

砂的中值粒径与分选系数的经验关系及其对沉积环境的反映

蒋信忠

(铁道部第二勘测设计院第三总队, 昆明)

用沉积物粒度分析资料推论沉积环境的双变量法中, 探讨中值粒径(或平均粒径)与分选系数(或标准差)的经验关系是一个方面。目前, 这方面的研究多为散点图的形式, 如鲁欣(1952)、弗里德曼(Friedman, G.M, 1961、1968)、莫伊欧拉与韦塞(Moiola and Weiser, 1968)、布勒与梅曼斯的工作^[1-3]。本文通过对几种成因类型砂的分选系数 σ 与中值粒径Md的沿程变化及相互关系的分析, 为推论沉积环境提供依据。

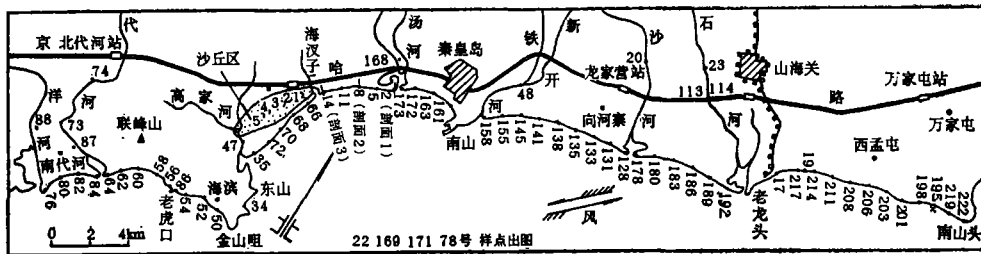


图1 采样位置示意图

Fig. 1 Sketch of sample location

调查区地处渤海西北岸中段, 广泛发育砂质海滩。滨岸带有数条小河入海, 并见海岸砂丘。笔者分别对海滩砂、沙丘砂和冲积砂沿程取样, 共采砂样92个, 采样位置见图1。采样深度为表层0—20厘米。样品重500克。砂样成分以石英为主, 长石少许, 部分含贝壳碎屑。除去砂样中直径大于2毫米的粗颗粒后, 用米制筛进行粒度分析。筛径分级为1、0.5、0.25、0.1毫米, 小于0.1毫米颗粒按极细砂(0.1—0.05毫米)处理。筛分结果用米制矩法^[1]计算中值粒径Md和标准差 σ ¹⁾, 用回归分析得出不同成因类型和水动力条件沉积的 σ 与Md的经验关系。

1) 又名因素法, 算式为 $\log Md = d + \omega v_1$, $\sigma = \omega \sqrt{v_2 - v_1^2}$ 。式中d为零点总粒级终点大小的对数和之半, ω 为各粒级终点大小的对数差之平均值, $V_1 V_2$ 为第一、二因素值, 即一、二阶定矩。

一、海滩砂

本区盛行不规则全日潮，沿岸广布砂质海滩。近期由于海平面相对上升或沉积物来源锐减，沿岸沉积物流呈未饱和状态，多数岸段普遍遭受冲刷，向弧形海岸发展。笔者在三个海滩剖面的高、中、低潮位，和各岸段海滩中潮位采砂样共60个。分析表明，堆积海滩和冲刷海滩，在横向和纵向上，其 σ 与Md都呈现性质不同的直线关系，反映了不同的物质分异规律。

(一) 海滩物质的横向分异

以汤河口以西的三条海滩剖面为例，海滩物质以低潮位最粗，中潮位次之，高潮位最细(表1)。沉积物由海向陆变细的分异规律，是有潮海岸特有的。

表1 各潮位海滩砂的Md与 σ

Table 1 Md and σ of beach sand in different tidal line

剖面位置	高 潮 位		中 潮 位		低 潮 位	
	Md	σ	Md	σ	Md	σ
汤河口西砂咀	0.6884	0.0710	0.7578	0.1069	0.8162	0.1299
汤河口西南2公里	0.6701	0.1751	0.5777	0.2083	0.7690	0.1420
汤河口西南4公里	0.2077	0.1698	0.3452	0.3101	0.2360	0.2234
平 均	0.5221	0.1386	0.5602	0.2084	0.6071	0.1651

