

# 海南岛莺歌海现代和全新世海滩岩与沙丘岩的胶结结构和成岩作用

刘怀波

(江汉石油学院, 湖北江陵)

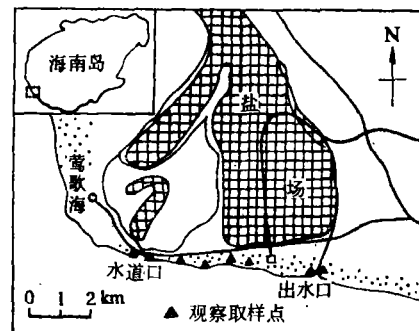
海南岛乐东县莺歌海盐场南海岸, 自前滨至滨岸沙丘发育有现代和全新世海滩岩与沙丘岩。这些岩石的产状、胶结物和胶结结构所反映的成岩作用特征, 提供了一个全新世以来热带海滨近地表成岩环境中以陆源碎屑为主要成分的沉积物的早期成岩作用模式。

## 一、莺歌海海滩岩与沙丘岩的一般特征

1. 地理背景 观察和采样地点位于莺歌海盐场南面自水道口至出水口一带海岸(图1)。这一带为砂质海岸, 前滨宽约50米, 后滨宽约20米, 其后为滨岸沙丘带。沙丘带高约+8米, 宽100—300米, 顶部有木麻黄生长。沙丘带的基部是全新世老沙堤, 具向海缓倾的层理, 由于海面下降<sup>[1]</sup>, 顶部经风成沉积改造成为现代沙丘。所以沙丘带基部主要由海成砂组成。自低潮线附近至沙丘带顶部均见有已胶结的砂砾岩分布。

图1 观察和取样点的位置

Fig. 1 Index map showing location of observation and sampling



2. 分布和产状 莺歌海海滩岩除已报道<sup>[2,3,4]</sup>的以外, 还有产在沙丘带内最高潜水面之下的埋藏海滩岩, 被人工采石所揭露。潜水为含盐很低的混合水。潜水面随潮汐波动, 海滩岩顶面大致与最高潜水面相当, 其上为未胶结的砂。海滩岩显向海倾斜的层状(图版I, 1)。

沙丘岩有三种产状: 沙丘(老沙堤)内的板块状, 沙丘顶部的硬壳状和环绕植物根系的斑块状。板块状者主要见于出水口两岸沙丘剖面的中下一中上部, 断断续续沿向海

缓倾的层理方向延伸,“板块”长一般不超过1—2米,厚数至数十厘米。硬壳状者见于水道口以东沙丘带顶部,构成沙丘的硬盖,厚3—17厘米,分布范围十几—百余平方米,具向海倾斜的层理(图版I,2)。斑块状者是沿木麻黄等植物根胶结而成的,长径可达数十厘米,含有根孔或残存的植物根(图版I,3)。斑块状沙丘岩主要发育在沙丘的中上至顶部,常与板块状沙丘岩伴生,时与硬壳状沙丘岩胶结在一起。

**3. 岩性特征** 莺歌海海滩岩是胶结坚硬的砂砾岩<sup>[2、3]</sup>,其生物骨屑含量平均不超过5%,沙丘岩为弱胶结的石英砂岩 大多多孔易碎,钙质生物屑含量不到1%。

## 二、莺歌海海滩岩与沙丘岩的胶结物和胶结组构

**1. 海滩岩** 海滩岩的胶结物与胶结组构随产出部位而有别,有四种主要胶结式样:

**叶片状高镁方解石等厚环边** 出现在前滨下部的暴露海滩岩和水道口、出水口高潮面以下的埋藏海滩岩中。相当于赵希涛等<sup>[2]</sup>和沙庆安等<sup>[3]</sup>所描述的柱状高镁方解石。探针分析(镁的面分布和特征X射线计数,表1),富镁。等厚环边胶结物之上,常见薄膜状或新月形钙泥质、粉砂质渗流物堆积(图版I,4)。

**泥晶高镁方解石** 主要分布于前滨上部至后滨的海滩岩中。泥晶中往往伴有流水带入的石英粉砂(图版I,5)。在稍大的粒间孔中,普遍存在由泥晶向上逐渐过渡为球粒的现象,球粒间为微亮晶方解石,并常见示顶底组构。扫描观察,泥晶(包括球粒中的泥晶)为互相融合的均匀粒状。探针(镁的面分布)分析表明,球粒富镁,微亮晶贫镁,与特征X射线计数分析结果(表1)一致。在岩石中一个直径2厘米的半充填孔洞中,泥晶、球粒、粪粒和有孔虫在孔洞下部堆积成反粒序状,孔洞上部无沉积物,形成示顶底构造。上述胶结组构特征均显示有海水渗流作用的影响。

