

海南岛排浦更新世沉积的白云岩化作用

王国忠 吕炳全 全松青

(同济大学海洋地质研究所, 上海)

1981年5月, 笔者在海南岛儋县排浦公社海滨发现了更新世白云岩, 1982年3月—4月又率学生去现场实习, 接着作了各项室内分析研究工作¹⁾。本文将着重探讨这套更新世沉积的白云岩化作用。

一、更新世地层及沉积相

在海南岛西北部, 滨临北部湾的儋县排浦沿岸(图1), 现代珊瑚岸礁的后方, 即有堆积型海岸, 又有侵蚀型海岸和海蚀坪。前者由全新世海岸沙堤和泻湖相沉积组成, 后者由较老的地层组成。如在瓜兰村北海岸, 有长约7米宽160米的露头E(图1, 2, 图版I, 1), 该剖面自上而下为:

7. 浅棕灰色中—细砂层。疏松, 顶部被剥蚀, 地表生长着稠密的仙人掌和杂草。厚度大于1米。

6. 褐棕色砾砂层。砾石占30%以上, 多数砾径为3—4毫米, 大者2—3厘米, 石英砾为主, 次圆—次棱角状, 大砾石扁平、浑圆状。露头表面生长茂盛的茅草和羊角树等, 层厚1.2米。

---不连续面。

5. 灰黄色厚层状泥质细—粉砂层。成岩性差, 海蚀崖上呈巨块塌落, 含少量有孔虫, 如希望虫(*Elphidium*), 露头表面发育渗滤岩管。厚2米。

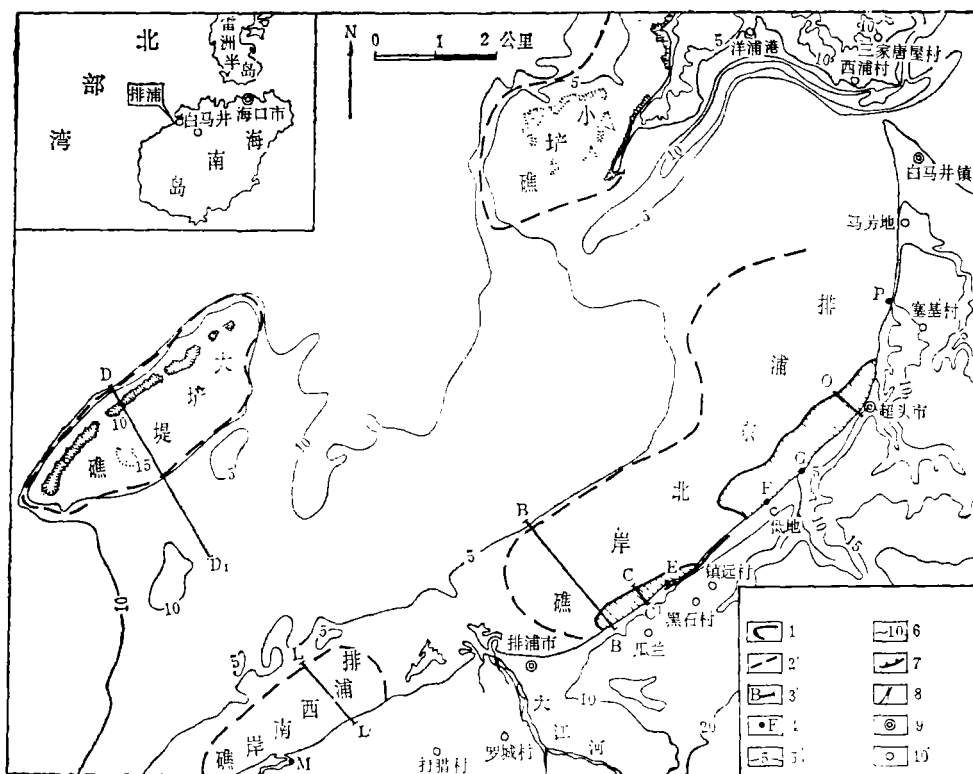
4. 灰褐色泥质粉—细砂层。陆源碎屑为主, 粗碎屑中介屑占16.5%, 偶见珊瑚屑和有孔虫壳, 微细纹层发育。露头表面渗滤岩管众多, 垂直产出为主, 常错断微细纹层; 沿层理发育大量海蚀穴。层厚1.5米。本层上部有厚为15厘米的白云岩夹层(图版I, 2)。

3. 青灰色泥质细—粉砂层。成岩性差, 常形成海蚀龛。微细纹层发育, 顺层分布着炭化木和炭质植物碎片。渗滤岩管发育, 直径0.5—3厘米, 长10—25厘米。垂直产出为主, 倾斜和水平的少见, 常错断纹层。层厚0.9米。

---不连续面

2. 深灰色, 风化面棕褐色砂砾岩。砾石含量多于50%, 砾径自下而上增大呈逆粒序, 多数砾径3—10厘米, 大者可达30厘米以上, 次棱角—次圆状。由石英、石英岩、

1) 本系海洋地质专业学生胡振邦、姜建疆和郑平参加了野外调查和部分室内工作。



1. 白云岩分布区 2. 地区界线 3. 剖面线 4. 观察点 5. 等高线
6. 等高线 7. 陡岸 8. 河流 9. 市镇 10. 村庄

图1 海南岛儋县排浦白云岩分布位置图

Fig. 1 Distribution of dolomite of Paipu area of Zuan county, Hainan Island

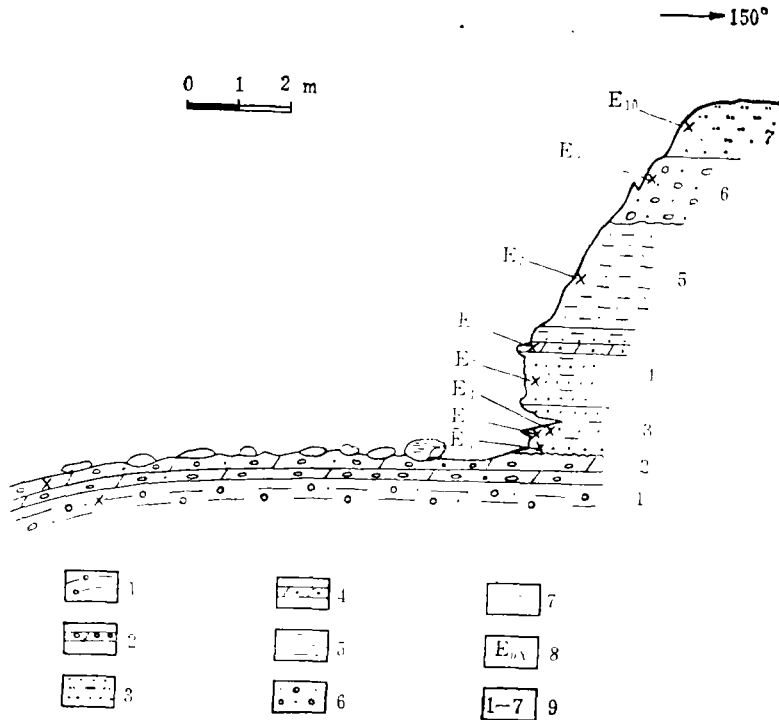
岩浆岩、灰岩等组成，分选性差，定向排列不明显。本层顶面曾被夷平，局部有冲刷槽沟等。层内化石丰富，有大量腹足类和瓣鳃类如扇贝等完整的印模，属海相生物群。层厚40—45厘米。

