

# 敦煌城市发展与水资源利用潜力协调度评价

王新敏, 石培基, 焦贝贝, 聂晓英, 刘海龙

(西北师范大学 地理与环境科学学院, 兰州 730070)

**摘要:**选取32项与敦煌市城市发展和水资源利用潜力紧密相关的评价指标,分别构建城市发展和水资源利用潜力综合评价模型,在此基础上再构建两系统间协调度模型,分析城市发展与水资源利用潜力的变化及两者的协调关系,得出如下结论:(1)敦煌市城市发展综合水平逐年上升,经济快速发展是促进敦煌市综合发展的主要动力。2000—2006年城市人口增长速度较快,城市社会发展和城市空间扩张速度较慢。2007—2012年城市社会发展速度变快,城市人口增长和城市空间扩张对城市综合发展影响变小;(2)敦煌市水资源利用潜力呈逐年下降趋势,水资源本底条件对水资源利用潜力约束较强,提高水资源利用效率和加强水资源管理能力是提升水资源利用潜力的重要举措和有效途径;(3)敦煌市城市发展与水资源利用潜力协调度总体不高,两系统间矛盾日益突出。

**关键词:**城市发展;水资源利用潜力;协调度;敦煌市

中图分类号:F291

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2015)03-0203-07

## Evaluation of Harmonization Degree Between Urban Development and Water Resources Utilization Potential in Dunhuang City

WANG Xinmin, SHI Peiji, JIAO Beibei, NIE Xiaoying, LIU Hailong

(College of Geography and Environmental Sciences, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** In this paper, 32 indexes had been selected to set up evaluation models. Comprehensive evaluation models were built to analyze the change of urban development and water resources utilization potential. The model of coordination degree was constructed to evaluate the coordination relationship between the urban development and water resources utilization potential. The result showed that: (1) comprehensive urban development of Dunhuang City continued to improve from 2000 to 2012, the rapid increase of GDP was the main force of comprehensive urban development, from 2000 to 2006, the increase of urban population and economic development were faster than urban social progress and urban spatial expansion, from 2007 to 2012, urban social progress had significant increase of comprehensive urban development whereas the urban population and urban space expansion had relatively small impact; (2) comprehensive index of water resources utilization potential index declined from 2000 to 2012, under the constraints of natural background of water resources, the improvement of utilization efficiency and management of water resources were the significant measures and ways enhancing water resources potential; (3) generally, the coordination degree between urban development and water resources utilization potential was low and the conflict between the two systems had been intensified.

**Keywords:** urban development; water resources utilization potentials; harmonization degree; Dunhuang City

水资源是人类生存和发展的安全保障,随着城市化快速发展和气候等自然条件的变异,水资源短缺问题日益凸显,严重影响社会经济可持续发展,威胁人类的福祉<sup>[1]</sup>。尤其在西北干旱区,水资源短缺更是严重约束城市的发展。近年来,水资源问题成为社会和学术界共同关注的热点<sup>[2]</sup>,国内外学者从不同角度对水

资源相关问题作了大量探讨,成果丰硕。国外研究主要涉及:水资源能否满足城市发展的需求,如干旱区特定气候条件下水资源能否满足经济发展和城市人口增长的需求<sup>[3]</sup>;城市发展对水质的影响<sup>[4]</sup>,在发展中国家普遍存在因城镇化而导致的生态环境恶化<sup>[5]</sup>;城市化中水资源管理研究<sup>[6]</sup>, Jeffrey K. O'Hara等<sup>[7]</sup>

收稿日期:2014-06-14

修回日期:2014-08-07

资助项目:国家自然科学基金资助项目“河西走廊经济带绿洲型城镇集群空间成长过程、机理及管治研究”(41271133)

第一作者:王新敏(1984—),女,甘肃陇南人,硕士研究生,研究方向为城市与区域发展。E-mail: wangxinmin1987@sina.com

通信作者:石培基(1961—),男,甘肃临洮人,教授,博士生导师,主要从事人文地理、经济地理、城市与区域发展规划和国土整治研究。E-mail: shipj@nwnu.edu.cn

