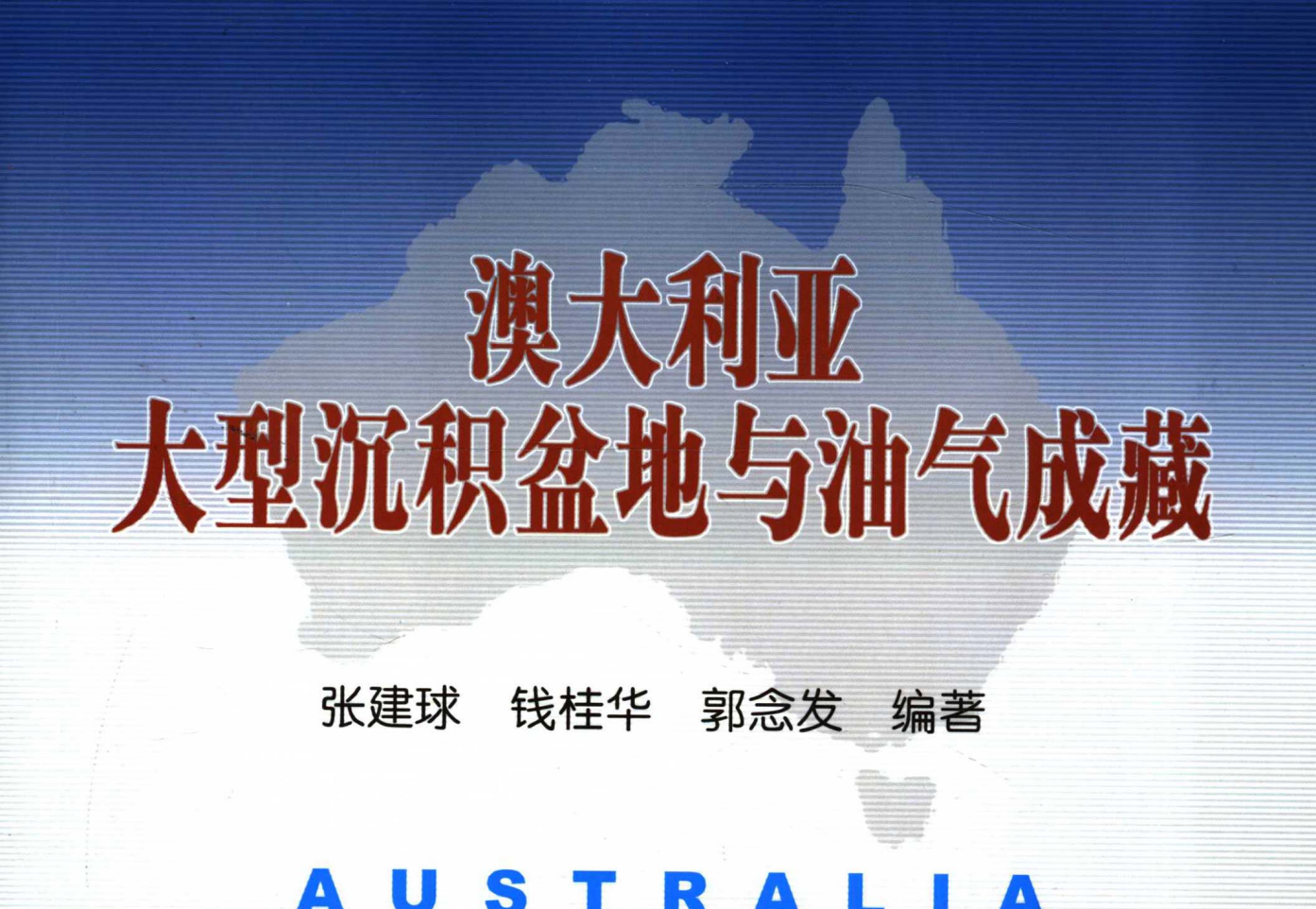




澳大利亚 大型沉积盆地与油气成藏

张建球 钱桂华 郭念发 编著

A U S T R A L I A



石油工业出版社

澳大利亚大型沉积 盆地与油气成藏

张建球 钱桂华 郭念发 编著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书从澳大利亚大陆沉积建造与构造运动特征出发,详述了澳大利亚大型沉积盆地中吉普斯兰盆地、坎宁盆地、卡那封盆地、帕斯盆地、波拿巴盆地、布劳斯盆地的地质特征、油气聚集与成藏以及油气资源潜力,指明了勘探方向,反映了该地区含油气盆地的地质规律和勘探历程。

本书可供从事油气地质研究的科研人员与高等院校相关专业师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

澳大利亚大型沉积盆地与油气成藏/张建球,钱桂华,郭念发编著. —北京:石油工业出版社,2008.1

ISBN 978-7-5021-6350-1

I. 澳…

II. ①张… ②钱… ③郭…

III. 构造盆地-油气藏-研究-澳大利亚

IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 179678 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址: www.petropub.com.cn

发行部: (010) 64523620

经 销: 全国新华书店

印 刷: 北京晨旭印刷厂

2008 年 1 月第 1 版 2008 年 1 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 14

字数: 340 千字 印数: 1—1000 册

定价: 60.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

前 言

澳大利亚大陆虽然是世界上最小的陆地，却是世界上最大的岛屿，国土总面积为 7682300km²，是世界上唯一占据一个整个大陆的国家。澳大利亚四周环海，有 36735km 长的绵长海岸线，南部有浅海域的澳大利亚大海湾，东部有卡奔塔利亚海湾（the Gulf of Carpentaria）。澳大利亚大陆四周有许多小岛屿以及世界上最大的珊瑚礁即大堡礁（the Great Barrier Reef），澳大利亚最大的岛屿是塔斯马尼亚岛。

澳大利亚是世界上最平坦、最干燥的大陆，中部洼地及西部高原均为气候干燥的沙漠，能作为畜牧及耕种的土地只有 $26 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。沿海地带，特别是东南沿海地带，适于居住与耕种。这里丘陵起伏，水源丰富，土地肥沃。除南海岸外，整个沿海地带形成一条环绕大陆的“绿带”，正是这条“绿带”养育了这个国家。

澳大利亚大陆地理环境表现与其他大陆迥然不同，地理环境要素显明而独特。从整体来看，澳大利亚大陆突出特征是暖热干旱，澳大利亚干旱气候区所占比例之大为各大陆所不及，同时内流区和无流区所占比例之大亦为世界之最，地表水贫乏，外流区分散在大陆的边部。反映在植被上，澳大利亚森林植被稀少，以耐长期干旱的旱生植物为主。从自然带分布来看，澳大利亚大陆荒漠与半荒漠面积为 $340 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，占总面积的 45%，亦居各大陆首位。考虑各地区的地理位置、地形结构、气候条件和植被类型等特点，可把澳大利亚大陆划分 5 个自然地理区。

