

# 2049北京水资源利用发展趋势及供需平衡研究

秦凌 杜鹏飞 郑钰

## 水资源供需现状

### 供水情况

1999年以来,北京及周边地区发生持续干旱,1999~2005年7年平均降水量450毫米,仅为多年平均降水量的77%。主要地表水源密云、官厅水库平均来水分别为2.58亿立方米和0.9亿立方米,水库蓄水量分别由2001年初的15.4亿立方米和4.2亿立方米下降到2005年末的10.36亿立方米和1.63亿立方米。2001~2005年(“十五”期间),北京市年均供水35.7亿立方米,其中,密云、官厅两大水库系统供水年均6.8亿立方米,地下水年均开采25.7亿立方米(表1)。

为保障首都经济社会持续稳定发展,“十五”期间北京市政府及有关管理部门采取各种措施,解决和应对水资源紧缺问题。建设了怀柔、张坊、平谷应急水源,累计增加城市供水4.4亿立方米;从上游山西、河北累计调水1.6亿立方米;再生水利用量逐年增大,到2005年,全市再生水利用量达到2.6亿立方米。

### 用水情况

北京市用水由生活用水、工业用水、农业用水和环境用水四部分组成,此处生活用水包含家庭生活用水和第三产业用水。

近年来,现代服务业、高新技术产业、现代制造业和现代农业取得了较大发展,科

技进步对经济增长的贡献率不断提高。北京的万元GDP用水量由2001年的137立方米下降到2006年的43.581立方米,全市用水总量也呈下降趋势,由2000年的40.4亿立方米下降到2005年的34.5亿立方米,年均下降近1亿立方米(表1)。

### 生活用水

由于人口增加以及城镇化水平和生活水平的提高,近年来生活用水呈上升趋势。全市总人口由2001年的1367万人增加到2005年的1538万人,生活用水量由12亿立方米增长到13.4亿立方米。2005年人均生活用水量87立方米(其中居民住宅用水38立方米)。

### 工业用水

影响工业用水的主要因素是工业产业结构的调整,以及对一些高耗能、高耗水行业和产品的限制和转移。工业用水量由2001年的9.2亿立方米减少到6.8亿立方米(含再生水1亿立方米),万元工业增加值用水量由112立方米减少为38立方米。

### 农业用水

农业用水主要指粮田灌溉和林牧渔业用水。用水量由2001年的17亿立方米下降到13.2亿立方米(含再生水1.2亿立方米),减少了24%。农业用水占全市用水的比例由45%下降为38%。农业灌溉用水由273立方米/亩下降到240立方米/亩。

### 环境用水

由于干旱缺水,“十五”期间每年向城市河湖供水仅0.6亿~0.8亿立方米,只能满足重点水域维持基本环境功能的用水量,河湖环境用水占全市总用水量的2%左右。城市水环境质量维持很低水平。

## 水资源利用发展趋势预测

### 供给预测

### 水资源总量

图1和图2分别为1956~2003年间北京市降雨量和各年代年均降水

表1 北京市1997~2006年水资源供需状况(单位:亿立方米)

年份	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
水资源总量	22.30	38.90	14.22	16.66	19.2	16.11	18.40	22	23.18	
供水量	40.96	40.47	41.71	40.4	38.97	34.62	35.00	34.6	34.5	34.3
用水量	40.26	40.50	41.71	40.4	38.93	34.62	35.80	34.55	34.5	34.3
生活用水	11.14	12.24	11.41	12.96	12.05	10.83	13.49	12.78	13.38	13.64
工业用水	11.00	10.84	10.56	10.52	9.18	7.54	7.65	7.66	6.80	6.25
农业用水	18.12	17.39	18.5	16.49	17.4	15.45	12.96	13.5	13.22	12.78
环境用水	0.00		1.29		0.43	0.8	0.95		1.10	1.62
人均生活用水量(升/人/日)	246	269	249	260	245	209	254	235	238	236
万元GDP用水(立方米)	222	201	192	160	137	108	96	57	50.9	44.4

