

中国城市水效评估报告

完成单位：中国人民大学国家发展与战略研究院

资金支持：中国发展基金会

2015年12月

前言

城市水效是城市水资源管理的核心和基础目标。我国尚未开展城市水效评估，也没有正式提出城市水效标杆，缺乏标杆可以说是我国城市水资源管理的短板。受中国发展研究基金会和中国人民大学资助，宋国君教授带领的课题组提出了中国城市水效标杆及近些年的城市水效标杆，填补了我国城市水资源管理的空白。为我国城市“十三五”制定节水规划、实现城市水资源“总量和强度”的双重控制提供了依据和参考。

我国城市水资源管理已有的统计数据总体上是丰富的，数据质量总体上也是可用的，利用已有的数据为管理提供决策依据、提供工具等均是有价值的研究。已有数据也存在一些问题，例如，已有数据更多是城市尺度的，数据的系统性也不足。因此，研究取得了明显进展的同时，也肯定存在缺陷。中国城市水效标杆和评估系首次公开发布，并且城市水效标杆和评估数据库同时上线公开免费使用，希望各界提出意见和建议。

中国发展基金会致力于推进中国的可持续发展，将对城市水效标杆及评估持续予以支持，希望能推进中国城市水资源管理的水平和效率。

卢迈

中国发展研究基金会秘书长

2015年12月

研究课题组：

课题负责人：宋国君 教授

中国人民大学环境学院环境经济与管理系教授、博士生导师

中国人民大学环境政策与环境规划研究所所长

中国人民大学国家发展与战略研究院研究员

研究人员：

何伟，中国人民大学环境学院，人口、资源与环境经济学，博士生

高文程，中国人民大学环境学院，人口、资源与环境经济学，博士生

陈德良，北京数汇通环境技术研究院，执行院长，数据处理专家

刘帅，中国人民大学环境学院，人口、资源与环境经济学，博士生

付饶，中国人民大学环境学院，人口、资源与环境经济学，博士生

赵文娟，中国人民大学环境学院，人口、资源与环境经济学，博士生

赵英斐，中国人民大学环境学院，人口、资源与环境经济学，博士生

黄新皓，中国人民大学环境学院，环境政策与管理，硕士生

本研究同时也为中国人民大学重大基础研究计划项目（12XNL005）：

中国城市环境资源能源管理绩效与可持续发展评估方法、技术与报告

的研究成果。

目 录

1	城市水效概述.....	1
1.1	城市水效概念的界定.....	1
1.2	城市水效评估的目标.....	1
1.3	城市水效标杆的创新.....	1
2	城市水效评估方法.....	2
2.1	评估指标体系.....	2
2.2	城市分类目的与方法.....	2
2.3	城市水效分布的“正态性”检验.....	3
2.4	城市水效标杆体系确立的方法.....	4
3	城市水效标杆体系.....	5
3.1	总体城市水效标杆.....	5
3.2	分类别城市水效标杆.....	5
4	城市水效评估结果.....	6
4.1	城市水效现状.....	6
4.2	城市节水潜力.....	7
5	城市水效标杆预测.....	9
5.1	总体城市水效标杆预测.....	9
5.2	分类别城市水效标杆预测.....	10
6	城市水效“十三五”目标.....	11
6.1	总体城市“十三五”目标.....	11
6.2	分类别城市“十三五”目标.....	12
7	城市需水量预测.....	13
8	结果与讨论.....	14

1 城市水效概述

1.1 城市水效概念的界定

当前，“水效”这一概念尚未得到政府和学术界的普及使用，也缺少一致公认的定义。本报告中的“城市水效”指“中国地级城市（不含所辖县镇）的社会活动用水和用水产出的比值”。

1.2 城市水效评估的目标

城市作为水资源管理的基本单元，是水效管理政策目标和行动落实的关键点，城市水效评估是摸清城市水效管理问题存在、管理绩效诊断、节水管理目标制定和最佳管理实践识别的根本途径，对于城市水资源的合理开发利用、水资源供需矛盾解决和水环境保护具有重要意义。标杆作为管理绩效评估的标准和依据，是城市水效评估的重要方法和工具。如何将标杆管理思想引入到水效评估当中，建立水效标杆体系，实现对单个城市水效的评估，是完善目前最严格水资源管理制度中对水资源利用效率“红线”管理的重点内容，也是本研究报告的出发点和落脚点。

本研究旨在构建城市水效标杆，将其作为城市水效状况评估的标准，并对标杆未来的变动趋势进行预测，预测结果将是未来城市水资源量管理目标设定和城市水量供给规划方案制定的重要参考依据。

1.3 城市水效标杆的创新

城市水效标杆是针对地级以上城市水耗效率的参照点，是城市水资源管理预期达到的业绩标准。简而言之，城市水效标杆指城市水效领先的样板城市，可以作为其他城市学习的榜样，我们称之为“最佳实践”。城市水资源管理“最佳实践”是指在节水增效方面做出积极探索，取得经得起实践检验的节水绩效改善，并领先于同类城市绩效水平的城市。在此过程中，应确保组织或合作伙伴的相似性，就可以保证水耗效率标杆的成功实践是其他城市可以效仿和学习的。

提升水效并不是可以一蹴而就的，而是一个需要持续关注、不懈努力的过程，需要建立健全优化节水管理的长效机制。我们强调循序渐进地改善节水管理，因此将城市水效标杆加以扩展。除了传统意义上的“最佳实践”，我们引入“上临

界”和“下临界”。“上临界”被定义为城市水效“先进值”和“中等值”的分界点；“下临界”被定义为城市水效“中等值”与“落后值”的分界点。从而，突破了把“最佳实践”作为判断城市水效水平的唯一标杆，将判断城市水效水平扩展至“上临界”或“下临界”。各城市通过加强管理超越“下临界”，甚至超越“上临界”的难度远远小于超越“最佳实践”的难度，确保各城市尤其是水效落后的城市具有加强节水管理的积极性，强调改善节水管理绩效的循序渐进。

