



菲律宾地质构造及其区域成矿主要特征

菲律宾位于亚洲东南部、太平洋西南隅的群岛上,其东朝太平洋,西接中国南海,与中国南沙群岛相邻,南隔苏拉威西海,与马来西亚和印度尼西亚相望。全国面积29.97万 km^2 ,由7 100多个大小不一的岛屿组成,其中,面积大于1 000 km^2 的岛屿有吕宋、棉兰老、萨马等13个,约占全国总面积的96%。菲律宾群岛大体可分为4个部分:北部吕宋岛及其附近岛屿;中部米沙鄢群岛,包括班乃岛、内格罗斯岛、宿务岛、保和岛、莱特岛和萨马岛等;南部棉兰老岛及其附近岛屿;西部巴拉望岛及其附近岛屿。8 900万人口以马来族为主。菲律宾是多山国家,山地面积占总面积的2/3,最高峰是棉兰老东南的阿波火山,海拔2 954 m。全境除少数内陆平原外,仅在沿海零星分布有狭窄平原。各岛屿上的河流短促,最长的吕宋岛卡加延河仅350 km长,虽然水流较急,不利航行,但水力资源丰富,海岸曲折,岛屿之间均为浅海,珊瑚礁也较发育。菲律宾群岛东、西两侧为近SN走向的深海沟,其东侧紧临萨马岛和棉兰老岛,是世界最深的海沟,深度达10 497 m。菲律宾气候属于季风型热带雨林气候,高温、多雨、湿度大,年平均气温27 $^{\circ}\text{C}$,大部分地区平均年降水量在2 000~3 000 mm之间,只有西部地区有旱季(11月~4月)和雨季(5月~10月)之分,东部与南部地区终年多雨,无明显旱、雨季。全境火山甚多,吕宋岛东南的马荣火山是最大活火山,有“世界完美的火山堆之称”,地震频繁,每年至少数十次;台风多发,尤其每年6月~11月。菲律宾资源比较丰富,除黑色与有色金属矿产资源外,拥有53%的林区,各种优质木材资源相当丰富,还有充沛的水力资源、水产资源和地热资源。菲律宾经济虽然是以农业为主,但近年来采取了一系列改革措施,经济作物的种植、加工以及制造业、矿业和养殖业有较大发展,国民经济有明显改善。菲律宾交通以海上运输与公路运输为主,铁路运输比较有限,全国铁路总长仅1 500 km左右,主要集中在吕宋岛。

菲律宾地处太平洋板块西缘,地质演化历史不长,最老地层是石炭系。全国地层基本上可分为前新生界和新生界2大部分,前者分布零星,连续性差,后者发育较好,分布广泛。前新生界主要分布在菲律宾西部地区的巴拉望(Palawan)岛中北部、民都洛(Mindoro)岛西部和三宝颜(Zamboanga)等地,在东部地区吕宋岛的马德雷山、棉兰老(Mindanao)岛中央山脉以及比科尔(Bicol)和达沃(Davao)等地也有出露,其中以巴拉望岛出露的层序较全,最老的石炭系—下二叠统为一套厚层状细碎屑岩系,夹灰岩透镜体,现大多变质为千枚岩、板岩、页岩和片岩,未见底,厚度不详。中二叠统为砾岩、砂岩与灰岩,夹薄层凝灰岩,含牙形虫等化石,与下伏为不整合关系。上二叠统为灰岩,含丰富纺锤虫生物化石,厚数十米,与中二叠统呈整合接触。中三叠统分布较局限,为含放射虫的赤铁矿燧石岩,岩性横向变化较大,常过渡为绿片岩,厚度变化大,与下伏呈不整合关系。上三叠统—下侏罗统由灰岩、页岩和砂岩组成,厚数十米,与下伏中三叠统呈角度不整合关系。中侏罗统为砂岩、砾岩层,无生物化石,具弱变质,厚度一般为十余米。上侏罗统—白垩系分布较广,特别是在菲律宾中、东部地区,由玄武岩、安山岩、细碧岩夹层状凝灰岩、砂岩和页岩组成,大部分地区已变质为绿片岩,并且在上侏罗统上部 and 上白垩统顶部常含有蛇绿岩或蛇纹岩及超镁铁质岩。在吕宋的马德雷山和棉兰老岛的迪望达山一带蛇绿岩可延伸至古新统中,但多以逆冲断片形式出现,与地层呈断层不整合关系。

