不同加总技术下公共品供给效率的比较分析*

赵宝廷　韩汶佳**

（山东财经大学财政税务学院，山东　济南　250014）

【摘要】公共品供给低效率问题是长期困扰理论和实践的难题。本文应用博弈论分析加总技术对公共品供给效率的影响，用公共品博弈的纳什均衡代表供给量理论预测值，并对预测值与最优值的效率进行比较。分析得出公共品供给效率的高低和个人对公共品贡献量的选择，都随着加总技术类型的不同而变化；当达到公共品供给最优值时，每个人对公共品的贡献量不一定相同，因此，是否"搭便车"并非公共品供给低效的判断标准，"搭便车"有时是高效的。

【关键词】公共品　加总技术　博弈分析

一、引　言

由于公共品具有非排他性和非竞争性，难以通过市场机制得以有效供给（Samulerson，1954③；1958④）和"搭便车"现象（Olson，1965）⑤；然而，政府在公共品供给方面的效率也难以让人满意，因此，如何提高公共品供给的效率成为长期困扰理论研究和政策实践的一个难题，引发了学者们的广泛讨论。目前，对公共品供给低效问题的解决主要有三种思路：一是根据公共品非竞争性和非排他性程度，将物品区分为私人品、纯公共品和中间公共品，得出公共性程度越低的物品越应该增加市场供给的份额，因此，通过在

---

* 国家社会科学基金青年项目"基于权变理论的我国转型期城乡公共服务均等化与财政制度改革路径研究"（项目编号：13CGL025）、教育部人文社会科学研究青年基金项目"基于加总技术的公共品供给理论与实验研究"（项目编号：10YJC790390）、山东省教育厅人文社科研究计划项目"基于加总技术的公共品供给方式的演化研究"（项目编号：J08WE60）。

** 赵宝廷，经济学博士，公共管理博士后，山东财经大学财政税务学院副教授，主要研究方向：公共品供给理论，zhaobaoting2001@163.com。韩汶佳，山东财经大学财政税务学院研究生，E-mail：108324783@qq.com。

③ Samuelson P. A. The Pure Theory of Public Expenditure [J]. Review of Economics and Statistics, 1954, 36 (04): 387－389.

④ Samuelson P. A. Aspects of Public Expenditure Theories [J]. Review of Economics and Statistics, 1958, 40 (04): 332－338.

⑤ [美] 曼瑟尔·奥尔森：《集体行动的逻辑》，上海人民出版社1995年版。

公共品尤其是非纯公共品的供给中引入市场机制、加强政府与市场的合作，可以提高公共品供给效率；二是认为公共品市场供给低效的原因是公共品本身的消费属性决定了公共品供给不是市场机制的作用范围，并且政府供给方式低效的原因是政府组织的失效，因此，通过健全政府组织和加强政府组织管理等可以提高公共品供给效率；三是认为个人对公共品消费的偏好信息缺乏是公共品供给失效的原因，因此，政府通过设计一些能够显示消费者偏好信息的机制，可以提高公共品供给效率。当然不同视角的研究有所交叉。

无论是对政府自身治理的改善，还是通过引入市场机制和加强政府与市场的合作，以及应用消费者偏好显示机制等，这些观点都以传统的公共品概念及其暗含的假设为公共品有效供给的前提，即每一个个体对公共品的贡献可以简单加总到社会公共品的总量水平上，一个人的贡献可以作为另一个人贡献的完全替代。然而情况并非如此，个人对公共品的贡献量与公共品总量之间存在多种多样的关系，公共品供给总量既可能是全部个体贡献量之和，也可能是由某个或某几个个体的贡献量决定的。赫什莱弗（Hirshleifer, 1983）① 最早发现了传统公共品概念的这一局限性，即公共品总量并非仅仅与个体贡献量之和有关系，而且可能与多个个体贡献量的大小有关系。这个关系就是他所说的加总技术或社会组合函数，而且加总技术有多种形式。

为了说明加总技术对公共品供给效率的影响，本文应用博弈论分析其影响机制，并比较公共品供给的纳什均衡即供给量的预测值与最优值的效率情况。本文第二部分简介公共品加总技术的概念及其三种典型的加总技术；第三部分介绍公共品供给博弈的战略与博弈均衡的条件；第四部分在给定的边际成本和边际收益条件下，比较三种加总技术的公共品供给最优值和预测值的效率情况；第五部分得出结论和启示。

二、公共品加总技术的概念与类型

（一）加总技术的概念

赫什莱弗（1983）最早引入加总技术（aggregation technology）的概念与分析思路，并将每一个体对公共品的贡献量与公共品总量之间的联系或函数关系称为公共品的加总技术或社会组合函数（social composition function）。

加总技术从个人主义视角关注个体差异如消费偏好差异、收入差异和个体贡献量差异等对公共品供给总量的影响，是研究公共品供给过程中个体行为以及个体行为之间的关系如何影响公共品供给总量的一个重要视角。在加

① Jack Hirshleifer. From Weakest-link to Best-shot: the Voluntary Supply of Public Goods [J]. Public Choice, 1983, 41: 371 -386.

