西 FMP 金矿[194]，其 CO_2-H_2O 型包裹体的密度（或充填度）具有非常狭窄的变化范围，不显示相分离作用的特征，但是大坪流体包裹体显示清晰的相分离特征。因此我们认为大坪金矿初始成矿流体是单一的 CO_2-H_2O-NaCl 体系的流体，基本不存在流体混合，但是在成矿过程中发生了相分离。与前期研究结论"早期成矿流体是相对均一的体系"一致[181]。

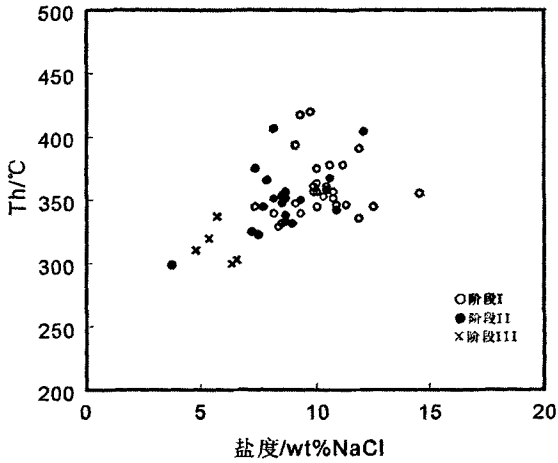


图 5-4　大坪金矿流体包裹体的均一温度与盐度关系图.

5.4 大坪金矿成矿流体 P-T 条件

一般认为，在不混溶包裹体群中，最富 CO_2 的包裹体和最富 H_2O 的包裹体原先分别捕获了均匀的富 CO_2 和富 H_2O 流体，它们的均一温度代表了捕获温度；而具有中间 CO_2/H_2O 比值的包裹体是从不混溶的 CO_2-H_2O 流体中同时捕获了 CO_2 相和 H_2O 相的包裹体，因此实测得到较高的均一温度，并不代表真正的捕获温度[182,184]。但对于大坪金矿，由于相分离作用形成的含水相主体为 CO_2-H_2O 型流体，因此 CO_2-H_2O 型包裹体可能同时捕获了富水的 CO_2-H_2O 流体和纯 CO_2 流体，但也可能只捕获了相分离作用形成的 CO_2-H_2O 流体，这部分包裹体应也具有中间 CO_2/H_2O 比值，其均一温度代表真正的捕获温度，并且代表同期流体包裹体的主体捕获温度；而最富 H_2O 的包裹体，其流体则是相分离作用较彻底的产物，其均一温度则可能更适于作为同期包裹体捕获温度下限。

考虑到本区成矿流体具有较高的X_{CO_2}，而本文所获得的均一温度数据主要来自于X_{CO_2}较低的包裹体，这些均一温度具有明显的峰值，如图 5-3，峰值温度（350℃左右）时X_{CO_2}从 0.1 到 0.4，这其中应包含捕获于上述均一流体的包裹体，而那些捕获了两相的包裹体则相对而言应具有相对高的X_{CO_2}，例如那些在加热时未均一即爆裂的体积百分数大于 60%，即X_{CO_2}约大于 0.3 的包裹体；同时考虑到碳酸盐阶段（III）的流体包裹体应捕获于温度较低的相对均一的流体中，但是其均一温度达到 337.1℃，因此本文所测出的阶段 I 和阶段 II 的包裹体均一温度峰值（350℃）应接近于主体捕获温度。本文按 350℃计算两阶段的包裹体的捕获压力，但按常理，阶段 I 的成矿温度应略高于阶段 II，这样阶段 I 的压力计算值低于实际压力值，并且由均一温度计算的 CO_2-H_2O 包裹体的压力值也只代表流体包裹体的最低捕获压力，尽管如此，我们认为这些压力计算值不失其参考意义。

图 5-5 给出了本次研究得出的大坪流体包裹体的 P-T 范围。图 6-6 是在 Diamond（2001）给出的X_{CO_2}=0.6, X_{H_2O}=0.4 的 CO_2-H_2O 体系的 P-T 相图基础上修改而成[184]。由于盐类的加入只是扩大该体系的不混溶区域[183,188]，因此本区以 CO_2 为主的较低盐度的 CO_2-H_2O-NaCl 的流体可近似用该 CO_2-H_2O 体系来表征。

