

雷州半岛西南部珊瑚礁礁体结构与场地稳定性分析

詹文欢¹, 詹美珍^{1,2}, 孙宗勋¹, 姚衍桃¹, 张志强^{1,2}, 张帆^{1,2}

(1. 中国科学院边缘海地质重点实验室, 南海海洋研究所, 广东 广州 510301; 2 中国科学院研究生院, 北京, 100049)

摘要: 珊瑚礁是全球气候变化研究的主要内容之一, 近年来为适应珊瑚岛礁工程建设的需求, 珊瑚礁研究得到较快发展。珊瑚礁是发育于热带海洋环境中由生物作用和地质作用共同形成的地质体, 是一种特殊的岩土介质类型。雷州半岛西南部珊瑚礁区无论在其物质组成还是发育环境上都具有独特性, 该区海洋水动力作用在珊瑚礁体不同部位强度不同, 具有明显的分带性, 是造礁珊瑚生态环境和碎屑沉积带的主要原因, 它与珊瑚礁地貌分带、珊瑚礁工程性质相结合, 形成了珊瑚礁不同的岩体结构和工程地质分带。在分析了该区地质背景、岩体结构和工程地质分带等的基础上, 对雷州半岛西南部珊瑚礁区场地稳定性进行探讨, 为该区工程建设提供依据。

关键词: 珊瑚礁; 岩体结构; 场地稳定性; 雷州半岛西南部

中图分类号: P737; P754 文献标识码: A 文章编号: 1009-5470(2010)03-0151-04

Rock mass structure and ground stability of coral reefs in the southwestern Leizhou Peninsula

ZHAN Wen-huan¹, ZHAN Mei-zhen^{1,2}, SUN Zong-xun¹, YAO Yan-tao¹, ZHANG Zhi-qiang^{1,2}, ZHANG Fan^{1,2}

(1. CAS Key Laboratory of Marginal Sea Geology, South China Sea Institute of Oceanology, CAS, Guangzhou 510301, China;

2. Graduate University of CAS, Beijing 100049, China)

Abstract: Research of coral reef is one of the important ways to track globe change. Its development also fits the demand of coral reef engineering in recent years. Corel reef is a special type of rock soil developing in tropical ocean environment. The coral reef area in the southwestern Leizhou Peninsula is special not only because of its component but also because of its development. In this area, the intensity of hydrodynamic force is different in different parts of coral reef, which is the main reason that makes the ecological environment and deposition to be zonal. It combines the coral reef physiognomy and engineering geology property; these factors form different rock mass structure and engineering geology belt. In this study, we analyze the geology, environment, rock mass structure and engineering geology of this area. We then estimate the ground suitability of coral reef area so that our study can provide guidance for resource exploitations.

Key words: coral reef; rock-mass structure; ground stability; southwestern Leizhou Peninsula

珊瑚礁作为一种特殊的工程地质岩土类型, 其矿物成分主要为文石和高镁方解石, 碳酸钙含量高达 97%。20 世纪 40 年代, 美国和澳大利亚在太平洋岛屿上利用珊瑚礁岩土构筑了多条公路和机场跑道, 由于工程性能良好, 至今仍在使用的。20 世纪 60 年代在伊朗波斯湾海洋石油平台工程建设中, 首次遇到了珊瑚礁岩土产生的工程问题, 但未引起足够的重视。20 世纪 70 年代以来, 在珊瑚礁海域进行工

程建设所遇到的类似问题越来越多, 从而引起了人们的广泛关注, 逐渐认识到珊瑚礁岩土物理力学性质的特殊性及其带来的一系列工程建设问题的重要性, 并开始对珊瑚礁岩土特殊工程性质进行调查研究的^[1-11]。雷州半岛西南部珊瑚礁是我国大陆现今成礁规模最大、保存最完好的珊瑚岸礁。随着海洋石油天然气资源、渔业资源的开发和国防建设的需要, 在珊瑚礁上进行的工程活动, 规模愈来愈大、类型

收稿日期: 2007-07-07; 修订日期: 2009-09-18。卢冰编辑

基金项目: 国家自然科学基金 (U0933006); 广东省自然科学基金(07004206); 广东省“908”专项课题(GD908-02-13; GD908-01-06)

