

文章编号: 1001- 4810(2006)01- 0001- 05

岩溶地区地下河系统水资源定量评价的问题与出路^{*}

郭 琳¹, 陈植华²

(1. 中国地质大学(武汉)研究生院, 湖北 武汉 430074; 2. 中国地质大学(武汉)环境学院, 湖北 武汉 430074)

摘 要: 岩溶地区含水介质的多重性和高度复杂性, 给地下河系统的水资源量评价带来许多难题。在分析地下河系统水资源形成、分布和运移特征基础上, 认为目前用于地下水评价的主要方法都不太适用来解决地下河系统水资源量的评价和预测问题。作者在比较地下河与地表水多方面的相似性后, 建议引入现代水文学的理论方法和模型来解决岩溶地区地下河系统水资源评价问题, 并分析了可能需要解决的若干关键问题。针对岩溶水资源的特征, 作者认为, 改变传统定量评价的思维, 引进现代水文学理论方法和充分利用 3S 技术, 是解决地下河系统水资源定量评价的主要出路。

关键词: 岩溶地区; 地下河系统; 水资源定量评价; 分布式水文模型

中图分类号: P641. 2 **文献标识码:** A

0 引 言

在我国西南碳酸盐岩出露的 46.9 万 km² 范围内(岩溶地区), 共分布有 2836 条地下河系, 总长度 13919 km, 据估算总流量达 1482 m³/s, 相当一条黄河^[1]。岩溶地下河系不但是岩溶地区水资源赋存空间场所, 而且往往是控制当地洪涝的咽喉。因此, 准确定量评价和预测赋存在地下河系统的水资源量大小和变化必须得到应有的重视^[1]。

2005 年 2 月, 由袁道先院士与国外专家等共同申请的 IGCP513——“岩溶含水层与水资源全球研究”通过了 IGCP 科学执行局评审。项目拟“从全球视野促进对岩溶含水层、水资源及其功能的深入了解, 探索其对人类与生态健康、岩溶区可持续发展的影响……”^[2]。因此, 岩溶水资源的评价仍是世界关注的焦点之一。

岩溶地下河系(又称岩溶地下河系统)是由发育在地下浅部的岩溶管道、岩溶洞穴、岩溶裂隙、岩溶裂缝和岩溶孔隙等多种岩溶空隙介质体(通常以岩溶管道和岩溶洞穴等为主)组成的多重复合体系, 具有高

度的非均质性。导储水空间以岩溶管道为主, 岩溶水主要为暗河水流, 有许多落水洞、天窗与其沟通, 岩溶水主要通过这些通道获得降水补给。这种特殊的介质结构决定了岩溶地区岩溶水资源的形成、分布、埋藏和运移具有以下一些宏观却又非常关键的特征:

(1) 地下河系统的边界不是以含水层系统划分为界, 而往往与所在地表汇水流域边界一致。岩溶水资源的形成几乎取决于所在流域单元的地形、地貌条件和地表的覆盖利用变化, 地球表层因子成为影响岩溶水资源形成的关键。因此, 岩溶地区特殊的自然地理条件, 使得地下水系统的边界与地表水流域的边界基本吻合, 以流域系统为此类地区岩溶水资源评价的基本单元, 更符合实际情况。

(2) 地下河系统岩溶水资源的补给来源基本来自上边界的各种补给(主要是降雨), 没有周界的侧向补给。也基本不存在向下渗流或获取越流补给。此处所提及的地下河系统属岩溶石山裸露型岩溶水系统的浅层岩溶水系统, 这类岩溶水系统基本分布在侵蚀基准面以上, 主要以暗河的形式排泄, 虽然作为暗河系统, 大多存在伏流入口, 有河流、湖泊水流直接汇入,

^{*} 国家地调项目: “西南岩溶石山地区地下水与环境地质综合调查评价”(编号: 200130000005) 项目

第一作者简介: 郭琳(1981-), 女, 武汉环境学院在读博士, 专业方向为 3S 技术在水文资源评价中的应用。

收稿日期: 2005- 09- 23

^{*} IGCP513 中国国家工作组秘书处文件“岩溶含水层与水资源全球研究”, 2005。

越流现象明显,但是在地下河系统的划分中,都可以认为是一个完整地下河系统内部的岩溶水水循环或径流过程。

(3) 由岩溶管道和其它多种岩溶空隙组成的介质,决定了地下河系统中的水流运动出现达西流与非达西流并存现象,不同地下河系统之间水位差异变化大,一般没有统一区域地下水位。