总技术视角下，传统公共品概念表明的个体贡献量与公共品总量之间的关系就是众多公共品加总技术中的一种特例了，生活中存在大量各种不同的加总技术。

（二）加总技术的类型

传统公共品理论仅分析了一种特殊情况，即每一个体及其贡献量对公共品供给总量有相同的影响或权重，而加总技术理论认为每一个体及其贡献量对公共品总量有不同的影响或权重。本文正是考虑到个体贡献量对公共品总量影响的权重不同是加总技术的关键问题，从而将权重作为加总技术分类的标准。

赫什莱弗（1983①，1985②）最早研究了公共品供给的三种加总技术，即传统等权加和加总技术、最弱权重加总技术与最强权重加总技术，本文简称为传统加和技术、最弱权重技术与最强权重技术。其中，传统加和技术（summation）即传统公共品供给技术，是指社会公共品供给总量是由所有个体的贡献量之和决定的；在该技术下，每一个体的贡献量与公共品供给总量的关系就简化为资金量的大小和总供给量的关系。最弱权重技术（weakest-link），是指社会公共品供给总量由个体贡献量最小的个人及其贡献量决定的，该技术最易在线性状况下出现，即每一个体对公共品供给总量有一票否决权，公共品相当于一个链条式的物品，而每一个体的贡献就是该链条上的一个节，缺一不可。最强权重技术（best-shot），是指社会公共品供给总量是由个体贡献量最高的个人及其贡献量决定的，该技术易出现在有重大获利机会的情况下，每一个体经过努力均有机会获得该项机会和利益。

之后，学者们对加总技术类型进行了扩展。维卡里（Vicary，1990）提出次优权重技术（better-shot），是指小于最强努力水平但有着较强努力水平的个人对公共品供给总量的边际贡献虽然较小，但其对公共品供给总量也有影响，只是其影响权重相对最强努力水平个体的影响的权重小些③。例如，在科研活动中，努力程度是决定科技突破的重要因素，但并非唯一因素，所有的努力都有助于最终的科研成果，但是只有努力水平最高且率先取得成功的个体对科研的贡献最大。科尔内斯（Cornes，1993）提出另外两种加总技术，一是次弱权重技术（weaker-link），是指一种类似于最弱权重技术的技术，最弱努力水平及其个人对公共品总量的边际效应最大，而次弱努力水平

---

① Jack Hirshleifer. From Weakest-link to Best-shot: the Voluntary Supply of Public Goods [J]. Public Choice, 1983, 41: 371 -386.

② Jack Hirshleifer. From Weakest-link to Best-shot: Correction [J]. Public Choice, 1985, 46: 221 - 223.

③ Simon Vicary. Transfers and the Weakest-link: an Extension of Hirshleifer's Analysis [J]. Journal of Public Economics, 1990, 43 (3): 375 - 394.

及其个人对公共品总量的边际效应次之；二是平均权重技术（average technology），是指社会可得的公共品总量是由各个体对某项公共品贡献或努力的平均值决定的①。后来多位学者将加总技术引入到国防经济学（Sandler，2006）② 和跨国公共品（Ghislain et al.，2011）③ 的分析中，受到广泛关注。