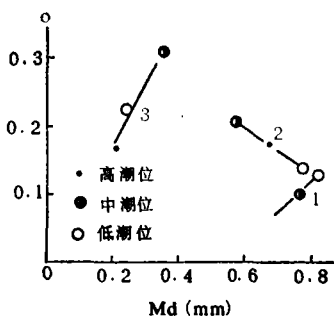


图2 海滩砂的横向分异

Fig. 2 Transversal differentiation of beach sand

同一海滩剖面，各个潮位物质的 σ 与Md成直线关系，直线性质视海滩动态而异(图2)。

对冲刷海滩(剖面2)， σ 与Md成反比直线关系，滩面物质愈粗者分选愈好。因为滩面在冲刷、回流作用下，较粗大颗粒相对富集，细小颗粒则被卷走，故中值粒径大者相对较纯，从低潮位向高潮位颗粒变细，且相对混杂。

堆积海滩相反， σ 与Md成正比直线关系。从低潮位向高潮位颗粒变细的同时，分选

变佳。

(二) 海滩物质的纵向分异

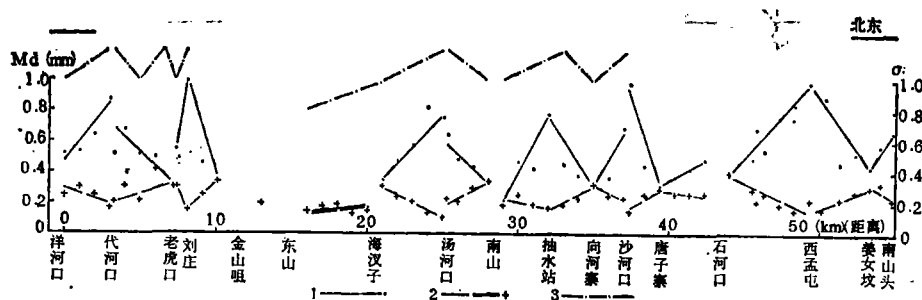
沿岸沉积物流使物质产生纵向移动和分异。以中潮位为例, 物质的纵向分异有以下特点。

1. 中值粒径Md减小的方向代表了沉积物流的移动方向; Md与 σ (表2)沿程变化趋势的异同, 反映了沉积物流的饱和状态与海岸冲淤。

堆积岸段的Md、 σ 均沿程减小, 沉积物沿程变细、分选变佳。表明沉积物流为饱和或过饱和状态, 进行正常的沉积分异作用。

冲刷岸段不同, 沿程Md减小而 σ 增大, 沉积物沿程变细且变混杂, 表明沉积物流为未饱和状态, 并进行特殊的物质分异过程。在物质纵向移动起点, 沉积物流远未饱和, 冲刷与回流最强, 滩面上较粗颗粒能被卷走, 富集于滩面的物质更粗大, 粒级也更单一。随沉积物流的前进, 卷挟物质不断增多, 冲刷力逐渐减弱, 存留滩面的物质粗细渐杂。循此前进, 直至沉积物流达到饱和, 导致堆积。因此冲刷岸段未饱和沉积物流前进方向, 由于海滩物质愈益细小和混杂, 级配曲线可出现双峰。

因此, 由图3可见, 本区堆积岸段仅限于海汉子至东山这一海湾充填区及接纳河流入海泥沙的河口砂咀, 其余岸段处于冲刷状态。



1. Md减小方向 2. σ 增大方向 3. 海滩坡度减小、宽度增大方向

图3 海滩中潮位物质Md与 σ 的沿程变化

Fig. 3 Change of Md and σ with removal distance of beach sand in middle tidal line

