

教育部人文社会科学研究青年基金(11YJC630205)资助
中国矿业大学社会科学青年基金(0J091179)资助

南水北调东线水资源配置中的 期权契约设计及其最优策略研究

王 慧 著

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

教育部人文社会科学研究青年基金(11YJC630205)资助

中国矿业大学社会科学青年基金(0J091179)资助

南水北调东线水资源配置中的 期权契约设计及其最优策略研究



著

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书将金融期权的理论引入南水北调东线水资源配置和管理中,研制南水北调东线水资源配置中的期权契约及水权、水期权参与主体最优决策行为,以期权契约的形式实现沟通与协调,从而规避由于来水与需水的不确定性而带来的水价波动风险。

本书适用于从事资源经济及管理、金融期权及相关研究领域的科研人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

南水北调东线水资源配置中的期权契约设计及其最优策略研究/王慧著. —徐州:中国矿业大学出版社,2013.8

ISBN 978 - 7 - 5646 - 1725 - 7

I. ①南… II. ①王… III. ①南水北调—水资源—资源配置—期权—研究—中国 IV. ①F832.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 045505 号

- 书 名 南水北调东线水资源配置中的期权契约设计及其最优策略研究
著 者 王 慧
责任编辑 付继娟 张 岩
出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)
营销热线 (0516)83885307 83884995
出版服务 (0516)83885767 83884920
网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com
印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司
开 本 850×1168 1/32 印张 5.75 字数 149 千字
版次印次 2013 年 8 月第 1 版 2013 年 8 月第 1 次印刷
定 价 22.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

南水北调工程是解决我国北方地区水资源严重短缺问题的重大战略举措,是关系我国社会经济可持续发展的特大型基础设施项目。南水北调工程规划从长江下、中、上游分别向我国北方地区调水,形成南水北调的东、中、西三条调水线路,与长江、淮河、黄河和海河相互连接,形成我国水资源“四横三纵”的总体格局,实现我国水资源南北调配、东西互济的优化配置目标。

南水北调东线工程规划分三期实施。目前,东线一期工程已经开工建设,工程建成后将形成连接长江、淮河、黄河、海河的水资源大系统,供水、防洪、排涝、航运并举,涉及五个省市和众多用水部门利益,是一个多流域、多水源、多目标的复杂水资源大系统。在社会主义市场经济条件下,如何高效管理和配置有限的水资源,保障该复杂水资源大系统的正常运行,是我国面临的急需解决的重大课题。

现代经济学认为,市场是资源配置的有效途径,充分利用市场机制的作用高效管理和配置东线水资源便成为研究的热点。为了实现东线水资源的高效管理和配置,王慧敏(2005)曾提出了以“供水契约”为特征的南水北调东线水资源管理模式,通过“供应链契约”实现现货水权交易。

但是由于东线调水工程线路长、覆盖范围广以及水资源本身所特有的不确定性(如气象、水文、设施、调度等),买方和卖方在现货市场中水权交易面临很大的风险;另一方面,随着中国水市场的逐步成熟,由供求关系形成的商品价格——水价波动将更加剧烈,无论是供水企业还是需水用户,都无法回避水价波动带来的风险。

为了能在买方和卖方间平均分摊水资源供需中所面临的供给能力、价格等风险,提高规避风险的能力,本书借鉴金融期权理论,构建基于期权契约的南水北调东线水资源配置体系,以规避水资源配置中的各种风险,提高水资源利用效率。

根据以上研究的思路,本书将金融期权的理论引入南水北调东线水资源配置和管理中,研制南水北调东线水资源配置中的期权契约及水权、水期权参与主体最优决策行为,以期权契约的形式实现沟通与协调,从而规避由于来水与需水的不确定性而带来的水价波动风险。

本书研究的创新点可以归纳为以下几个方面:

(1) 在科学思想上,将金融期权的理论引入南水北调东线水资源配置和管理中,以期权契约的形式实现沟通与协调,从而规避由于来水与需水的不确定性而带来的水资源风险。对水资源系统配置运行管理领域的研究具有指导和借鉴意义。

(2) 在基本概念中,提出“水干旱期权”和“水灾害期权”的概念,从理论和应用角度界定这些概念,并按其性质构建不同的契约形式及期权定价方法,具有可操作性,拓展了期权的应用领域。

(3) 在建模方法上,根据水资源的特性和水期权的特点,用动态规划方法对标的资产符合均值回复过程的水干旱期权进行定价,拓宽了期权定价方法的视角。

(4) 在对策研究中,得出现货水市场和期权水市场共同存在的水资源配置系统中,买卖双方均衡状况下的最优购买对策和最优价格策略,其理论对东线水资源配置具有一定的指导意义和参考价值,同时具有广泛的应用前景。

