

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2022.01.12

引用格式: 刘一鸣,何阳,熊雄,等.常德市地下水应急水源地应急供水可行性评价及方案研究[J].中国地质调查,2022,9(1): 115-124. (Liu Y M, He Y, Xiong X, et al. Feasibility assessment and scheme research on emergency water supply of groundwater emergency source in Changde City[J]. Geological Survey of China, 2022, 9(1): 115-124.)

常德市地下水应急水源地应急供水 可行性评价及方案研究

刘一鸣, 何阳, 熊雄, 徐定芳, 庞铁

(湖南省地质调查院, 湖南长沙 410116)

摘要:寻找地下水应急水源地、建立应急供水机制,是城市发生日常供水障碍时保障居民用水安全、维护社会稳定的重要措施。通过分析常德市规划区水文地质条件,圈定了5个地下水应急水源地,总结了同类型城市地下水应急水源地的选址原则,并从水量、水质、开采能力3个方面对水源地进行了可行性分析。结合现有城市供水管网及地下水开采井保留情况,分别考虑了人均用水量最低标准20 L/d和一般标准50 L/d两种状态下的应急供水方案。应急供水每人20 L/d状态下,保留井的现有供水能力可以满足应急供水需求,而应急供水每人50 L/d状态下,河洑水源地和芦荻山水源地保留井的现有供水能力不足,建议增加开采井以满足应急供水需求。

关键词:常德市; 应急水源地; 地下水资源; 供水方案

中图分类号: P641

文献标志码: A

文章编号: 2095-8706(2022)01-0115-10

0 引言

水源是人类生存和发展的基本需求。近年来,我国频发地震、台风、干旱、水体污染等自然灾害和人为突发事件,这些突发性灾害和极端性气候事件往往造成原有供水系统供水能力大幅度下降甚至瘫痪,危及群众的饮水安全和区域社会的稳定^[1-3]。

我国中小城市关于地下水应急水源地的研究程度普遍较低,而且有的年代比较久远,水文地质条件、人口数量以及供水现状都发生了很大的变化。例如,湖南省常德市有关城市应急水源地的研究还停留在1999年的“湖南省常德市武陵区鼎城区区域水文地质调查”^[4]阶段,虽然初步查明了区内水文地质条件,对地下水资源量进行了计算,但是并未对应急供水方案做相关研究,而且随着沅江水位及地下水位的变化,两者之间的补给关系也发生了改变,地下水资源量需要重新进行论证。因此,本文旨在通过分析常德市规划区水文地质条件重新计算其地下水资源量,根据现有供水管网、人口分布、用水需求等综合因素圈定地下水应急水源地,并提出应急供水方案,为特殊时期城市应急供水提供科学依据。

1 研究区概况

1.1 研究区范围

常德市是湘西北地区的区域性中心城市、交通枢纽和流通中心,是以轻型工业为主的现代化城市,地表水体发育,沅江横穿城区中部。本次研究区以常德城市规划区为主,包括武陵区、鼎城区的武陵镇、灌溪镇、河洑镇、石门桥镇、斗姆湖镇和白鹤山乡、德山经济技术开发区和柳叶湖旅游度假区、太阳山林场,总面积644.436 km²。

1.2 供水现状

根据《湖南省常德市城市总体规划(2009—2030)》^[5],至2030年,中心城区总人口在196.8万人左右。目前常德市中心城区供水有沅南水厂和沅北水厂2个水厂,其水源全部来自沅江的地表水,2个水厂的取水口分布于主城区沅江河道,距离较

收稿日期: 2021-01-21; 修订日期: 2021-07-19。

基金项目: 湖南省自然资源厅“湖南省常德市城市地质环境综合调查评价(编号: 201703011)”项目资助。

第一作者简介: 刘一鸣(1990—),男,工程师,主要从事水工环地质勘查评价工作。Email: 48955080@qq.com。

通信作者简介: 何阳(1988—),男,高级工程师,主要从事城市地质调查研究工作。Email: 694612453@qq.com。

近,现有供水系统存在供水水源单一、取水口集中、第二水源保障程度不足等问题。若沅江水质受到污染而无法饮用,城市供水系统可能面临中断风险。

2 水文地质条件

研究区大面积为第四系覆盖,占 84.1%,基岩主要出露在太阳山一带,主要岩性为粉砂质板岩、石英砂岩和砂质页岩,红层主要出露在柳叶湖东北部、德山开发区局部地区,碳酸盐岩主要分布在灌溪镇至太阳山西部一带^[4]。

2.1 地层和构造

2.1.1 地层

研究区位于江汉—洞庭盆地西南缘,属江南地层区,第四系分布广泛,前第四系(基岩)主要集中于研究区北部及西北部,为一套沉积岩,区内沉积地层由老到新有青白口系、南华系、震旦系、寒武系、奥陶系、白垩系和古近系。

青白口系、南华系、震旦系主要出露在太阳山一带,奥陶系和寒武系主要分布在太阳山以西至灌溪

镇一带,出露面积较小,白垩系和古近系主要出露在柳叶湖东部和东北部,另外德山片区有小面积出露。

研究区受不同时期构造活动及环境气候影响,且处于盆地边缘向中心过渡地带,区内第四系层序、岩性特征在横向上变化较大。因此,依照地貌单元把第四系划分为抬升区和凹陷区(表 1)。

表 1 研究区第四系地层划分
Tab.1 Division of Quaternary strata in the study area

时代	抬升区		凹陷区	
	组名	代号	组名	代号
全新统	冲洪积、残坡积层	Qh、Qh ^{eld}	冲洪积	Qh
上更新统	白水江组	Qp _{3bs}	坡头组	Qp _{2-3p}
中更新统	马王堆组	Qp _{2mw}	洞庭湖组	Qp _{2d}
	白沙井组	Qp _{2b}		
下更新统	常德组	Qp _{1cd}	汨罗组	Qp _{1m}
			华田组	Qp _{1ht}

抬升区第四系主要指分布于盆地边缘丘陵、丘岗地区的第四系堆积体,多有天然或人工第四系露头剖面。这些地层主要分布在常德—益阳断裂(F₁₀)南西,河洑—灌溪断裂(F₄)西侧(图 1)。

