

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2023.03.007

水利水电工程地下水环境影响评价关键问题及案例分析

陈 舟¹,王锦国¹,张延杰²,卫云波¹,窦 智¹,杨 蕴¹,李国庆¹

(1.河海大学地球科学与工程学院,江苏 南京 211100; 2.云南省滇中引水工程有限公司,云南 昆明 650205)

摘要:针对 HJ 610—2016《环境影响评价技术导则 地下水环境》在水利水电工程地下水环境影响评价工作的环境影响识别、现状调查和预测评价等方面的指导性不够明确,且未包含工程对地下水水量和水位的影响预测工作等关键问题。结合滇中引水工程,在分析水利工程特点的基础上,梳理了水利水电工程不同工程区段地下水环境影响识别指标,提出了地下水环境保护目标类型和工作重点,认为现场调查、勘探、监测宜结合工程识别的影响范围开展;总结了地下水环境影响预测的难点和主要技术方法,宜在地下水环境较为复杂的区域开展数值模拟研究;给出了水利水电工程地下水环境影响评价工作的具体落脚点。

关键词:地下水环境影响评价;水利水电;线性工程;影响识别;环境保护

中图分类号:TV213 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-1980(2023)03-0048-08

Key issues and case analysis of groundwater environmental impact assessment in water conservancy and hydropower projects

CHEN Zhou¹, WANG Jinguo¹, ZHANG Yanjie², WEI Yunbo¹, DOU Zhi¹, YANG Yun¹, LI Guoqing¹

(1. School of Earth Science and Engineering, Hohai University, Nanjing 211100, China;

2. Yunnan Dianzhong Water Diversion Engineering Co., Ltd., Kunming 650205, China)

Abstract: The existing *Technical Guidelines for Environmental Impact Assessment-Groundwater Environment* (HJ 610-2016) is not clear enough in the identification of environmental impacts, current situation investigation and forecast evaluation in the groundwater environmental impact assessment of water conservancy and hydropower projects. Meanwhile, the prediction of the project's impact on the groundwater flux and elevation is not covered by this guideline. Combined with the Dianzhong Water Diversion project, based on the characteristics analyzing of water conservancy projects, this paper elaborates the indicators to identify the impacts on groundwater environment in different project stages of water conservancy and hydropower projects, outlines the target types and work priorities of groundwater environment protection in different project stages, and summarizes the difficulties and main technologies of predicting the impacts on the groundwater environment. This paper indicates that the groundwater environmental protection should be carried out in combination with the scope of influence of on-site investigation, exploration, monitoring and engineering identification, and it is better to carry out numerical simulation research in areas with complex groundwater environments. Finally, the specific foothold of the groundwater environmental impact assessment for water conservancy and hydropower projects is given.

Key words: groundwater environmental impact assessment; water conservancy and hydropower; linear projects; identification of impacts; environment protection

随着社会经济的发展和大量污染物的无序排放,地下水呈现大面积、复合型污染,地下水环境整体不容乐观^[1-2],据《2020 年中国生态环境状况公报》,Ⅰ~Ⅲ类水只占 13.6%。为了保护地下水资源和改善地下水环境,国家相继出台了 HJ 610—2011 和 HJ 610—2016《环境影响评价技术导则 地下水环境》^[3-4](以下简称《导则》)和《地下水管理条例(国令第 748 号—2021)》,表明国家对地下水资源与环境的重视,做好相关工程的环境影响评价工作对地下水环境的保护意义重大。

基金项目: 云南省重大科技专项(202002AF080003);中央高校基本科研业务费专项(B220202053)

作者简介: 陈舟(1983—),男,副教授,博士,主要从事地下工程渗流控制和地下水污染防治研究。E-mail:chenzhoucly@hhu.edu.cn

引用本文: 陈舟,王锦国,张延杰,等. 水利水电工程地下水环境影响评价关键问题及案例分析[J]. 河海大学学报(自然科学版),2023,51(3):48-55.

CHEN Zhou, WANG Jinguo, ZHANG Yanjie, et al. Key issues and case analysis of groundwater environmental impact assessment in water conservancy and hydropower projects[J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences), 2023, 51(3): 48-55.

我国的地下水环境影响评价工作开展较早,朱学愚等^[5]在 1998 年总结了地下水环境影响评价的工作要点,讨论了工作等级划分原则、现状调查工作内容与重点、脆弱性评价和制图的目的,综述了预测数学模型、解析解和数值解及应用中需注意的问题,为我国地下水环境影响评价工作的开展奠定了基础。岳强等^[6-7]针对《导则》执行过程中在等级划分、影响识别、现状调查与监测方面存在的问题进行了探讨,并就现状监测和影响预测中较难实现的若干技术问题提出了解决方案和修订建议。

此外,众多学者针对不同区域和不同行业地下水环境影响评价工作进行了方法上的探讨与案例分析^[8-16]。针对线性工程的地下水环境影响评价,李豫馨等^[17]针对地下排水和影响范围 2 个指标在线性工程中定量预测的适应性进行分析,并结合具体工程对 2 个指标定量预测与定级问题进行实际应用分析。具体到水利水电工程,冯雪等^[18]针对水利工程建设项目的特点,分析了工程对地下水的影响方式,并以某水电站建设项目为例,就项目分类、等级划分、范围确定、现状调查与评价和影响预测等方面的技术要点与方法展开讨论;陈鸿汉等^[19]根据“十四五”规定要求和中长期生态环境保护发展需要,提出了新时期地下水环境影响评价工作的要点,强调了预防性和系统性,要形成覆盖建设项目全生命周期的地下水环境监管体系。

