

黑龙江省地下水资源分布特征及可持续发展模式研究

王洋^{1, 2}, 那帅博宁^{1, 2}, 赵剑^{1, 2}, 徐磊^{1, 2*}

1. 中国地质调查局哈尔滨自然资源综合调查中心, 黑龙江 哈尔滨 150086

2. 自然资源部哈尔滨黑土地地球关键带野外科学观测研究站, 黑龙江 哈尔滨 150086

DOI:10.61369/WCEST.2025020003

摘 要 : 黑龙江省地下水资源分布受地形地貌、地质构造及气候影响显著, 呈现“平原富集、山区分散”的空间格局, 时间分布上具有显著的季节性和年际波动, 水质则表现出从山区到平原的分带性特征。研究提出“生态优先、科学规划、协同治理”原则, 构建平原农业区“节水增效+生态修复”、山地生态区“保护限制+适度利用”、城市工业集中区“循环利用+污染防控”的差异化开发模式, 并从制度、科技、公众参与三方面提出管理对策, 为区域水资源可持续利用提供科学依据。

关 键 词 : 黑龙江省; 地下水资源; 分布特征; 可持续发展

Study on Distribution Characteristics and Sustainable Development Model of Groundwater Resources in Heilongjiang Province

Wang Yang^{1,2}, Na Shuaiboning^{1,2}, Zhao Jian^{1,2}, Xu Lei^{1,2*}

1. Harbin Natural Resources Comprehensive Survey Center, China Geological Survey, Harbin, Heilongjiang 150086

2. Harbin Black Soil Earth Critical Zone Field Scientific Observation and Research Station, Ministry of Natural Resources, Harbin, Heilongjiang 150086

Abstract : The distribution of groundwater resources in Heilongjiang Province is significantly affected by topography, geological structure, and climate. It presents a spatial pattern of "enrichment in plains and dispersion in mountainous areas". The temporal distribution has significant seasonal and interannual fluctuations, and the water quality exhibits zonality characteristics from mountainous areas to plains. Based on the principles of "ecological priority, scientific planning, and collaborative management", this study proposes differentiated development models for plain agricultural areas ("water-saving and efficiency improvement + ecological restoration"), mountainous ecological areas ("protection and restriction + moderate utilization"), and urban industrial concentrated areas ("recycling + pollution prevention and control"). Management countermeasures are proposed from three aspects: institutional, technological, and public participation, providing a scientific basis for the sustainable utilization of regional water resources.

Keywords : Heilongjiang Province; groundwater resources; distribution characteristics; sustainable development

引言

黑龙江省作为我国东北重要的生态屏障和粮食主产区, 地下水资源在保障农业生产、工业发展和生态安全中具有战略地位。然而受自然地理条件和人类活动影响, 其地下水资源分布不均、开发利用矛盾突出, 亟需系统研究其分布特征及可持续发展路径。本文基于水文地质调查与动态监测数据, 分析资源分布规律, 结合区域功能定位, 提出针对性开发模式与管理策略, 以期为水资源合理利用与生态保护提供参考。

一、黑龙江省地下水资源分布特征

(一) 地下水资源量评价

黑龙江省地下水资源量的科学评估, 深度融合了地形地貌、地质构造、降水特征及水文循环等多重关键要素。依托多年系统性的水文地质调查与持续性动态监测, 研究揭示全省地下水资源总量虽较为可观, 但区域间分布差异显著, 呈现出“平原富集、山区分散”的鲜明特征。在广袤的平原地带, 得益于深厚的第四

