

节能减排的绿色创新效应

董照樱子 魏尚进 张蔚文

目录

附录 I 稳健性检验	1
附录 II 机制分析	6
附录 III 产业关联分类	7
附录 IV 专利种类异质性分析	8
附录 V 收益检验	10

附录 I 稳健性检验

（一）其他政策影响

考虑到 2006 年后同期的各项环境规制政策较多，本部分采取以下分析思路来控制其他同期政策可能存在的干扰影响。

（1）新能源汽车政策：1999 年以来，国家颁布多项政策鼓励新能源交通领域的创新，例如 2009 年《汽车产业调整和振兴规划》、“十城千辆”工程、2010 年新能源汽车财政补贴、2012 年对新能源的车船免征车船税等政策。基于专利的 IPC 分类，我们在回归中加入了 $Post$ 与交通专利种类 ($Post*Trans$) 的交乘项（表 I1 列（1）、（7））。

（2）排污权交易试点：2007 年开始，财政部、环保部和国家发改委批复江苏、浙江、天津、湖北、湖南、内蒙古、山西、重庆、陕西、河北和河南 11 个省（市、区）作为排污权交易试点；为进一步推进试点工作，2014 年国务院办公厅提出了《关于进一步推进排污权有偿使用和交易试点工作的指导意见》。考虑到该影响，我们定义，如果年份在 2007 年之后，虚拟变量 $Post_waste1=1$ ，在此之前， $Post_waste1=0$ ；如果年份在 2014 年之后，虚拟变量 $Post_waste2=1$ ，在此之前， $Post_waste2=0$ ；如果属于排污权交易试点， $Waste=1$ ，反之为 0。我们在回归模型中加入了 $Post_waste1*Green*Waste$ 和 $Post_waste2*Green*Waste$ 进行分析（表 I1 列（2）、（8））。

（3）碳交易政策：2011 年 11 月，国家发改委批准了北京、上海、重庆、天津、深圳、广东省和湖北省建立试点碳市场。考虑到该政策的影响，我们定义，如果年份在 2011 年之后，虚拟变量 $Post_carbon=1$ ，在此之前， $Post_carbon=0$ ；如果属于碳交易试点城市，则 $Carbon=1$ ，反之为 0。进一步地，我们在回归中加入 $Post_carbon*Green*Carbon$ 进行分析（表 I1 列（3）、（9））。

（4）环境信息公开政策：2007 年国家环境保护总局通过《环境信息公开办法（试行）》，并于 2008 年 5 月 1 日起施行，旨在推进和规范环保部门以及相关企业公开环境信息。考虑到该影响，我们定义，如果年份在 2008 年之后，虚拟变量 $Post_info=1$ ，在此之前， $Post_info=0$ ，并在回归分析中加入 $Post_info*Green$ 的交乘项（表 I1 列（4）、（10））。

（5）大气十条政策：2013 年 9 月颁布的《大气污染防治行动计划》要求对重点区域的空气污染等问题进行治理。考虑到该影响，我们定义如果年份在 2013 年之后，虚拟变量 $Post_air=1$ ，在此之前， $Post_air=0$ ，并在回归分析中加入 $Post_air*Green$ 的交乘项（表 I1 列（5）、（11））。

（6）低碳城市政策：自 2010 年起，国家发改委先后公布了三批低碳试点城市，提倡发展低碳产业、建设低碳城市、倡导低碳生活。考虑到该影响，我们定义如果某一城市成为低碳试点城市后， $Lowcarbon=1$ ，反之为 0，并在回归中加入 $Green*Lowcarbon$ 的交乘项重新进行分析（表 I1 列（6）、（12））。

从所有回归结果来看， $Post*Green$ 在 1% 的显著性水平下均呈现正向显著，这进一步验证了研究结论的稳健性。

表 I1 其他政策影响下节能减排政策的绿色创新效应

因变量：	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Panel A: 专利数量	新能源车	排污权	碳交易	信息公开	大气十条	低碳城市
$Post*Green$	0.026*** (0.006)	0.019*** (0.006)	0.022*** (0.005)	0.004* (0.002)	0.012*** (0.004)	0.023*** (0.005)
$Post*Trans$	-0.015 (0.010)					
$Post_waste1*Green*Waste$		0.002				

