

地质矿产部《前寒武纪地质》编辑委员会

前寒武纪地质

第 1 号

中国晚前寒武纪冰成岩论文集

地质出版社

前寒武纪地质

第 1 号

中国晚前寒武纪冰成岩论文集

地质矿产部《前寒武纪地质》编辑委员会

地质出版社

内 容 简 介

本书第一篇是地质矿产部重点科研项目《中国晚前寒武纪地质研究》成果之一,着重阐述了冰成岩分类、岩石特征及其鉴别标志,冰川沉积相和相标志,沉积相序的区域分布特征,我国震旦纪冰期划分及时限划分等问题,是近年来我国震旦纪冰成岩研究较为系统、全面的科学总结;从第二篇至第十一篇,还汇集了我国十个省、自治区有关震旦纪冰成岩研究的地区性科研成果;从而使全书更加全面地反映了我国震旦纪冰成岩研究的概貌和水平。

该书可供广大地质工作者以及科研、教学等方面有关人员参考。

前寒武纪地质

第 1 号

中国晚前寒武纪冰成岩论文集

地质矿产部《前寒武纪地质》编辑委员会
(天津市河东区津塘公路八号路)

责任编辑:薛淑芸 汪玉麟

地质出版社出版

(北京西四)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本: 787×1092¹/₁₆ 印张: 18 字数: 423,000

1985年2月北京第一版·1985年2月北京第一次印刷

印数: 1—4,140册 定价: 4.90元

统一书号: 15038·新1049

《前寒武纪地质》编辑委员会

名誉主编：程裕淇 王鸿祯 董申保

主 编：胡维兴 沈其韩 陈晋镛

委 员：（以姓氏笔划为序）

王泽九 申庆荣 白 瑾 孙大中 沈其韩 沈永和 沈保丰 李希勳

陈晋镛 陆宗斌 张学祺 胡维兴 秦 鼎 高振家 曹国权 潘启宇

翟安民

出 版 说 明

前寒武纪是地球地质历史中最古老的断代,约占整个地史时期的七分之六。前寒武纪地质学是当前基础地质学科中的一个重要分支,也是地学研究领域的一项薄弱环节。研究它,不仅关系到提高矿产资源的开发和利用,而且涉及地球早期历史、地壳演化和生物起源与演化等一系列重大理论问题,因此,是需要全球范围内共同努力突破的一个重要地质学领域。

在我国,前寒武系甚为发育,并且蕴藏着铁、铜、金、铀等多种重要的急需的矿产。研究历史已近百年。新中国成立以来,在党的领导下,随着工农业生产发展对矿产资源的需要,区域地质调查、普查勘探工作大量开展,教学、科研工作逐步加强,积累了相当丰富的实际资料,前寒武纪地质这一分支学科研究也获得相应的深入开展。为了便于进行国内外地质科学技术交流和系统积累地质科学文献,深入推动地质找矿和促进前寒纪地质研究工作,为实现我国四个现代化做出更多的贡献,地质矿产部决定出版《前寒武纪地质》作为部地质成果出版系列之一,由地质矿产部《前寒武纪地质》编辑委员会主编。编辑部设在天津地质矿产研究所,负责编辑出版等事宜。

《前寒武纪地质》是以多篇论文形式出版,不定期连续编号的系列出版物。既刊登重大科研项目成果(最终成果或中间性成果),也可以是专业会议的文集。本着“百花齐放、百家争鸣”的方针,逐步深入地反映我国前寒武纪地质领域中的重大研究成果、概貌与水平,促进和发展这一学科领域的研究工作,达到繁荣地质科学的目的。

本期为中国晚前寒武纪冰成岩论文集,由陆松年,马国干主编,高振家、林蔚兴、关保德、汪贵翔参加了部分编辑工作。共计十一篇论文,其中第一篇《中国晚前寒武纪冰成岩系初探》系地质矿产部重点科研项目“中国晚前寒武纪地质研究”重要成果之一,于1983年6月经地质矿产部晚前寒武纪地质科研项目成果评审会议评审。该文扼要阐述了中国震旦系冰成岩的分布、沉积相及相序的划分及其区域分布特征以及震旦纪冰期及其时限的划分等问题,是近年来古冰川研究中较为全面深入的一份科研总结;其余十篇从不同侧面反映了我国冰成岩重点发育地区的研究概况。以上内容对了解和推测我国震旦纪时期的冰川活动特征,古气候,古地理,古构造等方面,都具有重要意义。在冰成岩特别是前寒武纪冰成岩的研究方面,国内外有许多不同观点,期望本期文集的出版将有助于展开深入的学术讨论。

《前寒武纪地质》是地质科学出版园地的一枝幼苗,限于编者的经验与水平,难免存在一些缺点或错误,恳请读者批评指正,俾使她茁壮成长,真正起到繁荣我国地质科学事业的作用。

编 者

一九八三年十二月

目 录

中国晚前寒武纪冰成岩系初探

(地质矿产部中国晚前寒武纪地质科研项目研究成果之四)

