

我国西南典型地区表层岩溶水自动化监测初步成果

蒋忠诚 刘再华 裴建国 章程 何师意 姜光辉

(中国地质科学院岩溶地质研究所, 桂林 541004)

摘要: 西南地区的表层岩溶水为新一轮国土资源大调查的一个重要内容和新领域。通过运用表层岩溶水水位、水温、电导率、pH 值等参数的自动化监测新技术和方法, 于西南岩溶区几个典型岩溶水系统进行动态监测, 不但取得了定量刻画碳—水—钙循环活跃的表层岩溶水的水量、水质特征及其变化规律的系列动态数据, 而且在表层岩溶水系统研究方面有新的发现和认识。这些技术方法和认识可进一步推进西南岩溶地区表层岩溶水的地质勘查。

关键词: 表层岩溶水 自动监测技术 西南岩溶区

引言

地表数米至十米内的表层岩溶水虽然水量不大, 但对于我国西南地下水位深埋的岩溶山区来说具有重要的供水意义^[1~4], 从而成为新一轮国土资源大调查的一个重要内容和新领域。然而, 表层岩溶带处于大气圈、岩石圈、生物圈、水圈四大圈层的交汇带, 碳—水—钙循环活跃, 溶蚀化学反应过程迅速^[5~6], 岩溶水动态极不稳定^[6~7], 用传统的水文地质调查方法, 难以准确定量刻画表层岩溶水的水量、水质特征及其动态变化规律, 这不但不利于研究表层岩溶水系统的结构和功能, 也不利于有效开发利用表层岩溶水资源。为此, 我们引进探索了表层岩溶水自动化监测技术和方法, 以推进西南干旱缺水地区表层岩溶水的地质勘查和表层岩溶水系统的深入研究。

1 表层岩溶水系统自动化监测技术与方法

所用仪器主要为多参数水质监测仪, 产品包括美国 In-Situ 公司的 Troll8000 型号, 德国的 WTW 型号, 澳大利亚 PTY 公司的 CTDP300 的型号。前面两种型号主要监测参数为: pH 值, 电导率, 水温、水位。CTDP300 仪器, 除能测前面提到的几个参数外, 还能监测雨量。这些产品, 对于野外工作来说的一个重要的优点是便携式仪器, 携带和移动方便。

表层岩溶水的自动化监测工作主要在岩溶所承担的地质调查项目“西南岩溶石山地区地下水资源与生态环境地质调查评价综合研究”设立的点上进行。目前已经进行自动监测的点主要有: 广西桂林岩溶试验场、广西马山弄拉、贵州六盘水梅花山、贵州茂兰、贵州普定马官、重庆金佛山(图 1)。