从两阶段的包裹体均一温度和计算的成矿压力看，该矿是中深中温热液矿床。图 5-5 显示，阶段 II 与阶段 I 相比，CO_2-H_2O 型包裹体均一温度比较接近，成矿压力则有明显下降，结合在阶段 I 出现大量含 N_2 的 CO_2 包裹体，到阶段 II 则基本上不出现这类包裹体，表明 N_2 及部分 CO_2 已在阶段 I 的沸腾作用过程中扩散，成矿作用是在减压沸腾的环境中进行的快速沉淀的过程。类似本区成矿流体的部分不混溶过程很可能就与这种快速沉淀过程有关，因为如果流体沉淀时间足够长，则流体温度下降也应明显，同时相分离作用进行得较为彻底，流体应该演化为由水溶液相和 CO_2 相组成的不混溶流体，反映在流体包裹体特征上即水溶液包裹体也常见。图 7 亦显示阶段 II 的 CO_2 包裹体密度明显高于阶段 I，反映其捕获压力又相对较高，这与 CO_2-H_2O 型包裹体的压力计算结果相矛盾，作者认为这种矛盾与两阶段成矿流体的内外压力平衡条件差异有关（见后文）。

图 5-5 亦显示大坪金矿流体包裹体具有大范围变化的密度和捕获压力，这

是一般活动剪切带背景下形成的金矿所具有的特征[188,193,194]。另外，时常在同一颗阶段 II 的石英晶体中，出现一群密集的形态类似的均一温度、密度相差很大的原生 CO_2 包裹体（例如 Th_{CO2}=29.8℃和 Th_{CO2}=13.5℃的 CO_2 包裹体共存）。在该石英晶体中没有证据表明这些包裹体的密度差异与“卡脖子作用”（necking-down）有关,很可能它们是先后捕获于同一石英晶体中[184]，并且在短暂的捕获间隙时间内由于剪切应力强度的脉动，这些包裹体的捕获压力有了较大的变化[194]。

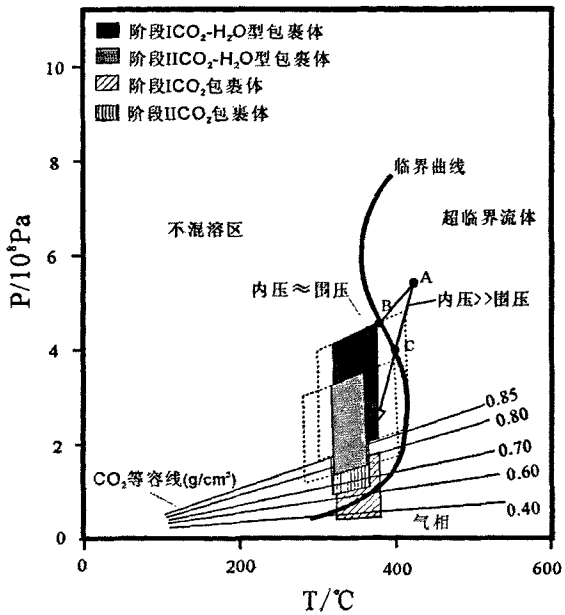


图 5-5 大坪金矿流体包裹体 P-T 条件示意图。

相图据 X_{CO2}=0.6, X_{H2O}=0.4 的 CO_2-H_2O 体系的 P-T 相图（Diamond，2001）修改；CO_2 等容线据卢焕章等，2004。CO_2-H_2O 型包裹体阴影部分压力范围为计算值，温度范围为峰值均一温度范围，虚线范围为实测均一温度范围。CO_2 包裹体范围为其密度投影。

另外，一个明显的现象是，阶段 I 的 CO_2 包裹体的密度未落入相应的 CO_2-H_2O 型包裹体的压力范围，而阶段 II 的 CO_2 包裹体的密度主体（大于 0.8

g/cm^3）则落入相应的 CO_2-H_2O 型包裹体的下限压力范围。一般在平衡的成矿体系中，不同类型的的流体包裹体的密度或压力在 P-T 相图上应该落入同一压力范围或落入它们的等容线交叉的范围，因此可利用不同类型流体包裹体的等容线交叉来确定成矿压力[187,193,194,197]，由此看来，本区阶段 I 的 CO_2 包裹体和 CO_2-H_2O 型包裹体可能不是捕获于平衡的体系中。一些学者认为与剪切带有关的金矿，其单相 CO_2 包裹体可能经历了捕获后的体积变化和 CO_2 的再平衡，因此它们的等容线不能限定成矿流体的压力范围[188,193,194]。由于"卡脖子"状包裹体的存在，本区部分 CO_2 包裹体亦可能经历了捕获后 CO_2 的再平衡，但这不能解释阶段 I 的 CO_2 包裹体的的密度整体脱离由 CO_2-H_2O 型包裹体确定的压力范围，特别是两阶段 CO_2 包裹体密度的差异。基于本区减压沸腾的成矿环境，作者认为这种差异可能与两阶段成矿流体的内外压力平衡条件有关。

