

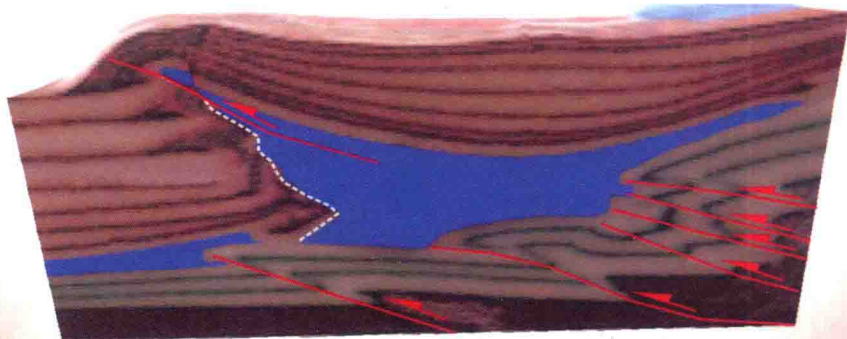


中国石油勘探开发研究院出版物

含盐前陆盆地 油气地质与勘探

HANYAN QIANLU PENDI YOUQI DIZHI YU KANTAN

赵孟军 卓勤功 陈竹新 等著



石油工业出版社

含盐前陆盆地 油气地质与勘探

赵孟军 卓勤功 陈竹新 等著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书精细研究了中西部含盐前陆盆地盐系地层控藏作用,系统论述了盐系地层成因、分布以及膏盐岩脆—塑转换等岩石物理学特征,强调前陆冲断带膏盐岩滑脱变形控圈、热效应降温控生、断裂—盐盖层组合时空演化控运聚等成藏机制,形成了含盐前陆盆地油气勘探关键技术,明确了中西部含盐前陆盆地油气勘探潜力与勘探方向。

本书可供石油勘探科技人员使用,也可作为大专院校相关专业师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

含盐前陆盆地油气地质与勘探/赵孟军等著.

北京:石油工业出版社,2017.2

ISBN 978-7-5183-1491-1

I. 含…

II. 赵…

III. ①中西部地区—前陆盆地—石油天然气地质

②中西部地区—前陆盆地—油气勘探

IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 229520 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

编辑部:(010)64523543 图书营销中心:(010)64523633

经 销:全国新华书店

印 刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

2017 年 2 月第 1 版 2017 年 2 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:14.5

字数:372 千字

定价:150.00 元

(如出现印装质量问题,我社图书营销中心负责调换)

版权所有,翻印必究

《含盐前陆盆地油气地质与勘探》

编写人员

赵孟军 卓勤功 陈竹新

胡 英 鲁雪松 孟庆洋

前 言

膏盐岩是蒸发岩中的一种岩石类型,主要由石膏、硬石膏、石盐组成,含少量钾镁盐类矿物、白云岩等,是以岩盐和膏岩为主要岩性地层的统称。其中,岩盐是主要由石盐组成的岩石,膏岩是主要由石膏和硬石膏组成的岩石。通常所说的盐岩则是各种可溶盐类组成的化学成因沉积岩的统称。

沉积盆地中从寒武系至第四系均有不同程度的膏盐岩层发育,全球近 130 个含盐盆地中大多数含有丰富的油气资源,其中,66 个重点含盐盆地拥有全世界一半以上的探明储量(张朝军等,1998);地层变形和逆冲断裂活动非常强烈的前陆冲断带中 25 个特大型气田,均以膏盐岩作盖层(Grunau H. R., 1981; McIntyre J. F., 1988)。据 HIS(2013)和 ERCB(2010)油气储量数据统计分析,全球探明和控制油气可采储量最丰富的十大含油气盆地依次为波斯湾盆地、西西伯利亚盆地、东委内瑞拉盆地、西加盆地、墨西哥湾盆地、卡拉库姆盆地、尼日尔三角洲盆地、北海盆地、伏尔加—乌拉尔盆地和马拉开波盆地,它们富集了全球 70.8% 的油气(包括非常规油气)可采储量。其中,5 个盆地为前陆盆地(Klemme H. D., 1980; Mann P. 等, 2003; 张明辉等, 2013),波斯湾盆地是全球油气最富集的含盐前陆盆地,它是阿拉伯板块内发育的扎格罗斯盆地、阿拉伯盆地和阿曼盆地的泛称,盆地内发育 3 套区域性膏盐岩盖层,石油、天然气和凝析油可采储量占全球油当量的 34.9%。另外,截至 2012 年 6 月,全球(不包括美国本土 48 州)349 个含油气盆地中 87 个盆地内发现了 1595 个深层油气藏,被动陆缘盆地和前陆盆地是深层油气最富集的盆地类型,其深层油气储量分别占全球总量的 47.7% 和 46.4%(白国平,曹斌风,2014)。膏盐岩导致的盐下沉积物负热异常效应抑制了深层烃源岩热演化或液态烃向气态烃转化,石油在深层的存在可能与超压和膏盐岩有关(O'Brien J. J. 等, 1988; Lerche I., Lowrie A., 1992; Mello U. T. 等, 1995; Pepper A. S., Yu Z., 1995; Galushkin Yu I. 等, 2007)。由此可见,盐与油气聚集有着极为密切的关系,含盐盆地、特别是含盐前陆盆地是规模、常规油气富集的一类盆地,盐下深层油气勘探特别值得关注。

20 世纪 90 年代以来,与盐构造相关的油气运聚成为研究热点和前沿。将地貌、构造等形成学与盐构造的动力相结合,对盐构造进行盆地分析和构造解析,研究盐构造形成机理、盐构造与油气的关系等,预测含油气区带及圈闭的分布。近年来,很多新的发现都是来自盐下,著名的有美国墨西哥湾盆地、西非盐盆地、巴西深海盆地等(Rangel H. D. 等, 2003; 林闻等, 2009)。

中国在盐构造形成机理、地质构造解析、砂箱实验等研究总体来说目前与国外基本保持同步,研究进展较大的是对库车前陆冲断带盐构造的研究(陈书平等, 2004; 胡剑风等, 2004; 汤良杰等, 2005; 鄢光辉等, 2004, 2006; 余一欣等, 2006, 2008; 汪新等, 2009, 2010; 漆家福等, 2009; 李世琴, 2009),但对盐构造三维地质建模和三维可视化、盐与油气成藏关系研究是薄弱环节,特别是后者。断陷盆地、克拉通盆地针对盐相关圈闭的油气勘探刚刚引起关注。库车含盐前陆盆地的油气勘探已取得重大突破,但目前多注重盐下勘探,对盐下的失利圈闭十分困