数据来源:北京市国民经济和社会发展统计公报和水资源公报

量示意图。

从图中可以看出，从20世纪50年代以来，由于人类活动对气候产生影响，北京市的降水量呈逐渐减少的趋势。20世纪50年代年平均降水量752毫米；60~70年代平均降水量基本在多年平均值585毫米上下浮动；80~90年代以来，地区年平均降水量仅维持在550毫米左右。特别是1999年以来年降水量连续5年偏少，五年年均降水量仅为442毫米。整体而言，20世纪90年代总降水量比五十年代减少了24%，而本世纪头四年又比20世纪90年代减少23%。虽然目前北京正处于连枯年份，也没有确切科学依据表明降水量会进一步减少，但考虑到人类活动对气候的影响，按照现在的情况对于2049年的降水量做出的估计可能偏保守，应该还是合理的（表2）。

以这些时序数据为基础，采用常用的计算水资源量的方程式——径流模数法，利用计量经济学方法，估算在不同降雨条件下北京市2049年的水资源量，如表3所示。

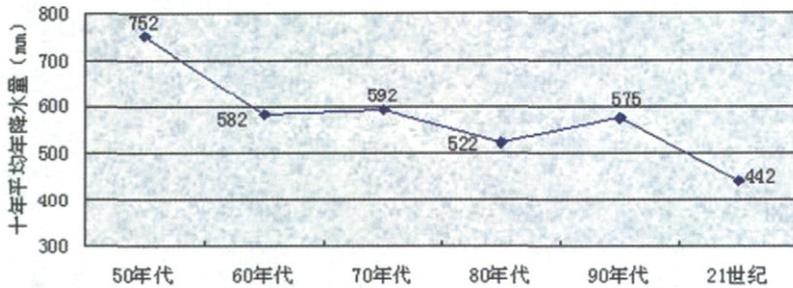


图1 北京市1956~2003年降水量

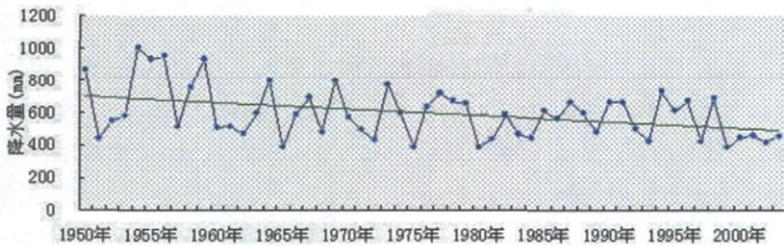


图2 各年代年平均降水量示意图

表2 北京市1995~2003年水资源量

年份	降水量 (毫米)	降雨折合水量 (亿立方米)	水资源总量 (亿立方米)	地表水 (亿立方米)	地下水 (亿立方米)	重复量 (亿立方米)	产水模数 (万/立方米/平方公里)
1995	596	100.1	30.4	15.60	28.93	14.13	18.10
1996	656	110.2	43.3	26.00	30.26	12.96	25.77
1997	410	68.9	22.3	10.60	16.40	4.70	13.27
1998	686	115.3	38.9	19.00	29.21	9.31	23.15
1999	373	62.7	14.22	5.16	12.81	3.75	8.46
2000	438	73.6	16.66	6.34	15.18	4.86	9.92
2001	462	77.6	19.20	7.78	15.70	4.28	11.43
2002	413	69.4	16.11	5.25	14.69	3.83	9.59
2003	453	76.1	18.40	6.06	15.20	2.86	10.95
平均	499	83.8	24.39	11.31	19.82	6.74	14.52

