

闽东南沿海老红砂研究

曾从盛 等著

地质出版社

国家自然科学基金资助项目
福建省自然科学基金资助项目
福建省“211”资源与环境工程资助项目

闽东南沿海老红砂研究

曾从盛 陈居成 吴幼恭 著

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 简 介

本书在总结前人有关研究成果和通过较全面的野外调查及各项室内测试分析的基础上,对广泛分布于闽东南沿海一种独具特色的第四纪沉积物——“老红砂”的空间分布与地貌形态特征、沉积结构与沉积构造特征、沉积成因与形成年代,以及第四纪环境演变与老红砂发育演化模式等进行了系统的论述,并对沿海老红砂沙(丘)地的利用与整治提出了意见。

全书内容较丰富,资料翔实,并有不少附图与照片。可供从事第四纪地质学、地貌学、地理学、海岸和港口工程、林业与农业、环境保护与国土整治等方面的科研、教学和有关生产部门的科技工作者与师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

闽东南沿海老红砂研究/曾从盛等著. —北京:地质出版社,1999.12

ISBN 7-116-03006-9

I. 闽… II. 曾… III. 海洋沉积物,老红砂—研究—福建 IV. P736.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 72994 号

地质出版社出版发行

(100083 北京海淀区学院路 29 号)

责任编辑:蔡卫东

责任校对:王素荣

*

北京印刷学院实习工厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本:787×1092¹/₁₆ 印张:5.25 图版:7 页 字数:111000

1999 年 12 月北京第一版·1999 年 12 月北京第一次印刷

印数:1—500 册 定价:28.00 元

ISBN 7-116-03006-9

P·2090

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行处负责调换)

序

在我国东南沿海,广泛地分布着一种被地质、地貌与海岸研究者称为“老红砂”的红色砂质堆积物。这种沉积物十分奇特,即它有一定的分布范围——闽江口以南的台湾海峡和华南沿海、独特的岩性特征——红色砂质堆积物和特殊的地貌部位——组成宽广、平坦、微微向海倾斜,局部为缓丘状的滨海台地、阶地或连岛沙坝,但在地层中却难以发现动植物化石,也缺乏与其他已定年地层的良好接触关系。然而,老红砂一词从60年代初被曾昭璇先生提出以来,关于它的成因和时代,就一直困惑着研究它的人们,从而引起了“海成”说和“风成”说的长期争论。造成这种长期争论悬而未决的重要原因,除了它自身的“哑地层”特征外,与80年代以前研究者所给予的关注较少、长期的闭关锁国政策所造成的科学家们囿于见闻和当时整个科学技术的发展水平有限不无直接的关系。事实上,这类红色的海岸砂质沉积物,在世界的不少热带、亚热带海岸有着十分广泛的分布。山东半岛的“柳夹红层”也是类似的沉积物,只是其颜色比东南沿海地区的老红砂稍浅些。

海岸砂的形成演变不仅反映着海陆交互作用带动力环境特征,同时也是全球变化研究的重要组成部分。因此,对老红砂这一在特定地区与地貌部位和特有气候与环境条件下所形成的特殊第四纪沉积物进行成因类型、沉积年代、形成环境和后生变化等问题的研究,显然在海岸带动力结构、第四纪古气候、古地理、古环境和海面变化及新构造运动等学科和领域上,有着十分重要的理论意义。

沿海地区不仅是我国,也是全球人口最为稠密、经济最为发达的地区。我国东南沿海地带更是如此。用“寸土寸金”来形容也不为过。近20年来,我国沿海地区的经济开始加速发展,在不少老红砂分布区上修建了新的居民点和高大建筑物,部分已有植被覆盖的老红砂地已被开垦为耕地。由于植被受到破坏和开发利用不当,从而造成了严重的水土流失现象和海岸带生态环境的破坏。因此,研究老红砂的形成与演变规律,将为保持海岸带生态环境向良性方向循环,及在合理利用老红砂、海岸防沙和老红砂分布区的水土保持等方面,提供可靠的科学依据,从而在沿海地区的国土开发与整治上有着重要的实践意义。

青年地理学家曾从盛研究员参加了著名地貌学家吴正教授主持的国家自然科学基金项目《闽粤沿海老红砂的成因、年代及环境研究》并承担了福建省自然科学基金项目《闽东南沿海老红砂的成因、年代及环境意义》的研究。从1997年初夏以来的两年多时间里,他和他的课题组成员,对长乐至东山沿海地区的老红砂进行了详细的野外调查,并对所采集的大量样品进行了一系列的室内分析测试,如粒度分析、矿物分析、化学全量分析、微量元素测定、扫描电镜分析、X射线衍射物相分析、磁性地层测定与磁化率特征分析和热释光(TL)、电子自旋共振(ESR)和 ^{14}C 年代测定等。正是有了这些详细的野外调查结果和大量的室内分析测试数据,并在参考了前人的研究成果的基础上,从而产生了这本凝聚了作者大量心血的专著——《闽东南沿海老红砂研究》。

该书阐述了闽东南沿海老红砂的分布与地貌形态及沉积结构与构造特征,分析与讨论了老红砂的成因与沉积时代,探讨了老红砂的形成发育与晚第四纪古地理环境演变的关系,进而提出了老红砂沙(丘)地的开发利用与整治意见。该书特别对老红砂成因的“海成”说和“风成”说之争作出了详细论证,认为老红砂主要是晚更新世中、晚期末次冰期时风吹扬海滩砂所形成的海岸风成沙丘。

