

# 珊瑚礁地基勘察方法及工程特性浅析

熊潇 甘小泉 李华

中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司

**摘要:** 造礁石珊瑚群体死亡后其遗骸经过漫长的地质作用后形成的岩土体即为珊瑚礁<sup>[1]</sup>。目前对珊瑚礁地基岩土研究工作十分有限,开展珊瑚礁的岩土工程研究对我国海洋资源的开发和利用具有重要意义。本文总结珊瑚礁地基勘察方法,分析了珊瑚礁地基工程特性。

**关键词:** 珊瑚礁; 勘察; 完整性; 地基承载力

**【DOI】** 10.12254/j.issn.2096-6539.2020.12.046

## 引言

珊瑚礁是造礁石珊瑚群体死亡后其残骸经过漫长的地质作用而形成的岩土体<sup>[2]</sup>。主要分布于北纬30°和南纬30°之间的热带或亚热带气候的大陆架气候的大陆架和海岸线一带。目前国内勘察、设计规范中,尚未列出珊瑚礁类岩土。随着国家“一带一路”以及院海外战略的推进,进行珊瑚礁地基岩土性质研究是十分有必要的。

造礁石珊瑚属能分泌碳酸钙形成骨骼和外壳、行群体固着生活的腔肠动物的石珊瑚目Scleractinia<sup>[1]</sup>。珊瑚礁是由造礁石珊瑚群体死后遗骸经过破坏、搬运、堆积及胶结等作用而形成的特殊岩土体<sup>[2]</sup>。按照与海平面的关系和岛礁特点,珊瑚岛礁地貌分为岛屿、沙洲、礁(干出礁)、暗沙、暗滩五种类型,见图1<sup>[3]</sup>。

珊瑚礁的岩土体目前没有统一的分类定名,可分为珊瑚块石、珊瑚砾砂、珊瑚粗砂、珊瑚中砂、珊瑚细砂、珊瑚粉砂和珊瑚礁灰岩<sup>[4]</sup>。

珊瑚礁钙质岩土的主要化学成分为CaCO<sub>3</sub>,矿物成分为白云石、方解石、文石、高镁方解石及低镁方解石,随着时间的增长,其中的文石、高镁方解石含量逐渐减少,低镁方解石含量逐渐增多。<sup>[5]</sup>

## 一、工程勘察

### (一) 钻探

珊瑚碎屑物及珊瑚礁灰岩孔隙发育,渗透性强,在进行钻探时会出现漏浆的问题。对于漏浆的处理,钻探工艺上主要有两种处理方法:套管护壁和灌浆。根据多年钻探积累的经验,在珊瑚礁灰岩地区钻探采用套管护壁、泥浆为循环液的正循环钻探工艺更具适宜性、经济性。因为在珊瑚礁灰岩地层中,漏浆不是局部钻探进尺段漏浆,而是基本上全孔漏浆,如果采用灌浆的方法,在工程进度上和材料消耗上均不合理。采用套管护壁的方法进行钻探时,在上部松软的珊瑚礁碎屑物层,对

套管可采用打入式跟管护壁,当遇到珊瑚礁灰岩风化层时,在用岩芯管完成回次钻进后,须先把孔内的套管用大锤打松后,然后用钻机把套管钻进入岩层内以达到扩孔效果,当套管底部钻至钻进回次底部后,把套管提起,接上需要加长的套管后用打锤将套管打至本次完成的钻进回次底部。在钻进套管的过程中,因为会大量漏浆,应采用清水(海水)做冲洗液。<sup>[6]</sup>

钻探过程中根据钻进难易情况对珊瑚礁地层的强度进行定性判断。钻进过程中珊瑚礁的结构和胶结状况易遭受破坏,岩芯采取率一般较低,较难获得完整原状样<sup>[7]</sup>。钻进过程中偶尔会遇到较硬的大块珊瑚礁块体。

### (二) 原位测试

国内外对珊瑚礁钙质土的原位测试均非常重视。常用的原位测试方法有标准贯入试验、载荷试验、波速测试等。

珊瑚砂中的标准贯入试验击数普遍不高,珊瑚砂疏松多孔、易碎的颗粒结构应是造成标贯击数较低的原因。珊瑚礁有空洞且空洞分布不均,标准贯入试验成果击数离散性较大。

载荷试验可分析地基土的地基承载力、变形特性。针对不同的地基条件,可针对性选择:浅层平板载荷试验、深层平板载荷试验和回弹试验。<sup>[3]</sup>

### (三) 物探

物探技术在珊瑚礁岩土勘察中的应用难度很大,应结合钻探资料进行综合分析。工程实践中,侧扫声纳、地震映像、浅层地震反射、声波测井、剪切波测试及水下摄影等多种地球物理勘探方法都可应用于珊瑚礁岩土体的勘探。