表3 2049年不同降水概率条件下的水资源量

不同保证率下的降水量	降水量 (毫米)	折合水量 (亿立方米)	地表水 (亿立方米)	地下水 (亿立方米)	重复量 (亿立方米)	水资源总量 (亿立方米)	产水模数 (万/立方米/平方公里)
20%	701	117.8	18.8	29.5	12.0	36.3	21.6
50%	555	93.3	13.1	21.5	6.4	28.2	16.8
75%	467	78.5	9.4	17.3	5.4	21.3	12.7
95%	380	63.9	5.8	12.8	3.6	15.0	8.9
1990~2003年均值	531	89.3	11.6	20.1	6.1	25.6	15.2

水资源可利用量

2049年北京的水资源可利用量除了常规的境内地表、地下水、过境水外，还将包括南水北调的外调水和污水回用水，另外，应急水可作为适当的补充。

(1) 地表、地下水资源可利用量计算

表4列出了1995~2003年间北京市地表水利用率和地下水开采率。

假设2049年北京仍然维持年均的水资源利用水平，由此可以得出未来北京的地表、地下水水资源可利用量，如表5所示。

(2) 外调水可利用量和过境水量

根据《北京市南水北调城市水资源规划报告》(2001, 修订本)中南水北调水量分配方案，一期工程预计在2008年完工，并开始对北京市年供水10.2亿立方米，而其远景供水能力将达15亿立方米。

根据水文统计数据显示，近年来北京市多年入境水量为16.1亿立方米，出境水量为14.5亿立方米，形成地区可供水量为3.6亿立方米。可以相信，由于周边水环境质量的不断改善，2049年北京入境可供水量仍可维持在此水平，但不同降水概率年份，过境可利用水量会有所不同。

(3) 污水回用水量

2005年北京市污水排放总量为11.3亿立方米，其中工业废水3.83亿立方米，城镇居民生活污水7.42亿立方米。2006年，全市城八区处理污水7.8亿立方米，污水处理率达到90%，郊区污水处理率达到42%。同年，

北京利用再生水已经达到了3.6亿立方米，工业每年利用再生水超过了1亿立方米。污水回用水将主要重复用于工业冷却、城市生态绿化、农业灌溉和部分城市水质要求不高的需求等。随着全社会对生态环境和水资源保护意识的增强，国家各级政府和部门对其治理投资和力度加大，污水处理率和回用水量也将不断提高。预计到2049年，全市生活用水量将达到15.8亿立方米，按污水生产率90%考虑，则生活污水排放量为14.2亿立方米，另假设全市污水处理率可达95%，污水回用水量占到60%，则到时生活污水回用水量可达到8.1亿立方米。

#### (4) 其他供水量

水资源可供量还包括应急供水量，考虑2049年应急供水量可提供3亿立方米水。

#### (5) 总供水量

结合上述各分项水资源可供量，由此可得出2049年北京市在不同供水保证率条件下的可供水资源量，如表6所示。

#### 需求预测

从多次水资源规划来看，中长期需水预测普遍偏高，大多是将未来的情形简单地视为历史和现状的延伸，继而对所掌握的数据进行详尽的数学分析，然后企图准确地预测未来，但却恰恰轻视了科学技术发展以及产业结构调整可能带来的巨大节水潜力，另外，在水资源紧缺的生存压力下，人们会想尽各种办法来开源节流，使得需水能够被供水所满足。

其次，北京作为首都，其节水工作一直走在全国前列，例如2006年万元GDP用水量仅为44.4立方米，已达到美国等先进国家的平均水平。故在作相关预测时不应忽视北京在节水工作上对于全国的示范作用，它必然是远高于全国平均水平的。

根据对北京市水资源消耗特征的分析，有三个核心的因素，即人口、产业结构和政策约束着未来北京市的水资源供需平衡。人口增长带来生活用水量的变化；产业结构，

表5 2049年北京地表、地下水可利用量(单位:亿立方米)

供水保证率	地表水	地下水
20% (丰水年)	12.43	19.51
50% (平水年)	10.25	16.82
75% (枯水年)	8.62	14.91
95% (特枯水年)	5.38	12.39

