

第一章 区域地质、自然地理与地球化学

第一节 区域地质

不同地质背景内元素的总体分布特点是与岩石和岩石组合类型紧密联系在一起，而一定的岩石组合类型又与构造背景密切相关。一方面，从原始地幔分异出来的地壳在地质历史长河中不断被改造，分出显著的层次，浅部以硅铝质为主，深部以硅镁质成分为主，上地幔则以铁镁质为主。另一方面，不同地球动力学作用下的构造活动不但可使地壳表层物质重新组合，而且还可将深部物质带到地表，改造地壳表层组分。现今地壳表层的原生物质横向分区、纵向分层的分布状态正是地质作用长期活动的结果。构造格局还决定了表层物质的迁移、聚集状态，隆起带主要为剥蚀区，盆地则为堆积区。此外，地貌分异和气候变迁还决定了物质迁移的速率和迁移量。

一、构造背景和岩石类型

(一) 构造特征

地壳表层的物质分布，乃是漫长地质年代直至现今岩石圈在构造演化过程中不断发展和改造的结果。我国地域辽阔，地质构造复杂，尽管早期形成的陆壳和古老构造奠定了岩石圈基本格架，但中-新生代的强烈改造，使我国陆壳和岩石圈发生了相当大的变化，它对我国陆壳构造和现代地貌上的盆岭构造格局起了十分重要的作用。

我国现今陆壳构造，以贺兰山-龙门山-康滇地轴为界，分东西两部分。东部称滨太平洋构造域，西部称喜马拉雅-西域构造域。

东部滨太平洋构造域陆壳以稳定型的刚性块体为主，自北而南包括内蒙古-大兴安岭和吉黑华力西褶皱系、中朝准地台、秦岭华力西褶皱系、扬子准地台和华南加里东褶皱系。构造域内从东到西发育有沿海陆缘、大兴安岭-太行山-武陵山和贺兰山-龙门山-康滇地轴三条近南北向的隆起带，与古亚洲体系的阴山和秦岭-大别山二条东西向隆起带相交切。在这些纵横交错的隆起带之间，镶嵌着时代不同、性质各异的盆地。主要包括松辽、华北和江汉大型裂谷盆地及陕甘宁和四川大型坳陷盆地。此外，隆起带的背景上也常出现一些小型山间盆地和断陷盆地，从而使整个构造域内形成独具特色的构造和地貌景观。

西部喜马拉雅-西域构造域陆壳则以活动型的柔性块体为主，该构造域又可分为两部分。南部称喜马拉雅构造域，北部称西域构造域。南部喜马拉雅构造域主要包括祁连-阿尔金-昆仑山以南的青藏高原区，为叠加在不同时代基底上的新生的碰撞造山带，

自北而南又可分为青海高原、冈底斯、北喜马拉雅和南喜马拉雅四个构造带，它们是碰撞期间的不同构造阶段和不同构造机制上由北而南依次连续演化的产物，这些构造带在地貌上表现为总体隆起，在隆起背景上发育有一些性质不同的小型山间盆地。北部西域构造域主要包括青藏高原以北地区，主要为北西、北西西向的古亚洲构造系，其中包括西昆仑-阿尔金山-北祁连加里东构造带、天山加里东构造带和阿尔泰加里东构造带等，这些构造带在地貌上构成了本区的隆起区。界于隆起带之间则为大型拗陷的盆地，如准噶尔、塔里木和柴达木等盆地，形成醒目的隆拗相间的构造格局。

我国由西向东、由北向南呈现阶梯状下降的地貌变化，乃是中-新生代构造运动对陆壳强烈改造的结果。在喜马拉雅构造域内，随着特提斯海槽自北向南后撤直至封闭，我国西南部也由北而南逐渐抬升。至晚喜马拉雅旋回，雅鲁藏布江以南构造作用以强烈挤压、褶皱和隆起为主，形成高耸的褶皱山系，青海南部高原则为引张作用下的断块山系，天山南北形成规模巨大的山前拗陷。与西部的情况相反，我国东部喜马拉雅构造期则以大陆边缘褶皱带为特点，其上发育了张裂盆地。中生代时期，中国东部地势以低山丘陵为主体，大兴安岭-太行山武陵山一线以东，以隆起为主的构造背景上，发育小型的山间盆地；此线以西的四川和鄂尔多斯则以拗陷为主，形成鄂尔多斯、四川-滇中大型拗陷带。直到白垩纪晚期，东部才断裂下陷，形成一系列断陷盆地。新生代以来，特别是晚第三纪以来，中国东部地形由高变低，甚至降到与海平面接近，因大陆边缘沉降，形成当今滨海平原地貌景观。

（二）岩石类型及其分布

我国岩石类型繁多，种类也异常复杂。目前国内外地学界在岩石分类命名中对某些岩石的分类原则和标准尚无统一的意见。从环境地球化学角度出发，区域环境中岩石的化学成分及其演变特点处于最重要的地位。沉积岩覆盖了 70% 的大陆，火成岩占地球总量的 95%，地壳火成岩与沉积岩的平均化学成分十分接近，因为沉积岩基本上是火成岩风化的产物。这两类主要岩石表征了原生地质背景和自然条件气候、地形地貌、生物等作用影响下的地球化学行为。所以，我们在划分岩石类型时，仅以岩石的主要化学成分为基础。一般说来，火成岩化学成分分类较细，沉积岩缺少大量化学分析资料，仅能结合岩石的实际矿物成分，并尊重传统的分类和习惯命名，划分为若干大类。

众所周知，岩石中主要的化学成分为 SiO_2 、 Al_2O_3 、 TFeO （全铁）、 MgO 、 CaO 、 Na_2O 、 K_2O 等，而 SiO_2 、 TFeO 和 MgO 等则是划分岩石类型时起较大作用的化学成分。因此，我们仅根据 SiO_2 和 $\text{MgO} + \text{TFeO}$ 的含量变化首先将火成岩划分为富硅铝硅酸盐岩类、硅酸盐岩类、镁铁质硅酸盐岩类和高镁铁质硅酸盐岩类，且前两类占主导地位。分布颇广，在不同地质时代和不同地质环境下形成的碎屑沉积岩类，尽管其形成条件比较复杂，矿物种类相对较多，但主要矿物仍以石英和长石为主，化学成分总体上 SiO_2 占优势，仅在镁铁质和高镁铁质火成岩类出露点附近通常形成范围不大的沉积的镁铁质相对富集区，因此，统一按碎屑混杂沉积处理归并到富硅铝硅酸盐岩类。一些非硅酸盐沉积岩类，如碳酸盐岩类，由于其成分和化学特征与硅酸盐岩类迥然不同，且在区域地层和地质意义上占有重要的地位，因而把它作为独立类型划分出来。对一些变质岩类因其是早先的火成岩和沉积岩变质作用的产物，则尽可能按其矿物和化学成分特征归纳到上

此外，这一岩类还包括一种以砂砾石和粘土为主的松散碎屑沉积。这里指的是第四纪以来包括还在继续形成的那些未胶结（或半胶结）的河、湖及海相冲积、洪积沉积物、黄土堆积和风成沉积物。这些松散岩类在地域分布上常随地形地貌及气候环境的不同而不同。

