

城市岩溶与地史滑坡研究

CHENGSHI RONGYAN YU DISHI HUAPO YANJIU

罗小杰 著



中国地质大学出版社有限责任公司
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE YOUXIAN ZEREN GONGSI

城市岩溶与地史滑坡研究

CHENGSHI YANRONG YU DISHI HUAPO YANJIU

罗小杰 著



中国地质大学出版社有限责任公司
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE YOUXIAN ZEREN GONGSI

图书在版编目(CIP)数据

城市岩溶与地史滑坡研究/罗小杰著. —武汉:中国地质大学出版社有限责任公司,2013.11

ISBN 978-7-5625-3275-0

I. ①城…

II. ①罗…

III. ①岩溶塌陷-灾害防治-武汉市-文集

IV. ①P642.26-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 246800 号

城市岩溶与地史滑坡研究

罗小杰 著

责任编辑:胡珞兰

责任校对:戴莹

出版发行:中国地质大学出版社有限责任公司(武汉市洪山区鲁磨路 388 号) 邮政编码:430074

电 话:(027)67883511 传 真:67883580 E-mail:cbb@cug.edu.cn

经 销:全国新华书店 <http://www.cugp.cug.edu.cn>

开本:787 毫米×1 092 毫米 1/16

字数:368 千字 印张:14.375

版次:2013 年 11 月第 1 版

印次:2013 年 11 月第 1 次印刷

印刷:武汉市教文印刷厂

印数:1-1 000 册

ISBN 978-7-5625-3275-0

定价:36.00 元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

序 一

罗小杰同志将他从事地质工作开始,直至最近的文章和研究成果汇集成书出版,请我为之作序,我欣然应允。我觉得这是对年轻一代的钻研精神、注重总结和学术风气的一种鼓励和支持。

罗小杰同志 1990 年从中国地质大学硕士研究生毕业后,分配到长江水利委员会(以下简称长江委)从事工程地质与岩土工程勘察工作。自 20 世纪 90 年代中期,开始参与和主持了十余项大、中型建设项目的地质勘测工作,如长江中下游重点堤防工程,南水北调中线丹江口大坝加高工程、陶岔渠首工程和汉江兴隆枢纽工程、武汉地铁工程,以及引汉济渭工程黄金峡水库、孤山电站、下浒山水库等。在完成上述工作的同时,不断深入思考,提出问题,总结经验。书中所撰写的文章,就是他在工作中对工程地质问题的思考与总结。

书中包括了罗小杰同志主笔撰写的 18 篇论文和翻译的 13 篇译文,其中 18 篇论文涉及工程地质、环境地质、地质灾害等诸多方面的问题。

第一部分“武汉市城市岩溶研究”对武汉市地下岩溶的发育历史、分布和发育规律,岩溶地面塌陷,隐伏埋藏型岩溶探测和防治等文章,对武汉市地区的地下岩溶问题及其所引发的次生地质灾害作了有益的探索和较系统的论述,对武汉市的城市规划和市政建设无疑会起到积极的作用。第二部分几篇有关滑坡的文章,集中反映了他个人的一些理论见解和分析方法。关于地史滑坡的概念和认识是一个新的观点和命题,具有开创性,但还需在理论上和实际工作中,通过不同学科的沟通和融合,取得认识上的突破。关于滑坡活动强度的分析预测,历来是滑坡研究中的一个难点。第三部分中对丹江口大坝加高后水库环境地质问题的分析和安全评估都是很有帮助的;有关长江中下游堤防主要地质问题、长江流域工程地质分区等几篇文章中探讨的一些观点和资料,在我所主编的《长江流域水利水电工程地质》一书的有关章节中都加以引用。罗小杰同志着重从滑坡的空间几何形态的相关性分析,提出了评价判断的方法。希望通过实践,不断发展完善,成为滑坡活动强度分析诸多方法中的一个重要方面。

长江委老主任林一山同志在主持长江委工作期间,经常强调总结工作的重要性,指出这是积累经验、提高水平最重要的方法。工程地质是一门实践性、探索性极强的学科,没有任何两个工程的地质条件是完全相同的,都有其独特性。因此,科学、深入地总结实践经验,寻找各个不同工程地质问题内在的联系和规律,是提高我们业务水平和工作能力最有效的方法。罗小杰同志的这本书在一定程度上体现了这种精神,是难能可贵的。长江委承担的各类工程提供了工程地质实践的广阔天地,借罗小杰同志这本书出版的机会,希望广大的年轻地质工作者,不断总结自身的工作经验,多写文章,多出书,出好书。