惑,对含盐前陆盆地整体勘探思维不够重视。根据统计资料,在油、盐共生的盆地中,有46%的盆地油气层产于盐系地层之下,41%的盆地油气层产于盐系地层之上,13%的盆地油气层产于盐系地层之间(赵澄林,朱筱敏,2001)。中国中西部前陆盆地油气资源丰富、盐系地层发育,如库车盆地、四川盆地、鄂尔多斯盆地、塔西南盆地、柴西南盆地。因此,深入研究盐与油气聚集关系,对于形成系统的含盐前陆盆地油气成藏理论、开拓中西部含盐前陆盆地新的勘探领域具有重要意义。

本书是多个项目近年来对含盐前陆盆地盐系地层(膏盐岩以及含膏或含盐泥岩夹层的简称)控藏研究的成果总结,包括国家油气重大专项前陆盆地项目(2011ZX05003、2016ZX05003)、中国石油天然气股份有限公司重大科技攻关项目(2011B04、2014B04)、中国石油勘探开发研究院与塔里木油田勘探开发研究院联合攻关项目(041011100003)。

从中西部前陆盆地膏盐岩的沉积成因、空间展布出发,由膏盐岩脆—塑转换、高热导率、易溶解、低黏度等岩石物理学特征入手,综合野外观察、地质研究、模拟实验和分析测试等成果,在膏盐岩盖层封闭性、脆—塑转换模式、断裂—盐层组合(简称为断—盐组合)时空演化、热效应延缓烃源岩生烃、盐下地质结构以及复杂圈闭有效性评价等方面进行了定量研究,取得如下新的认识:(1)中西部含盐前陆盆地盐系地层形成归于三种沉积成因模式,即库车前陆盆地宽浅水湖盆海侵成因模式、川西前陆盆地局限海盆蒸发成因模式和柴西南深水湖盆蒸发—热卤水分层成因模式。(2)库车宽浅水湖盆海侵成因模式沉积了规模膏盐岩层,膏盐岩具有高热导率,降低了盐下地层温度,延缓了深层烃源岩热演化。其中,西部古近系膏盐岩和东部新近系膏盐岩每1000m厚降低深部T—J烃源岩 R_o 分别可达0.2%、0.5%。(3)柴西南深水湖盆蒸发—热卤水分层成因模式发育多层暗色泥页岩、泥灰岩烃源岩,优质烃源岩形成于微咸水环境。膏盐岩局部、薄层、牛眼式分布,古近系盐间与盐下油气勘探潜力巨大。(4)川西局限海盆蒸发成因模式形成了膏盐岩—碳酸盐岩组合,膏盐岩的淋滤、溶解大大提高了碳酸盐岩储集性能,膏盐岩—碳酸盐岩岩石组合是有利的勘探层系。(5)库车前陆盆地以膏盐岩为滑脱层,发育盐上、盐层和盐下分层变形结构,盐下构造分带分段变形差异是早构造、古隆凹和基底结构等因素的特殊作用或组合作用的结果。原始膏盐岩分布较厚的部位在变形过程中具有原地加厚的特征。盐下发育的大量、规模构造圈闭,基底拆离面深度小于5km的冲断构造叠片三维空间上呈“鳞片体”排列,一个“鳞片体”就是一个勘探目标。(6)随地层围压和温度的升高,膏盐岩经历脆性、半塑性、塑性三个变形域,其屈服强度逐渐变小。库车前陆冲断带膏盐岩脆—塑转换关键深度为3000m左右。(7)膏盐岩盖层封闭性是动态变化的。当构造挤压应力小于岩石屈服强度时,连续分布的膏盐岩盖层封闭性完好。当构造应力大于岩石屈服强度时,埋深浅于3000m的膏盐岩盖层破裂、甚至形成穿盐断裂;随埋深超过3000m,膏盐岩完全进入塑性状态,膏盐岩受力塑性流动使盐间断裂、裂缝弥合而消失,盖层封闭性恢复完好。(8)库车前陆冲断带发育三种断—盐组合,即断穿型、隔断型和未穿型。断—盐组合时空演化遵循如下规律:从山前到前陆方向、从浅层到深层,由断穿型演变为隔断型、未穿型。(9)断—盐组合时空演化控制着油气的运聚,断穿型断—盐组合临近造山带,只有完整背斜圈闭方能成藏;隔断型断—盐组合发育区盐上和盐下双层成藏,盐上聚集早期油气,盐下聚集晚期高成熟油气;未穿型断—盐组合位于冲断带前峰、叠置于生烃中心之上,晚期高一过成熟天然气大规模聚集于断块、断背斜等圈闭成藏。

基于含盐前陆盆地盐相关构造勘探实践,再综合地质研究与实验分析,形成了相应的地震采集与成像解释技术、构造建模与三维重构技术、盐下复杂圈闭有效性评价技术,三者相辅相成。

本书共分七章,从内容上可分为三大部分:第一部分概括了全球膏盐岩的分布、成因以及含盐前陆盆地的分布,介绍了国内外典型含盐前陆盆地,重点刻画了膏盐岩高热导率、脆—塑转换等岩石物理学特征,即第一章和第二章的内容;第二部分由膏盐岩独特的岩石物理学特征入手,结合库车前陆盆地、柴西南咸化湖盆、川西前陆盆地石油地质特征,论述了膏盐岩控圈、控生、控储、控运聚的机理,包括第三章、第四章和第五章,是本书的核心;第三部分是含盐前陆盆地地震勘探与评价技术、中西部含盐前陆盆地勘探前景与方向分析,即第六章和第七章的内容。

本书各章作者如下:前言由赵孟军编写;第一章由卓勤功、鲁雪松编写;第二章由卓勤功、赵孟军编写;第三章由赵孟军、陈竹新、雷永良编写;第四章由卓勤功、吴海编写;第五章由赵孟军、卓勤功编写;第六章由胡英、陈竹新、卓勤功编写;第七章由赵孟军、陈竹新、鲁雪松、孟庆洋编写。全书由卓勤功统稿,郑永平、范俊佳、王伦、黄家旋、胡瀚文等校稿。

在项目研究过程中得到了中国石油天然气股份有限公司科技管理部、中国石油勘探开发研究院有关领导的大力支持,得到了南京大学倪培教授、中国科学研究院南京古生物研究所孟凡巍研究员的精心协助,得到了塔里木油田分公司勘探开发研究院、青海油田分公司勘探开发研究院、西南油气田分公司勘探开发研究院的无私帮助,在此一并感谢!

