

贵州省独山南部地区 构造网络对喀斯特发育的控制

毛健全 李景阳

(贵州工学院地质系)

提 要

贵州省独山南部喀斯特谷地、槽谷纵横交错,地下河系十分发育。本文从构造体系、构造应力场对喀斯特地貌发育的控制入手,着重探讨了不同期的构造应力场网络及构造节理变形网络对喀斯特地貌及喀斯特地下水网络的控制,并用数理统计的方法探讨了二者的相关性。

贵州省独山南部是指独山县上司、下司、麻尾三个区,荔波县西部,平塘县东部,以及广西南丹县北部的一小部分地区,面积约1200km²。区内出露的泥盆系、石炭系、二叠系、三叠系可溶性碳酸盐岩占全区面积的86%,喀斯特极为发育,峰林、峰丛遍布,山峦叠障,洼地、漏斗星罗棋布点缀于群山之间,喀斯特谷地、槽谷纵横交错穿插于全区,区内地表水奇缺而地下河系十分发育。该区成为贵州喀斯特类型最丰富,发育最复杂的地区之一。该区的地貌类型受可溶性地层与非可溶性地层的层组类型的控制;喀斯特地貌形态及喀斯特地下水网络的发育受构造网络的严格控制,而地下河系对喀斯特地貌的发育也有着重要的影响。本文着重探讨构造网络对本区喀斯特地貌及喀斯特地下水网络的控制。

一、独山南部构造特征

本区位于走向南北的川黔经向构造带、黔东新华夏系及黔南纬向构造带的复合部位,以宽缓的箱状背斜和紧密的向斜组成的隔槽式褶皱束为其特点(见图1)。区内三个主要构造体系特点及相互关系如表1所示。结合区域构造发育史的研究成果对区内主要构造体系复合关系,断裂多期活动性,大、中、小型平面共轭X节理分期配套的研究,并参考区域及邻区的资料,确定本区有三期方向及作用特点不同的区域构造应力场。第一期是近东西向挤压应力场形成经向构造体系;第二期为南北向对扭产生的北西—南东方向挤压的应力场形成新华夏系;第三期是近南北向挤压的应力场形成纬向构造带,各期应力场特征见表2。

根据野外考察资料绘制了不同期的构造应力场网络图、节理变形网络图、线性构造图、喀斯特谷地和大型洼地图,用以讨论构造节理变形网络、线性构造对喀斯特地貌及喀斯特地下水网络的控制作用,并用回归分析的方法分别求其相关系数。