包括社会总产值中三大产业产值的比重和工业总产值中高新技术产业与传统产业的比重，产业结构的优化带来用水结构的优化；政策，如应急供水工程政策、再生水回用政策、工农业节水政策、水价政策等，其实能增大水资源可供量，并促进水资源利用效率的提高。

#### 生活需水预测

按照目前的趋势，工农业的节水能力还能将进一步提高，而生活用水的节水潜力明显小于工农业，因为即使居民的节水意识和卫生器具的节水效率都大大提高，在可以想见的未来，生活水平必然是会提高的，而一定的生活水平是需要相应的用水量来保证的。另一方面，由于此处的生活用水实际上包含了第三产业的用水，这部分的节水潜力可在政策和水价等经济杠杆作用下发挥得更充分些。因此，假设到2049年，由环保意识、技术进步所产生的节水量将略超过由生活水平提高所引起的增加量，人均生活用水在目前水平上降低至200升/每天。

2006年年末全市常住人口(在京居住半年以上人口)1581万人，比上年末增加43万人，而且近两年一直维持在此增长速度，可以预测到2008年将达到1663万人，此结果符合《北京市未来人口变动趋势预测》中的高方案人口预测结果。按此方案，2020年的常住人口规模为1989万人，北京市人口规模的峰值年在2044年，峰值人口将会达到2177万人；此后呈逐年下降趋势，2050年人口总量还保持在2164万人。

考虑上述情形，预计到2049年生活需水量为15.8亿立方米左右。

#### 农业需水预测

农业需水量主要受农业灌溉面积、节水技术及作物种类的影响。目前，北京市农业节水力度较大，一方面，农业灌溉面积由于城市化进程的推进而不断缩小，而北京本身的城市定位决定了农业的发展前景——农业作为第一产业在未来国民经济中的比重将不断下降；另一方面，近年来节水灌溉等农业节水技术发展较快，也得到了广泛推广，农作物种植结构也得到了大幅度调整。

随着都市型现代农业的发展和新农村建设的推进，具有高投入、高产出、高效益特点的设施农业(温室、大棚)和精品果园将成为北京都市型现代农业的重要组成部分，并将有长足的发展。从用水对象分析，

表4 1995~2003年间北京市地表水利用率和地下水开采率(%)

年份	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	多年平均
地表水利用率	83	61	142	79	290	209	150	198	138	115
地下水开采率	93	90	158	87	209	179	173	165	167	132

表6 2049年北京市可供水量(单位:亿立方米)

供水项	95%保证率	75%保证率	50%保证率	20%保证率
地表水	5.38	8.62	10.25	12.43
地下水	12.39	14.91	16.82	19.51
过境可利用水	2.10	2.70	3.60	4.90
污水回用水	8.1	8.1	8.1	8.1
外流域调水	15	15	15	15
应急供水	3	3	3	3
无调水、无应急水总供水量	27.97	34.33	38.77	44.94
有调水、无应急水总供水量	42.97	49.33	53.77	59.94
总供水量	45.97	52.33	56.77	62.94

今后北京市在农业节水方面将重点发展设施农业、精品果园以及以籽种、创汇、观光农业为重点的粮食作物的节水灌溉。从节水技术方面分析，今后将重点发展滴灌、微喷、小管出流、喷灌等高效节水灌溉方式。

由于缺乏相关数据的支持，在此只做粗略预测，预计到2049年农业需水基本上降到最低点，约8亿立方米，其中再生水的利用将成为一大亮点。

工业需水预测

根据“十一”五规划，未来几年内北京工业在节水方面的对策有以下几个。

其一，进一步优化工业产业结构。

以发展高端产业为方向，大力发展高新技术产业，适度发展现代制造业，鼓励发展适合城市功能定位的都市工业。到2010年，高新技术产业工业增加值达到全市工业增加值的40%左右，现代制造业增加值达到全市工业增加值的60%左右。以首钢、北京焦化厂、有机化工厂、化工二厂等企业搬迁调整为重点，加大对不适宜在北京地区发展的产业的退出力度，到“十一五”末，“五小”企业基本关闭，现有高能耗、高物耗、高污染、低附加值产业逐步退出。

