中华人民共和国地质矿产部

地质专报

六 水文地质 工程地质 第 7 号

中国固体矿床工程地质工作研究

全国矿产储量委员会 矿床开采技术条件研究组 编著

地质出版社

PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA
MINISTRY OF GEOLOGY AND MINERAL RESOURCES

GEOLOGICAL MEMOIRS

SERIES 6 NUMBER 7

STUDY ON ENGINEERING GEOLOGY OF CHINESE SOLID ORE DEPOSITS

THE RESEARCH GROOP OF EXPLOITING
TECHNIQUE CONDITIONS OF NATIONAL COMMITTEE OF MINERAL RESERVES

GEOLOGICAL PUBLISHING HOUSE
BEIJING

ISBN 7-116-00644-3/P·548 国内定价：8.70 元 科 目：224-94

中华人民共和国地质矿产部

地 质 专 报

六 水文地质 工程地质 第7号

中国固体矿床工程地质工作研究

全国矿产储量委员会
矿床开采技术条件研究组 编著

地 质 出 版 社

内 容 简 介

本书叙述了我国固体矿床的工程地质特征及开采中的主要工程地质问题，列举了不同矿床工程地质勘探类型中的典型实例，提出了相应的工程地质工作要求及其工作方法。本书内容丰富，反映了我国当前地质勘探阶段及矿山生产阶段工程地质工作经验及水平，是一份有价值的综合研究成果，对今后矿床工程地质工作有一定指导意义。

本书可供从事矿床地质勘探、水文地质、工程地质、矿山设计、基建等工作的生产、科研及教学人员参考。

中华人民共和国地质矿产部 地质专报

六 水文地质 工程地质 第7号

中国固体矿床工程地质工作研究

全国矿产储量委员会矿床开采技术条件研究组 编著

责任编辑：余 霭 韩 霞

地 质 出 版 社 出 版 发 行

（北京和平里）

地 质 出 版 社 印 刷 厂 印 刷

（北京海淀区学院路29号）

新华书店总店科技发行所经销

开本：787×1092 1/16 印张：11.875 铜版图：8页 字数：280000

1990年8月北京第一版·1990年8月北京第一次印刷

印数：1—1040册 国内定价：8.70元

ISBN 7-116-00 644-3/P.549

目　录

前　言

第一章　概论……（3）
　第一节　中国矿床工程地质工作回顾……（3）
　第二节　矿床工程地质工作的阶段划分……（5）
　第三节　中国固体矿床工程地质特征……（6）
　第四节　中国固体矿床开采中的主要工程地质问题……（11）
第二章　固体矿床工程地质勘探类型的划分……（15）
　第一节　总则……（15）
　第二节　“类”的划分……（16）
　第三节　“型”的划分……（18）
第三章　松散岩类为主的矿床工程地质特征及工作要求……（22）
　第一节　松散岩类为主的矿床工程地质特征……（22）
　第二节　松散岩类为主的矿床工程地质工作要求……（35）
第四章　块状岩类为主的矿床工程地质特征及工作要求……（38）
　第一节　块状岩类为主的矿床工程地质特征……（38）
　第二节　块状岩类为主的矿床工程地质工作要求……（50）
第五章　层状岩类为主的矿床工程地质特征及工作要求……（52）
　第一节　层状岩类为主的矿床工程地质特征……（52）
　第二节　层状岩类为主的矿床工程地质工作要求……（73）
第六章　岩溶化岩类矿床工程地质特征及工作要求……（76）
　第一节　岩溶化岩类矿床工程地质特征……（76）
　第二节　岩溶化岩类矿床的工程地质工作要求……（95）
第七章　矿床工程地质勘探工作基本方法……（97）
　第一节　编写矿区工程地质工作设计任务书……（97）
　第二节　矿区工程地质测绘……（99）
　第三节　工程地质编录……（104）
　第四节　工程地质钻探……（107）
　第五节　地球物理探查……（108）
　第六节　工程地质测试……（108）
　第七节　块状、层状岩类矿床工程地质评价方法……（112）
　第八节　岩溶化岩类矿床工程地质评价方法……（120）
　第九节　松散岩类矿床工程地质评价方法……（124）
　第十节　矿区工程地质报告及图件编制……（126）
第八章　典型矿床工程地质勘探方法……（132）

第一节　矿区概况……（132）
第二节　工程地质勘探方法……（135）
小结……（144）
结语……（145）
主要参考文献……（146）
图版及图版说明……（147）
英文摘要……（164）

Contents

Preface

Chapter 1 Introduction ..... (3)

1.1 Looking back of engineering geological work of mineral deposit in China ..... (3)

1.2 Classification of stages for engineering geological work of mineral deposit ..... (5)

1.3 Engineering geological characteristics of solid ore deposits in China ..... (6)

1.4 The main problems for exploration of solid ore deposits in China ..... (11)

Chapter 2 Classification of types of solid ore deposits for engineering geological exploration ..... (15)

2.1 General rules ..... (15)

2.2 Classifying of "Classification ..... (16)

2.3 Classifying of "type" ..... (18)

Chapter 3 Engineering geological characteristics and requirement of engineering geological work for the type of dominant loose bed ..... (22)

3.1 Engineering geological characteristics of engineering geological work for the type of dominant loose bed ..... (22)

3.2 Requirement of engineering geological work for the type of dominant ..... (35)

Chapter 4 Engineering geological Characteristics and reguirment of engineering geological work for the type of dominant massive rock ..... (38)

4.1 Engineering geological characteristics of engineering geological work for the type of dominant massive rock ..... (38)

4.2 Requirement of engineering geological work for the type of dominant massive rock ..... (50)

Chapter 5 Engineering geological characteristics and requirement of engineering geological work for the type of dominant bedded rock ..... (52)

5.1 Engineering geological characteristics of engineering geological work for the type of dominant bedded rock ..... (52)

5.2 Reguirement of engineering geological work for the type of dominant bedded rock ..... (73)
Chapter 6 Engineering geological characteristics and requirement of engineering geological work for the type of dominant karst rock ..... (76)
6.1 Engineering geological characteristics of engineering geological work for the type of dominant karst rock ..... (76)
6.2 Requirement of engineering geological work for the type of dominant karst rock ..... (95)
Chapter 7 The fundamental methods for the engineering geological exploration of mineral deposit ..... (97)
7.1 Compilation of the design for engineering geological work ... (97)
7.2 Engineering geological surveying ..... (99)
7.3 Engineering geological record ..... (104)
7.4 Engineering geological drilling ..... (107)
7.5 Geophysical prospecting ..... (108)
7.6 Engineering geological test ..... (108)
7.7 The methods of engineering geological problems evaluation for mineral doposit of massive rock and bedded rock ..... (112)
7.8 The methods of engineering geological problems evaluation for mineral deposit of karst rock ..... (120)
7.9 The methods of engineering geological problems evaluation for mineral deposit of loose bed ..... (124)
7.10 Report and map of engineering geology of mineral deposit ... (126)
Chapter 8 Methods of engineering geological exploration used in a typical mine ..... (132)
8.1 General condition ..... (132)
8.2 Methods of engineering geological exploration ..... (135)
Summary ..... (145)
References ..... (146)
Plates and explanation ..... (147)
Summary in English ..... (164)

前　言

我国地大物博，矿产资源丰富。开发矿业是社会主义四化建设十分重要的工作。地质勘探工作提供的矿山开采技术条件资料，必须满足矿山建设初步设计的要求。

建国以来，在地质勘探工作中对矿床开采技术条件的调查研究做了不少工作，但主要是在水文地质工作方面，而对工程地质工作及其它开采技术条件的研究，则远远重视不够。各部门在地质勘探工作中对矿床工程地质的研究程度、工作方法以及必须提交的资料等方面要求不统一，导致在地质勘探报告中工程地质资料不全的局面。如有的报告只附了少量的岩石物理力学性质试验指标，给矿山的设计、生产建设带来困难 。

建国以来，经勘探的大量矿区中，有不少已得到生产开采的验证。为了总结经验，推动矿区工程地质工作的开展，1982年地矿部把这项工作 列入"矿床勘探研究程 度及矿山开采技术条件和矿石选冶性能"的研究课题中。即"矿床开采技术条件"研究专题。

在全国储委办公室的组织领导下，于1982年 9 月组成了"矿床开采技术条件"专题研究组，由吉林省储委办公室负责，云南省储委办公室、浙江省地质科学研究所、浙江省地矿局第三地质大队参加，并由四川、贵州、湖北、湖南、广东、安徽、河南、甘肃、江西及内蒙古等省、自治区储委办公室，江苏省地矿局第四地质大队，江西省地矿局和赣西地质大队等单位参与协作。主要研究任务是：固体矿床工程地质勘探类型划分、地质勘探阶段工程地质研究程度及工作方法。其目的是指导地质勘探阶段的矿床工程地质工作，并为修编矿区水文地质工程地质普查勘探规范提供基础资料。

研究分三个阶段进行。

第一阶段：以典型矿山工程地质调查研究为主。在全国范围内选择了19个典型矿山进行工程地质专题调查研究工作。

第二阶段：在前一阶段调研工作的基础上，以典型矿山工程地质工作方法试点研究及资料汇编工作为主。选择了江西省七宝山多金属详勘矿区进行试验、总结，提出矿床地质勘探阶段矿区工程地质工作方法，同时补充典型矿山调查资料进行统一汇编。

第三阶段：补充资料，编写最终研究成果。

本书是在王以琦❶、王永余、王成农、王崇干、王喜恩、田大佑、刘秉衡、刘培正、闭专修、孙庭芳、李自良、李师尹、李显沼、李贤才、吴荣辉、严志群、迟景砚、陈广运、陈庸秀、金世源、罗鑫亮、张志国、郁离炎、顾明哲、阎桂林、宾德智、夏宝昌、夏娴、曾小文、解景华、熊云松、漆尔清等同志提出的矿山工程地质调查报告及苏锡鹗、韩设民、何金根等同志提出的矿区工程地质工作试点报告的基础上，由漆尔清、王成农、解景华、宾德智、陈广运等同志编写完成。

本书总结了我国30多年来矿床工程地质工作的经验，是理论与实践相结合的产物。

在本专题研究中，由于得到了地矿部水文地质工程地质司余需高级工程师、中国地质

---

❶ 以姓氏笔划为序。

科学院地质力学研究所胡海涛研究员、岩溶地质研究所项式均副研究员的指导和有关矿山、地质队及其主管部门和设计院的大力支持与协助，因而，工作完成得很顺利，在此一并表示感谢。

对于书中的不妥之处，欢迎读者批评指正。

编　者

第一章 概 论

第一节 中国矿床工程地质工作回顾

我国矿床工程地质工作是在新中国成立后开始的。随着矿床勘探及采矿技术水平的向前发展，矿床工程地质工作也不断发展，大体上可划分为以下三个阶段。

一、起步阶段

50年代初期，我国的地质勘探工作主要是学习苏联经验，在苏联专家帮助下进行的，矿床工程地质工作也是如此。1952年由中央人民政府地质部翻印的"苏联地质工作学习资料"中，有三册是关于工程地质与水文地质方面的。此后，陆续在内蒙古白云鄂博、湖北大冶、抚顺西露天等重点矿区开展了矿区的水文地质工程地质勘探工作。1958年，全国矿产储量委员会颁发了我国自己制定的第一个《矿区水文地质勘探暂行规定》，对矿区工程地质工作提出了相应的要求。同年，地质部水文地质工程地质局陈君联同志对矿区工程地质工作提出了下列意见："野外须进行工程地质试验工作，确定岩石的物理机械性质；根据试验成果及野外物理地质现象调查，评价露天开采场边坡、坑道顶底板、竖井井壁的稳固性，以及对地表建筑物稳固性做出说明及评价；编制工程地质平、剖面图，并在水文地质报告中编写专门的工程地质章节"。上述暂行规定及意见，都是参照苏联经验，结合我国实际情况提出的。

二、探索阶段

60年代初期，苏联撤走专家，我国工程技术人员在总结经验的基础上，依靠自己的力量，较好地解决了一些矿床的复杂水文地质、工程地质问题。如广东凡口铅锌矿及湖北铜录山铜矿岩溶充水矿床的地面塌陷问题；甘肃金川铜镍矿、江西城门山铜矿及云南开远小龙潭褐煤矿的巷道变形破坏、边坡失稳等问题，取得了宝贵的经验。

1962年，地质部、冶金部、煤炭部根据我国实际情况制定和颁发了《矿区水文地质工作规范》，对矿区工程地质工作提出了明确要求，如规范第一分册（煤及油页岩）中，要求煤田地质勘探须进行岩石工程地质的研究。其主要目的是评价坑道顶底板及露天边坡岩石的稳定性和物理地质现象对煤田开采的影响，确定软弱夹层，风化壳深度、厚度及含水性，裂隙在不同深度的发育程度，开采时是否有滑动及流砂冲溃之可能等，并提出防护意见。概略说明地面工程建筑的工程地质条件及建筑和充填材料的一般赋存情况。第二分册（金属矿床）工程地质研究程度中要求对矿床开采作出详细评价。为此应进行：

1．工程地质分区；

2．详细地确定岩石断面（包括矿层）的机械性质及水理性质；

3．作出各种条件下露天采场边坡稳定性的评价，并论证其边坡稳定的角度；

4．确定地下开采时岩石的稳定性；

5．作出未来预定建筑物工程地质条件的初步评价，并阐明岩石是否可作为天然建筑材料；

6．提出为进一步进行地表建筑工程地质调查的意见；

7．作出矿床开采时所预定的工程地质观测建议。

各地质勘探部门，应用上述规范，开始探索我们自己的路子。如江西城门山铜矿的工程地质勘探，抚顺、海州、平庄西露天矿的边坡工程地质勘察。但由于经验不足，规章制度不健全，加之十年浩劫的干扰破坏，使地质勘探工作有章不循或无章可循，矿床地质工作也受到影响。一些地质勘探报告中矿床工程地质评价，仅以几组岩石物理力学性质试验成果来代替，部分中、小型地质勘探报告中甚至连这部分成果也没有，导致矿床开采设计与基建时缺少资料依据，开采中出现了许多工程地质问题。如云南东川滥泥坪铜矿，勘探时测定围岩坚固性系数（f）值为12—15，认为岩层坚硬稳定。设计时确定采矿方法为房柱法，实际开拓后发现矿石与围岩为半坚硬的，稳固性较差的黑色碳质、泥质白云岩。坚固性系数（f）值仅4～6，并有14条主干断层（勘探时只探明5条）。因此，开采时冒顶、片帮、垮塌等工程地质问题严重，部分采场矿石损失率达66—96%。又如甘肃金川铜镍矿，在1960年至1964年对Ⅰ矿体地质勘探时，对工程地质工作重视不够，报告中只概略地论述了矿体及顶底板围岩的构造裂隙对稳定性的影响，笼统地提出超基性岩内接触带及片理带岩石破碎，易冒顶、片帮，甚至得出裂隙随深度增加而于40m以下逐渐闭合，超基性岩侵入之前的断裂大都被火成岩侵入充填而固结等不符合实际情况的结论。测定的坚固性系数（f）值在10以上，对地应力未引起重视。结果在Ⅰ矿体的基建坑道中掘进时，揭露出矿岩的构造、裂隙都非常发育，坚硬的矿石与岩石之间，存在着破碎的矿石与岩石，巷道掘进中暴露面积仅几个平方米即发生冒顶、片帮，竖井井壁衬砌脱落，露采边坡滑移、倾倒等工程地质问题，严重地影响矿山安全生产。通过总结1969至1970年对Ⅰ矿体勘探的经验教训，在对Ⅱ矿体的地质勘探中，加强了矿区工程地质工作。甘肃省地质局第六地质大队与中国科学院地质研究所等五个单位组成研究小组，运用岩体工程地质力学观点，进行矿区工程地质测绘与岩矿的测试研究，对矿区岩层进行了工程地质岩组和结构类型的划分，并预测评价了矿区坑采及露采场的稳定性。依据矿区地应力高的特点，相应地编制了一系列水文地质工程地质平、剖面图及单项工程的工程地质预测图，提供矿山设计、生产中应用，取得了较好的效果。金川矿的工程地质工作是我国矿床工程地质工作做得较好为典范，露天采场边坡岩体水文地质工程地质条件预测评价略图，曾在国际第三届工程地质会议上展出，得到与会专家的好评。

三、巩固发展阶段

80年代是矿床工程地质工作巩固发展的开端，主要的标志是：

1．1982年地矿部在总结60～70年代矿区水文地质工程地质工作经验的基础上，制定和颁发了《矿区水文地质工程地质普查勘探规范》，加强了矿区工程地质工作。

2．1981年，在煤炭部地质局组织对全国主要露天煤矿边坡稳定性调查研究的基础上，提出了边坡工程地质勘探的技术要求。

3．一些工业部门为满足引进国外先进的采矿技术对矿区工程地质资料的要求，开展了一些专门性的工程地质勘探。如内蒙古霍林河煤田露天采场的剥离物强度勘探；软岩巷

道掘进与支护的工程地质研究等。

4．一些矿山针对采矿中出现的工程地质问题，进行了岩石测试与预防措施专门性研究工作。如金川矿的地应力研究；露采场边坡稳定及适宜边坡角的研究等。

5．在1984年全国第二届工程地质学术会议上交流了包括矿床工程地质工作在内的最新成果，论述了我国工程地质工作的现状及问题，并对工程地质工作的发展做出了预测。

上述几方面工作，标志着我国矿床工程地质工作已开始一个新的发展时期。在新时期中，随着采矿事业向深度和广度发展，科学技术水平的不断提高，矿床工程地质工作将在以下四个方面开展大量的研究：