作者简介: 詹文欢(1963—), 男, 广东省饶平县人, 博士, 研究员, 主要从事海洋新构造研究。E-mail: whzhan@scsio.ac.cn

愈来愈多,迫切需要对珊瑚礁的岩体结构及场地稳定性问题进行研究,以适应珊瑚礁工程建设的需要。

1 珊瑚礁区地质背景

雷州半岛西南部珊瑚礁区位于雷琼断陷裂谷带的中部,区内活动断裂构造发育。自第三纪以来,本区一直处于沉降状态,接受了超过1200m厚的海相沉积^[12];到第四纪开始缓慢抬升为陆地,沉积了湛江组海陆过渡相砂砾层和北海组冲洪积相砂砾沉积层^[13]。第四纪火山活动频繁^[14],形成覆盖雷琼地区的玄武岩熔岩台地。在雷州半岛西南部珊瑚礁区形成多级熔岩台地。该区属于玄武岩熔岩台地的I级台地区,除南渡河冲积平原外,均由玄武岩组成,为珊瑚附着生长提供了有利的地质基础(图1)。固着基底条件是浅水造礁石珊瑚生长成礁的一个较为重

要的条件。基岩质基底适合于珊瑚浮浪幼虫附着生长,有时砂质基底上也能生长珊瑚,但是,淤泥质基底上是很难有珊瑚生长的。先成的珊瑚礁块也是珊瑚生长的良好固着基底。本区周围浅海区基底全为玄武岩,适宜珊瑚固着生长。雷州半岛西南部的珊瑚礁广泛分布于灯楼角东、西两岸,是灯楼角海岸地貌的一个重要特征。在角尾湾湾顶,珊瑚礁坪分布于玄武岩砾石滩外侧,离岸约200—500m左右;在东岸南岭村、下寮村一带,珊瑚礁紧靠现代海岸线生长,甚至可见珊瑚礁坪伸入现代海滩,被后期海滩沉积物覆盖。本区珊瑚礁是上升礁,礁坪出露于低潮面上,退潮时干出,在东岸南岭村东口可见珊瑚礁坪露头高出现代高潮线。区内珊瑚礁着生于玄武岩基底上,所观测之处都是连片生长,覆盖率100%,宽500—1000m不等,甚至更宽。

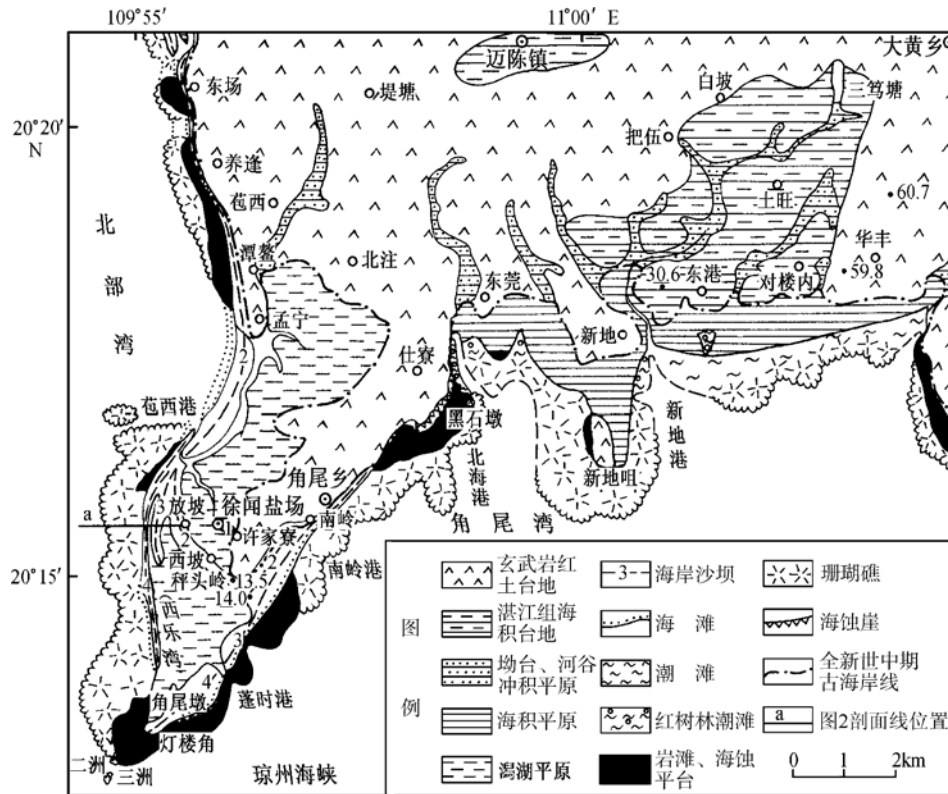


图1 雷州半岛西南部珊瑚礁地貌^[15]

Fig. 1 Geomorphological map of coral reef in the southwestern Leizhou Peninsula.

