

中国陆区大震 预测途径探索战略研究

马宗晋 蔡晋安 陈会忠 张晁军 等 编著
沈 萍 黄建平 泽仁志玛 胡 彬



地震出版社

国家重点基础研究发展计划项目(973)资助

中国陆区大震预测途径 探索战略研究

马宗晋 蔡晋安 陈会忠 张晁军 等 编著
沈 萍 黄建平 泽仁志玛 胡 彬

地 震 出 版 社

图书在版编目 (CIP) 数据

中国陆区大震预测途径探索战略研究/马宗晋等编著. —北京:地震出版社, 2014. 5
ISBN 978-7-5028-4426-4

I. ①中… II. ①马… III. ①大地震—地震预测—研究—中国 IV. ①P315.7
中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 080299 号

地震版 XM2923

中国陆区大震预测途径探索战略研究

马宗晋 蔡晋安 陈会忠 张晁军 等 编著
沈萍 黄建平 泽仁志玛 胡彬
责任编辑: 王伟
责任校对: 孔景宽

出版发行: 地震出版社

北京民族学院南路 9 号

邮编: 100081

发行部: 68423031 68467993

传真: 88421706

门市部: 68467991

传真: 68467991

总编室: 68462709 68423029

传真: 68455221

专业图书事业部: 68721991 68467982

E-mail: 68721991@sina.com

http: //www. dzpress. com. cn

经销: 全国各地新华书店

印刷: 北京金康利印刷有限公司

版 (印) 次: 2014 年 5 月第一版 2014 年 5 月第一次印刷

开本: 787 × 1092 1/16

字数: 326 千字

印张: 12.75

印数: 0001 ~ 1000

书号: ISBN 978-7-5028-4426-4/P (5116)

定价: 60.00 元

版权所有 翻印必究

(图书出现印装问题, 本社负责调换)

前 言

2008年5月12日发生的汶川特大地震，其震级之大、地表破裂之长、人员伤亡之多、经济损失之重、地震灾害之惨烈，世所罕见。这样的大震巨灾，令人震撼，带给我们的启示和警示是多方面的，对推动我国防震减灾事业发展的影响是深远的。

从科学角度，汶川大震带给人们对诸多地球科学问题的反思，包括为什么在四川汶川会发生如此强烈的地震？从全球视角如何看待汶川强震的发生机理？下次地震又将在何时、何地发生？等等。汶川地震及其余震的发生机理、汶川地震深部孕震环境及汶川地震动力来源等，都是急需搞清的关键性科学问题。由科技部支持的973重大研究项目《汶川地震发生机理及其大区动力环境研究》（项目编号：2008CB425700）制定了科学研究汶川地震的思路。项目以汶川地震的发生机理研究为龙头、以探求汶川地震动力来源为主线，从龙门山构造带的活动特征，到印度板块运动对中亚大陆构造变形的影响，并进一步从全球地震构造格局的角度，理解汶川地震孕育发生的动力学构造背景。试图从不同层次（点、线、面、球）探讨汶川地震的发生机理及其动力环境造背景。

同时，汶川大震不仅再次将地震预报的问题摆在地球和地震科学工作者面前，而且引发社会大讨论。汶川这样的大震再次表明，对于可能造成灾害，特别是造成巨灾的大地震的科学预测，是巨大的社会需求。国家各个层面的管理者和地球科学工作者都在思考一个问题，那就是面对这一全球都认为尚未突破的科学问题，对于中国陆区大震预报的研究方向是什么，也就是需要探索中国陆区大震预测途径的战略和战术。这就是973重大研究项目《汶川地震发生机理及其大区动力环境研究》专门设立“开展与汶川地震发生机理有关的信息资源调查与研究，提炼对龙门山地区开展的地质和地球物理、大地测量等研究所获得的成果和科学认识，探索陆区大震预测途径。”这样的战略研究课题的原因。尽管地震预测在全球是重大科学难题，但通过探索陆区大震预测途径，明确地震预测探索方向和路径，坚持踏石留印，持之以恒，就会逐步逼近实现地震预测科学目标。

在973项目的支持下，我们开展了中国陆区大震预测途径战略研究。本书是在中国陆区大震预测途径战略研究成果的总结的基础上，于课题完成后的两年里，经过进一步深入提炼和修改而完成的，我们希望能够对地震预报的战略研究有所启发和参考。

全书共分为6章。第一章全球近代地震活动，阐述了全球地震活动构造和时间演化特征，分析了全球地震活动的控制作用因素。陈会忠负责编写。第二章中国近代地震活动，介绍了中国历史和近代地震活动、中国地震活动特征和动力来源。由张晁军、黄建平、沈萍和泽仁志玛负责编写。第三章地震预测预报历史与现状，阐述了国际和中国的地震预测预报历史和现状，介绍了国内外关于地震预测预报的争论。由张晁军、陈会忠和蔡晋安负责编写。第四章中国陆区地震预测途径探索战略方向研究，讨论了中国地震预测途径战略方向，提出探索地震“基因图谱”和地震发生过程前兆的战略方向，总结了地震前兆观测效能图谱。由蔡晋安和张晁军负责编写。第五章中国地震预测途径战术方向探索，讨论了地震预测途径的战术方向，提出了确立我国大震巨灾的地点、时间和震级工程、“地下云图”工程和地震前兆现象动态跟踪工程等三大战术工程。本章由陈会忠和胡彬负责编写。第六章结语由蔡晋安负责编写。全书由蔡晋安和陈会忠负责汇总和统稿。马宗晋院士首先倡导开展中国陆区大震预测途径探索的研究，并一直予以关注和指导。参加研究与全书编写工作的还有张崇立、苏金蓉、陈天长、周克昌、雷强、邵志刚、吴婷、赵庶凡、李晶晶、代光辉、陈扬、邵叶、谢超、赵旭、苏小宁、李建勇、彭菲、戴亚琼、田文君、朱泽、王阅兵、纪寿文、王桂清、叶清、赵玉浦、于丹、刘博研、贾俊的、苏国君、傅莺、魏娅玲、秦一川、吴朋等。