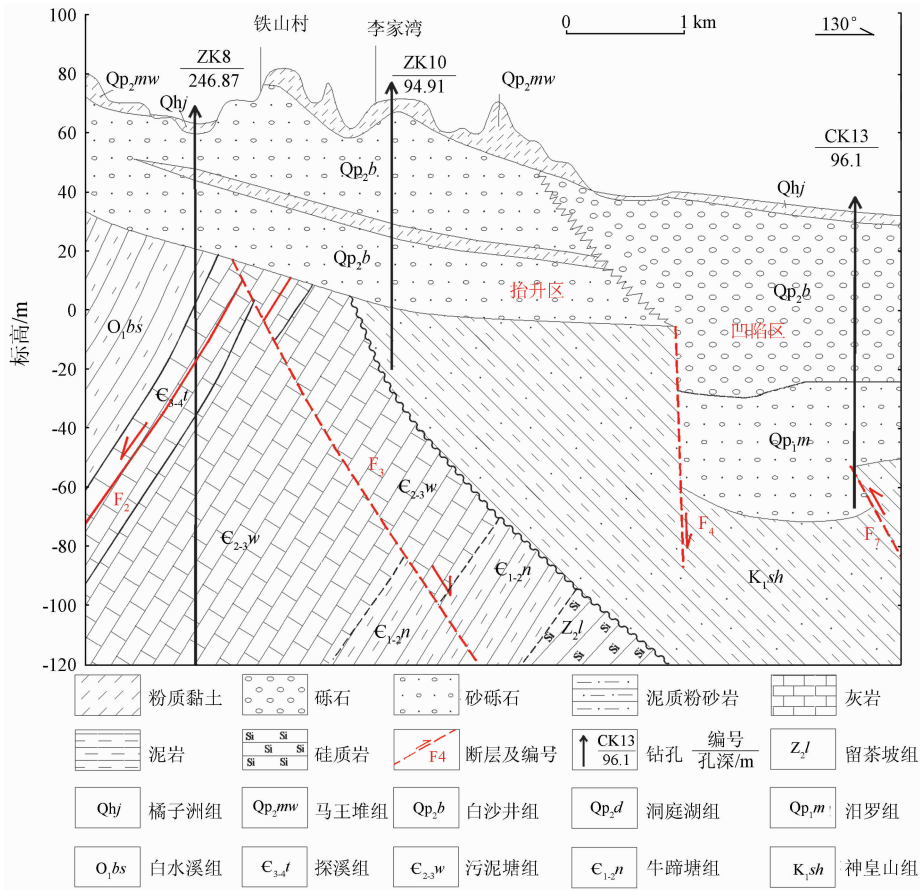


图 1 抬升区—凹陷区地质剖面
Fig.1 Geological profile of uplift and depression area

抬升区内可见前第四系基岩或基座出露,地层厚度不大,这些地区在下更新统时期普遍接受沉积,往后主要以抬升作用为主。

凹陷区第四系主要指现代河湖冲积平原及波状平原、岗状平原内的第四系。这些地层主要分布于常德凹陷中,浅表多为全新统曲流河相沉积物,由下往上依次为华田组、汨罗组、洞庭湖组、坡头组。

受不同时期构造升降差异影响,不同地区地层发育的齐全度不一。整体而言,常德凹陷东部芦荻山一带第四系发育较齐全,而在常德凹陷西北部则常缺失华田组或汨罗组等。此外,受现代沅江摆动影响,沅江两岸部分地区缺失坡头组。

2.1.2 构造

(1)褶皱。研究区主体位于常德凹陷区内,北部狭长部分位于太阳山凸起区内(图 1)。太阳山凸起由背斜、单斜和次一级褶皱组成,呈 NNE 20° 方向展布(图 2)。背斜核部为冷家溪群和板溪群,西翼为南华系、震旦系、寒武系和零散的奥陶系、

志留系,倾向 NW,倾角 40° ~ 56°;东翼被断裂切割,并被古近系、白垩系覆盖。主要褶皱有太阳山背斜、燕子窝背斜、翘扁担山向斜。

(2)断裂。研究区断裂构造主要分布于北部—北西部太阳山—马头山一带,主要生成于印支期、燕山期和古近纪。依其展布方向可分为 NEE—NE 向、NNE 向 2 组,NNE 向断裂规模较大,多呈弯曲状展布,与主体褶皱轴向平行,NEE—NE 向断裂规模较小,被 NNE 向断裂切割、限制较明显。其中代龚坡断裂(F_3)、畚田坪—冯家坪断裂(F_2)、啞口坡断裂(F_5)为充水断裂,富水性丰富—中等。

