

DIGITAL
MAPPING
TECHNIQUES

数字填图技术 SHUZI TIAN TU JISHU

在广西地质填图中的应用

ZAI GUANGXI DIZHI TIAN TU ZHONG DE YING YONG

○ 覃小锋 李 江 等 著



中国大地出版社

PDG

中国地质调查局地质大调查项目(200213000029)资助
广西区域地质调查研究院科技成果

谨以此书向广西区域地质调查研究院院庆50周年献礼

数字填图技术 在广西地质填图中的应用

覃小锋 李 江 李容森
周开华 胡贵昂 周府生 等 著
李广宁 谢凌峰 潘艺文

中国大地出版社
· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

数字填图技术在广西地质填图中的应用/覃小锋等著.

北京: 中国大地出版社, 2008. 11

ISBN 978 - 7 - 80246 - 148 - 2

I. 数… II. 覃… III. 数字技术—应用—地质填图—研究—广西 IV. P623 - 39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 174439 号

责任编辑: 叶 丹 张国秀 高晓峰

出版发行: 中国大地出版社

社址邮编: 北京市海淀区学院路 31 号 100083

电 话: 010—82329127 (发行部) 010—82329008 (编辑部)

传 真: 010—82329024

网 址: www. chinalandpress. com 或 www. 中国大地出版社. 中国

印 刷: 北京纪元彩艺印刷有限公司

开 本: 787mm × 1092mm 1/16

印 张: 6. 25

字 数: 142 千字

版 次: 2008 年 11 月第 1 版

印 次: 2008 年 11 月第 1 次印刷

印 数: 1—1000 册

书 号: ISBN 978 - 7 - 80246 - 148 - 2/P · 111

定 价: 60. 00 元

版权所有 · 侵权必究

目 录

第一章 绪 论.....	1
一、任务来源.....	1
二、专题研究的工作思路.....	2
三、项目工作过程及任务情况.....	2
第二章 区域地质背景.....	5
一、构造单元划分.....	5
二、地层与建造特征.....	7
三、岩浆岩与岩浆作用特征.....	10
四、变形变质作用特征.....	13
第三章 数字填图技术理论与技术方法.....	16
一、数字填图技术理论研究发展趋势.....	16
二、数字填图技术主要研究内容.....	17
三、数字填图技术的基本术语及其定义.....	19
四、数字填图技术 PRB 过程概述.....	22
第四章 数字地质调查工作方法.....	25
第一节 数字地质填图前期工作准备.....	25
一、数字地形资料准备.....	25
二、前人地质资料收集、综合及数字化预处理.....	25
三、遥感数据收集与处理.....	27
四、野外数据采集装备准备.....	28
第二节 数字地质填图野外踏勘与设计书编写.....	28
一、野外踏勘.....	28
二、创建图幅 PRB 字典库.....	29
三、数据填图设计书编写.....	32
第三节 数字地质调查野外工作方法.....	32
一、野外数字路线调查的基本方法.....	32
二、野外数字地质剖面测制的基本方法.....	37
第四节 数字地质调查前人地质资料录入、验证的工作方法.....	40
一、前人路线资料录入、验证和批注过程的工作方法.....	40
二、前人剖面资料录入、验证、批注、修测和成图过程的工作方法.....	51

第五章 数字地质填图图件编制和成果表达.....	59
一、实际材料图的编制.....	59
二、数字地质图的编制.....	61
三、构造纲要图的编制.....	63
四、专项地质图的编制.....	65
第六章 多元数据整合方法.....	71
第一节 遥感数据.....	71
一、测区 ETM+卫星图像原始参数.....	71
二、测区 ETM+卫星图像几何校正.....	73
三、测区 ETM+卫星图像(反差)增强.....	78
四、测区 ETM+卫星图像三维图像处理.....	80
五、卫星图像与 RGMap 的整合.....	80
六、遥感图像地质解译方法.....	81
第二节 地震数据.....	83
第七章 RGMap 数字填图系统在 1:25 万玉林市幅修测区数字地质 填图中的测试情况.....	85
一、各阶段数字填图系统的使用情况.....	85
二、野外采集仪器填图系统的使用情况.....	89
致 谢.....	91
主要参考文献.....	92
附录 项目信息.....	94
附表 主要野外工作人员名单.....	95

第一章 绪 论

一、任务来源

随着我国经济建设和社会发展对地学基础数据的需求不断增长,迫切需要利用现代信息技术来实现对基础地质、地球物理、地球化学、矿产地质、灾害地质、工程地质、农业地质、旅游地质、生态地质、环境地质和遥感地质等多源地学数据采集、存储、成图、处理、传输和服务等全流程数字化。中国地质调查局为研制、开发和完善区域地质调查计算机填图系统,部署了区调野外数据采集自动化、区调基础数据库研究和建设等一系列开拓性研究工作,其核心目标就是建立区调工作的空间数据模型,完成对区域历史数据和现实数据的描述,实现对多源地学空间信息的空间数据采集、储存、检索、分析、表示等全过程的数据表达。要达到这一目标,需要在全国开展一系列不同类型地区的1:25万数字地质填图试点。为此,2002年4月28日,中国地质调查局以基(2002)010-11号文下达地质调查子项目任务书,将广西1:25万玉林市幅(F49C002002)区调修测项目下达给广西壮族自治区地质调查研究院承担(子项目编码:200213000029)。任务书规定的工作任务是:选择区内重大地质问题进行专题研究,要求多“S”技术贯穿项目调查的全过程,在野外翔实的观察研究基础上,通过多种测试分析及综合研究,解决测区长期存在的一些基础地质问题,如:确定“云开古陆”在测区内的边界;建立古生代地层序列;阐明测区构造-岩浆事件类型、时空分布及其成因机制;查明各种构造形迹的主要特征,探讨构造活动的序次,构造与沉积作用、岩浆作用、变质作用、成矿作用的关系,进而阐明地质发展史。任务书同时明确,应建立和完善1:25万整幅数字地质图填图的“实战”技术要求,并为今后的数字地质图填图技术培训、计算机野外辅助填图系统软件进一步开发与升级和国际交流提供资料和依据。根据任务书的要求,我们在2002年7月的设计书上确定专题研究的名称为“计算机辅助区域地质调查系统(RGMap)在1:25万区调修测区的推广应用研究”。

