

基金项目：国家自然科学基金71471136，上海市浦江人才计划17PJC101

工程建设领域具有极高的挑战性，需要开展跨组织科技创新，但目前针对工程建设领域科技创新的研究较少。本文以国家科学技术进步奖为背景，采用描述性统计分析方法和社会网络分析方法，建立工程领域科技创新合作网络，分析获奖单位的排名与合作情况。研究发现，由于重大工程的复杂性，国有企业和高等学校在重大工程创新中发挥了重要作用，合作创新日益重要。

# 工程建设领域重大科技创新主体及创新合作网络 ——基于2000–2016年国家科技进步奖的研究

■ 李永奎<sup>1,2</sup> 刘祥彪<sup>1,2</sup> 常诚<sup>1,2</sup> 韩一龙<sup>3</sup>

1.同济大学经济与管理学院

2.同济大学复杂工程管理研究院

3.新加坡国立大学设计与环境学

工程建设领域具有极高的挑战性，需要开展跨组织科技创新，但目前针对工程建设领域科技创新的研究较少。本文以国家科学技术进步奖为背景，采用描述性统计分析方法和社会网络分析方法，建立工程领域科技创新合作网络，分析获奖单位的排名与合作情况。研究发现，由于重大工程的复杂性，国有企业和高等学校在重大工程创新中发挥了重要作用，合作创新日益重要。

2013年9月30日，在中共中央政治局第九次集体学习中，习近平总书记说：“政府在关系国计民生和产业命脉的领域要积极作为，加强支持和协调，总体确定技术方向和路线，用好国家科技重大专项和重大工程等抓手，集中力量抢占制高点”。李克强总理在2016年国家科学技术奖励大会上谈到，要瞄准前沿、紧扣需求、前瞻部署，推进国家科技重大项目、重大工程和重大基础设施建设。可见重大工程不仅是我国经济和社会发展的重要基础，也是科技创新的主战场。重大工程，即投资巨大、复杂性高以及涉及国计民生的关键性工程，“重大”说明其难度。

国家科学技术进步奖是我国科技创新的最高奖，其授

予在技术研究、技术开发等过程中作出创造性贡献的中国公民和组织，分为技术开发、社会公益、国家安全、重大工程等四类项目。其中，技术开发和重大工程是工程建设领域获得国家奖的关键领域。

为了深入了解我国工程建设领域重大科技创新成果情况，分析在工程建设领域处于关键位置的企业或者高校，本文基于同济大学复杂工程管理研究院编制的《工程建设领域国家科技进步奖研究报告（2000–2016）》，统计了过去17年工程建设领域国家科技进步奖的获奖信息，并分析获奖单位的排名与合作情况，揭示了我国工程建设领域科技创新的整体情况，为提高工程项目科技创新的效率和管理水平，带动建筑行业的技术进步具有现实参考意义。

## 研究方法

本文对2000年–2016年间我国科学技术进步奖获奖信息进行统计，数据来源为国家公布的获奖项目信息。然后利用描述性分析指标、网络合作指标对我国2000–2016年

获得国家科技进步奖的相应机构进行分析排名。

## 1.描述性分析指标

### (1) 总获奖数

分别统计2000年-2016年里在重大工程领域国家科技进步奖的获奖机构数据,根据总获奖数量多少分别对其进行排名。

### (2) 考虑第一获奖单位的加权总得分

考虑到第一获奖单位对该获奖项目的作用比非第一获奖单位大,以及特等奖、一等奖和二等奖不可直接比较,本文采用加权总得分的方法对获奖机构进行排名,即对特等奖、一等奖和二等奖设置不同权重,再根据科研成果计分公式计算获奖单位总得分。

根据国家科技进步奖的获奖项目数、奖励金额和各获奖单位对获奖项目的同比配备的奖励额度,可以确定国家科技进步奖奖项类别的权重值<sup>[1]</sup>,见表1。

表1 奖项类别的权重值

奖项名称	权重值		
	特等奖	一等奖	二等奖
国家科技进步奖	10	2	1

权重值确定后,可按照下列公式来计算各获奖单位的加权总得分<sup>[2]</sup>: $Y=2X(N-S+1)/N(N+1)$ (N为项目获奖单位总个数,S为项目获奖单位署名顺序,X为项目获奖类别权重值)。

## 2.网络合作角度

本部分使用社会网络分析方法从网络合作角度考察网络的整体情况。该方法在大型工程组织网络分析、建筑企业合作网络与市场竞争力、安全管理、鲁班奖合作网络等方面进行了应用<sup>[3][4][5][6]</sup>。

