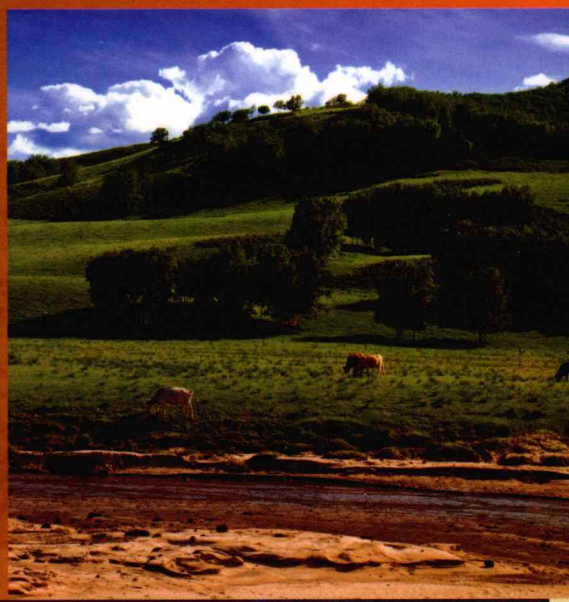
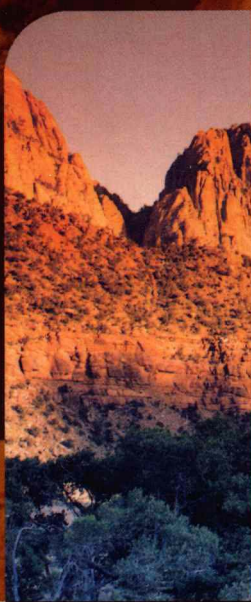




皖南浙西晚震旦世—早寒武世 硅岩的岩石学及地球化学研究

赵国连◎著



中国科学技术出版社
CHINA SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

皖南浙西晚震旦世—早寒武世 硅岩的岩石学及地球化学研究

赵国连 著

中国科学技术出版社

CHINA SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

· 北 京 ·

BEIJING

图书在版编目(CIP)数据

皖南浙西晚震旦世—早寒武世硅岩的岩石学及地球化学研究/赵国连著.
—北京:中国科学技术出版社,2008.10

ISBN 978-7-5046-5285-0

I. 皖… II. 赵… III. ①硅质岩-岩石学-研究-华东地区-震旦纪~早寒武世
②硅质岩-地球化学-研究-华东地区-震旦纪~早寒武世 IV. P588.24

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 168508 号

自 2006 年 4 月起本社图书封面均贴有防伪标志,未贴防伪标志的为盗版图书。

中国科学技术出版社出版

北京市海淀区中关村南大街 16 号 邮政编码:100081

策划编辑 林 培 孙卫华 责任校对 林 华

责任编辑 林 培 符晓静 责任印制 安利平

发行部电话:010-62103210 编辑部电话:010-62103181

<http://www.kjpbooks.com.cn>

科学普及出版社发行部发行

北京长宁印刷有限公司印刷

*

开本:787 毫米×1092 毫米 1/16 印张:4.75 字数:111 千字

2008 年 10 月第 1 版 2008 年 10 月第 1 次印刷 定价:20.00 元

ISBN 978-7-5046-5285-0 /P·121

(凡购买本社的图书,如有缺页、倒页、
脱页者,本社发行部负责调换)

致 谢

本工作历时近两年，从立题到查阅资料、野外考查、室内整理、样品测试、数据处理、文献查阅，到最后的论文撰写，得到了王东安研究员的精心指导、帮助。李任伟教授、王忠诚副研究员也很关心研究的进展，王忠诚在数据处理阶段提供了较好的建议，特此致谢。李红生副研究员亲自指导我鉴定有关放射虫的结构，戴永定副研究员也帮助我鉴定过生物结构。在此一并致谢。也对在光学显微镜使用过程中给予帮助的六室管理人员表示感谢。