大部分地区缺失古近系的古新统,尤其是下古新统,只有在吕宋岛、宿务(Cebu)岛和内格罗斯(Negros)岛见有出露不全的砾岩、砂岩及凝灰质砂岩。始新统发育较好,但横向变化大。在北部吕宋岛以玄武岩、安山岩为主,夹少量安山质火山碎屑岩和灰岩透镜体,厚度变化较大,而在南部巴拉望、内格罗斯以及三宝颜、迪望达山一带则以砂岩、页岩和灰岩为主。在民都洛岛见有底砾岩,而在巴拉望一带灰岩厚度较大,达数十米,并含生物化石。渐新统除在中部班乃(Panay)岛、马斯巴特(Masbate)岛、莱特(Leyte)岛东部以及宿务岛北部等地缺失或大部分缺失外,在北部吕宋岛和棉兰老岛中央山脉等地仍然以火山岩地层为主,为中-基性火

山熔岩与凝灰岩互层,偶夹碎屑岩,其他地区下部以碎屑岩为主,上部以碳酸盐岩为主,构成一次沉积旋回,厚数十米,与下伏始新统呈整合接触。新近系发育比较全,相对研究程度也较高,中新统在南部巴拉望至棉兰老一带其下部以碳酸盐岩为主,上部以碎屑岩为主,构成一套海退层序;中部民都洛岛一带以粉砂岩、砂岩、页岩、碳质页岩为主,夹灰岩透镜体和煤层,展现出海陆交互特点;北部吕宋岛一带基本上以砾岩、砂岩、页岩,夹玄武岩、凝灰岩和少量灰岩,厚度变化大。中新统除巴拉望地区外,其他与下伏多呈不整合接触。上新统主要由砂岩、粉砂岩与薄层灰岩组成,从沉积特征看,其中有 2 个以上沉积旋回,并且在其中部常含碳质页岩、薄煤层或煤线,底部砾岩发育,最厚可达数十米。部分地区在其底部或下部夹 1~2 层火山熔岩和凝灰岩。上新统与下伏多呈角度不整合接触。更新统十分发育,从岩石组合可明显分为 3 种:一是中-酸性火山熔岩及其凝灰岩,厚数米至数十米,分布较广,主要于巴拉望、吕宋岛和棉兰老岛;二是砾岩和砂岩组合,个别夹薄层灰岩,厚度一般仅数米,主要在中部民都洛、班乃岛一带;三是灰岩、礁灰岩,厚度变化大,分布较零星,主要在内格罗斯岛和迪望达山。这 3 种岩石组合有时亦可混合搭配,构成上下层位,但这种情况不多。全新统以第四纪冲积层为主,个别沿海地区为海湾沼泽、海滩沉积以及珊瑚礁,在内陆山区多为阶地砂砾层,厚度变化较大,个别河谷地带可见全新世安山质和英安质熔岩流与玄武质熔岩。全新统与下伏更新统均呈角度不整合关系。

菲律宾岩浆岩比较发育,基本上可分为蛇绿岩和花岗岩类 2 大类。蛇绿岩在菲律宾分布较广,常呈带状分布,最主要有如下 6 个带:

(1) 三描礼士(Zambales)带:在吕宋岛西海岸,由北部伊罗戈(ILoccos)经三描礼士山脉,跨海至卢邦(Lubang)群岛和民都洛岛,呈近 SN 向展布,略向西凸出,倾向总体向东。其中,以三描礼士山最发育,由橄榄岩、厚层状粗晶辉长岩、辉绿岩脉和燧石岩-细碧岩组成,其上被晚始新世—早渐世浊积岩整合覆盖。

(2) 安蒂克(Antique)带:位于菲律宾中部地区,班乃岛西部及其附近岛屿,呈 NNE 向展布,有人认为该带属于三描礼士带南延,因断裂构造而错断和变形。该带蛇绿岩主要分布于锡布延(Sibuyan)岛和安蒂克地区,以橄榄岩-纯橄岩为主,其次为辉长岩。纯橄岩含小型铬铁矿。在安蒂克地区蛇绿岩呈构造断片出现,橄榄岩-纯橄岩已强烈蛇纹石化,而有经济价值的块状硫化物铜矿常出现在燧石岩-细碧岩断片中。

