

习龙,倪玉根,蔡鹏捷,等.含砂量和细度模数双指标在广东某回填料海砂矿区圈矿和资源量估算中的应用[J].海洋地质前沿,2025,41(1):93-101.

XI Long, NI Yugen, CAI Pengjie, et al. Application of double-index of sand content and fineness modulus for the ore delineation and resource estimation in a backfilling marine sand mine in Guangdong[J]. Marine Geology Frontiers, 2025, 41(1): 93-101.

# 含砂量和细度模数双指标在广东某回填料海砂矿区圈矿和资源量估算中的应用

习龙<sup>1,2</sup>,倪玉根<sup>1,2\*</sup>,蔡鹏捷<sup>3</sup>,任颖芝<sup>1,2</sup>,陈科衡<sup>1,2</sup>,林纪江<sup>4,5</sup>

(1 中国地质调查局广州海洋地质调查局,广州 511458; 2 自然资源部海底矿产资源重点实验室,广州 511458; 3 内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室,南京大学地球科学与工程学院,南京 210023; 4 自然资源部南海海域海岛中心,广州 510310; 5 自然资源部海洋环境探测技术与应用重点实验室,广州 510310)

**摘要:**海砂圈矿指标是海砂资源储量估算的核心内容,对海砂资源的勘查、出让、开采和监管等工作均有十分重要的意义。本文在总结大量海砂勘查工作实践经验的基础上,提出了在海砂勘查工作中采用含砂量和细度模数双指标进行圈矿,并以广东某海域回填料海砂矿区为例,对比了单指标(含砂量 $\geq 50\%$ )与双指标(含砂量 $\geq 50\%$ ,细度模数 $\geq 0.7$ )圈矿的实际应用效果。结果表明,仅采用单指标(含砂量 $\geq 50\%$ )圈矿,容易造成估算的资源量偏大;采用双指标(含砂量 $\geq 50\%$ ,细度模数 $\geq 0.7$ )圈矿,不仅要求含砂量达标,而且要求砂的粗度达标,可有效避免粒度极细的砂被大量圈矿,保证了所圈定的海砂矿体的开采价值,较单指标圈矿更加科学和具有现实意义。

**关键词:**海砂;海洋集料;圈矿指标;含砂量;细度模数

中图分类号:P744.2;P736

文献标识码:A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2023.280

## 0 引言

海砂一般是指自然形成的,赋存于海洋环境,能用于回填与建设的砂(砾)质岩石颗粒。随着世界人口快速增长和城市化发展,砂石资源的需求量以平均每年 4.5% 的速率增长<sup>[1]</sup>。截止到 2019 年,全球每年砂石资源的需求量为 400~500 亿 t,平均每人每天至少消耗 18 kg 砂石资源,是 25 年前需求水平的 3 倍<sup>[2-3]</sup>。砂石资源短缺已经成为制约全球社会经济发展和生态环境保护的关键问题<sup>[4-5]</sup>。中国拥有绵长的海岸线,近海可开采的海砂资源丰富,

已探明的浅海海砂资源规模约为 1.6 万亿 t<sup>[6]</sup>,并且海砂成本约为河砂成本的 46%~88%<sup>[7]</sup>。因此,在河砂资源枯竭或限制开采的背景下,合理开发海砂资源,保障重大工程建设和经济社会发展,是非常必要的<sup>[8]</sup>。海砂矿床工业指标由矿石质量指标和开采技术条件指标构成<sup>[7]</sup>。海砂圈矿指标属于矿石质量指标,是海砂资源调查中资源量估算的关键,不仅直接影响海砂矿体的合理圈定以及海砂资源数量和质量的评价,还影响海砂矿床的经济价值,同时对海砂资源储量评审、海砂开采规划和监管等矿政管理工作具有重要意义。

“十一五”以来,中国地质调查局广州海洋地质调查局和青岛海洋地质研究所等机构在全国近海系统开展了海砂资源调查工作,包括辽宁、河北、山东、浙江、福建、广东、广西和海南等近海重点区。其中,广州海洋地质调查局 2016—2017 年完成了广东省近海首次系统性海砂资源摸底调查;2019—2022 年,在华南近海开展了一系列海砂资源

收稿日期:2024-05-17

资助项目:中国地质调查局地质调查项目(DD20201175, DD20211394, DD20230107, DD20242792);广州市科技计划项目(2023A04J0242)

第一作者:习龙(1986—),男,硕士,高级工程师,主要从事海岸带地质资源与水工环地质方面的研究工作。E-mail: xilongfrankxi0819@126.com

\* 通讯作者:倪玉根(1984—),男,硕士,正高级工程师,主要从事海岸带地质资源与环境方面的研究工作。E-mail: niyugen@163.com

面上调查和点上详查工作;2022年至今,正在开展广东省第2轮海砂资源摸底调查。基于上述海砂调查工作实践,本文以广东某海域海砂矿区为例,阐述含砂量和细度模数双指标圈矿在回填料海砂评价中的实际应用意义,以期海砂圈矿和资源量估算工作提供技术支撑和科学参考。

### 1 回填料海砂圈矿指标

圈矿指标是动态指标,随技术进步、市场需求和社会经济等动态变化<sup>[9]</sup>。通过WOK、CNKI等文献信息检索平台检索,国内外对海砂的研究主要集中在海砂的物理化学性质、海砂开采引起的环境问题、海砂资源的勘探方法及海砂资源的分布等<sup>[10-14]</sup>,尚未见关于海砂圈矿指标的专门报道。根据中国2011—2022年完成的50个回填料海砂勘查矿区资料显示,存在两大类圈矿指标:①早期的单指标圈矿,可细分为含砂量单指标圈矿和细度模数单指标圈矿,使用单指标含砂量圈矿,含砂量介于50%~70%,使用单指标细度模数圈矿,其数值为1.6~3.7;