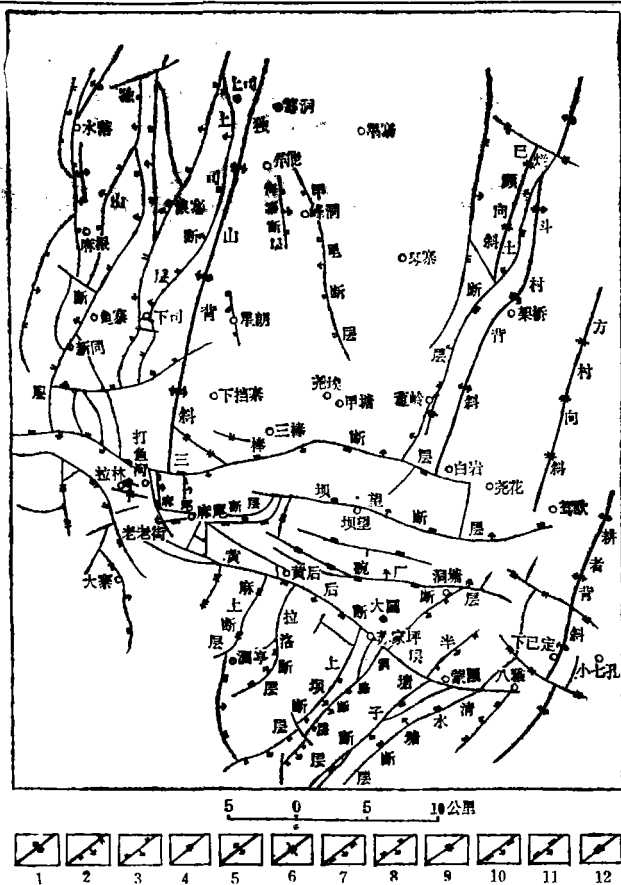


图 1 贵州省独山南部地区构造纲要图

Structure outline map of South Dushan

经向构造体系: 1.背斜轴 2.正断层 3.逆断层 4.性质不明断层; 新华夏构造体系: 5.背斜轴 6.向斜轴

7.正断层 8.逆断层 9.性质不明断层; 纬向构造体系: 10.正断层 11.逆断层 12.性质不明断层

表 1 独山南部主要构造体系特征简表

Main structural system of South Dushan

构造体系	构造形迹			分布地区	构造复合关系
	褶皱	断层	节理		
经向构造体系	独山背斜	独山断层 上司断层 海寨断层	$158^{\circ} < 86^{\circ}$ $30^{\circ} < 85^{\circ}$	主要分布在三棒断层以北的地区	被三棒断层切断为反接复合关系
新华夏构造体系	斗村背斜 已顺向斜 方村向斜 耕者背斜	烂土断层 黄后断层 麻上、拉路、上坝、清水塘等断层	$6^{\circ} < 88^{\circ}$ $264^{\circ} < 85^{\circ}$	主要分布在东部及南部	与经向构造斜截复合, 与纬向构造反接复合
纬向构造体系	麻尾背斜	三棒断层 麻尾断层 坝望断层 碗厂断层	$44^{\circ} < 87^{\circ}$ $300^{\circ} < 86^{\circ}$	主要分布在月里断层与碗厂断层之间	切断经向构造与新华夏系

表 2 本区构造应力场特征简表
 Characteristics of structural stress field in South Dushan

构造应力场分期	三向主应力轴产状			形成构造体系	共轭节理系产状	应力场变化特点		
	σ_1	σ_2	σ_3			北部	中部	南部
第一期	94°—274° 水平	直立	174°—354° 水平	经向构造体系	第一共轭节理系 158°<86° 30°<85°	最强	较强	弱
第二期	124°—304° 水平	直立	34°—214° 水平	新华夏构造体系	第二共轭节理系 6°<88°	较强	较强	最强
第三期	174°—334° 水平	直立	84°—264° 水平	纬向构造体系	第三共轭节理系 44°<87° 300°<86°	弱	最强	弱

二、构造网络对喀斯特地貌的控制

喀斯特谷地和大型洼地的发育方向、规模、形态受到多因素的控制，在本区主要为各种

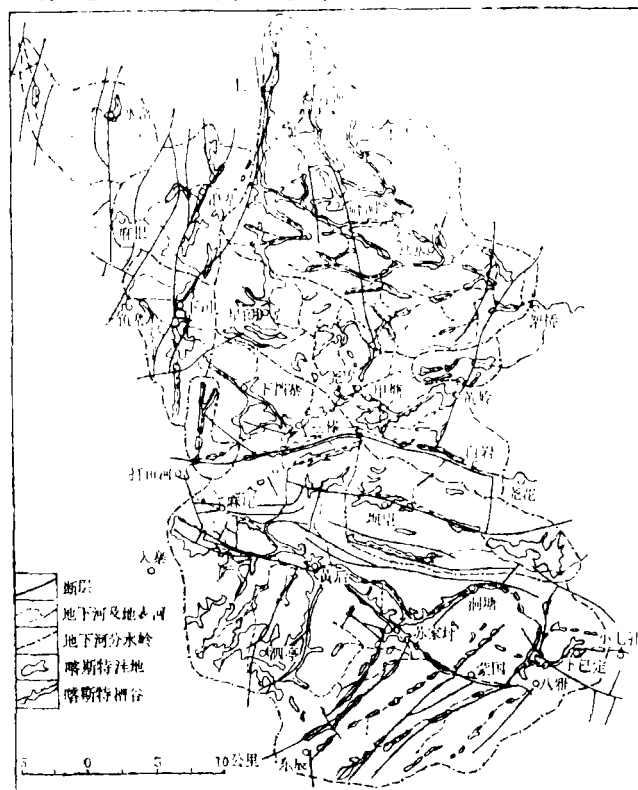


图 2 贵州省独山南部地区喀斯特谷地和大型洼地分布图
 The distribution of polje and large depression in South Dushan

