

2
B/10
7

矿田和矿床构造

〔苏联〕Ф·И·沃尔弗松等 著



中国工业出版社

本书是矿田和矿床构造(即矿田和矿床构造的基本问题及研究方法)一书中的第一部分,即矿田和矿床构造研究方法。

本书共分七章;第一章,构造地质学的某些单元;第二章,作为研究矿田和矿床构造基本方法的大比例尺地质制图;第三章,断裂构造的研究和制图;第四章,矿体的制图和研究;第五章,各种不同地质条件下矿体和矿床的研究及制图;第六章,应用显微构造分析研究矿田和矿床构造;第七章,应用地球物理探矿法进行大比例尺地质制图并研究矿田和矿床的构造。

本书所有地名及插图均根据原书译印。

本书可供从事矿产普查和勘探工作的矿床、构造地质工作者阅读,亦可供有关学科的地质生产、科研、教学人员参考。

Академия наук СССР
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ, ПЕТРОГРАФИИ,
МИНЕРАЛОГИИ И ГЕОХИМИИ
**ОСНОВНЫЕ ВОПРОСЫ И МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ
СТРУКТУР РУДНЫХ ПОЛЕЙ И МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

Часть I

Методы изучения структур
рудных полей и месторождений

Ф.И. Вольсон

Государственное научно-техническое издательство
литературы по геологии и охране недр
Москва 1960

* * *

矿田和矿床构造

(矿田和矿床构造的基本问题及研究方法)

第一部分 矿田和矿床构造研究方法

秦国兴 吴荣祥 汤臣健 译 卢作祥 校

*

地质部地质书刊编辑部编辑(北京西四羊市大街地质部院内)

中国工业出版社出版(北京佟麟阁路丙10号)

北京市书刊出版业营业许可证出字第110号

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本787×1092¹/₁₆·印张18¹/₈·字数371,000

1966年5月北京第一版·1966年5月北京第一次印刷

印数0001—4,400·定价(科六)2.20元

*

统一书号: 15165·4457(地质-379)

前 言

最近 15~20 年以来, 由于苏联地质勘探工作广泛的开展, 在许许多多不同金属矿床上进行了详细的地质调查。参加这项工作的有大批野外地质工作者, 还有大批科学研究机构的研究人员。在这些调查工作中, 研究矿田和矿床的构造具有特殊的意义, 因为这种研究在很大程度上有助于正确组织不同矿床的勘探和开采工作。

本书乃是综合现有关于矿田和矿床构造研究方法方面资料的一种尝试。本书由两部分组成。在第一部分讨论构造地质学的某些一般性问题, 并且阐述矿田和矿床的研究方法。第二部分是论文集, 描述近几年来所研究的不同成因类型矿田和矿床的构造。在这一部分中阐明第一部分中论述过的一些基本原理。

在任何一本方法指导书中, 通常均讨论两个问题:

- 1) 怎样进行观测(即在观测时应该采用哪些方法);
- 2) 为解决提出的某一问题须要研究些什么, 以及研究到何种程度为止。

上述第一个问题涉及进行调查的技术, 这在国内外文献中, 首先在许多构造地质学和地质制图的指导书和参考书中, 已经相当全面地加以阐明。例如, 尽人皆知的 B. A. 奥勃鲁契夫(1932 年), B. H. 魏别尔(1934 年、1937 年), M. A. 乌索夫(1940 年) 等人著的指导书, 苏联地质部全苏地质勘探科学研究所(1954 年) 和金苏矿物原料研究所地质学家(1955 年) 集体编写的参考书, 还有 M. 比林格斯(1940 年) 和 E. 希尔斯(1954 年) 编写的教科书及其他等等。因而, 在本书的方法部分中, 第一个问题只提到一部分, 是从详细研究矿田和矿床构造的角度出发的。

第二个问题, 即为查明矿田和矿床构造的形成历史该研究些什么和研究到何等详细程度为止的问题, 在现有地质文献中阐明得很不全面。大多数有关方法的指导性意见, 仅在各种期刊上零星发表; 至于综合性的著作, 那就更少, 只有 B. M. 克列特尔(1956 年) 所著的指导书。因而, 对第二个问题应给予很大的注意。

在叙述矿田和矿床构造的研究方法时, 极为详尽地讨论了地质制图这一种基本的研究方法。在几个专门的章节中, 讨论了构造断裂和矿体的研究及制图。还用专门的一节来讨论应用显微构造分析研究金属矿床的可能性。本书第一部分的最后一节叙述地球物理方法在矿田和矿床大比例尺制图和研究中的应用。

显然, 在编写本书第一部分时, 由于论题十分复杂, 当然, 还由于科学研究工作的一定倾向性, 作者不可能把每一章节都写得同样详细。

本书的第一部分是由苏联科学院矿床、岩石、矿物和地球化学研究所中专门从事矿田和矿床构造研究的研究人员集体编写而成。参加这一部分编写的还有 A. B. 彼克, 他是研究所中这项工作的奠基者。他编写了本书的《绪论》, 以及“构造地质学的某些单元”一节的大部分。

“作为研究矿田和矿床构造基本方法的大比例尺地质制图”一节是在 Л. И. 卢金参加下由 Ф. И. 沃尔弗松编写的。“断裂构造的制图和研究”一节是由 E. И. 索纽什金、Б. Л. 雷巴

洛夫和 Л. В. 霍罗希洛夫等写成, 而该节中关于断裂分类和几何分析法一章是由 И. И. 库什纳列夫写成。除“热液蚀变围岩的制图和研究”一章由 Ф. И. 沃尔弗松和 В. Ф. 契尔内谢夫等编写以外, 前面三位作者和 Ф. И. 沃尔弗松共同编写了“矿体的制图和研究”一节。Ф. И. 沃尔弗松还编写了“不同地质条件下矿体和矿床制图的特点”一节。

“显微构造分析对研究矿田和矿床构造的适用性”一节是由 Л. И. 卢金写成。“应用地球物理方法进行大比例尺地质制图并研究矿田和矿床的构造”一章是由 А. И. 裘柯夫(莫斯科有色金属和黄金学院)写成。

