

三峡库区泥灰质岩石的变形机理 及地质灾害危险性研究

■ 张加桂 著



地质出版社

三峡库区泥灰质岩石的变形机理 及地质灾害危险性研究

THE DEFORMATION MECHANISM AND GEOHAZARD DANGER WITHIN
MARLY STONES IN THREE GORGES RESERVOIR REGION

张加桂 著

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 提 要

三峡库区三叠系巴东组 (T_2b) 泥灰质岩石工程地质问题是移民迁建过程中发现的重大地质问题。泥灰质岩石是介于灰岩与泥岩之间的过渡类型的岩石,既具有灰岩特性,又具有泥岩特性,这两种特性的相互耦合使其中的地质问题变得异常复杂。著者从反复观察和全面测绘巫山和奉节新县城大量高切坡入手,对问题进行深入研究,认为泥灰质岩石的变化过程是构造破碎—长江切割—卸荷松动—岩溶作用—多次滑坡—后期溶蚀和风化的过程,其中岩溶作用贯穿于变化过程的始终,岩溶作用形成了各种岩溶地貌、表生岩溶构造,构造和地貌对岩溶具有强烈的控制作用,岩溶过程中岩石成分和力学性质具有复杂的变化。岩溶作用可能引起各种地质灾害,包括地面不均匀沉降、地裂缝、滑坡、崩塌、泥石流和地面塌陷。

书中以大量的剖面图展示了极其丰富的地质现象,随着城镇建设和边坡治理工程的开展,实地剖面已不复存在,对这些地质资料的记录是不可再得的,书中及相关论文提出的新认识是对地质学的丰富。

本书所揭示的许多规律性不仅适合于三峡库区,而且具有普遍意义。本书可供岩溶、水文地质、工程地质、环境地质、地质灾害、地貌及第四纪地质、构造地质等专业的科研、生产人员和相关院校师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

三峡库区泥灰质岩石的变形机理及地质灾害危险性研究 / 张加桂著. —北京:地质出版社, 2005.6
ISBN 7-116-04458-2

I. 三 ... II. 张 ... III. ①三峡工程—泥灰岩—变形—研究②三峡工程—地质灾害—研究 IV. P694

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 053032 号

SANXIA KUQU NIHUIZHIYANSHI DE BIANXING JILI JI DIZHI ZAIHAI WEIXIANXING YANJIU

责任编辑:陈磊

责任校对:黄苏晔

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号, 100083

电 话: (010)82324508 (邮购部); (010)82324565 (编辑室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

电子邮箱: zbs@gph.com.cn

传 真: (010)82310759

印 刷: 北京印刷学院实习工厂

开 本: 889mm × 1194mm $1/_{16}$

印 张: 8 彩版: 8 面

字 数: 250 千字

印 数: 1—800 册

版 次: 2005 年 6 月北京第一版·第一次印刷

定 价: 30.00 元

ISBN 7-116-04458-2/P · 2585

(凡购买地质出版社的图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 本社出版处负责调换)

前言

举世瞩目的长江三峡工程是我国乃至世界最大的水利水电工程,在许多方面体现了世界水利工程技术先进水平的先进水平。三峡工程已于2003年6月1日开始下闸蓄水,同年8月首批机组并网发电,标志着工程已进入正式运行阶段。与此同时,三峡移民区的地质问题也备受关注。工程开工后不久就形成了一个共识:三峡工程成败的关键在移民。移民的方针是以就地后靠为主。但开挖中揭示和出现的地质问题却引起了人们对移民迁建的关注。要保证移民迁建的安全,有效地防治地质灾害,弄清这些地质问题是工作的第一步。

三峡库区三叠系巴东组(T_2b)泥灰质岩石工程地质问题是工程地质界关注和争议的焦点。巴东组是库区重要的建筑地基,涉及10余座城镇。首先引起注意的是奉节、巫山和巴东三座县城的地质问题。自1995年底长江水利委员会综合勘测局提出了“坠覆体”的新观点以后,政府部门、学术界和工程建设单位便给予了高度重视,特别是学术界的众多专家通过工作和考察,提出了各自的看法,出现了“隐伏岩溶和岩溶塌陷”“构造破碎”“倾倒体”“冲积物”“滑坡”等不同认识,形成了学术界众说纷纭的局面。

以上各种认识对启发著者的思路是大有裨益的。著者从1997年9月着手三峡库区泥灰质岩石的研究。研究从野外工作入手,对开挖的大量高陡边坡进行反复观察、全面实测和照相、取样测试。在取得了第一手资料以后,对前人的认识进行了认真的对比分析,吸取其中的精华,并应用多学科理论和独特的表现方法,对问题进行由浅入深、由宏观到微观、由定性到定量的全面系统揭示。著者以三峡库区泥灰质岩石的地质问题为素材先后完成了博士论文、博士后研究报告、两份向三峡移民开发局提交的报告和20余篇学术论文。这些论文、报告的评审通过和学术论文的刊出,说明著者的认识在逐渐地受到重视。博士论文和有关报告为内部资料,学术论文显得零散,综合编写一本专著公开出版显得十分必要。为此,著者花大力气对以上各份报告和论文进行综合提炼、补充完善,最后形成本专著。

研究认为,三峡库区三叠系巴东组泥灰质岩石的变化过程是构造破碎—长江切割—卸荷松动—岩溶作用—多次滑坡—后期溶蚀和风化的过程,其中岩溶作用贯穿于变化过程的始终,岩溶作用形成了各种岩溶地貌、表生岩溶构造,构造和地貌对岩溶具有强烈的控制作用,岩溶过程中岩石成分和力学性质具有复杂的变化。岩溶作用可能引起各种地质灾害,包括地面不均匀沉降、地裂缝、滑坡、崩塌、泥石流和地面塌陷。

不同地方的泥灰质岩石处在不同的变化阶段。其中奉节县新城大河沟东坡和巴东县新城部分地点处在岩溶变形阶段,未发生滑坡;奉节县新城宝塔坪和三马山部分发生了滑坡,部分处在岩溶变形阶段;巫山县新城的巴东组第三段泥灰质岩石已全部发生了滑坡,经历了以上全过程。

著者认为,三峡的地质问题是复杂的,学术争议还会继续下去。但本书展示的大量开挖剖面却是不可再得的,因为这些剖面已随着城镇建设和边坡治理工程的开展而被遮盖,这些剖面对当地地质灾害的防治会有所帮助。最近,著者的工作得到了奉节县李应兰和邢光福两位副县长的肯定,著者感到欣慰。

