

摘 要

随着人口的增长和经济的快速发展,水资源的供需矛盾日益突出。同时,水资源的过度开发利用导致了生态环境的不断恶化,对 21 世纪社会经济的可持续发展构成了严峻的挑战。因此,水资源的合理配置与可持续利用问题,受到了学术界以及全社会的广泛关注。本文选择黑龙江省牡丹江市所辖的海林市为研究区域,在分析研究区域内水资源开发利用现状及其存在问题的基础上,重点研究区域内社会经济发展布局和未来的水资源需求;分别采用综合分析定额法、产值相关法、时间序列分析模型等方法,对生活用水、工业用水、农业灌溉用水进行预测。

针对研究区工程型缺水的特点,根据水资源“三次平衡”的配置思想,分别进行了立足于现状开发利用模式下的水资源供需平衡分析、基于保持现有调水工程规模不变并充分考虑节水、治污和挖潜等条件下的水资源供需平衡分析。依据专家规则为指导原则,协调供水与需水之间的关系,生成海林市不同水平年的不同发展模式下的水资源优化配置方案,最终达到水资源的供需平衡,使社会经济、水资源与生态环境之间的协调、健康发展。

在水资源优化配置效果评价研究上,本文构建了层次分析法评价模型。建立了六大类二十项指标的评价指标体系,运用层次分析法结合专家咨询法评价生成的水资源优化配置方案。最后应用传统的规划设计工作思路中的水资源配置方案合理性评价进行对比验证,得到一致的结论。本次运用层次分析评价模型评价水资源优化配置方案效果较好。实践证明该方法有助于选择符合区域实际的水资源配置方案,使水资源配置研究成果能指导或应用于区域水资源管理中。

实例研究和计算结果表明,研究区域属于工程型缺水,依靠充分扩大当地水资源开发利用潜力、节水和治污、挖潜以及产业结构调整完全可以解决研究区水资源供需缺口问题。

关键词: 可持续发展; 水资源配置; 海林市; 供需平衡分析; 层次分析

Study on Water Resources Optimal Allocation in

Hailin

Abstract

Accompanying the increase of the population and the fast development of the economy, the allocation between the supply and the demand of the water resources stands out increasingly. At the same time, environment becomes worse and worse due to the excessive development and utilization of water resources which is a severe challenge to the sustainable development of social economy in the 21st century. And Consequently broad concern has been aroused by the rational allocation and the sustainable utilization of the water resources in the academia and the whole society. In the article, the Hailin town is the studied area in Mudanjiang city, Heilongjiang province. The author studied the overall arrangement of social economic development and the requirement of the water resources in the future, through analyzing present situation and the current problems of the development and utilization of the water resources in the studied area.

In allusion to the shortage because lacking of water supplying projects in the studied area, according as three-balances idea of the water resources allocation, the balance analysis have been done respectively both based on current situation development and utilization mode of the water resources, and on current scale of water transfer projects and the consideration of water saving, pollution control and potential excavation of the water supplying. And then generate schemes under different development mode in different horizontal years on expert rule. Coordinating the relation between water supply and demand so that the balance between them can be realized ultimately. Which can sustain the harmonious and healthy development among social economy, water resources and environment.

In order to appraise the effect of the water resources optimal allocation schemes, the author established the appraisal model on AHP. According to index system established which have twenty indexes in six classes, we can realize appraising and optimum selecting scheme through combining AHP with the method of expert consults. Compared with the rational appraisal in traditional planning work, the author drew the same conclusion. It is proved that this method is helpful to select one which is correspond to reality from different schemes. Which make the research results can guide or be applied in management of regional water resources.

From the example studying and the calculation, we can conclude that in the studied area there is a shortage because lacking of water supplying projects, we can resolve the shortage problem of water resources, through excavating potentiality, and enlarging the development scale of water resources, In course of which the adjustment of the industry structure, water saving and pollution control will be very important for the balance between water supply and demand. It is unnecessary

to building water transfer projects.

Keywords: sustainable development; water resources allocation; Hailin town; analysis of balance of water supply and demand; Analytic Hierarchy Process

Candidate: Guan Chuan-tao

Speciality: Agriculture Soil-Water Engineering

Supervisor: Prof. Wang Tie

1 引言

1.1 研究目的与意义

1.1.1 可持续发展与资源水利

可持续发展是 20 世纪 80 年代以来人类对生存与发展的一种最新认识，是认识上的一个飞跃。可持续发展战略的提出是建立在人口、资源、环境和社会、经济相互协调、良性循环的基础上，寻找一种新的经济增长方式。利用现代的高科技来发展经济，通过高科技和人才开发、人力资源来推动经济增长，力求资源的高效和永续利用，实现经济增长、社会发展和人口增长相互协调。其宗旨是保护其资源能满足世世代代延续不断发展的需要，使人口的数量和生活方式，保持在地球的承载力之内。可持续发展的基础是资源。因此，人口、资源和环境的协调发展的核心问题是资源能否满足人类世世代代生存与发展的需要。水是生命之源，是不可替代的生活和生产资料。水对人类的生存与发展、对人类经济和社会环境以及对人类的未来都会产生巨大的影响。可见，可持续发展的关键在水。

在社会历史的发展进程中，当人类开始定居并发展农业以后，就形成了人与土地和水的密切关系。在人们的生活和生产活动中，必须共有水源、共防水害，这就形成了人类社会最早的水事活动。纵观人类治水历史，可分为原始水利、工程水利、资源水利三个阶段。这是一个继承和发展的过程。原始水利阶段，人类适应自然、顺应自然，以减灾除害、保生存求发展为目的。认为水“取之不尽，用之不竭”。人们开发利用水资源随意、盲目，但由于科技落后、社会经济不发达，水资源需求量小，对水资源破坏程度不大。工程水利阶段，人类改造自然、征服自然，追求经济大发展，大规模兴建水利工程，全面开发利用水资源。认为水“可再生、大量、廉价的自然之物”。由于科技进步、人口激增，取用水量随社会经济发展越来越大，排放废污水越来越多，对自然界中的水资源造成严重破坏，导致各种各样的“水危机”。资源水利阶段，人类与自然和谐共处、协调发展。认为水“是人类生存和发展不可替代、可再生的、有限的、易破坏的自然和环境资源”。目前，我国正处在由工程水利向资源水利过渡阶段。

资源水利是一种既满足当代人发展需要，又考虑人类未来生存和发展需要的可持续发展的全新治水思路。其目标就是要处理好水资源与社会经济和生态环境的协调发展关系，使水资源在整体上发挥出最大的经济效益、社会效益和环境效益。资源水利主要包含开发、利用、治理、节约、配置、保护等六方面内容。其中搞好水资源配置是关键，而节约、保护、治理是配置的重要手段，开发和利用是配置的目的。

1.1.2 研究意义

水是生命之源，人类的一切活动均建立在对资源的开发与利用的基础之上。由于水的多功能性和不可替代性，才成为支撑社会经济发展的基本要素。而“水多、水少、水脏、水浑”四大水问题已经危害人民生命财产安全、恶化生态环境，已威胁社会稳定、制约经济发展。改革开放 20 年来，中国社会面貌发生了翻天覆地的变化，经济更是高速增长。以水资源的可

持续利用支撑社会经济的可持续发展问题已经提上议事日程。水资源配置最优规则研究在黑龙江尚处起步阶段。本次课题以黑龙江省海林市为典型地区开展研究，目标是水资源在整体上发挥最大的经济效益、社会效益和环境效益。将所得到的水资源配置方法辐射推广到全省基本情况类似地区，为当地及全省乃至全国解决水问题提供政策性建议。

1.2 国内外研究动态

上世纪 60 年代，科罗拉多的几所大学对计划需水量的估算及满足未来需水量的途径进行了研讨，被认为“体现了水资源优化配置的思想”，算是水资源优化配置研究的开端。70 年代以来，伴随数学规划和模拟技术的发展及其在水资源领域的应用，水资源优化配置的研究成果不断增多。1982 年，荷兰学者 ERomijn.MTaminga 考虑了水的多功能性和多种利益的关系，强调决策者和决策分析者间的合作，建立了 GelderlandtDoenthe 的水资源量分配问题的多层次模型，体现了水资源配置问题的多目标和层次结构的特点。

90 年代以来，由于水污染和水危机的加剧，传统的以供水量和经济效益最大为水资源优化配置目标的模式已不能满足需要，国外开始在水资源优化配置中注重水质约束、水资源环境效益以及水资源可持续利用研究。RAFleming 和 RMAAdams(1995)建立的地下水水质质量管理模型，建模以经济效益最大为目标，考虑了水质运移的滞后作用，并采用水力梯度作为约束来控制污染扩散；CarlosPercia 和 GideonOron(1997)以经济效益最大为目标，建立了以色列南部 Eilat 地区的污水、地表水、地下水等多种水源的管理模型，模型中考虑了不同用水部门对水质的不同要求。

“水资源优化配置”一词在我国正式出现是 1991 年，开拓了专门以流域或区域水资源配置以及相关问题的研究方向。王浩等（2001）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，是我国水资源配置理论与方法研究的新进展。

在水资源配置研究的具体实现手段上，近年来国内学者也提出了不同的技术方法，并作了大量应用研究。王增发等（2000）提出了江河水资源分配模型，将水库最优放水流量以及下游河段的区间入流按用户或河段进行分配，使全河获得最大效益，并应用优化模型和实用折扣模型进行了求解。赵建世等（2002）在分析了水资源配置系统的复杂性及其复杂适应机理分析的基础上，应用复杂适应系统理论的基本原理和方法，构架出了全新的水资源配置系统分析模型。

1.3 研究的主要内容和路线

本课题来源于黑龙江省水利厅规划项目：黑龙江省水资源综合规划。

水资源优化配置是针对水资源短缺和用水竞争提出的，要通过水资源配置系统来实现。水本身的资源、环境、社会和经济属性，决定了水资源优化配置涉及内容广泛。本文研究的主要内容包括：

水资源承载能力。水资源承载能力指的是在一定流域或区域内，其自身的水资源能够持

续支撑社会发展规模，并维系良好生态环境的能力。这种能力不是无限的，并且要以可持续发展，即保证生态用水和环境用水为前提，满足经济发展用水。本文探索适合海林市的现实可行的社会经济发展规模和发展方向，推求合理的工农业生产布局。研究现状用水结构、水的利用效率、提高用水效率的主要技术和措施，分析预测未来居民生活水平提高、国民经济各部门发展以及生态环境保护不同条件下的水资源需求。

水资源供需平衡。包括现状水资源开发利用评价、供水结构和可利用水量分析。通过在不同的水工程开发模式和区域经济发展模式下的水资源供需平衡分析，确定水工程的供水范围和可供水量，以及各用水单位的供水量、供水保证率、供水水源构成、缺水量、缺水过程及缺水破坏程度等情况。根据水资源配置的基本规则，协调各用水部门、用水地域的用水，提出联合调配各种水源的高、中、低方案。

水资源优化配置决策支持系统。决策支持系统是指综合利用各种数据、信息、知识，特别是模型技术，辅助决策者解决半结构化决策问题的人机交互式计算机软件系统。决策支持系统不能代替只能支持人的决策，辅助决策者做出正确的选择。本文建立了水资源优化配置方案的层次分析法评价模型，对基于专家规则为指导原则所产生出的海林市不同水平年的水资源配置方案进行优选。

水资源管理体系研究。海林市水务局已经成立，全市涉水事务已经划归水务部门管理，但如何更加科学地进行管理必须进一步研究，形成与水资源合理配置相适应的水资源科学管理体系，包括建立科学的管理机制和管理手段，制定有效的政策法规，确定合理的水价政策、水费计收标准和实施办法，培养合格的水资源科学管理人才等。

水资源优化配置保障体系。水资源开发利用在不同地区、不同历史背景和不同发展水平下是有相当大的差异的。然而，可持续发展作为全球发展的总目标，所体现的公平性和可持续性原则，对水资源可持续利用来讲是共同的。在满足上述原则基础上实现水资源可持续利用，应当对保障条件进行深入的研究。其中包括完善法律体系和执法机构、科技在水资源优化配置中的应用、节水潜力分析以及各行业用水指标等方面。

技术路线图如图 1-1 所示。

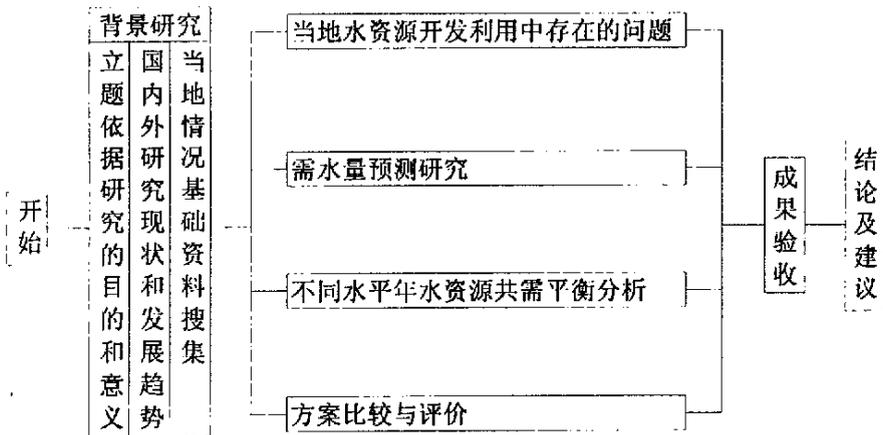


图 1-1 技术路线图

Fig1-1 the flow of technique route

2 海林市基本概况

2.1 海林市自然经济概况

海林市位于黑龙江省东南部,牡丹江市的西部。海林市座落在长白山系、张广才岭东麓。全市地貌形态由西北向东南依次为深山、浅山、丘陵漫岗、河谷平原。海林市地形总趋势为西北高、东南低,海拔高度为 880~180m 之间。海林市处于寒温带大陆性季风气候区。春季短促,多风少雨;夏季炎热潮湿,高温多雨;秋季凉爽;冬季寒冷漫长。海林市是黑龙江省降雨中心,多年平均降雨量 450~800mm。海林市天然植被保护情况较好,尤其长汀、横道、二道、三道四个乡镇最为突出,全市森林覆盖率为 67.9%。丘陵漫岗区受人为因素影响,林草覆盖率较低,易产生风蚀、水蚀、水土流失较为严重。全市土壤共分暗棕壤土、白浆土、黑土、草甸土、沼泽土、河淤土、水稻土等七个土类。

全市行政区域总面积为 8814 平方公里。截至 2003 年,全市总人口数 43.86 万人,其中工业人口数 24.56 万人,农业人口数 19.3 万人。全市总耕地面积 83.3 万亩,其中市属耕地面积 73.8 万亩,占全市总耕地面积的 88%。人均耕地 4.7 亩,劳均耕地 12 亩,农业总产值 3.1 亿元,人均总收入 3317 元。全市共有牲畜 20.45 万头,大牲畜 6.89 万头,小牲畜 13.56 万头,家禽 90 万只。全市粮食总播种面积 4.04 万公顷,总产量 12.46 万吨,农村经济总收入实现 15.54 亿元,农民人均纯收入达到 2901 元。2003 年,全市规模以上工业总产值实现 11.87 亿元,增加值 4.04 万元,全口径财政收入完成 2.87 亿元,城镇居民人均可支配收入达到 4813 元,增长 17.2%,国内生产总值完成 33 亿元(现价)同比增长 10%。

2.2 海林市水能水资源现状及其评价

2.2.1 水能水资源状况

海林市境内为牡丹江水系,共有河流 140 条,河流总长 2930km,河网度为 0.3km/km²。具有水能开发价值的河流 14 条(集雨面积 100 km² 以上),主要河流均属山区性河流,坡陡流急,自然落差大,流域植被良好,水份涵养区未被破坏。全市境内水能资源十分丰富,水能资源理论蕴藏总量 561.56 万 kW。牡丹江由南向北流经海林市柴河、二道、三道进入林口县。在海林市境内的一级支流有 5 条,其中海浪河是内河。海林市主要河流特征具有:主流源远流长,水量充沛;河道上游沟窄流急,比降大,水能丰富;洪枯水相差悬殊,洪水历时较短等特征。海林市水资源总量 43.39 亿 m³,可开发利用水资源总量 31.77 亿 m³,其中地表水 30.4 亿 m³,地下水 1.37 亿 m³。人均占有水资源量 7244m³,是全国人均水资源量的 2.7 倍,是全省人均占有水资源量的 3.5 倍。亩均水量 745m³,是全省亩均水量的 6.8 倍。地表水分布时空不均匀。全市地下水资源量为 12.99 亿 m³,调节储备量 1.72 亿 m³,可开采量 1.37 亿 m³。海林市地表水水质较好,由于海浪河流域地下水 PH 值偏低,铁离子严重超标(属原生水文地质污染),加之后生“三氮”(亚硝酸盐氮、氨氮、硝酸盐氮)等指标的叠加,致使地下水水质较差。海浪河长汀以上河段为 I 类水质,其它河流均为 II 类水质,牡丹江干流为 III 类水质,地下水无色无味,符合国家饮用水标准。海林市水资源丰富,但开发利用量仅占总量的 8.1

%, 在人口密集经济发达的海浪河中下游地区, 开发利用程度已达 21%, 而其它地区只有 2~2.5% 左右。

2.2.2 水资源开发利用现状

截至 2003 年末, 海林市已建成大小灌区 71 处, 其中万亩以上灌区 5 处, 实灌面积已达 16.82 万亩; 堤防工程 25 处, 总长 38.87km; 全市共完成治理面积 46900 公顷, 占水土流失总面积的 27.9%; 已建电站 4 处, 总装机 55.429 万 kW, 总投资 49.55 亿元; 共建成雨污合流管道 54208 米。这些水利工程, 为当地农业进步、人民生活水平的提高、生态环境的改善以及国民经济可持续发展, 农民致富奔小康, 起到了举足轻重的作用。全市水资源年开发利用总量 1.87 亿 m^3 , 其中地表水利用量 1.57 亿 m^3 , 地下水开发利用量 0.30 亿 m^3 , 各业用水: 生活用水 0.17 亿 m^3 , 工业用水 0.15 亿 m^3 , 农业用水 1.40 亿 m^3 , 其它用水 0.15 亿 m^3 。

海林市水利建设历史悠久, 水利事业经过多年积累和发展已有了质的飞跃。而全面建设小康社会的目标, 对水利发展提出了新的任务和要求, 同时使得不足和问题表现愈发土出:

1. 骨干控制性工程少, 对水资源的调控能力低, 工程型缺水问题突出。由于投入不足, 水利基础设施建设仍然比较落后, 缺少大型的控制性骨干工程, 水旱灾害频繁发生, 整体抗御水旱灾害的能力与国民经济的发展不相适应, 防汛抗旱能力仍然很低, 不利于海林市的防汛抗旱工作的顺利开展。

2. 农田水利基础设施严重不足, 配套率低, 使农田水利工程设计能力得不到充分发挥, 还有 70% 的耕地无任何农田水利设施。因此抵御自然灾害能力极弱, 在旱灾面前无能为力, 给农民生产生活造成极大损失。渠系配套工程建设标准低, 老化失修现象严重。该市的部分工程由于受资金不足等客观因素的影响, 工程建设的标准较低, 达不到设计要求, 致使我市部分工程破损老化严重。工程运行效率低, 造成了资源的浪费, 阻碍了水利事业的发展, 因此, 急需整顿和改造。

3. 由于毁林、毁草开荒等人为破坏, 致使局部地区水土流失现象较为严重, 生态环境恶化的势头没有得到有效控制, 边治理边破坏趋势还没有得到根本扭转, 生态环境整体改观的态势还没有形成, 对保护生态环境的重要性缺乏认识, 资源与环境问题仍是制约该市社会经济可持续发展的主要原因。

4. 水能水资源开发利用率较低, 供水能力低, 污染严重。水资源保护和节约用水没有得到高度重视, 浪费水的现象还非常严重, 水的利用效率不高, 水污染没有得到有效控制。

5. 城区现有水源日供水 1.7 万 m^3 的供水系统已不能满足目前城市用水需求, 同时管网老化, 年久失修, 跑、冒、滴、漏现象时有发生, 造成配水能力严重不足。城区排水未建成雨、污分排管道, 生活污水和工业废水未经处理直接排入河道, 致使河流污染严重。

6. 管理制度不够健全, 管理水平较低, 思想不够解放, 机制改革步子小。缺乏与时代相适应的管理机制, 致使工程不能充分发挥作用。对水利工程建设与管理同等重要的认识不够, 存在着重建设、轻管理的现象。随着我国市场经济的空前发展, 水利行业在长期的计划经济时期留下的痼疾一时无法抹去, 尽管该市在转变观念上做了许多工作, 如积极进行招商引资, 租赁、承包、拍卖、转让等多形式的机制转轨, 但步子迈得不够大。特别是在工程建设方面, 还没有按着规范、标准的要求严格履程序, 在实施中执行的不够得利。

3 海林市水资源供需水量预测研究（趋势分析）

3.1 基本原则和总思路

1. 节流与开源并举，利用与保护并重

为了满足未来经济发展对供水不断增长的需求，根据区域社会经济发展和水资源需求，以及生态环境状况等具体情况，在进一步强化节约用水和现有工程配套改造挖潜的前提下，适当建设当地水资源开发利用工程，以保证供水量适度增长。做到新建工程与现有工程配套改造并进，节流与开源并举，开发与保护并重。

