

文章编号:1009-2722(2014)08-0016-07

海滩表层磁性矿物空间分布特征 和季节性变化

——以青岛石老人海滩为例

马莹

(中国海洋大学海洋地球科学学院,青岛 266100)

摘要:通过对石老人海滩不同季节表层沉积物体积磁化率的原地实测和所取表层样品粒度分级,结合海滩沉积动力环境因素综合分析得知,石老人海滩不同季节表层沉积物磁化率值总体上表现出东高西低,滩肩高滩面低的趋势。海滩沉积物颗粒夏季比冬季细,分选好。海滩磁化率和沉积物粒度在海滩上的空间分布特征及其季节性变化存在一定联系。海滩的侵蚀沉积过程主要受冬夏季不同的波浪、沿岸流和风的作用影响。通常磁化率值高的区域为颗粒较细的侵蚀区,磁化率值低的区域为颗粒较粗的沉积区。磁学方法作为一种简便快捷低成本易操作的新方法,可以代替耗时的粒度和矿物分析,来分析海滩的沉积动力作用过程,识别海滩的侵蚀和沉积区域。

关键词:海滩沉积物;磁化率;空间分布;季节性变化;动力意义;石老人海滩

中图分类号:P318.41

文献标识码:A

环境磁学是一门介于地学、磁学和环境科学之间的新兴边缘学科。它通过研究磁性矿物在环境系统中的迁移、转化和组合规律,根据物质在磁性特征上的联系及其反映的环境内涵,探索不同时空尺度的环境作用、环境问题和人类活动影响,揭示环境变化的过程和机制^[1]。环境磁学研究涉及大气圈、水圈和岩石圈中的磁性颗粒,对全球环境、气候变化和人类活动对环境的影响等研究具有一定意义^[2]。由于磁性矿物颗粒的搬运、沉积和转化与沉积环境的变化和古气候的演化密切相关,环境磁学方法在气候学、生态学、湖泊科学、海洋科学、沉积学、土壤学等领域都发挥了重要作用^[3]。

海滩是在陆地、海洋和大气三者之间相互作用下不断进行调整的一个动态平衡系统。海滩沉积物的消长主要受波浪和风的侵蚀搬运作用、河流来砂以及人类活动的影响^[4,5]。海滩磁性矿物富集的沙是分析海滩侵蚀状态、分选过程、沉积分带和动力分区的极好材料。现今,将环境磁学用于海滩研究的工作逐渐兴起。Zhang等^[6]研究了加拿大伊利湖雪松海滩不同区域不同粒径沙的磁性及矿物特征,指出主导海滩磁信号的磁铁矿平均颗粒大小在150 μm左右,主要存在于细颗粒暗红色沙中;Robert等^[7]对加拿大皮利角国家公园东侧海滩沉积物进行了测量,指出海滩的磁性是由多磁区的磁性颗粒(可能是磁铁矿和/或磁赤铁矿)控制的,且磁性矿物富集度具有很强的空间依赖性;Frihy等^[8]、Frihy和Dewidar^[9]研究了尼日尔河三角洲不同密度矿物的分选沉积,并提出侵蚀过程中重矿物富集,轻矿物优先搬运的假说,

收稿日期:2014-04-20

基金项目:国家海洋局海洋公益性行业科研专项(200905008-4)

作者简介:马莹(1987—),女,在读硕士,主要从事海洋沉积学研究工作。E-mail:maying880929@126.com

即密度大的粗颗粒矿物(如磁铁矿)富集的地区,比密度小的轻矿物(如石英)富集的地区经历更强的侵蚀作用。

上述对海滩磁性特征研究的案例,深入探究了海滩磁性变化与海滩沉积物颗粒大小、矿物成分以及沉积动力作用的联系,对海滩磁性研究有重要的指导作用。但是没有涉及季节变化对沉积物磁性的影响,本文将石老人海滩为例,使用环境磁学方法,结合海滩沉积物粒度特征和沉积区域沉积动力作用因素,分析海滩冬夏两季表层磁性空间分布特征及其季节性变化。如果能够得出海滩磁化率值空间分布规律以及季节性变化之间的联系,磁化率值空间分布差异或许可以用来分析动力作用下海滩沉积物的运移过程,并鉴定和监测侵蚀和沉积区域。

