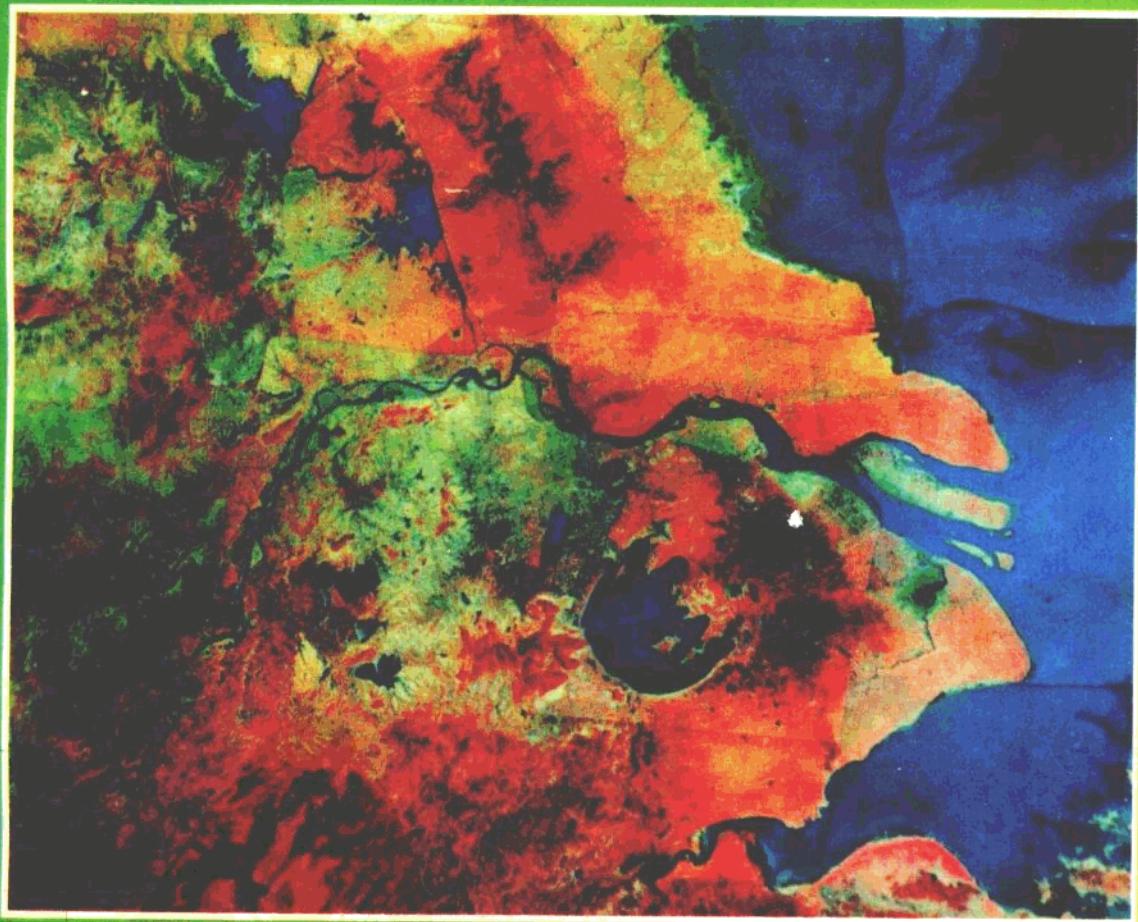


长江中下游环境变迁与地生态系统

杨怀仁 徐 馨 杨达源 黄家柱 著



河海大学出版社

目 录

绪论	(1)
第一章 长江中下游河道的成因	(5)
第一节 长江是在断陷带中发育的具有悠久历史的巨流	(5)
第二节 南京以下断裂破碎带中长江河道的孕育	(6)
第三节 早第三纪断陷带与宜昌以下的古长江	(6)
第二章 第四纪长江古环境概述	(9)
第一节 长江中下游的“成砾时代”	(9)
第二节 长江下游两岸山地的山麓面	(9)
第三节 雨花台砾石堆积与长江古环境	(10)
第四节 下蜀黄土沉积时代的长江下游环境	(11)
第五节 全新世长江环境演变的重要事件	(14)
第六节 天山小冰期中的长江环境	(14)
第七节 末次冰期、新高温期、新冰期与小冰期中长江环境的几次巨变	(15)
第八节 小冰期气候速变与长江当时气候环境	(19)
第九节 更新世末到新高温期海面与气候速变	(20)
第十节 新高温期至中世纪小气候最宜期的长江环境	(22)
第三章 长江中下游小冰期中的灾害性气候环境	(25)
第一节 长江下游小冰期气候特征	(25)
第二节 干旱和洪涝的气候突变	(29)
第三节 长江下游小冰期的干旱与干湿突变气候	(30)
第四节 小冰中的特大旱灾	(30)
第五节 小冰期中长江下游灾害频繁	(31)
第六节 小冰期中的霜冻灾害	(32)
第七节 长江下游小冰期气候的严寒与多变	(32)
第四章 小冰期发生的原因及其对今后长江下游气候变化的启示	(35)
第一节 小冰期可能发生的原因	(35)
第二节 冰雪圈变化的影响	(35)
第三节 气候系统以外的驱动因素的影响	(36)
第四节 火山作用的影响	(37)
第五节 小冰期研究对近代气候变化的启示	(38)
第五章 过去 400 年气候及未来气候变化可能对长江下游的影响	(40)
第一节 长江中下游小冰期时代灾害群中的大旱与洪水	(40)
第二节 洪水发生的外力与内力因素	(41)
第三节 小冰期中的地震海啸及风暴潮等灾害	(42)
第四节 长江中下游小冰期中经济作物及林业所受灾害	(43)
第五节 19 世纪中叶以后人类对环境日益显著的影响	(44)

