矿物学填图方法在地质找矿中的应用

APPLICATION OF MINERALOGICAL MAPPING IN GEOLOGY AND ORE PROSPECTING

主要内容：

矿物学填图的发展与现状

矿物学填图的理论基础、分类与方法

矿物学填图案例分析

李胜荣（中国地质大学）

第一章、矿物学填图的发展与现状（DEVELOPMENT AND PRESENT STATE）

✧ 矿物学填图的概念与发展历史
✧ 矿物学填图的特点与意义
✧ 矿物学填图的现状与问题

1.1 矿物学填图的概念与发展历史 CONCEPT AND HISTORY

✧ 概念
✧ 雏形——BC14 世纪，埃及金矿山分布示意图
✧ 矿物学填图术语的提出——1959 年，前苏联 N V Petrovskaya
✧ 俄罗斯的矿物学填图工作——N P Yushkin（1982）理论方法总结
✧ 发达国家的矿物学填图工作
✧ 中国的矿物学填图工作

1.2 矿物学填图的特点与意义 CHARACTERISTICS AND SIGNIFICANCE

✧ 特点
1. 矿物学参数的综合性
2. 矿物晕的广泛性
3. 自然规律的定性化和定量化反映
4. 减少异常的多解性
5. 宝玉石找矿评价的有效工具
6. 经济、易行、速效性

✧ 意义
1. 沉积区：沉积物来源、沉积相与古地理；
2. 岩浆岩区：岩浆活动序列、岩体分解等；
3. 变质岩区：变质相系定量表达、作用类型；
4. 矿化区：矿化类型、资源评价、成矿规律；
5. 河床相追索原生矿床

1.3 矿物学填图的现状与问题 PRESENT STATE AND PROBLEMS

✧ 理论上：统一的填图规范、填图理论和方法的推广与普及；
✧ 实践上：填图队伍的组织与矿物学填图的实施。

第二章、矿物学填图的理论基础、分类与方法（THEORETICAL BASIS ，CLASSIFICATION AND METHODOLOGY）

- ✧ 矿物学填图的理论基础
- ✧ 矿物学填图的分类
- ✧ 矿物学填图的方法

2.1 矿物学填图的理论基础

- ✧ 成因矿物学与找矿矿物学
- ✧ 矿物标型六性
- ✧ 矿物学填图的四化法则

成因矿物学的研究内容

- ✧ 矿物与矿物组合的时空分布；
- ✧ 矿物形态、成分、结构、性质、成因产状间的内在联系；
- ✧ 矿物形成与变化的条件和过程，矿物与其介质间的相互依存和相互作用；
- ✧ 介质状态与矿物形成条件的宏观标志与微观信息；

矿物的成因分类、学科的发展史、方法学和应用。

- ✧ The origins of minerals including the conditions and courses for mineral germination, growth, formation and change—Ontogeny and phylogeny of minerals;
- ✧ The immanent relations among mineral crystal form, composition, structure, properties, mode of occurrence and assemblage;
- ✧ The interaction of minerals with their forming media and the consequent macroscopic markers and microscopic signals—mineral typomorphism;
- ✧ The spatial distribution and temporal evolution of minerals and their inner and outer attributes;
- ✧ The natural system of minerals’ genetic classification;
- ✧ The application of the knowledge about mineral geneses in the practices of human being.

成因矿物学的学科体系

- ✧ 矿物发生史 ONTOGENY AND PHYLOGENY OF MINERALS;
- ✧ 矿物标型学 MINERAL TYPOMORPHISM ；
- ✧ 矿物温压计 MINERAL THERMOMETER AND MANOMETER;
- ✧ 矿物共生分析 MINERAL ASSEMBLEDGE ANALYSIS;
- ✧ 矿物成因分类 MINERALS’ GENETIC CLASSIFICATION;
- ✧ 矿物学信息的应用 APPLICATION OF MINERALOGICAL SIGNALS。

矿物标型六性

✧ 普遍性 UNIVERSALITY——开展标型研究的基础；
✧ 特殊性 PARTICULARITY——开展特殊事件研究的基础；
✧ 变化性 VARIATION——变化梯度与地质体规模的判别；
✧ 相应性 CORRESPONDENCE——运用多种矿物标型进行综合研究；
✧ 继承性 INHERITANCE——反演地质作用过程，物质来源判别；
✧ 分带性 ZONING——不同空间层次的分带性反映特殊事件及其变化。

2.2 矿物学填图的分类

✧ 填图参数分类：

A 矿物组合；B 矿物共生组合；C 矿物集合体（岩石）；矿物种/异种；D 矿物标型。

✧ 空间几何模型分类：

A 剖面图；B 柱状图；C 水平平面图；D 垂直平面图；E 立体图。

✧ 地质作用分类：

A 风化壳矿物图；B 沉积区矿物图；C 岩浆岩区矿物图；D 变质岩区矿物图；E 成矿区矿物图。

✧ 比例尺分类：

A 区域/成矿省矿物图；B 矿田矿物图；C 矿床/矿山矿物图；D 局部（露头、平硐、钻孔）矿物图。

2.3 矿物学填图的方法

✧ 组织与准备
✧ 比例尺选择
✧ 步骤
✧ 图件的表现形式

矿物学填图的组织与准备

✧ 组织队伍
✧ 建立野外实验室
✧ 收集前人资料

矿物学填图比例尺选择

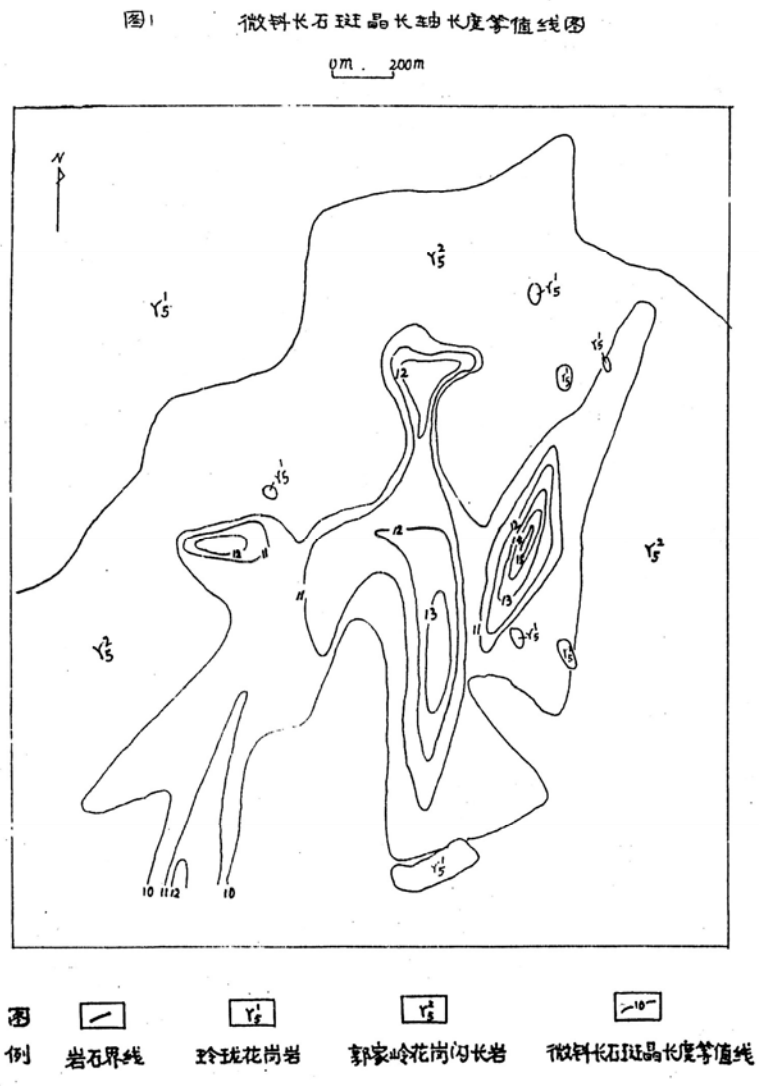
✧ 小比例尺（1：200 000 以下）——区域/成矿省矿物图
✧ 中比例尺（1：200 000—1：50 000）——区域/矿田矿物图
✧ 大比例尺（1：50 000 以上）——矿床/矿山矿物图和局部（露头、平硐、钻孔）矿物图

矿物学填图步骤

- ✧ 填图区综合地质研究
- ✧ 路线或剖面上的成因矿物学与找矿矿物学研究，确定填图参数
- ✧ 填制矿物学平面图——地表：穿越法，1cm^{2}网格中 1 个观测点，配合追踪法及轻型山地工程——地下：依赖地下工程，以穿越法为主
- ✧ 填制矿物学立体图——用于深部预测

矿物学图件的表现形式

- ✧ 文字图
- ✧ 矿物形态图
- ✧ 直方图
- ✧ 频率曲线图
- ✧ 等值线图
- ✧ 花纹图
- ✧ 灰度图/色彩图
- ✧ 三维图——平面图叠置/机绘三维图



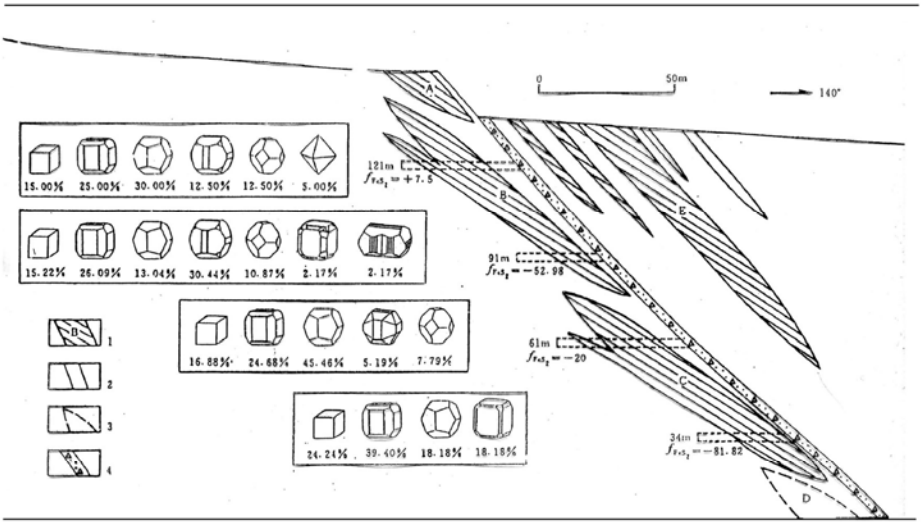


Fig. 4—10 Graphic mineralogical transversal profile showing difference in crystal forms and f_{FeS_2} values of pyrite in head and tail of lenticular orebodies en echelon, Xiadian gold deposit (Wall alteration type)

1. Orebody number. 2. Lean orebody; 3. Predicated orebody; 4. Fault zone
(f_{FeS_2} being crystalliomorphological ballotage scores of pyrite after Evzikova, 1982)

第三章、矿物学填图案例分析 CASE ANALYSES

- ✧ 案例 1：胶东乳山金矿床矿物学填图；
- ✧ 案例 2：胶东焦家金矿床矿物学填图；
- ✧ 案例 3：胶东区域矿物学填图；
- ✧ 案例 4：胶东上庄斑状花岗闪长岩区矿物学填图