(4) 补给资源与储存资源难以区分。同样由于地下河系统的特殊含水介质结构,其与外界水循环的速度以及内部水流运移速度较快,几乎整个系统内的岩溶水都处于与外界积极的循环过程,当年雨量的多寡

和雨强大小及分布,往往控制着地下河系统排泄水量的大小和变化,地下河系统对水量变化调剂能力弱。

(5) 地下河水量动态变化特征与地表水流具有很好的相似性^[2]: 首先是构成地下河系统的岩溶管道结构(网)类似于地表水系网络; 其次二者对降雨过程和大小反映迅速,降雨垂直入渗后迅速沿岩溶管道汇流或沿地表汇流形成地表径流,都具有流量大、流速快、比降大的特点; 而且地下河与地表水往往形为一体,互为转换,相互消长,共同构成当地水系网络(见图 1), 地下河系统水量动态变化特征与地表水径流有一致或相似之处。

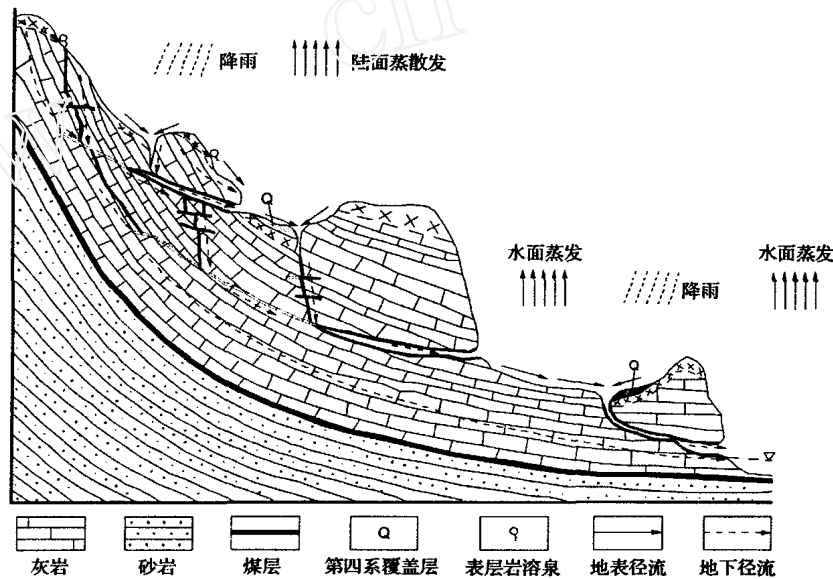


图 1 洛塔地下河系统结构概化示意图(据劳文科等^[3])

Fig 1 Sketch map showing the structure of karst underground stream system in Luota, Hunan

1 岩溶水资源定量评价的主要问题

水资源量预测评价的目的不单纯是获取地下河系统的水量大小,也非常注重研究背景条件变化和人类活动对水量水质变化过程的影响。尽管岩溶水资源定量评价一直受到世界关注,此项研究也有相当的成果积累,但应该承认,岩溶地区地下河系统的水量评价和预测依然需要克服许多难点。

1.1 现有理论方法研究存在的问题

1.1.1 系统分析方法

系统分析方法用于岩溶水资源的评价始于上世纪 70 年代初期,以线性系统分析法最为常用。常用的技术手段是用统计分析方法(互相关或自相关分析、回归分析、频谱分析等)通过考察输入-输出序列(降雨或入渗量-出口流量)或输出-输出序列(泉流量-泉流量)之间的联系(如通常建立的衰减流量方

程),进而推断系统内部某些信息,如降雨响应的延迟时间,含水层中的不同级次空隙的水力消散特征等。该法属于“黑箱”法,系统的输入-输出(输出-输出)之间变换函数的建立,是依靠统计关系而不是基于物理机制,因此所分析出的变换关系只表示系统各部分综合的“模糊”结果,基本不能辨识出系统的内部结构,也不能获取水量、能量转换详细信息^[4]。所以该法虽然能一定程度考虑输入变化(如降雨入渗)对岩溶泉流量的影响,但不能具体考虑系统的水文地质背景和人为干扰等系列作用,无法进行真正的预测。

