

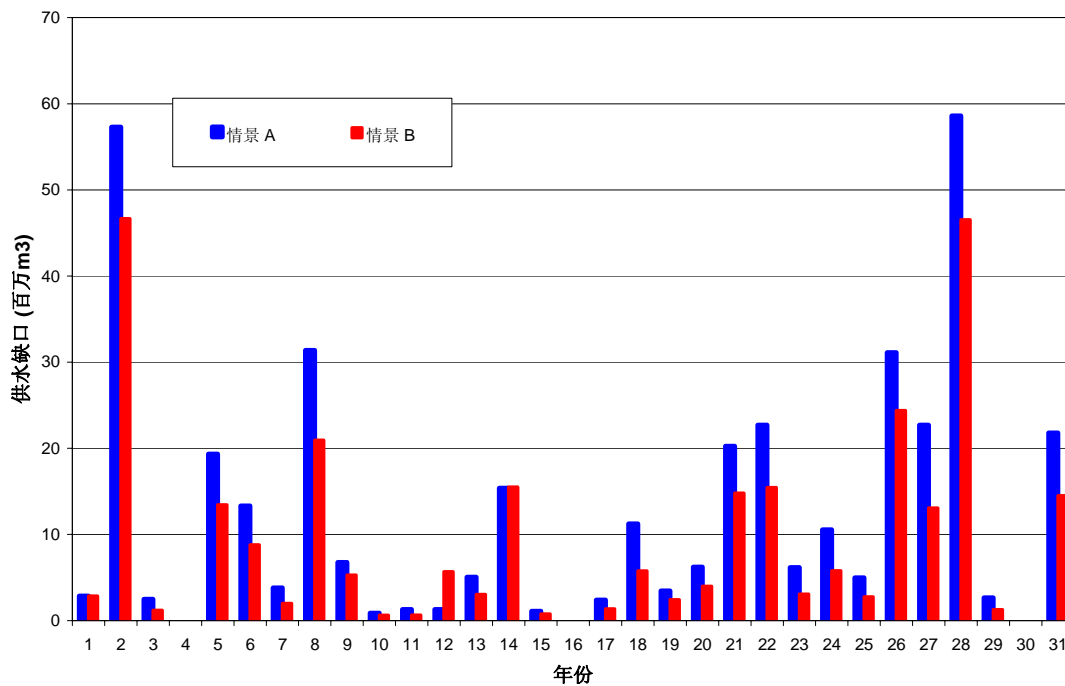
中英合作水资源需求管理项目 水资源综合管理方法汇编

2. 水资源综合管理

指导手册 2.3: 水资源情景方案的制定及情景模拟

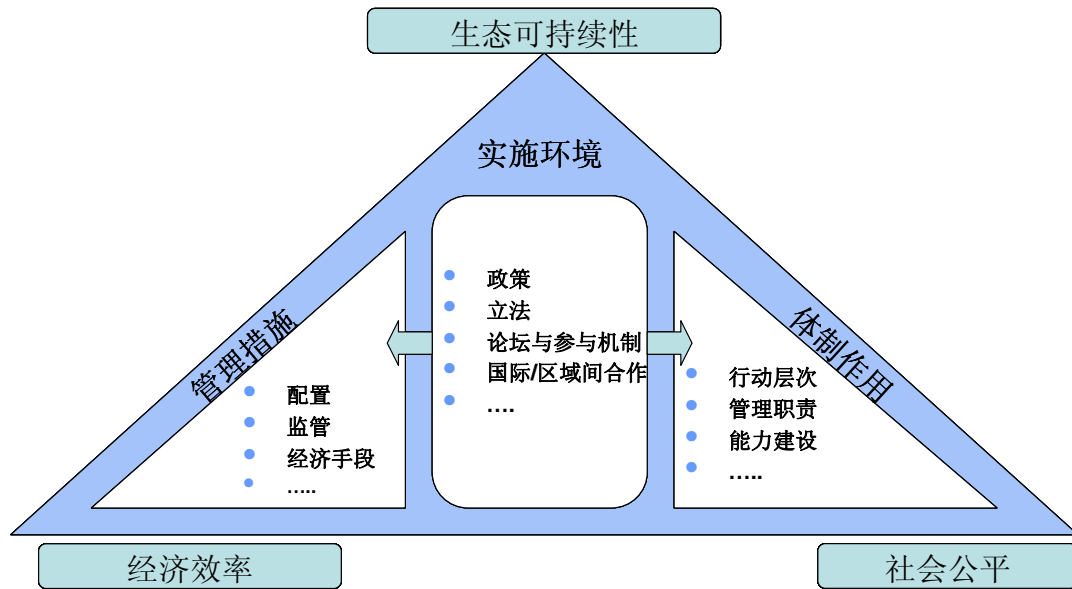
2010 年 5 月

中部流域地表水灌区供水缺口

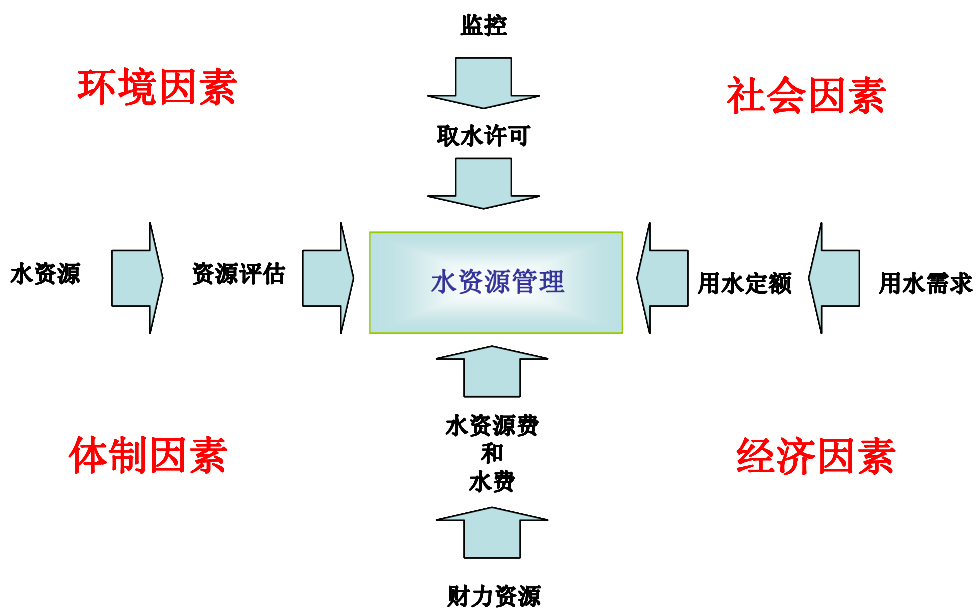


水资源综合管理 (IWRM)

(基本原理引自全球水伙伴)



水资源综合管理驱动要素



(第二幅图引自水资源需求管理援助项目)

概述：对大多数水资源规划问题而言，实现目标可采用的方法通常有很多种。任意一种需水预测、可用水资源量评价、以及资源开发计划的组合都可以被称为是一种**情景方案**。在水资源规划中，我们一般会考虑一系列情景方案，对其进行评价，最终形成一个计划或者为计划的制定奠定基础。

一般会使用系统模拟模型对备选方案进行评价，因为这种模型可以给出各单独系统组分的各种结果，包括供水可靠性、作物产量、净收入、运行成本、净现值等等。这些结果进而可以帮助规划制定者及利益相关者做出决策。但这些并不是仅仅靠运行系统模拟模型就能实现的，还需要对数据进行前处理和后处理。

本手册为规划中情景方案的制定与使用提供指导，手册结构如下：

- 简介
- 水资源综合管理规划中的情景分析
- 情景方案的制定
- 情景方案的评价与模拟
- 成果示例

本文是可持续的水资源规划、水量分配和管理主题系列之一。参考书目中有本系列的详细介绍。

在水利部的支持下，根据中英合作水资源需求管理援助项目（WRDMAP）的成果，特编写本方法系列，以辅助省、市、县各级水利（水务）部门的工作，以实现水资源的可持续利用。

1 引言

问题的解决方法永远都不会只有一种，未来事件的发展也不会是某一个固定的方向。更进一步说，没有哪个分析是精确的，也不会有哪些假设是完全正

确的。出于这些原因，水资源开发和管理需要采用情景分析的方法。

对大多数水资源规划问题而言，实现目标可采用的方法通常有很多种。况且需水量预测和未来水资源可利用量也存在不确定性。因此在制定水资源开发利用规划时应认识到日后将不可避免地会对内容进行调整和修改。针对未来需求和可用资源量的预测评价各项备选计划，其中一些计划会更具适应性，在选定的评价准则下比其他计划有更好的表现。评价准则包括经济性、可持续性、环境影响等。

需水预测、可用水资源量评价、资源开发利用规划的任意特定组合被称为是一种情景方案。水资源规划的通行做法是考虑一系列情景方案并进行评价。

综合考虑不同管理方案和发展之间的关系是非常总要的，特别是应当考虑不同的规划方案、政策、干预措施对水资源状况、经济社会发展及环境的影响并开展讨论。通过对各类情景的分析，就每个方案与利益相关者进行讨论，决策者也需要充分了解形成的情景方案的种种影响。除各类计划和发展方案之外，情景分析通常都同“如果怎样，将怎样”的分析（假设分析）有关。在情景分析中，对所用到的数据和假定给出详尽且清晰的说明也是至关重要的。这些要素无疑都会在任意一个敏感性分析中占有一席之地。

2 水资源综合管理规划中的情景分析

2.1 概述

情景方案的拟订来源于对特定流域具体条件、存在问题、对策措施的了解。应根据情景方案对实现水资源开发和管理规划目标的贡献来制定并挑选方案。由于一些管理方案在短期来看是可行的，但长期会引发一些问题（例如耗

水量的增加），因此需要对方案的短期和长期影响同时进行分析。通常认为水资源综合管理（IWRM）过程是实现水资源可持续开发利用的最有效的途径。

进行模拟时应注意：

1. 模拟结果是指示性的，一般用于备选方案间的比较，而不是直接采用绝对结果；
2. 将（用水）情景方案从“实际情况”转换为模型生成运转的输入数据系列，需作出假定和简化，在分析模型结果时应予以考虑。

图 1 显示了情景分析在水资源综合管理规划过程中的重要性，同时强调了利益相关者的参与作用。

本手册系列中的有关内容涉及水资源综合管理规划的制定、规划过程中利益相关者的参与、为规划团队开展情景分析如何选择适当模型的帮助等。详细情况请参见本文末尾的参考书目。

