从水资源研究成果看北京市近期水资源管理

李宪法　许京骐

摘　要　分析了近年来水资源研究成果，认为目前北京市的一些水资源政策与管理措施，与立足本地水资源，实行地表水、地下水、自来水联合调度，养蓄地下水；厉行节水；注重开发与使用水资源的成本与效益等解决北京市水资源问题主旨相悖，在肯定北京市成绩的同时，着重指出其存在的不足及其危害性。

关键词：水资源　地表水　地下水　资源管理　联合调度

0 前言

原国家科委组织的京津水资源管理研究是国际合作项目，第一阶段课题《京津水资源管理与政策研究》和第二阶段课题《京津水资源研究》。第一阶段的《京津水资源管理与政策研究》课题，1985 年开始与美国东西方中心政策研究所开展合作研究，属于方向性和政策性研究，1987 年 9 月完成。第二阶段研究，是在第一阶段研究的基础上，由亚洲开发银行资助立项的《京津水资源研究》于 1991 年完成。主要对解决“缺口”的具体的工程与政策管理措施，进行深入研究，使其具体化，进一步缩小缺口，以满足需水的要求。

1 主要研究成果

1.1 水资源供需平衡研究方法

在预测研究地区性水资供需平衡时，本研究在国内首次采用了“水资源平衡二次法模型”。第一次平衡分析是根据地区可供水资源量，以及社会经济发展预测出的需水量，从而确定供需平衡之间的“缺口”。第二次平衡分析，提出可能采取的有关对策以达到供需平衡的目标。根据资源、经济、环境统一的观点，利用北京市水资源模拟模型进行了策略与方案选择，通过决策咨询系统群组的层次分析，提出建议，主要是调整产业结构，加强用水管理，提高用水效率；优化调度和水资源联合调度；加快污水资源化；进一步提高工业循环用水率；开发新水源；建立合理水价体系及有效的水资源管理体制。

1.2 水源联调模型研究

北京市建成了大中小地面水库 80 余座，地面水水库群联调可以提供各水库的最优化调度的供水排序；地下水模型提供最优开采方式，以保护地下水资源；自来水管理模型提供自来水的地表水厂与地下水厂的优化调度管理，以及对地表水、地下水的需求量，这样三个模型的信息互相反馈，形成总体优化互动，达到节约用水，保护和养护地下水的目的。通过以 1984 年供需水量的情况多次优化互动与方案选择，最终画出“联调”图，并得出联调与不联调相比增加的供水量 5.49 亿 m^3。

1.3 不同供水方案成本分析

研究结果证明，推行工业企业，特别是电力行业的冷却水循环用水、推行节水型用水器具和城市污水用于农业灌溉，不但减少新水源开发的成本，或同时可减少污水处理费用，具有显著的生态、经济效益，是北京市首先考虑的优先选择方案。

2 水资源管理变化及成效

北京市十分重视京津水资源管理研究成果的应用，1986 年以来，北京市政府先后颁布了有关节水的管理办法。

2.1 工农业节水成绩显著

改革开放 30 年来，北京市有了天翻地覆的发展和变化，而 30 年来全市总用水量不但没有增加，反而减少，由 1980 年历史用水高峰的近 50 亿 m^3 降至 2010 年的 38 亿 m^3。其中工农业节水取得成效最为显著，全

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

市取消高耗水水稻作物，85% 的农田实现节水灌溉，采用喷灌滴灌先进节水技术，30 年来农业用水减少 73%；工业用水大幅度下降，全市规模工业循环用水率达 93%，用水量减少 62%。

2.2 污水资源化

北京市是全国发展中水最早的城市之一，今年来再生水用量逐年加大。工业方面，全市 9 个热电厂冷却水全部用再生水，年利用达 1.2 亿 m^3；农业利用达 2.8 亿 m^3；环境方面，全市 10 余处湖泊、公园以及 70% 以上的城区河道把再水作为主要水源，年利用 1.8 亿 m^3；市政杂用水方面，再生水用于绿地浇灌、道路冲洗、建筑降尘等，年利用 2 000 万 m^3。据水利局领导介绍，2012 年全市中水量达 7.5 亿 m^3，目前每年回用于农业的城市污水达 3 亿 m^3 以上，约占农业用水量的 1/3。

2.3 水价调整改革

1991 年至 2004 年北京市水价调整了 9 次，同时对工业和商业用水的水价进行了大幅度地调整，并且推行了阶梯水价体系，应该说有效的抑制了一部分用水的浪费现象。水价促进了北京市的节约用水。根据国家发改委经济研究所所做的研究显示，2010 年北京市民对自来水的可承受水价上限为 7.94 元 / m^3，单位用户为 12.39 元 / m^3。