②含砂量和细度模数双指标圈矿,自2020年开始被多数项目采用(图1和表1)。

#### 1.1 含砂量指标

含砂量是指沉积物中粒径 $\geq 0.063$  mm的海砂含量质量百分比。由于海砂勘查属于海洋调查的范畴,为遵从行业惯例、实现数据共享,根据《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)<sup>[15]</sup>进行粒级划分,其中,粒径介于0.063~2 mm为砂,粒径 $> 2$  mm为砾。

含砂量 $\geq 50\%$ ,即沉积物中粒径 $\geq 0.063$  mm的海砂含量 $\geq 50\%$ 。该指标用以保证最低含砂量的要求(保证海砂足够多,泥足够少)。将含砂量 $\geq 50\%$ 确定为回填料海砂圈矿指标,是依据约50个回填料海砂矿床采用的圈矿指标。自2011年以来,中国回填料海砂矿床采用含砂量 $\geq 50\%$ 作为圈矿指标的项目占比超过75%(图1)。

#### 1.2 细度模数(粗度指标)

细度模数(fineness modulus)是美国阿布仑教

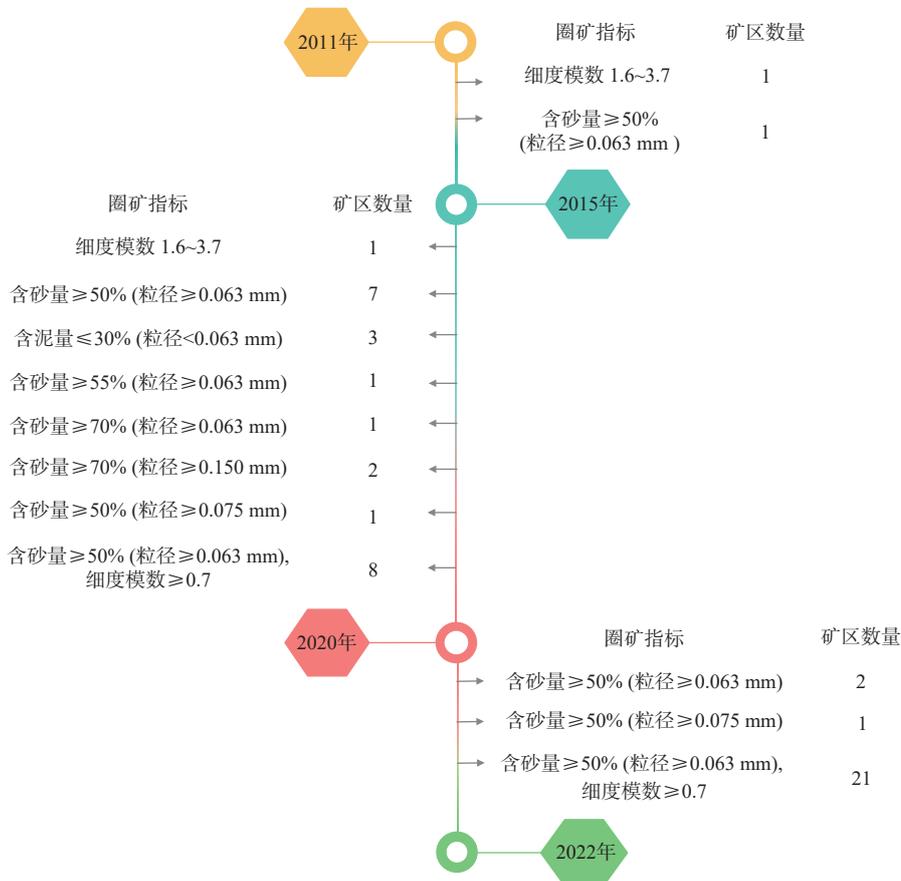


图1 近十年来使用的回填料海砂圈矿指标

Fig.1 The ore delineation index of sea sand for backfilling in the last decade

表 1 近十年来回填料海砂矿区信息

Table 1 Information of the areas of sea sand mining for backfilling in the last decade in South China

| 矿区位置          | 勘查时间                     | 矿区数量 | 圈矿指标  | 矿床成因       |
|---------------|--------------------------|------|---|------------|
| 广东汕头近海海域      | 2021年                    | 6    | 含砂量≥50%(粒径≥0.063 mm),细度模数≥0.7                         | 海积、冲洪积     |
| 广东揭阳近海海域      | 2021年                    | 1    | 含砂量≥50%(粒径≥0.063 mm),细度模数≥0.7                         | 海积、冲洪积     |
| 广东汕尾近海海域      | 2021—2022年               | 3    | 含砂量≥50%(粒径≥0.063 mm),细度模数≥0.7                         | 海积、冲洪积     |
| 广东珠海近海海域      | 2019—2022年               | 6    | 含砂量≥55%(粒径≥0.063 mm)<br>含砂量≥50%(粒径≥0.063 mm),细度模数≥0.7 | 海积、冲洪积     |
| 广东江门近海海域      | 2019—2021年               | 2    | 含泥量≤30%(粒径<0.063 mm)<br>含砂量≥50%(粒径≥0.063 mm),细度模数≥0.7 | 海积、冲洪积、残坡积 |
| 广东阳江近海海域      | 2021年                    | 2    | 含砂量≥50%(粒径≥0.063 mm),细度模数≥0.7                         | 海积、冲洪积、残坡积 |
| 广东湛江近海海域      | 2019—2021年               | 12   | 含泥量≤30%(粒径<0.063 mm)<br>含砂量≥50%(粒径≥0.063 mm),细度模数≥0.7 | 海积、冲积      |
| 广西北海近海海域      | 2018年                    | 2    | 含砂量≥50%(粒径≥0.063 mm)                                  | 海积、冲洪积     |
| 广西钦州近海海域      | 2018年                    | 2    | 含砂量≥50%(粒径≥0.063 mm)                                  | 海积         |
| 海南昌化江口海域      | 2011年                    | 1    | 细度模数1.6~3.7   | 冲积         |
| 琼州海峡海域        | 2015—2016年               | 1    | 含砂量≥50%(粒径≥0.063 mm)                                  | 海积         |
| 海南文昌近海海域      | 2015—2017年               | 1    | 细度模数1.6~3.7   | 海积         |
| 海南岛周边近海海域     | 2017—2020年               | 1    | 含砂量≥50%(粒径≥0.063 mm)                                  | 海积         |
| 海南感城—莺歌海镇近海海域 | 2019—2020年               | 1    | 含砂量≥70%(粒径≥0.063 mm)                                  | 海积、冲洪积     |
| 海南乐东近海海域      | 2022年                    | 2    | 含砂量≥50%(粒径≥0.063 mm)                                  | 海积         |
| 福建厦门近海海域      | 2013—2014年<br>2019—2020年 | 3    | 含砂量≥50%(粒径≥0.063 mm)<br>含砂量≥70%(粒径≥0.15 mm)           | 海积         |
| 福建泉州近海海域      | 2019年                    | 1    | 含砂量≥50%(粒径≥0.063 mm)                                  | 海积         |
| 福建福州近海海域      | 2020年                    | 1    | 含砂量≥50%(粒径≥0.075 mm)                                  | 海积         |
| 福建莆田近海海域      | 2021—2022年               | 1    | 含砂量≥50%(粒径≥0.075 mm)                                  | 海积         |
| 福建漳州近海海域      | 2020年                    | 1    | 含砂量≥50%(粒径≥0.063 mm),细度模数≥0.7                         | 海积、冲洪积     |

