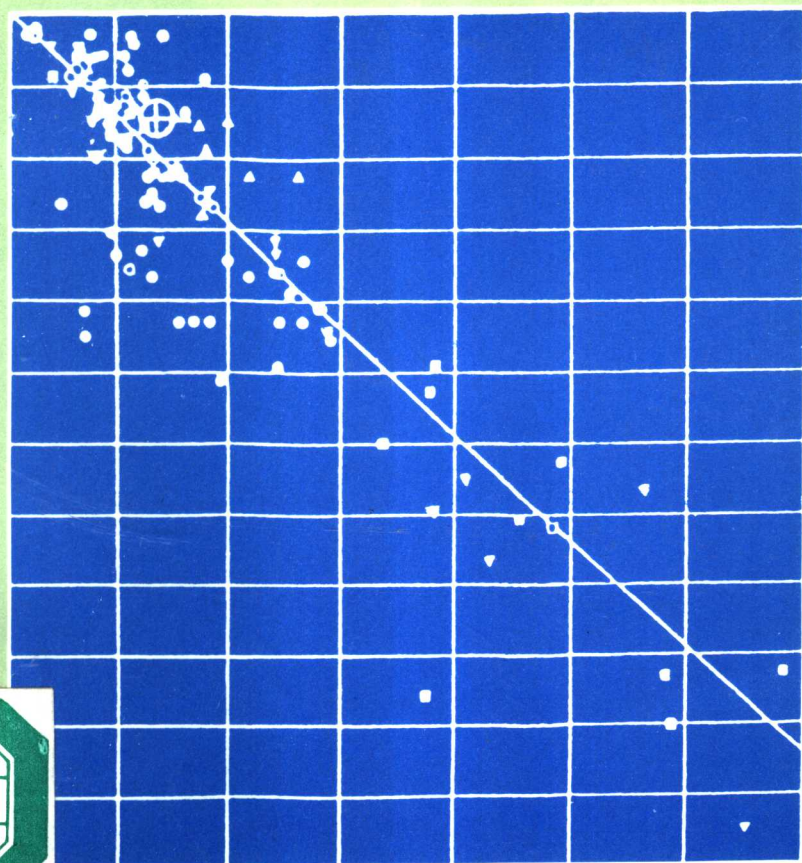


地应力测量 在采矿工程中的应用

王连捷 任希飞 丁原辰 杨青山 编著



地震出版社



地应力测量 在采矿工程中的应用

王连捷 任希飞 丁原辰 杨青山

地震出版社

1994

(京)新登字 095 号

内 容 提 要

地应力状态和岩石力学性状是控制采矿工程稳定性的重要因素。本书以喀拉通克铜镍矿为例,着重说明如何根据地应力测量结果和岩体力学条件进行巷道及采场稳定性设计,另外还介绍了地应力测量方法、测量结果、岩体工程分类、岩石力学参数的修正、区域构造应力场的分析、巷道及采场稳定性的有限元分析等方面的内容。

本书可供矿山开采、水电工程、隧道以及其他地下工程等方面的科技人员和有关院校师生参考。

地应力测量在采矿工程中的应用

王连捷 任希飞 丁原辰 杨青山

责任编辑:李洪杰

责任校对:徐雁生

*

地质出版社出版

北京民族学院南路9号

中国地质大学印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经售

*

787×1092 1/16 6印张 150千字

1994年7月第一版 1994年7月第一次印刷

印数 001—500

ISBN 7-5028-1171-0/P·716

(1564) 定价:7.20元

前 言

地应力状态和岩体力学性状是控制采矿工程稳定性的重要因素。本书以喀拉通克铜镍矿为例,说明地应力测量和岩体力学条件在巷道及采场稳定性设计中的具体应用。

喀拉通克铜镍矿一期工程以1号矿体特富矿为开采对象,为二期工程筹备资金。一期工程设计生产规模为250吨/日,服务年限为22年,开采范围为24—32勘探线,650—710水平。矿石品位高,并伴生稀有及贵金属。经核算开采后经济效益很高。

该矿对新疆的资源开发与建设具有重要意义。

为合理设计采矿工程,合理选择采矿方法,提高生产效率和保证安全,地质矿产部地质力学研究所和喀拉通克铜镍矿于1988年到1989年开展了具体研究工作。

该项工作主要进行了现场地应力测量,取得了可靠的地应力实测资料,提示了该矿地应力的主要作用特征;通过构造调查、震源机制分析、显微构造分析、井下断层擦痕统计、节理调查、地表位移测量结果分析等工作对区域构造应力场和局部应力场进行了研究;对岩石力学特性进行了室内试验并进行了岩体质量分类。这些工作为采矿设计提供了原始数据。最后根据地应力测量和岩体力学参数测定结果进行了有限元应力计算和稳定性分析,为巷道设计,采矿方法和采场跨度的合理选择提供了依据。

除本书作者外,参加本研究工作的人员尚有地质矿产部地质力学所张荣阁、张利荣、赵京生、王建平、王薇、廖椿庭、区明益、宋玉友、袁嘉音、武红岭、杨玉东、喀拉通克铜镍矿魏彬、田洪军。