第六节	近百年气候变化及未来气候可能对长江下游的影响	(46)
第七节	气候变化趋势及温室效应最近研究进展	(48)
第八节	海洋热滞后及人类采取措施后气温与海面的可能增高值	(50)
第九节	温室效应与长江下游农业等有关问题	(53)
第十节	CO ₂ 增高对长江下游三角洲地区农业上的影响	(53)
第十一节	对农业影响应从正负两种作用考虑; 对突变应防患于未然	(56)
第十二节	温室效应与长江下游农业——人类活动与地生态的交互作用	(57)
第六章	海平面变化与长江下游和长江三角洲的环境变迁	(62)
第一节	长江河口、三角洲的演变	(62)
第二节	第四纪长江三角洲海侵及古环境	(63)
第三节	过去与近代的海面变化以及在海面预测上对南极冰流的最新估计	(65)
第四节	新高温期以后的海面	(66)
第五节	长江三角洲的海塘建筑与海面 and 岸线变化	(67)
第六节	海面上升对沙滩和海岸侵蚀等方面的深远影响	(68)
第七节	华东气候突变与海面突变	(68)
第七章	近百年长江下游的气候与海面变化	(72)
第一节	温室气体排放前景研究的进展	(74)
第二节	过去 100 年以来全球的海面变化	(75)
第三节	过去 100 年来气温与海面波动的特征	(76)
第四节	近百年来海面变化与未来海面变化趋势	(78)
第五节	极地冰流与海面变化	(79)
第六节	航天雷达测高的结果与全球气候和海面变化	(80)
第七节	相对海面上升对长江三角洲的严重影响	(80)
第八节	目前长江三角洲面临较严重的环境问题	(82)
第八章	长江的古地貌古水文与古环境	(85)
第一节	长江古地貌与古水文特征	(85)
第二节	冰期海面下降对长江下游的影响	(86)
第三节	第四纪长江的古河道	(87)
第四节	长江下游“成砾时代”的砾石堆积环境	(89)
第五节	末次冰期的长江古气候与古水文	(90)
第六节	末次冰期的平均海面及其对长江下游和大陆架的影响	(92)
第七节	第四纪维持时间最久的冰流体积大小与海平面的下降幅度	(96)
第八节	全新世的长江	(97)
第九节	长江中下游新高温期的古环境	(98)
第十节	新高温期海面升高与长江溯源沉积的模式	(99)
第十一节	长江中下游古地貌古水文和古环境在地生态学上的意义	(100)
第九章	古季风、古海面与长江下游全新世大洪水	(103)
第一节	新高温期中的温暖时代	(103)
第二节	中国的大洪水 (Deluge)	(103)

第三节	中国不同时代的大洪水发生的机制·····	(105)
第四节	高海面、夏季风与大洪水·····	(106)
第十章	长江中下游第四纪古植被·····	(113)
第一节	荆江平原第四纪植物群与环境变迁·····	(113)
第二节	长江中下游第四纪植物群·····	(127)
第十一章	长江中下游第四纪古环境·····	(140)
第一节	第三纪末至早更新世初的河湖相砂砾层与粉砂—粘土层的沉积环境 ·····	(140)
第二节	网纹红土发育与下蜀黄土堆积的环境和时代·····	(144)
第三节	第四纪动物群及其环境意义·····	(146)
第四节	第四纪冰期及其雪线高程·····	(147)
第五节	洞穴发育的环境·····	(148)
第六节	末次冰期的环境·····	(149)
第七节	全新世环境若干特点与未来环境发展趋势·····	(151)
第十二章	长江下游河段地貌演变与环境变迁·····	(161)
第一节	末次冰期以来长江镇江以下河段地貌发育与环境演变·····	(161)
第二节	长江下游河段近期演变与环境变化·····	(170)
第十三章	江汉平原的地生态结构特征及其演变·····	(185)
第一节	影响地生态结构变化的主要因素·····	(185)
第二节	全新世以来地生态结构的演变·····	(191)

绪 论

一、长江中下游发育特征，古环境变化及其研究意义。

长江是横贯中国大陆的黄金水道，江流滔滔，奔腾不息。流域范围广阔，约占我国领土面积的五分之一。是中华民族栖息繁衍和开拓发展的精华荟萃的地区。

资源丰富、物阜财丰的长江流域，经受东亚夏季风的影响，雨量丰沛，大部分地区农作物可一年两熟至三熟，气候条件优越。但在历史时期，长江下游，曾经水旱频仍（详第三、四章），尤其当气候环境发生变化之际。例如当小冰期时代，百年尺度或十年尺度的气候旋回，洪涝以及海啸灾害十分严重。本书重点讨论长江中下游在天文因素和地生态变化过程中所经受的影响、未来变化趋向，以及在自然与人类活动的迭加影响和地生态正负反馈机制的多重作用下，长江中下游的环境变化、发展和对农业等人类社会的影响。

二、长江下游和三角洲地区的演变

长江的年平均入海径流量为 $9240 \times 10^9 \text{ m}^3$ ，约占全国入海径流量的三分之一；年平均输沙量约 4.9×10^8 吨，但具有较大幅度的变化，最大为 6.78×10^8 吨，最小为 3.71×10^8 吨。

长江在最近地质时期中，变化巨大。在新高温期中，约 6000yrBP 之后，海面上升的速度减少，波动幅度不大，三角洲逐步发展（图 1-1）。3000yrBP 之前，三角洲的发展，可以说是逐步前进的。至 2000yrBP 左右，长江口，由 6000yrBP 原存在的海湾——南京湾，已淤成一喇叭形河口，口门宽约 180 公里。根据上海西部贝壳沙堤的增长，6000yrBP 至 3000yrBP，三角洲增长速度较平缓。而 3000yrBP 之后，由于气候上的变化，以及人类大量开发和森林砍伐，三角洲发展速度增大。在气候变化的影响下，人类活动助长和加速了自然堆积的发展。2000 年来，江口段在原来喇叭口内、沙洲罗列，并逐步扩大，而河槽束狭南移，沙洲在原河口内呈雁行式排列。工业革命以来，由于人类利用化石燃料，温室效应促使气温升高，海面由小冰期中较低海面，至近百年来则呈上升趋势。人类活动如不加控制，可能使原有淤涨的海滩，发生侵蚀。

据卫片及古地貌分析，长江河道于晚更新世末次冰期之后至全新世间，原由苏北入海。以后逐步南移。南移原因，可能受科氏力影响。另一主要原因，可能由于沿海地壳的持续掀斜运动。

长江三角洲过去平均每四十年伸展一公里，近年因淤积作用增强，约每二十三年伸展一公里。长江水下三角洲，复盖在晚更新世切割不平的古地貌面上，沉积轴有逐步向南偏转之趋向。

三、古环境与长江中下游的演变

环境变迁，对河流水动力发生较大影响，气候的变化影响径流量与径流特性，也影响流域来沙的性质。在间冰期中或较温暖气候条件下，气候湿润，河流流量大而变幅小，植被茂盛，流域来沙一般以砂、细砂为主，粘粒含量亦有所增加。河沉从寒冷气候或冰期气候转为温暖的间冰期，河流在这种环境变化下进行自动调整 and 适应，结果河流断面变得较

深较窄，河道蜿蜒曲折而发展为曲流（Meandering）。本书于第八章，提出长江在环境变化中，河道与河型的调整、适应和改变。如气候转为寒冷的冰期，冰雪累积量增加，河流流量也因之变化，此时山坡融冻风化强烈，风力堆积加强，河流的泥沙特性也有所变化，河床发生加积作用，以提高河床的比降。

