前 言

一、论文选题依据

本论文的主要选题依据包括：

1．东昆仑地区位于青藏高原北部、是中国中央造山带之秦祁昆褶皱系的一部分，也是典型的复合造山带，具有十分复杂的演化历史和独特的构造位置。近些年来，随着地质找矿战略西移和“跨世纪找矿工程”及新一轮矿产资源大调查的实施，本区基础地质研究和找矿工作取得了令人瞩目的成绩，新发现了一大批矿产地，已成为我国重要的、极富潜力的金属成矿带。尤其是其中一些大、中型金矿床的先后发现，成为本区矿产勘查和研究的焦点。

2．初步研究表明，该地区金矿床与这里的造山作用有密切的成因联系，是典型的造山型金矿床。而造山型金矿（Orogenic gold deposits）是近几年来由 Groves 等人（1998）提出的，是指产于变质地体中在时间和空间上与增生构造有关的脉型金矿床系列，目前尚未有人对我国特别是产于东昆仑地区多旋回复合造山带中的造山型金矿床进行过系统的研究。因此，从不同亚类典型金矿床的解剖入手，着眼于它们的成矿作用过程，并与复合造山带的演化紧密结合起来，进而探讨该造山带演化的地球动力学过程和造山型金矿床成矿作用的特殊性，为指导本区金矿的普查找矿工作，具有十分重要的理论意义和现实意义。

3．已有诸多学者对该地区进行过研究，取得了丰硕成果。最近的一些重要研究成果包括：青海省区域地质志（青海省地矿局，1991）、昆仑开合构造（姜春发等，1992）、东昆仑—唐古拉地区地壳演化深部构造及大陆动力学（许志琴等，1997）、东昆仑中段铜金成矿条件及找矿方向的框架研究（莫宣学等，1998）、五龙沟地区构造蚀变带金矿成矿特征及成矿预测（胡正国等，1997）、东昆仑—柴达木盆地北缘区域地质图及金、银、铜、铅锌矿产图说明书（青海地勘局，1997）、格尔木—额济纳旗地学断面（GET）多学科综合调查研究（王泽九等，1995）、青藏高原隆升与东昆仑地区金矿遥感地质研究（于学政等，1999）、东昆仑元古宙重大地质事件及形成大型、超大型矿床条件研究（金巍等，1999）、柴达木盆地南北缘成矿地质环境及找矿远景研究（张德全等，2001）、青海东昆仑造山带及非史密斯地层区 1∶25 万区域地质填图方法研究（殷鸿福等，2001）和正在进行的东昆仑地区综合找矿预测与突破（张德全，2002）等等。通过这些项目的实施，对本地区造山带的特点及其演化过程有了较深入的认识，部分学者还对某些地段包括金矿床在内的金属矿产进行了研究。此外，到目前为止，已有数十篇相关学术论文发表，所有这些皆可为本论文的进行提供大量有用的基础性资料。

4．特别需要提出的是，以张德全教授为首的科研小组长期战斗在东昆仑及其以北的柴达木盆地北缘地区，先后承担、完成了“柴达木盆地南北缘成矿地质环境及找矿远景研究”（95-02-005）、“东昆仑地区综合找矿预测与突破”（K1.1.1.1）等多项部攻关、部定向和国家地质大调查项目，积累了大量资料，尤其是通过先期对柴北缘地区金矿床的研究，已取得了较为深刻的认识（张德全等，2001）。因此，已有的工作和研究成果成为本论文顺利完成的重要保证。另外，在本地区正在执行的部分项目也可为论文的野外工作及大量分析测试提供充足的经费支持。

5．由于该地区大多数金矿床发现较晚且严重受地理条件等的限制，一些研究者仅对少数矿床进行过研究，且总体研究程度极低。因此，本论文通过对典型矿床的详细解剖，重点研究成矿作用，无疑对加深本地区金矿床形成机制的认识是十分必要的、重要的，而且较易取得突破性成果。