2.2 地下水类型及富水性

根据地下水赋存条件、水理性质及水动力特征,将区内地下水划分为松散岩类孔隙水、红层裂隙—孔隙水、碳酸盐岩类裂隙溶洞水、基岩裂隙水 4 个类型(图 3)。

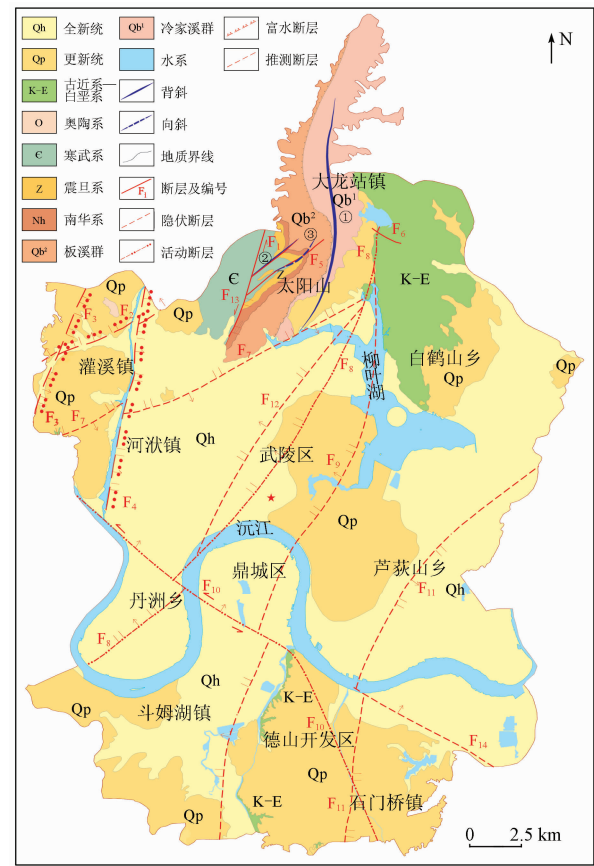


图 2 研究区构造纲要图

Fig. 2 Outline map of geological structure in the study area



图 3 研究区地下水类型及富水性分带

Fig. 3 Zoning map of groundwater types and water abundance in the study area

2.2.1 松散岩类孔隙水

按照含水岩组的垂向特征及分布,松散岩类孔

隙水可分为单层水区、双层水区和三层水区(图4)。

(1)单层水区。主要分布在灌溪镇、丹洲乡及沅江以南。抬升区单层水含水岩组是由马王堆组、白水江组和白沙井组砂砾石组成,分选性较好,结构稍密,厚度11.95~66.00 m,单井涌水量188.55~1 405.47 m³/d,单位涌水量0.253 6~1.936 5 L/(s·m),富水性中等至丰富,局部由常德组砂砾石组成,厚度1.91~13.53 m,水量贫乏。坳陷区单层水含水岩组由橘子洲组、坡头组、洞庭湖组砂质黏土和砂砾石组成,分选性好,结构松散,含水岩组厚度12.60~43.95 m,单井涌水量1 553.3~8 685.32 m³/d,单位涌水量2.241 6~32.855 7 L/(s·m),富水性丰富。

(2)双层水区。主要分布在河淤镇、中心城区和芦荻山西部,上层水含水岩组由橘子洲组砂质黏土和洞庭湖组的砂砾石组成,分选性较好,结构较

松散,厚度13.37~63.15 m,单井涌水量1 288.24~6 514.37 m³/d,单位涌水量4.952 4~16.733 4 L/(s·m),富水性丰富。下层由汨罗组砂砾石组成,分选性较好,结构稍密,厚度12.59~37.93 m,单井涌水量377.17~976.54 m³/d,单位涌水量0.561 1~1.482 5 L/(s·m),富水性中等,承压。

(3)三层水区。主要分布在芦荻山东部及南部的沅江两侧,上层水含水岩组由橘子洲组、坡头组、白水江组和洞庭湖组砂质黏土及砂砾石组成,厚度10.85~38.68 m,单井涌水量1 039.39~3 817.41 m³/d,单位涌水量1.817 2~12.733 8 L/(s·m),富水性丰富。中层水含水岩组由汨罗组砂砾石组成,厚度13.45~33.82 m,单井涌水量788.83~840.93 m³/d,单位涌水量0.778 6~1.845 9 L/(s·m),富水性中等,承压。下层水含水岩组由华田组砂砾石组成,厚度18.16~43.52 m,水量贫乏至中等,承压。

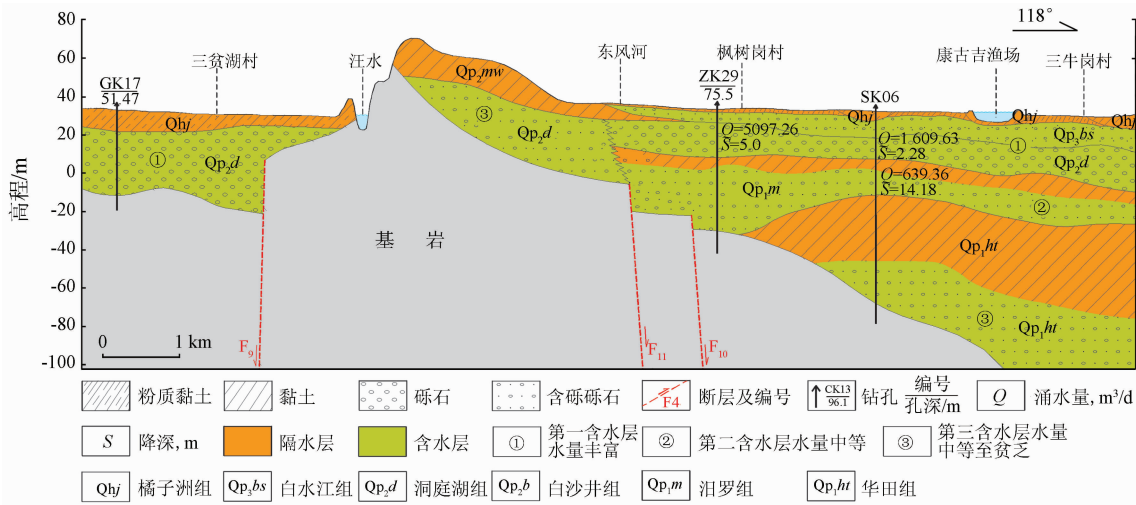


图4 研究区地下水含水层、隔水层剖面结构示意图

Fig. 4 Profile structure of groundwater aquifer and aquiclude in the study area

2.2.2 红层裂隙-孔隙水含水岩组

研究区红层出露面积为38.55 km²,主要分布在太阳山以西柳叶湖东北部地区。含水岩组由古近系至白垩系枣市组(E₁z)、百花亭组(KEb)、神皇山组(K₁sh)地层组成,主要岩性为泥质粉砂岩、泥岩、石英砂岩、砂砾岩等,泉点自然流量为0.05~0.25 L/s,富水性贫乏至中等。

2.2.3 碳酸盐岩类裂隙溶洞水含水岩组

研究区内碳酸盐岩类地层出露面积为5.25 km²,主要分布在太阳山西部、唐家桥村以北地区。已探知的岩溶水(包括裸露型、覆盖型和埋藏型岩溶水)分布面积为28.31 km²,主要分布在太阳山西部至

灌溪镇乐福村一带,含水岩组由寒武系污泥塘组(Є₂₋₃w)和探溪组(Є₃₋₄t)组成,主要岩性为泥质灰岩、白云质灰岩夹碎屑岩,岩溶发育,单井涌水量为1 154.39~2 923.27 m³/d,单位涌水量0.475 6~16.552 4 L/(s·m),富水性丰富。

2.2.4 基岩裂隙水含水岩组

分布在太阳山一带,含水岩组由青白口系、震旦系、南华系组成,地层岩性主要为石英砂岩、砂质板岩等变质岩类,泉点自然流量为0.02~0.55 L/s,富水性贫乏至中等。

