

海砂粒级划分标准和沉积物命名方法探讨*

倪玉根¹, 李建国², 习龙¹

1. 中国地质调查局广州海洋地质调查局, 广东 广州 510075;

2. 中国地质调查局自然资源实物地质资料中心, 河北 三河 065201

摘要: 近年来, 随着海砂资源需求激增和勘查开发快速发展, 解决海砂调查研究领域中海砂命名混乱的问题迫在眉睫。本文在总结多年海砂调查经验和前人研究成果的基础上, 分析对比已有粒级划分标准和沉积物命名方法的特点, 提出一套适用于海砂的粒级划分标准和命名方法。基于伍登-温特沃斯(Udden-Wentworth)等比制 ϕ 值粒级标准, 提出将海砂沉积物粒级划分为砾(>2mm)、砂(2~0.063mm)和泥(<0.063mm)3 大类, 二级细分为 9 小类; 基于优势粒级法思想, 将砾、砂和泥作为三个分类端元, 提出“砾-砂-泥三角图解+砂、砾质沉积物细分命名”的海砂沉积物分类方案, 体现了“对砂、砾质沉积物细化其名, 对泥质沉积物简化其名”的思想。该命名方法直观地反映了海砂的粒级组成和含量, 同时较好地兼顾了海砂命名的沉积学涵义和实际应用需求。

关键词: 海砂; 海洋集料; 碎屑沉积物; 粒级标准; 沉积物命名

中图分类号: P744.2 文献标识码: A 文章编号: 1009-5470(2021)03-0143-09

Discussion on grain-size grading scale and sediment classification for marine sand and gravel

NI Yugen¹, LI Jianguo², XI Long¹

1. Guangzhou Marine Geological Survey, China Geological Survey, Guangzhou 510075, China;

2. Cores and Samples Center of Natural Resources, China Geological Survey, Sanhe 065201, China

Abstract: In recent years, the demand for marine sand and gravel increased sharply. Accordingly, its exploration and exploitation developed rapidly. To avoid naming confusion in the field of marine sand and gravel investigation and research, we analyzed the characteristics of the existing grading scales and sediment classification schemes based on years of marine sand and gravel investigation experience and previous research results, and put forward a set of grading scale and sediment naming method suitable for marine sand and gravel. Based on the Udden-Wentworth geometric series grading scale (ϕ scale), we proposed a particle size grading scale for marine sand- and gravel-related sediments, which divides the particle size grades into three categories of gravel (>2 mm), sand (2~0.063 mm) and mud (<0.063 mm), and nine subcategories. Based on preponderant grain-size composition, we proposed a “gravel-sand-mud triangular diagram + detailed naming of sandy and gravelly sediment” classification scheme, which embodies the idea of “detailed naming of sandy and gravelly sediments while simplifying naming of muddy sediments.” This can directly reflect the grain-size composition and content of marine sand and gravel.

Key words: marine sand and gravel; marine aggregates; clastic sediments; particle size grading; sediment nomenclature

收稿日期: 2020-06-13; 修订日期: 2020-07-09. 林强编辑

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目(DD20201175)

作者简介: 倪玉根(1984—), 男, 安徽省桐城市人, 高级工程师, 从事海洋地质学研究. email: niyugen@163.com

通信作者: 倪玉根. email: niyugen@163.com

*感谢 4 位匿名审稿人提出宝贵的意见!

Received date: 2020-06-13; Revised date: 2020-07-09. Editor: LIN Qiang

Foundation item: Geological Survey Project of China Geological Survey (DD20201175)

Corresponding author: NI Yugen. email: niyugen@163.com

砂是世界上开采和交易量最大的资源之一,是房屋建筑、工程建设、玻璃和电子产品制造等的基础材料。随着人口和经济增长,砂资源需求激增,砂资源紧缺已经成为关系人类发展(经济、社会和环境等)的全球性问题(Torres et al, 2017; Bendixen et al, 2019)。在河砂资源枯竭或限制开采的背景下,“向海要砂”,合理开发海砂资源,显得尤为迫切。海砂开采利用的历史悠久,国外大规模开采始于 20 世纪 70—80 年代,我国大规模开采则始于 20 世纪 90 年代,海砂已成为仅次于海洋油气的第二大海洋矿产(李杏筠, 2018)。近年来,我国进一步加强了海砂资源开发管理和出让试点,2019 年,广西和广东两省区率先开展海砂采矿权和海域使用权联合出让试点,取得良好效果;2019 年底,自然资源部下发《关于实施海砂采矿权和海域使用权“两权合一”招拍挂出让的通知》(自然资规〔2019〕5 号),标志着我国海砂资源开发利用步入了新阶段。

然而,随着海砂资源开发利用的加快,海砂地质调查研究中的一些问题逐渐显现,如海砂粒级划分标准和命名方法尚未统一和规范,导致在实际的调查研究过程中海砂命名比较混乱,这不利于海砂资源的调查研究、开发管理和可持续发展规划(王圣洁等, 2003; 曹雪晴等, 2007; 韩孝辉等, 2017; 潘燕俊等, 2017; 全长亮, 2018; 全长亮等, 2018, 2019)。因此,在多年海砂调查经验和前人研究成果的基础上,针对海砂资源勘查开发的实际需求,本文尝试提出一套适用于海砂的粒级划分标准和命名方法,旨在解决海砂调查研究中对海砂命名混乱的问题。

1 海砂的定义

海砂(海中的砂石),是指由岩石风化后经水流、冰川和风等地质营力侵蚀、搬运或改造,赋存于现代海洋环境的砂、砾质碎屑沉积物。按照海砂的用途,大致可分为两种:一是提取其中富集的金属或非金属有用矿物,如锆石、钛铁矿、金红石、独居石、磷钇矿、金、锡、金刚石和石英等,此类所含伴生矿物达到工业价值的海砂称之为海洋砂矿(如滨海或近海砂矿);二是经过一定处理后作为混凝土集料用于建筑工程,或作为填方材料用于回填工程,或作为补砂原料用于沙滩养护等,此类海砂称之为海洋集料。一般而言,“海砂”一词特指海洋集料,而

