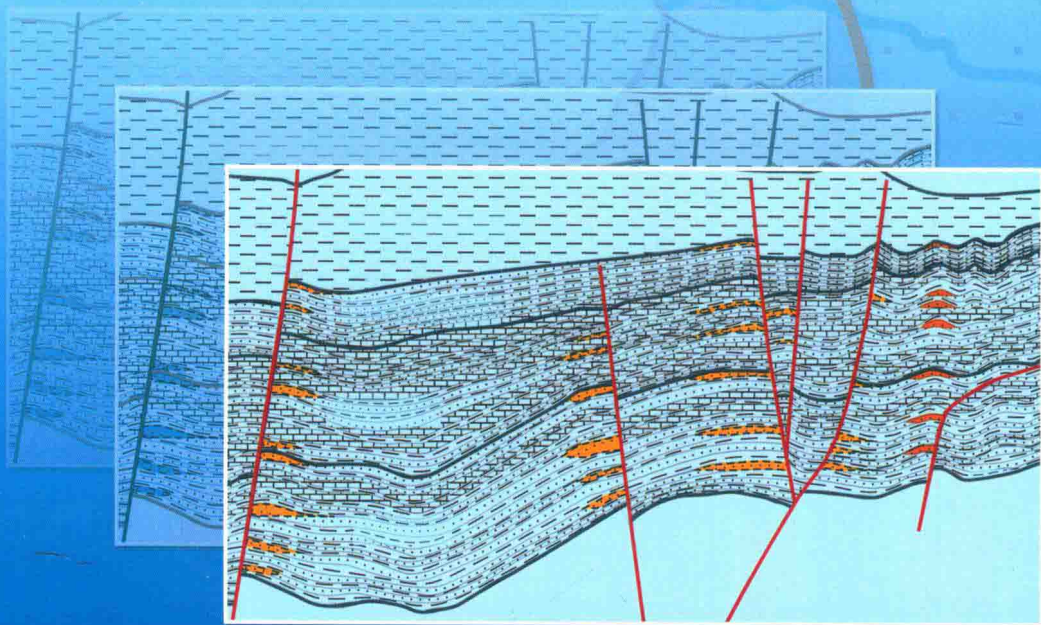


马达加斯加

油气地质与勘探

● 庞雄奇 康永尚 罗 群 等著



地质出版社

马达加斯加油气地质与勘探

庞雄奇 康永尚 罗 群 等著

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书主要介绍马达加斯加陆上油气地质与油气勘探研究的相关进展,重点研究马达加斯加陆上两个最重要的含油气盆地——Majunga 盆地与 Morondava 盆地的油气地质特征与油气成藏条件,评价它们的资源潜力。在此基础上对 Majunga 盆地开展油气门限控藏研究,应用功能要素组合控藏模式预测和评价主要成藏区带并优选富油气目标,部署三口探井并获得重大突破。基于实际资料建立了油气成藏模式并评价了资源储量,对有利区进一步深化勘探提出了具体建议。

本书可作为从事马达加斯加油气勘探工作者的参考资料,也可作为高等院校研究生的教学参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

马达加斯加油气地质与勘探 / 庞雄奇等著. —北京:
地质出版社, 2016. 10

ISBN 978-7-116-06985-5

I. ①马… II. ①庞… III. ①石油天然气地质-研究
- 马达加斯加②油气勘探-研究-马达加斯加 IV.

①P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 268563 号

Madajiasijia Youqi Dizhi yu Kantan

责任编辑: 王春庆 吴金键

责任校对: 王洪强

出版发行: 地质出版社

社址邮编: 北京海淀区学院路 31 号, 100083

咨询电话: (010) 66554646 (邮购部); (010) 66554578 (编辑室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

传 真: (010) 66554582

印 刷: 北京全景印刷有限公司

开 本: 787 mm × 1092 mm $\frac{1}{16}$

印 张: 24.75

字 数: 610 千字

版 次: 2016 年 10 月北京第 1 版

印 次: 2016 年 10 月北京第 1 次印刷

定 价: 150.00 元

书 号: ISBN 978-7-116-06985-5

(如对本书有建议或意见, 敬请致电本社; 如本书有印装问题, 本社负责调换)

序

随着世界石油经济的不断发展,非洲大陆石油勘探与开采呈现出蓬勃发展的势头,阿尔及利亚、利比亚、尼日利亚、安哥拉、加蓬和刚果(布)等国家成为主要产油国。非洲石油经济的发展,不仅对于非洲大陆经济的持续增长起着重要的推动作用,也对世界石油市场价格的波动产生一定的影响。东非国家油气地质条件良好,油气资源潜力大,发展迅速,是未来一段时间内重要的勘探领域。位于东非的马达加斯加,是一个与非洲大陆隔离的岛国,面积约 $62.7 \times 10^4 \text{ km}^2$,经济水平相对落后,石油工业未受到足够的重视,油气勘探程度较低。加大对马达加斯加石油勘探力度,增强油气资源落实程度,对当地石油工业的发展及经济的持续进步有着重要意义。