3. 富铝硅酸盐岩类 与上述富硅铝硅酸盐岩类相比，这类岩石的 SiO_2 含量和碱总量相对稍低，分别为 53%~66% 和 5%~6% 左右，而 Al_2O_3 、 CaO 以及 $\text{MgO} + \text{TFeO}$ 则相对稍高； Al_2O_3 一般大于 15%， CaO 为 4%~7%，而 $\text{MgO} + \text{TFeO}$ 则一般在 10% 以上。与此同时，造岩矿物也相应发生变化，其中斜长石以中性斜长石为主，一般不含或含少量石英、镁铁质矿物主要为角闪石，有时有少量辉石、橄榄石和黑云母，其总量一般为 10%~20%，有时可高达 30% 左右。常见的副矿物主要为磷灰石、榍石、锆石和磁铁矿。这类岩石主要包括一些闪长岩、石英闪长岩、二长岩、正长岩及其浅成相和喷出相。

此类岩石的分布虽较普遍，但规模较小。它们大多呈小岩株、岩床或岩脉产出。其深成相常常与上述富硅铝硅酸盐（花岗岩类）呈渐变关系，发育成较大岩体。相对而言，其浅成相和喷出相的分布更为普遍。其规模也相对较大。主要呈带状分布于大兴安岭、天山、昆仑山、冈底斯山等地，其中大兴安岭出露最为广泛。

4. 富镁铁铝硅酸盐岩类 严格说来，按岩石的化学成分和主要造岩矿物成分应分为高铝型镁铁质铝硅酸盐岩类和贫铝型超镁铁质硅酸盐岩类。前者， SiO_2 含量一般为 46%~53%， Al_2O_3 和 CaO 分别大于 16% 和大于 9%。 MgO 和 TFeO 分别为 10% 左右，但 TFeO 含量常常稍大于 MgO 的含量。岩石主要由基性斜长石和镁铁质矿物辉石和角闪石组成，有时偶见橄榄石。且镁铁质矿物含量常在 30%~50% 左右。火成岩中的辉长岩类及其浅成相和喷出相即为这类岩石的代表。贫铝型超镁铁质硅酸盐岩类的主要特点是贫铝、低硅和富含镁和铁。其中 SiO_2 含量一般小于 45%；而 Al_2O_3 含量大多只有 5%~7% 或更低； $\text{MgO} + \text{TFeO}$ 总量则常在 40% 左右，高时可达 50%；且 MgO 含量一般比 TFeO 大一倍或更高。岩石中一般不含长石类矿物，主要由单一的镁铁质矿物，如辉石、橄榄石、角闪石类矿物组成。这就是通常所称的纯橄榄岩、橄榄岩、各种辉石橄榄岩、辉石岩及其蚀变产物。岩石中富含钛、钒、铬、锰、铁、钴、镍等铁族元素。

这类岩石主要零星分布于我国中西部及东北地区。岩体规模较小。它们大多沿大断裂带分布，形成大小不一若断若续的岩带。我国的阿尔泰山、天山、昆仑山、内蒙古、大兴安岭、祁连山、秦岭、青藏高原及滇西地区，均有由这类岩石构成的岩带出现。东部某些地区还伴随有玄武岩喷发的小岩体。

在风化作用，特别是在高温、湿润强烈风化条件下，矿物的化学分解比较彻底，大部分矿物均被破坏，岩石中大部分的钙、镁及部分 SiO_2 被淋滤水解从岩石中带出。铝和铁则相对富集，在氧化条件下，铁被氧化为三价铁，形成由赭石、水赤铁矿、针铁矿和黄铁钾钒等组成的暗褐色赭土层风化壳或硅铝-铁质-铝土型风化壳，风化壳中除含铁较高外，还富含钴、镍等元素。

5. 碳酸盐岩类 这是一种由钙、镁碳酸盐矿物组成的沉积生成的非硅酸盐岩类。其中包括以方解石为主的石灰岩和以白云石为主的白云岩及二者之间的过渡性岩石。岩

石中除碳酸盐外，还常含一些非碳酸盐类物质，如粘土矿物、硅酸盐矿物、氧化物、硫化物、硫酸盐和卤化物等。在化学成分上除 CaO 、 MgO 、 CO_2 外，还常含 SiO_2 、 TiO_2 、 Al_2O_3 、 FeO 、 Fe_2O_3 、 Na_2O 、 K_2O 、 SO_2 和 H_2O 等等。这类岩石在我国分布颇广，从天山-阴山一线以南的广大区域内均有出露，其中尤以广西、贵州、云南东部、湘、鄂西部和川东等地最为集中，且连续厚度大，岩性较单纯，以灰岩为主。

碳酸盐的沉积规模与沉积区域的构造特征关系密切。一般稳定地台区的碳酸盐规模较大，岩相稳定，连续厚度大，如华北地区，塔里木地区和扬子地区，碳酸盐的连续厚度大多近千米或千米以上，最厚时可达 2000~3000 米，而地槽区的碳酸盐一般规模小，且不稳定，大多呈夹层状或区域性透镜体出现。仅部分冒地槽区（如秦岭某些地区）具有长期发育碳酸盐岩建造，沉积连续厚度较大。

相对于其它岩类而言，碳酸盐岩类是一种可溶性较大的岩石。因此，在一定的地质构造，气候和水文条件下，由于地表水和地下水对这些岩石的溶蚀冲刷而生成一系列特殊的溶岩地貌。这在我国南方和西南地区，由于常年高温湿润、雨量充沛，岩溶地貌尤为发育。石灰岩区常见的陡峭峰林、峰丛、孤峰、残丘、岩溶平原、岩溶洼地和岩洞等等，即为典型的岩溶地貌。在华北和西北地区，由于气候和水文条件的限制，岩溶不大发育，地表岩溶形态、并不明显，大多以岩溶泉和干谷为主，有时有较大的溶洞出现。

二、地理环境基本特征

（一）地势

我国幅员辽阔、地形复杂，地势高差悬殊。自青藏高原，到大陆沿海，海拔高度逐级下降，大致构成三级梯降趋势。西部多高原崇山，东部多丘陵平原。

青藏高原是最高的一级阶梯，平均海拔 4500 米以上，素有“世界屋脊”之称。高原上横亘于中部的冈底斯山、唐古拉山和念青唐古拉山，高峰上终年积雪，与广阔的高原面和星罗棋布的高山湖盆，以及屹立于中尼边界上的世界最高峰—珠穆朗玛峰构成了一幅壮丽的高原地貌景观。青藏高原以北、以东直到大兴安岭、太行山、武陵山及云贵高原东侧，地势迅速下降，为我国地势的第二阶梯。这里除阿尔泰山、天山为海拔高于 3000 米的山地外，其余均为海拔 1000~2000 米的高原和盆地，包括塔里木盆地、准噶尔盆地、内蒙古高原、黄土高原、四川盆地和云贵高原等。其中内蒙古高原为地势平坦的浸蚀平原，地形波状起伏，略向北倾。东部和南部为宽广的草原，北部和西部则为一望无垠的戈壁沙漠。塔里木盆地和准噶尔盆地是巨大的构造盆地，海拔约 1000 米，准噶尔盆地最低为 500 米左右，吐鲁番盆地则处于海平面以下 150 米，是我国大陆最低的地方。这些地区由于气候干燥，所以盆地内部大部分被流沙覆盖，它们在风扬作用下，形成各种各样的风成堆积地貌。仅在盆地边缘山麓地带潜水位较高的地方，出现一些潮湿的草原沼泽。黄土高原海拔 1000 米左右，为深厚的黄土覆盖。由于黄土疏松，易受流水冲刷，形成许多纵横交错、深狭陡峻的沟谷。云贵高原乃是第二阶梯的最南部，海拔 1000~2000 米，地势由西向东逐渐下降。这些地方，山岭、丘陵、盆地和河谷交错分布，地面起伏较大。由于该区石灰岩广泛分布，气候湿润多雨，岩溶地貌发育。大兴安岭、太行山、巫山及云贵高原以东是我国地势的第三阶梯，也是我国陆地最低的一级

