西裘铜矿勘查模式的初步研究

杨济民　余国强

（浙江有色地质勘查局二大队）

本文从西裘铜矿的控矿、控晕规律研究入手，着重对各工作阶段的地质、物化探成果作了较系统的归纳总结，建立起该矿床的勘查模式，为寻找该类型的矿床提供了若干判别准则。

关键词：铜矿床；勘查模式；判别准则

地质概况

西裘铜矿床位于扬子准地台诸暨一常山台拱边缘，与华南褶皱系的上虞一龙泉隆起交接，绍兴一江山断裂北东端之北西侧。

矿区出露地层主要为前震旦系双溪坞群，系一套浅变质火山杂岩；有人认为属细碧角斑岩系[1]。按其岩性岩相特点可划分为4个喷发沉积旋回，从第一到第四旋回，由海相一陆相的演变过程，岩性呈酸性一基性的反序列演化。与矿床有关的是双溪坞群第一旋回酸性火山杂岩、第二旋回中酸性火山碎屑熔岩（图1）。矿区构造线呈北东45°，与区域构造线方向一致。双溪坞群呈单斜构造，倾向340～350°，倾角55～60°。本区的主要控矿构造是北东向压（兼扭）性断裂，东西向压性断裂为重要的含矿构造。区内岩浆活动频繁，侵入岩自深成一浅成一超浅成相均发育。这些岩石的Na和Mg含量一般偏高，绿泥石化、绢云母化、绿帘石化比较普遍。片理化蚀变斑状花岗岩、蚀变花岗岩和斜长花岗斑岩形成时代较早，其余岩体的侵入时代均晚于主要成矿期。

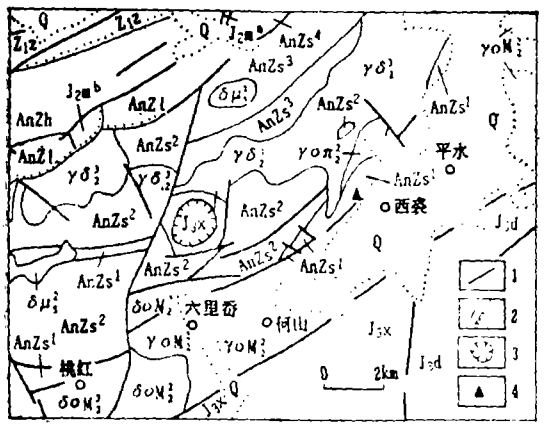

图 1　西裘铜矿床区域地质略图

Q—第四系；J_3x—西山头组；J_3g—高坞组；J_3d—大爽组；J_2m—马涧组；Z_2d—灯影组；Z_1l—雷公坞组；Z_1z—志棠组；AnZh—虹赤村组；AnZl—骆家门组；AnZs—双溪坞群；$\delta\mu_2^3$—闪长玢岩；$\gamma\delta_2^3$—花岗闪长岩；$\gamma o\pi_2^3$—斜长花岗斑岩；γoM_2^3—混合斜长花岗岩；δoM_2^3—混合石英闪长岩；1—断层；2—整合及不整合地质界线；3—火山机构；4—矿区位置

矿床地质特征

1．产出位置

矿床产于双溪坞群第一旋回顶部的F_1断裂挤压带，矿体形态、产状及厚度严格受断裂带控制。底板为第一旋回的蚀变花岗岩，顶板为第二旋回的火山碎屑熔岩。9线、4

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

线局部有穿层现象（底板亦为火山碎屑熔岩）。断裂带岩石受强烈挤压成千糜岩，或受强硅化成次生石英岩，金属矿物沿片理分布，往往前者富含黄铁矿而成为硫矿体，后者黄铜矿化强成为铜矿体。

断裂带在地表为绢云母石英片岩，片理发育，含有较多的新生绢云母和黄铁矿。

2．矿体形态、产状

一号铜矿体规模最大（占铜储量95%），呈不规则脉状，长1000余m，平均厚8.81m，延深在750m以上。矿体陡倾斜，总体倾向北西。沿走向和倾斜均有舒缓波状弯曲及膨缩分叉现象。沿走向矿体中段厚度大且稳定，总体是向下增厚。