以上研究并未针对《导则》在水利水电工程地下水环境影响评价中的适宜性进行系统分析与评价,尤其在环境影响识别、现状调查和预测评价等方面的指导性尚不够明确。为此,本文针对《导则》在上述关键环节中存在的局限性,梳理了水利水电工程地下水环境影响识别指标,提出了地下水环境保护目标类型和工作重点,总结了影响预测的重难点和主要技术方法,并以滇中引水工程大理 I 段为例进行了案例分析,为进一步规范地下水环境影响评价,保护地下水环境提供新思路和技术参考。

1 《导则》适宜性探讨

1.1 水利水电工程特点

水利水电工程具有位置偏远、工程量多、施工条件复杂、周期长、技术要求高、受自然条件限制、对周围环境影响大等特点。兴建水利水电工程不仅可以消除水害,还可以开发利用水资源以满足人们生活和生产的需求,根据工程要求合理修建坝、堤、溢洪道、水闸、进水口、渠道、输水管道、提水泵站、泵房等不同类型的水工建筑物,从而实现防洪、供水、灌溉、发电等功能^[18]。“一根扁担挑两个筐”是水利水电工程布置的形象比喻,2 个“筐”分别代表水源区(库区和枢纽区)和受退水区,“扁担”则是输水线路(图 1)。

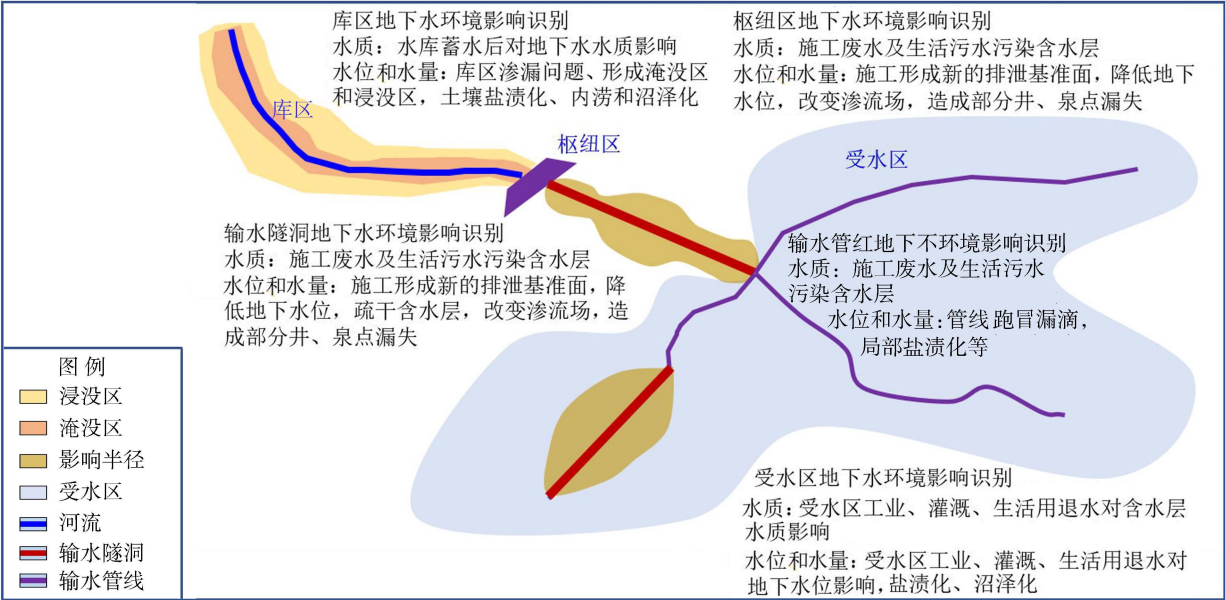


图 1 水利水电工程地下水环境影响评价概念图

Fig. 1 Conceptual map of groundwater environmental impact assessment for water conservancy and hydropower projects

水利水电工程兼具场站式与线性工程的特点,主要水工建筑物属于场站式工程,引调水与输水线路具有线性工程的特点,而库区和受水区属于二者兼具。针对水利水电工程的这些特点,各个工程阶段不同工程区域的地下水环境影响评价的工作重点和方法需要进一步探讨和规范。

1.2 适宜性探讨

水利水电工程对地下水环境的影响包括地下水位和水量、水质两大方面。现行《导则》调整将地下水流场和地下水位作为调查内容,未针对工程施工和运行过程中对地下水环境中地下水位和水量方面的影响提出具体要求。然而,水利水电工程在施工和运行阶段会对地下水环境尤其是地下水位和水量产生较大影响,且对地下水环境的影响程度较高,因此《导则》的适宜性不足,主要体现在室外试验重点不明确、影响预测与评价工作的工程部位不完善以及防控措施中缺少替代水源措施及相关概预算的内容等。需要结合各评价阶段的要求进行重点环节的补充,详见表 1,主要工程区段的地下水环境影响识别指标如图 1 所示。