阶梯。这一阶梯，除东部由东南丘陵、辽东丘陵和长白山山地构成的隆起带的海拔高度在 1000 米以上外，其余大部分地区的海拔高度均在 500 米以下至海平面。这些地方在地貌上以平原、低山丘陵为特征。在构造上为一北北东向的巨大沉降带。包括松辽平原、黄淮海平原和长江中下游平原。沉降带内堆积有巨厚的第四纪沉积物。

我国主要山脉及其所围隔的大型地貌单元，在平面结构上清楚地反映了构造变动所突现出来的构造形态。在贺兰山-龙门山-康滇地轴以西的我国西部，昆仑山以南的青藏高原上的唐古拉山、冈底斯山-念青唐古拉山和喜马拉雅山，以及昆仑山以北的柴达木盆地、阿尔金山-祁连山、塔里木盆地、天山、准噶尔盆地和阿尔泰山等，均呈近东西向，其排列方向即与北西或北东东的构造走向一致。在我国东部，包括大兴安岭、黄土高原、四川盆地、云贵高原、东北平原、华北平原、山东山地、东南沿海山地，以及台湾岛和海南岛，其排列方向均与北东或北北东的构造走向一致。此外有些主要山脉还是自然地理区域的重要分界。如东西走向的阴山是内流区和外流区的分界之一，秦岭为黄河流域和长江流域的分水岭，南岭为长江流域和珠江流域的分水岭。我国东部走向北东-南西或北北东-南南西两列山系则是我国东部大平原的主要分界线。西部弧形山脉喜马拉雅山和昆仑山、阿尔金山-祁连山等则构成青藏高原的南北边界。此外，近东西向的小兴安岭、南北向的横断山系，贺兰山和吕梁山等，它们或自成单一山系，或相互复合构成比较复杂的组合形式。

（二）气候

我国地跨寒温带、温带、亚热带和热带等气候区，地势西高东低，高差悬殊。由于纬度变化和境内各不同走向山系的屏障作用，各地气温和雨量的分布状况差别很大。根据我国现代水、热的分布状况大体上可分为四个大环境区：东部半温暖湿润区和温热湿润区，西北内陆温热干燥区和青藏高原寒冻干燥区。

东部半温暖湿润区和温热湿润区，包括大兴安岭、阴山、六盘山和横断山脉以东的我国东半部。在地貌上表现为北东向山地与平原、丘陵相间分布的特点。这里，由于受沿海东南季候风的影响，雨量充沛，河流众多，且总落差较大，侵蚀、搬运、堆积作用强烈。该区南北距程 5000 余公里，横跨寒温带、温带、亚热带和热带等气候区域，因此，按纬度和气温变化可分为三个不同的气候带。

秦岭-淮阳山以南为亚热带和热带湿润区，包括东南沿海的浙、闽、粤、桂等省区，以及长江以南的湘赣流域和鄂西-云贵高原。浙、闽、粤、桂和湘赣流域大多高温多雨，年平均气温 20 左右，但冬夏季节性温差较大。年降水量为 1000~2000 毫米，水量丰富，流水作用活跃，地面植被茂密，生物和化学风化作用十分强烈。鄂西、云贵高原虽然也处于亚热带湿润区，但由于地势显著升高，且北来寒潮又为山岭阻隔，南来的海洋季候风则可长驱直入，所以气候温凉，冬无严寒，夏无酷暑，且雨量充沛，年均降雨量 1000~1800 毫米，植被茂盛。由于地势高峻，气候的垂直分带明显。1500 米以下的谷地为热带季风气候、湿热多雾，1500~3000 米地带为温带气候，3000 米以上则为寒温带气候。

秦岭-淮阳山以北，阴山-燕山以南，以华北地区为主，为暖温带湿润-半湿润区。区内许多地方年蒸发量大于年降雨量，且降水期都集中在夏秋两季，季节性流水作用比较

明显。太行山以西的西部，包括山西山地和黄土高原。由于地势较高，四周又有山脉环绕，阻隔海洋风的吹入，所以气候干燥，雨量稀少，年降水量仅为 250~500 毫米，且多集中在 7~8 月间，冬季受西北寒潮的影响，气候更为干寒。且冬季持续时间很长，黄土高原上所覆盖的黄土，由于质地疏松，易被流水侵蚀，水土流失严重，因而土地贫瘠，植被稀少。太行山以东的华北大平原，大陆性气候比较明显，年温差达 30℃ 左右，夏季炎热多雨，冬季多西北风，寒冷干燥，年降水量大部地区为 500~800 毫米。且大部分集中在夏季 7~8 月间。

燕山以北的东北地区属温带和寒温带湿润区，年蒸发量一般小于年降水量，但流水作用仍较强。由于受地形及内陆和海洋气团的影响，东南部和西北部的气候差别较大。东南部温暖湿润，夏季多雨，夏季最高气温可达 24℃ 以上，但冬季气温则较低，常在 -10~-16℃ 左右，沿海地区也仅为 -5℃。年降水量一般为 500~700 毫米。由东南往西北，气温逐渐下降，雨量也随之减少，至大兴安岭北段及小兴安岭地区，气候寒冷，且冬季长达八个月之久。出现冻土和冰缘。

西北内陆温暖干燥区，即大兴安岭以西，阴山-贺兰山-祁连山-昆仑山一线以北的广大区域。其中包括内蒙古高原、准噶尔和塔里木等大型内陆盆地及青藏部分地区，以及阿尔泰山和天山等山地。区内雨量稀少，蒸发强烈。年降水量一般只有 300~500 毫米。但在盆地外围的高峻山地，由于接受西来和北来的水汽，部分地方降水有所增加，流水作用较为活跃。山地顶部有的可积累冰雪，形成现代冰川。平原和盆地内部，寒冷干燥，大陆性气候明显，冬寒夏热，昼热夜寒，年平均温度差多在 30℃ 以上。昼夜温差也常在 14~15℃ 左右。由于气温的年差和日差很大，岩石机械崩裂强烈，且雨量稀少、风力强大、戈壁和沙漠广布、植被稀少、耕地面积有限。仅山前冲洪积扇平原，水土条件较好，可作为发展农业的基地。

青藏高原寒冷干燥区，由于地势险峻，全区又为高山环绕，东南季风和西南季风都无法进入，因而形成高寒干燥的特殊高原气候环境。但以冈底斯山为界，高原南北两部分的气候不尽相同。高原北部，海拔大多在 4500 米以上，且距海较远，气候更为干燥寒冷，年降水量不到 200 毫米，年均气温也只有 -5℃，昼夜温差相对较大，冰封时间达半年以上，高山现代冰川广布，冰缘现象普遍，常有多年冻土。冈底斯山以南的高原南部，由于有冈底斯山阻挡北来的寒流，海洋季风又可以顺东部雅鲁藏布江大峡谷谷口侵入，因而气候相对湿润，年均气温在 10℃ 左右，有些地区年降水量可达 1000 毫米。因此，在一些河谷平原和山间盆地仍是发展农牧业的重要地区。