河流的泥沙与流量，因自然因素改变而自动调整，而人类的活动也足以加速或减缓其调整和变化的时间或过程。明代下荆江河曲的发展，就说明自然因素与人类活动的综合结果。因为地壳的掀斜运动使上下荆江河道南移。江汉平原上的钻孔，也揭示长江古河道南移的遗迹。人类利用河道南移的自然趋势而堵塞长江北岸诸穴口。自晋朝以来，人口大量南迁，大事垦伐，使长江泥沙含量增大，荆江河床淤高，荆江大堤加速兴修，由南岸分流分沙。至19世纪，由于自然和人为的影响，四口分流形成。一条自然河流，其泥沙含量与流量之间，存在平衡与准平衡的关系，这一关系也可由自然因素，也可由人类影响而改变。四口的分流分沙，使下荆江流量变幅减小，来沙量减小，下荆江泥沙组成中，粉砂有利于荆江河曲的发展。洞庭湖在四口分流后，1967年荆江截湾之前，每年接纳约 1.985×10^8 吨泥沙，1967年后减为 1.247×10^8 吨，因湖底迅速淤高，在洞庭湖出口附近，荆江受潮水顶托，河流的比降减小。在上述各因素影响下，自明朝以来，下荆江发育大规模自然曲流。

宋朝以前，江汉平原三角洲上，发育了分流或称散支流，后经逐步南移，形成了统一的河流—荆江前身。明朝荆江转为曲流型，至清朝以来，自由河曲在河曲带中蜿蜒流动，其规模为世界所罕见。这种河型在自然环境（如地壳活动，气候及泥沙性质）不发生突变的形势下，比较稳定。一旦气候发生突变，或人类水利工程的建设，则河流的断面形态，泥沙性质，河床比降与水动力因素间，可以发生新的调整，如切滩、裁湾的频率，也将有发生改变之可能。因此自然因素及人类活动，均足以影响一个流域地生态的变化。

四、长江中下游的地生态

本书论述长江中下游地生态变迁中各种原因的相互影响和其间的正负反馈作用与机制。综合时间上与空间上的发展规律，可分为三个主要的变化、转移和演进的机制。其一：长江两岸较长时间内地壳活动性质，在第一、三、四各章均有阐述。长江下游地堑式的沉降。红色盆地的形成，发展到今日，形如红色镶边的丘陵和阶地，反映地堑式的沉降和新第三纪以来地壳运动中的升降振荡性。宜昌以下的地堑式断陷，一直影响长江河道的发展，而第四纪以来，向南的掀斜运动，也一直影响长江河道的南移，如宜昌以下，江汉平原，古长江均步步南移。宜昌以下，长江的矶头大多位于右岸，矶头所在，峭壁矗立，江水紧逼江右的悬崖。据统计，宜昌至南通，长江右岸矶头共约87个，此固由于内力作用与外力作用在长江河谷形态发展上之突出现象。

江汉平原自晚更新世至早全新世以来，地壳逐渐沉降并向南掀斜。也属于地壳构造因素，长江河道的发展与南移，长江生态从分散支流最后南移归并成一主要河道即荆江。

其二，影响长江地生态变化的第二个主要因素，即气候呈旋回式的变迁，从不同气候指标，如本书第九、十等章节的孢粉组合等，从长江及其两岸的堆积物本身的结构变化，也可直接推论长江气候旋回的变化和长江生态的演变。例如南京附近雨花台砾石层，其下部属急流相堆积，中部砂砾层的大规模斜层为古河曲扇堆积，上部逐渐过渡为黄土状堆积。雨花台砾石层比较完整的剖面，很具体地记录了第四纪以来的主要环境变迁。

气候旋回式的交替变迁,对长江地生态的变化曾发生复杂的影响,列式如下:

寒冷旋回:气温低降,——湿冷与干冷随始冰期盛冰期而波动,——晚冰期中尤其晚冰期至全新世过渡期间,气候呈现多次快速的变化或突变,——海面下降——在整个冰期近十万年中,最低气温与最低海面仅维持数千年,气温与海面在冰期旋回中多为过渡式,海面维持-50米到-60米的时间最长,对古地貌影响最明显——长江下游及河口地带迅速下切。河流的中上游,河床加积以提高河床比降——山坡融冻风化强烈进行,——沿江堆积阶地边缘,如宜昌以下至湖北、安徽长江两岸阶地区、发育泥砾边坡(Boulder Berm)——河流搬运力小于堆积量——沉积物中斜层发育,但规模较小。

温暖旋回:气温升高——海面升高——发生溯源堆积——长江溯源堆积可上溯至荆江下段——结果使河床加高——长江洪水位上升——荆江洪水位因河床抬高可上升十余米——人工筑堤防御洪水,堤内河床升高加速——因堤内河床已高出两岸平原14米左右(沙市附近)——新高温期以来,长江河床淤积加高,已超过江汉平原淤积的高度,导致江汉平原大量积水成湖,形成“千湖之国”,南岸四口分流——影响荆江河性与河型。

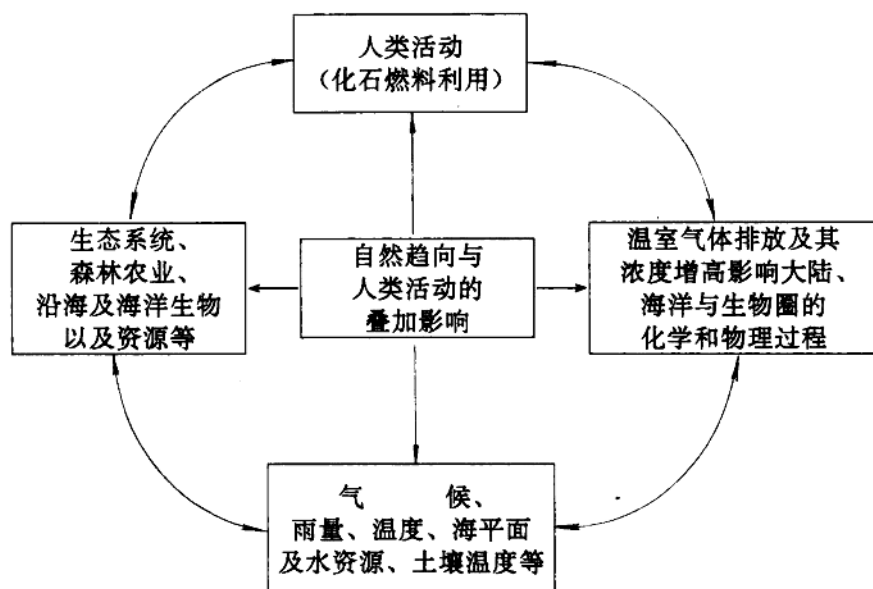
在气候旋回中,上述二种气候环境的变化,使长江地生态发生明显变化,其中长江水沙动力以及河型,变化尤为明显。关于晚冰期以来,由于前述二种机制长江古环境之变迁,已见本书第八章。

其三,气候突变与长江下游的灾害,晚冰期中,气候经过5次冷暖变化,尤其新仙木期之突变,气候波动剧烈,如苏格兰一带,当时气温曾下降 9°C 之多,当气候突变之际,海面也作相应变化,这些变化和影响均见作者另文。本书第二、三、四章又提出对小冰期约400年以来的寒暖干湿突变,并予以较详细的论述,阐述天文因素与地生态变化,并联系到干旱洪涝,地震海啸等灾害的严重性。