不是海洋砂矿,本文的海砂亦指海洋集料。

2 海砂粒级划分标准

海砂粒级划分标准是海砂定义中砂、砾质组分的确定依据,也是海砂沉积物分类命名的基础。海砂属于碎屑沉积物的范畴,针对碎屑沉积物,国际上通用的粒级划分标准是伍登-温特沃斯(Udden-Wentworth)等比制 ϕ 值粒级标准,我国现行的《海洋调查规范第 8 部分:海洋地质地球物理调查》(GB/T 12763.8-2007)(中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局等, 2007)(以下简称海洋调查规范)亦采用该标准。

2.1 伍登-温特沃斯(Udden-Wentworth)等比制粒级标准

Udden(1898)首次提出 2 为公比的等比制粒级划分方法,对风成沉积物进行粒级划分。Udden(1914)将此方法应用到水和冰川沉积物中,建立了 Udden 等比制碎屑沉积物粒级划分标准(表 1)。Wentworth(1922)对 Udden 提出的划分方法进行改进,用于对松散沉积物和固结沉积岩的粒级划分,形成伍登-温特沃斯粒度分级标准。该标准将碎屑沉积物分为 4 大类,即砾石($> 2\text{mm}$)、砂($2\sim 0.063\text{mm}$)、粉砂($0.063\sim 0.004\text{mm}$)和粘土($< 0.004\text{mm}$)(表 1)。为简化作图与便于粒度参数计算,Krumbein(1934, 1936)将伍登-温特沃斯粒度分级标准转换为 ϕ 值分级标准: $\phi = -\log_2 \xi$, 其中 ξ 为粒径(单位: mm), ϕ 值粒级标准一直得到国际学术界广泛认可和应用(Blott et al, 2012)。

2.2 我国海洋调查规范采用的粒级分类标准

我国现行的海洋调查规范(GB/T 12763.8-2007)(中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局等, 2007)对沉积物的粒级划分采用伍登-温特沃斯等比制 ϕ 值粒级标准,但进行了一些调整。该规范将粒组类型划分为 5 大类:岩块($> 256\text{mm}$)、砾石($256\sim 2\text{mm}$)、砂($2\sim 0.063\text{mm}$)、粉砂($0.063\sim 0.004\text{mm}$)和粘土(泥)($< 0.004\text{mm}$);再简分为 8 类,细分为 15 类(表 1)。

海洋调查规范采用等比制 ϕ 值粒级标准,替代了我国 20 世纪 70 年代以前一直采用的十进制制粒级划分标准,使我国海洋地质领域的粒级标准与国际接轨,方便数据共享对比和学术交流。此外,该粒级分类对细粒碎屑物(粉砂和粘土)进行了细分,有利于对泥质沉积物的精细描述和研究。

表 1 伍登-温特沃斯(Udden-Wentworth)、海洋调查规范(GB/T 12763.8-2007)和本文建议的粒级划分标准对比表
Tab. 1 Particle size scales suggested by Udden(1914), Wentworth(1922), Specifications for Oceanographic Survey (GB/T 12763.8-2007), and this study

粒径/mm	φ 值	Udden(1914)等比制 粒级划分	Wentworth(1922) 等比制粒级划分	海洋调查规范(GB/T 12763.8-2007) 采用的等比制粒级划分			本文建议的海砂 粒度分级标准					
				粒组类型	简分法	细分法						
256	-8		巨砾 (boulder gravel)	岩块	岩块(漂砾)	岩块	砾	巨砾				
		大卵石 (large boulders)	粗砾 (cobble gravel)	砾石	砾石	粗砾		粗砾				
128	-7	中卵石 (medium boulders)							中砾 (pebble gravel)	中砾	中砾	中砾
64	-6	小卵石 (small boulders)	细砾			细砾						
32	-5	极小卵石 (very small boulders)						细砾				
16	-4	极粗砾 (very coarse gravel)								细砾	细砾	
8	-3	粗砾 (coarse gravel)										细砾
4	-2	砾石 (gravel)	细砾 (granule gravel)			砂		粗砂		粗砂		
2	-1	细砾 (fine gravel)	极粗砂 (very coarse sand)								粗砂	粗砂
1	0	粗砂 (coarse sand)	粗砂 (coarse sand)			中砂	中砂	中砂				
1/2 (0.5)	1	中砂 (medium sand)	中砂 (medium sand)	细砂	细砂				细砂			
1/4 (0.25)	2	细砂 (fine sand)	细砂 (fine sand)			极细砂	极细砂	极细砂				
1/8	3	极细砂 (very fine sand)	极细砂 (very fine sand)	粉砂	粗粉砂				粗粉砂			
1/16 (0.063)	4	粗粉砂/尘 (coarse silt or dust)	粉砂 (silt)			粉砂	粗粉砂	粗粉砂				
1/32	5	中粉砂/尘 (medium silt or dust)		细粉砂	细粉砂							
1/64	6	细粉砂/尘 (fine silt or dust)					极细粉砂	极细粉砂				
1/128	7	极细粉砂/尘 (very fine silt or dust)		粘土 (clay)	粘土(泥)				粘土	粘土		
1/256 (0.004)	8	粗粘土 (coarse clay)	粘土 (clay)			粘土(泥)	粘土	粘土				
1/512	9	中粘土 (coarse clay)		细粘土	细粘土							
1/1024	10	细粘土 (fine clay)							细粘土	细粘土		
1/2048	11											

