

基于协方差分析模型的山河四省地区经济差异研究

孙翠雪, 牟唯嫣

北京建筑大学理学院, 北京

收稿日期: 2025年9月8日; 录用日期: 2025年9月23日; 发布日期: 2025年10月28日

摘 要

地区经济差异一直是各国广泛关注的问题。本文选取人均GDP测度地区经济发展状况, 地方财政税收收入作为协变量, 进行协方差分析, 对山东、山西、河南、河北四个省份2014~2022年的地区经济发展差异进行了分析。研究发现, 地方财政税收收入对人均GDP有重要的影响, 可以通过调整地方财政税收收入来调整地区经济发展。

关键词

协方差分析, 地区经济差异, 人均GDP, 地方财政税收收入

Study on Regional Economic Differences in Four Provinces of Shanxi, Shandong, Henan and Hebei Based on Covariance Analysis Model

Cuixue Sun, Weiyan Mou

School of Science, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing

Received: September 8, 2025; accepted: September 16, 2025; published: October 28, 2025

Abstract

Regional economic disparities have been a wide variety of concerns. In this paper, GDP per capita is selected to measure regional economic development, and local fiscal tax revenue is used as a co-variate to carry out covariance analysis, which analyses the regional economic development differences among the four provinces of Shandong, Shanxi, Henan and Hebei from 2014 to 2022. It is

found that local fiscal tax revenue has a kind of important influence on GDP per capita, and GDP per capita can be adjusted by adjusting local fiscal tax revenue.

Keywords

Analysis of Covariance, Regional Economic Disparities, GDP Per Capita, Local Tax Revenues

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近年来, 区域经济差异一直是引发学术界、政府和公众广泛关注的核心议题。实际上, 区域经济差异是一种普遍存在的经济现象, 我们需要充分认识其影响。一方面, 区域经济差异有助于各地区充分发挥比较优势, 通过良性竞争最终实现差距缩小和共同发展[1]。另一方面, 这种差异应该保持在适度范围内, 过大的差异可能导致资金、人才、技术等资源不断向发达地区聚集。这种情况下, 尽管经济迅速发展, 但也会带来发达地区城市膨胀、基础设施负担过重、环境污染加剧、社会治安问题恶化等负面影响[2]。对于欠发达地区而言, 可能会面临资金短缺、技术和管理人才流失等问题, 从而导致经济增长缓慢、甚至停滞, 最终造成贫富差距悬殊, 形成不平衡的局面。

山东、山西、河南和河北四省作为中国人口、经济大省, 在国家发展战略中具有重要地位。然而, 这些省份之间存在显著的经济差异, 这不仅涉及各省内部的经济社会稳定, 也直接影响全国经济发展的均衡性和协调性。本文选取了 2014~2022 年这四个省份的人均 GDP 以及地方财政收入, 将人均 GDP 作为衡量地区经济差异的指标, 将地方财政税收收入作为协变量, 通过 SPSS 软件建立协方差分析模型, 分析山河四省的地区经济差异。

2. 文献综述

区域经济差异与发展不平衡是中国经济发展过程中的重要现象, 财政分权体制下的地方政府行为与政策选择对区域经济收敛具有深远影响。

区域经济收敛理论主要探讨不同地区经济发展水平的差异是否随着时间推移而缩小。根据新古典经济增长理论, 由于资本边际收益递减, 经济落后地区相比发达地区应有更快的增长速度, 从而实现绝对收敛。而条件收敛理论则认为, 各地区会收敛于自身的稳态水平, 收敛速度取决于产业结构、人力资本等条件[3]。实证研究表明, 中国区域经济收敛表现出明显的“俱乐部收敛”特征, 即初始发展水平相近的地区内部出现收敛, 但不同群体间的差距并未缩小。王宝顺等(2021)基于 1991~2018 年省级面板数据的研究发现, 中国经济收敛发生在区域内部而非区域之间[4]。

