2017中国水资源高效利用与节水技术论坛

水资源利用效率评价模型研究

北京师范大学·水科学研究院

汇报人：王红瑞

2017-07-27

特别声明

本课件为2017中国水资源高效利用与节水技术论坛专家发言材料，仅供参会人员内部交流使用，禁止外传及作为他用！

本届论坛支持单位：中国水利学会

本届论坛主办单位：河海大学、中国水利经济研究会、黑龙江省水利科学研究院

更多信息可关注微信公众号：swltzx

论坛会务组

电话：010-6320 3233

网址：www.sinowbs.com

地址：北京市西城区白广路北口水利部综合楼732

目录

CONTENTS

1 背景和意义

2 国内外研究进展

3 水资源利用效率投影寻踪评价模型

4 水资源利用效率迭代修正评价模型

5 水资源利用效率DEA评价模型

6 结束语

1 背景和意义

- 中国有54%的人口、50%的省份、76%的城市处于用水紧张或缺水状态，存在用水方式粗放， 效率低的问题。
- 2011年中央一号文件明确提出，实行最严格的水资源管理制度，建立用水总量控制、用水效率控制和水功能区限制纳污“三项制度”。
- 开展用水效率**定量评估**，识别**不同行业**用水效率低下的影响因子，是实行最严格的水资源管理制度和保障“**效率红线**”落实的一项重要工作。
- 为节水型社会建设提供信息支撑。

CONTENTS

目录

1 背景和意义

2 国内外研究进展

3 水资源利用效率投影寻踪评价模型

4 水资源利用效率迭代修正评价模型

5 水资源利用效率DEA评价模型

6 结束语

2 国内外研究进展

2.1 水资源利用效率国内外研究进展

- 现阶段：
  - 集中在微观尺度或单个产业——农业、城市供水公司、污水处理企业和水务系统
  - 如何通过价格机制提高用水效率
  - 水资源利用效率时间、空间尺度分析

- 不足之处：
  - 将水资源用量简单的等同于生产过程的直接用水量，不包括发生在其他部门的间接用水。
  - 对既定产业内不同行业的水资源利用效率相对水平关注不够，对产业结构调整与水资源利用效率间的关系研究不深入。

2.2 水资源利用效率评估方法国内外研究进展

- 国外　基于资源的稀缺性，有限性，开展其合理配置研究，提高其利用效率
- 国内　资源效率的研究，集中在农业资源的研究上，耕地、水、生物资源及土壤肥力等。
- 在我国，对于水资源效率的研究主要集中在农业用水方面。

2 国内外研究进展

2.3 水资源利用效率评估体系

- 1) 水资源利用效率评估的研究还较少;
- 2) 水资源效率评估体系也还在形成和完善中;
- 3) 指标体系的选取 存在一些问题;
- 4) 多集中于农业领域， 地域性;
- 5) 几乎没有考虑环境、生态方面;
- 6) 农业用水效率方面，没有考虑气候对整个效率产生的影响;
- 7）不同效率评价方法的差异性;

➢ 水资源利用效率评价的基本定义：

通过建立水资源的单位消耗和经济、社会、环境等相关指标的关系，包括水资源的消耗量；水资源投入产出率；水资源利用强度等 ；在有限的水资源供给条件下和工业、农业、生活、生态与环境日益高涨的需求状态下，寻求单位水资源在经济、生活、环境与生态等方面效益产出的最大化，促进水资源可持续利用。

目录

CONTENTS

1 背景和意义

2 国内外研究进展

3 水资源利用效率投影寻踪评价模型

4 水资源利用效率迭代修正率评价模型

5 水资源利用效率DEA评价模型

6 结束语

3 水资源利用效率投影寻踪评价模型

投影寻踪模型（Projection Pursuit， PP）是在20世纪70年代由Friedman和Tudkey提出的多元数据分析技术，用来分析和处理非正态高维数据的一类新兴探索性统计方法。