2 城市水效评估方法

2.1 评估指标体系

研究的对象范围为地级以上城市市辖区，不包括城市所辖县或县级市。水效评价指标主要包括市辖区生产意义、社会人均意义和生活意义上的用水效率指标，具体分别为万元 GDP 水耗、万元工业增加值水耗、人均综合水耗、和人均生活水耗。以及城市供水绩效。由于市辖区万元工业增加值水耗指标不容易获取，这里由万元工业总产值水耗代替，由见表 1。

表 1 中国城市水资源利用效率评估指标

主题层		指标层	单位
生产	生产水耗强度	万元 GDP 水耗	吨/万元
		万元工业总产值水耗	吨/万元
社会	综合水耗强度	人均综合水耗	升/人·日
生活	生活水耗强度	人均生活水耗	升/人·日

各指标计算公式如下：

- (1) 万元 GDP 水耗 = 供水总量 / GDP 总量
- (2) 万元工业总产值水耗 = 工业用水总量 / 工业总产值
- (3) 人均综合水耗 = 供水总量 / 城区人口数
- (4) 人均生活水耗 = 居民生活用水总量 / 城区人口数

2.2 城市分类目的与方法

中国拥有 287 个地级以上城市，影响城市水效的客观因素较多，在总体层次无法满足同类可比性质，因此要实现城市水效的精确定位，必须对城市进行分类。各个类别内，通过各城市水效与水效标杆的比较，以实现城市节水管理的定位。

本研究选择选取人均 GDP、二产比重、城市化率、水资源量等作为影响城市

水效的客观因子。基于影响因子的城市分类方法如下：第一，在遵循服务于标杆制定、逻辑分析与实证研究相结合，以及数据可得性等原则的基础上，采用多元加权回归方法，判断各影响因子对城市水效指标影响的强弱水平；第二，对影响因子按照从强到弱的顺序排列，影响最大的因素优先用于分类，每次分类结果作为下一次分类的开始；第三，采用 K-均值聚类法、均值法确定类别的分界点，得出城市分类结果；第四，对每一项分类结果进行显著性方差检验，验证分类结果是否合理，若检验不显著则停止分类。具体分类流程见图 1。

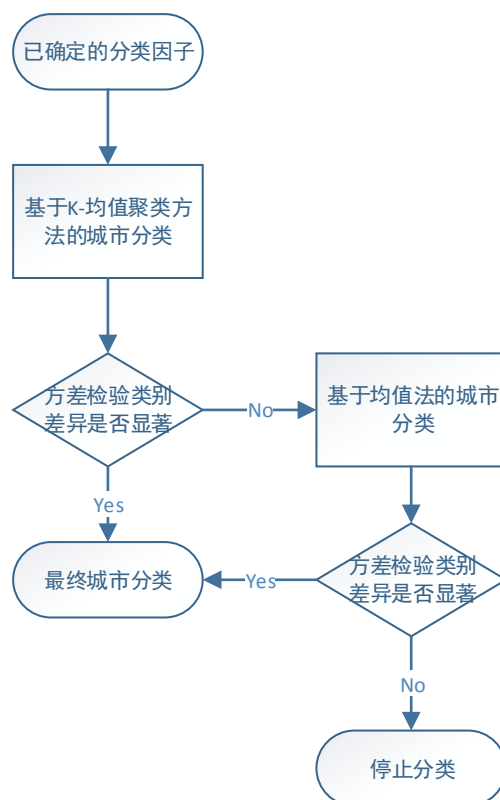


图 1 基于客观因素影响的分类流程

结果表明：万元 GDP 水耗指标可分成人均 GDP 高的城市和人均 GDP 低的城市两类；万元工业总产值水耗指标可分成二产比重高的城市和二产比重低的城市两类；人均综合水耗指标可分成人均 GDP 高的城市和人均 GDP 低的城市两类；人均生活水耗指标城市分类后方差检验差异不显著，因此不再单独分类。

2.3 城市水效分布的“正态性”检验

城市水效标杆的构建是基于水效指标数据分布规律和统计学方法而总结、提炼的一般思路、编制框架和基本流程。首先，对每年的各个水效指标数据作为各个总体的一个样本，运用单样本的 Kolmogorov-Smirnov (K-S) 检验方法来检验

总体分布。假设 $F_0(x)$ 为正态分布，则 K-S 检验统计量为：

$$Z = \sqrt{n} \max_i (|S(X_{i-1}) - F_0(X_{i-1})|, |S(X_i) - F_0(X_i)|)$$

式中， $S(X)$ 为样本的累积经验分布函数，通过 Z 统计量的大小即可判断假设检验的结果。一般而言， Z 值越大就越有理由认为该样本的总体分布越不符合正态分布规律。构建 Z 值得统计量对零假设进行统计检验，计算 P 值。当显著性水平位 5%，且 P 值 ≤ 0.05 （双尾 P 值 ≤ 0.1 ）时，统计检验拒绝服从正态分布的零假设，即样本的总体分布不能认为服从正态分布；反之，样本总体分布可以认为是正态分布。

结果表明：对城市总体以及基于分类的各城市类别万元 GDP 水耗、万元工业总产值水耗、人均综合水耗和人均生活水耗均不拒绝对数正态分布，因此，可以按正态分布的统计学规律进行水效标杆确定。

2.4 城市水效标杆体系确立的方法

水效标杆应体现动态性、相对性的特征。标杆是指测量或者评价的参照点，因此我们需选择分组比率即先进水平、中间水平和落后水平之间的比重，进而确立不同水平的理论分布分位数，即标杆。用 e_i ($i = 0, 1, 2, \dots, n$) 表示城市水耗效率，分别为万元 GDP 水耗，万元工业总产值水耗、人均综合水耗、人均生活水耗。假定满足 $\ln(e_i) \sim N(\mu_i, \sigma_i^2)$ 。从界定水耗效率的先进、中等与落后水平的角度出发，进行如下界定，确定标杆的计算公式：

$$\text{先进水平临界（上临界）：} \quad \ln(e_i) = u_i - \frac{\sigma}{2} \Rightarrow e_i = e^{u_i - \frac{\sigma}{2}}$$

$$\text{落后水平临界（下临界）：} \quad \ln(e_i) = u_i + \frac{\sigma}{2} \Rightarrow e_i = e^{u_i + \frac{\sigma}{2}}$$