关于用长江水对本市水价的影响，有关专家分析得出，北京市自来水厂在无盈利的情况下，对引长江水的可承受水价为 5.36 元 / m^3。

2.4 城市生活节水

实践证明，水价并非对所有场所有效，特别像机关、学校等单位，推广普及节水型水器具，才是一劳永逸的节水措施：据最新报道，节水型器具的普及率没有达到预期的规划目标值，计划 2015 年前全市节水型器具普及率达到 95%。

2.5 管理机构

长期以来我国的水资源管理存在着所谓九龙治水的局面，北京市也不例外。2004 年北京市成立了一体化水资源管理机构——水务局，可对水资源工程、供水系统、污水处理、水体生态保护等实行统一规划管理，水资源管理效果有所好转。

3 北京市水资源的主要问题

3．1 水形势十分严峻，用上长江水仍然缺水

北京市全市人均水资源占有量不到全国水平的 1/8 和全球水平的约 1/20。据水务局领导介绍，2012 年供水量只有 22~24 亿 m^3，缺口 13 亿 m^3，是全市需水量 1/3，而且全市每年增加用水量 0.8~1.0 亿 m^3。可以看出北京市的水形势非常严峻。在长江水没有进京前，目前补救的办法是，每年利用再生污水 7.5 亿 m^3、动用水库库存水、继续从河北省和山西省调水以及超量开采地下水。预测结果显示，通过继续超采地下水、动用密云水库库存、扩大再生水利用等措施后，2012 年到 2015 年，北京年均仍然存在 4.5 亿 m^3 缺口，2015 年南水北调年来水 10 亿 m^3，在应急水源地停止开采，地区自来水源井涵养、自备井置换的情况下，缺水 1.9 亿 m^3。也就是说，用上长江水以后北京市仍然缺水，举措是引黄河水 3 亿 m^3。

3．2 地下水严重超采，引起一系列生态问题

近 40 年来北京地下水连年超采，地下水位持续下降，引起严重的生态问题。1999 年以后地下水超采强度有增无减。至 2010 年的近 12 年，超采的地下水超过 56 亿 m^3，相当于之前 20 多年累计超采之和。目前，北京地下水水位埋深下降到 2010 年的平均 24m 左右，已形成了 2 650 km^2 的沉降区，截至 2009 年底，地面最大年沉降量达到 137.51mm，最大累计沉降量 1 163mm。地下水超采引起了一系列的生态问题。市区地下水位已降至 20~30m，出现五大地面沉降区。沉降现象严重的地区，包括海淀、朝阳等经济、文化繁荣的城区。建筑、道路、自来水管道破损开裂是由地基下沉引起的，而且水管破损现象多集中在地面沉降较严重的朝阳区和东城区。其他如燃气管破损、路面塌陷等市政设施的破坏事件，也有地面沉降的潜在影响。这些都缘于地下水过度开采。

2000 年以前，西郊地区近 200 km^2 含水层处于疏干、半疏干状态，自来水公司地下水水源厂的生产能力明显下降。随着机井井深年年加大，出水量逐年减少，电耗增加。平均每年报废 1 560 眼机井，地下水位下降导致全市平原区的 1 347 个泉眼全部消失。

随着地下水位和地表污染，地下水水质逐年衰退，其中最明显的是城近郊区地下水硬度和硝酸盐含量的超标面积逐年扩大：以总硬度为例，20 世纪 40 年代超标面积 13 km^2，2000 年达 327 km^2，硝酸盐超标面积为 1981 年 72 km^2，2000 年达 169 km^2。

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

3.3 地下水补给通道的破坏

平原地区是北京地下水的主要补给源，随着城市化的发展地面硬化率逐年增加，补充地下水的透水面积逐年减少，地下水衰减的几个原因。

3.3.1 不透水面积增加，大气降水的补给减少

1959 年城区内不透水面积占总面积比例为 61%，2000 年达 77%；1993 年 ~1997 年硬化面积由 2 280 km^2 增加至 2 560 km^2。随着硬化面积的增加，汇流速度加快，洪峰流量加大，入渗水量减少。