1. 青灰色含砾泥质粗砂层。石英砾径3—4毫米，局部呈小透镜状。成岩性差。未见底。

本露头的3—7层组成陡岸，向东北方向断续延伸到白马井以南马劳地。第2层组成宽200—300米的海蚀坪，向东北延伸到寨基村附近（图1）；其表面参差不齐，或红藻发育旺盛形成藻席或围成不规则洼坑（图版I，1），牡蛎和腾壶生长成层。

根据雷琼地区地层对比，这套松散的砂砾和粘土互层的滨海相为主的沉积属于第四纪早期火山岩之下的湛江组，它假整合于上新统之上，暂定为更新统。湛江组顶部可能有薄层铁盘和铁质结核分布，无成岩现象，未见有白云岩存在的报导。覆盖在不连续面之上的6、7层成岩性更差，其时代可能更晚。

这套地层的沉积相简要分析如下：



1. 含砾泥质粗砂 2. 白云质砂砾岩 3. 泥质细-粉砂 4. 砂质白云岩
5. 泥质粉砂 6. 砂砾 7. 细-粉砂 8. 取样点 9. 地层层号

图2 露头E海蚀崖和海蚀坪剖面图

Fig. 2 Sea cliff and abrasion flat in vertical section of outcrop E

第2层在平面上呈带状，中部微凸起形成原始沉积背斜状。本层以陆源砂砾沉积为主，分选性差，粒度变化范围广；砾径自下而上变粗，大者可达20—30厘米。富含海相贝壳印模，并含海绿石。本层属于滨海河流砂砾相。

第3—5层为滨海泻湖相沉积，依据是：第3层堆积在表面被填平并带有冲刷痕迹的不连续面之上，沉积环境有较大变化。3—5层自砂到泥粒级分布范围广，正态概率曲线平缓，平均粒径 $Mz = 4.9-5.5\phi$ ，分选差，颗粒组分以陆源碎屑为主，微细层理发育；介屑占10.3—16.5%，偶见珊瑚屑（表1，图3）；有孔虫含量少，为广盐性的属种，如希望虫，毕克卷转虫变种（*Ammonia beccarii*）等，沉积中炭化木的含量较多。上述特征都证明它们是滨海、低能、局限泻湖环境中的沉积物。

第6、7层是完全由陆源碎屑组成的砂砾层，分选中等到差（ $\sigma_1 = 0.93-1.6$ ），具有较小的正、负偏态（ Sk_1 为-0.15和+0.13）。按 σ_1 、 Sk_1 散布图判别属河流沉积。

二、白云石特征、产状和分布

我们分析鉴定样品所使用的方法有偏光显微镜、染色、差热、X光衍射、原子吸收

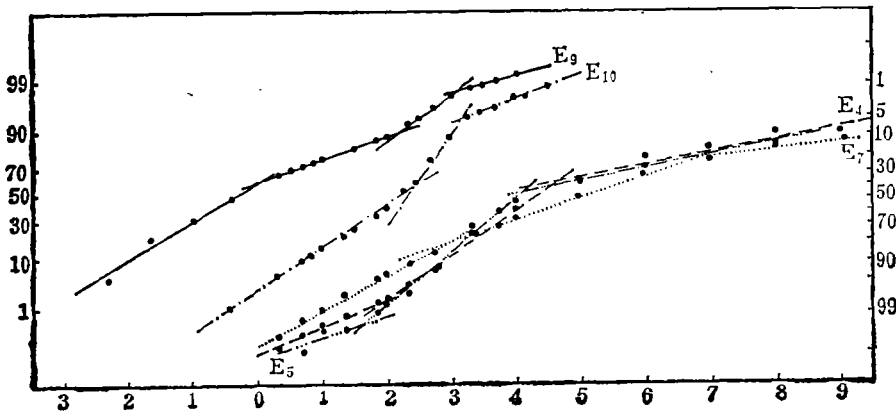


图3 E4、5、7、9、10样品正态概率曲线

Fig. 3 Cumulative curve of positive probability of samples E 4, 5, 7, 9, 10

表1 排浦东北E露头沉积样品结构特征表

Table 1 Textural parameters of samples of outcrop E of the Piapu area

层号	样品号	粒 级 组 分 (%)						粒 度 参 数				定 名	
		砾	粗砂	中砂	细砂	粗粉砂	细粉砂	泥	平均(M _z)值	分选	偏态		峰态
7	E10	14.54	23.36	57.55			2.57	2.07	0.93 ²⁾	-0.15 ⁴⁾	-3.93 ⁵⁾	中—细砂	
6	E9	31.63	44.81	11.37	11.46		0.73	-0.15	1.37 ²⁾	0.13 ⁴⁾	0.95 ⁵⁾	砾石粗砂	
5	E7		1.01	4.7	26.02	16.16	34.39	17.72	5.5	2.88 ²⁾	0.03 ⁵⁾	1.22 ⁷⁾	泥质细—粉砂
4	E5		0.22	1.05	43.86	16.86	22.12	15.81	5.1	2.2 ²⁾	0.85 ⁵⁾	0.98 ⁷⁾	泥质粉—细砂
3	E4		0.42	1.41	36.86	20.74	28.33	12.23	5.03	2.16 ²⁾	0.6 ⁵⁾	1.05 ⁷⁾	泥质细—粉砂
2	E3		0.77	1.56	42.88	19.63	18.71	16.45	5.2	2.53 ²⁾	0.75 ⁵⁾	1.12 ⁷⁾	泥质粉—细砂
1	E1		45.66	4.90	7.46			23.65	-1.45	3.2 ²⁾	1.05 ⁵⁾	1.0 ⁷⁾	泥质含砾粗砂

注: 1) $M_z = \frac{\phi_{16} + \phi_{56} + \phi_{84}}{3}$; 2) $\sigma_1 = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_{5}}{6.6}$ 3) $\sigma_\phi = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{2}$

4) $SK_1 = \frac{\phi_{84} + \phi_{16} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_{95} + \phi_5 - 2\phi_{50}}{2(\phi_{95} - \phi_5)}$; 5) $SK_\phi = \frac{\phi_{25} + \phi_{75} - 2\phi_{50}}{2}$

6) $KG = \frac{\phi_{95} - \phi_5}{2.44(\phi_{75} - \phi_{25})}$; 7) $KD = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{1.5(\phi_{75} - \phi_{25})}$

光谱、化学定量和电子探针分析等(表2)。样品采集地参阅图1、2。不同分析方法所得结果不完全一致,这主要是由于不同方法的灵敏度不一。如差热分析法仅能测定样品中的主要矿物,据Warne, S.的实验证明,当白云石含量小于20%时,不再有其特征性的双吸热谷,而仅出现一个吸热谷,这就很难和方解石的差热曲线相区别。利用达旦黄染色时,多数样品呈淡黄色,但个别样品(如E3)因白云石含量少而未染成黄

