

国内耦合协调度模型的误区及修正

王淑佳^{1,2}, 孔伟^{2,3}, 任亮², 冶丹丹², 戴彬婷⁴

(1. 中山大学旅游学院, 广州 510275; 2. 河北北方学院生态建设与产业发展研究中心, 张家口 075000;
3. 河北工业大学经济管理学院, 天津 300401; 4. 河北北方学院理学院, 张家口 075000)

摘要: 随着对科学发展观认识的深入, 耦合协调度模型成为研究区域整体均衡发展程度的有效评价与研究工具。但在该模型使用中, 存在书写错误、丢失系数、错用权重和模型不成立四类误区, 已经显著影响到学术研究的科学性。因此首先明确传统耦合协调度模型的规范公式, 在探讨该传统模型在社会科学领域研究中效度问题基础上, 进一步提出耦合度的修正模型。此外耦合协调度模型还存在指标构建的主观性、耦合结果的波动性和无可比性的信度问题。以京津冀生态与经济系统为例, 验证修正后的耦合协调度模型具有较好的效度, 研究对象的时空变化会显著影响耦合协调度模型的信度。

关键词: 耦合协调度; 使用误区; 模型效度; 模型信度; 模型修正

社会是一个复杂系统, 资源、生态、经济、社会等不同系统之间存在多元内在耦合关系。随着对科学发展观认识的深入, 对一个地区或社会发展程度的评判已经从单纯的发展水平转向基于协调水平与发展水平的整体均衡发展评价。因此, 耦合效应与耦合协调发展度已经成为有效的评价研究工具。对于耦合效应研究, 国内目前普通使用的有环境库兹涅茨曲线^[1-3]、双指数模型^[4]、非线性动力学模型^[5-8]、耦合度模型^[9-12]、灰色关联度分析^[13-15]、动态耦合模型^[16]、向量自回归模型^[17]、空间回归模型^[18]、ArcGIS重心曲线优化分级^[19]等。其中耦合协调度模型使用耦合度阐释若干子系统之间的相互关系, 并进一步使用协调发展度对整个系统进行综合评价与研究。因为该模型简便易算且结果直观, 因此被广泛应用于不同尺度、不同区域的环境^[20-22]、经济^[23-25]、社会发展^[26]、城市化^[27-29]、农业^[30]、工业^[31]、交通^[32]、人口^[33,34]等诸多系统间耦合发展水平的实证研究中。

但在目前研究中出现了大量对该模型的使用误区, 并没有引起重视, 导致诸多论文因模型本身使用误区而产生错误的结论。此外, 模型本身也存在实证研究中的适用性和局限性问题。本文试图在探讨该模型的使用规范、效度与信度的基础上, 对传统耦合协调度模型进行修正, 并以京津冀生态与经济系统为例验证修正模型的有效性。

1 国内耦合协调度模型使用误区

通过对截至2018年12月31日在国内CSSCI和CSCD期刊所发表的使用耦合协调度

收稿日期: 2019-07-17; 修订日期: 2019-12-16

基金项目: 国家社会科学基金项目 (19BSH077); 河北省高等学校人文社会科学重点研究基地项目 (20143101); 河北省高等学校人文社会科学研究项目 (SQ181095)

作者简介: 王淑佳 (1986-), 女, 河北张家口人, 博士研究生, 讲师, 研究方向为旅游规划与旅游社会学、生态建设与产业发展。E-mail: wangsjtr@163.com

通讯作者: 孔伟 (1986-), 男, 山东滕州人, 副教授, 研究方向为区域经济、生态建设与产业发展。
E-mail: kongwei0632@163.com

模型的论文进行逐一确认,发现存在较高比例的模型错误使用现象。如图1所示,随着耦合协调度模型在研究中的广泛使用,错误使用该模型的论文数量也呈现递增趋势。自2010年该模型广泛使用以来,共发表了683篇CSSCI和CSCD论文,各年度错误使用比例皆超过40%,于2017年达到顶峰(76篇,52.78%)。非核心期刊论文的使用错误比例则更高。资源环境、地理科学和经济管理各研究领域都存在对该模型的使用错误。因此有必要及时对该模型进行规范,避免更多学者因为引用不规范公式而继续产生错误的研究结果。

耦合度 C 是耦合协调度模型的核心部分,结果应落在 $[0, 1]$,以表示系统间耦合关系的强弱。对模型的错误引用或使用主要来自于耦合度 C 的公式使用错误,导致 C 结果区间并不是 $[0, 1]$,从而使后续耦合协调度结果与解释都出现系列错误。主要错误类型见表1。

2 传统耦合协调度模型的规范公式

姜磊等^[49]注意到实证分析中存在的耦合度公式取值范围错误问题并提出修正,钱丽等^[50]通过数学推导构建了三元耦合模型。综合考虑以往学者所使用的几类模型以及模型推广到 n 元系统的简洁性与实用性,本文认为式(1)最适合作为目前普遍采用的耦合度模型的规范公式。

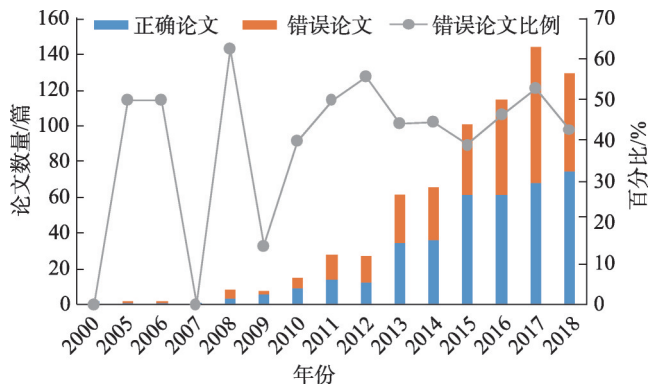


图1 国内CSSCI和CSCD期刊中耦合协调度模型论文发表及模型使用错误情况

Fig. 1 Statistical graph of publications and misuses of coupling coordination model in CSSCI and CSCD periodicals in China

$$C = \left[\frac{\prod_{i=1}^n U_i}{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n U_i \right)^n} \right]^{\frac{1}{n}} \quad (1)$$

式中: n 为子系统个数(个); U_i 为各子系统值,其分布区间为 $[0, 1]$,故耦合度 C 值区间为 $[0, 1]$ 。 C 值越大,子系统间离散程度越小,耦合度越高;反之,子系统间耦合度越低。

当 $n=2$ 时,

$$C = \sqrt{\frac{U_1 U_2}{\left(\frac{U_1 + U_2}{2} \right)^2}} = \frac{2\sqrt{U_1 U_2}}{U_1 + U_2} \quad (2)$$

当 $n=3$ 时,

表1 国内CSSCI和CSCD期刊中耦合协调度模型使用错误举例

Table 1 Examples of misuse of coupling coordination model in CSSCI and CSCD periodicals in China

类型	公式	错误说明
书写错误	$C = \left\{ \frac{U_1 \times U_2 \times \dots \times U_n}{\prod (U_i + U_j)} \right\}^{1/n}$	1/n 应为指数, 错将其作为系数 ^[35]
	$C = \left\{ \frac{f(a) \times f(b) \times f(c)}{\left[\frac{f(a) \times f(b) \times f(c)}{3} \right]^3} \right\}^k$	C 为子系统乘积的函数, 并不能体现耦合关系 ^[36]
	$C = \left[\frac{h_j^1 \times h_j^2 \times h_j^3}{(h_j^1 + h_j^2 + h_j^3)^3} \right]^{\frac{1}{3}}$	上下角标涵义不清 ^[37]
	$C_n = \left\{ \frac{(u_1, u_2, \dots, u_m)}{\left[\prod (u_i + u_j) \right]} \right\}^{\frac{1}{n}} \quad (i, j = 1, 2, 3, \dots, m)$	分子不成立 ^[38,39]
丢失系数	$C = \left\{ \frac{R_1 \times R_2 \times \dots \times R_n}{\prod (R_i + R_j)} \right\}^{1/n}$	C 的区间为 [0, 0.5] ^[24]
	$C = \left\{ \frac{f(X) \times g(Y)}{[f(X) + g(Y)]^2} \right\}^{1/2}$	C 的区间为 [0, 0.5] ^[40]
	$C = \left\{ \frac{f(x) \times g(y) \times h(z)}{[f(x) + g(y) + h(z)]^3} \right\}^{\frac{1}{3}}$	C 的区间为 [0, 1/3] ^[41]
	$C_3 = 3 \times \{(u_1 \times u_2 \times u_3) / [(u_1 + u_2)(u_1 + u_3)(u_2 + u_3)]\}^{1/3}$	C 的区间为 [0, 3/2] ^[42]
	$C = \left\{ \frac{Ec(x) \times S(x) \times Cu(x) \times En(x) \times P(x)}{[Ec(x) + S(x) + Cu(x) + En(x) + P(x)]^5} \right\}^{\frac{1}{5}}$	C 的区间为 [0, 0.2] ^[43]
	$C = m \left\{ \frac{(U_1 \times U_2 \times \dots \times U_m)}{\prod (U_i + U_j)} \right\}^{\frac{1}{m}}, i = 1, 2, 3, \dots, m$	C 的区间为 [0, m/2] ^[44]
错用权重(耦合关系不应考虑子系统权重)	$C = \left\{ \frac{f(x) \times g(y)}{\left[\frac{\alpha f(x) + \beta g(y)}{z} \right]^2} \right\}^k$	α 和 β 为各子系统权数且 $\alpha = \beta = 1$ ^[45]
	$C = (U_i \times S_j) / (\alpha U_i + \beta S_j)^k$	α 和 β 为子系统权重且 $\alpha + \beta = 1$ ^[46]
	$C = \left\{ \frac{f(x)g(y)h(z)}{[\alpha f(x) + \beta g(y) + \gamma h(z)]^3} \right\}^{1/3}$	α 、 β 和 γ 为子系统权重, 且 $\alpha + \beta + \gamma = 1$ ^[47]
模型不成立	$C = \left[\frac{u_1 u_2}{\left(\frac{u_1 - u_2}{z} \right)^2} \right]^{\frac{1}{2}}$	当子系统相同时, C 无穷大 ^[48]

$$C = \sqrt[3]{\frac{U_1 U_2 U_3}{\left(\frac{U_1 + U_2 + U_3}{3} \right)^3}} = \frac{3 \sqrt[3]{U_1 U_2 U_3}}{U_1 + U_2 + U_3} \quad (3)$$