在本书的编写过程中得到各方面专家的帮助，特别是赵国泽、庄灿涛、黎凯武、金星、王宝善、王洪体、王卫民等提供了他们的研究成果，在此一并感谢。

感谢李廷栋、滕吉文、姚振兴、石耀林、任金卫、张岳桥、张家声、赵俊猛对本书研究工作的指导和支持。感谢地震出版社王伟对本书出版付出了努力。

本书中提出我国陆区大震预测途径的战略战术方向和战术工程建议，仅供科技人员和管理人员参考。本书编写过程中难免存在问题，敬请读者提出意见和批评。

目 录

第一章 全球近代地震活动	1
§ 1.1 全球地震活动构造特征	1
§ 1.1.1 太平洋海底洋壳大陆边缘构造带	1
§ 1.1.2 北半球中纬度的四个高、中原地震密集区带	3
§ 1.1.3 全球三大洋脊构造带	8
§ 1.2 全球地震活动时间演化特征	13
§ 1.2.1 全球地震时间分布特征	13
§ 1.2.2 大洋中脊地震活动性	15
§ 1.2.3 全球强震活动与板块运动	15
§ 1.3 全球地壳运动的控制作用因素	16
§ 1.3.1 地球形状的非对称性	16
§ 1.3.2 地球内部热散失量的非对称性	18
§ 1.3.3 地球磁场的非对称性	20
§ 1.3.4 地震波速、密度场、地壳运动的非对称性	21
第二章 中国近代地震活动	23
§ 2.1 中国历史地震	23
§ 2.2 中国近代地震活动	25
§ 2.3 中国地震活动特征	31
§ 2.3.1 中国大陆主要地震区带	32
§ 2.3.2 中国地震活动分区特征	35
§ 2.4 中国地震活动动力来源	38
§ 2.4.1 地球板块运动与中国大陆地震	38
§ 2.4.2 地球深部动力活动与中国大陆地震	47
§ 2.4.3 人类活动与地震	57
第三章 地震预测预报历史与现状	65
§ 3.1 国际地震预测预报历史和现状	65
§ 3.1.1 国际地震预测预报沿革和曲折	65
§ 3.1.2 国际地震预测预报探索现状	68
§ 3.2 中国地震预测预报历史与现状	72
§ 3.2.1 中国地震预测预报发展历程	72
§ 3.2.2 中国地震预测预报探索进展	74

§ 3.3 关于地震预测预报的争论	75
§ 3.3.1 国际地震预报的争论	75
§ 3.3.2 中国地震预测术的诞生和发展	81
第四章 中国陆区地震预测途径探索战略方向研究	83
§ 4.1 中国地震预测途径战略方向的探索	83
§ 4.1.1 汶川地震对地震预测途径研究的启示	83
§ 4.1.2 地震预测途径战略方向之一——地震机理研究	100
§ 4.1.3 地震预测途径战略方向之二——地震前兆观测研究	101
§ 4.2 探索地震发生机理	102
§ 4.2.1 地震成因机理认识	102
§ 4.2.2 汶川地震的特征与科学问题	107
§ 4.2.3 探索地震“基因图谱”	110
§ 4.3 探索地震发生过程的前兆	113
§ 4.3.1 地震发生过程中的前兆现象	114
§ 4.3.2 地震前兆观测效能图谱	132
§ 4.3.3 地震前兆现象的探索	147
第五章 中国地震预测途径战术方向探索	149
§ 5.1 重视地震预测途径的战术方向	149
§ 5.1.1 地震预测途径的战术方向之一：注重地震预测区域特色	149
§ 5.1.2 地震预测途径的战术方向之二：动态跟踪地震发生的过程	150
§ 5.2 确立中国大震巨灾的时间、地点和震级工程（TLM）	152
§ 5.2.1 大震发生的科学判断	153
§ 5.2.2 大震灾害的科学判断	157
§ 5.2.3 设立大震巨灾时间、地点和震级的工程	157
§ 5.3 新技术研究成果转化工程——“地下云图”工程	158
§ 5.3.1 动态地脉动噪声地下成像技术工程	158
§ 5.3.2 动态主动震源岩石圈和深部探测工程	161
§ 5.3.3 甚低频电磁波岩石圈探测工程	170
§ 5.3.4 自主创新发展动态深部探测技术	173
§ 5.4 地震前兆现象动态跟踪工程	173
§ 5.4.1 建立不同区域的动态前兆观测跟踪网	174
§ 5.4.2 发展空间对地观测跟踪网	175
§ 5.4.3 建立全国宏观前兆观测技术体系	176
§ 5.4.4 采用高新信息动态处理技术	176
第六章 结语	177
参考文献	180

第一章 全球近代地震活动

地震是构造活动的表现形式之一。全球 1900 年以来地震的发生可分为三大类：①环太平洋海底地壳与陆缘地壳相碰型；②陆块地壳与陆块地壳相碰型；③三大洋脊张裂型（马宗晋，1982；马宗晋等，1992；马宗晋等，2010）。全球三类地震的分布也描绘出了三个全球级的地震构造系统（图 1-1-1）。从时间上看，地震活动在时间上分布是不均匀的，呈现强弱交替特征。地球内部结构非对称性和非均匀性，对全球板块运动以及地震的空间分布可能有一定的控制作用。但是人类真正精确准确观测地震也只有百年历史，这些问题还需进一步深入研究。

