

王宇. 南方岩溶地区水文地质调查的问题与改进措施[J]. 中国岩溶, 2023, 42(4): 627-635.

DOI: 10.11932/karst20230401

# 南方岩溶地区水文地质调查的问题与改进措施

王宇<sup>1,2</sup>

(1. 自然资源部高原山地地质灾害预报预警与生态保护修复重点实验室, 云南昆明 650216;  
2. 云南省地质调查局, 云南昆明 650051)

**摘要:** 通过南方岩溶地区1:5万水文地质调查项目检查、评审意见书及记录等大量资料的梳理, 参考有关文献、对照现行行业规范及管理要求, 归纳分析了部分调查项目存在的问题和不足, 主要表现为综合研究工作及成效较差、专题研究联系实际不够、第四纪地质调查较为浅显、钻探控制作用发挥较差且探水成功率低、水资源评价内容不全面。文中联系实际探寻了产生问题的主、客观原因, 主要有南方岩溶水文地质条件复杂、物探找水的准确性尚待提高、成果质量及研究程度考核指标不突出、项目成员专业构成和经验不足等。提出基于借鉴前人经验、推广应用新技术、全面理解和执行规范, 以问题为导向, 改进水文地质调查的措施建议, 旨在促进解决当前地质调查中存在的问题, 助力水文地质调查的高质量发展。

**关键词:** 水文地质; 调查研究; 勘探试验; 资源评价; 问题及措施

中图分类号: P641.7 文献标识码: A

文章编号: 1001-4810(2023)04-0627-09

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## 0 引言

我国南方岩溶地区以地下水资源评价为主要目标的基础性水文地质调查始于建国之后, 并随着国内外学科发展和社会需求而不断推进。全国性的区域水文地质调查成果主要有1974年至1982年完成的1:20万区域水文地质普查, 主要以降水入渗系数法、径流模数法估算评价地下水平均补给量和径流量<sup>[1]</sup>, 至今其成果资料利用率仍然很高。1999—2002年完成的1:25万地下水资源勘查与生态环境地质调查, 在1:20万水文地质普查的基础上, 采用编测结合带专题研究的方法进行调查, 初步查明了近20年来地下水资源的变化及环境地质问题, 以流域为单元采用降水入渗系数法、径流模数法估算地

下水平均补给量, 采用体积法、泉流衰减系数法估算富水块段及大泉、地下河系统储量, 用泉、地下河流量观测统计分析及盆(谷)地区断面法估算评价可开采量, 结合地下水开发利用现状, 初次估算了地下水资源潜力<sup>[2]</sup>。2003年以来, 中国地质调查局岩溶地质研究所持续组织实施了南方岩溶地区1:5万水文地质环境地质调查, 完成调查面积已超过 $30 \times 10^4$  km<sup>2</sup>。按1:5万地形图分幅进行野外调查, 按流域进行地下水资源评价, 主要采用降水入渗系数法计算补给量, 采用体积法、泉流量衰减系数法等计算富水块段及大泉、地下河储量, 用流量观测统计分析计算泉、地下河可开采量, 用理论和经验公式计算富水块段的可开采量, 结合地下水开发利用程度, 估算地下水资源潜力<sup>[3-7]</sup>, 地下水资源评价成果主要为D

资助项目: 水文地质与水资源调查计划珠江流域与西南诸河流域水文地质与水资源调查工程

作者简介: 王宇(1960—), 男, 博士, 教授级高级工程师, 主要从事水工环地质研究。E-mail: ynddywy@163.com。

收稿日期: 2023-01-20

级可开采量,即推断的潜在资源<sup>[8]</sup>。本文所进行的问题分析、改进措施探讨主要针对后者及相应的地下水资源等级<sup>[9]</sup>。南方岩溶地区1:5万水文地质调查成绩斐然,新技术、新方法应用超越既往,但面对经济社会发展的新要求,部分工作因主、客观的原因,调查内容和质量仍存在一些问题和差距<sup>[10-13]</sup>。高质量的地质调查工作和成果是我国自然资源事业高质量发展的重要支撑。因此,研究岩溶水文地质调查应改进的问题与措施,促进解决问题、提高调查质量很有必要。

## 1 常见的问题与差距

根据笔者长期担任水文地质调查项目负责人和中国地质调查局质量监审专家所主持和参与的调查工作和检查、评审意见书及记录等,并参考有关文献资料<sup>[1-14]</sup>,综合分析归纳出下列几方面常见的问题与差距。

### 1.1 综合研究连续性及规范性差

由于地质体和地质现象的复杂性、隐蔽性,以及地质历史形成和演化过程的不可重现性,因此对地质体物质组成和地质结构的认识主要是综合分析各种地质调查与勘探信息,依据地质学理论做出的推断和预测,在经济技术可行的情况下,部分得到了钻探、坑探等直观验证。认识过程必然是随着调查勘探精度的提升,在不断的反复、调整、深化中完善和逼近真实的。因此,综合研究对岩溶水文地质调查应贯穿整个调查项目实施的全过程。