当 $n=4$ 时,

$$C = \sqrt[4]{\frac{U_1 U_2 U_3 U_4}{\left(\frac{U_1 + U_2 + U_3 + U_4}{4} \right)^4}} = \frac{4 \sqrt[4]{U_1 U_2 U_3 U_4}}{U_1 + U_2 + U_3 + U_4} \quad (4)$$

以上公式对于耦合度 C 值的计算最为简易, 即使到高阶也比较易于操作和计算。

3 耦合协调度模型的效度及修正

3.1 耦合度的函数分布

对耦合度 C 值的解释有赖于 C 值的区间分布。对于式 (1) 中的 C 值, 本文在此仅考察 $n=2$ 和 $n=3$ 两种最常见的情况下 C 值的分布情况。

当 $n=2$ 时, 为二元系统的耦合度 C 值, 可以将式 (1) 简化为:

$$C = \frac{2\sqrt{x}}{1+x} = \frac{2}{\frac{1}{\sqrt{x}} + \sqrt{x}} \quad (5)$$

式中: $x = \frac{\min(U_1, U_2)}{\max(U_1, U_2)}$, $x \in (0, 1]$ 。 C 值与 x 的函数图见图 2。

当 $n=3$ 时, 为三元系统的耦合度 C 值。为更好地呈现 C 值所代表的耦合或拮抗程度, 将三元系统的 C 值模型简化为二元函数以呈现其函数图。三元系统下式 (1) 可简化为:

$$C = \frac{3\sqrt[3]{x \times y}}{1+x+y} \quad (6)$$

式中: $x = \frac{\min(U_1, U_2, U_3)}{\max(U_1, U_2, U_3)}$, $x \in (0, 1]$; $y = \frac{\text{med}(U_1, U_2, U_3)}{\max(U_1, U_2, U_3)}$, $y \in (0, 1]$; x 、 y 分别代表三个子系统中最小值和中间值与最大值的比值。三元系统 C 值拟合出的函数如图 3 所示。

由二元系统耦合度和三元系统耦合度的函数图可知, C 值在 $[0, 1]$ 区间中的分布概率并不均等, 大概率偏向于 1 一端。

3.2 耦合度的使用效度

国内研究对耦合度 C 值解释的基本假设是: (1) C 值区间为 $[0, 1]$; (2) C 值在区间 $[0, 1]$ 平均分布。故推论认为: 当 C 值在 $[0, 1/2)$ 时为拮抗, $[1/2, 1]$ 时耦合, 数值大小代表拮抗或耦合程度。有学者进一步将 C 值划分为四个区间: $(0, 0.3]$ 为低水平耦合, $(0.3, 0.5]$ 为拮抗阶段, $(0.5, 0.8]$ 为磨合阶段, $(0.8, 1]$ 为高水平耦合^[51]; 也有学者增加了 $C=0$ (子系统间处于无关状态且向无序发展) 和 $C=1.0$ (子系统间达到良性共振耦合且趋向新的有序结构)^[27]。较多研究者采用了廖重斌^[52]所界定的协调等级的划分标准, 并推演出协调发展度 D 的划分标准 (表 2)。

目前这一解释存在两个问题。

第一, C 值的效度问题。部分论文基于表 1 中所讨论的模型使用不规范问题, 导致其 C 值区间为 $[0, 1/2]$ 或 $[0, 1/3]$, 但仍使用了表 2 的解释标准是不恰当的。即使模型使用正确, 但基于耦合度 C 值区间分布的探讨, 可知将非平均分布的 C 值以平均分布来划分和

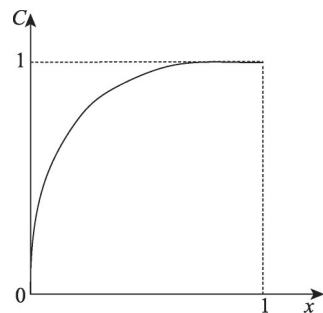


图2 二元系统耦合度 C 值的函数图

Fig. 2 Functional diagram of C -value of coupling degree of binary system

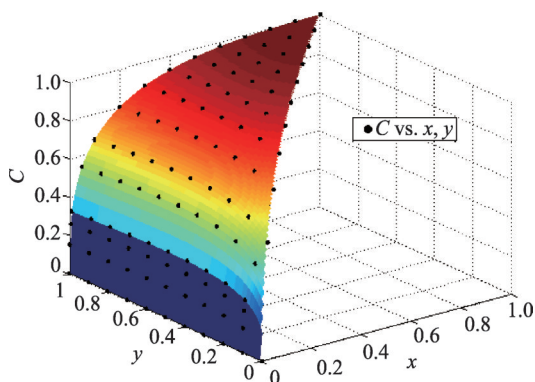


图3 三元系统耦合度 C 值的函数图

Fig. 3 Functional diagram of C -value of coupling degree of ternary system

表2 协调等级及协调发展度的划分标准

Table 2 Classification criteria for coordination level and coordination development degree

区间	[0, 0.1)	[0.1, 0.2)	[0.2, 0.3)	[0.3, 0.4)	[0.4, 0.5)	[0.5, 0.6)	[0.6, 0.7)	[0.7, 0.8)	[0.8, 0.9)	[0.9, 1]
<i>C</i> 耦合协调度	极度失调	严重失调	中度失调	轻度失调	濒临失调	勉强协调	初级协调	中级协调	良好协调	优质协调
<i>D</i> 协调发展度	极度失调	严重失调	中度失调	轻度失调	濒临失调	勉强协调	初级协调	中级协调	良好协调	优质协调
	衰退类	衰退类	衰退类	衰退类	衰退类	发展类	发展类	发展类	发展类	发展类
颜色										
大类	失调衰退类				过渡发展类		协调发展类			

解释欠合理。特别是社会科学领域很少出现系统间大比例差值，已有研究中*C*值集中分布于0.7以上（表3）。因而，现有解释惯例使得耦合度*C*值的效度降低。

表3 国内耦合协调度模型应用研究中耦合度*C*值结果举例

Table 3 Examples of *C*-value results of coupling degree in applications of coupling coordination degree model in China

研究区域	研究对象	<i>C</i> 值个数/个	<i>C</i> 值分布	说明
全国 ^[53]	建筑业/区域经济增长	31	[0.9139, 1.000]	4个省 <i>C</i> 值为1
全国 ^[54]	区域开发强度/资源环境	15	[0.9903, 1.000]	2个年份 <i>C</i> 值为1
全国 ^[55]	城乡经济/基本公共服务	58	[0.9607, 1.000]	6个年份/省份 <i>C</i> 值为1
江苏省 ^[56]	经济/文化	11	[0.93, 1.00]	7个年份 <i>C</i> 值为1
陕西省 ^[57]	农业生态环境/经济发展	10	[0.782, 0.999]	6个年份 <i>C</i> 值>0.95
南疆铁路沿线 ^[58]	经济/社会/资源/环境	14	[0.7155, 0.9976]	7个年份 <i>C</i> 值>0.9
桂西地区 ^[11]	地质遗迹/民族文化资源	24	[0.84, 1.00]	2个年份 <i>C</i> 值为1，20个年份 <i>C</i> 值>0.9
兰州市 ^[59]	环境/经济	10	[0.9009, 0.9997]	10个年份 <i>C</i> 值全>0.9
南京市 ^[60]	土地利用	13	[0.86, 1.00]	其中4个区域 <i>C</i> 值为1

第二，基于式（1）计算的协调发展度模型会被简化。一方面因为*C*值集中分布在1一端，因而计算出来的*D*值主要依赖于*T*值，即系统本身的发展程度，而系统协调水平的作用被弱化，导致*D*值难以充分实现耦合协调度本身测度的价值与意义。另一方面，在计算协调发展度时，如果界定子系统同等重要，会出现协调发展度公式被简化问题。*T*应该采用算数加权而非几何加权计算，因为采用几何加权计算会降低*T*值范围，同时综合评价指数应当体现各子系统间的互补关系^[49]。故综合评价指数为：

$$T = \sum_{i=1}^n \alpha_i \times U_i, \sum_{i=1}^n \alpha_i = 1$$

(7)

式中： U_i 为第*i*个子系统的标准化值； α_i 为第*i*个子系统的权重。

因此，协调发展度*D*的计算公式为：

$$D = \sqrt{C \times T} = \sqrt{\frac{\prod_{i=1}^n U_i}{(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n U_i)^n}} \times \sum_{i=1}^n \alpha_i U_i$$

(8)

大部分研究中，都假设各子系统的重要性一致，因此为 α_i 赋相同值，因为 $\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1$ ，所以 $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \dots = \alpha_n = \frac{1}{n}$ ，因此上述公式推导为：

$$D = \sqrt{C \times T} = \sqrt{\frac{\prod_{i=1}^n U_i}{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n U_i\right)^n}} \times \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n U_i = \sqrt{\frac{\left(\prod_{i=1}^n U_i\right)^{\frac{1}{n}}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n U_i}} \times \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n U_i = \sqrt[2n]{\prod_{i=1}^n U_i} \quad (9)$$

由此可知, 当使用这一模型进行协调发展度计算时, 如果设定各子系统的重要性及权重一致, 将会把协调发展度 D 简化为各子系统乘积的开 $2n$ 次方, 从而降低了该模型的使用效率。

3.3 耦合度模型修正

为解决上述问题, 本文试图对耦合协调度模型进行修正, 并提出两种方案供未来研究者进一步讨论。

第一种修正方案: 使用传统耦合协调度模型式 (1), 但需要重新界定 C 的解释惯例。式 (1) 中 C 可通过约分简化为各个子系统间比值的函数, 因此可使用各子系统比值计算耦合度 C 的边界, 而不受子系统值本身影响 (表4)。例如当两个子系统测算耦合度时, 如果认为两个子系统比值在 2 以下可接受, 则计算可得 $[0, 0.9428]$ 为拮抗, $[0.9428, 1]$ 为协调。而当子系统数量增加为 3 个时, 当最大系统是最小系统的 2 倍可接受时, 则计算可得 $[0, 0.9449]$ 为拮抗, $[0.9449, 1]$ 为协调。这一修正方案可使研究者根据研究对象特性及预期来界定更为实用和清晰的耦合度边界, 但存在以下问题: 第一, 增加了对于边界合理性的论证难度; 第二, 对于三个子系统尚可勉强界定边界, 但对于多个子系统耦合度边界的界定十分复杂; 第三, 耦合关系不仅与比值有关, 还应与差值有关。如使用式 (1) 计算二元系统 $C(0.1, 0.2) = C(0.4, 0.8) = 0.9428$, 但显然 $C(0.1, 0.2)$ 应高于 $C(0.4, 0.8)$ 才符合实际的耦合关系。因此, 仅对传统耦合协调度模型的结果解释进行修正, 虽然一定程度上实现了优化, 但难以达到最优效率。

