

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2019.02.14

# 广西贺州市平桂区岩溶发育特征与分布规律

江思义, 石覃剑, 袁范洋, 吴思雨, 梁 明, 兰莹莹  
(广西壮族自治区地质环境监测总站, 广西 桂林 541004)

**摘要:** 探明平桂区岩溶发育特征及其分布规律, 对于岩溶地区建设布局, 特别是建设场地工程地质勘察具有重要的指导意义。平桂区中北部处于岩溶发育分布区。论文基于前人研究成果, 采用资料收集、地面调查、高密度电法及钻探相结合的方法, 开展平桂区岩溶地质调查, 分析了岩溶发育类型与岩性及岩性组合、埋藏深度及地质构造的关系, 揭示了平桂区岩溶发育特征及分布规律。研究表明, 平桂区岩溶发育主要以浅表的黄金组、桂林组为主, 在褶皱轴部或断层影响带内, 在垂直节理裂隙和缓倾斜层面裂隙组成的裂隙系统中, 岩溶发育较强; 可溶岩与非可溶岩接触地段岩溶发育强; 在低平谷地中的分水岭处岩溶发育亦较强烈; 在水文网长期摆动的地段地面以上岩溶发育程度强烈。

**关键词:** 平桂区; 岩溶地质调查; 发育特征; 分布规律

中图分类号: P642.25

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2019)02-0106-08

## Karst development characteristics and distribution in Pinggui District, Hezhou City of Guangxi Zhuang Autonomous Region

JIANG Siyi, SHI Qinjian, YUAN Fanyang, WU Siyu, LIANG Ming, LAN Yingying

(The Guangxi Zhuang Autonomous Region Geological Environment Monitoring Station, Guilin, Guangxi 541004, China)

**Abstract:** Understanding karst development characteristics and distribution of Pinggui District has important guiding significance for urban construction layout in karst area, especially the engineering geological investigation of construction site. The north-central Pinggui District is located in the karst development area. Based on the previous research results, the karst geologic survey was carried out in this paper, adopting the method of data collection, ground survey, high-density resistivity and drilling. The relationship between the types of karst development and lithologic combination, burial depth and geological structure is analyzed and the karst development characteristics and distribution in Pinggui District are summarized. The researches show that the karst development in the area is mainly composed of the shallow  $C_1h$  and  $D_3g$ . The karst is strongly developed in the vertical jointed fracture system, slanted plane, fold axis, fault zone, interface of soluble and insoluble rock, watershed of the low valley zone, and overground with long period swing of hydrologic network.

**Keywords:** Pinggui District; karst geological survey; development characteristics; regularity of distribution

## 0 引言

平桂区位于广西壮族自治区东北部, 贺州市中部,

其中北部属于亚热带湿润季风气候型溶蚀侵蚀区, 是典型的喀斯特地貌。前人对区内的研究多集中于岩溶地区建筑地基处理、土地适宜性评价及矿产资源和旅

收稿日期: 2018-10-06; 修订日期: 2018-11-12

基金项目: 广西壮族自治区国土资源厅地质调查项目(桂国土资办[2016]108号; 桂国土资办[2018]317号)

第一作者: 江思义(1987-), 男, 湖北天门人, 硕士, 工程师, 主要从事地质调查和岩土工程勘查与设计工作。E-mail: 370333108@

qq.com

游资源开发利用研究,苏志军等<sup>[1]</sup>对贺州市土地资源进行评价,并对国土开发优化进行了研究,提出优化贺州市国土开发格局的建议;张林飞<sup>[2]</sup>以贺州市岩溶地区为例,对岩溶地区建筑地基处理及基础选型进行了探讨,提出了相应的施工措施;潘朝铭<sup>[3]</sup>、黄汉<sup>[4]</sup>对贺州市矿产资源开发利用现状进行评估,并对开发存在的问题进行研究,提出相应的对策与建议;陈伟海<sup>[5]</sup>对贺州市的岩溶旅游资源进行研究,并提出开发利用建议。而针对平桂区岩溶的分布特征和发育规律的研究未曾涉及。随着全国 30 000 km<sup>2</sup> 1:5 万岩溶地质调查的完成<sup>[6]</sup>,岩溶地质调查及评价方法也得到了大家的广泛探讨。罗以达等<sup>[7]</sup>早在 2009 年已经对城市岩溶地质调查及评价方法进行了探讨;夏日元等<sup>[8]</sup>在 2017 年总结了南方岩溶地区 1:5 万水文地质环境地质调查的技术要点;缪世贤等<sup>[9]</sup>在 2017 年完成了徐州市的岩溶地质调查并对其发育特征进行了分析。基于贺州市城市规划建设对岩溶地质调查的需求,充分利用前人资料,参考《1:50 000 岩溶地面调查规范(送审稿)》,开展了平桂区相关地质调查工作,有效提高了平桂区岩溶地质特征与岩溶塌陷问题的研究程度。

## 1 岩溶地质调查

### 1.1 岩溶地质资料收集利用

系统收集岩溶区及周边地层岩性、地质构造、地下河及溶洞分布、岩溶塌陷、岩溶水开采井等详细资料,将其统一投在同一底图上,编制岩溶地质草图,反映岩溶区的分布范围、岩溶发育程度及岩溶水开采强度、分析存在的主要问题,为进一步的工作部署提供依据<sup>[10]</sup>。

### 1.2 钻孔资料筛选整理

先根据钻孔资料的完整性及可靠程度,筛选出有效钻孔,包括其孔号、坐标、孔口高程、孔深、基岩埋深、分层描述、土工测试数据及抽水试验等指标,优先选择见基岩较深,揭露到溶洞或土洞且地层岩性不尽相同的钻孔。