本书展示的是著者所做三峡工作的主要部分,有关嘉陵江组(T_1j)灰岩的岩溶问题待进一步工作后进行全面阐述。

工作的自始至终得到了我的博士生导师中国科学院地质与地球物理研究所曲永新研究员指导、帮助和鼓励,在博士后工作阶段,得到了我的博士后导师中国地质科学院地质力学研究所陈庆宣院士的精心指导、帮助和爱护,本书也倾注了他们的辛勤劳动。中国地质科学院研究生部蔡秀华同学参加了

部分野外和室内工作,中国地质环境监测院徐紫城高工参加了部分室内工作。对研究工作给予了指导和帮助或对文字进行了修改的还有中国地质环境监测院(原中国水文地质工程地质勘察院)、中国科学院地质与地球物理研究所和中国地质科学院地质力学研究所的殷跃平研究员、胡海涛院士、孙广忠先生、孙玉科研究员、王思敬院士、哈承祐研究员、易明初研究员、邓乃恭研究员、杨志法研究员、李毓瑞研究员、钟立勋研究员、王瑞久研究员、吴树仁研究员、姚宝魁研究员、赵越研究员、康宏达博士、周平根研究员、赵永贵研究员、杨华蕊老师、张斌研究员、李文鹏研究员、刘传正研究员、孟晖研究员、张作辰研究员、文宝萍博士、白嘉啟处长、雷伟志副研究员、赵志忠副研究员、朱永余研究员、楚占昌研究员、邓嵩松研究员、宋玉环副研究员、黄学斌研究员、徐开祥研究员、伍法权研究员、冯玉勇博士、张永双博士、黄志全博士、胡瑞林研究员、马凤山副研究员、杨农研究员、程凯工程师、李媛高工、唐灿研究员、胡树娥高工、温铭生工程师、李昂硕士和张鸣之等;中国地质科学院卢耀如院士;中国地质大学(北京)张咸恭教授、孙进忠教授、汪新文教授;中国地震局地球物理研究所鄢家全研究员;中国地质科学院岩溶地质研究所刘再华研究员。野外工作得到了中国地质调查局水文地质工程地质方法研究所陈宝荪研究员、李洪涛研究员、孙党生高工、曹福祥高工、曾克高工等,四川省成都水文地质工程地质中心魏伦武总工程师、陈波高工、卿春和高工、王志旭高工、曹宁高工等,四川省909水文地质队鄢毅总工程师、高文君高工等,三峡移民开发局段志德司长、罗元华司长、于永平副司长、刘真处长等,万州区移民局张勇总工程师,巫山县移民开发局刘道生局长、冯精华副局长、傅国副局长、梁愉轩主任、毛兴明工程师,奉节县移民开发局袁昌得副局长、周敬平股长、邓伟、周忠等,宜昌地质矿产研究所战明国原副所长、何龙清主任、胡宁副处长、彭松柏研究员等,长江水利委员会巫山地质站、奉节地质站、巴东县地质矿产局同事们的大力支持和帮助。野外工作还得到了当地父老乡亲们的大力支持与帮助,他们的热情和朴实的民风让我终生难忘。测试工作由中国科学院地质与地球物理研究所和国家地质实验测试中心完成,热释光测年由中国地震局地质研究所完成。测试中得到了王秀兰研究员、周瑞光研究员、董万里研究员和尹功明博士等的指导和帮助。在此一并表示衷心的感谢!同时,还要特别感谢所有评审了著者有关论文的专家和编辑们,他们提出的宝贵意见使我受益匪浅,也为专著编写起了非常好的指导作用。

自著者结束三峡野外工作后,有关部门又组织了大量的考察和研究,这些无疑是有突破和创新的,本书仅起抛砖引玉的作用,提出问题请大家讨论。同时应该指出的是,蓄水后出现的地质灾害提示我们,我们对地质问题的认识水平虽有进步,但仍待提高,对三峡库区泥灰质岩石地质问题的深入研究亟待开展。由于著者水平有限,加之时间仓促,书中错误难免,敬请读者批评指正!

著者

2004年12月

目 录

前 言

第一章 绪论	(1)
第二章 区域地理地貌环境概况	(5)
一、区域地形地貌特征与河谷发育史	(5)
二、气候条件	(6)
三、水文环境	(6)
四、交通状况	(6)
第三章 地质构造背景及区域地壳稳定性	(7)
第一节 区域地质构造背景	(7)
一、区域构造背景	(7)
二、区域地质结构	(7)
第二节 区域地壳稳定性	(9)
第三节 重点研究片区地质构造及地貌特征	(9)
一、奉节县新城片区地质构造及地貌特征	(9)
二、巫山县新城片区地质构造及地貌特征	(11)
第四章 野外显示的泥灰质岩石的岩性和结构特征	(15)
第一节 奉节县新城泥灰质岩石的结构和岩性特征	(15)
一、奉节县三马山小区泥灰质岩石的结构和岩性特征	(16)
二、奉节县白马小区和茶店小区巴东组(T_2b)泥灰质岩石的结构特征	(19)
三、奉节县宝塔坪小区巴东组第三段(T_2b^3)岩体结构和岩性特征	(20)
第二节 巫山县新城址巴东组第三段(T_2b^3)滑坡中岩体结构和岩性特征	(36)
一、上段滑坡区(I)岩体结构和岩性特征	(37)
二、中段王家屋场北边—牛蹄窝—财政局滑坡区(II)岩体结构特征	(43)
三、王家屋场—四大家—粮食仓库下段滑坡区(III)岩体结构和岩性变化特征	(49)
四、希望中学—胡家包 T_2b^2 紫红色泥岩片区(IV)岩体结构和岩性变化特征	(59)
五、张家湾—秀峰寺 T_2b^1 泥灰岩片区(V)岩体结构和岩性变化特征	(60)
第三节 巴东县新城址巴东组第三段(T_2b^3)岩体结构的几个典型现象	(65)
第五章 泥灰质岩石宏观变形分析	(67)
第一节 典型重点地区泥灰质岩石变形机制分析	(67)
一、巫山县新城巴东组第三段(T_2b^3)泥灰岩滑坡分析	(67)
二、奉节县三马山小区巴东组第三段(T_2b^3)泥灰岩宏观变形分析	(69)
三、奉节县宝塔坪小区滑坡成因分析	(69)
四、紫红色泥岩滑坡成因分析	(70)
第二节 各片区宏观变形程度排序	(70)
第三节 宏观变形机制初步分析	(71)
一、引起宏观变形的有关因素	(71)
二、宏观变形机制分析导引	(72)