2002年12月28日,中国地质调查局又以“关于委托开展数字填图过程多源数据整合及成果表达方式研究项目有关工作任务的函”,委托广西地质调查研究院承担数字地质填图试点,其工作内容为:在中国地质调查局发展研究中心开展优化完善野外数据采集系统工作的基础上,承担数字地质填图试点,研究地学信息采集、建库(如数字化野外原始记录本及其采样数据库、测试结果数据库、剖面数据库等)、管理、综合分析、储存、成果输出的各个阶段及其相互间的整合技术及与地学工具软件包结合,探讨数字填图的最终成果表达形式,为技术要求的制定提供依据。

1:25万玉林市幅是针对进行过大量区调填图、研究程度较高地区而安排的试点图幅,其研究重点为:充分挖掘利用以往资料,并输入到采集器中,强化对地质调查专业

成果的再开发,在综合分析利用基础上进行修测,打破过分机械地强调点、线密度,忽略了有效点、线这一局面。在确保图幅质量前提下,将调查资金及测试样品、工作量投入到详测及重要基础地质等问题解剖区,加大与国民经济和地方经济发展密切相关的研究内容等方面。

二、专题研究的工作思路

数字填图技术是通过使用野外数据采集器,直接在野外获取各类数字化的原始地质资料,与相配套的桌面系统一并建立野外调查原始资料 and 各类分析结果的数据库,并通过室内资料综合整理,对地质、地理、地球物理、地球化学、矿产地质、灾害地质、工程地质、农业地质、旅游地质、生态地质、环境地质和遥感等多源地学数据进行综合分析和地质制图,形成地学调查的各类成果数据库(如地质图空间数据库、各类数字化的专题图件、数字地质调查报告等)和通用的数据仓库,实现区域地质调查野外数据、信息的数字化获取、共享的一门技术。根据任务书要求,我们确定本专题的工作思路是:

(1) 以中国地质调查局提出的“区域地质调查主流程信息化”为原则,充分发挥计算机技术在数字区域地质调查工作中的优势,应用中国地质调查局开发的“数字地质填图系统(RGMap)”,在区域地质调查中全面实现野外数据采集、存储、管理、描述、分析和再现地质实体在地球表面空间分布有关数据的信息系统,真正实现区域地质调查中的计算机全程化、无纸化。

(2) 针对修测区地质研究程度较高、地质资料较丰富的特点,充分挖掘利用以往资料,通过对前人地学多源数据的整合分析,并有目的地开展野外调查验证和综合分析对比,达到将前人地学资料“转译”成可利用的“新资料”的目的,实现对前人地质资料及地质调查专业成果的再次开发利用,从而提高数字区域地质调查的效率和质量。

(3) 对“RGMap 数字填图系统”在修测区进行全面检测,提供修改、补充和完善的优化建议,建立和完善 1:25 万修测区数字地质填图的“实战”技术要求。

(4) 提出一套适合于修测区数字地质填图的工作方法,并对填图采集方式、工作效率、研究精度、成果表达方式以及“RGMap 数字填图系统”的应用效果等方面进行评估,为中国地质调查局推广数字填图的方法提供决策依据。

三、项目工作过程及任务完成情况

本项目工作年限为 2002 年 1 月~2004 年 12 月,历时 3 年。根据工作任务及工作内容,大致可分为如下四个工作阶段。

(一) 资料收集、野外踏勘、设计编审及技术培训阶段

时间:2002 年 1 月~2002 年 9 月。

按照项目任务书的要求,全面收集了测区地形、地质、物化遥及专题研究等方面资

料,并进行数字化处理,按有关规定进行技术数据集管理和分门别类存储入库。项目组部分技术骨干参加中国地质调查局区调现代化新技术、新方法研讨班,并对项目组全体技术人员进行数字区调系统及掌上机的野外实地操作过程的学习和培训,与相关项目积极开展技术交流,使项目组主要技术骨干迅速掌握了该系统的操作过程。在消化已有资料和室内遥感图像初步解译基础上,在2002年6月份进行了野外踏勘,用第一代填图程序完成了一条地质剖面测制和部分主干地质路线调查,采集了一些关键性的岩石样品;2002年7~8月初编制了数字地质草图,并完成了设计编写,确定专题研究的名称为“计算机辅助区域地质调查系统(RGMap)在1:25万区调修测区的推广应用研究”。8月6日中国地质调查局在黑龙江省哈尔滨市组织并主持的评审会通过了设计书(送审稿)审查(评为91分,优秀级)。根据专家意见对设计书送审稿进行修改后于9月中旬提交正式设计,并得到中国地质调查局的批准,同意按设计开展工作。