三、地貌景观与风化堆积类型

我国地域辽阔 新构造运动活跃 不同区域的地形地貌差异较大 气候地带性也较明显。从西到东的不同地形梯级上和从南到北不同纬度上，气候冷暖的交替和不同程度的干湿变化及构造运动，使大陆上各个不同风化堆积类型的区域展布也发生了相应的变化。

（一）滨海平原、内陆盆地、冲积、洪积和湖积

这一堆积类型主要发育于我国东部大平原，如松辽平原，黄淮海平原和长江中下游平原及四川盆地等。近海平原区，气候湿润，降水充沛，河流众多，一般落差较大，因而侵

蚀、搬运和堆积作用较强。各大河流及其支流所挟带的大量泥沙，大部集中到平原内部。平原外部的山前冲-洪积扇平原，主要为分选程度较差，由砾石、粗砂和粘土组成的混杂堆积。平原内部则主要为冲积物和湖积物，局部由于风扬作用，形成次生风成堆积。堆积物主要为亚粘土、亚砂土、粉砂、细砂、中粗砂、含砾粗砂和湖沼相腐泥、淤泥质沙土等。在低洼会水地段的沼泽地区，地下水和天然水携带有大量被溶解的矿物质。平原外侧河口三角洲地带，由于河流和海洋相互作用，因而具有复杂的沉积堆积环境。三角洲平原上主要为河流、湖泊、沼泽和泻湖相沉积，堆积物以砂、粉砂为主，夹有泥炭和粘土物质。但三角洲环海边缘，由于河流带入的沉积物经海洋作用改造，形成纯净的砂质沉积，泥质和有机质含量很少。由于这些地区长期处于沉降环境，接受了各大河流及其支流带来的大量沉积物，堆积厚度较大，一般为 100~200 米，最厚达 400 米。堆积物来源丰富，矿物成分复杂，地下水和地表水常含多种被溶解矿物的元素。这对农业生产和经济发展是极为有利的地球化学环境，千百年来这类地区都是我国发展农业的重要地区。

四川盆地和上述平原区有所不同，它的四周为高山和高原围绕，盆地内部的北、中和东部均为低山丘陵，只有西部的成都平原接受了各大河流及其支流所带来的冲积物，冲积物中除四邻高山和高原的风化剥蚀产物外，还有盆地内红色岩系中风化剥蚀及淋滤物质，其中富含各种矿物溶解元素，为农业生产提供了优良的地球化学环境。

至于我国西部内陆的一些山间盆地和河流谷地虽也发育有一些冲积、洪积平原，但都因为这些地区大多常年少雨，且降水分布不均、气候干燥寒冷、岩石的风化剥蚀以物理风化为主，化学风化微弱，矿物中元素的迁移程度较低，由季节性短途流水带来的冲积、洪积物，大多为分选程度较差和未经化学分解的岩石和矿物碎屑。溶解的矿物元素和有机质含量很少。同时，由于干旱少雨，蒸发强烈，地表水和地下水的矿化度较高，因而呈碱性或弱碱性环境。

（二）高原黄土堆积

我国黄土大部分分布在昆仑山、秦岭和大别山以北地区，但以黄河流域中游，即青海湖、乌鞘岭以东，秦岭以北和太行山以西分布面积最广，厚度最大。区内除一些岩石裸露的高山外，大部分被黄土覆盖，盖层厚达 100~200 余米。

黄土组分主要为黄色或棕黄色黏土、粉砂质黏土、亚黏土、亚砂土及砾石。粒级组分比较均一，矿物成分比较复杂，但以轻矿物为主，其中尤以石英和长石占主导地位，分别约占 50%和 40%左右。其它重矿物，种类虽多，但含量甚少。最常见的有磁铁矿、普通角闪石、锆石、绿帘石等。

由于黄土主要是一种干旱的风积成因的疏松岩石，胶结程度低，孔隙度高，垂直劈理发育。同时，由于干旱少雨植被稀少，所以在风化作用和季节性降水地表径流侵蚀下，使地形支离破碎沟谷纵横交错，形成塬、梁、峁、塋岗、丘陵等特殊的黄土高原地貌。地表径流所造成的水土流失，不但带走了黄土中的有机质，使土壤肥力减退，危害农作物生长，而且由于水土流失所造成的泻溜、滑坡和崩塌，使河流输入大量泥沙，致使河床淤积，河水泛滥，严重威胁人民生命财产的安全。

由于气候干旱，雨量稀少，且较集中，所以化学风化和淋溶作用不强，只有最易溶元素如 Cl^- 和 SO_4^{2-} 被淋失带走，同时也带走部分钠，其它元素如钙、镁及钾等大多保

存在原地，并形成碳酸盐，沿孔壁或细脉，呈皮壳状或微粒结核状集合体保存在黄土中，使黄土呈弱碱性。

（三）高山、高原、高寒残积与坡积

该堆积类型发育在高海拔的青藏高原及天山、阿尔泰山、祁连山以及东北北部大兴安岭北部高海拔的高寒山地内，由于地势高峻，气候寒冷，山高谷深。高山常年积雪，现代冰川和古冰川痕迹发育。多变的地貌环境，使这些地区的风化堆积类型也多种多样。高山冰川外围的山间盆地及河谷中广泛分布冰碛和冰水沉积。冰碛物大多由黏土、砂砾夹巨砾组成，砾石成分复杂，分选性和磨圆度很差。冰水沉积则以砂砾、亚沙土、亚黏土为主。在高原山地地势起伏较小的低山丘陵，则广泛发育有寒冻残积、坡积，一些时令河谷或高山湖盆则有近距离搬运的冲积、洪积和湖积沉积。

由于气候寒冷干燥，风化作用以物理风化为主，化学风化微弱，淋溶作用不强。风化堆积物主要为高原剥蚀面上各种岩石机械破碎的混合物。堆积物的矿物成分和化学成分与原岩均无明显差别。地表环境大多为弱碱性或碱性。部分高山湖区有碳酸盐、硫酸盐和氯化物等的盐湖或盐沼出现。但在地势较低、气温略高的地区，在地表水、微生物和有机酸的作用下，堆积物中某些活动元素，如氯、钠等可发生少量淋溶迁移，因而地表呈碱性或弱碱性环境，局部低洼地区可向弱酸或酸性环境转变。

（四）风蚀高平原残积与坡积

这一类型主要分布在阴山以北，大兴安岭以西，包括我国西北、华北北部、内蒙古高原和东北西部的广大区域，海拔 1000 ~ 1500 米，为发育在古生代褶皱带上中度隆起的高平原。境内地势平坦，局部有低山丘陵。大陆性气候明显，冬季严寒，夏季温和，光照充足，但干旱少雨，常年多风，植被覆盖程度低，地表裸露，土体干燥。风化形成的残积、坡积物主要为平原或丘陵表层各种岩石风化剥蚀产生的岩屑和砂土砾石，局部可见沙丘覆盖的剥蚀堆积和冲积-洪积物。风化作用以物理风化和风力吹蚀作用为主，化学风化微弱，淋溶作用不强，元素迁移程度低，除氯、硫及部分钠可淋溶外，多数元素迁移不明显，地表水矿化度高。由于降水量少，蒸发强烈，地下碱性溶液向上渗移，使表土具弱碱或碱性，在一些盐沼洼地有钠、钙、镁的氯化物-硫酸盐富集。一些湖泊由于强烈蒸发而使湖面缩小，湖水盐分增高，湖水附近露出的地面出现盐碱物质堆积。

