

内 部 资 料

赴瑞典考察科技报告

上 册

地 质、物 探 部 分

国家计委地质局赴瑞典考察团

一九七四年十二月

毛主席语录

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

自力更生为主，争取外援为辅，破除迷信，独立自主地干工业、干农业，干技术革命和文化革命，打倒奴隶思想，埋葬教条主义，认真学习外国的好经验，也一定研究外国的坏经验——引以为戒，这就是我们的路线。

一切外国的东西，如同我们对于食物一样，必须经过自己的口腔咀嚼和胃肠运动，送进唾液胃液肠液，把它分解为精华和糟粕两部分，然后排泄其糟粕，吸收其精华，才能对我们的身体有益，决不能生吞活剥地毫无批判地吸收。

前 言

国家计委地质局赴瑞典考察团（对外名义为中国地质学会赴瑞典考察团）自1974年8月30日至9月30日，在瑞典考察了三十一天。

考察团由十二人组成，包括地质、物探、钻探三个专业。地质组的考察重点是：基鲁纳型富铁矿，其次是前寒武纪地层中以铜为主的硫化矿床；物探组的考察重点是地面交流电法和补偿式航空电法；钻探组的考察重点是液压技术在钻探机械方面的应用和小口径金刚石在复杂岩层及深孔实现高速钻进的技术经验。

考察团先后访问了瑞典北部和中部二十二个城镇，参观了工厂、矿山、学校、地质调查和研究机构等共三十四个单位。

在我驻瑞典使馆党委领导下，由于瑞方的积极协助和考察团全体同志的共同努力，考察团基本上完成了原定的出国考察任务，并且取得了一些计划以外的收获。通过考察活动，也进一步增进了中瑞两国人民的友谊与中瑞科技工作者之间的学术交流。

根据毛主席“洋为中用”的教导，我们把三个专业组在考察过程中了解到的情况和收集到的资料进行了整理，编写成两本资料，供我国进行有关工作时参考。其中第一册是地质和物探专业内容，第二册是钻探专业内容。

中瑞两国自然条件和社会条件不同，因此在对比或参考我们编写的资料时，要注意结合我国的实际情况进行具体分析，同时要根据“自力更生，艰苦奋斗”方针，因地制宜地运用于我有用的经验，防止生搬硬套。

由于我们的水平有限，编写中可能有缺点和错误，特别是我们在资料中针对我国情况提出的一些意见很不成熟，希望读者阅后予以指正。

1974年12月

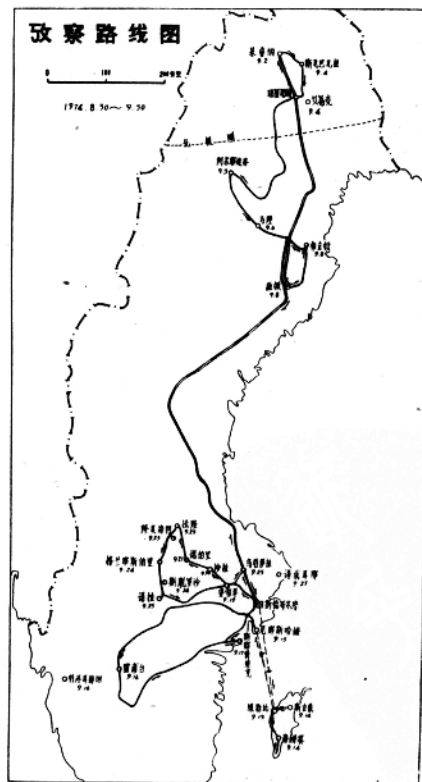


图 1 在瑞典考察路线图 (在地名下所注月、日系到达日期)

目 录

第一部分 地质组科学技术考察报告	1
附件一 瑞典前寒武纪地质及金属矿产简单介绍(附表4张,插图1张)	6
一、瑞典前寒武纪地质简介	6
二、瑞典的金属矿产	15
附件二 瑞典铁矿考察专题报告(附表10张,插图9张)	20
一、基鲁纳及其附近地区铁矿地质简介	20
(一) 基鲁纳地区	20
1. 矿区的地质概况	20
2. 矿床特征	29
3. 关于本区三种铁矿矿床形成地质条件的一些初步分析及问题	39
4. 铁矿普查找矿中应用物探方法的一些情况	40
(二) 其它地区	41
二、瑞典中部某些地区铁矿地质简介	47
(一) 区域地层和含铁层位简介	47
(二) 格兰耶斯伯里地区	50
(三) 斯堪萨地区	53
(四) 诺伯里地区	54
(五) 对本区磷灰石富铁矿和其它铁矿的形成地质条件的一些初步分析	56
三、瑞典铁矿考察的一些主要体会	57
附件三 瑞典北部及中部多金属硫化矿床考察专题报告(附表3张,插图10张)	59
一、谢略夫特欧地区多金属硫化矿床地质	59
二、艾蒂克铜矿床地质	73
三、法隆地区多金属硫化矿床地质	78
四、小结	81
附件四 毕林恩沥青页岩铀矿	83
附件五 关于瑞典化探工作的一些情况	87
一、区域化探	87
二、化探详查	88
附录 关于重砂淘洗器的结构和使用的情况	90
附件六 关于瑞典地质工作的一些情况	92
一、地质填图和制图	92
二、一些金属矿产的普查勘探程序	92
附件七 瑞典地质调查所简介	94

