

地质找矿新进展

中国有色金属工业总公司采矿情报网矿山地质站

一九九〇年九月

地 质 找 矿 新 进 展

中国有色金属工业总公司采矿情报网矿山地质站

一 九 九 〇 年 七 月

前言

矿业为基础，地质要先行。我国矿产资源总量虽多，但按11亿人口平均，人均占有量只及世界水平的一半，列为第80位；其中部分急缺矿种人均只达世界水平的三分之一到十分之一。对于我国矿产资源，目前国家采取了“十分珍惜，合理利用，有效保护”的政策，并作为基本国策之一对待。提倡对矿产资源的开发和利用要具有“忧患意识、国有意识和守法意识”。扩大急缺矿产资源，满足国民经济需要成为地质找矿工作者当务之急，即：“国家矿业兴亡，地质先行有责”！为了使广大的地质工作者在找矿工作中有所启迪，特组织编写了《地质找矿新进展》专辑，奉献给所有不畏艰苦，栉风沐雨，常年奋战在矿山、野外第一线的地质界同行！

《地质找矿新进展》主要涉及四个方面的专题内容：1.总结四十年来矿山地质找矿成果和工作经验，从矿山地质理论和实践方面提出了发展有色矿山地质的改革意见和工作方法，为科学发展矿山地质事业指出了方向；2.全面地介绍了第28届国际地质大会所反映的国际地质科学新成果和发展新趋向，并结合我国实际提出了一些新的找矿思路；3.通过总结国内外地质找矿的新成果、新理论和新方法，重点阐述了层控矿床、海相火山岩地区成矿、花岗岩类成矿和斑岩铜矿成矿的地质环境和地质找矿判别评价标志，为找矿实践提供了借鉴、探索和理论指导；4.对九十年代的金矿地质工作提出了展望，并阐述了新金矿类型的发展，详细地介绍了卡林型金矿的找矿方法，为找金矿提供了广阔的前景。

我们邀请拟写各专题的各位专家——宋德安、任治汎、吴廷之、施林道、袁奎荣、胡受奚、王之田、朱奉三、刘东升、龚琳等，都是在理论上和实践上均有造诣的矿床地质专家。他们深入浅出地介绍各类矿床最新研究成果，特别是作者们结合多年的丰富实践，针对当前找矿难点，提出了许多独到之见。这些，都有助于进一步拓宽找矿思路，促进我国金属矿床找矿理论与实践的发展。

《地质找矿新进展》的出版，将对广大金属矿床勘查工作者、矿山地质工作者、地质院校师生和矿产地质院、所的研究人员的学用有所裨益。在此，我们对参与本专辑汇编撰文的专家和支持编辑出版的领导和同志们致以衷心谢忱。

吴伟英

一九九〇年七月

目 录

一、为开发有色矿业、科学地发展矿山地质事业	
.....中国有色金属工业总公司铜镍局	宋德安 (1)
二、近年地质科学进展和若干金属矿床成矿作用新认识	
——第28届国际地质大会侧记	
.....中国有色总公司西南地质勘查局	任治机 (5)
三、层控矿床的研究现状及进展	
.....中南工业大学	吴延之 (35)
四、海相火山岩地区评价贱金属成矿潜力的地质标志	
.....中国有色总公司北京矿产地质研究所	施林道 (44)
五、隐伏花岗岩与盲矿体找矿问题	
.....桂林冶金地质学院	袁奎荣 邹进福 (53)
六、花岗岩类成矿与板块构造之间的联系	
.....南京大学 胡受夷 胡志宏 郭继春 李海章 卢冰 孙冶东	(65)
七、斑岩铜矿成矿地质环境及其找矿判别评价标志	
.....中国有色总公司北京矿产地质研究所 王之田	秦克章 (78)
八、九十年代金矿地质工作的展望	
.....冶金部长春黄金研究所	朱奉三 (110)
九、卡林型金矿	
.....中国有色总公司桂林矿产地质研究院	刘东升 (114)
十、当前地质成矿理论研究与矿床寻找的新动向	
.....中国有色总公司西南地质勘查局	莫琳 (131)

为开发有色矿业、科学地发展矿山地质事业

中国有色金属工业总公司 宋德安

建国几十年来，国家对地质工作重视和广大地质人员辛勤劳动，勘查出大量有色金属矿产资源，为有色金属矿业生产建设创造了良好条件，有色金属产量大幅度增长，并达到新的水平，满足国家经济建设所需原材料起到重要作用。矿山地质是开发有色矿业重要组成部分。随着矿业开发规模的扩大和地质、采掘新技术不断发展，矿山建设和开采中的地质工作也得到了发展，并满足了生产建设需要。当前，要认真总结有色矿山地质经验，科学地发展矿山地质事业，更好地做好行业工作是很有必要的。

一、有色矿山地质发展

有色矿山地质工作，同其他行业一样，在生产建设实践过程中，按事物自身规律，从工作内容、深度、广度以及手段等，逐步发展形成适应我国经济建设和生产所需的、又有自己特点的矿山地质。中国矿山地质起源于四十年代末，东北解放区的老矿山，由于战争和国民经济建设需要，急需恢复老矿生产，又要建设新矿，这一时期的矿山地质工作，既担负矿山开采地质，又负有矿区地质找矿，增加地质资源任务。生产地质与找矿地质皆属矿山统管。

