

澳大利亚西南部风成砂屑灰岩的分布、形态和时代特征

张威威^{1,2,3,4}, 许红^{2,3,4*}, 杨少春¹, 史同强^{2,3,4,5}, 纳琴^{1,2,3,4}, 陶萌^{1,2,3,4}, 季兆鹏^{2,3,4,5}

(1 中国石油大学(华东), 青岛 266580; 2 中国地质调查局青岛海洋地质研究所, 青岛 266071;

3 国土资源部海洋油气资源与环境地质重点实验室, 青岛 266071; 4 海洋国家实验室海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室, 青岛 266071; 5 山东科技大学, 青岛 266590)

摘要:在澳大利亚西南沿海,特别是在南邦(Nambung)国家公园,成千上万个高达 5 m、宽 2 m、相距 0.5 m 的锥形风成砂屑灰岩组成壮观的喀斯特地貌,为形成于更新世含钙质/微生物的古土壤沉积物。锥形风成砂屑灰岩的形态多种多样,可以随岩性不同而变化,构成锥形风成沉积岩和圆柱形微生物岩。在南邦,锥形风成砂屑灰岩大量溶解,最后形成大量石英碎屑,石英碎屑经再沉积掩埋再形成这些锥状风成砂屑灰岩,属于风成岩溶作用,发生在 70 ka 前;340~380 ka 间风成砂屑灰岩发育要弱。

关键词:风成砂屑灰岩;砂丘;石峰;风成岩溶作用;澳大利亚西南部

中图分类号:P588.24

文献标识码:A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2018.02002

1 区域地质背景

研究区位于澳大利亚西南部斯坦沿海(Swan Coastal)平原地区,沿印度洋海岸一系列断层从北到南分布^[1-3](图 1)。这个海岸平原地区发育有大量沙丘、断崖、冲积洼地及其斜坡^[4,5]。

斯坦沿海平原基底由二叠纪到早白垩世沉积物组成,盆地向近海延伸到大陆架边缘^[1,6],上覆第四系,包括东部的冲积层和西部的风沙层^[2,3]。

风沙层沉积形成 3 个主要的沙丘体系,它们一般平行于海岸且年龄向海逐渐变小^[1-3]。从东到西,三大体系分别是:①新近纪至中更新世的硅质巴森丁(Bassendean)沙丘体系(也称为巴森丁砂)^[2,7,8];②更新世碳酸盐岩斯皮尔伍德(Spearwood)沙丘体系(塔马拉砂屑灰岩)^[1,2,9,10]。风成砂屑灰岩峰林位于这个沙丘体系,它被库伦厄普(Cooloongup)砂覆盖;③全新世碳酸盐岩昆尔特立(Quindalup)沙丘体系(也称为安全湾砂)^[2,11,12]。

2 风成塔马拉砂屑灰岩石峰的分布

在研究区海岸,更新世风成砂屑灰岩(塔马拉砂屑灰岩)发育壮观的峰林。由南向北,从珀斯市(Perth)地区到料沟场(Stockyard Gully)国家公园地区的 250 km 范围内,由西向东延伸 1~10 km 的内陆区域,发育数以千计、可高达 5 m 的风成砂屑灰岩石林(图 1、2),是西澳大利亚著名的

收稿日期:2017-06-30

基金项目:国家科技基础资源调查专项(2017FY201407);国家重点基础研究发展计划(973 计划)(2012CB956004);国家自然科学基金(41106064)