桑德勒（Sandler，1998）④ 提出权重总和技术（weighted-sum），将以上各种离散的加总技术视为特例，进而把各种离散技术扩展为连续技术，个体贡献量与公共品总量之间存在如下关系：$Q^i = \sum_{j=1}^{n}(a_{ij}q^j)$，其中 $i=1, 2, \cdots, n$ 或矩阵形式 $Q = Aq$。为了深化对公共品供给加总技术分类的理解，假设把公共品供给总量 Q 与所有个体对公共品贡献量的向量 q 联系起来的函数 F(q) 是对称的或具有齐次性，即在某种意义上该函数值不受向量 q 中各元素排列位置的影响，由此，各种加总技术的社会生产函数可以用一种对称的 CES 生产函数表示为：$Q = a\left[(1/n)\sum_{i=1}^{n}(q_i)^v\right]^{1/v}$，其中 a 和 v 是参数，n 是个体数量。实际上对称的 CES 生产函数通过参数 a 把生产函数标准化了，公共品供给的各种加总技术均可通过选定参数 a 和 v 的特定值而用简化公式表示出来。当 $a=n$ 且 $v=1$ 时，得到传统加和技术的表达式：

$$Q = \sum_{i=1}^{n}(q_i): \text{summation} \tag{1}$$

当 $a=1$ 且 $v\to-\infty$ 时，得到最弱权重技术的表达式：

$$Q = \min[q_1, q_2, \cdots, q_n]: \text{weakest-link} \tag{2}$$

当 $a=1$ 且 $v\to+\infty$，得到最强权重技术的表达式：

$$Q = \max[q_1, q_2, \cdots, q_n]: \text{best-shot} \tag{3}$$

三、不同加总技术下公共品供给博弈的战略与均衡条件

博弈论是从个体利益视角分析个体之间相互影响的良好工具，它在处理信息不足问题、个人理性与集体理性关系等问题上具有很强的解释力，因

① Richard Cornes. Dyke Maintenance and Other Stories: Some Neglected Types of Public Goods [J]. The Quarterly Journal of Economics, 1993, 108 (1): 259－271.

② Todd Sandler. Hirshleifer's Social Composition Function in Defense Economics [J]. Defence and Peace Economics, 2006, 17 (6): 645－655.

③ Ghislain Dutheil de la Rochère, Jean－Michel Josselin, Yvon Rocaboy. The Role of Aggregation Technologies in the Provision of Supranational Public Goods: a Reconsideration of NATO's Strategies [J]. The Review of International Organizations, 2011, 6 (1): 85－103.

④ Sandler T.. Global and regional Public Goods: a Prognosis for Collective Action [J]. Fiscal Studies, 1998, (19): 221－247.

此，博弈论被广泛应用到公共品供给的分析中（Harrison & Hirshleifer，1989[①]；张维迎，1996[②]），传统公共品理论中的“搭便车”行为就是应用博弈论及其囚徒困境即纳什均衡来说明的。本文采用博弈论来分析公共品供给的各种加总技术及其供给效率的差异情况，以说明加总技术是影响公共品供给效率的重要因素之一。

（一）公共品供给博弈战略

假设公共品博弈只有两个参与人，可供选择的行动有“P”即供给或“N”不供给。本文用博弈中两人支付之和最大的那个战略组合对应的公共品供给量作为公共品供给的最优值，用博弈均衡对应的公共品供给量作为公共品供给的预测值。表1列出了三种加总技术下公共品二人博弈各种可能的战略组合及其支付情况，当然这只是一个简化分析；其中，参数B、b和c是代表符合某些条件的数字，b和c在三种技术下的数字大小可能不同；当这些参数取一定的值时，可以得到公共品供给博弈的各种战略组合即个人对公共品的贡献量及其支付。

表1 不同加总技术的公共品供给博弈战略式比较

技术类型	博弈战略式（代数）			博弈战略式（数字）		
传统加和技术	B > c > b > 0			当 B = 4，b = 2，c = 3 时		
	战略	P	N	战略	P	N
	P	B - c，B - c	b - c，b	P	1，1	-1，2
	N	b，b - c	0，0	N	2，1	0，0
最弱权重技术	b > c > 0			当 b = 2，c = 1 时		
	战略	P	N	战略	P	N
	P	b - c，b - c	- c，0	P	1，1	-1，0
	N	0，c	0，0	N	0，-1	0，0
最强权重技术	b > c > 0			当 b = 2，c = 1 时		
	战略	P	N	战略	P	N
	P	b - c，b - c	b - c，b	P	1，1	1，2
	N	B，b - c	0，0	N	2，1	0，0

① Glenn W. Harrison, Jack Hirshleifer. An Experimental Evaluation of Weakest Link/Best Shot Models of Public Goods [J]. The Journal of Political Economy, 1989, 97 (1): 201 -225.

