

分类号 _____
U D C _____

密级 _____
编号 10741



硕士学位论文

论文题目 无线电频谱自然资源资产价值计量研究

研究生姓名: 刘元哲

指导教师姓名、职称: 周一虹 教授

学科、专业名称: 会计学

研究方向: 财务会计理论与方法

提交日期: 2022年6月1日

独创性声明

本人声明所呈交的论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

学位论文作者签名： 刘元哲 签字日期： 2022.6.6

导师签名： 周一虹 签字日期： 2022.6.6

关于论文使用授权的说明

本人完全了解学校关于保留、使用学位论文的各项规定，同意（选择“同意”/“不同意”）以下事项：

1. 学校有权保留本论文的复印件和磁盘，允许论文被查阅和借阅，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编学位论文；

2. 学校有权将本人的学位论文提交至清华大学“中国学术期刊（光盘版）电子杂志社”用于出版和编入 CNKI《中国知识资源总库》或其他同类数据库，传播本学位论文的全部或部分内容。

学位论文作者签名： 刘元哲 签字日期： 2022.6.6

导师签名： 周一虹 签字日期： 2022.6.6

Study on radio spectrum natural resource asset value measurement

Candidate : Liu Yuanzhe

Supervisor :Zhou Yihong

摘 要

无线电频谱资源是一种特殊的自然资源,在如今的国际竞争舞台上具有举足轻重的地位,是应用无线电技术的基础。如今,信息化建设如火如荼,无线电通信技术获得空前发展,正如互联网改变了人类的商业模式和生活方式,无线电技术应用将引领时代的新发展。无线电频谱资源极具稀缺性,因此如何对频谱资源进行价值计量,正确的认识频谱资源蕴含的巨大经济价值,对其进行合理定价,最大限度发掘其经济价值,提高使用效率,是目前频谱管理的重要目标。无线电频谱资源自身存在一定的特殊性,目前还没有通用的价值计量方法,因此,寻找合适的价值计量方法成为解决目前频谱资源管理难题的关键。

本文对现有的频谱资源价值计量方法进行了对比分析,发现现有的方法都存在一定程度上的局限性,未能体现出频谱资源的实际价值,不适用于我国的频谱资源管理体制。基于此,本文提出利用环境重置成本法对频谱资源进行价值计量。环境重置成本法是对频谱资源资产利用和保护过程中发生的所有成本进行归集,并建立多因子三层成本复合模型,对频谱资源资产进行价值计量。选取无线电频谱 700MHz 频段进行模型应用,700MHz 频段是移动通信应用的黄金频段,具有极高的价值。从无线电频谱自然资源资产管理角度出发,基于无线电频谱资源达到并维持在持续创造价值的资产状态所需的成本进行归集,建立基于环境重置成本法的无线电频谱资源资产三层成本价值计量模型,计算得出无线电频谱资源 700MHz 频段的现有总价值约为 2549.12 亿元,证明了无线电频谱资源的价值计量难题可以用环境重置成本法来解决。本文首次将无线电频谱自然资源作为一项资产,并利用环境重置成本法进行价值计量,扩大了自然资源资产的价值计量范围,并且为无线电频谱等非传统自然资源探索出了一种科学、合理的价值计量方法,对会计理论研究有着一定的意义。基于计量所得的频谱资源价值,对无线电频谱资源资产的管理提出两个建议:1.加速推进无线电频谱资源资产的价值计量进程,制定合理的价值机制;2.构建完善的无线电频谱资源交易市场,完善频谱资源管理体制。

关键词: 无线电频谱资源 环境重置成本法 价值计量 700MHz 频段

Abstract

Radio spectrum resource is a special natural resource, which plays an important role in the international competition stage and is the basis of the application of radio technology. Nowadays, information construction is in full swing, and radio communication technology has achieved unprecedented development. Just as the Internet has changed the business model and lifestyle of human beings, the application of radio technology will lead the new development of The Times. Radio spectrum resources are very scarce, so how to measure the value of spectrum resources, correctly understand the huge economic value of spectrum resources, price it reasonably, explore its economic value to the maximum, and improve the use efficiency are the important objectives of spectrum management at present. The radio spectrum resource itself has certain particularity, and there is no general value measurement method at present. Therefore, finding an appropriate value measurement method has become the key to solve the current problem of spectrum resource management.

This paper makes a comparative analysis of the existing measurement methods of spectrum resource value, and finds that the existing methods have some limitations, which fail to reflect the actual value of spectrum resource and are not suitable for the management system of spectrum resource in China. Based on this, this paper proposes

to use environmental replacement cost method to measure the value of spectrum resources. Environmental replacement cost method is to collect all the costs occurred in the process of spectrum resource assets utilization and protection, and establish a multi-factor three-layer cost composite model to measure the value of spectrum resource assets. 700MHz frequency band of radio spectrum is selected for model application. 700MHz frequency band is the gold frequency band of mobile communication application and has high value. From the perspective of radio spectrum natural resource asset management, the three-layer cost value measurement model of radio spectrum resource asset based on environmental replacement cost method is established based on the collection of the cost of radio spectrum resource to achieve and maintain the asset state of continuous value creation. It is calculated that the total value of the 700MHz band of radio spectrum resources is about 254.912 billion yuan, which proves that the problem of measuring the value of radio spectrum resources can be solved by environmental replacement cost method. In this paper, first the radio spectrum of natural resources as an asset, and use the environment value based on the replacement cost method and expand the value scope of natural resources assets, such as radio spectrum and explore a kind of unconventional natural resources science, fair value measurement method, has a certain significance for accounting theory research. Based on the value of

spectrum resources measured, two suggestions are put forward for the management of radio spectrum resource assets: 1. Accelerate the value measurement process of radio spectrum resource assets and formulate a reasonable value mechanism; 2. Establish a sound radio spectrum resource trading market and improve the spectrum resource management system.

Keywords: Radio spectrum resources; Environmental replacement cost method; Value measurement; 700 MHz band

目 录

1 绪论	1
1.1 研究背景及意义	1
1.1.1 研究背景	1
1.1.2 研究意义	2
1.2 相关概念	4
1.2.1 自然资源与无线电频谱资源	4
1.2.2 无线电频谱自然资源资产	5
1.3 研究内容与研究方法	5
1.3.1 研究内容	5
1.3.2 研究方法	6
1.4 研究思路	7
1.5 创新之处	8
2 文献综述与理论基础	9
2.1 文献综述	9
2.1.1 无线电频谱资源经济价值研究	9
2.1.2 无线电频谱资源资产管理研究	11
2.1.3 文献述评	12
2.2 理论基础	12
2.2.1 可持续发展理论	13
2.2.2 外部性与产权理论	13
2.2.3 自然资源价值计量	14
3 无线电频谱资源的属性和经济价值形成	16
3.1 无线电频谱的属性	16
3.1.1 无线电频谱的物理属性	16
3.1.2 无线电频谱的经济属性	17
3.2 无线电频谱资源经济价值形成	22
4 基于环境重置成本法的无线电频谱资源资产价值计量模型构建	24
4.1 现行无线电频谱资源资产价值计量方法比较分析	24
4.1.1 现行无线电频谱资源资产价值计量方法简介	24
4.1.2 现行无线电频谱资源资产价值计量方法比较	27
4.1.3 利用环境重置成本法对无线电频谱自然资源资产进行价值计量	29
4.2 环境重置成本法	29
4.3 无线电频谱自然资源资产价值计量模型构建	30
4.4 无线电频谱资源资产价值实现路径及模式	31
4.4.1 恢复层成本	32
4.4.2 维护层成本	32
4.4.3 战略层成本	33

5 基于环境重置成本法的无线电频谱资源资产价值计量模型应用	35
5.1 无线电频谱资源 700MHz 频段基本情况	35
5.2 无线电频谱资源资产价值计量模型分析与应用——以无线电频谱 700MHz 频段为例	36
5.2.1 无线电频谱资源 700MHz 频段恢复层成本	36
5.2.2 无线电频谱资源 700MHz 频段维护层成本	39
5.2.3 无线电频谱资源 700MHz 频段战略层成本	41
5.3 无线电频谱资源资产 700MHz 频段价值	42
6 研究结论与政策建议	44
6.1 研究结论	44
6.2 政策建议	44
6.3 研究不足	46
6.4 研究展望	46
参考文献	47
后 记	51

1 绪论

1.1 研究背景及意义

1.1.1 研究背景

无线电频谱资源是一种特殊的自然资源，在如今的国际竞争舞台上具有举足轻重的地位。信息化建设是如今世界发展的潮流，更是世界各国今后竞争的关键所在，信息化建设已经成为国家发展的重要战略布局。我国高度重视信息化建设，将新一代信息技术纳入战略性新兴产业，提供资金和政策上的双重支持，以加速我国信息化产业的发展。工信部如今已经形成《无线电频谱资源法（草稿）》，正在努力推动《无线电频谱资源法》的立法。无线电频谱资源作为支撑无线电技术应用的核心资源，我们必须站在国家战略的高度上，加强频谱资源管理，充分发掘其作为重要战略资源应有的价值。

无线电频谱资源是一种极具战略地位的自然资源，在政治、军事、经济和民生领域发挥出了巨大的作用。首先，无线电频谱均等分布在地球各个空间，资源的归属和利用关系到国家的主权利益；其次，无线电频谱大量应用于雷达等国防战略设施，关系到国家的领土安全；第三，频谱资源普遍应用于经济建设和社会发展中，是现代社会信息化建设的核心资源，是国家发展的重要因素；最后，频谱资源在社会民生领域的应用尤其关系到人们的生命和财产安全，例如在现代交通运输、抢险救灾等的应用是人民生活的保障。

频谱资源影响我们的生活的方方面面，但我国对于频谱资源的管理规划却没有体现出这种重要性，因此我国的频谱资源存在一定程度的供需矛盾。究其原因，首先是由于历史原因使得相当一部分的频段被一些部门牢牢把控；二是频谱资源市场化进程缓慢，分配模式以传统的申请制度为主；三是由于频段本身属性的差距使得不同频段之间的竞争力差异较大，造成一些频段拥挤不堪，一些频段无人问津。

由于我国对于频谱资源的分配不合理和利用效率偏低等问题，并没有发掘出频谱资源的战略价值。我国没有无线电频谱等自然资源的成熟市场，因此不能利

用市场机制对其进行合理定价，这也就导致了我国频谱使用成本远低于其真实价值。因此，我们就只能寻求一种频谱资源资产的价值计量方法，首先能计量出频谱资源的真实价值，再根据价值定价格，加强频谱资源的管理。但是目前传统的价值计量方法无法应用于频谱资源，导致我们无法了解到频谱资源的真正价值，因此我们需要寻求一种新的价值计量方法，这种计量方法既要满足无线电频谱资源作为自然资源的一般性，也要满足其特殊性。

国外对于无线电频谱的定价是采用拍卖形式，各方根据自身需求，公开竞争，利用市场来定价，这就解决了无线电频谱价值计量难的问题，这也使得国外频谱资源的拥有者依靠拍卖获取了巨大了经济收益，同时也能够缓解供需矛盾，使资源得到最大程度上的利用。我国目前对于无线电频谱的定价方式依旧处于探索阶段，究其原因是没有合适的方法对其进行价值计量，无法正确认识到其价值，同时由于我国国情的特殊性，无法完全引入国外的市场机制，因此使得频谱管理相对滞后，供需矛盾逐渐突出。我国现在的频谱分配方式是以行政手段为主，企业根据自身需求进行申请，使用时支付一定数量的频占费。但这种分配机制下，频占费价格极低，企业通常会申请大于自身需求的频谱数额，造成了极大的资源浪费，同时一些企业申请不到频段，会采用违法手段盗用频段，干扰原本的使用方，因此现有的频谱分配和定价模式已经无法适应无线电产业的快速发展。在这种情况下，我们需要探索出一种适合的价值计量方法，对频谱资源进行价值计量，在对其价值有充分了解的基础上，在后续分配和利用中以价值定价格，提高资源利用率和加强频谱资源市场化管理，充分发掘其作为重要战略资源应有的价值。

1.1.2 研究意义

1.理论意义

(1) 目前，社会公众对自然资源的认识还停留在水资源、森林资源、矿产资源等肉眼可见的有形资源，因此现有的对自然资源资产的价值计量大多集中在此类有形资源上。随着科技的发展和社会的进步，无线电频谱自然资源等无形的非传统自然资源在社会发展和进步中发挥着越来越重要的作用。受限于无线电频谱自然资源的特殊属性，对其进行经济价值的研究十分困难，因此这也是今后自然资源资产价值计量领域的一个重点和难点。本文在理论上将环境重置成本法首次

用于无线电频谱等非传统自然资源的价值计量,首先拓展了自然资源资产价值计量研究的范围,其次为无线电频谱自然资源资产的价值计量提出了一种科学、合理的方法。

(2)以自然资源资产的稀缺性为理论基础,以无线电频谱资源为研究对象,对频谱资源进行价值计量,在理论上为无线电频谱资源等非传统中自然资源提供一种可行的价值计量方式,同时为我国频谱资源的市场化进程和规范化管理提供依据。通过对频谱资源资产的价值计量方法进行研究,可以摸清频谱资源的“家底”,为进行有效的频谱资源管理提供价值依据,充分发掘频谱资源作为战略资源的重要性,同时也为其它相似的自然资源资产价值计量探索一种可行方式。

将会计理论应用于无线电频谱自然资源的价值计量领域,是目前学术上的热点和难点,也是会计解决现实问题的典型事例,对非传统自然资源的价值计量提供了一定的借鉴,为一直以来价值计量的难题提供了有效的解决方式。

2.现实意义

(1)有利于推动我国频谱资源管理体制的完善

我国的频谱资源自由竞争市场不成熟,行政分配模式占据主要地位,相较国外方式较为单一,这也是我国目前频谱资源管理滞后于国外的原因之一。相比无线电技术产业的高速发展,我国的频谱资源管理方式已经在一定程度上限制了频谱资源市场的发展,因此,对我国无线电频谱资源的管理体制进行改革和完善是目前的重要任务。对频谱资源资产的价值计量方法进行研究,可以为频谱资源的管理提供价值参考,对完善我国无线电频谱资源市场管理体制有着重要意义。