（1）北部夏雨区。

本区位于大陆的最北部，南界大致与南纬 18°~20°线符合。在构造上本区属于西澳陆台的一部分，具有前寒武纪基底，除卡奔塔利亚湾沿岸属沉陷区，地势平坦外，地形以低高原为主。本区属于热带干湿季气候，年降水量介于 600~1500mm，多降在夏季，夏季降水量约占年降水量的五分之四，冬季干燥。雨季到来前的 11 月气温最高，有些地区可超过 30℃，最低气温出现在 7 月，也在 20℃以上。河流受气候制约，夏季流量大，有些河流在干季时个别地段干涸。除沿海地带多红树林外，植被以热带稀树草原为主。同时又依降水的多少，呈带状变化，由北向南，依次为热带疏林、热带干草原，较干燥地方分布着灌丛。

（2）西部荒漠区。

这是澳大利亚最大的自然区。位于大陆中西部，西临印度洋，东部大致止于东经 140°。按自然条件来说，它很像非洲的撒哈拉。本区除印度洋岸有宽窄不等的沿海平原，在东部、西北部有超过 1000m 的山地外，大部分是 600m 以下的高原。本区最突出的特点是气候干燥，绝大部分地区年降水量不足 150mm，仅在周围地区增加到 300mm，东部山地迎风坡，年降水量达 300~500mm。由于气候十分干旱，地表水很缺乏，仅边缘较湿润地区，河床在雨后有水，大部分时间干涸。全区却散布着众多的盐湖。本区夏季炎热，是全大陆夏季高温区，冬季气温日夜温差大。由于降水稀少，蒸发量大，植物贫乏，以荒漠植被为主。

(3) 西南部冬雨区。

本区位于大陆西南部，三面临海，属夏干热、冬温雨的地中海型气候区。沿海地带年降水量可达 1000mm，向北和向内陆降水量逐渐减少，有的地区还不足 500mm。自然植被以森林为主，由高大的桉树组成，有些地段自然植被已为人工针叶林所代替，有的地区已辟为农田发展园艺业。由沿海向内陆，随降水量的逐渐减少而变成稀疏的桉树林和澳大利亚特有的密灌丛。

(4) 中部干旱平原区。

本区北部属埃尔湖内陆流域，南部是墨累—达令河流域，地形以平原为主，是澳大利亚大陆地势最低平部分。气候属大陆性，自东向西干燥性逐渐加强。埃尔湖滨年降水不足 120mm，由此向北、东、南外围增加到 500mm。全区夏季普遍高温，平均气温在 25℃ 以上；冬季北部为 11~15℃，南部为 9~12℃。平原区地表水不多，但地下水却十分丰富。植被依降水多少而发生变化，降水较多的北部和东部，生长着稀疏明亮的桉树林和干草原，向南是不同的灌丛，沿河是桉树带状林，愈接近埃尔湖愈干燥，形成荒漠，有些地段仅在偶然间大雨之后，植物迅速生长，其中多数是短生植物。

(5) 东部湿润山地区。

本区位于大陆东部，包括大分水岭和大陆的东部沿岸地带，是一南北向条带状自然区。地形以山地占绝对优势，第三纪构造运动中，古褶皱山地发生断裂、抬升，沿断裂线有玄武岩喷出，个别地段有火山活动。全区气候湿润，年降水量一般在 1500mm 左右，在地形有利的条件下，可超过 4000mm。气温随纬度的增加而递减，北段年内温差不大；南段已属于亚热带，冬季气温较低，有时冷气团从南方侵入，气温可降到 0℃ 以下。冬季高山上有积雪。河流短小（不超过 400km）流急，靠雨水补给。东部山地是澳大利亚主要森林分布区，北部为热带雨林，南部为亚热带潮湿森林。从海岸到海拔 1000~1200m 的东坡布满森林，山脉西坡降水较少，林地稀疏。山地上部生长的树木较矮小，海拔 1600~1900m 的地段，森林变成曲树群落和矮生灌丛。

澳大利亚这个广阔的“岛国”南北约 3200km，东西约 3800km。西北部处于赤道的热带气候区，而南部则处于温带气候区。澳大利亚 12 月至 2 月是夏季，而 3 月至 5 月是秋季，6 月至 8 月是冬季，春季则是 9 月至 11 月。澳大利亚是世界七大洲中地势最平坦的大陆，平均海拔高度不到 300m，而世界的平均海拔高度约为 700m。澳大利亚东南部的澳大利亚阿尔卑斯山脉（the Australian Alps）是该国最高的地区，其中科西阿斯克山峰（Mount Kosciusko）则是澳大利亚的最高点，高度为 2228m。

此外，塔斯马尼亚岛构成了一个独特的自然地理区，它处在南半球温带地区，面积为 67900km²，与大陆间以宽 224km 的巴斯海峡相隔。塔斯马尼亚岛在地形和地质构造上均为大陆东南部山地的延续。它的地形属穹状高地，平均海拔为 600m，被河谷深切，北部和中部地势较高，可达 1500m，有古冰川遗迹。海岸陡峭并有大量锯齿状海湾和半岛。塔斯马尼亚岛气候凉爽，属温带海洋性气候，最热月和最冷月气温差一般不超过 10℃，年平均降水量达 1000mm，有的地区可超过 3500mm，多为持续的毛毛雨。在山地冬季可有降雪，但雪被多难以保存。河网稠密，河流水深流急，水量丰富。森林植被以常绿树种占优势，特别是喜湿的桉树和常绿栎树。岛上保存有一些大陆上早已灭绝的动物，也有一些南极区系的代表，如除了大陆上的有袋类外，在岛上有袋狼和袋獾，在南部还有企鹅。澳

大利亚东北沿海地带生长着郁郁葱葱的热带森林,其间栖息和生长着世界其他地区见不到的珍奇动物、野花和鸟类。一群群牛羊遍布澳大利亚内陆地区一望无际的大草原上,内地是广袤无垠、杳无人烟且干燥荒芜的大沙漠,在阿尔卑斯山脉和塔斯马尼亚山脉的高峰上,覆盖着厚厚的积雪,形成一派独特优美的自然风光。