1.1.2 水箱模型

水箱模型是从水文学中引用过来的,它利用若干个串联的水箱来代表岩溶含水系统的介质场的空间层结构,并用并联水箱之间的水量交换来模拟岩溶含水介质中裂隙—管道之间的水力联系,给模型参数赋予了具体的物理意义,因而属于“灰箱”法。这种方法

在一定程度上反映了岩溶水运动的紊流特征,可以较方便地模拟出各调蓄层以及各调蓄层之间任意时间段的调蓄量的变化,大体能刻画岩溶管道的地下水动态。其中桂林丫吉模型是该种方法中研究较为成功的代表^[4]。但此模型的建立需要依靠时间系列观测数据,由于无法考虑系统背景因素和对人工源汇因素,因而对水资源量变化的预测也基本无能为力。

1.1.3 数值模型

数值方法可用于非均质及复杂边界的区域,可以刻画系统的水文地质背景条件改变,考虑人工干扰因素的影响,从理论上讲是最为理想的一种方法。但是它需要大量、可靠的基础数据支撑。许多学者曾根据等效介质达西流假定条件,将数值法应用于岩溶水运动的模拟^[5],这种等效处理技术针对北方岩溶地下水资源评价时效果较理想,但南方裸露岩溶水赋存介质结构的特殊性 & 复杂性也很大程度上限制了等效介质方法的使用。

陈崇希教授为此提出了折算渗透系数的概念,建立了高度岩溶化地区三重空隙介质地下水流统一的控制方程,引出管道与裂隙在达西流与非达西流状态下的渗透系数与折算渗透系数的表达式^[6],从而将达西流与非达西流耦合在一个模型中,使离散介质地下水数值法在岩溶区的应用成为可能。这一模型被成功地应用于广西北山岩溶地下水流的数值模拟,但是其模拟区范围仅有 12.69km^2 ,且模拟的结果是建立在对研究区岩溶管道、裂隙详细调查的基础上。因此,想将岩溶地区大范围地下河系统水资源定量评价完全寄希望于数值模拟方法也是不现实的。

1.2 岩溶地下河系统水量评价的客观障碍

主要表现在以下两个方面:

(1) 缺乏地下河系统长期观测资料。分布在西南岩溶石山地区 2836 条地下河系统已设立水量(或水位)监测站的寥寥无几,因此基本无法根据观测数据系列来评价系统岩溶水资源量大小,仅依靠偶测值来确定的水资源量将存在很大的偶然性,而且可能造成某种假象;

(2) 无法获取刻画地下河系统含水介质的结构和水力参数。从实际调查情况来看,岩溶地区地下河系统岩溶管道的地下分布异常复杂,如果不是有重大项目经费投入的地区(意味着进行了详细的水文地质调查和投入了大量工程手段),基本不可能查清地下岩溶管道的分布和组成。此外,目前许多监测点(站)主要观测的是水位动态变化,再根据估算地下河管道构成的径流面积来估算地下河系统的排泄量。可以想象:如果岩溶管道的分布位置不知、数量不清,计算所取的径流面积差异将很大,计算出流量值差异也将很大。因此,即使对某些已有观测数据的地下河流域,其

流量数据运用也需要慎重。

2 岩溶地区地下河系水资源量定量评价的出路

综上所述,运用基于刻画地下空间介质参数的传统水文地质方法来实现地下河系统水资源定量评价,无论在理论、方法和技术手段等方面都遇到了挑战,需要新的思路、寻求新的理论和技术方法来解决。岩溶地下河和地表水系的相似性,提示我们应该借助现代水文学的理论和技术方法,研究的重点从注重地下复杂空间介质的刻画,转向注重获取影响岩溶水资源形成、运移的各种地表因素,进而引进现代流域水文学方法与 3S 技术,期望绕过依靠传统地下水研究方法无法跨越的障碍,寻求岩溶地区地下河系统水量定量评价与预测的新思路。

