

“广东绿”玉石的成矿地质特征 与矿床成因初步研究

郭清宏^{1,2}, 周永章¹, 曹姝旻², 徐 志², 张 余²

(1. 中山大学 地球环境与地球资源研究中心, 广州 510275;

2. 广东省物料实验检测中心, 广州 510080)

摘 要: “广东绿”玉石矿床发育于广东省广宁县五指山地区。玉石矿脉的空间分布受岩性控制, 赋存于花岗闪长斑岩或花岗斑岩中; 玉石原石色彩多样, 岩石以显微鳞片变晶结构和块状构造为主; 矿区围岩蚀变发育, 具有绢云母化、高岭土化和黄铁矿化的蚀变分带现象。矿物学分析表明, “广东绿”是一种特殊的云母质玉石, 主要由绢云母和水白云母组成, 其全岩地球化学特征和云母的矿物化学组成相一致。成矿作用分析表明, 晚期侵入的岩浆岩脉、剪切断裂带和中低温酸性流体活动构成了玉石矿形成的主要地质条件。研究认为“广东绿”玉石是一种特殊的绢云英岩化产物, 即花岗质岩石遭受岩浆期后浅成中低温热水溶液蚀变和强烈的水化作用而成。

关键词: “广东绿”; 玉石; 绢云母; 交代作用; 广东省

中图分类号: P589.2; P619.283 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2008)04-0314-06

0 引言

“广东绿”是国内图章玉石和雕刻玉石中的名贵玉种, 与昌化石、寿山石、巴林石、青田石齐名, 一并被誉为印章、工艺美术品玉材的“五大名石”之一。“广东绿”以它特有的翠绿色泽和温润质地而享有盛誉^[1]。“广东绿”玉石独产于广东省广宁县五指山地区, 尽管当地对玉矿的开采利用已有 200 余年的历史, 但人们对该玉石的地质属性以及成因问题仍知之甚少。上世纪 80 年代广东地勘局 719 地质队曾开展过地质勘查工作^[2], 也有个别学者做过科研报道^[3,4], 但整体地质工作程度和研究水平相当薄弱。近年来, 随着国内外市场对玉石资源的旺盛需求, 现有“广东绿”玉石的露头矿体已基本被采掘殆尽, 因此玉石资源的可持续开发和利用需要开展深入的地质工作, 通过成矿理论和矿床学研究来指导地质勘查工作。

1 地质概况

玉石矿床位于广东省广宁县城南西部五指山顶(图 1)。该区位于佛岗—丰良 EW 向构造带与罗定—广宁 NE 向构造带交会复合部位, 临近车牛韧性剪切带的北西侧。区内大范围出露岩浆岩, 属诗洞岩体的东部, 该岩体主要由加里东晚期中粗粒黑云母二长花岗岩、粗粒黑云母二长花岗岩组成。伍广宇和张艳珠(1996)^[5]分析出岩体的 Rb/Sr 全岩年龄值为(446±10) Ma。花岗闪长斑岩、花岗斑岩呈不规则状、透镜状侵入于二长花岗岩中, 二者接触界线清楚。花岗斑岩透镜体的长轴方向沿 60°~75°分布, 这类浅成侵入体属诗洞岩体的一次较年轻的补充侵入。矿区少见地层出露, 在五指山西侧大磨岭一带有震旦系变质石英砂岩和石英片岩出露。矿区内断裂构造大量发育, 按走向可基本分为 EW 向和 SN 向两组, 断裂带多被“广东绿”玉石矿脉、花岗闪长斑岩、花岗斑岩以及辉绿岩脉充填。

收稿日期: 2008-01-22

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 40573019)资助。

作者简介: 郭清宏(1966), 男, 安徽宁国人, 博士研究生, 从事宝玉石矿物学及矿床学研究。E-mail: fuw aym m@sina.com

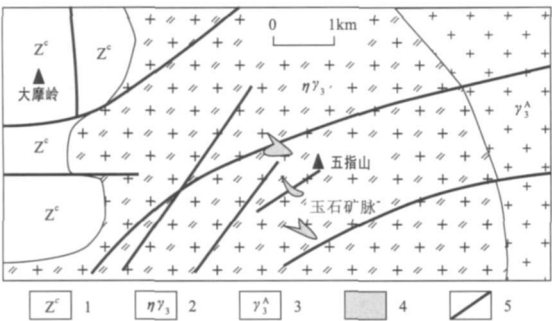


图 1 “广东绿”玉石矿床发育地质背景略图

Fig.1 Schematic map showing geological setting in which the "Guangdong green" jade deposit is developed