1．环境工程地质问题的研究。由采矿引起的环境工程地质问题主要有地面塌陷、沉降、开裂，露采边坡的滑移与倾倒等。

2．高边坡、深采矿的工程地质勘测研究，如高地应力、高地温、软岩及破碎岩中巷道的掘进与支护、冲击地压、岩爆、快速机械掘进等问题。

3．工程地质评价从定性走向定量的时间、空间预测。

4．地球物理勘探、现场测试及电算技术等在工程地质勘探与评价中的应用。

第二节　矿床工程地质工作的阶段划分

矿床工程地质工作贯穿在矿床地质工作的开始到矿床开采结束的全过程。根据勘探、设计、矿山基建及生产对工程地质工作要求的不同，大致可划分下述三个主要工作阶段。

一、地质勘探阶段

该阶段的工作是在矿床地质普查的基础上进行的，可细分为详查与勘探两个阶段。

详查阶段：应对全矿区及邻区进行面积较大的工程地质工作，包括工程地质测绘，钻孔工程地质编录，岩石水理、物理、力学性质的测试等。工作结束时应初步查明矿区的工程地质条件，进行矿床工程地质条件分区，并做出初步评价和预测各区在开采中可能出现的主要工程地质问题，为矿区总体规划及勘探设计提供依据。

勘探阶段：对已确定的矿床首采区进行详细的工程地质研究，紧紧围绕评价矿床及围岩的稳固性、露采边坡的稳定性、矿床开采中可能出现的工程地质问题等进行工程地质钻探、岩矿石的各种测试工作，为矿山设计、基建及开采提供地质基础资料及定量、半定量的各种工程地质参数；对露采与坑采岩层稳固性做出评价；预测工程地质问题可能出现的地段；为部分单项工程提出预测性的工程地质图件。提供的矿床工程地质资料，可作为矿山总体规划及首期开采的设计依据。

二、设计、基建阶段（专门性工程地质勘探阶段）

矿床地质勘探结束后，对勘探中遗留下的复杂水文地质工程地质问题，如大水矿床疏干排水后地面塌陷区的预测、大型露采矿区边坡稳定性评价及剥离物强度、技术设计井筒工程地质条件等。一般是在地质勘探阶段工程地质工作的基础上，由设计部门或基建单位按开采设计的要求委托地质队进行勘探。主要任务是为设计部门直接提供矿床开采设计所需的工程地质资料和各种实测和计算出的工程地质参数。如海南铁矿、鞍山大孤山铁矿、攀枝花

朱家包铁矿及吉林盘石镍矿的边坡工程地质勘探，霍林河煤田剥离物强度勘探以及广东石菉铜矿大水矿床的大降深井群抽水试验等，均为矿山专门性的水文地质及工程地质勘探。

三、矿山生产阶段

矿山投产后，破坏了矿床的自然平衡状态，产生一些新的工程地质问题，影响了矿山的安全生产。本阶段的工作，是围绕矿山安全生产来进行的。主要任务是：查明矿山生产中各种工程地质问题发生的原因，对危及矿山安全生产的主要工程地质问题（如地面塌陷、山体崩塌、露采边坡失稳、坑道变形破坏等）的形成机理进行系统观测研究，预测下阶段开采中可能出现的工程地质问题，提出预防及治理意见，为矿山扩建及下步开采提供资料。

第三节　中国固体矿床工程地质特征

我国蕴藏着煤炭、有色金属、黑色金属、非金属及稀有金属等丰富的矿产资源。这些矿产资源形成于不同的地质、自然地理环境，矿床的工程地质特征有较大的差异。依据我们对19个典型矿山工程地质调查研究及收集的近70个矿床工程地质资料的综合分析认为，影响我国固体矿床工程地质条件的因素及区域特征如下。

一、矿床工程地质条件的影响因素

影响我国固体矿床工程地质特征的主要因素有区域性的地质因素和地带性的自然地理条件，具体可归纳为以下六个方面。

（一）气候、地形、地貌

我国矿床工程地质特征受气候分带的影响相当明显。这种分带性决定着一个地区的热量和水份分配、风化作用的方式及程度。从宏观上看，干旱地区年平均降水量少，一般少于200mm，相对湿度低，地表水流少、水量小，地下水也不丰富，表层以物理风化为主，工程地质条件一般较简单。而在潮湿多雨的地区，年平均降水量大于1000mm，地表水与地下水都较丰富，岩石以化学风化为主，风化程度较深，矿床工程地质条件一般比较复杂。

地形地貌对矿床工程地质条件亦有显著影响。当矿体(层)位于当地侵蚀基准面以上，又处于山区时，地形有利于地表及地下水的排泄，矿床工程地质条件相对简单；反之，当矿体（层）埋藏在当地侵蚀基准面以下时，受地下水的影响，工程地质条件比较复杂；位于高山峡谷的矿床，则往往由于矿山开采破坏了山体自然平衡，易产生滑坡及崩塌，使矿床工程地质条件趋于复杂，例如位于我国鄂西、滇西、川西北高山峡谷区的一些矿床。

（二）地质构造

矿山采掘在岩体中进行。岩体经过长期的地质构造运动，产生了一系列不同规模的构造形迹，包括褶皱与断裂构造，形成了各种级别和序次的断层、褶皱和纵横交错的节理裂隙，从而破坏了岩体的完整性，导致矿床围岩稳固性减弱。矿床所处地质构造发育程度不一，工程地质条件复杂程度也不同。在地质构造发育地段，工程地质条件复杂。尤其是位于活动性断裂带附近的矿床，因地应力比较集中，地震频繁，矿床围岩稳固性差，工程地质条件也就更复杂，如甘肃金川铜镍矿。

（三）岩体结构类型

矿床的岩体结构类型按结构面与结构体的特征，一般可划分为四大类、八亚类。大类有整块状、层状、碎裂和散体结构四大类❶。以块状结构为主的矿床，矿体（层）围岩坚硬，坑道顶底板的稳固性及露天采场边坡稳定性一般较好，工程地质问题少。以碎裂结构及散体结构为主的矿床，坑道自撑能力差，在地下水活动下，往往导致坑道稳定性差，围岩连续变形破坏，露采边坡易于失稳，产生滑动，工程地质条件差。

（四）矿床成因

固体矿床，由于其成因不同，岩性差异大。矿床工程地质条件受其影响，复杂程度也有很大差异。根据调查资料，可大致归纳为四类：

1．岩浆岩类与变质岩类矿床。这类矿床围岩岩石经过结晶或重结晶，具一定的结构连结，岩块及岩体强度较高，岩体结构类型以块状及厚层状结构为主，即使因构造破坏形成的镶嵌结构，岩体也是稳定的，工程地质条件一般较简单。

2．矽卡岩类矿床。主要指接触交代于石灰岩（包括泥灰岩、白云岩等）中形成的矿床。这类矿床围岩岩块强度大，岩体多呈块状与层状结构，稳定性较好。但在接触蚀变带、风化带、构造破碎带中岩石破碎，围岩稳固性差。由于岩石破碎，为地下水活动提供了条件，加剧了岩石的溶蚀破坏作用，使该带成为岩石风化强烈、深度大的地带。矿山的工程地质问题主要发生在此带。当矿床开采区浅部岩溶发育，又有松散的第四系沉积物覆盖时，疏干排水易产生岩溶地面塌陷、沉降与开裂等环境工程地质问题。

3．火山碎屑岩类矿床。这类矿床成因复杂，内、外生作用同时参与成矿。矿体一般埋藏浅，呈层状或似层状产出。矿床围岩主要为火山岩、火山集块岩、火山角砾岩及凝灰岩等。岩块及岩体的力学强度很不均一，大多数凝灰岩及凝灰质岩石，结构疏松，易风化，强度低，是围岩中的软弱层位。

4．沉积矿床。以外生作用为主。根据成矿环境及围岩岩性，可以分为以碎屑岩为主的矿床：如煤、油页岩等；化学与生物化学矿床：石膏、岩盐、石灰石等；以及第四系风化沉积或次生淋滤矿床等。这类矿床岩性及岩石强度具明显的各向异性，岩体结构类型以层状及散体状为主。影响矿床工程地质条件的主要因素是岩层中的软弱层位，构造破碎带的发育程度，岩石的胶结物及胶结方式。矿床工程地质条件的复杂程度变化较大。当矿床围岩岩性单一，构造变动小时，工程地质条件一般较简单，如石灰石矿床。围岩具软弱夹层及多层含水结构的矿床，工程地质条件就复杂。围岩中有石灰岩等可溶岩层时，由于岩溶发育并富水，使矿床工程地质条件相对较复杂。

（五）水文地质条件

水是发生工程地质问题的主要诱因。地下水对矿床围岩的影响，有以下两种表现形式：一是在岩体中产生静水压力，使地下水通过断层破碎带及顶底板薄弱部位的突水、突泥破坏巷道；二是使软弱岩体软化、膨胀，降低其力学强度，从而使巷道变形破坏，边坡失稳。尤其是在连续下雨或暴雨期，水在表土和风化岩石中处于饱和状态，水量和水压增加，使工程地质问题连续发生。

（六）采矿方法

---

❶ 谷德振先生分类法。

矿山采矿方法的确定受矿床围岩的地质、水文地质工程地质条件的影响。不同的采矿方法，出现的工程地质问题是不一样的，如采用充填法地下开采时，开采后用废渣或混凝土将采空区全部充填，使顶板垮落能控制在一定高度，围岩中地下水仍保持或接近于原来的状态，采矿后出现的工程地质问题少；采用崩落法采矿，往往导致上覆岩石冒顶，地表发生裂缝、塌落等工程地质问题；在一些采用地下气化、水溶法和酸浸等特殊地质工艺方法开采的矿山，往往因未能控制好隔（含）水层，致使矿床损失率大，地表产生塌陷、开裂等工程地质问题。

二、矿床工程地质分区

依据我国各地区不同类型矿床所处的地质构造、气候、地形地貌及水文地质条件的差别，以及反映出的矿床工程地质条件的差异。将我国划分为东北部（Ⅰ）、西北部（Ⅱ）、西南部（Ⅲ）、东南部（Ⅳ）四个不同的矿床工程地质区（图 1-1）。各区影响矿床工程地质条件的主要因素不同，出现的工程地质问题亦有所差异。分别叙述如下：

（一）东北部地区（Ⅰ）

大致位于东经105—140°，北纬35—49°之间，秦岭山脉及淮河以北，贺兰山以东地区。包括东北三省、河北、河南、山东、山西、陕西省及苏北、皖北等地区。地区界限西北部与半干旱气候区界限相吻合，南部以秦岭、淮河大致为界。

此区气候主要为半干旱气候，年降水量500—900mm之间，湿润系数 0.3—0.5，地表河流具汛期短、季节性强的特点，地貌以平原为主。

本区所处大地构造单元有中朝准地台，天山兴安地槽褶皱区中的内蒙大兴安岭地槽褶皱系，古黑地槽褶皱系，昆仑秦岭地槽褶皱区中的秦岭地槽褶皱系及祁连地槽褶皱系的一部分。地质构造以新华夏系为主，其次有经向、纬向构造。一般褶皱平缓，断裂及节理裂隙发育。

地震一般沿北北东方向成带分布。北部历史地震较少，具有新构造差异运动，新生代火山活动强烈。而南部（包括华北地区及山东半岛），由于构造活动较强，有多条规模较大的活动性断裂带通过，其中有我国东部规模最大的郯庐断裂带、汾渭断裂带。这些活动断裂带是地震分布的集中区，近年来发生的邢台、唐山、海城大地震均与之有关。该区为我国地震活动区之一。

此区变质岩中，铁矿资源丰富。矿床围岩由太古界的变质片岩、千枚岩、石英岩、大理岩及混合岩组成的矿床，以鞍山式铁矿为代表；围岩由元古界浅变质的沉积岩系或沉积的火山岩系组成的矿床，以宣龙式铁矿和沉积锰矿为代表；矿床围岩主要由上古生界及中生界浅海相，海陆交互相的石灰岩、碎屑岩沉积组成的矿床，以石炭二叠系及侏罗系煤矿及奥陶系灰岩顶部古风化剥蚀面上的铝土矿为主。而分布于各地的一些多金属矿、非金属矿则与太古界、古生界末期及中生界的花岗岩有关，如钼、金矿。

本区矿床围岩以坚硬、半坚硬岩石为主，岩体结构多为块状及层状结构。北部水文地质条件一般较简单，工程地质问题主要是冻土、软岩及构造引起的边坡失稳，巷道变形破坏。个别分布于松散软弱岩及构造极发育地区的矿床，由于工程地质条件复杂，工程地质问题较多。南部岩溶水及第四系孔隙水是矿床开采的主要威胁，顶底板突水、涌砂是矿床的主要水文地质工程地质问题。

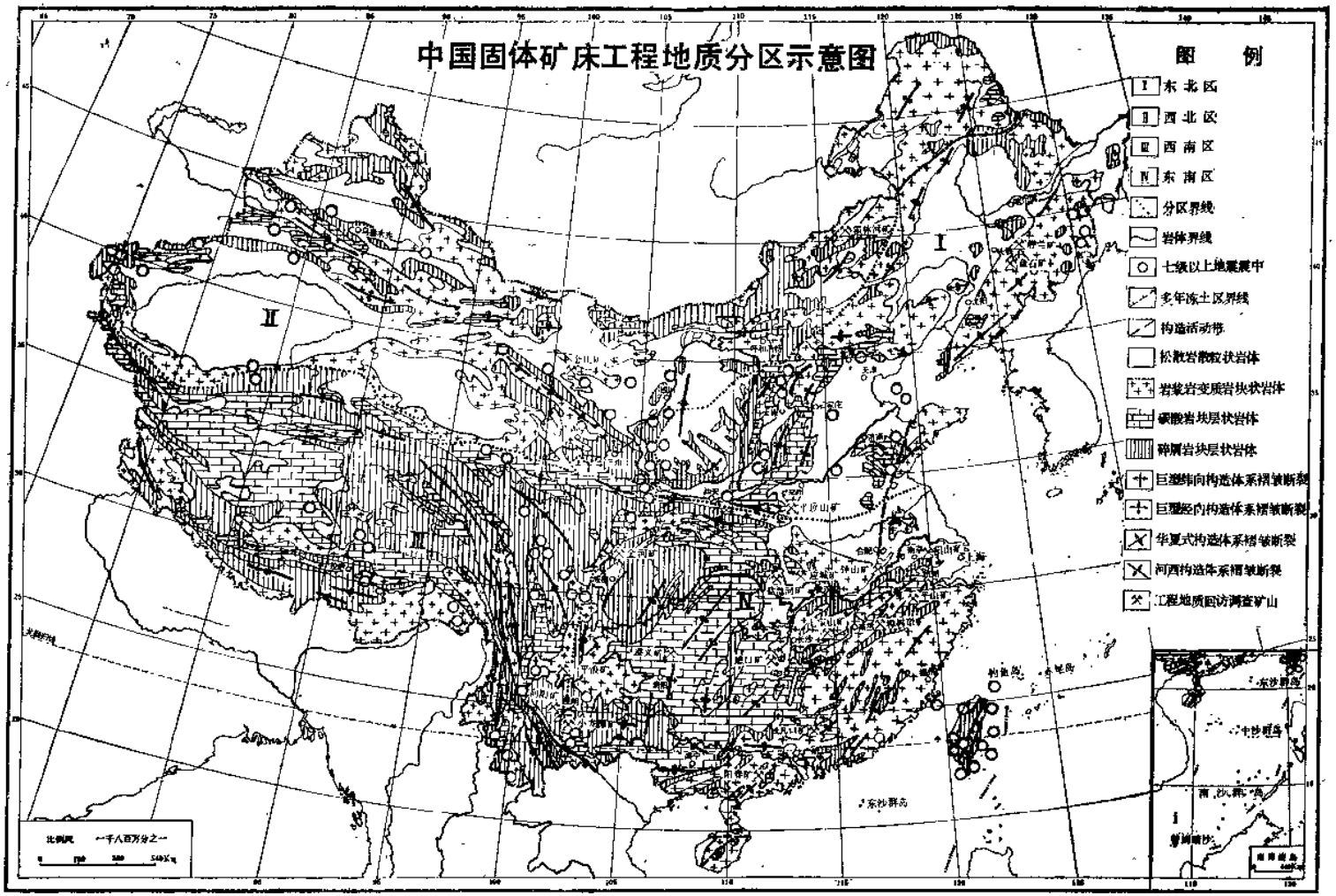

中国固体矿床工程地质分区示意图
图　例
Ⅰ 东北区
Ⅱ 西北区
Ⅲ 西南区
Ⅳ 东南区
分区界线
岩体界线
七级以上地震震中
多年冻土区界线
构造活动带
松散岩散粒状岩体
岩浆岩变质岩块状岩体
碳酸岩块层状岩体
碎屑岩块层状岩体
巨型纬向构造体系褶皱断裂
巨型经向构造体系褶皱断裂
华夏式构造体系褶皱断裂
河西构造体系褶皱断裂
工程地质回访调查矿山
比例尺　一千八百万分之一
东沙群岛
南沙群岛
Ⅰ
曾母暗沙

图 1-1

（二）西北部地区（Ⅱ）

位于东经75—120°，北纬35—48°，秦岭以北，巴颜喀拉山及贺兰山以西地区，包括西北部半干旱、干旱地区的柴达木盆地、河西走廊、天山南北的山地丘陵及沙漠地带。

本区气候属中温及寒温带干旱区。年降水量小于200mm，湿润系数小于0.29，以内陆河系为主，地表水及地下水均不丰富，水源主要靠山区冰雪融化补给。

所处大地构造单元有天山兴安地槽褶皱区中的阿尔泰地槽褶皱系，天山地槽褶皱系，昆仑秦岭地槽褶皱区中的昆仑地槽褶皱系、祁连地槽褶皱系，秦岭地槽褶皱系及塔里木地台。

本区地质构造发育，为多构造体系复合地区，活动断裂多，著名的天山南北缘断裂带、祁连山北缘断裂带，都分布在本区。祁连山北麓河西走廊地区，吕梁山脉东侧的汾河谷地以及贺兰山地区，是我国北方地震分布最集中的地带。据记载，这一地区共发生八级及八级以上的地震七次，约占全国同等规模地震总数的40%。例如1927年甘肃古浪大地震，1954年甘肃山丹地震都分布在山字型的前弧地带。活动断裂附近地应力集中，地应力值一般较高。处于附近的矿床，工程地质条件一般较复杂。如甘肃省金川铜镍矿，处于祁连山活动断裂带附近，1900年以来发生过四次强震，水平应力值可高达500kg/cm²，是我国著名的工程地质条件极复杂的矿区。