3.3.2 地下水超采，两大水库弃水

北京地区特别是中心地区的水源“供不应求”，导致地下水连年超采，水质恶化，并形成了一个地下空库；而两大水库，特别是密云水库水则“供大于求”被迫弃水，1991 年至 1996 年官厅和密云水库共弃水 16.42 亿 m^3，占同期内两库供水量的近 30%。保证市中心区的安全供水是北京市水管理的重点。研究成果表明，若扩大地表水自来水厂规模，在丰、平水年通过地表水厂年调水给中心区约 3.8 亿 m^3，实行联合调度，以养蓄地下水，保证中心区安全供水。但由于种种矛盾此方案难以实施。

3.3.3 地面水体人工衬砌，截堵了地下水的补给通道

1998 年 ~2002 年北京市实施了一个为期 5 年分三期实施的河道治理计划，实际是河道衬砌，给河道“穿”上水泥外衣。治理的大小河道 6 条和两个湖泊，仅一二期工程耗资 11 亿元人民币。针对此事件，各行业的专家特别是环保专家，提出反对意见。生态环保专家表示北京市丰富的地下水应该认真保护涵养，河道衬砌堵塞破坏了地下水的补充通道，城市内河道水泥衬砌后，岸边的生物种类较少了 70% 以上，而水生物只有原来的一半。水利部门有关专家的解释为“京密引水渠每年要向地下渗水近 8 000 万 m^3，在严重的缺水情况下，这是不能接受的，而衬砌水渠防止入渗。”

在争论过程中三期河道治理工程全部完成，先后治理了长达 106km 的京密引水渠、长河、清河、温榆河、亮马河、转河六条河道，以及青年湖、高碑店湖两个湖泊。事后一位水利专家表示，只对作为自然河道的清河衬砌表示反悔，对于清河的周边生态环境以及一些古迹，正在努力恢复。

3.4 消耗性用水量过大

水文专家研究指出，地下水位下降、地面硬化率增大导致地下水补给通道量减少，又导致汛期出境水量增加，这种循环的结果是用水量增加——蒸发损耗水增加——水质衰退——地区可利用水资源量进一步减少的恶性循环。这种区域干旱化的生态恶化趋势，其影响范围之广、之深，远超过地区性的水污染问题，必须给以足够的重视。全球温室效应导致的本地区气温上升、降雨量减少和蒸发量增加，无疑使这一恶性循环过程雪上加霜。

3.5　人工景观、娱乐等消耗性用水过大

近年来，一些耗水性行业遍地开花。如洗浴中心、洗车房、人工水景和人工草坪，以及各种娱乐用水等。

3.5.1 高尔夫球场

据报道，北京违规建设多处高尔夫球场年耗 4 千万 m^3 地下水。北京乃至全国高尔夫的现状，遍地开花，肆无忌惮地抽取着本应属于子孙后代的地下水，未被监管。而在这遍地开花背后，是令人痛心的浪费和污染。

3.5.2 公共人工水景

据有关分析，2008 年河湖环境用水量达 10.62 亿 m^3，并分别给永定河、潮白河和北运河增加 1 亿 m^3 的环境用水，地下回灌 1 亿 m^3。有报道说，2010 年北京市政府将投资 100 多亿元整治北京市水环境，京城的水面将由目前的人均 1.4 m^2，增加到 4 m^2。

3.5.3 人工湖

原有的圆明园、颐和园，人工湖面积为 140 万 m^2。规划的奥运村建设水面

每年将共消耗水资源近 500 万 m^3 左右，相当于 14 万居民的家庭用水量。新的人造湖——永定河四湖，总蓄水量 600 万 m^3。用水主要来自官厅水库、雨水和再生水，未来会增加南水北调置换水。永定河四湖的面积加起来相当于颐和园昆明湖（200 万 m^2）加上六海面积（142.11 万 m^2）的总和，年消耗水 1415 万 m^3。水务局每年提供 4 000 万 m^3 的园林用水，相当于 20 个昆明湖的用水量。

3.5.4 住宅小区水景

2003 年北京市 800 多个住宅楼盘里，水景楼盘约 40 个，占楼盘总量的 5%~6%，另外有 50 个沾水楼盘（有水流过或将自然水引入小区的人工水景）。据统计，平均每个住宅区水面 10 万 m^2。

3.5.5 温泉场所

某知名温泉场所，利用 5 口深 3 000m，日出水量

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

万吨以上的地热自流井，构建了以水为主题的水城国际饭店，可容纳 5 000 人的亚洲最大的综合性水体娱乐场馆之一，还有室外游泳池和 12 个温泉泡池。为供少数权贵服务的娱乐用水，而抽取不可逆转的深层地下水，这是不可容忍的破坏行为。