上升到后滨的海滩岩,其泥晶胶结物多已转化为低镁方解石,并遭受淋滤。某些部位,经过淋滤的孔隙又被球粒、石英粉砂和微亮晶方解石充填。

**泥晶高镁方解石+叶片状高镁方解石** 属上述两种胶结式样的过渡类型,分布位置亦介于上述两者之间,即前滨中上部。胶结组构特征是,叶片状方解石往往分布不均匀,常见泥晶→叶片→泥晶的重复现象。孔隙中心有时也出现球粒和微亮晶。

**粒状低镁方解石** 见于混合水潜水面附近的埋藏海滩岩中,粒径10—30 $\mu$ ,可占据孔隙体积的20—90%。含量少时呈典型的环边状分布;含量多时向孔隙中心晶粒稍增大。局部伴有泥-微晶方解石斑块。

**2. 沙丘岩** 虽然三种沙丘岩的胶结物几乎均为低镁方解石,但其胶结组构差别较大。

(1)**斑块状沙丘岩** 胶结物以泥-微晶低镁方解石为主,自根孔向外胶结程度变低,可区别出三种胶结式样(图2):

①泥-微晶低镁方解石 分布在斑块的 inner 层,紧靠根孔有0.2—2mm厚的泥-微晶方解石薄层,向外过渡为被泥晶和微晶胶结的砂(图2—①),胶结物可占据全部孔隙

表1 镁、锶特征X射线计数分析结果<sup>1)</sup>

Table 1 Characteristic X-ray count data about Mg and Sr in cements of the Yinggehai beach and dune rocks

样品号	胶结物类型	X射线计数	
		Mg	Sr
YBR-1	前滨下部海滩岩中的泥晶方解石	1432	5
YBR-1	前滨下部海滩岩中的叶片状方解石	4584	10
YBR-1	前滨下部海滩岩中的微晶粒状方解石	215	10
YBR-2	后滨海滩岩中的泥晶方解石	24	7
YBR-4	前滨上部海滩岩中的球粒	2301	15
YBR-4	前滨上部海滩岩中的球粒间微亮晶	184	12
YSR-2	斑块状沙丘岩中的泥晶方解石	25	7
YSR-2	"	79	3
YSR-2	斑块状沙丘岩中的粒状方解石	108	5
YSR-3	板块状沙丘岩中的粒状方解石	27	4
YSR-3	"	201	5

说明: (1) 5秒钟点计数, 3—4次计数平均值;

(2) 计数条件: 聚光镜0.9, 吸收电流  $3 \times 10^{-8} \times 1.4$ 。

1) 武汉地质学院测试中心协助完成。

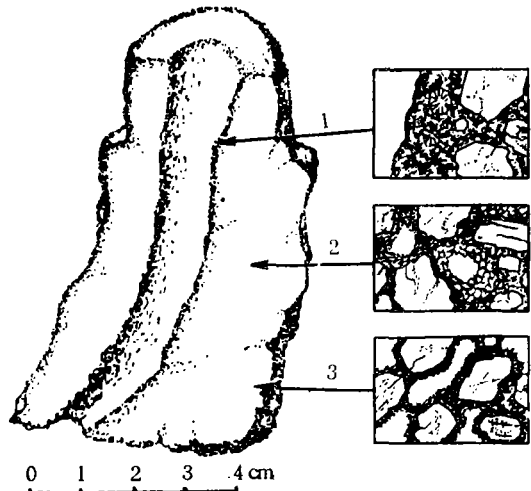
空间。扫描观察, 方解石多为它形晶, 晶径3—7 $\mu$ , 低镁(表1)。胶结物中, 还可见到一些放射状方解石斑点或斑点集合体, 呈棕色, 可能是钙化的根组织。

②泥-微晶+粒状低镁方解石 在离根孔较远的地方, 泥-微晶呈环边式或新月形分布(图版I, 7), 有时向孔隙中心晶粒增大, 过渡为粒状方解石(图2—②)。粒状方解石直径为10—30 $\mu$ , 半自形, 低镁(表1)。

