

文章编号: 1000-0550(2006)04-0555-07

江苏王港潮间带柱状样的压缩和校正^①

王爱军¹ 高 抒² 贾建军³

(1. 海洋与海岸地质环境开放实验室 国家海洋局第三海洋研究所 福建厦门 361005;

2. 南京大学海岸与海岛开发教育部重点实验室 南京 210093; 3. 国家海洋局海底科学重点实验室 国家海洋局第二海洋研究所 杭州 310012)

摘 要 潮滩盐沼是海岸系统的重要组成部分,是海岸带陆海相互作用研究的重点对象之一。研究潮滩沉积环境和沉积过程的传统的、主要的手段是采集柱状样;在潮间带采集柱状样一般采用重力采样法,在采集过程中会产生管内压缩和管下压缩。在江苏中部王港地区的潮间带,利用重力方法取得 9 个柱状样,在现场采样时记录了采样管内外深度,在室内对采集的样品利用激光粒度仪进行粒度分析。根据野外记录和室内分析结果,管内压缩和管下压缩均为线性过程;管内压缩率与沉积物含水量及沉积物分选性有关,含水量越高,压缩率越大,沉积物分选越差,压缩率越大。管下压缩量是管内压缩量的 11%,随着管内压缩率的增大,管下压缩量也增大,管下压缩所起的作用就越显著。

关键词 潮间带盐沼 柱状样 压缩 江苏海洋

第一作者简介 王爱军 男 1977 年出生 硕士 海洋沉积学

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

1 引言

潮滩盐沼是海岸系统的重要组成部分,位于海—陆、海—气、陆—气交互作用的复杂地带,同时又是受人类活动影响比较显著的地带,是反映全球变化和人类活动的敏感区域,因此成为海岸带陆海相互作用研究的重点对象之一^[1]。有关潮滩盐沼系统沉积和地貌演化过程的研究已有许多学者利用不同手段进行了研究,如通过采集柱状样分析地层中的沉积记录^[2~3]、现场的多年观测研究^[4]、数学模拟等^[5]等。其中,采集柱状样是传统的、也是最主要的一种手段^[6],通过分析柱状样沉积物可以获得相关的沉积环境和沉积动力^[7]、沉积物组分的的变化^[8~9]、沉积物地球化学特征^[10]、生态系统的变迁^[11]、沉积物的磁性特征^[12]等信息。在滨海及浅水环境下主要是利用重力采样器来获得柱状样,根据柱状样中的沉积记录来解译沉积环境。潮滩滩面周期性被潮水淹没,沉积物含水量并没有达到饱和,且由于滩面植被、动物活动强烈,地层中的植物根系、动物洞穴等很多,在柱状样采集过程中,沉积物受到采样管管壁的摩擦力后产生压缩。对压缩问题认识的正确与否直接关系到对柱状样沉积记录的正确解译。目前,对深海柱状样沉积物压缩过程的研究相对较多^[6,13~15],而对潮滩地区柱状样压缩的研究较少^[16]。本文根据在江苏中

部王港潮滩进行采样的现场记录及室内分析资料,初步探讨了在潮滩采集柱状样的压缩过程及校正方法。

2 样品采集与分析方法

2.1 样品采集

我们选择江苏中部的王港地区作为研究地点(图 1),因为该地区是江苏潮滩盐沼发育最为典型的地区之一^[17]。柱状样采样点分布在王港潮间带不同类型盐沼内,利用铁锤直接将长度为 105 cm、内径为 7 cm、外径为 7.5 cm 的优质 PVC 管打入地下,打入过程中不断记录采样馆内外的深度;为了尽量少扰动柱状样层序和防止底部样品漏掉,利用铁锹把 PVC 管周围的泥挖开,用手托底将柱状样取出;此次共采集柱状样 9 个(位置见图 1)。同时,为了校正柱状样采集过程中的真实压缩率,在第四个柱状样采样位置挖了一个 130 cm 深度的探槽剖面,在 62 cm 以下以 1 cm 间隔、62 cm 以上以 2 cm 间隔进行了现场分样。采集回来的柱状样在室内以 1 cm 间隔分样。

2.2 样品分析

分好的样品用精度为 0.001 g 的天平称重后放入冰柜冷藏,利用德国生产的 CHRIST ALPHA 1-4 冷冻干燥机将样品冻干,再次用同样的天平称重,以计算出柱状样沉积物的含水量、干容重、湿容重^[18]。取大约 2 g 已冻干样品放入小烧杯,用浓度为 5% 的六偏磷酸钠