2. 经济合理的原则

根据社会净福利最大的准则，对水资源的需求与供给同时进行调整，使社会经济发展模式与资源环境承载能力相适应。依据边际成本替代准则，在需求侧采用生产力转移、产业结构调整、水价格调整、行业器具型节水等措施，抑制需求的过度增长，并提高资源的利用效率；在供给侧统筹考虑降水和洪水、污水资源化、地表水和地下水联合利用等措施，增加水资源对区域发展的综合保障能力。

3. 可持续发展原则

基于可持续发展的原则，兼顾国民经济需水和生态环境需水，水资源配置应立足于水资源的持续利用。从保持人与自然和谐关系的观念出发，协调发展进程中的人——地关系和人——水关系。兼顾除害与兴利、当前与长远、局部与全局，在社会经济发展与环境保护两方面进行权衡，合理分配社会经济用水与生态环境用水。根据自然规律和经济规律，在社会经济发展需求和资源环境承载能力之间寻求平衡，在水资源高效持续利用的资金需求和社会经济承受能力之间寻求平衡。

3.2 海林市水资源供水量预测

供水预测的目标为 2017 年实现全市水资源供需平衡。本文的供水工程主要参考了《黑龙江省中长期供水计划》和海林市水务局制定的《海林市小康社会水利发展规划》的有关成果。供水预测和供需分析，考虑了海林市的水资源条件和水资源开发利用的适宜程度。供水预测遵循以下原则：加强工农业节水，抑制水资源需求的不合理和过快增长；对现有供水设施进行配套、挖潜、改造。统筹规划雨水、地表水、地下水的利用；合理安排生态环境用水，充分考虑其他用水量。由于现状供水量中没有外流域调水和污水处理回用，现状水平年可供水量主要包括地表水供水量和地下水供水量。各水平年供水工程供水量表如表 3-1 所示。

表 3-1 海林市不同水平年供水工程供水量表

（单位：万 m³）

Tab.3-1 Hailin water supply amount by water supplying projects in different horizontal years
(10⁴m³)

水平年	地表水				地下水	合计
	蓄水工程	引水工程	提水工程	小计		
2003	1017.3	11402.9	3153.1	15573.1	3167	18740.1
	7342.5	14064.7	5364.3	26771.5	3716	30487.5
2010	6864.3	13264.5	4845.5	25174.3	3425	28599.3
	6784.3	13134.5	4792.1	24800.6	3115	27915.6
2017	12334.8	15380.8	6983.4	34699	4350	39049
	11786.8	14630.8	6709.4	33127	4110	37237
	11366.8	14031.8	6499.4	31898	3760	35658

现状水平年总供水量约为 1.87 亿 m^3 ，其中地表水工程供水量约为 1.57 亿 m^3 ，地下水工程供水量约为 0.3 亿 m^3 。到 2010 年总供水量约为 2.86 亿 m^3 ，其中地表水工程供水量约为 2.52 亿 m^3 ，地下水工程供水量约为 0.34 亿 m^3 。到 2017 年总供水量约为 3.72 亿 m^3 ，其中地表水工程供水量约为 3.31 亿 m^3 ，地下水工程供水量约为 0.41 亿 m^3 。

供水能力是指水利工程在特定条件下，具有一定供水保证率的供水量，它与来水量、工程条件、需水特性和运行调度方式有关。根据海林市水务局 2003 年调查，全市供水工程的原设计供水能力为 1.87 亿 m^3 。由于很多工程修建较早，其来水条件、工程配套老化等状况和供水对象、需水要求，以及调度运行规则都有所变动。在现状条件下全市供水工程的供水能力，已下降为 1.49 亿 m^3 ，供水能力衰减了 0.38 亿 m^3 ，为原有设计供水能力的 20%。

3.3 海林市社会经济发展态势

3.3.1 水与社会经济发展的关系

人类的一切活动均建立在对资源的开发与利用的基础之上。水作为不可替代的自然资源，与自然、社会、经济之间有着千丝万缕的联系，水在自然界演化、社会进步、经济发展的过程中，表现出一系列自然特性、社会和经济属性。正是由于他的多功能性和不可替代性，才成为支撑社会经济发展的基本要素。

20 世纪，是经济、科技高速发展的世纪，在这 100 年的时间里，人类创造的财富超过以前所有世纪的总和，人类对资源的开发强度也达到了前所未有的程度。伴随社会经济的高速发展，我国用水量也呈大幅度增长态势。统计数字显示，用水与人口和社会经济呈同步增长态势。同时，洪涝灾害、干旱缺水、水体污染威胁社会稳定，制约经济发展，危害人民生命财产安全，恶化生态环境。

总之，水资源的开发利用归根到底是由人类活动引起，是为人服务的。因此，了解社会经济发展历程，把握社会经济的发展趋势，对深入研究水资源问题是十分重要的。

3.3.2 海林市社会经济发展现状

海林经济综合实力位居黑龙江省前列。2003 年，国内生产总值实现 32 亿元，人均国内生产总值实现 0.74 万元，一、二、三产业的比重为 12: 55: 33；城镇居民人均可支配收入和

农民人均纯收入分别实现 4,813 元和 2,940 元。海林是黑龙江省级生态农业试点市、水土保持试点市和水利建设先进市。2003 年第一产业增加值完成 38,500 万元。第二产业增加值完成 176,800 万元。第三产业增加值完成 10,4700 万元。

海林市国民经济在蓬勃发展的同时,还存在一些长期积累的问题和矛盾,主要表现在:

(1) 经济结构不够合理。传统产业比重大,高新技术产业和优势经济发展速度慢。新的经济增长点发展不协调,特别是第三产业发展滞后于一、二产业。缺少财政支柱和立市企业,缺乏与区域、国内和国际市场关联性强的产业和产品。

(2) 林业困难和问题突出。一是林业经营观念和方式落后,价值取向单一。二是经营管理过于粗放,林业资源面临危机。三是长期过量采伐,使国有林业出现畸形发展,积淀了大量的社会遗留问题。四是林业施业区森林覆盖率下降,水土涵养能力降低。

(3) 财源结构不合理。财政收入的 60%以上来自海林卷烟厂,形成了一柱擎天的高风险财政。财政上解比例高,“九五”期间财政收入累计上解 56,404 万元,上解比例为 63.8%,基本上是吃饭财政。

(4) 耕地比例小。全市耕地面积占总面积的 10%,种植业调整的空间较小,人多地少矛盾会越来越突出。由于开发时间较长,耕作粗放,农家肥用量减少,加之水土流失,土壤有机质含量已从初垦时期的 11%下降到现在的 4%左右。

3.3.3 海林市社会发展预测

水资源需求分析的基础是未来的社会发展格局。社会经济的发展对水资源需求增长的影响,主要体现在:人口增长与城市化进程、产业结构变化与工业总产值、农业发展与灌溉面积增长。上述三方面,在发展进程中受到某些不确定因素的影响,但也有一定规律可循。各方面之间,还同时存在着深刻的内在联系。

为了反映各类指标的确定性趋势和不确定性影响,本次预测采用情景分析的方法。首先,针对规划中各类发展指标,综合考虑水资源条件和地区发展目标,分别预测其可能出现的上下界范围;其次,根据各个方面之间的内在联系,对各分项指标预测值进行组合,形成不同的发展情景;最后,以这些发展情景作为需水预测基础。

本次预测依据《海林市可持续发展规划》和《海林市小康社会发展规划》,在人口预测中,主要依据我国的人口政策、海林市人口演变的具体情况以及总体的方针政策,考虑海林市的城镇化发展要求,对总人口、城镇人口和农村人口作出预测;在经济预测中,主要依据海林市两个规划中提出的要求;农业灌溉面积发展预测,是参考海林市灌溉发展总体设想的方案作出的。设定 2003 年为现状水平年,2010 年和 2017 年为规划水平年。2017 年为海林市规划实现提前三年全面进入小康社会奋斗目标的年份。

3.3.3.1 人口与城镇化进程预测

人口预测主要是基于对一个地区的现有人口状况及其未来发展趋势的判断,测算在未来某个时间其人口总量及其城乡分布。人口总量预测,一般有两类方法:其一为“直接推算法”即根据基准期的人口总数直接推算未来人口数;其二为“分要素推算法”,即先分别预测影响人口总数的各类要素,如:出生数、死亡数、迁移数,然后再合起来推算未来人口总数。两

种计算方法的数学公式表述如下:

直接推算法:

$$P_t = P_0(1+k)^t \quad P_t = P_0(1+k^t)$$

分要素推算法:

$$P_t = P_0 + PN - PD + PM$$

式中: P_t 为 t 时期人口总数; P_0 为现有人口总数; k 为人口年增长率(%); k^t 人口年增长数(万人); PN 为出生人口总数; PD 为死亡人口总数; PM 为人口迁移净值, $PM = \text{人口迁入} - \text{人口迁出}$ 。

目前, 对人口自然增长率函数求解, 主要有两种基本方案: 一是“数据拟合外推法”。它是基于对过去人口自然增长率数据进行分析, 通过计算的拟合, 求解其函数解析表达式, 然后通过外推方法, 求出未来人口自然增长率数值。该方案计算比较简单、目的性强、易于操作; 二是“总和生育率综合分析法”。它是依据对妇女总和生育率的综合分析, 应用 CANNAN 年龄结构代数程序法, 求解出人口自然增长率函数解析表达式。该方案计算复杂, 但较精确。

人口城市化是衡量区域发展的一个重要指标, 通常用人口的城镇化率(城镇人口占总人口的比例)来表征。预测人口城镇化率的方法有两类: 一类是趋势外推法, 即通过分析历史系列资料, 总结人口城镇化的发展趋势, 对未来某一时间进行预测; 第二类是相关系数法, 即根据城市化水平与经济发展水平的关系, 通过利用某一评价指标(如人均 GDP)与城镇化水平系列资料进行相关分析, 由此确定相关方程进行预测。

本次人口预测中, 根据资料情况, 总人口预测采用“直接推算法”, 设定人口净增长率预测总人口数。人口的城乡分布主要采用趋势预测法, 通过人口城市化率进行确定。预测中总人口增长率, 总体变化趋势与全国变化趋势一致, 变化幅度略小于全国变化水平。对于城镇人口和农村人口的预测, 以海林市 2003 年实际的城镇化水平为基础, 参考牡丹江市“十五”规划不同水平年城镇化的规划速度和权威单位对不同水平年全国城镇化率的预测, 结合海林市的具体情况, 设定高、中、低三种预策情景, 预测城镇人口, 农村人口则为总人口数减去城镇人口数。预测成果如表 3-2 所示。

表 3-2 海林市不同水平年人口预测表

(单位: 万人)

Tab.3-2 Hailin population prediction in different horizontal years (10⁴person)

水平年	方案	总人口	城镇人口	农村人口	人口城镇化率
2003	—	44.2	22.83	21.37	51.7%
	高	46.19	24.66	21.53	52.8%
2010	中	46.13	24.55	21.68	52.5%
	低	46.06	24.51	21.55	52.2%
2017	高	48.09	26.02	22.07	54.1%
	中	48.0	25.8	22.2	53.8%
	低	47.76	25.55	22.21	53.5%

2003 年, 海林市总人口为 44.2 万人, 其中: 城镇人口 22.83 万人, 人口城镇化率为 51.7%,

农村人口为 21.37 万人。按高、中、低情景设定到 2010 年,人口年增长率分别为 5.9‰、6.1‰、6.3‰,总人口将分别达到 46.19、46.13、46.06 万人,其中:城镇人口分别为 24.66、24.55、24.51 万人,人口城镇化率达到 52.8%、52.5%、52.2%,农村人口分别为 21.53、21.68、21.55 万人;到 2017 年,人口年增长率分别为 5.8‰、5.6‰、5.2‰,总人口将分别达到 48.09、48.0、47.76 万人,其中:城镇人口分别为 26.02、25.8、25.55 万人,人口城镇化率分别达到 54.1%、53.8%、53.5%,农村人口分别为 22.07、22.2、22.21 万人。

3.3.3.2 国民经济发展预测

国民经济发展预测包括国内生产总值预测、生产结构预测和工业总产值预测。鉴于经济发展过程中尚存在诸多不确定因素,本次预测采用情景预测方法,即分别设定高、中、低三套方案,分别进行各方案下的国民经济发展指标预测。各情景方案主要考虑因素如下:

高方案情景,经济运行环境良好,各项发展战略顺利实施,国民经济高速发展;中方案情景,考虑到所面临的实际困难,国民经济实现高速发展尚存在一定困难,但各项发展战略能够顺利实施,适度高速发展,保持国民经济稳定增长;低方案情景,由于基础设施建设对经济发展的滞后效应,诸多深层次矛盾解决的艰巨性、长期性以及经济运行环境不良(如经济周期性波动等)所产生的消极影响,国民经济发展可能达不到预期效果,基本保持低速发展态势。GDP 预测结果见表 3-3,人均 GDP 预测结果见表 3-4。

表 3-3 海林市 GDP 预测成果表

(单位:万元)

Tab.3-3 Hailin GDP prediction in different horizontal years

(10⁴yuan)

水平年	高情景	中情景	低情景
2003	--	327067	--
2010	680000	655000	561000
2017	1510000	1440000	961000

表 3-4 人均 GDP 预测成果表(中情景)

(单位:元/人)

Tab.3-4 Hailin GDP per capita prediction (based on the middle scene)

(yuan / person)

指标	2003	2010	2017
人均 GDP	7400	14200	30340

预计 2003~2010 年期间,GDP 年均发展速度为 8%~11%,2011~2017 年期间为 8%~12%。全市 GDP 总量,2010 和 2017 年预计达到 56.1~68.0 亿元和 96.1~15.1 亿元。在中等发展情景下,GDP 年均增长率 11.2%;全市 2010、2017 年人均 GDP 将分别达 1.42 万元和 3.03 万元。

2003 年海林市三产结构为 12:55:33,全市产业结构变动的总体趋势为第一、二产业占 GDP 的比重持续下降。到 2010 年第一产业下降到 10%以下,但农业仍是基础产业,在国民经济中仍占据重要地位;到 2017 年第二产业下降到 50%以下。第三产业有较快发展,其占 GDP 的比重不断提高。预测结果见表 3-5。

表 3-5 三产结构预测表

(单位:%)

Tab.3-5 Hailin three industries structure prediction (%)

水平年	情景	第一产业	第二产业	第三产业
2003	--	12	55	33
	高	8.8	48.6	42.6
2010	中	9.2	50.5	40.3
	低	9.5	52.5	38
2017	高	6.5	47.3	46.2
	中	6.8	48	45.2
	低	7.6	49.6	42.8

工业发展预测,没有可依据的文件资料,只有《2003年海林市统计年鉴》。工业产值是基于GDP的预测,利用宏观经济模型计算出高中第三个方案。到2010年,三产结构比例分别达到8.8:48.6:42.6、9.2:50.5:40.3、9.5:52.5:38,到2017年,三产结构比例分别达到6.5:47.3:46.2、6.8:48:45.2、7.6:49.6:42.8。

3.3.3.3 农业与灌溉面积及畜禽规模发展预测

灌溉面积发展预测的基本思路为:分析地区水资源及其耕地灌溉率情况,以明确发展灌溉面积的土地资源;对地区水资源进行分析,以明确发展灌溉的水资源保障能力;最后将两者协调,提出地区灌溉面积和林牧渔业发展分析成果。

此次预测,依据海林市两个规划中农业发展的总体布局,尤其依据种植业总体布局而作出。灌溉面积分为五类:水田、旱田、菜田、经济作物、坐水种面积。预测结果见表3-6。

表3-6 地区灌溉面积发展分析表

(单位:万亩)

Tab.3-6 Hailin development of irrigated area prediction (10⁴are)

水平年	情景	合计	水田	旱田	菜田	经济作物	坐水种	累计新增
2003	--	16.82	13.83	0.44	0.11	0.12	2.32	--
	高	24.55	16.83	1.23	0.72	1.22	4.65	7.73
2010	中	24.07	16.66	1.19	0.61	1.17	4.44	7.25
	低	23.66	16.50	1.15	0.56	1.12	4.33	6.84
2017	高	36.27	18.06	2.53	1.12	2.58	11.97	19.45
	中	35.57	17.92	2.34	0.9	2.52	11.88	18.75
	低	35.05	17.69	2.11	0.79	2.46	11.76	18.23

高、中、低情景预测的灌溉面积,2010年分别约为24.55、24.07、23.66万亩,其中水稻分别为16.83、16.66、16.50万亩;2017年分别约为36.27、35.57、35.05万亩,其中水稻分别为18.06、17.92、17.69万亩。灌溉面积的增加主要是菜田、经济作物和坐水种面积。

预计到2010年全市林业育苗面积为5000亩,2017年为6000亩。预计到2010年全市养鱼面积达到2万亩,到2017年达到3万亩。

畜禽规模预测如表3-7所示。

表3-7 畜禽规模预测表

(单位: 万)

Tab.3-7 Hailin scale of development of the beasts and birds prediction (10⁴)

水平年	情景	大牲畜(头)	小牲畜(头)	家禽(只)
2003	--	6.89	13.56	90
	高	12.19	22.34	176.13
2010	中	11.08	17.56	157.13
	低	10.92	14.21	130.96
	高	17.8	28.24	274.33
2017	中	14.00	26.4	221.1
	低	13.02	24.9	196.87

截至 2003 年,全市共有牲畜 20.45 万头,大牲畜 6.89 万头,小牲畜 13.56 万头,家禽 90 万只。按高、中、低情景设定,预计到 2010 年,大、小牲畜和家禽将分别达到 12.19、11.08、10.92 万头,22.34、17.56、14.21 万头,176.13、157.13、130.96 万只;到 2017 年,将分别达 17.8、14.00、13.02 万头,28.24、26.4、24.9 万头,274.33、221.1、196.87 万只。

3.4 水资源需求预测

人口增长和经济发展驱动水资源的需求迅速增长,但是任何地区水资源的数量都是有限的,对水的需求的增长不可能是无止境的,都一定的限度。水资源的增长受到资源条件、供水成本、环境保护等因素的制约,需要通过节约用水、提高用水效率抑制需水增长。需水增长是一个长期的过程,节水和有效利用水资源也是一项长期的任务。

对水资源需求的预测以可持续发展为目标,即预测国民经济需水,兼顾生态环境对水资源的需求。在预测定额时,考虑水资源条件、水资源开发利用潜力、节水水平、经济结构调整等众多因素。工业需水预测根据城镇工业结构和工业布局,控制高耗水、高能耗的工业在中心城镇的发展。城镇生活需水要与城市和镇区发展规模、城镇化水平、城镇居民生活水平及城镇的性质相协调。

3.4.1 生活需水预测

生活需水包括城镇生活需水和农村生活需水两部分。其中,城镇生活需水又包括城镇居民生活用水和公共设施用水两部分;农村生活需水包括农村居民生活用水和家养畜禽用水两部分。生活需水量的预测方法有综合分析定额法、趋势法和分类分析权重估算法。城镇生活需水在一定范围内,其增长速度比较有规律,因而采用综合分析定额法进行预测。此方法考虑用水人口和需水定额两个因素。其中用水人口以当地计划部门预测数为准,需水定额以现状用水调查数据为基础,分析历年变化情况,考虑不同水平年城镇居民生活水改善和提高程度,拟定相应的用水定额。公共设施用水,根据历年实际用水情况,按城镇居民用水的 80% 计。农村生活需水与城镇居民生活需水预测方法相同。

3.4.1.1 不同水平年需水定额

2003 年现状用水定额是根据海林市实际生活用水统计资料进行分析和概化得到的。预测

城镇生活需水定额是在分析现状年实际用水的基础上进行的。预测中考虑现状的城镇生活用水基础,考虑规划水平的提高,也考虑了城镇生活节水器具的改进、提高和普及。对于城镇生活用水中的公共设施用水部分,考虑了城镇化水平及城镇性质的影响。

农村生活用水定额,是在分析现状年实际用水水平,参考“黑龙江省水中长期供求计划”的成果的基础上,结合各规划水平年农村社会经济发展和生活水平的提高,进行拟定的。各规划水平年城镇生活需水定额预测如表 3-8 所示。

表 3-8 生活需水定额预测表

Tab.3-8 Hailin domestic water demands quota prediction

水平年	城镇居民生活 (L/人·日)	农村生活			
		农村居民生活 (L/人·日)	大牲畜 (L/头·日)	小牲畜 (L/头·日)	家禽 (L/只·日)
2003	90	80	90	40	4
2010	120	100	90	40	4
2017	225	150	90	40	4

3.4.1.2 不同水平年需水量

规划水平年的生活需水量是根据上述城镇、农村人口及畜禽数目的预测和城镇、农村生活及畜禽需水定额预测的成果作出的。生活需水预测的成果如表 3-9 所示。

表 3-9 生活需水预测表

(单位: 万 m³)

Tab.3-9 Hailin domestic water demands prediction

10⁴m³

水平年	情景	城镇生活		农村生活			合计	
		居民生活	公共设施	居民生活	大牲畜	小牲畜		家禽
2003	--	652.8	521.1	545.7	276.09	162.53	169.10	2327.3
	高	1080.11	864.89	785.8	444.9	326.2	257.1	3759
2010	中	1075.29	860.23	791.32	404.42	256.38	229.41	3617.0
	低	1073.5	858.8	786.6	398.6	207.5	191.2	3516.2
2017	高	2136.9	1709.52	1208.3	779.6	515.4	400.5	6750.2
	中	2118.83	1695.06	1215.45	613.2	481.8	322.81	6447.1
	低	2098.3	1678.64	1216.0	570.3	454.4	287.4	6305.0