在部分岩溶水文地质调查项目中,综合研究主要集中在野外工作结束后的室内整理和成果报告编制阶段,以及面临阶段检查和验收时,集中进行突击性的资料整理、总结和汇报材料编制。在立项方案编制、工作设计和野外工作阶段缺乏明确要求及连续和规范的组织实施计划,导致设计阶段对工作区水文地质条件及特征认识不清,对前人工作和成果资料及存在问题与现实需求等了解不全,设计方案及工作部署重点不突出、针对性弱。实施阶段不能及时发现问题,通过调整部署、加强重点、搜集资料和专题研究等措施解决问题、弥补不足。最终使成果编制的资料存在较多疏漏,综合研究程度偏低,新发现和新认识少,影响成果的总体质量和科技

水平。

### 1.2 专题研究结合实际不够

在水文地质调查项目中开展专题研究由来已久,其初衷主要是为了解决调查区的水文地质和勘查技术难题,最终达到解决问题,取得新的发现和技术进步,提高调查成果质量与科技水平的成效。

在部分三级项目中,专题研究选题变得过分追求理论创新和新技术研发,忽略了研究解决调查区的具体问题。最终过高的目标在有限的时间和投入之内难于实现,所发表的论文流于表面化,而前人遗留问题的研究又几无进展,对提高调查精度实质性的贡献不大。如三级项目均以地表流域分水岭作为调查评价单元,但岩溶区地表水分水岭与地下水流域边界的分异情况、边界的地质组构和产状、边界的水动力性质、汇水或排水及补给或排泄等功能,对于以均衡原理为基础的水资源评价起着决定性的作用,但对调查区的这类问题投入专题研究,提高研究程度,指导实施勘探揭露、确切查明边界特性的并不多,影响水资源、防污性能等评价的准确性和可信度。迄今为止,含水层的富水性均以地层统、组、段为单位统一评定和编图,忽视了含水层富水性随地形地貌、地质构造、地下水补径排过程等改变所发生的变化,对于这样的基础问题和编图方法改进问题,同样鲜有专题研究,致使所填绘和编制提交的水文地质图、水资源分布图等对地下水的埋藏分布情况反映并不完全符合客观实际<sup>[15-19]</sup>。

### 1.3 第四纪地质调查薄弱

第四纪内、外动力地质作用、气候变化、地貌演化及水系变迁等,对岩溶发育和地下水系统的形成及发展起着重要的控制和影响作用,所塑造形成的地形地貌、沉积物、土壤植被、河湖水体、地下河潭等则是水资源与生态环境的主要构成部分<sup>[20-21]</sup>。因此新时期的水文地质调查必须强化第四纪地质调查研究,改变以往地质调查对第四系地质填图粗略、研究不深的状况,切实提高调查填图精度和研究程度。

以往的区域地质调查和水文地质普查,主要目标是服务于找矿找水,因此对第四系地层的调查填图要求并不严格。由于南方风化作用强烈,残坡积层覆盖面广,为了反映基岩地质构造,除了填绘较大的盆地、谷地、洼地、坡积裙等地区沉积厚大的第四

系地层,大多采取剥离处理,很少专门实测地层剖面、勘探揭露和取样鉴定测试。第四纪地层是记录第四纪期间所发生的各种地质事件的载体,包含着大量地质环境信息,也是生态环境、土壤特性、地下水补给和卫生防护条件等的主要影响因素,对于研究和回答今天面临的许多资源与环境问题是非常重要的。而在部分岩溶水文地质调查项目中,第四纪地质调查并未引起重视,所填图件中第四系地层分布与既有成果图比较变化不大。影响了多方面的研究进展,如岩溶发育分期及分带、水系变迁及侵蚀基准变化、地下河袭夺及边界迁移、活动断裂对地下河形成和发展的控制机制、气候变化及其对水循环的影响、表层岩溶含水层的形成及变化规律、地下水的防污性能评价等。

#### 1.4 钻探作用欠佳、探水成功率低

在基础性、公益性的水文地质调查项目中,钻探和钻孔水文地质试验工作量有限,现行规范规定的岩溶区从简单地区至复杂地区的钻探定额,包括新投入的工作量和收集到的能满足要求的钻孔数量为1.5~5个/100 km<sup>2</sup>、抽水试验1~5组/100 km<sup>2</sup>[7]。这就要求钻探试验的实施应充分论证、科学布置、精心设计,使之充分发挥揭露典型现象、验证重大推断、解决关键问题、获取水文地质参数、支撑水资源评价等重要作用。

在部分岩溶水文地质调查项目中,钻探作用发挥并不好,探水成功率较低。主要表现在钻孔布置比较随意,未按规范的勘探剖面和网格控制原则将钻孔主要布置在控制性或资源计算断面上,未起到关键节点作用,使剖面推断和连接缺少必要的勘探和试验依据,资源计算参数仍主要靠比拟评估选取,影响流域总体调查精度和资源评价结果可信度的提升。再就是不同程度地存在对重要的流域补给和排泄边界缺少钻探控制,依据地表岩溶形态特征和分水岭划分边界,对地表分水岭与地下水流域边界的分异情况、边界的地下水动力学性质、输入或输出等功能缺少确切的观测资料和数据。对埋藏型或覆盖型储水构造缺少钻探取芯、分段抽水试验、示踪试验等探查水文地质结构、观测地下水动力学特性等方面的控制和检验。对深循环径流带缺少必要的探测查证等,这些不足使得支撑水文地质认识和推断的依据不够充分,影响资源评价成果的可靠