马达加斯加早期油气勘探对象与目标选择主要是基于“生、储、盖、运、圈、保”等地质条件的定性分析和成藏区带的逻辑判断,勘探成效不高。世界一些著名的油气公司,如 SPM (1936 ~ 1965)、AGIP (1965 ~ 1971)、CO-PETMA (1965 ~ 1971)、CHEVRON (1970)、TENNECO (1970 ~ 1973)、CONOCO (1972)、OMNIS (1975 ~ 1985)、SHELL (1991 ~ 1993) 等都先后参与到马达加斯加两个最大含油气盆地之一的 Morondava 盆地的油气勘探工作;截至 2010 年,先后钻探井 70 口,仅在 EP-1 井、WMLB-1 井和 SK-1 井获得工业油气流,成功率为 4.2%。针对盆地失利井的分析表明,有利勘探区域的预测、评价没有综合考虑复杂地质条件下多种成藏要素的相互作用。众所周知,圈闭控藏理论因考虑到了浮力成藏机制,勘探成效较之油气苗找油找气高;源控油气成藏理论因考虑了烃源灶对油气成藏的控制作用,又使勘探成功率进一步提高;含油气系统理论将圈闭控油气成藏与源控油气成藏统一起来,奠定了现代油气成藏理论的基础。由于这些认识不能综合定量表征各要素之间的联合控藏作用,无法确定地回答系统内是否能够形成油气藏、油气成藏规模、油气资源储量大小以及圈闭内油气富集程度等关键问题,它在复杂地质条件下的应用仍面临挑战。

中国石油大学(北京)庞雄奇教授领导的科研团队,受马达加斯加石油国际有限公司及马达加斯加南方石油有限公司委托,承担了马达加斯加两个最主要的含油气盆地——Majunga 盆地和 Morondava 盆地的油气地质研究与油气资源评价工作,预测了有利资源领域和有利成藏区带,在此基础上优选了最有利富油气目标并通过钻探获得显著成效。《马达加斯加油气地质与勘探》

就是这方面研究成果的系统总结，它的学术特色和主要成果体现在三个方面：第一，全面系统地收集了近一个世纪以来马达加斯加陆上油气勘探有关钻井、地震、重力、磁力、野外地质等方面的资料和成果，对马达加斯加 Majunga 盆地和 Morondava 盆地的油气地质特征进行研究，预测烃源岩排运油气门限并指明了勘探方向；第二，对马达加斯加含油气盆地的油气成藏条件进行预测、评价，基于功能要素组合控藏门限研究指明有利成藏区带；第三，重点对 Majunga 盆地 2101 区块以及 Morondava 盆地 3112 区块进行了油气富集门限研究并优选了有利的勘探目标。

经过近 6 年的研究，项目组在 Majunga 和 Morondava 两个盆地分别预测出 4 个和 3 个有利资源领域；在 Majunga 盆地 2101 区块和 Morondava 盆地 3112 区块分别预测出 5 个和 3 个有利成藏区带；在 Morondava 盆地 3112 区块东部构造带识别出 15 个有利的富油气目标。最后优选目标部署 VTL-1、MHB-1s 和 MHB-1 三口探井均获得成功，并在 MHB-1 井获得了 $149897 \text{ m}^3/\text{d}$ 天然气无阻流量，发现了一个天然气储量接近 $300 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的气田。这是马达加斯加近一个世纪以来陆上油气勘探的重大突破，反映了中国学者的团队精神和科研水平。马达加斯加能源国际有限公司为了表彰研究团队在油气勘探研究获得的突破，特别向承担相关研究任务的中国石油大学（北京）捐赠了 1000 万元，彰显了马达加斯加对油气勘探新理论、新方法和新技术应用的渴望以及对油气工业大发展的期盼。

《马达加斯加油气地质与勘探》一书的出版，对于推动和指导马达加斯加的油气勘探有着重要的现实意义和参考价值。衷心期望在相关理论和技术的指导下，马达加斯加的油气勘探能够取得更加辉煌的成果。



原石油工业部部长
俄罗斯自然科学院院士
2016 年 1 月 21 日

前 言

随着世界石油经济的发展,以马达加斯加、坦桑尼亚等为代表的非洲国家正纷纷加大石油勘探开发的力度。马达加斯加岛位于非洲大陆架东南、印度洋西南部,是世界第四大岛,面积约 $62.7 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。马达加斯加发育了两个最主要的含油气盆地——Majunga 盆地和 Morondava 盆地,它们分别位于岛的西部,约占全岛面积的三分之一以上。研究显示,马达加斯加的油气地质条件良好,油气资源潜力较大,有望成为拥有可观储量的新的产油国。自 1901 ~ 1936 年开展第一阶段油气勘探以来已经超过百年的历程,目前钻探探井近 70 口,除盆地北部发现一些油砂、重油以及 3 口探井见到工业油气流外,尚无重大发现。

自 2006 年 7 月下旬以合同方式接受马达加斯加相关油气公司的委托后,中国石油大学(北京)专门组成了马达加斯加项目组,先后承担了“马达加斯加 Majunga 盆地 2104 区块油气地质条件评价和勘探方向预测”“马达加斯加 Morondava 盆地 3113 区块油气地质条件评价和勘探方向预测”“马达加斯加 Morondava 盆地油气地质条件深化研究和 3112 区块有利勘探方向预测”“马达加斯加 Majunga 盆地油气地质条件深化研究和 2101 区块有利勘探方向预测”及“马达加斯加 Morondava 盆地 3112 石油区块东部构造带油气储量评价项目”共 5 个项目的研究。《马达加斯加油气地质与勘探》就是对这些项目研究成果的全面总结。

