

中国线系构造和环状构造

(卫星象片构造解译初试)

秦德余 任纪舜 张正坤 姜春发

自航天遥感技术资料应用于地质工作以来,在构造地质学、区域地质学、火山学、水文地质—工程地质学、矿床学、地震地质学等基础地质和应用地质的研究中取得了良好的效果。

运行周期和轨道几乎恒定不变的地球资源技术卫星(E R T S)从九百公里左右高空对地球进行连续的多波段扫描,经处理后获得的影象图象即卫星象片具有下列特点:信息量大(除可见光成象外,尚有红外、近红外成象)、真实性(基本上垂直成象)、宏观性(或概括性)、透视性(能反映地下和水下一定深度的地质构造)、可对比性(不同波段卫片对比研究)、动态性(不同时间成象对比)。因此,卫片延伸了我们的视域,使我们能对地质现象进行“面”的、“立体”的、“动态”的研究,避免了地面地质工作必然产生的孤立性、推断性。

众所周知,不同的地质体及由其形成的各式各样的自然景观都具有各自的电磁波谱(主要是热辐射波谱)特性,在卫片上反映为不同的影象特征。对卫片的地质构造判读解译,实质上就是卫片影象特征判读和地质构造—地球物理资料的对比分析研究。作为地质判读标志的影象特征主要是形态和色调。在有些情况下,形态结构、大小、位置以及组合特征也起重要作用。判读结果是进行地质解译的重要资料,但还不是最终成果,必须将这些资料和地质的、地球物理的、地球化学的成果作系统的对比分析,赋予地质构造意义,进而总结其规律性,才算达到卫片地质构造解译目的。

由于条件限制,这次我们主要采用目视判读,一些关键地区作了假彩色影象增强。卫片资料为:1/100万黑白卫片(主要是5波段的)、美国制作的1/500万和1/600万卫片镶嵌图,中国科学院地理研究所制作的1/600万卫片镶嵌图。根据我们的经验,全国性的地质构造判读,宜采用1/500万、1/600万或比例尺稍大一些的卫片镶嵌图,区域性地质构造判读以1/100万—1/50万卫片及其镶嵌图为好。

对卫片多次反复判读、解译所获得的成果,证实和发现了许多地质构造特征。本文仅讨论我国的线系构造和环状构造。

线 系 构 造

线系构造(Lineament, Tectonic Lineament)是指地球构造圈中规模巨大的线状构造变动带。在卫片上线系构造是最显明的构造单位,因而,卫片及其各种比例尺的卫片镶嵌图已

被广泛地用来编制大区域的或洲际线系构造系统图。

线系构造宽度很大(几公里至200多公里),长达200—2000公里或更长,如嫩江蒙自线系构造系(即兴安线)长度超过4000公里。它们一般具有下列两个或两个以上特征,这些特征主要是:①深、大断裂带;②带状分布的断层和褶皱;③线状排列的构造盆地和隆起;④狭窄的裂谷状构造;⑤不同的大地构造单元、沉积建造、变质区的边界;⑥不同的地球物理异常区、地球化学场、地热区的边界;⑦规模较大的重力、磁力异常带、梯度带;⑧地热带;⑨线列底辟构造带;⑩线列的侵入体和火山喷发中心;⑪线列的矿床、矿化异常带;⑫地震带和⑬线列地形单元等等。

上述特征表明,线系构造实质上是地壳以至上地幔顶部巨大断裂活动在地壳上部各种地质—地球物理—地球化学场的综合反映。因而,一些地质研究工作者把线系构造称为“基底构造”或“深断裂带”。

我们在1/500万和1/600万卫片镶嵌图判读基础上,结合部分单张1/100万卫片,判读地—地球物质理资料,编制了1/600万中国断裂和环状构造图,图1(中国线系构造和环状构造图)是它的缩编图。从图中可以看出线系构造远比同比例尺构造图多,并出现了大量过去图件中未曾标划的构造。图1还清楚地显示了我国线系构造分布的规律。

我国的线系构造根据其格局和发育历史可分为三大区域(主要指古生代以来):

①西北—华北—东北区(古亚洲线系构造域)。

②东南—东北区(滨太平洋线系构造域)。

③西南区(特提斯喜马拉雅线系构造域)。

天山—地槽褶皱系、昆仑—秦岭地槽褶皱系是古亚洲线系构造域和特提斯喜马拉雅线系构造域的重叠干涉区;滨太平洋线系构造域和特提斯喜马拉雅线系构造域的重叠干涉区是著名的贺兰—康滇南北干涉带;滨太平洋线系构造域北部重叠在古亚洲线系构造域之上。三大线系构造域和重叠干涉区都有其优势的线系构造方向和特有的组合特征。

一、古中国地台的线系构造

古中国地台的形成经历了阜平(>25亿年)、五台(25—20亿年)、中条(20—17亿年)、武陵(17—14亿年)和扬子(14—8亿年)五个构造旋回,其中以中条旋回和扬子旋回最重要。中条运动(17亿年)使华北和东北南部的地壳基本固结,形成中朝地台。晋宁运动(8.5—8亿年)使长江流域和塔里木地区地壳基本固结,形成扬子地台和塔里木地台,南方型震旦系构成它们的第一套盖层。经最近若干年研究,我国西北部的几个主要地槽褶皱系(天山、昆仑—秦岭、祁连等)中的古老变质岩系的时代也大部分相当于震旦亚界的长城系、南口系、蓟县系、青白口系,它们分别被地台型震旦系或寒武系不整合覆盖。上述情况表明,经过扬子造山旋回,西起天山、东至长江中下游曾形成了一个广阔的扬子期后地台。它与中朝地台连成一体,构成统一的古中国地台。当时,我国大地构造概要如图2所示。由于地台期后多次构造运动的强烈影响和叠加,致使古中国地台线系构造的恢复很困难,我们只能根据残剩的零星构造勾划很粗略的线系构造分布状况(图2)。

华北内蒙南部阴山、燕山,东北辽东半岛,西南的云南、贵州、湘中,长江下游的赣北、皖南以及昆仑山脉等地,据卫片判读和变质岩系构造研究,东西向褶皱、片理、片麻理、断层(主要是逆冲断层)踪迹仍很清晰;北东向龙门山深断裂带、五台山深断裂带以及北

西向鲁西断裂带当时亦已存在,并表现为逆冲兼平移滑动;近南北向的郯庐深断裂带和康滇深断裂带主要表现为断裂带内及其两侧块体的差异升降,推测当时古中国地台基本上处在南北方向挤压状态下。主要线系构造有:

1. 阴山——燕山深断裂系

这是古中国地台上保存的最完好的东西向线系构造系,西起内蒙古西部阴山山脉,东至河北北部、辽宁西部、并延伸到辽东半岛。卫片上影象清楚,连续性好,长约1500公里,宽300—400公里。该深断裂系不仅划分了南北两个不同的地壳厚度区,两个发育历史截然不同的巨型大地构造单元(北槽南台),而且,线系构造本身就是长期活动的深层构造变动带——深断裂系。组成深断裂系的主要深断带自北而南为内蒙地轴北缘深断裂带〔1〕,丰宁隆化深断裂带〔2〕,集宁承德深断裂带〔3〕,山海关昌平深断裂带〔4〕。它们在卫片上显现为十余公里宽的密集的断裂带,色调差异带。元古代以来的超基性——基性岩、碱性岩、花岗岩呈带状分布。据最近研究,沿深断裂带分布着元古代的绿岩带(变质基性火山岩带),因此,它们切穿了地壳,达到岩石圈下部,属于岩石圈断裂。它们在地壳上部表现为东西向断层、褶皱、片理、片麻理和各类侵入岩带。

2. 古扬子地台上东西向线系构造连续性较差,在卫片上显示较清晰的有云南昆明一带的东西向断裂、昆阳群的片理、川滇交界处的盐源东西向断裂带〔5〕、江西武功山东西构造。川东、黔北、湘北、赣北在卫片镶嵌图上呈现一系列近东西向平行色带,其中除贵阳藏江深断裂带〔6、壳断裂〕、城口房县深断裂带〔7、壳断裂〕透出地表外,其余都是隐伏断裂带。卫片上的色带主要由震旦纪以来地层褶皱转折端的连续显示出来。