1 研究区域概况

石老人海滩位于山东省青岛市崂山区($36^{\circ}05'N, 120^{\circ}27'E$) (图1),属于华北暖温带沿海季风区,海洋气候特征明显^[10]。石老人地区主要由侏罗系、白垩系崂山花岗岩或前寒武系变质火山岩组成,海滩东侧为海蚀崖。海滩平均高潮线长约2 014 m,高潮线以上面积约为19.01万 m^2 ,宽130 m,海滩地形平坦、沙粒均匀、海水洁净、沙细坡缓(坡度约为2.4%),是一处良好的天然浴场^[11-13]。青岛前海波浪以风浪为主。冬季风浪多为NW向,频率为18%,而WNW、NNW向风浪频率为7%;夏季多为E—S向,E、ESE向分别为12%和9%。涌浪多为SE向,频率为26%。青岛前海的累年平均波高为0.7 m,7月份最大为0.9 m,12月份和翌年1月份最小,均为0.5 m^[14,15]。石老人沿岸流系为自东向西逆时针流向的黄海沿岸流^[16]。

2 研究方法

2.1 海滩表层沉积物体积磁化率的原位测量

磁化率为外磁场作用下物质磁化的能力,是指在弱磁场中(0.1 mT)样品的磁化强度与磁场强度之比^[17]。

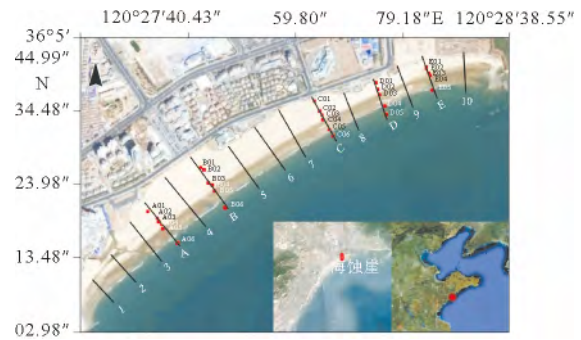


图1 青岛石老人海滩剖面及采样点分布(底图引自 Google Earth)

Fig. 1 Location map of study area showing sections and sampling sites (basemap from Google Earth)

分别于2011年12月(冬季)和2012年8月(夏季)在石老人海滩上垂直于海岸线均匀选取15条剖面(图1,剖面1~10及A—E),每条剖面间隔120~150 m,使用GPS在每条剖面两端定位。然后使用手持式Bartington MS2磁化率探头在野外对15条剖面原地表层沉积物进行体积磁化率(κ)测量,每条剖面上以0.5 m为间隔对均匀取点测量,每个点位测量3次数据取平均值,共获得4 196个点的体积磁化率值数据并绘制等值线图。

2.2 海滩表层沉积物样品采集

分别于冬季和夏季在野外测量磁化率值的同时对海滩A、B、C、D、E 5条有代表性的剖面的滩肩、滩肩顶、高潮线和滩面等有代表性的固定点位重复取样,取样深度为3 cm左右,每条剖面取5~6个沉积物样品,采样点位置使用GPS定位,每个季度取得28个样品(图1),共56个。海滩每个剖面间隔约200~300 m,沿着这5条剖面取沉积物样品可以代表整个海滩的沉积物情况。

2.3 沉积物粒度分析

在实验室中,使用筛分法对56个沉积物样品进行粒度筛分实验。将样品低温烘干称重,过0.063 mm水筛去泥质。选取1/4 Φ 间隔套筛,使用电动振筛机进行粒度分级,并将所得各个粒级样品并称重。采用Folk和Ward^[18]提出的计算公式,计算得到平均粒径(M_z)、分选系数(i)、偏态(Sk)、峰态(Kg)等粒度参数。