断裂构造对其发育方向的控制,图2是本区喀斯特谷地和大型洼地分布图,统计大型洼地的长轴方向,求出其优选方位,然后对大型洼地内或其附近的节理进行统计,求出其优选方位,比较二者的优选方位,其相关系数高达0.95,说明节理对喀斯特洼地、谷地发育方向的控制是明显的(见表3)。

表3 架桥地下河流域洼地与节理优选方位统计表
Statistics of prominent directions of depressions and joint
in the Jiaqiao underground drainage

洼地位置	节理点号	洼地形态	洼地长轴方向	节理优选方向
上拉干西南	J4047	长条形	113°	114°
拉友西北	J4048	长条形	114°	114°
拉友	J4049	长条形	60°	55°
甲里西	J5039	长条形	60°	53°
尧合东南	J5013	串珠状	110°, 45°	107°, 48°
里洞东北	J5044	窄长条形	300°	318°
塘号	J4044	X形	55°, 315°	60°, 323°
坡等山	J5045	长条形	295°	293°
坡明西	J5053	长椭圆形	60°	65°
告令东	J812	长条形	300°	300°
琴寨西北	J5017	长条形	296°	296°
拉友西	J5042	X形	110°, 68°	114°, 55°
拉灭西	J5041	长条形	72°	72°
拉灭西	J5040	长条形	76°	72°
拉灭西	J5039	长条形	69°	72°

关于断层对喀斯特谷地和大型洼地展布延伸方向的控制前人多有定性论述⁽¹⁾⁽²⁾,我们分别统计了断层和喀斯特槽谷的方向密度并作出了直方图(见图3),从定量方面可以清楚的看到断层方向密度与槽谷方向密度几乎是同步的。

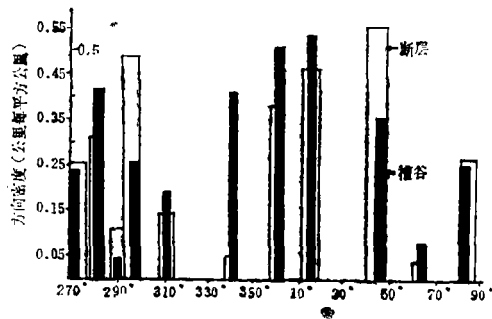


图3 断层方向密度和喀斯特槽谷
方向密度直方图
Frequency of distribution of
direction density of faults and
direction density of karst trough
valleys

大节理对喀斯特大型槽谷展布方向的控制更为明显。

- 1) 贵州工学院独山实习队:用地质力学方法寻找地下河的一点体会,1978年。
- 2) 贵州工学院地质系岩溶科研队:溶岩专辑,1978年。

三、构造网络对喀斯特地下水网络的控制

通过水文地质、地貌分析、连通试验等方法, 本区已经确定有两个地下河系, 九条地下河, 特征详见表 4。地下河的总体展布是一个背斜分流羽毛型, 即南北向的独山背斜轴部(多处出露砂页岩)构成地下河的主分水岭, 地下河由此分别向东西两侧分流, 流向东部

表 4 本区地下河一览表*
Subterranean rivers system in South Dushan

河系名称	地下河名称	源头高程 (米)	出口高程 (米)	主流全长 (公里)	汇水面积 (平方公里)	枯流量 (升每秒)	径流模数 (升/秒平方公里)	河系汇水面积 (平方公里)	河系枯季流量 (升每秒)
排入打狗河的地下河	黄后	910	460	56.54	482	1549	3.21	1047.5	3561
	坝望	890	733	19	78	235	3.01		
	尧花	915	810	39	164	805	4.91		
	减寨	890	840	9.5	18	60	3.33		
	架桥	1024	813	35	266	892	3.35		
排入牛河的地下河	打渔河	1000	875	5.8	21	45	2.15	234	789
	鱼寨	960	869	9.8	39	96	2.46		
	麻根	925	783	18.5	96	324	3.38		
	水落	822	655	19	82	330	4.02		