为保证水效标杆的合理性，本文确定水效先进与落后的比例均为 31%，中间水平为 38%，即对水耗效率分布平均值半个标准差之外的样本划分为水耗效率先进地区或者落后地区，比重的分配大致为：“3：4：3”。

3 城市水效标杆体系

3.1 总体城市水效标杆

万元 GDP 水耗、万元工业总产值水耗、人均综合水耗、人均生活水耗的总体标杆见表 2 所示。可以看出，各项指标的上临界值、下临界值普遍逐年下降。

表 2 中国地级以上城市水效总体标杆

年份	万元 GDP 水耗 (吨/万元)			万元工业总产值水耗 (吨/万元)			人均综合水耗 (升/日·人)			人均生活水耗 (升/日·人)		
	上临界	均值	下临界	上临界	均值	下临界	上临界	均值	下临界	上临界	均值	下临界
2007	22.33	34.96	39.32	9.910	23.51	23.700	250.44	422.99	471.02	96.48	136.81	177.14
2008	19.68	30.85	34.93	8.430	20.52	20.000	253.08	415.19	460.82	85.04	138.10	157.75
2009	17.67	26.61	30.23	7.530	17.21	17.000	248.69	395.74	444.30	85.62	133.07	152.30
2010	15.85	23.15	26.55	6.510	14.49	14.400	245.33	379.19	434.11	86.14	127.41	150.44
2011	14.39	20.64	23.83	5.540	11.94	12.300	247.31	391.32	437.58	89.51	135.27	153.10
2012	13.54	18.84	21.86	5.289	11.02	11.123	256.08	381.52	433.20	92.24	134.28	151.27
2013	10.62	13.42	16.96	3.10	4.64	6.93	197.05	248.48	313.33	84.47	104.41	129.07

3.2 分类别城市水效标杆

城市水效指标受人均 GDP、第二产业比重等因素影响，分类别的城市标杆见表 3、表 4、表 5。

表 3 城市万元 GDP 水耗指标标杆设定值 单位：吨/万元

类别	临界值	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年
人均 GDP 高的城市	上临界	15.52	13.46	12.70	11.45	10.61	12.47	7.91
	下临界	28.14	25.40	22.60	19.93	19.53	20.98	11.95
人均 GDP 低的城市	上临界	23.57	20.78	18.58	16.49	14.90	13.86	11.09
	下临界	40.52	35.01	30.42	26.55	23.56	21.74	17.57

表 4 万元工业总产值水耗指标标杆设定值 单位：吨/万元

类别	临界值	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年
二产比重高的城市	上临界	9.06	7.29	6.51	5.64	4.79	4.59	2.69
	下临界	20.34	16.00	13.31	10.78	9.54	8.35	5.31
二产比重低的城市	上临界	10.89	9.95	9.21	7.85	6.66	6.59	3.98
	下临界	28.99	26.65	23.19	20.19	16.83	15.40	9.56

表 5 城市人均综合水耗指标标杆设定值 单位：升/日·人

类别	临界值	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年
人均 GDP 高的城市	上临界	402.21	383.05	382.98	384.03	405.30	380.37	281.96
	下临界	702.03	735.95	713.28	702.76	784.95	704.18	433.34
人均 GDP 低的城市	上临界	240.83	244.67	240.77	238.24	239.22	248.90	190.21
	下临界	443.74	427.44	412.24	402.75	395.72	395.54	298.65

4 城市水效评估结果

4.1 城市水效现状

以时间点最近的 2013 年标杆为准进行评估，评估结果见表 6、表 7、表 8、表 9。

表 6 基于总体标杆的各城市水效先进、中等、落后评估结果

指标	分类	城市
万元 GDP 水耗 (吨/万元)	先进地区	鄂尔多斯、庆阳、榆林、东营等 82 个城市
	中等地区	淮北市、眉山市、酒泉市、济宁市等 115 个城市
	落后地区	吉林、拉萨、牡丹江、黑河等 87 个城市
万元工业总产值水耗 (吨/万元)	先进地区	延安、茂名、鄂州、庆阳等 86 个城市
	中等地区	通辽、吉安、安顺、芜湖等 120 个城市
	落后地区	三亚、拉萨、牡丹江、吉林等 77 个城市
人均综合水耗 (升/日·人)	先进地区	陇南、固原、揭阳、商丘等 89 个城市
	中等地区	阳泉、宝鸡、赣州、忻州等 109 个城市
	落后地区	克拉玛依、柳州、三明、牡丹江等 87 个城市
人均生活水耗 (升/日·人)	先进地区	定西、揭阳、辽源、固原等 87 个城市
	中等地区	中山、焦作、朔州、烟台等 104 个城市
	落后地区	长沙、三亚、成都、白色等 93 个城市

表 7 基于城市分类的万元 GDP 水耗效率评估结果

城市类别	分类	城市
人均 GDP 高的城市	先进地区	鄂尔多斯、东营、中山、包头、天津等 9 个城市
	中等地区	大庆、大连、青岛、徐州、盘锦、北京等 13 个城市
	落后地区	珠海、武汉、温州、嘉峪关、南京等 9 个城市

人均 GDP 低的城市	先进地区	庆阳、榆林、玉溪、朔州、铜川等 77 个城市
	中等地区	定西、铜陵、保山、大同、阳江等 97 个城市
	落后地区	鹤壁、泸州、贵阳、兰州、丹东等 79 个城市