祁连、昆仑地槽褶皱系的東西向线系构造以变质岩系中的片理、片麻理以及隆起、拗陷而显示出来。

3. 龙门山深断裂带〔8〕

四川盆地(灰白色块状影象)和松潘地槽(暗黑色不均一条状影象)的边界,由一系列北东向断裂、深断裂构成。当扬子地台大部分地区经晋宁运动转化为相当稳定的地台并接受震旦纪初的陆相碎屑沉积时,龙门山深断裂带强烈活动,沿断裂带先是大规模中基性岩浆侵入和喷发,继而大规模中酸性岩浆侵入。断裂带当时可能以左旋滑动为主。

4. 五台山深断裂带〔9〕

北东走向,北起河北官厅水库,经蔚县、五台山、止于太原西北,全长500余公里。断层、褶皱、太古——元古代超基性岩、基性岩、碱性岩等深源侵入岩类和花岗岩类呈北东向线状排列,可能属于岩石圈断裂。

卫片影象明显的北东向和北东东向断裂带尚有井陘长治深断裂带〔10、岩石圈断裂〕、五莲荣城深断裂带〔11、岩石圈断裂〕、绍兴江山深断裂带〔12、岩石圈断裂〕、赣东北深断裂带〔13、岩石圈断裂〕等。

5. 郯庐深断裂带〔14、岩石圈断裂〕

这里指的是郯庐深断裂带的长春营口段和昌邑巢湖段,北北东向。太古代末或元古代初即已存在,元古代期间多次活动,沿断裂面的活动主要是升降运动:元古代期间东降西升,

* (1)、(2)……括号内数字表示图1中断裂带编号。

** 深断裂分类参见中国地质科学院地质研究所“中国大地构造基本轮廓”。

致使胶东、辽东沉积了巨厚的地槽型胶东群、粉子山群及相当地层；西侧的辽西、冀东、鲁西或者为地台型沉积或者缺失沉积。扬子旋回末的构造运动，使南段改变运动方向，逐步转变为西降东升。

6. 金沙江红河深断裂系〔15、超岩石圈断裂〕

后文将较详细论述该深断裂系。这里只想强调，该深断裂系当时是古中国地台与古特提斯地槽区的分界。西南侧的变质基底形成较晚（古生代初的兴凯褶皱基底）。

7. “秦岭地轴”北缘深断裂〔16〕

“秦岭地轴”作为中国地质发展中的最重要的东西向分界是众所周知的。扬子旋回时它作为扬子地台（更确切地说是扬子地槽）与中朝地台间的俯冲带。卫片影象为东西向暗色色带的北部边界，大部分区段为断裂带。

二、古亚洲线系构造域

（一）一般特征

早中寒武世期间的兴凯造山运动，一方面使位于西伯利亚地台和古中国地台之间辽阔的中亚蒙古地槽区部分固结，贴附于西伯利亚地台边缘，另一方面使古中国地台破裂解体，形成一系列深断裂以及在深断裂基础上发生、发育的地槽系，如南天山、昆仑秦岭、祁连等地槽系。这些新形成的地槽系，在古生代期间是中亚蒙古地槽区的组成部分。它们经历了加里东旋回、华力西旋回，大部分于早二迭世末转化为褶皱带（后华力西地台），把西伯利亚地台和中国地台连成一体，至此古亚洲基本形成。我们把这一时期形成的线系构造总体称为古亚洲线系构造域。

中亚蒙古地槽区转化为褶皱区进程的重要特点是地槽逐步向洋后退（或称离陆），主要是离开西伯利亚地台后退，离开古中国地台向北后退速度很慢。与此相应线系构造形成的时期或强烈活动的时期自边缘向中央逐步变新。昆仑秦岭地槽系由于它们主要是特提斯地槽区的组成部分，表现为向南后退。

古亚洲线系构造域中，主体线系构造是向南稍微突出的弧形构造，且曲率越向北越大。弧顶位于贝加尔湖—黄河河套一线。弧顶以西，褶皱、逆冲断层、火成岩线列等压性构造为北西西向；弧顶部分近东西向；向东，逐渐转为北东东向。需要强调的是西部的北东向和北东东向，东部的北西和北西西向剪切断裂往往被地面地质工作者忽视，在卫片上，它们是很显著、很重要的线系构造，如西北地区的北山剪切带，狼山剪切带等。

（二）主要线系构造概要

1. 额尔齐斯深断裂带〔17〕

阿尔泰山蒙古深断裂系（超岩石圈断裂）是中亚蒙古地槽褶皱区内最重要的俯冲带之一，有发育极好的蛇绿岩套，全长超过3000公里。在我国境内部分称额尔齐斯深断裂带，长约400公里，走向北西西，向北倾，逆断层。早中华力西期强烈活动，是阿尔泰早华力西褶皱系和准噶尔中华力西褶皱系、准噶尔盆地的边界。卫片还显示了它是西准噶尔北东构造系与阿尔太北西西构造系的边界。

2. 西天山深断裂系

乌苏—托克逊一线以西的西天山地区北西西向深断裂极为发育，断裂方向自北至南逐渐从300°左右变为270°—280°，即向西撒开。主要深断裂（带）有博洛霍洛，天山中间隆起北

缘、南缘、开都河等深断裂带〔18—22〕。它们分别控制了北天山优地槽和南天山冒地槽的发生和发展。沿断裂带超基性岩、基性岩发育，但未形成良好的蛇绿岩套，为岩石圈断裂。卫片上影象平直，略呈波形，断裂与褶皱轴一致，断层以逆冲为主兼右旋滑动。断裂带内有花岗岩线列。

3. 东准噶尔深断裂系

其性质和强烈活动期与西天山深断裂系相似，为北西西向逆断层，兼右旋滑动。主要深断裂带有：卡拉麦丽、阿尔曼太、达拉布特等深断裂带〔23、24、25〕。克拉麦丽深断裂带有发育良好的超基性岩、细碧角斑岩、放射虫硅质岩“三位一体”的优地槽型建造，有可能是晚古生代俯冲带。

4. 内蒙兴安北东东向深断裂系

呈弧形，呼和浩特以西为东西向，以东为北东东向，越往东，构造方位越偏北。以逆断层为主，东段兼有左旋。主要断裂带有内蒙地轴北缘、西拉木楞、二连索伦、德尔布干等深断裂带〔26、27、28〕。西拉木楞深断裂带〔26〕在晚古生代时，是劳亚植物群和华夏植物群的分界，最近又在内蒙温都尔庙发现了兰闪石片岩带，因而它可能代表华夏大陆与劳亚大陆之间的缝合线带。

阴山燕山深断裂系再次强烈活动，沿断裂带有大规模线列华力西期花岗岩、超基性岩。

5. 昆仑秦岭深断裂系

形成于兴凯造山旋回，控制了昆仑秦岭地槽系的发生、发展。长期以来构成中国南北的地质分界。按断裂系各部分强烈活动时期和展布方向可分为祁连和昆仑—秦岭两个亚系。

祁连亚系

相互平行的地槽褶皱带、隆起带、深断裂带、线列超基性—基性岩带和花岗岩带构成了特征显著的巨型北西西向（ 300° 左右）线系构造系。它们的东端呈弧形向南弯曲敛集于宝鸡附近。主要深断裂带有北祁连优地槽北侧深断裂带〔29、30，壳断裂〕，北祁连优地槽中央深断裂带〔31〕，中央隆起带北缘和南缘深断裂〔32、33〕，党河深断裂〔34、岩石圈断裂〕、党河南山深断裂〔35、岩石圈断裂〕和拉脊山深断裂带〔37〕。北祁连优地槽中央深断裂已发现延伸达700公里的蛇绿岩套和百余公里的兰闪石片岩带，已被证实为古板块缝合线。