摘 要

下扬子区的皖南浙西，分布着一条走向近东西向至北东向的上震旦系（皮园村组）一下寒武系（荷塘组）的硅岩带，历来受到人们的普遍关注。作者从“有利于生物成矿的硅岩的地球化学背景”的实际需要出发，对本区上述硅质页岩带首次进行了较系统的全面研究，在前人的区域地质、构造、矿产研究的基础上，对硅岩的产出背景作了较全面的阐述。作者利用较新的地球化学、岩石学理论及技术，除了对本区硅岩进行系统的野外调查以外，还利用光学显微镜、扫描电镜，对硅岩的岩石结构、构造、矿物成分等各个方面进行了系统的观察、研究，找到了放射虫壳体结构，证实了生物作用对硅岩成因的重要意义，同时指出，化学作用始终存在。对主元素的分析数据作了大量的计算，并以化学图解进行投影，反映本区硅岩受热水来源、生物来源、陆源来源的影响；微量元素的分布特征表明本区硅岩的物源与热水来源的 SiO_2 有关；锶同位素数据处理也反映了本区硅岩受热水作用的影响，并取得了 Rb—Sr 全岩等时年龄；对稀土元素总量、稀土元素配分曲线、正 Eu 异常、负 Ce 异常特点，都作了系统的研究，表明硅岩的 SiO_2 来源受热水作用的影响，硅岩产出于浅水台地边缘的斜坡地带。

本区硅岩化学成分、结构、构造在垂向上（时间）与空间（横向）上有一定的变化规律，西部可能存在深部的热水通道，提供 SiO_2 ，因营养物质充足，又有适中温度，属于生物作用较强的地区。作者在兰田剖面硅岩样品薄片观察到大量放射虫壳体结构就是最好的证据。在东部，热水来源 SiO_2 的影响减弱，环境由热水活动较强的地区转变为陆棚近岸环境，陆源的影响变强，因此，两者之间存在着一系列环境过渡带，本区硅岩沉积时大构造环境虽较稳定，水流滞留，但水环境仍存在内部的细微分异，因此形成了各种类型的硅岩。作者试着对硅岩的形成时环境的因素（水深、

水温、pH 值、Eh 值) 等作了探讨, 认为硅质生物生活在洁净少陆源的浅海台地边缘环境中, 并有丰富的 SiO_2 来源的地方, 硅质生物在 SiO_2 的聚集沉淀过程中起了主导的作用。本文对硅岩的成岩作用过程作了简单的讨论: 对目前关于 SiO_2 物源研究这一争议较大的难题, 作者认为, 这主要应着眼于 SiO_2 在最终沉积前的第一个停留系统中的情况的研究, 并认为它存在着热水来源、生物来源、陆源来源三个途经, 但以热水来源为主, 其余来源是次要的。

由于水平有限, 文中难免有不当之处, 恳请有关专家指正。

关键词:

皖南浙西、硅岩、沉积地球化学、生物作用、硅岩成因

ABSTRACT

In the south of Anhui, west of Zhejiang, there exists a silicious rock zone which stretches several kilometres long in NE or W – E trending. Many geologists have paid attention to them. But no one has done comprehensive studies about them, except Xieduoke, having done some major element geochemistry studies about it. For the first time the author studied the cherts in all the aspects of geochemistry, including major elements, trace elements, rare earth elements, based on the data of regional background, petrology, mineralogy, strata from previous work of others. The author, in addition to field working, has studied the structure, texture, and mineral compound by chemical analysis with X – ray technology, by microscope and scanning electronic microscope, finding that there are many types of cherts, including micritic cherts, argillaceous cherts, radiolarian cherts, bacteria – alga cherts. By chemistry diagram, the author found that, in the west part of this area, the SiO_2 in cherts is the most high, about 93%, but Al_2O_3 and TiO_2 are low. In the east, the SiO_2 in mudstone is relatively low, about 75%, but Al, Ti are slightly high. The author thinks that there exists hydrothermal vent in the west part of this area, which supplies so much SiO_2 that it causes the number of radiolarian increasing greatly. So the biogenic cherts definitely exist. However, there is a continental source from eastern platform, making the radiolarian decreasing, and the major type of rock is silicious mudstone. The trace elements show that the SiO_2 of cherts comes from hydrothermal fluid, and the REE characteristic shows that the cherts are affected by hydrothermal fluid, and formed in the sloping zone beside the platform.