分析了气候变化与人口增长对城市供水的影响,并提出城市供水管理措施。我国相关研究主要集中在水资源与城市人口集聚、城市经济结构与经济增长、城市空间扩张的相互作用<sup>[8-11]</sup>,城市水资源承载力<sup>[12]</sup>,水资源约束下城市适度规模研究<sup>[13]</sup>,水资源供需平衡分析<sup>[14-15]</sup>,城市水资源管理<sup>[16]</sup>等成果也较丰富。水资源是绿洲城市发展的瓶颈,近年来敦煌城市迅速发展加速了对水资源的开发利用,水资源出现严重紧缺,地下水位迅速下降,生态环境恶化,较小的水资源潜力制约敦煌城市发展的速度。本文以敦煌市为例,基于 2000—2012 年城市发展与水资源开发利用现状,对城市发展与水资源利用潜力协调度进行整体评价分析,这对警示干旱区水资源管理利用和维护城市与资源环境协调可持续发展有重要意义。

## 1 研究区概况与研究方法

### 1.1 研究区概况

敦煌市地处河西走廊最西端,总土地面积 3.12 万 km<sup>2</sup>。多年平均降水量为 39.9 mm,蒸发量为 2 495 mm,多年平均气温 9.4℃,日照时长 3 246.7 h,无霜期 142 d,地势南北高,中间低,平均海拔不足 1 200 m,四周被沙漠戈壁包围,气候属典型的大陆性气候。近年来,敦煌市水资源严重紧缺,水资源环境容量和承载力下降,水资源供需矛盾十分突出。

### 1.2 评价指标体系构建

结合敦煌市实际情况,遵循科学性、系统性、有效性和可操作性原则,参考已有研究成果指标体系构建<sup>[17-19]</sup>,选取与表征城市综合发展的城市人口、城市经济、城市社会、城市空间和表征水资源利用潜力的水资源本底条件、开发程度、利用效率、管理能力 8 个方面紧密相关的 32 项指标分别构建由目标层、系统层、子系统层和指标层构成的城市发展与水资源利用潜力综合评价指标体系。

### 1.3 数据来源及预处理

本文表征城市化数据主要来源于甘肃省城市(县城)建设统计年报(2000—2012 年),社会经济数据来源于敦煌市统计年鉴(2000—2012 年),水资源数据来源于甘肃水利统计年鉴及甘肃省水资源统计公报(2000—2012 年)和《酒泉市第一次水利普查公报》。个别缺失数据采用相邻年份值插值法补齐。在求权重和分析协调度之前,对原始数据采用极差标准化方法进行无量纲化处理。

对于效益型指标,指标值越大,对系统正贡献越大:

$$Z_{ij} = (X_{ij} - \min Z_{ij}) / (\max Z_{ij} - \min Z_{ij}) \quad (1)$$

对于成本型指标,指标值越大,对系统负贡献越大:

$$Z_{ij} = (\max Z_{ij} - X_{ij}) / (\max Z_{ij} - \min Z_{ij}) \quad (2)$$

式中: $Z_{ij}$ ——指标标准化值; $X_{ij}$ ——某一指标属性值; $\max Z_{ij}$ , $\min Z_{ij}$ ——某一指标的最大值和最小值。

### 1.4 权重计算及协调度评价模型构建

1.4.1 权重计算 指标权重反映各评价指标间的相对重要性,评价指标权重的分配直接影响到综合评价的结果。本文采用精度较高的客观赋权法——均方差决策法<sup>[20-21]</sup>,客观赋权法的原始数据由各指标在评价单位中的实际数据形成,它不依赖于人的主观判断,因此该方法客观性较强,以克服人为的主观判断。在多指标决策与排序的情况下,各指标相对权重系数的大小取决于在该指标下各方案属性值的相对离散程度,反映随机变量离散程度最重要而又最常用的指标是该随机变量的均方差,均方差决策法以各评价指标为随机变量,各评价对象的标准化指标值为该随机变量的取值。首先,求出这些随机变量的均方差,然后将这些均方差归一化,其结果即为各指标的权重系数。具体步骤如下:

$$E(s) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_{ij} \quad (3)$$

$$\sigma(S_i) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (Z_{ij} - E(S_i))^2} \quad (4)$$

$$\omega_j = \sigma(S_i) / \sum_{j=1}^m \sigma(S_j) \quad (5)$$

$$D_i(\omega) = \sum_{j=1}^m Z_{ij} \omega_j \quad (6)$$

式中: $E(s)$ ——随机变量的均值; $\sigma(S_i)$ —— $S_i$  均方差; $\omega_j$ ——指标  $S_i$  权重系数; $D_i(\omega)$ ——多指标决策与排序。

