

沿海围垦区水资源优化配置与联合调度

万新宇, 钟平安, 王建群

(河海大学水文水资源学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 江苏沿海围垦规模巨大, 世界尚无先例。沿海滩涂开发利用, 水资源保障是关键, 而围垦区水资源优化配置与联合调度技术又是水资源保障关键技术之一。分析国内外水资源优化配置研究现状, 研究围垦区水资源需求管理措施、盐碱环境下多水源多用户淡水资源联合调度技术以及围垦区水资源优化配置, 以实现沿海围垦区水资源公平、高效和可持续利用。

关键词: 沿海滩涂, 水资源, 需水管理, 联合调度, 优化配置

中图分类号: TV213.4 文献标识码: A 文章编号: 1003-9511(2012)03-0058-05

水资源供需矛盾突出, 淡水资源保障能力低^[1], 是落实《江苏沿海地区发展规划》面临的首要问题。江苏沿海的淡水资源主要来源于雨水补给、江河径流与长江引水。江苏沿海地区年降水丰沛, 年降水量 900 ~ 1 100 mm^[2], 与苏南相比差异不大; 沿海有 20 多条排涝河道, 盐城、南通两市年均入海水量高达 213 亿 m³, 随着泰州引江河、通榆河、泰东河的建设, 可以在夏季长江高水位时引江水进入苏北沿海地区。

沿海缺水严重的关键主要是水资源调蓄能力不足, 只有极有限的河槽调蓄库容, 大量降水径流不能“截”、“蓄”利用而白白流失。因此, 利用沿海天然湖泊、洼淀、滩涂、河道及古河道等通过挡水坝、围坝、挖塘和控制闸等工程措施形成平原水库, 拦蓄过境水量, 调蓄近地或远地(长江) 引水, 是缓解沿海水资源紧缺状况的重要措施。为了保障滩涂农业、河港冲淤、港口建设、湿地经济、水产养殖、环境保护、旅游业的淡水需求, 必须建设多水源保障体系。随着沿海开发步伐的不断加快, 水资源配置与调度技术亟待研究。

1 国内外研究现状

合理配置水资源, 实现水资源可持续利用, 是保证社会经济可持续发展的必要条件。最初的水资源

配置研究是针对水资源短缺地区用水竞争性问题提出的^[3]。不同时期, 不同学者对水资源配置的含义有着不同认识。一般认为, 水资源配置是指在流域或特定的区域范围内, 遵循公平、高效和可持续利用的原则, 通过各种工程和非工程措施, 考虑市场经济的规律和资源配置准则, 通过合理抑制需求、有效增加供水、积极保护生态环境等手段和措施, 对多种可利用水源在区域间和各用水部门间进行的调配^[4]。目前, 水资源配置研究已由简单的用户间水量分配研究发展到综合考虑经济、环境和生态等各方面需求的水量调控研究, 并注重配置方案的合理性研究。

国际上现行的水资源配置模式主要有市场模式、行政模式、用户参与模式以及综合模式, 其内在机制可概括为边际成本价格、行政管理、水市场和用户等 4 个方面。一般情况下, 单一的水资源配置机制很难满足水资源合理配置的要求, 需要多种机制的配合。当前, 国外对配置机制的研究, 主要考虑水资源产权界定、组织安排和经济机制对配置效率的影响。建立有效的流域水资源管理政策和体制是提高水资源配置效率的根本途径。在我国, 水资源配置的发展大体经历了无偿配置、低价配置和经济调节 3 个阶段, 行政指令仍是目前我国水资源配置的主要手段, 但也有部分地区开始尝试市场配置和用户参与配置等模式, 比如东阳、义乌两市的水权交易

基金项目: 国家科技支撑计划课题(2012BAB03B03)

作者简介: 万新宇(1976—) 男, 江苏东台人, 讲师, 博士, 主要从事水资源规划与管理研究。

通讯作者: 钟平安(1962—) 男, 安徽无为, 教授, 博士, 主要从事水资源规划与管理研究。E-mail: zhongpa@jlonline.com

和河西走廊农民用水者协会的成立等。王为人等^[5]分析比较了水资源的放任自由使用、完全垄断经营、国家集中配置、市场配置及水权交易配置 5 种水资源配置机制博弈模型,认为采用水权交易配置模式既可以保证基本的民生用水以体现公平,又通过允许水权交易促进取水者努力提高节水水平,并使水资源能配置到更能产生高效益的行业和单位,从而提高水资源的利用效率。随着水权研究的不断深入,国内有学者根据现阶段我国社会发展状况,提出基于准市场和民主协商的转型期水资源配置的公共政策^[6]。