澳大利亚蕴藏着极为丰富的矿产资源,现已发现的矿产有 70 多种,其中,铅、镍、银、钽、铀、锌已探明经济储量居世界首位,铁矿储量占世界第二位。澳大利亚是世界上最大的铝土、氧化铝、钻石、铅、钽生产国;同时还是世界上最大的烟煤、铝土、铅、钻石、锌及精矿出口国,第二大氧化铝、铁矿石、铀矿出口国,第三大铝和黄金出口国。已探明的有经济开采价值的矿产蕴藏量:铝矾土约 $31 \times 10^8 \text{ t}$,铁矿砂 $153 \times 10^8 \text{ t}$,烟煤 $5110 \times 10^8 \text{ t}$,褐煤 $4110 \times 10^8 \text{ t}$,铅 $1720 \times 10^4 \text{ t}$,镍 $900 \times 10^4 \text{ t}$,银 40600 t ,钽 18000 t ,锌 $3400 \times 10^4 \text{ t}$,铀 $61 \times 10^4 \text{ t}$,黄金 4404 t 。澳大利亚原油储量为 $2400 \times 10^8 \text{ L}$,天然气储量为 $13600 \times 10^8 \text{ m}^3$,液化石油气储量 $1740 \times 10^8 \text{ L}$ 。森林覆盖面积占国土面积的 20%,天然森林面积约为 $1.55 \times 10^8 \text{ ha}$ ^①(三分之二为桉树),用材林面积为 $122 \times 10^4 \text{ ha}$ 。澳大利亚渔业资源丰富,捕鱼区面积比国土面积还多 16%,是世界上第三大捕鱼区。

澳大利亚发育 48 个沉积盆地,其中 20 个盆地部分或全部位于海上。盆地中的沉积岩建造覆盖了澳大利亚陆地面积的一半,也覆盖了约 $200 \times 10^4 \text{ km}^2$ 面积的大陆架。澳大利亚不同时代、不同类型的沉积盆地呈规律分布,西部、北部沿海盆地主要是中生代拉张裂谷盆地,大陆西部和中部的盆地为元古宙—古生代克拉通内部盆地区,东部盆地为晚古生代与中、新生代叠合盆地区,南部和东北部盆地为晚中生代—第三纪拉张裂谷盆地区。

目前在 14 个盆地内已经发现了油气田,油气产层主要分布于奥陶纪至新生代古新世地层中,除了坎宁盆地的油气产自泥盆系的礁相白云岩外,其他盆地的油气均产自碎屑岩。烃源岩的时代分布也较广,从奥陶纪到古新世沉积建造均有出现。

澳大利亚是世界上主要天然气生产国之一,自 1998 年以来,该国的天然气年产量在 $(300 \sim 355) \times 10^8 \text{ m}^3$ [$(10590 \sim 12540) \times 10^8 \text{ ft}^3$]^②,其中相当一部分出口到日本和韩国等国家,2004 年的天然气出口量达到了 $122 \times 10^8 \text{ m}^3$ ($4310 \times 10^8 \text{ ft}^3$)。澳大利亚的石油不能自给,在过去的 30 年中,其石油产量只能满足国内需求的 60%~95%。

澳大利亚的油气生产史不到 50 年,第一个商业油田 (Moonie Oil Field) 发现于 1961 年,此后,又相继在其他的 13 个沉积盆地发现了油气田。

澳大利亚的石油主要产自吉普斯兰盆地 (Gippsland Basin) 和北卡那封 (N. Carnarvon Basin) 盆地。这两个盆地的石油产量约占总产量的 90%。从 1970 年起一直到 1994 年,澳大利亚石油产量的一半以上来自吉普斯兰盆地。不过该盆地的石油产量自 1985 年起开始下滑,1996 年之后,吉普斯兰盆地的石油产量被北卡那封盆地所取代,北卡那封盆地的石油产量已占澳大利亚原油总产量的一半以上,从而成为澳大利亚的第一大产油盆地。据澳大利亚地质调查局的研究 (Geoscience Australia, 2003),截至 2002 年底,澳大利亚的剩余探明加控制储量分别是石油为 $11.08 \times 10^8 \text{ bbl}$ ^③,凝析油为 $17.43 \times 10^8 \text{ bbl}$,

① $1 \text{ ha} = 10000 \text{ m}^2$;

② $1 \text{ ft}^3 = 2.83168 \times 10^{-2} \text{ m}^3$;

③ $1 \text{ bbl} = 0.158987 \text{ m}^3$ 。

天然气为 $25280 \times 10^8 \text{ m}^3$ ($89.28 \times 10^{12} \text{ ft}^3$)。石油储量主要分布于北卡那封盆地和吉普斯兰盆地，而凝析油和天然气则主要分布于北卡那封盆地、布劳斯盆地和吉普斯兰盆地。

澳大利亚的天然气开发也始于 20 世纪 60 年代，其天然气产量在逐年上升。自 1998 年起，澳大利亚的天然气年产量保持在 $300 \times 10^8 \text{ m}^3$ ($10590 \times 10^8 \text{ ft}^3$) 以上。20 世纪 80 年代以前，天然气主要产自吉普斯兰盆地和库珀盆地，1986 年之后，天然气产量的 75% 以上都产自这两个盆地，1989 年之后，北卡那封盆地则变成了澳大利亚的第一大产气盆地，当年该盆地的天然气产量为 $76 \times 10^8 \text{ m}^3$ ($2680 \times 10^8 \text{ ft}^3$)，而库珀盆地和吉普斯兰盆地的天然气产量分别为 $60 \times 10^8 \text{ m}^3$ ($2120 \times 10^8 \text{ ft}^3$) 和 $59 \times 10^8 \text{ m}^3$ ($2080 \times 10^8 \text{ ft}^3$)。

根据 2001 年的统计，澳大利亚发现的原油可采储量（约 $9.2 \times 10^8 \text{ m}^3$ ）大部分（三分之二）赋存于东南部海上吉普斯兰盆地古近系储集层中，其他的主要原油可采储量发现于北卡那封和波拿巴盆地，主要的天然气储量发现于北卡那封、吉普斯兰、布劳斯、波拿巴和库珀盆地。

总之，澳大利亚大陆是一个石油资源非常丰富的大陆，虽然在这块大陆发现了一些油气田，但对澳大利亚油气聚集规律的认识还是初步的，也是肤浅的。为了更好地在这块大陆上开展石油勘探与开发，我们根据已有地质资料，总结以往的地质认识和勘探经验，编著了这本著作。在本书的编写过程中，姚柏平、蔡楠松、肖蔚、饶铁群、骆卫峰、陈丽萍、张康寿、耿福兰、史良敏、王燕芳等给予了大力的指导与帮助，他们根据自己对澳大利亚油气的勘探实践经验，对本书提出了富有建设性的修改意见，对我们裨益颇深，受益匪浅。在此，特向他们表示感谢！

全书共分七章，第一章、第二章由郭念发编写，第四章由钱桂华编写，第三章、第五章、第六章、第七章由张建球编写，郭念发对全书进行了修改与统编。虽然内容上还很肤浅，体例上还很零乱，但这是对国外油气勘探的资料分析及勘探实践的总结，在某种意义上说，也是一次尝试。