本书的第二部分讨论内生矿田和矿床构造研究的一些实例。参加这一部分编写工作的有: В. И. 比留科夫(莫斯科有色金属和黄金学院)、А. А. 加尔马什(苏联科学院稀有元素矿物和地球化学研究所)、А. В. 德鲁日宁(莫斯科有色金属和黄金学院)、К. А. 卡腊米扬(亚美尼亚苏维埃社会主义共和国科学院)、К. Ф. 库兹涅佐夫(莫斯科有色金属和黄金学院)、В. И. 洛佐夫斯基、С. В. 契格洛科夫和 А. В. 西多连科(巴列伊左洛托)、Е. И. 马利诺夫斯基(苏联科学院矿床、岩石、矿物和地球化学研究所)、В. А. 涅夫斯基(同上)、Н. В. 巴甫洛夫(同上)、В. М. 罗宁松(莫斯科地质勘探学院)、И. З. 萨莫诺夫(全苏矿物原料研究所)、П. Ф. 索普科(沃罗涅什大学)、В. Ф. 契尔内谢夫(苏联科学院矿床、岩石、矿物和地球化学研究所)和 В. А. 尤金(苏联科学院科拉分院)。

所有这些地质学家都在自己所论述的题目上工作过多年。各篇论文都是依照本书要求按照统一计划写成的, 并且阐明本书第一部分叙述过的原理。

编写本书的总领导由 Ф. И. 沃尔弗松和 Л. И. 卢金担任。Е. И. 马利诺夫斯基、В. В. 克里斯塔耳内和 В. Ф. 契尔内谢夫等付出巨大劳动参加了本书手稿的定稿和初校工作。本书全部图表是由 Л. Ф. 伊利契娃、В. М. 福基娜、В. М. 纳罗申基娜和 Н. В. 拉兹别日金娜等制作。

全体作者谨向地质矿物科学博士 В. М. 克列特尔、В. М. 科特利亚尔、В. Г. 格鲁舍维依、Н. И. 纳科夫尼克、Н. Н. 库列克以及 С. И. 利奥格尼基等致以深切的谢意, 感谢他们对本书进行了评阅, 并且提出了许多极为宝贵的意见。全体作者同样地向本书编辑地质矿物科学博士 Е. Т. 沙塔洛夫致以谢意, 他在本书准备付印过程中付出了巨大的劳动。

全体作者深深地感到本书存在着许多缺点, 这些缺点只有经过广泛讨论后才可能克服。全体作者以感激的心情等待着任何批评与建议。来信请寄国立地质科技书籍出版社 (Москва В-17, Пыжевский пер., д. 7)。

目 录

前言

緒論	1
----	---

第一部分 矿田和矿床构造的研究方法

第一章 构造地质学的某些单元(A. B. 彼克)	5
--------------------------	---

褶皱构造	5
------	---

1. 滑动弯曲褶皱	6
-----------	---

2. 断块褶皱	9
---------	---

3. 底辟褶皱	10
---------	----

4. 剪切褶皱	10
---------	----

裂隙构造	11
------	----

1. 作为矿床构造单元的裂隙	11
----------------	----

2. 岩石中裂隙的成因类型	12
---------------	----

3. 构造裂隙结合的某些规律	13
----------------	----

4. 裂隙与褶皱结合的规律	16
---------------	----

5. 二级构造裂隙	19
-----------	----

6. 侵入体的构造	21
-----------	----

7. 非构造裂隙	21
----------	----

8. 裂隙的统计研究	22
------------	----

第二章 作为研究矿田和矿床构造基本方法的大比例尺地质制图	
------------------------------	--

(Ф. И. 沃尔弗松 Л. И. 卢金)	24
-----------------------	----

某些一般性问题	24
---------	----

1. 图件比例尺的选择	24
-------------	----

2. 制定测量定额的原则	26
--------------	----

3. 图的标准	26
---------	----

4. 地质测量时的综合研究	27
---------------	----

5. 大比例尺地质制图的一些特点	29
------------------	----

大比例尺地质制图中围岩的地层和岩性研究	34
---------------------	----

1. 划分岩层的方法	34
------------	----

2. 各种地质条件下划分层状地层的特点	36
---------------------	----

褶皱的制图	41
-------	----

侵入岩体和岩墙的大比例尺制图	49
----------------	----

1. 侵入岩体物质成分的研究	49
----------------	----

2. 侵入岩体和岩墙外接触带和内接触带的研究	50
------------------------	----

3. 矿物定向和其他岩浆运动标志的研究	52
---------------------	----

4. 侵入岩体中裂隙的研究	52
---------------	----

5. 侵入体与围岩时代关系的查明	53
------------------	----

6. 侵入岩体形状和产状的查明	54
7. 出露不良条件下侵入岩体和岩墙地质制图的特点	55
8. 成层侵入岩体中矿田和矿床地质制图的特点	59
产于喷出岩内的矿田和矿床的制图	65
1. 平缓喷出地层中的矿田	68
2. 强烈变动喷出岩层中的矿田	69
3. 产于块状喷出岩层和古火山口中的矿田	72
✓ 第三章 断裂构造的研究和制图	77
断裂构造的查明及其时代的确定(Е. И. 索纽什金 В. Л. 雷巴洛夫 Л. В. 霍罗希洛夫)	77
1. 断裂构造概述	77
2. 根据间接标志查明构造断裂	79
3. 断裂构造相对时代的确定	84
✓ 确定断裂的方向和断距(И. И. 庫什納列夫)	119
1. 关于构造断裂分类	119
2. 研究断裂时进行的地质观察以及测定断距的图解法	124
3. 位移的分析	131
4. 根据断裂与地质体接触面交线的位置确定各种可能的位移类型	164
✓ 第四章 矿体的制图和研究(Е. И. 索纽什金 В. Л. 雷巴洛夫 Л. В. 霍罗希洛夫 Ф. И. 沃尔弗松)	174
1. 概述	174
2. 矿体形状	175
3. 矿体形状与矿床构造的关系	176
4. 矿石的矿物成分及其在矿体和矿床范围内的变化	178
5. 矿体与侵入岩墙的关系	179
6. 矿体变质作用	184
7. 矿田和矿床中热液蚀变岩的制图和研究(Ф. И. 沃尔弗松和 Ф. В. 契尔内谢夫)	185
第五章 各种不同地质条件下矿体和矿床的研究及制图(Ф. И. 沃尔弗松)	209
产于块状岩石中的矿体和矿床的制图	209
1. 岩浆矿床中矿体的制图	209
2. 伟晶岩矿田和矿床中矿体的制图	212
3. 围岩发生云英岩化的矿体的制图	213
4. 中温和低温热液矿床中矿脉的制图	216
产于层状地层中的矿体的研究和制图	218
1. 伟晶岩矿体和矿床的制图	218
2. 接触交代矿床的制图	219
3. 热液矿床中矿体的制图	221
第六章 利用显微构造分析研究矿田和矿床的构造(Л. И. 卢金)	226
岩石的变形和岩石中矿物的定向	228
运用显微构造分析研究矿田和矿床构造的实例	229
1. 查明褶皱成因	229
2. 花岗岩类围岩定向构造的研究	230