投影寻踪模型的基本步骤

1. 构造投影指标函数
2. 优化投影指标函数
3. 建立投影寻踪水资源效率综合评价模型
4. 采用遗传算法（GA）寻优

利用建立的模型对我国31个省级行政区水资源利用效率进行评估。为降低统计数据本身的误差对模型计算结果的干扰，各指标采用2004-2006年3年的算术平均值。

通过对水资源供给与需求在时空、用途数量等方面进行合理的调控，寻求生产、生活、生态环境等方面效益产出最大化。

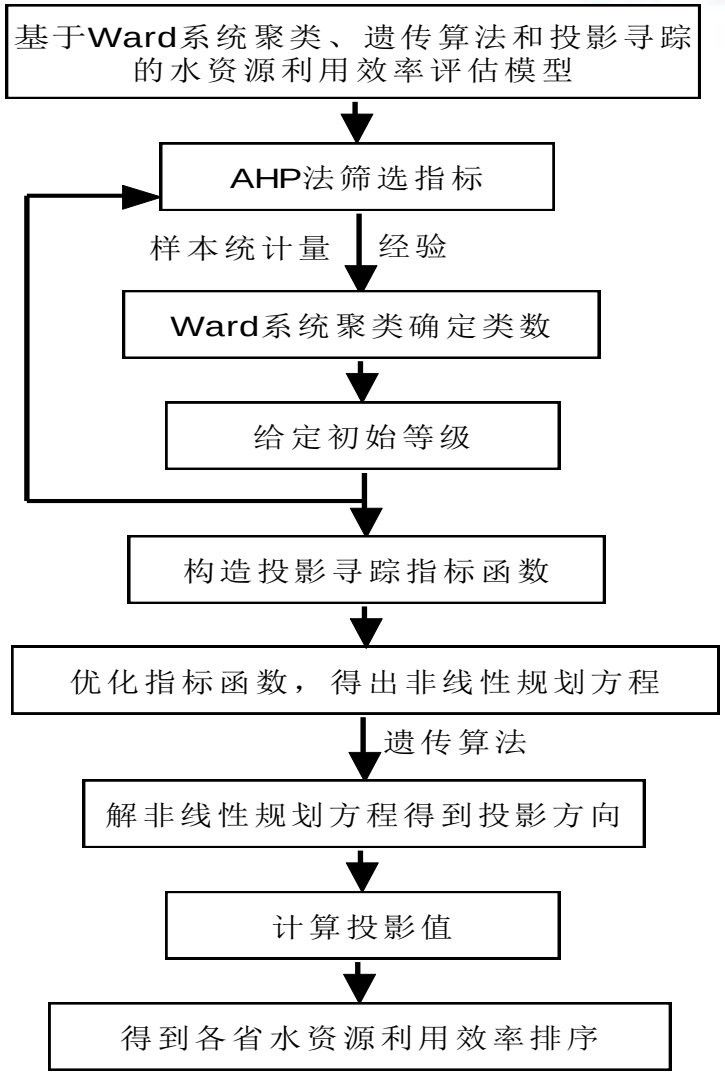
3.1 研究方法—模型计算示例

- 以下将模型的建立分为三个部分：

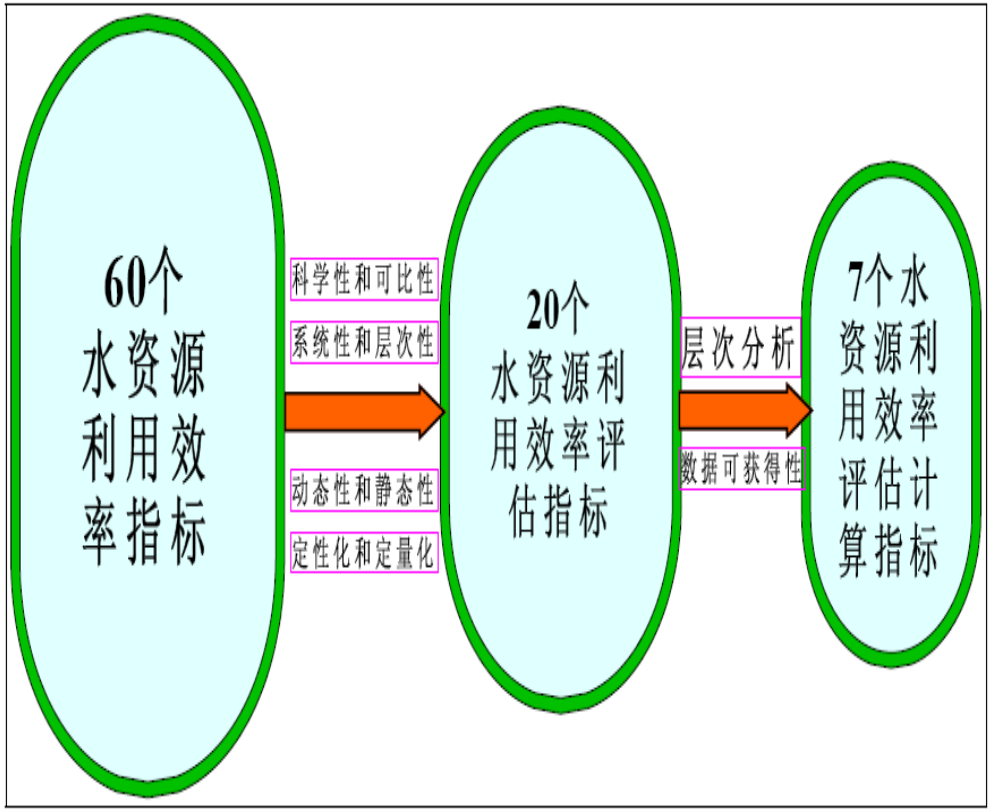
1 对数据进行因子分析

2 根据得分对各省市进行聚类分析

3 利用投影寻踪模型建立各省市用水效率评价



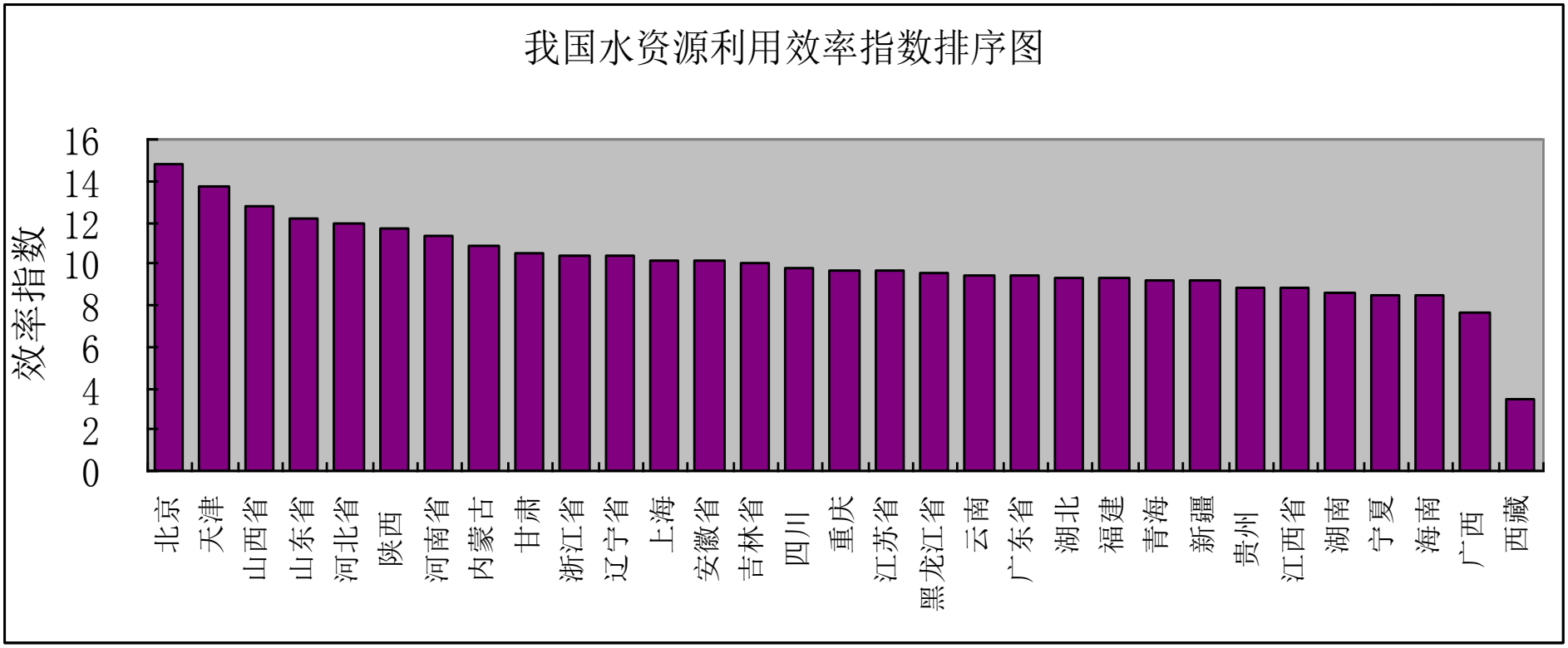
水资源利用效率评价指标体系建立



水资源利用效率评估指标体系

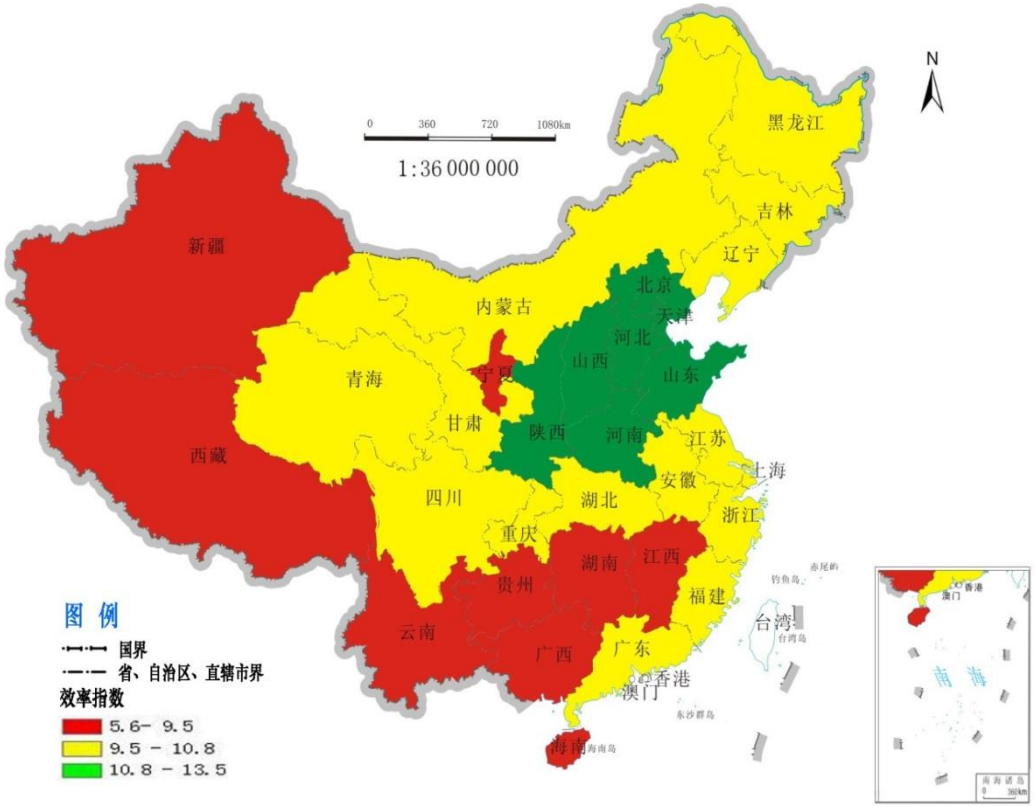
目标层	准则层	指标层
水资源利用效率评估	综合用水效率	单方水GDP产出量（X_1）
	工业用水效率	工业用水比例（X_2）
		万元工业增加值用水量（X_3）
	生活用水效率	人均生活用水量（X_4）
	生态与环境	水资源可持续利用指标（X_5）
		人均COD排放量（X_6）
	农业水资源利用效率	去变异化的农业用水效率（X_7）

3.2 省市区水资源利用效率结果



三年平均的水资源利用效率排序图

3.2 省市区水资源利用效率结果



我国31个省级行政区水资源利用效率指数图

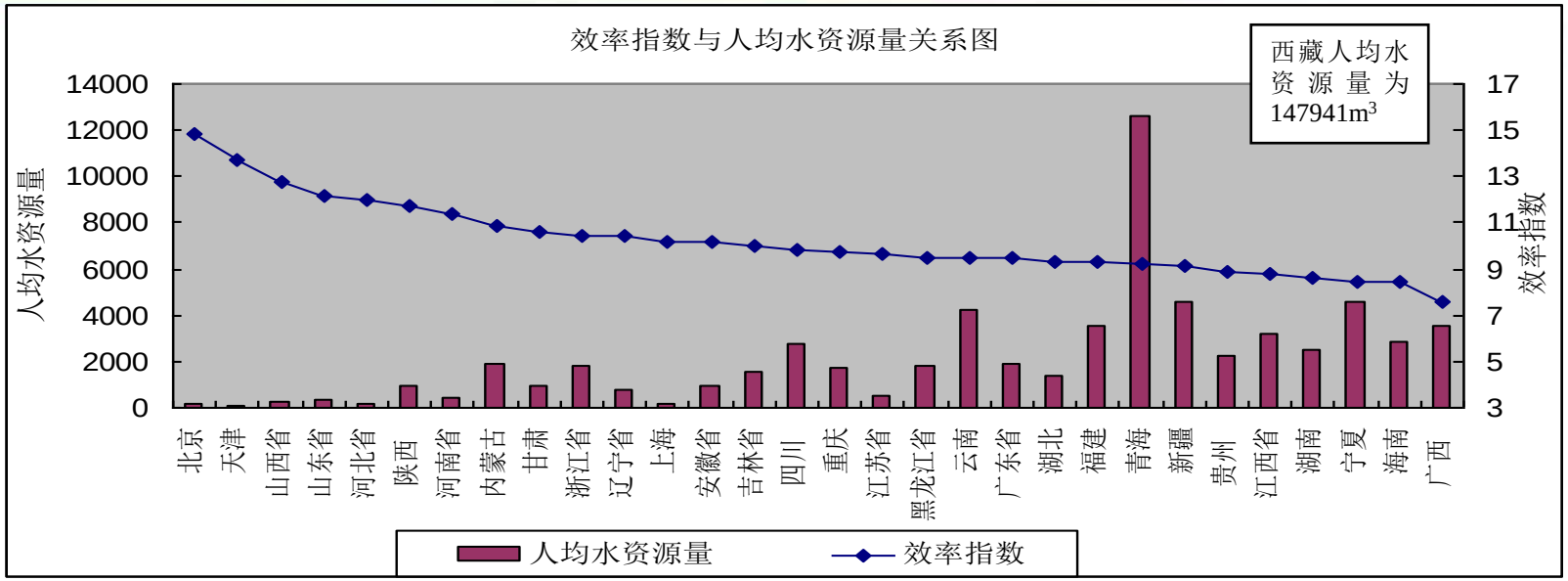
第一组水资源利用效率高：效率指数值在10.8以上，主要是华北和西北地区，包括北京、天津、山西、山东、河北、陕西、河南；

第二组水资源利用效率中等：效率指数值在9.5-10.8之间，主要是华东和东北以及西南地区，包括上海、浙江、内蒙古、甘肃、辽宁、安徽、重庆、吉林、江苏、四川、广东、湖北、黑龙江、福建；

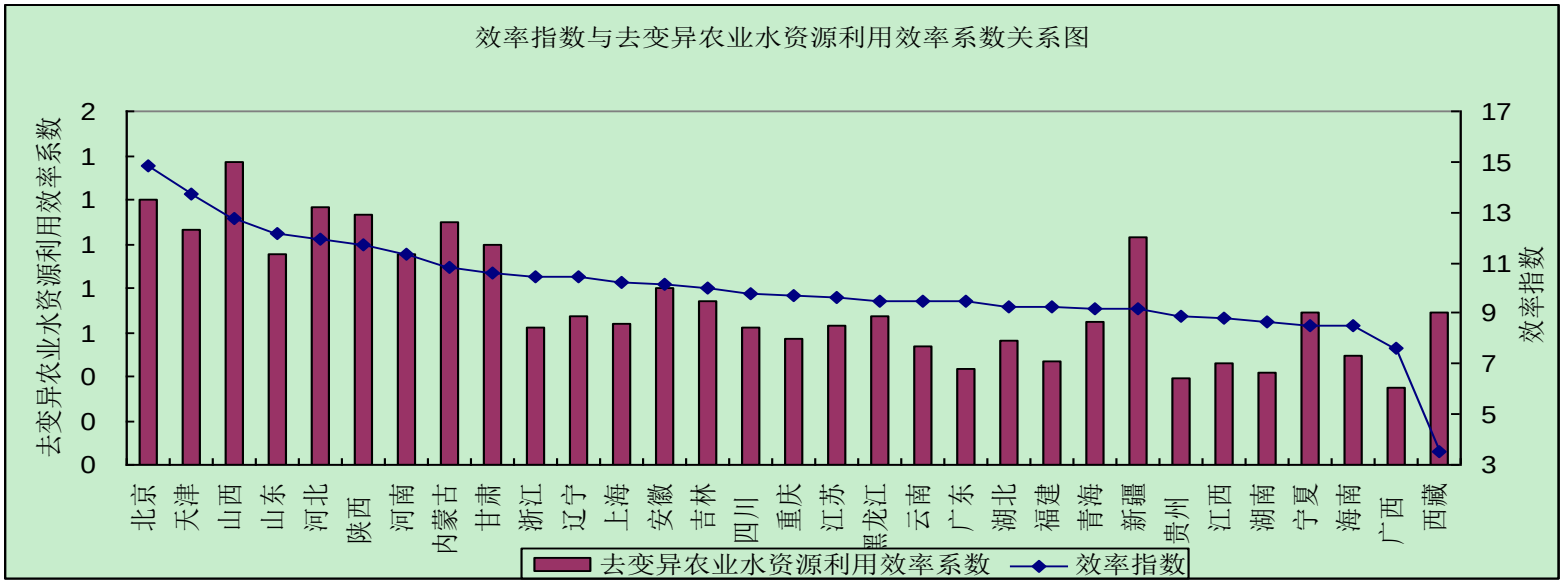
第三组水资源利用效率较低：效率指标值在9.5以下，主要是华南和西北地区，包括青海、新疆、贵州、江西、湖南、海南、宁夏、广西、西藏。

3.2 省市区水资源利用效率结果

自然因素对水资源利用效率的影响



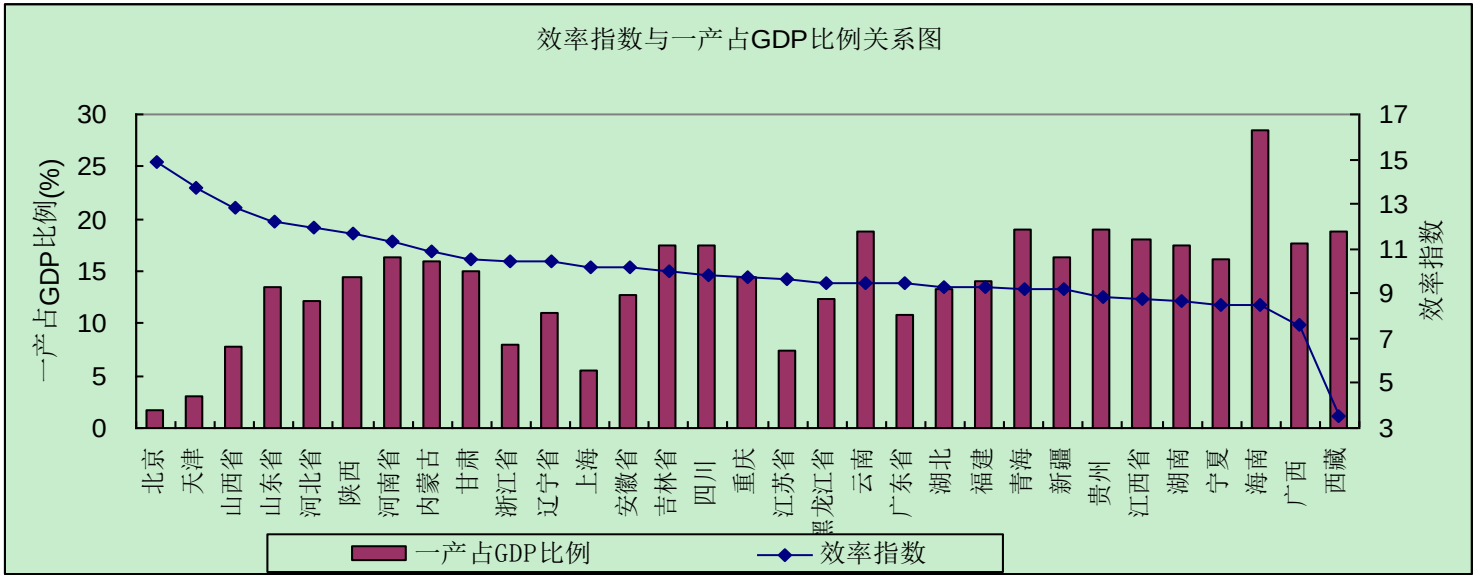
水资源利用效率排位靠前的天津、北京、山东、山西等地区，人均水资源量大多低于500 m³，只有河北、河南和内蒙古的人均水资源量超过了1000m³，第二组里的省份人均水资源量多数在2000m³.



