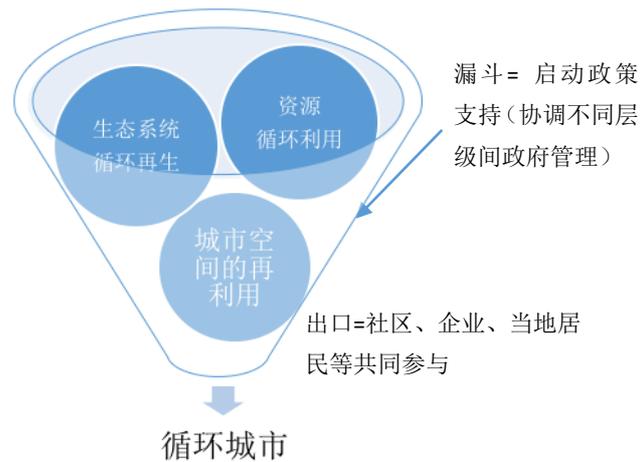


图 2，循环城市的基本循环特点

循环再生愿景的核心在于建立和促进城市与其周边区域之间互惠互利的共生关系。通过将废弃物资源化利用，循环城市可以不断提高自身健康状态，进而提升其所依赖的生态系统的健康状况。这体现在将营养物质返回到土壤中，植树造林，农作物轮作耕种，补充流域水资源，增加城市生物多样性和在市内大力发展生态型基础设施等等。这些措施有助于在本地、区域以及全球范围内增强生态系统的可再生能力。

循环城市发展就是希望模仿自然界的循环代谢系统，闭合城市资源循环系统。比如，循环城市将处理后的水重新引入到自然水系统中，提高对当地（周边）粮食的需求比例，处理并提取城市污水和废弃物中的肥料物质应用到周边农田里，极大地降低对石油产品的依赖并加大可再生能源的使用。同时，积极探索回收再利用废弃的资源 and 物质，使循环城市成为一个生产中心，促进城市与其周边区域之间的和谐互惠发展。

三、中国绿色新型城镇化要解决的问题

经济增长和快速城市化虽然让中国在减贫和提高人民生活水平方面受益匪浅，同时中国也正遭受由此带来的环境压力，如空气和水污染都对人民生活造成不利影响并危害经济的长期繁荣稳定。我国提出新型城镇化，不是否定城镇化道路，而应该是为了提高城镇化质量。我们在充分肯定快速城镇化成效的同时，也必须清醒地认识到我国城镇化出现的问题。我国城镇化发展中存在着人口城镇化不彻底、土地城镇化快于人口城镇化、中小城市发展机会不均等、服务业发展滞后等主要问题：

农民工不能市民化，人口城镇化滞后于土地城镇化问题突出。长期以来由于城市发展快速向周边地区扩张，大量土地被征用，农民失去土地但却没有成为市民。这部分城市近郊农民与那些长期外出务工的农民一样，游离于当前的农村和城市体系之外。这些人口不能市民化不仅带来诸如留守儿童、留守老人、空心农村等社会问题，还会阻碍农村发展，抑制生产消费，给我国经济发展方式转变带来困难。

城镇建设比较粗放，占用土地过多，集约化程度不高。在过去二三十年的快速扩张下，一些城市新开发地区住房、交通、市政等基础设施粗放式蔓延，利用效率低下。而且由于大面积的土地扩张，生产发展和生活配套设施跟不上，难以形成集聚效应，也导致集约化程度不高。在严格保护耕地、集约节约利用土地的前提下，如何满足二三产业的发展 and 城镇建设对土地的需求，提高人居环境质量，乃至转变城镇化粗放发展方式到集约化发展方式，都是今后一个时期诸多城市面临的重大挑战。

城镇化体系不合理，越来越多的大型城市和一线城市人口过于集中，甚至过分拥挤。尤其是特大城市的过渡发展带来城市的臃肿和效益下降，中小城市发展步伐缓慢，未形成较合理的城镇网络体系。大城市和小城镇之间的差距过大，城市间的协调互惠体系难以建立，区域经济基础薄弱，城市极化效应突出，为统筹协调区域发展带来困境。

公共服务严重不足。当前很多城市仍然偏向于硬件基础设施建设，对关系城市居民生活的社会性公共服务缺乏足够的重视。老城区在长期的发展中虽然有比较完善的公共服务系统，但随着人口的集聚，公共服务支撑能力已经严重不足。新城区以及郊区普遍存在着环境污染、入学困难、医疗卫生设施缺乏、公共安全风险较大等问题。尽管大部分城市各项公共服务水平都在改善，但总体来说还处于较低水平，无法满足生产生活需求。