鉴于此, 本文提出第二种修正方案: 直接对传统耦合度模型进行修正。因为传统耦合度 C 不是在 $[0, 1]$ 之间平均分布函数, 所以效率问题源自于模型本身。对于模型的修正如下:

$$C = \sqrt{\left[1 - \frac{\sum_{i>j,j=1}^n \sqrt{(U_i - U_j)^2}}{\sum_{m=1}^{n-1} m}\right]} \times \left(\prod_{i=1}^n \frac{U_i}{\max U_i}\right)^{\frac{1}{n-1}} \quad (10)$$

$$T = \sum_{i=1}^n \alpha_i \times U_i, \quad \sum_{i=1}^n \alpha_i = 1 \quad (11)$$

$$D = \sqrt{C \times T} \quad (12)$$

式中: $U_i \in [0, 1]$, $C \in [0, 1]$, 当各子系统越离散, C 值越低; 反之, C 值越高。

表4 二元系统和三元系统中耦合度 C 值的分界点

Table 4 The boundary point of C -value of coupling degree in binary and ternary systems

二元系统		三元系统		
比值 (大/小)	分界点 C 值	比值 (大/小)	比值 (中/小)	分界点 C 值
1	1.0000	1	1	1.0000
2	0.9428	2	2	0.9524
3	0.8660	2	1	0.9449
4	0.8000	3	2	0.9086
5	0.7454	3	3	0.8915
6	0.6999	3	1	0.8654
7	0.6614	4	3	0.8585
8	0.6285	4	2	0.8571
9	0.6000	4	4	0.8399
10	0.5750	4	1	0.7937

当 $n=2$ 时, 假定 $\max U_i$ 为 U_2 ,

$$C = \sqrt{\left[1 - \sqrt{(U_2 - U_1)^2}\right] \times \frac{U_1}{U_2}} = \sqrt{[1 - (U_2 - U_1)] \times \frac{U_1}{U_2}} \quad (13)$$

$$T = \alpha_1 U_1 + \alpha_2 U_2, \quad \alpha_1 + \alpha_2 = 1 \quad (14)$$

当 $n=3$ 时, 假定 $\max U_i$ 为 U_3 ,

$$C = \sqrt{\left[1 - \frac{\sqrt{(U_3 - U_1)^2} + \sqrt{(U_2 - U_1)^2} + \sqrt{(U_3 - U_2)^2}}{3}\right] \times \frac{U_1 \times U_2}{U_3 \times U_3}} \quad (15)$$

$$T = \alpha_1 U_1 + \alpha_2 U_2 + \alpha_3 U_3, \quad \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1 \quad (16)$$

当 $n=4$ 时, 假定 $\max U_i$ 为 U_4 ,

$$C = \sqrt{\left[1 - \frac{\sqrt{(U_4 - U_1)^2} + \sqrt{(U_3 - U_1)^2} + \sqrt{(U_2 - U_1)^2} + \sqrt{(U_4 - U_2)^2} + \sqrt{(U_3 - U_2)^2} + \sqrt{(U_4 - U_3)^2}}{6}\right] \times \frac{U_1 \times U_2 \times U_3}{U_4 \times U_4 \times U_4}} \quad (17)$$

$$T = \alpha_1 U_1 + \alpha_2 U_2 + \alpha_3 U_3 + \alpha_4 U_4, \quad \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 = 1 \quad (18)$$

此模型的优势是将 C 尽可能分散分布于 $[0, 1]$ (表5、表6), 加大 C 值的区分度, 而在社科领域具有更高效度。基于这一修正后的耦合度模型, 进一步计算出来的协调发展度可以更合理地代表耦合协调关系与发展水平的测度。

表5 修正后模型的二元系统耦合度模拟值

Table 5 Simulation value of coupling degree of binary system based on modified model

U_1	U_2	C	U_1	U_2	C	U_1	U_2	C	U_1	U_2	C	U_1	U_2	C
0.0	0.1	0.000	0.4	0.4	1.000	0.6	0.6	1.000	0.4	0.8	0.548	0.8	0.9	0.894
0.1	0.1	1.000	0.0	0.5	0.000	0.0	0.7	0.000	0.5	0.8	0.661	0.9	0.9	1.000
0.0	0.2	0.000	0.1	0.5	0.346	0.1	0.7	0.239	0.6	0.8	0.775	0.0	1.0	0.000
0.1	0.2	0.671	0.2	0.5	0.529	0.2	0.7	0.378	0.7	0.8	0.887	0.1	1.0	0.100
0.2	0.2	1.000	0.3	0.5	0.693	0.3	0.7	0.507	0.8	0.8	1.000	0.2	1.0	0.200
0.0	0.3	0.000	0.4	0.5	0.849	0.4	0.7	0.632	0.0	0.9	0.000	0.3	1.0	0.300
0.1	0.3	0.516	0.5	0.5	1.000	0.5	0.7	0.756	0.1	0.9	0.149	0.4	1.0	0.400
0.2	0.3	0.775	0.0	0.6	0.000	0.6	0.7	0.878	0.2	0.9	0.258	0.5	1.0	0.500
0.3	0.3	1.000	0.1	0.6	0.289	0.7	0.7	1.000	0.3	0.9	0.365	0.6	1.0	0.600
0.0	0.4	0.000	0.2	0.6	0.447	0.0	0.8	0.000	0.4	0.9	0.471	0.7	1.0	0.700
0.1	0.4	0.418	0.3	0.6	0.592	0.1	0.8	0.194	0.5	0.9	0.577	0.8	1.0	0.800
0.2	0.4	0.632	0.4	0.6	0.730	0.2	0.8	0.316	0.6	0.9	0.683	0.9	1.0	0.900
0.3	0.4	0.822	0.5	0.6	0.866	0.3	0.8	0.433	0.7	0.9	0.789	1.0	1.0	1.000

4 耦合协调度模型的信度

即使进行上述修正后, 耦合协调度模型还存在一些潜在的信度问题尚未解决。

4.1 指标构建的主观性

目前耦合度研究中, 各子系统的标准化值高度依赖于研究者所构建的各子系统的指标体系。研究者一般参照以往论文中所使用的指标体系, 依据研究对象与地域特征, 同

表6 修正后模型的三元系统耦合度模拟值

Table 6 Simulation value of coupling degree of ternary system based on modified model

U_1	U_2	U_3	C	U_1	U_2	U_3	C	U_1	U_2	U_3	C	U_1	U_2	U_3	C
0.2	0.2	0.2	1.000	0.6	0.6	0.6	1.000	0.6	0.8	0.8	0.866	0.4	0.8	1.0	0.583
0.2	0.2	0.4	0.658	0.2	0.2	0.8	0.387	0.8	0.8	0.8	1.000	0.6	0.8	1.0	0.713
0.2	0.4	0.4	0.783	0.2	0.4	0.8	0.461	0.2	0.2	1.0	0.306	0.8	0.8	1.0	0.833
0.4	0.4	0.4	1.000	0.4	0.4	0.8	0.606	0.2	0.4	1.0	0.363	0.2	1.0	1.0	0.457
0.2	0.2	0.6	0.494	0.2	0.6	0.8	0.510	0.4	0.4	1.0	0.490	0.4	1.0	1.0	0.616
0.2	0.4	0.6	0.588	0.4	0.6	0.8	0.670	0.2	0.6	1.0	0.402	0.6	1.0	1.0	0.754
0.4	0.4	0.6	0.760	0.6	0.6	0.8	0.806	0.4	0.6	1.0	0.542	0.8	1.0	1.0	0.880
0.2	0.6	0.6	0.651	0.2	0.8	0.8	0.548	0.6	0.6	1.0	0.663	1.0	1.0	1.0	1.000
0.4	0.6	0.6	0.841	0.4	0.8	0.8	0.720	0.2	0.8	1.0	0.432	—	—	—	—

时考虑数据的可获得性,构建不同的要素层和指标体系。因而指标体系的构建具有较强的主观性,同一个子系统在不同研究中二级指标差异较大。因此,指标构建的主观性进一步影响到最终耦合结果的可靠性。

4.2 耦合结果的波动性

为使不同指标在跨地区和年份之间具有可比性以及消除原始数据间量级、方向差异,耦合协调度模型首先要对各指标的原始数据根据下述公式进行极差标准化处理。

$$v_{ij} = \frac{V_{ij} - \min V_{ij}}{\max V_{ij} - \min V_{ij}}, v_{ij} \text{ 为正向指标} \tag{19}$$

$$v_{ij} = \frac{\max V_{ij} - V_{ij}}{\max V_{ij} - \min V_{ij}}, v_{ij} \text{ 为逆向指标} \tag{20}$$

式中： v_{ij} 为系统 i 的第 j 项指标的标准化值； V_{ij} 为系统 i 的第 j 项指标的原始值； $\max V_{ij}$ 、 $\min V_{ij}$ 分别为系统 i 的第 j 项指标的最大值和最小值。因此,各指标的标准化值显著受到该指标所有年份和地区的最大值与最小值的影响。当年份或地区范围发生变更,导致该指标所有的值中最大最小值出现变化,就会导致所有指标的标准化值发生变化。因此,当对不同年份或地区范围进行比较时,某年份或地区的标准化值会发生波动,进而影响到最终子系统值发生变化。所以,耦合结果具有显著的波动性。

4.3 耦合结果的无可比性

由于指标构建的主观性,不同研究者之间的研究结果难以进行横向比较。更为关键的是耦合结果的波动性导致每一个测算出来的耦合度 C 及协调发展度 D 都只是在当前年份与地区范围内的相对值,而非绝对值。因此,相对耦合度与相对协调发展度在年份与地区外就不具有可比性,即使同一个研究者使用相同数据,但扩充年份与地区后也不具有纵向与横向的可比性。因此,使用耦合度模型进行的研究,仅具有当下的良好使用效用,无可比性制约了该模型的实用价值。