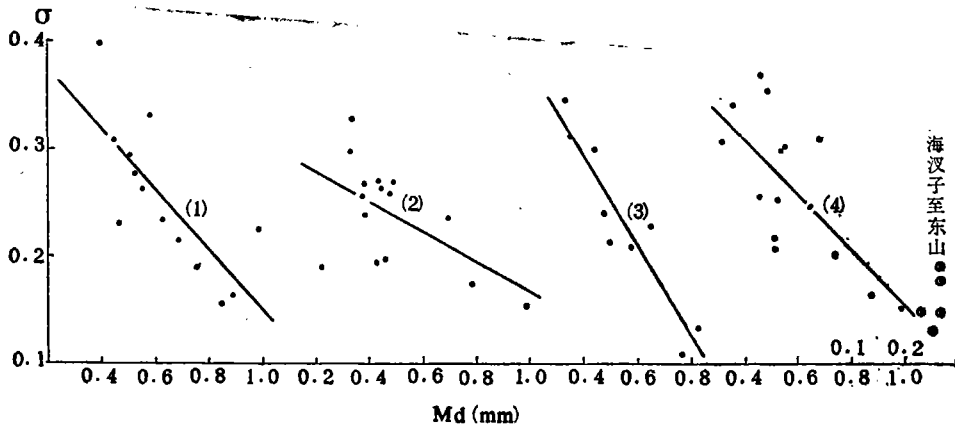
海岸带冲淤动态在海滩形态上有所反映。海滩坡度减小和宽度增大的方向, 指示沉积物流的前进方向。冲刷海滩窄而陡, 滩尖角发育, 堆积海滩宽阔、平坦。海岸冲刷会引起滨岸地貌的改造。

2. 各冲刷岸段 σ 与Md均呈现反比直线关系(图4), 反映了与冲刷海滩物质横向分异相似的特殊分异规律。

3. 据上可见, 本区沿岸主要盛行东、西向未饱和沉积物流, 其物质来源于河流入海泥沙、岸滩(尤为湾顶岸滩)冲刷产物及大岬角海蚀产物。故沉积物流起源于较大河流入口、不受岬角隐蔽的海湾顶部及大的海蚀岬角。入海泥沙和海湾产物在北东、南西两

表2 中潮位海滩砂的粒度系数
Table 2 Parameter values of grain size of beach
sand in middle tidal line

样号	采 样 位 置	Md(毫米)	σ	样号	采 样 位 置	Md(毫米)	σ
76	洋河口东侧	0.5211	0.2511	158	南山东侧	0.2187	0.1886
80	东1000米	0.5315	0.2984	155	东1000米	0.4703	0.2580
82	东2000米	0.6406	0.2461	145	东2000米	0.4230	0.1937
84	东3000米	0.8708	0.1636	141	东3000米	0.7761	0.1742
64	代河口东侧	0.5109	0.2046	138	东4000米	0.4530	0.1956
62	东700米	0.6738	0.3075	135	东5000米	0.3806	0.2375
60	东1700米	0.5105	0.2149	133	东6000米	0.3329	0.3268
58	东2700米	0.4890	0.4019	131	东7000米	0.3684	0.2549
56	老虎石西侧	0.3147	0.3056	128	沙河口西侧	0.6876	0.2347
86	东侧	0.5430	0.3011	178	东侧	0.9815	0.1533
54	东700米	0.9863	0.1528	180	东1000米	0.4414	0.2616
52	东1700米	0.4569	0.2536	183	东2000米	0.3201	0.2982
50	东2700米	0.3551	0.3397	186	东3000米	0.3776	0.2665
34	金山咀北	0.7348	0.1998	189	东4000米	0.4282	0.2668
平均	洋河口—东山	0.5814	0.2600	192	石河口西侧	0.4861	0.2669
35	鸽子窝北侧	0.1272	0.1470	平均	南山—石河口	0.4764	0.2385
72	北1000米	0.1636	0.1743	17	石河口东侧	0.3966	0.3977
70	北2000米	0.1619	0.1887	217	东1500米	0.4945	0.2918
68	北3000米	0.1508	0.1313	19	东1800米	0.6836	0.2158
66	北4000米	0.1685	0.1484	214	东2300米	0.5451	0.2613
平均	东山—海汉子	0.1544	0.1579	211	东3300米	0.7577	0.1899
14	海汉子东	0.3452	0.3101	208	东4300米	0.8441	0.1568
11	东1000米	0.4698	0.2393	206	东5300米	0.9839	0.2245
8	东2000东	0.5777	0.2083	203	东6300米	0.8869	0.1629
5	东3000米	0.8219	0.1325	201	东7300米	0.4543	0.2305
2	汤河口西侧	0.7578	0.1019	198	东8300米	0.5244	0.2780
173	东侧	0.6465	0.2272	195	东9300米	0.4349	0.3071
172	东700米	0.4825	0.2110	219	南山头西侧	0.5763	0.3291
163	东1700米	0.4358	0.2977	222	东侧	0.6215	0.2329
161	东2700米	0.3268	0.3442	平均	石河口—南山头	0.6311	0.2522
平均	海汉子—南山	0.5404	0.2308	总平均	洋河口—南山头	0.5201	0.2386