马达加斯加油气勘探研究项目由庞雄奇教授负责实施,参加项目研究工作的还有中国石油大学(北京)康永尚教授、刘洛夫教授、孙镇城教授、罗群副教授、姜福杰副教授、戴世坤副教授,以及中国科学院罗晓容研究员、东北石油大学方祖康教授、西安石油大学张亚敏教授及杨松龄高级工程师。此外,还包括上述单位的一些年轻学者和研究生:于瑞、李倩文、赵岩、肖爽、张书法、文永红、孟庆洋、王萍、许建华、张立宽、李斐、张永东、温华华、张兵、李洁梅、袁玲、陈治军、赵健、李燕、张晓玲、王维斌、张兵、李永静、金聪、郝情情、孟江辉、周杰丽、余晓洁、赵猛、许凡、徐敬领、高小跃、吴伟、陈安霞、白晓佳、焦姣、苏天喜、鲍闵慧子、戴琦雯和张闻婷等。项目组人员先后两次在马达加斯加首都塔那那利佛国家能源矿产局 OMNIS 资料室系统收集整理资料并进行了分析研究,为项目研究和本书的编

写提供了基础资料支持。

中国石油大学(北京)改变勘探思路,基于油气门限控藏模式研究相关问题,先后对马达加斯加开展了三轮油气勘探研究和资源储量评价,尤其对 Morondava 盆地以及 Majunga 盆地的沉积地层、构造演化、生烃资源、油气成藏等方面进行了较为系统的研究,并基于功能要素时空组合控藏模式预测了有利资源领域、有利成藏区带和有利富油气目标。马达加斯加南方石油有限公司(以下简称 MSP)于 2010 年委托中国石油集团东方地球物理勘探有限责任公司在 Morondava 盆地 3112 区块东部采集了 16 条累计 450 km 的二维地震资料,结合部分老资料对区块内东部构造带进行了构造演化历史研究和圈闭识别工作。在中国石油大学(北京)和东方地球物理公司研究成果的指导下,MSP 于 2010~2011 年在 Morondava 盆地 3112 区块东部先后钻探了 VTL-1、MHB-1s 和 MHB-1 三口探井,均发现含油气层位,测井解释出来的含气层厚度分别累积达到 39.4 m、20.5 m 和 65.1 m。MHB-1 井在下侏罗统 Isalo II b 组测试获得了 39615 m^3 的日产量,折算出天然气无阻流量为 $149897\text{ m}^3/\text{d}$;结合测井解释结果和构造圈闭特征,计算获得的天然气 3P 储量为 $281.18 \times 10^8\text{ m}^3$ 。这是马达加斯加近一个世纪的陆上油气勘探取得的最重要的突破,展示了马达加斯加 Morondava 盆地良好的油气勘探前景。

期待通过《马达加斯加油气地质与勘探》专著的出版,推动马达加斯加油气勘探与开发及其相关产业的快速发展。全书应用油气门限控藏的学术思想开展马达加斯加盆地的油气地质研究与评价,并在此基础上预测和评价油气藏形成和分布,指导油气勘探,主要认识体现在三个方面:油气运聚门限控制着有利资源领域,以有效源岩排油气门限圈定的烃源灶分布范围确定有利勘探领域;油气分布门限控制着有利成藏区带,以烃源灶(S)、储层相(D)、封盖层(C)与低势区(P)四大功能要素控油气分布门限的时空组合预测有利成藏区带;油气富集门限复合控制着有利目标区,以近源-优相-低势复合控藏门限圈定有利富油气目标。有关油气门限控藏的学术思想和理论模式已在科学出版社出版的相关专著中予以详细阐述,包括《油气运聚门限与资源潜力评价》(庞雄奇等,2014)、《油气分布门限与成藏区带预测》(庞雄奇等,2015)、《油气富集门限与钻探目标优选》(庞雄奇等,2014)等。本专著重点阐述马达加斯加相关盆地和地区的油气地质特征以及应用油气门限控藏模式预测有利资源领域、有利成藏区带和有利富油气目标的研究结果。

全书共分六章。第一章为马达加斯加及其油气勘探概况,由庞雄奇教授与康永尚教授共同编写;第二章为马达加斯加含油气盆地基本地质特征和形成演化,由康永尚教授编写;第三章为马达加斯加 Majunga 盆地油气地质与资

源潜力，由罗群副教授编写；第四章为马达加斯加 Morondava 盆地油气地质与资源潜力，由罗群副教授编写；第五章为马达加斯加主要盆地重点区块油气成藏条件与综合评价，由庞雄奇教授和罗群副教授共同编写；第六章为马达加斯加主要盆地重点区块有利目标优选与钻探效果评价，由庞雄奇教授和康永尚教授共同编写。全书由庞雄奇教授负责策划设计，康永尚教授和罗群副教授负责组织，各章节内容由马达加斯加项目组相关人员负责编写完成。全书由庞雄奇教授和康永尚教授审查、修改和定稿。