（五）山地、丘陵残积与坡积

该类残坡积物主要分布于我国东部，即大兴安岭、太行山及云贵高原一线以东，包括海南岛、台湾岛及南海诸岛等广大中、低山丘陵地区。海拔一般为 500 ~ 1000 米，少数达 1000 米以上。西侧的大兴安岭、太行山、巫山、雪峰山至云贵高原和东侧的长白山、辽东半岛、山东半岛及浙闽沿海山脉所构成的两条大致呈北东-南西向平行排列的巨大隆起带，都是残、坡积堆积广泛分布的区域。由于该区南北横跨寒温带、温带、亚热带、热带等气候区，所以尽管南部和北部地区的残、坡积物类型大体相同，但其风化淋溶作用有相当大的差异。

秦岭以北属寒温带-温带气候区，冬季寒冷多风，夏季温暖湿润，降水多在夏季或夏秋之交。大小兴安岭北端，冬季气温最低时可达 - 50℃，局部出现冰冻“孤岛”。大兴安岭、长白山、太行山、吕梁山、山东半岛和辽东半岛等中低山或山岳丘陵地带，残

坡积物主要为各不同时代的酸性-中酸性火成岩和变质岩等岩石原地风化堆积的产物。由于气候相对比较干燥寒冷，物理风化较强，化学风化较弱。但季节性寒暖交替，也会促进残坡积物中岩石矿物的化学分解。一些活动元素，如氯、钠、镁、钾等被淋失带走。使表层溶液具弱酸或酸性反应，呈现酸性或弱酸性环境。

秦岭以南为亚热带-热带气候区，包括东南沿海和华南诸省，以及海南岛和台湾岛，在地貌上属中低山丘陵的山岳地带。该区由于受季风影响强烈，雨量充沛，夏季高温湿热，冬季虽因受北来寒流影响，气温稍低，部分地区有短暂积雪，但大部地区冬季无雪，植物常年生长。残坡积物的化学风化和淋滤作用活跃。在东南沿海和华南地区，以及海南岛、台湾岛等地，由于常年高温多雨，残坡积堆积物的化学分解比较彻底，几乎所有原生矿物都被破坏分解，游离出钠、钙、镁、钾、 SiO_2 等，并被迁移带走，在氧化作用占优势的条件下， Al^{3+} 、 Fe^{3+} 进一步在原地富集，形成红土型的风化残坡积层。

（六）溶蚀高原残积、坡积

在滇、黔、桂北、湘西和鄂西等碳酸盐岩类广泛发育的地区，残坡积堆积物主要为风化剥蚀崩解的碳酸盐岩类。在高温湿热、风化淋滤作用强烈的条件下，碳酸盐岩屑的原生矿物，更易被完全破坏分解，游离出的钙、钠、镁、钾和迅速分解的腐殖酸被天然水带走后，保存下来的铝、铁在强氧化条件下进一步氧化为 Fe^{3+} 、 Al^{3+} 沉淀，并把残坡积物染成红色或棕红色。在这种环境下的土壤溶液大多呈弱碱性、中性或弱酸性。

（七）沙漠盆地风成堆积

这类堆积主要发育于我国西北和华北等一些沙漠覆盖的高原盆地和荒漠地区，如准噶尔盆地、塔里木盆地、柴达木盆地，以及巴丹吉林沙漠、腾格里沙漠和科尔沁沙地等地区。堆积物主要为周围山地剥蚀、经短暂流水搬运的物质。盆地外围的山麓地带，大多为碎屑石质及沙砾石分布的戈壁。盆地内部的沉积物大部分为疏松的砂质冲积物和湖积物，厚度较大。由于气候干燥，风扬作用强烈，大部分风化剥蚀产物被风分选、搬运再沉积和再侵蚀，形成如风蚀城堡、龙岗状风蚀丘、风蚀雅丹、风成沙丘等典型的沙漠地貌。在景观地貌特点上，由西到东有较大的差异，东部如内蒙古和东北西部的草原地带，由于降水量相对较多，植被覆盖面积较大，以固定、半固定沙丘为主。西部则由于异常干旱，风力强大，均以流动沙丘为主。

风成沙土的矿物成分和黄土一样，均以石英和长石等轻矿物为主，其它重矿物一般很少，且常随其下伏沉积物成分的变化而变化。由于气候干旱、蒸发强烈，化学风化和淋滤作用微弱，氯、钙、钠、 SO_4^{2-} 等易溶盐类相对富集，呈各种水化物和氯化物-硫酸盐类等附着于堆积物表面。较为低洼聚水的地方，则形成盐沼泽地、盐平原、盐壳和现代盐湖。呈强碱性环境。

（八）火山台地和火山穹窿火山岩

我国东北的大兴安岭、长白山山地、内蒙古以及雷州半岛和海南岛等地区，均出现有近代和现代火山喷发，熔岩外溢所形成的火山台地与穹窿地貌。台地与穹窿上的火山岩大多以玄武岩为主，残积堆积即为这种岩石风化剥蚀的产物。由于这类岩石中的氟含量一般较高，所以在风化剥蚀过程中，氟元素易被淋溶进入地下水或土壤中，成为当地饮水型氟病的主要物质来源。

第二节 地球化学分区与元素分布特征

一、地球化学分区

近二十余年来，国土资源部（前地质矿产部）投入了大量人力、物力和财力，在全国范围内开展了以水系沉积物为主体的 1:20 万区域地球化学调查。岩石地球化学与水系沉积物之间的区域地球化学特征存在着密不可分的联系，但两者并不等同。岩石物质组分受成因机制约束，即取决于它形成时的古环境和古地球动力学。水系沉积物属于地质大循环作用下岩石半风化或风化作用的产物，它受物源、气候、地貌、水文条件等因素制约。地壳中各种岩石、矿物在表生作用下风化分解，有的元素呈离子状态或呈络合物形式，有的元素呈胶体或颗粒悬浮物分离出来，经迁移转化重新离散或集聚。一些易溶元素，如钠、钙、镁、硼、锶等，迁移能力较强，大部分被水溶液带走，因此，这些元素在水系沉积物中平均含量大大低于地壳的平均值，与此相反，难以流失的元素在水系沉积物中相对富集，平均含量往往超过地壳的平均值。显然，以水系沉积物中元素组分所表征的区域地球化学特征是包括古地球动力学、古环境和现今环境在内的综合因素的产物，不同地区不同因素以及各因素影响程度的差别组成了以水系沉积物为主体的多元环境地球化学景观。

地质背景与现代环境相结合，为围绕水系沉积物地球化学分区提供了依据。可以清楚地看出，我国水系沉积物的地球化学分区，大致呈北东-南西向展布，地带性十分明显，从西北到东南分为以下四个区（图 1-1）：

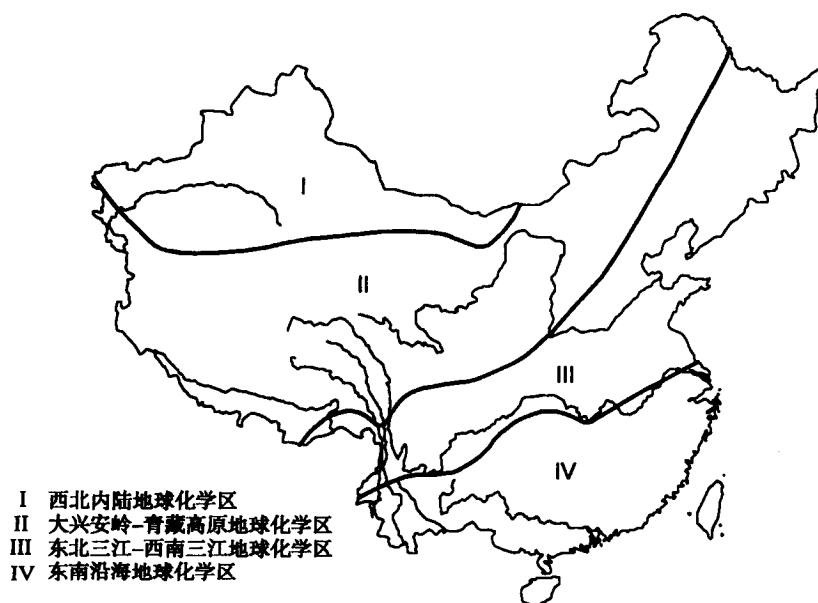


图 1-1 中国水系沉积物地球化学分区图

I、西北内陆地球化学区(内陆区)

