

水资源及其开发利用综合评价指标体系

来海亮¹, 汪党献², 吴涤非³

(1. 北京市水利科学研究所, 北京 100044; 2. 中国水利水电科学研究院水资源研究所, 北京 100044; 3. 北京工业大学分部, 北京 100044)

摘要: 深入分析了人工侧支水循环和天然水循环之间动态的依存关系, 对照水资源的自然属性、社会属性、经济属性、生态属性和环境属性, 把水资源划分为水资源系统、水资源开发利用系统、水生态系统、水环境系统、社会经济五大系统, 结合这五大系统构建水资源及其开发利用系统描述指标体系。在描述指标集的基础上, 构建属性衡量准则指标集, 进行水资源及其开发利用属性的定量识别。进而, 以问题为导向, 针对水资源及其开发利用中的不同问题, 分别提出不同的问题诊断指标, 对具体问题进行了识别和诊断。

关键词: 水资源; 评价; 指标体系; 开发利用

中图分类号: TV213.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-6791(2006)01-0095-07

水资源及其开发利用综合评价包括两大方面内容, 即水资源调查评价和水资源开发利用情况调查评价, 前者的评价对象是以“四水”转换为基本特征的天然水循环的要素和过程, 而后者则将人类开发利用水资源所形成的以“供-用-耗-排”为基本结构的人工侧支水循环的要素和过程作为评价目标。随着社会生产力的发展, 水资源社会和生态服务功能的不断升级, 人类活动正在从多方面影响着水循环过程, 人类活动密集区的水资源演变规律已经并继续发生深刻变革, 具体包括两方面: 一是人类活动从系统和结构两方面影响流域天然水循环过程, 从而改变了单一自然驱动力作用下的流域天然水资源演变规律, 如温室效应改变了降水和蒸发特性; 二是由于人工侧支水循环和天然主循环在通量上存在此消彼涨的动态依存联系, 因此人工取用水直接造成天然水循环通量的减少, 而且改变了水资源时空分布及其质量特性, 导致流域水循环的天然服务功能明显下降, 并引发了一系列生态环境问题。基于上述流域水资源深刻演变背景, 水资源及其开发利用评价近年来受到了充分重视, 指标体系的研究与开发被认为是最有效的方法之一。

1 指标体系构建原则

1.1 功效性原则

水资源及其开发利用系统及其复杂, 综合评价的目的不同决定了水资源及其开发利用综合评价指标及其体系是各有侧重的。又由于不同地区的水资源及其开发利用系统及系统环境都有所不同, 所以水资源及其开发利用综合评价指标选择具有多样性。为此, 评价指标选取应遵循功效性原则, 即对于不同评价目标、不同评价区域、不同评价时段, 应选择不同的评价指标。

1.2 系统性原则

水资源及其开发利用是一个多属性的复杂系统, 涉及到水资源条件、水资源配置格局和开发利用程度、经济社会发展水平、生态环境保护程度、水环境状况、水资源管理水平等多个方面, 而这些方面又有着极其复杂的联系, 为此, 所选取指标能够对现代环境下的水资源多属性特征和演变过程进行全面描述。

1.3 可度量性原则

水资源评价一个重要前提是指标能够进行数值计算, 即要求具有可度量性。对于一些定性指标或涵义比较

收稿日期: 2004-12-15; 修订日期: 2005-03-06

基金项目: 全国水资源综合规划专题 (3-6)

作者简介: 来海亮(1975-), 男, 河南安阳人, 北京水利科学研究所, 主要从事水资源综合利用研究。

E-mail: hllai@163.com

模糊的指标，原则上不选取。为确保所选取指标具有很好的可操作性和实用性，本次研究依据《全国水资源综合规划附表式样及附图目录》所提供的附表，选取的指标都能够从附表统计项直接或间接获取。

1.4 代表性原则

影响水资源及其开发利用综合评价的因素众多，与之对应的描述指标也众多。从实用、可操作的角度看，评价指标不易过多、过滥，应选择有代表性主要指标，构建综合评价指标体系。代表性指标选取还应具有方向性和独立性，即能够对水资源及其开发利用的方向具有指导意义，并且指标间应具有独立性或弱关联性。

1.5 层次性原则

水资源及其开发利用评价指标涉及到众多方面，每一个方面由存在着诸多影响因素。对于这些方面及其影响因素均可以分别提出相应的指标进行表征。显然，这些指标存在着层次归属问题，也就是说，指标间有一定的层次和隶属关系。也即，对于不同的评价层次，选取不同的指标进行描述。