二、主要研究内容及方法、手段

论文“青海东昆仑地区的复合造山过程及造山型金矿床成矿作用”的主要研究内容和方法、手段包括：

1. 区域控矿构造系统研究

重点以昆中和昆南两条缝合带以及 4 个金矿区内的大型剪切带、褶皱和断裂—裂隙系统为研究对象，采用野外和室内、宏观和微观相结合的方法，深入解剖这三级不同尺度构造系统的几何学、运动学特征以及相互之间的时空关系、成因联系。弄清矿床产出的构造部位及其与深大断裂间的空间关系，查明矿床和矿体主要受哪几级或哪一级构造控制及其制约机制。

2. 东昆仑复合造山过程

在综合所在课题组的最新研究成果和部分前人研究成果基础之上，总结东昆仑造山带的特点及其演化的动力学过程。旨在阐明东昆仑是一个多旋回复合造山带，产于其中的金（锑）矿床是造山作用的产物并严格受构造控制。

3. 典型金（锑）矿床解剖

以分别位于昆中、昆南和北巴颜喀拉构造带中的五龙沟金矿、开荒北金矿、大场金锑矿和东大滩锑金矿为研究对象，通过详细的野外观察和室内镜下研究，并结合部分测试手段，弄清各金矿床的围岩性质和变质程度，矿体的形态、产状、规模及空间展布特征，矿石类型、矿物组成及生成顺序，矿床成矿元素（Au、Ag、As、Bi、Hg、Sb、W、Cu、Pb、Zn 等）含量及 Au/Ag 比值变化特征，热液蚀变类型、方式和强度，矿区构造演化及成矿期、成矿阶段的划分，进一步总结每个金矿床地质特征的异同点及其在空间上的演化特征。

4. 流体包裹体和氢、氧同位素研究

选取代表不同成矿阶段或不同类型矿石中的脉石矿物石英，分别对 4 个金矿床运用流体包裹体测相学和显微测温技术进行流体包裹体研究，区分包裹体的类型、产状、形成期次，测定 H_2O 包裹体的均一温度、盐度和 CO_2-H_2O 包裹体的 CO_2 固相初熔温度、笼形物熔化温度、部分均一温度和完全均一温度等参数，确定成矿流体的体系组成和 T、P 等物理化学条件。对不同成矿阶段的代表性石英样品进行氢、氧同位素分析，运用水-岩相互作用，试图再造成矿流体的性质、来源及演化过程，探讨成矿流体迁移、聚集、沉淀机制。

5. 成矿物质来源的同位素地球化学示踪

分别对 4 个矿床的代表性岩（矿）石样品包括变质围岩、不同期次的石英脉矿石和蚀变岩矿石及部分相关侵入岩开展全岩和单矿物（Py、Sti、Ars、Cpy、Gn、Sph）的硫、铅同位素分析，结合区域变质基底岩石、花岗岩类岩石等的铅同位素研究，探讨矿床形成的区域构造环境、成矿物质来源和矿床成因等问题。

6. 成矿时代研究

采用野外地质观察和同位素地质测年综合研究方法。通过野外观察，利用不同地质体之间的相互穿切关系，以获取相对年龄的地质证据。选择每个矿床中成矿期典型蚀变矿物绢云母进行 Ar-Ar 法放射性同位素测年，厘定矿床的成矿时代。与区域构造演化相结合，探讨造山型金矿的时空演化规律及多期次成矿和复合一叠加成矿特征。