本区矿床围岩有前震旦系～震旦系的花岗岩、花岗闪长岩、黑云母花岗岩、橄榄岩、石英闪长岩、片麻岩、大理岩、变粒岩及混合岩等，许多金属矿床与该类地层有关；古生界海陆交互相沉积为碎屑岩夹灰岩；中生界陆相碎屑岩，其中的侏罗系含煤；第四系为松散砂、砂砾及粘土沉积，分布干盆地、谷地及广大沙漠地区。

矿床围岩以坚硬、半坚硬岩石为主，岩体结构块状居多，除处干活动构造带附近的矿床工程地质条件比较复杂外，一般较简单。

（三）西南部地区（Ⅲ）

大致位于东经75—105°，北纬20—37°之间，北部以干旱区南部线为界，东部顺龙门山沿川滇经向构造带东侧为界。以西藏高原为主，包括四川及云南省西部地区。

该区地貌形态复杂，以山地和高原为主。区内高山峻岭和深切河谷非常发育，物理地质现象（滑坡、泥石流、冻上等）十分发育。

区内气候寒冷，以冰冻气候为主，除藏南雅鲁藏布江峡谷地带及云南省西部地区受印度洋气候影响较温暖湿润外，大部分地区由干地势高，气候寒冷，年平均气温在-2—12℃之间，多年平均降水量100—500mm。植被与土壤发育不好，多年冻土分布面积约占总面积的70—80%。

该区在大地构造上属干喜马拉雅地槽褶皱系及滇藏地槽褶皱区中的西藏地槽褶皱系。地质构造线大致作北西西及北西向展布，有很缓和的弧形弯曲褶皱及深大断裂带。地震多分布在青藏川滇歹字型与川滇南北带复合部位，呈带状或成群分布。地震频率高、强度大，破坏性与重复性也较大。例如近百年在炉霍、迎乎一带约350km的地段内，共发生六级以上地震11次。

矿床围岩有中生界和上古生界的灰岩、砂页岩、变质的片岩、千枚岩、大理岩及火山岩。侵入岩多呈弧形和近东西向分布，岩石主要为超基性岩和花岗岩、花岗斑岩等。主要矿床有云南金顶巨型铅锌矿、四川渡口钒钛磁铁矿、西藏昌都地区的斑岩铜矿、洛布沙铬

铁矿及滇西中新代各大盆地中的煤矿等。工程地质条件一般较简单。

（四）东南部地区（Ⅳ）

位于东经 95—120°，北纬 15—35°之间，泰岭、淮河以南，龙门山及川滇经向构造带以东的广大地区。行政区有广东、广西、贵州、湖北、湖南、江西、江苏、浙江、福建、台湾等省、区及四川、云南、安徽等省的一部分地区。气候属热带和亚热带季风湿润气候区，年降水量1000—2000mm，湿润系数 1 左右，年平均气温16—21℃。水系发育，著名的长江、珠江、钱塘江水系流经本区，地貌以中低山、丘陵、盆地为主。

地区所处大地构造单元有扬子准地台、华南地槽褶皱系、南海地台及滇藏褶皱系的一部分。

台湾省及东南沿海一带是我国地震最强烈、最频繁的一个地区。每年都有五级以上的地震发生，每隔 1 — 2 年就有一次七级以上的地震。

区内主要分布有元古界的浅变质碎屑岩及火山岩系，其中多沉积铁矿、锰矿。古生界的碳酸盐岩分布面积大、矿床多，以铅锌矿、铁矿、锰矿、锑、钨、锡矿为主，上古生界的碎屑岩含煤，新生界以碎屑岩夹卤素岩沉积为主，含有石膏及岩盐矿床；第四系为河湖相砂类、粘土类沉积。古生界到新生界第三系各地质时期的侵入岩发育，以花岗岩为主，分布于东南沿海一带，构成部分金属矿床的直接围岩。

本区矿床大都埋藏于灰岩或与灰岩含水层有一定水力联系的侵入岩及火山岩中。矿床及围岩岩石坚硬、半坚硬，岩体结构以块状、厚层状为主。矿床工程地质条件的复杂程度变化较大。围岩的岩溶发育程度、充水情况，对矿床工程地质条件有决定性的影响。分布在岩溶发育区的矿床，疏干排水引起的地面沉降、开裂、塌陷是本区的主要工程地质问题。

第四节　中国固体矿床开采中的主要工程地质问题

矿床开采破坏了岩体的自然平衡状态，地热场、水动力场都有改变。各类矿床在人为采动影响下，产生形式各异、程度不同的工程地质问题，影响矿山的安全生产。工程地质问题出现的多少与严重程度与矿床工程地质条件的复杂程度及开采方式方法和采取的预防措施有关。一般来说，矿床工程地质条件简单、预防措施得当，问题就少；反之将加重危害程度。

根据典型矿山调查所搜集的资料，我国固体矿床开采中出现的主要工程地质问题，可归纳为以下六个方面：

一、边坡失稳

边坡失稳是矿床露天开采中采场的主要工程地质问题。根据组成边坡地层、岩性及岩石的水理、物理力学性质的不同，边坡破坏特征及影响边坡稳定的主要因素，结合调查实例可分为松散岩（土）类边坡、软硬岩石互层边坡及岩质边坡三种类型。

（一）松散岩（土）类边坡

边坡岩性主要为第四系砂、砾卵石及粘土或弱胶结的第三系砂岩、页岩及风化松散的基岩。由于组成边坡的岩（土）强度低，在水的作用下，易于失稳。稳定边坡角小，尤其在边坡土层中地下水未疏干，存在残余水头的情况下，边坡更难稳定。如广东阳春石菉铜

矿露天采场，大部分永久边坡为第四系的砂土层，在水的作用下，部分边坡总处于不稳定状态，产生塌落、冲刷、滑坡，工作台阶则产生局部塌方、掉块、檐伞倒挂、大裂缝等不良现象。上层边坡坡面角原设计35°，由于失稳，向外扩帮放坡，坡面角达28—30°，同时采取疏干排水、降低地下水位及植树种草、砌坡等措施，边坡才趋稳定。

安徽当涂县钟山铁矿，露天采场第四系边坡由河流相粘上类土、砂及砂砾石组成，粘上层上部含水砂层难于疏干，存在残余水头，导致边坡长期不稳，自然边坡角仅6°。

（二）软硬岩互层边坡

以沉积矿床多见，尤以煤矿居多。露采边坡滑落的特点是以沿软弱层面滑落为主，其次是不整合面、断层、裂隙组合面、风化带及工作面滑落。影响和控制边坡稳定的地质因素，主要是软弱夹层在地下水作用下软化、崩解、降低了结构面强度所致。如辽宁抚顺西露天煤矿采场，边坡由煤层及顶板油页岩、绿色页岩组成，底板为火山凝灰岩及玄武岩，玄武岩中含几层不规则的薄煤层，凝灰质岩石为含蒙脱石凝灰岩，质松散，岩层软硬相间，边坡常沿凝灰岩及薄煤层层面滑动。从1935年开始，有记载的滑动已发生过57次，尤以1935年雨季大雨后造成的5次露天边坡滑动最显著，严重地影响了生产。从1949至1980年的30多年中，滑坡处理上石方量达$6500\times10^4m^3$，支出费用一亿元，其中1960年南帮西1200m滑坡，处理费达24万元。

又如云南开远市小龙潭褶煤矿，由于地层中的新第三系东升桥粘土岩段及煤层中的粘土薄层夹层与其中的灰岩硬层相互组成软硬互层边坡，在水的作用下，产生顺层滑坡，使边坡顺层垮塌，地面变形破坏，生产停顿，经济上造成损失。

（三）岩质边坡

多为坚硬、半坚硬岩石组成。我国许多大型铁矿及金属矿山的露天采场边坡均属此类型。如鞍山、大冶、海南、攀枝花等铁矿山，金川、盘石等铜镍矿山。岩质边坡的稳定性取决于边坡岩体内的断裂构造的存在及其组合、充填等因素。断裂构造的形态、方向、空间排列及性质，不但为可能滑动提供边界条件，同时又控制着岩体的抗剪强度、变形及水压分布等主要特征。如金川铜镍矿露采场下盘区的F_8断层，即是边坡滑移及倾倒的主要因素。

二、地面变形破坏

地面变形破坏是我国不少矿山，尤其是岩溶发育地区矿床开采后的一个突出的工程地质及环境地质问题。它不仅影响着矿山的安全生产，而且危及到矿山附近的工农业生产，交通安全及人民生活的安定。根据其成因，一般可划分为岩溶地区矿床开采疏干排水引起的岩溶地面塌陷和矿山采空引起的地面沉降、开裂和塌落两种类型。

（一）岩溶地面塌陷

以隐伏型大水岩溶矿床为主。这类矿床岩溶水水量大、水头压力高，地面塌陷是由于采矿疏干排水降低地下水位的过程中破坏了溶洞中水、土、气三者平衡而引起的。我国南方的两广、两湖、江西、江苏、浙江、四川等省（区）的岩溶充水矿床，普遍产生岩溶地面塌陷。北方的辽宁、河北、河南、山东等省的岩溶充水矿山，也有岩溶地面塌陷，但规模远不如南方（表1-1）。

表 1-1 我国部分岩溶充水矿山地面塌陷统计表

矿山名称	塌陷数（个）	统计时间（年）	矿山名称	塌陷数（个）	统计时间（年）
湖南恩口煤矿	6400	1985	广东黑石岗矿	209	1977
湖南桥头河矿	266	1974	广西酒顶矿	600	1979
湖南斗笠山矿	2000	1979	江苏栖霞山矿	4	1980
湖南煤炭坝矿	1000	1979	江西云庄矿	300	1976
湖南水口山矿	850	1970	江西花亭锰矿	83	1979
湖南潭家山矿	20	1979	安徽新桥矿	200	1978
湖北程潮铁矿	10(±)	1979	安徽淮南李矿	6	1980
湖北叶花香矿	170	1977	安徽淮南孔集矿	6	1976
广东凡口矿	1864	1983	山东顾家台矿	12	1975
广东石菉矿	3171	1983	辽宁华铜矿	2	1982
广东马口矿	3000	1977			

注：部分数据摘自肖有权的有关文章

（二）地面沉降、开裂及陷落

大多分布于矿山地下开采形成的崩落角范围内，主要由地下采空、放顶、冒落等原因引起。如湖北应城石膏矿，位于采区范围内的水田，由于地面下沉而变成水塘；四川金河磷矿、江苏阳山高岭土矿，均因地下采空，引起地面开裂、沉陷、山体下滑等环境工程地质问题。

三、坑道变形破坏

地下开采，井巷中的片帮、冒落、底鼓及支护折断等变形破坏是常见的工程地质问题，根据典型矿山调查研究，引起坑道变形破坏的主要原因有：

（一）地质构造发育、岩石破碎

井巷中的变形破坏，多发生在断裂破碎带、风化带及接触蚀变带范围内。地下水的作用加剧了破坏程度及速度，因之在地下井巷中，凡遇“三带”开挖后一般均需支护，有的在支护后，仍继续变形破坏，如舒兰煤矿、金川铜镍矿山。

（二）软岩

软岩指的是地层中的粘土质岩层，这类岩石因含蒙脱石、高岭石等矿物成分而具有特殊的水理性质，即吸水膨胀、失水收缩、亲水性强、吸水后不易排除等特点。井巷中遇到这类岩石，在水的作用下，极易发生底鼓、侧鼓、缩径等变形破坏，如苏州阳山高岭土矿、吉林舒兰煤矿。矿山生产中虽对地下水严加管理，但在一些地段，仍有地下水沿断层、节理裂隙渗入，使巷道局部变形破坏严重。阳山高岭土矿山在高岭土中的运输大巷，采用花岗岩石料双层衬砌和钢筋喷射混凝土支护，一般2—3年就因软岩膨胀而出现开裂、变形，直接影响矿山生产。

（三）地应力

主要是构造应力。大都是矿床处于活动构造带附近，应力易集中。特点是来压快、压力大、持续时间长，应力促使矿床围岩不断变形破坏。如金川铜镍矿山，地处祁连山北缘活动断裂带附近，地应力值一般为 200—300kg/cm^2，高值可达 500kg/cm^2，主应力方向

为 NE，当巷道布置垂直主应力方向时，长期处于不稳，甚至完全不能稳定成巷，从建巷到现在，巷道不断变形破坏，片帮、冒顶、底鼓等现象普遍，虽加以各种支护，并不停的反复修理，时至今日，还在不断的变形破坏。

四、巷道突水、突泥、溃塌

巷道中的突水、突泥、溃塌事故，是水文地质问题，也是工程地质问题。一般是在水量大、水头压力高的矿床中，地下水沿断裂破碎带或地层薄弱地段突破顶、底板进入巷道引起的，对矿山安全生产威胁很大，尤以煤矿最突出。如1950年到1980年京西煤矿 6 个矿井共发生142次突水事故，损坏巷道540m、毁房110间。淮南新庄煤矿 412m的巷道突水和突泥量达 1080m³，使巷道完全破坏不能使用。江苏 阳山高岭土矿，因顶板冒落引起 混合的水、泥、碎石松散物的突然溃入，速度极快，直接危及人身安全。

五、山体失稳

山体失稳主要见于地形陡峻的中高山地区的矿山，破坏性大，影响范围广。

湖北盐池河磷矿，1980年 6 月 2 日，矿区上部鹰崖咀山发生灾难性的大规模山体崩塌，崩塌范围南北长560m，前缘最宽470m，总体积约$100\times10^4m^3$，前缘堆体最厚达38m，一般厚20m左右。崩塌碎石填塞了盐池 河，形成高 20—30m 的堆石坝，上游 形成一个 小堰塞湖，死亡284人，摧毁了矿务局全部地面建筑、井口设施及全部物质。

四川金河磷矿，矿区地形陡峻，断层节理发育，由于潮湿多雨，大气降水沿节理裂隙向下渗透，减少岩体的内聚力，降低岩体 的剪切 强度而 形成山体 危岩崩塌。如三坪矿于1969年开始发生岩体崩塌至1973年，崩塌体积达 $14\times10^4m^3$，埋没了主风机进风口，压垮混凝土发旋巷道 20余m，迫使地面工业、民用建筑搬迁和运输系统改道。三道沟矿于1970年至1973 年共崩塌三次，崩塌体积为 $26\times10^4m^3$，崩塌埋没了主硐口、风硐口以及地面风、水、电线路，井口食堂也遭破坏。

崩塌发生的主要原因，据湖北省盐池河磷矿调查研究的资料分析，有五个方面：

1．地形地貌——滑崩体的临界条件；

2．地层岩性——滑崩体的介质条件；

3．地质构造——滑崩体的边界条件；

4．采动活动——人为的动力因素；

5．大气降雨——滑崩的自然动力因素。

六、冲击地压

指井下深部采空区坚硬岩石顶板大面积突然冒落、压缩空气而产生的强大气流。其来势猛、能量大、破坏力强，可摧毁井下的设备，严重危及人身安全。如山西省大同、北京京西、河北开滦、山东枣庄等煤矿，均出现过这类工程地质问题。

第二章　固体矿床工程地质勘探类型的划分

第一节　总　　则

固体矿床是与错综复杂的地质体联系在一起的，因其成因，地质条件及所处的自然地理环境不同，矿床工程地质条件有着明显的差异。认识这种差异，并区分其异同点，对于指导今后的地质勘探工作具有十分现实的意义。研究矿床勘探阶段的工程地质工作，首先的就是对我国固体矿床的工程地质勘探类型进行系统划分。建国三十多年来，固体矿床的地质勘探与开采中遇到的众多工程地质问题，为划分矿床工程地质勘探类型提供了必要的条件。深入研究这些问题，找出其固有规律，就有可能总结归纳出符合我国实际情况的矿床工程地质勘探类型，以指导矿床工程地质工作。国内已有的一些矿床工程地质类型的划分，多附属在水文地质类型中，独立的矿床工程地质类型划分，见于1982年地矿部颁发的《矿区水文地质工程地质普查勘探规范》中。该规范根据矿体围岩的主要岩石类型，岩体结构及工程地质特征，将固体矿床划分为五个工程地质类：

第一类　松散软弱岩层为主的层状非层状矿床；

第二类　坚硬、半坚硬岩层为主的层状矿床；

第三类　坚硬、半坚硬岩层为主的非层状矿床；

第四类　岩溶化岩层为主的层状矿床；

第五类　岩溶化岩层为主的非层状矿床。

并根据矿床地质构造的复杂程度、构造破碎带的发育程度、矿体顶底板围岩及边坡完整性与稳定性、岩层风化程度、岩溶发育程度、地下水静水压力的大小以及工程地质问题的多寡等因素，将矿区工程地质条件划分为三型：