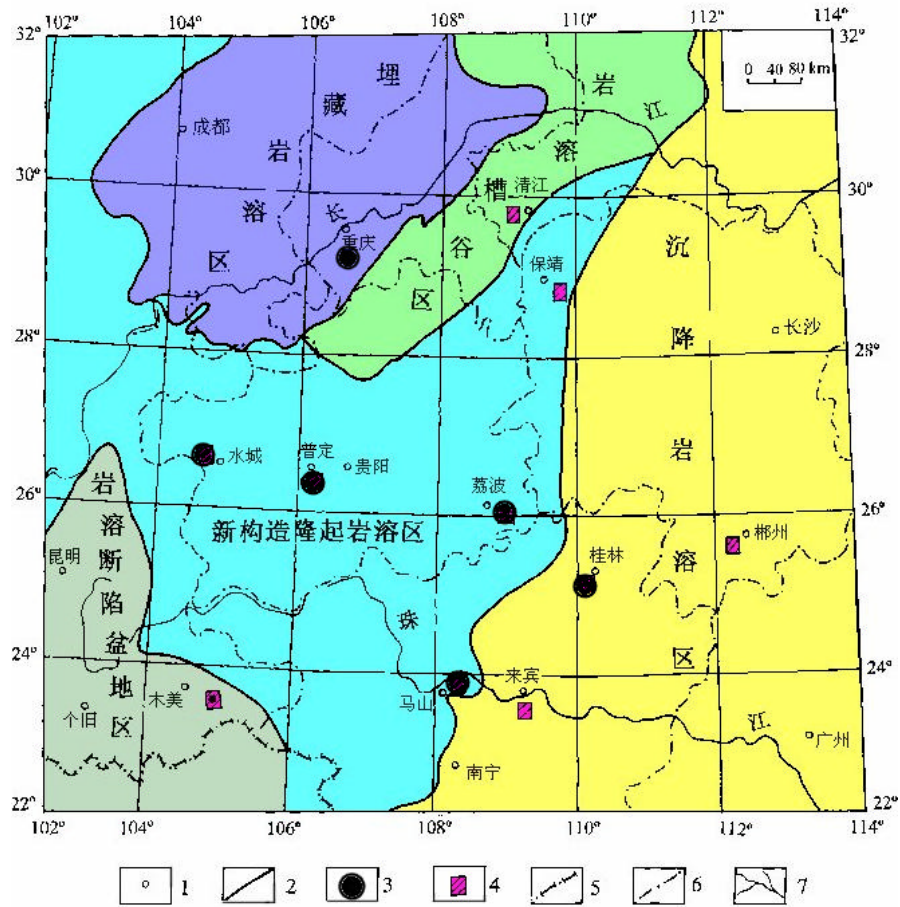


图 1, 西南岩溶区自动化监测点位置

1 - 城镇, 2 - 岩溶分区界线, 3 - 自动化监测点, 4 - 常规监测点, 5 - 国界, 6 省界, 7 - 河流

由于仪器数量少, 所以目前的自动化监测还是由研究人员携带仪器按月份在几个点分别进行, 并结合岩溶水的常观进行。除了抓住表层岩溶水的季节变化之外, 自动化监测的重点是暴雨期间岩溶水量、水质的连续监测。根据表层岩溶水主要参数的变化情况, 连续监测记录的时间间隔一般为 4 分钟, 观测周期为 2 - 5 天不等。一个周期观测的资料在野外即输入笔记本电脑。

2 典型地区表层岩溶水自动化监测结果及分析

2.1 表层岩溶水的水文动态特征

西南岩溶石山地区表层岩溶水动态多数为气象型动态，以贵州六盘水梅花山为例，表层岩溶泉流量一般只有0.001—0.1L/s左右，经常小于0.1L/s，雨季最大流量普遍大于5 L/s，旱季断流。梅花山表层岩溶泉监测点的流量最大为29.58L/s(2001年7月3日)，旱季几乎断流，流量动态变化见图2。2001年1—3月几乎无降水，泉流量0.0002—0.001 L/s，4月流量有所增加，最大可达0.008 L/s，从5—10月是丰水季节，流量常保持在0.05L/s以上，雨后洪峰多大于5L/s，11—12月流量基本保持在0.001—0.1L/s之间，至2002年2—3月，六盘水普降大雪，泉流量立即回升，其中3月8日达到15.37L/s。由此可见，对于六盘水这种石漠化严重的地区，降水动态控制表层岩溶泉流量的变化，且同步升降。表层岩溶水的开发利用要配合修建小型水柜，进行人工调节，才能延长岩溶水的利用时间。

