

柳志青 著

脉状钨 矿床成矿 预测理论

科学出版社

脉状钨矿床成矿预测理论

柳志青 著

科学出版社

1980

内 容 简 介

本书较全面地论述了半隐伏、隐伏脉状钨矿床深部预测标志和理论。书中对隐伏花岗岩深度预测、脉状钨矿床在花岗岩体内外分布模式、矿床构造、脉状钨矿床的多阶段矿化、多阶段矿化的脉动分带、单阶段矿化分带、富矿体的赋存规律、夕卡岩型——蚀变花岗岩型钨矿床与脉状钨矿床的成因联系以及钨矿床矿源层问题等许多方面进行了规律性的总结，并提出了矿物微粒浓差运离分带理论。书中不少观点和处理问题的方法具有独创性，对一些过去长期争论的钨矿理论问题，取得了较为合理的解决和解释，进而对解决生产上的一些问题具有一定的指导意义，同时对其它矿种也有一定参考价值。

本书可供从事岩石、矿床、地球化学、构造等方面的科研、教学及有关找矿勘探的地质工作者参考。

脉状钨矿床成矿预测理论

柳 志 青 著

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1980年4月第 一 版 开本：787×1092 1/16
1980年4月第一次印刷 印张：9 3/4 插页：2
印数：0001—2,940 字数：216,000

统一书号：13031·1227

本社书号：1708·13—14

定 价： 1.60 元

前 言

我国早在宋朝（公元十世纪）开采锡矿时就已发现了黑钨矿，当时称为重石。1781年化学家希奈（C. W. Scheele）自白钨矿中发现了钨酸酐（ WO_3 ），其后两年，他与学生一起分离出钨元素。十九世纪中叶以后，经过一系列努力，炼出优质钨钢。1900年钨应用于高速工具钢后，引起了人们的广泛重视，从此，钨便广泛应用于工业上。我国黑钨矿的开采始于1908年，当时产量极微，在1914年钨精矿产量也仅20吨，至1918年，产量突然增至10,200吨，民间采矿找矿，盛极一时。以后产量虽一度下降，然自第二次世界大战爆发，年产量又增至14,200吨，占世界总产量的66%。至解放前夕，我国钨精矿的产量，每年约为世界总产量的50—65%。当时这些钨精矿全部出口外运，而国内却始终没有建立起冶钨或钨制造工业。解放后，在中国共产党的正确领导下，对旧的钨矿山进行了改造，并建设了一系列新矿山，冶钨和钨制造工业也逐渐兴建，我国有色金属工业面貌一新。

我国南部钨矿地质研究工作始于1929年。解放前，周道隆、徐克勤、丁毅、张兆瑾、马振图、王嘉荫等老一辈地质学家曾先后对钨矿进行过调查研究。尤其是徐克勤和丁毅（1943年）所著的《江西南部钨矿地质志》一书，在国内外有很大影响。他们提出钨矿床的成矿活动与燕山期花岗岩有成因联系，提出钨矿床的多阶段矿化，指出上锡下钨的分带是因钨多锡少引起的，这对成矿理论及钨矿评价有重大贡献。在这一时期，主要工作是研究脉状钨矿床。

解放后，在党的正确领导下，对钨矿资源进行系统的普查找矿与勘探工作，探明的储量迅速增长，与此同时，进行了广泛深入的钨矿地质研究工作，取得了一些重大成果。主要有徐克勤（1957）对夕卡岩型钨矿床进行了深入的研究，他提出了夕卡岩钨矿的形成条件及其与石英脉钨矿床的成因联系，为六十年代发现特大型夕卡岩钨矿床提供了理论依据；康永孚、李洪漠、苗树屏、莫柱孙、刘连捷（1957、1958、1959）等人全面总结了建国以来钨矿床的普查找矿和勘探方法，进一步论述了脉状钨矿床的成矿规律；黎彤、刘国光、张盛奇、庄培元（1959、1961）对硫化物型黑钨矿-白钨矿矿床（目前莫柱孙及笔者等人认为该矿床属斑岩钨矿）进行了全面系统的研究；胡受奚（1962）提出产于花岗岩中钨矿床的蚀变分带是钾长石化带→钠长石化带→云英岩化带（成矿元素富集带），对矿区生产有很大指导意义，对钨矿床理论来说，他提出的碱质交代理论在国内外也是较早的；李秉伦、刘义茂（1965）对江西南部内生钨铍矿床矿物学进行了系统的研究；广东冶金勘探公司932地质队以庄培元等同志为首，对某脉状钨矿床脉带形态结构的垂直分带进行了研究，提出了有名的“五层楼”分带规律（1966），十多年来，运用这一规律找到了很多大中型半隐伏钨矿床。此外，六十年代至七十年代，很多单位和个人，对蚀变花岗岩型钨矿床的成矿规律也进行了一些研究工作，也取得了可喜的成果。

尽管解放以来钨矿成矿规律及理论的研究取得了这么多重大成就，而且这些成就已被广泛应用，但所有勘探钨矿床的地质队在进行深部评价时，都遇到很多钻探落空和判断错误的情况。可以肯定，这种情况今后还将延续好多年。因此，广大钨矿地质工作者普遍