“一五”建设时期，经济建设迅速发展，按计划经济要求，地质行业体制与专业分工发生变化，明确矿山地质即生产地质，隶属矿山，生产矿区找矿任务统归专业地质部门，1964年国家经委印发的“矿山生产和测量工作暂行规定”的通知，进一步规定了矿山地质与专业地质工作的业务范围、资金来源和管理体制等。将地质工作划为生产矿山地质勘探、基建地质和生产地质（即矿山地质）三个部份。长期以来，有色生产矿山地质，严格按上述分工进行工作的。实践证明，把地质工作机械地划分为三阶段，破坏了生产与技术上的有机性，是不符实际的，因此，在各级领导机关，矿山领导人员，以及地质、采矿技术人员中，造成矿山地质就是生产地质的“误解”，严重影响全面地、科学地发展矿山地质这门实用学科。由于理论上的不完整，给矿山持续生产的资源地质工作无法开展。老矿区地质找矿工作因资金来源和地质工作体制，以及人为等因素，被拖延下来，影响矿山效益，甚者造成矿山盲目关闭。可见，矿山地质工作突破传统观念，科学地办矿山地质，把延长矿山寿命的资源地质工作纳入矿山地质工作中是十分必要的。

进入七十年代，许多有色生产矿山开采到中晚期，产量水平下降，矿山地质储量不足，难以维持原生产水平。矿山为自身利益，必须组织适度规模的找矿队伍，开展矿区范围内地质找矿，扩大资源，延长矿山生产年限。十几年来遵照这个规律，一批矿山得救，开建新坑口，扩大生产规模，提高了经济效益，显然这又一次冲破了矿山地质就是生产地质的狭隘观念。

近四十年来，矿山地质工作，经历了勘探找矿与生产地质由统一到分割到再统一的过

程，这是有色矿山地质工作发展重要经验总结。

矿山生存依赖于矿产储量丰富程度，就这一点讲矿山地质的根本任务是资源地质工作，否则矿山无生机。把生产矿区地质勘探归属矿山地质范畴是由本身性质决定的，也是符合采掘工业生产规律的。矿山地质范畴不因体制变化，专业分工、投资来源而改变。随着开发矿业不断发展，及时总结经验，遵照客观规律，科学地制定矿山政策，有色矿山地质事业一定迅速健康地发展。

二、矿山地质工作

矿山地质是矿业开发的重要组成部份，基本任务是提供可以开采的、经济效益好的矿产资源，并解决生产过程中出现的各类地质问题，主要任务是：

1. 在生产建设矿区，为延长矿山寿命和扩大能力进行的地质找矿探矿；
2. 做好开采过程中地质工作，如提供各种确切地质资料和储量；
3. 开展矿山工程与水文地质，为采矿提出技术资料，做好排水与矿山水疏干；
4. 做好地质体—矿体开采过程中环境地质；
5. 研究矿床地质规律，为找矿探矿提出地质依据等；
6. 开采过程中地质探矿程度研究；
7. 研究探矿技术与手段，提高探矿速度与地质工作质量。

矿山地质部门结合矿山实际，开展各项地质工作，矿山生产定会取得优异成果。现就主要地质成果介绍如下：

〈一〉矿山地质探矿成果。

有色矿山地质工作者，围绕资源地质，积极开展区内找矿探矿，矿产资源增长显著，重点矿山于1974年先后组建矿山钻探队53个，职工人数为5000人。从1976年到1988年国家投入探矿费11604万元，完成坑探54.1千米，钻探151千米，累计探获各种金属储量243.7万吨，平均每年新增储量18.7万吨，如广西河三铅锌矿日出矿500吨，年产铅锌6000吨左右，因资源不足，生产能力消失，后经地质研究工作，在距已知矿体（采完了）南侧近200米处采矿，发现隐伏矿，新增储量6万吨，延长矿山寿命十年以上。赤马山铜矿深部发现新矿体新增金属铜储量2.5万吨，并有伴生金。易门铜矿从1979年专业地质队撤离矿区后，矿山地质人员在老生产区内，又做大量地质研究工作，按照矿山设计的探矿方案进行探矿从1981年—1987年探获铜储量7万吨以上，缓解了矿山生产紧张状况。自矿山开展找矿探矿以来，有近百个矿山和坑口，延长矿山开采年限5—10年以上；并救活一批矿山。凡是按矿山规律，一手抓找矿，一手抓采矿，矿山生产效益好，又稳定职工队伍，收到较好社会效益。

〈二〉加强有色矿山伴生金银地质工作

铜、铅锌矿以及钨矿等均伴生金和银，伴生金银量多，又可以回收利用。国外伴生金产量占黄金产量30%左右，我国伴生金产量不足20%，因此，提高有色金属矿中伴生金银的研究利用已迫在眉捷。从1987年起，国家明确规定，金银生产列为有色金属主产品，从此开始了有色生产矿山伴生金银地质、选矿等技术研究工作。为了做好伴生金银地质工作，应解决以下问题：

1. 提高认识，真正做到把伴生金银做主产品，克服旧习惯、老办法。

2.研究伴生金银地质工作方法和手段,确定合理的地质工作程度;

3.要发挥科研与高校技术优势,协同作战。

我们设想用三年时间,通过补查、补勘等一系列工作,探索出一套适合中国有色矿山伴生金银地质工作方法,为有色矿山生产服务。

有色矿山伴生金的地质工作,起于1983年,在补查、补探过程中,发现了小型金矿、如白银公司郝泉沟金矿、华铜矿老采区金矿等,银山西南部金铜矿等,水口山金硫矿、铜官岗金硫矿,初步估算老矿山探获黄金储量有10—15吨,品位0.3克/吨以上,老矿区找到金矿这一事实,充分说明老矿山综合找矿是有意义的,也是非常必要的。