5 耦合协调度模型实证:以京津冀生态—经济耦合协调发展为例

本文通过分析京津冀地区 13 市 2008—2017 年间生态环境与经济发展系统的耦合关系与协调发展度水平,验证新模型的效度,进一步探讨耦合协调度模型的信度问题。

5.1 指标体系及数据来源

生态环境与经济发展是两个相互耦合的复杂系统。以京津冀生态—经济耦合协调发展为例，遵循科学性、可操作性和可持续性原则，运用频度统计法、理论分析法和专家咨询法确定指标体系并调整。具体步骤为：（1）统计、筛选指标。选取近十年国内CSSCI、CSCD来源期刊发表的有关生态环境、经济发展为主题的高被引论文各50篇，统计并筛选使用频度较高的指标。（2）分析、剔除指标。生态环境子系统指标方面，依据中国科学院《中国可持续发展战略报告》等^[61-64]划分为生态环境要素、生态环境压力和生态环境保护三个要素层，包括森林覆盖率等10个指标。经济发展子系统则结合当前中国经济发展重点，依据相关文献^[65-68]构建包含经济规模、经济潜力和经济质量三个要素层，共有GDP等12个指标。（3）专家反馈调整指标。根据专家反馈意见，如专家提出生态环境指标方面需增加全年优良天数指标以便更能真实反映京津冀地域特征和实际情况等，最终构建京津冀生态环境—经济发展综合评价指标体系（表7）。量化数据来源于《中国城市统计年鉴》（2009—2018年）、13个城市的国民经济和社会发展统计公报（2008—2017年）以及政府工作报告（2008—2017年）。为消除主观因素对评价结果的影响，采用对指标数据本身客观信息进行提取分析的熵权法^[69]确定指标权重。

表7 京津冀生态环境—经济协调发展评价指标体系

Table 7 Evaluation index system for the coordinated development of eco-environment and economy in Beijing-Tianjin-Hebei Region

子系统	要素层	指标层	属性	子系统	要素层	指标层	属性
生态环境系统	生态环境要素	森林覆盖率	+	经济发展系统	经济规模	GDP	+
		人均水资源量	+			固定资产投资额	+
		全年优良天数	+			工业总产值	+
	生态环境压力	人均供水量	-		经济潜力	社会消费品零售总额	+
		人均工业废水排放量	-			GDP增长率	+
		人均工业二氧化硫排放量	-			第三产业占GDP比例	+
		人均工业烟（粉）尘排放量	-			固定资产投资增长率	+
	生态环境保护	环境质量指数	+		经济质量	社会消费品零售总额增长率	+
		人均公园绿地面积	+			人均GDP	+
		建成区绿化覆盖率	+			人均可支配收入	+
						人均储蓄存款年底余额	+
						失业率	-

注：环境质量指数=(工业固体废物综合利用率×污水集中处理率×生活垃圾无害化处理率)^{1/3}。

5.2 修正前后模型的效度对比

如表8所示，当以原模型式（1）计算京津冀13市生态—经济耦合度C时，2008—2017年13市C值分布于[0.6101, 1.0000]，即全部为协调关系。130个C值中有84个都大于0.8，并不能有效区分协调关系。当使用新模型即式（10）再次计算，C值分布于[0.2532, 0.9949]，出现显著的拮抗与耦合程度的区分。如表9所示，使用新模型计算京津冀13市生态—经济协调发展度D，D值从[0.3402, 0.7524]变为[0.2453, 0.6498]，区分效度显著且更为符合京津冀生态—经济协调发展的实际情况。因此，京津冀地区的模型验证结果表明，新模型在区分度与效度上优于原模型。

表8 原模型与修正后模型计算京津冀13市生态—经济耦合协调度C值

Table 8 Comparison of C-values of eco-economic coupling coordination degree of 13 cities in Beijing-Tianjin-Hebei Region between the original model and the modified model

年份/C值	北京	天津	石家庄	唐山	秦皇岛	邯郸	邢台	保定	张家口	承德	沧州	廊坊	衡水
2008 原	0.9989	0.9935	0.8868	0.9073	0.6821	0.8328	0.6816	0.7789	0.6871	0.6101	0.8017	0.7867	0.7191
	新	0.9404	0.8660	0.5440	0.5769	0.3006	0.4780	0.3344	0.4171	0.3278	0.2700	0.4374	0.4196
2009 原	0.9984	0.9997	0.8912	0.9079	0.6790	0.8114	0.6839	0.7786	0.7180	0.6377	0.8018	0.7587	0.7396
	新	0.9238	0.9675	0.5435	0.5716	0.2946	0.4445	0.3224	0.4117	0.3533	0.2731	0.4352	0.3906
2010 原	0.9999	0.9920	0.9071	0.9224	0.6957	0.8309	0.7044	0.7992	0.7556	0.6212	0.8277	0.7707	0.7109
	新	0.9835	0.8497	0.5659	0.5942	0.3041	0.4593	0.3385	0.4245	0.3857	0.2533	0.4574	0.3908
2011 原	0.9939	0.9848	0.9373	0.9468	0.7446	0.8488	0.7437	0.8114	0.7806	0.6469	0.8601	0.8162	0.7560
	新	0.8485	0.7896	0.6271	0.6503	0.3454	0.4767	0.3720	0.4332	0.4123	0.2600	0.4994	0.4361
2012 原	0.9992	0.9913	1.0000	0.9276	0.6720	0.8527	0.7674	0.8211	0.7859	0.6561	0.8749	0.8133	0.7577
	新	0.9445	0.8342	0.9949	0.5937	0.2497	0.4816	0.3967	0.4433	0.4134	0.2615	0.5164	0.4243
2013 原	0.9858	0.9280	0.9867	0.9866	0.7442	0.9215	0.8259	0.8680	0.7819	0.6619	0.9183	0.9025	0.7773
	新	0.7757	0.5868	0.8169	0.8135	0.3519	0.6125	0.4721	0.5160	0.4043	0.2746	0.6006	0.5692
2014 原	0.9942	0.9488	0.9834	0.9815	0.6713	0.8995	0.8283	0.8917	0.7556	0.6955	0.9270	0.9064	0.8257
	新	0.8523	0.6353	0.7939	0.7829	0.2532	0.5627	0.4708	0.5540	0.3797	0.3067	0.6191	0.5750
2015 原	0.9854	0.9367	0.9873	0.9836	0.7994	0.9146	0.8719	0.9160	0.7731	0.6982	0.9156	0.9176	0.8183
	新	0.7682	0.5963	0.8137	0.7917	0.4115	0.5861	0.5281	0.5961	0.3889	0.3019	0.5833	0.5873
2016 原	0.9886	0.9490	0.9781	0.9867	0.7982	0.9274	0.8444	0.9292	0.7908	0.6964	0.9424	0.9175	0.8714
	新	0.7870	0.6257	0.7564	0.8085	0.3862	0.6110	0.4765	0.6189	0.4065	0.2861	0.6457	0.5280
2017 原	0.9685	0.9876	0.9664	0.9589	0.8336	0.9242	0.8532	0.8893	0.8293	0.7264	0.9375	0.9241	0.8514
	新	0.6527	0.8079	0.7122	0.6842	0.4381	0.6124	0.4857	0.5479	0.4504	0.3052	0.6292	0.5920

注：表中颜色对应的协调度等级参照表2的分级标准。

5.3 研究对象变化对模型信度的影响

如表10所示，当仅以河北省11市2008—2017年进行标准化后计算生态—经济系统的耦合协调度C时，C值分布于[0.3867, 0.9978]，95个C值为耦合关系，15个C值为拮抗关系。当以京津冀13市2008—2017年数据进行标准化后计算生态—经济系统的耦合协调度C时，河北省11市的C值发生了显著变化：43个C值为耦合关系，67个C值变为拮抗关系。当变更研究区域后，河北省11市的生态—经济耦合关系C的变化幅度为[0.0301, 0.4045]，其中石家庄市2008年的耦合关系从优质协调(0.9485)变为勉强协调(0.5440)。如表11所示，河北省11市的协调发展度D也出现显著变化。因此，当研究区域发生扩大或缩小，会导致研究区域的耦合协调度与协调发展度发生变化，同理，变更研究时间也会存在同样问题。其根源都是来自于标准化与熵权法确定指标权重过程依赖于数据池中的最大与最小值。因此，以往研究中利用因时空选择范围而波动的耦合协调度和协调发展度研究区域发展的时空特征，存在明显信度问题。而在实际管理应用中，则导致评价标准不稳定，因而削弱该模型的实践指导意义。

6 结论与讨论

6.1 结论

随着对科学全面发展的追求，耦合效应与协调发展度成为有效的评价与研究区域发

表9 原模型与修正后模型计算京津冀13市生态—经济协调发展度 D 值Table 9 Comparison of D -values of eco-economic coordinated development degree in 13 cities of Beijing-Tianjin-Hebei Region between original model and modified model