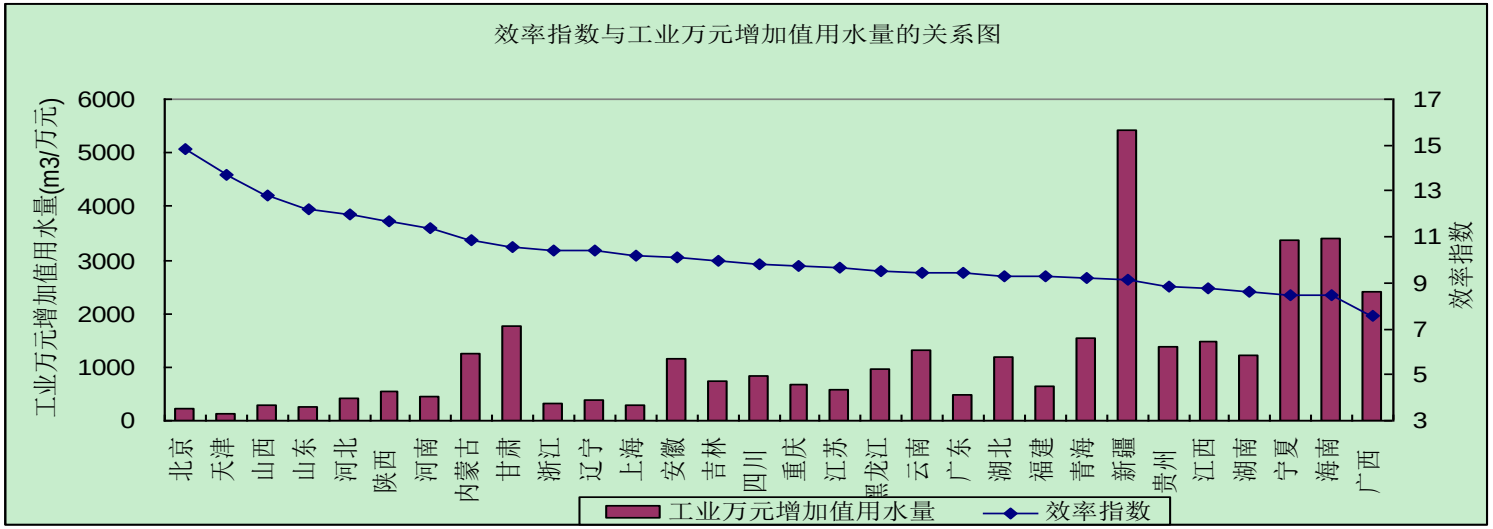
效率指数和去变异农业水资源利用效率大体上呈正相关关系，相关系数R^2=0.80。

3.2 省市区水资源利用效率结果

产业结构对水资源利用效率的影响



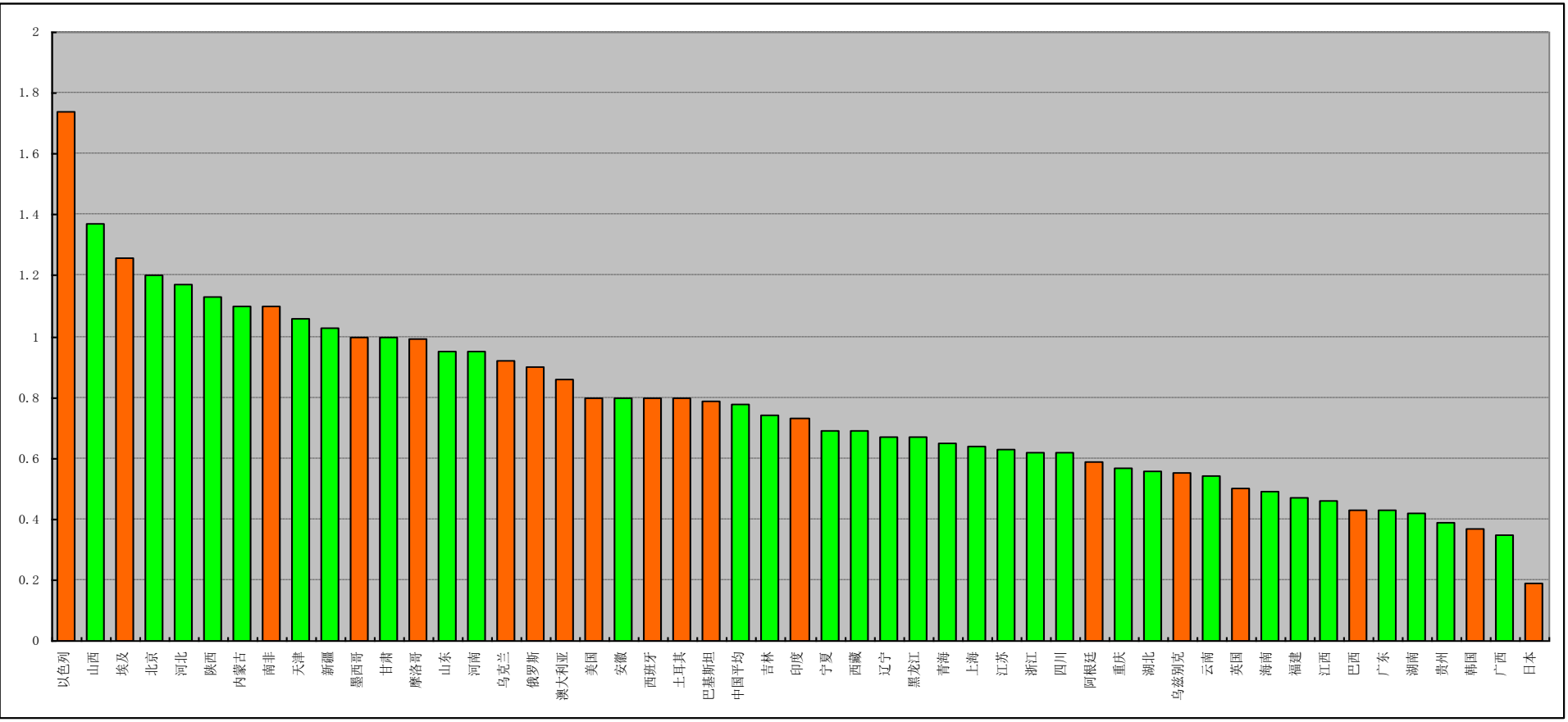
水资源利用效率指数大体上随着一产占总GDP比例的升高而降低，相关系数 R^2=0.80



水资源利用效率指数随着工业万元增加值用水量的增加而降低，相关系数R^2=0.85。工业生产过程中设备和工艺的改革是提高一个地区用水效率的有效途径。

3.2 省市区水资源利用效率结果

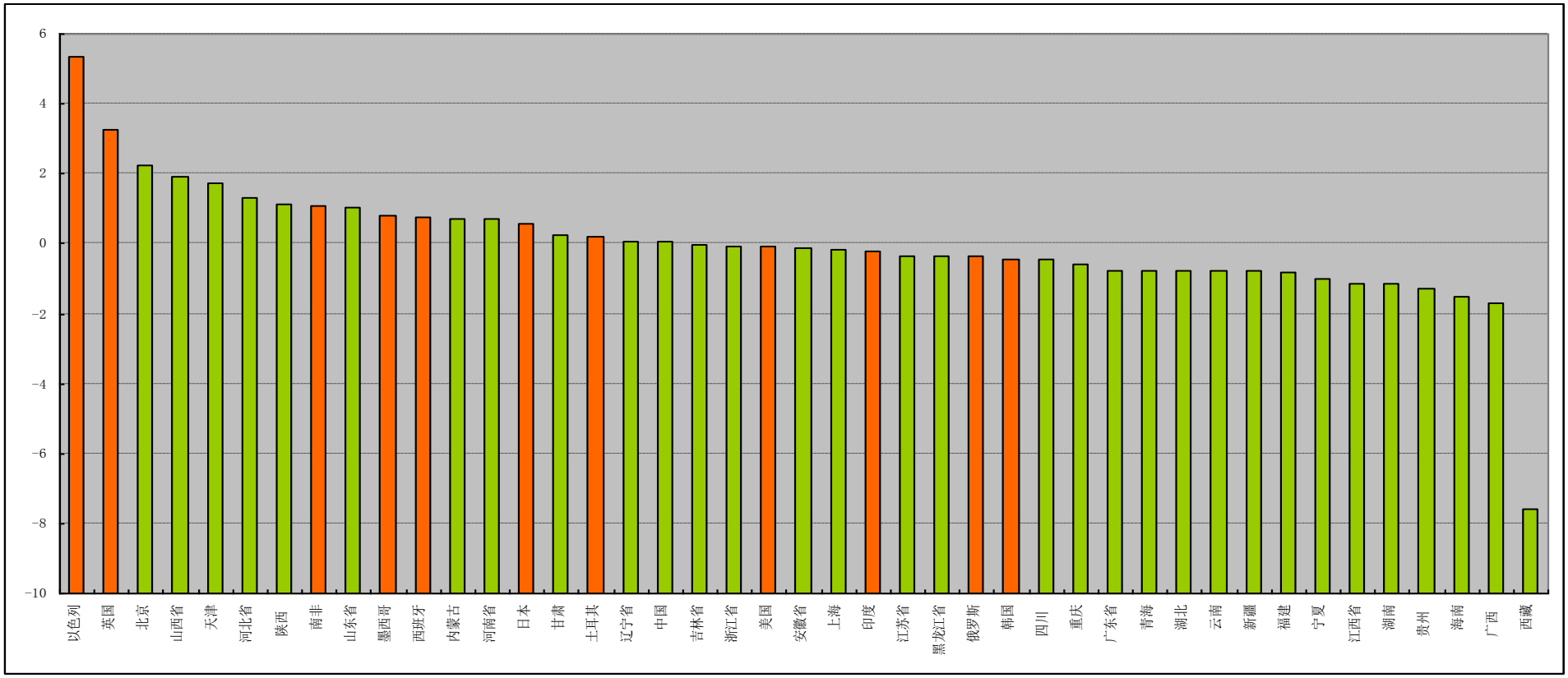
31个省、市、自治区和20个国家的农业水资源利用效率比较



山西、北京和河北等省市的农业水资源利用效率已接近国际先进水平，但是与目前农业节水最为发达的以色列仍有较大差距。而广西、湖南和贵州等省市的农业用水效率仍有待进一步提高。

3.2 省市区水资源利用效率结果

31个省、市、自治区和12个国家的水资源利用效率评价结果比较



我国处于中下水平，以色列和英国高，而韩国、印度、俄罗斯的用水效率较低。北京、山西和天津等省市接近国际先进水平，但与水资源利用先进国家（以色列和英国）仍有一定差距。