然而，海洋调查规范采用的分类标准在实际应用中也存在一些问题：(1)粒级名称有简分法和细分法两种方式，出现了同一名称具有不同内涵的情况，易在应用中造成混乱，如简分法粗砂的粒径范围是2~0.5mm，而细分法粗砂的粒径范围是1~0.5mm，类似的情况还有细砂、粗粉砂和细粉砂(表1)；(2)对于粒度术语“泥”，国际上惯用的是指粉砂和粘土的合称，使用在先，且沿用已久，而该标准中“泥”是指粘土，将它重新定义，不利于学术交流(何起祥等, 2002)；(3)该标准粒组类型有5类，增加了沉积物命名(三角图解)的难度。

2.3 建议的海砂粒级划分标准

海砂粒级划分标准，应在调查研究领域和建筑材料行业都能普遍接受和使用。因为，建筑材料行业《建设用卵石、碎石》(GB/T 14685-2011)(中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 等, 2011a)和《建设用砂》(GB/T 14684-2011)(中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 等, 2011b)的粒级划分为：卵石 (> 4.75mm)、砂 (4.75~0.075mm)、泥 (< 0.075mm)，用以分析颗粒级配的方孔筛规格为90mm、75mm、63mm、53mm、37.5mm、31.5mm、26.5mm、19.0mm、16.0mm、9.50mm、4.75mm、

2.36mm、1.18mm、600 μ m、300 μ m、150 μ m。显然, 建筑材料行业砂石的粒级划分与海洋地质调查领域差异较大, 是两套完全不同的体系。

鉴于伍登-温特沃斯等比制 ϕ 值粒级标准的通用性, 以及我国海砂资源调查、海岸带综合地质调查和海洋区域地质调查等海洋地质调查均采用此粒级标准, 为遵从行业惯例、便于数据共享和学术交流, 建议的海砂粒级划分亦宜采用此标准, 但同时需兼顾建筑材料行业对砂石粒级范围的界定。

本文在伍登-温特沃斯等比制粒级标准的基础上, 提出海砂沉积物粒级分类的建议(表 2), 将沉积物划分为砾 (> 2mm)、砂 (2~0.063mm)、泥 (< 0.063mm) 3 大类和 9 小类。其中, 砾细分为巨砾(> 256mm)、粗砾(256~64mm)、中砾(64~4mm)和细砾(4~2mm); 砂细分为粗砂(2~0.5mm)、中砂(0.5~0.25mm)和细砂(0.25~0.063mm); 泥细分为粉砂(0.063~0.004mm)和粘土(< 0.004mm)。

表 2 海砂沉积物粒度分级标准建议

Tab. 2 Particle size scale for marine sand- and gravel-related sediments suggested in this study

粒级名称		分级	
		粒径/mm	ϕ 值
砾	巨砾	> 256	< -8
	粗砾	256~64	-8~-6
	中砾	64~4	-6~-2
	细砾	4~2	-2~-1
砂	粗砂	2~0.5	-1~1
	中砂	0.5~0.25	1~2
	细砂	0.25~0.063	2~4
泥	粉砂	0.063~0.004	4~8
	粘土	< 0.004	> 8

相比于海洋调查规范中的划分方案, 本文作了如下调整: (1)避免采用简分法和细分法两种方式的粒级名称, 在砾、砂和泥的大类划分下, 只作一种二级划分, 粒级名称与粒径范围唯一对应; (2)海砂主要是砂、砾等粗碎屑物, 粉砂和粘土不再作为粒组大类, 而合称为泥, 与国际惯用法保持一致; (3)将巨砾(> 256mm)划入砾大类, 进一步减少粒组大类的数量; (4)将中砾和细砾的粒径分界由 8mm 调整为 4mm, 与 Wentworth(1922)的划分保持一致, 并与建筑材料行业的砂、石粒径分界基本保持一致[欧洲 4 或 5mm(Velegrakis et al, 2010), 国内 4.75mm(GB/T 14685-2011)], 使得建筑材料行业砂的粒径范围(欧洲 4 或 5~0.063mm, 国内 4.75~0.075mm)与本文标准的砂+细砾联系和对应起来。通过以上调整, 海砂粒度分级标准将沉积物划分为砾、砂和泥 3 大类, 便于采用三角图解进行沉积物命名(表 2)。

根据以上粒级划分标准, 海砂所指的砂、砾质碎屑沉积物, 其粒径 ≥ 0.063 mm, 而粒径 < 0.063mm 的组分称为泥, 是海砂中常见的伴生无用组分。当前, 回填料海砂的粒度分级尚无具体规定, 为避免混乱, 可参考本文建议的海砂粒级划分标准。需要指出的是, 建筑材料行业标准(JGJ 52-2006)(中华人民共和国建设部, 2006)将建筑用砂(混凝土用砂)按细度模数(M_x)分为粗砂($M_x=3.7\sim3.1$)、中砂($M_x=3.0\sim2.3$)、细砂($M_x=2.2\sim1.6$)、特细砂($M_x=1.5\sim0.7$), 与本文所建议海砂粒级划分标准中的粗砂、中砂和细砂是不同的概念, 前者代表的是几何平均粒径(戴镇潮, 1991), 后者指的是粒径范围。

3 海砂沉积物命名方法

一般而言, 海砂属于近浅海碎屑沉积物, 对于近浅海碎屑沉积物的分类和命名方法, 我国海洋地质界常用的是优势粒级分类、谢帕德(Shepard)分类和福克(Folk)分类。这三种分类法均以伍登-温特沃斯等比制 ϕ 值粒级标准为基础, 以下分别阐述, 并提出海砂沉积物命名方法的建议。

3.1 优势粒级分类法

1975 版《海洋调查规范第四分册海洋地质调查》中采用的沉积物分类法即优势粒级法, 具体原则: 沉积物命名以主次粒级和优势粒组的含量为依据, 粒级含量超过 20%时参加命名, 主要粒级为基本命名, 次要粒级为辅助命名。优势粒级法用于无砾沉积物时, 薛春汀(1994)将其用三角图解表示(图 1)。无砾沉积物共划分为 10 类, 其中, 当砂、粉砂、粘土 3 个粒级含量均大于 20%时, 命名为砂-粉砂-粘