(3) 卡西古兰(Casiguran)带:于吕宋岛东海岸,帕拉南(Palanan)至巴莱尔(Baler)一带,呈 NNE 向展布,与吕宋东部海槽几乎平行,以块状橄榄岩大规模分布为特征,还有少量辉长岩和燧石岩-细碧岩,在逆冲断层中橄榄岩与含块状硫化物铜矿的燧石岩-细碧岩接触,并伴有浊积岩。

(4) 比科尔(Bicol)东棉兰老带:该带位于菲律宾群岛的东侧,包括比科尔半岛东部、萨马(Sama)岛、迪纳加特(Dinagat)群岛和棉兰老岛东部沿海地区,呈近 NNW 向展布,与太平洋海沟近于平行。该带蛇绿岩分布断续、零散,在萨马岛南、迪纳加特岛和苏里高(Surigso)一带较为集中,以橄榄岩与纯橄岩为主,其次为辉长岩和辉绿岩,常呈层状或脉状产出。纯橄岩常含铬铁矿。细碧岩与橄榄岩常呈断层接触。蛇绿岩被渐新世至上新世地层覆盖。

(5) 三宝颜(Zamboanga)-苏绿(Sulu)带:位于菲律宾群岛南部,由三宝颜半岛通过苏绿群岛至西南端的巴林宾(Balimbing)岛,呈 NE 向展布,与苏绿海槽基本平行。该带于前侏罗纪变质基底岩层组成的大陆型地壳东缘,蛇绿岩主要在三宝颜附近和塔威塔威岛上,以蛇纹石化橄榄岩和辉长岩为主,燧石岩-细碧岩发育良好,但与镁铁质-超镁铁质岩关系不清,通常它与变质岩呈断层接触,或被第三纪沉积岩和火山岩覆盖。

(6) 巴拉望(Palawan)带:在西部巴拉望岛上,向南延至巴拉巴克(Balabac)海峡,呈 NNE 向展布。蛇绿岩在巴拉望岛中南部最集中,由大规模富铬橄榄岩和纯橄岩组成,巴拉巴克(Balabac)岛蛇绿岩主要由燧石岩-细碧岩组成,其中含具经济价值的块状硫化物铜矿。巴拉望蛇绿岩与前侏罗系大陆型变质基底岩层呈断层接触,而橄榄岩又被晚渐新世至早中新世灰岩覆盖。

从上述 6 个主要蛇绿岩带可以看出,它们多是由洋壳逆冲到前侏罗纪变质岩系组成的大陆型地壳中,呈不同规模断片产出,形成时期主要是在古近纪,其中规模较大的是晚白垩世—古新世、晚渐新世—早中新世,其次为晚始新世—早渐新世、晚上新世—早更新世,但不可排除晚侏罗世—早白垩世的活动。

花岗岩类在菲律宾的分布比较局限,规模相对较小,主要为花岗岩、花岗闪长岩和闪长岩,其次为二长

岩、正长岩及其相关的脉岩等,据接触关系及少量同位素年龄资料可分为前古近纪、古近纪和新近纪3期。

前古近纪花岗岩类零星分布在北巴拉望岛和北棉兰老岛,多沿前侏罗纪大陆基底边缘产出,岩体规模较小,以闪长岩为主,但由于受区域变质作用影响,其中的部分岩体年代尚需作进一步厘定。

古近纪花岗岩类主要分布在吕宋岛东、西部沿海地区。在西部沿海地区,花岗岩类主要分布于晚始新世至早渐新世蛇绿岩带中,并受前中新世向西倾斜的逆冲断裂构造控制,其中以三描礼士(Zambales)山较发育,主要为辉石石英闪长岩和角闪石英闪长岩。在北部伊罗戈(Ilocos)有较为特殊的奥长花岗岩。吕宋岛东部沿海地区花岗岩类年龄值在36~49 Ma,大部分侵入于受向西倾斜的逆冲断裂构造控制的火山岩带中,其中以帕拉南至巴莱尔一带最集中,主要岩性为石英闪长岩和二长岩,其次是在棉兰老岛东部达沃(Davao)及三宝颜一带,岩体侵入于白垩纪至始新世玄武岩和深海至半深海沉积岩层中,岩体规模不大,多为花岗闪长岩,其中达沃(Davao)岩体年龄值最大,为60 Ma。除此之外,在波利略(Polillo)岛、卡坦端内斯(Catanduanes)岛、萨马岛、班乃岛、宿务岛也有零星分布,其中,班乃岛东南古马拉斯(Guimaras)群岛的闪长岩年龄值为59 Ma,宿务岛中部花岗闪长岩年龄值为59.7 Ma。从目前的同位素年龄数据来看,菲律宾群岛中部地区古近纪花岗岩类年龄值相对比其他地区都大。

