

区域水资源可持续利用指标体系研究

李朝霞^{1 2}

(1.河海大学水利水电工程学院,江苏 南京 210098 2.西藏大学农牧学院,西藏 林芝 860000)

摘要 :为描述尼洋河区域水资源的可持续利用状况 ,建立了由目标层、准则层和指标层构成的包括 29 个能反映该区域自然、社会、经济特点的水资源可持续利用指标体系 ,应用层次分析法确定了指标体系中的指标权重 .层次总排序结果表明 :尼洋河区域森林覆盖率、河流水质、万人拥有水利科技人员居前 3 位 ,水土流失面积比例居第 4 位 ,水资源开发利用程度和水资源工程达标率也占有较大的权重 .为保证水资源的可持续开发利用 ,必须采取确保本区森林覆盖率、良好的河流水质和防止水土流失面积扩大的相应措施 .

关键词 :尼洋河区域 ;水资源 ;可持续利用 ;指标体系

中图分类号 :TV213.2 **文献标识码** :A **文章编号** :1000-198X(2007)01-0081-05

尼洋河区域位于西藏自治区东南部的林芝地区 .由于该区域地处青藏高原 ,气候特点十分突出 ,全年干季和雨季比较明显 .区域内河流、湖泊及冰川十分发达 ,水资源十分丰富 ,尼洋河平均流量 $538\text{m}^3/\text{s}$,年径流量 220亿 m^3 ,水能蕴藏量十分丰富 .由于特殊的地理环境、气候条件和历史的原因 ,形成了该区域特色鲜明的自然条件特征和社会经济特征 .水资源的开发利用是该区域经济实现跨越式发展的重要物质基础 .面对生态环境十分脆弱的现实条件 ,如何评价水资源的可持续利用 ,建立一套基于该区域自然、社会经济特点 ,适合该区域实际情况的水资源可持续利用指标体系是当前迫切需要研究的课题 ,具有十分重要的科学意义和应用价值 .为此 ,本文根据该区域社会、经济特点和水资源可持续利用状况 ,建立了该区域水资源可持续利用指标体系 ,并对该区域水资源可持续利用进行了评价 .

1 指标体系构建

1.1 构建原则

区域水资源可持续开发利用 ,不仅与区域水资源的天然时空分布有关 ,而且受区域人口、经济、生态环境等诸多因素的制约 .因此 ,指标体系的构成原则 ,必须考虑人口、经济、生态环境的影响 .王好芳等^[1-3]给出了构建水资源可持续利用量化指标的原则 .本文在有关研究成果的基础上 ,结合区域特征 ,遵循可持续发展的一般要求 ,提出了量化指标体系的构建原则 : (a)体现水资源可持续利用的内涵和目标 .所建立的指标体系必须反映可持续发展理论^[4-7]的要求 .水资源可持续利用程度是社会、经济、环境综合效益的体现 ,水资源的利用必须考虑与此相关的因素 . (b)系统性和层次性相结合 . (c)特殊性指标与普遍性指标有机统一 .选择指标时 ,除考虑能反映水资源持续利用的普遍性指标外 ,需充分考虑西藏特殊的自然及社会经济条件下 ,体现水资源持续利用的一些特殊性指标 . (d)主观指标和客观指标相结合 . (e)指标的选定 ,尽可能采用便于查、引和检索的现有资料 .由于客观条件限制 ,在进行该区水资源可持续利用的评价时 ,部分数据和资料无法得到 .因此 ,在选定具体指标时只能考虑尽量利用现有资料 . (f)动态指标和静态指标相结合 . (g)科学性、实用性和可操作性相结合 .指标体系的建立应以可持续发展理论为基础 ,同时考虑指标数据收集的方便性以及实用性 . (h)在全面反映水资源可持续利用特性的前提下 ,尽可能减少指标数目 .

1.2 指标体系设计

由于所研究的问题涉及面广 ,为了有效地使用层次分析法 ,组织规划、水利水电、环保及经济方面的技术人员和管理人员开展专家咨询 ,确定层次结构 ,制定指标体系 ,并根据问题的重要程度构造判断矩阵 ,将水资

源可持续利用指标体系分成3个层次,即目标层、准则层和指标层。目标层为单一目标,有5个准则,具体指标有若干,其递阶层次结构见图1。

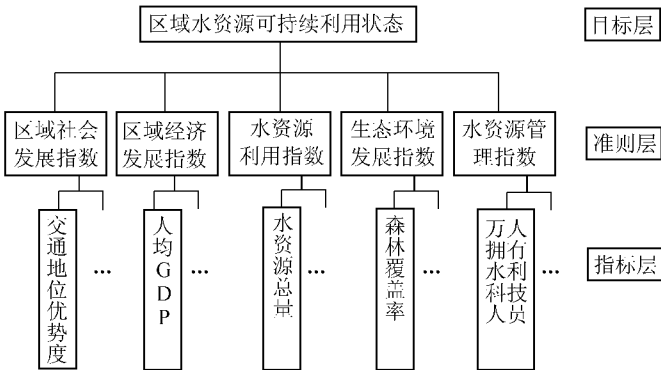


图1 区域水资源可持续利用递阶层次结构

Fig.1 Hierarchy structure of sustainable development and utilization of regional water resources

