

黄海晚更新世的黄土沉积*

郑铁民

(中国科学院海洋研究所, 青岛 266071)

提要 根据80年代在黄海多次综合性地质调查资料,对采获样品进行粒度、矿物、化学成分等分析和对比。结果证明,黄海在2—3万年前的晚更新世低海面时,同今日的陆地一样,曾存在着黄土沉积。尽管全新世大规模海侵发生之后,黄土沉积受到了一定的破坏和改造,但它们仍大量地残留在黄海西部的海底,其中又以海州湾一带的分布面积最大。由于长期处于海底,已发生了某种程度的变化,但其基本性质和特征仍同陆上的黄土相似。

关键词 黄土 晚更新世 黄海

黄土是第四纪时期中国北方一种典型的以风成为主的沉积,它遍布于长江以北的广大地区,在黄河中游一带甚至形成世界著名的黄土高原。由于黄土与国计民生有着密切的关系,多年来大陆许多学者曾进行过大量的研究,取得了丰硕成果。黄土沉积在晚更新

世时面积最大,其东界可达苏、鲁、辽沿海一带(刘东生等,1966)。在这个时期,中国海曾经发生了大规模的海退,在东海海退的幅度甚至达到150m(郑铁民等,1982)。在这种情况下,黄土并没有被限制在现今的大陆上沉积。据80年代“科学一号”考察船在黄海的综合调查结果,笔者以海州湾的发现为例,通过和陆上的黄土对比,来论证和探讨黄海海底黄土的存在及其特征。

1 分布

据海底表层和浅层的取样结果所示,黄海海底黄土主要分布在青岛和连云港之间的海州湾一带,渤海海峡附近和山东半岛东北部的东经124°的附近海域(图1)。此外,在南黄海中

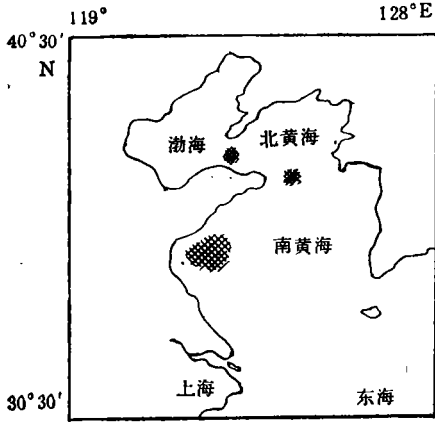


图1 黄土在黄海的分布略图

Fig. 1 Sketch of the loess distributed in the Yellow Sea

部也有零星发现。其中以海州湾一带发现的面积最大,几乎占据了海州湾的北侧(图2)。

海底黄土一般位于现代沉积和残留沉积层之下,受覆盖的厚度不一,最薄处仅几厘米,最厚处则超过4m。作为覆盖层的现代沉积主要是由粘土或粉砂质粘土组成的,残留沉积主要是含结核的粉砂质砂和砂。

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第2310号。国家自然科学基金资助,49276257号。