由于笔者水平所限,书中错误在所难免,敬请读者不吝指正。

目 录

第一章 世界含盐前陆盆地概述	(1)
第一节 膏盐岩沉积与分布	(1)
第二节 含盐盆地与含盐前陆盆地分布	(5)
第三节 国外典型含盐前陆盆地盐系地层及油气聚集	(7)
第四节 中西部含盐前陆盆地盐系地层及油气聚集	(14)
第五节 盐系地层与油气聚集关系研究进展概述	(29)
第二章 盐系地层沉积成因与岩石物理学特征	(31)
第一节 盐系地层三种沉积成因模式	(31)
第二节 膏盐岩岩石物理学特征	(35)
第三节 膏盐岩脆—塑转换及挤压变形特征	(39)
第三章 盐构造作用和含盐前陆盆地构造	(47)
第一节 盐构造作用和盐相关构造	(47)
第二节 含盐前陆盆地构造结构与样式:库车盐构造实例	(56)
第三节 含盐前陆盆地盐构造变形机制:物理模拟实验模型	(76)
第四节 前陆盆地盐流动行为和盆地构造演化过程	(95)
第四章 生烃与储集:盐系地层的影响	(105)
第一节 咸化环境控制有效烃源岩的发育和演化	(105)
第二节 巨厚膏盐岩延缓深部烃源岩生烃演化	(109)
第三节 膏盐岩影响相关储层储集性能	(126)
第五章 含盐前陆盆地断—盐组合与油气聚集:以库车为例	(132)
第一节 含盐前陆盆地断(断裂)—盐(盖层)组合	(132)
第二节 断—盐组合与盐系盖层封闭性动态演化	(136)
第三节 断—盐组合时空演化与油气聚集	(142)
第六章 含盐前陆盆地地震勘探与评价技术	(154)
第一节 盐相关构造地震成像与解释技术	(154)
第二节 挤压盐相关构造地质解析建模和模拟实验技术	(172)
第三节 盐下复杂圈闭有效性 3-R 评价技术	(181)

第七章 含盐前陆盆地冲断带油气资源潜力与勘探方向 (188)

 第一节 含盐前陆盆地油气资源潜力 (188)

 第二节 中西部含盐前陆盆地(冲断带)勘探方向 (192)

参考文献 (207)

第一章 世界含盐前陆盆地概述

在构造背景复杂的前陆盆地中,膏盐岩能够对油气起到很好的封闭作用(Grunau, 1981; McIntyre J. F. , 1988),因此,含盐前陆盆地盐下成为油气勘探的重要领域。

本章在论述地质历史时期三个盐沉积高峰、三种干旱蒸发机制的基础上,明确了世界上膏盐岩和含盐前陆盆地的分布规律,即膏盐岩主要分布在南、北纬度 15° ~ 35° 之间的副热带高压干旱带,含盐前陆盆地主要分布在与阿尔卑斯山脉相耦合的前陆盆地发育区,并重点介绍了国内外典型含盐前陆盆地盐系地层展布规律和盆地石油地质特征,以及盐系地层与油气聚集关系研究进展。

第一节 膏盐岩沉积与分布

一、干旱蒸发作用机制与膏盐岩沉积

盐系地层的形成离不开干旱环境下的膏盐岩沉积。在含盐盆地中存在各种膏盐岩矿物,最为常见的矿物为石盐和石膏,其中石盐的体积占据了膏盐岩的大部分(图 1-1),沉积盆地中不同蒸发作用及卤水浓缩程度将形成不同蒸发岩矿物组成的盐系地层。

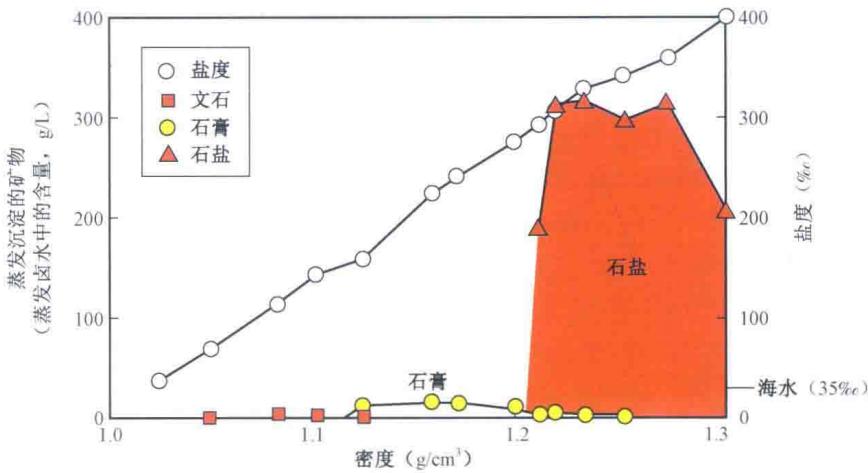


图 1-1 蒸发过程不同的膏盐岩矿物所占的比例(据 Magri 等, 2008)

现代陆地盐沉积通常在地下水的汇聚区,在半干旱到超级干旱的沙漠地区。气候驱动的膏盐岩沉积,可以在广阔的纬度带(上百千米)到微环境(几厘米),据此将干旱蒸发作用划分为三种机制,即纬度控制的大气环流、山脉控制的雨影效应和海岸控制的上升流(图 1-2)。

在最广阔的尺度下,膏盐岩矿物形成在沙漠中,并且是大规模大气循环的结果。哈德来环流圈(Hadley Cell)是指赤道附近受热上升的气流在上升到对流层后,分别向两极方向移动,之后逐渐冷却,约在纬度 30° 附近沉降,然后由地表向赤道移动,形成一个循环。目前沙漠的形成是哈德来循环最大规模的响应,是一个全球循环响应。