南水北调东线一期工程即将于2013年年底竣工,并将在准市场经济环境下运行管理。如何处理天然来水面临的不确定性给工程运行管理带来的风险,是我们面临的一个棘手而紧迫的问题。本书即是在这样的实际问题需求下,运用期权的理论与方法对该

前 言

问题进行的前期研究。该项研究以实际问题为导向,以东线工程规划设计的运行情境为背景,构建了东线工程运行过程中水资源配置的期权契约的框架和模式。随着南水北调东线工程在未来运行过程中市场环境和政策环境的变化,本书的研究也将不断得以深化和完善。

在本书完成之际,谨向我的博士生导师王慧敏教授致以最崇高的谢意和敬意!恩师之情,永远难忘!

谨以此书献给在我多年求学与奋斗过程中一直默默奉献、给予我最有力支持和无私关心的老师、同学和朋友们。

王 慧

2013年7月

目 录

第一章 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.1.1 我国水资源现状	1
1.1.2 南水北调水资源配置和管理面临严峻的挑战	3
1.2 国内外研究进展及主要理论基础	4
1.2.1 期权理论国内外研究进展	4
1.2.2 水期权契约国内外研究进展	11
1.2.3 水权与水市场的国内外研究进展	19
1.2.4 南水北调工程运行管理研究进展	21
1.3 问题的提出及研究意义	22
1.3.1 问题的提出	22
1.3.2 研究意义	23
1.4 研究框架	26
1.4.1 研究内容	26
1.4.2 研究方法	27
1.4.3 技术路线	28
第二章 南水北调东线水资源配置系统分析	30
2.1 东线水资源配置系统环境分析	30
2.1.1 工程环境	31
2.1.2 市场环境	33
2.1.3 法制环境	37
2.1.4 体制环境	38

2.2	东线水资源配置系统结构分析	39
2.2.1	基本框架	39
2.2.2	组织结构	40
2.3	东线水资源配置系统参与主体分析	43
2.3.1	水权、水期权交易的买卖主体	43
2.3.2	水期权交易所的会员	46
2.4	本章小结	48
第三章	南水北调东线水资源配置的期权契约理论研究	49
3.1	东线水期权的概念和内涵	49
3.1.1	水权的相关概念	49
3.1.2	普通金融期权的相关概念	52
3.1.3	东线水期权的内涵	53
3.2	东线水期权的基本内容和特征	58
3.2.1	水期权契约的基本要素	58
3.2.2	水期权的特点	59
3.2.3	水期权的优势分析	60
3.3	东线水期权的分类和设计	62
3.3.1	水期权的分类	62
3.3.2	水期权的比较分析	67
3.3.3	东线水期权合约的设计	68
3.4	东线水期权交易主体博弈分析	72
3.4.1	水期权交易决策过程	72
3.4.2	交易主体博弈分析	73
3.5	本章小结	75
第四章	南水北调东线水资源配置的期权定价模型	76
4.1	基于供求缺口的东线水资源定价模型及其预测	77

4.1.1	水价影响因素分析	77
4.1.2	基于供求缺口的水价定价模型	79
4.1.3	水价随机变动趋势模拟	80
4.2	水干旱期权定价模型	83
4.2.1	水干旱期权的界定	83
4.2.2	水干旱期权定价模型	84
4.2.3	水干旱期权定价实证分析	85
4.3	水灾害期权定价模型	88
4.3.1	水灾害期权的界定	89
4.3.2	水灾害期权定价模型	92
4.3.3	水灾害期权定价实证分析	94
4.4	本章小结	99
第五章	南水北调东线水资源配置的最优策略	100
5.1	东线水资源配置单卖方—单买方的最优策略	101
5.1.1	模型描述	101
5.1.2	定义和说明	102
5.1.3	单卖方—单买方的决策优化分析	104
5.2	东线水资源配置网状结构的最优策略	111
5.2.1	模型描述	112
5.2.2	定义和说明	114
5.2.3	多卖方—单买方的决策优化分析	115
5.2.4	多卖方—多买方决策优化分析	118
5.3	算例分析	120
5.3.1	单卖方—单买方水资源配置最优策略	120
5.3.2	网状结构水资源配置最优策略	123
5.4	本章小结	125