本文得到范奉鑫、高淑贤的帮助,谨此志谢。

收稿日期:1991年9月14日,接受日期:1993年5月30日。

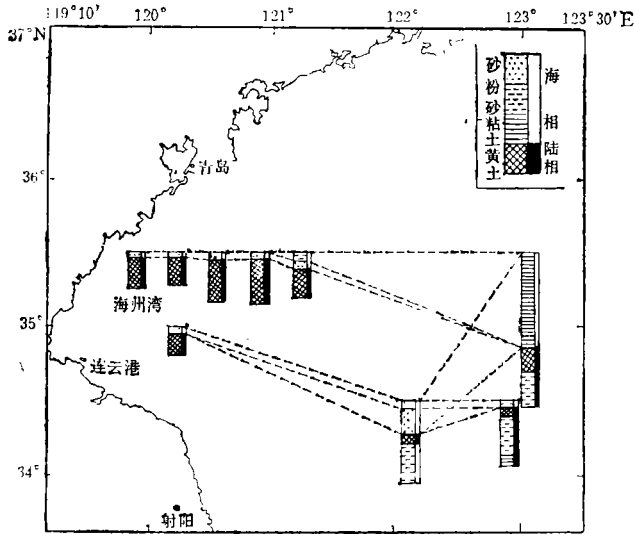


图 2 海州湾土柱中的黄土

Fig. 2 Loess in the core from Haizhou Bay

黄土层在海州湾和渤海海峡附近最厚,发现的最大厚度已超过 2.20m,仍未见底。而以南海黄海的中心最薄,仅几厘米,但所处水深最大,最深可达 74m。基本变化趋势是近岸区土层较厚,远岸则较薄。

2 特征及成分

2.1 特征 尽管长期处于海底,黄土的颜色仍然保持着以黄色为主的基本色调(图版 1:1, 2),这可能是海底风化等作用的结果。局部常有浅绿色的斑块和条带穿插而成杂乱的斑块构造,以及铁质成分氧化后形成的褐色斑点,局部有时还有发育不好的古土壤层出现。这些土层甚薄,由几个近于水平的微层组成,偶尔可见其中有小的植物残体,土壤层为浅黑色,同黄土层构成黑黄相间的结构极其醒目。

海底黄土含水,土质致密,手感较粘且硬,在横向和垂向上变化较小。由于组成颗粒较细和色泽鲜艳,所以常被俗称为黄色硬粘土。土层中出现最多的是大小不一的钙质结核,有时它们成层状分布,层理近于水平,有时则零散地分布于土层中,后者往往个体较小,前者则较大。

钙质结核除见于黄土层中,更多的是见于黄土层之上的盖层中,它同砂、粉砂、粘土、贝壳和少量其它砾石等组成一套特殊的沉积类型,分布于海底并覆盖于黄土层之上。但并非所见的黄土盖层均含有结核,有的盖层仍为砂、粉砂和粘土等组成的正常海相沉积。

2.2 粒度成分 海底黄土主要由粉砂和粘土两个粒级组成,粉砂粒级含量通常占 50% 以上;除个别外,粘土粒级均小于 50%;砂粒级含量最少,分析的几个样品中,其最高含量仅占 2.5% (表 1),所以其沉积类型应属于粘土质粉砂和粉砂质粘土,并以前者为最常见。

陆上的马兰黄土是第四纪较年轻的黄土沉积,其分布面积最广,以粉砂为主,和海底黄土相似(表 1)。不同的是海底黄土的粘土粒级含量较高,马兰黄土的砂粒级含量较高。

据黄河中游的研究结果表明,陆上的黄土粒径有由西北向东南方向变细的趋势(朱海之, 1966)。黄海位于黄土高原的东南部,所以沉积的黄土比黄土高原一带略细是正常的。而处于海底条件下受海底风化作用的影响,可能导致沉积物组成的变细,沉积物中粘土矿物高含量的出现就是个证明。

2.3 化学成分 据原子吸收光谱和等离子体光谱对一些样品的分析结果所示,海底黄土的化学成分中以 Si 的含量最高,一般在 20% 以上; Al, Fe, Ca 等次之,其含量变化均接近陆上的黄土(表 2)。不同的是, Al, Fe, K 的含量在海底略高于陆上; Ca 则相反。这些差别可能同长期处于海底环境有关。如海水中 K 离子的渗入, Ca 离子的析出和粘土矿物含量的增大等。后者据 NH_{2-1} 和 NH_{2-4} 两个样品的分析结果,以伊利石为代表的粘土矿物含量均超过 20%。另外,据黄土高原马兰黄土的研究,黄土中 Al, Fe, K 的含量是由北向南增大的(文启忠等, 1966),所以黄海区上述成分含量的变化同陆上黄土的区域性变化趋势是一致的。