3．矿石组份

铜、锌、硫为矿石主要组份。沿走向铜、硫含量两端高、中间略低，总趋势是铜、硫东高西低，由浅至深变富；而锌相反。

矿带中含钡特高（>1%），明显高于围岩（0.05～0.1%）。矿石中普遍含重晶石，这是本矿床的一大特征，找矿意义显著。

由地表到深部，矿物组合为绢云母、石英、黄铁矿→石英、重晶石、黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿→石英、方解石、黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿→石英、绢云母、重晶石、方解石、黄铜矿、黄铁矿、闪锌矿，递次变得复杂，反映了多次成矿活动的叠加。

4．矿石组构

矿石结构主要为晶粒结构、碎裂结构，其次有揉皱、胶结结构等。矿石构造浅部为细脉浸染状，向深部为块状—块状、条带状—块状、脉状、浸染状。从顶板到底板，矿石构造为块状、浸染状、细脉状。

5．围岩蚀变

近矿围岩蚀变为浅色蚀变组合：硅化、黄铁矿化、重晶石化、绢云母化、绿泥石化，接近矿体蚀变增强，是重要的找矿标志；外侧为绿泥石化、绿帘石化、碳酸盐化。

通过对矿区98个钻孔资料作地质变量相关频数比计算和信息量计算，垂向上由浅到深，指示成矿的蚀变组合标志依次为：黄铁矿化、绢云母化、重晶石化—重晶石化、硅化、绿泥石化、黄铁矿化—碳酸盐化、硅化、黄铁矿化—硅化、黄铁矿化、重晶石化、绢云母化。

矿区地球物理特征

本区矿石、含矿岩石与非矿化岩石有明

西裘铜矿岩、矿石电参数特征表 表 1

岩（矿）石名称	样品数	充电率 M(mV/V)		电阻率 ρ(Ωm)	
		变化范围	算术平均值	变化范围	几何平均值
铜矿石	30	14.6～120	64.4	24～9653	400
含矿千糜岩	8	15～84	43.3	114～1940	394
矿化千糜岩	10	3.1～14.9	8.1	763～3151	1334
蚀变碎屑岩	4	8.7～12.5	11.0	2559～3114	2754
斜长花岗岩	35	2～22	6.5	2178～39582	10051
斜长花岗斑岩	9	13～22.5	18.7	2219～13220	5974
石英闪长岩	31	4～54	12.06	70～63664	17205
杂岩	10	6.3～17.8	10.4	1392～11422	3784
$AnZs^1$	39	1～40	11.45	2328～105093	11267
$AnZs^2$	41	1.6～13	5.1	938～15000	4385

据华北有色公司519队，浙江省绍兴县西裘铜矿区及外围大功率电法（TSQ-4）工作报告，1988年4月。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

显的电性差异（表1）。铜矿石、含矿千糜岩的充电率变化范围为14.6～120mV/V，其平均值为64.4和43.3mV/V，是其他岩石的2～6倍。电阻率呈明显的低阻反映，是其他岩石的1/2～1/10。

西裘铜矿矿体上部表现出15～30mV/V的M_S中值条带状异常及介于2000～4000Ω·m的ρ_S异常（矿石中硅质高），其宽度50～200m，与已知矿体和矿化带有较好的对应关系。