3.6 北京市的水价居全国之首

1990~2004 年，北京市的水价上涨了 22 倍多，在消除通货膨胀后，年均上涨 24.4%。1990 年水费占人均可支配的 0.24%，2005 年达到 1.4%，而占低收入家庭将达 3.6%。据测算，2014 年用上长江水时，长江水的水价将近 10 元，是目前家庭居民水费的约 2.5 倍。据介绍，北京市的水价居全国之首，高于欧洲等发达国家。

3.7 北京市水价飞涨的原因

尽管北京市政府先后颁布了一些节水办法与法规，节水工作取的成绩不可否认，但与开发新水源比较，可以说是实施了一条“大手大脚调水，小手小脚节水”的政策路线，这也是水价飞涨的主要原因。研究显示，更换节水型器具的平均成本只有水源九厂二期工程的 1/5。但直到 2003 年，北京市居民节水器具的普及率不足 30%，社会单位的普及率不足 50%。而在节水器具普及率较低的情况下，2003 年便开始从严重缺水的河北省北部和山西省北部向北京调水 1 亿 m^3 给官厅水库，输水距离约 500km，国家投资 21.16 亿元，单方水投资 21 元，而更换节水型器具的单方水投资约为 0.4 元，浪费了 58 倍。

源头节水滞后于中水，是水价飞涨的另一因素。历年的研究表明，无论是哪种中水类型，其成本基本是更换三项节水器具平均成本的 5 倍左右。世界各国实践证明，源头节水的生态经济综合效益显著。据报道，20 年来北京市推广的中水产量利用率不到 3 成。

3.8 北京市的城镇供水系统漏水率不会低于 20%。

据统计，2005 年北京市约有 60 万个水龙头和 20 万只抽马桶漏水，一年造成上亿吨自来水白白流失。主要漏水为铸铁管道，占漏水点的 95% 左右。据我国三部委联合发布的“十一五”规划指标中要求全国城市供水管网平均漏损率不超过 15%。美国和日本东京等发达国家在更换老化的铸铁供水管道之前，漏水率都在 20% 左右，北京市城市供水管道的漏水率不会低于 20%。

3.9 城镇生活用水中社会单位用水比例过大

2010 年全市取水量 38 亿 m^3，其中城镇生活用水占近 64%，而城镇生活用水中社会单位用水占 75%，如此之大的单位用水比例，在国际上是极为罕见的。

人工景观、娱乐等消耗性用水过大是其主因。

4 北京可借鉴的国际经验

4.1 美国大波士顿城市的节水运动

美国人均水资源拥有量约是我国的 5 倍。20 世纪 90 年代，美国大波士顿市原计划从约 120km 远的河流调水，涉及 250 万人。为防止增加用水成本和破坏生态，志愿者们组织起来，反对调水，开展节水运动。他们不辞劳苦，挨家挨户的派送节水套件，向学生发放了 100 多万份节水宣传材料，向数百家工商业提供节水措施的建议。10 万个家庭安装了节水装置，检修了漏水管道，全市的用水量从 1987 年的 4.62 亿 m^3 降至 1991 年的 3.86 亿 m^3，减少 16%，人均用水量减少至 423L，节水成本只有调水方案的 1/3 到 1/2。专家根据大波士顿的节水实践，认为人均每年 125 m^3 用水，便可以满足家庭、城市、工业和商业用水的需要。

4.2 美国地下水源保护

美国世界观察研究所副所长波斯特尔在《最后的绿洲中》指出：市区、近郊区和远郊区的土地利用规划，对于保障当地的水供应来说是同等重要的，无计划的开发可能毁坏雨水进入关键饮用水源的主要入口，特别依靠本地地下水的地区，保护这类敏感地区地下水补给，对于确保水源不断得到补充极为重要。美国长岛萨福克县饮用水的唯一来源是地下水，该县出资 1.18 亿美元征购 3 440h m^2 开阔地，以防止在该地区的地下水补给区内进行项目开发，破坏地下水的补给通道。为了筹资征地，选民同意把该县的销售税提高 0.25 美分。

许多地区人工草坪不仅不能扩大地下水的补给，且养护草坪使用的农药化肥，往往成为地下水的污染源。长岛的南安普顿镇要求，位于地下水敏感地带的住户其土地面积的 80% 以上要保持在自然状态（通常是种树），需要施肥的草坪或菜地的面积不得超过 15%。