表 1 水利水电工程《导则》宜补充工作

Table 1 Supplementary work for Technical Guidelines of water conservancy and hydropower projects		
《导则》环境评价阶段	各阶段要求开展的工作	水利水电工程补充重点工作
准备阶段	搜集分析国家和地方相关规划等资料;掌握建设项目工程概况,开展初步工程分析,识别建设项目对地下水环境可能造成的直接影响;进行现场踏勘工作,识别地下水环境敏感程度;确定评价工作等级、评价范围以及评价重点	识别项目对地下水环境影响及评价重点,宜补充考虑对地下水位和水量影响工程段位;评价范围应将影响较大区域扩大至整个水文地质单元
现状调查与评价阶段	开展现场调查、勘探、地下水监测、取样、分析、室内外试验和室内资料分析等工作,进行现状评价	现场调查、勘探、监测宜结合工程识别的影响范围开展,优化代表性监测点位;室内外试验宜重点考虑地质介质的渗透参数,简化具有尺度效应的弥散参数试验
影响预测与评价阶段	地下水环境影响预测,依据国家和地方地下水环境相关法规及标准,评价建设项目对地下水环境可能造成的直接影响	宜补充预测水库蓄水、受水区受水及不同工程段施工排水对地下水环境的影响;补充预测不良地质条件段对输水水质影响
结论阶段	综合分析各阶段成果,提出相关工程的地下水环境保护与防控措施,制定地下水环境影响跟踪监测计划,给出地下水环境影响评价结论	宜补充地下水环境影响中对地下水位和水量影响的预测结论及防控措施;补充防控措施、替代水源措施及相关概预算内容

需要指出的是中华人民共和国生态环境部 2021 年 12 月的《环境影响评价技术导则 地下水环境(修订征求意见稿)》以及编制说明中,已明确了水利水电工程中的部分项目涉及地下水位影响,且明确要求在分析地下水位变化情况影响范围后,需根据 HJ 19—2022《环境影响评价技术导则 生态影响》和 HJ 964—2018《环境影响评价技术导则 土壤环境》评价其对生态环境和土壤环境造成的影响。因此,本文针对水利水电工程特点,讨论了各工程部位在不同阶段对生态、土壤环境以及地下水环境可能造成的影响,是最新导则具体实施的有效补充。

2 案例工程概况

滇中引水工程是“国家 172 项重大水利工程”中的标志性工程,也是“十四五”国家水网骨干工程之一。工程分为水源和输水工程两部分,其中水源工程位于玉龙县石鼓镇,从石鼓镇上游约 1.5 km 的金沙江取水,由泵站提水至总干渠。而输水工程以石鼓镇望城坡为起点,途经丽江市、大理州、楚雄州、昆明市和玉溪市,最终到达红河州新坡背。输水线路总干渠长 664.24 km,其中隧洞段长 611.99 km,占比 92.1%,一期总投资 780.48 亿元,计划工期 96 个月。工程竣工后,受水区共涉及输水总干渠沿线 6 个州市的 34 个受水小区,预计受益国土面积约 3.69 万 km²。

案例以滇中引水工程的大理 I 段为研究对象,该段从石鼓到洱海东岸长育村,长 115.608 km,共有隧洞 11 条,总长度 113.46 km,占总线路的 98.15%。线路沿线穿越地层较复杂,各岩性组有不同的风化特征,且受构造、地形、分布位置等多种因素影响,评价区发育 11 条大断层,部分断裂近垂直相交,断裂规模大,对地下水具一定控制作用,其中龙蟠—乔后断裂、丽江—剑川断裂、鹤庆—洱源断裂为区域活动性断层。评价区碳酸盐岩地层分布范围较广,岩溶发育较强烈,地表岩溶类型齐全,可溶岩段地下水以岩溶裂隙水、岩溶管道水为主,非可溶岩段地下水类型以基岩裂隙水和孔隙水为主,由降雨直接入渗及远端高山地下渗流补给,分布不均,局部存在承压含水层,地下水量、富集程度受控于岩性、构造、补给来源及地形地貌等多种因素,断层、岩体破碎带部位多为地下水富集处。

以下结合案例工程从环境评价工作的准备阶段、现状调查与评价阶段、影响预测与评价阶段和结论阶段具体阐述各阶段工作的重点和主要技术方法。

3 准备阶段工作重点及主要技术方法

准备阶段工作重点包括地下水环境敏感程度识别、评价工作等级确定、评价范围及评价重点确定。

地下水环境敏感程度识别应分别针对水源区(库区及枢纽区)、输水线路和受水区进行地下水环境影响识别,分别进行建设阶段、生产运行阶段和服务期满后的识别工作,具体识别可参考图1。需要注意的是不仅要考虑场站式工程对地下水环境(水质)方面的影响,同时要考虑施工形成新的排泄基准面排水对渗流场的影响,还要考虑地下水环境对输水水质的影响,如隧洞穿越煤系地层对输水水质的影响等。

