

文章编号:1001-4810(2013)04-0398-06

丽江黑龙潭泉群水文地质特征 及断流的影响因素分析

康晓波,王宇,张华,曹瑾

(云南省地质环境监测院,云南 昆明 650216)

摘 要:黑龙潭泉群为丽江古城流水源头,是古城生活用水、景观用水和服务业用水的主要来源之一。近年来,黑龙潭泉群流量丰枯变幅增大,干旱年或特大干旱年出现季节性或跨年度干涸,从 2011 年 8 月以来,黑龙潭泉群流量明显减小,月平均流量由 $0.695 \text{ m}^3/\text{s}$ 减至 $0.186 \text{ m}^3/\text{s}$,并于 2012 年 1 月 21 日全面断流,截至 2013 年 6 月仍未见出流。为给丽江盆地地下水资源保护和持续利用提供水文地质科学依据和技术支持,本文对黑龙潭泉群岩溶水系统水文地质特征进行了分析,认为降水量减少是泉群断流的主要原因,而补给区生态环境恶化和泉群下游地下水开采则在一定程度上加剧了泉群的断流发生频次。在此基础上,提出了提高黑龙潭泉群补给区的水源涵养能力、加强水资源的调控和管理、严格依法管理黑龙潭泉群水源保护区等建议。

关键词:泉群断流;岩溶水系统;地下水水位下降;丽江黑龙潭

中图分类号:P641

文献标识码:A

0 引 言

黑龙潭泉群为丽江古城水系(玉洞河)源头,是古城生活用水、景观用水和服务业用水的主要来源之一^[1]。泉群中心地理坐标为东经 $100^{\circ}24'2.90''$,北纬 $26^{\circ}53'10.57''$,海拔 2 420 m,泉群流量 $0\sim 42 \text{ m}^3/\text{s}$,多年平均流量为 $1.23 \text{ m}^3/\text{s}$ 。黑龙潭泉群断流早在乾隆元年(1736 年)夏 4 月就曾发生过,1942 年至今多次出现过不同程度的断流,一般断流 2—3 个月。1983 年是丽江市有记录以来的特大干旱年,黑龙潭泉群从 1982 年 6 月底至 1984 年 9 月跨年干涸达 810 天。断流周期从上世纪初至上世纪 80 年代,每 20 年左右出现一次;从上世纪 80 年代至上世纪末,则减为每 5 年左右出现一次季节性断流;进入 21 世纪以来,

则几乎年年都有枯季断流出现;特别是从 2011 年下半年以来,黑龙潭泉群流量明显减小,自 2012 年 1 月 21 日起全面断流^[2],至 2013 年 6 月 13 日仍未见出流。黑龙潭泉群流量丰枯变幅增大,严重影响了丽江古城生产、生活及其旅游品质,对丽江城市社会经济发展产生限制性影响^[3]。研究分析黑龙潭泉群断流的影响因素,将为丽江盆地地下水资源保护和持续利用提供水文地质科学依据,对丽江市水资源安全保障具有重要的现实意义。

1 黑龙潭岩溶水系统边界条件

黑龙潭岩溶水系统平面呈长轴近南北向的椭圆形展布(图 1),泉群出口位于系统南端,汇水面积约

180 km², 泉域为侵蚀溶蚀高中山地貌, 地势北高南低, 最高点为系统东北部巴忙牛山峰, 海拔 3 588.7 m, 最低点为泉群出水口, 海拔 2 420 m^[4]。

岩溶水系统西部以阻水的隐伏断裂为边界, 该隐伏断层南北两侧分布黑龙潭泉群和清溪水库泉, 黑龙潭泉群出水口(海拔 2 420 m)较清溪水库泉出水口(海拔 2 440 m)低 20 m, 黑龙潭已经干涸 510 天(至 2013 年 6 月 13 日), 而清溪泉仍继续出流, 说明二者之间存在有效的隔水边界^[5]; 北部、东北部以地表分水岭为边界, 边界性质属透水边界; 南东部以碎屑岩和碳酸盐岩分界线为边界, 边界性质属隔水边界; 南部泉水出口一带边界性质属透水边界, 岩溶水与下游地下径流存在水力联系。