2.1 分布式流域水文模型与地下河系统水量评价

流域水文模型的概念出现在 20 世纪 50 年代中期,即把流域水文循环的各个环节作为一个整体进行研究。传统的流域水文模型大多为概念性模型和集总参数模型,虽然 1969 年就已提出分布式水文模型的概念,但受限于数据和计算技术的支持,该方法在相当长的一段时间内发展缓慢。近年来 3S 技术等高新技术的发展和应用于分布式水文模型的研究提供了条件与支撑。分布式水文模型已成为当前面向多种目标水文研究的重要工具,也是现代水文模型发展的一个趋势和方向^[7,8]。

分布式流域水文模型之所以成为当前水文水资源研究的热点,一是以水文物理概念为基础,依据了物理学的基本原理以及流域产汇流特性,推导出相互关联的描述降雨产流、饱和带和非饱和带水流运动,以及产输沙过程的微分方程组;二是具有真正分布式特征,即基于 DEM 将流域分成若干子流域,在子流域上建立物理概念模型;三是具有更多的时空模拟功能,在获取大量的流域空间分布数据信息支持下,可以模拟水资源量与质的时空变化信息、模拟流域生态水文过程、研究人类活动及气候变化的水文响应等。模型不但将小单元流域的水文动态规律研究和区域水循环演化综合起来,而且对大流域地下水资源可再生性等重大资源环境问题等都具有重要的指导意义,可以揭示自然变化和人类活动影响下的流域水资源与环境演化的循环规律。可以说,分布式水文模型对流域水文过程的时空变化有更加详细,或者从某种意义上说是更为准确的描述,因此它是当今水文科学研究和发展的前沿和方向。

岩溶地区地下河的产流模式与流域内地貌形态结构密切相关,地貌类型的差异可导致产流机制的改

变^[9], 下垫面条件很大程度上决定了岩溶水资源的形成和运移。因此将分布式水文模型应用于岩溶地区的水资源模拟, 从水文学原理角度, 综合考虑地球表层因素和水文、生态环境、气候等条件对岩溶水资源的影响, 不仅可以实现地下河水资源量的评价和预测, 而且可以深化对岩溶地区地下河岩溶水资源的形成和变化物理过程研究。从水循环的系统性和整体性角度, 将水圈、大气圈及生物圈看作有机的整体, 研究气候变化、土地覆被的变化等对岩溶水资源的影响。

当然岩溶地区的地下水并不完全等同于地表水, 而是更加复杂多变。需要研究和建立岩溶地区的产流概念模型, 并根据概念模型对分布式水文模型中的地下水径流模拟改进, 寻求合适的数学模型来概化岩溶裂隙流、管道流并存的地下河系统, 实现地下河水资源定量评价和预测。

总之, 岩溶地区岩溶水资源的形成、分布、埋藏和运移特征以及流域水文模型建立的基础、具有的功能和发展态势, 给岩溶地区地下河水资源定量评价提供了一条新的途径, 非常值得我们去研究和探索。

2.2 无监测数据条件下地下河水资源量的评价

地下河系统水量评价遇到的难题除了理论和方法方面外, 另一普遍的难题是缺乏足够的数据资料支持。西南岩溶石山地区分布的数千条地下河系统基本没有水量、水位监测站, 无法提供实际观测数据来支撑现有各种方法来评价和预测岩溶水资源量。

无监测数据地区的水量评价预测问题在地表水文学早已提出, 通常称为 PUB (Prediction of Ungauged Basin)。2002 年, 国际水文科学协会 IAHS 将这一世界范围普遍存在的难题列为世界水文科学大会主题之一, 并对其概念界定为: 即为对没有监测资料(降水、蒸发、水位、流量等)或缺乏监测资料盆地的水文预报问题, 预报的内容包括特定时段内洪水与旱灾的发生频率, 可开采的水资源量等。研究该问题的实际意义在于突破传统水资源评价方法对常规监测数据的依赖性, 而解决该问题的出路在于如何充分利用影响水文循环过程的地球表层信息, 并用恰当的技术和模型来定量描述。