授(DUFF. A. ABRAMS)于1918年提出的,用来衡量混凝土骨料的粗细程度。在中国现行的《建设用砂》(GB/T 14684—2022)<sup>[16]</sup>规范中,细度模数计算公式如下:

$$M_x = \frac{(A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6) - 5A_1}{100 - A_1} \quad (1)$$

式中: A<sub>1</sub>—A<sub>6</sub>分别为4.75 mm、2.36 mm、1.18 mm、600 μm、300 μm、150 μm筛的累计筛余百分率。

根据细度模数,砂可分为粗砂(3.7~3.1)、中砂(3.0~2.3)、细砂(2.2~1.6)、特细砂(1.5~0.7)。

细度模数指标用以保证海砂粗细程度满足要求,由于在海砂勘查开发实践中发现,存在一类极细的海砂,如湛江近海潮流成因海砂,仅用含砂量≥50%的指标可以大量圈矿,但由于粒度极细,经调研开发企业,利用目前的开采工艺回采率很低,经济性较差。因此,有必要设置粗细程度指标来保证粗度达标的海砂方可圈矿。对于回填料海砂,粗细程度根据《建设用砂》(GB/T 14684—2022)<sup>[16]</sup>最低要求,细度模数应≥0.7。自2011年以来,中国回填料海砂矿床采用细度模数≥0.7作为圈矿指标之一的占比达到58%,尤其在2020年以后,这一比

例超过85%,但利用细度模数作为单指标圈矿的案例仅占4%(图1)。

## 2 单指标和双指标圈矿方法对比

本文以广东某海域回填料海砂矿区为例,详细阐述单指标和双指标两种圈矿方法的对比情况。

### 2.1 矿区概况

矿区位于南海北部陆架区,属于亚热带海洋性季风气候,冬季盛行东北风,夏季盛行东南风,常受热带气旋和台风影响。矿区内实施了ZK1—ZK10共10口地质浅钻(图2为10口钻孔的相对位置简图),钻孔揭露的地层均为第四系,自上而下大致可划分为烟墩组和田洋组。烟墩组属全新世浅海相沉积层,受潮流控制,根据钻孔ZK1—ZK10揭露的地层,矿区内该组地层厚度变化介于10.4~17.0 m,平均厚度为12.6 m。田洋组为晚更新世冲洪积、滨海相沉积层,是矿区内主要的海砂发育层,ZK1—ZK10揭露的该组地层厚度范围为17.0~29.6 m,平均厚度为22.5 m。

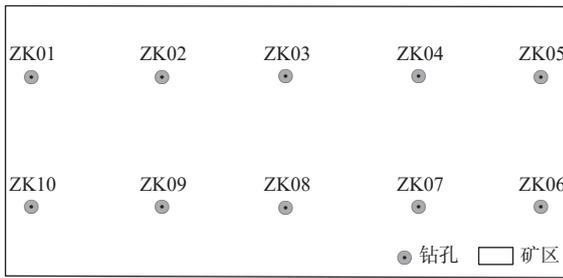


图2 矿区钻孔平面分布

Fig.2 The deployment of boreholes in the mining area

## 2.2 圈定矿层情况对比

将矿区内烟墩组和田洋组的海砂矿体分别记为V1矿体和V2矿体。从表2可知,当采用单指标(含砂量 $\geq 50\%$ )圈矿时,矿区内ZK1—ZK10钻孔V1矿体的矿层厚度介于6.2~12.0 m,平均厚度为9.7 m,V2矿体的矿层厚度介于2.5~21.9 m,平均厚度为12.5 m。当采用双指标(含砂量 $\geq 50\%$ ,细度模数 $\geq 0.7$ )圈矿时,矿区内ZK1—ZK10钻孔V1矿体的矿层厚度介于0~4.0 m,平均厚度为2.5m,