(二) 野外区域地质调查及数字填图技术在地质填图中的应用研究阶段

时间:2002年9月~2004年4月。

2002年9~10月,项目组开展野外工作前的业务培训,在室内对数字区调的程序进行系统实践和检测。针对程序中出现问题,我们通过电子邮件或电话向程序开发人李超岭研究员请教,部分问题得到及时解决,并于9月下旬在李超岭研究员的指导下,到野外实地进行数字填图及剖面的操作,通过相互交流、学习,项目组大部分技术人员已基本掌握了数字区调程序的操作过程。与此同时,项目组组织大家学习了1:25万区调技术要求(暂行)、不同岩类的填图方法指南、三大岩类岩石命名方案以及相关专业理论知识等;深入查阅和分析了测区前人地质成果资料,讨论了测区工作的重点;进行了遥感地质解译;编制图区的电子字典,备齐软、硬件装备。针对修测区地质研究程度较高、地质资料较丰富,前人资料录入工作繁重的特点,我们在中国地质调查局区调处和发展研究中心的指导下,初步总结出修测区PRB数字填图过程中快速、准确、有效地录入、验证前人地质资料的工作方法,全面完成野外出队前的各项准备工作。

2002年11月~2004年4月,全面开展野外数字地质填图、数字剖面测制、专题研究及室内资料录入工作。由于本项目为修测图幅,1:20万区调和20.5个1:5万区调图幅已全面完成,因此我们在野外地质调查过程中作出以下工作部署:①对于未进行过1:5万区调的地区以及博白—岑溪造山带内经历过强烈构造混杂地区,以实测为主,并选择地质走廊进行加密路线重点解剖;②进行过1:5万区调的地区主要以检查、验证为主,在充分利用前人的实际资料基础上,我们对每个1:5万图幅选择1~2条路线进行地质调查,并保证1:25万图幅内所建立的填图单位都必需有2条以上实测路线控制,以便于对前人的地质资料进行批注、利用;③对所利用的前人测制剖面均进行了野外检查,一些重要剖面还进行了修测或重新测制。

在工作中根据实际情况不断总结、完善适合于修测区数字地质填图的工作方法,并对填图采集方式、工作效率、研究精度、成果表达方式以及“RGMap数字填图系统”的应用效果等方面进行评估,提出了一系列修改、补充和完善的优化建议。完成了地质

填图面积 17095km², 实测数字地质剖面 5 条 82km, 检查、修测数字地质剖面 26 条 229km, 系统采集、测试各类样品 2022 件。

(三) 室内资料综合整理、野外验收小结编审及野外补课阶段

时间: 2004 年 5 月~2004 年 9 月。

在完成所有设计规定的野外调查研究工作及室内资料录入工作后, 从 2004 年 5 月开始, 转入室内资料的综合整理研究、样品的鉴定测试以及资料成果的归纳分析, 形成 PRB 数据实际材料图, 在实际材料图数据的基础上, 通过一系列拓扑数据处理, 形成 1:10 万、1:25 万数字地质图和各种数字化专项地质图。与此同时, 根据实践经验对修测区数字地质填图的工作方法作进一步完善和归纳总结, 并编写出详细的野外工作小结, 整理备齐供野外验收的全部实际材料(包括数字化野外原始记录本及其采样数据库、测试结果数据库、剖面数据库和相应图件等野外实际资料, 各种原始图件、典型实物标本, 各种过渡性综合解释成果资料和综合研究成果资料, 各级质量检查记录和工作总结等)。9 月 1 日~4 日, 中国地质调查局宜昌地质调查中心在广西南宁市组织并主持野外验收, 在评审会上有关专家一致认为:“项目自执行以来严格按照任务书和设计审查意见的要求进行实施, 通过两年多艰苦的数字填图和室内对各项数字资料的整理完善总结, 按计划要求圆满完成了任务书、设计书规定的各项野外调查任务, 有重大发现和突破性进展, 在修测图幅数字化填图方法方面做了认真总结, 提供验收的野外资料符合要求”, 评分 92.5 分(为优秀级), 同意予以验收。9 月中、下旬, 针对野外验收专家组所提意见, 进一步完善录入前人资料的批注工作, 并到野外进行针对性补课工作。

(四) 数字填图技术应用研究报告编写阶段

时间: 2004 年 10 月~2004 年 12 月。

研究报告各章节编写分工如下: 第一、二章由覃小锋编写; 第三章由覃小锋、周开华编写; 第四章由覃小锋、周开华、胡贵昂编写; 第五章由胡贵昂、周开华、覃小锋编写; 第六章由胡贵昂编写; 第七章由周开华、胡贵昂编写。各章节完成后由项目负责人覃小锋统稿。2004 年 12 月提交最终报告送审稿。

通过近三年艰苦的野外工作和室内综合分析研究, 在中国地质调查局、中南项目管理办公室、广西地调院和广西区调院领导的关心和支持下, 在项目组全体人员的共同努力下, 本项目工作进展较为顺利, 按计划要求圆满完成了任务书、设计书规定的各项任务。

第二章 区域地质背景

1:25 万玉林市幅位于华夏古陆与南华活动带交切部位,是罗丁尼亚超大陆(Rodinia)聚合与裂解、古特提斯洋东延等国际前沿课题研究的关键地区,地质构造复杂,其地质演化具多旋回开合造山模式。地质内容丰富,三大岩类均十分发育。且测区地质研究程度较高,已全面完成了 1:20 万区调工作和 20.5 个 1:5 万区调图幅,并进行了片区总结。此外,20 世纪 80 年代中期以来,与本区相关的一些专题研究工作相继开展,并取得了丰硕的地质成果,出版了一批专著。因此,本图幅是开展数字填图技术在修测区地质填图应用研究的理想地区之一。

一、构造单元划分

近 20 年来,不同学者对本区已提出过多种不同的构造单元划分方案(表 2-1)。但值得指出的是,由于在研究程度及研究侧重点上的不同,不同学者对本区大地构造的认识仍然存在较大的分歧。