地质部分附图目录

图1 在瑞典考察路线图	
图2 瑞典大地构造分区及主要金属矿产成矿区简图	6
图3 基鲁纳地区前寒武纪火山杂岩柱状剖面示意图	21

六、SA 7100 型自动离子交换器	139
附件五 用于计算机成图的三色墨水喷射式绘图仪	142
附件六 一种用成象管的阶梯光栅光谱仪	150

物探部分附图目录

图1 倾角法原理图 垂直的一次场	107
图2 倾角法原理图 水平的一次场	108
图3 倾角法工作示意图	108
图4 双框法仪器原理图	109
图5 双框法原理图	109
图6 补偿法和斯拉姆法工作示意图	110
图7 斯林格拉姆仪器示意图	110
图8 甚低频法工作示意图	111
图9 斯林格拉姆仪器发射部分方框图	112
图10 斯林格拉姆仪器发射线圈图	112
图11 斯林格拉姆仪器接收部分方框图	113
图12 斯林格拉姆仪器接收部分移相器	113
图13 甚低频法原理图	114
图14 老式天线	115
图15 新式天线	115
图16 阮斯川矿体上双框比和余倾角剖面图	117
图17 沃库拉矿体上土拉姆剖面图	118
图18 鲁彻倍肯矿层电磁补偿测量	119
图19 钦海登矿体上自然电位平面图	119
图20 钦海登矿体上土拉姆剖面图	120
图21 钦海登矿体上视电阻率和电磁法剖面图	120
图22 艾蒂克地区视电阻率略图	121
图23 布立顿补偿式航电仪接收线圈的结构图	124
图24 布立顿补偿式航电仪接收线圈与飞机连接安装的剖面图	124
图25 布立顿补偿式航电仪接收发射探头及核旋磁仪探头的安装方式	125
图26 瑞典地质调查所甚低频航电仪的安装形式	125
图27 测地公司的航空综合站空中记录方式	127
图28 测地公司航空综合站的定位方式	127
图29 三块倾斜薄板的磁异常曲线	130
图30 布立顿公司早期绘制航磁等值线图的方式	130
图31 航空定位摄影机在机舱内的安装方式侧视图	131
图32 航空定位摄影机在机舱内的安装方式顶视图	132
图33 2303“井”型能谱仪Ge (Li) 探头的结构	134
图34 4710-A型测井仪Ge (Li) 探头的结构	135
图35 不锈钢棒状致冷器的结构图	136
图36 Ge (Li) 探测器在 36.1℃ 温度下, 在外表形成一锂扩散层	137
图37 制成后的室内分析用Ge (Li) 探测器	137
图38 制成后的测井用Ge (Li) 探测器	137

图39	4128和4129脉高选择器的窗位和窗宽选择	138
图40	SA7100 流程图	140
图41	蒸馏单元	141
图42	墨水喷射强度调制原理	142
图43	彩色成图仪的基本部分	143
图44	作图部分方框图	143
图45	记录头上电极的安排	145
图46	缓冲记忆和控制线路的方框图	146
图47	磁带上字组N的数据编排	147
图48	成象的编排格式	148
图49	析象管的概要图	150
图50	光谱仪图	152
图51	说明阶梯光栅光谱仪分辨率的部分铁弧光谱	152
图52	用光栅级次分选器时在光阴极上级次的分布	154
图53	不同的级次分选器的级次间距与波长的函数关系	154
图54	用光栅级次分选器时在光阴极上级次的分布	155
图55	用光栅级次分选器时在光阴极上级次的分布	156
图56	所述光栅光谱仪的焦线	157

图 版 说 明

图版 I 基鲁纳地区地质图 (比例尺约四万分之一, 根据 P. 富舍耳和 T. 派拉克, 1972) 图例说明:

1. 花岗岩;
2. 瓦柯沉积岩;
3. 下好屋基组;
4. 石英斑岩脉;
5. 基鲁纳瓦拉斑岩脉;
6. 中性安山质岩石 (部分角闪岩化);
7. “含石英斑岩”;
8. “正长岩”;
9. “正长斑岩”;
10. 库拉瓦拉砾岩;
11. 基鲁纳绿岩中沉积岩层;
12. 基鲁纳绿岩;
13. 矿体;
14. 矿石角砾;
15. 钻孔;
16. 岩层产状;
17. 基鲁纳瓦拉凝灰岩层的产状;
18. 地质界线;
19. 岩石露头。

图版 II 格兰耶斯伯里矿区地质图 (根据 N. H. 麦格努森, 1970)

- 图版 III 1. 重砂淘洗器的吸水吸砂装置全貌 (参阅图22)。左上方为固有金属滤网的吸水龙头 (图22之5), 中部为橡胶底座及位于其上的小型汽油机和装有长方匣状塑料外壳的离心水泵, 其左上方为淘洗装置的进水箱 (图23之5), 它同钢管 (图22之10) A端连接的塑料软管相连, 靠在水桶 (照片中部偏下) 边左侧的是塑料管的金属快速接头 (图22之8), 其左下方为塑料旋塞式阀门 (图22之7); 水桶右侧为钢管的B端 (图22之10), 用以吸取泥砂。2. 金属快速接头 (参阅图22之8) 卸开后全貌, 左侧为塑料旋塞式阀门 (参阅图22之7)。3. 装有重砂的木箱放在塑料桶上 (过筛前镜头)。4. 同3, 用离心水泵和塑料管吸水冲洗后镜头, <5毫米的重砂及细泥全部流入塑料桶中。注意塑料管所装的旋塞式阀门。5. 开动吸水吸砂装置、淘洗重砂过程的全貌。注意浑浊泥砂水流之下的沉砂板的梯形横板架及其末端的圆盖螺丝。6. 重砂淘洗后, 提起沉砂板架, 将重砂装入样品口袋。