因此, 解决岩溶地区岩溶水资源的 PUB 问题必须从以下两个方面入手: 第一是系统研究已有观测数据的典型流域, 并将重点放在研究总结地球表层因素对岩溶水资源形成和变化的影响方面, 包括地质背景、土壤、植被、地貌、地形、土地利用和水系水体等许多有关下垫面条件的信息。需要借助现代系统分析的理论方法, 揭示岩溶地区岩溶水形成机制和时空变化的特性, 需要建立合适的随机模型来进行相应流域系统的定量评估预测。这方面已有部分学者进行尝试, 如熊康宁等对新西兰岩溶流域水文过程的地貌响应

的研究^[9], 张建云等应用地理信息进行无资料地区流域水文模拟研究^[10]。西南岩溶地区虽然普遍缺乏地下河系统水量监测数据, 但在不同地域背景有 8 个典型地下河系统曾进行过详细的水文地质工作, 这些地下河系统还具有有一定时间系列监测数据。因此, 充分利用这些数据对研究无监测数据岩溶地区岩溶水资源非常重要, 它是建立类似背景条件无监测资料地区水量模型可靠与否、孰优孰劣的科学依据^[11]。第二要充分利用现代 3S 空间技术和计算技术, 如建立流域系统的数字高程模型 (DEM) 来提取水系分布和地形地貌变化的信息; 利用遥感数据提取地表覆被变化、土壤含水量等多种表层信息, 借助地理信息系统空间分析手段确定水文模型所需的大量参数, 并选用不同水文模型估算预测流域系统径流量, 以此揭示岩溶地区水资源形成的动力学机制与时空分布特性, 达到解决岩溶地下水系统水资源量估算之目的。

3 需要解决的关键问题

引入并应用现代水文学理论方法来解决地下河系统水量评价预测, 涉及到多学科交叉与技术实现的多个方面。这些问题除了水文学模型固有需要解决的之外, 在应用于地下河系统水资源评价预测时, 也有一些关键问题需要不断深入逐步予以解决。

3.1 深入研究岩溶地区岩溶水资源的形成运移分布机制

岩溶地区含水介质的复杂特征, 决定了地下河系统水资源属于一种地下水和地表水的“混合体”, 必然具有与传统地下水不同的形成运移和分布机制或规律, 必然衍生出相应的概念与分类等理论方面的问题。比如多大程度上符合地表水文学运动规律, 还是仍归属于地下水资源的研究对象? 岩溶水资源评价的对象是否需要区分补给资源和储存资源? 评价的具体技术标准和依据什么衡量? 构成下垫面诸多因素中, 哪些对岩溶水资源形成具有决定性的影响? 等等。许多基础性的问题需要在实际研究过程中逐步予以澄清和解决, 需要从一般概念性的认识上升到科学的定义和描述。

3.2 地表水文模型与地下水模型的综合集成问题

地下河系统岩溶水既有地表水文学的基本特征, 又具有地下水的部分特征。例如水流运移通道和介质空间既有水力学中的渠流、无压管流, 也存在有压管流和溶隙含水介质中的渗流。现行的分布式水文模型中, 地下水流成分没有充分考虑, 主要以简单达西模型描述地下水径流成分, 因此, 在运用分布式流域水文学模型为基础的同时, 必须考虑综合、集成相应的

地下水模型,或改进现有水文模型中对地下水定量描述的模块,体现溶隙介质地下水径流作用对地下河管道排泄的贡献。

3.3 确定岩溶地下河系统的空间分布范围

借助现有的GIS空间分析的功能及辅助软件,可以在DEM数据模型基础上提取不同级次地表水流域的信息。尽管岩溶地下河系与所在地表水流域具有很好的相似性和一致性,但直接基于DEM数据生成的流域单元与地下河系统的分布范围存在一定差异,实际研究结果也已证实这一点。毕竟地下河系统的汇水(补给)流域除与地形因素之外,还与地质构造和水文地质背景有关。准确地划分岩溶地下河系统的空间分布范围也是构建分布式水文模型关键的工作之一。因此,应在DEM模型基础上,根据岩溶地下河系统发育的链式规律,用地球系统科学的理论与方法,综合地质钻探、地球物理勘探、遥感解译、水文地质和地貌调查等数据信息,定性与定量研究岩溶地下河系空间分布规律及汇水范围^[12]。