* 据贵州工学院独山岩溶科研队

的五条排入打狗河, 流向西部的四条排入牛河, 每条地下河主流展布的平面形态多呈网格状或树枝状。由于独山背斜的轴迹偏西, 背斜东翼岩层倾角平缓, 东部五条地下河汇水面积广, 主流长, 流量大, 发育成为典型的网格状及树枝状地下河系。

本文所指喀斯特地下水网络, 除地下河主流网络外, 也包括其它的具有不同方向 and 不同贮水程度的汇水带交织而成的含水结构体网络^[2], 但着重讨论地下河主流网络。以下分别讨论节理构造变形网络和断层对喀斯特地下水网络的控制。

(一) 节理构造变形网络对地下水网络的控制

本区构造运动不甚强烈, 岩层倾角平缓, 但平面 X 节理及大节理极为发育, 在全区大体均匀地布置了 405 个节理观测点, 在野外确定节理的性质, 进行分期配套, 初步确定主应力轴, 室内又用赤平极射投影方法求其构造应力场, 在此基础上编制了各期构造应力网络图, (图 4 为第一期构造应力场网络图), 各期节理构造变形网络图(图 5 为第一期节理构造变形网络图)^[3], 用以讨论节理网络对地下河发育的控制, 以下举本区规模最大的架桥、尧花、黄后地下河为例:

1. 架桥地下河位于本区东部地区, 上游在筹洞、上司一带, 地下河沿近南北向

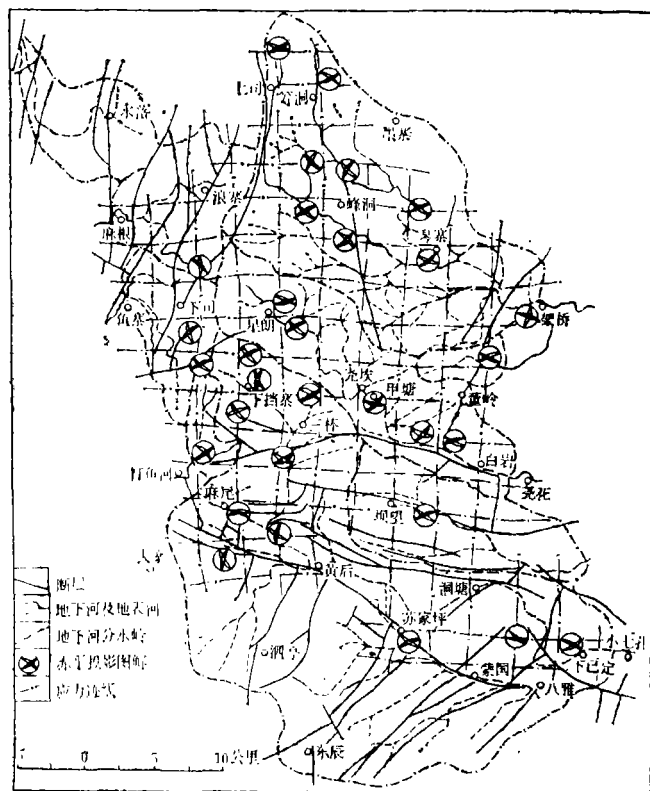


图 4 独山南部地区第一期构造应力场网络图

The first period of structural stress field network in South Dushan

的张性断层发育, 在中下游地区, 主要沿走向 60° 和 120° 的两组节理发育。对第一共轭节理系 60° 和 120° 方向39个样品的节理与地下河展布方向之间分别求出相关系数为0.889和0.779, 回归方程分别为:

$$\hat{y} = 1.089\hat{x} - 0.169 \quad (60^\circ \text{方向})$$

$$\hat{y} = 0.978\hat{x} + 0.0513 \quad (120^\circ \text{方向})$$

计算结果均大大超过5%信度检验所需要最低相关系数值, 说明二者是显著相关的。

架桥地下河系发育在东西向挤压应力场作用占主导的地区, 地下水网络主要受第一期应力场的控制, 地下河的主流方向与区域最大主压应力的方向基本一致, 为近东西方向, 即追踪两组共轭扭裂面, 地下河支流则是沿着该应力场作用形成的两组扭裂面发育的, 因而形成了菱形网格状, 见图6。