再将筛选出来的钻孔坐标进行换算,投影到研究区的地理底图上,并综合考虑钻孔分布密度和精度等因素,进一步取舍后形成研究区钻孔平面分布图,结合后期施工钻孔,构成了研究区基础数据库。

### 1.3 地面调查

#### (1) 裸露型岩溶地质调查

裸露型岩溶地质调查以 1:50 000 环境地质调查为主,以划分岩溶层组类型为重点,选择构造复杂的区

段,分析不同岩组类型与岩溶发育特征,对典型喀斯特地貌,如溶洞、溶沟、漏斗等进行形态特征、成因等研究,基本查明研究区岩溶地质背景条件、岩溶地貌类型、分布特征及发育程度等。进而分析、判断相邻覆盖岩溶区的构造格架与碳酸盐岩地层的空间展布格局。

#### (2) 覆盖型岩溶地质调查

对于覆盖型岩溶区,根据岩溶发育程度、人口密度、研究程度以及城市功能规划等,将研究区分为一般研究区和重点研究区。一般研究区,主要通过相关可利用资料进行分析,并配合一定量的实物工作进行调查评价;对于地面塌陷较多、人口密集、地下空间规划的重点研究区,在收集利用各类资料的基础上,还需采取遥感解译、地面调查、物探及钻探相结合的方法进行调查评价。而对于新发生、具有代表性的岩溶塌陷点,需进行专项剖析。

## 2 勘探验证

物探是开展覆盖型岩溶调查的重要手段<sup>[11]</sup>,研究区采用物探的高密度电阻率法与钻探相结合的勘探手段,旨在查明隐伏岩溶区分布范围、覆盖层结构和厚度、基岩面起伏情况、裂隙及溶(土)洞等发育情况,揭露贺州市平桂区岩溶地质情况。

### 2.1 岩土体地球物理特征分析

高密度电阻率法以岩、土导电性的差异为基础。对于岩溶地区,第四系覆盖层与基岩之间、完整基岩与不良地质体(溶洞、溶槽、断层破碎带、裂隙带等)之间存在明显的电性差异(如介电常数、电阻率等),第四系( $Q_4$ )覆盖层电阻率(一般小于  $100 \Omega \cdot m$ ,若覆盖层干燥或含有砂砾石其电阻率可达  $n \times 10^2 \Omega \cdot m$ )、基岩裂隙和岩溶发育带的电阻率( $n \times 10 \sim n \times 10^2 \Omega \cdot m$ )比完整基岩电阻率( $n \times 10^2 \sim n \times 10^3 \Omega \cdot m$ )低,从而形成了不同的电性界面,具备了开展高密度电法勘探的良好地球物理前提。

### 2.2 电阻率探测与钻探验证应用实例

在地质调查和综合分析的基础上,用高密度电阻率法进行探测,对电阻率探测异常辅以钻探验证。

图 1 为贺州市沙田镇田厂村布设的一条高密度电阻率物探线,总计长 295 m,测线方向大体由西向东,最小电极距 5 m。

$T_1$  段测线的第一电性层深度较有起伏,埋深 7 ~ 14 m 不等,电阻率值在  $107 \sim 336 \Omega \cdot m$ ,为相对低阻层,推断为黏土层, $T_1$  测线 215 m 附近地层厚度最大,可达 14 m 左右;第二电性层深度在 7 m 以下,电阻率

值在  $336 \sim 3\,298 \Omega \cdot \text{m}$ , 为相对高阻层, 推断地层为泥盆系(D), 岩性为灰岩。据此测线推测有 1 处断裂破碎区, 即位于  $T_1$  线的 116 ~ 180 m 段, 电阻率值相对完整围岩较低, 说明该区域含水率高, 为富水区域。另外, 推测有 3 处溶洞发育, R6、R7 在视电阻率断面图上呈低阻圈闭状, 说明为含水溶洞, 其中, 推测溶洞 R6、R7 顶板厚度均为 14 m。

工程地质钻孔 ZK1 位于  $T_1$  测线 168 m 桩号附近, 钻孔深度为 20 m。根据钻孔资料显示: 0 ~ 0.5 m 为人工填土, 0.5 ~ 10 m 为第四系黄褐色黏土, 10 ~ 20 m 下伏基岩岩性为灰岩, 节理裂隙十分发育, 其中在 13.8 ~ 14.5 m 处揭露溶洞。物探推测成果与钻探揭露地层结构和岩溶发育情况基本吻合。