第六章 泥灰质岩石岩溶研究	(73)
第一节 泥灰质岩石岩溶作用分析	(73)
一、构造对岩溶的控制作用	(73)
二、水的溶解性	(75)
三、地貌对岩溶的控制作用	(78)
第二节 泥灰质岩石溶蚀的主要产物	(81)
一、泥灰质岩石溶蚀形成的地貌	(81)
二、泥灰质岩石溶蚀形成的表生构造	(83)
三、杏黄色泥质条带	(85)
四、微型岩溶	(85)
五、溶蚀形成的其他次生岩土体	(86)
第三节 泥灰质岩石溶蚀的空间规律性	(86)
第七章 岩溶过程中岩性变化的测试研究	(88)
第一节 巴东组第三段 (T_2b^3) 和第一段 (T_2b^1) 岩溶过程及其次生岩土的特性	(88)
一、巴东组第三段 (T_2b^3) 岩溶过程	(88)
二、溶蚀过程中形成的次生岩土的特性	(88)
三、巴东组第一段 (T_2b^1) 岩溶过程及其次生岩土的特性	(102)
第二节 巴东组第二段 (T_2b^2) 岩溶和泥化过程及其产物的特性	(103)
第八章 泥灰质岩石变形的地质灾害危险性	(105)
第一节 地质灾害类型	(105)
一、岩溶引起的地面不均匀沉降和地裂缝	(105)
二、滑坡、崩塌和泥石流地质灾害	(105)
三、岩溶塌陷地质灾害	(107)
第二节 重要工程及重要地带地质灾害危险性分析	(107)
第三节 泥灰质岩石斜坡带的地质灾害防治建议	(108)
结束语	(110)
符号表	(112)
主要参考文献	(113)
著者等发表的有关三峡工程的学术论文	(115)
英文摘要	(117)
照片	

CONTENTS

Preface

Chapter 1	Introduction	(1)
Chapter 2	General Situation of Regional Geographical and Geomorphologic Environment ..	(5)
1	Features of the regional land form and river development history	(5)
2	The weather condition	(6)
3	The hydrological environment	(6)
4	The traffic condition	(6)
Chapter 3	Background of Geotectonics and Regional Crustal Stability	(7)
Part 1	Background of regional geology and tectonics	(7)
1	Background of regional tectonics	(7)
2	Structure of regional geology	(7)
Part 2	Regional crustal stability	(9)
Part 3	Features of geotectonics and landform in key research areas	(9)
1	Features of geotectonics and landform in newly built Fengjie county	(9)
2	Features of geotectonics and landform in newly built Wushan county	(11)
Chapter 4	Features of Lithology and Structure Within Marly Stones Shown in Field	(15)
Part 1	Features of structure and lithology within marly stones in newly built Fengjie county	(15)
1	Features of structure and lithology within marly stones in Sanmashan area, Fengjie	(16)
2	Features of structure within T_2b marly stones in Baima area and Chadian area, Fengjie	(19)
3	Types and 3D features of structure and lithology within T_2b^3 marly stones in Baotaping area, Fengjie	(20)
Part 2	Types and 3D features of structure and lithology within landslides generated from T_2b^3 in newly built Wushan county	(36)
1	Types and 3D features of structure and lithology within upper sector landslides area	(37)
2	Types and 3D features of structure within middle sector landslides area	(43)
3	Types and 3D features of structure and lithology within lower sector landslides area	(49)
4	Types and 3D features of structure and lithology around Hope High school and Hujiabao	(59)
5	Types and 3D features of structure and lithology around Zhangjiawan and Xiufengsi	(60)
Part 3	Some typical phenomena of structure within T_2b^3 marly stones in newly built Badong county	(65)
Chapter 5	Analysis of Macro Deformation within Marly Stones	(67)
Part 1	Analysis of macro deformation mechanism within marly stones in typical areas	(67)
1	Analysis of landslides generated from T_2b^3 marly stones in newly built Badong county	(67)
2	Analysis of macro deformation within T_2b^3 marly stones in Sanmashan area, Fengjie	(69)
3	Analysis of landslide genesis in Baotaping area, Fengjie	(69)
4	Analysis of the genesis of landslide within amaranth mud stone	(70)
Part 2	Sequence on macro deformation intensity of the areas	(70)

Part 3 Preliminary analysis of macro deformation mechanism	(71)
1 Related factors to generate macro deformation	(71)
2 Introduction to the analysis of macro deformation mechanism	(72)
Chapter 6 Research on Karst within Marly Stones	(73)
Part 1 Analysis of karst process within marly stones	(73)
1 Tectonics control over karst process	(73)
2 Water dissolution	(75)
3 Landform control over karst process	(78)
Part 2 Staples by dissolution within marly stones	(81)
1 Landforms by dissolution within marly stones	(81)
2 Supergene deformation structures by dissolution within marly stones	(83)
3 Apricot argillized zone	(85)
4 Micro karst	(85)
5 Other secondary rock and residual soil generated by dissolution	(86)
Part 3 3D regulation on dissolution within marly stones	(86)
Chapter 7 Test of Lithological Variation in Karst Process	(88)
Part 1 Karst process of T_2b^3 and T_2b^1 marly stones and speciality of the secondary rock and residual soil	(88)
1 Karst process of T_2b^3 marly stones	(88)
2 Speciality of secondary rock and residual soil generated in dissolution process	(88)
3 Karst process of T_2b^1 marly stones and speciality of the secondary rock and residual soil	(102)
Part 2 Karst and argillation process of T_2b^2 marly stones and speciality of the products	(103)
Captor 8 Geohazard Danger from the Deformation of Marly Stones	(105)
Part 1 Types of geohazards	(105)
1 Uneven subsidence and fissure by karstification	(105)
2 Landslide, collapse and mud flow	(105)
3 Cave-in	(107)
Part 2 Analysis of danger of geohazard in key constructions and zones	(107)
Part 3 Suggestion of control over geohazards within marly terrain	(108)
Conclusion	(110)
Explanation on Symbols	(112)
References	(113)
Theses on Three Gorges Project Written by the Author and Others	(115)
English Abstract	(117)
Photos	