国际上运用系统分析的方法研究水资源配置问题,最初源于 20 世纪 40 年代 Masse 提出的水库优化调度研究,并于 20 世纪 60 年代后得到迅猛发展。1978 年,Shafer 等^[7]提出了水资源系统模拟框架下的水资源配置和管理模型。2002 年,McKinney 等提出了基于 GIS 的水资源模拟系统框架。目前,国际上对水资源配置的研究更多地是在水资源系统模拟的框架下进行的,并开发了许多应用价值较高的相对成熟的水资源模拟软件,比较有代表性的有 Mike Basin(丹麦)、WMS(美国)、Aquarius(美国)、Riverware(美国)和 Waterwar(奥地利)等^[8]。在我国,20 世纪 60 年代就开始了以水库优化调度为先导的水资源分配研究。80 年代初,华士乾等^[9]利用系统工程方法对北京地区水资源进行了研究,该研究考虑了水量的区域分配、水资源利用效率、水利工程建设次序以及水资源开发利用对国民经济发展的作用,成为我国水资源配置研究的雏形。90 年代初,陈志恺等首次开发出基于宏观经济的水资源配置模型,研制了京津唐地区水资源规划决策支持系统。此后,我国的水资源配置研究发展快速,解决了一批区域性水资源综合规划问题,取得了较好成果。黄河水利委员会于 1998 年进行了“黄河流域水资源合理分配及优化调度研究”,综合分析了区域经济发展、生态环境保护与水资源条件,是我国第一个针对全流域进行的水资源配置研究。王浩等在“黄淮海水资源合理配置研究”中,首次提出水资源“三次平衡”的配置思想,系统地阐述了基于流域水资源可持续利用的系统配置方法,其核心内容是在国民经济用水过程和流域水循环转化过程两个层面上分析水量亏缺态势,并在统一的用水竞争模式下研究流域之间的水资源配置问题。在模型软件化方面,除了较早的华北京津唐水资源决策系统外,黄书汉运用基于面向对象的 UML 标准建模语言进行水资源供需平衡评价系统分析和系统设计。谢宜岳等以区域水资源

供需过程的原理与算法为基础,构建了水资源系统分析数学模型软件。艾萍等^[8]根据软件复用的基本原理,结合水利领域应用需要,形成水利领域软件标准化体系,为不同抽象层次制定水利领域软件技术标准提供技术基础。钟平安^[10]等综合运用地理信息系统、数据库、可视化建模、模型库、人机交互等技术手段,建立了适应大规模、多目标、不确定性等复杂条件的水资源合理配置情景共享模拟系统。另外,钟平安^[11]等还比较了基于 C/S 模式水资源配置系统的不足和 B/S 模式的优点,构建了基于 B/S 模式的区域水资源合理配置系统总体框架,以 Web GIS 为平台实现了水资源配置模型系统。

水资源的合理配置涉及到社会、经济、资源和环境等多方面,具有典型的半结构化、多层次、多目标和群决策特征,需要对其生成的配置方案进行效果评价。根据评价结果,可以调整已有的配置方案,使其更加合理,保障配置的公平性和高效性。Letcher 等^[12]开发出澳大利亚纳奥米河流域水资源配置综合评价模型,不仅包括了水资源管理,还考虑了一系列的环境问题。后来,还专门研制了分布式水流模型以支撑该评价模型的运行^[13]。在国内,石春先等^[14]提出黄河流域水资源多维临界调控方案评价的概念,建立评价指标体系,研究流域水资源多维临界调控方案评价模型。郭文献等^[15]根据水资源合理配置方案具有多目标性和模糊不相容性的特点,运用模糊物元分析法,建立了基于欧氏贴近度的水资源合理配置方案综合评价的模糊物元模型。为了克服层次分析法(AHP)确定指标权重的主观性,余建星等^[16]在水资源优化配置方案综合评价的模糊优选模型中引入信息熵概念。钟平安等^[17]则利用群组决策特征根法(GEM)确定指标权重,克服了层次分析(AHP)法通过指标两两比较所构建的判别矩阵常出现不一致性的问题,建立了基于最大熵原理的方案评价模型。目前,国内外对于配置后绩效评价研究仍较为薄弱和分散,且多纳入生态环境评价、社会公平评价等综合评价当中,缺乏相应的评价机制和完整的评价体系。