分权通过影响地方政府财政行为, 进而对区域经济收敛产生作用。1994 年分税制改革后, 中国形成了独特的财政分权体制, 地方政府在经济增长中扮演重要角色。宗桂生(2008)基于 1994~2005 年省级数据的研究表明, 财政分权背景下, 中国各省市人均财政支出及其构成部分存在 β -收敛趋势, 但东、中、西三大地区俱乐部收敛情况各异。财政支出结构对经济增长的影响也十分显著。王宝顺和徐绮爽(2021)的研究表明, 财政资本性支出偏向仅在短期内有助于经济增长, 而福利性支出则能显著促进经济增长并有助于短期和长期的经济收敛。

“山河四省”(山东、山西、河南、河北)作为中国重要的经济区域, 其内部差异研究为区域经济收敛

理论提供了丰富实证证据。2024 年数据显示,“山河四省”中五城 GDP 破万亿(青岛、郑州、济南、烟台和唐山)[5],但内部差距显著。山东省经济实力突出,省内城市经济规模分布相对集中;而山西省经济规模最大的太原市,在山东仅能排到第六名左右。“山河四省”经济增长动力存在明显差异。

3. 协方差分析模型理论

协方差分析模型是方差分析模型和线性回归模型的一种“混合”。其基本思想是将不能完全控制的变量作为协变量引入到方差分析模型中,从而降低模型误差项的平方,得到更加精准的分析结果[6]。在试验中,响应变量是 Y , 分析的是不同试验因子的不同水平对 Y 的影响。设在实验过程中存在另一个或一些变量不能控制,但能够被观测到,这种变量被称为协变量。模型的矩阵形式如下:

$$y = X\beta + Z\gamma + e, \quad E(e) = 0, \quad \text{Cov}(e) = \sigma^2 I_n$$

此处 X 是 $n \times p$ 矩阵, $X\beta$ 是模型的方差分析部分, Z 是 $n \times q$ 矩阵, $Z\gamma$ 是回归分析的部分。

由于本文分析的为四个省份的经济差异,仅考虑地区这一因素,并且仅引入了一个协变量,因此我们只对引入一个协变量的单项分类模型进行说明。

$$y_{ij} = \mu + \alpha_i + \gamma z_{ij} + e_{ij}, \quad i = 1, \dots, a; \quad j = 1, \dots, b$$

其中 $e_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$, 且 e_{ij} 之间相互独立, $\sum_i \alpha_i = 0$, 相应的纯方差分析模型为

$$y_{ij} = \mu + \alpha_i + e_{ij}, \quad i = 1, \dots, a; \quad j = 1, \dots, n_i$$

考虑假设

$$H_0: \gamma = 0$$

$$H_1: \alpha_1 = \dots = \alpha_a$$

$$\text{记 } E_{yy} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \bar{y})^2$$

$$E_{yz} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \bar{y})(z_{ij} - \bar{z})$$

$$E_{zz} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^{n_i} (z_{ij} - \bar{z})^2$$

$$A_{yy} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^{n_i} (\bar{y}_i - \bar{y})^2$$

$$A_{yz} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^{n_i} (\bar{y}_i - \bar{y})(\bar{z}_i - \bar{z})$$

$$A_{zz} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^{n_i} (\bar{z}_i - \bar{z})^2$$

所以检验原假设的 F 统计量为

$$F_0 = \frac{\frac{E_{yz}^2}{E_{zz}}}{\left(E_{yy} - \frac{E_{yz}^2}{E_{zz}} \right) / [(a-1)(n-1)-1]}$$

检验备择假设的 F 统计量为

$$F_1 = \frac{\left[(E_{yy} + A_{yy}) - \frac{(E_{yz} + A_{yz})^2}{E_{zz} + A_{zz}} - \left(E_{zz} - \frac{E_{yz}^2}{E_{zz}} \right) \right] / (a-1)}{\left(E_{yy} - \frac{E_{yz}^2}{E_{zz}} \right) / [(a-1)(n-1)-1]}$$

4. 实证分析

4.1. 数据说明及假设条件检验

人均 GDP 是衡量地区经济发展的一个重要指标。本文在国家统计局网站查取了 2014~2022 年山东、山西、河北、河南四个省份的人均 GDP 和地方财政税收收入，见表 1。