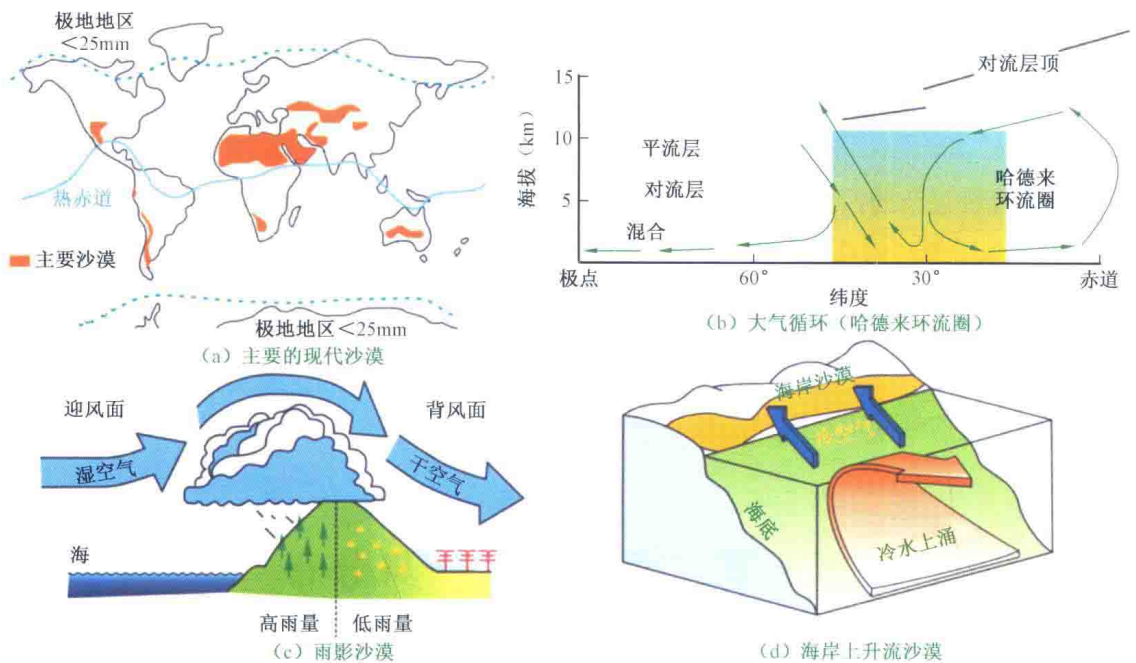


图 1-2 膏盐岩形成的气候模式(据 Magri 等,2008)

现代沙漠覆盖了世界上 30% 左右的面积,大部分都在南、北纬靠近赤道的 $15^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 之间。干旱带位于哈德来循环冷干空气团下沉的位置,目前被定义为亚热带高压带。全球级别的大气循环,由太阳辐射的强度分布变化而造成,太阳辐射在赤道最强,而向两极逐渐减弱。因此,赤道带与邻近的温带,隔离相当明显。赤道空气变暖而升高,形成了一个赤道低压带。当它变冷,失去大部分水蒸气作为降雨到下面的热带丛林和热带雨林。这个失去水蒸气的空气向上运动远离赤道,进一步变冷和压缩。最终,它在南北纬 30° 左右的位置下沉回到地球表面。这些变冷的干空气被重新加热,当它们返回到更低的空气中,又重新吸收了水蒸气,因此世界上主要的沙漠带就在这里形成(图 1-2A,B)。

雨影效应沙漠,也被称作隔热(adiabatic)沙漠,就是形成在空气团向上运移,翻过山岭的地方。因为空气越过山岭冷却下来,水汽进入云层然后落在山岭,在迎风面作为降雨在山的一面落下来。减弱的空气在山的另一边就很干旱,而随着空气下沉和加热会逐渐吸收水蒸气。例如巴塔哥尼亚沙漠、阿塔卡马沙漠,就在安第斯山的背风一侧;而内华达和犹他州啥米,也存在于内华达山脉的雨影位置。隔热沙漠也被发现在喜马拉雅山、埃塞俄比亚高地和澳大利亚东部高地;极端的例子是死海和阿法凹陷,这两个地区都是海平面以下的凹陷,由裂谷边缘的高山所环绕。雨影效应增长,在内陆缺乏山脉的地区有所减轻(图 1-2C)。雨影沙漠在两个陆地板块碰撞期间会更好的发育。一个隆起的山脉是大气循环的屏障,特别是垂直方向过来的水汽。例如,青藏高原新近纪晚期的隆升形成了一个向东的气流,从青藏高原穿过阿拉伯半岛吹向索马里。这个干燥空气的气流加剧了干旱的存在,造就了一个阿拉伯沙漠,几乎就挨着赤道。埃塞俄比亚 Danakil 凹陷的盐沉积位于 Danakil 山脉的雨影处。相似的雨影效应也影响着各种在大西洋张开时候的中生代盐盆地。

在副热带高压带干旱地区大陆上,上升流的海水有利于形成海岸沙漠。寒冷的上升流海水建立了一个平行海岸的冷水带,寒冷海水之上的冷空气产生一相对的冷风,当这些冷空气运动到陆地上就被加热,然后会吸收而不是释放水蒸气。在离岸的地区,寒冷水带频繁地被冬天海水的雾气所笼罩,在寒冷海水上形成更温暖的空气覆盖。这样的冷水上升流,造成了 Baja

California 的沙漠和西南非洲的 Namib 沙漠(本格拉洋流)。秘鲁洋流,沿着南美西部海岸的上升流,帮助保持了智利阿塔卡马沙漠的超级干旱,在 5~20 年仅仅有 1mm 的降雨,成为现代世界上最干旱的地区(图 1-2D)。

然而,如果这些干旱盆地中的凹陷不能得到大量的卤水供应,则厚厚的盐层不会形成在任何沙漠。中新世红海地区和各种南大西洋原始盐盆地都是裂谷产生的、与海水隔离的、低于海平面的凹陷(Bosworth 等,2005;Davison 2007),可以通过渗透得到大量海水补充。通过显生宙的伸展凹陷和挤压板块的相互作用,均产生了超级干旱,在大的低于海平面的海水渗透的凹陷,可以集聚厚层的石盐和石膏层序(Warren,1999,2006)。在相同时间尺度下,地下水补给产生的湖相石盐,缺乏海水来源的地区,产生的石盐沉积相对更小(Warren,2006)。

二、膏盐岩分布规律

地质历史时期存在多个膏盐岩沉积高峰期(图 1-3),且在过去的地质历史时期,许多时候膏盐岩的沉积规模要比现代大得多。其中,新元古代—寒武纪是海洋的第一个膏盐岩沉积高峰。在巴基斯坦的盐岭地区,沉积了一套巨厚的石盐沉积,且巴基斯坦盐岭地区的膏盐岩并不是孤立出现的,在东至安曼、西至印度都出现了同时代的膏盐岩。巴基斯坦盐岭地区的盐沉积,是内部分为红色和白色交替出现的盐沉积,累计厚度为 150m。中国四川盆地同时代的震旦纪灯影