As the source of SiO_2 of cherts is concerned, the author thinks we should consider the situation of the environment of SiO_2 before it turns into cherts. So the author thinks SiO_2 of cherts may come from hydrothermal fluid or biogenetic bodies or continental sources, but the hydrothermal fluid supplies most of SiO_2 , as one

can see it from all kinds of geochemistry diagrams. Biogenetic procession plays an important role in the formation of cherts, the radiolarian cherts and some diagrams show it clearly. However, we should not deny the role of chemistry procession in the precipitation of SiO_2 . We conclude that silicious rocks in the South of Anhui and West of zhejiang, are formed in platform margin sloping zone.

Keywords: South of Anhui and west of Zhe jiang, Chert, Sedimentary geochemistry, Biogenetic procession, Origin

前 言

本论文涉及的地理范围包括浙江省西北部的临安县西部山区、开化县的北部，皖南的休宁、太平、绩溪等地区，属于下扬子地区的中部，地理坐标是：东经 $118^{\circ} \sim 119^{\circ}$ ，北纬 $29^{\circ} \sim 30.5^{\circ}$ （图 1-1）。区内地层发育齐全，沉积岩广布，其中又以碳酸盐岩、硅质页岩较为丰富，且层序清楚，层位稳定，是华南地区震旦—寒武系以及沉积矿产的重点研究地区之一，研究历史悠久，且大地构造位置特殊，吸引了不少地质学家的关注。