陆松年、马国干、高振家、林蔚兴

前 言	(1)
第一章 冰成岩分类及冰碛岩特征	(3)
一、冰成岩分类	(4)
二、冰碛岩的主要地质特征	(7)
第二章 冰川沉积相及冰川沉积相序列(相序)	(22)
一、冰川沉积相及相标志	(22)
二、冰川沉积相序列	(27)
第三章 冰期划分及其时限	(28)
一、冰川活动期的划分原则	(29)
二、早震旦世冰期划分	(30)
三、罗圈组及其相当层位的时限讨论	(34)
第四章 冰川沉积相区	(37)
一、冰川沉积相区类型	(37)
二、各类型冰川沉积相区的区别	(40)
三、冰川沉积相区	(41)
第五章 冰川活动的古纬度及冰成岩层地层意义的讨论	(55)
一、冰川活动的古纬度	(55)
二、冰成岩层的地质意义	(57)
参考文献	(61)
英文摘要	(65)
图版及图版说明	(74)
新疆震旦纪冰川沉积	高振家、李永安 (87)
北天山西段震旦系中的冰成岩层	王景斌、成守德、白文贤、王立新 (105)
安徽凤台霍邱地区震旦纪冰成岩的再研究	斗守初、汪贵翔、任润生、高燮亮 (119)
青海小高炉群红铁沟冰碛层岩石特征与时限讨论	王云山、陈基娘 (145)
华北地台南缘(陕西部分)罗圈组的时代及其沉积相	李钦仲、杨应章、贾金昌 (163)
河南省罗圈组冰碛层时代探讨	关保德、耿午辰、戎治权、杜慧英 (183)
川滇地区震旦纪冰碛层的初步研究	杨运和、申玉连、庄忠海 (207)
湖南地区震旦纪冰成岩层	杨彦钧 (225)
皖南震旦纪冰碛层	王贤方、毕治国 (245)
浙江省西部震旦纪冰成岩研究	施少峰、蒋传仁、张健康 (261)

CONTENTS

Primary Research on Glacigenous Rocks of Late Precambrian in China	<i>Lu Songnian et al.</i> (65)
Sinian Glacial Deposits in Xinjiang Uygur Autonomous Region	<i>Gao Zhenjia et al.</i> (99)
Glacigenous Strata in the Western Part of the Northern Tianshan Mountains	<i>Wang Jingbing et al.</i> (113)
Further Investigation of Sinian Glacigenous Rocks in Fengtai-Huoqiu Region in Anhui Province	<i>Dou Shouchu et al.</i> (137)
The Petrographic Characteristics and the Age of Hongtiegou Tillites from Xiaogaolu Group in Qinghai Province	<i>Wang Yunshan et al.</i> (156)
The Age and Sedimentary Facies of Luoquan Formation in Southern Margin of North China Platform (the Part in Shaanxi Province)	<i>Li Qinzong et al.</i> (175)
On the Age of Luoquan Formation in Henan Province	<i>Guan Baode et al.</i> (197)
Sinian Tillites in Sichuan and Yunnan Provinces	<i>Yang Xianhe et al.</i> (219)
The Glacigenous Strata of Lower Sinian in Hunan Province	<i>Yang Yanjun</i> (240)
The Sinian Tillite of South Anhui Province	<i>Wang Xianfang et al.</i> (255)
A Study on the Sinian Tillites in Western Zhejiang Province	<i>Shi Shaofeng et al.</i> (276)

Geological Publishing House
(Xisi, Beijing, China)

Precambrian Geology Editorial Co-
mmittee, Ministry of Geology and
Mineral Resources, PRC

(Tianjin Institute of Geology and
Mineral Resources, 8th Road, Jintang Highway,
Tianjin, China)

地质矿产部中国晚前寒武纪地质科研项目研究成果之四

中国晚前寒武纪冰成岩系初探

陆 松 年

(天津地质矿产研究所)

马 国 干

(宜昌地质矿产研究所)

高 振 家

(新疆地质局地质研究所)

林 蔚 兴

(沈阳地质矿产研究所)

前 言

晚前寒武纪末期,全球曾发生过广泛的冰川活动,巨大的冰盖覆盖了广阔的平原和山地。在陆地的低凹地带,冰前的冰河、冰湖、海岸附近,以及受到冰山或冰筏影响的海域,形成了一系列与冰川活动有成因联系的岩类。这些岩层,成为现今地质学家们研究、推导古冰川活动特征、古气候演变、冰川沉积环境、古地理和古构造的重要依据。这些岩层在区域上断续相连,大面积分布,可能作为各大陆之间前寒武地层对比的参考标志。长期以来,不仅受到我国地质界,而且引起国际前寒武地质工作者的关注。

晚前寒武纪末期的冰川作用对我国有过广泛的影响。分布于华南诸省的震旦纪冰成岩层就是这个时期冰川活动的重要遗迹。出露在秦岭北坡、豫西和陕南,以及西北各省(区)相当层位的冰成岩层,也可能是晚前寒武纪末期冰川活动的产物(图1)。它们不仅分布较广,而且有较强的研究历史。自1907年威理士和布莱克韦尔德(Willis, Blackwelder)报道湖北宜昌南沱冰碛层后,1922年李四光等系统研究峡东一带的地质时,对震旦系进行了划分,并将南沱冰碛层归入震旦系。继后,李毓尧、许杰(1936, 1937)、诺琳(E. Norin, 1937)、王曰伦、边兆祥(1940)、王超翔(1942)等相继发现并研究了长江中下游、贵州、云南和新疆的冰成岩层。1955年,王曰伦发表了“中国震旦纪冰碛层及其对地层划分的意义”一文,对全国震旦纪冰成岩作了总结。1958年杨志坚首先提出了豫西可能有“冰川活动的冰碛层”,刘长安、林蔚兴等^①进一步证实了它的存在,并将其命名为“罗圈组”。这一期间,叶连俊等也做过不少研究工作(1959)。与此同时,随着区域地质调查的开展和地质科研工作的深入,在湘黔桂边境地带,对“南沱组”之下的长安组提出了与冰川活动有成因联系的观点。后来廖士范等(1976)曾对此有过论述。从本世纪初到六十年代中期的五十年间,主要是把冰成岩作为一种标志层进行研究,侧重探讨它的地层对比意义。对其岩石学研究,沉积相划分及冰期等专文论述则较少。六十年代中期至七十年代中期,我国