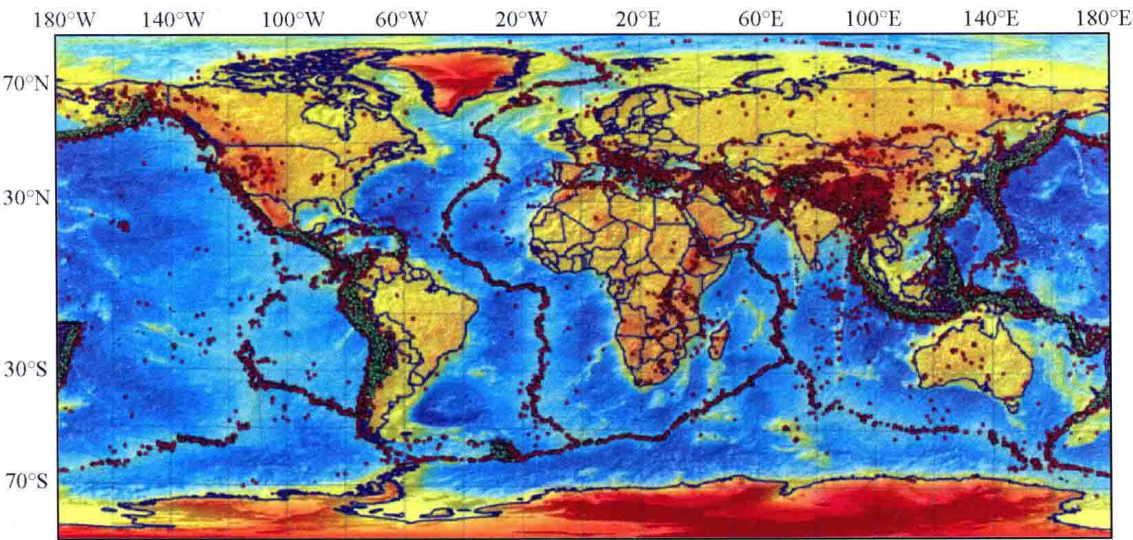


图 1-1-1 全球地震分布图

§1.1 全球地震活动构造特征

§1.1.1 太平洋海底洋壳大陆边缘构造带

太平洋海底洋壳大陆边缘构造带即环太平洋构造系，多发生浅、中、深部的地震。环太平洋构造系范围与环太平洋地震带一致，其表现为向西北方向的斜马蹄形，全长约 40000km，从中可概要地分出南美大陆西边缘、北美大陆西边缘，阿留申岛弧，东北亚三个弧型列岛和东南亚大弧形复杂弯转的大片海区列岛群。此外，在北美与南美两块大陆之间特有两个突向东的小弯月形浅、中俯冲带，这两个俯冲带向正东推进的海底运动方式与推进时代、形态是各不相同的。

南美大陆的西边缘带地貌为海拔约 5000 ~ 6000m、南北长逾 7000km 的安第斯山脉，其西侧相伴而行的海沟深度一般可达 5000 ~ 6000m，秘鲁西侧海沟最深处达 7806m。安第斯褶皱带经受了多次构造变动，有大量的火山和地震活动，且有突出的分段发生现象。分段向东俯冲入海底地壳的部分均表现为窄长的“板条”状，成排的板条一种是上弯躺椅型（上拗型），其山顶无火山喷出，它的前端也少有深源地震，另一种下弯单斜深俯冲型板条（下拗型），其山岭顶部多有连串的火山口，山岭以下均有地震与火山的共同发生，至于一条条“板条”构造的边缘交错地段往往是发生巨震的地下部位（图 1-1-2）。

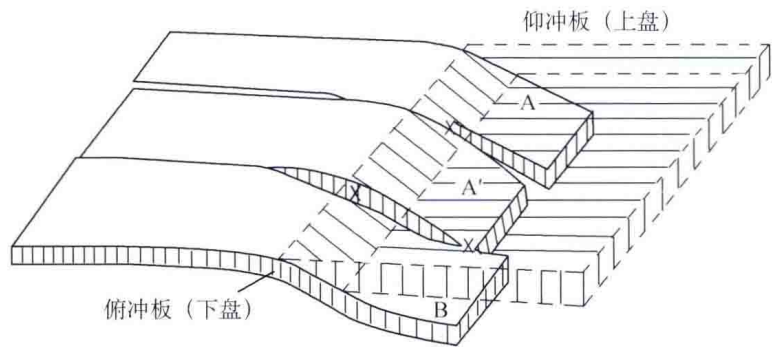


图 1-1-2 板条俯冲差异变形的示意
A, A'——下拗型；B——上拗型；×——易产生强震部位

北美大陆的西边缘构造带从下加利福尼亚半岛，向北沿美加两国的海岸山脉，几乎都是以走滑为主的构造地震活动带。其中只在从不列颠哥伦比亚南部海岸外至北加利福尼亚有一小段浅俯冲构造和火山喷发。有人认为，北美西半部次高原并不是中生代晚期的科迪勒拉山系的一部分，也不是落基山脉东南段的一小部分，如果我们更适当地把这一块以南北两条近东西向的科罗拉多高原的南界和圣海伦斯向东的边缘带认定是一巨大的次高原，则可断定该次高原是新生代以来形成的整体地貌形态。

北冰洋南部边缘的阿留申弧形列岛看来是统一的地貌，但其短小的西段阿留申列岛以南恰有一条近南北向的帝王海山分隔了弧形列岛的小半段，而其东侧大半段连贯发生浅震和中、深震及火山活动，但西部的一小段仅有浅震且少有发生，而且也没有火山的伴生，看来东大段和西小段构造活动不同。

东北亚大陆以外有鄂霍茨克海、日本海和中国大陆以外的东海，在这些亚洲大陆的外缘海以外有千岛群岛、日本群岛和琉球群岛，它们都是一系列弧形列岛，这些外缘列岛都是大陆边缘新生代时期向外海长距离推移的结果。东亚大陆边缘向东南推出，贝加尔湖和中国大陆东半部也都显现了向东或向东南方向较大规模的外推，其中马里亚纳群岛现已清楚地表现出北太平洋西边区向东快速推动的迹象。

菲律宾群岛向北直接连串于中国台湾岛东部边缘大断裂带，是巨震多发的断裂带。从菲律宾群岛南端的棉兰老岛继续向南延伸为马鲁古群岛。上述的这些列岛几乎都割断了太平洋与南海，由此应当更深入地分析菲律宾群岛东西两侧构造活动的双关复杂变动。

侏罗纪中期以来，全球各地表壳的运动多有不同。太平洋北半部早期洋脊的东半部已快

速隐没于北美大陆的西部陆壳之下，构成北美西部的次高原，或者一并推挤成以丹佛城为标志的南北向陡变地形，促成明显的次高原地貌边缘带，高差达 2000 ~ 3000m。北太平洋海底有门多西诺断裂和默里断裂等都是直接伸向北美西部次高原，与此类似的海底断裂群组都明显地表现出快、慢向东推进的“板条”，其运动速度及几何变形均有差异。南太平洋洋脊构造两翼近于等同伸展，例如靠近赤道的加拉戈斯断裂和靠近南极的复活节断裂带，它们都是明显的“板条”构造。它们成组的板条突现左支“人”字形一系列左型错动，明显地展现出与太平洋弧形边缘带的扭转动力作用，与北太平洋区的板条组运动截然不同。

§1.1.2 北半球中纬度的四个高、中原地震密集区带

大陆地震主要发生在大陆碰撞造山构造系，即大陆构造系。这个构造系主要分布在北半球 25°N ~ 55°N，是一个宽度达 2000 ~ 3000km 的环带。马宗晋等（2010）根据全球地震分布的格局、活动及其与地壳构造的关系等，将北半球大陆地震环带分成中国—蒙古地震构造区（简称中蒙地震构造区）、伊朗—阿富汗—巴基斯坦地震构造区（简称伊阿巴地震构造区）、东地中海地震构造区和北美地震构造区四个地震构造区。四个地震构造区的东、西半区呈现反对称的地震活动，即西半区都是多震的，而且主要的地震构造方向都是北西向的，而东半区都是少震区，地震构造方向都是北东向的。图 1-1-3 中列出了北半球中纬度（25°N ~ 55°N）带内四个彼此近于相似的高、中原构造地震密集区，其特点可列述如下。