按高、中、低情景设定,预计到 2010 年,生活需水将分别达到 0.37、0.36、0.35 亿 m³,到 2017 年约为 0.67、0.64、0.63 亿 m³。其中:城镇生活需水 2010 年约为 0.194、0.192、0.190 亿 m³,2017 年约为 0.384、0.380、0.377 亿 m³。

3.4.2 工业需水预测

工业需水的变化与工业发展布局、产业结构调整和生产工艺水平的改进等因素密切相关,研究工业用水发展过程、分析工业用水的现状和未来工业发展的趋势以及需水水平的变化,总结变化的规律。目前,工业需水量预测方法有:趋势法、产值相关法(即定额法)、重

复利用率提高法、分块预测法（即分行业预测法）以及系统动力学法等。本文采用产值相关法预测工业需水，并用其他方法对成果进行验证。

3.4.2.1 不同水平年需水定额

工业用水定额以单位工业产值取水量和人均工业用水量作为指标，结合工业用水定额历史资料的统计趋势分析，进行预测。预测的基础数据是2003年海林市实际用水量及其单位用水量。考虑到海林市工业原有节水基础薄弱，随着经济发展和科技进步，未来20年节水水平会提高较快。拟定的各水平年工业需水定额如表3-10所示。

表 3-10 不同水平年工业需水定额表

Tab.3-10 Hailin industrial water demands quota prediction

水平年	定额 (m ³ / 万元)	水重复利用率 (%)	人均工业用水量 (m ³ / 万元·人)
2003	144	60	34
2010	126	65	69
2017	90	75	95

3.4.2.2 不同水平年需水量

规划水平年的工业需水量是根据上述工业产值、人口预测和工业用水定额预测的成果作出的。工业需水预测的成果如表3-11所示。

表 3-11 不同水平年工业需水预测表

Tab.3-11 Hailin industrial water demands prediction

水平年	需水量 (万 m ³)	工业产值 (万元)	水重复利用率 (%)
2003	1501	104236	60
2010	3175	251984	65
2017	4541	504554	75

中等发展情景下，预计全市2010年工业需水量将达3175万m³，2017年达4541万m³。

3.4.3 农业需水预测

农业需水包括农田灌溉需水和林牧渔业需水，是通过蓄、引、提等工程设施向农田、林地、鱼塘供水，以满足各业用水要求。农田灌溉需水受气候地理条件的影响，在时空分布上变化较大；同时还与作物的品种和组成、灌溉方式和技术、管理水平、土壤、水源以及工程设施等具体条件有关。本文采用定额法进行预测。预测过程中，涉及三个关键指标：各类作物的净灌溉定额、灌溉用水利用系数和灌溉面积，都充分考虑上述因素，进行了拟定。林业和渔业的需水量，都是根据当地规划，结合现状年的具体情况进行预测的。

3.4.3.1 不同水平年需水定额

各水平年农业需水定额是以2003年农业实际灌溉用水资料为参考，以黑龙江省行业用水定额为控制进行制定的。各水平年农田灌溉需水中，尤其水稻灌溉中，注重灌溉水利用的提高，如：2010年灌溉水利用系数地表水为0.55，地下水为0.85；2017年地表水和地下水的利用系数分别为0.6和0.9。并采用节水型先进灌溉技术，水稻采用浅晒浅的灌水方式。拟定

的各水平年农业需水定额如表 3-12 所示。

表 3-12 各水平年农业需水定额

(单位: $m^3 / \text{亩}$)

Tab.3-12 Hailin agricultural water demands quota prediction (m^3 / are)

水平年	水田	旱灌	菜田	经济作物	坐水种	林业	渔业
2003	820	105	500	140	6	200	600
2010	800	100	500	140	6	200	600
2017	750	90	460	130	6	200	600

3.4.3.2 时间序列分析法预测农业灌溉需水量

时间序列分析运用概率统计的理论和方法来分析随机数据序列, 并对其建立数学模型, 进行参数估计, 对模型定阶, 以及进一步应用于预报、预测、自适应控制、最佳滤波等诸多方面。农业灌溉用水是整个需水量中用量最大的组成部分。本文采用 ARMA 模型方法, 根据观测数据的特点建立合理的统计模型, 利用模型的统计特性解释数据的统计规律, 对农业灌溉用水进行预测。

(一) ARMA 模型描述。自回归-滑动平均 (Autoregressive-Move Average, ARMA) 模型表达式为

$$x_t - \varphi_1 x_{t-1} - \varphi_2 x_{t-2} - \dots - \varphi_p x_{t-p} = a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \dots - \theta_q a_{t-q}$$

如令 B^k 表示 k 步线性推移算子, 即 $B^k x_t = x_{t-k}$, $B^k a_t = a_{t-k}$

则表达式可简写为

$$\varphi(B)x_t = \theta(B)a_t$$

式中

$$\begin{aligned} \varphi(B) &= 1 - \varphi_1 B - \varphi_2 B^2 - \dots - \varphi_p B^p \\ \theta(B) &= 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q \end{aligned}$$

当满足条件

- ① $\varphi(B)$ 和 $\theta(B)$ 无公因子;
- ② $\varphi_p \neq 0$ 和 $\theta_q \neq 0$;
- ③ B 算子多项式 $\varphi(B)$ 和 $\theta(B)$ 的根全在单位园外;
- ④ t 时刻的白噪声 a_t 与前一时刻的 $x_{t-\tau} (\tau > 0)$ 不相关。

则该序列称为 p 阶自回归- q 阶滑动平均模型, 记为 ARMA(p, q), 模型式中 a_t 为 t 时刻的白噪声, x_t 为 t 时刻的测量值, φ_t 为 t 时刻的自回归系数, θ_t 为 t 时刻的滑动平均系数。

(二) 动态数据预处理。

在建立时间序列模型之前, 必须先对动态数据 (动态数据系列) 进行必要的预处理, 以便剔除不符合统计规律的异常样本, 并对这些样本数据的统计特性进行检验, 以确保建立时间序列模型的可靠性和置信度, 并满足一定的精度要求。

平稳性检验。平稳性是建模的重要前提。检验时间序列的平稳性考虑两个内容: 一是时间序列的均值和方差是否为常数, 二是序列的自相关函数是否与时间间隔有关, 而于此间端点位置无关。常用的非平稳检验方法有参数检验法和非参数检验法两种。本文采用参数检

验法。即通过对其平均偏差、极差、方差、标准差、标准误、变异系数等的计算进行检验。

正态性检验。正态性是动态随机数据最重要的统计特性，目前常用的时间序列模型就是建立在具有正态概率分布特性的白噪声基础上的。

独立性检验。从理论上讲，符合正态性的随机序列一定也具有统计独立性。而对于有限长度的时间序列来说，不一定完全具备统计独立性的条件。因此，对于时间序列的样本数据，还要检验其独立性。通过计算估计的样本自相关系数的方差 VAR 进行检验。有些情况下可能由于偶然因素，有个别样本自相关系数超出约束范围。这时可构造统计量 Q，检验其是否符合 χ^2 分布。

(三) 模型的参数估计和定阶

分析时间序列模型的自相关特性、偏相关特性等生成结构和主要功能，都是建立在模型参数和阶数已经确定的基础上的。所有的模型参数都是建立在样本统计参数基础上的，亦即从大量的样本数据中提取反映时间序列统计特性的统计参数。这种情况类似于从无限数据的概率分布中提取特征参数，如均值、方差、自相关等都是反映平稳序列的统计特征。但是在平稳随机序列概率密度分布中提取的统计参数是确定的，当然也是时不变的，一般用于静态数据处理。而在时间序列中提取的统计参数却仅是个估计值，它们本身带有随机性，这是它的特点。

目前流行的多种定阶准则，通常可从下述四个方面进行分类。

(1) 利用时间序列的相关特性，即判断模型的自相关系数和偏相关系数的拖尾和截尾性来确定其合适阶数。

(2) 利用数理统计方法，有①检验高阶模型新增加的参数是否近似为零。②检验残差的相关特性。参数的置信区间是否含零来确定模型阶数。③检验方法。

(3) 利用信息准则，即定义一个与模型阶数信息有关的特征参数，从而选取使它达到最小值的阶数作为模型的阶数，其中包括 AIC, BIC, FPE 及其它准则。

(4) 根据经验提出的定阶方法。

一般来讲，希望白噪声的方差估计的取值越小越好，表明模型拟合得越精确。通常因为过分追求较小的残差方差，导致较多的待估参数。其结果会使建立的模型关于数据过于敏感，从而降低模型的稳健性。AIC(A-Information Criterion)定阶准则就是为了克服模型的过度敏感而提出的。

如果已知 p 的上界 P_0 和的 q 上界 Q_0 ，对于每一对 (p, q) 的 AIC 定阶，计算函数

$$AIC(k, j) = \ln(\sigma^2(k, j)) + 2(k+j) / N$$

AIC(k, j) 的最小值点称为 (p, q) 的 AIC 定阶。如果最小值不唯一，应先取 $k+j$ 最小的，然后取 j 最小的。一般 AIC 定阶并不是相合的，但并不能否定 AIC 定阶的实用性。因为一方面实际数据并不会真正满足某一个 ARMA(p, q) 模型，所以真正的阶数并不存在，采用 ARMA 模型只是对数据的处理。另一方面，AIC 定阶有时会高估阶数，但并不会高估出很多。这比低估要好，低估阶数往往会造成更大的误差和模型的选择不当。

BIC 准则是对 AIC 准则的改进。其计算函数为

$$BIC(k, j) = \ln(\sigma^2(k, j)) + (k+j) \ln N / N$$

(四) 海林市农业灌溉需水模型预测

建立一个时间序列的数学模型,首先要根据数据信息的先验知识,以及所提供的时间序列的数据概貌,提出一个相适应的模型类别。其次就要根据实际的观测数据具体地确定该类数学模型所包含的阶数及各项系数的数值。

本文采用 ARMA 模型。搜集 20 年(1984 年~2003 年)来海林市农业灌溉用水量,为应用时间序列方法,对数据进行标准化转换。所得序列为实际数据(单位为万 m^3 时)的 10^{-2} 倍,即 128.876、129.058、129.302、129.798、130.657、132.049、131.898、133.125、136.494、133.554、133.965、134.001、134.156、134.102、134.457、134.612、137.634、137.987、138.021、139.368。在对这些动态数据进行预处理后,进行模型的参数估计和定阶。

采用 DPSS 软件进行求解。首先由前 15 年实际观测数据构造模型,预测后 5 年的用水量,依据后 5 年的实测数据进行检验。用通过检验后的模型来预测海林市七年(2004 年~2010 年)农业灌溉用水量,预测得 2010 年农业灌溉用水量为 14540.5 万 m^3 ;再根据已有 20 年实测数据和已预测的 7 年的数据来预测下一个七年(2011 年~2017 年)的农业灌溉用水量,预测得 2017 年农业灌溉用水量为 15013.4 万 m^3 。具体计算过程及时间序列分析特征图见附录 A。

3.4.3.3 不同水平年需水量

规划水平年的农业需水量是根据上述灌溉、林牧渔面积预测和灌溉、林牧渔灌溉定额预测的成果作出的。农业需水预测的成果如表 3-13 所示。

表 3-13 农业需水预测成果表

(单位: 万 m^3)

Tab.3-13 Hailin agricultural water demands prediction (10⁴ m^3)

水平年	情景	水田	旱灌	菜田	经济作物	坐水种	林业	渔业	合计
2003	—	12894	46.2	55	16.8	13.9	80	900	14006
	高	13464	123	360	170.8	27.9	100	1200	15448
2010	中	13328	119	305	163.8	26.6	100	1200	15242
	低	13200	115	280	156.8	26.0	100	1200	15078
2017	高	13545	227.7	517.1	335.4	71.82	120	1800	16617
	中	13440	210.6	414	327.6	71.3	120	1800	16384
	低	13267	189.9	363.4	319.8	70.56	120	1800	16131

按高、中、低情景设定,预计到 2010 年,农业需水约 1.54、1.52、1.51 亿 m^3 ,2017 年约为 1.66、1.64、1.61 亿 m^3 。其中:农田灌溉需水 2010 年约为 1.34、1.33、1.32 亿 m^3 ,2017 年约为 1.35、1.34、1.33 亿 m^3 。

3.4.4 其他(含生态环境)需水预测

以建设生态市为目标,坚持污染防治和生态保护并重的原则,强化环境管理和依法行政,全面实施环境综合治理,使城乡环境得到明显提高,生态环境实现良性循环,促进经济、社会与环境的协调发展。根据海林市生态环境建设、环境保护等各方面规划,预计除生活、工业、农业用水外,到 2010 年预计其他用水 5190 万 m^3 ,到 2017 年 5540 万 m^3 。

3.4.5 总需水预测

各水平年的总需水量为以上各单项需水预测的累计，预测中所采用的定额已考虑节水。城镇生活用水考虑了随生活条件改善，节水器具逐渐推广使用；工业用水考虑节水措施的实施，水重复利用系数有所提高，万元产值取水量逐年降低；农业灌溉用水考虑了发展节灌面积，实施综合节水措施。两个规划水平年的需水预测成果如表 3-14 所示。

表 3-14 总需水预测表

(单位: 万 m³)

Tab.3-14 Hailin total water demands prediction

水平年	情景					10 ⁴ m ³
		生活需水	工业需水	农业需水	其他	合计
2003	--	23270	1501.04	14006	900	18740
	高	3759	3175	15448	5320	27702
2010	中	3617.0	3175	15242	5190	27224
	低	3516.2	3175	15078	5010	26779.2
	高	6750.22	4541	16617	5720	33628.2
2017	中	6447.1	4541	16384	5540	32912
	低	6305.04	4541	16131	5380	32357

按照高、中、低情景设定，预测总需水量：2010 年分别为 27702、27224、26779.2 万 m³，2017 年分别为 33628.2、32912、32357 万 m³。

4 海林市水资源优化配置方案生成

4.1 水资源优化配置理论

4.1.1 水资源优化配置的内涵

水资源优化配置是指在一个特定流域或区域内,工程与非工程措施并举,对有限的不同形式的水资源进行科学合理的分配,其最终目的就是实现水资源的可持续利用,保证社会经济、资源、生态环境的协调发展。水资源优化配置的实质就是提高水资源的配置效率,一方面提高水的分配效率,合理解决各部门和各行业(包括环境和生态用水)之间的竞争用水。比如无论是从时间过程还是从不同国家的横向对比来看,农业产业所能容纳的劳动力比重和所创造的国民收入比重,都是随经济发展水平的提高而减少,农业用水必然将大量减少。另一方面则是提高水的利用效率,促使各部门或各行业内部节约高 eff 用水。水资源优化配置是全局性问题,对于缺水地区,应统筹规划,合理利用水资源,保障区域发展的水量需求。对于水资源丰富地区,必须提高水资源的利用效率。

水资源优化配置包括需水管理和供水管理两方面的内容。在需水方面通过调整产业结构、调整生产力布局,积极发展高效节水产业,以适应较为不利的水资源条件。在供水方面则是加强管理,协调各单位竞争性用水,通过工程措施改变水资源天然时空分布使之与生产力布局相适应。因此,水资源短缺是促使水资源实行优化配置的内在动力,而社会经济的快速发展和产业结构的调整则是实现水资源优化配置的外部动力。

4.1.2 水资源优化配置理论的演进

4.1.2.1 以需定供的水资源配置

该理论认为水资源“取之不尽,用之不竭”,以经济效益最优为唯一目标,以过去或目前的国民经济结构和发展速度预测未来的经济规模,进而预测相应的需水量,并进行供水工程规划。它将各水平年的需水量及过程均作定值处理,忽视了影响需水的诸多因素间的动态制约关系。这种理论着重考虑了供水方面的各种变化因素,强调需水要求,通过修建水电工程的方法从大自然无节制或者说掠夺式地索取水资源,相应带来诸如河道断流、土地荒漠化、地面沉降、海水倒灌、土地盐碱化等不利影响。另一方面,由于以需定供没有体现出水资源的价值,毫无节水意识,也不利于节水高效技术的应用和推广,必然造成全社会范围的水资源浪费,只能使本来就有限的水资源更加紧缺,不可能实现水资源的可持续开发利用。

4.1.2.2 以供定需的水资源配置

“以供定需”的水资源配置思想,是依水资源供给的可能性进行生产力布局,强调水资源的合理开发利用,是以需定供配置水资源的进步,有利于保护水资源。但水资源的开发利用水平与区域经济的发展阶段和发展模式密切相关,比如,经济的发展有利于水资源开发投资的增加和先进技术的应用推广,这必然影响水资源开发利用水平。因此,水资源的可供应量是与经济发展相依托的动态变化量,不能独立于经济之外去分析。而以供定需的思想在可

供应水量分析中与地区经济发展相分离，没有实现资源开发和经济发展的动态协调，并有可能由于过低估计区域发展的规模，使区域经济并未得到充分发展。这种配置理论也不能适应经济发展的需要。

4.1.2.3 基于宏观经济的水资源配置

该理论是结合区域经济发展水平，同时考虑需求和供给平衡。通过投入产出分析，从区域经济结构和发展规模分析入手，将水资源优化配置纳入区域宏观经济系统，以实现区域经济发展与资源利用的协调发展。水资源系统和宏观经济系统之间具有一系列内在的、相互依存和相互制约的关系。当区域经济发展对需水量要求增大时，必然要求供水量快速增大，这势必要求增大相应的水投资而减少其它方面的投资，从而使经济发展的速度、结构、节水水平以及污水处理回用水平发生变化，实现基于宏观经济的水资源优化配置。而投入产出的各种变量经过市场而最终达到的只是传统经济学范畴的市场交易平衡，忽视了环保和生态问题。基于宏观经济的水资源配置，注重水资源与区域经济的协调发展，但水资源的价值、水环境的改善和治理投资并未进入投入产出表中进行平衡分析，这不但忽视了资源自身的价值，也忽视了对资源的人为污染和破坏，同样可能造成经济虚假增长。因此，传统的宏观经济体系有待革新，基于宏观经济的水资源优化配置理论有待进一步完善。

4.1.2.4 可持续发展的水资源配置

随着社会的发展，人们不但追求高标准的物质和文化生活，还对生活环境质量提出了很高要求。强调经济发展和生态环境保护相协调的可持续发展理论应运而生。可持续发展的水资源优化配置是基于宏观经济的水资源配置理论的进一步升华，遵循人口、资源、环境和经济协调发展的战略原则，在保护生态环境（包括水环境）的同时，促进经济增长和社会繁荣。因此，可持续发展的水资源优化配置作为水资源优化配置的一种理想模式，在模型结构及模型建立与实际应用等方面都还有待深入研究。但它必然是水资源优化配置理论的发展方向。

4.2 海林市水资源优化配置方案生成

4.2.1 水资源配置的基本规则

水资源配置的主要任务是进行水资源系统的供需平衡计算，分析和解决水资源系统供需平衡、联合调度、工程有效供水量等问题；回答不同规划水平年的给定供水工程组合及节水措施、污水处理回用措施等条件下，水资源供需平衡问题及对地区经济社会发展的制约问题。

水资源优化配置应当以专家规则为指导原则。专家规则是水资源专家在长期的水资源及其开发利用工程的规划、运用、管理等工作的实践中，对有关水资源各个方面的特性和变化规律的认识和经验总结。专家规则对于某个问题的认识和描述，往往是突出了其中的主要因素，抓住了主要矛盾，使问题变得主次分明，简明清晰，易于解决。

4.2.1.1 水资源系统运用规则

系统运行规则的主要作用是保障水资源系统的安全运行，协调水资源系统的各种服务目标和用途之间的关系。基本运行规则主要有如下几条：

(1) 水资源系统安全运行规则

地表水库要在确保工程安全条件下运行，其蓄水位不得超过最高允许蓄水位的限制，汛期水库的蓄水位不得高于防洪汛限水位，汛后逐渐抬高水位蓄水兴利，对各种水利工程、河道、天然湖泊以及蓄滞洪区的操作运用都必须控制在设计的或规定的安全范围之内。

(2) 部门相互关系规则

系统以供水为主，发电和航运服从供水，但特指水库和河段可以例外。农业需水的优先序较低，但对特殊枯水年份，应尽可能满足其中有关口粮部分的需水要求缺水突出地区，水库的发电服从供水原则。水库的长期调度运行方式主要根据供水的要求来制定，在此控制下水电站结合电力系统的要求进行发电。缺水突出地区，水库的发电服从供水，水库的长期调度运行方式主要根据供水的要求来制定，在此控制下水电站结合电力系统的要求进行发电。

(3) 地域划分规则

划分单元以考虑地域内的不均匀性，认为单元内均匀一致，不考虑其中的不均匀性，即同一区域内的自然地理条件(地形、地貌、气象、水文)、水利化的特点和发展方向等基本相同，而相邻两区要有较大差异，这样做既突出了各个分区的特点，又便于在一个分区内采取比较协调一致的对策措施。为兼顾流域特性和行政区特性，尽量按流域、水系划区，如果在同一流域或水系中，自然条件有显著差异，则应根据自然条件的差异性对分区进行细划。同一供水系统划在同一个分区内，有利于查清本区水旱灾害情况。同时，尽量保持行政区划的完整性，这样做比较有利于基础资料的收集、整理和汇总。