2.3 地下水补给、径流、排泄条件

区内位于低阶地的松散岩类孔隙水主要分布

于沅江两岸,阶地平坦宽阔,其补给具多源性:一是接受大气降水的入渗补给,二是接受河水的侧向补给;高阶地含水层的地下水不受河水补给,主要靠大气降水补给,往低级阶地径流、排泄。

碳酸盐岩出露不广,大部分属于覆盖型和埋藏型,因此,碳酸盐岩裂隙溶洞水的主要补给来源是大气降水通过第四系地层间接补给,另外在北部和西部尚能得到部分外围基岩裂隙水的侧向补给。在天然条件下,地下水分别从北向南、从北西向东南径流与孔隙水连通向沅江排泄。

红层水和基岩裂隙水的主要补给来源是大气降水,沿风化构造裂隙渗入地下,赋存于基岩裂隙中。地下水径流途径较短,流动方向与地形坡度一致,水力坡度稍缓于地形坡度,多以泉的形式在沟谷和坡坎外排泄。

2.4 地下水与地表水的水力联系

2.4.1 松散岩类孔隙水与地表水

低阶地的松散岩类孔隙水与地表水存在相互补给的关系。研究区每年 5—6 月为雨季,河流水位一般高于地下水位,低阶地的松散岩类孔隙水会得到河水的侧向补给,其他时期一般地下水位高于河水位,地下水向河流径流排泄,补给地表水。高阶地的松散岩类孔隙水地下水位一般高于河流水位,通过径流向河水排泄,不会得到河水的侧向补给。

2.4.2 碳酸盐岩裂隙溶洞水与地表水

区内碳酸盐岩出露较少,绝大部分覆盖于第四系或者红层之下,一般不会受到地表水直接补给,其地下水一般以泉的形式排泄于地表,或者与孔隙水连通向沅江排泄,补给地表水。

区内碳酸盐岩覆盖层较厚,且浅部岩溶不发育,与地表水联系不密切,因此短期开采岩溶水不会引起地面塌陷。根据调查情况来看,灌溪地区多年使用的集中供水井采用岩溶水,并未发生过地面塌陷现象。

2.4.3 基岩裂隙水与地表水

浅部风化带的基岩裂隙水一般属于潜水性,会沿着地形坡度向地表水径流排泄。深层基岩裂隙水具有承压性,一般与地表水无直接水力联系。

2.5 地下水化学特征

2.5.1 水化学类型

本次研究在区内采取了 222 组水样,根据测试结果进行归纳合并,最终确定分为 9 种基本类型(图 5)。其中占比最大的 3 种类型为:① $\text{HCO}_3 - \text{Ca} \cdot \text{Mg}$ 型,占比 35.14%,主要分布在沅江以北的大

部分地区;② $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4 - \text{Ca} \cdot \text{Mg}$ 型,占比 22.97%,主要分布在武陵区以南至斗姆湖镇一带;③ $\text{HCO}_3 - \text{Ca}$ 型,占比 16.67%,主要分布在灌溪镇。

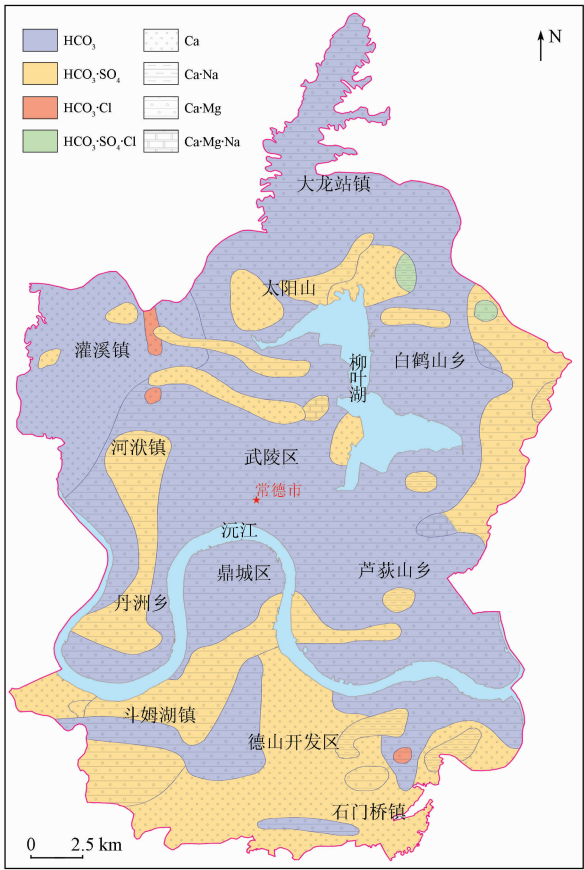


图 5 研究区地下水化学类型分布

Fig.5 Distribution of chemical types of groundwater in the study area

2.5.2 pH 值、硬度和矿化度

研究区地下水 pH 值以中性为主(6.5 ~ 8.0),占 87.84%,弱酸性次之。浅变质岩裂隙水以弱酸性偏多。

按硬度分类,地下水以软水和微硬水为主,所占比例分别为 33.78% 和 39.64%,分布在研究区大部分地区;极软水次之,所占比例为 16.22%,主要分布在白鹤山乡;硬水所占比例为 9.01%,主要分布在芦荻山乡和灌溪镇。

本次所采水样总矿化度均小于 1 000 mg/L,所以区内地下水一般为低矿化度淡水,绝大部分矿化度小于 500 mg/L,其所占比例超过 97%,基岩裂隙水的矿化度则多小于 100 mg/L。

综上,区内地下水水化学主要特征是软 - 微硬水、中性、低矿化度淡水。

3 地下水应急水源地

3.1 应急水源地选址

影响地下水应急水源地选址的因素较复杂,要综合考虑人口分布、城市建设规划、地下水分布、水质情况、现状保留井和供水设施、建井用水用电交通条件、当前地质灾害问题、环境问题等要素。城市建设重点规划的地段即为人口相对集中的区域,是主要供水方向^[6-7]。