新近纪花岗岩类与古近纪基本相同,受限于主菲律宾弧,仍然主要集中在吕宋岛与棉兰老岛,但其具体产出特点与古近纪花岗岩类有所不同。吕宋岛新近纪花岗岩类主要集中于岛中部的中央山脉,而东、西沿海地区几乎缺失。吕宋岛中央山脉地区岩体有一定规模,基本上呈SN向分布。在棉兰老岛新近纪花岗岩类分布较广,在其东部达沃、南部哥打巴托(Cotabato)、西部三宝颜以及中部中央山脉均有产出,但岩体规模有限,比较分散,其中以中央山脉一带相对较为集中,主要受断裂控制,并以花岗闪长岩与花岗岩为主。除此之外,在马林杜克(Marinduque)岛、塔布拉斯(Tablas)岛、保和(Bohol)岛亦有零星出露。新近纪花岗岩类岩体往往与金属成矿作用在时空上有一定关系,如吕宋岛三描礼士山南部迪宋(Dizon)与硫化物铜矿有关的是中新世至上新世花岗闪长岩,在棉兰老岛与铁矿有关的是新近纪闪长岩至正长斑岩。

在菲律宾,第四纪火山活动十分普遍,特别是在吕宋岛中部与南部、棉兰老岛中部与西部、内格罗斯岛的北部以及比科尔半岛。自上新世以后,火山活动逐渐增强,大约在中-晚更新世达到高潮,并以中酸性至中基性岩喷发与溢流为主,主要岩性为安山岩、粗玄武岩和英安岩。晚更新世以后,火山活动范围与强度都有所减弱,并以中基性至基性岩溢流为主,主要岩性为玄武岩、橄榄玄武岩等,其中以棉兰老岛中部与西部最集中,玄武岩流分布面积达万余平方公里,并有多处活动火山口。吕宋岛马荣活火山至今还时有喷发。

菲律宾由于受太平洋板块活动的影响,前新生代岩层几乎都遭受到不同程度的区域变质作用和动力变质作用,有的在强烈逆冲断裂构造作用下岩石原始面貌全非,而且岩层连续性受到极大破坏,呈零星散布,难于对比。从全境看,其变质程度以绿片岩相为主,个别达角闪岩相,甚至榴辉岩相。现依据变质年代数据及其相互关系大体可将变质岩分为石炭纪—三叠纪和侏罗纪—古近纪2个时期。前者可能起源于菲律宾最老的石炭纪至晚三叠世地槽型地层。从北巴拉望、民都洛岛、班乃岛等地古生物资料,确定其变作用的时间是在晚三叠世至中侏罗世之间。在巴拉望北变质岩包含绿泥石-绢云母-石英-钠长石片岩和绢云母-黑硬绿泥石-赤铁矿-石英-钠长石片岩,在民都洛岛为绿泥石-绢云母-白云母-石英-钠长石-奥长石片岩和阳起石-绿泥石-石英-钠长石-奥长石片岩。从变质岩的矿物成分看,它显然是在低温和中低压条件下形成的绿片岩相岩石。在空间上这套变质岩系主要分布在菲律宾中西部地区的北巴拉望、卡拉棉(Calamain)、民都洛、库约(Cuyo)群岛、朗布隆(Romblon)群岛等地,并作为最老基底岩层出现,其厚度与组分,除三宝颜地区外,与菲律宾其他地区都难于对比,因此,有部分学者认为上述地区原先可能是个微古陆块。