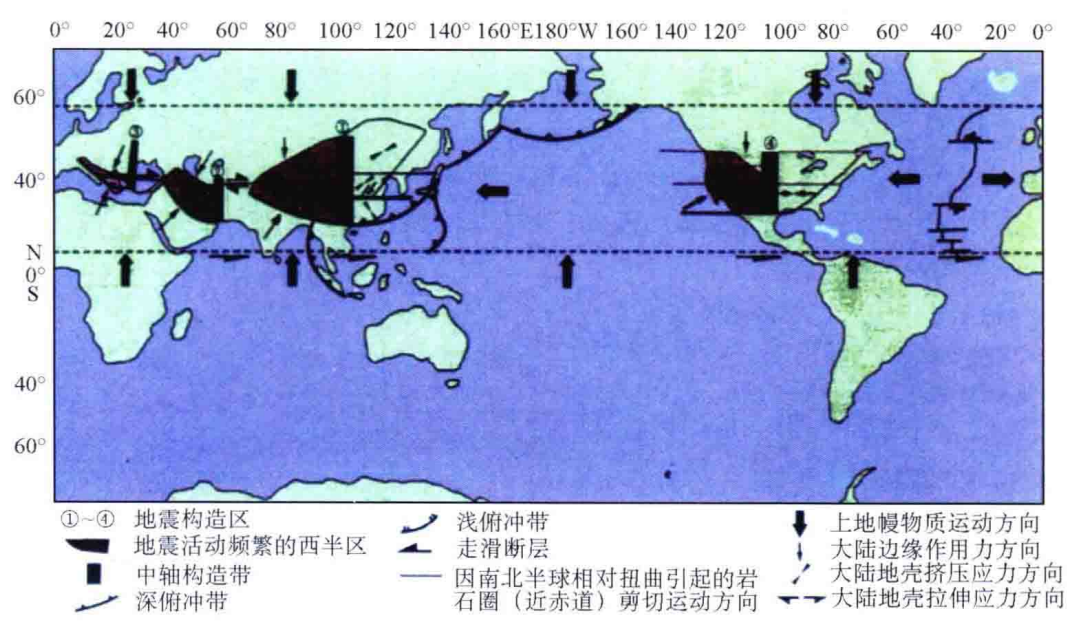


图 1-1-3 北半球大陆区四个地震构造区

1. 中国—蒙古地震构造区

中蒙地震构造区，位于中国和蒙古的西部。构造区内大致以 102°E ~ 108°E 经向线为界，可分为东、西两大区，它们在地势、地质构造、山带的活动、盆地的类型、地球物理场的特征、地震活动和现今应力场等方面都存在系统的差异，总体上可称为反对称或非对称关

系。中蒙西部是世界上大陆区内面积最大的高原。

印度大陆和欧亚大陆之间有一条大弧形的喜马拉雅山，带宽 200 ~ 300km，高度 8km 以上，山峰连串，堪称世界屋脊。高山北部宽体高原近千余千米，南边山带有冈底斯山，中间有唐古拉山，北边最为明显的山带属昆仑山脉。该高原东西长约 3000km，西侧有两条 NW 向浅断裂谷，东半部有两条明显的 NE 向长断裂谷。EW 向的昆仑山脉、天山山脉与 NWW 向的祁连山和 NEE 向的阿尔金山的交切格局，夹持了塔里木和柴达木两个沙漠盆地，还有天山以北近似三角形（“△”形）的准格尔盆地。中蒙边界 NW 向的阿尔泰山脉和 NWW 向的戈壁阿尔泰山脉与西蒙中间地带的 NW 向的杭爱山脉之间是科布多河和扎布汗河，河流流向为 NW 向。而一系列由杭爱山向北流出的 SN 向河流，如楚鲁特河、哈努伊河等，汇合后沿 EW 向流动，而后又转向 SN 向注入贝加尔湖的南端。乌兰巴托以东的河流流向则都是 NE 向。上述的河流地貌显示了蒙古大地呈“山”字形构造地貌。蒙古“山”字形构造的 SN 向中央地带，西部可以苏库古尔湖及楚鲁特河所在的 100° 经线为界，东部可以 106° 经线附近的四条以色列格河为代表的江根为界。这样，蒙古中央地带所在的 100° ~ 106° 经线宽带恰好与中国宁夏 SN 向构造带相连接。

从印度到西蒙古一系列 NWW 向山脉构成藏蒙高原的三角形（“△”形）构造大区。NE 向的边缘带受一系列切穿此边缘带的 NW 向断裂控制，从而在重要的交切点多有 7.5 级以上的大地震发生，百年来已发生过 10 次左右。近 SN 向的边缘带，百年来也发生过 10 余次 7.5 级以上的大地震。以上两个高原边界带都是易于发生大地震的地带。由于印度板块由 SSW 向 NNE 方向的推挤，造成上述两个边界带受 SW 端和 S 端的推进力作用，近百年来约有 3 次或 4 次表现出向北推向贝加尔湖 SW 端的情况。而且印度板块向 NNE 开始推进中国大陆时，它的西、东两个端点都是发生高能量地震的多震区，都产生了中源地震密集带，可见印度板块两个支点所造成的地震具有局部中等俯冲运动的特点，其中帕米尔高原集中区则显现出多震丛集。同样，SN 地震带的南端出现以雅鲁藏布江大拐弯的江峰奇像大地貌区，成为散布或集群地发生 10 次左右 7 级以上浅、中地震的高密集区。藏蒙高原的西北边缘带近百年来已发生 31 次 $M_s \geq 7.0$ 级地震。从帕米尔峰群强震密布的 WS 端到 NE 方向高原构造带有多次 $M_s \geq 7.0$ 级的强地震。这些边缘构造带内的强震除了 4 次集中在帕米尔高峰群区内发生外，其余都是在一个个以 NW 向切割边缘构造带的断裂内发生的单独巨震。如费尔干那山断裂两个端点发生的阿图什 6.9 级和伊湖 7.3 级地震，楚伊犁山 WS 侧指向吉尔吉斯东端断裂发生的苏萨梅尔 7.5 级地震，达甘迭累河指向阿拉湖附近发生的 7.3 级地震以及斋桑 7.3 级地震，还有富蕴 8.0 级地震以及新疆阿图什附近的 8.25 级巨震和新疆沙湾南发生的 8.0 级巨震（图 1-1-4、图 1-1-5）。