中国工程勘察大师

长江委原综合勘测局局长

陈国基

2013 年 11 月

序 二

随着我国城市化进程的快速推进,尤其是城市基础设施建设规模的不断扩大,在有碳酸盐岩分布的城市(如武汉、广州、深圳等大城市和广西、贵州、云南等省的更多城市)的岩溶不良地质及其地质灾害问题越来越突出。新近纪及第四纪地层覆盖下的隐伏岩溶化岩体的存在,对建(构)筑物基础的选型和持力层的选择,地下洞、室的稳定性和岩溶水的危害(突水、涌泥),特别是由于岩溶洞室的存在和地下水运动引起覆盖层地面塌陷的地质灾害对环境的破坏性影响等重大课题,不断困扰着规划、建设、勘察、设计和施工部门的领导和技术人员,迫使人们进行深入的岩溶工程地质及水文地质研究。

关于城市岩溶工程地质及水文地质研究,我认为应当大致有以下几个方面的基本内容:第一,区域地质与碳酸盐岩分布,包括:①平面分布条带划分;②不同时代碳酸盐岩分布;③各岩组可溶性及岩体透水性划分;④地质构造及岩体结构对岩溶发育的控制作用。第二,地区岩溶发育史,包括:①区域地质构造背景;②地区及周边区域中、新生代地层空间分布;③新构造运动期地壳升降特点;④地区河流侵蚀基准面变迁史(受控于地壳升降和海平面升降);⑤岩溶发育史——岩溶发育期划分及各期岩溶发育特点。第三,地区岩溶发育特征,包括:①岩溶类型、形态、规模;②岩溶发育率(点岩溶率、线岩溶率、面岩溶率)的平面及随深度变化、岩溶发育强度等级划分;③溶洞填充情况及充水情况;④地区岩溶的垂直分带归属。第四,针对隧道工程的岩溶及岩溶水,包括:①岩溶形态类型、规模、发育程度、填充情况和填充物性质等对隧道洞体稳定性的影响及相应的工程措施;②岩溶地下水位及其季节变动;③岩溶化岩体水文地质参数的测定;④岩溶水动力垂直及水平分带归属、定位;⑤新生代覆盖层时代、岩(土)性质及其对岩溶水的补给、径流、排泄条件的影响;⑥隧道岩溶水危害程度和突水、涌泥预测及防治对策。第五,针对碳酸盐岩第四纪覆盖层的岩溶地表塌陷,包括:①地区第四纪覆盖层分布及其所属地貌单元、地层时代、地层性质;②地区塌陷历史及分布特点;③岩溶化碳酸盐岩之上新生代地层的组合类型;④第四系孔隙水与岩溶水的埋藏特点和渗流、互补关系;⑤根据不同地貌单元内、不同地段覆盖层的时代地层组合类型圈定塌陷危险区和非塌陷区范围;⑥根据覆盖层的时代地层组合类型和含水层性质及其所对应的不同的塌陷机理判定塌陷类型(饱和砂土类“漏失型”、黏性土中“潜蚀土洞冒落型”和“真空吸蚀型”),即按不同地质条件和塌陷机理区别不同的塌陷类型;⑦按照不同的塌陷类型制定相应的防治对策。

以上5个方面内容大体上可以满足城市岩溶研究的要求。可贵的是,罗小杰先生在本书中关于武汉城市岩溶的4篇论文基本上涵盖了上述内容。针对武汉城市岩溶的这4篇论文,从岩溶发育历史入手,对武汉地区碳酸盐岩的分布(六条带)和岩溶发育特征进行了深入研究。其中对武汉地区浅层岩溶的垂直分带归属(属于“垂直渗流带”的表层岩溶带)、浅层岩溶的垂直发育特征(岩溶类型、规模、按线岩溶率的垂向变化、充填情况)以及岩溶水特征(岩溶承压水位及其变化、覆盖层孔隙水位与岩溶水的关系)等方面的论述,抓住了武汉城市岩溶的核心问

题,对武汉地区的地下工程建设具有重要的指导意义,也可作为其他城市岩溶研究的范例。本书针对岩溶地面塌陷地质灾害的“六带五型”划分,以地质结构类型及其地层组合特点界定了塌陷危险区与非塌陷区,可作为岩溶地面塌陷危险性的直观判据。我曾对罗小杰先生建议:将“六带五型”的划分与相应的塌陷机理和所处的地貌单元、地层时代挂上钩,以便对此类地质灾害进行宏观分区。对此,我们已取得共识。

本书第二部分探讨了滑坡问题。作者将新近纪以前在地层构造中存在的“重力滑动构造”定义为地质历史时期滑坡的观点是可取的。这有助于在古老地层中存在的非构造应力作用的此类构造形态的鉴别。作者还探讨了对滑坡活动强度与几何要素的关系,以及利用滑坡 3D 特征判断滑坡活动强度的宏观模糊判断方法进行了有益的尝试。本书中关于《中国三峡工程库区平缓碎屑岩地区松散堆积体滑坡分析与防治》等 3 篇论文,对碎屑岩体的变形破坏机制(崩塌与滑坡)进行了分类,可以作为该地区边坡研究的参考。