通讯作者: 徐磊, 邮箱: 2368918632@qq.com

系松散堆积物广泛覆盖，其地质结构为地下水储存创造了得天独厚的条件。以松嫩平原和三江平原为典型代表，这里含水层厚度大、透水性强，构成了省内最主要的地下水富集区^[1]。经测算，两大平原的地下水资源可开采量占全省总量比例超 70%，成为支撑区域农业灌溉、工业生产及居民生活用水的核心水源。其中松嫩平原作为我国重要的商品粮基地，丰富的地下水资源为大规模机械化农业生产提供了坚实保障；三江平原湿地周边的地下水资源，不仅滋养着广袤农田，还在生态补水、维持湿地生态平衡中发挥关键作用。与之形成鲜明对比的是，黑龙江省山区受基岩裂隙发育程度不均影响，地下水赋存条件复杂多变。大兴安岭、小兴安岭及长白山脉余脉等地，地下水多以分散的泉群和基岩裂隙水形式存在，水资源量相对有限^[2]。由于山区地形起伏大、裂隙网络连通性差，地下水储存空间分散，难以形成大规模集中供水水源，但其水质优良，多为低矿化度淡水，在局部地区为居民生活及小型产业发展提供了优质水源。

（二）地下水空间分布特征

黑龙江省地下水的空间分布受地形地貌、地质构造及行政区划等多重因素交织影响，呈现出显著的区域性差异。在广袤的平原地带，松嫩平原与三江平原构成了地下水资源的“天然储库”。松嫩平原中部区域，含水层以细砂、粉砂沉积为主，受沉积环境影响，其颗粒细小、孔隙度适中，形成富水性中等的水文地质单元，地下水水位埋深较浅，一般介于 1 - 3 米，这一特性虽便于开采利用，但也使得该区域地下水易受地表农业面源污染与生活污水排放的威胁；而松嫩平原西部及三江平原，得益于河流冲积形成的粗颗粒堆积物，含水层以粗砂、砾石为主，颗粒间孔隙连通性良好，造就了强富水性的特征，单井出水量可达数百立方米每日，且水位埋深相对较深，约 5 - 10 米，为区域供水提供了稳定且充沛的水源保障^[3]。山区的水文地质条件则截然不同，大兴安岭、小兴安岭及长白山脉支脉地区，地下水资源分布严格受控于地质构造与岩性条件。基岩裂隙水主要赋存于断裂构造带及风化裂隙发育区域，这些地带犹如地下水流动的“脉络”，但受限于山区地形起伏剧烈、裂隙网络连通性差的特点，水资源分布极为零散，常以小型泉群或分散的裂隙水流形式存在。并且随着海拔高度与地形坡度的变化，地下水量呈现出显著的空间波动，难以形成规模化、集中化的供水格局。从行政区域视角观察，哈尔滨、齐齐哈尔等坐落于平原地区的城市，凭借得天独厚的水文地质条件，周边地下水资源储量丰富，能够有力支撑城市大规模的工业生产与居民生活用水需求；而黑河、伊春等位于山区的城市，受限于当地零散的地下水资源分布特征，水资源相对匮乏，在供水保障方面面临更大挑战，需通过跨区域调水、雨水收集等多元化方式弥补水资源缺口。

（三）地下水时间分布特征

黑龙江省地下水资源的时间分布规律，与降水、气温等气象要素紧密耦合，呈现出显著的年内波动与年际差异特征。受温带大陆性季风气候支配，降水在时间维度上呈现高度不均态势：夏季（6-8 月）暖湿气流主导，降水集中且强度大，充沛的雨水通过土壤孔隙大量入渗，成为地下水的主要补给来源，促使地下水

位快速抬升，水资源储量显著增加；而冬季受西伯利亚冷高压控制，气候寒冷干燥，降水多以固态降雪形式存在，加之地表冻结形成天然隔水层，极大削弱了降水对地下水的补给能力，导致地下水位持续走低，水资源量明显减少。

在更长的时间尺度上，年际间的地下水资源变化同样显著^[4]。季风系统的强弱波动直接决定了降水的年际差异：丰水年份，季风强劲，降水远超常年均值，地下水获得充足补给，水位显著回升；而在枯水年份，季风势力偏弱，降水大幅减少，地下水补给严重不足，部分区域地下水位持续下降，甚至形成区域性降落漏斗^[5]。以松嫩平原为例，长期监测数据表明，在连续枯水年份，该区域部分地段地下水位年均降幅可达 0.5-1 米，这种持续的水位下降不仅威胁到水资源的可持续利用，还可能引发地面沉降等地质环境问题。