色；利用茜素红和铁氰化钾混合液浸染样品时，它们被染成浅蓝—深蓝色，这属于含铁白云石和铁白云石的反应。根据X光衍射分析的面网距(d)和各衍射线的相对强度(I/I₀)进行对比，它们与标准白云石——CaMg(CO₃)₂的特征相差较大，而更接近于含铁白云石——Ca(Mg 0.67 Fe 0.33)(CO₃)₂，但后者的FeO为12.06%，可是研究样品中铁的含量为2.2—3.6%（表3）。因此，它们是介于两者之间的类质同象体——含铁白云石。样品中除了铁的固溶体外，应含有过多的钙的固溶体。由于岩石中还有含

表2 排浦白云岩区样品分析鉴定成果表

Table 2 Analyses and determinations of dolomite samples

标本号	手标本定名	X光衍射分析	DTA	染色反应		偏光镜鉴定	岩石定名
				茜素红+铁氰化钾	达旦黄		
E6	青灰色白云岩		白云石	深蓝色	淡黄色	砂质白云岩	砂质白云岩
B4	泥质粉—细砂	石英、白云石、长石	石英、方解石	浅蓝+紫色	淡黄		含白云石粉—细砂
E3	泥质细—粉砂	石英、白云石	石英、方解石	浅蓝+紫红	青灰		含白云石细—粉砂
E3A	渗滤岩管	含铁白云石		浅蓝	淡黄	砂质白云岩	砂质白云岩
E13	青灰色白云岩		白云石	浅蓝	淡黄		含砂白云岩
E8	黄棕色砂质白云岩		白云石	蓝色	淡黄	砂质白云岩	砂质白云岩
排3—5	黄棕色砂质白云岩	白云石、石英	白云石	蓝色	淡黄	砂质白云岩	砂质白云岩
C1	含硅砂质白云岩			蓝色	淡黄	砂质白云岩	砂质白云岩
C13	黄灰色砂质白云岩	白云石、石英		深蓝	淡黄	砂质白云岩	砂质白云岩
G3	黄灰色砂质白云岩	白云石、石英、长石	方解石	浅蓝(+红色)	淡黄	砂质白云岩	砂质白云岩
P1	钙质粉砂岩		方解石	紫红	微黄		
F3	黄棕色粉砂	石英、长石			无反应		黄棕色粉砂
E2	深灰色砂砾岩	白云石、石英、长石		深蓝	淡黄	砂质白云岩	白云质砂砾岩
B3				浅蓝	淡黄	砂质白云岩	白云质砂砾岩
B5	黄灰色含砂砾岩			深蓝	淡黄	砂质白云岩	白云质砂砾岩
B7	黄灰色含砾砂岩			深蓝	淡黄	砂质白云岩	白云质砂砾岩
C4	灰色砂砾岩			深蓝	淡黄	砂质白云岩	白云质砂砾岩
C5	含铸模砂砾岩			深蓝	淡黄		白云质砂砾岩
O2	含细砾粉砂	白云石、石英、长石		浅蓝+紫红	淡黄		
O3	黄棕色贝壳灰岩			紫红	淡黄		
G2	含贝壳灰岩			鲜红、紫红	淡黄		白云质砂岩

Ca、Mg的长石，云母等矿物存在，白云石中Ca、Mg的确切含量不易计算。如果参照Ca/Mg的比率，对白云岩分类进行粗略的估计，则仅有个别是Ca/Mg = 1.5—1.7的白云

岩, 而大多数样品的Ca/Mg比率在1.7—2.6之间(表3), 应称为微方解石质白云岩, 或方解石质白云岩。

表3 排浦地区部分样品分析数据表

Table 3 Analysis data of some dolomite samples

分析数据 标本号	分析 项目	排原子吸收光谱分析(%)					电子探针或化学全分析(%)						
		Ca	Mg	Sr	Fe	Ca/Mg	CaO	MgO	SiO ₂	FeO	MnO	Al ₂ O ₃	Ca/Mg
排 I-5							22.03	13.22	22.85	3.22	0.60		1.97
E1		1.23	1.62	0.01	5.06	0.76							
E3		4.82	2.2	0.01	2.24	2.19							
E3A ₁		11.57	5.2	0.01	2.47	2.23	27.1	12.8	9.9	2.3		9.3	1.87
E3A ₂		91.27	7.6	0.01	3.14	2.54	29.3	13.5	21.9	3.6		6.9	1.94
E3A ₃		14.96	8.8	0.01	2.56	1.70	21.6	11.2	34.1	2.2		3.2	1.71
E4		11.37	5.4	0.01	2.59	2.10							
E5		4.99	1.92	0.01	2.62	2.57							
E6		19.99	8.8	0.01	3.20	2.27							
E7		8.02	4.00	0.01	2.75	2.01							
E13		12.11	5.60	0.01	2.67	2.16							

本地层中所见的白云石矿物可分两类; 1. 具有环带构造的白云石, 大都有完好的菱面体自形晶, 晶体表面污浊, 以基质或胶结物的形式分布于岩石中(图版 I, 4, 7, I, 7)。2. 洁净, 透明的白云石, 半自形晶为主, 常交代软体动物介壳成印模, 或包围碎屑颗粒和充填于张裂隙中而呈栉壳状排列, 它们不与陆源碎屑共生, 表明有后生交代的特征(图版 I, 5)。

排浦白云岩的产状有以下几种类型:

(一) 白云石与陆源粗碎屑共生的白云质砂砾岩 这类岩石(既E2层)组成滨海岸蚀坪, 分布面积最广, 自排浦东北B-B'剖面起。断续延伸到超头市北O-O'剖面, 约5—6公里(图1)。岩石中陆源砂砾占50%以上, 基质和胶结物含量变化较大, 约为20—30%, 在不含大砾石的薄片, 白云石和陆源砂屑的相对含量变化也很大: 白云石晶粒可达50—90%, 一些薄片, 白云石化的介壳印模占其中的30%, 砂屑含量一般在35%以下, 个别仅占5%。砂屑成分以石英和石英岩为主(>90%), 长石<3%, 云母约1%, 另有火山岩岩屑等, 自生矿物中有海绿石。砂屑以中—细砂为主, 也有粉砂和粗砂, 呈棱角, 次棱角状, 或溶蚀呈弯曲状。残余生物碎屑以粗砂屑为主, 但标本中介壳的印模长可达5厘米。砂屑或均匀分布于基质中, 或相对富集呈斑状和条带状。白云石组成基底或胶结, 菱面体自形晶为主, 有半自形晶和嵌晶, 具环带构造。细晶为主, 含少量极细晶(6—15微米), 大者为中晶(70—110微米)。一般为等粒结构(图版

I, 4), 在岩屑富集处则由中晶白云石散布于细晶中组成斑状结构。在白云石化的介壳印模中, 半自形或嵌晶白云石细晶沿壳壁呈栉壳状排列, 中间为粗粒自形细一中晶白云石, 表面光滑洁净(图版 I, 5), 在部分岩屑边缘和张性裂隙中的白云石也呈栉壳状排列。