性。此外,探水成功率较低,干孔和单位涌水量 $q \leq 0.01 \text{ L} \cdot (\text{s} \cdot \text{m})^{-1}$ 的弱涌水孔占比较大。这就使得诸多钻孔难以完成设计目标任务,没摸到地下水脉,探测目的和求参落空,水文地质试验和取样分析测试无法进行,动态监测也实施不了,探采结合示范更无从谈起。

#### 1.5 水资源评价内容不全

新版国标《地下水资源储量分类分级》(GB 15218-2021)3.4.3指明了可开采量是地下水储量、补给量的一部分[8]。《水文地质调查规范(1:50000)》(DZ/T0282-2015)9.3.1.3规定应根据一定的经济技术水平,结合取水构筑物类型和开采方案规划,在考虑环境约束的基础上评价地下水可开采资源量。9.3.1.5规定应在地下水资源评价的基础上,对地下水开采潜力和开采程度进行评价[7]。这些规定体现了我国自然资源管理的基本要求,明确了地下水资源评价应进行补给量、储量、可开采量的系统评价,包括补给保证、储存调节保证[22]、环境安全保证、经济技术合理性等方面的评价。

在岩溶水文地质调查项目中,补给保证、经济技术合理性在已提交的水资源评价成果中基本都作了评价,有部分项目对勘查开发示范的水源地进行了储存调节保证评价。环境安全保证评价则普遍重视不够,多泛泛而谈,并忽视了生态需水量或考虑生态需水量不够充分。对地下水开采潜力和开采程度的评价则存在地下水开发利用现状调查了解不够准确的问题。部分项目对人类工程活动对水文地质条件的改变及影响缺乏评价。这些问题和不足使得水资源评价成果在系统性、完整性和现实性方面与当前水资源管理、开发利用与保护的要求尚存在一定的差距。

## 2 问题产生原因分析

分析认识部分岩溶水文地质调查项目存在问题与不足的主、客观原因,是以问题为导向研究提出改进措施,切实解决问题的必要前提。分析归纳起来主要有以下几方面。

### 2.1 南方岩溶水文地质条件复杂

由于南方岩溶地区地质背景复杂,新构造运动强烈,地壳大幅度隆升且差异性、间歇性突出,导致

山地与峡谷、盆地相间分布,水系间侵蚀基准相对交替升降,地表、地下河的溯源侵蚀、袭夺及流域边界迁移交互进行。从而导致岩溶洞管发育,垂向岩溶带厚度大,除部分盆地、槽谷、平原,广大岩溶山地丘陵区含水层富水性极不均匀、埋藏深度大。岩溶水系统边界具有地表和地下分异、多样性、多变性、突变性、产状随机等复杂特征<sup>[23-24]</sup>。岩溶水富集区带局限,地下水动态变化剧烈<sup>[25-28]</sup>。南方岩溶水文地质条件的复杂性使得对具体问题的研究很难取得新进展,在有限的调查周期内,选择较为宽泛的专题研究更易结题和发表论文。同样这也是提高成井率的主要障碍和形成其余问题的原因之一。

## 2.2 物探找水技术水平的制约

由于南方岩溶地区地球物理探测影响因素复杂多变和探测结果的多解性,以及物探技术进步与地区性经验研究总结不够,物探找水的准确性尚难达到找水打井的精度要求,这也是岩溶找水打井成功率低的原因<sup>[10-12]</sup>。

## 2.3 计划及考核要求的影响

因项目周期较短,人力成本大幅提高,按地质勘查发现和认识问题的基本程序和项目组织连续地进行综合研究难度增大。在项目成果验收考核指标中,论文、专利、示范效益等,较之调查质量、综合研究程度和资源评价准确性显示度更高,计量评价明确,更有利于获得专家好评。这也是引起上述问题和不足的外在原因。

## 2.4 项目成员专业构成和经验不足

岩溶水文地质调查的任务和内容要求团队应具备基础地质、水文地质、水文水资源和地球探测及信息技术等专业的技术骨干,才能系统地完成调查任务,取得优质的成果。与所有地质调查工作一样,水文地质调查和勘探的实践经验、对工作区的了解程度,对项目实施效率和成效非常重要。而一些调查项目团队组成人员需要的专业构成不全,缺少有实战经验的专业技术骨干,未做好传、帮、带,也是产生上述问题和不足的原因。

