学成分及里特曼标准矿物成分表

里特曼标准矿物成分百分含量及其他数值

石英	透长石	斜长石	紫苏辉石	单斜辉石	橄榄石	革青石	黑云母	磁铁矿	钛铁矿	磷灰石	An	Cl	Q	A	P	τ	δ
38.7	46.3	1.3				2.9	7.4	0.6	0.3		6	13.7	44.8	53.7	1.5	40.5	1.7
37.0	40.8	15.0				5.4	3.7	0.5	0.1		9	7.2	39.9	44	16.1	44.38	1.7
37.3	36.4	18.6				3.3	4.3	0.1			9	7.7	40	40	20	9.48	1.59
32.3	29.2	27.6				1.7	8.5	0.6		0.1	13	10.9	36.3	32.8	30.9	35.55	1.92
28.6	22.5	39.6				5.1	3.0	0.6	0.4	0.1	9	9.2	31.5	24.9	43.6	19.19	2.1
35.5		54.8	5.3			3.0		0.6	0.7	0.1	14	9.7	39.3		60.7	12.7	0.85
29.2	16.5	46.7	4.1			2.6		0.4	0.4	0.1	13	7.6	31.6	17.9	50.5	21.5	1.75
4.9	9.1	62.7	19.2			2.5		1.1	0.2	0.3	36	23.3	6.4	11.9	81.7	12.98	2.38
12.4		52.2	5.6	26.8				0.9	1.6	0.5	77	35.4	19.2		80.8	9.00	4.03
		78.4	5.3	9.5	3.6			1.1	1.9	0.2	49	21.6			100	8.90	8.08
23.7	28.2	38.4		0.4			7.9	0.1	0.2	0.1	15	9.7	26.2	31.3	42.5	22.81	2.79
27	43.8	22.3		2.6			3.3				10	6.9	29	47	24	30.03	2.5
0.4		58.4	21.5	17				1.1	1.5	0.1	61	41.2	0.7		99.3	9.67	0.96
42.6	42.2		3.9			10.2		0.6	0.4	0.1	6	15.2	50.2	49.8		19.73	0.80
41.3	48.4					5.8	3.9	0.6			3	10.3	46	54		76.31	1.65
25.6	61.8	2.9				8.3		0.7	0.5	0.2	1	12.6	31.4	68.6		15.5	2.13
39.3	50.4	1				7.9	0.9	1	0.3	0.2	5	9.3	43.3	55.6	1.1	47.14	1.54
39.5	33.8	18				2	6.4	0.3			11	8.7	43.2	37	18.8	51.67	1.47
29.4	18.3	40.3	2.2			8.4		0.5	0.8	0.1	15	12	33.4	20.8	45.8	15.18	1.52
19.8	4.9	41.8	15.9			15.7		1.3	0.5	0.1	15	33.5	29.8	7.4	62.8	26.08	1.25
17.1	8.4	58.1	12.1	2.7				0.8	0.8		39	16.4	20.5	10	69.5	21.24	1.48
12.7		79	4.5	1.4				1.6	0.8		10	8.3	13.8		86.2	12.25	2.99
35.9	43.8	11.7				2.4	5.4	0.7	0.1		7	8.6	39.3	47.9	12.8	39.48	1.82
32.1	40.9	20.8				0.4	5.4	0.3	0.1		15	6.2	34.2	43.6	22.2	44.17	2.05
32		62.6	11.2	20.1				1.0	1.7	0.2	61	34.2	4.9		95.1	9.18	1.22
		56.6	18.1	20	1.0			1.8	2.2	0.3	46	43.4			100	5.2	1.85
8.7		75.6	12.3			1.3		1.0	1.0	0.1	23	15.7	10.3		89.7	12.7	2.67
14.5	11.3	60.8	8.7	2.3				1.4	0.9	0.1	36	13.4	16.7	13.1	70.2	17.83	1.99
31.6	13.5	42.5					11.7	0.6		0.1	15	12.4	36.1	15.4	48.5	22.43	1.84
25.5	11.8	50.7					11.1	0.6	0.2	0.1	27	12	29	13.4	57.6	21.54	1.94
48.4	25.5	3.3				12.6	9.6	0.3	0.3		11	22.8	62.7	33	4.3	37.2	1.57
32.8	44.5	16.3				2.3	3.5	0.3	0.2	0.1	9	6.6	35.1	47.5	17.4	30.64	2.06

火山活动与地质构造关系密切，特别是断裂构造对火山作用的控制更为显著，在很大程度上决定着火山岩的分布、产状、喷发形式和岩浆源。晚古生代火山活动大部分属于海相火山作用，受海槽与古陆之间的活动性构造断裂带控制，地壳深处岩浆沿断裂上升喷发，火山口多沿这些断裂带分布。祁连区早—中泥盆世及北山区晚泥盆世和晚二叠世火山活动虽属陆相火山作用，但也是在陆相断陷盆地内发育，受陆盆边部断裂的制约。

祁连区晚古生代处于比较稳定时期，构造运动和岩浆活动都不太强烈，仅在北缘东段断续有较大的断裂活动，引起早、中泥盆世小规模基性火山喷发。晚古生代为祁吕贺兰山字型构造体系开始孕育时期，当时古祁连山北缘北西-南东向的山前断裂继续发展，于早—中泥盆世断裂北侧沉陷，形成长逾数百公里的山前拗陷——肃南-景泰盆地。山前断裂为压扭性断裂，切深和规模均大，引起可能为幔源岩浆活动的基性喷发，玄武岩中夹有超基性火山岩，可作为地幔物质存在的证明。火山岩分布亦明显受山前断裂控制，呈北西-南东向断续延伸数百公里。

北山区晚古生代处于构造强烈活动阶段，是天山-阴山纬向构造体系发育时期。北部明水-黑鹰山褶带和南部柳园-天仓褶带都是地壳活动地带，褶皱和断裂活动都很强烈。在构造作用控制下，沉积作用、岩浆作用和变质作用都很发育。特别是柳园-茨窝泉、金滩子-红柳园、破城山-双井子、白山-狼娃山、双沟山-伊哈托里等断裂构造带，二道井-西铅炉子-旧寺墩北、玉门关北等断褶带，曾处于海槽与古陆的界线上，由于海槽与古陆相对升降，进一步改造了原来断裂面的性质，使得这些规模和切深都较大的断裂更具有开放性，成为岩浆上升的通道，而火山活动即沿这些断裂带发生。

北山区南部和中部受祁连运动的影响较大，在早泥盆世早期褶皱成陆，仅北部受其影响较小，经短暂抬升以后复又海侵成为黑鹰山海槽，南部西段直到早泥盆世晚期或中泥盆世才遭受海侵形成柳园海湾。黑鹰山海槽沉降幅度较大，沿双沟山-伊哈托里断裂带发生了较强的海相火山活动；柳园海湾边部的柳园断裂构造带生成发育时间不长，规模较小，火山活动微弱。晚泥盆世仅柳园断裂构造带继续活动，形成小型断陷盆地，盆地边缘沿断裂有规模较大的酸性、中酸性陆相火山活动。景泰运动之后，早石炭世晚期北山区整体沉降为北山海槽。随着地壳沉降，东西向断裂活动加强，特别是北部的双沟山-伊哈托里、白山-狼娃山、双井子-破城山断裂构造带在泥盆纪基础上进一步发育，规模和切深都较大，导致大规模海相酸性、中酸性岩浆喷发，沿三个断裂带分别形成三个东西向分布的下石炭统白山组火山岩带。南部的柳园断裂构造带也得到进一步发育，引起较强的火山作用。早石炭世末，由于北山海槽褶皱抬升，在北山区北部火山岩区和褶皱断裂带中伴随有大量酸性岩浆侵入，但火山活动相对减弱，火山活动中心转向南部。中石炭世，红柳园海槽西部沉降较剧烈，有少量岩浆活动。晚石炭世，北山区北部为比较稳定的浅海，仅南侧与马鬃山古陆的边界（双井子-破城山断裂带）有少量火山活动；但南部红柳园海槽处于强烈沉降阶段，海槽和北侧马鬃山古陆之间的柳园断裂构造带以及玉门关北断裂带更具活动性，引起大规模海相基性、酸性岩浆喷发。

石炭纪末，金塔运动使北山区再次褶皱上升之后，早二叠世复又沉陷为北山海槽。海槽北、中部继承了中、晚石炭世稳定的特征，原来构成岩浆上升通道的断裂，或是由于活动性减弱而逐渐封闭，或是经岩体侵入而受到破坏，已不再导致岩浆喷发；海槽南部虽地壳沉降速度、深度比石炭纪明显变小，但柳园断裂构造带和二道井-西铅炉子-旧寺墩北断褶带中的

断裂还保持较大活动性，沿这些断裂依然断续有基性、酸性及中性火山活动。早二叠世末的北山运动造成北山区整体褶皱上升，彻底变为陆地。晚二叠世，柳园断裂构造带、三道井-西铅炉子-旧寺墩北断褶带中的断裂和北山区中部某些断裂继续活动，生成红柳园陆盆和红岩井陆盆，并引起不同规模的陆相火山活动。其中大奇山一带酸性火山活动规模最大，这与该地处于柳园断裂构造带与花牛山褶断带东端的复合部位，并有一组北东向的断裂在此交汇使其成为薄弱地段有关。

（二）晚古生代火山活动与成矿作用的关系

晚古生代，除北山区北部早石炭世火山活动与成矿有直接关系外，其他地区该时代的火山活动未见与矿产有直接联系。北山区北部下石炭统白山组酸性、中酸性火山岩中，广泛分布有层控型金、锡、钨矿和火山热液型铁矿。其中金、钨、锡矿共有三个矿带，北带沿骆驼峰-红石山东西向挤压破碎带分布，为层控型金矿带；中带沿白山-狼娃山东西向挤压碎破带分布，为层控型钨-金矿带；南带位于明水一梧桐井一带，为金、钨、锡矿带。这些断裂破碎带均为控岩构造，层控型金、钨、锡矿均产于流纹岩、流纹质凝灰熔岩和英安质凝灰熔岩内。火山岩本身富含成矿元素，其中Au平均含量为0.14ppm，超出克拉克值（0.0043ppm）30倍；Sn平均含量为50—100ppm，超出克拉克值（2.5ppm）20—40倍；W含量为240ppm，超出克拉克值（2ppm）120倍。可见，成矿元素是由喷发岩浆所携带，岩浆运移决定了成矿物质的迁移、富集。代表性矿床有南金山中型金矿床、460小型金矿床及红尖兵山中型钨矿床和明锡山锡矿点。火山热液型铁矿主要有狼娃山铁矿、白山泉铁矿、甜水井铁矿和碧玉山铁矿等，以内蒙古境内黑鹰山中型铁矿为代表。铁矿均产在白山组流纹岩、英安岩内，为早石炭世火山喷发期后的含矿热液沿构造裂隙充填而成。

第二节　晚古生代侵入岩

一、概述

晚古生代岩浆侵入活动极为强烈，侵入岩十分发育（出露面积近16 500km²，岩体187个），侵入期次繁多，岩石类型复杂。主要分布于北山区，面积约15 000km²，岩体146个，受阴山-天山纬向构造体系控制。祁连区与西秦岭区晚古生代岩浆活动比较微弱，侵入体分布零星。祁连区主要分布于东部清水、静宁、秦安等地，受古河西系控制；西秦岭区主要分布于成县和利桥一带，受秦岭-昆仑纬向构造体系控制。

侵入岩岩石类型主要为酸性和中性岩类，次为基性和超基性岩类。以酸性岩类最为发育，出露面积达14 000km²，多呈岩基产出；而其他岩类规模较小，多呈岩株、岩墙和岩脉产出。

二、岩体地质特征

（一）早期（泥盆纪）侵入岩

规模小，分布零星，多呈岩株、岩墙产出，共有岩体29个，面积约900km²，仅占晚古生代侵入岩总面积的5％。岩石以酸性、中性岩类为主，基性和超基性岩类次之。西秦岭区较北山区和祁连区发育。

1．超基性岩（σ_1^1）　呈岩株、岩墙和脉群产出，面积约22km²，大小岩体（群）12个。其中北山区10个，西秦岭区2个。

北山区主要分布在红柳河、玉石山、芨芨台子、花南沟和玉石岭等地。岩体呈近东西向分布，与区域构造线方向基本一致，受断裂控制明显。最大岩体断续分布长达10km，宽0.5km，一般岩体长几十—几百米，宽几米。岩石类型有：蛇纹岩、橄石岩、纯橄岩、单辉橄石岩和斜辉橄石岩。岩石普遍遭到不同程度的蛇纹石化、纤闪石化和滑石化等蚀变。兹将代表性岩体特征叙述如下：

玉石山南超基性岩体：由北西-南东向展布的几个不连续的纺锤形小岩株构成，面积约6.5km²，侵入中志留统公婆泉群，接触面呈波状，向南西倾斜，倾角大于70°。岩体流线构造走向与岩体长轴方向一致，倾向南西，倾角20—50°。原生节理以纵节理（S）最为发育，倾向205°—335°，倾角70°—80°。岩体剥蚀程度中等，分异程度较差，岩相简单。依岩性可划分为两个岩相带，边缘相宽100—150m，由蛇纹岩组成；中心相宽1.4km，为含辉纯橄岩、斜辉橄石岩及少量斜辉橄榄岩。

西秦岭区仅在康县、成县一带零星出露，呈北西向脉状产出，面积为2km²。主要岩石类型为蛇纹岩、斜辉橄石岩，局部地段为角闪岩，均已蛇纹石化和透闪石化。岩体属中深—深成相，剥蚀较深。代岩性岩体如蒲家峡—三岔子（陕西）一带超基性岩。该岩体沿东西向大断裂分布，长2.5km，宽一般20—250m，最宽800m，为不规则“钳形”岩株。岩体产状与围岩基本一致，倾向北东，倾角70°，侵入泥盆系。岩体由斜辉橄榄岩、斜辉橄石岩等构成。自变质作用强烈，由内向外为蛇纹石化—滑石菱镁矿化—绿泥石化。

上述超基性岩体在北山区和西秦岭区分别侵入中志留统和泥盆系，在北山区红柳河一带被下二叠统沉积覆盖（图68），其时代暂划为晚古生代早期。

2．基性岩（ν_4^1） 共有岩体6个，面积56km²，集中分布在北山区，零星分布在西秦岭区。

北山区辉铜山一带为细粒辉长岩，岩体延展方向与区域构造线一致，侵入奥陶系大理岩和早古生代晚期斜长花岗岩（γ_{03}^3）中。野芨里—鄂博沟一带为辉长岩，由南、北两个近似对称的弧形岩体组成，北部岩体为北东-南西走向，向东南突出，分异较好，自东而西由辉长岩相渐变为闪长岩相；南部岩体亦为北东-南西走向，向北西凸出，由角闪辉长岩组成。岩体侵入早古生代晚期双黑山-野芦沟片麻状斜长花岗岩（γo_3^3）中（图69）。

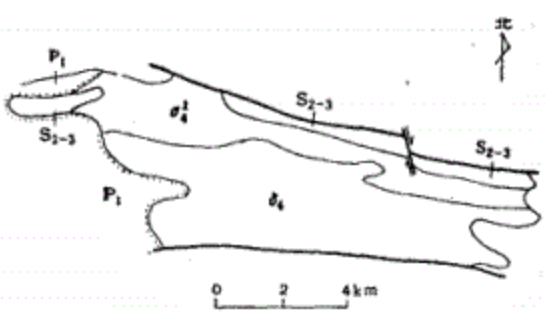


图 68 红柳河超基性岩、中性岩体被下二叠统沉积覆盖

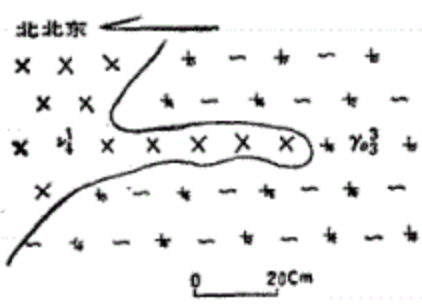


图 69 野芨里西南辉长岩侵入片麻状斜长花岗岩

西秦岭区主要分布于成县的白崖子、小岭、塔子湾、田家坝一带，最大岩体为1×1km，一般为500×30—50m，由紫苏辉长岩组成。岩体沿近东西向断裂带两侧分布，呈岩株或岩墙产出，侵入中泥盆统中。

3．中性岩（δ_4^1、$\delta_{0_4}^1$） 主要分布在祁连区和西秦岭区，次为北山区。

祁连区沿渭河北侧张家川—龙口峪一带分布，岩体分布与六盘山坳陷方向基本一致，为北西向延伸的岩基，面积约200km²，侵入前长城系，围岩具矽卡岩化，并被下白垩统六盘山群沉积覆盖。岩体由辉石闪长岩组成，具流线构造。

西秦岭区出露在利桥一带的尖尼山、刘家坪—花庙子和碧口一带。在碧口为几个不规则状呈北东向分布的岩株，以石英闪长岩为主，局部相变为闪长岩。其岩体时代是依据碧口东邻阳平关石英闪长岩体侵入中泥盆统和同位素年龄值为365Ma（相当中、晚泥盆世）等资料确定的。

北山区仅分布于捷子山—红柳河一带，呈岩株产出，面积352km²，岩体6个，岩性单一，为灰白色闪长岩，局部相变为石英闪长岩。岩体属中深成相，中等剥蚀程度。

4．酸性岩（γ_4^1） 除个别岩体呈岩基产出外，多数为岩株，有岩体5个，面积460km²。主要分布在祁连区东部坪道一带，其次为北山区东部及西秦岭区甘泉寺等地。

祁连区坪道岩体呈北西西-南东东向展布，为不规则状岩基，面积370km²，侵入前长城系片岩、变质砂岩中。岩体原生流动构造倾向195°—255°，倾角40°，片麻状构造与围岩产状基本一致。岩体由中粒花岗岩组成，局部相变为二长花岗岩，岩体中北东向花岗岩脉和花岗斑岩脉发育，地层捕虏体较多，剥蚀程度不深。

北山区东部西渠下泉子井一带，为北东-南西向不规则带状分布的花岗岩体，侵入前长城系和早古生代晚期斜长花岗岩体（$\gamma_{0_3}^3$），岩体同位素年龄值为352、365和375Ma，时代相当早泥盆世。岩体以粗粒花岗岩为主，边部为中粒花岗岩，局部地段可相变为似斑状二长花岗岩。岩体中片麻状构造发育，倾向330°，倾角70°；岩体北侧接触面倾向320°，倾角70°—80°，南侧接触面倾向150°，倾角70°。岩体混染蚀变强烈，含较多捕虏体，花岗斑岩脉发育，推测为中深成相产物，中等剥蚀程度。

（二）中期（石炭纪）侵入岩

中期岩浆活动剧烈，侵入作用规模较大，是省内主要造岩期。岩体分布广泛，面积10 422km²，岩体74个，占晚古生代侵入岩总面积63%。岩石类型包括有超基性、基性、中性和酸性等各种岩类。其相对生成顺序由超基性、基性岩类到酸性岩类，形成一个比较完整的岩浆侵入旋回。以酸性岩类最为发育，多为较大的岩基，其他岩类均呈岩株状产出。同期未分岩脉较发育，局部地段成群产出。本期各类侵入岩主要分布于北山区，零星分布于祁连区和西秦岭区。

1．超基性岩（σ_4^2） 规模小，出露6个岩体，面积22km²。明显受区域性断裂控制，呈岩株状产出。主要分布于北山区的红石山及公婆泉一带，次为祁连区东部。

北山区可分为南、北两带。北带以红石山岩体为代表，岩体呈纺锤形侵入下石炭统，被晚古生代中期花岗闪长岩（$\gamma\delta_4^2$）侵入，为一个向北倾斜的单斜岩体，面积18km²。岩体分异较好，由北向南可划分为4个岩相带：①纯橄岩-斜辉橄石岩-粗粒单辉橄石岩带，含铬铁矿；②纯橄岩-粗粒单辉橄石岩带；③纯橄岩-细粒单辉橄石岩带；④纯橄岩带，含铬铁矿，但略次于①相带。南带超基性岩体出露于平川的榆树沟，面积200×250m，由橄辉岩组成，呈岩墙状侵入前长城系龙首山群。南侧接触面倾向200°，倾角50°。岩体中原生节理走向为290°—300°、40°—60°和近90°。北山区超基性岩均有程度不同的蛇纹石化和次闪石化，局部地段具碳酸盐化。岩体生成深度为中—深成相，岩相分异较好，剥蚀较深。

祁连区超基性岩体分布于东部高家峡、黑石头和王家坪等地，出露面积约1km²。岩体大部分被新生界掩盖，仅在深切沟谷中出露。如高家峡辉石角闪岩体，在河谷中出露宽200m，北东向延伸，侵入于高家峡花岗闪长岩（$\gamma\delta_4^3$）中。

2．基性岩（ν_4^3）中期基性岩类比早期规模大，分布在北山区，大体可分为南、北两带。北带为明水一公婆泉一带，有小草湖、红柳井、孔雀泉和黑石山等岩体，面积37km²；南带为安北一旧寺墩一带，有黑石井、麓角沟、大红山和四道明水等岩体，面积23km²。岩体延展方向为近东西向或北西西向，与区域构造线一致。多为不规则状的岩株，岩性单一，由辉长岩组成。孔雀泉辉长岩体位于公婆泉西南，呈北西向不规则带状产出，面积10km²，侵入下石炭统红柳园组（图70）。

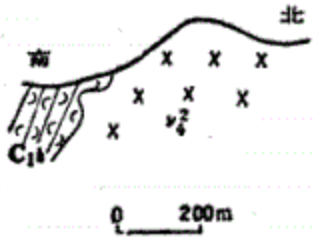


图 70　孔雀泉辉长岩侵入下石炭统红柳园组（C_1h）

3．中性岩（δ_4^3、δ_{0-4}^2）以岩株为主，部分为岩基，一般几—10km²，最大面积为百余平方公里。岩体展布方向多为近东西向，少数为北西向，与区域构造线基本一致。岩石类型以闪长岩、石英闪长岩为主，局部为辉石石英闪长岩。

北山区中性岩体可分为南北两带，呈东西向集中于马鬃山—公婆泉及安西—旧寺墩一带。岩石类型北带为闪长岩，南带为石英闪长岩。由北向南有向中酸性发展趋势。生成深度为中深成相，剥蚀程度中等。具代表性的双堡塘石英闪长岩体为一个不规则的北西-南东向岩基，面积110 km²，侵入上石炭统，岩体北侧被下二叠统沉积覆盖。

祁连区中性岩体出露面积小，多呈岩株状零星分布于肃南的杏树沟、肃北的大西沟和东部高家峡、魏家峡等地。均为石英闪长岩，侵入下石炭统。

西秦岭区主要分布在天水的百花村和卓尼的尖尼沟。百花村岩体面积近100km²，为不规则状岩基，侵入寒武系及下泥盆统，被晚古生代中期花岗岩（γ_4^3）侵入，岩体由黑云母辉石闪长岩和石英闪长岩构成。为中深成相产物，中等剥蚀程度。

4．酸性岩（γo_4^3、γ_4^3、$\gamma\delta_4^3$、$\eta\gamma_4^3$）本期酸性岩规模大，分布广，占晚古生代侵入岩总面积59.4%。主要分布在北山区，祁连区和西秦岭区出露零星。展布方向多为近东西向，与区域构造线方向一致。岩石类型有斜长花岗岩、花岗岩、花岗闪长岩和二长花岗岩等。

（1）斜长花岗岩（γo_4^3）北山区斜长花岗岩最为发育，岩体10个，面积5 126km²，出露于芦草沟，小草湖、梭梭泉和明水等地。咸水井和前红泉岩体与围岩为渐变过渡关系并产生混合岩化，推测为混合成因。岩体均呈近东西向展布，与区域构造线基本一致，单个岩体面积较大，达几百平方公里，多呈岩基产出。一般岩体不具规则岩相分带，北部岩石结构一般粗大，以似斑状或粗粒结构为主，并具片麻状构造，向南逐渐变为中粗粒结构和中粒结构。岩体中地层捕虏体或地层残留顶盖较多，部分围岩具角岩化、矽卡岩化等蚀变，岩体中同期岩脉发育。代表性的芦草沟片麻状斜长花岗岩体分布于北部芦草沟—野马泉—独山子一带，岩体长轴方向近东西向，片麻理走向与岩体长轴方向基本一致。岩体中析离体发育，为椭圆形及透镜状，成分近于闪长岩。岩体自变质作用强烈，为绿泥石化和绿帘石化。岩体岩脉发育，局部密集成群，以基性脉岩为主，酸性脉岩为次，石英脉有时