(二) 陆源沉积中成透镜状或层状的砂质白云岩 它们夹在 3、4 层泥质细一粉砂中, 分布在 B-B'、C-C' 和 E 剖面沿岸(如排 3-5, B 8、C13、E13、) 或小河口(G 3), 或是在海蚀坪的向海侧、覆盖在 2 层之上(C1、C2、B5), 或是以透镜状夹在 4 层中(E6), 层厚 8—15 厘米, 少数在 30 厘米左右, 透镜状沿走向长 40 米到百余米, 浅灰, 浅黄灰色, 细一粉砂结构, 土状断口, 层理不明显, 细砾和砂呈透镜状分布。显微镜下陆源碎屑呈带状分布, 富集处含 30—40%, 局部仅 3—5%, 平均为 20—25%。碎屑自粉砂到细砾级都有, 以细砂为主。碎屑成分, 有石英、长石、云母等。可辨认的生物残骸有珊瑚藻, 有孔虫、棘屑等(图版 I, 6, I, 1)。白云石以菱形自形晶为主, 有半自形晶和嵌晶。一般晶粒 6—34 微米, 少数可达 40—70 微米, 等粒结构, 组成基底式粒状结晶胶结, 成岩性好(图版 I, 7)。

表 4 白云化渗透岩管(E3A)各层结构数据

Table 4 Textural parameters of each stratum of dolomitized infiltration rocky tube(E3A)

内 容 层 次	外层(E3A ₁)	内层(E3A ₂)	中心区(E3A ₃)
白云石含量(%)	40	90	10—15
白云石大小(μ)	6—36	17—30	11—112
陆源砂屑含量(%)	40	5	65—75
陆源砂屑粒径(μ)	360—720	38—59	90—290
孔隙度(%)	20	5	15—20
胶结类型	接触胶结	结晶充填胶结	接触胶结
白云石结构	斑状结构	等粒结构	斑状结构

(三) 散布在泥质细一粉砂层中的白云石和白石化渗透岩管 在较疏松的泥质细一粉砂(3, 4层)中, 白云石的含量在 10% 以下, 而散布于这两层中成岩性较好的渗透岩管已强烈白云石化。这类岩管, 由内、外两个同心层组成(图版 I, 3、表 4), 中心部分直径 4 毫米, 较疏松, 细一中粒级砂的含量为 65—75%, 白云石占 10—15% (图版 I, 5); 岩管内层致密, 厚 5—10 毫米, 白云石化强烈, 白云石含量占 90%, 砂屑仅占 5%, 且以粗粉砂级的溶蚀残余形式出现, 表明是白云石交代砂屑的产物(图版 I, 6); 外层也疏松, 手标本上往往保存不完整, 白云石和砂屑各占 40%, 余为孔隙(图版 I, 7)。组成岩管的白云石晶粒为 6—112 毫米, 菱面体自形晶为主, 内层为等粒结构, 余为斑状结构。(图版 I, 5—7)。上述岩管的特殊结构和内外层白云石化的巨大差别, 只可能用原地差异交代作用的成因来解释。

三、白云岩化作用探讨

(一) 交代作用形成的白云石

白云石的成因是地质学界长期争论的一个重要问题。排浦白云石的成因不是以化学沉淀方式从水体中直接沉淀出来的原生白云石,而是交代作用形成的白云石。其依据有:1.白云石晶粒粗大。原生白云石是微晶或极细晶沉积,如南澳大利亚库隆泻湖的白云石晶体小于20微米,而排浦白云石的晶体为6—112微米,以细—中晶为主。2.白云石的交代现象异常普遍,不仅交代钙藻,有孔虫壳和介壳等碳酸钙骨骼,而且交代石英、长石、云母等岩屑,及自生海绿石等(图版I, 4—6, II, 1—4, 6—8),渗滤岩管内层的组成(图版I, 6)表明原有陆源碎屑几乎被交代殆尽。3.白云石的斑状结构出现在岩屑富集或微裂隙附近渗透性较好的区域内,说明白云石形成时受沉积物内流体控制。4.白云石从碎屑和矿物边缘向心地发生交代作用表明为非再沉积的产物。5.水平产出的白云石化岩管具有丫形分叉,向上转为垂直生长势,并错断原始沉积纹层,这类岩管是围绕着生长在沉积表层以下的植物根系发育起来的,具有准同生或早期成岩阶段产物的标志。6.介壳印模和张裂隙中的洁净白云石晶粒粗大并呈栉壳状排列(图版I, 5),表明它们是原地交代或在裂隙中后期沉淀的产物。7.白云石化强度与成岩作用强度一致,即成岩性好的岩石其白云石化强度也高,而未石化的沉积物中白云石含量很少。8.排II-5砂质白云岩样品的 ^{14}C 同位素年龄为距今 31975 ± 3270 年,为更新世晚期。如果白云石赋存的地层属早更新世湛江组,则晚更新世的交代白云石形成于早更新世的沉积中。

综合上述,排浦白云岩是准同生或成岩期交代作用形成的,是第一旋回的交代白云岩,而不是经过搬运,再沉积的第二旋回的白云岩,是在距今32000年前后,海岸潮间带环境下,更新世沉积中发生一系列交代作用的结果。

(二) 白云岩的成岩环境

据第四纪海平面变化资料,32000—35000年前的世界性高海平面恰好与现代海平面相当,当时夏季的气温要比现代高 $3.5—5.5\text{ }^{\circ}\text{C}$;这对白云石的形成有利。这期间海岸线的变迁不会太大,因为区内既有侵蚀型海岸,也有堆积型沙堤海岸,E剖面 and B-B'剖面(图2, 4)是代表。在白云岩赋存的海岸和海蚀坪的向海侧,发育着由上、下两个台阶组成的礁坪(图4),宽1750米,上台阶比下台阶高60厘米,而海蚀坪又比上台阶高85厘米,上、下台阶外缘都有密集生长的原生滨珊瑚补丁礁。经测定,上台阶原生珊瑚的 ^{14}C 同位素年龄为 4007 ± 150 年,而下台阶为 3542 ± 123 年。珊瑚岸礁和位于其西侧5公里外的大铲珊瑚堤礁(图1)对海岸起着保护作用。因此,晚更新世时本区的海平面位置和海岸线大致与现代相当,而当时的潮汐作用和气候条件等也可以用现代资料作借鉴。

研究区地处北部湾内,潮汐作用较强,属正规日潮,平均潮差1.82米,最大潮差3.60米¹⁾。高潮时,海蚀坪和陡崖下部淹没于海水中;低潮时,海蚀坪和礁坪的两个台阶

1) 中国沿岸海洋水文气象概况, 1977, 国家海洋局第一海洋研究所编。

都暴露于大气中(图 4)，所以这里具备典型的潮间环境。海南岛西北部为热带岛屿气候，干湿季交替明显，据东方海洋站资料²⁾，年平均降雨量为2356.8毫米，最大月平均蒸发量大于300毫米(图 5)。本区海积阶地和海岸沙堤发育，小河和冲沟较多，因此沿岸带地下水丰富，海滩上泄水口众多。地下水和涨潮时海水互相掺和成混合水，其盐度将比海水有明显的降低。如1981年5月8日表层海水为35.39‰，而海滩内的混合水为33.86‰(表 5)。淡水与海水混合利于白云石的形成。本区海岸带植被发育，植物的蒸腾作用和新陈代谢作用将影响其根系周围粒间水的性质，促进成岩作用的进行。