1. 泥-微晶方解石, 含放射状方解石斑点  
2. 泥-微晶+粒状方解石 3. 泥-微晶+针状方解石, 呈薄膜-新月形分布

图2 斑块状沙丘岩的胶结式样

Fig. 2 Patterns of cement in elongate-nodule-like dune rocks

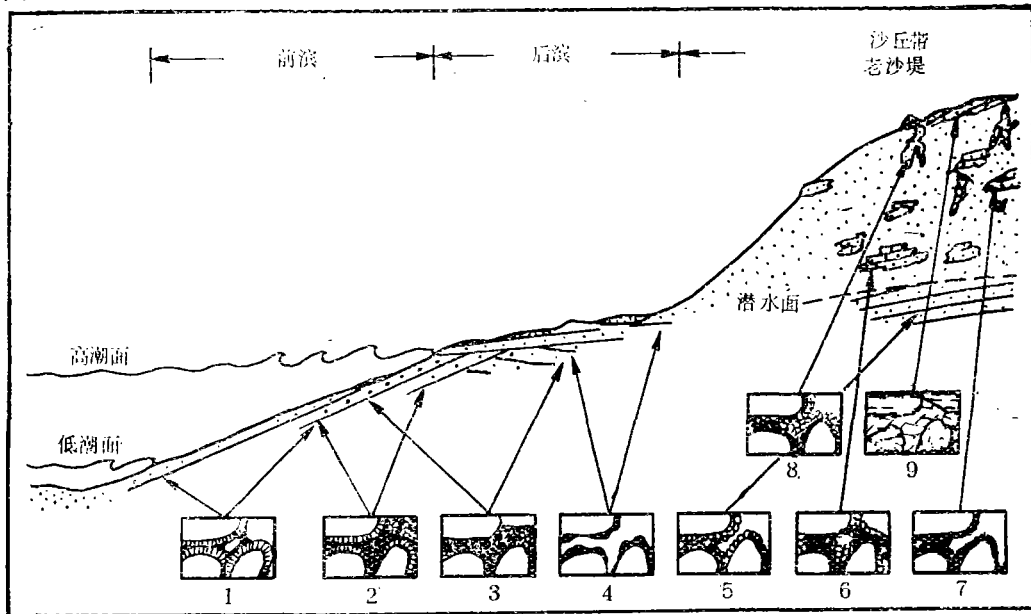


③泥-微晶+针状方解石 泥-微晶呈环边或触点式分布，在孔隙变窄的部位，微晶之上出现晶簇状的方解石“针”。方解石“针”在弗格尔溶液中不染色。胶结物约占孔隙体积的20%左右，故胶结不牢固（图2-③）。

(2)板块状沙丘岩 大多胶结程度较低，岩石疏松多孔。胶结物以粒状低镁方解石为主，局部出现泥晶方解石、微晶方解石和文石针。扫描观察，粒状方解石为自形晶，晶径10—20 $\mu$ 或更大，个别沿C轴发育成短柱状，大多晶棱圆滑，表面时具小坑，表明有轻微溶蚀（图版I，6）。泥晶方解石与粒状方解石伴生，大多在砂粒的接触部位呈触点式分布。微晶方解石晶粒大小不均匀，可单独构成环边（厚20—60 $\mu$ ）状胶结物，局部呈新月形。文石针长径可达50 $\mu$ ，包围泥晶或文石质生物骨骼呈束状、梳状生长。

(3)硬壳状沙丘岩 地表硬壳状沙丘岩胶结程度较高，只见一种胶结式样——嵌晶状局部低镁方解石。嵌晶大小可达0.5mm以上，边界不完全平直（图版I，8），有粒状方解石共生。

上述海滩岩与沙丘岩的胶结物和胶结组构在垂直海岸剖面中的分布情况简要表示为图3。



1. 叶片状高镁方解石 2. 叶片状高镁方解石+泥晶高镁方解石+球粒 3. 泥晶高镁方解石+球粒+微晶低镁方解石 4. 泥晶低镁方解石，已经过淋滤 5. 粒状低镁方解石 6. 粒状低镁方解石+泥晶低镁方解石 7. 泥晶方解石+文石针 8. 泥晶低镁方解石+粒状低镁方解石 9. 嵌晶低镁方解石

图3 莺歌海海滩岩与砂丘岩中各种胶结式样的分布

Fig. 3 Cross section of the Yinggehai coast showing the distribution of various patterns of cementation

### 三、莺歌海海岸近地表成岩环境和成岩作用

据张景文等<sup>[4]</sup>对莺歌海埋藏海滩岩中贝壳绝对年龄的测定，埋藏海滩岩形成于距今4,400年左右的中全新世；而斑块状沙丘岩中的残余植物根表明，这种沿植物根的胶结

作用近期还在进行。另一方面,赵希涛等对海南岛全新世以来的海面变化研究认为,6,000年以来海南岛有过多次海面升降<sup>[1]</sup>。因此,莺歌海的各种海滩岩、砂丘岩不仅是中全新世以来不同时期形成的,而且早胶结的岩石还经历过因海面升降而导致的成岩环境改变。由于这些岩石中的胶结物同它们现在所处的环境基本上达到了平衡,所以前面所描述的各种岩石产状和胶结式样不仅反映着这些岩石在海水至大气水环境中所经历的成岩作用,而且也提供了一个自全新世以来,近地表成岩环境下碎屑岩的早期成岩作用模式。根据各种胶结式样的空间分布,结合莺歌海今海岸地貌和水文特征,可把海滨一带的近地表成岩环境和主要成岩作用概括为如下三方面。