案例 1：胶东乳山金矿床矿物学填图

✧ 矿床地质及存在问题

1. 昆嵛山花岗岩；
2. 将军石断裂；
3. 矿体及矿石特征

✧ 矿物学填图的工作方法

1. 取样方法；
2. 参数选择；
3. 等值线圈定

✧ 矿物学填图结果分析

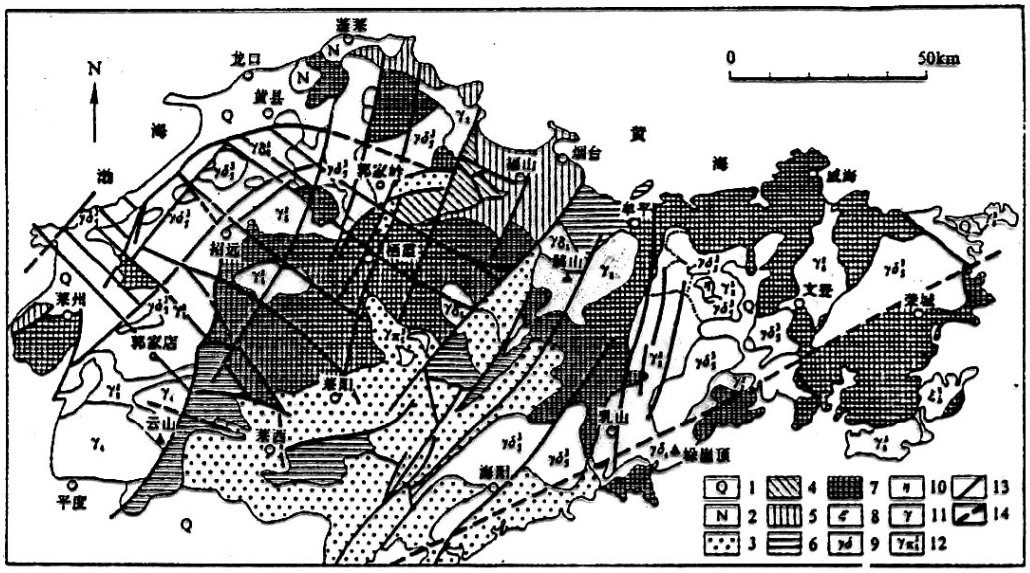
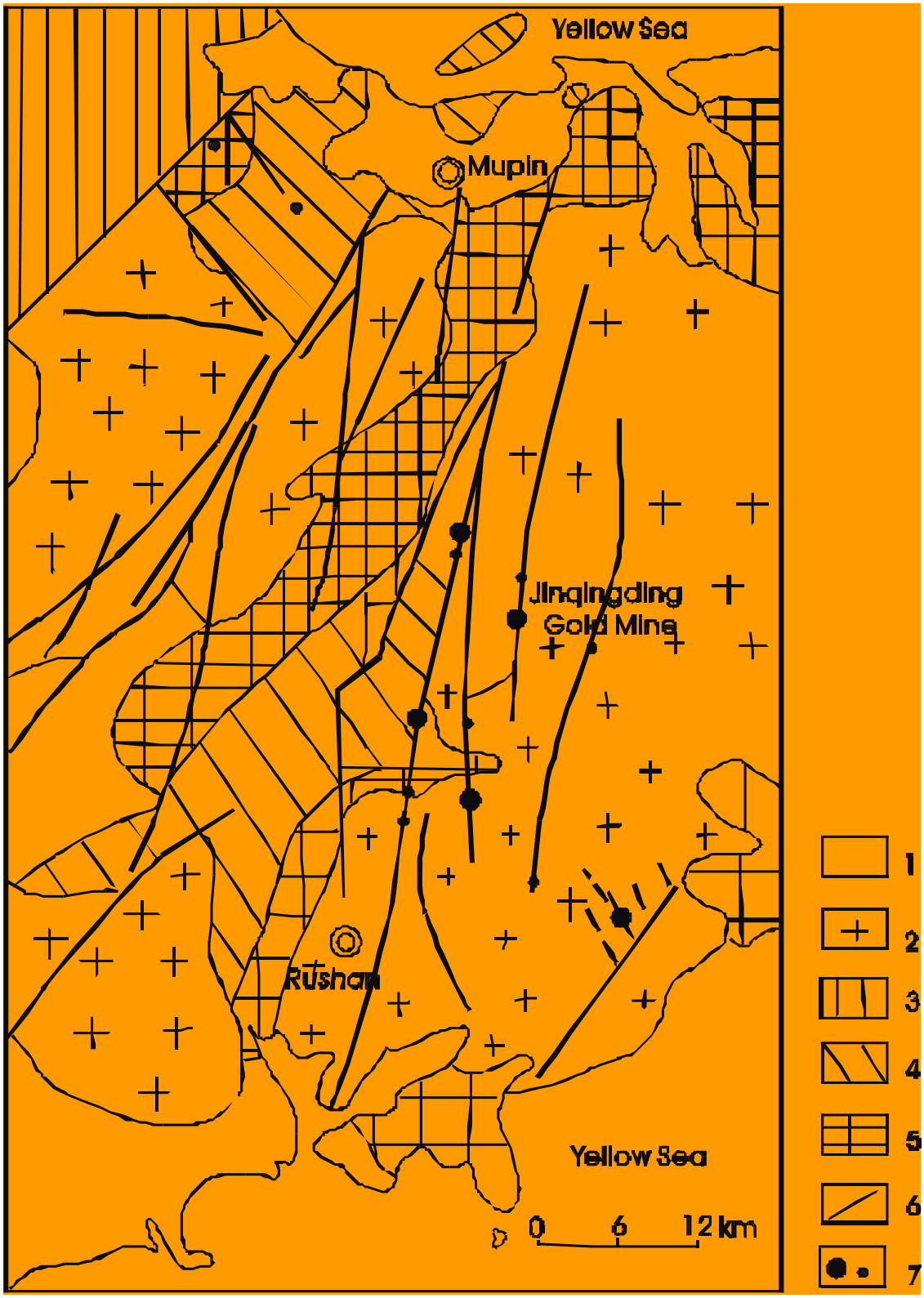


图 1-1　胶东地区区域地质略图

(转引自陈光远等, 1993)

1-第四系；2-第三系；3-侏罗-白垩系；4-蓬莱群；5-粉子山群；6-荆山群；7-胶东群；8-正长岩；9-花岗闪长岩；10-二长岩；11-花岗岩；12-花岗斑岩；13-断层；14-推测断层



The geological map of Muping-Rushan gold belt (simplified after S. Li, 1996[1])

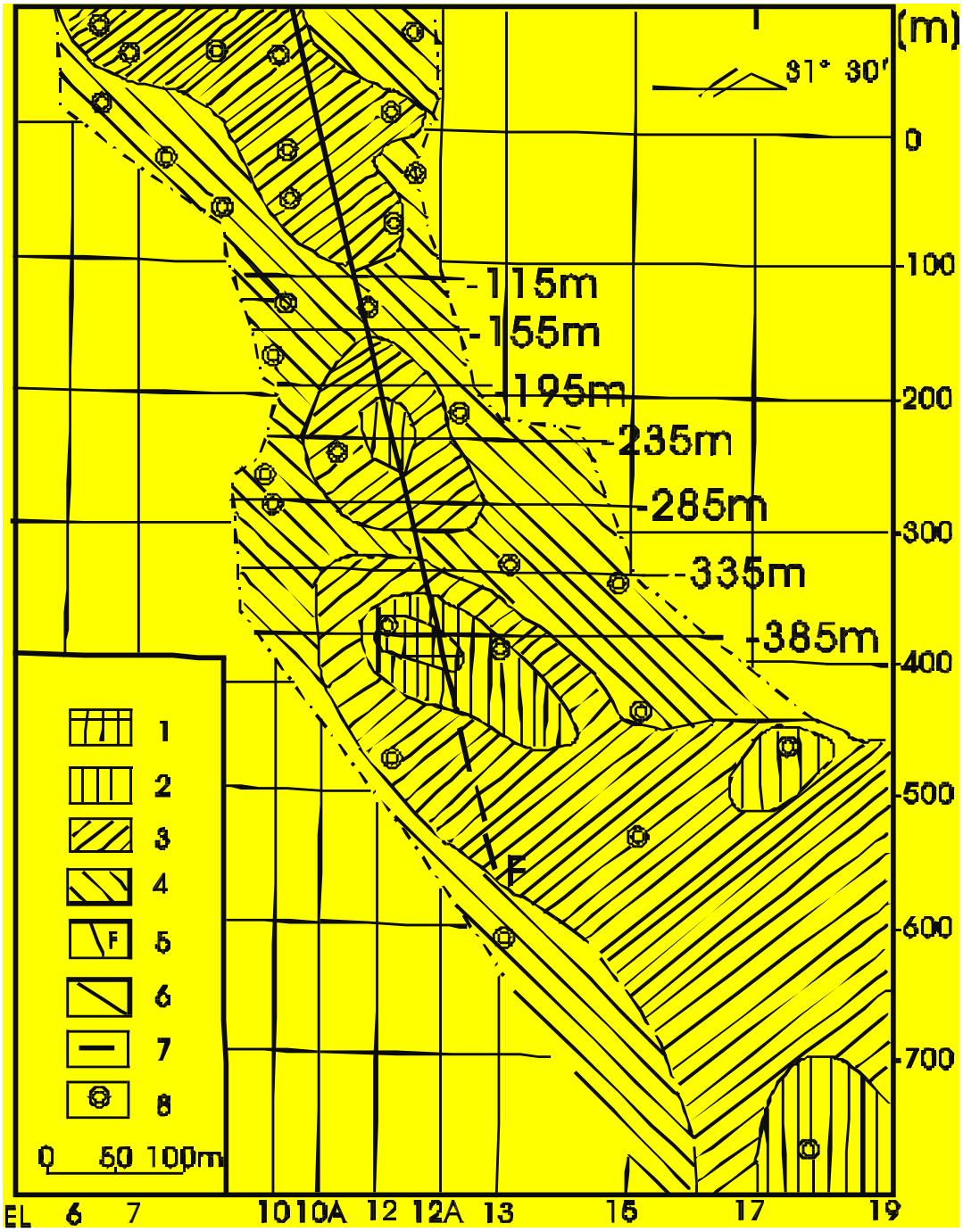


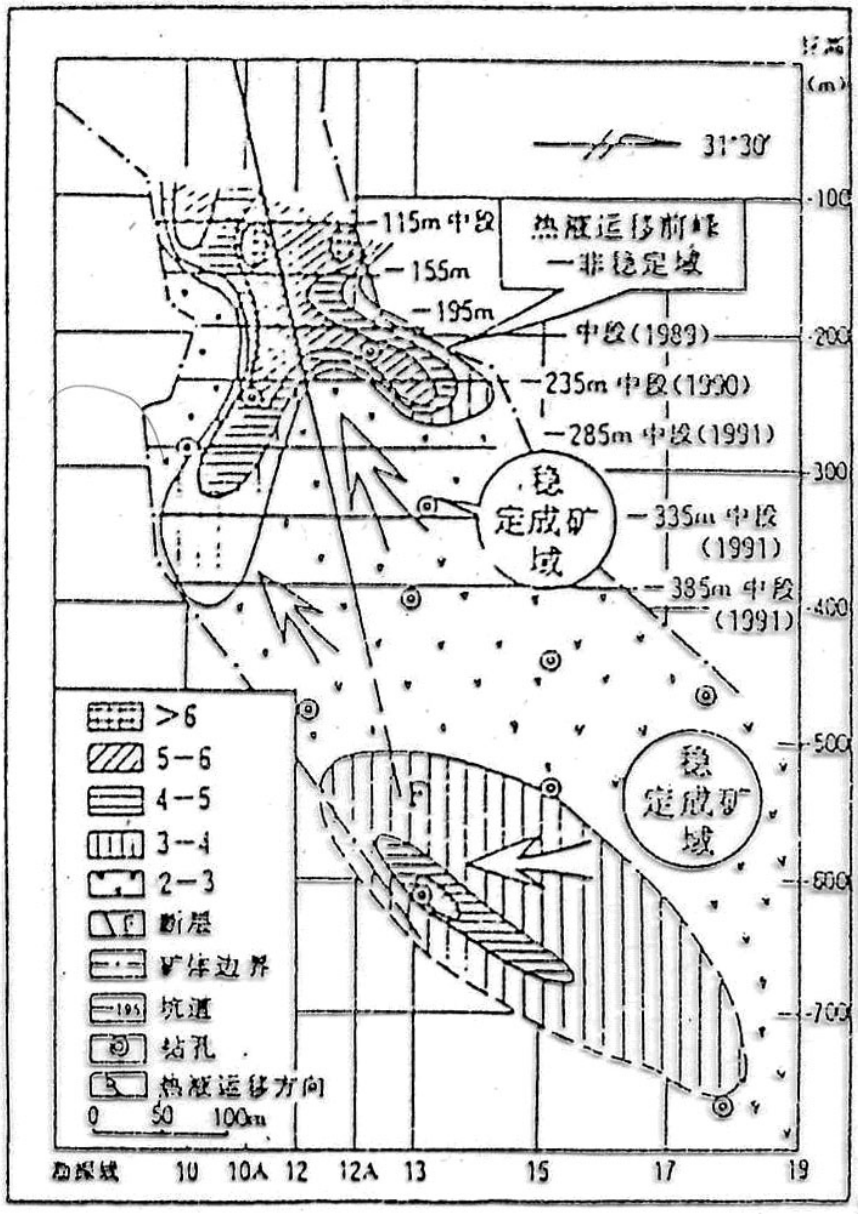
Fig. 2 Longitudinal profile showing originally delineated orebody No. 2 and its thickness in Jinqingding gold deposit (after S. Li, 1996[1]). 1. >6m, 2. 4-6m, 3. 2-4m, 4. <2m, 5. Fault, 6. Orebody boundary, 7. Gallery level, 8. Bore hole