2.2 了解水资源管理中的问题

对未来情景进行分析之前，应首先在以下几方面回顾、检查以往的规划，包括：

- 其主要特点；
- 预测结果；
- 取得的实际成果；
- 实际实施次序与规划进度对比（如有不同，说明原因）；
- 规划效果；
- 规划产生的问题；
- 规划实施中以及规划过程中的主要经验教训；

回顾的规划应包括不同部门用于不同目的的规划，其选择标准同水资源管理和新规划待分析的情景方案的动机目标有关。

2.3 决策标准

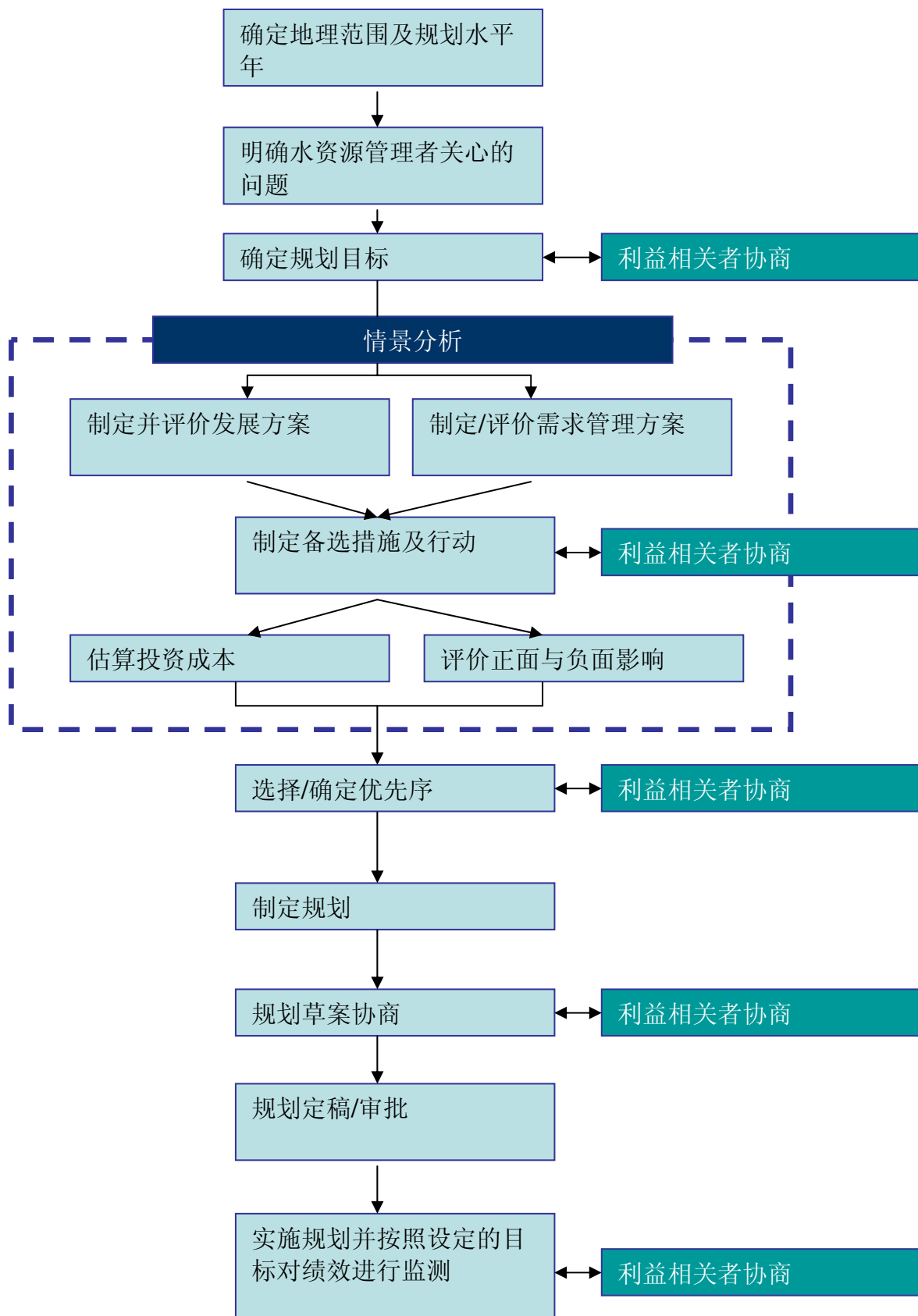
水资源规划涉及最适合未来水资源管理要求的方案进行挑选和排序。方案及行动的评价、选择和排序应能够反映社会的意愿。因此制定一项水资源综合管理规划意味着在明确核心价值的基础上做出决策，确定应寻求哪些成果并定义成果间的权衡标准。

有效的优先级排序不应仅以一、两个主要标准为依据，如仅考虑水资源（对需用水量及可用水资源量的影响）和经济表现（成本收益率）。社会、体制、管理、环境、财务标准等也应是影响选择的重要因素，涉及非技术性的利益相关者时更是如此。

无论选择和排序的过程使用什么方法，在情景分析之前，都应将选用的标准确定下来并经主要利益相关者同意。通常初始情景根据发展规划内容、各行业目标以及诸如供水服务和环境状况方面的通行观点预先确定。

多准则决策分析（MCDA）为细化和明晰标准选择过程提供了一个有效的框架和机制（参见参考书目 TP7.1，AN7.1 及 EG7.1）。

图 1：水资源综合管理规划过程



2.4 一般性情景方案

情景方案必须符合下列条件：

- 足够稳定，参数的微小变化不至对结果造成显著影响；
- 合乎情理；
- 各情景间有明显区别；

所评价的情景方案可以按照基准期条件、可能的人工干预措施、流域水资源利用风险进行分类。用基准期条件同建议采取的各项行动所产生的效果进行对比，以此来对各项建议进行评价。

基准期条件

基准期条件一共有两种。

第一种是**当前状况**。情景规划中一个重要方面就是需要对当前真实的用水状况有充分了解。必须对与用水状况有关的基准期基础设施和发展水平（社会经济等）进行透彻分析与全面评估，包括人均用水特征、与当前用水水平有关的详细的工业生产数据、输配水系统损失水量、灌溉作物、灌溉系统效率，等等。这些信息需要认真整理分析，否则将无法如实设置情景，制定规划。

设置当前基准状况情景，充分了解“不采取行动”的后果，将其纳入与利益相关者的协商，加深认识（参见图框1）。

第二种基准期条件以“天然”的河流流量以及含水层状况为基础，对于评价人类活动对环境的影响非常有用。几乎所有的河流和含水层都不再是天然状态了，因此有必要移除人类活动的影响（该过程被称为还原计算），生成“天然”状况下的河流流量序列。我们认为天然流量的某些主要特性对于维持水生环境而言是至关重要的——参见 3.2 节。

图框 1 “不采取行动”或“一切照常”

这些情景可以使水资源管理者和利益相关者们认识到保持当前的用水增长率会带来哪些影响——假定当前的用水趋势到规划年以前一直保持不变（也就是保持未来 30-50 年不变）。

在大多数情况下，届时的状况会比当下状况更糟。这些情景传达了一个很强烈的信息，告诉我们不能再继续忽视这些问题，还可以用这些情景说服受影响的利益相关者做出必要的改变。

人工干预措施

其中包括了很多种人工干预措施，例如修建水库、不同程度的灌溉、开采地下水、渠道衬砌、改进灌溉方法、改变种植结构、跨流域调水、流域内恢复植被以及改变水库运行条件等。应在初期考虑各种可能的“假设分析”，包括一些当前没有计划或者在初期看来不太可行的措施。

以往世界各国政府都更加关注**工程措施**（例如修建一些基础设施）。在过去的 20-30 年间，工程措施在发达国家已不再是首选方案，或者说不再将工程措施视为唯一的解决方案，因为从经验来看这些措施通常会很昂贵，从经济角度来看并非总是合理的，并且如果管理不当的话，还会引起一些未预料到的长远后果，这其中往往包括了环境的退化。

现在**非工程措施**已经受到了政府的青睐，尤其是在那些已修建了工程设施但在运行中没有对环境或可持续因素给予应有关注的地方。这些非工程措施包括一系列政策及管理方法，从经济上来说更加有效，通常来说这种干预形式的效力更佳。水资源管理中的此类措施包括需求管理方法，例如取水许可、水价制定、以及在已有设施上（配水管网、渠道等）开展节水。

水资源利用风险

制定的情景方案应同时将流域内水资源管理中的一些主要风险包含在内。其中应包括干旱、暴雨期、气候变化、管理或工程系统失效（例如，调水失败、危险化学品或污水污染事故、水库功能丧失、采矿污水排放等）。

2.5 模型的使用

情景一旦选定，便可以通过很多方法来对各情景方案的影响进行分析。不管怎么说，只要数据信息质量高，性能足够稳定，输入、输出表达清楚，使用流域水文模拟模型的好处都有很多。

重要的是应认识到模型**仅仅对做出决定的思维过程提供支持**，其有助于了解影响资源系统的各种问题，如不确定性所带来的影响。自然资源数据和信息通常与确定性相去甚远，各种预测往往都是在大量假设的基础上给出的。管理者和专家应根据其对情况的充分认识做出判断和决策，模型仅起辅助作用。

2.6 情景分析及评价

图 2 显示了如何通过一个检验备选情景的循环过程来制定规划中的各项措施。

情景分析中必须包括各情景方案的经济、环境和社会影响分析。在这些分析中应强调情景方案的近期影响，但同时也应对长期影响进行评价，因为这些影响可能会很严重并且可能在经济分析中被低估。接近、中、远期分阶段采取各种干预措施及考虑管理规划过程的变化。

对不同行业的行业规划进行回顾和分析是很重要的，确保对这些规划以及这些规划对水环境的潜在影响有清楚的认识。

应明确对各行业间的交叉影响进行考虑，因为行业机构在规划中往往对此

并未给予充分考虑（因此国际上强调采用水资源综合管理）。根据分析结果（经济、社会、环境等），决策者将确定这种行业间（将环境也看作是一个行业）的影响或冲突能否接受，或者是否需要情景方案进行一定程度的修改以使这些影响能被接受。应将这些分析和考虑的结果作为同利益相关者沟通和协商的基础。还应开展更加广泛的公众协商。