昆仑—秦岭亚系

西起帕米尔，东达大别山，全长超过4000公里，宽度200—300公里。是我国规模最大，影响最深远的东西向线系构造。本身是重要的深部构造变动带、重力梯度带，把我们地壳划分为厚度不同的南北两大厚度区，南厚北薄。卫片影象特别复杂，是三大构造域，特别是古亚洲和特提斯喜马拉雅构造域的重叠干涉区。该亚系线系构造的一个重要特点是多旋回发育，从古生代初形成后，经历了加里东、华力西两大构造旋回，秦岭地区则是特提斯中生代地槽的重要组成部分。主要深断裂强烈活动期也表现出离陆趋向。主要深断裂带有西昆仑北界深断裂带〔38，壳断裂〕，西昆仑中央隆起北缘深断裂〔39，岩石圈断裂〕、南缘深断裂〔40，壳断裂〕，祁曼塔格深断裂〔41，壳断裂〕、欧龙布鲁克深断裂〔36、岩石圈断裂〕，格爾木深断裂〔42，壳断裂〕，沙柳河深断裂〔44，岩石圈断裂〕，布尔汗布达中央深断裂〔43、壳断裂〕，青海湖北和淮阳深断裂带〔45、超岩石圈断裂〕，临潭山阳深断裂带〔46，超岩石圈断裂〕，昆仑南缘深断裂带〔47，超岩石圈断裂〕，松潘汉中弧形深断裂

带〔48、49,壳断裂〕、北大巴深断裂〔51〕及秦岭地轴深断裂带〔16、50〕。

青海湖北淮阳深断裂带、临潭山阳深断裂带和昆仑南缘深断裂带发育有大规模的超基性岩带或蛇绿岩套,花岗岩带、混杂岩带和高温低压、低温高压变质带,同时是地槽系内主要的构造—建造界线。是古生代以来的重要俯冲带。据地质资料分析,从加里东旋回至印支旋回,俯冲带逐步向南后退。

6.古亚洲构造域中,北西向线系构造很发育。西部地区,这类构造早已被重视,而东部地区过去注意较少。在卫片镶嵌图上,北西向构造分布是普遍的,根据它们切割弧形线系构造,它们主要形成于古生代末。西北地区主要北西向断裂带有:艾比湖北和艾比湖南深断裂〔52、53,岩石圈断裂〕,玛纳斯托克逊深断裂〔54,壳断裂〕、富蕴深断裂〔55,壳断裂〕、喀什深断裂带〔56,岩石圈断裂〕、张掖海晏深断裂带〔57,壳断裂〕等。具右旋滑动性质。东部地区主要断裂带有爱珥、哈尔滨断裂带等〔58、59〕。

7.北东及北东东断裂很发育。东部地区中生代以来活动强烈,掩盖了古生代该方向的断裂。西部地区,北东向和北东东向断裂具有重要意义,在卫片上影象清晰,并显示左旋滑动性质,切割北西西向逆断裂。

(1)阿尔金剪切带〔60,岩石圈断裂〕、北山剪切带〔61、62、63,岩石圈断裂〕。在卫片上显示最清楚,规模最大的北东东向剪切带。北山剪切带向南延至罗布泊后,与且末河深断裂〔64〕、诺羌深断裂〔65〕相连。以前把北山剪切带误认为“天山弧形断裂带的东翼”,卫片判读结果表明所谓弧形断裂带实质上是北西西向和北东东向两组断裂。根据断裂带两侧早成构造变形及平行断裂带极发育的片麻状构造,该剪切带为左旋平移,兼压性。

(2)狼山剪切带〔68、69〕,拉竹笼剪切带〔70〕,西准噶尔剪切带〔65、66、67〕是本区发育最好、卫片影象最清晰的北东向剪切带。断裂带内超基性岩和花岗岩线状排列。影象显示左旋滑动。狼山剪切带平移距离可达70—100公里。

古亚洲线系构造域中南北构造被认出的还不多,桌子山—六盘山断裂带(即古脊梁)和东北汤旺河牡丹江断裂带是其中最重要的两条深断裂带。

三、滨太平洋线系构造域

(一) 概 要

滨太平洋线系构造域的特点是线系的构造的方向很多,错综复杂。主要线系方向是:近东西向、北东东向、北东向、北北东向、近南北向、北北西向和北西向(图1)。它们的生成次序和相互关系至今尚未完全研究清楚,据广东省地质资料和一些地区(如闽粤边境)卫片判读,大体的生成次序为东西向→北东东向→北东向→北北东向→南北向→北北西和北西向。但广西、贵州一带的北西向构造形成较早。造成该构造域复杂图案的原因可能是:

(1)多旋回构造发展:东南地槽褶皱区经历了三大发展阶段:元古代至志留纪地槽阶段;晚古生代至三迭纪地台阶段和三迭纪晚期以来的活化阶段。每一个构造阶段都形成一定方向的线系构造。近年来研究结果初步证实浙闽沿海和海南岛还存在一个华力西地槽褶皱带。为了区别起见,我们把东南地区印支运动以前形成的线系构造称为古滨太平洋线系构造域;印支运动以来的,称为新滨太平洋线系构造域。

(2)新滨太平洋线系构造域的发展同样亦是多旋回的,历经燕山、喜山(各分早、晚亚旋回)两大旋回。每一阶段由于太平洋板块活动方向和方式的改变形成特征线系构造,并

部分重叠。

(3) 不同的线系构造域的重叠: 新滨太平洋线系构造域的线系构造重叠在不同时代、不同方向的较老线系构造之上。较老线系构造自北而老分别为: 古亚洲、古中国地台、古滨太平洋线系构造。

(4) 活化(即继承性): 老构造的活化使得各阶段形成和强烈活动的线系构造间的关系复杂化。

(二) 线系构造特征

1. 古滨太平洋线系构造: 华南加里东地槽褶皱系的褶皱为紧密线状褶皱, 轴向以北东向和北东东向为主, 大多数逆断层也是这个方向(如吴川四会深断裂〔71〕, 江山绍兴深断裂带)。处在扬子地台边缘的湘黔桂, 褶皱和断裂以北东向和北西向为特征。延伸较长、影象平直的北东东和近东西向的断裂带可能是那时形成的剪切断裂带。

2. 印支运动不仅形成了中国东南部的印支褶皱带(下扬子褶皱带、黔桂褶皱带), 更重要的是打破了原有的构造格局(古亚洲和古滨太平洋), 使它们进入了中生代新滨太平洋构造发展阶段。印支构造阶段形成的(或活化的)主要线系构造有: 下扬子北东向压性线系构造, 北西向黔桂褶皱带, 北东向(如灵山深断裂带〔72〕)和北西向(百色深断裂带〔73〕、马山都安深断裂带〔74〕)剪切断裂带; 近南北向的大型隆起和拗陷: 鄂尔多斯拗陷、四川拗陷, 太行山、武陵隆起。似乎可以认为太行山—武陵山以东处在挤压状态, 以西处于压力松懈状态。东部以小型断陷为主。

3. 侏罗纪时, 构造应变状态与前一时期基本一样。最显著的线系构造是四川拗陷东缘的北东向褶皱带和东南地区北东向断裂活动和花岗岩的侵入。侏罗纪晚期开始了以引张为主的构造阶段, 拗陷和隆起向东迁移, 相继形成线列的松辽、江汉和华北、苏北拗陷, 并普遍伴有玄武岩喷溢。隆起区则主要是断裂、中酸性岩浆侵入和喷出, 它们呈现显著的北东和北北东向线状排列。北北东向和北东向断裂带在中生代及第三纪早期一般以左旋滑动为主(郯庐断裂带、烟台断裂带)兼压性, 新第三纪以来转变为正断层兼右旋(沧州深断裂〔25〕、聊兰深断裂〔76〕、郯庐深断裂带、伊兰伊通深断裂〔77〕、抚顺密山深断裂带〔78〕, 大量的北西向断裂错开上述断裂带, 且为左旋滑动(张家口断裂、营口二连断裂带、济南上海断裂带等)。