其二，继续强化节水的约束机制。

在已有《北京工业能效水效指南》的基础上，通过制定北京工业重点行业水耗指标体系，实施能源利用效率和最低技术水平准入标准，建立高消耗的落后技术、工艺和产品的强制性淘汰制度，为全市现有高耗能、高耗水、高污染、低附加值产业的引导退出和强制退出提供科学依据。

其三，加强对重点用能大户的监测监督。

以占全市工业能源消费80%以上的五大高耗能行业为重点，与具有较高水准的国际

公司合作，建立“工业重点用能大户在线监测平台”。通过引进先进检测技术和管理手段，对重点用能大户进行在线能耗检测、结果评价和问题诊断，帮助企业查找设备、工艺和管理缺陷，指导企业进行综合性整改。

其四，加强对重点用水大户的技术改造力度。

推进《北京电力行业节水方案》实施，分阶段推进技术改造。第一阶段，到2008年前通过一系列技术改造，五家主要电力行业年取水量由2004年的18976万立方米下降到5890万立方米，下降了69%；第二阶段，到2015年前全市五家电力行业在上述基础上再节水620万立方米，年取水量降至5270万立方米，预计全市电力行业总取水量可由2002年的2.1亿立方米降至5600万立方米。

可以预见，到2049年，北京的工业结构应已调整完毕，并趋于稳定，形成以高新技术产业为主导，辅以现代制造业的合理工业格局，而适合城市功能定位的都市工业将成为新的经济增长点。

“十五”期间，全市工业增加值年均增长12.4%，比“九五”时期提高2.5个百分点。“十五”期末全市完成工业增加值1782.4亿元。按照北京工业“十一五”发展规划，到2010年，全市工业增加值年均增长为8%，而2006年工业增加值实际比上年增长12.1%。综合实际和规划情况，并考虑价格因素，假设2006~2010年年均增长率为10%，以后每五年降低一个百分点（表7）。

按照目前北京经济技术开发区万元GDP取水5立方米计算，2049年工业用水量为11.9亿立方米。

环境需水预测

环境需水包括河湖环境用水、绿化用水和回补地下水。经测算，全市生态环境需水量为8亿~12亿立方米，但这只有在其他需水得到保证的前提下才能满足，可利用再生水。

总需水量预测

将上述各项需水量累加，得到2049年总需水预测为43.7亿~47.7亿立方米。

未来水资源的供需平衡分析

由供需水量对比可知，在预测所给定假设的条件下，由于充分考虑了技术进步和产业结构所带来的巨大节水潜力，若15亿立方米外调水能予以保证，不考虑启用应急水，在各种供水保证率下需水均能基本得到满足。但前提是外调水必须到位，因为它占到了预测总供水量的30%左右，而这是有一定风险的，过度依赖外调水将危及北京供水的安全性和稳定性。所以，建议这部分水资源还是用来作为环境生态用水，改善北京地表水环境，回补一直处于超采状态的地下水，使得整个北京的水环境面貌能够在2049年焕然一新（表8）。

值得注意的是，2003年以来北京城市用水量一直保持在30亿立方

表7 2010~2050年北京市预计工业增加值

年份	期间年增长率	工业增加值/亿元
2005		1782.4
2010	10%	2870.6
2015	9%	4416.7
2020	8%	6489.6
2025	7%	9102.0
2030	6%	12180.6
2035	5%	15545.9
2040	4%	18913.9
2045	3%	21926.4
2049	2%	23733.8

表8 2049年北京市水资源供需比较

供水	95%保证率	75%保证率	50%保证率	20%保证率
无调水、无应急水总供水量(亿立方米)	27.97	34.33	38.77	44.94
有调水、无应急水总供水量(亿立方米)	42.97	49.33	53.77	59.94
总供水量(亿立方米)	45.97	52.33	56.77	62.94
需水(亿立方米)	43.7~47.4			