1. 震旦系 2. 黑云母二长花岗岩 3. 黑云母二长花岗斑岩
4. 玉石矿脉 5. 断层

2 成矿地质特征

2.1 矿床空间分布特征

五指山“广东绿石”矿床目前已发现 40 余条矿脉,集中在五指山、东坑凹、立集顶、杨梅坪、黄沙坝、高田坑和黄田坝等地区。五指山一带矿脉分布最为密集,共发现 8 条。根据矿脉分布特点,可划分出北矿脉带、中矿脉带和南矿脉带。①北矿脉带位于五指山北部,由 5 条矿脉组成,均赋存于花岗闪长斑岩或花岗斑岩的构造裂隙中(图 2);矿脉形态复杂,呈似脉状,较连续的透镜状、豆荚状、窝巢状产出,近 EW 走向,延伸长度 15~ 130 m,倾角较陡;矿脉厚度、矿石质量变化均较大,膨胀、收缩、尖灭再现(侧现)普遍;②中矿脉带分布在五指山中部,仅由 1 条矿脉组成,产于二长花岗岩的裂隙中,呈单脉出现;矿脉呈 EW 走向,倾角较缓,由于受后期断层切割,矿脉破碎严重;③南矿脉带位于五指山顶南部,由 2 条矿脉组成,产于花岗闪长斑岩、花岗斑岩的构造裂隙中;矿脉 EW 走向,延伸均为 100 余 m,倾角较陡;矿脉形态复杂多变,多细长条状、透镜状、巢状,见分支复合现象;由于受后期断层破坏,部分矿脉产生位错,断裂带中矿石破碎。

2.2 岩石学特征

“广东绿”玉石的原石色彩多样,呈灰白色、牛角色、淡绿色、墨绿色、翠绿色(称碧绿),白中带绿(俗称“丛林积雪”),黄中带绿(俗称“黄玫瑰”),黄中带红(俗称“秋景”),绿中带金黄色金点(俗称“绿海金星”),白中央有绿色茶纹(俗称“碧海云天”)等等,尤

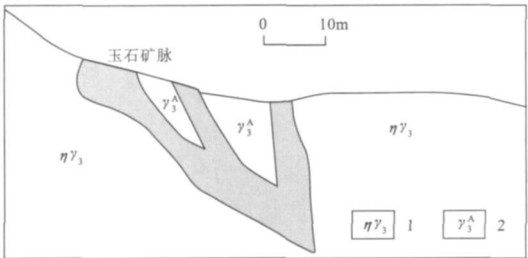


图 2 五指山北矿脉带矿体剖面图

Fig.2 Profile of jade body of the north Wuzhishan jade dyke zone

1. 黑云母二长花岗岩 2. 黑云母二长花岗斑岩

以翠绿、绿海金星、白中带绿、黄中带绿罕见和名贵。牛角色类玉石质地微透明,形象似“冻”,称“广宁冻”。玉石断口多为蜡状光泽和油脂光泽,其次有丝绢光泽、珍珠光泽、土状光泽等。

玉石主要呈鳞片变晶结构和糜棱结构(图 3),表现出致密块状、细脉状、角砾状、交代残余、条带状和浸染状等多种构造特征。致密块状构造多由隐晶质、显微鳞片状和纤维状矿物集合体密集排布组成;

