

区域后备水源地生态承载力评估及管控策略 ——以黑龙江地区为例

石致君, 赵剑, 靳智强, 马维龙, 孙洪福^{*}
中国地质调查局哈尔滨中心, 黑龙江 哈尔滨 150081
DOI:10.61369/WCEST.2026030014

摘 要 : 后备水源地当作区域水资源安全方面的重要战略储备, 它的生态承载能力开展水源涵养、水质净化以及水文调蓄等关键生态功能的支撑工作, 在应对极端气候事件以及供水紧张局面的时候, 发挥着不可替代的作用水污染突发场景下区域供水安全的重要屏障。为精准掌握黑龙江地区后备水源地生态承载现状、破解开发保护失衡难题, 本文以黑龙江全域后备水源地为研究对象, 构建涵盖水资源禀赋、凭借生态质量、社会压力以及调控效能这三个方面来开展构建指标集的工作, 借助熵权和综合指数融合的方法去处理生态承载潜力的量化工作。黑龙江地区的后备水源地, 它的整体生态承载能力大体处于中等偏上的层级。像大兴安岭、伊春等林区的水源地, 生态承载的表现特别突出。

关 键 词 : 后备水源地; 生态承载力; 指标体系; 管控策略; 黑龙江地区; 水资源安全

Evaluation of Ecological Carrying Capacity and Management Strategies for Regional Reserve Water Sources: A Case Study of Heilongjiang Region

Shi Zhijun, Zhao Jian, Jin Zhiqiang, Ma Weilong, Sun Hongfu^{*}
Harbin Center, China Geological Survey, Harbin, Heilongjiang 150081

Abstract : Reserve water sources serve as a crucial strategic reserve for regional water resource security, with their ecological carrying capacity playing a pivotal role in supporting key ecological functions such as water conservation, water purification, and hydrological regulation and storage. They play an irreplaceable role in responding to extreme climate events and water supply shortages, acting as a vital barrier for regional water supply security in the event of sudden water pollution scenarios. To accurately grasp the current ecological carrying status of reserve water sources in Heilongjiang region and address the challenge of imbalanced development and protection, this paper takes the reserve water sources across Heilongjiang as the research object. It constructs an indicator set encompassing three aspects: water resource endowment, ecological quality, social pressure, and regulatory effectiveness. The entropy weight and comprehensive index fusion method are employed to quantify the ecological carrying potential. The reserve water sources in Heilongjiang region generally exhibit a moderate to high level of ecological carrying capacity, with particularly outstanding performance in water sources located in forested areas such as Daxing'anling and Yichun.

Keywords : reserve water sources; ecological carrying capacity; indicator system; management strategies; Heilongjiang region; water resource security

引言

随着城镇的扩张以及工农业需水的加剧, 地区水资源所起到的基础支撑作用变得愈发凸显, 同时极端气候频繁出现, 这就致使可用水量和需求之间的冲突日益激化供水安全方面所存在的潜在威胁反复地显现了出来。战略储备性质的后备水源地, 它的生态系统承载力维系着调蓄补给以及风险缓释这样的关键职能, 决定区域方面的水安全韧性, 并且决定水生态的可持续性。水的安全韧性是从区域的生态格局当中来的。安全的韧性为水的生态持续性奠定了基础。水源地系统开展自身维系、资源供给以及抗干扰等方面的效能, 可以借助生态承载力来开展评估工作, 这个标尺揭示了开发活动以及保护行动之间的动态均衡, 成为了开展后备水源管控工作的关键参照。黑龙江地处北疆, 水系纵横交错, 有多条江河贯穿整个区域, 流域当中天然湖泊星罗棋布, 并且深层地下水也有储备, 这样就构筑了极大程度上丰沛的后备水源, 这个区域位于中国北部, 能够当作水源储藏方面的重要据点。