# 3 改进措施建议

本节以系统科学理论为指导,依据地质勘查的

基本原理和程序以及实践经验,以问题为导向、需求为引领,探讨岩溶水文地质调查问题与差距的改进措施建议。

## 3.1 加强综合研究,提升研究水平

首先应继承前人项目组织实施的有效经验和方式,结合计算机及信息技术研究形成新的综合研究规程及模式,在项目设计中做好综合研究组织实施计划,使之能够规范、连续、高效地推进。历史上行之有效的设立项目综合组的方式值得借鉴,特别是一二级项目。在项目组织中综合组应起到参谋部、情报部的作用。综合组成员应有具备水文地质专业学历、有丰富实践经验的技术骨干。综合组负责综合研究、专题研究、进度和质量控制、信息统计和阶段性成果总结上报等,在进行工作成果总结提升的同时对各项工作进行日常指导。应将各作业组的日整理、周整理、月小结和接图、检查验收等与综合研究联系起来,无论地质测绘、动态观测、地球物理探测、钻探试验等作业组,均应按时整理上传获得的资料和阶段总结报告。综合研究不仅限于项目工作取得的资料,还应搜集利用国内外的相关文献资料。综合组应熟练掌握和利用计算机及信息技术,实时完成信息采集、统计分析、图表绘制、综合研究和成果总结报告编制。发现问题及时报告项目负责人组织研究解决,取得重要成果和进展组织编写发表学术论文。综合组成员应加强自身的学习提高和学术交流,在项目团队中取好传、帮、带的作用。

## 3.2 加强选题调研,做实专题研究

在项目设计编写前,要做好上一阶段调查成果资料的收集和研究,了解前人遗留问题和对现阶段调查工作和成果的影响,按照现行规范要求结合学科发展动态分析评价,论证确定专题研究的题目和内容。三级项目应该结合调查区的实际,专题研究题目和内容具体而明确,如重要的可溶岩地层沉积相及时空变化研究、水文地质边界专题调查研究、地下河系统的发育特征研究等。一、二级项目则应趋向于基本特征、基本规律、区域资源及环境条件、通用技术研发和模式构建等研究,如新构造运动与地貌演化历史研究、含水介质富水性的空间变化规律研究、地下水富集模式及数值模型研究、隐伏控水构造遥感识别技术研究、物探找水技术方法研究

等。在项目工作方法和工作量设计时,在考虑满足调查规范控制程度要求的前提下,应兼顾专题研究的需要,没有新的实物工作量和数据支撑,专题研究也难以取得实实在在的成果。专题研究应纳入综合组的工作计划,与调查工作协同推进,随着调查进展持续深入、调整、改进、充实提高,取得切实的创新与进步。

### 3.3 加强第四纪地质调查研究

第四纪地层构造应按《水文地质调查规范(1:50000)》(DZ/T0282-2015) 8.2.3 要求,将宽度大于100 m或面积大于0.01 km<sup>2</sup>的面状地质体、长度大于250 m的线状地质体正确填绘在图上<sup>[7]</sup>,切实提高填图精度。图面负担过重的宜单独编绘第四纪地质及地貌图。应结合地貌组合形态<sup>[29]</sup>的对比分析,选择不同成因类型的典型地层测制地层剖面、采集各类分析鉴定样品,获取和对比分析生物标志、古人类及古文化标志、气候标志、地貌标志、绝对年龄测定等标志,提高第四纪地质年代和地层划分的精度。应将第四纪沉积物作为岩溶地貌组合形态的有机组成部分,综合对比研究岩溶发育演化的历史,划分岩溶发育垂向分带和平面分区。应将地表侵蚀地貌及流水沉积与溶洞、地下河对比研究,分析地表、地下河的转换及地下河的发育和变迁历史,为推断地下河的埋藏分布位置、流域边界提供依据。通过侵蚀基准升降幅度、盆(谷)地沉积厚度分析,估计岩溶发育下限、地下水循环深度等。第四纪以来古气候的波动对自然界影响巨大,应列入认识和评价水资源与环境条件需作研究的内容。

### 3.4 加强孔位论证,提高勘探功效

钻探工作的部署应遵循地质勘探的基本原理和规程,钻孔之间构成勘探剖面、剖面线之间构成勘探网,由勘探剖面、勘探网才能够从二维立面、三维空间揭示地质体的物质组成、结构构造、产状及空间变化等,形成对地质体的准确控制、精确量算和计算评价,也才可能量化确定其勘探精度。所以流域水文地质调查钻孔布置应考虑勘探剖面控制与重点揭露相结合,对调查的流域应尽可能结合收集钻孔构成控制性剖面,保证调查评价精度有实质性的提高,同时兼顾探查重要地质现象或问题的需要,布置必要的单孔。在覆盖型含水层分布面积较大的山间盆

地、谷地平坝区、输入或输出透水边界段,采用齐姆三角形法布置钻孔,能够更客观地反映含水层的各向异性和确定水文地质参数、主径流方向及水力坡度等重要数值<sup>[30]</sup>。