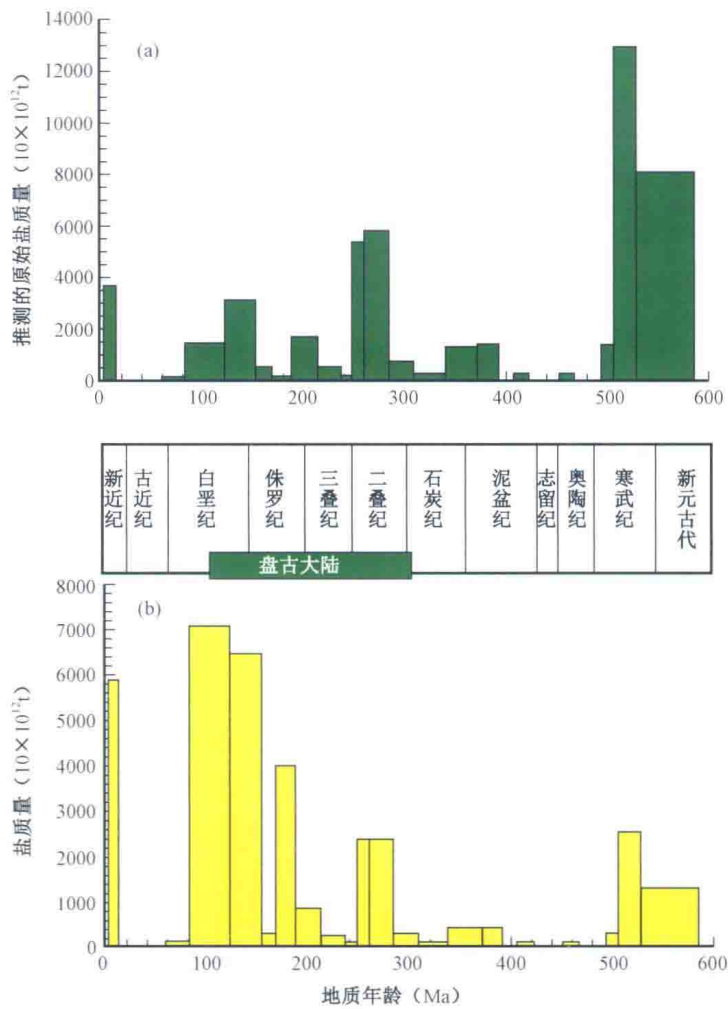


图 1-3 不同地质时期的盐沉积数量(据 Hay 等,2006)

期、寒武纪也有相同的盐沉积,震旦系灯影组长宁盐矿石盐的累计厚度达 368m,储量估计为 $3263 \times 10^8 \text{t}$,寒武纪盐矿的累计厚度有 276m,储量估计为 $17379 \times 10^8 \text{t}$ (林耀庭,何金权,2003)。

石炭纪之后发育第二个盐沉积高峰(二叠纪—白垩纪),众多含盐盆地一起组成了盘古大陆的盐沉积高峰,而这个沉积高峰主要是由构造运动导致的,构造运动导致了古生代晚期—中生代的干旱和超级干旱带。该时期的含盐盆地大致可以分为两类,一类是裂谷盆地,另一类是前陆盆地。这些盐沉积的体积,让第三个盐沉积高峰(新近纪)的规模大为逊色。石炭纪—早二叠世的巨型石盐沉积,出现在北美的 Williston 盆地和 Ellesmere 北部地区、巴西的北部、北非和东欧地台、哈萨克斯坦。这些石炭纪—早二叠世的碰撞盆地和内部凹陷沿着盘古大陆的西部成带状广阔分布,但是也出现在北美的东北部和格陵兰东部,以及南美北部,包括巴西西部。相同时代的大规模盐沉积,也在中欧被发现,包括东欧地台的部分和乌拉尔山。早二叠世最大的盐沉积充填了东欧盆地从里海到黑海,大约 $50 \times 10^4 \text{km}^3$ 的盐,以及 $10 \times 10^4 \text{km}^3$ 的硬石膏(Magaritz,1987)。Zharkov(1981)识别出了 95 个二叠纪盐盆地,膏盐岩的总体积为 $1500 \times 10^4 \text{km}^3$,其中 37 个主要是石盐沉积,48 个是硫酸盐沉积,10 个含有相当数量的钾盐。总的来说,这些盆地均处于一个广泛的赤道干旱带,根据古地磁从 50°N 到大概 30°S 。

将二叠纪至全新世的膏盐岩按等面积投影到古纬度上,并与现代沙漠的出现纬度进行对比(图 1-4),呈现出一个双峰的与纬度相关的分布模式(Ziegler et al.,2003)。这表明在整个地质历史时期地球上 Hadley 循环广泛存在,并且导致了副热带干旱带。

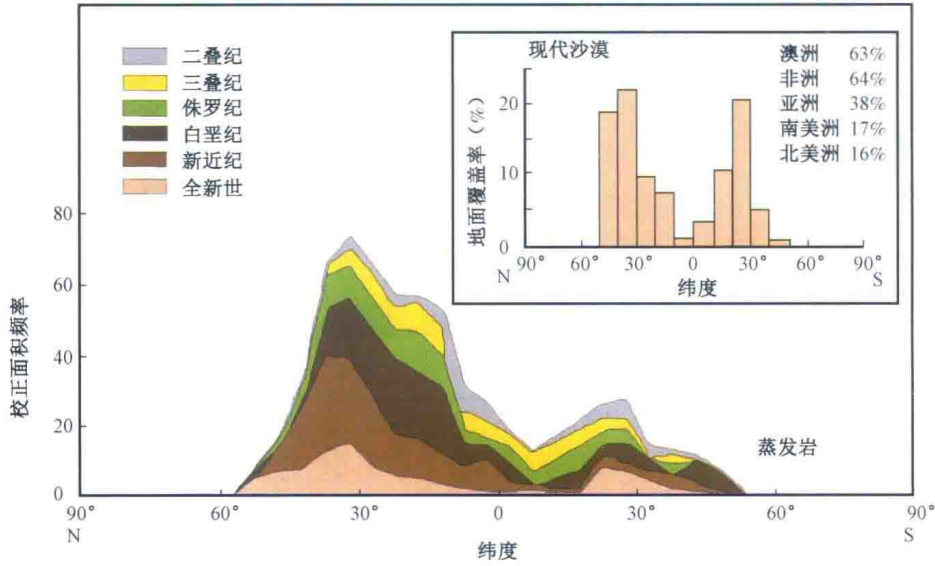


图 1-4 二叠纪以来膏盐岩及现代沙漠分布图(据 Ziegler 等,2003)

膏盐岩沉积高峰与三个时间相关的构造活动有关:(1)宾夕法尼亚期到二叠纪,盘古超级大陆裂解成为冈瓦纳/劳伦古陆,沿着冈瓦纳大陆、劳伦古陆和西伯利亚的边缘,在海水补给的碰撞盆地积聚了厚厚的盐沉积;(2)中生代内陆板块的伸展凹陷中大量层状盐沉积形成在扩张的、海水补给的裂谷盆地中,包括三叠纪 Newark 盆地的陆相盐沉积,加拿大的三叠纪远岸海相盐沉积,墨西哥湾的侏罗纪海相盐沉积,白垩纪的 Campos 盆地和各种主要是海水补给的西非远岸盆地(在西非的中部和北部地区是侏罗纪到白垩纪,在加蓬和安哥拉地区是白垩纪盐沉积);(3)新生代前陆盆地由内部板块碰撞造成,陆—陆碰撞的边缘可以在陆地板块内部产生深水的、但是短期存在的盆地或者广阔的楔形(wedge-shaped)前陆盆地。由此可见,含盐前陆盆地是一类重要的含盐盆地。