（四）地下水水质特征

黑龙江省地下水水质在空间分布上呈现显著的分带性特征，这一现象与地质条件、人类活动的空间差异密切相关。在山区及山前地带，由于地下水径流速度快，且补给源多为清洁的大气降水与山涧溪流，因而形成以 $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+}$ 型为主的地下水，矿化度普遍低于 0.5 克 / 升，水质优良，是天然优质的饮用水源^[6]。进入平原中部地区，地下水在径流过程中不断与岩土体发生复杂的物质交换，水化学类型逐渐转变为 $\text{HCO}_3^- - \text{Na}^+ \cdot \text{Ca}^{2+}$ 型或 $\text{HCO}_3^- - \text{SO}_4^{2-} - \text{Na}^+$ 型，矿化度维持在 0.5 - 1 克 / 升，整体水质较好，但受农业生产中化肥、农药大量使用影响，部分区域出现硝酸盐、氨氮等指标超标现象。而在平原边缘及低洼地区，地下水径流滞缓，强烈的蒸发浓缩作用使得 Cl^- 、 Na^+ 等盐分不断富集，部分地段矿化度超过 3 克 / 升，水质明显变差，无法直接饮用，需经过严格净化处理。

（五）地下水开发利用现状

在农业领域，松嫩平原和三江平原的井灌面积广泛，地下水成为粮食增产的关键水源，约 60% 的农田灌溉依赖地下水。工业方面，部分城市的工业生产用水以地下水为主，如大庆油田的开采及相关化工产业对地下水有一定需求。生活用水上，在地表水供应不足的地区，地下水是居民生活的重要水源。然而当前地下水资源开发利用也存在诸多问题，部分地区存在过度开采现象，导致地下水位持续下降，形成区域性降落漏斗，引发地面沉降等地质灾害；农业灌溉用水效率低，水资源浪费严重；工业和生活污水的不合理排放，可能造成地下水污染，威胁水资源可持续利用。近年来，黑龙江省已加强对地下水资源的管理，实施了地下水超采区治理、节水灌溉推广等措施，以促进地下水资源的合理开发与保护。

二、黑龙江省地下水资源可持续开发模式研究

（一）地下水可持续开发原则及目标

黑龙江省地下水资源可持续开发需遵循生态优先、科学规划与协同治理三大核心原则，生态优先原则强调将地下水系统与生态环境视为有机整体，严格控制开发强度，避免因过度开采导致

地面沉降、湿地退化等生态问题；科学规划原则要求依据水文地质条件、水资源量及开发利用现状，统筹协调农业、工业与生活用水需求，实现地下水的合理配置；协同治理原则旨在整合政府、企业与公众多方力量，构建多部门联动机制，共同推进污染防治与节水技术应用^[7]。基于上述原则，明确短期、中期与长期可持续开发目标。短期目标聚焦于遏制地下水超采趋势，计划至2030年将全省地下水开采量控制在可开采量的90%以内，并逐步恢复重点超采区的地下水位；中期目标着力优化水资源利用结构，力争将工业用水重复利用率提升至85%以上，农业灌溉水有效利用系数提高至0.65；长期目标则致力于构建人水和谐的地下水管理体系，保障生态环境良性发展，实现水资源与经济社会的协调可持续发展。

（二）基于不同区域的可持续开发模式

黑龙江省不同区域因功能定位与资源条件差异，需因地制宜采取特色开发模式。在平原农业主产区，如松嫩平原和三江平原，作为地下水开采大户，需构建“节水增效+生态修复”模式。一方面，推广滴灌、喷灌等高效节水技术，并结合物联网与智能监测系统实现精准灌溉；另一方面，建立地表水与地下水联合调度机制，在丰水期充分利用松花江、嫩江等地表水资源进行补充灌溉，降低对地下水的依赖。针对已形成的地下水位降落漏斗，通过人工回灌、湿地补水等工程措施，逐步恢复地下水生态功能；同时优化种植结构，缩减高耗水作物面积，推广耐旱品种，从源头降低农业用水总量^[8]。山地生态保护区，包括大兴安岭、小兴安岭及长白山脉支脉，以生态保护为首要任务，宜采用“保护限制+适度利用”模式。通过严格划定地下水禁采区与限采区，禁止大规模商业开采，重点保护天然泉群及水源涵养区。对于分散的居民生活用水需求，采用小型分散式供水系统，优先利用山泉水，减少对深层地下水的扰动。此外，大力推进生态修复工程，通过植树造林、退耕还林等措施提升植被覆盖率，增强降水入渗补给能力，维护山区地下水系统稳定^[9]。城市及工业集中区，如哈尔滨、大庆等地，由于用水需求大且污染风险高，需推行“循环利用+污染防控”模式。工业领域加大节水改造力度，

