



中国发展研究基金会
China Development Research
Foundation

URBAN WATER EFFICIENCY MANAGEMENT
IN CHINA
LOCAL PRACTICE AND ENLIGHTENMENT

中国城市水效管理

地方实践与启示



中国发展研究基金会



中国发展出版社
CHINA DEVELOPMENT PRESS

CDRF

中国发展研究基金会
China Development Research
Foundation

URBAN WATER EFFICIENCY MANAGEMENT
IN CHINA
LOCAL PRACTICE AND ENLIGHTENMENT

中国城市水效管理

地方实践与启示



中国发展研究基金会



中国发展出版社
CHINA DEVELOPMENT PRESS

图书在版编目 (CIP) 数据

中国城市水效管理：地方实践与启示 / 中国发展研究基金会. —北京：
中国发展出版社，2016.4

ISBN 978-7-5177-0466-9

I. ①中… II. ①中… III. ①城市用水—水资源管理—研究—中国
IV. ①TU991.31

中国版本图书馆CIP数据核字 (2016) 第019034号

书 名：中国城市水效管理：地方实践与启示

著作责任者：中国发展研究基金会

出版发行：中国发展出版社

(北京市西城区百万庄大街16号8层 100037)

标准书号：ISBN 978-7-5177-0466-9

经 销 者：各地新华书店

印 刷 者：北京明恒达印务有限公司

开 本：710mm×1000mm 1/16

印 张：18

字 数：260千字

版 次：2016年4月第1版

印 次：2016年4月第1次印刷

定 价：50.00元

联系电话：(010) 68990630 68990692

购书热线：(010) 68990682 68990686

网络订购：<http://zgfczchs.tmall.com/>

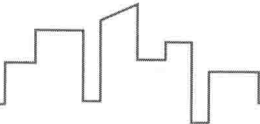
网购电话：(010) 88333349 68990639

本社网址：<http://www.developress.com.cn>

电子邮箱：bianjibu16@vip.sohu.com

版权所有·翻印必究

本社图书若有缺页、倒页，请向发行部调换



课题组成员

课题顾问

卢 迈 中国发展研究基金会秘书长

课题组组长

方 晋 中国发展研究基金会副秘书长

课题协调人

俞建拖 中国发展研究基金会研究一部主任

分课题负责人

宋国君 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

王安岭 无锡市委副秘书长，江南大学兼职教授

温桂芳 中国社会科学院财经战略研究院研究员，博士生导师

王佃利 山东大学政治学与公共管理学院教授，博士生导师

仲伟周 西安交通大学教授，博士生导师

利 锋 华南理工大学教授，博士生导师

戴培昆 安徽省人民政府发展研究中心原副主任

项目官员

陈 浩 中国发展研究基金会研究一部项目主任

当前,我国面临着水资源短缺和水环境恶化的严峻挑战。水危机已经成为我国经济发展“新常态”和实现可持续发展的重要瓶颈制约。

水资源的优化配置和高效利用是解决水危机的重要手段。为此,中国发展研究基金会组织了“中国城市水效管理”的课题研究工作,并于2014年对外发布了研究成果。该研究以一个综合性的“水效”概念为核心,从水资源供需两侧,对提高“水效”的技术、管理、经济等手段做了探讨。

考虑到我国水资源时空分布不均的基本水情,以及各地区社会经济发展不均衡的现状,分析总结各地区水效管理的具体实践也十分必要。因此,中国发展研究基金会在前期城市水效管理研究的基础上,又通过公开招标组织了“中国城市水效管理:地方实践与启示”的研究工作,以期通过分析总结我国城市水效管理的具体实践,为改善城市水效管理政策,提高城市水效水平建言献策。

本书汇集了各课题组所完成的高质量报告,包括:“中国城市水效评估报告”(宋国君等)、“加快水功能区体制创新,提高水资源利用效率”(王安岭等)、“北京市运用价格机制提高水效研究”(温桂芳等)、“济南市深化城市供水价格改革研究报告”(王佃利等)、“西安市城市污水资源化及其经验启示”(仲伟周等)、“广州市污水处理回用现状分析与对策研究”(利锋等)、“关于合肥市城市污水处理及回用模式相关问题研究”(戴培昆等)。

本项课题研究的顺利完成,得益于全体课题组成员的辛勤投入以及

众多专家和单位的鼎力支持。课题顾问、中国发展研究基金会秘书长卢迈始终关注课题研究进展，并在相关讨论中给予了宝贵建议。格兰富（中国）投资有限公司为课题研究提供了慷慨的资金支持，保证了研究的顺利实施。中国发展研究基金会研究一部主任俞建拖和项目主任陈浩不仅完成了课题的具体组织工作，还承担了本书的编辑工作。此外，本书的顺利出版，也离不开中国发展出版社提供的大力支持。

值此本书付梓之际，作为课题组组长，我谨代表中国发展研究基金会，对课题组全体成员以及为课题顺利完成提供支持和帮助的单位和个人表示诚挚的感谢。希望本书的出版，能够为改善城市水效管理政策，提高城市水效水平提供有价值的参考。