一些微量元素含量的变化也和陆上的相近(表 3)。如 Co, Ni, Ba, 只是 Sr 和 Zn 的含量在海底黄土中略低,而 Cu 略高,但均没有形成明显的差别。

表 1 海底和陆上黄土粒度成分的百分含量

Tab. 1 Percentage of grain size component of seafloor and land loess

粒级 (φ)		>4	4—5	5—6	6—7	7—8	>8	沉积类型
海底黄土	NH_{2-1} (75—150cm)	0.2—0.5	9.8—15.3	35.6— 45.2	10.5— 14.7	2.2—5.5	22.6— 30.1	粘土质粉砂
	NH_{2-4} (100—210cm)	0—0.6	0.9—2.3	17.5— 20.5	15.1— 15.6	12.4—12.6	50.4— 52.1	粉砂质粘土
	NH_{2-10} (420—475cm)	1.2—2.5	6.5—14.7	28.9— 34.2	12.4— 17.9	5.5—8.8	30.7— 36.7	粘土质粉砂
陆上马兰黄土	陕西咸阳	12.1	21.7	17.7	11.9	6.6	20	粘土质粉砂
	陕西洛川	12.1	25.1	22.3	13.0	7.6	19.9	粉砂或 粘土质粉砂
	山西午城	9.5	27.6	20.9	12.2	7.5	22.3	粘土质粉砂

注: 据王挺梅等, 1966。

2.4 矿物成分

采用 X 射线衍射仪对两个海底黄土的矿物成分进行全量分析。结果显示, 含量最高的是石英; 其次是长石类; 再次是以伊利石为主的粘土矿物(表 4)。至于 0.063—0.25mm 粒级的重矿物中(比重 > 2.8), 则发现了 25 种以上的矿物, 其主要矿物如表 5 所示。由表 5 可见, 重矿物成分主要以角闪石、绿帘石和绿泥石为主, 其平均含量均超过 15%; 其次是白云母和白云石, 其含量超过 5%。特殊的是自生黄铁矿等的出现, 虽然并非每一块样中均有发现, 但其平均值可达 2.6%, 从中可知在某些层位中的丰度。如在黄土层上部的分界面附近, 其含量可达 10.3%; 下部界面附近则达 7.5%。它的出现进一步反映了处于海底下的黄土已经发生了不同程度的变化。

表 2 海底和陆上黄土的一些主要化学成分(%)

Tab. 2 Some major chemical components (%) of seafloor and land loess

地 点		Ca	Al	Fe	K	Ti	Mn	P
海 底 黄 土	NH ₂₋₁	3.13—6.68	—	1.89—4.32	1.32—1.96	0.31—0.43	0.03— 0.13	0.03— 0.09
	NH ₂₋₁₀	0.69—1.21	6.64—7.76	2.80—6.26	1.56—2.15	0.39—0.47	0.03— 0.07	—
	NH ₄₋₆	0.82	—	—	1.36	0.38	—	—
陆 上 马 兰 黄 土	山西午城 ¹⁾	5.55	2.52	2.73	1.05	0.39	0.12	0.05
	山西午城 ²⁾	6.15	2.57	2.67	1.05	0.42	0.16	0.03
	黄河中游 ²⁾	2.51—9.23	2.56—3.87	0.83—3.68	0.08—1.05	0.07—0.51	~0— 0.85	—

1) 据文启忠等, 1966; 2) 据余素华等, 1991。

表 3 海底和陆上黄土中的一些微量元素比较($\times 10^{-6}$)Tab. 3 Some trace elements ($\times 10^{-6}$) of seafloor and land loess

元 素		Ca	Co	Ni	In	Ba	Sr
海 底 黄 土	NH ₂₋₁ (25—40cm)	43	13.4	28.6	22—42 ¹⁾	425—622 ⁴⁾	154—205 ⁴⁾
	NH ₂₋₄ (45—60cm)	40	14.0	31.2	18 ²⁾ —38	471 ²⁾ —526	138 ²⁾ —160
黄河中游马兰黄土 ³⁾		11—35	10—35	16—50	40—116	560 ⁴⁾	283.3 ⁴⁾