石英个体发生史在矿物学填图中的应用

✧ 矿物发生史的概念

1. 矿物个体发生史
2. 矿物系统发生史

✧ 乳山金矿石英系统与个体发生史



金青顶矿区石英黄铁矿阶段石英最大环带韵律数等值线垂直纵投影图

石英中流体包裹体参数填图

✧ 石英中流体包裹体分布密度

✧ 石英中流体包裹体均一温度

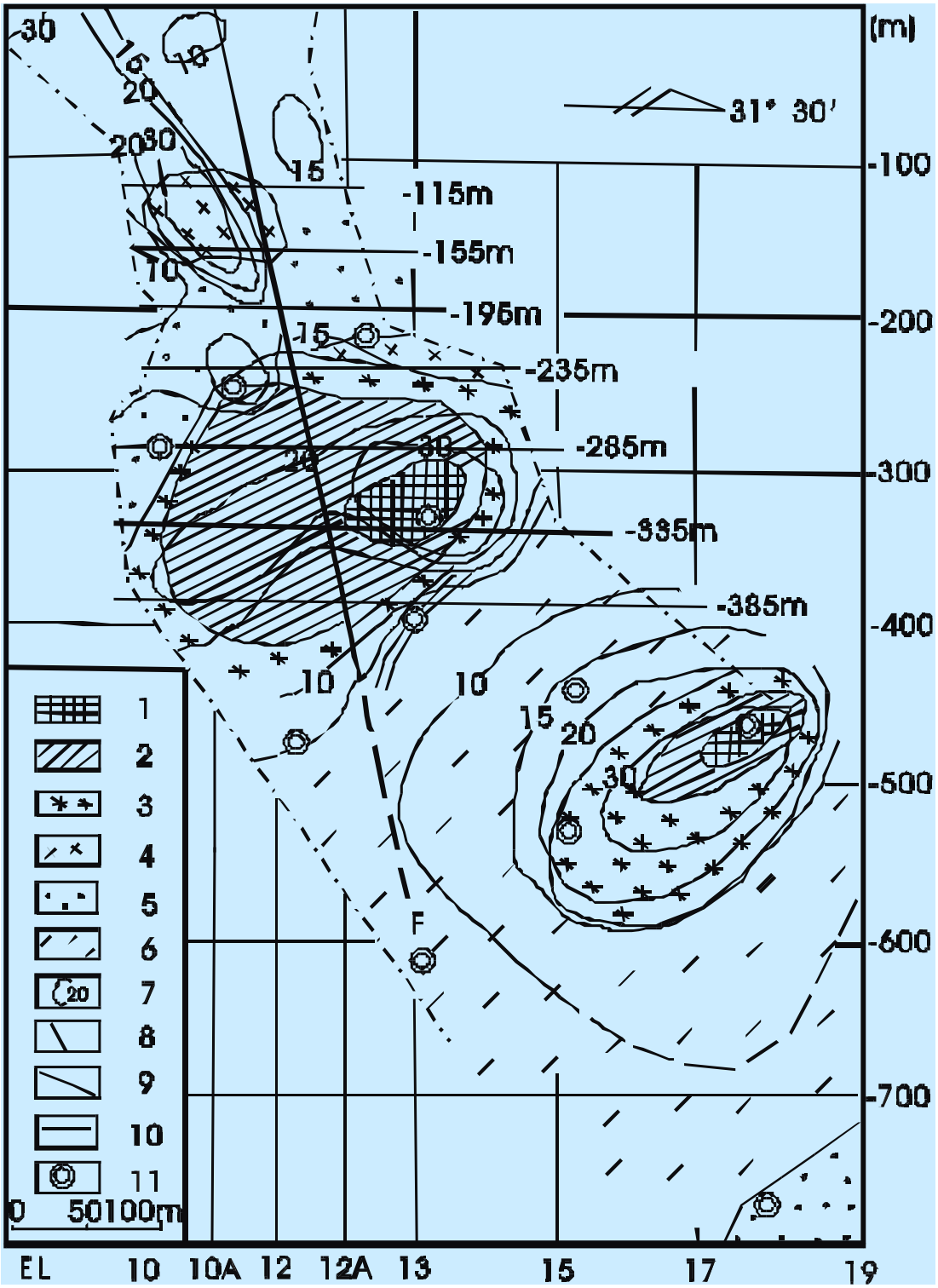


Fig.3 Longitudinal profile showing vertical zonation of different distribution densities of fluid inclusions (number of fluid inclusions per 25μm×25μm)in quartz and location of ore shoots in orebody No.2, Jinqingding gold deposit 1. >70, 2. 70-60, 3. 60-40, 4. 40-30, 5.30-20, 6. <20, 7. Ore shoot sector, 8. Fault, 9. Orebody boundary, 10. Gallery level, 11. Bore hole

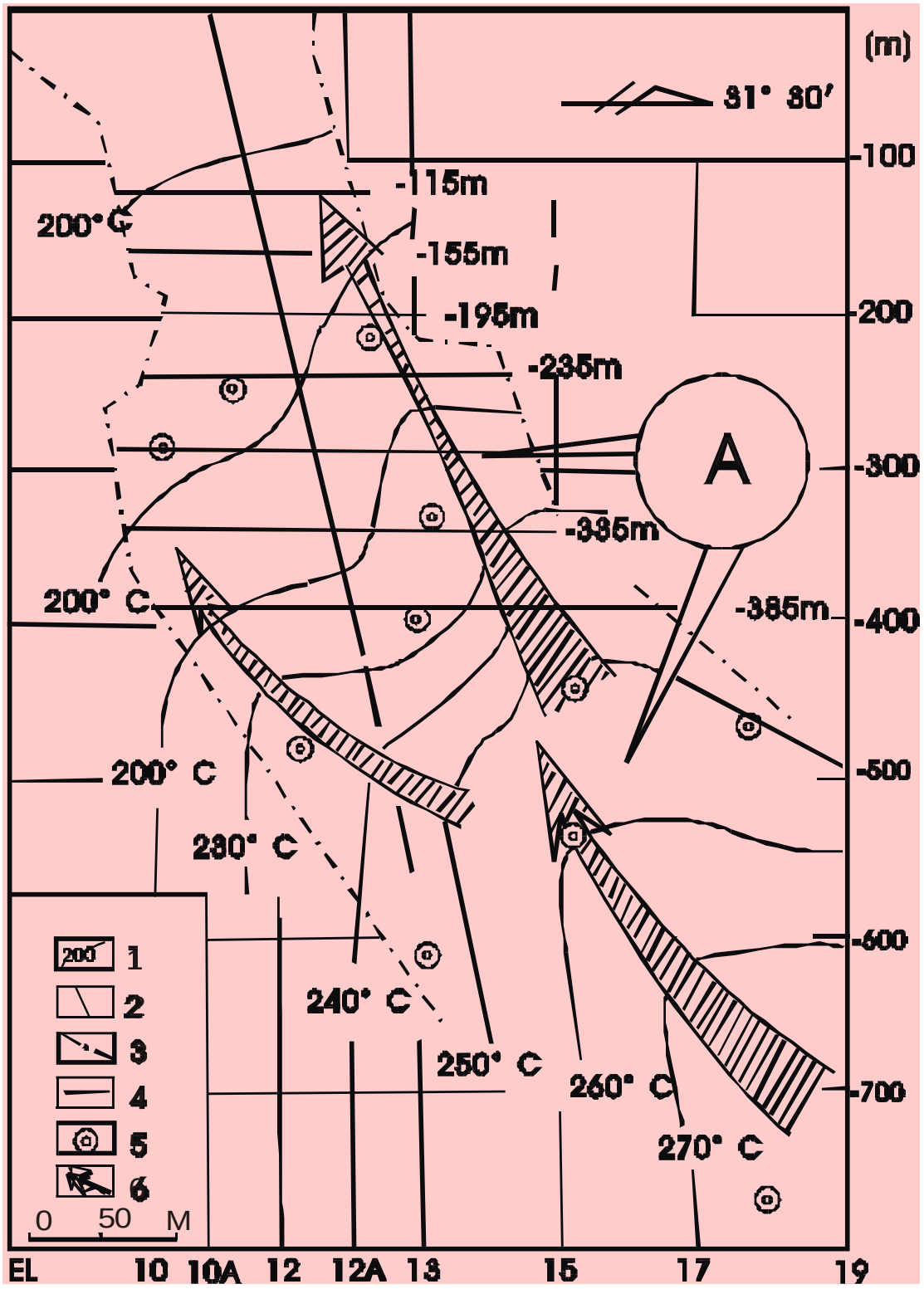


Fig. 4 Longitudinal profile showing vertical zonation of homogenization temperature of fluid inclusions in quartz and location of orebody No. 2, Jinqingding gold deposit. 1. Isotherm, 2. Fault, 3. Orebody boundary, 4. Gallery level, 5. Borehole, 6. Moving direction of hydrothermal fluid.

石英红外光谱参数填图

- ✧ 石英 CO2 相对光密度填图
- ✧ 石英 H2O 相对光密度填图
- ✧ 石英 CO2/ H2O 光密度比值填图

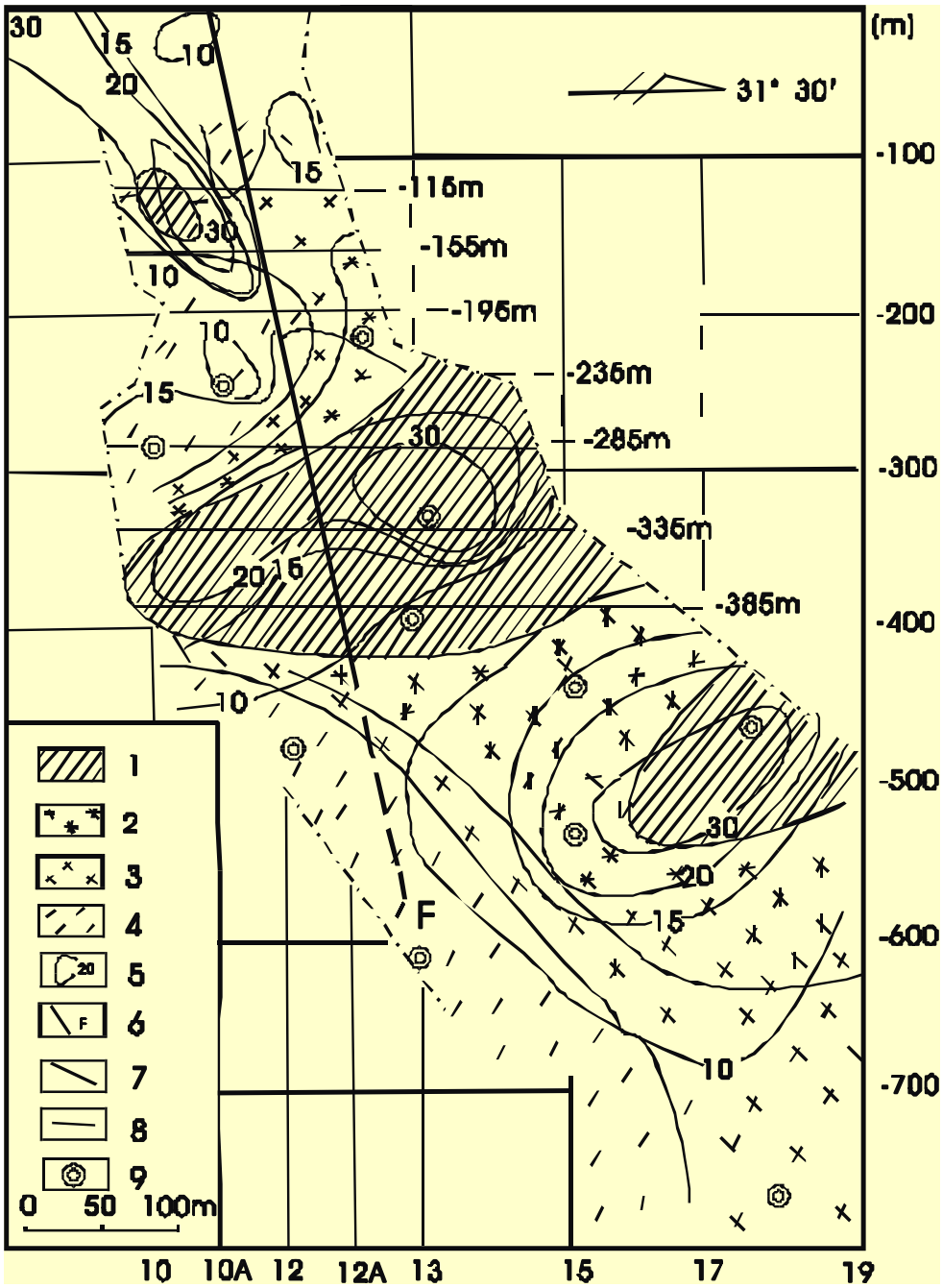


Fig.5 Longitudinal profile showing vertical zonation of infrared optical density of CO_2 (DCO2) in quartz and location of orebody No.2, Jinqingding gold deposit. 1. 0.3-0.5, 2. 0.5-0.6, 3. 0.6-0.7, 4. >0.8, 5. Isoline of gold grade, 6. Fault, 7. Orebody boundary, 8. Gallery level, 5. Borehole.