4. 那达哈达和台湾是中生代地槽褶皱带, 它们的线系构造以近南北向的挤压型褶皱和断裂带为主。

综上所述, 滨太平洋线系构造可分为内外两带, 外带主要是中生代(及其以前)构造带, 内带主要是新生代构造带。主要线系构造方向是北东和北北东向, 但是北西向线系构造很发育, 大规模的北西向线系构造的建立主要应归功于卫片的应用。

滨太平洋线系构造已为大家所熟知, 故不一一例举, 本文着重提出一些新看法。

郯庐深断裂系

(1) 主干深断裂带的延伸: 在卫片镶嵌图上, 它是亚洲东部最巨大的北北东—北东向线系构造, 北起苏联鄂霍茨克海南岸, 经我国伊春、哈尔滨、营口、郯城、巢湖、赣西北、株州、海洋山, 止于十万大山。在我国境内长度超过4000公里, 主干断裂带宽20—60公里。伊春→哈尔滨→营口段是据卫片判读划出, 并与东北地区主要深部变异带一致。

（2）深断裂系组成：

郯庐深断裂系由两个方向的线系构造（包括断裂和线列盆地、火成岩）。以安徽巢湖和渤海为界分成三段。巢湖至渤海为北北东向（ 18° ），即狭义的郯庐深断裂带。此方向断裂过巢湖后继续南延至长江以南，不过呈马尾丝状分散消失。南段，从广西十万大山起，呈北东向，至巢湖后，继续伸长至江苏射阳海边。北段主干断裂带（营口、哈尔滨、伊春段）亦为北北东向。中生代时从十万大山→巢湖→渤海→哈尔滨→伊春联成一体，呈现今日所见的样子。同时伊兰伊通，抚顺密山两条北东向断裂带加入该深断裂系。

（3）性质

切割深度：中段切穿岩石圈是无疑的，北段有大规模基性岩喷溢、是重要地壳厚度分界带，南段沿断裂发育超基性岩及爆发岩筒。因而有可能切穿岩石圈。

活动方式：不同时期、不同地段运动方式是不同的，总观之，中生代以左旋滑动为主兼压性；新生代以张性为主，近期具右旋滑动。

嫩江—长治—蒙自深断裂系

我国东部又一巨型深断裂系。卫片影象表现为两大色块的分界、线列大型断裂带和褶皱带、线列侵入体、火山岩带及大地貌单元分界。蒙自一带呈现美丽的地热云影象。主体为北北东向、局部北东向。它与我国最重要的重力布格异常变异带、梯度带一致。长约4000公里，宽100—200公里。主要断裂带有嫩江长治深断裂带〔81〕，丰都蒙自深断裂〔84〕、赤峰深断裂〔82〕、石家庄深断裂〔83〕、宜昌都匀深断裂〔85〕等。

温州虎门断裂带〔86〕

是华南卫片影象最明显的北东向线系构造（宽约20—30公里白色调色带），由平行的断裂和燕山—印支期花岗岩带组成。其南段为原名河源邵河深断裂的一部分。

与温州虎门深断裂带平行的断裂带在我国东部是十分发育的，主要的有肖山赣州、巢县阜宁、响水嘉山、烟台临沂、北京石家庄、长白复县等断裂带〔87—94〕。

南京武汉断裂带〔95〕是北东东向断裂的典型。北东东向断裂过去很少强调，而在卫片上反映很清楚〔96、97、98〕。

应该特别强调的是，北西向线系构造在滨太平洋构造域中占有重要地位。它们不仅影象清晰，而且规模大。从它们切割所有断裂来看，形成时间最新，左旋滑动为主，如襄阳波阳、泌阳福州、岳阳汕头、广州连山、南京杭州、济南上海、海城以及齐齐哈尔长春等断裂带〔99—114〕。

四、特提斯喜马拉雅线系构造域

目前的地质资料还不足以论述古生代以前的线系构造格局，本文着重分析中生代以来（印支运动以来）的线系构造。

（一）一般特征

1. 构造迁移和分带：特提斯喜马拉雅构造域被雅鲁藏布江缝合线分成南北两部分，南部为新生代构造系，北部主要为中生代构造系。构造域形成过程具有鲜明的定向迁移的特征——即地槽系以一定方向依次转化为褶皱带：南部构造系自南向北迁移；北部构造系自北向南迁移。同时，两者又都从东向西迁移。相应地，在空间上表现为南北构造分带（附表）。

附表

构造带划分

滇 藏 地 槽 褶 皱 区	秦岭褶皱系	印 支	北 ↓
	松潘甘孜褶皱系	印 支	
	三江褶皱系	印 支	
	唐古拉褶皱系	早 燕 山	
	那曲褶皱系	中 燕 山	
	冈底斯念青唐古拉褶皱系	晚 燕 山	
喜 马 拉 雅 地 槽 褶 皱 区	日喀则褶皱带	喜 山	↑ 南
	北喜马拉雅褶皱带	晚 燕 山	
	高喜马拉雅褶皱带	兴凯及更老	

2. 线系构造方向性清楚：主要线系构造有四个方向：（1）以东西向为主的反“S”形；（2）北东向（及北东东向）；（3）北西向；（4）南北向。

3. 以近东西向为主的反“S”形线系构造是本构造域中的主干构造。主要深断裂带（包括全部俯冲带）、大型线列基性—超基性岩带（蛇绿岩带）、花岗岩带、主要火山岩带、主要线形褶皱带、大部分中新代盆地、重力异常带、地热带和地震带都相互平行。主体为东西向，川西、滇转为南北向，至哀牢山转为北西向。弯曲度自北而南增大。

主要线系构造规模大，切割深，集中了我国大部分已知超岩石圈断裂。断裂性质以压性为主（向北俯冲）。

4. 北东（及北东东）向和北西向是典型的剪切断裂带，它们相互交切，把青藏地区切割成菱形。西部以北西向剪切带为主，右旋。东部以北东向为主，察隅以西为左旋，察隅以东为右旋。

5. 最新时期的断裂，在西藏高原隆起最高部位以地堑型正断裂为主，高原周围以向外逆冲的逆冲断裂或平移断裂为主，如天山、河西走廊的向北逆掩断层，川西左旋滑动断层。

6. 大规模低角度辗掩断层（纳布带）是喜马拉雅地区特有构造。断层面一般向北倾，辗掩距离从几十公里到上百公里。卫片上可见到许多飞来峰和构造窗。

（二）主要线系构造概要

1. 雅鲁藏布江缝合线带〔118、119〕

作为印度板块和欧亚板块分界的雅鲁藏布江缝合线带在卫片上显示两条平行的主干断裂带，南支断裂带南侧是西藏最明显的巨型褶皱带之一。缝合线带在我国境内为近东西向，米林以东向南急剧拐弯，全长2000余公里，宽30—60公里，断裂面向北倾，唯日喀则至朗县段高角度南倾。米林以东缝合线位置的最后确定主要依赖于卫片判读（划分不同的构造区、蛇绿岩套、花岗岩带）。

缝合线带内（俯冲侧）有我国最长、发育最完好的蛇绿岩套（卫片上均一的暗色调），北侧（仰冲侧）有长逾1500公里的花岗岩带，火山岩带。典型的混杂堆积在两侧都广泛分布

(羊卓雍湖北岸、萨噶、冈底斯山等地)。众所周知,缝合线带是我国地壳厚度最大的地带。据现有地质资料(包括同位素测定)分析,印度板块从白垩纪开始与欧亚板块敛聚,并在晚白垩世末(80×10^6 年)和始新世晚期(40×10^6 年)先后两次俯冲。

2. 金沙江红河深断裂带〔15〕

在卫片上呈波状弯曲,下分是由于后期断裂的错位,主要是继承和追踪原始北北西向和东西向断裂的结果。沿深断裂带广泛分布的基性—超基性岩带、花岗岩带、混杂堆积带(基质为三迭纪复理式沉积)以及哀牢山发现的兰闪石片岩表明它是三江板块与松潘板块、扬子板块间的缝合线带,俯冲作用发生在晚三迭世。