研究长江的古环境,除了长期的地壳活动,循环往复的气候旋回这二种变化机制外,本书同时把气候突变之发生及其影响,给予应有的注意。

本书另一主要特色,为阐述近百年的气候变化,及未来气候可能对长江下游的影响。关于气候未来的趋向,过去十余年仅根据 CO_2 的增高,大气环流模式所得的结果,本书据1985年以后直至90年代初期研究之进展,予以重新评估。考虑到海洋的热滞后对全球温室效应的影响,又考虑到最近数年,一些国际会议决议和呼吁,人类将采取措施,以减低温室气体之排放等,因此对全球变暖的评估,已低于大气环流模式以及弗拉赫会议上所估计的数字。在最近新进展及新评估基础上,作者论述长江下游的地生态,人类活动与农业系统之间的关系,并分析人类活动如何促使大气成份的改变,进而引致气候环境的变化和生态系统的变化,以至长江下游及长江三角洲农作物总产量可能发生的变化(见第五章)。图绪-1表示人类活动与地生态的直接与间接的交互影响,为本书讨论的重点。

本书绪论及第一、二、三、四、五、六、七、八、九各章由杨怀仁撰写;第十章、十一章由徐馨撰写,第十二章由黄家柱撰写,第十三章由杨达源撰写。长江三角洲图由韩同春编制。陈钦鉴、谢志仁、施少华等同志对本文提供宝贵意见,并在审校中给予大力协助,特表示感谢。



图绪—1 人类活动与地生态的直接和间接的交互影响

第一章 长江中下游河道的成因

第一节 长江是在断陷带中发育的具有悠久历史的巨流

从长江的构造地貌及河流地貌的发展看，长江自宜昌以下为一条古老的河道。老第三纪以来，长江河道沿中国东部断陷带或称活动地堑带发育（图1-1）。断裂带现代仍在继续活动，它影响长江的发育和演变。

长江出峡以后，自西而东，流经江汉断陷盆地、湖庭断陷、长江下游断陷带以及长江下游破碎带，至西南黄海地堑系入海。

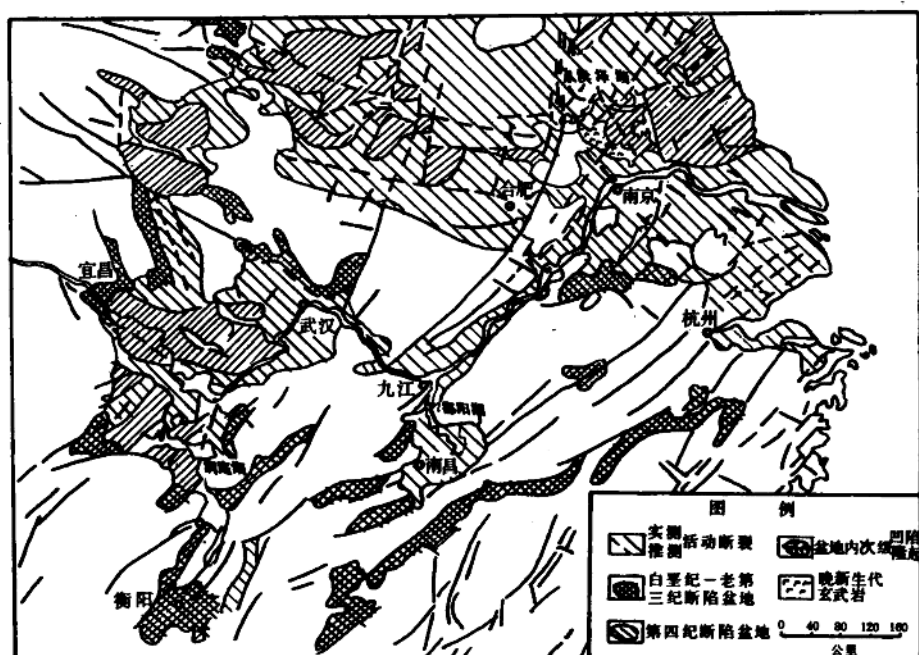


图 1-1 长江河道与活动地堑带

这些断陷盆地沉积期间和堆积以后，曾经过不同幅度的升降，有些已形成山麓外围的“红色镶边”。昔日的盆地今日已丘陵起伏，阶地层迭，如三峡外围的宜昌附近。而大部分盆地均截切外围古老褶皱带，喜马拉雅期构造线与之相互交切，而盆地呈明显的错落沉降，以湖庭断陷最为明显⁽¹⁾，衡阳等盆地亦复如此。古长江的发育与盆地断陷格架大致受平行于

两侧的活动断裂的影响^② (图 1-1)。宜昌至岳阳之间, 长江发育于江汉与湖庭两大断陷盆地之中; 岳阳与武汉之间, 长江流向受断裂线的控制, 折东北向流动; 武汉以下至九江, 长江流向又受西北—东南构造线的约束 (图 1-1); 九江以下至南黄海, 长江活动于长江下游断陷带 (或称地堑系) 内, 受东北走向的断裂线控制, 在安徽境内局部受控于西北向的构造。南京以下断裂比较复杂, 以东北走向及东西走向为主, 称“长江破碎带” (1960 年地质部航磁大队提出), 长江发育于这条“破碎”的断裂带内。

最近关于长江断裂曾进行讨论论证,^① 认为长江断裂带为具有复合性的多期活动断裂, 其东南侧为苏沪通—勿南沙隆起, 北西侧为苏北—南黄海中部拗陷, 接近于古长江的北界。根据近年研究, 晚更新世以来古长江曾在此断裂带中南移至现在位置。

作为中国东部地堑系的组成部分, 长江沿此新生代断陷盆地群, 绵亘千余里, 首尾连贯, 为古长江的孕育基地。

长江中下游从地球物理、地壳厚度、岩浆活动、地质构造、地貌发育等方面都具有大陆裂谷的特征。

长江中下游地壳平均厚度约 24.67km, 薄于正常的大陆地壳。在大地构造上, 它介于江南古陆与大别隆起之间的中生代拗陷区, 两侧受几条深大断裂的影响, 实际为一断裂拗陷仍在活跃的裂谷系。在地堑式的断陷带, 晚白垩世及新生代堆积厚度达数千米。这些红层盆地都是地堑式的拗陷, 由于新生代以来, 断陷仍在活跃, 使长江中下游在地貌上较南北两侧山地陷落 1000m 以上。(图 1-2)