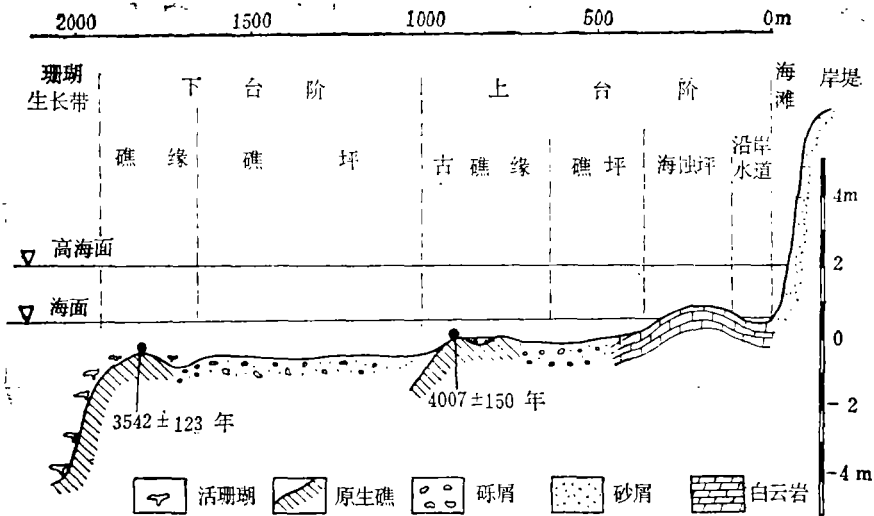


图 4 排浦东北岸礁B—B'剖面图

Fig. 4 Vertical section of fringing coral reef B-B' in the northeast of Paipu

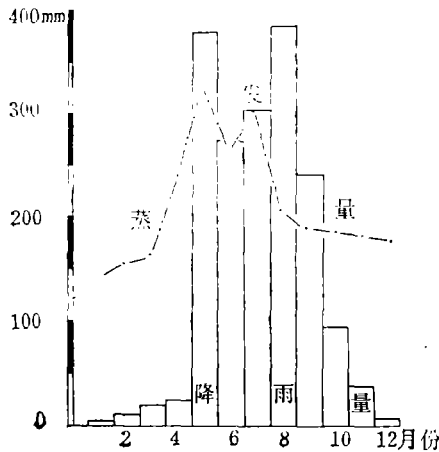


图 5 东方海洋站1973—1975年月平均降雨量和蒸发量分布图

Fig. 5 Distribution of monthly mean rainfall and evaporation rate for the years 1973-1975

2) 海洋站观测资料，1973—1975，国家海洋局编。

表5 排浦岸礁区水样分析数据表
Table 5 Analysis data of water samples of fringing reef area of Paipu

样品号	取样日期	取样地点	水文条件	分析结果						
				pH	Eh	盐度 (%)	氯度 (%)	Mg ⁺⁺ (ppm)	Ca ⁺⁺ (ppm)	Mg/Ca
排1	1981.5.8	BB'剖面礁缘表层海水	低潮			35.39				
排2	1918.5.8	BB'剖面海滩地下水	低潮			33.86				
B-1	1982.4.1	BB'剖面沿岸水渠	低潮	8.1		34.3	19.00	1343.8	575	2.34
B-2	4.2	BB'剖面沿岸水渠	雨后、低潮	8.1		28.0	15.55	1750.0	471	3.72
B-3	4.4	BB'剖面海蚀坪粒间水	雨后、低潮	7.8	362	32.62	18.08	1937.5	525	3.69
B-5	4.7	BB'剖面海蚀坪地下水	低潮	7.7		31.26	18.98	2159.0	525	4.11
B-6	4.7	BB'剖面沿岸水渠	低潮	8.4		32.4	17.95	2062.5	550	3.75
C-1	4.5	CC'剖面海蚀坪粒间水	低潮	7.6	357	34.26	18.98	2156.3	637.5	3.38
	4.5	CC'剖面礁坪表层水	低潮	8.0	342	33.24	18.42	2062.5	550	3.75
C-3	4.12	CC'剖面沿岸水渠	高潮	8.5	336	29.78		2093.8	562.3	3.72
G-1	4.12	河口地表水	低潮	7.5		1.28	.071			

(三) 白云石化作用

根据本区白云岩的岩石学和岩类学特征进行分析, 已能确定的白云石化作用有下列三类。

1. 混合水的白云石化作用 本区气候干、湿交替, 雨季雨量充沛, 组成海岸带地层的渗透性好。地下潜水从地表和沟谷得到补给, 到海岸带与海水混合并向海滩排出。这种混合水的盐度显著降低, 而Mg/Ca比的变化较小, 或有所提高(表5)。混合水条件下, 结晶速度减慢, 外来离子干扰减小, 从而利于白云石化作用的进行。据Badiozamani, K. 的计算, 在海水与地下水混合的某些比例范围内(如5—30%)可出现对方解石不饱和而对白云石已饱和的化学条件, 从而发生白云石化作用。区内产于岸边和小河口的层状或透镜状砂质白云岩(如C13、E6、E13和G3), 以及散布在3、4层泥质细粉砂层中的白云石(E4)应属于这种成因。这类白云石形成于E2层的砂砾中, 便将该层胶结石化而成为白云石质砂砾岩。

2. 潮间带变盐度条件下的白云石化作用 发生在潮间带海蚀坪的砂砾岩中, 洁净、透明的白云石晶体组成软体动物介壳的印模, 或充填于裂隙和晶洞中呈帚壳状排列于洞壁上。区内干、湿交替的气候和强烈的潮汐作用给海蚀坪创造了活跃的周期性变盐度环境。低潮时, 海蚀坪受暴晒, 粒间水被浓缩, 盐度升高; 高潮时, 正常盐度的海水灌入。此外, 还可能降水或地下水的补给, 这就使海蚀坪内的粒间水具有活跃的昼夜和季节性的盐度和pH值变化。变盐度环境是形成白云石的理想场所。在夜间或涨潮时, 温度和pH值均较低, CO₂分压高, 文石和方解石质骨骼被溶解; 反之, 在白昼或退潮

时, 温度高, pH也高而 CO_2 分压低的情况下, CaCO_3 和 MgCO_3 共同沉积而形成白云石。这种昼夜和季节性的动态变化, 使砂砾层中溶解-沉淀作用不间断地交替发生。结果形成透明、洁净、光亮晶面的自形晶白云石, 也称为淡水白云石, 即前述第二种白云石。白云石本身也经受着不断的溶解, 再沉淀的过程, 如在薄片见到白云石晶体的溶蚀孔中沉淀着第二世代的菱面体白云石。

