

前 言

随着世界性能源危机和加紧对能源的开发，露天采矿作为一种主要的开采能源手段，其采深越来越大，深度达300~500m者已不足为奇。另一方面，随着采深的不断加大，高边坡日趋形成，由此而引起的频繁滑坡和地表严重变形及其造成的巨大损失，使得各国都非常重视露天边坡稳定性的研究。1970年在南非召开的露天采矿设计会议，其中露天边坡稳定问题是重要的议题；1970年和1971年在加拿大温哥华召开了两次国际性露天矿边坡稳定性讨论会；1984年中国煤炭学会露天专业委员会在云南小龙潭煤矿召开了“全国露天煤矿边坡工程学术会议”；1986年中国地质学会和中国岩石力学与工程学会在宜昌市联合召开了“中国典型滑坡实例学术会议”，其中三分之一的论文是关于露天边坡稳定问题的。近年来，有关露天边坡研究的专著也相继出版。加拿大高尔德（Golder）岩石力学咨询公司董事长E·Hoek博士三次（1973、1977、1981年）修订出版了《岩石边坡工程》；加拿大矿产能源部技术中心出版了《露天边坡手册》；我国的孙玉科、牟会宠、姚宝魁1988年出版了《边坡岩体稳定性分析》。上述著作都如实反映了当前国内外在露天边坡方面的研究现状及理论水平。

尽管在露天边坡研究方面已经取得了令人惊喜的成就，但实际工程实践中提出的问题仍然十分突出。如高大边坡（深度大于250m）的边坡稳定性问题，至今人们仍在研究和探索。笔者认为：研究高大边坡除研究了一系列工程地质学问题之外，必须重点展开大变形力学的研究，即研究高大边坡在其形成过程中的变形——发展——破坏的全过程。如果说用经典小变形理论和刚体极限平衡理论在研究中、小边坡时尚能奏效的话，那么研究高边坡的大变形破坏规律乃是高边坡研究的显著特征。在这一方面，迄今至少存在三大理论问题需要解决：（1）工程岩体的连续性问题。即人们通常认为工程岩体是一种高度非连续介质，而进行变形稳定性分析又都用连续介质力学理论；（2）工程岩体的本构关系问题。即岩体的本构关系是很难确定的，但进行任何变形分析时，又都毫不例外地用到本构关系；（3）工程岩体的大变形问题。即工程岩体的变形一般较大，而目前沿用的经典变形理论的一个重要假设是“变形无限小”。上述三个方面实质上是变形力学理论和高边坡岩体工程实践相结合时所产生的主要矛盾，也是目前岩体变形稳定性计算结论不符合实际情况的重要原因。著者在对我国某露天矿北帮高边坡进行了详细地工程地质研究之后，对上述三大棘手理论问题进行了细致的阐述，建立了相应的高边坡工程岩体力学的一系列概念。

本书是笔者多年来在露天矿现场从事高边坡研究的总结。笔者在研究过程中，受到了著名力学家陈至达教授和赵国景教授的指导，在工程地质研究方面受到了谭周地教授的指导；在抚顺现场工作期间，亲耳聆听了著名边坡专家E·Hoek博士的讲座，并和加拿大专家Soter先生进行了有益的讨论；同时著者的研究受到了国家人事部专家局博士后科研基金的资助。在此一并表示感谢！

作 者

1990年8月于北京

目 录

绪 言	1
-----------	---

第一篇 高边坡稳定性工程地质分析

第一章 北帮高边坡工程地质条件	4
第一节 岩性结构场的特征	4
第二节 地质构造场的特征	6
第三节 环境物理场的特征	14
第四节 工程地质分区	16
第二章 北帮边坡稳定性地质分析	18
第一节 滑坡历史及滑坡类型	18
第二节 滑坡的影响因素	18
第三节 北帮潜在不稳区预测	21
第四节 北帮高边坡破坏模式预测	31

第二篇 高边坡强度稳定性分析

第三章 北帮滑坡的物理模拟分析	33
第一节 滑坡运动行为模拟实验	33
第二节 滑面曲率效应	36
第四章 北帮边坡强度稳定性数学力学分析	39
第一节 边坡强度稳定性计算模型	39
第二节 边坡强度稳定性计算方法	44
第三节 PC—1500 计算机程序	46
第五章 北帮不稳区计算分析	52
第一节 强度参数确定	52
第二节 不稳区数值分析	67
第三节 北帮典型滑坡剖面分析	75

第三篇 高边坡变形稳定性分析

第六章 高边坡引起的地表变形及厂房破坏规律	79
第一节 厂矿现存问题与解决途径	79
第二节 厂区工程地质条件	81
第三节 厂区地表变形规律	88
第四节 厂区地表变形原因分析	98
第五节 露天矿和石油一厂的辩证关系	109
第七章 厂区地下构造格架勘察	113
第一节 现场工程地质调查研究	113

第二节 厂区地下构造格架勘察	114
第三节 厂区地质构造场综合解释	120
第四节 厂区岩体构造活动性分析	123
第八章 北帮高边坡大变形分析力学基础及非线性非光滑大变形有限元分析	128
第一节 高边坡大变形分析力学基本理论	128
第二节 高边坡非线性非光滑变形有限元分析	146
主要参考文献	162

绪 言

一、我国某露天煤矿简介

该露天煤矿位于我国东部，北纬 $41^{\circ}51'$ ，东经 $123^{\circ}53'$ 。矿所在市的公路、铁路四通八达，交通甚为便利。

该露天煤矿是我国最大的露天矿，矿坑东西走向长约6500m，南北宽约2000m，开挖深度已达300m，最终深度将达到500m。该露天矿历史悠久，开采始于1914年，至今已有76年的历史。其运输采用“之”字型折返线电气化铁路运输。本煤层开采工艺采用机械化联合作业，部分小煤层由于场地和储量所限，仍采用人工掘进。

目前该露天矿坑边缘几乎全为工业设施所包围。矿坑北缘有水泥厂、炼油厂、发电厂和市区，南缘有洗煤厂、机械厂、古城子车站及胜利矿注砂井；东缘有东露天矿，炸药厂和国有电气化铁路（该铁路系统绕至西缘）。上述设施事实上已将矿坑最终地面边界限制为目前坑界范围。

该区地处北温带，平均气温 21°C ，最高温度 40.3°C ，最低温度 -35.2°C 。冻结期始于十月下旬，每年四月份开始解冻，冻结深度1.2~1.3m。年平均雨量808mm，最大降雨量1135mm，最小降雨量460mm。夏季雨量充沛，尤以七、八两个月份为最。风速不大，常为弱风，平均风速1.7m/s。主要风向为北风或东北风，主要受内蒙古及西伯利亚气流影响，其次受黄海和渤海的气流影响。总的看该地区属大陆型气候。

二、北帮高边坡的主要工程地质问题

北帮是该露天矿的工作帮，加之北帮地面上有重要工厂，因此北帮稳定性状况对露天矿生产和地面工厂安全举足轻重。北帮高边坡的主要工程地质问题有两大类，即影响采矿的滑坡问题和影响地面工厂安全生产的地面变形问题。

滑坡问题存在已久。根据统计，自1929年至1985年发生滑坡近六十次，其中北帮近二十次。最大一次滑坡的滑落量达 $1.05 \times 10^6 \text{m}^3$ 。为处理滑坡的剥离量近 $1.0 \times 10^8 \text{m}^3$ ，耗资在三亿元以上。滑坡造成了多次重大事故。如1948年露天矿西部长1500m的煤层被滑坡岩石掩埋，不能进行采煤工作；1955年12月，在南帮东部下盘区，由于地面水灌入，边坡下部的残煤火区爆炸，触发了底板凝灰岩层滑坡，造成坑下多人死亡；1971年又发生了类似的爆炸滑坡事故；1959年由于南帮边坡下部的煤壁被采掉，底板凝灰岩层发生滑坡，煤炭主要提升系统西大卷一度被迫停运，工程处理历时三年，耗资2000多万元，自1960年以来，滑坡多发生在北帮，仅北帮西部区十三段站附近的绿色页岩向斜轴部地区就发生滑坡14次，多次造成剥离列车脱轨翻车事件；1979年，北帮西部区小背斜亚区发生大滑坡，掩埋了西大卷道，造成停产；1981年以来，北帮西部区一段站亚区发生滑坡和剧烈沉陷变形；北帮中部区二十八段站1987年发生滑坡4次，由此牵引第三褶曲软弱带沉陷变形，沿北东方向直到地表，导致兴平路沉陷、破坏，一度中断交通。而且北帮一段站和二十八段站区至今仍不稳定，严重威胁北帮剥离运输干线和地面交通的安全。