2 含水层特征

黑龙潭岩溶水系统位于青藏高原与云贵高原的过渡地带, 主要出露中生代灰岩、白云质灰岩、泥灰岩和新生代砾岩、砂砾石、粘土, 主要断裂呈近南北向、北东向、北西向展布, 近南北向的褶皱也很发育。黑龙潭泉群地下水类型属碳酸盐岩类裂隙溶洞水, 含水层主要为三叠系中统(T₂)灰岩、白云质灰岩, 地表洼地、落水洞、漏斗发育, 地下溶蚀裂隙、溶洞强烈发育, 地下径流模数 6~10 L/s·km², 富水性强。地表水汇集补给主要从九子海一带的一个落水洞灌入, 落水洞洞口呈椭圆形, 长轴宽 5 m, 短轴长 3 m, 底部沉积枯枝和淤泥。

3 岩溶水补径排过程

黑龙潭岩溶水系统补给区位于泉群出口北部, 区内大面积出露三叠系中统灰岩、白云质灰岩, 洼地、落水洞发育。地下水在补给区接受大气降水渗入补给和在九子海一带(海拔 2 900 m)接受降雨产生的地表径流通过洼地、落水洞灌入式补给后, 沿岩溶管道、节理裂隙由北向南径流, 在泉群出口处(海拔 2 420 m)受地形切割和第四系相对隔水层阻隔, 形成地下水富集带, 浅层径流呈股状涌出地表, 深层径流侧向补给丽江盆地底部第四系冲洪积相孔隙含水层后再向丽江盆地南部作深远程径流, 在盆地南部边缘侧向补给岩溶含水层, 继续向鹤庆盆地径流, 至鹤庆盆地北端以大泉(海拔 2 240 m)形式排泄(图 2)。

2012 年 11 月雨季末, 翟军伟等人在九子海借助流入落水洞的水流, 投放了 150 kg7 钼酸铵作为示踪剂, 投放点与黑龙潭平距 16 km。投放后经过 12 天检测, 在黑龙潭下游 1.2 km 的白马龙潭检出了 7 钼酸铵。由于黑龙潭已经干涸, 无法取样检测, 又在黑龙潭出水口人工灌入 7 钼酸铵溶液, 12 小时后在白马龙潭、甘泽泉、三眼井检出 7 钼酸铵^[6]。这一示踪试验证明九子海与黑龙潭及下游泉点存在直接的水力联系, 是这些泉水的补给区。