长江中下游在此长期活跃的裂谷系中孕育发展, 虽然也受不同时代的断裂而折转, 但它是一条具有悠久历史的泱泱巨流。

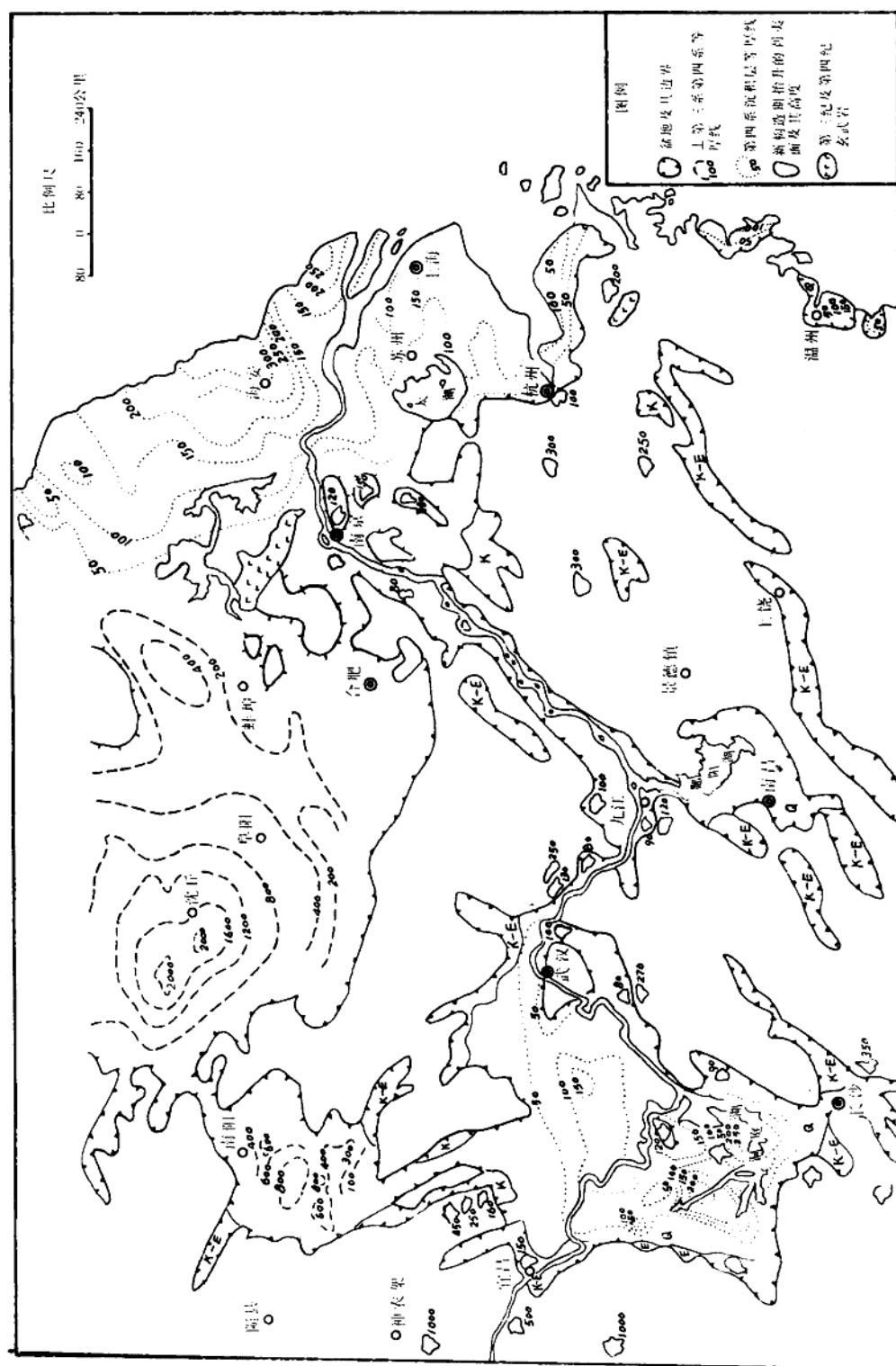
第二节 南京以下断裂破碎带中长江河道的孕育

近年各部门和用航测、地磁、重力、电法、地震等多种探查, 揭示了长江下游断裂带的构造特征, 对长江水系河道的演变有较深入的认识, 但仍有一些不同的论点。在苏南核电站和浙江核电站区域稳定性的论证中, 肯定了长江断裂的东延。据重力及莫霍面埋深资料的分析, 长江下游断裂带位于扬中以东, 泰兴、靖江之间, 向北东伸延, 经黄桥如皋、拼茶入于黄海。据顾斌、屈秀宜^③等认为, 长江断裂带为复合性质多期活动的断裂, 其东南侧为苏沪通—勿南沙隆起, 北西侧为苏北—南黄海中部拗陷, 接近古长江北界。据重力航磁及地震等资料, 我们再对照本区的卫片影象, 可以初步认为长江自马鞍山以下经南京、镇江直到泰兴西南, 密切循长江下游断裂带发育。长江断裂转东北泰兴、靖江之间, 经黄桥、如皋、拼茶入海, 这条东北向的断裂, 可能是古长江的所在, 在卫片上仍可察见。泰州、常州以东, 东北向断裂与西北向, 东西向断裂交错截切, 改称为下扬子破碎带。长江下游虽然几经移动, 但这条断裂带始终是它的故乡。

第三节 早第三纪断陷带与宜昌以下的古长江

沿江的新生代断陷盆地堆积巨厚的始新统地层。如宜昌附近下第三纪地层。据野外观

① 江苏地质, 1991 年 2 期。



察及湖北西部地层表,主要为棕红色及灰白色砂砾岩,底部为山麓相堆积,上部为砂岩以及泥灰岩等。湖北下始新统新沟嘴组其顶部为玄武岩,据钾-氩法测定其年龄为距今 5200 万年。南京附近安徽来安县始新统张山集组主要由砖红色砂砾岩、砂质钙质泥岩等组成。可见长江两岸新生代盆地中下第三纪地层主要由山麓洪积、河流、湖泊、三角洲及盐湖相等组成,沉积环境复杂,反映当时地壳活动逐步由强转弱,气温暖湿与干燥交替。

据岩层堆积环境、构造活动以及当时我国海侵情况,始新世为一在高海面条件下地面经受长期剥夷的时代,原始长江孕育于沉陷带中,两岸湖泊错列并具有宽大泛滥平原。

渐新世为一低海面时期,当时古长江及其支流,进行下切作用,堆积作用远不及始新世强盛。渐新统堆积只在局部地区有些保存,如南京市附近渐新统猪头山组,厚仅 40 余米,上部与下更新统,下部与下白垩统浦口组作不整合接触,对比也较困难。渐新世为海面下降时代长江及其支流以侵蚀为主,代表本时代的堆积地层保存较少。

新第三纪以后,长江古地理有较大波动。中新世晚期,世界很多地区发生较强烈的地壳运动,气候转冷,同时南极大冰流发展,海面为急剧下降时代。南京附近中新世中期发育洞玄观组。砾石分选性低,砾径变化较大,砾石形状不规则,虽具有一定滚圆度,但扁平度很低,层理不发育。根据其中所含的植物化石,以喜暖的单籽豆夹为主,气候较温暖。凡此都说明中新世中期堆积物似为急流相。当时构造运动活跃,地壳已开始抬升,长江两岸支流,急流相堆积物发育,洞玄观组上复有玄武岩,堆积物本身亦含有火山岩砾石,如凝灰角砾岩、安山岩等,长江下游如南京附近,地壳运动开始增强。到晚中新世由于地壳活动强烈,古长江中下游受全球海面急剧下降影响,以侵蚀为主,晚中新统堆积物较为少见。