图版 IV 7. 安装在固定翼机上的布立顿补偿式航电系统的外貌。8. 安装在固定翼机上的布立顿补偿式航电系统的外貌。9. 布立顿补偿式航电系统在测区飞行情况。

图版 V 10. 4710-A 型测井仪 Ge (Li) 探头的外型。11. 2303型能谱仪 Ge (Li) 探头的外型。12. 安装在机舱内的综合航空测量站。13. 基鲁纳地区努佑吐斯瓦拉矿区采坑中条带状富磷灰石赤铁矿 (贝尔耶由型), 示褶皱后富磷灰石条带 (灰白色) 的塑性变形 (照片中相机镜头盖直径约5厘米)。

图版 VI 14. 1515能谱仪全貌。15. 1511能谱仪全貌。16. Ge (Li) 探测器在容器内加热, 保持 400℃ 的温度。17. 航磁异常曲线计算情况。

第一部分 地质组科学技术考察报告

(一)

在出国前我们对铁铜等考察计划作了较详细的讨论。我们认为,我国铁矿资源相当丰富。建国以来,尤其是无产阶级文化大革命以来,储量增长快,但富矿比例小。前震旦纪(老于16—17亿年)古老变质地层中受变质硅质铁矿(即“磁(赤)铁石英岩”)已有储量,占全国储量比例较大,而其中富矿很小,但大多具有矿床规模较大和易采易选的特点。迄今还未在这些地层中发现基鲁纳型富铁矿。

瑞典已知主要铁矿产在老于16—17亿年的变质火山沉积岩系中,其中基鲁纳型富矿与一定的火山活动有关,储量近37亿吨,约占全国总量四分之三,条带型贫矿与我国受变质硅质铁矿的形成条件有相似之处。

因此,考察基鲁纳型富矿矿床特征及成矿条件,并了解其区域性地质背景,同时了解基鲁纳型富矿与条带型贫矿相互关系,可供我国扩大前震旦纪铁矿资源,尤其是寻找富矿做借鉴。

我们又认为,我国铜矿资源也相当丰富。建国以来,尤其是无产阶级文化大革命以来,储量增长也很快,但在古老变质岩地层中的铜矿储量所占比例还不大。在华北和东北有分布广泛的前震旦纪地层,铜矿成矿条件较好,其中不少与古老火山沉积作用和变质作用有密切联系。

瑞典前寒武纪变质地层中多金属(部分含铜较富)硫化矿床是一个重要的矿床类型。据初步了解,其成矿条件与我国老地层中铜矿有相似之处。瑞典对这类矿床曾进行过较多的工作,特别是在物探方面有一定的经验。因此对这些矿床参观考察,可供我国扩大老地层中相似铜矿床等的远景工作做借鉴。

(二)

在铁矿方面,通过考察,我们对瑞典基鲁纳型富铁矿的矿床和地质特征,有了比较全面的了解,因而对今后在我国寻找这个类型的地质条件,有了比较明确的认识,此外,对它同各种条带型贫铁矿的关系,也有所了解,增强了在我国古老变质地层中找其它原生富矿类型的信心。

基鲁纳型富铁矿为世界著名铁矿类型之一,以产于瑞典北部基鲁纳地区而得名,但在瑞典中部格兰耶斯伯里一带,也有产出(详见附件二)。其矿石成分,以富含磁铁矿和一定数量的磷灰石为特征,有时也有阳起石和赤铁矿,含铁品位一般在60%以上,磷的变化较大,但大部分含量较高或偏高,而含硫很低。磁铁矿和赤铁矿中含钒,磷灰石中含稀土,在一定的条件下,钒和稀土有可能综合利用。

矿体大多呈板状或透镜状,其产状同顶、底板岩石基本一致。在已知的矿床和矿点中,有不少规模较大。其中最大的基鲁纳瓦拉铁矿,连同其向北隐伏的延长部分(即鲁萨湖铁

矿)共长5400米,而基鲁纳瓦拉矿体本身长4公里余,平均宽90米,钻探控制深度为1000米,据物探资料推断深可达1600—2000米。

这个类型铁矿产于不同变质程度的古老中、酸性(有时局部为基性)而往往又含钠、钾较富的火山及火山沉积岩系中,一般沿一定的层位产出,具体来说,是产在钠质或富钠而含铁较高的岩类(大多为、或至少一部分属角斑岩或石英角斑岩熔岩性质)中。对其生成过程,在瑞典虽仍有争论,但多数人认为铁质来源与其产出岩系有关的火山活动有成因上的联系。现在,它局部呈沉积构造,实际的生成过程看来比较复杂,但基本上是同生的,且代表着有关的火山活动过程中一定阶段(往往在中、早期)、一定的地区(喷发中心?)的产物,它同产出层位较高、时代较晚而其成矿物质来源仍大多直接或间接同火山活动有关的、沉积方式生成的铁矿(如石英条带型铁矿),在地区的地质发展上是有联系的。

看来这个类型之所以成为富矿,主要属原生性质,后期变化对其化学组成影响较小,而上述火山沉积岩系的存在和含铁较多的钠质岩类的出现,是寻找这个类型的地质前提。在普查找矿工作中,还要从研究区域地质发展、尤其是火山及火山沉积岩系的发展、演变及其岩石化学特征入手,注意岩相变化及有利地段,并密切配合物探工作进行。