本书第三部分“长江流域及水利工程地质”收入的 8 篇论文,从区域工程地质到具体工程地质问题(边坡稳定、水库渗漏及堤防稳定等)的论述都有独到之处。其中“长江中下游堤基三层模型的建立与堤基分类”一文对长江中下游的防洪和堤防安全分类及堤防加固具有重要的实用价值。这篇论文引起我的共鸣。记得 1998 年长江大洪水期间,我受武汉市政府指派担任武汉市汉南区长江 49km 长堤防防汛专家组长期间,也曾对该段堤防进行了分类:砂(粉土)基砂(粉土)堤、砂(粉土)基土堤、土基土堤 3 类。分类虽简单、粗略,但也对监控和加固重点起到了一定的指导作用。罗小杰先生的堤基三层模型和堤基分类则比我当时的所谓“分类”更全面、具体,也更科学,显然更具有指导意义。

罗小杰先生作为中青年专家,从事工程地质工作整整 30 年。从这本内容丰富的著作中可以看出,他不但具有丰富的实践经验,还具有广泛、深入、扎实的地质学和工程地质学的理论知识。特别值得赞扬的是,他在分析、论证各种工程地质问题时,坚持从区域地质背景入手,系统分析地质、地貌发展历史,在此基础上进行现状分类研究并得出结论,也就是坚持“从宏观到微观,从历史到现状,先定性后定量”的思想方法和技术路线。这在当今的中青年工程地质、岩土工程专家中实在是凤毛麟角。而当今工程地质和岩土工程界盛行就事论事、只见树木不见森林的“盲人摸象工作法”,或不讲宏观定性和边界条件,动辄以数值分析结果充当工程结论的技术路线,这与罗小杰先生的工作相去甚远。我一向认为“岩土工程必须以工程地质为基础”,不懂工程地质的“岩土工程专家”解决不了重大岩土工程课题。相比之下,罗小杰先生的思想和方法实在是难能可贵!我和他相识虽然只有短短几年时间,但视其为知音。以他广泛、丰富的地质基础知识和正确的治学思想与技术路线,定能大有作为。愿他“百尺竿头,更进一步”,多出成果,再创佳绩。

中国工程勘察大师: 

2013 年 11 月于武汉

前 言

三十年前的 1983 年,原武汉地质学院的一纸录取通知书,把我带入了地质科学的大门。开始的时候,有过激动,有过兴奋,有过自豪! 后来又有过困惑,有过彷徨,甚至有过逃避。但是,随着地质知识的逐渐积累和工程经验的不断丰富,我还是以此为乐,以此为业,以此为荣,尤其是在工程建设和地质灾害抢险中真正解决了棘手的地质问题的时候。

大学的四年,各学科的老师们把我从一个门外汉逐渐引入地质科学的殿堂,成为地质工程师的后备军。

大学的生活是丰富多彩的,尤其是对于我们这些来自农村的孩子们,干什么事情都觉得很新奇。然而,大学四年下来,留给我印象最深的还是学习上的两件事:一是《构造地质学》这门课程,我因为撰写了小论文而获得了主讲教授给予考试以外的额外加分;二是毕业生产实习时,在实习教师胡德祥副教授的指导下,在河南省栾川县陶湾公社附近的陶湾群碎屑灰岩中首次发现了三叶虫碎片,认为陶湾群灰岩中的粒序层具鲍马层序特征,是半深海至深海沉积环境中形成的浊积岩,这不仅为一直悬而未决的陶湾群时代归宿提供了化石证据,而且有力地支持了该地区大陆边缘“沟-弧-盆体系”的新观点,因而大学毕业论文的内容,包括插图,被一并纳入当年的秦巴科研成果报告中。

在硕士研究生学习期间,开始自学地质专业英语,试着翻译了一些英文原版地质科技文献,尽管翻译质量不是很高,但是对学习专业英语却起了很大的促进作用。为了检验学习效果,在中国地质大学(武汉)的《地质科学译丛》1989 年第 3 期和 1990 年第 2 期上,分别公开发表了译文《中国西北部准噶尔和塔里木盆地古生代大陆增生的沉积记录》和《北海岩石圈伸展特征》。这两篇译文是攻读硕士学位期间除毕业论文外的专业作品。

1990 年秋始,硕士研究生毕业来到原长江流域规划办公室勘测总队工作。在完成本职工作的同时,我利用空余时间在资料室里阅读了一些英文原版地质文献,遇到比较好的文章时,就有选择性地将其翻译出来,投稿并发表在长江水利委员会主办的《水利水电快报》、《人民长江》及全国水利水电工程信息网网刊《水利水电工程地质》(后更名为《工程地质》)等期刊上。