- (1) 南山头至石河口: $\sigma = 0.428 - 0.278Md$ 相关系数 $r = 0.768^{**1}$, 样点数 $N = 13$
 (2) 石河口至南山: $\sigma = 0.305 - 0.140Md$ $r = 0.568^{*1}$, $N = 15$
 (3) 南山至海汉子: $\sigma = 0.458 - 0.421Md$ $r = 0.849^{**}$, $N = 9$
 (4) 东山至洋河口: $\sigma = 0.410 - 0.258Md$ $r = 0.683^{**}$ $N = 14$

图4 各岸段中潮位海滩砂的 σ 与Md之间关系

Fig. 4 Relationship between σ and Md of beach sand in middle tidal line of different sections of coast

向风浪作用下形成向东或向西的未饱和沉积物流, 沿途不断接纳岸滩冲刷产物, 最后在岛屿波影区(姜女坟)、海湾充填区(如海汉子南), 两向沉积物流相遇外(唐子寨、向河寨南)及洋河口西堆积区达到饱和而产生堆积。

二、沙丘砂

南大寺海积平原上, 叠置了大片风成沙丘。沙丘区由一系列新月形沙丘链组成, 沙丘链呈北西至南东走向, 与盛行东北风向垂直。由东北至西南在5个沙丘上采样17个。筛分结果表明(表3), 沙丘砂粒径小($\bar{Md} = 0.1758$ 毫米), 分选好($\bar{\sigma} = 0.1197$), 优势粒级细砂占61.6—95.6%, 比其物源地海汉子海滩物质更细小、纯净, 应是海滩砂再度分选的结果。