认为,隐伏、半隐伏钨、锡、铍、铜矿床的矿化规律,预测和评价标志,对于钨矿地质工作者来讲,是一个亟待解决的课题。鉴于此,笔者认真学习了前人的研究成果,实地调查了我国一百多个大中小型矿床和矿点,吸收了广大地质人员和老矿工的实践经验,进行了室内实验研究及资料的分析归纳。在此基础上,对隐伏花岗岩顶板深度预测、钨矿矿源层、脉状钨矿床在花岗岩体内外的分布模式、脉状钨矿床成矿构造控制、区域多阶段矿化、富矿体——砂包的分布规律、脉动分带、矿物微粒浓差运离分带、脉状钨矿床的储量预测等多方面长期没有很好解决的问题进行了初步的探讨,但由于自己对这些问题所做的调查研究还不够深入,到目前为止认识还是很粗浅的,仅是由于上述问题本身的重要性,迫使笔者把一些很不成熟的看法发表出来,希望起到抛砖引玉的作用。

这项研究先后进行了十五年,在党组织的关怀和鼓励下,做了这次总结,但对于钨矿理论进一步深入研究来讲,还只是一个开端。在研究过程中,始终得到南京大学地质学系徐克勤教授、胡受奚教授的指导。各矿山地质工作者和老矿工们对这一研究工作给了热情支持,提供了很多宝贵资料和标本。在研究过程中得到浙江大学吴迪光副教授和林瑞森、顾章玲、葛曼珍、施明泽、倪纪文等同志的帮助。1976年4月4日初稿写成后,南京大学徐克勤、胡受奚,桂林冶金地质研究所康永孚,湖北省地质科学研究所莫柱孙,中国科学院地质研究所吴利仁,中国科学院贵阳地球化学研究所王道德、刘义茂,北京第三地质研究所杜乐天,江西省地质局909队李崇佑、朱焱龄等同志对初稿进行了审阅,提出了许多宝贵意见。以后,于1978年5月专门召开了初稿评审会,与会代表提出许多修改意见,会后许多基层矿山及广东冶金932地质队,湖南414地质队,江西冶金第二地质队,福建第五地质队等几十个单位纷纷寄来了他们最新工作成果,大大充实和丰富了本书内容。张礼明同志为本书清绘了全部图件。笔者借此机会向上述单位和同志们表示感谢。

作 者

1979年2月于浙江大学地质学系

目 录

第一章 隐伏花岗岩顶板高的预测·····	1
一、概述·····	1
1. 钨矿床与燕山期花岗岩的空间关系·····	1
2. 隐伏花岗岩地质标志的研究·····	1
二、接触热变质带各带岩石特征·····	2
1. 绢云母-绿泥石斑点板岩带的岩石特征·····	2
2. 绿帘石-阳起石-白云母-黑云母角岩带的岩石特征·····	2
3. 黑云母-白云母-红柱石-堇青石角岩带的岩石特征·····	3
三、隐伏花岗岩体顶板标高的预测·····	3
四、与隐伏岩体预测有关的一些问题·····	5
1. 热变质过程中的传质问题·····	6
2. 导热系数的大小对热变质带宽度的影响·····	6
3. 花岗岩体的侵入深度、形态、大小与围岩性质对热变质带强度和宽度的影响·····	7
五、小结·····	7
第二章 脉状钨矿床在花岗岩体内、外的分布模式·····	8
一、概述·····	8
1. 脉组、脉带、矿床、矿田的定义·····	8
2. 矿化分布的不均匀性·····	9
3. 矿床与花岗岩体大小的关系及空间分布·····	9
4. 内、外接触带矿床石英脉的平面排列特点·····	10
二、内、外接触带矿床赋存位置的等深规则·····	12
1. 内、外接触带矿床的含脉间隔与含矿间隔·····	12
2. 内、外接触带矿床赋存位置的等深规则·····	15
三、外(内)接触带矿床脉带(组)形态结构的垂直分带·····	16
1. “五层楼”分带的提出·····	16
2. 外接触带矿床脉带形态结构分带·····	17
3. 外接触带矿床脉带形态结构分带类型·····	20
4. 内接触带矿床脉带形态结构分带·····	21
四、脉带总脉幅垂直、水平变化的等厚规则·····	23
1. 总脉幅等厚规则·····	23
2. 脉带总脉幅等厚规则的成因机制和适用范围·····	25
五、脉状钨矿床形态结构分带的成因及钨矿床在花岗岩体内外的分布模式·····	26
1. 脉状钨矿床形态结构分带的成因·····	26
2. 内、外接触带矿床特征对比·····	28
六、小结·····	29
第三章 脉状钨矿床成矿构造分析·····	30

一、成矿裂隙成因及配套	30
1. 裂隙的形成	30
2. 判别成矿裂隙性质的某些问题	31
3. 含矿裂隙性质的判别	32
4. 含矿裂隙配套与多阶段矿化	35
二、判别断裂与矿脉关系的某些问题	35
三、脉状钨矿床的某些构造类型	38
1. 梯型构造	39
2. 人字型构造	41
3. 雁行构造	42
4. 对倾叠瓦构造	44
5. 木排构造	45
6. 反 S 型构造	46
四、小结	49
第四章 钨锡铍矿床的区域多阶段矿化	51
一、概述	51
二、石英脉钨矿床区域多阶段矿化	54
1. 辉钼矿-白钨矿阶段	54
2. 绿柱石-自然铍-黑钨矿阶段	57
3. 锂白云母-锡石-黑钨矿阶段	61
4. 铁锂云母-黄玉-锡石-黑钨矿阶段	62
5. 硫化物-锡石-白钨矿-黑钨矿阶段	64
6. 碳酸盐-萤石阶段	66
三、钨锡铍石英脉矿床中黑钨矿和云母的特征	69
1. 黑钨矿	69
2. 云母	71
四、小结	71
第五章 钨锡铍矿床、矿田、矿带的脉动分带	72
一、石英脉中的脉动分带	72
1. 第一、二矿化阶段的脉动分带	72
2. 第一、二、三阶段的脉动分带	73
3. 第一、三、五阶段的脉动分带	73
4. 第一、四阶段的脉动分带	74
5. 第二、三阶段的脉动分带	74
6. 第二、五阶段的脉动分带	75
7. 第三、五阶段的脉动分带	75
8. 第四、五阶段的脉动分带	75
二、石英脉带与矿床中的脉动分带	77
三、矿田中的水平分带	78
1. 围岩性质与分带的关系	78
2. 花岗岩顶板标高与矿田水平分带的关系	80