含有水晶。岩体侵入上石炭统干泉群，有100—300m宽的混染带，被下二叠统双堡塘组花岗质砾岩沉积覆盖。祁连区斜长花岗岩仅在东部高家峡一带出露，侵入长城系，围岩局部具大理岩化和矽卡岩化。岩石以斜长花岗岩为主，局部相变为花岗闪长岩。推测为中深成相产物，剥蚀程度中等。

（2） 花岗岩（γ_4^3） 主要分布在北山区，西秦岭区仅有小面积出露。发育程度仅次于斜长花岗岩，岩体7个，面积2 190km²。北山区出露于庙庙井、双堡塘—营盘和花牛山等地，均呈近东西向展布。长轴方向与区域构造线基本一致，多为不规则长条状岩基。侵入下石炭统，被下二叠统沉积覆盖，方山口岩体同位素年龄值为292Ma。岩体边缘地层捕虏体较多，围岩具混合岩化、大理岩化、角岩化和矽卡岩化等。岩体以中粗粒—中粒花岗岩为主体，局部相变为中细粒花岗岩或钾长花岗岩。推测岩体为中深成相，剥蚀程度中等。

（3） 二长花岗岩（$\eta\gamma_4^3$） 主要分布于北山区南部，西秦岭区零星出露。北山区头吊泉一带为近东西向的岩基，饮马农场、赤金堡一带为不规则状岩株，面积456km²。岩体侵入奥陶—志留系，并被晚古生代晚期花岗岩（γ_4^3）侵入。岩体边缘具较多地层捕虏体，围岩局部具矽卡岩化。岩石以二长花岗岩为主，局部为似斑状花岗岩。推测为中深成相产物，剥蚀程度不深。

（4） 花岗闪长岩（$\gamma\delta_4^3$） 以北山区最发育，集中分布在清水泉、大豁落山和帐房山等地，面积1 165km²。多为不规则状近东西向分布的大岩基。侵入上石炭统（图71）和晚古生代中期辉长岩（ν_4^2），在金长山东端被下二叠统沉积覆盖（图72），并被晚古生代晚期花岗岩（γ_4^3）侵入。围岩具混合岩化、角岩化、褐铁矿化和矽卡岩化，岩体边缘地层捕虏体较多，偶见地层残留顶盖。接触面产状北缓南陡，均外倾，倾角50°—80°。岩性单一，为中—中粗粒花岗闪长岩，局部为中细粒混染状花岗闪长岩。岩体为中深成相产物，剥蚀程度中等。

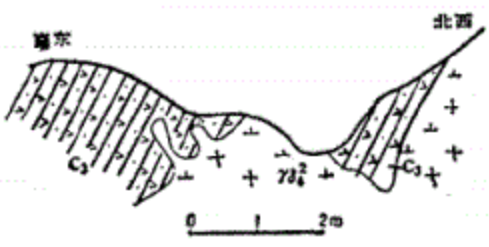


图 71 金长山东花岗闪长岩侵入上石炭统

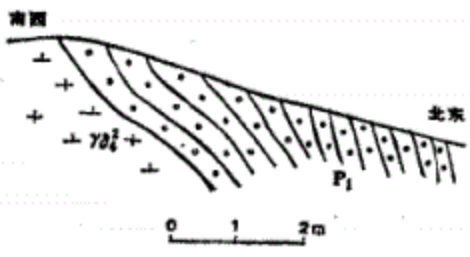


图 72 金长山东花岗闪长岩被下二叠统沉积覆盖

西秦岭区不发育，零星分布在降扎、腊子口和草关村等地，面积37km²，近东西向展布，呈小岩株状产出。侵入上泥盆统，草关村岩体同位素年龄值为294Ma。岩体边缘具有较多地层捕虏体，围岩具矽卡岩化、红柱石角岩化和大理岩化。以花岗闪长岩为主，草关村岩体以含紫苏辉石为特点。岩体为中深成相产物，剥蚀程度中等。

（三） 晚期（二叠纪）侵入岩

分布广泛，有岩体84个，面积5 195km²，占晚古生代侵入岩总面积32%。有超基性、基性、中性和酸性等各类岩石，其相对生成顺序由超基性、基性岩类到酸性岩类，形成一个比较完整的岩浆侵入旋回。本期侵入岩虽然分布较广，但单个岩体一般范围不大，除部分酸性岩体呈较大岩基外，余者均为几一几十平方公里的不规则状岩株。主要分布在北山区，祁连区和西秦岭区出露少。

1．超基性岩（σ_4^3） 呈不规则的岩株或脉状产出，展布方向明显受区域断裂控制。岩石类型有蛇纹岩、橄榄岩、辉岩和角闪岩等。岩体集中分布在祁连区东部武山鸳鸯镇附近，共有大小25个岩体，面积18km²，近东西向断续分布，常构成不规则的岩带或脉群。明显受渭河大断裂控制。岩体由蛇纹岩和角闪岩组成，侵入下二叠统。北山区和西秦岭区分布零星，如北山区音凹峡以及西秦岭区下拉地和天水七十里铺等岩体，均呈脉状或透镜状产出。由蛇纹岩、角闪岩和橄榄岩等构成。侵入上二叠统和晚古生代中期斜长花岗岩（γo_4^2），并被晚古生代晚期花岗岩（γ_4^3）侵入。岩体为深成相产物，剥蚀程度较深。

2．基性岩（ν_4^3） 仅分布于北山区，比早、中期规模大，为不规则状的岩株，沿北东向或近东西向分布，有辉铜山、峡东、俞井子、小宛南山和崔木土等岩体。由辉长岩组成，局部相变为角闪辉长岩。岩体为中深成相产物。剥蚀程度中等。以俞井子辉长岩体为例，呈不规则条带状北西向展布，与地层走向一致，长约32km，宽1—5km，出露面积约50km²。岩体侵入下二叠统，接触面倾向200°，倾角55°。岩体中心相为中粒辉长岩，宽800m；两侧边缘相为细粒辉长岩，宽300m。

3．中性岩（δ_4^3、ξ_4^3、ξo_4^3） 主要分布在北山区，祁连区和西秦岭区仅零星出露。岩石类型以闪长岩为主，局部相变为石英闪长岩，在北山区和祁连区还有呈脉状或脉群状产出的正长岩和石英正长岩。岩体展布方向为北东向或近东西向。

（1） 闪长岩（δ_4^3） 北山区比较发育，主要出露于清墩峡一雷洞子一东铅炉子一带，岩体12个，面积约142km²。以闪长岩为主，局部地段石英含量增加，相变为石英闪长岩。西部岩体岩石颜色较深，暗色矿物较多，并含有少量辉石，为闪长岩；东部暗色矿物减少，石英含量增多，为石英闪长岩。二者呈渐变过渡关系。以独山子闪长岩岩体为例，岩体出露于一条山和独山子一带，面积75km²，呈岩株状产出，位于晚古生代地层构成的近东西向复式背斜核部，与下二叠统为侵入接触，并被晚期花岗岩（γ_4^3）侵入。岩体内接触带具混染蚀变，外接触带具角岩化、硅化。西秦岭区出露零星，呈不规则的岩株产出，分布于耿窄西和下拉地等地，以闪长岩为主，局部为石英闪长岩，侵入下二叠统。

（2） 正长岩（ξ_4^3） 见于北山区大豁落山西南，呈不规则的岩墙产出，长500m，宽250m。侵入薊县系大理岩中，由正长岩和霓辉正长岩组成。

（3） 石英正长岩（ξo_4^3） 主要分布在北山区山丹马莲井一带，呈近东西向不规则带状的脉群产出，面积32km²。侵入下石炭统臭牛沟组。与稀土、铌、钽矿化关系密切。另外在祁连区东部通渭一带见有长千余米、宽百余米呈脉状产出的石英正长岩。

4．酸性岩（γ_4^3） 其分布及规模仅次于中期，以岩株为主，并有少量近东西向分布的岩基。以花岗岩为主，个别岩体可相变为二长花岗岩和花岗闪长岩。内接触带岩石具绢云母化和云英岩化，外接触带具角岩化、硅化、矽卡岩化和混合岩化。主要分布在北山区，祁连区和西秦岭区甚少。本期岩体在石板墩井、周家井北、华家岭等地侵入下二叠统及晚古生代中期斜长花岗岩（γo_4^2）、花岗闪长岩（$\gamma\delta_4^3$）和闪长岩（δ_4^3）中。华家岭和

周家井北岩体的同位素年龄值分别为246和256Ma，音凹峡岩体Rb-Sr等时线年龄值为263Ma，均相当早二叠世。

北山区花岗岩规模较大，分布广泛，有清水泉、公婆泉、西渠北等36个岩体。其中北部岩体（清水泉—红柳丘井一带）以岩株为主，南部岩体（双鹰山—红柳疙瘩一带）以岩基为主。均呈不规则长条状近东西向展布，侵入古生代地层组成的背斜核部。北部岩性单一，为花岗岩；南部以花岗岩为主，个别岩体相变为二长花岗岩和花岗闪长岩。岩石结构由北向南为中细粒结构—中粗粒结构—中粗粒似斑状结构。岩石颜色自北而南为灰白色—浅红色—肉红色。岩体中脉岩发育，局部密集成群。具代表性的将军台岩体面积为7 34km²，侵入下二叠统，围岩具角岩化，局部矽卡岩化，并具有铜、铅、锌矿化。岩体南侧接触面外倾，倾角60°—70°。岩性为中粒花岗岩，局部相变为似斑状花岗岩。部分可划分出相带，中心相为中粗粒似斑状花岗岩，过渡相为中粒花岗岩，边缘相为中细粒花岗岩。中心相岩石易风化剥蚀，地势低洼，过渡相形成低缓丘陵，边缘相岩石抗风化，地势高突，含有较多地层捕虏体和残留顶盖。

祁连区主要集中于东部秦安、静宁一带，面积540km²。由于大面积第三系掩盖，岩体仅在较大沟谷中出露，由花岗岩和花岗闪长岩构成。祁连区西端仅有大泉和小牛沟等小岩体。

西秦岭区本期酸性岩仅在中生代早期天水温泉岩体中呈捕虏体产出。

三、岩石特征

（一）早期侵入岩

1．超基性岩　岩石类型包括蛇纹岩、橄石岩、纯橄岩、单辉橄石岩、斜方橄石岩和角闪岩等。各种岩石都存在着不同程度的蛇纹石化、次闪石化和碳酸盐化。以北山区玉石山南岩体的岩石类型为代表描述如下：

单辉橄榄岩：灰绿色，风化面黄褐色，似斑状结构，基质具网环或格子结构，块状构造。由蛇纹石（50%）、橄榄石（30%）、斜长石（2%）、单斜辉石（2%）、滑石（6%）、伊丁石（2%）、磁铁矿（2%）、铬尖晶石（1%）、碳酸盐（5%）和褐铁矿、斜绿泥石等组成。

斜辉橄石岩：灰白色—浅绿色，风化面褐黄色—桔黄色，网环结构，块状构造。由橄榄石（23%）、蛇纹石（62%）、斜方辉石（<1%）、伊丁石（4%）、褐铁矿、碳酸盐（4%）、磁铁矿（2%）和少量滑石等组成。

上述橄榄岩和橄石岩的主要造岩矿物特征基本相似。橄榄石为细—粗粒，自形晶为主，粒径0.1—5.4mm，属镁橄榄石，部分为贵橄榄石，经常蚀变为蛇纹石、伊丁石、次闪石和滑石；斜方辉石以细—粗粒半自形晶—他形晶为主，自形晶较少，粒径0.3—6.7mm，属顽火辉石，常被绢石、纤维蛇纹石、滑石所交代；铬尖晶石为自形晶—半自形晶—他形晶，在橄榄岩中与橄榄石共生，在橄石岩中常与斜方辉石共生。

蛇纹岩：灰绿—黑绿色，致密块状构造，纤维交织变晶结构。主要由纤维蛇纹石和少许胶蛇纹石、叶蛇纹石等组成。纤维蛇纹石为针状、针叶状，无色透明，含量82%；其他矿物有橄榄石（2%）、斜方辉石（<1%）、次闪石（1%）、滑石（8%）、铬尖晶石（1%）、磁铁矿（2%）、碳酸盐（2%）和温石棉（0.5%）等。

2．基性岩　北山区与西秦岭区岩性大同小异，由辉长岩和角闪辉长岩组成，西秦岭

区为紫苏辉长岩。

角闪辉长岩：暗灰、墨绿色，辉长结构，局部为含长结构和反应边结构。矿物组成及特征为：斜长石60%，主要为拉长石（An50—52），自形—半自形板状，聚片双晶发育，偶有环带构造，轻微绢云母化；普通辉石32%，少数为异剥辉石；普通角闪石5%，自形柱状，部分已次闪石化；橄榄石3%，包裹在辉石之中。矿物粒径1—2 mm。

紫苏辉长岩：岩石结构、构造及所含浅色矿物与一般辉长岩相似。紫苏辉石15—20%，为自形短柱状，副矿物有少量磁铁矿，矿物粒径1—5 mm。

3．中性岩　北山区为闪长岩；祁连区以辉石闪长岩为主，局部相变为石英闪长岩；西秦岭区则以石英闪长岩为主。

闪长岩：灰、深灰色，蚀变后呈灰绿色，变余柱粒状结构，暗色矿物与长石均呈定向排列，构成片麻状构造。矿物组成及特征为：斜长石56%，为更—中长石（An23—33），大部分已蚀变，具绢云母化和绿帘石化；角闪石38%，绝大部分已纤闪石化和绿泥石化；石英5%，他形粒状，破碎，具波状消光。

辉石闪长岩：暗灰、灰绿色，半自形粒状结构，局部为嵌晶含长结构，矿物粒径1—5mm。矿物组成为：斜长石55—70%，为中—拉长石（An39—58），半自形—自形板状，环带构造；普通角闪石10—30%，半自形—自形柱状，部分具辉石假象，被绿泥石代替；黑云母5—10%，片状，部分被绿泥石代替；普通辉石3—5%；副矿物有锆石、磁铁矿和帘石等。

石英闪长岩：灰白色，半自形粒状结构，矿物粒径1—3mm。矿物组成为：斜长石60—70%，为中长石（An32），具环带构造；钾长石5—10%，为微斜长石和正长条纹长石，呈不规则他形粒状，具格子状双晶；石英15—20%，他形粒状，次生裂纹发育，具波状消光；黑云母3%，为鳞片状，绿泥石化。

4．酸性岩　以花岗岩为主，局部相变为二长花岗岩、花岗闪长岩。

北山区花岗岩集中出露于下泉子一带，岩体相带明显，在杏树沙梁南，边缘相宽1—5km，为中粒花岗闪长岩，中心相为花岗岩。描述如下：

花岗闪长岩：浅灰色，中粒结构，片麻状构造，矿物粒径3—4mm。矿物组成及特征为：斜长石（中长石）50%，半自形—自形宽板状，局部具环带构造；钾长石20%；石英20%，他形粒状；黑云母10%，鳞片状，具绿泥石化；副矿物为磷灰石、锆石和榍石等。

花岗岩：肉红色，粗粒结构，局部为斑状结构。由钾长石50%、斜长石20—25%、石英20%、黑云母10%及微量磷灰石和锆石等组成。

祁连区东部坪道一带花岗岩可划分出边缘相和过渡相。描述如下：

二长花岗岩（边缘相）：灰白色，局部为浅肉红色，细粒结构，矿物粒径2mm。由斜长石（25—35%）、微斜长石（25—35%）、石英（20—25%）、少量黑云母、白云母及微量独居石、磷灰石和金红石等组成。

花岗岩（过渡相）：浅肉红色，中粒结构。由钾长石（45%）、更长石（20%）、石英（30%）及黑云母（5%）等组成；副矿物有磁铁矿、磷灰石、锆石和石榴子石等。

（二）　中期侵入岩

1．超基性岩　北山区红石山岩体相带分明，其主要岩石类型为：

单辉橄石岩：墨绿色，网环结构，块状构造。具强烈蛇纹石化，残留的单斜辉石和橄

橄石仅占25%，其余均为蛇纹石所代换。蛇纹石沿原生矿物解理、裂纹和边部进行交代，残余矿物呈网眼状分布于交代矿物基底之中，构成网环结构。橄榄石糙面显著，被叶蛇纹石呈网状贯穿，并析出铁质；单斜辉石，不规则粒状，被叶蛇纹石、透闪石交代，析出铁质。推测原岩矿物含量为橄榄石85%、单斜辉石15%。

纯橄岩：墨绿色，网环结构，块状构造。岩石几乎全被蛇纹石所代替，叶蛇纹石呈网状布满整个岩石；橄榄石糙面显著，已强烈蛇纹石化、伊丁石化，并析出铁质；岩石中含有浸染状铬铁矿（5—10%）。

祁连区超基性岩由辉石角闪岩和橄辉岩组成。辉石角闪岩为灰黑色，半自形—自形粗粒结构。矿物成分为普通辉石（25%）、普通角闪石（60%）、斜长石（拉长石，5%）、钒钛磁铁矿（浸染状及致密块状，5%）。橄辉岩为黑色，半自形粒状结构。主要由辉石，橄榄石组成，含有少量角闪石及星点状磁铁矿。

2．基性岩　北山区南、北两带均为辉长岩。北带为中粒结构，岩石蚀变强烈；南带为细粒结构，岩石新鲜，蚀变较轻。

辉长岩（北带红石山岩体）：灰绿色，变余碎裂结构，片理发育，矿物具定向排列。矿物组成及特征为：辉石60%，全部被柱状和纤维状阳起石集合体所代替；斜长石40%，被黝帘石、绿帘石、石英和绢云母等所置换。

辉长岩（南带）：暗绿色，中粒辉长结构，致密块状构造。矿物组成及特征为：斜长石（拉长石）50%，呈自形长柱状定向排列，双晶纹发育且清晰；普通辉石20%，一般均闪石化，具反应边结构；普通角闪石25%；磷灰石1—2%；磁铁矿2%。

3．中性岩　北山区北带以中细粒闪长岩为主，南带以石英闪长岩为主。岩石由北向南有向中酸性发展趋势，矿物粒径也有增大的特点，其矿物成分中石英含量由2%增至20%，暗色矿物（角闪石、黑云母）含量由35—40%降至15—10%。北带暗色矿物中可含有2—5%的普通辉石。

闪长岩（北带）：灰、深灰色，蚀变后为灰绿色，中细粒柱粒状结构，局部为含长结构，矿物粒径1—4mm。矿物组成及特征为：斜长石（*An*30 中长石）55—70%，自形宽板状或短柱状，具环带构造和较宽的聚片双晶，强烈绢云母化；普通角闪石20—30%，半自形柱状，有的晶体内含有自形长板状斜长石晶体或磷灰石和榍石包体；石英含量小于5%，他形粒状；副矿物为磁铁矿、榍石、锆石和磷灰石。

石英闪长岩（南带）：灰绿色，花岗碎裂结构，粒径1—4mm。矿物组成及特征为：斜长石（中长石　*An*36—32）45—60%，自形板状，一般具绢云母化，可见环带构造，常被钾长石交代，在接触处出现蠕英石；钾长石10—20%，为微纹长石及微斜长石，半自形—他形；普通角闪石3—15%，半自形柱状，部分或全部被绿泥石交代；石英7—18%，他形粒状，具波状消光，并交代其他矿物；副矿物为磷灰石和榍石等。

祁连区以石英闪长岩为主，局部为辉石石英闪长岩。

辉石石英闪长岩（高家峡岩体）：灰黑、灰绿色，半自形粒状结构，矿物粒径1—3mm。矿物组成及特征为：斜长石55—60%，为中长石（*An*34），呈自形板状，具聚片双晶及环带构造，具绢云母化；石英5—15%，他形粒状；普通角闪石1—10%，半自形柱状，部分蚀变为绿泥石；普通辉石15%；黑云母15%，片状，已绿泥石化；钾长石5%，为条纹长石，半自形；副矿物为黄铁矿、磁铁矿和磷灰石等。

黑云母辉石闪长岩（西秦岭区百花村岩体）：深灰、灰绿色，半自形中细粒结构，似辉长结构。矿物组成及特征为：斜长石（中长石 $An36$）60—70%，半自形板状—板柱状，聚片双晶发育；普通辉石10—25%；普通角闪石2—10%；黑云母10—25%，鳞片状，部分已绿泥石化；石英含量少，为他形粒状；副矿物为褐帘石、锆石和榍石等。

4．酸性岩类

斜长花岗岩（北山区）：灰白、浅灰绿或浅红色，不等粒花岗结构，中粒花岗结构，个别具片麻状构造，粒径2—4mm。矿物组成及特征为：斜长石50—65%，个别达65—70%，为更中长石（$An28$—36），半自形—自形板状，聚片双晶发育，具环带构造；钾长石10—25%，为条纹长石、微斜长石，具格子状双晶，半自形粒状，个别与斜长石接触形成蠕英结构；石英20—25%，他形粒状，波状消光；黑云母5—10%，片状，大部分已绿泥石化；个别岩石中有柱状普通角闪石，含量5%。

花岗岩（北山区）：浅肉红色，中粒、中粗粒花岗结构，局部似斑状结构，矿物粒径2—5mm，矿物组成及特征为：钾长石40—45%，为条纹长石，半自形—他形粒状，具格子状双晶及微纹构造，并有斜长石包体；斜长石20—25%，为更长石（$An20$—26），自形板状，有时被钾长石、石英交代，具净边结构，轻微绢云母化；石英25—30%，他形粒状，波状消光；黑云母5%，鳞片状，轻微绿泥石化；副矿物为锆石、磷灰石、褐帘石和磁铁矿等。

二长花岗岩（北山区）：灰白、浅肉红色，以中—中粗粒花岗结构为主，部分具似斑状结构、碎裂结构，矿物粒径2—5mm。斑晶由条纹长石组成，含量3—10%。其他矿物成分有钾长石25—35%，为微斜条纹长石，自形—他形板状，具格子状双晶，条纹构造，与斜长石接触处具蠕英结构，并含有自形板状斜长石嵌晶；斜长石25—35%，为钠—更长石，自形—半自形柱状、宽板状，绢云母化强烈；石英20—30%，他形粒状，具不同程度的波状消光；黑云母5—12%，片状，强烈绿泥石化；副矿物有锆石、磷灰石和褐帘石等。

西秦岭区二长花岗岩与北山区相似。

花岗闪长岩（北山区）：灰白色，中粒花岗结构，部分为中细—细粒花岗结构、似斑状结构，粒径一般为2—4mm，个别达5mm。斑晶由微斜长石及斜长石组成，大小为10—20mm，含量20%。其他矿物成分有：钾长石12—20%，为微斜长石、条纹长石，半自形—他形粒状，具格子状双晶，充填在斜长石和石英颗粒之间；斜长石30—35%，为更—中长石（$An28$—50），半自形板状，环带构造，与钾长石接触处常形成蠕英结构，具绢云母化、绿泥石化；石英20—25%，他形粒状，部分具波状消光；有的岩石尚含有5—10%的普通角闪石；副矿物为磷灰石、锆石、榍石和褐帘石等。