评价工作等级的确定应根据所涉地下水环境敏感程度和主要站场(如水源区(库区及枢纽区)、输水线路、受水区、隧洞和泵站等)位置进行分段判定评价工作等级,并按相应等级分别开展评价工作。

评价范围应当包括与拟建项目有关的地下水环境保护目标和地下水环境敏感区域,必要时可扩展至拟建项目所在完整水文地质单元,以及可能存在直接补排关系的区域。选定的评价范围以能够说清拟建项目地下水环境现状,反映地下水流场、基本化学组分的空间分布特征,满足地下水环境影响预测和评价的需求为基本原则。水利水电项目的评价范围应该包括:水库浸没区、枢纽区所在水文地质单元、输水隧洞区所在水文地质单元和受水区等。地下水环境保护目标是指在拟建项目施工和运行期间,需要重点保护,避免受其影响破坏的特定对象。在水利水电工程项目中,常见的地下水环境保护目标主要包括饮用水源地、生态湿地、河流、地下水水库、泉等^[1],水利水电建设项目主要地下水环境保护目标类型见表2。

表2 水利水电建设项目主要地下水环境保护目标类型

Table 2 Main objective types of groundwater environmental protection for water conservancy and hydropower projects				
位置	时段	地下水环境保护目标	与工程的关系	标准与工作重点
库区及枢纽区	施工期	浅层地下水、库区及坝址区附近的泉水	大坝及地下建筑物施工期,砂石加工、混凝土拌合、含油废水、基坑废水和生活污水会对地下水水质有影响	执行 GB/T14848—2017 Ⅲ类标准
	运行期	库区的地下水水质	水库蓄水后可能产生的地下水水质变化	
输水线路及受水区	施工期	浅层地下水、隧洞、输水管线沿线村庄、居民泉点	隧洞开挖过程中地下水渗流场的改变和周边泉点的漏失、输水管线铺设过程中砂石加工、混凝土拌合产生的废水对地下水水质的影响	加强防渗措施,减少水下渗量及废水的入渗
	运行期	输水水质	不良地层(如煤系地层)对输水水质影响	

大理 I 段主要包括控制性工程香炉山隧洞在内的 11 条隧洞、3 个渡槽和 4 个暗涵,其中隧洞总长 113.46 km,占总线路的 98.15%。由工程类别、影响识别和敏感目标分析可知,大理 I 段的评价等级为一级,评价范围应扩展至完整的水文地质单元,详见图 2。根据线路工程特征及沿线的地质环境特征,对沿线各地下水环境保护目标及地下水环境敏感点进行统计,敏感点主要包括:线路穿越区岩溶系统补给区和水源区;黑惠江上游白汉场水库、鹤庆盆地西麓水源地、老君山景区、洱海湿地保护区、拉什海风景区;线路穿越区

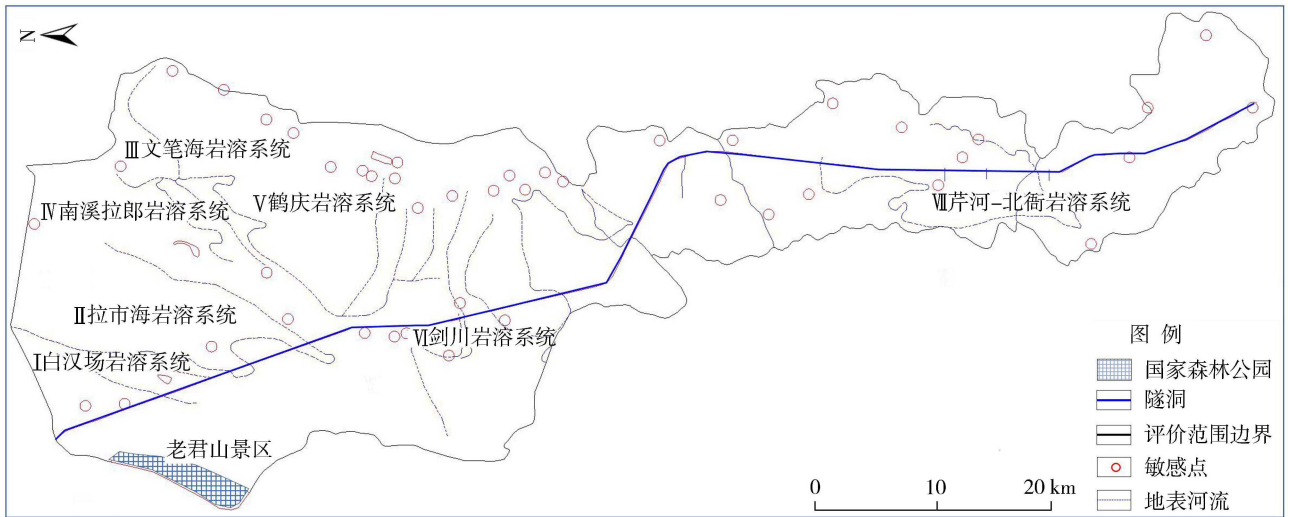


图2 案例工程评价范围及敏感点分布

Fig.2 Evaluation scope of case project and distribution diagram of sensitive points