2 珊瑚礁岩体结构

2.1 珊瑚礁体剖面结构

由于气候变化、构造运动和海平面的不均衡升降,使珊瑚礁体形态呈台阶状结构。礁体向海坡在不同水深发育有平台,每一级平台都代表着珊瑚礁生长的范围,也反映了珊瑚礁的生长方式从侧向增

生向垂向增长的转变,或许还包含着珊瑚礁类型的变化。可以推断台阶结构反映了区域海平面变化的不均衡性,对礁体的稳定性有着非常重要的作用。台阶结构还说明珊瑚礁的生长速率和增生方式在历史上是变化的,其中也可能存在着沉积间断。

根据聂宝符等^[16-18]对雷州半岛西南部珊瑚礁区水下钻机钻取的珊瑚礁岩芯长度可知,灯楼角最

长为 1.34m, 水尾村最长为 1.30m。水尾村礁坪中部挖探坑, 1.5m 和 1.2m 深处已到大型滨珊瑚礁的底部。灯楼角礁坪后缘挖探坑, 0.8m 和 1.0m 处也已到滨珊瑚礁的底部。上述剖面均未见明显的间断面或分层现象(图 2), 说明中全新世大暖期海平面上升并有一个相对稳定阶段, 适合珊瑚礁的连续发育, 但历时不长, 故珊瑚礁不厚。在此之前, 海平面快速上升, 不利于珊瑚礁的形成; 在此之后, 温度降低, 海平面下降, 使珊瑚礁衰亡而留下现今所见的古礁坪。另外, 在灯楼角礁区局部地方首次发现由角孔珊瑚构成的礁坪, 这在南海其他礁区尚未见过。其年龄多数为 5 000 aBP—4 000 aBP, 而且在长约 1.8m 的岩芯中可分 7 层, 层间为珊瑚生长的间断面。这说明, 高海平面的后期环境已趋恶化, 大量的大型滨珊瑚几乎已停止生长, 惟有角孔珊瑚尚能在局部地方成为优势种, 说明这种珊瑚对环境的适应性较强。



图 2 雷州半岛西南部珊瑚礁区的二层剖面结构图(位置见图 1 左下方“a”剖面)

Fig. 2 Section map of 2-layer structure of coral reef in the southwestern Leizhou Peninsula.

2.2 珊瑚礁浅地层结构

雷州半岛西南部珊瑚礁浅地层主要为生物碎屑砂砾层, 从外礁坪到内礁坪, 直至泻湖, 砂砾粒径逐渐变细, 堆积厚度逐渐变大。外礁坪主要为胶结作用强烈的原生礁; 中礁坪主要为砾块堆积, 砾块被珊瑚藻固结, 无松散砂屑堆积, 表层形成砾块层, 表层以下为砾砂屑堆积; 内礁坪主要为粗砂、中砂至细砂堆积, 其中夹有较多的珊瑚断枝和胶结礁灰岩碎块; 泻湖中砂屑粒径较小, 一般为中细砂, 偶见珊瑚断枝, 类似粘土的欠固结状态。根据珊瑚礁体地貌形态、沉积物类型及胶结状况, 珊瑚礁礁体浅层可划分为 4 种礁岩土体结构类型: 1) 外礁坪原生礁结构: 分布于礁体外缘呈带状围住礁坪, 原生块体、粗枝状珊瑚被珊瑚藻胶结形成半岩质原生礁结构, 整体性强, 可视为碎裂结构岩体; 2) 中礁坪砾块胶结结构: 位于中礁坪, 为整个礁坪最高地形之处, 无活珊瑚生长, 大珊瑚砾块被珊瑚藻固结瘤化, 无松散砂屑堆积, 表层形成砾块层, 表层以下为砾