毕竟是一次尝试，错误缺点在所难免，请同行专家学者批评指正。

编 者

2007 年 10 月 30 日

目 录

第一章 冈瓦纳大陆沉积建造与构造运动	(1)
第一节 太古宙、元古宙沉积建造与构造运动.....	(2)
第二节 早古生代沉积建造与构造运动.....	(6)
第三节 晚古生代沉积建造与构造运动.....	(9)
第四节 中生代沉积建造与构造运动	(16)
第五节 古近纪和新近纪沉积建造与构造运动	(22)
第六节 亚洲太平洋地区沉积建造与构造演化	(24)
第二章 吉普斯兰盆地与油气成藏	(36)
第一节 盆地基本地质特征	(36)
第二节 盆地沉积建造	(42)
第三节 陆上油气勘探潜力分析	(45)
第四节 海上油气勘探潜力分析	(52)
第三章 坎宁盆地与油气成藏	(56)
第一节 盆地基本地质特征	(56)
第二节 盆地沉积建造	(63)
第三节 盆地烃源岩及储盖组合	(71)
第四节 盆地油气成藏组合	(78)
第五节 油气资源潜力分析	(82)
第四章 卡那封盆地与油气成藏	(88)
第一节 盆地基本地质特征	(88)
第二节 盆地构造演化	(92)
第三节 盆地沉积建造	(97)
第四节 烃源岩及储盖组合.....	(110)
第五节 典型油气田成藏及勘探潜力分析.....	(123)
第五章 帕斯盆地与油气成藏	(129)
第一节 盆地基本地质特征.....	(129)
第二节 盆地沉积建造.....	(133)
第三节 烃源岩及油气成藏组合.....	(138)
第四节 油气资源潜力分析.....	(149)
第六章 波拿巴盆地与油气成藏	(152)
第一节 盆地基本地质特征.....	(153)

第二节 盆地沉积建造..... (158)

第三节 烃源岩及储盖组合..... (172)

第四节 油气成藏分析..... (179)

第五节 油气资源潜力分析..... (185)

第七章 布劳斯盆地与油气成藏..... (189)

第一节 盆地基本地质特征..... (189)

第二节 盆地沉积建造..... (194)

第三节 盆地烃源岩及储盖组合..... (199)

第四节 油气成藏特征..... (208)

第五节 油气资源潜力分析..... (211)

参考文献..... (213)

第一章 冈瓦纳大陆沉积建造与构造运动

澳大利亚大陆是一个独特的大陆，它属于冈瓦纳大陆的一个组成部分，冈瓦纳大陆包括现今的南美洲、非洲、澳大利亚、印度、马达加斯加和南极洲。根据南半球各大陆同期普遍存在的冰碛物、舌羊齿植物群和冷水型动物群等资料，认为南半球的非洲、南美洲、澳大利亚、南极洲及印度半岛，二叠纪之前是一个联合在一起的大陆，因此，冈瓦纳大陆又称南方大陆。这些南方大陆在早古生代是连成一片的稳定的古大陆。围绕古大陆周围分布地槽有澳大利亚东部的塔斯曼地槽、新西兰的布勒（Buller）地槽、从印度北部延伸到非洲北部的南特提斯地槽、非洲南部的开普（Cape）地槽和横贯南极（Transantarctic）的地槽。澳大利亚地质构造略图见图 1-1。

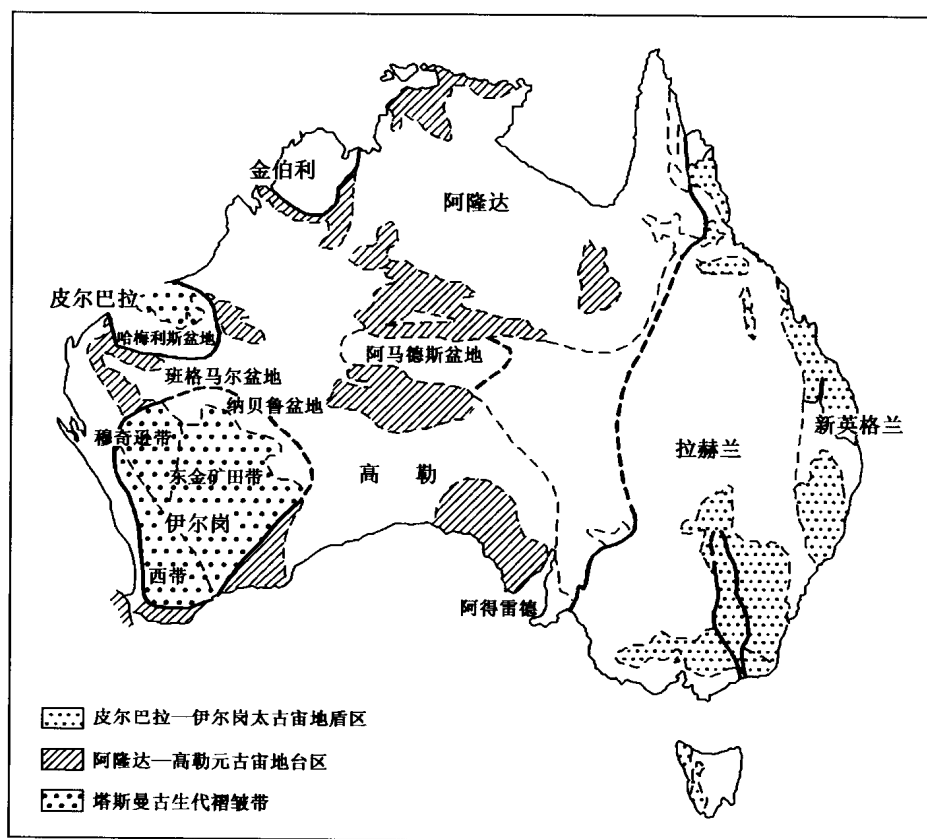


图 1-1 澳大利亚地质构造图（据 Rutland, 1976）

澳大利亚大陆经过了漫长的地质演化历史，具有特殊的大地构造演化进程，从太古宙到新生代形成了独特的沉积建造。中生代之后开始了被动大陆边缘的演化进程，形成了一系列稳定的含油气盆地，盆地中发育稳定的生油沉积层系，具有油气生成、运移、成藏的有力沉积环境和构造背景。

第一节 太古宙、元古宙沉积建造与构造运动

澳大利亚大陆早在 35 亿年以前便存在包括流水的侵蚀、搬运和堆积作用在内的外力地质作用, 就开始了沉积作用。在沉积过程中, 广泛的花岗岩侵入, 发育巨厚的太古宙绿岩建造, 这些地质现象表明大陆地壳在太古宙迅速增生。在地壳不断增长的过程中, 形成一系列特殊的沉积建造, 如绿岩建造、硅铁建造、镁铁质—超镁铁质岩火山建造等。太古宙的硅铁建造、含磁黄铁矿和黄铁矿等硫化物的黑板岩层, 是在还原态介质中的化学沉淀, 硅铁建造、含磁黄铁矿和黄铁矿等硫化物的黑板岩广泛分布在西澳大利亚。太古宙火山岩建造主要由两部分组成, 其下部为镁铁质—超镁铁质岩火山巨旋回, 上部沉积—火山巨旋回, 反映随着时间的推移, 由火山作用带出来的水逐渐增多, 沉积作用也就逐渐增强。