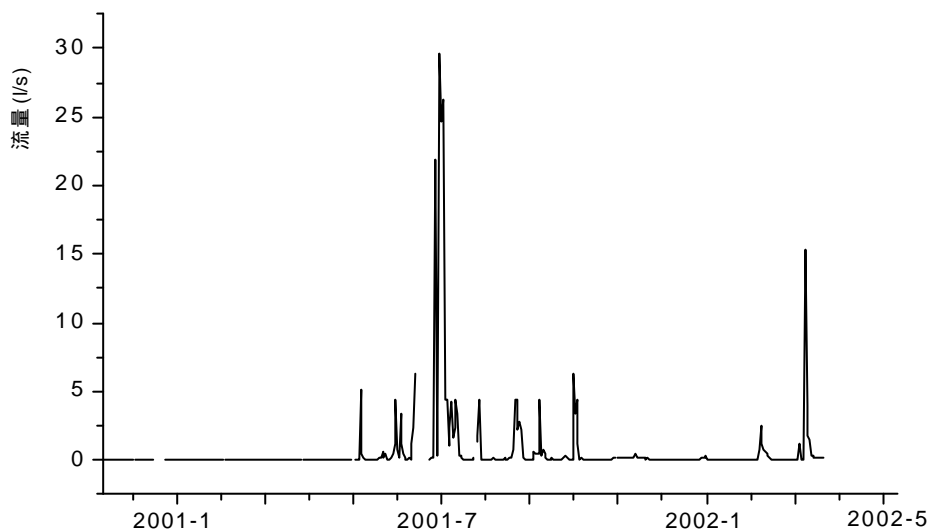


图2 梅花山表层岩溶泉监测流量变化曲线

然而，表层岩溶水的调蓄能力与植被覆盖密切相关，如果植被覆盖条件好，调蓄能力就增强，对小型降雨的调蓄尤其如此。森林植被不但能够使雨水在表层岩溶水系统中衰减缓慢(图3)，衰减洪峰使岩溶泉水能够维持很长时间甚至枯季泉水常流不断，而且可使小的降雨在泉水月动态中没有反应(图4)。森林对表层岩溶水的调蓄结果，虽然有的月份虽然降雨量较大，反而泉水流量相对较少(图4)。