需要确定“测量点”（具体地理位置）以及“绩效指标”（统计值或定性描述），在各情景方案间进行对比。这些内容应视不同流域的具体情况而定，表 1 列出了一些典型指标。

图 2：水资源综合管理规划制定情景分析

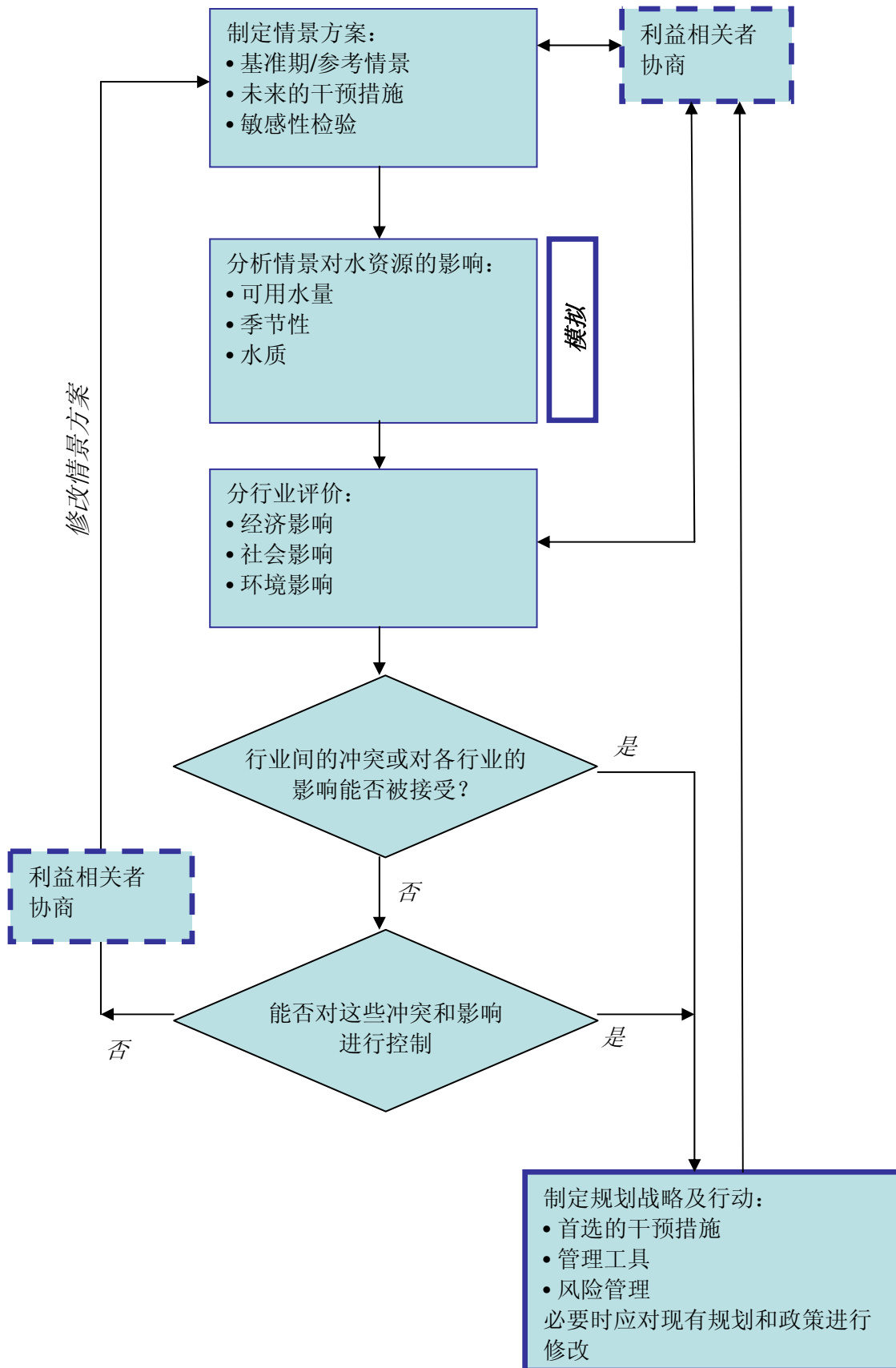


表 1: 典型绩效指标

参数	属性
关键位置处的流态	年径流统计 流量历时特性
关键位置处的地下水水位	地下水埋深 可持续水位
关键位置处的供水缺口	频率和数量
产值	全流域净产值
水体水质	水质类型/状况 所选指标化学物质的浓度
河段的环境流量	流量历时曲线
保护目标湿地区域	水位状况 洪水淹没频率
地下水利用	在用水井数量的变化
社会经济指标	每公顷净产值 供水成本 供水安全 集中供水人口 每年水力发电量

3 情景方案的制定

3.1 概述

需要研究情景方案的特征，并将具体条件记录在案，主要出于两个原因：

1. 在评价中将可能的情景方案及其特征包含在内
2. 保存分析的情景方案的记录，为日后提供参考，而且决策者可以了解评价结果的根据

拟订情景方案必须有利益相关者的参与，确保特定规划轮次中考察的情景方案涵盖了所有的利害关系。

情景的逐步建立

确定规定水平年是很重要的，例如在本轮规划中，“中期”或“长期”的定义是什么？

每个情景中用来运行水资源模拟模型的水文数据一般与用于模拟基准期情景的是同一套数据，因为情景方案中变化的一般都是资源的使用情况，但也有

一些情景需要使用不同的水文数据系列，例如在研究气候变化对可用水资源量的潜在影响时。生成气候变化条件下的水文数据系列请参见本方法汇编系列中的专题报告 1.9（参见参考书目）。

分析采用哪些水文数据（径流/河流流量）也是一个很关键的问题。平均流量也许可以作为一个影响的指示指标，但总的来说更为重要的是极端事件的频率、等级或者是干旱和洪水的持续期。出于这个原因，在开展情景分析时，最好应使用尽可能长的水文记录。在实际应用中，数据不足意味着需要采用一些其他的评价方法，如估算。

如情景方案中包含有基础设施上的变化，应对这些变化进行明确阐述，并逐一列出，例如新增库容、改变水库运行规则、撤消取水许可、新打井等。

必须采用标准格式对情景方案中构建水文（水资源）数据和不同用水户需水量的所有假定进行记录。

3.2 需水预测

水资源规划可能需要解决时常存在于很多水量需求中的用水冲突问题。这些用水需求可能包括饮用水需求、工业用水需求、农业用水需求、维持生态流量的需求、航运及水力发电的需求等。随后我们会对预测这些需求的方法进行简单的讨论（针对需水预测专门编写了单独的指导手册，参见参考书目）。

在制定情景方案的过程中，明确供水源（地表水（水库、湖泊、河流、调水）或地下水）和确定取水点的位置是很重要的。

饮用水需水预测

一般饮用水需水预测是在人口增长预测、人均耗水量预测、以及配水系统渗漏系数及其他节水（用水效率提高）预测的基础上进行的。

人口增长预测一般同全国的预测和人口统计上的变化有关，同时还与社会经济发展规划有关。因此任意地点的人口预测都会受到很多因素的影响，因而预测结果往往都是按一定范围给出的，即同时给出该值可能的上下限值。短期预测中，上限和下限的差别不会太大，但在长期预测中这种差距就会越来越大。在开展人口预测的过程中，有必要同当地的规划部门保持联系。

人均耗水量的变化同社会经济发展、家用电器的设计以及全社会对用水和节水的态度有关。随着社会经济的发展，家用电器的普及，家庭用水量将有所增长。在很多国家，家用电器用水效率的提高都抑制了人均需水量的增长速度。人均用水量的变化还同用水的起始水平有关。当前人均用水量较低地区的增长率应当会高于起点水平较高的地区，且人均用水量的增长幅度会显示出区域及地区间的差异。水价也会对人均用水量有所影响，因此，要认识价格对需求弹性的影响。

随着城市化进程的加快和都市住宅质量的提高，城市人均需水量势必会随时间发生改变。对于一些直辖市而言，回想过去三十年中，北京和天津所发生的变化可能会有所帮助（图框 2），其可以为制定人均供水增长情景提供一定的参考。人均用水量还直接受家庭收入的影响，可以依据这项因素对城市内及城市间的用水给出更加真实的估计（这点同支付能力、家用电器的数量以及居住面积有关）。

在预测未来生活需水量的过程中，可以将人口的高速和低速增长同人均用水量的高速和低速增长联系起来。通常，可以同时对生活需水量的高、中、低水平进行预测。

在很多城市中，对非生活用水户（宾馆、餐馆、营房、学校等）限定了用水定额。表 2 是美国科罗拉多州的情况，可以将这些数值看成是此类用水户的需水上限。

同时，由于生活供水量中很大一部分都会以城市生活污水的形式或者在农村地区以回补地下水的形式重新返回到水资源系统中，因此还需要估算实际耗水量。

图框 2 人均需水量的增长

——对比北京与天津

作为首都城市，北京每日人均生活用水量远高于天津。1978 年经济改革刚刚开始时，天津市每日人均生活用水量（L/人/天）还不到北京市水平的一半（65.7 L/人/天和 138.7 L/人/天）。到 1988 年，天津人均日用水量已经达到 136.1 L/人/天，大概为北京市水平 157.9 L/人/天的 86%。

到 1998 年，北京和天津的用水差距再次拉大，天津的用水水平仅为北京的 60%左右（天津为 144.7 L/人/天，北京为 238.2 L/人/天）。从 1978 年到 1998 年，北京市人均用水量的平均年增长率仅为 2.83%，而天津则为 4.33%。

摘自：‘Understanding urban residential water use in Beijing and Tianjin, China’; H H Zhang and D F Brown, Habitat International 29, (2005)

《对中国北京和天津市城市居民用水量的研究》，H H Zhang 和 D F Brown，国际安居地杂志第 29 期，2005

表 2: 美国科罗拉多州非家庭生活用水情况

用水户	下限	上限	单位（每年）
宾馆	3.2	6.7	m ³ /m ² 房屋面积
	115	150	m ³ /间
餐馆	6.9	8.5	m ³ /m ² 房屋面积
	40	54	m ³ /m ² 座位
学校	0.5	0.8	m ³ /m ² 房屋面积
	6.5	10	m ³ /m ² 学生

