


## 推荐信

同意陈威参加 UCRN 2016 年年会：新常态下的中国城市化会议，如果能录取，承诺负责学生的往返交通费。同时该生的学术热情很高，具有钻研的精神，善于独立思考，对问题有自己独到的见解。推荐参加该会议。

推荐人：   
2016 年 1 月 2 日

**作者：陈 威**（1990—），男，安徽省马鞍山，博士，研究方向：数据挖掘；复杂网络  
电子科技大学经济与管理学院，成都市高新西区西源大道 2006 号，611731；  
[cwuestc@126.com](mailto:cwuestc@126.com), 电话：18328002571

**推荐人：马 捷**（1978—），女（回），贵州省兴仁县，副教授，博士，研究方向：区域合作；  
网络治理  
电子科技大学经济与管理学院，成都市高新西区西源大道 2006 号，611731；  
[majie2436@126.com](mailto:majie2436@126.com), 电话：13881949799。

基金项目：国家自然科学基金（71303032），四川省软科学项目（2015ZR0222）

# 区域环境合作网络结构的实证研究

## ——基于府际科技协议数据

陈威<sup>1</sup>

(电子科技大学 经济与管理学院, 四川 成都 611731)

**摘要:** 借助府际环境协议数据, 本文研究了京津冀、长三角以及珠三角经济区合作区的环境合作网络的微观特征。实证研究结果表明: (1) 在环境府际合作网络中, 政府会基于“地理”路径考虑合作的对象。(2) 在网络结构中, 整体区域的“脆弱性”以及局部区域的“坚固性”是我国区域合作的特征。(3) 相对中心度、接近中心度以及结构洞限制度可以解释掉合作区环境府际协议关联变异的 68.70%。

**关键词:** 环境府际合作网络, “地理”路径, 相对中心度, 接近中心度, 结构洞限制度

### 一、引言

我国经济在过去几十年里取得了长足的发展, 2010 年我国 GDP 总量超过日本仅次于美国的世界第二大经济体, 然而经济的快速发展不可避免的会加大对环境的消耗、加重环境保护的压力, 例如草原退化、垃圾围城、大气污染、水源污染等环境问题日益突出, 《国家环境保护“十二五”规划》也明确指出: “我国环境状况总体恶化趋势尚未得到根本遏制, 环境矛盾凸显, 压力继续加大。一些重点流域、海域水污染严重, 部分区域和城市大气灰霾现象突出。”同时, 环境问题的外部性<sup>[1]</sup>决定了单靠一个部门、一个地方政府是无法解决环境问题, 地区政府之间的区域合作成为解决区域间共同问题的政策手段<sup>[2]</sup>。另一方面, 根据石亚军 (2010) <sup>[3]</sup>研究, 地方政府意识到发展中的彼此依赖与联系, 导致了更多的区域合作, 两个或多个地方政府通过协作而不是竞争来寻求区域共赢的理想结果。与此同时, 京津冀、长三角以及珠三角区域合作正在兴起, 区域内的环境治理合作为研究提供了新的视角。