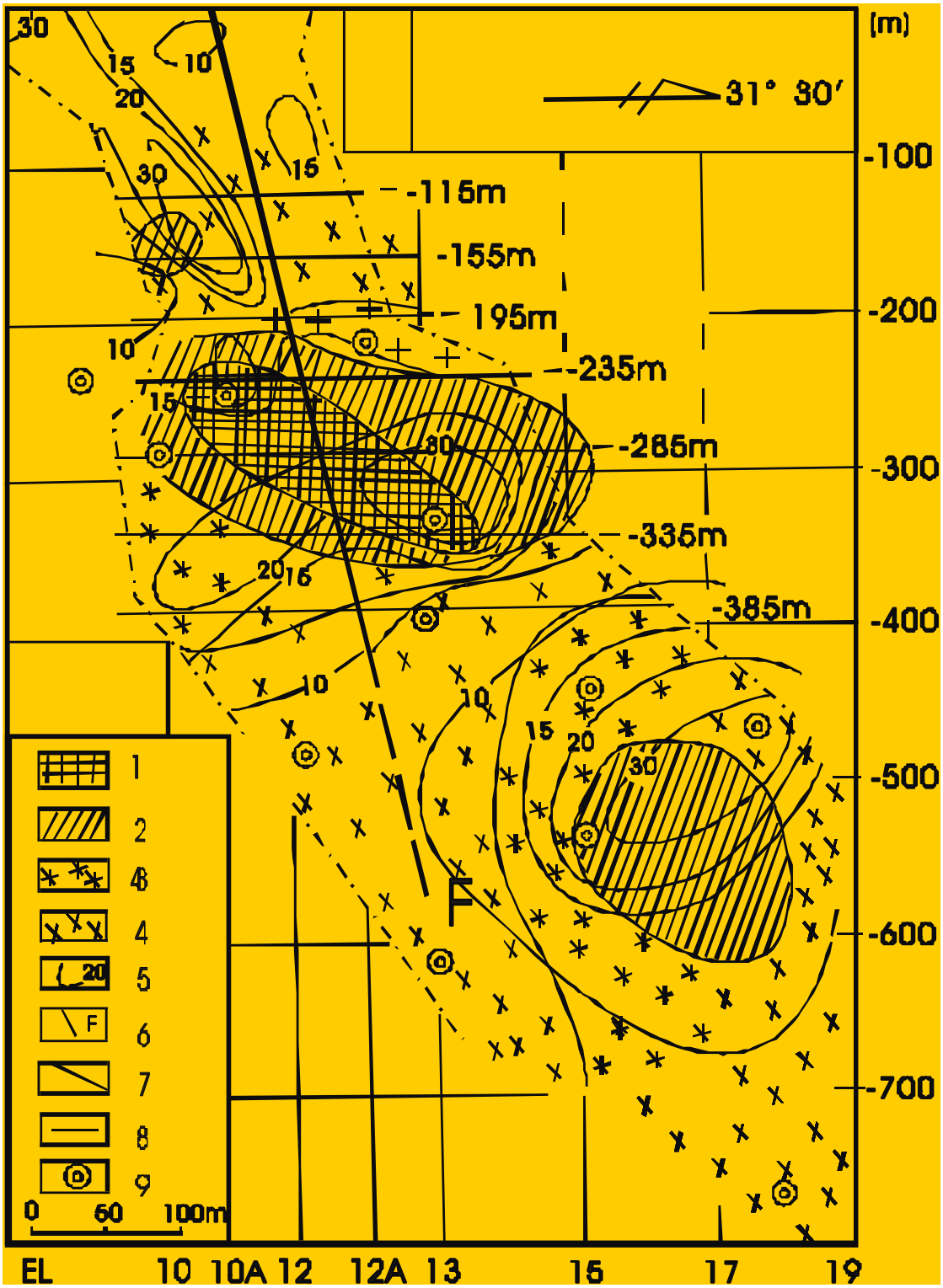


Fig.6 Longitudinal profile showing vertical zonation of infrared optical density of H2O (DH2O) in quartz and location of orebody No.2, Jinqingding gold deposit. 1. 7, 2. 6-7, 3.5-6, 4. 2-5, 5. Isoline of gold grade, 6. Fault, 7. Orebody boundary, 8. Gallery level, 5. Borehole.

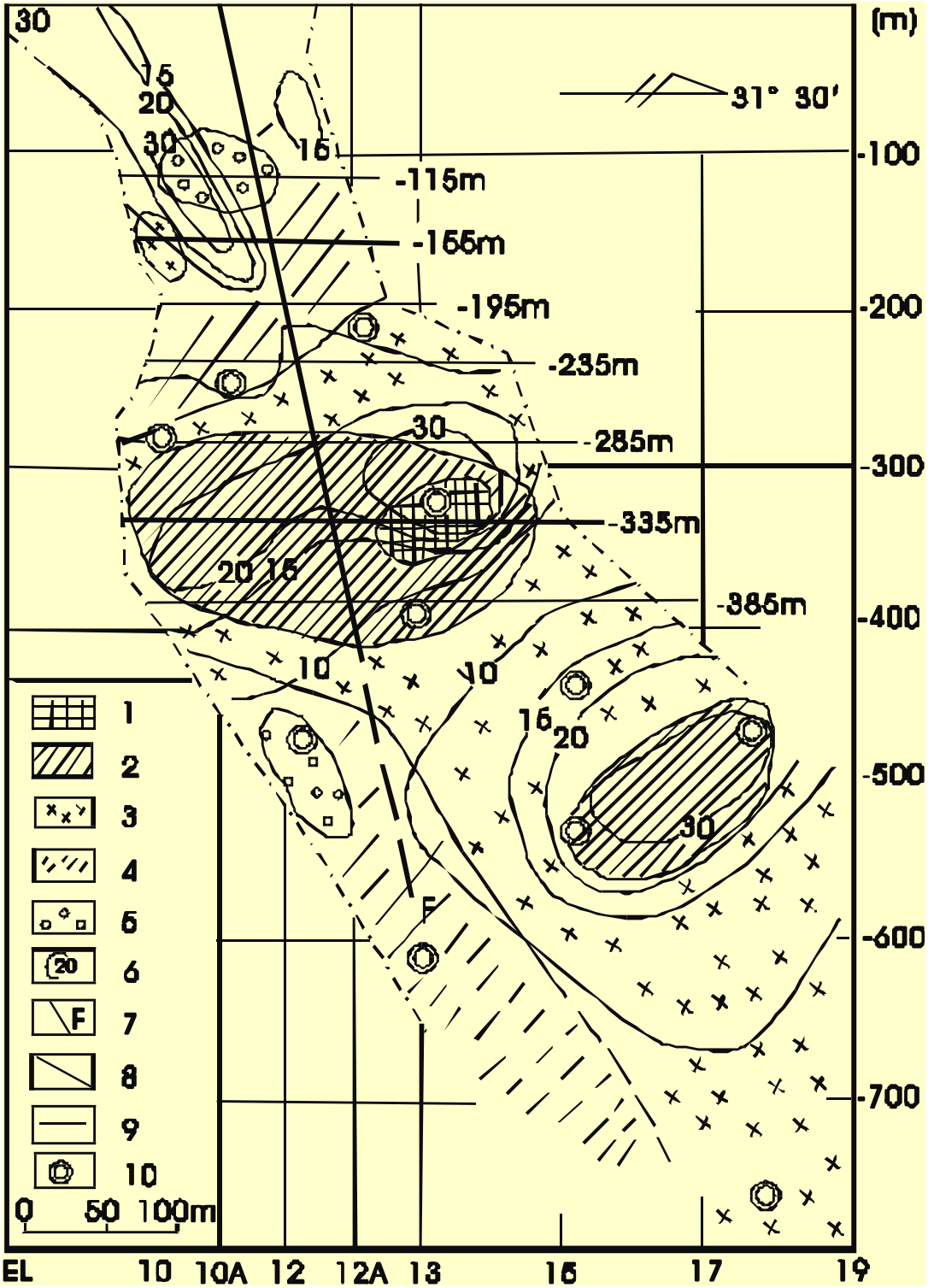


Fig.7 Longitudinal profile showing vertical zonation of infrared optical density ratio of CO2/H2O (DCO2/DH2O) in quartz and location of orebody No.2, Jinqingding gold deposit. 1. ≤0.05, 2. 0.05-0.1, 3. 0.1-0.15, 4. 0.15-0.2, 5. >0.2, 6. Isoline of gold grade, 7. Fault, 8. Orebody boundary, 9. Gallery level, 10. Borehole.

石英发光性参数填图

✧ 石英热发光性的控制因素

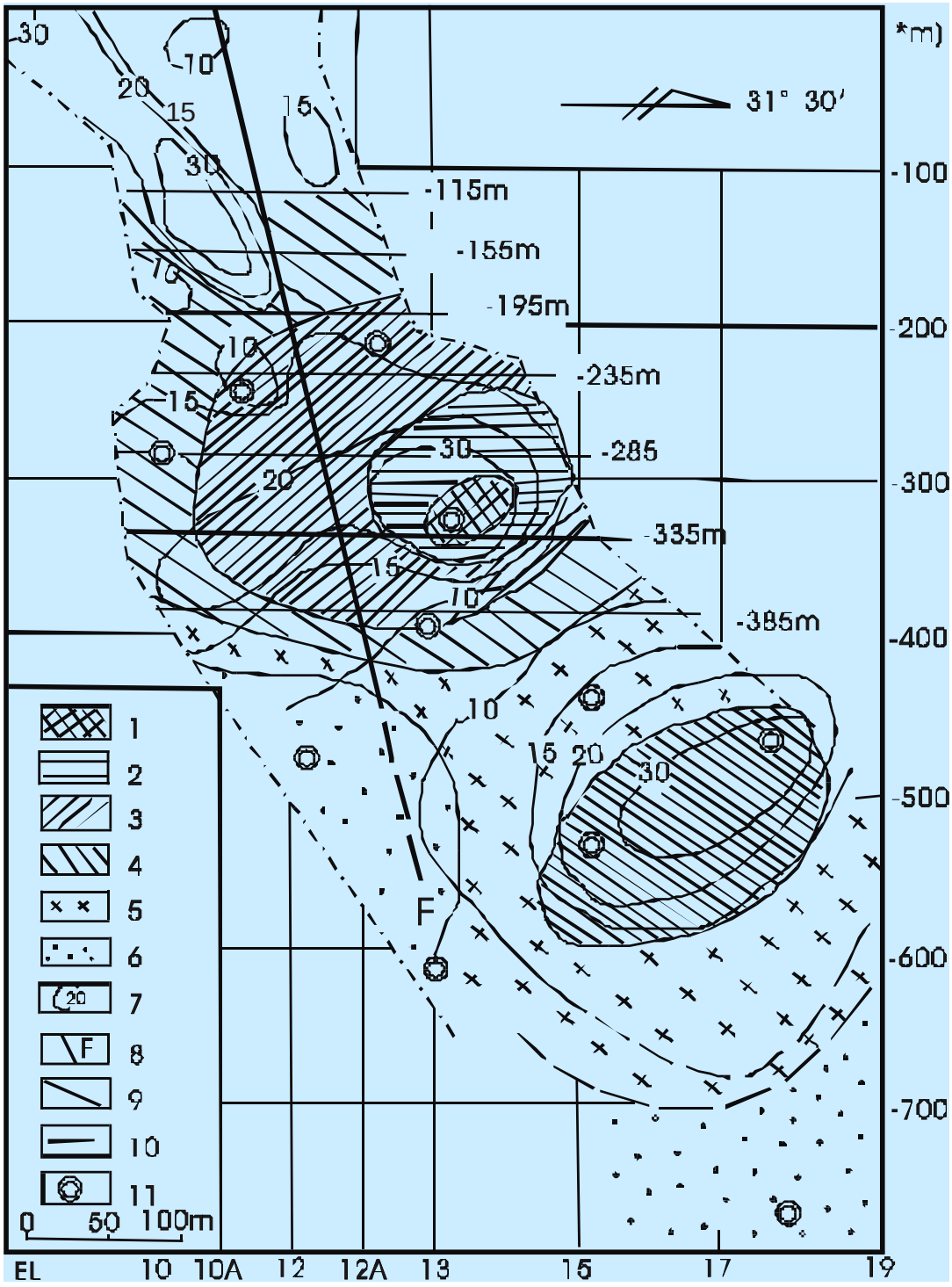


Fig.8 Longitudinal profile showing vertical zonation of total integral intensity of natural thermoluminescence of quartz and location of orebody No.2, Jinqingding gold deposit. 1. >1.4R, 2. 1.2-1.4R, 3. 1.0-1.2R, 4.0.9-1.0R, 5. 0.8-0.9, 6. <0.8R, 7. Isoline of gold grade, 8. Fault, 9. Orebody boundary, 10. Gallery level, 11. Borehole.