原石油工业部老领导王涛部长是项目的研究顾问和技术总指导，中国石油大学的孙镇诚教授在地层划分与对比上给予了具体指导，中国石油大学（北京）戴世坤副教授在重、磁资料解释方面提供了帮助和指导。各章内容是在不同的专家学者负责下完成的。马达加斯加南方石油有限公司聘请的蒋有卓副总经理和张建贵副总经理对本书进行了认真细致的审查，提出了修改意见。本书的最终出版凝聚了各位领导和专家学者的心血。在本书即将出版之际，要特别感谢中联石油化工国际有限公司的许智明博士，许博士倾心于能源领域的积极开拓，曾亲自带领项目组 6 位成员赴马达加斯加开展工作，始终关注项目的进展。香港中联石油化工国际有限公司的其他领导也对该项目给予了大力支持。马达加斯加能源国际有限公司的崔旭董事兼总经理以及北京代表处首席代表张嘉蓉女士也为本项目的顺利开展付出了大量的心血。对于上述领导、专家学者的帮助指导，在此深表感谢！

著 者

2016 年 10 月 8 日

目 录

序

前 言

第一章 马达加斯加及其油气勘探概况	1
第一节 马达加斯加基本概况与国家特色	1
一、国土面积与地理地貌	1
二、人口数量与文化信仰	1
三、主要产业与生产率水平	1
第二节 马达加斯加油气勘探概况	2
一、探区情况介绍	4
二、油气产量介绍	9
三、油气勘探阶段划分	10
第三节 马达加斯加油气工业发展前景	11
一、油气工业发展潜力	11
二、油气工业发展意义	13
第二章 马达加斯加含油气盆地基本地质特征和形成演化	14
第一节 马达加斯加基本地质特征	14
一、地质概况	14
二、前寒武系基本特征	14
三、沉积盆地及沉积盖层	15
第二节 马达加斯加所在潘基亚 (Pangea) 联合古陆的拼合与解体	15
一、冈瓦纳 (Gondwana) 大陆的拼合	16
二、潘基亚 (Pangea) 联合古陆的形成	17
三、潘基亚 (Pangea) 联合古陆的解体	18
第三节 马达加斯加含油气盆地形成演化过程	20
一、马达加斯加含油气盆地在联合古陆解体过程中的地位	20
二、潘基亚 (Pangea) 联合古陆陆内裂谷发育期的盆地	20
三、东西冈瓦纳分离期的含油气盆地	22
四、含油气盆地形成演化过程	25
第三章 马达加斯加 Majunga 盆地油气地质特征与资源潜力	32
第一节 Majunga 盆地构造特征及其形成演化	32
一、地震剖面综合解释与成图	32

二、沉积盖层构造格局	35
三、断裂发育特征	40
四、构造沉积演化	42
第二节 Majunga 盆地地层层系及其沉积特征	48
一、资料状况分析	48
二、岩石地层划分	50
三、层序地层划分方案	54
四、层序地层格架和地层展布	60
五、主要层系的沉积相分析	70
第三节 Majunga 盆地油气地质条件与评价	78
一、源岩条件	78
二、储盖组合	93
三、圈闭类型	100
四、油气显示	103
第四节 Majunga 盆地油气资源潜力与有利勘探方向	104
一、油气资源评价	104
二、有利成藏区带预测	108
第四章 马达加斯加 Morondava 盆地油气地质特征与资源潜力	114
第一节 Morondava 盆地构造特征及其形成演化	114
一、构造单元划分	114
二、构造特征	115
三、构造演化历史	129
第二节 Morondava 盆地地层层系及其展布特征	136
一、资料状况分析	136
二、岩石地层划分	140
三、层序地层划分	140
四、层序地层格架和地层展布	148
五、主要层系的沉积相分析和储层成岩演化作用	156
第三节 Morondava 盆地油气地质条件与评价	164
一、源岩条件	164
二、储层条件	184
三、储盖组合	187
四、圈闭类型	189
五、油气显示	193
六、重油成因	194
第四节 Morondava 盆地油气资源潜力与有利勘探方向	202
一、油气资源评价	202
二、有利成藏区带预测	204