3. 班公湖怒江深断裂带〔115〕

西起班公湖南,向东经改则、东巧、安多、索县、丁青,然后转为近南北向,沿怒江达云南之龙陵,长逾3000公里。丁青以西是西藏最醒目的波状褶皱带。深断裂带内发育良好的燕山期超基性岩(下分为蛇绿岩套)、花岗岩带、线列中新生代盆地,据最近研究,索县等地有早白垩世混杂堆积。俯冲作用开始于侏罗世晚期,早白垩世达到顶点。

4. 昆仑南缘深断裂带〔47〕

它是形成于古生代的多旋回深断裂带,古生代时南降北升,印支运动时,向北俯冲,沿断裂带发育典型的蛇绿岩套、混杂堆积带,可能还有兰片岩带。断裂带近代活动强烈,造成深谷、线列湖泊、强地震和近代火山带。据地震机制分析为左旋滑动断裂。

5. 青海湖北准阳深断裂带〔45〕和临潭山阳深断裂带〔46〕在经历了加里东、华力西旋回强烈活动后,三迭纪时(印支旋回)发展成为俯冲带,沿断裂带广泛分布混杂岩、超基性岩,部分地段具双变质带。

6. 澜沧江深断裂带〔121〕是三江地槽褶皱系中重要的岩石圈断裂。卫片上显示两条平行的主干断裂:一条沿江,一条在西侧分水岭附近。断裂带在保山—无量山间突然转折为东西向,在卫片上清楚地显示出是由于与东西向断裂联合的结果。

7. 噶尔嘉黎深断裂带〔116、117〕是控制地槽发展的又一条重要深断裂带,卫片上可以判读出超基性岩带、花岗岩带(西藏第二大花岗岩带)、大断层和线列紧密褶皱以及噶尔附近的蛇绿混杂岩。晚近活动控制了湖泊的形态和排列。

属于反“S”形深断裂系统的还有已为大家熟知的哀牢山、甘孜理塘、乡城、贡觉桥后、格尔木、柴达木北缘等深断裂带。

8. 阿尔金剪切带〔60〕是我国卫片影象最鲜明的北东东向剪切带,长度超过1500公里,宽30—50公里。中新生代为左旋滑动,平移超过100公里。与它平行的剪切带在祁连山特别发育。

9. 拉竹笼剪切带〔70〕和阿牙克库木库勒剪切带〔122〕是新疆南部、西藏北部两个重要的北东东向剪切带。中新生代为左旋滑动断裂。拉竹笼深断裂带在古生代时是东、西昆仑地槽的分界。

10. 法玛木错赤布张湖剪切带〔123〕西藏中部最显著的北东东向剪切带,卫片上显示左旋滑动。

11. 纳木湖剪切带〔124〕是中生代时西藏重要的建造区界线,喜马拉雅旋回以来强烈活动,是地震、温泉最集中的地带,念青唐古拉片麻岩系最重要的一次变质时期与此断裂活

动有关(23×10^6 年)。左旋滑动。

12. 通麦波密剪切带〔125〕控制雅鲁藏布江大拐弯。在卫片上, 两侧牵引构造显示左旋平移。该断裂带向东北方向延伸可能达到宁夏北部和内蒙之磴口。

13. 龙门山碧江剪切带〔8〕是第三纪以来强烈活动的北东向复杂剪切带, 右旋平移为主。南段是喜山旋回新产生的断裂带, 北段继承了原龙门山断裂。

14. 南定河深断裂带〔126〕是云南西南部构造——地貌影象最清楚的北东向断裂带。断裂带多次活动的结果形成超基性岩带、变质带和新生代线列盆地。向东北继续延伸, 可达元谋附近。左旋(?)。

15. 噶尔剪切带〔127〕是冈底斯、喀喇昆仑山系中最重要的北西向剪切带(岩石圈断裂), 右旋平移。断裂带内有第三纪花岗岩、片麻岩和混合岩。断崖地貌明显。

16. 申扎剪切带〔128〕、喀什萨噶剪切带〔56〕。

是我国西部两条长度最大的剪切带, 北西向, 明显的右旋滑动。西藏西部的地震活动与它们有关。喀什萨噶剪切带向北延伸, 即为苏联的费尔干纳深断裂带。

17. 青海湖剪切带〔129〕、安康银川剪切带〔107〕是青藏高原外缘重要的北西向断裂带, 右旋平移。

18. 唐古拉攸穆错地堑〔130〕和温泉安多正断层带〔131〕是西藏高原隆起最高处最显著的地堑型正断层带。这些正断层向南、向北逐渐消失。断裂带内充填中基性火山岩成为巨大的温泉带。

19. 横切喀喇昆仑山系的公格山地堑型正断层带是喀喇昆仑地区影象最清晰的线系构造。有人把它看作噶尔深断裂带(剪切断裂), 这显然是错误的。

五、南北干涉带(或叫南北构造带)

从银川到昆明南北构造带是纵贯我国中部的南北向深部构造变动带。北起桌子山、贺兰山、六盘山, 穿越秦岭、松潘甘孜、直达昆明以南, 长度超过2500公里, 宽度在150—200公里间。古生代起就是一条重要的地质分解线。中新生代以来, 它是滨太平洋线系构造和特提斯喜马拉雅线系构造的重叠干涉带。因而线系构造错综交叉, 异常复杂。立体线系构造主要有三个方向: 南北向、北东向和北西向。它们配合一起, 组成锐角对着南北的菱形网格。

桌子山—六盘山段(北段)和康定昆明段早已被大量资料所证实。天水至康定间南北构造带存在与否一直没有定论。卫星象片, 特别是1/500万和1/600万卫片镶嵌图最直接和最清楚地证实了南北向断裂带(包括断层、褶皱、线列岩体、盆地)的存在。卫片影象还显示、该构造带从昆明继续南延、穿过哀牢山进入印支半岛。南北构造带明显地分三段: 天水以北为北段, 康定—天水为中段, 康定以南为南段, 三段自北而南向西错移。组成构造带的主要深断裂是安宁河深断裂〔133〕、元谋深断裂〔134〕小江深断裂〔135〕、鄂尔多斯西缘深断裂〔136〕、武都康定深断裂带等。

六、活动断裂

活动断裂的研究对于地震地质、水文地质—工程地质和近代地壳运动机制具有重要的现实意义和理论意义。卫片判读解释是研究活动断裂最有效的手段之一。由于活动断裂的研究已超出笔者们的能力并要花费很多的时间, 因而本文仅附活动断裂略图(图3)供参考。

我们只强调一点, 我国活动断裂的发生和发展是特提斯喜马拉雅构造域和滨太平洋构造

域活动的继续。

七、简单小结

1.卫片及其镶嵌图能清楚地反映线系构造，特别是断层、褶皱。卫片判读是线系构造研究的最重要手段之一，最终的地质解译必须结合丰富的地质—地球物理资料。

2.我国的线系构造格局清晰，明显分成三大线系构造域（古亚洲、滨太平洋和特提斯喜马拉雅）。它们的发生、发展是欧亚板块（古生代期间本身又处在古中国地台、西伯利亚地台及中间的海洋作用之下）、太平洋板块和印度板块相互作用的结果。

3.三大线系构造域都有各自优势的线系构造和组合。综观我国，东部以北东、北东东向构造为主，但北西向构造很突出；西部以北西西和北西向为主，但北东和北东东向占有重要地位。

4.桌子山—昆明南北构造带和昆仑秦岭东西构造带和华北、东北分别是三大构造域的重叠干涉带。

5.线系构造可以根据其深度和运动方式进行分类。各类线系构造（主要是断裂带）与一定的岩石建造、一定的变形相联系。总观全国，超岩石圈、岩石圈断裂带以西部为主，东部主要是壳断裂。

6.线系构造在生成和强烈活动时期是不同的，而且是多旋回的。各旋回阶段的断裂既有新生性，又有继承性。

7.在卫片上有大量延伸很长的线系构造，它们的特点一是平直，二是穿越不同构造单位。我们称之为贯穿性线系构造。对于它们的性质、意义和形成时代了解很少。这是今后研究的重要课题。