《三》岩心定向技术研究与施工取得成果。

有色矿山岩石稳定性一般较好有利于开采。但是也有少数矿山岩石稳定性差,坑内采矿需要支护,露天开采边坡剥岩量多,才能确保安全生产。积极开展岩石稳定性理论和技术研究,解决岩体结构特征和岩石物理性能。为此目的,研制了岩心定向仪器,并在铜录山露天边坡岩心定向施工获得成功。

岩心定向钻探技术是将地下岩心在脱离岩体前,作出定向标记。岩心提出钻孔,可以根据定向标志所定位置,恢复原始状态。据此计算岩体结构面产状等数据,这是岩心钻探技术上的大发展。定向仪,分重力和磁力原理制造的两类。重力定向是利用重力原件重心永远向下垂来实现的;磁力定向以罗盘作为定向原件,磁针永远指北的原理。矿山地质部门因地制宜选择定向仪。近几年有色矿产地质研究院研制了Yco—II和Nco—I型。Yco—I型定向器进入孔内靠摆锤位置定向,Nco—I型定向器靠定时针位置定向。铜录山矿边坡岩心定向采用了Nco—I型定向器,孔深250米,岩心采取率为98%,岩心定向率为97%,为边坡设计取得了实际地质参数。大大改善工程地质勘查成果精度。

《四》发展坑内钻探,减少坑探,提高探矿速度。

从一九七四年以来,生产矿山逐步发展矿山坑内钻探技术,一则提高采区探矿精度,二是扩大生产范围内找矿,增加资源。到1988年全国有色生产矿山不同规模地采用坑内钻探技术。据统计从1976年矿山坑内钻探仅5万米,到1988年有色矿山坑内钻探维持在23万米/年,钻孔深度一般为100米,少数矿山400米,由水平孔发展到全方位施工。

大量采用钻孔探矿可节约坑探,估算每年可节约坑探10—15万米,资金约3000余万元。更重要是由于全方位钻孔探矿,可以严格控制矿体形态和矿石质量,为生产提供可靠资料,确保生产正常进行。总的看,有色矿山应用钻探技术是不平衡的,钨矿某些大矿应用较少,国家统配矿山用的多,其原因是多方面的,主要是思想认识,技术保守,当前矿山坑内钻探仍需大力发展,改善地质工作,提高矿山地质水平。

三、改善矿山地质工作,适应矿山发展

四十年来,有色生产矿山是沿用苏联矿床地质勘探理论和勘探方法进行工作的。随着采矿技术和开采设备的发展,新采矿方法不断出现,强化开采能力,提高生产水平,以及老矿山资源减少,必须加强矿区找矿。为适应新形势,矿山地质工作急需改善,就此提出以下意见,供同行们研究。

（一）加强矿山资源地质工作

资源是矿山生存之本，开矿者不重视，不把找矿探矿纳入开矿日程中，完全靠专业地质队提供储量，矿山难维持生产；特别是实行商品经济后，储量实行有偿使用，矿山必须组织地质队伍，开展矿区找矿，矿山开展找矿是符合办矿山规律的，这一点国内外矿山经验都是如此。问题是如何开展矿区找矿；如何组织矿山探矿力量。我们认为：矿山找矿要紧密结合矿山近期和长远需要，因时因地进行工作；矿山地质队要小型化，人员要多面手，固定工要少，减轻企业负担；探矿设备多样化，适应各类矿山地质工作。也就是说矿山地质队是小型化，技术齐全，设备多样，技术水平高的队伍。为了搞好资源地质，矿山地质人员要思想上解放、技术上更新，敢于创新，走出一条新路。

（二）坑内钻探是矿山地质重要手段

探矿手段发展与科学技术、新型设备发展有直接关系。1970年以前有色矿山几乎都采用坑探，1974年后因人造金刚石研制成功。各矿山先后采用坑内钻探，实现了钻探代替部份坑探，个别矿山取消了坑探全部采用钻探，坑内钻探发展到一个新水平。有色矿山坑内探矿如何发展已是值得重视的一个重要问题。有色总公司铜镍局联合铅锌局、钨钼局于1989年6月在山东省三山岛金矿召开“有色金属矿山探矿技术座谈会”，就发展坑内钻探技术进行了研究。确定了有色矿山应借鉴三山岛金矿和国外有色矿全部用坑内钻探的经验，逐步取消坑探，实现全部钻探。一旦矿山地质工作中，全部采用坑内钻探，不仅节约探矿费，广大地质测量人员还可以在中段开拓过程中，随开拓巷道施工及时完成钻孔施工，把岩矿心移至地面，进行地质记录，绘制各种地质图表。这样，地质、测量人员只进行采场地质、测量工作，免去了天天跑巷道、天井的繁重体力劳动，杜绝天井摔伤事故，提高工作效率，又可精简人员，是地质工作一项主要改革。

（三）采用新技术，提高技术水平

电子计算机应用于矿山地质绘图、分析数据、计算储量和资料储存、划分矿石类型、储量品级等，可以提高工作效率和质量，又节约劳力。目前有中条山、大厂等少数矿山采用电子计算机进行地质业务管理。今后，有条件的矿山也要积极用电子计算机，尽快缩短与国外有色矿山地质工作差距。