表 8 基于城市分类的万元工业总产值水耗效率评估结果

城市类别	分类	城市
二产比重高的城市	先进地区	茂名、鄂州、庆阳、盐城、东营等 53 个城市
	中等地区	铁岭、威海、潮州、盘锦、四平 64 个城市
	落后地区	常德、黄石、克拉玛依、阳泉、岳阳等 48 个城市
二产比重低的城市	先进地区	延安、三门峡、来宾、菏泽、清远等 33 个城市
	中等地区	成都、郑州、无锡、乌兰察布、大连等 58 个城市
	落后地区	昆明、运城、西宁、渭南、陇南等 27 个城市

表 9 基于城市分类的人均综合水耗效率评估结果

城市类别	分类	城市
人均 GDP 高的城市	先进地区	鄂尔多斯、呼和浩特、乌海、包头、泰州等 9 个城市
	中等地区	天津、上海、温州、青岛、厦门等 12 个城市
	落后地区	广州、武汉、中山、大庆、珠海等 10 个城市
人均 GDP 低的城市	先进地区	陇南、固原、揭阳、商丘、定西等 79 个城市
	中等地区	来宾、乐山、白山、保定、广元等 98 个城市
	落后地区	新余、丽江、濮阳、七台河、宜昌等 77 个城市

4.2 城市节水潜力

由于城市水效标杆的构建是建立在城市水效指标数据满足正态分布特征的基础之上的，标杆的上、下临界值代表节水管理的绩效目标，标杆值之间差距可以量化出整体城市的节水潜力，这种节水潜力的定义更多的是假设全国整体层面的技术节水和系统节水一定的前提下，重点强调从绩效管理层面的预期节水效果空间。如，差距越大，表明未来城市整体节水管理绩效的提升空间越大，节水潜力也越大；反之亦然。我们以城市水效标杆的下临界与上临界的比值作为测度城市节水的潜力系数，计算公式如下：

$$\partial = \frac{e^{u+\frac{\sigma}{2}}}{e^{u-\frac{\sigma}{2}}} = e^{\sigma}$$

θ 为城市节水潜力系数， u 为城市水效平均值， σ 为城市水效的标准差， θ 的大小主要由 σ 值决定， σ 值越大，数据的波动性越大，水效数据分布曲线越平缓； σ 值越小，数据的波动性越小，水效数据分布曲线越陡峭； σ 值越大， θ 值越大，由于 σ 值始终大于零，因此 θ 的大于或接近于1。由于城市水效水平的逐步提升，水效的最大值X逐下降为Q，甚至下降为P，导致水效的标准差越小， θ 值越接近于1，证明未来城市的节水潜力越小。

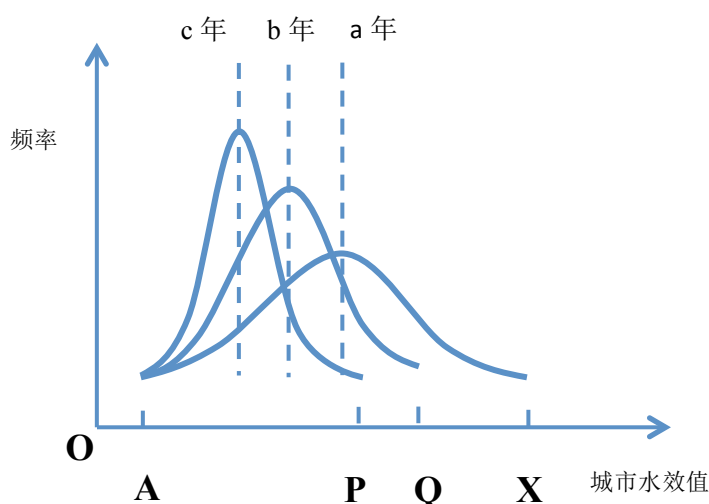


图2 城市水效分布特征变化趋势

根据上述公式计算2007-2013年全国总体地级以上城市及各分类城市的各项节水潜力系数，结果如表10、表11、表12、表13所示。

表10 2007-2013年城市节水潜力系数变化

年份	万元GDP水耗	万元工业总产值水耗	人均综合水耗	人均生活水耗
2007	1.76	2.39	1.88	1.84
2008	1.77	2.37	1.82	1.86
2009	1.71	2.26	1.79	1.78
2010	1.68	2.21	1.77	1.75
2011	1.66	2.22	1.77	1.71
2012	1.61	2.10	1.69	1.64
2013	1.60	2.23	1.59	1.53

表11 基于城市分类的国民生产节水潜力系数变化

类别	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年
人均GDP高的城市	1.81	1.89	1.78	1.74	1.84	1.68	1.51
人均GDP低的城市	1.72	1.68	1.64	1.61	1.58	1.57	1.58

表 12 基于城市分类的工业节水潜力系数变化

类别	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年
二产比重低的城市	2.66	2.68	2.52	2.57	2.53	2.34	2.40
二产比重高的城市	2.25	2.19	2.05	1.91	1.99	1.82	1.97

表 13 基于城市分类的综合节水潜力系数变化

类别	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年
人均 GDP 高的城市	1.75	1.92	1.86	1.83	1.94	1.85	1.54
人均 GDP 低的城市	1.84	1.75	1.71	1.69	1.65	1.59	1.57

5 城市水效标杆预测

水效标杆是针对地级以上城市水效评估与改进的参照点，是城市水资源管理预期达到的业绩标准，因而可作为未来城市水效管理水平所要达到的目标。但是，水效标杆并不是一成不变的，是会随着所有城市的总体水效水平而发生变化的。因此，有必要对水效标杆做出一定的预测，为未来城市的水效标设定提供参考依据。

本研究采用指数平滑法对城市水效标杆进行预测分析，结果如表 14、表 15、表 16、表 17 所示。以城市总体水效标杆预测结果为例，“十三五”期间，各项水效指标的标杆上临界值和下临界值总体均呈逐步下降趋势。