3. 断裂构造的研究.....	232
4. 矿体的研究.....	233
第七章 应用地球物理探矿法进行大比例尺地质制图并研究矿田和矿床的构造(A. И. 裘柯夫).....	
1. 对喷出岩和凝灰沉积物进行大比例尺地质制图时的地球物理研究	244
2. 在侵入体发育地区进行大比例尺地质制图时的地球物理研究	255
3. 对变质岩进行大比例尺地质制图时的地球物理研究	263
4. 结论.....	282
参考文献.....	283

緒 論

在勘探任何一个矿床时,首先要弄清楚该区内已知矿体的规模、形状和产状。最初一些勘探坑道,那怕是为了沿走向追索矿体的探槽也好,究竟布置在什么地方,勘探工作者应根据以前在普查和地质测量中所获得的有关矿体形状和产状要素的认识来解决这个问题。这种认识应以已知露头上矿体的产状和其他形态特征的研究作为根据。

后来,随着勘探工作过程中关于矿区地质构造新资料的积累,原来对矿体形状及其产状的认识逐渐清楚,或者发生改变。同时逐渐查明对矿化富集有影响的一些因素。其中首先是构造单元(裂隙、褶皱及其他等等)和围岩的岩性特点。

关于矿体构造的认识在很大程度上均以图表资料形成固定下来。

在地表初步勘探的第一阶段内,标明坑道的矿体地质平面图是这样一种唯一的图件,它反映出矿体构造及在深部延伸的基本状况。在此阶段内收集到的全部资料几乎都只是平面图,而剖面图也是根据平面图绘成的。但是,矿体的地质平面图往往不足以用来编制这样的剖面图,从而有必要在矿体周围的更大面积上进行制图。其次,需要这样的图,还由于已被发现的矿体也许在该地区内并不是唯一的,而在相邻地区内还可能会发现一组现在还不知道的矿体。包括所有这些矿体分布地区的地质图就成为矿床地质图。

矿床地质图的比例尺一般比矿体平面图要小,但必须保证在图上能绘出所见到的全部矿化露头,与区内各种不同的岩石以及全部比较重要的构造单元。显然,既然这种制图的一项主要任务在于发现该地区所有的矿化露头,所以必须采用所有对该地区条件合适的现代化普查方法——如地球物理方法、地球化学方法及其他等等方法。

除普查新矿体以外,矿床的地质制图在勘探的各个阶段都是研究矿床构造的主要方法,也就是说,是查明构造单元和围岩对矿体分布及形状所起作用的主要方法。

矿床地质图的边界要预先确定是有困难的。这一问题在制图过程中逐渐得到解决,即要看新矿体发现与否,以及根据所制图件在该地区发现矿体的可能性。

在评价这些远景时,对该地段构造的认识结合对已知矿体构造的认识具有特别重大的意义。研究矿床构造时应该提出的基本问题可以表述如下:为什么该矿体正是分布在这个地方以及为什么这个矿体具有这样的形状和产状。

在勘探的最初几个阶段,往往无法回答这个问题,可是,这个问题的构造地质方面应当给予解决,那怕只是概略的假设也好。

这种假设在很大程度上决定了在矿床制图中对哪一些构造地质单元应该特别详细追索和研究。假如,按照这种假设决定矿体富集的主要因素之一是岩石的岩性特点,那末,在矿床图中应该特别注意研究该地段内岩石的地层剖面以及具有一定岩性的岩层的产状。在存在复杂褶皱构造的情况下,这就可能是一个难题。

在其他情况下,决定矿体产出地点和形状的主要因素可能是构造裂隙,因而对各种裂隙的成因类型、裂隙的空间分布规律以及与之连生的小裂隙等等进行解释,会有头等重要的意义。

对矿体和整个矿区进行详细制图时,几乎总是须要研究裂隙构造,因为在矿化作用开始

前、该作用过程中和矿体形成后发生的构造运动所产生的裂隙,通常对矿体现有的构造有一定影响。此外,关于裂隙空间分布规律的精确资料,通常对研究矿床的水文地质特点、合理设计矿床的采掘工作等也是很重要的。

对矿床裂隙构造进行解释时,可能还须要研究某些岩石的显微构造,当矿床产于片理化岩石中或者有必要根据构造断裂查明运动的特性时尤其如此。

由上述可知,矿体和矿床制图的特点不仅在于测量比例尺较大,以便在图上表示各种构造单元有必要的精确度,而且在于须要研究一系列的构造单元,为此,有时须采用专门的研究方法。假如已经很肯定地确定了控制已知矿体富集的因素,那末,在进一步制图中,应该十分重视检查并确定整个矿区内这些因素的作用。

还应该指出,矿床地质图仅仅在为数不多的情况下才不必加以进一步修正。经过详细检查的地质制图,通常或者可以直接发现新矿体,或者可以划分出值得布置坑道或钻孔加以较为详细研究的地段。通过这些勘探工作所获得的资料,可以大大地使该地段的地质图更加精确,从而必须对其他一段地段作较为详细的制图,或者在这些地段,有时甚至整个矿区进行重复测量,而比例尺照旧不变。这样也就有必要来部署新的勘探坑道,从而使地质图更加精确。

有时,对矿床须作补充制图,这可能是由于以往对控制矿体富集之因素的认识,在进一步勘探过程中有了改变,从而就有必要在矿区内追索那些在原来制图中注意不够的构造单元。实际上,矿床地质图在勘探工作的各个阶段都要使之精确和修改,直到尽量较全面地查明矿床的一般远景为止。有时,甚至在矿床开发勘探和采掘过程中还要对地质图作补充和修改。

地表的地质制图是研究矿田和矿床构造所必不可少的。按地质制图资料编成的深部剖面图表示一种预测,这种预测有待于在进一步勘探过程中通过钻探和各种类型坑道掘进加以检验。在钻探时,钻孔沿一定的勘探线布置,这就保证绘制出较为确实可靠的剖面图。

有时,要将剖面上各种不同的岩石连接起来,是一项艰巨的任务,这就要求反复审核钻孔的岩心和对不同钻孔的剖面图,但完成这项工作是完全必要的。忽视对剖面图的地质情况作详细说明以及企图只画上矿床本身的位置,这些作法都是不能允许的。