# 发展模式转型： 北京奥运会对城市发展的长期影响

杨宇 吴唯佳

2001年，北京第二次申办奥运会获得成功。为落实“绿色奥运、科技奥运、人文奥运”的理念，顺利举办奥运会，在场馆建设、生态环境和基础设施，以及社会环境建设等方面向国际社会做出了全方位的承诺。从城市角度看，承办奥运，对北京发展提出了新的要求，它既是北京城市发展的新挑战，也是调整城市空间、完善基础设施、提高城市竞争力的有利机遇。

2008年北京奥运会成功举办。在筹办奥运的七年里，北京进行了全面的部署和安排，完成了建城以来最为宏大的建设量，对城市交通等基础设施体系进行了多方位的扩建和改造。奥运期间，到京注册的运动员、官员及赞助商、媒体人员等达5万人之多，海内外游客达700万人次以上，北京站在世界政治、文化、体育交流舞台的聚光灯下，向世界更科学、更全面地开放。

由于特殊的国际环境，北京举办奥运会

也经历了纷杂的喧闹，这无论对北京市还是对中国都是前所未有的考验，对北京城市的长期发展也造成了重大影响。瑕不掩瑜，北京奥运无疑取得了历史性的成功，国际奥委会主席罗格先生称赞本届奥运会“无与伦比（exceptional）”。

回顾申奥成功以来，北京采取一系列措施，将“新北京，新奥运”以及“绿色奥运、科技奥运、人文奥运”的承诺和理念，贯彻到奥运会的筹办与组织管理过程之中。同时，奥运也使得北京城市空间和产业结构发生了重大的调整。

面对挑战，北京奥运会实现了哪些预定目标？它在调整城市空间、完善基础设施、提升城市竞争力等方面，留下了哪些城市遗产？它们对北京城市长期发展有哪些影响？有哪些经验值得重视和发扬？有哪些不足需要改进？有哪些城市发展的战略问题需要从宏观上去把握？等等。所有这些都值得我们去关注、研究。正是基于这些思考，才有了本次调研。

## 第29届奥运会对北京城市发展长期影响的调研概述

### 调研重点

北京奥运会，为“北京2049”提供了极好的观察、发现北京问题的研究机会。奥运对北京城市长期发展的影响研究是学科群项目的子课题。研究试图发挥学科群的优势，着力构建多学科交叉综合的“科学共同体”，集中探讨：奥运对于北京城市发展的长期影响，包括北京的产

米左右。如果北京持续采取近10年来的产业结构调整 and 节水措施，未来40年的水资源供需前景会好于上述预期。✎

本课题由北京市教委重点学科群建设项目“城市规划建设与管理”资助。

### 注释

1 此值按现行价格计算。

### 参考文献

- 1 李善同，段志刚。“十一五”期间北京水资源供需前景分析. 中国区域可计算一般均衡模型及其政策应用研讨会. 2006, 3: 27-28
- 2 北京市“十一五”时期水资源保护及利用规划. <http://www.beijing.gov.cn/zfzx/ghxx/sywgh/>

t662749.htm

- 3 1999~2006年北京市国民经济和社会发展统计公报. <http://www.bjstats.gov.cn>
- 4 2005年北京市水资源公报. <http://www.bjwater.gov.cn/tabid/207/Default.aspx>
- 5 北京市水利水电技术中心. 北京农业节水：以微灌为主的技术将成为发展重点. 中国水利A63
- 6 北京市工业节能节水节地成效显著. 资源环保. 中国经贸导刊. 2006, 20: 30-31
- 7 秦丽娜. 2049年北京市水资源与水环境状况预测. 北京市水利水电中心
- 8 张新. 2049年北京市水资源状况预测. 北京市水利自动化研究所
- 9 张卫红. 盘点北京水资源. 北京规划建设, 22-24

作者单位：清华大学环境学院

责任编辑：刘阳青