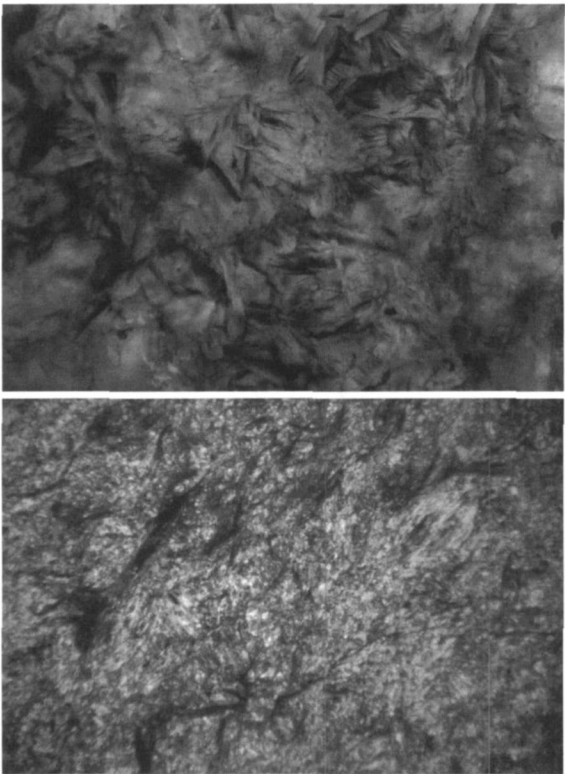


图 3 “广东绿”玉石的显微结构

Fig.3 The microscopic texture of the "Guangdong green" jade

上图:鳞片变晶结构 下图:糜棱结构

角砾状构造属早期形成的矿石受挤压破碎成角砾状,再经热液交代、填充胶结而成;交代残留构造和条带状构造由于交代作用不彻底,矿脉中残留围岩碎块,或者残留早期形成的高岭石,再经热液交代、充填胶结,呈不规则的团块和条带状;浸染状构造是黄铁矿(绢云母)微晶以斑状、浸染状、细脉状散布于矿石之中,形成“绿海金星”。

测试发现,“广东绿”玉石的岩石学参数为:密度 2.75 g/cm^3 , 摩氏硬度 2.53, 软化系数 0.44, 饱和吸水率 0.92%, 抗压强度 463 kg/cm^2 , 抗剪强度 136 kg/cm^2 , 自然块度一般 $15 \text{ cm} \times 40 \text{ cm}$, 最大 $50 \text{ cm} \times 35 \text{ cm}$ 。

2.3 矿物学特征

由于“广东绿”玉石的岩石学特征和寿山石(叶腊石)非常类似,前人误认为“广东绿”是由叶腊石矿物所组成。经 X 射线粉末衍射测试发现,“广东绿”玉石的主要矿物并非叶腊石,而是云母,因此,“广东绿”是一种典型的云母玉。

XRD 分析可知(图 4),7 个样品的衍射图谱基本重合,解谱发现 d 值与 JCPDS (6-263) 的 $2\text{M}1$ 型白云母 d 值基本一致,扫描电镜微结构观察(图 5),结合前人所做的差热分析结果^[4],本研究认定该类矿物为绢云母,其化学分子式为 $\text{KA}l_2\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$,属单斜晶系,多呈细鳞片状集合体或隐晶质块状体。单矿物常含杂质而呈各种颜色,呈淡绿、浅黄、浅褐等,丝绢光泽或腊状光泽。此外,部分样品表现出绿泥石的特征峰,指示包含有绢云母和绿泥石两种矿物。虽然各样品的衍射峰 d 值基本相同,但各自的衍射峰强度、数量还是有所不同。扫描电镜观察显示:凡大片叠加层次清楚的样品,结晶程度高,样品外观上鳞片状明显,松散不致密,硬度也低,衍射峰出现得多、强而锐;而小片交错相嵌的样品,其衍射峰出现得少、弱而宽,结晶程度低,外观则为半透明,成为致密的细腻块状,硬度较高。

除绢云母和绿泥石两种主要矿物成分外,凌井生^[3]还发现特殊“广东绿”玉石中存在水白云母。水白云母属绢云母和白云母之间的过渡类型,三者均属于白云母矿物系列的多型矿物种。据此可将“广东绿”玉

石的原岩分成两种类型:绢云母岩型和水白云母岩型。此外,“广东绿”玉石中还存在石英、高岭土、褐铁矿、金红石等次要和微量矿物。矿物组分的不同与玉石的颜色、品质有直接的关系。