近年来，随着高边坡的加高、加陡，引起地表变形，进而导致地面工厂的设备破坏和停

产。据记载,早在1978年该露天矿由于扩帮开采,导致北帮14次滑坡,同时引起地表石油一厂厂区严重变形,使得西原油车间废页岩楼报废拆除,油母页岩干馏装置五、六、七、八等四个部停产。1984年该露天矿开始执行高尔德(GOLDER)公司的边坡改造工程设计,强化北帮开采,导致北帮多次滑坡和地表工厂区内严重变形。石油一厂厂区内东干馏装置一、二、三、四部全部停产,烟囱倾斜,管线拉断,传动装置发生沉陷和错开,发电厂内冷却塔沉陷变形,其中8#冷却塔已因变形过大而停产。现在北帮地面工厂区内的变形仍在继续发展。因此扩帮开采和安全生产的矛盾已经成为急待解决的问题。

三、北帮高边坡的研究现状

由于该露天矿北帮高边坡的复杂性引起了中外边坡专家的关注。近年来已有加拿大、美国、欧洲共同体的专家在该矿考察或做过研究设计工作。我国的中国科学院地质所和地球物理所、煤炭科学院北京开采所和抚顺煤炭研究所、东北工学院、长春地质学院和中国矿业大学北京研究生部的专家、教授都亲临现场,做过考察和研究。国务院计委和有关部委曾专就北帮高边坡稳定问题开过六次全国专家论证会,与会专家三百多人,由于北帮高边坡问题的复杂性和涉及学科、范围的广泛性,专家意见不一,至今问题尚未解决。

前已述及,北帮高边坡的主要工程地质问题有两类:(1)强度稳定性问题,即高边坡的滑坡问题;(2)变形稳定性问题,即采矿引起的地表变形对厂房设备的破坏问题。目前,涉及到该问题研究的中外专家对强度稳定问题(滑坡问题)讨论甚多,特别是边坡专家 E. Hoek 博士等加拿大专家写出了系统研究报告。但对变形稳定性问题讨论很少。其原因在于人们习惯于仅从采煤工程观点出发,保证边坡不发生破坏性滑坡,就可进行采煤。而对该露天矿在工业厂区和市区附近采煤这一采煤生产中提出的新问题尚缺乏经验储备和理论准备。所以加拿大高尔德公司的强度稳定性的设计在该矿采煤实践中产生了一系列问题,造成了严重经济损失。

四、高尔德公司设计的主要贡献和问题

高尔德公司在设计该露天矿高边坡时的设计理论和实践,从露天开采工程观点看,方案是可行的,反映了国际上八十年代的先进水平;他们引入并应用的Sarma理论和节理化岩体强度理论均为其隶属领域的最新理论;本次研究中提出的该设计理论的问题,是在既考虑露天开采工程、又考虑石油厂炼油工程两方面稳定性的前提条件下提出来的,是在该矿特定的历史遗留的复杂条件下出现的问题,是先进理论遇到实践新问题,矿的生产和厂的安全没有同时考虑所出现的失误,也是科学技术发展中常常存在的现象。这也是五次全国专家论证会对该问题讨论尚无明显进展的主要原因之一。正是在这个意义上。本书的研究成果是对GOLDER公司的设计理论和实践是一有益的补充和完善。

GOLDER公司在该矿边坡研究设计中存在的主要问题是:(1)工程观念的问题。仅从露天采煤工程观点出发开展工作,对炼油工程的变形稳定性问题认识不足;(2)工程地质研究的问题。对北帮复杂的工程地质条件未做深入研究,特别是对北帮之上工厂安全有威胁的边坡岩体中的构造格架很不清楚;(3)设计理论的问题。其设计理论核心是Sarma方法,而Sarma方法只能评价强度稳定性,对边坡的变形稳定性不能用之评价。即使用其评价局部边坡的强度稳定性时,在剖分条块方面和岩体水力学边界条件方面也需要做进一步力学研究。正是由于上述问题,才使露天矿在满足强度安全的情况下,却导致了石油一厂的设备变形破坏。

五、本书的研究内容及主要结论

1. 通过工程地质研究和变形资料分析,明确了该露天矿北帮边坡问题不仅是一个强度稳定性问题,而且也是变形稳定性的复杂问题。研究该问题的工程观念应该是:既满足强度稳定性要求(不发生破坏性滑坡),同时也满足变形稳定性要求(地表变形不超过石油厂设备的安全变形值)的边坡才算是稳定边坡。

2. 通过对边坡岩体的现场工程地质调查和工程地质分析,对岩性构造、地下水及历史滑坡事件做了系统分析,在1984年预测了北帮在执行GOLDER设计的采矿过程中可能出现的十一个滑坡危险区,并做了危险区预测图。据不完全统计,近年已有八次滑坡在危险区中发生,其中第三不稳区的五次滑坡给露天矿和石油一厂造成了极大损失;通过对涉及到石油厂安全的边坡岩体和厂区下岩体的深部构造的工程地质勘察,搞清了深部断层的空间产状,为边坡稳定性和厂区稳定性研究奠定了基础。这种在设备林立、机器轰鸣的高噪音干扰条件下,用地震勘探和钻探相结合所取得的研究成果在国内外未见先例。

3. 通过运用现代力学理论对GOLDER公司的设计理论进行研究,取得下述成果:(1)在进行边坡大变形稳定性分析时,Sarma方法是不合理的,经典变形理论是有误差的,必须在现代大变形理论指导下,进行边坡变形计算分析,用损伤力学理论和反分析理论为基础,确定工程岩体的物性关系;(2)在分析局部边坡的强度稳定性时,报告中证明了Sarma理论剖分条块的不合理性和岩体水力学边界条件的局限性,并导出了各种岩体水力学边界条件下的适用公式。

4. 通过非线性大变形力学有限元分析,得出如下结论:(1)在四大影响因素(断层构造、地下水、井工开采和露采)中,断层构造和露天开采是主要因素。且断层构造影响变形的空间模式,露天开采则影响变形的时间特征;(2)露天开采引起 F_1 、 F_{1A} 和 F_{1B} 断层带的反差变形,这种变形已经导致、并将继续导致炼油厂设备的破坏;(3)露天开采引起北帮不同部位的滑坡、倾倒变形和陡坎变形;(4)业已停止的井工采空区对其附近岩体影响较大,而对距其四百多米的厂区地表影响相对较小。与露天开采比较,无论从时间上还是从空间上分析,井工开采对厂区变形的影响都是次要的;(5)分析表明,石油厂区有两条危险带,随着露采不断进行,危险带及邻近设备将出现程度不同的破坏,建议提早设防。

5. 露天矿和石油厂两大工程活动之所以形成目前的尖锐对立局面,有其深刻的历史根源和工程观念的原因。厂矿关系既存在着对立矛盾的一面,也应看到相互依存的一面,而且要特别重视厂矿矛盾会在一定条件下发展、转化。本书指出:在自然条件下,厂矿矛盾会向着矿尽厂亡的不利方向发展,而只有在尽快实施加固工程的条件下,才能实现计委的厂矿双保的正确方针。因此,厂矿双方应携起手来,从国家的利益出发,以人民的利益为重,面对问题,正视现实,统一认识,采取切实可行的措施,促使厂矿矛盾向有利的方向转化,把损失减小到最低限度,为四化建设做出贡献。

第一篇 高边坡稳定性工程地质分析

第一章 北帮高边坡工程地质条件

边坡岩体失稳实质上是具有一定力学性质的三面一块（即硬性结构面、软性结构面、临空坡面和这些面所分割的岩石块体）在一定时间、一定空间达到最危险组合状态时所发生的一种物理地质现象。