年份/ D 值	北京	天津	石家庄	唐山	秦皇岛	邯郸	邢台	保定	张家口	承德	沧州	廊坊	衡水
2008 原	0.5736	0.4999	0.4328	0.4457	0.4415	0.3926	0.3598	0.3867	0.3899	0.3779	0.4013	0.4038	0.3402
2008 新	0.5565	0.4667	0.3390	0.3554	0.2931	0.2974	0.2520	0.2830	0.2693	0.2514	0.2964	0.2949	0.2453
2009 原	0.6145	0.5039	0.4588	0.4676	0.4480	0.4136	0.3964	0.4013	0.3956	0.4195	0.4078	0.4237	0.3474
2009 新	0.5911	0.4957	0.3583	0.3711	0.2951	0.3061	0.2722	0.2918	0.2775	0.2746	0.3004	0.3007	0.2524
2010 原	0.6390	0.5257	0.4806	0.4920	0.4593	0.4402	0.4014	0.4291	0.4063	0.4322	0.4340	0.4335	0.3798
2010 新	0.6337	0.4865	0.3796	0.3949	0.3037	0.3273	0.2783	0.3127	0.2903	0.2759	0.3226	0.3087	0.2676
2011 原	0.6761	0.5681	0.5003	0.5088	0.4734	0.4591	0.4109	0.4443	0.4052	0.4597	0.4415	0.4520	0.3817
2011 新	0.6247	0.5087	0.4092	0.4216	0.3224	0.3441	0.2906	0.3246	0.2945	0.2914	0.3364	0.3304	0.2759
2012 原	0.6727	0.5914	0.5818	0.5309	0.5138	0.4614	0.4096	0.4494	0.4183	0.4713	0.4580	0.4723	0.3923
2012 新	0.6540	0.5425	0.5803	0.4247	0.3132	0.3468	0.2945	0.3302	0.3033	0.2975	0.3519	0.3411	0.2826
2013 原	0.6747	0.5540	0.4727	0.4929	0.4590	0.4196	0.3839	0.4269	0.4304	0.4571	0.4396	0.4413	0.3777
2013 新	0.5985	0.4406	0.4301	0.4476	0.3156	0.3421	0.2902	0.3292	0.3095	0.2944	0.3555	0.3505	0.2771
2014 原	0.6784	0.5791	0.4944	0.4985	0.5074	0.4445	0.3973	0.4274	0.4216	0.4539	0.4399	0.4465	0.3820
2014 新	0.6281	0.4739	0.4442	0.4453	0.3116	0.3515	0.2995	0.3369	0.2989	0.3014	0.3595	0.3556	0.2889
2015 原	0.6983	0.5914	0.5201	0.5149	0.4621	0.4639	0.4067	0.4387	0.4444	0.4682	0.4800	0.4805	0.4083
2015 新	0.6165	0.4718	0.4722	0.4620	0.3315	0.3713	0.3165	0.3539	0.3152	0.3079	0.3831	0.3844	0.3044
2016 原	0.7283	0.6111	0.5472	0.5302	0.5140	0.4725	0.4428	0.4591	0.4498	0.4936	0.4801	0.5010	0.4044
2016 新	0.6498	0.4962	0.4812	0.4800	0.3575	0.3835	0.3327	0.3747	0.3225	0.3163	0.3974	0.3986	0.3148
2017 原	0.7524	0.5727	0.5155	0.5220	0.5022	0.4419	0.4522	0.4342	0.4582	0.5128	0.4945	0.5110	0.4333
2017 新	0.6177	0.5179	0.4426	0.4409	0.3641	0.3597	0.3411	0.3408	0.3377	0.3324	0.4051	0.4090	0.3286

注：表中颜色对应的协调发展度等级参照表2的分级标准。

展水平的工具。其中耦合协调度模型因简便直观成为研究中使用最为普遍的模型。但在以往研究中，存在包括书写错误、丢失系数、错用权重和模型不成立四类主要误区，已经显著影响到学术研究的科学性。本文参照以往研究明确了传统耦合协调度模型的规范公式。但对于传统模型的现有解释惯例使得耦合度 C 在解释耦合关系时效度降低，同时也存在传统模型中协调发展度计算被简化问题。在探讨该传统模型在社会科学领域研究中效度问题基础上，进一步提出了耦合度的修正模型。无论是传统还是修正后的耦合协调度模型，仍存在指标构建的主观性、耦合结果的波动性和无可比性的信度问题。以京津冀生态与经济系统为例进行验证，证实修正后的耦合协调度模型具有较好的效度，并证实研究对象的时空变化会显著影响耦合协调度模型的信度。

6.2 讨论

首先，虽然本文提出了修正模型，并验证了模型效度，但鉴于研究者水平所限，仍存在四个有待突破的不足。第一，该新模型并非在 $[0, 1]$ 完全效度高，在子系统差值较小的情况下 C 值的区分度较高，因而适用于社会科学研究。当子系统值差距极大，原模型效度可能更高。第二，该模型仍不够简化，特别是当推导到多元系统时，计算难度呈指数上升。第三，在以往研究中曾出现 C 值为0的极端情况^[70-72]。这一极端情况多在对全国区域研究时出现，因为当对原始数据标准化处理时，可能会出现某个地区（西部地区

表 10 河北省 11 市变更研究区域后耦合度 C 值变化情况

Table 10 Comparison of C-value of coupling degree in 11 cities of Hebei province after changing the research area

年份/C值	石家庄	唐山	秦皇岛	邯郸	邢台	保定	张家口	承德	沧州	廊坊	衡水	
2008	省内	0.9485	0.9566	0.4873	0.8686	0.5998	0.7554	0.5608	0.4393	0.7673	0.7560	0.6480
	三地	0.5440	0.5769	0.3006	0.4780	0.3344	0.4171	0.3278	0.2700	0.4374	0.4196	0.3738
	差值	0.4045	0.3796	0.1868	0.3906	0.2654	0.3384	0.2331	0.1693	0.3300	0.3364	0.2742
2009	省内	0.9139	0.9669	0.4567	0.7358	0.5463	0.7053	0.5507	0.4120	0.7162	0.6428	0.6449
	三地	0.5435	0.5716	0.2946	0.4445	0.3224	0.4117	0.3533	0.2731	0.4352	0.3821	0.3906
	差值	0.3705	0.3953	0.1621	0.2913	0.2238	0.2936	0.1974	0.1389	0.2810	0.2607	0.2543
2010	省内	0.9642	0.9793	0.4850	0.8040	0.5742	0.7400	0.6128	0.3918	0.7676	0.6764	0.5916
	三地	0.5659	0.5942	0.3041	0.4593	0.3385	0.4245	0.3857	0.2533	0.4574	0.3908	0.3529
	差值	0.3983	0.3851	0.1808	0.3446	0.2356	0.3155	0.2271	0.1386	0.3102	0.2856	0.2388
2011	省内	0.9002	0.8767	0.5692	0.8429	0.6356	0.7691	0.6694	0.4091	0.8497	0.7704	0.6755
	三地	0.6271	0.6503	0.3454	0.4767	0.3720	0.4332	0.4123	0.2600	0.4994	0.4361	0.3951
	差值	0.2731	0.2265	0.2238	0.3661	0.2636	0.3359	0.2571	0.1491	0.3503	0.3343	0.2804
2012	省内	0.6351	0.9778	0.3989	0.8298	0.6483	0.7577	0.6361	0.3867	0.8536	0.7128	0.6369
	三地	0.9949	0.5937	0.2497	0.4816	0.3967	0.4433	0.4134	0.2615	0.5164	0.4243	0.3931
	差值	-0.3598	0.3841	0.1492	0.3482	0.2516	0.3144	0.2227	0.1252	0.3372	0.2885	0.2438
2013	省内	0.7377	0.7235	0.5428	0.9902	0.7543	0.8706	0.6175	0.4034	0.9900	0.9473	0.6662
	三地	0.8169	0.8135	0.3519	0.6125	0.4721	0.5160	0.4043	0.2746	0.6006	0.5692	0.4184
	差值	-0.0792	-0.0900	0.1910	0.3778	0.2822	0.3546	0.2132	0.1288	0.3894	0.3781	0.2478
2014	省内	0.7443	0.7472	0.4176	0.9291	0.7526	0.9470	0.5783	0.4489	0.9733	0.9542	0.7438
	三地	0.7939	0.7829	0.2532	0.5627	0.4708	0.5540	0.3797	0.3067	0.6191	0.5750	0.4723
	差值	-0.0496	-0.0356	0.1644	0.3664	0.2818	0.3930	0.1986	0.1422	0.3542	0.3792	0.2715
2015	省内	0.7449	0.7616	0.5935	0.9293	0.7963	0.9481	0.5609	0.4181	0.9266	0.9423	0.6807
	三地	0.8137	0.7917	0.4115	0.5861	0.5281	0.5961	0.3889	0.3019	0.5833	0.5873	0.4547
	差值	-0.0688	-0.0301	0.1819	0.3433	0.2683	0.3520	0.1720	0.1162	0.3434	0.3550	0.2260
2016	省内	0.7889	0.7356	0.5808	0.9825	0.7370	0.9978	0.6017	0.4165	0.9621	0.9500	0.8007
	三地	0.7564	0.8085	0.3862	0.6110	0.4765	0.6189	0.4065	0.2861	0.6457	0.5805	0.5280
	差值	0.0325	-0.0729	0.1945	0.3715	0.2604	0.3789	0.1951	0.1304	0.3164	0.3694	0.2726
2017	省内	0.8342	0.8473	0.6685	0.9765	0.7463	0.8917	0.6729	0.4589	0.9825	0.9866	0.7713
	三地	0.7122	0.6842	0.4381	0.6124	0.4857	0.5479	0.4504	0.3052	0.6292	0.5920	0.4896
	差值	0.1219	0.1631	0.2304	0.3641	0.2607	0.3438	0.2225	0.1537	0.3533	0.3946	0.2817
注:差值变化	[0, 0.1)		[0.1, 0.2)		[0.2, 0.3)		[0.3, 0.4)		[0.4, 0.5)			

为多) 某个子系统所有指标全为全国该指标下的最小值, 因此标准化处理后该子系统值为 0, 从而代入到耦合度计算公式中, 出现只要一个子系统值为 0, 不论其他子系统值如何, 最终计算出的 C 值都为 0。本文新修正的模型仍未能解决这个问题。第四, 新模型有一个潜在存在争议的地方, 即 C 值对协调发展度 D 的影响变大。一方面由于原模型中 C 值分异度低、值积聚于 0.9~1.0 之间, 所以对 D 的影响远小于 T。而在新模型中, C 值分异度加大, 使得其对 D 的影响与 T 相当, 虽然更符合耦合协调度模型的初衷, 即从单纯的发展水平转向基于协调水平与发展水平的整体均衡发展评价, 但会出现 $D(0.5, 0.5) > D(0.5, 0.7)$ 这类看似异常情况。有两个解释或解决途径: 一是回归到耦合协调度模型的

表11 河北省11市变更研究区域后协调发展度 D 值变化情况Table 11 Comparison of D -value of coordinated development degree in 11 cities of Hebei province after changing the research area