环 状 构 造

在卫星象片上，环状形象特征同线形影象特征一样，是很清晰的。所谓环状影象特征是指具有同心环状、弧形、圆形、椭圆形形态的影象信息。环状形象含义很广泛，有构造成因的，也有非构造成因的，我们把前者称为环状构造，后者暂称为环状图象。

环状形象（或环状构造）一词在国外有关卫星象片判读解译的论文中经常出现，讨论环状构造的专门性文章在逐年增加。讨论的重点是识别和圈定环状构造、它们的成因探讨、理论意义以及与各种矿产的关系等等。但到目前为止，仅仅处在初步阶段。

（一）环状影象成因分类

我们在判读我国卫星象片基础上，对环状影象作如下的初步成因分类。

环状构造

1.环状断裂（包括弧形断裂）

2.火山构造

3.侵入体及有关构造、爆发岩筒、环状岩脉。

4.古老岩系中的穹状构造和片麻岩、混合岩穹窿。

5.松散沉积物或沉积盖层下的潜山、岩块、隆起、坳陷和背斜、向斜。

6.盐丘和底辟构造

环状图象

7. 圆形和椭圆形“云雾状”晕圈

8. 地球化学异常

9. 其它

环状构造（包括环状图象，下同）除了成因分类外，还可以按照其它标志，如按照深度、运动方式以及与周围地质体的关系等等进行分类。我们认为目前阶段以成因分类比较简便可行，且实用意义较大。

（二）环状构造的结构特征

环状构造的结构包括它们的形态、内部构造、组合型式以及它们与“围岩”的关系。

1. 环状构造的形态

a. 同心圆断裂系、弧形、半环状断裂系。

b. 圆形和椭圆形“岩块”。主要是各类侵入体、隐状岩块、潜山、隐状隆起和坳陷、背斜和向斜等。

c. 环状断裂、放射状断裂与圆形岩块的结合。火山构造，部分侵入体具有这种形态。

d. 同心环状晕圈。是爆发岩筒，地球化学异常、具有明显的接触蚀变带的侵入体（主要是花岗岩类）的特征结构形态。

e. 菊花状影象。是古老岩系中片麻岩、混合岩穹窿的影象特征。

f. 圆形和椭圆形“云雾状”晕圈。是油气和一部份地球化学异常的影象特征。

g. 花边状岩块。是盐丘、底辟构造、部份侵入体、部分古老岩块，在其圆形、椭圆形“岩块”的外围或顶部镶有宽度不等的褶皱花边。

2. 环状构造的组合型式

单一的环状构造在卫星象片上固然可以见到，但是最常见的是以不同的型式组合在一起的环状构造群。最常见的组合型式有：

a. 串珠型—相同成因的环状构造呈串珠状（各环不重叠）或连环套状排列。主要是沿同一断裂侵入的岩浆岩和沿断裂分布的火山喷发中心。

b. “寄生”型—一个大的环状构造中“寄生”若干个小型环状构造。按“寄生”方式又可分为内切圆式，外切圆式，跨边缘式及其混合式。如鞍山环群、五台环群。

c. “原子结构”型—这是多次喷发的火山岩地区特有的组合型式：第一世代的火山口位于中心，外围环绕着的是下一世代的火山口。在浙闽地区中生代火山岩区这类环状构造群特别发育（闽侯环状火山口构造）。

d. 莲花型—由不同时期的侵入岩部分重叠而形成的莲花状组合，如广西富贺钟地区的复式花岗岩。

e. 包裹型—一个大型环状构造中包裹着一些小型环状构造。气油区“云雾状”晕圈中往往有不同色调的圆形、椭圆形构造（一般反映坳陷或隆起，有时反映含油构造，如任邱、大港、苏北等环群）。大型环状断裂、隆起和盆地也大都具有这种组合型式。

f. 旋涡型—由岩块和它派生的旋卷断裂组成。

g. 弥散型—相互间不接触的环状构造群。如云南洱海东北面的二迭纪玄武岩火山口。

在卫星象片上还可以发现各种环状构造，由于其成因不同而具有不同的边界状态。粗略

地说，一类为截然的：环状构造影象清晰，与围岩”分界截然，其中又可细分为：断层接触和侵入接触两个亚类。第二类为过渡的（可分为明显的和模糊的）：地球化学异常、云雾状晕圈、具有接触变质带的侵入体、隐伏构造一般显现这种影象。

环状构造在地壳上的分布是很不均匀的，有些地区这种构造很少，而另一些地区则很集中。图1表示了我国主要的几个环状构造。

环状构造的规模差异很大，大的直径可达几百公里，小的直径小于1公里。西藏西部昂仁错环状断裂和云南碧江环状断裂的直径都近180公里，安达环状晕圈的直径超过200公里，而这些还不是我国最大的环状构造。最小的环状构造要算山东、贵州等地的爆发岩筒，在卫星象片上，它们的外环直径仅为2—3公里或更小。一般来说，以地台上的环状断裂和大型盆地内的云雾状晕圈规模较大。

一、环状断裂

环状断裂过去很少被人注意，地质图上更为罕见。但在卫星象片上，与线系构造一样，影象显示得很醒目，而且数量很多，分布很普遍。我们认为判读和圈定环状断裂，进而查明它们的分布规律、构造地位以及形成机制，不仅将使以后出版的构造图大为改观，而且可以期望提出新的地质假说，并指导矿产的勘察。

环状断裂的规模差别很大（直径从几公里至几百公里），形态也不相同，有同心环状断裂、圆形和弧形断裂。

由于我们刚开始研究环状断裂，还不可能对全国的环状断裂作规律性的说明，因而，只举几个实例来简要说明它们的一般特点。

江西南部大余、崇义地区的崇余环状断裂群是我国东南部影象最清晰的环状断裂群之一。它的组成很复杂，有几个大小不一的环状断裂叠覆在一起，后来又被线状断裂严重破坏，因而形态更加复杂。总的来看，主要有两个环状断裂：一个呈北东东向伸长的椭圆形环圈，外环长径一百二十公里，短径八十公里，内环大体为圆形，环与环之间的距离约二十公里。仔细观察，发现这个大型环状断裂中包含着许多小型环状构造，据影象判别，它们是花岗岩小岩株，北东东向强大的断裂带通过这个环状构造的偏西部位，把环状构造切成两部分，东半个较大，西半个较小。另一个在稍北，为一个直径五十公里的圆型环状断裂，保存得较完整。

环状断裂的中心是花岗岩，地质资料表明它们是早中燕山期的，环状断裂围绕岩体分布。北东和北北东向、充填了白垩—第三系红层的断陷盆地切割环状断裂。因此，有理由认为崇余环状断裂群是由于燕山早中期花岗岩在向上侵位时垂直冲击围岩而造成的。

西藏西部阿里地区昂仁错一带的环状断裂特别引人注目。它的规模较大，外形特殊，呈现近南北向的肾状。外环南北近二百公里，东西宽150—170公里。环状断裂内部结构可以分为三个层圈：最外面层圈是由紧密的环圈构成，断层密集；最里面由一个直径为30公里的花岗岩；两者之间为产状平整的火山岩溶岩流。很象一个鸡蛋的切面。

如果与围岩的构造联系起来观察，就可发现在昂仁错环状断裂由于两组近东西向断裂系围绕一个岩块发生弧形弯曲而组合成为眼球状断裂，当西藏高原第三纪以来强烈隆起产生的近南北向正断层与之配合时，最终形成了现今的肾状外貌。也有人认为昂仁错环状断裂是由于岩浆上涌（侵入和喷出）造成的。