第六章 南水北调东线水资源配置中期权契约实施的支撑体系	126
6.1 东线水期权实施的环境支撑	126
6.1.1 水权交易实施的环境	126
6.1.2 水市场建设的环境	128
6.1.3 水期权交易实施的环境	132
6.2 东线水期权实施的制度支撑	135
6.2.1 水权、水市场相关法律政策	136
6.2.2 水期权相关法律政策	137
6.2.3 水期权相关制度	137
6.3 东线水期权实施的技术支撑	139
6.3.1 东线水期权的交易程序	139
6.3.2 信息系统平台的建设	142
6.4 本章小结	144
第七章 结论和展望	146
7.1 主要成果与结论	146
7.2 主要创新点	148
7.3 展望	149
附录 A 动态规划方法求解水干旱期权价格部分源代码	150
附录 B 水期权交易合约样本	152
参考文献	155

第一章 绪 论

1.1 研究背景

1.1.1 我国水资源现状

我国是一个缺水严重的国家,淡水资源总量为 28 000 亿 m^3 , 占全球水资源的 6%,但人均只有 2 200 m^3 ,仅为世界平均水平的 1/4,是全球 13 个人均水资源最贫乏的国家之一。我国水资源短缺的特点为:水资源可利用量极为有限,且地区分布差异极大,东西不平衡,南北尤其是华北、西北缺水严重。

我国水资源危机已经越来越严重,主要体现在以下五个方面:

(1) 供需矛盾加剧。水资源短缺、水污染加剧、地下水超采和用水效率低下正在不断加剧我国水资源供需矛盾,目前我国 600 多个城市中,有 2/3 的城市常年处于供水不足状态。20 世纪末,全国 400 多个存在供水不足问题的城市中,比较严重的缺水城市达 110 个,全国城市缺水总量为 60 亿 m^3 。据水利部预测,2030 年中国人口将达到 16 亿,届时人均水资源量仅有 1 750 m^3 。在充分考虑节水情况下,预计用水总量为 7 000 亿~8 000 亿 m^3 ,要求供水能力比现在增长 1 300 亿~2 300 亿 m^3 ,全国实际可利用水资源量接近合理利用水量上限,水资源开发难度极大。

(2) 我国水环境不断恶化,水体污染普遍。我国江河湖泊普遍遭受污染,全国 75% 的湖泊出现了不同程度的富营养化;90% 的城市水域污染严重,南方城市总缺水量的 60%~70% 是由于水污染造成的;根据对我国 118 个大中城市的地下水调查结果显示,

有 115 个城市地下水受到污染,其中重度污染约占 40%。水污染降低了水体的使用功能,加剧了水资源短缺,对我国可持续发展战略的实施带来了负面影响。

(3) 流域内、流域之间水资源利用分配不合理。我国目前水资源的开发极不合理,局部流域内上游不顾下游,左岸不顾右岸,拦河修坝截流,在上游对水资源进行过度的开发利用,导致水资源在上下游和左右岸分配利用不合理,严重影响居民的生产生活,造成了巨大的经济损失。在流域之间,水资源丰富的流域,用水浪费严重,水利用率低,而在水资源贫乏的流域却是河流断水,水库干涸,无水可用,连最基本的生态环境用水都无法保障,流域之间水资源利用分配不合理。建议国家加强对水资源进行统一管理、统一调度,保证水资源在流域内、流域之间的合理配置,综合考虑流域内、流域之间的用水需求,科学配置、合理调度,保障最广大人民的根本利益。

(4) 污染严重形成水质性缺水。随着我国经济的快速发展,工农业污水排放量逐年加大,近年来全国污水排放量达 600 亿吨,其中绝大部分未作处理直接排入江河湖泊,全国 700 多条河流中,有近 50 河段水域污染严重,水污染严重形成水质性缺水,生活水资源总量因河湖水源污染而不断减少。

(5) 各种用水需求不合理,导致生态破坏。我国北方的高纬度地区由于长时间的持续干旱,用水相当紧张,工业用水挤占农业用水,农业用水挤占生态环境用水,生态环境用水濒临枯竭,如果这样无休止地挤占生态环境用水,不合理地配置工业、农业、生态环境用水之间的比例,必然会对生态系统和环境造成极大的破坏,导致植被覆盖率减少、自然绿洲萎缩、草场退化、土地沙漠化严重,目前我国沙化面积已扩展到 174.3 万 km^2 ,占全国面积的 18.2%,而且年扩展速度呈增加的趋势,由 20 世纪 70 年代的 1560 km^2 增加到 90 年代末的 3436 km^2 。