3 结果与分析

3.1 不同季节沉积物粒度特征

从海滩的粒度参数情况(表 1,图 2、3)可以看

出,石老人海滩沉积物粒度特征具有明显的季节性差异:

冬季海滩滩肩区域平均粒径为 2.074 Φ ,变化范围在 1.86 Φ ~2.40 Φ ,中等分选,负偏,窄峰;滩面上部区域平均粒径为 1.408 Φ ,变化范围在 0.90 Φ ~1.81 Φ ,中等分选,负偏,窄峰;滩面

表 1 石老人海滩表层沉积物样品粒度参数

Table1 Parameters of grain size of Shilaoren Beach sediments

剖面名称	平均粒径/ Φ		分选系数(σ)		偏态(Sk)		峰态(Kg)		
	冬季	夏季	冬季	夏季	冬季	夏季	冬季	夏季	
滩肩	A	1.92	2.67	0.63	0.48	-0.01	-0.30	1.79	1.76
	B	2.40	2.42	0.67	0.69	-0.30	-0.31	1.87	1.71
	C	2.29	2.32	0.69	0.83	-0.50	-0.38	1.57	1.76
	D	1.90	2.50	0.78	0.46	-0.11	-0.38	0.71	1.37
	E	1.86	2.75	1.08	0.31	-0.33	0.11	1.20	1.38
	均值	2.074	2.532	0.77	0.554	-0.25	-0.252	1.428	1.596
滩面上部	A	1.23	2.57	1.05	0.65	-0.17	-0.51	0.94	1.98
	B	1.34	2.71	0.87	0.41	-0.07	-0.10	0.95	1.63
	C	1.81	2.66	0.74	0.40	-0.15	-0.14	0.96	1.52
	D	0.90	1.80	1.71	1.23	-0.23	-0.37	0.87	1.74
	E	1.76	2.50	0.57	0.69	0.12	-0.29	2.14	1.96
	均值	1.408	2.448	0.988	0.676	-0.1	-0.282	1.172	1.766
滩面	A	1.45	2.30	1.41	1.03	-0.40	-0.61	0.75	2.13
	B	2.29	2.37	0.72	1.02	-0.49	-0.58	1.24	1.60
	C	2.52	2.77	0.54	0.55	-0.47	-0.28	1.99	2.07
	D	2.01	1.95	1.02	1.11	-0.51	-0.49	2.02	0.88
	E	2.75	2.85	0.48	0.35	-0.12	-0.02	2.97	1.26
	均值	2.204	2.448	0.834	0.812	-0.398	-0.396	1.794	1.588

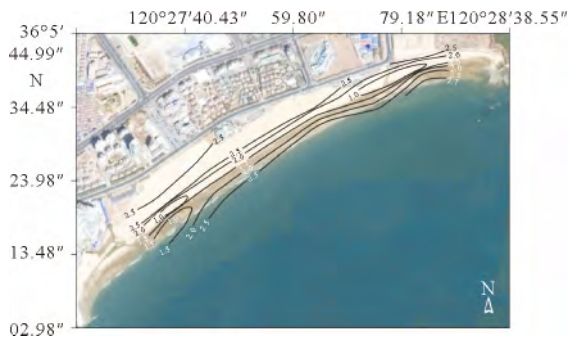


图 2 青岛石老人海滩冬季表层沙平均粒径 $Mz(\Phi)$ 等值线分布(底图源自 Google Earth)

Fig. 2 Isoline map of Mean grain size of surface sediments in winter, Shilaoren Beach (basemap from Google Earth)