在该露天矿，滑坡作为北帮岩体中发生的主要失稳形式，其部位严格受三面一块的空间组合状态和力学强度状态的制约。而三面一块的空间组合状态和力学强度变化特征又取决于北帮工程地质背景，即决定于北帮边坡岩体所处的岩性结构场、地质构造场、环境物理场（包括地下水渗流场、地应力场、地势场、地温场和工程力作用场）的特征。

第一节 岩性结构场的特征

岩性结构场是指一定工程部位的地层岩性组成及其在空间的展布状态。它制约了岩石类型及其力学性质，构成了边坡岩体进行力学作用的物质基础。

北帮出露了白垩系、老第三系及第四系地层（见图1-1），其典型地质剖面图如图1-2所示。

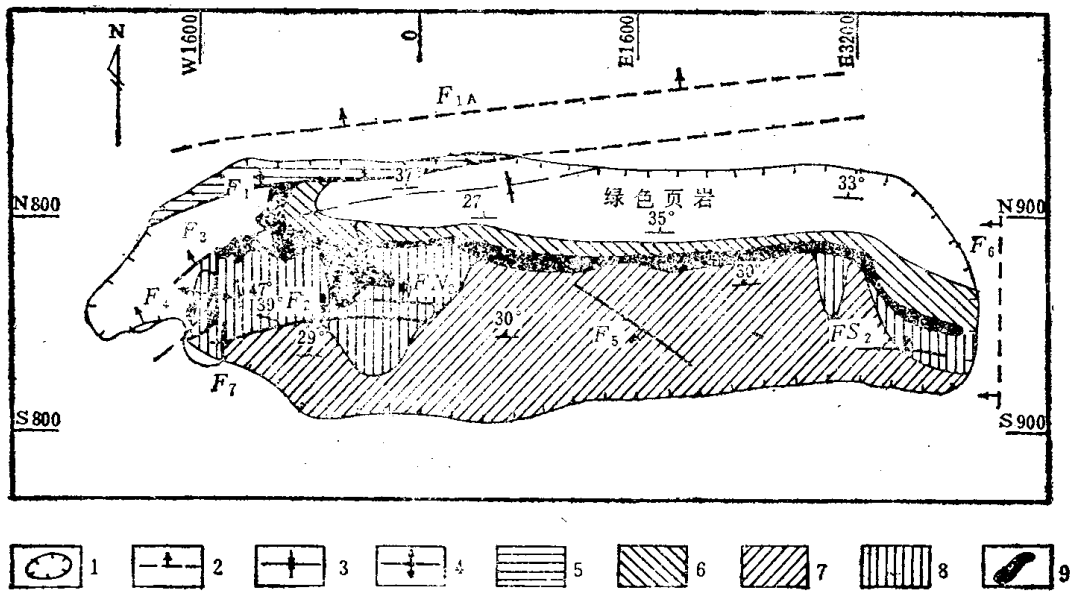


图 1-1 某露天矿简要地质图

1—坑界；2—主要断层；3—主要向斜；4—主要背斜；5—白垩系；6—油页岩；7—玄武岩；8—凝灰岩；9—煤

白垩系主要发育龙凤组地层，分布于北帮 F_1 断层以北。据钻孔资料分析，该组岩层北侧以 F_{1A} 为界。龙凤坎组的岩性组合由紫红色泥岩、灰白色砂岩组和碎裂玄武岩组成。砂泥互层岩组在横向上变化较大，时厚时薄，产状也有变化，在一段站区西侧部位走向 $NE30^\circ$ ，倾向 SE ，倾角 37° 左右，往东逐渐变化，至矿区坐标 $W1400$ 以东，产状趋于平稳，走向为 $82^\circ \sim$

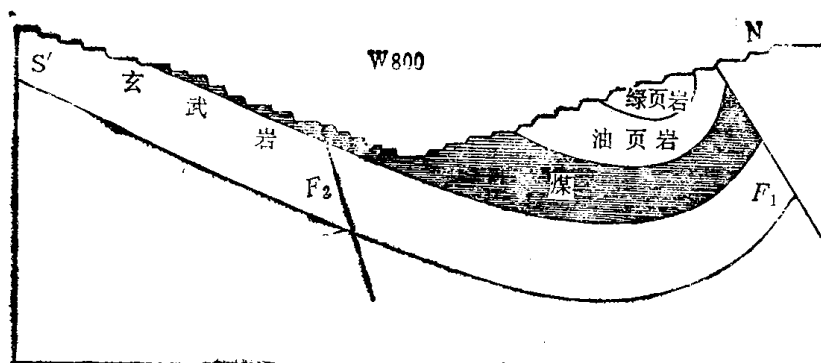


图 1-2 某露天矿典型地质剖面

85°，倾向N，倾角28°~38°。该组岩层厚54m，其中紫红色泥岩发育多层，最厚2~3m。其中含蒙脱石粘土矿物4.54%，遇水崩解呈碎屑状（据曲永新）。力学强度低，凝聚力约为0.025MPa，摩擦角10°左右，碎裂玄武岩岩组呈透镜状沿 F_1 断层北侧展布。玄武岩呈黑灰色，隐晶质，局部可见气孔构造。该组岩层由于受其南北两侧断层影响，节理发育，优势结构面有两组，一组产状为 $82^\circ/36^\circ$ ，另一组产状为 $170^\circ/80^\circ$ ，节理面上常见绿泥石薄膜，因而沿节理面抗剪强度较低，内聚力为0.02MPa，摩擦角为 16° 左右。

紫红色泥岩为该组岩层中的相对弱层，它不仅在砂泥岩组中发育多层，而且在碎裂玄武岩当中也夹有数层（据钻孔资料）。

老第三系在北帮出露了古城子组、计军屯组和西露天组，在 F_1 断层以南沿近东西向条带状展布，西部在西露天向斜扬起端而形成圈闭，向东被 F_1 断层错开。

古城子组岩性组合是一套沼泽相沉积的煤页岩岩组组成。该岩组底部为5~10m厚的底板页岩，其上部为巨厚的主煤层。厚度在横向上变化很大，最薄处43m左右，最厚处105m左右。煤层主要为块状。在北帮西部区主煤层被一最大厚度为数十米的凝灰质砂岩透镜体分开。在靠近透镜体附近，煤和凝灰岩砂岩相互成层，形成黑白相间的条带。在北帮西部区坑底部位发育了厚度约2m的菱铁矿结核层，而且靠近结核的层理是波状弯曲的，反映了当时成岩动力条件是十分动荡的。煤块的强度颇高，内聚力0.5MPa，摩擦角34°左右。该组岩层上覆计军屯组，二者为整合关系。

计军屯组的岩性组合是一整套油页岩岩组。中层-薄层状，易裂，表现为脆性特征，破裂时呈贝壳状断口。该组岩层愈接近上部，含油品位愈高。油页岩力学强度高，内聚力0.5MPa，摩擦角34°，该组岩层与上覆西露天组为整合接触关系。

西露天组岩性以绿色薄层-厚层状页岩为主，夹薄层褐色页岩和中厚层状棕色泥灰岩。下部泥灰岩单层变厚，层数增多，层面有泥裂、印模。底部泥灰岩变少。褐色页岩中往往发育一层或数层层间剪切带，其特点是劈理密集，常发育一组或两组，如电镜扫描照片图1-3所示。组成物质近于土状，含大量粘土矿物（如图1-4、图1-5所示）。其中蒙脱石占35%。遇水剧烈膨胀，崩解成碎浆状。强度低，凝聚力为0.03MPa，摩擦角16°。因此这种层间剪切带构成了该组岩层的软弱夹层（以下称其为棕色页岩弱层或软弱夹层）。历史上多次沿该弱层发生滑坡。