① 刘长安、林蔚兴, 1961, 华北南部古生代初期冰碛层及其意义。

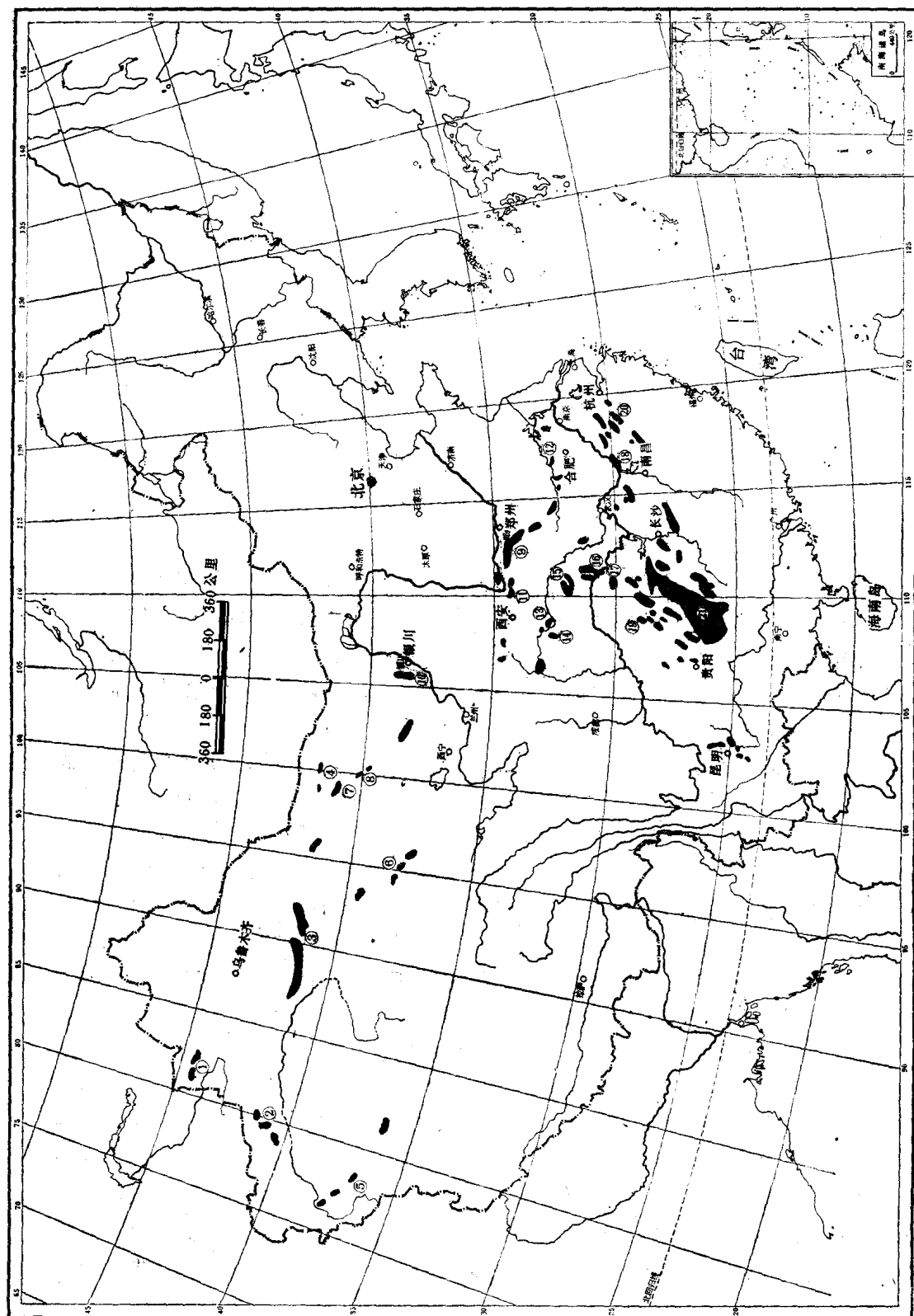


图 1 中国震旦纪冰成岩露头分布示意图

Fig. 1 Sketch map showing the distribution of glacial rocks of the Sinian in China

剖面位置: ①西天山果子沟; ②乌什以南巧恩布拉克; ③东库鲁克塔格帕尔布拉克以南; ④甘肃岷县纳旗洗肠井; ⑤新疆叶城县南; ⑥青海柴达木全吉山; ⑦甘肃肃南白杨沟; ⑧甘肃龙首山; ⑨河南临汝县罗圈村; ⑩宁夏贺兰山苏峪口; ⑪陕西洛南上张湾; ⑫安徽凤台猴家山; ⑬陕西宁强镇巴; ⑭四川城口; ⑮湖北神农架; ⑯宜昌莲沱王丰岗; ⑰湖北长阳古城; ⑱江西武宁; ⑲贵州松桃; ⑳浙江建德县; ㉑广西三江

冰成岩研究几乎处于停顿状态。七十年代后期以来,自地质部组织了全国范围的晚前寒武地质研究工作,不少省(区)对冰成岩的研究有了新的进展。如新疆库鲁克塔格地区汉格爾乔克组、青海红铁沟组、四川“溶溪冰碛层”、湖北长阳古城组及其相当层位冰川成因的确定,冰成岩岩石特征、冰川沉积相和冰成地层类型等的研究工作均获得了一定的成果。所有这些,为本课题研究工作的顺利进行,创造了极有利的条件。

本文即是在前人工作基础上,结合笔者等近三年来所积累的实际资料,对我国震旦纪冰成岩所作的较系统的总结。本报告将着重阐述作为冰成岩最主要岩石类型的冰碛岩之特征及其鉴别标志,冰川沉积岩相和相标志,冰川沉积岩相的共生序列及各相序列的区域分布特征,我国震旦纪冰期划分及冰期时限等。文中采用的地层系统,暂以“中国晚前寒武地层分类命名讨论会”(1982.7.)的有关决定和建议为准。并对震旦纪的层序有所补充和完善,即下统增加了大塘坡组及古城组(表1)。