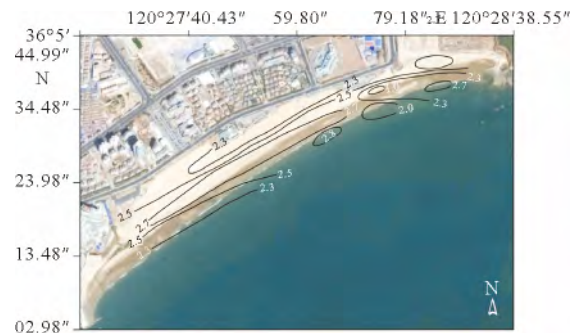


图 3 青岛石老人海滩夏季表层沙平均粒径 $Mz(\Phi)$ 等值线分布(底图源自 Google Earth)

Fig. 3 Isoline map of mean grain size of surface sediments in summer, Shilaoren Beach (basemap from Google Earth)

区域平均粒径为 2.204Φ , 变化范围在 $1.45 \Phi \sim 2.75 \Phi$, 中等分选, 负偏, 窄峰。夏季海滩滩肩区域平均粒径为 2.532Φ , 变化范围在 $1.86 \Phi \sim 2.40 \Phi$, 分选较好, 负偏, 极窄峰; 滩面上部区域平均粒径为 2.448Φ , 变化范围在 $1.80 \Phi \sim 2.71 \Phi$, 分选较好, 负偏, 极窄峰; 滩面区域平均粒径为 2.448Φ , 变化范围在 $1.95 \Phi \sim 2.85 \Phi$, 分选较好, 极负偏, 极窄峰。

在垂直于岸线方向上, 石老人海滩滩面下部由于长时间处于海水作用下, 受海水改造程度较高, 沉积物粒度比滩面上部、滩肩区域更细。滩面上部由于处在海水作用边缘, 沉积物粒度参数变化相对较大, 滩肩区域由于不受海水作用, 沉积物颗粒比滩面细, 分选性也较好。平行于岸线方向上, 沉积物粒度从西南区域向中间区域逐渐变小, 再向东北区域又逐渐变大, 分选性从西南区域向中间区域逐渐变好, 而由中间区域向东北区域逐渐变差。整个海滩粒度变化大致呈带状分布。

对比石老人海滩沉积物粒度季节性变化, 冬季海滩沉积物颗粒以中粗砂为主, 沉积物颗粒分选中等, 而夏季海滩沉积物颗粒以中细砂为主, 沉积物颗粒分选较好, 而且海滩沉积物来源更为单一, 为海浪输沙, 颗粒受改造程度更高。夏季峰态值大于冬季, 峰态均为很窄。

总体来看, 夏季(8月)的表层沉积物平均粒径明显细于冬季(12月)。冬季平均粒径为 $0.27 \text{ mm} (1.89 \Phi)$, 夏季平均粒径 $0.18 \text{ mm} (2.48 \Phi)$, 石老人海滩朝东南向, 海滩的东侧有基岩岬角。南向的浪对海滩作用较强。全年强浪向都集中在 E—NNE, 春夏季常浪向为 SE 向, 秋冬季常浪向为 NW 向^[19]。夏季。由于石老人海滩面向 SE, 夏季以风浪为主, 冬季被风, 以涌浪为主。夏季 SE 向涌浪利于海滩细粒物质的堆积^[20]。因此, 夏季的沉积物一般细于冬季。海滩滩肩、滩面不同地貌位置的沉积动力情况不同, 冬季和夏季的粒度参数特征也有差异。夏季滩肩、滩面区域的沉积物平均粒径普遍细于冬季。

3.2 不同季节野外磁化率值

图 4 和图 5 分别为青岛石老人海滩表层沉积物冬季和夏季体积磁化率 κ 等值线分布图。综合分析不同季节海滩 κ 值空间变化可以发现:

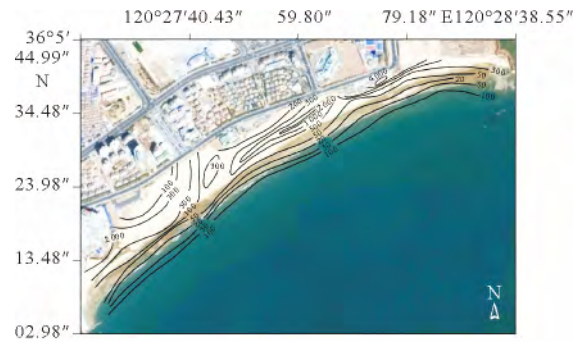


图 4 青岛石老人海滩冬季体积磁化率 κ 等值线分布 (单位: 10^{-5} SI) (底图源自 Google Earth)