我们在这次区调工作中取得了一系列突破性的新发现,主要有:①确认了云开地区前寒武纪基底具有双层结构特征,特别是发现了一系列具洋中脊型和岛弧型的中—新元古代变质基性火山岩,从而厘定了云开地块北缘晋宁期(Grenville 期)造山作用形成统一的 Rodinia 超级大陆以前的“多岛洋盆”构造格局;②云开地区北缘的元古宙—早古生代变质岩系已发生强烈的构造混杂作用,空间上形成中深变质岩系和浅变质岩系混杂分布的特征;③上古生界中发育有一系列仰冲性质的冲断带(或韧性断层),致使整套岩系总体上已发生倒转现象,并发育有一系列大型的逆冲推覆构造;在北流市民安镇北至容县十里圩一带的大容山岩体南东缘还首次发现了一条宽达数百米—数千米的大型韧性剪切带,笔者初步认为上述推覆构造和韧性剪切带应为海西—印支期造山作用,即南侧的古特提斯向北俯冲消减形成的产物。此外,广东省地调院在图幅东侧 1:25 万阳春幅的地质调查中还发现了一套新元古代裂谷型细碧—角斑岩系(坑坪蛇绿岩)。由此表明,过去多认为是相对稳定的“云开地块”,实质上是经历了长期构造演化形成的复合型造山带,前人的构造单元划分方案已很难全面概括本区的地质构造特点。为此,我们根据沉积建造特征、变形变质作用改造历史、岩石化学和地球化学特征、地壳结构及区域地球物理场特征等,对测区提出了新的构造单元划分方案(表 2-1)(图 2-1)。

表 2-1 测区构造单元划分表

广西地质志 (1985)		郭福祥等 (1994)		谢寒克等 {1996}		陶奎元等 (1998)		梁约翰等 (1998)		本项目采用方案				
云开 台隆	云开 台隆	南 华 造 山 带	云开岩浆弧褶皱 亚带		扬 子 — 特 提 斯 构 造 域	云开 大 山 变 形 隆 起 带	云 开 隆 起	华 夏 板 块 云 开 隆 起 区	云 开 隆 起	云 开 造 山 带	天堂山微 陆块			
钦州 残余 地槽	博白 拗陷		钦州 残余 陆缘 盆地	博白断 陷槽谷							钦 州 断 陷 带	钦 防 拗 陷	钦 州 造 山 带	石窝—清 水口构造 (蛇绿) 混杂岩带
	六万 大山 隆起			灵山断 陷槽谷										黄陵微陆 块
	钦州 拗陷													博白—岑 溪弧后盆 地
											六万山— 大容山 (岩浆) 岛弧			
											钦州前陆 盆地			

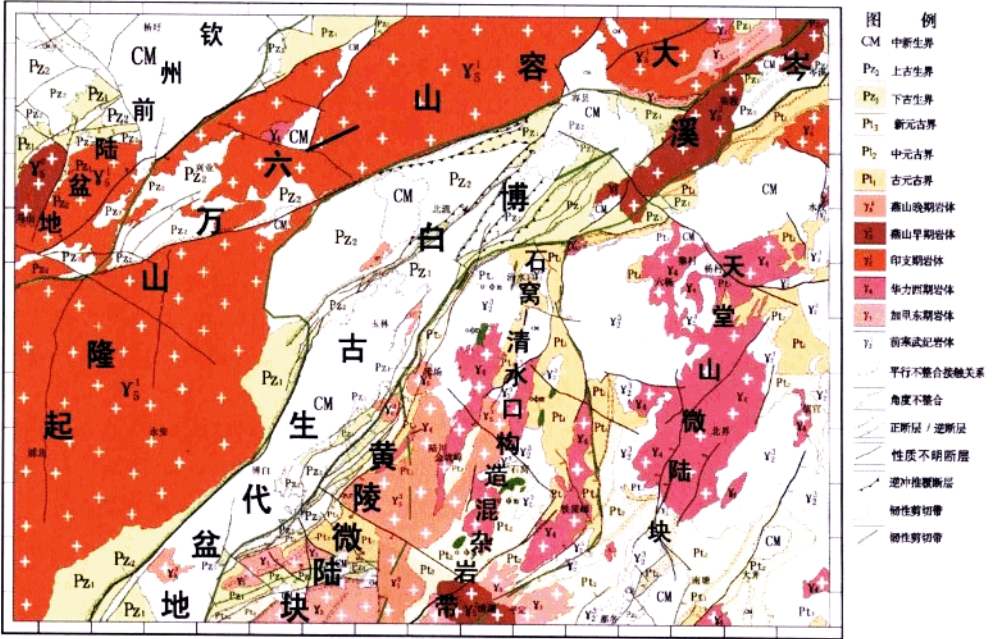


图 2-1 玉林市幅地质构造示意图

二、地层与建造特征

测区内自元古宙到新生代都有沉积记录,由于本区地质构造演化复杂,属于复合型造山带。因此,本区各自然断代及不同地质时代的沉积-构造格局是动态变化的,下面按各自然断代(或时代)的时、空分布,沉积特征及构造属性分别进行划分。

(一) 早前青白口纪地层

主要分布于云开造山带中,往往以不同尺度、不同形态的断块(微陆块)出现。根据我们在北流市南 13km 处和广东省信宜市朱砂镇南 3km 处原定为“云开群”中发现的中一浅变质岩系和中深变质岩系接触关系,并结合微古植物化石和精确的同位素测年结果,将其划分为天堂山岩群、云开岩群和一个非正式的构造(蛇绿)混杂岩岩片等三个填图单位。