区域水资源可持续利用指标体系的层次结构为:目标层A表示所需达到的目的,综合反映区域水资源复合系统中经济、社会、生态环境及水资源的协调发展状况,用来衡量区域水资源可持续利用状态,即以水资源可持续利用保障可持续发展,是子系统协调发展总体运行的效果。准则层C进一步刻画了系统发展水平和系统发展的协调性。由区域社会发展指数(C_1)、区域经济发展指数(C_2)、区域水资源利用指数(C_3)、生态环境发展指数(C_4)和水资源管理指数(C_5)组成。指标层P结合该区域实际情况共选取了29个反映社会、经济、生态环境和水资源4个子系统状况的指标。

对具体指标的选取,充分考虑尼洋河区域水资源、社会、经济及生态环境的特殊性。区域社会发展各指标的选取,主要考虑到:该区所处位置为西藏交通要道,交通的发达可以很大地促进社会的发展;该区域与西藏其他地区相比,气候相对较好,区域社会发展的一个重要体现就是居住环境的改善,吸引更多的投资;教育的落后,导致科技落后,就业人群素质普遍偏低。因此,选择了交通地位优势度、人居环境优势度、科技进步贡献率、失业率和九年义务教育普及率5个指标。区域经济发展中选取的指标,基于该区域经济发展以藏药材种植、特色养殖和发展旅游为方向,指标中以人均特色产品产量和人均旅游业收入来体现。该区域拥有十分丰富的水资源,目前水资源开发利用程度很低,水资源的重复使用比例极低,农业灌溉中渠道渗水、漏水情况较为突出,因此确定指标时考虑了以上实际情况。该区域内拥有较高的森林覆盖率,森林的生态功能十分突出,由于处于半湿润气候地区,天然草场、灌木对水土保持的作用十分重要;废污水任意排放对河流水质的影响,将随着经济的发展、人口的增多而显著增加,在考虑环境指数时提出了相关指标。目前,区域水资源管理十分滞后,重建轻管是水资源开发利用的一个突出问题,因此水资源工程达标率、供水设施完好率、法律法规体系的健全、水资源费的收取这几个指标能够较全面反映水资源管理的现状。具体指标体系结构见表1。

表1 水资源可持续利用指标体系结构

Table 1 Index system of sustainable development and utilization of water resources

目标层(A)	准则层(C)	指标层(P)
区域水资源可持续利用状态	C_1 区域社会发展指数	P_1 交通地位优势度
		P_2 人居环境优势度
		P_3 科技进步贡献率
		P_4 失业率
		P_5 九年制义务教育普及率
	C_2 区域经济发展指数	P_6 人均GDP
		P_7 人均GDP年增长率
		P_8 城镇人均收入
		P_9 农村人均收入
		P_{10} 人均特色产品产量
		P_{11} 非农业产值占GDP比重
		P_{12} 人均旅游收入
	C_3 区域水资源利用指数	P_{13} 水资源总量
		P_{14} 人均水资源占有量
		P_{15} 单位耕地面积水资源占有量
		P_{16} 水资源开发利用程度
		P_{17} 工业用水重复率
		P_{18} 渠系有效利用率
		P_{19} 每立方米水的国民收入
	C_4 生态环境发展指数	P_{20} 森林覆盖率
		P_{21} 污水处理率
		P_{22} 天然植被率
		P_{23} 水土流失面积比例
		P_{24} 河流水质等级
	C_5 水资源管理指数	P_{25} 万人拥有水利科技人员
		P_{26} 水资源工程达标率
		P_{27} 供水设施完好率
		P_{28} 法律法规体系健全率
		P_{29} 水资源费收取率

2 区域水资源可持续利用评价

水资源可持续发展评价 ,实际上是通过水资源可持续利用能力和协调状况的评判来确定水资源与社会、经济、生态的协调程度。其最常用的方法有综合评判法、时间序列法、模糊综合评判法、层次分析法和空间分析法等。本文运用层次分析法进行区域水资源可持续利用指标权重的确定 ,其主要步骤如下^[8] :