5.1 总体城市水效标杆预测

表 14 总体城市水效标杆预测结果

年份	万元 GDP 水耗 (吨/万元)		万元工业总产值水耗 (吨/万元)		人均综合水耗 (升/人·日)		人均生活水耗 (升/人·日)	
	上临界	下临界	上临界	下临界	上临界	下临界	上临界	下临界
2007	22.33	39.32	9.91	23.7	250.44	471.02	96.48	177.14
2008	19.68	34.93	8.43	20	253.08	460.82	85.04	157.75
2009	17.67	30.23	7.53	17	248.69	444.3	85.62	152.3
2010	15.85	26.55	6.51	14.4	245.33	434.11	86.14	150.44
2011	14.39	23.83	5.54	12.3	247.31	437.58	89.51	153.1
2012	13.54	21.86	5.29	11.12	256.08	433.2	92.24	151.27
2013	10.62	16.95	3.1	6.92	197.13	313.2	84.5	129.02
2014	10.1	15.8	3.13	6.79	217.83	348.19	85.83	131.2
2015	9.02	13.84	2.64	5.64	212.49	331.72	85.25	126.46

2016	8.05	12.13	2.23	4.69	207.28	316.03	84.67	121.9
2017	7.18	10.63	1.88	3.89	202.19	301.09	84.09	117.5
2018	6.41	9.31	1.59	3.23	197.23	286.85	83.52	113.26
2019	5.72	8.16	1.34	2.69	192.39	273.28	82.96	109.17
2020	5.11	7.15	1.14	2.23	187.67	260.36	82.4	105.23

5.2 分类别城市水效标杆预测

表 15 基于城市分类的万元 GDP 水耗标杆预测结果

年份	人均 GDP 高的城市 (吨/万元)		人均 GDP 低的城市 (吨/万元)	
	上临界	下临界	上临界	下临界
2007	15.52	28.14	23.57	40.52
2008	13.46	25.4	20.78	35.01
2009	12.7	22.6	18.58	30.42
2010	11.45	19.93	16.49	26.55
2011	10.61	19.53	14.9	23.56
2012	12.47	20.98	13.86	21.74
2013	7.91	11.95	11.09	17.57
2014	8.38	13.09	10.38	15.86
2015	7.7	11.72	9.23	13.89
2016	7.08	10.49	8.21	12.16
2017	6.51	9.4	7.3	10.65
2018	5.99	8.41	6.49	9.33
2019	5.5	7.53	5.77	8.17
2020	5.06	6.75	5.13	7.16

表 16 基于城市分类的万元工业总产值水耗标杆预测结果

年份	二产比重高的城市 (吨/万元)		二产比重低的城市 (吨/万元)	
	上临界	下临界	上临界	下临界
2007	9.06	20.34	10.89	28.99
2008	7.29	16	9.95	26.65
2009	6.51	13.31	9.21	23.19
2010	5.64	10.78	7.85	20.19
2011	4.79	9.54	6.66	16.83
2012	4.59	8.35	6.59	15.4
2013	2.69	5.31	3.98	9.56
2014	2.71	4.94	4.14	9.62
2015	2.28	4.03	3.57	8.12
2016	1.91	3.3	3.07	6.86
2017	1.61	2.69	2.65	5.79
2018	1.35	2.2	2.28	4.88

2019	1.13	1.8	1.97	4.12
2020	0.95	1.47	1.7	3.48

表 17 基于城市分类的人均综合水耗标杆预测结果

年份	人均 GDP 高的城市 (升/人·日)		人均 GDP 低的城市 (升/人·日)	
	上临界	下临界	上临界	下临界
2007	402.21	702.03	240.83	443.74
2008	383.05	735.95	244.67	427.44
2009	382.98	713.28	240.77	412.24
2010	384.03	702.76	238.24	402.75
2011	405.3	784.95	239.22	395.72
2012	380.37	704.18	248.9	395.54
2013	281.96	433.34	190.21	298.65
2014	320.1	547.25	211.31	322.23
2015	308.7	520.23	206.27	306.74
2016	297.7	494.54	201.36	291.99
2017	287.1	470.12	196.56	277.96
2018	276.87	446.91	191.87	264.59
2019	267.01	424.85	187.3	251.87
2020	257.5	403.87	182.84	239.76

6 城市水效“十三五”目标

根据已有分析，本研究以时间尺度最为接近的 2013 年指标标杆作为基准，提出城市水效的“十三五”目标。具体的目标确定，以标杆的下临界值作为落后城市的“十三五”努力目标，以标杆的上临界值作为中等城市的“十三五”努力目标，先进城市继续保持上临界值以上原有水平。整理所得“十三五”目标建议如表 18、表 19、表 20、表 21 所示。

6.1 总体城市“十三五”目标

表 18 总体城市水耗“十三五”目标

指标	分类	城市	“十三五”目标
万元 GDP 水耗 (吨/万元)	先进地区	鄂尔多斯、庆阳、榆林、东营等 82 个城市	保持 10.62 以上
	中等地区	淮北市、眉山市、酒泉市、济宁市等 115 个城市	力争达到 10.62
	落后地区	吉林、拉萨、牡丹江、黑河等 87 个城市	力争达到 16.96
万元工业总	先进地区	延安、茂名、鄂州、庆阳等 86 个城市	保持 3.10 以上

产值水耗(吨/万元)	中等地区	通辽、吉安、安顺、芜湖等 120 个城市	力争达到 3.10
	落后地区	三亚、拉萨、牡丹江、吉林等 77 个城市	力争达到 6.93
人均综合水耗(升/日·日)	先进地区	陇南、固原、揭阳、商丘等 89 个城市	保持 197.05 以上
	中等地区	阳泉、宝鸡、赣州、忻州等 109 个城市	力争达到 197.05
	落后地区	克拉玛依、柳州、三明、牡丹江等 87 个城市	力争达到 313.33
人均生活水耗(升/日·人)	先进地区	定西、揭阳、辽源、固原等 87 个城市	保持 84.47 以上
	中等地区	中山、焦作、朔州、烟台等 104 个城市	力争达到 84.47
	落后地区	长沙、三亚、成都、白色等 93 个城市	力争达到 129.07