1. 天堂山岩群

主要由黑云(二云、石英)片岩、长石黑云(石英)片岩、黑云斜长片麻岩、黑云二长片麻岩、黑云钾长片麻岩、黑云变粒岩、黑云斜长变粒岩、辉石(角闪)斜长变粒岩、长石石英岩、浅粒岩及少量变质碳酸盐岩(多已变为方解绿帘透辉石岩、方解阳起透辉石岩等)、石榴辉石岩、透辉石岩等岩石组成。岩石变质程度高,黑云母片呈粗大鳞片状,并含有矽线石、堇青石、石榴石等特征变质矿物,变质程度普遍达角闪岩相(局部达麻粒岩相)。岩石多已发生一定程度的混合岩化作用,沿面理方向常见有长英质脉体贯入,由于受到变形作用的改造,长英质脉体普遍已发生透镜化、石香肠化,深层次的剪切流变褶皱十分发育。我们获得天堂山岩群石榴辉石岩的同位素年龄为 $(1894.4 \pm 17.36) \text{ Ma}$ 和 $(1846.8 \pm 58.58) \text{ Ma}$ 。此外,还获得花岗质片麻岩(天堂山岩体)继承锆石谐和年龄 $(2701.9 \pm 13.23) \text{ Ma}$ 和加权平均年龄 $(2397 \pm 56) \text{ Ma}$,表明天堂山岩群形成的时代应为(新太古代—)古元古代。

2. 云开岩群

上覆于天堂山岩群之上,二者往往以滑脱型韧性剪切带为界。岩石变质程度相对较低,以绿片岩相为主,局部达低角闪岩相,云母片一般呈微细鳞片状,沿面理方向仅见一些同构造分泌石英脉贯入,其变形样式主要为一些中浅层次的圆柱状褶皱。

依据岩石组成特征可划分为三种岩石组合类型:

(1) 变质碎屑岩组合

以丰洞口岩组为代表,主要由变质(长石)石英砂岩、绢云石英千枚岩和绢云千枚岩组成,局部夹有灰黑色含炭质(石墨)千枚岩和条带状变质硅质岩(多已变为纯石英岩),在靠近岩体部位岩石变质程度相对较深,岩性已变为云母石英片岩、云母(长石)石英岩和浅粒岩、变粒岩等,并出现矽线石、堇青石、红柱石等特征变质矿物。此外,局部岩石中尚偶见夹有一些呈薄层状、透镜状分布的斜长角闪岩(应为变质基性火山岩夹层)。该套岩石往往呈较薄的韵律状分布,其原岩应为一套类复理石—复理石建造。

(2) 变质碎屑岩夹碳酸盐岩组合

以兰坑岩组为代表,主要由绢云石英千枚岩、(含铁)云母(长石)石英岩、大理岩类及少量钙硅酸盐岩类(石榴透辉石岩、透辉石岩、方解绿帘透闪石(片)岩、方解阳起斜黝帘石岩)等变质岩组成,局部岩石中夹有条带状磁铁矿层,变质较深部位还出现云母石英片岩、变粒岩等岩石类型。其中钙质变质岩(大理岩、钙硅酸盐岩类)往往呈夹层状产出。

(3) 变质碎屑岩夹火山岩组合

以沙湾坪岩组为代表,主要由云母(长石)石英岩、绢云(石英)千枚岩(云母石英片岩)夹变质基性火山岩组成。其中变质基性火山岩呈夹层状产出,出露宽度在几米至几十米不等,主要由角闪石岩、(含石榴)斜长角闪岩和斜长角闪片麻岩等岩石组成。

云开岩群岩石变质程度相对较低,仅为绿片岩相,局部达低角闪岩相,一些微古植物化石尚保存完好。广东地质矿产勘查开发局 704 地质大队(1997)在 1:5 万那务幅区调中,在那务镇附近云开岩群丰洞口岩组炭质千枚岩、炭质片岩中采集到丰富的微古植物化石,经宜昌地矿所钟国芳鉴定,计有 14 属 46 种: *Asperalopsophosphaera* sp., *Dictyosphaera* sp., *Leiofusa bicornula* Sin et Liu, L. sp., *Leiominscula minuta* Naum, L. cf *incrassata* Sin et Liu, L. cf *orientalis* Sin et Liu, L. cf *pellacntis* Sin et Liu, L. *orientalis* Sin et Liu, L. *pellacntis* Sin et Liu, L. sp., *Leiopsophosphaera aff effusus* Schep, L. *apertus* Schep, L. cf *apertus* Schep, L. cf *minor* Schep, L. *pelucidus* Schep, L. *minor* Schep, L. *solidu* Sin et Liu, L. sp., *Lignum* sp., *Lophosphaeridium* sp., *Margominscula aff antique*, M. cf *antiqua* Naum, M. cf *tenneta* Naum, M. *rugosa* Naum, M. *tenneta* Naum, M. sp., *Ployporata*, *Pseudozonosphaera* sp., P. *rugosa* Sin et Liu, P. *sinica* Sin et Liu, *Synsphaeridium conglulinatum* Tin, *Trachysphaeridium*. cf *cultum*(Andr) Sin, T. cf *hyalinum* Sin, T. cf *rugosum* Sin, T. cf *simplex* Sin, T. *cultum*(Andr) Sin, T. *hyalinum* Sin et Liu, T. *minutam* Sin et Liu, T. *rugosum* Sin, T. *simplex* Sin, T. sp., Z. *minutam* Sin et Liu, *Trematosphaeridium* sp., *Zonosphaeridium* sp., *Taeniam crassum* Sin et Liu。据鉴定者钟国芳女士意见,该化石组合的时代应为长城纪—蓟县纪。