中朝地台上有五个大型环状断裂特别醒目，它们是辽东半岛的鞍山环状断裂群，河北、山西、内蒙交界处的五台环状断裂群，河北北部的迁西环状断裂，山西南部的长治环状断裂和山东的鲁西环状断裂。它们的共同特点是：a, 影象清晰，外形为正圆形（迁西环为东西稍长的椭圆形），规模较大，直径达150—250公里；b, 环状构造发育在我国最古老的深变质岩系区域；c, 不同性质的岩浆岩的分布与环状断裂内部结构有关：基性、超基性岩分布在内环，酸性岩分布在外环。d, 根据岩浆活动和沉积建造分布，它们形成于元古代或更早，以后经历多次强烈活动；e, 北北东向（30°左右）和北北西向（320°—330°）两组断裂与环状断裂配套。但由于它们发生、发展不同，因而亦各有自己的特点。

鞍山、五台、迁西、泰山四个环，古老变质岩系位于环内或内环，较年青的岩系分布在外环，长治环则相反，越往里，地层时代越新。

环状构造的结构、组合型式的差异在卫星象片上显示得十分清楚。鞍山环群由三个大小不等的环状断裂构成，大环呈略向北北东延长的圆形，直径约150公里，其西侧内切一个直径60—70公里的圆环，南侧外切一个直径30—40公里的小圆环。迁西环结构简单，是一个长轴为东西向的岩块，长径120公里。中心出露我国已知最老岩系。最外环分布着太古代以来的花岗岩。大同环群是五个环群中最大、最复杂、影象最清晰的环群。它由一个外环直径250公里左右的大型环状断裂、二个长轴为北北东向的沿北北东向断裂分布的椭圆形环状构造和三个沿北北西向断裂分布的较小圆环联合组成。长治环是简单的圆环，卫片上最外环（直径约250公里）和最内环（直径100公里）影象最清晰，它的特点是古老变质岩系分布在环的外圈，越往里地层时代越新。鲁西环正好与长治环成镜相对应，古老岩系占据了环状构造的大部分。它由三个间距为40公里的环构成。

我国的重要的环状断裂还有很多，河北多伦环、湖北神农架环、云南碧江环、楚雄环、大洪山环、甘肃敦煌环、西藏北部羌塘环群、湘桂粤环及福建江西边界的会昌环影象都比较明显，规模也比较大。

二、与火山活动有关的环状构造

中新生代，尤其是近代火山活动所形成的环状构造（简称火山环状构造）一般规模较小，个别的规模可以达到几百平方公里甚至一千平方公里以上（如东北长白山火山环状构造）。因而，判读解释这类构造最好在单张1/100万卫片上进行，有条件的话，放大成1/50万更好些。初步判读结果表明，火山环状构造主要分布在两大区域，我国东部，北起兴安岭，南到海南岛是火山环状构造最发育的地区，这个区域的西界大体为包头—南宁一线。昆仑山以南，康滇地轴以西是另一重要火山环状构造发育区。它们分别和中新生代火山岩分布区相吻合。

发育完好规模较大的火山环状构造具有下列结构特征：中央一般为暗色调圆块，为火山口所在，外围或一侧为绉纹状影象（熔岩流）和以火山口为中心的放射状及环状断裂。福建、浙江沿海、西藏阿里地区有不少这类火山环状构造。但大量的火山环状构造的结构特征显示得不十分完整，它们或者只有火山口和绉纹状熔岩流（如吉林白头山火山环状构造），或者只有火山口和环状断裂（如安徽马鞍山火山环状构造）。小型的则仅仅见到黑色圆环形小点（如雷州半岛火山群、南京地区火山群）。

火山环状构造一般是成群出现的，它们的组合型式主要有两类：原子结构型和弥散型。

福建闽侯、浙江绍兴火山环状构造组合可以作为原子结构型的典型。它们的规模较大，面积超过400平方公里。中心是一个火山口，外面围以环状断裂及放射状断裂。在放射状断裂与环状断裂的某些交点上分布着小型火山环状构造，很象原子结构模型（平面）。这类火山环状构造组合在东南沿海中生代火山岩区很发育。原子结构型还有另一种结构：环圈状分布的次火山岩代替了上述组合中的小型火山环状构造（如福建屏南等火山环状结构组合）。很显然，这种组合型是由两个世代火山作用造成的。

弥散型是指呈分散状的火山环状构造群。广东雷琼地区、大兴安岭、藏北高原、滇西腾冲地区的部分火山环状构造就属于这种组合型式。

如果在更大范围内观察，火山环状构造及其组合的分布不是杂乱无章的，而是有规律的，它们受高一级的线状深断裂或大断裂，高一级的环状构造（主要是环状断裂和基底隆起）控制。例如吉林、辽宁的火山环状构造分布在北东和北北东向抚顺密山深断裂带上。西藏的火山环状构造大部分明显受南北向正断层和东西向断层交结点的控制，部分受环状断裂控制。

古生代或更老的火山环状构造在卫星象片上一般不易辨认。在云南洱海东北面中生代——古生代地层广泛分布区域，二迭纪玄武岩色调为灰白色，其中有四个直径约20公里浅灰色——灰色圆形纹状构造，初步推断为二迭纪古火山喷发中心。

三、与侵入体有关的环状构造

包括各种性质的侵入体及其伴生的环状构造。它是分布最广、形态和组合型式多种多样、卫片影象最明显的环状构造。与侵入体有关的环状构造的判读解译对于准确识别侵入体的岩石类型；岩体的原生构造，岩体与围岩的接触关系，接触带类型和蚀变范围，岩体的侵位方式，复式岩体中不同岩性、不同时代侵入体的范围及相互关系，以及侵入岩的构造位置起重要作用，进而为普查找矿和探讨侵入岩成因和侵入作用动力学提供十分有意义的第一性资料。

侵入体在卫星象片上一般表现为各种色调的、比较均一的圆形、椭圆形岩块，它们与围岩通常有明显的界限。但是，在强烈变形、变质的褶皱带内前期旋回、主旋回花岗岩——闪长岩类岩体影象就不清晰，很难从围岩中圈定出来（例如阿尔金山前华力西花岗岩）。

1、色调

侵入体的色调取决于下列因素：岩石类型、地理位置（决定于气候、植被条件和风化程度）和构造变动状况。一般说来，基性程度越高色调越深，超基性岩、基性岩具黑色和暗灰色调，花岗岩为浅灰、灰色色调；干旱地区色调较浅（如天山、阿尔金山晚华力西花岗岩为白色色调，华南同类花岗岩为暗灰色调）；经强烈构造变动的色调深，反之则浅（如布尔汉布达褶皱带，华力西花岗岩为暗灰色调，印支—燕山花岗岩具灰色色调）。

上述三个因素还决定了色调的均一性程度。

2. 形态和结构

均一结构：卫星象片上具有同一色调和比较均一的结构，内部没有明显的环带形象（甘肃北山华力西晚期花岗岩）。这类岩体一般岩性比较均一，无明显的蚀变。此外，剥蚀较深的岩体也具有此类结构。

环状结构：卫片影象显示为不同的色环或环状断裂、旋卷断裂或褶皱。

花岗岩和闪长岩类侵入体岩块往往有较深色调的狭窄边缘，围岩也具有深色边缘，构成围绕岩块的皮壳状环形色环。这种色环可以较有把握地解译为内外蚀变带。有些岩体内部有平行于岩体外廓的“虚线形”色环，宽度一般不大，且向着岩体中心逐渐消失。这种“虚线”代表岩体的原生线理，原生环状裂隙。有时，“虚线”在卫片上显示为微正地形，色调较浅，这是由于裂隙被岩脉充填所致。

爆发岩筒在卫片上形成独特的环形构造。例如，山东鄒庐深断裂西侧有一串爆发岩筒，卫片影象清楚，为很小的同心圆环（外环直径1—2公里），环圈有三层的，也有二层的，环圈为断层。各个环的色调反差显著，外环灰色调，中间环灰白色调，内环暗灰至灰黑色调并为负地形。在广西东北部、贵州，亦有类似的环状信息，推测也是爆发岩筒。

