

含錫網狀矿脉的地質及勘探

楊 庶 昌

含錫網狀矿脉虽然在錫石—石英矿系及錫石—硫化物系中之各类型矿床皆能发育，但能单独形成巨大矿床者，仅知有德国阿尔登別格之云英岩类型網狀矿脉。其錫的品位平均可达0.2~0.5%，面积达一平方公里，向下延深二百公尺範圍內全为可采矿石，这说明含錫網狀矿脉具有重要的工业意义。某矿区经过历年勘探結果，含錫網狀矿脉在矿区內广泛出露，不仅佔有很大的空间位置，并已确定若干地点具有工业价值。

矿区內主要錫矿体产出在花岗岩与碳酸鹽类岩石（主要为石灰岩及白云質石灰岩）接触帶之砂巖岩硫化物含矿帶內，也有远离花岗岩体的錫石硫化物系之矿体发育。按其形状可分为：似层层狀（包括透鏡狀）、柱狀、脈狀、囊狀及網狀。其中以似层层狀、柱狀和脈狀矿体規模較大。上列几种形状的矿体，在其形成地質条件上有密切連系，所以在分佈上似具有一定規律。一般在与花岗岩接触处如为易被交代之石灰岩层时，易形成似层层狀及大的透鏡狀矿体。沿断裂帶或裂隙形成脈狀、管狀矿体。在相互交叉裂隙及断裂处形成柱狀或筒狀矿体。而網狀矿脉往往在岩性易破碎之白云質石灰岩內发育，同时常集中于背斜軸部或構造破碎帶內。

一、網狀矿脉分类

虽然網狀矿脉之富集規律尚未完全查明，但就矿区已揭露的資料，按成因和产狀有下列几种：

(1) 散点狀含錫白云質石灰岩：主要特征是岩石不具褐鐵矿化及鉄質侵染現象，与一般矿体圍岩不易区别。据鑑定資料，錫石呈單独晶粒产出于方解石晶粒之間，系气化期方解石重結晶时形成空隙，被錫石充填形成不完整晶体。此类型之发现系依据化验成果。就已揭露者为例，矿体呈似层层狀，中为含錫褐鐵矿层，边缘为褐鐵矿細脈，其边缘方为含錫白云質石灰岩，各层无明显界線。其中品位有高达10%者，一般在左右1%。另外在鑽孔中也发现若干不具褐鐵矿化現象之大理岩，化验結果含錫品位也达到工业要求。

(2) 含錫石微細鉄矿脉浸染之大理岩：此类型

之特点是岩石剧烈鉄矿化，大部呈紅褐色或淡紅色（凭肉眼极易辨認），已全部氧化成为褐鐵矿或赤鐵矿之網狀細脈。据鑑定資料褐鐵矿脉中見有氧化残余黃鉄矿，为原生硫化物細脈氧化而成，錫石分佈于矿脉中央或边缘部份。品位变化极大，由零到百分之几，如主矿体含錫富，則与之相联的網狀矿脉矿体品位也高。

細脈幅寬自0.1—1公分，多分佈于大的似层层狀、脈狀矿体的上下盤及柱狀矿体边缘。所佔面积可达数百至千余平方公尺，延深也有百余公尺。但也有位于矿体附近破碎帶中单独存在的。另一种位于背斜軸部剧烈破碎帶，其分佈面积大者近万平方公尺，但品位变化更大，一般偏低，多为万分之几，目前大部份不具工业价值。

(3) 节理矿脉：此类矿脉往往出露于地表，主要分佈于背斜軸部或断裂破碎較发育的一翼。分佈面积可达数万平方公尺，向下矿化範圍有减小之趋势。多在数組节理及裂隙中有矿液沉淀，而以某一組最为发育，故可视为具一定方向延展的矿脉集合体。这些矿脉寬可由几公分到几公尺，一般在5~50公分。在大矿脉兩側数公分至数公尺內也发育着微細含錫矿脉。

在某区已查明此种矿脉上下延深达三百余公尺，脈間距一般为2~5公尺，也有10~20公尺。此种矿脉不論沿走向傾斜变化都很大，矿脉在数公尺內可膨胀为原寬度十倍或立即尖灭，但在該組节理延長方向上又重新出現。此类矿脉在接近地表处大部已氧化成为褐鐵矿、赤鐵矿脉，但也有未氧化者，在脉中央部份残留着硫化矿物及砂巖岩脉，所以此类矿脉之矿石类型是极复杂的。