(4) 时段划分规则

可按月或旬划分时段，也可按月或旬混合划分时段，以考虑入流、需求和出流的变化，实现长系列时历操作。为考虑系统内各流域之间的水文不同步性及其年际变化，为考虑地表水库间和地表水与地下水源间的供水补偿作用，需要进行长系列逐时段计算。

(5) 水量分配规则

根据预先给定的供水保证程度，将水量进行分配。分配水量后，若出现一些单元配水大于需水要求时，则应将多余的水量按受水单元退水规则退回直接供水单元，然后将这部分水量对配水小于需水要求的受水单元和水库进行追加分配。

(6) 受水单元的退水规则

受水单元所接受的配水若大于需水要求，多余水量应该退回给供水单元。当直接供水单元只有一个时，全部返回该单元。当直接供水单元多于一个时，多余水量按最近一次追加分配水量的比例全部退回。

(7) 污水及污水处理概化规则

每个计算单元按需求分配的供水，其非消耗的水量视为污水。每个单元至多概化为一个污水处理厂，它处理所在单元部分或全部污水。处理后的污水优先为所在单元利用，多余的水量按处理后的污水走向或为其他单元所利用，或流入下游河道(或水库)。未处理的污水按污水走向排入下游河道。

4.2.1.2 系统供水规则

系统供水规则也可以称作用水优先序规则，主要作用是指导和协调各种用水户的关系，

实现高效、公平合理的用水。系统供水规则主要包括以下原则：

(1) 水资源的可持续性原则

为实现水资源可持续利用，区域发展模式要适应当地水资源条件，保持水资源循环转化过程的可再生能力。对于水少地多的地区，要防止盲目扩大灌溉面积；对大中型灌区，要防止盐分在耕作层的积累；对水库和河道，要安排适量的输沙用水；对水资源开发利用程度超过 60% 以上的水系，原则上其开发利用量不能再进一步扩大，其地下水位不应再进一步下降。

(2) 水权优先原则

水权优先原则是指尊重已形成的权属格局，后来者通过另辟水源满足自身需要的原则。当同一流域水资源的使用权已有明确划分或各地区已达成分水协议条件下，各地区的分水量要服从水权分配或遵守分水协议。一般情况下，水权或协议分配的水量，应当作为各地区分水的硬性上限约束，不得突破。否则，容易引起地区纷争。当某一地区水权或协议分配的水量用不完时，可转让或调剂到其它地区。转让可以是无偿的，也可以是有偿的，要视各地区已付出的代价、水资源紧缺程度、支付能力等具体情况而定。当实际总来水量显著小于或大于原先水权分配或协议分配的总水量时，各地区分配水量要作相应调整，一般按比例调整。

(3) 供水高效性原则

指水资源系统的供水基本上要按照单位用水量效益从高到低的次序进行供水。用水效益的高低也不仅仅局限于经济效益，还应该包括对于人类生命、生活、社会和环境的价值和重要性。一般地可以认为，城乡生活需水最重要，要优先供水，保证率最高，首先满足需要。

(4) 需水宽浅式破坏原则

当来水不足时，水资源系统就不能够实现供需平衡，就要发生一定程度的缺水，相应就要产生一定的缺水损失。少量的缺水，其单位缺水量所引起的缺水损失较小。如果缺水幅度很大，其单位缺水量所引起的缺水损失就很大。为了减少水资源系统缺水引起的总损失，就需要按照“宽浅式”破坏的原则供水。所谓宽浅式破坏，就是在时段之间、地区之间、行业之间尽量比较均匀地分配缺水量，防止个别地区、个别行业、个别时段的大幅度集中缺水。一般的以线性函数为优化目标的优化模型是不能做到需水宽浅式破坏的。为了做到需水宽浅式破坏，做到实际缺水损失最小，还需要加上一些保证实现宽浅式破坏的手段。水资源系统往往很难做到完全的或理想的宽浅式破坏，只能够尽量做到大体上的宽浅式破坏。

(5) 供水公平性原则

指按各地区、各行业的缺水量进行分水，由于欠发达地区的用水效益往往要低于相对发达的地区，所以在相同供水条件下，欠发达地区的缺水程度要高一些，应适当考虑这些地区的用水问题。供水公平性主要体现在地区与地区之间、行业与行业之间的供水。各地区之间已经有水权分配或协议分配的情况，要优先执行。在水权和协议制定过程中，一般比较充分地考虑了公平性以及其他因素。在水权和协议还没有制定的情况下，各地区的分水也要考虑公平性，要充分考虑各地区的人口、社会、经济、资源、环境和工程等多种因素，估算和划分出对各地区大致比较公平的分水比例，供水资源配置参考。

(6) 需水要求满足的次序

需水要求满足的次序可以从需水的行业、时间、空间三方面来分析。从某种程度上看与供水高效性原则是相符合的。生活需水应优先满足；工业需水次之；农业需水再次之；生态

环境需水最后满足。同一单元各行业的需水满足优先顺序概括如下：

生活需水；工业需水；农业需水；生态需水

在时间方面，有些行业在某些时段的需水特别关键，例如，农作物生长期需要的关键水也要优先保障。在空间方面，用水效益高的地区要优先满足。

在按照需水要求满足的次序进行供水时，还必须要考虑供水公平性原则，也要服从事先约定的水利工程分水比例。

(7) 供水协调性原则

由于水量不足、水质达不到用水标准或工程调蓄能力限制所导致的在用水日的上、时间上、地域上的冲突，从而产生用水目的上的竞争性。主要表现在：防洪与兴利，以及兴利诸目标间的用水矛盾。在有限的水资源已成为区域可持续发展的主要制约因素时，若满足迅速增长的城市与工业用水，势必影响农业灌溉；若把有限的资金用于扩大供水能力，则可能弱化水源地保护和污水治理，从而导致水污染和有效水资源量的减少，形成开发与保护的矛盾。

水资源配置所追求的目标是水资源系统的总体效益最大。总体效益最大是对实际水资源系统涉及范围的社会、经济和生态环境的总效益近似最大。要做到这种总效益近似最大，两个环节的配置工作都要合理，一是当可供水量不能够满足需水要求时，如何合理地将缺水量进行时间、空间和用水户方面的分配，时间上的调节分为年内调节和年际调节，由于水库库容的补偿作用，将水文年的丰水期的水储存起来，到枯水期用，或将丰水年的水储存起来到枯水年份使用，地域调节的主要手段是远距离调水或是区域换水，区域换水是指某区域下游有了外调水以后，其对本区域水资源需求下降，从而允许本区域上游可以多用水；二是如何合理地利用各种水资源的特点、各种水资源工程和措施的工作机制和调节能力、各种用水户的需水特点，使水资源系统总的损失水量最小、弃水量最小。

4.2.1.3 水源及工程调度运用规则

水源及工程调度运用规则主要是指导水源及工程的联合调度运用，力图达到水量损失最小、供水量最大，近似实现总供水效益最大的水资源配置目标。水源及工程调度运用规则主要包括以下原则：

(1) 各种水源的供水次序

在基于专家规则的水资源配置模型中，各种水源的供水次序的合理确定对于进行系统调节计算和保证配置结果的正确性和优越性，具有很重要的基础作用。如果各种水源的供水次序不正确，配置结果可能是根本错误的或者误差很大。

从建立水资源配置模型和进行供需平衡分析的需要角度，将参与调节计算的水源划分为以下几种：处理后的污水；蓄、引、提工程的地表水（包括有些水库死水位以下的可利用水量）；深、浅层地下水（分为正常开采量和超量开采量）等。根据各种水资源的演变特点和长期进行水资源配置和管理的实际经验，拟定在同一时段各种水源的优先利用次序为：

处理后的污水；地表水水库蓄水；地下水中的正常开采量；地下水中的超量开采量；蓄水水库死水位以下的可利用水量

地表水与地下水的利用要考虑它们的补偿作用，其利用优先序有时要调整。外调水水源可以采用三种利用次序，需要根据实际情况和具体要求具体选定：①先于当地水利用。②后

于当地水利用。这种情况下，外调水在地下水正常开采量之后利用。③同时利用。这种情况下，要按照外调水的可调节情况，与当地地表水同等对待。如果外调水工程没有调节能力或调节能力较差，应尽可能优先利用，以免流失。如果外调水工程配有调节性能较好的水库，则与当地水库蓄水同时利用。根据供水和需水满足的次序，可得它们之间的协调表 4-1。

表 4-1 需水次序与供水次序的协调表

Tab.4-1 the order of water supply and demand coordination

需水满足次序	各种水源供水次序
一、城镇生活需水	<ol style="list-style-type: none"> 1. 水库供水 2. 当地地下水 3. 外调水 4. 地下水超采量
二、农村生活需水	<ol style="list-style-type: none"> 1. 水库供水 2. 当地地下水 3. 外调水 4. 地下水超采量
三、工业需水	<ol style="list-style-type: none"> 1. 污水回用水 2. 水库供水 3. 当地地下水 4. 外调水 5. 地下水超采量
四、农业需水	<ol style="list-style-type: none"> 1. 污水回用水 2. 水库供水 3. 当地地下水 4. 外调水 5. 地下水超采量
五、环境需水	<ol style="list-style-type: none"> 1. 污水回用水 2. 水库供水 3. 当地地下水 4. 外调水 5. 地下水超采量

(2) 地表水库调度规则

水库调度是一个复杂的环节。不仅要综合考虑水库下游的各种需要，并且要依据各种需要的重要性依次满足其需水要求。同时还要考虑当前时段的需要和未来时段的需要。水库的调度过程要受到水库调度线的制约，还要考虑水库的水量平衡等。

- 供水为主的水库的调度

根据水库的水量平衡，水库水位不能高于水库的最高水位，在汛期不能超过汛限水位，水库当前时段末水位不能够低于水库供水调度图所确定的蓄水水位。供水要尽可能结合发电。

对于梯级供水水库，按照从上到下的次序蓄水，从下到上的次序放水。该规则要后于分水规则使用，主要用于协调解决多余水量存放到哪一级水库里的问题。

对于供水对象没有交差的独立并联水库群，根据各自调节性能和供水余缺决定蓄放水多少和蓄放水次序。调节性能好者先蓄后放，调节性能差者先放后蓄。调节性能大致相近者，可按入流量的比例同步蓄放。

对于供水对象有交差的独立并联水库群，按照使各供水对象实现宽浅式破坏的原则确定交叉供水量的多少，然后各并联梯级内部决定梯级的蓄放水次序。

对于混联水库群，同一层次按并列水库处理，不同层次按梯级水库处理。

从系统的观点确定弃水。凡是水库存蓄不下的多余水量，只要按照该库的正常供水走向和弃水走向，能被下游水库存蓄，能被下游计算单元利用和河道内生态所用，均不视为弃水。不能存蓄和不能利用部分方为弃水。

- 水库应急供水 多年调节水库的一般年份的最低供水位不会达到设计死水位。最低供水位到死水位之间的蓄水量是应急水量。

(3) 地下水的运用规则

地下水一般只作为本单元的供水水源。地下水供水以水量的采补平衡为基础，地下水的总补给量分为不受人類活动影响的天然补给量和受人類活动影响的工程补给量。天然补给量包括降水补给量、侧向净补给量、河道净补给量。工程补给量包括灌溉补给量（包括单元内部的输水渗漏补给和田间灌溉补给）、输水补给量、河道净补给量。将地下水供水量按优先次序分为三部分：①最小供水量（临界水位以上的地下水量按照最小供水量对待）；②最小供水量与正常超额供水量之间的机动供水量；③允许的超采量。

地下水最小供水量要优先于水库蓄水量利用，机动供水量要后于水库蓄水量利用，对地表水供水进行补偿调节。地下水超采属于一种水资源应急措施。一般不允许超采地下水，只有当缺水量达到一定程度，地表水蓄水量小到一定程度时，才允许超采地下水。超采的地下水量，在丰水年要通过减少地下水开采量，予以弥补。

(4) 污水处理回用规则

- 当前时段的污水量、污水处理量、污水处理回用量、各行业的回用量，按上一时段的城镇生活用水量和工业用水量计算。污水回用主要用于农业灌溉、环境用水和部分工业用水。

- 各行业的回用量要优先于地表水库蓄水利用。

- 回用水量优先考虑本单元回用，其次考虑外单元回用。

- 经计算单元排水渠道排走的未处理污水和未回用的处理后水，如果被下游计算单元间接利用，不算作污水处理回用量。

(5) 汇水节点运用规则

将汇水节点视为一个死库容为最小河道内生态用水的水库，上游来水就是水库的入流。水库有两处出口，一处通往原有下游河道，一处为通往用水户的渠道。节点在供水时，首先要保证河道内的最小需水量，除此之外的水量可视为可供水量。上游退水与水库排入河道的

水量应首先满足河道内最小需水量的要求。

(6) 各种水源的相互补偿的规则

各种水源供水要相互协调和相互补偿,尽量满足各行各业的需水要求。没有调节能力的各种水源要按照其水源产水特点优先利用,可以调节的各种水源则后利用,并进行补偿调节。具体补偿操作规则为:

- 先用地表水水库的蓄水进行补偿调节,补偿的范围是水库直接和间接供水范围。
- 在地表水水库补偿后,再用地下水进行补偿,其补偿的范围是本单元。
- 在一般缺水情况下不启用水资源应急措施,在缺水严重的水情况下启用应急措施。动用应急水量时各行业的需水量都要压缩,都不完全满足。

(7) 各种水源的综合利用原则

要根据各种水资源的特点和各种用水户的特点,尽量做到一水多用和重复利用。

由于专家规则多是从实际需要、从某些方面和角度认识问题,因此见解往往比较精辟,但一个复杂的水资源系统,往往包含许多问题、许多要素和许多关系,对水资源系统的这些方面进行描述的专家规则,针对某一问题是正确的,但有可能是相互矛盾的,这就需要水资源系统分析者,在认真领会每一条规则的基础上,融会贯通,系统地组织运用每一条专家规则,制定出科学合理的水资源配置方案。

在各种专家规则中,水资源系统运用规则层次最高,当其它规则与之矛盾时,应当首先服从高层次的规则。同一层次的规则之间,其运用次序应根据实际情况来确定。

4.2.2 海林市水资源优化配置方案生成

水资源配置是由工程措施和非工程措施共同组成的一个完整体系来实现的,该体系包括需水和供水两个方面。在需水方面,通过调整产业结构、建立节水型经济并调整生产力布局,可以达到控制需水量增长,以适应较为不利的水资源条件的目的。在供水方面,可以通过水利工程措施来改变水资源的天然时空分布以适应社会生产的需水要求,提高水资源的开发利用程度,也可以通过加强用水管理,协调各项竞争性用水以及各种水源的联合调度供水策略,尽量做到一水多用,从而提高水的利用效率和效益。水资源优化配置方案的生成遵循需水、供水和工程布局的代表性的原则和上述专家规则。

按照《海林市小康社会建设发展规划》和《海林市可持续发展战略规划》的要求,结合该市发展现状,确定此次配置的重点:

1. 合理开发利用水能、水资源,努力实现水资源可持续利用。水能资源开发,以林海、开化、荒沟抽水蓄能等电站为主,逐步提高全市水能资源开发利用,努力使水电成为财税新的支柱,彻底改变该市一柱擎天的财源结构,实现经济和社会效益的可持续发展。
2. 积极发展城乡和村屯供水事业,以城乡供水达标升级和解决村屯人畜饮水为重点,坚持供水与治污两手抓,努力建设节水型社会,大幅度提高水资源的循环利用率。
3. 加强水土保持工作,不断改善生态环境,加快水土流失治理速度。以退耕还林、坡耕地治理、封山育林等为重点,以小流域为单元,实行山、水、田、林、路、草综合规划,山、梁、坡、沟、川综合治理,农、林、牧、副、渔立体开发。
4. 加强防洪工程建设,提高防洪标准,增强抵御自然灾害的能力。以河道整治,堤防

建设, 水库消险为重点, 强化防汛软件的建设工作, 逐步完善该市的防洪体系, 为全市经济社会发展提供防洪安全。

5. 搞好现有灌区的改造, 同时大力推广节水灌溉技术。以水田灌区标准化建设为重点, 着重考虑灌区的水源工程、较大型的田间建筑物及配套工程。进一步提升主要干支渠质量和标准, 大力发展旱田节水灌溉事业, 不断提高水利工程效益, 促进农业产业结构的调整, 为该市全面建设小康社会创造良好的水利环境。

6. 建设污水处理厂, 完善城区排水管网建设, 提高城镇排污能力, 改善城市环境和下游水生态环境。

对于 2010 和 2017 两个规划水平年分别生成方案如表 4-2 所示:

表 4-2 水资源优化配置方案表

Tab.4-1 Hailin optimal allocation schemes of water resources

水平年	方案	新增电站 (座)	自来水 入户率	水土保持治理 面积(公顷)	防洪工程 水库(座)	灌溉面积 (万亩)	排水管 长(米)
2010 年	甲	11	95	27160	9	7.73	28070
	乙	10	93	26135	8	7.25	27370
	丙	8	90	23320	7	6.84	24550
2017 年	甲	11	97	33500	10	19.45	22260
	乙	8	96	30408	10	11.50	21360
	丙	8	94	27012	10	18.23	19860

4.4.3 海林市水资源供需平衡分析

水资源的供需平衡综合分析是水资源综合利用分析工作的中心环节, 是解决水的供需矛盾、合理规划地表水和地下水开发利用总体布局、数量、利用方式、工程选点和工程规模的关键。须经反复试算和多方案比较, 确定最优规划、工程开发顺序、平衡各部门用水、上下游及左右岸、远近期的用水关系, 以达到社会效益、经济效益和生态环境效益最优。在分析过程中, 注意以下原则:

1. 根据不同行业和供水对象, 首先满足重点供水对象并兼顾各用水部门, 依次为城镇居民生活、工矿企业、农村生活 ($P=90-95\%$); 城镇菜田 ($P=85-95\%$); 水田灌溉 ($P=75-80\%$); 旱田灌溉 (含农村菜田用水) ($P=75\%$); 林牧渔苇 ($P=50\%$) 用水。

2. 在水量平衡中, 根据海林市水系特点, 将平衡区划分为牡丹江水系和海浪河水系两个区。平衡中按各区来水与用水各选择控制点分别平衡, 达到供需基本平衡并有一定余量。

3. 根据该市地下水资源较贫乏的特点, 取地下水优先级别依次为: 农村居民生活和牲畜用水、水田补水、城市部分居民生活用水, 限制工业及其他部门用水。其取水量近期 (2010 年)、远期 (2017 年) 分别以不超过地下水可开采量的 50%、70% 为控制, 台地不允许开采。

以现状供水能力为基础进行第一次供需平衡分析。希望通过分析明晰三个问题: 一是确定无外在投资条件下未来不同时间段面的区域供水能力; 二是确定无直接节水工程投资下的国民经济需水自然增长量; 三是确定现状供水能力与外延式用水需求间的缺口。由于工程来

水条件、工程配套老化等状况和供水对象、需水要求,以及调度运行规则都有所变动,海林市供水工程的供水能力已由原设计供水能力 1.87 亿 m^3 下降为 1.49 亿 m^3 , 衰减了 20%。使得水资源丰富的海林市现状年缺水 0.38 亿 m^3 。

如果需水预测中不计入节水的投入与作用,在 2010 年和 2017 年供需分析中将会出现较大缺口。但在具体实践中,当供水水源受到限制和水价达到一定高度时,节水将成为必然。在第一次供需平衡分析的基础上,立足于海林市的水资源,在需求侧,通过各项节流、管理措施进一步压缩和抑制需求的增长;在供水侧通过开源进一步挖掘区域内供水潜力。

水土平衡分析是在充分利用与开发各流域内水土资源和挖掘各种水利工程设施潜力的基础上,达到规划标准的供需关系。水土平衡分析计算的方法采用现有水源工程的取水能力与实灌面积对规划标准进行平衡。缺水面积为现有水源工程能力不够而需新开发水源工程或打井灌溉的新增效益。

本次主要对新规划的两处提水灌区、四处水库灌区工程进行水土平衡计算和海浪河流域进行水土平衡分析。列表分析如下:

表 4-3、表 4-4 说明:旧街灌区由水库灌区和提水灌区(2 处)组成,其中:水田灌区一处,灌溉面积 1.0 万亩;提水灌区有哈达电灌站(灌溉面积旱田 3.0 万亩,经济作物 1.0 万亩)和满城电灌站(灌溉面积旱田 1.5 万亩,经济作物 0.5 万亩)。

从表 4-5 的计算结果看,海浪河水源丰富,水源地处多年平均径流总量为 20.1 亿 m^3 ,中等干旱年($P=75\%$)年径流量为 15.6 亿 m^3 ,稀有干旱年($P=95\%$)为 10.9 亿 m^3 。

经过海林市城镇供水来水量的计算,从表 4-6 来水年内分配来看,经枯水月分析,中等干旱年最枯月为 2 月 155.7 万 m^3 ,稀有干旱年最枯水月 2 月为 43.7 万 m^3 ,而相邻的 1 月份为 207.5 万 m^3 ,3 月份为 469.6 万 m^3 ,远远超过了 2 月份径流。且此时又错过农业灌溉用水,有利城镇供水。但从城镇供水要求的特点考虑,即保证率要求高,2017 年以后,随着城市发展,用水量增大,因此需要建水库对天然径流进行调节,才能解决枯水期城镇供水问题。

从更长远的观点来看,随着水资源开发利用程度的加大,开发利用的边际成本也在提高,开始超过节水的边际成本,受市场规律调解,节水的力度将自动增大。在需求侧,市场机制的驱动主要体现在水价的提高对水资源需求过度增长的抑制作用;在供给侧,当各类供水手段的边际成本发生变化时,人们总是尽可能地选择边际成本较低的供水方式。