棕色页岩弱层的横向分布有一定规律性。北帮西部区发育颇佳，厚而稳定，中部区逐渐变薄，东部区趋于消失；软弱夹层在棕色页岩岩层中的发育位置是不同的，对某些褐色页岩



图 1-3 破劈理分布及微劈石形态

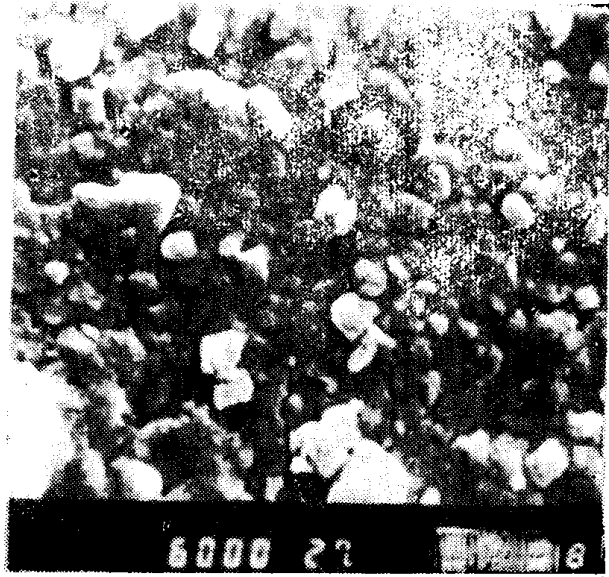


图 1-4 剪切面上等轴片状高岭石矿物形态

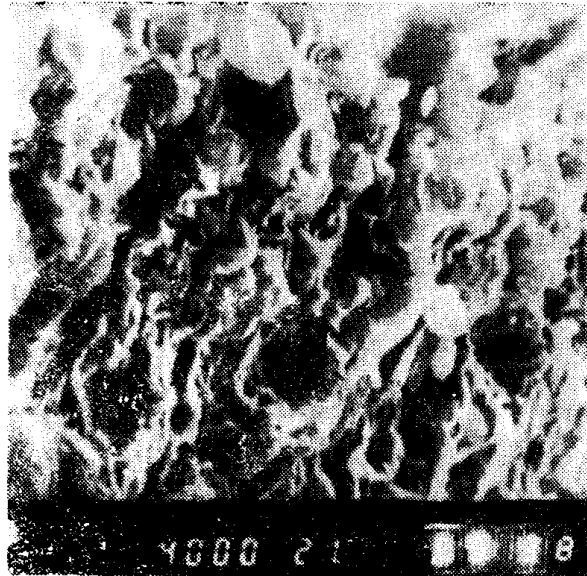


图 1-5 微劈石内部皱片状蒙脱石的分布

层，弱层发育在与绿色页岩的交界面部位。对某些褐色页岩层则发育其中。野外观察发现，这种发育规律似决定于绿色泥岩和交界面附近的褐色页岩的力学性质差异程度。相差悬殊时，软弱夹层往往发育在两种岩性的交界面部位，若两种岩性力学性质比较接近则往往发育在褐色页岩岩层当中。此外，棕色页岩层中弱层（层间剪切带）数多少似决定于棕色页岩层厚度。弱层的厚度一般在5~20cm之间。而当棕色页岩层厚小于0.5m时，一般不发育软弱夹层；当层厚为0.5~1.0m时，往往发育一层面间剪切带；当层厚大于1.0m时，往往发育2~3层弱层。

这种棕色页岩弱层在地下水的作用下极易软化，形成北帮潜在滑动面。历史上北帮发生的许多滑坡与该层有很大关系。

第二节 地质构造场的特征

地质构造场系指在地质历史上发生的构造变动所形成的构造形迹在空间的展布形态特

征。这种构造形迹对边坡岩体失稳影响很大。

从区域构造分析，该地区处于纬向构造体系的天山-阴山构造带和新华夏构造体系的第二沉降带的复合部位。因此，该区褶皱构造、断层构造和节理构造都很发育。

一、褶皱构造

西露天向斜。该向斜是矿区的主要褶皱形态。轴向近东西，轴长18km。向斜核部位为耿家组褐色页岩和西露天组绿色页岩，南翼依次出露计军屯组油母页岩、古城子组煤层和栗子沟组凝灰岩。向斜北翼被 F_1 断层所切而出露不全(如图1-1所示)。南翼岩层倾N，倾角 $20^\circ \sim 30^\circ$ ，北翼岩层总体也倾N，倾角在 $20^\circ \sim 40^\circ$ 之间，局部倾角陡，北帮西部区近 F_1 断层处岩层近于直立。向斜在矿区坐标W1200左右扬起。故该向斜是一倒转的残破向斜。

北帮西部区小背斜。小背斜是西露天矿出现的另一褶皱形态(图1-1)背斜轴向为 $NE30^\circ$ 左右，轴线向NE方向倾伏。顺轴向追索至 F_1 断层以北，发现白垩系近2m厚的紫红色泥岩层翘起也沿 $NE30^\circ$ 方向展布，是否和断层南小背斜为同一应力场产物，尚无更多的证据可资证明。

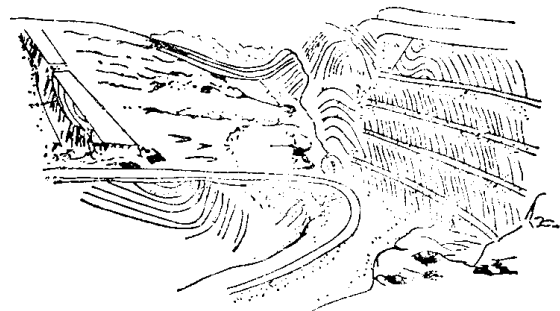


图 1-6 西端帮褶皱构造素描图

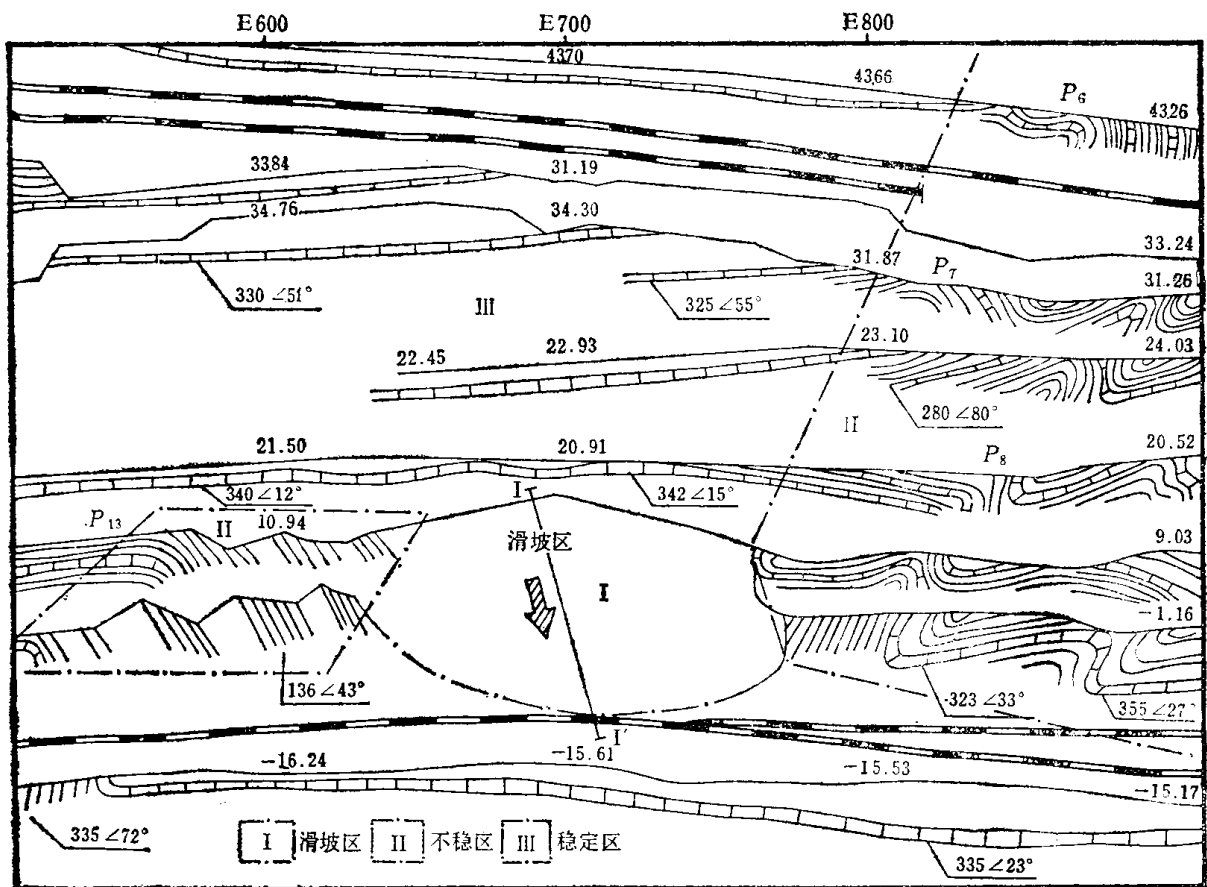


图 1-7 E700滑坡区附近小构造分布实体透视图
 1—电机车线；2—高程(m)；3—剖面线及高程(m)；4—滑动方向；5—页岩夹灰岩
 水平比例尺 1:1000 垂直比例尺 1:2000