岩溶找水打井始终是我国水文地质研究的重要方向,为保证钻探找水的成功率,钻孔论证应认真学习前人的研究成果和经验,把握调查区域岩溶水富集特征和规律,结合调查研究进展,综合圈定宜井靶区<sup>[31-33]</sup>。然后通过靶区及周围微地貌组合、岩性层组、储水构造、裂隙和岩溶发育特征的详细观测研究,有条件的应作孔旁地层剖面测量并结合坑井调查和搜集钻孔资料编制分析剖面,综合论证选定宜井位置,再通过物探验证,最终确定井位。鉴于物探结果的多解性和影响因素的复杂性,物探验证应采用多种方法进行对比验证,如先采用视电阻率剖面进行较大范围的控制,然后结合地质分析,综合选择多个备选孔位。再围绕备选孔位,采用核磁共振探测,进行富水性判别,用加密的激电测深或电阻率测深探测,预测岩溶赋水空隙的具体埋藏分布位置,为钻井位置的确定和设计提供依据。邀请有经验的当地水文地质专家参与确定孔位是很有助益的。应注意避免水文地质人员毫无定见,跟着物探解释定孔,本末倒置,结果大多不理想。

### 3.5 加强资源与环境分析,完善评价内容

针对地下水资源评价中的问题,应认真学习和全面领会规范的各项规定和要求,加强资源与环境分析,完善评价内容。

《水文地质调查规范(1:50000)》(DZ/T0282-2015) 9.3.1.3 指明了可开采资源量的计算评价必须与具体的地下水水源地相结合<sup>[34]</sup>,以水源地为单元计算可开采资源量。9.3.1.1 要求应将评价的地下水资源量分配到各级行政单元中。所以必须在完成水源地圈定及开发利用条件评价的基础上,初步规划地下水开采方案,结合取水构筑物类型和开采方案进行可开采资源计算评价,再按水源地将评价的地下水资源量分配到各级行政单元中。

按照可持续发展的要求,应完善储存量的调节保证评价,要实现连续稳定供水,可开采资源量不能超过地下水径流量与储存调节量之和<sup>[22]</sup>。可开采资源的环境许可评价不能流于泛泛而论,应具体分析评价按照可开采资源评价成果开发利用地下水,是

否会诱发名泉疏干、景观破坏、地面塌陷等不良环境地质问题。应充分注意可开采资源量不能侵占生态需水量。目前生态需水量的估算较为粗略,许多有关规划常以最枯径流量、绿化用水和环卫用水作为生态需水量,这显然不尽科学合理,各项目应加强具体的调查研究和计算评价。地下水资源潜力评价要切实解决可开采资源量调查统计不全面、关联性不清的问题,厘清水利和地质矿产或国土资源管理部门等统计数据的差异和重叠,查明地表水和地下水在水利工程中的联系,正确估算地下水开发利用程度<sup>[35]</sup>。如位于水库汇水范围内的泉或地下河出口,流量已经成为库水来源,这部分地下水的开发利用程度需作产流和供水动态分析认定。此外,人类工程活动对资源与环境造成重大影响的流域,水资源潜力评价应进行专题调查研究。

水文地质调查均需认真对已有地下水开发工程进行现场观测记录、收集有关水文地质及地下水开发的历史和现状资料,进行综合整理及研究,以弥补勘探试验的不足。并由此发现地下水开发所暴露出来的问题,检验前人工作的不足和错误。再通过修正和深化对水文地质条件的认识,调整有关水文地质参数,选择更为合理的地下水资源计算方法,切实提高地下水资源评价的精度。

《地下水资源储量分类分级》(GB15218-2021)

3.4.4 新定义了允许开采量是经勘查或经开采验证,在当前经济、技术、环境许可条件下能够从含水层中开采出来的那部分数量。这与《水文地质调查规范(1:50000)》(DZ/T0282-2015)9.3.1.3对可开采资源量评价的要求内涵是一致的,在资源评价中应予说明,以便自然资源等管理部门利用。

## 4 结 论

(1)在南方岩溶地区的部分水文地质调查项目工作及成果中,常见综合研究连续与规范性差、专题研究结合实际不够、第四纪地质调查薄弱、钻探作用欠佳、探水成功率低、水资源评价内容不够全面的问题和不足,影响调查成果的总体质量和科技水平;

(2)问题产生的主要原因为南方岩溶水文地质条件复杂、物探找水的准确性尚难达到岩溶找水打井的精度要求、质量及研究程度考核指标不够突出、项目成员专业构成和经验不足等;

(3)建议做好综合研究组织实施计划,规范、连续、高效地持续推进;加强专题研究选题调研,切实解决实际问题;提高第四纪地质填图精度,加强鉴定分析;加强孔位论证,提高勘探功效和探水成功率;加强资源与环境分析,完善资源评价内容等。