表 4-5 海浪河流域水土平衡表

Tab.4-5 the Hailanghe basin balance of water and soil

流域	来水量(万 m ³)		需水量(万 m ³)												水土平衡		
	合计	地表	地下	水田			旱田			菜田			经济作物			+	-
				面积 万亩	定额 m ³ /亩	需水量	面积 万亩	定额 m ³ /亩	需水量	面积 万亩	定额 m ³ /亩	需水量	面积 万亩	定额 m ³ /亩	需水量		
海浪河	77900	77900		19.15	730.0	13979.5	9.36	100.0	936	1.1	500	3.54	140.0	495.6	61938.0		

注：1、因牡丹江流域莲花水库多年调解径流量，故牡丹江流域柴河、二、三道不做水土平衡。

2、来水量 5~8 月，保证率 75%，不包括地下水。

3、局部丘陵漫岗地块，可能出现水量不足，可以地下水补给。

表 4-6 海浪河大桥断面各年典型分配表

Tab.4-6 the Hailanghe river bridge section typical distribution of precipitation for water supply of town

年内分配	月份												年平均
	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
代表年 1974 分配系数	0.010	0.003	0.001	0.003	0.052	0.114	0.442	0.101	0.087	0.073	0.079	0.035	1.000
P=75% 来水量 W(万 m ³)	1557.0	467.1	155.7	467.1	8096.4	17749.8	68819.4	15725.7	13545.9	11366.1	12300.3	5449.5	155700
代表年 1974 分配系数	0.0171	0.0019	0.0004	0.0043	0.0706	0.1088	0.1345	0.2119	0.2225	0.1534	0.0476	0.0270	1.000
P=95% 来水量 W(万 m ³)	1867.32	207.48	43.68	469.56	7709.52	11880.96	14687.4	23139.48	24297.0	16751.28	5197.92	2948.40	109200

按海林市境内牡丹江和海浪河两流域，分配前面预测的需水量，成果如表 4-7、表 4-8、表 4-9 所示。

表 4-7 2003 年需水预测分配表

(单位: 万 m³)Tab.4-7 Hailin water demand distribution prediction in 2003 (10⁴m³)

流域	生活用水				工业	农业用水			其他	小计
	城居	公共	农居	牲畜		农灌	林业	渔业		
牡丹 地表	172.2	99.3	94.9	40.2	526	3706	20	440	80.6	5179
江 地下	98.6	113.5	132.1	146	50	220	10	110	146	1026
海浪 地表	258.3	148.9	142.4	162.1	835	8430	30	280	127.4	10394
河 地下	123.7	159.4	176.3	259.4	90.0	670	20	70	572	2141
合计	652.8	521.1	545.7	607.7	1501	13026	80	900	926	18740

表 4-8 2010 年需水预测分配表

(单位: 万 m³)Tab.4-8 Hailin water demand distribution prediction in 2010 (10⁴m³)

流域	生活用水				工业	农业			其他	小计
	城居	公共	农居	牲畜		农灌	林业	渔业		
牡丹 地表	540	220	240	140	1280	4200	25	640	460	7745
江 地下	953	100	110	130	76	102	10	100	820	2401
海浪 地表	320	400	300	380	1800	9400	45	400	710	13755
河 地下	120	140	141	240	119	240	20	60	3200	4280
合计	1075	860	791	890	3175	13942	100	1200	5190	27224

表 4-9 2017 年需水预测表

(单位: 万 m³)Tab.4-9 Hailin water demand distribution prediction in 2017 (10⁴m³)

流域	生活用水				工业	农业			其他	小计
	城居	公共	农居	牲畜		农灌	林业	渔业		
牡丹 地表	1180	300	1216	300	1700	14464	120	1800	480	21560
江 地下	90.8	95.2	350	111	94	4400	35	1000	870	7046
海浪 地表	740	440	101	790	2610	90	8	90	760	5629
河 地下	108	125	640	217	137	9800	65	660	3430	15182
合计	2119	1695	2307	1418	4541	28754	228	3550	5540	32912

到 2017 年，全市总需水约为 3.3 亿 m³，综合开发利用率为 10.3%。按国际上以来水量与可用水量的比率来衡量用水紧张程度，那么用水量不到可用淡水量的 10% 为用水低度紧张，10%~20% 为中度紧张，20%~40% 为中高度紧张，超过 40% 为高度紧张。小于国际公认的开发利用程度极限值 40%，属中低度用水紧张。说明，按此种方案开发利用当地水资源是可行的，能够支撑当地社会经济的可持续发展。

5 水资源优化配置效果评价

5.1 问题的提出

大量实践经验表明,决策的科学化和民主化是当今社会发展的重要推动力量。随着决策科学的迅速发展,大批专家学者加入决策科学的研究行列中,研究出解决各种复杂决策问题的数学模型、决策理论和决策支持系统等,为决策的科学化奠定了坚实的理论基础和提供了强有力的技术支持。为了较准确地给决策者和决策机构提供科学依据,在分析和确定出水资源优化配置方案后,必须要建立能评价和衡量各种方案的统一尺度,即评价指标体系。因此,评价指标体系应科学地、客观地、尽可能全面地考虑和反映各种影响因素,包括各种方案的全部影响因策和其所产生的效果以及利害关系等,这样才能较明确地对各种方案进行对比和评价,从而选择总体效果最好或最满意的方案。由此可见,建立科学的客观的评价指标体系,是水资源优化配置方案优选和决策的关键之一。为此,在前面研究成果的基础上,下面着重分析和研究水资源优化配置方案评价指标体系问题,既有限方案的多目标决策问题。

有限方案多目标决策又称多指标决策或多属性决策。多指标决策是要从有限个离散的、已知的方案或决策样本中,依据若干项评价标准进行选择 and 决策。由于有多个属性指标,所有的决策方法都离不开权重(或称权系数)的问题。目前,研究解决有限方案多目标决策问题的方法有:加权和法、Topsis法、线性分配法、相对位置估计法、Electre法、Linmap法、层次分析(AHP)法和模糊决策法等。其中以加权选择法与层次分析法,为人们所常用,因为这两种决策方法易为人们接受和掌握。

本章首先分析和探讨权重的确定方法,并研究和确定方案的评价指标体系;然后着重分析和研究方案的AHP法,最终确定出海林市水资源优化配置的推荐方案。

5.2 权重的确定方法

权重(Weight)一词出自数理统计学。在权威的韦氏大辞典中,对“Weight”的专业词义解释为“在所考虑的群体或系列中赋予某一项(目)的相对值;表示某一项(目)的相对重要性所赋予的一个数”。因此在具体的多指标(或因子、准则、目标等)决策和评价问题中,权重应是体现某种意义下指标重要性程度的数值。确定权重的过程应该是指标在决策问题中相对重要程度的一种主观评价和客观反映的综合度量的过程。

目前,确定各目标之间相对权重的常用方法主要有主、客观赋权法两种。主观赋权法是指根据各目标的主观重视程度而进行赋权的一种方法,如专家调查法、二项系数法、环比评分法、层次分析法和二元对比法等;而客观赋权法则是各目标根据一定的规律或规则进行自动赋权的一种方法,主要包括主成分分析法、熵值赋权法、相关统计法和均方差法等。

本文选用专家调查法确定各目标之间的相对权系数。本次调查发放调查问卷300份,受调查者为政府机关工作人员,水务系统专家及工作人员,牡丹江市和海林市的市民和村民。问卷回收率达到31%,与类似问卷调查的回收率15%(R.L.Bing et al,1996)进行比较,结果是可以接受的。(调查问卷详见附录B)

5.3 优化配置方案评价指标

水资源优化配置方案的评价指标主要包括经济、社会、人口、资源、环境和制度建设等方面的许多因子，不同的因子由于其性质和特点的不同，对水资源优化配置方案的影响也不同，其评价指标和方法亦有区别。

为明确各指标在综合评价中的作用，在方案的综合评价指标体系中将指标按照其性质分成六大类：一是经济类指标，包括经济增长质量、产业结构调整、经济发展速度和效益费用比等；二是社会类指标，包括受群众欢迎程度、群众生活水平提高程度、社会稳定和民族团结以及促进农业发展等；三是人口指标，包括对人健康状况的影响和对人口增长率及人口城镇化率的影响等；四是资源类指标，水的利用系数、供水量和耗水、耗能量等；五是生态环境类指标，包括水质污染、改善气候、土壤保墒面积和河流断流等；六是制度建设指标，包括超额用水的约束机制和节约用水的激励机制等。

上述六大类指标还可分成不同的子类，具体分类见图5-1。然而全面确定各类单项指标往往比较困难，有时需要调查和向专家咨询或通过特尔斐（Delphi）方法进行确定。经反复分析和研究，得出了20项指标，其中经济类指标4项、社会类指标4项、人口指标3项、资源类指标3项、生态环境类指标4项、制度建设指标2项。

5.4 方案的评价方法

5.4.1 模型建立的理论基础

层次分析（Analytic Hierarchy Process，简称AHP）法是美国运筹学家T.L.Saaty教授于20世纪70年代初提出的。其核心思想为：决策问题的关键往往就是对行为、方案、决策对象进行评价、选择，而这种评价选择总是要求把决策的对象进行优劣排序、取优汰劣。在进行优劣评判排序中，人们需要建立完整的评价系统，而很多评价系统可以简化为有序的递阶系统，人们可以运用简单的二二比较方法对系统中的各有关因素进行比较评判。通过对这种比较评判结果的综合计算处理，则可以得到关于决策对象、方案、行为的优劣排序，从而为决策者提供定量形式的决策依据。

在当前大量的决策问题中，决策者所要考虑的很多因素是属于定性化因素，这些因素不能以某种定量的因素标度进行表现。如在研究制定海林市水资源优化配置方案时，不仅要考虑经济收益、投资成本，还要考虑到社会效益、政治影响、生态和环境效益等大量的定性因素。AHP方法在对事物进行决策分析时，能对定性问题与定量问题进行综合分析处理，并能得到明确的定量化结论，以优劣的形式表现出来。这有助于决策者做出判断。另外，AHP方法的数学原理为该方法的准确性提供了可信的基础。同时，该方法还能吸收决策者个人或集团的阅历、经验、智慧、判断能力，从而使得决策建立在更扎实的基础上。因此，AHP方法是一种新的能用来处理复杂的社会、政治、经济、资源、人口、生态环境的决策问题的决策方法。AHP方法实质上是一种决策思维方式，它具有人的思维、分析、判断和综合的特征作为一种决策工具，它具有简单、易用、有效、适应性强、应用范围广等优点。

5.4.2 AHP 模型的建立与求解

5.4.2.1 AHP 模型的建立

在利用AHP方法解决比较复杂的决策问题时，首先要建立决策问题的递阶层次结构模型（简称为AHP模型）。通过调查研究和分析弄清决策问题的范围和目标、问题包括的因素、各因素之间的相互关系。然后将各个因素按照它们的性质聚集成组，并把它们的共同特性看成是系统中高一层次中的一些因素。而这些因素又按照另外一些特性被组合，从而形成更高层次的因素，直到最终形成单一的最高目标，这往往就是决策问题的总目标。最低层往往是决策者所面临的要进行选择的方案集合，中间层则往往可以表示成为实现总目标所涉及的中间环节。如此，构成了一个以目标层、若干准则层和方案层所组成的递阶层次结构，即一个递阶层次结构模型。在AHP模型中，用作用线表明上一层次因素同下一层次因素之间的关系。

前面所确定的有限个海林市水资源优化配置方案，这里依次用方案甲、方案乙、方案丙…表示，而判断每个候选方案的优劣的目标或准则有六大项：经济类指标、社会类指标、人口指标、资源类指标、生态环境类指标、制度建设指标，其中每一项目标或准则又有分别包含4项、4项、3项、3项、4项、2项子目标或准则。根据海林市水资源优化配置问题的特点，构造出用于选择满意配置方案的AHP模型，其递阶层次结构如图5-1所示。

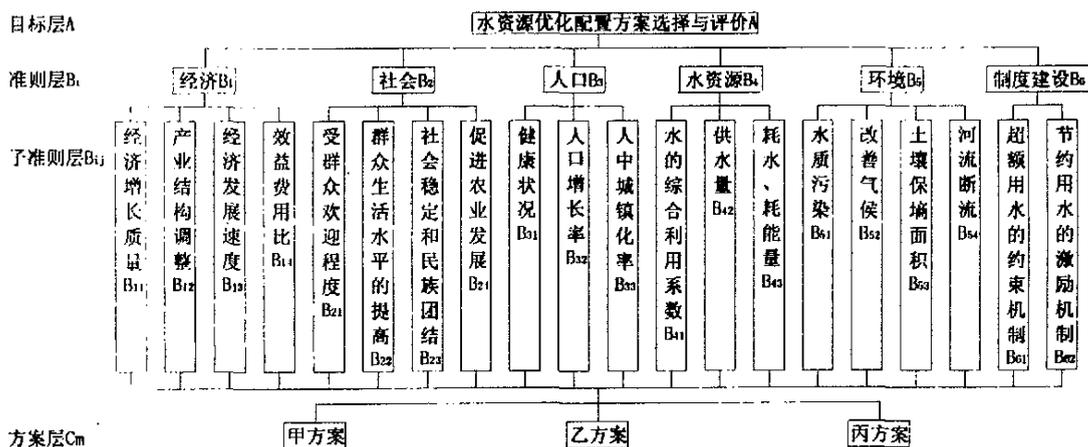


图5-1 海林市水资源优化配置方案评价指标

Fig.5-1 appraisal index of optimizing allocation schemes of water resources

根据所构造的四层次结构模型，评判人员（决策者或领域专家）就可以进行二二比较，确定给出相应的判断矩阵。

5.4.2.2 比例标度与判断矩阵

多指标决策的根本问题在于从一组已知方案中选择一个理想的或满意的方案。理想的方案是根据一定的准则或目标，通过效用极大化而产生的。对于水资源优化配置的有限个方案多目标决策问题，其困难之处是有些准则或目标很难量化、难以对其进行定量的测度，无法确定统一的标度，测量环境经常发生变化等。这样往往就需要依靠决策者个人或集团的阅历、经验、智慧和判断能力来完成难以量化准则或目标的测量问题。Saaty教授在20世纪

70年代首次提出了相对重要性的比例标度概念，两个元素相对重要性的比较可以换到一个数。表5-1中给出了相对重要性的比例标度。

表5-1 相对重要性的比例标度表

Tab.5-1 relative importance of proportion graduation

相对重要性的权数	定义	解释
1	一个因素与另一因素等同重要	对于目标两个活动的贡献等同
3	一个因素比另一因素稍微重要	经验和判断稍微偏爱一个活动
5	一个因素比另一因素明显重要	经验和判断稍微偏爱一个活动
7	一个因素比另一因素强烈重要	一个活动强烈地受到偏爱
9	一个因素比另一因素极端重要	对一个活动偏爱程度是极端的
2, 4, 6, 8	上述两相邻判断的中值	
上述非零的倒数		

目前，应用最广的标度是上表中所列的1-9标度法。

假定前面确定的海林市水资源优化配置方案为 C_1, C_2, \dots, C_n ，则在给定的准则或目标条件下，利用相对重要比例标度法（1-9标度法），对于方案或称元素 C_i 和 C_j 做相互比较判断，便可获得一个表示相对重要度的数字 a_{ij} 。如此构成 n 阶判断矩阵 $A = (a_{ij})_{n \times n}$ 。根据相互比较的特点，很明显地有： $a_{ij} > 0, a_{ji} = 1/a_{ij}, a_{ii} = 1 (i, j = 1, 2, \dots, n)$

判断矩阵 A 是一个正反矩阵。在构成判断矩阵 A 时，只需要做 $n(n-1)/2$ 次判断即可。

5.4.2.3 单准则下的排序方法

层次分析法的信息基础是判断矩阵。根据判断矩阵，利用排序方法，可以得到各方案重要性的排序。

由Perron定理，矩阵存在最大特征值 λ_{max} 。可以证明：

$$\lambda_{max} \geq n$$

当 A 是一致时， $\lambda_{max} = n$ ，当 A 不一致时， $\lambda_{max} > n$ 。

通过求解下列问题来得到排序矢量 W ：

$$AW = \lambda_{max} W$$

当 A 是一致时，有 $\lambda_{max} = n$ ，可精确地获得排序矢量。一般， A 不一定是一致的。但可指出当 λ_{max} 越接近 n ，得到的解越接近正确的排序 W 。这就说明了评判人员的判断做得越可靠，得到的判断矩阵就越接近一致，由此所获得各方案的排序重要性矢量也就越准确。为了测试评判的可靠性或一致性，可以建立一个一致性指标。在层次分析中引入判断矩阵 A 的最大特征值 λ_{max} 和 n 之差与 $n-1$ 的比值作为度量判断矩阵偏离一致性的指标，即用

$$CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1)$$

来检查评判人员判断思维的一致性。

一般来说，评判人员判断一致性的难度是随着判断矩阵的规模的增加而增大的。为了度量不同阶判断矩阵是否具有满意的一致性，需要引入相对一致性的概念。用判断矩阵一致性指标 CI 和同阶平均随机一致性指标 RI 之比，即随机一致性比率 CR 评判矩阵是否具有满意的一致性：

$$CR = CI/RI$$

其中 RI 取值如表5-2所示。

表5-2 随机一致性指标RI数值表

Tab.5-2 numerical value choice of RI

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
RI	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51

当 CR 在10%左右时，一般认为判断矩阵具7有满意的一致性，在某些情况下可以放宽到20%。但超过此值后，就必须调整判断矩阵，使之具有满意的一致性。

计算判断矩阵 A 的最大特征值 λ_{max} 和相应的特征向量 W，目前通用的方法有：幂法、和法、根法等。这里，运用和法来计算和确定判断矩阵A的最大特征值和特征向量 W。其具体计算步骤为：

- (1) 将 A 每一列向量归一化
- (2) 求归一化后列的平均
- (3) 计算判断矩阵 A 的最大特征值 λ_{max}

这种方法实际上是将 A 的列向量归一化后取平均值，作为 A 的特征向量。因为当 A 为一致阵时，它的每一列向量都是特征向量，所以若 A 的不一致性不严重，取 A 的列向量（归一化后）的平均值作为近似特征向量是合理的。

5.4.2.4 层次综合与一致性分析

根据单准则排序的结果，就可以计算同一层次所有因素对于最高层的相对重要性的排序权值，成为层次的合成权数。这一过程是自上往下进行的。假设上一层次 C 包括m个因素： C_1, C_2, \dots, C_m ，其合成权数分别为 c_1, c_2, \dots, c_m 。下一层次 D 包含n个因素： D_1, D_2, \dots, D_n ，它们对于上一层次因素 C_j 的单准则排序权值分别为 $b_{1j}, b_{2j}, \dots, b_{ij}, \dots, b_{mj}$ （如 D_k 和 C_j 无联系时， $b_{kj}=0$ ）。这时，层次合成数值向量 $d=(d_1, d_2, \dots, d_n)^T$ 由下式计算：

$$d_k = \sum_{j=1}^m b_{kj} c_j \quad (k=1, 2, \dots, n)$$

即 $d = B \cdot C$

其中， $B = (B_{ij})_{n \times m}$ 。

假设一个完全的层次结构共有 n 层，最高层为一个因素 b，则最低层的各方案对最终目标 b 的合成权值为：

$$W = B_n B_{n-1} \dots B_2 b_1$$

关于总层次一致性检验问题。假设一个递阶层次结构共有 n 层，第 j 层的元素数目为 $n_j, j=1, 2, \dots, n$ 。令 ω_{ij} 是第 j 层的第 i 个元素的合成权数，而 $\mu_{i, i+j}$ 是第 j+1 层元素对于第 j 层的第 i 个元素做二二比较的一致性指标。

这样一个递阶结构的一致性指标定义为：

$$CI_G = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{n_j} \omega_{ij} \mu_{i,j+1}$$

其中, 对于 $j=1$, $\omega_{ij} = 1$ 。 n_{ij} 是第 j 层中和第 $j+1$ 层元素有关联的元素数目。

如把 $\mu_{i,j+1}$ 用相应的平均随机一致性代替, 则可得到递阶结构的平均随机一致性指标:

$$CR_G = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{n_j} \omega_{ij} CR_{i,j+1}$$

这样, 递阶结构总的随机一致性比率为:

$$RI_G = CI_G / CR_G$$

根据 RI_G 的数值, 可以判断层次总排序是否具有满意的一致性。

5.4.2.5 AHP 的群组评判

在运用AHP方法进行决策分析时, 评判者往往不是一个人, 而是若干人。尤其是对重大问题的决策分析, 评判者有时甚至是一个庞大的专家团。这时会遇到群组评判的问题。目前, 在AHP决策分析的群组评判中, 受到人们较多关注的方法主要有: 评分算术平均法、评分几何平均法与权重算术平均法。其中权重算术平均法是迄今为止被运用的最普遍的一种AHP群组决策分析法。首先让评判人员(决策者或领域专家)分别对评价对象进行评判, 再分别算出各自评判结果, 即评判对象的权重及判断矩阵的一致性程度。凡是通过一致性检验的判断矩阵为有效评判, 否则为无效评判, 需要进行修改或删除。最后对这些由不同评判人员评出的有效判断的权重取算术平均。