据 1:20 万南京幅地质图划分方案,六合组及黄冈组属上新统,堆积于上玄武岩与下玄武岩之间,沉积环境与洞玄观组和早更新统雨花台组不同。黄冈组自上而下可概括为凝灰质砂层、砂砾层及粘土层,砂砾层中产三趾马化石。上新世早期为高海面时代,华南、华北均曾受海侵,气候较温暖。东亚太平洋地区上新世沉积以暖水型为主,在高海面及温暖气候条件下,古长江及其支流发育交错层及粘土堆积,泛滥平原比较发育,古长江下游两岸为一剥夷时代。

参 考 文 献

- [1] 杨怀仁、杨达源、黄家柱,1983,中国活动构造与地貌运动的特征,南京大学学报(地理学),1983,1-9.
- [2] 杨怀仁、杨达源、黄家柱,1984,中国东部断裂构造地貌分析,“中国地理学会第一次构造地貌学术讨论会论文选集”,32-39.
- [3] 顾斌、屈秀宜,1987,关于南通地质的几个问题,江苏地质学会会议,第 2 期,23-32.

第二章 第四纪长江古环境概述

第一节 长江中下游的“成砾时代”

经过上新世晚期及更新世强烈地壳运动,我国古地理环境大为改观。西部高山高原强烈隆起,东部山地强烈上升。同时,在东亚大陆边缘的浅海地带,发生强烈沉降,南黄海及东海呈裂谷式或盆地式下沉。西南部高山到东海海底,相对垂直运动近 20000 米左右。第四纪为地球历史上一低海面时期,因造山运动活跃,地面上升,气候趋于寒冷。在强烈寒冻风化及低海面条件下,第四纪早期古长江及其支流为一强烈的砾石堆积时代,故称“成砾时代”。古砂砾层沿长江中下游广泛分布,各段名称不同,如雅安石砾石层、白沙井砾石层、九江砾石层,以及南京附近的雨花台砾石层等。古长江及其支流的砾石层自本世纪 20 年代以来为中外地质地理学家所注意和定名。这些晚新生代砾石层经过几十年研究,如在江苏猪头山附近发现短尾犀 (*Brachypotherium cf brachypus lartet*)、双角鹿 (*Diceroscerus cf elegans lartet*) 等。在六合马集采到三趾马 (*Hipparion cf pralyodus seefue*) 化石⁽²⁾逐步证实了南京附近晚新生代砾石层的时代。过去所定名的雨花台砾石层现又称为早更新统雨花台组,砾石层具交错层理,磨圆度及扁平度较好,一般是定向排列,分布于南京附近二级阶地 (35—45 米),有时埋藏于长江古河道中,有时露于三级阶地 (50—60 米) 上。据古砾石层的岩组,为典型的河流相堆积,砾径以 3—5 厘米为主,砾径在 50cm 至 1m 以上者并非罕见,只是其来源较为复杂。南京附近巨砾可能为近源堆积,已经流水长期磨蚀,表面光滑。以上说明当更新世早期,古长江水量丰富,其支流上游因构造活动,河床比降较大,搬运能力较强。至於古砾石层含有直径 50cm 至 1m 以上巨砾可能为经过急流冲刷之再堆积。南京附近第四系砾石层比较发育,1:20 万南京幅地质图表明第四系古砾石层面积达 3414 平方公里,^① 堆积厚度达 212.42 米、主要为古长江及其支流堆积。

第二节 长江下游两岸山地的山麓面

长江两岸山地,接近山麓地带,发现有泥石流大量堆积,有些部分已被后期流水改造,因河溪较小,仍能保持原有的泥石流或冰缘堆积性状。如安徽九华山附近戴公山山麓面上、庐山附近、庐山以西的武山附近、鄂西枝江西部,均曾发现融冻泥石流堆积⁽⁴⁾。天目山北麓注入太湖的支谷两岸堆积物中,从石英扫描中也具有明显的经过寒冻风化的冰缘砂砾层堆积。另外,据江苏区测队在江浦县八里铺及来安县陈大营发现硅质砾石具有冻裂破碎特点,

^① 1:200,000 南京幅地质图说明书。

可能为冻缘堆积物。

长江支流上的泥石流和融冻泥流堆积，往往与山麓面的发育有联系。长江两岸支流谷地与低山之间往往有山麓面发育，它的地貌形态和成因与三级第四纪阶地不同。三级堆积与基座阶地高度分别为 10—20 米，25—40 米与 60—70 米，组成物质不同，分属于晚更新世到早更新世。而山麓面在成因上形态结构上有较大差异。长江下游两岸山地都有明显的山麓面发育。如九华山以北的山麓平缓、剥夷面宽数公里，与上部山坡有明显的坡折。它为具有 3°C — 5°C 的切平下部基岩的平缓剥夷面。而上部依据其后部山地的岩层性质，或复盖巨大的砾块，或复盖以碎石。砾块或碎石未经长距离搬运，多系后缘山体崩解移运而来。另外在南京附近青龙山、大连山均有类似的山麓面发育。因山地大小及气候条件有一定差异，其规模略小。

山麓面之成因是气候与山坡动力的结合。据其上部的堆积物，山麓面之生成较早于中低级阶地。山麓面的发育成因，不可能为风蚀的山麓面。据其坡折和结构，可能由于第四纪寒冷气候下山坡崩解后退，但不一定是平行后退。由于融冻崩解移运下的崩积物具有冻裂现象。由于其岩性坚硬，多为硅质，如坚硬的石英岩类。后期虽经泥石流等动力搬运，仍保留原有冻裂现象。

长江中下游山地，当第四纪冰期中曾经受冰缘气候。从石英电子扫描及山麓面之形成和古砾石层的性状均可得到证明。当第四纪冰期中，长江两岸气候严寒。冰缘气候促进山崩岩层崩解蚀退，山麓面可能为寒冷气候剥蚀作用（Cryoturbation）的产物。

第三节 雨花台砾石堆积与长江古环境

当间冰期来临，流水作用强烈进行，冰期中大量融冻风化和泥石流物质供应丰盛。在构造与气候的双重影响下，沿江第四纪古砾石层大量发育。由于第四纪初的山地隆起及古气候寒冷的原因，为古砾石层创造条件，而砾石层之堆积是在冰缘气候转入间冰期后的河流动力的结果。古砾石层是研究长江发育的构造标志也是古气候标志。根据其层理标志，雨花石砾石层为水量较大、河床坡度较陡，古长江及其支流已由分汊河型堆积（Braided River Deposits）转为曲流型堆积。雨花台砂砾层具有交错层，交错层理具有较大倾角，一般大于 20° ，砾石也以较大角度倾斜，ab 面倾角达 20° 左右，这类大型交错层反映当时河曲规模较大。