黄铁矿形态参数填图

✧ 黄铁矿形态与金矿化阶段与强度

1. 前锋成矿期 a{100}，a{100}+e{hk0}（a 》e）；
2. 主成矿期 e{hk0}， e{hk0}+o{111}，e{hk0}+t{h11}
3. 成矿晚期 a{100}，a+o

✧ 黄铁矿形态参数设置

Ypy=4t’%+3 e’%+2o’%-a’%

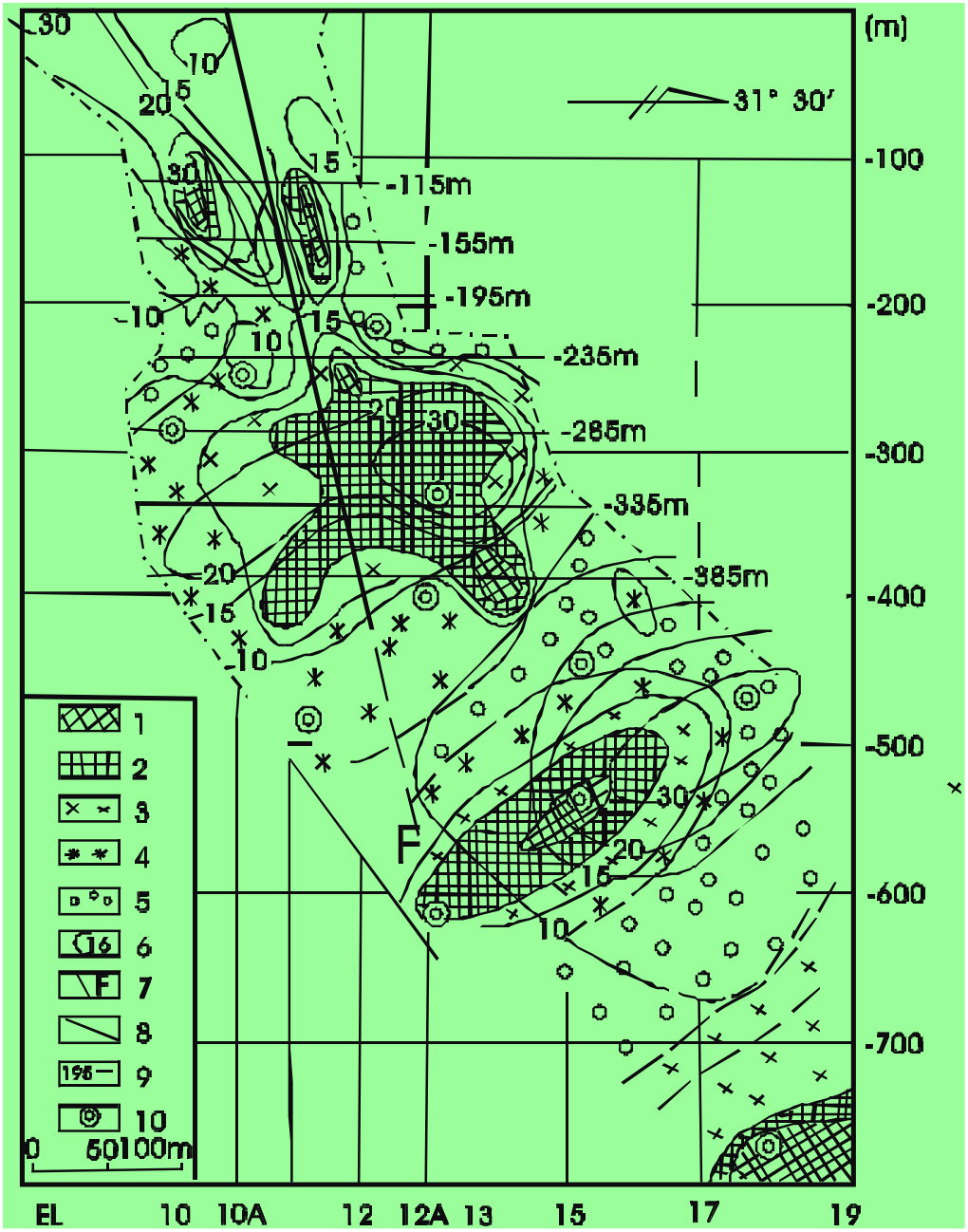


Fig.10 Longitudinal profile showing vertical zonation of crystallomorphological ballotage scores of pyrite (Y) and location of orebody No.2, Jinqingding gold deposit. 1. >120, 2. 100-120, 3. 70-100, 4. 50-70, 5. <50, 6. Isoline of gold grade, 7. Fault, 8. Orebody boundary, 9. Gallery level, 10. Borehole.

黄铁矿热电性参数填图

- ✧ 黄铁矿热电系数影响因素
- ✧ 黄铁矿热电性参数选择

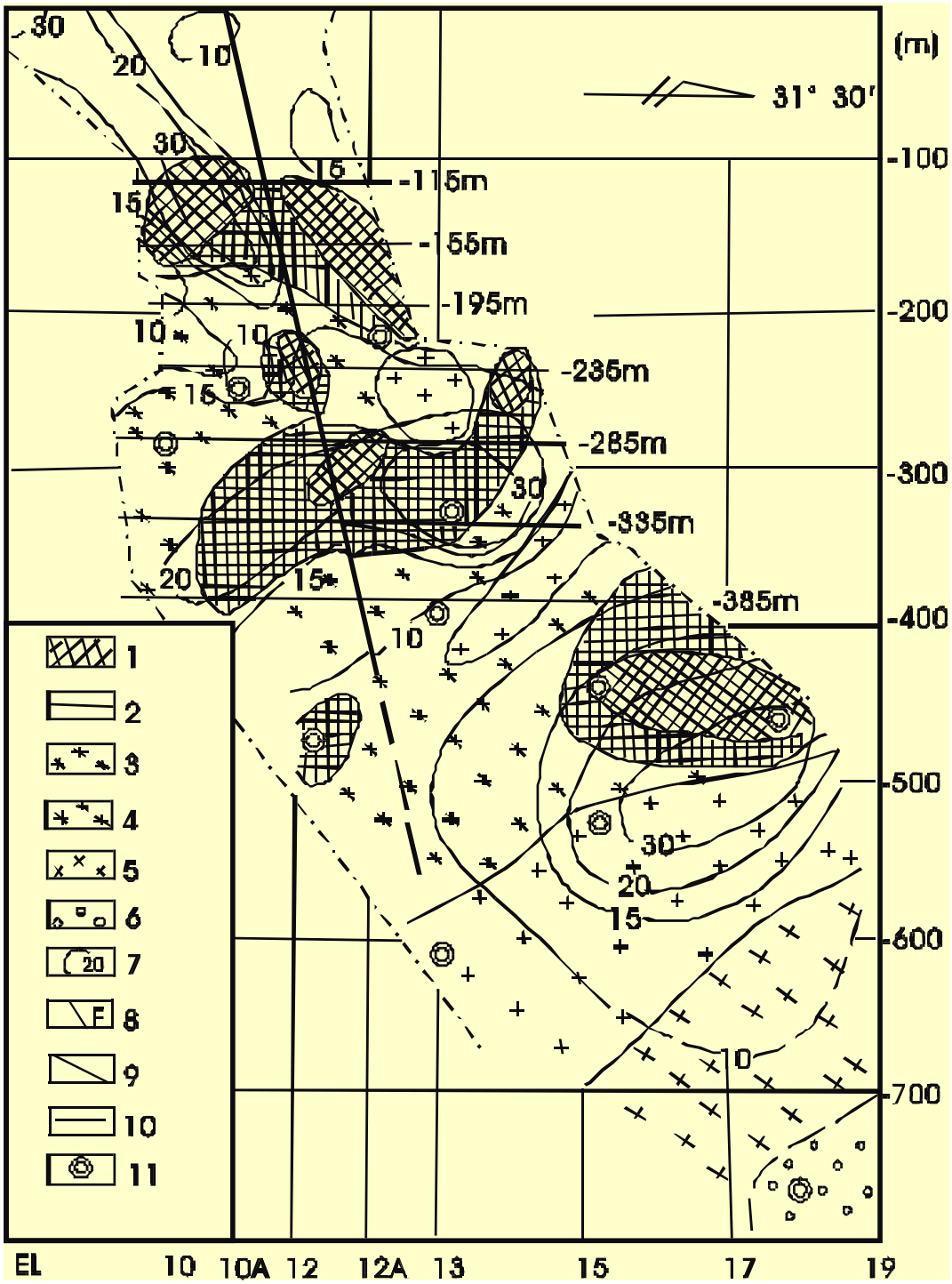


Fig.11 Longitudinal profile showing vertical zonation of percentage of thermoelectric conduction P-type of pyrite (P%) and location of orebody No.2, Jinqingding gold deposit. 1.100%, 2. 95%-100%, 3. 80%-95%, 4. 50%-80%, 5. 40%-50%, 6. <40%, 7. Isoline of gold grade, 8. Fault, 9. Orebody boundary, 10. Gallery level, 11. Borehole.

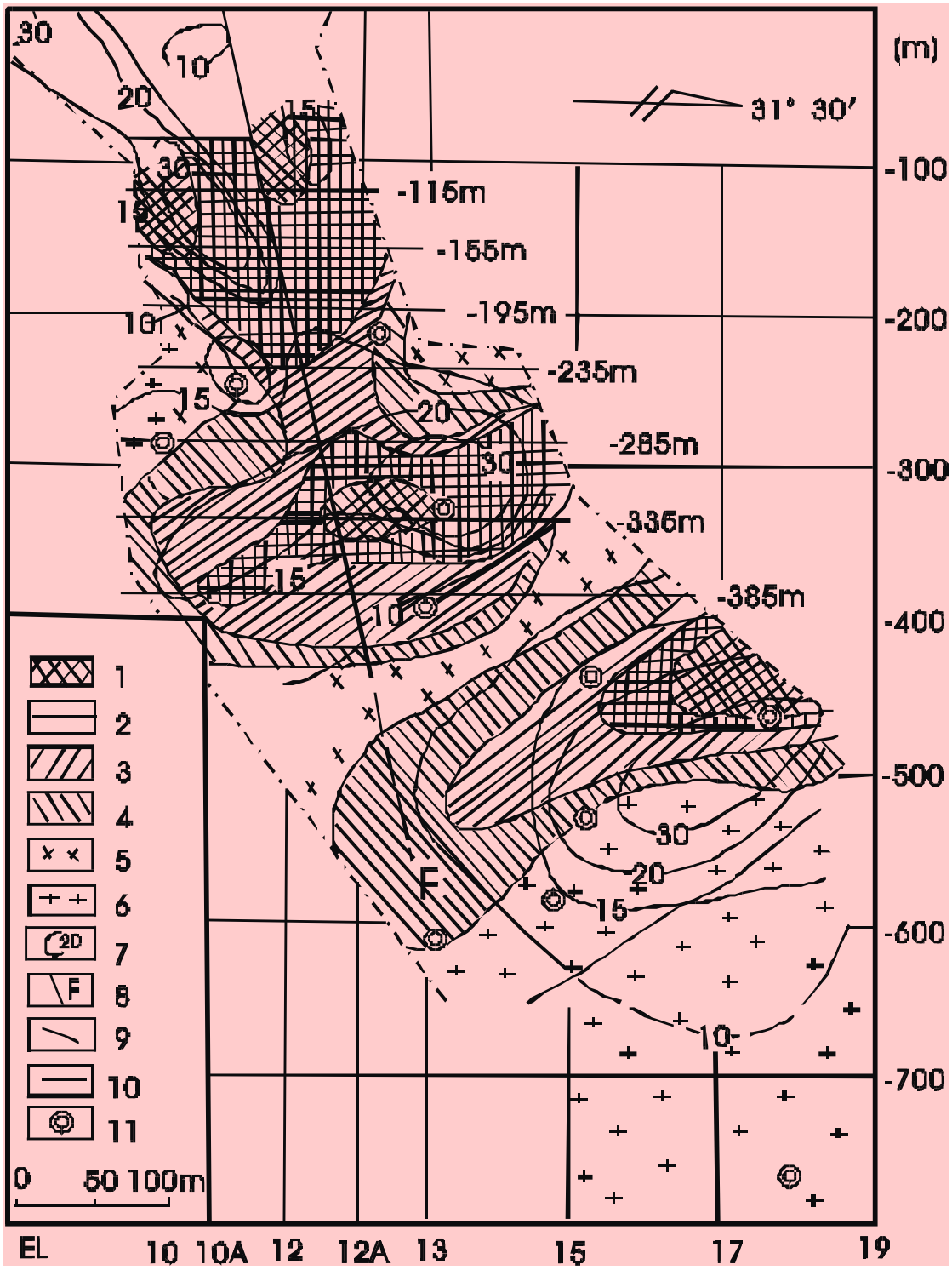


Fig.12 Longitudinal profile showing vertical zonation of average thermalelectric coefficients (+α) of pyrite and location of orebody No.2, Jinqingding gold deposit. 1.100%, 2. 95%-100%, 3. 80%-95%, 4. 50%-80%, 5. 40%-50%, 6. <40%, 7. Isoline of gold grade, 8. Fault, 9. Orebody boundary, 10. Gallery level, 11. Borehole.