第一章 绪 论

一、三峡库区泥灰质岩石岩溶及岩溶地质灾害问题的由来

长江三峡工程是我国乃至世界最大的水利水电工程,在许多方面体现了世界水利工程科学技术的先进水平。选定宜昌县三斗坪作为三峡工程水利枢纽坝址,坝顶高程185m,正常蓄水位175m,防洪水位180m,总库容为 $391 \times 10^8 \text{m}^3$,电力设计装机容量为 $1768 \times 10^4 \text{kW}$,年发电量 $840 \times 10^8 \text{kW} \cdot \text{h}$,将为我国经济建设提供大量电力(陈德基等,1997)。

预测至2009年建成并蓄水至设计水位后,水库回水的末端在重庆市江津县的羊角滩,库长约650km,淹没面积632km²,整个三峡库区最终将移民120万人,需全迁或部分搬迁的县、市级城镇有13座。

库区移民众所周知的困难是地质环境容量不足,人地关系紧张,优质的Ⅰ、Ⅱ类用地主要是河流阶地,将全被淹没于水下。剩余地方便是高山密布、峡谷纵横。较完整的岩体形成峡谷区,地势险恶,草木不生。只有软弱的易变形破坏的岩体才适合人类居住,这类岩体不可避免地会因水的作用、移民迁建工程作用而产生进一步变形破坏。

移民安置问题,被普遍认为是兴建三峡工程中一个关键的、困难的问题,也是最令人担心、最没有把握的问题,是三峡工程成败的关键所在。而工程地质工作在移民迁建工程中起着至关重要的作用。

移民的重点在城镇,移民中出现的工程地质问题在城镇显得尤为突出。奉节、巫山和巴东三个县城开挖后暴露出来的工程地质问题便是地质界关注和争议的焦点。

三个县城的主体坐落在三叠系巴东组(T_2b)泥质灰岩、泥灰岩和含钙质泥岩(统称为“泥灰质岩石”)上,由于复杂的岩性和复杂的地质作用,使其变成了一种大型复杂的地质体。由于前期工作主要集中在坝区,直到1995年前后移民迁建开工,边坡大量开挖才发现这一地质问题。

首先发现问题的是长江水利委员会等(1995),将这种大型复杂的地质体定名为“坠覆体”,认为“它是一种融崩、滑、陷甚至旋转诸类型,宽厚的卸荷松动域整体下坠,并以‘雪崩’式溃决,碎石流倾泻而下堆积于坡脚,本书称其为坠覆型变形、失稳,它的堆积体称为‘坠覆体’。”以上叙述的“坠

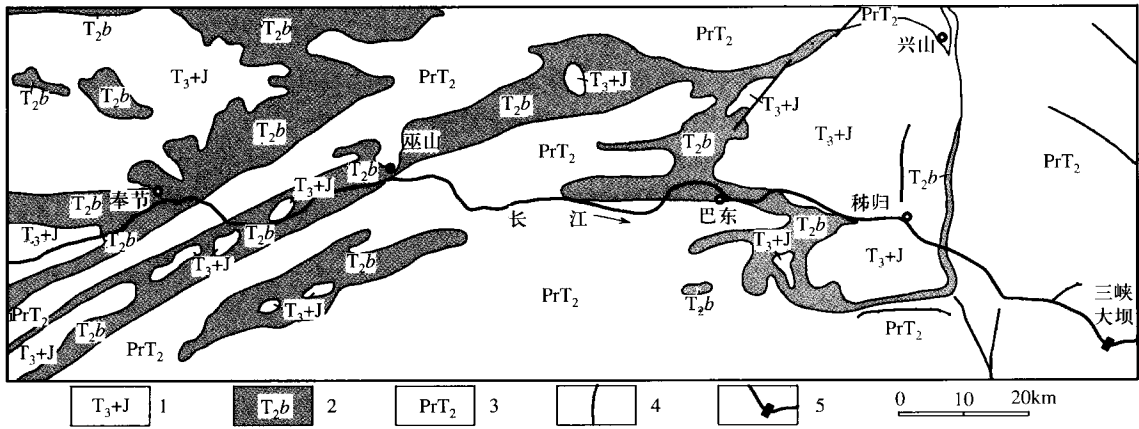


图 1-1 三峡库区三叠系巴东组分布图
(据国家科学技术委员会等,1988,简化)

Fig.1-1 Distribution map of Badong formation of middle Triassic in Three Gorges Reservoir region
1—三叠系上统和侏罗系; 2—三叠系中统巴东组; 3—中三叠世以前的地层; 4—断裂; 5—三峡水库坝址

覆体”是一种前所未闻的新型松散堆积物,而且“深不见底”“规模宏大”,不仅局限于3个县城,而且在三峡库段广泛发育。

众所周知,三叠系巴东组在库区分布非常广泛(图1-1),有10余座城镇和大量的村寨坐落在巴东组泥灰质岩石上。

这一新观点的提出意味着将大量城镇放到了一种成因不明的松散堆积物上。因此,立即引起了工程地质界、三峡移民局、各级政府和库区移民的极大关注。为此,有关部门和学术团体组织了大量专家对现场进行了多次考察。其中一次是1999年1月7日至15日,受总理的委派,国土资源部组织3个专家组分赴3个县城进行踏勘,拟定进一步工作方案,著者为专家组的成员之一。

在这一系列的考察及前后工作中,便出现了所谓“坠覆体”其实是“隐伏岩溶和岩溶塌陷”“构造破碎”“冲积物”“滑坡”等众说纷纭的局面。

胡海涛等(1999)认为,它其实是隐伏岩溶和岩溶塌陷,隐伏岩溶主要指岩溶漏斗。

地质矿产部地质灾害防治工程勘查设计院西南分院(1997)认为,它主要是构造破碎,在巫山县新城址头道沟长1.2km的范围内,发育有9条断裂。持这种观点的专家较多。

几位地貌及第四纪地质学专家,如杨达源等(1987,1988)、田陵君等(1996)则将巫山县新城址中、下段确定为冲积物。

何满潮和“坠覆体”的倡导者崔政权等(1998)提出了巫山巨型古滑坡系统,其面积约 3.0km^2 ,总体积约 $1.2 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