祁连区和西秦岭区花岗闪长岩与北山区基本相似，仅在局部地段可相变成石英闪长岩。在西秦岭区草关村一带有紫苏辉石花岗闪长岩。

（三） 晚期侵入岩

1．超基性岩 北山区以音凹峡岩体为代表，典型岩石为蛇纹岩，具纤维变晶结构、网环结构和格子结构。由叶蛇纹石和纤维蛇纹石、磁铁矿、铬铁矿及残留的粒状辉石构成。

祁连区东部鹦鹉镇—刘家峡—高家峡一带，超基性岩蚀变强烈，岩石为暗绿、灰绿色蛇纹岩，具网环状结构，块状和条带状构造。矿物成分以叶蛇纹石为主，纤维蛇纹石次

之，金属矿物少量。结合岩石化学成分，推测原岩为纯橄岩—斜辉橄石岩。岩体内接触带含有单辉岩异离体，时而析出条带状铬铁矿。

西秦岭区为碳酸盐化蛇纹岩，灰绿、黄褐色，鳞片变晶结构、纤维变晶结构，局部为网环状结构，块状构造。由叶蛇纹石、纤维蛇纹石及少量滑石和辉石组成。

2．基性岩　主要分布在北山区，岩性单一，以中粒辉长岩为主，局部地段可相变为细粒辉长岩或辉绿岩。

辉长岩：灰绿色，半自形粒状结构，矿物粒径0.5—2mm，最大为4mm，矿物成分为：斜长石55—70%，为拉长石（An50—60），自形板状，具钠黝帘石化；辉石30—40%，为普通辉石，短柱状；磁铁矿3%，局部含有少量钛铁矿。岩石普遍具绿泥石化、绿帘石化，球状风化较明显。

辉绿岩：灰绿色，辉绿结构，局部为含长结构，矿物粒径0.5—1.5mm，矿物成分为：斜长石65%，为拉长石（An50—60），自形板状；辉石30%，为单斜辉石和斜方辉石；磁铁矿3%；次生矿物为绢云母、绿帘石、次闪石、滑石、褐铁矿和碳酸盐等。

3．中性岩　包括闪长岩、石英闪长岩、正长岩和石英正长岩。

闪长岩（北山区、西秦岭区）：暗灰、灰绿色，半自形粒状结构，似斑状结构，局部为含长结构，一般矿物粒径为0.5—2.5mm。矿物成分为：斜长石55—70%，为中—拉长石（An 39—58），半自形—自形板状；普通角闪石10—30%，半自形—自形板柱状，部分为辉石蚀变产物；黑云母5—10%，片状，部分具角闪石假象；偶见少量辉石和石英；副矿物为磁铁矿和锆石。

石英闪长岩（北山区、西秦岭区）：灰绿、灰白色，中细粒柱状结构，矿物粒径0.8—2mm，矿物成分为：斜长石55—60%，为中长石（An 43—49）；钾长石5%，为条纹长石，他形粒状，被斜长石交代形成蠕英结构；普通角闪石20—30%；石英大于10%，分布不均，充填在其他矿物空隙中；黑云母2%，片状，已全部蚀变成绿泥石；副矿物为锆石、磷灰石、榍石和磁铁矿。

正长岩（北山区六角井）：灰黄、肉红色或棕红色，中细粒结构、半自形柱粒状结构。粒径1—3mm。矿物成分为：钾长石95%，以条纹长石和微斜长石为主，正长石次之，为半自形或他形粒状，具钠长石化及高岭土化，钠长石常沿钾长石边缘或内部进行交代，微斜长石具格子状双晶，条纹长石为正长条纹长石；岩石中尚有少量白云母和退色黑云母或普通辉石和榍石。

霓辉正长岩（北山区六角井）：灰、棕红色，他形—半自形柱粒状结构。矿物成分为：钾长石90%，包括微斜长石、条纹长石和正长石；霓辉石6—7%，柱状，分布在钾长石之间，多色性显著。

石英正长岩（北山区马莲井，祁连区通渭—韩家河）：暗红、红色及肉红色，中细粒似斑状结构。斑晶由宽板状微斜长石组成，约占20—40%，大小为4×6mm；“基质”为细粒半自形粒状结构，粒径1—2mm，组成矿物为石英（5—10%）、钠—更长石（10—20%）、微斜长石和正长条纹长石（70—80%）、黑云母（3%）、普通辉石（2%）及普通角闪石（2%）。

4．酸性岩　以花岗岩为主，局部相变为花岗闪长岩、斜长花岗岩和二长花岗岩。

花岗岩：北山区岩石结构由西向东为中细粒—中粒—中粗粒—中粗粒似斑状结构，颜

表 42　晚古生代早期侵入岩岩石

岩体名称	岩石名称	编号	主要氧化物百分含量										
			SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5
红柳河	纯橄榄岩	1	37.21	0.087	0.27	3.27	3.24	0.01	42.76	0.12	0.07	0.01	
	含辉橄榄岩	2	36.55	0.065	0.24	2.76	4.95	0.13	43.83	0.07	0.00	0.00	
	橄榄岩	3	37.08	0.03	0.16	2.21	5.27		45.71	0.25	0.05	0.00	
玉石山	斜辉辉橄岩	4	39.74	0.08	0.57	2.83	3.53	0.10	39.59	0.27	0.07	0.02	
芨芨台南	蛇纹岩	5	41.36	0.02	0.81	2.85	3.44	0.05	39.02	0.11	0.07	0.05	
油家峡—三岔子	斜辉橄榄岩	6②	42.40	0.03	1.14	3.85	2.97	0.12	36.91	0.18	0.09	0.08	
辉铜山	辉长岩	7	50.44	0.45	15.98	2.86	6.69		9.84	11.38	2.20	0.30	0.06
下盐路滩		8	49.81	0.62	19.07	2.90	1.85	0.07	0.79	12.21	3.08	5.56	0.08
野芨里		9	48.82	0.85	16.01	4.59	2.56	0.08	8.44	11.37	2.80	0.26	0.09
明石头		10	50.35	0.78	19.42	3.00	3.62	0.17	9.35	12.28	1.81	0.30	0.08
黑石峰	角闪辉长岩	11①	47.15	1.52	11.20	1.64	9.32	0.31	12.23	13.11	1.00	1.26	
龙口峡	石英闪长岩	12②	51.07	0.83	15.82	6.11	3.22	0.09	4.16	7.01	3.79	1.48	0.24
碧口	闪长岩	13②	63.06	0.50	14.85	6.10	1.37	0.12	2.54	2.65	3.30	1.35	
		14②	59.76	0.06	14.45	7.58	3.28	0.27	3.56	4.83	3.75	1.63	0.02
		15②	52.65	0.85	18.27	3.20	4.80	0.20	4.16	7.57	4.19	0.89	0.26
下泉子井	花岗岩	16	71.11	0.29	14.40	0.30	1.92	0.02	0.62	1.31	3.74	4.34	0.08
		17	70.72	0.29	15.18	0.48	2.20	0.06	0.87	1.94	4.00	3.82	0.07
		18	73.35	0.31	12.90	0.62	2.32	0.03	0.30	1.19	2.76	5.14	0.06
		19	71.89	0.25	14.60	0.34	1.52	0.04	0.71	1.50	3.66	4.37	0.07
牛头河	二云母花岗岩	20①	72.71	0.30	14.18	0.83	1.44	0.07	0.43	1.65	3.74	4.60	0.08
段家山		21②	71.08	0.30	14.47	0.93	1.20	0.01	0.90	1.57	4.37	2.88	0.03

① 祁连区样品　② 西秦岭区样品　余者为北山区样品

色为浅灰红—浅红—肉红色。岩石易剥蚀，呈球状风化。以将军台岩体中心相中粗粒似斑状花岗岩为例：岩石呈灰白色，似斑状结构，斑晶为正长条纹长石，含量20—30%，斑晶常被石英熔蚀，并含有石英和黑云母包体；“基质”为中粒花岗结构，粒径3—4mm，矿物组成为：钾长石25—30%，为正长条纹长石；斜长石30—35%，为更长石，部分具环带构造，与钾长石接触处往往形成净边结构；石英30%；黑云母5—20%，鳞片状，部分变成绿泥石；副矿物为磁铁矿、磷灰石和锆石。

花岗岩(祁连区华家岭)：浅肉红、浅红色，局部为灰白色，似斑状结构。斑晶由条纹长石、微斜长石组成，一般大小为4—6cm，含量10—30%；“基质”为中细粒花岗结构，矿物成分为：斜长石20—30%，为更长石，呈半自形—自形板状，聚片双晶发育，环带构造，具绢云母化；钾长石35—40%，为条纹长石和微斜长石，含石英包体；石英20—30%，他形粒状；黑云母3—5%，片状，轻微绿泥石化；副矿物为锆石、榍石和磷灰石。

二长花岗岩：北山区和祁连区岩性相似。岩石为肉红、浅红色，中—中细粒花岗结

化学成分及扎氏数值特征表

扎氏数值特征												扎氏分类
a	*c*	*b*	*s*	*a'*	*c'*	*f'*	*m'*	*n*	*Q*	*a/c*	*t*	
0.22	0.06	64.77	34.59		0.09	7.57	92.34	100	-30.60	37	0.16	6类23科C亚科
0.00	0.10	66.10	33.80			8.80	91.20		-32.50		0.16	
0.22	0.00	66.48	33.30		0.30	8.15	91.65	100	-33.84	0.22	0.08	
0.23	0.23	61.43	38.11		0.10	7.87	93.03	100	-24.47	1	0.15	
0.34	0.11	60.23	39.32	0.57		7.95	91.48	66.67	-22.15	3.1	0.03	
0.35	0.29	58.47	40.89	0.6		8.90	90.50	66.00	-19.21	1.2	0.07	
5.10	8.00	30.40	56.50		18.40	27.75	54.60	98.70	-5.20	0.03	0.71	4类14科b亚科
6.80	9.80	24.00	59.00		18.30	21.10	60.60	93.50	-5.4	0.7	0.96	4类15科b亚科
4.40	8.60	30.30	56.70		21.20	25.00	53.80	90.60	-4.00	0.5	1.33	
5.30	10.60	24.50	59.50		22.80	20.10	57.10	94.70	-2.00	0.5	1.18	
3.90	5.10	38.90	52.00		25.60	24.00	50.00		-7.8	0.76	2.48	5类17科b亚科
11.18	5.66	19.90	63.25		17.15	44.89	37.86	79.22	-1.31	1.97	1.16	4类14科a亚科
13.54	3.14	16.91	72.29	0.62		60.00	39.37	53.53	14.45	4.30	0.57	
11.62	3.60	16.20	68.07	1.30		61.06	37.01	68.10	9.83	3.20	0.10	
11.57	7.49	16.61	65.80	4.91		49.10	45.97	87.17	0.60	9.44	1.24	
14.20	1.54	4.69	79.57	34.29		44.29	21.40	56.60	29.20	9.20	0.34	2类3科
14.10	2.30	4.90	78.70	24.30		47.00	28.40	61.00	26.90	6.10	0.34	2类4科
12.90	1.40	5.50	80.20	14.28		47.60	38.20	45.40	35.20	9.20	0.33	
14.10	1.80	4.30	79.80	34.30		39.10	26.60	55.60	29.60	7.80	0.33	2类3科
14.19	2.00	2.80	80.73			73.81	26.19	55.05	30.46	7.25	0.33	2类3科
13.50	1.15	6.46	78.90	47.70		29.90	22.60	31.37	28.65	5.60	0.34	2类4科

构，部分具片麻状构造。矿物成分为：斜长石25—35%，为更长石，半自形—自形板状，被钾长石交代，具净边结构，局部具绢云母化；钾长石30—40%，为条纹长石，半自形—他形板状或粒状，条纹构造明显，局部因交代斜长石具蠕英结构；石英20—40%，他形粒状，具不同程度的波状消光；黑云母 5 —10%，片状，轻微绿泥石化，略具定向排列。

四、岩石化学特征

晚古生代各期侵入岩岩石化学样品总计有 420 个，现剔除超差选取代表性样品数据综述如下：

（一）早期侵入岩

各类岩石主要氧化物含量及扎氏数值特征见表42，扎氏向量图解见图73（其中1—6号为超基性岩，7 —11号为基性岩，12—15号为中性岩、16—21号为酸性岩）。

由表可见，北山区SiO_2、Al_2O_3、MgO、CaO、Na_2O和K_2O平均含量高于祁连区和西秦岭区同类岩石。

酸性岩类扎氏岩石化学特征为：*a* 值大，*c* 值小，*Q* 为正 值，*a/c* 值在 5 以上。均为铝过饱和系列，属扎氏 2 类3—4科SiO_2过饱和、过碱性—中碱性岩石。投影原点靠近顶部

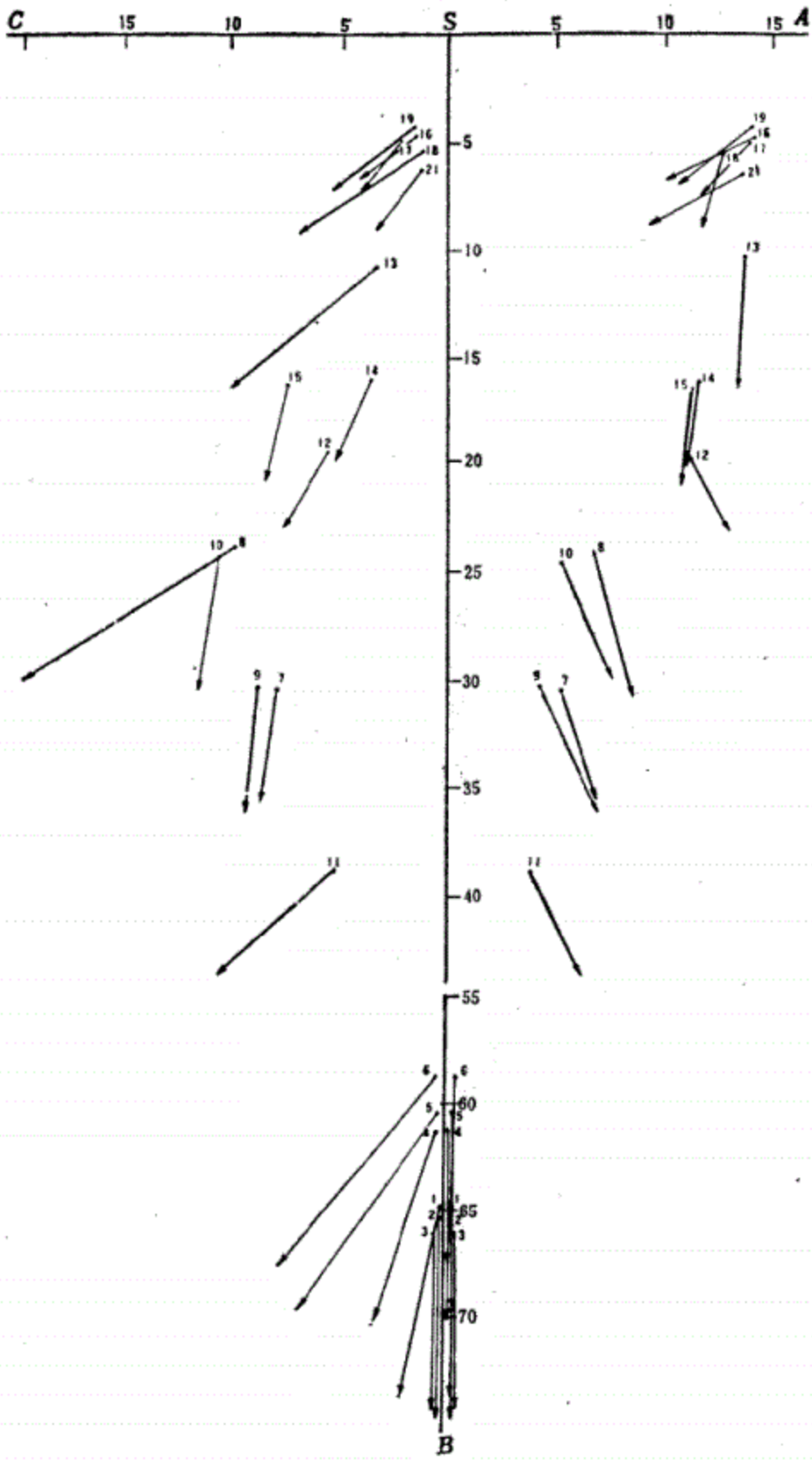


图 73　晚古生代早期侵入岩扎氏向量图

并集中，表明该类岩石化学成分相近。中性岩类扎氏岩石化学特征为：a 值比 c 值大，b 值变化区间为11—20，Q 值变化区间为－1.5—14，a/c值为2—9。均为铝过饱和系列，属扎氏分类3—4类 8 —14科SiO_2过饱和、弱过饱和弱碱性—过碱性岩石。基性岩类扎氏岩石化学特征为：c 值比 a 值大，表明岩石中斜长石多于钾长石；b 值(除祁连区角闪辉长岩外)在25—30之间，表明岩石中暗色矿物较多；Q 值为－2——7，a/c比值为0.5—0.7。均为正常系列，属扎氏分类4—5类14—17科 b 亚科SiO_2饱和—过饱和、弱碱性—过碱性暗色岩石。钙碱性面向量陡，表明岩石中富含钠质。超基性岩类扎氏岩石化学特征为：铁镁比值为 7 —12，一般北山区高于西秦岭区；b 值为58—66，Q 值为－20——34。岩石多为正常系列，少数为铝过饱和系列，属扎氏分类5—6类18—33科 c 亚科SiO_2弱饱和—不饱和、弱碱性全暗色岩石。投影原点较集中地位于下部，并靠近铁镁轴，碱性面内向量陡而长，显示出岩石中暗色矿物富含镁质。

（二）中期侵入岩

各类岩石化学成分见表43，扎氏向量图解见图74（其中1—3号为超基性岩，4—7号为基性岩，8—14号为中性岩，15—30号为酸性岩）。

酸性岩类扎氏岩石化学特征为：以铝过饱和系列为主，正常系列较少。b 值为 2—8（西秦岭区大于北山区），a 值大于 c 值，Q 值为22—39，a/c值为2—31。属扎氏 2 类3—6 科SiO_2过饱和、过碱性—极弱碱性岩石。投影原点集中，反映岩石化学成分近似。碱性面投影原点远离铁镁轴，表明岩石中碱性长石含量多，钙碱性面向量平缓，显示出岩石富含钾质。中性岩类扎氏岩石化学特征为：a 值大于 c 值，b 值为13—20，表明岩石中暗色矿物含量变化较大。岩石为正常系列，属扎氏分类3—4类 8 —15科SiO_2过饱和—饱和、过碱性至弱碱性岩石。碱性面向量较陡，反映出岩石中暗色矿物富含镁质。基性岩类扎氏岩石化学特征为：b 值变化较大，为23—33，表明岩石中暗色矿物含量不一；Q 值以正值为主。岩石为正常系列，属扎氏分类 4 类12—15科SiO_2饱和、过碱性—极弱碱性岩石。投影区间变化大，部分样品在钙碱性面投影原点远离铁镁轴，表明岩石中的中基性斜长石含量较多；碱性面向量陡，表明岩石中暗色矿物富含镁质。超基性岩类扎氏岩石化学特征为：北山区斜辉辉橄岩、辉石橄榄岩 b 值为60—62，祁连区辉石角闪岩 b 值为52，两者 b 值差为11左右，故投影原点不在一个区间。斜辉辉橄岩、辉石橄榄岩投影原点靠近铁镁轴，碱性面向量较陡，显示出暗色矿物富含镁质；Q 为负值，镁铁比值为 8 —11，岩石为富镁低铁超基性岩类。辉石角闪岩镁铁比值为0.84。岩石扎氏分类为 6 类20—23科 c 亚科 SiO_2不饱和、强碱—中碱性暗色岩石。

（三）晚期侵入岩

各类岩石化学成分见表44，扎氏向量图解见图75（其中1—5号为超基性岩，6—8号为基性岩，9—17号为中性岩，18—30号为酸性岩）。

各岩类扎氏岩石化学特征为：酸性岩类 a 值大于 c 值，b 值变化较大，为2—6.5，反映岩石中暗色矿物含量不一；Q 值为20—43。岩石以铝过饱和系列为主，正常系列为次，属扎氏分类2—3类3—4科SiO_2过饱和—弱过饱和、过碱性—中碱性岩石。酸性岩类投影原点靠上部较集中，岩石中暗色矿物少，岩石化学成分近似。钙碱性面投影原点靠近铁镁轴，向量平缓，碱性面投影原点远离铁镁轴。中性岩类岩性复杂，包括闪长岩、石英闪长岩、石英正长岩和正长岩等，故投影原点区间变化较大。正长岩靠上部，石英闪长岩靠中

表 43 晚古生代中期侵入岩岩石

岩体名称	岩石名称	编号	主要氧化物百分含量										
			SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5
红石山	斜辉辉橄岩	1	38.93	0.05	1.09	3.08	4.20	0.10	40.41	0.04	0.06	0.15	
榆树沟	辉石橄榄岩	2	39.19	0.05	0.64	5.01	1.74	0.05	37.62	0.51	0.08	0.02	
高家峡	辉石角闪岩	3❶	36.92	2.26	6.92	15.89	10.22	0.22	11.49	11.03	1.28	0.56	0.21
小草湖北	辉长岩	4	58.30	0.37	8.20	2.73	3.49	0.15	14.72	6.98	2.22	0.72	
		5	54.57	0.32	7.30	4.73	3.34	0.15	18.15	5.23	1.83	0.36	
孔雀泉		6	49.15	1.05	19.44	3.17	5.54	0.15	8.34	9.01	2.41	0.27	
		7	50.08	0.87	19.09	4.11	4.02	0.11	7.59	8.44	0.27	3.21	
平头山	闪长岩	8	53.10	1.13	17.33	1.86	5.33	0.12	4.91	7.45	3.77	1.04	
沙井子西		9	52.83	1.75	16.89	3.34	5.65	0.15	5.20	7.60	3.64	1.11	
一条山	石英闪长岩	10	57.89	0.95	16.55	2.22	4.84	0.11	4.91	5.98	3.27	1.46	0.26
		11	60.06	0.59	15.59	2.57	3.79	0.13	3.48	3.80	2.66	4.80	0.17
		12	57.59	0.61	16.79	2.80	4.36	0.17	3.90	5.65	3.00	2.82	0.19
杏树沟	闪长岩	13❶	59.36	0.56	14.86	2.96	4.78	0.12	4.69	4.05	3.76	2.00	0.22
大泉	石英闪长岩	14❶	58.03	0.66	17.62	2.29	4.48	0.17	3.20	6.86	3.45	1.84	
芦草沟	斜长花岗岩	15	65.64	0.44	16.64	1.35	2.29	0.07	1.88	4.42	4.38	1.39	
		16	67.18	0.43	16.18	0.48	2.77	0.07	1.41	2.93	4.18	2.94	
		17	70.97	0.30	14.55	2.22	0.50	0.05	1.03	2.78	4.52	2.02	
梧桐井		18	69.03	0.46	16.25	0.44	2.64	0.04	1.25	4.25	3.49	1.31	0.11
乱山子北		19	68.95	0.48	14.81	0.24	3.24	0.10	1.30	3.39	3.24	1.83	0.14
茂戈台山北	花岗闪长岩	20	69.55	0.26	13.68	1.54	2.20	0.06	0.81	1.03	3.61	4.22	
孚尔格里呼都西		21	65.64	0.64	16.80	0.74	3.26	0.05	1.88	3.82	3.62	2.78	
东沙井	花岗岩	22	75.33	0.00	13.30	1.35	0.20	0.20	0.46	0.41	4.14	3.27	
金场沟	花岗闪长岩	23	70.13	0.41	15.54		2.40		0.97	2.83	4.39	2.19	0.10
		24	73.13	0.01	13.96	0.02	2.40		0.49	2.33	2.93	2.98	0.06
煤窑西山		25	71.49	0.35	14.55	0.30	2.72	0.05	0.27	2.43	3.91	3.56	
乌山井	花岗岩	26	75.90	0.15	12.44	0.64	1.02	0.03	0.13	1.22	3.16	5.32	0.02
		27	76.72	0.09	11.84	0.87	1.32	0.01	0.16	0.37	3.33	4.92	0.02
甜水井	二长花岗岩	28	73.61	0.05	13.13	0.61	0.80	0.03	0.03	2.73	3.16	3.92	
石头泉	斜长花岗岩	29	69.24	0.37	16.07	0.06	2.58	0.04	1.08	2.81	4.11	2.51	0.02
高日端耀	花岗闪长岩	30❷	67.19	0.53	16.02	0.53	2.65	0.03	1.19	3.32	4.06	3.16	0.15