CONTENTS

目录

1 背景和意义

2 国内外研究进展

3 水资源利用效率投影寻踪评价模型

4 水资源利用效率迭代修正评价模型

5 水资源利用效率DEA评价模型

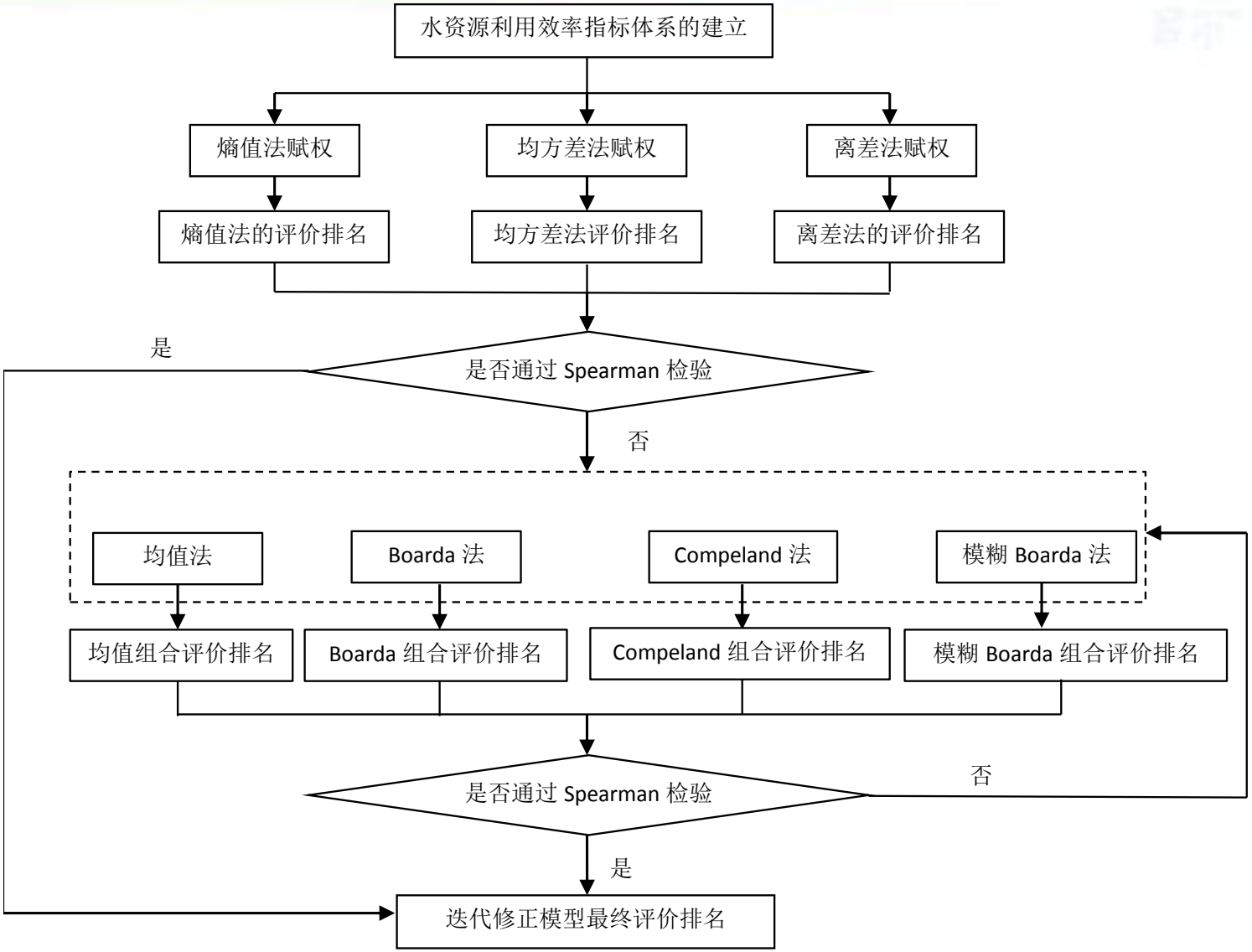
6 结束语

4 水资源利用效率迭代修正率评价模型

➢ 模型原理

一般情况下，各种单一评价方法对同一个评价对象的结果是不同的。迭代修正评价模型就是要将不同的评价结果综合成为统一的结果。迭代修正的设想如下：对于不同的评价排序，通过第i个被评价对象在第j种方法下排名的分数 r_{ij} ，利用平均值法、Boarda法、Compeland法以及模糊Boarda法四种组合方法对排名的分数 r_{ij} 进行组合排名，以Spearman检验作为判别手段。当通过检验时，认为迭代完成，从而确定第i个城市的最终排序。

4 水资源利用效率迭代修正率评价模型



4.1 研究方法—迭代修正评价中单一评价的赋权

单一评价的赋权问题是迭代修正评价的第一步。单一评价的赋权有多种方法，常见的有层次分析法、熵值法、均方差法、主成分法、离差法、模糊评价法等等。从中选取了三种方法：熵值法、均方差法、离差法。

- **熵值法**

设 m_k 为第 k 个指标的权重；a_{ik} 为第 i 个评价对象第 j 个指标规范化处理后的分值；n 为被评价对象的数量；l 为指标个数。利用熵值法求得的权重 m_k 为

$$m_k = \frac{1+\frac{1}{\ln(n)}\times\sum_{i=1}^{n}\left[a_{ik}\Big/\sum_{i=1}^{n}a_{ik}\right]\times\left[\ln\left(a_{ik}\Big/\sum_{i=1}^{n}a_{ik}\right)\right]}{\sum_{k=1}^{l}\left\{1+\frac{1}{\ln(n)}\times\sum_{i=1}^{n}\left[a_{ik}\Big/\sum_{i=1}^{n}a_{ik}\right]\times\left[\ln\left(a_{ik}\Big/\sum_{i=1}^{n}a_{ik}\right)\right]\right\}}$$

- **均方差法** 利用均方差法求得的权重 m_k 为

$$m_k = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(a_{ik}-\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}a_{ik}\right)^2\Big/n}\Bigg/\sum_{k=1}^{l}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(a_{ik}-\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}a_{ik}\right)^2\Big/n}$$

- **离差法** 利用离差法求得的权重 m_k 为

$$m_k = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\left|a_{ik}-a_{jk}\right|\Bigg/\sum_{k=1}^{l}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\left|a_{ik}-a_{jk}\right|$$

4.1 研究方法—Spearman等级相关系数检验

几种评价方法从不同角度进行评价，其结果可能有一定的差异，但对于同一个样本而言，这几种评价结果不应该有过大的差异。本文采用Spearman等级相关系数检验法来检验这几种评价方法的密切程度。

有原假设：H_{0ij}：i，j 两种方法不相关

备择假设：H_{1ij}：i，j 两种方法正相关

假设 m 种组合评价方法对 n 个不同的地区进行评价，z_{ij} 表示第 i 个被评地区在第 j 种组合评价方法下的排名，则 Spearman 等级相关系数公式为

$$\rho_{jk} = 1 - \frac{6\sum_{i=1}^{n}\left(z_{ik} - z_{ij}\right)^2}{n\left(n^2 - 1\right)}$$

给定显著水平 a 时，当 $\rho_{jk} > \left(1-\alpha\right)$ 时，拒绝 H_0，即 k，j 两种评价方法具有正相关。若这几种评价方法均正相关，则称这几种评价方法具有一致性。

4.1 研究方法—组合评价方法

- **平均值法**　如果设 r_{ij} 是第 i 地区在第 j 种方法下的排名，则首先将其转换为分数 D_{ij}

$$D_{ij} = n - r_{ij} + 1$$

其中，n 是地区总数。有了这个分数之后，可以得到均值方法的组合评价表达式为

$$\bar{D}_i = \frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m} D_{ij}$$