假如岩心采取率较高,岩心编录做得仔细,那末时常可以在围岩层中分出一些夹层、岩墙或者在地表制图中无法确定的其他构造单元。在这种情况下,应该将剖面图上的这些构造单元绘到地表地质图上,以便使地表地质图更加精确,同时,假若有必要而且可能的话,那末,甚至它们在图上的位置还应该通过探槽和浅井来检查。

在仅仅通过钻探或者钻探配合坑道来勘探矿床时,一定还要编制大致和将来矿山的主要开采中段相当的不同标高的地质平面图。编制这样的平面图不仅对将来设计主要坑道有必要,而且对指导以后的勘探也是必要的。编制这样的平面图,完全与根据一系列平行路线或主要探槽编制地表地质图相似。也许这些线之间不同岩石的内插允许有几种方案表示其产状,因此就要收集补充资料,直到打专门的“构造”钻孔,以便相当可靠地选定其中的一个方案。有时,按剖面图编制中段地质平面图,可能使各种岩石间关系十分复杂、不太能理解甚至不太可靠,也即对剖面图上岩石连接得是否正确引起怀疑,从而要对某些钻孔的岩心进行重新编录。由此可见,编制中段平面图是检查剖面图绘制得是否正确的一种有效方法。

假若矿床的勘探基本上通过地下坑道来进行,也就是通过平窿或沿脉在几个标高上追索矿体,那末,除地表地质图以外,编制这些中段地质平面图是研究矿床构造的一种基本方法。

表示矿体位置的取样平面图当然经常需要编制，可是即使在这些平面图上表明坑道两壁由哪些岩石组成，它也不能代替中段地质平面图。在地质平面图上应当标明一定范围内而不仅仅是坑道两侧狭窄范围内的不同岩石、构造接触线、大裂隙和其他构造单元的位置。就像地表地质图不是地段的精确照片，而在很大程度上反映作者对各种岩石区域分布、产状和相互关系的认识一样，在地下中段平面图上，各种岩石的分布区和其他构造单元应该在坑道之间内插，并且外推到离坑道某一距离。

这时，无疑应考虑穿过该中段的钻孔的全部资料。在编制这些平面图时，必须在很大程度上依赖于地表地质图。

应该考虑到，在利用地下坑道勘探矿床时，表明矿体和围岩沿倾向变化的剖面图，几乎只有在编制地表地质图和中段平面图的基础上才能编成。编制剖面图在这种情况下还是检查中段平面上不同岩石和接触线产状内插得正确与否的方法。

在坑道制图以及在掌子面中研究矿体时，应该经常注意解决主要的构造地质问题——矿体为什么埋藏在我们所见到的地方，矿体形状是受什么控制的。勘探和开采已知矿体及普查新矿体的成败，在很大程度上取决于这些问题解决得正确与否。这在很大程度上也影响相邻地区其他矿床的普查效果。

采矿工作者所脍炙人口的一条经验性原则“矿旁找矿”不仅说明在矿区或矿化地段内找到新矿体的可能，而且也说明在已知矿床附近发现新矿床的可能。因而，在勘探和研究矿床的同时，还应该在包括相邻矿床在内的较大地区内，即在整个矿田范围内进行地质制图。矿田制图之所以必要，还因为往往并不是所有已知矿床的构造和成因问题，在面积较小的该矿床的制图过程中都能获得解决。

矿田的大比例尺地质制图是研究矿田构造的基本方法，也是查明构造单元及围岩岩性特点对于金属矿床富集所起作用的基本方法。

矿田制图就其任务而言，实质上 and 矿床制图相似，所不同的主要在于制图面积的大小和比例尺不一。所以，前面提到关于矿床制图的所有原则同样适用于矿田制图。但如果说在矿床制图时不能预先确定矿床地质图的边界，那末矿田地质图的边界问题更不清楚。既然，在“矿田”这个名称本身中已包含某一地区的概念，因此可能产生这样的问题：即在不可能预先确定该地区或其边界的情况下该不该一般地采用“矿田”这个术语？

B. M. 克列特 (1956 年) 不久前对矿田下了这样的定义：“矿田是地壳上的某一地段，那里有一系列在空间上靠近的、在时间上同时或接近的、在成因上相同的内生矿床以及可能发现的相似矿床，它与其他含矿地段之间相隔有很大的无矿空间”。虽然这样，但在计划“矿田”地质测量工作量时，这个定义仍然不一定能使我们预先划分出必须制图的地区；当另一些与已知矿床同类的矿床还没有发现时，这个定义也不能使我们确定该地区的边界。

此外，至于说到面积和空间边界，那末，在许多情况下矿床和矿田之间的差别是相对的。事实上，许多矿床为一组被无矿空间隔开的矿体，很难说间隔多大的新矿体应该属于这个矿床而不属于那个矿床。此外，由于在矿田之间的地区发现了新矿床，矿田便可以连接起来。

因而，在每一具体情况下，在确定必须制图的矿田的边界时，不仅要考虑该地区存在那些已知矿床，还应考虑发现新矿床的可能性以及获得解释所研究矿床之构造、成因所需资料的必要性。已知矿床地质构造的特点以及这些特点同小比例尺地质制图中所查明的区域构造特点的对比，是评价相邻地段有无远景的基础。

上面,当力图说明对某一不大地段(矿区)及更大地段(矿田)进行地质制图的必要性时,我们是以必须勘探的一个已知矿体作为出发点。可是,往往作为布置大比例尺地质制图根据的,仅仅是有利的地质前提,或者是在小比例尺制图(例如1:50000)时在一定地区的几个地点发现的矿化标志。在目前尚未查明含矿地段的地区进行1:10000和1:5000的地质制图时,偶尔可以确定一些较为有远景的地区,在这些地区将来可能会发现工业矿床。

假如按这样的顺序进行地质测量和普查工作,那末最好在开始勘探某一矿床以前就已经具备了矿田的详细地质图,从而能保证选择对勘探最有远景的地段。不过,在勘探这些地段的过程中,无疑会获得一些资料,使得起初在地质制图中形成的关于控制矿化富集因素的认识更加精确,或许发生根本变化。

于是就有必要来补充过去所编制的地质图,并且在一定阶段我们又得重新按照最初讨论的那种顺序来研究矿床和矿田的构造。非常可能,这时将发现在原来制图时没有发现的新矿体和矿床。常常在结束矿床勘探或者甚至在长期开采矿床以后,形成了关于矿化富集规律的新概念,而将地质图加以精确化并在此基础上完成普查工作,结果发现了新的矿体和矿床。