表 1 中国震旦纪冰成地层层位

年 代 地 层 单 位		映 东 层 型 剖 面 岩 石 地 层 单 位
寒 武 系	下 统	灯 影 组
		陡山沱组
		南沱组▲
震 旦 系	上 统	大塘坡组
		古城组▲
	下 统	莲沱组

▲冰成岩层位

第一章 冰成岩分类及冰碛岩特征

关于冰成岩分类,国际上主要从成因及结构上进行了划分。邱马科夫(Chumakov, 1979)对冰成岩及其相似岩石按成因分为四类:冰川成因非层状(冰碛)沉积物,部分冰川成因部分水成沉积,非冰川沉积的假冰碛岩及成因不明的类冰碛岩。由于假冰碛岩、类冰碛岩等术语的含义几经变动,国内学者亦有不同的理解,需加以说明。

类冰碛岩(Tilloid)一词,最早由布莱克韦尔德所使用(1931),系指成因有疑问的冰碛岩状岩石。这种岩石可能由冰川作用所造成,也可能由滑坡、泥石流等非冰川作用所形成。1957年裴蒂庄(E. J. Pettijohn)则把类冰碛岩当作非冰川作用形成的卵石泥岩。哈兰德、邱马科夫等则坚持类冰碛岩的最初含义。

假冰碛岩(Pseudotillite),系由斯沃茨贝奇(Schwarzbach, 1961)首先提出,用以说明非冰川沉积。斯切默霍恩(L. J. G. Schermerhorn, 1974)竭力反对使用否定性的术语,主张用裴蒂庄规定的类冰碛岩来代替假冰碛岩一词。

除上述两个术语外,杂砾岩(Diamixtite或Diamictite)和混积岩(Mictite或Mixtite)也常见于地质文献中。前者由弗林特(Flint, 1960)所提出,指无分选、非钙质的陆源沉

积物。而混积岩一词最早见于 1939 年 (Thedorovich), 原指由砾石、砂、粉砂和粘土混合组成的碎屑岩, 每种组份大致相等。杂砾岩和混积岩在含意上差别不大, 作为非成因性的描述性术语应用颇广, 且杂砾岩一词似乎比混积岩应用得更广泛。

根据目前地质文献中所使用的上述术语情况, 本文选用术语及含义规定如下:

冰成岩: 系指与冰川活动有成因联系的岩类的总称。它既包括了由冰川直接堆积而成的冰碛岩, 又包括冰前各种环境中 (冰河、冰湖, 冰前海域) 形成的冰水沉积岩类。

冰碛岩 (Tillite) 一词系由伍德沃德 (Woodward) 首先创立使用。1887 年他在研究苏格兰地质时, 把包含棱角状、次滚圆状砾石的沉积物称为冰碛 (Till), 石化的冰碛则称为冰碛岩。1961 年斯沃茨贝奇把冰碛岩作为所有冰川和冰川海洋作用形成的冰碛状岩石的总称, 与本文冰成岩一词含义相当。本文把冰碛岩限定于由冰川直接堆积而成的岩石, 主要形成于冰川底部和临近冰体部位, 是一种含砾量变化大, 砾石成分复杂, 排列杂乱, 分选很差, 通常不显层理的岩石类型。

类冰碛岩: 冰碛岩状岩石的总称, 可能系冰川堆积而成, 亦可能是非冰川作用的产物。若成因一旦确定, 则不应以此称之。

假冰碛岩: 非冰川成因的冰碛岩状岩石, 岩石外貌与冰碛岩有某些相似之处, 但为非冰川成因。

杂砾岩: 作为一种描述性术语, 指砾、砂、粉砂和泥混合而成, 含量相差不悬殊的岩石类型。象砂岩、砾岩等词一样, 不具成因意义。由于杂砾岩与混积岩一词基本同义, 而混积岩与构造术语混杂岩容易混淆, 建议以杂砾岩代之。

一、冰 成 岩 分 类

现代及第四纪冰川产物依照其形成时的动力条件及与冰川相对位置分为底碛、终碛、侧碛、中碛、鼓丘、蛇丘和冰砾阜等堆积和沉积物。但前寒武冰成岩形成时的地貌特征基本剥蚀殆尽, 难以判别冰成岩与冰川相对的确切位置。只能依据冰成岩结构、构造及其它地质特征, 重塑它们形成时的动力条件。据此, 将冰成岩再分为冰川堆积和冰水沉积两种成因亚类 (表 2)。前者以冰川堆积作用为主, 受冰川融水的影响较小, 往往形成不显层理的, 砾石和砂泥质混乱堆积的块状岩石。这一成因类型的岩石统称为冰碛岩, 主要形成于冰川体下部的底碛。在前寒武冰碛物中, 要进一步区分出终碛、侧碛、中碛是十分困难的。但冰上带及临近冰体的消融碛, 由于受到冰融水的作用比冰碛岩明显, 砾石和砂级碎屑的定向排列比底碛清楚, 仔细鉴别后尚能区别。

冰水沉积包括冰下河道沉积, 冰前冰河沉积, 冰川湖泊和冰前海岸沉积, 以及冰筏携带的冰碛物质坠落海底后与海底沉积物共同形成的冰筏—海洋沉积。这些岩石与冰川堆积形成的冰碛岩相比较, 显现较清晰的层理, 且有较好的分选, 无论在岩石的结构和构造上均有明显的区别。

冰成岩组份分类主要考虑砾、砂、粉砂和粘土的百分含量。韦斯特盖特 (Westgate, 1968) 以砾—砂 (>0.06 毫米)、粉砂 ($0.06-0.004$ 毫米) 和粘土 (<0.004 毫米) 为三角图解端元组份, 将西加拿大冰碛物分为 10 种类型 (图 2a)。这种结构分类对固结的前寒武纪