Table 1. Table of per capita GDP and local fiscal revenue of four provinces

表 1. 四省份人均 GDP 及地方财政收入表

年份	山东省		山西省		河北省		河南省	
	人均 GDP (元/人)	地方财政税 收收入	人均 GDP (元/人)	地方财政税 收收入	人均 GDP (元/人)	地方财政税 收收入	人均 GDP (元/人)	地方财政税 收收入
2022	86143	4795.52	73506	2696.55	56481	2242.89	58942	2590.47
2021	81510	5475.99	65625	2094.72	54181	2735.73	58587	2842.56
2020	71825	4757.62	51051	1625.99	48302	2527.28	54691	2764.73
2019	69901	4849.29	48469	1783.66	47036	2630.73	54356	2841.34
2018	66284	4897.92	45517	1645.67	43808	2555.82	50714	2656.65
2017	62993	4419.4	41242	1397.43	41451	2199.35	45723	2329.31
2016	59239	4212.59	33972	1036.67	38688	1996.12	41326	2158.44
2015	56205	4203.12	33593	1056.6	35994	1934.29	38338	2101.17

用 SPSS 统计软件对 4 个省份的人均 GDP 进行方差分析，首先需要对各组数据的正态性和方差齐性进行检验。本文采用 Q-Q 图对选取数据进行正态性检验，当数据符合正态分布时，Q-Q 图中各点应近似呈一条直线。由下图 1~4 我们可以看出，山东、山西、河南、河北四个省份的人均 GDP 中的趋势线较为紧密地分布着样本数据，说明我们选取的样本数据符合正态性分布。对地方财政税收收入的数据检验，也符合正态性假设。

下面对数据进行方差齐性检验，检验结果如表 2、表 3 所示，各组方差相等，符合方差齐性，此时人均 GDP 均值的 P 值(0.394) > 0.05，地方财政税收收入均值的 P 值(0.619)无法拒绝原假设，即数据符合方差齐性。

关于数据独立性，文中山东、山西、河南、河北四个省份 9 年的人均 GDP 以及地方财政税收收入数据来自 2014 年~2022 年《中国统计年鉴》，满足随机独立性的要求。

进行协方差分析时因变量和协变量之间应该存在线性关系，且线性关系一致，下面对协变量与因变量之间的关系进行检验，我们绘制了各省份地方财政税收收入与人均 GDP 的散点图，从图 5 可以清晰地看出，各个省份地方财政税收收入与人均 GDP 存在正相关的线性关系。为了检验处理因素和协变量之间是否存在交互作用，本文绘制了省份和地方财政税收收入交互作用图 6，发现四条折线两两平行，即交互