## 参考文献

- [1] 陈梦熊. 我国岩溶地区水文地质图编图经验[J]. 中国岩溶, 1988, 7(3): 199-203.  
CHEN Mengxiong. Experience in mapping hydrogeological maps in karst areas of China[J]. Carsologica Sinica, 1988, 7(3): 199-203.
- [2] 王宇, 张贵, 张华, 康晓波, 彭淑惠, 王波, 王劲, 周翠琼. 云南高原岩溶水文地质环境地质研究及应[R]. 昆明: 云南省地质环境监测院, 2014.
- [3] 李文鹏. “水文地质与水资源调查计划”进展[J]. 水文地质工程地质, 2022, 49(2): 1-6.  
LI Wenzheng. Achievements of investigation program on hydrogeology and water resources of CGS[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2022, 49(2): 1-6.
- [4] 夏日元, 蒋忠诚, 邹胜章, 曹建华, 覃小群, 苏春田, 罗为群, 周立新. 岩溶地区水文地质环境地质综合调查工程进展[J]. 中国地质调查, 2017, 4(1): 1-10.  
XIA Riyuan, JIANG Zhongcheng, ZOU Shengzhang, CAO Jianhua, QIN Xiaoqun, SU Chuntian, LUO Weiqun, ZHOU Lixin. Progress of hydrogeology and environmental geology comprehensive survey in karst area[J]. Geological Survey of China, 2017, 4(1): 1-10.
- [5] 杨杨, 赵良杰, 潘晓东, 夏日元, 曹建文. 西南岩溶山区地下水资源评价方法对比研究: 以寨底地下河流域为例[J]. 中国岩溶, 2022, 41(1): 111-123.  
YANG Yang, ZHAO Liangjie, PAN Xiaodong, XIA Riyuan, CAO Jianwen. Comparative study on evaluation methods of groundwater resources in karst area of Southwest China: Taking Zhaidi underground river basin as an example[J]. Carsologica Sinica, 2022, 41(1): 111-123.
- [6] 蒋忠诚, 罗为群, 童立强, 程洋, 杨奇勇, 吴泽燕, 梁建宏. 21世纪西南岩溶石漠化演变特点及影响因素[J]. 中国岩溶, 2016, 35(5): 461-468.  
JIANG Zhongcheng, LUO Weiqun, TONG Liqiang, CHENG Yang, YANG Qiyong, WU Zeyan, LIANG Jianhong. Evolution features of rocky desertification and influence factors in karst areas of Southwest China in the 21st century[J]. Carsologica Sinica, 2016, 35(5): 461-468.
- [7] DZ/T0282-2015. 水文地质调查规范(1:50 000)[S].
- [8] GB15218-2021. 地下水资源储量分类分级[S].  
GB15218-2021. Classification for reserves of groundwater resources[S].
- [9] GB50027-2001. 供水水文地质勘察规范[S].