表2 矿区内单指标圈矿和双指标圈矿下的矿层厚度统计  
Table 2 The ore thickness delineated using single- and double-index in the mining area

| 矿体编号 | 钻孔编号 | 矿层厚度/m |       |
|------|------|--------|-------|
|      |      | 单指标圈矿  | 双指标圈矿 |
| V1   | ZK1  | 11.2   | 2.0   |
|      | ZK2  | 10.0   | 2.0   |
|      | ZK3  | 10.4   | 1.7   |
|      | ZK4  | 12.0   | 4.0   |
|      | ZK5  | 7.8    | 3.9   |
|      | ZK6  | 11.6   | 4.0   |
|      | ZK7  | 7.2    | 0.0   |
|      | ZK8  | 10.0   | 2.2   |
|      | ZK9  | 6.2    | 2.0   |
|      | ZK10 | 10.7   | 2.7   |
|      | 均值   | 9.7    | 2.5   |
| V2   | ZK1  | 11.3   | 10.6  |
|      | ZK2  | 21.9   | 21.9  |
|      | ZK3  | 20.6   | 20.6  |
|      | ZK4  | 2.5    | 2.5   |
|      | ZK5  | 15.0   | 14.0  |
|      | ZK6  | 7.8    | 3.8   |
|      | ZK7  | 12.5   | 12.5  |
|      | ZK8  | 10.0   | 10.0  |
|      | ZK9  | 15.2   | 14.1  |
|      | ZK10 | 8.4    | 7.4   |
|      | 均值   | 12.5   | 11.7  |

V2矿体的矿层厚度介于2.5~21.9 m,平均厚度为11.7 m。由此可见,采用不同的圈矿方法对V1矿体的矿层厚度影响较大,对V2矿体矿层厚度影响则较小。如图3所示,在以上两种不同圈矿指标的应用下,ZK09钻孔的V1矿体矿层厚度差异明显大于V2矿体。

## 2.3 海砂三维地质模型和资源量估算对比

为了更加直观地展示两种圈矿指标下矿区的海砂三维地质结构和海砂矿体的空间展布。本文采用习龙等<sup>[17]</sup>提出的基于GMS软件的海砂矿体三维地质建模和资源量估算的方法,分别建立单指标(含砂量 $\geq 50\%$ )、双指标(含砂量 $\geq 50\%$ ,细度模数 $\geq 0.7$ )圈矿条件下矿区海砂矿体的三维地质模型(图4),并截取三维模型的横切面(图5),以对比两种圈矿指标下海砂矿体空间结构和体积资源量的差异。由图4、5可知,不同的圈矿方法对矿区内的V1矿体圈定影响较大,对V2矿体圈定影响较小。无论采用单指标还是双指标圈矿,V2矿体在矿区均连续分布,且矿体厚度仅在ZK06钻孔附近变化相对较大;采用单指标圈矿时,矿区内V1矿体连续分布,但采用双指标圈矿时,矿区内V1矿体在ZK06钻孔附近缺失,且V1矿体厚度相对单指标圈矿时要小的多。

矿区的海砂资源量可直接通过GMS软件生成的三维地质模型读取,当采用单指标(含砂量 $\geq 50\%$ )圈矿时,矿区内V1海砂矿体的体积资源量为1 373.48万 $m^3$ ,V2海砂矿体的体积资源量为1 978.23万 $m^3$ ,总资源量为3 351.71万 $m^3$ 。当采用双指标(含砂量 $\geq 50\%$ ,细度模数 $\geq 0.7$ )圈矿时,矿区内V1海砂矿体的体积资源量为287.10万 $m^3$ ,V2海砂矿体的体积资源量为1 958.14万 $m^3$ ,总资源量为2 245.25万 $m^3$ 。两种圈矿方法估算的海砂资源量差值为1 106.46万 $m^3$ 。

## 3 讨论

单指标(含砂量 $\geq 50\%$ )圈矿是早期海砂地质勘查工作中较为盛行的圈矿方法。此方法的优点是仅通过含砂量数据即可确定矿层,无需开展细度模数分析;缺点是对矿层中海砂的粗细控制明显不足,会出现前文中采用单指标(含砂量 $\geq 50\%$ )圈定的V1矿体远厚于采用双指标(含砂量 $\geq 50\%$ ,细度模数 $\geq 0.7$ )圈定的现象。其根本原因在于V1矿体的