1) NH₂₋₁(15—150cm); 2) NH₂₋₁₀(405—470cm); 3) 刁桂仪等, 1986; 4) 张虎才等, 1991。

表 4 海底黄土的主要矿物含量(%)

Tab. 4 Main mineral contents (%) of seafloor loess

矿 物		伊利石	角闪石	高岭石	绿泥石	石英	钾长石	斜长石	方解石	白云石
地 点	NH ₂₋₁ (25—40cm)	20.15	0.70	2.81	3.39	30.52	14.96	18.27	8.16	1.13
	NH ₂₋₄ (45—60cm)	23.52	—	3.62	4.24	32.75	9.21	18.24	6.92	1.51

表 5 海底黄土中主要重矿物含量(%)¹⁾

Tab. 5 Main heavy mineral contents of seafloor loess

矿 物		角 闪 石	绿 帘 石	绿 泥 石	白 云 母	白 云 石	石 榴 石	褐 铁 矿	钛 铁 矿	自 生 黄 铁 矿	楣 石	磷 灰 石	风 化 云 母
地 点	NH ₂₋₁₀ (400—475cm)	20.9	5.92	4.2	1.7	1.8	0.3	1.5	0.3	0	0	0.3	0
		49.4	22.5	28.9	23.4	8.3	8.4	6.6	2.9	10.3	2.7	2.9	5.9

1) 据陈丽蓉等, 1988。(内部资料)

3 海底黄土中的钙质结核

钙质结核是陆上黄土中特有的一种沉积体,它广泛地存在于黄土中,并可富集成层。据前所述,海底黄土中也有类似的发现,不同的是海底的钙质结核还常以黄土盖层的形式出现。在盖层中它分布之广泛以及密集程度甚至超过陆上黄土层中所见。有关海底结核的成因和富集问题笔者有过论述(郑铁民等,1986)。这里只着重引述陆上和海底两种钙质结核的一些主要性质和特征,以利于它们之间的比较,从而阐明它们均属于同一类型的沉积。

3.1 分布和外形特征 海底钙质结核的分布同海底黄土区的分布基本是一致的,即有黄土出现的海区,经常可以发现伴生的钙质结核,但大多还是在黄土的盖层中。结核的这种分布状态,和它在海底出现的过程有关。

作为盖层并分布于海底表面的结核,往往密集出现,富集度平均约占沉积物总量的40%,最高可达87.35%;直径大小不一,小者和砂粒相当,大者可达几十厘米。其形态比陆上的更为不规则,可明显地见到水动力作用形成磨圆的棱角,也可见海底生物栖居其上而变得枝节横生,以及钻孔生物钻孔形成的大小不一的圆洞,在圆孔密集分布的颗粒上,其外形甚似蜂窝或火山喷发物,但更多见的仍是团块状。

总之,结核的分布和外形反映了它们在海底富集的过程中以及没入海底之后其特征已经发生一些变化。尽管如此,它仍然保持着一些原始的成分和结构,同陆上黄土中所见的相似,如似层状结构和被击裂后形成的特殊放射状裂隙,后者为陆上黄土结核中所特有的(图3)。