7. 综合前述研究成果，建立东昆仑区域金成矿模式，总结该类金（锑）矿床的找矿评价标志。

三、完成实物工作量

经过两年多的野外调研和室内工作，共完成的实物工作量列入下表。

完成主要实物工作量表

序号	项　目	单　位	工作量
1	野外调研	月	5
2	典型矿床解剖	个	4
3	薄片磨制及鉴定	片	125
4	光薄片磨制及鉴定	片	67
5	包裹体测温片	片	26
6	挑石英、黄铁矿等单矿物	件	28
7	成矿元素分析	件	263
8	硫同位素	件	17
9	铅同位素	件	27
10	氢、氧同位素	件	17
11	碳同位素	件	9
12	绢云母 ^{39}Ar-^{40}Ar 法测年	件	2
13	石英矿物包裹体显微测温	数据点	351

四、取得的主要成果

1．研究区所处的东昆仑是一个复合造山带，具有多岛洋、软碰撞和多旋回造山等特征。其地质构造演化主要经历了前寒武古陆形成（造山带基底）、早古生代（加里东）造山、晚古生代一早中生代（晚华力西一印支）造山及中新生代叠复造山等 4 个构造旋回。其中，早古生代（加里东期）和晚古生代一早中生代（晚华力西一印支期）是区内与内生金属成矿密切相关的两个主要构造岩浆旋回，对本地区大规模成矿作用具有决定性的意义。

2．研究表明，本区金矿床为典型的造山型金矿床，它们有相似的地质-地球化学特征，并与这里的造山过程有着密切的成因联系。按照矿石类型的不同，可将它们分为石英脉型和破碎带蚀变岩型两个亚类。由于本地区造山带板块运动主要遵循的是非威尔逊旋回，因此这里的造山型金矿与其它地区的造山型金矿有不同的特征。

3．研究认为，该地区金矿床严格受三级构造系统控制，即深断裂或碰撞带（第一级）、大型剪切带（第二级）、褶皱和断裂-裂隙系统（第三级）。低级构造系统通常是高级构造系统的派生或配套构造，它们皆为造山作用之产物。一般金矿床皆沿深断裂或碰撞带的近侧分布，大型剪切带是区域控矿构造或矿田构造，通常控制着两个或两个以上矿床及多个矿点的分布，而矿床和矿体则位于大型剪切带内或旁侧的褶皱和断裂一裂隙系统中。矿体的形态、产状和空间展布样式均受构造控制。

4．对分别位于昆中、昆南和北巴颜喀拉构造带中的五龙沟金矿、开荒北金矿、大场金锑矿和东大滩锑金矿床进行了详细解剖，结果表明，尽管赋矿围岩的时代（Pt～T）和岩性不同，但其变质程度均为绿片岩相且变形强烈。控制矿体的构造有两种，即与剪切带伴生的断裂-裂隙和褶皱构造，产于前者的矿体一般呈平行斜列式脉群展布，单个矿体规模小、形态复杂；产于后者的矿体常呈稳定厚大的透镜体或似层状体，形态较简单。矿石自然类型主要为破碎带蚀变岩型和石英脉型，按照主要成矿元素的不同，又可分为金矿石、金锑共生矿石和锑矿石，在不同矿床中发育程度不一样，金锑矿石和锑矿石仅产于大场和东大滩矿床中。矿石金属矿物为低硫化物型，其硫（砷）化物含量在 3%～5%之间，主要是黄铁矿，其次为毒砂、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、辉锑矿等，辉锑矿仅发育于北巴颜喀拉构造带中的矿床内。自然金和银金矿常包裹于浸染状黄铁矿或产于黄铁矿、毒砂及辉锑矿的裂隙中，部分自然金和银金矿呈包体产于黄铁矿中，偶见裂隙金。脉石矿物的种属视矿石

类型及围岩类型而变化。围岩蚀变发育，黄铁绢英岩化是最普遍、最典型的蚀变类型。

5．矿床元素地球化学研究表明，主要成矿元素中 Au 与 As 关系最密切，Sb 在北巴颜喀拉构造带金矿床中含量最高。同一矿区内，Au、As、Sb、Ag 等主要成矿元素变化范围大，且呈现出多期热液活动、矿化作用叠加的特征。各矿区矿化岩石和矿石均具有较高的 Au/Ag 比值，一般为 1～10，有的可达数十至上百倍。