(4) 电气石硫化物矿脉：此种矿脉在产狀与形状上与节理矿脉相同，但成因和矿物組合不同。因在汽成及高温热液期形成，故密集于侵入体隆起部份，如侵入体隆起与構造軸線一致时，則富集形成单独矿化区。此种矿脉在某地露头範圍即达数十万平方公尺，向下延深达数百公尺，下部与柱狀矿体相連，品位变化极大，优質样品可达40%，在寬的电气石脉兩側

有矽礫岩及絹云母化，也有微細礦脈穿入圍岩，故部份地區含錫也可達到工業品位。

(5) 蝕變花崗岩中也具有微細的硫化礦脈穿入，部份含錫也夠工業要求。

網狀礦脈在礦區內，依不同成因及不同地質因素之控制而廣泛發育。雖然目前勘探程度尚不夠，但就已知情況而言，其中以發育於大礦體邊緣的含錫石微細鐵礦脈浸染之大理岩類型具工業價值，其它節理礦脈及電氣石脈，根據目前工業品位要求，只能在局部礦化帶中圈出工業礦體。散點狀含錫大理岩價值尚待進一步研究。

二、網狀礦脈勘探方法

目前因對網狀礦脈富集規律尚不清楚，故在哪些地質條件下網狀礦脈的富集能達到工業要求尚不易確定。其次品位不穩定，變化自零至百分之幾十（將礦脈與所夾圍岩合併在一起化驗），依據現在工業品位要求所圈出之礦體，僅為網狀礦脈分佈範圍中的局部地區。現按不同類型網狀礦脈之勘探方法加以簡述：

(1) 散點狀含錫白云質灰岩：就已揭露者為例，礦體產於薄層之似層狀褐鐵礦體上下盤之間，在褐鐵礦體處一至二公尺內，有被含錫石微細鐵礦脈穿插之褐鐵礦化灰岩，在褐鐵礦化灰岩之外二至五公尺內的灰白色、白色白云質灰岩中，含錫也達到工業要求。該褐鐵礦體已被民窿揭露，似層狀礦體大部被采空，所以民窿沿走向及傾斜均按沿脈方式開拓。為了解含錫白云質灰岩之真實厚度，在民窿內一般按第三類型勘探網密度佈置中段及穿脈間距，該礦層平均傾角為20—30度，故穿脈用上下山方式開拓。因民窿內不易施工，工程未嚴格分佈於勘探線上（圖1），經取樣化驗結果，在灰色白色白云質灰岩中，普通含錫達到工業要求，個別品位高達10%。而含錫量之變化，