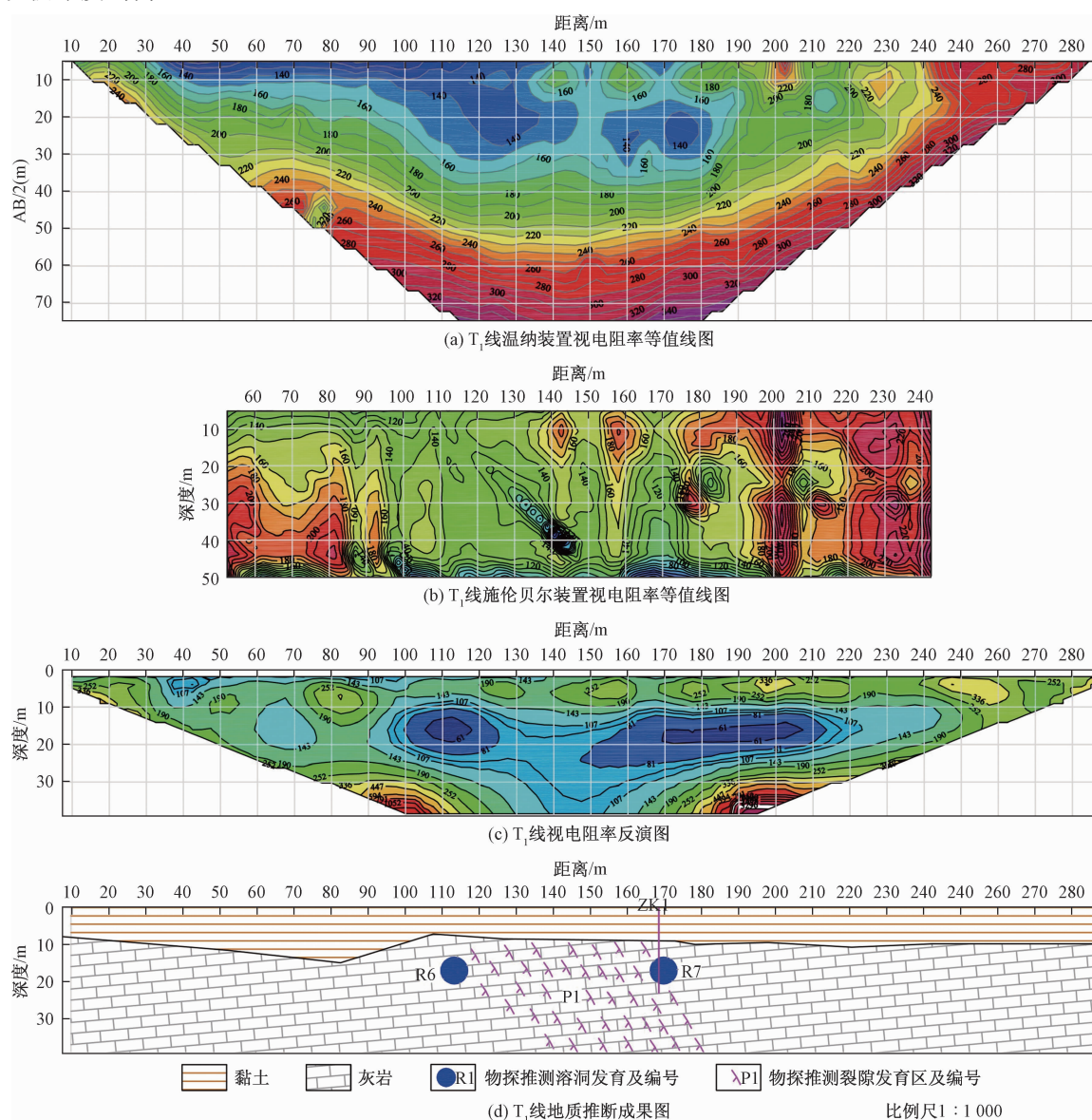


图 1 平桂区田厂村隐伏岩溶区高密度电阻率法综合解译

Fig. 1 Comprehensive interpretation of high-density resistivity for hidden karst in Tianchang Village of Pinggui District

### 3 岩溶发育特征

#### 3.1 岩溶发育类型

区内岩溶区面积  $618.4 \text{ km}^2$ , 零散发育于平桂区中北部, 主要为峰丛洼地, 面积约  $445.79 \text{ km}^2$ 。山峰

呈锯齿状, 基座相连, 山坡及山顶基岩几乎全部裸露, 溶蚀强烈, 溶沟、溶槽、石芽等岩溶形态发育。峰丛间分布有规模不等的溶蚀洼地和小块平原, 多为椭圆形和长条形, 谷底较平坦。占区内总面积的 30.6%。根据区内岩溶出露情况, 将岩溶发育类型划分为裸露型、

覆盖型及埋藏型三类(图2)。裸露型岩溶区面积共计200.5 km<sup>2</sup>,主要分布于调查区的北部西边寨-岩口村-下排村一带、中部的道石村-芳林村一带、西北部波罗塘-横帐河一带以及黄田镇笔架山一带,公会镇新村寨有少面积分布。大部分基岩裸露于地表,局部土壤层分布不连续且厚度较薄或缺失,仅在洼地、谷地等负地形内有松散堆积物覆盖。分布地层主要为泥盆系桂林组、唐家湾组、东村组等灰岩,其主要表现为岩溶山地、峰丛洼地、峰丛谷地等。其主要表现为溶洞(隙)、溶蚀裂隙、洞口岩溶堆积物钙化、钟乳石等,组成了平桂区的主要岩溶形态。覆盖型岩溶区面积共计395.3 km<sup>2</sup>,主要分布于贺江、马尾河、沙田河以及盘谷河河流两岸的地带。上覆第四系松散沉积层地势较平坦,厚度1~28 m,绝大部分区域厚度为5~15 m,平桂区太平寨附近厚度达28 m。沙田河和盘谷河覆盖层厚度一般在1~10 m,沙田河第四系覆盖层下伏以桂林组、黄金组灰岩为主;盘古河第四系覆盖层下伏以桂林组、巴溪组灰岩为主。沙田河和盘谷河第四系覆盖层下伏桂林组、黄金组灰岩受构造及谷地地下水汇流水动力的影响,节理裂隙发育,岩体中沿裂隙方向或构造断裂带方向地下岩溶发育,表现为岩体中的溶槽、溶沟等发育明显。其地面多以岩溶洼地、岩溶塌陷等形式出现。埋藏型岩溶区面积共计22.6 km<sup>2</sup>,主要分布在研究区中部少量呈零星分布。岩溶含水岩组埋藏于非可溶性地层之下,发育非岩溶地貌。上部盖层为石炭系鹿寨组泥岩夹硅质岩、灰岩和三叠系天堂组块状角砾岩、泥岩,厚度为25~90 m。