另外,我们在北流市石窝镇云开岩群沙湾坪岩组中采集变质基性火山岩进行锆石离子探针质谱法(SHRIMP)同位素年龄测定,获得其环带状岩浆锆石的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 加权平均年龄为 (1462 ± 28) Ma, 表明其时代应为中元古代。由此表明,云开岩群形成的时代应为中—新元古代,可能包括了长城纪—蓟县纪层位及青白口纪的部分层位。

3. 构造(蛇绿)混杂岩岩片(oφm)

主要分布于石窝—清水口构造(蛇绿)混杂岩带中,岩石已发生强烈的构造混杂作用,呈构造岩片状产出,在陆川县米场镇和北流市清水口镇一带由于受到岩体侵入破坏,常见其呈大小不一的残留体分布于岩体中。主要由云母长石石英岩、云母石英片岩、云母片岩、变质基性火山岩和一些较纯的石英岩(原岩可能为硅质岩)夹层组成。岩石中普遍夹有许多 MORB 型(洋中脊型)变质基性火山岩,出露宽度多在几米至十几米,在石窝镇西南旺村一带的河沟中发现一层宽达 30 多米。此外,局部岩石中还夹有少量呈透镜状、布丁状或似层状产出的变质镁铁质—超镁铁质岩,主要由石榴辉石岩、透辉

石英岩、透辉角闪石岩、角闪石岩、(含石榴)斜长角闪岩、斜长角闪片麻岩及少量角闪绿帘石岩、石榴阳起石岩、石榴斜长辉石岩等岩石组成。

这些洋脊型变质基性火山岩,无论是稀土元素特征,还是不活动痕量元素特征均表明其原岩为典型的大洋拉斑玄武岩(MORB型玄武岩)。因此,其可能代表本区消失了的古洋壳岩石,是洋壳蛇绿岩组成部分。由于该套岩石已发生强烈构造混杂作用,呈岩片状混杂到石英岩、片岩组成的复理石建造中,故我们将其划分为构造(蛇绿)混杂岩岩片($ophm$),作为一个非正式的填图单位在图中表示出来。

(二) 新元古代地层——射广岩组

主要分布于石窝—清水口构造(蛇绿)混杂岩带(洋脊型火山岩带)北西侧的黄陵微陆块中,包括下、中、上三个岩组,其中下岩组主要由变质石英砂岩、变质粉砂岩、石英岩、云母石英片岩、千枚岩为主夹薄层状含炭质千枚岩等;中岩组下部为石英岩与灰黑色薄层含炭质千枚岩(云母石英片岩)互层,上部为两层宽达几十米的(纯)石英岩夹千枚岩(云母石英片岩);上岩组主要由劈理化细砂岩、变质石英砂岩夹绢云母千枚岩等岩石组成。

该套地层与上覆早古生代地层在变形变质特征上存在明显区别。在1:5万长山幅区调中,我们在博白县龙潭镇以东的六角田一带采获射广岩组地层上覆早古生代地层中的笔石化石,经南京古生物研究所倪寓南鉴定,为剑柄假等称笔石哈氏亚种(*Pseudisograptus mamubriatus harris Cooper & Ni*),其时代为中奥陶世中期(即Aremig晚期)。据此我们暂将该套地层的时代定为新元古代。

(三) 早古生代地层

主要分布于钦州造山带博白—岑溪弧后盆地中,主要为一套寒武纪—志留纪时期沉积的巨厚复理石建造。其中寒武系主要分布于西北部,呈零星状分布,主要岩性为灰绿、黄绿色不等粒砂岩、长石石英砂岩、砂岩、粉砂岩、砂质页岩、页岩,局部夹多层炭质泥(页)岩和灰岩透镜体;奥陶系主要为陆源碎屑岩沉积,底部为砾岩、含砾砂岩,下部主要由变质细砂岩、绢云石英千枚岩、绢云千枚岩夹千枚状粉砂岩、岩屑石英砂岩及粉砂质板岩组成,含丰富的笔石;上部为石英砂岩、含砾石英砂岩、细砂岩、夹粉砂岩、泥质粉砂岩、页岩及砂质页岩,为介壳相沉积;志留系为厚3000~6000m的砂岩、粉砂岩和含笔石页岩,底部和中下部夹厚数十米的砂砾岩层,砾石为复成分,其环境以深海底扇为主体的重力流和浊流沉积,往上由含笔石的砂岩、页岩、砂页岩组成。

根据对早古生代沉积构造转换面的分析表明,在沉积序列中可找到三个转换面:①在广东郁南下奥陶统底部由多源砾石成分组成的砂砾岩层,其与下伏寒武系轻变质岩呈平行不整合接触,为明显沉积转换面,此界面莫柱孙(1965)称其为郁南运动;而在岑溪、博白等地的下奥陶统底部亦发现厚数十米至数百米的砂砾岩层,砾石成分有变质的砂岩、页岩和花岗岩。由此说明,加里东期构造运动的地质响应发生在奥陶纪与寒武纪间;②在北流一带的志留系底部见厚数十米的砾岩,砾石中见有片麻岩砾石,莫柱孙(1962)以此界面作为加里东期构造活动的第2幕次,称之为北流运动;③前人根据

钦州—防城一带下泥盆统与上志留统间的整合接触关系判断早泥盆世与晚志留世间为连续沉积,但许效松等(2001)的调查研究发现,钦州—防城一带下泥盆统与上志留统间有沉积间断,两者不是连续沉积,而是表现为水下间断—水上暴露和破裂不整合,说明亦存在加里东期构造运动最后一幕的地质响应。因此,可以肯定云开地区西北缘,在中晚寒武世和中奥陶世后至早志留世间为挤压隆升机制。