鉴于许多中国城市已经处于严峻的环境条件下，继续转变思路，改变现状。循环再生型的城市发展策略应当受到高度重视，这种策略能够改善中国日渐退化的生态系统状况，并建立城市与环境的共生关系。这种循环再生型城市发展也反应了一种新型的发展模式，即当前被广泛讨论的“新常态”。“新常态”概念指出了当前中国发展中的实质性转变（廉价土地资源减少，廉价劳动力减少，经济增速下降，日趋严重的环境威胁），并且指出了以人为本、中速发展、鼓励创新、扩大内需等有益于环境保护的发展策略，这也正是循环城市发展所提倡的。

四、循环城市发展对绿色新型城镇化建设的作用

结合我国现代化进程的实际，综合考虑到我国城镇化成效与问题，新型城镇化的总体目标应是城镇化与我国新型工业化、信息化和农业现代化能够更好地相协调。新型城镇化必须对过去快速城镇化的一些理念和做法进行纠偏。作为区别于以往的城镇化，我国新型城镇化应是由过去的限制外来人口进入城镇向积极稳妥地将转移人口市民化的转变过程，城镇建设和发展由过去的粗放方式向集约化转变的过程，城镇由过去的过分注重经营城市向服务市民转变，城镇政府公共服务由过去的只面向户籍人口向覆盖到全部常住人口转变的过程，最终使城镇化质量明显提高，并形成大中小城市、小城镇和城市群的科学合理体系。在实践中，这些转变和提高需要更加具体的策略予以实施。

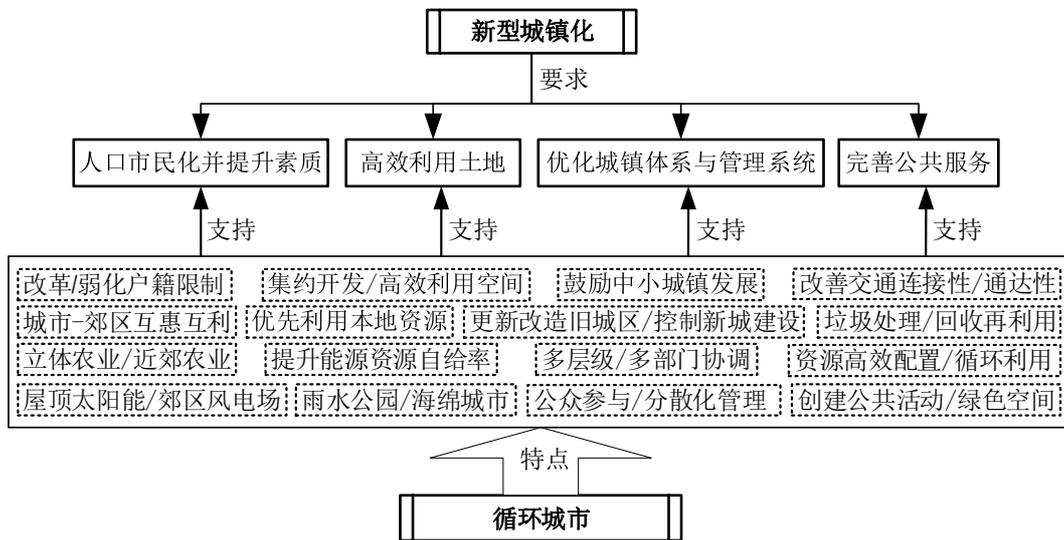


图 3，循环城市在多方面符合并支持绿色新型城镇化发展

具体来说，循环城市在诸多方面都可以满足上述新型城镇化建设的要求，并能够发挥积极的支持作用（图 3）。

积极推进农业转移人口市民化和城乡一体化。循环城市强调城市与周边郊区在生产生活多方面紧密联系，增加从周边区域获取资源来满足发展需求，比如带动郊区农业、城市立体农业的发展，减少从世界各地的粮食进口。循环城市还要求增加利用本地资源，致力于提高能源资源自给率，比如开发屋顶太阳能、郊区风电等等。这些对本地资源需求的增加将带动乡村人口就业，并提升本地资源、能源以及粮食供应能力，相应地促进水资源和肥料高效利用，并通过减少粮食储存、包装和运输而降低能源需求。通过加强这种城市-周边的紧密联系，城乡互动更加频繁，互惠互利，有利于城乡统筹，实现城乡经济一体化发展。循环城市鼓励中小城市和小城镇积极发展，吸纳农业人口，建议放宽中