以上各种观点大都认识到了问题的某些方面,这对启发著者的思路是大有裨益的,值得著者仔细吸收。如此多的分歧也说明问题的复杂性,势必开展深入的研究。

二、研究泥灰质岩石地质问题的意义

泥灰质岩石是介于灰岩与泥岩之间的过渡类型的岩石,它既具有灰岩特性,又具有泥岩特性,这两种特性的相互耦合使其中的地质问题变得异常复杂。灰岩的最重要的特性是在一定条件下产生岩溶作用。过去,岩溶学往往只注重灰岩和白云岩的岩溶研究(中国科学院地质研究所岩溶研究组,1979;袁道先,1993),而且重点放在岩溶地貌学和岩溶水文学方面(White W B, 1988; Ford D, et al., 1989; 杨明德等, 1998),而对泥灰质岩石岩溶研究没有给予足够的重视。泥岩具有易风化性,特别是易于泥化而发生塑性变形,甚至形成滑坡、崩塌和泥石流等,因此,泥岩是工程地质问题最严重的一类岩石。

随着滑坡学的发展,人们深化了对水-岩相互作用的认识,这便带来了泥灰质岩石岩溶和岩溶地质灾害研究的起步。在晏同珍(1994)总结的9种滑坡机理中,“地化悬浮-下陷滑坡机理”便与岩溶有关。而且,地表和地下水与周围的岩土介质不断进行着物理的、力学的和化学的作用,从而影响水流的性质和化学组成,同时也对岩土介质状态产生影响。与水文地质学对水的研究不一样,工程地质学和岩土力学偏重于水与岩土介质作用对岩土介质变形的影响。但水-岩相互作用研究主要侧重的是研究滑坡体中地下水的来源(Cancelli A, et al., 1987; Vulliet L, et al., 1987; Eyles N, et al., 1988),采用数字模拟技术来研究地下水位随外界因素(降雨、水库蓄水和人为渗入、排水等)变化(Leach B, et al., 1982; Sangrey D A, et al., 1984; Valore C, et al., 1996),对岩土体变形机制和变形过程的研究显得薄弱。

曲永新等(1978, 1978, 1985)对滑坡中的软弱夹层作了较深入的研究。他认为,所谓软弱夹层,是指层状岩体中与岩层产状一致或近乎一致的软弱的薄夹层,即层间剪切带。所谓泥化夹层即是指含有较连续分布的粘土薄层的层间剪切带。它是原岩结构遭到破坏的层间剪切带物质在地下水作用下的地质历史产物,属于软弱夹层中性质最坏的一类,它具有湿度高、密度小、强度低、变形量大的特性。这说明学术界在逐渐重视水-岩作用引起的地质体灾变问题,只是考虑问题仅局限于某些层。

从岩溶地质灾害角度看,过去人们往往只注意岩溶引起的地面塌陷(左平怡,1987;康彦仁,1984,

1988; 项式均等, 1986)。近年,对岩溶引起的边坡失稳形式(杨先寿等, 1998)和高大建筑岩溶地基稳定性(韩行瑞等, 1996; 光耀华, 1998)研究有了较大进步, 认识到评价高大建筑岩溶地基稳定性不能仅仅根据少数钻孔岩心的抗压强度, 必须在岩溶专家指导下综合应用物探、钻探、水文地质试验、示踪等技术进行综合研究, 为设计提供包括环境效应评价在内的各种依据。这说明, 人们认识到岩溶可以导致多种复杂形式的地质灾害, 但对岩溶形成的地质灾害尚缺乏深入的研究。

因此, 开展泥灰质岩石地质问题的研究是对岩溶学、岩土工程学和地质灾害学的拓展和完善, 是探索复杂地质过程的创举。

三峡库区移民迁建的迫切需要、复杂的泥灰质岩石区工程地质条件和大量的工程开挖为泥灰质岩石地质问题研究提供了机遇。

三、著者的研究经过和成果概述

著者从 1997 年 9 月着手三峡库区泥灰质岩石的研究。研究从野外工作入手, 对开挖的大量高陡边坡进行反复观察、全面实测和照相、取样测试。在取得了第一手资料以后, 对前人的认识进行了认真的对比分析, 吸取其中的精华, 并应用多学科理论和独特的表现方法, 对问题进行全面的揭示。著者以三峡库区泥灰质岩石的地质问题为素材先后完成了博士论文、博士后研究报告、两份向三峡移民开发局提交的报告和 20 余篇学术论文。这些论文、报告的通过和学术论文的逐步刊出, 说明著者的认识在逐渐地受到重视。博士论文和有关报告为内部资料, 学术论文显得零散, 综合编写本专著并公开出版, 是对这些成果的全面反映。

从 1997 年 11 月至 2000 年 5 月, 先后前往巫山、奉节和巴东三地开展野外工作(表 1-1), 对奉节县宝塔坪、三马山、大河沟和巫山县新城开展了重点研究, 特别是实测了现场几乎所有的开挖剖面, 同时还调查了奉节县头道河、白马、莲花池、茶店和江南 5 个移民小区、天坑、地缝、巫山县南陵乡、陆游洞、小三峡及大仓镇和巴东县新城。

表 1-1 三峡库区泥灰质岩石研究实物工作量表
Table 1-1 Workload data on marly stones research in Three Gorges Reservoir region

项目名称	数量
填图 (1 : 10000)	10km ²
测剖面 (1 : 200 或 1 : 400)	18000m
测剖面 (1 : 2000)	10000m
钻探编录 (1 : 200)	600m
照片	940 张
分析物探剖面	12600m ²
孔间地震 CT (由水环所完成)	12600m ²
水化学样筒分析数据	15 组, 158 个
岩样化学成分分析数据	28 组, 303 个
土样成分分析数据	10 组, 108 个
X-射线衍射数据	16 组, 134 个
扫描电镜照片	10 组, 49 张
岩样物理、力学性质测试数据	26 组, 195 个
土样物理、力学性质测试数据	8 组, 48 个
声波测试数据	16 组, 96 个

地质工作是艰苦的, 著者的工作更显艰辛, 大部分野外工作时间是著者一人度过, 攀登高陡边坡充满着艰难和危险, 夏天顶酷暑、冒炎热、吸灰尘、闻异臭, 冬天冒严寒、顶雪雨、趟泥水, 为弄清