(四)晚古生代地层

主要分布于钦州造山带中。下一中泥盆统在靠近云开古陆部位及北西侧兴业县一带主要为滨岸相碎屑岩相沉积,而在玉林市樟木镇至北流市南为富含浮游生物的槽盆相泥岩为主的沉积,在图幅北西角的横县木梓镇及玉林市到北流市一带则为台地相碳酸盐岩沉积;上泥盆统除在北西角的横县木梓镇一带为台地相碳酸盐岩沉积外,石寨镇和玉林市樟木镇到北流市塘岸一带均为深水相硅质岩系沉积,显示了该区在晚古生代时的沉积构造背景同周边地区完全不同,它们应分属不同的相区。

石炭系毗连泥盆纪地层分布,往往继承其沉积相模式,为浅海潮下带—开阔台地或局限—半局限台地相沉积环境;在兴业县西南—成均西和玉林市木菰塘—北流市塘岸镇一带还发育一套硅质岩系,主要为灰黑色薄层硅质岩夹硅质页岩。早二叠世仍继承晚石炭世沉积环境,为一套半局限—开阔台地相碳酸盐岩沉积的岩石组合序列,至晚二叠世则转变为滨岸相含煤沉积。

(五)中—新生代地层

中、新生代地层主要为一套陆相红层建造和部分火山岩建造。

其中三叠—侏罗系天堂组只出露于岑溪市水文盆地中部和博白盆地沙河一带,主要岩性为厚层状砾岩、砂砾岩、含砾不等粒长石石英砂岩、细砂岩夹薄层状粉砂质泥岩、泥质粉砂岩、含炭泥岩、煤线或煤包。白垩系主要分布于岑溪水文、玉林沙田、合浦白沙及贵港桥圩盆地中,下白垩统为一套河湖相或滨—浅湖相沉积;上白垩统下部为一套火山岩建造,测区内可识别出四个火山喷发旋回,上部则为一套山麓堆积—河湖相环境沉积。古近系邕宁群主要分布于容县大围顶、博白沙田、岑溪高坪等盆地中,为一套山麓—河流、湖泊相厚层块状砾岩、砂质砾岩、含砾砂岩夹泥质粉砂岩、粉砂质泥岩。

三、岩浆岩与岩浆作用特征

测区构造—岩浆作用十分活跃,其中侵入岩经历了较为完整的开合过程,因而十分引人注目,其研究程度亦相对较高,我们以花岗岩动力学和大陆地壳生长等新的花岗岩地质研究理论为指导,从构造和地球化学方法入手,将测区侵入岩划分为六个构造—岩浆旋回,67次不同时代不同阶段的侵入岩。

而关于火山岩,除了广泛发育白垩纪陆相火山岩及偶尔报道有晚古生代海相火山岩外,其他时代火山岩的报道几乎是空白。我们在野外地质调查过程中,在陆川县石窝镇、米场镇至北流市清水口镇一带原定为“云开群”的变质岩系中发现了一套 MORB 型(洋

中脊型)火山岩,并在该 MORB 型火山岩带(石窝—清水口构造(蛇绿)混杂岩带)两侧古老微陆块周围的云开岩群中发现了一系列岛弧型火山岩。

(一) 侵入岩

测区酸性岩浆活动频繁,从新元古代至中生代均有发育,并以石窝—清水口构造(蛇绿)混杂岩带(洋脊型火山岩带)为界,形成一系列规模十分壮观的构造-岩浆岩带。

1. 晋宁期构造-岩浆岩带

主要分布于构造(蛇绿)混杂岩带(洋脊型火山岩带)南东侧的云开地块中,以天堂山复式岩体为代表,其岩性主要为片麻状黑云二长花岗岩或二长花岗质片麻岩,具 S 型花岗岩特征,属同碰撞或碰撞晚期花岗岩类。获得其离子探针质谱法(SHRIMP)锆石 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 加权平均年龄为 $(906 \pm 24) \text{ Ma}$,说明其可能是华夏古陆与扬子板块在 Grenville 期(晋宁期)发生碰撞造山作用形成统一的 Rodinia 超大陆阶段的产物。

2. 加里东期构造-岩浆岩带

主要分布于构造(蛇绿)混杂岩带(洋脊型火山岩带)北西侧的博白宁潭—岑溪市容镇一带,以宁潭复式岩体和原定为晚二叠世双元单元的强烈变形部分为代表,其岩性主要为含眼球状斑晶的片麻状黑云二长花岗岩和片麻状斑状堇青黑云二长花岗岩,岩石韧性变形较强烈。在构造环境判别图解上多落入同碰撞花岗岩区内。获得其 U-Pb 法同位素年龄为 $440 \sim 457 \text{ Ma}$ 。