3. 植物白云石化作用或植物根系白云石化作用 这种白云石化作用的结果形成一种特殊的白云石化渗滤岩管。其形成机理可概述如次。

植物根系吸收水分和矿物质具有相当大的独立性, 在极稀的溶液里, 它们透过根部薄膜吸收的矿物质相对地多于它们在水溶液里的百分含量, 而在浓的溶液里, 植物吸收的水分又大于其中水的百分含量。按其生理作用需要, 植物还有选择性地吸收溶液中矿物离子的特殊功能。如它们吸收阳离子的强度顺序是 K^+ 、 Ca^{++} 、 Mg^{++} 。生长在热带海岸潮间带的耐盐性植物根系, 通过其表层薄膜的渗透作用, 从粒间海水, 或混合水中吸收大量的水份和不同数量的各种矿物离子, 供其蒸腾作用和新陈代谢之需。而在根外, 必然残留下来被浓缩了的粒间水, 其盐度增高, Mg/Ca 比变大; 因而创造了白云化作用的两个控制条件。另一方面, 植物根系的呼吸作用和新陈代谢作用排出 CO_2 和有机酸, 改变水的pH值。在根系周围为形成白云石— $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ 提供了碳酸根离子和创造了有利的微环境。

热带气候季节性的干湿变化, 特别是潮汐作用引起周期性的盐度、温度和pH值的变化, 可导至交代作用和白云石化作用的进行。在旱季或白昼, 植物的蒸腾作用强烈, 粒间水被浓缩, 水温、盐度、 Mg/Ca 比和pH值都增高, 这时利于白云石的沉积和石英等陆源矿物被溶解; 在雨季或涨潮时, 粒间水盐度降低, 夜间的水温和pH值均较低, 这时利于文石和方解石质骨骼颗粒的溶解。在海岸潮间带周期性动态变化的变盐度环境里, 在植物生理作用的控制下, 白云石的交代作用得以进行。部分碳酸钙矿物、石英和硅酸盐碎屑被溶解, 并形成交代白云石。最后形成白云石化的渗滤岩管。植物的蒸腾作用类似于形成白云石的蒸发泵作用, 甚至比后者更强烈。因此, 我们可以把这种白云石化作用称为植物白云石化作用, 或植物根系白云石化作用。

四、结 论

海南岛排浦更新世白云岩在产状, 成因等方面有很多特点。它们对古代白云岩化的研究具有重要参考意义。

(一) 白云石与陆源砂砾共生 海南岛排浦白云岩的产状有三类: (1)与陆源砂砾共生的白云质砂砾岩。(2)陆源沉积物中透镜状或层状的砂质白云岩。(3)泥质细一粉砂层中的白云石和白云石化渗滤岩管。第一类白云石充填于陆源砂砾中, 砾屑的长径达3—30厘米, 白云石以基质或胶结物的形式将砂砾胶结成岩。白云石与如此巨大的砾石共生, 在以往文献中从未报导过, Friedman, G. M. 和Sanders, J. E. 列举了各种白云岩的产状, 在与陆源沉积物互层的白云岩中, 陆源沉积物最粗的粒级是砂岩, 而在散布于陆源沉积物中的白云石晶体这类产状里, 报导了美国西部晚白垩世海成砂岩与

白云石晶体共生的例子,其中白云石含量达25%。这与本文第三类产状中部分相似,但地层中产出白云石化渗滤岩管则是海南岛排浦地区第一次发现。

(二)海南岛排浦更新世白云石是形成于潮间带的交代白云石 排浦白云石不是早更新世沉积时形成的原生白云石,而是晚更新世时(距今约32000年)形成于潮间带的、成岩阶段的交代白云石,白云石化强度与成岩程度一致,它是第一旋回的白云石,而不是经过搬运后再沉积的白云石。白云石以自形晶为主,少数为半自形和镶嵌式,由细一极细晶(6—34微米)组成等粒结构,局部含中晶(70—110微米)成斑状结构。岩石中交代作用强烈。与白云石共生的矿物中未见其它蒸发盐矿物,表明它们形成于干湿交替环境中。

(三)在一定条件下,陆源碎屑沉积可以被交代成白云岩 如前所述,白云石化的渗滤岩管产于含少量白云石的泥质细一粉砂层中,且其内层白云石化尤为强烈,致使白云石含量高达90%,以及陆源碎屑呈溶蚀残余结构出现等现象(图版I, 3, I, 6, 表4)表明这种局部范围内白云石的高度富集是原地交代作用的结果。内层白云石含量高和陆源碎屑被交代而含量锐减,表明在特定条件下,白云石不仅是原先碳酸钙颗粒或胶结物被交代的产物,也可以是海相陆源碎屑沉积被交代的产物。只要具备暴露地表和适当的潮间或潮上环境,就可能形成白云岩,原始沉积中碳酸钙含量的多寡,不是决定因素。地史上的某些白云岩也可以是在特定条件下碎屑岩被交代的产物。如是,这将大大地扩充白云岩化的范围。

(四)本区存在三种白云石化作用

1.混合水的白云石化作用 在海岸潮间带,地下水和海水组成的混合水,其盐度降低,而Mg/Ca比变化较小,利于白云石化作用的进行,结果形成区内主要的层状和透镜状白云岩。Badiozamani, K. 对此作用的可能性作了理论上的论证,并以此解释威斯康星州中奥陶统的白云岩成因。排浦白云岩是这种白云石化作用的现代实例。

2.潮间带变盐度条件下的白云石化作用 干湿交替气候条件下的潮间带存在着变盐度环境。盐度、pH值等周期性变化的结果,在潮间带海蚀坪中交代作用结果形成洁净、透明的自形晶白云石。

3.植物(根系)白云石化作用 发生于热带海岸潮间带。在植物的蒸腾作用、呼吸作用和新陈代谢过程中,根系吸收大量水分,选择性地吸收各种矿物离子,呼出CO₂,分泌有机酸等的结果,在根系周围形成交代白云石。它们是植物生理作用直接控制的结果。一般认为,生物在石化成岩和白云石生成方面的作用是不可忽视的,但这一作用都是间接的。植物白云石化作用对于认识植物和成岩作用关系的研究将有重要意义。

(收稿日期1983年4月7日)

参 考 文 献

- [1] 王国忠、吕炳全、全松青, 1982, 海南岛更新世白云岩的发现及其形成环境分析, 同济大学学报, 4期, P.18—26。
- [2] 中国科学院南海海洋研究所地质研究室, 1978, 华南沿海第四纪地质, 科学出版社。
- [3] 杜恒俭、陈华慧、曹伯勋, 1981, 地貌学及第四纪地质学, 地质出版社。