② 张维迎:《博弈论与信息经济学》，上海人民出版社 1996 年版。

1. 传统加和技术下的公共品供给博弈。表1中，B代表当两个人都贡献时每个人获得的公共品支付，而b代表当两个人中仅有一个人贡献时每个人获得的公共品支付。在B>c>b条件下，表1右下方的数字战略式表示当B=4、b=2和c=3时，两个人四种战略组合的情况。唯一的最优供给状态是当参与人支付之和最大时的战略组合（P，P），即两个人都选择供给行动；两人的支付之和最大为2(B-c）或2，其他战略组合的两人支付之和都小于2(B-c）或2，因此，公共品供给的最优值是两个人公共品供给量之和即2B。预测值就是唯一的纳什均衡即战略组合（N，N），两个人都选择不供给行动，这就是著名的囚徒困境，此时两人的支付均为0，因此，公共品供给的预测值是0。可见，公共品供给量的最优值和预测值是不同的，两者的差距可以表示预测值的效率。

2. 最弱权重技术下的公共品供给博弈。参数b是当两个人都供给公共品时每个人从公共品中得到的收益；而c代表某个人供给公共品的个人成本。要使最弱权重技术可行，必须有b>c。表1右边的数字矩阵是当b=2且c=1时两个人选择两种战略四种可能的战略组合及其支付。唯一的最优供给状态是当参与人支付之和最大时的战略组合（P，P），即两个人都选择供给行动；两人的支付之和最大为2(b-c）或2，其他战略组合的两人支付之和都小于2(b-c）或2，因此，公共品供给的最优值是两个人公共品供给量中最小的一个决定即b或2；该博弈有两个纳什均衡即（P，P）与（N，N），分别对应的两个人的支付之和是2(b-c）或2与0，另外，我们根据pareto占优原则将能够最大化两个人支付的纳什均衡作为预测结果，即战略组合（P，P），两个人都选择供给行动，两个人的支付均为（b-c）或1，因此，公共品供给量的预测值是b或1。可见，在最弱权重技术下，公共品供给量的最优值和预测值是相同的，预测值相对于最优值的效率就是100%。

3. 最强权重技术下的公共品供给博弈。参数b是当无论两个中的任何一个人供给公共品时两个人均可从公共品中获得的收益，而c是选择供给公共品的个人支付的成本。同样，一个必须的条件是b>c，表1右边的数字矩阵是当b=2且c=1时，两个人四种可能的战略组合及其支付。最优状态是当参与人支付之和最大时的战略组合（P，N）或（N，P），即两人中的任意某一个人选择供给行为而另一个人选择不供给行为；两人的支付之和最大为（2b-c）或3，其他战略组合的两人支付之和都小于（2b-c）或3，因此，公共品供给的最优值是由选择供给行为的个人决定，即b或2。该博弈有两个纳什均衡即（P，N）与（N，P），对应的两个人的支付之和都是（2b-c）或3，因此，公共品供给量的预测值是b或2。

传统加和技术的最优战略组合是唯一的，即两个人都供给；最弱加权技术的最优战略组合是唯一的，即两个人都供给；最强权重技术的最优战略组合有两个，即两人中的任意一个人供给。在传统加和技术下，只有两个人都

采取了P行为，公共品才能被供给出来，而在最强加权技术下，只有一个人选择供给公共品时，公共品就能被供给出来，而且是效率最高的。因此，不同的技术条件下，“搭便车”有时候是效率最低的，有时候是效率最高的；参与人都选择供给行为，有时候是最优状态，有时候是低效的。在两个人选择供给或不供给的过程中，个人判断的依据之一是公共品供给的技术类型。然而当未涉及加总技术时，导致出现大量不可解释的现象，因此，加总技术的研究丰富了公共品供给效率研究的视角和解释力。

（二）公共品最优供给均衡条件及其战略组合

根据公共品的非竞争性和非排他性，结合加总技术的社会组合函数性质，容易推知传统加和技术的公共品最优供给均衡条件是社会边际成本（数值上与个人边成本相等）等于所有个体边际收益之和（Samulerson，1954）①；最弱权重技术的公共品最优供给均衡条件是所有个体边际成本之和等于所有个体边际收益之和；最强权重技术的公共品最优供给均衡条件是社会上任一个体的边际成本等于所有个体边际收益之和，见表2。

表2 不同加总技术下公共品最优供给均衡的条件及其战略组合比较

技术类型	社会组合函数	最优均衡的条件	最优战略组合	最优值
传统加和技术	$Q=q_1+q_2$	$MC_1=MC_2=MB_1+MB_2$	（P，P）	$Q=q_1+q_2$ 且 $q_1=q_2$
最弱权重技术	$Q=\min\{q_1, q_2\}$	$MC_1+MC_2=MB_1+MB_2$	（P，P）	$Q=q_1=q_2$
最强权重技术	$Q=\max\{q_1, q_2\}$	$MC_1=MB_1+MB_2$	（P，N）	$Q=q_1$ 且 $q_2=0$
		或 $MC_2=MB_1+MB_2$	或（N，P）	或 $Q=q_2$ 且 $q_1=0$