周围地表水体和重要井、泉点;局部工业、矿产企业尾矿或弃渣堆积区;线路穿越区施工期废水集中排放区的局部含水层,详见图2。

4 现状调查与评价阶段工作重点及主要技术方法

枢纽区的主要建筑物地下水环境影响现状调查评价范围可采用公式计算法、查表法和自定义法确定^[2]。线性工程的调查评价范围包括工程边界两侧分别向外延伸200 m的区域;穿越饮用水源准保护区时,调查评价范围应至少包含水源保护区。

调查内容应包括水文地质条件调查、地下水污染源及开发利用调查、地下水环境现状监测和环境水文地质勘察与试验。水文地质条件调查包括地质构造发育情况、地层岩性分布组合条件、岩溶发育规律、地下水的补径排关系等,查明主要建筑物与输水隧洞所在水文地质单元特征,分析工程对地下水环境影响特点,绘制工程线路沿线建筑物情况分析简表,详见表3(以案例工程香炉山隧洞和长育村隧洞的部分洞段为例)。

表 3 工程线路沿线建筑物情况
Table 3 Analysis of buildings along the project line

建筑物	起止桩号	长度/m	隧洞埋深/m		穿越地层岩性	隧洞与地下水位关系	所在水单元补、径、排位置关系	对地下水环境影响特点
			一般	最大				
香炉山隧洞	DLI0+000 ~ 4+684	4 684	300 ~ 600	837	灰岩少,岩溶不发育,斜穿大栗树断裂	部分低于水位线	穿越径流区,存在富水性中等的石鼓向斜	改变地下水渗流场,输干径流途经地下水,排泄区水量减少
	DLI4+684 ~ 12+054	7 370	400 ~ 700	720.5	T2a 灰岩,桩号 DLI 009 + 331 ~ DLI 012 + 055 地表分布 T2b 灰岩	低于水位线	穿越补给区和径流区,地表分布白汉场岩溶系统及扶仲向斜	穿越非可溶岩地层,降低地下水位,揭穿白汉场岩溶系统的可能性小
	DLI12+054 ~ 16+286	4 232	350 ~ 550	633	穿越龙蟠-乔后断裂带(F10-2),主断带宽50 ~ 100 m	低于水位线	穿越补给区和排泄区,地表分布白汉场水库及拉市海岩溶系统	穿越结构松散、带宽50 ~ 100 m的断层,降低地下水位,可能会因为断层导水疏干白汉场水库、影响大厂村下降泉
长育村隧洞	DLI113+226 ~ 115+608	2 342	50 ~ 300	380	生物碎屑灰岩、硅质岩	部分低于水位线	穿越径流区及排泄区	改变地下水渗流场,疏干径流途经地下水

地下水污染源及开发利用调查项目包括工程沿线附近地下水水源地、已开采的含水层和水井的分布、开采量及开采用途(区分饮用水、生活用水、工业用水、灌溉用水等)。调查地下水开采现状,包括生产井位置、开采量以及开采地下水引起的地质环境变化。针对库区开展地下水的污染源调查,重点调查那些可能造成地下水污染的污染源,详情可见《导则》。评价区地下水开发利用现状可见表4(以案例工程香炉山隧洞部分洞段为例)。

建设项目地下水环境现状监测主要是对地下水水位、水质进行动态监测,查明调查评价区内地下水流场、地下水化学组分的空间分布情况和未来发展趋势,为后续地下水环境现状评价以及影响预测提供基础资料。

水利水电工程项目监测点布置宜采用控制性布点与功能性布点相结合的原则,主要布设在地下水环境脆弱区、环境敏感点、地下水污染源、水文地质单元边界等有控制意义的地方。监测点位可包括地质勘探井、泉眼、地下水人工取水口和专门的监测井等,在现状调查的基础上,查明所有监测点位所在的水文地质单元和相互之间的水力联系。各监测点位的布设具体要求、取样深度、监测频率、样品采集、现场测定等,可在《导则》要求的基础上,根据地下水危险性程度和环境敏感性,可适当提高和降低标准。

环境水文地质勘察与试验是在充分收集已有资料和地下水环境现状调查的基础上,为进一步查明含水层特征和获取预测评价中必要的水文地质参数而进行的工作。试验宜重点考虑地质介质的渗透参数,简化具有尺度效应的弥散参数试验。

在完成现状监测工作后应开展地下水环境现状评价工作,包括水文地质条件评价和地下水水质现状评价,划分含水层、相对隔水层,基于岩层透水率资料进行岩体渗透性分级;查明含水层(裂隙、岩溶)发育特征及空间分布,对发育进行分级评价,结合泉水出露特征分析水文地质条件。根据现状监测结果进行最大值、最小值、均值、标准差、检出率和超标率的分析,具体可见《导则》。