作者简介:张威威(1991—),男,在读硕士,主要从事海洋油气地质与勘探方面的工作。E-mail:525664866@qq.com

*** 通讯作者:**许红(1957—),男,博士,研究员,主要从事海域油气成藏与资源勘探评价方面的研究工作。E-mail:qdxhong@163.com

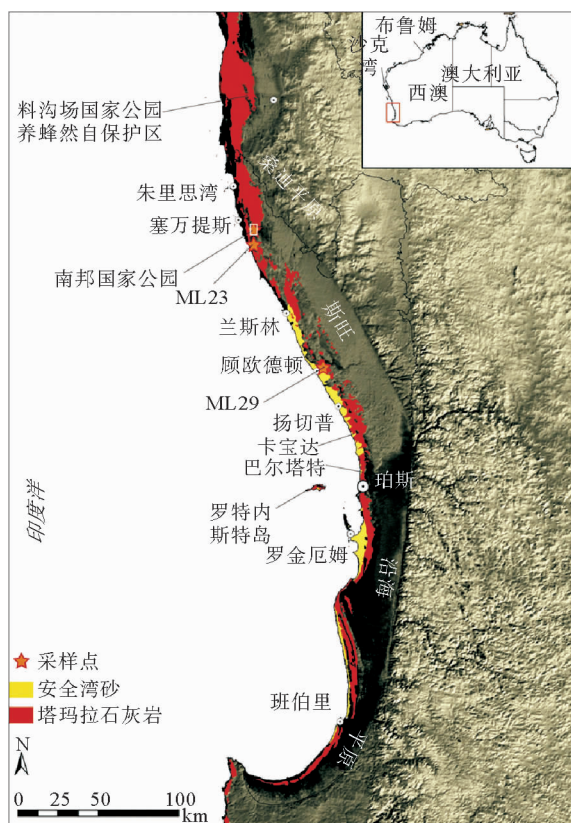


图1 澳大利亚西南部风成砂屑灰岩峰林分布位置

Fig. 1 Distribution of the pinnacle aeolian calcarenites in southwestern Australia

旅游景点。

在珀斯市(Perth)地区、顾欧德顿(Gulderdon)附近、Nambung 国家公园(石峰在这里是最丰富的)、料沟场国家公园和养蜂(Beekeepers)自然保护区(见图1的位置),都可观察到风成砂屑灰岩峰林。

风成砂屑灰岩峰林大部分被库伦厄普沙丘或安全湾砂覆盖,所以它们只能在被自然侵蚀或人为挖掘暴露的地方可以看到,或许有更大的数量,比当前已知的分布范围更广。例如,最近一些风成砂屑灰岩峰林在顾欧德顿附近被挖掘才暴露出现,在此之前没有迹象表明这里有风成砂屑灰岩峰林(图3)。在峰林沙漠(Pinnacles Desert)地区,主导信风是南风,吹动全新世灰沙向北迁移,导致风成砂屑灰岩峰林反复埋藏和暴露^[13]。风成砂屑灰岩峰林的分布(和它们的形态)与沙丘的起伏无关;在山顶斜坡和洼地上都可观察到相同



图2 南邦国家公园的峰林沙漠

Fig. 2 The pinnacles desert in Nambung National Park



图3 挖掘之前的地面(A)与挖掘之后暴露的风成砂屑灰岩峰林(B)

Fig. 3 Land surface near Guilderton before (A) and after (B) exposure of the pinnacles

密度的风成砂屑灰岩峰林。

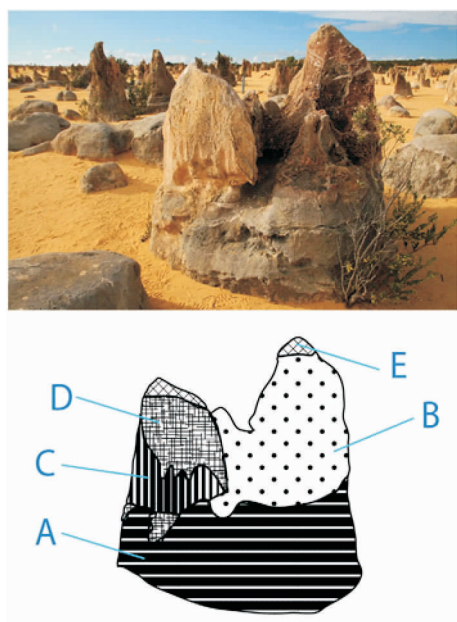
3 风成塔玛拉砂屑灰岩峰林中石峰的形态

如风成砂屑灰岩峰林中的石峰可以有各种形状:圆锥形、蘑菇状、圆柱形、圆顶、中空形和多峰形。如果完全暴露而不是被库伦厄普砂或全新世沙丘部分掩埋,高度将从0.5~5 m不等,宽约0.2~2 m,也会出现更宽或复合形态。在采石场

和岩溶漏斗地区发现,峰林底部相互连接,通常在陆地地区这是难得一见的。

石峰之间的距离变化很大,可几厘米到 >20 m。在密集区域,它们间隔 $0.5\sim 5$ m。同一个密集区域内石峰的顶部大致水平对齐,并且石峰通常具有相似的形态,因为它们构成相似且受侵蚀的程度相似。

一般而言,影响石峰形态变化较大的因素是岩石类型,比如风成砂屑灰岩、固结再沉积砂、钙质或微晶石;但还受其他因素影响,一些石峰具有多种成分,所以决定它们具有不同的形态,如图4。常呈圆锥形,侧面通常有交叉叠层或水平层,高4 m、宽2 m,主要位于石峰沙漠地区中部(图5A);一些石峰中生长植物根茎,可镶嵌于风成砂屑灰岩中和固结于石峰一侧,表明其形成于石峰之后(图5B)。由再沉积砂形成的石峰通常具有管状到细长形状,并且在其侧面上偶尔有垂直层。它们通常高于风成砂屑灰岩石峰(最高达5 m,通常达到1 m),主要发育在石峰沙漠的中部,这里也有风成砂屑灰岩石峰的出现(图5B)。