工业需水量预测

要想对未来的工业需水量进行预测，首先需要对该地区未来的工业结构进行预测。显然，不同类型的工业所需的水量也不同，为了对需水量进行预测，还需要对当地的发展规划有所了解。全国及国际的经济状况也会对未来的工业用水增加造成影响，因此给出对工业需水预测的上限和下限再次变得很重要。同时，确定日后循环用水潜力以及消耗性用水占需水量的百分比也是很

重要的。同生活用水情况相类似，工业行业中实际消耗掉的水量仅是需水量的一小部分，大部分水量还会返回到水资源系统中，只是水质状况变差了，这会引来下游更多的水资源问题。但不管怎么说，城市生活需水和工业需水都会给当地的水资源带来很大的压力，且这种压力往往会施加于同一些水源上。

表 3 中给出了根据英国实际用水状况调查得出的典型工业用水量。在制定情景时，还需要对需求评价点当地的用水效率现状进行评价。中国北方大部分地区的用水现状水平可能接近表中的“上四分值”，可将提高用水效率的目标定在“好”和“平均”之间。从该表可以看出，用水效率间的差异很大。这也显示出了整个需求评估过程中的不确定性。但在已知工业企业特性的计算区，利用这些数字可以得出对当地更具代表性的数据。此外，还应根据各企业实际的用水量记录获得这些数据，并用这些数据同表 3 中的“典型”值进行对比，这样就可以看出还存在哪些改进的潜力。

还应注意到的一点是，各市或省都编制了自身的“工业用水定额”。但这些通常都是单一标准的数值，没有考虑用水水平上可能发生的变化。此外，很多用水数值都同产值有关（例如，m³/GDP，等等）。在参考表 3 中按职工数计算用水量时应注意，英国企业中每生产单位产品所需的员工数量一般要比中国大部分企业少很多。

表 3: 英国典型工业用水情况

行业	计量单位	用水量指标 (每年)					样本数量
		最小 (好)	平均	最大 (差)	下四分位值	上四分位值	
汽车	m ³ /职工	1	99	409	17	162	13
	m ³ /辆	2.2	29	159	4.5	28	11
	m ³ /吨产量	0.04	12	77	0.35	12	18
陶瓷	m ³ /职工	22	166	474	17	162	20
	L/块	0.1	0.3	0.6	0.2	0.4	6
玻璃	m ³ /吨产量	0.01	11.3	27.5	3.1	20	13
铸造 (金属铸造)	m ³ /吨产量	0.01	17	129	1.1	19.3	34
	m ³ /职员	8.3	161	648	41	251	14
金属表面处理	m ³ /吨产量	0.01	7.2	29	0.5	11.7	17
	m ³ /职员	13.8	636	1872	173	1048	29
化工	m ³ /吨产量	0.02	28	198	1.8	24	35
塑料	m ³ /吨产量	0.4	12	66	2.3	8.4	10
	m ³ /职员	4.5	33	77	8.1	48.6	6
造纸与纸板	m ³ /吨产量	1	29.5	143	9.4	35.8	50
印刷	m ³ /职员	3.5	37	143	18.4	34.9	9
电子工程	m ³ /吨产量	0.04	9.5	20	5	15	9
PCB 集电板制造	m ³ /单位成品板面积 m ²	0.07	0.87	7.38	0.31	1.10	40
	m ³ /职员	172.5	1462	6042	543	1967	21
皮革	L/毛皮	60	100	170	70	120	4
	m ³ /职员	4.1	125	882	7.9	63	15
纺织品生产	m ³ /吨产量	0.1	145	939	18	164	74
纺织品加工	m ³ /吨产量	0.1	146	757	18	185	39
酿酒	m ³ /吨产量	2.6	7.3	21	5.1	8.4	30
软饮料	m ³ /吨产量	1	3.1	9	1.6	4.3	24
蔬果汁	m ³ /吨产量	2	4.9	14.5	3.0	4.5	7
	m ³ /吨产量	0.9	197	2497	?	?	13
乳制品	m ³ /吨产量	0.03	164	1786	?	?	18
	m ³ /职员	85	857	1781	246	1420	8
渔业 (加工)	m ³ /吨产量	1	14	53	6	20	27
	m ³ /职员	88	260	486	133	359	4
蔬菜及水果	m ³ /吨产量	0.1	7.8	39	1	8	14
肉类加工	m ³ /吨产量	1.2	4	16.5	2	6	15
禽类养殖	L/活禽	10	20	60	20	20	14

摘自: Envirowise (环境与能源), 英国

工业企业还会产生很多工业废水。由此带来的影响各不相同，在情景规划的过程中必须对污染的方式予以考虑。例如，很多水果和蔬菜加工厂的废水都呈强酸性，而屠宰场的废水中脂肪和固体悬浮物的含量较高（注意血液中的COD为40万到90万mg/L）。从当地环保局可以获得此类信息，且应在排污许可证上进行标明。如果当地没有排污许可，应从当地环保局获取实测数据，或向环保局索取一些具有代表性的数值，以对河流水质的评价及规划进程提供帮助。应依据这些数据，制定各类向天然水系排污的污水处理情景方案。

农业需水预测

农业需水预测同流域内当前的农业发展状况及规划中农业发展方向有关，同时还应对部门发展规划及种植上的潜在变化予以考虑。农业通常是水资源开发中的主要关注点，一般来说也是最大的用水户。

灌溉需水预测一般建立在对当前或假定的种植时间及种植结构有所认识的基础上，并以对当地水文气象特性、土壤条件及灌溉效率的认识为依据。由于农耕方式和灌溉技术会对水量需求产生很大的影响，因此在开展灌溉需水预测时应对这些因素进行考虑。确定灌溉中的水量损失情况也是很重要的，因为通常来说，灌溉损失的水量会补给地下水或供给耕地周边或渠道沿线外围的植被。

在很多流域，灌溉都是主要的用水户，随着耕地面积的变化、种植结构的改变、灌溉技术的改进和灌溉效率的提高等，需要对用水量进行修改。这一过程中还会伴随有不同程度的投资，同时也会获得不同程度的财政及经济回报。因此，一般会对一系列的种植及农耕方式进行研究。

在各类水资源管理政府部门都可以获得灌溉定额的有关资料。有时同一个

省不同地区间的数值也会有些差异，不同省份间存在差异就更为常见。根据实际情况不同，每种作物的实际用水量也会有所不同，因为灌溉方式、土地类型、灌溉系统特性以及农民的管理效率都是不一样的。在很多情况下，由于数值中的种种假定，灌溉用水定额都不是给出的很明确。指导手册 1.8/2（参见参考书目）旨在帮助读者对灌溉定额有更进一步的认识。有时，确定取水许可证上取水量时所采用的灌溉定额和用于区域规划中的灌溉定额数值不一致，在这种情况下，制定情景方案时应使用区域规划中的数值。要想制定灌溉农业中的情景方案，就需要清楚的给出这一过程中所用到的各种假定。

对不同的规划区域，灌溉情景方案的制定应包括：

- 地表水和地下水灌溉面积；
- 灌溉作物类型及种植模式；
- 每种情况下灌溉方式的分布情况（一般都是漫灌）；
- 输水系统特性及每种情况下假定的水量损失；

这些仅仅是制定情景方案时要用到的一些主要特性。因此还需要知道灌溉定额同上述特性之间的关系。

环境流量及生态需水

在所有流域中，对于通过配水来维持或改善自然环境而言，都存在一个“可接受的”水量。常年性河流的环境流量通常是流量历时曲线的某一阈值，或者通过栖息地研究和环境评价得出。可能维持水质标准也有所需的最低流量。在一些地区，有必要将地下水维持在一个较高的水位，以维持当地的植被，避免土地退化。在一些情况下，可能可以将环境流量或生态需水看做是一定量的用水需求或一定的配水量，但大多数时候都是将环境流量或生态需求量作为水资源规划模型的一个限制条件。

可能指定一个最小河流流量，当流量小于该值时将不再允许进行其他用途的取水。在地下水系统中，可能会针对不同区域或不同的时间段给定地下水水位下降的最大变幅。

水资源管理者应熟知《中华人民共和国环境影响评价法》（2002年公布）中有关方案和规划的环境影响评价的要求。水利部也针对环境配水量和流域规划的环境影响评价发布了指导文件（详情请参见参考书目）。在当前的指导手册中同此内容有关的包括：《指导文件2.4/1：环境风险评价》和《指导文件2.4/2：环境配水量》（参见参考书目）。

气候变化

气候变化会对水资源可用量产生影响。但气候变化研究还处于早期阶段，在预测气候变化对水资源的潜在影响时还存在大量的不确定性。而且自然气候变化、气候对CO₂倍增的敏感性、未来温室气体的排放都存在着不确定性，甚至在认识构成气候系统的所有相互作用过程和真实物理系统对这些过程的反应上，以及我们模拟这些过程的能力上也存在着不确定性。因此在评价未来气候变化的潜在影响时，应对一系列存在合理性的情景方案予以考虑。

一般气候变化不会对饮用水和工业用水需求产生大的影响，但可能对灌溉需水的影响较大，这个影响由于CO₂的肥效作用而略显复杂。可以使用作物模型来确定气候变化条件下作物单产的响应以及作物用水量。气温的升高将导致种植模式的变化，所有的这些都会导致灌溉需水量的改变。这反过来又要求我们应对气候变化条件下可能出现的种植模式及耕作方式进行研究。

水资源需求管理援助项目（WRDMAP）也开展了一项气候变化影响研究，主要研究对象为中国北方的两

个流域：石羊河流域和大凌河上游流域——参见参考书目。

3.3 资源开发和管理策略

资源开发方案

当需要对水资源进行进一步的开发时，能够采取的方法有很多，且开发的先后顺序也有多种安排。可以直接开发地表水资源，开展地表水与地下水联合利用，在上游对地表水进行拦蓄存储，或综合采用上述方案。当准备采用拦蓄地表水的方式时，坝址和水库位置以及坝高都有多种选择，这将关系到水库的正常库容。不同的资源开发方案会带来不同的投资及不同的经常性开支，产生的环境影响往往也不同，所有的这些问题都需要被考虑到。

需求管理方案

采用需求管理能够带来的好处大致有三个方面：

1. 可以降低运行成本及输水成本，直接降低了消费者的成本，带来经济收益。
2. 提高了对可用水量的利用效率，改善了水分生产率。
3. 可以推延或减少大型新建水利工程的投资，进而缩减了政府支出。