四、矿带的水平分带	82
1. 矿化阶段的分带	82
2. 各矿田中同一阶段石英脉中矿物含量的变化	83
五、小结	83
第六章 含矿石英脉的矿物微粒浓差运离分带	84
一、概述	84
二、石英脉中一个矿化阶段矿物的垂直分带	84
1. 辉钼矿(白钨矿、黑钨矿)阶段的垂直分带	84
2. 绿柱石-自然铋-黑钨矿阶段的垂直分带	85
3. 锂白云母-锡石-黑钨矿阶段的垂直分带	88
4. 铁锂云母-黄玉-锡石-黑钨矿阶段的垂直分带	89
5. 硫化物-锡石-白钨矿-黑钨矿阶段的垂直分带	91
三、云母线中矿物贫富与石英脉中矿物贫富的联系	95
1. 实例	95
2. 云母线与薄脉、大脉品位关系	96
3. 上述规律的应用	98
四、小结	98
第七章 黑钨矿石英脉中砂包的分布规律	99
一、概述	99
二、容易出现砂包的矿脉及赋存规律	99
1. 砂包与黑钨矿晶出空间的关系	99
2. 砂包与脉幅大小、脉体形态的关系	100
三、砂包在矿脉中赋存的位置	100
四、砂包与围岩的关系	103
五、小结	104
第八章 钨锡铍接触交代矿床与稀有元素蚀变花岗岩矿床的多阶段矿化与垂直分带	105
一、钨锡铍多金属接触交代(充填)型矿床的多阶段矿化	105
1. Sn I 钨矿床密集区的多阶段矿化	105
2. 含铍条纹岩的多阶段矿化及成因	107
3. 硅铝质岩石中交代型矿体的多阶段矿化	109
二、锡铜铅锌接触交代矿床的垂直分带	110
1. 锡锌矿床的垂直分带	110
2. 锡铜铅锌矿床的垂直分带	110
3. 锡铜矿床的垂直分带	110
三、钨锡铍蚀变花岗岩型矿床的多阶段矿化	111
1. 3022 钨铍铌钽矿床	111
2. 8011 钨锡铌钽矿床	113
四、稀有元素蚀变花岗岩矿床的垂直分带	114
1. 富稀土花岗岩的垂直分带	114
2. 富铌钽蚀变花岗岩及相关长石石英脉中铌钽分带	115

3. 钨铍蚀变花岗岩矿床的垂直分带	116
五、小结	118
第九章 矿物微粒浓差运离分带理论	120
一、传统热液矿床分带理论所遇到的几个难题	120
二、热液中矿质的搬运形式	121
1. 五种常见的地质现象	121
2. 七个反常的实例	122
三、石英脉中矿物富集与矿物微粒浓差运离分带理论及应用	124
1. 矿物微粒的形成	124
2. 晶体的生长和矿物微粒的聚合	125
3. 矿物微粒在裂隙中的分离和沉降	127
4. 运用矿物微粒浓差运离分带理论预测脉状矿床的深部矿化	131
四、几点说明与展望	134
第十章 脉状钨矿床矿源层假设	136
一、问题的提出	136
1. 为什么很多燕山期花岗岩体及其附近没有钨矿床	136
2. 钨矿床密集区的某些地球化学特点	137
二、燕山期花岗岩的含矿性与地层关系	137
1. 岩基状花岗岩的含矿性与地层关系	138
2. 大岩株状花岗岩的含矿性与地层关系	138
3. 小岩株状花岗岩的含矿性与地层关系	138
4. 隐伏花岗岩和岩枝的含矿性与地层关系	139
5. 钨矿床矿源层的假设	139
三、小结	140
第十一章 对成矿预测的几点看法	141
一、隐伏钨矿带的预测	141
1. 矿源层	141
2. 隐伏花岗岩	141
3. 标高	141
4. 实例	142
二、隐伏矿田、矿床、脉带(脉组)及矿脉的预测	143
1. 赋存位置的预测	143
2. 脉带深度与总厚度的预测	144
3. 矿种、品位与储量的预测	144
参考文献	145
照片	147

第一章 隐伏花岗岩顶板高的预测

一、概 述

1. 钨矿床与燕山期花岗岩的空间关系

南岭钨矿床与燕山期花岗岩体有密切的成因联系。在空间关系上,钨矿床与燕山期花岗岩体形影不离,钨矿床与花岗岩体的空间关系可分为三类:矿床储量主要赋存于花岗岩体中,称为内接触带矿床;矿床储量主要赋存于接触面上下,称为接触带矿床;矿床储量主要赋存于花岗岩体外,称为外接触带矿床。很多产于花岗岩体外接触带的矿床,在地表没有发现花岗岩体,经过深部勘探,都发现了隐伏花岗岩体。这充分证明了钨矿床与花岗岩之间的密切联系。但是,也要指出的是,大部份燕山期花岗岩体内及其周围是没有钨矿床的。