关于产出基鲁纳型铁矿的火山及火山沉积岩系的地层对比工作,虽还有许多尚待解决的问题,但一般认为瑞典北部和中部的产铁地层属瑞卡旋迥的不同层位(参阅附件一)。至于火山和火山沉积岩系生成的环境方面,还没有进行详细的研究,看来大部分有可能是在水底生成的,而其具体形成条件,在整个岩系演变过程中还会有变化的。

包括石英条带型在内的瑞典各种条带型铁矿,大致同我国“磁(赤)铁石英岩(包括含有闪石类、辉石类等硅酸盐矿物的)”型相当,平均含铁以33%左右为多,但在少数地区也有低到28%的和少量高达50—55%的富矿,层位及产地虽多,都是中、小型,总储量只4亿吨,仅占全国铁矿总量8%。从基鲁纳地区一种基鲁纳富铁矿亚类可向位于其上层位的石英条带型贫矿过渡、格兰耶斯伯里一个基鲁纳型富矿体可转变为较贫的长英变粒岩型条带状铁矿,以及瑞典中部诺伯里地区石英条带型贫铁矿与相应的原生富矿的转变关系等情况,说明不同类型的条带状贫铁矿与这两种不同类型的原生富矿,在时间和空间分布上有一定的内在联系,因而使我们推想,在有利的条件下(如铁质来源丰富、沉积条件较为稳定等等),我国一些地区的“磁(赤)铁石英岩”型铁矿中,有找到相当规模的原生富矿的可能。

结合我国实际,我们认为云南省×××××有钠质火山岩类的浅变质火山及火山沉积岩系分布,除已知富矿类型外,在其附近是否有基鲁纳型铁矿,值得注意;四川省×××××有与×××××类似的变质钠质火山岩类,也是应加注意的一个地区。在两地均需结合已有地质和物探资料,研究进一步工作的布署。辽宁省×××××以迄吉林省×××××一带的古老地层中,有富含钾、钠的变质火山岩和火山沉积岩,与基鲁纳地区地质条件有一定的相似性,也可在综合研究已有资料的基础上,开展相应工作,试找这个铁矿类型。在上述几个地区的有利地段,可与扩大铜矿远景等工作做综合找矿的统一考虑。时代较新的甘肃省×××××××等地铁矿地质条件,与基鲁纳型大致类似,附近还有磁异常。因此,在我国试找基鲁纳型富铁矿,不宜限于古老变质岩地区。

在“磁(赤)铁石英岩”型铁矿发育地区,如河北东部,也需综合研究已有资料,试找相应的变质的原生富矿。

在含铜等多金属硫化矿床方面,我们通过考察,对它们的矿床特征,找矿标志、找矿方

法及区域地质、成矿条件，也有所了解。

瑞典北部谢略夫特欧地区是一个多金属硫化矿床带，长约 180 公里，其中的布立顿矿区曾为世界毒砂最大产地之一，也产金、铜，1926 年开采，1968 年采完。在更北部有大型的艾蒂克浸染型铜矿，于 1968 年开采。在瑞典中部还有不少多金属硫化矿床地区，其中的法隆已有 1000 多年的开采历史，过去盛产铜和黄铁矿。

瑞典前寒武纪变质地层中的多金属硫化矿床均有一定层位，绝大多数产于瑞卡旋迴的上部及下部火山岩系中。经我们实地观察与了解，它们绝大多数产于以中酸性火山岩为主的火山及火山沉积岩系中，其直接围岩有富钠质的类似角斑岩、石英角斑岩或长英变粒岩的蚀变岩石、火山碎屑岩石和含钙镁硅酸盐的大理岩夹层。有些地区，它们与条带型铁矿或磷灰石富铁矿产于同一岩系的不同层位中。大部分矿体与围岩整合，有的还同褶皱。在布立顿附近的厄登矿床，有的矿体还保留类似沉积的构造。

赋存于火山岩系中的多金属硫化矿床的矿石矿物以黄铁矿为主，含有铜、铅、锌、金、银、硫、砷和少量的铋、锑、锡、碲、汞等。含矿组分与中酸性火山活动有关，其中一部分可能与火山喷发时形成的凝灰岩或沉积岩有一定的联系。

所有硫化矿床周围均有瑞卡旋迴早期或晚期的同造山期花岗岩，大部分显示了混合岩化现象，近的相距只有 1—2 公里，有的直接与花岗岩接触，一部分硫化矿床还被与混合岩化作用有关的伟晶岩脉所穿插。

一部分矿化地带有蚀变，在谢略夫特欧地区的中酸性火山岩系有绢云母化、绿泥石化、硅化以及红柱石化、硬铝石化等；在中部地区，长英变粒岩系中有透闪石化、直闪石化、堇青石化、黑云母化及绿泥石化。这些变化受混合花岗岩热液的影响，部分也可能存在混合热液镁质交代的影响。

由于构造应力的影响，致密块状矿体多成矿株或矿柱产于穹窿或背斜轴部附近和顶部，有些还和近直立的褶皱轴相平行，此外，含有矿化的剪切带和破碎带也是成矿的有利部位。

关于这一类硫化矿床的成因争论很多。目前大多数人认为是同火山喷气有关 的同生沉积，其中一部分矿床经混合岩化热液的作用，在有利的构造部位富集。

在瑞典北部谢略夫特欧矿化带，中酸性的火山岩系以上的石墨板岩中，有少数含磁黄铁矿的浸染状矿化，基鲁纳一带绿岩中的石墨板岩中发现有铜矿化，因此这一类型也值得注意。

在找寻这类矿床时，物探方法特别是电法的效果明显，很多矿体都是通过 these 方法找到的。如谢略夫特欧地区在矿床的发现和评价中，有效的方法是双框法和斯林格拉姆法；对于艾蒂克矿区的评价工作，电磁法和电阻法则取得明显的效果。