自从Grossman和Krueger在1991年提出环境库兹涅茨曲线 (Environment Kuznets Curve简称EKC) <sup>[4]</sup>, 在经济发展初期, 经济发展需要更能够大规模的环境资源, 因而对环境存在负的外部性, 随着经济在发展技术进步对环境存在正的外部性, 因而经济发展和环境质量之间存在倒U的关系。我国学者就我国环境情况进行了大量的实证研究, 大体上得出我国存在库茨涅茨曲线<sup>[5][6][7]</sup>, 也论证出了库茨涅茨曲线的拐点。例如, 何淼 (2008) <sup>[8]</sup>采用非参数方法得出 我国工业废水的拐点的为人均1.91万。王敏, 黄滢 (2015) <sup>[9]</sup>利用112座城市的2003—2010年大气污染数据得出经济增长和二氧化硫的拐点为人均1.76万元。这些已有的文献间接论证我国大部分城市经济发展已经到达倒U型的右半部份, 功能互补的区域合作成为解决环境问题的有效手段之一。因此, 本文基于府际关系理论从意愿角度进行环境网络合作刻画。狭义的府际关系是指不同级别政府之间的垂直关系, 广义的府际关系不仅包括上下级地方政府之间的纵向关系, 还包括横向关系、斜向关系以及不同机构间的网络关系<sup>[10]</sup>。W. Anderson (1960) <sup>[11]</sup>提出, 府际关系是指各级政府机构一系列重要活动的集合以及各级政府之间的相互作用。杨爱平 (2011) <sup>[12]</sup>划分了三类府际契约, 分别为纵向型府际契约、横向型府际契约、斜向性府际契约。因此, 本文研究的府际环境合作网络是指各级政府之间以互动、协议的形式就环境进行合作而形成的网络。环境网络结构的研究, 有利于把握地方政府路径选择的行为逻辑, 尤其刻画微观内部网络结构, 从而有助于我们思考和探索区域环境合作的方向。

接下来本文剩余部分安排如下, 第二部分是理论基础, 阐述网络内部结构指标, 第三部

---

1 陈威, 电子科技大学经济与管理学院 博士研究生, 研究方向为数据挖掘与复杂网络

分是京津冀、长三角、珠三角环境府际合作网络分析。第三部分采用 QAP 相关分析以及 QAP 回归分析详细了考察影响环境府际协议签订的微观结构指标。第五部分给予结论

## 二、理论基础

本文基于网络节点微观内部结构进行的研究,用网络节点的微观特征来刻画各个节点的地位、作用、声望等。目前,网络节点的内部结构如何影响网络成员的合作意愿的研究相对较少,因此,本文在这块进行了较为详细的阐述。Granovetter (1973) [13]用交往的频率划分出强联系和弱联系后,随后,大量的学者就这一主题进行了深入的研究,提出了一系列的变量, Freeman (1979) [14]提出了相对中心度、接近中心度,相对中心度测量的是各节点在网络中的地位。接近中心度测量网络节点不受其他节点控制程度。Burt (1992) [16]提出了结构洞的思想,以此表示非冗余的联系程度。在借鉴已有的研究的成果的基础之上,本文将网络结构变量设定如下:中心都、接近中心度以及结构洞。

### (1) 相对中心度

当图的规模大小不一样的时候,不同点的局部中心度是不可以对比,为此Freeman(1979)提出了相对中心度的指标,相对中心度是指某网络节点直接连接的数目与最大可能存在的连接数之比。用 $Ce_i$ 表示 $i$ 的相对中心度, $N$ 表示最多可能连接数目, $n$ 表示与 $i$ 点实际存在连接数目。点 $i$ 的相对中心度为:

$$Ce_i = \frac{n}{(N-1)} \quad (1)$$

### (2) 接近中心度

中间中心度考量了图中节点能否控制他人,但是没有考虑如何避免受到控制。如果网络中的一个行动者在交易的过程中较少依赖于他人,此人就具有较高的中心度。一个非核心位置的成员“必须通过他者才能传递信息”,这样,核心位置的成员在传递信息上就较少依赖于他者。因此,应该考虑该行动者与他人的接近性程度。一个点越是与其他点接近,该点就越不依赖于他者,这就是“接近中心性”思想。接近中心度是测量一个行动者独立于其他行动者控制的指标,一个点的接近中心度是该点与图中所有其它点的捷径距离之和,即 $C_{APi}^{-1} = \sum_{j=1}^n d_{ij}$ ,其中 $d_{ij}$ 是点 $i$ 和 $j$ 之间的捷径距离(即捷径中包含的线数)。接近中心度越大,说明该点越不是网络的核心点,因此用“-1”次幂表示其意义。本文采用的是相对接近中心度,与中心店距离最远的行动者也在信息、权力、声望以及影响方面最弱,也即是说某点的相对接近中心度的值越大说明其越处在边缘位置。点 $i$ 的相对接近中间中心度为:

$$C_{RPi}^{-1} = \frac{C_{APi}^{-1}}{n-1} \quad (2)$$

### (3) 结构洞

Burt 用结构洞来表示非冗余的联系 $i$ ,是测量以自我为中心网络的变量,他认为“非冗余的行动者被结构洞所连接,一个结构洞是两个非冗余之间的行动者的联系”(Burt, 1992) [16]。Burt 指出研究结构洞主要考虑有效规模、效率、限制度和等级度四个方面,其中限制度的可靠性更好,因此本文选取限制度作为自变量。一个行动者受到的“限制度”是指该行动者在自己的网络中拥有的运用结构洞的能力。Burt 的观点是“你自己的机会受到的限制取决于两点,一是你曾经投入了大量网络时间和精力的另外一个接触者 $q$ ,二是 $q$ 在多大程度上向接触者 $j$ 的关系投入大量的精力”。由此,行动者 $i$ 受到 $j$ 的限制度指标为:

$$C_{ij} = (P_{ij} + \sum_q P_{iq} m_{qj})^2 \quad (3)$$

这里， $P_{iq}$ 是在行动者  $i$  的全部关系中，投入  $q$  的关系占总关系的比例。 $m_{qj}$ 是  $j$  到  $q$  的关系的边际强度，它等于  $j$  到  $q$  的关系取值除以  $j$  到其他点关系中的最大值。

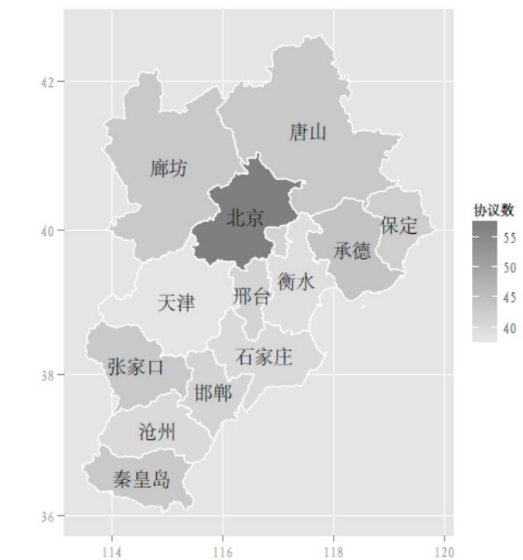
### 三、数据来源与网络刻画

京津冀、长三角、珠三角合作区是我国区域合作典范，地方政府越发认识到区域间的合作是解决区域共同问题的手段之一<sup>[16]</sup>，尤其环境问题具有很大的外部性，不是单个地方政府就可以完全解决就更需要区域间的合作。本文收集了 2010-2014 年三个合作区 38 座城市签订的环境府际协议作为原始数据，挖掘出两两合作关系并且编码共计 193 项（如表 1），数据来源各城市的日报以及人民日报整理所得。

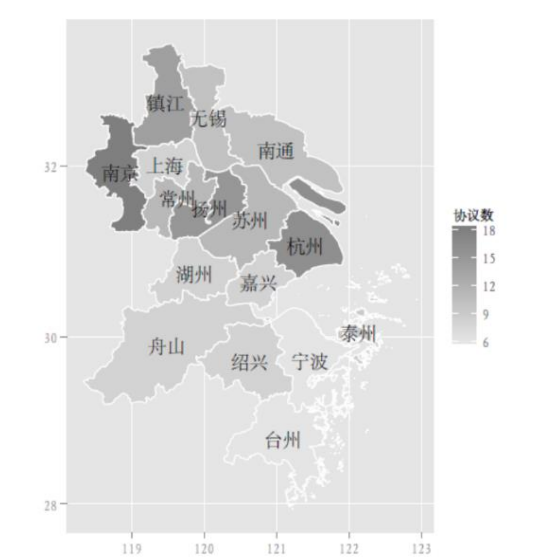
表（1）2010-2014 年三大合作区环境府际协议数

	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	SUM
京津冀	12	5	2	18	33	70
珠三角	9	8	9	11	15	52
长三角	19	10	8	15	19	71
SUM	40	23	19	44	67	193