由此可见,矿田和矿床构造的研究分两个阶段进行。起先在普查而后在初步勘探过程中,主要研究含矿区的地表。在这个阶段,主要的研究方法是根据天然露头,采用探槽、剥土、浅井和制图钻孔编制地表的地质详图。在这个研究阶段只查明矿田或矿床构造的一般特点;所获得的资料包含着许多假设的成分。而后在进行矿床的详细勘探时,构造的研究不仅以地表地质图作为根据,而且还以地下制图资料作为根据。这时,对矿床和矿田构造的认识大为精确。

根据关于矿田和矿床构造研究的简述可以得出结论:大比例尺地质制图是研究构造的基本方法,它显著不同于较小比例尺的地质测量。因而,我们在下面将讨论在大比例尺地质制图中构造单元研究方法的一些问题。如沉积岩层剖面的详细分层,研究火成岩形状、产状和岩性成分,详细研究矿区和矿田的构造,尤其是决定矿体富集的地质构造。

出露程度以及进行大比例尺地质制图的其他条件,是极其繁多的,因而制图方法在不同情况下也就有所不同。对矿化富集有很大影响的因素,不仅对于各种成因类型的矿床,而且对于同一成因类型的不同矿床也是各不相同的。

在这些因素和条件不同结合的情况下探讨一切大比例尺制图方法的方案,实际上是不可能的。大比例尺制图始终是一项很重要的科学工作,其成败首先取决于完成该项工作本人对待这项工作深谋远虑的程度。不可能编出这样的规范,如果精确地执行这种规范,那末无论在哪种情况下都能正确地确定影响矿化富集的主要因素,从而保证分出那些在每种具体情况下都是最重要的构造单元。

除了研究上述有关进行大比例尺地质制图的问题以外,最好还要注意目前在实践中较少采用的研究方法,即裂隙构造研究法和显微构造分析法等等。研究金属矿床的经验表明,这些方法在许多情况下十分有助于解决个别重要问题。

必须强调指出,对矿床构造的一切深入的研究工作,不仅具有实际意义,而且还有重大的科学意义。金属矿床的形成通常是一个与多次构造运动有关的长期过程。在矿床形成历史中划分出各个阶段并阐明每个阶段构造的形成方式,或者如通常所说,阐明矿床的空间成因(стереогенезис)(А. Н. 查瓦里茨基, 1956年),是一项极为重要并且十分有意义的地质研究工作。

第一部分 矿田和矿床构造的研究方法

第一章 构造地质学的某些单元

在研究矿田和矿床构造时，首先要研究某些构造单元。每个地质工作者从高等学校讲授的相应课程中或者构造地质学的指导书中，对这些构造单元已了如指掌。可是，我们这里从研究矿田和矿床构造所产生的问题的观点出发来讨论其中某些单元，也许不是多余的。

特别重要的是讨论褶皱形成问题和对矿化富集起重要作用的裂隙发育规律问题。

褶皱构造

大部分金属矿床都产于褶皱带中。在某些情况下，褶皱构造只不过作为一般的背景，而控制矿体产状的那些构造单元与较后期的构造运动有关。研究褶皱构造是此种矿田和矿床详细地质制图的一项重要的、但又往往不是主要的问题。另外一类矿床的特点是：其构造与褶皱形成过程中所产生的那些构造单元有直接关系。详细分析矿区的褶皱构造是勘探和研究这些矿床的基础。

岩石形成褶皱是不均匀变形的结果。褶皱最容易在层状岩石中发育，但有时也在块状火成岩中见到。

褶皱的形态特征是大家所熟知的，在研究内生金属矿床形状时要加以考虑。可是，为了解决主要任务，即查明矿石为什么位于被发现的地方的问题，必须对各种褶皱形态的成因，即形成机理有相当清楚的认识。

在材料力学中讨论横梁的两种弯曲方式——纵向弯曲（图1A）和横向弯曲（图1B）。在纵向弯曲时，弧的形成是横梁受纵向挤压的结果。直到最近，地质褶皱构造形成的机理一直是从此一观点出发来讨论的，其他可能的形成方式就略而不谈。

没有理由否定出现此种褶皱的可能性，但毋庸置疑，某些褶皱是横向弯曲的结果。看来，地台区的穹形褶皱便是这样形成的。横向弯曲使盐丘和岩盘顶部的岩石发生弯曲，也使构造断裂附近的岩层发生弯曲。褶皱带中至少有一些褶皱可能是通过这种方式形成的。

下面将要说明，岩层相对滑动的可能性是形成跟弯曲有关之褶皱的一个重要条件。相应地可以把这类褶皱称为滑动弯曲褶皱。

所谓流动褶皱便是上述类型褶皱的一种。它们是在剖面中可塑性（在此种条件下）岩石占优势的情况下形成的。在此种情况下，当发生变形时，可塑性岩石物质发生重新分布，而可塑性较弱的上覆岩层发生弯曲，这就是纵向弯曲与横向弯曲配合的结果。

褶皱岩层在层间滑动受到限制的条件下发生弯曲，会形成通常呈箱形的断块褶皱。

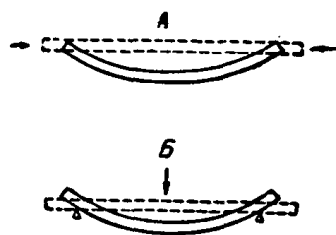


图1. 纵向弯曲A和横向弯曲B
箭头表示作用力的方向。虚线表明变形前横梁的形状，实线表明变形后的形状

由横向弯曲所形成的穹形褶皱,继续发育下去可成为底辟褶皱,其特点是可塑性较大的下伏岩层刺穿上覆岩层。

在形状上与滑动弯曲褶皱相近的褶皱,可能由于沿一组相互平行而又接近的面发生不均匀滑动而形成。这些褶皱称为剪切褶皱,现在已经证明自然界确实存在这种褶皱。

为了制定一些标准来区分不同成因类型的褶皱,我们应该讨论一下其形成的机理,那怕简短地也好。首先,我们来讨论滑动弯曲褶皱,因为在矿田内这种褶皱分布最广。

1. 滑动弯曲褶皱

纵向弯曲褶皱

纵向弯曲褶皱可能形成的一个基本前提,一般认为是在受挤压岩层中存在比较清楚的层理。层理决定此岩层力学上的各向异性,即在岩层中出现易滑动面。在这些面上形成褶皱时,相邻岩层必然沿着图上箭头所示的方向(图 2A)发生相对位移。当然,这样的滑动不仅沿不同成分岩层的界面发生,而且也能在岩层本身中发生,结果就可导致形成岩层的次生构造——平行层理的片理。