作用不显著。

综上所述，本文选取数据满足进行单因素方差分析及协方差分析的基本假定。

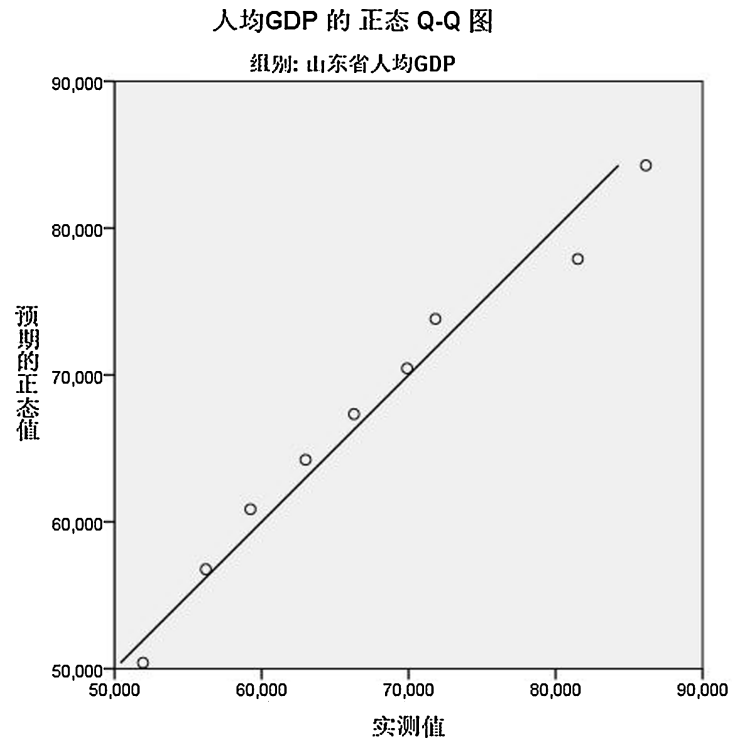


Figure 1. Shandong Province's per capita GDP normal Q-Q Plot

图 1. 山东省的人均 GDP 正态 Q-Q 图

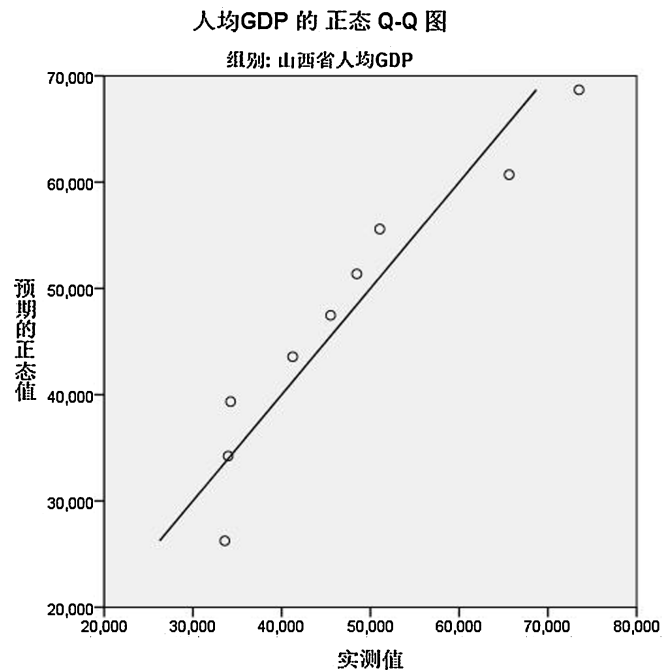


Figure 2. Shanxi Province's per capita GDP normal Q-Q Plot

图 2. 山西两省的人均 GDP 正态 Q-Q 图

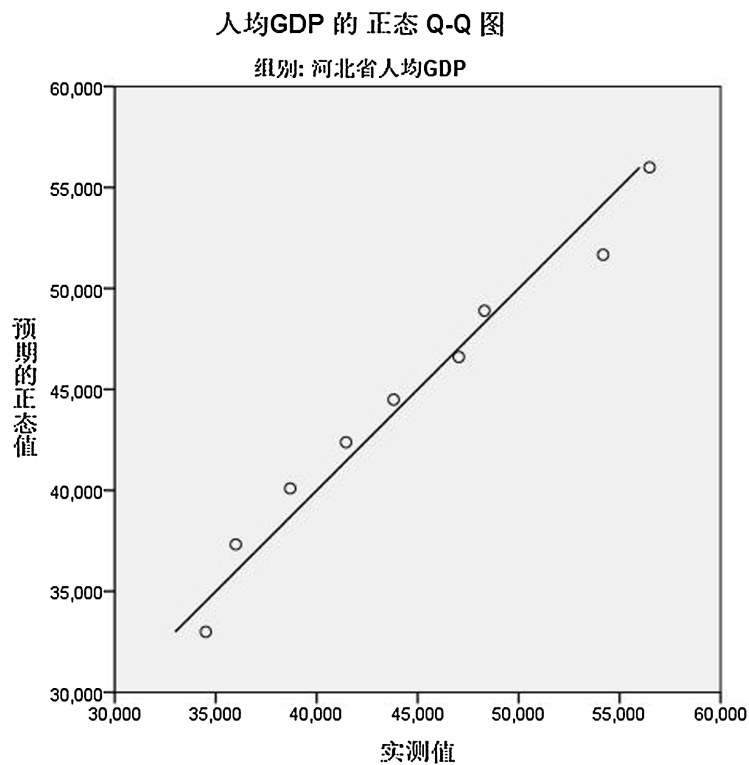