此方法的最大优点是可以对各位决策者或领域专家的评判结果分别进行检验, 对于不符合逻辑一致性的判断矩阵能及时修改或删除, 从而能够较有效地保证总体综合分析的置信度和可靠性。从理论上讲, 其综合处理不会破坏各判断矩阵的相容性。所以, 权重算术平均法在目前来说, 是一种较为可靠而且运用最多的群组决策方法。

对于多层次结构的权重算术平均法主要有两种途径: 一是对各位评判人员的各直接判断矩阵的权重取算术平均值, 然后由下向上计算综合权重; 二是对各位评判人员的综合判断权重直接取算术平均。可以证明, 运用这两种方法所获得的最终结果是相同的。

5.4 方案评价的计算结果与分析

5.4.1 构造判断矩阵

首先选择若干位评判人员(决策者、领域专家及与之切身利益相关的市民或村民), 其中三分之一代表海林市政府, 三分之一代表牡丹江市及黑龙江省政府, 另外三分之一代表中央政府, 然后根据前面确立的方案评选AHP模型, 设计出不同的二二比较调查表。

根据调查问卷的结果, 对各方意见进行加权平均, 就可以给出第二层(准则层 B_i)中各因素对第一层(目标层A)的判断矩阵, 第三层(子准则层 B_{ij})对第二层(准则层 B_i)中各因素的判断矩阵, 以及第四层(方案层 C_m)对第三层(子准则层 B_{ij})中各因素的判断矩阵, 具体结果见表5-3至表5-29。

(1) 对于满意的配置方案, 哪项(子)目标或准则更重要

表5-3 A- B_i 判断矩阵表

Tab.5-3 A- B_i estimation matrix

A	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_6
B_1	1	1	3	2	2	3
B_2	1	1	2	2	2	3
B_3	1/3	1/2	1	1/2	1/2	2
B_4	1/2	1/2	2	1	1	2
B_5	1/2	1/2	2	1	1	2
B_6	1/3	1/3	1/2	1/2	1/2	1

表5-4 B_1 - B_{ij} 判断矩阵表

Tab.5-4 B_1 - B_{ij} estimation matrix

B_1	B_{11}	B_{12}	B_{13}	B_{14}
B_{11}	1	1/2	2	3
B_{12}	2	1	2	3
B_{13}	1/2	1/2	1	2
B_{14}	1/3	1/3	1/2	1

表5-5 B_2 - B_{2j} 判断矩阵表

Tab.5-5 B_2 - B_{2j} estimation matrix

B_2	B_{21}	B_{22}	B_{23}	B_{24}
B_{21}	1	1/3	1/3	1/2
B_{22}	3	1	2	2
B_{23}	3	1/2	1	2
B_{24}	2	1/2	1/2	1

表5-6 B_3 - B_{3j} 判断矩阵表

Tab.5-6 B_3 - B_{3j} estimation matrix

B_3	B_{31}	B_{32}	B_{33}
B_{31}	1	2	4
B_{32}	1/2	1	3
B_{33}	1/4	1/3	1

表5-7 B_4 - B_{4j} 判断矩阵表

Tab.5-7 B_4 - B_{4j} estimation matrix

B_4	B_{41}	B_{42}	B_{43}
B_{41}	1	2	3
B_{42}	1/2	1	1
B_{43}	1/3	1	1

表5-8 B_5 - B_{5j} 判断矩阵表

Tab.5-8 B_5 - B_{5j} estimation matrix

B_5	B_{51}	B_{52}	B_{53}	B_{54}
B_{51}	1	3	3	4
B_{52}	1/3	1	2	3
B_{53}	1/3	1/2	1	2
B_{54}	1/4	1/3	1/2	1

表5-9 B_6 - B_{6j} 判断矩阵表

Tab.5-9 B_6 - B_{6j} estimation matrix

B_6	B_{61}	B_{62}
B_{61}	1	1
B_{62}	1	1

(2) 对于经济类指标哪一种方案更重要? 或者说: 在经济标准则下, 你更愿意发生哪一个方案或者你更喜欢哪一个方案?

表5-10 B_{11} - C_m 判断矩阵表

Tab.5-10 B_{11} - C_m estimation matrix

B_{11}	C_1	C_2	C_3
C_1	1	1/3	3
C_2	3	1	2
C_3	1/3	1/2	1

表5-11 B_{12} - C_m 判断矩阵表

Tab.5-11 B_{12} - C_m estimation matrix

B_{12}	C_1	C_2	C_3
C_1	1	1/2	1/3
C_2	2	1	1/2
C_3	3	2	1

表5-12 B_{13} - C_m 判断矩阵表

Tab.5-12 B_{13} - C_m estimation matrix

B_{13}	C_1	C_2	C_3
C_1	1	2	4
C_2	1/2	1	3
C_3	1/4	1/3	1

表5-13 B₁₄-C_m判断矩阵表

Tab.5-13 B₁₄-C_m estimation matrix

B ₁₄	C ₁	C ₂	C ₃
C ₁	1	1/3	1
C ₂	3	1	2
C ₃	1	1/2	1

(3) 对于社会类指标哪一种方案更重要?

表5-14 B₂₁-C_m判断矩阵表

Tab.5-14 B₂₁-C_m estimation matrix

B ₂₁	C ₁	C ₂	C ₃
C ₁	1	1/7	1/6
C ₂	7	1	1
C ₃	6	1	1

表5-15 B₂₂-C_m判断矩阵表

Tab.5-15 B₂₂-C_m estimation matrix

B ₂₂	C ₁	C ₂	C ₃
C ₁	1	2	3
C ₂	1/2	1	1
C ₃	1/3	1	1

表5-16 B₂₃-C_m判断矩阵表

Tab.5-16 B₂₃-C_m estimation matrix

B ₂₃	C ₁	C ₂	C ₃
C ₁	1	1/3	1/5
C ₂	3	1	1/2
C ₃	5	2	1

表5-17 B₂₄-C_m判断矩阵表

Tab.5-17 B₂₄-C_m estimation matrix

B ₂₄	C ₁	C ₂	C ₃
C ₁	1	2	4
C ₂	1/2	1	3
C ₃	1/4	1/3	1

(5) 对于人口指标哪一种方案更重要?

表5-18 B₃₁-C_m判断矩阵表

Tab.5-18 B₃₁-C_m estimation matrix

B ₃₁	C ₁	C ₂	C ₃
C ₁	1	1/3	3

水资源优化配置效果评价

C_2	3	1	2
C_3	1/3	1/2	1

表5-19 B_{32} - C_m 判断矩阵表

Tab.5-19 B_{32} - C_m estimation matrix

B_{32}	C_1	C_2	C_3
C_1	1	1/3	1
C_2	3	1	2
C_3	1	1/2	1

表5-20 B_{33} - C_m 判断矩阵表

Tab.5-20 B_{33} - C_m estimation matrix

B_{33}	C_1	C_2	C_3
C_1	1	2	3
C_2	1/2	1	1
C_3	1/3	1	1

(5) 对于资源类指标哪一种方案更重要?

表5-21 B_{41} - C_m 判断矩阵表

Tab.5-21 B_{41} - C_m estimation matrix

B_{41}	C_1	C_2	C_3
C_1	1	1/7	1/6
C_2	7	1	1
C_3	6	1	1

表5-22 B_{42} - C_m 判断矩阵表

Tab.5-22 B_{42} - C_m estimation matrix

B_{42}	C_1	C_2	C_3
C_1	1	2	4
C_2	1/2	1	3
C_3	1/4	1/3	1

表5-23 B_{43} - C_m 判断矩阵表

Tab.5-23 B_{43} - C_m estimation matrix

B_{43}	C_1	C_2	C_3
C_1	1	1/2	1/3
C_2	2	1	1/2
C_3	3	2	1

(6) 对于生态环境类指标哪一种方案更重要?

表5-24 B_{51} - C_m 判断矩阵表

Tab.5-24 B₅₁-C_m estimation matrix

B ₅₁	C ₁	C ₂	C ₃
C ₁	1	1/7	1/6
C ₂	7	1	1
C ₃	6	1	1

表5-25 B₅₂-C_m判断矩阵表

Tab.5-25 B₃₃-C_m estimation matrix

B ₅₂	C ₁	C ₂	C ₃
C ₁	1	1/3	1
C ₂	3	1	2
C ₃	1	1/2	1

表5-26 B₅₃-C_m判断矩阵表

Tab.5-26 B₅₃-C_m estimation matrix

B ₅₃	C ₁	C ₂	C ₃
C ₁	1	1/3	1/5
C ₂	3	1	1/2
C ₃	5	2	1

表5-27 B₅₄-C_m判断矩阵表

Tab.5-27 B₅₄-C_m estimation matrix

B ₅₄	C ₁	C ₂	C ₃
C ₁	1	2	3
C ₂	1/2	1	1
C ₃	1/3	1	1

(7) 对于制度建设指标哪一种方案更重要?

表5-28 B₆₁-C_m判断矩阵表

Tab.5-28 B₆₁-C_m estimation matrix

B ₆₁	C ₁	C ₂	C ₃
C ₁	1	1/2	1/3
C ₂	2	1	1/2
C ₃	3	2	1

表5-29 B₆₂-C_m判断矩阵表

Tab.5-29 B₆₂-C_m estimation matrix

B ₆₂	C ₁	C ₂	C ₃
C ₁	1	1/3	3
C ₂	3	1	2
C ₃	1/3	1/2	1

5.4.2 建立权重集

5.4.2.1 单准则下的排序

根据判断矩阵A-B_i推算各类准则B_i (i=1, 2, 3, 4, 5, 6) 对于水资源优化配置方案的相对重要性系数。按上述方法计算, 得到排序矢量为:

$$(1.623, 1.527, 0.613, 0.896, 0.896, 0.445)^T,$$

将其归一化, 得到排序特征矢量W_A:

$$W_A=(0.271, 0.255, 0.102, 0.149, 0.149, 0.074)^T.$$

对于海林市水资源优化配置方案, 评判人员认为经济类指标最为重要; 社会类指标次之; 水资源和环境类指标被认为同等重要, 排在第三位; 人口指标按重要性被排在第五位; 而制度建设在此评价中被认为“最不重要”。

同理, 根据判断矩阵B_i-B_{ij}推算各类子准则B_{ij} (i=1, 2, 3, 4, 5, 6) 对于其所属准则的相对重要性系数, 并做归一化处理, 分别得到B₁、B₂、B₃、B₄、B₅、B₆排序特征矢量:

$$W_{B1}=(0.293, 0.412, 0.187, 0.108)^T$$

$$W_{B2}=(0.108, 0.412, 0.293, 0.187)^T$$

$$W_{B3}=(0.557, 0.320, 0.123)^T$$

$$W_{B4}=(0.548, 0.241, 0.211)^T$$

$$W_{B5}=(0.501, 0.247, 0.158, 0.094)^T$$

$$W_{B6}=(0.5, 0.5)^T.$$

5.4.2.2 层次综合与一致性分析

根据第二层(准则层B_i)和第三层(子准则层B_{ij})的排序结果, 可以确定第三层(子准则层B_{ij})中各因素对于第一层(目标层A)的重要性排序, 即层次总排序。按照上述方法, 层次总排序具体计算如表5-30所示。

表5-30 层次总排序计算表

Tab.5-30 calculation of hierarchy total order

层次	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	组合权重及 层次总排序(序号)
B _{ij}	0.271	0.255	0.102	0.149	0.149	0.074	
B ₁₁	0.293	0	0	0	0	0	0.079 (4)
B ₁₂	0.412	0	0	0	0	0	0.112 (1)
B ₁₃	0.187	0	0	0	0	0	0.051 (8)
B ₁₄	0.108	0	0	0	0	0	0.029 (16)
B ₂₁	0	0.108	0	0	0	0	0.027 (17)
B ₂₂	0	0.412	0	0	0	0	0.105 (2)
B ₂₃	0	0.293	0	0	0	0	0.075 (5)
B ₂₄	0	0.187	0	0	0	0	0.048 (9)
B ₃₁	0	0	0.557	0	0	0	0.056 (7)

B ₃₂	0	0	0.320	0	0	0	0.033 (14)
B ₃₃	0	0	0.123	0	0	0	0.013 (20)
B ₄₁	0	0	0	0.548	0	0	0.082 (3)
B ₄₂	0	0	0	0.241	0	0	0.036 (13)
B ₄₃	0	0	0	0.211	0	0	0.031 (15)
B ₅₁	0	0	0	0	0.501	0	0.074 (6)
B ₅₂	0	0	0	0	0.247	0	0.037 (10)
B ₅₃	0	0	0	0	0.158	0	0.024 (18)
B ₅₄	0	0	0	0	0.094	0	0.014 (19)
B ₆₁	0	0	0	0	0	0.5	0.037 (10)
B ₆₂	0	0	0	0	0	0.5	0.037 (10)
Σ	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

于是有海林市水资源优化配置影响因素权重的大小排序, 如表5-31所示。

表5-31 海林市水资源优化配置影响因素权重

Tab.5-31 affecting factors weight of water resources optimizing allocation

影响因素	权重	序号
产业结构调整 (B ₁₂)	0.112	1
群众生活水平的提高 (B ₂₂)	0.105	2
水的利用系数 (B ₄₁)	0.082	3
经济增长质量 (B ₁₁)	0.079	4
社会稳定和民族团结 (B ₂₃)	0.075	5
水质污染 (B ₅₁)	0.074	6
健康状况 (B ₃₁)	0.056	7
经济发展速度 (B ₁₃)	0.051	8
促进农业发展 (B ₂₄)	0.048	9
改善气候 (B ₅₂)	0.037	10
超额用水的约束机制 (B ₆₁)	0.037	10
节约用水的激励机制 (B ₆₂)	0.037	10
供水量 (B ₄₂)	0.036	13
人口增长率 (B ₃₂)	0.033	14
耗水、耗能量 (B ₄₃)	0.031	15
效益费用比 (B ₁₄)	0.029	16
受群众欢迎程度 (B ₂₁)	0.027	17
土壤保墒面积 (B ₅₃)	0.024	18
河流断流 (B ₅₄)	0.014	19
人口城镇化率 (B ₃₃)	0.013	20

这若干位评判人员根据自己的知识、经验和偏好等对所提供的海林市水资源优化配置候选方案进行全面了解、认识和综合评判。根据上述计算过程，得出了海林市水资源优化配置影响因素重要性排序及权重。对层次单排序和层次总排序分别验证一致性。

对于A-B_i判断矩阵：

由n=6，查表5-2得 RI=1.24。λ_{max}=6.078，经计算，CI=0.0174，所以 CR=0.014<0.1，符合一致性要求，层次排序有效。

对于B_i-B_{ij}判断矩阵：根据上述方法，列表计算如表5-32所示。

表5-32 层次单排序计算表

Tab.5-32 calculation of hierarchy separate order

层次B _i	权重	λ _{max}	计算指标	
			CI	RI
B ₁	0.271	4.006	0.001	0.90
B ₂	0.255	4.024	0.008	0.90
B ₃	0.102	3.003	0.002	0.58
B ₄	0.149	3.038	0.019	0.58
B ₅	0.149	4.012	0.004	0.90
B ₆	0.074	2	0	0

经计算得到 CR=0.021<0.1，层次单排序和层次总排序均满足要求，层次排序有效。

对于B_{ij}-C_m判断矩阵：根据上述方法，水资源优化配置综合评价中，第四层（方案层C_m）对第三层（子准则层B_{ij}）权向量及一致性检验列表计算，如表5-33所示。

表5-33 权向量及一致性检验计算表

Tab.5-33 calculation of weight vector quantity and consistency inspection

--	B ₁₁	B ₁₂	B ₁₃	B ₁₄	B ₂₁	B ₂₂	B ₂₃	B ₂₄	B ₃₁	B ₃₂
ω ⁽³⁾	0.079	0.112	0.051	0.029	0.027	0.105	0.075	0.048	0.056	0.033
	0.309	0.121	0.462	0.231	0.109	0.548	0.208	0.462	0.309	0.231
ω _k ⁽⁴⁾	0.529	0.344	0.369	0.554	0.570	0.241	0.252	0.369	0.529	0.554
	0.162	0.535	0.169	0.215	0.321	0.211	0.540	0.169	0.162	0.215
CI	.0056	.0127	.0111	.0103	.0027	.0304	.0315	.0111	.0056	.0103

--	B ₃₃	B ₄₁	B ₄₂	B ₄₃	B ₅₁	B ₅₂	B ₅₃	B ₅₄	B ₆₁	B ₆₂
ω ⁽³⁾	0.013	0.082	0.036	0.031	0.074	0.037	0.024	0.014	0.037	0.037
	0.548	0.109	0.462	0.121	0.109	0.231	0.208	0.548	0.121	0.309
ω _k ⁽⁴⁾	0.241	0.570	0.369	0.344	0.570	0.554	0.252	0.241	0.344	0.529
	0.211	0.321	0.169	0.535	0.321	0.215	0.540	0.211	0.535	0.162
CI	.0304	.0027	.0111	.0127	.0027	.0103	.0315	.0304	.0127	.0056

以表中的20个权向量ω_k⁽⁴⁾为列向量构成3×20矩阵W⁽⁴⁾，则方案层C对目标层A的组合权

向量为 $\omega^{(4)} = W^{(4)} \omega^{(3)} = (0.315, 0.478, 0.207)^T$ ，经计算得 $CR=0.024 < 0.1$ ，通过一致性检验。

各层的一致性检验及组合一致性检验全部通过，上面得到的组合权向量可以作为3个水资源优化配置方案综合评价的依据，即方案 C_2 最优， C_1 次之。通过层次分析法从规划的水资源优化配置方案中选择第二个方案。

5.5 水资源优化配置合理性评价

5.5.1 社会影响评价

海林市水能资源开发利用措施实施后，可安排下岗职工1000人左右再就业，人们还可节省下时间来植树、育林，剩余劳动力还可走出家门开发新项目等。人均收入会有所提高，人们生活富裕了，丰富了业余生活，整体素质提高了，减少了社会不安定因素。海林市将于2010年全面实现自来水化，农村管网入户率达到95%以上，到2017年农村管网入户率达到97%以上。解决人畜饮水困难，发展地方经济。

通过十四年水土保持规划的实施，洪水灾害将减轻，江河两岸大片农田不再受洪水危害，河、水库、沟道的泥沙淤积大大减轻，坡耕地跑水、跑土、跑肥的状况基本上得以控制，变水害为水利；坡耕地土壤肥力增强，土地生产率提高，农村生产结构得以调整，适应了市场经济的要求，提高广大农民的经济收入，进一步发展自然优势和生产潜力，生态环境得到改善，粮食稳产高产，生产门路扩宽，从而为全市农、林、牧各业以及经济的发展打下坚实的基础，并将进一步起到积极的推动作用。

水库的兴建，淹没许多村庄、大片粮田、森林植被和一些基础设施，还要有居民须搬迁安置，开发大量田地，导致土壤资源结构发生变化，在移民安置初期，会出现较严重的水土流失。此外，土地资源结构的变化，大部分移民由传统的粮食种植转向其他行业，其生产、生活方式发生较大变化，一定时期内，移民生活水平有所下降。水库形成后，库区流速减缓，不利于库周围及上游污染物进入水库后扩散稀释，尤其在水体交换次数少的库汉、库湾以及岸边排污口附近，水质有所下降。这些不利影响，随着水库投入运行时间增长，会逐渐缓解。另一个方面，兴建水库会加快库区城镇化建设水平，推动库区农田基本和基础设施建设。

水库、塘坝等水利基础设施的增加，将更有利于保护农田，减轻洪涝、旱灾等自然灾害对农作物的影响。有利于农村种植结构的调整，从而增加农民的经济收入，促进国民经济的发展。同时，也可促进渔业等养殖业的发展，另外，水库对有旅游资源开发价值的景观资源淹没很少，并形成新景观，为海林市旅游业的发展，提供良好契机和丰富的资源。

水库对径流、洪水的调节作用，提高下游工农业用水保证率；到2017年，海林市将规划新增标准堤防17条，共计15.14km，提高下游防洪标准，大大减少受洪水淹没的几率，从而有效地保护人民的生命财产安全，保护耕地，间接减少经济损失，提高地区的土地利用价值，从而保障和促进地区经济发展。

提高主要街路的居民生活污水、工业废水和雨水的排放能力，解决新建城区污水的排放。从根本上解决山洪危害，为人民的正常生产、生活提供保障。改变现阶段污水直接排入斗银河，污染斗银河水体的严重情况，有效改善斗银河两岸城市的生态卫生环境，为人民提供良好的生活空间。污水处理厂建成运营以后，城市污水经过处理后，达到国家《污水综合排放

标准》的一类排放标准, $SS \leq 20\text{mg/L}$ $BOD_5 \leq 20\text{mg/L}$, $COD_5 \leq 60\text{mg/L}$, 完全满足农田灌溉或鱼类、水生植物的养殖, 可提高水资源的利用率。同时, 使污水进一步得到净化, 地表水质可达II类标准, 起到保护天然水体, 保护水资源和生态环境。沿海浪河两岸乡镇, 牡丹江上游范围内提高环境质量, 实现资源的可持续发展将会起到重要作用。污水处理厂的污泥经过消化、干化脱水和消毒后, 在利用方面, 可用于充做农业肥料。污泥肥料与化学肥料相比较, 其中氮、磷、钾含量虽较低, 但有机物含量高, 肥效持续时间长, 可以改善土壤结构, 污泥肥料将会越来越受到人们的重视。