侏罗纪—第近纪变质岩的变质时间推断为中侏罗世以后,变质相从低温-低压到高温-高压均有,而矿物共生序列基本上局限在绿片岩范围内,包括极高压-低温的蓝闪石片岩亚相;罕见的石榴子石-辉石的榴辉岩出现在辉石片岩相的高温-高压区间内。角闪岩相也有出现,但比较局限。侏罗纪—第三纪变质岩在菲律宾中部地区十分零星,主要在东、西沿海地区并构成3个带:沿菲律宾东部几乎与太平洋海沟平行的近SN向东菲律宾变质带;沿着民都洛岛和班乃岛西部与中国南海海沟平行的NW向西菲律宾变质带;沿着苏绿群岛与苏绿海沟平行的NE向苏绿变质带。值得注意的是,同构造橄榄岩和蛇纹岩体几乎总是与侏罗纪—古

近纪变质岩一起产出,因此有的学者认为可以从蛇绿岩地层中的玄武岩-燧石岩-硬砂岩去进一步研究该地区变质岩的原岩。

菲律宾区域构造特征比较明显,全境褶皱大致有3组。

(1)NW组,包括轴向变化于 $N45^{\circ}W$ 至 $N10^{\circ}W$ 之间的褶皱构造,主要产出在菲律宾北中部地区,它所涉及的范围既有基底地层的构造,如北巴拉望、卡拉棉群岛的晚古生代基底地层的褶皱构造,也有大范围的新近纪地层的构造,如民都洛岛上新统至下更新统的构造、马林杜克岛、邦奥半岛、布里亚斯岛、比科尔半岛、以及萨马岛北部新近系的构造。此外,棉兰老岛哥打巴托的渐新统至下更新统的构造也属于该组。

(2)NE组,包括轴向变化于 $N5^{\circ}E$ 至 $N45^{\circ}E$ 之间的褶皱构造,主要在菲律宾的西南部地区,涉及范围有巴拉望南半部古新统至下上新统、班乃岛、内格罗斯岛、宿务岛、保和岛以及三宝颜和苏绿群岛的渐新统至下更新统的褶皱构造。

(3)NS组,包括轴向变化于 $N5^{\circ}E$ 至 $N5^{\circ}W$ 之间的褶皱构造,主要在吕宋岛北部、棉兰老岛东部以及其相邻的萨马岛南部、莱特岛东部、迪纳加特(Dinagat)岛等地,涉及中新统至下更新统的褶皱构造。

大部分学者研究认为,上述3组褶皱系统中NE向构造体系可能是最早形成的,它代表菲律宾早期微古陆的原始构造,而后随着地质历史演化以及板块局部运动的结果,使区域构造线发生逆时针旋转,以致SN向和NW向褶皱构造叠加其上。

菲律宾断裂构造比较发育,主要有逆冲断裂与横断裂。前者规模较大的均沿菲律宾弧和苏绿弧边缘产出,最长的是在东部海域中近SN向的菲律宾海沟,其次是南部NE向的苏绿海沟、西部NE向的巴拉望海沟和西北部近SN向的南中国海海沟,而在菲律宾本土上逆冲断裂虽然比较发育,分布也较广,但规模比较有限,如棉兰老中央山脉的逆冲断裂、三宝颜逆冲断裂、萨马岛南逆冲断裂、民都洛岛东逆冲断裂、科比尔逆冲断裂等,长度最长数十公里。从这些逆冲断裂产状研究表明,大多数逆冲断裂的倾向是对着海沟,二者倾向往往相反。

横断裂也较发育,其中以菲律宾断裂规模最大。它起始于吕宋岛西部林加延(Lingayen)湾,沿吕宋中央山脉南部至波利略海峡,经邦奥半岛、马斯巴特岛和莱特岛,直至棉兰老东部的达沃海峡,全长1200 km。它是一条横斜的左旋断裂,水平分量位移大于垂直分量。研究表明,该断裂自古新世开始一直在活动,在莱特岛上新近系位移了8 km;1977年在莱特湾发生7.3级地震,使已存在的地裂缝位移了1.1 m至3.4 m。其他规模较大的横断裂有棉兰老NW向横断裂,长400 km,巴拉望近SN向横断裂,长30 km,班乃岛西北塔布拉斯(Tablas)近SN向横断裂,长350 km,吕宋岛北中央山脉NE向横断裂,长300 km等。这些横断裂大多为左旋剪切性质,对该地区火山活动起了重要作用。

(中国地质科学院矿产资源研究所 吴良士供稿)