3.4 表层岩溶带的分布与调节作用概化处理

各种水文模型中,土壤的特性、厚度与水分(含水量)是非常重要的下垫面参数,它决定着模型中降水形成地表径流、水分下渗、壤中运移和蒸发等水量平衡。但在岩溶地区特别是山区地带,经常缺失表层土壤或土壤厚度很薄,同时又不连续的分布有一定厚度的“表层岩溶带”。表层岩溶带的作用类似于土壤层而具有一定水分/水量调节功能,但又区别于土壤,在厚度变化与含水透水能力空间方面差异极大。现有各种分布式水文模型大都适用于土壤层较厚的流域,因此,需要根据表层岩溶带的特殊介质结构和水分水量调节机制合适地概化处理,并在水文模型加入对表层岩溶带可以定量描述的模块,这也是需要解决的重要问题之一。

4 基本结论和建议

(1)岩溶地区含水介质的多重性和高度复杂性以及岩溶山地区普遍缺乏监测数据等现实,给地下河系统的水资源量评价和预测带来许多难题。依靠传统的水文地质技术方法已经难以实现此类地区水资源量的评价预测,必须在理论方面有所突破,技术方法方面有所创新方能解决这些科学研究和实际应用遇到的难题。

(2)解决问题的出路可以综合表述为三个方面:

第一是需要思维角度的转变,即改变传统地下水文学评价的思维方法,将研究的重点从基于地下空间介质参数的评价方法,转移到获取多种重要的地球表

层信息来实现。现代技术发展使得地球表层数据资源开始丰富多样化,研究岩溶水资源形成与地球表层各种因素的关系,可以为岩溶地区岩溶水资源量评价提供新的途径。

第二是需要积极引进和运用新的或相邻学科的理论方法。岩溶地区地下河系统水资源的形成和分布运移,在很大程度上与地表水具有相似性。基于现代地表水文学的理论和方法,特别是分布式流域水文模型运用,探索岩溶地区地下河系统的水资源量评价和预测方法不仅可行且前途光明。

第三是需要利用现代3S技术。充分有效地利用3S技术对岩溶地区水资源评价十分关键,因为地球表层数据是分析岩溶水资源循环的基础信息,对地下河系统水资源评价而言甚为关键。运用3S技术提取地球表层数据的丰富信息,不仅为分布式流域水文模型应用提供良好的数据支持,同时也是能够综合研究岩溶地区水资源形成与变化的主要技术支撑工具。

(3)岩溶地区地下河系统水资源的定量评价和预测,是一个涉及多学科领域交叉(地下水科学、地表水科学、大气科学、计算机科学、航天遥感等)的科学研究,一定存在许多需要深入研究的理论和方法问题,就目前认识水平而言,问题十分复杂具有极大的挑战性。研究该问题的意义不仅是解决岩溶地区水资源定量评价预测,而在地下水和地表水资源的综合研究和统一评价方面也具有重大的科学和现实意义。

参考文献

- [1] 袁道先. 对南方岩溶石山地区地下水资源及生态环境地质调查的一些意见[J]. 中国岩溶, 2000, 19(2): 103-108
- [2] William B. White. Karst hydrology: recent developments and open questions [J]. Engineering Geology 2002, 65(8): 85-105
- [3] 劳文科, 蒋忠诚, 时坚, 等. 洛塔表层岩溶带水文地质特征及其水文地质结构类型[J]. 中国岩溶, 2003, 22(4): 258-266
- [4] 袁道先, 戴爱国, 蔡五田, 等. 中国南方裸露型岩溶峰丛山区岩溶水系统及其数学模型的研究——以桂林丫吉村为例[M]. 桂林: 广西师范大学出版社, 1996: 88-118
- [5] 赖苗, 赵坚. 岩溶地下水渗流计算方法综述[J]. 水电能源科学, 2002, 20(4): 44-47
- [6] 陈崇希. 岩溶管道-裂隙-孔隙三重空隙介质地下水流模型及模拟方法研究[J]. 地球科学, 1995, 20(4): 362-366
- [7] 刘昌明, 夏军, 郭生练, 等. 黄河流域分布式水文模型初步研究与进展[J]. 水科学进展, 2004, 15(4): 495-500
- [8] 郭生练, 熊立华, 杨井, 等. 基于DEM的分布式流域水文物理模型[J]. 武汉水利电力大学学报, 2000, 33(6): 1-5
- [9] 熊康宁, 周济沔. 新西兰喀斯特流域水文过程的地貌效应[J]. 贵州科学, 1994, 12(4): 22-27