6.2 分类别城市“十三五”目标

表 19 基于城市分类的万元 GDP 水耗“十三五”目标

城市类别	分类	城市	“十三五”目标 (吨/万元)
人均 GDP 高的城市	先进地区	鄂尔多斯、东营、中山、包头、天津等 9 个城市	保持 7.91 以上
	中等地区	大庆、大连、青岛、徐州、盘锦、北京等 13 个城市	力争达到 7.91
	落后地区	珠海、武汉、温州、嘉峪关、南京等 9 个城市	力争达到 11.95
人均 GDP 低的城市	先进地区	庆阳、榆林、玉溪、朔州、铜川等 77 个城市	保持 11.09 以上
	中等地区	定西、铜陵、保山、大同、阳江等 97 个城市	力争达到 11.09
	落后地区	鹤壁、泸州、贵阳、兰州、丹东等 79 个城市	力争达到 17.57

表 20 基于城市分类的万元工业总产值水耗“十三五”目标

城市类别	分类	城市	“十三五”目标 (升/人·日)
二产比重高的城市	先进地区	茂名、鄂州、庆阳、盐城、东营等 53 个城市	保持 2.69 以上
	中等地区	铁岭、威海、潮州、盘锦、四平 64 个城市	力争达到 2.69
	落后地区	常德、黄石、克拉玛依、阳泉、岳阳等 48 个城市	力争达到 5.31
二产比重低的城市	先进地区	延安、三门峡、来宾、菏泽、清远等 33 个城市	保持 3.98 以上
	中等地区	成都、郑州、无锡、乌兰察布、大连等 58 个城市	力争达到 3.98
	落后地区	昆明、运城、西宁、渭南、陇南等 27 个城市	力争达到 9.56

表 21 基于城市分类的人均综合水耗“十三五”目标

城市类别	分类	城市	“十三五”目标 (升/人·日)
人均 GDP 高的城市	先进地区	鄂尔多斯、呼和浩特、乌海、包头、泰州等 9 个城市	保持 281.96 以上
	中等地区	天津、上海、温州、青岛、厦门等 12 个城市	力争达到 281.96

	落后地区	广州、武汉、中山、大庆、珠海等 10 个城市	力争达到 433.34
人均 GDP 低的城市	先进地区	陇南、固原、揭阳、商丘、定西等 79 个城市	保持 190.21 以上
	中等地区	来宾、乐山、白山、保定、广元等 98 个城市	力争达到 190.21
	落后地区	新余、丽江、濮阳、七台河、宜昌等 77 个城市	力争达到 298.65

7 城市需水量预测

由于人均综合水耗指标在四个水效指标中正态分布最为规律，数据质量也高，可靠性最强，同时人均综合水耗不直接受 GDP、工业总产值等波动较大因素影响，与之相关的人口预测相对稳定，因此本部分研究以人均综合水耗为指标，进行城市水需求量预测。

地区需水量一般主要采用定额取水量方法进行预测，即利用所确定的未来水效值对需水量展开预测。首先，基于 2007-2013 年各地级以上城市的城区人口数据，借助数汇通数据研究院人口预测模型对“十三五”期间各市城区人口进行预测，然后基于 2007-2013 年各地级以上城市的人均综合水耗数据，通过指数平滑法对各城市“十三五”人均综合水耗，即需水定额进行预测（其中预测数据超过平均值加减 3 倍标准差的极值数据予以剔除，以 2013 年水耗值进行替代），进而通过公式“城区需水总量 = 城区人口数 × 需水定额”计算总需水量；同时按照给出的城市整体“十三五”水效标杆目标值也对未来城市需水量做出假设预测。最后，将需水量现状与基于现状趋势的“十三五”预测结果及基于标杆的“十三五”预测结果相比较，研究未来需水量的可能变化趋势，分析标杆管理的水效管理效果。城市总体 2013 年的需水量、基于现状的 2020 年预测需水量、基于标杆的 2020 年预测需水量对比见表 22。

表 22 基于城市分类的人均综合水耗“十三五”目标

时间点	城区人口数 (万人)	需水量 (亿 m ³)	相比 2013 年增加水量 (亿 m ³)
2013 年	50,674.95	565.96	——
2020 年（基于现状的预测）	54,347.35	634.94	68.98
2020 年（基于标杆的预测）	54,347.35	464.40	-101.56

8 结果与讨论

(1) 城市水效显著提升，其中工业生产水效提升最为突出，2013 年水效提升最为明显

2007-2013 年，本研究选取的 4 项表征城市水效的指标标杆上临界值、下临界值均呈下降趋势，表明总体上我国城市水效在 2007-2013 年间有显著提升，详见图 3、图 4、图 5 和图 6。