参加工作后,开始接触与参加工程地质勘察工作,随后参与和主持十余项大、中型工程的地质勘察技术管理以及勘察成果审查,如三峡工程库区干流约 600km 长库岸滑坡调查与库周交通工程、南水北调中线水源工程(包括丹江口大坝加高和陶岔渠首工程)与汉江中下游工程(包括兴隆水利枢纽和引江济汉工程),引汉济渭黄金峡水库工程,长江中下游堤防工程,武汉地铁 2、3、4、6、7、8 号线工程,安徽下浒山水库工程,汉江孤山水电站工程,洞庭湖蓄洪工程等;并作为地质专家,参加了“5·12”汶川大地震唐家山堰塞湖抢险、武汉市汉南岩溶地面塌陷抢险,川气东输长江穿越盾构工程江夏金口塌陷抢险,以及百余项工程的地质技术审查、复核与咨询工作,逐步积累了一些工程经验,同时,对一些地质现象和工程地质问题有了自己的观察、认识与思索,于是记录下来,形成论文,陆续发表于《水文地质工程地质》《人民长江》《中国岩

溶》《资源环境与工程》《地学探索》《湖北地矿》《水利水电工程地质》等期刊上,以及参加地质学术会议并收入相应论文集。

本书收集了我从事地质工作三十年来主笔撰写和翻译的 31 篇文章,其中论文 18 篇,译文 13 篇,分为“武汉城市岩溶研究”“滑坡理论与实践”“长江流域及水利工程地质”和“国际地质科技”四部分。

好友彭友君先生是城市轨道交通岩土工程勘察方面的专家,是包括武汉在内的多个城市轨道交通岩土工程勘察的现场总监。两年前的一天,彭先生自北京来武汉检查武汉地铁二号线一期工程勘察工作。我们在一起谈到了武汉地铁建设中的岩溶问题。在得知我们正在针对地铁工程进行专题研究时,彭先生建议我今后将“城市岩溶”作为研究方向。是的,在很多人口密集的大城市,岩溶是一个经常遇到而又不可避免的地质问题,城市岩溶研究显得尤为重要。自那以后,我开始关注这一方向,并逐渐对武汉地区岩溶有了一些新的认识:首次探讨了武汉地区岩溶发育史;结合碳酸盐岩的空间分布特征及其与各时代地层的关系,总结出碳酸盐岩的“六带五型”分布规律,在此基础上初步对武汉地区进行了岩溶地质灾害危险性分区,并提出了各危险区岩溶地质灾害的防治原则;研究了浅层岩溶的类型、发育程度、溶洞规模、分布及充填情况,认为武汉地区的浅层岩溶应归属于上部“垂直渗流岩溶带”;结合工程实践,研究了武汉地区岩溶地面塌陷的机制,并提出岩溶地面塌陷影响范围的预测方法。这些认识和总结对武汉地区的岩溶地质灾害防治和应急抢险工作具有重要的指导作用。所有这些内容都反映在该书的第一部分中,这算是对城市岩溶研究的一个尝试吧。

目前,研究滑坡的著作和论文用“汗牛充栋”一词来形容并不为过。但是,研究地质历史时期的滑坡却鲜有报道。本书第二部分分析与比较了滑坡专家在滑坡学研究领域采用滑坡学的研究方法和手段对滑坡的研究成果,以及构造地质学家在构造地质学领域采用构造地质学的研究方法和手段对重力滑动构造的研究成果,认为重力滑动构造就是发生在地质历史时期的滑坡,并进一步研究了地史滑坡的基本特征,从地史的角度提出了滑坡时代分类方案,总结了研究地史滑坡的重要意义。滑坡稳定性(即滑坡活动强度)是时间的函数,滑坡活动强度在某一时刻在地形、地貌和地质方面有着宏观的综合表现(简称 3D 特征)。通过滑坡的 3D 特征来判断滑坡的稳定性是工程实践中常用方法和必须做的工作;同时众多的专业人士在对滑坡进行稳定性计算。由于滑坡活动太复杂,无法用某个特定的精确模型来准确地表达滑坡的活动状态,在工程实践中,当计算结果与宏观判断不一致时,往往是去修正滑坡模型或调整计算参数,使其与宏观判断结果相吻合,而不是相反!从这个角度来看,滑坡稳定性结论是判断出来的,而不是计算出来的,滑坡的稳定性计算只不过是宏观判断的一种心理安慰而已。因此,在该书的第二部分,主要探讨了滑坡活动强度与几何要素的关系,以及利用滑坡 3D 特征判断滑坡活动强度的宏观模糊评价方法。另外,本书还研究了三峡工程水库区平缓碎屑岩地区的斜坡变形机制以及滑坡平台的土地利用问题。由于三峡库区属于宽缓向斜广泛发育的四川盆地南端的一部分,该研究结果对整个四川盆地内三叠系—侏罗系构成的平缓碎屑岩地区滑坡防治具有实践意义。而唐家山堰塞湖抢险中边坡临滑监测与预报为今后的滑坡抢险工作积累了宝贵的经验。