对于饮用水、工业需水及农业需水方面的需求管理方案有很多种。

饮用水供水方面可以考虑的需求管理方案包括：

- 降低和控制渗漏；
- 中水回用；
- 家庭用水管理（减少冲水系统用水量、减少淋浴用水量等，提高大件家电的用水效率）；

工业用水的需水管理也可以采用类似的方案，但同时还应对工业尾排水予以考虑。通常，污水处理和工业流程中的重复用水是较可行的方案，此方案能够使用水效率更高并使区域污水处理变得更好。其还有助于坚持“谁污染谁付费”的原则。

在灌溉农业方面能够采取的需求管理方案包括：

- 对渠道进行衬砌减少渗漏，提高配水系统效率；
- 改变作物品种，改变灌溉制度，减少需求，减少渗漏“损失”；
- 采用覆盖和其他农耕方式；
- 改变种植方式，同时需要对灌溉技术进行改进；
- 采用亏缺灌溉；
- 改善监测和配水；

在情景方案的评价过程中，必须同时将需求管理方案所对应的成本和收益考虑在内。在大多数情况下，损失掉的水量还存在于水资源系统中，除非受益性蒸发水量除外。假定这些“损失”的水量回到土壤中以后，还是可以被其他地区作为地下水资源进行重新利用的（“有益的”）。可以简单的将这种收益看作其改善了环境状况。但需求管理中除了考虑提高资源利用率和改善水生产力之外，同样重要的还有降低运行成本，考虑问题时应从全局的角度出发。

资源开发顺序

当开始实施一项新的资源开发方案时，供水的增加往往是逐步实现的。因此水资源开发所采用的顺序也应能满足预测到的需求，同时还应使工程建设的成本现值最小化。

图框 3 可持续的水资源开发和管理情景

可持续开发以提高当代和后代的生活质量为目的。当代的需求不应对后代满足其自

身需求的能力带来损害（代际公平）。可持续发展关注的是以一种提高人民生活水平同时保护并改善环境的方式实现经济发展。其总体目标是确保这些经济和环境收益能够惠及每一个人。

包含很多需求管理措施的情景方案从根本上考虑了可持续性的问题。

3.4 综合方案

通常，情景方案是在综合了各种用水的需水预测和各种资源开发策略的基础上做出的。接下来还应当对这些综合情景方案对系统输入中不确定因素的敏感性进行评估。

需要对某情景方案内的各个方面进行研究，看看他们之间的关系是互为补充的（最好这样）还是彼此之间存在一些矛盾/冲突。应对这些问题有所了解，并提请利益相关者注意。对存在“矛盾”的方案应进行修改。

采用渐进的方案制定法或许可以降低出现此种矛盾的危险。

表 4 给出了一个渐进式方案制定的例子，使用这种方法可以对一些特定方面的影响进行评价。

在弄清楚各个方面的影响之后，就可以对综合方案开展最终评价了，与此有关的例子请参见表 5，该表是根据石羊河流域的情况编写的，其中的情景 A 包含了石羊河流域重点治理规划中对 2010 年给出的所有建议（参见表 6）。

许多情况下，一个方案中常常包含一些互相影响的因素，了解这些因素对该方案最终成果的相对重要性是很重要的。通过逐步引入情景方案中的各个因素，评价每个因素对评价标准产生的影响。

采用或不采用模拟模型都可以完成情景分析。如果不采用模拟模型，应对情景进行简化，并且分析会更加主观、更加近似。尽管如此，一项好的分析和

报告对于规划过程还是会非常有用的（必不可少的）。

表 4 逐步检验情景方案示例——石羊河流域

情景方案	说明
参考方案	此情景为“一如既往”的情景，是根据 2000-2005 年的情况制定的，描述了如果不采取任何新的水资源管理措施的情况下流域内的水资源状况
1A	到 2010 年缩减灌溉面积，灌溉效率不变，不限制地下水灌水量（例如，在没有受到供水量不足的限制时不采用亏缺灌溉）
1B	同 1A，但提高了灌溉效率
1C	同 1B，但对种植结构进行了调整，反映了温室大棚的使用，增加了蔬菜种植
1D	同 1C，但净配水量按照重点治理规划选取。通过综合采用覆膜、改进灌溉技术和部分采用亏缺灌溉实现了净配水量的缩减。
1E	同 1D，但最大地下水取水量按照重点治理规划选取。
1F	同 1E，但包含了西营河专用输水渠
1G	同 1F，但对红水河调水进行了改进
2A	同 1G，但灌溉面积和灌溉效率按照重点治理规划中 2020 年情况选取
2B	同 2A，但配水量按照重点治理规划 2020 年情况选取
2C	同 2B，但最大地下水取水量按照重点治理规划 2020 年情景选取
2D	同 2C，但包括东大河至蔡旗输水渠
3A	同 2D，但水库的运行库容减少 50%
3B	同 2C，但入流量减少 20%

表 5 石羊河流域水资源综合管理规划（2009 年）举例

情景方案	说明
参考情景	参考情景反应了不采取需求管理措施时的情况
A	实施重点治理规划为 2010 年提出的建议
B	实施重点治理规划为 2020 年提出的建议
C	同 B，但减少了上游流域的径流量
D	同 B，但减少了黄河调水量
E	同 B，但在中部流域大规模种植玉米，在民勤大规模种植棉花

表 6 石羊河流域重点治理规划的要求

规划年	要求
2010	<ul style="list-style-type: none"> • 缩减灌溉面积（缩减 19%） • 提高灌溉效率（全流域损失从 48%降低到 43%） • 通过覆膜和灌溉技术改良，减少灌溉配水量 • 修建西营河到蔡旗专用输水渠 • 改善黄河到红水河的调水

4 情景评价及模拟

4.1 情景模拟

在一般情况下，备选方案的评价中都会用到模拟模型。在水资源综合管理中，系统模拟模型一般包含的内容更为广泛，能够对资源系统及其敏感性有更好的认识。

图 3 给出了模型（以及建模人员）在情景分析过程中的作用。从中可以明显看出各类模拟工具都是用来为规划团队提供情景评价的素材，而不是用来提供最终意见的。

前处理

此处涉及到建模人员为了正确模拟设想的情景方案所做的所有准备工作，如准备输入数据等。

可能建模人员拿到情景方案仅是对方的一些泛泛的描述，建模人员需要将这些语言转化为数据，以便建立供模型模拟的情景方案。如果在概化情景方案的过程中遇到了问题，应重新同水资源规划部门进行探讨。

图框 4 情景方案的制定

情景方案中需要将温室大棚面积提高 40%

对于模型中当前存在农业用水需求的每个用水节点都必须回答以下问题：

此节点需要改动么？（是/否）

新的种植模式是怎样的？

温室大棚新的灌溉定额或效率是多少？

转向温室栽培之后，农耕方式上会产生哪些变化？

成本或产值上会有哪些变化？

当对情景方案进行模拟时，很多种数据都是在模型系统内部计算的——需求评估、种植上的变化以及经济和财政数据等的变化。物理系统中的变化，例如新建水库或新增的灌溉面积都需要对

模型网络布置进行修改。例如，WEAP 模型允许物理系统的特性随时间发生变化——比方说在不需要用到水库的情景中，可以将水库的库容设置为 0。WEAP 模型允许在同一个数据库系统下对所有的情景方案进行管理。（一般来说其他有版权的软件包也具备此类功能）

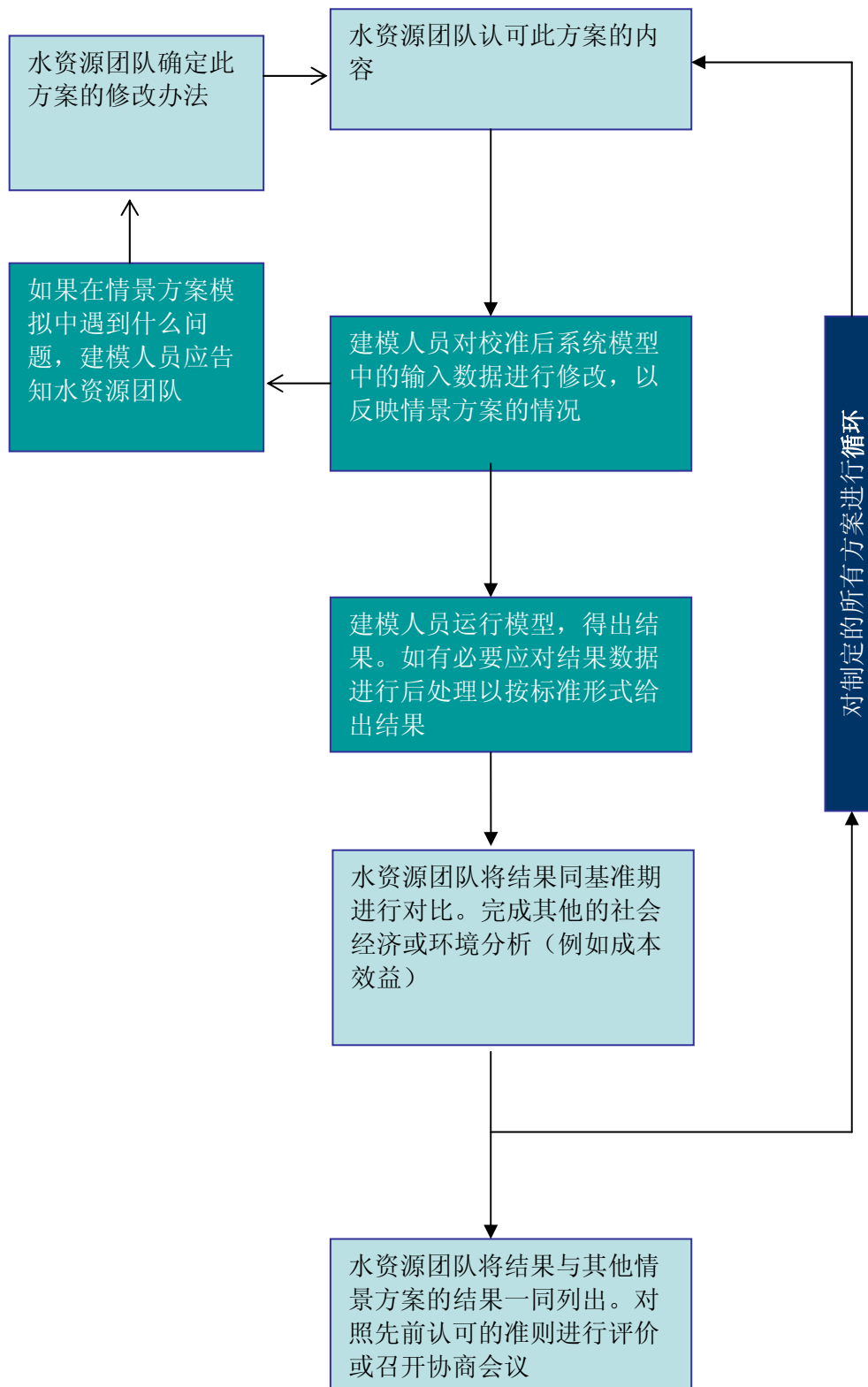
判断/评价模型对某些干预措施（或情景中方案中的某些内容）的敏感性也是很重要的。认识到模型的敏感性对于建模人员和“水资源规划人员”来说都是十分重要的。此外，为了找到最好的方式来对大面积使用地膜进行表征，可能需要对使用一种虚拟的作物类型并对其给定较小的需水量或者新引入一系列作物系数进行尝试。值得再次重申的是，需要研究模型对这类虚拟或替代方法的敏感性并使所有的人都对这一点有所了解 and 认识。