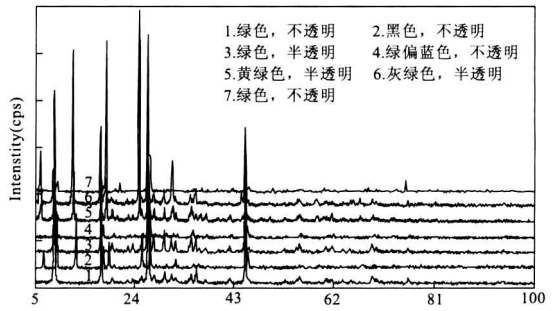


图 4 “广东绿”玉石 XRD 分析图

Fig. 4 XRD analysis of the "Guangdong green" jade

2.4 围岩蚀变特征

围岩蚀变在“广东绿”玉石矿床内普遍发育。在五指山一带,围岩蚀变具有明显的对称性,脉体中心为水白云母岩、镁水白云母岩,边部为绢云母岩和绢英岩;或者中心为千糜岩,两侧为粗糜棱岩,向外过渡到正常花岗岩^[3]。在东坑凹一带,围岩蚀变却表现为另外一种分带类型,最完整的剖面出现从蚀变花岗岩→高岭土化蚀变岩→褐铁矿化蚀变岩→硅化石英脉→红白杂色高岭土化蚀变岩→弱蚀变辉绿岩的蚀变分带。部分矿脉蚀变分带较少,出现淡绿色蚀变花岗岩→褐色金星状粘土→重蚀变辉绿岩→弱蚀变辉绿岩→绿色玉石。蚀变矿物总的蚀变规律是:(从蚀变中心向围岩)高岭土→水白云母→绢云母。

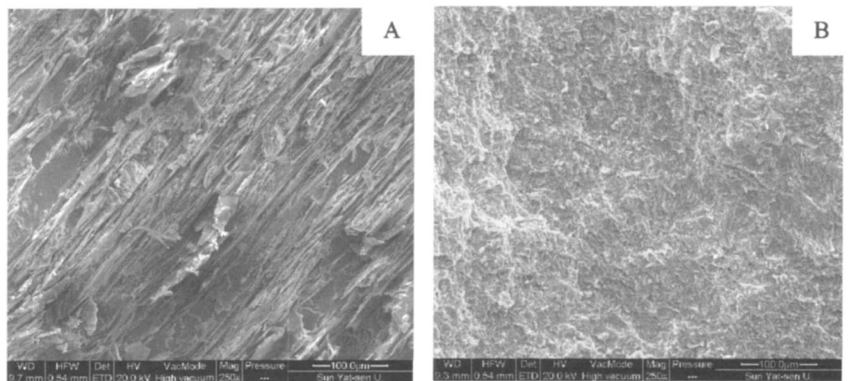


图 5 “广东绿”玉石扫描电镜分析图

Fig. 5 SEM analysis of the "Guangdong green" jade

A. 大片叠加结构 B. 小片交错结构

3 地球化学特征

“广东绿”玉石的地球化学组成与白云母类矿物的理论值接近。主要化学成分为 SiO_2 、 Al_2O_3 和 K_2O ，部分样品中 MgO 较高。从不同颜色样品的对比分析看，白色玉石样品中 SiO_2 较高，深绿色样品

中的 MgO 和 Fe_2O_3 较高，灰色玉石富 MgO ，说明 MgO 和 Fe_2O_3 可能是玉石中的致色成分(表 1)。总体上，不同颜色的玉石在主量元素的质量分数差别不大，微量元素可能是玉石致色的主要因素。广东地勘局(1987)^[2] 分析发现，玉石中微量元素的质量分数差异较大，并且和颜色之间具有较好的相关关系。绿色玉石普遍富 Cr ， $w(\text{Cr}) \geq 0.2\%$ ，而白色、红色和灰色玉石中 Cr 的质量分数依次降低。

表 1 “广东绿”玉石化学成分分析结果($w_B/\%$)
Table 1 Chemical analysis of the "Guangdong green" jade