根据中国地势、航磁、布格重力等资料所表现出的东、西分区现象和线状构造格局，绘制了中国现今盆山格局纲要图（图 1-1-6）。图中以中区折线区为界，把中国大陆分为东、西两区。东区以 NNE 向、NE 向和 EW 向构造带构成主格架，盆地位于各向构造带围成的区域中。西区则以 NWW 向、NE 向和 EW 向构造带构成主格架，盆地位于各构造带围成的区域中。

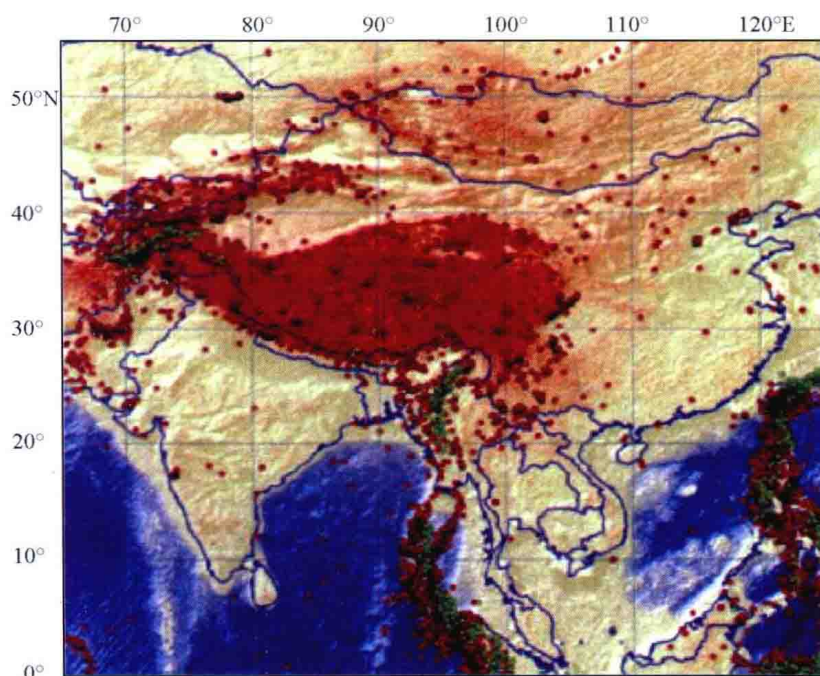


图 1-1-4 中蒙地震构造区地震分布图

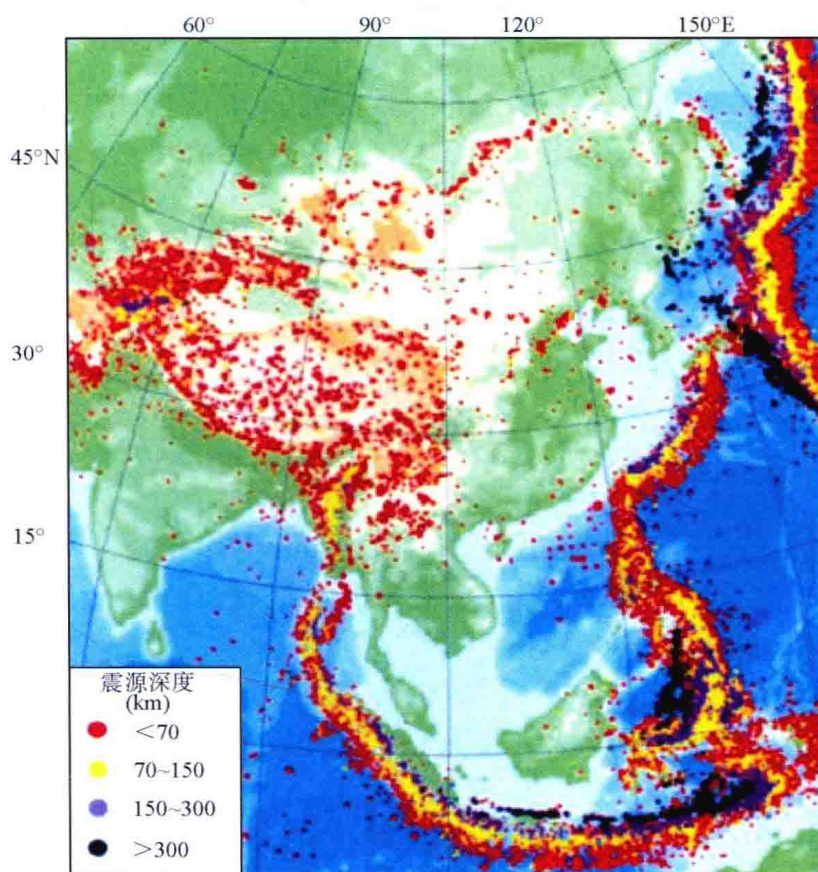


图 1-1-5 中蒙及东南边缘海地区地震分布图

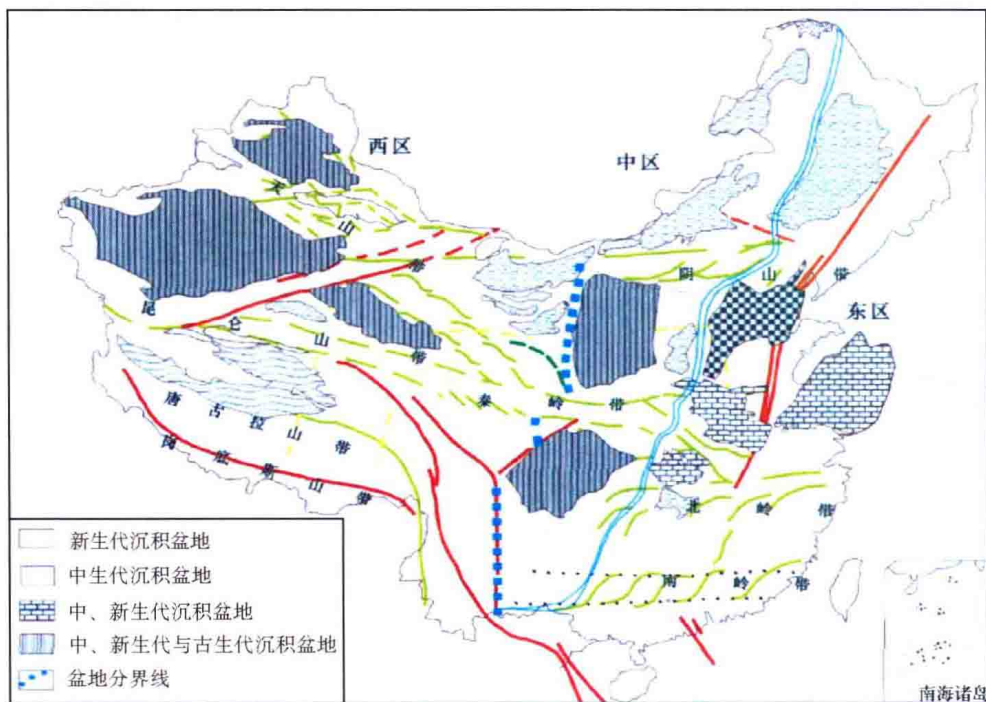


图 1-1-6 中国现今盆山格局纲要图

2. 伊朗—阿富汗—巴基斯坦地震构造区

伊朗是一块以红海和沙特阿拉伯及波斯湾等以 NE 向推挤作用于伊朗次高原和大高加索隆起带的地带，它的扎格罗斯山脉和厄尔布士山脉都接近于 NW 向构造，总体体现为近 NW 向构造地震带的群发动力作用。伊朗西北部位于土耳其境内的安纳托利亚地震断裂带内有较强烈的地震发生。伊朗东部 NNW 方向的隆起带分界于阿富汗，分界线两侧的地震活动十分明显地表现为西多东少，其间 NNW 的隆起带分界也同样类似于欧洲与亚洲之间明显的西部多震、东部少震的特征（图 1-1-7）。

3. 欧洲东地中海地震构造区

欧洲南部山海地貌展布形势比较复杂，亚平宁半岛、迪纳拉山脉和斯塔拉山脉都是 NWW 向平行地震山带，东喀尔巴阡山脉远离同向山带，是 NW 向南端转拐点的中深巨震集中区。山势高陡的阿尔卑斯山脉、亚平宁半岛东南端的拐点都是多发巨震的地区。除此之外，迪纳拉山脉、品都斯山脉直插爱琴海，并在此小海的复杂小岛群及其深海南缘小山岛也密集地发生深俯冲地震。爱琴海东部靠近土耳其西部有一小段山原低地，有趣的是罗得岛南北向边界带西侧为多震区，而东侧则是少震区（图 1-1-8）。Mckenzie (1970) 给出了这个地带地震多少的差异小图，并在短距离的 SN 带内指出三条 EW 向隆起短带。