Figure 3. Henan Province's per capita GDP normal Q-Q Plot

图 3. 河南两省的人均 GDP 正态 Q-Q 图

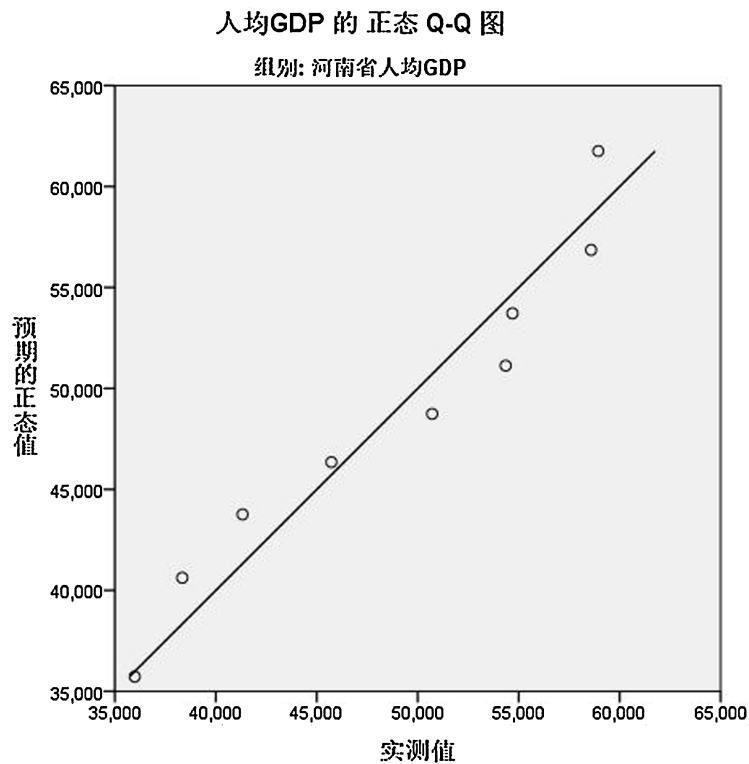


Figure 4. Hebei Province's per capita GDP normal Q-Q Plot

图 4. 河北两省的人均 GDP 正态 Q-Q 图

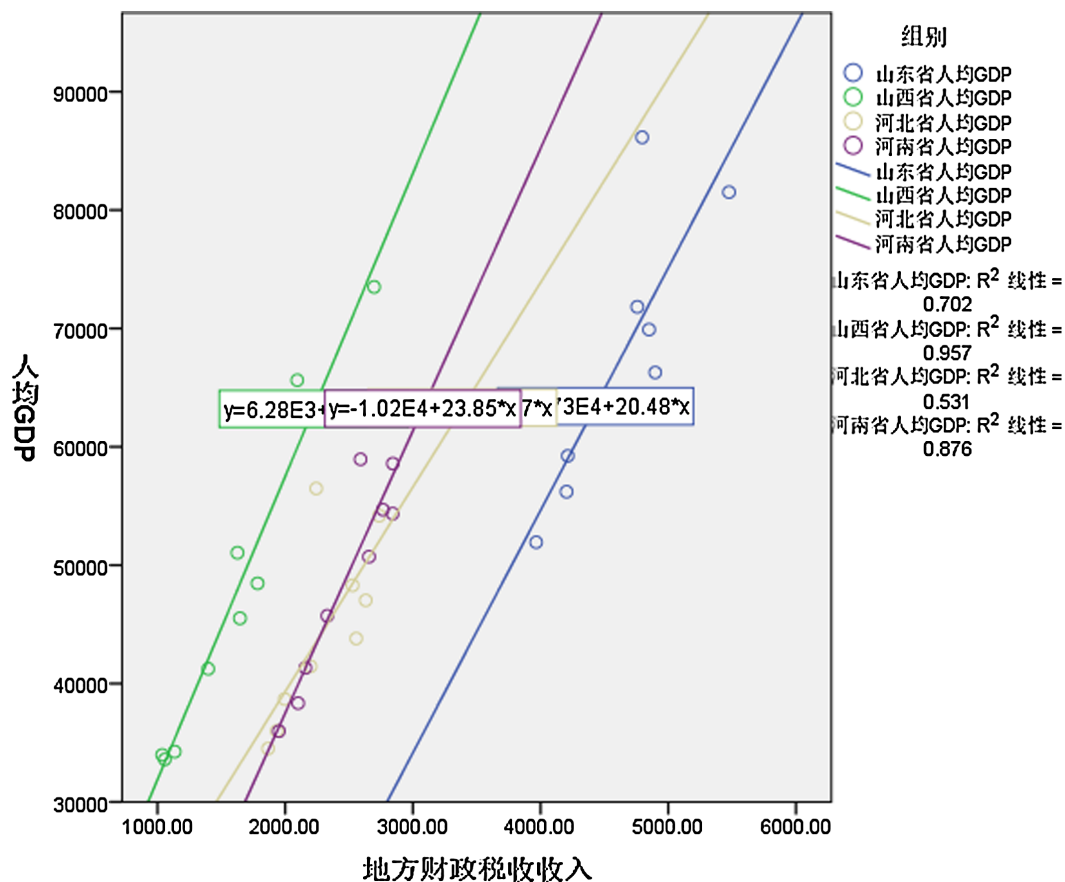
Table 2. Homogeneity of variance test results**表 2.** 方差齐性检验结果