小城镇的落户条件。循环城市的发展不是要把农村都变成城市，更不是追求城乡一样化，而是按照城乡各自发展规律，走城乡差别化互补性的协调互惠发展道路。

完善土地利用机制，创新投融资机制。循环城市要求城市空间集约型开发，以提升资源利用效率、改善交通通达性和创造便利的人员交流空间，这种集约型开发有利于遏制城市扩张的冲动。同时，循环城市极力提倡可再生能源利用、智能科技创新和投融资创新。循环城市建设激励创新型土地、财政、投融资等政策，充分释放新型城镇化蕴藏的巨大内需潜力，为经济持续健康发展提供持久强劲动力。

加快培育中小城市和特色小城镇，辐射带动新农村建设。循环城市强调大中小城镇的互补性协调发展，比如城市中心发展高科技和服务业，郊区开发利用新能源，农村发展新型农业等。循环城市的区域性差别化发展导向引导人口均匀有序分布，合理优化城市体系和格局，实现以大带小，以小促大，把大中城市和小城镇连接起来共同发展。

全面提升城市多功能性，尤其是服务功能。循环城市具有生活、生产、休闲、服务等多方面的功能。在城市及郊区开发新能源，如屋顶太阳能和风电场建设，规划城市立体农业，建设雨水公园，设计海绵城市铺装透水性地面等等，使城市自身成为能源、粮食、水资源的生产者，而不仅仅是消费者。同时这些新型设施和空间还具有休闲娱乐功能，为市民提供休憩、健身以及交流互动场所。循环城市所强调的加强垃圾处理、回收和再生利用体系也有利于建设和维护清洁健康的城市环境。在循环城市整体规划下，各种生产生活设施配套建设，合力提升城市公共服务水平，包括医疗、教育、体育、公园绿地、消防防灾等，优化城镇功能，改善人居环境和完善公共服务。

健全新型城镇化工作推进机制。循环城市理念旨在将城市多部门多产业联合在一个资源循环利用的大系统中，因此它非常强调协调不同行政级别之间以及城市不同部门之间的工作。过去的城镇化，除了创新不够、绿色不够、共享不够，就是协调不够。除了创新发展之外，循环城市提倡的多层级协调和多部门协调对于新型城镇化而言具有极强的针对性。

新型城镇化的核心在于不以牺牲农业和粮食、生态和环境为代价，着眼农民，涵盖农村，实现城乡基础设施一体化和公共服务均等化，促进经济社会发展，实现共同富裕。新型城镇化的“新”就是要由过去片面注重追求城市规模扩大、空间扩张，改变为以提升城市的文化、公共服务等内涵为中心，真正使

我们的城镇成为具有较高品质的适宜人居之所。循环城市以城乡互动、产城一体、节约集约、生态宜居、和谐发展为基础特征，高度契合新型城镇化发展的要求。

五、循环城市发展的路径

世界各地城市的能源、固体废弃物处理、水管理、生态系统等多领域的案例研究很好地诠释了循环再生理念，表明了绿色城市发展能给城市带来多重效益。总体来说，循环城市能够闭合其资源循环系统并主要从邻近区域获取发展资源。循环城市可以为当地创造社会、经济和环境等多方面的价值。

如何让城市成为循环发展的领头羊，如何充分调动城市的绿色发展积极性是一个挑战。根据对循环城市理念，可以从以下四个方面起步，部分地或部门性地进行循环城市建设试点。

1.加强资源高效利用和回收再利用

循环城市发展希望模仿自然界中的循环代谢系统，这就需要城市发展模式上的转变，从旧的线性代谢（城市系统独立于资源循环系统）转变为新的循环代谢。这也意味着要闭合城市资源利用系统，发掘城市废弃物的价值并投入到本地其他部门的再生产中。具体来说，应努力减少资源利用量，着重提升资源利用效率，推动废弃物回收再利用，并大力开发可再生能源。比如，推广绿色建筑，从源头上节约建筑材料和降低能源消耗，最大限度地减少垃圾和污染。建筑施工安装、建筑运营直至寿命终结后，材料都不能被丢到垃圾填埋场，而是通过回收、升级、再利用或者投入到其他行业/部门的生产中，从而使这些原材料保留在资源利用的循环系统之中。再如，发电厂产生的废热可用于为周边工厂供热，各种工厂产生的粉尘、废渣等可以提供给周边的水泥厂砖瓦厂作为原料，加强垃圾分类监督和管理也可以很大程度上回收钢铁、塑料、纸张、玻璃、有机质等用于再生产。

此外，要大力推广可再生能源开发和利用，循环城市建设的目标应该是100%使用可再生能源。只有可再生能源才是循环城市唯一可行的能源来源，它们持续可用、取之不尽，而不像化石能源那样存量有限。向可更新能源转型同时也是一种适应性措施，因为分布式可更新能源技术将实现在城市和周边区域分散化布局能源生产企业。这减少了因某个能源工厂关闭（比如在洪水、技术故障