本工作得到新疆有色金属公司科技处和喀拉通克铜镍矿地质科的大力支持,地质力学所彭华同志在计算机上协助,在此一并表示感谢。

目 录

第一章 区域和矿区构造应力场	(1)
第一节 区域构造体系和构造应力场	(1)
第二节 矿区构造和应力分析	(3)
第三节 矿区节理调查	(4)
第四节 新生代以来的应力场	(7)
第二章 岩石力学试验及岩体工程分类	(10)
第一节 取样地点及试验方法	(10)
第二节 试验结果	(10)
第三节 岩石力学参数的回归分析	(15)
第四节 根据岩体分类修正岩石力学参数	(19)
第五节 岩体工程分类	(26)
第六节 巷道收敛观测	(27)
第三章 地应力测量	(29)
第一节 地应力测量方法	(29)
第二节 测点的选择	(43)
第三节 地应力测量结果及地应力的主要特征	(45)
第四章 巷道和采场稳定性的有限元分析	(50)
第一节 计算方法和岩石力学参数	(50)
第二节 不同法线方向上断面内的应力状态	(50)
第三节 巷道断面形状的选择	(67)
第四节 采场稳定性的有限元计算	(73)
结论与建议	(88)
参考文献	(89)

CONTENTS

Chapter 1 Structural stress field of region and mining area	(1)
1-1 Regional tectonics and structural stress field	(1)
1-2 Structural framework of the mining area and analysis of its stress state	(3)
1-3 Investigation of joints in the mining area	(4)
1-4 Structural stress field in Cenozoic	(7)
 Chapter 2 Test of rock mechanical properties and engineering	
classification of rock body	(10)
2-1 Sampling site and test method	(10)
2-2 Results of test	(10)
2-3 Regression analysis of the results and determination of rock mechanical parameters	(15)
2-4 Revision of rock mechanical parameters on the basis of engineering classification of rock body	(19)
2-5 Engineering classification of rock body	(26)
2-6 Observation of drifts convergence	(27)
 Chapter 3 Rock stress measurement	(29)
3-1 Method	(29)
3-2 Choice of measurement site	(43)
3-3 Results of rock stress measurement and main features of rock stress	(45)
 Chapter 4 Analysis of stability of drift and stope by means	
of finite element method	(50)
4-1 Finite element method and rock mechanical properties	(50)
4-2 Stress state within sections with different normal directions	(50)
4-3 Shape choice of drift section	(67)
4-4 Analysis of stope stability by finite element method	(73)
 Conclusions and Suggestions	(88)
References	(89)

第一章 区域和矿区构造应力场

无论是研究区域稳定性问题, 还是研究与地压有关的井巷、采场稳定性问题都与构造应力场(包含重力场)及其作用的产物(各种构造形迹)密切相关。一般而言, 构造活动往往呈现一定的继承性, 有一个演化过程, 因此我们必须由老到新, 从区域到矿区来研究构造应力场, 特别是着重研究现今构造应力场。一旦掌握了这些定性资料后, 就可能使井巷、采场的设计更加合理, 就会节省投资, 加快建设速度, 保障安全生产。

地壳中一切构造形迹都是地应力和岩石力学性质综合作用的结果。因此, 根据地层和岩石中构造形迹组合型式, 就有可能推测不同时期的应力作用方式。

第一节 区域构造体系和构造应力场

本区的主要构造线方向为北西—北西西向。按照它们生成时期、交切关系又可分成: 蒙古弧的西翼、准噶尔弧东翼、西域系及北北西向可可托海断裂和近东西向伊德克断裂(图 1.1)。①

分布在本区的准噶尔弧东翼和属蒙古弧西翼的阿尔泰构造带在古生代已经出现, 晚古生代强烈活动, 构造线方向为 $290-310^{\circ}$, 主压应力为 $20-40^{\circ}$ 。第四纪时属蒙古弧构造的某些组分显示出一定活动性。本区西域系构造形成于石炭纪, 晚古生代活动强烈, 中生代活动依然明显。其构造线方向为北西—北西西向, 主压应力为北东—北北东。由于西域系割切了准噶尔弧和蒙古弧, 显然其生成要晚些。尽管根据区域资料划分出若干体系, 但在本区, 尤其是矿区附近, 地质历史上主压应力方向为 $20-40^{\circ}$ 。

至于现今活动最强烈的北北西向可可托海断裂和影响到第四纪的东西向断裂, 很可能是晚近时期北北东向应力场利用西域系的两组扭裂面发育而来的。

矿区和区域的显微构造研究表明, 岩石中矿物的形体方位大致都呈 $290-310^{\circ}$ 拉长, 显然是北东—南西向强大的水平挤压应力作用所致。矿区 1 号薄片矿物整体约呈 $NW70^{\circ}$ 方向伸长, 而且在其垂直方向上横裂发育。利用矿物拉长方向和横裂方向的方位数据作微破裂玫瑰花图(图 1.2)。图中横裂方向为 $NE20^{\circ}$, 可能代表了破裂形成时的主压应力方位。矿区的 20 号薄片内见有反映晚近时期构造作用的无充填破裂两组, 一组为 87° , 另一组为南北向。二者近于正交, 为共轭破裂, 显示了晚近地质时期以来局部的主压应力方位为北东向(图 1.3)。

上述构造除准噶尔弧东翼没有影响到第四系外, 其余构造在第四纪沉积物中都有不同程度的显示, 其中尤以北北西向可可托海断裂活动性最强, 1931 年富蕴 8 级地震就沿此断裂发生, 这条断裂也是对矿区影响最大的断裂。