已知大部份外接触带矿床,主要分布在隐伏花岗岩体顶峰或脊线附近的外接触带中。内接触带型矿床的分布位置也常受花岗岩体顶板形态的控制。例如,在某些岩体中发现,花岗岩体顶板平缓时常有隐伏矿脉,顶板陡峻时则很少有钨矿脉。隐伏的复式侵入的花岗岩体,往往还控制了钨矿带的展布。例如,按北东—北北东方向展布的1010—1060号半隐伏复式花岗岩体,控制了六个大中型钨矿田的排列。因此,隐伏花岗岩体的预测不仅对评价每一钨矿床具有指导意义,而且对寻找隐伏、半隐伏钨矿带具有指导意义。

2. 隐伏花岗岩地质标志的研究

作为预测隐伏花岗岩体的地质标志——接触变质带,首先由德国学者罗森布什(H. Rosenbuch, 1877)所研究。他曾将欧洲阿尔萨斯的孚日山脉的巴尔安德劳花岗岩体周围的古生代板岩划分为三个渐进接触变质带:

角闪岩带:此带中的角闪岩是全部重结晶的岩石,变质矿物有磁铁矿、石英、云母、红柱石和堇青石,并以红柱石角闪岩为主,此外还有堇青石角闪岩、石榴石角闪岩、电气石角闪岩。

斑点云母板岩带:本带的岩石有显著的重结晶现象,主要由鳞片状云母组成,有多量褐色黑云母,而斑点系不完全重结晶部份,并有较多的玻璃质。

斑点板岩带:斑点板岩是变化很少的岩石,其斑点是由碳质及一部份变质磁铁矿组成,碳质已变成石墨。

因此,定性地预测隐伏花岗岩体的存在问题,早在1877年已经解决了。此后,各种热变质带岩石中矿物共生组合和生成条件,曾被广泛深入地研究。

由于一些众所周知的原因,火成岩热变质带宽度变化很大。例如,据何镜宇研究^[29],小兴安岭西南部神树附近中生代地层受花岗岩影响,发生热变质作用。围绕花岗岩,可分出四个变质带:堇青石红柱石角闪岩带,宽约700—800米;云母质斑点板岩带,宽约300

米;云母质板岩带,宽约 1000 米;绿泥石、绢云母板岩带,宽约 1000 米。但是,在江西黄沙隐伏花岗岩体外接触带的某些剖面上,热变质带的总厚度也仅 150 米。不同地区火成岩热变质带宽度有很大变化,同一地区火成岩热变质带宽度也同样可以有很大变化。例如,朱贤甲、黄旭初、杨双喜、陈书仙、李耀成、康先济(1966)对木梓园一带的热变质带进行研究之后,发现在该区热变质带厚度从 700 米增加到 1000 米以上。据研究,同一花岗岩侵入体的热变质带宽度也有很大变化。即使隐伏岩体顶板的某点位置已为钻孔控制,根据钻孔资料所获得的热变质带厚度数据,也仅能粗略地预测这一岩体其它部份的标高。因为随着花岗岩隐伏深度的增加,热变质带厚度往往也会增加。鉴于这些情况,我们认为,一个已知花岗岩体热变质带厚度数据不能直接用来预测隐伏花岗岩顶板标高。

在前人研究的基础上,我们研究了各热变质带厚度与地温梯度的关系,提出了预测隐伏花岗岩顶板标高的热变质梯度法。

二、接触热变质带各带岩石特征

隐伏花岗岩体的围岩种类很多,本章所叙述的围岩为经过浅区域变质的长石石英砂岩、粉砂岩、砂质板岩、板岩,主要属寒武系。由于花岗岩的侵入作用,引起围岩的接触变质。在整个变质晕圈内,岩石热变质程度随着靠近花岗岩体呈现有规律的变化。根据变质程度,可划分为三个渐进变质带,即绢云母-绿泥石斑点板岩带、绿帘石-阳起石-白云母-黑云母角岩带、黑云母-白云母-红柱石-堇青石角岩带。对于板岩、砂质板岩、长石砂岩,这三个带表现得尤为明显。每一前进变质带为一组标型矿物所限定,这一组标型矿物的最初出现(在从低级向较高级变质的过渡中),即标志着所涉及变质带的外限。变质作用程度的上升,可以直接和温度的上升相对比。因此,等变质程度线——等变度(isograde)也就是等温线。

各热变质带岩石特征描述如下:

1. 绢云母-绿泥石斑点板岩带的岩石特征

绢云母-绿泥石斑点板岩分布于花岗岩热变质晕的最外带。这一带的岩石呈浅灰色,和没有经热变质的岩石相似,具有明显的微层状构造,不同之处是板岩中有斑点状构造。斑点大小为 0.1—1.0 毫米,主要由绿泥石、白云母鳞片聚集而成,斑点内矿物无定向排列。板岩中原有的经区域变质生成的绿泥石和绢云母多呈定向排列和均一消光。与板岩互层的长石砂岩大多没有明显的热变质现象。