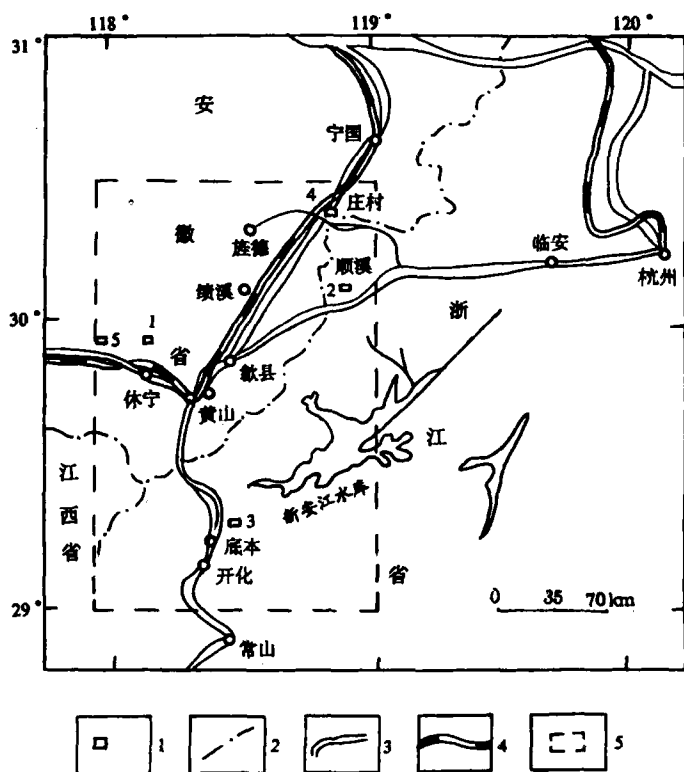


图 1-1 研究区地理位置、交通图

（据《中国分省公路交通地图册》资料编制而成）

1-工作剖面及编号；2-省界；3-公路；4-铁路；5-工作区范围

但由于硅岩的研究是沉积学的难题之一，虽然文献中不时有人提及浙西皖南的硅质页岩建造，它也确实是重要的矿源层，但至今未受到足够的重视。因此，面对秦岭地区、上扬子湘川地区、西藏地区的硅岩较深的研究情况，下扬子的硅岩理应受到人们的关注。随着“有利于生物成矿及其地质背景的硅岩研究”这一课题的深入，有必要作大区域的对比，并将研究区域拓宽一些，因此下扬子的硅岩就成了本课题的新的研究对象。本书正是在这样的背景下展开的，可望为该区的生物成矿、成油研究、沉积成矿研究提供一点背景资料。

1. 硅岩的研究现状及发展方向

硅岩是指化学作用、生物和生物化学作用以及某些火山作用形成的富含 SiO_2 （75% 以上）的岩石，其中包含了在盆地内经机械破碎再沉积的硅岩。

关于硅岩，早在 20 世纪初国外就有人专门研究。早期的方法、手段较落后，近来，尤其是 20 世纪 80 年代以来，国外在野外标志、矿物学、岩石学、地球化学（包括主元素、微量元素，放射性同位素、稳定同位素等）以及古地磁和有机地化等方面积累了丰富的资料，尤其以日本北部 Onnagawa 组硅质岩以及美国加州 montely 组硅质岩的研究引人注目。众多专家对两地加以研究并作了对比，发展成为环太平洋及特提斯期硅质岩与石油的综合研究，成为 IGCP（1996—1986）项目的组成部分。1981 年，在日本召开了硅质岩国际地质大会，会后发表了数部专著。

中国的硅岩研究，近年来，在理论方法上都借鉴国外的新成果，因此发展较快，但差距仍然存在。国外在硅质岩的成岩作用、矿物学研究方面，手段较新，成果颇多。这是国内硅质岩研究的薄弱环节。

总而言之，硅岩的研究任务艰巨，难题叠出，代表性的有：①硅岩的物质来源及各种来源的相对重要性；②硅岩的沉积环境（盆地类型、水体深度、温度、大地构造背景、 $Eh - pH$ 条件）；③硅岩的成岩作用阶段的划分及各阶段矿物相变问题；④硅岩的微量元素，稳定同位素数据积累及地球化学模型的建立及其对环境、物源的指示。

2. 本书工作区研究现状与存在问题

浙西皖南地区的地质工作起步早，有众多的单位、学者在本区做过地层学、沉积岩石学，大地构造、区域地质找矿、地质测量、岩相古地理、古生物以及磷矿、石油、煤、金、多金属等方面的工作，积累了相当丰富的实际资料。

但对硅岩，可以说没有人做过系统全面的工作。地科院南京地质研究所的谢宴克（1979）在本区研究过硅岩，对于其矿物组成、地球化学元素、大地构造背景都作了研究，但限于理论、技术上的落后，已不能跟上目前的研究形势。可以说硅岩在本区是尚未开垦的处女地，因此存在的问题是不少的：①硅岩形成时的大地构造背景；②硅质页岩的控矿作用的研究；③震旦—寒武界线的确定及界线上的地质事件对硅岩的形成的影响；④稳定同位素、稀土元素方面资料缺乏，几乎是空白；⑤有机地球化学方面的资料更缺乏。

3. 本书工作的目的、方法及工作量统计

既然本地区硅岩研究存在如此众多的问题，本研究就要试图加以解决。但限于水平及资金，只能对形成硅岩的 SiO_2 来源及硅岩形成过程中的大地构造背景及环境类型进行研究。

本地区在习惯上称为扬子地台边缘海，是下扬子—钱塘地区的西北部，区域构造上以北东向的加里东期线型褶皱为主，因此大致沿垂直构造线的方向布置了兰田、顺溪、开化底本、绩溪庄村、石山等地共五条剖面，进行野外考察、取样；并作了如下几项室内研究：镜下薄片观察、选送样品、化学分析、质谱分析、扫描电镜观察等。