(A)料沟场组的钙质层;(B)含根管石的古土壤;
(C)石峰沙漠组的再沉积砂;(D)一层薄薄的微生物钙质结壳;
(E):石峰顶部的钙质岩

图4 复杂形态石峰

Fig. 4 A complex form of a pinnacle; calcrete layer of Stockyard Gully Member

4 风成塔玛拉砂屑灰岩形成石峰的时代

南邦国家公园的石峰沙漠是石峰出露最好的地方,除了最年轻的灰(Grey)组,塔马拉石灰石的所有组里都有石峰发育。



图5 风成砂屑灰岩石峰的交错层理(A),再沉积形成的石峰(B)

Fig. 5 Aeolian calcarenite pinnacles with cross-bedding (A) and pinnacles made of secondary cemented material (B)

在全新世安全湾砂中没有发现石峰,然而,在它们掩埋的塔马拉砂屑灰岩中发育石峰。石峰也被库伦厄普砂埋藏。这表明石峰在 MIS 2~4(3~5 万 a)(图6)之前(库伦厄普沙的年龄),在 MIS 6~7(石峰沙漠组的风成时代,17~18 万 a)之后形成。所以,峰林主要形成于 MIS 5 期(7 万 a 左右)期间。在这期间,形成峰林的碳酸盐岩的溶解,导致大量不溶性石英堆积,并被重新沉积,形成库伦厄普沙^[13]。库伦厄普砂中的石英颗粒含 2 种类型,大小和形状与塔马拉砂屑灰岩相同。塔马拉砂屑灰岩的钙质岩平均石英含量 42%,据

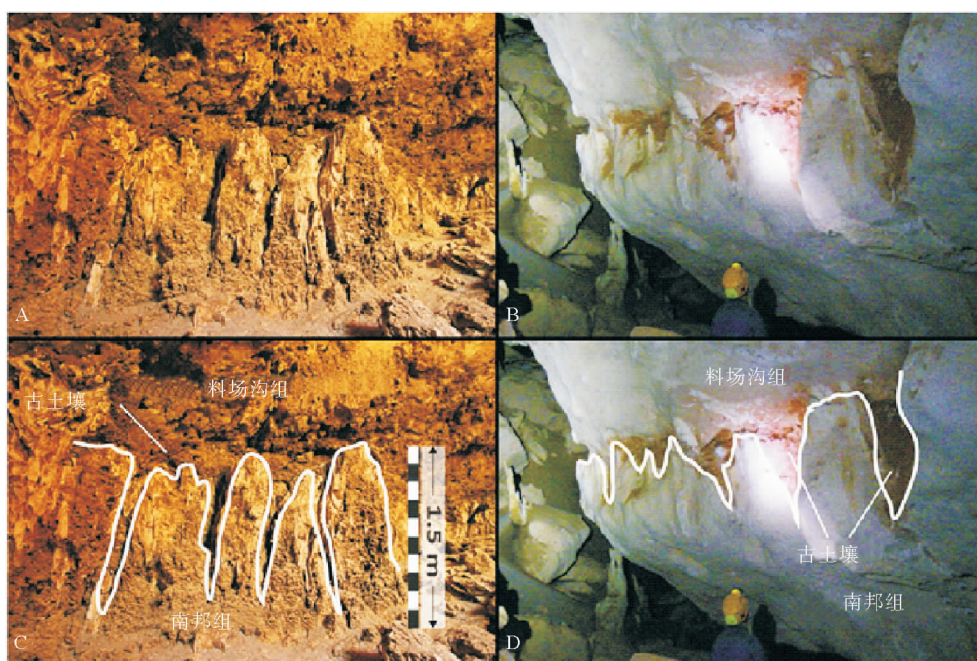


图 7 洞穴墙壁上的小尖峰

Fig. 7 Cave wall exposures showing pinnacles

5 结论

(1) 澳大利亚西南部的更新世塔马拉风成砂屑灰岩形成壮观的石林, 主要分布于南邦国家公园。风成砂屑灰岩石峰大部分被库伦厄普或安全湾砂覆盖, 因此, 它们分布可能比当前已知的更加广泛。

(2) 石峰的形态根据岩性变化或包括气候变化而变化, 形成典型的圆锥形风成岩和圆柱形微生物岩, 具有多种类型, 包括圆锥形、蘑菇状、圆柱形、圆顶、中空形和多峰形。

(3) 研究区风成砂屑灰岩石峰在 MIS10~11 (约 34~38 万 a) 期发育一般, 在料场沟地层的顶部发育着小而密集的石峰, 料场沟地层是在 MIS11 时期沉积的。石峰在 MIS 5e 期 (约 7 万 a) 发育。石峰发育的两个时期可能有较高的降雨量, 澳大利亚南部从间冰期到冰期转变期是石峰主要形成期。

参考文献:

[1] Playford P E, Cockbain A E, Low G H, et al. Geology of the Perth Basin Western Australia [J]. Geology Survey

Western Austria Bulletin, 1976, 124: 311-336.