结合我国的实际，云南省 ×××××、××××× 的钠质火山及火山沉积岩系中，已有较大规模的铜矿，山西省 ××× 铜矿，最近不少人也认为一部分是火山沉积的，辽东的变质含钠质火山沉积岩系中也有黄铁矿、毒砂和铜矿化，河南省 ×× 群和 ×× 群也有相应的铜矿化。对这些地区，均需综合已有的地质和物探资料，研究进一步工作部署。根据我们这次考察的体会，今后在上述或其它类似的地区寻找同一类型的硫化矿床时，除注意寻找火山沉积岩系中的矿源层外，还要注意寻找有利构造、有利层位与有关蚀变，并注意混合花岗岩的热液影响，在具体的找矿和评价工作中，要加强物探工作，密切物探和地质的配合，才能取得较好的效果。

(三)

在考察过程中，我们对瑞典的地质工作得到以下几点印象：

1. 金属矿的主要远景区已有了初步划分，并成为地质工作的主要对象。在全国范围内已划分了下列三个远景区：

瑞典中部远景区 以铁铜多金属为主，产于瑞卡旋迴火山岩系中，也有放射性及铁合金原料。本区某些矿区的开采已有一千多年历史，格兰耶斯伯里的基鲁纳型铁矿及法隆多金属硫化矿床均在此成矿区。本区1959年后开始1:5万航空磁测，1970年后开始1:1万地质及地面物探（包括磁法、重力与电法）详查。

瑞典北部远景区 以铁铜多金属为主，产于瑞卡旋迴火山岩系中，也有放射性及铁合金原料。基鲁纳铁矿、艾蒂克铜矿及谢略夫特欧多金属硫化矿带均在此区。

本区部分地区于1910年开始用电法大规模普查勘探，1957—1959年开始1:5万地质详查与航空磁测，1960年在部分地区开始多种地面物探。

在北部和中部远景区，近年来开展了区域化探普查，在进行水化学和冰碛重砂找矿的同时，又开始了采取有机样品来代替水系沉积物样品的普查找矿工作。

瑞典西部远景区 以铁铜多金属为主，也有放射性及合金原料，属加里东褶皱带所形成的山区。内带1910年开始普查勘探，以斯太肯约克黄铁矿型多金属矿床为代表，产于下古生界中。外带1930年开始普查勘探，以莱斯瓦砂岩铅矿为代表，产于始寒武纪砂岩中。

瑞典高等学校毕业地质人员总数在300—400之间，其中约三分之二从事实际工作及有关科研，接近三分之一从事教学及有关研究工作。大部分地质人员在上述三个地区工作。

2. 对矿山地质比较重视。重要矿山的每一水平层，都进行坑道地质填图。为解决关键性问题，部分水平层还做专题科研。

矿山关闭、停采或采完以后，还都做出研究总结，以供同一地区和相似地质条件区域的普查找矿工作的参考。例如累沃斯硫化矿1957年停采，1959年写出研究总结。布立顿1967年采完，1970年写出研究总结。

对开采矿山也注意反复研究，并与矿产预测工作相结合。例如对基鲁纳矿区经1969年重新研究，在深部又发现新的矿体，中部法隆开采已一千多年，经重新研究，目前仍在生产。

矿山地质研究中，近20多年来注意加强矿床构造的研究，把地面地质一套变质岩工作方法用于地下矿体及围岩的研究，为矿床勘探、矿山开采、成因研究及探索成矿有利构造提供了新的线索。

瑞典矿山地质人员不断增加，1946年只15人，1970年增至60人。

3. 地质与物、化探和钻探工作结合得比较密切 在瑞典的地质普查、勘探中，各有关专业工作一般都做到比较密切的结合。有关情况可参阅物探组的科技考察报告及本报告的附件六。需要补充的是，在矿山的开拓坑道中，坑道地质和坑内的钻探工作以及有时也需进行的物探工作，结合得也较密切。

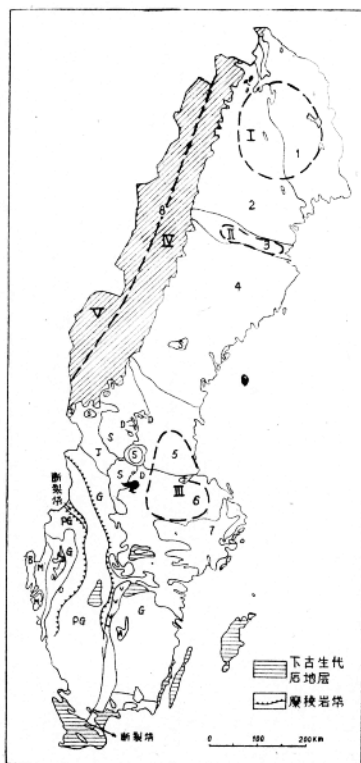
通过各工种较密切的结合，不仅有可能缩短工作过程，在普查找矿方面，也往往收效较好。如根据地质条件和物探异常，所布置的钻探验证中，有时虽未打到预测的隐伏矿体，但经相应的物探测井，对资料作进一步研究，就有可能在补打钻孔中见矿，在基鲁纳矿区和