2. 绿帘石-阳起石-白云母-黑云母角岩带的岩石特征

向着花岗岩体方向,绢云母-绿泥石斑点板岩转变为绿帘石-阳起石-白云母-黑云母角岩。在这一带,岩石呈灰黑色,块状构造,层理构造不明显。在微风化的岩石中有时有斑点构造,新鲜岩石上则较难看到斑点。

岩石均重结晶,构成花岗鳞片变晶结构。形成的矿物主要为黑云母、白云母、石英、电气石、绿帘石、阳起石。出现那一些矿物,与原岩岩性有很大关系。原岩为板岩时,主要矿物为黑云母、白云母、石英、电气石,原岩为粉砂岩、长石砂岩时,除黑云母、白云母等外,往

往还形成较多绿帘石、阳起石。

斑点主要由绿帘石、阳起石、白云母、黑云母组成,并以一种矿物为主。偶尔也有红柱石小晶体组成的斑点。斑点呈圆形、椭圆形及不规则状,直径变化为 0.1—50 毫米,一般为 0.1—5 毫米。岩石中出现那一种矿物斑点,取决于原岩岩性。无论有无斑点,矿物分布多不均匀。

3. 黑云母-白云母-红柱石-堇青石角岩带的岩石特征

这一热变质带紧靠花岗岩体。这一带的各种角岩主要呈深色致密块状,仅少数为浅色致密块状,如红柱石角岩、白云母角岩。原岩层理一般看不出,但是当岩性明显变化时,角岩上也能看到明显的层理。无论层理明显与否,用铁锤打击时,岩石很少沿层面破裂。

岩石强烈重结晶,构成花岗鳞片变晶结构、纤维鳞片变晶结构。原岩相同时,矿物分布很均匀。典型的变质矿物有黑云母、白云母、石英、电气石、红柱石、堇青石、透辉石、钙铝榴石、普通角闪石等。

黑云母是本热变质带分布最普遍的矿物,含量占 30—95%,含量多少与原岩性质有关。白云母亦为常见矿物,含量一般为 5—60%。红柱石分布不普遍,仅在富铝岩石中发育,含量一般为 5—15,最高可达 30%,如余都、崇义、崇仁等地的红柱石角岩。红柱石常被白云母交代,这是一种高温退变质作用。在堇青石-黑云母角岩中,堇青石含量可达 30—40%,并且,堇青石也常聚成斑点状。普通角闪石、透辉石和钙铝榴石仅在粉砂岩、长石砂岩中出现,分布极不均匀。

根据热变质矿物共生组合,可以确定它们的变质相。绢云母-绿泥石斑点板岩带应是钠长石-绿帘石角岩相中绢云母-绿泥石亚相的条件下变质作用的产物。绿帘石-阳起石-白云母-黑云母角岩带应是钠长石-绿帘石角岩相中绿帘石-黑云母亚相的条件下变质作用的产物。黑云母-白云母-红柱石-堇青石角岩带应是角闪石角岩相条件下变质作用的产物。辉石角岩相的矿物组合目前还没有发现。

三、隐伏花岗岩体顶板标高的预测

花岗岩侵入后,由于温度梯度的存在,必然要向围岩传递热量,并形成上述渐进变质带。设花岗岩顶板温度为 t_0 ,向外温度逐渐下降,温度差 Δt 对于沿法线方向两等温面间的距离 Δh 的比值极限,称为温度梯度 $\frac{\partial t}{\partial h}$,即

$$\lim \left(\frac{\Delta t}{\Delta h} \right)_{\Delta h \rightarrow 0} = \frac{\partial t}{\partial h} \quad (1)$$

当围岩均一时,如果围岩的导热系数为一常数,那么在稳定传热的情况下,温度梯度在某一法线方向上也应是一常数。已知上述三个热变质带都是在某一特定的温度范围内形成的。每一热变质带之间的分界面——等变质程度面,就是等温面,如图 1-1 和图 1-2 所示。设黑云母-白云母-红柱石-堇青石角岩带与绿帘石-阳起石-白云母-黑云母角岩带分界面的热变质温度为 t_1 ,绿帘石-阳起石-白云母-黑云母角岩带与绢云母-绿泥石斑点

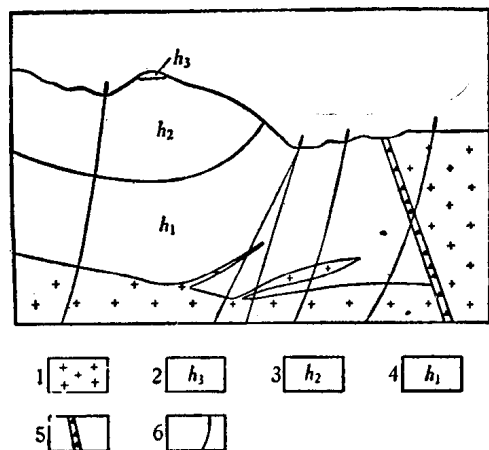


图 1-1 1123 矿床角岩分带剖面

1. 燕山早期花岗岩;
2. 绢云母-绿泥石斑点板岩带;
3. 绿帘石-阳起石-白云母-黑云母角岩带;
4. 黑云母-白云母-红柱石-堇青石角岩带;
5. 断裂;
6. 钻孔及编号