第一型　工程地质条件简单的矿区；

第二型　工程地质条件中等的矿区；

第三型　工程地质条件复杂的矿区。

矿床工程地质勘探类型的划分是本课题研究的重要内容之一，分类中主要考虑以下两个方面的问题。

1．区别矿床工程地质类型与矿床工程地质勘探类型

“勘探类型”是为地质勘探中的工程地质工作服务的，用以指导地质勘探阶段的工程地质工作。它是以矿床工程地质特征为基础，充分考虑矿床工程地质条件的复杂程度来划分的。由于它是在地质普查与详查的基础上确定的，对矿床工程地质条件的了解与认识在深度和广度上受到限制，因此一个矿床在地质勘探初期确定的工程地质勘探类型是带有预测性的，随着勘探的深入，一直到地质勘探结束，矿区工程地质条件基本查明了，对勘探初期定的“勘探类型”正确与否才能定论。如四川省川南周家硫铁矿，勘探初期定为岩溶暗河

复杂型矿床类，经勘探后，证明+550m以上是溶洞裂隙简单类矿床，而+550m以下为暗河复杂类型矿床。这种预测性是符合地质勘探规律的。

矿床工程地质类型，含义较广，除指导地质勘探阶段的工作外，对矿床开采设计，矿山基建生产都有直接指导意义，是在生产实践的基础上，对矿床的工程地质条件及工程地质问题进行了科学研究而最后确定的。

由于课题主要研究地质勘探阶段的工程地质工作，同时受到调查研究广度及深度的限制，因此本研究报告只划分"勘探类型"。

2．研究矿床工程地质基本特征及工程地质条件的复杂程度。

目的是为划分"勘探类型"，拟定矿床勘探中所需查明的主要工程地质问题，确定勘探研究的深度及其采用的工作方法，以指导矿床工程地质勘探。

从上述两点出发，将矿床工程地质勘探类型划分为"类"和"型"两级。

"类"主要反映矿床工程地质基本特征。

"型"决定矿床工程地质条件的复杂程度。

第二节 "类"的划分

一、分类原则

（一）矿床围岩的岩（土）体结构类型

岩体结构包括结构体和结构面两部分。岩体的主要特征是：

1．性质上不连续性和不均质；

2．构造上的不连续和各向异性；

3．岩层中水力参数的不均匀分布；

4．岩层内部初始应力的不均匀存在和不连续分布。

结构体的力学强度受岩石成因的影响，变化很大。一般在高温、高压下形成的岩浆岩与变质岩为各向同性的坚硬岩石，湿抗压强度值大于600kg/cm²。而在沉积环境中形成的碎屑岩一般为各向异性，强度变化大的岩石，湿抗压强度值一般在200—600kg/cm²，软弱的小于100kg/cm²。岩体结构中的另一部分——结构面的存在，破坏了岩体的完整性。结构面有大有小，大的如层面、破碎带及风化蚀变带等，小的如岩石中的片理、劈理及常见的节理裂隙。在外力作用下各种结构面往往形成破坏面，使矿床围岩不稳定，是矿床工程地质问题发生的主要部位。以结构体与结构面组合构成的岩体结构类型来划分矿床工程地质勘探类型，能更好的体现矿床工程地质特征。

岩体结构类型有块状、层状、散体状结构，其次在构造及风化作用下产生的层状碎裂及镶嵌结构等。在"类"的划分中以前三类作为主要因素来考虑。

（二）矿床围岩的特性

部分矿床的工程地质特征除受岩体结构影响外，还受围岩特殊性质影响，而有别于具有相同岩体结构类型的其他矿床，如分类中的碳酸盐岩的岩溶化岩类矿床就单独作为一个类划分出来。

（三）主要工程地质问题发生部位

当围岩岩体结构类型与矿床主要工程地质问题发生部位的岩体结构类型不一致时，矿

床"勘探类型"以主要工程地质问题产生部位的岩体结构类型来命名。如广东石蕊次生铜矿床。矿体围岩岩体结构为松散的散体结构类，但矿体底板80%为岩溶化的黄龙灰岩，岩溶水丰富，疏干排水中出现大量的地面塌陷。主要的工程地质问题是地面塌陷。在地质勘探中的工程地质工作应放在岩溶发育规律的调查研究及岩溶水水文地质资料的取得，从而预测岩溶地面塌陷的范围及影响程度。因此把"勘探类型"归入岩溶化岩类。又如安徽省当涂县钟山铁矿。矿体围岩为块状、层状结构类型，但在露天开采中，主要工程地质问题是第四系松散沉积层中的流砂及粘土软弱层。该层在地下水的作用下，引起露采边坡的长期不稳，影响生产正常进行。因此地质勘探阶段中的工程地质工作，是研究覆盖于矿体上部的第四系松散沉积物的工程地质特征，评价露采边坡的稳定性。在这种情况下，我们将其列入松散岩类为主的工程地质勘探类型。

二、勘探分类

第一类　松散岩类为主的矿床工程地质勘探类，简称"松散岩类"。主要由第四系砂、砂砾石及粘性土或新第三系弱胶结的砂质岩石及粘土质岩组成围岩。岩层稳定性取决于岩石成份，岩层组合条件及饱水情况，特别是含水粉细砂层及淤泥质粘土层对土层稳定性影响极大。此类矿床围岩稳定性差，矿山开采中一般需要采取防护措施。

第二类　块状岩类为主的矿床工程地质勘探类，简称"块状岩类"。以坚硬、半坚硬的岩浆岩、正变质岩、火山岩为主，以块状结构为主。一般来说，矿床围岩稳固性好，工程地质条件取决于矿区断裂构造发育程度和岩石风化蚀变程度。

第三类　层状岩类为主的矿床工程地质勘探类，简称"层状岩类"。由碎屑岩、沉积变质岩、层状火山岩及其互层组成的围岩。岩体结构以层状为主。岩层厚度比较稳定。岩体属性为各向异性不均一体，强度变化大。层间弱结合面和软弱夹层的存在及断裂构造、节理裂隙对层状岩体的破坏，是产生工程地质问题的主要因素。矿床工程地质研究重点应放在岩石组合、层面及软弱泥岩层的力学特性、空间展布；构造破碎带的分布与硬层的组合关系；地下水的赋存条件和渗透压力的变化趋势等方面。

第四类　岩溶化岩类矿床工程地质勘探类，简称"岩溶化岩类"。矿床工程地质条件主要受可溶岩结构及岩溶化程度所制约。岩石以石灰岩为主，包括白云岩、白云质灰岩、泥灰岩及变质的大理岩等碳酸盐类岩石，次为硫酸盐岩（石膏）及岩盐类岩石。由于矿床与碳酸盐类岩石所处的位置不同，其岩体结构及矿床工程地质条件也有差异。灰岩与碎屑岩互层，岩体结构以层状为主，工程地质条件取决于岩溶发育程度及富水程度，断裂构造及顶底板岩石物理力学性质，地下开采易发生水压击穿顶底板或断层破碎带的突水突泥淹井事故。若矿床为接触交代型，矿层与围岩的岩性和结构变化较大，除层状结构的灰岩外，还赋存有块状结构的岩浆岩、矽卡岩和各种易滑、易膨胀的蚀变矿物（如绿泥石、叶腊石、蒙脱石及高岭石等）组成的软弱夹层，主要工程地质问题，多发生在矿床的接触蚀变带及构造破碎带部位。如浅部岩溶发育，上覆第四系松散沉积物时，矿床在疏干排水中，易发生严重的地面岩溶塌陷、开裂与沉降等环境工程地质问题，工程地质条件一般较复杂。硫酸盐（石膏）及岩盐类可溶岩类矿床，工程地质条件一般较简单，主要是矿层顶底板岩石强度较低，浅部开采或开采方法不当，易使地表产生沉降、开裂与塌陷。

第三节 “型”的划分

主要反映工程地质条件的复杂程度。由于矿床工程地质条件复杂程度受多种因素影响，不可能单独依据某一因素划分。因此在划分“型”时，我们综合参考了围岩岩性、结构面、风化程度、第四系岩层结构、水文地质条件及岩溶发育程度等因素。

一、结构面的发育程度

结构面的发育，破坏了岩体的完整性，直接影响矿床围岩的稳定。不同级序的结构面对矿区稳定性影响范围是不一样的，一般可划分为四级。

Ⅰ级：指对区域稳定起控制作用的断裂构造带，其走向延展在数十公里以上，纵深可切穿一个构造层，破碎带宽度大于10m。

Ⅱ级：延展数百米至数千米，延深百米以上的原生软弱层、层间错动带、断层及接触蚀变带、古风化壳等，一般控制山体的稳定。

Ⅲ级：为走向及纵深方向延伸数百米的断层、挤压或接触破碎带，宽度在1m或1m以下。这一级结构面，直接影响矿床及围岩的稳定性。

Ⅳ级：以节理裂隙为主，包括片理、原生冷凝节理。延展性差，一般在数米范围内，大者不超过20—30m。它们把岩体切割成岩块，破坏了岩体的完整性，直接影响岩体及岩块的力学性质及应力分布。

结构面发育程度，一般可以分为三级。

发育的：Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ级结构面均存在，断裂带数量多，节理裂隙发育，层间岩层破碎，围岩稳定性差，在地应力或地下水作用的参与下，矿床工程地质条件一般均较复杂。

中等发育的：直接影响矿床及围岩稳定的是Ⅱ、Ⅲ级结构面，断层、节理裂隙发育。

不发育的：Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ级结构面在矿区均存在，但数量少，对矿床围岩稳定性影响不大。

二、岩石风化程度

岩石风化改变了岩体表层的物理力学性质，降低岩体（块）的强度，不论露采，还是地下开采，在岩石风化带内都有程度不等的工程地质问题发生，影响矿床围岩的稳定性，岩石风化程度的强弱是矿床工程地质条件复杂程度的指标之一。由于我国自然地理及气候分带影响，各地风化作用方式、强度是有差异的。北方干旱、半干旱气候区，冷热温差变化大，岩石多以物理风化为主，风化产物为块石、碎石夹粘土；南方湿热温暖，气候潮湿，则以化学风化为主，残坡积物多为粘性土夹砂、碎石。风化深度各地不一，受地质构造及岩性影响，一般在50m左右，部分硫化矿床的围岩接触破碎带内，因酸性水的作用，风化深度可达100m以上。一些岩石风化后成特殊的散粒结构，如花岗岩及粗粒大理岩，严重风化后成为糖粒状、砂状；铁矿及部分硫化矿床在氧化后成粉末状。各种风化作用结果，对矿山开采都有影响，影响程度基本上与岩石风化程度相一致。风化程度的划分有三分法、四分法，但从矿山工程地质角度来看，把四分法一分为二，分成强、弱两级风化

带，较为实用。

强风化带：岩体结构基本解体，成散体及碎裂状结构，风化裂隙发育，沿节理面特别是几组节理交汇处风化尤剧，形成风化深槽，岩体（块）强度显著降低，矿山工程地质问题，主要发生在此带。

弱风化带：岩体受到破坏，基本上保持原岩结构，风化裂隙较发育，沿节理裂隙面风化较剧，岩石力学强度一般仅及新鲜岩石的2/3—1/3。

三、岩溶发育程度

可溶盐岩类矿床，围岩的岩溶发育程度对矿床工程地质条件有显著影响，如地下开采中的突水、突泥破坏井巷，疏干排水中引起的地面岩溶塌陷等。依据岩溶对矿山开采的危害度程不同，将岩溶发育程度分为三级。

岩溶发育的：碳酸盐岩是矿床的直接顶底板，溶洞或暗河管道发育，溶洞钻孔可见率大于50%，岩溶水水量大、水头压力高，与地表水体或相邻含水层有水力联系，顶部有第四系松散层覆盖时，开采中易产生岩溶地面塌陷及突水。如湖南恩口煤矿、山东淄博煤矿。

岩溶中等发育的：碳酸盐岩是矿床的直接或间接顶底板，溶洞钻孔可见率为20—50%，岩溶水丰富，是矿床充水的主要水源，封闭与半封闭的充水溶洞突水及充填溶洞的突泥，是构成矿山开采的主要威胁。矿区疏干排水，可引起局部地区的地面塌陷。

岩溶不发育的：矿床围岩以溶隙为主，岩溶水水量小，溶洞钻孔可见率低于20%，对矿床开采构不成威胁。我国北方的部分岩溶充水矿床，多属此类。

四、第四系沉积层的分布

一些被第四系松散层覆盖或半覆盖的矿床，由于第四系地层中夹有松散（粉细砂、粘土）层，在饱水的情况下，极易产生工程地质问题，工程地质条件复杂。若在浅部岩溶发育的矿区，上覆有不厚的松散层，在采矿疏干排水中，当地下水位降至第四系覆盖层以下时，往往易产生地面塌陷。直接由第四系覆盖的矿床，由于地层中有饱水砂层及软粘土或淤泥的存在，露采场边坡很难稳定，甚至使矿床难于开拓。

第四系沉积物特征，对矿床工程地质条件的影响程度，一般可划分为三级。

没有影响的：矿区处于中高山区，第四系松散沉积物不发育，矿床开采与第四系沉积物不发生直接连系。

中等影响的：矿区虽然处于丘陵盆地中，但第四系松散沉积层薄，松、软层位少，局部可能引起地面塌陷、边坡失稳及增大露天剥离量，一般对矿床开采不致造成严重影响。

影响大的：直接为第四系松散层覆盖的矿床，尤其是覆盖型岩溶化矿床，第四系沉积物的存在对矿床的工程地质条件有决定性的影响。矿床开采中的工程地质问题，主要发生在该层内或与第四系松散层有关，如安徽钟山铁矿、河北司家营铁矿。

五、水文地质条件的复杂程度

地下水的作用对矿床围岩稳定性有重要影响，是矿山工程地质问题发生的活动性因素或可变因素。影响作用大小，一般与矿床水文地质条件复杂程度有关，可划分为三类。

水文地质条件复杂的：矿体位于当地侵蚀基准面或地下水位以下，含水层结构复杂，

富水性强，主要含水层通过断裂带与地表水发生水力联系，地下水补给来源充分，矿床围岩中存在饱水的软弱岩层，滞水性强，不易疏干。地下水作用往往对矿床围岩的稳定性产生破坏性影响，是矿床工程地质问题产生的主要因素。水文地质条件复杂的矿床，一般也是工程地质条件复杂的矿床。

水文地质条件中等的：含水层二至三层，富水性中等，单位涌水量0.1—1.0l/s•m，矿体大部份埋藏在当地侵蚀基准面以下，地下水易疏干，对矿床围岩稳定性有影响。

水文地质条件简单的：含水层单一，富水性弱，单位涌水量小于0.1l/s•m。矿体大部分位于当地侵蚀基准面以上，排水条件好，地下水对围岩稳固性影响不大。

六、其他

影响矿床工程地质条件的因素，除上述五个主要方面外，还有部份特殊的地质与自然地理因素，它们在某些矿床中的存在，加剧了矿床工程地质条件的复杂程度。从典型矿山调查中，主要有以下四个因素。

（一）特殊岩（土）类的存在

主要是含蒙脱石的粘土质岩（土）类，如高岭土、膨润土、膨胀土等。这类岩（土）吸水膨胀率可达10.3—13.7%，同时产生膨胀压力，并伴有崩解、低渗透性及亲水性等特点。这些特点对矿床及围岩的稳固性极为不利。含特殊岩（土）层数越多，对矿床稳固性影响越大，如苏州阳山高岭土矿、浙江平山膨润土矿等。

（二）地应力

主要指位于活动断裂附近的矿床，受构造应力集中的影响，岩石破碎，构造发育，地震频繁，矿床工程地质条件复杂。矿床及围岩由于高应力的释放易产生岩爆、井巷变形破坏、露采边坡失稳，如甘肃金川铜镍矿。

（三）多年冻土

多年冻土在高纬度及高原地区广泛分布，总面积约为$215\times10^4km^2$。主要分布在东北大小兴安岭，西部高山及青藏高原等地。东北多年冻土区海拔不高，主要为丘陵山地，属高纬度多年冻土，分布界线大约相当年平均温度0℃或一月平均温度负24℃线以北地区；西部高山及青藏高原多年冻土区，纬度不高，但地势高，属内陆、低纬度多年冻土。其主要工程地质问题有：

1．冻融物理地质现象。主要有冰锥、冰丘、热融湖塘、热融滑塌、热融泥石流等，影响露采场边坡稳定，特别是对松散岩类型的砂矿，露采时影响更为显著。

2．季节性融化层影响矿山地面设施及道路建设。

3．地下冰的影响。地下冰一般埋藏深度与冻土上限深度基本一致，是影响砂矿生产效率及采矿回收率的主要因素。

（四）开采方式

现阶段矿床开采主要有三种方式，即坑采、露采、地质工艺方法开采。开采方式不同，产生的工程地质问题不同，划分工程地质条件复杂程度的标准也有差异。如某些盐矿及放射性矿床采用坑采或露采，工程地质条件可能复杂，而采用地质工艺方法开采（水溶、酸浸），工程地质条件相对简单。