从国内外水资源配置研究的发展历程来看,水资源配置研究正趋于整体性、综合性、后评价和软件化。整体性是要求水资源配置研究更多地置于统一的流域或区域范围内进行,综合性则要考虑生态环境方面的需求,后评价注重对水资源配置方案的评价、修正和优选,软件化要求将复杂的水资源系统数字化和信息化,以提升配置效率。从研究内容来看,目前大量的水资源配置研究仍然集中在水量调控方

面水质调控虽有所涉及^[18-26],但成果不够深入。随着人类活动加剧,传统的集总式模型已经不能全面描述越来越复杂的点源和面源污染物扩散、汇集、稀释、转化等物理化学过程,应重视有物理机制的、能反映污染物运移过程的分布式水质模型的研究,并进行水质水量联合配置的研究。另外,建立基于流域水循环模拟的水资源调配集成模型也是当前水资源配置研究的发展方向之一,实现水资源“模拟—配置—评价—调度”一体化决策。总之,今后的水资源合理配置需要由单一的流域水量配置和调度向全流域水质水量统一配置和调度发展,由集总式的、静态的水循环模拟和调控向分布式的、动态的水循环模拟与调控发展。

2 研究目标

开展沿海围垦区水资源优化配置研究,是落实《国家中长期科学和技术发展规划纲要》确定的重点领域的需要。在国内外水资源优化配置与联合调度研究的现有基础之上,实施江苏沿海滩涂围垦区水资源优化配置与联合调度研究,为江苏沿海滩涂水资源保障提供关键性技术,也为其他类似地区的水资源开发积累技术经验。本研究的具体目标如下:

a. 依据江苏沿海滩涂开发规划,揭示出围垦区各类水资源用户的需求特性,提出需水综合管理方案,实现需水精细化管理。

b. 根据江苏沿海滩涂围垦区各用户的需水要求,并结合当地水资源特点,构建多水源多用户多目标的水资源系统仿真模拟模型。

c. 实现当地水、过境水及远距离调水的联合优化调度,构建适合沿海围垦区水资源配置方案的评价体系,提出围垦区水资源配置优化方案,促进围垦区的水资源可持续利用。

3 研究内容

江苏沿海围垦区淡水资源极度缺乏,建立高效安全的水资源保障体系是实现围垦区水资源可持续利用的唯一途径,也是实现当地经济社会可持续发展的基本条件^[2,27,28]。在分析沿海围垦区水资源开发利用潜力、蓄淡工程优化布局和非传统水资源开发利用的基础上,进行沿海围垦区水资源优化配置与联合调度研究,是建立江苏沿海围垦区水资源保障体系的必要环节。在充分了解围垦区水资源开发利用潜力的同时,分析围垦区水资源需求时空变化特征,运用围垦区当地蓄水工程与远距离调水的联合调度技术以及多水源多用户多目标联合调控与

分配技术,生成围垦区不同水平年水资源优化配置方案,不仅可以实现水资源在不同区域和用水户之间的有效公平分配,而且可以实现对区域水循环及其影响的自然与社会诸因素进行整体调控。本研究围绕以下几方面内容展开研究:

a. 沿海围垦区水资源需求分析与预测。结合江苏沿海滩涂围垦区发展规划,了解沿海围垦区各水资源用户的需求水要求,包括水量要求、水质要求及用水时间要求等,分析其在时程分配上和空间分布上的变化特性,预测不同发展水平年下江苏沿海围垦区在生活、生产和生态三方面的需水过程以及综合需水过程,分别研究基于用水总量控制、用水效率控制、排污总量控制以及多目标控制的沿海围垦区需水管理技术与方法。