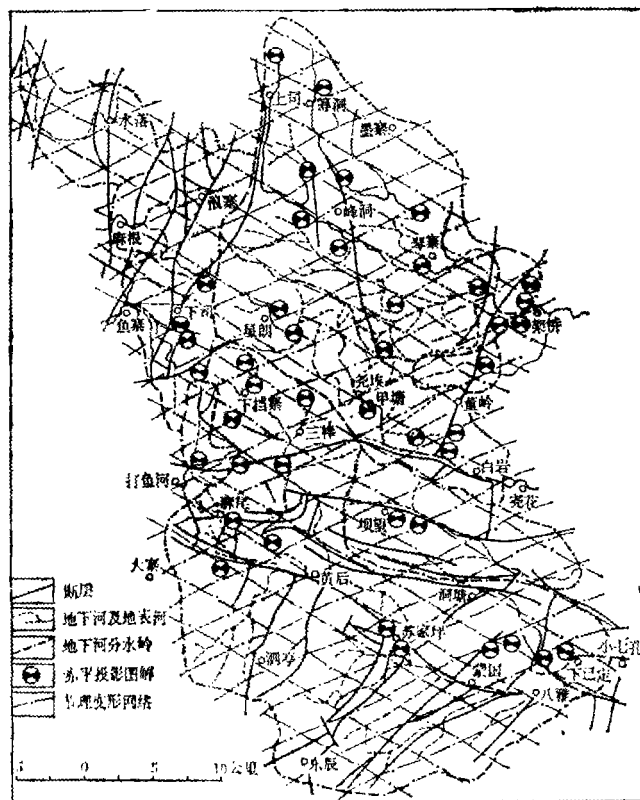


图 5 独山南部地区第一期节理变形网络图

The first period of joints deformation network in South Dushan

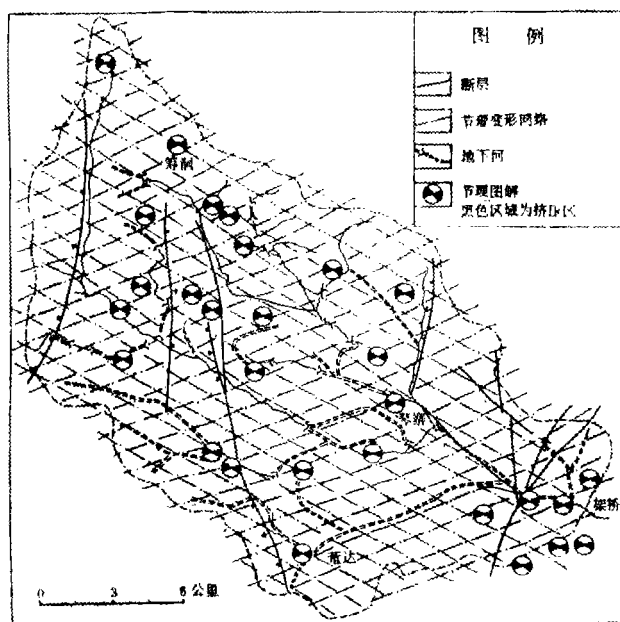


图 6 架桥地下河系与第一期节理构造变形网络关系图

Relationships between Jiaqiao subterranean river and the first-period network of joints deformation in South Dushan