表 2 冰成岩及其相似岩石的成因分类

		冰 成 岩						类 冰 磧 岩								
成 因		↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
分		终	底	冰前及冰上带的消融	冰	冰	冰前海岸及受冰筏影响	海域形成的冰筏—海洋沉积	冰	泥	滑	浊	海下	洪	火	构造等
类		磧	磧		河	湖			川	石	坡	流	扇	积	山	
									堆	流						
									积							

冰磧岩不太适用，因为在显微镜下粉砂和粘土的含量难以确切划分，唯有通过沉降筒等方法才能计算粉砂和粘土的百分含量。其它类似的分类对固结的冰成岩也有同样的问题。但福克 (Folk, 1954, 1968) 对碎屑岩的结构分类 (图 2b) 以砾、砂和泥 (包括粉砂和粘土) 为端元组份，这种分类对固结冰成岩也能适用，因为在显微镜下就可以统计砂级和泥级颗粒含量百分比。因此冰成岩组份分类以福克的三角图解作为基础。但砾石比例界线有所变动。福克图解砂—泥质砾岩的砾石含量从 80—30%，现将砂—泥质冰磧岩砾石含量改为 80—25%。这是因为冰砾岩在我国地质文献中应用颇为广泛，使其范围扩大后以适应野外命名需要；其二，不少野外已命名的冰磧岩，砾石的目估含量介于 25—30% 之间，如采用以砾石 30% 含量为界，则这部分岩石必须更名，可能引起命名的混乱。故将 30% 的界线挪至 25%。其次在福克图解中砾质砂泥岩砾石含量的下限为 5%，含砾砂泥岩下界为痕量，这对于冰水沉积物不太适用。冰水沉积物或多或少都含砾石，因此规定冰磧砾质砂—泥岩砾石含量为 25—10%，冰磧含砾砂泥岩介于 10—5% 之间。含砾量低于 5% 的岩石，砾石不参与命名。

该分类图解中砾、砂和泥质组份按乌登—温特沃思分类，大于 2 毫米的碎屑属砾级，介于 2—0.063 毫米为砂级，小于 0.063 毫米的颗粒为泥级，包括粉砂级及粘土颗粒。据此可将冰成岩分为五大类 15 种。在此基础上，尚可结合岩石的其它特征，如颜色、成分、层理类型等分别冠之。冰成岩的结构分类见图 3。

冰磧岩系冰川堆积之产物，其中砾石含量可变动于 25—80% 之间，但野外常见的多介于 25—40% 之间，超过 60% 则不多见。至于大于 80% 砾石含量的冰磧砾岩多系在冰川作用后，又叠加了其它地质作用，如冰川泥石流等方能形成。

含砾 10—25% 的冰成岩称为冰碛砾质砂—泥岩，按其砂泥比例再分成三类（图 3 中 C_1 、 C_2 、 C_3 ）。这类岩石常与块状冰碛岩共生，多系消融产物。

含砾量介于 5—10% 的称为冰碛含砾砂—泥岩（图 3 中 D_1 、 D_2 、 D_3 和 D_4 ）。这类岩石受水流作用明显，通常显现层理，成因上与冰水沉积作用有关。当含砾量低于 5% 时，则称为冰碛砂—泥岩（图 3 中 E_1 、 E_2 、 E_3 和 E_4 ）。它们常具有良好的层理和较好的分选，多形成于低能条件下的冰湖湖底或冰前海洋环境之中。当这类岩石具有明显的纹层构造时，则可称为纹泥岩（冰湖）或纹带状冰碛泥岩（冰川—海洋）。它们的特征及区别将在第二章内予以阐述。

我国震旦纪具有多种冰成岩类，其中以

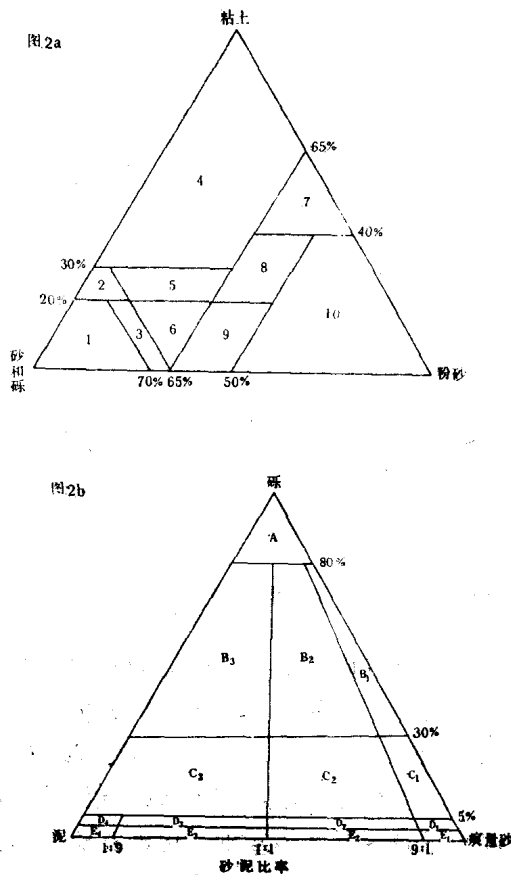


图 2 冰碛物及碎屑岩结构分类

Fig. 2 Texture classification for tillite and clastic rock

(Fig. 2a after Westgate, 1968; Fig. 2b after Folk, 1954, 1968)

图 2a (据 Westgate, 1968)

图中代号：1—砂质冰碛物；2—砂质粘土冰碛物；3—砂质垆姆（loam）冰碛物；4—粘土冰碛物；5—粘土垆姆冰碛物；6—垆姆冰碛物；7—粘土质粘土冰碛物；8—粘土质粉砂冰碛物；9—砂质粉砂冰碛物；10—粉砂冰碛物

图 2b (据 Folk 1954, 1968)