表 4 评价区香炉山隧洞部分洞段地下水开发利用现状

Table 4 Status of groundwater exploitation and utilization in part of Xianglushan Tunnel in the assessment area									
敏感点 编号	位置	高程/m	流量/ (L·s ⁻¹)	人口/人	牲畜 数量/头	耕地面积/ hm ²	取水口距离线路的距离/km		开发利用状况
							水平距离	垂直距离	
XL-1	石鼓大龙潭	2 050	200.0	2 891	5 719	143.6	1.50	0.04	泉口经修葺、建有水闸,建造水窖,作为石鼓村部分生活水源
XL-2	大场村	2 400	200.0	578	1 120	28.67	0.65	0.39	作为大场村村民的生产、生活水源
XL-3	文峰寺泉	2 750	300.0 ~ 500.0	1571	610	447.09	20.24	0.74	作为南溪村村民的生活水源,部分泉水汇入文笔海
XL-4	观音峡泉群	2 240	500.0	698	1 650	52.53	27.47	0.235	位于观音峡景区,分布多处泉眼,泉水大部分作为景观用水,亦有部分作为村民生活用水
XL-5	新民村泉	2 200	150.0 ~ 180.0	2 996	2 863	175.53	23.94	0.195	作为新民村的生活水源
XS-6	肯固洛水库	2 800	1.3	417	716	14.80	18.29	0.795	作为前山村的饮用水源
XL-7	小龙潭	2 211	264.6	2 260	1 900	144.00	27.31	0.206	泉口建有饮用水源保护站,抽水作为附近村民的饮用水
XL-8	大龙潭	2 213	1 200.0 ~ 1 500.0	218	91	15.63	20.32	0.208	泉口修有水库蓄水,作为附近龙潭村、兴文村等村民的生活、生产水源
XL-9	仕庄龙潭	2 220	540.0	2 586	1 414	221.15	23.53	0.215	作为新华村生产、生活水源
XLS-10	小龙潭	2 211	264.6	2 260	1 900	144.00	27.31	0.206	泉口建有饮用水源保护站,抽水作为附近村民的饮用水,部分水流向大龙潭
XLS-11	大龙潭	2 213	1 200.0 ~ 1 500.0	218	91	15.63	20.32	0.208	泉口修有水库蓄水,作为附近龙潭村、兴文村等村民的生活、生产水源

5 影响预测与评价阶段工作重点及主要技术方法

地下水环境影响预测的范围、时段、内容和方法的确定,在结合当地环境功能和环保要求的基础上,不仅要考虑评价工作等级、工程特性与环境特征等方面,更应该注重拟建项目对地下水水质、水位、水量动态变化的影响以及由此产生的主要环境水文地质问题^[1]。预测内容应包含建设项目施工期间可能对周围地下水环境造成的直接影响和间接危害,包括地下水水位和水量、地下水质的变化。

针对水利工程项目建设特点,预测内容应包括:蓄水后,对水库库区地下水水位、地下水量动态变化的影响;蓄水后,对水库库区的环境水文地质的影响,如水库浸没、岩容塌陷;主要建筑特别是地下建筑物施工与运行期的涌水量对地下水水位、地下水量、径流通道的影响;施工期间生活废水和施工废水对地下水水质的影响以及不良地层对输水水质的影响;受水区工业、灌溉、生活用退水对可利用含水层水位及水质的影响。

预测因子选取地下水水位及由水位变化所引发的相关环境水文地质问题的因子;可能受污染的地段需要选取地下水污染物作为预测因子进行污染预测。预测水量与地下水水位的方法根据水库工程、引水工程评价等级,采用类比分析法、解析法(表 5)或数值法进行预测。可采用《导则》中的解析法或者数值法预测污染物运移趋势和对地下水环境保护目标的影响。

水文地质模型概化可根据数值法,结合含水层介质结构特征,地下水补、径、排条件,边界条件等进行。地下水水位和水量预测所需的参数值包括含水层厚度、渗透系数、孔隙度等,可由现场水文地质勘测获取,给水度和压缩模量等可参考经验值,地下水水质预测所需的弥散系数等可由经验公式计算。

受退水区的地下水环境影响预测应重点考虑同类工程类比法,并初步计算和分析受水区工业用水、生活用水及灌溉用水对地下水水位及水质的影响,在现状调查时聚焦可能对地下水造成影响的泉及岩溶水区域,以及通过岩溶洼地、落水洞等对地下水的排泄。

地下水环境影响评价应重点对地下水环境敏感点的天然地下水环境进行分析,评价工程施工期、运行期对地下水用水户及地下水环境敏感点的影响;进一步分析评价工程建设及运行期地下水及地质环境的扰动影响及其爆发的环境地质隐患。

表5 涌水量解析法预测计算公式
Table 5 Analytical prediction formulas of water inflow

方法	公式	方法	公式
裘布依理论公式	$Q_s = KL \frac{H^2 - h^2}{R - r}$	吉林斯基公式	$Q_s = \frac{KH_y(h_c - H)}{2R + 0.733 \lg \left(\frac{2h_c - H}{d} \right) + 0.077}$ $\gamma = 26.89 K^{0.5709}$
大岛洋志公式	$Q_{\max} = \frac{2\pi mK(H-r)L}{\ln [4(H-r)/d]}$		
佐藤邦明公式	$Q_{\max} = \frac{2\pi mK H_0 L}{\ln \left[\tan \frac{\pi(2H_0-r)}{4h_c} \cot \frac{\pi r}{4h_c} \right]}$	科斯加可夫公式	$Q_s = \frac{2\alpha K H_0 L}{\ln R - \ln r} \quad \alpha = \frac{\pi}{2} + \frac{H_0}{R}$
	$Q_s = Q_{\max} - 0.584 \varepsilon K r$	福希海默公式	$Q_s = \frac{524LK(h/d + iK)(h_c^2 - h_0^2)}{R}$
落合敏郎公式	$Q_s = KL \left[\frac{H^2 - h^2}{R - r} + \frac{\pi(H-h)}{\ln(4R/d)} \right]$	铁路勘测规范经验公式	$Q_s = KLH(0.676 - 0.06K)$
	$R = 2S \sqrt{K h_c} \quad R = 10S \sqrt{K}$		$Q_{\max} = (0.0255 + 1.9224KH)L$