①国家自然科学基金重点课题(批准号:40231010)、国家自然科学基金项目(批准号:40476041)、教育部博士点基金(编号:20020284007)的资助。收稿日期:2005-09-27;收修改稿日期:2006-01-16

((NaPO₃)₆) 浸泡 24 小时, 并利用超声波震荡 1min, 使样品充分混和、分散, 然后在 Mastersizer 2000 型激光粒

度仪上进行粒度分析, 获得 1/8Φ 间隔的粒度组分, 利用矩值法计算出沉积物各粒度参数^[19]。

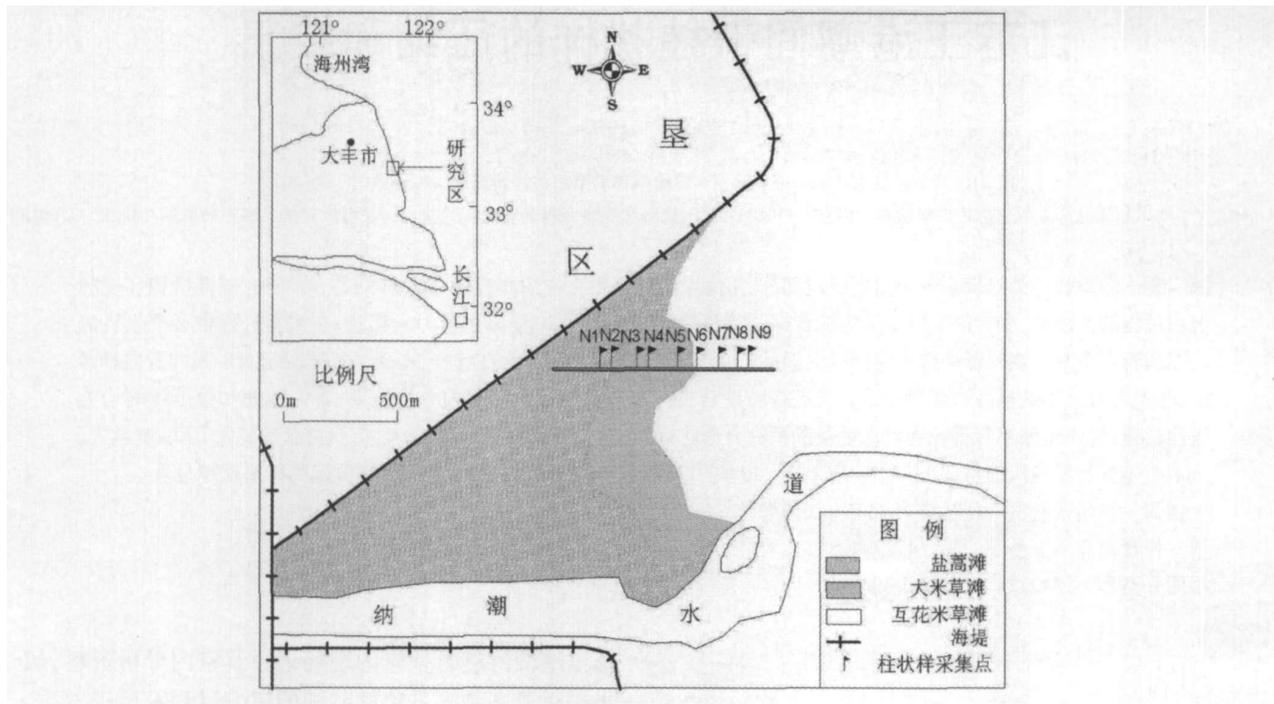


图 1 研究区位置示意图及采样点位置

Fig 1 The location of the study area and sampling sites

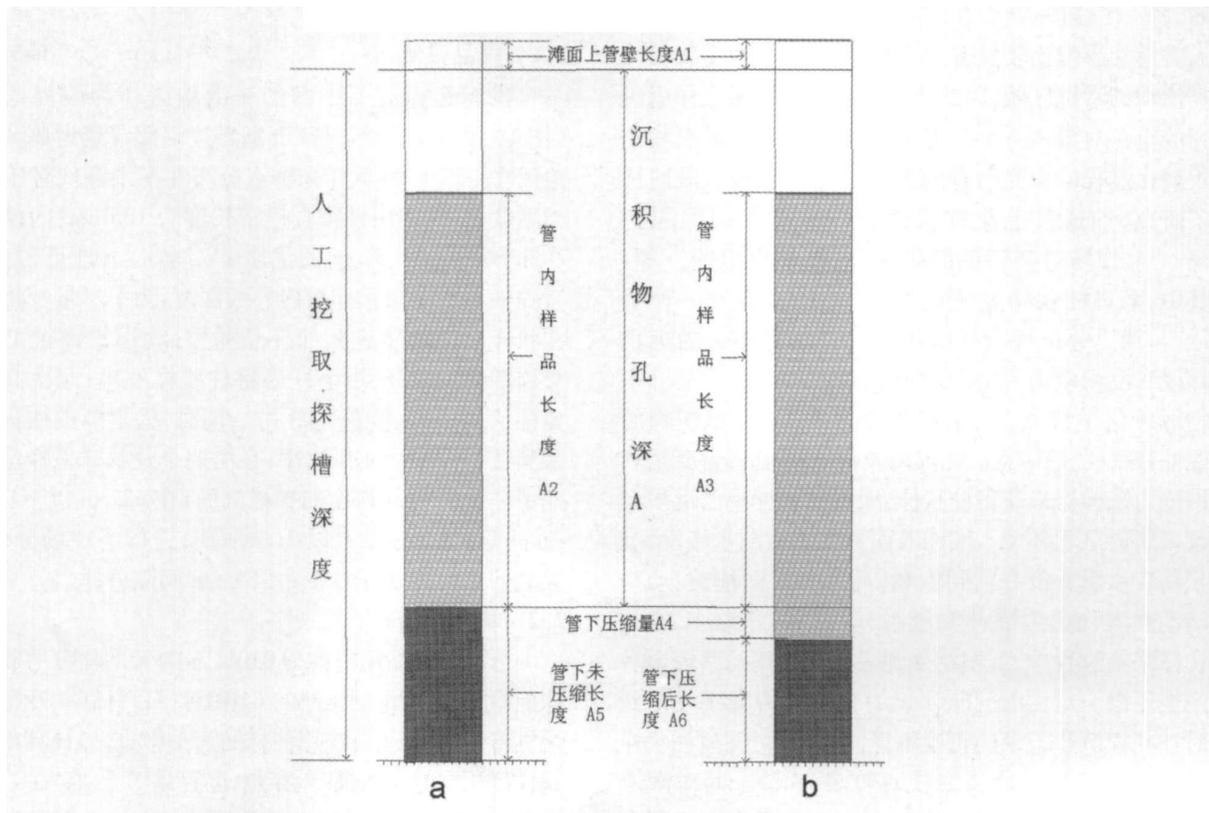


图 2 柱状样压缩类型示意图

Fig 2 Sketch map of compaction types of sediment core

2.3 压缩分析及压缩率计算

对滩上柱状样采集过程中的压缩现象,一般认为是所有的压缩均发生在采样管内,即在采集过程中,管内沉积物由于挤压导致失水、洞穴填充等现象,致使管内样品深度与管外深度不一致(图 2a),根据现场记录的采样管内外不同深度数据可以计算出压缩率,并根据该压缩率可以恢复柱状样样品在剖面上的具体位置。但在实际过程中,由于采样管底部样品受到管内样品的挤压,也会产生压缩。因此,总的压缩效应包括两部分,一部分是采样管内部沉积物的压缩(即管内压缩),另一部分是采样管下部沉积物的压缩(即管下压缩)(图 2b)。