第五章 马达加斯加重点区块油气成藏条件与综合评价..... 209

第一节 Majunga 盆地 2101 区块 209

一、2101 区块勘探情况简介 209

二、2101 区块钻探结果分析 211

三、2101 区块油气地质条件评价 212

四、2101 区块有利成藏区预测 238

第二节 Majunga 盆地 2104 区块 249

一、2104 区块勘探情况简介 249

二、2104 区块钻探结果分析 251

三、2104 区块油气地质条件评价 252

四、2104 区块有利成藏区预测 267

第三节 Morondava 盆地 3113 区块..... 273

一、3113 区块勘探情况简介 273

二、3113 区块钻探结果分析 274

三、3113 区块油气地质条件评价 276

四、3113 区块有利成藏区预测 279

第四节 Morondava 盆地 3112 区块..... 283

一、3112 区块勘探情况简介 283

二、3112 区块钻探结果分析 285

三、3112 区块油气地质条件评价 287

四、3112 区块有利成藏区预测 314

第六章 马达加斯加重点区块有利目标优选与钻探效果评价..... 321

第一节 Morondava 盆地 3112 区块最有利目标预测与评价..... 321

一、烃源灶及其控藏临界条件 322

二、地质相及其控藏临界条件 327

三、盖层及其控藏临界条件 332

四、古隆起及其控藏临界条件 340

五、要素组合控藏有利区带预测与评价 342

第二节 Morondava 盆地 3112 区块富油气目标优选与钻探..... 346

一、基于近源 - 优相 - 低势预测和评价有利富油气目标 346

二、3112 区块最有利目标探井部署与钻探结果分析 347

三、3112 区块东部 MHB 气田发现的油气地质意义 350

第三节 Morondava 盆地 3112 区块东部 MHB 气田油气藏地质特征与储量评价 351

一、油气藏地质特征与分布发育预测 351

二、油气藏地质储量评价方法与结果讨论 359

三、储量评价结果与讨论 372

参考文献..... 377

第一章 马达加斯加及其油气勘探概况

第一节 马达加斯加基本概况与国家特色

一、国土面积与地理地貌

马达加斯加岛位于非洲大陆架东南、印度洋西南部，是世界第四大岛，隔莫桑比克海峡与非洲大陆相望，面积约 $62.7 \times 10^4 \text{ km}^2$ ，海岸线长 4000 km；全岛南北长 1600 km（南纬 $12^\circ \sim 26^\circ$ ），东西宽 600 km。马达加斯加岛的地形共分 5 种：①中部为海拔 1000 ~ 2000 m 的中央高原地区，错落分布着平原、山丘、群山和盆地；②东部为宽度 25 ~ 100 km 起伏不平的山坡地形；③西部为平原和高原地区，地形起伏较缓；④南部主要是平原，地形较为平缓；⑤北部以盆地为主，地形复杂，系火山及喀斯特地貌，察拉塔纳纳山海拔 2876 m，为全国最高峰（图 1-1-1）。

二、人口数量与文化信仰

马达加斯加共和国人口约 2265 万。马达加斯加人口占总人口的 98% 以上，由 18 个民族组成，其中较大的有：伊麦利那族（占总人口的 26.1%）、贝希米扎拉卡族（14.1%）、贝希略族（12%）、希米赫特族（7.2%）、萨卡拉瓦族（5.8%）、安坦德罗族（5.3%）和安泰萨卡族（5%）等。各民族语言、文化、风俗习惯大体相同。在马达加斯加定居的尚有少数科摩罗人、印度人、巴基斯坦人和法国人，另有华侨和华裔约 5 万人。民族语言为马达加斯加语（属马来-波利尼西亚语系），官方通用法语和英语。居民中信奉传统宗教的占 52%，信奉基督教的占 41%，信奉伊斯兰教的占 7%。

三、主要产业与生产率水平

马达加斯加属发展中国家之一。经济以农业为主，严重依赖外援，工业基础薄弱。农业人口约占总人口 80% 以上，约 70% 出口收入来自农业。农业以种植大米、香草为主，香草产量和出口量居世界首位，约占世界市场总量的三分之二。其他经济作物有甘蔗、香草、丁香、胡椒、咖啡、可可、棉花、花生、棕榈等。马达加斯加工业基础十分薄弱，主要有炼油、发电、纺织和服装加工、农产品加工、饮料、烟草、造纸、制革、建材等。同时，马达加斯加旅游资源丰富，服务设施正在逐渐完善中，来自世界各国的游客越来越多。国家生产力水平较低，据统计，2014 年马达加斯加人均 GDP 488 美元。经济增长率较低，以约 2.6% 的速度增长。



图 1-1-1 马达加斯加岛地理位置图

第二节 马达加斯加油气勘探概况

非洲是“阿非利加洲”的简称，目前由 56 个国家和地区组成，其中有 23 个产油国。随着世界石油经济的发展，传统产油国如阿尔及利亚、利比亚、尼日利亚、安哥拉、加蓬和刚果（布）等正纷纷加大石油勘探和开采的力度。另外，以马达加斯加、纳米比亚、坦桑尼亚和肯尼亚为代表的非洲国家也有望成为新的产油国。地理上习惯将非洲分为东非、西非、北非、南非和中非 5 个区。总体上，东非国家油气地质条件良好，油气资源潜力大，发展迅速，并且在未来一段时间将在勘探领域，特别是近海陆架继续获得大的发展，马达加斯加就是其中拥有可观储量的东非国家之一，据 USGS、HS 数据库整理，截至 2013 年年底东非主要油气资源国油气储量如表 1-2-1 所示。

表 1-2-1 东非主要油气资源国油气储量数据表（截至 2013 年底）

国家	HS 探明 + 控制储量				待发现可采资源量				总资源量		
	石油 10 ⁶ t	天然气 10 ⁸ m ³	凝析油 10 ⁶ t	油气当量 10 ⁶ t	石油 10 ⁶ t	天然气 10 ⁸ m ³	凝析油 10 ⁶ t	油气当量 10 ⁶ t	石油 10 ⁶ t	天然气 10 ⁸ m ³	油气当量 10 ⁶ t
坦桑尼亚		7. 101. 5	4. 6	574. 8	382. 8	20135. 1	301. 8	2301. 4	2387. 5	27236. 6	2876. 2
莫桑比克		29554. 9	23. 7	2396. 9	1593. 7	51635. 0	770. 1	6510. 0	2387. 5	81789. 9	8907. 0
马达加斯加	92. 5	62. 5	0. 2	97. 7	1466. 6	47350. 7	706. 1	5974. 9	2265. 4	47413. 2	6072. 6
肯尼亚	9. 5	92. 8	0. 1	17. 1					9. 6	92. 8	17. 1
塞舌尔			0	0	326. 6	13408. 1	108. 2	898. 1	434. 8	13425. 8	898. 1
索马里		56. 7	0. 7	5. 3					0. 7	56. 7	5. 3