① 新疆维吾尔自治区地质局, 1978, 1: 20 万富蕴幅区域地质调查报告。

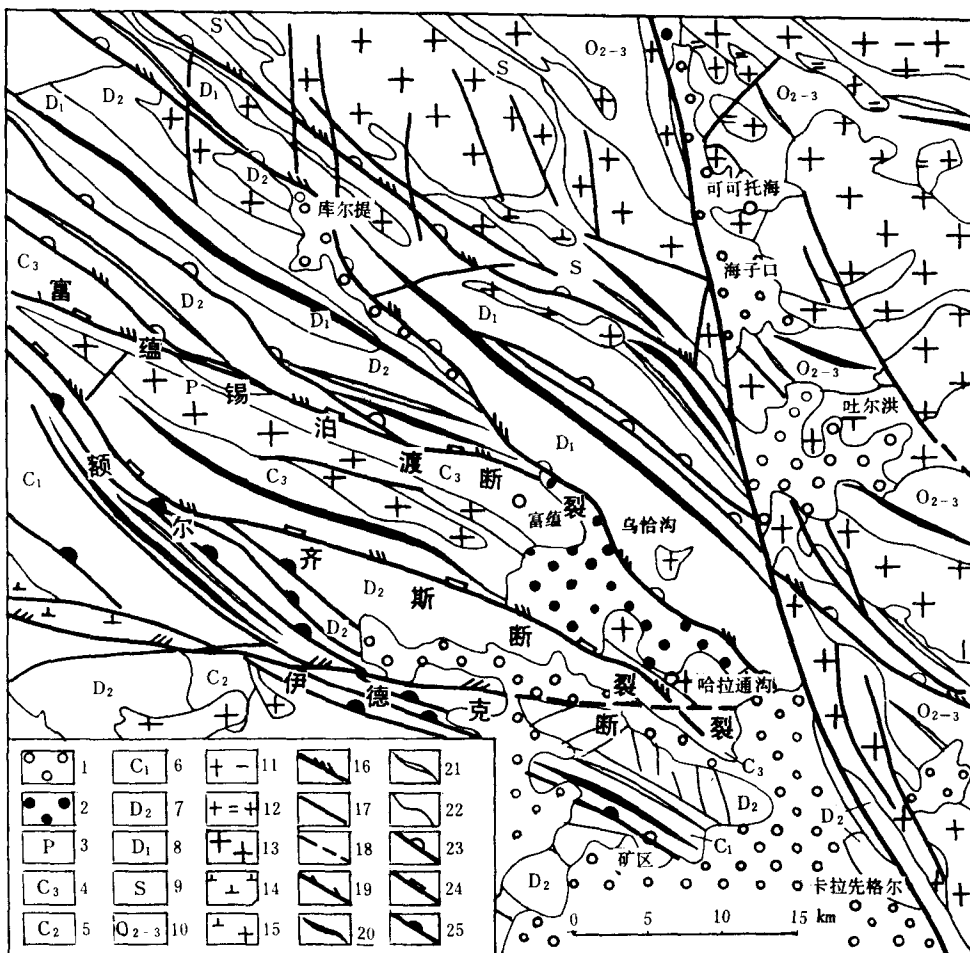


图 1.1 区域地质构造略图

1. 新生代沉积；2. 中生代沉积；3. 二叠系；4. 上石炭统；5. 中石炭统；6. 下石炭统；7. 中泥盆统；8. 下泥盆统；9. 志留系；10. 中—上奥陶统；11. 燕山期花岗岩；12. 印支期花岗岩；13. 华力西期花岗岩类；14. 华力西期闪长岩类；15. 华力西期花岗岩闪长岩类；16. 主要压扭性断层；17. 一般断层；18. 推测断层；19. 平移断层；20. 背斜；21. 向斜；22. 地质界线；23. 蒙古弧构造；24. 西域系构造；25. 准噶尔弧构造

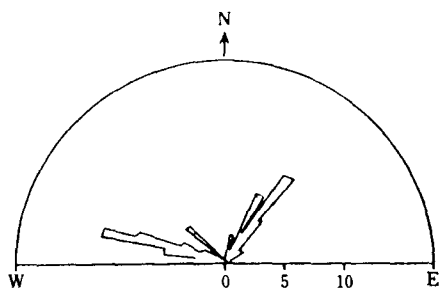


图 1.2 一号薄片微破裂玫瑰花图

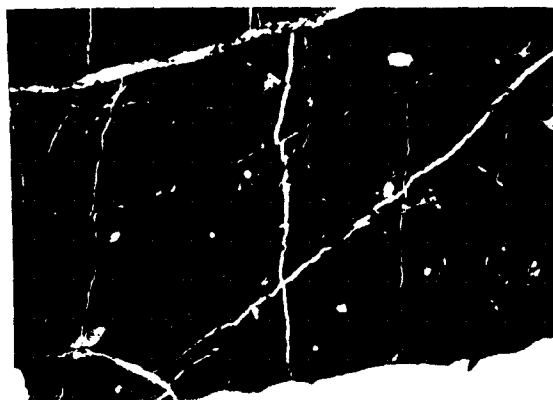


图 1.3 石英脉中的扭破裂

第二节 矿区构造和应力分析

矿区断裂的基本构造格架是以北西向压扭性断裂为主干，与其配套的有北北西向张扭性和北东东向压扭性断裂以及北东向张性断裂(图 1.4)。由上述 格架可以确定主压应力方向为北东向。已有研究认为矿区东西两条堆积第四系的大沟是北东向断裂新活动造成的，从而得出矿区构造体系第四纪仍有活动的结论。研究结果还指出矿区可能存在南北向构造。