### 1. 海水潜流-海水渗流带的胶结作用

滨线附近以及水道口与出水口海滩岩的胶结物与胶结组构说明,这些岩石都是在海水潜流-海水渗流带被胶结起来的。

(1) **海水潜流带的胶结作用** 海水潜流带是沉积物隙间充满海水的地带,在莺歌海海滨,它应包括前滨下部的浅表沉积物。前滨中下部海滩岩中的叶片状高镁方解石等厚环边,正是海水潜流带的胶结组构标志。对于海水潜流带的胶结作用,已有不少报道和讨论<sup>[10、6]</sup>,许多实例都说明,沉淀在海水潜流带的碳酸盐胶结物是文石和高镁方解石。高镁方解石一般呈微晶和长菱形晶体<sup>[6、7]</sup>,在颗粒表面上呈等厚的壳状分布。长菱形晶体的上部一些晶面继续生长,就产生了纤维状到叶片状的等厚胶结物环边<sup>[8]</sup>。因为需要大量的海水流过隙间,才能沉淀出足够多的胶结物,所以海水潜流带的胶结作用必然是相对缓慢的。

由于低潮时海水向下渗流、暴露、毛细管水蒸发浓缩等的影响,可在海水潜流带上部造成一种亚海水潜流环境,从而可使胶结组构兼具某些海水渗流带的特征。前面所描述过的泥晶与叶片状方解石的重复出现以及在叶片状胶结物等厚环边之上有渗流粉砂、新月形沉积物、球粒和微亮晶等,都与亚海水潜流环境有关。当然,当海面升降时,也可以造成这种不同胶结类型的叠加。

(2) **海水渗流带的胶结作用** 海水渗流带是沉积物隙间充满海水和空气的地带,莺歌海前滨上部和后滨大部的浅表沉积物属此带。潮汐和波浪是海水渗流运动的营力。Langman曾指出,在许多海滩内存在着盐水和空气充满隙间的海水渗流带<sup>[8]</sup>。因为海滩时常可饱含海水,所以胶结物往往既显示潜流带的特征也显示渗流带的特征。本文所涉及的海水渗流带,胶结物以泥晶高镁方解石为主。正如前面已描述过的,胶结物常具新月形结构和示顶底构造,并普遍见有渗流粉砂。对于这类混有粉砂的灰泥胶结物的成因,一些海滩岩的早期研究者都注意到了暴露、蒸发、隙间水温度升高、CO<sub>2</sub>排气、溅浪的蒸腾以及微生物等的作用<sup>[9]</sup>。观察点前滨上部海滩岩中特有的泥晶(灰泥)-球粒-微亮晶组合为解释莺歌海海水渗流带胶结作用的某些细节提供了佐证。泥晶(灰泥)与由同种泥晶组成的球粒过渡,说明球粒可能是悬浮的泥晶质点凝聚成胶体沉淀的一种形式,而泥晶可能是由于隙间水蒸发和增温快速结晶出来的。孔隙下部的球粒由于灰泥的存在与融合已逐渐失去了轮廓,而孔隙上部的球粒仍得以保留,从而形成反粒序状。球粒间的微亮晶则是从隙间水中直接结晶的,不过尚不明确其贫镁的原因。随着微亮晶的沉淀,就完成了—个胶结周期,而后再可以开始另一个周期。周而复始,就形成了一系列重复

出现的泥晶-球粒-微亮晶组合。各组合上部还可以保留一个水平面,形成示顶底构造。某些部位和某些胶结周期,球粒和微亮晶可能缺失。球粒常与石英粉砂共生表明,球粒的堆积除直接沉降之外,还与渗流作用有关。

海水渗流带内由于隙间水不饱和,使大气与溶液间的 $\text{CO}_2$ 自由交换,暴露后温度升高使 $\text{CO}_2$ 迅速排气,加之蒸发作用强烈,所以泥晶胶结物的沉淀是十分迅速的。