(2)有利于推动信息技术进步与产业发展

对无线电频谱资源进行价值计量方法研究有利于推动无线电产业的创新和发展。无线电频谱资源价值计量方法研究能够加强政府、相关的单位对这种特殊自然资源的重视,将价值研究作为推动企业及相关机构技术创新的助推器。频谱资源作为现代信息社会的核心发展资源,由于其物理特性而表现出了相当程度的稀缺性,对其价值计量方法进行研究可以为频谱资源的合理定价提供参考,以价值定价格,引导无线电相关企业自由竞争,为具有无线电技术发展能力的企业提供获得频谱资源的机会,通过合理定价改善市场供求关系,促进频谱应用的良性发展。因此,无线电频谱资源价值计量方法的研究对加速无线电技术产业的创新

和发展，推动信息化建设具有重要意义。

(3) 有利于提升我国自然资源资产的管理能力和完整性

探索无线电频谱资源价值计量方法，将频谱资源资产化，摸清频谱资源的“家底”，有利于国家对频谱资源进行宏观管理。国有资产管理报告要求将自然资源资产纳入报告范围，中共中央十八届三中全会提出“探索编制自然资源资产负债表”，无线电频谱资源作为一种重要的自然资源自然也在其中，这些“摸清家底”的举措都离不开价值计量和核算。基于频谱资源资产的价值，对其进行合理的规划，确保我国频谱资源的合理利用，推动无线电技术的不断创新，提高频谱资源服务经济建设和社会发展的能力。对频谱资源的价值计量可以直观的体现它的价值，这也是调节频谱资源供求关系和分配方式的重要前提。因此，频谱资源价值计量方法的研究可以推动我国无线电事业的可持续发展，同时提高我国自然资源资产的管理能力和完整性。

1.2 相关概念

1.2.1 自然资源与无线电频谱资源

在一般意义上来讲，我们认为在一定的历史条件下，人类可以开发利用并且提升自己福利水平的、具有一定的稀缺性、受社会约束的各种环境因素的总称即为自然资源。不难看出，自然资源的概念是随着历史的发展而不断充实的，随着科学技术的进步，越来越多的资源被加入到了自然资源的范畴，例如本文的研究对象无线电频谱资源，就是随着科学技术的进步和社会的发展，逐步被认知为一种自然资源，而由于其本身的特殊性，在我国更是被定义为一种非传统自然资源，这也是社会进步和发展的一种表现。

根据《中华人民共和国民法典释义》对于无线电频谱资源的解读，无线电频谱资源是指频率在 3000GHz 以下的、可以不依靠人工波导而在空间传播的无线电电磁波的集合。无线电电磁波具有良好的传播能力，因此被应用于社会各行各业，可以为我们创造巨大的经济效益。不同于其它自然资源，无线电频谱资源不会被消耗，可以重复利用，但随着科技的发展，频谱资源的应用范围越来越广，这使得其需求量越来越大，而如今又由于技术水平的限制，我们对频谱资源的利用被

限制在 3000GHz 以下，这就体现了频谱资源的稀缺性。因此在理论上，无线电频谱资源符合成为自然资源的一切条件，又由于其明显区别于传统自然资源的特殊属性，在我国被定义为非传统自然资源。中共中央办公厅、国务院办公厅印发的《关于创新政府配置资源方式的指导意见》中明确指出，无线电频谱资源是一种非传统的自然资源，要持续推进频谱资源的市场化配置进程，完善频谱资源的有偿使用制度。因此，不管是在理论还是实际应用中，无线电频谱资源毋庸置疑是一种非传统的自然资源。

1.2.2 无线电频谱自然资源资产

要将无线电频谱自然资源确认为一项资产，从会计角度来讲，要满足两个条件。一是与该资源有关的经济利益很可能流入企业，《中华人民共和国民法典》第二百五十二调明确强调了频谱资源的所有权属性。频谱资源被广泛应用于通信、交通、农业等领域，这都毋庸置疑会为国家带来巨大的经济效益，符合确认资产的第一个条件。第二个条件是资产的成本或者价值能够可靠的计量，目前国际上并没有统一的无线电频谱资源的成本或者价值计量方法，这也是本文提出无线电频谱资源资产价值研究的依据。

1.3 研究内容与研究方法

1.3.1 研究内容

本文在梳理相关文献和总结已有研究成果的基础上，探索研究无线电频谱资源资产的价值计量方法，并基于环境重置成本法，构建出三层多因子分析模型，结合该领域相关数据，初步计算出我国无线电频谱资源的价值，在此研究结果的基础上对我国频谱资源的市场化提供相关指导。

第一部分：绪论。

本章主要阐述研究背景及意义，介绍本文涉及到的相关概念、研究思路与研究方法、研究内容和创新之处。

第二部分：文献综述与理论基础

本章主要对本文研究的相关文献进行梳理与综述，并且理论基础进行阐述，

包括可持续发展理论、外部性与产权理论和自然资源价值计量理论。

第三部分：无线电频谱资源的属性和经济价值形成

本章主要从无线电频谱资源的物理学属性、经济学属性和经济价值的形成等角度来对无线电频谱资源价值计量问题进行综合的理论研究，为后续价值计量方法研究具体内容的展开，奠定科学的基础。

第四部分：基于环境重置成本法的无线电频谱资源资产价值计量模型构建。

本章主要是对国内外现行无线电频谱资源资产价值计量方法进行介绍，并对这些计量方法的特点和适用范围等做一个比较分析。介绍环境重置成本法的基本情况，构建符合无线电频谱资源资产价值计量的多因子三层复合成本模型，证明利用环境重置成本法计量无线电频谱资源资产的科学性和可操作性。

第五部分：基于环境重置成本法的无线电频谱资源资产价值计量模型应用

结合环境重置成本法模型和无线电频谱资源的工作原理构建出无线电频谱资源资产价值计量模型，并对其进行分析。将模型应用于无线电通信行业，探究利用环境重置成本法对无线电频谱自然资源资产进行价值计量在实际中的可操作性。

第六部分：研究结论和政策建议。

1.3.2 研究方法

论文采取规范研究法，以可持续发展理论、外部性与产权理论、自然资源价值计量理论为理论基础，构建环境重置成本法三层多因子复合成本模型，对无线电频谱自然资源资产进行价值计量，利用环境重置成本法解决无线电频谱资源价值计量难问题。

1.4 研究思路

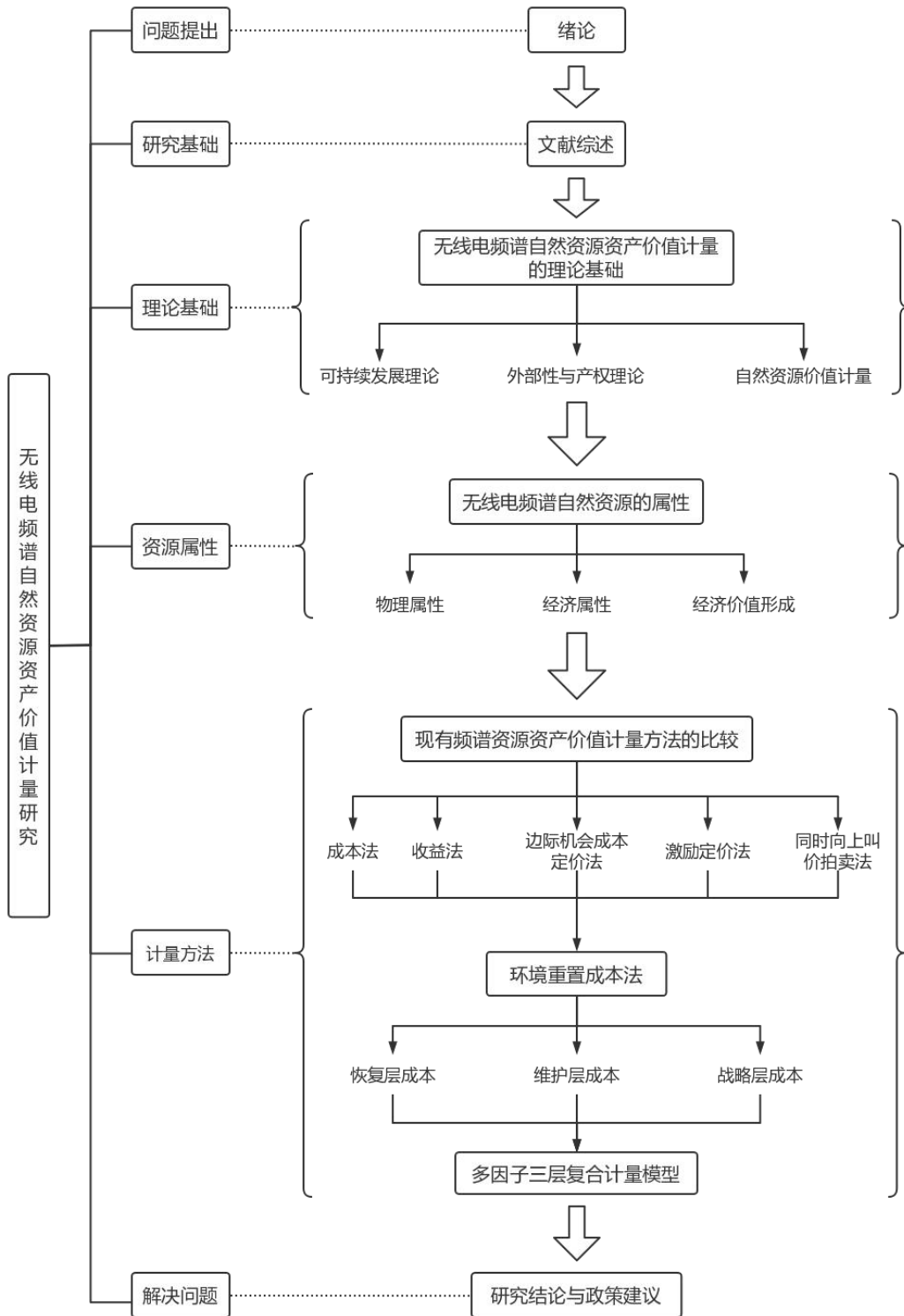


图 1.1 研究思路图

1.5 创新之处

无线电频谱作为一种非传统的自然资源,在当今信息化时代具有十分重要的战略地位,但是由于其特殊性,目前没有成熟的方法能够对其进行价值计量,导致频谱资源管理混乱、使用效率低等问题,本文就是在这样的现实情况下提出以无线电频谱自然资源的资产属性为切入点,通过构建无线电频谱自然资源资产价值计量模型,对无线电频谱自然资源资产进行价值计量,再从资产的管理角度出发来解决频谱资源管理方面的难题。

环境重置成本法是对自然资源和生态环境进行价值计量的方法,成功地对诸多不同种类的传统自然资源和生态环境进行了价值计量,本文突破性的将环境重置成本法应用到无线电频谱这一种非传统自然资源的价值计量上,在理论上为非传统自然资源的价值计量提供了一种科学、合理的方法,并且对极具代表性的无线电频谱资源 700MHz 频段进行了实际的模型应用,计算出了其现有总价值,为无线电频谱自然资源资产的管理提供了有效参考。

2文献综述与理论基础

2.1文献综述

目前国内外对无线电频谱资源的研究主要集中在频谱资源的经济价值研究以及频谱资源资产的管理两个方面。频谱资源的经济价值研究首先是从频谱资源对 GDP 的贡献开始,利用频谱资源的对 GDP 的贡献对频谱资源的经济价值进行衡量,其次是根据频谱的使用价格来衡量频谱的经济价值,这两个角度都对频谱资源的经济价值衡量提供的理论支持。频谱资源资产的管理主要从经济原则差异、市场体制差异等角度,分析频谱资源资产管理模式的差异,以期为我国频谱资源资产管理模式的完善提供帮助。

2.1.1无线电频谱资源经济价值研究

无线电频谱资源要想确认为一项资产,不可避免要对其进行价值计量,如果其价值不能准确可靠地计量,无线电频谱资源资产这个概念也就不存在了。但是由于无线电频谱资源是我们日常认知之外的看不见摸不着的自然资源,因此国内外学者并没有对其足够重视,加上频谱资源的价值计量和核算工作是一项巨大的工程,因此,截至目前,国内外关于频谱资源价值计量方面的研究非常匮乏。

对频谱资源价值计量的研究首先是从其经济价值角度进行。GDP 是我国经济发展最为重要的衡量指标,因此有国内学者从频谱资源对 GDP 增长的贡献程度这一角度进行研究。闫晶晶,吕廷杰(2011)根据生产者剩余和消费者剩余两个理论,对 GDP 中频谱资源所占的直接贡献比重进行测算。杨克俊(2005)将频谱资源的经济价值分为了两个层面,宏观层面可以用频谱资源在生产活动中产生的经济价值来衡量,微观层面则可以用运营商愿意为无线电频谱作为原材料支付的价格来衡量。孙静,吕廷杰,王慧贤,张兴萍(2011)通过建立柯布-道格拉斯生产函数进行回归分析,结果是频谱资源的开发投入对 GDP 的增长有显著作用,高达 6.3%。还有一些学者提出频谱投入生产才能体现其价值,而频谱本身并没有价值,因此可以利用频谱投入生产所带来的经济利益来衡量频谱资源的价值。根据这一观点,这些学者提出净现值法是确定频谱资源价值的有效方式,