屑堆积, 沉积厚度不均一, 自礁体外缘向内厚度逐渐变大, 下伏礁灰岩坡度较大; 3) 内礁坪砾砂弱胶结结构: 位于礁体内礁坪, 表层为松散中粗珊瑚砂夹珊瑚砾块, 胶结作用较弱, 地形平坦, 埋藏厚度较大; 4) 泻湖中细砂粉砂无胶结结构: 泻湖为珊瑚礁中细粒碎屑物的主要堆积物所, 松散中细砂沉积自泻湖边缘至湖心逐渐变细。中细砂堆积物分选较好, 偶夹鹿角珊瑚砾块。珊瑚礁浅层为松散生物碎屑堆积, 大小颗粒混杂, 砾石和砂粒相间堆积, 碎屑物的密实度自上而下极不均匀。一般来说, 礁坪表层由于受大气降水的淋滤和复杂的物理化学以及生物粘结作用形成表层的自胶结层, 胶结程度在礁坪不同部位和层位各不相同, 因此松散层内往往存在十几厘米到几米厚的胶结层, 表现出与陆源沉积较大的差异。

雷州半岛西南部珊瑚礁工程地质剖面从上到下大体可分为 4 层。第一层为淡黄色松散生物碎屑沉积物, 含粗而短的角孔珊瑚断枝, 砂颗粒棱角大, 有的还可以看清细小的孔隙, 表明是珊瑚遗骸, 另含少量贝壳碎屑。钻进极易, 呈松散砂层, 击数小, 层厚约 0.88m。第二层为含砾细、粉砂, 淡褐色珊瑚碎屑, 颗粒较均匀, 含少量泥质, 结构松散, 易钻进, 表明该层常含有洞穴, 层厚 0.93m。第三层为角孔珊瑚断枝夹砂层, 钻进较困难, 层厚 1.05m。第四层为褐色角孔珊瑚砾砂层, 钻进比上层更困难, 砂中含砾石较多, 砾块主要为胶结碎块、角孔珊瑚断枝、贝壳, 均具有蜂窝状小孔, 颗粒粗细不均匀, 层厚大于 0.5m。

雷州半岛西南部珊瑚礁松散碎屑层厚度在水平方向变化较大, 在不同地貌单元沉积物分层也不尽相同, 表现出沉积环境的复杂性。外礁坪为原生礁结构的土体, 原生块状、粗枝状珊瑚在珊瑚藻等钙质胶结物的强烈胶结作用下, 成为半岩质土体, 称之为准礁灰岩; 构成了珊瑚礁的礁格架, 致密坚硬, 具有较强的完整性和抗压强度。中礁坪松散堆积的厚度比外礁坪大, 第一层含较多较大的礁砾块, 钙质胶结作用较强, 第二和第三层粒径较粗。内礁坪碎屑堆积物厚度最大, 粒径较细, 胶结作用较弱。泻湖地层为较均一的生物中细砂和粉砂堆积, 沉积物偶尔含有珊瑚断枝, 由泻湖边缘至中心沉积物粒度逐渐变细, 钙质胶结作用最弱。

3 珊瑚礁区场地稳定性分析

雷州半岛珊瑚礁区地基的承载力及变形特性与

工程建设有直接关系。就承载力而言,珊瑚礁地基沉降量相对较小,完全可以满足三类工业与民用建筑对地基的设计要求。但对大型和对沉降敏感的建筑还应进行大型载荷试验,对地基变形的均匀性进行详细评价,尤其当基础位于不同工程地质相带或同一相带的不同地层层位上时。珊瑚礁岩体结构与工程地质性质与气候变迁、海平面变化及其邻近海区动力关系密切。气候变化引起海平面变化和水气动力的变化,珊瑚礁工程地质的发育过程必须适应作用动力的变化过程。

外礁坪剧烈冲刷带礁体结构性好,整体性强,具有较大的抗压强度和地基承载力,但水动力作用强烈,礁坪冲刷严重,距离外海近,安全性差,不宜构建大型建筑物,特别是军事工程,但可以修筑防波堤、码头等设施,属地壳稳定性较差的地带。中礁坪砾块堆积带礁坪地形高,砾块胶结较好,地基承载力也较大,但碎屑物颗粒大小混杂,地基不容易处理,易产生不均匀沉降,且水动力作用也较强,海洋环境恶劣,可建造灯塔等小型建筑,属地壳稳定性中等偏差的地带。内礁坪珊瑚生长带地形宽广平坦,沉积物主要为细砾粗砂,虽然胶结作用较弱,地基承载力小,但地基容易处理,只需把表层砾块断枝层除掉,即可作天然地基,其水动力作用平静,是开展岛礁工程的主要场所。楼堡、机场和码头等