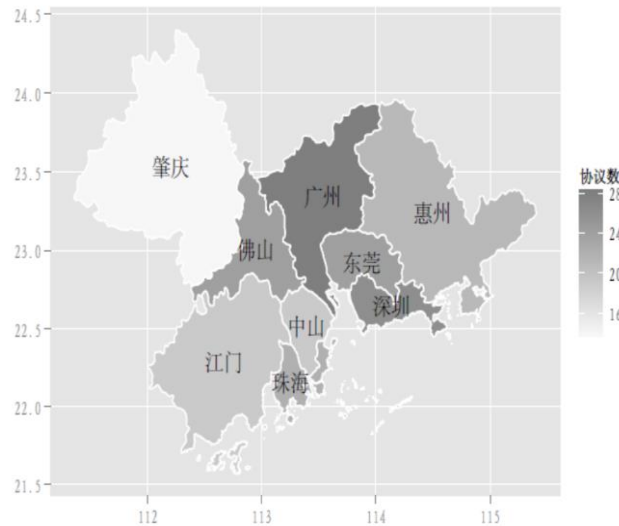
京津冀、长三角以及珠三角合作区域近五年的合作情况（见图 1、2、3）。颜色越深代表该城市签订的府际协议越多，越受到其他节点城市的欢迎，其他节点城市也更愿意和这样的核心城市合作，以便利用核心城市的资源，节约自己的成本。在下图中可以看出，北京、南京、杭州、扬州以及广州等五座城市参与的协议相对该区域来说是较多的。这些城市大都数处在地理的中心位置，说明地理距离是地方政府合作时考虑的一个因素，这点和马捷(2014)<sup>[7]</sup>提出“地理”路径是一致的。“地理”路径就是地方政府考虑到环境治理时的空间外部效应，更倾向于和自己临近的城市展开合作，这进一步拓展环境治理的空间，将实现外部性的内部化，提升环境治理的规模效应。