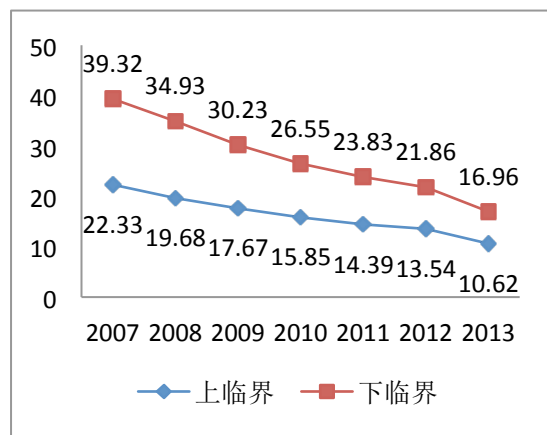


图 3 2007-2013 年万元 GDP 水耗变化

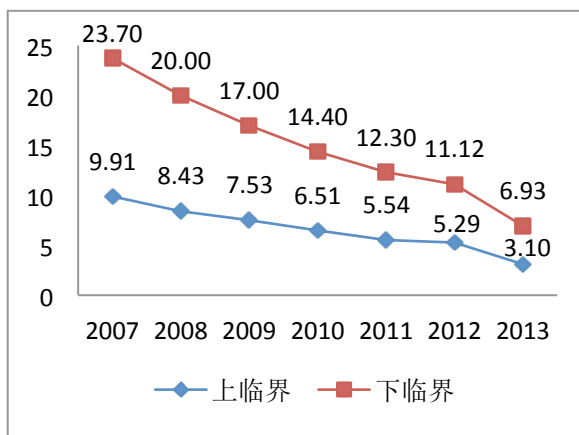


图 4 2007-2013 年万元工业总产值水耗变化

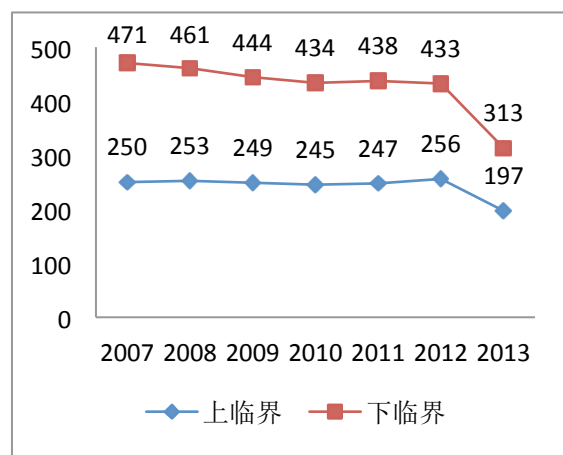


图 5 2007-2013 年人均综合水耗变化

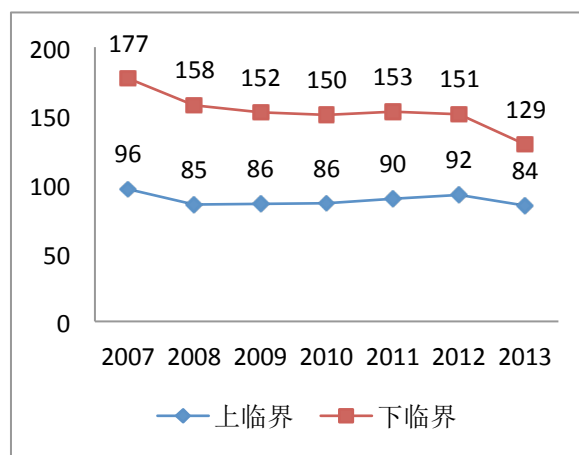


图 6 2007-2013 年人均生活水耗变化

其中，万元 GDP 水耗上临界值、下临界值年均下降率分别为 11.65%和 13.08%，万元工业总产值水耗的上临界值、下临界值年均下降率分别为 17.61%和 18.53%，

年均下降率都超过 10%，表明我国城市发展过程中，随着技术的进步，工业生产水资源利用效率迅速提升，明显偏高的工业生产水耗迅速下降，工业水耗偏高的城市也在迅速减少。此外，分年度来看，城市水效在 2013 年提升明显，以表现最为突出的人均综合水耗指标为例，其上临界值、下临界值在 2013 年当年下降率分别达到 23.05%和 27.67%，其他三项水耗指标也表现出类似特征。表明一方面极端高水耗的城市数量在不断减少；另一方面也说明有关城市水资源管理的政策措施在 2013 年发挥了显著效用，促进水效明显提升。

(2) 经济发展水平和产业结构是影响城市水效的客观因素

人均 GDP 是影响城市万元 GDP 水耗和人均综合水耗的主要客观因素。人均 GDP 高的城市和人均 GDP 低的城市万元 GDP 水耗和人均综合水耗差异显著。具体来讲，一是人均 GDP 与城市万元 GDP 水耗之间呈显著负相关关系，人均 GDP 高的城市，万元 GDP 水耗值总体较低，这主要是因为人均 GDP 高的城市，经济水平更高，生产技术及节水措施更为先进，导致单位水耗较低，而经济相对落后的地区国民生产相对粗犷，水耗也相对更高；二是人均 GDP 与人均综合水耗之间呈显著正相关关系，人均 GDP 高的城市，经济水平更高，人们对生活质量的要求也更高，因此综合水耗也更高。

二产比重是影响城市工业水效的主要客观因素。二产比重高的城市和二产比重低的城市之间的万元工业总产值水耗差异显著。二产比重与万元工业总产值水耗之间呈显著的负相关关系，二产比重高的城市，由于二产相对集中，规模优势更为突出，同时也更为便于先进工业节水技术的传播和产业上下游之间的水资源循环再利用，因此单位水耗（万元工业总产值水耗）更低，反之二产比重低的城市，工业总产值水耗总体比较高。

(3) 城市节水潜力不断变小，尤其是生活节水已渐入瓶颈期

2007-2013 年，万元 GDP 节水潜力系数、人均综合节水潜力系数和人均生活节水潜力系数均呈逐年下降趋势，且各分类城市的节水潜力系数也基本呈下降趋势，万元工业总产值节水潜力系数也在 2010 年前显著下降之后基本保持稳定。总体来看，这些年随着城市社会水效的逐步提高，节水的空间正在逐步变小。四项指标相比之下，人均综合节水潜力系数和人均生活节水潜力系数更小，不到 1.6，表明生活节水的空间已经非常有限。结合模型预测结果，虽然人均生活水耗的下临界值在未来五年时间内还将略有下降，但上临界值已趋于稳定，说明在现有政策不发生大的变化情况下，已处于较高生活水效的城市未来进一步提升空间已非常有限，生活水耗将基本保持平稳。