通讯作者: 孙洪福, 邮箱: 1009144592@qq.com

一、研究区概况与数据来

（一）研究区概况

黑龙江一带处于我国东北边境地区。这片区域是由东经121度11分至135度5分、北纬43度26分至53度33分所划定的。当地具备寒温带大陆性的季风气候特性，春季来临时会进行复苏，而夏日有着充沛的雨泽，这就把年均降水约束在了四百至六百五十毫米之间，积雪经过漫长的冬季，并且冻土消融来补给水源。这个地区河网分布得十分密集，同时拥有湖泊、人工蓄水设施、跨界河流分支以及地下水富集带等多种潜在的供水源，在类型方面涵盖了地表和地下的战略储备，它们主要分布在大小兴安岭的森林地带当中处于三江以及松嫩平原还有其邻接水系沿岸的这个区域。纵观黑龙江省的后备水源地，可以看到它的资源储量极大，并且水质非常优异，补给过程也持久且稳定。根据环境监测资料，全省地下水水位总体呈持续下降的趋势，主要城市均已形成较大面积的地下水降落漏斗，显示补不及出。^[1]然而，鉴于寒冷区域的生态属性限制，它的生态结构脆弱性较为突出，自我修复的进程比较迟缓，冻土层对水文的影响也很显著。碳酸的电离平衡决定着水溶液的pH值，即pH值大部分情况下是碳酸电离平衡的外在体现。^[2]

（二）数据来源与研究方法

水源地生态承载力评估把熵权以及综合指数结合的方法当作来使用。各指标权重会由熵权法去进行客观计算，这样就能避免主观赋权所引入的偏差。综合指数法还被用来测算各水源地的生态承载力综合得分，区域承载状况能够按照得分等级来开展精准的界定工作，现状以及空间差异可以借助数据来获得量化的支撑，这样便于去处理问题识别以及决策制定方面的工作。中深层含水层组的补排项少，补给主要是浅层的越流补给和接受外部水源的径流补给。^[3]

二、后备水源地生态承载力评价指标体系构建

（一）指标体系构建原则

鉴于黑龙江寒区水资源的特性以及战略储备功能，把科学、系统、针对以及可行这四项准则当作依据来运用，开展评价框架的建立工作，在寒地水源区域当中，开展指标筛选工作的时候始终遵循着生态承载力所具有的内在逻辑；它对资源、环境、压力和调控这四大范畴进行审视，构筑了一套连贯的评估框架；储备性、应急性以及生态脆弱性特性要当作后备水源评判的关键依据，这样就能把它和常规饮用水源地的评估框架区分开来；指标的选取要契合可衡量的特性，这样就可以在实施过程当中开展动态的观测工作，并且数据来源要确保切实可行，进而推动评估结论得以有效转化。

（二）指标体系层级设计

1. 在水资源禀赋这个方面，主要会去考量后备水源的储备情

况以及补给潜力。这个维度囊括了年均径流、地下水可采量、水源地水面规模以及年均补给量等四项要素，水资源承载能力会直接体现于储备量的提升方面，数值越高，往往就意味着发展根基会更加坚实。

2. 生态环境质量维度（正向）：反映水源地生态系统完整性与水质状况，包含水质达标率、水源地植被覆盖率、湿地保有率、冻土生态完整性4项指标，适配黑龙江寒地生态特征，体现水源地自然生态基底质量。

3. 社会经济压力维度（负向）：人类活动会向水源区施加压力，这涉及到周边建设规模、农田非点源污染量、居民密集程度以及工业排污力度这四个关键方面。要是数值有所攀升，那就意味着人为干预变得趋于剧烈，生态承载压力越大。

（三）承载力等级划分

综合指数评估把通用区域标准结合起来，生态承载力可以划分成四个等级：优质承载评级处于0.8至1.0的区间，在这种状态之下，生态系统的结构稳固，并且储备功能能够保持完整无过载风险；生态系统的承载状态良好，处于零点六至零点八的区间，要是受到轻微干扰，它会具备自我修复的能力；0.4到0.6是临界承载范围，在这个范围当中生态系统会趋于脆弱，并且存在过载的隐患；0到0.4对应着生态功能出现明显削弱、支撑能力不充足的阶段，需要开展严格的管理工作并且进行恢复。

三、黑龙江地区后备水源地生态承载力评估结果与问题分析

（一）整体评估结果

黑龙江省开展了后备水源地生态承载力的评估工作，得到的平均数值为0.71分。这个地区水资源存储的原始基础状况较为良好，并且生态系统的整体运行呈现出稳定的态势，能够有效应对区域供水的战略性要求，来实现生态需水的补充，并且应急保障需求基本上可以得到满足。水资源禀赋得分处在首位，主要是凭借寒地湖泊、冻土融水以及湿地蓄水方面所具备的突出优势，来奠定资源储备的坚实基础；生态调控能力得到了中等的评价，水源保护以及修复体系在区域范围当中开始开展构建工作，精细化管控方面还有待提高；在整体承载力得以提升的这个方面当中，社会经济方面的压力以及生态环境维度的质量表现不好，成了关键的制约缘由。