综上所述，在同类矿床中，地质构造、水文地质条件、岩石风化程度、岩溶发育情况

及第四系分布等条件的变化是决定矿床工程地质条件复杂程度的主要依据。为此按各类矿床工程地质条件复杂程度的差异进一步划分为简单的、中等的、复杂的三型。

综合"类"与"型"的划分，可将中国固体矿床工程地质勘探类型，划分为四类三型，总计十二种勘探类型（表2-1）。

"勘探类型"的命名，一般按"类"、"型"的顺序来定。如吉林省盘石镍矿的矿床工程地质勘探类型，可命名为：以块状岩类为主，工程地质条件中等复杂的矿床。

表 2-1 中国固体矿床工程地质勘探类型表

勘探类型		工程地质特征	主要工程地质问题	实例
类	型			
松散岩类为主	简单	沉积物松散，岩性单一，无①不良层位，含水层少、水量小，基岩面平坦，底板岩性单一		吉林省珲春河砂金矿
	中等	沉积层中有不良层位，但延伸范围小，易于处理；含水层1—2层，水量中等；底板岩性较复杂；部分矿床处于多年冻土区	露采局部边坡失稳	黑龙江团结沟金矿
	复杂	岩层结构复杂，具多层结构，有流砂、淤泥层，地下水丰富、不易疏干，基岩面起伏大，底板岩性复杂	边坡不易稳定，围岩不稳固，自然边坡角小	安徽钟山铁矿、云南向阳煤矿、吉林舒兰煤矿
块状岩类为主	简单	坚硬岩石为主，构造不发育，风化程度轻，地下水不丰富，未见不良的物理地质现象	局部边坡不稳，坑采中风化带稳固性差	江西樟树墩蛇纹石矿 内蒙莲花山铜矿
	中等	坚硬、半坚硬岩石互层，Ⅱ、Ⅲ级结构面发育多风化裂隙，风化深度大，围岩稳固性差	边坡沿构造面滑动，坑采中沿构造带稳固性差	吉林省盘石镍矿
	复杂	地质构造发育，岩石完整性差，风化带蚀变带及构造破碎带软弱结构面多，含水不均匀，部分矿山地应力集中	边坡滑动；坑道变形严重	甘肃金川铜镍矿
层状岩类为主	简单	坚硬、半坚硬厚层状岩石为主，构造不发育，层间软弱层位少，含水层少、水量不丰富	坑道局部不稳	河南平顶山煤矿
	中等	地层岩性复杂，Ⅱ、Ⅲ级结构面发育，地层中有软弱夹层，含水层多、水量中等丰富，软弱岩遇水膨胀软化	边坡失稳；坑采沿构造稳固性差	内蒙霍林河煤矿 浙江平山膨润土矿
	复杂	地层岩性复杂，薄层状构造，层向软弱夹层多，局部形成软硬互层，岩石强度变化大，各向异性，含水结构复杂，水量丰富	边坡不稳；围岩变形破坏严重	云南小龙潭褐煤矿 江苏阳山高岭土矿
岩溶化岩类	简单	岩溶不发育，岩体以厚层状结构为主，地质构造不发育，地下水不丰富，且分布不均	采矿后局部发生地面沉降	湖北应城石膏矿 云南一平浪盐矿
	中等	灰岩夹于碎屑岩中，埋藏于地下水位以下，岩溶中等发育，以溶洞、溶隙为主，地质构造发育中等，局部导水，岩溶水量中等，岩石坚硬、强度大	顶底板及断层带易突水、突泥；地面塌陷	河北焦作、峰峰、开滦煤矿，四川金河磷矿
	复杂	灰岩为主，岩溶发育，以溶洞、暗河为主，构造发育，岩溶水水量大、水头压力高，是矿坑充水的主要来源，部分地区有第四系松散岩层覆盖	岩溶地面塌陷，边坡失稳	广东凡口矿、石碌矿，湖南恩口矿

①不良层位指饱水的粉细砂层、软弱的淤泥粘土层。

第三章　松散岩类为主的矿床工程地质特征及工作要求

松散岩类为主的矿床以砂矿和第三系弱胶结的褐煤矿为主，其次为化学淋滤及氧化矿床。以矿床成因复杂、矿种多、分布广为特征。如云南、广西的砂锡矿，两广的铌钽砂矿，沿海一带的砂钛矿，云贵高原的砂铅、砂铁矿。砂金及金刚石矿分布较广泛，很多省份均有发现。洞穴沉积的非金属矿，如磷矿、高岭土矿等，主要产于碳酸盐岩的溶洞中。由于矿床埋藏浅，局部品位高，易采易选，生产成本低廉，便于开发利用，因而在国民经济中占有一定的地位。

第一节　松散岩类为主的矿床工程地质特征

一、岩性变化大，结构构造具明显的不均一性

松散岩类地层中常夹饱水砂层、粘土软弱层，矿床的矿体形态、规模，围岩结构，含砾、含泥规律与松散层的形成条件有密切关系。河流冲积型矿床，一般具二元结构，上部为含砂粘性土，下部为砂砾石层，横向、纵向岩性变化都比较大，沉积层中常夹有对采矿不利的饱水砂层和淤泥层的洪积型砂矿，由于形成过程中分选作用差，岩性主要为砂碎石，含巨砾的粘土类沉积。滨海砂矿由于海水长期的浪击淘洗，分选作用充分，岩性主要为砂。

坡积和洞穴沉积则以粘性土碎石为主，如云南牛屎坡残积型砂锡矿，其由上往下岩性剖面如下：

第一层　黄色、黄褐色及褐黄色粘土，上部结构松散，下部致密，粘性大，厚4—14m。

第二层　棕红色粘土，结构致密，隔水，厚4—12m；

第三层　褐黑色、褐色、红褐色粘土，含碎屑及矽卡岩碎块，厚度1—20m。

以冲积型沉积为主的吉林省珲春河砂金矿床，岩性具二元结构，从上往下可分三层（图3-1）：

第一层　亚砂土，厚0.5—1m；

第二层　砂层，底部有1—4m厚的淤泥质亚粘土，厚2—7m；

第三层　砂砾石层（含水），粒度变化较大，含巨砾，为主要含金层位。

二、岩（土）体结构松散、松软、饱水、强变低

岩体结构呈散粒及多层结构，具明显的塑性及流变特性。这一特点决定了这类矿床在开采过程中巷道自撑能力差，边坡很不易稳定，受流砂及软岩的影响，矿山巷道的掘进与支护十分困难，如吉林省舒兰煤矿。

矿区为丘陵地形，地势北高南低，标高209—270m。属大陆性气候，年降水量491.8

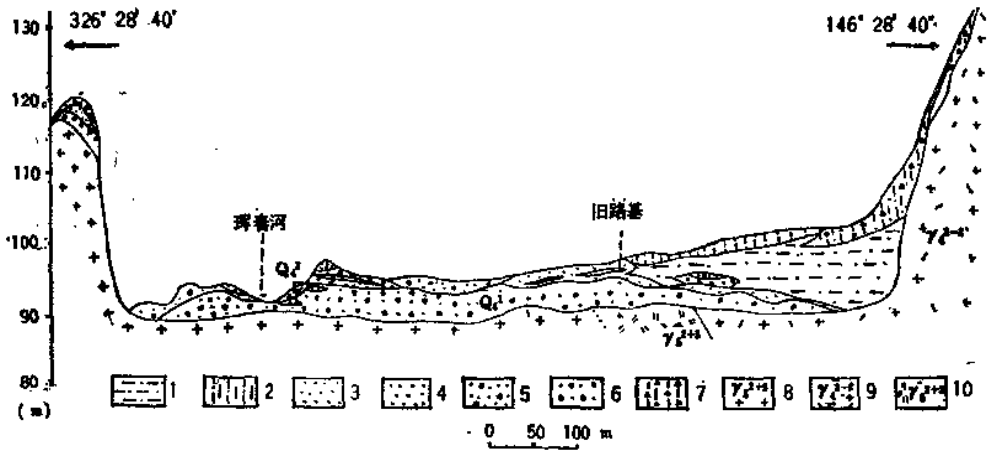


图 3-1 珲春河砂金矿地质剖面图

1—淤泥质砂粘土，2—粘质砂土，3—粉细砂，4—中粗砂，5—含砾石砂，6—砂砾石，7—含碎石粘砂土；8—钾长石花岗岩；9—角闪斜长花岗岩；10—二长花岗岩

—828.3mm，多集中7、8两月，有五条季节性小河沿煤系地层流过矿区。

煤田处于中国东部新华夏系长白山巨型隆起带西侧的佳一伊地堑中，主要受华夏式伊一舒断裂带控制，属地堑式断裂拗陷带，两侧被N45°E方向的堑缘断裂夹持。

煤田基底为白垩系红层泥岩或海西期花岗岩，两侧山区为石炭一二叠系变质岩。矿田为NNE向狭长形向斜，NW翼大部分遭破坏；SE翼显扭曲，轴向向NE倾没。矿区位于向斜的东南翼。地层倾角浅部陡，深部平缓。大断层两侧多次生小断层。煤系为第三系中新统褐煤，呈单斜构造，走向N45°E，倾向NE，倾角10—20°。煤系地层总厚约700m，含有13个可采煤层，单层厚1—2m，岩性由灰白、浅绿、灰褐色砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩、泥岩及煤组成（图3-2）。

矿区主要含水层为第四系孔隙含水层与第三系孔隙一裂隙承压含水层。其特点是水文地质结构复杂，含（隔）水层多，但含水层间水力联系弱、涌水量小、透水性差，煤系含水层以静储量为主，矿井涌水量平均为50—80m³/h，富水系数0.8—1.6。

矿区岩石成岩条件差，内在水分大，岩石胶结物多为泥质，力学强度低、变化大，是典型的松散、松软结构，砂床工程地质条件复杂。矿区按岩性、水文地质条件、力学强度资料划分为五个工程地质岩组：

1．第四系松散岩组：岩性以亚粘土一粘土、砂、砾石为主，厚2～30m，分布于全区，对矿山生产影响不大。

2．绿色砂岩组（Ⅰ）：由绿色砂岩及泥岩组成，厚度达200m，力学强度低，由于埋藏浅，对深部采矿影响不大。

3．半坚硬褐色泥岩组（Ⅱ）：由厚层泥岩及粉砂质泥岩或泥质粉砂岩组成，厚350—400m。渗透系数小于0.001m/d，属隔水层。天然状态下的岩石抗压强度34.6—135.53kg/cm²，干燥状态下为181.5kg/cm²，抗拉强度1.2—3.9kg/cm²，内聚力3.6km/cm²，内摩擦角18度。该岩组分布全区，覆盖于主要含煤段之上，受构造影响，岩石较破碎，采掘时巷道均需支护（见图版Ⅰ—4、5、6）。

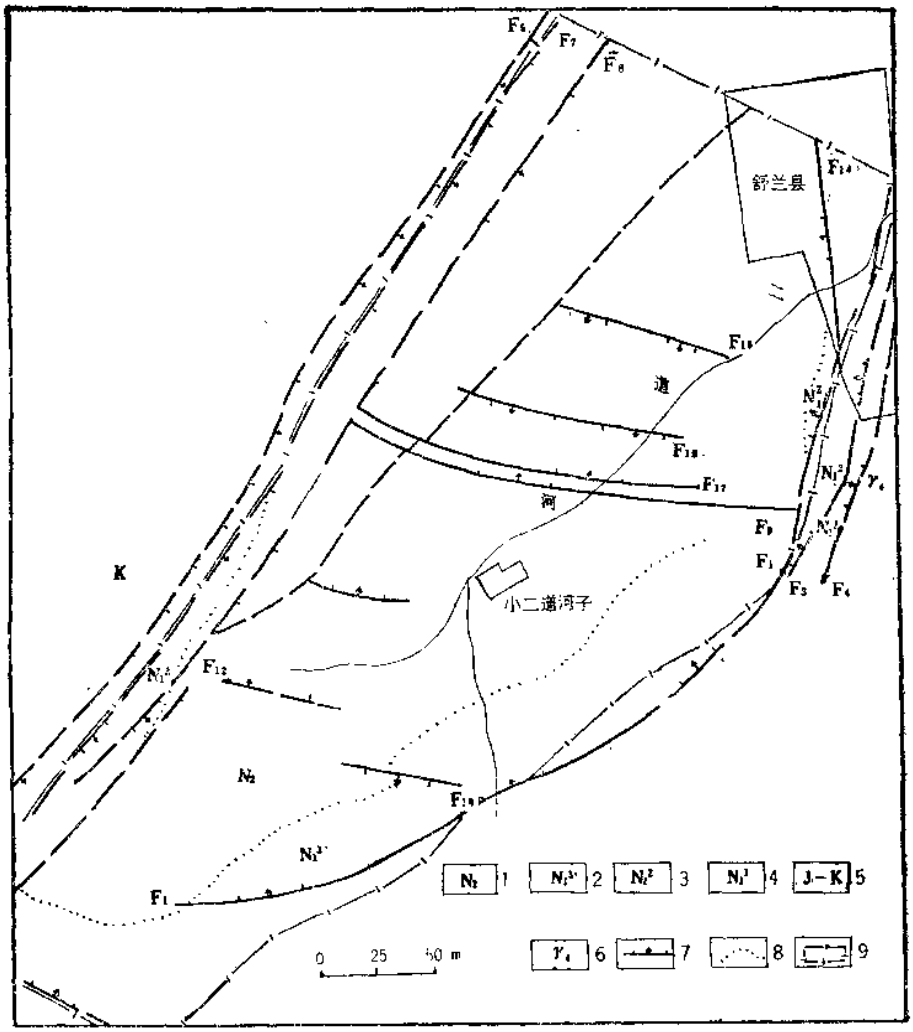


图 3-2 舒兰煤矿区地质构造略图

1—上新统砂岩；2—中新统泥岩段；3—中新统含煤段；4—中新统绿灰色砂、泥岩段；5—侏罗、白垩系砂岩；6—花岗片麻岩；7—断层；8—地层界限；9—工作范围

4．胶结疏松岩组（Ⅲ）：主要为灰白、灰绿色砂岩夹泥质粉砂岩，结构松散或半胶结。本组占煤系地层的40—60%，厚度稳定，为几个主要可采煤层的直接或间接顶、底板。其中1、13、15号煤层顶、底板砂岩对开采影响最大（图3-3）。

该岩组工程地质特征：

（1）钻探岩芯采取率极低，孔壁易坍塌。

（2）电测KC曲线幅值高，ГГК曲线幅值低．一般为13—23万脉冲/分。

（3）岩石力学强度低，天然状态下的抗压强度2.18—6.86kg/cm²，干燥状态5.21—10.90kg/cm²，饱水状态下，多数呈流砂。

（4）岩石含水，疏干困难，扰动时易形成流砂。给水度6.19—9.70%，水上休止角

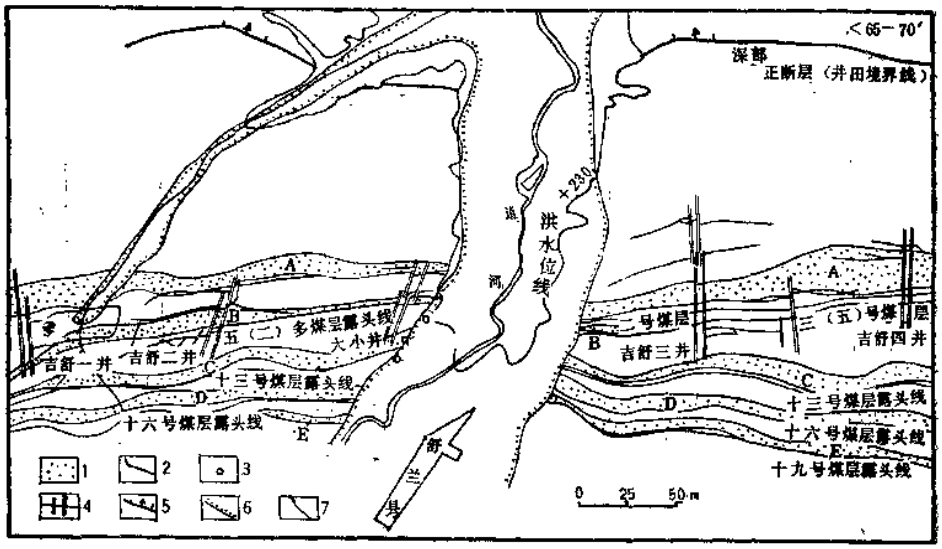


图 3-3 舒兰煤田吉舒煤矿砂层分布略图

1—砂层；2—煤层；3—抽水井；4—矿井及疏水巷道；5—断层；6—第四系界线；7—洪水位界线；A、B、C、D、E—含水层代号

45度，水下休止角26—38度。如1号煤层下的厚层砂岩层，埋藏在 400m 以下，水头压力高达40个大气压，在建井及回采中常发生流砂溃入井巷事故。

5．半坚硬塑性岩组（Ⅳ）：以泥岩为主，含高岭土及水云母矿物成分多。主要分布在2、3号煤层上部及13、15号煤层之间的泥岩及砂质泥岩，其工程地质特征为：

（1）钻探岩芯采取率较高，孔径易收缩。

（2）电测 KC 曲线幅值低，ρ_k 值为7—12Ω·m，ГГК 曲线幅值高为 15—28 万脉冲/分。

（3）岩石天然状态下抗压强度27.50—124.5kg/cm²，干燥状态下69—248kg/cm²，饱水状态8.0—71.5kg/cm²；抗拉强度1.16—5.85kg/cm²；抗剪强度内聚力3.40kg/cm²，内摩擦角30°30′。

（4）岩层较稳定，遇水具塑性流变、膨胀。巷道易产生片帮，在高压水头和井壁侧压联合作用下，产生底鼓，使巷道变形破坏（图版Ⅰ-1、2、3）。

6．疏松半胶结、未胶结、塑性岩石互层厚度不稳定岩组（Ⅴ）：岩性以砂岩、泥岩及泥质粉砂岩为主。工程地质特征与Ⅲ、Ⅳ岩组接近，但在空间分布上不稳定，其中以分布在13号煤层顶板和19、20、23、26号各煤层顶、底部的砂岩层对采煤威胁较大。分布在可采煤层顶、底板的薄层软弱泥岩，是引起露天采场边坡滑动，坑采坍塌、冒落、底鼓的主要原因之一，也是进一步造成溃砂、大冒顶和片帮等连锁反应的因素（图3-4）。

矿区断裂构造发育。根据断层走向的长度、断距大小，一般可划分为四级结构面。对采矿不利的主要为Ⅲ级结构面，断距在30—50m，延伸小于1km，走向为NE和NW两组，主要的断层有F_{23}、F29，是井巷工程地质问题发生的主要部位。