本文通过社会网络分析方法建立技术创新合作网络,并分为累加法(考虑网络的总体积累效应)和时间滚动法(考虑合作网络的滚动积累效应,考虑创新合作的时间影响,限定这种累加以5年为限)两种情况,分别进行指标测度。本文使用的测度指标主要有两类:考察网络合作整体情况的参数(密度、小世界特征和聚类系数)以及考察个体在网络中地位情况的参数(度数中心度、中介中心度和接近中心度),即<sup>[7][8]</sup>:

(1) 密度:是衡量网络疏密的指标,密度越大,说明

网络越密集。

(2) 小世界特性:规模巨大、稀疏且不具有明显核心节点的网络即为小世界网络。

(3) 聚类系数:通过聚类系数的计算,我们可以发现创新合作网络中小团体存在的平均密度,即存在小团体的可能性。

(4) 度数中心度:是衡量个体在网络中地位的指标。度数中心度越高,个体在网络中拥有“权力”越多。

(5) 中介中心度:是衡量个体在网络中中介地位的指标。中介中心度越高,说明个体在网络中处于关键的“桥梁”位置。

(6) 接近中心度:是衡量节点在网络中位置居中程度的指标,当节点的接近中心度越大,说明节点所代表的主要完成单位与其他主要完成单位之间创新合作关系越紧密。

## 结果分析

### 1.总体情况

2000-2016年国家科技进步奖共授奖3000项,平均每年176项,最高获奖数为2009年222项,最低为2013年的134项。其中,工程建设领域共获奖项目数为239项,占比7.97%,平均每年14项,最高为2009年的21项,最低为2001年的6项。

### 2.总体趋势

图1为过去17年工程建设领域获奖数量和科技进步奖总体数量关系的趋势图。可见,虽然工程建设领域获奖数量占科技进步奖总体数量的比例有增长趋势,但波动较大,均值在7.9%左右。

图2为过去17年工程建设领域获奖项目数量的趋势。可见,工程建设领域获得国家级奖励的趋势波动性较大,并没有稳步上升的趋势,总体呈锯齿式形态,具有“大小年”之分。大多数获奖等级为二等奖,一等奖获奖数量最多不超过5项。

### 3.总获奖数排名

表2为总获奖数前10单位排名。总获奖数前10排名中高等学校占据9个,说明高等学校在工程领域科技创新占据重要的地位。位于榜首的是以轨道交通等专业为优势学科的西南交通大学。清华大学、同济大学、东南大学等985工科高

校总获奖数量都位居前列。值得注意的是，排名前列的并非都是985高校，除西南交通大学以外，如以水利水电为主的河海大学和以交通为主的长安大学排名也位于前列，分别是第5和第6，可见以轨道交通、水利水电等为优势学科的高校在我国工程建设领域科技创新中发挥着重要性作用。

表2 总获奖数前10单位排名

总获奖数	单位名称	总排名
23	西南交通大学	1
22	清华大学	2
21	同济大学	3
17	东南大学	4
15	河海大学	5
14	中国铁道科学研究院	6
13	长安大学	7
12	北京交通大学	8
12	大连理工大学	9
12	浙江大学	10

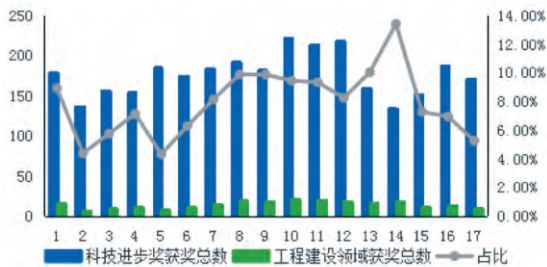


图2 工程建设领域获奖总量的比例趋势

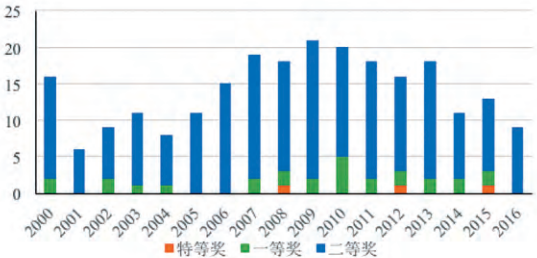


图2 工程建设领域获奖及类别分布趋势

4.考虑第一获奖单位的加权总得分排名

表3为考虑第一获奖单位的加权总得分前10单位排名。高等学校在加权总得分前10单位排名中占据8个。以轨道交通

通等专业为优势学科的西南交通大学高居榜首；以铁路工程等专业为优势学科的石家庄铁道大学跃居第5，是前8名高等学校中唯一一所非211高校，这说明了铁路工程在工程建设领域科技创新中占据着重要位置。国有企业中冶建筑研究总院有限公司和中国铁道科学研究院分别占据第8、第10。