（二）空间差异化特征

生态承载能力存在着明显的地带性差异，森林地带展现出了最佳的支撑水平，开阔平原处于中等的状态，而城镇以及乡村的交界区域则显得相对薄弱，大兴安岭等山林区域当中，水源地承载等级方面表现得很优异，得分保持在0.82至0.91的区间，主要原因在于它有优良的植被状况以及有限的人为干预影响，水质得以保持良好状态冻土的生态环境以及水文体系，它的完整程度对于维系黑龙江水源安全起着重要的战略作用；三江平原以及牡丹

江等地区，它的承载等级评价情况良好，得分处于0.65到0.80的区间当中。这些区域的资源储备呈现出充足的状态。

（三）现存核心问题分析

1. 空间开发失衡，局部承载压力过载，在黑龙江，水源地保护状况呈现出鲜明的地域差异。林区的后备水源地得到了有效的维护，保护成果比较理想。与此相对的是，在松嫩平原范围内，那些临近城镇、分布在农田集中区域的后备水源地，存在着开发活动失序的状况。在开采量相同的情况下，井河距越小，水位稳定速率越快，且开采所引起的水位降深越小，水资源可持续开发利用程度越高。^[4]

2. 寒带环境的稳定性是有限的，其天然恢复的进程会比较迟缓，黑龙江处于严酷的寒地环境当中，冻土湿地系统是比较脆弱的。漫长的严寒冬季让冻结期持续了很长时间，与此同时，水源区域植被发育的窗口期被极大程度上压缩了，这样整体生态修复的进程就显得迟滞缓慢。

3. 控制框架方面比较宽泛，在开展差异化处理工作上有所欠缺，区域水源管控模式存在着同质化的倾向，常规水源以及后备水源没有体现出功能方面的区分，战略储备以及应急兜底的核心价值没有得到充分的重视。

4. 水的质量稳定性有所欠缺，所面临的污染威胁较为显著，融雪以及降水会把农田当中化肥农药的残留物带入到水源系统。水源地所面临的关键污染风险是由农业面源引发的，这会使得氮磷浓度超出标准；部分乡镇生活污水直排、畜禽养殖无序排污，导致近城乡水源地水质波动，破坏水源储备质量，降低后备水源应急保障效能。

四、基于承载力评估的后备水源地差异化管控策略

（一）实施分级分区管控，精准匹配承载现状

以承载力等级作为基准来开展分区分类施策的工作，摒弃进行简单化的统一管理，在林区，比如大兴安岭、伊春等水质优良的承载带当中，运用严厉守护手段，来明确最为关键的生态红线，完全去阻止任何施工、排放等干扰活动。主要缘由在于保全永冻土湿地以及森林共生系统所开展的原生水源地积聚工作，维持了区域战略水源的核心储备地位。树立协同发展理念，将合作共赢贯穿在水源地保护的各个细节，设置水源地保护专项资金，确保水源地综合治理专项行动的顺利实施。^[5]

（二）聚焦寒地生态修复，提升自然承载能力

鉴于黑龙江寒冷地域生态系统具有脆弱的特性，开展面向水源地生态进行恢复以及提高质量的专项工作，水源地湿地以及冻土生态保护工作持续开展。对湿地的开垦行为以及地下水过度开采进行了严格管控。其他土地利用类型均有效地改善了土壤生态系统，提升了土壤肥力，提高了土壤抗侵蚀能力；^[6]退化湿地生态系统正借助退耕还湿、植被补植以及生态补水等措施来逐步进行恢复，稳固冻土水文结构，保障水源天然补给能力。

（三）严控人为扰动源头，化解生态承载压力

人为活动所带来的承载压力需要在源头端开展严格的管控工作，这样就能聚焦于核心污染问题以及它潜在的开发隐患，一是强化农业面源污染治理，在水源地保护区内推广绿色种植模式，严控化肥、农药使用量，建设生态沟渠、净化湿地，实现污染物拦截净化；规范畜禽养殖布局，严禁水源保护区规模化养殖，落实养殖废弃物资源化利用，杜绝排污入河。地表径流大部分就地拦蓄入渗，改善了地表径流状况，增加了土壤含水量，明显提高防洪抗旱能力；^[7]城乡建设以及产业用地需要开展规划管理工作，对取水口邻近区域的拟建项目进行严格控制准入；避免引入污染负荷极高、用水需求极大的生产类别，提高居住区与城市排水系统的衔接效能，保证日常排放的废水契合规定限值。要积极优化内部产业结构，进行农业结构调整，以避免自然资源供需失衡。同时采用高新技术，提高单位面积自然系统的生产率以及资源的利用效益，高效利用现有资源存量。^[8]