采用渗入系数法($Q_{补}=2.74 \cdot \alpha \cdot F \cdot X$)估算黑龙潭岩溶水系统多年平均降雨渗入补给量。黑龙潭

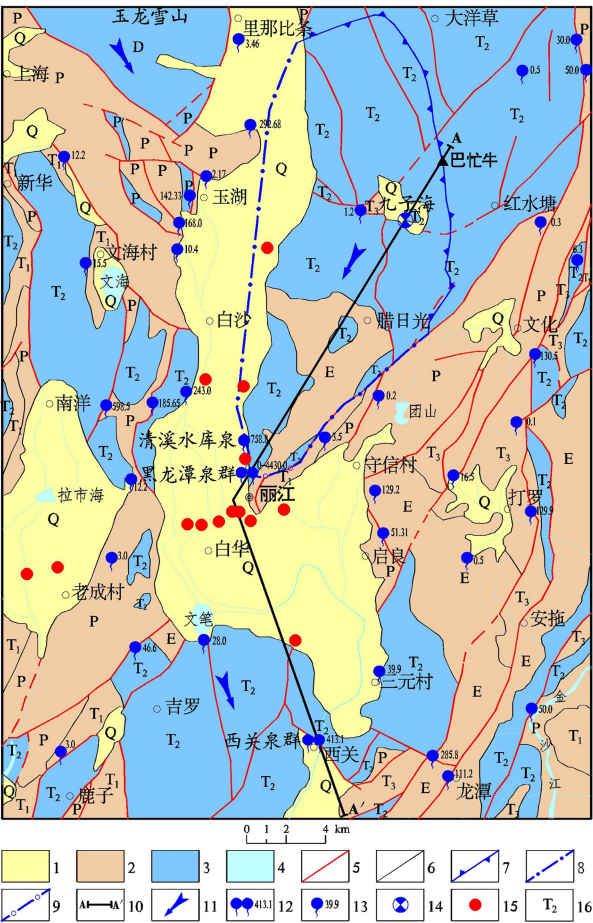


图 1 黑龙潭岩溶水系统平面图

Fig. 1 Plan of the Heilongtan karst water system

1. 孔隙含水层; 2. 裂隙含水层; 3. 岩溶含水层; 4. 湖塘; 5. 断层; 6. 地层界线; 7. 地表分水岭; 8. 隔水边界; 9. 透水边界; 10. 剖面线; 11. 地下水流向; 12. 泉群, 右为流量(L/s); 13. 泉点, 右为流量(L/s); 14. 九子海落水洞; 15. 钻孔; 16. 地层代号

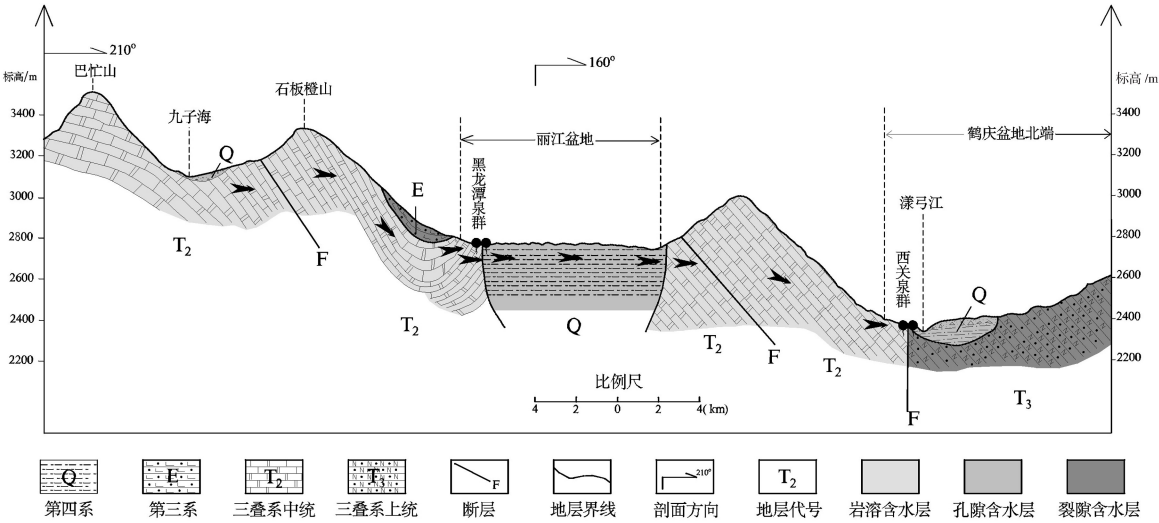


图 2 黑龙潭岩溶水系统补径排过程示意图

Fig. 2 Sketch map of the recharge-runoff-discharge process in the Heilongtan karst water system

系统内裸露岩区面积(F)约 118 km^2 ,1996—2005 年丽江市古城区多年平均降雨量(X) $1\,059.5\text{ mm}$,渗入系数(α)根据 1:20 万丽江幅区域水文地质普查报告取 0.4,计算得黑龙潭岩溶水系统多年平均降雨渗入补给量为 $20.90\text{ 万 m}^3/\text{d}$ 。黑龙潭泉群多年平均流量为 $10.63\text{ 万 m}^3/\text{d}$ 。

平均补给量($20.90\text{ 万 m}^3/\text{d}$)大于黑龙潭泉群平均排泄量($10.63\text{ 万 m}^3/\text{d}$),一定程度上间接说明了黑龙潭岩溶水系统存在浅层和深层两种径流。

4 动态特征

黑龙潭泉群流量动态变化大(表 1),多年平均流量 $1.23\text{ m}^3/\text{s}$,最大流量 $42\text{ m}^3/\text{s}$,旱季多发生断流。1943 年丽江气象站建站 70 年以来,黑龙潭泉群因早发生断流超过 60 天的次数共有 11 次,其中 1960 年 6 月至 1962 年 8 月、1977 年 6 月至 1978 年 8 月、2012 年 1 月 21 日至今为跨年断流。2012 年 1 月 21 日至 2013 年 6 月 13 日,已断流 510 天,预计未来一段时间还将继续处于断流状态。