❶祁连区样品　　❷西秦岭区样品　　余者为北山区样品

化学成分及扎氏数值特征表

扎氏数值特征												扎氏分类
a	*c*	*b*	*s*	*a'*	*c'*	*f'*	*m'*	*n*	Q	*a/c*	*t*	
0.34	0.06	62.92	36.69	1.26		8.72	90.02	33.33	-27.37	5.67	0.15	6类20科c亚科
0.12	0.30	60.80	38.78		0.39	8.57	91.11	100	-22.98	0.4	0.15	6类23科c亚科
3.4	2.8	51.60	42.2		19.8	43.9	36.3	78.8	-25.2	1.2	4.51	
5.13	2.32	32.98	59.66		16.17	15.99	67.84	83.33	6.74	2.2	0.51	3类8科
4.05	2.40	37.59	55.96		8.83	17.48	73.69	87.88	1.42	1.7	0.44	4类12科b亚科
6.00	10.60	24.00	59.40		3.90	34.70	61.40	92.9	-3.8	0.57	1.68	4类15科a亚科
7.80	9.80	22.70	60.10		5.30	35.40	59.20	94.6	-5.6	0.80	1.30	
10.32	7.03	18.21	64.37		13.73	38.80	47.45	84.72	1.14	1.47	1.56	
9.92	6.63	20.46	62.99		13.91	41.97	44.03	83.10	-0.49	1.5	2.44	4类14科b亚科
10.5	6.00	16.30	67.20		8.4	40.5	51.1	78.9	7.4	1.75	1.23	3类9科
13.1	4.10	12.7	70.10		4.9	47.8	47.3	45.7	9.9	3.19	0.79	3类8科
11.0	6.10	14.7	68.2		6.7	46.6	46.6	61.5	8.3	1.80	0.82	3类9科
11.20	4.50	15.80	68.50		3.00	47.00	50.00	74.00	10.1	2.49	0.79	3类10科
10.56	6.90	13.80	68.73		11.85	47.42	40.72	74.30	10	1.5	0.92	3类9科
11.90	5.33	6.92	75.85		2.00	51.00	47.00	89.56	22.57	2.2	0.46	2类3科
13.46	3.53	6.59	76.41	16.49		47.42	36.08	68.69	22.38	3.8	0.44	2类5科
12.66	3.30	4.18	79.87		1.61	58.03	40.32	77.66	31.11	3.83	0.34	
9.50	6.00	6.00	78.50	26.00		42.00	31.00	80.00	32.00	1.50	0.43	2类6科
9.70	4.10	7.40	78.80	24.10		46.30	29.60	73.20	34.10	2.40	0.52	2类5科
13.90	1.20	6.40	78.50	27.00		51.00	21.00	56.30	28.00	11.58	0.34	2类3科
12.02	4.64	8.13	75.20	15.13		45.38	39.41	65.91	21.73	2.59	0.73	2类5科
14.03	0.45	4.09	81.43	47.62		34.92	16.92	62.04	34.35	31.18	0.00	2类3科
12.40	3.44	5.20	78.96	23.38		44.15	32.47	75.00	29.68	3.60	0.43	2类5科
10.57	2.81	5.15	81.47	41.57		42.85	15.58	59.49	38.99	3.76	0.01	2类4科
13.70	2.60	4.30	79.30		4.00	69.10	26.10	63.10	28.10	5.27	0.42	
14.01	0.91	2.28	82.70		20.0	71.43	8.57	41.15	36.30	15.49	0.16	2类3科
13.60	0.45	3.18	82.77	16.33		61.22	22.45	50.48	37.89	30.20	0.08	
12.49	2.44	2.31	82.76		38.24	58.82	2.94	55.43	38.20	5.12	0.04	2类9科
12.40	3.40	6.10	78.00	33.00		39.00	28.00	70.6	27.70	3.5	0.43	2类5科
13.70	3.90	5.10	77.30		2.70	58.00	39.30	66.00	23.30	3.51	0.62	

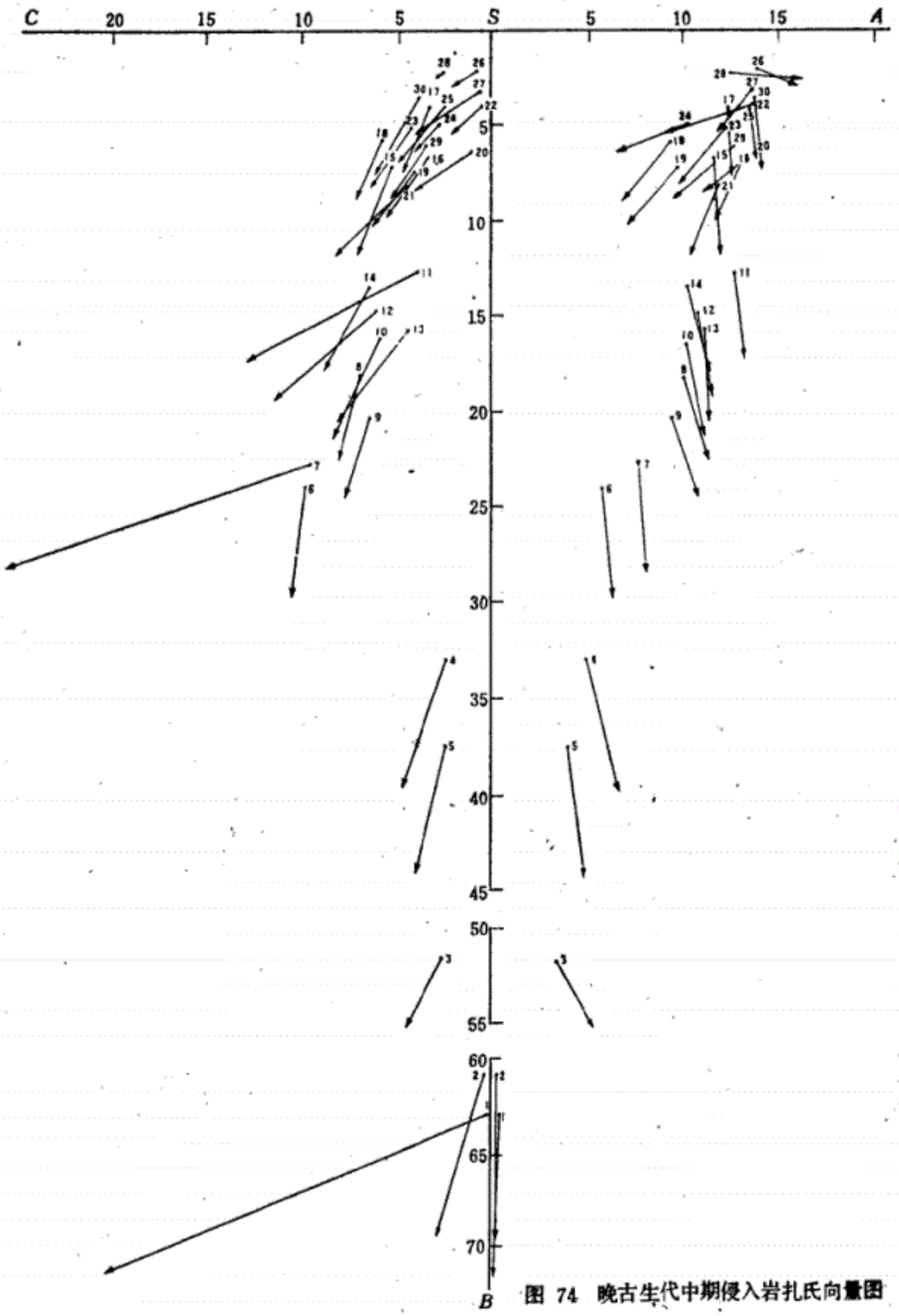


图 74　晚古生代中期侵入岩扎氏向量图

下部，闪长岩靠下部。正长岩 b 值变化于4.3—10之间，a 值是 c 值的8—19倍，Q 为1—13，c'或a'值较大，a/c值为8—20。岩石为铝过饱和系列或正常系列，属扎氏分类3—4类9—12科SiO_2饱和—弱饱和、过碱性岩石。碱性面投影原点远离铁镁轴，向量平缓，显示出岩石中暗色矿物含镁质低；在钙碱性面投影原点靠近铁镁轴，向量平缓，显示出斜长石少及岩石富钾的特点。石英闪长岩、闪长岩 a 值和 c 值近似，碱性面及钙碱性面向量均较陡。岩石为正常系列，属扎氏分类3—4类10—15科SiO_2饱和—弱过饱和、弱碱性—极弱碱性岩石。基性岩类投影原点比较集中，岩石化学成分相近似。c 值大于 a 值，c'值为8—24，b 值为28—30，Q 值为−5——12。岩石为正常系列，属扎氏分类4—5类15—19科 SiO_2 饱和—弱饱和、中弱碱性—极弱碱性岩石。超基性岩类投影原点比较集中，碱性面向量陡而长，岩石富镁特征明显。北山区MgO含量低于祁连区；SiO_2含量北山区和祁连区都超过36%；m/f比值北山区为8.8，祁连区为9.2，属镁值较高的超基性岩类；西秦岭区为6.8。岩石为正常系列，个别为铝过饱和系列，属扎氏分类6类23科 c 亚科SiO_2不饱和、弱碱性全暗色岩石。

五、微量元素特征

晚古生代侵入岩微量元素含量(平均值)与克拉克值(据A. П. 维诺格拉多夫)对比结果如表45所示。从表中可以看出，各岩浆岩区同种岩石类型的微量元素含量特征大同小异，具有相似性。如典型造岩元素Ba、Be、Sr，铁族元素Cr、Mn、Ni、Co，硫化矿床元素Cu、Pb、Zn、Sn，钨钼族元素W、Mo，稀有元素Y、Yb、La、Zr及岩浆射气元素B在各地同类岩石中含量接近，均超过维氏同类岩石的丰度值。不同之处是晚期酸性岩含有W、Mo和La，而早、中两期不含；中期中性岩V、Y含量高于早、晚两期；早期基性岩Cr含量高于中、晚两期，而晚期基性岩Co、Pb的含量高于早、中两期；早期超基性岩Cr含量高于中、晚两期，而中期超基性岩V含量高于早期

Cu、Pb、Zn、Sn、W在晚古生代成矿期均有不同程度的富集，它们常与铁族元素Cr、Mn、Ni、Co，稀有元素La，钨钼族元素W、Mo等同时出现，是晚古生代不同期不同岩类中的“贯通式”造矿金属元素，与成矿作用关系极为密切。

六、副矿物特征

晚古生代侵入岩副矿物组合及锆石特征见表46。据表所示，有以下特点：

1. 锆石、磷灰石、榍石、金红石、黄铁矿、黄铜矿、磁铁矿和方铅矿等矿物普遍出现，但超基性岩、基性岩中锆石、磷灰石和榍石含量少于中性岩和酸性岩类。

2. 北山区、祁连区、西秦岭区中性岩和酸性岩类均有褐帘石、独居石、石榴石、钍石、电气石、闪锌矿、白钨矿、黑钨矿、白钛矿和磷钇矿矿物组合。北山区和祁连区酸性岩中偶含金。

3. 从早期到晚期副矿物种类、数量均逐渐增多，早期一般仅十余种，中期二十余种，晚期可达三十多种。

七、成矿作用特征

晚古生代岩浆活动频繁，侵入岩岩石类型齐全，分布广泛，是省内主要造岩期。同时区域构造形变和区域变质作用均较明显而强烈，因而对于伴随岩浆活动的各种金属矿产的成矿作用十分有利。本期内生金属矿产丰富，矿种繁多，计有镍、铬、钒、钛、钨、锡、钼、铜、铅、锌、铁、金、银和稀有放射性矿产铀、铌和钽等矿床、矿(化)点160余

表 44　晚古生代晚期侵入岩岩石

岩体名称	岩石名称	编号	主要氧化物百分含量										
			SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5
黑帽顶	二辉橄榄岩	1	38.89	0.73	5.57	4.67	8.48	0.30	27.47	4.08	0.64	0.30	0.16
	蛇纹岩	2	36.40	0.03	1.09	6.45	1.50	0.07	36.34	2.53	0.16	0.06	0.08
鸳鸯镇	蛇纹岩	3❶	38.56	0.03	0.61	0.47	1.49	0.09	39.21	1.37	0.03	0.05	
		4❶	40.00	0.01	0.85	2.00	2.30	0.08	37.43	0.24	0.03	0.09	
		5❶	38.02	0.00	0.49	6.90	1.37	0.03	39.91	0.64	0.02	0.05	
黑石山	辉长岩	6	49.43	0.38	16.47	1.32	4.97	0.10	10.79	11.32	2.02	0.15	0.03
		7	48.64	0.28	18.99	1.00	6.04	0.12	11.02	10.04	2.34	0.12	0.03
辉铜山		8	48.19	0.45	18.68	1.24	5.33	0.12	9.99	12.60	1.94	0.11	0.05
青墩峡	闪长岩	9	53.70	1.05	15.51	2.80	6.10		6.47	8.07	2.96	1.08	0.15
		10	50.92	0.56	18.03	1.56	5.31	0.12	7.62	10.85	2.44	0.93	0.09
独山		11	55.37	1.05	16.63	2.56	5.18	0.09	5.71	7.01	3.16	0.75	0.19
		12	53.53	1.70	16.63	4.69	5.53	0.13	5.50	7.98	2.84	0.52	0.37
	石英闪长岩	13	52.84	1.09	16.41	4.58	4.23	0.10	6.73	8.56	3.16	0.90	0.17
耿牟西		14❷	59.42	0.53	17.68	1.32	4.44	0.10	4.34	4.58	3.44	1.45	0.13
马莲井	石英正长岩	15	60.15	0.69	17.94	1.88	2.68	0.08	1.84	2.98	5.00	4.20	
大豁落	正长岩	16	62.69	0.29	18.64	1.87	0.62	0.04	0.41	0.91	5.99	5.61	0.04
		17	56.25	0.21	17.34	1.40	1.07	0.08	2.09	5.12	4.79	7.23	0.17
中滩泉	斜长花岗岩	18	74.46	0.24	12.04		3.12	0.05	0.76	1.69	3.01	3.16	0.08
哥德坑	花岗岩	19	75.28	0.14	12.38	0.68	1.22		0.56	1.41	2.70	4.95	0.04
	似斑状花岗岩	20	76.33	0.13	12.16	0.38	1.28	0.03	0.42	1.22	2.79	5.20	0.04
玉门关	花岗岩	21	75.66	0.15	12.43	0.71	1.05	0.02	0.09	1.23	3.80	4.44	0.02
		22	77.31	0.16	11.80	0.55	0.93	0.01	0.34	0.42	3.76	4.90	0.03
野马圈		23	73.62	0.24	12.86	1.10	1.95	0.01	0.35	0.83	3.04	5.15	0.06
		24	72.75	0.33	13.40	1.22	1.58	0.03	0.22	1.48	3.60	5.06	0.07
独青山		25	75.35	0.15	12.71	1.50	0.28	0.03	0.32	0.43	3.59	5.00	0.03
冷泉	二长花岗岩	26	76.26	0.22	11.43		2.56	0.04	0.58	1.13	2.70	3.81	0.11
树窝井		27	70.98	0.23	15.20	1.07	1.46	0.07	0.10	2.16	3.49	3.40	0.07
		28	74.98	0.15	12.62	0.00	2.32	0.03	0.39	0.96	3.16	4.39	0.05
八龙沟		29	72.57	0.13	13.30	2.50	2.02	0.05	0.49	0.91	4.47	4.82	0.05
牛头山		30❶	71.45	0.13	13.52	1.46	0.97	0.01	0.74	1.26	3.67	4.99	0.01

❶ 祁连区样品　　❷ 西秦岭区样品　　余者为北山区样品

化学成分及扎氏数值特征表

扎氏数值特征											扎氏分类
a	*c*	*b*	*s*	*a'*	*c'*	*f'*	*m'*	*n*	Q	*a/c*	
0.63	3.19	55.13	41.05		2.50	20.20	77.30	40.00	-22.35	0.20	6类23科c亚科
0.48	0.42	62.68	36.42		3.64	9.97	86.39	75.00	-28.54	1.14	6类23科b亚科
0.23	0.23	62.87	36.68		1.91	9.48	88.61	50.00	-27.34	1	6类23科c亚科
0.36	0.24	59.41	39.99	0.61		5.75	93.64	66.67	-20.98	1.5	
0.23	0.17	63.30	36.30		0.72	9.60	89.67	50.00	-28.03	1.35	
5.08	8.57	29.65	56.70		17.82	20.14	62.04	94.39	-5.33	0.60	4类15科a亚科
5.40	10.20	27.90	56.50		8.00	24.10	67.90	97.40	-7.00	0.53	5类19科b亚科
5.80	9.50	30.20	54.50		24.80	19.90	55.4	72.10	-11.86	0.68	5类15科b亚科
8.25	6.33	22.80	62.56		15.66	36.14	48.19	80.00	2.31	1.30	4类15科a亚科
6.91	8.94	24.51	59.71		18.81	27.10	54.10	79.59	-3.41	0.77	
8.20	7.30	18.70	65.80		7.90	39.30	52.8	86.40	7.60	1.13	3类10科
7.10	7.90	21.10	63.90		7.60	45.30	45.00	90.20	5.70	0.89	4类15科a亚科
8.10	6.80	23.0	61.50		15.60	34.90	49.40	83.60	-0.50	1.23	
9.79	5.66	15.19	68.76	18.34		34.50	47.16	77.46	12.28	1.73	3类9科
18.00	3.40	8.00	70.60		4.40	55.20	40.40	64.50	1.80	5.3	4类12科
21.68	1.11	4.38	72.83	31.75		52.38	15.87	52.18	1.19	19.53	
21.50	2.46	9.98	66.06		39.94	23.94	36.62	50.33	13.34	8.34	
10.84	1.98	5.02	82.15	15.79		57.89	26.32	58.54	40.65	5.50	2类4科
12.68	1.65	2.77	82.98	4.76		59.22	35.71	45.83	39.79	7.68	2类3科
13.10	1.30	2.36	83.24		2.78	69.44	27.78	45.00	36.02	10	
14.10	0.90	2.20	82.70		23.50	67.60	8.30	56.50	36.40	15.66	
14.60	0.20	2.10	83.10		12.50	25.00	62.50	53.90	36.80	73.00	
15.10	0.72	3.55	80.63		5.56	77.78	16.67	53.04	30.34	21.00	
14.86	1.26	3.25	80.62		16.33	73.47	10.20	51.79	30.27	11.80	
14.50	0.50	2.70	82.30	29.30		53.60	17.10		35.10	29.00	
11.00	1.40	4.30	83.30	24.24		54.55	21.21	52.00	43.20	7.8	
12.20	2.50	6.50	78.60	36.70		35.80	27.50	60.80	30.5	4.90	
12.78	1.16	5.28	80.77	19.51		34.15	46.34	52.53	34.82	11.02	
16.05	0.39	5.38	78.16		12.16	73.49	14.45	58.87	23.52	41.12	
15.13	1.14	3.36	80.1	10.80		56.40	32.70	53.30	28.70	13.30	

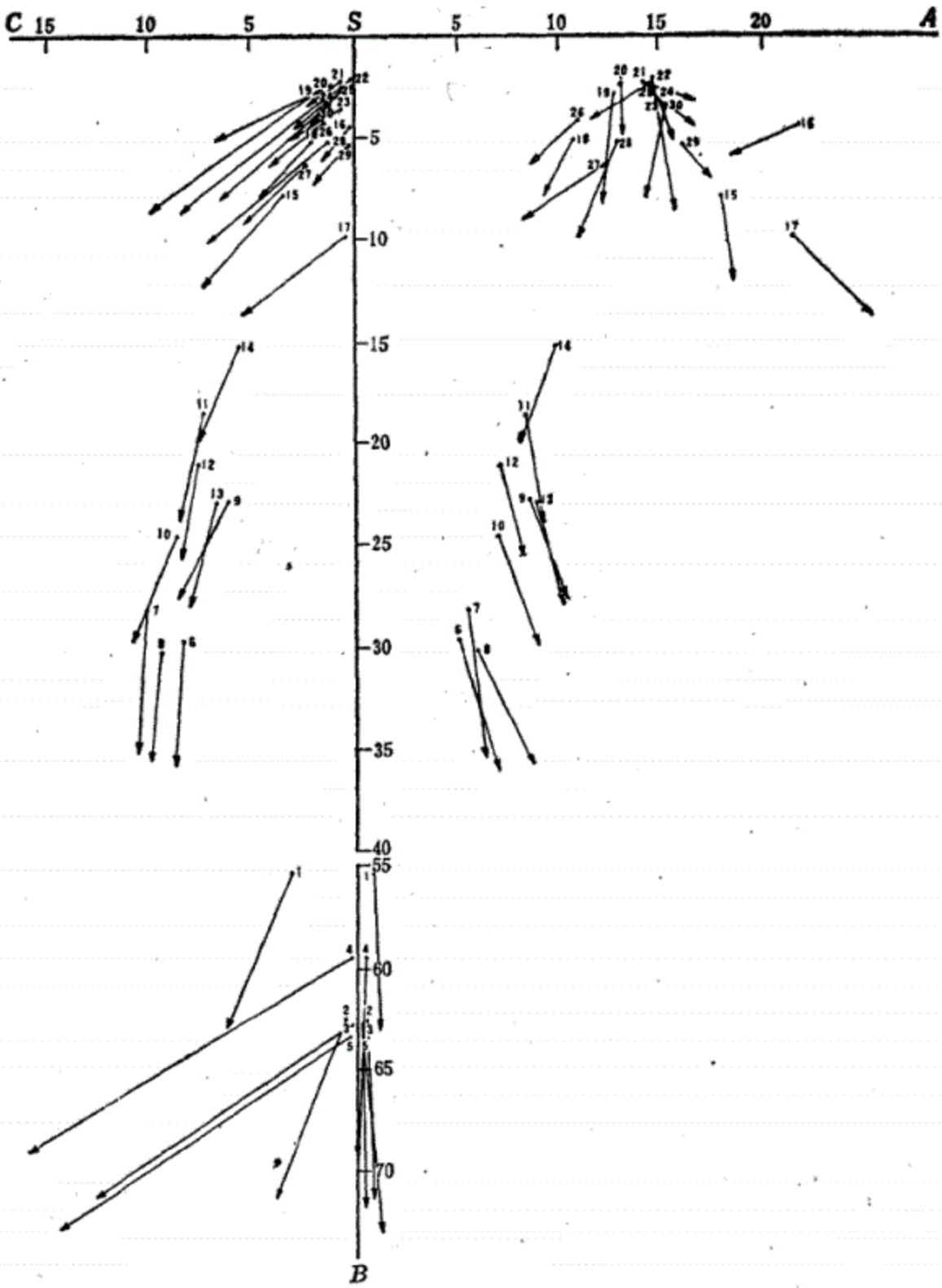


图 75　晚古生代晚期侵入岩扎氏向量图

处。各类矿产与侵入岩的成矿专属性均有密切的内在联系，特别是晚古生代中、晚两期侵入岩更为明显。

晚古生代中、晚两期花岗岩、斜长花岗岩、花岗闪长岩及二长花岗岩与接触交代型及

表 45　晚古生代侵入岩微量元素含量与维氏克拉克值对比表

期次	分区	岩石类型	典型造岩元素			铁族元素							硫化矿床元素					钨钼		稀有金属元素					岩浆射气元素
			Ba	Be	Sr	Ti	V	Sc	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Sn	Pb	W	Mo	Y	Yb	La	Nb	Zr	B
晚期	北山区	基性岩类	−	++	−	−	−		+	−	+	+	−	++	+		++							−	
		中性岩类	−	++	++	−	−	++	+	+	−	−	−	++	++		−			−	++	++		−	++
		酸性岩类	+	++	−	−	−	++	+	−	+	−	−	++	++	+	++	++	++	++	−			−	++
	祁连区	中性岩类	++	++	−	−	−		−	−	−	−	+		+		++					++	−		
		酸性岩类	++	++	−	−	−	++	+	−	−	−	−	+	+	++	++	++	++	−		++		−	++
	西秦岭区	中性岩类	−		−	−	−		+	−	+	−	−				−								
中期	北山区	超基性岩类	−	++	−	−	−	++	−	−	++	+	+	++	+		++			+				−	++
		中性岩类	−	++	−	−	+	++	−	−	+	−	+	++	++		++	++	++	−				−	++
		酸性岩类	++	++	−	−	−	−	−	−	−	−	−	++	++	−	++		++	−					++
	祁连区	超基性岩类	+		−	+	++		−	++	++	++	−	++	+									−	++
		中性岩类	++	++	−	−	+	++	−	−	−	−	−	−	++		++							−	++
		酸性岩类	+	++	−	+	++		−	++	+	++	−	++	−	−	++								++
	西秦岭区	中性岩类		++	++	−	−		−	−	+				++					++					
		酸性岩类	−	++	−	−	++		+	−	+	+	−	++	−	−	++								++
早期	北山区	超基性岩类							++		++	++													
		基性岩类	−	++	−	−	−	++	++	−	−	+	−	++	+									−	++
		中性岩类	+	++	−	−	−	++	−	−	−	−	−	++	+		++			−				−	++
		酸性岩类	−	++	−	−	−			−			+		+		++							−	
	西秦岭区	基性岩类	+	++	−	−	−	++	−	−	−	−	−	++	+	−	++			−				−	++