值此世纪之交和千禧之年来临之际,特向该书作者表示诚挚的祝贺和敬意。我相信,该书的出版,必将对沿海地区的风沙地貌、第四纪地层划分、古地理环境演变、海面变化与地壳运动等方面的进一步深入研究,以及在今后的沿海经济开发建设及环境保护的具体实践中,起到重要的作用,特为之序。

赵希涛

1999年11月4日于北京

前 言

本书是福建省自然科学基金资助项目(D96006)“闽东南沿海老红砂的成因、年代及环境意义”的研究成果,亦是华南师范大学地理系吴正教授主持的国家自然科学基金资助项目(49671012)“闽粤沿海老红砂的成因、年代及环境研究”的一部分研究成果。

1997年夏初,我们对闽江口以南长乐至东山沿海的老红砂进行了较详细的野外调查,并进行了一系列的室内实验分析,如粒度分析、矿物分析、化学全量分析、微量元素测定、扫描电镜分析、X射线衍射物相分析、古地磁测定与磁化率特征分析以及热释光(TL)、电子自旋共振(ESR)、 ^{14}C 等年代测定。参加野外调查工作的有福建师范大学地理研究所陈居成、曾从盛、吴幼恭及研究生丁凤、谢剑斌、唐礼智、张信志;华南师范大学地理系吴正、王为及研究生吕鹏;广州地理研究所谭惠忠;江苏徐州师范大学地理系许峰宇。福建师范大学地理研究所负责野外调查用车和长乐磁澳头、松下,平潭镜沙,莆田户面、日纹坑,惠安南赛,石狮祥芝,漳浦虎头山、南境,东山东沈、澳角等老红砂沉积剖面的粒度分析、矿物分析和化学全量分析。华南师范大学地理系承担平潭青峰、流水和晋江科任等老红砂沉积剖面的粒度分析和所有的年代测定、X射线衍射、全铁含量、微量元素、古地磁、扫描电镜等测试分析。我们正是依据野外实地调查和室内测试分析所得资料,并结合前人的工作,撰写了本专著。书中阐述了研究区的自然环境概况;回顾了前人的有关研究工作;论述了闽东南沿海老红砂的分布与地貌形态特征;阐明了闽东南沿海老红砂的沉积结构与沉积构造特征;划分了闽东南沿海老红砂的沉积时代;分析了研究区老红砂的成因;探讨了研究区老红砂的形成发育与晚第四纪古地理环境的演变;并提出了老红砂沙(丘)地的开发利用与整治意见。特别是对老红砂“海成”与“风成”成因的长期争论,通过较全面详细的野外实地调查和一系列室内测试分析,有了更进一步的明确认识。我们提出了闽东南沿海老红砂主要为晚更新世中、晚期末次冰期时风吹扬海滩砂形成的海岸风成沙丘的观点,与吴正教授等(1994,1995,1997)对华南沿海老红砂的研究结论是一致的,与李从先等(1987)和王雨灼(1990)对福建沿海老红砂成因的看法和张明书等(1992)对山东荣成柳乔红层成因的看法亦是基本一致的。因此,本书对进一步深入研究沿海地区的风沙地貌、第四纪地层划分、新构造运动与海平面变化、晚更新世以来古地理环境演变,以及沿海地区的经济开发建设等都有所裨益。

本书系集体劳动成果。全书由曾从盛执笔。陈居成参加了第三章“老红砂的分布与地貌形态”的撰写,书中照片也由陈居成拍摄。石英电镜扫描照片由吴正教授提供,插图由陈秋燕女士协助清绘,在此深表谢意。我们衷心感谢上述一起参加野外调查的同志,特别是要感谢吴正教授对本项研究工作自始至终给予的精心指导和热情支持与大力帮助。感谢中国科学院地质研究所赵希涛研究员在百忙中审阅本书稿并为作序。还要感谢地质出版社的蔡卫东先生对本书出版给予的热情鼓励、支持和帮助。

限于作者的水平,书中恐多有遗误,敬请读者批评指正。

作 者

1999年8月于福州

目 录

序	
前 言	
第一章 引论	(1)
第一节 研究的意义	(1)
第二节 国内外研究回顾	(1)
第二章 研究区自然环境	(7)
第一节 地质地貌概况	(7)
第二节 气候	(13)
第三节 水文	(18)
第四节 土壤	(20)
第五节 植被	(22)
第三章 老红砂的分布与地貌形态	(27)
第一节 分布特征	(27)
第二节 地貌形态	(28)
第四章 老红砂的沉积特征	(30)
第一节 一般特征	(30)
第二节 典型沉积剖面描述	(30)
第三节 沉积年代测定与地层划分	(35)
第五章 老红砂的成因分析	(40)
第一节 粒度特征	(40)
第二节 石英颗粒形态与表面结构	(50)
第三节 沉积构造	(53)
第四节 矿物特征	(53)
第五节 古生物	(55)
第六节 地球化学	(55)
第六章 老红砂的发育与古地理环境演变	(59)
第一节 老红砂沉积的古气候信息	(59)
第二节 老红砂发育与晚更新世古地理环境演变	(61)
第七章 老红砂的形成发育模式	(63)
第一节 物源累积	(63)
第二节 风沙堆积	(63)
第三节 红化淋溶	(64)
第四节 固结生草	(65)

第八章 老红砂沙(丘)地的利用与整治	(66)
第一节 改造利用	(66)
第二节 沙地整治	(67)
结 语	(68)
主要参考文献	(70)
英文摘要	(73)
图 版	(75)