（据 USGS、HS 数据库整理）

马达加斯加位于莫桑比克地堑的东侧（图 1-2-1）。在莫桑比克海峡两岸，与马达加斯加西部盆地相邻的盆地主要有索马里盆地、肯尼亚拉张盆地、坦桑尼亚滨海盆地和莫桑比克盆地等。这些盆地的油气勘探程度较低（IHS, 2012; Zhou et al., 2011; Zhou et al., 2013），目前只发现一些中小型油气田（图 1-2-2），如坦桑尼亚滨海盆地以下白垩统三角洲相砂岩为储层的 Songo Songo 气田，探明天然气储量为 $2 \times 10^{12} \text{ ft}^3$ ^①；莫桑比克 Pande - Temane 复合带天然气储量为 $3.5 \times 10^{12} \text{ ft}^3$ ；马达加斯加 Bemolanga 油砂矿^②，储量

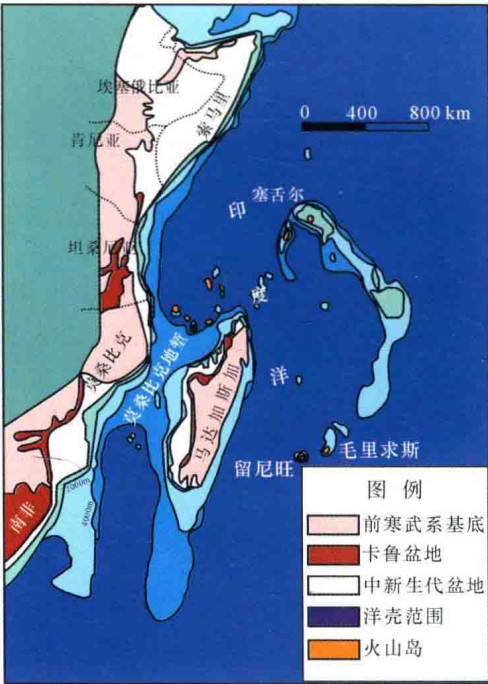


图 1-2-1 莫桑比克地堑周边盆地及洋壳范围图

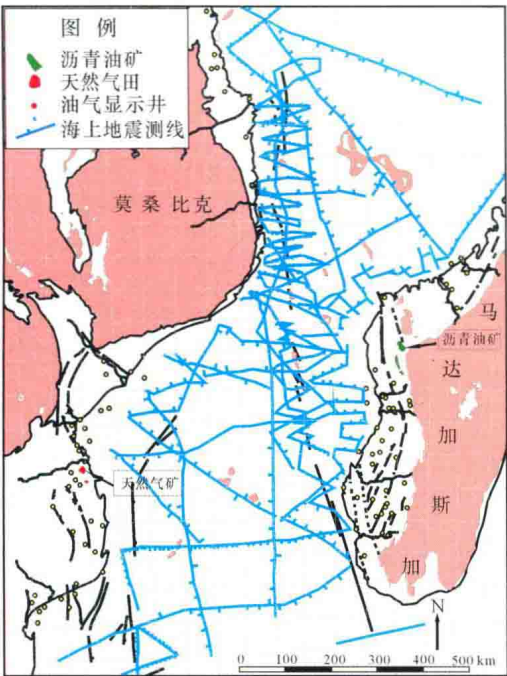


图 1-2-2 莫桑比克地堑油气勘探形势图

① ft^3 为立方英尺， $1 \text{ ft}^3 \approx 2.831685 \times 10^{-2} \text{ m}^3$ 。

210×10^8 bbl^①；马达加斯加 Tsimiroro 的重油油藏，储量 80×10^8 bbl；索马里盆地 Afgoi 深层天然气和凝析油田，最终可采天然气储量为 2×10^{12} ft³，凝析油为 20×10^6 bbl；索马里盆地 Calub 凝析气田，原油产量为 1400 bbl/d，气产量为 17.6×10^6 ft³/d。

但是值得注意的是，近年来东非大陆架盆地天然气勘探获得重大突破，成为世界大型新兴天然气生产基地，对全球天然气市场产生了重大影响。自 2010 年美国阿纳达科（Anadarko）石油公司在鲁伍马（Rovuma）盆地深水首次发现 Windjammer 大气田以来，莫桑比克天然气勘探喜讯不断。邻国坦桑尼亚也获得了 7 个天然气发现，其中 Mzia、Jodari 和 Za-farani 气田进入世界前十大发现之列。截至目前，位于东非的莫桑比克和坦桑尼亚共取得 27 个天然气发现，累计探明天然气储量 2.83×10^{12} m³，待发现天然气资源量 2.69×10^{12} m³。近年一系列油气重大发现，已使东非地区成为世界能源版图新贵，保守估计油气储量总规模可达约 90×10^8 t 油当量（王越等，2013）。东非具有较大的油气勘探远景，但因为勘探程度低，所以勘探风险也较大。