− 低于或接近维氏值　　+ 大于维氏值　　++ 超过维氏值几倍

表 46 晚古生代侵入岩副矿

期次	分区	岩石类型	锆石	磷灰石	榍石	金红石	电气石	褐帘石	绿帘石	独居石	曲晶石	萤石	石榴石	重晶石	钍石	天青石	锌尖晶石	蓝晶石	黄铁矿	白钛矿	白钨矿
晚期	北山区	基性岩	+++	+++	+++	+++						−				++			+++		−
		中性岩	+++	+++	++	++	−	++	−	−	−	−	−	−	+++				−		++
		酸性岩	+++	+++	−	+++	+++	++	++	++	−	++	−	−	+++				+++	−	+++
	祁连区	酸性岩	+++	+++	+++	++				−	−		−	−	−				+++	++	++
中期	北山区	中性岩	+++	+++	+++	+++	−		−	−			++		−		−		+++	−	++
		酸性岩	+++	+++	+++	++	−	++		++		−	−		+++			−	++	−	++
	祁连区	酸性岩	+++	+++		+++							+++						+++		
		中性岩	+++	+++		+++													++		
	西秦岭区	中性岩	+++	++		++		++	++				++	++					++		
		酸性岩	+++	+++	+++														+++		
早期	北山区	超基性岩	+++	+++																	
		基性岩	+++	+++	+++	+++	+++						+++						+++		+++
		酸性岩	+++	+++	+++			+++											+++	+++	

− 偶尔出现　　++ 较常见　　+++ 普遍出现

物组合及锆石特征表

锐钛矿	辉钼矿	钛铁矿	黄铜矿	斑铜矿	方铅矿	赤铁矿	磁铁矿	锡石	金	辰砂	毒砂	铌铁矿	闪锌矿	磷钇矿	黑钨矿	铬铁矿	辉锑矿	硬锰矿	自然铅	锆石特征
		+++	+ +		−						−		+ +							浅黄色、浅黄褐色或玫瑰色，透明，长0.3mm，宽0.1mm
−		−				−						−		−					−	无色，黄色，透明，晶形由柱面(100)(110)和双锥面(111)、偏锥面(311)(131)组成，长:宽=2:1，个别晶体中有磁铁矿包体
−	−	−	−	−	−						−		−			−			−	浅黄色、浅红褐色，透明—半透明，金刚光泽或玻璃光泽，为短柱状正方双锥，晶形由柱面(100)(110)及双锥面(111)、偏锥面(311)(131)组成，有磁铁矿包体
+ +		−	−		−	+++		−	−						−				−	玫瑰色—浅紫色，长0.3mm，宽0.15mm，晶形由柱面(100)双锥面(111)组成
		−	+ +	−	+ +	−	−				−									浅黄褐色、棕色、浅玫瑰色，玻璃光泽或金刚光泽，晶形由柱面(100)(110)与双锥面(111)组成。长0.2mm，宽0.1mm，个别有黑云母、磁铁矿包体
		+ +	−		+ +	−		−	−		−			−	−			−		浅黄褐色或无色，透明，玻璃光泽、金刚光泽，晶形由柱面(100)(110)和双锥面(111)组成，长0.2—0.25mm，宽0.1mm，个别有黑云母、磁铁矿包体
							+++													浅玫瑰色，透明，晶形由柱面(100)(110)和双锥面(111)组成
					+ +		+++			+ +										浅褐色、浅玫瑰色，透明，晶形由双锥面(111)、柱面(110)(100)组成
						+ +											+ +			褐棕色，半透明，长0.2mm，宽0.1mm，晶形由柱面(100)、双锥面(111)组成
																			−	浅黄—浅黄褐色，正方柱状双锥
							+++									+++				浅黄色、浅黄褐色、晶形不好，大小为0.05×0.1mm
			+++		+++															浅黄色、浅黄褐色，晶形由双锥面(111)、偏锥面(311)、(131)和柱面(110)(100)组成
			+++		+++		+++													褐黄色—浅褐黄色、透明—半透明，晶形由柱面(100)、双锥面(111)组成

热液型钨矿、闪锌矿、黄铜矿和磁铁矿等关系密切。晚古生代晚期肉红色花岗岩与稀有放射性矿产关系密切。在岩浆期后褐铁矿化的细小石英脉群中金矿化明显。特别是在北山区可做为寻找黄金的标志。上述岩类的成矿标志：从岩石化学成分来看，SiO_2含量低于戴里平均值，Al_2O_3含量稍低于或接近戴里平均值，Na_2O大于K_2O（近于1—2倍），以铝过饱和系列为主；微量元素中W、Mo、La、Pb、Zn、Cu等均超过维氏丰度值；副矿物中含有一定数量辰砂、白钨矿、黑钨矿、闪锌矿、黄铜矿、方铅矿、磁铁矿、褐帘石、磷钇矿、独居石和钍石等。

晚古生代闪长岩、石英闪长岩和正长岩与铜、铅、锌、铌、钽等矿产关系密切。岩石化学特征为：SiO_2含量略高于戴里平均值，K_2O和Na_2O含量低于戴里平均值，多属正常系列；微量元素Cu、Fb、Zn、La等超过维氏丰度值；副矿物中见有一定数量黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、褐帘石和磷钇矿。

晚古生代超基性岩与铬铁矿、钒钛磁铁矿、钛铁矿等矿产关系密切。其岩石化学特征为：SiO_2和Al_2O_3含量低于戴里平均值，MgO含量接近或略超过戴里平均值，镁铁比值超过9，均为正常系列，属高镁质超基性岩类；微量元素Cr、Ni、Ti和Cu等超过A.П.维诺格拉多夫丰度值；副矿物普遍见有一定数量的铬尖晶石。岩石中亦可见有星点状和浸染状的铬铁矿或其它金属矿物。

第三节　晚古生代岩浆作用

晚古生代岩浆作用区域性特征明显。泥盆纪，火山作用主要在北山区，侵入作用则以西秦岭区较强烈，祁连区兼有岩浆喷出和侵入，但规模均小。石炭纪至二叠纪，岩浆活动以北山区为主，使北山区成为主要的华力西构造岩浆活动区，不但侵入活动规模巨大，火山喷发也颇为频繁，强度和范围都较大；相反祁连区、西秦岭区这一时期已无火山作用，仅有少量岩浆侵入；而陇东区在晚古生代未见有岩浆活动。

一、泥盆纪

志留纪末至早泥盆世发生的祁连运动使祁连山褶皱上升，并使北山区一度上升成陆。早泥盆世晚期至中泥盆世，北山区北部及南部沉降，分别形成黑鹰山海槽和柳园海湾，古祁连山北缘古断裂继续活动，形成山前坳陷——肃南-景泰坳地。海域和坳地内均发生了不同规模、不同成分的火山活动。海域内有较强烈的中性、中酸性和酸性岩浆喷发，形成下—中泥盆统雀儿山群和三个井群海相安山岩、英安岩、流纹岩和石英角斑岩；坳地内有微弱的基性岩浆喷发，形成下—中泥盆统雪山群陆相玄武岩夹层。均为裂隙—中心式喷发。中泥盆世末的宁夏运动使北山区再次上升，仅局部地段在晚泥盆世断陷成为小型陆盆，发育有陆相火山活动，为中心式喷发，形成上泥盆统墩墩山群流纹英安岩、英安岩。

泥盆纪岩浆侵入作用较弱，且主要限于西秦岭区北侧东部。西秦岭区南部在泥盆纪一直为稳定浅海，北部为陆缘海，并在中泥盆世末一度褶皱上升（宁夏运动），伴随有酸性岩浆侵入，形成面积较大的花岗岩。祁连区侵入活动不发育，北山区则更微弱，多形成小岩株、岩床等。泥盆纪侵入岩，以酸性岩为主。岩浆侵入以超基性、基性岩浆为先导，逐渐演化到酸性。

泥盆纪属华力西构造岩浆期开始阶段，岩浆作用不太强烈，规模也不大。侵入作用和火

山作用在同一地区内呈互为消长关系，岩浆喷发作用强的地区，岩浆侵入作用就微弱，反之亦然。

二、石炭纪

火山活动仅限于北山区。由于泥盆纪末景泰运动的影响，北山区进一步抬升，仅北部在早石炭世早期沉降，并形成黑鹰山海槽，同时产生微弱的火山活动。早石炭世晚期，北山区普遍沉降，形成广阔的北山海槽，海槽南北两部分均有强烈的海相火山活动，特别是北部以酸性、中酸性为主的岩浆喷发，形成分布广泛的下石炭统白山组流纹岩、英安岩。南部为基性、中性和酸性岩浆喷发，规模、强度略逊北部，形成下石炭统柳园组的玄武岩、安山岩和流纹岩。火山活动明显受海槽东西向断裂构造带控制，火山岩均呈东西向带状分布，并具裂隙一中心式喷发特征。中石炭世火山作用明显减弱，活动范围缩小，仅限于红柳园海槽部分地区，为规模较小的酸性、中性岩浆喷发，形成中石炭统石板山组中的流纹岩、安山岩。在海槽西部的火山活动中心，尚有一定数量基性岩浆喷发。晚石炭世，在马鬃山古陆南北分别形成黑鹰山海槽和红柳园海槽。这个时期的火山作用中心仍位于红柳园海槽之内，以大规模基性、酸性岩浆喷发为主，形成厚达数千米的火山岩。例如红柳园周围的上石炭统干泉群玄武岩，干泉和民勤北的流纹岩，玉门关北的安山岩、流纹岩，出露厚度 3 000—5 000m。北山区北部黑鹰山海槽的火山活动较弱，活动范围不大，仅在海槽南缘西段生成有少量基性熔岩和酸性火山碎屑岩。

石炭纪岩浆侵入活动极为强烈，形成许多大型岩体。侵入活动主要发育在北山区，祁连区次之，西秦岭区极弱。岩浆演化从超基性、基性开始，逐步变成中性、中酸性，至酸性结束，岩浆成分向着SiO_2、K_2O+Na_2O逐渐增多的方向发展。岩浆侵入的规模、强度由超基性→基性→中性→中酸性至酸性逐步增强，最后以酸性岩浆侵入占绝对优势。超基性、基性侵入岩为幔源岩浆分异产物，以高镁铁质成分为特征，常沿古老地块与强烈褶皱带之间的深大断裂上侵，多呈规模不大的岩株产出；中性、中酸性、酸性侵入岩为壳源岩浆成因，为硅铝质地壳重融分异的产物，岩石化学成分为钙碱性系列，多属铝过饱和成分。中性侵入岩以闪长岩为主，在北山区呈岩基、岩株产出，在祁连区和西秦岭区以岩株为主。酸性侵入岩多形成大型岩基和岩株，其岩石组合在北山区为斜长花岗岩、花岗闪长岩、二长花岗岩和花岗岩，祁连区和西秦岭区仅有花岗闪长岩。由上可以看出，北山区的侵入作用不仅规模、强度大，而且岩浆演化也较完全。

石炭纪为晚古生代岩浆活动最强烈的时期，处于华力西构造岩浆期的顶峰阶段。岩浆活动的区域性颇为明显，以北山区最为典型，祁连区和西秦岭区相对较弱。侵入作用和火山作用具有正相关关系，在火山作用强烈地区侵入作用也发育，这与泥盆纪岩浆活动有所区别。北山区的火山活动中心具有由北向南转移的趋势，早石炭世以北部为中心，晚石炭世以南部为中心。北部以酸性、中酸性岩浆喷发为主，南部以基性、酸性岩浆喷发为主。北山区先期的中性岩浆侵入活动多集中在中部马鬃山古陆一带，后期的酸性岩浆则是伴随着金塔运动，在南北海槽褶皱上升时侵入于强烈褶皱带中。石炭纪侵入岩及火山岩均具良好含矿特征，岩浆和期后热液直接为成矿作用提供矿源，岩浆作用以及有关的变质作用使成矿元素迁移、富集、共生和改造，生成各类内生矿床。如早石炭世酸性火山岩中的层控型金、锡、钨矿床，超基性侵入岩中的岩浆型铬铁矿和铜镍矿床，早石炭世与酸性岩浆喷发有关的火山热液型铁矿，与酸性岩浆侵入有关的热液型有色金属、非金属矿，与岩浆交

代作用有关的硅灰石等矽卡岩型矿床。石炭纪岩浆作用所引起的静热变质作用、交代作用、混合岩化作用等均很强烈，北山区广泛分布有与其有关的接触变质带和混合花岗岩。

三、二叠纪

火山活动也仅限于北山区。石炭纪末金塔运动使北山区再度褶皱隆起，至早二叠世初期开始海侵形成北山海槽，海槽南部有基性、中性和酸性岩浆喷发，形成以流纹岩为主，次为玄武岩、安山岩等火山岩系。早二叠世的火山活动，早期为小规模基性岩浆喷发；中期规模变大，以酸性、中酸性为主；晚期又变为小规模基性喷发。组成成分为基性—酸性、中酸性—基性、规模为小→大→小的喷发旋回。火山岩具中心式喷发特征，火山活动受海槽南侧东西向断裂控制，火山岩沿断裂带断续分布。早二叠世末，北山运动使北山区整体褶皱隆起，从此结束了北山区的海相历史。晚二叠世的断裂活动使北山区中部和南部分别形成红岩井陆盆和红柳园陆盆，沿陆盆边缘断裂有火山活动发生。以红柳园陆盆中部发生的酸性、中酸性岩浆喷发规模最大，向东向西两侧强度减弱，成分也略有改变（有少量中基性岩）。多为中心式喷发，形成厚度大、长度小的透镜状火山岩体。岩石以流纹岩、英安岩为主，少数为玄武岩、安山岩，火山岩中火山碎屑所占的比例较大。

二叠纪侵入作用仍以北山区为最强，祁连区次之，西秦岭区最弱。岩浆演化仍由超基性、基性开始向酸性演变，规模也逐渐变大。超基性岩和基性岩属于幔源岩浆分异作用的产物，常沿深大断裂上侵（如沿祁连区东部渭河大断裂上侵的超基性岩体），成分相当上地幔岩，以高镁铁质成分、SiO_2不饱和为特征。中性、中酸性、酸性侵入岩为壳源成因。中性、中酸性侵入岩主要分布于北山区南部，包括闪长岩、石英闪长岩、正长岩和石英正长岩，均为中深成相产物，呈岩基、岩株状产出。酸性侵入岩在二叠纪侵入活动中占绝对优势，多数分布在北山区，以花岗岩为主，次为花岗闪长岩和斜长花岗岩。在北山区多呈岩基产出，祁连区和西秦岭区则以小岩株为主。二叠纪酸性岩浆侵入活动主要伴随早二叠世末北山运动和晚二叠世末后红泉运动而发生。晚二叠世末的酸性侵入岩以分布在北山南部为主，并侵入晚二叠世火山岩中。

二叠纪的岩浆活动具有明显的继承性，其岩浆作用特征与石炭纪颇相似，二者在岩浆成分、岩石组合、演变规律和分布特征诸方面都具有相同或相似的特点。在区域分布上都是以北山区为主，祁连区为次，西秦岭区最弱；火山活动均发育于北山区，火山喷发中心仅限于北山区南部；岩浆演化系列及岩浆活动构成的旋回也具相近的特征。不同的是，二叠纪岩浆作用比石炭纪明显减弱，岩浆岩出露面积只及石炭纪的一半。

第五章　中生代、新生代岩浆岩和岩浆作用

第一节　中生代、新生代火山岩

一、概述

中生代、新生代火山岩主要分布于西秦岭区，祁连区和北山区较少；时间上以侏罗纪和白垩纪火山岩较发育，三叠纪次之，第三纪最不发育。岩石类型以中酸性熔岩为主，中基性火山岩和中酸性火山碎屑岩次之，超基性和碱性火山岩及潜火山岩较少。

（一）三叠纪火山岩

以早三叠世发育较好，呈层状产出；晚三叠世零星分布，呈夹层和透镜状产于正常沉积岩层中。早三叠世火山岩分布于西秦岭区夏河北西的赛尔钦沟一带，向西延入青海省境内。以赛尔钦沟一带发育最好，厚约2 800m，向西逐渐变薄，至青海省厚度减到2 100m。以中酸性火山岩为主，形成近东西向和北西向火山岩带，延伸方向与区域构造线基本一致。岩石类型为流纹岩、英安岩、安山岩、安山玄武岩以及相应成分的火山碎屑熔岩。晚三叠世火山岩零星分布于祁连区，如屈吴山北上三叠统正常沉积岩层中有一层厚几十米的凝灰岩，金佛寺西南有少量酸性凝灰熔岩夹于上三叠统砂岩、砾岩之中。

（二）侏罗纪火山岩

见于中侏罗统，厚度大，分布广，是中生代较为发育的火山岩系之一。主要分布于西秦岭区郎木寺、宕昌北的路院和马建川、合作北东的前扎等地，此外，在北山区的多坝沟、安西、金塔南山、龙首山等地也有零星出露。隐爆角砾岩分布于西秦岭区年木耳和美武两地的岩体边缘。

路院和马建川一带火山岩发育最好，厚2 000m以上，面积23km²。岩石类型以流纹岩为主，次为安山岩、英安岩、安山质凝灰角砾岩、英安质火山碎屑岩、流纹质角砾凝灰岩。前扎、尕日一带厚约1 100m，面积约60km²，岩石为英安岩、英安质火山角砾岩、英安质角砾凝灰岩。郎木寺和尕海一带中侏罗世火山岩不发育，厚小于200m，以中性火山岩为主，少量中基性火山岩，岩石为安山岩、辉石安山岩、安山玄武岩、安山质火山角砾岩、凝灰岩、安山质集块岩。中侏罗世火山岩及厚度对比见图76。

北山区中侏罗世火山岩，皆呈单层或夹层产出。多坝沟中侏罗统砂砾岩中有一层杏仁状安山岩（可相变为玄武岩），厚约60m；芦草沟中侏罗统含煤炭质页岩、泥质砂岩中夹一层玄武岩，厚8.7m；金塔南山天泉寺一带中侏罗统砂岩、砾岩中夹三层安山玄武岩；合黎山红柳园煤矿西南中侏罗统砂岩、砾岩中有安山岩夹层。天泉寺和红柳园火山岩均位于中侏罗统含煤层位之下部。

中侏罗世隐爆角砾岩产于年木耳石英闪长岩体（δo_8^2）西南边缘内接触带和美武花岗闪长岩体（$\gamma\delta_8^3$）北部边缘相石英闪长岩中的两个角砾岩筒中。年木耳角砾岩筒经剥蚀出

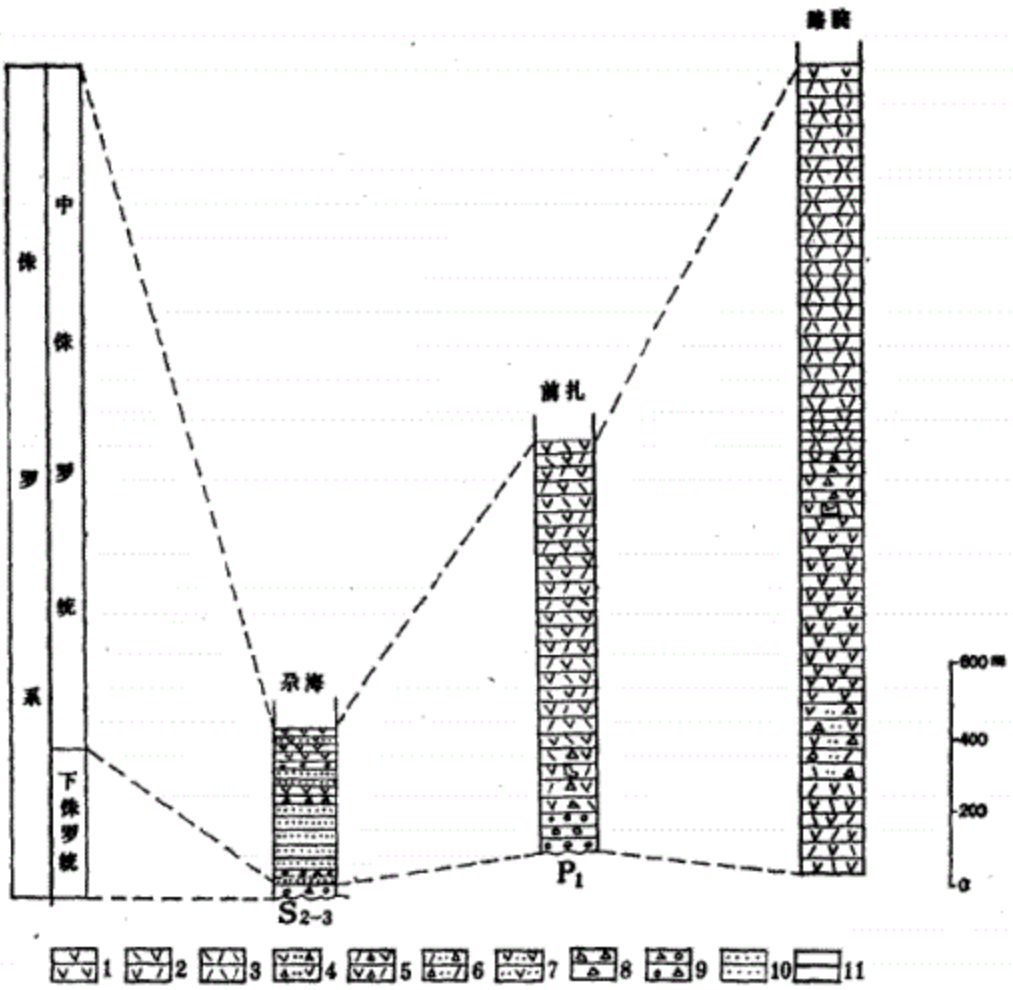


图 76　西秦岭区中侏罗世火山岩柱状对比图

1—安山岩；2—英安岩；3—流纹岩；4—安山质凝灰角砾岩；5—英安质火山角砾岩；6—流纹质凝灰角砾岩；7—安山质凝灰岩；8—火山角砾岩；9—角砾岩；10—细砂岩、粉砂岩；11—煤层

露地表，其截面呈不规则椭圆形，长700m，宽400m，延深 400m以上，呈倾斜漏斗状，倾向北西，倾角60°—70°。由内向外分别为爆发角砾岩、爆发交代角砾岩、震碎角砾岩。美武角砾岩筒呈椭圆形，长轴近东西向，长约200m，宽 150m，延深 500m以上，地表面积 30 000m²。该角砾岩筒界线清楚，倾向南西，倾角 80°—85°。由爆发角砾岩、震碎角砾岩、注入角砾岩构成。前两种角砾岩呈筒状产出，爆发角砾岩位于中部，向外为震碎角砾岩，而注入角砾岩呈脉状产出。龙得岗铜矿主要矿体和矿化体皆赋存于年木耳隐爆角砾岩筒中。

（三）白垩纪火山岩

出露厚度不大，但分布较广，主要分布在西秦岭区，祁连区只有零星分布。

早白垩世火山岩，在西秦岭区西段夏河以北，为中基性火山岩，与正常沉积岩呈互层产出。以杏仁状玄武岩、安山玄武岩为主，少量为安山岩、安山质火山角砾岩，厚530m。在祁连区玉门镇南和旱峡沟口的下白垩统砂岩、泥质砂岩中有玄武岩夹层。