一是在传统加和技术下，小组中两个人对公共品的贡献可以相互替代且 $Q=q_1+q_2$；公共品二人博弈模型的最优均衡条件表明当小组中两个人都选择供给行为时，两个人的边际成本和边际收益都相等即 $MC_1=MC_2$ 与 $MB_1=MB_2$，因此，当且仅当两个人有相同的贡献水平即 $q_1=q_2$ 时，才能达到最优状态。二是在最弱权重技术下，小组中两个人对公共品的贡献不能相互替代且需要同时选择供给行动，公共品才能得以供给，即 $Q=\min(q_1, q_2)$；博弈的最优均衡条件表明两个人的边际成本之和等于两个人的边际收益之和即 $MC_1+MC_2=MB_1+MB_2$，当且仅当小组中两个人都选择供给行为且有相同的贡献水平即 $Q=q_1=q_2$ 时，才能达到最优均衡。三是在最强权重技术下，当两个人中的任何一个人贡献公共品时，公共品就能被供给出来，即 $Q=\max(q_1, q_2)$；博弈的最优均衡的条件表明 $MC_1=MB_1+MB_2$ 或 $MC_2=$

① Samuelson, P. A.. The Pure Theory of Public Expenditure [J]. Review of Economics and Statistics, 1954, 36 (4): 387-389.

MB_1+MB_2，当一个人不供给而另一个人供给公共品即 $Q=q_1$ 且 $q_2=0$ 或 $Q=q_2$ 且 $q_1=0$ 时，才能达到最优状态。

四、公共品供给博弈的赋值分析

（一）给定边际成本、边际收益和总收益

假设个人公共品供给的边际成本为一个固定值，即 $MC_1=MC_2=0.85$，且存在公共品边际效用递减规律，即个人从公共品总量中获得的边际收益随着公共品总量的增加而减少，个人 i 对公共品的边际收益为 $MB_i=0.95-0.05Q$ 和总收益为 $TR_i=1.025Q-0.025Q^2$。因此，个人是否供给公共品及其供给量选择的问题，就转化成了选择公共品贡献量并使自己从公共品上获得的净收益最大问题。表 3 列出了各种加总技术下公共品供给的最优值，可见个人公共品贡献量的最优值与公共品的加总技术关系密切。

表 3 不同加总技术下公共品最优供给均衡条件及其最优值比较

社会组合函数/加总技术类型	最优均衡条件	最优值		
		q_1^*	q_2^*	Q^*
传统加和技术	$MC_1=MC_2=MB_1+MB_2=0.85$	6	6	12
最弱权重技术	$MC_1+MC_2=MB_1+MB_2=1.7$	4	4	4
最好权重技术	$MC_1=MB_1+MB_2=0.85$ 或 $MC_2=MB_1+MB_2=0.85$	12 或 0	0 或 12	12

（二）不同加总技术下公共品供给的最优值及其收益情况

1. 传统加和技术的最优值及其收益。在传统加和技术下，小组中每个人对公共品的贡献可以被两个人共享。当个人贡献一个单位公共品的边际成本是0.85 元时，每个人总是可能根据最优条件逐步多供给一个单位的公共品，直到实现最优均衡，最优均衡的条件是：$MC_1=MC_2=MB_1+MB_2=0.85$。因此，最优均衡时小组中两个人有相同公共品贡献水平，即 $Q=q_1+q_2$ 且 $q_1=q_2$，此时，两个人边际成本和边际收益都相等，且边际收益是边际成本的一半，因此，当且仅当 $q_1^*=q_2^*=6$ 且 $Q^*=q_1^*+q_2^*=6+6=12$ 时，最优条件得到满足。当再增加或减小任何一单位如 $Q=11$ 或 13 时，都会导致两个人总收益的减少。个人纯收益是指个人从公共品总量中获得的总收益减去自己供给公共品而支付的个人成本，因此，得到传统加和技术下公共品供给最优值的个人收益和社会收益为：