矿山地质是一门多学科性，又有很强实用性生产技术，发展矿山地质工作，要按科学规律办事，不能绝对化，不能一刀切，更不能人为地划定界限。在总结四十年矿山地质工作发展经验后，在国民经验改革形势下，我国矿山地质将会有新的发展。

近年地质科学进展和若干 金属矿床成矿作用新认识

——第28届国际地质大会侧记

中国有色金属工业总公司西南地质勘查局 任治机

前 言

第28届国际地质大会于1989年7月9日在美国首都华盛顿的会议中心举行。参加大会的近100个国家15888名代表。我国代表团60人，其中有色系统受有色金属学会派遣的有王之田、任治机二人。加上中国在海外的学者、留学生及台湾学者共计中国代表为127人。会议分会前地质旅行、会议中的科技活动及会议、会议地质旅行三段时间进行。我国代表多数只参加了会议中的活动和会议地质旅行。会议上各国地质学家交流学术思想、科技经验，规模之大，堪称空前。

会议中的活动从7月9日到7月19日在华盛顿会议中心及其近郊进行，主要活动有科技讨论会议、地质展览、地质旅行、短训班、当地参观、地质科技电影以及各种国际地质组织的工作会议、年轻人节目、参观华盛顿等。按这次大会的内容，国际地质界所关心的领域已不再限于自然资源，多扩大到地质灾害、环境地质、酸雨、废物处理、地理情报、海岸浸蚀、环境地质与人类社会、国土规划、旅游地质、深层地质、寒冷气候地质以及对比行星学等诸多方面。按第27届国际地质大会提议，九十年代将成为“减少地质灾害的十年”。在地质资源矿产方面，当前所注意的是贵重金属、宝玉石、能源资源以及贱金属矿产中的超大型矿床的研究。由于作为历届国际地质大会主要内容的科技讨论会分了14个大项目、202个专题、近40个分会场进行讨论，有色系统的2位代表也只能参加与有色金属矿床讨论会的一部分。现就个人体会来谈，主要有以下五个方面：

1. 矿产资源对于第三世界特别重要，举凡新兴的发展中第三世界国家，都是靠矿产等自然资源作为本国国民经济的支柱的，尤其对国土地域较大的亚非拉各国更是如此。

2. 越来越多的地质学家认识到时间跨度最长的前寒武纪的金属矿产的重要性，特别是元古代时期的矿床。大多数矿床与前寒武纪火山活动由强到弱、由缺氧到氧化环境沉积作用加强这样一个物理化学条件过渡时期有关。前寒武纪地壳收缩，全球性始裂谷发育，为形成大型乃至超大型矿床提供了条件。

3. 越来越多的地质学家认为，多数矿床的形成与特定的地质时期有关系，成矿作用的类型和特征在特定的地质时期中随时间而规律演化，本质的原因是构造、岩浆火山和沉积作用随时间而规律演化促成。

4.越来越多的地质学家认为,带矿卤水环流是形成层控矿床的主要成矿机制。促使环流形成的基底矿源层,构成卤液的上伏盐层;促成矿液沉淀的还原性层次等是找矿中应注意的主要因素。

5.地质学家企图从各种不同方面使矿床的研究模式化,除不同成因的矿床本身的研究外,还加强了在特定构造环境中(如裂谷)和不同地质时期内区域成矿系列的研究。

大会的主题是人类生存环境和资源,通过这次盛会达到了交流地质最新成果的目的。第29届国际地质大会将在日本京都举行;下届大会将正式决定第30届国际地质大会将于1996年在中国举行的提议。通过这次大会,中国地质学家们结合本国情况均取得很大收获,并将对我国地质科学的发展和筹备第30届国际地质大会产生积极影响。

一、近年地质科学进展

按国际地科联主席U·科尔丹尼的回顾,近五年(27届大会以来)地质科学主要进展如下:

1.可用单纯的年龄测定方法确定前寒武系与寒武系的界限。

2.划分了白垩系与古新世的界限。基于棕榈树生长于高纬度的事实,白垩纪时的气温高于现今 10°C 。当今人类产生的温室效应的极端情况在地史中早已经历。

3.比较行星学分析雷达图象表明金星类似地球的早元古代。从上地幔温度、岩石圈、大地构造型式和地壳厚度等主要方面皆可对比。

4.比较行星学揭示行星演化的早期阶段中撞击坑(impact cratering)的地质作用非常重要,地球的演化已达老的撞击坑消失;新的地球表面亦已形成的阶段。白垩纪,第三纪分界时期的铱异常被认为是导致生物灭绝的孤立的、巨大的撞击。

5.古生物学与分子古生物学和生物化学的结合导致古生物学的中兴,进一步了解了现存的和灭绝的生物种属的关系,更相信人类与巨猿最为接近。

6.深层地震剖面更着重于大规模、三维方向对地壳的地质解释。借助于深壳钻进的地震调查可直接测算就地的结晶地壳结构与厚度。

7.苏联北卡查斯坦变沉积片麻岩石榴子石中钻石色体的发现说明有机质中的碳已出现于原始地壳的沉积物中,并表明碳质已俯冲至少达130公里地幔的深度。

8.安第斯链近代熔岩 ^{10}Be 的全分析表明,原地表形成的放射性同位素可通过数百万年前的俯冲面再循环。

9.精确的单锆石年龄测定表明西澳大利亚变沉积岩中的锆石为43亿年。

10.钕同位数的广泛研究表明主体地壳形成很早,最大的一次初生地壳形成幕为中元古代。在南北美洲、苏联的贝加尔、加拿大、斯堪的那维亚发现了近19亿年前的蛇绿岩,它证明板块构造运动可追溯到前寒武纪时期。