CONTENTS

Chapter 1 Introduction	(1)
Section 1 Significance of the study	(1)
Section 2 Review of the earlier study	(1)
Chapter 2 Natural environment of the research region	(7)
Section 1 Geology and geomorphology	(7)
Section 2 Climate	(13)
Section 3 Hydrology	(18)
Section 4 Soil	(20)
Section 5 Plant	(22)
Chapter 3 Distribution and landforms of the “old red sands”	(27)
Section 1 Distributive characters	(27)
Section 2 Geomorphologic formation	(28)
Chapter 4 Sedimentary characters of the “old red sands”	(30)
Section 1 General characters	(30)
Section 2 Description of the typical profile	(30)
Section 3 Dating of the forming ages and stratigraphic division	(35)
Chapter 5 Genetic analyses of the “old red sands”	(40)
Section 1 Grain size characters	(40)
Section 2 Grain shapes and surface textures of the quartz sands	(50)
Section 3 Sedimentary structures	(53)
Section 4 Mineral characters	(53)
Section 5 Paleontological characters	(55)
Section 6 Geochemical characters	(55)
Chapter 6 Old red sandy deposits development and paleogeographic environmental evolution	(59)
Section 1 Paleoclimate information of the old red sandy sediments	(59)
Section 2 “Old red sands” development and late Pleistocene paleogeographic environmental evolution	(61)
Chapter 7 Models of formation and development of the “old red sands”	(63)
Section 1 Sandy material accumulation	(63)
Section 2 Deposits of wind – drift sands	(63)
Section 3 Reddening and leaching	(64)
Section 4 Fixing(developing paleosoil)	(65)

Chapter 8 Use and reform of the dune	(66)
Section 1 Reform and utilization	(66)
Section 2 Land renovation	(67)
Conclusion	(68)
Abstract	(70)
References	(73)
Plates	(75)

第一章 引 论

第一节 研究的意义

老红砂是沿海特别是中国东南沿海独具特色的第四纪沉积物。海岸砂的形成演变不仅反映着海陆交互作用带的动力环境特征,同时也是全球变化研究中的重要组成部分。以往,老红砂长期被一些研究者视为滨海相沉积,并将其沉积和空间展布的特征作为海平面变化和新构造运动的标志之一,甚至地震活动的佐证。因此,对老红砂的成因类型、沉积年代、形成环境和后生演化等问题的研究,不仅有助于对第四系的认识,还有助于阐明海岸带的动力结构特征和了解此类沉积分布区的环境变迁、古地理演变,以及第四纪古气候(古季风)、海平面变化和新构造运动的性质和历史,在诸多方面具有重要的理论意义。

闽东南沿海老红砂分布广泛,部分已为植被披覆,还有部分被辟为旱耕地,也有相当部分由于植被受到破坏或开发利用不当,引起老红砂的再次搬运沉积,水土流失严重。因此,研究老红砂的形成与演变规律,将为保持海岸带生态系统向良性循环,合理利用老红砂、海岸防沙和老红砂分布区水土保持等方面提供科学依据,对沿海地区的国土开发与整治有着重要的实践意义。

第二节 国内外研究回顾

一、国内研究概况

前人对老红砂进行专门研究的不多,但在讨论区域第四纪地质时往往有所涉及。我国对老红砂的研究始于 50 年代末至 60 年代初,几十年来,对其成因和形成年代等多有不同看法,至今仍争论未决,对此,曾从盛等人(1997)曾作过综述。

1. 关于老红砂的成因

对于老红砂的成因,主要有“海成说”和“风成说”两种截然不同的意见。早期对老红砂成因的判断主要是依据其出露部位和地貌形态,但随着室内实验分析手段的运用,仍然存在不同的认识(表 1—1)。

刘以宣(1961)根据粤东老红砂堆积地貌特征明确提出了老红砂是海成的看法。曾昭璇和黄少敏(1964)提出南海沿岸的老红砂层为浅水波浪作用下的海岸海滩相沉积^①。中国科学院南海海洋研究所地质室(1978)根据老红砂的分布、地貌特征和其机械成分与海成砂及风成砂的对比,认为老红砂以海成较为可靠。张虎男等(1985)根据老红砂的岩性、结构构造、