- GB50027-2001. Standard for hydrogeological investigation of water-supply[S].
- [10] 王宇. 云南省地下水资源潜力评价现状与问题分析[J]. 中国岩溶, 2020, 39(2): 137-146.  
WANG Yu. Evaluation status and problems of groundwater resource potential in Yunnan Province[J]. *Carsologica Sinica*, 2020, 39(2): 137-146.
- [11] 袁道先. 我国岩溶资源环境领域的创新问题[J]. 中国岩溶, 2015, 34(2): 98-100.  
YUAN Daoxian. Scientific innovation in karst resources and environment research field of China[J]. *Carsologica Sinica*, 2015, 34(2): 98-100.
- [12] 王宇, 张贵, 李丽辉, 吕爱华, 李燕. 岩溶水有效开发技术方案研究[R]. 昆明: 云南省地质调查院, 2005.
- [13] 王宇, 张贵, 李燕, 谭继中, 李继红, 刘民生, 段乔文, 何绕生, 彭淑惠, 刘忠祥, 唐定洪, 周翠琼, 侯丽, 王劲, 杨颖彬, 吕爱华, 字美军. 西南岩溶石山地区滇东-攀西片区地下水资源勘查与生态环境地质调查报告[R]. 昆明: 云南省地质调查院, 2002.
- [14] 赵良杰, 杨杨, 曹建文, 夏日元, 王喆, 栾崧, 林玉山. 珠江流域地下水资源评价及问题分析[J]. 中国地质, 2021, 48(4): 1020-1031.  
ZHAO Liangjie, YANG Yang, CAO Jianwen, XIA Riyuan, WANG Zhe, LUAN Song, LIN Yushan. Groundwater resources evaluation and problem analysis in Pearl River Basin[J]. *Geology in China*, 2021, 48(4): 1020-1031.
- [15] 中国科学院地质研究所. 中国岩溶研究[M]. 北京: 科学出版社, 1979: 73-83.  
Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences. *Karst Research in China*[M]. Beijing: Science Press, 1979: 73-83.
- [16] 袁道先. 论岩溶水的不均匀性[C]//岩溶地区水文地质及工程地质工作经验汇编(第二辑). 北京: 地质出版社, 1978: 1-19.  
YUAN Daoxian. On the inhomogeneity of karst water[C]//Compilation of work experience of hydrogeology and engineering geology in Karst area (second series). Beijing: Geological Publishing House, 1978: 1-19.
- [17] 王宇. 岩溶区地表水与地下水资源及环境统一评价的流域边界划分研究[J]. 中国岩溶, 2019, 38(6): 823-830.  
WANG Yu. Study on watershed boundary division for unified evaluation of surface water and groundwater resources and environment in karst areas[J]. *Carsologica Sinica*, 2019, 38(6): 823-830.
- [18] 王宇. 岩溶高原地下水径流系统垂向分带[J]. 中国岩溶, 2018, 37(1): 1-8.  
WANG Yu. Vertical zoning of groundwater runoff system in karst plateau[J]. *Carsologica Sinica*, 2018, 37(1): 1-8.
- [19] 王宇. 红层地下水富集规律[J]. 地质灾害与环境保护, 2010, 21(2): 53-57.  
WANG Yu. Groundwater enrichment in red beds[J]. *Journal of Geological Hazards and Environment Preservation*, 2010, 21(2): 53-57.
- [20] 王宇, 杨世瑜. 陆良彩色沙林成因[J]. 云南地质, 2006, 25(2): 193-198.  
WANG Yu, YANG Shiyu. Origin of colourful sand forest[J]. *Yunnan Geology*, 2006, 25(2): 193-198.
- [21] 刘宝珺, 肖永林, 罗建宁. 昆明盆地晚新生代地质与沉积演化[M]. 重庆: 重庆出版社, 1990: 22-39.
- [22] 王宇. 裂隙含水层的储存调节功能评价[J]. 昆明理工大学学报(理工版), 2010, 35(1): 29-32.  
WANG Yu. Assessment of regulative function of fissure groundwater storage[J]. *Journal of Kunming University of Science and Technology (Science and Technology Edition)*, 2010, 35(1): 29-32.
- [23] 夏日元, 卢海平, 曹建文, 赵良杰, 王喆, 栾崧. 南方岩溶区地下水资源特征与水资源保障对策[J]. 中国地质, 2022, 49(4): 1139-1153.  
XIA Riyuan, LU Haiping, CAO Jianwen, ZHAO Liangjie, WANG Zhe, LUAN Song. Characteristics of groundwater resources of karst areas in the Southern China and water resources guarantee countermeasures[J]. *Geology in China*, 2022, 49(4): 1139-1153.
- [24] 王宇. 云南省岩溶水开发条件研究[J]. 中国岩溶, 2000, 19(2): 129-132.  
WANG Yu. Study on karst water exploitation conditions in Yunnan Province[J]. *Carsologica Sinica*, 2000, 19(2): 129-132.
- [25] 赵一, 邹胜章, 申豪勇, 周长松, 樊连杰, 朱丹尼, 李军. 会仙湿地岩溶地下水系统水位动态特征与均衡分析[J]. 中国岩溶, 2021, 40(2): 325-333.  
ZHAO Yi, ZOU Shengzhang, SHEN Haoyong, ZHOU Changsong, FAN Lianjie, ZHU Danni, LI Jun. Dynamic characteristics and equilibrium of water level of the karst groundwater system beneath the Huixian wetland[J]. *Carsologica Sinica*, 2021, 40(2): 325-333.
- [26] 蒋忠诚, 裴建国, 夏日元, 张美良, 雷明堂. 我国“十一五”期间的岩溶研究进展与重要活动[J]. 中国岩溶, 2010, 29(4): 349-354.  
JIANG Zhongcheng, PEI Jianguo, XIA Riyuan, ZHANG Meiliang, LEI Mingtang. Progresses and important activities of karst research during the 11th Five-Year Plan in China[J]. *Carsologica Sinica*, 2010, 29(4): 349-354.
- [27] 袁道先. 论岩溶环境系统[J]. 中国岩溶, 1988, 7(3): 179-186.  
YUAN Daoxian. On karst environment system[J]. *Carsologica Sinica*, 1988, 7(3): 179-186.
- [28] 王宇, 彭淑惠. 云南省岩溶水赋存特征[J]. 中国岩溶, 2011, 30(3): 253-259.  
WANG Yu, PENG Shuhui. Distribution features of karst water in Yunnan[J]. *Carsologica Sinica*, 2011, 30(3): 253-259.
- [29] 王宇, 王梓澈. 岩溶地下水富集的地貌组合形态[J]. 中国岩溶, 2015, 34(4): 314-324.  
WANG Yu, WANG Ziwei. Patterns of karst geomorphologic combinations in areas with rich groundwater[J]. *Carsologica Sinica*, 2015, 34(4): 314-324.