$$\pi_1^*=TR(Q)_1-MC_1\times q_1^*=8.7-5.1=3.6$$

$$\pi_2^* = TR(Q)_2 - MC_2 \times q_2^* = 8.7 - 5.1 = 3.6$$

$$\prod{}^* = \pi_1^* + \pi_2^* = 3.6 + 3.6 = 7.2$$

2. 最弱权重技术的最优值及其收益。在最弱权重技术下，如果一个单位的公共品被供给且两人共享之，那么小组中的两个人必须都至少贡献一个单位的公共品，达到最优均衡的条件是：$MC_1 + MC_2 = MB_1 + MB_2 = 1.7$，此时两人的公共品贡献量关系是：$Q = q_1^* = q_2^*$。公共品供给总量是两个人中供给量较小的一个，因此，当且仅当 $Q^* = \min(q_1^*, q_2^*) = q_1^* = q_2^* = 4$ 时，最优条件得以满足。假设公共品的最小单位是 1，那么当 q_1 或 q_2 再增加或减小任何一个单位例如 $Q = 3$ 或 5 时，都会导致两个人总收益的减少。因此，得到最弱权重技术下公共品供给最优值的个人收益和社会收益为：

$$\pi_1^* = TR(Q)_1 - MC_1 \times q_1^* = 3.7 - 3.4 = 0.3$$

$$\pi_2^* = TR(Q)_2 - MC_2 \times q_2^* = 3.7 - 3.4 = 0.3$$

$$\prod{}^* = \pi_1^* + \pi_2^* = 0.3 + 0.3 = 0.6$$

3. 最强权重技术的最优值及其收益。在最强权重技术下，当两个人中的任何一个人贡献一单位的公共品时，公共品就能被供给出来。在该种情况下，社会公共品供给最优均衡的条件是一个人不供给而另一个供给公共品，且满足 $MC_1 = MB_1 + MB_2 = 0.85$ 或 $MC_2 = MB_1 + MB_2 = 0.85$，即一个人的边际成本等于两个人的边际收益之和，因此，得到 $Q = q_1^* = 12$ 且 $q_2^* = 0$ 或 $Q = q_2^* = 12$ 且 $q_1^* = 0$。此时，社会公共品供给量正是两个人贡献量中较大的一个，当且仅当 $Q^* = \max(q_1^*, q_2^*) = 12$ 时，最优条件得以满足。在公共品最小供给单位为一单位的情况下，当 q_1 或 q_2 再增加或减小任何一单位如 $Q = 11$ 或 13 时，都会导致两个人总收益的减少。因此，得到最强权重技术下公共品供给最优值的个人收益和社会收益为：

$$\pi_1^* = TR(Q)_1 - MC_1 \times q_1^* = 8.7 - 0\ (\text{或 } 10.2) = 8.7 \text{ 或 } -1.5$$

$$\pi_2^* = TR(Q)_2 - MC_2 \times q_2^* = 8.7 - 10.2\ (\text{或 } 0) = -1.5 \text{ 或 } 8.7$$

$$\prod{}^* = \pi_1^* + \pi_2^* = 8.7 + (-1.5) = 7.2$$

（三）不同加总技术下公共品供给的预测值及其效率

为便于找到博弈均衡，假设博弈规则为异步规则，因此，后行者不仅知道自己的公共品供给收益与成本情况，而且也知道他的博弈伙伴即先行者对公共品贡献的选择情况，后行者可以计算出自己投资公共品的最优量。然而，先行者的理性选择也将依赖于他对后行者行为的预期，尽管先行者并不知道后行者的收益与支付信息，但是，我们预测先行者将能够正确的推测后行者与自己有相同的收益和支付，且先行者将假设轮到后行者选择行为时，后行者也将按照理性自利的原则选择行动。因此，用博弈论的术语，这种相

互理性情况（mutual rationality condition）意味着可以用子博弈精炼均衡预测博弈均衡，公共品供给预测值与最优值的对比情况见表4。

表4　　三种加总技术下公共品供给和收益的最优值与预测值比较

社会组合函数	公共品供给量			供给量比率T	公共品收益			收益比率t
	q_1	q_2	Q		π_1	π_2	$\prod$	
（1）传统加和技术								
最优值	6	6	12	100	3.6	3.6	7.2	100
预测值	0	4	4	33.3	3.7	0.3	4	55.56
（2）最弱权重技术								
最优值	4	4	4	100	0.3	0.3	0.6	100
预测值	4	4	4	100	0.3	0.3	0.6	100
（3）最强权重技术								
最优值	12或0	0或12	12	100	8.70或 -1.5	-1.5或 8.70	7.2	100
预测值	0	4	4	33.3	3.7	0.3	4	55.56