图（1）2010-2014 年京津冀合作区环境府际协议



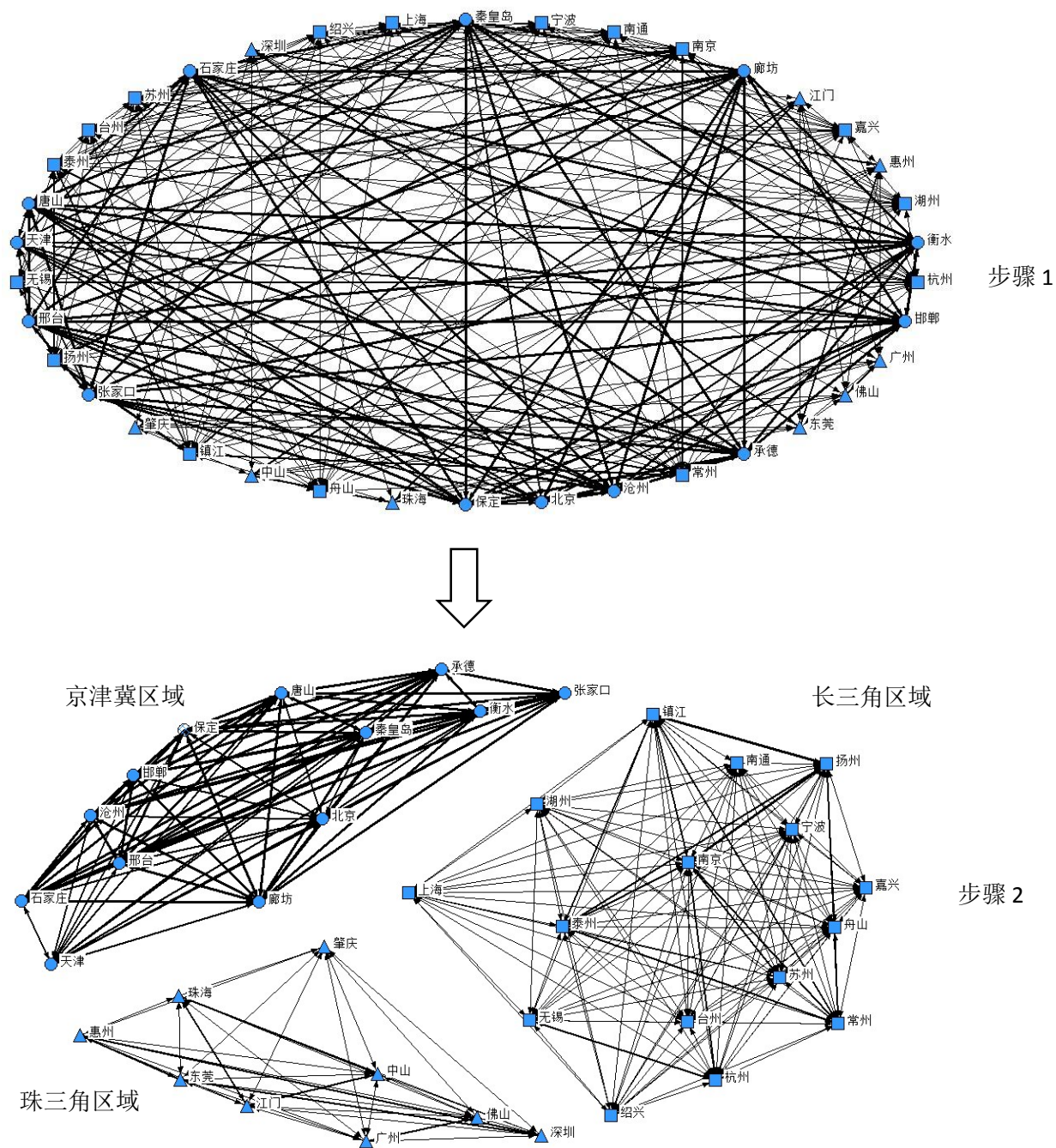
图（2）2010-2014 年长三角合作区环境府际协议



图（3）2010-2014 年珠三角合作区环境府际协议

若将各个城市看作点，共同参与一项协议就视为一条线，线条越粗代表两个节点城市共同参与的协议就越多（见图 4），反之亦然。其中，京津冀合作区域的城市用圆圈，长三角合作区域的城市用方框表示，珠三角合作区域的城市用三角形表示。具体分析如下：在步骤 1 中，三大区域的整体连接不算特别紧密，为了测量网络的紧密程度，本文引入密度指标，密度是衡量网络疏密的重要指标，密度为实际存在的连线和理论上存在最多可能连线的比值，网络的密度越大，网络节点间的合作行为就越多，对环境治理的投入也就越多，事实上，该整体区域的密度仅为 0.332。而在步骤 2 中，三个子区域的网络密度均为 1，三个子区域构成了密集型的合作网络，这种密集型的网络结构导致我国区域合作的网络存在很强的锁定效应，表现出子区域网络对于区域内不想合作的节点具有很强的抗毁能力，减少了城市节点的不合作的动机，另一方面这种形式组建的合作网络大大加强子区域内的合作关系强度。京津冀环境合作网络的连线比长三角、珠三角环境合作网络的连线都要粗，表明京津冀区域就环境达成协议比其他两个区域都要多，合作频率更高。实际上，京津冀区域平均每两个城市节点签订的协议高达 36.96 项，远远高于珠三角区域的 15.09 项，长三角的 16.59 项。在过去年里面的，京津冀合作区对于环境问题的重视可见一斑，在区域内不仅寻求合作的广度，每个城市都和其他城市都有签订合作的协议。同时也在寻求合作的深度，每两个城市节点的合作频率很高。因此，就网络而言，表现为整体区域的“脆弱性”以及局部区域的“坚固性”的特征；京津冀合作区的“高频”合作的表现。