图中代号：A—砾岩； B_1 —砂质砾岩； B_2 —泥砂质砾岩； B_3 —泥质砾岩； C_1 —砾质砂岩； C_2 —砾质泥砂岩； C_3 —砾质泥岩； D_1 —含砾砂岩； D_2 —含砾泥砂岩； D_3 —含砾砂泥岩； D_4 —含砾泥岩； E_1 —砂岩； E_2 —泥砂岩； E_3 —砂泥岩； E_4 —泥岩

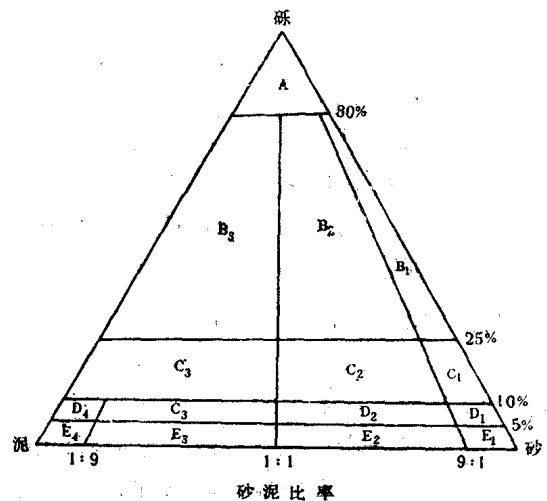


图 3 冰成岩组份分类

Fig. 3 Three-component classification of glacial rock

图例：A—冰碛砾岩；B—冰碛岩； B_1 —砂质冰碛岩； B_2 —泥砂质冰碛岩； B_3 —泥质冰碛岩；C—冰碛砾质砂—泥岩； C_1 —冰碛砾质砂岩； C_2 —冰碛砾质泥砂岩； C_3 —冰碛砾质泥岩；D—冰碛含砾砂—泥岩； D_1 —冰碛含砾砂岩； D_2 —冰碛含砾泥砂岩； D_3 —冰碛含砾砂泥岩； D_4 —冰碛含砾泥岩；E—冰碛砂—泥岩； E_1 —冰碛砂岩； E_2 —冰碛泥砂岩； E_3 —冰碛砂泥岩； E_4 —冰碛泥岩

冰碛岩分布最广，它是冰川活动最重要的遗迹之一。所谓冰川与非冰川标志的争论，主要系对冰碛岩的鉴别标志认识不同所引起。为此下节将重点阐述这一问题。

二、冰碛岩的主要地质特征

在地质研究史上,对包含远源砾石成分的岩石成因曾有过激烈争论。在十九世纪,由于冰川理论合理地解释了这类岩石形成的机理,使这一争论逐步得到平息。但到本世纪五十年代,随着浊流理论的兴起,地质学家发现无论在大陆或海洋,由于块体流(mass flow)而形成的产物与冰碛岩具有某些相似的特征,有些学者对曾被确定为冰川成因的岩石经过再次研究,认为系海底滑坡或水下泥石流(mudflow)所形成。这样对冰川成因的标志又产生了新的争论。1974年斯切默霍恩发表“晚前寒武混积岩:冰川和/或非冰川”一文,对流行的冰川标志一一加以评述。这种评述是很有必要的,不能把某一种特征当作唯有冰川活动才能产生的成因标志。例如擦痕既可由冰川活动产生,又可能在洪积物的砾石表面发现。但是作者忽略了冰川作用与其它地质作用的某些根本区别,如果把一块带有擦痕的砾石放回到自然界的剖面中去,那么就不难确定包含这一砾石的岩层究竟是冰川成因还是非冰川成因。反之脱离开自然界,仅就一块带有擦痕的砾石争论其成因,往往难于统一意见。现就我国震旦纪冰碛岩主要特征小结如下:

(一) 无分选的岩性

冰碛岩具有特殊的外貌,是由多种成分的砾石无分选地杂乱分布于泥砂质基质中的块状岩石。冰碛岩单层厚度可从不足一米到达百米以上。在单层内,冰碛砾石在垂向上的排列是无规律可循的。不但如此,其基质部分也不具有规律变化。这种无分选的岩性和砾石及基质在垂向上的无序排列(剖面结构)是冰碛岩与浊流岩的重要区别。浊流岩具有良好的粒序层理,特别是鲍马序列底部层,粒度自下而上由大变小,而冰碛岩则不显任何有规律的粒序层(图4、5)。

泥石流形成一种独特的反粒级层,这种反粒级层理的特点是最大粒径多集中在单层的中部,向顶底均有变小的趋势。图6显示冰川泥石流、火山泥石流以及浊流扇所形成的粒级层理特征。这种剖面垂向上的特征与冰碛岩是迥然有别的。

(二) 冰碛砾石特征

冰碛岩中包含有成分复杂、形态各异、大小混杂的砾石。这些砾石与其它地质作用所形成的砾石存在一定的差异,归纳起来有:

1. 复杂的砾石成分:冰碛岩中砾石成分一般均较复杂,通常可鉴别出十余种至几十种不同岩性的砾石。按其来源可分为近源和远源两类。来源于附近下伏岩层的砾石称近源砾石,冰川堆积区附近所没有的砾石成分则为远源砾石。据若干剖面的观察,我国震旦纪冰碛岩中的砾石成分以近源砾石成分占优势。远源砾石数量虽少但对冰碛岩的鉴别意义较大。

马国干等^①对峡东莲沱王丰岗南沱组中冰碛砾石进行了研究,在30公斤的样品中获得大于4毫米以上的砾石1704颗,可鉴别出15种岩石成分(表3),其中砂岩、泥岩、花岗岩、片麻岩与下伏岩层莲沱组、黄陵花岗岩、崆岭群变质岩岩性相似,可能属近源砾石,