Fig. 4 Isoline map of volume susceptibility of surface sediments in winter, Shilaoren Beach (10^{-5} SI) (basemap from Google Earth)

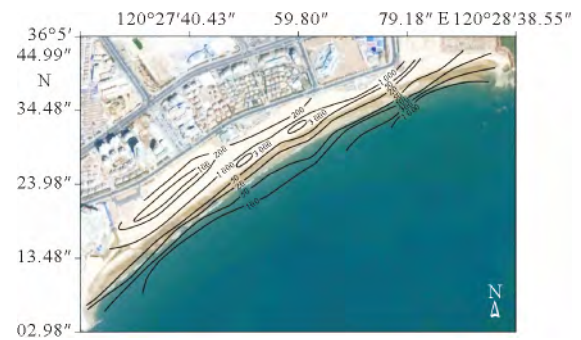


图 5 青岛石老人海滩夏季体积磁化率 κ 等值线分布 (单位: 10^{-5} SI) (底图源自 Google Earth)

Fig. 5 Isoline map of volume susceptibility of surface sediments in summer, Shilaoren Beach (10^{-5} SI) (basemap from Google Earth)

在冬季, 青岛石老人海滩表层沉积物 κ 值在沿海滩方向上大致呈带状分布。滩肩区域 κ 平均值高于滩面区域, κ 较高值出现在滩肩中部区域以及海滩西北角区域, 约为 $2\ 000 \times 10^{-5} \text{ SI}$, 最高值出现在海滩东北角区域, 可达 $4\ 000 \times 10^{-5} \text{ SI}$ 以上; 最低值出现在高潮线以下区域, 约为 $20 \times 10^{-5} \text{ SI}$ 。

在夏季, 青岛石老人海滩表层沉积物 κ 值在沿海滩方向上也呈带状分布。滩肩区域 κ 平均值高于滩面区域, 滩肩中部区域 κ 值较高, 约为 $2\ 000 \times 10^{-5} \text{ SI}$, 最高可达 $3\ 000 \times 10^{-5} \text{ SI}$ 以上, 且在海滩东部向海侧也出现了较高值, 将近 $1\ 000 \times 10^{-5} \text{ SI}$; 最低值出现在高潮线以下区域, 约为 $20 \times 10^{-5} \text{ SI}$ 。

冬夏2个季节石老人海滩沉积物体积磁化率 κ 整体变化规律大体一致:海滩向岸侧的滩肩区域 κ 值变化幅度较大,向海侧的滩面区域 κ 值变化幅度较小。滩肩区域 κ 平均值高于滩面区域(其均值大约高1~2个数量级)。在海滩冲流带 κ 值有一个急剧减小的过程,也可以认为此海滩区域存在着一个带,带两侧 κ 值差别较大。在沿岸线方向上,海滩滩肩区域中部和东部区域 κ 值高于西部区域,而滩面区域东中西各区域 κ 值几乎没有差异。

但是在上述带状变化规律以外,在海滩局部地域,不同季节海滩 κ 值存在差异:冬季海滩东北角区域存在较高值,明显高于夏季;夏季海滩西南角区域存在较高值,明显高于冬季。这可能是因为冬季NW向风将海滩表层低密度细颗粒沉积物吹向海中,而高密度重矿物(包含磁性矿物)滞留在原地,而夏季相反。

3.3 海滩沉积物磁性和粒度的关系

在冬季,海滩沉积物体积磁化率 κ 值带状空间变化规律海滩粒度空间变化规律大体一致(图2、4)。海滩滩肩和滩面下部区域沉积物颗粒较细,分选较好,对应的磁化率值也相对较高,而整个海滩滩面上部的冲流区的带状区域内沉积物颗粒比滩肩和滩面下部粗,分选较差,也是海滩磁化率值低值带。这一区域是磁化率值急剧减小的区域,也是波浪作用相对于冲洗作用减小的过渡带^[21]。