最后求得各层级各指标的权重,如表 1 所示。

1.4.2 协调度评价模型构建 设正数  $U_1, U_2, \dots, U_m$  为描述城市发展的  $m$  个指标, $W_1, W_2, \dots, W_n$  为描述水资源潜力的  $n$  个指标。

$$f(U) = \sum_{j=1}^m a_j U_j \quad (7)$$

$$g(W) = \sum_{j=1}^n b_j W_j \quad (8)$$

式中: $f(U)$ ——城市发展综合评价函数; $g(W)$ ——水资源利用潜力综合评价函数<sup>[22]</sup>; $a_j, b_j$ ——各指标权重; $U_j, W_j$ ——均为标准化与变向后的数据。根据此公式,可计算出敦煌市各年的城市发展综合指数与水资源利用潜力综合指数。

为评价敦煌市城市发展程度与水资源利用潜力的协调水平,根据城市发展综合评价与水资源利用潜力综合评价结果,构造城市发展与水资源利用潜力协调度模型以定量评价。公式如下:

表 1 城市发展与水资源利用潜力协调发展评价指标体系及权重

目标层	系统层	子系统层	权重	指标层	权重	方向
城市发展与水资源利用潜力协调度	城市发展综合指数 $U$	城市人口 $U_1$	0.2414	城镇人口规模 $U_{11}$	0.0644	正
				城镇人口比重 $U_{12}$	0.0616	正
				非农业就业人员 $U_{13}$	0.0535	正
				建成区人口密度 $U_{14}$	0.0618	正
		城市经济 $U_2$	0.2305	人均 GDP $U_{21}$	0.0573	正
				非农业产值比重 $U_{22}$	0.0589	正
				建成区经济密度 $U_{23}$	0.0583	正
				人均工业总产值 $U_{24}$	0.056	正
		城市社会 $U_3$	0.2953	人均用电量 $U_{31}$	0.0585	正
				万人拥有医生总数 $U_{32}$	0.0647	正
				城镇居民人均可支配收入 $U_{33}$	0.064	正
				恩格尔系数 $U_{34}$	0.0608	负
				万人拥有科技人员数 $U_{35}$	0.0472	正
				建成区面积 $U_{41}$	0.0531	正
	城市空间 $U_4$	0.2328	人均园林绿地面积 $U_{42}$	0.0756	正	
			城镇居民人均住房面积 $U_{43}$	0.0495	正	
			人均道路铺设面积 $U_{44}$	0.0547	正	
			水资源总量 $W_{11}$	0.0552	正	
	水资源利用潜力综合指数 $W$	本底条件 $W_1$	0.2326	人均水资源量 $W_{12}$	0.0623	正
				城镇供水总量 $W_{13}$	0.0599	正
地表径流量 $W_{14}$				0.0552	正	
水资源开发利用率 $W_{21}$				0.0726	负	
开发程度 $W_2$		0.2063	供水总量(配水量) $W_{22}$	0.0575	正	
			用水普及率 $W_{23}$	0.0762	正	
利用效率 $W_3$		0.1825	万元产值用水 $W_{31}$	0.0665	正	
			城镇居民用水定额 $W_{32}$	0.0535	负	
			灌溉用水定额 $W_{33}$	0.0626	负	
			排水管道密度 $W_{41}$	0.0702	正	
管理能力 $W_4$	0.3786	供水管道密度 $W_{42}$	0.0953	正		
		污水排放量 $W_{43}$	0.0746	负		
		工业废水处理量 $W_{44}$	0.0808	正		
		污水处理率 $W_{45}$	0.0578	正		

$$C_i = \left\{ \frac{f(U_i) \times g(W_i)}{\left[ \frac{f(U_i) + g(W_i)}{2} \right]^2} \right\}^k \quad (9)$$

式中:  $C_i$ —— $i$  年份的协调度;  $f(U_i)$ —— $i$  年份的城市发展综合指数;  $g(W_i)$ —— $i$  年份的水资源利用潜力综合指数;  $K$ ——调节系数, 一般  $K \geq 2^{[23]}$ 。  $0 \leq C \leq 1$ ,  $C$  值越大, 表明  $f(U_i)$  与  $g(W_i)$  之间的离差越小, 城市发展系统与水资源环境系统越协调。为更全面反映城市发展程度与水资源利用潜力的协调程度, 用  $C, f(U_i), g(W_i)$  再构造协调发展度函数:

$$T_i = \alpha f(U_i) + \beta g(W_i) \quad (10)$$

$$D_i = \sqrt{C_i \times T_i} \quad (11)$$

式中:  $T_i$ ——第  $i$  年城市发展与水资源利用潜力综合

评价指数, 反映城市发展与水资源利用潜力的整体水平;  $D_i$ ——第  $i$  年的协调发展度, 考察该区域的整体发展水平;  $\alpha, \beta$ ——权重。  $0 \leq T \leq 1$ ,  $T$  越大, 表明城市发展与水资源利用潜力整体水平越高, 计算  $T$  值时  $\alpha, \beta$  均取  $0.5^{[24]}$ 。  $0 \leq D \leq 1$ ,  $D$  越大, 表明区域的协调发展程度越高。

## 2 评价结果分析

### 2.1 城市发展综合指数

通过计算不同年份城市发展水平得分, 敦煌市城市发展综合指数呈逐年上升趋势(表 2)。从不同阶段各子系统发展来看(表 3), 2000—2006 年人口增长和经济发展增长率高于社会进步和城市空间扩张的

增长率,人口增长和经济发展是城市发展的主要形式;2007—2012年各子系统对城市综合发展的影响

转变为城市经济和城市社会水平发展速度较快,城市空间扩张速度变小,城市人口增长速度最慢。

表2 2000—2012年敦煌市城市发展综合指数、子系统得分及相对增长率

年份	城市发展综合指数		城市人口		城市经济		城市社会		城市空间	
	得分	增长率	得分	增长率	得分	增长率	得分	增长率	得分	增长率
2000	0.0922	—	0.0162	—	0.0103	—	0.0657	—	0.0000	—
2001	0.1489	0.6146	0.0151	-0.0679	0.0121	0.1747	0.0715	0.0882	0.0502	—
2002	0.3790	0.5953	0.2108	2.7340	0.0253	0.4458	0.0801	0.0579	0.0629	0.1198
2003	0.3775	-0.0013	0.1807	-0.0500	0.0094	-0.2817	0.0961	0.0628	0.0913	0.1321
2004	0.4246	0.0298	0.1857	0.0068	0.0189	0.1920	0.1146	0.0450	0.1054	0.0365
2005	0.4499	0.0116	0.1940	0.0088	0.0280	0.0815	0.1195	0.0084	0.1084	0.0056
2006	0.5615	0.0376	0.1994	0.0046	0.0497	0.1005	0.1701	0.0606	0.1423	0.0464
2007	0.5503	-0.0029	0.2064	0.0049	0.0692	0.0483	0.1210	-0.0475	0.1538	0.0112
2008	0.6165	0.0143	0.2070	0.0004	0.0838	0.0244	0.1490	0.0264	0.1766	0.0174
2009	0.6541	0.0066	0.2032	-0.0020	0.1177	0.0385	0.1518	0.0020	0.1814	0.0030
2010	0.7530	0.0142	0.1886	-0.0074	0.1421	0.0190	0.2161	0.0359	0.2062	0.0129
2011	0.8519	0.0113	0.2065	0.0083	0.1802	0.0218	0.2432	0.0108	0.2219	0.0067
2012	0.9557	0.0096	0.2115	0.0020	0.2305	0.0207	0.2809	0.0121	0.2328	0.0040

表3 敦煌市城市发展阶段性特征

阶段	城市发展综合指数			城市人口	城市经济	城市社会	城市空间
	初期值	末期值	增长率	增长率	增长率	增长率	增长率
2000—2006年	0.0922	0.5615	0.2944	0.4313	0.2521	0.1455	0
2007—2012年	0.5503	0.9557	0.0963	0.0041	0.222	0.1507	0.0715