表 1 黑龙潭泉群 2009—2013 年各月平均流量^[7]

Table 1 Average monthly discharge from 2009 to 2013 in the Heilongtan spring group 单位: m^3/s

时间	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
2009 年	1.44	1.26	1.00	0.905	0.688	0.425	0.292	0.761	1.17	1.25	1.14	1.06
2010 年	1.03	0.810	0.696	0.511	0.280	0.011	0	0.095	0.810	1.12	1.17	1.01
2011 年	0.827	0.814	0.791	0.581	0.424	0.144	0.345	0.695	0.631	0.487	0.402	0.186
2012 年	1 月 21 日起断流	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2013 年	0	0	0	0	0							

5 黑龙潭泉群断流的影响因素分析

5.1 降水量减少

黑龙潭泉群主要接受大气降水渗入补给和九子海一带降水产生的地表径流通过落水洞灌入式补给,

受补给区(九子海一带)降雨控制明显。根据多年观测和历史资料分析(表 2):当九子海降水量达到 $1\,400\text{ mm}$ 以上,黑龙潭可保持连年不断流;当九子海降水量小于 $1\,200\text{ mm}$ 时,翌年旱季黑龙潭出现断流;若九子海连年降水量小于 1000 mm 时,则出现

表 2 近 50 年来丽江黑龙潭泉群断流事件统计表

Table 2 Setting off events of the Heilongtan spring, Lijiang in the recent 50 years

序号	黑龙潭断流情况	断流前降雨情况
1	1960 年 6 月至 1962 年 8 月,断流 700 余天	1959、1960、1961 年降雨量分别为 825.7、845.4、852.6 mm,连续三年显著偏少。
2	1965 年 6 月至 9 月	1964 年降雨量 953.3 mm,较 1963 年降雨量(1 213.3 mm)减少 260.0 mm。
3	1970 年 6 月至 9 月	1969 年降雨量 792.9 mm,较 1968 年降雨量(1 058.5 mm)减少 265.6 mm。
4	1977 年 6 月至 1978 年 8 月	1976 年降雨量 785.9 mm,较 1975 年降雨量(980.5 mm)减少 194.6 mm。
5	1982 年 4 月 19 日至 1984 年 9 月 19 日,断流 801 天	1981、1982、1983 年降雨量 7 分别为 901.5、861.0、648.1 mm,连续三年降雨量显著偏少,1983 年为历年最低值。
6	1993 年 6 月 23 日至 8 月 9 日,断流 45 天	1992 年降雨量 782.5 mm,较 1991 年降雨量(1 077.7 mm)减少 295.2 mm。
7	1995 年 5 月 10 日至 7 月 31 日,断流 83 天	1994 年降雨量 838.3 mm,较 1993 年降雨量(1 095.6 mm)减少 257.3 mm。
8	1998 年 4 月 18 日至 6 月 23 日,断流 67 天	1997 年降雨量 795.0 mm,较 1996 年降雨量(1 053.5 mm)减少 258.5 mm。
9	2004 年 6 月 5 日至 15 日,断流 11 天	2003 年降雨量 892.0 mm,较 2002 年降雨量(1 160.7 mm)减少 268.7 mm。
10	2006 年 5 月 24 日至 7 月 24 日,断流 61 天	2005 年降雨量 826.0 mm,较 2004 年降雨量(1 115.4 mm)减少 289.4 mm;2005—2006 年连续干旱。
11	2007 年 3 月 19 日至 7 月 26 日,断流 130 天	2005—2006 年连续干旱,2005、2006 年降雨量分别为 826.0、856.1 mm。
12	2008 年 7 月 2 日至 6 日,断流 5 天	2007 年降雨量 1 049.8 mm,虽然较 2006 年降雨量(856.1 mm)增加 193.7 mm,但由于 2005—2006 年连续干旱影响未消除,所以 2007 年仍然出现短时断流。
13	2010 年 6 月 14 日至 8 月 22 日,断流 70 天	2008、2009 年连续干旱,降雨量分别为 914.9、819.6 mm,均较 2007 年降雨量(1 049.8 mm)少,减少值分别为 134.9、230.2 mm。
14	2011 年 7 月 2 日至 7 日,断流 6 天	2010 年降雨量 998.1 mm,虽然较 2009 年降雨量(819.6 mm)增加 178.5 mm,但由于 2008—2009 年连续干旱影响未消除,所以 2010 年仍然出现短时断流。
15	2012 年 1 月 21 日至 2013 年 6 月 13 日,已断流 510 天,预计未来一段时间还将继续处于断流状态	2011 年降雨量 808.2 mm,较 2010 年降雨量(998.1 mm)减少 189.9 mm;2012 年降雨量仅 657.9 mm;2008—2012 年连续干旱