将频谱资源投入生产所能带来的经济利益进行预估并折现,以此作为频谱资源的价值。

除去利用频谱资源的经济价值对 GDP 的贡献来分析频谱资源的经济价值,还有学者以频谱资源的使用价格为角度确定其经济价值。Chris Doyle(2007)提出可以用行政激励定价(AIP)来代替基于行政费用回收的频谱价格,相较后者,前者将可以提高频谱利用率的激励机制反映在频谱资源的经济价值中。Devi&Lalitha(2011)对不同的频谱资源定价方法进行了讨论,并且将 PLP(分组级协议)应用在了频谱资源的定价方式中。目前在全球一些经济发达国家,都在大规模应用拍卖方法对无线电频谱资源进行分配,这种以市场定价的机制可以较好协调利益相关者之间的关系,具有一定的公平性,因此在市场较为完善和成熟的国家非常流行。Paul R.Milgrom 发明了“同时向上叫价拍卖”机制,弥补了传统拍卖法在频谱拍卖领域的不足,美国联邦通信委员会(FCC)利用这种拍卖机制,在频谱拍卖上大获成功。还有部分学者认为根据频谱资源应用过程中产生的包括技术和管理等方面的实际成本,以此为基础对频谱资源进行定价的方式是比较合理的。裴郁杉(2019)提出用较市场法来评估为之频谱资源的的价值。但这种方法存在一个明显的缺陷,即必须存在已知的频谱资源价值。张凤奇,杜振华(2005)提出以评选和招标的方式对频谱资源进行分配,以合理评估的频谱资源使用成本,作为确定其经济价值的基础。王小戈(2012)根据数理统计原理构建了包含多种特征系数的无线电频谱资源价值数理模型及其合理的计量方法。

现有研究提出了多种方法对频谱资源进行价值计量,为提高频谱资源管理水平提供了价值计量依据,但同时这些方法也都存在一定程度的局限性。例如利用频谱资源对 GDP 的贡献程度来衡量其经济价值,但频谱资源的价值创造要以来技术和管理方面的投入,其本身并不具备创造价值的的能力,因此频谱资源对 GDP 的贡献受其它因素的影响,无法十分精确地计量。成本法是国内外应用较为广泛的价值计量方式,成本法是基于历史成本进行计量,计量结果相对更具有可靠性,但历史成本没有将频谱资源的稀缺性和现实需求考虑在内,因此计量结果不足以反映频谱资源目前的真实价值,对未来的频谱资源管理缺乏指导意义。现有的频谱资源价值计量方法都存在的问题,不能科学合理的对频谱资源价值进行计量,考虑到频谱资源的管理现状,迫切需要提出一种可以弥补上述方法局限性的

新方法,基于此,本文将环境重置成本法引入到无线电频谱自然资源资产的价值计量中,为解决频谱资源的计量难题提供一种科学的方法。

2.1.2 无线电频谱资源资产管理研究

随着无线电技术的发展和应用,频谱资源的需求量与日俱增,而在频谱资源供不应求的情况下,合理的频谱资源管理方式是解决当下难题的唯一途径。本文是对频谱资源价值计量方法进行研究,因此这一阶段将主要对基于频谱资源价值的管理方式进行综述。

对于频谱资源的管理,传统上主要是以技术手段和行政手段来管理,这种处理方式在我国社会主义市场经济体系建立前,发挥了巨大作用,但随着我国市场经济的发展,以价值为基础的市场化管理逐步走向成熟,成为最有效的频谱资源管理手段。

William Webb(1998)介绍了经济价值分析、行政定价、交易和竞争等以经济原则为基础频谱管理手段,并对它们的优缺点进行分析,为频谱资源的管理提供新思路。自由市场环境的条件下,Medeisis(2002)以宽带无线接入系统为视角对频谱管理手段进行了分析。Verma A(2007)提出特殊无线电频率的使用可以根据频谱交易的市场管理方法来决定。Morten Falch, Reza Tadayoni(2004)以现有监管体系前提,比较了基于经济和技术方法的频率资源管理,探讨了频谱资源管理所面临的挑战。他们对自由市场法的优缺点进行了探讨,认为自由市场的方式在某一些频谱资源管理过程中并不适用,因此,在今后一段时间监管机构仍然需要对频谱资源申请者进行排序。Marcus(2005)提出在付出一定代价的前提下与其他用户共享频谱是一种有效的频谱资源市场管理办法。通过国外学者在这一领域的代表性成果可以看出,国外学者对频谱资源管理的研究主要集中在分析经济因素在频谱资源管理中的作用,此外还有部分学者对比研究了不同频谱资源管理方式之间的差异,得出了不同的看法。通过对完整频谱所有权和组织开放共用的频谱资源进行对比,有学者探讨了自由市场法的优缺点,指出自由市场法不能适用于全部的频率分配,因此仍然需要将所有的频谱申请排序加以管理。

我国学者对于无线电频谱资源管理方式所做的研究集中在对行政审批优缺点的分析和自由市场竞争手段的介绍,很少对频谱资源经济价值在频谱管理中如

何发挥作用进行探究,究其原因,还是由于我国的频谱资源分配模式主要是以单一的行政审批为主。王雅平(2003)提出要充分发挥经济手段在频谱资源管理上的作用,将市场“看不见的手”和政府“看得见的手”充分结合,发挥更大的作用。张凤奇,杜振华(2005)认为频谱资源的使用成本是频谱资源管理的重要影响因素,要坚持频谱资源有偿使用原则。冯晓敏(1999)分析了传统的频谱分配方式存在的缺陷,他提出用经济价值分析、买断定价、交易和竞争等经济技术手段对频谱资源进行管理。

2.1.3 文献述评

现有研究从不同角度衡量无线电频谱资源的经济价值,为频谱资源资产的管理提供了价值参考,但不论是频谱资源对 GDP 的贡献角度还是频谱的使用价格角度,都存在一定程度上的局限性。

利用频谱资源对 GDP 的贡献程度来衡量其经济价值,局限性在于频谱资源的价值创造依赖技术和管理方面的投入,其本身并不具备创造价值的能力,因此频谱资源对 GDP 的贡献受其它因素的影响,无法十分精确地计量;利用频谱的使用价格来衡量其经济价值,局限性在于频谱资源受市场体制、地区经济发展程度等多种因素影响,并不能准确反映频谱资源的经济价值,例如电信行业在我国是关心国计民生的基础性产业,电信运营商的所支付的频谱价格极低,完全不能反映频谱资源的经济价值。由于这两个方面的局限性,我们无法获知频谱资源最真实的经济价值,这就阻碍频谱资源资产管理体制的完善。基于此,本文将利用环境重置成本法对无线电频谱自然资源资产进行价值计量,在后续分配中根据频谱资源的实际价值,正确结合行政手段和自由市场手段进行频谱分配,让频谱资源发挥最大的作用。

2.2 理论基础

理论基础是本文无线电频谱自然资源资产价值计量研究的立论部分,以期在理论依据支撑的基础上,建立本文的研究框架。自然资源的价值计量是一项巨大的工程,需要针对不同自然资源的共性和特殊性进行研究,为后续频谱资源价值计量研究具体内容的展开奠定理论基础。

2.2.1 可持续发展理论

《我们共同的未来》对可持续发展有以下定义：“能满足当代人的需要，又不对后代人满足其需要的能力构成危害的发展”。这个定义可以从两个角度去理解：第一，重视人们的需求，要确保目前人类的基本需求。第二，限制了自然资源满足当前和未来需要的能力。从定义可不难看出，实现人类发展与自然生态环境的持续可得是可持续发展理念的最终目的，这不仅意味着要维持人类社会的正常发展，还要让我们处在一个良好的生态环境下。可持续发展理念没有单单讨论自然生态环境的持续发展，而是告诉我们人类社会的持续发展要以自然生态环境的可持续发展为基础，这就为我们带来了警醒。

无线电自然资源虽然不会被消耗，但是由于科学技术的限制，我们对频谱资源的认知依然处在一个很局限的状态，因此可以为我们所利用的频谱资源是有限的，而无线电产业的飞速发展又带来了频谱资源的严重稀缺性，由于频谱资源本身的物理性质，一旦我们将它用于某一用途并付出一定的代价使其发挥作用，那么这部分频段就只能应用于这一用途，如果我们需要对其变更用途，则又要付出很大的代价对其进行“清频”，因此从这个角度来讲，无线电频谱资源和传统的自然资源一样，对于我们的子孙后代来说都是用一部分就少一部分的珍贵资源，因此从可持续发展的角度，我们需要对现有的频谱做严格规划，确保无线电频谱资源的可持续利用。

2.2.2 外部性与产权理论

外部性是 20 世纪初由马歇尔和庇古提出，指的是一个经济主体的活动对其他相关的主体产生了影响，而这部分影响并不是由生产者或者消费者来承担的现象，而根据影响的有利与否又分为正外部性和负外部性。学术界针对外部性提出了很多针对性的解决办法，较为典型的是科斯定理和庇古提出的将外部问题内部化，这种方法最具代表性的应用是在自然资源的保护以及生态环境的治理领域，例如流域生态系统价值实现（芦海燕，2019）。

关于产权理论，学界主要是对人与财物以及人与人之间的关系两个维度进行了研究。首先，从人与财物的关系出发，德姆塞茨（1994）提出人对于受益和受

损的权利是依靠产权来界定,进而明晰补偿的主客体或资产归属,并以此对人们的行为方式进行修正。其次,以财物资产为基础,利用人与人之间的关系来分析产权的本质。菲吕博顿和配杰威齐(1994)认为产权并非指人对财物资产的拥有权,而是人与人之间关于财物资产达成一致。袁庆明(2014)对此持有相同观点,也认为产权反应的是人与人之间在财物资产基础上形成的相互认可关系。关于产权权利的范围,刘诗白(1998)认为财产的所有权、占有权、收益权和处置权是所有者至少要拥有的四项权力。关于产权的划分,张五常(2000)以是否具有排他性、可分割性、可让渡性与清晰性为基础将产权划分为私有产权和共有产权。

2.2.3 自然资源价值计量

自然资源是人类生存与发展的物质基础,人类目前进行的所有的物质生产活动都要从自然界获取初始资源。摸清自然资源的价值,进行合理的资源管理,对其开发、保护和利用具有十分重要的意义,对自然资源进行价值计量的过程和方法,是在自然资源的开发、利用和保护的过程中进行,是我们正确认识自然资源价值的核心和基础。目前,关于自然资源价值计量方法的研究已经进行了很长时间,也出现了多种具有一定实践性意义的方法,可以对一些自然资源进行相对准确地价值计量,根据不同的计量基础,可以把我国现有的价值计量方法大致分为以下两类,以自然资源生态系统服务功能为基础的价值计量方法和自然资源维护成本为基础的价值计量方法。

(1) 以自然资源生态系统服务功能为基础的价值计量方法

不同的自然资源之间生态价值属性存在差异,因此存在不同的生态系统服务功能为基础的价值计量方法,包括生态系统服务功能价值法(Costanza,1997),生态效益等价分析法(Richard W Dunford,2004),市场价值法(《环境科学大辞典》编委会,1991),替代市场法,假象市场法,环境重置成本法(周一虹,2015)。

(2) 以自然资源的维护成本为基础的价值计量方法

当自然资源的生态系统服务功能不能够明确的划分和计量时,就要考虑利用自然资源的维护成本进行价值计量。这类方法聚焦自然资源资产与人之间的联系,将自然资源看作是市场主体。包括防护费用法(李怀恩等,2009),恢复费用法,从自然角度出发的机会成本法(李晓光等,2009),生态足迹法,能值分

析法（李苏，2010），最小数据法（赵雪雁，2009）。

3无线电频谱资源的属性和经济价值形成

3.1无线电频谱的属性

3.1.1无线电频谱的物理属性

1.频谱资源的特性

世界各国对于无线电频谱资源的定义不尽相同，但是有一点是一致的，那就是无线电频谱是无线电磁波的集合，而无线电磁波良好的传播能力使得其在引领经济社会发展中有着巨大的作用。无线电频谱资源具有六种特性，这六种特性决定了频谱资源的应用，见表 3.1：

表 3.1 无线电频谱资源的六种特性

有限性	受技术限制，可用频谱资源是有限的
排他性	一定的时间、区域和频域内，某一频率只能供唯一用户使用
复用性	不会因使用而被消耗，一定条件下能重复利用
非耗竭性	不会随着使用而被消耗，正常情况下会一直存在
固有传播特性	传播方式不受行政地域限制，始终按照一定规律传播
易污染性	容易受到其它频率、噪声等的污染，丧失传递信息的能力

2.频谱资源的应用

我国的无线电频率主要应用于移动通信领域、卫星通信领域和雷达导航领域等等，这些无线电技术的应用极大的丰富了我国的无线电产业，推动了我国信息化建设的不断深入。英美国家对于无线电频谱的应用处于世界领先水平，也在一定程度上为其它国家的频谱应用做了示范，因此本文的研究借鉴了英国对于无线电频谱资源经济价值的相关研究，再具体结合我国频谱资源的应用和管理现状，对无线电技术的应用划分为以下几种，如表 3.2：

表 3.2 无线电技术应用划分

应用行业	主要业务
移动通信	公众蜂窝移动通信系统、公众移动数据网络
卫星通信	卫星电视直播/卫星数字音频广播业务，卫星移动/固定通信业务
无线电广播	音频广播、数据广播、广播电视等
交通行业	航空、铁路、水上运输等业务
气象行业	主要包括气象监测业务
军事国防	军事雷达
其它	包括业余移动通信、医疗等业务

3.1.2 无线电频谱的经济属性

无线电频谱自然资源的经济属性包括有限性与稀缺性、外部性、选择与机会成本。对频谱资源的经济属性进行研究，可以让我们更好的认识到频谱资源的价值，进而根据其价值更有效率和效益的进行合理分配与使用。

1. 频谱资源的有限性与稀缺性

经济问题是现代经济社会不可避免要面临的问题，从西方经济学的角度出发，一个社会的经济问题都是由一个基本的经济矛盾所产生，即资源本身的稀缺性和人类对资源无限膨胀的需求的矛盾，这个矛盾与社会处于什么年代或遵循何种经济制度无关。资源的稀缺性决定了它的价值，资源对于人类越稀缺，它存在的价值就越高（汤姆·泰坦伯格，2003）。有限性和稀缺性时无线电频谱资源所具有的首要经济属性。

（1）可用频谱资源有限

根据我国的频率划分规定，3000GHz 以下的频段为无线电频谱的可用范围，这就从数量上对频谱资源的总量进行了限制。

人们对于无线电频谱资源的认识和开发、利用是随着科学技术的发展而不断加深的，正式由于科学技术的限制，目前已经被划分的频谱资源依旧未能被完全利用，有相当一部分数量的频谱资源还处于闲置状态，不能被人类用于经济和社会活动，目前，可适用于现有技术的频段只有几十 GHz。由于复用性和非耗竭