二、陆内裂谷成矿作用

第28届国际地质大会T344地质派行路线安排美国苏必利尔湖区进行,此区被认为是现存的最完美的大陆裂谷典型,也是美国盛产铁铜矿产的地区。参加这次地质旅行的有十个国家共20名代表,经6天的考察参观,普遍认为对于北美陆内裂谷的演化;铁铜镍及石油有关

矿产或矿化的形成，太古代、元古代地层构造和火成活动的特征和发展有了进一步了解，收获较大，这里侧重介绍陆内裂谷演化与金属矿床成矿作用特征等个人体会。

1. 苏必利尔湖地区地质简况及基韦诺大陆裂谷的发展史：

苏必利尔地区主要由两异对称向南西倾没的北东东轴向的埃西兰德—苏必利尔湖向斜（图1）构成，时空上分属三个时期与地带：

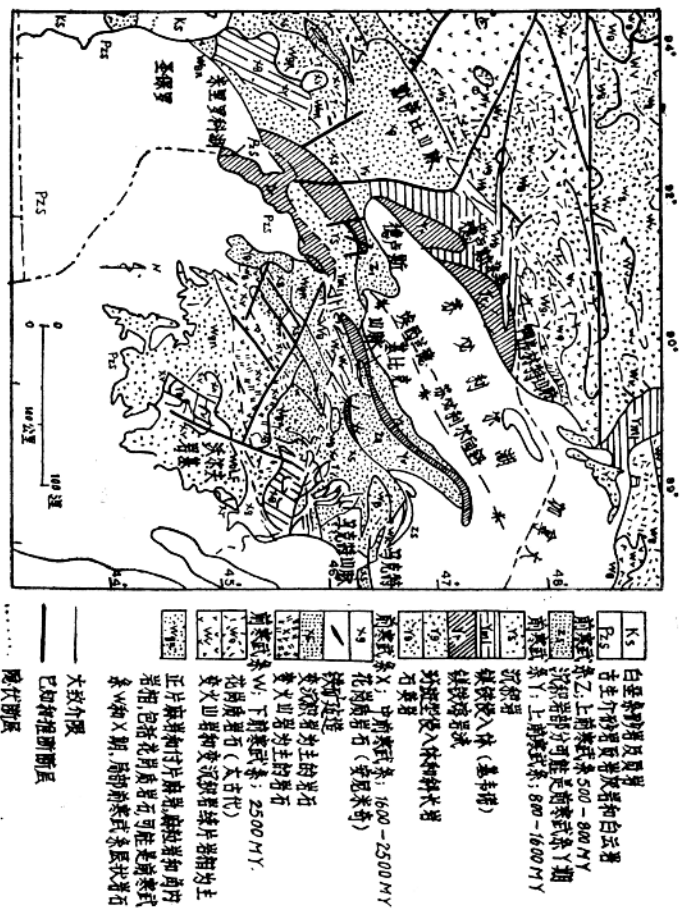


图1 苏必利尔湖地区前武系岩石地质图，示太古代（前寒武武系W）、安尼米奇期（前寒武武系X）和基韦诺期（前寒武武系Y）地带分布

(1) 太古代(前寒武系W): 3.5—2.5Ga, 由片麻岩、角闪岩组成, 地区上与绿岩杂岩体和花岗岩侵入体(2.75—2.60Ga)共生。太古代条带状铁矿即产于绿岩带中, 本次参观了苏丹矿。

(2) 安尼米奇期(前寒武系X): 1.9—1.85Ga, 由砂岩、砾岩、藻白云岩、铁矿建造、浊积岩和火山岩组成, 后经抬升剥蚀, 残留的早元古代岩石多为铁矿建造, 统称之为铁岭高山山脊, 包括梅诺默尼、马克特、果基比克、默萨比、库尤纳等山脉, 均有铁燧岩产出, 这次路线中参观了默萨比铁燧岩有关矿山。

(3) 中至晚元古代(前寒武系Y) 1.15—1.0Ga, 包括陆内基韦诺裂谷系相伴的火山沉积作用及火成活动, 区域上呈环状, 由重力正异常(图2)和磁力高带构成, 裂谷之发展如图3所示:



图2 陆内裂谷系的布格重力剩余及两重力高

①下基韦诺: 地壳下陷, 高原玄武岩溢出, 陆源石英砂岩沉积, 伴以低角度正断层, 厚60—85米, 见图3a所示。

②中基韦诺: 早期裂谷阶段。扩张继续, 地壳减薄, 正断层和下陷造成中央地堑和裂谷的形成。火山作用多局限于裂谷中, 岩流间并在沉积物间夹, 如图3b。

③中基韦诺: 晚期裂谷阶段。中央地堑扩大和加深, 地堑中堆积了非常厚的火山沉积物。在火山岩系的下部有基性—超基性岩浆呈岩盘岩席状侵入, 具铜镍矿化。太古界地壳为低角度断层扩张几乎分割开来。如图3c示。