跨年度持续干涸的可能性很大,特别是连年干旱导致地下水补给不足,区域地下水位下降幅度更大,泉群流量衰减、断流更为明显。

5.2 植被退化

补给区地表植被退化使涵养水源能力降低,是导致黑龙潭泉群断流的影响因素之一。补给区内大面积出露三叠系北衙组灰岩、白云质灰岩,由于垦殖、烧荒、放牧、修路等人为作用增强,造成九子海盆地周围出现石漠化、沙化现象。据《丽江纳西族自治县志》

(2001 年)原丽江县 1958—1988 年间森林植被破坏严重,全县森林覆盖率下降至 49.0%,丽江盆地北部边缘及分水岭地带 3 200 m 以下的原生植被大部分被破坏。虽然玉龙雪山自然保护区成立以来,特别是天然林保护工程、长江防护林、石漠化治理工程的实施,森林植被有所恢复,但据近年的实地调查和 2010 年 3 月 1 日的卫星遥感影像资料,九子海一带石漠化仍然较严重(图 3),等级以中度—重度石漠化为主。植被退化,覆盖率低,水土流失加剧,落水洞入口淤



图 3 九子海石漠化景观遥感影像图

Fig. 3 Remote sensing image of the rocky desertification in Jiuzihai

塞,致使地表径流系数增大,入渗系数减小^[8],不利于降水入渗,导致有限的大气降水对地下水的补给量减小^[9]。而且,植被涵养调蓄水分的功能退化,泥沙从落水洞进入地下河系统,造成一些地下河道、溶潭淤积,减弱了地下岩溶空隙的储存调节功能,也使得地下径流的动态变幅加剧,雨季流量暴涨,旱季衰减迅速,径流持续时间缩短^[10]。

5.3 地下水开采

根据丽江市古城区水利局提供的资料,通过 2007 年地下水治理整顿后,丽江盆地内古城区部分现主要有机电井 15 口,2011 年取水量为 59.32 万 m³(表 3)。

丽江盆地地下水主要为储存于第四系湖积、冲积层中的孔隙水,补给来源主要有三方面,一是直接接受大气降水渗入补给,二是接受地表水渗入补给,三是接受其他含水层的侧向补给。在连续几年降雨偏少的情况下,对地下水的补给量明显减少,地下水开采必然要消耗第四系孔隙含水层中地下水储量^[11-12],使丽江盆地地下水水位下降,导致由黑龙潭泉群一带岩溶含水层向孔隙含水层的侧向补给量增

大,降低了黑龙潭泉群周边的地下水水位,由此可能在一定程度上加速黑龙潭泉群的断流。

据丽江市水务部门监测,黑龙潭泉群一带地下水水位仍在持续下降。自 2012 年 11 月 28 日开始观测至 2013 年 4 月中旬,黑龙潭泉口地下水水位已经低于泉口近 12 m。最近一段时间以来,紧邻黑龙潭泉群的清溪泉群也接近于断流,原来的 6 个出水点已经断流 4 个。

表 3 丽江盆地(古城区)主要机电井开采量统计表

Table 3 Statistical table of exploitation quantity by major motor-pumped wells in the Lijiang basin (ancient town area)

序号	机井名称	2011 年取水量/万 m ³
1	云南金沙江林业工程公司取水井	16
2	云南白药集团机电井	3.1
3	金山东元中岗村机电井	1.26
4	金山东元德为村机电井	1.76
5	金山贵峰三元村机电井	1.65
6	关坡收费站机电井	0.1416
7	金山漾西林红上村机电井	1.41
8	金山漾西高士村机电井	2.25
9	丽江玉缘大酒店机电井(大口井)	1.5
10	丽江大酒店机电井(大口井)	1.113
11	丽江玉峰水泥有限公司机电井	22.42
12	绿丫头有限公司机电井(大口井)	0.089
13	黑白水电力集团机电井(大口井)	2.69
14	丽江麻纺织有限责任公司机电井(大口井)	2
15	白塔机电井	1.92