### 3.2 岩溶发育的控制因素

研究区岩溶形态类型多样,从典型的亚热带灰岩岩溶地貌一峰丛洼地、峰林谷地及伴生的大型洞穴、地下河,到分布孤峰平原,及其具有典型意义的溶孔、溶隙,在研究区具有十分重要的水文地质意义。它们的形成,揭示了研究区特定的自然地理、地质背景、水文地质条件与岩溶发育的相互关系。岩溶发育的主要因素有以下三点:

#### (1) 岩性及岩性组合

研究区碳酸盐岩分为纯碳酸盐岩(灰岩、白云质灰岩、白云岩)和不纯碳酸盐岩。它们在矿物、化学成分、结构等方面,存在较大差异。其具体的岩溶层组见表1,不同碳酸盐岩岩性的组合和碳酸盐岩与非碳酸盐岩的组合对岩溶发育影响较大。

不同岩性的岩石组合,影响岩溶发育程度,如东岗岭组和桂林组,是以白云岩为主与灰岩的组合,岩溶发

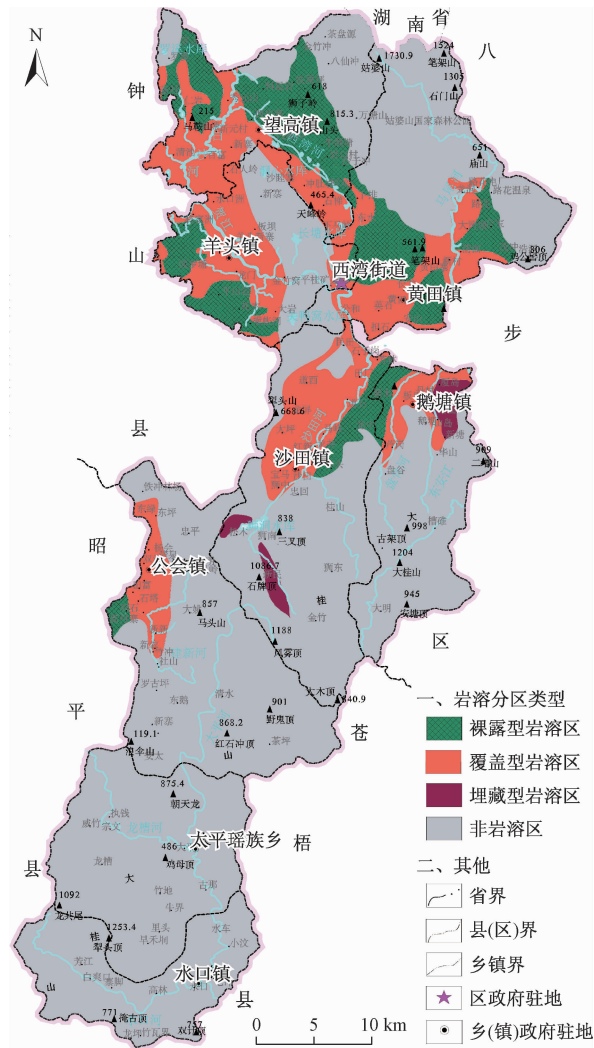


图2 平桂区可溶岩分布图

Fig. 2 Karst distribution map of Pinggui District

育强度中等。桂林组和东村组为纯灰岩的组合,岩溶发育程度强烈;英塘组和尧云岭组,灰岩中常含燧石条带或结核,且在中段夹有硅质岩、泥岩,岩溶发育较弱。碳酸盐岩酸不溶物含量不同,洞穴发育程度也不一样。如下石炭统尧云岭组含酸不溶物较多,岩性不纯。次为上泥盆统桂林组灰岩,含有少量酸不溶物,但氧化钙含量较英塘组高。中泥盆统东岗岭组主要是白云岩。

分析可知,东岗岭组遇洞率较高,说明平面分布密度高,遇洞孔的平均洞高虽低,但垂向上的密度同其他地层相近,而平均洞高,遇洞孔的平均总洞高及线洞率均是最低的。这说明,在白云岩中洞穴分布较均匀,而洞穴规模较小。

除岩性影响岩溶发育程度和形态特征外,碳酸盐岩与非可溶岩的沉积组合亦有很大的影响。研究区内碳酸盐岩与碎屑岩的沉积组合,按地质产状可分为两

类,一类为厚度小而不纯的碳酸盐岩,夹于厚度大的碎屑岩地层中,且分布区域不同,形成的地貌不同。如分布于西湾与黄田镇之间的东岗岭组和额头村组,组成峰林谷地和孤峰平原,岩溶发育程度较弱。分布于沙子冲一带的尧云岭组和英塘组,地貌上为峰丛洼地谷地,由于地层中含炭、泥杂质和硅质结合或夹有硅质岩、泥岩夹层,岩溶发育较弱,钻孔遇洞率及线洞率较低。岩性及岩性组合的影响见表 2。