II、大兴安岭-藏北高原地球化学区(高原区)

III、东北三江(黑龙江、松花江和乌苏里江)西南三江(金沙江、澜沧江和怒江)地球化学区(三江区)

IV、东南沿海地球化学区(沿海区)

(一) 环境因素影响的地球化学分区特点

众所周知,构成地壳岩石主成分的硅酸盐矿物,是对环境十分敏感的。环境化学因素的千变万化,最终反映在硅酸盐矿物的变化上。从我国西北边陲到东南沿海,伴随着pH总体上依次降低的趋势,硅酸盐矿物也相应的呈现出规律性的变化,从以物理风化作用为主,逐步转为以化学和生物风化作用为主,相应的硅酸盐矿物长石等,经水云母、蒙脱石、高岭石到完全分解成铁、铝氢氧化物,反映出水系沉积物内部元素组分迁移、转化的宏观规律性,四个地球化学分区反映了这种鲜明的分带特色。但必须指出,即使在同一地区,随着海拔高度的变化,纵向上也会出现这种分带现象。

1. 西北内陆地球化学区 本区以新疆维吾尔自治区为主。属干旱地区,光照充足,雨量稀少,蒸发强烈。除阿尔泰山、天山降水量较多外,年降水量一般 $<200\text{mm}$,基本没有地表径流。全区植被稀少,但植物残体分解较彻底,除在低洼湿润环境可形成沼泽和泥炭外,腐殖质堆积很少。通常在pH大于8.5的干旱氧化环境下,以物理风化作用为主,岩石中硅酸盐矿物长石、云母等仅在多雨季节通过水合作用开始转为水云母、水绿泥石,与此同时,氯、硫、碘大量析出,积聚在风化壳、土壤和洼地中,但钙、镁、钠、钾流失不多,与其它三个区相比,水系沉积物中这类元素含量与母岩最为接近。

2. 大兴安岭-藏北高原地球化学区 以内蒙古高原、黄土高原和青藏高原为主体。为半干旱地区,地表水系发育一般,多为江河源区,蒸发量大于降水量。pH通常在8.5~7.5的范围内,在 H_2O 和 CO_2 协作下,铝硅酸盐和硅酸盐矿物分解,生成粘土矿物水云母、拜来石、蒙脱石,氯化物、硫酸盐大部分溶解, Cl^- 和 SO_4^{2-} 淋失,游离出碱金属和碱土金属,钠部分带出,钙、镁、钾部分保留在残积层中,并使一部分 SiO_2 转入溶液,常形成钙、镁碳酸盐堆积,以至水系沉积物中钙、镁、钠、锶等含量下降。

3. 东北三江-西南三江地球化学区 主要为平原、丘陵地区。雨量充沛,地表水系发育,年降雨量在400~800mm间,属半湿润带。处在pH7.5~5.5的弱酸性环境下,矿物中硅酸盐、铝硅酸盐盐基几乎全部被溶解, SiO_2 进一步游离出来,碱金属和碱土金属强烈淋出流失, SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、水合物沉淀下来,生成不含钾、钠、钙盐基的粘土矿物高岭石、埃洛石或构成氢氧化物。钙、镁、钠、锶、钾含量继续下降。

4. 东南沿海地球化学区 本区地处亚热带、热带气候区内,地貌上主要为低山丘陵,仅在临海区内有近海平原。由于受太平洋和印度洋亚热带季风气候的影响,雨量充沛,年降水量一般在800mm以上。地表水系发育,大多经本区入海。由于高温多雨,pH通常 <5.5 ,在还原环境下的潮湿带内,化学与生物风化彻底,淋溶作用强烈。钙、镁、钠、钾均被游离出来带走,铝硅酸盐彻底分解, Al_2O_3 、 Fe_2O_3 与 SiO_2 分离, SiO_2 大量淋失, Al_2O_3 、 Fe_2O_3 和部分 SiO_2 呈胶体状,在酸性介质中聚集,生成水铝英石、褐铁矿及

蛋白石。钙、镁、钠、锶降到最低水平。

(二) 元素分布与地质背景和地球化学分区的关系

1. 西北内陆地球化学区 天山以北的准噶尔-北山-阿尔泰山区，为准噶尔-阿尔泰海西褶皱系。以出露古生代地层为主，显示出活动大陆边缘的沉积特点，杂砂岩和硅质岩较为常见，成分成熟度和结构成熟度较低，以北山地区硅质岩为例，化学组分介于正常化学沉积与火山沉积的硅质岩之间，反映了硅质来源不仅与表生地质作用有关，且与地壳深部的地质作用也有密切关系。常量与微量元素分析结果也证实了这一点，表 1-1 说明了除表生作用下的钡、锶丰度较高外，来自地壳深部的亲铁元素铁、锰、钛、钒、铬、镍、铜也偏高，而钠、钾、镁、铅偏低。

表 1-1 北山地区早古生代硅质岩微量元素平均值

元素	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
含量	0.14	3.00	1.30	1.77	0.03	0.43	2.29	0.52	0.57
元素	P ₂ O ₅	B	Sr	V	Cr	Ni	Cu	Pb	
含量	0.30	1470	270	70	60	20	30	< 10	

注：氧化物为百分含量，单元素为 mg/kg

区内花岗岩约占 25%，主要为海西早期的石英闪长岩、斜长花岗岩、花岗闪长岩、二长花岗岩，以活动大陆边缘型花岗岩为主，其次为海西晚期裂谷型的碱性岩浆活动，另有少量基性岩和超基性岩，这几种岩类均有幔源物质渗入，无论从岩石成因分析还是局部岩类的直接分析结果，都反映了相对富集铁族元素钒、铬、钴、镍、铁、锰、钛，铜、钙、镁含量也较高，钾、钠相对偏低。在古生代地层中，普遍夹火山岩和火山碎屑岩，以安山岩和玄武岩为主，与相应的深成岩属同源的产物，具有类似的元素组合特征。