旋卷状断裂，褶皱分布在圆形岩块一侧，是侵入作用形成的典型环状构造。我们认为这是岩浆呈螺旋状上升时产生的力偶所致。

3. 与围岩的接触关系

在岩块与围岩的接触带上有环形断裂（如略阳岩体）呈突变的或过渡的关系。南岭地区有一些花岗岩却很特殊，卫片上它们的影象极其复杂，宏观上具有深色调圆形、椭圆形轮廓，外廓与地表地质圈定边界一致，稍细看就发现岩体的一些部分与围岩有鲜明的色调和结构界线，另一些部分，色调和结构和围岩一致，围岩层理、褶皱几乎毫无变动地延入或甚至“穿过”岩体，我们认为岩体是由于岩浆缓慢“渗入”上部沉积并充分将其同化而成。

4. 组合型式

常见的有：莲花型（广西富贺钟岩体、滇西龙陵岩体等）、重叠型（四川丹巴岩体等）、寄生型（陕西略阳岩体）、串珠型、连环套型（东南地区大竹分岩体）等。前两类组合型式是由从同一或相近通道上升的不同时代侵入体环状构造组合而成，寄生型是下一世代小岩体沿主岩体的环状断裂侵入而成，后两类反映沿断裂侵入的岩体（同时或不同时）。

巨型或大型岩带（如布尔汉布达、西藏雅鲁藏布、嘉黎花岗岩带）常见一个大岩体中散布许多小岩体，构成包裹型组合。

四、古老变质岩系中的环状构造

中朝地台上广泛出露的元古代、太古代变质岩系有一种特殊环状构造——“菊花形”构造。山东泰山群中“菊花形”构造特别发育，影象也特别清晰，那里在大片均匀的浅灰白色色调基础上有几个深色环状影象，直径十至二十公里不等，内部结构为黑色的环圈状或放射状分布的条纹。有些菊花型环状构造中心还有花岗岩圆形岩块。在泰山群中，菊花型构造是位于均质混合岩中的花岗片麻岩穹隆的反映。

五、隐伏构造

卫星象片所具有的透视信息能帮助我们识别一定深度下的隐伏构造。

在松散沉积物复盖下的潜山、隆起、拗陷、规模较大的背斜和向斜在卫片上呈现与基色不同的圆形、椭圆形色块或色环。徐淮地区在灰白色调基色上有一个直径超过100公里的灰黑色圆形色圈，胶南、连云港一带，在灰黑色基色上有几个另星分布的浅色色圈，这些色圈经与基岩裸露区影象对比，可以确定为前寒武纪和古生代基岩隆起。华北平原、阿拉善、甘肃东部

被松散沉积复盖的拗陷、隆起、岩体影象很清晰。在有些地区还能识别次级隆起和拗陷。如仁邱东北向的隆起和拗陷；山东惠民拗陷中近东西向的椭圆形凹陷和凸起等。

固结了的沉积盖层下的隐伏岩块影象显示就不怎么清楚。假若盖层和隐伏岩块性质差别很大，仍可获得清晰影象。四川北部松潘地区是有名的沼泽草地，出露地层是褶皱变质的三迭系，厚度很大（超过5000米）。我们以前根据地球物理资料和地质资料推断下面有一个古地块（松潘地块），卫星象片影象完全证实了这个推断：以诺尔盖为中心有一个边长为200余公里的菱形灰白色块体，四周是深灰色至黑色色调，地层强烈褶皱变质。岩块边缘还镶着不宽的环状花边（环状褶皱）。陕西略阳，地表出露许多不连续的外形很不规则的岩体，而卫片影象显示深部是一个围以环状断裂的大岩体。

六、圆形和椭圆形“云雾状”晕圈

在1/500万和1/600万卫星象片镶嵌图上，东北大庆地区的一个圆形影象特别引人注目，不仅是因为它具有清晰的圆形图象，规模大（直径超过200公里），还在于它的表面被浓厚的“云雾”所复盖。它的出现是否与油气田有关呢？我们把目光移向任邱、胜利、四川等几个已知油气田，发现恰有晕圈，亦呈雾状，只是不及大庆晕圈那么显眼而已。因而推断“云雾状”晕圈与油气田有密切的联系。基于上述事实 and 推断，我们初步解译出下列“云雾状”晕圈：大庆晕圈、胜利晕圈、大港晕圈（包括渤海的一部分）、京南晕圈、四平晕圈、苏北晕圈、和田晕圈、冷湖晕圈、南阳晕圈（包括泌阳晕圈）鄂尔多斯西北部晕圈、庆阳晕圈群、太仓南通晕圈、内蒙东乌珠晕圈、广东三水晕圈、新疆皮山叶城晕圈、江汉晕圈、准噶尔晕圈、腾格里沙漠南缘晕圈。另外，东北满州里以南、延安、江西清江等地也可能存在这类晕圈。

“云雾状”晕圈在有些情况下，能够判读出它们的内部构造。例如，胜利晕圈内部的次级拗陷（较深色调）呈北东向椭圆形，相互平行排列，单个拗陷长10—30公里，宽5—15公里，色调北深南浅，拗陷北侧以断裂为界，南侧超覆，色调边界弯曲，渐变，表现为南超北断。

所以，“云雾状”晕圈不仅要圈定其边界，而且还要判读解译其内部构造。

七、环状晕圈

卫星象片上有一些环状晕圈是很有意思的，外廓为圆形和椭圆形，环纹很密，向外，环纹逐渐消失，例如云南西双版纳地区有好几个椭圆形环状晕圈，长轴与一组北西向重要断裂一致，晕圈长约10—20公里，宽7—15公里；邯邢地区也有几个规模更大一些的圆形环状晕圈。这两个地区的环状晕圈与铁矿区大体一致。在我国与某种矿产分布区相一致的环状晕圈为数很多，我们大胆推测它们可能反映某种地球化学异常。

在卫片上还有一些很大的圆形构造（如鄂尔多斯）以及规模不算大，影象也比较清楚的晕圈（如四川西部、青海南部的一些圆形晕圈）它们的成因和地质意义我们还不了解，是需要留待以后研究的。

八、环状构造的一般成因推测

如果说，在卫星象片上延伸极长、密度极大、普及全球的、以一定格局展布的线系构造引起了人们的极大兴趣和关注，但还是易于被理解和接受的。而大量的、有时规模很大的、形态结构各式各样的环状构造，则不能不使人们惊异。可是，环状构造确实存在。环状构造

的深入研究是构造地质学面临的一项紧迫任务。

环形构造在卫星象片上虽然反映为植被、充水程度,裂隙系(水系)以及永久冻土的融化区(如青藏高原北部)等环形景观。但是,其地质构造特征是极为明显的:(1)一定的岩石建造,特别是岩浆岩建造与一定的环状构造、环状构造的一定部位相联系。(2)环状构造在地球上的分布是很不均匀的,而且不同的大地构造环境发育不同类型的环状构造。古老地台上以大型环状断裂和片麻岩穹隆为主,年青褶皱带或构造活化带主要是与火山活动、侵入活动有关的环状构造。因此有理由推测环状构造主要是由位于地下一定深度的热能以不同形式通过某些“窗口”向上释放,也即热能的垂直运动造成的。当然,热能向上释放的过程存在水平运动分量,沿大断裂分布的串珠形、连环套形环状构造以及岩浆舌(如云南洱海东岸的岩浆舌)就是热能水平运动的直接结果。

“云雾状”晕圈可能是石油在地下热能作用下,部分分解为气态,与天然气一起通过裂隙、断层散发到空气中,与水结合,在卫片上呈现“云雾状”晕圈。

环状构造和其它地质现象证明了地壳的垂直运动。同时,大量的资料,特别是板块学说提供的大量资料证实了地壳有大规模的水平运动,问题又回到了哪一种运动是主导的,两者是否能大规模转化,又如何转化?这个地质学中最古老的也是最有意义的争论。

本文是我们对卫星象片进行全国性地质解译的初步尝试。目的是为了概括了解卫星象片上显示的线系构造和环状构造及其与地面地质成果的相符程度。如能起到抛砖引玉,引起更多人深入研究遥感地质,那就达到了本文的主要目的。由于笔者对卫星象片和我国地质特征认识肤浅,文中谬误肯定很多,恳请批评指正。