第二节 含盐盆地与含盐前陆盆地分布

一、含盐盆地

全球有近 130 个含盐盆地,分属于克拉通盆地、裂谷盆地、被动陆缘盆地和前陆盆地四类含油气盆地(图 1-5)。

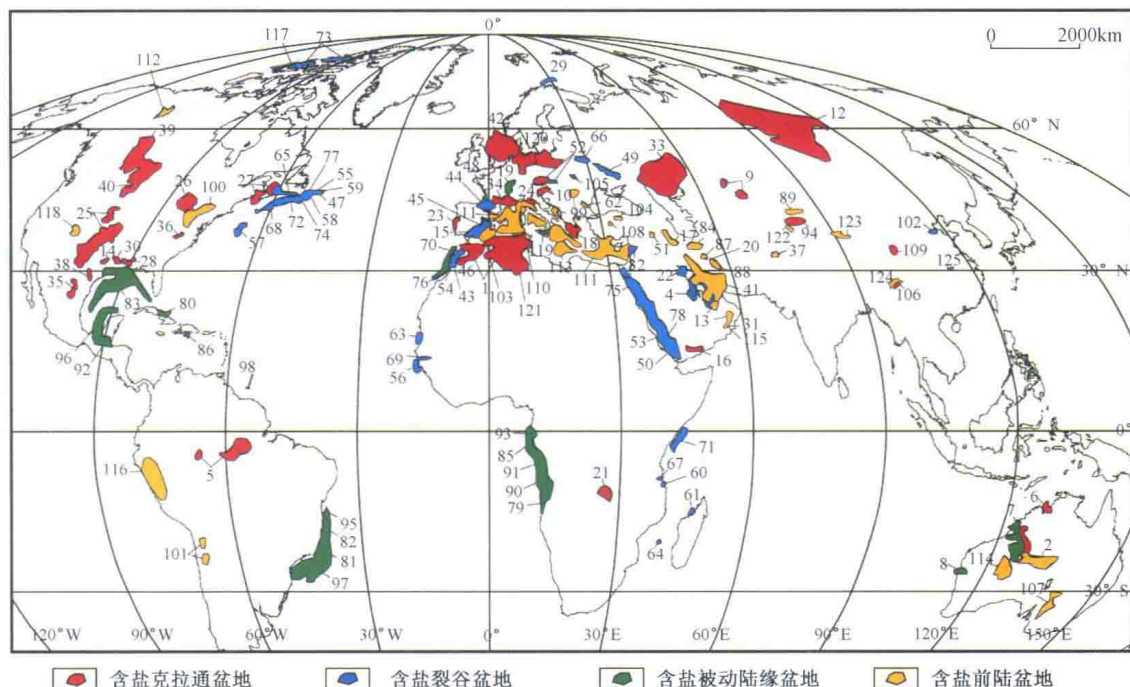


图 1-5 全球不同类型含盐盆地分布图(据 Hudec 和 Jackson,2007,修改)

1—阿特拉斯;2—阿马迪厄斯;3—亚平宁;4—阿拉伯;5—亚马孙;6—波拿巴特;7—坎宁;8—卡那封;9—楚—萨雷苏河;10—东阿尔卑斯;11—埃布罗;12—东西伯利亚;13—阿联酋;14—东得克萨斯;15—瓜达尔基维尔;16—哈德拉毛—也门南部;17—伊利杰克—大不里士;18—爱奥尼亚;19—优瑞;20—北克尔曼;21—加丹加;22—科威特;23—卢西坦;24—迈斯特拉特;25—美国大陆中部;26—密歇根;27—蒙克顿;28—密西西比;29—北角;30—北路易斯安那;31—阿曼—费胡德;32—巴尔米拉;33—滨里海;34—路丹尼;35—萨维纳斯;36—索尔特维尔;37—盐岭;38—南得克萨斯;39—西加盆地;40—威利斯顿;41—扎格罗斯;42—泽希斯坦;43—阿加迪尔;44—阿基坦;45—贝蒂克;46—拜赖希德;47—卡森;48—坎塔布连—西比利牛斯;49—第聂伯—顿涅茨;50—基尔;51—死海;52—东亚平宁;53—厄立特里亚;54—索维拉;55—弗莱米什海山口;56—几内亚比绍;57—乔治斯浅滩;58—霍斯舒;59—珍妮的贞德;60—曼达瓦;61—马任加;62—默西亚;63—毛里塔尼亚;64—莫桑比克;65—俄耳甫斯;66—普利皮亚特;67—鲁菲吉;68—塞布尔;69—塞内加尔;70—萨菲;71—索马里—肯尼亚;72—斯利舍边坡;73—斯维尔德鲁普;74—南惠尔;75—苏伊士;76—塔尔法亚;77—惠尔;78—也门;79—本格拉—纳米贝;80—古巴;81—坎波斯;82—圣埃斯皮里图;83—墨西哥湾岸区;84—大卡维尔—加姆萨尔—库姆;85—加蓬;86—海地;87—卡鲁特;88—北克尔曼;89—库车;90—宽扎;91—下刚果;92—彼得恰帕斯;93—赤道几内亚;94—塔里木;95—塞尔希培—阿拉戈斯;96—萨利纳—西格斯比;97—桑托斯;98—苏里南;99—南亚得里亚;100—阿巴拉契亚高原;101—阿塔卡马;102—渤海湾;103—巴利阿里群岛;104—昌克勒;105—喀尔巴阡;106—川东;107—弗林德斯;108—哈伊马纳—波拉蒂;109—鄂尔多斯;110—利古里亚;111—黎凡特;112—麦肯齐;113—墨西拿;114—奥菲瑟;115—南阿曼;116—奥连蒂—乌卡亚利;117—帕里岛—埃尔斯米尔中部;118—帕拉多斯;119—西西里岛;120—特兰西瓦尼亚;121—伊特鲁里亚;122—塔西南;123—柴达木;124—川西;125—江汉

含盐克拉通盆地位于稳定地台内部,是盐系地层分布最广泛的一类含盐盆地,其盐系地层发育层系老(古生代),如东西伯利亚盆地寒武统盐岩、滨里海盆地二叠统孔谷阶盐岩、塔里木盆地台盆区寒武系膏盐岩。盐岩变形相对较弱,通常以层状或简单底辟的形态存在,具有较好的封盖油气的能力,盐下圈闭是勘探的重点。但区域上由于盐岩厚度不均一,加之差异压实和断裂影响,形成盐窗,盐下层系的油气沿断裂进入盐上与盐隆作用相关的背斜、断背斜圈闭成藏。