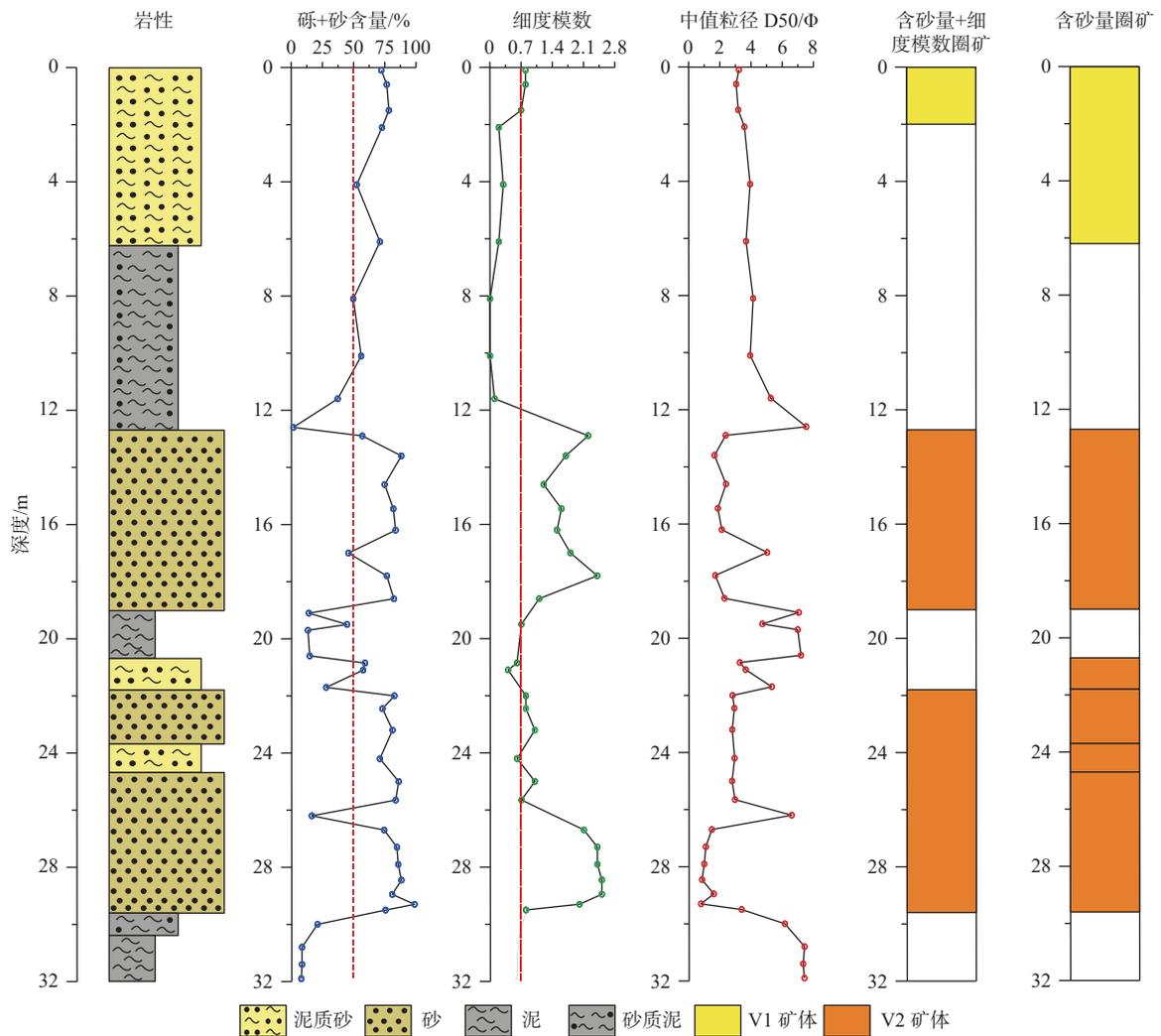


图 3 ZK9 钻孔综合信息及不同圈矿指标圈定的矿层

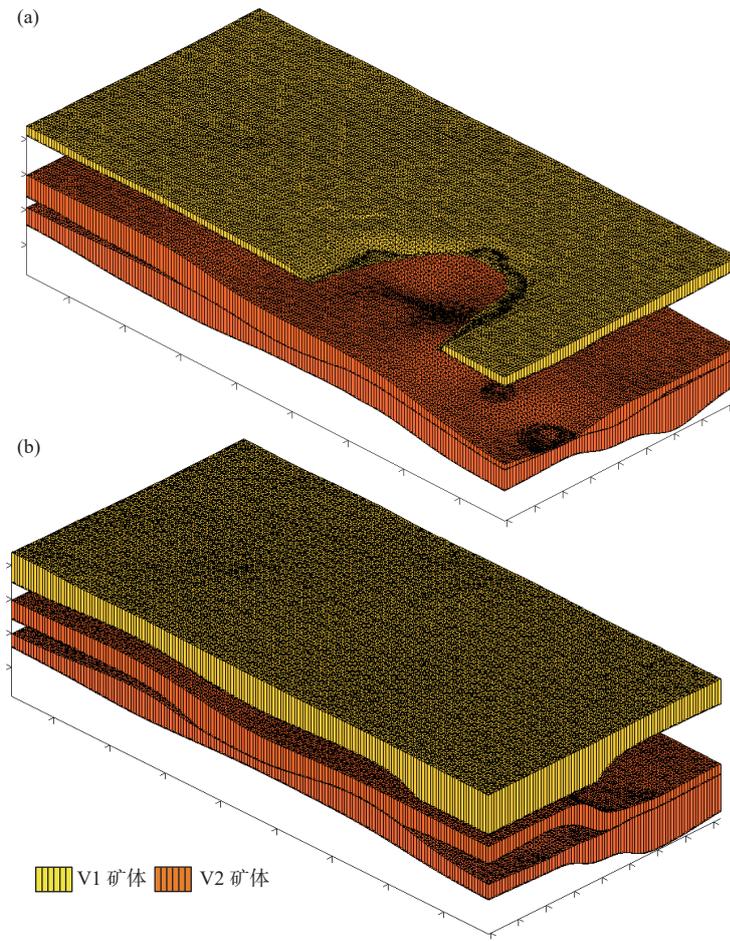
Fig.3 Comprehensive information of ore beds delineated with single- and double-index methods for ZK09 borehole

海砂相对偏细, 粒径介于 0.125~0.063 mm 的海砂占比较高, 尽管这部分海砂的含砂量均 $\geq 50\%$ , 但其细度模数均 $< 0.7$ 。如 ZK02 孔的 2.0~8.2 m 深度, 粒径为 0.125~0.063 mm 的海砂占比介于 30.64%~64.62%, 含砂量为 72.37%~77.46%, 而细度模数介于 0.2~0.6; 又如 ZK09 孔的 2.0~6.2 m 深度, 粒径为 0.125~0.063 mm 的海砂占比介于 35.48%~58.49%, 含砂量为 52.46%~72.79%, 而细度模数介于 0.2~0.3 (详见表 4)。以至于此类钻孔采用单指标 (含砂量 $\geq 50\%$ ) 圈矿时, 其可圈定为矿体; 而采用双指标 (含砂量 $\geq 50\%$ , 细度模数 $\geq 0.7$ ) 圈矿时, 这部分砂达不到圈矿要求, 不能圈作矿体。此类情况在中国海域广泛存在。

单指标 (含砂量 $\geq 50\%$ ) 圈矿仅要求海砂足够多, 而未要求海砂是否足够粗。双指标 (含砂量 $\geq 50\%$ , 细度模数 $\geq 0.7$ ) 圈矿不仅要求海砂的“量”足够多,

还能把控住海砂资源的“质”, 即要求砂足够粗, 避免粒度极细的砂被大量圈矿, 从而保证了所圈定海砂矿体的开采回收率和经济价值, 较单指标 (含砂量 $\geq 50\%$ ) 圈矿更加科学、更具现实意义。