从各子系统各项指标的变化具体分析敦煌市城市发展情况(图1)。

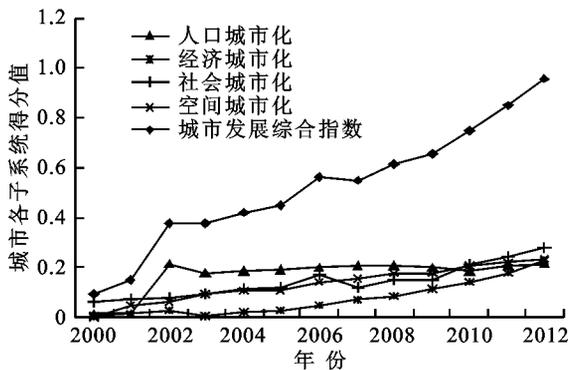


图1 敦煌市城市发展各子系统演变过程

敦煌市城市人口指数处于上升趋势,城镇人口的不断增长,促使敦煌市城市化水平不断提高,进程加快,城市人口子系统综合评价得分从2000年的0.0162增长到2012年的0.2115,增长了10倍以上。2000—2006年,得分从0.0162增长到0.1994,年均增长0.0305,增长速度较2007—2012年阶段快,主要原因是2002年起将七里镇青海石油管理局人口统计为城镇人口。2007—2012年,城市人口得分年均增长0.0008,增长速度较前一阶段明显缓慢,表明城市人口增长趋于缓慢,对城市发展影响变小。

敦煌市经济发展保持平稳增长趋势,其综合评价

值由2000年的0.0103增加到2012年的0.2305,增长了20多倍,2000—2006年经济子系统年均增长0.0057,2007—2012年年均增长0.0318,后一阶段经济发展速度明显加快,城市经济子系统对城市综合发展贡献逐渐增大,速度变快。2007—2012年城市综合发展指数在城市人口增长变小的情况下仍然保持较快增长,经济迅速发展是主要原因。

敦煌市城市社会发展综合评价值由2000年的0.0675增长到2012年的0.2809,增长近5倍,年均增长0.0177,城市社会水平稳步提高。该子系统在2000—2006年这一阶段年均增长0.0147,2007—2012年年均增长0.0184,整个发展阶段与城市发展综合指数趋势基本保持一致。表明社会子系统对敦煌城市综合发展影响一直较大。

城市空间是反应城市规模扩张的最直观要素,城市空间综合指数保持平稳增长,其发展态势与城市发展综合指数保持一致,2000—2006年城市空间扩张年均增长0.0305,2007—2012年年均增长0.0103,较前一阶段敦煌市城市用地扩张速度减慢,城市用地集约增长趋势更加明显。

## 2.2 水资源利用潜力综合指数

通过对敦煌市水资源利用潜力进行综合评价,结果表明:水资源开发利用潜力总体呈下降趋势(表4),

水资源利用潜力综合指数由2000年的0.5011下降到2012年的0.3562,年均下降0.0111。表明敦煌市水资源开发利用潜力在水资源本底条件匮乏的基础上受到水资源利用效率的严重影响。

水资源本底条件是敦煌市水资源开发利用潜力的

表4 2000—2012 敦煌市水资源利用潜力综合指数、子系统得分及相对增长率

年份	水资源利用潜力 综合指数		本底条件		开发程度		利用效率		管理能力	
	得分	增长率	得分	增长率	得分	增长率	得分	增长率	得分	增长率
2000	0.5011	—	0.1192	—	0.0741	—	0.0665	—	0.2413	—
2001	0.5263	0.0503	0.0986	-0.1734	0.0731	-0.0143	0.0918	0.3810	0.2629	0.0893
2002	0.5660	0.0370	0.1108	0.0603	0.0673	-0.0403	0.1026	0.0573	0.2853	0.0418
2003	0.6393	0.0414	0.1326	0.0617	0.1030	0.1524	0.0916	-0.0372	0.3121	0.0304
2004	0.6415	0.0009	0.1173	-0.0303	0.1010	-0.0047	0.0868	-0.0132	0.3364	0.0189
2005	0.6910	0.0150	0.0948	-0.0417	0.1071	0.0117	0.1190	0.0650	0.3701	0.0193
2006	0.4649	-0.0639	0.1279	0.0512	0.0559	-0.1027	0.1265	0.0103	0.1547	-0.1354
2007	0.4292	-0.0114	0.1368	0.0097	0.0749	0.0426	0.1051	-0.0262	0.1124	-0.0446
2008	0.2844	-0.0502	0.1336	-0.0030	0.0507	-0.0475	0.0830	-0.0291	0.0170	-0.2100
2009	0.3649	0.0281	0.1594	0.0198	0.0827	0.0558	0.0908	0.0100	0.0320	0.0726
2010	0.4570	0.0227	0.1913	0.0184	0.1337	0.0492	0.0945	0.0041	0.0375	0.0159
2011	0.3928	-0.0137	0.1511	-0.0212	0.0864	-0.0389	0.0979	0.0032	0.0575	0.0395
2012	0.3562	-0.0081	0.1222	-0.0175	0.0762	-0.0104	0.0981	0.0002	0.0597	0.0033