矿区主要含矿岩体 Y_1 岩体，铷锶法的同位素年龄为 285—302Ma，为海西运动中期产物。

在矿体中我们还利用断层面上擦痕来试图确定主应力。这种方法最早是由法国人提出的，它的实质是根据剪应力空间方位(相当于擦痕的空间方位)来反演主应力方位。我们在 650 中段和 710 中段测量了 37 个点，将其投影到乌氏网上(图 1.5)。

为了醒目，图 1.6 上仅仅绘出 M 面的极点，一般来说这些极点落在三个互相垂直的大圆上，这三个大圆的极点就是所求的应力轴。但图 1.6 上却出现了 10 个极点，而相互垂直的仅有 3 个，参照擦痕指向，确定出的应力轴见表 1.1。

表 1.1 由矿体中擦痕确定的应力轴

应 力 轴	方 位	走 向	倾 向	倾 角
P (压力轴)		90°	W	36°
T (张力轴)		277°	SE	56°
N (中间轴)		190°	NE	19°

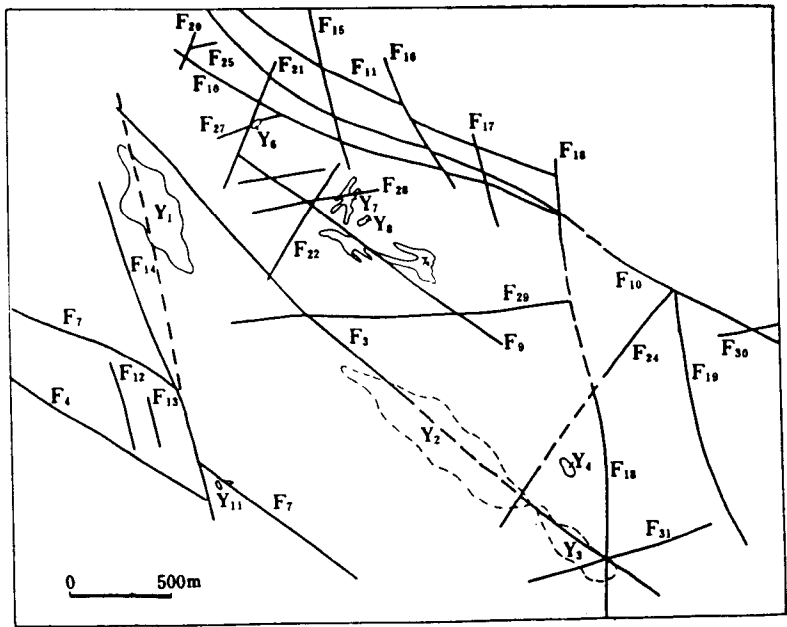


图 1.4 矿区断裂系统图

由于这些擦痕是在特富矿和富矿中统计的，它反映了成矿后受到的构造变动，并且区域内没有见到相应的南北向构造形迹，因此由擦痕确定的应力可能反映了局部应力场。

第三节 矿区节理调查

为了了解矿体中节理的发育状况，我们在 710 中段和 650 中段进行了调查统计。710 中段在特富矿和井口附近石英斑岩中进行统计，总长度为 74.16m，其中在石英斑岩中的调查长度为 12.28m，为了使统计不受人为加权的影响，我们对特富矿沿穿脉方向、沿脉方向及垂直方向各选取 12m 长的统计段，用计算机处理作图，由于石英斑岩缺少沿脉方向资料，因此没有进行分析作图。650 中段主要是在富矿中统计 45.15m，与 710 中段特富矿节理处理原则一样，只取了 36m 用计算机作图。应当指出，富矿和特富矿都有磁性，罗盘仅能测量倾角。650 中段全部节理是采用基线定向。710 中段用部分基线定向校正了原来罗盘定向，其精度稍差一些，但均能满足节理统计的要求。650 中段富矿中 442 条节理极点图(图 1.7)和玫瑰图(图