（四）搭建智慧监管体系，强化动态风险防控

针对监管体系存在着缺陷的水源地，能够借助引入智能技术来实现持续监测，覆盖所有的运行时段，关键后备水源区域当中，系统开展了水质、水量、水位以及生态植被状况的即时监控装置的部署工作。这些装置会持续去捕获环境数据，并且把它纳入一体化动态分析流程，从而完成数据信息的实时汇集以及综合处理工作异常预警。构建起了黑龙江省水源地生态支撑能力的动态观测系统，开展对承载力评估数据的不间断刷新工作，同时追踪生态环境演变动向，这样能精确探测出负荷超标以及潜在污染的风险，人工巡查以及智能监测之间的协作需要开展深化调整，偏远水源地应当强化开展巡查的力度，并且明确管控的权责。这样能让潜在风险及时得到暴露，便于马上落实应对措施，去处理必要的修正工作，从而极大程度上提高水源地的综合防护效能。

（五）完善制度保障体系，构建长效治理机制

通过开展建立工作并且让其更加健全，来实现后备水源保护区管控方面长效治理制度框架的构建，一是完善属地管控责任制，明确各地市、各部门水源保护职责，将后备水源地生态保护成效纳入生态考核体系，压实管控责任。淘汰落后产能，发展低污染、无污染、节水和资源综合利用项目。^[9]构建重点水源保护区生态补偿机制，目的在于借助资金的落实来激发区域保护的動力，协调好环境保护以及经济增长之间的平衡关系。实施严格的水资源管理体制，参照水资源的承载状态，加强对用水的需求和过程的控制，以达到合理的开发、有限的开发、有偿的开发和有效的可持续使用。^[10]

五、结束语

本文主要开展对黑龙江地区后备水源地的研究工作，鉴于寒地生态特性以及水资源战略储备属性，来构建多维生态承载力评价体系，并且对区域水源地的承载能力以及空间差异开展量化分

析工作，在开展开发保护工作当中，需要去辨识关键性的症结，然后制定出区别化的管制举措。黑龙江地区开展水源地生态承载力的评估工作呈现出良好的态势，水资源储备的基底条件比较优越。然而，它的空间分化特性十分显著，也就是林区水源地的承

载质量较为突出，而平原城乡结合部的水源地会面临承载过载的潜在风险；水源地生态承载力的主要制约缘由，囊括了人为活动干扰、寒冷地域生态系统易损特性、管理措施开展得比较粗放以及潜在污染风险极为显著等方面。

参考文献

[1] 孙跃. 河南省沿黄地下水数值模拟及地下水资源评价 [D]. 中国地质大学 (北京), 2011.

[2] 罗勇霖. 海南省文昌航天城地下水资源评价及后备水源论证研究 [D]. 桂林理工大学, 2023.DOI: 10.27050/d.cnki.gglgc.2023.000779.

[3] 袁星芳. 中原城市群地下水资源评价及水源地保护区划分 [D]. 中国地质大学 (北京), 2014.DOI: 10.27493/d.cnki.gzdzy.2014.000059.

[4] 黄昕. 黄河河南段影响带后备水源地开采方案研究 [D]. 中国地质大学 (北京), 2022.DOI: 10.27493/d.cnki.gzdzy.2022.000655.

[5] 张盛. 山区水源地生态适宜性评价及保护策略研究：以洋河流域为例 [D]. 山西大学, 2017.

[6] 张雁. 山区水源地建设的生态环境效应评价与保护研究：以商洛市水源地为例 [D]. 西安理工大学, 2018.

[7] 杜彦琴. 对西吉县农村饮用水源地保护的调查与思考 [J]. 价值工程, 2014, 33(31): 84-85.DOI: 10.14018/j.cnki.cn13-1085/n.2014.31.049.

[8] 曾昭斌. 基于生态足迹的南水北调中线水源地可持续发展分析 [J]. 南阳师范学院学报, 2009, 8(4): 8-12.

[9] 马语悦. 太原市水生态承载力动态变化及适应性对策研究 [D]. 太原理工大学, 2023.DOI: 10.27352/d.cnki.gylgu.2023.001510.

[10] 卫玉杰. 清江流域水资源承载力评价研究 [D]. 中国地质大学, 2022.DOI: 10.27492/d.cnki.gzdz.2022.000054.