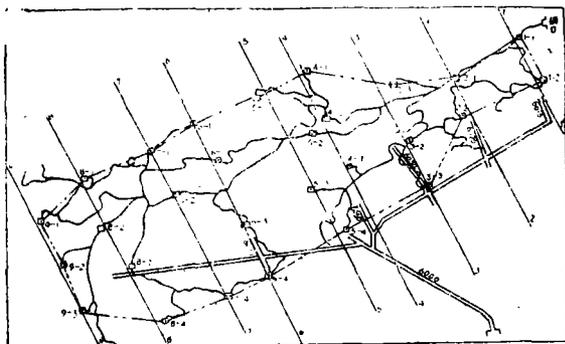


圖1 某礦揭露散點狀白云質灰岩礦體

由中心向邊緣逐漸減低，礦體呈似層狀與圍岩岩性有關（圖2）。礦體邊界之圈定依據化驗結果，其邊界由個別低於邊界品位的樣品來確定。

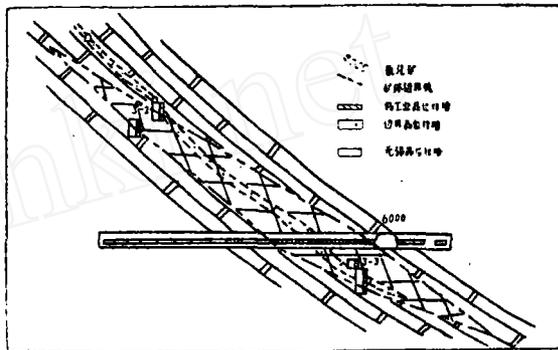


圖2 與圍岩產狀一致的含錫白云質灰岩

(2) 含錫微細鐵礦脈：按產出部位可分為：

① 產於主要礦體邊緣者，產狀與主要礦體一致（圖3）在柱狀礦體平面延長方向，圍岩中含錫量也

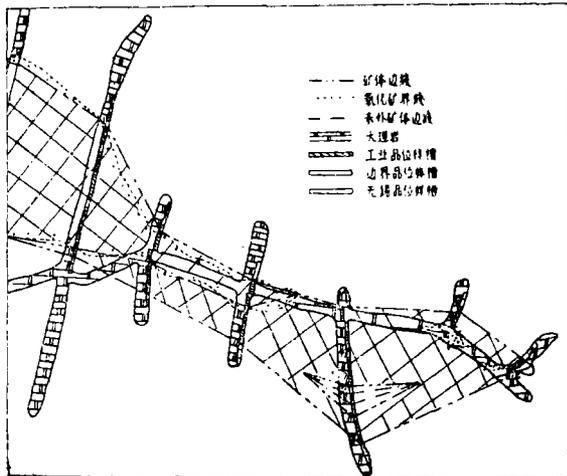


圖3 與柱狀礦體產狀一致的微細鐵礦脈礦體。

達工業要求。因為該類柱狀礦體大部與幾組成礦前裂隙有關，所以熱液沿某一組或幾組裂隙擴散侵染。故此種礦體之勘探和柱狀礦體完全一致，穿脈間距保持不變，穿脈長度按低於邊界品位樣槽為根據而停止掘進。

② 劇烈破碎帶含錫微細鐵礦脈，因破碎帶之延長及延深不易預測，大致按其中最發育之節理（含錫礦脈充填）或較大的礦脈延伸方向佈置工程，穿脈方向垂直礦脈走向（圖4）。因礦脈只在某一範圍內密集，可將此礦脈密集區作為塊狀礦體進行勘探（圖5），採用水平坑探揭穿礦化區，穿脈間距按礦區主要勘探網密度佈置，如品位變化過大時再加密。勘

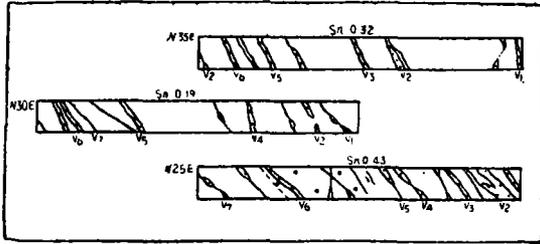


图 4 样槽素描图

探此类矿体在加密工程时宜采用水平鑽代替穿脈，因
此类矿石坚硬，可保証岩矿心質量，但应注意岩心

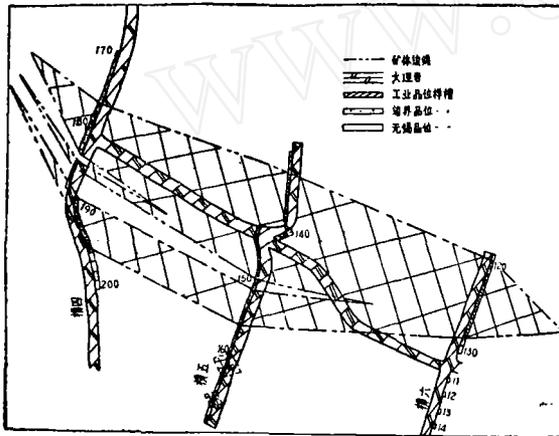


图 5 細脈狀矿体圈定图

是否发生选择性磨損現象。此种勘探方式也适用于若
干微細电气石硫化矿脈密集的地区。

(3) 节理矿脈: 节理矿脈之产状受成矿前节理
及裂隙控制, 此种矿脈沉淀于張力节理及部份剪切节
理中, 呈陡傾斜产出。其生成部位可分为:

① 大矿体分枝形成者 (图 6), 矿脈与主要矿体

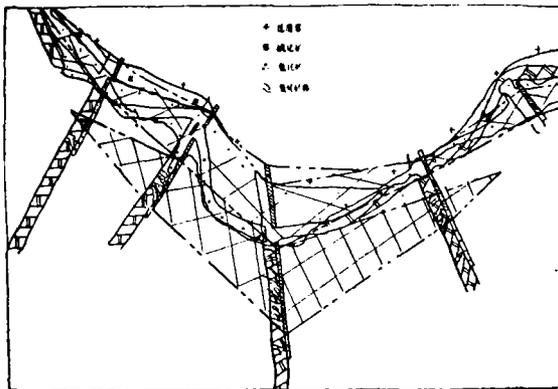


图 6 大矿体外緣节理矿脈

走向斜交或大致平行, 故可按主要矿体之勘探方法
进行揭露。

② 背斜軸部或断裂破碎帶出現之节理矿脈 (包
括电气石硫化矿脈), 因范围广, 首先可采用稀的
勘探網, 視矿体产状, 陡傾斜者以水平坑探为主, 先
依一、二条長穿脈垂直主要矿脈組揭露矿化区全厚度
(如图 7), 沿較大矿脈下盤掘进沿脈坑道, 并作水

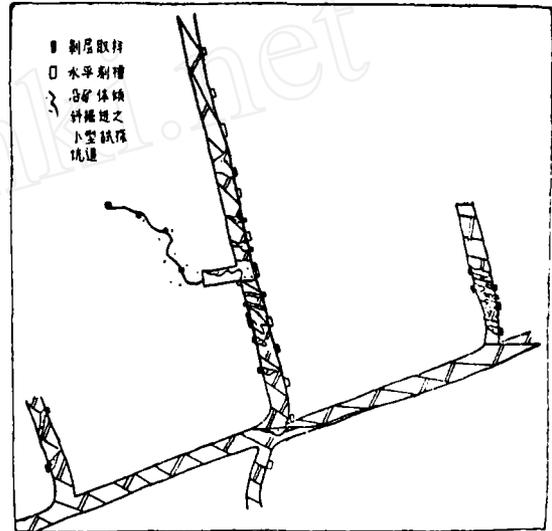


图 7 节理矿脈

平小型試探坑道, 了解矿脈沿走向变化規律, 然后依
已获得的矿脈产出形状, 变化情况, 含矿系数及品位
变化系数等, 确定穿脈間距。因矿石与圍岩物理性質
不同, 不能保証岩矿心質量, 不宜采用鑽探。由于
此种类型矿脈与圍岩合併計算儲量大部达不到工业要
求, 故先用稀疏穿脈揭露。但一般矿脈本身含錫可达
到要求, 矿脈形状变化大, 可形成囊狀矿体。应对
較大矿脈作小型試探坑道, 沿矿体走向追索, 以免
漏掉較大的矿囊 (如图 7)。

網狀矿脈一部份由坑內揭露, 其工业品位要求应
与主要矿体同。其出露于地表, 并能局部圈出矿体
者, 如考虑到能利用露天开采方式时, 应降低圈定矿
体的境界品位和可采品位。由于部份網狀矿脈与主要
矿体产状一致, 并可作为一巨大矿化帶合併成一个矿
体計算儲量, 所以可采用与主要矿体一致的勘探方法。
但另外部份網狀矿脈除本身含錫品位变化外, 圍岩含
錫品位很低, 相互影响品位变化曲線起伏特大 (如图
8)。此外網狀矿脈之富集密度及范围又无明显界
限, 故揭露矿脈大部采用水平坑探, 在坑內采用連續
的水平剝槽方式进行取样, 依据化驗成果确定矿体边
界, 故勘探費用較高。所以此类矿体勘探尚限于某些
大矿体边缘部份, 及个别矿化显著地点。由于边界只
有个別低于边界品位样品控制, 在此样品以外, 是否

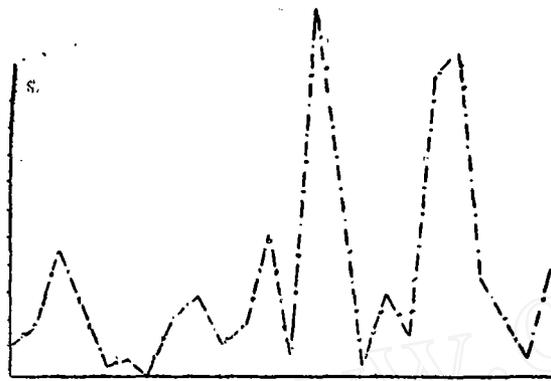


图 8 节理矿脉品位变化曲线图

也有矿脉富集，因无工程揭露不能确定。在使用成本很高的坑探井无获得储量的把握时，对于散点状含锡白云质灰岩，主要矿体边缘的含锡微细铁矿脉，可采用部份浅鑽作为指导掘进坑道之依据。对于位于剧烈破碎带的含锡微细铁矿脉及节理矿脉，最好先在已了解地区沿矿脉走向揭露一段距离后，再垂直矿化方向打长穿脉，了解矿化区内哪几段内确具工业价值。取样方法前一种情况，可试用攫取法或坑道侧壁佈置方格网取样。后一种情况如已由稀疏样槽证明围岩并不含锡时，可用剥层法代替水平連續刻槽。对于散点状含锡白云质灰岩，尽可能先取岩石标本作光谱或锡的微化分析，有成果后方进行正规的大量采样化验工作。