4 讨论

根据Frihy等^[8]和Dewidar^[9]的研究,基于海滩在侵蚀过程中重矿物富集轻矿物优先搬运的假说,即海滩的侵蚀过程中,在波浪和风的共同作用下,根据颗粒粒度差异对海滩沉积物进行分选,而分选作用结果会在沉积物磁性特征上有所反应。石老人海滩冲流带附近存在一个磁化率急剧变化的带状区域,说明此海滩区域存在一个侵蚀程度迅速变化的过程。由于滩面区域沉积物时而出露于海面时而淹没于水下,受波浪作用控制,处于高能环境中,不利于细颗粒重矿物(包括磁性矿物)的富集,而滩肩区域不受波浪作用影响,主要受风

和人为作用影响,利于细颗粒物沉积。滩面区域在离岸方向上 κ 也有缓慢增大的趋势,在冬季由岸向海方向 κ 值由 20×10^{-5} SI缓慢增大到低潮水边线处 100×10^{-5} SI,这是由于海滩磁性具有很强的粒径依赖性,水下较细的沉积物颗粒作离岸运动,较粗的颗粒向岸运动,所以滩面区域由岸向海方向颗粒粒级逐渐变小,磁化率 κ 值逐渐增大^[7,22]。

4.1 风和波浪的搬运作用

石老人海滩属于浪控型砂质海岸^[12],波浪作用主导了海滩沉积物的侵蚀搬运和分选过程。在滩肩向滩面过渡的冲流带区域,冲洗过程的重要性要大于波浪作用,能量较大的冲流首先搬运低密度粗颗粒向陆方向进入滩肩区域。高密度细颗粒(如磁铁矿)可能会因为波能变小而发生瘀滞,更弱的回流会搬运低密度粗颗粒回到海中,这导致高密度细颗粒在冲洗带向岸堆积^[21,23-25]。这解释了野外所测的体积磁化率在冲流带向岸的滩肩顶附近区域存在一个峰值带的原因。

受季风的影响,石老人海滩区域波浪有一定的季节性变化,全年强浪向主要集中在E—NNE,冬季常浪向为NW向,波高为1.9 m,夏季常浪向为SE向,波高最大,为3.1 m^[19]。冬季在海滩西北角区域出现较高磁化率值区域,而夏季则在海滩东南角区域出现较高磁化率值区域(图4、5),这可能是冬夏季风和波浪作用季节性变化有关联。海滩滩肩干沙区域沉积物输移主要受风的作用,滩面区域时而淹没时而出露,沉积物搬运主要受波浪和沿岸流作用的影响。冬季NW风将海滩西北区域沉积物向东南向输送,所以在海滩西北角磁性矿物滞留,沉积物颗粒比夏季细,出现小范围磁化率高值区;夏季SE向的风和波浪将海滩沉积物自东南向西北方向搬运,则在海滩东南角出现小范围磁化率高值区,沉积物颗粒也比冬季细。

4.2 沿岸流

Frihy和Komar^[26]指出作用于海滩的沿岸流优先搬运低密度粗颗粒的矿物(如石英),因此,在侵蚀区域重矿物(包括磁性矿物)浓度较高,磁化率值也高,而在沉积区域磁性矿物浓度较低,磁化

率值较低。石老人沿岸流系为自东向西逆时针流向的黄海沿岸流^[16]。石老人海滩东侧海蚀崖和海蚀柱等基岩被侵蚀后的碎屑沉积物随沿岸流自东向西运移, 海滩东部为侵蚀区, 有较多的细颗粒重矿物滞留, 西部为沉积区, 有较多的粗颗粒轻矿物堆积。这与所测得的石老人海滩磁化率东部较高西部较低的现象相吻合。