(下转第17页)

- (4): 60- 61.
- [8] 蓝俊康, 蓝艳红 集雨工程的水质研究进展[J]. 中国给水排水, 2002, 18(8): 23- 25
- [9] 张小玲, 梁慧光 雨水集流饮用水的污染及水质改良途径[J]. 甘肃农业大学学报, 1998, 16(3): 84- 88
- [10] Jensen P. K, Ensink H. J, Jayasinghe G, Hoek W., et al Domestic transmission routes of pathogens: the problem of in-house contamination of drinking water during storage in developing countries [J]. Tropical Medicine & International Health, 2002, 7(7): 604- 609
- [11] 刘洪亮, 俞振泰, 马蔚 等 简易持续饮水消毒器处理地窖饮用水的试验研究[J]. 中国公共卫生, 2000, 16(10): 927- 928

DISPERSAL WATER SUPPLY PATTERN AND ITS PROBLEM IN KARST PEAK-CLUSTER AREA IN SOUTHWEST CHINA

ZOU Sheng-zhang^{1,2}, CHEN Hong-feng², LIANG Bin^{1,2}, PEI Jian-guo^{1,2}, TANG Jian-sheng^{1,2}

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Institute of Karst Geology, CAGS, Guilin, Guangxi 541004, China)

Abstract: There are three major dispersal water supply patterns in karst peak-cluster area in southwest China, namely water cistern, water tank and natural well with the source of water from rainfall, spring and subterranean river separately. Water cistern is fit for the peak-cluster area with abundant karst spring water supply; natural well is fit for the bottom of peak-cluster area and the edge of karst valley with subterranean stream and shaft; water tank is used in the peak-cluster area without other water supply except for rainwater. Based on a great deal of investigation and factual engineering, the design thinking, design parameter and items for attention in construction for the three water supply patterns are discussed in detail, and the sketch map for designing dispersal water supply pattern is put forth at the same time. The major problems in dispersal water supply at present are irrational locating, unscientific design and construction, and the security of water quality not able to be guaranteed. To carry out integrated optimizing design in the process of water storage, supply and treatment is reliable measures to guarantee water quality.

Key words: Peak-cluster area; Dispersal water supply; Water cistern; Water tank; Natural well

(上接第 5 页)

- [10] 谈戈, 夏军, 李新 无资料地区水文预报研究的方法与出路[J]. 冰川冻土, 2004, 26(2): 192- 196
- [11] 张建云, 何惠 应用地理信息进行无资料地区流域水文模拟研究 [J]. 水科学进展, 1998, 9(4): 346- 650
- [12] 郭纯青 中国岩溶地下河系及其水资源[J]. 水文地质工程地质, 2001, (5): 43- 45

THE PUZZLES AND SOLUTIONS FOR QUANTITATIVE ASSESSMENT OF WATER RESOURCES IN KARST UNDERGROUND RIVER SYSTEM

GUO Lin¹, CHEN Zhi-hua²

(1. Graduate School, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074, China;

2. Environmental Studies School, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074, China)

Abstract: The heterogeneity and complexity of karst media make a lot of trouble to quantitative assessment of water resource in karst underground river system. On the base of formation, distribution and transformation analysis on water resources of subterranean streams, the present methods and technology are thought to be unsuitable for evaluating and predicting the amount of water resources in karst subterranean streams. According to the similarity of subterranean streams and surface streams, the subterranean streams evaluation and prediction question can be solved by modern hydrologic theory and method. At the same time, the relevant key problems need to be solved are put forward. Against the characteristic of the karst water resource, the thinking of traditional quantitative appraisal need to be changed, introduction of theory method of modern hydrology and fully utilization of 3S technology are the main way of quantitative assessment of water resources in subterranean streams.

Key words: Karst area; Underground river; Quantitative assessment of water resources; Distributive-style hydrologic model