有一个硫化矿床，都有这样的实例。又如在加里东外带找砂岩铅矿，通过古地理研究，发现含矿砂岩常沉积于下有辉绿岩的低洼地段，便通过航磁圈定下伏辉绿岩范围，进一步找到了冰碛层覆盖下的砂岩铅矿。在另一地区，又发现这类铅矿的漂砾出现于两侧为老花岗岩的狭长地带，经地质推断这个地带为一地堑，其中可能有含矿砂岩保存，又经地震法探测等工作证实，地堑中确为含矿砂岩而非花岗岩，因而也找到了铅矿。

附件一 瑞典前寒武纪地质及金属矿产简单介绍

一、瑞典前寒武纪地质简介

注：这一部分主要根据瑞典地质调查所伦德果尔得 (Lundegårdh) 于 1974 年 9 月 1 日下午，在斯德哥尔摩大学给考察团介绍的纪要和参考其它有关文献整理的，最后，附有关于瑞典前寒武纪地层划分表，是经过综合编制的，只作为一般性参考。



(一) 一般情况

瑞典整个地区组成波罗的地盾 (Baltic shield) 西部，前寒武纪地层和岩石占有广大面积，出露于瑞典北部、中部和南部；西北部为下部古生代地层所形成的加里东褶皱带。在加里东褶皱带之东，下部古生代地层还零星出露于瑞典南部的小拗陷内和属于波罗的海及波的尼亚海湾中央拗陷区的果特兰岛 (Gotland) 和厄兰岛 (Öland) 等地。最南部斯堪尼亚省 (Skåne) 一带是波罗的海中央拗陷区寒武—奥陶纪时通向丹麦—波兰沉降带的通道，在这一地区，除下部古生代地层外，还有中生界和部分第三系的沉积。第四纪后，瑞典绝大部分为第四系冰川所覆盖。瑞典的大地构造单元及一部分成矿区分布见图 2。

图 2 瑞典大地构造分区及主要金属矿产成矿区简图 (主要根据 N. H. 麦格努森等, 1962)。

1, 北部诺尔兰区的卡累里亚特; 2, 北部诺尔兰边缘带; 3, 谢路夫特政地区; 4, 中部诺尔兰地槽; 5, 南部诺尔兰边缘带; 6, 斯维埃兰复背斜; 7, 梅拉复向斜; 8, 加里东褶皱带。PG, 前果特期单元; G, 哥提期单元; J, 约特尼期单元; S, 下约特尼期单元; D, 达尔斯兰得期单元; B, 波胡斯花岗岩; M, 斯杜拉勒马尔斯特兰系; V, 维辛厄系。I, 诺博登成矿区; II, 谢路夫特政成矿区; III, 瑞典中部成矿区; IV, 加里东外带; V, 加里东内带。

(二) 前寒武纪古老基底

前寒武纪岩石在瑞典约占75%左右，目前大部分为冰川沉积所覆盖，前寒武纪岩石中的大部分是属于不同变质程度的沉积岩系和火山岩系（在瑞典通称为supracrustal series），和大量出露的深成岩系，包括有辉长岩、苏长岩、斜长岩和各种花岗质岩石（在瑞典通称为infracrustal series），其中花岗质岩石往往与这一地区的构造运动，特别是与瑞卡旋迴（Sveco-karelian）、有一定的联系，一般在瑞典习用早期同造山期花岗岩（primorogenic granite）、晚期同造山期花岗岩（serorogenic granite）和造山期后花岗岩（post-orogenic granite）等名词，在这些花岗质岩石中，有相当数量是由于混合岩化作用形成的。

根据同位素年龄测定的数据（K/Ar, Sr/Rb, U, Th/Pb），和野外地质观察，前寒武纪时期大致可划分为：

表 1 瑞典前寒武纪时期的划分

始 寒 武 世		
构造运动	达尔斯兰得期 (Dalslandian)	8.5—9亿年
	约特尼期 (Jotnian)	11亿年
	后瑞卡期 (Post-Svecokarelian)	15亿年
构造运动	瑞 卡 期 (Sveco-Karelian)	17.5—18亿年
	前瑞卡期 (Pre-Sveco-karelian)	25亿年
构造运动		35亿年

由于地质的大部分为冰川沉积所覆盖，露头不多，因此在岩层对比、构造运动等方面的观察都还存在着若干问题，同时同位素年龄鉴定的数据比较少，也还不足以系统地说明问题。看来，对于瑞典的前寒武纪各个时期如何划分，各个大区之间的地层如何相互对比等问题，都还没有很好地解决，也还存在着不少的争论。

目前，瑞典几个地区的前寒武纪时期暂时可划分如下：

表 2 瑞典各大区前寒武纪时期的划分

	南 部		中部莱英克拉岩 (Leptite formation) 区	中部诺尔兰 (Norrland) 地槽及南部诺尔兰边缘带	北部诺尔兰 边缘带	卡累里亚带 (Karelian)
	西 南	东 南				
始寒武纪	—				—	
达尔斯兰得期	—					
约特尼期	—			—	—	—
后瑞卡期	果特期 (Gothian)	下约特尼期 (Sub-Jotnian)	下约特尼期	下约特尼期	—	—
瑞 卡 期	—	果特期	—	—	—	—
前瑞卡期	—				—	