或外界破坏等情况下)而影响到总体能源供应的风险。此外,相比常规发电而言,大多数可更新能源的生产需要更少的冷却用水。

2.促进城市与区域生态系统物质循环

对自然资源的保护、城市资源自给能力的提升以及受损生态系统的恢复是循环城市的基本特征。循环城市因此不只是一个消费者,它还积极参与生产自身所需的资源,并促进它所依赖的自然生态系统的循环发展。具体可执行的措施有:

城市的粮食供应可以由都市农业补充,包括建设立体农业工厂,鼓励小规模分散式屋顶农业发展,限制城市扩张以促进郊区农业发展等等。都市农业和郊区农业的发展将显著增加城市对本地资源的需求,提高城市粮食自给率。

水资源可以通过区域性雨水收集存储或通过大量城市绿地设施促进雨水下渗到地下水中以便存储利用,建设海绵城市就是这种典型的生态型水资源开发策略。

循环利用水资源。城市需要一个多级联动的水资源利用体系,回收和再利用废水,并从中提取有价值的营养物质,再将处理过的水排放到河流和海洋。从废水中提取的营养物质可以回填到土壤中以利于维持土壤肥力。

通过城市周边和部分城区人工植树造林,不仅可以产生生态和环境效益,还可以在在一定程度上提供木材等原材料。增加的林地可以保持表层土壤的整体性,同时也改善土壤肥力和防止水土流失。森林同时还吸收二氧化碳并增加土壤固碳能力,从而增加大量碳汇。

大量建设绿色基础设施,如屋顶花园、园林建筑,有益于减少污染物,固定CO₂,调蓄水量,净化地下水源和缓解洪涝灾害等等。

建设循环城市需要通过促进区域自然生态系统的循环代谢,维护城市与周边环境的生态功能。除了粮食、水、土、绿地等生态系统,城市的工业、商业以及居民生活领域也应该加强探索促进生态系统物质循环的模式。这种城市生态系统自身生产能力的循环更新将引导城市与其周边区域,乃至城乡之间,建立新型更紧密的互动关系。

3.优化城市空间结构和布局

随着经济发展和体制改革的推进，我国城市急需从传统的扩张性布局向现代功能性布局转变，城市空间结构的重组和优化越来越显示出其必要性和紧迫性。推动循环城市建设正好可以借力这个大背景，从优化城市空间结构和布局着手。

更新改造现有城区，实现集约化高效利用。相比较于大量扩充新建设用地而言，城市化进程的重点更应该放在改造现有的城市结构和更新升级当前的布局，以提升城市发展密度。增加密度实际上在很多方面有好处，比如高效利用能源、资源、物质、基础设施和交通工具等。在“改革创新、转型升级”总体战略下，中心城区应适时抓住产业转型升级契机，进一步挖掘潜力、整合资源、突出重点，集约发展。针对不同城市的具体情况，切入点可以是旧城改造、新区规划、存量土地盘活、工业用地腾退、产业功能组团式集中等等。

划定城市增长刚性边界，遏制城市“摊大饼”式发展。特大城市有必要划定增长刚性边界，大中等城市也可以视情况划定区段性建设边界，以控制建设用地蔓延式增长。城镇建设项目选址建设均应控制在城市增长边界以内，以边界内的集中建设区为未来城市主要的建设空间，这同时也会激励集约化和高效率的空间利用形式。

优化交通设计，提高人流物流信息流的通达性。循环城市强调要让城市以人为中心，增加交通通达性、交流便利性、社会包容性吗。实际建设中，应突出公共交通优先的理念，优化公交系统的网络布局和换乘便利性。

开展组团式、廊道化的城市布局规划。组团式即按照功能性集约化发展的要求，优化重组城市功能，明确各城区组团的功能定位，错位发展，同时也疏解中心城区的压力，平衡各区域的发展，打造特色城区品牌。廊道化即建设城市通风廊道、绿道、“蓝网”、文化带等系统，确保城市有丰富的自然通风、植被绿地、水域湿地和文化休闲区域。廊道化规划可以像血脉一样联通城市各个特色组团，提高城市宜居性、可持续性以及审美价值。

4.创新资源环境领域投融资机制

随着社会经济信息化、网络化、智能化的发展，创新投融资机制将有利于为循环城市建设提供基础保证。灵活多样的投融资机制能够激发市场主体活力和发展潜力，稳定有效投资，加强薄弱环节建设，增加公共产品有效供给。针

对循环城市理念所强调的公共服务、提高资源利用率、促进生态系统循环、优化和集约化空间结构以及提升公共服务水平等领域，可以适时放开市场准入，创新投资运营机制，推进投资主体多元化，完善价格形成机制等。