一、太古宙沉积建造

澳大利亚前显生宙地层主要分布在西澳大利亚地台, 是西澳大利亚地台基底的主要组成部分, 除在西澳大利亚地台作为主要分布外, 在皮尔巴拉、伊尔岗、金伯利、北澳、加兹科依涅、高勒省和穆斯格雷夫—弗雷塞等地区也有少量分布。出露在皮尔巴拉(Pilbara)、伊尔岗(Yilgarn)地区的太古宙是太古宙古陆核的组成部分, 因此, 皮尔巴拉的太古宙较为典型。在皮尔巴拉地体上的太古宙, 面积约为 $5.6 \times 10^4 \text{ km}^2$, 地体的主要部分为花岗岩(主要的花岗岩年龄均老于 30 亿年)和绿岩(年龄 34.5 亿年)。围绕其边缘是一些元古宙的盖层。地体上岩层的同位素年龄值为 35 亿年。其剖面如下:

上覆地层 元古宙

~~~~~不整合(25 亿年)~~~~~

新太古界 蚊溪(Mosquito Creek)群 板岩、含云母砂岩、石英岩和砾岩, 厚度不详

~~~~~不整合(30 亿年)~~~~~

中太古界 可分上、下两个岩群

2. 峡溪(Gorge Creek)群

7) 拉拉鲁克(Lalla Rookh)组 长石砂岩和石英砂岩 厚 2000~3000m

6) 霍雷阿特(Honeyeater)组 枕状玄武岩 厚 500m

5) 苏阿内斯维尔(Soanesville)亚群

帕底马克特(Paddy Market)组 条带状铁建造和含铁碎屑岩 厚 1000m

科比组(Corbv) 石英岩、砂岩和碎屑泥质岩 厚 1000~2000m

—————整合或局部假整合—————

1. 瓦拉伍纳(Warrawoona)群

4) 武曼(Wyman)组 斑状流纹岩, 具柱状节理 厚 1000m

3) 萨尔加什(Salgash)亚群 厚 5000~8000m

帕努拉马组和凯利组(Panorama and Kelly) 枕状玄武岩和燧石夹层, 超镁铁层

马布尔巴(Mable Bar)组 燧石层夹长英质火山岩透镜体。本层分布稳定, 可作为区域标志层

2) 达夫尔(Duffer)组 厚层英安块集岩透镜体, 凝灰岩和熔岩 厚 5000~8000m

1) 塔尔加塔尔加(Talga Talga)亚群 枕状玄武岩夹长英质、超镁铁质和燧石岩 厚 5000~8000m

皮尔巴拉地体以南是伊尔岗地体，面积约为 $65 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，其东部是金矿田绿岩带，分布面积大，层位稳定而连续。条带状铁建造主要发育在穆奇逊地区和金矿田区，而在西南地区则不发育。西南地区具有高变质的花岗片麻岩和混合岩、麻粒岩以及超铁镁质麻粒岩、石英岩等。这里保存有伊尔岗地体最古老的岩石（33.4—32 亿年），侵入片麻岩的混合花岗岩年龄为 27—26 亿年。

上述两地，从侵入的花岗岩同位素年龄测定看来，皮尔巴拉地体的岩石较伊尔岗地块老，前者主要花岗岩年龄在距今 31.25—30.50 亿年，后者所有花岗岩年龄值分布在距今 27.60—25.49 亿年间。这两组年龄值反映了西澳大利亚太古宙两次重要的造山运动，尤其以距今 27—25 亿年期间的运动影响范围更大，导致西澳大利亚太古宙古陆核的形成——皮尔巴拉克拉通和伊尔岗克拉通。其次，距今 35—30 亿年前的岩石以超基性喷发岩为主，具有海底喷发性质的枕状构造，与此同时还有碎屑沉积和化学沉积建造（硅铁建造）。

二、太古宙大陆增长方式

澳大利亚大陆像世界其他大陆一样，太古宙地层遭受强烈的火山作用，火山作用以基性和超基性的火山喷发为特征。古太古代末，岩浆开始分异，产生酸性岩侵入活动。到中、新太古代，岩浆分异进一步加剧，尤其是新太古代，广泛的大量花岗岩侵入活动致使大陆地壳迅速增长，最终出现相对稳定的古陆核。

太古宙是大陆地壳增长时期，每次地壳构造运动以后，克拉通古陆核也随之形成。虽然太古宙地壳处于超活动状态，但能量的释放、与岩浆侵入活动相关的热事件的产生，仍然具有明显的阶段性，形成岩浆构造旋回。太古宙的地壳构造运动大致集中在 3 个时期，最早一个地壳构造运动发生在距今 35 亿年前后，称为萨姆（Saamian）运动，即在西伯利亚的阿尔丹地盾和阿纳巴尔地盾，由于 35 亿年前后发生的构造运动，形成世界上最早的稳定克拉通，造成古元古界与古太古界阿尔丹群的不整合。第二个地壳构造运动时间，各地有所差异，大致在 31—29 亿年间，平均在距今 30 亿年前后，这次构造运动见于欧洲波罗的、西澳大利亚、北美和南非等地，在波罗的地区造成新太古界通得拉群与下伏科拉群间的不整合，以及相应的花岗岩浆侵入运动。在南非地区，造成新太古界维特瓦特斯兰德超群与其下地层（30 亿年前的花岗岩）的不整合。

太古宙最强烈、最普遍、影响最大的一次地壳构造运动大约发生在距今 28—27 亿年间，造成大区域性角度不整合、大规模的花岗岩入侵和变质作用。几乎遍及所有太古宙分布区，南非的罗得西运动、西澳大利亚的伊尔岗运动、印度的阿拉瓦利（Aravali）运动均是这次构造运动的表现形式。

三、元古宙沉积建造

澳大利亚元古宙地层分布广泛，发育较完全。在西澳大利亚主要分布在太古宙克拉通盆地内，古元古界见于皮尔巴拉地体与伊尔岗地体之间的哈梅斯利（Hamersley）盆地和纳贝鲁（Nabberu）盆地，为地台早期盖层沉积（距今 25—18 亿年）。中元古界见于西澳大利亚的班格马尔（Bangemall）盆地，不整合在古元古代变质岩之上，属于澳大利亚地台形成之后的盖层沉积（称为晚期盖层，18—14 亿年）。新元古界大面积覆盖于北澳至南

澳广大地区。在澳大利亚东部的地槽区内,新元古代沉积作为地槽的第一构造层而存在。

在澳大利亚中部的阿马德斯 (Amadeus) 盆地和南部的弗林德斯 (Flinders) 山脉 (属于阿得雷德地槽), 有完整的新元古代沉积及其化石记录, 含有著名古老的真核生物化石 (苦泉组) 和丰富的新元古代末期不带壳的后动物印模化石 (埃迪卡拉)。