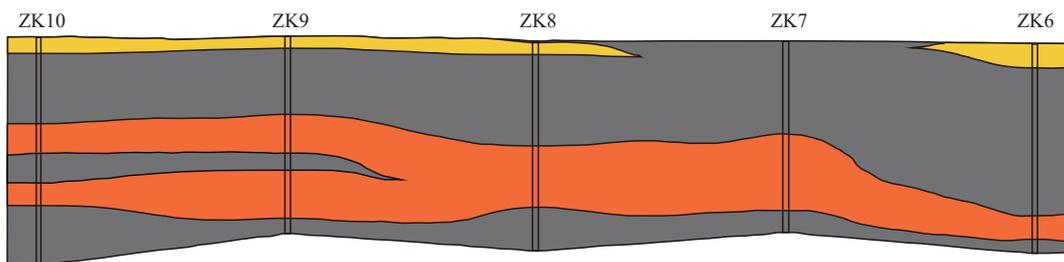
细度模数是砂石建材行业常用来衡量海砂粗细程度的指标, 用来计算细度模数的粒级划分标准采用的是美国标准筛体系 (ASTM): 0.075、0.15、0.30、0.60、1.18、2.36、4.75、9.50、16.0、19.0、26.5、31.5、37.5、53.0、63.0、75.0、90.0 mm, 砂泥粒径分界是 0.075 mm<sup>[16,18]</sup>。而含砂量的获取, 按照海洋调查研究的惯例, 采用国际通用的伍登-温特沃斯 (Udden-Wentworth) 等比制 (公比为 2) 粒级划分标准: 0.063、0.125、0.25、0.5、1、2、4、8、16、32、64、128、256 mm, 砂泥粒径分界是 0.063 mm<sup>[15,19-21]</sup>。由此可见, 含砂量和细度模数采用的粒级划分标准不同, 导致在双指标 (含砂量 $\geq 50\%$ +细度模数 $\geq 0.7$ ) 圈矿



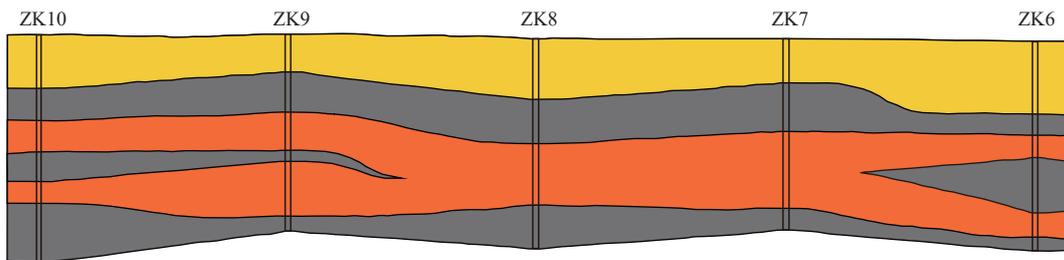
(a) 由含砂量和细度模数双指标圈矿形成的海砂三维矿体; (b) 由含砂量单指标圈矿形成的海砂三维矿体

图 4 不同圈矿指标形成的海砂三维矿体

Fig.4 The three-dimensional body of sea sand delineated by different methods



(a) 双指标圈矿形成的三维地质体横切面



(b) 单指标圈矿形成的三维地质体横切面

V1 矿体 V2 矿体

图 5 双指标和单指标圈矿形成的三维地质体横切面

Fig.5 The cross sections of the three-dimensional ore body delineated using single and double-index methods

表 3 ZK02 和 ZK09 钻孔 V1 矿体粒度分析统计  
Table 3 The particle size statistics of V1 ore body in ZK02 and ZK09 boreholes

| 钻孔编号 | 层位/m    | 粒级含量/%   |         |        |        |        |          |             |               |                |           |     | 细度模数  | 含砂量/% |
|------|---------|----------|---------|--------|--------|--------|----------|-------------|---------------|----------------|-----------|-----|-------|-------|
|      |         | 砾        |         |        |        |        | 砂        |             |               |                |           |     |       |       |
|      |         | 32~16 mm | 16~8 mm | 8~4 mm | 4~2 mm | 2~1 mm | 1~0.5 mm | 0.5~0.25 mm | 0.25~0.125 mm | 0.125~0.063 mm | <0.063 mm |     |       |       |
| ZK02 | 0~0.2   | 1.21     | 0.79    | 2.13   | 1.4    | 5.63   | 14.2     | 18.93       | 17.04         | 18.57          | 20.11     | 1.6 | 79.9  |       |
|      | 0.2~0.6 | -        | 0.52    | 1.5    | 1.74   | 7.41   | 17.89    | 21.79       | 19.07         | 20.77          | 9.33      | 1.7 | 90.69 |       |
|      | 0.6~0.8 | 1.12     | 1.36    | 0.84   | 1.18   | 5.67   | 13.6     | 12.69       | 15.91         | 23.85          | 23.77     | 1.4 | 76.22 |       |
|      | 0.8~1.5 | -        | 1.77    | 1.17   | 1      | 5.92   | 11.87    | 12.48       | 17.61         | 23.68          | 24.51     | 1.4 | 75.5  |       |
|      | 1.5~2.0 | -        | 1.75    | 0.82   | 1.36   | 8.24   | 16.2     | 10.42       | 16.64         | 23.52          | 21.04     | 1.6 | 78.95 |       |
|      | 2.0~2.2 | -        | -       | 0.59   | 0.81   | 2.37   | 5.84     | 5.45        | 29.78         | 30.64          | 24.53     | 0.5 | 75.48 |       |
|      | 4.0~4.2 | -        | -       | -      | 0.41   | 0.62   | 0.68     | 0.92        | 10.21         | 64.62          | 22.54     | 0.2 | 77.46 |       |
|      | 6.0~6.2 | -        | 0.17    | 0.87   | 0.96   | 1.48   | 2.44     | 6.28        | 22.39         | 37.78          | 27.62     | 0.6 | 72.37 |       |
| ZK09 | 0~0.2   | -        | -       | 0.16   | 0.24   | 0.38   | 0.55     | 0.9         | 11.3          | 62.89          | 23.58     | 0.2 | 76.42 |       |
|      | 0.2~1.0 | 0.37     | 0.7     | 2.95   | 1.28   | 3.32   | 6.04     | 4.9         | 22.02         | 30.63          | 27.82     | 0.8 | 72.21 |       |
|      | 1.0~2.0 | -        | 0.8     | 1.77   | 0.92   | 2.53   | 4.73     | 4.81        | 33.06         | 27.98          | 23.4      | 0.8 | 76.6  |       |
|      | 2.0~2.2 | -        | -       | 0.85   | 0.73   | 2.18   | 4.39     | 5.67        | 30.35         | 32.17          | 21.74     | 0.7 | 78.25 |       |
|      | 4.0~4.2 | -        | -       | 0.3    | 0.4    | 0.58   | 1.53     | 2.43        | 15.55         | 52.00          | 27.22     | 0.2 | 72.79 |       |
|      | 6.0~6.2 | -        | -       | 0.41   | 0.64   | 0.78   | 1        | 1.67        | 12.48         | 35.48          | 47.55     | 0.3 | 52.46 |       |
|      |         |          | -       | -      | 0.07   | 0.07   | 0.26     | 0.58        | 10.83         | 58.49          | 28.94     | 0.2 | 71.06 |       |