由8线综合剖面（图2）可见，矿体上方不仅有η_S异常，自然电位异常亦达−300mV，与非矿地段有明显自电差异。因此自然电位法是区别矿与非矿的重要手段。

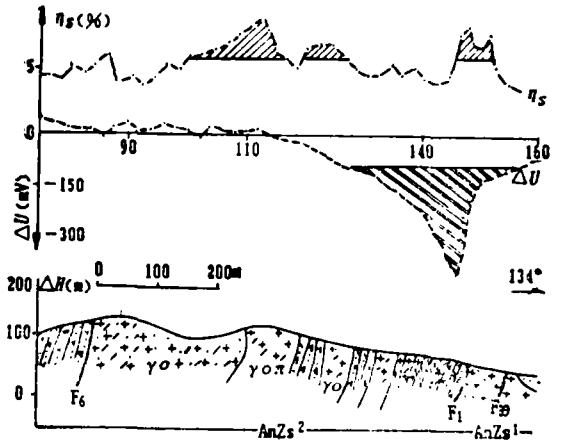

图 2　西裘铜矿8线地质物探综合剖面

AnZs¹—双溪坞群碎屑岩、火山碎屑岩；AnZs²—火山杂岩；γ—蚀变花岗岩；γo—斜长花岗岩；γoπ—斜长花岗斑岩；F₆—断裂含矿千糜岩

矿区地球化学特征

本区位于浙江省内两大地球化学分区的过渡地带，据因子分析，本区是Cu、Au等多金属成矿因子集中区。

1. 指示元素的分布分配特征

矿区主要地质体中指示元素（钻孔原生晕测量）的平均含量如表2所示。从表中可以看出，赋矿地层双溪坞群第一、二旋回（AnZs¹、AnZs²）Cu、Zn、Pb、Ba、Mo、Au、Ag等的含量均较维氏值及区域平均值高。

双溪坞群微量元素因子分析结果表明（数据略），Au、Ag、Pb、As、Sb、Ti、Ni、Sr、V等为同一成因来源，而−Cu、−Co、−Ba、−Cd、−Mo、−Zn、−Mn则属于另一来源，可能为成矿过程中带入的元素。

2. 矿床原生晕特征

（1）异常元素组合及相互关系　矿床原生地球化学异常元素组合为Cu、Zn、Pb、Au、Ag、As、Sb、Hg、Mo。对10号勘探线156件钻孔原生晕样品R型点群分析结果表明（图3），在0.7相似水平上，Pb与Ag，Cu与Ba、Co、Zn，Au与As关系密切；在0.5相似水平上Cu、Pb、Zn、Au、Ag、Co、Mo、As、Sb、Ba分在一簇，且与各成一簇

矿区各地质体指示元素平均含量（ppm）　　**表 2**

元　素	Cu	Pb	Ba	Mn	V	Co	Ni	Sn	Ag	Zn	Mo	Au	As	Sb	Hg
AnZs¹	83.5	40.8	865	1311	150	15.0	20.3	7.8	0.1	125	2.0	3.7	1.7	0.5	5.7
AnZs²	57.2	31.3	456	943	149	15.1	10.8	6.6	0.12	83.2	1.5	2.4	1.3	0.1	7.1
闪长岩	74.0	21.7	367	475	177	31.7	58.0	4.2	0.08	121	1.8	3.0	3.2	0.09	16.9
斜长花岗岩	44.1	49.5	354	976	182	16.7	21.7	5.9	0.13	121	1.5	2.5	0.6	0.3	5.7
斜长花岗斑岩	40.8	38.3	413	567	155	12.2	10.3	5.7	0.1	81.0	2.0	3.7	1.5	0.2	5.7
维氏值(1962)	47	16	650	1000	90	18	58	25	0.07	83	1.1	4.3	1.7	0.5	3.3
区域平均值	18.5	38.4	524	514					0.045	98.5	1.58	2.57	5.11	0.21	12.8

根王勤生，浙江有色金属地质，1987年。Au、Hg含量为ppb。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

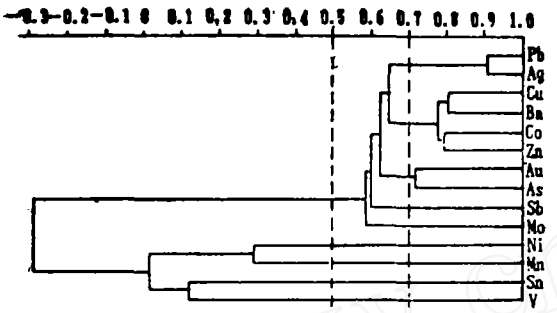

图 3 钻孔原生晕组份R型点群分析谱系图

（据王勤生，1987）

的Ni、Mn、Sn、V呈不大显著的负相关。

（2）*地表原生晕特征* 地表原生晕能很好地反映深部矿体的存在，Cu、Pb、Zn、Au、Ag、Hg、Mo、As在矿体上方均能形成较好的异常，反映矿（化）体的特征指示是：$(Ag\times10+As)/Mn>1$，$Mn/Cu<5$，$Ni/Cu<0.15$。