管内压缩率 P_{a1} 可以根据现场记录计算出,具体计算方法为:

$$P_{a1} = (A - A_2) / A \quad (1)$$

式中 A, A_2 的解释见图 2。

管下压缩率可以根据现场采集的探槽剖面沉积物样品的粒度组分与相应位置柱状样沉积物样品的粒度组分进行对比分析和计算。具体步骤为:(1)将柱状样和探槽剖面沉积物样品分别进行粒度分析,获得 $1/8\Phi$ 间隔的粒度组分;(2)将柱状样每一层位样品的粒度组分与探槽剖面每一层位样品的粒度组分进行线性相关分析,线性相关分析步骤采用第三型

线性关系分析方法^[20],得到一个相关性数矩阵;(3)将相关性数矩阵制作成图;(4)从图中找出相关性非常好的一些数据点,根据统计分析,可以认为这些数据点所对应的两个柱状样的相应层位是同一层位。根据这一思路,可以计算柱状样管下压缩率。由于考虑了管下压缩,管下 A_3 被压缩为 A_5, A_2 被释放为 $(A_3 + A_4)$ (图 2b),则管下压缩率 P_{a11} 的表达式就变为:

$$P_{a11} = A_4 / A \quad (2)$$

因此,对采集的柱状样来说,综合考虑了管内压缩和管下压缩的问题后,得到的就是真实的压缩率(P_a),其表达式可以写为:

$$P_a = P_{a1} - P_{a11} \quad (3)$$

式中 A_3, A_4, A_5, A_6 的定义见图 2。由以上计算公式可以看出: $P_a < P_{a1}$ 。根据公式(3)可以恢复沉积物柱状样的真实长度 L 为:

$$L = A_3 / (1 - P_a) \quad (4)$$

3 分析结果与讨论

3.1 柱状样粒度特征

王港地区潮间带不同地貌部位的表层沉积物组分差异较大^[21]。根据本次柱状样采集的地貌特征,选取在第四个柱状样的位置上挖取的滩槽剖面分析王港地区潮间带沉积特征。

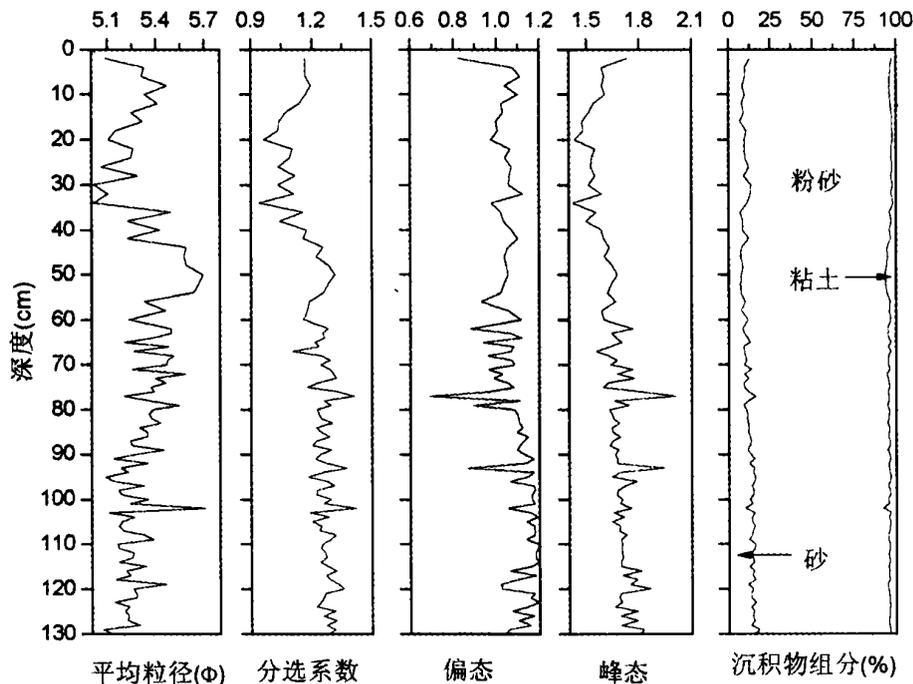


图 3 王港潮间带柱状样粒度特征

Fig 3 Grain size characteristics of the sediment cores in intertidal flat Wanggang

采样区位于密集大米草滩,柱状样剖面深 130 cm,采样间隔在 62~130 cm 层位为 1 cm,62 cm 以上层位为 2 cm。粒度分析结果表明(图 3),整个柱状样的沉积物均为粉砂,平均粒径在 5.02~5.71 Φ 之间,平均粒径在剖面上的变化表现为:130~90 cm 之间在波动中基本保持一致,90~50 cm 之间波动中逐渐变细;50~30 cm 之间迅速变粗,30~10 cm 之间逐渐变细,10 cm 以上又快速变粗。分选系数、偏态、峰态等粒度参数均表现为由底部向上部逐渐变小;砂含量介于 7%~18% 之间,粉砂介于 78.4%~90.2% 之间,

粘土含量介于 1.8%~7.9% 之间。

3.2 管内压缩

根据野外记录数据分析,潮滩盐沼柱状样的压缩过程为线性压缩(图 4),且随着向海方向的推进,斜率减小,柱状样的压缩率增加(表 1)。

沉积物颗粒越细,粘土含量越高,由于粘土的透水性相对较差,从而使沉积物中的含水量增加(图 5a)、干容重降低(图 5b),沉积物受到压力作用后容易被压缩,这一点已经被 Meade^[22] 的研究结果所证实。