5.5.2 国民经济影响评价

5.5.2.1 水能开发利用效益

水电开发不仅能够优化能源结构, 还可以为其他产业的发展提供基础支持, 推动区域工业化和城镇化建设, 调整经济结构。水电开发过程中修建的交通、通信和能源等设施, 往往成为地方新兴城镇和产业发展的骨架及基础。随着水电及相关产业的发展, 将大幅度增加地方财政收入, 有效促进区域经济的发展, 从而推动海林市能源发展真正步入可持续发展之路。

根据省电力局规定, 小型常规电站上网电价为 $0.268\text{元}/\text{kW}\cdot\text{h}$, 省物价局批准调峰上网电价为 $0.63\text{元}/\text{kW}\cdot\text{h}$, 而抽水蓄能电站上网电价为 $0.82\text{元}/\text{kW}\cdot\text{h}$, 抽水用底谷电价为 $0.2\text{元}/\text{kW}\cdot\text{h}$, 国家对抽水蓄能电站规定, 容量收入为 $479\text{元}/\text{kW}$ 。

该市本次优化配置方案所规划的电站, 近期2004~2010年建成常规电站11处, 抽水蓄能电站1处; 2011~2017年建成11处。根据以上标准计算, 2004~2010年电站建成后, 可收建筑税11502万元, 每年可收发电营业税9212万元, 水资源费294万元; 2011~2017年规划电站建成后, 可收建筑税7041万元, 每年可收发电营业税1149万元, 水资源费358万元, 为全市地方财政做出突出贡献。

5.5.2.2 节水措施效益

各项节水措施实施后, 农业用水灌溉水利用系数得到提高; 灌溉定额水田从2003年的 $820\text{m}^3/\text{亩}$ 降低到2017年的 $750\text{m}^3/\text{亩}$, 旱田从2003年的 $105\text{m}^3/\text{亩}$ 降低到2017年的 $90\text{m}^3/\text{亩}$, 菜田从2003年的 $500\text{m}^3/\text{亩}$ 降低到2017年的 $460\text{m}^3/\text{亩}$, 经济作物从2003年的 $140\text{m}^3/\text{亩}$ 降低到2017年的 $130\text{m}^3/\text{亩}$; 工业用水定额从2003年的 $144\text{m}^3/\text{万元}$ 降低到2017年的 $90\text{m}^3/\text{万元}$, 工业水重复利用率从2003年的60%提高到2017年的75%。

5.5.2.3 水资源保护措施效益

1. 水土保持生态建设

海林市人口众多、人均耕地3亩, 耕地尤为宝贵, 特别是土地后备资源少, 加之土壤的形成是极其缓慢的。据科学家推算, 在无人为扰动的正常情况下, 形成1米厚的土层需要1.2万至4万年。而在水土流失严重的地区, 若平均每年流失1厘米, 100年就流失1米厚的土层, 流失的速度比成土速度快120至400倍, 因此保护土地免受侵蚀就是保护人类赖以生存的条件。

各项措施实施后, 可避免耕地减少、土地退化现象。到2010年末, 累计可增产粮食21640吨, 生产水保林枝条325万公斤, 活立木3500立方米, 直接经济效益2740万元。到2017年末,

累计可增产粮食11.7万吨,生产水保林枝条1960万吨,活立木57800立方米,直接经济效益16300万元。措施全部生效后,累计可增产粮食46.80万吨,生产水保林枝条3800万吨,活立木285000立方米,直接经济效益67560万元。

2. 防洪工程建设

河道是水生态环境的重要载体,要考虑上下游植被保护,为水生两栖动物创造栖息繁衍环境,这样既有利于保护河道水生环境,又有利于提高河流自净能力,除满足宣泄洪水的要求外,还应尽量保持河道的自然特征及水流的多样化。为此,近几年来,该市水务部门在控制饮用水源上下游的砂石开采,破坏护堤、护岸林草植被等各个环节狠下功夫,基本达到了“水清、流畅、岸绿”的河道整治成效,处理好人水和谐相处的环境。生态旅游是近几年的新兴产业,也是该市又一个新的经济增长点,该市河道主管部门在顺应河势,因河制宜,保留河滩和弯道,恢复河道的天然形态,确保河道堤防工程安全的前提下,充分发挥河流的潜在功能鼓励发展旅游业,例如:利用新兴大坝建成了海浪天体浴场;利用河滩地建成的钓鱼台旅游度假村;利用河道落差建成的吊水湖漂流度假村和海浪河漂流、亿龙风情园,据统计部门统计,上述旅游项目每年吸引游客6.2万人,经济收入550万元,促使餐饮行业增收205万元,服务行业增收175万元,成为海林市区域经济又一个增长点。随着全社会人民生活水平的不断提高,这些旅游点的游人显著增加,过去节假日,多数海林人是去逛商店,现在的休闲时间和节假日,每个旅游点都人头攒动,把人们都吸引到了河边、防洪工程上。防洪减灾、水利造福人民的知名度大大提高,进一步促进了市民文明程度的提高。

5.5.2.3 灌溉工程措施效益

到2017年按目标实施后,发挥了水利工程基础设施的效益,可保证35.57万亩农田得到正常灌溉;同时促进了农业的产业结构调整,到2017年基本上实现水田灌溉面积与旱作农业灌溉面积比为1:1,基本保证了全市农田的旱涝保收问题,为全市农业发展奠定水利基础。

到2010年可增加产量2113万kg,增加产值2535万元,旱田节灌工程可增加产量113万kg,增加产值1191万元;到2017年,水田灌溉可增加产量836万kg,增加产值1003万元,节水灌溉可增加产量398万kg,增加产值2595万元。灌区灌溉用水保证率增加,旱地改水田的面积、农作物复种指数也相应增加,农民的农业投入也有所提高。

5.5.3 环境影响评价

5.5.3.1 水文气象方面的影响

对于气温:库区多年平均气温会略有下降。年极端最高气温平均会有所下降,而年极端最低气温会上升,变化不会太大,但是向着有利于人类生存空间转化。对于水量:一般在水库蓄水后,降雨量增加明显;而这段时间的前后月降雨量明显下降;其他月份变幅一般不大。对于霜期:库区周边平均霜日比蓄水前要缩短,霜期出现的日期也会推迟几天。对于水温、湿度:水库水温:建库后冬季水温呈上升趋势,夏季呈下降趋势,缩小水温的年变幅。库区水温:建库后库面水温多年平均值后有所增加。从春季到夏季,较建库前会有所下降,而从秋季到冬季则会上升,创造出有利于人类生活和生存的环境。湿度与水温变化有相似之处,年平均相对湿度增加,而年内变化趋于平缓。

这种调节作用，一方面利于库周农作物和经济作物的生长，增加作物产量；另一方面，使得植被类型更为丰富，品质有所改进。

5.5.3.2 生物环境方面的影响

1. 对鱼类的影响：水库蓄水后，喜流性鱼类逐渐减少，鲤鱼、鲫鱼、鲢鱼等适合静水或缓流中生活的鱼类将明显增加。坝下江段由于夏季平均水温下降，且河道水流平缓，使鱼类产卵场下移，鱼类繁殖期后推，造成不利的鱼类生长环境。灌区的建设，给精养鱼池及鱼场建设带来有利条件，与类产量将会有大量提高。另外，浮游动物一般也会增多。

2. 对陆生动植物的影响：建坝后，陆地减少，森林破坏，使野生动物栖息场所显著变化，从而造成栖息动物野猪等种群明显减少，野兔、野鸭等则会大量增加。水库兴建后，由于水体的调节作用，改善寒冷、干燥的地区性小气候，形成新的独特的小气候，为各种植物生长创造有利条件。森林具有故土防风等作用，因此具有较好的经济和生态效益。

3. 对农作物的影响：建库后，提供了水和电，促进灌区农作物种植制度的变化，一方面提高了农作物的复种指数，另一方面大规模地将旱作物改种水稻，使下游受益地区粮食产量大幅度提高。另外，渠道和灌溉渗漏水量促使地下水位抬高，影响作物生长；施用于农田的化肥和农药，会随水渗漏到地下，影响地下水水质。

5.5.3.3 对人文环境方面的影响

1. 对人民健康的影响：水库蓄水后迫使鼠类向库周迁移，使水库以外地区鼠密度加大，对以鼠为传播媒介的传染病的暴发流行有一定的促进作用。自古以来，海林市居民生活燃料和部分工业燃料都是以木材为主，这是一项资源的浪费，也是对生态环境的严重破坏，每年市级有 15km^2 森林、 20km^2 的灌木林被砍伐烧掉，相当于海林市当年造林面积的56%。对于人类未来的生活环境、生态条件有着极大的影响。2004—2017年规划的23处水电站建成后，人们就会利用电能这种方便、清洁、无任何污染的资源代替原有的燃料，而国家退耕还林、天然林保护、封山育林等生态保护政策得以真正落实，生态环境得以改善，人民的生活质量有所提高，身体健康有了保障。

2. 对城乡环境的影响：改善农田小气候。到2017年，林地面积增加25150公顷，森林覆盖率提高到32%。生态环境形成良性循环。农业生产条件得到根本改善。水土流失治理面积达80%以上，土壤侵蚀强度降低，不仅可以改变农业生产条件，而且可确保农业生产的持续、稳定发展。通过改河筑堤、新增护岸、增高堤防、培厚护坡等工程措施，可以使堤防达到五十年一遇的防洪标准，减轻洪水对堤防的冲刷、冲毁、淹没等，有利于涵养水源，减少水土流失，保持水土，改善堤防两岸植被的生长繁殖，起到深化环境，美化城市的效果。

通过此次水资源优化配置，到2017年，全市总需水约为 3.3亿m^3 ，海林市水资源综合开发利用率为10.3%。按国际上以来水量与可用水量的比率来衡量用水紧张程度，那么用水量不到可用淡水量的10%为用水低度紧张，10%~20%为中度紧张，20%~40%为中高度紧张，超过40%为高度紧张。小于国际公认的开发利用程度极限值40%，属中低度用水紧张。前述各项工程的措施使得海林市水资源时空分布更加合理，必将促进海林市多种经营和第二、三产业发展。需要面临的不利影响，也会督促水利建设者加强研究，发展水利水电科学技术。说明，如此配置开发利用当地水资源是可行的，此种方案能够支撑当地社会经济的可持续发展。

6 保障措施

为实现海林市小康社会水利发展规划确定的宏伟目标，不但要克服资金、人力、物力等困难，而且还要采取积极的保证措施，以全面建设小康社会为目标，保证各项目逐年顺利落实。使水资源成为海林市社会、经济、环境可持续发展的重要支撑和保障。

6.1 依法完善水资源统一管理体制

1. 做好水利管理体制的改革

启动水利管理体制的改革，摸清现状，搞好试点。按照公益型、准公益型和经营型 3 种类型划分水管单位性质，制定水管单位体制改革试行办法，并搞好试点。深化水利企事单位体制，正确处理好改革、发展、稳定的关系。依靠多种经济成分解决水利企业面临的发展问题。要做好启动事业单位改革的各项准备工作，确保改革顺利进行。事业性质的水管单位要严格控制人员编制，全面实行聘用制，按岗位职责要求竞争上岗；企业性质的水管单位要建立现代企业制度，实行政企分开，明晰产权和权责，做到自主经营，自我约束，自负盈亏，自我发展。要提高管理水平，确保水利工程管理机构的良性运行，充分发挥水利工程的作用和效益。即要大胆探索，又要实事求是，处理好改革、发展、稳定的关系，确保水利管理体制改革的顺利进行。

2. 改革水利投融资体制 拓宽水利投入渠道

水利投入严重不足是海林市当前水利建设的主要矛盾。随着农村税费改革的逐步深入，主动研究并积极实践水利投融资体制改革，拓宽水利投入渠道，寻求新的投资增长点至关重要。要通过划分事权，明确投资主体，在积极争取国家投入的同时，采取多种措施吸引民间和社会资本进入水利基础设施建设领域。政府要逐步从竞争性行业中退出来，全方位向社会资本开放经营性的水利工程建设，实现投资主体多元化和融资渠道商业化。要积极合理有效地利用外资，采用国际通行的多种融资方式，如 BOT、TOT 等。深化农村小型水利工程产权制度改革，继续积极扶持农民采用合资、独资、股份合作等多种形式兴办小型农田水利工程。对于效益明显、受益范围明确的工程，在统一规划的基础上，大胆支持和扶持个体、联户、法人单位投资兴建。对承担着大量公益性任务同时又具有一定经营能力的国有灌区和小型农村水利工程，逐步建立政府公共扶持和宏观指导、监督管理下的自主管理、民主管理的体制和良性运行机制。建立政府、财政对水利建设的补偿机制。

3. 加强水利建设管理和资金管理，认真实施“四项制度”。

要严格执行项目法人责任制、招标投标制、工程监理制、合同管理制等“四项制度”，严格执行水利基本建设程序；加强质量管理，确保工程质量。同时加强资金管理，严禁截留、挤占和挪用，确保水利投资安全，充分发挥水利投资效益。

4. 组建水利资产资本运营公司，加大水利产权制度改革的力度。

水利资产资本运营公司由政府授权，作为水利国有资产出资人代表，负责水利建设的融资、投入以及资产资本运营和保值增值，不仅有利于推进水利建设管理体制和水利国有资产管理体制改革，而且是利用市场机制筹集水利建设资金的关键环节。要积极争取政府制定政策并授权，对凡是符合《水法》、《防洪法》、《水土保持法》、《水利管理条例》等水

利法规,在水利部门管辖范围内的可供开发利用的滩地、水面、砂源等水土资源和旅游资源,一律由水利部门负责开发、建设、管理、经营,宜包则包,宜租则租,宜股则股,宜卖则卖,新建小型水利工程从建设之初就要明晰产权,做到民建、民管、民营,所获收益滚动用于建设新的水利工程项目和壮大水利自身经济实力。

6.2 建立合理的水价机制

在市场经济条件下,水资源分配的指导思想应以边际成本价格为基础确定一个目标水价,使其等于最后增加一单位供水量的边际成本。按照经济学原理,水价与边际成本相等的分配被认为是经济上有效和社会最优的水资源分配方式。长期以来,由于水价过低,农业上大水漫灌,生产和生活中任意浪费情况严重。为了适应市场经济发展要求,应按照国家水利产业政策的要求,逐步调整水价,使水价与边际成本(目标水价)趋于接近。

对于实行产权制度改革的小型水利工程和民营的中小型水利工程,水价可逐步放开,由经营者与用水户协商定价。新建工程逐步实行两部制水价。根据各类用水定额,大力推行超定额累进加价制度,以价格杠杆促进水资源的优化配置。根据水资源稀缺程度,实行丰枯季节节水价或季节浮动水价,促使用水户调整用水结构和作物种植结构,从总体上提高水资源的利用效率。整顿水价秩序,加强水价管理。实行“水价、水量、水费”三公开,规范计收手段,完善计量设施,尽量减轻农民负担。

6.3 提高公众参与意识

各级管理部门采取多种方式对公众进行水资源教育,唤醒公众参与意识、环境意识,通过规范的渠道向公众定期公布区域内的水资源使用状况及水环境实际状况,使群众有所了解,并能够参与水资源分配和水环境保护的管理,并享有法律赋予的权利,使公众增强节水意识。

农村税费改革“两工”取消后,要改革不适应新形势的工作方法,逐步建立起政府规划管理、资金扶持引导、技术指导服务,农村集体(村或农民用水合作组织)和农户个人广泛参与、民主协商、自主兴办的新机制。在坚持用好“一事一议”政策的同时,还要尊重群众的首创精神,如以民兵建勤的方式变通解决“两工”的作法。对于跨村跨乡的农田水利工程建设,可以发挥人大的作用,通过立法的形式发动和组织。

6.4 遏制水环境恶化 维持水生态平衡

海林市水资源重点保护区域为海浪河流域,其主要支流有山市河、密江河、红甸子河、斗银河。污染源有工业污染源、生活污染源、农业污染源,其次沿河两岸植被的破坏导致水土以及采砂、取土都直接污染水源。海浪河流域的主要排污口有20处,排污总量为479.2万立方米。

随着工业、农业和城市建设的迅速发展,对水的需求量急剧增长,随之将产生越来越多的工业废水和生活污水。首先,控制和减少工业源头污染,从终端治理转向生产全过程控制是污染防治的根本方向。其次,保护水源。主要是控制水土流失及农药、化肥的使用。农业要合理施用和推广高效低残留农药、化肥并植树造林,充分利用自然的净化能力涵养水源。

7 结论与建议

本文以可持续发展理论为基础,选择了黑龙江省牡丹江市的卫星城市海林市作为研究对象,开展水资源配置最优度研究。通过建立水资源优化配置方案的层次分析法评价模型,对基于专家规则为指导原则所产生出的海林市不同水平年的水资源配置方案进行优选。为研究区水资源的可持续利用和社会经济的可持续发展提供了强有力的决策支持。将所得到的水资源配置方法辐射推广到全省基本情况类似地区,为当地及全省乃至全国解决水问题提供政策性建议。

7.1 主要结论

归纳起来,有如下结论:

1. 在大量查阅相关文献的基础上,综述了水资源优化配置理论及国内外研究动态,指出其存在的主要问题及今后的发展方向。
2. 根据研究区水资源条件和供用水结构、水的利用效率以及水资源开发利用程度,分别通过定额法、产值相关法和时间序列分析模型,提出今后其社会经济发展和生态环境建设对水资源的新增需求。
3. 通过基于现状供水能力的水资源“一次平衡”分析,为制定未来不同水平年节水、治污和挖潜等具体政策与措施提供了可靠依据;通过基于当地水资源承载能力的“二次平衡”分析,说明依靠节水和治污、挖潜、产业结构调整以及充分扩大当地水资源开发利用潜力完全可以解决研究区水资源供需缺口问题。
4. 建立了水资源优化配置方案的层次分析法评价模型,优选出海林市不同水平年的水资源配置方案。使得水资源开发利用程度小于国际公认的极限值 40%。
5. 提出了实现海林市水资源可持续利用的保障措施。

7.2 建议

根据海林市水资源形势和所面临的问题,建议在已有成果的基础之上积极组织和开展以下工作:

1. 根据国家提出的治水新思路,在重视水资源开发、利用、治理的同时,更加注重水资源的合理配置、节约和保护,切实改变过去“重建设、轻管理”的做法,要在重视工程措施的同时,重点强调和重视非工程措施,强调科学管理。建议系统地研究和建设海林市水资源实时监控管理系统,实现水资源的动态、科学、统一管理。以水利的信息化促进水利现代化,以水利现代化保证水资源的可持续利用,进而以水资源的可持续利用来支撑社会经济的可持续发展。

2. 加强水污染的监控和治理。关停对水污染大、经济规模小、没有污水处理能力的小企业;提高企业内部的污水处理重复利用率和污水达标排放率;海浪河流域治污的关键是下游流经海林镇的一批排污大户的综合治理,如海林啤酒厂、白酒厂和海林钢铁厂以及生活污水。另外,要建设综合污水处理厂,逐步提高城市污水处理能力和重复利用率。从现在起对社会各界要大力宣传污染水体和盲目利用污水灌溉或回灌地下水可能带来的灾难性后果,加

强污水排放、污水灌溉和污水回灌地下水的监督和管理，逐步减少污水直接灌溉的面积和直接回灌地下水的范围，严格执行污染物总量控制和污水达标排放制度，逐步扩大符合农业灌溉水标准的灌溉面积，确保供水安全、食品安全和环境安全。

3. 狠抓节水，进一步提高水资源利用效率。因地制宜地制定一些鼓励性政策，大力推广节水灌溉技术，努力降低灌溉定额，并加大节水投入和节水管理的力度，尽量减少城乡供水系统中的跑、冒、滴、漏现象。通过国民经济各部门的产业结构调整 and 采用先进技术、先进工艺，最大程度地减少企业的用水量和污水排放量，发展地区经济和提高用水的经济效率。

4. 充分发挥水价在经济管理和节水中的作用。大量的成功经验表明，建立完善、灵活的水价体系对于加强水资源统一管理，实现水资源的优化配置合理开发利用大气降水、地表水、地下水以及有效地满足工业、农业、生活、环境、生态用水需求的增长，具有重要的作用。建立和完善海林市水价体系，利用水价政策进一步促进全市的水资源统一管理和计划用水、节约用水工作，支持全市水资源的合理开发和高效利用。

5. 在已有工作的基础上，强化海林市供用水调查、统计和分析工作，为全市水资源的需求管理和计划用水、节约用水工作提供坚实的基础；并大力宣传节水、治污和环境保护的重要意义，使各部门领导和广大人民群众进一步增强水患意识，并建议加快“海林市节约用水管理办法”的制订，为海林市水资源的节约、保护和可持续利用奠定思想基础和提供法律依据。

6. 创立参与的机制和能力，实现真正参与。建立区域或流域水平上的各级利害相关者的咨询机制。然而参与不仅仅是咨询，参与要求社会各阶层的利害相关者能对各级水管理决策产生影响。对于水来说，每个人都是利害相关者。只有当利害相关者是决策过程的一部分时，才会出现真正的参与，才能达成长期共识和共同协议。所以当地政府必须帮助提高参与能力，尤其是帮助妇女和青少年、老年人等其他处于社会边缘的群体。提高认识、建立信心、提供教育，提供促进参与的活动和建立良好的、透明的信息源所需的财力。