b. 沿海围垦区多水源供水系统联合调度。在沿海围垦区水资源评价的基础上,结合江苏沿海滩涂开发规划,分析沿海围垦区各供水工程、用水户在流域水系和自然地理上的拓扑关系,构建沿海围垦区水资源供需系统网络图,厘清其水资源供需结构,并根据各水源之间、各用水户之间以及水源与用水户之间的水力联系、水源特性和用水特性,建立沿海围垦区多水源多用户水资源模拟仿真系统,建立沿海围垦区多水源联合优化调度模型,尤其是当地蓄水工程与外调水的联合调度模型。

c. 沿海围垦区水资源合理配置。根据江苏沿海滩涂开发规划,兼顾抑制需水、增加供水和保护生态,构建沿海围垦区水资源配置方案集;基于公平性、有效性和可持续性原则,建立多水源、多用户水资源系统联合调控与分配模型;构建适合沿海围垦区的水资源配置方案评价指标体系与方法,分析评价不同配置方案在经济、技术和生态环境等方面的差异,确定围垦区水资源最佳配置方案。

在上述研究内容中,本研究的主要技术难点在于,沿海围垦区多水源、多用户、多目标的水资源联合调度和优化配置。

4 技术路线

针对上述研究内容,本研究在充分收集与分析江苏沿海滩涂围垦区水文、气象、水文地质、潮汐、土地利用及社会经济等方面资料的基础上,将首先对沿海围垦区水资源需求的时空变异特性、河流渠道水系结构以及围垦区内供水工程布局进行分析,研究沿海围垦区的水资源需求管理措施,构建水资源系统供需网络图,并结合沿海围垦区水资源开发潜力研究与特殊水资源开发利用研究,建立起多水源

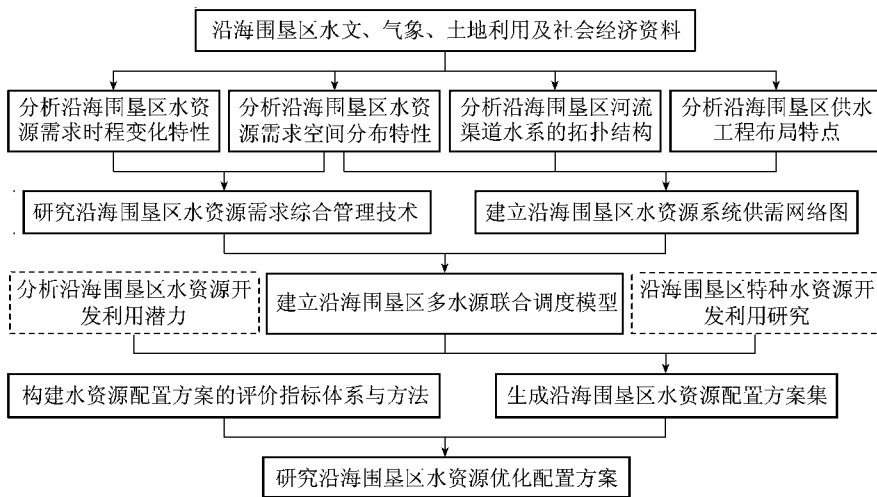


图1 技术路线

多用户的水资源模拟仿真系统以及联合优化调度模型。根据沿海滩涂发展规划,生成各类情景下沿海围垦区水资源配置方案,建立沿海围垦区水资源配置方案评价指标体系与方法,最终提出沿海围垦区水资源优化配置优化方案,从而为江苏沿海滩涂围垦区水资源利用提供技术保障(图1)。

5 预期成果

江苏沿海围垦规模巨大,世界尚无先例,在该区域进行水资源优化配置与调度研究,符合我国水资源合理配置研究的发展需求。目前,我国水资源合理配置研究大多数集中于北方干旱缺水地区,鲜有关于沿海围垦区的水资源合理配置研究。通过江苏沿海围垦区域水资源优化配置与联合调度研究,一方面为江苏沿海围垦区水资源保障提供关键性技术支撑,另一方面又进一步丰富我国水资源合理配置研究案例,为我国沿海地区的水资源可持续利用积累经验 and 提供示范。其预期成果表现为3个方面:

a. 提出基于用水总量控制、用水效率控制和排污总量控制的江苏沿海滩涂围垦区水资源需求管理方案和措施。

b. 提出盐碱环境下多水源多用户淡水资源联合调控和水资源优化配置技术,提高水量利用率5%。

c. 构建沿海围垦区水资源配置方案的评价指标体系与方法,确定不同发展水平下的围垦区水资源优化配置方案。

本研究的创新之处在于,将建立起盐碱环境中淡水资源工程体系联合调度模型,结合水资源供需动态预测,实现多水源、多用户的水资源优化配置。

参考文献:

- [1] 杨树滩,贾锁宝.江苏沿海地区水资源开发利用的几点思考[J].江苏水利,2010(1):17-19.
- [2] 徐向红.江苏沿海滩涂水土保持措施探讨[J].海洋开发与管理,2003,20(6):15-16.
- [3] 王浩.我国水资源合理配置的现状和未来[J].水利水电技术,2006,37(2):7-14.
- [4] 水利部水利水电规划设计总院.全国水资源综合规划技术大纲[R].北京:水利部水利水电规划设计总院,2002.
- [5] 王为人,屠梅曾,刘华.水资源配置机制比较分析[J].上海交通大学学报,2005(10):1660-1663.
- [6] 王浩,王建华,秦大庸.流域水资源合理配置的研究进展与发展方向[J].水科学进展,2004,15(01):123-128.
- [7] 游进军,甘泓,王浩.水资源配置模型研究现状与展望[J].水资源与水工程学报,2005(03):1-5.
- [8] 王浩,游进军.水资源合理配置研究历程与进展[J].水利学报,2008,39(10):1168-1175.
- [9] 尤祥瑜,谢新民,孙仕军,等.我国水资源配置模型研究现状与展望[J].中国水利水电科学研究院学报,2004(2):5-8.
- [10] 钟平安,余丽华,邹长国,等.流域水资源配置情景共享模拟系统研究[J].河海大学学报:自然科学版,2006(3):247-250.
- [11] 钟平安,吴善锋,余丽华.基于B/S模式的区域水资源合理配置系统设计与开发[J].水文,2006(2):22-25.
- [12] LETCHER R A, JAKEMAN A J, CROKE B. Model development for integrated assessment of water allocation options[J]. Water Resources Research, 2004, 40(5):W5502.
- [13] CROKE B, LETCHER R A, JAKEMAN A J. Development of a distributed flow model for underpinning assessment of water allocation options in the Namoi River Basin, Australia[J]. Journal of Hydrology, 2006, 319(1-4):51-71.

- [14] 石春先, 吴泽宁, 丁大发, 等. 黄河流域水资源多维临界调控方案评价研究 [J]. 人民黄河, 2003(1): 36-37.
- [15] 郭文献, 夏自强, 王鸿翔, 等. 基于模糊物元模型的水资源合理配置方案综合评价 [J]. 灌溉排水学报, 2007, 26(5): 75-78.
- [16] 余建星, 蒋旭光, 练继建. 水资源优化配置方案综合评价的模糊熵模型 [J]. 水利学报, 2009(6): 729-735.
- [17] 钟平安, 张金花, 郝建平. 基于 GEM 赋权的水资源配置方案最大熵评价方法 [J]. 水力发电, 2010(3): 16-19.
- [18] 严登华, 罗翔宇, 王浩, 等. 基于水资源合理配置的河流“双总量”控制研究: 以河北省唐山市为例 [J]. 自然资源学报, 2007(3): 321-328.
- [19] 赵斌, 董增川, 徐德龙. 区域水资源合理配置分质供水及模型 [J]. 人民长江, 2004, 35(2): 21-22, 31.
- [20] LI S Y, CHENG X L, XU Z F, et al. Spatial and temporal patterns of the water quality in the Danjiangkou Reservoir, China [J]. Hydrological Sciences Journal, 2009, 54(1): 124-134.
- [21] SHIRANGI E, KERACHIAN R, BAJESTAN M S. A simplified model for reservoir operation considering the water quality issues: Application of the young conflict resolution theory [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2008, 146(1-3): 77-89.
- [22] GELDA R K, EFFLER S W. Simulation of operations and water quality performance of reservoir multilevel intake configurations [J]. Water Resources Planning and Management 2007, 133(1): 78-86.
- [23] STURDEE A, FOSTER I, BODLEY-TICKELL A T, et al. Water quality and cryptosporidium distribution in an upland water supply catchment, Cumbria, UK [J]. Hydrological Processes 2007, 21(7): 873-885.
- [24] KERACHIAN R, KARAMOUZ M. Optimal reservoir operation considering the water quality issues: A stochastic conflict resolution approach [J]. Water Resources Research, 2006, 42(12): W12401.
- [25] COHEN D, SHAMIR U, SINAI G. Water quality aspects of optimal operation of rural water distribution systems for supply of irrigation and drinking water [J]. Irrigation and Drainage, 2004, 53(4): 339-361.
- [26] CAMPBELL J E, BRIGGS D A, DENTON R A, et al. Water quality operation with a blending reservoir and variable sources [J]. 2002, 128(4): 288-302.
- [27] 徐向红, 陈刚. 论江苏沿海滩涂围垦与可持续发展 [J]. 河海大学学报: 哲学社会科学版, 2002, 4(4): 26-28.
- [28] 熊万英, 王建. 江苏沿海滩涂可持续发展研究 [J]. 国土与自然资源研究, 2004(4): 52-54.