沙丘砂的 σ 与Md成对数曲线关系(图5), 一般式为 $\sigma = a + b \log(md - 0.150)$, 式中a、b为正数。

1)**、*分别表示在0.01、0.05水平上显著相关

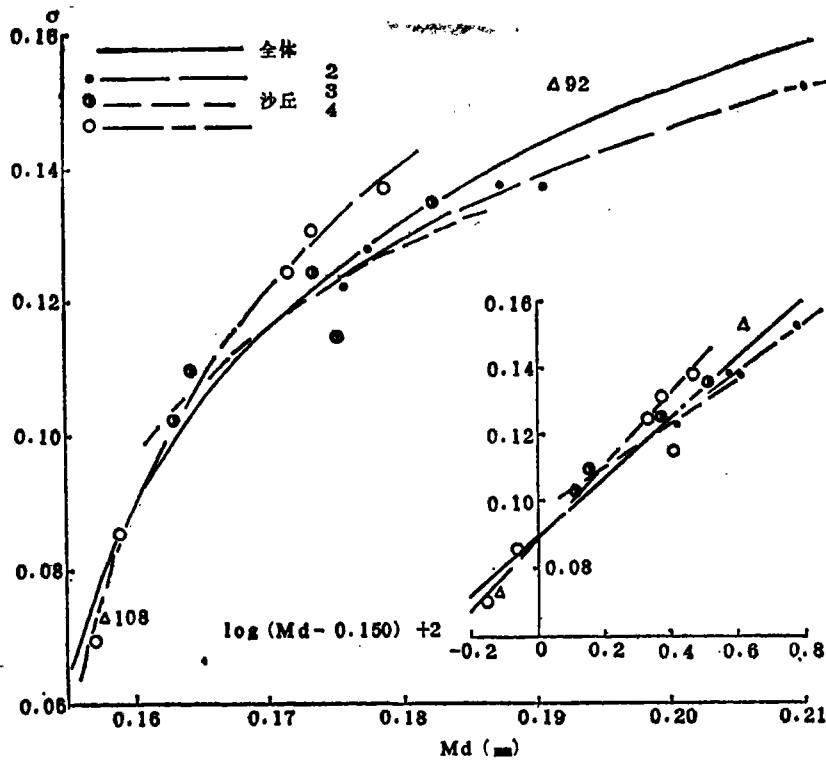
表 3 沙丘砂的粒度参数

Table 3 Parameter values of grain size of dune sand

样品号	采 样 部 位	Md (毫米)	σ
92	沙丘 1 顶部	0.1915	0.1521
93	沙丘 2 向海坡坡脚	0.2100	0.1517
94	向海坡腰部	0.1758	0.1223
95	顶部	0.1904	0.1370
96	向陆坡腰部	0.1774	0.1280
97	向陆坡坡脚	0.1873	0.1371
沙丘 2	沙丘 1 西南 650 米	0.1882	0.1352
98	沙丘 3 向海坡坡脚	0.1735	0.1244
99	向海坡腰部	0.1753	0.1147
100	顶部	0.1630	0.1024
101	向陆坡腰部	0.1823	0.1345
102	向陆坡坡脚	0.1644	0.1097
沙丘 3	沙丘 1 西南 1050 米	0.1717	0.1171
103	沙丘 4 向海坡坡脚	0.1788	0.1370
104	向海坡腰部	0.1588	0.0856
105	顶部	0.1715	0.1242
106	向陆坡腰部	0.1571	0.0699
107	向陆坡坡脚	0.1734	0.1306
沙丘 4	沙丘 1 西南 2050 米	0.1679	0.1095
108	沙丘 5 顶部	0.1576	0.0730
平均	92—108	0.1758	0.1197

这是一簇以 $Md = 0.150$ 为渐进线的对数曲线，表明沙丘砂 σ 随 Md 减小而加速变小，即沿风沙流移动方向上，砂粒变细且分选性急剧增高。如图 6 示，每一砂丘 σ 、 Md 的平均值 $\bar{\sigma}$ 、 \bar{Md} 沿程递减，且 $\bar{\sigma}$ 减小得比 \bar{Md} 快。有：

$\bar{\sigma}$ — S 直线斜率比 \bar{Md} — S 直线大，反映风砂沉积物分选性的沿程增高比粒径的变小要迅速。表现在沙丘砂的级配上，优势粒级细砂 ($\phi 0.1—0.25$ 毫米) 含量沿风沙流移动方向递增，粗砂 ($\phi 0.5—2$) 含量递减且最终消失，中砂 ($\phi 0.25—0.5$) 含量急剧减小，极细砂略有增长，呈现出粒级减少、优势粒级含量增高、平均粒级变小的趋势。



沙丘 2: $\sigma = 0.2430 + 0.0749 \log (Md - 0.150)$ 。相关系数 $R = 0.989^{**}$, 样品数 $N = 5$