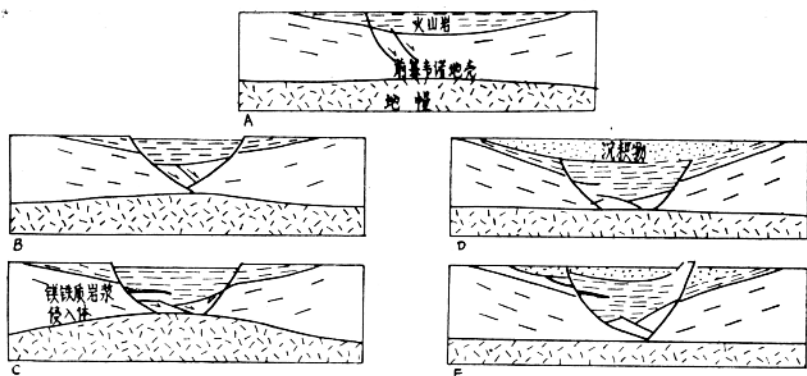


图3 苏必利尔湖地区陆内裂谷演化示意图

①上基韦诺：热力崩塌和沉积阶段。扩张和火山作用终止，中央地堑及其周围地区由于热力崩塌而下沉，深达10公里的盆地为碎屑物充填，沉积后期，在中上基韦诺界面附近火山岩与沉积岩中有铜矿化和沥清化。

⑤上基韦诺：构造回返阶段。中央地堑抬升，原来限定地堑的正断层转变为高角度逆断层。中央地堑中岩石上冲，在火山岩与沉积岩变形，顶不整合面上有厚达2000米的碎屑岩沉积。

基韦诺陆内裂谷的发展不同于东非裂谷模式，缺乏“Y”形裂谷三联构造发展为洋壳的另外两支，裂谷发生之前也无隆起作为先驱，喷溢于浅水的玄武岩流和石英—粗砂沉积均发生于平缓起伏的克拉通内环境。著名的基韦诺玄武岩铜矿、含铜页岩型的白松铜矿，德卢斯杂岩体中的铜镍矿化以及近年发现的世界上最古老的原油油苗均发现于基韦诺裂谷中晚期。此次路线中为参观之重点。加上铁矿如图4示。



图4 苏必利尔湖主要金属矿产分布图

裂谷系经65公里的张裂之后，挤压上升成为地垒后，沿盆地边缘反中央堆积了1500米最晚的雅各布斯维尔砂岩。

古生代海浸，之后苏必利尔湖地区上升为高地。古新界冰期的浸蚀与沉积，改变了原有景观，形成现代五湖地区地貌。

2. 太古代及早元古代铁矿床：

本次路线参观了太古代条带状硅铁建造的苏丹矿和早元古代铁燧岩铁建造的默萨比山脉铁矿床，简述如后。

(1) 苏丹矿 (Souban Mine)：苏丹矿位于苏丹塔州立公园内苏丹村之北，本区最老的太古介伊利(Ely)绿岩带中，由完美的枕状绿岩带构成，伊利向斜轴部岩枕压扁压紧，垂直劈理和扭曲发育。苏丹矿石即苏必利尔湖区有名的硬铁矿（本区铁矿石曾划分为软铁矿、硬铁矿、砾岩矿、硅质矿、磁铁铁燧岩、碧玉矿等多种类型），由致密层纹状燧石（白色），碧玉赤铁矿（红色）、磁铁矿燧石（黑色）组成条带状，与围岩绿岩之界限明显，与碧玉铁质岩则呈过渡关系。富矿出现于被绿岩包围的碧玉铁质岩透镜体尖端。1884—1962生产了1600万吨TFe63—66%高品位铁矿石，尚余储量225万吨，1900年由地表转坑下，后关门，1962年出让于州，现成为州旅游胜地。

(2) 默萨比山脉铁矿及罗切利欧铁矿 (Rouchlec Mine)：位于弗吉利亚角，属200公里长的默萨比山脉大转弯的地方，为下元古界彼瓦比克铁矿建造。燧石质铁燧岩常由卵圆形细至粗砂级颗粒组成，颗粒成分为燧石质石英、硅酸铁（铁蛇纹石、铁滑石或黑硬绿泥石）、碳酸铁或氧化铁。基质为细粒燧石质类、硅酸盐、碳酸盐或氧化铁。TFe28—33%，这种铁燧岩矿石经氧化，铁矿物变为赤铁矿和针铁矿，淋滤排除了大量氧化硅，形成“天然矿石”，稍加处理即可入炉，其产状如图5 A。罗切利欧矿已生产了5200万吨高品位TFe50—55%的“天然矿石”，1892—1980年间，300余高品位铁矿山生产了30亿吨铁矿石。当高品位铁矿石耗尽时，磁选铁燧岩工艺发展起来了，建立了8个铁燧岩工厂，现尚剩6个，经钴眼、爆破、装运、破碎、磨碎、磁选、成团、热固等一序（图5 B）成为1公分直径的赤铁矿小团（taconijc Pellets），TFe可达61.7%，然后入炉冶炼。现在铁矿的大宗生产皆经此选矿过程。

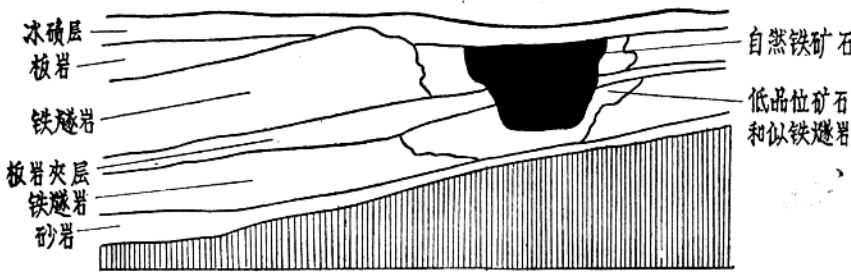
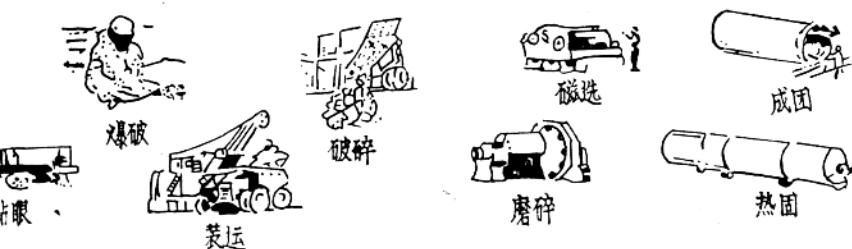