注：变量q_i、Q、π_i、$\prod$、T和t分别表示个人i的公共品贡献量、公共品供给总量、个人i从公共品供给中获得的净收益、社会所有人从公共品供给中获得的净收益、公共品供给总量的预测值与最优值的比例、公共品供给总量的最优值和预测值下的社会总收益的比例；各个变量的上标*与'分别表示各种变量的最优值和预测值；变量的下标代表博弈中的参与者，1代表先行者和2代表后行者。

1. 传统加和技术的公共品预测值及其效率。在传统加和技术下，先行者将选择不供给，即$q_1'=0$，后行者出于最大化自身利益的考虑决定供给公共品4单位，即$q_2'=4$，因此，公共品供给总量为$Q'=q_1'+q_2'=4$。对于先行者来说，如果他选择任何正数的公共品供给数量，他的净收益就会下降，例如，如果先行者选择$q_1=1$，那么理性自利的后行者将相应的削减自己对公共品的贡献量，即$q_2=3$，从而社会公共品供给总量如前一样维持在$Q=4$的水平上。尽管只有后行者贡献公共品，但是，先行者与后行者都可以获得的公共品收益为：

$$\pi_1'=TR(Q)_1-MC_1\times q_1=3.7$$

$$\pi_2'=TR(Q)_2-MC_2\times q_2=0.3$$

$$\prod{}'=\pi_1'+\pi_2'=4$$

由此，从供给数量和净收益两方面可得公共品供给量的预测值相对于最优值的效率为：

$$T'=Q'/Q^*=4/12=33.33\%$$

$$t'=\prod{}'/\prod{}^*=4/7.2=55.56\%$$

2. 最弱权重技术的公共品预测值及其效率。在最弱连接技术下，先行者

对后行者将准确的与自己一样供给相同的贡献量充满信心，即后行者也将使公共品贡献量达到与先行者相同的水平，即 $q_1' = q_2' = 4$，公共品供给总量 $Q' = q_1' = q_2' = 4$，且公共品供给总量 $Q = \min(q_1', q_2') = 4$，先行者与后行者可以获得的公共品收益为：

$$\pi_1' = TR(Q)_1 - MC_1 \times q_1' = 0.3$$

$$\pi_2' = TR(Q)_2 - MC_2 \times q_2' = 0.3$$

$$\prod{}' = \pi_1' + \pi_2' = 0.6$$

由此，从供给数量和净收益两方面可得公共品供给量的预测值相对于最优值的效率为：

$$T' = Q'/Q^* = 4/4 = 100\%$$

$$t' = \prod{}'/\prod{}^* = 0.6/0.6 = 100\%$$

3. 最强加权技术的公共品预测值及其效率。在最强加权技术下，先行者如同传统加和技术下的理性先行者一样，将选择不供给，即 $q_1' = 0$，认识到这一点之后，后行者将出于自身利益而选择供给公共品，且 $q_2' = 4$，因此，公共品供给总量为 $Q = \max(q_1', q_2') = 4$，先行者与后行者可以获得的公共品收益为：

$$\pi_1' = TR(Q)_1 - MC_1 \times q_1' = 3.7$$

$$\pi_2' = TR(Q)_2 - MC_2 \times q_2' = 0.3$$

$$\prod{}' = \pi_1' + \pi_2' = 4$$

由此，从供给数量和净收益两方面可得公共品供给量的预测值相对于最优值的效率为：

$$T' = Q'/Q^* = 4/12 = 33.33\%$$

$$t' = \prod{}'/\prod{}^* = 4/7.2 = 55.56\%$$

因此，无论是从公共品供给数量的角度还是从公共品净收益的角度，公共品供给的效率都与加总技术的类型密切联系。

五、结论与启发

本文通过比较得出，公共品供给效率的高低、个人是否选择供给公共品及其贡献量的选择，都随着公共品加总技术类型的不同而变化，因此，忽视了加总技术的差异，就很可能在公共品供给效率高低的判断方面得出一些错误结论。首先，在给定公共品边际成本、边际收益和总收益的情况下，公共品供给的最优值和预测值都随着加总技术的变化而变化；因此，公共品是否达到了最优值，一定要看该种公共品的技术类型。其次，当实现公共品供给的最优值时，每个人对公共品的贡献量不一定相同；在传统加和技术和最弱加权技术下，当所有个人的贡献量相同时供给总量才能达到最优值，而在最