问题有时候几乎彻夜不眠。著者自 1987 年患神经衰弱，至今耳鸣、失眠，完成此项工作实属对意志的考验。应特别提及的是，1999 年 11 月在野外工作期间右眼突发视网膜脱落，但仍坚持了一个月的野外工作，回京后在人民医院做了两次视网膜复位手术，在赵明威和齐慧君等大夫的精心治疗下，手术成功。在室内，夏天投身于沥青顶加热的高温房内，晚上忍受蚊子叮咬，特别是后期冒着眼疾恶化的危险性，在恶劣的环境下坚持工作。在此记录一笔，以作为备忘录。2002 年 12 月第三次手术，拆卸眼中宽带。疾病的影响是终身的，目前右眼仍 900° 近视和弱视。除三峡移民开发局提供的两次资助以外，工作未得到其他资助。野外工作时间为 1997 年 11 月至 2000 年 5 月。

特别要提的是，1997 年 4 月 22 日儿子张帅强出生，著者抛家离子，奔命于峡谷陡坡，无论野外还是室内工作，对孩子均有怠慢。危难时刻，老母亲挺身而出，化解了艰难险阻，使野外工作得以完成。

第二章 区域地理地貌环境概况

建成后的三峡水库大致呈东西向窄长条跨越研究区。该区有瞿塘峡、巫峡和西陵峡三大峡谷，以其雄伟、秀丽多彩的风姿而闻名，与此相对应形成了复杂的自然地理地貌和气候水文环境（地质矿产部环境地质研究所，1990）。

一、区域地形地貌特征与河谷发育史

研究区位于巫山山脉的中段，为鄂西山地的一部分，呈NNE向展布，是我国地势第二级阶梯的东缘，平均高程700~800m。峡谷构成川渝鄂间的天然通道，谷底高程40~80m，两岸陡壁高耸，地形高差达数百米至千米以上。有梅溪河、大宁河两条支流分别在奉节县城和巫山县城与长江汇合。

奉节县城移民迁建新址之一——宝塔坪小区位于巫山山脉与四川盆地东部低山丘陵区交界部位，介于长江支流梅溪河与草堂河之间，紧邻瞿塘峡上游出口，介于海拔182~275m之间的低山区。巫山县新址位于巫峡大宁河以西，介于海拔180~500m之间的低山区。

在新构造运动期，研究区表现为整体隆升。由于整体隆升呈间歇性，形成了明显的层状地貌，发育了多期夷平面、河流阶地、溶洞及深切的三峡峡谷。目前，对夷平面和河流阶地的认识还不尽相同，本书采用新近出版物的结论以供参考（图2-1，2-2；表2-1）。

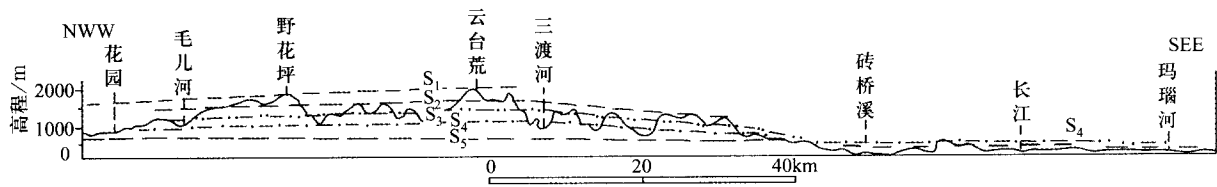


图 2-1 三峡地区夷平面分布剖面图
Fig. 2-1 Section of leveling plane altitudes in Three Gorges region
(据袁登维等，1996)

$S_5 \sim S_1$ —第五级、第四级、第三级、第二级、第一级夷平面；高程以黄海平均海水面为0起点

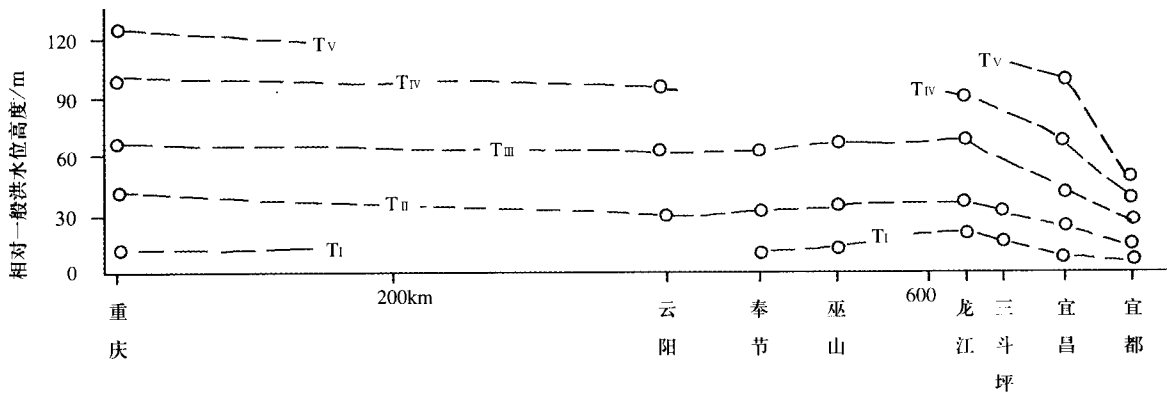


图 2-2 长江三峡阶地位相图
Fig. 2-2 Section of altitudes of terraces in Three Gorges region, Yangtze river
(据袁登维等，1996，略加修改)

$T_1 \sim T_5$ —第一级、第二级、第三级、第四级、第五级阶地

表 2-1 长江三峡地区夷平面特征
Table 2-1 Data of leveling planes in Three Gorges region, Yangtze river

夷平面		分布高程	主 要 特 征	时 代
期	亚期	m		
鄂西期	云台荒亚期	2000~1700	残留在远离长江的分水岭地带, 以残丘为特征	N ₂ 以前
	召凤台亚期	1500~1300	西部山区广泛分布发育大片浑圆丘包, 遥望诸山宛如一水平线	
山原期	周家塆亚期	1200~1000	以残丘和洼地相间的特征广泛分布	N ₂
	王家坪亚期	900~800	分布与长江和支流河谷一致, 以宽阔的槽谷为特征	
云梦期		600~400	位于三峡以东的红色丘陵, 以起伏不大浑圆的丘包为特征, 此时三峡地区形成长江峡谷	Q ₁ ¹