但是无论从勘探程度还是投资环境上看，马达加斯加的石油工业都未受到足够的重视，这一方面可能与该国油气资源落实程度较低有关，另一方面，政局不稳和经济落后等多种因素的影响也对其油气工业的发展造成了阻碍。2013 年埃里·拉乔纳里马曼皮亚尼纳当选总统以来，马达加斯加政局趋于平稳，经济发展加快，油气勘探成为对外合作的重要领域，诸多盆地都显示出较好的油气资源潜力，具有一定的合作前景（马君等，2008；孙海涛等，2010）。

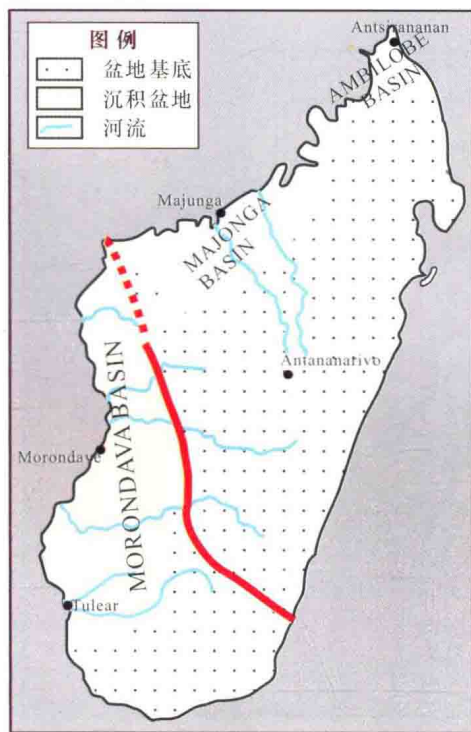


图 1-2-3 马达加斯加主要的沉积盆地

一、探区情况介绍

马达加斯加现有 5 个沉积盆地，Morondava 盆地和 Majunga 盆地是岛上两个主要的沉积盆地，Ambilobe、Ile St. Marie 和 Cap St. Marie 等是位于北部、东部和南部的小盆地（图 1-2-3）。

Morondava 盆地位于马达加斯加西南部，Majunga 盆地位于西北海岸，两者间以岛中部的 Bekodoka 基岩隆起以西的 Bongolava 断层为界（图 1-2-3）。它们经历的演化过程相似，Morondava 盆地形成得更早些，但由于盆地位置以及与盆地演化过程中起重要作用的一系列剪切断裂带的关系等方面的差异，两个盆地在沉积特征、地层展布及构造形式等方面仍存在明显的不同（童晓光等，2002；李国玉，2005）。

本书主要介绍 Majunga 盆地和 Morondava 盆地（图 1-2-4，图 1-2-5）。

① bbl 为桶，1 bbl = 119.2410 L。

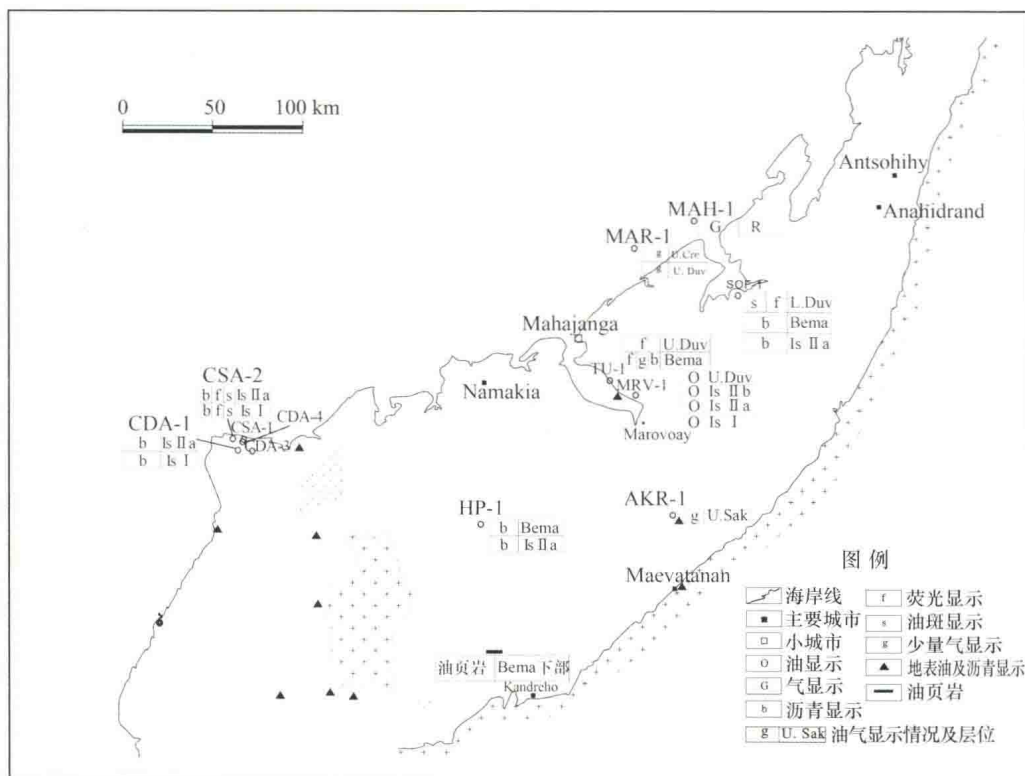


图 1-2-4 Majunga 盆地油气显示分布图

1. Majunga 盆地

Majunga 盆地位于西北海岸, 面积 $6.23 \times 10^4 \text{ km}^2$, 陆上面积 $1.38 \times 10^4 \text{ km}^2$, 海上面积 $4.85 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。东北部宽 120 km, 西南部宽 280 km, 以岛中部的 Bekodoka 基岩隆起以西的 Bongolava 断层为界与 Morondava 盆地分开。盆地中含油气系统预测有两套: Karoo 含油气系统和中生界至始新统含油气系统。