（3）*矿床晕的空间递变规律*

①垂向变化特征：矿体垂向（从地表→-150m→-220m→-310m→-400m→-700m）元素组合分带序列为：Au、Ag、Hg、Pb、As→Ni、Co、Au、Ag→Mo、Pb、Zn→Cu、Zn、Ba→V、Sn、Mn→Cu、As、Sb、Ba、Mo。

矿床中地球化学参数变化规律是（从地表至深部）：$(1000\cdot Ag+As)/Cu$、$(Ag+As+Sb+Hg)/Cu$比值是递减，Cu/Pb、Cu/As比值递增，Cu/Zn也有增大的趋势，且Cu—Ni和Cu—Co由负相关变为不相关至正相关，Cu—Ba相关性逐渐增大。由此可见，主成矿元素Cu趋向于矿体下部富集，Au、Ag在上部富集，Zn、Pb则主要富集于矿体的中上部。

从钻孔原生晕因子模型来看，Ag、Pb除在F_1因子第一期成矿外（主要），第二期（F_3因子）又有部分析出（表3）。矿石中未见毒砂矿物出现，As以杂质形式存在于其他矿物中，而As、Sb出现在分带序列的下部。以上特点，反映了热液成矿活动的多期性。

②侧向变化特征：指示元素在矿体周围均形成一定强度的异常，矿体上、下盘晕相似，但空间分布范围较小，并与矿体形态一致。Ni、V两元素其衬度值（含量/背景）在矿体中均小于1，在矿体两侧20～100m范围内衬值为n～$n\times10$，再往外其值又小于1，

钻孔原生晕因子模型 **表3**

因子	Cu	Pb	Ba	Mn	V	Co	Ni
F_1	0.883	0.718	0.851	-0.157	0.262	0.781	-0.01
F_2	-0.038	-0.257	-0.097	0.652	-0.149	0.455	0.771
F_3	0.212	-0.407	0.235	-0.460	-0.113	0.181	-0.171
F_4	0.197	0.296	0.121	0.030	0.262	0.178	0.207
单因子方差	0.366	0.406	0.444	0.581	0.695	0.345	0.557
公因子方差	0.866	0.835	0.803	0.662	0.517	0.881	0.667

因子	Sn	Ag	Zn	Mo	As	Sb	Au
F_1	0.061	0.876	0.768	0.663	0.605	0.665	0.836
F_2	0.020	-0.181	0.130	0.209	0.129	-0.171	-0.117
F_3	0.130	-0.316	0.298	0.460	-0.283	-0.429	-0.232
F_4	0.712	0.180	0.016	-0.297	-0.532	-0.001	-0.180
单因子方差	0.687	0.261	0.551	0.466	0.505	0.597	0.448
公因子方差	0.528	0.932	0.696	0.783	0.745	0.643	0.799