从各子系统各项指标变化具体分析敦煌市水资源开发潜力情况(图3)。

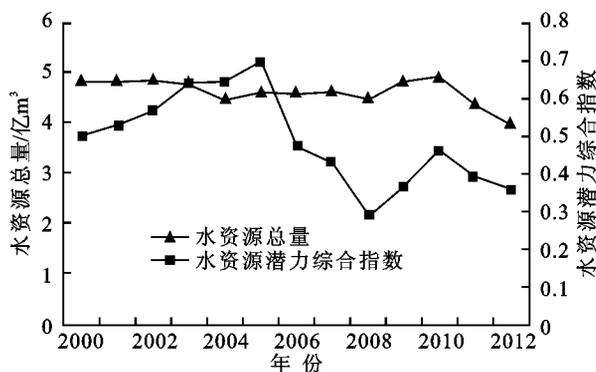


图2 敦煌市水资源潜力综合指数与水资源总量

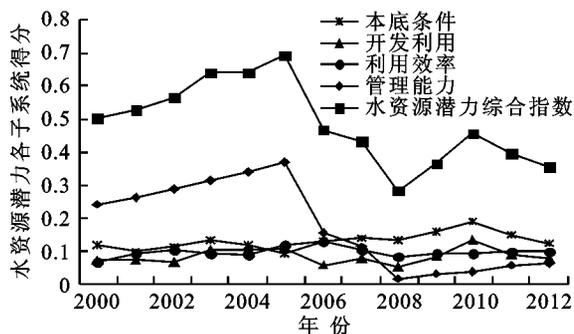


图3 敦煌市水资源潜力各子系统演变过程

(1) 水资源本底条件。从水资源本底条件得分变化来看,呈阶段性下降趋势。2005年得分是0.0948为最低,2010年得分最高为0.1913,2010年以后又呈

基础,水资源总量影响区域水资源本底条件和开发潜力,敦煌市2000年水资源总量是4.825亿 $m^3$ ,2012年为4.01亿 $m^3$ ,年均下降0.0627亿 $m^3$ ,受人为和气候变化的影响,水资源总量变化呈减少趋势(图2),表明水资源开发综合潜力受到水资源本底条件的限制。

下降趋势,说明在极度缺水的干旱地区,水资源本底条件对敦煌市水资源开发潜力贡献有限,并具有很强的约束性。敦煌自古以来就是西部戈壁滩上的一颗璀璨明珠,坐落于党河绿洲上,水资源相对丰富。但近年敦煌市地下水位下降,生态环境问题突出,水危机加剧。

(2) 水资源开发程度。从水资源开发程度得分值来看,2000—2005年,开发程度呈增大趋势,由2000年的0.0741增加到2005年的0.1071,年均增长0.0055;而2006—2012年,水资源开发程度除2010年较高外,其余年份年均降低0.0044,表明水资源开发程度在水资源本底条件的约束下,开发潜力受到限制。2000—2005年,随着城市社会经济的发展和人民生活水平的提高,越来越大的水资源需求加大了敦煌市水资源开发程度。2007—2012年,在水资源本地条件和现实生态环境恶化等问题限制下,水资源开发潜力变小,2010年后水资源开发程度下降趋势明显。

(3) 水资源利用效率。从水资源利用效率所占权重(0.1825)看,水资源利用效率严重影响敦煌市水资源利用综合潜力。从水资源利用效率逐年得分来看,2000年是0.0665,2012年为0.0981,年均增长0.0024,增长十分缓慢,个别年份甚至出现负增长。说明近十年来,敦煌市水资源紧缺与水资源利用效率低密切相关。在水资源总量有限的情况下,缓解敦煌市水危机局面,提高水资源利用效率是必要途径,并且相对水资源利用综合

潜力的其他子系统有更大的提升空间。

(4) 水资源管理能力。越来越紧缺的水资源引起了人们对水资源管理的重视。从水资源管理逐年得分来看,2000—2005年,呈上升趋势,年均增长0.0229,2005年以后呈下降趋势,年均下降0.0443,除2011年较前一年有回升,但十分微弱,可见自2005年以后,敦煌市水资源管理能力远远不能满足或是缓解水资源利

用所带来的压力。表明尽最大努力提高水资源管理能力是缓解敦煌市水资源紧缺的重要举措。

### 2.3 城市发展—水资源利用潜力协调度评价

根据协调度模型计算结果,将城市发展水平和水资源利用潜力协调度按照低(0~0.19)、较低(0.2~0.39)、中(0.4~0.59)、较高(0.6~0.79)、高(0.8~1)进行等级划分,结果如表5所示。