鼓励企业建设中水回用设施，将处理后的工业废水用于冷却、洗涤等环节；城市层面完善污水处理管网，提高污水收集与处理率，并推广再生水用于城市绿化、道路冲洗等非饮用水领域。同时建立地下水污染实时监测网络，加强对化工、石油等重点行业的监管，严格控制污染物排放，防止地下水污染扩散。

（三）地下水开发利用管理对策

为保障地下水资源可持续开发，需从制度建设、科技创新与公众参与三方面强化管理。制度层面，完善地方性地下水管理法规，细化开采许可、水资源费征收、生态补偿等制度细则，建立地下水动态监测与预警平台，实时监控水位、水质变化；推行水资源消耗总量和强度双控行动，将地下水管理纳入地方政府绩效考核体系，对超采严重区域实施问责机制。科技创新方面，加大对地下水勘探、监测及节水技术的研发投入，推广原位生物修复、纳米材料吸附等新型地下水污染修复技术；联合高校与科研机构开展水文地质模型研究，提高水资源预测与调配的科学性；通过政策补贴、示范工程等方式，加速高效节水设备、智能灌溉系统的普及应用。公众参与层面，开展多样化节水宣传活动，普及地下水保护知识，增强公众节水意识；建立举报奖励机制，鼓励公众参与水资源管理监督；推行阶梯水价制度，引导居民和企业合理用水，提高水资源利用效率，形成全社会共同保护地下水的良好氛围。

三、结束语

黑龙江省地下水资源的合理开发与保护是一项长期且复杂的系统工程，通过精准把握其分布特征，因地制宜实施可持续开发模式，强化制度、科技与社会协同管理，有望破解资源利用与生态保护的矛盾。未来需持续跟踪水资源动态变化，深化跨学科研究，完善管理体系，为保障区域生态安全、推动高质量发展筑牢水资源根基。同时相关研究成果也将为寒区及平原-山区复合地貌区域的水资源管理提供有益参考。

参考文献

- [1] 戴长雷, 于淼, 张晓红. 黑龙江省和萨哈共和国地下水赋存特征分析研究 [J]. 水利科学与寒区工程, 2018, 1(06): 28-34.
- [2] 王璐. 黑龙江省五大连池市后备水源供水水文地质详查报告. 黑龙江省, 黑龙江省水文地质工程地质勘察院有限公司, 2018-04-12.
- [3] 徐卫东. 大庆市水资源现状及其可持续发展 [J]. 科学技术创新, 2017, (19): 133-134.
- [4] 丛璐. 松嫩平原(黑龙江)地下水动态特征及超采区评价研究 [D]. 吉林大学, 2017.
- [5] 卢静. 黑龙江省友谊农场地下水资源评价与可持续利用建议 [D]. 东北农业大学, 2016.
- [6] 孙香泰, 孙博文. 黑龙江省松嫩平原地下水超采区分析研究 [J]. 黑龙江水利科技, 2016, 44(05): 1-4. DOI: 10.14122/j.cnki.hskj.2016.05.002.
- [7] 李文睿. 黑龙江省多宝山镇地下水资源勘察与评价研究 [D]. 吉林大学, 2016.
- [8] 陈正国. 黑龙江省哈尔滨市东部新城供水水文地质详查报告. 黑龙江省, 黑龙江省水文地质工程地质勘察院有限公司, 2016-04-15.
- [9] 刘蕊. 黑龙江省讷河市节水增粮项目区地下水资源评价及利用 [D]. 黑龙江大学, 2015.