沙丘 3: $\sigma = 0.2316 + 0.0678 \log (Md - 0.150)$ 。 $R = 0.908^*$, $N = 5$

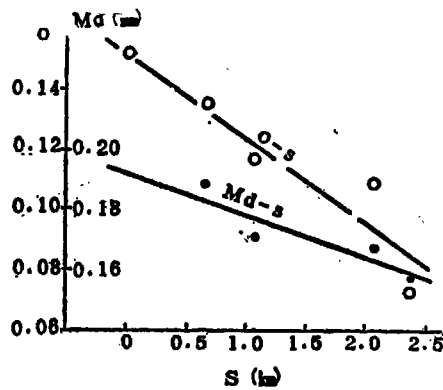
沙丘 4: $\sigma = 0.3059 + 0.1086 \log (Md - 0.150)$ 。 $R = 0.997^{**}$, $N = 5$

△为沙丘 1, 5 顶部样品。

全部样品: $\sigma = 0.2674 + 0.0891 \log (Md - 0.150)$ 、 $R = 0.791^{**}$ 、 $N = 17$

图 5 沙丘砂 σ 与 Md 的关系

Fig. 5 Relationship between σ and Md of dune sand



$\sigma = 0.1523 - 0.02865$

$r = 0.940^*$, $N = 5$

$Md = 0.1922 - 0.01385$

$r = 0.953^*$, $N = 5$

注: σ 、 Md 均为平均值

图 6 σ 、 Md 的沿程变化

Fig. 6 Changes of σ and Md with the removal distance

三、冲积砂

区内入海河流有 7 条，其中石河、代河、洋河从西北山地奔流而出，水动力较强，沙河、汤河、高家河、新开河较短小，主要潺流于滨海平原上。从这些河流的各地貌单元表层采砂样 15 个（表 4）。分析表明，虽然样品采自不同地貌单元，但由于区域古地理和水动力状况相对稳定， σ 与 Md 仍呈现与海滩砂类似的两种性质不同的直线关系（图 7）。

表 4 冲积砂的粒度参数

Table 4 Parameter values of grain size of alluvial sand

样品号	采样部位	Md (毫米)	σ
22	石河三道河河漫滩	0.4298	0.2456
169	石河二道河三级阶地	0.4089	0.2478
171	石河回马寨河床	0.6510	0.1770
113	石桥铁路桥河漫滩	0.4834	0.2154
114	石桥铁路桥河床	0.3324	0.2321
23	石河公路废河床	0.4631	0.2494
20	沙河公路桥河漫滩	0.4251	0.6013
78	汤河海阳镇河床	0.2948	0.4142
168	汤河冲积平原	0.2149	0.3024
48	新开河上营南河漫滩	0.2197	0.2637
47	高家河公路桥河漫滩	0.1326	0.1618
74	代河牛头崖东河漫滩	0.3200	0.3381
73	代河老虎洞南河床	0.6836	0.2135
87	代河冲积平原	0.6039	0.2027
88	洋河冲积平原	0.5024	0.2302
平均		0.4110	0.2729

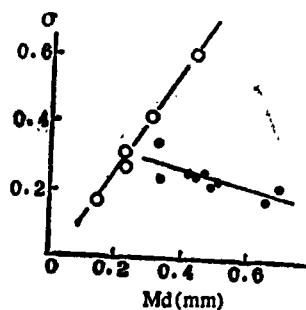


图 7 冲积砂 σ 与 Md 的关系

Fig. 7 Relationship between σ and Md of alluvial sand

沙河等四条平原小河，与堆积海滩类似，进行着正常的沉积分异作用。冲积物随粒径变小而分选变佳， σ 与 Md 成正比直线关系：

$$\sigma = 1.517Md - 0.042 \quad r = 0.996^{**}, N = 5。$$

对石河等三条山地流出的河流,其水动力条件在出山前后有急剧变化。出山前,水流湍急,沉积颗粒粗大、纯净。出山后,流速骤减,泥砂俱下,沉积混杂,平均粒径较小。因此,与冲刷海滩类似,沉积物变细的同时分选变差,表现为 σ 与Md成如下反比直线关系:

$$\sigma = 0.363 - 0.254Md \quad r = 0.717^*, N = 10。$$

四、结 语

1. 本文用回归分析得出的各成因类型砂分选系数与中值粒径的经验关系式,方式与结论均与前人的散点图不同。这些关系式归纳为:

σ -Md关系类型	沉积环境	σ -Md关系性质与相应水动力条件	
直 线 $\sigma = a \pm bMd$ (b为正数)	水 成 (海河)	正比直线 $\sigma = a + bMd$	平 原 河 流 堆 积 海 岸
		反比直线 $\sigma = a - bMd$	出 山 河 流 冲 刷 海 岸
对数曲线 $\sigma = a + b \log(Md - C)$ (a, b, c为正数)	风 成		

2 由 σ -Md关系类型可区分水成砂与风砂。由 σ -Md直线关系性质可推论堆积与冲刷两种水动力条件。

σ 与Md的反比直线关系,说明在海岸冲刷或河流侵蚀作用下,沉积物有特殊分异规律,即物质愈粗者愈纯、愈细者愈杂。这种特殊的冲刷分异现象, K.O. 埃默里在中国近海及大陆架外侧的残留沉积中有过定性描述,认为是簸选作用的结果〔4, 5〕。

3. 本文探讨的是现代沉积物的沿程分异规律,由于研究区范围有限,样品数量还不够多,所得结论能否应用于地质历史过程和其它地区,尚待验证。对冲刷分异作用的物理机制,以及相关式中各个系数具成因意义的经验值范围,也待进一步探讨。在非沿程取样或在不同地貌单元上取样时,本文经验关系亦可能被冲淡或掩盖。此外,本文计算粒度系数的米制矩法,目前已较少使用,所得粒度系数不能直接与 ϕ 粒级矩法或图解法的结果对比。

本文写作中承周剑桥工程师协助, 仅此致谢。

(收稿日期1983年6月22日)

参 考 文 献

- 〔1〕 鲁欣, 1953, 沉积岩石学原理, 中册, 地质出版社(1955)。
- 〔2〕 成都地质学院陕北队, 1978, 沉积岩(物)粒度分析及其应用, 地质出版社。
- 〔3〕 宋天锐、梁百合, 1978, 我国南方的两种现代滨海沉积类型, 地质学报, 52卷2期。

- [4] 埃默里, K. O. 1961, 中国东海和南海浅海部分的沉积, 海洋译丛, 1965年1期。
 [5] 埃默里, K. O. 1968, 世界大陆架上的残留沉积, 海洋地质参考资料, 1975年2期。

THE EMPIRICAL RELATIONS BETWEEN MD AND σ COEFFICIENT OF SANDS AND THEIR REFLECTION ON THE DEPOSITIONAL ENVIRONMENT

Jiang Zhongxin

(The 2nd Institute of Railway Survey and Design)

Abstract

The size analysis of sands in the littoral area of Qinhuangdao shows that the empirical relationships between median diameter, Md, and sorting coefficient, σ , of sands different types and characteristics due to various geneses and hydrodynamic conditions. Therefore, they may be attributed to different depositional environments.

Type of σ -Md relationship	Depositional environment	Character of the graph and hydrodynamic condition	
Linear $\sigma = a \pm bMd$	Hydrogenous (River, Marine) origin	Grade-ascending	Accumulation
		Grade— descending	Wash
Logarithmic $\sigma = a + \log(Md-C)$	Eolian		

A linear σ -Md graph with ascending grade suggests that the sorting of sand particles becomes better as they run away in removal and grow smaller in size, which implies a normal state of depositional differentiation. And down-sloped σ -Md line indicates that when sand particles grow smaller in transportation, their sorting becomes poorer. This means an abnormal depositional differentiation by the disturbance of wash.