注: Q_s 为预测隧道通过含水水体稳定涌水, m^2/d ; K 为岩体的渗透系数, m/d ; L 为隧道通过含水层的长度, m ; H 为含水层中原始静水位至隧道底板的垂直距离, m ; h 为隧道内排水沟假设水深, m , 根据经验取值 $1 m$; R 为隧道涌水影响半径, m ; r 为隧道洞身横断面的等价圆半径(单隧经验取值 $3.5 m$, 双隧经验取值 $7 m$), m ; $Q_{\max}$ 为预测隧道通过含水水体可能最大涌水量, m^3/d ; m 为转换系数, 一般取 0.86 ; d 为隧道洞身横断面的等价圆直径, m , $d = 2r$; H_0 为原始静水位至洞身横截面等效圆中心的距离, m ; h_c 为含水水体厚度, m ; ε 为试验系数, 一般取 12.8 ; S 为地下水位降深, m ; h_0 为隧底至下伏隔水层的距离, m ; i 为经验系数, 取 0.105 。

6 结论阶段工作重点

以项目可行性研究报告中所提出的有关地下水环境保护措施为前提,进一步合理地提出需要补充的、适用于拟建项目地下水资源保护与污染防治方面的相关对策以及具体措施,并且给出各项措施的预计实施效果及详细的资金预算,分析其在经济、技术难度方面的可行性。在此基础上建立合理、可行、操作性强的防治地下水污染、保护地下水资源的环境管理体系。对拟建项目的主要污染源区、受工程影响区、地下水环境保护目标的地下水环境保护措施实施效果提出详细的监测方案,内容涵盖监测对象、监测点位布置及取样深度、监测内容和监测频次等方面。总结拟建项目的工程概况与工作情况、地质及水文地质条件、地下水现状调查与评价、地下水环境影响预测及地下水环境保护措施,整理地下水环境影响评价专题报告,绘制区域环境水文地质图和地下水环境影响评价图。

7 结 语

在地下水环境敏感程度识别和工作等级划分工作中,应当同时考虑拟建项目施工对周围地下水水质与地下水水位和水量的影响。

现状调查与评价阶段,水利水电工程项目宜根据评价范围及影响识别初判,采用控制性布点与功能性布点相结合的原则。查明监测点位所在水文地质单元和相互之间的水力联系,具体点位的数量、取样频次等宜在导则要求的基础上,根据地下水环境危险性程度和环境敏感性,可适当提高和降低标准。现场水文地质试验宜重点考虑地质介质的渗透参数,简化具有尺度效应的弥散参数试验。

地下水环境影响预测与评价阶段,应视水利水电工程不同建设对象建设项目评价等级而定。预测的内容应结合水利水电工程特点展开,分别开展水源区、枢纽区、引水线路区和受退水区的地下水环境影响预测与评价工作。

地下水动态监测方案的制定是地下水环境影响评价的重要组成部分,通过地下水水位与水质的动态监测可以实时了解拟建项目施工、运行期间对周围地下水环境产生的影响,以便于发现问题时能够采取有效措施、及时解决突发情况。地下水环境保护措施中应增加应急水源与替代水源措施及相关概预算的内容。

致谢:本文是基于12项“国家172项重大水利工程”地下水环境影响评价工作存在的问题、评审专家的意见与建议提炼出来的,在此十分感谢评审过程中水利部和生态环境部的专家们提出的宝贵意见和建议。

参考文献:

[1] 袁瑞强,钟钰翔,龙西亭. 洞庭湖上游平原浅层地下水水质综合评价[J]. 水资源保护,2021,37(6):121-127. (YUAN

- Ruiqiang, ZHONG Yuxiang, LONG Xiting. Comprehensive evaluation of shallow groundwater quality in upper plain of Dongting Lake[J]. Water Resources Protection, 2021, 37(6): 121-127. (in Chinese))
- [2] 许畅畅,温瑶,成思,等. 长江口滨岸浅层地下水化学组分时空分布特征及影响机制[J]. 水资源保护, 2022, 38(3): 181-188. (XU Changchang, WEN Yao, CHENG Si, et al. Spatio-temporal distribution characteristics and mechanisms of chemical composition of shallow groundwater in coastal area of Yangtze River Estuary[J]. Water Resources Protection, 2022, 38(3): 181-188. (in Chinese))
- [3] 生态环境部. 环境影响评价技术导则-地下水环境: HJ 610—2011 [S]. 北京: 生态环境部, 2011.
- [4] 生态环境部环境工程评估中心编. 环境影响评价技术导则与标准[M]. 北京: 中国环境出版社, 2016.
- [5] 朱学愚, 钱孝星. 地下水环境影响评价的工作要点[J]. 水资源保护, 1998, 6(4): 48-53. (ZHU Xueyu, QIAN Xiaoxing. Key points of groundwater environmental impact assessment[J]. Water Resources Protection, 1998, 6(4): 48-53. (in Chinese))
- [6] 岳强, 范亚民, 耿磊, 等. 地下水环境影响评价导则执行过程中遇到的问题及建议[J]. 环境科学与管理, 2012, 37(10): 174-177. (YUE Qiang, FAN Yamin, GENG Lei, et al. Problems and suggestions in implementation of technical guidelines for groundwater environmental impact assessment[J]. Environmental Science and Management, 2012, 37(10): 174-177. (in Chinese))
- [7] 龚星, 陈植华, 孙璐. 地下水环境影响评价若干关键问题探讨[J]. 安全与环境工程, 2013, 20(2): 95-99. (GONG Xing, CHEN Zhihua, SUN Lu. Discussion on the critical issues of the environmental impact assessment of groundwater[J]. Safety and Environmental Engineering, 2013, 20(2): 95-99. (in Chinese))
- [8] SOMBEKKE H D M, VOORHOEVE D K, HIEMSTRA P. Environmental impact assessment of groundwater treatment with nanofiltration[J]. Desalination, 1997, 113(2/3): 293-296.
- [9] RAMACHANDRAN A, KRISHNAMURTHY R R, JAYAPRAKASH M, et al. Environmental impact assessment of surface water and groundwater quality due to flood hazard in Adyar River Bank[J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 39(2): 125-132.
- [10] 孙亚. 滨海地区地下水资源开发利用对生态环境的影响研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2021.
- [11] 张亚年, 栾约生, 朱云法, 等. 黄盖湖流域水利工程建设对地下水流场的影响研究[J]. 地下水, 2018, 40(6): 63-65. (ZHANG Yanian, LUAN Yuesheng, ZHU Yunfa, et al. Influence of water conservancy construction on groundwater flow field in Huanggai lake basin[J]. Groundwater, 2018, 40(6): 63-65. (in Chinese))
- [12] 牛蓓蓓. 三峡工程对江汉平原西部地下水环境时空变化影响研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2016
- [13] 汤立群, 卢单, 赵慧明, 等. 河口滩涂围垦对水动力环境影响研究综述[J]. 水利水电科技进展, 2020, 40(6): 78-84. (TANG Liqun, LU Dan, ZHAO Huiming, et al. Review of impacts of tideland reclamation on hydrodynamic environment near estuarine area[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2020, 40(6): 78-84. (in Chinese))
- [14] 顾炉华, 赖锡军. 七浦塘引水对阳澄湖河网水环境影响的模拟研究[J]. 水资源保护, 2018, 34(2): 88-95. (GU Luhua, LAI Xijun. Simulation study of water environment influence on Yangcheng Lake river networks by Qipu River water diversion project [J]. Water Resources Protection, 2018, 34(2): 88-95. (in Chinese))
- [15] 王丽娟, 宋翹楚, 吴为, 等. 江苏沿海滩涂地下水埋深及矿化度变化规律[J]. 水利水电科技进展, 2021, 41(6): 52-57. (WANG Lijuan, SONG Qiaochu, WU Wei, et al. Variation law of groundwater depth and mineralization of coastal tidal flats in Jiangsu Province[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2021, 41(6): 52-57. (in Chinese))
- [16] 张婧, 马贵宏, 高雅, 等. 华北山前平原典型井灌区地下水水位变化影响因素分析[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2022, 50(1): 21-28. (ZHANG Jing, MA Guihong, GAO Ya, et al. Analysis on influencing factors of groundwater level change in typical well irrigation area in piedmont plain of North China[J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2022, 50(1): 21-28. (in Chinese))
- [17] 李豫馨, 漆继红, 许模, 等. 线性工程地下水环境影响评价中定量预测与定级问题研究[J]. 安全与环境工程, 2016(1): 70-74. (LI Yuxin, QI Jihong, XU Mo, et al. Study on quantitative forecast and grading issues of groundwater environmental impact assessment for linear engineering[J]. Safety and Environmental Engineering, 2016(1): 70-74. (in Chinese))
- [18] 冯雪, 赵鑫, 李青云, 等. 水利工程地下水环境影响评价要点及方法探讨: 以某水电站建设项目为例[J]. 长江科学院院报, 2015, 32(1): 39-42. (FENG Xue, ZHAO Xin, LI Qingyun, et al. Key points and methods of assessing the environmental impact of water projection groundwater: a case study[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2015, 32(1): 39-42. (in Chinese))
- [19] 陈鸿汉, 梁鹏, 刘明柱. 新时期地下水环境影响评价工作思路[J]. 环境影响评价, 2022, 44(2): 24-27. (CHEN Honghan, LIANG Peng, LIU Mingzhu. Thoughts on groundwater environmental impact assessment works in the new era[J]. Environment Impact Assessment, 2022, 44(2): 24-27. (in Chinese))