注：“-”为无数据。

时,须对同一海砂样品做2次粒度分析,从而增加了测试工作量和费用。而且,两者的砂泥粒径分界也不一致。鉴于伍登-温特沃斯粒级划分标准在海洋调查研究领域的通用性,有必要考虑基于此粒级划分标准提出一种衡量海砂粗细程度的新指标,以统一砂泥粒径分界,降低测试工作量,提高效率。

本文讨论的是回填用海砂的双指标圈矿应用,指标值为含砂量 $\geq 50\%$ 且细度模数 $\geq 0.7$ 。值得注意的是,这里的圈矿双指标不等同于回填用海砂矿床的工业指标,工业指标还包括放射性物质照射指数 $\leq 1$ ,亦属于矿石质量指标,该指标非基本分析,可用于整体评价。有的回填用海砂矿床根据实际需求,还需考虑贝壳含量不超标。除了矿石质量指标之外,回填用海砂矿床的工业指标还包括最小可开采厚度和夹石剔除厚度等开采技术条件指标。

建设用海砂比回填用海砂的要求更高。在圈矿指标方面,应综合考虑提高含砂量和粗细程度的指标要求,而不宜直接套用回填用海砂的圈矿指标。放射性物质照射指数要求其与回填用海砂相同。特别需要说明的是,海砂若作为建设用砂,使用前应净化,确保氯离子、贝壳和云母等有害物质含量符合 GB/T 14684 的要求。

## 4 结论

本文基于大量海砂勘查工作实践,并结合开采工作实际,提出了采用双指标(含砂量和细度模数)进行海砂资源圈矿。以广东某回填用海砂矿区为例,对比、评价了单指标(含砂量 $\geq 50\%$ )和双指标(含砂量 $\geq 50\%$ ,细度模数 $\geq 0.7$ )在回填用海砂圈矿和资源量估算中的应用。

(1)采用单指标(含砂量 $\geq 50\%$ )圈矿,虽然简单便捷,但对于砂偏细的矿区,容易造成粒度极细的砂被大量圈矿(以目前的开采技术水平,该类海砂因回采率低而不具开采价值),从而导致圈定的矿层偏厚和估算的资源量偏大。

(2)采用双指标(含砂量 $\geq 50\%$ ,细度模数 $\geq 0.7$ )圈矿,不仅要求含砂量达标,而且要求粗度达标(砂足够多,且足够粗),能有效避免粒度极细的砂被大量圈矿,从而保证所圈定的海砂矿体具有开采价值,较单指标圈矿更加科学和具有现实意义。

### 参考文献:

[1] MIATTO A, SCHANDL H, FISHMAN T, et al. Global pat-

terns and trends for non-metallic minerals used for construction: global non-metallic minerals account[J]. *Journal of Industrial Ecology*, 2017, 21(4): 924-937.

[2] 庄淑蓉, TORRES AURORA, 陈睿山, 等. 中国砂石资源利用的现状、问题与解决对策研究[J]. 华东师范大学学报(自然科学版), 2022(3): 137-147.

ZHUANG S R, TORRES A, CHEN R S, et al. Trends, challenges, and mitigation strategies for the use of sand and gravel resources in China[J]. *Journal of East China Normal University (Natural Science)*, 2022(3): 137-147.

[3] GALLAGHER L. Sand and sustainability: finding new solutions for environmental governance of global sand resources[R]. United Nations Environment Programme, 2019.

[4] TORRES A, BRANDT J, LEAR K, et al. A looming tragedy of the sand commons[J]. *Science*, 2017, 357(6355): 970-971.

[5] BENDIXEN M, BEST J, HACKNEY C, et al. Time is running out for sand[J]. *Nature*, 2019, 571(7763): 29-31.

[6] 冷发光, 丁威, 周永祥, 等. 海砂混凝土应用技术的若干要点[J]. 施工技术, 2011, 40(7): 97-100.

LENG F G, DING W, ZHOU Y X, et al. Several key points of application technology of sea sand concrete[J]. *Construction Technology*, 2011, 40(7): 97-100.

[7] 杨义忠, 张松风. 淡化海砂在沿海水利工程的应用综述[J]. 吉林水利, 2021(1): 36-39.

YANG Y Z, ZHANG S F. A summary of application of desalinated sea sand in coast hydraulic engineering project[J]. *Jilin Water Resources*, 2021(1): 36-39.

[8] 倪玉根, 李建国, 习龙. 海砂粒级划分标准和沉积物命名方法探讨[J]. 热带海洋学报, 2021, 40(3): 143-151.