除此之外，作者在王东安研究员指导下，多方收集资料，曾几次到地质图书馆查阅区域地质资料，广泛收集国内外近年来发表的文献专著、期刊，查阅了大量检索目录，以期收到较好的结果。整个工作量见表1。

表1 硕士毕业论文工作量统计

野外工作	野外观察记录的剖面数量	5 条, 累计长度近 10 千米	
	采集矿石、岩矿、化石标本	110 余块, 重 40 千克	
	收集地质部门资料	50 余页	
	绘制岩性柱状图	5 条	
	实测小剖面数	3 条	
室内工作	送主元素的化学全分析样品	22 件	X 荧光光谱分析
	送微量元素的化学分析样品	22 件	X 荧光光谱分析
	送稀土元素的化学分析样品	17 件	X 荧光光谱分析
	送 Rb - Sr 质谱同位素分析	5 件	
	扫描电镜观测	7 件	
	磨制大、小薄片	110 余片	
	阅读中外文文献	100 余篇	
	手工清绘图件	22 张	
	制表	9 张	

目 录

第一章 区域地质概况	1
第一节 大地构造背景	1
第二节 区域地层	2
第三节 震旦—寒武纪的岩相古地理特征	4
第四节 震旦—寒武纪沉积矿床	5
第二章 硅岩的岩石学特征	7
第一节 硅岩的剖面类型及其特点	7
第二节 硅岩的矿物组成	8
第三节 硅岩的结构和构造	10
第四节 研究区内硅岩的类型	12
第三章 硅岩的地球化学特征	13
第一节 硅岩的主元素地球化学	13
第二节 硅岩的微量元素分布特征	23
第三节 稀土元素的地球化学特征	29
第四章 硅岩的成因探讨	36
第一节 二氧化硅的来源	36
第二节 硅岩的成岩作用和二氧化硅沉淀方式	38
第三节 硅岩形成时的环境特征	42
结 语	46
主要参考文献	48
图版说明	53

第一章 区域地质概况

第一节 大地构造背景

皖南浙西地区，位于扬子板块的东南大陆边缘，对其构造发展中的认识目前并不统一。有人认为是“地体拼贴”，有人认为是“统一古陆”，但本书作者比较倾向于第三种观点，即其主体位于古岛弧环境。具体地说，由于在四堡期华夏陆块和华南洋组成统一的板块，向扬子板块下子板块俯冲，在扬子陆块的东南边缘形成了沟弧盆系。

表 1-1 中国南方大地构造发展简表

地质时代		发展阶段	主要构造运动		主要地质事件及具特殊意义的构造单元
			年代 (Ma)	名称	
新生代		陆内 汇聚 阶段	210	印支运动	古西太平洋消亡，东南亚安第斯型火山带形成；南海小洋盆形成，台东发生弧陆碰撞，扬子周边和浙闽推覆构造带形成，地台型盖层褶皱
中生代	白垩纪				陆内汇聚开始，全区由海变陆
	侏罗纪				康滇穹隆和大陆裂谷形成
古生代	三叠纪	板内 活动 阶段	256	东吴运动	钦防海槽封闭，大陆裂谷作用和暗色岩浆活动开始
	二叠纪				右江—南盘江盆地和湘桂粤张裂盆地形成，发生古西太平洋裂谷作用
	石炭纪		408	广西运动	南华造山带形成；南秦岭被动边缘抬升
	泥盆纪	华南裂谷盆地收缩，晚奥陶世进入前陆盆地发展阶段；龙门山—锦屏山拗拉槽形成			
	志留纪	500	郁南运动	云开隆起，武夷—云开地区发生混合岩化作用	
	奥陶纪			江绍转换断层系强烈左行走滑，华南裂谷盆地扩张；南秦岭被动大陆边缘裂谷形成；形成早震旦世澄江后造山裂谷	
	寒武纪			形成江绍缝合带，浙西前陆盆地和华南残留盆地，扬子西北缘形成陆缘弧造山带	
晚元古代	震旦纪	850 ~ 800	晋宁运动	华夏大陆边缘形成沟弧盆系；龙胜初始洋弧形成	
早元古代	1050 ~ 1000		四堡运动	扬子东南边缘形成增生的褶皱带，俯冲带后退；盐边—峨边陆间裂谷带造山；东川—易门拗拉槽形成	
中元古代		~ 1700	小官河运动	华南洋向扬子陆俯冲，形成沟弧盆系；盐边—峨边陆间裂谷形成	
早前寒武纪	陆块形成阶段			原始扬子板块和华夏陆块形成	