- [4] 北京农业大学编, 1961, 植物生理学(上、下)农业出版社。
- [5] 冯增昭, 1979, 白云岩的生成机理与成因分类, 天然气勘探与开发, 2期, P. 1—9。
- [6] Folk, R. L. and Ward, W. C., 1975, Brazos river bar: A study in the significance of grain size parameters, *J. Sediment. Petrol.* 27, p. 3-27.
- [7] Warne, S., 1963, The Nature and Significance of Microscopic Mineral Matter in Some New South Wales Coals. Thesis, Univ. New S. Wales, Sydney, N. S. W. 306 pp. Unpublished.
- [8] Friedman, G. M. 1978, Staining Techniques, in Fairbridge, R. W. and Bourgeois, J. ed. *The Encyclopedia of Sedimentology*, Dowden, Hutchison and Ross, Inc. p. 764-765.
- [9] Joint Committee on Powder Diffraction Standards; Powder Diffraction File Set 1-22 (ASTM-JCPDS).
- [10] Chilingar, G. V., 1957, Classification of Limestones and Dolomites on Basis of Ca/Mg Ratio. *J. Sediment, Petrol.* V. 27. 187-189.
- [11] Bathurst, R. G. C., 1971, Carbonate Sediments and their Diagenesis, Elsevier Publishing Company Amsterdam London New York.
- [12] Milliman, J. D. 1974, Marine Carbonates. Springer-Verlag Berlin. Heidelberg. New York.
- [13] Friedman, G. M. and Sanders, J. E. 1967, Origin and Occurrence of dolomite, In: Chilingar, G. V., et al. (Editors), Carbonate Rocks, (Developments in Sedimentology, 9A) Elsevier Publishing Company Amsterdam London New York.
- [14] Folk, R. L. and Land, L. S., 1975, Mg/Ca ratio and Salinity; two Controls over Crystallization of Dolomite. *Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull.* Vol. 59. p. 62-68.
- [15] Liebermann, O., 1967, Synthesis of Dolomite, *Nature* 213; p. 241-245.
- [16] Badiozamani, K., 1973, The Dolomitization Model—Application to the Middle Ordovician of Wisconsin, *J. Sediment. Petrol.* Vol. 43. No. 4. p. 965-984.
- [17] Hsu, K. J. and Siegenthaler, C., 1969, Preliminary experiments on hydrodynamic movement induced by evaporation and their bearing on the dolomite problem. *Sedimentology*, 12; 11-25.

DOLOMITIZATION OF PLEISTOCENE SEDIMENTS ON HAINAN ISLAND, CHINA

Wang Guozhong Lu Bingquan and Quan Songqing

(Research Institute of Marine Geology, Tongji University, Shanghai)

Abstract

The Pleistocene dolomites occurred in the abrasion flat and coast of the intertidal zone of the fringing rear reef in Paipu area, Zuan County, Hainan Island, Chi-

na. The abrasion flat is made of sediments of the littoral—river sandy—conglomeratic facies, including abundant mould of marine mollusca. On the flat the sea cliff consists of littoral lagoonal muddy siltfine sand facies.

Dolomites (dolostone) consist of dolomite and clastic grains. It is confirmed by the identifications of thin section, staining techniques, thermocouple analysis, X-ray diffraction techniques, scanning electron microscopy, electron probe microanalysis, chemical quantitative analysis etc. .

There are two kinds of dolomites; 1) dolomite of euhedral rhombic crystal with zonal texture; 2) clear, limpid dolomite formed by fissure filling and shell moulding.

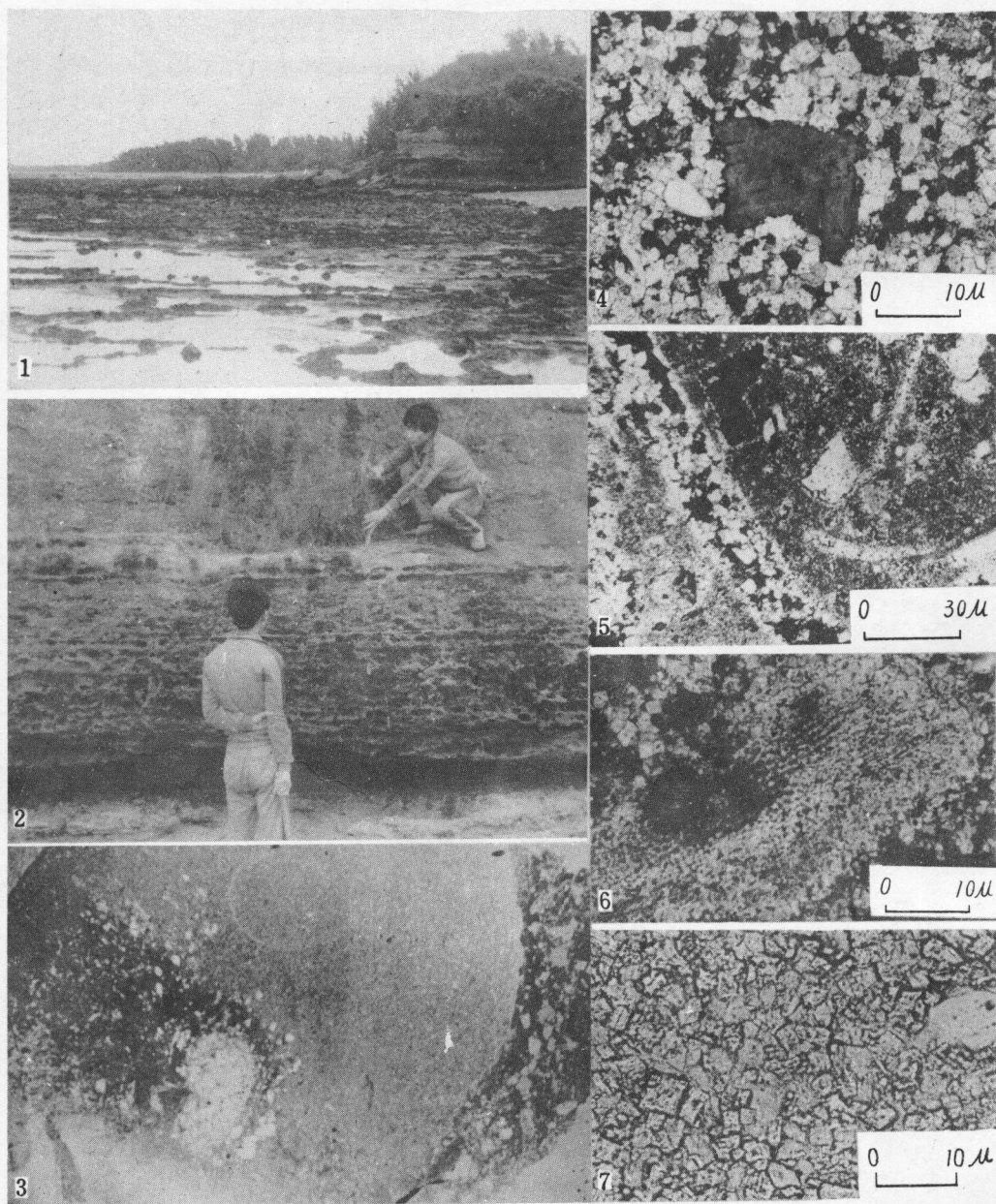
The origin of dolomites is of replacement in the early diagenesis stage. There are three patterns of occurrences of dolomites; 1) Dolomitic sandy conglomerate formed by coarse clastic deposits and dolomite has a bedding structure, 40-50cm in thickness, and consists of gravels, several cm to 30cm in major diameter and dolomite, having the forms of matrix and cement. It has been known now as the coarsest clastic materials associated with dolomite. 2) Sandy dolomite of lenticular or bedding structure 8-30cm, in thickness, interlayers with clastic deposits; it consists of 75% dolomite and about 20-25% clastic materials and authigenic minerals, 3) Dolomite crystals and dolomitized infiltration tubules distribute in muddy sand-silt bed. The latter has circle and oval cross section and concentric stratoid structure. The loose and rough central area and outer stratum consist of 10-40% dolomite. The fine inner stratum dolomitized intensely consists of 90% dolomite and only 5% clastic materials and 5% pore space. The silty clastic particles have relict structure, caused by replacement (Plat. I, 3, II, 5-7, Table 4)