应该指出,这些相对位移在纵向弯曲时只是相邻岩层在同一方向上——即向着褶皱顶部

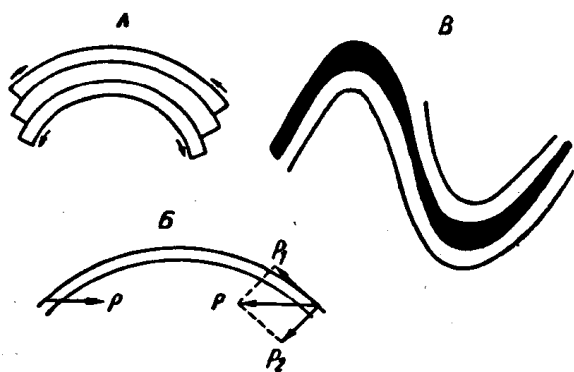


图 2. 纵向弯曲滑动褶皱

A—形成纵向弯曲滑动褶皱时岩层相对位移的方向(用箭头指出); B—该褶皱形成过程的动力学分析(P—水平压力; P_1 —层理面内的分力; P_2 —垂直层理的分力)。B—物质从纵向弯曲褶皱两翼挤向枢纽部而形成相似褶皱

部的方向——各种不同移动速度和幅度的表现。假若从动力学的角度来分析这个过程,那末不难见到(图 2B),“有效”水平应力(P)可分为层理面内指向褶皱转折端的分力(P_1)和垂直层理的分力(P_2)。分力 P_2 在弯曲初期,即岩层倾角比较平缓时是不大的,但随着倾角增大而增大。于是,在褶皱作用之下水平应力使岩层由于上覆岩层的负荷而受到的横向压力增大。这压力在褶皱两翼最大,接近枢纽部则逐渐减小,同时,它们之间的差值随着弯曲度增大而增大。因而,在褶皱作用过程中,褶皱两翼的物质必然在一定程度上被挤压到枢纽部,结果形成相似褶皱(图 2B)。

这种挤压的强度取决于岩石的力学性质及其可塑性。因此在褶皱枢纽部,当一些岩层的厚度变化较小时,另一些岩层的厚度时常大增。枢纽部岩层厚度的不断增大是褶皱作用在垂直方向上不会停息的原因。

在褶皱作用下,具有不同力学特性的岩石性状不同,这在很久前就已发现,为此,美国地质学家引用了“强”岩层和“弱”岩层的概念。在俄文文献中搬用这些术语应当认为是不合适的,而且也不能同意按照相应的英语术语的含意来划分参加褶皱的岩层。B. B. 别洛乌索夫(1948年;1954年)曾经指出,不能说有一些岩层似乎有负荷并决定褶皱形态(即强岩层),因为形成褶皱的是整个岩层。

假如深入思考在具有不同力学性质的岩层中褶皱形成的机理,那就不难理解,可塑性岩

层不仅积极地参加褶皱的形成,而且其变形的性质使得严格划分上述褶皱的成因类型复杂化。褶皱两翼的物质挤压到枢纽部的作用是片流(即沿薄片发育)剪切作用,往往甚至是多组剪切作用,而从枢纽部厚度大大增加的岩层以上较强岩层的变形中,不难看出横向弯曲的痕迹。这些变形的相对意义可以是各不相同的。

在褶皱群的深部岩层中,由于岩层在垂直于层理的方向上压缩得十分厉害,因而那里可塑性变形应占优势,同时岩层物质也可能发生很大的重新组合,结果枢纽部岩层厚度大增而形成所谓流动褶皱。

尽管褶皱作用机理十分复杂,可是在分析矿床或矿田范围内较小地段的构造时,仍然应力求解决这样的问题,即此褶皱属于哪一个成因类型,以及在其形成过程中怎样的机理起了主要作用。在解决这个问题时必须牢记,在纵向弯曲褶皱中岩层厚度在枢纽部可能大为增加,但厚度的这种变化在不同岩层中是不同的。在这种褶皱两翼受到强烈挤压的岩层中,会产生所谓拖褶皱。这种褶皱的存在可能有助于解决某些构造地质问题。可是要解释这种褶皱形成机理是不容易的。这种褶皱是褶皱岩层不协调的典型例子,并且与该岩层的纵向弯曲无直接的联系。只能把它们看成此岩层内物质运动的结果。既然在褶皱枢纽部此岩层的厚度增大,那末可以肯定地说,褶皱两翼的物质应该朝着枢纽方向“流动”。

在纵向弯曲所形成的一般滑动弯曲褶皱中,岩层相对滑动的方向在枢纽部发生变化,可是在拖褶皱中相对运动方向在两翼必然相同,这就是两者的区别。这种拖褶皱的不对称性是岩层横向剖面中流动速度变化的结果,从而有助于确定相邻岩层相对滑动的方向。这一点可用来确定这些岩层在该地区中相对的地层位置。例如,在图3上所示的陡斜地层的某些岩层中如果存在拖褶皱,便可以肯定地说,岩层具有倒转的产状。显然,当某岩层中有拖褶皱时,该岩层和相邻岩层的界线实质上是构造界线,因为这里指的是这些界线划分出内部运动性质截然不同的地段。

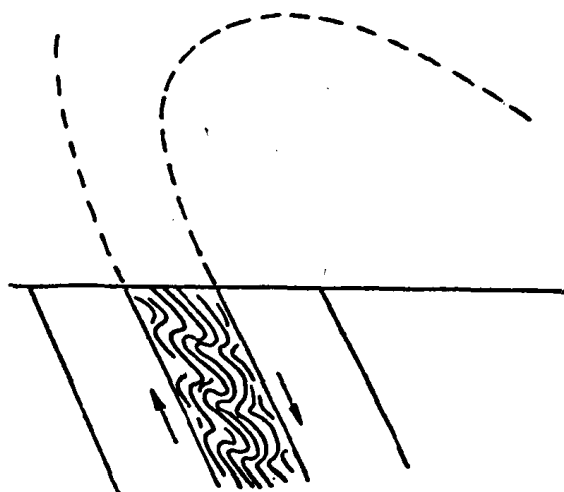


图3. 在纵向弯曲滑动褶皱一翼上形成的拖褶皱。箭头指出岩层相对位移的方向,虚线指出褶皱的形态

可见,拖褶皱是极为常见的,但令人遗憾的是,迄今我们没有对它作详细研究。但那怕是因为拖褶皱的形成与该岩层“受压”有关,即与作为B. B. 别洛乌索夫大地构造学说基础的,目前很多人不可理解的那种作用有关也好,拖褶皱形成方式的意义是肯定无疑的。