### (四) 孔内摄像

珊瑚礁岩体一般没有节理、裂隙和断层,但构成珊瑚礁岩体的各种珊瑚中有大量的孔洞存在,孔洞分布不均一,因此采用钻孔摄像有利于直观分析岩土体特征。

采用数字全景钻孔摄像系统的关键是全景技术(截头的锥面反射镜)和数字技术,引入岩体完整性指数RMDI法,分析评价珊瑚礁岩体的完整性。<sup>[8]</sup>

## 二、分析评价

### (一) 物探

侧扫声纳可对海底地质地貌进行初步分类,探明岩堆、坑、台阶等显著特征地物。而地震影像的方法可用于探明基岩界限,覆盖层厚度。波速测井则能够划分场地类别,分析评价礁灰岩层完整性。采用水下摄影的方法,探查海底边坡形态及其稳定性。

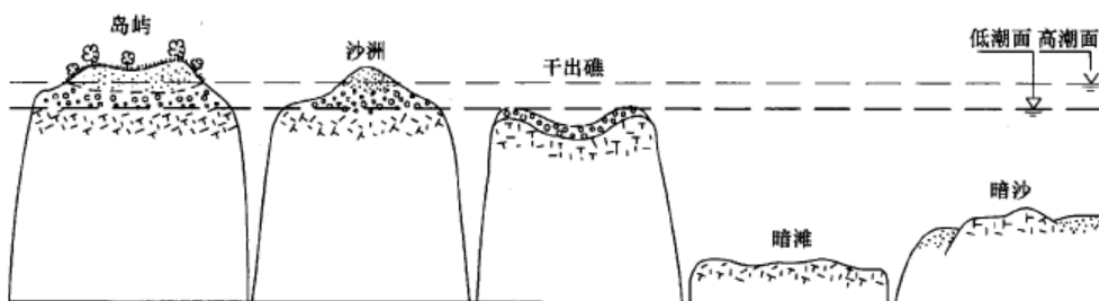


图1 珊瑚岛礁地貌分类示意图

(二) 完整性评价<sup>[9]</sup>

珊瑚礁完整性指数 (简称RMDI), 是指在给定范围内完整珊瑚礁所占的比值 (%), 由于珊瑚礁具有多孔性, 珊瑚礁完整性除了受岩体块度的尺寸效应影响外, 还受孔洞的尺寸效应影响, 珊瑚礁完整性指数反映了珊瑚礁岩体所受块度尺寸效应和孔洞尺寸效应的综合影响。若给定的深度范围为 $[h_1, h_2]$ , 则珊瑚礁完整性指数的计算式为:

$$K_{RMDI} = \frac{\int_z^{z+\Delta h} \left( 1 - \frac{\sum_{k=1}^d (a_k \cdot b_k)}{\Delta h \cdot \pi \cdot R} \right) \cdot \frac{L}{H} \cdot dz}{\int_{h_1}^{h_2} dz} \times 100\%$$

式中:  $K_{RMDI}$ 为珊瑚礁完整性指数;  $z$ 为深度;  $h$ 为统计深度;  $a_k$ 为第 $k$ 个孔洞的长边长度;  $b_k$ 为第 $k$ 个孔洞的短边长度;  $\pi$ 为圆周率;  $R$ 为钻孔的孔径;  $H$ 为单位深度;  $L$ 为单位深度内完整岩石高度的最大值。

$K_{RMDI}$ 与岩体完整程度的对应关系见表1。

表1  $K_{RMDI}$ 与珊瑚礁岩体完整程度对应关系

| 完整程度       | 好      | 较好    | 一般    | 较差    | 差   |
|------------|--------|-------|-------|-------|-----|
| $K_{RMDI}$ | 100~85 | 85~70 | 70~55 | 55~40 | <40 |

(三) 地基承载力

王新志等<sup>[8]</sup>研究不同地貌珊瑚礁地基的工程力学特性及其发育规律, 对西沙永兴岛不同地貌单元开展了浅层平板载荷试验、深层螺旋板载荷试验、压实度测试以及回弹模量试验, 获取了珊瑚礁不同地貌的地基承载力、变形模量、回弹模量等工程力学参数。

试验结果表明: 人工填筑的钙质土地基承载力和变形模量明显高于天然形成的礁坪相地基和沙坝地基, 其承载力特征值可达320~360kPa, 变形模量在95~200 MPa之间, 且地基的沉降量很小, 满足一般低层建筑物对地基承载力和变形的要求; 在荷载作用下, 钙质土地基的沉降是瞬时完成的, 载荷试验可采用快速加载法; 在地下水位以上地基承载力随着深度增大逐渐增加, 但在地下水位以下承载力和变形模量明显减小。钙质土地基压实度在87%以上时回弹模量达到472~730 MPa, 且回弹模量随着压实度的增大而增大。