表3 加权总得分前10单位排名

总得分	单位名称	总排名
10.39	西南交通大学	1
7.45	清华大学	2
6.67	同济大学	3
4.75	中南大学	4
4.57	石家庄铁道大学	5
4.16	东南大学	6
3.89	浙江大学	7
3.7	中冶建筑研究总院有限公司	8
3.89	浙江大学	9
3.66	中国铁道科学研究院	10

5.累加法网络合作角度下的排名

使用社会网络分析法建立的合作网络如图3所示，选了2000年、2004年、2008年和2012年的网络图。

从图3中的网络结构图可以看出，我国重大工程技术创新合作网络规模（网络主体的数目）在逐年递增。2002年以前，我国的技术创新合作网络还相对零散，2004年-2008年，各家单位开始慢慢进入到网络合作关系当中，节点间的连接开始增加，单位间的合作开始加强。2008年以后，我国重大工程技术创新合作网络进入快速成长期，这是因为2008年共有50家单位凭借青藏铁路工程获得了国家科技进步特等奖，这极大加强了网络中各单位间的联系。

另外，重大工程技术创新合作网络的网络密度总体呈现逐年下降的趋势，从2000年的0.0831下降到2007年的0.0231，在2008年小幅回升至0.037后继续缓慢下降到2014年的0.0216。由此可见，我国重大工程技术创新合作网络规模的增长速度高于各单位间开辟新合作关系的速度，网络越来越稀疏。

表4为2014年我国重大工程技术创新合作网络在三种中心度测度下的前10单位排名。可见，西南交通大学、清华大学、东南大学在三种测度下均排前列，其他如中南大

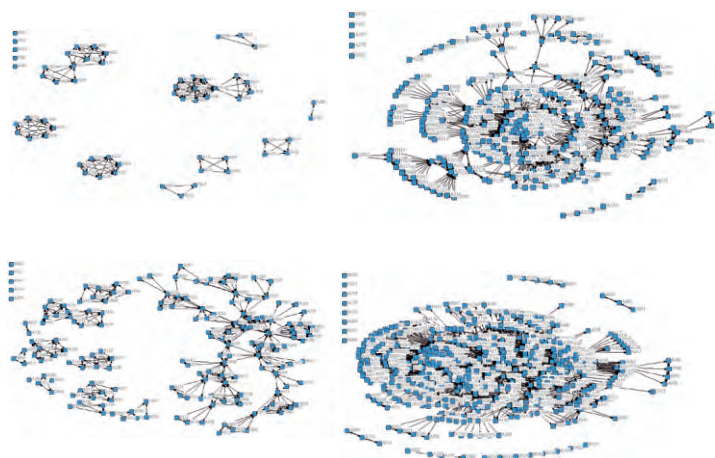


图3 累加法合作网络

学、同济大学也同时在三种测度下出现，而中心度大小是个体在网络中地位高低的直接体现，这表明高等学校在网络中具有较高的核心地位、控制能力和活动能力。

表4 三种中心度测度前10单位排名

排序	按标准化度数中心度	按标准化中介中心度	按标准化接近中心度
1	西南交通大学	清华大学	清华大学
2	清华大学	东南大学	西南交通大学
3	中国铁道科学研究院	西南交通大学	东南大学
4	中南大学	南京水利科学研究院	中南大学
5	中铁大桥局股份有限公司	中南大学	河海大学
6	铁道第三勘察设计院集团有限公司	同济大学	同济大学
7	北京交通大学	长安大学	长安大学
8	中铁十六局集团有限公司	河海大学	中铁大桥局股份有限公司
9	东南大学	浙江大学	北京交通大学
10	中国铁路通信信号股份有限公司	中铁十六局集团有限公司	北京工业大学

## 6.时间滚动法网络合作角度下的单位排名

表5列出了时间滚动法下两种中心度测度指标中前10单位排名。可见，西南交通大学、清华大学、东南大学、中南大学和同济大学等高校在两种中心度测度下均位于前列。进一步分析单位性质得到，国有企业和大学在排名中近乎同等重要。表6列出并总结了前10、前20和前30个组织在度数中心度和中介中心度方面的企业数量和类型。度数中心度测度方面，国有企业数量几乎是前30名中大学的两倍，这表明国有企业在合作网络中处于关键位置，是主导创新的主力军。然而，大学完全主导了中介中心度的排名。中介中心度排名前10的机构中有8个是具有声望的大学，这表明大学在技术创新合作网络中充当着关键的“桥梁”角色。