2 评价指标体系结构

驱动力—状态—响应(DSR)结构模式指标体系能动态地、系统地研究水资源及其开发利用的测度问题，并且把水资源及其开发利用测度与水资源及其开发利用政策导向有机地联系在一起，因此指标体系总体框架采用 DSR 结构模式，驱动力、状态、响应三部分内部再分别建立基于传统社会经济发展指标体系的模块化指标体系。结构形式如图 1 所示。

2.1 驱动力

构建水资源及其开发利用系统的驱动力诊断指标体系，分为两部分：属性准则性诊断指标体系和实践问题导向的诊断性指标体系。

2.2 状态

构建水资源及其开发利用系统状态描述指标体系。

2.3 响应

针对水资源及其开发利用存在的问题提出响应，这部分一般政策性较强，这里不再给出具体的指标评价。

由于评价区域之间存在特异性，构建指标体系所筛选的指标也会不尽相同，为此需要先构建上述指标体系的指标全集：系统描述指标集、属性准则指标集和问题诊断指标集。在实施评价时，针对不同评价目标、不同评价区域、不同评价时段，从建立的指标全集中筛选出评价指标。

三大类指标集之间存在一定的逻辑关系。水资源及其开发利用具有 5 大属性：自然属性、生态属性、环境属性、社会属性和经济属性，其属性识别及其衡量标准可通过水资源及其开发利用的不同系统及其状态来反映。水资源及其开发利用是一个极其复杂的巨系统，涉及到水资源系统、水资源开发利用系统、水生态系统、水环境系统、社会经济系统等众多方面。为此，对照水资源 5 大属性的内涵，结合不同的评价对象、评价目标和实践的需要，分别构建水资源系统、水资源开发利用系统、水生态系统、水环境系统、社会经济五大系统的描述指标集。在描述指标集的基础上，构建属性衡量准则指标集，进行水资源及其开发利用属性的定量识别；进而，以问题为导向，针对水资源及其开发利用中的不同问题，分别提出不同的问题诊断指标及其标准，对具体问题进行分析识别和诊断，为水资源及其开发利用指明方向。

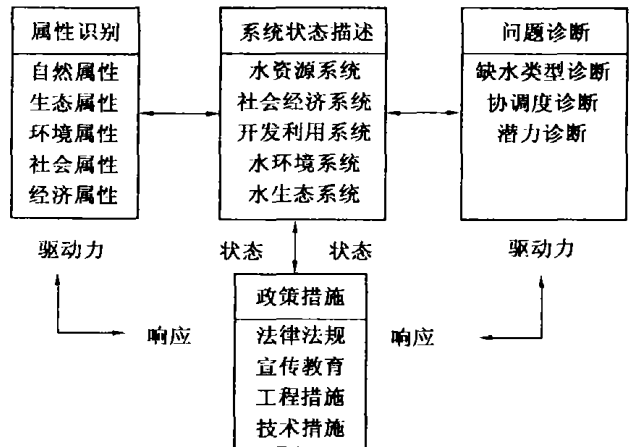


图 1 水资源及其开发利用综合评价指标体系结构示意图

Fig. 1 Schematic of the water resources and its comprehensive assessment indicators system structure

3 系统描述指标

水资源及其开发利用评价涵盖水资源的自然属性、社会属性、经济属性、生态属性和环境属性。对照水资源全属性 5 方面的内涵，结合评价和实践需要，把水资源全属性划分为水资源系统、水资源开发利用系统、水生态系统、水环境系统、社会经济五大系统，结合这 5 大系统构建水资源及其开发利用系统描述指标体系。

3.1 水资源系统描述指标

水资源系统描述指标集可以由资源特征、承载特征和演变特征三子类共计 16 个指标构成，如表 1 所示。

表 1 水资源系统描述指标集(16 指标)