含盐被动陆缘盆地主要分布在南大西洋两岸和墨西哥湾地区,以中生代含盐层系为主,墨西哥湾(彼得恰帕斯、墨西哥湾岸区盆地等)、巴西东缘深海区域(坎波斯、桑托斯盆地等)和非洲西部(宽扎、下刚果盆地等)发育同裂谷后期或早期裂谷沉积后的膏盐岩系,墨西哥湾为全球深水盆地和盐构造油气勘探的领跑者,发育中侏罗统 Louann 盐岩;南大西洋两岸被动陆缘盆地群发育下白垩统阿普第阶盐岩。盐下潜山型圈闭和盐上盐丘型、盐底辟相关圈闭为油气勘探的有利区域。

含盐裂谷盆地为岩石圈板块作背向水平运动或地幔隆起时地壳中发育的、在地貌上表现为对称或不对称的中央深凹的谷地,主要发育于美国的西部和非洲的东北部。中国东部渤海湾盆地东营凹陷、东濮凹陷古近纪发育膏盐岩。

全球 30 多个含盐前陆盆地主要包括阿尔卑斯山前陆盆地群、喀尔巴阡山前陆盆地,波斯湾前陆盆地群、环青藏高原前陆盆地群等。典型的有中东的扎格罗斯前陆盆地、东欧的喀尔巴阡山前陆盆地、中国的库车前陆盆地等。前陆盆地多为叠合型盆地,叠加在被动陆缘型盆地、裂谷型盆地和克拉通型盆地之上,故往往发育多套含盐层系,以新生代盐岩层为主,受后期前陆挤压作用的影响,盐系地层发育塑性流动或断裂,形成多种盐相关构造及构造圈闭,膏盐岩是油气聚集重要的区域盖层。

二、含盐前陆盆地

前陆盆地与造山带相毗邻,前陆盆地的形成是造山带及其逆冲推覆作用的自然结果,是由于造山带逆冲负荷和壳下负荷引起克拉通(或地块)边缘的岩石圈挠曲沉降,沿造山带形成的可容沉积空间,从造山带向克拉通方向构造变形依次减弱的线性箕状沉积盆地。前陆盆地的形成主要与收缩造山带及相关俯冲体系的地球动力学过程有关,构造变形以挤压褶皱、冲断推覆为鲜明特色。根据板块构造理论划分为周缘前陆盆地、弧后前陆盆地和再生前陆盆地三类。

1. 周缘前陆盆地

形成于大陆壳表面向下拖曳与碰撞造山缝合带相接之处,相邻造山带倒向盆地,蛇绿岩缝合线带比岩基岩浆带和火山岩带更靠近盆地,与 Bally 和 Snelson(1980)的 A 型俯冲相当(图 1-6)。以印度恒河盆地、中东的扎格罗斯盆地为典型代表。此外,欧洲与非洲板块的挤压碰撞形成了诸如比利牛斯山、阿尔卑斯山、亚平宁山、贝蒂克—直布罗陀—里夫山、阿特拉斯山等一系列著名的造山带,在这些造山带的前缘形成了诸多的新生代前陆盆地。典型含盐周缘前陆盆地如中东的扎格罗斯盆地。

2. 弧后前陆盆地

弧后前陆盆地是指位于大洋岩石圈俯冲形成的岩浆弧之后的盆地,与大洋岩石圈的俯冲(B 型俯冲)有关(Bally, 1980)(图 1-6)。以北美落基山弧后前陆盆地最为典型,其位于太平洋板块向北美大陆板块俯冲产生的内华达岩浆弧之后(Dickinson, 1983),晚中生代至新生代

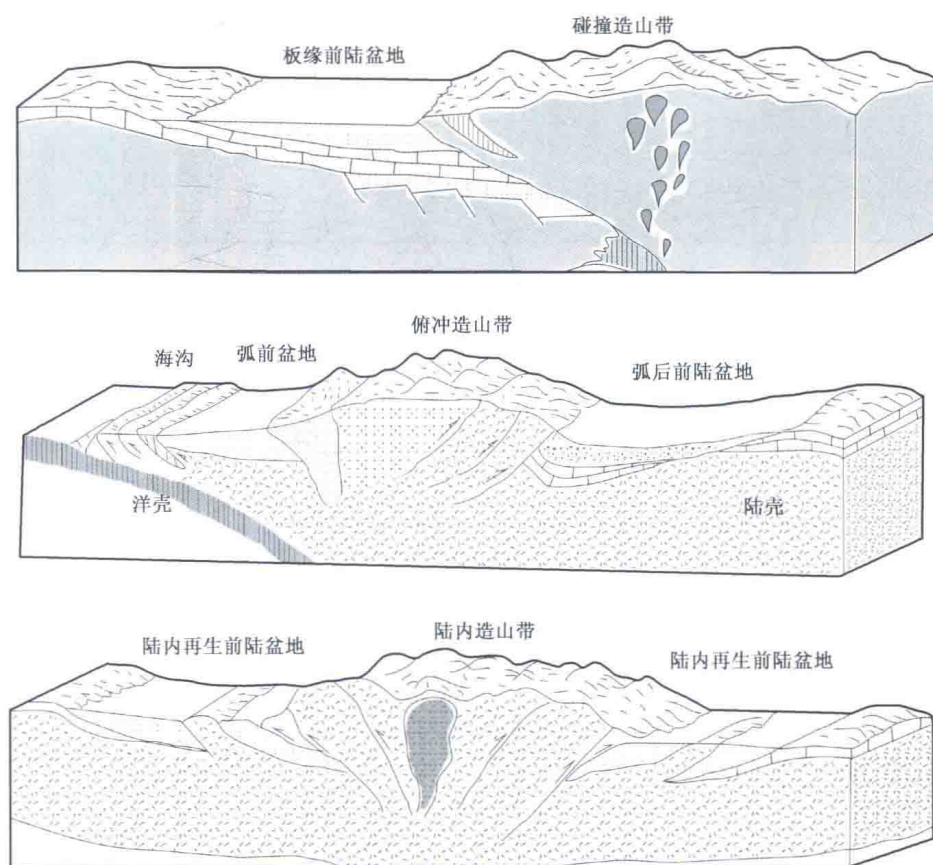


图 1-6 前陆盆地类型及其特征(据宋岩等,2008)

的落基山诸盆地为典型的弧后前陆盆地(Allen 等,1986)。此外,安第斯山东侧的新生代盆地、中国台湾西部的新世—更新世前陆盆地也是弧后前陆盆地。典型含盐弧后前陆盆地如安第斯山东侧的奥连蒂—乌卡亚利盆地、阿塔卡马盆地。