(据袁登维等, 1996, 略加修改)

根据沉积岩相、古地理和古地磁测年分析, 三峡的贯通时代为早更新世早期 (Q₁¹), 大约距今 2000000 ± 200000a, 相当于云梦期 (杨达源, 1988)。三峡贯通之后, 经历了较长时间的间歇性上升运动, 在三峡出口 (宜昌附近) 形成了六级阶地, 时代为早更新世中期 (Q₁²) 至全新世 (Q₄), 在峡谷中也形成了相应的阶地、洪积台地、溶蚀台地或剥蚀台地。应该说明的是, 峡谷区河谷在平面上一一直处于较稳定的位置, 左右摆动的幅度不大。多次间歇性上升, 导致了峡谷区外动力地质作用条件的多次改变, 特别是地表水和地下水动力条件的多次改变, 为岩溶的发育提供了条件。

二、气候条件

长江三峡属亚热带湿润季风气候, 四季变化明显。受地形影响, 气候较同纬度的长江中、下游偏高 2~4℃, 其气候特点是: 冬暖、春旱、夏热、秋雨, 湿度大、云雾多、日照少、风力小; 且具较明显的垂直气候差异。库区局部地段气候环境复杂, 水热组合差异大且不协调, 常出现灾害性暑雨天气。

据气象台站资料: 奉节县年均气温为 16.5℃, 其中最低月 (1 月) 气温 5.1℃, 最高月气温 (7 月) 27.4℃, 极端最低气温 -9.2℃, 极端最高气温 43℃, 多年平均降雨量 1040mm。巫山县年均气温 18.4℃, 其中最低月 (1 月) 7.1℃, 最高月 (8 月) 29.2℃, 极端最低 -6.9℃, 极端最高 41.8℃, 多年平均降雨量 1049.3mm, 降雨多集中于夏、秋两季 (5~9 月), 占全年降水量的 70%, 且多暴雨和霪雨。但 7~8 月份经常出现伏旱, 降水较少。特殊的气候环境, 经常诱发洪水和地质灾害 (地质矿产部环境地质研究所, 1990)。

三、水文环境

长江水量充沛, 三峡出口的宜昌站多年平均径流量为 4505 × 10⁸m³, 占长江入海径流量的 48.76%。受气候控制, 长江洪、枯水期流量变幅很大。与流量变幅相应, 并受地形影响, 洪、枯水期水位相差悬殊。奉节历史最高水位 146.90m, 大洪水时水位 129.90m, 枯水期水位 76.00m, 最大水位差 70.90m。2003 年三峡水库蓄水至 135m。2009 年三峡水库正常水变幅在 145~175m 之间。

四、交通状况

研究区内主要以水路交通为主, 各县均有港口码头可停靠大小轮船, 宜昌至重庆、宜昌至万州的快艇来往如梭, 可当天抵达重庆、往返宜昌, 宜昌至重庆、汉口至重庆、上海至重庆的大型客轮凌晨经过, 货轮及地方客轮络绎不绝。另有公路外通湖北、陕西、四川, 内抵各个乡村。三峡上游的万州、重庆, 下游的宜昌、武汉交通非常方便, 公路、铁路与各大城市相通, 重庆、宜昌和武汉有机场与国内、外相通。

第三章 地质构造背景及区域地壳稳定性

第一节 区域地质构造背景

一、区域构造背景

奉节—巫山库段位于新华夏第三隆起带南段川鄂湘黔隆褶带(湖北省地质矿产局, 1990; 四川省地质矿产局, 1991; 三峡工程地质和地震研究组, 1996)。隆褶带东侧为淮阳山字型构造体系的黄陵背斜和秭归向斜, 西侧为川东弧形凹褶带, 北侧为北西向的大巴山弧形褶断带(图 3-1)。

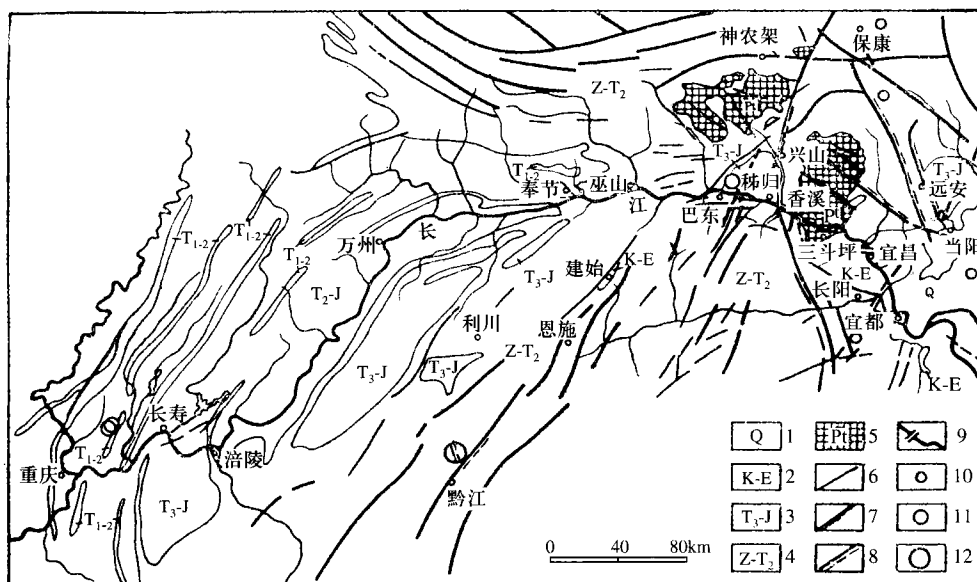


图 3-1 三峡库区区域地质构造图

(据三峡工程地质和地震研究组, 1996, 略加修改)

Fig.3-1 Map of regional geotectonics in Three Gorges Reservoir region

- 1—第四系; 2—白垩系—老第三系红层; 3—三叠系上统—侏罗系碎屑岩; 4—震旦系—三叠系中统碳酸盐岩夹碎屑岩, 其中 T_{1-2} 为三叠系中、下统碳酸盐岩; 5—前震旦系结晶岩系; 6—一般断裂; 7—新生代有活动的区域性大断裂; 8—现代有活动迹象的区域性大断裂; 9—葛洲坝水利枢纽; 10—地震 $M_s=4\frac{1}{3}\sim 4.9$; 11—地震 $M_s=5.1\sim 5.9$; 12—地震 $M_s\geq 6$