大型建筑物可建于内礁坪,属地壳稳定性较好的地带。泻湖砂质堆积带为无胶结砂质堆积,水动力作用平静,可适合建造平台、码头和港口,但由于泻湖水深较大,作桩基处理代价会较大,在施工上也会有一定难度。

4 结语

雷州半岛西南部珊瑚礁区属于工程地质条件较好地区,无活动断裂通过该礁体,亦未见垂直或倾斜节理、裂隙等结构面存在。该礁区的二层剖面结构对礁体的整体稳定性有着重要的支撑作用,致密的珊瑚礁整体上是稳定的,不会发生整体倾覆的现象,也使浅层土体在应力作用下不会发生剪切、滑移等工程地质问题。研究区的珊瑚礁大部分为原生礁。由于动力环境条件的差异,导致了珊瑚礁在地貌形态上的差异及其珊瑚礁的工程地质分带。珊瑚礁岩体结构与工程地质性质与气候变迁、海平面变化及其邻近海区动力关系密切。气候变化引起海平面变化和水气动力的变化,珊瑚礁工程地质的发育过程必须适应作用动力的变化过程。珊瑚礁在不受外力作用时是稳定的,一旦受到外部应力的作用,珊瑚礁内的应力状态将发生变化,局部出现应力集中。故在珊瑚礁上进行大型工程建设时,应对天然地基进行加固处理。

参考文献

- [1] 赵希涛. 中国海岸演变研究[M]. 福州: 福建科学技术出版社, 1984: 132-145.
- [2] 孙宗勋, 黄鼎成. 珊瑚礁工程地质研究进展[J]. 地球科学进展, 1999, 14(6): 577-581.
- [3] 孙宗勋. 南沙群岛珊瑚砂工程性质研究[J]. 热带海洋, 1999, 19(2): 1-8.
- [4] 余克服, 刘东生, 沈承德, 等. 雷州半岛全新世高温期珊瑚生长所揭示的环境突变事件[J]. 中国科学: D 辑, 2002, 32(2): 149-157.
- [5] 赵焕庭, 张乔民, 宋朝景, 等. 华南海岸和南海诸岛地貌与环境[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 370-447.
- [6] 詹文欢. 华南沿海地质灾害[M]. 北京: 科学出版社, 1996: 1-135.
- [7] 钟晋梁, 陈欣树. 南沙群岛珊瑚礁地貌研究[M]. 北京: 科学出版社, 1996: 1-60.
- [8] 丘世均. 礁坪发育与海平面变化[J]. 热带地貌, 1996, 17(1): 80-87.
- [9] 曾昭璇, 梁景芬, 丘世钧. 中国珊瑚礁地貌研究[M]. 广州: 广东省人民出版社, 1997: 121-124.
- [10] 詹文欢, 姚衍桃, 孙宗勋. 南海西北部珊瑚礁发育过程中的地壳活动信息[J]. 科学通报, 2006, 51(增刊 II): 78-82.
- [11] TAYLOR F W. Analysis of partially emerged corals and reef terraces in the central Vanuatu Arc: Comparison of contemporary coseismic and nonseismic with Quaternary vertical movements[J]. J Geophys Res, 1987, 92: 4905-4933.
- [12] 詹文欢, 钟建强. 雷西南部地洼盆地构造沉降及其演化[J]. 大地构造与成矿学, 1992, 16(4): 337-342.
- [13] 王文介, 黄金森. 华南沿海和近海现代沉积[M]. 北京: 科学出版社, 1991: 1-21.
- [14] 黄镇国, 蔡福祥. 雷琼第四纪火山[M]. 北京: 科学出版社, 1993: 1-7.
- [15] 王丽荣, 赵焕庭, 宋朝景. 雷州半岛灯楼角海岸地貌演变[J]. 海洋学报, 2002, 24(6): 135-144.
- [16] 聂宝符, 陈特固. 近百年来南海北部珊瑚礁失长率与海面温度变化的关系[J]. 中国科学: D 辑, 1996, 26(1): 59-66.
- [17] 聂宝符, 陈特固. 雷州半岛珊瑚礁与全新世高海面[J]. 科学通报, 1997, 42(5): 511-514.
- [18] 聂宝符, 陈特固, 梁美桃, 等. 南沙群岛及其邻近礁区造礁珊瑚与环境变化的关系[M]. 北京: 科学出版社, 1997: 1-101.