表5 敦煌市城市发展—水资源利用潜力协调度评价结果

年份	城市发展综合指数		水资源开发潜力综合指数		城市发展—水资源潜力协调度					
	$f(U)$	等级	$g(W)$	等级	$C$	等级	$T$	等级	$D$	等级
2000	0.0922	低	0.5011	中	0.2913	较低	0.2967	较低	0.2940	较低
2001	0.1489	低	0.5263	中	0.3673	较低	0.3376	较低	0.3521	较低
2002	0.3790	较低	0.5660	中	0.5586	中	0.4725	中	0.5138	中
2003	0.3775	较低	0.6393	较高	0.5818	中	0.5084	中	0.5438	中
2004	0.4246	中	0.6415	较高	0.6108	较高	0.5331	中	0.5706	中
2005	0.4499	中	0.6910	较高	0.6415	较高	0.5704	中	0.6049	较高
2006	0.5615	中	0.4649	中	0.6037	较高	0.5132	中	0.5566	中
2007	0.5503	中	0.4292	中	0.5809	中	0.4898	中	0.5334	中
2008	0.6165	较高	0.2844	较低	0.5111	中	0.4504	中	0.4798	中
2009	0.6541	较高	0.3649	较低	0.5783	中	0.5095	中	0.5428	中
2010	0.7530	较高	0.4570	中	0.6651	较高	0.6050	较高	0.6343	较高
2011	0.8519	高	0.3928	较低	0.6513	较高	0.6224	较高	0.6367	较高
2012	0.9557	高	0.3562	较低	0.6483	较高	0.6559	较高	0.6521	较高

城市发展—水资源利用潜力协调度评价结果显示:2000—2002年由于城市发展程度相对较低,而水资源开发潜力较高,两系统间协调度较低,协调度 $C$ 值为0.2913,协调发展度指数 $D$ 值也较低为0.2940;2003—2007年两系统处于中及较高的协调状态,在这一阶段敦煌市城市发展综合指数与水资源潜力综合指数相差不大,协调度增高;2008年以后,随着城市的迅速发展,需水要求变大,水资源开发潜力逐渐变小,城市发展综合指数与水资源潜力综合指数发展表现出相反方向,两系统一高一低的发展趋势,致使两系统间差距拉大,协调度降低。总体来看,敦煌市城市发展与水资源利用潜力协调度不高(图4)。

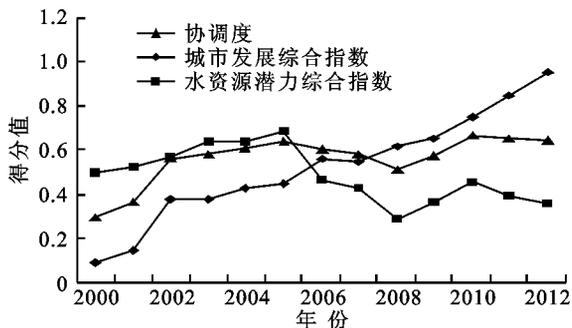


图4 城市发展—水资源潜力协调度

## 3 结论与讨论

通过分析城市发展与水资源利用潜力综合指数变化和两者的协调关系,得到如下结论:

(1) 敦煌市城市发展综合水平呈逐年上升趋势。2000—2006年,城市人口增长和经济发展对敦煌市城市发展贡献较大,城市社会发展和城市空间扩张速度较慢,贡献相对较小。2007—2012年,城市经济发展依然较快,城市社会发展,城市空间扩张速度变慢,城市人口增长十分缓慢。

(2) 敦煌市水资源潜力综合指数呈逐年下降趋势。水资源本底条件对水资源利用潜力约束明显。地下水资源严重超采,使开发程度大幅度上升,水资源开发潜力下降,水资源利用效率较低,水资源管理能力不能解决水资源消耗所产生的压力,致使水资源潜力综合指数逐年降低。

(3) 敦煌市城市发展与水资源利用潜力协调度整体不高。初期因城市发展程度较低,而水资源开发利用潜力较好,两系统协调度较低;随着城市不断发展和水资源开发加强,两者差距缩小,城市发展与水资源利用出现较协调发展。后期城市发展与水资源