表5 两种中心度测度前10单位排名

排名	按度数中心度	按中介中心度
1	西南交通大学	清华大学
2	清华大学	东南大学
3	中国铁道科学研究院	西南交通大学
4	北京交通大学	南京水利科学研究院
5	东南大学	中南大学
6	中南大学	同济大学
7	中铁大桥局股份有限公司	长安大学
8	中铁十六局	河海大学
9	铁道第三勘察设计院	浙江大学
10	同济大学	中铁十六局

表6 两种中心度测度排名前30的组织类型

	度数中心度			中介中心度		
	大学	国企	研究机构	大学	国企	研究机构
Top 10	6	4	0	8	1	1
Top 20	9	11	0	12	5	3
Top 30	10	18	2	16	10	4

## 结论

本研究以过去17年国家科学技术进步奖的工程建设领域获奖单位为研究对象，通过描述性数据统计分析和企业



跨组织合作网络分析,从两个角度对工程建设领域科技创新情况进行了深入研究,汇总后的排名总表见附表1。本文主要结论如下:

### 1.描述性分析角度

(1) 工程建设领域获奖项目数占比总体呈现一个先下降后上升的趋势,这归功于我国近几年来加大了重大工程项目的推进力度,工程建设在体量和规模上都有显著提升,所面临的越来越多的技术难题也推动了工程建设领域科技创新的开展。获奖等级越高,平均参与单位数就越多,特等奖平均参与单位在30家左右、一等奖在9家左右、二等奖在5家左右,这说明越是难度高的技术创新成果就需要越多的单位来协同完成。

(2) 从获奖单位类型上和获奖总数看,每年工程建设领域获奖单位中,主要以国有企业和高等学校为主,事业单位和私营企业次之,其余数量较少,说明了拥有雄厚资金和技术实力的国有企业与拥有强大科研创新能力的高等学校,在工程建设领域科技创新中占据主要地位。在总获奖数排名中,前20中高等学校有15个,且前13中国有企业仅1个,并且随着时间的推移,高等学校在工程建设领域创新活动中不仅仅是参与数量的增多,更是逐渐起到一个主导作用。

(3) 在国有企业获奖总数排名中,中国铁道科学研究院、中国建筑科学研究院和中铁大桥局股份有限公司排名前三。高等学校总获奖数排名中,清华大学、同济大学和东南大学等985工科高校总获奖数量都位居前列。非985高校中西南交通大学位于榜首,河海大学和长安大学排名第5、第6,可见以轨道交通为优势学科的西南交通大学、以水利水电为优势学科的河海大学和以交通为优势学科的长安大学等一批非985高校在我国工程建设领域科技创新中发挥着重要性的作用。

(4) 考虑第一获奖单位的加权总得分排名中,前20中高等学校有13个,国有企业加权总得分第一的中冶建筑研究总院有限公司在总得分排名中仅排名第8,可见高等学校在我国工程领域建设中具有较高的核心地位、控制能力和活动能力。对国企来说,中冶建筑研究总院有限公司和中国铁道科学研究院分别以3.7分和3.66分占据第一、第二。对高校来说,西南交大以10.39分高居榜首,可见西南交通大学在我国工程建设领域中占据最重要的位置。石家庄铁道大学以4.57分跃居第五,是前13所高等学校中唯一一所

非211高校,石家庄铁道大学以铁路工程等专业为优势学科,这说明了铁路工程在工程建设领域科技创新中占据着重要位置。

### 2.网络合作角度

(1) 从网络总体的中心度指标值来看,重大工程技术创新合作网络规模的增长速度稍大于各单位间开辟新合作的速度,某些关键单位的合作关系在加强,而新加入网络单位的合作关系稍弱。网络平均中介能力在下降,但是不同单位的中介能力的差异在加大。

(2) 从网络个体的中心度指标值来看,西南交通大学、清华大学、东南大学在三种测度下均排前列,其他如中南大学、同济大学等高校也同时在三种测度下出现,这表明高等学校在网络中具有较高的核心地位、控制能力和活动能力。

我国重大工程不仅为经济社会发展提供了重要支撑,也为工程重大创新提供了重要阵地。研究表明:由于重大工程的复杂性,国有企业和高等学校在重大工程创新中发挥了重要作用,合作创新日益重要。目前,我国面临经济和社会发展的新常态,“一带一路”的国家战略、“工程大国”向“工程强国”的转变、高等学校的“双一流”学科建设等,都是重要的战略性任务。在这一过程中,重大工程将继续在工程科技创新、人才培养、工程走出去等方面发挥重要作用。