年份/ D 值	石家庄	唐山	秦皇岛	邯郸	邢台	保定	张家口	承德	沧州	廊坊	衡水
2008 省内	0.5185	0.5378	0.4059	0.4421	0.3640	0.4125	0.3811	0.3570	0.4341	0.4354	0.3514
2008 三地	0.3390	0.3554	0.2931	0.2974	0.2520	0.2830	0.2693	0.2514	0.2964	0.2949	0.2453
2009 省内	0.5306	0.5553	0.3958	0.4186	0.3749	0.4077	0.3710	0.3693	0.4172	0.4152	0.3473
2009 三地	0.3583	0.3711	0.2951	0.3061	0.2722	0.2918	0.2775	0.2746	0.3004	0.3007	0.2524
2010 省内	0.5720	0.5911	0.4151	0.4718	0.3862	0.4462	0.3972	0.3739	0.4582	0.4379	0.3709
2010 三地	0.3796	0.3949	0.3037	0.3273	0.2783	0.3127	0.2903	0.2759	0.3226	0.3087	0.2676
2011 省内	0.5814	0.5849	0.4568	0.5053	0.4106	0.4731	0.4135	0.4002	0.4895	0.4837	0.3918
2011 三地	0.4092	0.4216	0.3224	0.3441	0.2906	0.3246	0.2945	0.2914	0.3364	0.3304	0.2759
2012 省内	0.5397	0.6380	0.4224	0.5015	0.4041	0.4724	0.4093	0.3917	0.5018	0.4791	0.3865
2012 三地	0.5803	0.4247	0.3132	0.3468	0.2945	0.3302	0.3033	0.2975	0.3519	0.3411	0.2826
2013 省内	0.4963	0.5143	0.4275	0.4923	0.3993	0.4723	0.4163	0.3866	0.5149	0.5041	0.3748
2013 三地	0.4301	0.4476	0.3156	0.3421	0.2902	0.3292	0.3095	0.2944	0.3555	0.3505	0.2771
2014 省内	0.5229	0.5305	0.4220	0.5078	0.4114	0.4932	0.3996	0.3984	0.5139	0.5107	0.3929
2014 三地	0.4442	0.4453	0.3116	0.3515	0.2995	0.3369	0.2989	0.3014	0.3595	0.3556	0.2889
2015 省内	0.5471	0.5468	0.4385	0.5208	0.4221	0.5010	0.4066	0.3919	0.5414	0.5411	0.3988
2015 三地	0.4722	0.4620	0.3315	0.3713	0.3165	0.3539	0.3152	0.3079	0.3831	0.3844	0.3044
2016 省内	0.5923	0.5595	0.4851	0.5526	0.4531	0.5435	0.4288	0.4141	0.5555	0.5744	0.4307
2016 三地	0.4812	0.4800	0.3575	0.3835	0.3327	0.3747	0.3225	0.3163	0.3974	0.3986	0.3148
2017 省内	0.5794	0.5926	0.5107	0.5189	0.4615	0.4923	0.4631	0.4468	0.5794	0.6087	0.4549
2017 三地	0.4426	0.4409	0.3641	0.3597	0.3411	0.3408	0.3377	0.3324	0.4051	0.4090	0.3286

注: 表中颜色对应的协调发展度等级参照表2的分级标准。

初衷, 即两个子系统耦合关系非常重要, 所以即使均值更高, 但认为出现差异就是潜在的风险信号; 二是探寻更为有效的模型, 如对于 C 和 T 的重要性赋予系数后再进行开方计算 D 。希望有学者能够修正出更加合适的模型, 以解决上述问题。其次, 该模型的学术性较高, 但因为其本身的信度较低, 导致其作为一种研究工具很有意义。但对于政府决策来说, 不具有延续性, 因而面向未来的实用性较低。因此, 如何开发一个更具普适性的模型, 或如何提高该模型的信度与稳定性, 也是未来值得继续探讨的问题。

参考文献(References):

- [1] 李惠娟, 龙如银. 资源型城市环境库兹涅茨曲线研究: 基于面板数据的实证分析. 自然资源学报, 2013, 28(1): 19-27. [LI H J, LONG R Y. Environmental Kuznets Curve of resource-based cities in China: An empirical research based on panel data. Journal of Natural Resources, 2013, 28(1): 19-27.]
- [2] 王西琴, 何芬, 张兵. 丽江市经济发展与环境污染水平的关系. 地理研究, 2010, 29(5): 927-934. [WANG X Q, HE F, ZHANG B. Study on the relationship between economic growth and environmental degradation of Lijiang city. Geographical Research, 2010, 29(5): 927-934.]
- [3] 吴玉萍, 董锁成, 宋键峰. 北京市经济增长与环境污染水平计量模型研究. 地理研究, 2002, 21(2): 239-246. [WU Y P, DONG S C, SONG J F. Modeling economic growth and environmental degradation of Beijing. Geographical Research, 2002, 21(2): 239-246.]
- [4] 黄金川, 方创琳. 城市化与生态环境交互耦合机制与规律性分析. 地理研究, 2003, 22(2): 211-220. [HUANG J C, FANG C L. Analysis of coupling mechanism and rules between urbanization and eco-environment. Geographical Research, 2003, 22(2): 211-220.]

- search, 2003, 22(2): 211-220.]
- [5] 王介勇, 吴建寨. 黄河三角洲区域生态经济系统动态耦合过程及趋势. 生态学报, 2012, 32(15): 4861-4868. [WANG J Y, WU J Z. Analysis of the dynamic coupling processes and trend of regional eco-economic system development in the Yellow River Delta. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(15): 4861-4868.]
- [6] 张振杰, 杨山, 孙敏. 城乡耦合地域系统相互作用模型建构及应用: 以南京为例. 人文地理, 2007, 22(4): 90-94, 67. [ZHANG Z J, YANG S, SUN M. The construction and application of interaction modeling about urban-rural coupling region's system: A case study of Nanjing. *Human Geography*, 2007, 22(4): 90-94, 67.]
- [7] 李智国, 杨子生, 王伟. 西南边疆山区耕地资源利用与粮食生产耦合态势: 以云南省为例. 山地学报, 2008, 26(4): 410-417. [LI Z G, YANG Z S, WANG W. The coupling situation of farmland resources use and food production in mountainous area at China's southwest border: A case study in Yunnan province. *Journal of Mountain Science*, 2008, 26(4): 410-417.]
- [8] 张洁, 李同昇, 王武科. 渭河流域人地关系地域系统耦合状态分析. 地理科学进展, 2010, 29(6): 733-739. [ZHANG J, LI T S, WANG W K. Quantitative analysis of coupling status of man-land relationship areal system in Weihe River Basin. *Progress in Geography*, 2010, 29(6): 733-739.]
- [9] 胡喜生, 洪伟, 吴承祯. 福州市土地生态系统服务与城市化耦合度分析. 地理科学, 2013, 33(10): 1216-1223. [HU X S, HONG W, WU C Z. Coupling degrees of land ecosystem services and urbanization of Fuzhou city. *Scientia Geographica Sinica*, 2013, 33(10): 1216-1223.]
- [10] 孙东琪, 张京祥, 张明斗, 等. 长江三角洲城市化效率与经济发展水平的耦合关系. 地理科学进展, 2013, 32(7): 1060-1071. [SUN D Q, ZHANG J X, ZHANG M D, et al. Coupling relationship between urbanization efficiency and economic development level in the Yangtze River Delta. *Progress in Geography*, 2013, 32(7): 1060-1071.]
- [11] 黄松, 李燕林, 李如友. 桂西地区地质遗迹与民族文化资源的空间关系及成因机理. 地理学报, 2015, 70(9): 1434-1448. [HUANG S, LI Y L, LI R Y. Spatial relationship and formation mechanism of geological relics and ethnic cultural resources in Western Guangxi, China. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(9): 1434-1448.]
- [12] 曹诗颂, 赵文吉, 段福洲. 秦巴特困连片区生态资产与经济贫困的耦合关系. 地理研究, 2015, 34(7): 1295-1309. [CAO S S, ZHAO W J, DUAN F Z. Coupling relation analysis between ecological value and economic poverty of contiguous destitute areas in Qinling-Dabashan Region. *Geographical Research*, 2015, 34(7): 1295-1309.]
- [13] 曹芳东, 黄震方, 吴江, 等. 转型期城市旅游业绩效系统耦合关联性测度及其前景预测: 以泛长江三角洲地区为例. 经济地理, 2012, 32(4): 160-166. [CAO F D, HUANG Z F, WU J, et al. Measure of city tourism performance system coupling association and forecast: A case study of the Pan-Yangtze River Delta. *Economic Geography*, 2012, 32(4): 160-166.]
- [14] 杨莉, 杨德刚, 张豫芳, 等. 新疆区域基础设施与经济耦合的关联分析. 地理科学进展, 2009, 28(3): 345-352. [YANG L, YANG D G, ZHANG Y F, et al. Grey associative analysis of infrastructure system and economic development coupling in Xinjiang. *Progress in Geography*, 2009, 28(3): 345-352.]
- [15] 杨雪梅, 杨太保, 石培基, 等. 西北干旱地区水资源—城市化复合系统耦合效应研究: 以石羊河流域为例. 干旱区地理, 2014, 37(1): 19-30. [YANG X M, YANG T B, SHI P J, et al. Coupling effect of water resources-urbanization composite system in north west arid region of China: A case of Shiyang River Basin. *Arid Land Geography*, 2014, 37(1): 19-30.]
- [16] 乔标, 方创琳. 城市化与生态环境协调发展的动态耦合模型及其在干旱区的应用. 生态学报, 2005, 25(11): 3003-3009. [QIAO B, FANG C L. The dynamic coupling model of the harmonious development between urbanization and eco-environment and its application in arid area. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(11): 3003-3009.]
- [17] 李磊, 张贵祥. 京津冀都市圈经济增长与生态环境关系研究. 生态经济, 2014, 30(9): 167-171. [LI L, ZHANG G X. Research on the relationship between economic growth and ecological environment of Beijing-Tianjin-Hebei Metropolitan. *Ecological Economy*, 2014, 30(9): 167-171.]
- [18] 牟宇峰, 孙伟, 袁丰, 等. 长江三角洲地区产业演变的就业响应研究. 地理与地理信息科学, 2013, 29(2): 60-65. [MU Y F, SUN W, YUAN F, et al. Research on employment response of industrial evolution in Yangtze River Delta. *Geography and Geo-Information Science*, 2013, 29(2): 60-65.]
- [19] 谢保鹏, 陈英, 白志远, 等. 甘肃省县区单元城镇工矿用地与二三产业耦合状态的时空变化研究. 干旱区资源与环境, 2013, 27(9): 18-25. [XIE B P, CHEN Y, BAI Z Y, et al. Spatiotemporal changes of coupling between industrial land and secondary & service industries of Gansu's counties. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2013, 27(9): 18-25.]
- [20] 关伟, 刘勇凤. 辽宁沿海经济带经济与环境协调发展度的时空演变. 地理研究, 2012, 31(11): 2044-2054. [GUAN W, LIU Y F. The analysis of spatiotemporal evolution of economic and environmental coordination development degree in