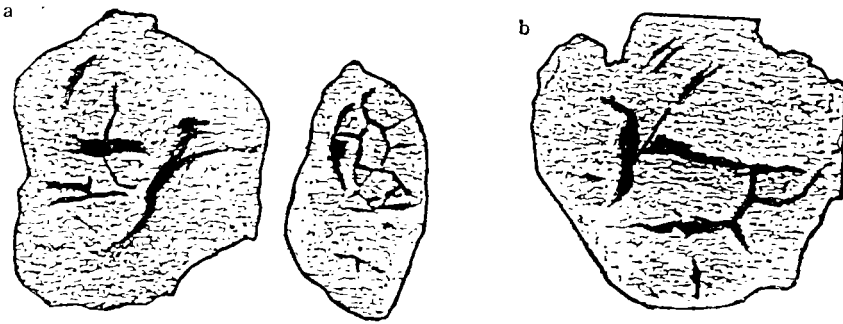


图3 陆上(a)和海底(b)钙质结核的放射状结构比较

Fig. 3 Comparison of radiated texture in loess calcareous nodule from land (a) and seafloor (b)

3.2 主要矿物成分 海底结核的矿物成分可分为两个部分:一是碎屑部分,主要由石英和长石组成,前者约占15%—20%,后者约为5%—15%;其它如黑云母、白云母、绿帘石、绿泥石、角闪石等含量均极少。二是胶结部分,几乎全由方解石组成,含量在50%以上。其矿物组成和含量变化与陆上的结核十分相似,如两种结核的X射线衍射曲线形态近乎一致(图4、图5)。

3.3 主要化学成分 海底钙质结核的主要化学成分是Ca和Si;前者的含量一般在

20%以上,后者则超过 10%。其它, Al, Fe, Mg, 小于 2%; K, Na 小于 1%; Mn 小于 0.3%。其值的变化同陆上黄土中的钙质结核相近(表 6)。

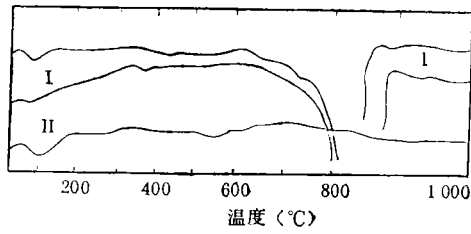


图 4 海底钙质结核的差热分析曲线

Fig. 4 The curve of differential thermal analysis of seafloor calcareous nodule
I. 经 H₂O₂ 处理; II. 经 HCl 处理。

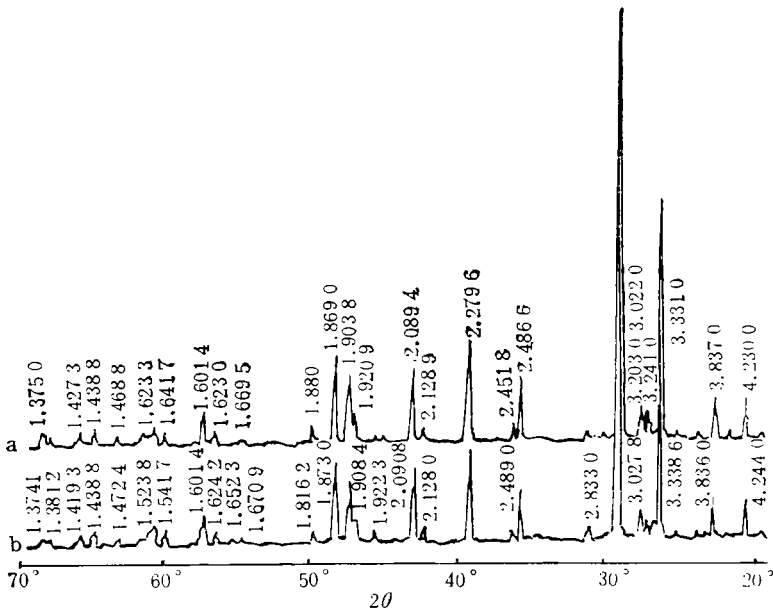


图 5 海底结核 (a) 和陆上结核 (b) X-射线衍射图的比较

Fig. 5 X-ray diffraction of calcareous nodule from seafloor (a) and land (b)

表 6 海底和陆上钙质结核的主要化学元素含量(%)

Tab. 6 Main chemical element contents of calcareous nodule from seafloor and land