玉石颜色	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	数据来源
墨绿色	43.38	29.94	1.71	0.14	11.44	6.83	0.18	文献[4]
绿色	50.24	31.66	0.73	0.23	1.45	10.28	0.56	文献[2]
红色	47.52	34.17	0.66	0.38	1.27	11.02	0.23	文献[4]
白色	80.42	12.56	0.78	0.05	0.61	3.58	0.32	文献[2]
灰色	41.11	28.87	1.40	0.21	13.75	6.68	0.39	文献[2]
黄色	50.63	31.83	0.83	0.11	1.24	9.29	0.36	文献[2]

4 矿床成因分析

4.1 控矿因素

与众多玉石矿床类似，“广东绿”玉石在产出地点和发育规模上非常局限，具有唯一性，仅限于广东省广宁县的五指山地区。研究认为，该玉石矿床的成因与区域内独特的地质条件密切相关。加里东期岩浆活动是控制矿床发育的主要因素，是矿床形成的物质基础。区域内加里东期岩浆活动具有多期侵入特点，主侵入期发育黑云母二长花岗岩，诗洞岩体即该期侵入作用的产物。主侵入期后发生晚期岩浆补充侵入，表现为花岗闪长斑岩、花岗斑岩、辉绿岩等岩脉穿插贯入黑云母二长花岗岩内。野外考察发现，晚期侵入的岩脉是玉石矿床的主要赋矿围岩。在五指山一带，除中矿脉带直接产在二长花岗岩内外，其余 7 条矿脉无一例外地赋于花岗闪长斑岩或花岗斑岩岩脉中，并且矿脉的产状与岩脉基本一致。值得注意的是，区域内的辉绿岩脉也是玉石矿脉的重要赋存空间，而这一点在前人的工作资料中未被提及。本研究发现，在五指山顶的外围，尤其是东坑凹、立集顶、杨梅坪、黄沙坝、高田坑和黄田坝一带，玉石矿脉附近多有辉绿岩脉发育，且部分矿脉直接产在辉绿岩脉内。

岩浆期后的热液活动是玉石矿床发育的关键条件。矿区内玉石矿脉的两侧都发育有典型的围岩蚀

变，蚀变带的展布基本控制了矿脉的延伸，并且矿脉表现出明显的侧向蚀变分带，可划分出水云母带—绢云母带—硅化带—高岭土化带的变化序列，指示矿区强烈的岩浆期后热液活动并导致岩石的蚀变。蚀变岩和玉石之间往往没有截然界线，多呈过渡关系，说明热液流体与岩石发生了水/岩交换作用，造成岩石成分的改变，并在适宜的物理化学条件下形成了玉石矿。

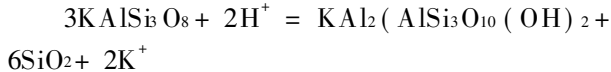
断裂是玉石矿床主要的控矿条件。与矿床有关的断裂可分为成矿期断裂和成矿后断裂。成矿期断裂普遍规模较小，延伸短，产状陡倾，走向主要为 NWW 向(产状: $10^\circ \sim 30^\circ \angle 65^\circ \sim 80^\circ$) 和 NEE 向(产状: $340^\circ \sim 350^\circ \angle 75^\circ \sim 85^\circ$)，其次是 NNE 向(产状: $110^\circ \sim 130^\circ \angle 55^\circ \sim 80^\circ$) 和 NW 向(产状: $25^\circ \sim 55^\circ \angle 45^\circ \sim 55^\circ$)。前两组多被“广东绿”玉石矿脉、花岗闪长斑岩、花岗斑岩所充填；后两组则多为次级的短小断裂。该类型断裂可能属加里东期活动的区域性深大断裂在地壳浅部的分支，它们是晚期岩浆侵入和岩浆期后热液活动的主要通道，控制了矿脉的产出和走向。值得注意的是，控矿断裂具有韧性剪切性质，断裂带内部分玉石矿的围岩具有明显的片理化、糜棱岩化特征，玉石的鳞片变晶和糜棱岩化显微结构也非常明显，指示热液流体可能是沿着剪切断裂带活动并对糜棱岩化花岗岩进行蚀变，最终形成了玉石矿床。成矿后的断裂对玉石矿脉具破坏作用，在五指山地区发育 6 条成矿后断裂，多属逆断层，错断玉石矿脉或造成玉石矿脉的破碎。