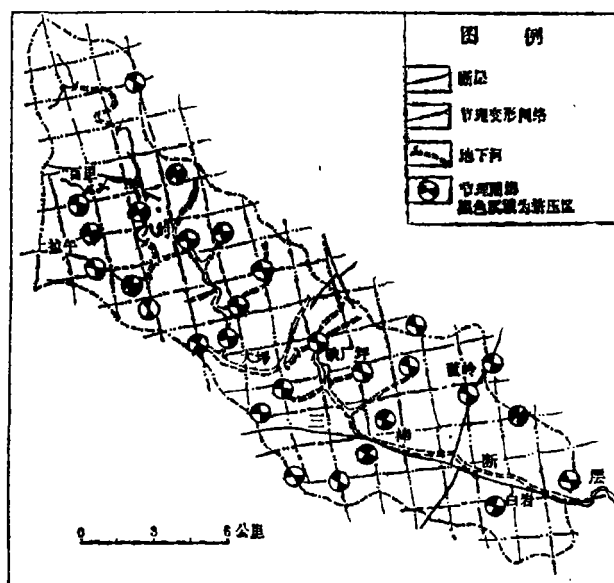


图 7 尧花地下河系与第二期构造应力场网络关系图

Relationships between Raohuo subterranean river and the second-period network of joints deformation in South Dushan

2. 尧花地下河分布在本区东部架桥地下河以南。由北西至南东方向挤压应力场所产生的走向近南北和近东西的两组共轭节理在此处最为发育，地下河主流支主要是受这一节理系所控制，地下河的主流方向从北西至南东呈锯齿状追踪这两组节理，这与第二期应力场最大主压应力轴的方向是一致的，地下河的支流则主要沿着这两组节理的方向发育，形成树枝状地下河系（见图 7）。

求出第二节理系近南北走向和近东西走向两组节理 75 个样品与地下河发育方向之间的相关系数分别为 0.633 和 0.94，其回归方程分别为：

$$\hat{y} = 0.634\hat{X} + 0.295 \quad (\text{走向近南北})$$

$$\hat{y} = 0.125\hat{X} - 1.06 \quad (\text{走向近东西})$$

尧花地下河下游主流段则完全受三棒断层控制。

尧花地下河系发育在北西—南东方向挤压应力场为主控制的地区，喀斯特地下水网络主要受新华夏构造应力场的控制，主流方向也是和该地区区域最大主压应力作用方向相一致。

3. 黄后地下河系分布在本区南部，是本区规模最大的一条地下河系。从上游到下游主流长达 56 公里，穿越了经向构造带、纬向构造带和新华夏构造带，因而节理变形网络对地下河系的控制也较为复杂。

地下河上游段在三棒断层以北的地区，地下河主要沿着第一节理系两组节理的方向发育，上游支流分别为 60° 和 120° 方向。穿过三棒断层进入纬向构造带后，上游主流急转南

下,在南北宽七公里的地段,地下河为南北走向。顺着纬向构造带的一次横张断裂方向追踪走向 30° 和 314° 两组节理成锯齿状延伸。进入黄后地区后,地下河就进入了新华夏应力场占主导的地区,地下河沿着新华夏系横张断裂方向发育,支流则沿着北东及北西两个不同方向的断裂及岩层走向发育,整个地下河构成了一个伞状—树枝状地下河系,地下河的上游、中下游分别受到不同构造体系的应力场控制(见图8)。