① 曾昭璇、黄少敏,1964,试论南海沿岸“老红砂层”问题,中国第四纪研究委员会第二届学术会议论文摘要汇编。

表 1—1 “老红砂”海成与风成论者主要依据对照

观 点	海 成 说	风 成 说
出 露 部 位 与 地 貌 形 态	分布于滨海地带,组成宽广、平坦、向海微倾的台状阶地,海拔 15~20 m,与之相应的海蚀阶地上有海蚀遗迹存在(中科院南海海洋研究所,1978)。 分布在滨海由花岗岩低丘环绕的海湾地区或基岩小岛间,形成沿岸平坦开阔向海倾斜的阶地或连岛沙坝,一般组成 20 m 左右的海积阶地,局部地区因后期构造抬升至海拔 40~50 m(如晋江),有的海拔仅 3~5 m(如诏安),有的可见于钻孔中(如东山)(张虎男等,1985)。 绝大多数已明显成为阶地,高程均在 10~20 m 左右,属二级海积阶地,可与广泛发育的二级海蚀阶地海蚀地貌对比,阶地后缘与侵蚀剥蚀台地相接或向潟湖过渡,阶地前缘则以陡坎与一级海蚀阶地或一级海积阶地相接(宗永强等,1985)。 层位常稳定在 10~20 m 的海拔高度上,少数超过 30 m,整套沉积分成上、下两段,较老的下段风化较深,出露地表上的地貌部位也较高;较新的上段风化较浅,所处地貌部位则较低(陈伟光等,1986)。 组成 10~25 m 的阶地,在莆田灵川西张、平海石井等地可见到“老红砂”超覆在红土地之上(李建生,1986)	福建沿海老红砂与现代风砂往往存在着共生关系,在一些地区山丘附近,老红砂发育良好,而相邻的、高度相近的山丘上却不见老红砂,仅发育红色坡积、残积物,有时在同一山丘,一侧老红砂沿坡分布高达 30 多米,而另一侧则无老红砂的分布(如东山康美、东沈、赤山林场)(李从先等,1987)。 多见于花岗岩类岩石的出露区,主要分布在沿岸岬角处,少数分布在湾内,呈长条状展布,一般与海岸平行,但不连续,其分布往往也是现代海岸风砂发育良好的地方,老红砂堤表面有较大起伏,靠海的沙堤表面常呈平台状,台地面微向海倾斜,前缘受流水、波浪侵蚀,陡坎清楚,不同岸段台地的级数与高度不尽相同,台地顶面高度一般从靠海的 7~10 m 左右,向内陆逐渐升高到 25~30 m,最高可达 40 m 以上,台地上冲沟、崩岗和风蚀垅发育,下伏花岗岩风化壳的地形起伏不平(朱孝宁等,1988)。 老红砂的规模巨大,长者可达 2 km,宽数百米至 1 km,其高程各处差异很大,闽南 17~30 m,粤东 20~30 m,海南 15~35 m,而且自海(7~10 m)向陆(25~40 m)增大,反映风积的加高,砂层覆盖在 20~25 m 的花岗岩台地上,厚度 5~10 m,最厚 25 m(黄镇国,1993)。 可覆盖在近海的丘陵山坡上,呈斑块状分布,规模不大,分布高度因地而异,如平潭镜沙,可分布在海拔 70~80 m 的山坡上,而汕尾的遮浪最低可至海滩后缘(吴正等,1994)
沉 物 积 质 结 组 构 分	主要由石英组成(占 90%以上),加有少量云母和岩屑,重矿物主要是磁铁矿、赤铁矿、钛铁矿、褐铁矿、锆石、电气石、石榴子石、白钛石等,与酸性岩浆岩的重砂、矿物组合与物源区大片出露的花岗岩和酸性火山岩相符合,老红砂中微量元素的含量和某些元素的比值,接近于陆相沉积,但某些微量元素的含量或接近于海相沉积(如铯)或可和一些现代沉积样品相比较(如钾、铷),钾的平均含量(2.49%)非常接近若干古生代海相页岩钾含量的平均值,在莆田南日岛红头户剖面下部含有孔虫和海相介形虫化石(张虎男等,1985)。 老红砂上部的富铝、铁程度较高,为现代海滩砂的 2 倍以上,下部则低得多,基本保持原来海成砂的化学性质;老红砂上部含粘土 1% 以上,下部低于 1%,而现代海滩砂或沙堤砂一般不含粘土;惠来北炮台、板美、陆丰奎湖、甲子老红砂含有属种较丰富的咸水、半咸水硅藻(宗永强等,1985)。 老红砂的地球化学元素组成是三价铁、三价铝等高价的金属为主,与华南各种富铝或富铁型风化壳的化学成分十分相近,差热分析老红砂成分中高岭土含量不超过 50%;闽粤沿海不少地方找到出露在老红砂内的淤泥层、泥炭层或碳质砂层(陈伟光等,1986)。 老红砂大都由中粗砂、细砂物质组成,局部地段见有黑色重砂矿物富集的细条带夹在其中,在老红砂中并可见白色贝壳碎屑,除氧化物类、硅酸盐类和磷酸盐类矿物(共 23 种)外,还有泥质成分(占 18.19%),是由长石风化而成的产物(李建生,1986)	福建海岸的老红砂由中粗砂组成,一般在老红砂的上部或远离物源的地方有铁质富集层或铁盘,老红砂下部及靠山丘地方有的有角砾层,老红砂之间夹有泥炭层或富含有机质的粘土或灰色砾层(李从先等,1987)。 老红砂重矿物含量一般小于 0.4%,仅少数样品超过 2%,组合为钛铁矿-锆石-电气石,其特征与海滩砂不同,化学全量组合与花岗岩风化壳及基岩的化学全量组合特征相似,老红砂粘土含量不仅比海滩砂高,而且比现代风成砂还高(朱孝宁等,1988)。 老红砂的物质成分主要为陆源碎屑,生物碎屑含量很少;重矿物主要有钛铁矿(44.4%~70%)、锆石(11.1%~27.3%)、电气石(5.6%~22.2%)、金红石(2.4%~12.5%)等,大部分为稳定矿物,不稳定矿物含量较低;老红砂有较高的粉砂粘土含量(0.47%~7.57%),说明其形成与风的搬运沉积有关,也是后期长石一类不稳定矿物的风化所致(朱孝宁等,1988;吴正等,1994,1995)。 老红砂化学分析表明,Ca/Fe 值平均为 1~1.6, Ca/(Ca+Fe) 值平均为 0.3,据此推算其古盐度仅为 1‰ 以下,不属于海砂沉积,某些微量元素的含量及其比值,如 Rb/K 值仅为 5‰(海相 > 1),表明属于陆相沉积(吴正等,1994)

注:国内外对粒度的分级有两种:①采用真数,即以毫米(mm)或微米(μm)为单位表示颗粒的直径;②采用真数粒径的对数值来表示,即 $\phi = -\log_2 d$ (d 为颗粒直径值,以 mm 为单位),以便作图和统计运算。粒径真数值越大, ϕ 值越小)。