自 1957 年以来, SPM、AGIP、OMIS、ISR 和 NOC 等公司先后对 Majunga 盆地进行了大量的重力、航磁、地表磁力测量工作。据 Toit et al. (1997) 研究报告的统计结果, 累计测量长度超过 110000 km, 其中重力测量 15135 km、航磁测量 90496 km、地表磁力测量 4437 km。1968 ~ 1987 年, SPM、AGIP、OMIS、CONOCO 等公司共在 Majunga 盆地采集二维地震测线数百条, 累计 19762 km, 1989 ~ 1990 年 SHELL 石油公司又在盆地内采集了 100 余条地震测线。

目前, Majunga 盆地已钻探井 8 口 (图 1-2-4), 先后由 SPM (1963~1965)、AGIP (1970~1971)、CONOCO (1972) 和 SHELL (1992) 四家石油公司完成, 累计进尺 24989.6 m, 其中 HP-1 井和 MRV-1 井钻至基底。从油气显示所在的层位看, 三叠系到白垩系均有油气显示。位于海域内的 MAR-1 井和 MAH-1 井见到了气显示 (表 1-2-2)。盆地内的 MRV-1 井在 U. Duvalia 组、Isalo I 组、Isalo II a 组以及 Isalo II b 组中见到油显示, 在钻井过程中发现有多处气显示。Majunga 盆地目前尚无重大的突破。

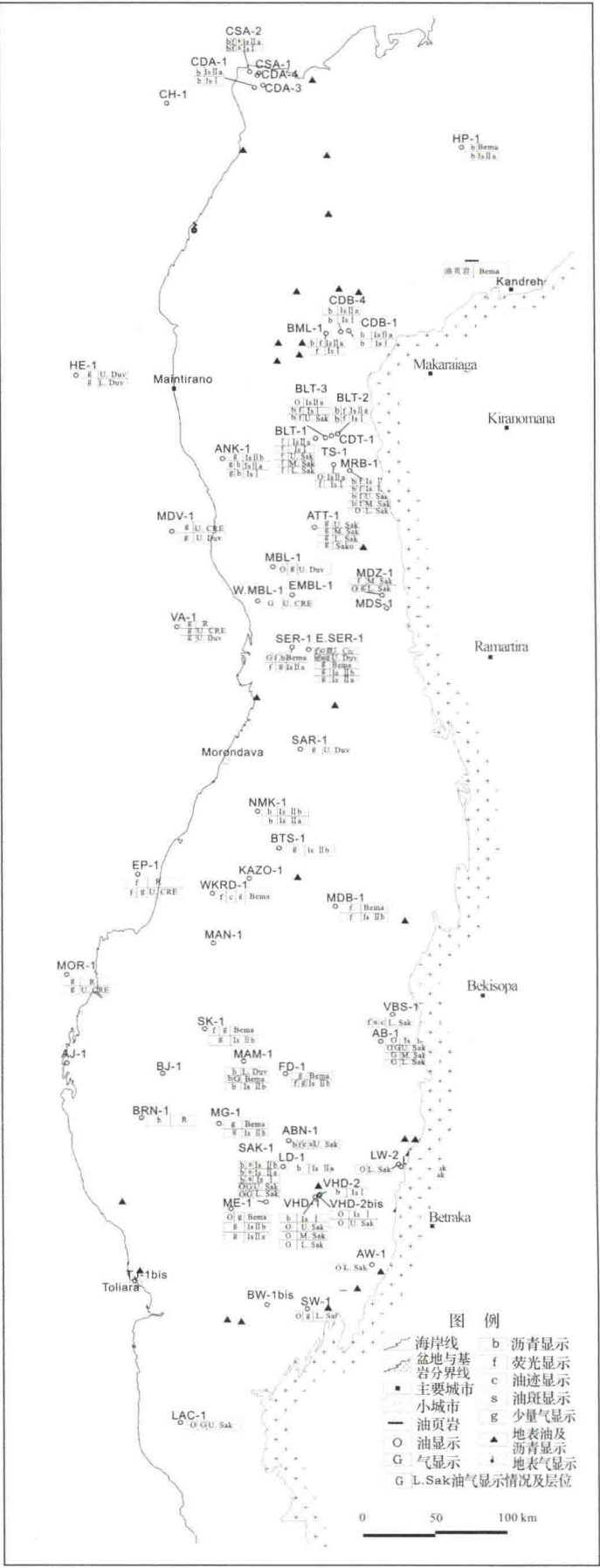


图 1-2-5 Morondava 盆地油气显示分布图