2.1 构造判断矩阵

根据以上尼洋河区域水资源可持续利用指标选取原则 ,用 Delphi 法确定 C_i 和 C_j ($j = 1, 2, \dots, k$) 2 个元素对 A 的重要程度 : C_i 和 C_j 同等重要时取 1 ; C_i 比 C_j 略重要时取 3 ; C_i 比 C_j 重要时取 5 ; C_i 比 C_j 明显强烈重要时取 7 ; C_i 比 C_j 绝对重要时取 9。反之 ,分别取 $1/3, 1/5, 1/7$ 和 $1/9$ 。2 4 6 8 为两判断元素之间的中间状态对应的标度。由此可知 , $C_{ii} = 1, C_{ij} > 0, C_{ij} = 1/C_{ji}$ 。根据上述准则构造判断矩阵。

2.2 层次单排序及一致性检验

利用下式检验判断矩阵的一致性。

$$R_C = \frac{I_C}{I_R} < 0.1$$

(1)

式中 : R_C ——一致性比例 ; I_C ——计算一致性指标 , $I_C = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$, $\lambda_{\max}$ 为每个判断矩阵的最大特征根 , n 为判断矩阵阶数 ; I_R ——同阶随机判断矩阵的一致性指标的平均值 ,其引入可在一定程度上克服一致性判断指标随 n 增大而明显增大的弊端。

当 $R_C = \frac{I_C}{I_R} < 0.1$ 时 ,即可认为判断矩阵具有完全一致性 ,否则就需要重新调整判断矩阵 ,使之满足一致性要求。

2.3 相对权重 ω 的计算

常用的要素相对权重的计算方法有算术平均法、几何平均法、特征根法和最小二乘法。本文采用算术平均法对目标层与准则层、准则层与指标层的权重进行了计算 ,结果见表 2。

表 2 单层排序
Table 2 Single layer ordering

判断矩阵	$\lambda_{\max}$	$\omega (\omega_1, \dots, \omega_n)$	I_C	I_R	R_C	一致性检验结果
A-C	5.413	(0.044 0.068 0.154 0.519 0.215)	0.103	1.12	0.092	满意
C_1 -P	5.411	(0.116 0.133 0.126 0.303 0.321)	0.102	1.12	0.091	满意
C_2 -P	7.785	(0.229 0.246 0.167 0.167 0.048 0.053 0.089)	0.131	1.36	0.096	满意
C_3 -P	7.388	(0.068 0.053 0.053 0.322 0.16 0.172 0.172)	0.065	1.36	0.048	满意
C_4 -P	5.279	(0.378 0.071 0.23 0.11 0.212)	0.069	1.12	0.062	满意
C_5 -P	5.386	(0.376 0.194 0.136 0.121 0.173)	0.097	1.12	0.087	满意

2.4 层次总排序

层次总排序如表 3 所示。在表 3 中 ,指标的权值越大 ,说明该指标对尼洋河区域水资源可持续利用的影响越大 ,或者说区域水资源可持续利用对该指标越敏感。由表 3 可知 :权值较大的前 6 个指标分别为 $P_{20}, P_{24}, P_{25}, P_{23}, P_{16}, P_{26}$,即森林覆盖率、河流水质、万人拥有水利科技人员、水土流失面积比例、水资源开发利用程度和水资源工程达标率 6 个指标 ,这 6 个指标对该区域水资源可持续利用和区域可持续发展的影响较大。分析结果与该区域的实际情况是吻合的 ,青藏高原所处的地理位置决定了其“生态源”、“江河源”的地位 ,该区域生态环境脆弱 ,一旦破坏 ,恢复将十分困难。该区域生态环境的保护 ,其效益不仅仅体现在该区 ,而且会在河流的中下游地区体现出来。因此 ,在该区域内的任何资源开发 ,在某种程度上应该是环境效益大于经济效益。对水资源的开发利用也同样如此 ,使经济效益达到最大和保证可持续发展的前提是生态环境保护放在第一位 ,维持生态系统的平衡和良性发展。该区的森林所具有的生态环境保护作用是很显著的 ,水资源的可持续开发利用 ,确保森林覆盖率是关键。水土流失面积的增大 ,在该区域主要表现为尼洋河下游地区沙化和荒漠化面积不断扩大。因此 ,应扩大种树种草规模、提高管理水平。为保证区域内河流水质维持在较好水平 ,应尽快着手污水处理厂的建设 ,使目前污水任意向河道排放的情况得到遏制。水利科技人员是水资源可

持续开发利用的技术保证,对尼洋河区域更是如此,较强的技术力量不仅可以提高水资源开发利用程度,同时也可使水资源管理水平有较大增强.权值排在最后3位的指标是 P_{10} 、 P_{11} 、 P_1 ,即人均特色产品产量、非农业产值占GDP比重和交通地位优势度.目前,尼洋河区域农业仍是国民经济的基础,农业产值在GDP构成中占有很大比重,对特色产品如野生菌类的加工,由于受到资源和技术条件的限制,数量上、效益上形成产业化还有一定困难,对藏药材种植和藏猪、藏鸡的养殖等,技术上还有许多问题有待解决.因此,人均特色产品产量、非农业产值占GDP比重和交通地位优势度对水资源可持续开发利用的影响较小.