例如，冬灌在石羊河流域非常普遍，进行冬灌时地里并没有作物。所灌大部分水量都在冬季被冻结于上层土壤中，当春季到来开始解冻时便可以为作物所用。在模型中对此过程进行表征是很困难的，在 WEAP 模型中，可以使用新增的虚拟需求节点以及临时的地下水储量节点来对土壤中水量上冻进行表征。

应对情景方案中各项组分进行解释和说明，并保存完好的书面记录。如果规划措施是渠道衬砌花费多少投资，则必须将其转化为在某地区渠道衬砌的公里数。为了评价对水资源的影响，需要将其看作是湿周的 $x_1 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ 削减量。再结合采取措施前的损失系数 $x_0 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ ，计算出渠道深层入渗和蒸发损失量减少的百分比 $a\%$ 。

当情景方案设定完成后，最重要的是再检查一遍具体数值是否正确，接下来建模人员就可以使用该情景方案运行水资源模拟工具了（例如 MIKEBASIN 或 WEAP）。

图 3：模型模拟在情景分析中的作用



后处理

我们能够用到的水资源系统模型软件的分析水平和输出结果格式都不尽相同。像 WEAP 这种模型可以以多种形式给出每个资源系统组分的情况，例如供水可靠性、作物单产、净收入、运行成本和净现值等。而其他一些软件包可能就无法进行经济分析。

后处理包括很多方面，例如所有有关进一步分析和为了获得特定的表达方式而进行的格式调整、对所有情景方案的特性和所用数据进行记录、还包括对所有电子计算文件和记录进行存档以备日后再次计算使用。在后处理中采用一套系统化的流程是很重要的。

评价

在情景分析中很少使用单一的评价准则。一般情况下，评价准则应包括对水资源产生的压力、对需求的满足程度、财政表现、经济表现、弹性或灵活性、环境及可持续性影响、社会影响以及服务水平等。通常在规划过程的早期就会联合各利益相关者一同确定所用的准则（参见章节 2.2）。

水资源团队会依照经各方同意的准则对各方案开展评价。但评价过程中很重要的一个方面是对模型输出结果进行检查。如发现任何异常结果，都应对输入数据和为了进行模拟而对情景方案进行概化的方式进行仔细检查。

对某个情景方案而言，应将其结果同基准期结果或当前状况下全流域各用水户的可用水量和环境及社会经济影响进行对比，从正反两方面进行评价。

在参数选取过程中，需要进行各类假定，评价模型对这些假定的敏感性是很重要的，这样可以了解这些假定对模型的影响。同样，对情景方案的结果和各个因素产生的综合收益的敏感性评价也是很重要的，应当认识到模型不可能对每个收益给出明确的结果。将灌溉效率从 60%提高至 70%，作物生产或降低

运行成本方面可能会得到切实的收益，且投资成本也会较高，但对于环境需求配水量方面带来的收益可能就是无形的，非常难以量化。因此，找到恰当的方法将模拟结果展示给所有的利益相关者是非常重要的，这件事情做起来也不会太容易。

所有情景方案的结果都应使用相同的地图、图形及表格进行展现（这样就可以方便地进行情景方案和基准期之间，以及各情景方案间的对比了）。

某一情景方案测试中用到的环境及社会经济分析的全部假定都应按照同一种格式进行记录，并附在评估报告后面。

4.2 情景分析结果展示

结果的输出格式应根据决策的关键问题并与利益相关者沟通后确定。

解决“结果展示”的问题是非常重要的，因为情景分析的结果非常复杂，很难直接用该结果同非模型工作者和非技术性利益相关者顺利展开交流协商。一个好的结果展示形式应当是可以被轻易理解的，从这个角度出发，地图和随时间变化曲线很可能会非常有用。使用 GIS 系统有助于更好更快地完成这项工作。但必须特别注意不要使图形过于复杂，以防止一些关键信息被其他信息所掩盖。此外，如果结果展示太过复杂的话，利益相关者们可能将不再重视这件事，因为他们认为这超出了他们的理解能力。结果展示类型/形式选择的越好，从利益相关者处收到的反馈意见及建议可能就越多。

结果展示形式举例

以下例子来源于为石羊河流域和朝阳市大凌河流域上游制定的水资源综合管理规划。其结果展示中用到了各类图表及地图，但不同情况下最适合的形式也会有所不同。这些图表大多数都是为了有专业知识的人群设计的，主要会出

现在规划文件中；如果想要向更为广泛的利益相关者群体展示这些结果，还需要对这些图表进行重新设计。

表 7 给出了一种典型的汇总表格。表中对一系列情景方案的（其中包括了参考情景，也就是基准情景）两种经济指标进行了对比，且对比是按石羊河流域内的各个灌区给出的。因此也就能够确定对某灌区或所有灌区而言最有效的方案是哪一个（根据这两个指标而言），或者还可以就某一情景方案对列表中的各灌区进行排序。

图 4-6 给出了可采用的图表类型。所有这些图表都是随时间的变化曲线，并使用了不同指标对多个方案进行了对比。图 4 给出了逐月的变化，图 5 和图 6 给出了长期模拟中的年际规律。在所有这些图中，都可以将某一方案的结果同参考情景进行对比。

图 7 和图 8 为地图输出形式，对于结果展示而言这是一种非常有力的方法，但一定要注意一个图上不要显示过多的内容，否则会使图形非常难懂。

表 7：不同情景方案间经济效益对比示例（石羊河流域）

灌溉面积	各情景的灌溉面积（公顷）			年均作物净产值（元/公顷）						单方水量平均作物净产值（元/m ³ ）					
	参考情景	情景A	情景B-E	情景方案						情景方案					
				参考情景	A	B	C	D	E	参考情景	A	B	C	D	E
坝区_井灌	18382	11547	11547	9281	9718	10907	10907	10907	12848	1.39	1.37	1.58	1.59	1.60	2.09
昌宁_井灌	6100	1527	1527	7937	8704	9096	9096	9096	11928	1.21	1.19	1.25	1.25	1.25	1.77
大靖灌区	6960	6960	6960	6002	5985	8207	8082	8207	8235	2.55	2.55	3.56	3.73	3.56	3.67
东河灌区	17781	12597	7092	3853	5413	5776	5613	5775	5644	1.68	1.19	1.29	1.32	1.29	1.31
古丰灌区	1960	1960	1960	4886	4892	6214	5954	6214	6255	2.49	2.48	3.08	3.42	3.08	3.17
古浪灌区	8920	8920	8189	6287	6287	7220	7220	7220	7220	2.17	2.17	2.55	2.55	2.55	2.71
古浪河灌区	9687	9687	9687	5722	6014	6888	6818	6887	6889	2.42	2.28	2.58	2.61	2.58	2.75
黄羊灌区	9560	8139	8139	6937	7104	9167	9099	9166	10187	1.55	1.52	2.02	2.08	2.03	2.55
环河灌区	5207	2654	2654	7320	7605	8128	8128	8128	8154	1.24	1.24	1.34	1.34	1.34	1.49
湖北灌区	10957	6903	6903	9508	8644	10867	10758	10809	12888	1.17	1.28	1.51	1.52	1.58	2.05
湖南灌区	7071	4455	4455	9508	8644	10867	10758	10809	12888	1.17	1.28	1.51	1.52	1.58	2.05
夹河_井灌	2698	1700	1700	9470	9718	10906	10906	10906	12857	1.39	1.37	1.58	1.59	1.60	2.11
金昌灌区	12207	12207	7266	4594	8085	9764	9764	9764	9764	1.74	1.46	1.73	1.75	1.73	1.76
金塔灌区	8227	8227	8227	7686	7744	9784	9597	9781	10620	1.46	1.44	1.89	1.95	1.89	2.24
金羊_井灌	8227	8227	8227	7340	7518	9988	9988	9988	11317	1.59	1.71	2.41	2.41	2.41	2.93
南湖_井灌	1523	1523	1523	7822	7807	7953	7953	7953	7953	1.30	1.29	1.32	1.32	1.32	1.37
清河_井灌	16134	10518	8388	9564	9729	9774	8774	9774	9681	1.43	1.43	1.70	1.70	1.70	1.75
清源_井灌	11881	11881	11881	8283	6730	8428	8428	8428	9796	1.27	1.15	1.49	1.49	1.49	1.73
泉山灌区	20225	12724	12724	8059	8121	9901	9834	9862	12849	0.99	1.13	1.33	1.34	1.38	1.98
四坝灌区	6947	6947	5081	4479	4932	5514	5338	5403	5532	1.49	1.29	1.29	1.34	1.32	1.24
西河灌区	16434	16434	6727	4157	4740	5707	5651	5704	5632	1.39	1.19	1.19	1.23	1.19	1.16
西营灌区	25568	21937	21937	7952	7261	8460	8271	8458	9363	1.51	1.38	1.59	1.63	1.59	1.84
永昌_井灌	11167	11167	11167	6816	6780	8609	8609	8609	8431	1.07	1.09	1.42	1.42	1.42	1.74
杂木灌区	23855	20225	20225	7027	7450	8800	8620	8798	9371	1.44	1.38	1.65	1.67	1.65	1.97
总计/平均	267678	219066	194186	7104	7318	8622	8507	8610	9429	1.55	1.49	1.79	1.82	1.80	2.06