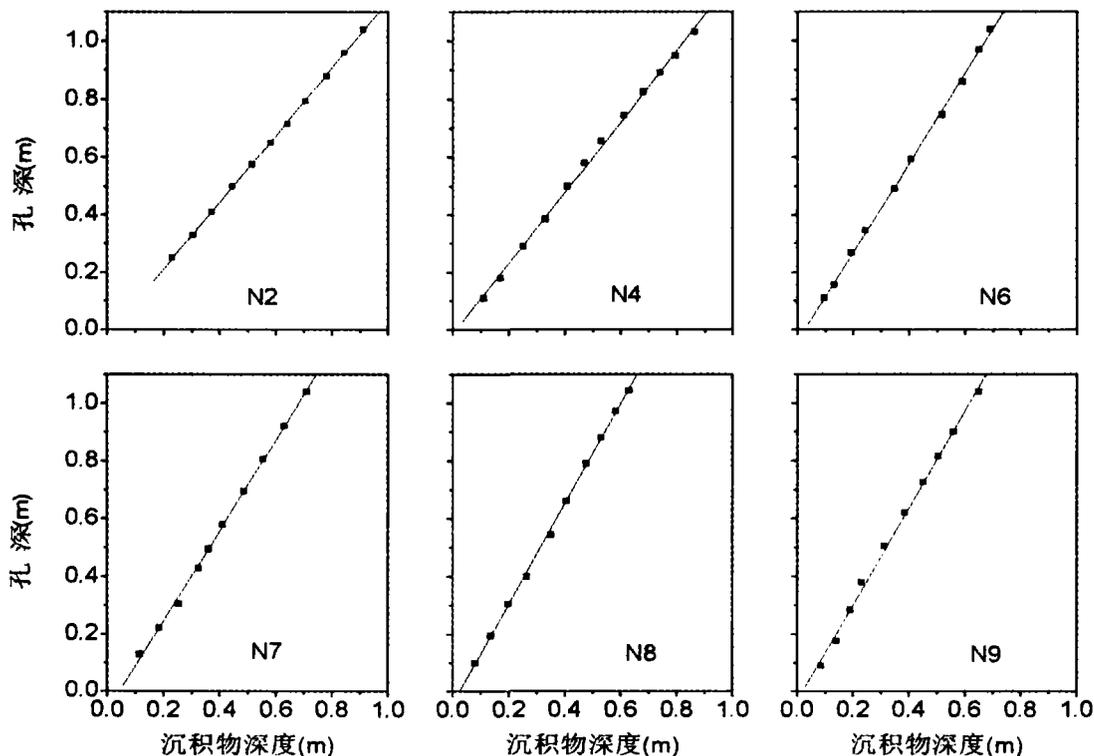


图 4 王港潮间带各柱状样压缩过程

Fig 4 Compaction process of the sediment cores in inter tidal flat Wanggang

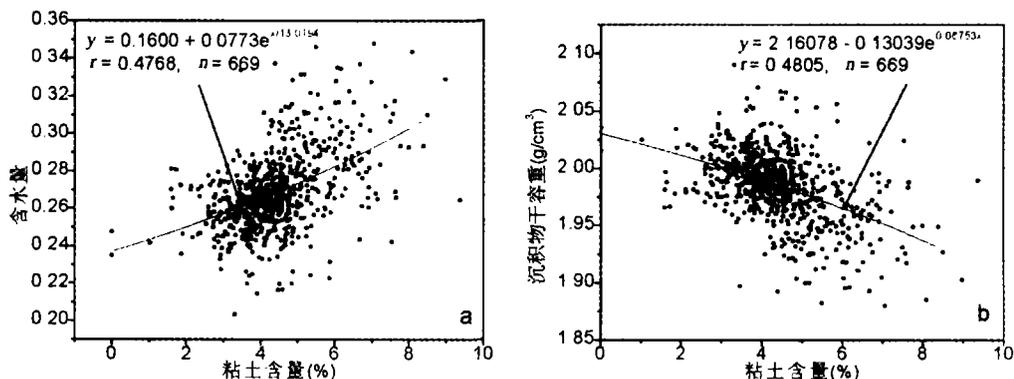


图 5 沉积物含水量、干容重与粘土含量之间的关系

Fig 5 Relationships between water content, dry density and clay content of the sediments

由盐蒿滩向密集大米草滩、互花米草滩过渡的过程中,沉积物逐渐变细,粘土含量增加,含水量也增加,压缩率以指数形式增加,该指数关系在 $\alpha = 0.01$ 的置信水平上显著相关(图 6a)。柱状样压缩率与沉积物的分选性有关,对于同一粒径,分选较好的沉积物的孔隙率比分选较差的沉积物的孔隙率大^[23]。本文柱状样沉积物粒度分析结果表明,分选系数越大(即分选越差),柱状样压缩率越大,两者在 $\alpha = 0.01$