具体来说，可以鼓励第三方机构开展资源回收和再利用业务，建立资源消耗评估和废弃物排放核算制度，以此为依据推进排污权交易试点工作。还可以鼓励社会资本参与污染减排和排污权、碳排放权交易，通过委托治理服务、托管运营服务等方式，由排污企业付费购买专业环境服务公司的治污减排服务，提高污染治理的产业化、专业化程度。

六、中国循环城市发展的政策建议

虽然循环城市的理论与实践均已取得了蓬勃发展，但迄今为止，全球尚未有一个公认的循环城市，甚至对于循环城市也没有一个完整而清晰的概念。纵观国内城市编制的循环经济发展规划，其所依据的思维观念、基本原理和采用的模型方法多有缺失和弊端，此中更不乏生态环境规划或社会经济规划的改装。因此，完善循环城市的概念内涵，推动循环城市在中国的发展仍需要各个层面的协同努力。

1. 设立发展愿景并加强领导力

尽管循环城市发展存在多种好处，执行实践中还依然存在障碍。主要的挑战来自于我们的政治、经济和社会结构中存在的体制性问题。克服这些困难需要强有力的领导和决策勇气。阻碍改革的最大因素是人们无法勾勒出一个不同于现状的未来，同时人们也缺乏对这种未来必定会实现的信心。这一障碍表现为缺乏政治意愿以及决策中的短视行为。

从仅有的循环城市探索案例中已经可以看出，一个鼓舞人心的愿景和强有力的领导在促进城市走上循环再生发展道路方面的巨大作用。比如，美国旧金山市前市长积极参与制定全市 100%可更新能源发电的目标和计划，德国法兰克福也以 100%可更新能源为发展目标。类似的这些城市的市长们设想了一个完全不同的、更优于现状的城市未来，并正采取一系列措施付诸实践。

能够设想一个不同于目前现状的未来情景是摆脱不可持续发展道桎梏的关键。这样一个设想的良好生活环境就是城市发展努力的目标，也是指导行动的纲领。愿景可能很具野心，但同时也应该集中于优势领域。具体到一个城市，第一步就是要设立定性或定量的目标。设定目标能够显示并传达政治意愿、政

治承诺、领导能力和远见。目标的设定直接为行动提供了动力，将能够促进变革。设定目标还会激励更多的参与者参与进来：因为，明确而直接的政策导向让人感觉到投资的安全性，更能吸引投资者。但仅设定目标并不能确保方案落实到位。还要有相应的发展路线图、渐进式发展策略以及阶段性评估指标作补充，总目标的设定才能更加行之有效。

中国的城市也应该积极响应联合国可持续发展目标和人居 III 的倡议，参与并承担更大的责任，率先推动转型发展。同时，重要的是中国的城市不能再被动地等待来自国际同行与国家立法方面的推动，而应在国际规则的起草工作中就积极发挥作用，并在国际舞台上彰显自己的重要性。尽管各国政府是制定总体政策框架的关键，但城市和地方政府才是真正要落实具体解决方案的主体，当地的发展意愿与领导力至关重要。

2. 激励城市各产业各领域积极创新

目前大部分城市工作的重心仍然是经济发展，缺乏催生城市生态环保创新的有效机制。生态环境建设融资难的根源也类似——并不是缺资本，而是难以吸引资本。要解决目前这些挑战，必须有创新的政策、技术手段和解决方案。而要催生这种创新，必须有有力的激励机制——让生态环保创新能够有利可图。

建立政府官员评估的新机制和新标准。这些机制包括新的官员奖惩措施，比如摒弃“经济增长作为政府绩效评估的唯一标准”，建立“终身问责制”。一个正式的评估体系的建立不仅能够评估地方官员在各自管辖范围内的环境绩效，并可能成为他们优先推动环境表现的动力，这也将有助于明确责任问题和建立问责制。另外，应该建立面向过程的考核指标，而不仅仅是使用以结果为导向的指标。考虑到环境保育的积极影响主要在于长期效应，面向过程的考核指标将允许既评估政府官员的短期工作成果又考虑其工作对长期可持续发展的有效性。

投资于能力建设和体制创新。虽然中国一直在努力提高政府机关工作人员的素质和能力，但制度的僵化妨碍了动态的变化，并在一定程度上阻碍了政府官员学习应对中国城市化挑战的技能。投资于公共行政工作人员的能力建设可以保证业务主管人员具有合适的技能和工具来应对当前的新挑战。