- [30] 王宇. 红层地下水勘查开发的理论及方法[M]. 北京: 地质出版社, 2008, 70-72.  
WANG Yu. The investigation and exploitation theory and technical method of groundwater in red beds[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2008, 70-72.
- [31] 王宇, 彭淑惠, 王梓澂, 王裕琴. 云南省抗旱井定井论证方法[J]. 中国岩溶, 2013, 32(3): 305-312.  
WANG Yu, PENG Shuhui, WANG Ziwei, WANG Yuqin. The research methodology of drought resisting wells locating in Yunnan Province[J]. Carsologica Sinica, 2013, 32(3): 305-312.
- [32] 夏日元, 邹胜章, 唐建生, 梁彬, 曹建文, 卢海平. 南方岩溶地区1:5万水文地质环境地质调查技术要点分析[J]. 中国岩溶, 2017, 36(5): 599-608.  
XIA Riyuan, ZOU Shengzhang, TANG Jiansheng, LIANG Bin, CAO Jianwen, LU Haiping. Technical key points of 1:50,000 hydrogeological and environmental geology surveys in karst areas of South China[J]. Carsologica Sinica, 2017, 36(5): 599-608.
- [33] 王宇. 西南岩溶地区岩溶水系统分类、特征及勘查评价要点[J]. 中国岩溶, 2002, 21(2): 114-119.  
WANG Yu. Classification, characteristics of karst water system and key points for the exploration and evaluation to karst water in karst area of Southwest China[J]. Carsologica Sinica, 2002, 21(2): 114-119.
- [34] 王宇. 西南地区岩溶水源地类型及开发技术条件[J]. 中国岩溶, 2009, 28(4): 370-374.  
WANG Yu. Classification and exploitive technical condition of karst water source field in Southwest China[J]. Carsologica Sinica, 2009, 28(4): 370-374.
- [35] 刘琼, 李瑞敏, 王轶, 高萌萌, 李小磊, 孙超. 区域地下水资源承载力评价理论与方法研究[J]. 水文地质工程地质, 2020, 47(6): 173-183.  
LIU Qiong, LI Ruimin, WANG Yi, GAO Mengmeng, LI Xiaolei, SUN Chao. Theory and methodology for evaluation of carrying capacity of regional groundwater resources in China[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2020, 47(6): 173-183.

## Problems and their countermeasures in a hydrogeological survey of karst areas in South China

WANG Yu<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory of Geohazard Forecast and Geoecological Restoration in Plateau Mountainous Area, MNR, Kunming, Yunnan 650216, China;  
2. Yunnan Geological Survey, Kunming, Yunnan 650051, China)

**Abstract** Basic hydrogeological surveys mainly targeted at the evaluation of groundwater resources were launched after the founding of the People's Republic of China, and have been advancing with the change of social needs and the development of relevant disciplines at home and abroad. Regional hydrogeological surveys nationwide mainly include the 1:200,000 surveys from 1974 to 1982, mainly estimating the average groundwater recharge and runoff by the precipitation infiltration coefficient method and the runoff modulus method, and the utilization rates of the results are still very high. From 1999 to 2002, the 1:250,000 groundwater resources survey and ecological environment geological survey were completed. Based on the 1:200,000 hydrogeological survey, the latter was carried out by monographic study, compilation and measurement. In this kind of survey, changes of groundwater resources and problems of geologic environment in the past 20 years were initially identified. Meanwhile, taking watershed as a unit, the average groundwater recharge was estimated by precipitation infiltration coefficient method and runoff modulus method. The storage capacity of water-rich blocks, large spring and underground river systems were estimated by volume method and spring flow attenuation coefficient method. Exploitable amounts were estimated by observation and statistical analysis of spring and underground river flow and the section method of basin (valley) area. The potential of groundwater resources was estimated for the first time. Since 2003, the Institute of Karst Geology of China Geological Survey has continuously organized and implemented 1:50,000 surveys on hydrogeological geologic environment in the southern karst areas, with a survey area of more than  $30 \times 10^4 \text{ km}^2$ . Field surveys were carried out according to the topographic map of 1:50,000, and the groundwater resources were evaluated according to different



basins. The recharge was calculated mainly by the precipitation infiltration coefficient method; the storage capacities of water-rich blocks, big springs and underground rivers were calculated by the volume method and the spring flow attenuation coefficient method; exploitable amounts of springs and underground rivers were calculated by the flow observation and statistical analysis; exploitable amounts of the water-rich blocks were calculated by theoretical and empirical formulas. The potential of groundwater resources was estimated according to the degree of exploitation and utilization of groundwater resources. The evaluation results of groundwater resources are mainly the level-D exploitable amount, that is, the inferred potential resources.

This study primarily aims at countermeasures of the problems discussed here and the corresponding grades of groundwater resources. By reviewing a large number of data and materials about inspection records and comments of 1 : 50,000 hydrogeological survey projects in karst areas of South China, referring to relevant literature and comparing with current norms and management requirements, this study analyzes and summarizes the existing problems and deficiencies of some investigation projects. These problems mainly include poor research work and results, insufficient connection between theoretical research and practice, insufficient Quaternary geological surveys, poor drilling control and low successful rates of water exploration, and incomplete evaluation of water resources. In addition, this study explores the subjective and objective reasons for these problems, for example, complexity of the karst hydrogeological conditions in South China, less accuracy of geophysical water exploration, relatively low quality of project results and the assessment index of the research, and project members' insufficient professional knowledge and experience. Finally, this study proposes some suggestions to improve hydrogeological survey, such as making effective organization and implementation plans, promoting comprehensive research in a standardized, continuous and efficient way, strengthening research on the selection of research topics, implementing effective monographic study, improving the accuracy of Quaternary geological mapping, strengthening the identification analysis, improving the proof of hole location and the exploration efficiency, strengthening the analysis of resources and environment, and improving the evaluation content.

**Key words** hydrogeology, investigation and research, exploration test, resource evaluation, problems and countermeasures

(编辑 张玲 杨杨)