性的存在,我们的确可以在一定程度上对频谱资源进行重复利用,但是不论如何,科学技术的限制使得可以应用于现代无线电业务的频谱数量是有限的。

从管理角度出发,世界各国都设置了专门管理无线电频谱分配、利用的部门,以求对频谱资源进行专业化、合理化的分工管理,这种管理权力主要包括划分、分配和指配。这些管理措施在一定程度上可以使不同频段之间各司其职,有序运行,提高资源使用效率,但与此同时,也使得这些本就稀缺的频谱资源使用受到了更多的限制。我国的频谱资源管理部门是工业和信息化部下的无线电管理局,职责就是根据我国国情,对全国的无线电频谱资源进行统一的规划和分配,这在很大程度上避免了频繁出现信号干扰等有损社会利益的情况,但是也将大多数的无线电业务限制在了固定范围的频率范围内,这对无线电技术的发展产生了负面影响。我国目前的频谱管理面临着两个方面的问题,首先是当前已经开展的无线电业务占据着大部分的频谱资源,这就使得一些新兴的无线电业务无法获取可供使用的频段,阻碍了技术创新和应用;同时由于已有的无线电业务有固定的频谱资源,因此难以向更具优势的频段进行转移,而他们手握的一些闲置频段也无法向其他业务进行转移。这就使得本就数量有限的频谱资源无法发挥出全部的价值创造能力。未来我们的科技水平会越来越高,无线电业务的范围也会越来越广,可能也会有新的可用频段进入我们的可用范围,但是稀缺性会是频谱资源永远的标志,因此除了对位置频段进行挖掘外,从频谱资源的配置和效率上入手成为解决目前频谱资源稀缺的可行手段。

(2) 频谱资源的稀缺性

资源的稀缺性并非是指表面上资源的绝对数量的多少,而是要与人类对这种资源的需求程度,如果需求程度很小甚至不需要,那么数量小也不会存在资源的稀缺性,因此稀缺性这个概念还是要从人类的角度出发,根据人对某种资源的依赖程度去判断。狭义上的资源稀缺性表现为资源数量上的稀缺,即资源数量不能满足人对于自身良好发展的需求,而广义上的稀缺性还包括经济上的稀缺,即利用某种资源进行社会活动所需付出的成本要高于其所能带来的收益,这就意味着,即使我们可以获得这项资源,但是却没有能力去利用它。物质稀缺和经济稀缺共同导致了资源的稀缺性。

① 频谱的物质稀缺

频谱资源的有限性与日益增大的频谱需求造成了如今频谱稀缺的局面。随着无线电技术的持续快速发展,无线电通信已经逐步取代了传统的有线通信,在信息产业中占据主导地位,我们越来越意识到频谱资源在社会生活、经济发展甚至国际竞争中的巨大作用,谁能在频谱资源的国际竞争中占据制高点,就能在接下来的信息化时代掌握话语权,正因如此,合理解决频谱资源在现代化社会建设中的稀缺性成为重中之重。随着频谱资源蕴含的价值逐渐被人类社会认知,其需求量每年都大幅度增长,传统无线电业务占据的频谱资源依旧维持在较高的水平,并且在短期内不会有下降趋势,甚至还需要增加新的频段供其发展,这就可能导致新兴的无线电业务的发展空间被进一步压缩,但是新业务的需求也需要逐步得到满足,例如目前各国都在迅速抢占市场的5G通信业务,甚至在未来几年要进行的6G网络建设,这是无线电发展在现阶段的重心,因此势必会有更多优质频谱资源会进入到5G和未来的6G市场,这会导致频谱资源更加紧缺。无线电频谱资源的市场越来越繁荣,这不仅方便了我们生活的方方面面,也在维护国家稳定和社会幸福等方面做出了重要贡献,但是我们要在满足自身发展需要的基础上进一步优化频谱资源的配置,通过国家管理部门的行政把控将实际上闲置的频谱资源收回并进行重新分配,保障传统业务和新兴业务健康良好并行发展。

②频谱的经济稀缺

频谱的经济稀缺,简单来说,就是频谱资源在产生经济价值的过程中,由于技术、设备等多方面因素使得其产生的经济价值未能达到预期,甚至低于自身由于利用频谱资源所付出的成本,这种情况下即使有频谱资源可用,但也会由于不能获取理想收益而放弃,这就是所谓的频谱的经济稀缺。无线电技术的广泛应用导致了日益增大的频谱需求,这使得频谱使用的竞争性愈发激烈。一方面,频谱资源的用途多样,一段频谱资源可以同时应用于不同的行业,价值更高的频段会引起多种业务的竞争,而相对冷门的频段则无人问津;另一方面,由于频率不同导致的传播属性存在差异的频段,应用于同一业务时在价值创造和成本付出等方面都会存在差异,进而导致不同频段之间有经济效益上的差异。例如将不同的频段同时应用于移动通信业务,在基站覆盖范围和强度相同的情况下,不同频段之间由于物理属性的差异信号强弱会有差距,为了能够向顾客提供更好的服务,通信运营商之间往往会争抢信号更好的频段,这是质量差异导致的结果,我国三大

通信运营商之间信号强度的差异就有这方面的原因存在；同时，不同频段的无线电波由于传播能力存在差异，对一定区域内的基站覆盖强度有不同的要求，传播能力强的频率所需的基站更少，这就会导致成本的差异。总的来说，科技水平的限制不仅导致了可用频谱资源数量上的稀缺，同时也会由于部分频段的开发和使用权成本过高而产生经济稀缺性，如果科技水平的进步领先于频谱资源需求的增长，那么频谱资源的稀缺性可以在一定程度上得到缓解。

有限性与稀缺性是频谱资源最为显著的经济属性，可以说，正是由于稀缺性的存在，频谱资源才具有价值，进而引发供需不平衡形成供需市场。

2. 频谱资源的外部性

外部性可以根据其产生影响的好坏可以分为正外部性和负外部性。对于无线电频谱资源来说，其正外部性是指使用无线电频谱的经济主体，由于其使用频谱的行为导致其他经济主体获得了一定的利益，但却没有从受益者处获得任何补偿。正如我国的移动通信行业，不同公司之间有着不同的无线电业务，例如中国移动和华为，中国移动是频谱资源的直接使用者，也是频谱资源使用成本的承担者，但是华为最为突出的手机业务和 5G 设备业务都要以中国移动所建设的通信网络为基础，因此华为公司因中国移动的无线电业务获益，但是并没有因此向中国移动支付额外费用，这就是中国移动由于使用无线电频谱资源而带来的正外部效应。

对于无线电频谱资源来说，其负外部性是指使用无线电频谱的经济主体，由于使用频谱而使得其他经济主体的利益受损，但是却没有对此付出任何代价。例如无线电应用所产生的干扰现象就是典型的无线电频谱使用的负外部效应。无线电传播过程中容易受到其它无线电信号或者噪声的干扰，使得其无法准确、有效地信息，也会污染电磁环境，使得无线电无法正常应用，带来外部的不经济性。因此，无线电管理部门的职责之一就是保证无线电频谱的正常应用，以减少无线电频谱的应用不当带来的外部不经济性。

3. 频谱资源的选择与机会成本

选择充斥着我们的生活方方面面，购物时会进行比较选择最好的，求职时也会对不同工作做出判断选择最合适的，这是生活中随处可见的选择。而对于资源的选择，是当一种稀缺资源具有多种用途时，我们该选择将这一资源用于何

种用途，因此在经济学概念中选择和资源的稀缺性是一对相互联系的概念。对人类生产生活来说，土地是必不可少的稀缺资源，那么我们就必须考虑如何利用有限的土地资源，是用来种植农产品或是放牧，亦或是建工厂？而对于无线电频谱资源来说，它用途广范围广，因此在利用时也需要做出相应的选择，是将有限的频谱资源用于电视广播业务还是移动通信业务，这都是经济活动中的选择。

（1）频谱资源的选择

在经济活动中，选择是广泛存在的，只要一项资源存在稀缺性，那么这种资源就一定面临着选择，稀缺性是直接原因，选择是必然结果。一般来说，一项资源是随时可得且没有限制，那么这项资源就不具有稀缺性，也就不会需要去做出选择；相反地，一项资源就只是为某一生产活动而存在，那么我们就没有做出选择的余地。

根据经济学的概念，当一项资源的有多种不同的用途时，我们需要从中挑选一种或者几种用途进行应用，这就是经济学上的选择。对于频谱资源来说，由于其物理属性的影响，一些频段相对其它频段具有某些优势，这些频段就会相对来说需求更加旺盛，这就会使多个潜在需求者通过进行某种竞争才能获得频谱的使用权，相反地，某些频段由于其物理特性利用价值低而无人问津。在市场分配机制下，频谱资源往往会分配给能够使整个社会获得最大效益的频谱需求者。

例如本文的研究对象 700MHz 频段而言，原本是用于电视广播业务，在电视数字化后，700MHz 频段被释放出来，由于该部分频段的覆盖范围广、穿透力强，是中国广电和多家电信运营商争抢的“黄金频段”。一方面，中国移动在多个场合向政府主管部门提出将更多的低频段频谱应用于移动通信业务，希望能够获得 700MHz 频段的使用权；另一方面，目前 700MHz 频段的使用权归属于中国广电，虽然广电曾表态在电视数字化完成后将 700MHz 频段释放出来给移动通信业务使用，但随后又明确表示电视广播业务未来还可能对 700MHz 频段有新的需求，可以看出，中国广电和电信基础运营商都想要将 700MHz 频段掌握在自己手中，因此将电视数字化让出的频段用于移动通信业务还具有一定的困难。

这种情况下，政府就面临着选择，将 700MHz 用于何种用途可以为社会带来最大的收益，政府主管部门需要协调多方的利益冲突后做出抉择。这一选择在 2020 年终于出现，随着世界各国对 700MHz 频段的用途变更陆续开展，我国工

信部也做出了 700MHz 频段用途变更的规划,将其用于更具战略前景的移动通信系统,进行 5G 网络建设,使用权依旧归属于中国广电,中国广电也依靠手中的 700MHz 频段进入了我国的移动通信业务市场,成为第四大电信基础运营商。而在仅仅一个月后,中国广电就与中国移动签署合约,共建共享 700MHz 频段,至此 700MHz 频段的争夺战落下帷幕,这是典型的资源稀缺性导致选择的案例。

(2) 频谱资源的机会成本

频谱资源作为一种有限的稀缺资源,其具有的效用多样性和可选择性使得我们在对其进行利用时,要考虑其机会成本。

以频谱资源 700MHz 频段的应用为例,其可应用于电视广播、移动通信、智慧家居、智慧城市等业务,而选择将其应用于无线广播业务时,其他用途就自然而然的被放弃了,当某一频段被用于某种用途后,那么对于 700MHz 频段,它的机会成本就是应用于移动通信、智慧家居、智慧城市等业务能带来的最大收益。而机会成本如果大于电视广播业务所带来的收益,且机会成本是应用于移动通信业务所能带来的收益,那么根据为社会产生最大价值这一原则,就需要将 700MHz 频段变更用途,应用于移动通信领域,一般来说,机会成本是我们做出选择的依据。

3.2 无线电频谱资源经济价值形成

频谱资源是一种特殊的自然资源,对于我们的社会生活和经济发展都具有很大的价值,但是如果单单讨论频谱资源本身,抛开科学技术的作用,那么频谱资源本身是对我们没有任何经济价值的,只能算作一种潜在的经济资源。例如现在人类还没有能力开发的频谱资源,他们本身也是自然存在的,也有潜在的经济价值,但是由于现有的科技水平并不能够将他们利用起来,因此这些未被开发的频谱资源无法为我们创造资源,是典型的潜在经济资源,从会计角度来讲,也就不能确认为一项资产。

现在已经被应用于社会各行各业的频谱资源,例如本文的计量对象 700MHz 频段,也是由于国内移动通信运营商为了将其应用于移动通信业务,建立了覆盖全国的无线网络,投入了大量的人力、物力、技术和资本,这才将其变为社会经济生活的一部分,变成了实实在在可以创造价值的现实经济资源。简单来说,就

是 700MHz 频段是利用无线网络基站等一系列有形的物质载体，实现网络传输，为社会提供移动通信服务，这时频谱作为一种经济资源才是对我们有价值的。

4基于环境重置成本法的无线电频谱资源资产价值计量模型构建

4.1 现行无线电频谱资源资产价值计量方法比较分析

无线电频谱资源的经济价值研究由来已久，中外学界都在这一领域提出了很多开创性的观点，或是将传统的价值计量方法用在频谱资源领域，亦或是创新性的提出结合市场因素的定价方法，这些方法都在一定历史条件下为频谱资源的合理发展做出了巨大贡献，但随着时代的发展，频谱资源的战略价值被逐步挖掘，很多计量方法已经无法准确计量频谱资源的战略价值，本节将对各种无线电频谱价值计量方法进行介绍，并对比分析各自的优缺点，从而寻找到一种合适的频谱资源价值计量方法。

4.1.1 现行无线电频谱资源资产价值计量方法简介

通过无线电频谱资源的经济价值研究来完善我国的频谱资源资产管理制度，协调利益相关者之间的关系，是解决我国频谱资源供需矛盾的可行手段，而频谱资源的经济价值的确定离不开可行的价值计量方法。由于世界各国的国家体制和市场发达程度不同，无线电频谱资源在各国的地位也有所不同，因此根据各国国情不同也有不同的频谱资源价值计量方法。频谱资源的应用遍及社会生活的方方面面，几乎每一个经济主体都是频谱资源的利益相关者，而不同的利益相关者都希望自身的利益最大化，在计量方法的选择上也更偏好利于自身利益的方法，因此在国际上并没有较为统一的价值计量方法，关于频谱资源的价值计量方法目前还处于研究和发展阶段，还需要提出更多的合理方法进行实践应用。严格意义上来说，现行的包括成本法、收益法、边际机会成本定价法和激励定价法都是无线电频谱资源的定价方法，而非价值计量方法，但价格由价值决定，所以定价方法本质上也是价值计量方法。