F_1 南的小背斜轴部地层为栗子沟凝灰岩，两翼为古城子组煤层。该背斜由于采矿开挖在1982年7月暴露在西端帮附近的极好露头如素描图1-6所示。

北帮次级小褶曲。北帮岩体中次一级小褶曲十分发育，形态各式各样，规模大小不等。大者涉及到两个、三个台阶，小者影响一个台阶（如图1-7所示）。小褶曲轴向为 $50^\circ \sim 60^\circ$ 。小褶曲SE翼往往造成岩层顺坡倾斜，常沿弱层层面形成顺层滑坡。小褶曲中背斜北西翼比较平缓、SE翼较陡，呈不对称分布规律。站在南帮遥望北帮边坡，从西至东依次展布了四个较大的褶曲带，在北帮西部区、中部区比较发育，在北帮东部区（E2000左右）逐渐消失。这些次级褶曲是由于 F_1 断层后期在新华夏应力场作用下发生顺时针扭动所形成的。平面上褶曲轴线与断层面所夹角方向指示了 F_1 北盘向东扭动，小褶曲之所以显示出西部、中部发育，至东部消失的规律性，则是因为从西至东，北帮坡面岩体距 F_1 断层渐远的缘故。

层间褶曲。北帮绿色页岩岩体中的层间褶曲十分发育，尤以棕色页岩为最。层间褶曲按形态特征不同，可以分为圆滑型层间褶曲（图1-8）、共轭型层间褶曲（图1-9）和轴部扩容型层间褶曲（见图1-10）。

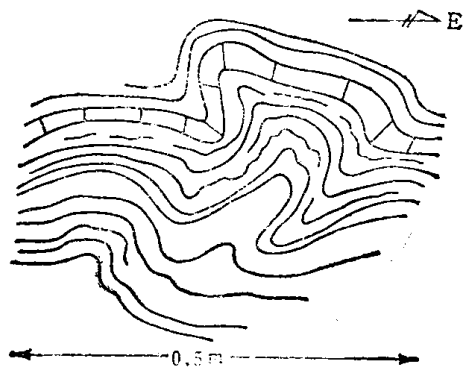


图 1-8 E700圆滑型层间褶曲

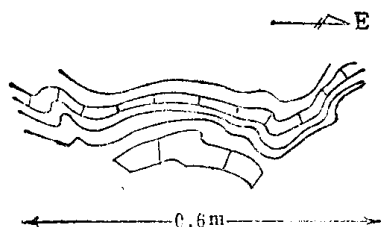


图 1-9 E200共轭型层间褶曲

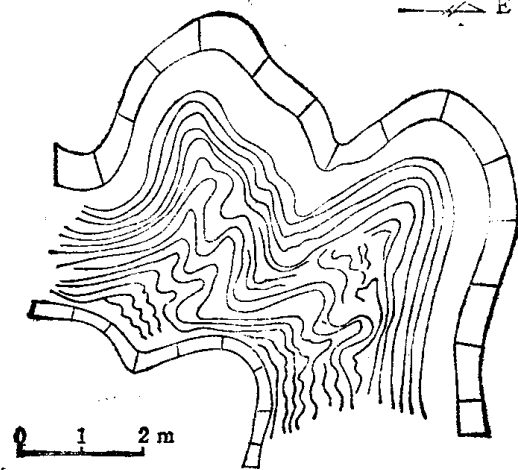


图 1-10 轴部扩容层间褶曲

二、断裂构造

该露天矿断裂构造也十分发育，其分布位置、产状、力学性质、运动方式和断距如表1-1所示。

其中 F_1 、 F_{1A} 断层发育在北帮，故将其详述如下。

F_1 断层，走向 $NE80^\circ$ 左右，倾向N，倾角 $52^\circ \sim 68^\circ$ 。西部倾角较缓，中部区、东部区渐陡，是一先压后扭断层。断层带宽度不一，在西部区较宽，约30m左右，中部区和东部区较窄，约

表 1-1 露天矿断层一览表

编 号	位 置	产 状	力学性质	扭动方式	位 移 (m)	
					垂 直	水 平
F_{1A}	矿坑北侧	$350^\circ \angle 70^\circ$	先压后扭	顺 扭		
F_1	矿坑北帮横贯全区	$350^\circ \angle 52^\circ$	先压后扭	顺 扭	550~600	250~400
F_2	南帮W1500-E100	$360^\circ \angle 74^\circ$	扭 性	顺 扭	13~38	2~9
F_{2V}	南帮W400-EW0	$360^\circ \angle 74^\circ$	扭 性	顺 扭		
F_3	小背斜区W1700-W1800	$338^\circ \angle 60^\circ$	扭 性	顺 扭	70~100	30~70
F_4	南昌段W1800-W2100	$360^\circ \angle 80^\circ$	扭 性	顺 扭	11~69	2~8
F_5	矿坑中部	$265^\circ \angle 35^\circ$	先张后扭	反 扭	15~21	42~49
F_6	矿坑东帮	$70^\circ \angle 30^\circ$	扭 性	反 扭	3~5	450
F_7	新巷道东侧	$70^\circ \angle 60^\circ$	先张后扭	反 扭		

20m左右。断层上盘为白垩系龙凤坎组地层，下盘为第三系煤系地层。断层带内构造透视镜体、构造角砾岩和糜棱岩颇为发育，断层面上在西部区发现有紫红色断层泥。该断层垂直位移550~600m，水平位移250~400m。 F_1 断层对西部区一段站边坡稳定性有重大影响。

F_{1A} 断层，走向近东西，倾向N，倾角 $70^\circ \sim 80^\circ$ ，该断层为钻孔所揭露，据钻孔资料分析，断层上盘为太古界鞍山群花岗片麻岩、云母片麻岩、角闪片麻岩等一套变质岩系。下盘为白垩系地层。断层带宽约30m左右。该断层在 F_1 以北200m左右，与 F_1 断层在平面上大致平行展布，但在剖面上二者关系尚无资料可资佐证。 F_{1A} 断层对一段站边坡不稳区北侧边界有控制作用。

三、节理构造

北帮的节理构造也颇为发育，根据北帮七条测线的窗口调查资料所获取的1074组数据分析，具有一定的规律性。

从平面看，节理走向明显分为两大组，一组近东西向，一组近南北向。其中一些较大节理有错动现象，东西向一组顺时针扭动，近南北向一组逆时针错动。如图1-11所示。

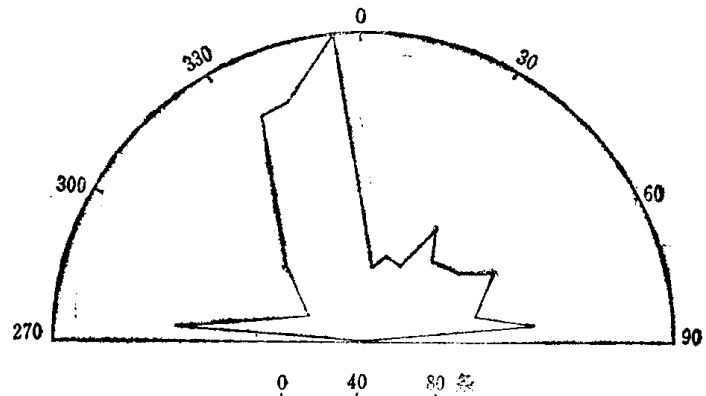


图 1-11 节理走向玫瑰花图

从剖面上看，北帮节理按其产状与坡向关系可分为四种，反坡向节理、顺坡向节理、斜交坡向节理和正交坡向节理。

反坡向节理系指倾向与坡面倾向相反，走向与坡向所夹锐角在 $0^\circ \sim 30^\circ$ 之间的节理。

顺坡向节理系指倾向与坡面倾向相同，走向与坡向所夹锐角在 $0^\circ \sim 30^\circ$ 之间的节理。

斜交坡向节理系指其走向与坡面走向（即大坡走向）斜交，所夹锐角在 $30^\circ \sim 70^\circ$ 间。斜交坡向节理按其倾向与坡面倾向关系，又可细分为斜交顺坡向节理和斜交反坡向节理。