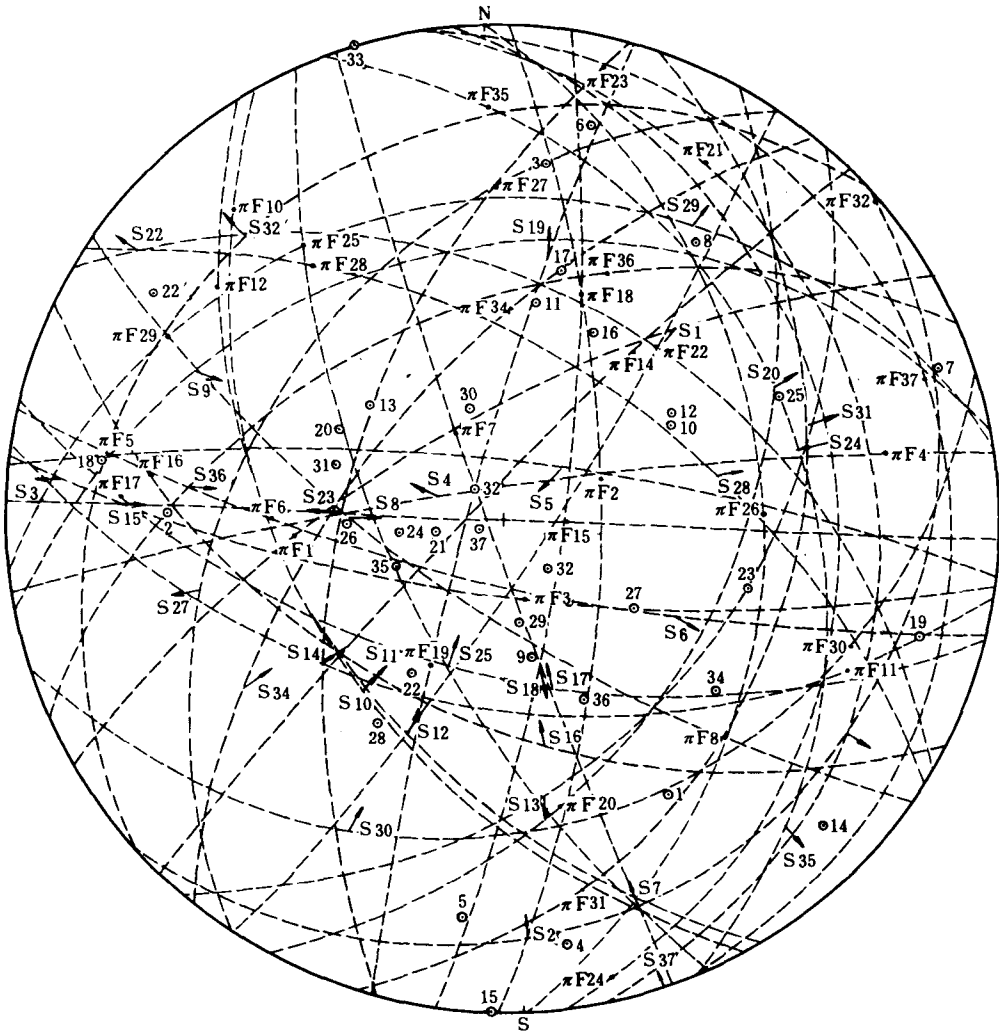


图 1.5 矿体中断层擦痕极射赤平投影图

1.8)表明,节理没有明显的优势方位,各个方向均有发育,这些节理倾角以中等缓倾为多。相对而言,似乎 NW10—NE60°范围内略强一些,其次为 40—50°,这组节理面平直光滑,延伸不远。节理平均间距见表 1.2。

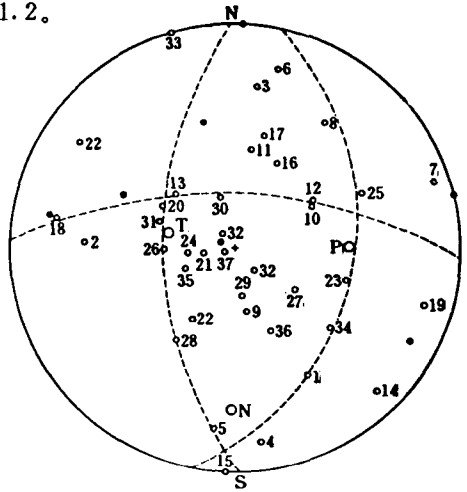


图 1.6 由擦痕求出的主应力

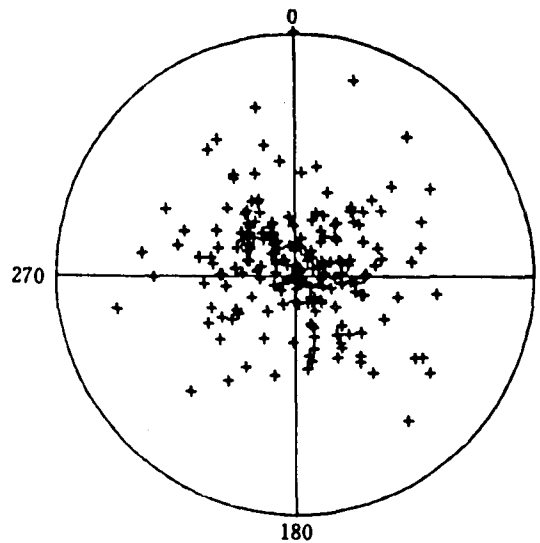


图 1.7 650 中段富矿节理极点图

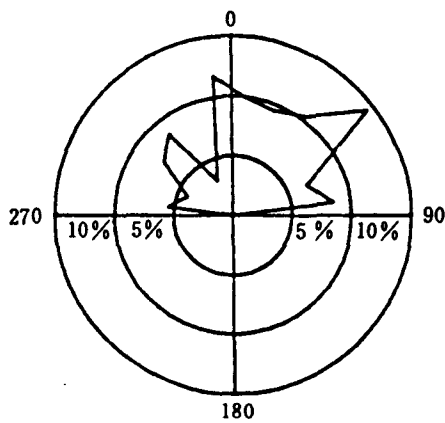


图 1.8 650 中段富矿节理玫瑰图

表 1.2 650 中段富矿节理间距

方位 间距	穿脉方向 (NE30°)	沿脉方向 (NW60°)	垂直方向
平均 (mm)	209	188	137
总平均 (mm)	178		

沿三个方向统计的节理间距彼此相差不大,也间接说明不存在特别优势方位节理。节理总平均间距为 178mm,属密集型。RQD(岩石质量指数)平均值为 77.5。

矿区 710 中段特富矿的节理玫瑰图(图 1.9)和极点投影图(图 1.10)表明,NE45—50°方

向节理最为发育，这组节理平直光滑，延伸远，而且缓倾角比陡角发育，这二者似为一组共轭节理，其锐角分角线方向为 NW310°，倾角 52°，向南东倾。通常岩石力学实验表明，最大压应力方向也就是锐角分角线方向。其它较发育的还有 NE8—9°，NW335°以及 NW80°。特富矿中节理平均间距见表 1.3。从表 1.3 可以看出，穿脉巷道中节理间距较沿脉的大，表明北东方向的节理比较发育。RQD 平均值为 74。