### 2. 混合水潜流带的胶结和矿物稳定化作用

混合水潜流带是沉积物隙间充满海水与淡水混合水的地带,在莺歌海海岸沙丘带(老沙堤)之下所观察到的潜水属该带之顶部含盐很低的潜水。海滩岩的顶面受最高潜水面控制的现象说明,潜水面上、下隙间水碳酸盐饱和程度不同。潜水面之上碳酸盐不饱和,是碳酸盐矿物的溶解带;潜水面之下碳酸盐饱和,是碳酸盐矿物的沉淀带。另一方面,潜水的含盐度很低,在海水条件下稳定的高镁方解石、文石进入该带以后,将会变得不稳定,并向稳定的低镁方解石转化。因此,混合水潜流带内的低镁方解石胶结物可以有两种形成途径:①由早先在海水条件下形成的不稳定的胶结物转化而来;②直接从隙间水中沉淀出来。胶结物中的残余泥晶斑块、粒状方解石的全自形形态和向孔隙中心晶径增大等现象表明,上述两种情况可能都存在。因为薄片中没有见到高镁方解石质生物屑,除泥晶斑块以外,也没发现其他早期胶结物的残余结构,所以矿物的稳定化是通过高镁方解石的溶解和低镁方解石再沉淀的方式进行的,少数未完全溶解的泥晶,可能是通过镁的析出来完成其稳定化的。推测,至少有一部分粒状方解石是在叶片状高镁方解石溶解的同时就地沉淀的,因而继承了后者十分规则的等厚环边状分布特征,而向孔隙中心晶粒增大的方解石是从孔隙水中新沉淀的。此外,薄片中常见文石质生物屑并对胶结物的晶形有控制作用,即胶结物倾向于沿文石纤晶的延伸方向生长成柱状。这说明,在混合水潜流带中,文石仍保持相对稳定。

沙丘带内板块状和地表硬壳状沙丘岩向海倾斜的产状及其粒状、嵌晶状低镁方解石胶结物表明,它们可能也是在混合水潜流带经过矿物稳定化或被胶结的早期海滩岩,上升到潜水面以上至地表后,被改造成为现在模样的沙丘岩。

### 3. 淡水渗流带的胶结和淋滤作用

淡水渗流带是沉积物隙间充满淡水和空气的地带,包括潜水面以上至沙丘带顶。各种沙丘岩的产状和胶结组构表明,该带是碳酸盐的溶解-沉淀带。带内既可见到已胶结的岩石因受到淡水淋滤而在瓦解,也可见到由于方解石的沉淀,新的沙丘岩正在形成。

**淋滤作用** 由于沙丘带内钙质生物碎屑含量很低,所以大气降水的淋滤作用主要表现在对已胶结岩石的破坏上。后滨海滩岩中发育的淋滤孔,板块状沙丘岩支离破碎的产状等都是由于淋滤作用造成的。由于沙丘带有植物生长,来源于有机质的 $\text{CO}_2$ 可使渗流的淡水具有弱腐蚀性,增强了对碳酸盐的溶解能力。沙丘带内部,隙间水易于保持,淋滤作用强于受蒸发作用影响大的沙丘表面。因此,地表硬壳状沙丘岩比沙丘内部的板块状沙丘岩更完整。

**胶结作用** 围绕植物根的斑块状沙丘岩是淡水渗流带内就地胶结的现代沙丘岩,虽与王国忠和吕炳全<sup>[5]</sup>所描述的渗滤岩管一样,都产在淡水渗流环境,但后者的成因机理不完全适用于斑块状沙丘岩。因为在陆源碎屑为主要成分,骨屑含量很少( $< 1\%$ )

的沉积物中,渗流的隙间水不可能饱和并沉淀出碳酸盐。推测,斑块状沙丘岩的胶结作用与来源于混合水潜流带的毛细管水的蒸发浓缩和植物根的生物化学作用有关。胶结物的沉淀归因于如下方面:

①蒸发作用使来源于混合潜水的毛细管水不断上升并浓缩,提供了碳酸钙;

②植物根系的毛细管作用好,能从沙丘深部吸取水分,从而使隙间水及所溶解的碳酸盐向植物根系集中,植物的蒸腾作用促进了这一过程,致使根系周围隙间水中钙质含量增高;

③根组织的腐烂有利于碳酸钙的沉淀,Daly认为,有机质腐烂分解的氨气与 $\text{CO}_2$ 结合形成碳酸铵,再与溶液中的钙反应形成 $\text{CaCO}_3$ 。当根组织完全腐烂后,胶结作用就趋于停止。

另一方面,在淡水渗流带中经受淋滤的板块状和地表硬壳状沙丘岩之所以能长期保存下来,也是渗流带胶结作用的贡献。因为已存在的方解石胶结物为后来的方解石沉淀提供了结晶基础,所以干旱时因蒸发作用而上升并不断浓缩的毛细管水,可优先在这里沉淀出新的方解石胶结物,使在潮湿时受到溶蚀的沙丘岩再“长大”。实际上,沙丘带内已胶结的岩石都是在潮湿季节遭受淋滤破坏,干旱季节得到胶结建设的反复过程中保持着数量上的相对平衡。硬壳状沙丘岩与斑块状沙丘岩的紧密共生,出水口板块状沙丘岩随时间而改变形状和位置以及内部的渗流胶结结构等都证明了这点,但其总的变化趋势是在慢慢减少。

## 四、结 论

1.莺歌海海滩岩与沙丘岩形成于全新世以来的不同时期,并已经过成岩环境变迁的改造,是近代陆源碎屑在滨岸近地表成岩环境下发生早期成岩作用的很好的实例。这一实例所提供的从海水环境到淡水环境的胶结结构序列,对了解古代岩石的成岩环境和成岩作用有用。