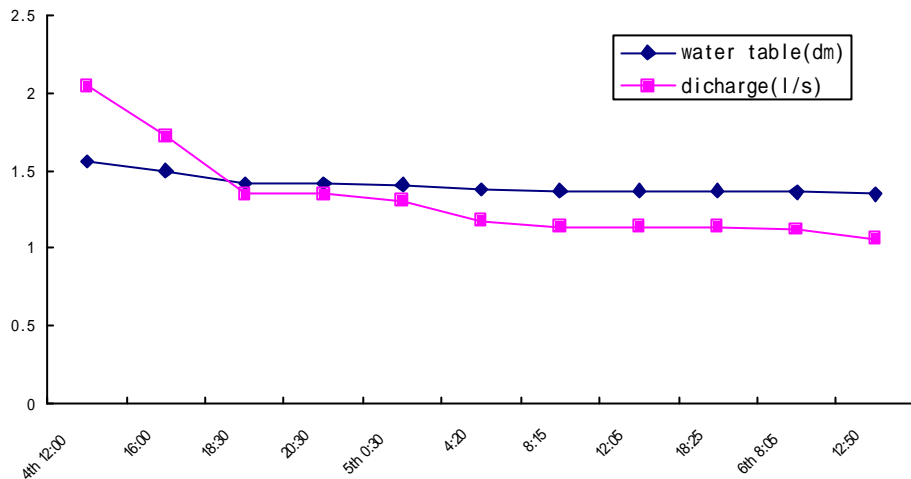


图 3，广西弄拉森林环境兰电堂表层岩溶泉暴雨后的衰减动态

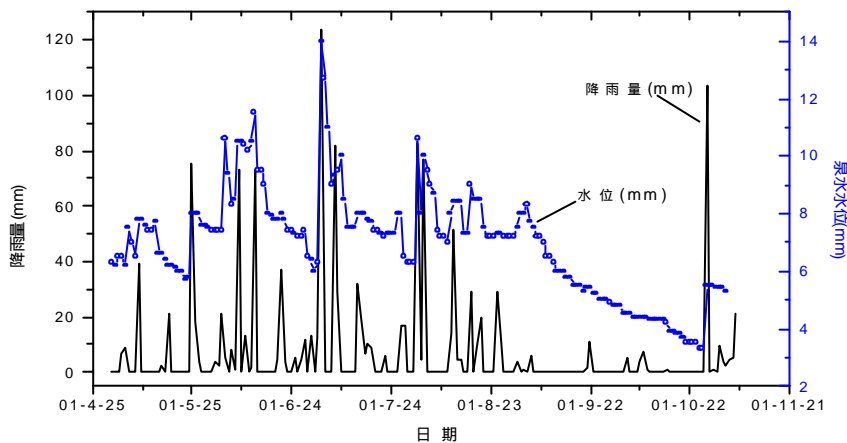


图 4，广西弄拉兰电堂泉水水位对降雨的响应过程曲线(2001.5.1-11.5)

岩溶表层带对岩溶水的调蓄主要与降雨强度有关^[8]。桂林岩溶试验场的研究结果表明：当降雨量<5mm时，表层带的调蓄量为泉域总调蓄量的 98.58%。当降雨量为 5~10mm、10~30mm 和 30mm 以上时，其调蓄量分别占泉域总调蓄量的 73.91%、77.29%和 67.69%^[9]。这是因为：小雨时，降雨几乎全部被地被物和岩溶裂隙截留，泉域总排泄量不形成洪峰，即洪峰与降雨的滞后趋于无穷大。

虽然表层岩溶水系规模小、埋藏浅，总的来说，岩溶水资源比岩溶地下河要少得多。然而，西南地调工作后的初步分析统计表明，西南岩溶石山地区表层岩溶水年资源量可达 $247 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{s}$ ，占降水补给量的 8%，这也是相对可观的水资源量。如果这部分水资源被开发利用，对于解决岩溶山区分散居民的饮用水问题具有重要意义。

2.2 表层岩溶水的物理化学指标动态

表层岩溶带与外界的物质能量交换频繁。因此，泉水的 pH、电导、水温和 HCO_3^- 等物理化学指标具有明显的动态变化，不但表现为季节变化，也表现有明显的日变化（图 5、6）。表层岩溶水水质的季节变化也与气候密切相关，但是为大气圈、水圈、生物圈、岩石圈相互作用的结果，这方面已有大量成果^[7-10]。表层岩溶水水质的日动态目前尚无系统调查资料。但从泉水的 pH、电导、水温和电导的自动监测资料看，不但有明显的波动，而且相关性较好。