(收稿日期 2012-04-05 编辑 陈玉国)

(上接第 42 页)

- [4] GRIGOFEV A S, TRAPEZNIKOV Y A. Level of lake ladoga at possible climate changes [J]. Water Resources, 2002, 29(2): 174-178.
- [5] 王超, 王沛芳. 城市水生态系统建设与管理 [M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [6] 詹红丽, 张展羽, 刘建成, 等. 封闭圩区水环境治理规划 [J]. 中国农村水利水电, 2003(11): 37-39.
- [7] 张银龙, 沈波, 张金池, 等. 平原沙土区河道边坡防护技术及应用 [J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2008, 32(2): 113-118.
- [8] 李海东, 林杰, 张金池, 等. 生态护坡技术在河道边坡水

土保持中的应用 [J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2008, 32(1): 119-123.

- [9] 徐瑞兰, 曹先玉, 杨国瑞, 等. 高开绪平原水库利用排渗减压技术预防库外农田浸没 [J]. 山东农业大学学报: 自然科学版, 2007, 38(3): 432-436.
- [10] 毛海涛, 侍克斌, 李建华, 等. 西北干旱区平原水库防治土壤盐渍化渗流计算 [J]. 人民黄河, 2009, 31(11): 115-117.
- [11] ZYRYANOV V N, FROLOV A P. Bottom compensative countercurrents in plain-type reservoirs. water resources [J]. Water Resources, 2006, 33(1): 1-9.

(收稿日期 2012-03-20 编辑 张志琴)

(上接第 53 页)

- [13] 张华江, 童初升. 慈溪市海涂水库扩库增蓄方案探讨 [J]. 浙江水利水电专科学校学报, 2003, 15(4): 30-32.
- [14] 岑亚达. 新颖的水资源开发工程: 海涂水库 [J]. 浙江水利科技, 1994(3): 63.
- [15] 江晓益, 陈星. 海涂水库安全鉴定中的地质勘察实例分析 [J]. 浙江水利科技, 2008(6): 31-33.
- [16] 李海妮, 陈飞星. 海涂水库水体淡化影响因素分析 [J]. 东北水利水电, 2005, 23(10): 42-44.
- [17] 张展羽, 马国清. 海涂水库及灌区工程国民经济评价 [J]. 水利经济, 1994, 22(4): 43-47.

- [18] 潘桂娥, 黄罗春, 金利军, 等. 沿海滩涂水库蓄淡技术研究 [J]. 水利规划与设计, 2004(2): 51-55.
- [19] 茅志昌, 沈焕庭, 徐彭令. 长江河口咸潮入侵规律及淡水资源利用 [J]. 地理学报, 2000, 55(2): 243-250.
- [20] 茅志昌, 沈焕庭, 黄清辉. 长江河口淡水资源利用与避咸蓄淡水库 [J]. 长江流域资源与环境, 2001, 10(1): 34-42.
- [21] 高学平, 郭磊, 涂向阳, 等. 入海洪水资源的海洋水库开发模式研究 [J]. 海洋学报, 2007, 29(6): 141-146.
- [22] 杨树清. 21 世纪中国和世界水危机及对策 [M]. 天津: 天津大学出版社, 2004.

(收稿日期 2012-04-05 编辑 陈玉国)