图（4）三大区域的环境府际合作网络分析

## 四、实证分析

### （一）变量的选取与分析方法

在分析三个区域内环境府际协议的微观内部结构特征后，接下来本文要探讨的是，这些微观结构特征变量是如何影响环境府际协议关联矩阵 $H$ ，环境府际协议关联矩阵是将图（1）转化成矩阵的形式。同时，将者38座城市的相对中心度两两作差后取绝对值组成的矩阵为相对中心度差异矩阵 $Z_c$ ，采用相同的办法，分别对接近中心度、结构洞限制度处理，分别得到矩阵接近中心度差异矩阵 $J_c$ 、结构洞限制度差异矩阵 $G_c$ 。据此，本文建立的模型

如下:

$$H = f (Zc, Jc, Gc) \tag{4}$$

这些微观结构特征变量都是关系数据，而且这些自变量存在高度相关的可能性，传统的统计方法是不能检验这些关系数据，另一方面传统的统计方法对于存在高度相关的进行参数估计是无效的。为此对于关系数据的研究需要特定的方法，QAP（quadratic assignment procedure）是一种非参数检验的方法，同时，QAP不要求自变量之间相互独立，因而比参数估计方法更加稳健<sup>[17]</sup>。

（二）相关性分析

QAP分析法在社会网络中得到了广泛的应用，它是以重新抽样为基础，然后计算两个矩阵之间的相关系数，最后对相关系数进行非参数检验（Everett，2002）<sup>[18]</sup>。其原理如下：首先，将两个关系矩阵转化为长向量，并求出两个长向量的相关系数。其次，对其中的一个矩阵的行和列同时进行随机置换，然后按照上述操作，计算出两个的相关系数。记录计算结果，重复这种计算到一定的次数，整理统计出一个相关系数的分布。最后，比较在第一步中得出的实际观察到系数与随机重排计算出的相关系数的分布。看实际观察系数是否在拒绝域内，进而对相关性分析做出判断。

下面采用QAP相关分析法来考察环境府际协议关联矩阵H与各微观特征变量之间的相关关系(见表2)，表中的相关系数均值、标准差都是在5000次随机置换中计算出来相关系数均值和标准差；最小值代表整个随机置换过程里面的最小相关系数值，最大值代表整个随机置换过程中的最大相关系数值； $P \geq 0$ 代表随机计算出的相关系数大于或等于实际相关系数的概率； $P \leq 0$ ，代表随机计算出来的相关系数小于或者等于实际相关系数的概率。从相关系数的结果可以看出，环境府际关联矩阵H与相对中心度差异矩阵Zc、接近中心度差异矩阵Jc、结构洞限制度差异矩阵Gc相关系数是显著的。说明这三个变量对环境府际协议的合作有着重要的影响。

表（2）环境府际关联矩阵 H 与其内部微观特征的 QAP 相关分析结果

变量名	实际相关系数	显著水平	相关系数均值	标准差	最小值	最大值	$P \geq 0$	$P \leq 0$
Zc	-0.659	0.000	-0.000	0.043	-0.244	0.081	1.000	0.000
Jc	-0.714	0.001	0.001	0.043	-0.260	0.078	1.000	0.000
Gc	-0.622	0.000	0.001	0.050	-0.251	0.092	1.000	0.000

进一步对这个显著的变量进行 QAP 相关性分析（见表 3），可以发现这三个变量在 1%的水平下两两之间是显著的，说明变量之间不是相互独立，存在多重“共线性”的可能。三个变量的关系数据是符合 QAP 方法的要求，接下来可以使用 QAP 回归进行分析。

表（3）三个影响因素的 QAP 相关分析

变量	Zc	Jc	Gc
Zc	1.000		
Jc	0.427 (0.001)	1.000	



Gc	0.450 (0.002)	0.921 (0.000)	1.000
----	---------------	---------------	-------