3.1.1 选址原则和技术要点

(1)地下水资源丰富,补给量充足,水质良好,符合 GB/T 14848—1993《地下水质量标准》^[8]Ⅲ类水标准,或者经过简单处理后符合 GB 5749—2006《生活饮用水卫生标准》^[9];

(2)结合城市发展方向,临近城区,优先考虑人

口密度大的地区;

(3)不影响城市规划建设,不与土地利用类型冲突,避开重要基建区、文物保护区、生态保护区、城市绿心区等区域;

(4)充分利用现有的城市供水管网及保留的供水井,节省地下水的开采和运输成本;

(5)避开地质灾害易发区域,或者由于地下水开采容易引发地质环境问题的区域;

(6)选定区域的边界尽量符合水文地质单元的边界条件,且区内地下水的水位埋深较浅,便于开采。

3.1.2 选址情况

结合以往水工环地质研究成果,选定了 5 处地下水应急水源地,分别为灌溪水源地、河洑水源地、丹洲水源地、芦荻山水源地、德山水源地,各水源地具体情况见表 2。

表 2 地下水应急水源地情况一览表
Tab. 2 Details of the emergency groundwater sources

水源地	面积/ km ²	分布特征	地下水 类型	水位 埋深/m	单井水量/ (m ³ ·d ⁻¹)	富水 等级	可开采资源量/ (m ³ ·d ⁻¹)
灌溪水源地	26.67	在灌溪镇一带,属于侵蚀堆积高阶地,含水层为寒武系的灰岩,构造发育,水量丰富,水质良好	岩溶水	3.0~20	1 154~2 923	丰富	13 477.58
河洑水源地	29.43	属于低丘和侵蚀堆积高级阶地,主要含水层为 Qp ₂ b、Qp ₂ d 砂砾石,水量丰富,水质良好	松散岩类 孔隙水	3~18.6	2 092~2 889	丰富	34 438.59
丹洲水源地	18.14	分布在丹洲垸一带,属于低级阶地,主要含水层为 Qp ₂ d 砂砾石,含水均一,水量丰富,水质良好	松散岩类 孔隙水	0.5~5.8	1 609~4 579	丰富	23 418.35
芦荻山水源地	50.33	分布在芦荻山乡一带,属于低级阶地,开采条件良好,主要供水层为 Qp ₂ d 砂砾石,含水均一,水量丰富,水质良好	松散岩类 孔隙水	2.5~7.6	1 039~3 817	丰富	60 354.22
德山水源地	48.91	属于低级阶地,开采条件良好,主要供水层为 Qp ₃ bs、Qp ₂ d 砂砾石,含水均一,水量丰富,水质良好	松散岩类 孔隙水	2.3~12.5	1 609~5 097	丰富	41 748.38

3.2 可行性评价

根据地下水应急水源地选址的技术要求,从可采资源量、水质、现有取水能力 3 个方面进行可行性评价。

3.2.1 可采资源量可靠性评价

通过计算得出各个水源地的地下水天然补给量和可开采资源量,采用补开比(补给资源量与可开采资源量的比值)对可采资源的可靠性进行评价。补开比越高,可采资源量的可靠程度越高,补开比大于 2,可靠性高,小于 1,可靠性低,两者之间的可靠程度为中等^[10]。

经计算,德山水源地、芦荻山水源地和灌溪水源地的补开比分别为 2.17、2.05、2.03,可靠程度较高,河洑水源地和丹洲水源地补开比分别为 1.59 和 1.18,可靠程度中等(表 3)。

表 3 可采资源量可靠性分级
Tab. 3 Reliability classification of
recoverable resources

水源地	天然补给资源 量/(m ³ ·d ⁻¹)	可开采资源量/ (m ³ ·d ⁻¹)	补开比	可靠 程度
灌溪水源地	27 294.58	13 477.58	2.03	高
河洑水源地	54 655.47	34 438.59	1.59	中等
丹洲水源地	33 489.14	23 418.35	1.18	中等
芦荻山水源地	123 572.73	60 354.22	2.05	高
德山水源地	90 593.98	41 748.38	2.17	高

3.2.2 水质评价

本次地下水质量评价参照 GB/T 1484—2017《地下水质量标准》,根据以往资料和实际情况考量可能存在的污染物,对所采的 222 组水样选取了 pH 值、SO₄²⁻、Cd、Hg、As、Cu、Pb、Ag、Cr⁶⁺、Zn、Fe、Mn、Al、NO₂⁻、NO₃⁻、F 这 16 个指标进行检测。

根据测试结果,区内遭受污染的水样有 53 组,

其中 pH 值、Pb、Zn、Mn、Fe、Al 这 6 个项目检出超标(表 4),其他 10 个项目未出现超标情况。根据单项污染指数评判原则,其污染指数越大污染越严重。

表 4 地下水主要污染物及污染程度统计

	pH	Pb	Zn	Mn	Fe	Al
污染数量/个	9	5	1	29	26	21
污染率/%	7.69	4.27	0.85	24.79	22.22	17.95
最大含量/(mg·L ⁻¹)	-	0.024	5.862	6.217	5.682	20.826
污染指数	-	2.24	5.86	62.17	18.94	34.13

主要污染物为铁和锰,均为原生污染,分布范围较广,从水平上看,其含量从高阶地到低阶地逐渐增加,从空间上看,其含量由上至下逐渐增加,主要分布在第二和第三含水层,第一含水层的铁锰含量较低,建议各水源地主要采用第一含水层的地下水。其次是铝,主要分布在居民区周边和工业园区。另外,锰有 29 处检出超标,最大污染指数为

62.17;铁有 26 处超标,最大污染指数为 18.94;铝有 21 处超标,最大污染指数为 34.13;铅和锌的污染样品少,污染程度低。

根据内梅罗指数法对区内地下水质量进行分区评价^[11],分区结果见图 6。根据分区情况来看,除了灌溪水源地西部以及河洑水源地东部靠近柳叶湖的小片区域地下水质量一般,其他水源地选定区域水质均为优良或者良好。

3.2.3 现有取水能力评价

对各应急水源地地区内的保留井(包括水文地质钻孔和集中供水井)进行统计,分析其现有取水能力(表 5)。从现有供水井的情况来看(图 7),各水源地初

表 5 应急水源地保留井现有取水能力统计
Tab.5 Statistic of existing water supply capacity of reserved wells in emergency water sources