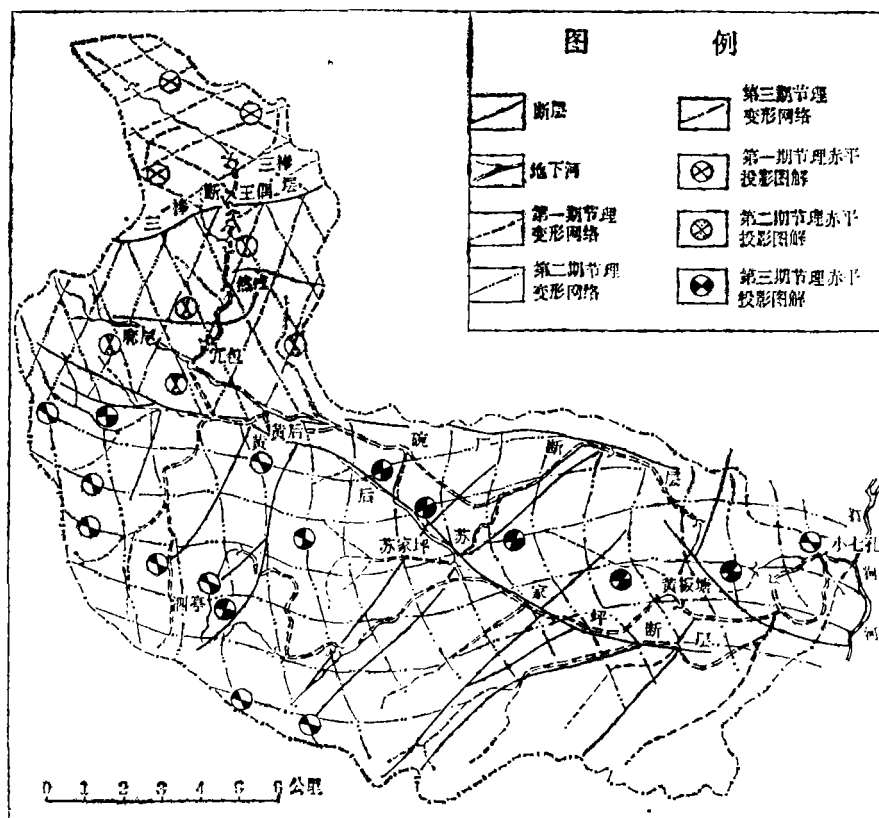


图 8 黄后地下河系与三期节理构造变形网络关系图
Relationships between Huan hu o subterranean river and the
third-period joint deformation network in South Dushan

在黄后地区通过对节理走向与地下河方向的相关分析,共36个样品求出节理走向与地下河方向二者之间的相关系数为0.9025,回归方程为: $\hat{y} = 0.9172\hat{X} + 0.042$

(二) 断层对喀斯特地下水网络的控制

断层是通过本身的破碎带、影响带等富水性、透水性和阻水性来控制喀斯特的发育,不同类型的断层对地下河的控制表现是多方面的,往往具有多期活动性并以张扭性为主的断层控制了地下河的主流及主要支流的展布,本区规模最大的走向近东西的三棒断层东段就控制了尧花地下河主流下游段十多公里的展布;以压性及压扭性特征为主的断层具有一定的阻水作用,地下河往往沿断层带的一盘发育。选择了受断层控制的地下河段36个样品进行相关分

析, 其相关系数为0.612, 计算结果超过所需要最低相关系数, 说明二者是显著相关的, 其回归方程为:

$$\hat{y} = 0.5359\hat{X} + 21.058$$

在黄后地下河的流域范围内, 用同样的方法得出断层走向与地下河走向二者之间的相关系数为0.894, 说明独山南部地区断层对地下河的展布起着明显的控制作用。

为了探讨断层、大节理 (X_1) 和节理 (X_2) 走向与地下河展布方向的相互关系, 在整个独山南部地区, 在0°到90°之间取了40个样品求复相关系数为0.7653, 回归方程为:

$$\hat{y} = 4.8691 - 0.2335\hat{X}_1 + 0.9778\hat{X}_2$$

以上相关系数表明, 地下河的走向与线性构造的方向和节理的方向是密切相关的。

线性构造的方向频度与地下河的方向密度之间的关系, 从全区地下河方向密度与线性构造方向频度的直方图 (图9)上, 可见它们二者之间基本是同步的。综上所述, 可以说明在其

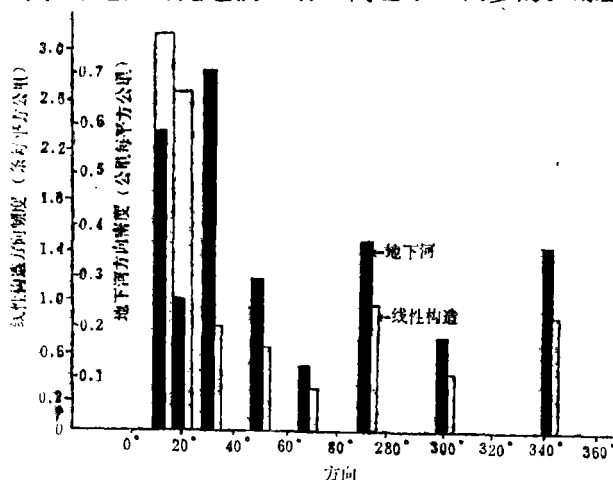


图9 独山南部地区地下河方向密度与线性构造方向频度直方图
Curve of the relationship between direction density of
subterranean rivers and line structural direction frequency