三、網狀礦脈儲量計算方法

(1) 儲量計算中之問題

① 由于網狀矿脉品位变化大，其富集的地質規律难以掌握，致使相隣兩勘探工程間之矿体不能合理联接或根本不能相联，在不同中段間矿体面积也相差很大。

② 網狀矿脉計算儲量大部与圍岩合併計算，故同一矿体中就有几种不同类型的矿石，这种矿石在技术品級上虽可划为一类，但各类型矿石之体重并不一致。

③ 勘探工程分佈不規則，若干穿脉由勘探主要矿体之穿脉加以延長，并不垂直主要矿化方向，再者各中段勘探工程不可能完全重叠。但由于含锡網狀矿脉大部分佈于大矿体附近，为了使今后能够利用此项资源，故仍須进行儲量計算工作。

(2) 圈定矿体方法

① 由于網狀矿脉之矿化范围呈似层状或块状，

依水平坑道开拓穿脉及沿脉，或在民窿中由向上向下之浅井揭露，故采用垂直或水平平行断面法計算儲量。

② 对于散点状含锡白云质灰岩，含锡微细褐铁矿脉，凡能达到米百分率之块段，其平均品位亦达到可采品位时即圈入矿体。为使在图上易于分辨样品之品級，应在样槽中繪出品位等級图例（如图 5）。故矿体之圈定方法仍与一般方法同。

③ 节理矿脉情况就不同于前者，由于品位不稳定，矿脉分佈不均匀，脉間距离又超过允許之夹石厚度，兩工程間之矿脉又不能联接。如采用上列方式则无法圈出矿体，故必須采用含矿系数方能圈出具有工业价值的矿体。

确定含矿系数之方法，先依勘探工程为單位，依野外观察及化验結果認為可划入矿体内之地段，在此地段之样品用样槽長度加权方法，求出此段之平均品位，其中含锡量低于化验要求灵敏度之样品品位作为零計算，每一勘探工程揭露矿体之平均品位应高于最低可采品位。如低于最低可采品位时，则将矿体边缘含锡量低的一段划出，或将此段中部份含锡量低者划出。应用时应視具体情况适当采用某一方法，但必須考虑到与相隣工程揭露同一矿体之关系。

④ 依据上列方法圈出的矿体，含矿系数采用直線比例方式确定。

$$K = \frac{l}{L}$$

K：含矿系数

l：含锡样品总長度

L：矿段样品总長度

含锡样品指达到边界品位之样品。如品位变化不大，则按可采品位样品总長度計算。但含矿系数最低值为 0.1，最好控制在 0.3 以上。此頂数值应按矿床类型，将来可能之开采方式和金属的价值統一考虑。即在采用含矿系数計算儲量时要注意其經濟效果。

含矿系数另一种計算方法，是采用面积比例方式。

$$K = \frac{s}{S}$$

s：矿体总面积

S：矿化带（圈定矿体）总面积

这种方法用在矿化带規模大，品位分佈均匀，可在数个工程間圈出矿体，同时，从地質条件方面也能將这些矿体圈在一个矿化带內（采用含矿系数后圈出之矿体）的。

用第二种方法計算之含矿系数較前一种方法求得

者为小，相差最大时能恰为第一种方法结果之半。虽然第二种方法在形式上较第一种精确，但计算过程繁杂，在一般情况下不宜采用，只在确具优质品位矿带情况下方可使用。但此二种方法所求出的含矿系数之可靠性，目前尚无精确的验证资料。