注：据刘宝珺，1986 年。



第二节 区域地层

1. 地层分区概况

安徽地矿局（1982）根据区域大地构造、沉积相带展布、地层发育总体特征，将本区的地层进行分区，本区地层应属于扬子地层区：

- Ⅲ扬子地层区；
- Ⅲ₁下扬子地层分区；
- Ⅲ₁¹岳西地层小区；
- Ⅲ₂¹涂县地层小区；
- Ⅲ₃¹和县地层小区；
- Ⅲ²江南地层分区；
- Ⅲ₂¹郎溪—祁门地层小区；
- Ⅲ₂²江山—临安小区；
- Ⅲ₂³杭州—嘉兴小区。

本研究区属江南地层分区的Ⅲ₂¹、Ⅲ₂²两个小区。

表 1-2 皖南浙西震旦系一下寒武系与邻区地层对比表

地区 地层		浙西北	皖 南	赣 北	湘西北	湖北峡东	湖北长阳	云南晋宁
寒武系		荷塘组	荷塘组	王音铺组	杨家坪组	黄善洞组	水井沱组	梅树村组
震旦系	上统	灯影组	皮圆村组	灯影组	灯影组	灯影组	灯影组	灯影组
		陡山沱组	蓝田组	陡山沱组	陡山沱组	陡山沱组	陡山沱组	王家湾组
	下统	雷公坞组	雷公坞组	南沱组	南沱组	南沱组	南沱组	南沱组
					湘锰组		大塘坡组	
					东山峰组		古城组	
		志棠组	休宁组	碛门组	五强溪组 马底驿组	连沱组	莲沱组	澄江组
前震旦系		骆家门组	上溪群	双桥山群	冷家溪群	三斗坪群	三斗坪群	昆阳群