7. 推进科技创新，注重培养人才。建立水利科技创新体系，增加水利科技投入，加强水利科技攻关和科技成果推广，重点抓好防洪、节水、水资源保护、水环境治理等领域水利关键技术研究 and 推广。大力实施和推进水利人才战略，以高层次人才队伍建设为龙头，以人才能力建设为重点，以基层水利人才教育培养为基础，建立一支与水利现代化建设相适应的高素质人才队伍。

致 谢

本论文是在导师王铁教授的指导下完成的。导师高深的理论水平，渊博的学识，灵活宽广的思路，忘我的工作精神都使我受益匪浅。值此论文完成之际，谨向导师表示深深的敬意和诚挚的感谢。

衷心感谢水利与建筑学院刘庆华书记、张忠学院长、魏永霞副院长、徐淑琴老师和研究生处付强主任对本论文的指点和对本人的关心。

牡丹江市水务局、海林市水务局为本论文提供了大量的翔实的基础资料。在论文撰写过程中，得到牡丹江市水务局楼中陆总工程师、工程技术科安炳南科长，海林市水务局姜国梁副局长、基层总站解建学站长，黑龙江省水利水电勘测设计研究院规划处王志兴处长、曹波主任等的支持和帮助，在此向上述单位和个人表示感谢。

参考文献

1. 蔡喜明等.基于宏观经济的区域水资源多目标集成系统.水科学进展.1995, 6(2), 139~144
2. 陈宁, 张彦军.水资源可持续发展的概念、内涵及指标体系.地域研究与开发.1998, 17(4), 37~39
3. 陈守煜.可持续发展系统模糊识别评价理论、模型与应用.水电能源科学.2001, 19(1), 32~35
4. 成建国主编.水资源规划与水政水务管理实务全书(上、下).北京:中国环境科学出版社.2001
5. 董哲仁, 陈明忠, 闫继军, 谢新民.建设水资源实时监控管理系统—水利现代化的技术方向.中国水利.2000, (3), 27~28
6. 冯尚友, 刘国全.水资源持续利用的框架.水科学进展.1997, 8(4), 301~307
7. 傅春, 冯尚友.水资源持续利用(生态水利)原理探讨.水科学进展.2000, 11(4), 436~440
8. 高彦春, 刘昌明.区域水资源开发利用的阈限分析.水利学报.1997, (8), 73~79
9. 关传弢, 王铁, 王艳龙.水管理与可持续发展.黑龙江水利科技.2005, 33(1), 65~67
10. 郭宗楼等.灌溉系统实时配水模型.武汉水利水电大学学报.1996, 29(2), 27~32
11. 何书元编著.应用时间序列分析.北京大学出版社.2003.9, 96~106
12. 贺学海.水资源管理模型的研究过程和发展趋势.水文地质工程地质.1993, (5), 24~26
13. 胡铁松等.水资源决策支持系统目前动态及展望.水科学进展.1993, 4(3), 237~241
14. 黄强, 王增发等.城市供水水资源联合优化调度研究.水利学报.1999, (5)
15. 贾嵘, 薛惠峰, 解建仓, 蒋晓辉.区域水资源承载力研究.西安理工大学学报.1998, 14(4), 382~387
16. 姜启源, 谢金星, 叶俊编.数学模型.3.高等教育出版社.2003, 224~244
17. 姜文来, 武霞等.水资源价值模型评价研究.地理科学进展.1998, 13(2), 178~183
18. 蒋业放, 梁季阳.水资源可持续利用规划耦合模型与应用.地理研究.2001, (1)
19. 康克旺.水资源可持续利用评价指标体系探讨.水问题论坛.1999, (3)
20. 黎安田主编.长江流域的水域可持续发展.水利电力出版社.1999.8
21. 李靖, 雷兴刚等.区域水资源可持续利用问题与对策.水利学报.2000, (4)
22. 李令跃, 甘泓.试论水资源合理配置和承载能力概念与可持续发展之间的关系.水科学进展.2000, (11)
23. 刘昌明, 陈志恺主编.中国水资源现状评价和供需发展趋势分析.中国水利水电出版社.2001.12
24. 刘建民.水资源规划与管理决策支持系统的发展和应用.水科学进展.1995, 6(3), 255~259
25. 卢华友, 郭元裕等.义乌市水资源系统分解协调决策模型研究.水利学报.2003, (7)
26. 陆雍森编著.环境评价.同济大学出版社.1999.9
27. 马斌, 解建仓等.多水源引水灌区水资源调配模型及应用.水利学报.2001, (9), 59~63
28. 聂相田, 邱林, 朱普生等.水资源可持续利用管理不确定性分析方法及应用.郑州:黄河水利出版社.1999
29. 阮本青.黄河下游沿黄地区水资源优化配置与可持续利用战略研究.博士学位论文.西安理工大学.1997

30. 阮本青等.可持续性区域水资源优化配置数学模型研究.水资源量与质可持续管理问题研究与实践, 195~200
31. 石玉波等.区域地表水地下水联合运用的分解协调优化方法.水科学进展. 1996, 7(3), 239~245
32. 汪党献, 王浩, 马静.中国区域发展的水资源支撑能力.水利学报. 2000, (11), 21~26
33. 王浩, 陈敏建, 秦大勇等.西北地区水资源合理配置和承载能力研究.郑州:黄河水利出版社. 2003
34. 王浩, 江林等.水资源配置理论与方法探讨.水利规划与设计. 2004, (3)增刊, 50~56
35. 王慧敏著.流域可持续发展系统理论与方法.河海大学出版社. 2000.8
36. 王书华, 毛汉应.土地综合承载力指标体系设计与评价.自然资源学报. 2001, (16)
37. 王先甲.水资源持续利用的多目标分析方法.系统工程理论与实践. 2001, (3), 128~135
38. 翁文斌, 蔡喜明, 史慧斌等.宏观经济区域水资源多目标决策分析方法与应用研究.水利学报. 1995, (2), 1~11
39. 吴险峰, 王丽萍.枣庄城市复杂多水源供水优化模型.武汉水利电力大学学报. 2000, 33(1), 30~32
40. 吴泽宁, 丁大发, 蒋水心.跨流域水资源系统自优化模拟规划模型.系统工程理论与实践. 1997, 17(2), 78~83
41. 谢新民, 秦大庸等著.宁夏水资源优化配置与可持续利用战略研究. 郑州:黄河水利出版社. 2002.12
42. 谢新民, 石玉波等.基于人工神经网络的河川径流实时预报研究.水问题论坛. 1998, (3)
43. 谢新民, 杨小柳.半干旱半湿润地区枯季水资源实时预测理论与实践.北京:中国水利水电出版社. 1999
44. 谢新民, 张海庆等著.水资源评价及可持续利用规划理论与实践. 郑州:黄河水利出版社. 2003.8
45. 谢新民.济南地下水资源系统多目标管理模型及模糊带权方法.自然资源学报. 1993, 8(1), 64~72
46. 徐建新.区域水资源规划及灌区节水增产高效灌溉专家系统研制.博士学位论文. 西安理工大学. 2000
47. 徐中民.情景基础的水资源承载力多目标分析理论及应用.冰川冻土. 1999, 21(2), 99~106
48. 许新宜, 王浩, 甘泓等.华北地区宏观经济水资源规划理论与方法.郑州:黄河水利出版社. 1997
49. 薛惠锋, 王平.水资源支持区域发展研究.西北农业大学学报. 1992, 11(3), 307~313
50. 薛小杰, 惠泱河, 黄强, 蒋晓辉.城市水资源承载力及其实证研究.西北农业大学学报. 2000, 28(6), 135~139
51. 叶秉如等.水资源系统优化规划和调度. 北京:中国水利水电出版社. 2001
52. 叶永毅, 黄守信等.水资源大系统优化规划与优化调度经验汇编.中国科学技术出版社. 1995
53. 于守法等.建设项目经济评价方法与参数实务全书. 北京:中国建材工业出版社. 1999

54. 曾肇京, 石海峰.中国水资源利用发展趋势合理性分析.水利规划设计. 2003, (3)
55. 张树京, 齐立心编著.应用时间序列分析简明教程.清华大学出版社. 2003.9, 39~43
56. 张岳主编.中国水资源与可持续发展.南宁:广西科学技术出版社. 2000
57. 周年生, 李彦东.流域环境管理规划方法与实践.北京:中国水利水电出版社. 2000
58. 周维博, 李佩成.干旱半干旱地域灌区水资源综合效益评价体系研究.自然资源学报. 2003, 18(3), 288~293
59. 朱建海编著.水政管理概论.兰州大学出版社. 1998.10
60. 左东启, 戴树声等.水资源评价指标体系研究.水科学进展. 1996, 7(4), 367~374
61. 左其亭, 吴泽宁.可持续水资源管理量化研究的关键问题.西北水资源与水工程. 2002, 13(3), 1~4
62. 中国 21 世纪议程——中国 21 世纪人口 环境与发展白皮书.北京:中国环境科学出版社. 1999
63. [美] D.P.洛克斯, J.R.斯蒂迪格尔, D.A.海茨.水资源系统规划与分析.水利电力出版社. 1988.12
64. [美]詹姆斯 D.汉密尔顿著.时间序列分析.中国社会科学出版社. 1992.12
65. Afzal Javaid, Noble David H.Optimization model for alternative use of different quality irrigation waters.Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 1992, 118(2), 218~228
66. AntleJM, SMCapallo.Physicaland Economic Model Integration for Measurement of Environmental Impacts of Agriculture Chemical Use. Jagric Resour Econ.1991, 20(3), 62~68
67. BayerMB.Amodeling Method for Evaluating Water Quality Policies in Non-serial River System.Water Resources Bulletin.1997, 33(6), 1141~1151
68. Lambertus et al.Integrated Management of Urban Water Science & Techonology.1993
69. Morshed jahangir, Kaluarachi jagath J.Enhancements to genetic algorithm for optimal ground-water management.Journal of Hydrologic Engineering. ASCE.2000, 67~73
70. Normal.J.Dudely.Optimal Interseasonal Irrigation Water Allocation.Water Resources. 1997, 7(4)
71. Rodrigo Oliveira.Operation Rules for Multireservoir System.Water Resources Research.1997, (4)
72. Tom Tietenberg.Environmental and Natural Resources(Third Edition).Harper Collins Publishers Inc.1992
73. Watkins DavidW, Jr Mc Kinney, Daene C Robust.Optimization for incorporating risk and uncertainty insustainable water resources planning.International Association of Hydrological Sciences. 1995,231(13), 225~232
74. Wong Hugh S, Sun Ne-zheng.Optimization of conjunctive use of surface water and ground water with water quality constraints.Proceedings of the Annual Water Resources Planning and Management Conference.Sponsoredby:ASCE. 1997, 408~413

附 录

附录 A

海林市农业灌溉用水预测模型计算过程

预测 2004 年~2011 年的农业灌溉用水量计算过程

1984	128.876
1985	129.058
1986	129.302
1987	129.798
1988	130.657
1989	132.049
1990	131.898
1991	133.125
1992	136.494
1993	133.554
1994	133.965
1995	134.001
1996	134.156
1997	134.102
1998	134.457
1999	134.612
2000	137.634
2001	137.987
2002	138.021
2003	139.368

样本自相关函数 样本偏自相关函数

1	0.76115	0.76115
2	0.58556	0.01475
3	0.40911	-0.09808
4	0.1992	-0.20467
5	0.09414	0.07045
6	0.03163	0.04453
7	-0.03384	-0.06624
8	-0.03238	0.03806
9	0.01279	0.11296

观测值	拟合值
129.058	129.4827
129.302	129.8425
129.798	130.1322
130.657	130.5334
132.049	131.1852
131.898	132.2413
133.125	132.6064
136.494	133.4484
133.554	135.6844
133.965	134.9933
134.001	134.9326
134.156	134.9272
134.102	135.0119
134.457	135.0174
134.612	135.219
137.634	135.3914
137.987	137.1518
138.021	138.1012
139.368	138.5241

平均值=4.90246

标准差=0.02283

VAR=0.0104

AIC=-185.254

C=84.617%

R(Z<->Z)=0.919875

剩余白相关函数

Pkk1=0.4588

$i_1=0.0347$ $i_2=-0.0673$ $i_3=0.1020$ $i_4=-0.1629$

$i_5=-0.2526$ $i_6=-0.2527$ $i_7=-0.3306$

$i_8=0.1952$ $i_9=0.1469$

这是白噪声 !XX=1.0000 Q=6.4240 (M-P-Q)=7

ARMA(1,1)

模型如下:

系数	标准误差	T 值
W(T+L) = 9.17789	0.29222	31.40734
0.9810130W(T+L-1)	0.09712	10.10111

#NAME?

$0.4233989e(T+L-1)$	0.2384	1.77601
预测结果如下	预测值	
L(1)	140.289	
L(2)	141.18	
L(3)	142.05	
L(4)	142.904	
L(5)	143.746	
L(6)	144.579	
L(7)	145.405	

预测 2011 年~2017 年的农业灌溉用水量计算过程

1984	128.876
1985	129.058
1986	129.302
1987	129.798
1988	130.657
1989	132.049
1990	131.898
1991	133.125
1992	136.494
1993	133.554
1994	133.965
1995	134.001
1996	134.156
1997	134.102
1998	134.457
1999	134.612
2000	137.634
2001	137.987
2002	138.021
2003	139.368
2004	140.289
2005	141.18
2006	142.05
2007	142.904
2008	143.746

2009 144.579

2010 145.405

样本数 27

和 3673.267

均值 136.0469

几何平均 135.959

中位数 134.457

常用百分位数:

Px% 值

0.5 128.8997

1 128.9233

2.5 128.9943

5 129.1312

10 129.5996

20 131.9282

25 132.587

30 133.4682

40 134.0414

50 134.457

60 137.178

70 138.2904

75 139.8285

80 141.0018

90 143.2408

95 144.3291

97.5 144.8681

99 145.1902

99.5 145.2976

四分位间距=7.2415 四分位间距(1/2)=3.6208

平均偏差 4.22918

极差 16.529

方差 25.02812

标准差 5.00281

标准误	0.96279		
变异系数	0.03677		
平均数的置信区间			
95%区间	134.0679	~	138.02597
99%区间	133.3716	~	138.72225

正态性检验

项目	参数	U 值	显著水平
偏度	0.35531	0.79337	0.42756
峰度	-0.95286	-1.09264	0.27455

样本自相关函数 样本偏自相关函数

1	0.86198	0.86198
2	0.735	-0.03119
3	0.61249	-0.0543
4	0.48351	-0.10008
5	0.36485	-0.04762
6	0.26635	-0.00561
7	0.1676	-0.07403
8	0.10052	0.03961
9	0.07151	0.08647
10	-0.00484	-0.22042
11	-0.0715	-0.05342

观测值	拟合值
129.058	129.4783
129.302	129.8109
129.798	130.0876
130.657	130.5078
132.049	131.2143
131.898	132.3675
133.125	132.6816
136.494	133.5885
133.554	136.0876
133.965	135.0767
134.001	134.9865

134.156 134.9779
 134.102 135.0754
 134.457 135.0751
 134.612 135.3054
 137.634 135.4879
 137.987 137.5071
 138.021 138.46
 139.368 138.8222
 140.289 139.8238
 141.18 140.778
 142.05 141.6957
 142.904 142.5868
 143.746 143.458
 144.579 144.3144
 145.405 145.1596

平均值=4.91969

标准差=0.03564

VAR=0.0343

AIC=-259.010

C=95.315% R(Z<->Z)=0.976297

剩余白相关函数

Pkk1=0.3922

$i_1=0.0118$ $i_2=-0.0690$ $i_3=0.1489$ $i_4=-0.0478$

$i_5=-0.1528$ $i_6=-0.1707$ $i_7=-0.3061$

$i_8=0.1954$ $i_9=0.1055$ $i_{10}=-0.1557$

$i_{11}=0.0419$

这是白噪声 !XX=1.0000 Q=6.5176 (M-P-Q)=9

ARMA(1,1)

模型如下:

系数	标准误差	T 值
$W(T+L)= 241723.6$	0.12929	1869607.3
$0.9999995W(T+L-1)$	0.00027	3765.7346
#NAME?		
$0.3552226e(T+L-1)$	0.12456	2.85171

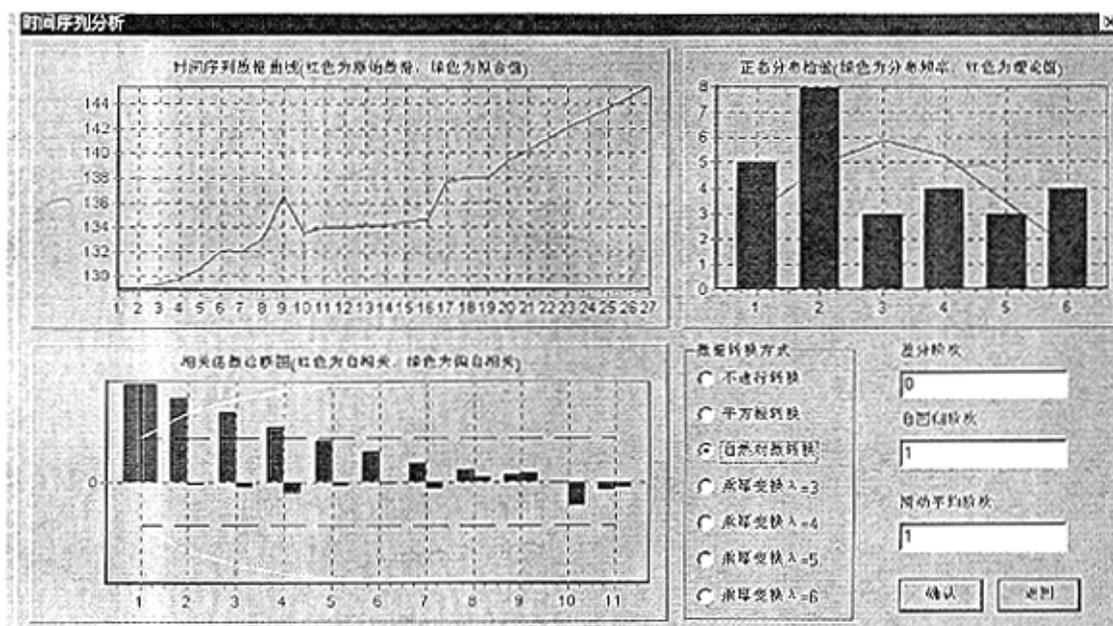
预测结果如下

预测值

L(1) 145.9962

L(2)	146.6779
L(3)	147.3626
L(4)	148.0507
L(5)	148.7418
L(6)	149.4362
L(7)	150.1337

时间序列分析特征图



附录 B

水资源与海林市社会经济发展的关系调查问卷

请首先对以下六类 (B₁、B₂、B₃、B₄、B₅、B₆) 指标按您认为的重要程度进行排序, 再对每类指标中的分项指标 (按组, 如: 对于 B₂ 中的 B₂₁、B₂₂、B₂₃、B₂₄) 进行排序。如可以, 请您给出您认为的重要性的合适比例 (权重)。请您在百忙中填写下表, 谢谢!

B₁ 经济:

B₁₁: 经济增长质量

B₁₂: 产业结构调整

B₁₃: 经济发展速度

B₁₄: 效益费用比

B₂ 社会:

B₂₁: 受群众欢迎程度

B₂₂: 群众生活水平的提高

B₂₃: 社会稳定和民族团结

B₂₄: 促进农业发展

B₃ 人口:

B₃₁: 健康状况

B₃₂: 人口增长率

B₃₃: 人口城镇化率

B₄ 水资源:

B₄₁: 水的利用系数

B₄₂: 供水量

B₄₃: 耗水、耗能量

B₅ 环境:

B₅₁: 水质污染

B₅₂: 改善气候

B₅₃: 土壤保墒面积

B₅₄: 河流断流

B₆ 制度建设:

B₆₁: 超额用水的约束机制

B₆₂: 节约用水的激励机制

请您在下表中填写您的结论：序号，如：1、2、3、4、5、6；以及（若可以）权重比例，如：0.3、0.2、0.1、0.2、0.2（共计1）。

注：以上序号及权重以指标 B₁ 经济、B₂ 社会、B₃ 人口、B₄ 水资源、B₅ 环境、B₆ 制度建设为例进行说明，所列分项指标表示方法相同。

指标权重表：

指标	分项指标	您认为的重要性排列序号（及权重）	
B ₁ 经济	B ₁₁ : 经济增长质量		
	B ₁₂ : 产业结构调整		
	B ₁₃ : 经济发展速度		
	B ₁₄ : 效益费用比		
B ₂ 社会	B ₂₁ : 群众欢迎程度		
	B ₂₂ : 群众生活水平的提高		
	B ₂₃ : 社会稳定和民族团结		
	B ₂₄ : 促进农业发展		
B ₃ 人口	B ₃₁ : 健康状况		
	B ₃₂ : 人口增长率		
	B ₃₃ : 人口城镇化率		
B ₄ 水资源	B ₄₁ : 水的利用系数		
	B ₄₂ : 供水量		
	B ₄₃ : 耗水、耗能量		
B ₅ 环境	B ₅₁ : 水质污染		
	B ₅₂ : 改善气候		
	B ₅₃ : 土壤保墒面积		
	B ₅₄ : 河流断流		
B ₆ 制度建设	B ₆₁ : 超额用水的约束机制		
	B ₆₂ : 节约用水的激励机制		

攻读硕士学位期间发表的学术论文

1. 关传强, 王铁等.水管理与可持续发展.黑龙江水利科技.2005, 33(1), 65~67
2. 关传强, 王铁等.已录用.区域水资源优化配置效果评价体系研究.东北水利水电