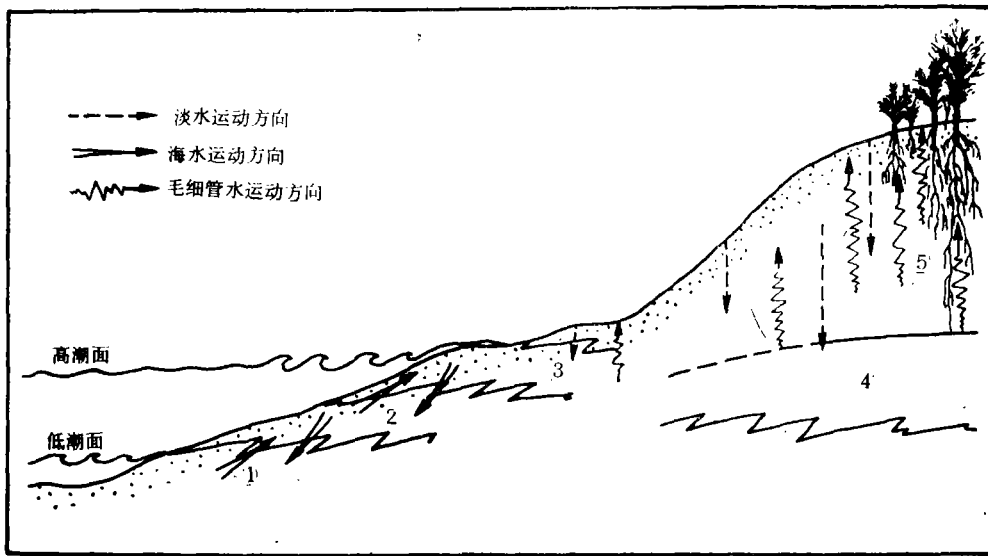
2.根据各种胶结类型的空间分布,结合莺歌海今海岸地貌和水文特征,可划分出五种浅地下成岩环境:①海水潜流带;②亚海水潜流带;③海水渗流带;④混合水潜流带;⑤淡水渗流带。各带内隙间水的性质和流动方向不同(图4)。

3.海水潜流-海水渗流带为高镁方解石沉淀带。叶片状高镁方解石等厚环边是海水潜流带的胶结结构特征;泥晶方解石沉淀在海水渗流带,并有球粒、石英粉砂等渗流沉积物共生;亚海水潜流带具有过渡的胶结类型。

4.混合水潜流带是高镁方解石溶解和低镁方解石沉淀带,伴有泥晶残余斑块的粒状方解石环边是该带的胶结结构特征。

5.淡水渗流带是低镁方解石的溶解-沉淀带,以泥晶-微晶低镁方解石胶结物和新月形、水膜式、触点式胶结结构为特征。沿植物根系胶结的斑块状沙丘岩是该带的特殊岩石类型。

6.中全新世以来莺歌海海滨近地表成岩环境中所发生的成岩作用主要为如下三方面:



1.海水潜流带; 2.亚海水潜流带; 3.海水渗流带;  
4.混合水潜流带; 5.淡水渗流带

图4. 莺歌海海滨近地表成岩带的划分和各带内隙间水的运动方向

(比列尺: 垂直距离约10米; 水平距离300米)

Fig. 4 Cross section of the Yinggehai coast showing the diagenetic zones near the subsurface and the moving directions of intergranular water in the zones

Scale: Vertical distance is about ten meters;  
Horizontal one is about three hundred meters.

- (1) 海水潜流-海水渗流带的胶结作用;  
(2) 混合水潜流带的胶结和矿物稳定化作用;  
(3) 淡水渗流带的胶结和淋滤作用。

本文蒙沙庆安和高振中同志审阅, 并提出宝贵的意见; 野外工作期间得到繆建国、马天泉和刘岭山同志的大力协助, 谨致衷心的感谢。

收稿日期 1984年10月22日

### 参 考 文 献

- [1] 赵希涛等, 1979, 地质科学, 4期, 342—358。  
[2] 赵希涛等, 1978, 地质科学, 2期, 163—173。  
[3] 沙庆安等, 1981, 西沙群岛和海南岛现代和全新世海相碳酸盐的成岩作用——兼谈海相表成(海相淡成)灰岩及其意义, 沉积岩学研究(论文集), 科学出版社。  
[4] 张景文等, 1981, 地震地质, 3卷1期, 6。  
[5] 王国忠, 吕炳全, 1984, 沉积学报, 2卷1期, 18—28。  
[5] Friedman, G.M., Amiel, A.J. and Schneidermann, N., 1974, Submarine Cementation in Reefs, Example from The Red Sea, Jour. Sed. Petrology,