的置信水平上显著线性相关(图 6b),这主要是由于分选好的沉积物尽管孔隙率大,但沉积物颗粒均一,很难被压缩,分选差的沉积物大小颗粒都有,在受到挤压后很容易被压缩^[22]。由于采样管的直径、管壁厚度的不同会引起柱状样的压缩率的不同^[16],本次采样使用的采样管直径和管壁均一致,可以忽略该因素的影响。

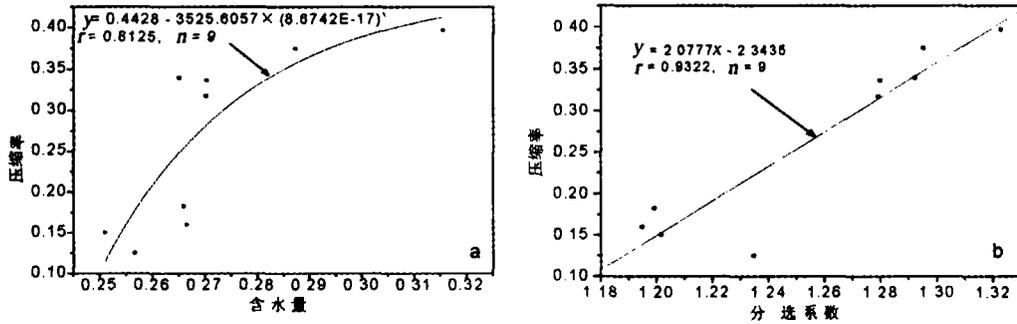


图 6 沉积物含水量、分选系数与压缩率之间的关系

Fig 6 Relationships between water content, sort coefficient and compaction ratio of the sediments

3.3 管内、管下压缩的综合效应

根据在 N4 柱状样采集区的探槽剖面采样和柱状样的粒度组分相关分析结果,找出一些相关性非常好的数据点,可以认为这些点所对应的层位属同一层位。将找出的两组数据做图分析发现,真实压缩过程也是线性的(图 7),根据拟合公式推算,柱状样最底

压缩。分析该柱状样的压缩量,表明管下沉积物的压缩量是管内压缩量的 11%;扣除管下压缩量,柱状样的真实压缩率将会降低(表 1)。如果将这一结果推广于其他几个柱状样,则可以分别计算出各柱状样的真实压缩率,并以此恢复柱状样的真实长度(表 1)。

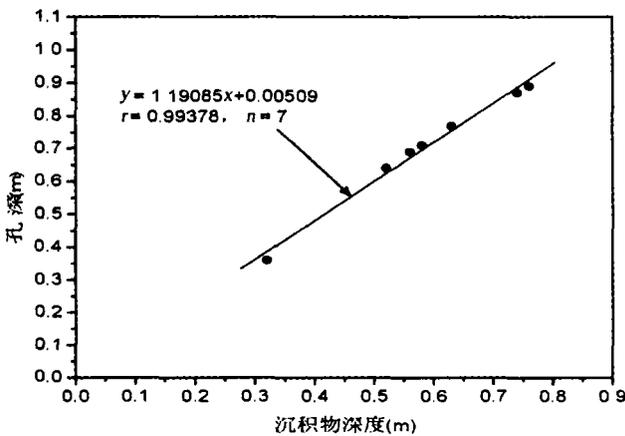


图 7 考虑管下压缩后的真实压缩过程

Fig 7 Real process of compaction after considering the compaction taking place beneath the sampling tube

层样品对应于剖面中 101 cm 的深度,但在现场采样中的采样管底部的深度为 103 cm,两者相差 2 cm,造成这个差异的主要原因就是管下沉积物也发生了压

表 1 两种类型压缩对比

Table 1 Comparison of the two compaction processes

编号	孔深 /cm	柱样长度 /cm	管内压缩量 /cm	管内压缩率	管下压缩量 /cm	管下压缩率	真实压缩量 /cm	真实压缩率	柱样真实长度 /cm
N1	93.00	79.00	14.00	0.151	1.56	0.017	12.44	0.134	91.00
N2	104.00	91.00	13.00	0.125	1.44	0.014	11.56	0.111	102.00
N3	104.00	85.00	19.00	0.163	2.11	0.018	16.89	0.145	102.00
N4	103.00	86.50	16.50	0.175	1.83	0.020	14.67	0.155	101.00
N5	103.00	68.00	35.00	0.340	3.89	0.038	31.11	0.302	97.00
N6	104.00	69.00	35.00	0.337	3.89	0.038	31.11	0.299	98.00
N7	104.00	71.00	33.00	0.317	3.67	0.035	29.33	0.282	99.00
N8	104.50	63.00	41.50	0.397	4.61	0.044	36.89	0.353	97.00
N9	104.00	65.00	39.00	0.375	4.33	0.042	34.67	0.333	98.00