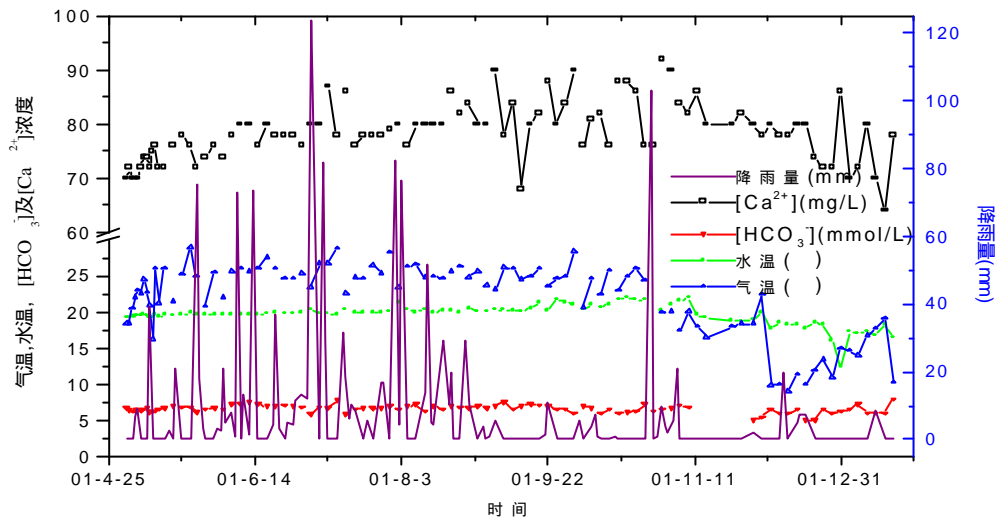


图 5 广西弄拉泉水的物理化学指标季节变化特征及与降雨的关系

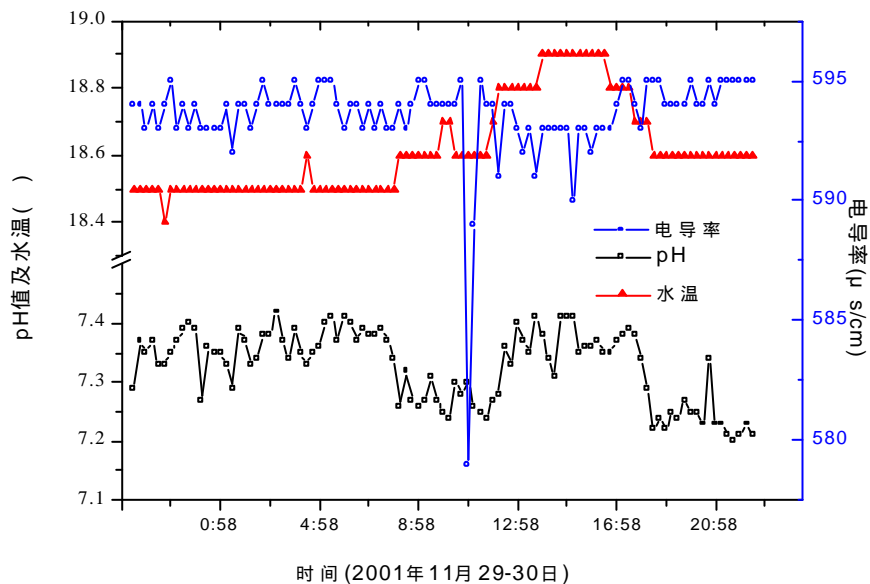


图 6 广西弄拉泉水的物理化学指标日动态变化(2001.11.29-30)

图 7 是 2002 年 7 月 3 日 15:50 时至 4 日 15:35 时梅花山表层岩溶泉监测点的水化学监测结果。总体上，水温、电导率和 pH 值同步变化，但变幅变化幅度大小不一，水温变幅 0.5，电导率变幅 $27 \mu\text{S}/\text{cm}$ ，pH 值的变幅 0.11。在监测期内，1 时—5 时连续 4 小时降水量

5.1mm，其中4时—5时降水量3.1mm，连续4小时降水之后，水温、电导率和pH值几乎同时达到最小值，表明降水对表层岩溶水的稀释作用，而后再同步上升。

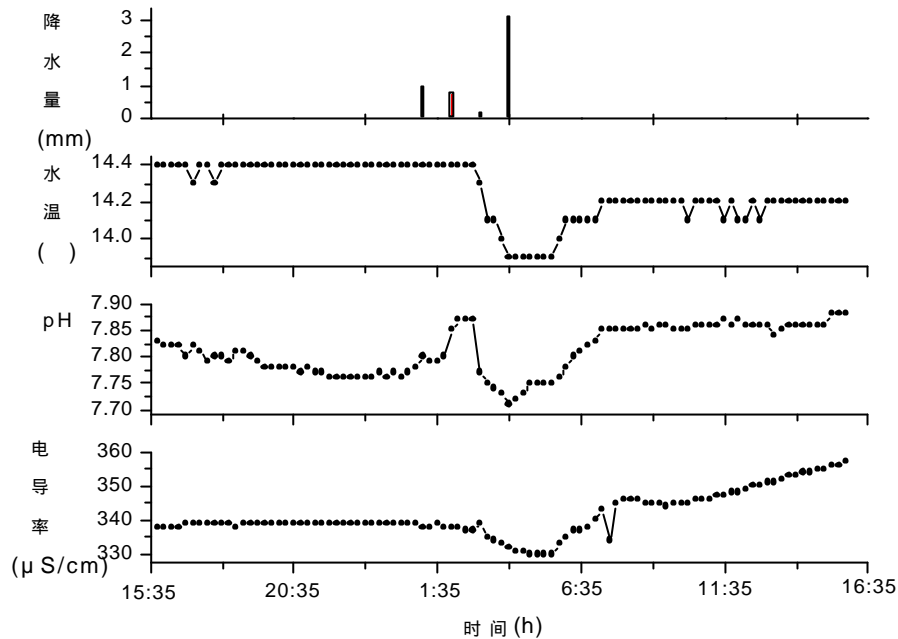


图7 梅花山表层岩溶泉水化学特性变化曲线(2002年7月)