- **Boarda法**　少数服从多数

地区 i 的 Boarda 得分为

$$B_i = \sum_{j=1}^{n} b_{ij}$$

- **Compeland法**　区分“优”和“劣”的方法

地区 i 的 Compeland 得分的计算公式为

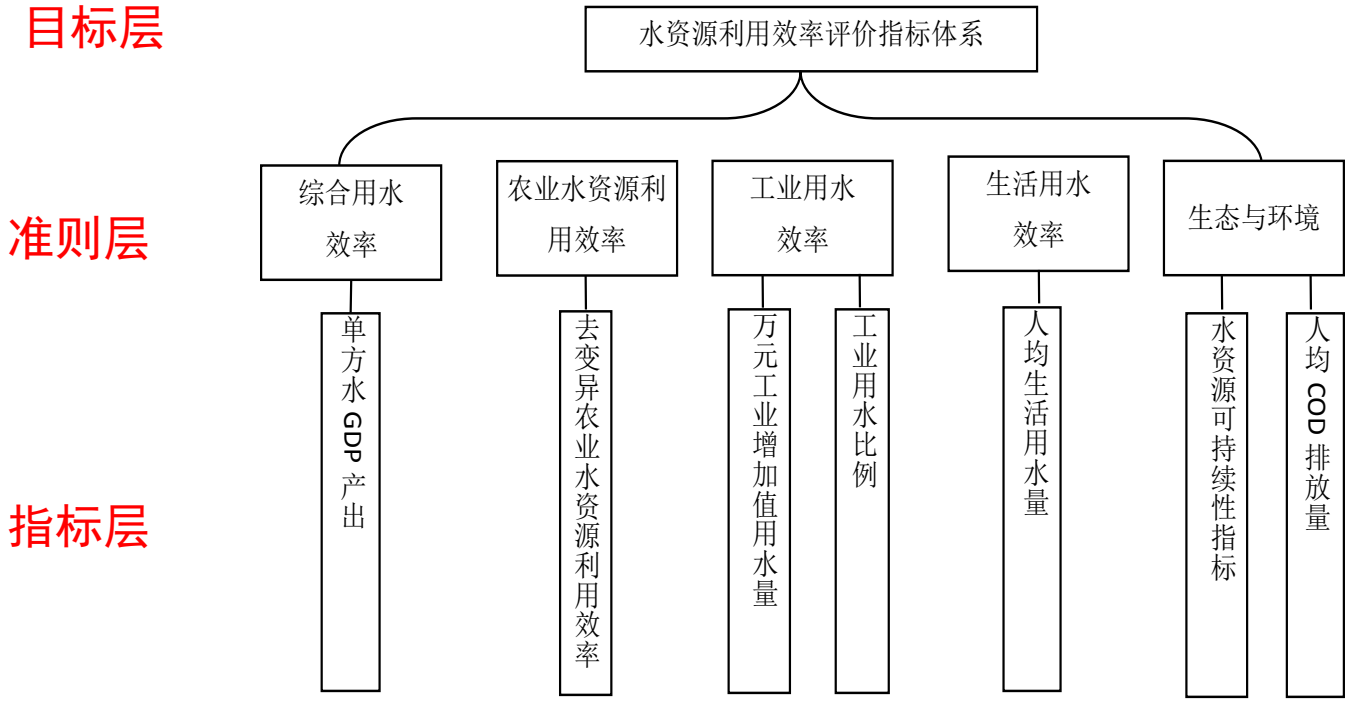
$$C_i = \sum_{j=1}^{n} c_{ij}$$

- **模糊Boarda法**　在组合时既考虑到得分的差异，又考虑到排序的差异的方法

首先要计算隶属度；然后计算模糊频数；
第三步，计算模糊频率；第四步，将排序转化为得分；
最后计算模糊Boarda得分。

4.2 实例分析

➢ 指标体系的构建



4.2 实例分析

中国31个省级行政区作为样本，选取2006-2010五年水资源利用效率指标体系的均值，利用迭代修正评价模型对各省水资源利用效率进行综合评价。

4.2.1 用单一评价方法对评价对象的评价

评价方法2（即均方差法）与评价方法3（离差法），以及评价方法1（熵值法）与评价方法3并不能通过Spearman等级相关系数检验，不具有一致性。

不同单一评价方法下水资源利用效率得分及排名

省级行政区	熵值法		均方差法		离差法	
	得分 d_i	排名 r_{i1}	得分 d_i	排名 r_{i2}	得分 d_i	排名 r_{i3}
北京	0.5159	1	0.7129	1	0.7481	1
天津	0.3400	3	0.4973	2	0.5056	3
河北	0.2458	13	0.4447	8	0.4601	6
山西	0.2921	5	0.4955	3	0.5180	2
内蒙古	0.2056	18	0.3852	19	0.3945	17
辽宁	0.2189	17	0.3650	22	0.3609	22
吉林	0.1960	23	0.3449	25	0.3417	25
黑龙江	0.1854	27	0.3465	24	0.3458	24
上海	0.3258	4	0.4814	4	0.4908	4
江苏	0.2467	12	0.4187	14	0.4255	15
浙江	0.2662	8	0.4314	13	0.4350	13
安徽	0.2311	16	0.4385	12	0.4546	10
福建	0.2761	7	0.4410	10	0.4464	12
江西	0.1895	25	0.3496	23	0.3469	23
山东	0.2496	11	0.4402	11	0.4487	11
河南	0.2536	10	0.4605	5	0.4762	5
湖北	0.2372	15	0.4148	15	0.4220	16
湖南	0.1997	22	0.3447	26	0.3404	26
广东	0.2897	6	0.4508	6	0.4556	9
广西	0.1634	30	0.2462	30	0.2271	30
海南	0.1921	24	0.3301	28	0.3309	29
重庆	0.2609	9	0.4489	7	0.4594	8
四川	0.2052	20	0.3861	18	0.3891	18
贵州	0.1859	26	0.3747	20	0.3770	19
云南	0.1849	28	0.3670	21	0.3675	21
西藏	0.5097	2	0.3877	17	0.3695	20
陕西	0.2449	14	0.4445	9	0.4596	7
甘肃	0.2053	19	0.4120	16	0.4276	14
青海	0.2012	21	0.3433	27	0.3387	27
宁夏	0.1256	31	0.2177	31	0.2034	31
新疆	0.1789	29	0.3261	29	0.3364	28

4.2 实例分析

4.2.2 用迭代修正的组合评价模型对评价对象的评价

各个省级行政区的水资源利用效率排名在4种组合评价方法下都相同。这也是使用迭代修正评价模型所希望看到的结果，即各种评价方法具有了一致性。

第二次迭代修正评价模型下水资源利用效率得分及排名

省级行政区	平均值法		Boarda法		Compeland法		模糊Boarda法	
	得分 d_i	排名 r_{i1}	得分 d_i	排名 r_{i2}	得分 d_i	排名 r_{i3}	得分 d_i	排名 r_{i4}
北京	31	1	30	1	120	1	465	1
天津	30	2	29	2	112	2	435	2
河北	24	8	23	8	64	8	276	8
山西	29	3	28	3	104	3	406	3
内蒙古	14	18	13	18	-16	18	91	18
辽宁	12	20	11	20	-32	20	66	20
吉林	8	24	7	24	-64	24	28	24
黑龙江	6	26	5	26	-81	26	15	26
上海	28	4	27	4	96	4	378	4
江苏	17	15	16	15	8	15	136	15
浙江	19.75	12	19	12	30	12	186.47	12
安徽	18.75	14	17	14	20	14	167.68	14
福建	23	9	22	9	53	9	253	9
江西	9	23	8	23	-56	23	36	23
山东	21	11	20	11	40	11	210	11
河南	27	5	26	5	88	5	351	5
湖北	16	16	15	16	0	16	120	16
湖南	7	25	6	25	-72	25	21	25
广东	26	6	25	6	80	6	325	6
广西	2	30	1	30	-112	30	1	30
海南	4	28	3	28	-96	28	6	28
重庆	25	7	24	7	72	7	300	7
四川	13	19	12	19	-24	19	78	19
贵州	11	21	10	21	-40	21	55	21
云南	10	22	9	22	-48	22	45	22
西藏	19	13	17	13	22	13	169.97	13
陕西	22.75	10	21	10	51	10	248.55	10
甘肃	15	17	14	17	-8	17	105	17
青海	5.25	27	4	27	-87	27	11.33	27
宁夏	1	31	0	31	-120	31	0	31
新疆	3	29	2	29	-104	29	3	29

4.2 实例分析

4.2.3各省水资源利用效率状况分析

各省级行政区水资源利用效率排名

省级行政区	排名	省级行政区	排名	省级行政区	排名	省级行政区	排名
北京	1	福建	9	甘肃	17	湖南	25
天津	2	陕西	10	内蒙古	18	黑龙江	26
山西	3	山东	11	四川	19	青海	27
上海	4	浙江	12	辽宁	20	海南	28
河南	5	西藏	13	贵州	21	新疆	29
广东	6	安徽	14	云南	22	广西	30
重庆	7	江苏	15	江西	23	宁夏	31
河北	8	湖北	16	吉林	24		

利用效率最高的三个省级行政区依次是北京、天津、山西，排名最低的三个省级行政区依次是宁夏、广西、新疆。

4.2 实例分析

4.2.3各省水资源利用效率状况分析

利用迭代修正评价模型，还可以对各省级行政区准则层进行排名，从而能够更全面的了解各省级行政区的水资源利用状况。

各省级行政区水资源利用效率准则层评价排名

省级行政区	总排名	准则层迭代修正评价排名					聚类结果
		综合用水效率	农业用水效率	工业用水效率	生活用水效率	生态和环境用水效率	
北京	1	1	2	2	1	6	A
天津	2	2	6	1	20	25	A
河北	8	8	3	8	26	12	A
山西	3	5	1	4	31	19	A
内蒙古	18	19	5	18	29	21	B
辽宁	20	7	15	7	13	27	B
吉林	24	13	12	15	23	28	B
黑龙江	26	25	15	19	17	22	B
上海	4	4	18	5	8	29	A
江苏	15	16	19	12	10	23	C
浙江	12	6	20	6	9	20	C
安徽	14	20	11	21	22	5	C
福建	9	14	26	13	3	13	C
江西	23	23	27	22	14	14	B
山东	11	3	9	3	30	9	A
河南	5	10	9	9	16	7	A
湖北	16	17	23	17	6	15	C
湖南	25	21	29	25	7	24	B
广东	6	9	28	11	2	16	A
广西	30	28	31	27	4	30	B
海南	28	24	25	29	5	18	B
重庆	7	12	22	14	11	10	A
四川	19	15	20	16	25	8	C
贵州	21	22	30	23	15	2	B
云南	22	18	24	20	18	3	B
西藏	13	30	13	31	12	1	C
陕西	10	11	4	10	28	11	A
甘肃	17	27	8	26	27	4	C
青海	27	26	17	24	19	17	B
宁夏	31	29	13	28	21	31	B
新疆	29	31	7	30	24	26	B

4.3 小结

- ✓ 运用迭代修正的思想，采用Spearman等级相关系数检验作用验证手段，将熵值法、离差法、均方差法三种单一评价模型进行了组合，建立了水资源利用效率的迭代修正评价模型，弥补了单一评价方法的不足.
- ✓ 排名最高的是北京、天津、山西，排名最低的是宁夏、广西、新疆；

- ✓ A类省级行政区有10个，分别为北京、天津、河北、山西、上海、山东、河南、广东、重庆、陕西；
- ✓ B类省级行政区有13个，分别为内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江、江西、湖南、广西、海南、贵州、云南、青海、宁夏、新疆；
- ✓ C类省级行政区有8个，分别为浙江、福建、江苏、安徽、湖北、四川、西藏、甘肃。

CONTENTS

目录

1 背景和意义

2 国内外研究进展

3 水资源利用效率投影寻踪评价模型

4 水资源利用效率迭代修正评价模型

5 水资源利用效率DEA评价模型

6 结束语

5 北京市水资源利用效率DEA评价模型

- （1）从**行业**水资源利用效率**相对水平**的角度出发
- （2）选用评价相对有效性最常用的**数据包络分析(DEA)**
- （3）区分水资源利用**直接效率**和**完全效率**
- （4）对北京市第一、第二和第三产业内不同行业的水资源利用**综合效率、技术效率和规模效率**进行评价和对比分析
- （5）从**技术**和**规模**两个角度，探讨现有产业结构下各行业节水方案.

5.1 研究方法—DEA

综合效率 = 纯技术效率 × 规模效率

含有非阿基米德无穷小量的 C^2R 对偶模型为：

$$\begin{cases} \min\theta - \varepsilon\left[\sum_{i=1}^{m} S_i^- + \sum_{r=1}^{s} S_r^+\right], \\ s.t. \quad \sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{ij} + S_i^- - \theta x_{ij0} = 0, \\ \quad \sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj} + S_r^+ - y_{rj0} = 0, \\ \quad \lambda_j \geq 0, j = 1,2,\cdots,n, \\ \quad S_i^- \geq 0, S_r^+ \geq 0 \quad . \end{cases}$$

综合效率

式中，θ为决策单元的有效值，即投入和产出的相对效率值；ε为非阿基米德无穷小，计算时可取$\varepsilon = 10^{-6}$；S_i^-和S_r^+分别为松弛变量，S_i^-为投入冗余，S_r^+为产出不足；λ_j为第 j 个决策单元 DMU 的组合系数，其经济学含义是，对每个 DMU 都可以对其构造一个新的投入产出组合，这个新组合是以λ表示的其它 DMU 水资源利用投入的线性组合，新 DMU 可以在不减少输出的前提下，将输入减少一定比例，从而提高投入产出比率，提高效率。

含有非阿基米德无穷小量的 BC^2 对偶模型为：

$$\begin{cases} \min\sigma - \varepsilon(\hat{e}^T S^- + e^T S^+), \\ s.t. \quad \sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{ij} + S_i^- - \sigma x_{ij0} = 0, \\ \quad \sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj} + S_r^+ - y_{rj0} = 0, \\ \quad \sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1 \\ \quad \lambda_j \geq 0, j = 1,2,\cdots,n, \\ \quad S^- \geq 0, S^+ \geq 0 \quad . \end{cases}$$