长江流域范围广阔,工程地质条件复杂,工程建设中遇到的地质问题很多。本书第三部分关于长江流域工程地质分区无疑对工程建设具有指导作用。长江流域内水利工程众多,而长江中下游堤防工程是非常重要的水利工程之一。堤防工程堤基三层模型的建立,以及在此基

础上进行堤基工程地质分类,对堤基工程地质分类和渗控措施的确定具有指导意义。

该书的第四部分主要介绍了意大利、英国、法国、印度、新西兰、日本等国家的地质科技成果,包括基础地质、地球物理技术应用、滑坡与泥石流及其监测等方面的内容,可供有兴趣者参阅。

我是一颗小草,
在任何环境下都能生长!
尽管我很渺小,
但是,
我仍然贡献一丝绿色,
装扮着大自然的美好……

罗小杰

2013年9月2日(癸巳年七月十五日)

目 录

第一部分 武汉城市岩溶研究

试论武汉地区构造演化与岩溶发育史	3
武汉地区浅层岩溶发育特征与岩溶地质灾害防治	13
武汉市汉南区长江干堤内地面塌陷成因分析与处置措施探讨	36
运用极限平衡原理确定土体塌陷影响范围	44

第二部分 滑坡理论与实践

初论地史滑坡	55
滑坡活动强度的宏观模糊评价	66
滑坡活动强度与几何要素之关系探讨	74
唐家山堰塞坝物质结构对泄流的控制作用及应急措施	81
三峡工程库区平缓碎屑岩岸坡破坏与利用问题探讨	88
中国三峡工程库区平缓碎屑岩地区松散堆积体滑坡分析与防治	94

第三部分 长江流域及水利工程地质

长江流域综合工程地质	103
汉江丹江口大坝加高后水库环境地质问题预测	109
江坪河水库库首右岸梅坪一曲溪河间地块岩溶发育特征与渗漏可能性分析	115
裂隙统计 $\beta\alpha\gamma$ 图解	123
长江中下游堤基三层模型的建立与堤基分类	130
长江中下游防洪工程地质环境与主要工程地质问题	136
樊口大坝 1998 年渗漏险情分析	144
湖北省鄂州市樊口大坝主要工程地质问题及处理建议	149

第四部分 国际地质科技

叶理岩体的重力蠕变特征	159
风化岩石地基的工程特性	164
千枚岩的工程性能	172
自然电位法在探查大坝渗漏中的应用	178
地面探测雷达在探测和绘制岩石边坡裂隙中的应用	183
MT-VLF 法和 DC 电法在浅部岩溶勘探中的应用	187

目 录

意大利泰西纳复杂滑坡的监测与预警系统.....	193
意大利瓦尔波勒滑坡.....	196
法国一大型活动滑坡及其监测系统.....	202
新西兰克莱德水电工程库区滑坡及坝基处理.....	206
日本盖马哈雷溪泥石流.....	210
北海岩石圈伸展特征.....	215
中国西北部准噶尔和塔里木盆地古生代大陆增生的沉积记录.....	218

第 一 部 分

武汉城市岩溶研究

WUHAN CHENGSHI
YANRONG YANJIU

试论武汉地区构造演化与岩溶发育史

【摘要】 为了更全面地揭示岩溶发育特点,运用历史比较法,研究了武汉地区构造演化和岩溶发育史。古生代—中生代早期,武汉及周边地区地壳运动以整体升降为特点,各时代地层之间为平行不整合接触。晚古生代和中生代早期发生的两次大的海进—海退作用分别形成了石炭系—二叠系和下三叠统两套碳酸盐岩系,为武汉地区岩溶发育提供了物质条件。中三叠世期末的印支运动产生的强大的北北东—南南西向挤压应力,形成北西西—南东东走向的线状褶皱,控制了碳酸盐岩的平面分布格局。晚三叠世—侏罗纪,武汉以西及北部等地隆起,东部及东南部的梁子湖地区在襄樊—广济等断裂的控制下逐步开始拗陷。这一时期内,地表、地下水总体向东部梁子湖凹陷汇集,控制了武汉地区第一期岩溶的发育。白垩纪—古近纪,武汉及周边地区地壳活动表现为差异性沉降,接受沉积,岩溶作用停止。新近纪—早更新世,武汉以西的潜江凹陷继续发展,而武汉地区则总体隆升。该时期内古地势东高西低,地表、地下水由东向西流动,第二期地下水系统也自东向西发育。中、晚更新世时期,武汉及周边地区总体下沉,广泛形成厚10~30m不等的老黏性土层覆盖于前两期岩溶之上。由于相对不透水层的阻隔,这一时期内岩溶作用基本停止发生。全新世时期,地表水的侵蚀作用部分地破坏了老黏土盖层的连续性。由于碳酸盐岩分布于现长江水体以下10~20m,侵蚀基准面远高于碳酸盐岩的分布高程,地下水活动很弱,岩溶作用很弱或未发生。