晚白垩世火山岩分布在西秦岭区天水南西，面积 4—5km²，在清水江以北和洮水河以

南也有零星分布，为偏碱性的超基性—基性火山岩，由玻基橄辉凝灰熔岩、气孔状玻基橄辉岩、霞石方沸橄辉岩、白榴石方沸橄辉岩、橄榄石碱玄岩组成，厚度仅数十米。葡萄园西为流纹质熔结凝灰岩、流纹岩、流纹质角砾凝灰熔岩、安山质角砾凝灰岩，面积50km²，最大厚850m。

（四）第三纪火山岩

见于祁连区红柳峡，为火山颈；西秦岭区仅有潜火山岩。

1．红柳峡第三纪火山颈　位于玉门市北西40km，由单一粗玄岩组成，高出附近河谷约150m，呈椭圆形筒状，长轴近北东向延伸，长约280m，宽约160m。岩颈周围为白垩系—第三系灰黑色页岩夹灰色泥质砂岩。岩颈与围岩界线清晰，接触面近于直立。周围有1—4m宽堇青石角岩带和退色带。岩颈内三组节理发育，层节理呈环状，纵节理呈放射状。沿环状节理充填有基性岩墙及粗面岩细脉，沿放射状节理充填有沸石和方解石细脉。由于三组节理发育，岩颈球状风化显著。由于岩浆的上冲作用，使围岩发生牵引和揉皱。岩颈边缘有数厘米宽玄武岩，向里逐渐过渡为暗灰色细粒粗玄岩。粗玄岩具杏仁状构造，充填物为碳酸盐和沸石。在岩颈南100m处，有一玄武岩流覆于白垩系—第三系页岩、泥质砂岩之上，岩流出露长100m，宽30m，厚7m，呈北东—南西方向延伸，与岩颈延伸方向基本一致。

2．西秦岭区第三纪潜火山岩　分布于西和县南西，在近600km²范围内，有大小不等10余个潜火山岩体。规模最大者长3km，宽0.85km；最小者长50m，宽10m。产出部位和分布方向似无规律性可循。择其代表性岩体叙述如下：

（1）柳树湾潜玄武岩—潜辉绿岩体　近南北向分布，长3km，宽0.85km。由杏仁状方沸橄榄玄武岩和苦橄辉绿岩组成，二者为渐变过渡关系。

（2）铁古下坪潜橄榄玄武岩体　呈北西-南东方向带状分布，长1.5km，宽0.05—0.15km，岩性单一，为橄榄玄武岩。

二、喷发旋回、韵律、岩相划分

依据中生代发育较好的火山岩系的分布形态、岩性特征，剖面中火山岩层序和厚度变化规律，以及与火山岩互层或呈夹层产出的正常沉积岩特征，划分如下：

（一）三叠纪

以早三叠世火山活动为主，与火山岩相伴生的下三叠统砂岩、灰岩含双壳和菊石化石，火山活动为海底裂隙式喷发。火山爆发指数东部赛尔钦沟一带为0.2，以溢流亚相为主；向西至江隆山一带为0.6，以爆发亚相为主。火山爆发强度由东向西由弱变强。

赛尔钦沟早三叠世火山活动由下至上划分两个喷发韵律。第一韵律，下部由中性、中酸性火山角砾岩及少量中酸性熔岩组成，厚约240m；上部为酸性熔岩，厚2 050m。喷发顺序由强烈中酸性火山爆发到大量酸性熔浆溢流。第二韵律，只见到下部的中酸性火山角砾岩—安山质角砾凝灰岩和少量火山集块岩。上述喷发韵律组成一个中酸性火山爆发—酸性火山喷溢—中酸性火山爆发喷发旋回。

（二）侏罗纪

西秦岭区前扎一带的中侏罗世中酸性火山岩分布在由正常沉积岩构成的椭圆形盆地中，边缘为英安质火山角砾岩，中心为大面积分布的英安岩，火山爆发指数近于0；郎木寺一带中侏罗世安山质集块岩、角砾岩、凝灰岩、安山岩与中侏罗统含煤及植物碎屑的粉

砂岩、粉砂质泥岩、泥岩间互成层，构成一个轴向近东西的向斜盆地，火山爆发指数0.3。前扎和郎木寺两地均为中心式喷发，喷发环境为陆地和湖沼，属喷溢亚相，少量为爆发亚相。前扎一带中侏罗世火山岩底部为英安质火山角砾岩，厚大于277m；上部为英安岩，厚大于830m。构成一个由爆发亚相至喷溢亚相组成的中酸性火山喷发旋回。

（三）白垩纪

夏河以北早白垩世中基性喷溢活动强烈，形成似层状中基性熔岩。熔岩中夹数层暗紫红色粉砂质泥岩、砂岩、砾岩。熔岩下部有少量同成分火山角砾岩，火山爆发指数近于零。火山喷发类型为裂隙式，喷发环境为陆地，喷发相以喷溢亚相为主，少量为爆发亚相。据红墙剖面，早白垩世火山岩由玄武岩、安山质火山角砾岩—安山玄武岩—细砂岩、泥质粉砂岩和安山玄武岩—细砂岩、泥质粉砂岩及杏仁状安山岩—泥质粉砂岩等构成的喷发韵律达十个以上。火山岩层最厚近300m，最薄3.4m；砂岩最厚160m，最薄1.5m。若以火山岩厚度大小表示火山喷发的相对强度，以砂岩厚度大小表示喷发间歇期的相对长短，那么，早白垩世早期喷发强度较弱，间歇期较短；而晚期喷发强度增强，但喷发间歇期亦较长。

晚白垩世，在天水东形成近东西向条带状流纹质熔结凝灰岩、熔结角砾岩、熔结集块岩。喷发类型以裂隙式为主，局部具中心式特征。喷发相以爆发亚相为主，少量为喷溢亚相。在天水西南晚白垩世碱质超基性—基性火山岩多零星地沿断裂带分布。其下部为棕灰色砾状或角砾状玻基橄辉岩，厚约30m；上部为深灰色沸石碱玄岩及石榴石碱玄岩，厚约50m。为多中心裂隙式喷发，爆发亚相—喷溢亚相，喷发环境为陆地。

三、岩石特征及岩石化学特征

（一）三叠纪

据赛尔钦沟早三叠世火山岩资料叙述如下：

1．岩石特征

流纹岩：灰、黄褐色，斑状结构，基质具霏细结构，流动构造。斑晶为酸性斜长石和石英，均占10%，石英被熔蚀成浑圆状和港湾状；基质为隐晶质长英质矿物，含量90%。岩石中有少量气孔，呈拉长的不规则状，充填物为铁质和粘土矿物。

英安岩：灰绿色，斑状结构，流动构造。斑晶约占5—20%，由斜长石、石英、暗色矿物组成，暗色矿物已被绿泥石代替；基质具霏细—隐晶质结构，由斜长石、石英、绿泥石构成。

2．岩石化学特征

早三叠世流纹岩、英安岩岩石化学成分及里特曼数值特征见表47。流纹岩（1.3.4）与中国流纹岩化学成分平均值对比，Al_2O_3、K_2O含量基本相当，SiO_2明显偏高，其余氧化物含量均偏低。英安岩（2）与中国英安岩化学成分平均值相比，SiO_2含量偏高、CaO偏低，其余氧化物含量相似。据里特曼标准矿物法计算结果，在斯特雷凯森Q-A-P-F双三角图（图77）上分别投在中部和上部，按其分类，2号为英安岩，4号为流纹英安岩，3号为富硅流纹岩，1号由于Q值高达95.6，A值为0，投点为硅质岩。流纹岩和英安岩里特曼指数δ值在0.11—1.61之间，均属钙碱性岩系。

（二）侏罗纪

以中侏罗世郎木寺安山岩为代表叙述如下：

表 47　中生代火山岩岩石化学成分及里特曼标准矿物成分表

时代		早三叠世				中侏罗世			晚白垩世					
分区		西秦岭区												
取样地点		赛尔钦			沙格日	郎木寺			寺下河			好梯		
顺序号		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
岩石名称		流纹岩	英安岩	流纹岩		粗面岩	安山岩		流纹质熔结凝灰岩		凝灰熔岩	玻璃质辉石橄榄岩	苦橄岩	
氧化物百分含量	SiO_2	78.42	66.80	72.27	74.48	60.55	58.23	60.4	74.86	73.66	76.4	44.3	43.7	44.59
	Al_2O_3	12.31	15.01	14.61	13.03	15.60	17.50	18.2	12.11	12.74	11.94	9.7	10.3	10.32
	Fe_2O_3	1.28	2.72	1.78	0.78	5.58	3.17	3.3	0.55	0.76	0.99	6.9	6.4	5.00
	FeO	0.38	2.04	0.58	0.82	0.56	2.22	2.3	2.48	2.11	1.44	4.6	5.4	5.70
	MnO	0.01	0.03	0.01	0.01	0.31	0.05	0.1	0.05	0.07	0.06	0.2	0.2	0.08
	MgO	0.27	0.54	0.17	0.14	1.26	2.32	2.4	0.29	0.52	0.18	14.0	3.6	10.94
	CaO	0.64	3.10	2.09	0.44	3.10	1.85	1.9	0.58	0.61	0.26	13.4	13.0	15.00
	Na_2O	0.12	3.49	0.16	2.79	2.55	2.86	2.9	3.45	3.52	3.23	1.3	2.2	2.95
	K_2O	1.89	2.81	4.02	4.48	5.10	7.42	7.7	4.53	5.02	5.02	1.1	1.0	1.08
	TiO_2	0.11	0.52	0.01	0.05	0.86	0.79	0.8	0.14	0.21	0.14	3.3	3.4	3.17
	P_2O_5	0.04	0.15	0	0.02				0.03	0.05	0.03	1.2	0.8	1.17
里特曼标准矿物成分及其他数值	石英	70.3	30.7	51.2	37.5	21.4	9.3	9.2	36.7	32.9	37.6			
	透长石		15.3	14.1	27.1	25.3	39.8	39.1	24.8	27.3	28.7	7.2		11.4
	斜长石	3.1	4.34	10.9	31.2	39.0	34.7	35.5	31.9	32.8	28.3	27.5		11.6
	白云母	19.6		14.5										
	黑云母		9.1		1.2	13.1	14.3	14.4	5.4	6.5	3.7			
	单斜辉石											40.9	30.2	54.0
	紫苏辉石											1.0		
	橄榄石											18.3	29.1	9.6
	磁铁矿	0.1	0.6	0.2	0.2	0.9	1.5	1.5	0.4	0.5	0.3	1.1		1.3
	钛铁矿	0.1	0.2		0.1	0.3	0.2	0.3				1.7		
	堇青石	6.8	0.4	9.1	2.7		0.2		0.8		1.4			
	假石												13.1	9.5
	六方钾霞石												3.3	
	黄长石												10.7	
	钛尖晶石												11.9	
	磷灰石		0.3									2.6	1.7	2.6
	An	100	39	100	40	54	50	56	20	20	20	60		76
	CI	20.6	10.6	23.8	4.2	14.3	16.2	16.2	6.6	7.0	5.4	65.3	83.6	67.5
	Q	95.6	34.3	67.2	39.1	25.0	11.1	10.9	39.3	35.4	39.7			
	A		17.1	18.5	28.3	29.5	47.5	46.7	26.6	29.4	30.4	20.7		35.1
	P	4.4	48.5	14.3	32.6	45.5	41.4	42.4	34.2	35.2	29.9	79.3		35.7
	δ	0.11	1.67	0.59	1.68	3.33	6.94	6.5	1.99	2.4	2.0	4.4	14.6	10.2
	τ	110.3	22.2	14.45	205	6.12	18.53	19.1	61.85	43.9	62.2	2.5	2.29	2.32
	F												100	29.2

1．岩石特征

安山岩：深灰色，斑状结构，基质具交织结构。斑晶占40—45%，由基性斜长石、黑云母、普通辉石、普通角闪石组成；基质占55—60%，由微晶斜长石及火山玻璃组成。角

闪石具暗化边，斜长石具环带构造。

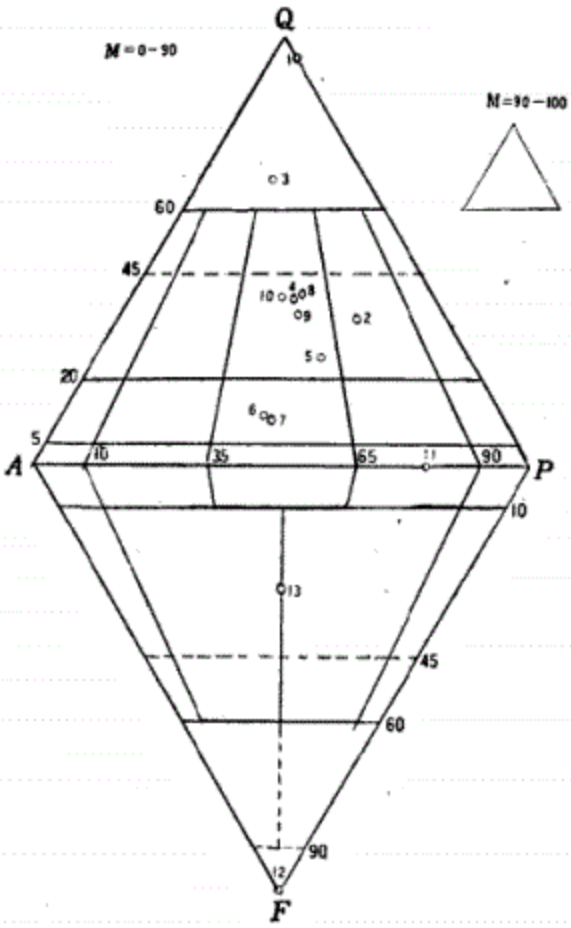


图 77　中生代火山岩Q-A-P-F（斯特雷凯森）双三角图

辉石安山岩：暗灰色，斑状结构，基质具交织结构。斑晶占30%，由斜长石、辉石、黑云母组成；基质70%，由斜长石及铁质组成。斜长石为中长石，具环带构造，辉石为紫苏辉石。

2．岩石化学特征　岩石化学成分及里特曼数值特征见表47。粗面安山岩（5）、安山岩（6、7）与中国安山岩化学成分平均值相比，K_2O明显偏高，超过平均值二倍；SiO_2、Fe_2O_3(粗面安山岩)偏高；Al_2O_3、FeO、MgO偏低；CaO显著偏低，不到平均值的一半；其余氧化物含量与平均值基本相当。据里特曼标准矿物法计算结果，在斯特雷凯森Q-A-P-F双三角图（图77）上投点在中性岩区和中酸性岩区，属石英安粗岩和流纹英安岩，里特曼指数δ值为3.3—6.9，均属碱性岩系。

（三）白垩纪

早白垩世火山岩主要为中基性熔岩，晚白垩世超基性—酸性（包括碱性—钙碱性）均有。

1．岩石特征

玄武岩：暗绿色，斑状结构。斑晶由橄榄石，辉石组成，大部已蚀变成绿泥石、蛇纹石、伊丁石、滑石；基质由斜长石、辉石和磁铁矿微粒组成。

白榴方沸橄辉岩：细粒斑状结构，斑晶为钛辉石和白榴石，白榴石呈自形、半自形粒状；基质以钛辉石为主，次为透辉石、方沸石、霞石等。

玻基橄辉岩：玻基斑状结构。斑晶为小于0.5mm的橄榄石，约占20%；基质含量80%，由黑色玻璃质和辉石雏晶及少量金属矿物组成。岩石具气孔构造，气孔呈圆形或椭圆形，充填物为碳酸盐和沸石。

沸石碱玄岩：深灰色，全晶质斑状结构。斑晶占6%，由橄榄石组成，粒度小于0.4mm；基质占90%，主要由辉石、沸石、金属矿物组成，还有少量伊丁石。

流纹质熔结凝灰岩：熔结凝灰结构、熔结角砾结构。碎屑由岩屑、晶屑、玻屑、塑性玻屑组成，部分含火山角砾。岩屑主要为流纹质凝灰岩、凝灰熔岩、霏细岩及少量千枚岩、黑云石英片岩、细晶岩；晶屑主要为石英、斜长石、碱性长石，次为黑云母、白云

母、方解石；玻屑呈新月形、弓形，塑性玻屑由脆性玻屑熔结软化和泡沫状岩浆崩碎而成。

2．岩石化学特征

岩石化学成分及里特曼数值特征如表47。流纹质熔结凝灰岩、凝灰熔岩（8、9、10）与中国流纹岩化学成分平均值对比，SiO_2含量偏高，Al_2O_3、Fe_2O_3偏低，其余氧化物含量近似。据里特曼标准矿物法计算结果，在斯特雷凯森 *Q-A-P-F* 双三角图（图77）上投点均在中酸性火山岩区。里特曼指数 δ 值在2.0—2.4之间，属钙碱性岩系。玻基橄辉岩、苦橄岩（11、12、13）与中国超基性岩化成分平均值相比，SiO_2、Al_2O_3、FeO含量偏低，Fe_2O_3偏高，MgO、CaO显著偏高，其余氧化物基本相当。据里特曼标准矿物法计算结果，在斯特雷凯森 *Q-A-P-F* 双三角图（图77）上分别投点为安粗玄武岩（11）、黄长苦橄岩(12)、响岩质碱玄岩(13)。里特曼指数 δ 值在 4.4—14.6 之间，为碱性岩系与过碱性岩系。

（四）第三纪

潜方沸橄榄玄武岩：暗绿色，斑状结构，杏仁状构造。斑晶为橄榄石，粒度为0.5mm，含量10—15%；基质由单斜辉石（40—50%）、方沸石（10—15%）、透长石（5—10%）、金云母（1—5%）、碳酸盐（1—5%）组成。副矿物为钛铁矿、钙钛矿。

潜苦橄辉绿岩：暗绿色，辉绿结构、斑状结构。斑晶由橄榄石、单斜辉石组成，晶粒大小0.5—1mm，二者含量近等，总含量35—40%；基质由橄榄石（10—15%）、单斜辉石（10—15%）、斜长石（10—15%）、斜方辉石（1—5%）组成。副矿物为钛铁矿、钙钛矿。

潜橄榄玄武岩：黑棕、暗灰绿色，斑状结构。斑晶由单斜辉石和橄榄石组成，二者含量比例为1：5，总含量10—15%，晶粒大小为0.25—1mm；基质由基性斜长石（45—50%）、单斜辉石（10—15%）、橄榄石（1—5%）、磁铁矿（5—10%）组成。

玄武岩：灰紫色，斑状结构，杏仁状构造。斑晶由斜长石（10%）和暗色矿物(5%)组成，斜长石具环带构造，暗色矿物被铁质交代；基质由斜长石（45%）、透辉石(25%)、磁铁矿（5%）和磷灰石组成，矿物颗粒大部分小于0.5mm。杏仁体呈椭圆形，大者3—5mm，一般为1mm，含量约10%，充填物主要为方解石，少量为石英。

四、火山活动与地质构造及成矿作用的关系

中生代火山岩主要分布在祁吕贺兰山字型构造体系西翼褶带的断裂带上及其附近。早三叠世和早白垩世火山岩分布在美武-大草滩断裂带上；中侏罗世火山岩分布在合作-临潭北断裂带、武都山字型构造西翼白龙江断裂带、营盘堡-金塔南山断裂带和多坝沟-桥湾断裂带上；晚白垩世偏碱性的基性—超基性火山岩和第三系潜火山岩及伴生脉岩，主要分布在天（水）礼（县）盆地西侧的天水-礼县-白关断裂带上和武都山字型构造脊柱南缘西侧的压扭性断裂及次一级近南北向断裂附近。火山岩分布方向与断裂的延伸方向基本一致，断裂构造控制了火山岩的时空分布。控制中生代火山岩分布的断裂带，具有发展的长期性、继承性、多期活动和切割深等特点。构造运动的多期性导致了火山活动的多期性，其中以印支运动早期—燕山运动早期和燕山运动晚期火山活动较强。由强烈挤压造成的压扭性和张扭性断裂，尤其是北北东向压扭性断裂给岩浆和矿液活动提供了有利的通道。天水-礼县-白关断裂带控制了晚白垩世基性—超基性火山喷发，对与之有关的钛、铌、钽等矿化

起到控制作用。岩浆由地壳深处向上运移过程中发生物质分异作用，使岩浆携带的有用组分上升到地壳上部喷出地表，形成有用组分的聚集。

与中生代火山岩有关的矿产和矿化有隐爆角砾岩筒型铜矿及铀、钍异常等。前者赋存于年木耳杂岩体西南边缘石英闪长岩（δo_6^2）内接触带龙得岗隐爆角砾岩筒中。以爆发角砾岩和爆发交代角砾岩带矿化较好，金属矿物多赋存在角砾岩的胶结物中。矿化元素以Cu、As为主，伴有Bi、Sn、Co、Mo、Ag、Au、Pb、Zn等。矿石矿物以黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿、毒砂为主。矿化一般与角砾岩的钾硅化蚀变关系密切，蚀变强烈地段一般有较强的铜、砷矿化，局部形成工业矿体。后者产于郎木寺中侏罗世英安质凝灰岩中，为铀、钍混合异常。此外，天水南西、清水江以北和洮水河以南，晚白垩世偏碱性的基性—超基性火山岩伴生有火山角砾岩脉、橄辉岩脉、云斜煌斑岩脉，在熔岩下部火山角砾岩中赋存有铬透辉石、镁铝榴石、钙钛石、辉石、黑云母，并以脉状火山碎屑岩中最为丰富。从伴生矿物看，与金伯利岩有某些相似之处，但岩石化学成分较金伯利岩偏酸性，亦不同于钾镁煌斑岩，是否对形成金刚石有利，待深入研究。

第二节　中生代、新生代侵入岩

一、概述

中生代侵入岩比较发育，主要分布于西秦岭区，其次为祁连区东西两端，北山区仅局部地段出露，总面积约4 590km^2；新生代侵入岩仅出露于祁连区东端的清水和西秦岭区天水等地，面积约14km^2。

西秦岭构造岩浆区的中生代侵入岩依据岩体时空分布特征可区分为南北两带，其中北带以武山-岷县白垩纪盆地和天水-礼县中新生代盆地为界，进一步分为西、中、东三个区段；南带以堡子坝-望关早白垩世盆地为界划分为西、东两个区段。北带西段以中期岩体为主，少数为早期；中段均为早期岩体；东段以早期岩体为主，此外亦有中、晚期小岩株。南带西段以早期岩体居多，个别为中期，岩体呈近南北向延展，出露零星；东段均为早期岩体。

中、新生代侵入岩的岩石类型包括超基性岩、中性岩及酸性岩，以酸性岩类较发育。

二、岩体地质特征

（一）中生代早期岩体

主要出露于西秦岭北带中段、东段及祁连区东端，其次为西秦岭南带东段，北山区及西秦岭北带西段和南带西段仅零星出露。西秦岭区本期岩体同位素年龄值，据47个样品测定结果为195—239Ma。

西秦岭北带中段岩体呈近等轴状岩基，个别为小岩株，以花岗岩和二长花岗岩为主，其次为二云母花岗岩、白云母二长花岗岩和石英闪长岩等。部分岩体（温泉、中川、闫井、碌碡坝等）具岩相分带，中心相为中粗粒似斑状结构，过渡相为中粗粒含斑结构，边缘相为中—细粒结构。岩体与中泥盆统、下二叠统呈侵入接触，外接触带具角岩化、大理岩化，局部具矽卡岩化、混合岩化。岩体多属深—中深成相。剥蚀程度中等或较浅。岩体受近东西向褶皱构造和近南北向银川-昆明隐伏大断裂的复合控制。

西秦岭北带东段岩体多呈规模较大的、不规则的岩基或岩株，以二长花岗岩（二流

水、党川、八挂山等岩体）、花岗岩（秦岭大堡岩体）为主，其次为花岗闪长岩（糜署岭岩体）、石英二长岩（太阳山岩体）。部分岩体如秦岭大堡、二流水、上先坪等岩体具岩相分带，中心相为粗粒结构，过渡相为中粗粒结构，边缘相为细粒结构；太白牙岩体由似斑状二长花岗岩构成中心相，边缘相为细粒花岗闪长岩。岩体与中、上泥盆统、三叠系呈侵入接触，界面外倾，倾角40°—70°；部分岩体（糜署岭、黄渚关）南北两侧均向北倾，倾角50°—60°，与地层产状基本一致。党川岩体与下古生界变质岩系呈渐变过渡关系，无明显界线，岩体内包含许多围岩残留体，其产状与围岩仍保持一致，混合岩化强烈。多数岩体接触带具角岩化、大理岩化，部分地段具矽卡岩化、混合岩化、云英岩化、青盘岩化等。岩体多属深—中深成相，个别属中深—浅成相。剥蚀程度中等或较浅。岩体受褶皱构造控制，如黄渚关、厂坝、沙坡里、糜署岭等岩体受近东西向复向斜控制。