- Liaoning Coastal Economic Belt. *Geographical Research*, 2012, 31(11): 2044-2054.]
- [21] 吴玉鸣, 柏玲. 广西城市化与环境系统的耦合协调测度与互动分析. *地理科学*, 2011, 31(12): 1474-1479. [WU Y M, BAI L. Coupling and coordination measurement and interactive analysis of urbanization and environment system in Guangxi province, China. *Scientia Geographica Sinica*, 2011, 31(12): 1474-1479.]
- [22] 周宏浩, 陈晓红. 中国资源型城市精明发展与环境质量的耦合关系及响应机制. *自然资源学报*, 2019, 34(8): 1620-1632. [ZHOU H H, CHEN X H. Coupling relationship and its response mechanism between smart development and environmental quality in Chinese resource-based cities. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(8): 1620-1632.]
- [23] 戴永安, 陈才, 黄馨. 区域经济增长与建筑业技术效率耦合的空间差异. *经济地理*, 2011, 31(5): 766-769. [DAI Y A, CHEN C, HUANG X. The fluctuation and regional difference about the total factors productivity growth of township village enterprises in China. *Economic Geography*, 2011, 31(5): 766-769.]
- [24] 盖美, 王宇飞, 马国栋, 等. 辽宁沿海地区用水效率与经济的耦合协调发展评价. *自然资源学报*, 2013, 28(12): 2081-2094. [GAI M, WANG Y F, MA G D, et al. Evaluation of the coupling coordination development between water use efficiency and economy in Liaoning Coastal Economic Belt. *Journal of Natural Resources*, 2013, 28(12): 2081-2094.]
- [25] 王刚, 张华兵, 薛菲, 等. 成都市县域土地利用碳收支与经济发展关系研究. *自然资源学报*, 2017, 32(7): 1170-1182. [WANG G, ZHANG H B, XUE F, et al. Relations between land use carbon budget and economic development at county level in Chengdu city. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(7): 1170-1182.]
- [26] 申金山, 宋建民, 关柯. 城市基础设施与社会经济协调发展的定量评价方法与应用. *城市环境与城市生态*, 2000, 13(5): 10-12. [SHEN J S, SONG J M, GUAN K. Quantitative evaluation method and its application for infrastructure and social economy coordinated development. *Urban Environment & Urban Ecology*, 2000, 13(5): 10-12.]
- [27] 张旺, 周跃云, 胡光伟. 超大城市“新三化”的时空耦合协调性分析: 以中国十大城市为例. *地理科学*, 2013, 33(5): 562-569. [ZHANG W, ZHOU Y Y, HU G W. Coupling mechanism and space-time coordination of new-approach urbanization, new-approach industrialization and service industry modernization in megacity behemoths: A case study of ten cities in China. *Scientia Geographica Sinica*, 2013, 33(5): 562-569.]
- [28] 范辉, 刘卫东, 吴泽斌. 城市土地集约利用内部协调性的时空演变: 以武汉市中心城区为例. *地理科学*, 2014, 34(6): 696-704. [FAN H, LIU W D, WU Z B. Spatio-temporal characteristics of internal coordination of intensive urban land use: A case study of the downtown of Wuhan. *Scientia Geographica Sinica*, 2014, 34(6): 696-704.]
- [29] 张浩, 冯淑怡, 曲福田. 耕地保护、建设用地集约利用与城镇化耦合协调性研究. *自然资源学报*, 2017, 32(6): 1002-1015. [ZHANG H, FENG S Y, QU F T. Research on coupling coordination among cultivated land protection, construction land intensive use and urbanization. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(6): 1002-1015.]
- [30] 张林, 冉光和, 郑强. 农业现代化与工业化、信息化、城镇化的耦合协调发展研究. *农村经济*, 2015, (8): 89-93. [ZHANG L, RAN G H, ZHENG Q. Study on the coupled and harmonious development of agricultural modernization and industrialization, informatization and urbanization. *Rural Economy*, 2015, (8): 89-93.]
- [31] 张燕, 吴玉鸣. 中国区域工业化与城市化的时空耦合协调机制分析. *城市发展研究*, 2006, 13(6): 46-51. [ZHANG Y, WU Y M. Analysis of coupling mechanism and space-time coordination of industrialization and urbanization in regions of China. *Urban Development Studies*, 2006, 13(6): 46-51.]
- [32] 孟德友, 陆玉麒, 樊新生, 等. 基于投影寻踪模型的河南县域交通与经济协调性评价. *地理研究*, 2013, 32(11): 2092-2106. [MENG D Y, LU Y Q, FAN X S, et al. Coordination degree between transportation and regional economic development based on projection pursuit model in Henan. *Geographical Research*, 2013, 32(11): 2092-2106.]
- [33] 刘法威, 许恒周, 王姝. 人口—土地—经济城镇化的时空耦合协调性分析: 基于中国省际面板数据的实证研究. *城市发展研究*, 2014, 21(8): 7-11. [LIU F W, XU H Z, WANG S. Analysis on spatial-temporal coupling coordinate degree among population, land and economy urbanization: Based on China provincial panel data. *Urban development studies*, 2014, 21(8): 7-11.]
- [34] 刘继来, 刘彦随, 李裕瑞, 等. 2007—2015年中国农村居民点用地与农村人口时空耦合关系. *自然资源学报*, 2018, 33(11): 1861-1871. [LIU J L, LIU Y S, LI Y R, et al. Coupling analysis of rural residential land and rural population in China during 2007-2015. *Journal of Natural Resources*, 2018, 33(11): 1861-1871.]
- [35] 黄磊, 吴传清, 文传浩. 三峡库区环境—经济—社会复合生态系统耦合协调发展研究. *西部论坛*, 2017, 27(4): 83-92. [HUANG L, WU C Q, WEN C H. Coupling and coordinated development of the Three Gorges Reservoir Area's compound ecological system of environment, economy and society. *West Forum*, 2017, 27(4): 83-92.]
- [36] 马历, 唐宏, 尹奇, 等. 四川农村人口土地和经济系统的协调发展及时空演变. *中国生态农业学报*, 2017, 25(1): 136-

146. [MA L, TANG H, YIN Q, et al. Coordinated development and its' spatio-temporal evolution of rural population, land and economy system in Sichuan province. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2017, 25(1): 136-146.]
- [37] 高强, 周佳佳, 高乐华. 沿海地区海洋经济—社会—生态协调度研究: 以山东省为例. *海洋环境科学*, 2013, 32(6): 902-906. [GAO Q, ZHOU J J, GAO L H. Coastal marine economic-social-ecological coordination degree research: Take Shandong as the example. *Marine Environmental Science*, 2013, 32(6): 902-906.]
- [38] 韩刚, 袁家冬, 王兆博, 等. 哈大走廊城市规模、紧凑度与土地集约化的耦合. *经济地理*, 2017, 37(2): 156-162. [HAN G, YUAN J D, WANG Z B, et al. Coupling coordinate degree among urban scale, compactness and land intensive utilization degree in Harbin-Dalian urban corridor. *Economic Geography*, 2017, 37(2): 156-162.]
- [39] 邱倩倩, 张英, 应荷香, 等. 盘锦海岸带开发与生态耦合性分析. *测绘科学*, 2017, 42(5): 44-49, 69. [QIU Q Q, ZHANG Y, YING H X, et al. Development and ecological coupling analysis of Panjin Coastal Zone. *Science of Surveying and Mapping*, 2017, 42(5): 44-49, 69.]
- [40] 李磊, 刘继. 基于耦合模型的新疆高新技术产业与新型工业化协调发展研究. *科技进步与对策*, 2013, 30(4): 44-49. [LI L, LIU J. Researching coordinate development of high-tech industry and new-type industrialization in Xinjiang based on coupling degree model. *Science & Technology Progress and Policy*, 2013, 30(4): 44-49.]
- [41] 王春萍, 吴媚. 西北地区人口—经济—环境耦合协调度评价: 以甘肃庆阳为例. *青海社会科学*, 2012, (5): 41-45. [WANG C P, WU M. Evaluation of population-economy-environment coupling coordination degree in Northwest China: A case study of Qingyang, Gansu province. *Qinghai Social Sciences*, 2012, (5): 41-45.]
- [42] 周雪娇, 杨琳. 基于创新驱动的区域经济与生态环境协调发展的研究. *经济问题探索*, 2018, (7): 174-183. [ZHOU X J, YANG L. Research on the harmonious development of regional economy and ecological environment based on innovation. *Inquiry into Economic Issues*, 2018, (7): 174-183.]
- [43] 范玉仙, 袁晓玲. 生态文明视角下“五位一体”协调发展研究. *西安交通大学学报: 社会科学版*, 2017, 37(4): 19-27. [FAN Y X, YUAN X L. Synergy among "Five Constructions" in China from the perspective of ecological civilization. *Journal of Xi'an Jiaotong University: Social Sciences*, 2017, 37(4): 19-27.]
- [44] 胡晶晶, 倪泽楷. 贵州省人口、经济、空间、生活城市化耦合协调性研究. *贵州社会科学*, 2017, (7): 155-161. [HU J J, NI Z K. Study on coupling and coordination of population, economy, space and life urbanization in Guizhou province. *Guizhou Social Sciences*, 2017, (7): 155-161.]
- [45] 何舜辉, 杜德斌, 林宇, 等. 耦合视角下的高校科研与教育系统关系: 以美国百强高校为例. *中国科技论坛*, 2018, (3): 172-179. [HE S H, DU D B, LIN Y, et al. The coordination analysis of coupling relationship between scientific research and education system in university: Case study of top 100 universities in USA. *Forum on Science and Technology in China*, 2018, (3): 172-179.]
- [46] 李立晓, 李君. 云南省人口城镇化与土地城镇化耦合协调性分析. *资源开发与市场*, 2017, 33(7): 856-860. [LI L X, LI J. Analysis on coupling and coordination between population urbanization and land urbanization in Yunnan province. *Resource Development & Market*, 2017, 33(7): 856-860.]
- [47] 姜伟军. 人口—区域经济—环境发展耦合协调度分析. *统计与决策*, 2017, (15): 101-104. [JIANG W J. Coupling coordination of population, regional economy and environmental development. *Statistics & Decision*, 2017, (15): 101-104.]
- [48] 张涛, 顾洁, 张宇, 等. 一种储能技术发展与储能标准耦合度计算方法. *储能科学与技术*, 2017, 6(2): 280-286. [ZHANG T, GU J, ZHANG Y, et al. A method of quantifying coupling degree of energy storage technology and standard. *Energy Storage Science and Technology*, 2017, 6(2): 280-286.]
- [49] 姜磊, 柏玲, 吴玉鸣. 中国省域经济、资源与环境协调分析: 兼论三系统耦合公式及其扩展形式. *自然资源学报*, 2017, 32(5): 788-799. [JIANG L, BAI L, WU Y M. Coupling and coordinating degrees of provincial economy, resources and environment in China. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(5): 788-799.]
- [50] 钱丽, 陈忠卫, 肖仁桥. 中国区域工业化、城镇化与农业现代化耦合协调度及其影响因素研究. *经济问题探索*, 2012, (11): 10-17. [QIAN L, CHEN Z W, XIAO R Q. Analysis of coordinated degree of China's regional industrialization, urbanization and agricultural modernization and its influencing factors. *Inquiry into Economic Issues*, 2012, (11): 10-17.]
- [51] 尹鹏, 刘继生, 陈才. 东北振兴以来吉林省四化发展的协调性研究. *地理科学*, 2015, 35(9): 1101-1108. [YIN P, LIU J S, CHEN C. The coordination development of four modernizations in Jilin province since the revival of Northeast China. *Scientia Geographica Sinica*, 2015, 35(9): 1101-1108.]
- [52] 廖重斌. 环境与经济协调发展的定量评判及其分类体系: 以珠江三角洲城市群为例. *热带地理*, 1999, 19(2): 171-177. [LIAO C B. Quantitative judgement and classification system for coordinated development of environment and