【关键词】 构造演化 岩溶作用 岩溶发育史 凹陷 碳酸盐岩条带 侵蚀基准面

引言

武汉市位于江汉平原东部,有着3500余年的建城史,是我国建城史最为悠久的特大城市之一。在城市建设过程中,岩溶问题是一个经常遇到且不可避免的问题。20世纪以来,武汉地区曾发生10余次较大规模的岩溶地面塌陷灾害^[1,2],这还不包括在钻探和工程施工等活动中引起并被及时处理而未产生较大次生灾害的地面塌陷^[3]。这不仅造成了巨大的经济损失,而且给工程建设带来重大的影响。因此,对武汉地区岩溶发育规律进行研究十分必要。

岩溶发育史是岩溶研究的一个重要的基础课题之一,一些学者对我国一些地方的岩溶发育史进行了研究^[4~8]。目前,很多专家与学者对武汉地区的岩溶问题进行了研究。纵观这些研究成果,主要集中在探测溶洞^[9,10]、找寻岩溶发育规律^[9~16]、治理岩溶^[15,17~19]和预测研究等方面^[1,3,10,15],而未见武汉地区岩溶发育史方面研究成果的报道。

为了更全面地揭示岩溶发育规律,笔者运用历史比较法,研究了武汉地区构造演化和沉积

相演变规律,首次对武汉地区岩溶发育史进行探讨。在本文中,用“武汉地区”、“武汉中部”、“武汉北部”、“武汉东南部”等分别表示“武汉市境内”和武汉市境内的“中部”、“北部”和“东南部”,用“武汉以西”表示武汉市境以外的“西侧邻区”。

1 地质构造背景

在大地构造位置上,武汉地区跨扬子准地台和秦岭地槽,襄樊-广济断裂为二者分界断裂。在武汉市境内,襄樊-广济断裂呈 $320^{\circ}\sim 325^{\circ}$ 方向,大致沿横店—阳逻一线延伸。该断裂以北为秦岭地槽,主要出露太古宙和元古宙变质岩系,构成秦岭山地,碳酸盐岩不发育;以南为扬子准地台,主要发育志留纪—三叠纪海相地层和中、新生代陆相碎屑岩地层,其中海相地层中发育碳酸盐岩地层;除局部低山有基岩出露外,第四系广泛分布,构成低山、岗地和平原地貌景观。

研究表明^[20~23],武汉地区在襄樊-广济断裂以南的扬子准地台区缺失前中志留统。在中志留世,本区处于滨岸湖相沉积环境,形成以坟头组(S_2f)为代表的石英细砂岩、粉砂岩和页岩;志留纪末的加里东运动使本地区整体抬升,并遭受剥蚀。

晚古生代,武汉地区发生大规模的海进—海退作用。早期(D_3-C_1)为滨海海滩相石英质砾岩及石英砂岩、沼泽相粉砂岩、黏土岩夹煤线和湖坪潟湖相砂岩、黏土岩夹灰岩沉积;中期(C_2-P_1)为开阔台地相碳酸盐岩沉积,形成了武汉地区的第一套总厚度大于 200m 的碳酸盐岩地层(以下简称“下碳酸盐岩组”),即中石炭统黄龙组(C_2h)浅肉红色厚层灰岩和下二叠统栖霞组(P_1q)燧石结核灰岩;晚期(P_1-P_2)连续沉积了浅海盆地相硅质岩与硅质页岩、滨海沼泽相页岩、黏土岩夹煤层和浅海沼泽相黑色硅质页岩。其间,由于华力西运动在本区表现为频繁的震荡运动,造成小的海进、海退作用交替频繁,导致 C_1-C_2 、 C_2-P_1 和 P_1-P_2 之间地层为平行不整合接触。二叠纪末,华力西运动使武汉地区整体抬升。

印支中期(T_1-T_2),武汉地区再次发生海进—海退作用。在早三叠世,本区处于浅海陆棚相及局限海台地沉积环境,形成以下部大冶组(T_1d)页岩与泥灰岩及薄层灰岩和上部观音山组(T_1g)灰岩、白云岩及角砾状灰岩为代表的第二套碳酸盐岩地层(以下简称“上碳酸盐岩组”);之后的中三叠世连续沉积滨岸(潟湖)相灰绿色页岩、灰岩与白云岩及紫红色砂、页岩。