5 结论

(1) 石老人海滩滩面下部沉积物粒度比滩面上部、滩肩区域更细。沉积物粒度从海滩西南区域向中间区域逐渐变小, 再向东北区域又逐渐变大, 分选性从西南区域向中间区域逐渐变好, 而由中间区域向东北区域逐渐变差。整个海滩粒度变化大致呈带状分布。冬季海滩沉积物颗粒以中粗砂为主, 沉积物颗粒分选中等, 而夏季海滩沉积物颗粒以中细砂为主, 沉积物颗粒分选较好。

(2) 海滩沉积物磁化率值分布表现出一定的空间差异: 在平行海岸方向上, 高磁化率值出现在东部靠近海蚀崖的侵蚀区, 相对低值出现在西部沉积区; 在垂直海岸方向上, 高磁化率值出现在滩肩顶附近的冲流带区域, 高于向海滩面区域和向陆的滩肩区域, 在滩面区域磁化率值最小最稳定。冬季海滩东北角区域存在较高值, 明显高于夏季; 夏季海滩西南角区域存在较高值, 明显高于冬季。

(3) 海滩表层沉积物磁化率具有很强的粒度依赖性, 较细沉积物颗粒区域一般磁化率值较高, 较粗沉积物颗粒区域一般磁化率值较低。海滩的侵蚀区域磁化率值较高, 沉积区域磁化率值较低。

(4) 冬季西北向的风将海滩表层低密度的细颗粒沉积物搬运至海水中, 密度高的重矿物(如磁性矿物)滞留原地, 夏季则方向相反。所以冬季西北区出现小范围磁化率高值区, 而夏季东南区域出现小范围磁化率高值区。而受自东向西向沿岸流的作用, 海滩东侧为侵蚀区, 磁化率值较高; 西部为沉积区域, 磁化率值较低。

致谢: 褚智慧、刘修锦、王双、刘萌和崔玉茜等同学在野外调查和室内实验过程中做了大量工作, 在此致以诚挚谢意!

参考文献:

- [1] 张卫国, 俞立中, 许羽. 环境磁学研究的简介[J]. 地球物理学进展, 1995, 10(3): 95-105.
- [2] Verosub K L, Roberts A P. Environmental magnetism: past, present, and future[J]. Journal of Geophysical Research, 1995, 100(B2): 2 175-2 192.
- [3] 邓成龙, 袁宝印, 胡守云, 等. 环境磁学某些研究进展评述[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2000, 20(2): 93-101.
- [4] 柯马尔 P D. 海滩过程与沉积作用[M]. 邱建立, 庄振业, 崔承崎, 译. 北京: 海洋出版社, 1985: 8-270.
- [5] Bowen A J, Inman D L. Budget of Littoral Sands in the Vicinity of Point Arguello, California[R]. U. S. Army Coastal Engineering Research Centre Tech. Memo. No. 19. 1966: 56.
- [6] Zhang S W, Maria T C, Zhang S H. Spatial Variations in Particle Size and Magnetite Concentration on Cedar Beach: Implications for Grain-Sorting Processes, Western Lake Erie, Canada [J]. Acta Geologica Sinica, 2010, 84(6): 1 520-1 532.
- [7] Robert G, Maria T C, Alan S T. Trenhaile. Sediment sorting and beach erosion along a coastal foreland: Magnetic measurements in Point Pelee National Park, Ontario, Canada [J]. Sedimentary Geology, 2010, 231: 63-73.
- [8] Frihy O E, Lofty M F, Komar P D. Spatial variations in heavy mineral sand patterns of sediment sorting along the Nile Delta, Egypt[J]. Sedimentary Geology, 1995, 97(1/2): 33-41.
- [9] Frihy O E, Dewidar K M. Patterns of erosion/sedimentation, heavy mineral concentration and grain size to interpret boundaries of littoral sub-cells of the Nile Delta, Egypt[J]. Marine Geology, 2003, 199(1/2): 27-43.
- [10] 郑建瑜, 且钟禹, 李学伦. 青岛南海岸海水浴场的旅游环境质量评价[J]. 海洋环境科学, 1998, 17(1): 66-72.
- [11] 王永红, 孙静, 庄振业. 青岛旅游海滩沉积物粒度的季节性变化特征和输运[J]. 中国海洋大学学报, 2012, 42(12): 070-076.
- [12] 董贺平. 青岛海滩沉积构造及其底形特征[J]. 海洋地质动态, 2004, 20(12): 5-8.
- [13] 孙静. 青岛市海滩沉积地貌及质量评价[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012.
- [14] 陈正新, 董贺平, 赵德志, 等. 青岛前海沉积物运移特征[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2006, 26(5): 45-53.
- [15] 蒲书箴, 程军, 张义钧, 等. 青岛附近夏季风和海面坡度对沿岸流的影响[J]. 海洋通报, 2004, 23(2): 1-7.
- [16] 孙湘平. 中国近海区域海洋[M]. 北京: 海洋出版社, 2006.
- [17] 周文娟, 杨小强, 周永章. 环境磁学磁性参数简介[J]. 中山大学研究生学刊, 2006, 26(1): 82-89.