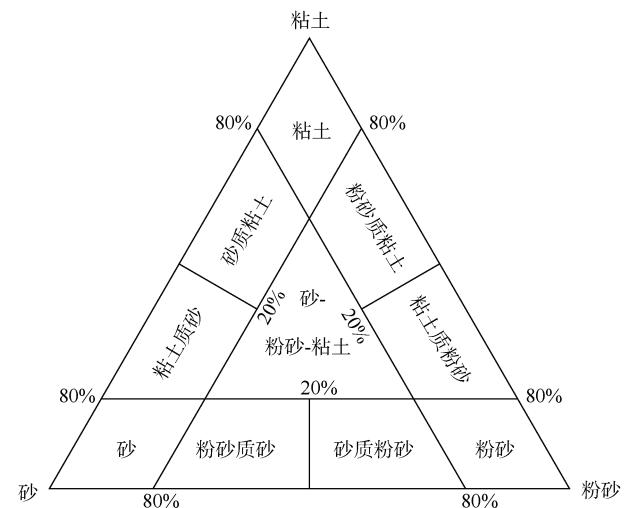


图 1 优势粒级分类法三角图解(薛春汀, 1994)

Fig. 1 Sediment classification triangular diagram based on preponderant grain-size composition. After Xue (1994)

土。优势粒级法用于砾质沉积物时,可根据砾石和砂的粒级含量,命名为砾、砂质砾、砾质砂等(陈俊仁 等, 1981; 许东禹 等, 1997)。优势粒级法用于单一名称的砂时,可根据细砂、中砂、粗砂的粒级含量,命名为粗砂、粗中砂、中粗砂、中砂、细中砂、细砂等(陈俊仁 等, 1981; 许东禹 等, 1997; 赵东波, 2009)。

优势粒级分类法在我国海洋地学界广泛使用,直至 1992 年《海洋调查规范-海洋地质地球物理调查》(GB/T 13909-1992)(国家技术监督局, 1992)提出沉积物命名采用谢帕德分类法。然而,通过一些学者所做的分类法对比研究(薛春汀, 1994; 赵东波, 2009),可以看出优势粒级法仍具有明显的优点,其规则相对简单,涵盖所有粒级范围,通过名称可估计出优势粒级大致含量,对砂、砾质沉积物的细分命名更能反映水动力环境,应该说至今都具有相当的生命力。

3.2 谢帕德(Shepard)分类法

谢帕德分类是 Shepard 于 1954 年提出,该分类法以砂、粉砂和粘土为三角图解的三个端元,根据粒级含量 20%、75%、40%~75%、12.5%~50%等为条件,将无砾沉积物划分为 10 类(图 2)(Shepard, 1954)。前述优势粒级分类法中砂-粉砂-粘土的含义与谢帕德分类法是一致的。

1992 年后,谢帕德分类法在我国得到广泛的应用,至今仍是主流的分类法之一。国内学者对其也进行了大量的对比研究(薛春汀, 1994; 何起祥 等, 2002; 王中波 等, 2007; 赵东波, 2009; 刘志杰 等, 2011)。该分类法优点: 三端元等价,描述性强,分类简明; 缺点: 没有考虑砾石,不宜对含砾沉积物进行命名,且未能反映沉积物的动力学特征。

3.3 福克(Folk)分类法

福克分类是 Folk 等人于 1970 年提出的,包括含砾三角图解(图 3)和无砾三角图解(图 4)(Folk et al, 1970)。福克含砾分类法以砾、砂和泥为三个端元(此处的泥为粉砂和粘土的合称),根据不同的砾含量和砂泥比将含砾沉积物划分为 14 种类型(图 3)。福克无砾分类法是福克含砾三角图底层的扩展,以砂、粉砂、粘土为三个端元,根据不同的砂含量和粉砂粘土比将无砾沉积物划分为 10 类,其中出现了与福克含砾三角图中含义不同的泥(图 4)。

2007 年,《海洋调查规范第 8 部分: 海洋地质地球物理调查》(GB/T 12763.8-2007)(中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 等, 2007)提出沉积

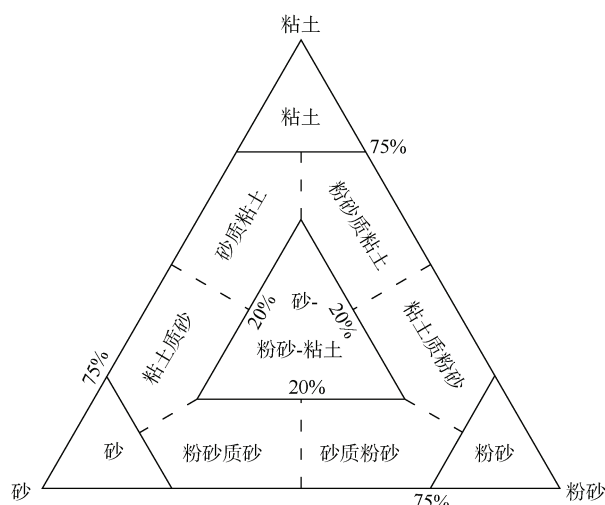


图 2 谢帕德分类法三角图解(Shepard, 1954)

Fig. 2 Sediment classification triangular diagram proposed by Shepard (1954)