中三叠世末,印支运动产生强大的北北东—南南西向挤压应力作用,不仅使本区结束了自中志留世以来的海相沉积历史,而且使志留系—中三叠统遭受强烈的褶皱和断裂作用,形成走向北西西—南东东的线状构造,奠定了武汉地区的基本构造格局,控制了碳酸盐岩地层的平面分布,即自北向南,下碳酸盐岩组和上碳酸盐岩组呈北西西—南东东走向,形成 6 条岩溶条带(图 1)。各条带之间基本以中志留统碎屑岩系为核部的背斜相分隔,使得各条带相互独立,每个条带各自形成独立的岩溶地下水系统;各条带内部,上、下碳酸盐岩组之间均有厚度大于 100m 的下二叠统孤峰组(P_1g),上二叠统炭山湾组(P_2t)及保安组(P_2b)硅质岩、硅质页岩、页岩、黏土岩夹煤层等碎屑岩系相阻隔,其岩溶地下水亦相对独立。

2 武汉及周边地区中、新生代地层发育特点

中三叠世末的印支运动使扬子准地台全面褶皱回返,遭受剥蚀作用,导致武汉地区缺失上三叠统。自侏罗纪起,地壳频繁升降震荡,武汉及周边地区处于“剥蚀—局部陆相沉积”的更替时期。

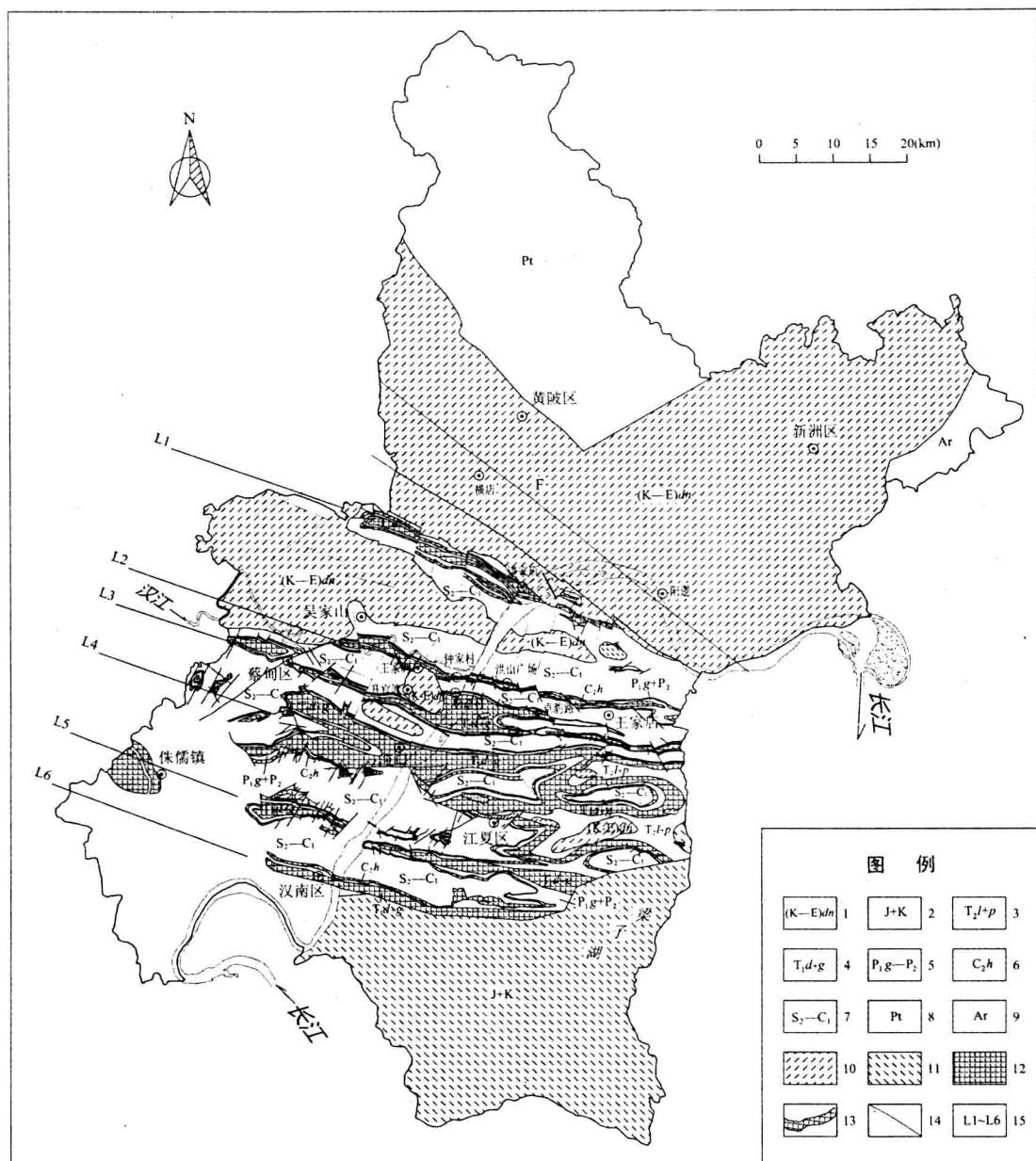


图1 武汉地区碳酸盐岩条带分布图(据文献[20~25]修编)