- V. 44, P.816-825.
- [6] James, N. P. et al., 1976, Facies and Fabric Specificity of Early Sub-sea Cements in Shallow Belize (British Honduras) Reefs: Jour. Sed. Petrology, V.46, P. 523-544.
- [7] Alexandersson, T., 1972, Intragranular Growth of Marine Aragonite and Mg-calcite: Evidence of Precipitation from Supersaturated Sea Water, Jour. Sed. petrology, V. 42, P.441-460.
- [8] Longman, M.W., 1980, Carbonate Diagenetic Textures from Near Surface Diagenetic Enviroments, Am.Assoc. Ptol. Geolgists Bull., V.64, P. 461-487.
- [9] Chilingar, G.V. et al, 1979, Diagenesis of Carbonate Sediments and Epigenesis (or Catagenesis) of Limestones, In: Diagenesis in Sediments and Sedimentary Rocks (G. V. Chilingar Ed.), 247-424, Elsevier Scientific Publishing Co., Amsterdan-Oxford-New York.

## CEMENTATION FABRICS AND DIAGENSIS OF THE RECENT AND HOLOCENE BEACH AND DUNE ROCKS IN YINGGEHAI, HAINAN ISLAND

(Liu Huaibo)

(Jiangnan Petroleum College, Jiangnan, Hubei)

### Abstract

The recent and Holocene beach and dune rocks, mainly clastic, have been found along the Yinggehai shoreline from the foreshore to the top of the dune zone on the southwestern coast of Hainan Island.

The beach rocks are exposed in the foreshore-backshore zone and buried in the dune zone beneath the highest surface of mixing ground water, showing that the beds incline toward the sea. The cements in the lower part of the foreshore's beach rocks are isopachous, bladed Mg-calcite, while the cements in the upper part are micritic Mg-calcite with vadose silts which are composed of lime-mud, pellets, quartz silts and fragments of foraminifera. Some transitional types of cements occur

in the gradual rocks between the two parts. The micritic calcite cements which occur in the backshore's beach rocks have been leached to some extent. The cements of the buried beach rock that lies under the mixing ground water surface are isopachous, equant calcite with some small lumps of micritic calcite.

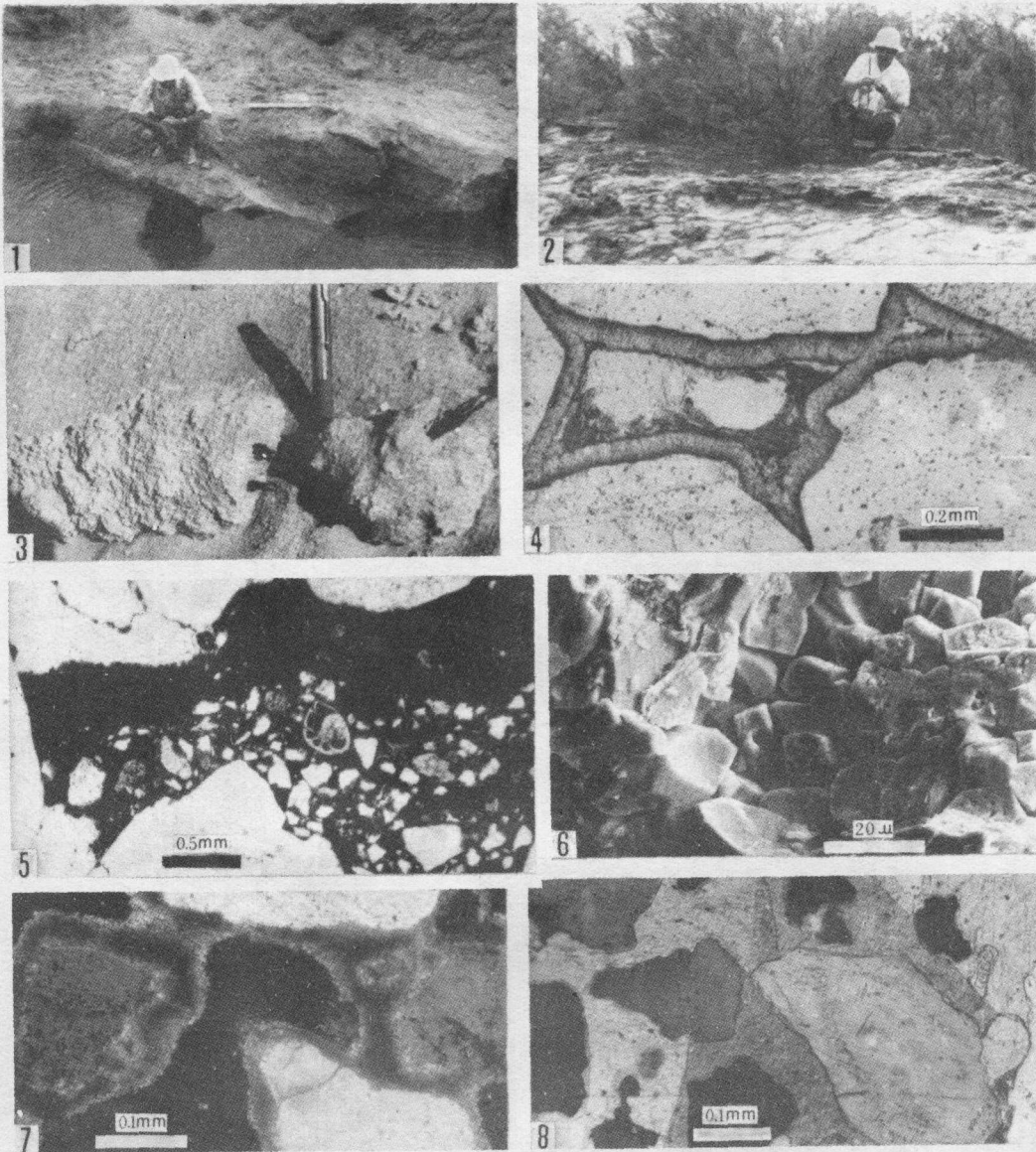
Three types of dune rocks are recognized. They are plate-like dune rocks which occur discontinuously inside the deposits of the dune zone, surface-crust-like dune rocks which are exposed on the tops of the dunes, and elongate-nodul-like dune rocks which surround rootlets of plants. Cements of the plate-like dune rocks are similar to those of the buried beach rocks, but they have, partly, fringe of micritic calcite cements and a few needle argonites. Cements of the second type of the dune rocks are characterized by mosaic-poikilotopic calcspar. And those of the third type are mainly micritic calcites, often showing a mambrane and meniscus fashion.