如图 5-5，设想初始成矿流体位于接近临界曲线的一点 A，其温度略高于早阶段包裹体均一温度上限，即高于 423.7℃；其压力应高于本文计算的早阶段成矿压力上轨，约高于 550mpa。当初始成矿流体进入容矿裂隙或者裂隙扩张的阶段，流体内压大于围压，体积急剧膨胀，压力急剧下降（图中 AC 方向），成矿流体产生强烈沸腾，分离出以 CO_2 为主的蒸汽相，这些蒸汽相在快速逃逸过程中被主矿物捕获成为低密度的 CO_2 包裹体；由于流体的内外压不平衡，这些 CO_2 包裹体的密度（或者内压）主要受围压控制，而同时形成的 CO_2-H_2O 型包裹体的内压则受流体内压控制，则可能造成两类包裹体的内压的差异。当流体充满整个裂隙系统或裂隙相对稳定时，流体体积不变，内压约等于围压，这时成矿流体的 P-T 条件将沿着等容线温和下降（图中 AB 方向），流体将相对缓慢地析出 CO_2，并分离成富水的 CO_2-H_2O 型流体和液态 CO_2 流体，形成 CO_2-H_2O 型包裹体和 CO_2 包裹体；由于流体内外压的平衡，这两类同时捕获的包裹体的内压应该是一致的，以这种方式捕获的 CO_2 包裹体具有相对高的密度。 实际上在剪切应力和成矿流体的共同作用下，成矿裂隙不断扩张，成矿流体不断充填，则上述两条路径可以同时进行，也可以交替进行，这样形成的 CO_2 包裹体的密度是变化的。因此作者认为阶段 I 成矿流体的 P-T 条件主要以 AC 的方式下降，即白钨矿石英脉形成于裂隙扩张阶段；而阶段 II 成矿流体的 P-T 条件主要以 AB 的方式下降，即金矿化主要形成于裂隙相对稳定的阶段，这样，尽管阶段 I 的流体压力较高，但形成的 CO_2 包裹体比阶段 IICO_2 包裹体具有较

低的密度。

5.5 大坪金矿麻粒岩相石墨包裹体及其来源

6.5.1 引言

石墨是各种岩浆岩和变质岩（包括下地壳麻粒岩或榴辉岩）中常见的副矿物，常作为主岩形成条件和碳的来源的指示剂[198~200]。作者在对大坪金矿含金石英脉中流体包裹体研究时，首次发现在该矿含金石英中含有较多石墨固体包裹体，本文根据这些石墨的激光拉曼光谱特征，分析了石墨的形成条件和赋存环境，并进一步探讨了这些石墨的源区和本区成矿流体的来源。

5.5.2 样品和测试方法

本次研究的含金石英脉样品采集于大坪金矿 6 号、8 号等主要含金石英脉。

石英的单个流体包裹体和固体包裹体成分分析主要在中科院广州地球化学研究所的 Ranishaw RM2000 型拉曼光谱仪上完成，室温下测定，氩离子激光器（514nm），对流体包裹体成分分析的扫描功率为 10mw，对固体包裹体的扫描功率为 5~20mw，光谱计数时间 20s，在 0—4000cm^{-1} 范围内进行初次扫描，再根据出现的特征谱峰缩小频率范围进行第 2 和第 3 次扫描。部分石英样品的固体包裹体成分分析在中山大学测试中心的 Ranishaw RM2000 型拉曼光谱仪上完成，室温下测定，氩离子激光器（514nm），采用的扫描功率为 5mw，其它的测定程序同前。

5.5.3 石墨包裹体特征

作者等在对大坪金矿含金石英脉中流体包裹体进行研究时，在矿脉边部阶段 I 的含白钨矿石英脉中发现大量不透明固体包裹体（图版 VII），这些石墨包裹体一般呈孤立状散布，在高倍显微镜（放大倍数大于 10×100）下局部可见极细小的石墨包裹体（小于 2μm）成群分布;多呈不规则粒状或片状，部分呈有明显棱边的多边形或柱状，粒径为 1~20μm，多为 1~5μm；在反光镜下，这些包裹体均具有较强的镜面反射光，表明其结晶度良好。激光拉曼光谱显示这些固体包裹体在 1576~1580 cm^{-1} 间出现明显的谱峰，有时在 1355 cm^{-1} 附近出现微弱谱峰，