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

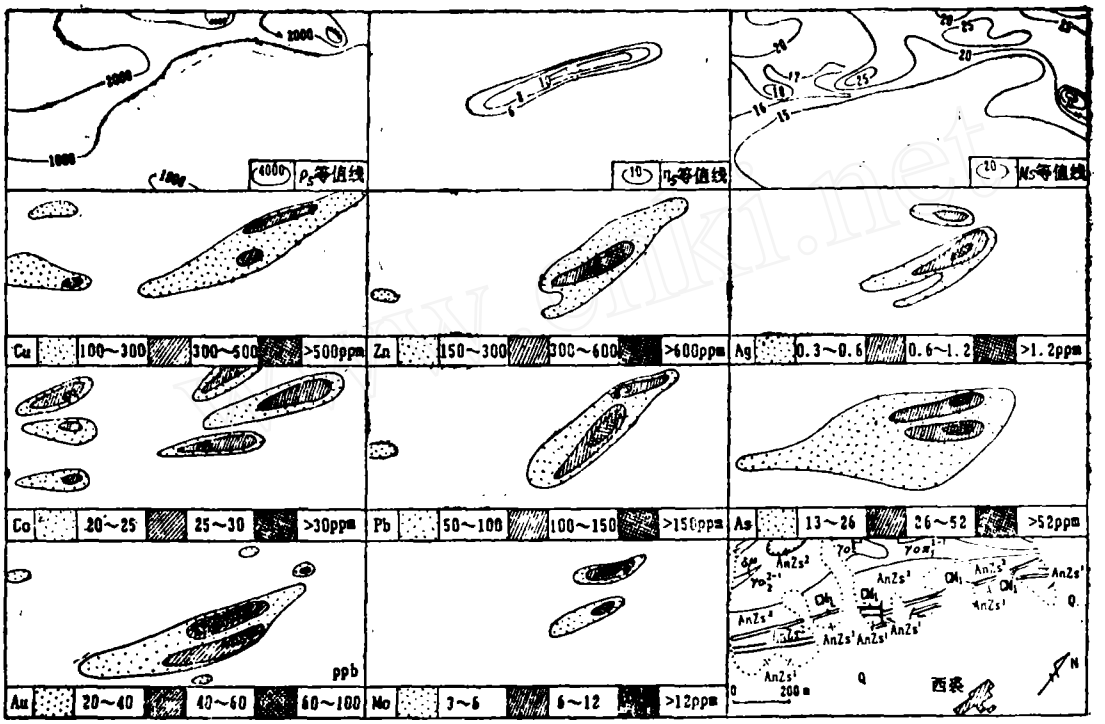

图 4 西裘铜矿激电及次生晕异常平面图

Q—第四系；$AnZs^2$—碎屑熔岩、火山碎屑岩；$AnZs^1$—凝灰岩夹角砾岩；γo_2^{2-1}—斜长花岗岩；$\gamma o\pi_2^{2-1}$—斜长花岗斑岩；$\delta\mu$—闪长斑岩；CM_1—矿化千糜岩

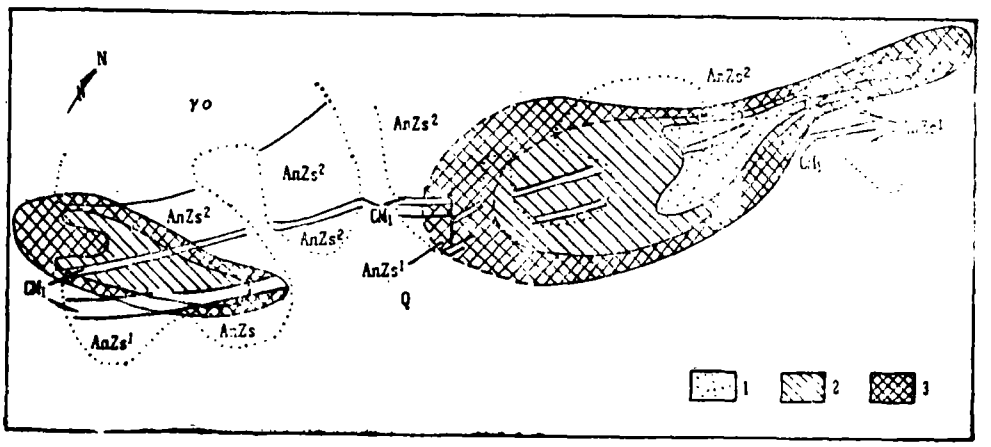

图 5 西裘铜矿床次生晕Ni/Cu异常分布图

Q—第四系；$AnZs^1$、$AnZs^2$—双溪坞群第1、2旋回；γo—斜长花岗岩；CM_1—矿化千糜岩；
1—Ni/Cu<0.05；2—Ni/Cu0.05~0.1；3—Ni/Cu0.1~0.2

并趋于稳定。即Ni、V在矿体上呈负异常，矿体两侧为正异常，在剖面上呈马鞍形。其他指示元素具组份分带特征为：内带Cu、Zn、Au、Ag、Co；中带Cu、Zn、Ag、As、Pb、Mn、Ba；外带Pb、Au、Sb、Zn、Hg。

3．次生晕特征

据以往资料研究表明，在矿体及近矿围岩上覆土壤中，主要指示元素均能形成较明

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

显的正、负异常，只是因风化流失致使异常发育不强。总的特征是，次生晕沿矿体走向方向上呈条带状分布（图4）。直接指示矿体存在的异常元素组合为：Cu400～800ppm，Au20～100ppb，Zn300～400、Ag0.7～1.0、Co25～30、As30～50、Ba750～1000、Pb、Hg，外侧为Cu、Ag、As、Ba及Ni、V（分别为30、250～300ppm）低缓异常元素组合。Ag、As、Ba异常组合分布在最外带。