Table 1 Indicators for describing water resources system

子类	描述指标	计算公式	单位	表 征
资源特征	降水深	多年平均年降水量/计算面积	mm	气候、水资源总体及分布状况
	干旱指数	多年平均年水面蒸发量/多年平均年降水量		反映地区气候条件
	径流深	多年平均年径流量/计算面积	mm	地表水资源丰枯状况及分布
	河川径流年内分配集中度	连续最大 4 个月量/多年平均年径流量	%	地表水年内分配情况
	丰枯年地表水资源量值比	地表水($P=20\%$)/地表水($P=95\%$)	%	地表水资源年际丰枯变化程度
	地下水模数	多年平均地下水资源量/计算面积	万 $m^3 \cdot km^{-2}$	地下水资源量储量及其空间分布
	重复量占水资源量比值	重复量/水资源量	%	地表水与地下水相互转换特征
	产水模数	水资源总量/计算面积	万 $m^3 \cdot km^{-2}$	水资源总量产量及分布状况
承载特征	地表水可开发率	地表水可利用量/天然年径流量	%	地表水可开发利用程度
	地下水可开采模数	地下水可开采量/计算面积	%	地下水可开采程度
	水资源可开发利用率	水资源可利用量/水资源量	%	当地水资源承载能力
	人均水资源可利用量	水资源可利用量/总人口	$m^3 \cdot 人^{-1}$	水资源对人口的承载关系
	亩均水资源可利用量	水资源可利用总量/耕地总面积	$m^3 \cdot km^{-2}$	水资源对耕地承载关系
	单位 GDP 水资源可利用量	水资源可利用量/GDP	$m^3 \cdot 元^{-1}$	水资源对经济的承载关系
演变特征	径流变化率	80 年前平均径流深/80 年后年平均径流深	%	径流变化诊断
	转化补给量变化率	80 年前平均转化补给量/80 年后转化补给量	%	转化补给量稳定性诊断

3.2 水资源开发利用系统描述指标

水资源的开发利用过程就是实现其资源价值的过程，这一过程形成了水资源庞大和复杂的“供-用-耗-排”结构网络。构建的水资源开发利用系统描述指标应囊括水资源开发利用“供-用-耗-排”的各个方面。分调控能力、供用水水平、供水成本和水管管理 4“子类”40 个指标(见表 2)。

表 2 水资源开发利用系统描述指标集(40 指标)

Table 2 Indicators for describing development and utilization of water resource

子类	描述指标	计算公式	单位	表 征
调控能力	径流调蓄能力	水库设计兴利库容/当地地表水资源量	%	地表水调蓄能力
	地表水开发利用率	当地地表水供水量/当地河川径流量	%	区域河川径流开发利用程度
	地下水开采能力	地下水开采能力/地下水资源量	%	地下水调控能力
	地下水开采模数	地下水开采量/计算面积	万 $m^3 \cdot km^{-2}$	地下水开采强度
	实灌率	实灌面积/有效灌溉面积	%	地区耕地的水利化水平
	节灌率	节水灌溉工程面积/有效灌溉面积	%	节水灌溉水平
	工程配套率	实际配套水平/设计配套水平	%	工程设施运行完好程度
	过境地表水开发利用率	过境地表水供水量/过境河川径流量	%	过境河川径流开发利用程度
	水资源开发利用率	当地水资源供水量/当地水资源总量	%	当地水资源开发利用程度
	水资源可利用量利用率	当地水资源供水量/水资源可利用量	%	可利用水资源开发利用程度
供用水水平	人均供用水量	总供(用)水量/总人口	$m^3 \cdot 人^{-1}$	区域人均供用水水平
	城镇人均供用水量	城镇供(用)水量/城镇人口	$m^3 \cdot 人^{-1}$	城镇人均供用水水平
	供用水模数	总供(用)水量/供水面积	万 $m^3 \cdot km^{-2}$	区域供用水强度
	地表供水占总供水比重	地表水供水量/总供水量	%	地表水供水比例
	外调水占总供水比重	外调水供水量/总供水量	%	外区域水资源利用能力
	蓄水供水量占地表供水比重	蓄水工程供水量/地表水总供水量	%	蓄水工程的供水比例
	深层水供水量占地下水供水比重	深层地下水供水量/地下水供水量	%	深层承压水开采利用情况
	非常规水源供水占总供水比重	非常规供水量/总供水量	%	其他水源的利用情况