纯技术效率

式中，σ表示水资源利用纯技术效率；

$$\hat{e}^T = (1,1,\cdots,1) \in E_m, \quad e^T = (1,1,\cdots,1) \in E_s.$$

模型最优解为σ^0，λ^0，s^{0+}，s^{0-}，含义与综合效率模型相同。

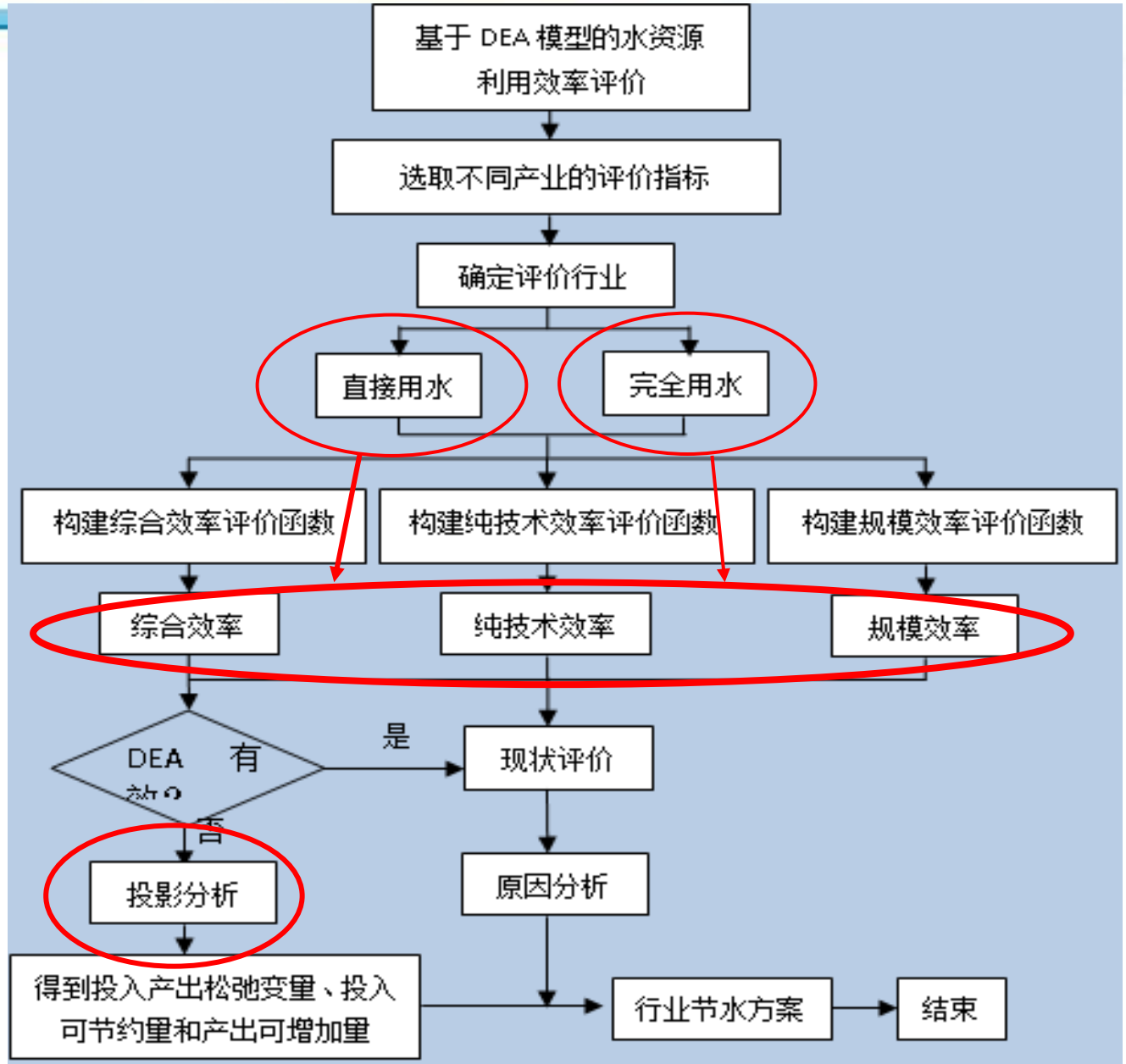
根据前面提到的水资源利用综合效率、纯技术效率和规模效率间的关系，可以得到规模效率的计算公式：

$$s^0 = \frac{\theta^0}{\sigma^0}$$

规模效率

式中，s^0表示水资源利用规模效率。若$s^0 = 1$，则 DMU 为最优规模状态；若$s^0 \neq 1$，则 DMU 未达到规模最优状态，需要根据水资源利用综合效率中的$\sum\lambda_j$进行改进：

5.1 研究方法—计算流程图



5.1 研究方法—行业分类

- 根据国家行业分类标准和数据的可获得性，分别选取各时期北京市第一、第二和第三产业的代表性行业如下：

产业分类	编号	行业名称	产业分类	编号	行业名称
第一产业	1	农、林、牧、副、渔业	第二产业	14	铁路、船舶、航空航天和其他运输设备制造业
第二产业	2	煤炭开采和洗选业		15	电气机械和器材制造业
	3	黑色金属矿采选业		16	计算机、通信和其他电子设备制造业
	4	食品制造业		17	仪器仪表制造业
	5	纺织业		18	电力、热力生产和供应业
	6	皮革、毛皮、羽毛及其制品和制鞋业	第三产业	19	交通运输、仓储业和邮政业
	7	木材加工和木、竹、藤、棕、草制品业		20	信息传输、软件和信息技术服务业
	8	造纸和纸制品业		21	批发和零售业
	9	化学原料和化学制品制造业		22	住宿和餐饮业
	10	非金属矿物制品业		23	金融业
	11	金属冶炼及压延加工业		24	房地产业
	12	金属制品业		25	租赁和商务服务业
	13	通用设备制造业			

5.2 实例分析—北京市

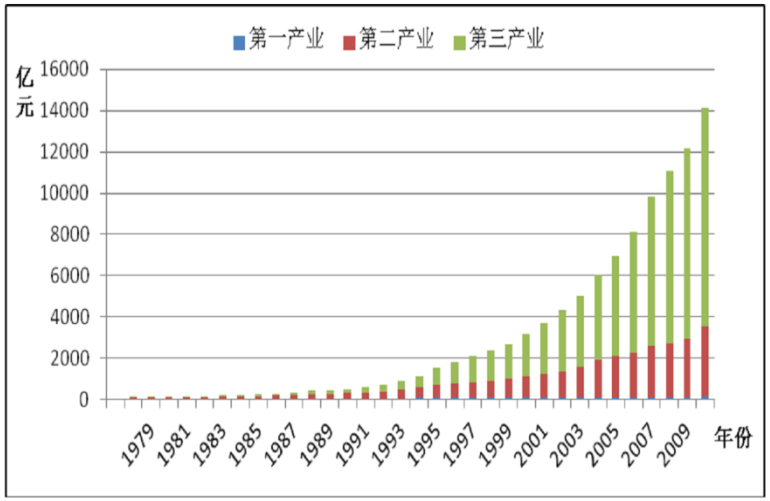


图 2. 1978-2010 年北京市地区生产总值增长趋势

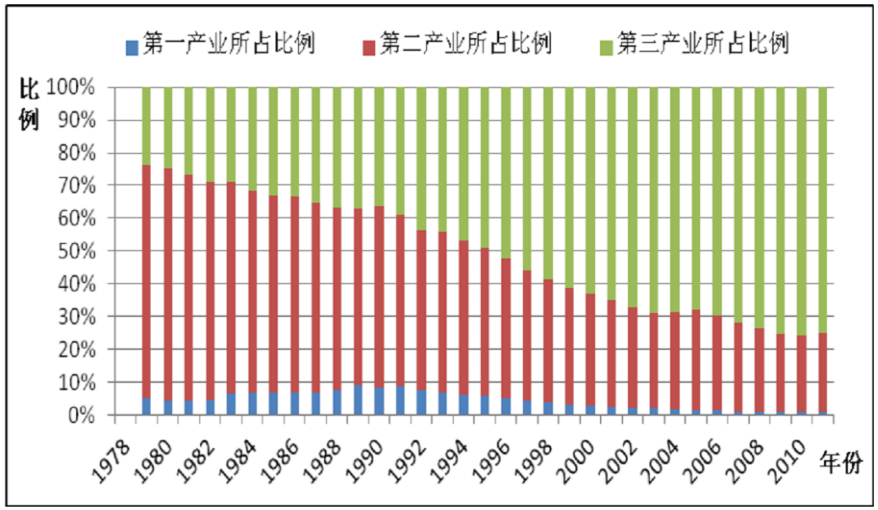


图 3. 1978-2010 年北京市三次产业结构变化动态

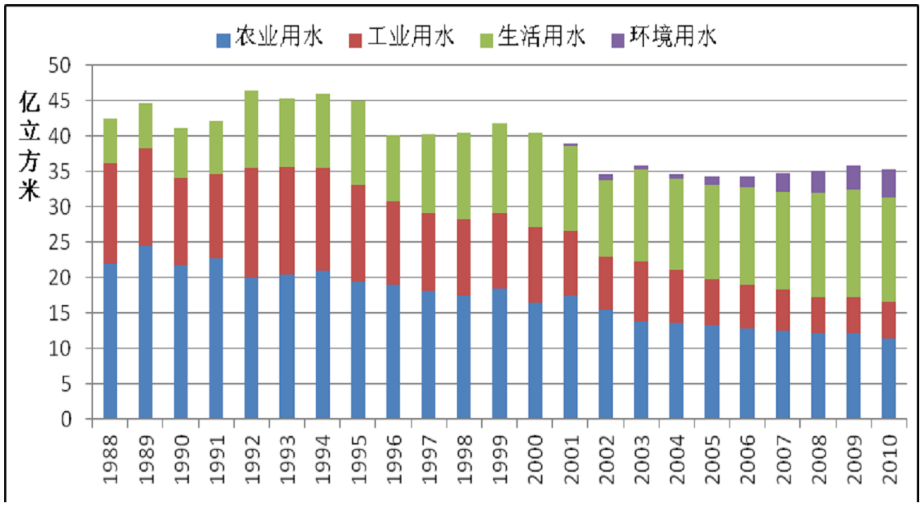


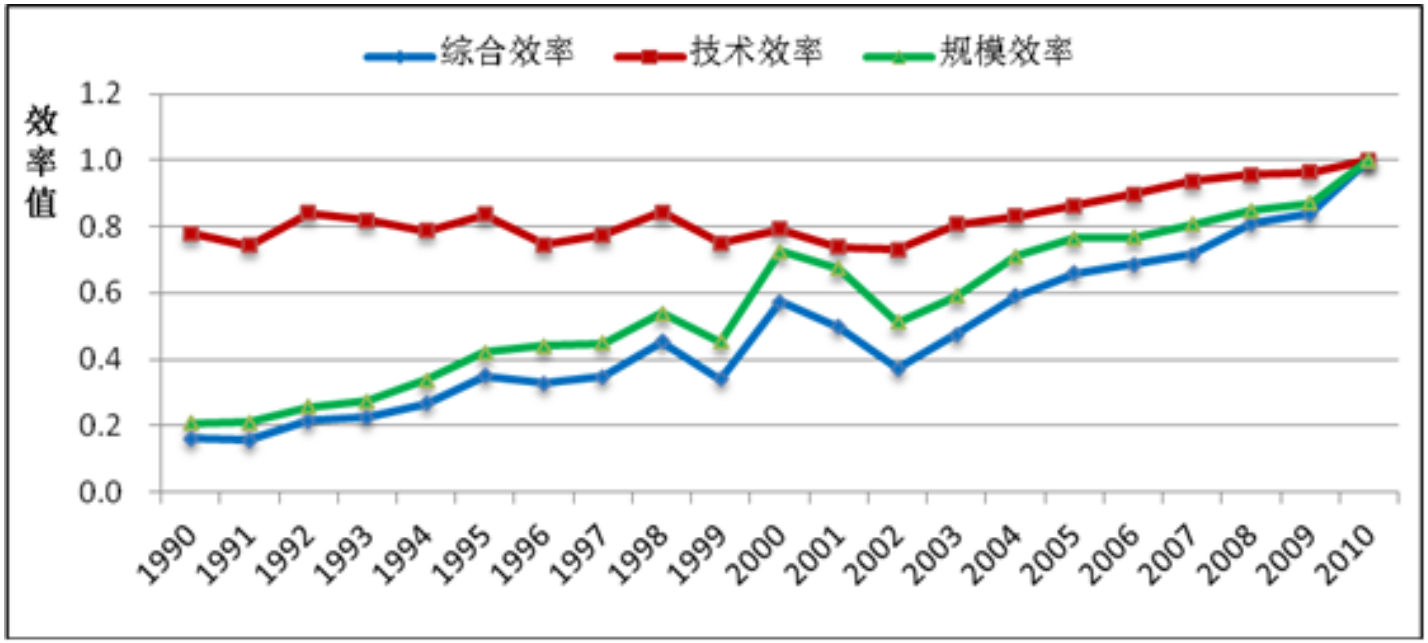
图 4. 1980-2010 年北京市用水结构变化趋势

生产总值呈急速增长趋势，第一、第二产业比重下降，第三产业比重快速上升北京市用水结构也发生了变化.