次生晕测量结果的R型点群分析表明，土壤中Cu与Ag、Au、Zn、Hg、As、Sb相关性较大。原生晕中的Cu与Ba、Co的亲密关系因表生场中元素再分配而有所改变。

最具有意义的是，表生带中Ni元素在矿体上方出现条带状负异常，Ni/Cu比值以0.2圈定，其负异常的条带中心即指示矿体赋存部位（图5）。

矿床勘查模式

西裘铜矿矿体周围广泛发育交代蚀变

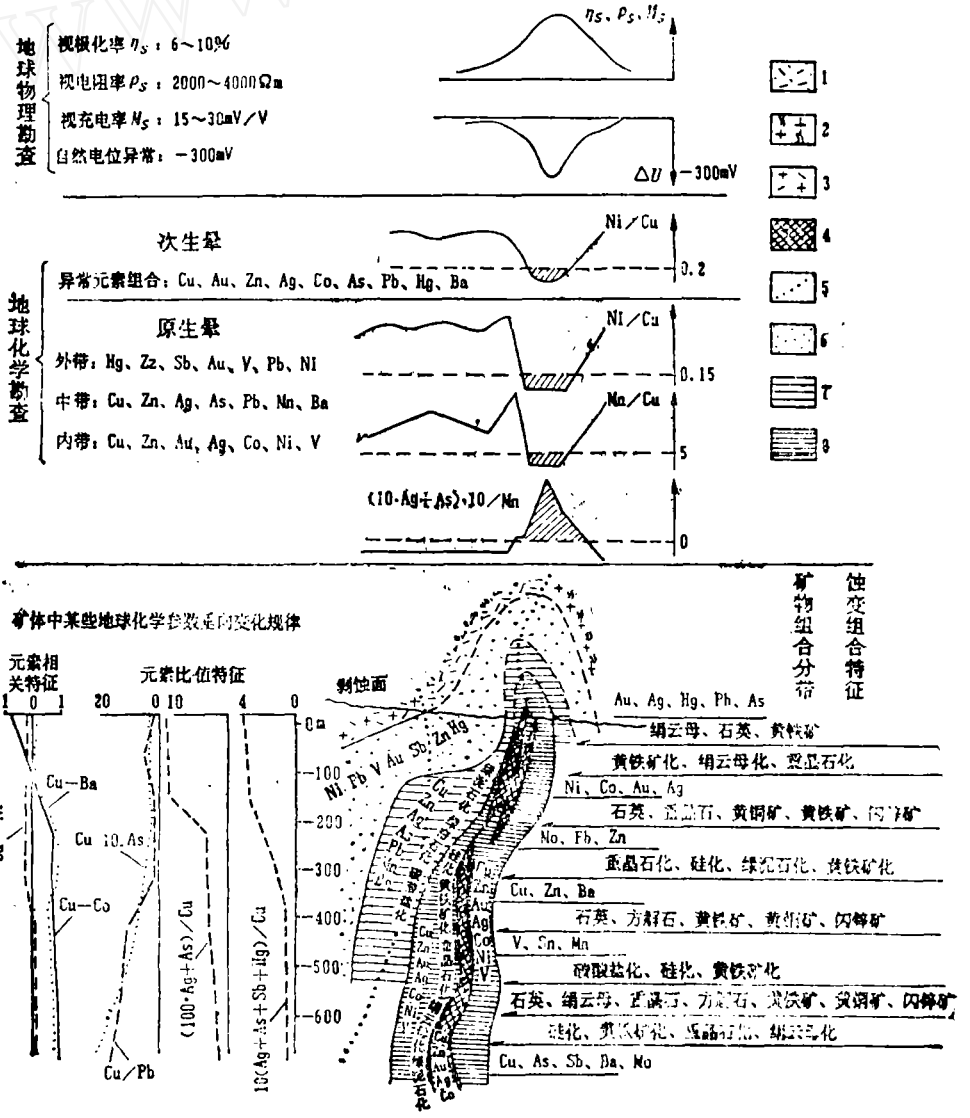

图 6　西裘铜矿床综合勘查模式图

1—碎屑熔岩、火山碎屑岩；2—蚀变花岗岩；3—斜长花岗岩；4—矿体；5—地质界线；6—外带；7—中带；8—内带

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

晕、新生矿物生成晕和地球化学及地球物理异常，这些特征为西衮铜矿的勘查提供了前提条件，也为勘查类似西衮铜矿床（以下简称“类似矿床”）指明了方向。

通过对西衮矿床的解剖，其各种地、物、化特征显示，寻找类似矿床采用1/万原、次生晕测量、激电测量，结合地质方法是最佳的找矿手段。Cu、Au、Zn、Ag、As、Co、Pb、Ba、Hg元素组合的带状次生异常，η_s值为6～10%的视极化率异常和ρ_s值介于2000～4000Ω·m的视电阻率异常，指示了矿化带的位置。特定的双溪坞群第一、二旋回地层、含Ba特高的千糜岩化带，并发育一套浅色蚀变组合，是直接的地质标志。原

矿床勘查工作方法及判别准则一览表　　表 4

工作方法		特征及准则
选区		省内Cu(Au)多金属成矿因子集中区；重力梯度密集带上；浙东南与浙西北正、负两大磁场分区的接洽部位；前震且系双溪坞群地层
1/5万 分散流测量		以Cu、Zn、Ba、Au、Ag、As等元素为主的组合异常，强度不高：Cu70～100、Zn300、Ba1200、Ag0.2～0.9ppm，Au5～26ppb，重现性好，中心明显
地质普查		千糜岩化带发育；千糜岩化带中Ba含量高、即重晶石化强烈；发育一套浅色蚀变组合