在采集柱状样过程中的压缩过程是一个非常复杂的问题,对压缩过程及压缩量分析的正确与否直接影响到对柱状样沉积记录和沉积速率的解译^[8]。根据对王港潮滩盐沼柱状样采集过程的研究,在压缩率比较小的情况下,管下压缩量很小,管内压缩与真实压缩相差不是很明显,但随着压缩率的增大,管下压

缩量也增大,管下压缩所起的作用就越显著(表1)。

4 结语

采集柱状样是研究潮滩盐沼沉积和演化的重要手段,但由于潮滩盐沼周期性被水淹没,且动物活动强烈,在采集柱状样过程中产生压缩,对压缩分析的正确与否直接关系到柱状样沉积记录的解译。一般认为压缩发生在采样管内,以此计算压缩率,根据该压缩率恢复每个样品在剖面中的位置,但实际上,压缩不仅发生在采样管内,管下样品也发生压缩。根据江苏中部潮滩柱状样与探槽剖面样品的粒度对比分析,管下压缩量约为管内压缩量的11%。压缩率与沉积物含水量及沉积物分选性有关,含水量越高,压缩率越大,沉积物分选越差,压缩率越大。

柱状样的采集是沉积学研究的一个基本手段,而重力柱状样的压缩校正是现代沉积学取样过程中不可回避的一个问题,同时也是非常复杂的一个问题,直接关系到一些沉积学基本数据的正确获取。由于沉积物的压缩过程受到多种因素的影响,区域性因素较为显著,因此需要开展不同区域的压缩过程研究。本文通过研究江苏王港潮间带柱状样的压缩过程,并尝试校正,取得了一定的成效,积累了第一手的数据资料。作为一个区域性的案例研究,有其局限性,还需要在今后的工作中,进行更加深入地研究。

致谢 南京大学海岸与海岛开发教育部重点实验室的汪亚平、杨^隼、陈一宁、李靖、陈平平、于谦等参加了野外取样工作,吴祥柏参与了室内分样工作,谨致谢忱!同时也感谢审稿人提出的宝贵意见和建议!

参考文献 (References)