矿区由于岩石松软、破碎，加之构造发育，矿山在基建及生产中出现的工程地质问题较多、破坏作用大的有以下几种：

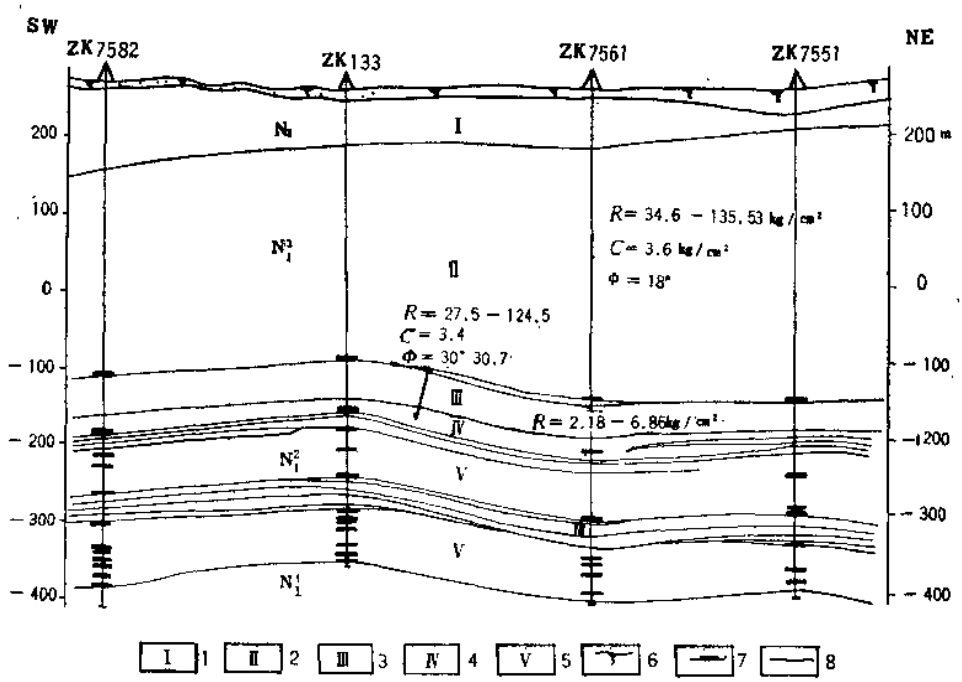


图 3-4 舒兰煤田舒兰街煤矿走向工程地质剖面图

1—绿色砂岩组；2—褐色泥岩组；3—疏松半胶结及胶结岩组；4—半坚硬塑性岩组；5—疏松半胶结、未胶结、塑性岩石互层岩组；6—第四系沉积砂、粘土岩组；7—煤层；8—岩组界线

1．井巷中“溃砂”突水。“溃砂”指含水砂层被揭露后，水、砂混合流出淹没井巷的一种工程地质现象，同时引起冒落，勾通地下水联系，增大矿井涌水量，继而地表产生沉陷，破坏地面建筑。煤系地层中的砂层约占40—60％，一般均饱含地下水并具有较高的水头压力，在地层薄弱部位施工时，极易形成流砂溃入巷道。因之在矿山采掘中几乎所有井巷都发生过“溃砂”突水淹井事故（表3-1）。

2．巷道变形破坏。据调查，由于岩层松、散、软，巷道的自撑能力小，局部地段开挖后半小时就须支护，支护密度达0.4—0.5m。破坏形式有以下两种：

（1）软岩塑性变形：煤系地层中的泥岩、砂质泥岩，含高岭土及水云母粘土矿物成分较多，在水及地压力作用下塑性变形严重。巷道断面挤压变成桃形，顶拱压弯折裂（图版Ⅰ-1、2、6）。如丰广三井，七层回风巷道长600m，掘进到100m时发生变形，严重时底部铁轨与顶板相接；八路井下停车场1972年设计，1976年施工完毕，900m巷道刚修成还未运行即变形破坏不能使用。丰广四井皮带平巷因塑性岩层在侧压作用下常发生底鼓，破坏运输，一年左右即须铲平底板维修巷道（图板Ⅰ-3）。矿山压力随深度增加，巷道变形程度加大，一般100—150m以上，矿山压力小，软岩破坏不大；200m以下，井下巷道变形破坏大，支护困难，支护后也常遭破坏，料石衬砌开裂，金属“U”型支架弯曲或挤入围岩而被包抄（图版Ⅰ-2、4）。

（2）围岩冒顶、片帮。煤系地层中的脆性砂页岩在构造作用下，强烈破碎，在掘进及回采中遇该层时，常发生冒顶、滑塌（图版Ⅰ-5）。1986年5月5日吉舒二井三掌子面

表 3-1 矿井建设和生产过程中突砂、突水情况调查表

矿井名称	突砂突水情况						突水次数	涌水量			原因及地质条件	处理突水所采用的方法
	位置	日期	延续时间（h）	水质	方式	突水后的影响		最大量 (m^3/h)	稳定量 (m^3/h)	总水量 (m^3/h)		
吉舒一井	右一路五层	1960	7天		巷道放水	影响掘进2个月		200	30	2×10^4	巷道放水见砂层跑水	停止掘进扫砂
吉舒二井	+167石门	1966	6个月		打钻放水	影响生产6个月		300	40	25×10^4	掌头料石密闭质量不好	停产扫砂
吉舒二井	+167石门	1967	3个月		打钻放水	影响生产3个月	二次	250	30	51×10^4	超阶段放水，水头高70m	一个采区停产扫砂
吉舒四井	+163石门	1965	6个月		掘进顶板冒落	停产5个月		400	20	76×10^4	掘进时顶板冒落	全井停产扫砂5个月
吉舒四井	+180m33钻孔	1963	10天		钻孔放水	停产6个月		400	4	9.6×10^4	掘进遇未封钻孔	一个采区停产排水
吉舒四井	朝阳区+116二层运输巷	1977	10天		放水钻孔出水	一个采取停产2个月		200	18	3.6×10^4	与上部厚砂层相通	一个采区止产2月
吉舒三井	三路三层旧巷	1960	15天		旧巷出水	停产3个月死亡10人		600		6×10^4	旧巷出水	停产排水
舒兰一井	停井+160、13层掌子头	1975	24小时	浮白	冒顶突砂	32m巷道报废停产3天	首次	151	30	4800	掘进放炮使11层顶板砂层冒顶突砂出水	打三道防砂墙并水泵排水
舒兰一井	付井+160、11层掌子头	1975	18小时	浮白	冒顶突砂	10m巷道报废、井停产2天	二次	720	20	2196	掘进中放炮和封顶质量差	在出水巷道中打二边防砂墙
舒兰一井	付井+150、11层掌子头	1975	36小时	浮白	冒顶突砂	恢复巷道第二次跑水	三次	302	30	8868	由原溃砂处第二次溃砂	打四边防砂墙
东富一井	左0路二石门	1964	3640小时		钻孔涌水	溃砂淹巷370m	一次	185	20	1500	溃砂冒至地表与第四系联通	扫砂排水疏干+200水平砂层
东富一井	右二路15层	1969	4320小时		钻孔涌水	溃砂淹巷250m	一次	250	25	1.8×10^4	15号煤层顶层	扫砂排水
东富一井	右二路15层二石门	1969	1440小时		钻孔涌水	溃砂淹巷150m	二次	110	20	1×10^4	15号煤层顶层	扫砂排水
东富二井	+160斜下冒顶	1971	800小时		冒顶溃砂	斜下报废	二次	400	15	1×10^4	F断层带与地表连通	永久封闭
东富三井	右三层回风道	1974	2440小时		冒顶溃砂	淹井巷1313m	一次	300	45	1.08×10^4	冒顶至地表深80m	排水扫砂
丰广四井	右三路三层运输巷	1964	4年零7个月	混	钻孔涌水	淹井停产2天		280	10	50×10^4	钻孔封闭不好	打4边防砂壁井排水
丰广三井	右二路反石门	1967	10年	混	巷道突水	对地表建筑物有破坏作用		1411	6	150×10^4	积水遇砂层突水井与第四系水连通	打防砂墙、密闭墙
丰广二井	三路左路七层运输巷	1965	1年		巷道突水	上水平11层及7层底板成空洞		112	8	1×10^4	揭13层底板砂层突水	打四边防砂墙

的冒落、冒顶高度达0.9—1.75m，在煤层倾斜长48m，走向长7.5m范围内全部塌落，摧毁了掌子面的一切措施，造成人员伤亡事故。产生原因除人为因素外，主要是岩石破碎，煤层中夹有0.01—0.05m厚的软弱夹层（泥岩），且由于倾角大，产生沿软弱面的顺层滑动及冒顶。

3．地面塌落、沉陷。矿区在疏干排水及矿井溃砂、突水、放顶的影响下，在疏干区内常发生地面塌落及沉陷，同时产生地面裂缝，破坏地面建筑。破坏的范围与程度，直接与疏干强度、影响半径有关。（表3-2）。

表 3-2　吉舒矿井开采塌落、沉陷表

矿井名称	井下				井上			
	塌落位置		塌落范围及高度		沉陷深度(m)	沉陷直径(m)	与井下相应的位置	是否与井下连通
	水平(标高m)	深度(m)	塌陷直径(m)	高度(m)				
丰广二井	二水平+170	60			1—3		砂岩露头	
丰广三井	三水平+160	70	10	20				
丰广四井	三水平+160	80						
吉舒二井	+167石门				4	6	顶板砂岩露头与第四系接触	相通
吉舒四井	+116二层运输巷道				2	5	二层顶板砂岩露头处	相通
吉舒四井	33号孔出水				10	10	33孔正上方	相通
东富一井	+200水平		溃砂2200m³		8	11	偏右150m	相通
东富二井	+160水平	80	7	80	11	13	垂直	相通
东富三井	+170水平	80	6	80	9	10	垂直	相通

三、地下水对土体稳定影响大

松散岩（土）体一般孔隙裂隙发育，有很好的储水空间，加上分布在表层，易于接受大气降水及地表水的渗透补给，因之在地形较低的松散岩层中，一般都饱含地下水。饱水的粘土层抗剪强度明显下降，粉细砂层在水动力作用下，易形成流砂对上体稳定造成危害，如安徽省钟山铁矿（图3-5、3-6）。

钟山铁矿是宁芜矽岩铁矿田南段的一个中型铁矿。矿区南部为长江及其支流青戈江的冲积平原，地形平坦，标高8—9m，北部为波状起伏的低山丘陵。区内降水量充沛，年平均为1200mm，最高可达1900mm。水系发育，沟渠纵横，水体面积占20%。

矿床处在宁芜中生代断陷盆地的南段，当姑背斜轴部。出露的地层有三叠系黄马青组砂页岩，上侏罗系龙王山组凝灰质角砾岩和下白垩系葛村组凝灰质含砾砂页岩。矿床南部为厚达40—60m的第四系松散沉积物所覆盖。铁矿体产于黄马青组砂页岩和闪长矽岩接触带，矿体产状与地层基本一致，走向近SN，倾向SE，倾角30—55°。矿区构造较复杂，主要有成矿前的钟—姑山逆掩断层及成矿后的两组张扭性断裂，次生的小断层及节理裂隙也较发育。

矿体大部分位于当地侵蚀基准面以下，主要含水层有第四系孔隙含水层，此层富水性中等，渗透系数为5.25—45.08m/d，其中的粉细砂—中细砂孔隙含水层，分布范围广，是流砂产生的主要层位。基岩裂隙含水层为矿床的直接顶底板，岩石破碎，裂隙发育，透水性及导水性较强，单位涌水量0.89—2.11/s。地下水以降水补给为主，各含水层之间，地

表水与地下水之间的水力联系密切，水对矿床开采危害较大。矿体大多埋藏在第四系松散沉积层下，工程地质条件复杂。组成露采场边坡的第四系松散、松软岩组，在动水压力作用下，采场边坡长期失稳，流砂对露采场危害极大，1970—1982年共采出铁矿石 18×10^4t，而采出的流砂约 363×10^4t。矿区根据岩石力学强度，工程地质特征划分了四个岩组，其特征如下：

1．黄马青组砂页岩组。由紫红色、紫灰色砂页岩、粘土质页岩与细砂岩组成。主要分布在矿床东南部，构成矿体的直接顶板，岩体结构面发育，呈层状及层状碎裂结构。层状结构面走向近SN，倾向E，倾角30—55°；层状碎裂结构主要为三组裂隙切割而成，裂隙产状①倾向N20—50°W，倾角30—80°；②倾向S20—50°E，倾角30—80°；③倾向S10—60°W，倾角60—75°。近矿部位岩体破碎，蚀变较强，遇水膨胀滑移，岩石强度较低，抗压强度为160—420kg/cm²，蚀变部位是矿床的主要软弱结构面。

2．闪长玢岩工程地质岩组（包括矿体）。主要分布在矿床西部及深部，为矿体底板。岩体受三组裂隙切割，呈块状结构。三组裂隙产状为：①倾向S55—85°W，倾角55—80°；②倾向N50—80°E，倾角50—80°；③倾向N35—70°W，倾角60—80°。岩组浅部已风化蚀变，强度降低，抗压强度为200—800kg/cm²。近矿部位形成宽25m的破碎带，铁矿体坚硬完整，抗压强度高达1110kg/cm²。

3．葛村组凝灰质含砾砂页岩组。为火山喷发沉积，零星分布在矿床北部，由砖红色含砾砂岩、页岩、凝灰岩组成，局部出现灰绿色安山质角砾岩。胶结物为泥质、凝灰质，岩石强度低，吸水性强，易软化崩解。

4．第四系松软、松散砂粘土工程地质岩组。由砂砾卵石层、中细砂、粉细砂、亚砂土和粘土组成，赋存在－50m标高以上。其中粉细砂和亚砂土层在饱水状态下易形成流砂，粘土层易产生塑性流变，是

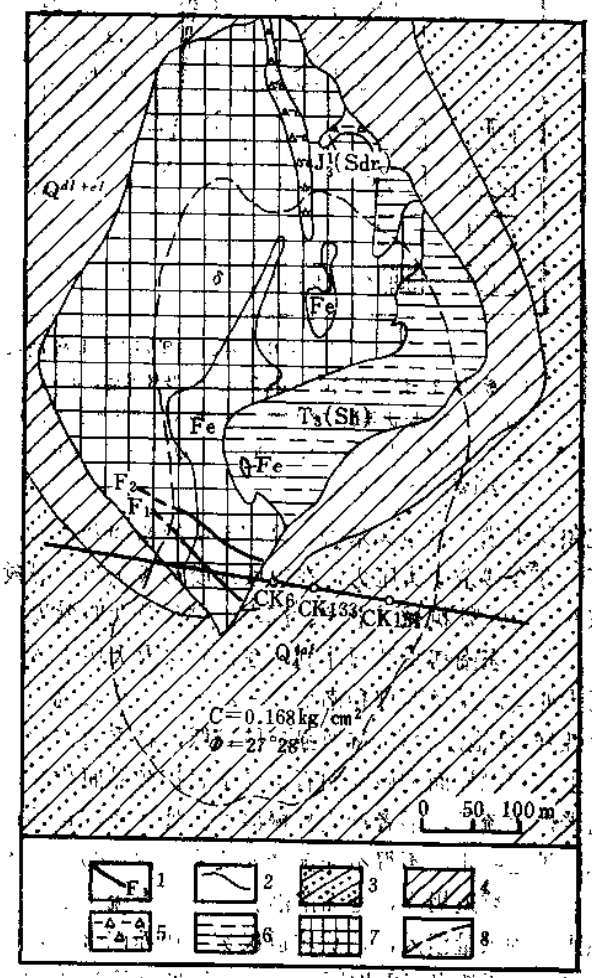


图 3-6 钟山铁矿床工程地质平面图

1—断层；2—地质界线；3—松散粘性土及流砂层；4—软土碎石层；5—碎裂结构岩组；6—层状碎裂结构岩组；7—整体块状结构岩组；8—露天采场境界线；Q_4^{al}—第四系冲积亚砂土；Q_3^{dl+el}—第四系残坡积亚粘土碎石层；J_3-(Sdr)—侏罗系凝灰安山角砾岩；T_3-(Sh)—三叠系黄马青组砂页岩；Fe—铁矿体；δ—闪长岩

主要工程地质问题发生的部位。一般砂层内聚力 0.168—0.095kg/cm²，内摩擦角32°16′—36°32′；粘土、亚粘土层内聚力0.3kg/cm²。

矿床开采中的工程地质问题是：

1．边坡失稳。露采场的北部边坡主要由基岩构成，南半部－50m以上为第四系软散

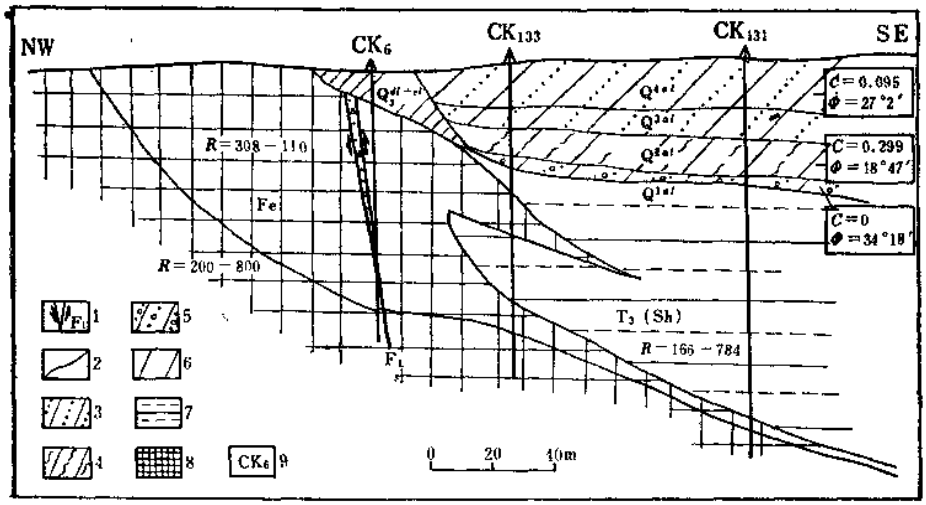


图 3-6 钟山铁矿床7线工程地质剖面图

1—断层；2—地质界线；3—松散亚砂土及流砂层；4—松散的软弱层；5—松散砂砾卵石层；6—软土碎石；7—层状碎裂结构岩组；8—整体块状结构岩组；9—钻孔；Q_4^{1al}—砂砾卵石层；Q_4^{2al}—粘土亚粘土层；Q_4^{3al}—粉细砂、中细砂层；Q_4^{4al}—亚砂土层；Q_3^{dl+el}—亚粘土碎石层；T_3(Sh)—黄马青组砂页岩；Fe—铁矿体