续表 2

子类	描述指标	计算公式	单位	表 征		
供用 水平	地表水工程设施出功率	地表水供水量/地表水设计供水能力	%	地表水供水工程设施运行效率		
	供水工程综合供水出功率	总供水量/总供水能力	%	供水工程设施综合运用效率		
	用水综合消耗率	总耗水量/总用水量	%	区域用水综合消耗程度		
	农业用水比例	农业用水量/总用水量	%	农业用水占总用水量的比例		
	工业用水定额	工业总用水量/工业 GDP	$m^3 \cdot \text{万元}^{-1}$	工业用水水平		
	农田灌溉定额	灌溉用水量/农田实灌面积	$m^3 \cdot \text{hm}^{-2}$	灌溉用水水平		
	万元 GDP 用水量	生产用水量/GDP	$m^3 \cdot \text{万元}^{-1}$	经济用水水平		
	20	综合供水效率	用户终端用水量(净)/总取水量	%	输水配水系统用水效率	
		城镇管网漏失率	管网漏失水量/取水总量	%	城市供水系统供水效率	
		灌溉水综合利用系数	田间用水量/取水口取水量	%	农业供水工程达标程度	
供水 成本	工业用水重复利用率	工业取水量/(工业取水量+重复水量)	%	工业用水水平		
	20	单方水粮食产量	粮食总产量/农田灌溉用水量	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	农业用水生产效益	
		单方当地地表水供水投资	当地地表供水投资/地表水供水量	$\text{元} \cdot \text{m}^{-3}$	当地地表水源工程投资水平	
		单方地下水供水投资	地下水供水总投资/地下水供水量	$\text{元} \cdot \text{m}^{-3}$	当地地下水源工程投资水平	
		单方节水投资	节水总投资/节水水量	$\text{元} \cdot \text{m}^{-3}$	节水工程的投资水平	
	5	单方回用水投资	污水处理回用投资/回用水量	$\text{元} \cdot \text{m}^{-3}$	回用水工程的投资水平	
		单方外调水投资	调水工程投资/调水水量	$\text{元} \cdot \text{m}^{-3}$	外调水工程的投资水平	
	管理 水平		用水计划率	计划用水量/总用水量	%	行政管理水平
			水资源费征收率	水资源费征收总量/应征收总量	%	行政管理水平
		5	工业用水水价	工业水费总量/工业用水总量	$\text{元} \cdot \text{m}^{-3}$	工业水价水平
		农业用水水价	农业水费总量/农业用水总量	$\text{元} \cdot \text{m}^{-3}$	农业水价水平	
		生活用水水价	生活水费总量/生活用水总量	$\text{元} \cdot \text{m}^{-3}$	生活水价水平	

3.3 水生态系统描述指标

水作为自然生态系统中最活跃的因子,具有原生的生态属性,同时由于人类活动干预的不断增强,形成了次生的“生态-社会”关联属性。分河道内生态、河道外生态与生态建设与保护 3 大“子类”20 个指标构成水生态系统描述指标集(见表 3)。

表 3 水生态系统描述指标集(20 个指标)

Table 3 Indicators for describing water ecological system

子类	描述指标	计算公式	单位	表 征	
河道内	河道内需水满足程度	河道内生态用水/河道内适宜需水量	%	河道内生态用水保障状况	
	河道长度变化率	80 年前平均/80 年后平均	%	河道演变情况	
	输沙能力变化率	80 年前平均/80 年后平均	%	河道内生态特征变化情况	
	7	河口生态需水保证程度	80 年前平均/80 年后平均	%	河道内生态用水总体保障特征
		河口泥沙淤积变化率	80 年前平均/80 年后平均	%	河道内生态用水总体保障特征
		湖泊湿地调蓄能力变化率	80 年前平均/80 年后平均	%	湖泊湿地生态环境演变趋势
		湖泊湿地面积变化率	80 年前平均/80 年后平均	%	湖泊湿地生态环境演变趋势
河道外	地下水超采面积比率	评价超采面积/评价利用面积	%	区域地下水超采状况	
	地面沉降面积比率	评价地面沉降面积/评价面积	%	区域地下水超采程度	
	咸水入侵面积比率	咸水入侵面积年均变化率	%	区域地下水超采状况	
	年均地面沉降速率	地面沉降年均变化率	%	地下水超采引起的地质情况	
	城镇人均生态面积	城镇内水面与绿地面积/城镇人口	$\text{m}^2 \cdot \text{人}^{-1}$	城市生态特征	
	11	土地侵蚀模数	水土流失量/土地面积	$\text{万} \text{m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$	区域水土流失量情况
		水土流失面积比率	水土流失面积/土地面积	%	水土流失面积变化情况
		荒漠化速率	土地沙化扩展速度(km^2/a)	%	区域荒漠化变化情况
		植被覆盖率	植被面积/土地面积	%	植被情况
		草场退化率	草场面积退化面积/草场总面积	%	草场生态变化情况
		盐渍化面积比率	盐渍化灌溉面积/总灌溉面积	%	地区盐渍化程度
生态	水土保持面积比率	水土保持面积/水土流失面积	%	地区生态建设水平	
建设	防护林草灌溉面积比率	防护林草面积/农田灌溉面积	%	防护林建设对生态的保护	