1. 成本法

成本法是根据无线电频谱资源管理过程中发生的成本来对频谱定价，受两个

单独要素的影响:

- (1) 频谱管理职权涉及的范围
- (2) 计算频谱牌照所采用的方法。

无线电频谱资源的管理成本包括直接成本和间接成本。直接成本主要是在频谱的应用是过程中发生的, 诸如频谱管理人员的工资和站点清除发生的费用等与频谱直接相关的成本; 间接成本主要是指诸如频谱监控和频谱干扰排查等与频谱管理过程间接相关的营业成本。

成本法是依据频谱的管理过程来设置成本费用, 这样一方面可以保证频谱所有者能够从中获取一定的收益, 设置了频谱牌照使用的最低成本, 同时较低的使用成本也保证了频谱使用者能够将更多资金投入到应用过程中, 促进频谱资源更深层次的应用; 但从另一角度来看, 基于管理过程设置的成本费用偏离了频谱资源的真实价值, 长期如此会造成频谱资源的大量浪费和低效率运营, 最终导致频谱资源的管理上出现混乱。成本法更适用于频谱资源发展应用的初期, 为了鼓励更多的企业和组织进入这一领域, 带动频谱资源应用与运营市场的发展, 以成本价格吸引企业进入市场, 或是在某些尖端无线电技术领域, 为了鼓励科技创新, 往往会以成本价格为基础将频谱交付企业使用, 除了上述两种情况外, 成本法就不太适用频谱资源的市场化管理。

2. 收益法

收益法是根据企业使用频谱所产生的收益确定频谱使用价格, 一般是事先约定以企业收益的一定比例进行频谱使用收费, 这种收费方式下频谱价格会随着企业收入的增加而增加, 在企业收入可观的情况下, 这种方式可以显著增加频谱持有者的收益, 该方式也被认为是公平、有效的收费方式之一。

相较其他方法, 收益法定价方式较为市场化, 是根据市场的整体发展和收入情况设置收费比例。但单纯使用收益法进行定价, 也存在一定问题, 首先, 这种方式下的频谱使用费用会相对较高, 可能会在一定程度上阻碍新兴无线电产业进入频谱资源市场, 抑制频谱的创新, 在国际竞争中处于不利地位; 其次, 企业可能由于企业自身综合实力强、服务更好、品牌效应强等频谱之外的因素获得更高的收益, 但他们依旧要为频谱使用付出更高的成本, 这就会导致经营同一业务但收入有差距的企业的频谱使用成本不同, 这对收益更高的企业来讲并不是一

个公平的模式。

3. 边际机会成本定价法

边际机会成本(MOC)定义为生产成本、边际使用者成本与边际外部成本三者的总和,表示使用者耗费某种特定资源时的全部成本。当资源使用者使用或消耗该资源时,将从成本理论角度上考虑必须为此支付相应的边际代价记为 P ,即 $P=MOC$ 。当 $P>MOC$ 时,表示利用某种自然资源的实际所要付出的合理代价大于其理论经济上的合理成本,此时会大大抑制对资源的过度消耗;当 $P<MOC$ 时,表示合理利用某种自然资源实际所要付出的合理代价小于其理论经济上的成本,此时自然资源消耗需求增大。

机会成本法需要首先对频谱的供求关系进行分析和预测,得到不同供求关系下频谱的市场价值,并以此来预估频谱的市场价格,用以指导频谱市场发展。机会成本法在一定程度上可以促进频谱技术创新,鼓励高科技企业进军开发较少的“贫瘠地带”,出让手中多余频段,这就要求政策制定者要为这些企业提供一些灵活变通的政策,让他们在频谱使用上拥有更多的自主性,例如可以允许频谱拥有者在一定期限内可以出租经营自己手中的频段,作为开发“贫瘠地带”的奖励,也可以在使用期限内更改频谱的用途,以发挥出频谱的最大价值。

4. 激励定价法

激励定价法是指为了达成一定的频谱管理规划,以价格作为一种激励措施,从而提高频谱的使用效率。这种方法下需要考虑诸如人口密度、覆盖区域和排他性等多种因素,而对于不同因素影响下的价格也有区别,比如覆盖区域较少的区域可能会以较低的使用价格去鼓励企业对这一区域进行覆盖,而人口密度低的区域的频谱使用价格会相对较低,以激励企业进入这部分区域,保证居民的基本需求。激励定价法的有以下两个特点:

(1) 根据不同频谱的特性和市场需求强度制定价格。

(2) 将多种影响因素纳入价格制定模型中,使得不同需求的企业都能以可接受的成本获取频谱资源。

5. 同时向上价格拍卖法

无线电频谱拍卖是一个难题,众多学者投身于这项研究,但始终没有找到合理的方式对频谱资源这种特殊的资源进行拍卖。频谱资源拍卖的难题也正是源于

其物理特性，传统的拍卖中各拍卖品之间的并没有很强的关联，拍卖之间是相对独立的，拍卖者对于拍品的需求程度是稳定的，不会突然发生变化，但是在频谱许可证拍卖市场中，每个需求者对于频谱的需求是不确定的，通常受到其他频谱许可证的影响。例如，如果一个公司要建立覆盖全国的无线网络，此时已经拥有全国 80%地区的频谱许可证，那么它对剩余 20%地区频谱许可证的需求度就会比其他的竞争者更大，也就会出更高的价格来完成自身覆盖全国范围的无线网络。除此之外，不同频段之间的许可证是具有一定的替代关系，当一个公司拥有一个地区的某一频段许可证后，这一区域的其它频段许可证便没有了吸引力。正因为频谱拍卖存在的这些特殊性，传统的拍卖方法就无法解决频谱的拍卖。

为了解决这一难题，众多学者都对频谱拍卖机制展开乐研究，最终，米尔格罗姆和威尔森提出的同时向上价格拍卖法成功地解决了频谱拍卖的难题，并因此获得了 2020 年诺贝尔经济学奖。同时向上价格拍卖法中，每一个竞拍者都会向所需的一段或多段频谱分别报价，且报价是私密的，竞拍者之间并不知道其他竞争者的报价。每一轮结束后会公布出这一轮中每一段频谱的最高出价，并且以这个价格加上一定的增幅作为下一轮每一段频谱的起拍价格。如果新一轮的拍卖没有产生更高的价格，那么这一频段的频谱就会以上一轮的最高出价作为最终的拍卖价格，所有频段的频谱都依据这种拍卖机制进行，直到所有的频谱都被成功拍卖。这种拍卖机制可以完美解决频谱许可证之间具有相互替代性这一问题。

在拍卖过程中，随着价格的持续攀升，如果某一目标频段的许可证价格已经超出了自身的承受范围，那么竞拍者可能会转向具有替代作用的价格较低的频段，频谱之间的替代作用越明显，最终的拍卖价格就会越接近。这种新的拍卖机制完美解决了频谱拍卖中的难题，为频谱等特殊资源的市场拍卖提供了一种合理的拍卖机制，较大限度的发掘出了频谱资源的价值，较为成功的弥补了传统拍卖方法的不足。

4.1.2 现行无线电频谱资源资产价值计量方法比较

结合诸多学者在无线电频谱资源价值计量方法的研究及应用基础上，了解到频谱资源价值计量的困难所在，以及现有方法存在的局限性，见表 4.1：

表 4.1 现有无线电频谱资源资产价值计量方法比较

计量方法名称	适用范围	优势	局限性
成本法	成本法受到限制较多，适用范围较小，主要用于关系国家安全、民生、新兴高科技研发领域。	可以设置频谱的最低价格，使频谱所有者获取收益，吸引更多企业进入高科技领域，鼓励创新。	根据历史成本进行成本估算，但成本随时发生变化，因此结果不符合实际，且成本法计算得到的价格不能反映出频谱资源的真实价值。
收益法	自由竞争市场	显著增加频谱持有者的收益，是公平、有效的收费方式之一	低估企业频谱相关收益，没有考虑频谱不同频段本身存在的差异，有可能降低频谱使用效率，已知频谱在某些行业的应用和创新
边际机会成本定价法	自由竞争市场	计算结果较为接近真实市场价格，一定程度上可以鼓励科技创新，同时提高鼓励频谱的自由交易	对频谱的市场模拟很难做到十分精确；会导致一定程度上的市场投机行为，扰乱市场秩序
激励定价法	收益较低、缺乏竞争的 行业	考虑了频谱的稀缺性，针对不同的频谱制定不同的价格；考虑诸多市场因素，避免价格与真实市场结果相差较大	对市场因素的考虑会有遗漏，使得制定的频谱价格在一定程度上偏离真实的市场价格
同时向上价格 拍卖法	自由竞争市场	成交价格为真实市场价格，可以协调不同利益相关者之间的关系，相对最具有公平性	成交价格可能过高，为企业带来较大资金压力，可能会在基础性产业中对普通民众造成较大压力；同时很可能在一定程度上抑制频谱技术的创新

资料来源：文献归纳分析

通过归纳、分析、比较各种无线电频谱资源价值计量方法的适用范围、优势和局限性，可以看出由于各方法的计量依据、角度有一定的差异，很难计算出频谱资源的真实价值。为了解决频谱资源资产价值计量的难题，弥补现有各种方法的局限性，要以频谱资源资产管理角度为出发点探索一种科学合理的频谱资源资产价值计量方法，推动我国频谱资源管理体制的完善。这种方法应该以频谱资源的经济价值为核算基础，结合国务院对于自然资源价值计量以成本为属性的要

求,确定在频谱资源带来经济价值的过程中需要发生的各项成本,以及判断所需数据能否获取测量,从而保证这一价值计量方法的科学性和可行性。此外该方法测算的频谱资源价值应将频谱资源价值创造过程中所有的成本都包括在内;最后,在计量频谱资源价值时应充分保证数据的合理性与可靠性。

4.1.3利用环境重置成本法对无线电频谱自然资源资产进行价值计量

从频谱资源的管理角度来看,我们始终没有找到一个合适的频谱资源资产价值计量方法,导致频谱资源的使用价格远远低于其真实价值,这也是目前频谱资源资产管理混乱的根源。现行的无线电频谱自然资源资产价值计量方法形成与不同的时期,有着明显的时代特征,也在一定程度上对频谱资源的发展起到了推动的作用,但是从当前角度来看,这些方法存在诸多局限性,例如核算范围的局限、缺乏可操作性、无法将频谱资源利用过程中的全部成本都包括在内,这些局限性导致了频谱资源资产的价值无法被真实的反映出来。环境重置成本法是将无线电频谱资源开发、利用和保护过程中所产生的所有成本进行归集和核算,能够弥补现有频谱资源价值计量方法的不足,对无线电频谱自然资源进行科学合理的价值计量,因此本文利用环境重置成本法对无线电频谱自然资源资产进行价值计量。

4.2环境重置成本法

环境重置成本法是周一虹于2011年环境会计年会首次提出,在传统重置成本法的基础上结合自然资源管理问题,发展出来的为解决自然资源管理难的价值计量方法。在运用会计计量方法进行价值计量时不可避免的要使用会计计量属性。在当前的经济环境下,自然资源虽然被普遍认为是有价值的,但受限于目前的经济发展现状和自然资源的特殊属性,并未形成可供进行自然资源自由交易的市场,因此原始的会计计量属性无法在自然资源的价值计量中继续使用。环境重置成本法就是在这种现实状况下出现的自然资源价值计量方法。

环境重置成本在解决自然资源 and 生态补偿价值计量难题上取得了重大突破,进行了大量成功的实践应用,例如黄河流域(兰州段)生态补偿价值计量(赵雷刚,2014)、稀土资源开发生态补偿价值(王彦凤,2015)、荒漠生态补偿价值计量(张永坤,2015)、草原生态补偿价值计量(杨阳,2015)、兰州市大气污

染治理环境价值计量（周一虹，2015）、水资源资产价值计量（刘越迪，2018）、尕斯库勒湖湿地生态补偿价值计量（梁萧丹，2018）、甘肃省森林资源生态补偿价值计量（刘薇，2018）、昆明滇池生态补偿价值计量（张鑫懿，2019）。

利用环境重置成本法对无线电频谱自然资源进行价值计量时，将频谱资源视为一种资产。无线电频谱资源是客观存在的自然资源，但其本身并不能创造价值，而是要利用各种技术和设备使得频谱资源达到创造价值的状态，并且要让这种状态持续下去，这时频谱资源才能被视为一项资产。环境重置成本的总额就是为了使无线电频谱资源达到并维持创造价值的资产状态所需付出的代价。将环境重置成本法应用于自然资源价值计量的依据是：无线电频谱资源在被发掘和利用的过程中，频谱资源本身的价值不低于使得频谱资源达到并维持创造价值的状态所需支付的费用。因此，环境重置成本法是对无线电频谱资源进行价值计量的合理方法，其计量结果也是使无线电频谱资源达到资产状态的最低投入成本，具有科学性和可靠性。综上，采用环境重置成本法对无线电频谱自然资源资产进行价值计量，符合频谱资源价值计量方法的选择原则。

根据这种原理，将无线电频谱资源视为资产，当无线电频谱资源在被发掘和利用创造价值时，需要付出一定的代价，这一部分代价即是使得频谱资源达到并维持创造价值的资产状态所需付出的代价，而根据这一部分代价就可以计算出无线电频谱自然资源资产的价值。

4.3 无线电频谱自然资源资产价值计量模型构建

无线电频谱资源的价值创造是一个持续性的动态过程，要根据频谱资源价值创造过程的特点，将发生的不同类型的成本和不同内容的成本进行归集、计算并汇总，这可以使得频谱资源价值计量的过程更加科学、客观与完整。环境重置成本法是将无线电频谱资源达到资产状态并持续创造价值过程中所付出的总成本。由此可以引出环境重置成本法的三层模型：