2. 大兴安岭-藏北高原地球化学区 北迄大兴安岭-天山，南止喜马拉雅山，包括内蒙古高原、黄土高原和青藏高原。从高原区内整个地质构造背景分析，除塔里木为地台，冈底斯山和昆仑山具明晰的岩浆弧特征外，可能以不同时期陆壳内部的裂陷活动为主，构成了规模不一时代各异的一系列褶皱系。裂陷拉张虽也能将幔源物质带到地壳，但当其强度有限时，它对地壳改造的程度远不如活动大陆边缘来得强烈。在岩浆活动上反映尤为清楚。秦巴地区深熔花岗岩出露面积仅占 19%，壳源重熔型花岗岩占 81%。前者富集铁族元素和重稀土元素，后者富集大离子亲石元素和轻稀土元素。青藏高原区在冈底斯带和昆仑带上有以辉长岩、石英闪长岩、花岗闪长岩、二长岩、黑云母花岗岩、拉斑玄武岩、安山岩组合为代表的深熔岩浆岩，青海南部有新生代霓霞岩、霞石白榴岩、霞石正长岩、黝方石响岩、碱性粗面岩、碱性玄武岩系列的幔源碱性岩浆活动，但青藏高原大范围内仍以地壳内重熔型花岗岩为主，电气石白云母花岗岩、白云母花岗岩、二云母花岗岩、黑云母花岗岩组合为其典型代表，它们在物质组分上的差异如表 1-2 所示。就出露面积占 80%左右的沉积岩和变质岩而言，在大兴安岭-天山、昆仑、冈底斯等优地槽内发育火山质和长石质硬砂岩，在唐古拉、北喜马拉雅冒地槽内堆积了岩屑质硬砂岩，在地台或地槽沉积物上常覆盖着中、新生代大型陆相盆地沉积，如，塔里木盆地、柴达木盆地、二连盆地，新生的堆积物由于沉积分异作用而使物质重新组合，地

壳表层物质组分发生重大变化，与原先的槽型沉积相比，铁族元素含量降低，碱金属、碱土金属和卤族元素含量增加，虽在那些没有覆盖物的褶皱带地层裸露点上，依然保留了活动构造带物质组分的特点，但从整个地区地壳表层组分平均水平来看，钒、铬、钴、铜、铁、钛、锰、镍和钠、钾、钙、镁、硼含量分别出现下降和上升趋势。

表 1-2 不同成因类型花岗岩类元素含量^{*}

元素	深源同熔型花岗岩			碱性-偏碱性岩			壳源重熔型花岗岩	
	辉长岩	石英 闪长岩	花岗 闪长岩	响岩	玄武岩	安山岩	二云母 花岗岩	电气石白云 母花岗岩
TiO ₂	0.80	1.10	0.55	0.63	1.24	1.26	0.28	0.09
Al ₂ O ₃	20.30	17.40	15.27	17.4	12.40	14.20	13.26	15.01
Fe ₂ O ₃	5.65	4.97	4.45				1.15	0.46
FeO	4.82	4.30	1.34	5.68 [*]	8.92 [*]	5.68 [*]	1.02	0.81
MnO	0.22	0.21	0.10	0.09	0.16	0.09	0.06	0.02
MgO	4.34	2.61	1.86	1.84	10.30	2.82	0.87	0.45
CaO	9.27	8.41	4.25	3.38	12.10	7.28	2.18	0.72
Na ₂ O	3.48	3.93	3.73	2.58	3.31	3.18	2.88	4.14
K ₂ O	0.65	1.82	2.70	7.71	3.89	3.68	3.93	4.76
P ₂ O ₅	0.33	0.55	0.21	0.83	1.53	0.65	0.03	0.17
Sr	1170	707	679	4040	2941	1095	130	52
Cr	48.3	37	63	70	520	61	12.8	2
Ni	20	< 20	44	37	148	33	7	1
V	244	192	100	63	186	75	—	—
Cu	29	95	60	28	17	48	—	—
Co	29.50	14	11.5	6.6	31.9	8.7	3.48	1.73
Ba	318	387	732	—	—	—	480	176

注 氧化物为百分含量 单元素为 $\mu\text{g/g}$ 深源同熔型以冈底斯地区为代表，碱性-偏碱性以羌塘地区为代表，壳源重熔型以喜马拉雅地区为代表。“^{*}”为全铁。

3. 东北三江-西南三江地球化学区 从东北三江区到西南三江区斜穿我国中部的宽阔带，地质构造上以华北地台和扬子地台为主体。地台区出露有古老的结晶基底，为最早期地幔未完全分异的产物，古老变质岩系中常含基性和超基性岩透镜体，并有辉长岩岩墙贯入，平均物质组分偏向基性，镁、钙及幔源组分明显偏高，大离子亲石元素钾、钠、硼、锂等含量相对偏低，表 1-3 记录了华北地台晚太古界斜长角闪岩和片麻岩元素含量。在广泛出露的地台型海相沉积盖层中，稳定的石英砂岩和碳酸盐岩虽颇为发育，但在沉陷地区可形成不同的沉积组合。从震旦系到下古生界不同层位上，淀积有来自基底剥蚀残留下来的磷、铁、钒、钴、镍、钼、铜等元素，局部地区富集，形成具有一定品位的工业矿床；在上古生界风化壳上还发育有铝土矿和锰矿。岩浆岩出露面积所占比例甚小 不超过 10%，其中二叠纪大陆拉斑玄武岩和新生代碱性玄武岩具有鲜明的幔源特色，与整个区域古老结晶的基底元素分布的总体特点是一致的。

表 1-3 冀东迁安晚太古界变质岩元素含量

	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Cr	Ni
斜长角闪岩	0.84	14.22		8.49*	0.22	7.17	10.02	2.36	1.03	0.16	333.39	167.75
片麻岩	0.90	17.03	4.11	3.16	0.10	2.40	4.00	4.30	3.85	0.42		

注：氧化物为百分含量，单元素为 $\mu\text{g/g}$ 。* 为全铁。

4. 东南沿海地球化学区 沿海区以华南褶皱系为主体。原岩组分基本特点为亲铁元素低于相邻的三江区，钼和钨族元素显著增高。华南褶皱系实际上是在多处较弱拉张的基础上，汇集而成的一个裂隙槽，尽管岩浆岩出露面积较大，约占 30% 但深源岩浆活动十分微弱，最新的裂谷型第四纪幔源碱性玄武岩仅在琼、粤、闽、浙、台等省有限区域内见及，不足以影响沿海区地壳表层的平均成分。以钾长花岗岩、黑云母花岗岩、闪长花岗岩、花岗闪长岩组合为主的壳源重熔型花岗岩，只是地壳内部物质的重新组合而已，并不改变地壳的总体成分，不过，它可使钨、锡、钼、铅、锌、汞、砷等元素集聚，甚至形成大型和超大型矿床。古生代裂隙槽内，很少见到快速堆积的粗碎屑物质，主要为来自源区历经分选细碎屑复理石沉积，较为充分的沉积分异作用，在原生物质迁移过程中，带来一定数量的活动元素和过渡元素，弱活动和不活动元素更多的滞留在剥蚀区内，可能也是造成区内弱活动和不活动元素含量偏低的原因之一。

二、元素富集特点

现着重阐述与农作物生长和生命科学密切相关的 24 种元素区域分布特点，先将每 1:20 万国际分幅中数百到 2000 个左右的单元素全量数据，经多次叠代剔除异常值后，分别算出单元素平均值，意味着这些数值仅代表宏观的区域背景，而不反映局部异常；然后，再在每一 1:20 万国际分幅分值的基础上，算出全国平均值。表 1-4 清楚地表明，各种元素的地壳丰度值和全国水系沉积物中的平均含量。

表 1-4 全国水系沉积物与地壳平均含量对比表 mg/kg

元素	水系沉积物背景值	土壤背景值	地壳丰度	元素	水系沉积物背景值	土壤背景值	地壳丰度
K	19200	13600	10900	Ti	4101.00	4600	5700
Na	11300	6300	23600	V	78.19	100	135
Ca	22000	13700	41500	Sr	185.61	300	375
Mg	9300	6300	23300	As	11.31	5.0	1.8
Cu	22.68	20	55	Cd	0.14	0.5	0.2
Zn	69.07	50	70	Hg	0.043	/	0.08
Mn	644.76	850	950	Pb	24.73	10	12.5
Mo	1.05	3.00	1.50	Li	31.56	30	20
Cr	58.00	200	100	F	465.37	200	625
Ni	25.46	40	75	P	647.21	800	1050
Co	12.52	8.00	25	B	45.02	10	10
Fe	30800	38000	56300	Se	/	0.01	0.6
Al	65200	71300	82300				