3.4 水环境系统描述指标

水的物理、化学特性决定了水资源原生的环境自然属性,同样在长期的人类活动过程中,逐步形成了次生

的、多关联的“生态-社会”关联属性。用水环境本底、水环境状况和水环境治理3大“子类”13个定量指标构成水生态系统描述指标集(见表4)。

表4 水环境系统描述指标集

Table 4 Indicators for describing water environment system

子类	描述指标	计算公式	单位	表 征
水环境本底 ³	河流天然水化学	天然水化学类型		河流天然水化学特征
	地下水天然水化学特征	见细则说明 矿化度		地下水化学特征
	水体自净能力	见细则说明(K)(消解系数)		水环境容量
水环境状况 ⁷	水体水功能等级	水功能区划成果		水体功能
	城镇人均废污水排放量	污废水排放量/城镇人口	$m^3 \cdot 人^{-1}$	污废水排放
	城镇人均COD排放量	COD物排放总量/城镇人口	$t \cdot 人^{-1}$	污染物质排放
	污染河长占评价河长比例	污染河长/评价河长		河流污染现状
	污径比	污废水排放总量/径流量	%	河流自净潜力特征
水环境治理 ³	超标地下水比例	超标地下水利用量/地下水总利用量	%	地下水污染情况
	污染湖泊面积比例	受污染湖泊面积/湖泊总面积	%	湖泊污染情况
	工业污水达标排放率	年污水达标排放量/年污水排放量	%	工业污染处理程度
	污水集中处理率	污废水集中处理量/污废水排放总量	%	污废水处理程度
	污水处理达标排放率	污废水处理达标排放量/污废水产生量	%	污水处理达标程度

3.5 经济社会系统描述指标

水资源的水权和水市场交易社会属性与区域经济和社会发展水平紧密相连。因此,用社会发展和经济发展2大“子类”11个定量指标构成与水资源的社会属性及其它属性密切关联的区域经济社会发展状况描述指标集(见表5)。

表5 经济社会系统描述指标集

Table 5 Indicators for describing economic society system

子类	描述指标	计算公式	单位	表 征
社会发展 ⁵	人口密度	总人口/土地面积	$人 \cdot km^{-2}$	人口分布
	城镇化率	城镇总人口/总人口	%	城镇化水平
	人均粮食生产量	粮食总产量/农业总人口	$t \cdot 人^{-1}$	农业生产水平
	自来水普及率	城镇自来水受水人口/城镇人口	%	城镇供水水平
	水费支出占城镇居民收入的比率	城镇居民人均水费支出/城镇居民人均收入	%	水价与居民收入的合理性
经济发展 ⁶	人均GDP	GDP/总人口	$元 \cdot 人^{-1}$	社会经济条件
	非农业经济比重	二三产业GDP/GDP	%	产业结构水平
	城镇居民可支配收入	见统计年鉴	$元 \cdot 人^{-1}$	城镇居民生活水平
	农村居民纯收入	见统计年鉴	$元 \cdot 人^{-1}$	农民生活水平
	耕地率	耕地面积/土地面积	%	农业用地水平
	耕地灌溉率	农田灌溉面积/耕地面积	%	耕地灌溉水平

4 属性准则性指标集

基于自然属性的准则用以度量区域水资源自然属性状态特征是否发生演变,可再生性是水资源自然属性最为基本的特征;水资源生态属性主要体现在水资源对天然和人工生态系统的可持续服务功能上;水资源环境属性是由水的化学特性和水生态系统自净能力所衍生出来的一种基本属性,现代环境下狭义的水资源环境属性主要指河流、湖泊等水体对人工排污的纳污和自净属性;公平性是水资源社会属性的首要特征;高效性是水资源经济属性的集中表达。属性准则性指标包括准则标准及其指标表征(见表6)。