- economy: A case study of the city group in the Pearl River Delta. *Tropical Geography*, 1999, 19(2): 171-177.]
- [53] 戴永安. 建筑业与区域经济增长的耦合协调机理研究. *经济与管理*, 2012, 26(7): 80-84. [DAI Y A. On coupling coordinative mechanism of construction industry and regional economic development. *Economy and Management*, 2012, 26(7): 80-84.]
- [54] 刘艳军, 刘静, 何翠, 等. 中国区域开发强度与资源环境水平的耦合关系演化. *地理研究*, 2013, 32(3): 507-517. [LIU Y J, LIU J, HE C, et al. Evolution of the coupling relationship between regional development strength and resource environment level in China. *Geographical Research*, 2013, 32(3): 507-517.]
- [55] 王俊霞, 高菲, 祝丹枫. 城乡经济均衡发展 with 基本公共服务均等化: 基于耦合与协调模型的分析. *华东经济管理*, 2015, 29(7): 36-42. [WANG J X, GAO F, ZHU D F. Coordinated development of urban and rural economy and equalization of basic public services: Based on the coupling and coordinating model. *East China Economic Management*, 2015, 29(7): 36-42.]
- [56] 孟召宜, 朱传耿, 渠爱雪. 江苏省经济与文化协调发展的过程、格局研究. *人文地理*, 2007, 22(3): 34-37. [MENG Z Y, ZHU C G, QU A X. A study on the process and structure of coordinated development between economy and culture of Jiangsu province. *Human Geography*, 2007, 22(3): 34-37.]
- [57] 任志远, 徐茜, 杨忍. 基于耦合模型的陕西省农业生态环境与经济协调发展研究. *干旱区资源与环境*, 2011, 25(12): 14-19. [REN Z Y, XU Q, YANG R. On coordination development of agricultural ecological-environment and economy in Shaanxi province based on coupling degree model. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2011, 25(12): 14-19.]
- [58] 孜比布拉·司马义, 周玄德, 热依汗古丽·瓦依提. 南疆铁路沿线地区发展质量监测与预警系统的耦合. *地理研究*, 2012, 31(12): 2240-2249. [ZIBIBULA S, ZHOU X D, REYIHANGLI W. Monitoring and early warning system of development quality along the Southern Xinjiang Railway. *Geographical Research*, 2012, 31(12): 2240-2249.]
- [59] 宋晓伟, 窦立宝, 郝永佩. 兰州市经济与环境协调发展评价与对策研究. *中国农学通报*, 2011, 27(32): 124-128. [SONG X W, DOU L B, HAO Y P. Countermeasures study and assessment on coordinated development of economy and environment in Lanzhou. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27(32): 124-128.]
- [60] 程绍铂, 魏娜, 杨桂山. 南京市土地利用协调发展度分区评价研究. *中国人口·资源与环境*, 2011, 21(s1): 389-392. [CHENG S B, WEI N, YANG G S. Evaluation of land use coordinated development degree of districts and counties in Nanjing city. *China Population, Resources and Environment*, 2011, 21(s1): 389-392.]
- [61] 中国科学院可持续发展研究组. 2000 中国可持续发展战略报告. 北京: 科学出版社, 2000. [Sustainable Development Research Group, Chinese Academy of Sciences. 2000 China Sustainable Development Strategy Report. Beijing: Science Press, 2000.]
- [62] 张引, 杨庆媛, 闵婕. 重庆市新型城镇化质量与生态环境承载力耦合分析. *地理学报*, 2016, 71(5): 817-828. [ZHANG Y, YANG Q Y, MIN J. An analysis of coupling between the bearing capacity of the ecological environment and the quality of new urbanization in Chongqing. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(5): 817-828.]
- [63] 魏璐瑶, 陈晓红. 基于精明发展的城市绩效与生态环境耦合研究: 以哈长城市群为例. *地理科学*, 2017, 37(7): 1032-1039. [WEI L Y, CHEN X H. Coupling research between urban performance and ecological environment based on smart development: A case study of Harbin-Changchun City Group. *Scientia Geographica Sinica*, 2017, 37(7): 1032-1039.]
- [64] 魏伟, 石培基, 魏晓旭, 等. 中国陆地经济与生态环境协调发展的空间演变. *生态学报*, 2018, 38(8): 2636-2648. [WEI W, SHI P J, WEI X X, et al. Evaluation of the coordinated development of economy and eco-environmental systems and spatial evolution in China. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(8): 2636-2648.]
- [65] 韩瑞玲, 佟连军, 佟伟铭, 等. 沈阳经济区经济与环境系统动态耦合协调演化. *应用生态学报*, 2011, 22(10): 2673-2680. [HAN R L, TONG L J, TONG W M, et al. Coordinated evolvement of dynamic coupling between economic and environmental systems in Shenyang Metropolitan Area. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(10): 2673-2680.]
- [66] 万鲁河, 张茜, 陈晓红. 哈大齐工业走廊经济与环境协调发展评价指标体系: 基于脆弱性视角的研究. *地理研究*, 2012, 31(9): 1673-1684. [WAN L H, ZHANG Q, CHEN X H. Research on evaluation index system of the coordination between economic development and environment in Ha-Da-Qi industrial corridor based on the angle of view of vulnerability. *Geographical Research*, 2012, 31(9): 1673-1684.]
- [67] 刘艳军, 刘德刚, 付占辉, 等. 哈大巨型城市带空间开发—经济发展—环境演变的耦合分异机制. *地理科学*, 2018, 38(5): 662-671. [LIU Y J, LIU D G, FU Z H, et al. The differentiation mechanism of coupling degree among space exploitation, economy development and environment evolution in Harbin-Dalian Giant Urban Belt. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(5): 662-671.]

- [68] 生延超, 周玉姣. 适宜性人力资本与区域经济协调发展. 地理研究, 2018, 37(4): 797-813. [SHENG Y C, ZHOU Y J. Appropriate human capital and coordinated development of regional economy. *Geographical Research*, 2018, 37(4): 797-813.]
- [69] 雷勋平, 邱广华. 基于熵权TOPSIS模型的区域资源环境承载力评价实证研究. 环境科学学报, 2016, 36(1): 314-323. [LEI X P, QIU G H. Empirical study about the carrying capacity evaluation of regional resources and environment based on entropy-weight TOPSIS model. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2016, 36(1): 314-323.]
- [70] 张樨樨, 张鹏飞, 徐子轶. 海洋产业集聚与海洋科技人才集聚协同发展研究: 基于耦合模型构建. 山东大学学报: 哲学社会科学版, 2014, (6): 118-128. [ZHANG X X, ZHANG P F, XU Z Y. The coupling evaluation model of China's marine industrial aggregation and marine science and technology talents aggregation. *Journal of Shandong University: Philosophy and Social Sciences*, 2014, (6): 118-128.]
- [71] 王周伟, 柳闫. 中国省域新型城镇化的动态耦合协调发展机制研究. 城市发展研究, 2015, 22(10): 1-13. [WANG Z W, LIU Y. Research on the dynamic coupling and healthy development mechanism of the new urbanization in the provinces of China. *Urban Development Studies*, 2015, 22(10): 1-13.]
- [72] 王玉波. 土地财政与城市用地规模关系地域差异研究. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(4): 76-83. [WANG Y B. Regional disparity of the relationship between land finance and urban land scale. *China Population, Resources and Environment*, 2015, 25(4): 76-83.]

Research on misuses and modification of coupling coordination degree model in China

WANG Shu-jia^{1,2}, KONG Wei^{2,3}, REN Liang², ZHI Dan-dan², DAI Bin-ting⁴

(1. School of Tourism Management, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China; 2. Ecological Construction and Industry Development Research Center, Hebei North University, Zhangjiakou 075000, Hebei, China; 3. School of Economics and Management, Hebei University of Technology, Tianjin 300401, China; 4. College of Science, Hebei North University, Zhangjiakou 075000, Hebei, China)

Abstract: With the deepening understanding of the Scientific Outlook on Development, the coupling coordination degree model has become an effective evaluation and research tool for the regional overall balanced development. However, for this model, there are four types of misuses, including writing errors, coefficients loss, weight misuses and model failures, which have significantly affected the scientific nature of academic research. Therefore, this study firstly clarified the normative formula of the traditional coupling coordination degree model. On the basis of discussing the validity of the traditional model in the field of social science research, this study further proposed a modified model of coupling degree. In addition, the coupling coordination degree model has three reliability issues: the subjectivity of index construction, and the volatility and incomparability of coupling results. Taking the ecological and economic system of the Beijing-Tianjin-Hebei region as an example, we proved that the modified coupling coordination degree model has better validity, and the spatial and temporal changes of the research object will affect the reliability of the coupled coordination model.

Keywords: coupling coordination degree; misuse; model validity; model reliability; model modification