哈梅斯利盆地位于皮尔巴拉地块南面, 面积约 $10 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。古元古代为碎屑—化学—火山沉积, 称为布鲁斯山 (Mt. Bruce) 超群。虽是沉积在 30 亿年前的太古宇花岗岩—绿岩结晶基底之上, 但其最底部的年龄应小于 26 亿年。应该指出的是, 在哈梅斯利盆地和伊尔岗地体北面的纳贝鲁盆地的古元古界都有重要的含铁建造, 属苏必利尔型铁矿。纳贝鲁盆地的含铁建造, 最大厚度为 1300m, 铁矿层系厚度可达 200m。系微层条带的含铁燧石, 铁矿石为赤铁矿—磁铁矿型, 具有鲕状及赤铁矿化的叠层石, 在燧石层中含有与北美苏必利尔区古元古代冈弗林组或比瓦比克组含铁建造中的微生物化石。纳贝鲁盆地古元古界沉积在 27.5—25.5 亿年的伊尔岗地块基底花岗岩之上, 最上部的年龄为 17.1—15.9 亿年。布鲁斯山超群下部的福特斯库群中产有与南非维特瓦特斯兰德、加拿大休伦盆地相类似的含沥青铀矿碎屑岩、含金黄铁矿砾岩, 其生成年龄大于 23.29 亿年。

西澳大利亚班格马尔盆地的中元古代沉积称为班格马尔 (Bangemall) 群, 为一套碎屑—碳酸盐岩 (白云岩) 沉积, 其底部酸性熔岩年龄为 10.98 亿年, 含叠层石 *Baicalia*, *Conophyton* 等, 中元古界下部的岩层在澳大利亚见于北澳地区的金伯利盆地 [金伯利 (Kimberley) 群]、麦克阿瑟盆地 [麦克阿瑟 (Mc-Arthur) 群和罗珀 (Roper) 群] 等, 为一套碎屑—碳酸盐岩建造, 含有赤铁矿和红色砂岩及蒸发盐 (石盐), 产叠层石 *Kussiella*, *Conophyton* 等。金伯利盆地中元古界下部岩层被 17.6 亿年的玄武岩侵入。麦克阿瑟盆地基底的玄武岩年龄为 16.88 亿年, 中元古界顶部岩层 (罗珀群的海绿石) 为 13.9 亿年。

新元古界主要分布于中澳大利亚、南澳大利亚地区。在中澳大利亚阿马德斯盆地, 新元古界统称为阿得雷德 (Adelaide) 系, 不整合在距今 12—11 亿年的穆斯格雷夫 (Masgrave) 杂岩之上, 不整合伏于下寒武统之下。下部称苦泉组 (Bitter Spring), 由白云岩、黑色燧石岩以及板岩、粉砂岩、石英岩、细砂砾岩组成。在古泉组上部的黑色燧石层中含微化石 *Glenobotrydion*, *Eotefrahedron*, *Caudiculophycus*, *Veteronostocale*, *Cephalophytarion*, *Obconicophycus* 等, 最大厚度为 1100m 左右, 同位素年龄为 9—8 亿年。中、上部自下而上分为阿里昂加 (Areyonga) 组、阿拉尔卡 (Aralka) 组、奥林匹克 (Olympic) 组、佩塔达塔卡 (Pertatataka) 组、朱利叶 (Julie) 组、阿隆贝拉 (Arumbera) 组等, 由含叠层石的白云、白云质灰岩、粉砂岩, 以及两层冰碛岩组成 (图 1-2) (下冰碛层在阿里昂加组下段, 上冰碛层在朱利叶组下部), 总厚度大于 2000m。

中澳大利亚阿马德斯盆地新元古界剖面, 值得注意的是下部的苦泉组黑色燧石层中, 含丰富而完美的微体化石, 形态多样, 许多是原核生物中的蓝绿藻。但也有具细胞核的绿藻, 例如 *Glenobotrydion aenigmatis*, 是一群圆球形的生物集合体, 单个直径小于 $10 \mu\text{m}$, 里面可见到致密的深色小点, 一般认为是细胞核, 尚可见细胞壁及细胞质残余物。其次, 剖面顶部的阿隆贝拉组原是寒武纪早期的一个地层单位, 但后来在其下部砖红色细砂岩中找到了 *Rangea* 等印模化石, 便把下部岩层划入新元古代末, 与南澳弗林德斯山产埃迪卡拉动物群的庞德砂岩对比, 阿隆贝拉组中、上部 (II、III) 则仍归下寒武统。剖面中含有

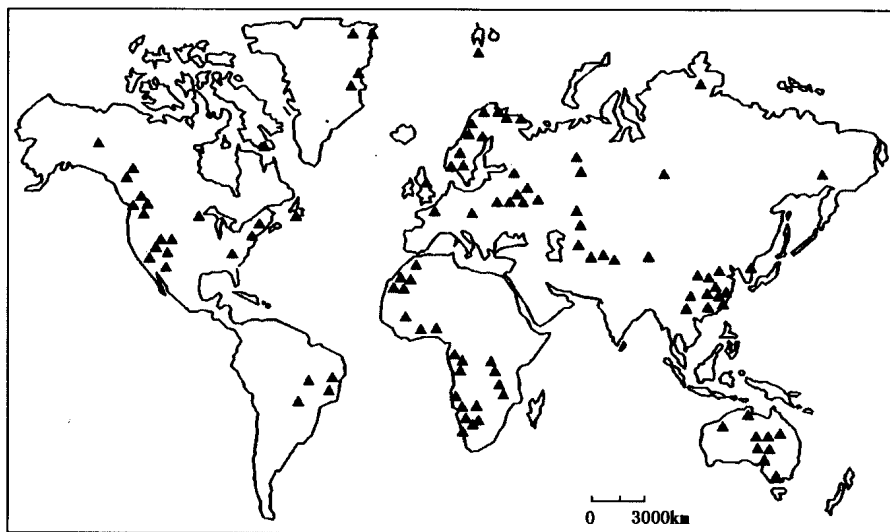


图 1-2 震旦纪全球冰川分布图 (据 L. Salen, 1977)

两层冰碛层，上冰碛层产于奥林匹克组下部，下冰碛层产于阿里昂加组下部。

在北澳大利亚金伯利盆地，震旦纪冰期有 2 个层位，上冰川层称为兰德里根 (Landrigan) 冰碛层，下冰川层称为埃根 (Egan) 冰碛层。

澳大利亚震旦纪冰碛还见于南澳弗林德斯山。新元古界沉积巨厚 (15000m)。其上部不但存在两个冰期，分别称为斯图特 (Sturt) 冰期和马临诺 (Marinoan) 冰期，而且在上冰期 (马临诺) 之后、寒武纪之前沉积了一套完整的新元古代最末期的地层，在最顶部的庞德 (Pound) 砂岩中保存有丰富的不带壳的软件后生动物印模化石，这就是世界著名的埃迪卡拉动物群的标准地点。