总用水量经历了先升后降， 并逐渐趋于稳定的过程。农业用水比重仍然较高，工业用水比重稳步下降，近年来趋于稳定，生活和环境用水持续增加。

5.2 实例分析—北京市

5.2.1 第一产业水资源利用效率分析

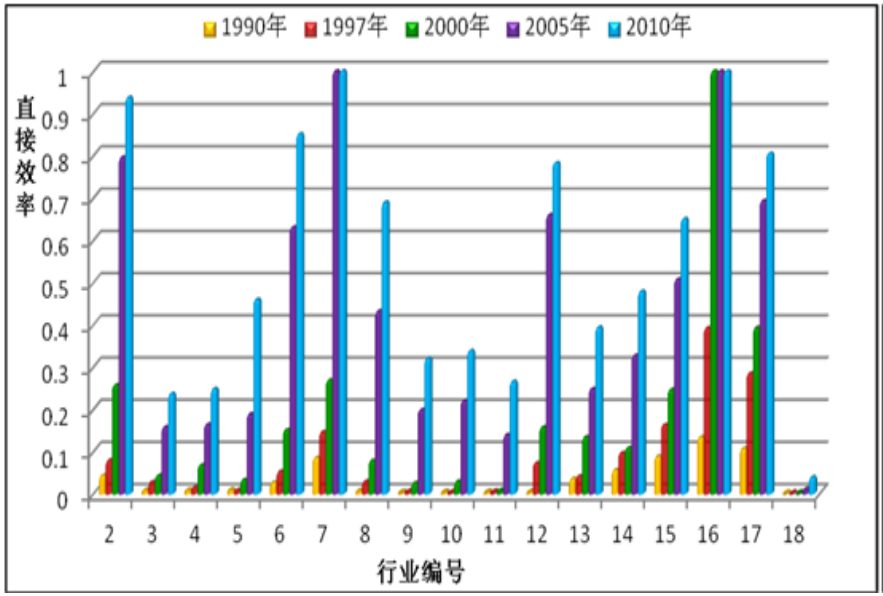


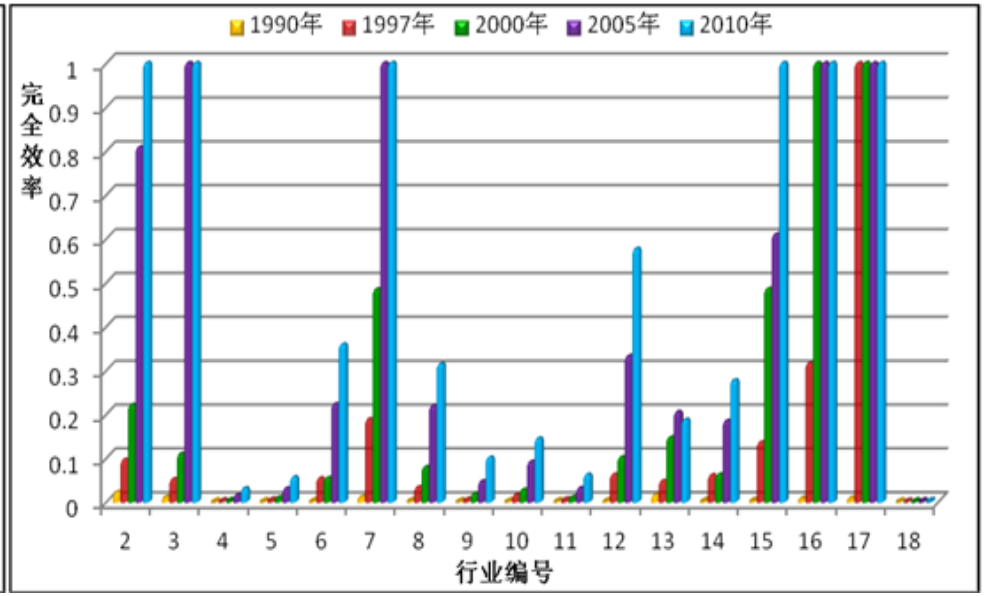
- 北京市第一产业的水资源利用综合效率、纯技术效率和规模效率都在**上升**，尤其是2002年以后，上升趋势明显加快，这与北京市降低农业规模和农业节水技术水平提高有很大关系。

5.2 实例分析—北京市

5.2.2 第二产业水资源利用效率分析

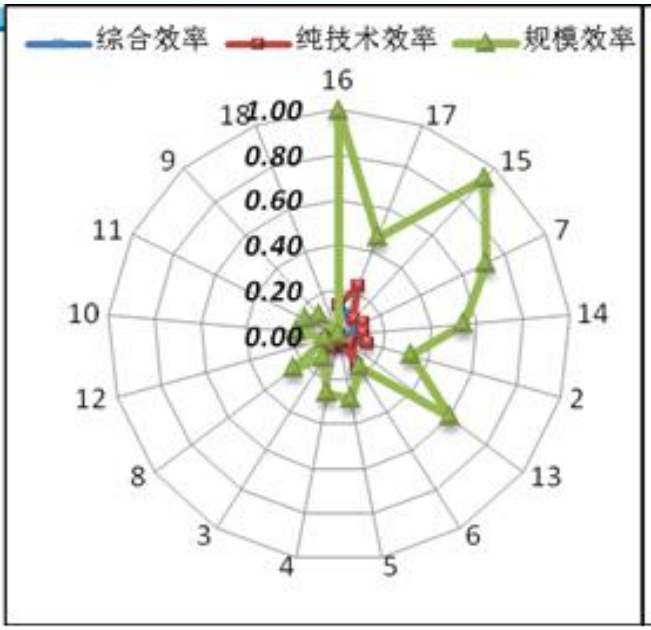
选取90年、97年、00年、05年和10年的计算结果

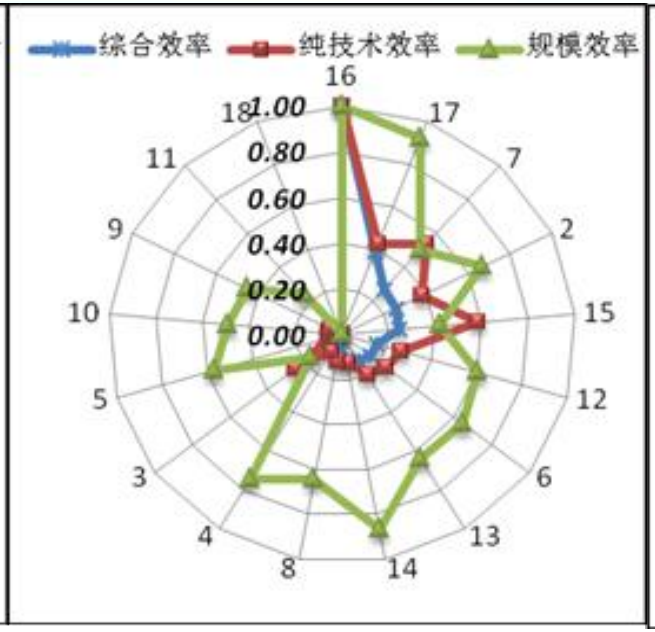


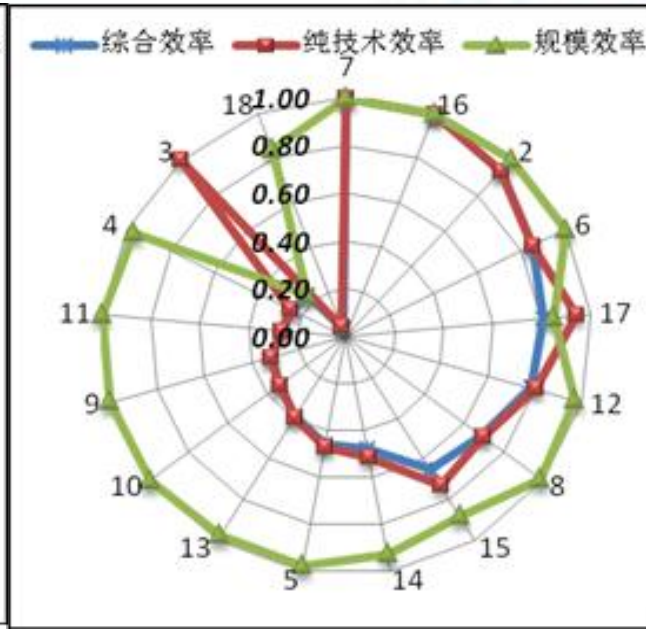


- ✓ 直接效率，（7木材加工和16计算机通信）分别在05年和10年达到综合效率DEA有效，纯技术效率和规模效率均最佳。
- ✓ 完全效率，10年DEA有效的行业有6个，（2煤炭开采和洗选业、3黑色金属矿采选业、7木材加工、15电气机械、16计算机通信和17仪器仪表制造业）。
- ✓ （18电力、热力生产和供应业水资源利用效率最低，节水空间最大）

5.2 实例分析—北京市 以1990年、2000年和2010年为代表



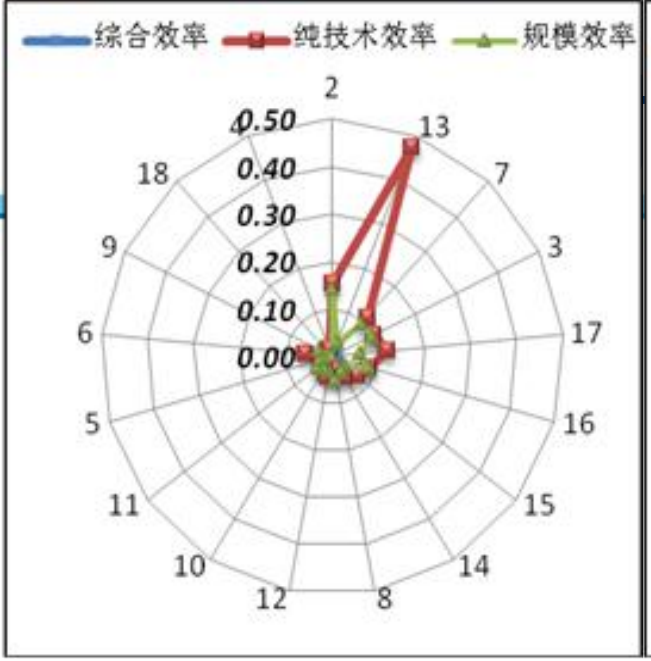


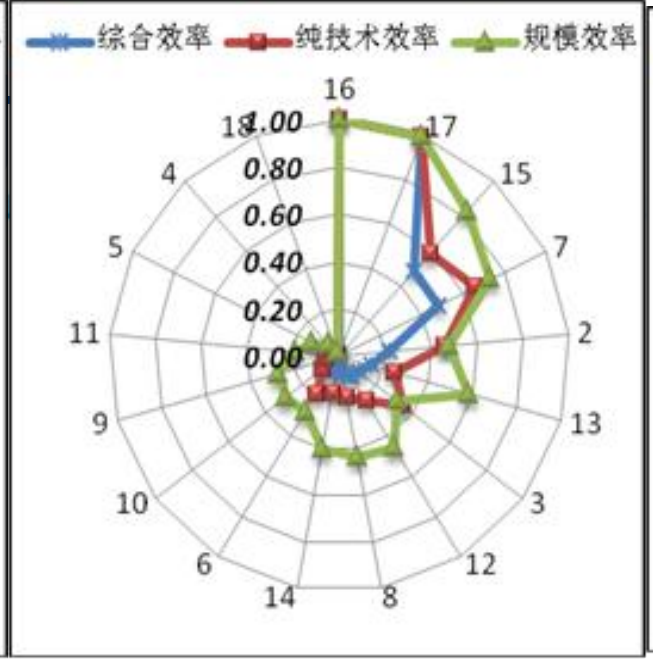


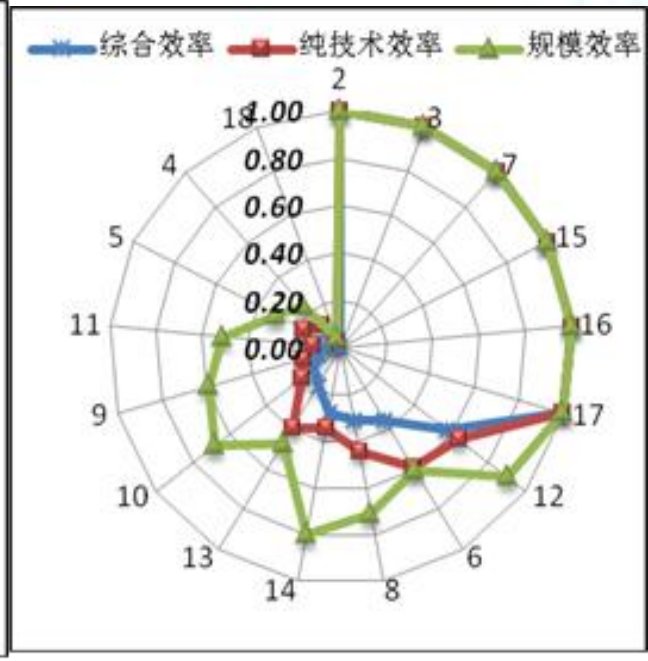
直接效率：

北京市第二产业水资源利综合效率、纯技术效率和规模效率都呈上升趋势，各圈层向外扩张明显。

其次，绝大多数行业的规模效率大于纯技术效率，这意味着<u>北京市第二产业通过自身生产部门的规模调整带来的水资源利用效率提升效果大于技术革新进步带来的水资源利用效率变化。</u>