白晓宇等<sup>[10]</sup>对沙特某电厂珊瑚礁地基进行静载试验, 发现珊瑚、珊瑚碎屑岩和珊瑚状灰岩强度差别很大, 进一步说明了珊瑚礁岩土高承载力所伴随的不均匀性。珊瑚礁岩不同于土, 受压对变形不是颗粒的重新排列; 也不同于一般岩石, 一般岩石以弹性变形为主, 珊瑚岩变形的重要组成部分之一是空隙的脆性压实, 因而载荷试验曲线呈不连续状<sup>[10]</sup>。并且同一层珊瑚、珊瑚碎屑岩和珊瑚状灰岩强度差别很大, 进一步说明了珊瑚礁岩土高承载力所伴随的不均匀性。

(四) 波速

汪稔等<sup>[12]</sup>给出采自南沙群岛和西沙群岛珊瑚及礁灰岩珊瑚礁样品纵波速度 (压缩波, P波) 值为2700~4500m/s, 横波速度 (剪切波, S波) 值为800~1900m/s, 其变化范围大, 这主要是珊瑚礁的结构和物理性质的差异所造成的, 波速值与密度相关, 一般密度高, 波速值高, 密度低, 波速值小。

王新志<sup>[8]</sup>对南沙碧礁礁坪的礁灰岩进行试验, 得到天然状态下纵波波速在2780~3693m/s之间, 饱和波速为

3000~3630m/s, 干燥波速为2754~3589m/s, 饱和后波速略有增大, 而干燥波速略有减小。试验测得饱和礁灰岩的单轴抗压强度为5.04~7.21MPa, 弹性模量7.9~12.9GPa, 泊松比0.23~0.27; 干燥礁灰岩的单轴抗压强度为7.95~10.78MPa, 弹性模量9.61~22.4GPa, 泊松比0.24~0.26。礁灰岩破坏后仍有较高的残余强度。

三、结论

(1) 在珊瑚礁灰岩地区钻探采用套管护壁、泥浆为循环液的正循环钻探工艺更具适宜性、经济性。

(2) 侧扫声纳、地震影像、浅层地震反射、声波测井、剪切波测试及水下摄影等多种地球物理勘探方法都可应用于珊瑚礁岩土体的勘探

(3) 基于钻孔摄像技术的珊瑚礁岩体完整性评价方法的研究, 引入岩体完整性指数RMDI法, 提出珊瑚礁孔密度的概念, 并建立孔密度函数和块度函数, RMDI法能适用于评价珊瑚礁岩体的完整性。

(4) 对珊瑚礁3种不同地貌的地基浅层平板载荷试验可知, 压实的人工填土地基由于密度度较高, 其承载力和变形模量明显较高, 而礁坪相和的天然地基承载力略低。钙质土地基在承载力范围内荷载作用下沉降几乎是瞬时完成的, 且保持稳定, 钙质土地基的载荷试验可采用快速加载法, 可极大地提高现场试验效率。

(5) 珊瑚礁波速值与密度相关, 一般密度高, 波速值高, 密度低, 波速值小。

参考文献

[1] 孙宗勋, 赵焕庭. 珊瑚礁工程地质学[J]. 水文地质工程地质, 1988, 25(1):1-4.  
 [2] 单华刚, 汪稔, 周曾辉. 南沙群岛永暑礁工程地质特征[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2000, 20(3):31-35.  
 [3] 赵焕庭. 华南海岸和南海诸岛地貌与环境[M]. 北京: 科学出版社, 1999:21-137.  
 [4] 崔永圣. 珊瑚砂岩土力学特性分析[J]. 岩土工程技术, 2014(28):233-236.  
 [5] 《工程地质手册》编委会. 工程地质手册(第五版)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018:829-837.  
 [6] 梁文成. 苏丹珊瑚礁灰岩地区地质勘察总结[J]. 水运工程, 2009(7):151-164.  
 [7] 唐国艺, 夏玉云, 刘争宏. 珊瑚礁地基工程特性现场试验研究[J]. 岩土工程技术, 2013, 27(5):248-251.  
 [8] 王新志, 王星, 刘海峰. 珊瑚礁地基工程特性现场试验研究[J]. 岩土力学, 2017, 38(7):2065-2079.  
 [9] 汪进超, 王川婴. 珊瑚礁岩体完整性评价方法[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2016, 47(5):1619-1624.  
 [10] 白晓宇, 张明义, 李明怀. 珊瑚礁地基的工程性状研究[J]. 工程勘察, 2010, 11:21-31.  
 [11] MENG Qing-shan, WANG Ren, YU Ke-Fu, et al. Undisturbed strata succession sampling technology and the engineering geological characteristics of an atoll in the Southern South China Sea[J]. Marine Georesources and Geotechnology, 2009, 27:296-308.  
 [12] 汪稔, 宋朝景, 赵焕庭, 等. 南沙群岛珊瑚礁工程地质[M]. 北京: 科学出版社, 1997:1-169.