2.3 表层岩溶水的物理化学特征与管道水的差异

图8显示打在场区岩溶裂隙介质上的1号钻孔的水的物理-化学特征。从图可看出，暴雨期间系统的物理-化学变化异常，即平水期水的电导率降低，而pH值升高；而在暴雨期间电导率升高，水的pH值降低。显然，这不能由传统的水-岩相互作用理论来解释，若按这一理论，则在暴雨期间，水的电导率应降低。另外，据打在岩溶管道介质上的5号钻孔的监测资料(图9)表明，虽然5号钻孔与1号钻孔相距不到5米，但5号钻孔的水的电导率却比1号钻孔高。而且，5号钻孔的水的物理-化学变化更稳定。这与水-岩相互作用的理论解释也不相符。我们认为在岩溶系统中有必要把水、岩、CO₂气体作为一个整体来解释物理-化学的变化，因为有观测表明，暴雨期间系统中的生物作用使土壤空气CO₂分压升高，这使得溶解于水的碳酸盐更多，从而可导致水的电导率升高。

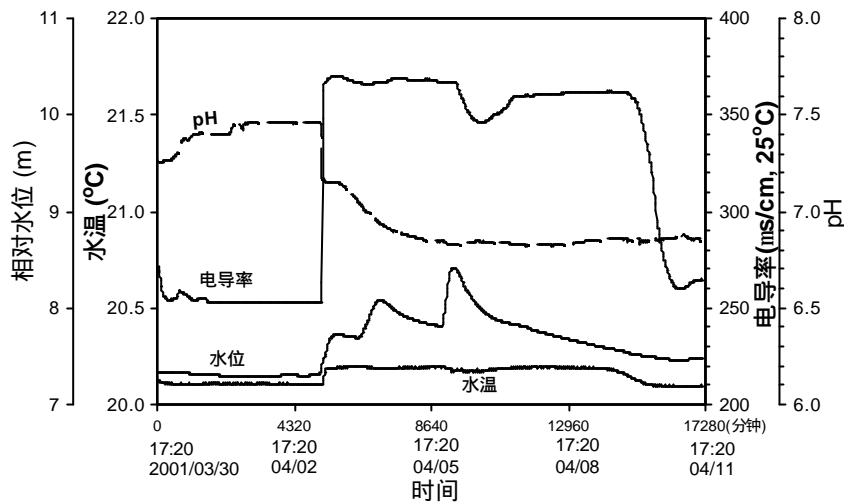


图 8 桂林岩溶试验场 CF1 钻孔(岩溶裂隙含水介质)水的物理化学动态特征

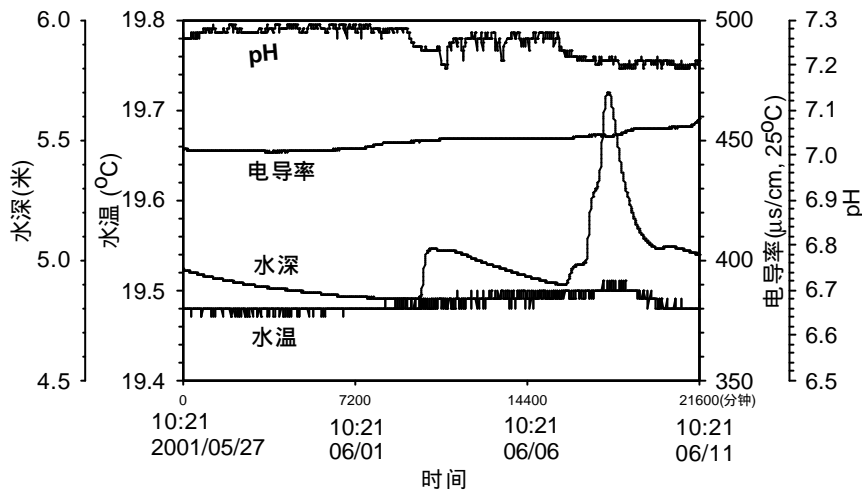


图 9 桂林岩溶试验场 CF5 钻孔(岩溶管道含水介质)水的物理化学动态特征

3 结论与问题讨论

表层岩溶水处于四大圈层的交界部位，岩溶水对环境的变化非常敏感。表层岩溶水的水量、水质的动态变化大，除了季节动态外，还有降雨的场雨动态。但这种动态变化除了与气候相关外，还与植被和表层岩溶带的结构有密切关系。植被对表层岩溶水的调蓄和水质变化有很大影响，是促进表层岩溶带调蓄水资源功能的关键因素。加强石漠化地区的生态重建工作，对表层岩溶水资源潜力的提高，具有重要意义。

西南岩溶石山区表层岩溶水资源丰富，且开发潜力很大，但目前对表层岩溶水的分布、结构、类型和水资源开发利用的条件均调查研究不够，其成果不足以指导当地政府和居民有效开发利用这部分水资源，需要进一步加大这一方面的调查工作力度。自动化监测能够捕捉多参数连续变化的动态信息，可提供分析表层岩溶水动态和与环境的关系的大量相关数据，

由此,不但可以为表层岩溶水的评价提供可靠的依据,而且能够获得一些新的发现,揭示传统观测信息所不能反映的新的岩溶水文地质规律,因此,自动化监测是表层岩溶水调查研究非常有效的一种方法手段。