图5A 默萨比山脉含铁建造横剖面

图5B 铁燧岩选矿的若干工艺流程



3. 中晚元古代基韦诺裂谷系中铜镍矿床和铜镍矿化:

本次路线参观了苏必科尔湖北岸的德卢斯杂岩及有关铜镍矿, 考查了著名的基韦诺玄武岩铜矿带和层控白松铜矿, 现介绍如下。

(1) 德卢斯铜镍矿化杂岩: 德卢斯杂岩中发现有资源非常巨大的低品位铜—镍硫化矿化。该杂岩体是岩盆、岩盖、岩席状侵入于中之古界火山岩系中, 年龄为1.1Ga。硫化矿化沿杂岩体的南西界线产出(图1、4), 估计至少有40亿吨矿化岩石, 平均含铜0.66% (约640万吨金属铜)、镍0.2% (800万吨金属镍) 和一些钴及贵金属。构成了美国最大的镍矿资源。由于贱金属市场价格低, 尚不足以刺激开发, 但将来可望开发利用的潜力是巨大的。

德卢斯杂岩主体由富斜长石、不成层的辉长斜长岩、橄辉斜长岩和斜长辉长岩组成。所有证据证明这些斜长岩系列岩石侵位固结在先, 而下覆的典型层状的辉长岩系列岩石侵位于后, 后者近底板见铜镍硫化矿化(图6)。硫化矿物为磁黄铁矿、黄铜矿、方黄铜矿和镍黄铁矿, 呈粒间浸染状分布于岩体之底板与下元古介弗吉利亚组黑色泥板岩、杂砂岩、石墨板岩和硫化物相含铁层位的接触部位。近年A.K. Naldrett等提出, 岩浆型镍—铜硫化物矿床是在不混溶硫化物与硅酸盐岩浆分离时才形成的, 因此成矿作用受是否有硫存在控制, 而不受镍或铜的制约。他们根据硫化矿化的德卢斯杂岩系与其硫化物的下元古介弗吉利亚组接触的特征, 硫同位素组成上岩体与围岩中的硫化物相近。杂岩体中硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值从+0.2—+15.3‰, 平均+7.5‰ (77样, E, M, Ripley, 1981); 弗吉利亚组中角岩内硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值从+0.2—+25.8‰, 平均+10.79‰, 因此认为可能75%的硫质来源于围岩, 提出岩浆攫取了围岩中之硫促使铜镍硫化物从硅酸盐岩浆分离沉淀所至。以此观点还解释了苏联诺里尔斯克铜镍矿床。陆内裂谷作用能使镁铁质岩浆上升到地壳, 并且在地壳中与壳源硫混染, 这一模式在普查铜镍找矿中具有很大的应用价值, 可以重新审查一些铜镍矿点。

(2) 基韦诺玄武岩自然铜矿带: 中元古代中基韦诺期陆内裂谷表现为高原溢流玄武岩喷发, 在苏必利尔湖南岸基韦诺半岛, 有一沿基韦诺断层一侧波多埃奇湖玄武岩带发育的自然铜矿带(图1.4)。带长110公里, 由若干矿床点组成, 总铜金属储量700—800万吨, 平均含铜1—1.5%, 这次参观了含矿玄武岩典型剖面、二个采矿废石堆及一个坑下矿山。

南岭采石场典型剖面(图7), 从下往上看可见:

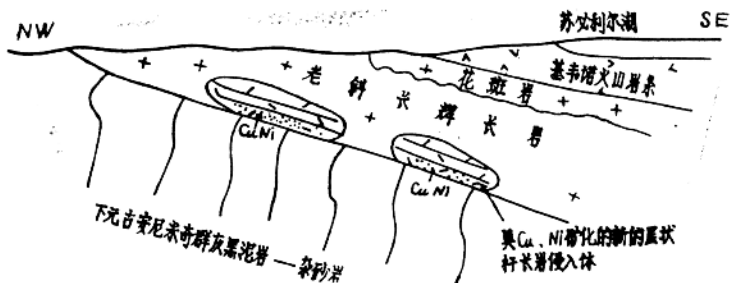


图6 德卢斯杂岩体产出部位示意图

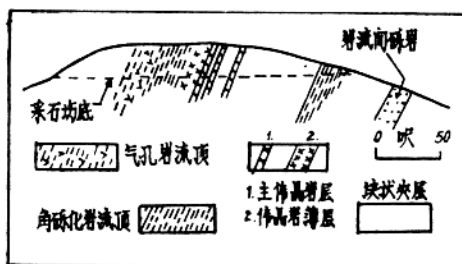


图7 南岭采石场地质横剖面

- | | |
|-----------------|------|
| ①岩流间砾岩带 | 厚4米 |
| ②熔岩流 | 厚18米 |
| ③蛇绿岩流夹若干层“伟晶岩”墙 | 厚42米 |
| ④上覆蛇绿岩熔岩流 | 厚17米 |