四、元古宙大陆增长方式

澳大利亚大陆元古宙的大陆增长方式可以分为两个阶段：古元古代活动阶段和中、新元古代原地台板块运动阶段。

古元古代地壳虽已出现一些相对稳定的古陆核，但它们面积较小，彼此分离，从总体考察，当时的地壳仍处于活动状态，可以说是新太古代地壳状态的延续。诸如巨厚的碎屑沉积、普遍的变质作用以及强烈的褶皱和断裂运动及花岗岩入侵，都说明古元古代的沉积特征和大地构造性质与新太古代有较多的相似性，但地壳活动强度有明显的减弱趋势。发生在古元古代中期 (大约距今 22 亿年前后) 的一次较强烈的造山运动，该构造运动在印度的拉贾斯坦地区，也可能有所表现。古元古代末 (距今 20—19 亿年间) 发生的造山运动具有全球性质，形成普遍的区域不整合。在北美称哈德逊 (Hudsonian) 运动 (或称彭诺肯运动)，欧洲称卡累利运动，在澳大利亚称金伯利运动，非洲称林波波运动，印度称德里运动等。这次运动的最终结果是导致原始地台的出现。其特征是把太古代末出现的面积较小彼此分离的古陆核连接起来，形成范围更大的更稳定的刚性大陆块体 (图 1-3)。

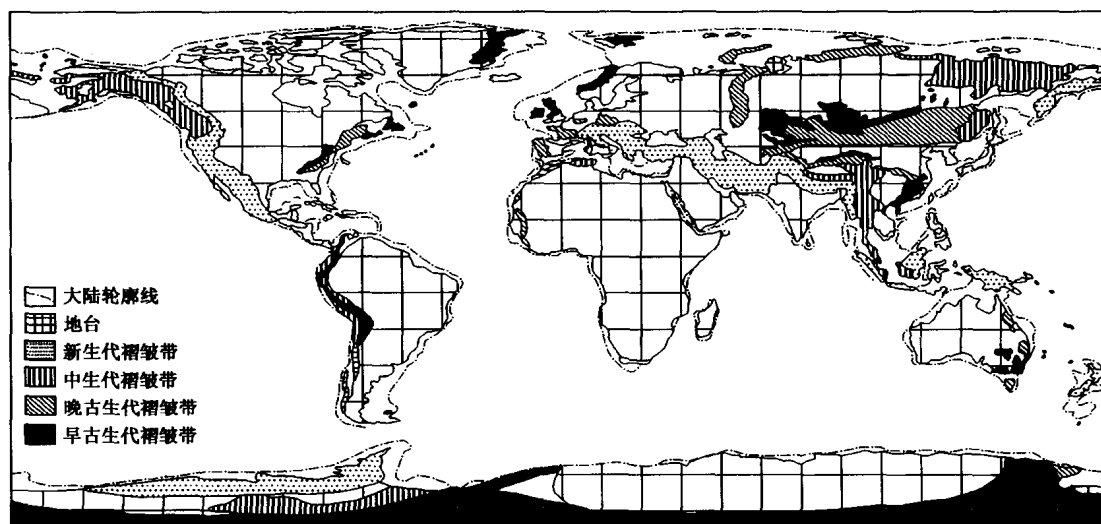


图 1-3 全球显生宙构造分化图

第二节 早古生代沉积建造与构造运动

早古生代初全球存在着 5 个彼此为海洋分隔的古大陆，即冈瓦纳大陆、古北美大陆、古欧洲大陆、古西伯利亚大陆和古中国大陆。各大陆在早古生代时，相当一部分为陆表浅海，处于稳定的地台环境，海侵时海水逐渐向大陆中心侵进，各大陆外缘为岛弧和深海沟，处于活动地槽区。随着各大陆板块间相向移动，导致各大陆外缘活动带碰撞、挤压、俯冲等，形成一系列褶皱带，拼贴到大陆边缘上，陆地范围扩大，海洋面积不断缩小。但各地台区和地槽区所处的地质环境不同，其沉积特征也有一定差别。

一、寒武纪沉积建造

澳大利亚大陆寒武纪时中西部处于较稳定的沉积区，因此下寒武统一以砂岩、板岩和石灰岩为主，产 *Redlichia*, *Protolenus* 等；中寒武统为含 *Solenoparia*, *Damesella* 等化石的石灰岩、鲕状灰岩、板岩和砂岩，上寒武统为石灰岩和板岩，产 *Calvinella*, *Prosaukia*, *Dikelocephalus* 和 *Ptychaspis* 等，属于地台区。东部为较活动地槽区，即塔斯曼地槽，分布于澳大利亚南部阿得雷德 (Adelaide) 海槽及向北延展的狭长地带，寒武系总厚度为 4000~6000m。下寒武统以石灰岩为主，顶部夹红层，产 *Redlichia* 等；中寒武统以碎屑岩、泥岩、石灰岩为主，产 *Xystridura*, *Crepicephalina* (小裂头虫), *Dorypyge* 等；上寒武统为石灰岩和板岩，产 *Calvinella*, *Prosaukia* 等。其东侧寒武系为一套厚度巨大的片岩，有时夹有黑色板岩，可能是一套巨厚的复理石建造，化石极少，属优地槽型沉积。

冈瓦纳古大陆其北缘包括喜马拉雅山区的斯匹梯、克什米尔向西延至巴基斯坦的盐岭。斯匹梯区的寒武系称亥曼塔系 (Haimantas Series)，由板岩、石英岩夹白云岩、石灰岩组成，下部产 *Redlichia*，中部产 *Anomocarella*, *Pedlichia*，上部为泥板岩夹石灰岩，产 *Tonkinella* (小东京虫), *Bailiella* 等，应为下、中寒武统，也缺失上统，均可代表大

陆边缘沉积加厚的情况。盐岭地区的下寒武统为紫红色泥岩及砂质板岩，含 *Redlichia*，中寒武统为镁质砂岩及含盐板岩，产 *Ptychoparia* 等，厚约 100m，中统上部与上寒武统均缺失，可以代表大陆内部的陆表海沉积类型。

二、寒武纪古地理与构造运动

各地下寒武统中发育红色岩层，内夹石膏或食盐假晶较为普遍，表明当时这些地区气候火热干燥。中寒武统世界各地普遍发育石灰岩和含古杯类灰岩，说明已转变为温暖气候。但在西伯利亚地台某些地区上寒武统有膏盐沉积，反映寒武纪后期澳大利亚大陆处于炎热干燥的气候环境。