水源地	保留井数量/个	总涌水量/(m ³ ·d ⁻¹)	最大取水能力/(m ³ ·d ⁻¹)
灌溪水源地	9	8 829.46	15 451.56
河洑水源地	5	7 681.18	13 442.07
丹洲坑水源地	4	9 338.69	16 342.71
芦荻山水源地	8	8 501.57	14 877.75
德山水源地	7	9 634.59	16 860.53
合计	33	43 985.49	76 974.61

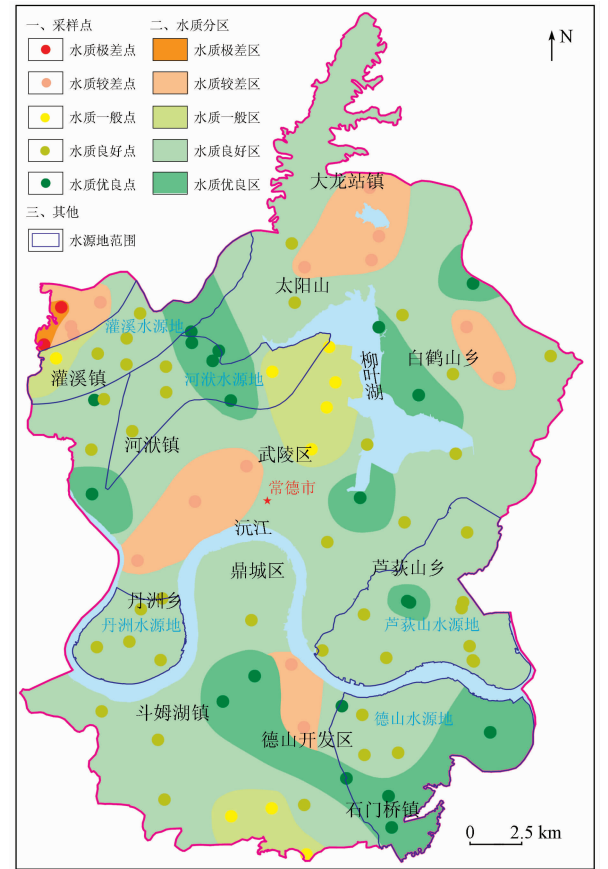


图 6 研究区地下水质量评价分区

Fig.6 Zoning map of groundwater quality evaluation in the study area

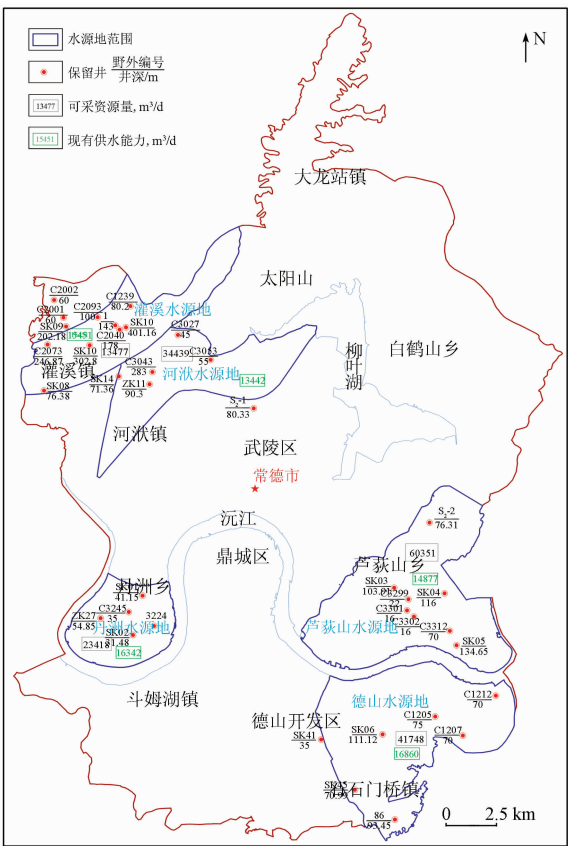


图 7 研究区应急水源地范围及保留井分布

Fig.7 Scope of emergency water sources and distribution of reserved wells in the study area

步具备应急供水的能力,但是要作为长期使用的应急供水水源,仍需编制应急供水方案,根据统筹规划及供水需求合理补充开采井,完善供水管网。

3.3 应急取水原则及供水方案

本次圈划出的5处水源地普遍具如下特点:大多分布于沅江河谷平原,可采资源量大,水质良好,灌溪水源地为碳酸盐岩岩溶水,其余4个水源地均为第四系松散岩类孔隙水,各水源地均保留有一定数量的开采井可供应急开采,地下水开采条件好,离中心城区较近,开发利用便利,取水工程建成后易集中开采并形成一定供水规模,连通城市水网便捷,是较为理想的地下水应急水源地。

3.3.1 应急取水原则

(1)正常储备、应急开采。对应急地下水的取用条件加以限制,坚持正常期储备、应急期开采的原则,只有在发生居民用水安全突发事件并对居民基本生活用水造成严重威胁时才可动用。地下水的开采具有间歇性、短期性特点,这样即使应急期有所超采,经长时间的停产和地下水系统的自然循环补给,也不会产生明显的环境地质问题^[12]。

(2)利用旧井、适当补充。区内保留有一部分水文地质钻孔或者已停止使用的集中供水井,可以充分利用这些井作为应急取水井,在保留井缺少的地区适当补充开采井,以保障在应急供水时期有足够的取水通道。

(3)制定方案、因地制宜。制定好水源地应急供水方案,根据不同城镇或区块的用水需求以及各水源地地下水资源量、开采能力等情况统筹规划,合理安排开采量,以节约应急供水成本,也能保障应急供水的持续。

(4)动态监测,防治污染。建立地下水动态监测系统,用于监测地下水的水位变化和水质变化。

尤其在雨季,当发生沅江地表水源污染而启动应急供水的时候,由于地表水向地下水的补给关系,要实时监测沅江周边水源地的地下水水质是否受到地表水污染的影响,确保居民用水安全。

3.3.2 应急供水方案

根据近年来常德城市居民人均生活用水量,参照 GB/T 50331—2002《城市居民生活用水量标准》^[13],确定研究区人均生活用水需求最低值为20 L/d,一般值为50 L/d。