西秦岭北带西段，岩体较集中地分布于岷县北白石山—武山县一带，呈岩株状产出。各岩体岩石类型单一，以斜长花岗岩、石英闪长岩居多，二长花岗岩、闪长岩次之。岩体与上泥盆统、二叠系、中三叠统呈侵入接触，外接触带常具烘烤褪色现象，部分地段具角岩化、矽卡岩化，偶见混合岩化。岩体多属中深—浅成相。剥蚀程度较浅。岩体受近东西向褶皱构造的次级断裂或裂隙构造控制。

西秦岭南带西段，除鄂额、乏哈儿两个岩体呈规模较大的岩株以外，其余岩体规模均较小。岩石类型以石英闪长岩为主，次为花岗闪长岩、石英二长岩等。岩体与志留系、泥盆系、二叠系、三叠系呈侵入接触，界面外倾，倾角50°—75°。外接触带多具角岩化，局部具矽卡岩化、大理岩化。除鄂额、乏哈儿两个岩体属深—中深成相以外，其余小岩体多属中深—浅成相。剥蚀程度均较浅。

西秦岭南带东段，规模较大的岩基呈近等轴状（如迷坝、阳坝、鹰咀山岩体），而较小的岩株呈近东西或近北东东方向延展。岩石类型以二长花岗岩为主，个别岩体为花岗岩或花岗闪长岩等。迷坝岩体由二长花岗岩构成中心相带，似斑状斜长花岗岩为过渡相带，中细粒花岗闪长岩为边缘相带，其余岩体不具岩相分带。岩体中闪长岩析离体颇为发育。岩体与长城系、中志留统、中泥盆统呈侵入接触，界面多向外倾，倾角60°—70°。外接触带多具角岩化，部分具矽卡岩化、大理岩化。岩体多属深—中深成相，部分为中深—浅成相。剥蚀程度属浅—中等。岩体受褶皱构造控制，如摩天岭、鹰咀山、阳坝等岩体受碧口-太坪川北东向复背斜控制。

祁连区东端，除关山岩体规模较大为岩基以外，其余岩体均为岩株。以花岗岩为主，极个别的为二长花岗岩。岩体与前长城系呈侵入接触，外接触带多具角岩化，个别地段有矽卡岩化、混合岩化。五里铺岩体被下侏罗统沉积覆盖。岩体多属深—中深成相。除关山岩体剥蚀较深以外，余者属浅、中等剥蚀。岩体多受北西向褶皱构造控制，如孙家峡、关山等岩体受马莲湾-新城-郭家湾背斜控制。关山岩体同位素年龄值为191—212Ma，车鼓峪岩体为223Ma。

北山区珊瑚井岩体，呈近东西向线型产出，以花岗岩为主，局部相变为花岗闪长岩或斜长花岗岩。岩体与上三叠统呈侵入接触，外接触带具角岩化，局部具矽卡岩化。岩体被上侏罗统沉积覆盖。

（二）中生代中期岩体

主要出露于西秦岭北带西段，其次为北带东段，南带西段仅零星出露。本期岩体同位

素年龄值，据46个样品测定结果为145—191Ma。

西秦岭北带西段，岩体为北西西向延展的线型岩基和岩株。岩石类型较多，二长花岗岩和花岗闪长岩常构成规模较大的岩株或岩基，闪长岩、石英闪长岩及斜长花岗岩多为大小不等的岩株。仅美武、德乌鲁、阿姨山岩体有明显的相带，前两者中心相带为花岗闪长岩，边缘相带为石英闪长岩；后者在局部地段有垂直分带（图78）。岩体与二叠系、石炭系、三叠系、中侏罗统呈侵入接触（图79）。界面多向外倾，一般倾角为50°—80°，个别为30°，极个别的如美武、平山岩体南北两侧均向南倾，倾角50—70°。美武岩体原生流动构造产状与接触面基本一致。外接触带多具角岩化，部分具矽卡岩化、大理岩化，局部地段具云英岩化及硅化。岩体多属深—中深成相，部分为中深—浅成相或浅成相。剥蚀程度多属浅—中等，个别岩体剥蚀较深。岩体受近东西或北西西向褶皱构造控制。

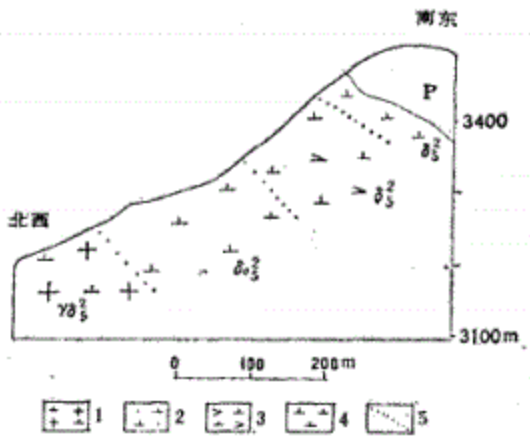


图 78　阿姨山花岗闪长岩体垂直分带示意图

1—花岗闪长岩；2—石英闪长岩；3—辉石闪长岩；4—闪长岩；5—相变界线；P—二叠系

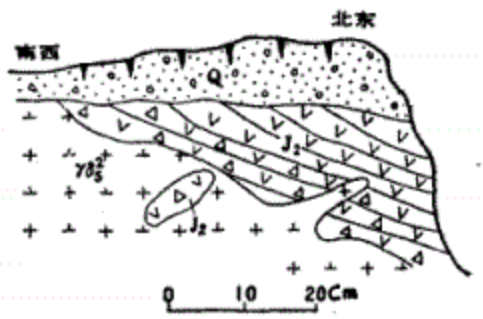


图 79　德乌鲁黑云花岗闪长岩体侵入中侏罗统

西秦岭北带东段，岩体多呈岩基或岩株状产出，以二长花岗岩及花岗岩为主，个别的如台子上岩体为多石英花岗岩。规模较大的秦岭梁、天子山、辽家河坝、台子上等岩体具较明显的岩相分带。岩体与中、上泥盆统、下古生界呈侵入接触。外接触带具角岩化、混合岩化。岩体多属深—中深成相，个别的如秦岭梁岩体为中深—浅成相。剥蚀程度均属浅—中等。

西秦岭南带西段，出露有郎木寺、格尔括合等几个小岩株，呈近南北向延展。岩石类型以石英闪长岩为主，其次为花岗闪长岩。岩体与下中侏罗统、三叠系呈侵入接触，界面外倾，外接触带具角岩化。岩体属浅成相。剥蚀程度属浅—中等。

（三）中生代晚期岩体

出露于祁连区西端阿尔金山主峰、北山区天仓北、西秦岭区北带东段。阿尔金山主峰花岗岩体为规模较大的岩株，侵入前长城系，同位素年龄值为90Ma。天仓北沙红山花岗岩体为小岩株，侵入二叠系、同位素年龄值为116.2Ma。西秦岭区酸性岩类为规模较小的岩株，岩石类型以二长花岗岩为主，个别的如和尚堡岩体为多石英二长花岗岩。岩体与中生代早、中期侵入体接触，外接触带岩石具烘烤现象。岩体属中深一浅成相。剥蚀程度较浅。同位素年龄值为104Ma。超基性岩类见于龙门西沟，由四个呈串珠状展布的小岩株构成，面积近1km²。可划分为两个相带，强蛇纹石化纯橄岩带和纯橄岩、单辉橄石岩、单辉橄榄岩、橄榄单辉岩、单辉岩带。岩体与寒武系、奥陶系、中生代中期侵入体呈侵入接触。受利桥帚状构造的元家坪-潘家湾弧形压扭性断裂的控制。同位素年龄值116Ma。

（四）新生代早期岩体

即西秦岭北带东段的东岔河岩体和祁连区东端的店子上，土台子岩体，前者为石英正长岩，后者为石英二长岩和正长斑岩。均呈小岩株状产出，与下古生界及中生代早、中期侵入体呈侵入接触。

三、岩石特征

（一）中生代早、中期侵入岩

闪长岩：灰一暗灰色，中细粒结构。组成矿物为石英（<5%）、钾长石（<3%）、斜长石（45—75%）及黑云母（5—15%），中期闪长岩含角闪石（<8%）和辉石(5—8%)。副矿物为磷灰石、锆石、榍石等，蚂蚂山、卡加沙格岩体含磁铁矿和电气石。斜长石多为中长石（An31—37），代岗山岩体以中拉长石（An47—58）为主，均具强烈绢云母化或碳酸盐化；钾长石为微斜长石；角闪石为普通角闪石（$c\wedge Ng'=20°—24°$），具次闪石化。

石英闪长岩：灰一灰白色或灰绿色，中细粒半自形粒状或柱粒状结构、斑状结构。由石英（5—20%）、钾长石（5—8%）、斜长石（50—75%）、黑云母（5—10%）及磁铁矿、磷灰石、榍石、锆石等组成。早期鸡儿沟岩体黑云母达25%，角闪石5—15%；中期曼宅岗岩体黑云母达20—25%，枣仁道、卡加沙格西岩体角闪石达25%，答拉兰山、龙沟、温抓沟脑等岩体含少量辉石，年木耳岩体中含电气石、磷钇矿等。斜长石以中长石为主（An30—45），少数为更长石，环带构造较发育，具绢云母化、斜黝帘石化；钾长石以正长石为主，次为条纹长石，具高岭土化；黑云母具绿泥石化，枣仁道岩体黑云母常析出金红石；角闪石为普通角闪石，早期角闪石$c\wedge Ng'=24°—25°$，中期角闪石$c\wedge Ng'=18°—24°$。

石英二长岩：以早期太阳山岩体为代表，岩石呈肉红色，二长结构、斑状结构。由石英（10—15%）、钾长石（30—45%）、斜长石（32—47%）、黑云母（5%）、角闪石（<5%）及磷灰石、榍石、锆石等组成。斜长石为中长石，环带构造发育，具绢云母化；钾长石为正长石，具高岭土化。有的岩体含透长石斑晶。

斜长花岗岩：灰白一浅肉红色，细粒花岗结构、斑状结构。由石英（20—30%）、黑云母、角闪石（5—10%）、斜长石（55—70%）、钾长石（0—20%）以及副矿物磷灰石、锆石、榍石等组成。早期岩体斜长石多为更长石（An27），个别为中长石（An 35）；中期岩体以中长石为主（An31—37），牙日尕岩体为基性中长石（An 45—49），具强烈绢云母化。钾长石以正长石为主，其中偶有钠长石条带；黑云母具绿泥石化，有时析出铁质及金红石；角闪石为普通角闪石（$c\wedge Ng'=18°—19°$），具纤闪石化。

花岗闪长岩：灰白色，中细粒结构、似斑状或斑状结构。由石英（12—30%）、钾长石（10—28%）、斜长石（30—60%）、黑云母（5—10%）及少量角闪石、锆石、磷灰石组成。早期岩体含钛铁矿、榍石，中期岩体含磁铁矿。斜长石以中长石为主（An 36—47），其次为更长石（An24—25），环带构造较发育（图版Ⅰ-5），有时被钾长石交代；钾长石以微纹长石、微斜长石为主；角闪石为普通角闪石（$c\wedge Ng'=18°—22°$）。中期阿姨山岩体黑云母强烈绿泥石化，并析出金红石。

二长花岗岩：浅肉红色，中细粒花岗结构、似斑状或斑状结构。由石英(25—35%)、钾长石（20—40%）、斜长石（25—39%）、黑云母（5—10%）及锆石、磷灰石、磁铁矿等组成。早期岩体含榍石、褐帘石（其中羊龙青岩体含电气石5—10%）；中期天子山、秦岭梁、卡儿寨等岩体含榍石、褐帘石、白钨矿。斜长石以更长石为主（An 10—28），部分岩体为中长石（An36），早期柴家庄岩体为钠长石（An8），辽家河坝、秦岭梁、天子山等岩体为钠更长石；钾长石以条纹长石、微斜长石为主，黄渚关和八挂山岩体中有正长石。党川岩体钾长石交代斜长石形成蚕蚀结构、净边结构，白云母交代斜长石形成蚕蚀结构。八挂山岩体黑云母析出金红石，有时黑云母鳞片呈聚堆状（图版Ⅰ-6）。

花岗岩：浅肉红色，中细粒花岗结构、似斑状或斑状结构。由石英（24—35%）、钾长石（37—48%）、斜长石（18—30%）、黑云母（5—10%）及锆石、磷灰石、榍石等组成。个别岩体含白云母。早期岩体含磁铁矿，秦岭大堡岩体含电气石、萤石，闾井岩体含沥青铀矿；中期磨扇沟岩体含褐帘石。斜长石以更长石为主（An18—30），具不同程度的绢云母化。黑云母具绿泥石化。早期岩体钾长石以微斜长石为主，次为条纹长石(图版Ⅱ-1)。但秦岭大堡岩体以条纹长石为主（图版Ⅱ-2），次为微斜长石，部分微斜长石环绕斜长石生长呈环带状（图版Ⅱ-3）。花树坪岩体条纹长石、微斜长石含量相近，多呈斑晶产出。

多石英花岗岩（中期台子上岩体）：浅肉红色，细—粗粒花岗结构。由石英（44%）、钾长石（38%）、斜长石（13%）、黑云母（3%）及磁铁矿、锆石、磷灰石、榍石等组成。斜长石以钠长石为主，钾长石以微斜长石为主，其次为条纹长石。

（二）中生代晚期侵入岩

超基性岩（龙门西沟岩体）：强蛇纹石化纯橄岩呈黄绿—灰绿色，网状结构，块状构造，由蛇纹石（95%）等构成。纯橄岩为全自形粒状及网环结构，以橄榄石为主，其次为纤维蛇纹石。单辉橄榄岩为半自形粒状结构，由橄榄石（40%）、单斜辉石(60%）组成。橄榄石呈半自形粒状，沿裂隙被纤维蛇纹石交代，并析出磁铁矿；单斜辉石多已被透闪石交代。单辉岩为他形粒状结构，由单斜辉石（95%）、橄榄石（5%）组成。单斜辉石为普通辉石，均被透辉石交代，边缘被透闪石交代；橄榄石为他形粒状，表面较新鲜。

花岗岩（阿尔金山主峰岩体）：肉红色，中粒花岗结构，粒径2—5mm。由钾长石（45%）、斜长石（30%）、石英（21%）及少量黑云母等组成。斜长石自形板状，为更—钠长石；钾长石他形粒状，具格子状双晶及钠长石微纹，为微斜长石及微纹长石。局部可相变为文象钾花岗岩。

多石英二长花岗岩（和尚堡岩体）：灰白—浅肉红色，中细粒结构。由石英（46%）、钾长石（26%）、斜长石（26%）、黑云母（2%）及磁铁矿、磷灰石、锆石、榍石等组成。斜长石为更长石；钾长石以条纹长石为主，次为微斜长石及微纹长石。

（三）新生代早期侵入岩

石英二长岩、二长花岗岩（店子上岩体）：红色，中细粒花岗结构、似斑状结构。石英二长岩由石英（10—15%）、钾长石（40—50%）、斜长石（20—30%）及少量黑云母、独居石、金属矿物组成；二长花岗岩由石英（20—30%）、钾长石（25—30%），斜长石（25—35%）及独居石组成。

正长斑岩（土台子岩体）：肉红—红色，斑状结构，斑晶粒径0.4—2mm，基质为嵌晶结构。由石英（3—5%）、钾长石（50—60%）、斜长石（20—30%）组成。斑晶以钾长石为主，其次为斜长石。钾长石中有球粒状钠长石（图版Ⅱ-4）。

霓辉石英正长岩、霓石钠花岗岩（东岔河岩体）：浅肉红色，中—细粒结构。前者以钾长石为主，次为斜长石及少量霓辉石；后者由石英（20—25%）、钾长石（10%）、斜长石（50—60%）及少量霓石组成。副矿物为榍石、磷灰石及金属矿物。斜长石为钠长石，钾长石为条纹长石，霓辉石呈深褐色。岩石具钠长石化。

四、岩石化学特征

在120个岩体的712个硅酸盐样品中，选取104个代表性分析结果（中生代早期50个、中期45个、晚期6个及新生代早期3个），计算出主要岩体的岩石化学成分平均值及扎氏数值特征，并做扎氏岩石化学图解。

1．中生代早期侵入岩（表48，图80）

闪长岩（1、2）：属扎氏岩石化学分类4类13科和5类19科b亚科SiO_2饱和—弱饱和、中碱—弱碱性暗色岩石。其向量原点偏下，且较分散，表明岩石中暗色矿物含量较高，岩石化学成分差异较大；在碱性面内向量右倾且较陡，岩石属正常系列，暗色矿物富镁而贫钙；在钙碱性面内向量较缓，岩石钾大于钠。

石英闪长岩（3、4、5、6）：属扎氏岩石化学分类3类8—9科和4类14科SiO_2弱过饱和—饱和、弱碱—过碱性浅色岩石。其向量原点较分散，岩石化学成分变化较大；在碱性面内向量右倾，且较陡，岩石属正常系列，暗色矿物中镁大于钙；在钙碱性面内向量近45°倾斜，岩石中钾与钠含量近等。

二长花岗岩（13、14、15、16、17、18、19）：属扎氏岩石化学分类2类3—4科SiO_2过饱和、过碱性—中碱性岩石。其向量原点偏上，且较分散，岩石中暗色矿物偏少，岩石化学成分变化较大；在碱性面内向量右倾，一般较陡，岩石均属正常系列，暗色矿物中镁大于钙；在钙碱性面内多数向量均呈45°倾斜，表明岩石中钠与钾含量近等。

二长花岗岩（8、12）：基本特征同上述二长花岗岩，但岩石属铝过饱和系列。

二长花岗岩（9、10、11）、花岗岩（7）：属2类3—4科SiO_2过饱和、过碱性—中碱性岩石。在碱性面内向量左倾，且较平缓，岩石属铝过饱和系列，暗色矿物富铝贫镁；在钙碱性面内，二长花岗岩向量显示钾大于钠，花岗岩钠大于钾。

2．中生代中期侵入岩（表49，图81）

闪长岩（1、2）、石英闪长岩（3）：属4类15科a亚科SiO_2饱和、极弱碱性浅色—暗色岩石。其向量原点偏下，且较分散，岩石中暗色矿物较多，岩性变化较大；在碱性面内，向量右倾，且较陡，岩石属正常系列，暗色矿物富镁贫钙；在钙碱性面内向量较陡，岩石中钠大于钾。

石英闪长岩（4、5、6、7、8、9、10）：属2类6科和3类9—10科SiO_2过饱和—弱过饱和、弱碱—极弱碱性岩石。其向量原点稍偏下，且较分散，岩石中暗色矿物含量稍偏多，岩

表 48　中生代早期侵入岩岩

顺序号		1	2	3	4	5	6	7	8	9
样品数		6	1	2	1	2	3	1	4	11
岩石名称		闪长岩	闪长岩	石英闪长岩	石英闪长岩	石英闪长岩	石英闪长岩	花岗岩	二长花岗岩	二长花岗岩
岩体名称		华灵山东	殉虎桥	侯家庄	额尔米尼·日杂	赵家沟	小金厂	珊瑚井	二流水	柴家庄
主要氧化物百分含量	SiO_2	54.35	50.18	54.67	58.04	59.69	61.78	72.37	69.43	70.79
	TiO_2	0.96	1.08	1.18	0.69	0.84	0.50	0.35	0.59	0.28
	Al_2O_3	14.70	18.11	17.43	17.16	16.86	15.15	14.07	13.88	14.82
	Fe_2O_3	1.20	2.11	1.40	0.65	1.72	1.77	0.70	1.73	0.93
	FeO	7.16	6.06	5.61	5.33	4.37	2.20	2.07	2.17	1.39
	MnO	0.14	0.17	0.12	0.08	0.09	0.08	0.03	0.08	0.06
	MgO	5.96	6.46	5.52	3.16	3.14	3.06	0.90	1.04	0.63
	CaO	5.37	9.08	6.03	5.91	4.96	5.41	1.76	1.63	1.47
	Na_2O	2.50	3.42	3.40	2.85	3.77	3.71	4.49	3.25	4.22
	K_2O	4.64	1.15	2.48	2.74	3.06	3.21	1.89	4.85	4.31
	P_2O_5	0.41	0.29	0.27		0.24	0.16	0.08	0.19	0.07
扎氏数值特征	a	12.36	9.51	11.40	10.78	13.08	12.91	12.22	13.99	15.25
	c	3.71	7.74	6.26	6.68	5.02	3.80	2.05	1.95	1.74
	b	20.95	22.89	17.66	12.50	12.06	11.81	5.81	5.78	3.88
	s	62.98	59.86	64.69	70.04	69.90	71.48	79.92	78.38	79.13
	a'							31.82	8.14	17.24
	c'	13.77	16.00	7.34	6.90	9.25	23.98			
	f'	37.70	34.77	38.49	48.28	47.98	31.58	43.18	61.63	55.17
	m'	48.57	49.23	54.37	44.83	42.77	44.44	25.00	30.23	27.59
	n	45.00	82.22	67.48	61.33	65.24	63.64	78.38	50.48	60.09
	t	1.31	1.65	1.62	0.92	1.00	0.58	0.41	0.69	0.34
	φ	4.26	8.31	7.14	5.17	12.14	12.87	10.23	25.58	20.69
	ϱ	−2.47	−7.04	0.31	11.84	8.71	13.34	33.35	26.63	26.02
	a/c	3.33	1.23	1.82	1.61	2.60	3.40	5.96	7.17	8.76
扎氏分类		4类13科 b亚科	5类19科 b亚科	4类14科 a亚科	3类9科	3类9科	3类8科	2类4科	2类3科	2类3科

石化学成分及扎氏数值特征表

10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	1	1	2	2	1	2	1	1	7
二长花岗斑岩	二长花岗岩	二长花岗岩	二长花岗岩	二长花岗岩	二长花岗斑岩	二长花岗斑岩	二长花岗岩	二长花岗岩	二长花岗岩
铜牛山	厂坝	教场坝	碌碡坝	柏家庄	上伏家	鱼鳞沟	黑峪沟	石垄子梁	关山
68.64	74.63	69.39	66.68	73.12	66.06	66.58	66.08	69.27	70.67
0.38	0.09	0.28	0.63	0.25	0.36	0.42	0.51	0.54	0.30
16.45	14.15	14.30	14.01	13.26	13.94	14.63	15.73	14.96	14.30
2.13	0.17	0.95	0.60	0.29	0.59	0.97	1.63	1.00	0.90
1.02	1.04	2.34	3.67	1.52	2.98	2.22	0.82	2.37	1.56
0.09	0.04	0.08	0.07	0.05	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05
0.44	0.00	1.02	1.95	0.31	2.09	2.15	0.44	1.30	0.86
0.41	0.83	1.97	2.81	0.92	2.91	2.70	1.81	2.69	1.49
4.08	3.74	3.73	3.43	3.59	3.07	3.39	4.10	4.23	4.03
4.98	4.70	4.25	4.41	5.56	4.12	4.13	5.29	3.33	4.70
0.18	0.06	0.19	0.10	0.07	0.11	0.07	0.20		
15.62	14.51	14.25	13.77	15.56	12.86	13.58	17.17	13.91	15.42
0.46	0.98	2.37	2.40	0.86	3.04	3.05	2.24	2.84	1.71
8.24	2.82	4.81	8.33	2.39	7.78	6.96	3.01	5.65	3.79
75.68	81.68	78.58	75.51	81.18	76.42	74.41	77.58	77.59	79.09
57.60	62.79	1.41							
			11.74	8.33	7.21	3.45	0.00	6.51	2.65
33.60	37.21	63.38	48.58	72.22	45.95	43.35	74.42	55.62	60.18
8.80	0.00	35.21	39.68	19.44	46.85	53.20	25.58	37.87	37.17
55.27	54.75	57.14	54.41	49.57	53.23	55.56	53.88	65.87	56.52
0.44	0.08	0.35	0.71	0.33	0.45	0.45	0.54	0.60	0.34
21.60	4.64	16.90	6.48	11.11	7.21	11.82	46.51	15.38	19.47
19.66	33.37	26.31	21.07	30.39	23.98	20.61	18.58	24.53	25.62
33.96	14.81	6.03	5.74	18.09	4.23	4.45	7.67	4.90	9.02
2类3科	2类3科	2类4科	2类4科	2类3科	2类4科	2类4科	2类3科	2类4科	2类3科