利用潜力呈一高一低的发展趋势,两系统协调度降低,矛盾日益突出。

敦煌市在未来的发展中,在保持城市稳步发展的前提下,应尽最大可能地提高水资源利用效率和水资源管理能力,保证将有限的水资源高效合理利用,缓解与城市发展的矛盾,实现水资源利用与城市的可持续发展。

#### 参考文献:

- [1] 熊鹰,李静芝,蒋丁玲. 基于仿真模拟的长株潭城市群水资源供需系统决策优化[J]. 地理学报, 2013, 68(9): 1225-1239.
- [2] 杨志峰,赵彦伟,崔保山,等. 面向生态城市的水资源供需平衡分析[J]. 中国环境科学, 2004, 24(5): 636-640.
- [3] Gober P. Desert urbanization and the challenges of water sustainability[J]. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2010, 2(3): 144-150.
- [4] Biswas A K. Water for a thirsty urban world[J]. *Brown Journal of World Affairs*, 2010, 17(1): 147-166.
- [5] Biswas A K. Water management for major urban centers [J]. *International Journal of Water Resources Development*, 2006, 2(22): 183-197.
- [6] Van de Meene S J, Brown R R, Farrelly M A. Towards understanding governance for sustainable urban water management [J]. *Global Environmental Change*, 2011, 21(3): 1117-1127.
- [7] O'Hara J K, Georgakakos K P. Quantifying the urban water supply impacts of climate change [J]. *Water Resources Management*, 2008, 22(10): 1477-1497.
- [8] 鲍超,方创琳. 河西走廊城市化与水资源利用关系的量化研究[J]. 自然资源学报, 2006, 21(2): 301-310.
- [9] 方创琳,孙心亮. 河西走廊水资源变化与城市化过程的耦合效应分析[J]. 资源科学, 2005, 27(2): 2-9.
- [10] 赵军凯,李九发,戴志军,等. 基于熵模型的城市水资源承载力研究:以开封市为例[J]. 自然资源学报, 2009, 24(11): 1944-1951.
- [11] 马海良,徐佳,王普查. 中国城镇化进程中的水资源利用研究[J]. 资源科学, 2014, 36(2): 334-341.
- [12] 温利华,刘红耀,姚海娇,等. 北方八省市水资源承载力研究[J]. 水土保持研究, 2013, 20(6): 169-172.
- [13] 杨雪梅,石培基,董翰蓉,等. 水资源约束下的干旱内陆河流域城市适度规模研究[J]. 经济地理, 2011, 31(12): 2039-2045.
- [14] 顾康康,刘景双,陈昕. 辽中地区矿业城市水资源供需平衡动态分析[J]. 地理学报, 2008, 63(5): 473-481.
- [15] 孙栋元,李元红,胡想全,等. 黑河流域水资源供需平衡与配置研究[J]. 水土保持研究, 2014, 21(3): 217-221.
- [16] 李翠梅,吴健荣,王建华,等. 基于多目标规划的城市水资源应急管理模型研究[J]. 资源科学, 2013, 35(8): 1584-1592.
- [17] 陈明星,陆大道,张华. 中国城市化水平的综合测度及其动力因子分析[J]. 地理学报, 2009, 64(4): 387-398.
- [18] 张胜武,石培基,王祖静. 干旱区内陆河流域城镇化与水资源环境系统耦合分析:以石羊河流域为例[J]. 经济地理, 2012, 32(8): 142-148.
- [19] 高翔,鱼腾飞,程慧波. 西北地区水资源环境与城市化系统耦合的时空分异:以西陇海兰新经济带甘肃段为例[J]. 干旱区地理, 2010, 33(6): 1010-1018.
- [20] 戴全厚,刘国彬,刘明义,等. 小流域生态经济系统可持续发展评价:以东北低山丘陵区黑牛河小流域为例[J]. 地理学报, 2005, 60(2): 209-218.
- [21] 王明涛. 多指标综合评价中权重确定的离差、均方差决策方法[J]. 中国软科学, 1999(8): 100-101, 107.
- [22] 唐宏,杨德刚,乔旭宁,等. 天山北坡区域发展与生态环境协调度评价[J]. 地理科学进展, 2009, 28(5): 805-813.
- [23] 邵波,陈兴鹏. 中国西北地区经济与生态环境协调发展现状研究[J]. 干旱区地理, 2005, 28(1): 136-141.
- [24] 蔡文春. 新疆区域经济协调发展分析及空间模式选择[D]. 北京:中国科学院研究生院, 2006.