			(0.008)			
<i>Post_waste2*Green*Waste</i>		0.027***				
			(0.009)			
<i>Post_carbon*Green*Carbon</i>			0.024***			
			(0.006)			
<i>Post_info*Green</i>				0.023***		
				(0.006)		
<i>Post_air*Green</i>					0.030***	
					(0.006)	
<i>Green*Lowcarbon</i>						0.016***
						(0.004)
调整 R-squared	0.696	0.696	0.696	0.696	0.696	0.696
Panel B: 专利质量	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
<i>Post*Green</i>	0.007***	0.005***	0.006***	0.001***	0.001***	0.006***
	(0.001)	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.000)	(0.001)
<i>Post*Trans</i>	-0.004					
	(0.002)					
<i>Post_waste1*Green*Waste</i>		-0.003**				
		(0.001)				
<i>Post_waste2*Green*Waste</i>		0.021***				
		(0.005)				
<i>Post_carbon*Green*Carbon</i>			0.005***			
			(0.001)			
<i>Post_info*Green</i>				0.007***		
				(0.001)		
<i>Post_air*Green*</i>					0.014***	
					(0.003)	
<i>Green*Lowcarbon</i>						0.002***
						(0.000)
调整 R-squared	0.186	0.187	0.186	0.186	0.187	0.186
控制变量	是	是	是	是	是	是
N	2,703,429	2,703,429	2,703,429	2,703,429	2,703,429	2,703,429
年份 FE	是	是	是	是	是	是
城市 FE	是	是	是	是	是	是
IPC FE	是	是	是	是	是	是

注：括号内为异方差稳健的标准差；*** $p < 0.01$ ，** $p < 0.05$ ，* $p < 0.1$ 。

（二）安慰剂检验

为排除其他不可观测因素所导致的干扰，我们采取随机化处理组的策略进行了安慰剂检验，检验在反事实情况下，政策效应是否存在。在 500 次随机化处理组的基础上，基于式（7）重新进行回归，DID 项系数和 t 值的核密度如图 I1 和图 I2 所示。可以看到，DID 项系数估计均值在 0 值附近，偏离表 2 列（3）和列（6）的结果； t 值的范围大多处于 -1.96~1.96 之间，说明 95% 以上的估计系数不显著。以上结果则证明并不存在其他因素会影响节能减排政策对绿色创新的激励效应，进一步证明了环境规制确实可以促进绿色创新。