注：括号里面是 P 值

### （三）QAP回归分析

QAP 回归分析和前文 QAP 相关性分析的原理是一致的，QAP 回归分析考察的是多个自变量矩阵和一个因变量矩阵之间的关系，并且对于拟合度  $R^2$  的显著性的分析。其原理如下：首先得出将各矩阵转化为长向量，计算因变量长向量和多个自变量长向量之间的相关系数，然后对因变量矩阵同时对行和列进行随机置换，重复这样的计算都一定程度，保证统计估计量的标准误，然后按照 QAP 相关性分析的方法估计系数并且检验。同样，选择 5000 次的随机置换，在 QAP 回归分析得出 (表 4、表 5)，表 7 中的调整后的  $R^2$  表明相对中心度矩阵  $Z_c$ 、接近中心度矩阵  $J_c$  以及结构洞限制度矩阵  $G_c$  可以解释掉合作区环境府际协议关联变异的 68.70%。概率是指随机置换出来的判定系数不小于实际观察出来的概率，结果值为 0，表明调整后的  $R^2$ ，在 1% 的水平是显著的。样本数 1406，这是因为由 38 座城市组成的  $38 \times 38$  矩阵，忽视对角线的数值，可以得出  $38 \times (38-1) = 1406$  个样本数。

表（4）模型拟合结果

$R^2$	调整后的 $R^2$	概率	样本个数
0.687	0.687	0.000	1406

表 8 显示出 QAP 回归分析得出各变量矩阵的回归系数和检验指标，概率 1 代表这随机置换回归系数不小于实际观察回归系数，概率 2 代表的是随机置换回归系数不大于实际观察回归系数 (是双尾检验)。回归系数表明，相对中心度差异矩阵在 1% 的水平下是显著负相关，说明在该网络中地位相似的城市越有签订环境协议的倾向，城市地位相似的城市容易合作有利于双方节约成本。接近中心度差异矩阵在 1% 的水平是显著负相关，表明城市在寻求潜在的合作对象也是倾向于地位类似的城市进行合作。在环境合作网络中城市地位类似的城市，在经济发展中遇到的环境问题比较一致，更容易使得情况类似的城市展开合作。结构洞限制度考察网络各个成员之间的直接或间接联系程度，结构洞限制度的系数越大，网络闭合性就越好，存在的结构洞的可能性就很小。结构洞限制度差异矩阵在 1% 的水平是显著正相关，说明结构洞限制度差距越大的城市越容易产生合作，本文认为，主要是因为网络中处于边缘的城市更愿意和网络中核心成员进行合作，利用核心成员的优质资源以便节约自己的成本，在该环境合作网络中存在傍富效应。

表（5）QAP 回归分析得出各变量矩阵的回归系数和检验指标

	非标准化系数	标准化系数	显著性概率	概率 1	概率 2
截距	22.127	0.000			
$Z_c$	-0.714	-0.462	0.001	1.000	0.000
$J_c$	-29.238	-0.888	0.000	1.000	0.000