化学元素		Ca	Si	Al	Fe ⁺⁺⁺	Mg	K	Na	Mn	
地点	海底	海州湾 1	23.42	12.66	1.40	1.06	1.16	0.46	0.52	0.11
		海州湾 2	24.04	11.39	1.54	1.16	1.68	0.44	0.51	0.23
	陆上	青岛郊区	21.25	14.56	1.76	1.08	0.92	0.52	0.50	0.07
		结核平均	20.32	14.28	1.57	0.84	2.54	0.62	0.44	0.03

不同地区结核的相似性,证明了它们原先是同属于一种成因类型的沉积体,只是后期不同的环境变化,才使它们出现在不同的环境中,所以它们的形成和黄土的存在有着密切的关系。

4 黄土的形成时代

钙质结核是黄土中的 CaCO_3 淋积形成的,所以它的出现要比黄土略晚一些。由于它本身个体较大,致密坚硬,尽管在沉没于海底的过程中以及长期处于海洋环境下,受到了不同程度的破坏,但残留部分仍能较好地保持着原来的性质,本身又富含碳酸钙,为测年提供了有利的条件。据 ^{14}C 测年资料所示(表 7),海底钙质结核和陆上钙质结核的形成年代均较相近,前者约形成于至今 2—3 万年前,后者约为 1.8—2.3 万年前,即均属于晚更新世末期的产物。据晚更新世末次冰期最盛期的出现以及海平面大幅度下降的时间推断,海底黄土形成时间可能是距今 1.8—2.3 万年前,形成的层位和陆上的马兰黄土相当。

表 7 海底和陆上黄土钙质结核的 ^{14}C 年代比较

Tab. 7 ^{14}C dating of loess calcareous nodule from seafloor and land

地 点		^{14}C 年代 (a)
海 底	海州湾 1	30 400±1 200
	海州湾 2	19 900±850
陆 上	青岛郊区	19 900±850
	庙岛列岛北长山岛珍珠门 ¹⁾	19 380±320
	庙岛列岛大钦岛东村 ¹⁾	17 830±240
	庙岛列岛大钦岛南村 ¹⁾	23 100±400

1) 据曹家欣等,1987。

5 海底黄土的形成和演变过程

据上述论证结果,黄海海底黄土的沉积和演变过程可以简单地归述如下。在晚更新世冰期低海面时,气候干冷,作为大陆一部分的黄海,和大陆一样,在适于黄土沉积的地区发生了黄土物质的沉积。在沉积过程中以及形成黄土层之后,由于水的淋积作用,导致黄土层中碳酸钙的迁移和富集,形成了钙质结核。在沉积减缓或间断时,还形成古土壤层。之后,随着气候的变暖和间冰期的到来,海侵发生,海水不断地向大陆推进,逐渐地淹没曾出露海底的大陆。在海进时,强大的海水动力作用,冲刷了包括黄土在内的陆相沉积层,把其中的细粒部分带到它处沉积,粗粒碎屑以及结核就留在原地附近。所以对于不含结核的薄层黄土,海侵之后除了在海底留下一些粗的碎屑之外,再没有保存能明显地证明本身曾是黄土的痕迹。而含有结核的薄层黄土,则留下粗碎屑和结核。只有厚层的黄土,尤其是含结核的黄土层,在海侵过程中,仅其沉积层的顶部受到了水动力的影响,导致粗碎屑和结核的大量富集,结果在其顶部形成了一个天然保护层或盖层,避免了海水继续向深处进一步的冲刷和侵蚀,使黄土能较好地保存下来。在结核富集于海底时,海底生物也在大量地繁殖,它们的遗骸和粗碎屑以及结核等一起组成了所谓的残留沉积。在海侵到达今日岸线附近之后,黄土才处于较深的海底,海水的动力作用相对较弱,但现代沉积物