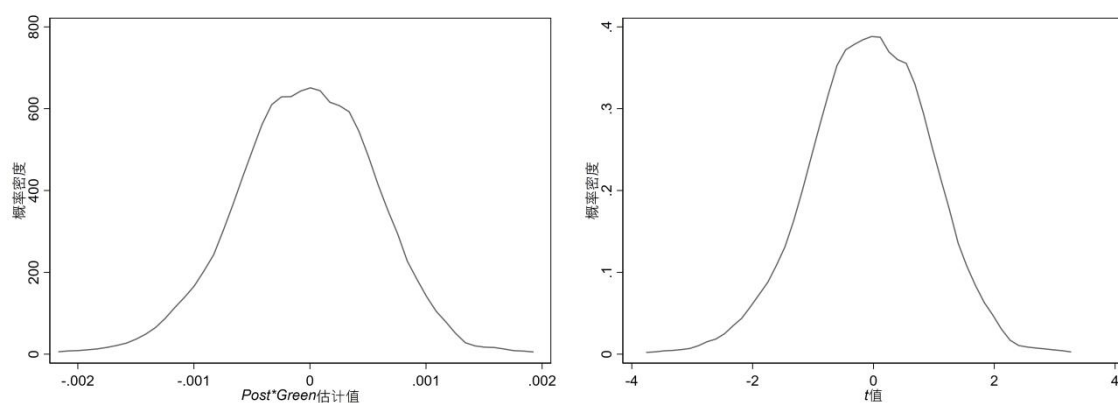


图 I1 安慰剂检验（数量）

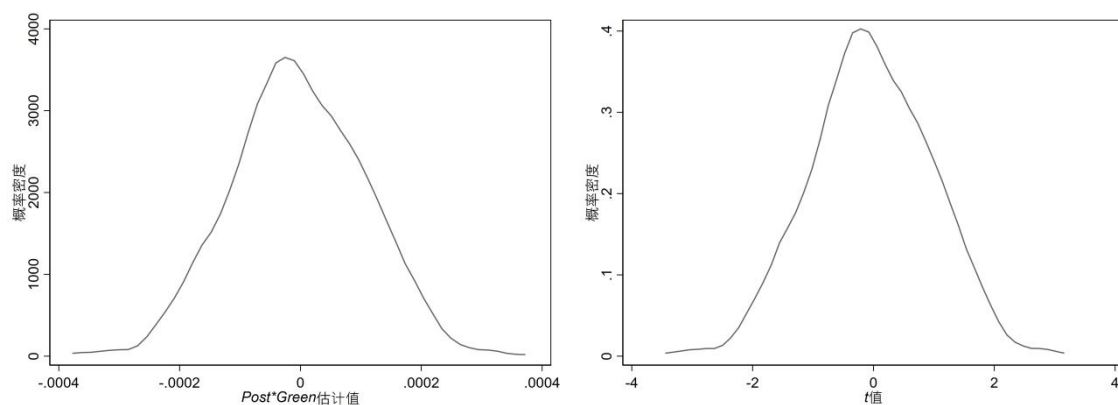


图 I2 安慰剂检验（质量）

（三）变量替换和调整样本时间区间

我们采取以下方法进行稳健性检验。第一，将废弃物管理、能源节约、可替代能源生产三类专利作为绿色创新（Green3）的衡量。第二，在节能减排政策之后，也出台了一系列促进绿色创新的相关政策。为避免研究区间过长以及其他干预政策造成的可能影响，我们把研究区间设定为 2001—2010 年（“十五”和“十一五”期间）。第三，分析样本拓展到 2020 年。第四，替换因变量专利数量为专利增长率。

对于专利质量而言，我们额外使用了其他两种指标衡量专利质量，包括知识宽度中位数法和引用次数均值法。其中，由于专利数据中仅可以提供收集数据时的被引用次数总和，无法构造专利质量面板数据。因此，为构造随年变换的专利质量数据，我们计算了每个专利层面年平均被引用次数 =（专利被引用总次数/（2020-专利授权年）），然后使用中位数法加总到根据“城市-IPC-年份”层面。

表 12 结果显示，交乘项 $Post*Green$ 与 $Post*Green3$ 均在 1% 的水平下正向显著，表明了结果具有稳健性。

表 12 其他稳健性检验

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
		专利数量						专利质量		
VARIABLES	Green3	增长率	2001-2010	2000-2020	Green3	增长率	知识宽度中值	被引用次数	2001-2010	2000-2020
<i>Post*Green3</i>	0.021*** (0.005)				0.007*** (0.001)					
<i>Post*Green</i>		0.013*** (0.005)	0.011*** (0.003)	0.023*** (0.005)		0.007** (0.004)	0.006*** (0.001)	0.029*** (0.008)	0.002*** (0.001)	0.006*** (0.001)
控制变量	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是
N	2,703,429	2,703,429	1,615,635	2,703,429	2,703,429	2,703,429	2,703,429	2,703,429	1,615,635	2,703,429
年份 FE	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是
城市 FE	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是
IPC FE	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是
调整 R-squared	0.696	0.010	0.611	0.696	0.186	0.015	0.143	0.338	0.064	0.186