表3 层次总排序

Table 3 Ordering of total layers

层次 P	层次 C					层次 P 的 总排序
	C_1 ($\omega_1 = 0.044$)	C_2 ($\omega_2 = 0.068$)	C_3 ($\omega_3 = 0.154$)	C_4 ($\omega_4 = 0.519$)	C_5 ($\omega_5 = 0.215$)	
P_1	0.116					0.005
P_2	0.133					0.006
P_3	0.126					0.006
P_4	0.303					0.013
P_5	0.321					0.014
P_6		0.229				0.016
P_7		0.246				0.017
P_8		0.167				0.011
P_9		0.167				0.011
P_{10}		0.048				0.003
P_{11}		0.053				0.004
P_{12}		0.089				0.006
P_{13}			0.068			0.010
P_{14}			0.053			0.008
P_{15}			0.053			0.008
P_{16}			0.322			0.050
P_{17}			0.160			0.025
P_{18}			0.172			0.026
P_{19}			0.172			0.026
P_{20}				0.378		0.196
P_{21}				0.071		0.037
P_{22}				0.023		0.012
P_{23}				0.110		0.057
P_{24}				0.212		0.110
P_{25}					0.376	0.081
P_{26}					0.194	0.042
P_{27}					0.136	0.029
P_{28}					0.121	0.026
P_{29}					0.173	0.037

3 结 论

本文对高寒高海拔半湿润地区的水资源可持续利用指标体系进行了研究,并结合尼洋河区域的自然、社会经济特点提出了指标体系构成原则,同时在遵循指标体系构成原则的基础上,选择了能够较好体现该区域水资源可持续利用实质的29个指标.这些指标基本能够较为全面地反映本区域的自然、社会经济特征对水资源的影响.利用层次分析法确定了29个指标的权重,进行了层次总排序.结果表明,森林覆盖率、河流水质、万人拥有水利科技人员居前3位,水土流失面积比例居第4位,水资源开发利用程度和水资源工程达标率也占有较大权重,人均特色产品产量和非农业产值占GDP比重所占权重最小.因此,采取确保森林覆盖率、保证良好的河流水质、防止水土流失面积扩大的相应措施,以及加强水利科技人员的培养、提高水资源开发利用程度和保证水资源工程质量是该区域水资源可持续利用的重要条件.

参考文献：

[1] 王好芳 ,董增川 ,左仲国 . 区域水资源可持续开发指标体系的建立及其评价[J]. 水电能源科学 ,2000 ,21(3) 27-29 .
[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 ,(4) 367-374 .
[3] 宋松柏 ,蔡焕杰 ,徐良芳 . 水资源可持续利用指标体系及评价方法研究[J]. 水科学进展 ,2003 ,14(5) 647-652 .
[4] 刘恒 ,耿雷华 ,陈晓燕 . 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 .
[5] 冯耀龙 ,练继建 ,韩文秀 . 区域水资源系统可持续发展评价研究[J]. 水利水电技术 ,2001 ,32(12) :9-11 .
[6] 王华 ,苏春海 . 水资源可持续利用指标体系研究[J]. 排灌机械 ,2001 ,21(1) 33-36 .
[7] 温淑瑶 ,马占青 ,周之豪 ,等 . 层次分析法在区域湖泊水资源可持续发展评价中的应用[J]. 长江流域资源与环境 ,2000 ,9(2) :196-201 .
[8] 汪应洛 . 系统工程[M]. 北京 :机械工业出版社 ,2003 :134-136 .

Index system for sustainable utilization of regional water resources

LI Zhao-xia^{1 2}

(1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering , Hohai University , Nanjing 210098 , China ;
2. College of Agriculture and Animal Husbandry , Tibet University , Linzhi 860000 , China)

Abstract :For investigation of the current situation of regional water resources sustainable utilization of Niyang River , an index system for water resources sustainable utilization was established , which consists of target layer , criterion layer , and index layer and including 29 indexes for reflecting the natural , social , and economic characteristics of this region . The hierarchy analysis was applied to determine the weight of each index . The result shows that the forest coverage , the water quality of rivers , the number of science and technology personnel per ten thousand people , and the ratio of water and soil erosion are ranked the top four among all the indexes , respectively , and that the weights of degree of water resources development and utilization and up-to-standard ratio of water conservancy projects also rank high . To guarantee the sustainable development and utilization of water resources , some measures , such as to ensure high forest coverage of this region , to keep high water quality of the river , and to prevent the extension of water and soil erosion areas , should be taken .

Key words :area of Niyang River ; water resources ; sustainable utilization ; index system