正交坡向节理系指其走向与破面走向夹角在 $90^\circ \pm 20^\circ$ 范围的节理。

统计分析图1-12表明，对边坡稳定时不利的顺坡向节理占24.36%；斜交坡向节理占53.72%；反坡向节理占2.50%；正交坡向节理占26.86%，其中东倾正交节理占4.88%，西倾正交节理占21.98%。

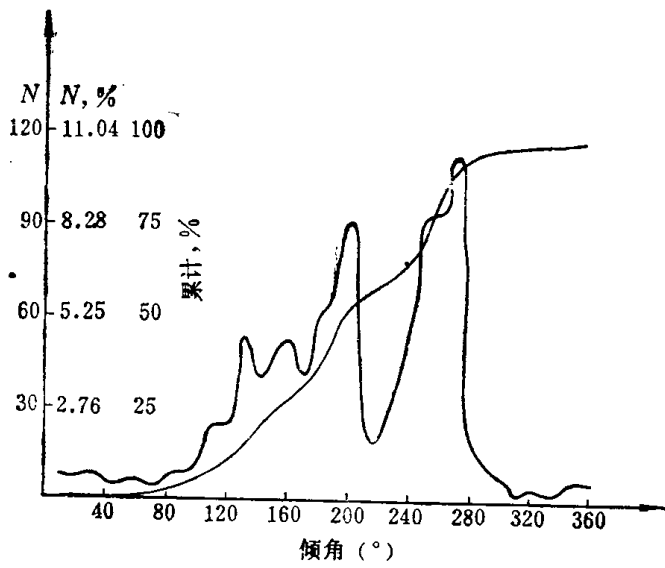


图 1-12 北帮节理倾向分析图

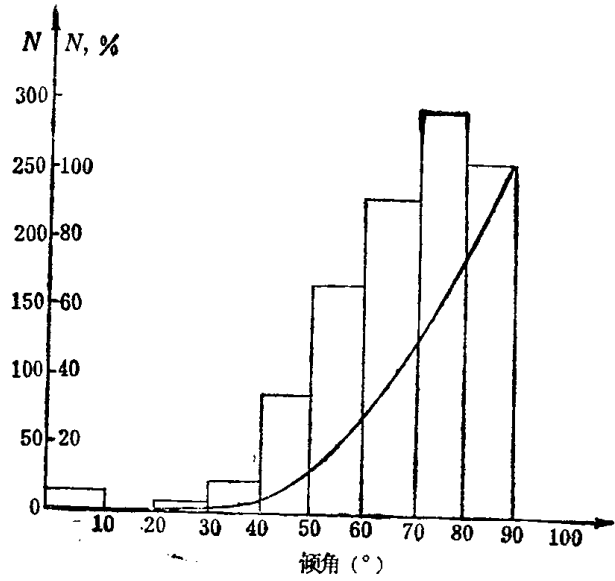


图 1-13 北帮节理倾角分析图

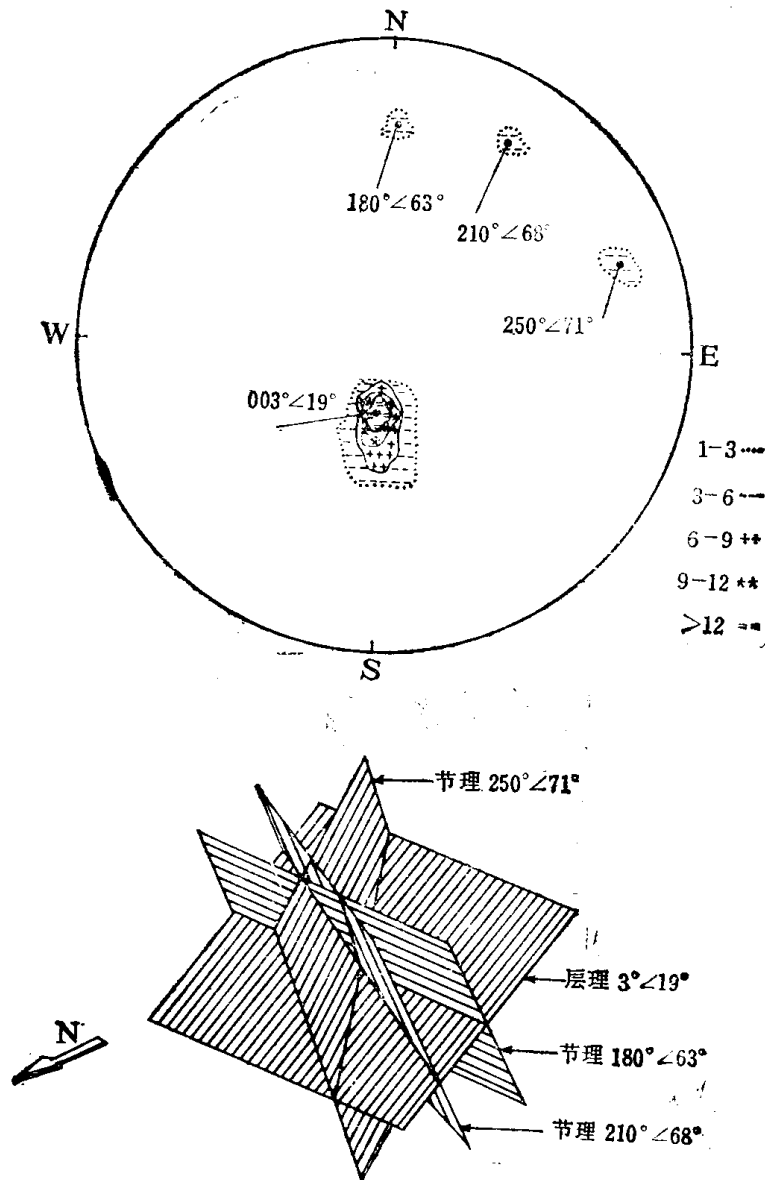


图 1-14 北帮绿色页岩中层理与节理的正交性 (据[11])

从剖面上节理倾角的陡缓程度看，北帮岩体中发育的节理绝大部分为高倾角节理。据统计图 1-13 分析，倾角大于 50° 的高倾角节理占 80% 以上。其中绿色页岩体中的高倾角节理占其节理总数的 87.3%；油母页岩中高倾角节理占其节理总数 88.9%；煤层中高倾角节理占其节理总数的 83.9%。

在深度方向上，节理倾角也有所变化。在北帮上部岩体中的节理面倾角较陡，大多数节理约 $60^\circ \sim 70^\circ$ ；而下部岩体中节理倾角大多数约为 50° 左右，似有变缓趋势。

节理与层面具正交性。北帮绿色页岩产状为 $3^\circ \angle 19^\circ$ ，绿色页岩中发育三组，产状为① $250^\circ \angle 71^\circ$ 、② $180^\circ \angle 63^\circ$ 和③ $210^\circ \angle 68^\circ$ ，其正交几何图象如图 1-14 所示；北帮油母页岩层理产状为 $3^\circ \angle 28^\circ$ ，油母页岩中发育三组主要节理的产状为① $267^\circ \angle 68^\circ$ 、② $181^\circ \angle 75^\circ$ 和③ $225^\circ \angle 69^\circ$ ，其正交空间图象如图 1-15 所示；北帮煤层理为 $8^\circ \angle 28^\circ$ ，煤层中发育的三组节理为① $250^\circ \angle 57^\circ$ 、② $230^\circ \angle 75^\circ$ 和③ $180^\circ \angle 58^\circ$ ，其正交图象如图 1-16 所示。