注：括号内为异方差稳健的标准差；*** $p < 0.01$ ，** $p < 0.05$ ，* $p < 0.1$ 。

附录 II 机制分析

对于污染费、边际收入系数、环境事件信访数量，这些机制变量只是城市-年份或省份-年份层面的指标，因此我们仅仅探析节能减排政策前后机制变量的变化。考虑到 *Post* 与年份固定效应会存在完全多重共线性，在本部分的回归中我们没有加入年份固定效应。污染源监管信息公开指数仅有 2008 年之后的数据，因此我们无法考察节能减排政策对其的影响。回归结果如表 II1 所示。可以看到，节能减排政策之后，污染费、边际收入系数、环境事件信访数量均显著提高（表 II1 列（1）-（3））。技术关联密度是专利-城市-年份层面的指标，因此我们进一步探析了节能减排政策对绿色技术和非绿色技术密度的影响。我们发现 *Post*Green* 系数显著为正（表 II1 列（4）），相比于非绿色技术，节能减排政策会更加促进绿色技术关联密度的提升。也就是说，节能减排政策以后，城市发展绿色技术的难度降低更多，转移成本也降低更多。

表 II1 节能减排政策对机制变量的影响

	(1)	(2)	(3)	(4)
DV:	污染费	边际收入系数	信访数量	关联密度
<i>Post</i>	1.419*** (0.044)	189.373*** (3.145)	1.254** (0.986)	
<i>Post*Green</i>				0.382*** (0.019)
控制变量	否	否	否	否
Observations	4,547	4,547	3,410	2,379,726
调整 R-squared	0.709	0.832	0.422	0.813
年份 FE	否	否	否	否
城市 FE	是	是	是	是
IPC FE	-	-	-	是

注：括号内为异方差稳健的标准差；*** $p < 0.01$ ，** $p < 0.05$ ，* $p < 0.1$ 。

附录 III 产业关联分类

首先，根据国民经济行业代码，完成投入产出部门与国民经济行业的对应，对投入产出部门进行归集（2002 年 122 部门对应 73 行业，2007 年 139 部门对应 82 行业，2012 年 114 部门对应 86 行业，行业代码以 2012 年国民经济行业分类为标准）。

其次，根据投入产出表的投入产出情况以及归集后的行业，进行各个行业的投入产出加总，并计算上游行业 i 与下游行业 j 在 t 时期的完全消耗系数 $CI_{ij,t}$ ，表征产业间的相互联系。

再次，根据各行业的完全消耗系数，进行行业划分。

（1）考虑产出“双高”行业和非“双高”行业的异质性，我们先加总每个上游行业对“双高”下游行业和非“双高”下游行业的完全消耗系数。

$$ACI_{i,p,t} = \sum_j CI_{ij,t}, \text{ 若 } j \text{ 为“双高”类行业,}$$

$$ACI_{i,n,t} = \sum_j CI_{ij,t}, \text{ 若 } j \text{ 为非“双高”类行业.}$$

基于 $ACI_{i,p,t}$ 、 $ACI_{i,n,t}$ 和每个上游行业的污染属性 m （“双高”或非“双高”），计算该类行业对“双高”下游行业与非“双高”下游行业的完全消耗系数的中位数，得到 $MACI_{m,p,t}$ 和 $MACI_{m,n,t}$ 。

（2）针对部分行业对两种下游行业的完全消耗系数都大于或小于上游行业中位数的情况，对所有行业进行第一次分类：①高相关类：若“双高”投入产业的两类加总完全消耗系数均大于等于该上游行业的完全消耗系数的中位数（ $ACI_{i,p,t} \geq MACI_{m,p,t}$ 且 $ACI_{i,n,t} \geq MACI_{m,n,t}$ ），则定义为下游“双高”高相关类行业；类似地，定义下游非“双高”高相关类行业；②低相关类：若污染投入产业的两类加总完全消耗系数均大于该类上游行业的均值（ $ACI_{i,p,t} < MACI_{m,p,t}$ 且 $ACI_{i,n,t} < MACI_{m,n,t}$ ），则定义为下游“双高”低相关类行业；类似地，定义下游非“双高”低相关类行业；③一般类：若不属于前面两种，则定义为一般类行业。