另一类为厚度大且纯的碳酸岩。根据收集的调查

区内的勘查资料分析可知,对于工作区内纯碳酸盐岩分布区,深度在 0 ~ 20 m 岩溶相对发育,以充填性溶洞为主,局部为空洞或者半充填,说明本区浅层岩溶仍存在发展的情况;对于深度 20 ~ 30 m 的少量钻孔分析,仍存在充填性溶洞和少量空洞型溶洞,说明虽然垂向上岩溶随着深度的增加有逐渐减弱的趋势但部分地段岩溶仍存在发展的现象。对于处于工作区东面分布的少量埋藏型岩溶区,非碳酸盐岩盖层平面上存在明显的不均匀性。

表 1 平桂区岩溶层组分类

Table 1 Classification of karst layers in Pinggui District

| 地层单位 | 岩溶层组 | 代号                 | 主要类型   | 厚度/m         | 面积/km <sup>2</sup> | 占岩溶区的比例/% |
|------|------|--------------------|--------|--------------|--------------------|-----------|
| 石炭系  | 大浦组  | C <sub>2</sub> Pd  | 纯碳酸盐岩  | 23 ~ 804     | 3.82               | 0.62      |
|      | 鹿寨组  | C <sub>1</sub> lz  | 不纯碳酸盐岩 | 43 ~ 567     | 2.94               | 0.48      |
|      | 寺门组  | C <sub>1</sub> s   | 不纯碳酸盐岩 | 38 ~ 500     | 15.56              | 2.52      |
|      | 黄金组  | C <sub>1</sub> h   | 纯碳酸盐岩  | 430          | 112.38             | 18.17     |
|      | 英塘组  | C <sub>1</sub> yt  | 不纯碳酸盐岩 | 177 ~ 1 006  | 51.27              | 8.29      |
|      | 尧云岭组 | C <sub>1</sub> y   | 不纯碳酸盐岩 | 200 ~ 231    | 32.91              | 5.32      |
| 泥盆系  | 额头村组 | D <sub>3</sub> e   | 不纯碳酸盐岩 | 137 ~ 417    | 18.64              | 3.01      |
|      | 东村组  | D <sub>3</sub> d   | 纯碳酸盐岩  | 337 ~ 511    | 5.32               | 0.86      |
|      | 桂林组  | D <sub>3</sub> g   | 纯碳酸盐岩  | 403 ~ 755    | 138.22             | 22.35     |
|      | 东岗岭组 | D <sub>2</sub> d   | 不纯碳酸盐岩 | 20 ~ 326     | 1.21               | 0.20      |
|      | 巴漆组  | D <sub>2-3</sub> b | 不纯碳酸盐岩 | 21.7 ~ 140.4 | 36.24              | 5.86      |
|      | 唐家湾组 | D <sub>2</sub> t   | 纯碳酸盐岩  | 227          | 22.41              | 3.62      |
|      | 信都组  | D <sub>2</sub> x   | 不纯碳酸盐岩 | 10 ~ 865     | 19.37              | 3.13      |
|      | 贺县组  | D <sub>1</sub> h   | 纯碳酸盐岩  | 40 ~ 440     | 142.91             | 23.11     |
|      | 莲花山组 | D <sub>1</sub> l   | 纯碳酸盐岩  | 13 ~ 1 296   | 15.2               | 2.46      |

表 2 岩溶发育特征表

Table 2 Karst development characteristics table

| 岩溶发育类型  | 分布位置                                        | 面积/km <sup>2</sup> | 岩溶发育强度特征和指标值                                                                                                                                                                                                                                        |
|---------|---------------------------------------------|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 岩溶发育强区  | 沙田镇田厂村和龙井村一带<br>(新村-清水塘断裂附近)                | 76.81              | 占岩溶区面积 12.42%。地层主要为石炭系黄金组(C <sub>1</sub> h)纯灰岩,次为泥盆系桂林组(D <sub>3</sub> g)灰岩,垂直节理发育,主要是峰林谷地地貌,溶洞、地下河、溶潭、落水洞、溶井、岩溶泉、塌陷等岩溶形态发育特别是溶洞的发育数量最多,规模最大。钻孔遇洞率为 66.66%,线岩溶率为 8.73%。                                                                             |
| 岩溶发育中等区 | 公会镇中部一带<br>(午龙村-沙子街压扭性断裂附近)、西北部望高镇和羊头镇沿河流两岸 | 285.51             | 占岩溶区面积 46.17%,多为覆盖型岩溶区,出露地层为石炭系尧云岭组(C <sub>1</sub> y)灰岩、白云岩、硅质岩、含燧石灰岩、泥灰岩、泥质灰岩,局部夹页岩等,泥盆系信都组(D <sub>2</sub> x)白云质灰岩,夹页岩、砂岩,呈残丘坡地和孤峰平原地貌,尚有溶洞、岩溶泉、溶井、塌陷等岩溶形态发育,但其数量少,以溶蚀裂隙、溶孔及小溶洞的发育为主,地下岩溶发育深度较浅,一般在标高 90m 以上。局部见规模较大的溶洞。钻孔遇洞率为 42.85%,线岩溶率为 5.56%。 |
| 岩溶发育弱区  | 西湾街道和黄田镇一带                                  | 256.08             | 占岩溶区面积 41.41%,出露为泥盆系东村组(D <sub>3</sub> d)和额头村组(D <sub>3</sub> e),厚层灰岩夹白云岩、泥质灰岩、白云质灰岩、白云质球粒微晶灰岩、细晶白云岩、竹叶状灰岩、鲕粒灰岩,为峰丛洼地谷地地貌,山体中洞穴少而小,平地中有泉、潭出露,钻孔遇洞率为 33.33%,线岩溶率为 2.04%。                                                                             |