- Loicz IPO. Science Plan and Implementation Strategy. Sweden: IGBP Secretariat 2005. 60
- Mackereth F J H. A short core sampler for subaqueous deposits. *Limnology & Oceanography* 1969, 14: 145~151
- Gao S, Collins M B. Formation of salt marsh cliffs in an accretional environment Christchurch Harbour, southern England. In: Wang P X, Bergan W, eds. Proceedings of the 30th International Geological Congress (Volume 13: Marine Geology and Palaeoceanography). Amsterdam: VSP Press 1997. 95~110
- Cahoon D R, Lynch J C & Powell A N. Marsh vertical accretion in a Southern California Estuary. U. S. A. Estuarine Coastal and Shelf Science 1996, 43: 19~32
- Temmema S, Govers G, Meire P, et al. Modeling long-term tidal marsh growth under changing tidal conditions and suspended sediment concentrations. Scheldt estuary, Belgium. *Marine Geology* 2003, 193: 151~169
- Goldberg D. The role of downhole measurements in marine geology and geophysics. *Reviews of Geophysics* 1997, 35(3): 315~342
- 夏小明,杨辉,李炎,等. 长江口—杭州湾毗连海区的现代沉积速率. *沉积学报*, 2004, 22(1): 130~135 [Xia Xiaoming, Yang Hui, Li Yan, et al. Modern sedimentation rates in the contiguous sea area of Changjiang Estuary and Hangzhou Bay. *Acta Sedimentologica Sinica* 2004, 22(1): 130~135]
- Alvisi F & Dinelli E. Evolution of sediment composition of the coastal Lake San Puoto (Latium Italy) in the last two centuries. *Journal of Limnology* 2002, 61(1): 15~26
- 李军,高抒,孙有斌,等. 冲绳海槽南部沉积层序的粒度特征. *沉积学报*, 2003, 21(3): 461~466 [Li Jun, Gao Shu, Sun Youbin, et al. Grain size variations of terrigenous sediment sequences in the South Okinawa Trough. *Acta Sedimentologica Sinica* 2003, 21(3): 461~466]
- Charette M A & Sholkovitz E R. Oxidative precipitation of groundwater-derived ferrous iron subterranean estuary of a coastal bay. *Geophysical Research Letters* 2002, 29(10): 851~854
- Ishman S E. Ecosystem history of South Florida: Biscayne Bay sediment core descriptions. U. S. Geological Survey 1997. Open-file Report 97-437, 15
- 贾海林,刘苍宇,张卫国,等. 崇明岛 CY孔沉积物的磁性特征及其环境意义. *沉积学报*, 2004, 22(1): 117~123 [Jia Hailin, Liu Cangyu, Zhang Weiguo, et al. Magnetic properties of core CY from Chongming Island, the Yangtze Estuary and its environmental significance. *Acta Sedimentologica Sinica* 2004, 22(1): 117~123]
- Busch W H. Patterns of sediment compaction at Ocean Drilling Program sites 645, 646 and 647, Baffin Bay and Labrador Sea. In: Srivastava S P, et al. eds. Proceedings of ODP Science Results 1989, 105: 781~790
- Vekle B. Compaction trends of clay-rich deep sea sediments. *Marine Geology* 1996, 133: 193~201
- Sation S & Goldberg D. Compaction and dewatering processes of the oceanic sediments in the Costa Rica and Barbados subduction zones: estimates from in situ physical property measurements. *Earth and Planetary Science Letters* 2001, 191: 283~293
- Zheng G D, Takano B, Matsuo M & Tanaka Y. Compaction of modern soft sediments during core sampling: an in situ investigation at an estuary site. *Environmental Geosciences* 2002, 9(3): 109~112
- Ren M E, Zhang R S & Yang J H. Sedimentation on tidal mud flat of Wanggang Area, Jiangsu Province, China. *Collected Oceanic Works* 1983, 6(2): 84~108
- Flemming B W & Delafontaine M T. Mass physical properties of muddy intertidal sediments: some applications in isapplications and non-applications. *Continental Shelf Research* 2003, 20: 1179~1197
- McManus J. Grain size determination and interpretation. In: Techniques in Sedimentology. Oxford: Blackwell 1988. 63~85
- Gao S. A solution to the third type of linear relationships between two variables in Earth Sciences. *Journal of Ocean University of Qingdao* 1997, 27(3): 373~381
- 王爱军,汪亚平,杨^隼. 江苏王港潮间带表层沉积物特征及输运趋势. *沉积学报*, 2004, 22(1): 124~129 [Wang Aijun, Wang Ya-

- ping & Yang Yang Surface sediment characteristics and transport trends on the Wanggang intertidal flat, Jiangsu province. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2004, 22(1) : 124~129]
- 22 Meade R H. Factors influencing the early stages of the compaction of clays and sands: review. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1966, 36(4) : 1085~1101
- 23 Rogers J J W & Head W B. Relationships between porosity, median size and sorting coefficients of synthetic sands. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1961, 31(3) : 467~470

Calibration for Intertidal Flat Sediment Core Shortening : a case study from Wanggang, Jiangsu Coast

WANG Ai-jun¹ GAO Shu² JIA Jian-jun³

(1. The Third Institute of Oceanography, SOA, Xiamen Fujian 361005;

2. Ministry of Education Key Laboratory for Coast and Islands Development, Nanjing University, Nanjing 210093;

3. Key Laboratory of Geomarine Sciences, Second Institute of Oceanography, SOA, Hangzhou 310012)

Abstracts Tidal saltmarshes represent an important part in a coastal wetland system, and it also becomes a key study objective of land-ocean interaction in coastal zone due to the marked human activities and the sensitivity of the areas in response to global change. Sediment cores as a traditional and primary instrument for studying the sedimentary environments and depositional processes of tidal flat are taken generally by gravity corer in intertidal flat. Wherever sediment cores were collected by gravity corer, the length of the cores became shorter than the original length, and this compaction processes take place not only inside the sampling tube but also beneath the bottom of the sampling tube. Nine sediment cores were collected by gravity method in the intertidal flat of Wanggang which is located on the central coastline of Jiangsu Province. The depth variations of sampling tube were recorded in situ, and the samples were analyzed for grain size by a laser particle analyzer in laboratory. According to the field records and analysis results indoors, both compactions taking place inside and beneath the sampling tube are linear processes; the compaction ratio inside the sampling tube relate to water content of sediment and sorting coefficient, viz. the higher water content and the worse sorted, the higher compaction ratio. According to the calculated results, the length of the compaction beneath the sampling tube is 11% as much as that inside. The compaction length beneath the sampling tube increases with the increasing of compaction ratio inside, and the function of compaction taking place beneath the sampling tube is more remarkable.

Key words intertidal saltmarshes, sediment cores, compaction, Jiangsu coast