晚新生代的地壳强烈运动，气候转变。古长江在早更新世的古地理环境下，产生大量雨花台及其相当的砾石层。在构造强度、古气候的转变以及发生时间上，可与阿尔卑斯外围的维拉弗朗磨拉石堆积阶段对比。到第四纪中晚期（尤其晚期），长江的古环境更趋向严酷，“成砾时代”转为黄土堆积。

中国的上新世和早第四纪的地貌运动，代表中国大陆岩石圈活动的新阶段。中国大陆大量隆起，尤其青藏高原及喜马拉雅的强烈升起，高原及高山冰雪量增大，反照率增高，大陆度增大，同时也改变了东亚的大气环流。第四纪的森林面积缩小，草原面积扩大，西北地区的大沙漠形成。第四纪初期已趋寒冷的气候，到第四纪中晚期更加严酷。当冰期之际大西洋两岸大片冰流发育，而中国堆积了大面积黄土。冰期、间冰期交替时，黄土中古土壤也交替发育。中国冰期中气候严寒，冬季风强烈，堆积了大面积的黄土。长江中下游虽

地处在华中 华东，山地也密切受到冰缘气候影响。沿江有黄土——下蜀组堆积，黄土及黄土中土古壤也很发育，不过其厚度仅数十米，范围较小而已。

第四节 下蜀黄土沉积时代的长江下游环境

早在三十年代，许杰鉴定下蜀土中的 17 种腹足类化石，推断下蜀土沉积时代相当于北方的马兰黄土。此后下蜀黄土作为我国第四纪地层的组成部分，受到地学界的重视，对其成因，时代和沉积环境作了大量的工作。

下蜀土本身是气候的产物，长江下游可见早更新世相当于下蜀土性质的沉积，而到了中更新世上部及晚更新世，下蜀土沉积才比较普遍。如何解释这种黄土过江南的现象？由于中更新世以后西部高山高原大量抬升，西北部沙漠扩大，同时北方气流对长江下游的影响逐渐加强^[5]。从图 2-1 也可见北方气流与长江下游降尘的关系。

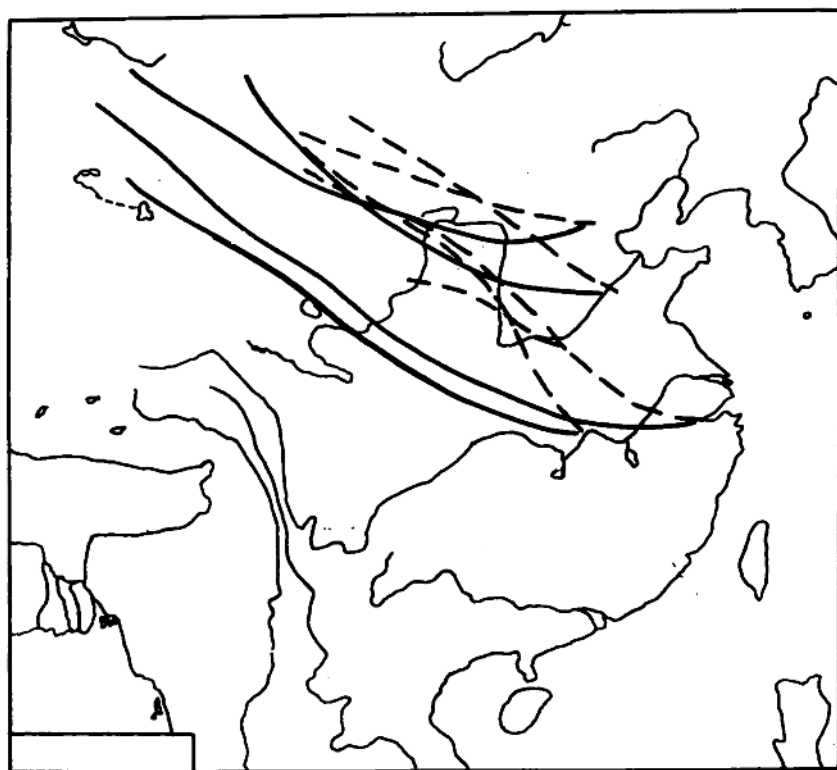


图 2-1 1988 年 4 月穿越中国尘暴路径图

(据全球及区域环境大气化学) (引自 (CDIAC, 1991))

下蜀土实际包括原生及次生两种不同成因的黄色至黄褐色的亚粘土。分布于长江下游的风成黄土具有连续性和被覆性。它覆盖了不同高度的地形，分布于岗地及山麓面上。覆

盖于山丘顶部的风成黄土一般厚度很小，仅 1—2m 左右。可能由于沉积后的冲刷，这种风成黄土与中国西北黄高原上的马兰黄土类似。而被覆在山麓或岗地上的黄土，厚度可达 20—30 米，原生黄土的堆积面已受到冲刷、切割。次生黄土发育于原生黄土切割后的沟谷两侧，或形成黄土一级或二级阶地。从图 2-2 可见南京附近下蜀土分布之广泛。这幅图所指的下蜀土，包括原生及次生的下蜀黄土，当然包括不同时代下蜀黄土。