续表

观 点	海 成 说	风 成 说
沉 粒 积 度 结 特 构 征	粤东老红砂粒径主要为 0.25 mm 和 0.1 mm 两个粒级,平均粒径 0.23 mm,分选系数为 1.37,不对称系数为 1.10,对比老红砂及现代海成沙嘴机械成分的对数累积曲线表明两者的变化基本一致,对比各种成因类型的砂质沉积物机械成分的平均百分含量如平均机械成分分布曲线,老红砂的机械成分在海成砂和风成砂之间,而接近海成砂,特别是沙嘴砂,最明显的是 0.25 mm 粒级的含量老红砂为 30.65%,沙嘴砂为 33.00%,沙滩砂为 33.46%,沙堤砂为 27.10%,而风成砂为 3.73% (中科院南海海洋研究所,1978)。 老红砂以细粒为主,偶见中粗砂及细砾,粒径为 0.1~1 mm 占 66.16%,大部分小于 0.5 mm,不对称系数说明粒径偏小,分选系数表明颗粒分选较差,概率累积曲线大多由三段组成,近似于海滩砂的特征(张虎男等,1985)。 老红砂的平均粒径 1.97~2.64ϕ 间,下部细砂含量较高而上部则中砂含量增加,略具向上变粗趋势(如陆丰甲子),虽然主要由中细砂组成,但含有约 15% 左右的粗砂,明显有别于风积砂,分选系数为 1~1.2 左右,分选性明显比风积砂差,而与近源的中细砂质海滩砂或滨海沙堤砂一致,萨胡判别式 Y 值反映老红砂为海成沉积,而与风成砂有显著区别,在帕赛格的 C-M 图上,表明其搬运方式以推移和悬移为主,有别于以跃移方式为主的风积砂,概率累积曲线为波浪带型,推移组分区间窄,含量高(20%~50%),斜率较大,跃移组分由两段组成(宗永强等,1985)。 老红砂粒度组分既不同于第四系残积风化粘土,也有异于现代的风成砂,而基本上可与现代的海成砂相类比,粒度概率累积曲线显示老红砂分选程度稍差于滨海地带的风成砂(陈伟光等,1986)。	老红砂平均粒径在 1.76~2.88ϕ 之间,以细砂和中砂为主,剖面自下而上粒径变化不大,标准偏差 0.38~1.06,大部分为分选好到中等,偏度 -0.23~0.08,主要表现为近对称和负偏(负偏原因与粗物质混入有关),峰态为 0.61~1.99,大部分在 0.9~1.56 间,属中等到尖窄,概率曲线可分两种类型(四段式和三段式,四段式粗截点在 1.3ϕ 附近,细截点在 3ϕ 附近,二段式跳跃组分粗截点在 1.25ϕ 附近,细截点在 3ϕ 附近;悬浮组分含量一般为 10%,变化于 1% 到 30% 之间,悬浮段斜率很低(15°~20°),分选差,跳跃组分占总体的 80% 左右,斜率较大(63°~75°),分选较好;滚动组分占总体的 5%~10%,有较大斜率(35°~40°),在粒度参数散点图上,老红砂与海滩砂有明显区别,而与风成砂有较大的亲缘关系(朱孝宁,1988)。 老红砂的粒度分布特征与海滩砂、沙丘砂对比,老红砂与沙丘砂较一致,而明显有别于海滩砂,从粒度参数散点图可清楚看到,无论是偏度对平均值、标准差对平均值、偏度对峰态,老红砂与海滩砂都有明显的环境分界线,而与海岸沙丘砂却是无法区分的,概率曲线形态特征基本上可与现代沙丘砂相类比(朱孝宁等,1988)。 老红砂峰态为 0.16~3.30,概率曲线形态特征可与现代海岸沙丘砂相类比,反映二者的跳跃组分区间窄、含量高、斜率大(60°~80°),且有一定含量的悬浮组分(5%~10%)和少量滚动组分(<5%),与跳跃组分区间宽、斜率较低(40°~70°)和悬浮组分含量极少(<1%)甚至缺失的海滩砂有明显差别(吴正等,1994)。
沉 表 积 面 结 结 构 构	石英、岩屑和电气石、锆石、云母、闪石类矿物等,大部分呈不规则的碎屑状,磨圆度差,多具棱角(张虎男等,1985)。 对老红砂中的石英砂电镜扫描,反映石英砂表面均受到水力搬运下的滚圆磨擦,但滚圆度并不好,还普遍出现溶蚀坑、溶蚀穴、凸形鳞片聚合、硅质球等现象,反映石英砂曾受过较弱水动力作用和较强烈风化淋溶作用(陈伟光等,1986)。 老红砂石英呈粒状,浑圆状,电镜扫描在放大 2000 倍的石英粒表面,布满 V 型坑,颗粒表面圆滑,并在石英颗粒中部凹陷坑中有溶解——沉淀物质;放大 1000 倍的石英粒表面,不仅有机械成因的 V 字形痕迹,变曲的蚀沟,还具有不规则破碎形态;放大 500 倍的石英粒,表面光滑并具 V 字形痕迹(方向没有一定),在凹陷部分有溶解和沉淀作用发生(李建生,1986)。	老红砂中的石英砂粒,扫描电镜观察表明其形态特征具较好的磨圆度,表面有典型的碟形坑与蛇曲脊,新月形或半月形撞击坑、撞击 V 形坑、溶蚀坑和 SiO₂ 沉淀,反映风成环境的特征(朱孝宁等,1988;吴正等,1994)。 老红砂石英砂粒,颗粒形态具较好的磨圆度,多为次圆状,部分浑圆状,表面结构有典型碟形坑、蛇曲脊、新月形撞击坑、V 形撞击坑、撞击沟和 SiO₂ 沉淀的硅质鳞片等特征(吴正等,1995、1997)。
沉 积 结 构 造	老红砂原始结构一般较单一,多数剖面不具备风成、冲积或其他成因类型的沉积特征,具水平层理的剖面多于交错层理的剖面,后者的交错层理,一般倾向海洋,某些典型剖面的相序列变化和沉积构造符合滨海相沉积的特点(张虎男等,1985)。	老红砂中可见层理,低角度交错层理常见,也有高度交错层理、楔状层理,层理倾向有时可高达 30° 以上,在小范围内层理倾向、倾向可变化很大,也有些老红砂呈块状,不显层理(李从先等,1987)。 老红砂一般表现为块状,无明显层理,但有时也可见高角度交错层理(如平潭青峰)和缓角度斜层理(如粤东陆丰碣石)(吴正等,1995)。