综合区内人口分布特点、水源地分布位置及水质情况等因素,分别提出应急供水每人20 L/d和50 L/d这2种标准下的供水方案^[14],为了提高供水方案的保障程度,以及防止由于过量开采地下水引起地面塌陷等环境地质问题,各方案中地下水的开采率控制在60%以下^[15]。

(1)每人20 L/d标准。到2030年,研究区内总人口数将达到196.8万,其中,中心城区人口数量达到155万,灌溪镇16万,河洑镇4万,花山片区4万,白鹤山乡7万,芦荻山乡2.8万,石门桥镇4万,斗姆湖镇4万。应急供水按每人20 L/d标准计算,总需水量为393 600 m³/d,5个水源地总可开采量为243 121.68 m³/d,可满足196.8万人的应急需水量。各水源地可供人口数量分别为:灌溪水源地67.38万,河洑水源地267.9万,丹洲水源地141.9万,芦荻山水源地529.6万,德山水源地208.7万。考虑到距离水源地远近、保留井情况、现有输水管道情况、开采成本等因素,对应急供水每人20 L/d标准下各水源地开采量及供水区域提出了供水方案,见表6。

这个方案中各水源地的建议开采量均小于其现有最大取水能力,不需要补充开采井就可以满足应急供水需求,但是需要对目前的供水管网进行优化和完善。

表6 应急供水每人20 L/d标准下的供水方案

Tab.6 Water supply scheme under the standard of emergency water supply of 20 L/d per capita

水源地	可开采量/ (m ³ ·d ⁻¹)	建议开采量/ (m ³ ·d ⁻¹)	开采率/ %	最大取水能力/ (m ³ ·d ⁻¹)	需供水 人数/万	供水区域
灌溪水源地	13 477.58	4 000.00	29.68	15 451.56	20.0	灌溪镇、花山片区
河洑水源地	34 438.59	7 600.00	22.07	13 442.07	38.0	河洑镇、江北城区
丹洲水源地	23 418.35	8 000.00	34.16	16 342.71	40.0	丹洲乡、江北城区、斗姆湖镇
芦荻山水源地	60 354.22	13 160.00	21.80	14 877.75	65.8	江南城区、江北城区、白鹤山乡、芦荻山乡
德山水源地	41 748.38	6 600.00	15.81	16 860.53	33.0	江南城区、德山片区、石门桥镇
合计	173 437.12	39 360.00	22.69	76 974.61	196.8	

(2)每人 50 L/d 标准。到 2030 年,市区人口达到 196.8 万,应急供水按每人 50 L/d 标准下的总需水量为 98 400 m³/d。5 个水源地可开采量为 243 121.68 m³/d,可满足 196.8 万人的应急需水量。此外,区内水源地还有较大规模的储存量,可对短时间内取水量增加起到调节作用。考虑到可采资源量大小、距离水源地远近、保留井情况、现有

输水管道情况、开采成本等因素,对应急供水每人 50 L/d 标准下各水源地开采量及供水区域提出了供水方案(表 7)。

在这个供水方案中,河洑水源地、芦荻山水源地的建议开采量均大于现有最大取水能力,需要补充开采井,扩大开采能力,以达到建议开采量,满足应急供水需求。

表 7 应急供水每人 50 L/d 标准下的供水方案

Tab.7 Water supply scheme under the standard of emergency water supply of 50 L/d per capita

水源地	可开采量/ (m ³ ·d ⁻¹)	建议开采量/ (m ³ ·d ⁻¹)	开采率/ %	最大取水能力/ (m ³ ·d ⁻¹)	需供水 人数/万	供水区域	采取 措施
灌溪水源地	13 477.58	8 000.00	59.36	15 451.56	16	灌溪镇	—
河洑水源地	34 438.59	20 000.00	58.07	13 442.07	40	河洑镇、花山片区、江北城区	补充开采井
丹洲垸水源地	23 418.35	15 000.00	52.85	16 342.71	30	丹洲乡、斗姆湖镇	—
芦荻山水源地	60 354.22	32 900.00	54.51	14 877.75	65.8	江北城区、白鹤山乡、芦荻山乡	补充开采井
德山水源地	41 748.38	20 000.00	47.89	16 860.53	40	江南城区、德山片区、石门桥镇、芦荻山乡	—
合计	173 437.12	98 400.00	56.74	76 974.61	196.8		

4 结论与建议

(1)研究区地下水资源丰富,水质良好,圈定的 5 个地下水应急水源地可采资源量,可以满足常德市规划区至 2030 年规划人口数量的应急用水需求。

(2)总结了同类型城市地下水应急水源地选址的原则和技术要点:要充分结合城市发展方向、城市用地规划、开采和运输成本、水文地质条件、环境地质条件等因素,综合考虑水源地选址。

(3)从资源量可靠性、水质、现有取水能力 3 个方面进行了水源地可行性评价。选取的地下水应急水源地在水量、水质及开采能力上都有保障。

(4)应急供水每人 20 L/d 状态下,保留井的现有供水能力可以满足应急供水需求。应急供水每人 50 L/d 状态下,河洑水源地和芦荻山水源地保留井的现有供水能力不足,建议增加开采井,以满足应急供水需求。

(5)本文提出的水源地选址原则及供水方案,可作为南方同类型城市地下水应急水源地选址和应急供水的参考方向。

(6)本文计算的保留井现有供水能力,部分钻孔和集中供水井是收集以往资料获取的数据,年代已久或者早已经停采,随着水文地质条件的变化,供水能力会有所改变,需要通过抽水试验进一步论证。

参考文献(References):

[1] 刘思秀,黎伟,朱晓曦. 杭州市龙坞地下水应急水源地开发利用潜力评价[J]. 水资源保护,2013,29(5):28-31,37.

Liu S X,Li W,Zhu X X. Development potentiality assessment of emergency groundwater source area in Longwu, Hangzhou City[J]. Water Res Prot,2013,29(5):28-31,37.

[2] 王凌芬,李洪文,胡伏生,等. 镇江市应急水源地规划评价[J]. 水资源保护,2011,27(1):89-94.