（3）对下游行业是否为“双高”行业进行第二次分类：①高相关类与低相关类分类原则：该上游行业对“双高”下游行业完全消耗性系数大于对非“双高”下游行业完全消耗性系数（ $ACI_{i,p,t} > ACI_{i,n,t}$ ），属于上游行业为“双高”行业。反之，则为与下游行业为“双高”行业。②一般类分类原则：该上游行业对“双高”下游行业完全消耗性系数大于该类上游行业中位数（ $ACI_{i,p,t} > MACI_{m,p,t}$ ），或上游行业对非“双高”下游行业完全消耗性系数小于该类上游行业中位数（ $ACI_{i,n,t} < MACI_{m,p,t}$ ），则属于上游行业为“双高”行业。反之，则为与下游行业为“双高”行业。

（4）基于以上步骤，计算与上游行业的关系。

附录 IV 专利种类异质性分析

WIPO 把绿色创新分为以下七大类别：可替代能源生产类（*Alternative_energy*）、农林类（*Agri_fore*）、行政监管与设计类（*Ard*）、废弃物管理类（*Waste*）、能源节约类（*Energy_conser*）、交通运输类（*Trans*）和核能发电类（*Nuclear*）。专利自身的特性也决定了其对政策的响应有所不同。由于部分专利种类之间存在重叠，本部分基于不同种类和非绿色创新的样本进行了异质性分析，表 IV1 结果显示，就专利数量而言，节能减排政策对行政监管与设计类和农林类的刺激作用尤其明显；其次依次为能源节约类、可替代能源生产类、废弃物管理类和交通运输类。就专利质量而言，节能减排政策对行政监管与设计类、能源节约类和可替代能源生产类激励效应较强。相对于其他类项专利而言，核能发电类专利的数量和质量会因节能减排政策影响而降低。可能的解释是，核能发电类企业可能更依赖于国有资本的垄断投资，技术门槛较高，核能发电类专利授权总量和城市数量均较少，较难受到节能减排政策的影响。

表 IV1 专利异质性分析

因变量：	可替代能源生产类	农林类	行政监管与设计类	废弃物管理类	能源节约类	交通运输类	核能发电类
Panel A: 专利数量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
<i>Alt_energy*Post</i>	0.028*** (0.009)						
<i>Agri_fore*Post</i>		0.072*** (0.010)					
<i>Ard*Post</i>			0.073*** (0.025)				
<i>Waste*Post</i>				0.028*** (0.008)			
<i>Energy_cons*Post</i>					0.041*** (0.011)		
<i>Trans*Post</i>						0.011 (0.009)	
<i>Nuclear*Post</i>							-0.030*** (0.003)
调整 R-squared	0.695	0.692	0.693	0.691	0.694	0.690	0.690
Panel B: 专利质量	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
<i>Alt_energy*Post</i>	0.011*** (0.002)						
<i>Agri_fore*Post</i>		0.006** (0.003)					
<i>Ard*Post</i>			0.015***				

				(0.004)			
<i>Waste*Post</i>				0.007***			
				(0.002)			
<i>Energy_cons*Post</i>				0.012***			
				(0.003)			
<i>Trans*Post</i>				0.003			
				(0.002)			
<i>Nuclear*Post</i>				-0.004***			
				(0.001)			
调整 R-squared	0.184	0.172	0.174	0.180	0.181	0.173	0.172
控制变量	是	是	是	是	是	是	是
N	2,400,354	2,271,042	2,279,124	2,469,051	2,339,739	2,351,862	2,291,247
年份 FE	是	是	是	是	是	是	是
城市 FE	是	是	是	是	是	是	是
IPC FE	是	是	是	是	是	是	是

注：括号内为异方差稳健的标准差；*** $p < 0.01$ ，** $p < 0.05$ ，* $p < 0.1$ 。

附录 V 收益检验

绿色创新的最终目标是实现环境效益和经济效益的共赢。因此，本部分在前文研究的基础上，对绿色创新的环境和经济收益进行分析。

考虑到创新发展及其后续影响均存在一定滞后性，本部分的估计模型如下：

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_n * \text{Log}(\#Green)_{it-n} + \alpha * X_{it} + \delta_i + \gamma_t + \varepsilon_{it},$$