在地台区，如北美地台、东欧地台、西伯利亚地台，在寒武纪沉积之前曾经全部或大部露出海面，处于大陆状态。到寒武纪时接受海侵，开始时范围较小，分布在地台边缘地带，到后期不断扩大，淹及地台内部。就世界范围来说，寒武纪的海侵以中期最大。但是有些地区如北美地台区，寒武纪早—中期大部分地区为隆起区，露出海面，到晚寒武世时才遭受海侵。晚寒武世时，各地台区缓缓上升，出现海退，由于海水较浅，处于动荡不定环境，所以上寒武统夹多层竹叶状灰岩和板岩。可是在中亚、南美地区，晚寒武世时则形成广泛的海侵，使亚洲和美洲上寒武统中所含的三叶虫化石极为相似。有些地台区中心部分，在寒武纪期间均处于侵蚀区，仅边缘地带遭到海侵，如冈瓦纳大陆。

寒武纪期间地台区的地壳运动相对较平静，以升降运动为主，因此地台区的寒武系多为连续沉积。寒武纪早期的地槽区，海区基本上继承了震旦纪的海洋，所以世界各地都能看到下寒武统与下伏震旦系呈整合接触或假整合接触。地槽区（如欧洲的加里东地槽、北美的阿巴拉契亚地槽和科迪勒拉地槽、亚洲的萨莱伊尔—萨彦岭地槽、澳大利亚的塔斯曼地槽等）内虽被海水淹没，仍有许多隆起带，呈岛屿形式分布。

有些地槽区，活动频繁而强烈，如萨莱伊尔—萨彦岭和我国西北等地槽区，在中、晚寒武世之间发生褶皱运动，伴有超基性—基性岩浆侵入，稍后有大规模花岗岩浆侵入，即萨莱伊尔运动。

三、奥陶纪沉积建造

澳大利亚中西部地台区的奥陶系为石英岩、砂板岩和薄层石灰岩，含 *Endoceras*, *Asaphus* 等，厚达 2000m 以上，与下伏地层为不整合接触。东部维多利亚地区的奥陶系由巨厚的板岩和石英岩组成，产笔石 *Dictyonema*, *Tetraraptus*, *Didymograptus*, *Dicellograptus* 等，顶部的岩性为黑色板岩夹硅质岩及安山凝灰岩，属于活动的地槽型沉积。

奥陶纪海侵范围较寒武纪大得多，是地史上海侵范围最大的时期之一。就地槽区而言，除西伯利亚地台南侧萨莱伊尔—萨彦岭及哈萨克斯坦、英国南部以及澳大利亚东部塔斯马尼亚等部分地区受到萨莱伊尔运动影响而上升成为山系外，其他各地槽区仍然继承了寒武纪时的沉积环境，海槽强烈下沉，振荡运动频繁，形成一套巨厚的碎屑岩地层，有些地槽区（如西阿巴拉契亚地槽、哈萨克斯坦北部海槽）火山活动也较频繁，奥陶系中夹有许多火山喷发岩。

奥陶纪时地台区的海陆面貌基本上是寒武纪的继续。在南美、非洲、印度、澳大利亚中西部和南极洲，除边缘地带曾遭受海水淹没外，其他地区均露出海面。东欧地区在奥陶

纪时，除北部边缘遭受海水淹没外，基本上处于大陆环境。其他各地区如中国的华北和西南、东南亚、西伯利亚和北美等地区，在奥陶纪时，尤其是早、中期基本上处于浅海环境，形成一套以碳酸盐岩为主的地层。

奥陶纪虽然是地史中较大的海侵期之一，但各地区发生最大海侵期的时间不一，澳大利亚中西部较广泛海侵发生在中奥陶世，北美在晚奥陶世时，虽然东部阿帕拉契亚海槽北段急剧上升成陆，但北美中部地区则不断下降，接受大规模海侵，成为北美地史上最大的海侵期；西欧地区广泛的海侵期也发生在晚奥陶世。

四、奥陶纪构造运动

奥陶纪期间地壳的升降运动较为普遍，早奥陶世晚期急剧上升，所以大部分地区缺失中、上奥陶统；在巴基斯坦的斯匹梯地区早奥陶世时缓缓下沉，而在中一晚奥陶世不断上升，处于陆地环境；在北美西部科迪勒拉地区，早奥陶世末上升，但至晚奥陶世再次下沉，因而缺失了中奥陶统。有些地槽区，如西欧、澳大利亚东部的塔斯曼地槽、北美东部的阿帕拉契亚地槽，在奥陶纪时皆急剧沉降，并有火山活动，晚奥陶世后期发生的运动，不仅使北美阿帕拉契亚海槽北段褶皱成山系，而且在澳大利亚的塔斯曼、中亚以及英国南部也都有表现。许多地台区在晚奥陶世时也有不同程度的上升，引起海退，陆地面积增大，海洋缩小。

五、志留纪沉积建造

志留纪的气候特征基本上和奥陶纪近似，绝大部分生物礁、蒸发岩、红层分布在北美、欧洲、中亚哈萨克斯坦、澳大利亚等地，推测这些地方处于干燥、炎热的热带气候区，大致在赤道两侧 30° 以内。在亚洲东北部和我国部分地区还发育生物礁和代表中纬度气候带的图瓦贝动物群，说明这些地区位于北纬 $30^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 之间。

南美西部和南非开普地区的志留系含有冷水型的腕足类，南美还有冰碛岩，表明当时接近南极区，推测当时的南极可能在非洲西南部，北极大致位于太平洋东部。

志留纪时的冈瓦纳地区仍为陆地，仅在边缘地带被海水淹没。南美地区的志留系主要分布在西部边缘、亚马逊河流域及巴拉圭等地。早志留世的海侵最大，不仅西部边缘安第斯地槽区被海水淹没，而且沿亚马逊河流域向东侵进，形成一套碎屑岩沉积；中志留世海水后退，到西部安第斯地槽区；晚志留世，安第斯地区缓缓上升，海水退出，普遍缺失上志留统。

澳大利亚的东部塔斯曼地区志留系较全，以泥岩、板岩、硬砂岩和火山岩为主，夹石灰岩，厚度大。南段含丰富的笔石、珊瑚、腕足类及三叶虫等化石。笔石分带情况与亚洲大陆及英国标准分带可以对比，珊瑚和腕足类与东亚类型相近。志留纪未发生强烈的造山运动，对南部新南威尔士和维多利亚影响最大，亦有花岗岩浆入侵，使部分地区褶皱升起。中部地区志留纪时为古陆，无沉积。西部的卡那封盆地发现 *Pentamerus* 等化石，说明志留纪时这里曾被海水淹没。

西非赤道几内亚在钻孔中的白垩系之下，发现含志留纪笔石的岩层，表明非洲西北部有志留纪海侵。非洲南部志留系为陆相的砂砾岩，厚达 2800m。印度南部和阿拉伯半岛西南部，志留纪时仍然继承寒武纪、奥陶纪的古陆环境。