3. 再生前陆盆地

中国中生代造山带与同时代的俯冲作用或碰撞作用无关,而与造山带再活动或陆内俯冲作用有关,称为再旋回造山带或再生造山带(Lu 等,1994;邓起东等,1999),对应发育再生前陆盆地(Lu 等,1994;刘和甫,1995;卢华复等,2000,2001;魏国齐等,2005;贾承造等,2003,2005)(图 1-6)。典型含盐再生前陆盆地如库车前陆盆地、塔西南前陆盆地、川西前陆盆地等。

第三节 国外典型含盐前陆盆地盐系地层及油气聚集

国外典型含盐前陆盆地有扎格罗斯前陆盆地、阿曼盐盆地、喀尔巴阡山前陆盆地。盆地内膏盐岩层广泛分布,膏盐岩是盆地中主要的区域盖层,前陆期盐相关圈闭是油气有利的勘探目标,盐窗发育区油气沿断裂运移在盐上成藏。

一、扎格罗斯前陆盆地

扎格罗斯前陆盆地(Zagros)长约 1800km、宽 250~350km,夹于阿拉伯板块和欧亚板块之

间,是世界上最大的油气区之一,占世界前陆盆地油气储量的 49%。全球储量的 7% (Cooper 等,2007)。

扎格罗斯前陆盆地古生代是冈瓦纳超级大陆的一部分,中生代成为被动大陆边缘,新生代碰撞造山形成了前陆盆地(Bahrudi 和 Koyi,2004)。伊朗板块和阿拉伯板块之间的陆—陆碰撞,形成了扎格罗斯褶皱冲断带和相关的前陆盆地(图 1-7)。

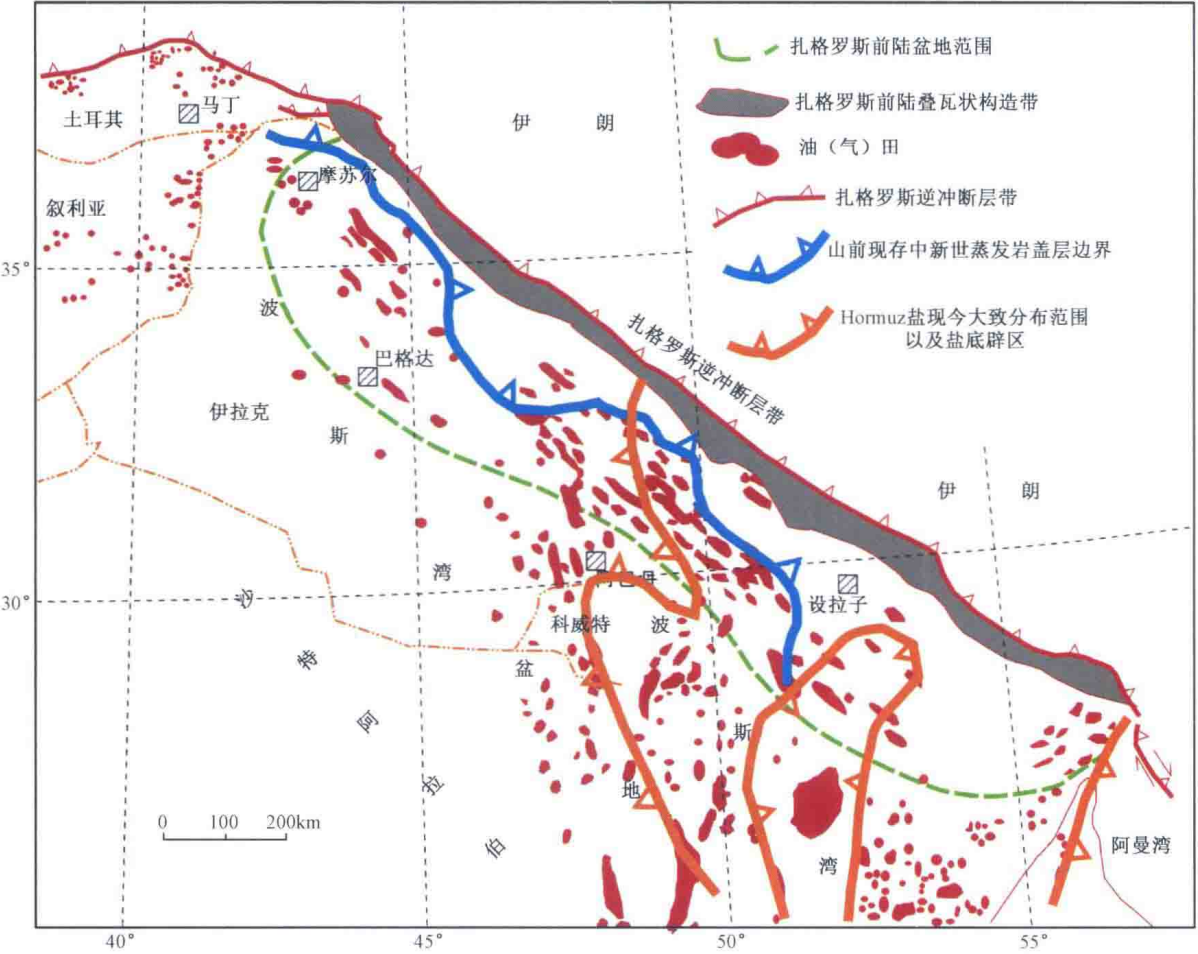


图 1-7 扎格罗斯前陆盆地膏盐岩分布图(据 Bahrudi 和 Koyi,2004)

扎格罗斯前陆盆地显生宙以来发育了多个时代的膏盐岩,盐下均有油气聚集(图 1-8)。盆地基底是新元古界的 Hormuz 盐层(Hormuz salt),上部是渐新统一中新统 Gachsaran 组盐层,该套盐层厚度最大,分布最为广泛。在扎格罗斯前陆盆地,这两套地层都作为黏性滑脱层。

渐新世之后的扎格罗斯盆地逐渐海退,形成 Fars 群膏盐岩和碎屑沉积,包括 Fars 群下部的 Gachsaran 组、中部的 Mishan 组以及上部的 Aghajari 组。这些沉积物均属于前陆盆地阶段沉积。Gachsaran 组主要由膏盐岩组成,膏盐岩包括石膏、硬石膏和盐岩,其次包括泥灰岩、石灰岩和页岩。Gachsaran 组的盐沉积在盆地中心,尽管露头很少,但 Gachsaran 组盐还是可以在井下和 Dezful 湾南部的坑道里发现(Dunnington, 1968; Gill 和 Ala, 1972; Kashfi, 1980; Motiei, 1993)。

根据膏盐岩的分布,将扎格罗斯前陆盆地分成 Qeshm 次级盐盆地、Fars 次级无盐盆地、Dezful 次级盐盆地、Pusht-e-Kuh 次级无盐盆地、Kirkuk 次级盐盆地、Sinjar 次级盐盆地。中