它条件相当的情况下, 地下河总是易于沿着节理密集带和断层破碎带的方向发育。于是, 就构造网络对喀斯特地下水网络的控制关系可以得出如下特点:

1. 在地下河流域的范围内, 如果先后有几期不同的应力场作用, 地下河的主流方向一般是由最主要一期 (作用最强) 的最大主压应力轴的方向来确定的, 沿着最大主压应力轴的方向所发育的是张性破裂面, 或者是追踪两组共轭剪节理的发育方向, 因而有利于喀斯特地下水的渗入、溶蚀和地下水的运动; 地下河支流则主要受该期两组扭裂面的方向控制或纵张断裂的控制, 尤其是当后期构造应力场的作用使这两组扭裂面发生张性改造以后。

2. 在一条地下河的流域范围内如果有几期不同的应力场作用, 每期应力场的分布范围不同, 强弱各处不等, 那么地下河各段将分别由不同期次的构造应力场所控制, 地下河的主流方向一般仍由最主要一期的最大主压应力轴的方向来确定。

3. 各种线性构造之所以对喀斯特发育具有一定的控制作用, 是因为线性构造破裂面具

有较强的导水能力,线性构造网络对线性喀斯特发育的控制作用在喀斯特发生、发展各个阶段的表现是不一样的,显然在喀斯特发育的初期,线性构造网络是细小的裂隙状、脉状喀斯特地下水循环的唯一通路,其控制关系表现最强,相关性最大;随着喀斯特水由裂隙、脉状水发展成管道和溶洞水,随着水量的增加,流速的加快,管道中的侵蚀、冲蚀作用加强,喀斯特水“摆脱”构造网络控制的趋向逐渐增加,这时线性构造控制作用减弱,喀斯特地下水受动量规律的支配逐渐增强,可以放弃原来的径流途径,试图以最短的渗流途径,径直地由高水头的发源地向低水头的出口排泄。本区地处贵州高原向广西丘陵过渡的斜坡地带,地下河在纵剖面上均表现为反平衡剖面(图略),在地下河的中上游地区,水力坡度小,水动力作用弱,因而表现出明显的受线性构造网络控制,到了下游地区,由于水力坡度大,水动力作用大大加强,汇聚成水量集中的孤立管道流,因而地下河逐渐“摆脱”线性构造的控制。显然构造网络对喀斯特地下水网络的控制作用,在喀斯特发育的不同阶段表现出不同的喀斯特成熟度。喀斯特成熟度是指喀斯特地质作用的程度,可以用喀斯特地下水、喀斯特地貌、喀斯特洞穴发育的程度等综合指标来衡量。根据以上论述,显然喀斯特地下水、喀斯特地貌受线性构造的控制越明显,二者的相关系数越高,则喀斯特成熟度就越低,只有在这种情况下,我们才有可能探讨二者之间的关系。

参 考 文 献

- 〔1〕 张世从:黔南岩溶发育规律的探讨,中国岩溶,3(2),1984年。
- 〔2〕 胡海涛、许贵森:论构造体系与地下水网络,水文地质工程地质,第三期,1980年。
- 〔3〕 张英骏、缪钟灵、毛健全、章典:应用岩溶学及洞穴学,贵州人民出版社,1985年。

KARST DEVELOPMENT CONTROLLED BY STRUCTURE NETWORK IN SOUTH DUSHAN, GUIZHOU PROVINCE

Mao Jianquan, Li Jingyang

(Gui Zhou Institute of Technology)

Abstract

South Dushan, Guizhou Province, is one of the areas of well-developed karst in China. A criss-cross network of narrow polje, Karst trough valley and subterranean rivers shows that the Karst develops in this area quite well. In this paper we start with karst development controlled by structural system, and by tectonic stress field. Then we emphatically discuss that karst landform and karst groundwater network system are controlled by both structural network and joint deformation network. Finally we use the methods of mathematical statistics to discuss the character of relationships between them.