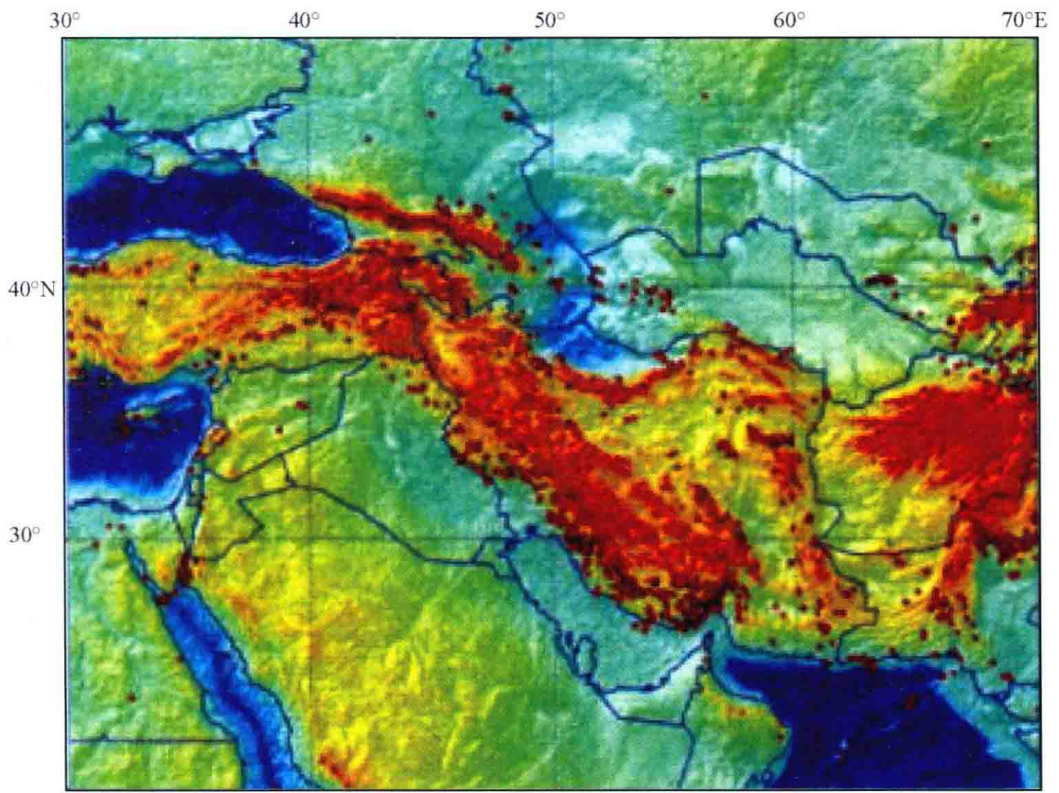


图 1-1-7 伊朗—阿富汗—巴基斯坦地震构造区地震分布图

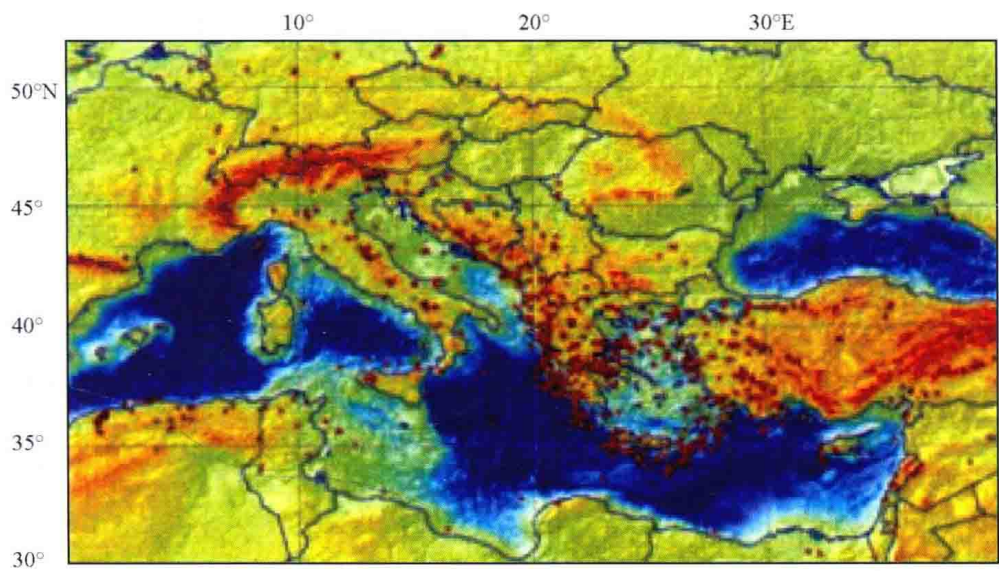


图 1-1-8 欧洲地震密集区

4. 北美地震构造区

关于北美大陆西半部中等次高原的动力作用曾经有两种认识：早年有地理-地质学者明确认定发源于加拿大西部，由此统称其为北美西半部次高原，即洛基山高原。但现今北美西半部的山形山势实际是一片近于整体性的次高原，它东部边缘实际是以丹佛为标志的南北向地势陡变带，高差至少是 2~3km，由此向西直达内华达山脉和太平洋海岸山带，由东向西，范围在 105°W~123°W，由北而南范围在 45°N~35°N，是一个整体性的次高原。次高原的东部边缘带呈现出三条短的地形横向隆起带，地震活动主要集中在西部边缘带和东部边缘带。此外，北美的东半部基本上都是平原地形，只是靠近东部沿海有 NE 向阿巴拉契亚低山带，但东部地区地震活动明显低于西部次高原的地震活动（图 1-1-9）。

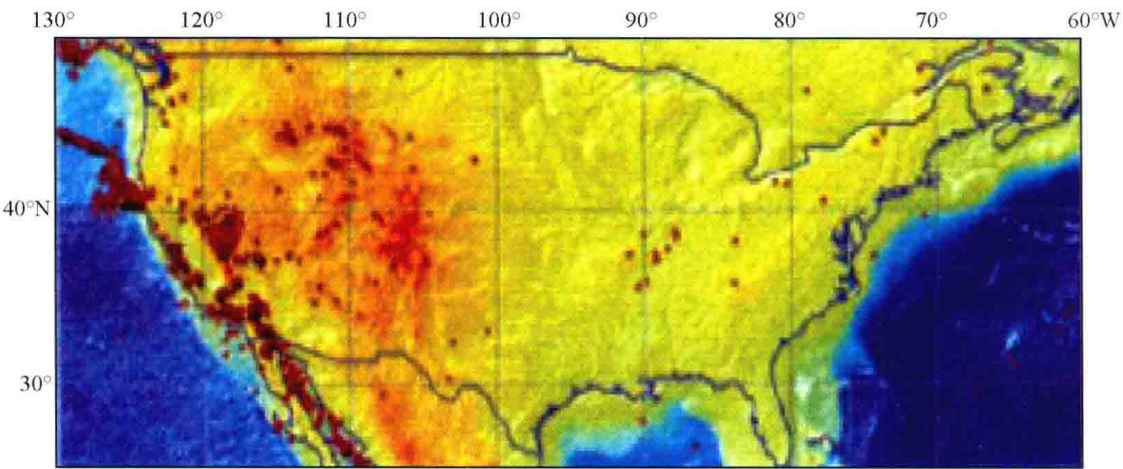


图 1-1-9 北美地震密集区