		莱文统计	自由度 1	自由度 2	显著性
人均 GDP	基于平均值	1.026	3	32	0.394
	基于中位数	0.846	3	32	0.479
	基于中位数并具有调整后自由度	0.846	3	23.293	0.483
	基于剪除后平均值	0.976	3	32	0.416

Table 3. Levine's test for homogeneity of variance**表 3.** 误差方差的莱文等同性检验

因变量：人均 GDP			
F	自由度 1	自由度 2	显著性
0.453	3	32	0.717

检验“各个组中的因变量误差方差相等”这一原假设。a. 设计：截距 + 组别 + 地方财政税收收入。

**Figure 5.** Trend comparison chart for four provinces**图 5.** 四个省份的趋势对比图

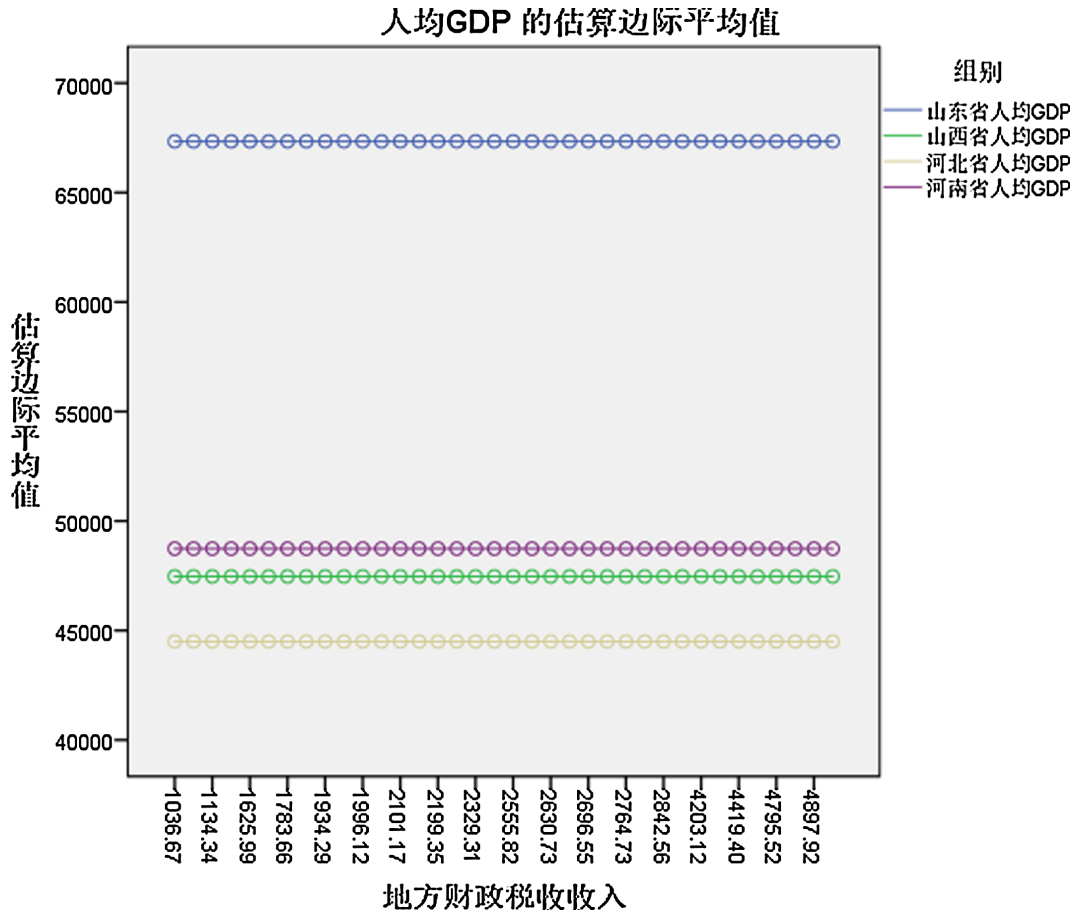


Figure 6. Interaction diagram of provincial and local fiscal revenue
图 6. 省份和地方财政税收收入交互作用图