Gc	76.328	0.403	0.002	0.000	1.000
----	--------	-------	-------	-------	-------

## 五、结论分析

本文基于社会网络的视角,对我国京津冀、长三角以及珠三角合作区域的环境府际合作网络进行分析。刻画出三个区域的环境府际合作网络,揭示地方政府会基于“地理”路径的基础上考虑合作对象。接着运用 QAP 相关分析和 QAP 回归分析,揭示影响区域环境治理合作的微观结构内部变量。具体结论如下:第一,基于 2010-2014 年间三个区域签订的府际协议数的分布情况来看,处于地理中心的位置,更容易成为其他城市节点的合作对象,因此,中心位置的城市更有可能成为该区域的核心点,同时结合地理分布来看,北京、南京、杭州、扬州以及广州等五座城市参与的协议相对所在的区域来看是最多的。地方政府选择合作对象时,会把“地理”路径这一因素考虑在内。第二,从三大区域构成的整体网络以及三个区域的子网络来看,整体网络的密度仅为 0.332,而三个子网络密度均为 1,高密度网络结构表明我国区域合作的网络存在很强的锁定效应,表现出子区域网络对于区域内不想合作的节点具有很强的抗毁能力。因此,整体区域的“脆弱性”以及局部区域的“坚固性”成为我国区域合作的特征。同时,京津冀区域平均每两个节点城市间签订的协议远远高于珠三角、长三角合作区节点间的协议。第三,刻画了相对中心度、接近中心度、结构洞限制度三个微观内部结构变量,发现回归系数表明,相对中心度越类似的城市越容易促成合作,者说明在该网络中地位相似的城市越有签订环境协议的倾向,接近中心度越类似的城市越容易促成合作,表明城市在寻求潜在的合作对象也是倾向于地位类似的城市进行合作。构洞限制度差异越大的城市越容易产生合作,最后这三个变量可以解释掉环境府际协议关系的 68.70%。

最后,本文的研究揭示的环境合作的起点,未来的研究将追踪府际环境协议,挖掘协议落实、合作成果等数据,动态化网络的演化过程,从而更准确把握政府在网络中的路径选择。

## 参考文献:

- [1] 苏桂芳, 胡日东, 林三强. 环境质量与经济增长库兹涅茨关系空间计量分析. 地理研究, 2009, 28(2): 303-307.
- [2] 杨龙, 彭彦强. 理解中国地方政府合作—行政管辖权让渡的问题[J]. 政治学研究, 2009 (4): 61—66.
- [3] 石亚军. 中国行政管理体制实证研究—问卷调查数据分析[M]. 北京: 中国政法大学出版社, 2010.
- [4] Grossman, G. M. , Kruger, A. B. Environment Impacts of the North American Free Trade Agreement[J]. Nber Working paper, 1991.
- [5] 包群, 彭水军, 阳小晓. 是否存在环境库兹涅茨倒 U 型曲线? —基于六类污染指标的经验研究[J]. 上海经济研究. 2005 (12): 3-13.
- [6] 包群, 彭水军. 经济增长与环境污染: 基于面板数据的联立方程估计[J]. 世界经济, 2006(11): 48-58.
- [7] 毛晖, 汪莉. 工业污染的环境库兹涅茨曲线检验—基于中国 1998—2010 年省际面板数据的实证研究[J]. 宏观经济研究, 2013 (3): 89-97.
- [8] 何淼. 我国环境库兹涅茨曲线: 形态、拐点和影响因素[J]. 数量经济技术与经济研究. 2008(11): 40-55.
- [9] 王敏, 黄滢. 中国环境污染与经济增长[J]. 经济学 (季刊). 2015, 14 (2): 557-574.
- [10] 杨宏山. 府际关系论[M]. 北京: 中国社会科学出版社, 2005: 2, 18—19, 26.

- [11] W. Anderson .Intergovernmental Relations in Review Minneapolis—Minneapolis[M], University of Minnesota Press, 1960.
- [12] 杨爱平. 区域合作中的府际契约: 概念与分类[J]. 学术论坛, 2011, 6(312):100—104.
- [13]Granovetter M. The Strength of Weak Ties[J]. American Journal of Sociology, 1973(78):1287—1303.
- [14]Freeman, L.C., 1979, “Centrality in social networks: Conceptual clarification”, Social Networks 1, 215-239.
- [15]Burt,R.S., Structural Holes: the Social Structure of Competition. Cambridge, MA: Harvard University press.1992.
- [16] Burt,R.S., Structural Holes: the Social Structure of Competition. Cambridge, MA: Harvard University press.1992.
- [17]Barnett, George A. “Encyclopedia of Social Networks”, <http://knoeledge.Sagepub.com/view/socialnetworks/n301.xml>.2011.
- [18]Everett, M., 2002, Social Network analysis. Essex: Textbook at Essex Summer School in SSDA.