沉积层组成，以下为基岩。第四系中的粉细砂含水层，下部为粘土层所隔，地下水难于疏干，存在残余水头压力，在边坡地段形成流砂，导致第四系边坡长期不稳，自然边坡角仅6°，大型机械（电铲、汽车）进行作业时常发生沉陷，严重影响生产。1983年7月10日，采场东南帮受暴雨冲刷，在粉砂层内大块土体下滑，形成宽10m、长50m、深10m的巨大冲沟。采场西部和南部在－25——35m标高处，有一层富含有机质的粘土软弱层，亲水性好，呈饱水状态，抗剪强度值较低，在重力作用下被挤压，产生多台阶滑动。在粉细与粘土层接触界面和砂砾卵石层与基岩接触界面均存在地下水残余水头，在动水压力作用下，前者产生流砂；后者产生机械潜蚀。处于该部位的边坡台阶，一直处于不稳定状态，扩帮工作被迫终止，不得不提前转入坑采，致使60×10^4t富矿不能采出（图3-7、3-8）。

2．坑道坍塌，地面陷落。坑井联合疏干过程中，曾因疏干坑道侧帮坍塌，上部第四系水、砂大量溃入，造成坑道报废，地面陷落，直接损失58×10^4元。疏干坑道顶板标高－46m，顶部岩石平均厚度6m，上部为厚约40m的第四系砂、粘土层。设计拟用滤水孔将粉细砂层的水滤到砂砾石层中，再用放水孔联络巷道泄入疏干主坑道集中排水。施工疏干平巷在穿过紫红色凝灰岩段时，由于10号放水孔距主坑道侧帮太近（2.5m），凝灰岩遇水泥化而崩解，加之侧帮支护较差，因此，在10号孔和主坑道间的侧帮发生大面坍塌，第四系水、砂突入坑道，填满整个主坑道，同时地面发生大面积陷落，以10号孔为中心形成直径40m的陷坑，中心部位下沉3m，陷坑周围出现大量裂隙，影响范围直径达200m(图3-9)。

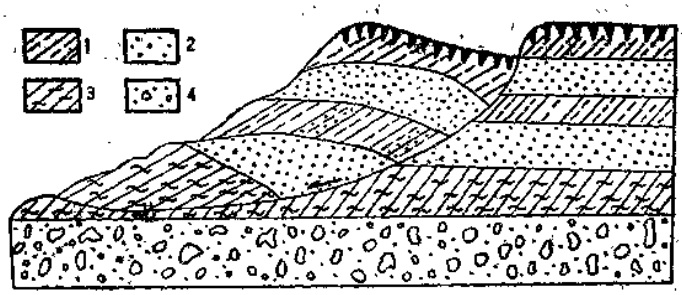


图 3-7 边坡沿流砂及粘土层滑动示意图

1—亚粘土；2—砂层；3—淤泥质粘土；4—砂砾石

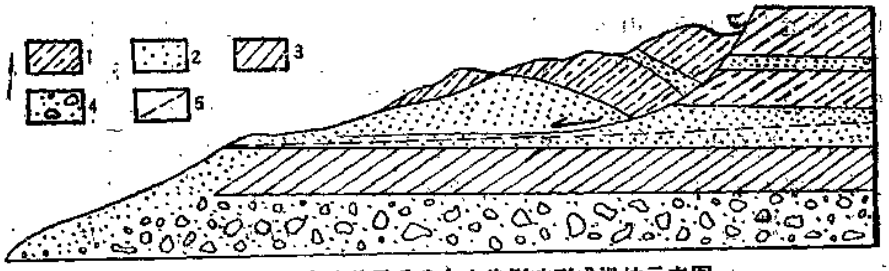


图 3-8 边坡砂层受残余水头影响形成滑坡示意图

1—亚粘土；2—砂层；3—粘土层；4—砂砾石；5—地下水残余水头线

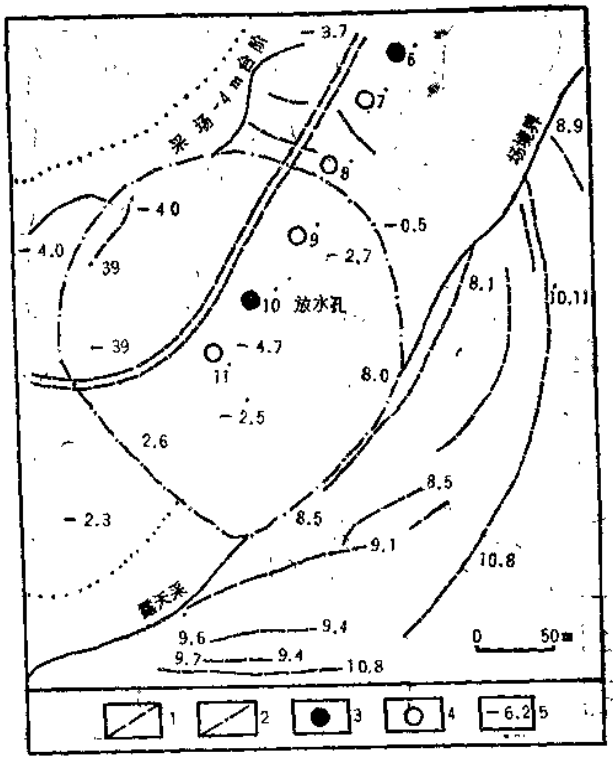


图 3-9 10号放水孔附近塌落实测平面图

1—塌落裂隙；2—塌坑界线；3—放水孔；4—滤水孔；5—高程

3．地面沉降。为改善边坡，矿山对第四系砂层水进行大规模疏干，采区附近地下水位大幅度降低，引起地面沉降及倾斜，最大沉降幅度达10cm，影响半径约1000m，对当地农业造成一定损失。

四、露天采场边坡稳定性差

露天采场边坡失稳是这类矿山经常遇到的工程地质问题。边坡一般沿岩层接触面及软弱层滑动，由于流砂及粘性土层中的滞水难于疏干，边坡常处于连续破坏中。如云南省向阳煤矿，为一近南北向的长条形向斜盆地，最低标高1700m，四周高山环绕，相对高差2000m以上，坡度30—50°。区内无地表水体。年降水量695.7—1044.7mm。地震频繁，强度6—7°。

煤田在构造上位于云南山字型构造通海前弧东翼，南北构造线与弧形构造线交接部位，构造复杂（图3-10）。煤田盆地为NNW向复式向斜，中间为一小背斜，两侧为小向斜。露天采场位于西部向斜。盆地基底主要为二叠系的栖霞-茅口灰岩，其次为石炭系黄龙灰岩，三叠系嘉陵江泥质灰岩及侏罗系砂页岩。上部主要为第三系含煤地层，由老至新分为三段：第一段下部为砾石砂岩及粗砂岩，中部砾石砂岩、砂质粘土岩、粘土岩及不稳定煤层，上部为Ⅱ号煤层，全区可采，厚0—38.3m；第二段为滞水湖泊相的钙质页岩或泥灰岩，为主煤层顶板；第三段为粘土岩。第四系砂砾卵石及砂质粘土层，不整合覆盖于第三系之上。盆地内砂及砂砾岩呈半胶结或未胶结松散结构，粘土类岩石松软，构成多层软弱夹层。矿区断裂发育，勘探期间共发现9条断层，其中落差大于30m的6条，对煤层的连续

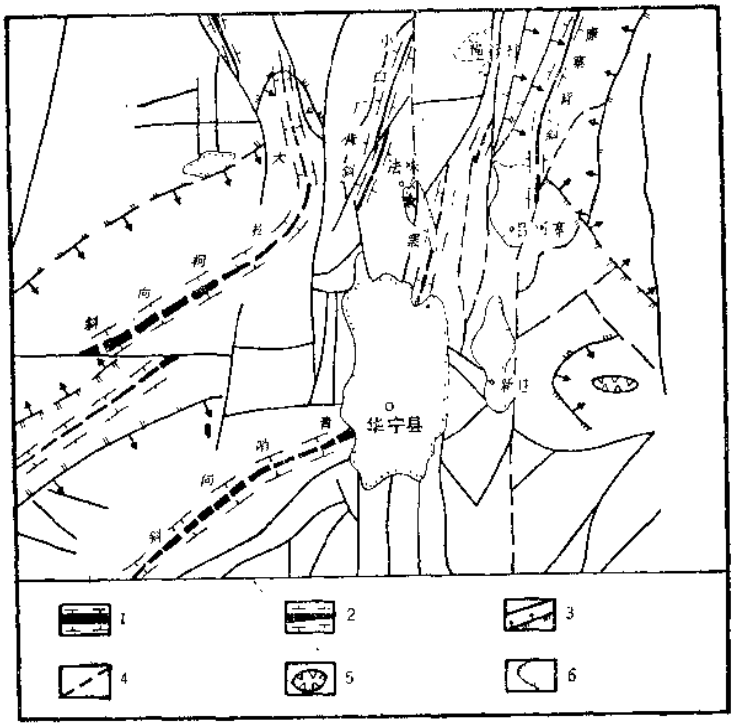


图 3-10　华宁地区地质构造纲要图

1—向斜；2—背斜；3—实测断层；4—推测断层；5—向斜盆地；6—新生代盆地边界

性破坏很大，露天采场边坡稳定性也受其影响。

褐煤大部分位于当地侵蚀基准面和地下水位以下，主要含水层为第四系孔隙水，上部的孔隙水及基岩裂隙水，水量微弱，底部岩溶水富水性强，泉流量可达820.6l/s。由于矿区构造复杂，隔水层分布不稳定，因此，各含水层之间均有水力联系。

根据岩性及工程地质特性，矿区划分为5个工程地质岩组：

1．第四系松散岩组：为砂、亚砂土、砾石及粘土类土组成，厚0—15m，呈散粒结构。

2．第三系软塑岩组（N_2^3）：岩石以粘土及砂质粘土间夹薄煤1—3层和砂层透境体组成，厚24—82m，含水微弱，塑性变形大。

3．第三系含硅藻钙质页岩（泥灰岩）岩组（N_2^2）：层理发育，易沿层面裂开，层状碎裂结构，部分层位风化岩石比重小于1，干燥状态比较坚硬，遇水膨胀、崩解。

4．主煤层半坚硬岩组（N_2^{1-2}）：质轻、层厚、性脆、裂隙发育，其间有1～3层炭质粘土夹矸，夹矸层厚0.3m左右，Ⅱ线附近夹有3.63m贝壳粉土一层。夹矸层虽较薄，但在一定范围内仍构成软弱夹层。

5．主煤层底部粘土岩和砂质粘土岩松软岩组（N_2^{1-1}）：厚0—15m，Ⅱ线以北厚达70m，以南变薄至尖灭，岩性松软，遇水膨胀。其中砂岩透镜体松散，小窑穿越巷道压力大，片帮、底鼓变形严重，是煤层底板的主要软弱层。

6．灰岩坚硬岩组：区内广泛分布，岩石坚硬，岩溶裂隙发育，但工程地质问题少。

矿区软弱层多，断裂发育，断裂及其他各种软弱结构面，按其规模大小可划分为四级：

Ⅰ级：为分布于褐煤盆地两侧的区域活动性深大断裂。西侧为云南山字形构造通海前弧峨山—华宁压扭性断裂，长110km以上，元古界昆阳群地层冲覆于侏罗、白垩系地层之上，活动强烈，1970年1月5日强烈地震，就是该断裂活动的结果；东侧为南北向张扭性小江断裂，长达120km以上，沿此断裂地震活动频繁，从1500—1975年共发生过M≥$4^3/_4$级地震37次，最大为8级，其中6级以上地震12次。矿区处在不稳定的地块上。

Ⅱ级：由全区稳定的软弱夹层及矿区西部边界F_1断层组成。

软弱夹层有：（1）第三系第三段粘土、砂质粘土、炭质粘土软塑岩（N_2^3），厚24—82m；（2）主煤层底部粘土、砂质粘土松软岩（N_2^{1-1}），厚0—70m。软岩遇水膨胀、软化，塑性变形严重。

F_1断层：延长近千米，走向NE，倾向NW，到矿区西部被F_5断层错开，使西部第三系地层与石炭系灰岩接触。

Ⅲ级：为矿区内次一级断层。其中走向NE的有F_2、F_{11}，延长在800m以上；走向NW的有F_3、F_{5-1}、F_6、F_{16}，延长400—700m。倾角都在65—80°之间。此级结构面将煤系及其覆盖层切成大小不等的块体。

Ⅳ级：为节理裂隙，使岩体进一步破碎。

向阳煤矿主要为露天开采，主要工程地质问题是露采边坡失稳，目前矿山形成的两个大的边坡滑体，直接影响矿山生产（图3-11）。

1．西北帮滑坡：位于法味村一带。滑动范围南起Ⅱ线，北至Ⅰ线以北50m，沿走向

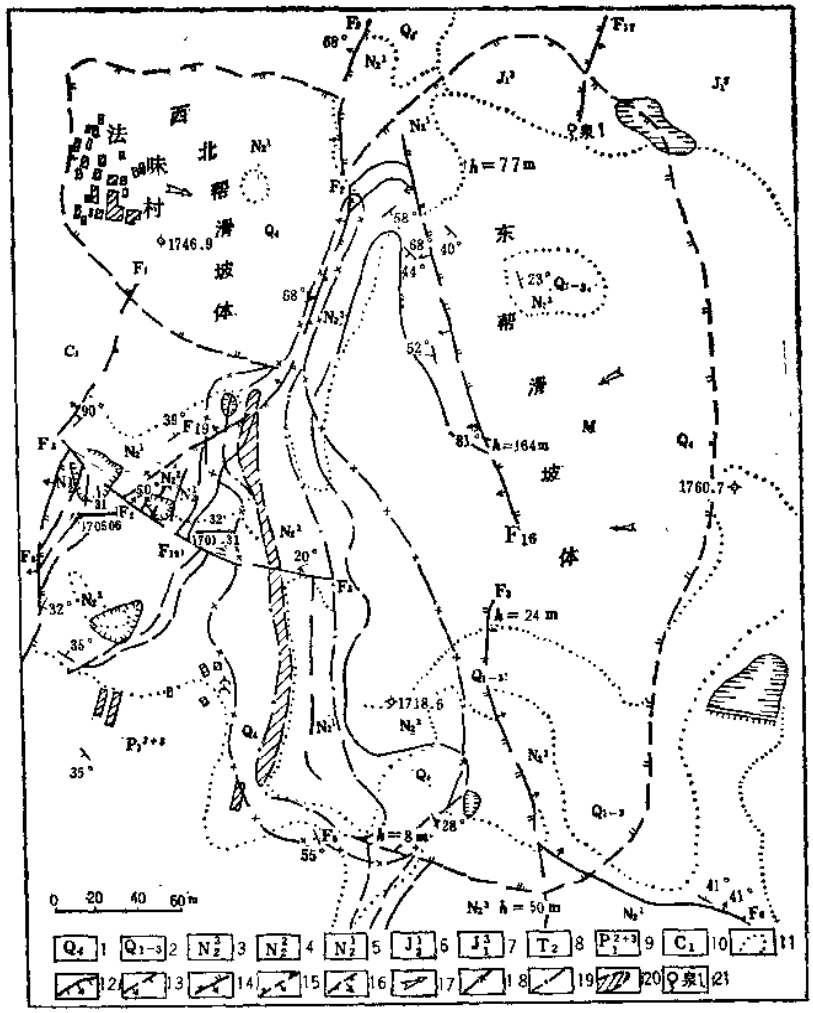


图 3-11 向阳煤矿露采场滑坡分布图

1—第四系全新统；2—第四系更新统；3—第三系上新统三段；4—第三系上新统二段；5—第三系上新统一段；6—下侏罗系下绿丰组；7—下侏罗系舍资组；8—中三叠系嘉陵江灰岩；9—下二叠系阳新灰岩；10—下石炭系灰岩；11—地质界线；12—实测正断层；13—推测正断层；14—实测逆断层；15—推测逆断层；16—滑坡体边界线；17—滑坡体滑移方向；18—采场边界；19—采场底边界；20—底鼓带边界；21—泉及编号

长300m，斜长310m。滑动面积$9.3\times10^4m^2$，估算滑坡量 $80.2\times10^4m^3$。在第四系及第三系地层中产生近南北向裂隙，使法味村57户（347人）住房开裂，村民全部搬迁，村前梯田全部变成坡地。

2．东帮滑坡：滑动范围南起采坑南部边界，北至1号泉以北30—40m，长约920m，宽约540m，面积 $39.25\times10^4m^2$。滑坡量初步估算到1690m台阶为 $812\times10^4m^3$。后缘陡坎0.2—5m，落差3m左右（图版Ⅱ），陡坎坡度70—80°。滑体在滑动中产生裂缝，裂缝基本上平行采场沿地层走向延伸，宽度一般为0.05～0.2m，个别达0.5m，落差0.20—