- [2] Mory A. Geology of the Wedge Island 1: 100, 000 sheet [R]. Perth, Geological Survey of Western Australia, 1995: 19-31.
- [3] Gozzard J R. Geology and landforms of the Perth region [J]. Western Australia Geological Survey, 2007: 126-139.
- [4] Jennings J N, Mabbutt J A, et al. Physiographic outlines and regions [C] // Jeans D M. Australia A Geography. University of Sydney Press, Sydney, 1977, 38-52.
- [5] Pain C, Gregory L, Wilson P, et al. The Physiographic Regions of Australia: Explanatory Notes [R]. Australian Collaborative Land Evaluation Program and National Committee on Soil and Terrain, 2011: 1-30.
- [6] Jenkin J J, et al. Evolution of the Australian coast and continental margin [C] // Coastal Geomorphology in Australia Academic Press, 1984: 23-42.
- [7] Cadman S J, Pain L, Vuclovic V, et al. Perth Basin, WA. Australian Petroleum Accumulations Report 10 [R]. Bureau of Resources Sciences, Canberra, 1994: 103-132.
- [8] Playford P E, Low G H, et al. Definitions of some new and revised rock units in the Perth Basin [R]. Western Australia Geological Survey, Annual Report, 1971: 44-46.
- [9] Johnstone D, Playford P E, et al. Geology of the Shark Bay-Murchison River-Geraldton area, Carnarvon Basin [R]. Private report to West Australian Petroleum Pty Ltd, unpublished, 1955.
- [10] Playford P E, Cockbain A E, et al. The geology of Shark

- Bay[J]. Geology Survey Western Austria Bulletin, 2013: 146-281.
- [11] Passmore J R, et al. Shallow coastal aquifers in the Rockingham District, Western Australia[J]. Water Research Found Austria Bulletin, 1970, 18: 83-96.
- [12] Semeniuk V, Cresswell I, Wurm P. The Quindalup Dunes: the regional system, physical framework and vegetation habitats[J]. Journal of the Royal Society of Western Australia, 1989, 71(2):23-47.
- [13] Lipar M, Webb J A. Middlealate Pleistocene and Holocene chronostratigraphy and climate history of the Tama-la Limestone, Cooloongup and Safety Bay Sands, Nambung National Park, southwestern Western Australia[J]. Journal of the Geological Society of Australia, 2014, 61(8):1023-1039.

DISTRIBUTION, MORPHOLOGY AND CHRONOLOGY OF THE AEOLIAN CALCARENITES IN SOUTHWESTERN AUSTRALIA

ZHANG Weiwei^{1,2,3,4}, XU Hong^{2,3,4*}, YANG Shaochun¹,
SHI Tongqiang^{2,3,4,5}, NA Qin^{1,2,3,4}, TAO Meng^{1,2,3,4}, JI Zhaopeng^{2,3,4,5}

(1 China University of Petroleum (East China), Qingdao 266555, China; 2 Qingdao Institute of Marine Geology, CGS, Qingdao, 266071, China; 3 Key Laboratory of Marine Hydrocarbon Resources and Environment Geology, Qingdao Institute of Marine Geology, Ministry of Land and Resources, Qingdao 266071, China; 4 Laboratory for Marine Mineral Resources, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao, 266071, China; 5 Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China)

Abstract: A spectacular landform of pinnacle karst occurs in the southwestern coast of Western Australia. It consists of thousands of pinnacles up to 5 m high, and 2 m wide and only 0.5-5 m apart, particularly well exposed in the Nambung National Park. The pinnacles are formed in the Pleistocene Tamala Limestone, which comprises of cyclic sequences of aeolian calcarenite, calcrete, microbialite and palaeosol. The morphology of the pinnacles varies with the lithology in which they are formed, for examples, typically conical in aeolianite and cylindrical in microbialite. However, the Nambung pinnacles is mainly influenced by joints and fractures. The extensive dissolution associated with pinnacle formation at Nambung resulted in a large amount of insoluble quartz residues, which are redeposited and even bury the pinnacles sometimes. This period of karstification occurred at around 70,000 years before present, and there was an earlier but weaker stage of pinnacle development during the period 34-38 million years ago.

Key words: aeolian calcarenites; dune; pinnacle; aeolian karstification; Southwestern Australia