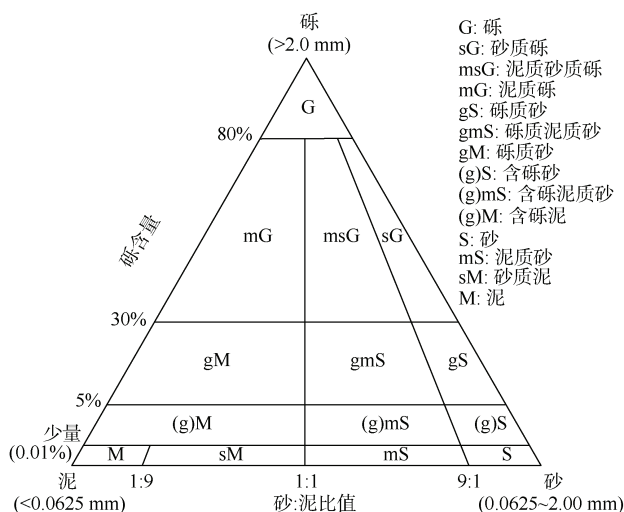


图 3 福克含砾分类法三角图解(Folk et al, 1970)

Fig. 3 Gravel-bearing sediment classification triangular diagram proposed by Folk et al (1970)

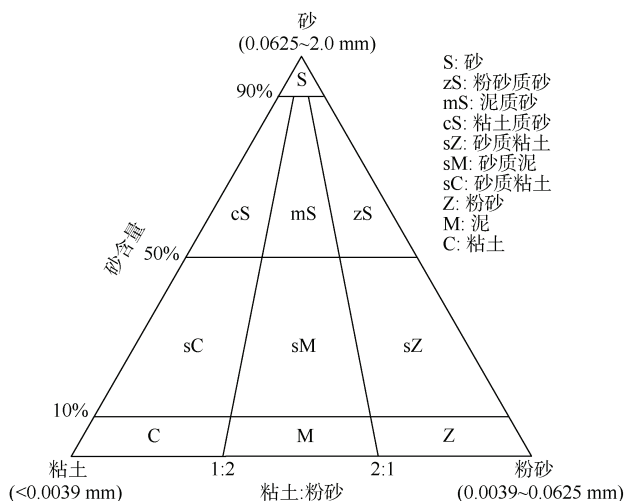


图 4 福克无砾分类法三角图解(Folk et al, 1970)

Fig. 4 Gravel-free sediment classification triangular diagram proposed by Folk et al (1970)

物命名采用谢帕德分类法或福克分类法。相比于谢帕德分类法,福克分类法具有明显的优点:一是考虑了砾石,有福克含砾分类三角图解,解决了含砾沉积物的命名问题;二是该分类法具有明显的沉积动力与成因意义。因此,福克分类法逐渐被越来越多的海洋地质学者所接受(王中波等, 2007; 赵东波, 2009; 刘志杰等, 2011)。目前,《1:1000000 海洋区域地质调查规范》(DZ/T 0247-2009)(中华人民共和国国土资源部, 2009)、《海洋区域地质调查规范(1:250000)》(DZ/T 0256-2014)(中华人民共和国国土资源部, 2014a)和《海洋区域地质调查规范(1:50000)》(DZ/T 0255-2014)(中华人民共和国国土资源部, 2014b)均规定碎屑沉积物命名采用福克分类法。但是,该分类法也有明显的缺点,那就是“泥”的定义出现了混乱。在福克含砾三角图中,“泥”是粉砂和粘土的总和,在福克无砾三角图中,“泥”是砂含量 < 10%、粉砂粘土含量介于 0.5~2 之间的混合沉积物,违背了分类学的基本原则(何起祥等, 2002)。

3.4 建议的海砂沉积物命名方法

对于海砂来说,命名的主要对象是砂、砾质组分,命名的目的是能直观反映出海砂沉积物的粒级组成和含量。如前所述,谢帕德分类法因为未考虑砾石组分,不适宜对海砂进行命名。因此,可直接采用福克含砾分类法,其优势是已逐渐被国内海洋地质界接受,易于交流;其不足之处是因针对野外定名而设计,砂、泥组分通过相对比值参与定名,很难直观反映海砂的粒级组成和含量,且部分名称较为复杂,如泥质砂质砾、砾质泥质砂和含砾泥质砂等。

在建议的海砂粒级划分标准(表 2)的基础上,本文提出海砂沉积物命名方案如下:(1)泥、砂和砾三个粒级含量超过 20%时参加定名;(2)当有 2 个粒级均不大于 20%时,以第三个粒级单一名称命名;(3)当泥、砂、砾 3 个粒级含量均大于 20%时,命名为泥-砂-砾;(4)当有 2 个粒级大于 20%,含量高的为主命名,次高的为辅助命名。

基于优势粒级法三角图解的思想(薛春汀, 1994),以砾、砂和泥为三个端元,本文提出的海砂沉积物命名“砾-砂-泥三角图解”见图 5,据此划分出 10 种沉积物类型:砾、砂质砾、泥质砾、砂、砾质砂、泥质砂、泥、砾质泥、砂质泥、泥-砂-砾(图 5)。需要指出的是,海砂沉积物中粒径 > 256mm 的组分(巨砾),一般属于孤立的岩块,且较为罕见,一般只

对其进行描述,而不参与粒度分析和命名。

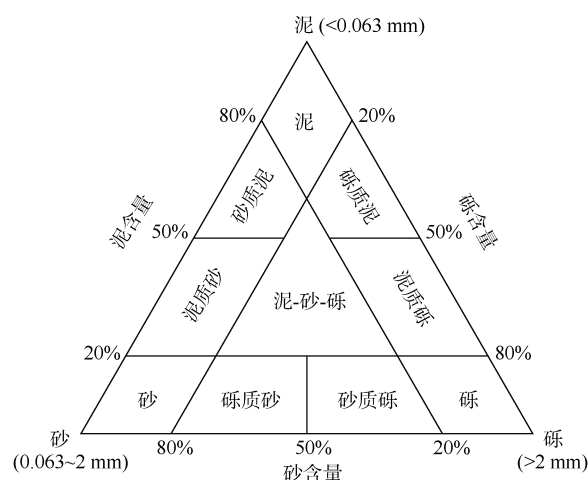


图 5 建议的海砂沉积物分类法三角图解

Fig. 5 Marine sand and gravel related sediment classification triangular diagram proposed by this study