## (2) 地下水

岩溶发育离不开水,且水要具有一定的侵蚀性和循环运动条件,即由构造运动产生的断层、裂隙、节理提供水运移的通道。同时,岩溶的发育应具有一定的气候、地形、土壤等自然地理背景。

研究区多年平均气温为 19.9℃,多年平均降雨量

达 1 558.1 mm,这种自然气候条件对岩溶发育十分有利。对研究区地下水补给区、径流区和排泄区分别进行研究,地下水流场差异较大,岩溶发育程度也有明显差异,对不同地下水区域浅层岩溶发育程度进行统计,结果显示:地下水补给区钻孔遇洞率(28.6%)、线岩溶率(4.1%)最低,其次为径流区,钻孔遇洞率为

37.5%、线岩溶率为 4.95%，排泄区（水文网长期摆动的地段）因地下水丰富、埋深浅，岩溶发育程度最高，钻孔遇洞率为 45%、线岩溶率为 7.29%。

通过对研究区的岩溶地质调查，并结合前人资料对区内地下水系统进行研究，由于区内水的溶蚀能力和水动力条件在三维空间上的差异、岩溶发育强度在垂直方向上和平面也具有明显的变化规律。在垂向上岩溶发育强度由浅部向深度逐渐减弱。据钻孔资料，贺江流域垂直方向上可划分出 3 个不同岩溶发育带，0~40 m 深度段为岩溶强发育段，以埋深 20 m 以上的浅层岩溶为主，其中 60% 的浅层溶洞洞高 >1.0 m，地下水位浅，是比较理想的浅层岩溶富水带；40~100 m 深度段为岩溶中等发育段；100 m 以下为岩溶弱发育或不发育段。从地下水补给区到排泄区，排泄区的水循环交替最频繁和强烈，岩溶发育强度最大，补给区岩溶发育强度较弱。贺江、马尾河流域岩溶发育强度随深度变化曲线图见图 3。

(3)地质构造

断层、裂隙及褶皱轴部破碎带，改变了地下水的径流条件，使岩溶水流形成后，就受到一定边界条件的约束，水动力作用加强。平桂区的断裂系统较为复杂，有 18 组。纬向断裂多出于背斜轴部，呈压性或压扭性，分布于分水岭附近。北东向断裂发育于中部，控制了峰林谷地的走向。北西向断裂多分布于北部及中南部，常控制着河流及溪流的走向。径向的构造裂隙也较发育，控制了峰林的排列方向。特别是向斜盆地中缓倾斜的层面裂隙和垂直节理裂隙系统构成的水循环系统，为水系密度的增大和地层渗透性的增强，为溶蚀水与可溶岩的接触时间和接触面积，为山体的沿节理的溶离和崩塌，均创造了良好的环境。

野外调查发现，在断层附近、断层密集和交汇地段，岩溶较为发育，原因是张性断层及影响带岩体裂隙发育且多张开，利于溶蚀、侵蚀作用发展，工作区内发育很多的上升泉，大部分的上升泉均沿着断裂带发育，且流量均较大，如龙井上升泉（群）、出水塘上升泉（群）等，均位于北东向断裂带附近。

褶皱对岩溶发育影响也较大，在褶皱轴部、转折端变形大，构造应力集中，节理裂隙发育，岩体变形破碎，易于形成集中的地下水径流通道，岩溶发育相对较强。研究区内，岩层褶皱宽缓，垂直节理发育，层面裂隙和垂直节理所结合的导水系统，易于接受大气降水的渗入，同时使水对层面裂隙有充分的溶蚀时间，故研究区层面溶洞甚为发育。典型的峰林地貌，常见于碳酸盐

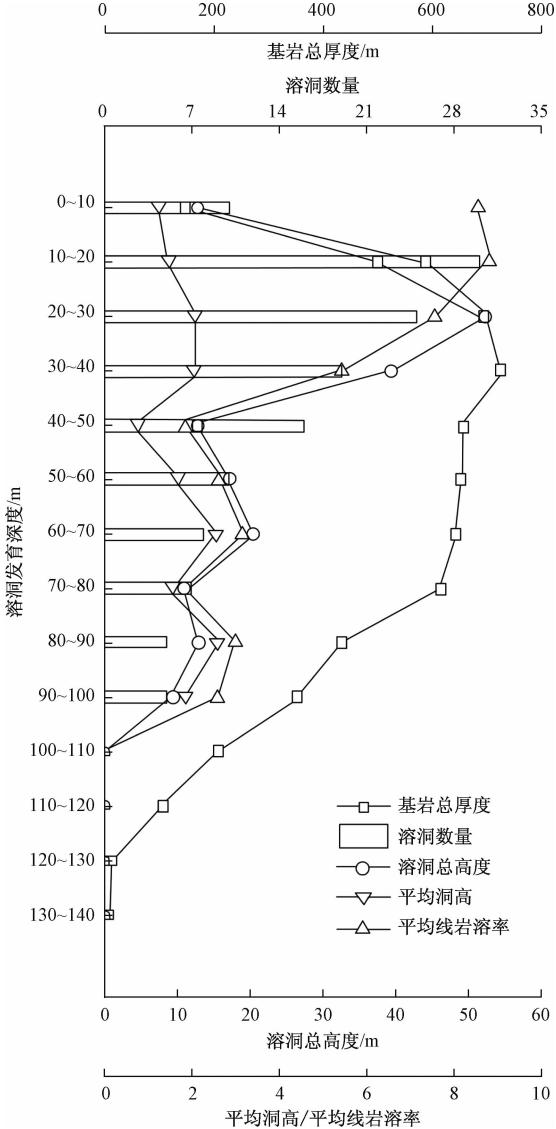


图 3 贺江、马尾河流域岩溶发育强度随深度变化曲线图  
Fig. 3 The graph of Karst development changing with burial depth in Mawei River Basin, He River