(4) 城市生产水效进一步提升仍存在一定空间

一方面，全国城市万元工业总产值水耗的节水潜力系数在 2007-2010 年间显著下降，之后的几年时间中基本处于平稳波动状态，并且与其他三项水效指标相

比，万元工业总产值水耗的节水潜力系数仍相对较大，表明尽管近年来城市工业水耗显著下降，但不同城市，不同设备、工艺、流程之间水耗相差还是比较大，仍然存在着不小的节水潜力。城市分类研究结果表明，二产比重低的城市因工业规模较小，缺乏规模优势，边际水耗偏高，因此工业节水潜力也更高，这类城市是其未来城市工业管理节水的重点对象。另一方面，根据模型预测，虽然“十三五”期间城市生产水效的提升空间已远不及“十一五”和“十二五”期间那么大，但空间仍然存在。万元 GDP 水耗和万元工业总产值水耗标杆上临界值、下临界值还将持续下降，并且下临界值的下降幅度更大，不断趋近上临界值所表征的更高水效水平，因此在未来五年时间内，我国城市生产水效总体上还将有进一步提升空间。

(5) 预测表明城市总需水量将在“十三五”期间年均增长 2.4%

根据预测，2020 年各地级市城区人口将在 2013 年 5.07 亿的基础上增加至 5.43 亿，结合 2020 年各地级市人均综合水耗分析预测结果，发现如果“十三五”期间没有较大的政策变化影响，城市水效变化仍然持续目前的趋势，则城市总体年需水量将在“十三五”末期的基础上再增加 68.98 亿立方米（年均增长 2.4%），达到 635 亿立方米，这意味着在当前城市水资源利用压力已经很大的情况下，未来每年还得新增各类取水，水资源利用压力将继续增大，难以承受；如果要控制城市需水量不再增加，可以通过标杆管理的方式得以实现。具体来说，如果每个城市都可以达到以 2013 年标杆水效为准的“十三五”目标值，则 2020 年城市需水量可以不增反降。当然，要全面推进标杆管理，还需要相应的政策给予支撑。

(6) 基于统计分布技术制定城市水效标杆是可行的

97%以上的城市水效相关指标数据完整，95%以上的城市水效指标数据质量总体较好。虽然极少数城市相关指标有所缺失，约 5%城市的水效指标数据的变异系数值大于变异系数均值加上两倍的标准差的值，表示数据波动性非常大，水耗数据质量可能较差，但 95%以上水效指标数据质量的完好足以支持基于统计分布方法的城市水效标杆体系构建。

利用对数正态分布检验与参数估计技术，对万元 GDP 水耗、人均综合水耗、人均生活水耗指标的分析表明，总体和分类别的城市水效服从对数正态分布，利用对数正态分布构建城市水效标杆是可行的。其优势为：第一，使得城市水效研究更为客观，最大限度的排除了评估中的主观性；第二，对数正态分布具有均值和标准差两个参数，众多城市的分布信息可以高度概括到两个参数之中。结合城市分类技术，建立在统计分布技术基础上的城市水效标杆体现了实际可比性和科学性，是城市水效绩效评估的有效工具。

利用影响城市水效的客观不可控因素对城市进行分类，并利用 t 检验方法对分类合理性进行了检验表明城市分类技术是可行的。影响城市水效差异的客观因

素被剔除后，类内城市之间的可比性增加。类内城市水效差异更多是由于主观可控因素差异所导致，通过引入类内水资源效率先进城市的最佳实践经验，实现水效落后城市节水管理绩效的提升，凸显了城市水效评估的管理意义。基于标杆的城市水效评估结果可为节水“最佳实践”城市识别，以及节水管理策略与政策制定提供标准和参考依据。

(7) 建议建立城市水效评估与标杆管理制度

首先，进一步公开城市供水企业方面的数据和信息。建议城市政府进一步公布更为具体的供、用水单位实体关于水的生产、消耗的数据信息，如城市内部的供水企业、各类工业行业与企业、居民社区、机关单位等的供水量、漏损量、消耗量、产销率等的水耗相关数据，用以辅助评估者识别和诊断出城市水效管理存在的问题。

其次，建立城市水效标杆和评估信息发布机制。城市水效评估是充分提高城市水资源管理信息公开的重要手段，是对政府节水管理绩效的评价、问题识别的过程，以及决策科学化的有效途径，也为水效落后的城市向先进城市寻求节水管理“真经”提供了正确方向。

最后，制定城市水效标杆管理方案实施导则。城市水效评估的最终目标是为城市政府进行水效标杆管理行动提供合作伙伴城市的选择范围，进而展开城市水效标杆管理行动。因此，在此基础上，必须制定城市水效标杆管理行动实施导则，内容包括城市自身水效管理绩效数据和合作伙伴城市水效管理绩效数据之间的差异分析、管理的最佳实践行动方案、管理行动方案的阶段性监察、行动方案的调整等各个环节，为城市政府开展水效标杆管理行动提供一般性的指导性意见。

(8) 建议推行全成本水价政策，通过价格机制促进水效提升

近年来，随着中国城市水效的整体提升，无论是工业生产，还是居民生活，节水潜力都在逐步下降，尤其是生活用水方面，进一步节水的空间已经非常有限。而目前偏低的水价是无法激励人们进一步节水，根治城市用水铺张浪费的主要原因之一。因为水价太便宜，节水所带来的收益非常小，人们没有节水的动机。因此，未来要突破现有的节水瓶颈，促进城市水效进一步提升，除了推行标杆管理之外，一个重要着手点就是要借鉴国外现已成熟的做法，基于全成本确定水价，换句话说，要基于水资源在社会循环利用过程中发生的所有成本来制定水价政策，通过全成本定价提升现有水价，更为科学合理地反映水资源的真实价值，发挥价格机制应有的作用，引导水资源合理配置，促进用水单位和个人提升节水意识，同时也为水资源管理投入、水质保障、管网改造以及流域生态的恢复提供资金保障。