北半球四个高、中原地震密集多发的构造活动区，其东半部都是地震少发区，其发震构造多以 NE 向构造为主，西部多震区主要是 NWW 向的构造地震区，西、东两个半部呈现反向的构造活动。四个窄中央地震带内都包含四条近 SN 向的短隆起带，也都有中等强度的地震活动，此现象早期是英国地震学家 Mckenzie（1970）发现的，并初绘了一张示意图。其后，在近 30 多年来，已认定北半球印度洋地块自从中生代前期围绕南极多块体成群并合之后，于新生代早期印度板块向东裂出至 80°E 经向线，并快速转向北，逐步向前推进。到 50Ma 前后接近中国南半部的边缘带后拼碰、推挤，以至浅俯冲于陆壳之下，促使西藏陆壳增厚，如今已达到 70km 以上。据我国多部门和多国物探专家长时间的探查，现已都认识上述成果。至今青海盆地乃至祁连山北缘仍有向南俯冲的现象，有待今后进一步研究。

§1.1.3 全球三大洋脊构造带

大洋中脊起始于北冰洋的拉普帖夫海，穿过冰岛，纵贯大西洋，环绕南极洲，又从东太平洋伸展至北美的西海岸，蜿蜒 75000km，是地球上最长的山脉（图 1-1-10）。同时，太平洋洋脊、大西洋洋脊和印度洋洋脊上地震和火山活动密集，是全球三大活动构造系之一。侏罗纪中期以来，全球三大洋脊表壳的运动各不相同。