应当指出无论是富矿还是特富矿，在垂直方向上节理间距都很小，似乎对顶板不利。

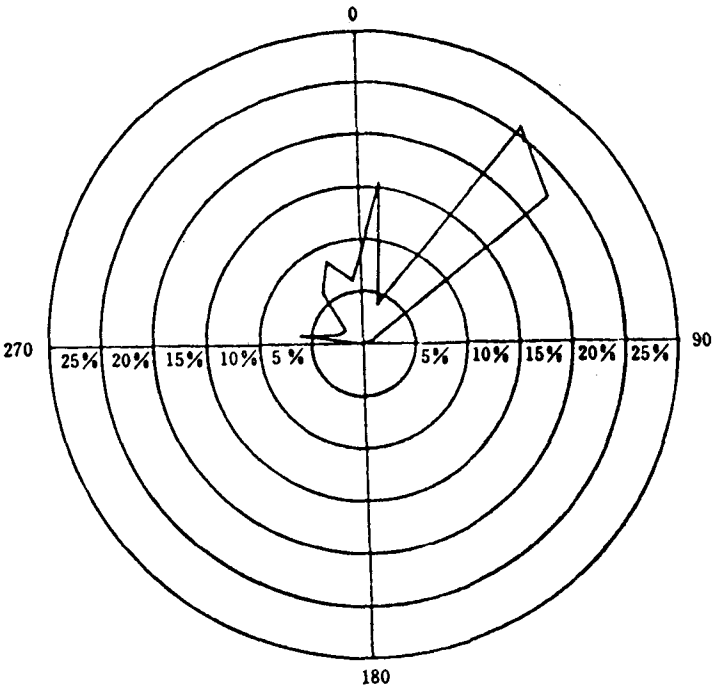


图 1.9 710 中段特富矿节理玫瑰图

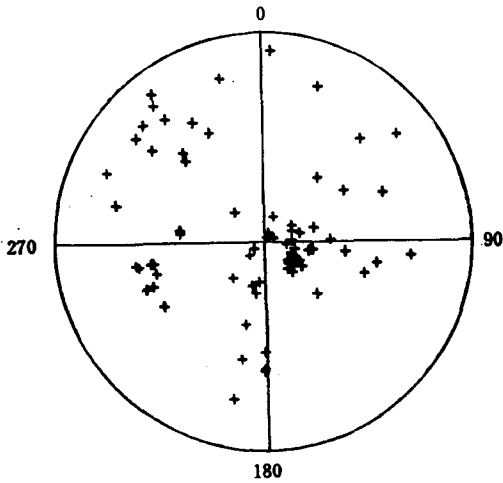


图 1.10 710 中段特富矿节理极点图

表 1.3

710 中段特富矿节理平均间距

方 位 间 距	穿脉方向 (30°)	沿脉方向 (300°)	垂直方向
平 均 (mm)	411	162	109
总平均 (mm)	227		

第四节 新生代以来的应力场

阿尔泰及中亚地区存在着一个渐新世以前的夷平面,并在此夷平面上堆积了渐新世红色粘土,渐新世以后亚洲大陆内部地壳运动开始增强,但是在本区表现却不明显,沉积了一套渐新世到上新世的昌吉河群,这套地层与中更新统的乌苏群为不整合接触。但从新疆来看,早更新世西域组灰色砾岩与第三系一起褶皱,地层上显示出较大倾角,而中更新统则以明显的角度不整合平覆其上,塔里木四周山麓地带到处都可见到中生代、古生代地层逆掩到第三纪和早更新世地层之上,显然这次运动发生在早更新世以后。

这次运动在本区最活跃的可可托海断裂上亦有反映。可可托海断裂在前渐新世时段垂直位移速率 0.31mm/a,水平位移速率为 0.3mm/a,二者之比约为 1:1,断裂为逆走滑型^[1],外力作用方向为北东向。

额尔齐斯河上游河谷最高阶地有相当中更新世堆积物,由于北北西向可可托海断裂活动,致使河谷发生了右行错移,推算出中更新世时垂直位移速率为 0.27mm/a,水平为 4.3mm/a 二者之比为 1:16^[1]。和前渐新世相比,经早更新世运动后,水平位移急剧增加,反映了外力作用由北东向北北东方向偏转。全新世时垂直位移速率为 1.27mm/a,水平为 21.6mm/a,虽然垂直和水平速率都比较中更新世增加,但其比值为 1:17。表明外力作用方式并无大的改变。1931 年沿此断裂发生了一次 8 级地震,其最大垂直位移为 1.4m,最大水平位移为 14m,二者之比为 1:10,与全新世时状况无多大的变化。