说明：在本例中使用的是 WEAP 模型，该模型对水资源系统进行模拟的同时还可以给出经济分析结果，其中情景方案的定义请参见表 5。

图 4：季节性灌溉供水——模拟 30 年后的平均状况 横坐标注明为月份

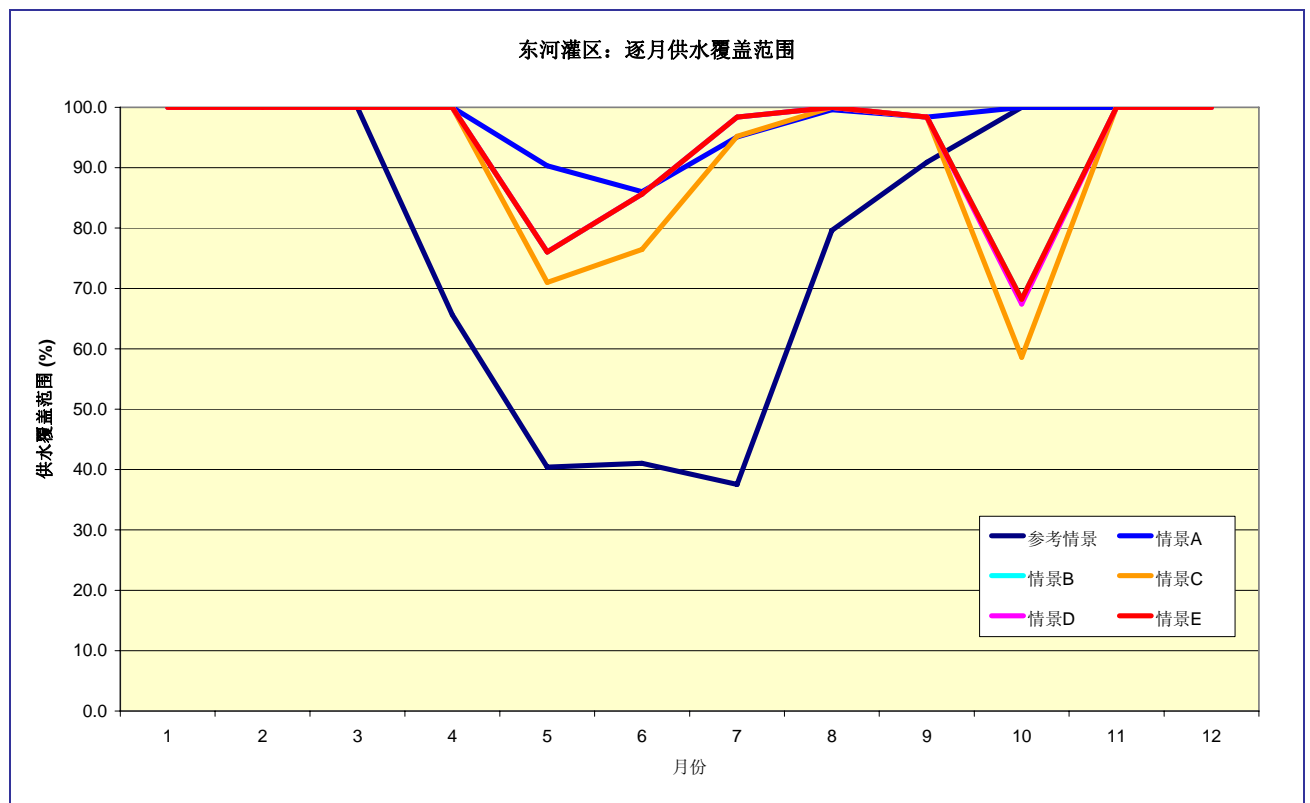


图 5：模拟 30 年后作物产值的年际变化

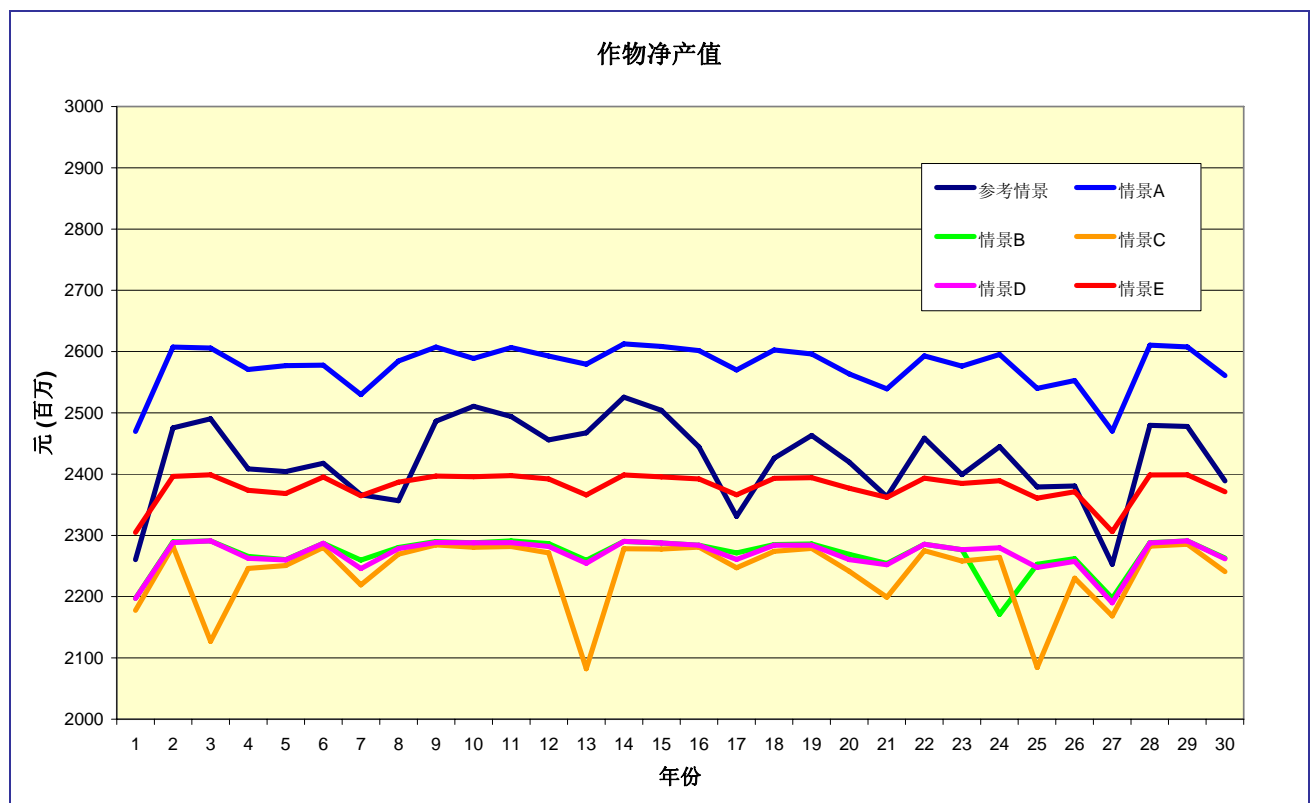


图 6：供水缺口的年际变化

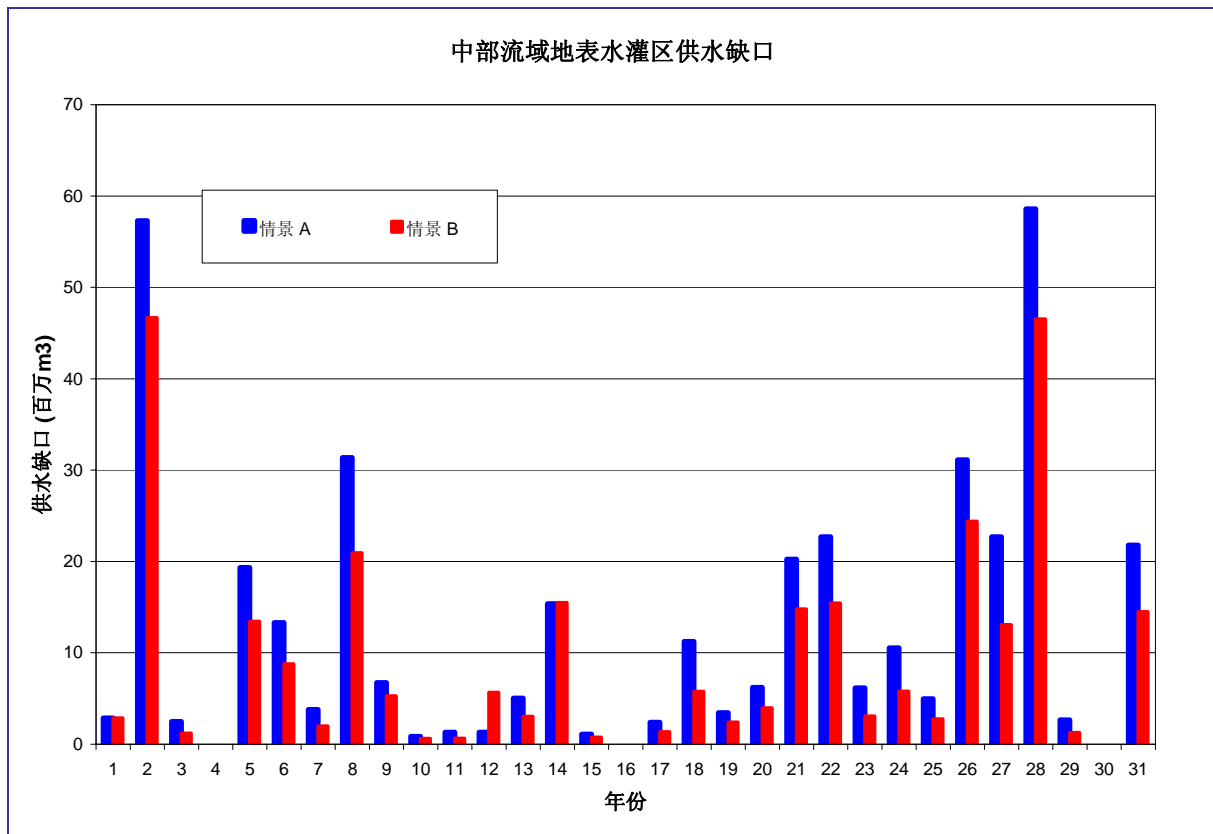


图 7：灌溉需求和灌溉水源之间的相对关系 灌区英文名称改为中文名称；未满足需水——缺水

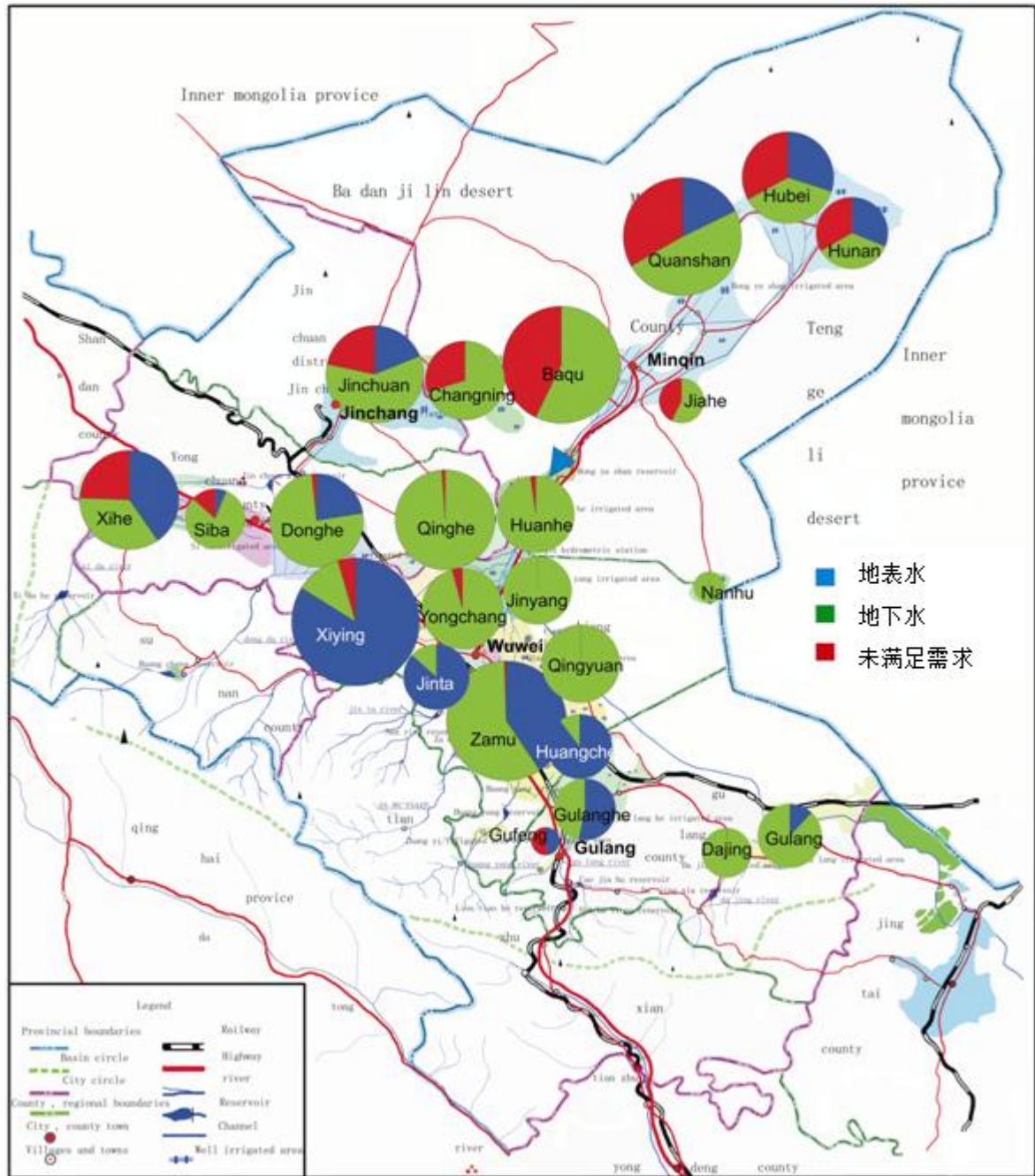
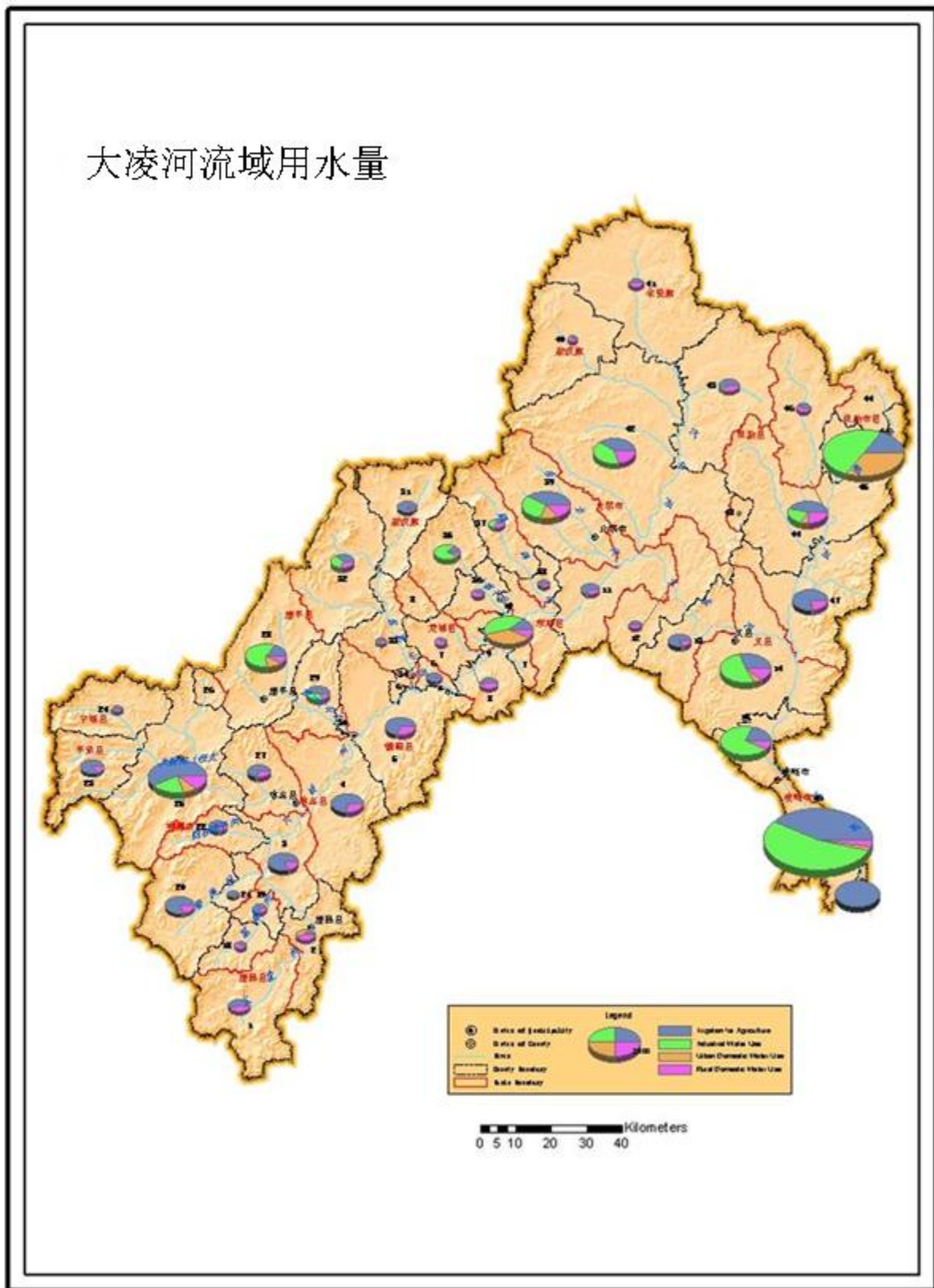


图 8：各行业用水量



文件参考表

词汇：

绩效指标	是一个长期监测的参数，以帮助管理者对某项干预措施的效果进行评价，根据其对于干预措施的敏感性进行选取
情景方案	根据当前掌握的信息对未来做出的预测，或是众多具体规划中的某一个，或者是一种可能性
谁污染谁付费原则	根据对环境和社会造成的损害，或超出污染物可接受水平（标准）的程度，由造成污染的一方承担治污费用的原则

书目：

水利部 SL201-97：《江河流域规划编制规范》

'Understanding urban residential water use in Beijing and Tianjin, China'; H H Zhang and D F Brown, *Habitat International* 29, (2005) (《对中国北京和天津市城市居民用水量的研究》，H H Zhang 和 D F Brown, 国际安居地杂志第 29 期, 2005)