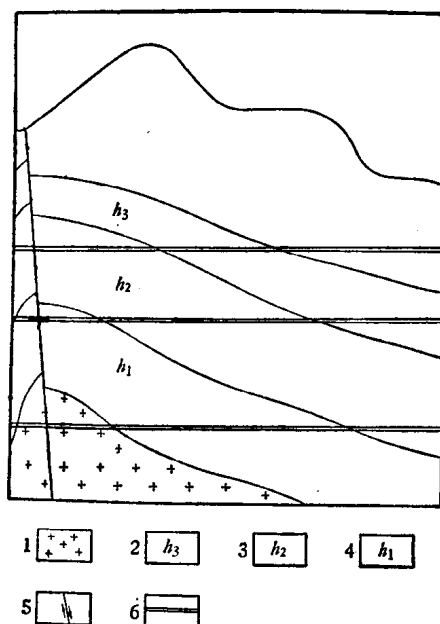


图 1-2 2021 矿床 7 号线角岩分带剖面

1. 燕山早期花岗岩;
2. 绢云母-绿泥石斑点板岩带;
3. 绿帘石-阳起石-白云母-黑云母角岩带;
4. 黑云母-白云母-红柱石-堇青石角岩带;
5. 断裂;
6. 坑道

板岩带分界面的热变质温度为 t_2 ，绢云母斑点板岩与板岩分界面热变质温度为 t_3 ，并设三个热变质带的厚度从花岗岩体向外依次为 h_1 、 h_2 、 h_3 ，那么显然有下列等式

$$\frac{t_0 - t_2}{t_2 - t_3} = \frac{h_1 + h_2}{h_3} = C_1, \quad (2)$$

$$\frac{t_0 - t_1}{t_1 - t_2} = \frac{h_1}{h_2} = C_2, \quad (3)$$

$$\frac{t_0 - t_1}{t_1 - t_3} = \frac{h_1}{h_2 + h_3} = C_3, \quad (4)$$

式中 C_1 、 C_2 、 C_3 三个数据可以用测温数据或已知热变质带厚度数据算出。事实上，由于后面将要叙述的种种复杂因素，根据测温数据计算的结果与根据热变质带厚度数据计算出的结果可能是不等。由于热变质带厚度受多种因素控制，因此，根据热变质带厚度数据计算的结果更带有经验性。已知几个隐伏花岗岩热变质带厚度数据如表 1-1。表 1-1

表 1-1 隐伏花岗岩各热变质带厚度

岩 体 热变质带	1060	1050	1040	1030	1113	2021
h_1	400 米	350 米	270 米	250 米	100 米	50 米
h_2	500 米	400 米	350 米	300 米	110 米	50 米
h_3	220 米	180 米	160 米	140 米		25 米

h_1 ——黑云母-白云母-红柱石-堇青石角岩带; h_2 ——绿帘石-阳起石-白云母-黑云母角岩带; h_3 ——绢云母-绿泥石斑点板岩带

中 1030、1040、1050 三个隐伏岩体热变质带厚度数据引自朱贤甲等人资料, 1060 隐伏岩体热变质带厚度据最新资料对朱贤甲的数据作了些改动。把表 1-1 数据标在图上, 可以得出三条直线, 其中 A 线为 h_3 与 $(h_1 + h_2)$ 的关系线, B 线为 h_2 与 h_1 的关系线, C 线为 $(h_2 + h_3)$ 与 h_1 的关系线, 如图 3 所示。

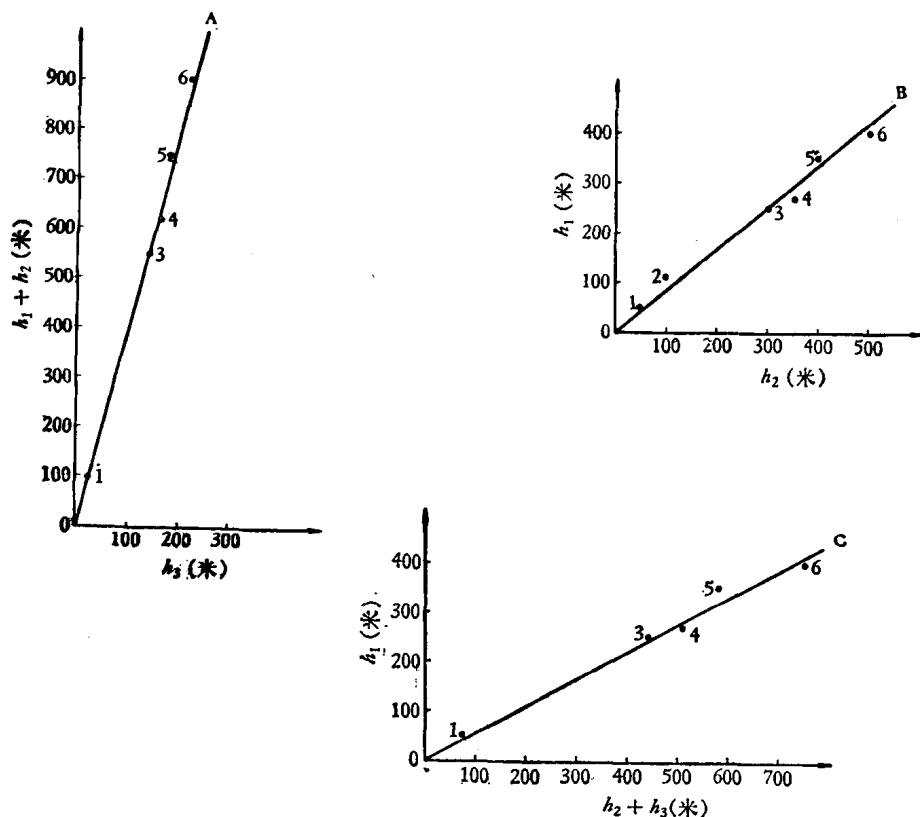


图 1-3 各热变质带厚度关系

1. 2021 矿床; 2. 1113 矿床; 3. 1030 矿床; 4. 1040 矿床;
5. 1050 矿床; 6. 1060 矿床; h_1 ——黑云母-白云母-红柱石-
堇青石角岩带厚度; h_2 ——绿帘石-阳起石-白云母-黑云母角
岩带厚度; h_3 ——绢云母-绿泥石斑点板岩带厚度