方晋

中国发展研究基金会副秘书长

2016年2月

中国城市水效评估报告..... 1

1. 城市水效概述	1
2. 城市水效评估方法	2
3. 城市水效标杆体系	5
4. 城市水效评估结果	7
5. 城市水效标杆预测	10
6. 城市水效“十三五”目标	12
7. 城市需水量预测	14
8. 结果与讨论	15
附件1 各城市2007~2013年不同水效指标评估结果及变化趋势	21
附件2 2013年中国地级以上城市水效排名	59
附件3 各城市2013年需水量现状与2020年需水量预测对比	69

加快水功能区体制创新，提高水资源利用效率..... 86

1. 国际水资源保护理论和现实经验	87
2. 我国水资源利用现状和部分城市的探索实践	90
3. 水功能区管理体制创新总体定位和主要对策	97

北京市运用价格机制提高水效研究..... 109

1. 北京市水资源现状及用水结构110
2. 北京市运用价格机制及其他措施节水、提效的做法及效果115
3. 影响水效进一步提高的因素分析 124
4. 北京市节水仍有潜力可挖，水效亦可进一步提高 127
5. 进一步提高水效的政策建议 130

济南市深化城市供水价格改革研究报告..... 137

1. 济南市城市供水的格局与价格机制 138
2. 水价影响下的济南城市供水企业变革 150
3. 济南市水价改革中的供水管理体制 158
4. 济南市供水价格管理的发展与现状 164
5. 深化城市供水价格改革的思路 183

西安市城市污水资源化及其经验启示..... 190

1. 导论 190
2. 关于污水资源化的相关理论综述 194
3. 西安市污水资源化的现状 198
4. 西安市污水资源化的影响因素分析 205
5. 西安市污水资源化的经验启示 212
6. 结束语 218

广州市污水处理回用现状分析与对策研究..... 224

1. 广州市污水处理回用情况调查 225
2. 广州市中水回用滞后原因分析 235

- 3. 中水回用推进对策研究 237
- 4. 从水效视角分析广州问题 242

关于合肥市城市污水处理及回用模式相关问题研究..... 247

- 1. 本课题研究的重要意义 247
- 2. 合肥市水资源现状调查与分析 248
- 3. 巢湖流域主要污染物分析 250
- 4. 合肥市城市污水处理厂运营基本情况及存在的突出问题 255
- 5. 合肥市城市中水回用基本情况及存在的突出问题 262
- 6. 进一步完善合肥城市污水处理及回用模式的思路 270
- 7. 进一步完善合肥城市污水处理及回用模式的对策建议 274

中国城市水效评估报告

中国人民大学环境政策与环境规划研究所

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遍使用，也缺少公认的定义。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位，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，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，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：

$$\text{万元GDP水耗} = \text{供水总量} / \text{GDP总量}$$

$$\text{万元工业总产值水耗} = \text{工业用水总量} / \text{工业总产值}$$

$$\text{人均综合水耗} = \text{供水总量} / \text{城区人口数}$$

$$\text{人均生活水耗} = \text{居民生活用水总量} / \text{城区人口数}$$

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。

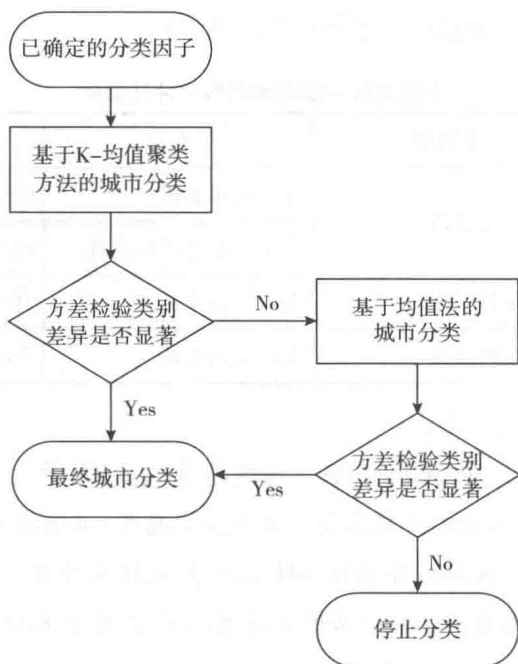


图1 基于客观因素影响的分类流程

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：

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

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 $P \leq 0.05$ (双尾 $P \leq 0.1$)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:

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

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

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、眉山、酒泉、济宁等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·日)	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33个城市
	中等地区	成都、郑州、无锡、乌兰察布、大连58个城市
	落后地区	昆明、运城、西宁、渭南、陇南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9个城市
	中等地区	天津、上海、温州、青岛、厦门12个城市
	落后地区	广州、武汉、中山、大庆、珠海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79个城市
	中等地区	来宾、乐山、白山、保定、广元98个城市
	落后地区	新余、丽江、濮阳、七台河、宜昌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在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：

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

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 大于或接近于1。由于城市水效水平的逐步