第一层，恢复层成本（Govern Cost），这一层主要是使得无线电频谱资源达到资产的状态并且可以创造价值所需要付出的成本。就是经过一系列的努力，让本身并不能创造价值的频谱资源达到可以创造价值的资产状态，这个过程中发生的所有成本的总和，对应的计算公式为：

$$P_{\text{恢复}} = \sum_{i=1}^n P_{\text{恢复}i}$$

其中， $P_{\text{恢复}}$ 表示恢复层成本， $P_{\text{恢复}i}$ 表示恢复层中第*i*个成本因子的成本。

第二层，维护层成本（Maintain Cost），这一层主要是使得无线电频谱资源维持在持续创造价值的资产的状态所需要付出的成本。由于频谱资源的价值创造是一个持续的动态过程，在频谱资源达到资产状态后，还需要使其维持在持续创造价值的资产的状态，对应的计算公式为：

$$P_{\text{维护}} = \sum_{i=1}^n P_{\text{维护}i}$$

其中， $P_{\text{维护}}$ 表示维护层成本， $P_{\text{维护}i}$ 表示维护层中第*i*个成本因子的成本。

第三层，战略层成本（Strategy Cost），这一层主要是为了使无线电频谱资源用于某种用途后，所放弃的其他用途所能带来的最大收益。实际上也就是频谱资源使用所带来的机会成本，对应的计算公式为：

$$P_{\text{战略}} = \sum_{i=1}^n P_{\text{战略}i}$$

其中， $P_{\text{战略}}$ 表示战略层成本， $P_{\text{战略}i}$ 表示战略层中第*i*个成本因子的成本。

上述三层成本的加和即为环境重置成本总额，也就是无线电频谱资源在开发、利用和保护过程中产生的总成本，即无线电频谱自然资源资产的总价值，对应的计算公式为：

$$P = P_{\text{恢复}} + P_{\text{维护}} + P_{\text{战略}}$$

其中， P 表示无线电频谱自然资源资产的总价值， $P_{\text{恢复}}$ 表示恢复层成本， $P_{\text{维护}}$ 表示维护层成本， $P_{\text{战略}}$ 表示战略层成本。

4.4 无线电频谱资源资产价值实现路径及模式

结合无线电频谱资源在移动通信领域的应用情况，对频谱资源应用于移动通信领域的三层成本进行归集，构建通信领域无线电频谱资源资产价值计量模型。

4.4.1 恢复层成本

对于无线电频谱资源，由于其不会因为使用而被消耗的物理特性，其重置过程不同于其它自然资源，这是无线电频谱资源与其它自然资源的不同之处。无线电频谱资源是自然存在的，但是如果没有可以发掘其价值对其进行利用的科学技术等，它对我们就没有任何价值，只有通过科学技术的发展和我们的发现和挖掘，使得频谱资源达到对我们来讲有用的、是一项资产的状态，这一过程即为无线电频谱资源的重置过程，这其中产生的成本称为恢复层成本。

恢复层成本主要包括发掘使用频谱资源的过程中产生的各种成本。由于科学技术的限制和频谱资源独特的物理特性，该资源对人类及其有限，随着无线电通信技术的发展，这种稀缺性日益严重。为了合理利用无线电频谱资源，需要建立一系列通信基站等基础设施，这些新基建的投资成本就属于无线电频谱资源的恢复层成本。除此之外还有频谱的获得成本、无线电频谱相关科技研究的研发投入等。

以 700MHz 频段的应用为例，其成本计算具体公式为：

$$P_{\text{恢复}} = P_{\text{基}} + P_{\text{研}} + P_{\text{清}}$$

其中， $P_{\text{恢复}}$ 为恢复层成本， $P_{\text{基}}$ 为基站建设成本， $P_{\text{研}}$ 为 700MHz 频段相关技术研发成本， $P_{\text{清}}$ 为清频成本， $P_{\text{补}}$ 为补偿成本。

4.4.2 维护层成本

该成本是维持无线电频谱资源创造价值的资产状态而需要支付的各项成本。

该层成本主要是由于对 700MHz 无线网络和 700MHz 传输承载网进行相关的网络维护工作而产生的成本，这些运营维护成本具体包括故障处理、投诉处理、通信保障、割接升级、无线优化、基站巡检等。此外，由于无线电频谱资源的物理特性，使得其极易被干扰，因此为了防止信号被干扰而做出的一系列措施如多种形式的无线电管理宣传等也属于无线电频谱资源的维护层成本。具体计算公式为：

$$P_{\text{维护}} = P_{\text{故}} + P_{\text{投}} + P_{\text{通}} + P_{\text{割}} + P_{\text{优}} + P_{\text{巡}} + P_{\text{分}} + P_{\text{科}}$$

其中， $P_{维护}$ 为维护层成本， $P_{故}$ 为故障处理成本， $P_{投}$ 为投诉处理成本， $P_{通}$ 为通信保障成本， $P_{割}$ 为割接升级成本， $P_{优}$ 为无线优化成本， $P_{巡}$ 为基站巡检成本， $P_{分}$ 为频谱管理成本， $P_{科}$ 为宣传科普成本。

4.4.3 战略层成本

战略层成本是将无线电频段用于某一用途而放弃其它用途所带来的最高收益，即机会成本。我国缺乏频谱资源的有效市场，因此机会成本可以由国外相同频段的市场价格代替，而国外频谱的市场价格包括频谱拍卖价格和给原拥有者的补偿价格。具体计算公式为：

$$P_{战略} = P_{拍} + P_{补}$$

其中， $P_{战略}$ 为战略层成本， $P_{拍}$ 为拍卖价格， $P_{补}$ 为给原拥有者的补偿价格。

通过上述成本因子分析，可以得到无线电频谱资源的三层成本归集表，见表 4.2：

表 4.2 无线电频谱资源应用于移动通信产业中的三层成本归集表

计量项目	成本因子分析	公式	公式解释
环境重置成本 (P)	基站建设成本	$P_{基} = \sum_{i=1}^n P_{基标i}$	$P_{基}$ 为基站建设成本， $P_{基标i}$ 为第 i 个标包的总中标金额
	相关技术研发成本	$P_{研} = C_{投} \times R_{投}$	$P_{研}$ 为 700MHz 频段相关技术研发成本， $C_{投}$ 为所有频段的研发投入成本， $R_{投}$ 为 700MHz 频段应分摊的研发投入比例
	清频工作所需成本	$P_{清} = \sum_{i=1}^n P_{清标i}$	$P_{清}$ 清频工作总成本， $P_{清标i}$ 为清频工作各标包价格
	故障处理成本	$P_{故} = N_{故} \times AC_{故}$	$P_{故}$ 为故障处理成本， $N_{故}$ 为相关设备出现故障的总次数， $AC_{故}$ 为平均单次故障处理成本
	投诉处理成本	$P_{投} = N_{投} \times AC_{投}$	$P_{投}$ 为投诉处理成本， $N_{投}$ 为总的投诉次数， $AC_{投}$ 为平均单次投诉处理成本
维护层成本 ($P_{维护}$)			

		通信保障成本	$P_{通} = P_{人} + P_{设}$	$P_{通}$ 为通信保障成本, $P_{人}$ 为通信保障所需人力成本, $P_{设}$ 为通信保障所需设备成本
		割接升级成本	$P_{割} = N_{割} \times R_{割} \times AC_{割}$	$P_{割}$ 为割接升级成本, $N_{割}$ 为需要割接升级的设备数量, $R_{割}$ 为设备平均割接升级率, 例如平均割接升级频率为 5 年一次, 那么 $R_{割}=20\%$, $AC_{割}$ 为设备平均单次割接成本
		无线优化成本	$P_{优} = N_{优} \times R_{优} \times AC_{优}$	$P_{优}$ 为无线优化成本, $N_{优}$ 为需要进行无线优化的设备数量, $R_{优}$ 为设备平均无线优化率, 例如平均无线优化频率为 5 年一次, 那么 $R_{优}=20\%$, $AC_{优}$ 为设备平均单次无线优化成本
		基站巡检成本	$P_{基} = N_{基} \times F_{基} \times AC_{基}$	$P_{基}$ 为基站巡检成本, $N_{基}$ 为基站数量, $F_{基}$ 为单个基站巡检次数, $AC_{基}$ 为平均单次基站巡检成本
		频谱管理成本	$P_{分} = P_{分人} + P_{分设}$	$P_{分}$ 为无线电频段分配管理成本, $P_{分人}$ 为频谱分配所需人力成本, $P_{分设}$ 为频谱分配所需设备成本
		宣传科普成本	$P_{科} = N_{科} \times AC_{科}$	$P_{科}$ 为科普宣传成本, $N_{科}$ 为全国总的科普宣传活动次数, $AC_{科}$ 为平均单次科普宣传活动成本
	战略层成本 ($P_{战略}$)	拍卖价格	$P_{拍} = \frac{P_{拍国外}}{N_{拍国外}} \times N_{拍国内}$	$P_{拍}$ 为战略层成本, $P_{拍国外}$ 为国外相同频段拍卖价格, $N_{拍国外}$ 为国外拍卖频段的频段长度, $N_{拍国内}$ 为国内进行价值计量的频段长度
		补偿价格	$P_{补} = \frac{P_{补国外}}{N_{补国外}} \times N_{补国内}$	$P_{补}$ 为补偿成本, $P_{补国外}$ 为国外相同频段拍卖价格, $N_{补国外}$ 为国外拍卖频段的频段长度, $N_{补国内}$ 为国内进行价值计量的频段长度

数据来源：中国移动招标与采购网

5 基于环境重置成本法的无线电频谱资源资产价值计量模型应用

5.1 无线电频谱资源 700MHz 频段基本情况

无线电频谱资源 700MHz 频段在电信领域,是指在 700MHz~800MHz 之间的部分频段,属于特高频频段,具有频率低、覆盖范围广、穿透力强的特性,在世界范围内的广播电视业务中发挥了巨大作用。但随着数字电视技术及无线通信技术发展,数字电视逐步占领了主导地位,因此用于模拟电视技术的 700MHz 频段被释放出来,可以转向其他的业务领域。截止现在,世界上大多数国家都在逐步将模拟电视转换为数字电视,将性能优良的 700MHz 频段投入到移动通信领域。700MHz 频段优良的传播性能使得它在移动通信领域可以发挥更大价值,考虑到如今 5G 建设的国际竞争形式,为了最大限度发挥 700MHz 频段的优势,并且支持 5G 网络建设,工信部于 2020 年将 700MHz 部分频段更改用途,应用于移动通信业务。本文所提到的 700MHz 频段特指我国范围内中国广电所拥有的 703-733/758-788MHz 的共 60MHz 频段,中国广电凭借该部分频段进入移动通信市场,成为我国第四大移动通信运营商。2021 年 1 月 26 日,中国广电与中国移动为了最大限度发挥自身优势,决定签署协议共同建设使用 700MHz 5G 网络。

700MHz 频段为什么具有更高的价值? 700MHz 频段之所以成为各家移动运营商争抢的对象,是因为利用 700MHz 进行网络建设,可以大大的节约成本。700MHz 频段在移动通信领域属于较低的频段,由于其物理特性,非常适合大范围网络覆盖。根据目前的 5G 网络建设频段分配,如表 5.1 所示,以中国移动所拥有的 2.5GHz 频段为参考,在相同区域范围内,要想做到网络全覆盖,2.5GHz 频段与 700MHz 频段需要建设的基站数量为 5:1,即 2.5GHz 频段需要假设 10 个基站才能覆盖的范围,700MHz 频段只需建设两个基站,这样下来 700MHz 频段的组网成本要远远低于 2.5GHz,极大的降低了成本投入,这对于运营商来说,蕴含着者巨大的经济效益。经测算,使用 700MHz 频段进行全国网络覆盖一共需要建设 50 万座基站,远低于国内的 4G 网络建设基站数量,因此使用 700MHz

作为新一代 5G 网络建设，不仅可以极大降低基站建设成本，同时基站的运营维护、电力成本等也可以大幅缩减。

目前 700MHz 频段的无线网络正在建设中，今年年底预计将建设完成 40 万座基站，而此次 700MHz 频段的建设的各项成本支出较为明确，部分数据可以直接获取，且 700MHz 频段被称为“黄金频段”，用途从广播移动业务变更为移动通信业务，非常具有代表性，因此本文选取 700MHz 频段为对象进行价值计量。

表 5.1 5G 具体频段划分

频段分布	频段长度	归属运营商
703-733/758-788MHz	60M	中国广电
2515-2675MHz	160M	中国移动
3300-3400MHz	100M	中国电信、联通、广电
3400-3500MHz	100M	中国电信
3500-3600MHz	100M	中国联通
4800-4900MHz	100M	中国移动
4900-5000MHz	100M	中国广电
合计	720M	

数据来源：工业和信息化部官网

5.2 无线电频谱资源资产价值计量模型分析与应用——以无线电频谱 700MHz 频段为例

5.2.1 无线电频谱资源 700MHz 频段恢复层成本

1. 基站建设成本

移动通信基站是指在我先网络该范围内，利用交换中心与设备终端进行信息交换的无线电台。移动通信基站是一切移动通信业务的基础，在现有技术条件下，如果没有基站，无线电频谱资源在移动通信领域毫无作用，因此基站的建设是无线电频谱资源达到和维持创造价值状态的基础，基站的建设成本属于恢复层成本。

在利用 700MHz 频段首先要建设供 700MHz 使用的，根据中国移动公开发布的招标结果，中国广电和中国移动共建共享 700MHz 频段共计划建设 480397 座 5G 基站，用于 5G 移动通信，根据中国移动招标与采购网的中标结果，本次 5G

基站采购分为三个标包，分别为 19 万、19 万、10 万个基站。具体招标结果如下表 5.2、5.3、5.4：

表 5.2 第一标包中标结果

候选人排序	公司名称	中标金额（元）	中标份额（%）
第一候选人	华为两家联合体	15171410021.00	61.12%
第二候选人	中兴通讯	15131919569.00	28.77%
第三候选人	上海诺基亚贝尔	13304199846.56	10.11%
总额	/	43607529436.56	100%