### 参考文献

- [1] 谭春辉.我国普通高校科技创新社会影响力的测度:基于2000—2007年国家科技奖励三大奖项的统计分析[J].科技进步与对策.2010.Vol27(5):122—126.
- [2] 王凯珍,董渝华,蔡有志,丁涛.北京体育大学科研定量考核及科研工作量计算方法的研究[J].北京体育大学学报.2001. Vol24(3):294—296.
- [3] 李永奎,崇丹,何清华,郭英.建筑企业社会网络关系及对市场竞争力的影响:基于项目合作视角[J].运筹与管理.2013. Vol22(1):237—243.
- [4] 李雁池.基于社会网络分析的地铁工程安全管理研究[D].华中科技大学,2011.
- [5] 李永奎,乐云,卢昱杰.大型复杂项目组织网络模型及实证分析,同济大学学报(自然科学版),2011.Vol.39(6):930—934.

[6] Liu,Liang,Chuanfeng Han,and Weisheng Xu."Evolutionary analysis of the collaboration networks within National Quality Award Projects of China."International journal of project management 33.3 (2015):599-609.

[7] 罗家德,社会网络分析讲义[M].北京:社会科学文献出版社,2005.

[8] 刘军,整体网分析讲义[M].上海:世纪出版集团,2009.

附表1 排名汇总

排名	统计角度		网络角度				
	按总获奖数	按加权总得分	时间累加法			时间滚动法	
			按度数中心度	按中介中心度	按接近中心度	按度数中心度	按中介中心度
1	西南交通大学	西南交通大学	西南交通大学	清华大学	清华大学	西南交通大学	清华大学
2	清华大学	清华大学	清华大学	东南大学	西南交通大学	清华大学	东南大学
3	同济大学	同济大学	中国铁道科学研究院	西南交通大学	东南大学	中国铁道科学研究院	西南交通大学
4	东南大学	中南大学	中南大学	南京水利科学研究院	中南大学	北京交通大学	南京水利科学研究院
5	河海大学	石家庄铁道大学	中铁大桥局股份有限公司	中南大学	河海大学	东南大学	中南大学
6	中国铁道科学研究院	东南大学	铁道第三勘察设计院集团有限公司	同济大学	同济大学	中南大学	同济大学
7	长安大学	浙江大学	北京交通大学	长安大学	长安大学	中铁大桥局股份有限公司	长安大学
8	北京交通大学	中冶建筑研究总院有限公司	中铁十六局集团有限公司	河海大学	中铁大桥局股份有限公司	中铁十六局	河海大学
9	大连理工大学	浙江大学	东南大学	浙江大学	北京交通大学	铁道第三勘察设计院	浙江大学
10	浙江大学	中国铁道科学研究院	中国铁路通信信号股份有限公司	中铁十六局集团有限公司	北京工业大学	同济大学	中铁十六局
11	中南大学	北京交通大学	中铁电气化局集团有限公司	中国铁道科学研究院	中国铁道科学研究院	中国铁路通信信号股份有限公司	中国铁道科学研究院
12	天津大学	河海大学	北京科技大学	中铁大桥局股份有限公司	浙江大学	中铁十八局	中铁大桥局股份有限公司
13	武汉大学	中铁大桥局股份有限公司	中铁一局集团有限公司	北京工业大学	中铁十四局集团有限公司	河海大学	北京工业大学
14	中国建筑科学研究院	哈尔滨工业大学	中铁十八局集团有限公司	铁道第三勘察设计院集团有限公司	武汉大学	中国铁道建筑总公司	铁道第三勘察设计院
15	中铁大桥局股份有限公司	长安大学	同济大学	中国科学院武汉岩土力学研究所	北京科技大学	中铁第一勘察设计院集团	中国科学院武汉岩土力学研究所
16	北京工业大学	天津大学	长安大学	湖南大学	中国水利水电科学研究院	中铁一局	湖南大学
17	长江水利委员会长江科学院	武汉大学	中铁第一勘察设计院集团有限公司	天津大学	中国铁道建筑总公司	中铁电气化局	天津大学
18	哈尔滨工业大学	大连理工大学	中国铁道建筑总公司	中国水利水电科学研究院	中国建筑科学研究院	石家庄铁道大学	中国水利水电科学研究院
19	中国长江三峡集团公司	北京科技大学	中铁十二局集团有限公司	中国建筑科学研究院	中交公路规划设计院有限公司	长安大学	中国建筑科学研究院
20	重庆交通大学	中国建筑科学研究院	中铁十四局集团有限公司	大连理工大学	长沙理工大学	中铁五局	大连理工大学