① 马国干,1982,峡东地区早震旦世冰川地层的研究。

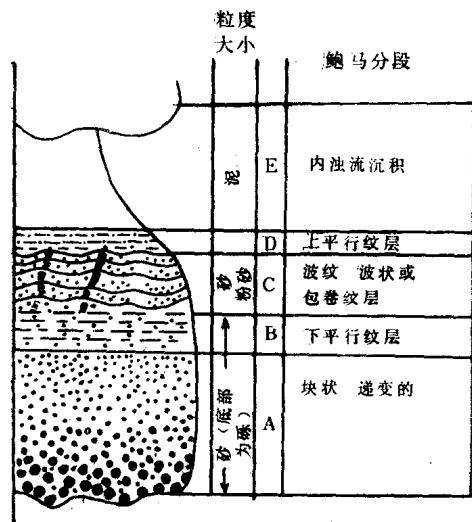


图 4 浊流岩的鲍马序列

(据Middleton和Hampton, 1976)

Fig. 4 The Bouma Sequence of structural division in a turbidite bed

(from Middleton and Hampton, 1976)

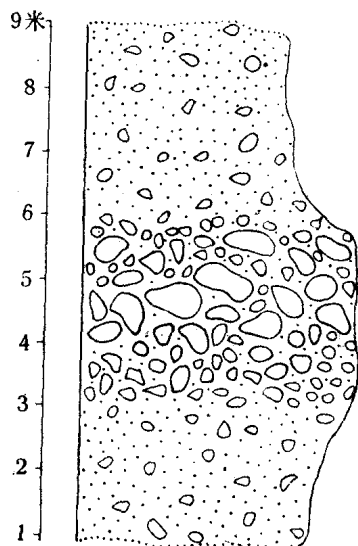


图 6a 湖北神农架马安坪剖面中部冰川泥石的反粒级层理

Fig. 6a Reverse graded bedding in glacial mud-rock flow deposits at mid-part of Ma'anping section of Shennongjia in Hubei

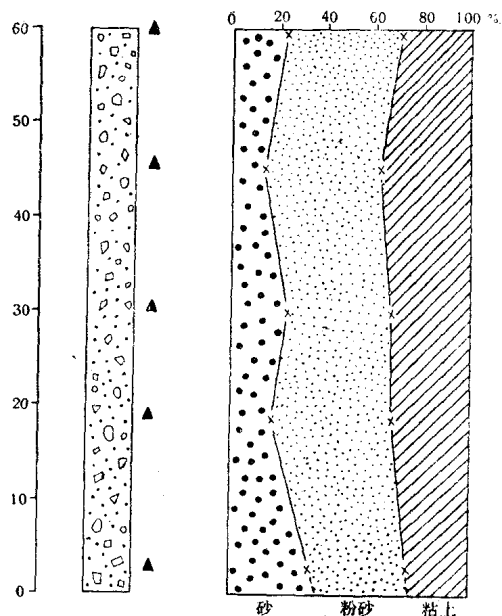


图 5 湖北宜昌王丰岗南沱组冰碛岩基质中砂、粉砂和粘土含量的垂向分布

(据陆松年、丁宝兰, 1982)

Fig. 5 Vertical distribution of sand, silt and clay in tillitic matrix from Nantuo Formation of Wangfenggang in Yichang, Hubei

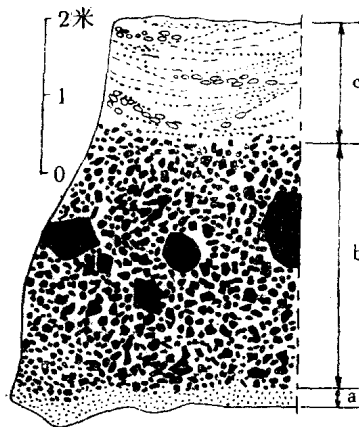


图 6b 火山泥石流的反粒级层

(据Schmincke, 1967)

Fig. 6b Schematic cross section showing reverse graded bedding in volcanic mud-rock flow deposits

(from Schmincke, 1967)

a—细粒层, b—中部分选差的粗粒层, c—含浮岩砾石的交错层

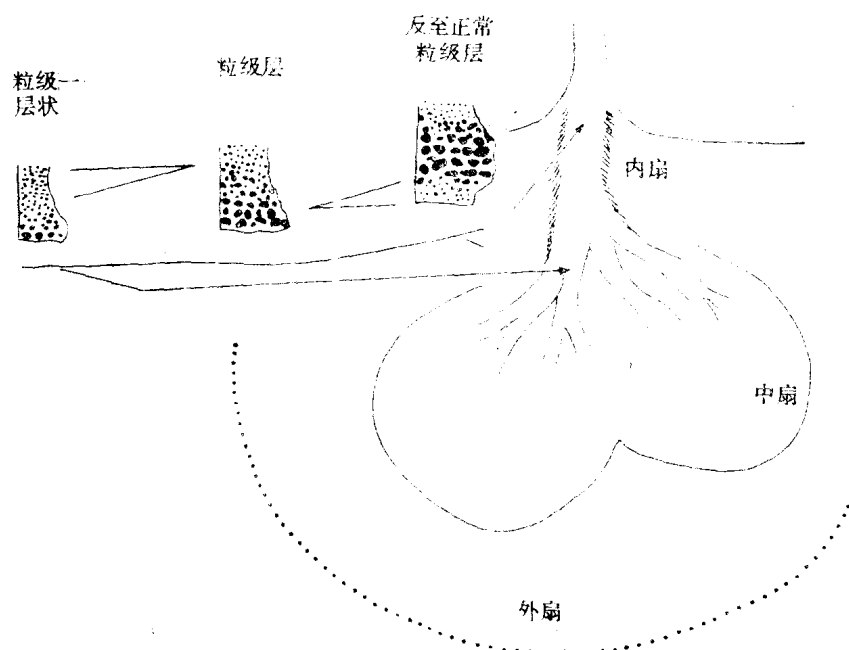


图 6c 浊流扇模式

(仅显示内扇部分层理类型)