1. 前瑞卡期¹

1. 前瑞卡期及其他时期的地层和岩石对比示意图见表 3

表 3 瑞典前寒武纪地层及岩石划分简表

	南 部			中部长英变岩区		南部瑞典边缘带中部瑞典边缘带		北部瑞典边缘带		卡累里亚特带
	西南部	东南部	部	新维埃兰复岩斜	梅拉瓦向斜			谢尔夫特岩地区	基鲁纳地区	
寒武纪										
始寒武纪			维辛厄系					伐瑞杰系		
达尔斯特姆期	波胡斯花崗岩 达尔系 斯图尔博系									
约特尼期		阿尔梅斯威克系 (Almesåkra series)	梅拉尔砂岩 (Målar ss.) 斯瓦尔格厄尔文砂岩 (Svartälven ss.)					约特尼期砂岩		约特尼期
后瑞卡期	威摩尔—范洛普夫 耶尔花崗岩系 威摩尔系 (果特期)	达拉花崗岩 (环礁) 达拉系 (下约特尼期)	拉根达花崗岩 (环礁) 达拉系 (下约特尼期)	瑞普花崗岩系 诺托系 (Noppi series) 上卢斯系 (upper Loos series) (下约特尼期)	索色尔花崗岩 杜勃隆岩系 (Doublon porphyry)			索色尔花崗岩 杜勃隆岩系 (Doublon porphyry)	林那花崗岩 (部分) 下约特尼期	林那花崗岩 (部分) 倍林杰系
瑞卡期	新杜拉勒—马尔 斯特兰系(?)	斯摩兰得岩系 维斯特维克系 (果特期)	斯摩兰得花崗岩(?) 斯摩兰得岩系 维斯特维克系 (果特期)	绿岩带 早期同造山期花崗岩 阿尔梅斯威克岩系 (Alvestorp series) 梅拉尔系 梅拉尔希坦岩系	阿尔梅斯威克岩系 (Alvestorp series) 梅拉尔系 梅拉尔希坦岩系	阿尔梅斯威克岩系 (Alvestorp series) 梅拉尔系 梅拉尔希坦岩系	阿尔梅斯威克岩系 (Alvestorp series) 梅拉尔系 梅拉尔希坦岩系	阿尔梅斯威克岩系 (Alvestorp series) 梅拉尔系 梅拉尔希坦岩系	阿尔梅斯威克岩系 (Alvestorp series) 梅拉尔系 梅拉尔希坦岩系	林那花崗岩 (部分) 倍林杰系
前瑞卡期	前果特期片麻岩							花崗片麻岩系		

前瑞卡期的岩石在瑞典出露较少，它们和瑞卡期的关系还不很明确，其中大部分又受后期变质作用影响较重，因此所测得的同位素年龄数据也只能代表新的变质时期的年龄，不能反映出它们真实的时期。目前一般认为它们仅出露于瑞典北部和西南部。

(1) 瑞典北部

基鲁纳 (Kiruna) 北部有大片出露的花岗片麻岩地区，根据测定的同位素年龄的数据 (Sr/Rb) 为27.2亿年，属于前瑞卡期，这一数据是瑞典目前已知的最老的年龄数据。

(2) 瑞典西南部

瑞典西南部出露有前果特期 (Pre-Gothian) 的岩石，它们延向芬兰的部分，在芬兰被认为是前瑞卡期，因此，它们一般被认为是属于前瑞卡期。它们在西南部，组成近南北向的宽约60—120公里的条带 (见图2)，岩石主要是含磁铁矿的片麻岩，根据岩性进一步可分为红色及灰色片麻岩、条带状片麻岩 (红色片麻岩中夹有斜长角闪岩夹层) 以及变质基性岩体等，部分能看到残留的火山熔岩、凝灰岩以及石英岩和钙镁硅酸盐大理岩等沉积构造。变质作用较深，一般为角闪岩相，最高的为含有紫苏辉石花岗岩的麻粒岩相，它们仅见于西海岸的瓦伯瑞 (Vaberg)。这些片麻岩一部分混合岩化比较强烈，一部分也可以再生成为较新的花岗岩。在这一地区中，糜棱岩带比较发育 (见图2)，长达数百公里，在糜棱岩带之间，红色片麻岩中出现相当数量的橄榄石辉长岩岩床，其中有重要的钒、钛磁铁矿床 (塔伯瑞 (Taberg) 型)，它们的外部逐渐变为斜长角闪岩，内部还有类似混合岩化的伟晶岩脉和花岗质岩脉的注入，因此，这一岩体也可能受与片麻岩同一期的区域变质作用的影响，时期可能属早达尔斯兰得期 (?)。

前果特期的岩石的同位素年龄数据 (K/Ar) 一般都在10.6—10.9亿年左右。一般推测这些岩石在达尔斯兰得期下沉，因而出现区域变质作用，伴有重熔和部分混合岩化作用，致使同位素年龄降低。这一现象在邻近挪威交界处比较显著，因此又被称为瑞挪重生作用 (Sveconorwegian regeneration)，此外这一地区的南北构造也属于后期影响。

2. 瑞卡期

瑞卡期过去又称为瑞芬期 (Svecofennian)，是瑞典最重要的构造旋迴 (tectogenesis)，它们在瑞典分布广泛，约占整个瑞典的面积50%左右，它们可分为两个一级单元，瑞芬带和卡累里亚带，分述如下：