除了在可塑性较大岩层中产生拖褶皱以外,较坚硬岩层的变形会导致岩层中形成片理或裂隙。关于成因上与褶皱作用有关的片理在褶皱中的位置问题是十分复杂的。这种片理分为两种基本类型:所谓层面片理及轴面片理。由于岩层平行层理滑动而产生的层面片理,其成因不会引起特别的怀疑。

轴面片理的成因有各种不同的解释。这种片理或许是由于与层理不一致的一组剪切面平行剪切的结果。在一般情况下,这种片理在褶皱中呈扇形排列,但也可能和轴面几乎平行。平行于轴面的片理也可能是压扁片理,即由于在不能进一步弯曲之后继续受到切线

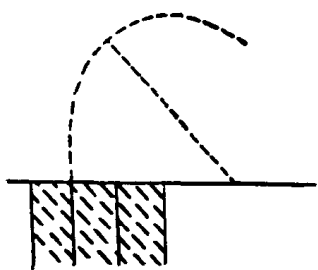


图4. 轴面片理产状(粗虚线)和层理产状(垂直的实线)的相互关系。用细虚线表示褶皱形态

压力而生成。这种片理在整个褶皱中将具有相同的产状，但其平行于褶皱轴面的位置可能仅仅是特殊情况。

片理与岩层在褶皱中的位置的空间关系问题，还需要通过褶皱的详细制图作进一步研究，因为目前这方面的确切资料还很少。但不管对成因的解释怎样，关于和层理不一致的片理几乎总是平行于褶皱轴面的这种经验性规律，可以用来对褶皱构造进行制图。轴面片理位置和层理的相互关系，与拖褶皱一样，会有助于解释岩层的地层顺序。譬如在图4上我们见到，片理与岩石层理交成锐角。假如认为这种片理平行于褶皱的轴面，那对褶皱构造中该露头的位置只可能有一种解释。

为了结束关于纵向弯曲褶皱的简短讨论，我们还要提一下，矿体通常产于褶皱的哪些要素中。矿体位置、形状和褶皱构造之间的关系在所谓鞍状矿脉的形成上表现得特别明显。这种矿脉的形状及其在褶皱中的位置和参加褶皱作用的可塑性岩层的产状完全相似。众所周知，岩浆体(岩鞍)有时也产于褶皱的枢纽部。在褶皱作用期间当岩浆侵入时，或者当含矿溶液渗入时，恰巧在褶皱的枢纽部富集起相应的岩浆体和矿体，是很自然的。

假如矿化较褶皱年轻，那末解释褶皱枢纽部控制成矿的意义就较为困难。在褶皱作用期间大多数岩石是剩余变形，但毕竟有些岩石可能是局部弹性变形。在外应力减少的情况下，这些岩层可以挺直一些，结果形成小的剥离空隙。

各岩层的岩性特征，首先是由其所决定的节理也许具有重大的控制成矿的意义。在许多情况下见到鞍状矿脉产于成分相差极为悬殊的岩层交界处；也发现在褶皱剖面的不同层位上有时出现类似的条件，并且相应地矿体呈“多层”分布。在上盘岩石中分支并且切穿上盘岩石的短矿脉，有时和鞍状矿体联在一起。它们通常产于断距不大的逆掩断层中。

在褶皱两翼，矿层比较鞍状矿脉更为常见。有时认为矿层产于剥离空隙中。但在褶皱作用期间形成开口空隙不见得可能，这些空隙多半是由于较后期的顺层运动而产生。褶皱两翼的交代层状矿体通常与某一有利层位有关。使这些层位成为“有利层位”的因素，或者可能是这些岩石的化学成分、或者是这些岩石的构造特点、节理的裂开程度和性质。裂隙的空间位置及其“稠密度”显然取决于岩石的力学性质以及该岩层在褶皱过程中发生的变形性质。与这些层状矿体联在一起的有短矿脉，这些矿脉产于褶皱作用期间在岩层里形成的裂隙中。

横向弯曲褶皱

前面我们已经列举了几个例子说明由于横向弯曲而形成的弯曲构造。其中只有地台区的穹形褶皱才真正称得上褶皱，但就是这种褶皱通常也只呈背斜构造。关于形成这种褶皱的应力的来源问题，迄今悬而未决。

这些穹形构造与成因已经肯定的穹形构造原则上没有差别。这种褶皱的例子有盐株上方的膨大部分和岩盘顶板的弯曲(图5)。这些褶皱是由于岩层受自下而上的局部应力作用后，发生横向弯曲而形成的，因为这些岩层的产状在穹部以外通常丝毫没有遭到破坏。在形成这些褶皱时，弯曲的岩层会伸长，从而岩层厚度相应地减小。

这些原理似乎是无可争辩的, 尽管实验室试验资料表明, 大多数岩石很脆, 抗断强度不大。显然, 在这种褶皱的枢纽部, 岩层厚度不仅不可能增大, 而且相反地必然减小。应该把这个标志也认为是这些褶皱与纵向弯曲褶皱的基本区别。

构造断裂和挠曲附近岩层的弯曲(岩层升起)也是横向弯曲的结果, 它们与相邻地段未引起裂隙产生的不大的位移有关。由横向弯曲引起的褶皱还可能在侵入岩中见到。特别是大侵入体参加褶皱作用(这点在北高加索的萨当区似乎已被确定), 用横向弯曲或剪切作用(阿日吉列, 1941 年)解释较为容易。

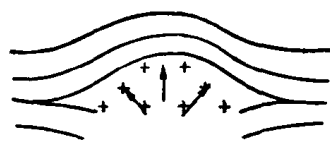


图 5. 岩盘(用十字符号表示)顶板的弯曲。箭头表示局部应力的方向

2. 断块褶皱

这类看来极常见的褶皱(M. A. 乌索夫, 1940 年; B. A. 涅夫斯基, 1949 年), 其形成通常也和沉积岩层的弯曲有关, 但是要具备特殊条件, 即岩层层间滑动的可能性受到限制。这种环境可以在地槽向地台过渡的地区内形成。这些条件的特点是出现穹形褶皱, 并且形成大量各级断裂, 而且这些断裂往往由侵入岩墙所充填。侵入岩墙穿过沉积岩层时, 好像使岩层缝合起来, 从而在弯曲时使岩层相对位移的可能性受到限制。在某些情况下没有充填侵入岩的断裂也起着同样的作用。它们对沉积岩层形成特殊的支柱, 尤其如果在这些断裂的另一边分布着块状岩石的话。