岩地层产状平缓的地区，研究区内，峰林区的地层倾角多在 15°以内，峰丛山区多在 20°以上。断层所造成的两侧岩石原生结构的破坏，使裂隙增多，裂隙面粗糙，导致了可溶岩的易溶，研究区内的溶洞多分布在断层带上。串珠状洼地或落水洞的分布，条形谷地的长轴方向，都和当地的断层或背斜轴部的裂隙发育有关。

4 岩溶分布规律

由于区内水的溶蚀能力和水动力条件在三维空间上的差异、岩溶发育强度在垂直方向上（图 3）和平面（图 4）也具有明显的变化规律。在垂向上岩溶发育强度由浅部向深度逐渐减弱；岩溶充填程度也由高到

低,岩溶区与非岩溶区接触带岩溶发育强度大,据钻孔资料,垂直方向上可划分出3个不同岩溶发育带,即埋深(地面标高)50 m以下强烈岩溶发育带,50~90 m中等岩溶发育带,90~140 m弱岩溶发育带。从平面上看,沙田镇田厂村和龙井村一带(新村-清水塘断裂附近,调查发现岩溶塌陷点30处)岩溶发育强度强烈,公会镇中部一带(午龙村-沙子街压扭性断裂附近,调查发现岩溶塌陷点7处)、西北部望高镇和羊头镇沿河流两岸岩溶发育中等,西湾街道和黄田镇最弱。岩溶发育强区、岩溶发育中等区、岩溶发育弱区的钻孔遇洞率分别为66.66%、42.85%、33.33%,线岩溶率分别为8.73%、5.56%、2.04%。从地下水补给区到排泄区,排泄区的水循环交替最频繁和强烈,岩溶发育强度最大,补给区岩溶发育强度较弱。

碳酸盐岩根据纯度、厚度及夹层(非碳酸盐岩)厚度,可分成纯碳酸盐岩和次纯碳酸盐岩两大类型;而根据石峰洞穴化程度、面岩溶率、点岩溶率和钻孔线岩溶率并结合其它岩溶现象,岩溶发育程度又分强烈、中等、弱三个级别,具体划分见图4、表2。

由图4分析研究区平面上的变化规律:北西和北东向两组斜交的张扭或张性断裂和构造裂隙控制着地下岩溶管道和溶槽的展布方向。褶皱轴部应力集中,岩石破碎节理裂隙发育、有利于岩溶发育。贺江是区内最低侵蚀基准面,它经历了溶蚀、下切、沉积、抬升和改道等一系列演变过程。贺江河道早期亦是地下水交替最频繁地区,岩溶发育强烈。根据钻孔资料统计,贺江、马尾河两岸揭露地下溶洞发育深度为3.6~94.3 m,地下溶洞一般发育1~3层,最多达9层,近地表浅层岩溶较发育,表现在溶洞数量较多,但规模较小,线岩溶率较大。其中0~40 m深度段,溶洞数量较多,规模较小,线岩溶率较大;40~60 m深度段,溶洞数量较少,规模较小,线岩溶率较小;60~100 m深度段,发育较少溶洞,但规模较大,线岩溶率中等;100 m深度以下,未见发育有溶洞。

## 5 结论

(1)平桂区以往地质调查及研究工作程度相对较高,充分收集整理前人研究资料,尤其是岩溶地质资料和钻孔资料,是开展平桂区岩溶地质调查研究工作的重要前提,以岩溶地质背景、裸露型岩溶的形态特征为调查基础,掌握岩溶的空间分布、形态特征、发育程度及形成原因等,在结合其他勘探手段进行验证,利于进一步对覆盖型岩溶区进行研究。