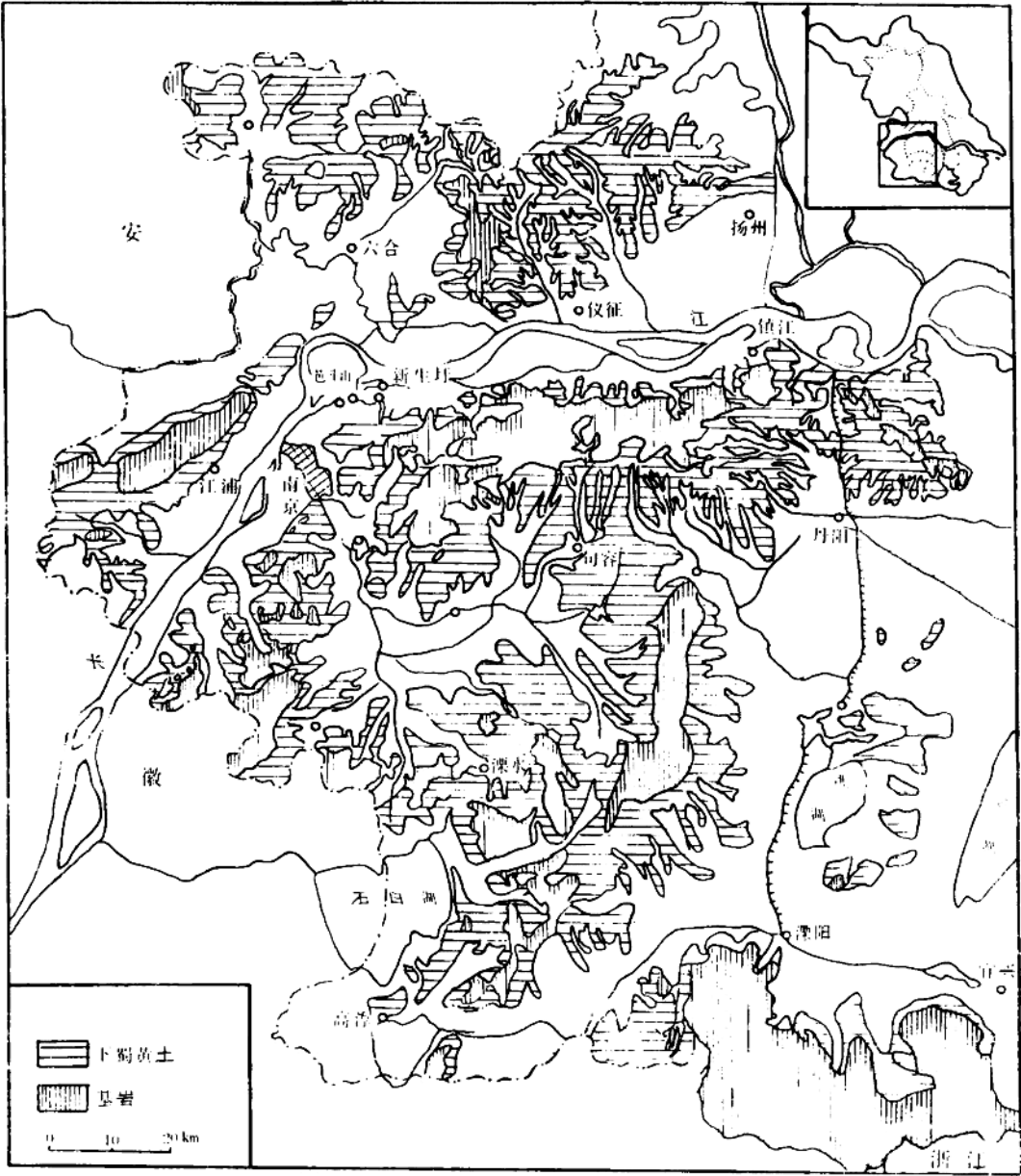


图 2-2 南京附近下蜀黄土分布图
(据李立文 1993)

关于黄土之成因，中外学者已进行多年研究，过去关于中国黄土与冰期间冰期、雨期、间雨期的关系，曾存在不同论点。我们于1979年左右曾提出对这一问题的观点。我们认为在第四纪冰期中，气候严寒。尤其末次冰期的盛冰期，气候环境严寒，西北干燥化加强，沙漠扩大。盛冰期是黄土迅速堆积时期。从中国黄土中所含的植物化石及其物理和化学性质都反映冰期相当于黄土堆积时期，尤其是盛冰期，黄土堆积迅速而分布范围更广^[6]。盛冰期中中国黄土堆积已过江南^[7]。黄土中埋藏古土壤层，则代表间冰期或暖湿时代所生成。从南京下蜀黄土堆积的盖覆性和坡向性，更证明相当马兰黄土上部的下蜀黄土，是冰期中由西北气流挟带的尘暴所堆积。如南京附近方山顶部（高达210米），龙潭附近的青龙山，山上也残留部分色泽较淡黄、质地疏松的上部下蜀黄土堆积。不过已经受雨滴或流水侵蚀，残余厚度较薄（如青龙山顶）。

当小冰期中，寒潮强大，风成物也由西北吹飘到大江南岸。小冰期中江南雨沙、雨土、雨黄泥的历史记载也屡见不鲜。根据沙漠区南下的尘暴路线图^[8]，1988年春季西北沙漠区尘暴路线向南及东南方斜贯中国大陆，当穿越到太平洋时，可以改变对流层的化学及放射性质。尘暴路线第一条从塔里木盆地的大沙漠吹扬，经青海湖之北，向东南方向输送，抵长江中下游，渡越长江后，抵达杭州湾附近。再横越东海，抵太平洋；第二条从蒙古大戈壁附近沙漠区穿越中国大陆的尘暴，也可抵达长江中下游；第三条路线经过河套以南黄河中游地带，故黄河中游黄土堆积较厚，黄河泥沙含量较高。以上研究结果，足见长江下游风成黄土之堆积，并非局部现象，而是决定于中国之大陆气候。冰期中及小冰期中，寒潮更加强烈。关于下蜀黄土的年代：1978年李立文对南京附近老虎山黄土中一个含鹿角的钙质结核进行¹⁴C测年，其外壳的年龄为 $16620 \pm 200a. B. P.$ ，核中核为 $30900 \pm 1080a. B. P.$ ，认为下蜀黄土上部形成于晚更新世晚期^[9]。吴标云对南京泰山新村黄土层中钙质结核¹⁴C测年，上部为 $16470 \pm 200a. B. P.$ ，下部为 $24190 \pm 500a. B. P.$ 。最近李立文等对新生圩黄土剖面第一及第二层古土壤层有机碳¹⁴C测年， S_1 下部为 $15600 \pm 1170a. B. P.$ ， S_2 中部为 $23780 \pm 1240a. B. P.$ 。近年王金权、李立文对板桥—三山矶下蜀土中的蜗牛化石进行氨基酸测年，结果为18868年^[10]。陈铁梅对下蜀土下部古土壤层铀系测年，结果为距今37万年，黎兴国、李德生对燕子矶下蜀土底部ESR测年，时代为距今56.30万年^[9,10]。

经过数十年用不同测年方法进行下蜀土测年结果，可以认为下蜀土上部相当马兰黄土的堆积时代，可能接近末次冰期的盛冰期，而下蜀土底部可能到50万年BP左右，为中更新世的堆积。至于南京附近是否存在全新世黄土，目前尚难以确定。全新世中虽然气候有冷暖波动，小冰期曾经雨沙、雨土，但在第四纪年代中时间短暂，而且南京的下蜀黄土沉积，与黄土高原黄土相比，厚度悬殊。全新世有较明显的湿热气候，冲刷强烈，故全新世黄土地层也难以保存。

下蜀黄土堆积时代，长江中下游的环境，从沉积物所含古动植物化石分析，下蜀黄土中古生群种类比较单调，现已发现的脊椎动物有鹿和牛。下蜀黄土中已发现的17种腹足类化石，其中有四种为绝灭种，13种为现生种。鹿和牛及蜗牛和螺等均反映为温带草原环境，气候偏干燥^[11]。根据粉组合可见下蜀黄土堆积过程中，冷暖干湿变化频繁。据李家岗和杨梅塘两个剖面的孢粉组合，下蜀黄土与古土壤中的植被类型达10种以上。在黄土层中为干凉或干温的植物成份，而古土壤层中则主要为喜暖喜湿或干暖或湿暖的植物成分，其所反映的湿暖气候与现今南京气候相近或略暖。黄土堆积时期，长江下游，干凉的草原或森林