6 结论与建议

通过对黑龙潭泉群岩溶水系统水文地质条件和地下水开采现状的调查分析,认为丽江黑龙潭泉群断流的主要原因是主要补给区降水量减少,补给区内植被退化使地下径流的动态变幅加剧,丽江盆地内地下水的开采降低了泉群周边的地下水水位,这也在一定程度上加速了泉群的断流。为此建议:

(1)提高泉群补给区的水源涵养能力。按照国家的有关天然林保护规划,严格封山育林,植树造林,退耕还林,限制经济开发活动规模,有效恢复九子海的生态环境,提高九子海生态系统的水源涵养功能。

(2)加强水资源的调控和管理。治理整顿丽江盆地内已有的开采井,加强用水管理,合理分配开采量和开采时间。加强地表水、地下水联合调度与优化配置研究,进一步调整供水结构,逐步加大地表水和地下水的利用比例,最大限度减少地下水开采。

(3)严格依法管理黑龙潭泉群水源保护区,减少乃至消除人为活动对周边地下水水位的影响。应尽快开展详细的水文地质调查,建立地下水监测井网及地下水动态资料库。在此基础上,准确划定地下水的禁采区,严格控制地下水开采。

参考文献

[1] 范弢,杨世瑜,庄立会. 丽江市水资源环境现状与应急地下水源地研究[J]. 云南师范大学学报,2008,28(1):66—71.

[2] 云南省国土资源厅. 丽江黑龙潭泉群断流与地下水开采的关系分析[R]. 2012.

[3] 范弢,杨世瑜. 丽江古城水环境现状与调控对策研究[J]. 资源开

发与市场,2007,23(2):153—155.

[4] 中国人民解放军 00939 部队. 1 : 20 万丽江幅水文地质报告[R]. 1979.

[5] 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.

[6] 西南有色昆明勘测设计(院)股份有限公司. 丽江市黑龙潭泉域水文地质调查评价[R]. 2013.

[7] 丽江市水文水资源局. 专题水文信息[G]. 2012,(6).

[8] 汪集友. 径流与森林生态[J]. 福建水土保持,2001,13(2):57—60.

[9] 张保祥,孙学东,刘青勇. 济南泉群断流的成因与对策探析[J]. 地下水,2003,25(1):6—8.

[10] 金德山. 云南矿山尾矿库渗漏导致泉水断流一例[J]. 中国地质灾害与防治学报,2007,18(3):134—135.

[11] 王春帅,梁毅,施强,等. 关于龙门石窟景区泉水间歇性断流影响因素的分析[J]. 地下水,2009,31(2):57—62.

[12] 刘玉忠,杨德贵. 河南省龙门石窟泉群断流原因探讨[J]. 南水北调与水利科技,2012,10(6):1—5.

Hydrogeologic features and influence factors of zero flow
of the Heilongtan spring group in Lijiang

KANG Xiao-bo,WANG Yu, ZHANG Hua, CAO Jin
(Yunnan Institute of Geo-Environment Monitoring, Kunming, Yunnan 650216,China)

Abstract: Water from the Heilongtan spring group is one of the main sources for living, landscape and the service in the old town of Lijiang. In recent years, the amplitude of the spring group flows between wet and dry period is increasing. Seasonal or annual drought event is occurred when in drought or extreme drought years. Since August, 2011, the Heilongtan spring group’s flow has reduced significantly. The monthly average flow has reduced from 0. 695 m³/ s to 0. 186 m³/s. And zero flow once occurred on January 21, 2012. On June 13, 2013, the spring group is still zero flow. In this paper, karst water system of the Heilongtan spring is analyzed. It is considered that the main reason of zero flow is less precipitation. While both of the ecologic environment destruction in the recharge area and the exploitation of groundwater also aggravates the setting off frequency of the Heilongtan spring. On this basis, some measures are put forward in the paper, such as improving the water conservation function of recharge area, strengthening the control and management of water resources, managing the water conservation district according to law strictly.

Key words: zero flow of spring group; karst water system; groundwater level falling; Heilongtan in Lijiang

(编辑 韦复才)