矿化分布于岩流间砾岩带和所谓的“伟晶岩”带中。整个火山岩由橄榄拉斑玄武岩流构成，两种矿化类型简述如下：

①含矿岩流间砾岩：砾岩带呈层状、透镜状产出，砾石中基性岩与杏仁岩（即当地称“伟晶岩”）占16%，石英斑岩36%、长石斑岩11%、花斑岩占37%。砾径最大可达65公分，一般1—8公分。砾石成份的非均质性说明供应来源不止一处。可见石英—长石斑岩砾石为黑色细脉穿插，细脉及砾石间隙充填了辉铜矿生点的方解石、囊状硅孔雀石，长石斑晶中均可见自然铜细小斑点，大量的自然铜见于细脉及砾间孔隙中。我们参观的阿鲁兹矿废石堆，该矿1869—1892年间便生产了7500万磅炼铜。参观的德拉威尔矿坑下也可见该矿生产的是阿鲁兹砾岩及其下的脉状充填矿，早年生产脉状矿，晚年生产砾岩矿，现停产开辟为坑下旅游点。主脉开采长265米，延深330米，宽仅35公分。以方解石为主，矿物共生次序为少量石英、微斜长石和白云母，继后为自然铜，最后有少量辉铜矿。自然铜浸染于基质中。矿液沿张口裂隙向上运移，遇块状的绿岩流时折向水平方向沿砾岩发展。矿物的沉淀可能是温度下

降与围岩反应促成。这次参观了老的井下采场，沿砾岩为缓倾斜之偏坡闹堂，沿富矿脉为不规则的坑洞，矿床为成岩后形成无疑。主要成矿控制因素是砾岩的孔隙度。

②含矿“伟晶岩”——杏仁岩：在橄榄拉斑玄武熔岩流未固结之前，少量挥发份离异残余岩浆富集呈不连续的层和透镜体分布于熔岩流之顶部，由粗板条状富钠长石的斜长石、富铁柱状单斜辉石和大量Fe—Ti氧化物及少量磷灰石、锆石组成具杏仁构造的杏仁岩。杏仁及孔洞中充填的次生矿物包括石英、绿帘石、葡萄石、绿纤石、方解石、绿泥石和少量自然铜、辉铜矿。单个杏仁孔中可见绿色的绿帘石等类矿物富集于孔底，白色的方解石等类矿物见于孔的上部，这也是自然铜的富集部位。在我们参观的伯尔特克3号竖井矿废石堆中所见杏仁岩中与铜相伴的杏仁中的其他矿物为：方解石91%、石英5%、绿纤石—绿帘石和绿泥石1%，硫化物较多，主要是辉铜矿、少量斑铜矿和极少量黄铜矿。生成次序上绿帘石、绿泥石最早，石英和自然铜居中，含铜的硫化物方解石最后，常见硫化物与方解石共生，并成脉状穿插。U—Pb年龄测定成岩为 $1095 \pm 1.3\text{Ma}$ ，自然铜矿化年龄为1060—1047Ma，比成岩较晚。伯尔特克矿及其附近三个矿山开采均为伯尔特克岩流顶部的杏仁岩，是基韦诺自然铜矿带第三大矿。1845—1968生产了110亿磅炼铜，开采了7公里长，1公里深，5—8米宽。成矿控制因素主要是孔隙度。

全区这类含矿岩流间砾岩和岩流顶杏仁岩的矿化层位有十多个（图8），主要矿山有9个，现在多数已停止生产，主要原因是铜价和美国矿业开发政策关系，并非资源枯竭。

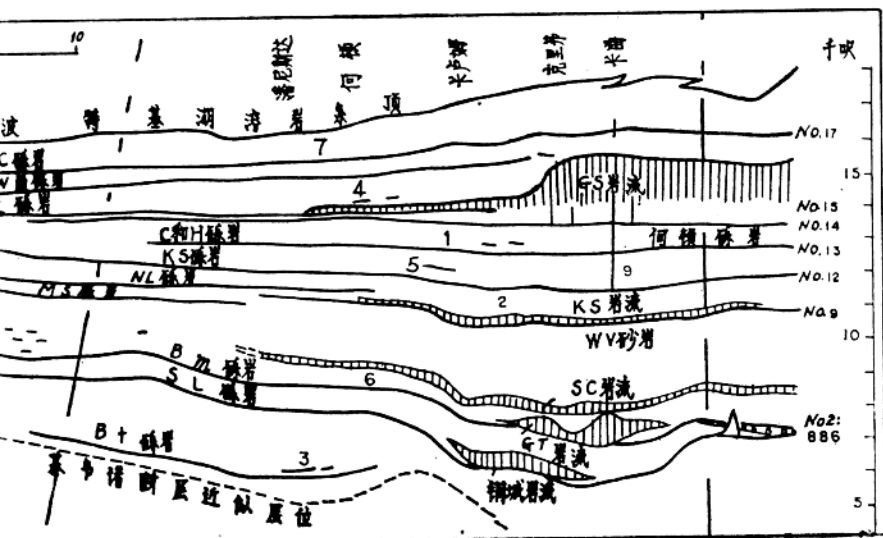


图8 波特基湖熔岩系纵向地层切面图，密西根北东之维多利亚至基泰诺帕特（东端）柱状图右端数字为当地对砾岩层之编号，浓黑走大数字为铜生产基地