在以上“砾-砂-泥三角图解”的基础上,为更加直观地反映海砂的组成和大致含量,可采用优势粒级法思想(许东禹等, 1997; 赵东波, 2009),继续对砂、砾质沉积物进行细分命名。

当“砾-砂-泥三角图解”主命名为“砂”“砾质砂”“泥质砂”时,继续采用优势粒级法,根据细砂、中砂、粗砂的含量,超过 20%时参加定名(整个沉积物中的绝对占比,而非砂中的相对占比),将沉积物进一步命名为粗砂、中粗砂、砾质中粗砂、泥质细砂等(表 3)。

当“砾-砂-泥三角图解”主命名为“砾”“砂质砾”“泥质砾”时,继续采用优势粒级法,根据细砾、中砾、粗砾的含量,超过 20%时参加定名(整个沉积物中的绝对占比,而非砾中的相对占比),将沉积物进一步命名为粗砾、中粗砾、砂质中细砾、泥质细砾等(表 4)。与福克含砾分类法相比,本文建议的“砾-砂-泥三角图解+砂、砾质沉积物细分命名”方案更直观清楚地反映粒级组成和大致含量。以台湾海峡沉积物为例(表 5),对于粗粒沉积物,通过前者命名的泥质砂质砾、砾质砂、含砾砂、砂、砾质泥质砂、含砾泥质砂和泥质砂等,通过后者命名则为砾质中粗砂、砾质粗砂、粗砂、中粗砂、粗中砂、中砂、细砂、混合砂、泥质细砂、泥-砂-砾等,后者意在对砂、砾质沉积物命名进行细化,明显包含了更多的粗细和含量信息,同时也兼顾了名称的简洁性;对于细粒沉积物,通过前者命名的砂质泥、含砾泥和泥等,后者命名为砂质泥或泥等,后者意在对泥质沉积物命名进行简化。总之,本文提出的命名方案,对砂、砾质沉积物细化其名,对泥质沉积物则简化其名,能直观地反

表 3 砂质沉积物细分命名建议
Tab. 3 Subdivided classification scheme of sandy sediment suggested by this study

砂质沉积物细分命名			砂质沉积物细分命名规则 (粗砂、中砂、细砂组分含量)
砂	砾质砂	泥质砂	
中砂	砾质中砂	泥质中砂	中砂 > 20%; 粗砂 ≤ 20%; 细砂 ≤ 20%
粗砂	砾质粗砂	泥质粗砂	粗砂 > 20%; 中砂 ≤ 20%; 细砂 ≤ 20%
细砂	砾质细砂	泥质细砂	细砂 > 20%; 粗砂 ≤ 20%; 细砂 ≤ 20%
粗中砂	砾质粗中砂	泥质粗中砂	中砂 > 粗砂 > 20%; 细砂 ≤ 20%
中粗砂	砾质中粗砂	泥质中粗砂	粗砂 > 中砂 > 20%; 细砂 ≤ 20%
中细砂	砾质中细砂	泥质中细砂	细砂 > 中砂 > 20%; 粗砂 ≤ 20%
细中砂	砾质细中砂	泥质细中砂	中砂 > 细砂 > 20%; 粗砂 ≤ 20%
粗细砂	砾质粗细砂	泥质粗细砂	细砂 > 粗砂 > 20%; 中砂 ≤ 20%
细粗砂	砾质细粗砂	泥质细粗砂	粗砂 > 细砂 > 20%; 中砂 ≤ 20%
混合砂	砾质混合砂	泥质混合砂	粗砂 > 20%; 中砂 > 20%; 细砂 > 20%

表 4 砾质沉积物细分命名建议
Tab. 4 Subdivided classification scheme of gravelly sediment suggested by this study

砾质沉积物细分命名			砾质沉积物细分命名规则 (粗砾、中砾、细砾组分含量)
砾	砂质砾	泥质砾	
中砾	砂质中砾	泥质中砾	中砾 > 20%; 粗砾 ≤ 20%; 细砾 ≤ 20%
粗砾	砂质粗砾	泥质粗砾	粗砾 > 20%; 中砾 ≤ 20%; 细砾 ≤ 20%
细砾	砂质细砾	泥质细砾	细砾 > 20%; 粗砾 ≤ 20%; 细砾 ≤ 20%
粗中砾	砂质粗中砾	泥质粗中砾	中砾 > 粗砾 > 20%; 细砾 ≤ 20%
中粗砾	砂质中粗砾	泥质中粗砾	粗砾 > 中砾 > 20%; 细砾 ≤ 20%
中细砾	砂质中细砾	泥质中细砾	细砾 > 中砾 > 20%; 粗砾 ≤ 20%
细中砾	砂质细中砾	泥质细中砾	中砾 > 细砾 > 20%; 粗砾 ≤ 20%
粗细砾	砂质粗细砾	泥质粗细砾	细砾 > 粗砾 > 20%; 中砾 ≤ 20%
细粗砾	砂质细粗砾	泥质细粗砾	粗砾 > 细砾 > 20%; 中砾 ≤ 20%
混合砾	砂质混合砾	泥质混合砾	粗砾 > 20%; 中砾 > 20%; 细砾 > 20%

表 5 福克含砾分类法和本文提出的分类法对台湾海峡沉积物命名对比表
Tab. 5 Comparison of Folk's gravel-bearing sediment classification and the classification proposed in this study for naming sediments from Taiwan Strait