表 5.3 第二标包中标结果

候选人排序	公司名称	中标金额（元）	中标份额（%）
第一候选人	华为两家联合体	15171410021.00	58.89%
第二候选人	中兴通讯	15131919569.00	33.53%
第三候选人	大唐移动	14247860837.97	7.58%
总额	/	44551190427.97	100%

表 5.4 第三标包中标结果

候选人排序	公司名称	中标金额（元）	中标份额（%）
第一候选人	华为两家联合体	8004618064.00	59.98%
第二候选人	中兴通讯	7983731096.00	30.44%
第三候选人	爱立信中国	7420450000.00	9.58%
总额	/	23408799160.00	100%

资料来源：中国移动招标与采购网

因此，基站建设成本为：

$$P_{\text{基}} = P_{\text{基标1}} + P_{\text{基标2}} + P_{\text{基标3}} = 111567519024.53 \approx 1115.68 \text{亿元}$$

其中， $P_{\text{基}}$ 为基站建设成本， $P_{\text{基标}i}$ 为第 i 个标包的总中标金额，见表 5.2、表 5.3、表 5.4。

2.700MHz 频段应用技术研发成本

无线电频谱资源是一种特殊的资源，其实质上是自然界中无线电电磁波的集

合。如今为人类创造巨大财富的电磁波都是人为产生的，但这些电磁波并不是随意产生，而是基于特定的用途所产生的，这就需要对自然界中存在的无线电频谱资源有充分的研究，才能使其为我们所用。而如今的 5G 研究也是我们利用无线电频谱资源的基础，例如四大运营商、华为、中兴等公司在 5G 领域的研发投入，都是无线电频谱资源价值的一部分，而具体到 700MHz 频段的相关技术研发成本则无法准确度量，只能根据相关公司的研发投入按比例估算，该比例按照 700MHz 频段占总的 5G 频段的比例来代替，根据工业和信息化部规划的 5G 频段应用规划方案，我国四大电信基础运营商共获得 760M 频段用于 5G 建设，700MHz 频段共 60M，根据公式得：

$$P_{\text{研}} = C_{\text{投}} \times R_{\text{投}} = 2008.37 \times \frac{60}{760} = 158.56 \text{ 亿元}$$

其中， $P_{\text{研}}$ 为 700MHz 频段相关技术研发成本， $C_{\text{投}}$ 为所有频段的研发投入成本， $R_{\text{投}}$ 为 700MHz 频段应分摊的研发投入比例，具体研发投入比例见表 5.5：

表 5.5 2020 年主要公司研发投入情况表

公司类型	公司名称	研发投入金额（亿元）
移动通信运营商	中国移动	48.98
移动通信运营商	中国联通	296.37
移动通信运营商	中国电信	96.12
移动设备供应商	华为	1418.93
移动设备供应商	中兴通讯	147.97
合计		2008.37

数据来源：各企业年报

3.700MHz 频段清频工作所需成本

700MHz 频段原用于广播电视业务，在改换为移动通信用途后需要对广播电视业务所需相关设备进行拆除和迁移等。根据中国广电发布的 700MHz 频率迁移项目（EPC）的中标结果，700MHz 频段的清频费用约为：

$$P_{\text{清}} = P_{\text{清标1}} + P_{\text{清标2}} + \dots + P_{\text{清标n}} = 18 \text{ 亿元人民币}$$

其中， $P_{\text{清}}$ 为清频工作总成本， $P_{\text{清标}i}$ 为清频工作各标包价格。

5.2.2 无线电频谱资源 700MHz 频段维护层成本

维护层成本主要包括 700MHz 无线网络和 700MHz 传输承载网的网络维护工作等相关运营维护成本，这些运营维护成本具体包括故障处理、投诉处理、通信保障、割接升级、无线优化、基站巡检等。此外，由于无线电频谱资源的物理特性，使得其极易被干扰，因此为了防止信号被干扰而做出的一系列措施如多种形式的无线电管理宣传等也属于无线电频谱资源的维护层成本。

1. 故障处理成本

主要是 700MHz 无线网络和传输承载网出现故障的维修成本。具体公式为：

$$P_{\text{故}} = N_{\text{故}} \times AC_{\text{故}}$$

其中， $P_{\text{故}}$ 为故障处理成本， $N_{\text{故}}$ 为相关设备出现故障的总次数， $AC_{\text{故}}$ 为平均单次故障处理成本。

2. 投诉处理成本

主要是 700MHz 频段 5G 业务的用户相关的投诉处理成本。具体公式为：

$$P_{\text{投}} = N_{\text{投}} \times AC_{\text{投}}$$

其中， $P_{\text{投}}$ 为投诉处理成本， $N_{\text{投}}$ 为总的投诉次数， $AC_{\text{投}}$ 为平均单次投诉处理成本。

3. 通信保障成本

包括日常所有维持通信系统正常运转的人力和设备成本。具体公式为：

$$P_{\text{通}} = P_{\text{人}} + P_{\text{设}}$$

其中， $P_{\text{通}}$ 为通信保障成本， $P_{\text{人}}$ 为通信保障所需人力成本， $P_{\text{设}}$ 为通信保障所需设备成本

4. 割接升级成本

电信割接升级在运营商的网络维护中十分常见，例如某地的机房端口不够，就需要更换大容量的板卡、进行网络升级、系统完善升级需要重启设备等，这些都是为了保障用户网络平稳运行的必要手段，这部分成本即为割接升级的成本。具体公式为：

$$P_{\text{割}} = N_{\text{割}} \times R_{\text{割}} \times AC_{\text{割}}$$

其中， $P_{割}$ 为割接升级成本， $N_{割}$ 为需要割接升级的设备数量， $R_{割}$ 为设备平均割接升级率，例如平均割接升级频率为5年一次，那么 $R_{割}=20\%$ ， $AC_{割}$ 为设备平均单次割接成本。

5.无线优化成本

无线升级是对达不到要求的无线网络进行升级，提升覆盖能力、信号强度等，这是增强用户体验感的常用手段之一。具体公式为：

$$P_{优} = N_{优} \times R_{优} \times AC_{优}$$

其中， $P_{优}$ 为无线优化成本， $N_{优}$ 为需要进行无线优化的设备数量， $R_{优}$ 为设备平均无线优化率，例如平均无线优化频率为5年一次，那么 $R_{优}=20\%$ ， $AC_{优}$ 为设备平均单次无线优化成本。

6.基站巡检成本

为了维护基站的日常正常运行，需要岁基站定期进行巡检，工作内容主要包括对基站内各项设备的安全检查和清洁等工作，当发现问题时进行现场处理，无法现场处理时要即使进入故障处理流程，这部分成本即为基站巡检成本。具体公式为：

$$P_{基} = N_{基} \times F_{基} \times AC_{基}$$

其中， $P_{基}$ 为基站巡检成本， $N_{基}$ 为基站数量， $F_{基}$ 为单个基站巡检次数， $AC_{基}$ 为平均单次基站巡检成本。

7.频谱管理成本

分配无线电频段并管理所需的成本，这部分成本主要是工信部无线电管理司在分配无线电频谱资源时产生的人力物力成本。具体公式为：

$$P_{分} = P_{分人} + P_{分设}$$

$P_{分}$ 为无线电频谱分配管理成本， $P_{分人}$ 为频谱分配所需人力成本， $P_{分设}$ 为频谱分配所需设备成本。

8.宣传科普成本

为保证无线电的正常运行而进行的各种形式的科普宣传成本。具体公式为：

$$P_{科} = N_{科} \times AC_{科}$$

其中， $P_{科}$ 为科普宣传成本， $N_{科}$ 为全国总的科普宣传活动次数， $AC_{科}$ 为平均

单次科普宣传活动成本。

5.2.3 无线电频谱资源 700MHz 频段战略层成本

战略层成本是将无线电频段用于某一用途而放弃其它用途所带来的最高收益。我国缺乏频谱资源的有效市场，因此战略层成本可以由国外相同频段的市场价格代替，而国外频谱的市场价格包括频谱拍卖价格和给原拥有者的补偿价格。

1. 拍卖成本

美国是世界上无线电频谱资源拍卖市场最为成熟和完善的国家，因此对于我国 700MHz 频段的拍卖成本，可以通过美国最新的频谱拍卖价格来确定。由于美国 700MHz 频段在 2008 年已经拍卖，距今时间较远，因此当时的拍卖价格不能准确反映现如今 700MHz 频段的价格，因此本文利用美国今年最新的拍卖数据来对我国 700MHz 频段拍卖成本进行预估。

根据美国联邦通信委员会官网公布的数据，2020 年 12 月的拍卖共拍出 5684 张牌照，这些牌照是 3.7-3.98GHz 共 280M 频段，通过拍卖获得了 811.14 美元的资金，按 2021 年 2 月平均汇率 6.4602，折合人民币 5240.13 亿，而用于 5G 建设的 700MHz 频段共 60M，则根据公式得：

$$P_{拍} = \frac{P_{拍国外}}{N_{拍国外}} \times N_{拍国内} = \frac{5240.13}{280} \times 60 = 1122.6 \text{ 亿元}$$

其中， $P_{拍}$ 为战略层成本， $P_{拍国外}$ 为国外相同频段拍卖价格， $N_{拍国外}$ 为国外拍卖频段的频段长度， $N_{拍国内}$ 为国内进行价值计量的频段长度。

由于是根据不同频段的拍卖价格进行预估，因此这个数据只是相对可靠，但由于 700MHz 的价值在所有用于移动通信的频段中最高，因此真实拍卖成本势必高于上述计算得出的数据，这也符合环境重置成本法的基本原理，即得到的价值为我们需要为这项资源付出的最低成本。

2. 补偿成本

700MHz 频段原本用于广播电视业务，如今由于 5G 建设的需要，全球范围内都对 700MHz 频段进行了重耕，将其用于移动通信领域，这就涉及到一个频谱所有的问题。在美国等资本主义国家，频谱在拍卖后的一定期限内属于私人所有，

可以自由交易,因此将 700MHz 频段重耕用于移动通信业务会让原本的所有者频段出让,这就需要对原所有者做出补偿,根据美国联邦通委员会公布的数据,美国在今年 2 月份进行的频谱拍卖,最终的获得房除拍卖的频谱价格外,还需向原拥有方支付 97 亿美元的转让费,折合人民币 626.64 亿元人民币,根据公式得:

$$P_{补} = \frac{P_{补国外}}{N_{补国外}} \times N_{补国内} = \frac{626.64}{280} \times 60 = 134.28 \text{亿元}$$

其中, $P_{补}$ 为补偿成本, $P_{补国外}$ 为国外相同频段拍卖价格, $N_{补国外}$ 为国外拍卖频段的频段长度, $N_{补国内}$ 为国内进行价值计量的频段长度

即 $P_{战略} = P_{拍} + P_{补} = 1122.6 + 134.28 = 1256.88 \text{亿元人民币}$ 。

其中, $P_{战略}$ 表示战略层成本, $P_{拍}$ 表示拍卖成本, $P_{补}$ 表示补偿成本。

5.3 无线电频谱资源资产 700MHz 频段价值

无线电频谱资源资产 700MHz 频段价值为上述三层成本累加的环境重置成本,也就是使得 700MHz 频段达到并维持在持续创造价值的资产状态所需要付出的总成本,即 700MHz 频段的总价值,见表 5.6:

表 5.6 700MHz 频段价值

计量项目		成本因子构成	价值(亿元)
环境重置成本(P)	恢复层成本($P_{恢复}$)	基站建设成本	1115.68
		相关技术研发成本	158.56
		清频工作所需成本	18
	维护层成本($P_{维护}$)	故障处理成本	/
		投诉处理成本	/
		通信保障成本	/
		割接升级成本	/
		无线优化成本	/
		基站巡检成本	/
		频谱管理成本	/

		宣传科普成本	/
	战略层成本($P_{\text{战略}}$)	拍卖成本	1122.6
		补偿成本	134.28
合计			2549.12

数据来源：中国移动招标与采购网

综合以上环境重置成本法的三层成本的计算结果,可以得出无线电频谱资源700MHz频段的现有价值约为2549.12元。由于700MHz频段无线网络正在建设中,还未进行维护工作,且相应的频谱管理和宣传科普工作并未获取到相关数据,因此维护层成本暂时无法计量,待700MHz频段建成投入使用后可以根据相关数据进行计量。这三层成本完全基于无线电频谱资源的经济特性,以恢复支出、维护利用支出和因放弃其它发展机会而产生的机会成本共同作为无线电频谱资源的估算价值,这个过程易于理解,具有可操作性,可以被资源的所有者和使用者双方接受。

6 研究结论与政策建议

6.1 研究结论

本文分析对比了现有的可用于无线电频谱资源资产价值计量的方法,总结了其适用范围和优缺点,指出现有方法无法很好地对频谱资源进行价值计量。基于此,本文提出利用环境重置成本法对无线电频谱自然资源资产进行价值计量,结合无线电频谱资源的自然资源特性和其自身独特性,根据电信行业利用无线电频谱资源的过程,将其价值分为三个层次,即基于环境重置成本法的无线电频谱自然资源资产三层成本价值计量模型,分别为恢复层成本、维护层成本和战略层成本。

由于电信行业是与无线电频谱资源联系最为紧密,也是应用无线电最为广泛的行业,具有相当强的代表性,且 700MHz 频段是如今我国 5G 建设的重点,因此本文选择 700MHz 频段进行无线电频谱资源资产的价值计量方法研究。通过分析无线电频谱资源当前面临的各种使用和管理问题,指出对其进行价值计量并依据其经济价值进行管理和使用是解决当前面临问题的关键,随后建立环境重置成本法的三层成本计量模型,对无线电频谱资源利用过程中的各项成本因子进行分析和归集,构建出便于计算的完整的无线电频谱资源价值计量模型。各层成本科学合理的解释了其发生机理,最终计算出 700MHz 频段的价值为 2549.12 亿元,证明无线电频谱资源资产的价值计量难题可以用环境重置成本法来解决,在计算出无线电频谱资源的正确价值后,根据所得价值对频谱资源进行资产管理。