5 实践问题导向的诊断性指标

5.1 缺水类型诊断指标

当依据上述相关准则标准识别出各分区属性特征发生演变时,还需要进一步根据实践状态诊断出区域水资源及其开发利用所存在的问题,以便在相关水事活动中采取相关调控措施进行属性修复。从水资源开发利用实

表 6 水资源及其开发利用属性准则指标集

Table 6 Characteristic indicators for water resources and its development and utilization

属性准则	准则表征	描述指标	计算公式
基于自然属性的可再生准则	地表水产水量基本稳定	径流变化率/ %	$(80 \text{年后平均值} - 80 \text{年前平均值}) / 80 \text{年前平均值}$
	地下水采补基本平衡	地下水采补率/ %	$(80 \text{年后年均开采量}) / 80 \text{年后平均总补给量}$
	转化补给量基本稳定	转化补给量变化率/ %	$(80 \text{年后补给量} - 80 \text{年前补给量}) / 80 \text{年前补给量}$
.....			
基于生态属性的可持续准则	最小生态需水基本得到满足	生态需水亏缺程度/ %	$(\text{实际用水量} - \text{最小需水量}) / \text{最小需水量}$
	湖泊湿地相对稳定	湖泊湿地面积变化率/ %	$(80 \text{年后面积} - 80 \text{年前面积}) / 80 \text{年前面积}$
	植被覆盖率明显提高	植被覆盖变化率/ %	$(80 \text{年后平均值} - 80 \text{年前平均值}) / 80 \text{年前平均值}$
.....			
基于环境属性的可承载准则	点源污染治理良好	废污水处理率/ %	废污水处理量/ 废污水排放量
	面源污染总体得到控制	面源污染负荷贡献率/ %	面源污染负荷/ 污染总负荷
	水体自净功能维护良好	满足水功能要求面积比率/ %	满足水功能要求水面面积/ 水面总面积
.....			
基于社会属性的公平性准则	需求满足程度大体均等	人均缺水量/ m^3	$(\text{需水量} - \text{供水量}) / \text{总人口}$
	弱势群体用水基本保障	饮用水困难人口比例/ %	饮用水困难人口数/ 总人口
	生活水费支出可以承受	生活水费支出率/ %	生活水费支出/ 家庭收入
.....			
基于经济属性的高效性准则	开发效率较高	供水效率/ %	用户终端实际用水量/ 设计供水能力
	利用效率较高	单方水 GDP 产出率/ $(\text{元} \cdot \text{m}^{-3})$	GDP/ 生产用水量/ $(\text{元} \cdot \text{m}^{-3})$
	开发边际成本大体相当	最大与最小边际成本倍比	最大边际成本/ 最小边际成本
.....			

践出发，水资源及其开发利用存在的最主要问题为缺水问题。区域缺水状况的评价是水资源及其开发利用评价的主要目标性任务。本专题研究将缺水划分为资源型缺水、水质型缺水、工程型缺水、管理型缺水四种类型。各缺水类型的诊断性指标集构建见表 7。需要说明的是，缺水类型诊断指标集中有相当大的一部分指标是直接采用系统描述指标集中的指标。初步构建上述四大缺水类型，共计 24 个诊断指标。各类型及其诊断指标描述如下。

表 7 缺水类型诊断指标集(24 个指标)

Table 7 Indicators for diagnosing water shortage type

问题诊断	诊断标准	描述指标	计算公式
资源型	河道断流趋势加剧	断流河长变化率	$80 \text{年前平均长度} / 80 \text{年后} 20 \text{年平均长度}$
		断流时间变化率	$80 \text{年前平均时间} / 80 \text{年后} 20 \text{年平均时间}$
	湖泊湿地持续萎缩	湖泊湿地面积萎缩率	$80 \text{年前平均湖泊面积} / 80 \text{年后} 20 \text{年平均湖泊面积}$
		湖泊湿地调蓄能力衰减率	$80 \text{年前平均调蓄能力} / 80 \text{年后} 20 \text{年平均调蓄能力}$
	地下水持续下降	地下水超采面积比率	评价地下水超采面积/ 评价地下水利用面积
		地下水埋深下降速率	评价时段地下水位变化量/ 评价时段初期地下水位
工程型	调控能力不足	径流调蓄能力	水库设计兴利库容/ 当地多年平均地表水资源量
		水资源开发利用率	当地水资源总供水量/ 当地水资源可利用量
		非常规供水比重	非常规供水量/ 总供水量
	节水工程不足	节灌率	节水灌溉工程面积/ 有效灌溉面积
水质型	分质供水不足	灌溉水综合利用系数	田间用水量/ 取水口取水量
		工业用水重复利用率	工业取水量/ $(\text{工业取水量} + \text{重复利用水量})$
	劣质供水	供水工程综合供水输出功率	总供水量/ 总供水能力
管理型	水功能质量下降	工程配套率	实际配套工程(数)/ 设计(规划)配套工程(数)
		工程使用效率	工程使用年限/ 工程设计年限
	用水效率低	水源取水达标率	水源达标取水量/ 总取水量
管理型	管理水平低	不合格供水占总供水比值	不合格供水量/ 总供水量
		不满足水功能要求水面比值	不满足水功能水面面积/ 水面总面积
			灌溉定额/ $(\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2})$
		工业万元增加值取水量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{万元}^{-1})$	工业取水量/ 工业 GDP
		万元 GDP 取水量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{万元}^{-1})$	生产取水量/ GDP
		计划用水率	计划用水量/ 总用水量
		水资源费征收率	水资源费征收总量/ 应征水资源费总量
		综合水价/ $(\text{元} \cdot \text{m}^{-3})$	征收水费总量/ 用水总量