第四纪以来,可可托海断裂以走滑为主,其它分量很小,这在地质地貌上亦有显示。可可托海断裂带内最老的堆积物是喀依尔特与可可托海两盆地分水岭地带的晚第三纪红色粘土层。喀依尔特与可可托海盆地间分水岭海拔 1360m 左右。可可托海与吐尔洪盆地分水岭海拔 1350m 左右,在 20km 距离内,两处高差仅有 10m,这也说明了只有外力和北北西向可可托海断裂交角较小,位移以水平分量为为主情况下,才会出现上述现象。

1931 年富蕴地震根据鹫峰台,圣胡安台和大阪台记录的纵波初动资料,求得的震源应力状况见表 1.4^[1]。

表 1.4

1931 年富蕴地震震源机制解

应 力 轴	方 位	方 向	倾 角
P		213° (NE33°)	3°
T		122°	35°
N		306°	55°

根据震中区地震破裂的宏观资料，求得的应力状况，见表 1.5^[2]。

表 1.5 由 1931 年富蕴地震宏观破裂求出的应力轴

应 力 轴 \ 方 位	方 向	倾 角
P	194° (NE14°)	12°
T	101°	16°
N	322°	70°

从 1931 年富蕴大地震造成的共轭断层、肘状构造、X 型追踪断层、张性沟槽及地堑等得出的平均压应力方位为 NE8°，平均张应力方位为 NE90°^[1]。

根据断层滑动方向反演的构造应力场主压应力轴主位为 15—29°，平均主应力轴方位为 19°^[1]。

从 1981 年以来 $M < 0.3$ 的 166 次主要沿可可托海断裂分布的小震综合断层面解，求得应力状况是^[1]：

主压应力轴方位 204° (北东 24°) 俯角 14°

主张应力轴方位 296° 仰角 14°

上述各种方法求得的 1931 年富地震主压应力方位，虽有差别但大体都在北北东方位上。

当今应力场如何呢？1986 年可可托海断裂带北端发生了两次 $M_s = 5.4$ 级地震，1987 年又在该地发生了 5.8 级地震，这几次地震的震源机制见表 1.6、表 1.7、表 1.8。

表 1.6 1986 年 4 月 23 日地震震源机制

应 力 轴 \ 方 位	走 向	倾 角
P	201° (NE21°)	仰角 17°
T	106°	仰角 34°
N	313°	仰角 51°

表 1.7 1986 年 4 月 24 日地震震源机制

应 力 轴 \ 方 位	走 向	倾 角
P	210° (NE30°)	仰角 21°
T	101°	仰角 32°
N	328°	仰角 50°

表 1.8

1987 年 9 月 19 日地震震源机制

应 力 轴 \ 方 位	走 向	倾 角
P	21°	34°
T	113°	4°
N	207°	86°

三次地震震源机制给出的压应力方位均为北东 21—30°，表明当今大区域应力方向没有改变。

新疆地震局 1984—1986 年在可可托海断裂带上进行了三角测量，测点位置见图 1.11。

从发表的结果来看 1984—1985 年老山口测点位移，换算到断层铅直位移向上为 2.3mm，水平为 0.9mm 右行扭动。二者之比为 2.6 : 1。1985—1986 年老山口处铅直位移向上 3.8mm，水平为 12.5mm 左行扭动，比值 1 : 3.3。

从现代测量数据可以看到 1984—1985 年测得的垂直形变分量大于水平分量，且水平分量是右行滑移。1985—1986 年测得的水平分量大于垂直分量，但水平分量却变为左行滑移。由于 1986 年施测是在可可托海断裂北端两次 $M_s=5.4$ 级地震一个多月后进行的，上述数据是反映了震后应力调整效应，还是反映了应力作用方向改变，或者二者兼有，由于观察时间短，尚难确定。

施测者初步结论是：可可托海—二台断裂目前正处于运动之中，该区域构造应力场为北西—南东向挤压，北东—南西向拉张^[2]。但阿克赛依 1985—1986 年复测资料表明主压应力为北北东向。从整个测量结果来看，情况比较复杂，从时间到空间应力都在变化。

上述震源机制和跨断层测量矛盾的情况还可能反映了不同层次的信息。前者是根据地震波反演震源处应力状况即深部状况，后者则反映了地表或浅处状况。这种浅部和深部不一致的例子国外也有，如 1969 年澳大利亚麦克克瑞地震，它的震源机制解为逆左旋走滑断层，而地表则为一弧形右旋逆走滑断层。

通常认为大的地震主要受大范围构造应力作用的控制，因此它反映的应是大区域的构造应力场。

综前所述，区域应力场主压应力从华力西晚期到第四纪乃至 1931 年富蕴地震都在北东到北北东方位。但是具体到矿区某些局部位置上却是有变化的，如由矿体中擦痕求出的东西向压应力以及从特富矿共轭节理推断出的北西向压应力。现代形变测量也证实了地应力时空上的复杂性。这可能是由于介质的不均匀性和局部构造的影响，使得区域应力场与局部应力场大不相同。因此，对于一些大型的地质条件较差的地下工程来讲，除从地质上定性分析构造应力场外，还应当进行现场应力测量。