出露部位和形成的地貌形态等特征,结合粒度和微量元素及微古化石等分析,认为老红砂应属于近源快速的滨海沉积物。宗永强等人(1985)根据粤东老红砂地貌和沉积剖面特征以及生物标志和粒度参数,认为老红砂是一种近源滨海沙堤或海滩沉积物,属于海相成因,未见受过风改造的迹象(风的改造作用仅在老红砂胶结之后的风蚀及局部的风积)。陈伟光等人(1986)根据老红砂的岩石学和地球化学特征,认为老红砂为近源风化物经海水就地“泡过”或短途搬运而成的滨海相沉积。李建生(1986)根据东山岛康美老红砂剖面的重砂、电镜扫描微结构和孢粉等分析,亦认为老红砂是一种滨海相堆积物。持老红砂为“海成”观点的尚有杨怀仁、陈西庆(1985)和陈园田(1991)等人。

李从先等人(1987)、陈刚等人(1988)根据福建海岸老红砂的沉积构造和分布特征,认为皆为风成。王雨灼(1990)对福建沿海第四系作详细的划分时,也认为闽东南沿海的老红砂主体部分是风成的。朱孝宁(1988)、朱孝宁等(1988)和吴正等(1994)通过对粤东沿海老红砂较详细的野外调查和粒度、重矿物、化学全量、石英颗粒表面结构的扫描电镜等分析,提出了老红砂系由海滩砂经风力吹扬改造而成的观点。赵希涛和邱传珠(1990)通过对海南岛东北角“老红砂”沉积的成因与对比研究,认为老红砂是风成的^①。黄镇国(1993)也认为老红砂是低海面时期的古风沙堆积。吴正等(1995、1997)用比较沉积学方法,并结合其分布和地貌形态,系统地阐明华南沿海老红砂不应属海相沉积成因,而是古风沙沉积(古沙丘),并进一步指出,总体而言老红砂是风成的,但不排除局部地区还受到其他营力作用。许峰宇和王为(1997)通过对磁化率各向异性测量,研究了海南文昌沿海老红砂的沉积组构特征,表明老红砂与风成砂沉积组构相似。郑晓云(1997)通过对漳浦前湖老红砂层的研究,认为老红砂属于风沙沉积。吕鹏(1998)对闽南沿海老红砂的成因与发育模式进行研究,也认为老红砂是风成的,但局部地区有风积-坡积成因。陈居成等(1998)根据闽东南沿海老红砂的分布与沉积地貌特征,认为闽东南沿海的老红砂绝大部分是一种海岸古风沙沉积。

值得一提的是,刘以宣(1991)从原先主张老红砂为海成转认为老红砂应属风成产物。

除了“海成说”和“风成说”(或“风成为主”说)外,还有一些学者提出了老红砂为多成因的观点。

谢在团(1981)认为福建沿海老红砂由两部分组成,上部砖红或褐红色中细砂为古风砂,下部黄色或灰白色细中砂为古滨海砂,整套沉积具有风积—潟湖沉积—海积的沉积结构^②。曾从盛(1988)曾认为福建沿海的老红砂可能是多种成因的产物,既有滨海沉积,也有流水冲积以及风积和部分坡积。马克俭(1992)通过对长乐漳港南岙山、晋江深沪和科任老红砂剖面样品的粒度分析、矿物鉴定、石英电镜扫描等,认为老红砂有海相沉积(如晋江深沪老红砂剖面),也有河流相沉积(如长乐漳港南岙山和晋江乳山科任老红砂剖面)。孙宏利(1995)通过对福建平潭现代海岸风成砂、海滩砂及老红砂进行粒度、扫描电镜、微量元素、粘土矿物X射线衍射及透视电镜等分析以及重矿物鉴定等较系统深入的分析对比研究,认为老红砂的形成包括风积(如平潭青峰老红砂及平潭其他所有老红砂剖面上部)、风海积(如平潭流水老红砂剖面,上部风积,下部海积)、风坡积(如平潭镜沙老红砂剖面,上部风积,下部冲坡积)等多种形式,以风积作用为主。丁祥焕等人(1998)根据野外实际调查的剖面分析,认为老红砂