WRDMAP 项目报告之一：《石羊河流域和大凌河流域气候变化影响研究》，2009

WRDMAP 项目报告之一：《石羊河流域模拟模型》，2009

水利部水资源综合管理文件汇编相关材料：

专题报告 7.1：多标准决策分析介绍

指导手册 7.1：在水资源规划中使用多标准决策模型

实例 7.1：简化的多准则决策分析用于石羊河流域水资源综合管理规划

指导手册 2.1：水资源综合管理规划的制定

指导手册 2.2：利益相关者在水资源管理中的参与

指导手册 1.1：水资源规划及管理模型：选择流程

指导手册 1.8/2：农业灌溉用水定额

指导手册 1.8/1：需水预测

指导手册 2.4/1：环境风险评价

指导手册 2.4/2：环境需水量

如需有关水资源综合管理的更多信息 – 推荐网站:

中华人民共和国水利部: www.mwr.gov.cn

全球水伙伴: www.gwpforum.org

WRDMAP 项目网站: www.wrdmap.com

中英合作水资源需求管理项目

水资源综合管理方法汇编
根据 **DFID** 出资的水资源需求管理援助项目
(2005-2010)
中央案例研究报告编写计划

2.
水资源综合
管理

报告由以下部分构成:

专题报告

指导手册

操作指南

实例

培训材料

本方法汇编系列的中英文材料可查询以下项目网站

WRDMAP 项目网站: www.wrdmap.com

咨询服务由英国莫特麦克唐纳公司牵头, 其他成员单位包括: DHI (丹麦水力与环境研究所)、HTSPE (UK)、中国水利水电科学研究院 (IWHR)、北京中水新华国际工程咨询有限公司 (IECCO)、国际农村发展中心 (CIAD)、清华大学, 中国农业科学院——农业环境与可持续发展研究所、中国科学院水资源研究中心、甘肃省水文水资源勘测局、辽宁省水文水资源勘测局。