4.3 人工强化地下水补给措施

美国在半干旱地区的加州推行“水银行”工程，即在雨季和丰水年将地面水通过渗透层补给地下储蓄，

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

到缺水年代将储存的地下水抽出利用。以色列的人工调蓄的地下水开采量增大到比天然补给量多一半以上。德国 20 个大城市的取水工程中，地下水人工补给调蓄量约占 40%；瑞典和芬兰的地下水人工补给调蓄量分别为 25% 和 22%。1979 年以后日本先后在冲绳县建成了人工水库，效益很大。之后日本在多处建成了类似的人工水库工程。

4.4 以色列的节水

通常衡量一个国家的缺水形势是；人均水资源量低于 1 700 m^3 时被认为是“水资源压力”值，1 000 m^3 时为“水短缺”指标。但这个指标存在争议，以色列并不承认这个衡量指标。以色列的人均水资源不到“压力值”的五分之一，但却成为现代化经济和人均高收入的发达国家，并出口果蔬，被誉为“欧洲的厨房”。以色列专家认为，关键是用水效率问题，而农业用水效率是关键。以色列的农业普遍推广了节水型喷滴灌技术，包括回用的污水也采用滴灌技术。以色列的污水灌溉工程是当今世界上最宏伟的，2010 年全国 1/3 农业灌溉用水使用处理过的污水。由于农业用水的季节性和污水排放的连续性，为了全年的污水得以充分利用，早在 90 年代初，一个约 500 万人口的国家建立了 120 个污水储存库，甚至在农村居民点，也建立了污水储存塘，而且对于处理过的污水采用了先进的喷灌或滴灌技术，达到“滴水归田”。90 年代初，以色列 65% 的生活污水用于谷物生产，占农业用水的 30%，预计 2025 年将占到 80%。

5 认识和建议

北京市是一个严重缺水的城市，但又是一个奢侈用水的城市。以 2010 年为例，扣除农业用水后，按常住常住人口统计，北京人均城镇用水量为 478L，与发达国家的节水型城市比较，我们还有相当的差距。特别是在城镇生活用水中社会单位用水约占 75%，在国际上是一种反常现象。

天天喊人均水资源不足 100 m^3 的北京市政府，斥巨资调水同时又大规模的建设耗水型各种景观、娱乐设施；使北京市的人均城市生活用水超过欧洲发达国家的水平，使北京市的水价成为全国之首。长期超采地下水使北京形成近 100 亿 m^3 亏空的地下水漏斗区，城市生态受到严重破坏，同时，不顾许多专家的反对，不惜花费巨资对河道和水体进行衬砌，堵死地下水的补给通道。

基于以上分析与认识、中外评论、国外的先进经验，我们建议：

（1）把加快北京市建成节水型城市的步伐，作为水资源管理的总方针。这是北京市能够继续作为首都的必要前提。有关当局对此要加强危机感、紧迫感，从北京半干旱气候这一基本情况出发，深化改革，修改政策、规划，要“以供定需”，即有多少水，用多少水，而不是“全国支援首都”，依赖从同样缺水的兄弟省市调水。

（2）要采取必要的政策、管理、经济、技术以及普及节水教育等措施，兴利除害，厉行节水，定出严格用水指标、定额，定出时间表，有计划、分步骤地达到美国大波斯顿市、德国柏林市的人均用水量水平，美国地下水管理水平和以色列的节水水平，把北京市建成一个真正的节水型首都。

（3）要把保护地下水作为北京水资源管理的一项长期战略方针，地下水位下降是北京市最大的生态经济危机，远未得到重视。 全面规划地下水包括水质和地下水位的回复。要限制城市规模、人口，限制建成区的发展，少建豪华公共建筑。使有更多的郊区土地，涵养地下水；不要衬砌市区河渠底部，使之成为 回灌地下水的通道。

（4）改变发展人工水景的政策。无论公共或居民小区景观用水，都应严格限制。对娱乐或别墅景观用水，不但严格限制，还应课以高价。市区绿化，提倡种树，不搞大面积人工草坪，以减少现有的巨大消耗性用水量。

（5） 再生水应兼顾成本与效益，宜就近使用于下游工业、市政杂用、保护市区主要河道环境等用途，不宜兴建大规模中水净水厂和高成本、长距离的输水干管。滥用于人工景观与娱乐用水。已建设施的剩余中水，可进入河道、农田，回灌地下。

（6）从卫生和用水成本的观点，中水不宜进入家庭，应优先更换节水型套件。

（7） 大规模的管道补漏更新工程，应列为优先项目，迅速实施，北京市的自来水管绝大多数是老旧铸铁管，普修更新后增加的新鲜水的成本远低于地面水开发和中水回用，大幅度地把漏水率降下来。

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net