综上,本文利用环境重置成本法计量无线电频谱资源 700MHz 频段的价值,将看不见摸不着的频谱资源进行量化,在货币计量时与自然资源本身的自然标准相结合,并根据实际情况将发现和使用成本作为计量依据,以期对无线电频谱资源的管理和使用问题提供一些帮助,并希望将环境重置成本法在无线电频谱资源资产价值计量领域得到推广和应用,解决频谱资源管理难题。

6.2 政策建议

- 1.对无线电频谱资源资产进行价值计量,提高频谱资源资产管理水平

无线电频谱资源的稀缺性日益严重,造成这一现象除了频谱资源自身的独特属性外,还由于目前的无线电频谱资源资产价值计量方法缺乏科学合理性,计算出的频谱资源价值远远低于其真实价值,这使得频谱资源的使用价格与其价值相背离,对频谱资源资产的管理造成了巨大阻碍。通过环境重置成本法对无线电频谱自然资源资产做出合适的价值计量,计算出其真实价值,并以此为基础对频谱资源资产进行管理。通过对频谱资源资产的价值计量,可以让我们正确认识到其重大战略价值,从而在社会意义上形成合理利用频谱资源的共识,减少私人违法无线电台对频谱资源日常运行的干扰,同时还有助于建立合理完善的定价体系,推动无线电频谱自然资源资产的市场化运行,实现其价值最大化。无线电频谱自然资源资产的管理方向应着眼于社会和经济价值,以频谱资源资产的价值计量结果为依据,进行合理定价。针对频谱资源的应用领域不同,制定差异化的使用成本机制,通过使用成本的差异化来调节频谱资源的供求关系,使其处于一个良好的配置状态,提升频谱资源资产的整体管理水平。

2.构建完善的无线电频谱资源交易市场,完善频谱资源管理体制

目前我国的无线电频谱资源的分配模式多为行政审批,缺乏可供频谱资源正常交易的市场,造成了大量的资源闲置与浪费。国家应将无线电频谱资源放在重要的战略地位,对其进行统筹战略规划,吸取国外无线电频谱资源的先进管理经验,充分结合我国实际,走出一条结合中国实际的频谱资源资产市场化机制体系。探索构建我国的无线电频谱自然资源资产交易市场,适当放宽一些领域的频谱资源资产自由交易条件,例如在不改变频谱资源原有用途的基础上,允许频谱资源资产的小范围交易,逐步完善我国的频谱资源交易市场,完善频谱资源管理体制。

3.推动完善频谱资源立法,推进频谱资源资产价值计量实践进程

无线电频谱自然资源是未来国际间竞争的新领域,为了确定频谱资源作为国家重要战略资源的地位,对频谱资源进行合理开发、利用和保护,参与国际竞争维护国家合法权益,为无线电频谱自然资源出台相应的法律法规迫在眉睫。目前,工业和信息化部已经形成了《无线电频谱资源法(草稿)》,并且积极听取社会各界对于频谱资源立法的建议,持续推进《无线电频谱资源法》的出台。除此之外,为了保证《无线电频谱资源法》出台后的实施效果,还要相应制定各种条例、规定等,切实保障无线电频谱自然资源得重要地位。

目前,我国对于频谱资源资产价值计量的理论研究和实践应用都相对匮乏,因此始终没有找到适合我国国情的频谱资源资产管理模式。美国等国家利用拍卖方法对本国的频谱资源进行分配,取得了巨大成功,不仅依靠拍卖取得了巨大收益,并且凸显出了频谱资源的重要战略地位,极大地提高了频谱资源的利用效率,最大程度发挥了频谱资源的价值。由于国情不同,拍卖方法无法用于我国频谱资源的分配和管理,因此我们要大胆的进行实践,在某些省市或重点频谱资源占有企业进行频谱资源管理的创新实践,例如对四大运营商所拥有的频谱资源资产进行价值计量,根据计量结果重新进行合理定价,根据试点效果逐渐在省市范围内进行进一步实践。

6.3 研究不足

无线电频谱自然资源资产的价值计量问题是一个跨学科的课题,是涉及到多学科、多部门、多层面的问题,由于自身所学知识的局限性,本文还存在着不足和局限性,主要表现为:

(1) 在频段选择上,我仅仅对具有代表性的 700MHz 频段进行了模型应用,无法充分证明环境重置成本法在无线电频谱自然资源资产价值计量中的一般性。

(2) 由于无线电频谱自然资源的开发、保护和利用过程的复杂性,为了保证数据的真实性和可靠性,本文仅选取了现阶段可直接获取的真实数据,因此最终计算得出的 700MHz 频段的价值可能会偏小。

6.4 研究展望

(1) 对更多具有一般性的频段展开价值计量,充分证明环境重置成本法在无线电频谱自然资源资产价值计量中的一般性。

(2) 时刻关注无线电频谱自然资源的开发、保护和利用过程,将理论上全部成本都包括在模型中,加强数据的获得能力。

参考文献

- [1] A Medeisis, Spectrum Management Solutions for Development of Fixed Wireless Access Systems[A].Proceedings of the 16th International Wroclaw EMC Symposium[C],2002(6):56-63.
- [2] Costanza R, d'Arge R, De Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. nature, 1997, 387(6630): 253-260.
- [3] Devi A J, Lalitha T, Nawaz G M K. Methods for spectrum assignment, pricing and access in dual technologies[J]. International Journal of Computer Applications in Engineering Sciences (IJCAES), 2011, 1(1): 49-52.
- [4] Doyle C. The pricing of radio spectrum: using incentives mechanisms to achieve efficiency[C]//Proc: ITU Workshop on Market mechanisms for spectrum management. 2007.
- [5] Falch M, Tadayoni R. Economic versus technical approaches to frequency management[J].Telecommunications Policy,2004,28(2):197-211.
- [6] Marcus.Millimeter wave propagation:spectrum management implications[A].IEEE Microwave Magazine[C],2005(7):6-7.
- [7] Verma A, Nagpal S, Pandey P K, et al. Trap elimination and reduction of size dispersion due to aging in CdS x Se 1-x quantum dots[J]. Journal of Nanoparticle Research,2007,9(6):1125-1131.
- [8] Webb W. The role of economic techniques in spectrum management[J]. IEE E Communications Magazine, 1998, 36(3): 102-107.
- [9] Richard W Dunford,Thomas C. Ginn,William H. Desvousges.The use of habitat equivalency analysis in natural resource damage assessments.Ecological Economics,2003,48(1):49-70.
- [10]德姆塞茨. 关于产权的理论[M]. 上海: 上海三联书店, 1994. 97-98.
- [11]菲吕博顿, 配杰威齐. 产权与经济理论[M]. 上海: 上海三联书店, 1994. 204.
- [12]冯晓敏. 无线电频谱管理的新动向[J]. 中国无线电管理, 1999(02):17-18.

- [13] 《环境科学大辞典》编辑委员会. 《环境科学大辞典》[M]. 北京: 中国环境科学出版社. 1991, 606.
- [14] 李怀恩, 谢元博, 史淑娟, 刘利年. 基于防护成本法的水源区生态补偿量研究——以南水北调中线工程水源区为例[J]. 西北大学学报(自然科学版), 2009, 39(05):875-878.
- [15] 李方圆, 崔军峰, 沈建峰. 我国无线电频谱资源有偿使用制度浅析[J]. 中国无线电, 2019(06):42-45.
- [16] 芦海燕. 基于生态系统核算的流域生态补偿研究[D]. 兰州大学, 2019.
- [17] 李苏. 生态学和经济学桥梁——能值理论分析法述评[J]. 河北理工大学学报(社会科学版), 2010, 10(06):62-64.
- [18] 刘薇, 刘薪. 基于环境重置成本法的森林资源生态价值补偿研究——以甘肃省为例[J]. 商业会计, 2018(16):13-17.
- [19] 刘诗白. 主体产权论[M]. 北京: 经济科学出版社, 1998: 23.
- [20] 刘越迪. 环境重置成本法下的水资源资产负债表编制探索[D]. 兰州财经大学, 2017.
- [21] 李晓光, 苗鸿, 郑华, 欧阳志云, 肖焱. 机会成本法在确定生态补偿标准中的应用——以海南中部山区为例[J]. 生态学报, 2009, 29(09):4875-4883.
- [22] 梁潇丹. 基于环境重置成本法的湿地生态补偿价值计量研究[D]. 兰州财经大学, 2018.
- [23] 裴郁杉. 无线电频率资源价值评估与比较[J]. 邮电设计技术, 2019(10):43-46.
- [24] 孙静, 吕廷杰, 王慧贤, 张兴萍. 频谱开发对国民经济贡献的分析[J]. 北京邮电大学学报(社会科学版), 2011, 13(04):57-60.
- [25] 孙静. 无线电频谱资源的经济价值与定价研究[D]. 北京邮电大学, 2011.
- [26] 宋起柱. 无线电频谱资源的市场分配机制研究[D]. 北京邮电大学, 2010.
- [27] 世界环境与发展委员会. 我们共同的未来[M]. 王之佳, 柯金良, 译. 长春: 吉林人民出版社, 1997.
- [28] 史雅宁, 宋琦军. 市场机制下的频率资源分配研究[J]. 中国无线电, 2006(06):24-27.

- [29]汤姆·泰坦伯格. 环境与自然资源经济学[M]. 北京:经济科学出版社, 2003 .
- [30]王小戈. 无线电频谱资源的价值特征及其计量方法研究[J]. 中国无线电, 2012(05):14-17.
- [31]王雅平. 从经济学角度谈无线电频率资源配置方式[J]. 中国无线电管理, 2003(10):26-28.
- [32]王彦凤. 环境重置成本法下的稀土资源开发生态补偿价值研究[D]. 内蒙古大学, 2015.
- [33]希玉久. 频谱定义及频谱资源的特性[J]. 电子世界, 2000(04):53-54.
- [34]闫晶晶, 吕廷杰. 无线电频谱经济价值评估体系研究[J]. 北京邮电大学学报(社会科学版), 2011, 13(04):51-56.
- [35]杨克俊. 无线电频谱经济价值研究的进展[J]. 中国无线电, 2005, (8):11-14.
- [36]杨阳. 基于环境重置成本法的草原生态补偿价值计量研究[D]. 兰州财经大学, 2015.
- [37]杨洁, 杨育. 无线电频谱资源管理研究现状分析[J]. 无线电工程, 2008(09):51-54.
- [38]袁庆明. 新制度经济学教程[M]. 北京: 中国发展出版社, 2014: 205-305.
- [39]张鑫懿. 昆明滇池生态补偿价值计量[D]. 兰州财经大学, 2019.
- [40]张凤奇, 杜振华. 解析移动通信频率资源的使用成本[J]. 中国无线电, 2005(05):30-32.
- [41]张永坤. 基于环境重置成本法的荒漠生态补偿价值计量研究[D]. 兰州财经大学, 2015.
- [42]张五常. 经济解释[M]. 北京: 商务印书馆, 2000: 427.
- [43]赵雪雁, 董霞. 最小数据方法在生态补偿中的应用——以甘南黄河水源补给区为例[J]. 地理科学, 2010, 30(05):748-754. DOI:10.13249/j.cnki.sgs.2010.05.018.
- [44]赵雷刚. 基于环境重置成本法的流域生态补偿价值计量方法研究[D]. 兰州商学院, 2014.
- [45]周一虹, 周畅. 政府环境履责审计作用机制与实施路径探索——以兰州市大气污染治理审计为例[J]. 会计之友, 2015(14):2-11.

- [46]周一虹. 生态环境价值计量的环境重置成本法探索[J]. 学海, 2015(04):109-117.

后 记

当我在开始书写论文的最后一部分时，我迟迟不能下笔，仿佛只要我结束了这篇论文，我的硕士研究生生涯就随之结束了。

三年时间，转瞬即逝。三年前，我满怀憧憬的来到这里，开始了我的学习和生活。三年中，我去登过山，也去目睹了奔流不息的母亲河，一切都是那么美好。在这里我结识了一群志同道合的朋友，我们一起学习，一起生活，让我更快的适应在这里的一切。

论文的写作过程漫长、枯燥，也数次经历沮丧。本以为这三年所积累的知识可以很轻松的完成论文的写作，但是在下笔时才发现自己的不足，语言上的粗糙，思维逻辑的混乱，知识的匮乏，都让我一度处于紧张甚至恐慌的情绪中。硕士论文是对我的一次重要的考验，考验我的定力，考验我的耐心，考验我这三年的学习成果。虽然论文已经基本完成，我对它付出了百分百的心血，但是它依旧不够完美，依旧是我今后继续学习的动力。

在论文的选题开始，我的导师帮助我拟定题目和写作大纲，让我有机会去完成这么一项具有创新性和价值的研究，由于我的水平不足，这篇论文依旧不能完全代表这项研究。在写作过程中，如果没有导师的指导，我不知要犯多少错走多少弯路，非常感谢我的导师在这三年中对我的指导和关怀，谢谢！

在论文开题一直到最终论文完成，我经历了一次次答辩，虽然每一次答辩让我心惊胆战，但是正是这一次次的答辩，让我对论文存在的问题有了更深刻的认识，最终完成了这篇论文，因此，我要感谢每一次答辩中对我给予指导和帮助的专家和老师，谢谢！

在这里的三年中，我不仅获得了知识，结识了朋友，也在这里收获了爱情。从认识她的第一天起，我就知道我遇到了对的人。在论文的写作过程中，我时常在遇到问题是会变得急躁，情绪低落，正是因为有了她的陪伴，我才能度过这段艰难的时光，才能完成这篇论文的写作，谢谢你的陪伴和付出！

记得刚来这里，是家人一起来送我，在高铁站目送家人离开的时候，我忍不住留下了眼泪，妹妹告诉我，妈妈在回家的车上也哭了起来。想了想，长这么大第一次离家这么远。人生已过 27 载，我的父母倾尽所有，只为了支持我完

后学业，完成我的理想，我之所以现在可以这么轻松自在的生活，只因为他们默默替我承担了原本属于我的担子，谢谢你们！在我离家求学的时光里，是我的妹妹在家中陪伴父母，照顾他们，替我承担下一份属于我的责任，谢谢！

祝愿所有关心和帮助过我的人，能够永远健康快乐，平安幸福！