(据Walker, 1975, 1977)

Fig. 6c Turbidite fan model only showing the bedding types of interior fan

(after Walker, 1957, 1977)

表 3 湖北莲沱王丰岗南沱组底部冰碛砾石成分统计

(据马国干, 1982)

含量 成分 项目	砂岩	石英	碳酸盐 岩 石	泥岩	凝灰岩	花岗岩	硅质岩	板岩	变砂 质岩	片麻岩	片岩	火成 岩	不能 鉴别	基性 岩	粉砂 岩
编 号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
砾石个数	672	515	228	71	51	43	32	33	18	11	10	8	8	4	1
比 例	39.44	30.22	13.38	4.17	3.99	2.25	1.98	1.94	1.06	0.65	0.59	0.47	0.47	0.23	0.06

而碳酸盐岩砾石及火山熔岩的砾石可能来源于其北偏西的神农架群基底岩层。

鄂西神农架木鱼坪一带南沱组冰碛砾石亦有十余种砾石成分，其中以下伏神农架群供给的白云岩类砾石成分所占比例最高，可达70%左右（图7）。

冰碛岩中复杂的砾石成分，特别是远源砾石的存在是与洪积、崩塌、构造角砾岩的重要区别；后者形成的产物不但分布比较局限，且砾石为近源组份。

2. 砾石表面刻蚀痕迹：冰碛砾石表面常见有冰川刻蚀和压裂的种种痕迹。常见有各种形状的擦痕、磨蚀面、压坑、压裂等现象。擦痕是冰碛砾石表面最常见的冰川刻蚀现

象。可在砾石的几个表面上保存。擦痕多呈几组方向延展,有的密集排列成细针状,有的呈稀疏排列的清晰可见的钉子形擦痕(图版 I—6.7; VII—2,5; VIII—3,4,5,6)。较易保存

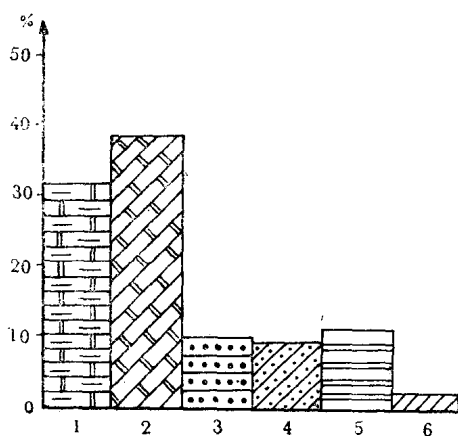


图 7 湖北神农架张巴河剖面南沱组冰碛砾石成分统计

Fig. 7 Histogram of stone composition, the Nantuo Formation of Zhangbahe in Shennongjia, Hubei

1—泥质白云岩; 2—白云岩; 3—白云质细砂岩; 4—砂岩; 5—硅质岩; 6—条带状细砂岩

冰川擦痕的砾石多属硬度中等的岩石,如致密粉砂岩、硅质板岩、火山岩等。颗粒较粗的砂砾岩,硬度较小的粘土岩和易风化的砾石不易保存冰川擦痕。硬度较大的石英岩、燧石、脉石英等砾石表面常具光滑的磨蚀面或出现压裂纹(图版 VIII—2)。压坑虽有时能寻见(图版 VII—1,4,8),但常不易多得。

冰碛砾石表面的刻蚀痕迹常作为鉴别冰碛岩的重要证据,但正如斯切默霍恩(1974)所说:

“应用有擦痕的砾石作为冰川成因标志要极为谨慎”。这是因为滑坡和泥石流可能造成具有冰碛岩特征的岩层,其中就包括“带有擦痕的砾石”。因此不能仅仅把砾石表面是否发育擦痕作为鉴别冰川活动的唯一标志。但冰川地质作用的堆积产物分布面积较广,冰碛岩砾石表面各种刻蚀痕迹并非罕见的地质现象,结合其它特征的分析,在一般情况下,能够把冰碛岩与其它成因的砾状岩石区别开。

3. 砾石形态及扁平系数:冰碛砾石形态多样,常可见扁平体,五角多面体,熨斗状,马鞍状,不规则状椭球体等奇形怪状的砾石。砾石的磨圆程度不一,从棱角状到滚圆皆有。一般砾径较大的砾石磨圆程度较高,而砾径较小的砾石较低。据湖北长阳古城组、湖北宜昌王丰岗南沱组和河南临汝罗圈村罗圈组砾石磨圆度统计(图8),以次棱角状和次滚圆状砾石为主。如宜昌王丰岗南沱组剖面16个点共4035个颗粒统计,次棱角状砾石超过一半以上。

根据神农架、河南罗圈砾石a、b、c三轴测量,其长度比值(b/a 、 c/b)绝大多数大于1/2。按长度比值的形态划分,以圆球体、接近圆球体的扁圆体和椭球体为主(图9)。但实际的冰碛岩砾石形态还要复杂得多。

砾石扁平系数($a+b/2c$)的统计表明(表4),扁平系数因不同岩性而异。河南临汝及湖北神农架的统计均表明扁平系数随砾石硬度的增高而降低,即岩石越坚硬,扁平系数越小,三轴的长度越接近。

法国的凯勒(Cailleux)计算了取自不同沉积环境的碳酸盐岩砾石的扁平系数,提供了利用砾石扁平系数判别沉积环境的资料(表5)。其中冰川底碛形成的碳酸盐岩砾石介于1.6—1.8之间,与目前统计的结果1.60—1.75相吻合。

(三) 冰碛岩基质的矿物成分和化学成分

冰碛岩既然是寒冷气候条件下冰川活动的产物,在矿物成分和地球化学特征上应有所反映。但控制冰碛岩成分的因素十分复杂,下述资料表明,冰碛岩具有复杂的矿物和化学