建立专门的多方工作组和协调机构。大部分的创新和创造性的想法来自于可以自由思考和跨界合作的环境。构建部门之间的伙伴关系以及采用更综合的

办法来解决问题将是至关重要的。为此，我们建议创建正式的、制度化的平台以促进和协调跨部门的合作。

引进新的和替代性的融资机制以在局部范围内调动金融资源。这包括公私合作伙伴关系（PPP），私人主动融资（PFI）和民间集资。同时建议的还有改进公共资金分配方法（例如参与式预算方案）。适当条件下也可以在市域范围内采用创新性和地方性的税收制度试点，如碳税、垃圾税或污染税以及其他财政或税收为基础的机制，以保证相对于资源密集型的项目来说污染较少的项目能够更加受到青睐。

建立稳定的、长期的国家和区域政策框架支持可持续经济发展，鼓励私人投资者投资于受政府扶持的技术和行业中。

大力支持绿色科技研发，其中围绕智能和高科技解决方案而发展的城市经济将是循环城市的重要组成部分。一些急需发展和扩张的重要技术领域有：可更新能源、能源效率提升、废弃物管理与回收、交通运输管理、都市农业、生物修复、可持续绿色建筑等。

3.加强城市资源环境标准、准则的制定

部分城市可以首先尝试建立操作性强的城市资源环境建设标准或指南，明确实施资源环境规划和建设的具体工作细则、范围、内容、职责分工、评价标准、程序和方法等，使资源环境的规划和建设更加制度化、规范化，提高城市环境建设工作质量。

其次，应尽快对城市环境建设立法，使环境建设有法可依。依据我国现行的法律法规与制度准则，借鉴西方发达国家的成功做法，尽快制定与国际标准趋同的、有中国特色的资源环境规划建设准则，使城市环境的标准规定全面、操作性强、应用广泛，避免随意性、片面性和局限性。

第三，建立环境审计。可以参考最高审计机关国际组织资源环境审计委员会的《从环境视角进行审计活动的指南》等资料，建立适合于我国的资源环境操作规程与作业方法，其内容应考虑资源环境审计的基本技术标准和评价指标，并考虑环境财务审计、环境合规性审计、环境绩效审计、环境风险评估等方面。其中的评价指标应从不同的审计对象与审计目标出发，分别建立水污染、大气污染、土壤污染、固体废弃物污染等审计评价指标体系。

最后，敦促并规范企业环境信息披露。提高环境信息披露必须加快实施环境审计，尽快建立起有关环境污染的审计记录、计量、计价、成本费用、报告等一系列要素的统一环境审计制度。同时，发展环境会计，节省审计成本，降低审计风险，可从环境会计和环境审计两方面着手，共同促进我国城市环境可持续发展。

4.实施开放发展策略，吸引全社会积极参与

一方面，有力的领导和强烈的发展愿景还需要辅以宣传、教育和良好的沟通才能促进落实。另一方面，当地民众不应只是循环城市发展的受益者，他们也应参与到规划管理过程中。民众参与决策会使决策更具有群众基础，得到更多人的支持，增强认可度。同时，广泛的民众支持也会让循环城市发展的宏大目标更容易实现。

吸收所有主要利益相关者参与规划过程有利于考虑多样化的诉求，这已被证明是有利于公平发展的。除了让那些积极主动的群体参与进来，循环城市发展的领导者们还应该有意识地接触那些通常被忽视的弱势和边缘化群体。例如，残障人士也应被考虑列入利益相关方参与社区规划过程，他们的特别需求和权利也应在最终的方案中得到体现。同样，移民群体特别是农民工群体比重较大的城区，相关发展规划的设计也应该适当考虑他们的想法。公众参与到城市改造与发展会形成一个正反馈系统。那些对自己城市感到自豪的居民会感受到更强的主人翁地位。有了这种情感上的‘收获’，当地居民会更加投入地参与到改善自身生活环境的过程中来。广泛的民众参与还可以在社区层面提供更多的人际交往机会，可以帮助建立当地的社会联系，并提升全市范围内的文化价值。

5.加强城市部门间协调

城市系统是个多要素相互交织的网络，某一点的变化可能会影响整个网络的变化。资源问题不仅超越城市边界，其与外界的广泛联系更涉及到很多个城市部门。而在单一部门范围内考虑任何问题都会是低效的或者远远不够的。比如说，要闭合城市水循环系统意味着要级联式地回收利用水资源，但污水中存在的营养物质可能是其他资源循环系统所需要的。循环城市就是要放弃封闭单一的方法，综合考虑多种资源利用系统，跨部门寻找资源利用的最佳方式。因此，要在循环城市建设上取得显著进展必须要加强政府部门之间在纵向与横向上的沟通协调。良好的政府管理体系将有助于推广好的实践经验，并将分散的活动连为一体。