目前我国有些缺水地区,为了保证当地的生产、生活需要,对地下水开采过度,全国已形成大型地下水降落漏斗 100 多个,面积达 15 万 km^2 ,超采区面积 62 万 km^2 ,严重超采城市近 60 个,导致地下水位降低,海水倒灌,地面下沉,地下水盐碱化严重。

随着我国社会经济的发展、人口的增加和城市化进程的加快,以水资源供需矛盾加剧、水体污染严重和不合理开发利用等为特征的水资源形势更加严峻,已成为制约国民经济发展的的重要因素,成为实现新时期经济发展目标迫切需要解决的重大问题。

1.1.2 南水北调水资源配置和管理面临严峻的挑战

南水北调工程是解决我国北方地区水资源严重短缺问题的重大工程,是关系我国社会经济可持续发展的特大型基础设施项目。南水北调工程的基本目标是从根本上缓解我国华北和西北水资源短缺、实现工程涉及范围内水资源的最佳时空配置。南水北调工程线路分为东线、中线和西线三条线路,形成“四横三纵、南北调配、东西互济”的总体格局。南水北调东线工程现已开工建设。工程建成后将形成连接长江、淮河、黄河、海河的水资源大系统,如何进行该系统的水资源配置和管理,已成为东线工程面临的紧迫课题。

南水北调东线水资源系统是一个多流域、多水源、多地区、多部门、多用户和多目标的非常复杂的水资源大系统,供水、防洪、排涝、航运并举,涉及五个省市和众多用水部门利益。该系统将在社会主义市场经济体制下运行,如此复杂的系统在市场经济环境中运行,是我国水资源配置与运营管理从未遇到过的新课题,国外也无现成经验可供借鉴。王慧敏等(2006)将供应链管理理念引入南水北调东线水资源配置中,通过供应链契约实现现货水权交易。但是由于东线调水工程线路长、覆盖范围广以及水资源本身所特有的不确定性(如天气),使得单纯的现货水权交易面临很大的风险,因此,借鉴市场和金融期权基本理论开展本书的研究十分必要

和迫切。

目前水资源系统的管理应该具有两个时代特点：

(1) 服从于市场经济下的管理体制，而不是像计划经济时期那样，管理体制仅作为实现运行调度技术方案的保证，即技术方案适应于管理体制，而不是管理体制适应技术方案。

(2) 在实施和决策过程中将着重体现“沟通与协调”，而不是一味追求全系统“技术经济寻优”。因此，有必要借鉴和引进金融科学的理论、方法，结合水资源系统的实际，创建水资源配置和管理的新理论、新方法和新技术。

1.2 国内外研究进展及主要理论基础

1.2.1 期权理论国内外研究进展

1.2.1.1 金融期权及其应用研究综述

期权(option)的实质是一种合约，它赋予期权持有者一定的期限内以一定的协议价格或执行价格向期权出具方买进或卖出某项标的资产(如股票)的权利。期权有两种基本类型：① 看涨期权(call option, 又称认购期权)，持有者有权在某一确定时间以某一特定价格购买标的资产；② 看跌期权(put option, 又称认沽期权)，持有者有权在某一确定时间以某一特定价格出售标的资产。合约中的日期称为到期日、执行日或期满日(expiration date, exercise date, maturity)。期权合约的价格被称为执行价格或敲定价格(exercise price, strike price)。期权按可执行的时间不同分为欧式期权(European option)和美式期权(American option)：欧式期权只能在到期日执行；美式期权可在期权有效期内的任何时间执行。期权购买者向期权出售者支付一定的金额，称为“期权权利金”，代表了期权合约的价值。

作为一种金融衍生工具，期权的价值是通过基础证券的价值

衍生而来的。看涨期权买方收入等于 $\max(\text{执行日标的资产价格} - \text{执行价格}, 0)$ 即

$$c = \max(Y_T - K, 0) \quad (1.1)$$

式中, K 为执行价格, 是期权合约中约定的; Y_T 为执行日 T 的标的资产价格。

其支付结构如图 1-1 所示。

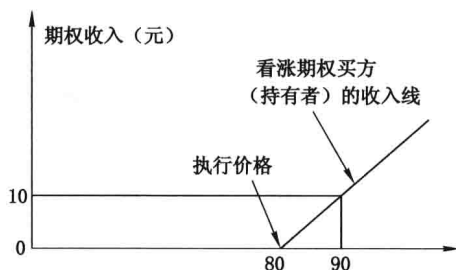


图 1-1 看涨期权买方的收入

同理, 看跌期权买方收入为

$$p = \max(K - Y_T, 0) \quad (1.2)$$

其支付结构如图 1-2 所示:

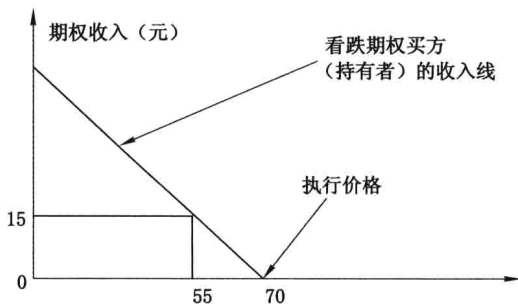


图 1-2 看跌期权买方的收入

既然持有期权可以带来不小于零的收益,那么期权是具有价值的,在风险中性的假设下,期权的价值应等于它所带来收益的数学期望,即

$$c = E[\max(Y_T - K, 0)] \quad (1.3)$$

$$p = E[\max(K - Y_T, 0)] \quad (1.4)$$

期权契约的广泛应用,极大地优化了相关行业的资源配置。1984年10月,美国的中美洲商品交易所、堪萨斯期货交易所和明尼阿波利斯谷物交易率先推出了小麦期权交易,此后其他国家纷纷推出此类产品。从国际视角看,美国小麦市场能够雄霸全球,离不开其发达的小麦期权交易市场。纽约棉花交易所棉花期权交易的推出,稳定了棉花的生产,避免了棉花价格波动给棉纺工业带来的风险,棉花期权契约日益成为新的风险管理工具。美国亚特兰大的“蓝迈”电力市场所引进的期权交易模式,优化了电力资源配置,解决了供需矛盾,能够预先进行套期保值来规避现货市场中的风险,使“蓝迈”有着成熟的定价机制和完善的交易制度。除此之外,在铝、铜、大豆、玉米、橡胶等领域内也实施了期权交易。期权契约在国外已经有许多成功的应用,国内也有许多学者对期权契约进行了研究。在利用期权契约规避电力市场风险的研究中,马歆等(2004)引入摆动期权合约设计了发电商的风险规避模型;向宇等(2003)提出了基于实时电价和期权契约思想的电力市场远期合同;卫宏等(2006)等提出了“以期权为主”的电力交易模式,进行了定价与分析,有助于规避电力销售风险;王访等(2006)提出一种新的电力双边范围远期合同,以减少买卖电双方的交易风险,稳定市场;彭希等(2006)构建了考虑煤电价格联动的交易模型,并在此基础上引入了基于跨式期权组合的风险管理机制。此外,给出电力市场期权定价公式的有:张显等(2004)通过蒙特卡罗方法近似求解复合电力期权的价格,并提出了该期权在无套利条件下的定价公式;袁智强等(2004)计算了买卖双方期权的最优敲定电价;张

显等(2006)以无套利定价方法给出了复合看涨期权和复合看跌期权的定价公式,并通过蒙特卡罗法模拟随机的水文情况和市场出清电价,并计算期权价格和合作的社会效益;姚建刚等(2005)结合期权理论提出了一种基于期权契约的发电权交易模型,并从数学和经济学的角度给出了发电权期权交易的权利金、执行价格的计算方法。在油田开发项目中,汪华(2006)建立了油田开发项目投资评价实物期权定价模型;郝洪等(2003)利用期权方法评估未开发储量价值,进而确定石油开发项目的最佳投资时机;袁良庆等(2006)论述了实物期权方法与石油价格及其波动率、开发方案选择的关系。

期权理论在电力市场和油田开发项目中应用主要是为了规避价格波动,确定投资最佳时机。本研究将期权理论引入南水北调东线工程中,以期达到整个南水北调东线水资源的优化配置,使水资源由使用价值较低的部门或地区流向水资源使用价值较高的部门或地区。

1.2.1.2 期权定价模型研究综述

期权是一种极为特殊的金融衍生产品,它能使买方有能力避免坏的结果,而从好的结果中获得收益,同时,它也能使卖方产生巨大的损失。当然,期权不是免费的,是有价值的,这就产生了期权定价问题,期权定价理论是现代金融理论最为重要的成果之一。它集中体现了金融理论中的许多核心问题,其理论之深、方法之多、应用之广,令人惊叹。期权的标的资产也由股票、指数、期货合约、商品(金属、黄金、石油、农产品等)、外汇增加到了利率、可转换债券、认股权证、期货和期权本身等许多可交易证券和不可交易证券。期权是企业、银行和投资者进行风险管理的有力工具。

期权的理论与实践并非始于1973年Black-Scholes关于期权定价理论论文的发表。早在公元前1200年的古希腊和古非尼基国的贸易中就已经出现了期权交易的雏形,只不过当时条件下