5.2 协调度诊断

协调度诊断主要包括两大方面：

(1) 宏观社会生产力布局与水资源禀赋间匹配程度诊断 采用亩均水资源量 (m^3/hm^2)、万元工业 GDP 水资源量 ($\text{m}^3/\text{万元}$) 两个指标综合评分进行衡量，数值过低则表明宏观生产力布局与水资源禀赋不匹配。

(2) 水资源开发利用方式均衡度诊断 采用地表水地下水开发利用程度比、供需平衡调控措施边际成本比两项指标诊断。

$$\text{地表地下水开发利用程度比} = \frac{\text{地表水利用量} / \text{地表水资源量}}{\text{地下水开采量} / \text{地下水资源量}}$$

供需平衡调控措施边际成本比包括开源措施边际成本比和开源与节流措施边际成本比，用以分别诊断开源措施间的均衡度和开源节流间均衡度。

理论上，如果一个地区开发利用方式较为均衡，上述两个指标数值应趋于 1。

5.3 潜力诊断

水资源开发利用潜力是影响经济发展和水资源开发利用程度的重要表征，也是水资源及其开发利用综合评价的一项重要目标任务。分成资源型潜力诊断和经济型潜力诊断两类。

(1) 资源型潜力诊断 具体指标可采用水资源开发利用程度、用水效率和单方水产出三项指标进行联合评价。资源性无潜力地区一般表现为水资源开发利用程度较高且水资源利用效率较高。

(2) 经济型潜力诊断 从开发利用经济性方面进行开发利用方式的比较分析，主要采用新增单方供水的成本指标来表征。这一类型问题具体表现新增单方水成本较高，如扬黄灌区，具体指标可用新增单方水成本来表征。

参考文献：

- [1] 水利部南京水文水资源研究所,中国水利水电科学研究院水资源研究所.《21世纪中国水供求》[M].北京:中国水利水电出版社,1999.131-138.
- [2] 左东启,戴树声,袁汝华,等.水资源评价指标体系研究[J].水科学进展,1996,7(4):367-373.
- [3] 刘恒,耿雷华,陈晓燕,等.区域水资源可持续利用评价指标体系的建立[J].水科学进展,2003,14(3):265-270.

Comprehensive assessment indicator system for water resources and its development and use

LAI Hai-liang¹, WANG Dang-xian², WU Di-fei³

(1. Beijing Hydraulic Research Institute, Beijing 100044, China; 2. China Institute of Water Resources and Hydropower Research Department of Water Resources, Beijing 100044, China; 3. Beijing of Technology Division, Beijing 100044, China)

Abstract : Water resources system is combined with natural hydrological cycle and man-made water process. The interdependent relationship between these two cycles of water movement is analyzed. Based on the analysis, taking into consideration of major aspects related to water resources, the complex system can be classified as five sub-systems: natural water resources, development and use, ecosystem of water, water environment and social-economical system. The comprehensive indicator system is constructed by combining with the major factors in the sub-systems. Through the indicator system, the assessment of water resources and the status of development can be identified quantitatively with respective the indicators. Furthermore, the diagnostic indices are provided aiming at identifying the specific problems and the measures of improvement.

Key words : water resources; assessment; indicator system; development and use