① 赵希涛、邱传珠,1990,海南岛东北角“老红砂”沉积的成因与对此研究(摘要)。

② 谢在团,1981,福建沿海第四纪地质的几个问题。

既有海成作用,也有风成作用。

此外,彭阜南等人(1991)则提出老红砂是花岗岩风化残积加片状流水作用而成的观点。

2. 关于老红砂的年代

早期对老砂形成年代的判断主要是依据其上覆全新世沉积、阶地和洞穴堆积中的动物群对比。如曾昭璇(1964)认为老红砂是早更新世后的沉积,属中更新世的可能性较大;中国科学院南海海洋研究所(1978)推测为晚更新世;张虎男等(1980)推测为中晚更新世。随着利用老红砂上下层位相关沉积物(如泥炭、炭质粘土或古土壤)的 ^{14}C 测年间接推断老红砂的年龄和直接利用老红砂的石英进行热释光(TL)测年,普遍认为老红砂形成于晚更新世,但仍存在一些不同意见,如宗永强等(1985)认为老红砂形成于晚更新世,堆积于20kaB. P.前,在约16kaB. P.停止堆积;李从先等(1987)认为老红砂形成的时代应在40~30kaB. P.前;朱孝宁(1988)认为老红砂发育始于晚更新世中期,至全新世海侵开始停止,即约20kaB. P.至8kaB. P.前堆积的;孙宏利(1995)认为老红砂的发育年代集中于52~25kaB. P.,属晚更新世中期到晚期,其中又可分为50~40kaB. P.和35~30kaB. P.两期;金志敏等(1994)和吴正等(1994)则认为老红砂属晚更新世中、晚期末次冰期的风成砂堆积,并可细分为 $(4\sim5)\times 10^4\text{aB. P.}$ 和 $(1\sim2)\times 10^4\text{aB. P.}$ 左右两期;吴正等(1995)根据老红砂的实测年龄及其时间分布,提出华南沿海老红砂的堆积可分为三期,至今发现最早的一期为 $(4\sim5)\times 10^4\text{aB. P.}$ 左右,而分布最广的一期为 $(1\sim2)\times 10^4\text{aB. P.}$ 左右;吕鹏(1998)根据闽南沿海老红砂的测年,认为闽南沿海老红砂的形成可分为 $(4\sim6)\times 10^4\text{aB. P.}$ 、 $(2.5\sim3)\times 10^4\text{aB. P.}$ 和 $(1\sim2)\times 10^4\text{aB. P.}$ 三期。

3. 关于老红砂的红化作用

沙丘砂的红化作用是一种普遍的地质现象,国内外都已有过研究。然而,在红化作用的物质来源、红化时间和适宜红化的气候条件等许多方面,都有不同认识。如对红化物质(氧化铁)的来源和适宜红化的气候方面,就有两种不同的意见:①在湿热气候下,从基岩的铁镁硅酸盐矿物(如辉石、角闪石、黑云母、绿泥石等)和磁铁矿中析出亚铁,亚铁氧化生成赤铁矿,而后被搬运到沉积场所,沉积后未再经受变化;②沉积物中含铁矿物(主要是铁镁硅酸盐及磁铁矿)的亚铁被氧化而生成的褐色水合氧化铁,在干热的气候条件下,随时间就地变为赤铁矿。张文开等(1990)经实验认为,风成砂颗粒表面氧化铁的来源,主要是风成砂中含铁矿物就地风化形成的。金志敏等(1994)和吴正等(1995)经实验研究,也认为氧化铁来自原生风成砂中含铁的硅酸盐矿物就地风化,即水解使亚铁从含铁镁矿物颗粒的晶体结构中释放出来,并在氧化条件下,含铁溶液中的亚铁形态很快转变为水铁矿,然后很快通过结晶化成黄橙色的针铁矿,针铁矿进一步脱水而转化成红色的赤铁矿,并与粘土矿物混合在一起粘附于无色石英颗粒表面。粘土矿物是砂中长石等风化分解的产物,主要为高岭石和少量埃洛石组成。他们认为,老红砂的红化过程与红化程度主要取决于氧化铁的含量,也与气候条件、红化作用时间有关,老红砂的年龄越老,颜色越红。在华南沿海干、湿季明显的热带海洋性季风气候条件下,海岸风成砂堆积后经红化作用形成淡棕红色所需时间不超过 10^4a 。孙宏利(1995)也认为,老红砂砂色的产生是长期风化作用的结果,即砂体形成后经受强烈的后生氧化过程,老红砂表面的红色物质主要由粘土混合氧化铁矿物(赤铁矿和针铁矿)共同形成的,这些铁物质是沉积体内部含铁矿物原地风化释放出来的,在释放铁的过程中,水解作用有着重要影响,老红砂以细砂为主,排水性、通气性较好,毛细上升使砂粒既保

持一定水分又有较好的氧化环境,利于水解作用及其后各种作用的发生。

此外,朱孝宁等(1988)、吴正等(1995、1996、1997)和吕鹏(1998)对老红砂的发育模式和古地理环境的关系也作过研究探讨。

4. 关于“柳芥红层”的研究

“柳芥红层”系由中国科学院海洋研究所海岸地貌组高明德等(1962)在山东半岛进行海岸地貌调查时发现并命名的^①,当时依据其分布特征和沉积物粒度分析,把荣成成山头柳芥、礼村一带的这套红棕色砂层认为是一套海相沉积物^{②③}。中国科学院地质研究所金波等(1978)在山东半岛进行地震地质调查时,将此红棕色砂质沉积物划归为中—晚更新世的海相沉积^④。郭永盛等(1981)则根据柳芥红层的分布、产状和粒度特征,认为属早—中更新世时期的风成沉积。而杨光复等人(1982)根据所做沉积物岩石学、微体古生物、孢粉及古地磁年代学等实验分析工作,提出“柳芥红层”为上新世河流沉积的观点。张明书等(1992)对柳芥、礼村两个“柳芥红层”露头分布区进行观测研究,详细划分了其剖面地层层序,并进行物相、粒度、X射线衍射和ESR年代测定,认为“柳芥红层”为末次冰期范围内54.9~18.7kaB.P.的风成沉积。