(1) 瑞芬带

瑞芬带在瑞典分布很广，是前寒武纪最重要的构造单元，它们向东通过波的尼亚海湾与芬兰相连。在瑞典，从南到北，可分为下列次一级的构造单元 (见图2)：

i 瑞典中部长英变粒岩区 包括斯维埃兰复背斜 (Svealand anticlinorium) 和梅拉复向斜 (Mälaren synclinorium)；

ii 南部诺尔兰边缘带；

iii 中部诺尔兰地槽；

iv 北部诺尔兰边缘带。

瑞卡期主要岩石为以酸性岩为主 (富含钠质的和钾质的) 的中酸性火山岩系，上部为泥质岩石和硬砂岩系，含有少量的细碧岩等火山岩，顶部有砾岩、石英岩和碳酸盐岩石。变质后，酸性火山岩变为长英变粒岩 (leptite)、长英角岩 (hällflinta) 及其它变质岩石，泥质岩石变为不同类型的片岩或千枚岩，碳酸盐岩石变为不同类型的大理岩，其中特别是钙镁

(铁) 硅酸盐大理岩往往引起很多的争论, 这一类型在瑞典一般通称为“矽卡岩”或反应矽卡岩 (reaction skarn), 一部分人认为是接触交代或镁质交代作用形成的。瑞芬带中变质程度差别较大, 有些变质轻微, 基本上保持原岩性质, 有些则变质较深, 变质较深的邻近经常有混合岩化岩石或花岗岩质岩石。变质相有绿色片岩相 (绿帘石、绢云母、石英组合); 角闪岩相 (红柱石、堇青石、铁铝石榴石组合) 最高可达角闪岩相中的高温组合 (矽线石、正长石组合)。一般属低压变质作用范围。

花岗岩岩石在瑞芬带中分布广泛, 一般可分两种类型:

i 早期同造山期花岗岩 岩石成分大部分相当于花岗岩闪长岩、石英闪长岩、奥长花岗岩等, 往往含有角闪石。它们可以形成大的或小的与围岩成整合关系的岩体, 本身具有片麻状、片状及斑状构造, 并与围岩有混合交代的现象, 有时本身也有再生或活化的现象。和它们在一起的有时还有辉长岩、闪长岩等杂岩体。一般没有伟晶岩与之共生。它们主要分布于南部和中部, 向北逐渐减少。其时代大致为 18.8—18.3 亿年左右, 有人认为它们是早期重熔的产物。和它们有关的一个重要问题是所谓镁质交代作用, 即长英变粒岩和其它岩石受这一花岗岩所派生的含镁质气体溶液影响, 而变成含镁质矿物 (直闪石、堇青石、蛇纹石……) 的交代岩, 一部分与硫化矿床或铁矿床的形成有关。关于这一问题, 目前有争论。

ii 晚期同造山期花岗岩 岩石成分大部分相当于花岗岩, 微斜长石、黑云母较为常见。它们具有混合花岗岩的特点, 花岗岩内部结构和岩性都不很均匀, 经常继承有长英变粒岩、变质火山沉积岩和片岩等结构, 边缘部分有各种混合岩石, 并经常出现有脉状混合片麻岩 (veined gneiss), 伟晶岩常与这类花岗岩伴生, 有时还含有 Li, Be, Rb, Cs 以及 Nb, Ta 等稀有元素, 如瓦鲁垂斯克 (Varuträsk) 地区的伟晶岩。根据伦得果尔特的意见, 混合岩化过程大致可认为, 开始时是原有变质矿物的重结晶, 以后发展为钾质的迁移形成新的微斜长石变斑晶和交代共生结构, 局部连结构形成脉状混合岩石, 长石和石英的进一步迁移形成长英质岩脉和伟晶岩体或形成细一中粒花岗岩 (晚期同造山期再生花岗岩)。这一花岗岩往往成大面积分布于中部偏北的诺尔兰东南部和维斯特博滕 (Västerbotten) 等地区, 与它们有关的脉状混合片麻岩分布则更为广泛, 中部及北部都有。关于它们的形成, 一种意见是后期地壳下沉, 引起重熔而产生, 另一种意见认为是花岗岩化作用的产物, 时间大约是 18—17.5 亿年左右。这一期花岗岩可能和硫化矿床如谢略夫特欧地区 (Skellefteå district) 等有关, 但对这一类型的成矿物质来源和形成过程, 都有着不少不同的看法。

瑞芬带各区地质情况简述如下:

i 瑞典中部长英变粒岩区

主要由长英变粒岩系 (leptite formation) 所组成, 主要岩石有长英角岩-长英变粒岩, 以及少量的变质中基性岩石和钙镁碳酸盐岩石。在它们的上部, 西部为格锐特希坦 (Gryttan) 板岩系, 东部位于格锐特希坦之上为拉尔斯博-梅拉 (Larsbo-Målar) 板岩及硬砂岩系。变质程度差别很大, 轻微变质的有长英角岩, 最高的可达角闪石相 (红柱石、堇青石、铁铝石榴石组合)。在格锐特希坦板岩系以后, 这一地区出现有大面积的早期同造山期花岗岩及某些混合岩化, 之后有一期斜长角闪岩 (绿岩) 墙的侵入, 晚期同造山期花岗岩只在本区北部出现, 但脉状混合片麻岩在梅拉复向斜中较为发育, 推测与当时地壳下沉有关。

伯依斯拉根地区 (Bergslagen), 长英变粒岩系下部有各种类型的条带状铁矿、磷灰石富铁矿和硫化矿床, 它们在区域上呈半圆形分布, 根据伦得果尔得的推测, 认为有可能是古老