序号	砾含量/%			砂含量/%			泥含量/%		砾含量/%	砂含量/%	泥含量/%	福克含砾分类法命名	本文分类法命名
	粗砾	中砾	细砾	粗砂	中砂	细砂	粉砂	粘土					
1	0	25.8	6.9	33.2	20.3	6.4	5.4	2.0	32.7	59.9	7.4	泥质砂质砾	砾质中粗砂
2	0	3.8	7.2	54.7	18.5	9.1	6.8	0	11.0	82.3	6.8	砾质砂	粗砂
3	0	5.4	1.4	32.1	42.5	15.9	2.7	0	6.8	90.5	2.7	砾质砂	粗中砂
4	0	4.1	2.6	32.9	29.2	23.9	7.2	0	6.7	86.0	7.2	砾质砂	混合砂
5	0	18.4	11.3	43.1	19.1	2.9	5.2	0	29.7	65.1	5.2	砾质砂	砾质粗砂
6	0	0.3	0.9	34.2	50.2	12.2	2.2	0	1.2	96.6	2.2	含砾砂	粗中砂
7	0	0.2	0.5	70.6	25.2	3.1	0.6	0	0.7	98.9	0.6	含砾砂	中粗砂
8	0	1.2	1.2	17.8	63.8	13.7	2.4	0	2.4	95.3	2.4	含砾砂	中砂
9	0	0	0	20.6	64.3	15.0	0.1	0	0	99.9	0.1	砂	粗中砂
10	0	0.8	5.0	30.0	29.9	23.4	10.9	0	5.8	83.3	10.9	砾质泥质砂	混合砂
11	0	17.9	11.4	29.6	23.3	6.0	7.9	3.8	29.3	58.9	11.8	砾质泥质砂	砾质中粗砂
12	0	22.6	5.4	6.8	16.0	13.4	28.0	7.9	28.0	36.2	35.9	砾质泥质砂	泥-砂-砾
13	0	5.3	4.9	49.8	25.8	3.7	6.4	4.1	10.3	79.3	10.5	砾质泥质砂	中粗砂
14	0	0	0.3	20.4	26.9	11.5	29.3	11.7	0.3	58.8	41.0	含砾泥质砂	泥质粗中砂
15	0	0.3	1.6	44.1	32.9	9.4	11.7	0	1.9	86.4	11.7	含砾泥质砂	中粗砂
16	0	0	0	1.0	2.0	66.4	23.8	6.7	0	69.4	30.5	泥质砂	泥质细砂
17	0	0	0	1.0	8.0	76.2	10.6	4.2	0	85.2	14.8	泥质砂	细砂
18	0	0	0	1.9	4.6	25.9	57.8	9.9	0	32.4	67.7	砂质泥	砂质泥
19	0	0	0.5	4.6	0.8	2.1	61.9	30.1	0.5	7.5	92.0	含砾泥	泥
20	0	0	0	0	0	3.2	76.4	20.4	0	3.2	96.8	泥	泥

映海砂的粒度组成和含量,相比于福克含砾分类法,更适合于海砂沉积物命名。

4 结语

在总结海砂调查经验和前人研究成果的基础上,综合分析相关粒级划分标准和沉积物命名方法的特点,结合当前海砂资源勘查开发的实际需要,提出海砂粒级划分标准和沉积物命名方法的建议。

1)基于伍登-温特沃斯等比制 ϕ 值粒级标准,提出海砂粒级划分标准,将沉积物粒级划分 3 大类:砾($> 2\text{mm}$)、砂($2\sim 0.063\text{mm}$)、泥($< 0.063\text{mm}$);再细

分为 9 小类:巨砾($> 256\text{mm}$)、粗砾($256\sim 64\text{mm}$)、中砾($64\sim 4\text{mm}$)和细砾($4\sim 2\text{mm}$)、粗砂($2\sim 0.5\text{mm}$)、中砂($0.5\sim 0.25\text{mm}$)、细砂($0.25\sim 0.063\text{mm}$)、粉砂($0.063\sim 0.004\text{mm}$)、粘土($< 0.004\text{mm}$)。

2)基于优势粒级法思想,提出以砾、砂和泥为三个端元的海砂沉积物命名三角图解,并可按照优势粒级法原则对主命名为“砂”和“砾”的沉积物进行细分命名,即“砾-砂-泥三角图解+砂、砾质沉积物细分命名”的海砂沉积物命名方案,能直观地反映海砂的粒度组成和大致含量,适用于海砂资源的勘查开发和研究。