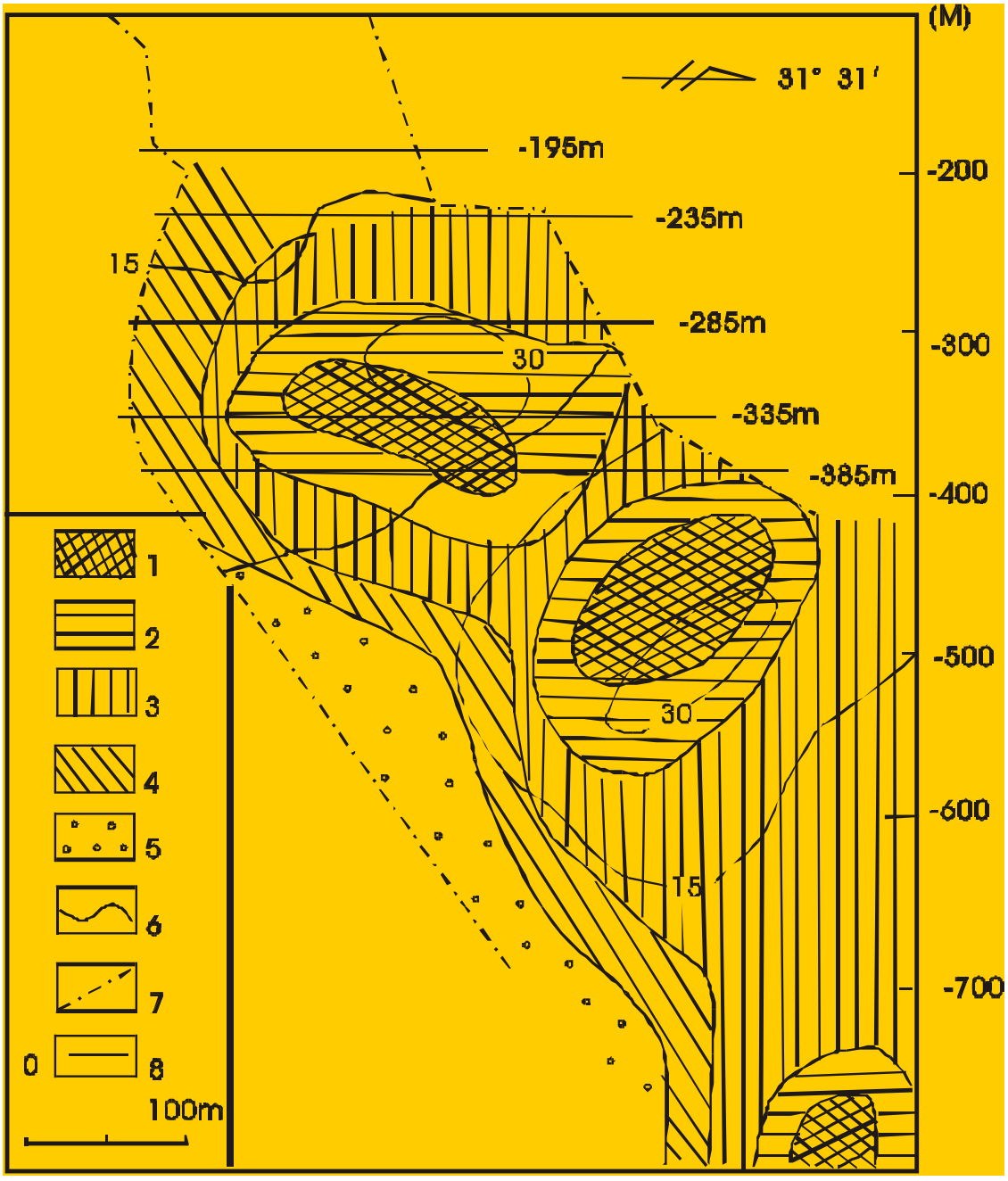


Fig.13 Longitudinal profile showing vertical zonation of *a*0 values of pyrite and location of orebody No.2, Jinqingding gold deposit. 1. <0.5418nm, 2. 0.5418-0.5420nm, 3. 0.5420-0.5422nm, 4. 0.5422-0.5424nm, 5. >0.5424nm, 6. Pay ore sector, 7. Orebody boundary, 8. Gallery level.

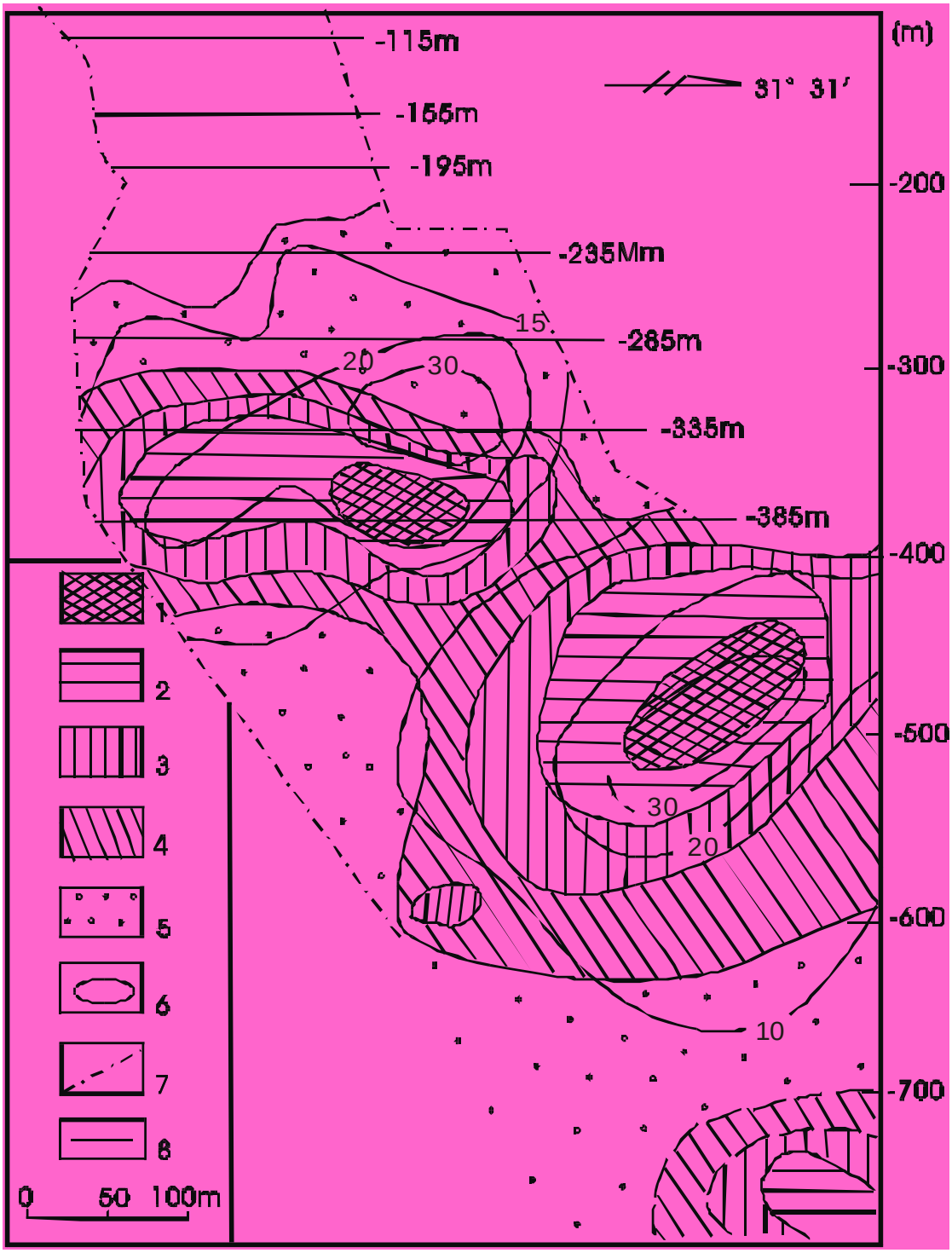
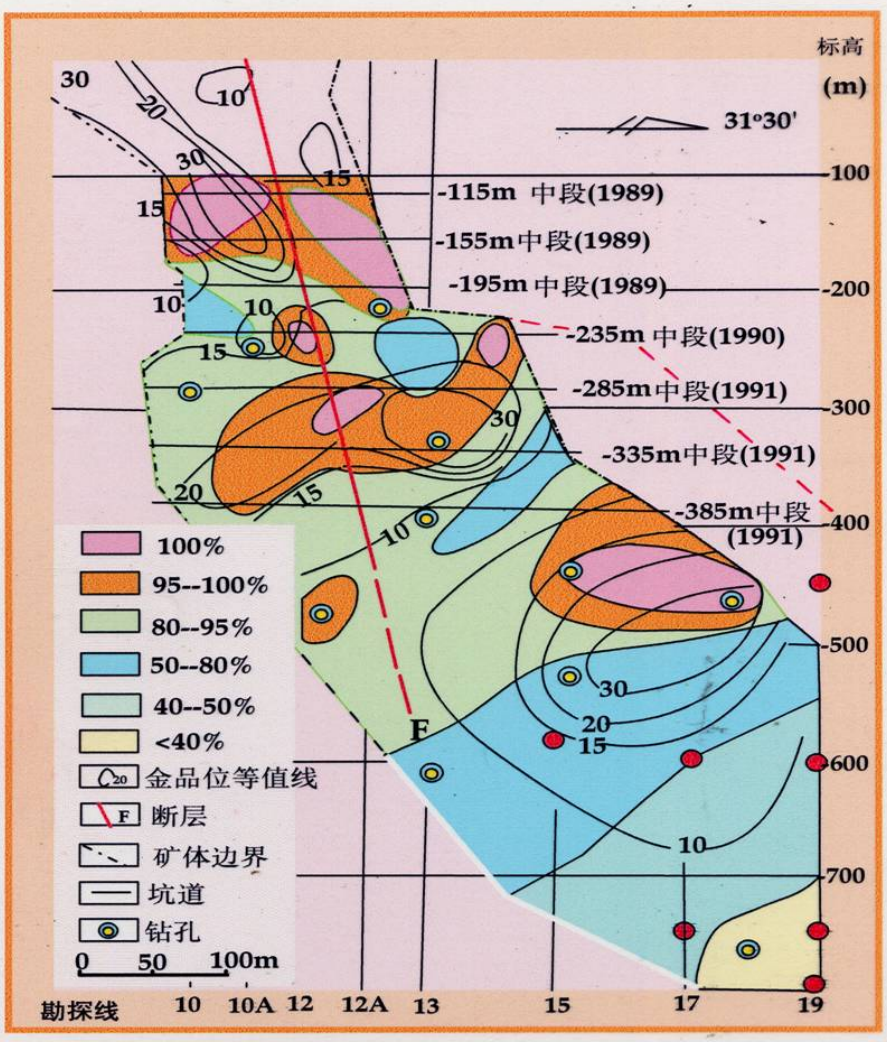


Fig.14 Longitudinal profile showing vertical zonation of infrared special peak values υ_S-s of pyrite and location of orebody No.2, Jinqingding gold deposit. 1. >419cm-1, 2. 419-418cm-1, 3. 418-417cm-1, 4. 417-416cm-1, 5. <416cm-1, 6. Isoline of gold grade, 7. Orebody boundary, 8. Gallery level.