图 3 的三条直线方程分别为

$$\text{A 线: } h_1 + h_2 = 4h_3, \quad (5)$$

$$\text{B 线: } h_1 = 0.85 h_2, \quad (6)$$

$$\text{C 线: } h_1 = 0.57 (h_2 + h_3), \quad (7)$$

这样, 我们只要测出 h_2 或 h_3 的厚度, 就能根据上面三个公式算出隐伏花岗岩岩体的隐伏深度。在崇山峻岭地区, h_2 和 h_3 的大小可以用剖面法很方便地测出。我们称这一预测方法为热变质梯度法。显然, 当围岩为灰岩时也能应用此法。

四、与隐伏岩体预测有关的一些问题

花岗岩体顶板温度高低和围岩中温度梯度的大小是控制热变质带变质强度和宽度的

主要因素。在假定各花岗岩体侵入时温度一样和岩体围岩导热系数为定值的情况下,我们根据典型热变质带剖面资料,导出了预测隐伏花岗岩顶板标高的公式。事实上,上述典型剖面是较为普遍的,因而上述三式在应用上具有一定普遍性。但是也还有很多因素是我们预测时要作进一步考虑和研究的。

1. 热变质过程中的传质问题

在热变质过程中,水带入量的多少会影响热变质带的强度和宽度。一般认为,除了水等挥发份之外,在热变质过程中没有其他物质带入围岩,事实并不如此简单。从表 1-2

表 1-2 各类角岩化学成分

岩性	化学成份	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O	P ₂ O ₅	烧失量
1		55.34	0.65	19.93	0.40	6.69	0.12	4.66	2.98	3.88	5.68	0.03	0.17	0.76
2		50.59	0.96	14.25	1.95	7.97	0.10	10.10	1.02	0.29	6.77	1.23	0.47	
3		56.60	0.69	19.79	0.73	6.66	0.21	3.64	0.26	0.48	7.43		0.15	2.41
4		49.18	0.60	23.29	0.83	7.20	0.15	4.64	2.85	3.88	5.17	0.08	0.17	1.14
5		54.56	0.90	20.61	1.52	7.64	0.00	4.13	0.15	0.40	1.63		0.15	3.73

1. 黑云母角岩; 2. 电气石黑云母角岩; 3. 白云母黑云母角岩; 4. 红柱石黑云母角岩; 5. 堇青石黑云母角岩

(据朱贤甲等资料)可以看出,在黑云母-白云母-红柱石-堇青石角岩带的各种角岩中, K₂O 和 Na₂O 的含量与一般沉积岩相比,显得异常地高。这说明在热变质过程中,很可能从花岗岩中带入了 K₂O 和 Na₂O,这就是说,在花岗岩侵入后,除了向围岩传热外,还可能有传质过程。挥发份和碱质带入的多少肯定会影响热变质带的强度和宽度。如果传质过程和传热过程所引起的热变质带强度、宽度的变化呈正比,那么传质过程可以不考虑,也就是说,三个热变质带由于传质的缘故,宽度和强度都按一定比例增加了,上述三个公式仍然有效。岩石透水性的影响也会影响传质过程。如果由于透水性大小或其他原因,传质作用仅仅影响了某一热变质带宽度,那么上述三个公式就不适用。显然,关于传质问题还要作进一步研究。

2. 导热系数的大小对热变质带宽度的影响

在前面,我们假设围岩的导热率 λ 没有变化。事实上,不同岩石的导热率并不一样,即使同一种岩石,沿层面的导热率和垂直层面的导热率也不一样,并且温度大小对导热率也有影响。导热率的局部变化必然引起温度梯度的局部变化,但对于互层的岩石,温度梯度的局部变化可以忽略不计。

根据傅里叶定律,在 dr 时间内穿过单位等温面 dS 的热流 dQ 按下式计算:

$$\frac{dQ}{dr dS} = -\lambda \frac{\partial t}{\partial h} \quad (8)$$

在稳定传热时,每单位时间内的传热量为定值。式(8)中的 $\frac{dQ}{dr}$ 可用 q (千卡/小时)代之,又若等温面为一平面,则 S 和 h 为定值,此时温差为 Δt 。如假定导热率 λ 和岩性有

关,式(8)可写为

$$q = \lambda \frac{S \Delta t}{h} \quad (9)$$

如果二等厚的不同导热率的岩层平行花岗岩顶板,则透过二岩层的热量应相等。据(9)式可知,二岩层接触面上的温度大小与二岩层同花岗岩的相对位置有关,导热率大的岩层靠近岩体时,二岩层接触面上温度要比导热率小的岩层靠近岩体时大。这样一来,花岗岩的侵入深度和温度没有变化,但热变质带厚度比改变了。公式(5)、(6)、(7)不再适用。