4.2 成矿机制

“广东绿”属于一种典型的绢云母质玉石,是一种糜棱岩化+ 绢英岩化的特殊岩石。即花岗岩岩石遭受韧性剪切作用、并经浅成中低温热水溶液蚀变和强烈的水化作用叠加形成。

早古生代时,矿区内构造- 岩浆作用活跃,早期岩浆侵入形成黑云母二长花岗岩,晚期花岗斑岩呈岩脉沿断裂带侵入,期间基性辉绿岩脉随同侵入。岩浆活动期后的热液流体沿断裂带大量活动,与围岩发生强烈的水岩交代反应,产生绢英岩化蚀变,其化学反应式为^[6]:

(钾长石) (绢云母)



通过热力学理论相图可以推测该反应的物理化学条件(张本仁, 1987), 降温 and 低 pH 值环境有利于反应进行, 可以推断形成“广东绿”玉石的流体属一种中低温酸性流体。在热液流体的充分交代作用下, 花岗斑岩中的钾长石蚀变成为绢云母。与花岗斑岩伴生产出的辉绿岩脉同时被蚀变, 产生“广东绿”玉石中的另一类矿物——绿泥石。

绢云母和绿泥石两类蚀变矿物的形成构成了“广东绿”玉石的物质基础, 尤以绢云母为主, 二者的含量不同, 杂质矿物的混入, 以及蚀变过程中金属离子的带入带出等诸多因素导致了不同色彩的玉石类型。

在玉石产出的蚀变分带内, 硅化带的发育代表了围岩在云英岩化蚀变过程中 SiO_2 迁出并在围岩外侧聚集沉淀的产物, 高岭土化蚀变带则指示热液流体在高温阶段时的交代作用, 花岗斑岩的高岭土化蚀变过程为: 钾长石 $\rightarrow$ 绢云母 $\rightarrow$ 高岭土, 而辉绿岩的高岭土化蚀变过程为: 辉石 $\rightarrow$ 绿泥石 $\rightarrow$ 高岭土, 以及斜长石 $\rightarrow$ 白云母 $\rightarrow$ 高岭土。这说明玉石的发育严格地受流体与围岩发生交代反应时的物理化学条件的限制, 玉石只可能在中低温流体活动带或高温流体的降温带才可能形成, 并且容易被后期高温流体进一步蚀变所破坏。

“广东绿”玉石在矿体形成以后还会遭受表生淋滤作用的改造。黄铁矿等含铁矿物发生氧化、水解、转变, 形成褐铁矿, 含褐铁矿的水溶液沿矿脉的裂隙下渗, 使白色高岭石遭到铁染而形成黄色。另一方面, 硫化物的氧化分解可增加溶液中的 H^+ 浓度, 富含 H^+ 的酸性溶液可对已形成的玉石进行改造, 起漂白和退色作用, 作用强的部分可使玉石变成白色。

5 找矿远景评价

广东省广宁县五指山地区是“广东绿”玉石的唯一产地。随着百余年来的民间开采, 已发现的地表玉石资源已面临枯竭, 有必要开展深入的找矿勘探研究工作。综合分析“广东绿”玉石矿床的成矿条件, 认为在广宁县五指山一带还有良好的找矿潜力。首先前人的工作程度非常薄弱, 仅在五指山顶 0.7 km^2 的范围内做过普查工作, 而事实上民采矿点遍布于五指山周围较大范围, 在东坑凹、立集顶、杨梅坪、黄沙坝、高田坑和黄田坝等地均有大量玉石矿脉和矿化点。研究认为五指山的外围区域(至少包括广宁县木格镇、清桂镇以及德庆县高阳镇一带)是扩展玉石找矿勘查区域的首选地区。上述地区与五指山一带的地质环境相似, 具有良好的成矿条件; 同时, 对于老矿区的五指山一带的深部还有继续寻找隐伏玉石矿床的潜力, 这是由于区域内多数矿脉的倾角偏大, 矿脉向深部延伸, 但基于开采技术等原因, 民采只能揭露浅部矿脉, 因此深部矿体有望被开发利用。