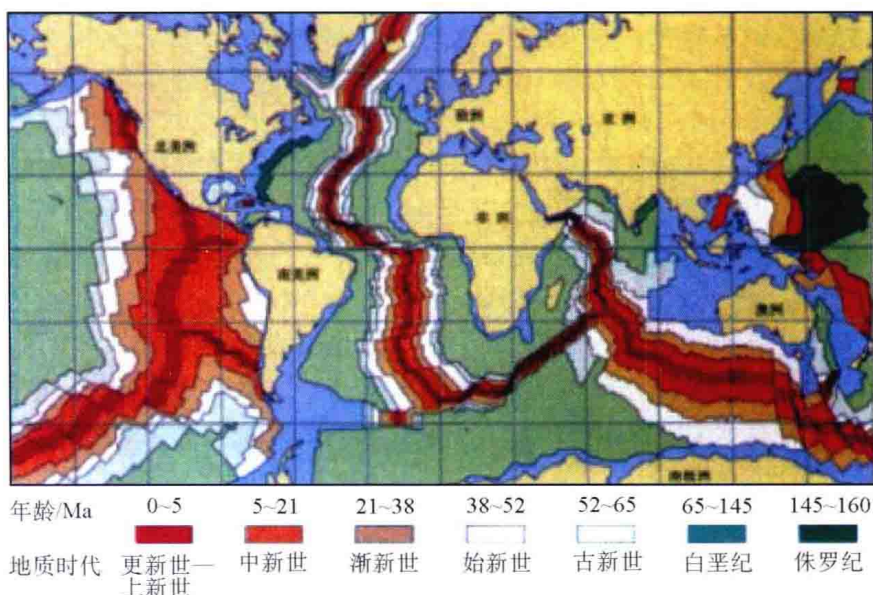


图 1-1-10 全球三大洋脊的展布

1. 太平洋洋脊构造

太平洋北半区早期洋脊已由西向东快速推进到北美大陆的西半部陆壳之下，或者是北美大陆西半部地壳被推挤在一起，造成北美西半部陆壳的增厚。新生代以来北美大陆西半部地貌已形成非常明显的次高原，丹佛是它东部南北向边缘陡变带的地标，次高原海拔约在 3km 左右。此北美次高原的西部海岸带和 NW 向内华达山脉也是次高原的山带。49°N 纬向线大约是加拿大与美国间的分界线，北美与墨西哥的南北界是在 35°N 纬向线附近，所以北美的西部次高原即构成一大块近于倒梯形的地貌。该次高原是北美西半部的地震密集区，而它的东半部则是低平原区和一条 NE 向的阿巴拉契亚山脉，那里只伴生少量的地震活动。南太平洋内的洋脊构造与北太平洋洋脊很不相同，因为南太平洋洋脊两侧都有比较类似的对称洋脊构造。北半球太平洋洋脊的西侧海底有几条明显的转换断层，如门多西诺断裂和默里断裂等切割的多个“板条”构造，而南太平洋区洋脊两侧都有转换断层错动，如加拉帕戈斯断裂和复活节断裂等。

南太平洋的“人”字形西支大洋脊，是西部一条呈半环形的洋脊带，从新西兰岛 NNW 方向断裂带直接切过靠近南极洲附近的左型 NWW 向洋脊，约有 15° 错距。类似的右型 NWW 向（沃尔维斯海岭 40°S 和几内亚海岭 10°S），也明显切过近 20° 经度距离，再者 35°S 和 30°S 有两条长距离的剪切断裂，但并没有切断该地段的洋脊带，这两条低倾角的 NWW 向转换断层并没有明显的地震活动，但它们都显现了一连串火山涌出的亮点，它们很可能发展成为萨摩亚群岛与斐济群岛之间极为多发的巨震地段。

2. 印度洋区域内洋脊构造

印度洋地块在中生代前期已围绕南极多块体集成群体，新生代早期印度板块即向东裂出至 80°E 经度线，并快速向北推向中国西半部。当接近中国大陆西半部时即开始拼碰、推挤

以至浅俯冲于陆壳之下，促成了西藏陆壳的增厚。我国多部门和多国物探专家多次连续探测了西藏东半部和青海部分地区，提出西藏东部高原有近 70 乃至 80km 的地壳增厚。印度块体以低倾角插入西藏约 2000 ~ 3000km，但至今还有由青海乃至祁连山北缘向南相对俯冲，看来这种由北向南相对俯冲的构造尚待进一步研究。

从印度洋区的内部可以划定它的边缘带，其东部应以印度尼西亚大弧形构造和菲律宾群岛以西大片岛群作为界定南太平洋为印度洋东区群岛边区。而印度地块的西南部则有“入”字形洋脊分布。EW 向的罗德里格斯断裂切断了“入”字形洋脊的交切部位，而近 SN 方向的阿姆斯特丹断裂带则右型切断了东段洋脊。靠近非洲东部边缘带近 SN 向的莫桑比克断裂带、爱德华王子断裂带和马达加斯加海岭、马拉加斯断裂带和马斯卡林海盆带，这三条近于平行的构造都可以看作未来破解非洲东半部的裂出构造。马达加斯加小岛、非洲东北部阿拉伯地块的裂出，还有非洲大陆靠东部的尼罗河和火山与颇显规则的裂谷张陷可能都是未来的张裂构造（图 1-1-11）。

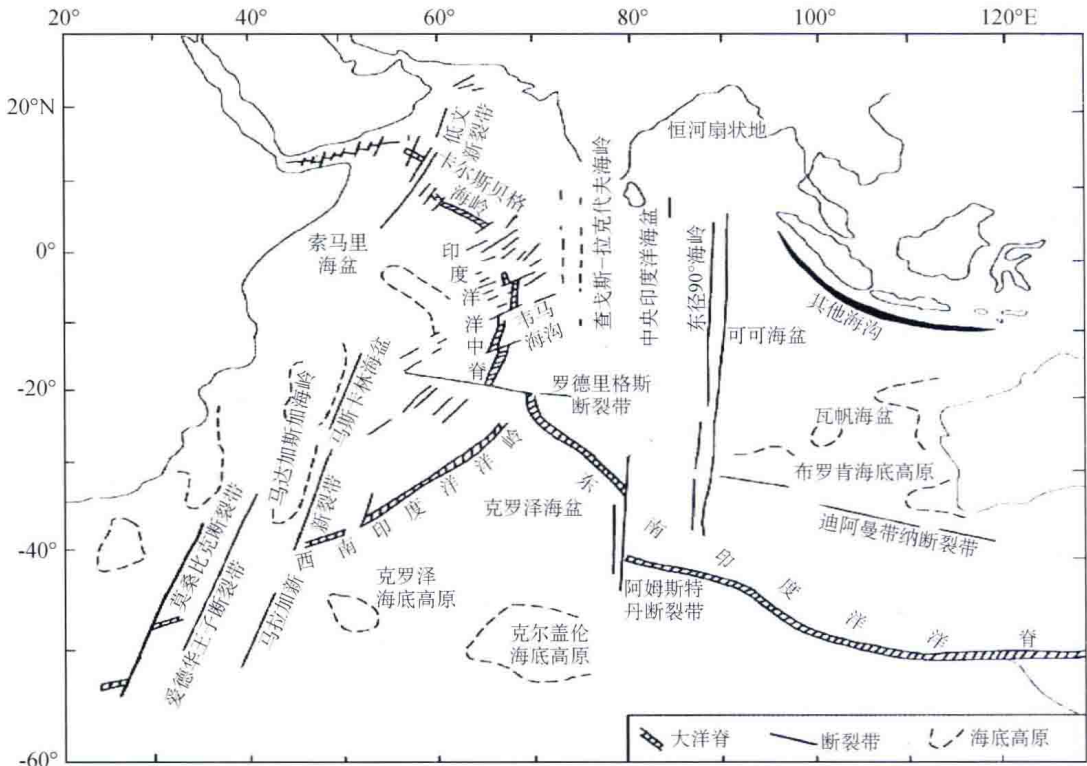


图 1-1-11 印度洋的构造及地形

3. 大西洋洋脊构造

大西洋中脊向北、南两侧的分段延伸大西洋洋脊纵贯大西洋中部，总体形态呈“S”形。大洋中脊地形起伏，以隆起为特征，轴部有轴向裂谷存在，其两侧以断层为界，在南大西洋中脊还存在着向两岸延伸的海岭，如沃尔维斯海岭。大西洋洋脊基本是从赤道先向北张裂一个段落，其后又向北和向南发展张裂，其次则是第三个两向的张裂，最后则裂向两极。