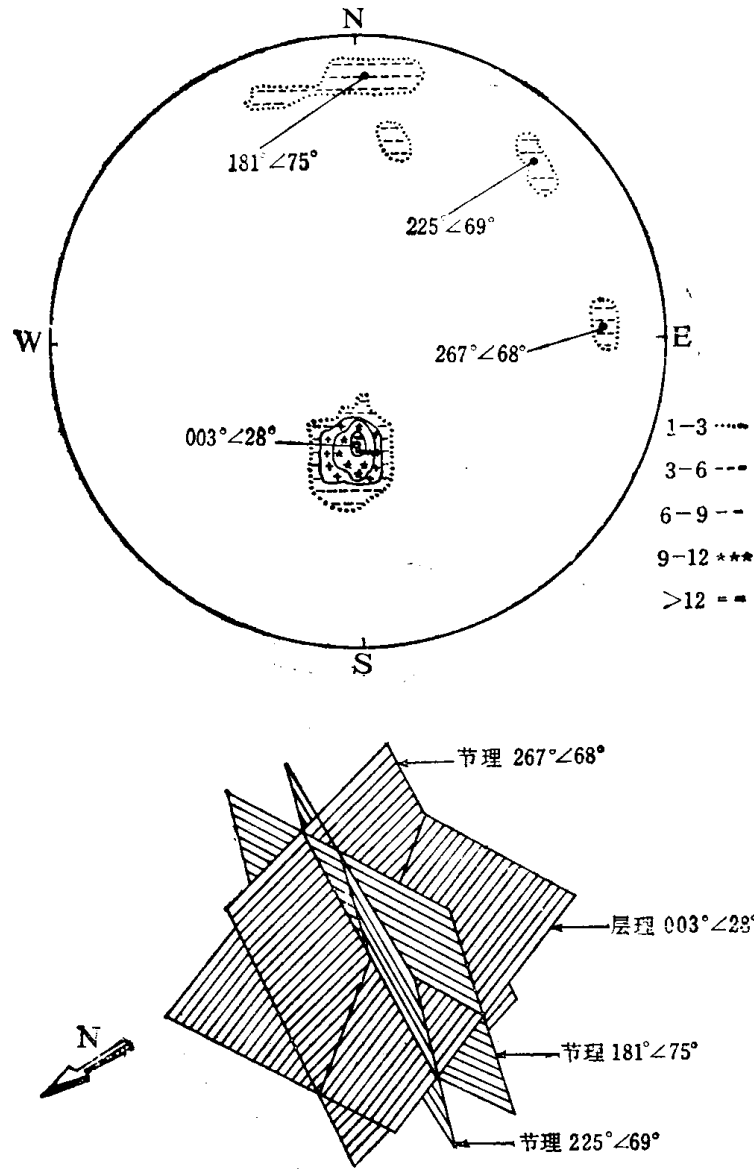


图 1-15 北帮油母页岩中层理与节理的正交特性 (据^[11])

横向上看，北帮岩体的节理化程度具有西部区、中部区较强烈，东部区比较微弱的规律。如图 1-17 所示。在北帮西部区和中部区，节理组数较多，密度较高，一般发育 3~4 组节

理，密度为 3 条/m 左右。到东部区组数变少、密度变小，一般发育 2 组节理，密度约 1~2 条/m。横向上节理倾角总体看似无明显变化。

在纵向上，不仅节理倾角有变缓的趋势，而且发育组数和密度有较大变化。在上部绿色页岩岩体中，节理密度大，连续性差，一般有 3~4 组节理发育，密度在 4 条/m 左右，延伸长度小于 1m 者很多，在 1~5m 之间者较少，很少有超过 5m 长度的节理。到中部和下部的油母页岩和煤层中，节理密度变稀，组数变少，连续性变好，一般发育 2~3 组节理，密度约 0.5~1.0 条/m，连续性好，一般长度在 3~5m 之间，超过 5m 的大节理也有一定比例。

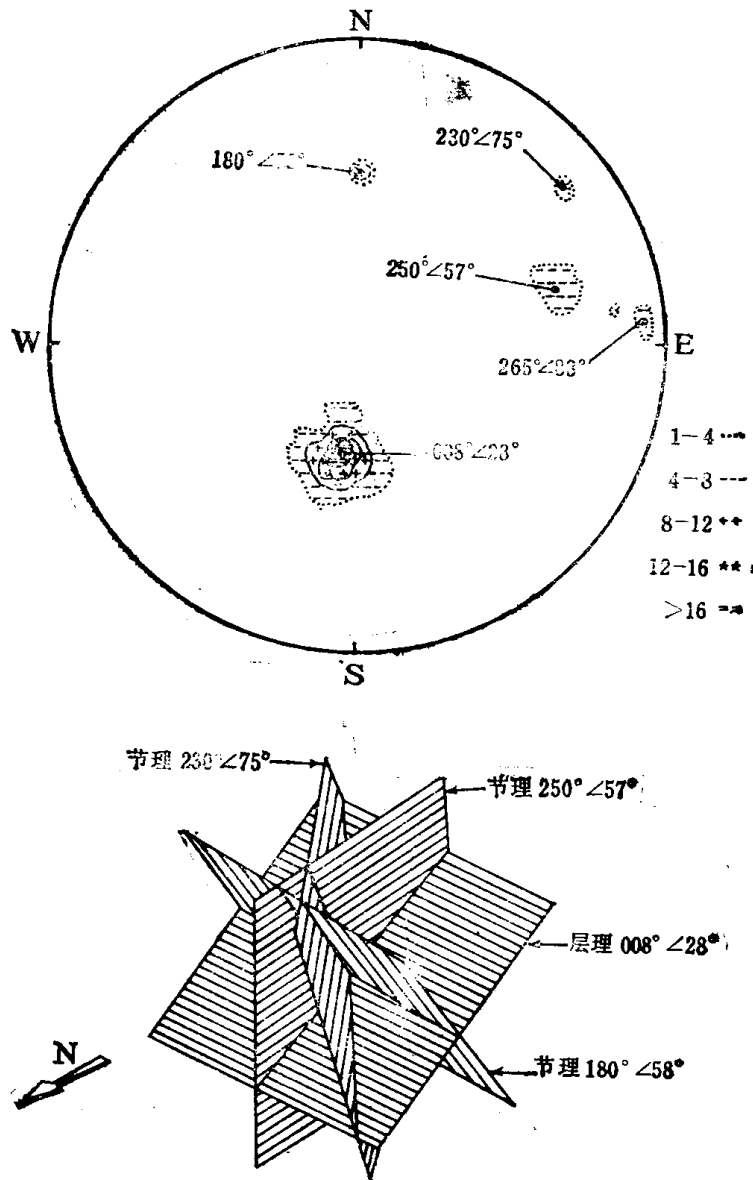


图 1-16 北帮煤层中层理面与节理面的正交特性 (据^[11])

四、层理构造

层理作为一种特殊的构造面，往往控制着软弱夹层的产状。北帮历史上边坡失稳与层理面、软弱夹层有着密切的联系。因此，研究北帮层理的发育规律，对于研究北帮稳定性具有重要意义。