二、国外对海岸红色沙丘的研究概况

在国外,对海岸红色沙丘的研究也有相当长的历史。据研究报告,海岸红色沙丘在世界热带和亚热带沿岸地区有广泛的分布,如印度东南部、斯里兰卡、澳大利亚的东北部、非洲的西北部和南部,以及墨西哥湾沿岸、地中海沿岸等热带、亚热带地区。日本也有海岸红色沙丘(日本海沿岸)分布。多年来,对红色砂的性质及其环境意义,国外学者都作过不少研究,特别是对红色砂的颜色、色料特征,铁的来源、红化机理、红化条件和红化时间等为国外学者关注较多。如对红色砂的颜色变化范围进行过较详细观察描述的有Folk(1976)、Gandner & Pye(1980)、Pye(1981, 1983)等;对红色色料特征进行研究的有Norris(1969)、Walker(1976)、Gandner & Pye(1980)、Pye(1983)等;对红色砂中铁的地球化学变化进行过较详细研究的有Folk(1976)、Gandner & Pye(1980)、Pye(1983)等。此外,对红色砂的红化所需要的气候条件和/或红化所需要的时间作过探讨的有Norris(1969)、Folk(1976)、Walker(1967, 1967)、Pye(1981, 1983)等。Norris、Walker等认为,只要有铁质来源和氧化环境存在,氧化铁都可以在潮湿和干旱的热带气候下生成。Walker认为在干旱区,沉积物变红需要 $10^5 \sim 10^6$ a时间,Pye认为在湿润热带条件下,鲜红颜色 $10^3 \sim 10^4$ a便可达到。

① 高明德等,1962,山东半岛东端海岸基本特征及其演化。

② 黄庆福、陈宏才,1962,山东半岛东北部古海岸遗迹的初步探讨。

③ 张宏才、黄庆福,1962,对柳芥—大西庄红层成因问题的初步探讨。

④ 金波、郭旭东,1978,山东半岛北部第四纪高海面遗迹的发现及其地质意义,海洋科技资料,第6期。

第二章 研究区自然环境

第一节 地质地貌概况

一、地质构造

研究区位于闽东南燕山断拗带的长乐—诏安断陷带东缘及闽东南大陆边缘拗陷带内。

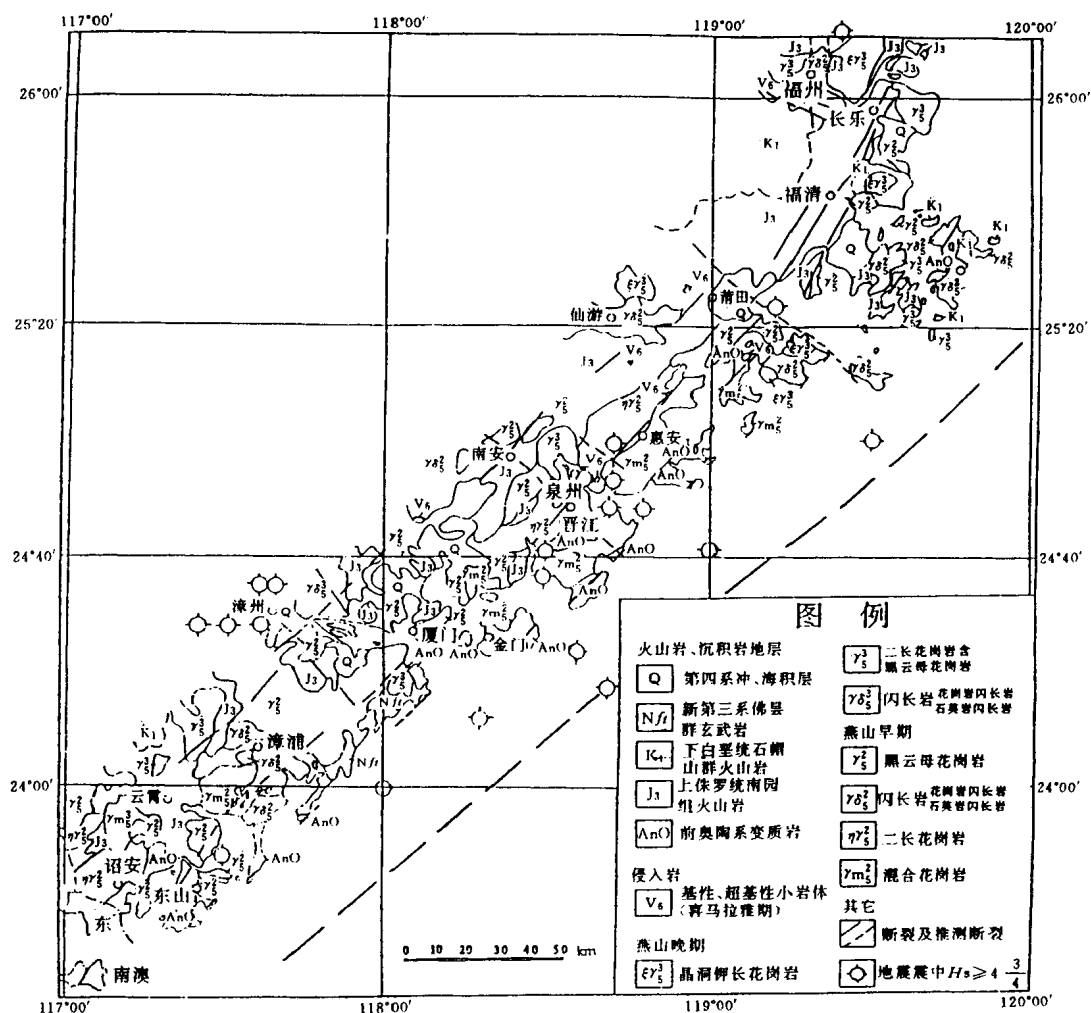


图 2-1 闽东南沿海地区地质构造图

(据丁祥焕,1998)