Fig 1 Distribution of carbonate belts in Wuhan(Modified from references)

1.白垩系—古近系东湖群陆相红色碎屑岩;2.侏罗系与白垩系陆相碎屑岩;3.中三叠统陆水河组与蒲圻组碎屑岩;4.下三叠统大冶组及观音山组灰岩;5.下二叠统孤峰组、中二叠统硅质岩夹页岩煤系;6.石炭系黄龙组灰岩;7.中志留统坟头组、中泥盆统及下石炭统碎屑岩;8.元古宙变质岩系;9.太古宙变质岩系;10.东湖群分布区;11.侏罗系与白垩系分布区;12.三叠系碳酸盐岩(上碳酸盐岩组)分布区;13.石炭系—二叠系碳酸盐岩(下碳酸盐岩组)分布区;14.断层(F.襄樊—广济断裂);

15.碳酸盐岩条带编号:L1.天兴洲条带;L2.大桥条带;L3.白沙洲条带;L4.沌口条带;L5.军山条带;L6.汉南条带

2.1 侏罗系(J)

在侏罗纪时期,武汉以西及武汉中部和北部均缺失侏罗系^[26],处于剥蚀状态。东部及南部,在以襄樊-广济断裂为主的几条断裂控制下,梁子湖凹陷发育。地表水及地下水自北面和西面向东南部的梁子湖凹陷汇集,不仅形成走向北西西-南东东(与构造线基本一致)的“翼部山、核部谷”的地貌景观,而且在梁子湖地区形成总厚达1 500余米的陆相碎屑岩系。

2.2 白垩系—古近系(K—E)

白垩系—古近系(K—E)在武汉及周边地区广泛发育,但厚度存在较大的差异^[21~24]。

受襄樊-广济断裂的控制,在白垩纪—古近纪时期,武汉北部的黄陂-新洲凹陷开始形成,主要接受其北侧古陆陆源物质补给,在凹陷中形成厚达1 000余米的白垩系—古近系紫红色砾岩、砂砾岩及砂岩夹玄武岩。

武汉东南部梁子湖凹陷是侏罗纪开始形成的内陆盆地,白垩纪—古近纪继承性发展,在侏罗系之上,沉积了厚度达千余米的白垩系—古近系红色碎屑岩。

武汉以西的潜江凹陷自白垩纪以来沉积了厚度两万余米的白垩系—古近系陆相地层,尤其是古近系膏盐组(Eg)厚度巨大。

据钻探揭露,在武汉中部,白垩系—古近系共有12个分布区/点,呈条带状或似椭圆状零星分布于前期构造的向斜或背斜核部,长轴平均走向呈北西西-南东东向,与主构造线方向一致(表1),其厚度相对较小。

表1 武汉中部12个白垩系—古近系残留体特征统计

Table 1 Statistical characteristics of 12 residues of Cretaceous—Paleogene strata in central Wuhan

项目	走向(°)	长度(km)	宽度(km)	长宽比	面积(km ²)
最大值	312	56.7	19.4	15.3	526.8
最小值	250	1.2	0.4	1.3	0.4
平均值	281	9.0	2.9	4.2	50.7

以上地层分布及厚度变化特点反映出,该时期内武汉中部及周边地区总体表现为沉降,接受陆相沉积。但是,武汉中部的沉降幅度明显要小于武汉以西的潜江凹陷、北部的黄陂-新洲凹陷和东南部的梁子湖凹陷区,当时可能表现为向北东微倾的山前平原,主要接受来自西南山区的陆源碎屑沉积,以至白垩系—古近系厚度远小于周边凹陷中的厚度。遭受后期剥蚀后,武汉中部仅残留零星的红色碎屑岩沿构造走向分布于褶皱核部谷地中。

2.3 新近系(N)

除武汉以西有新近系广华寺组(Ng)(江汉盆地中心区)和掇刀石组(Nd)(云梦、应城、孝感一带)发育外^[26],目前没有资料证明武汉地区发育有新近系。这可能反映出,在整个新近纪时期,武汉地区处于隆升状态,遭受剥蚀,地表水及地下水总体向武汉以西的潜江凹陷汇集。

2.4 第四系(Q)

下更新统为一套冲积相棕红色砂砾石层夹黄色黏土、粉细砂,一般厚10m左右。砾石成分以脉石英、石英岩、硅质岩为主,含少量燧石等;砾石磨圆度和分选性好,含量35%~55%,砾径一般2~8cm,大者达30cm。主要分布在武汉市北部黄陂-新洲凹陷的阳逻—界埠一带。