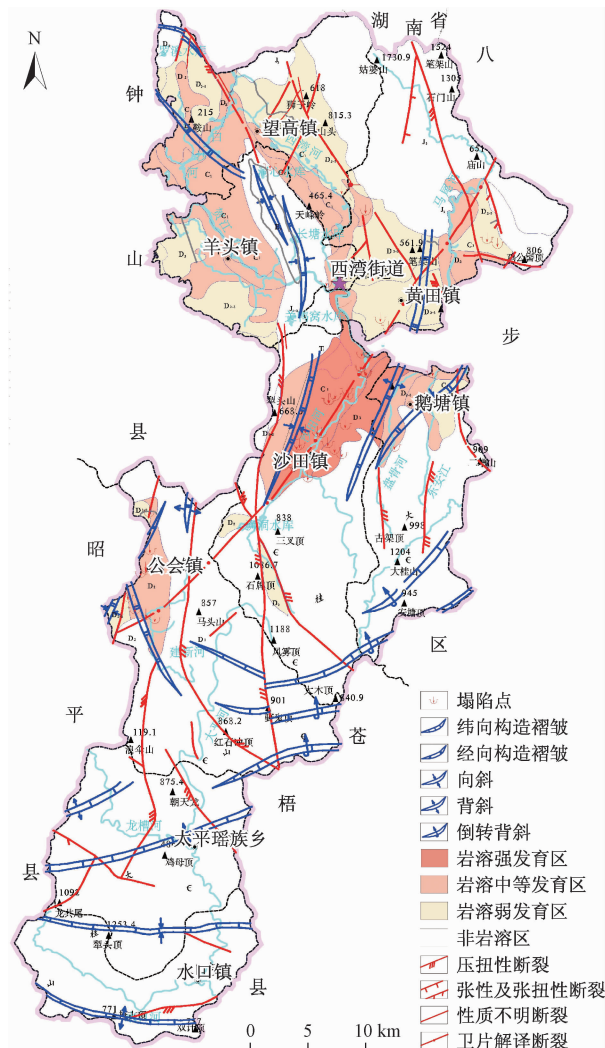


图4 平桂区构造纲要及岩溶发育分区图

Fig. 4 Structure outline and karst development zoning of Pinggui District

(2)明确岩溶立面及平面规律:在垂向上岩溶发育强度由浅部向深度逐渐减弱;岩溶充填程度也由高到低,岩溶区与非岩溶区接触带岩溶发育强度大;从平面上看,沙田镇田厂村和龙井村一带(新村-清水塘断裂附近)岩溶发育强度强烈,公会镇中部一带(午龙村-沙子街压扭性断裂附近)、西北部望高镇和羊头镇沿河流两岸岩溶发育中等,西湾街道和黄田镇最弱。

(3)明确岩溶发育与岩性及岩性组合、水文地质单元、埋藏深度及地质构造的关系及其岩溶发育特征。平桂区岩溶发育主要以浅表的石炭系黄金组( $C_1h$ )、泥盆系桂林组( $D_3g$ )为主,在褶皱轴部或断层影响带内,在垂直节理裂隙和缓倾斜层面裂隙组成的裂隙系统中,岩溶发育较强;可溶岩与非可溶岩接触地段岩溶发育强;在低平谷地中的分水岭处岩溶发育亦较强烈;

在水文网长期摆动的地段地面以上岩溶发育程度强烈。

### 参考文献:

- [1] 苏志军, 张斌. 基于土地适宜性评价的国土开发优化研究——以广西贺州市为例[J]. 南方国土资源, 2017(8): 42-45.  
SU Zhijun, ZHANG Bin. Study on land development optimization based on land suitability evaluation: a case study in Hezhou, Guangxi [J]. Southern Resources, 2017(8): 42-45.
- [2] 张林飞. 岩溶地区建设地基处理及基础选型初探[J]. 科技信息, 2007, 28: 110.  
ZHANG Linfei. Preliminary study on foundation treatment and foundation selection in karst area[J]. Science & Technology Information, 2007, 28: 110.
- [3] 潘朝铭. 贺州市矿产资源开发利用现状与建议[J]. 南方国土资源, 2008(9): 20-22.  
PAN Chaoming. Development and utilization of mineral resources in Hezhou City [J]. Southern Resources, 2008(9): 20-22.
- [4] 黄汉. 贺州市矿产资源开发存在问题及其对策[J]. 南方国土资源, 2016(4): 52-53.  
HUANG Han. Problems and countermeasures of mineral resources exploitation in Hezhou City [J]. Southern Resources, 2016(4): 52-53.
- [5] 陈伟海. 贺州市的岩溶旅游资源及开发利用[J]. 广西地质, 1996, 6(1): 12-20.  
CHEN Weihai. Karst tourism resources and development and utilization in Hezhou City [J]. Geology of Guangxi, 1996, 6(1): 12-20.
- [6] 夏日元, 蒋忠诚, 邹胜章, 等. 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, 2(4): 1-10.  
XIA Riyuan, JIANG Zhongcheng, ZOU Shengzhang, et al. Progress of hydrogeology and environmental geology comprehensive survey in karst area [J]. Jeological Survey of China, 2017, 2(4): 1-10.
- [7] 罗以达, 梁河, 高海发, 等. 城市岩溶地质调查及评价方法探讨——以浙江杭州市为例[J]. 中国地质, 2009, 10(36): 1187-1193.  
LUO Yida, LIANG He, GAO Haifa, et al. A tentative discussion on methods for urban karst geological survey and evaluation: a case study of Hangzhou City in Zhejiang Province [J]. Geology in China, 2009, 10(36): 1187-1193.
- [8] 夏日元, 邹胜章, 唐建生, 等. 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(10): 599-608.  
XIA Riyuan, ZOU Shengzhang, TANG Jiansheng, et al. Technical key points of 1:50,000 hydrogeological and environmental geology surveys in Karst areas of South China [J]. Carsologica Sinica, 2017, 36(10): 599-608.
- [9] 缪世贤, 黄敬军, 武鑫, 等. 徐州岩溶地质调查及其发育特征分析[J]. 水文地质工程地质, 2017, 44(3): 172-177.  
MIAO Shixian, HUANG Jingjun, WU Xin, et al. Karst geological survey and analysis of its development characteristics in Xuzhou [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2017, 44(3): 172-177.
- [10] 周立新, 时坚. GIS 技术在 1:5 万岩溶水文地质综合调查野外工作中的应用——以湖南新田河流域为例[J]. 中国岩溶, 2009, 28(3): 268-274.  
ZHAO Lixin, SHI Jian. Application of GIS to 1:50000 karst hydrogeologic field survey: A case study in Xintian basin, Hunan Province [J]. Carsologica Sinica, 2009, 28(3): 268-274.
- [11] 刘晓东, 张虎生, 邢应太. 高密度电法在岩溶地质调查中的应用[J]. 地质与勘探, 2003, 39(增刊1): 65-68.  
LIU Xiaodong, ZHANG Husheng, XING Yingtai. The application of resistivity imaging to geological survey of karst [J]. Geology and Prospecting, 2003, 39(S1): 65-68.