4.2. 单因素方差分析

下面，我们首先进行单因素方差分析[7]。

Table 4. Results of the analysis of variance
表 4. 方差分析结果

	平方和	自由度	均方	F	显著性
组间	2904445207.000	3	968148402.300	8.323	0.000
组内	3722358296.000	32	116323696.700		
总计	6626803503.000	35			

由表 4 知 P 值 < 0.05 ，说明不同省份样本对于人均 GDP 差异显著，下面进行多重比较，通过 LSD 方法分析具体存在差异的省份，结果如表 5 所示。

根据表 5，我们得出山东省和山西省、河北省、河南省的人均 GDP 均存在显著性差异，山西省和河北省($P = 0.563 > 0.05$)、河南省($P = 0.804 > 0.05$)之间，河南省和河北省($P = 0.410 > 0.05$)之间人均 GDP 差异并不显著。有着较为明显差异的组别平均值得分对比结果为“山东省 $>$ 山西省”，“山东省 $>$ 河北省”，“山东省 $>$ 河南省”。

Table 5. Multiple comparison results table
表 5. 多重比较结果表

	(I) 组别	(J) 组别	平均值差值 (I~J)	标准误差	显著性	95%置信区间	
						下限	上限
LSD	山东省人均 GDP	山西省人均 GDP	19867.778*	5084.261	0.000	9511.48	30224.08
		河北省人均 GDP	22842.778*	5084.261	0.000	12486.48	33199.08
		河南省人均 GDP	18597.111*	5084.261	0.001	8240.81	28953.41
	山西省人均 GDP	山东省人均 GDP	-19867.778*	5084.261	0.000	-30224.08	-9511.48
		河北省人均 GDP	2975.000	5084.261	0.563	-7381.30	13331.30
		河南省人均 GDP	-1270.667	5084.261	0.804	-11626.97	9085.63
	河北省人均 GDP	山东省人均 GDP	-22842.778*	5084.261	0.000	-33199.08	-12486.48
		山西省人均 GDP	-2975.000	5084.261	0.563	-13331.30	7381.30
		河南省人均 GDP	-4245.667	5084.261	0.410	-14601.97	6110.63
	河南省人均 GDP	山东省人均 GDP	-18597.111*	5084.261	0.001	-28953.41	-8240.81
		山西省人均 GDP	1270.667	5084.261	0.804	-9085.63	11626.97
		河北省人均 GDP	4245.667	5084.261	0.410	-6110.63	14601.97

*平均值差值的显著性水平为 0.05。

4.3. 协方差分析

前文假设条件检验已经验证了本文数据适合协方差分析[8]。进行成对分析，结果如表 6 所示，

Table 6. Pairwise comparison results table
表 6. 成对比较结果表

(I)组别	(J)组别	平均值差值 (I~J)	标准误差	显著性 ^b	差值的 95%置信区间 ^b	
					下限	上限
山东省人均 GDP	山西省人均 GDP	-48604.871*	3995.960	0.000	-56549.909	-40659.832
	河北省人均 GDP	-29925.731*	3220.928	0.000	-36329.799	-23521.663
	河南省人均 GDP	-30261.278*	3018.153	0.000	-36262.174	-24260.381
山西省人均 GDP	山东省人均 GDP	48604.871*	3995.960	0.000	40659.832	56549.909
	河北省人均 GDP	18679.139*	1535.997	0.000	15625.166	21733.112
	河南省人均 GDP	18343.593*	1603.997	0.000	15154.418	21532.768
河北省人均 GDP	山东省人均 GDP	29925.731*	3220.928	0.000	23521.663	36329.799
	山西省人均 GDP	-18679.139*	1535.997	0.000	-21733.112	-15625.166
	河南省人均 GDP	-335.547	1103.181	0.762	-2528.966	1857.873
河南省人均 GDP	山东省人均 GDP	30261.278*	3018.153	0.000	24260.381	36262.174
	山西省人均 GDP	-18343.593*	1603.997	0.000	-21532.768	-15154.418
	河北省人均 GDP	335.547	1103.181	0.762	-1857.873	2528.966