在层间滑动受限制的条件下沉积岩层弯曲的结果, 形成箱形背斜褶皱, 它们被一些向斜拗陷所复杂化。在向斜拗陷中广泛地见到岩层沿层理裂开, 从而形成微微开裂的地段。上覆岩层的阻力对这起了反作用, 最后终于使可塑性较大的岩层局部受压, 使较脆岩层破碎。

这种变形的总后果, 就是在被向斜复杂化的地段出现大量张开空洞。因而时常有矿体产于向斜内的含矿地段。与断块褶皱有关的矿化现象由 B. A. 涅夫斯基 (1949 年) 根据他对中亚细亚汞锑矿床的研究作了描述。

形成断块褶皱的机理可以粗略地通过一个最简单的实验来说明, 即把一束两端被夹紧的纸条弯曲(图 6A)。正象图 6B 上见到的那样, 当时形成一个简单的箱形褶皱, 它是由分层的复杂向斜所组成。如果使向上膨胀的可能性受到限制, 便形成较为复杂的双峰和三峰断块褶皱(图 6B)。

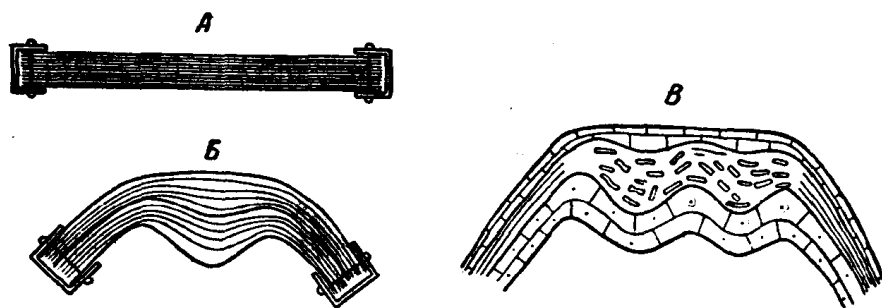


图 6. 断块褶皱

A—岩层的原始位置; B—表明断块褶皱形成机理的最简单的实验; B—三峰断块褶皱

3. 底辟褶皱

这类褶皱可以由横向弯曲形成的穹形褶皱进一步发育而形成。前面已经指出, 在形成穹形褶皱时, 顶部岩层厚度减小, 这一点就是这些褶皱和由于纵向弯曲而形成的褶皱的不同之处。岩层厚度减小的现象, 是由于可塑性较大(在该条件下)的物质受到自下而上的局部应力作用向上位移时岩层受张力而产生的。这种位移进一步便可导致可塑性不大的上覆岩层被塑性岩层刺穿。

底辟褶皱可以在塑性岩层受到不均匀的负荷时产生。那样的条件在地台边缘地区特别常见, 那里常常发育着穹形褶皱, 时常见到盐丘, 以及核部由岩盐和石膏所组成的底辟褶皱, 而在上覆岩层中伴随有平缓断层。但是, 正如 B. B. 别洛乌索夫(1955 年)正确地指出, 在存在可塑性岩石的条件下, 底辟褶皱还可在下沉相当剧烈的亚地槽内形成。

石灰岩可以起到可塑性岩层的作用, 因为石灰岩在相当大的压力下具有流动的性能。可塑性岩层向上运动时对上覆岩层起作用, 结果使较脆岩石破碎, 而在容易揉皱的岩层中形成拖褶皱。可作为特征的是, 这些小褶皱

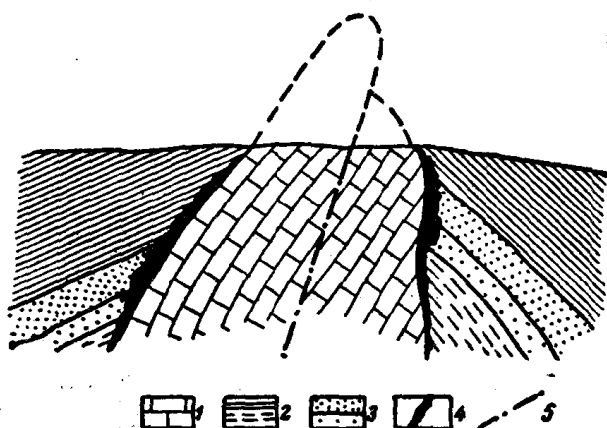


图 7. 底辟褶皱, 其中矿化沿构造接触带发育

1—石灰岩; 2—页岩; 3—砂岩; 4—矿体; 5—构造断裂

与滑动弯曲时形成的拖褶皱不同, 前者的轴面对于底辟褶皱的轴面是倾斜的, 这点由其形成的机理所决定。

上升的可塑性岩层具有平行于运动方向的片理。在继续上升的过程中, 在片理方向上岩层连续性可能遭到破坏而形成一些断块, 它们上升的速度各不相同。

底辟褶皱对矿化富集具有重大的意义。矿化带通常沿围岩与“刺穿”岩石间的构造接触带发育, 还沿着把刺穿岩石分成不同断块的断裂发育(图 7)。

4. 剪切褶皱

前面我们已经试图来解释拖褶皱的形成方式, 并且把它和此岩层内的滑动联系起来。可是, 要把拖褶皱的形成和剪切作用的这种滑动直接联系起来是不成的, 因为褶皱中决定褶皱本身形状的夹层最终仍然是由于横向弯曲而发生弯曲的。

在形成剪切褶皱时, 岩层实质上不发生弯曲。这些褶皱是由于薄岩层沿着和层理成一定角度的一组平面作不均匀滑动而形成的。这种片状滑动可以在不大应力作用下在可塑性极大的岩层中产生, 或者可在压力大、同时伴随有变质作用的条件下在坚硬岩层中产生。现在可以认为在上述两种情况下剪切褶皱的产生都已得到证明。

起初, 剪切褶皱是在变质岩中进行研究的; 这里的褶皱是由于沿片理面滑动而形成。假如片理面和岩层层理交成某一角度, 那末, 沿片理滑动时, 层理通过小断层而发生变形。假如滑动速度(位移距离)在整个岩层中比较一致时, 那末, 层理的产状会有一些变化, 但是原来的直线最后仍然是直的(图 8A)。假若相对位移距离有规律变化, 那末原来是平面的层理将会发生弯曲, 而形成类似褶皱的形状(图 8B)。显然, 这种不均匀变形发生在和大构造