(3) 平均品位的计算：由于网状矿脉品位变化大，为避免局部样品歪曲全区平均品位数值，故采用逐段加权方式。

在确定每一工程所揭露够工业品位之含矿带时，采用样长加权方法。

$$\text{样长} \times \text{品位} = \text{米百分率}$$

$$\frac{\sum \text{米百分率}}{\sum \text{样总长}} = \text{平均品位}$$

为求得平面或剖面上矿体之平均品位，因矿体各部份品位悬殊，部份地段品位特高，故采用面积加权。此法可有二种情况：

一为两勘探工程间矿体面积与两工程揭露矿体段平均品位相乘，被该平面矿体总面积除。另一种依单一勘探工程所控制矿体面积与此工程揭露矿体段平均品位相乘，被平面矿体总面积除。此两种方法结果差别不大，但前一种方法不必在图上划出矿体块段，利用穿脉中测量导线即能求出面积，在该段矿体之平均品位由两工程互相影响，更趋近真实情况。

矿体平均品位等于各中段矿体面积乘平面平均品位被矿体中各中段总面积除：

$$\frac{S_1 \times X\% + S_2 \times y\% + S_3 \times z\% \dots}{S_1 + S_2 + S_3 \dots} = C$$

$S_1 \dots$ 代表中段中各段矿体面积

$X\% \dots$ 各矿体中段的平均品位

(4) 矿体平均体重之计算：散点状含锡白云质灰岩及含锡微细铁矿脉之矿体，可采用岩块封腊测定之体重作为计算依据。但在主要矿体边缘之含锡微细铁矿脉，因与主要矿体合併计算储量，其体重也采用加权平均方法求得。

$$S_1 \times g_1 + S_2 \times g_2 / S_1 + S_2 = G$$

G：矿体平均体重

S_1 ：主矿体面积

S_2 ：网状矿脉矿体面积

g_1 ：主矿体小体重

g_2 ：网状矿脉矿体小体重

按上式得到该平面矿体之平均体重。如两平面之矿体体重不一致，再依各平面矿体面积和体重加权求出一个矿体的平均体重。

节理矿脉之体重，由于矿脉类型不同，氧化程度不一致。在矽岩硫化矿脉中，部份已氧化成褐铁矿或赤铁矿，部份尚未氧化。计算体重应按矿石类型（含锡白云质灰岩，电气石脉，赤铁矿脉，硫化矿脉，矽岩脉）分别取小体重样（坚硬岩体取岩块测定体重，疏松者用刻槽称重法）。然后按不同类型矿石在各工程中揭露长度，采用直线比例方式，统计各类型矿石在该平面揭露矿体范围内所占面积百分比，将各类型矿石体重与所估百分比加权平均得出该平面矿体之平均体重。矿体平均体重依各平面或剖面之体重与面积加权获得：

$$X\%H_1 + y\%H_2 + z\%H_3 / 100 = G$$

G：平均体重

X, y, z%：各类型矿石所占平面面积百分率

H_1, H_2, H_3 ：各类矿石体重

采用上列方法求出之体重，虽然代表性较差，不能保证实际测定体重之精确度，但为求得低级储量，在矿石类型复杂条件下，仍可试用，并应用全巷法或开采块段之大体重加以校正。

(5) 储量级别之确定：

网状矿脉所圈出之矿体，如在主要矿体边缘，与主要矿体合併计算储量者，其级别与主要矿体一致。

若干单独出现之含锡微细铁矿脉矿体，由于其产状规律不明，往往只有单中段揭露者列入C₂级，如已被数中段揭露者也可列入C₁级储量。

较特殊者是采用含矿系数后，如何确定储量级别。一种情况虽然采用了含矿系数，但能划出矿体，并能在同一平面及上下中段互相联系者，可列入C₁级储量。另一种情况，依据含矿系数虽能进行储量计算，但此种矿体目前尚不能直接开采者，应列入表外C₁级或C₂级，其作用在于采矿时能考虑此项资源的利用。

网状矿脉虽然在矿区广泛出露，但了解尚很少，故在计算网状矿脉储量时，各项参数之确定较粗糙。但依据此种矿脉之地质特点，在圈定矿体边界时采用了含矿系数，平均品位计算时采用逐项逐步的加权平均，体重资料计算时采用了统计法，以适应此类矿脉复杂条件之要求。由于其它热液多金属矿床，矽岩类型矿床，也可能具有某些与此类似的地质条件，在主要矿体附近也有网状矿脉，或存在目前尚不够工业要求之小矿体群，对于此类矿体也可进行勘探及储量计算，故提出不成熟之方法进行讨论。

本文蒙熊秉信总工程师亲自指导及修正，特此致谢。