一个有效的方法是建立专门的机构或办公室来协调不同部门之间的利益冲突并寻求综合性发展战略。比如在水资源的管理与供应中，如果要把城市内外作为一个整体考虑，就必须要考虑整个流域的情况。这就要求城市当局与周边更大区域的管理机构进行沟通。这种专门的办事机构，负责协调当地政府部门间的工作，促进跨部门的规划、实施和协同增效，对于实现统一行动至关重要。地方、区域以及中央政府之间的沟通与协调有利于推动从国家层面出台激励性城市发展政策，来鼓励更多的地方机构采取大胆的行动或实施改革措施。

循环城市发展中的高效治理遵循辅助性原则，即提倡政府将权力和职责下放至能够有效履行此种权力和职责的最小管辖层次。尽管国家层面的管理在城市发展中的重要作用值得肯定，但同时也可以适当地推动分散化管理，会让地方政府有更大的权力作出影响本地区的决定，并能够根据当地情况及时调整政策措施。

6. 进一步加强国际合作

优秀的解决方案及其实施经常不是孤立地出现在某个地方，而是由广泛的合作和开放的对话所促成。全球的城市都在以日趋开放的心态，与其他城市分享他们的问题、挑战与解决方案，中国城市也应积极加入进去。当前，促进城市与城市之间合作交流的平台已经很多，各地政府部门应该有选择性地支持这种平台的建设。例如，许多中国城市和世界其他城市结成的姐妹城市联系可以用于加强知识交流或者是促进建设性的竞争。前面提到的联合国的平台与倡议，包括即将举行的人居 III 会议，都可以作为中国城市展示形象、分享经验和交流学习的机会。

城市间互相交流好的政策措施对于促进彼此的成功转型都非常重要。新的解决措施也需要进行测试，如果有效就要与其他城市共享，以促进进一步传播。

七、结论与展望

中国城市在快速发展的同时也正面临着严峻的环境压力，继续此前的线性发展模式显然是不行的。中国的城市必须踏出绿色转型发展的脚步，这意味着要跨越通用的可持续发展思维，探索更广更全面的城市发展模式，即，把重点放在不仅仅是维持城市生态环境系统的稳定，而且要积极促进资源的循环利用和再生。

尽管目前还没有完美的循环城市的案例，但世界很多城市和地区的探索已经表明，循环城市理念在某些行业和领域已取得良好的执行效果。循环城市发展之路始于我们思维的转变，其愿景是让城市持续为所有人提供改善生活质量的机会，使人们的潜能得到充分发挥。城市之所以迫切需要实现循环再生发展，是因为这既能确保其所依赖的地球系统处于长期繁荣，更能使城市在多方面受益。城市如果能提高对本地资源的利用（减少对长距离的外地资源的消耗）并闭合其自身资源循环系统（减少废弃物排放），将会在其地域范围内创造显著的社会、经济和环境效益。

循环城市建设规划的理念、内容设计、研究方法能够很好地支持中央提出的新型城镇化策略，有助于在定性定量定位紧密结合的基础上系统而深层次地认知我国城市发展的障碍、潜力并正确地把握未来的发展方向，以利于科学决策和实践。同时，这种新型城市化也反应了一种新型的发展模式，即在经济社会全面“新常态”发展的模式下，走出以人为本、鼓励创新、协调环境、稳定发展等新型特色城镇化道路。

然而，有了循环城市的理念并不是说我们就有了解决城市发展问题的完美方案，也不是说循环再生愿景能够轻松低成本地在短期内实现。源自于我们的政治、经济和社会制度等多方面的障碍依然存在。克服困难就要求决策者有长期视野、强烈的决心和高效的领导能力，包括地方、区域以及国家管理部门，也包括民间组织与普通公民，同时促进所有的利益相关者协同合作，充分利用公众参与，推动合理的规划和发展，提高公众的接受度，并加快整个改革过程，还需要我们以一个完全不同以往的思维方式来思考未来城市的发展。

参考文献:

9. 仇保兴, 2012.城市生态化改造的必由之路---重建微循环.城市观察, 2012, 6: 5-20
10. 格林斯坦, 等著, 丁成日, 等译, 2007.循环城市: 城市土地利用与再利用.商务印书馆有限公司, 2007年4月1日
11. 国家发改委城市和小城镇改革发展中心课题组, 2014.中国特色新型城镇化建设路径.行政管理改革, 2014年04月23日 <http://theory.people.com.cn/n/2014/0423/c207270-24933042.html>
12. 国务院, 2016. 国务院关于深入推进新型城镇化建设的若干意见[国发(2016)8号].2016年02月06日
13. 国务院办公厅, 2015.国务院办公厅关于推进海绵城市建设的指导意见[国办发(2015)75号]. 2015年10月11日
14. 李伯华, 何清华, 刘沛林.循环城市建设的动态测度及实证研究---以衡阳市为例.生态经济, 2010, 12: 24-27
15. 李树华, 2010. 共生、循环---低碳经济社会背景下城市园林绿地建设的基本思路.中国园林, 2010, 6: 19-22