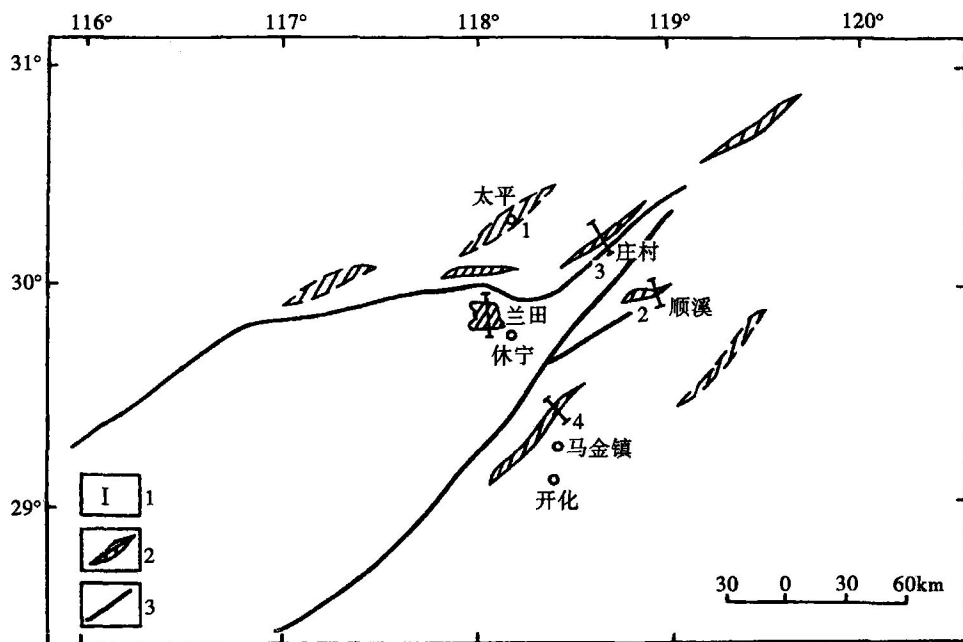


2. 地层划分对比

根据《浙江省区域地质志》(1982年), 本区震旦系可以划分为二统四组, 它西经皖南、赣北、湘西一直延伸到黔东。上述震旦系, 均属于峡东(地台型)与桂北(地槽型)之间的江南(过渡)型沉积, 因而在岩性岩相、地层划分上基本相同, 即南沱冰碛岩上的地层划分为两个岩石地层单位, 分别相当于湖北峡东标准剖面的陡山沱组和灯影组。下统休宁组(志棠组)、雷公坞组, 都是可以作区域对比的稳定层位。

早寒武纪, 海侵扩大, 上述环境有所扩大, 荷塘组的硅质页岩建造整合覆盖在上震旦统之上。

晚震旦至早寒武纪, 硅质页岩建造, 在地理分布上, 严格受构造控制。皖南东至黟县、休宁、太平、绩溪一带, 呈近东西向线状出露在浙西地向斜内; 西峰寺组普遍呈北东向线状出露, 其出露情况如图1-1所示。



1-1 皖南浙西上震旦统一寒武统硅质岩出露情况简图 (据谢寒克, 1979年, 有改动)

1. 剖面位置及编号; 2. 硅岩露头; 3. 断层

3. 关于震旦寒武的界线问题

1959年,盛莘夫在常山建立了“西峰寺硅质灰岩”。同年,刘鸿允和沙庆安在常山和龙游建立比较完整的震旦系剖面,把震旦系分为“西峰寺统”和“龙游统”,龙游统又包括了“雷公坞组”和“志棠组”,其顶部以带壳动物化石的出现为标志,我国南方最早出现的是云南晋宁梅树村剖面的“B”点作为划分寒武系与前寒武系界线层型的点。皖南浙西震旦系与寒武系之间尚未发现可作为分界依据的小壳动物化石,故只能依据沉积环境和沉积建造来划分。浙西北的灯影组(Z_2^2)为浅海台地相碳酸盐建造,荷塘组(ϵ_1h)为浅海相炭质页岩建造,两者不仅建造类型不同,其间有时还可见到沉积间断,因而可以将灯影组白云岩和荷塘组含碳硅质岩间的界线,作为震旦寒武界线,而在诸暨、开化之间发育硅质岩,两者呈整合过渡关系。由于缺乏化石证据,对寒武与震旦界线存在两种不同的意见:一种意见将硅质岩归上震旦,统称“皮园村组”;另一种意见将硅质岩与我国的西南地区的“梅树村组”相比,划归为下寒武统荷塘组。本书作者认为,以磷结核出现作为寒武系底界比较合理。

第三节 震旦—寒武纪的岩相古地理特征

本研究区位于扬子古陆与华夏古陆之间的下扬子断陷盆地(台缘斜坡)内,北有巢宁台地,南有开临台地,在整个震旦—寒武纪常处于陆表海、浅海碳酸盐台地环境,但在晚震旦世,在皖南沉积了皮园村组硅质岩建造,与西侧的白云质页岩平行产出,到了早寒武世,缺氧环境有所扩大,范围一直扩展到浙西北,形成了硅质页岩建造(图1-2)。