目前,表层岩溶水监测的参数还不够,钙、镁等主要碳酸盐岩离子成分也应当监测,并且要气象、土壤 CO₂、生物作用等环境因子监测配套进行,同时进一步提高监测的自动化程度,这样才能深入分析岩溶水动态变化的原因和机理,提高表层岩溶水调查研究的水平。

主要参考文献

1. P. W. Huntoon: Hydrogeologic Characteristics and Deforestation of the Stone Forest Karst Aquifers of South China, *Groundwater*, 1992.No.2:167 ~ 176
2. Peter.W. Huntoon, 1992b, Exploration and development of ground water from the stone forest karst aquifers of south China, *Ground water*, 30: 324-330.
3. Jiang Zhongcheng , Yuan Daoxian and Peter.W. Huntoon, 1993, Discussion and reply: Hydrogeologic characteristics and deforestation of the stone forest karst aquifers of South China. *Ground Water*, 31: 325-327
4. 李兆林, 劳文科, 罗伟权, 湘西洛塔岩溶水的综合开发与持续利用, *中国岩溶*, 2002, 21 (4): 276 ~ 282
5. 蒋忠诚, 中国南方表层岩溶带的特征及形成机理, *热带地理*, 1998, Vol.18(4)
6. 蒋忠诚, 袁道先, 表层岩溶带的岩溶动力学特征及其环境和资源意义, *地球学报*, 1999, 3: 302 ~ 308
7. 姜光辉, 郭芳, 张美良等, 万华岩表层岩溶带岩溶动力系统的研究, *中国岩溶*, 2002, 20 (3) 173 ~ 177 .
8. 蒋忠诚 王瑞江 裴建国等, 我国南方表层岩溶带及其对岩溶水的调蓄功能, *中国岩溶*, 2001, 18 (3): 165 ~ 173 .
9. 袁道先、戴爱德、蔡五田等, 1996, 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, 广西师大出版社
10. 袁道先, 蔡桂鸿, : 岩溶环境学, 重庆出版社, 1988: 1