参考文献 References

- 曹雪晴, 谭启新, 张勇, 等, 2007. 中国近海建筑砂矿床特征[J]. 岩石矿物学杂志, 26(2): 164–170. CAO XUEQING, TAN QIXIN, ZHANG YONG, 2007. Characteristics of construction marine sand deposits in offshore area of China[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 26(2): 164–170 (in Chinese with English abstract).
- 陈俊仁, 杨胜明, 1981. 南海北部内陆架沉积与固体矿产调查报告[R]. [出版地不详]: [出版者不详].
- 戴镇潮, 1991. 砂子细度模数的计算[J]. 混凝土, 13(6): 23–26.
- 国家技术监督局, 1992. GB/T 13909–1992 海洋调查规范-海洋地质地球物理调查[S]. 北京: 中国标准出版社.
- 韩孝辉, 李亮, 王雪木, 2017. 海南岛西南近海海砂分布特征[J]. 中国矿业, 26(Z2): 10–13. HAN XIAOHUI, LI LIANG, WANG XUEMU, 2017. Distribution characteristics of offshore sand in southwest Hainan[J]. China Mining Magazine, 26(Z2): 10–13 (in Chinese with English abstract).
- 何起祥, 李绍全, 刘健, 2002. 海洋碎屑沉积物的分类[J]. 海洋地质与第四纪地质, 22(1): 115–121. HE QIXIANG, LI SHAOQUAN, LIU JIAN, 2002. Classification of marine clastic sediments[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 22(1): 115–121 (in Chinese with English abstract).
- 李杏筠, 2018. 国内外海砂资源开采利用与权属管理探讨[J]. 合作经济与科技, (24): 49–51.
- 刘志杰, 殷汝广, 2011. 浅海沉积物分类方法研讨[J]. 海洋通报, 30(2): 193–198. LIU ZHIJIE, YIN RUGUANG, 2011. Discussion of the shallow sea sediment classification system[J]. Marine Science Bulletin, 30(2): 193–198 (in Chinese with English abstract).
- 潘燕俊, 崔汝勇, 林明坤, 等, 2017. 海南岛周边浅海砂矿资源潜力浅析[J]. 海洋通报, 36(4): 458–467. PAN YANJUN, CUI RUYONG, LIN MINGKUN, et al, 2017. Preliminary analysis of placer resources potential in Hainan Island offshore area[J]. Marine Science Bulletin, 36(4): 458–467 (in Chinese with English abstract).
- 全长亮, 2018. 海南岛海砂资源的分类特征及成矿特点分析[J]. 中国地质调查, 5(3): 74–80. TONG CHANGLIANG, 2018. Classification and metallogenic characteristics of sea sand resources in Hainan Island[J]. Geological Survey of China, 5(3): 74–80 (in Chinese with English abstract).
- 全长亮, 黎刚, 陈飞, 等, 2018. 海南岛东北部海域海砂资源特征及成因[J]. 海洋地质前沿, 34(1): 12–19. TONG CHANGLIANG, LI GANG, CHEN FEI, et al, 2018. Geological characteristics and origin of marine sands in the northeast sea off Hainan island[J]. Marine Geology Frontiers, 34(1): 12–19 (in Chinese with English abstract).
- 全长亮, 陈飞, 张匡华, 2019. 海南岛东北部海域海砂资源分布特征及开发前景分析[J]. 中国矿业, 28(1): 58–65. TONG CHANGLIANG, CHEN FEI, ZHANG KUANGHUA, 2019. Analysis of the distribution and development of marine sand resources in the northeast sea of Hainan island[J]. China Mining Magazine, 28(1): 58–65 (in Chinese with English abstract).
- 王圣洁, 刘锡清, 戴勤奋, 等, 2003. 中国海砂资源分布特征及找矿方向[J]. 海洋地质与第四纪地质, 23(3): 83–89. WANG SHENGJIE, LIU XIQING, DAI QINFEN, et al, 2003. Distribution characteristics of marine aggregate resources and potential prospect in China[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 23(3): 83–89 (in Chinese with English abstract).
- 王中波, 杨守业, 张志珣, 2007. 两种碎屑沉积物分类方法的比较[J]. 海洋地质动态, 23(3): 36–40.
- 许东禹, 刘锡清, 张训华, 等, 1997. 中国近海地质[M]. 北京: 地质出版社. XU DONGYU, LIU XIQING, ZHANG XUNHUA, et al, 1997. China offshore geology[M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract).
- 薛春汀, 1994. 两种碎屑沉积物分类的比较[J]. 海洋地质与第四纪地质, 14(2): 109–113. XUE CHUNTING, 1994. Comparison of two classifications of clastic sediments[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 14(2): 109–113 (in Chinese with English abstract).
- 赵东波, 2009. 常用沉积物粒度分类命名方法探讨[J]. 海洋地质动态, 25(8): 41–44.
- 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会, 2007. GB/T 12763.8–2007 海洋调查规范 第 8 部分: 海洋地质地球物理调查[S]. 北京: 中国标准出版社.
- 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会, 2011a. GB/T 14685–2011 建设用卵石、碎石[S]. 北京: 中国标准出版社.

- 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会, 2011b. GB/T 14684-2011 建设用砂[S]. 北京: 中国标准出版社.
- 中华人民共和国国土资源部, 2009. DZ/T 0247-2009 1:1 000 000 海洋区域地质调查规范[S]. 北京: 中国标准出版社.
- 中华人民共和国国土资源部, 2014a. DZ/T 0256-2014 海洋区域地质调查规范(1:250000)[S]. 北京: 中国标准出版社.
- 中华人民共和国国土资源部, 2014b. DZ/T 0255-2014 海洋区域地质调查规范(1:50000)[S]. 北京: 中国标准出版社.
- 中华人民共和国建设部, 2006. JGJ 52-2006 普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社.
- BENDIXEN M, BEST J, HACKNEY C, et al, 2019. Time is running out for sand[J]. *Nature*, 571(7763): 29-31.
- BLOTT S J, PYE K, 2012. Particle size scales and classification of sediment types based on particle size distributions: Review and recommended procedures[J]. *Sedimentology*, 59(7): 2071-2096.
- FOLK R L, ANDREWS P B, LEWIS D W, 1970. Detrital sedimentary rock classification and nomenclature for use in New Zealand[J]. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 13(4): 937-968.
- KRUMBEIN W C, 1934. Size frequency distributions of sediments[J]. *Journal of Sedimentary Research*, 4(2): 65-77.
- KRUMBEIN W C, 1936. Application of logarithmic moments to size frequency distributions of sediments[J]. *Journal of Sedimentary Petrology*, 6(1): 35-47.
- SHEPARD F P, 1954. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios[J]. *Journal of Sedimentary Research*, 24(3): 151-158.
- TORRES A, BRANDT J, LEAR K, et al, 2017. A looming tragedy of the sand commons[J]. *Science*, 357(6355): 970-971.
- UDDEN J A, 1898. The mechanical composition of wind deposits[M]. Rock Island, IL: Augustana Library Publications.
- UDDEN J A, 1914. Mechanical composition of clastic sediments[J]. *Bulletin of the Geological Society of America*, 25(1): 655-744.
- VELEGRAKIS A F, BALLAY A, POULOS S E, et al, 2010. European marine aggregates resources: Origins, usage, prospecting and dredging techniques[J]. *Journal of Coastal Research*, (Special Issue No. 51): 1-14.
- WENTWORTH C K, 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments[J]. *Journal of Geology*, 30(5): 377-392.