The Yinggehai buried beach rocks are about 4,400 years old. Some elongate-nodule-like dune rocks appear to be cemented recently as indicated by the remains of the rootlet. On the other hand, the eustatic movement of Hainan Island took place several times during the past 6,000 years. Therefore, some earlier cemented rocks would be modified by the shifts of diagenetic environment which resulted from the changes of sea level. The following diagenesis should have occurred in the Yinggehai beach and dune rocks;

1. Cementation in the marine phreatic zone and the marine vadose zone; A relatively slow crystallization within the marine phreatic environment led to the formation of isopachous fringe of bladed Mg-calcite cement, and the rapid precipitation of micritic Mg-calcite and consolidation of lime-mud resulted in the cementation of sands in the marine vadose zone. The effects of the crystallization of bladed Mg-calcite and the precipitation of micritic Mg-calcite caused the formation of some kinds of mixed cements in the transitional belt between the marine phreatic and the marine vadose zones.

2. Cementation and mineral stabilization in the mixing water phreatic zone; The characteristics of the mixing water in the upper part of the phreatic zone are saturated in calcium carbonate and very low in salinity. Equant calcite may be precipitated as an isopachous cement from this kind of mixing fluid and mineralogically unstable Mg-calcite may be dissolved in it. In the course of the dissolution, some remaining lumps of micritic Mg-calcite stabilized to calcite through Mg<sup>++</sup> separation. However, argonite was kept relatively stable under the condition of mixing water.

3. Cementation and leaching in the fresh water vadose zone; Evaporation of capillary water and biochemistic process of rootlets resulted in the precipitation of micritic calcite cements within the dune zone; and the leaching of meteoric water resulted in the collapsing of cemented rocks. In fact, all the rock in this zone, whether forming in the site or emerging from beach, were leached in humid weather and cemented in dry weather so as to keep their relative equilibrium in amount. But the general trend was that they decreased gradually.



1. 水道口东采石坑中的混合水潜水面和埋藏海滩岩 2. 水道口东沙丘带顶的地表硬壳状沙丘岩, 具向海倾斜的层理  
 3. 围绕植物根发育的斑块状沙丘岩, 注意含有植物根的残余 4. 前滨下部海滩岩中的叶片状高镁方解石胶结物, 在剩余孔隙中有新月形灰泥沉淀物。薄片, 单偏光 5. 前滨顶部伴有石英粉砂和有孔虫等渗流物的泥晶方解石胶结物, 具有示顶底构造(左)。薄片, 单偏光 6. 板块状沙丘岩中的粒状方解石胶结物。全自形晶棱多圆滑, 晶面时具小坑 7. 斑块状沙丘岩中的泥-微晶方解石胶结物, 呈环边状和新月形分布。薄片, 正交偏光 8. 地表硬壳状沙丘岩中的嵌晶方解石胶结物。薄片, 正交偏光。