NI Y G, LI J G, XI L. Discussion of the grain size grading scale and sediment classification for marine sand and gravel[J]. *Journal of Tropical Oceanography*, 2021, 40(3): 143-151.

[9] 全长亮. 海南省滨海锆钛砂矿动态工业指标的概念模型[J]. 中国矿业, 2018, 27(Z1): 55-58.

TONG C L. Conceptual model of dynamic industrial index of the Zr-Ti sand deposit on offshore in Hainan Province[J]. *China Mining Magazine*, 2018, 27(Z1): 55-58.

[10] KIM T G. Efficient management of marine resources in conflict: an empirical study of marine sand mining, Korea[J]. *Journal of Environmental Management*, 2009, 91(1): 78-86.

[11] TROP T. An overview of the management policy for marine sand mining in Israeli Mediterranean shallow waters[J]. *Ocean & Coastal Management*, 2017, 146(9): 77-88.

[12] 陈裕佳, 王伟, 徐仁崇, 等. 海砂中的氯离子对混凝土的影响[J]. 商品混凝土, 2018(C1): 45-47.

CHEN Y J, WANG W, XU R C, et al. The influence of concrete on the introduction of chlorine ion of sea sand[J]. *Ready-Mixed Concrete*, 2018(C1): 45-47.

[13] 倪玉根, 习龙, 夏真, 等. 浅地层剖面和单道地震测量在海砂勘查中的联合应用[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2021, 41(4): 207-214.

NI Y G, XI L, XIA Z, et al. Combined application of sub-bot-

- tom and single-channel seismic profiles to marine sand and gravel resource prospecting[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2021, 41(4): 207-214.
- [14] 全长亮, 张匡华, 陈飞. 海南岛北部海域海砂资源潜力评价[J]. *中国地质*, 2020, 47(5): 1567-1576.
- TONG C L, ZHANG K H, CHEN F. The potential evaluation of marine sand resources in the northern sea areas of Hainan Island[J]. *Geology in China*, 2020, 47(5): 1567-1576.
- [15] 国家海洋局第二海洋研究所, 国土资源部广州海洋地质调查局, 国家海洋局第一海洋研究所. 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, 2008.
- The Second Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Guangzhou Marine Geological Survey, Ministry of Land and Resources, The First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration. GB/T 12763.8-2007, Specifications for Oceanographic Survey. Part 8: Marine Geology and Geophysics Survey[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.
- [16] 中国砂石协会, 北京建筑大学, 湖州新开元碎石有限公司, 等. GB/T 14684—2022, 建设用砂[S]. 北京: 中国标准出版社, 2023.
- China Aggregates Association, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Huzhou Xinkaiyuan Crushed Stone Co., Ltd., et al. GB/T 14684-2022, Sand for Construction[S]. Beijing: Standards Press of China, 2023.
- [17] 刁龙, 倪玉根, 何健, 等. 基于 GMS 软件的南海北部海砂矿体三维地质建模和资源量估算[J]. *地质与勘探*, 2022, 58(2): 429-441.
- XI L, NI Y G, HE J, et al. Three-dimensional geological modeling and resource estimation of the marine sand and gravel orebodies based on GMS[J]. *Geology and Exploration*, 2022, 58(2): 429-441.
- [18] 中国砂石协会, 北京建筑大学, 中国水利水电第八工程局有限公司, 等. GB/T 14685-2022, 建设用卵石、碎石[S]. 北京: 中国标准出版社, 2023.
- China Aggregates Association, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Sinohydro Engineering Bureau 8 Co., Ltd., et al. GB/T 14685-2022, Pebbles and Gravel for Construction[S]. Beijing: Standards Press of China, 2023.
- [19] UDDEN J A. The Mechanical Composition of Wind Deposits[M]. Illinois: Augustana Library Publications, 1898.
- [20] UDDEN J A. Mechanical composition of clastic sediments[J]. *Bulletin of the Geological Society of America*, 1914, 25(1): 655-744.
- [21] WENTWORTH C K. A scale of grade and class terms for clastic sediments[J]. *Journal of Geology*, 1922, 30(5): 377-392.

## Application of double-index of sand content and fineness modulus for the ore delineation and resource estimation in a backfilling marine sand mine in Guangdong

XI Long<sup>1,2</sup>, NI Yugen<sup>1,2\*</sup>, CAI Pengjie<sup>3</sup>, REN Yingzhi<sup>1,2</sup>, CHEN Keheng<sup>1,2</sup>, LIN Jijiang<sup>4,5</sup>

(1 Guangzhou Marine Geological Survey, China Geological Survey, Guangzhou 511458, China; 2 Key Laboratory of Marine Mineral Resources, Ministry of Natural Resources, Guangzhou 511458, China; 3 State Key Laboratory for Mineral Deposits Research, School of Earth Sciences and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210023, China; 4 South China Sea Sea Area and Island Center, Ministry of Natural Resources, Guangzhou 510310, China; 5 Key Laboratory of Marine Environmental Detection Technology and Application, Ministry of Natural Resources, Guangzhou 510310, China)

**Abstract:** The ore delineation index of marine sand is the core content of marine sand resource estimation, which is of great significance to the investigation, exploitation and supervision of marine sand resources. Based on extensive practical experience in marine sand investigation, a system using sand content and fineness modulus to delineate ore for marine sand investigation was proposed. Taking a marine sand mining area for backfill in Guangdong as an example, the application of ore delineation with single-index (sand content  $\geq 50\%$ ) and double-index (sand content  $\geq 50\%$  and fineness modulus  $\geq 0.7$ ) in delineating ore was compared. Results show that using the single-index method could easily result in overestimation of reserve. However, using double-index method requires the sand content to meet the standard, and ensures the coarseness of sand to be up to standard, which could effectively avoid excessive amounts of extremely fine-grained sand from being delineated as ore, thus ensuring the mining value of the delineated ore bodies. Therefore, double-index method is more scientific and practical.

**Key words:** marine sand; marine aggregates; ore delineation index; sand content; fineness modulus