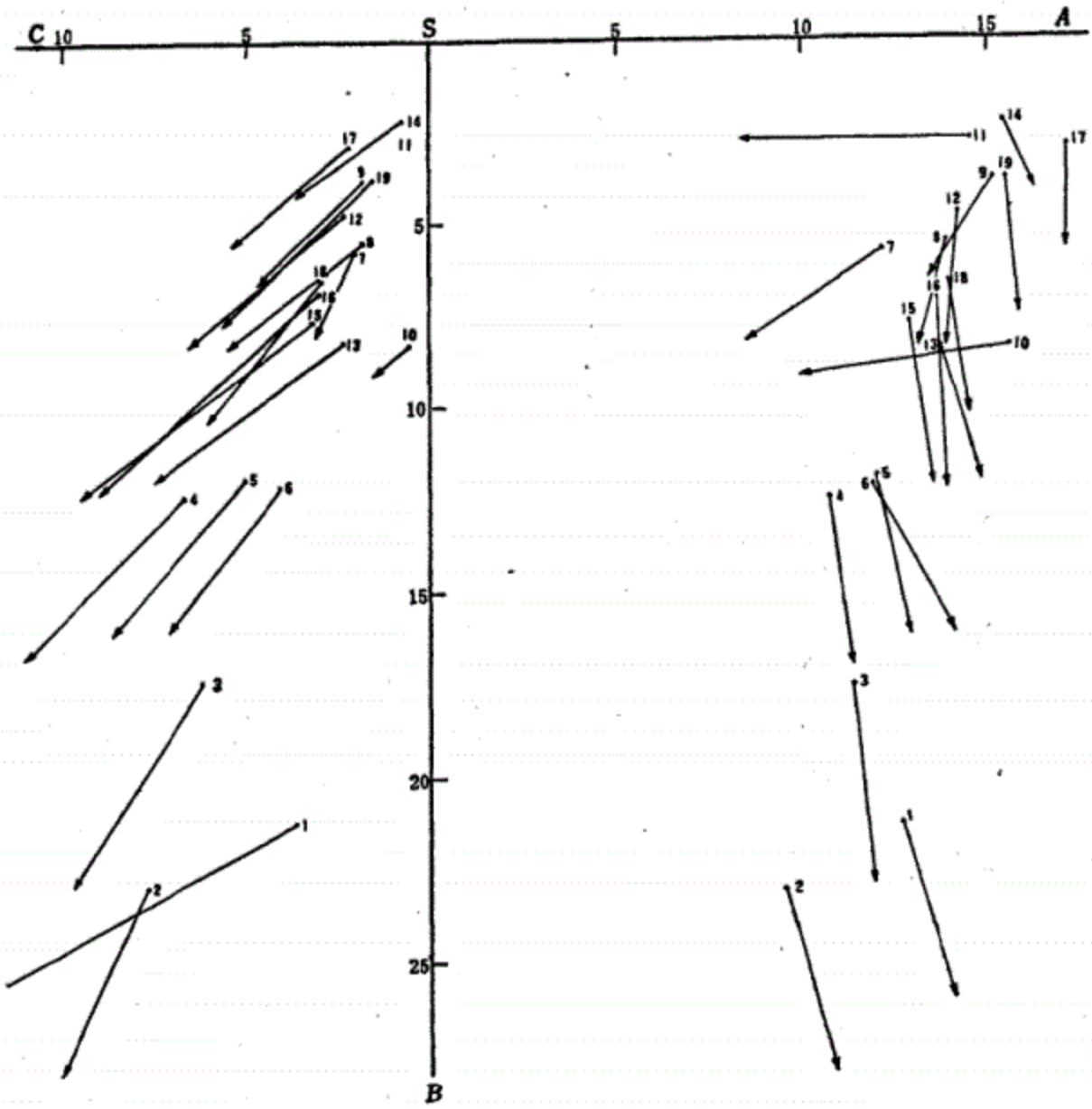


图 80　中生代早期侵入岩扎氏向量图

石化学成分变化较大；在碱性面内，除温抓沟脑和卡加沙格西岩体的向量向右倾，岩石属正常系列以外，其余岩体均左倾，且较陡，岩石属铝过饱和系列，且暗色矿物较富镁；在钙碱性面内，向量特征显示钠大于钾。

斜长花岗岩（11、12、13、14、15、16、17）：属2类5、6科SiO_2过饱和、弱碱—极弱碱性岩石。其向量原点集中于中上部位，暗色矿物含量稍偏多；在碱性面内（16、17）向量向右倾，且较陡，岩石属正常系列，暗色矿物富镁贫钙；其余向量均向左倾，亦较陡，岩石属铝过饱和系列，暗色矿物富镁。

二长花岗岩（19、20、21、22）：属2类3科SiO_2过饱和、过碱性岩石。其向量原点偏上，且较分散，岩石中暗色矿物较少，岩石化学成分变化较大；在碱性面内向量左倾，岩石属

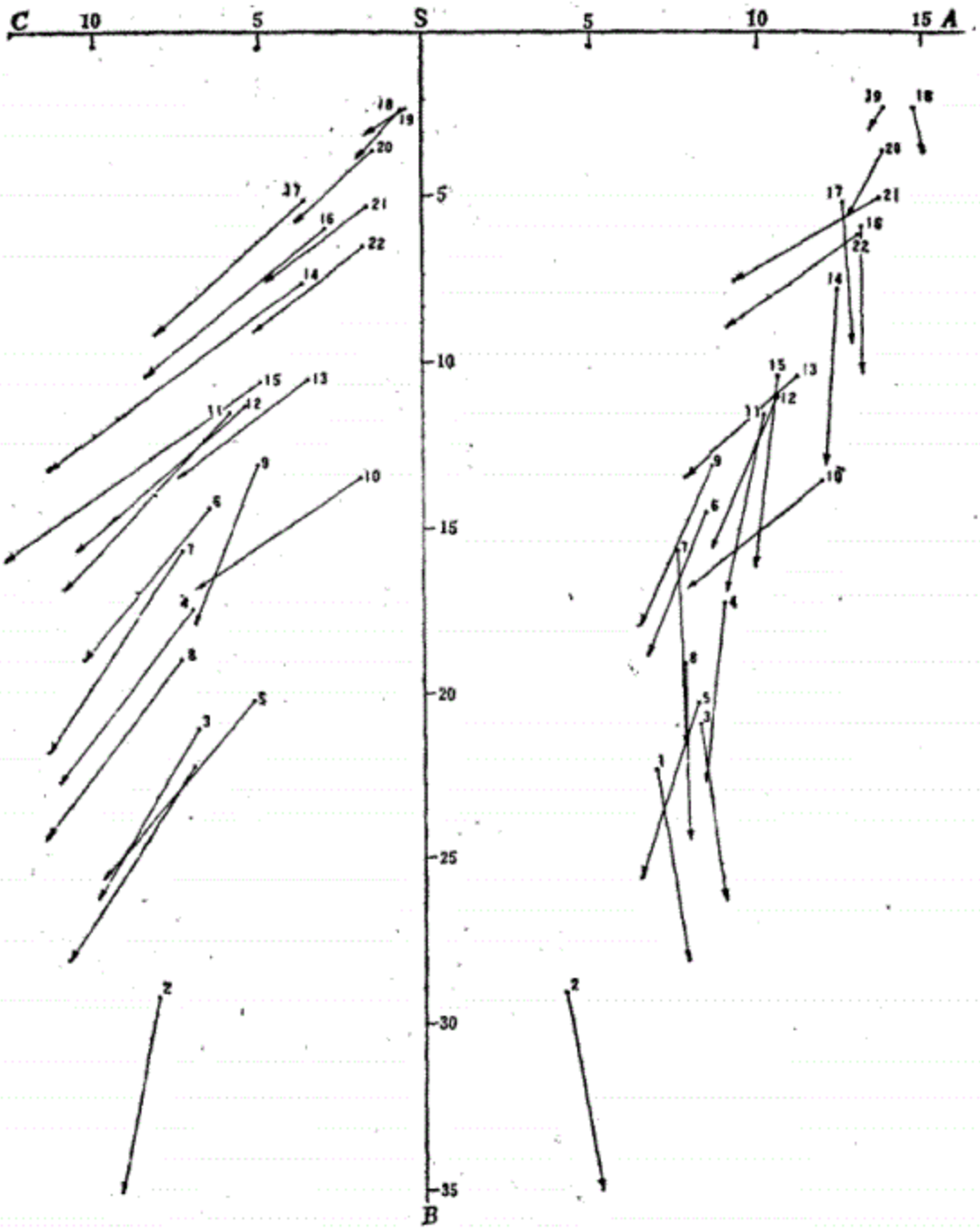


图 81　中生代中期侵入岩扎氏向量图

铝过饱和系列，达里加和秦岭梁岩体向量较陡，暗色矿物富镁，其余岩体向量较缓，暗色矿物富铝；在钙碱性面内，向量较缓，岩石中钾稍大于钠。

多石英花岗岩（18）：属2类3科SiO_2过饱和、过碱性岩石。其向量原点靠上，岩石中暗色矿物较少；在碱性面内向量右倾，且陡而短，岩石属正常系列，暗色矿物富铁贫钙贫镁；在钙碱性面内向量显示岩石中钾钠近等。

3．中生代晚期及新生代早期侵入岩（图82，表50）

多石英二长花岗岩（2）：属2类3科SiO_2过饱和、过碱性岩石。其向量原点靠上，岩石中暗色矿物甚少；在碱性面内向量左倾，且甚缓，岩石属铝过饱和系列，暗色矿物中富铝而

表 49　中生代中期侵入岩岩

顺序号	样品数	岩石名称	岩体名称	主要氧化物百分含量										
				SiO_2	TiO_2	Ae_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5
1	3	闪长岩	阿芒沙吉北	55.68	0.66	16.02	0.56	6.65	0.12	7.74	7.73	2.36	1.44	0.07
2	1	闪长岩	代岗山	51.09	0.65	15.21	0.31	8.22	0.12	10.70	9.09	1.72	0.37	0.11
3	2	石英闪长岩	日根喀	55.17	0.64	16.19	2.47	5.37	0.15	6.63	7.28	2.70	1.56	0.11
4	3	石英闪长岩	石板沟	54.67	0.79	16.96	3.86	3.74	0.14	5.15	5.52	2.69	1.86	0.15
5	1	石英闪长岩	枣仁道	57.79	0.49	16.45	0.64	5.04	0.10	6.59	4.20	2.49	1.84	0.09
6	2	石英闪长岩	曼宅岗	60.23	0.56	17.70	0.72	4.91	0.09	3.72	5.20	2.41	2.17	0.13
7	1	石英闪长岩	温抓沟脑	58.85	0.49	16.23	0.94	5.07	0.13	3.42	6.40	2.20	1.83	0.07
8	2	石英闪长岩	卡加沙格西	56.30	0.65	16.38	5.85	3.07	0.10	6.02	6.31	2.15	1.99	0.07
9	3	石英闪长岩	平山	62.82	0.61	15.75	1.90	2.40	0.07	3.69	4.10	3.69	0.24	
10	1	石英闪长岩	格尔括合	62.31	0.51	15.92	0.84	2.85	0.07	2.60	3.31	2.72	4.00	
11	2	斜长花岗岩	华尔寨梁	61.66	0.52	16.94	0.79	3.67	0.08	3.58	4.77	2.97	2.40	0.11
12	1	斜长花岗岩	马九勒	62.93	0.62	17.67	0.50	3.75	0.05	2.95	4.46	2.91	2.84	0.13
13	1	斜长花岗岩	牙日尕	65.93	0.55	16.26	0.51	3.54	0.05	1.87	2.87	2.97	3.27	0.17
14	1	斜长花岗岩	来岗卡	67.55	0.43	15.36	1.27	2.16	0.06	2.60	3.14	3.30	3.75	0.14
15	4	斜长花岗岩	日多玛	64.46	0.54	15.88	0.41	3.77	0.05	3.51	4.09	3.02	2.80	0.10
16	1	斜长花岗岩	哈哈力吉	68.97	0.35	14.66	2.07	1.65	0.05	1.58	2.53	3.62	3.79	0.15
17	1	斜长花岗岩	红柳大泉	68.01	0.33	14.83	1.04	1.94	0.05	1.23	3.15	3.50	3.36	0.10
18	6	多石英花岗岩	台子上	75.83	0.10	12.54	0.44	1.63	0.06	0.18	0.53	4.03	4.53	0.02
19	1	二长花岗岩	秦岭梁	76.62	0.20	12.64	0.89	1.53	0.03	0.10	0.42	4.04	4.79	0.02
20	1	二长花岗岩	达里加	73.52	0.23	13.35	0.32	2.25	0.06	0.45	1.30	3.76	4.22	0.07
21	1	二长花岗岩	羊龙青	71.59	0.17	14.83	0.55	1.24	0.02	0.81	1.40	3.26	4.77	0.14
22	5	二长花岗岩	阿米方日	70.97	0.29	14.95	0.95	1.49	0.02	1.08	1.56	3.44	4.15	0.12

贫镁；在钙碱性面内向量原点靠近铁镁轴，向量近45°倾，岩石中斜长石较少，钾与钠近等。

超基性岩（1）：属6类23科C亚科 SiO_2 不饱和、弱碱性全暗色岩石。其向量原点靠下，且靠近铁镁轴，岩石中暗色矿物含量甚多；在碱性面内向量近直立（微右倾），岩石属正常系列，暗色矿物富镁而贫钙；在钙碱性面内向量较缓，岩石中钾大于钠。

正长斑岩（3）、石英正长岩（4）：前者属2类4科 SiO_2 过饱和、中碱性浅色岩石。其向量原点偏上，岩石中暗色矿物少；在碱性面内，土台子岩体（3）向量向左倾，且短，岩石属铝过饱和系列，暗色矿物富铁；东岔河岩体（4）向量原点远离铁镁轴，向量向右倾，且短，岩石属正常系列，岩石中富含碱性长石，暗色矿物富铁。在钙碱性面内两岩体向量原点均靠近铁镁轴，向量较缓，岩石中含斜长石少，且钾大于钠。

五、微量元素特征

通过98个岩体3 000余个原岩光谱分析结果，计算出各岩体微量元素平均含量，并与A. П. 维诺格拉多夫（1956）同类岩石微量元素平均值对比，结果如表51所示。总体来看，中生代侵入岩Cr、Co、Ni显著偏高，而Ba、Zr显著偏低；西秦岭北带Mo、Yb、Nb、Be、Pb偏高，西秦岭北带西段中期侵入岩As、Cu、Zn有显著偏高的趋势。

石化学成分及扎氏数值特征表

扎氏数值特征													扎氏分类
a	*c*	*b*	*s*	*a'*	*c'*	*f'*	*m'*	*n*	*t*	*φ*	*Q*	*a/c*	
7.26	7.02	22.22	63.50		10.53	30.84	58.63	71.03	0.96	2.14	5.46	1.03	4类15科a亚科
4.29	8.00	29.17	58.54		10.40	27.80	61.92	88.89	1.05	0.93	0.50	0.54	
8.28	6.83	20.98	63.91		10.20	35.53	54.28	72.50	0.86	10.20	4.43	1.21	4类15科a亚科
9.09	7.07	17.46	66.38	4.55		42.56	52.89	69.05	1.09	20.25	7.51	1.29	3类10科
8.22	5.14	20.29	66.35	17.91		26.69	55.41	67.50	0.62	2.70	11.12	1.60	3类9科
8.58	6.49	14.50	70.43	18.27		37.50	44.23	62.60	0.69	4.33	17.21	1.32	2类6科
7.73	7.34	15.67	69.27		1.79	38.12	60.09	64.55	0.61	5.38	15.73	1.05	
7.79	7.31	19.07	65.83		2.55	43.07	54.38	62.50	0.95	27.01	8.77	1.07	3类10科
8.61	5.07	13.13	73.19	20.63		30.69	48.68	95.97	0.76	12.70	24.09	1.70	2类6科
12.00	2.01	13.66	72.33	41.12		25.89	32.99	50.87	0.58	5.08	18.65	5.97	2类4科
10.27	5.94	11.66	72.14	9.58		37.13	53.29	65.31	0.58	5.99	17.79	1.73	2类6科
10.59	5.50	11.28	72.63	19.51		35.98	44.51	61.04	0.75	3.66	18.58	1.93	
11.18	3.46	10.50	74.86	33.55		36.13	30.32	58.18	0.63	3.87	23.90	3.23	2类5科
12.51	3.77	7.73	75.99	2.61		40.87	56.52	55.70	0.44	13.91	23.19	3.32	
10.72	4.99	10.52	73.77	5.84		37.66	55.49	62.42	0.65	3.25	21.11	2.15	2类6科
13.33	3.00	6.03	77.64		0.56	55.87	43.58	59.09	0.43	29.05	25.62	4.44	2类4科
12.69	3.69	5.28	78.34		3.27	53.59	43.14	61.41	0.35	16.99	27.61	3.44	2类5科
14.79	0.62	2.25	82.35		1.45	84.06	14.49	57.27	0.08	14.49	34.49	23.8	
14.03	0.43	2.24	83.31	5.41		86.49	8.11	56.03	0.23	29.73	38.14	33.40	
13.87	1.52	3.57	81.04	11.11		68.52	20.37	57.62	0.24	7.41	32.82	9.13	2类3科
13.70	1.66	5.25	79.39	44.30		30.38	25.32	50.97	0.17	8.86	29.72	8.25	
13.18	1.85	6.49	78.48	38.78		33.67	27.55	55.78	0.34	12.24	28.75	7.12	

通过Mn、Ba、V、Cr、Co、Ni、Zr、Cu、Pb等九种主要元素对比可见，中生代早期，西秦岭北带中段岩体Mn、Pb、Zn、Zr、Y和东段岩体的Zr有随岩石酸度增加而增加的趋势，而Ti、V、Cr、Co、Ni、Cu则有减少的趋势。中生代中期，西秦岭北带西段岩体Zr、Pb有随岩石酸度增加而增加的趋势，而Mn则有减少的趋势。

据甘肃地研所（1980）对西秦岭北带西段岩体特征所进行的对比研究，下述单矿物的微量元素随岩石酸度的增加，其元素组合及含量有如下演变趋势：中生代早期岩体黄铁矿中Ti、Co，磷灰石中Zr有增加的趋势；角闪石中V、Zr、Ni、Sc、Cu，黄铁矿中Ni、Cu，锆石中的Zr、Hf，磷灰石中的Ti、La及榍石中Nb等均有减少的趋势。中生代中期岩体黑云母中Cu、Ga，角闪石中Co，黄铁矿中As，磷灰石中Cu及榍石中Mn、Y、Nb等均有增加的趋势；黑云母、角闪石、黄铁矿、磷灰石等矿物中Mn，锆石中Y、Yb、Hf，磷灰石中Sr、Ti，榍石中Y、Yb、Hf、Ti等均有减少的趋势。

六、副矿物特征

通过102个岩体188个人工重砂鉴定结果的综合对比，将西秦岭北带侵入岩副矿物主要特征叙述如下：

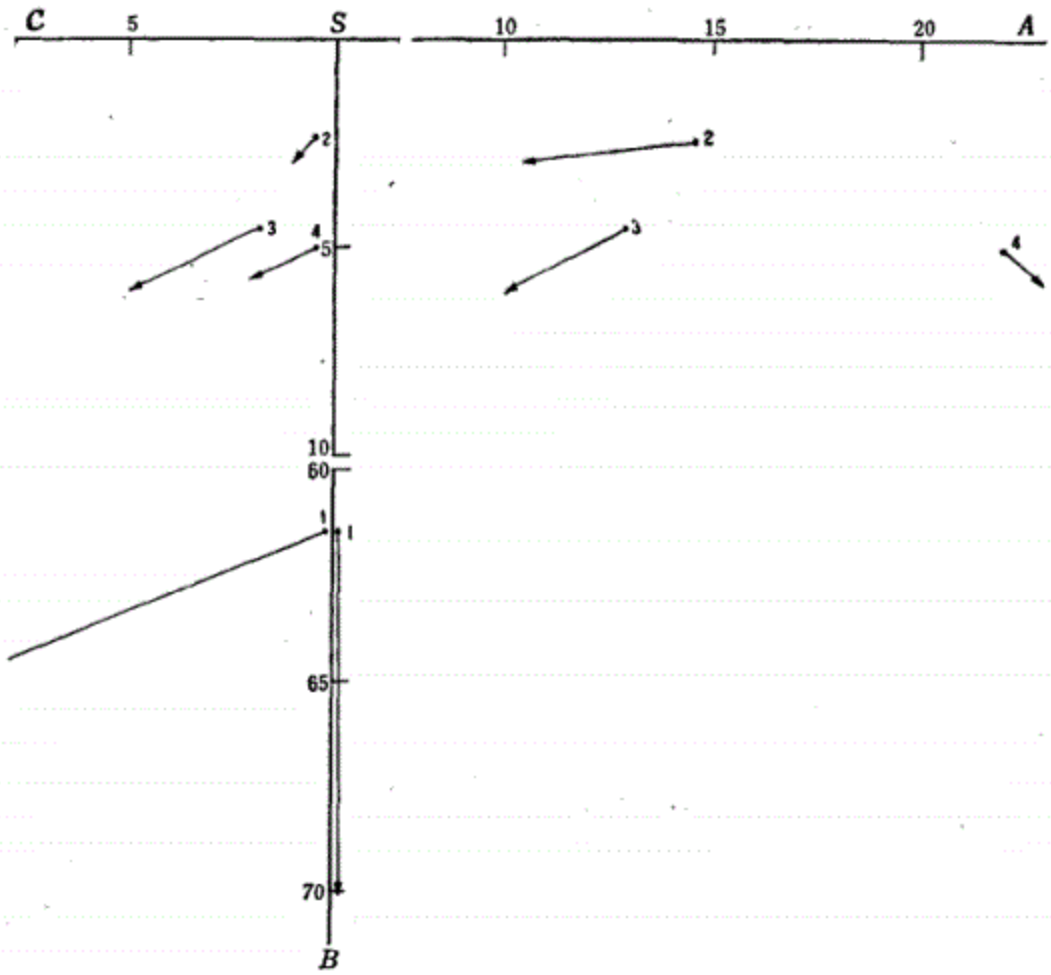


图 82　中生代晚期、新生代早期侵入岩扎氏向量图

（一）副矿物组合及含量特征

1．中生代早期

北带西段：闪长岩普遍含锆石、磷灰石、榍石、磁铁矿、黄铁矿，较普遍含黄铜矿、方铅矿、绿帘石，其中含量较高的有锆石(19.3—106.4g/t)、磷灰石(223.3—358.1g/t)、榍石（8.2—1 617.6g/t)；石英闪长岩普遍含锆石、磷灰石、榍石、白钛石、黄铜矿、方铅矿、黄铁矿，较普遍含石榴石、刚玉、绿帘石，其中锆石（11.0—22.0g/t)、磷灰石(27.7—108.8g/t）含量较高；斜长花岗岩普遍含锆石、磷灰石、榍石、方铅矿、黄铁矿，较普遍含金红石、白钛石、黄铜矿、石榴石。

北带中段：杨家河沟里石英闪长岩体含锆石（41.6g/t)、黄铁矿(2.5g/t)；二长花岗岩普遍含锆石、磷灰石、榍石，较普遍含金红石、黄铁矿，其中锆石（1.8—13.1g/t)、磷灰石（4.6—44.2g/t）含量较高；花岗岩普遍含锆石、榍石、磷灰石、褐帘石，较普遍含钛铁矿、磁铁矿、萤石、辉铜矿、黄铁矿，其中锆石（16.2—66.1g/t)、榍石（131.9—152.2g/t)、褐帘石（5.2—6.4g/t）含量较高。

北带东段：侯家庄石英闪长岩体含锆石（5.0g/t)、磷灰石（34.9g/t)、钛铁矿