重砂普查①	1/5万 溪流重砂	铜矿带周围普见金异常点，样品局限在1～3粒，粒度一般在0.1mm左右，大于0.5mm者仅个别
	坡残积重砂（100×20m）	自然金在铜矿体上出现最多（6～26粒），远离矿体则极显著减少，至不出现或偶见一粒
	人工重砂	表明矿石的重矿物绝大部分由黄铁矿、黄铜矿组成，黄铜矿往往浸染于黄铁矿上。硫化矿物经酸处理后能见到大量细粒可见金，粒度在0.02～0.07mm之间最多，形态很不规则。矿物组合：黄金、黄铁矿、黄铜矿大量，重晶石少量，雄黄一粒，锐钛矿几粒，锆英石几粒，绢云母、石英等
1/万 次生晕测量		异常以Cu、Au为主，其他元素有Zn、Ag、As、Co、Pb、Ba、Hg、及Mo(弱)，呈带状分布
1/万②激电测量	中间梯度法 AB=800m MN=40～20m	η_s值为6～10%（背景3～4%）。异常曲线梯度大且近于对称。两端异常明显降低，异常的变化与铜矿体的贫化、尖灭吻合
	电阻率法	由于矿石中硅质成分高，因此要注意介于2000～4000Ω·m之间的条带状ρ_s异常
	大功率激电	表现出15～30的M_s中值条带状异常，宽度50～100m，与矿体、控矿构造相一致。由于矿体浅部产状较陡，厚度较小，深部信息微弱，故地表异常幅度和宽度不大
剖面测量	原生晕	异常元素组合：Cu、Zn、Au、Ag、Hg、Pb、As、Ba；Ni、V、Mn出现负异常；特征指标：Ni/Cu<0.15，Mn/Cu<5，(Ag×10+As)×10/Mn>1
	次生晕	异常元素组合：Cu、Zn、Ag、Co、As、Ba、Pb、Hg；特征指标：Ni/Cu<0.2
	自然电位	矿与非矿地段有明显的自电差异，自然电位异常达－300mV
钻原生孔晕	垂向分带	由上至下：Au-Ag-Hg-Pb-Ni-Co-Mo-Cu-Zn-V-Sn-Mn-As-Sb-Ba
	侧向分带	内带：Cu、Zn、Au、Ag、Co、Ni、V；中带：Cu、Zn、Ag、As、Pb、Mn、Ba；外带：Hg、Zn、Sb、Au、V、Pb、Ni
矿床某些特征		矿带中含钡特高(>1%)，明显高于围岩(0.05～0.1%)，铜矿石中普遍含重晶石；按衬度，矿体中Cu>20；Ni、V、Mn<1