基于估算边际平均值。^a平均值差值的显著性水平为 0.05。^b多重比较调节：最低显著差异法(相当于不进行调整)。

由该结果我们可以看出仅有河南省、河北省两个省份之间的人均 GDP 不存在显著差异($P=0.879>0.05$), 而其他省份之间人均 GDP 存在显著差异, 这与单因素方差分析下得到的结果不同, 但显然协方差分析的结果更符合现实情况。

根据表 7 主体间效应的检验结果, 地方财政税收收入的主效应显著($*P<0.05$), 表明其对人均 GDP 具有显著影响。此外, 该变量的偏 Eta 方高达 81%, 说明地方财政税收收入是解释人均 GDP 差异的主要因素。相比之下, 省份变量虽然也达到显著水平, 但其偏 Eta 方仅为 67.9%, 意味着四省之间的人均 GDP 差异在很大程度上可由地方财政税收收入的差异所解释。因此, 基于地方财政税收收入对“山河四省”人均 GDP 差异进行分析具有较好的统计依据和可靠性。

Table 7. Inter-subject effect test table
表 7. 主体间效应检验表

因变量: 人均 GDP						
源	III 类平方和	自由度	均方	F	显著性	偏 Eta 平方
修正模型	10182347250.000 ^a	4	2545586812.000	140.444	0.000	0.869
截距	180663498.400	1	180663498.400	9.967	0.002	0.105
组别	3264889241.000	3	1088296414.000	60.043	0.000	0.679
地方财政税收收入	6563831037.000	1	6563831037.000	362.136	0.000	0.810
误差	1540652575.000	85	18125324.410			
总计	228446445400.000	90				
修正后总计	11722999820.000	89				

a. R 方 = 0.869 (调整后 R 方 = 0.862)

5. 结论与建议

本文通过对山东、山西、河南、河北四省经济差异的实证分析发现, 在测度地区经济发展水平的人均 GDP 指标上, 四省之间存在显著差异。研究首先建立了单因素方差分析模型, 证实了该差异的统计显著性。随后, 通过引入地方财政税收收入作为协变量进行协方差分析, 结果表明, 新模型的解释力显著优于单因素方差分析, 拟合优度更高。这意味着, 地方财政税收收入与人均 GDP 之间存在高度相关性, 是解释区域经济差异的一个重要因素。基于此, 政策制定应着眼于优化财政支出结构, 提高资金的使用效率, 从而更有效地促进经济增长; 同时, 应积极推动产业升级, 培育稳健的内生税源, 以实现财政收入与经济发展之间的良性循环。

参考文献

[1] 姜晴琼, 田应福. 贵州省地区经济差异的协方差分析[J]. 数理统计与管理, 2012, 31(4): 613-620.
[2] 马娟, 杨益民. 江苏省区域经济差异的协方差分析[J]. 商场现代化, 2007(15): 198-199.
[3] 宗桂生. 财政分权、地区竞争和财政支出的收敛分析[D]: [硕士学位论文]. 厦门: 厦门大学, 2008.
[4] 王宝顺, 徐绮爽. 财政支出、区域经济差距与动态增长收敛[J]. 中南财经政法大学学报, 2021(3): 48-57, 90.
[5] 山河四省城市经济规模: 五城破万亿, 十一城两千亿[EB/OL]. <https://news.qq.com/rain/a/20250710A02DAV00>, 2025-07-11.
[6] 王松桂, 史建红, 尹素菊, 吴密霞, 编著. 线性模型引论[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
[7] 阮征. SPSS 软件操作中的单因素方差分析[J]. 中国校外教育, 2020(24): 25, 101.
[8] 曹玉茹, 刘亮亮. SPSS 中的协方差分析应用研究[J]. 福建电脑, 2020, 36(12): 47-51.