乳山金矿主矿体P型黄铁矿出现率等值线垂直纵投影图

案例 2：胶东焦家金矿床矿物学填图；

地质背景与矿化特征

a 习性晶黄铁矿微形貌

✧ 具 s 面 a 习性晶

✧ 具 f 面 a 习性晶

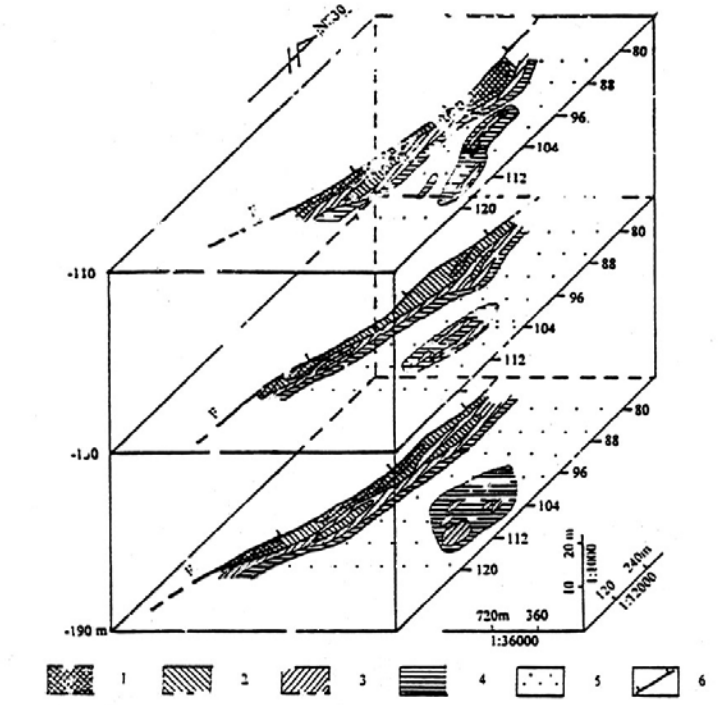


图 1`-9 胶东焦家金矿黄铁矿晶体形态百分含量值立体图

Fig. 1(-9 Mineralogical tareo profile of percentage of pyrite crystal habits in Jiaojia Gold Mine in Jiaodon Distric

1. f=100-90%; 2.f=90-80%; 3.f=8(-70%; 4.f=70-6.%; 5.f<60%; 6.焦家主断裂

注:f=Σ{100}习性晶/(Σ{100}习性晶+Σ{210}习性晶+Σ{111}习性晶)× 100%。其中{100}习性晶包括{100}、{100}＞{210}、{100}＞{111}、{100}＞{210}+{111}晶形；{210}习性晶包括{210}、{210}>{100}、{210}＞{100}+{111}、{210}＞{111}晶形；{111}习性晶包括{111}、{111}>{100}、{111}>{210}晶形。

本图统计 123 个样品，5040 粒黄铁矿晶体绘制而成。

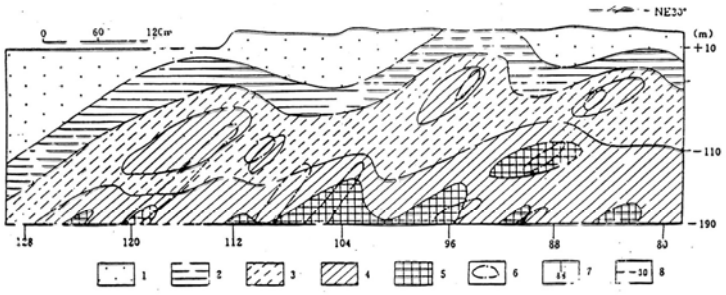


图 10-10 焦家金矿黄铁矿晶形的 f 值（具 S 面黄铁矿晶体形态百分值）及富矿位置剖面图

Fig. 10-10 Mineralogical transversal profile of crystal forms of pyrite and f values (crystallomorphological ballotage scores) and location of rich ore sectors of Jiaojia Gold Mine

1.f<75%; 2.f=75%— 80%; 3.f=80%— 85%; 4.f=85%— 90%; 5.f>90%; 6.Au>5g/t; 7.勘探线; 8.水平坑道高程

注:f值代表 a'+(a'+e)中具 S 面的立方体黄铁矿的百分含量,a'中具 S 面的黄铁矿形成时的碳酸盐胶形成具 F 面立方体黄铁矿的高。

案例 3：胶东区域矿物学填图

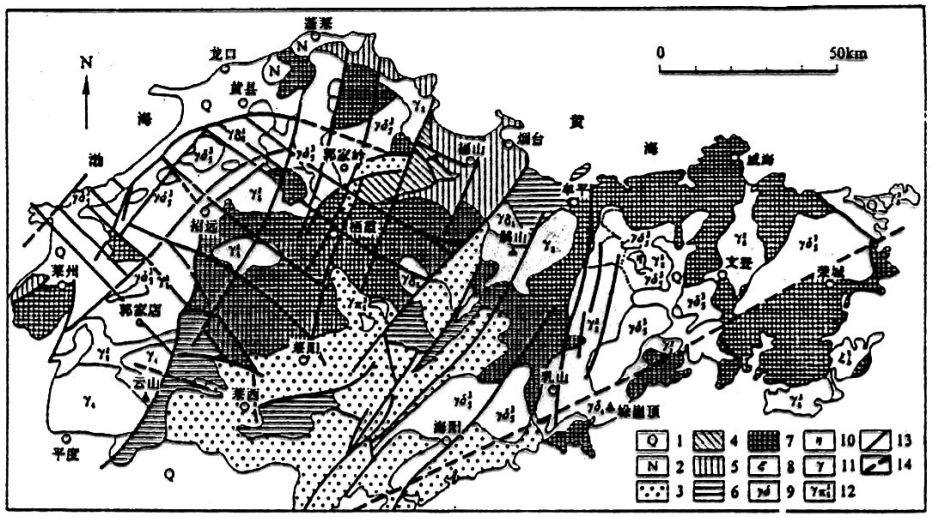


图 1-1　胶东地区区域地质略图

(转引自陈光远等, 1993)

1-第四系；2-第三系；3-侏罗-白垩系；4-蓬莱群；5-粉子山群；6-荆山群；7-胶东群；8-正长岩；9-花岗闪长岩；10-二长岩；11-花岗岩；12-花岗斑岩；13-断层；14-推测断层

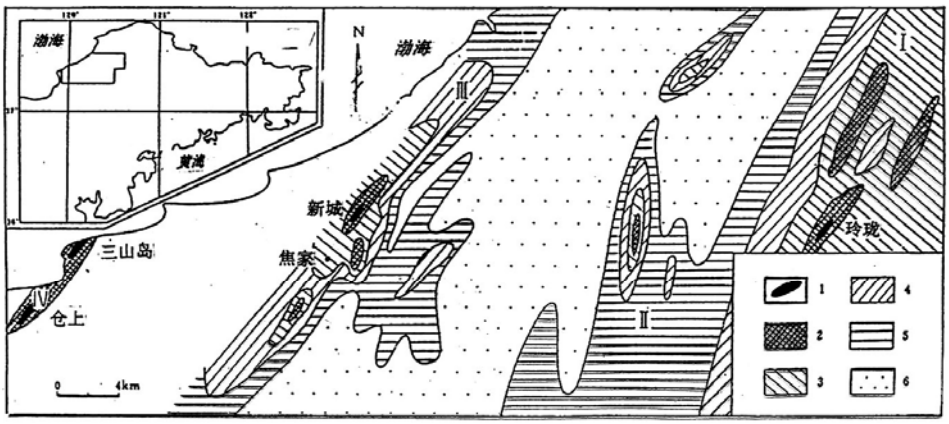


图 2-1　胶东西北部 P 型黄铁矿出现率[P/(P+N)]等值线图

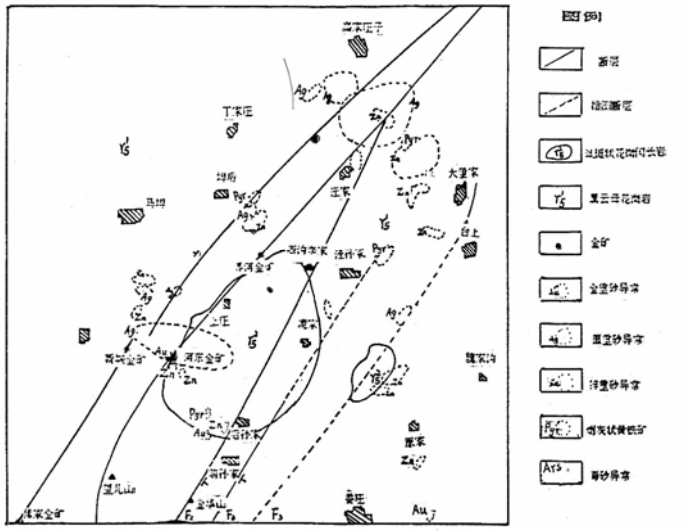
填图面积: 1350km²　矿床数: 63 个　黄铁矿测量粒数: 19987 粒

单位面积黄铁矿粒数: 14.81 粒/km²　单位面积矿床数: 0.05 个/km²

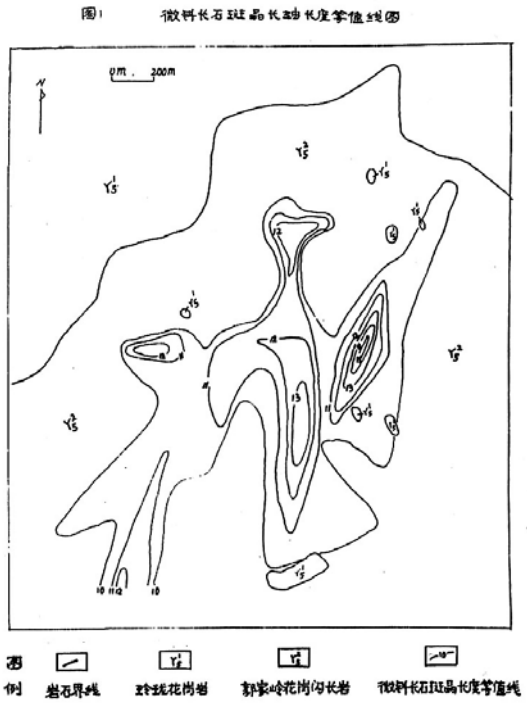
1-P/(P+N)=100%；2-P/(P+N)=100-80%；3-P/(P+N)=80-50%；4-P/(P+N)=50-20；5-P/(P+N)=20-0%；6-P/(P+N)=0%

案例 4：胶东上庄斑状花岗闪长岩区矿物学填图

图16 山东招远县西北部地质草图
1：100000



化探资料据长春地质学院、招远黄金公司 1988



等值线区以 NNE 向延展为主，与区域构造线一致；
等值线区次以 SN 向延展，与岩株中部斑晶密度高值区一致；
等值线在西南未闭合，岩体应向西南延伸。

成因矿物学案例分析（一）——弓长岭角闪石矿物族系统发生史与条带状含铁建造（BIF）

- ✧ 矿物系统发生史（Phylogeny）概念
- ✧ 地球矿物类系统发生的若干规律——加速周期性、不可逆性、以及 Mg—Ca—Na—Fe—Mn—Li 演化
- ✧ 弓长岭火山沉积建造特征
  弓长岭角闪石系统发生史——镁普闪石—阳起普闪石—阳起石—镁铁闪石—钠铁闪石—铁闪石
- ✧ 铁矿石赋存层位

成因矿物学案例分析（二）——矿物生长理论-微形貌与元素过饱和度

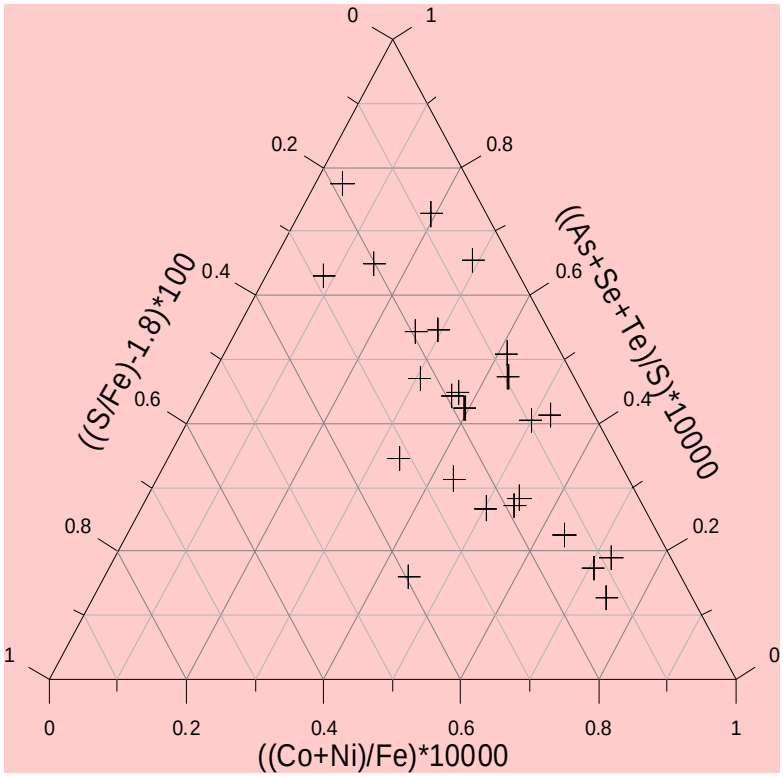
- ✧ 矿物生长理论：层生长与螺旋生长、外因
- ✧ 矿物微形貌：多角螺旋—圆滑螺旋—生长岛—生长层
- ✧ 矿物形态：粒状晶—骸晶—树枝晶
- ✧ 意义