其中， Y 是我们需要衡量的效益指标。城市层面的环境指标包括空气污染中的 PM 2.5 值和碳排放变化率指标；经济指标包含 GDP 增长率。 $\#Green$ 是城市层面所有绿色创新数量和质量的自然对数值，考虑到绿色创新发挥效益需要一定时间，我们加入了滞后 1 到 5 期的累计绿色创新数量和质量，来估算动态效应； $n=1, 2, 3, 4, 5$ 为绿色创新的第 n 期滞后值。系数 β_n 用来衡量绿色创新在不同维度上的收益。城市层面的控制变量 X 与式（7）相同； δ_i

和 γ_t 分别表示城市和年份的固定效应， ε_{it} 为随机扰动项。

表 V1 结果显示，城市层面上绿色创新数量对经济增长的影响直至第 4 年和第 5 年显著（列（1）-（5））；绿色创新对城市层面碳排放（列（6）-（10））的系数均负显著，且系数逐年增加；对 PM2.5（列（11）-（15））的系数在第 4 年显著。绿色创新质量的影响如表 V2 所示。绿色创新质量的增长对经济增长产生时滞作用（列（1）-（5）），对碳排放有滞后且短暂的负向影响（列（6）-（10）），但对 PM2.5 的影响在第 5 年开始显著（列（11）-（15））。以上结果说明，绿色创新的数量在一定程度上会促进经济增长，减少碳排放，具有正的经济和环境效益。

表 V1 绿色创新数量的收益效应：城市层面分析

VARIABLES	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)
	ΔGDP					Δ碳排放					ΔPM2.5				
<i>Log(#.Green)_{t-1}</i>	0.266 (0.277)					-0.746*** (0.164)					-0.348 (0.428)				
<i>Log(#.Green)_{t-2}</i>		0.203 (0.308)					-1.162*** (0.206)					-0.123 (0.376)			
<i>Log(#.Green)_{t-3}</i>			0.292 (0.391)					-1.380*** (0.256)					-0.115 (0.418)		
<i>Log(#.Green)_{t-4}</i>				0.878* (0.470)					-1.425*** (0.298)					-1.303*** (0.499)	
<i>Log(#.Green)_{t-5}</i>					1.388** (0.602)					-1.511*** (0.318)					0.303 (0.468)
控制变量	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是
N	4,022	4,015	3,745	3,478	3,198	3,463	3,459	3,312	3,145	2,960	4,024	4,017	3,747	3,480	3,200
年份 FE	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是
城市 FE	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是
调整 R-squared	0.502	0.502	0.508	0.529	0.541	0.650	0.652	0.674	0.646	0.645	0.156	0.158	0.154	0.172	0.203

注：括号内为异方差稳健的标准差；*** $p < 0.01$ ，** $p < 0.05$ ，* $p < 0.1$ 。

表 V2 绿色创新质量的收益效应：城市层面分析

VARIABLES	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)
	ΔGDP					Δ碳排放					ΔPM2.5				
$Log(\#.Green)_{t-1}$	0.731					-0.313					0.195				
	(0.452)					(0.259)					(0.327)				
$Log(\#.Green)_{t-2}$		0.543					-0.396*					0.191			
		(0.413)					(0.229)					(0.296)			
$Log(\#.Green)_{t-3}$			0.642					-0.333					0.313		
			(0.422)					(0.234)					(0.314)		
$Log(\#.Green)_{t-4}$				1.015**					-0.189					0.341	
				(0.420)					(0.230)					(0.274)	
$Log(\#.Green)_{t-5}$					1.090**					-0.140					0.903***
					(0.466)					(0.229)					(0.274)
控制变量	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是
N	4,022	4,015	3,745	3,478	3,198	3,463	3,459	3,312	3,145	2,960	4,024	4,017	3,747	3,480	3,200
年份 FE	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是
城市 FE	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是
调整 R-squared	0.503	0.503	0.508	0.529	0.540	0.647	0.647	0.669	0.642	0.641	0.155	0.158	0.154	0.171	0.203

注：括号内为异方差稳健的标准差；*** $p<0.01$ ，** $p<0.05$ ，* $p<0.1$ 。

注：该附录是期刊所发表论文的组成部分，同样视为作者公开发表的内容。如研究中使用该附录中的内容，请务必在研究成果上注明附录下载出处。