注：背景值为全国平均值。

进一步分析，各元素的区域分布特点还是十分鲜明的，若将分布特点相近的元素归为一类，则可分成以下 8 类：

(一) 钠、钙、镁、钾、锶

碱金属和碱土金属元素的高值区分布面颇广。除 K 外，其余 4 元素 [Na (> 2.04%)、Ca (> 5.0%)、Mg (> 1.70%)、Sr (> 346.75mg/kg)] 高值区大面积汇集在我国北方和西北的干旱-半干旱地区，其含量变化由西北往东南逐渐降低。锶和钠的高值区范围还延伸到我国东北地区。总体上我国南半部多为钙、钠、锶的低值区，其含量分别低于其背景值。镁高值区虽也出现在北方地区，但与钙、钠、锶的展布状况略有不同，它在太行山、燕山、辽东半岛等地仅为中等偏高含量区 (0.93% ~ 1.70%)，南方的湘、鄂西部处于同样的水平。我国总体上处于低 K 水平，高值区 (> 2.14%) 和低值区 (< 1.92%) 呈星点状分布，相对而言，浙江、江西、福建、吉林、辽南和内蒙古东北部高值区面积较大。西北、西南、中南含量一般偏低，但海南岛南部和广西西南部等地有小片高值至偏高值区出现。

(二) 铬、铁、锰、镍、钴、钒、钛

铁族元素分布的高值区和中值区大于水泵沉积物背景值呈北东向带状展布，从云贵高原直达吉林长白山区，其中尤以我国西南、中南及华北的部分地区较为集中。新疆北部也有铁、钒、锰、钴偏高值区出现。从总体上看，我国存在两条上述 7 个元素的低值带，其含量均分别低于其背景值。一条由青藏高原和新疆南部延至内蒙古东部，一条展布于华南及东南沿海，构成两条大致平行，但规模差别较大的低值带。但钛例外，在东南沿海及华南区无明显低值分布。

(三) 铜、锌、铅、汞

这些元素总体上表现为由东南往西北方向逐渐递减的趋势，即高值和中值区大体呈南西-北东方向展布。高值区和中值区主要集中于秦岭-大别山以南，藏东三江流域以东的我国西南、东南和中部地区。此外，铜在新疆北部和太行山区，锌在长白山、小兴安岭和大兴安岭地区出现规模不等的中等值区。铜、锌含量分别低于其平均背景值的低值区分别出现在内蒙古至藏北、浙江至广西沿海地带和内蒙古至藏北、山东半岛、广东至广西沿海一带。我国东南、中南和西南地区多属汞 (> 72 μ g/kg)、钼 > 32.5mg/kg 高值至中值区，且呈大片集中分布；北方地区汞和铅含量总体上分别在平均背景值 43 和 24.73mg/kg 以下。

(四) 砷、镉

砷高值 > 20.76mg/kg 和中值 (15.31 ~ 20.76mg/kg) 区主要出现在西藏、云南、广西、湖南和广东等省区。尤其是西藏境内砷含量几乎都高于平均背景值 (11.31mg/kg)，在内蒙古、新疆小范围内，砷含量也偏高，其它地区砷含量则普遍低于平均背景值。

镉高值 > 0.32mg/kg 区分布范围与 As 较相似，但比较集中，高值区主要分布在滇黔、桂地区，但在鄂北、陕南和浙西等地出现规模不一的零星中值区至偏高值区。青藏高原、新疆、内蒙古、东北、华北及东南沿海一带均属低于背景值的低镉区。

(五) 氟、硼、锂

这些元素在我国水系沉积物中分布颇广，除东北、华北北部、西北地区、山东半岛

东南沿海及海南岛等地为低值区外，其它绝大部分地区硼、氟、锂的含量都在平均背景值 45.02 mg/kg、465mg/kg 和 37.1mg/kg 以上，但这些元素的富集状况及其高值、中值的地域分布则不完全相同。硼与锂的高、中值区分布范围更为接近，硼在西藏富集程度较高，锂除在西藏明显偏高外，从云贵高原东部到鄂西及江汉平原均为其高值带。氟高值区在我国南方呈零星分散状，与锂的分布情况总体相似，但在西藏地区，则未见明显富集。

(六) 磷

我国有磷高值 > 1030mg/kg 和中值带 878 ~ 1030mg/kg 各一条，与其相应还有两条磷低值带低于背景值 (647mg/kg)。高值带展布于阿尔泰山和大、小兴安岭和长白山等地。中值带从云贵高原断续延伸到东北南部，呈明显的北东—南西向展布。两条磷低值带：一条汇集在我国东南及东南沿海诸省和海南岛，另一条从青藏高原经甘肃、内蒙古西部直至辽西。

(七) 铝

我国大多数地区铝含量接近于平均含量 6.52% 或稍高于平均含量的中值区，仅在滇、闽、粤、辽、吉、黑、内蒙古东北部、新疆北部、东部、晋南、川东、藏南、豫鄂皖交界地区，铝含量相对较高 [$w(\text{Al}) > 8\%$]。铝中值区主要集中在大、小兴安岭，长白山和我国东南部地区。内蒙古高原、黄土高原、青藏高原、新疆和四川盆地等地均属低铝区。总体上说，铝的平均含量从东北到西南有逐渐增高的趋势。

(八) 钼

从宏观上看，我国东部存在两条北东—南西向的钼高背景值带 (> 1.90mg/kg)。一条位于东南沿海，在浙、闽、粤等省比较集中成片分布；另一条由云贵高原东部断续向北东方向延伸，经湘鄂西部、鲁西、川东、直到陕南。此外，在东北北部、在新疆、西藏及青海也有不连续分布的高背景值区。内蒙古、陕、甘、宁、川西和辽、鲁、豫、苏、皖、赣则构成大致平行排列的两个低钼带。

三、元素组合及空间分布

现今元素的分布格局则是元素特性、区域地质背景和自然环境综合作用的结果，若仅对以水系沉积物为标志的区域地球化学特征作定性探讨，难以将各复杂因素之间关系明确地区分开来，但借助于各因素聚合而成的水系沉积物中元素组合面貌，仍可揭示出区域地球化学总体特征。对不同地区元素间的主成分多变量相关分析，表明五个主成分可代表 24 种元素的累计贡献率的 67%，各个主成分的整体关联性并非十分密切。因此，我们采用了正交旋转和斜交旋转不同旋转方法对主成分分析的结果进一步剖析。旋转结果见表 1-5。从正交和斜交旋转的结果可以判断出 24 种元素与五个因子的对应关系，并从中分析出究竟何种因素对不同元素组合的区域分布起着支配作用。

(一) 因子 1 与钒、铬、钴、铜、铁、钛、锰、镍呈显著正相关

从地质背景分析，这八种元素主要来自深部地壳或上地幔，再或是早期原始地幔分异的残留物；从现今环境来看，属于难以迁移的元素，相近的化学特性，易于在风化过程中一起集聚和离散，因此，内陆区 and 三江区铁族元素的丰度高于高原区和沿海区。总