的覆盖则增强,有一部分甚至已处于较厚的沉积层之下。

6 结论

由上所述可以充分证明,晚第四纪时现在的黄海海底处存在着黄土沉积。海州湾一带发现的黄土主要是形成于距今 1.8—2.3 万年之前,其层位和陆上的马兰黄土相当。

由于长期处于海底以及后期搬运和改造,海底黄土的性质已发生了不同程度的变化;另外,黄海位于黄土高原的东南部,原始的沉积成分除了受到沉积分异作用的影响,还受到所处地理纬度气候带和近于平原的沉积环境的影响,而和黄土高原一带的沉积有些差别,尽管如此,它们的基本性质和特征仍然是一致的,而其区别是今后需要研究的问题。

陆上黄土的沉积至少有 4 个大的沉积期,每个沉积期均和全球性的气候变化有关,即和冰期周期性的出现有着密切的关系,而冰期的出现意味着海平面的下降和海底的出露。在这种情况下,海底还可能存在更老的黄土的沉积,所以,在今后的调查中,也许会有更多的发现。陆上黄土层中的古土壤层是近年来研究的热门课题,海底黄土中也有些发现,尽管已不完整,但为今后的研究提供了依据。

参 考 文 献

- 刁桂仪、文启忠,1986,黄河中游马兰黄土中锌、铜、锰、钴、镍的含量和分布,地球化学, 3: 284—291。
王挺梅、鲍芸英,1966,黄河中游黄土之粒度分析,第四纪地质问题,科学出版社(北京), 126—139。
文启忠等,1966,有关黄河中游黄土地球化学的某些特征,第四纪地质问题,科学出版社(北京), 111—125。
刘东生等,1966,中国第四纪沉积物区域分布特征的探讨,第四纪地质问题,科学出版社(北京), 1—44。
朱海之,1966,黄河中游黄土粒度区域分布变化现象及其解释,第四纪地质问题,科学出版社(北京), 77—88。
余素华、文启忠,1991,新疆北部地区第四纪沉积地球化学特征,地球化学, 1: 56—63。
张虎才、张林源,1991,兰州九州台黄土剖面元素地球化学研究,地球化学, 1: 79—86。
郑铁民、徐凤山,1982,东海大陆架晚更新世底栖贝类遗壳及其古地理环境探讨,黄、东海地质,科学出版社(北京), 198—207。
郑铁民、秦蕴珊,1986,黄、东海浅水区海底钙质结核及其成因的研究,沉积学报, 4(2): 47—56。
曹家欣等,1987,山东庙岛群岛的黄土,中国科学(B辑)10: 116—1123。

LOESS DEPOSIT IN YELLOW SEA DURING LATE PLEISTOCENE*

Zheng Tiemin

(*Institute of Oceanology, Academia Sinica, Qingdao 266071*)

ABSTRACT

Loess is a typical Quaternary deposit on land in northern China, but existed in the Yellow Sea in late Pleistocene as surveys in the 1980s recovered its remains on the seafloor. Preliminary study on grain size, mineral content and chemical composition shows that typical loess on the seafloor distributes over a large area in Haizhou Bay between Qingdao and Lianyungang and is usually found under modern sediment and relict sediment and some even emerges from the seafloor surface. The loess on the seafloor is composed mainly of silt and clay fractions. Its major chemical compositions and some trace elements are similar to those of Malan loess on the China mainland. The radiated structure, and composition of calcareous nodules in loess on the seafloor and that on land are also similar. ^{14}C dating proved that the seafloor loess was formed in 18 000—23 000a B. P. on land. Since the loess had been under the seafloor for a long time, some changes have occurred in it.

Key words Loess Late Pleistocene Yellow Sea

*Contribution No. 2310 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.



图版 I 海州湾海底黄土颜色

Plate 1 Colour of seafloor loess in Haizhou Bay

1. 黄土(样品中的一些小“层理”是切割时形成的); 2. 黄土和钙质结核。