川鄂湘黔隆褶带是一系列由古生界至中生界组成的 NNE—NE 向褶曲, 并辅以与褶曲平行的断裂。褶曲构造为长轴状、梳状、箱状背斜和复式向斜。断裂一般倾角较大, 为冲断裂。褶曲在南部呈 NNE 走向, 往北东由于受黄陵背斜的阻挡而向东转折, 呈 NE—近 EW 向展布。高耸挺拔的山体, 与构造线走向一致。由上可知, 奉节—巫山段的地质构造背景是复杂的, 它们对两个新城址的环境地质条件均有重要影响, 控制着新址区的环境地质质量。

二、区域地质结构

川鄂湘黔隆褶带地层出露较齐全, 岩性以沉积岩为主, 具有由东向西逐渐变新的展布规律。前震旦系块状岩浆岩和片岩、片麻岩出露于黄陵背斜核部。震旦系 (Z)、古生界 (Pz) 主要为浅海相厚—

中厚层状碳酸盐岩组，总厚度约3000m，大片出露于西陵峡库段。中生界三叠系和侏罗系是库区主要出露地层，其中，中三叠统巴东组（ T_2b ）为本次研究的主要对象，在研究区广泛出露。下、中三叠统（ T_{1+2} ）为浅海—潟湖相碳酸盐岩组，其中，下三叠统中厚层碳酸盐岩组岩性坚硬、透水性强，巫峡的绝大部分和瞿塘峡的全部地层由它组成，中三叠统巴东组由软硬相间泥质灰岩、泥灰岩与钙质泥岩互层组成（图3-2），属“易滑岩组”。长江岸边几个著名的大滑坡即分布于巴东组中，本次研究所确定的多数滑坡也分布在巴东组之中。上三叠统及侏罗系为陆相碎屑岩组，岩性以砂岩、粉砂岩和泥、页岩为特征，分布在研究区的上游地段，为四川盆地东部出露的主要地层。新生界在奉节—巫山段分布有冲积、冲洪积、洪积、坡积、残积和重力堆积物。冲积物分布于长江及其支流两岸，组成漫滩和多级阶地。重力堆积物即滑坡、崩塌，是研究区广泛发育的堆积物。

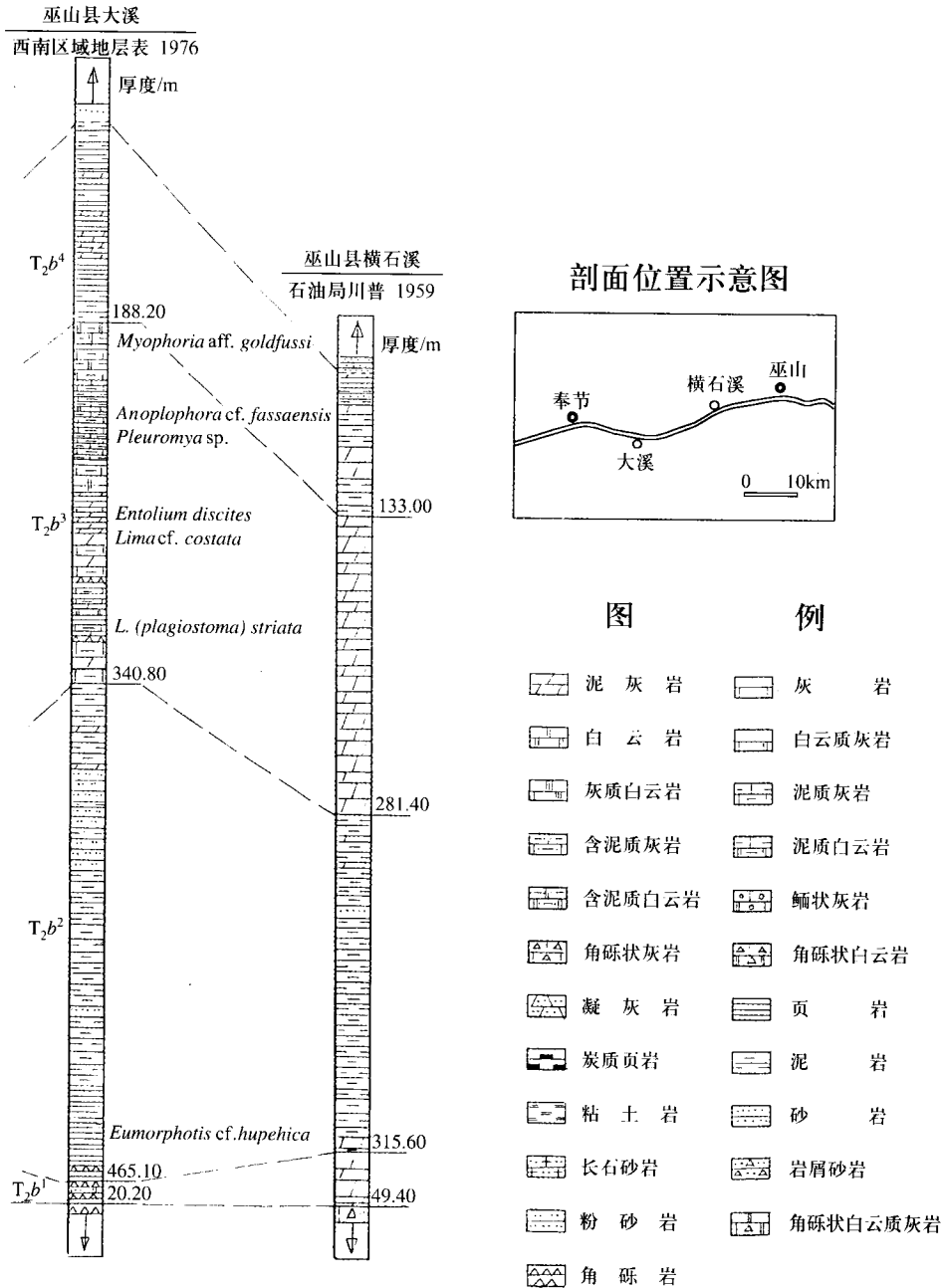


图 3-2 巫山县境内三叠系巴东组柱状对比图
Fig. 3-2 Comparison columns of Badong formation, middle Triassic in Wushan county
(据四川省地质局, 1980)