Wang L F,Li H W,Hu F S,et al. The planning assessment of emergency water sources in Zhenjiang City[J]. Water Res Prot,2011,27(1):89-94.

[3] 姜宝良,李腾超,梁丽丽,等. 许昌市麦岭应急备用水源地开发利用及存在的问题[J]. 华北水利水电大学学报:自然科学版,2016,37(5):58-62.

Jiang B L,Li T C,Liang L L,et al. The exploitation and utilization of mailing emergency water source in Xuchang and the existing problems[J]. J North China Univ Water Res Electr Power; Nat Sci Ed,2016,37(5):58-62.

[4] 刘长明,阮岳军,彭国平. 湖南省常德市武陵区鼎城区区域水文地质调查报告[R]. 长沙:湖南省地质矿产局水文地质工程地质二队,1999:63-71.

Liu C M,Ruan Y J,Peng G P. Regional Hydrogeological Survey Report of Dingcheng District and Wuling District,Changde City, Hunan Province[R]. Changsha; No. 2 Hydrogeological Engineering Geology Team of Hunan Bureau of Geology and Mineral Resources,1999:63-71.

[5] 常德市规划局. 湖南省常德市城市总体规划(2009—2030)[R]. 2011:19.

Changde City Planning Bureau. Master plan of Changde City, Hunan Province (2009-2030)[R]. 2011:19.

[6] 郑立博,李阳,王少龙,等. 某应急水源地地下水资源评价[J].

- 地质灾害与环境保护,2014,25(3):83-87.
- Zheng L B, Li Y, Wang S L, et al. Evaluation on the groundwater resources of an emergency water source[J]. J Geol Hazards Environ Preserv, 2014, 25(3): 83-87.
- [7] 武国瑛, 邓正栋, 段化杰, 等. 西部艰险地区水源地选址研究[J]. 中国地质调查, 2017, 4(3): 24-31.
- Wu G Y, Deng Z D, Duan H J, et al. Study on site selection of water source in the perilous region of West China[J]. Geol Surv China, 2017, 4(3): 24-31.
- [8] 文冬光, 孙继朝, 何江涛, 等. GB/T 14848—2017 地下水质量标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- Wen D G, Sun J C, He J T, et al. GB/T 14848 - 2017 Standard for Groundwater Quality [S]. Beijing: China Standards Press, 2017.
- [9] 金银龙, 鄂学礼, 陈昌杰, 等. GB 5749—2006 生活饮用水卫生标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- Jin Y L, E X L, Chen C J, et al. GB 5749 - 2006 Standards for Drinking Water Quality [S]. Beijing: China Standards Press, 2006.
- [10] 左光恕, 刘运业, 孙传旦, 等. 湖南省常德市水文地质工程地质环境地质综合勘察报告[R]. 长沙: 湖南省地质矿产局水文地质工程地质二队, 1992: 167-171.
- Zuo G S, Liu Y Y, Sun C D, et al. Comprehensive Investigation Report on Hydrogeology, Engineering Geology and Environmental Geology of Changde City, Hunan Province[R]. Changsha: No. 2 Hydrogeological Engineering Geology Team of Hunan Bureau of Geology and Mineral Resources, 1992: 167-171.
- [11] 中国地质调查局. 水文地质手册[M]. 2版. 北京: 地质出版社, 2012: 710-711.
- China Geology Survey. Handbook of Hydrogeology[M]. 2nd ed. Beijing: Geological Publishing House, 2012: 710-711.
- [12] 蔺文静, 王文中, 陈德华, 等. 北方城市地下水应急供水水源地评价指标体系研究[J]. 干旱区资源与环境, 2010, 24(3): 83-87.
- Lin W J, Wang W Z, Chen D H, et al. Indicator system for emergency groundwater supply target - area evaluation in northern Chinese cities[J]. J Arid Land Resour Environ, 2010, 24(3): 83-87.
- [13] 陈连祥, 郭得铨, 宁瑞珠, 等. GB/T 50331—2002 城市居民生活用水量标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
- Chen L X, Guo D Q, Ning R Z, et al. GB/T 50331 - 2002 The Standard of Water Quantity for City's Residential Use[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2002.
- [14] 童军, 皮景, 徐定芳, 等. 长株潭城市群核心区地下水应急供水研究[J]. 华南地质矿产, 2020, 36(1): 55-64.
- Tong J, Pi J, Xu D F, et al. Study on emergency water supply of groundwater in the core area of Chang - Zhu - Tan city group[J]. Geol Miner Resour South China, 2020, 36(1): 55-64.
- [15] 景佳俊, 管祯, 单雨阳, 等. 丰沛平原区地下水开采用现状及潜在水源地分析[J]. 中国地质调查, 2019, 6(3): 87-91.
- Jing J J, Guan Z, Shan Y Y, et al. Exploitation and utilization of groundwater and potential water source analysis of Fengpei Plain area[J]. Geol Surv China, 2019, 6(3): 87-91.

Feasibility assessment and scheme research on emergency water supply of groundwater emergency source in Changde City

LIU Yiming, HE Yang, XIONG Xiong, XU Dingfang, Pang Tie
(Hunan Institute of Geological Survey, Hunan Changsha 410116, China)

Abstract: Exploring groundwater emergency source and establishing emergency water supply mechanism are important measures to ensure the safety of residents' water use and maintain social stability when daily water supply obstacles occur in cities. Based on the analysis of the hydrogeological conditions in the planning area of Changde City, the researchers in this paper delineated 5 groundwater emergency sources, and summarized the site selection principles of groundwater emergency sources in the same type. Besides, the feasibility assessment of water sources was conducted from three aspects of water quantity, water quality and production capacity. Two emergency water supply schemes under the minimum standard of 20 L/d and the general standard of 50 L/d per capita water consumption are considered, combining with the existing urban water supply network and groundwater exploitation well reservation. The emergency water supply demand could be satisfied by the existing water supply capacity of reserved wells under emergency water supply standards of 20 L/d per capita. While, the existing water supply capacity is insufficient in reserved wells of Hefu water source and Ludishan water source under emergency water supply standards of 50 L/d per capita. Therefore, the proposal of increasing production wells is put forward to adapt the emergency water supply demand.

Keywords: Changde City; emergency water sources; groundwater resources; water supply scheme

(责任编辑: 沈效群)