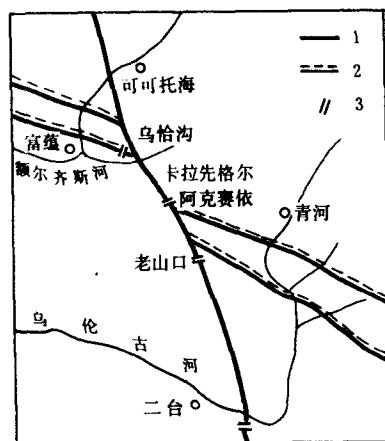


图 1.11 可可托海断裂形变观测场位置图

1. 可可托海断裂；2. 额尔齐斯河；
3. 观测场地

第二章 岩石力学试验与岩体工程分类

试验内容包括抗压强度、抗拉强度、粘聚力 (c)、摩擦角 (ϕ)、弹性模量 (E)、泊松比 (ν) 等岩石力学参数以及全应力—应变曲线。根据试验数据求出了岩石材料的常数 m 、 s 值以及破坏时主应力之间的关系曲线——莫尔包络线。进行了岩体分类, 以及在不同岩石质量指标情况下岩石材料常数变化等, 为采矿设计提供参考数据。

第一节 取样地点及试验方法

岩石样品是 650 水平选取的。特富矿岩样取自 CM509 穿脉地应力测点的岩心, 其直径为 130mm。部分富矿取自 CM502 及 CM512(图 3.15), 亦为 130mm 的岩心。另一部分为 650 水平巷道掘进时挖出的岩块。

采用劈裂法、直剪法、三轴试验、单轴试验等方法, 在美制 MTS—810 压机、国产 WE—30 和德制 200 吨压机上进行试验。试验时, 使用的设备和仪器见表 2.1。

试件的加工由专门的制样钻床和磨床完成。

试件两端的平行度为 0.02mm, 符合规范要求

表 2.1	试验用仪器设备
试 验 项 目	仪 器 设 备
抗压强度	WE—30 压机
抗拉强度	WE—30 压机, 劈裂法装置
三轴试验	MTS—810, W, S200 吨压机, 三轴压力室
直接剪切	WE—30 压机, 专用直剪试验装置
弹模、泊松比	WE—30 压机, Y6D 应变仪、LZ3—300 函数记录仪

第二节 试验结果

1. 抗压强度

试验结果见表 2.2。特富矿的抗压强度较高, 其平均值为 273.3MPa, 数据比较集中。富矿体的抗压强度, 由岩心取样为 132.1MPa, 岩块取样为 120.5MPa。橄榄苏长岩、沉凝灰岩及硅质岩等试验结果离散度稍大。它们系由开拓掌子面的岩块取样, 可能受爆破影响而有不均匀的微裂隙。另外结构也不均匀, 因而离散度较大。

2. 抗拉强度

抗拉强度试验结果见表 2.3。特富矿的平均抗拉强度为 5.2MPa; 富矿的抗拉强度为 5.6MPa; 橄榄苏长岩的抗拉强度平均值为 5.0MPa; 沉凝灰岩抗拉强度为 3.8MPa。

3. 抗剪强度

试验结果见表 2.4 特富矿的抗剪强度为 24.6MPa; 富矿的抗剪强度为 34.6MPa; 橄榄苏长岩的抗剪强度为 19.0—37.8MPa; 沉凝灰岩为 19.4—28.0MPa; 硅质岩为 32.2—49.1MPa。

4. 三轴试验 ($\sigma_1 \neq \sigma_2 = \sigma_3$)

三轴实验在两种压力机上进行, 即普通压机和 MTS-810 计算机伺服压机。 σ_3 选在 10—30MPa 之间, 试验结果见表 2.5 及表 2.6。结果的差别可能是由于岩样不同, 与试验装置无关。

5. 弹性模量及泊松比

试验结果见表 2.2。

表 2.2 弹性模量、泊松比、单轴抗压强度

岩样 编号	岩石名称	试件 编号	试件直径 (cm)	面积 (cm ²)	破坏载荷 P(kN)	抗压强度 (MPa)	平均强度 (MPa)	弹性模量 (10 ⁴ MPa)		泊松比	
								实测	平均值	实测	平均值
	富矿岩芯	1	2.5	4.9	59.8	124.5		5.5		0.19	
		2	2.5	4.9	64.3	133.9	132.1	6.8	6.0	0.23	0.25
		3	2.5	4.9				6.3		0.36	
		4	2.5	4.9	66.4	138		5.5		0.23	
5	富矿岩块	1	2.5	4.9	53.0	110	120.5	4.4	4.9	0.26	0.28
		2	2.5	4.9	63.3	131	120.5	5.3		0.31	
3	硅质岩	1	2.5	4.9	78.0	162	149(低)	6.7	6.6	0.22	0.21
		2	2.5	4.9	65.6	136		6.2		0.22	
		3	2.5	4.9	101.0	210	227(高)	6.9		0.21	
		4	2.5	4.9	117.0	244	188	6.8		0.19	
22	橄榄苏长岩	1	2.5	4.9	36.9	76.7	81.2(低)	6.9		0.22	
		2	2.5	4.9	41.2	85.7	104.8	6.5	6.8	0.28	0.26
		3	2.5	4.9	73.4	152	152(高)	7.1		0.28	
17	沉凝灰岩	1	2.5	4.9	45.6	95	97.3	2.8		0.28	0.3(高)
		2	2.5	4.9	41.7	87	88(低)	2.7	2.9	0.38	0.27
		3	2.5	4.9	39.7	82		2.8		0.15	0.15(低)
		4	2.5	4.9	60.3	125	125(高)	3.3		0.25	
	特富矿	2	3	7.07	196.2	283		6.9		0.28	
		3	3	7.07	180.5	260	273.3	7.5	7.3	0.25	0.25
		4	3	7.07	192.3	277		7.6		0.23	