由成矿条件分析可知, “广东绿”玉石为花岗质岩石遭受中低温蚀变和强烈水化作用的产物, 花岗岩体内的晚期岩脉(花岗闪长斑岩、花岗斑岩、辉绿岩)是玉石矿的主要赋矿围岩, 成矿期断裂构造控矿构造, 水热蚀变交代反应则是矿床成因的主要机制。因此可以把找矿方向定在有多期次岩浆岩产出的地区, 从寻找晚期侵入的岩脉和岩体内的断裂构造入手, 以围岩蚀变为典型标志, 结合地质、物探和遥感等方法开展系统的找矿勘探工作。

参考文献:

- [1] 曹姝英, 郭清宏. 广东省地方标准: 珠宝饰品标识规定[S]. 2007.
- [2] 广东省地质矿产勘查局 719 地质大队. 广东省广宁县五指山顶广绿石矿床地质勘察报告[R]. 广州: 广东地质矿产勘查局, 1987.
- [3] 凌井生. 广绿石的矿床地质与工艺特征[J]. 广东地质, 1990. (1): 81-83.
- [4] 王辅亚, 张惠芬, 冯璜, 等. 广东绿玉的物质组成和谱学特征[J]. 矿物学报, 1996, 16(1): 77-81.
- [5] 伍广宇, 张艳珠. 广宁花岗质杂岩的地质年代学研究[J]. 广

东地质, 1996, (4): 7-17.

北京: 地质出版社, 2004.

[6] 胡受奚, 叶瑛, 方长泉. 交代蚀变岩石学及其找矿意义[M].

GEOLOGICAL CHARACTERISTICS AND PRELIMINARY GENETIC DISCUSSION OF "GUANGDONG GREEN" JADE

GUO Qing hong^{1,2}, ZHOU Yong zhang¹, CAO Shu min², XU Zhi², ZHANG Yu²

(1. *The research Center of Earth Environment and Resources of Zhongshan University, Guangzhou 510275, China*; 2. *The Guangdong Provincial Material Experiment and Test Center, Guangzhou 510080, China*)

Abstract: The "Guangdong green" jade deposit is situated in Wuzhishan area, Ningxian county, Guangdong Province. It occurs in granodioritic porphyre and granitic porphyre and the spatial distribution of the jade veins are controlled by lithology. The raw jade is in multi colors with scaly blastic and massive textures under microscope. Wallrock alteration is developed and characterized by zoning as sericitization, kaolinitization and pyritization. Mineral study shows that the "Guangdong green" jade is a special micaceous jade mainly consisting of sericite and hydro-muscovite. The whole rock geochemical characteristic is coincided with the chemical composition of mica. The metallogenic analysis indicates that the jade formation condition includes late magmatic dykes, shearing faulting and acidic medium-low hydrothermal activity. The "Guangdong green" jade is a special sericite greisenized product and it is formed by granitic rock that was exposed to late magmatic epithermal hydrothermal alteration and strong hydration.

Key Words: "Guangdong green"; jade; sericite; replacement; Guangdong province

(上接第 291 页)

REN Tao^{1,2}, ZHANG Xing-chun¹, WANG Shou-xu^{1,2}, LENG Cheng-biao^{1,2}

(1. *State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, CAS, Guiyang 550002, China*; 2. *Graduate University of Chinese Academy of Science, Beijing 100039, China*)

Abstract: Since 1970s, Carlin-type gold deposits have been discovered in the southwestern Yangtze Craton in China. Many predecessors made researches on the ore-forming materials and metallogeny. On basis of the researches this paper applies stable isotope and biochemistry and combines the analysis of the types and nature of organic matter in the ore-bearing strata and studies on the relation between organic matter and gold deposits to discuss the role of organic matter in accumulation and transportation for the gold. A wide ranging exchange occurred between the ore-bearing strata and the late magmatic hydrothermal fluid with gold-minerals extracted to form Carlin-type gold deposits under certain conditions.

Key Words: Carlin-type gold deposit; organic matter; stable isotope; the southwestern Yangtze Craton