3. 华力西期构造-岩浆岩带

华力西期构造-岩浆岩带有两条,一条基本沿着构造(蛇绿)混杂岩带(洋脊型火山岩带)两侧分布,以金坑嶂、铁屎嶂复式岩体为代表;另一条分布于广东省高州市那务镇—广西岑溪市水汶镇一带,以六杨和北界复式岩体为代表。岩性以含白云母的二长花岗岩为主体,早期出现花岗闪长岩,而晚期出现钾长花岗岩等岩石类型,具 S 型花岗岩特征。获得其 U-Pb 法或 Rb-Sr 法同位素年龄为 $315 \sim 387 \text{ Ma}$ 。在构造环境判别图解上,早期花岗闪长岩一般落入非造山 A 型花岗岩区或幔源分异型花岗岩区内,可能代表加里东期造山运动之后拉张环境下岩浆活动的产物;而主体的含白云母二长花岗岩落入碰撞前、同碰撞、碰撞晚期花岗岩区内均有,其均应为华力西期造山运动岩浆活动的产物,晚期的个别花岗岩点还落入非造山 A 型花岗岩区内,代表华力期造山运动的结束。另外,值得指出的是,沿这两条构造-岩浆岩带还发育有白垩纪的花岗岩或火山岩;一些白垩纪陆相盆地亦基本沿着这两条构造-岩浆岩带展布,后期新构造活动也十分强烈,地震活动沿着这两条构造-岩浆岩带呈带状分布,并发育有一系列温泉。更有意思的是,在那务镇—水汶镇华力西期构造-岩浆岩带西南端,晚古生代地层呈狭长的“海沟”延伸进来;北东端的水汶盆地底下亦出露有晚古生代地层;而在岩浆岩中则往往分布有一系列由镁质碳酸盐岩(白云岩、白云质灰岩等)蚀变形成的蛇纹石化玉石矿。但其两端的晚古生代“海沟”是否曾经相连通目前尚不清楚。

4. 华力西—印支期构造-岩浆岩带

主要分布于六万山—大容山隆起区内,呈北东向巨型岩基分布,根据岩性可分为四套岩石类型:①含堇青石的花岗闪长岩,以永安和水口等岩体为代表,具典型 S 型花

岗岩特征, 获得其 U-Pb 法同位素年龄为 286Ma。在构造环境判别图解上多落入碰撞前花岗岩区内, 说明其应为华力西期造山作用早期岩浆活动的产物; ② 含褐帘石、角闪石的二长—钾长花岗岩、花岗斑岩, 以旺冲复式岩体为代表, 具 S 型向 I 型过渡的花岗岩特征, 获得其 Ar-Ar 法同位素年龄为 258Ma。在构造环境判别图解上多落入造山晚期或非造山 A 型花岗岩区内, 其可能代表华力西期造山运动后拉张环境下岩浆活动的产物; ③ 含堇青石的过铝花岗岩, 以六万山、大容山和葵山等复式岩体为代表, 具典型 S 型花岗岩特征, 获得其 U-Pb 法或 Ar-Ar 法同位素年龄为 258~239Ma。在构造环境判别图解上多落入同碰撞花岗岩区内, 说明其应为印支期造山作用的产物; ④ 含紫苏辉石、堇青石的二长花岗岩、花岗斑岩, 以石南复式岩体为代表, 具典型 S 型花岗岩特征, 获得其 Ar-Ar 法同位素年龄为 212~250Ma。在构造环境判别图解上落入同碰撞和碰撞晚期花岗岩区内均有, 说明其应为印支期 (后期) 造山运动岩浆活动的产物。

5. 燕山早期非造山型钾玄质侵入岩

该类岩体分带性不明显, 以马山、南渡、清湖等复式岩体为代表, 主要由辉石岩、角闪石岩、二长闪长岩、二长岩、正长岩、石英二长 (碱长) 花岗岩等岩石组成的碱性岩杂岩体。据李献华等的研究, 这些钾玄质侵入岩富集大离子亲石元素、高场强元素和稀土元素, 无明显的 Nb、Ta 亏损, 与板内玄武岩的微量元素组成特征相似, 属板内型钾玄岩, 表明其形成与岛弧无关, 而很可能是在中生代区域软流圈地幔上涌和岩石圈伸展构造背景下形成的, 可能是印支期造山运动之后拉张环境形成的产物。

6. 燕山期构造-岩浆岩带

除前述各时期构造-岩浆岩带中见有零星分布外, 其主要分布于构造 (蛇绿) 混杂岩带 (洋脊型火山岩带) 北西侧的陆川—岑溪一带, 以长岗顶复式岩体、杨梅复式岩体、米场复式岩体和陆川复式岩体为代表, 其中长岗顶复式岩体和杨梅复式岩体岩性主要为二长花岗岩—钾长花岗岩, 在构造环境判别图解上多落入同碰撞花岗岩区内, 获得其 U-Pb 法或 Ar-Ar 法同位素年龄为 152~160Ma, 其应为燕山早期造山运动岩浆活动的产物; 米场复式岩体岩性主要是二长闪长岩—花岗闪长斑岩, 在构造环境判别图解上多落入碰撞前花岗岩区内, 获得其 U-Pb 法或 K-Ar 法同位素年龄为 110~120Ma, 其应为燕山早期和燕山晚期造山运动过渡时期岩浆活动的产物; 陆川复式岩体岩性主要是二长花岗岩—钾长花岗岩, 在构造环境判别图解上多落入同碰撞花岗岩区内, 获得其 U-Pb 法或 K-Ar 法同位素年龄为 65~102Ma, 其应为燕山晚期造山运动岩浆活动的产物。

(二) 火山岩

主要有中—新元古代基性火山岩、晚白垩世火山岩和少量的晚古生代火山岩

1. 中—新元古代基性火山岩

主要分布于石窝—清水口构造 (蛇绿) 混杂岩带中, 两侧的云开岩群中亦见有分布。往往呈似层状或透镜状“残块”产出, 宽度多在几米至十几米, 在石窝镇西南旺村一带的河沟中发现一层宽达 30 多米, 在陆川县米场镇和北流市清水口镇一带由于受到岩体侵入破坏, 常见其呈大小不一的残留体分布于岩体中。主要岩性为斜长角闪岩和斜长角闪片麻岩, 局部为绿帘角闪石岩、透辉角闪石岩和含石榴斜长角闪岩等。岩石为暗绿色