16. 世界未来委员会 (WFC), 2015.循环城市---通向理想城市之路
17. 唐双成, 罗纨, 贾忠华, 袁黄春, 2012.西安市雨水花园蓄渗雨水径流的试验研究.水土保持学报, 2012, 6: 75-79
18. 王雯雯, 赵智杰, 秦华鹏, 2012.基于 SWMM 的低冲击开发模式水文效应模拟评估.北京大学学报(自然科学版), 48(2): 303-309
19. 邢薇, 赵冬泉, 陈吉宁, 王浩正, 2011.基于低影响开发 (LID) 的可持续城市雨水系统.中国给水排水, 2011, 20: 13-16
20. 张彪, 谢高地, 薛康, 王金增, 肖玉, 张灿强, 2011. 北京城市绿地调蓄雨水径流功能及其价值评估. 生态学报, 2011, 31(13): 3839-3845.
21. 章林伟, 2015.海绵城市建设是中国城镇化转型发展的助推器.中国建设报, 2015-11-12
22. 住房和城乡建设部, 2014.海绵城市建设技术指南---低影响开发雨水系统构建(试行).2014 年 10 月

后记

从人类历史上最早的城市——孟菲斯城建立，城市历经了 5000 余年的历史变迁。随着文明的迈进，城市的形态日新月异，早已是早期人口聚居自发形成的群落，而是越来越多地与精密科学规划紧密相连。如今的城市占用全球 2% 的土地，承载着全球 50% 的总人口，创造了 70% 的 GDP，但也产生了 70% 的废弃物，排放了 70% 的温室气体。因此，人类的明天与城市能否可持续发展息息相关。

当今中国已经进入快速城市化时期，其速度和规模是西方国家完全无法比拟的。在取得成就的同时，我们也应注意到快速城市化带来的一系列负面效应，尤其是中国既要尽快赶上落后西方一个多世纪的步伐，又要在矛盾更复杂的全球化时代实现城市、环境、人居、经济的齐头并进。发展成就之中夹杂的严峻挑战不言而喻。为了帮助政策制定者更好地应对挑战，促进城市的可持续发展，我们的专家团队在充分调研国内外城市相关案例之后，结合中国城市现实问题，编纂本报告，希望能为中国城市发展贡献绵薄之力。

WFC 与汉堡港口城市大学合作，经过一系列研讨，提出了循环城市理念。该理念要求转变旧有的线性发展模式，形成新的循环式代谢系统，从而建立和促进城市与其周边区域之间的共生关系，不断提高城市本身以及所依赖的生态系统的健康状况。在中国，WFC 期望通过运用和推广这一理念，助力中国城市可持续发展，这也是本报告的核心愿景。报告聚焦能源、水资源、固废处理和城市生态系统四大领域，以小见大、全面统筹，既是城市规划者在谋划城市宏伟蓝图时提供的金石之言，也是城市管理者在颁布政策时可为参照的“魏征之镜”，同样还是为热心于城市发展的公众奉上的一部案头佳卷。横陈国内外城市发展的“亲身经历”，结合书中的政策建议，我们希望引导政策制定者趋利避害，在制定城市发展谋略大计时，能做到既“以史为鉴”，又师人之长。

本书吸收了众多奋斗在环保和城市发​​展一线践行者的智慧结晶，包括专家学者和众多与我们一样的公益组织。正是他们的鞠躬尽瘁，才有了中国城市今日的蒸蒸日上，同时也让我们看到了白玉之微瑕，懂得城市发展与百年树人同理，唯有三日吾省、滴水石穿，才能成就百年大计、造福子孙后代。

报告的成书也要感谢合作伙伴的支持和供稿，包括北京交通大学中国城市研究中心、国家发改委小城镇中心学术委员会、国家发改委城市中心智慧城市发展联盟等。正是有了他们的鼎力协助，才有了我们在中国的蓬勃发展，让我们能够抛掉一切后顾之忧、全力投入到实现中国城市绿色、生态、可持续发展的历史征程之中！

最后，再次感谢那些长期关注和支持环境保护与城市建设的所有个人和组织，恳请大家在垂阅之余，对本书不当之处予以斧正，并进一步参与到中国城市绿色、可持续发展的事业中来。让我们携起手来，共同见证绿色、和谐、美好的城市未来。

世界未来委员会
2017 年 2 月
丁酉鸡年春于北京