从平面上看，北帮岩层总体走向为东西向，局部走向有变化。在主向斜扬起端附近和

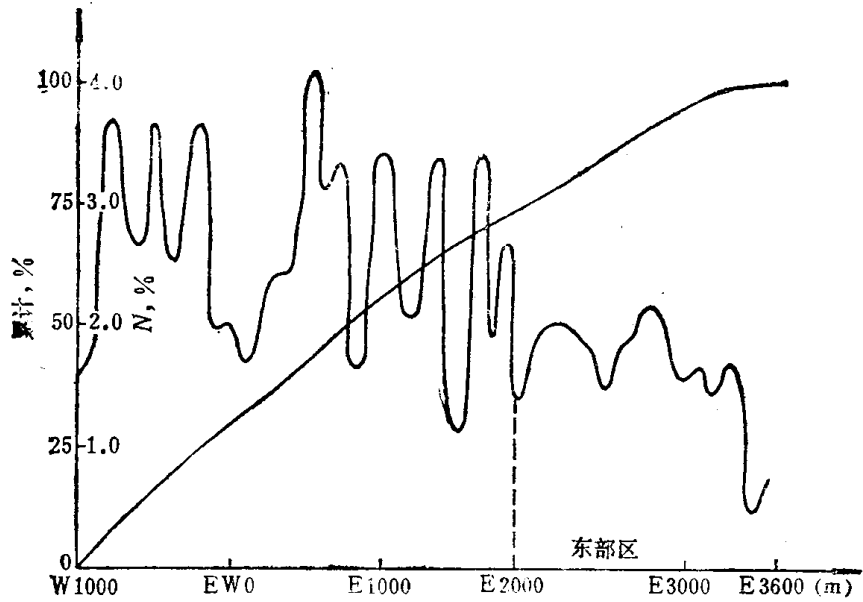


图 1-17 北帮节理化强度分析图

北帮中部区的四个次级褶曲带部位，层理走向偏转，大致在NE50°~70°之间。

从剖面上分析，根据岩层层理和产状与坡向关系，可以分为反坡向层理、顺坡向层理和斜交坡向层理。统计资料分析图 1-18 表明，北帮岩体中绝大部分层理为反坡向层理，对边坡稳定是有利的，而顺坡向的危险层理和斜交坡向的危险层理只占少数。统计资料表明，倾向在 $360^\circ \pm 20^\circ$ 范围内的反坡向层理占 74.35%，倾向在 $180^\circ \pm 30^\circ$ 范围内的顺坡向层理仅占 3.15%，分布在其它范围内的斜交层理则占 22.5%。

野外结构面调查证明，顺坡向层理面的横向分布位置受主向斜扬起端和中部区次级褶曲带控制。顺坡向层理面虽然为数不多，所占比例很小，但从历史上滑坡资料分析，绝大多数滑坡受其控制。斜交坡向层理的分布规律与顺坡向层理大致相同，它往往和 NW 走向的一组斜交坡向节理组合，形成楔体破坏。尤其在向斜扬起端，这种斜交坡向层理发育较好。

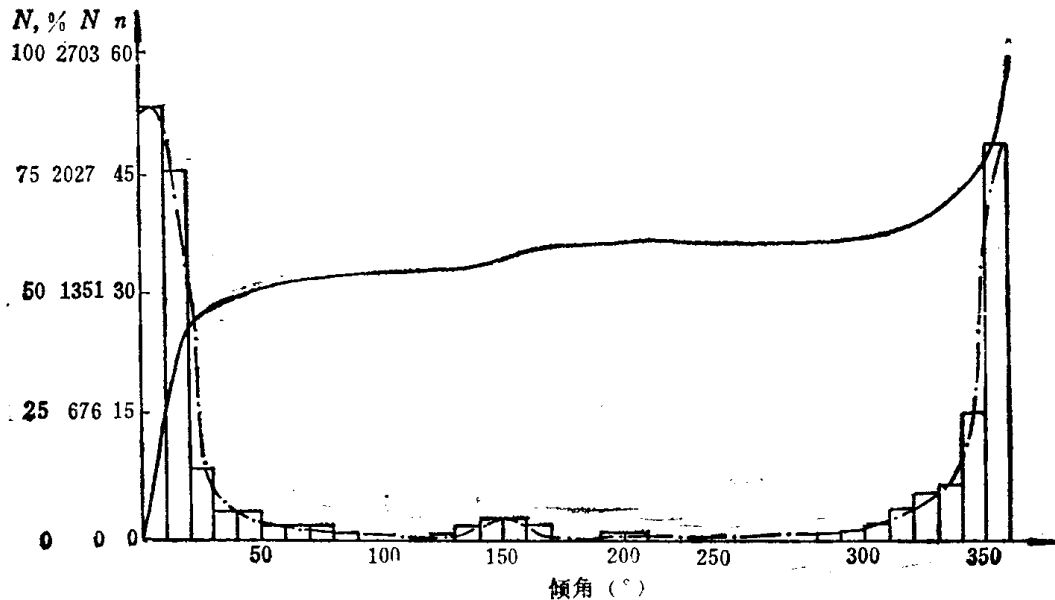


图 1-18 北帮层理倾向分布分析图

2图

090

北帮层理倾角大部分小于 50° 。多数在 $20^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 范围内,为缓倾角岩层。统计资料分析图1-19表明,倾角小于 50° 的层理占85.79%。其中倾角在 $20^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 之间的占40.47%。有趣的是北帮节理倾角大于 50° 的占87.64%,正好从统计规律方面佐证了节理与层理的正交性。

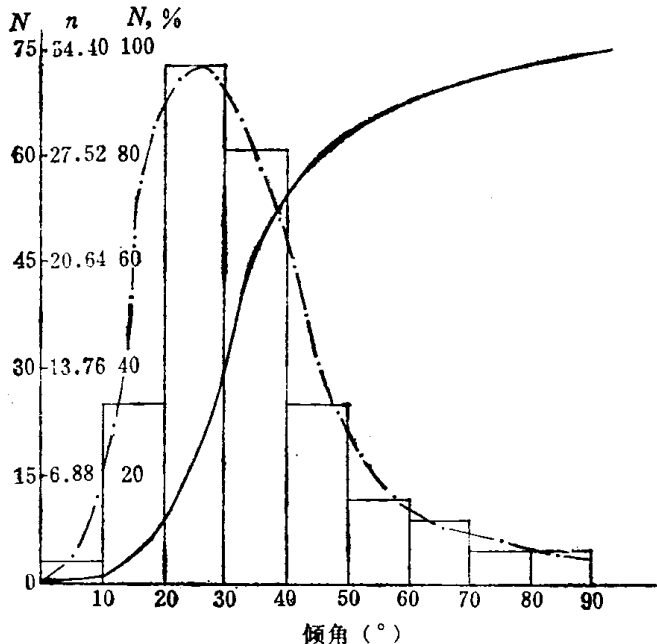


图 1-19 北帮层理倾角分析图

层理产状除了在横向上变化受向斜扬起端和次级褶皱带控制之外。在纵向上也有一定的变化规律。层理总体上随深度有变陡的趋势。位于上部绿页岩体中的层理倾角多在 19° 左右(极点统计图分析资料)。而位于中部和下部的油母页岩和煤层层理倾角多在 28° 左右。层理间距随深度变大。这主要是因为上部绿色页岩层理发育,多为薄层状页岩,而位于中部下部的油母页岩和煤层则为厚层状。前者层理间距多在 $0.2\sim 2\text{cm}$,后者则多在 $2\sim 10\text{cm}$ 之间。

五、结构面地质力学分析

根据前述构造结构面(包括褶皱轴面、断层面、节理面)的力学性质及其运动方式特征,明确表明本区存在着两个构造体系,即纬向构造体系 and 新华夏体系。各构造体系的结构面排布方式如图1-20、图1-21所示。

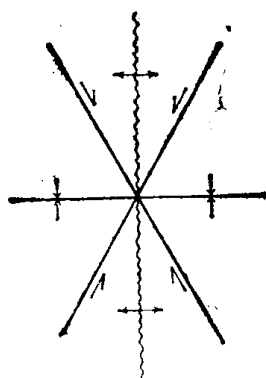


图 1-20 纬向构造体系图象

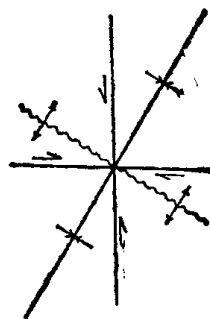


图 1-21 新华夏构造体系图象

两个构造体系均形成于第三纪,而且从西端帮的小背斜轴面与主向斜轴面反接的复合关系分析,和从两次活动断层 F_1 、 F_2 断层面上先期形成的棱角状角砾岩被后期扭动运动所切开的证据分析,新华夏构造体系晚于纬向构造体系形成。

第三节 环境物理场的特征

如果说岩体中结构面的发育及其力学性质受岩性结构场和地质构造场制约的话,那么结构面力学性质的转化则取决于环境物理场的变化特征。

环境物理场包括地下水渗流场、地应力场、地温场、地势场和工程力场。

一、地下水渗流场特征