- [18] Folk R L, Ward W C. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters[J]. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1957, 27, 3-26.
- [19] 中国海湾志编纂委员会. 中国海湾志(第四分册)[M]. 北京:海洋出版社, 1993:157-257.
- [20] 常瑞芳, 陈卫民. 青岛前海区海水浴场环境的优化. *海岸工程*[J]. 1993, 12(2): 31-36.
- [21] Bryan K R, Robinson A, Briggs R M. Spatial and temporal variability of titanomagnetite placer deposits on a predominantly black sand beach [J]. *Marine Geology*, 2007, 236(1-2): 45-59.
- [22] 王永红. 海岸动力地貌学[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- [23] Hou B, Frakes L A, Alley N F, et al. Evolution of beach placer shorelines and heavy-mineral deposition in the eastern Eucla Basin, South Australia [J]. *Australian Journal of Earth Sciences*, 2003, 50(6): 955-965.
- [24] Dillenburg S R, Tomazelli L J, Barboza E G. Barrier evolution and placer formation at Buiuru southernBrazil[J]. *Marine Geology*, 2004, 203: 43-56.
- [25] Carling P A, Breakspear R M D. Placer formation in gravel-bedded rivers: A review[J]. *Ore Geology Reviews*, 2006, 28(4): 377-401.
- [26] Frihy O E, Komar P D. Long-term shoreline changes and the concentration of heavy minerals in beach sands of Nile Delta, Egypt[J]. *Marine Geology*, 1993, 115(3/4): 253-261.

SPATIAL DISTRIBUTION OF MAGNETIC MINERALS ON THE BEACH AND ITS SEASONAL VARIATION: A CASE STUDY OF THE SHILAOREN BEACH IN QINGDAO

MA Ying

(College of Marine Geosciences, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract: This paper surveyed the volume susceptibility and grain size distribution of surface sediments on the Shilaoren Beach in Qingdao formed in different seasons. Combined with the sediment hydrodynamic factors on the beach, it is revealed that the volume susceptibility is higher in the east and lower in the west, and higher in the berm and lower in the beach face. The deposits on the beach are finer in summer but coarser in winter. There is certain relationship between magnetic susceptibility and the characteristics of spatial distribution of sediment particle size on the beach. The susceptibility is related to the grain size, and effected by wave sorting, alongshore current and wind action. In general, high magnetic susceptibility values occur in the erosional area of finer sediments and low value in deposition areas with coarser particles. As a convenient new method of easy operation with low cost, the magnetism method can be used to replace the time-consuming grain size and mineral analysis, to study the beach sedimentary dynamic process and to identify erosional and depositional areas on a beach.

Key words: beach sediment; magnetic susceptibility; space distribution; seasonal variation; dynamic meaning; Shilaoren Beach