完全效率：

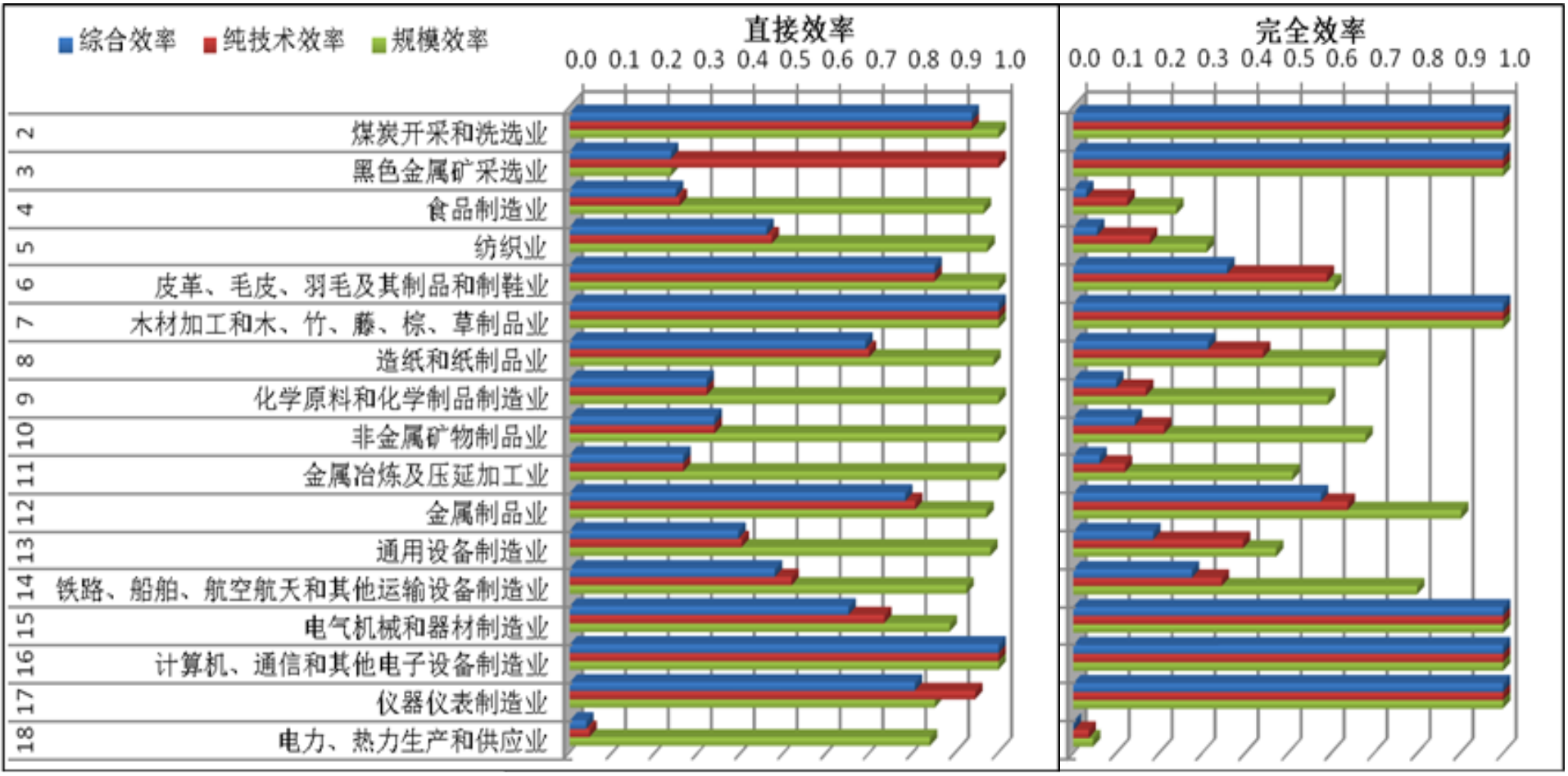
三种效率也都明显提高，但是纯技术效率和规模效率的关系发生了转变。

上世纪90年代，绝大多数行业的纯技术效率高于规模效率，说明那时第二产业通过技术革新引发的水资源利用效率提升效果大于规模调整。进入21世纪后，规模效率高于纯技术效率，说明各行业通过规模变更提升用水效率的力度逐渐大于科技创新。

有超过70 %的行业其直接效率（直接纯技术效率和规模效率）均高于完全效率。这说明，目前绝大多数行业自身生产部门，无论是从技术角度，还是规模角度，其用水效率已经较高。反而是间接生产部门的节水空间更大，需要进一步调整与完全效率有关的技术和规模水平，促进间接生产部门节水。

- 纯技术和规模效率

从行业内部而言，以2010年为例。



5.2 实例分析—北京市

- **投影分析（完全效率）**

编号	行业名称	S_1^-	S_2^-	规模效益
4	食品制造业	6.1519	239.7288	递减
5	纺织业	2.5208	187.2708	递减
6	皮革、毛皮、羽毛及其制品和制鞋业	0.5396	75.2731	递减
8	造纸和纸制品业	1.7062	51.5249	递减
9	化学原料和化学制品制造业	10.6264	78.8645	递减
10	非金属矿物制品业	4.439	78.2477	递减
11	金属冶炼及压延加工业	8.2324	137.742	递减
12	金属制品业	0.5974	48.4771	递减
13	通用设备制造业	3.0401	45.5444	递减
14	铁路、船舶、航空航天和其他运输设备制造业	2.9747	53.7632	递减
18	电力、热力生产和供应业	10.8802	2.5572	递减

- ✓ 第二产业水资源利用完全效率投入冗余和规模效益
- ✓ 非DEA有效的行业，行业用水百分比和新水直接用水系数都存在投入冗余，可按照2010年 θ^0, S_1^-, S_2^- 的，同比例减少水资源投入(11/17)。

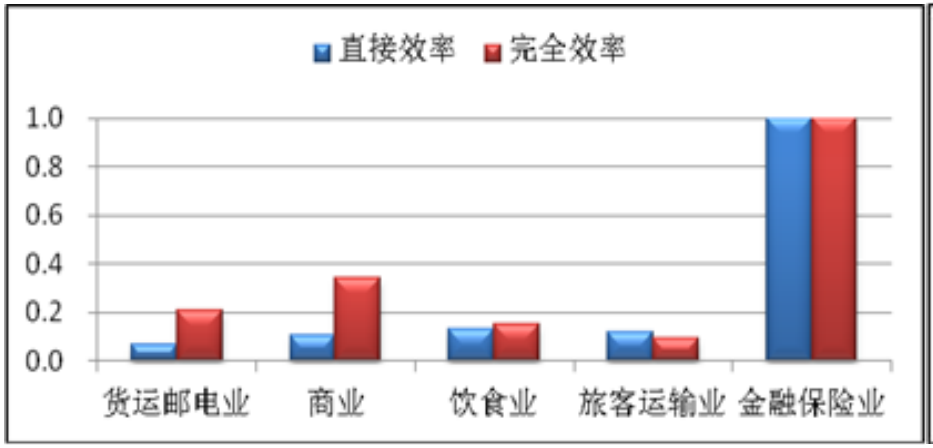
5.2 实例分析—北京市

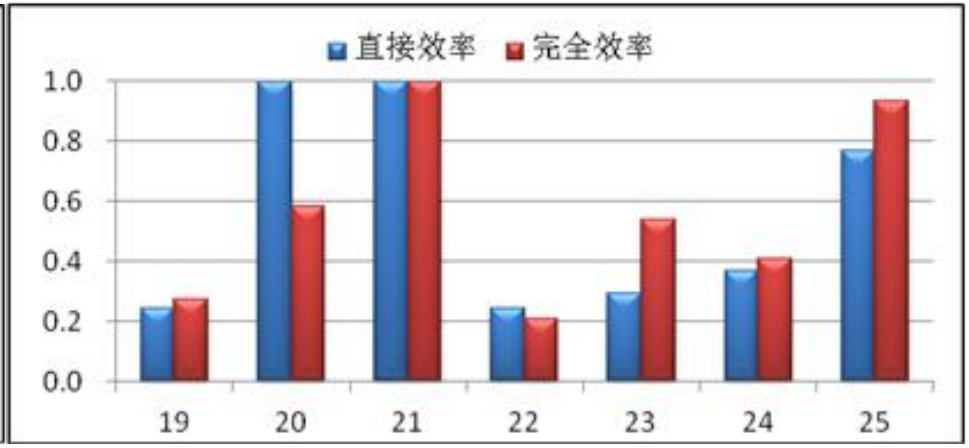
5.2.3 第三产业水资源利用效率分析

- 由于《国民经济行业分类与代码》在1990-2010年间，对第三产业的行业划分变化太大，因此没有办法针对行业比较水资源利用效率的变化情况，仅对**1990年**和**2010年**的水资源利用综合效率计算结果进行分析。

1990年，水资源利用直接效率和完全效率最高的都是金融保险业，直接效率最低的是货运邮电业，完全效率最低的是旅客运输业。

2010年，水资源利用直接效率最高的是20信息传输、软件和信息技术服务业和21批发和零售业，完全效率最高是21批发和零售业，直接效率和完全效率最低的都是22住宿和餐饮业。





5.4 小结

- （1）北京市一、二、三产业各代表行业的水资源利用综合效率、纯技术效率和规模效率都呈上升趋势，近20年节水效果明显；
- （2）1990-2010年北京市第一产业用水效率显著提高，尤其是技术革新和资源组合配置上的节水效果比规模调整明显，今后可通过减小产业规模和发展集约农业提高第一产业水资源利用效率；
- （3）第二产业水资源利用综合效率逐年递增，2010年已经有煤炭开采和洗选业等6个行业达到完全效率DEA有效；
- （4）虽然第二产业水资源利用纯技术效率和规模效率也都明显上升，但绝大多数行业通过规模变更提升用水效率的力度大于科技创新。考虑到北京市城市发展的制约，建议今后应转向依靠科技创新和资源优化配置提升用水效率，尤其是绝大多数行业的间接生产部门，节水空间会大于直接生产部门；

CONTENTS

目录

1 背景和意义

2 国内外研究进展

3 水资源利用效率投影寻踪评价模型

4 水资源利用效率迭代修正评价模型

5 水资源利用效率DEA评价模型

6 结束语

6 结束语

- 国内外对水资源效率评价的基础理论研究还不够，特别是国内目前还没有提出水资源利用效率评价的概念和内涵。
- 在我国农业是水资源消耗大户，并且农业具有粮食保障安全的战略意义，水资源效率评价都是围绕农业展开研究的，城市水资源效率评价研究较少。
- 在区域水资源效率评价中，核算水源中没有将土壤水计算在内，侧重于资源利用的某一环节，没有考虑水资源循环转化在区域、行业和部门之间的有机联系。
- 水资源效率评价指标中往往缺少生态环境方面的指标，没有考虑水质的影响,使得评价结果只重视经济效益而忽视生态效益。

6 结束语

Hongrui Wang, Hongliu Liu, Cheng Wang etal , A study of industrial relative water use efficiency of Beijing: An application of Data Envelopment Analysis, Water Policy (accepted).(SCI)

高雄，王红瑞，高媛媛等，基于迭代修正的水资源利用效率评价模型及其应用，水利学报，44（4）：478-488，2013（EI）

高媛媛，许新宜，王红瑞等中国水资源利用效率评估模型构建及应用， 系统工程理论与实践，33（3）：776-784， 2013（EI）

许新宜，王红瑞，刘海军等著，《中国水资源利用效率评估报告》，北京师范大学出版社，2010年6月.

白颖，王红瑞，许新宜等，水资源利用效率及评价方法若干问题研究，水利经济，2010，Vol.28(2):1-4.

谢谢！