There are three kinds of dolomitization, which may be sure in this region;

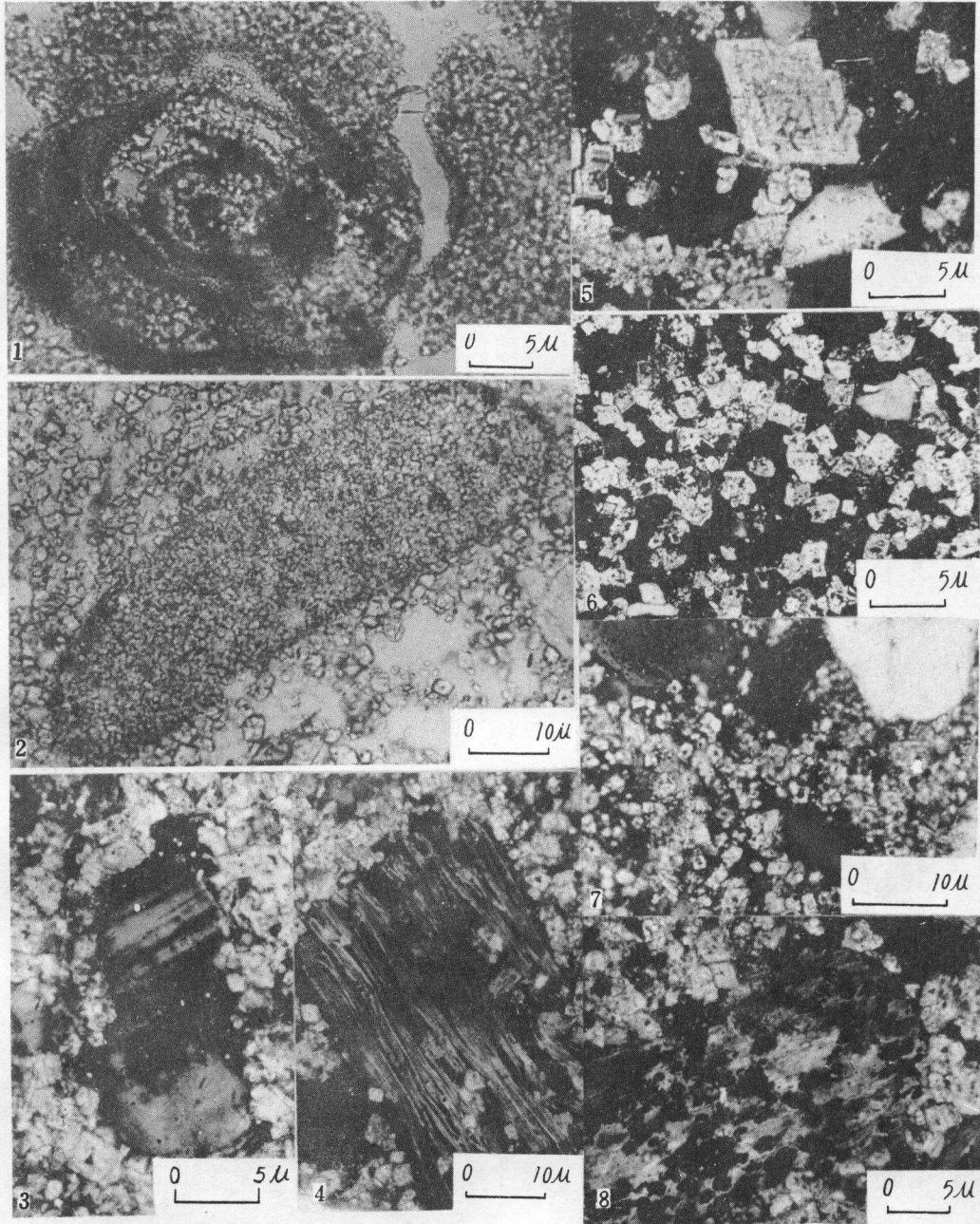
1. Dolomitization of the mixing of fresh ground water and sea water in intertidal zone of coast and in the mouth of small river. These conditions favour the replacement of dolomite because of the drastical dropping of salinity and the Mg/Ca ratio remaining less variance.

2. Dolomitization of schizahaline marine pore-water in the intertidal zone. It forms clear, limpid dolomite, replacing shell of mollusca and filling the tension crack with a lamellar arrangement.

3. Dolomitization of plants forms dolomitized infiltration tubule. It is directly controlled by the physiological action of plants around their roots. In the intertidal zone of the coast, because the transpiration and respiration of plants electively suck up moisture and cationes and drain off the CO₂ and organic acid, the salinity and Mg/Ca ratio become higher and higher, and the microenvironment near the root becomes favourable of the replacement. Thus, the dissolution, precipitation and metasomatism of carbonate take place and dolomitized infiltration tubules are formed around the root system. This local intense dolomitization forces the people to realize the possibility of forming dolomite (dolostone) by replacing clastic rocks on given conditions.



1. 排浦东北海岸第四系露头E, 陡岸由图13-7层组成, 其下海蚀坪由砂砾岩组成, 表面上红藻围成不规则的石埂, 溶蚀坑中积水。 2. 第3、4层泥质细-粉砂露头, 海蚀穴沿层分布, 渗滤岩管位于表面, 标本取自4层中的砂质白云岩。 3. 渗滤岩管的横切面, 中心孔偏于左下方, 被石英等岩屑充填, 内层呈椭圆, 由细晶白云石组成, 右侧为外层的残留部分, 浅色颗粒为中细砂岩屑, 白云石以基质和胶结物形式出现, 标本E3A。 4. 白云岩等粒结构, 白云石交代石英, 后者被溶蚀成港湾状, 标本B3。 5. 白云石交代的介壳印模, 半自形白云石沿壳壁排列呈栉壳状, 中为白云石自形晶, 标本C5。 6. 砂质白云岩中珊瑚藻的交代残余, 标本B7。 7. 砂质白云岩中白云石自形晶等粒结构, 标本E13。



1. 砂质白云岩中有孔虫壳的交代现象，房室中为菱面体自形晶，壳壁为嵌晶，标Ⅲ——5。 2. 白云石充填的泥晶套，套内为极细晶白云石，外为细晶白云石，标本B 7，单偏光。 3. 白云石交代长石，标本B 5，正交。 4. 白云石交代云母，标本B 7，正交。 5. 白云石化渗滤岩管的中心部分，胶结疏松，斑晶结构，中为白云石连晶。白云石占10—15%，岩屑占65—75%，正交。 6. 白云石化渗滤岩管内层的显微结构，石英颗粒以交代残余形式散布于细晶白云石中，白云石为菱面体自形晶，具环带构造，正交。 7. 白云石化渗滤岩管外层，中——粗粒石英等岩屑散布于自形白云石中，较疏松，正交。 8. 白云石交代海绿石，标本B7，正交