成因矿物学案例分析（三）——矿物个体发生史与冲江花岗闪长岩钾长石斑晶成因

- ✧ 成因观点
- ✧ 环带结构、矿物包体、自形晶

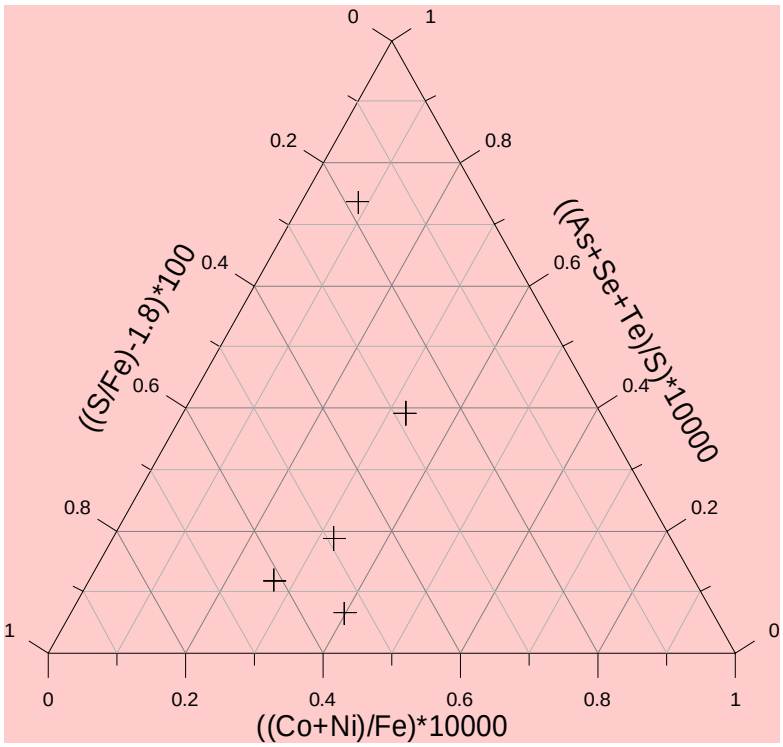
成因矿物学案例分析（四）——热水成因矿床的矿物学标型及华南含多元素黑色岩系和甲马矿床成因判别

- ✧ 矿物组合：As、Sb、Bi 的硫化物+重晶石+钡冰长石+钠长石
- ✧ 矿物稀土元素和微量元素
- ✧ 矿物同位素



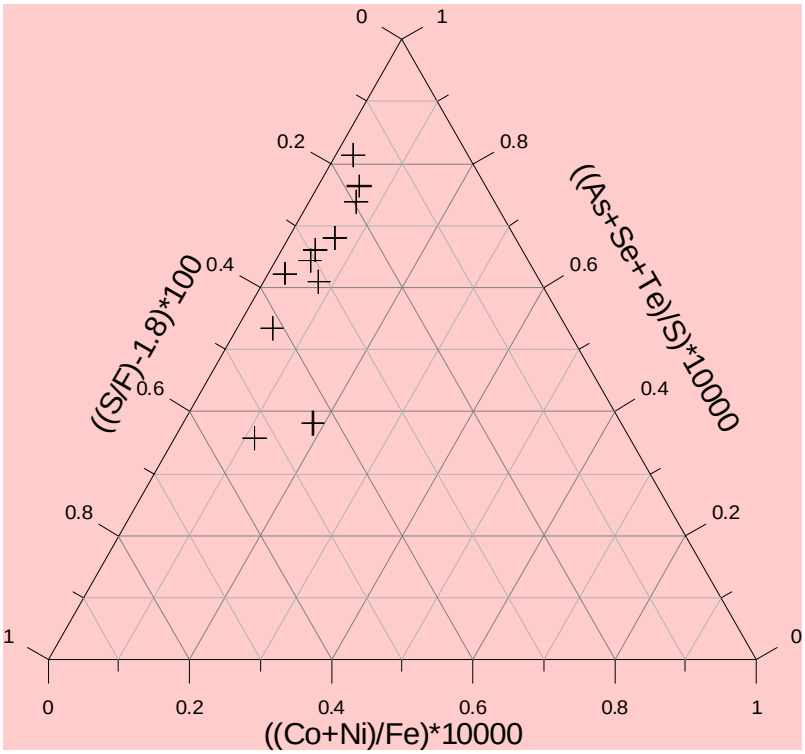
遵义中南村黑色岩系中的黄铁矿成分关系三角图

Pyrite Composition Trigraphy



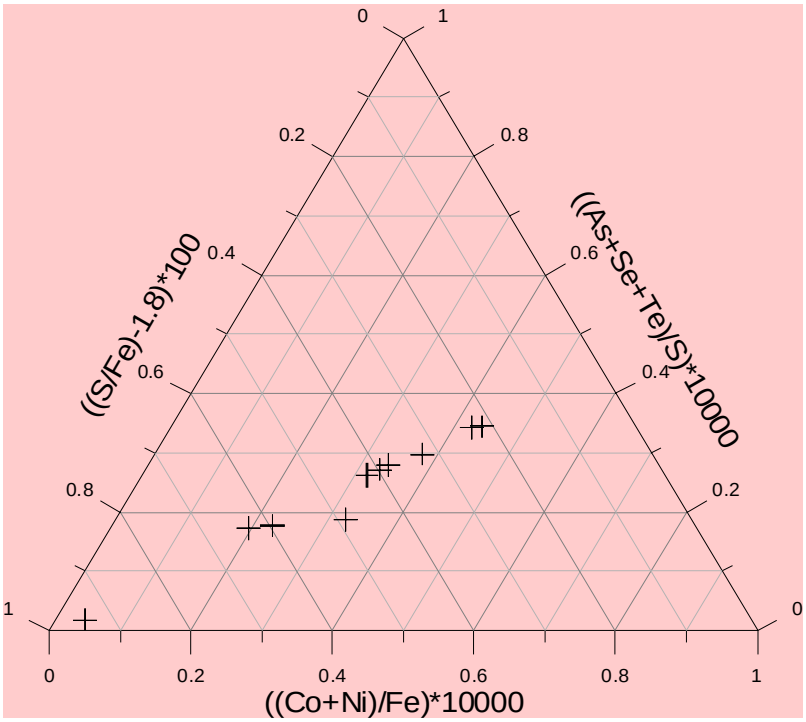
界河金矿不同成矿阶段黄铁矿成分关系三角图

Pyrite Composition Trigraphy



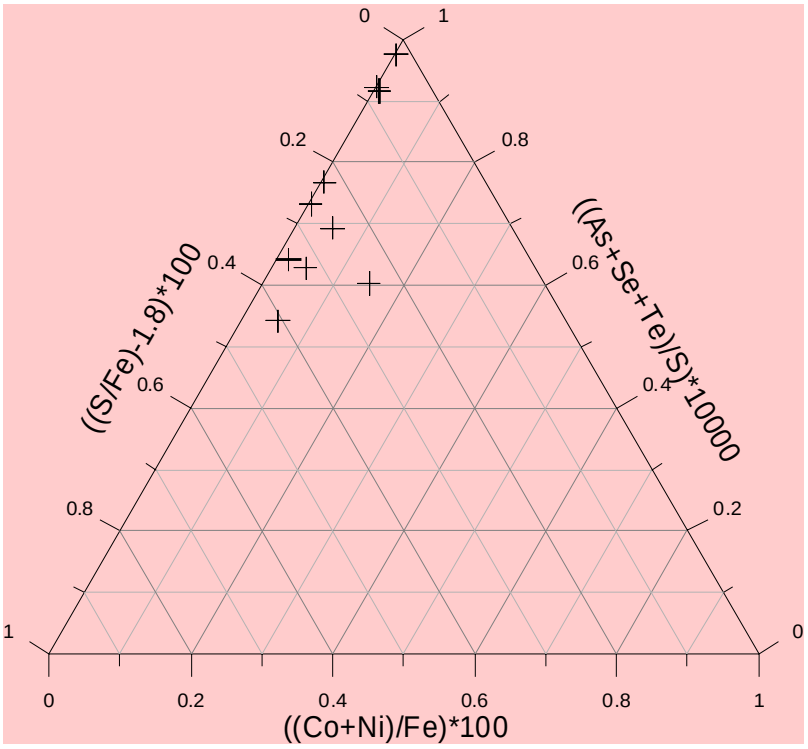
金青顶金矿中的黄铁矿黄铁矿成分关系三角图

Pyrite Composition Trigraphy



玲珑金矿西山矿区黄铁矿成分关系三角图

Pyrite Composition Trigraphy



三山岛金矿床黄铁矿成分关系三角图

Pyrite Composition Trigraphy

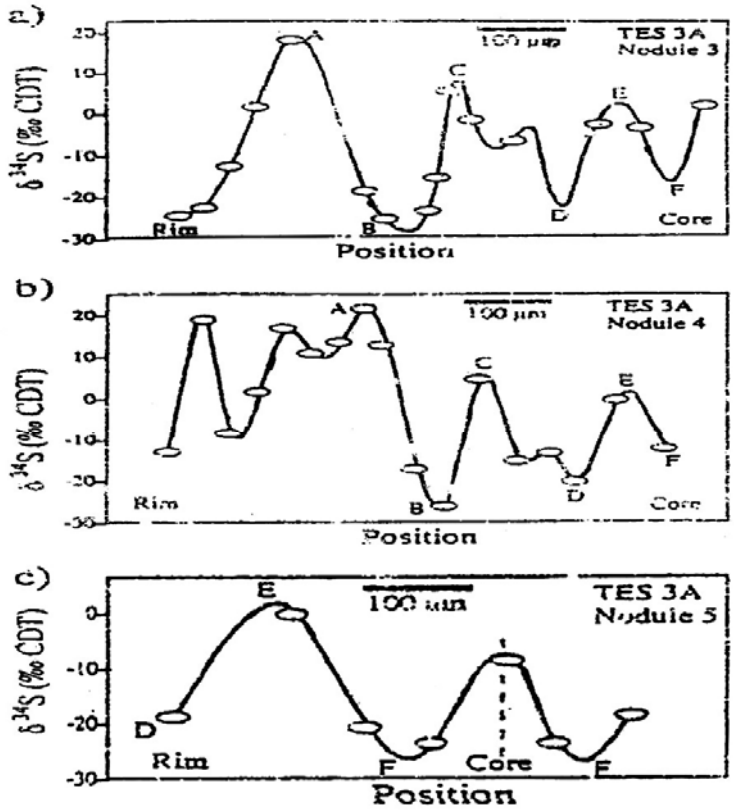


图1-1 天鹅山黄铁矿$\delta^{14}S$—测点位置关系图

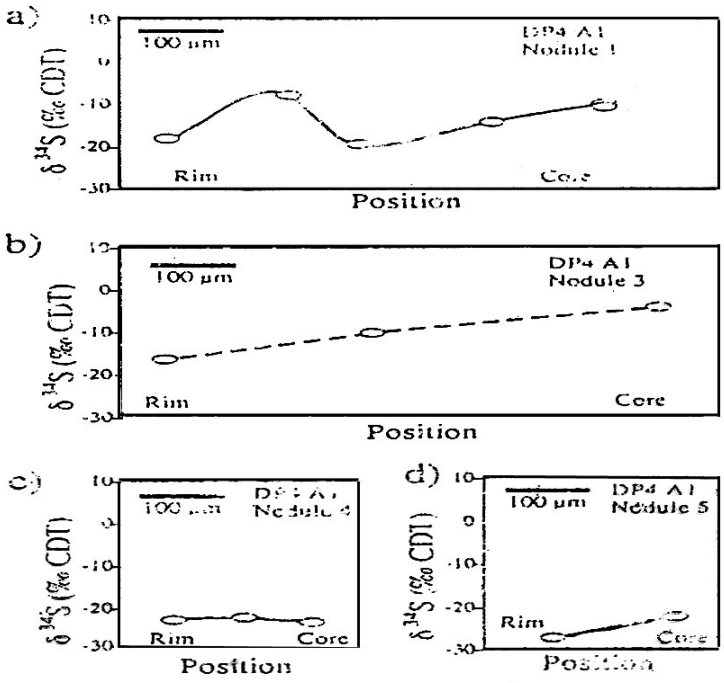


图7-2 大坪黄铁矿$\delta^{14}S$—测点位置关系图