当二巨厚不同导热率岩层垂直于下伏花岗岩顶板时,由于导热率和透水性的不同,热变质带的宽度将明显不同。同一岩层,层面垂直花岗岩顶板与平行花岗岩顶板时,也由于导热率和透水性的不同,热变质带的宽度会有明显差别,但三个热变质带厚度比率一般不会有太大变化,因此公式(5)、(6)、(7)仍是适用的。

3. 花岗岩体的侵入深度、形态、大小与围岩性质对热变质带强度和宽度的影响

这些因素的影响是众所周知的。当花岗岩体侵入深度较大时,地温梯度小,各热变质带厚度大;反之,则厚度小。较大的花岗岩体(如小岩株)冷却很慢,地温梯度和岩体表面温度在一个很长的时间内保持恒定,因而可形成较厚的热变质带。一些独立的小岩脉,如深部没有较大花岗岩体,由于很快冷却,一般热变质带厚度很小。形态复杂的花岗岩体,热变质带厚度一般较大。由于岩体侵入深度、形态、大小等因素对于三个热变质带都同时起作用,因而上述三个公式仍然适用。

当花岗岩体侵入到变质程度较高的围岩,如角闪岩相、辉石角闪岩相岩石,或侵入到火成岩、混合岩中时,一般没有明显的接触热变质现象,目前无法用热变质梯度法预测。

从上面的叙述可知,隐伏花岗岩顶板标高预测问题的研究虽然有所进展,但离开完全解决还有很长一段路要走。

五、小 结

(1) 作为预测隐伏花岗岩体的地质标志——接触变质带,首先由罗森布什在 1877 年所研究。

(2) 寒武系砂岩、板岩在花岗岩热力作用下,形成三个渐进变质带: 即绢云母-绿泥石斑点板岩带、绿帘石-阳起石-白云母-黑云母角闪岩带和黑云母-白云母-红柱石-堇青石角闪岩带。等变质程度线就是等温线。

(3) 三个热变质带的厚度从花岗岩体向外依次为 h_1 、 h_2 、 h_3 , 那么热变质带的厚度有下列关系式:

$$\begin{aligned} h_1 + h_2 &= 4 h_3, \\ h_1 &= 0.85 h_2, \\ h_1 &= 0.57 (h_2 + h_3), \end{aligned}$$

根据这三个公式可以大致地预测隐伏花岗岩的隐伏深度。

(4) 在预测隐伏岩体深度时,还必须考虑热变质过程中的传质问题、导热系数的变化以及花岗岩体的侵入深度、形态、大小、围岩性质。

第二章 脉状钨矿床在花岗岩体内、外的分布模式

一、概 述

如果已预测到隐伏花岗岩体顶板标高,在地表又发现了矿化标志——线脉细脉带,那么必然希望了解这些线脉细脉带向深部会不会合并成大脉,在什么深度合并成大脉,大脉带的总脉幅是多少,大脉是产于花岗岩体内、还是花岗岩体外等一系列问题。这是钨矿地质工作者迫切希望解决的问题,也是本章探索的问题。

1. 脉组、脉带、矿床、矿田的定义

单脉、脉组、脉带、矿床、矿田等名词在钨矿地质工作中用得很多,但定义很不明确,各人说法不一。一些人认为是矿田,但在另一些人看来仅能称做矿床。为了叙述上的方便,我们对这些名词的涵义作一概略说明。

以石英脉为最小含矿单位,宽度小于1厘米者称为线脉,1—5厘米者称为细脉,5—30厘米者称为薄脉,30厘米以上者称为大脉。我们设在空间上密切联系的一群矿脉,如呈带状分布,则称为脉带。习惯上,密集细脉,称为细脉带;密集大脉,称为大脉带。细脉带向下通常会合并成大脉带,如1050、2021、1030、2040、3050、3040、3090、3010等矿田矿床均如此。也有些矿田,如1160、3030、1040、1060等在地表即为大脉带,根据这些大脉带向下仍有合并现象,可以推测,其上部原先也应有一细脉带。在一脉带内,当石英脉密集时,很多石英脉在垂直或水平方向经常分支复合、贯通连接。当石英脉在平面上呈密集或稀疏的面状分布时,我们称为脉组,如1011、1012、1021、1022、1131、1122、1114等矿床。脉组的各石英脉虽有分支复合、尖灭侧现等现象,但由于各石英脉间距较大,很少有贯通连接的现象。

一个矿床由一个或几个脉带、脉组构成,有时一个矿床由数十个脉带构成。一个矿床中,脉带或脉组之间的距离很小,一般远小于脉带或脉组的长度,如1051、2021、3051、3041、1011、1021、1031等矿床。有时一个脉带即构成一个矿床,如3031、2041、1121、1032等矿床。

若干有成因联系的矿床的自然集合称为矿田。矿田中各矿床矿化中心的距离一般与脉带或脉组的长度相当,或小于脉带脉组的长度。如1010、1020、1030、1050、1060等矿田中的各矿床。

按别捷赫琴(1939)的定义:对内生矿床来讲,矿田指的是成因上与某一火成岩体有关的所有矿床总和,火成岩体或是暴露于地表,或是赋存于地表附近。我们认为,这一定义对于钨矿床来讲不完全适用。因为对于两相邻的隐伏成矿有利地段,你很难判断其下部的,与矿化有关的花岗岩是二个侵入体还是一个侵入体。由于和钨矿有成因联系的都是复式花岗岩,即使地下是联成一片的隐伏岩基,这岩基仍是由多次花岗岩侵入活动形成的,钨矿仅和其中某一次侵入活动有关。因此,我们认为,按矿床在空间上的分布特点来