强加权技术下，当且仅当只有一个人对公共品贡献时社会公共品供给总量即可达到最优值；因此，是否存在“搭便车”并非公共品供给效率高低的判断标准，“搭便车”有时是低效的，但有时候是最高效的。最后，对于常见的三种公共品加总技术来说，用公共品净收益指标衡量公共品预测值的效率比用公共品供给量指标衡量预测值的效率更高；因此，个人在选择是否供给公共品及其供给数量时，最看重的不是供给数量而是公共品带来的净收益；由此推知从收益角度看，与公共品供给最优值时相比，公共品供给数量不足的程度并非能反映其供给效率的低下，即公共品供给不足情况并非如同数量不足显示的那样效率低下。

公共品供给加总技术的研究十分重视个体差异和个体间互动对公共品供给影响的研究，有利于揭示个人在公共品供给中的行为选择和偏好差异，对探索公共品供给多样化有重要启示。目前，国外学者的相关成果日益增多，理论水平不断提高，但是，国内该领域的研究相对较少，因此，希望本文对加总技术的初步介绍能够促进相关研究。当然，本文缺少对公共品供给加总技术的实验研究和案例分析，这将构成日后研究的重点。

参考文献

[1] Samuelson, P. A. The Pure Theory of Public Expenditure [J]. Review of Economics and Statistics, 1954, 36 (4): 387-389.

[2] Jack Hirshleifer. From Weakest-link to Best-shot: the Voluntary Supply of Public Goods [J]. Public Choice, 1983, 41: 371-386.

[3] Jack Hirshleifer. From Weakest-link to Best-shot: Correction [J]. Public Choice, 1985, 46: 221-223.

[4] Simon Vicary. Transfers and the Weakest-link: an Extension of Hirshleifer's analysis [J]. Journal of Public Economics, 1990, 43 (3): 375 - 394.

[5] Richard Cornes. Dyke Maintenance and Other Stories: Some Neglected Types of Public Goods [J]. The Quarterly Journal of Economics, 1993, 108 (1): 259-271.

[6] Sandler T.. Global and Regional Public Goods: a Prognosis for Collective Action [J]. Fiscal Studies, 1998 (19): 221-247.

[7] Simon Vicary, Todd Sandler. Weakest-link Public Goods: Giving In-kind or Transferring Money [J]. European Economic Review, 2002, 46: 1501-1520.

[8] Glenn W. Harrison, Jack Hirshleifer. An Experimental Evaluation of Weakest Link/Best Shot Models of Public Goods [J]. The Journal of Political Economy, 1989, 97 (1): 201-225.

[9] Samuelson, P. A. Aspects of Public Expenditure Theories [J]. Review of Economics and Statistics, 1958, 40 (4): 332-338.

[10] Todd Sandler. Hirshleifer's Social Composition Function in Defense Economics [J]. Defence and Peace Economics, 2006, 17 (6): 645-655.

[11] Ghislain Dutheil de la Rochère, Jean-Michel Josselin, Yvon Rocaboy. The Role of

Aggregation Technologies in the Provision of Supranational Public Goods: a Reconsideration of NATO's Strategies [J]. The Review of International Organizations, 2011, 6 (1): 85-103.

[12] [美] 曼瑟尔·奥尔森:《集体行动的逻辑》,上海人民出版社 1995 年版。

[13] 张维迎:《博弈论与信息经济学》,上海人民出版社 1996 年版。

[14] 赵宝廷:《公共品双层供给理论与实证研究》,上海三联书店 2009 年版。

Comparative Analysis on the Efficiency of Public Goods Supply under Different Aggregation Technologies

Zhao Baoting HanWenjia

(School of Finance and Taxation, Shandong University of Finance and Economics, Jinan, 250014)

Abstract: The problem of low efficiency of public goods supply is a difficult problem in theory and practice for long time. In this paper, we analyze the effect of aggregation technology on public goods supply efficiency and use the Nash equilibrium of the public goods game to represent the value of the theory of supply, and compare with predicted value and the optimal value of the efficiency. I analyze the public goods supply efficiency and the level of the individual contribution to public goods will change with the total amount of the different types of aggregation technology. When the optimal value of the public goods is reached, the contribution rate of each person to public goods is not always the same. Therefore, whether the free rider is not a criterion for judging whether the supply of the supply is inefficient, the free rider is sometimes effective.

Keywords: Public Goods Aggregation Technology Game Analysis