① 浙江省地质局物探大队第六队，浙江绍兴平水矿区物化探工作小结，1969年5月。

② 华北有色公司519队，浙江省绍兴县西衮铜矿区及外围大功率电法（TSQ-4）工作报告，1988年4月。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

生晕Ni/Cu比值小于0.15或次生晕Ni/Cu比值小于0.2则直接指示矿体的位置。

表4给出了寻找类似矿床各勘查阶段勘查工作方法及其判别准则。

在研究了矿床产出特点、地球物理、地球化学异常分布规律的基础上，建立起西裘铜矿综合勘查模式（图6）。从该模式可以看出，在寻找类似矿床时，除分析主要成矿成晕元素（Cu、Au、Zn、Pb、Ba)和前缘指示元素（As、Ag、Hg）外，特征指示元素Ni、V、Co要必作分析，其余元素尽可舍弃。

本文是研究前人成果的基础上作的初步归纳总结。成文过程中得到本队王勤生、李留标同志的帮助；承蒙陈学明、李振谱高级工程师和忻仰光工程师审阅全文，并提出修改意见；队绘图室部分同志帮助清绘图件，在此一并致谢。

参 考 文 献

[1] 王执均等，地质与勘探，1980年，第2期，第19~25页.

[2] 阮天健等，《地球化学找矿》，地质出版社，1985年.

A Preliminary Study on Exploration Pattern of the Xiqiu Copper Deposit, Zhejiang Province

Yang Jimin　Yu Guoqiang

Proceeded from regularities of ore control and geochemical Halo control for the Xiqiu Cu-deposit, the geophysical and geochemical results obtained in different exploration stages are emphatically and systemmatically summed up in the present paper. An exploration pattern for the deposit is established in order to provide some criteria for finding similar type copper deposits hereafter.

冶金物化探学术研讨会在保定召开

由中国金属学会冶金地质学会第二届物化探学术委员会、冶金部地质情报网物化探站联合举办的“冶金物化探学术研讨会”于1990年5月25～29日在保定冶金部地球物理勘查院召开。来自冶金系统、武警黄金部队的生产、科研、院校33个单位的55名代表参加了会议。

会议由冶金地质学会副理事长、物化探学术委员会主任王继伦主持并致开幕词，冶金部地质情报网负责人李延龄讲了话，冶金地质学会理事、冶金部地质勘查总局杨尔煦处长作了关于冶金地质“七五”期间取得的成绩，“八五”发展规划、物化探形势及任务的报告，地球物理勘查院党委书记许峰到会祝贺。大会收到论文48篇，其中化探19篇，物探15篇，环境和工程物化探8篇，数据处理3篇，综合材料3篇。反映了物化探近年取得的进展：

1. 化探找金已成为一种经济、快速、有效的方法和手段

由于Au分析灵敏度的突破，使区域化探找金提高到一个新水平，应用1/5万～1/20万分散流扫面，可有效地圈出金成矿远景区、成矿带或矿床。每年以20000km²区域分散流速度发现数以千计的异常。近几年来，从区域化探数据处理和快速追踪异常源两个方面进行了大量研究工作，并取得了较好的成果。地球化学找金模式的研究取得了一批成果。厚层覆盖区的找金及判别金矿剥蚀程度方面也取得了明显效果。

2. 物探找金工作有较大进展

应用电法、磁法、伽马能谱等方法在长江中下游、胶东、燕辽等地区找金矿取得了显著成绩；应用重力、磁法、航空物探等研究金矿成矿、控矿构造及缩小靶区也取得了较好效果。

在讨论中与会者认为，在当前找金热潮中，对铁、锰、铬及有色金属的物探工作相对减弱了，根据冶金地质找矿形势的发展变化，加强上述矿种，特别是铁矿的物探找矿和科研工作应引起重视。

3. 积极开拓地质市场，扩大物化探应用领域

如物探找水及管道电缆探测、工程物探和环化工程等方面均取得了较好的社会和经济效益。

〔本刊通讯员〕

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net