6．流体包裹体测相和显微测温结果显示，本区金矿床中的石英含有相当丰富的流体包裹体，主要有三种类型，即富 CO_2 包裹体、CO_2-H_2O 包裹体和 H_2O 包裹体。CO_2-H_2O 包裹体十分发育，特征显著，一般均含有较高的 CO_2 含量（≥5mol%），主要产在早期石英碎斑和白色脉石英及主成矿期热液石英中。结合激光拉曼探针分析，成矿流体为一套中低温（118～378 ℃）、低盐度（0.35～9.54 *wt*%NaCl）的 H_2O-CO_2-NaCl-CH_4±N_2 体系。

7．流体不混溶性是流体演化和成矿流体形成的重要机制。大量 CO_2 含量变化较大（体积分数变化于 10%～95%）的 CO_2-H_2O 包裹体紧密共存在同一石英颗粒中、它们有大致相同的均一温度范围以及相似的盐度均表明它们是同时捕获的，为流体不混溶的结果。

8．氢、氧同位素测定结果表明，各矿床氧同位素组成均较高，$\delta^{18}O_{石英}$ 为 9.6‰～19.7‰，计算而得的 $\delta^{18}O_{H_2O}$ 为 2.33‰～8.95‰，这些数据点位于岩浆水与大气降水线之间，且有向大气降水演化的趋势。通过水-岩交换作用的模拟计算，可以看出，不同成矿阶段成矿流体的氢、氧同位素投点与相应温度的大气降水演化曲线比较吻合，从成矿早期到晚期，温度逐渐降低，有效 *W/R* 比值逐渐增大，反映了成矿前热液主要为变质水和地层建造水，成矿以来大气降水不断混入并逐渐占主导地位。流体包裹体中 CO_2 的碳同位素值（$\delta^{13}C_{CO_2}$）介于-8.6‰～1.0‰，平均-5.1‰，接近于大气 CO_2 的 $\delta^{13}C_{CO_2}$ 值（-8‰±），亦反映成矿作用过程中大气降水的重要参与。

9．同位素地球化学示踪技术研究结果表明，4 个金矿床的硫同位素组成均为正或负向偏离于零的不大数值，塔式分布效应明显。其中，五龙沟和开荒北金矿的 $\delta^{34}S$ 皆为不大的正值，介于 1.1‰～6.9‰之间；大场和东大滩矿床的 $\delta^{34}S$ 值除 1 个为 0.4‰外，其余都为负值，介于-6.3‰～-0.9‰之间。总体显示硫源为深源地幔与围岩地层的混合产物。

金矿床铅同位素组成分布集中且比值较高，它们的 $^{206}Pb/^{204}Pb$、$^{207}Pb/^{204}Pb$ 和 $^{208}Pb/^{204}Pb$ 分别大于 18.3380、15.5555 和 38.1796，为典型的放射性成因铅。在 Zartman 等（1981）的构造图解中，投点均集中分布于造山带演化线附近，表明矿石中铅为地层铅和少量地幔铅混合来源。可能是以大气降水为主的热液在碰撞带和大型剪切带中长距离运移时不断从强烈破碎变形的地层岩石中淋滤而来，由于放射性成因铅首先进入到溶液，从而导致放射性成因铅的逐渐积累，造成铅同位素组成明显偏高。

10．同位素地质年代学研究表明，该地区金矿床主要成矿时代为印支期，矿床最终形成于区域晚华力西—印支期造山作用的晚期。此外，在昆中带的五龙沟矿区存在晚加里东期的矿化作用，反映多期次成矿和复合叠加成矿特征。

11．建立了本地区金矿床的区域成矿模式，为指导该区金矿普查找矿服务。开拓和推动了我国造山型金矿床理论研究的发展。