0.80m（图版Ⅱ）。滑坡体在水的作用下，不断移动，移动速度，3个月可达0.2m。滑坡前缘压力可使坑底产生底鼓，底鼓垄岗高3—4m，张裂隙发育，破坏坑底设施，排水管拱出地面（图版Ⅱ-5、6）。

滑坡产生的主要原因是地层中的软弱夹层遇水软化，形成滑动面；水的作用及采剥失调等因素，也是边坡失稳的重要因素。

从以上特征及矿床实例可清楚表明，松散岩类为主的矿床，因岩体松散、松软，结构复杂，易饱水，在水的作用下，岩体的稳定性明显变差。这类矿床，除浅埋的矿床外，矿床的工程地质条件均较复杂。坑采，坑道易变形破坏；露采，边坡难于稳定，往往沿软弱结构面形成滑坡，威胁矿山生产。在有多层含水层分布的矿床，上部弱含水层中的地下水难于疏干而保留残余水头，直接影响边坡稳定。

第二节　松散岩类为主的矿床工程地质工作要求

一、查明松散沉积物的分布规律

主要内容有：

1．地层、岩性、岩相的结构特征，厚度变化规律，韵律变化，不同成因类型沉积物的物质组成及分布特点；

2．采场范围内矿体及剥离层的岩性特征，物理力学特征及水理性质；

3．采场边坡地层结构，软弱层的层数、厚度、岩性及变化特征，含水层的透水性及隔水层的阻水性，下伏基岩风化特征及表面起伏变化情况等；

4．对半胶结的沉积岩层，应查明胶结物、胶结方式及胶结程度、裂隙发育规律等；

5．正确的划分工程地质岩组。

二、采取岩（土）试验样

一般要求分层取样，测定岩（土）体的水理、物理力学参数、砂砾岩类的粒度成分、软岩（土）的粘土矿物成分及含量、耐崩解性指数与膨胀压力的测试资料。

三、初步确定坡面边坡角

第四系松散矿床，露采边坡角的稳定性，很大程度决定于“水”，因之在确定边坡角时，除采用一般的类比法、试算法外，有条件的矿山可以结合水文地质勘探，进行一定规模的疏干排水试验，实测稳定边坡角。

四、多年冻土区调查

着重查明：

1．多年冻土包括季节性冻土的分布范围、埋深、厚度及占矿体的比例，确定冻土类型。砂矿勘探深度一般到基岩表面5—10m。

2．冻土区自然物理地质景观。内容包括：

（1）．特殊的植物群落；

（2）．沼泽、湿地分布范围；

（3）．倒石堆、泥石流的分布及其特点，危害程度；

（4）．自然边坡的滑落与坍塌情况，边坡角大小；

（5）．冻融物理地质现象，如冰锥、冰丘、热融湖塘、热融滑塌等。

3．观测不同深度冻结层温度变化，季节冻土融化深度及融化速度。

4．冻土中的地下冰含量、厚度、埋深及其平面分布。

5．冻土区地下水分布规律，划分出冻结层上水、层下水及层间水，调查融区的分布特点。

编制区域冻土分布图，冻土埋藏深度平剖面图与顶底板埋深图、观测井（孔）冻土温度变化曲线图等。

五、船采矿床工作重点

船采是砂矿开采中的一种方法，开采时对土的硬度、基岩顶面坡度、砂砾类土中的含砾量有一定要求。采金船适宜的土体硬度为2—6级，船越大，要求纵向坡愈小（表3-3）。不同规模的采金船，处理砾石的能力不同（表3-4）。地层中含泥量多，将降低采矿量，影响选矿回收率和采金的经济效益。

表 3-3　采金船规模与适宜的纵向坡度表

采金船规模（L）	50	100	150	250	300
底板纵向最大坡度（Q）	30	25	20	5—10	12

表 3-4　不同规模采金船处理砾石能力

采金船规模（L）	50	100	150	250	300
砾石标准（mm）	250	300	350	400	450
最大允许含起率（%）	5	5	5	7	10

根据采矿设备需要，矿床工程地质工作应查明：

1．矿区岩层结构、物质组成及粒度成分，粘土类土的分布及含量，剥离层和含矿层的厚度（埋深），矿石体重、松散系数等参数；

2．土（岩）的水理、物理力学参数；

3．第四系底板基岩硬度、裂隙发育程度及基岩表面坡度；

4．土层中的含泥量和砾石含量。冻土区还应查明冻土的分布、含冰率、融化速度、冻土类型及各类型冻土所占的比例。

六、水采矿床工作重点

水采是借助水力对松散砂矿或弱胶结的粘土岩层及砂层中的矿床进行开采的一种方式。开采深度浅，开采方法简单，矿山一般无突出的工程地质问题。针对采矿需要，应做好以下几方面工作：

1．查明矿层（床）底板、复盖层、夹层的物理力学特性，底板的起伏情况和坡度，腐植土层的厚度等；

2．测定砾石含量及不同粒级的组成，查明粘土层及砂砾层中的含"泥"❶量；

3．测定体重、硬度、松散系数、孔隙度以及吸水性等参数；

4．对半胶结矿床，应查明胶结程度、裂隙发育规律等。

❶ "泥"一般指颗粒小于0.005mm的物质

第四章　块状岩类为主的矿床工程地质特征及工作要求

块状岩类为主的矿床，围岩主要为岩浆岩、正变质岩及厚层沉积岩等坚硬的岩石。以金属矿居多，大多数分布在我国的东北与西北地区。如东北的鞍山式铁矿、大栗子铁矿、内蒙的白云鄂博铁矿及甘肃的有色金属矿等。

第一节　块状岩类为主的矿床工程地质特征

块状岩类为主的矿床，工程地质条件一般比较简单，其复杂程度主要受地质构造因素的影响，有下列基本特征：

一、岩石坚硬、单一、强度大、岩体完整

该岩类一般由岩性单一或硬度相近的岩层组成矿床围岩，岩石的湿抗压强度值大于600kg/cm²，完整系数0.35—0.75，结构面间距一般为50—100cm。矿床围岩变形破坏少，开挖后在较短时间内应力即能达到平衡，自撑能力强，除局部因结构面组合交叉，可形成掉块及崩塌现象外，一般是稳定的。如鞍山大孤山铁矿，矿床围岩主要为前震旦系深度变质混合岩、石英片岩及千枚岩，震旦系的石英岩、花岗岩等。岩块抗压强度大（表4-1）。岩体以块状结构为主，完整性系数大，工程地质问题少，只在矿区断裂构造较发育部位见到节理裂隙成组出现，大小断层多条，而导致露采场局部边坡不稳。

表 4-1　大孤山铁矿主要岩石力学指标

岩石名称	普氏系数	主要力学指标				泊桑比
		抗压强度	抗拉强度	抗剪强度	内摩擦角	
	(f)	(kg/cm²)	(kg/cm²)	(kg/cm²)	(°)	(μ)
千山花岗岩	7.8	780.36	63.3	160	46	0.27
绿泥石英片岩	9.5	956.51	97.56	190	47	0.20
混合岩	11	1032.27	67.44	110	48	0.19
千枚岩	5	518.25	76.25	125	41	0.17

吉林赤柏松铜镍矿，矿体围岩为混染岩及混合岩，含长二辉橄榄岩、斜长玢岩。岩石致密坚硬，力学强度高（表4-2），岩体结构以块状、厚层状为主。矿床开采中除局部地段受蚀变及地质构造破碎带的影响岩石破碎外，绝大部分地段岩体稳固性良好，无掉块、冒顶及滑塌等工程地质问题，坑道基本不用支护。

表 4-2 赤柏松矿主要岩石强度指标表

岩石名称	采样位置及深度 (m)	普氏系数	抗压强度 (kg/cm²)	抗拉强度 (kg/cm²)	抗剪强度 (kg/cm²)	内摩擦角 (°)①
混合质角闪片麻岩	坑道北壁距坑口206m	19	1954	89	200	86°38′
混染岩	坑道北壁	9	869	61	155	83°41′
含长二辉橄榄岩	坑道北壁距坑中217m	7	654	43	94	81°52′
含长二辉橄榄岩	北壁距坑口232.7m	11	1139	96	322	84°48′
含长二辉橄榄岩	钻孔深558.66—521.05m	22	2205		389	87°24′
闪长岩	钻孔深558.66—559.14m	20	1989			87°08′
钠长斑岩	钻孔深490.41—490.99m	17	1659	60		86°38′
辉长纷岩	钻孔深546—547m	3	334			71°33′

①表内摩擦角可能为似摩擦角，编者注

二、围岩变形破坏受构造结构面控制

块状岩类矿床岩体及岩块强度都比较高，岩体变形破坏主要受结构面的影响。岩体中发育的Ⅱ—Ⅳ级结构面的特征及产状对岩体稳定起主要作用。在构造变动不大的缓倾式或中等倾斜区，结构面粗糙呈微张状态，有一定结合力或呈刚性接触，摩擦系数一般为0.4—0.6，矿床工程地质条件简单。如本溪南芬（庙儿沟）铁矿，矿床赋存于前震旦系混合岩带的地层中，属鞍山式沉积变质铁矿床。矿床围岩坚硬、强度大，岩体结构为块状。矿床地质构造简单，属单斜构造。区内断层少而小，一般错距不过 5m 。矿体未被断层切断，两侧虽有断层通过，但对其影响甚小。矿床开采阶段坡面角达65度，最终坡角上盘为50度，下盘38度。露采场边坡稳定，工程地质问题少。

在构造变动中等倾斜与陡倾斜岩层地区的一些矿床，Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ级结构面比较发育，在结构面泥质物增多的条件下，摩擦系数可降低到0.3，矿体围岩稳定性减弱，工程地质条件相应变差，如吉林省盘石镍矿。

矿区位于低山丘陵区，地形坡度15—20度，相对高差10m。朱奇河由北西向南东流经矿区注入辉发河，年降水量平均为800—900mm，多集中在 7 、8 、9 月。

矿区在构造上处于吉林准褶皱的东侧，南部以辉发河深大断裂为界与东北台块接壤。地层为志留-泥盆系中深变质的黑云母片麻岩、角岗片岩、花岗质片麻岩，第三系砂岩和第四系冲、洪积砂砾石及粘土沉积。矿（岩）体赋存于吉中弧型构造的东南翼，因受辉发河断裂的影响，次一级断裂构造非常发育，尤其是北西向反时针的扭动，使地层产生一系列层间断层和层间破碎带。节理裂隙也很发育，致使围岩及矿体破碎。矿区内岩体较多，目前开采一、七号岩体。一号岩体位于矿区西北端，走向310度，长980m，宽150—280m，呈纺锤形，以 F_1 断层为界分为两个岩体，上盘岩体出露地表，下盘岩体深藏地下560m，主要含矿岩相为橄辉岩，似层状，矿体长835m，垂深 180m，平均厚度12m，围岩为黑云母片麻岩，矿体构造裂隙发育，主要断层有 F_1、F_2及 F_{1-1}，节理密度20—30条/米；七号岩体位于矿区东南端，辉发河断裂的北东侧，含矿基性超基性岩呈岩墙侵入于志留、泥盆系的中深度变质岩中，主要含矿岩相为斜方辉岩，矿体长 750m，延深 533m，平均厚度 15.45m，走向 NW320°，倾向 NE，倾角70—80°，围岩为黑云母片麻岩，呈单斜构造，矿体东南端为第三系砂砾岩（图4-1）。

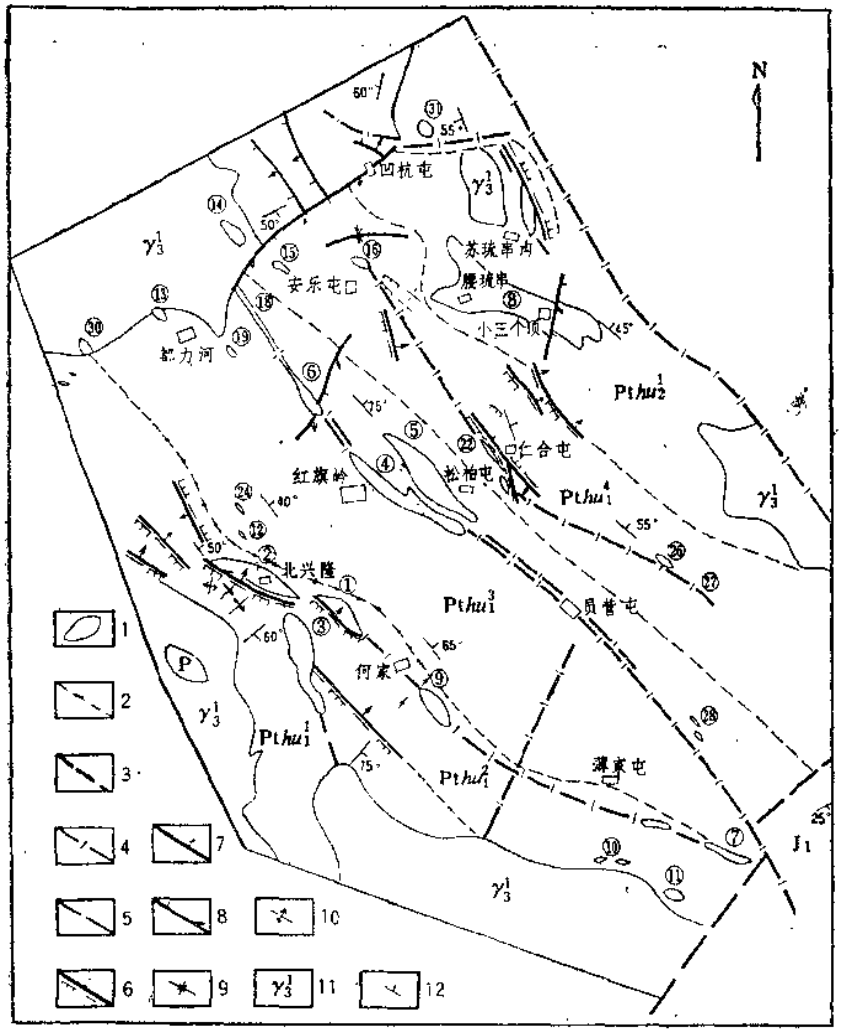


图 4-1 吉林盘石矿区地质构造示意图

1—基性、超基性岩体及编号；2—岩层界线；3—深断裂；4—推断断层；5—物探推断断层；6—逆断层；7—正断层；8—正斜断层；9—向斜轴；10—背斜轴；11—花岗岩体；12—岩层产状

矿区分布有第四系孔隙水、基岩风化裂隙水及断层破碎带脉状水，影响采矿的主要为后两种。矿区涌水量小，靠大气降水补给，排泄于河流中，采场范围内地下水向采场中心汇集。矿区水文地质条件简单。

矿区因处于两个大的地质构造单元的接壤部位，受多期构造活动的影响，断裂破碎，层间节理裂隙发育，加之频繁的岩浆岩穿插与切割，各种结构面将岩体切割成不同形状的大、小岩块，岩体整体性差，工程地质条件比较复杂。根据岩性、地质构造及水文地质特征，将矿区划分为六个工程地质岩组：

（1）片麻岩及片岩岩组：是矿体的主要围岩，主要为黑云母中粒片麻岩。构造线方向为NW330°，片理化带为NW310—320°。断层走向NW320°，倾向NE，倾角60—80°。节理以张扭性为主。岩体呈块状结构，岩石抗压强度为300kg/cm^2，局部700—900kg/cm^2。

围岩中含脉状裂隙潜水，涌水量不大，但对围岩可起软化作用，降低岩石强度。

（2）断层破碎岩岩组：为不良工程地质岩组，散体结构，断层两侧岩石极为破碎，抗压强度200—213kg/cm²，抗剪强度 $c=1.17$kg/cm²、$\phi=20.62°$。对岩体起破坏作用的断层，一号岩体有 F_1、F_2 及 F_{1-1}；七号岩体主要为张扭性断层。

（3）岩体边缘破碎带：在岩体边部普遍存在，宽0.5～6m。由混杂的片麻岩及岩块角砾组成，散体结构，强度低。

（4）含矿斜方辉岩岩组：为强烈次闪石化的蚀变辉岩，局部有苏长岩、橄榄岩，走向NW320°—330°，倾向NE，倾角70—80°，受压扭性断裂及次一级张扭性断裂控制，边部为镶嵌结构及散体结构，蚀变后松软。浅部岩体平面为狭长反S型，深部呈岩墙，为块状结构。

（5）大理岩岩组：凸镜状及燧石条带状大理岩，零散分布，呈单斜构造。岩层走向NW320—310°，倾向NE，倾角45—60°，局部扭曲及层间挤压现象明显。岩体为层状、块状结构，岩石坚硬，抗压强度900—1000kg/cm²，透水性差，局部有溶蚀现象。

（6）第三系砂砾岩岩组：呈厚层状，中等胶结，岩层走向NE35°，倾向SE，倾角20—30°，不整合于志留泥盆系之上。岩石半坚硬，抗压强度为396—532kg/cm²，为层状结构岩体。

矿区岩体受不同规模的断裂、不整合面及节理裂隙所切割，按其规模及其对岩体的破坏程度可划分为四级，其中Ⅲ、Ⅳ级结构面是影响边坡稳定的主要因素。

Ⅰ级结构面：以区域性大断裂为主，一般延伸长达百公里。主要构造有辉发河断裂、桦甸—双河镇断裂、黑石—烟筒山断裂、呼兰河断裂。这几条断裂均未通过采场，对边坡及岩体的稳定影响不大。

Ⅱ级结构面：指岩层不整合面及一般性断层，延伸达百米，对边坡稳定有直接影响。一采区对边坡稳定有影响的断层有三条：F_1为压扭性断层，沿岩体南西侧通过，走向NW320°，倾向NE，倾角60～85°，破碎带宽5—10m，断层泥厚10—40cm，控制并切割了岩体与矿体，为多次活动的复合性断层，断层片理化发育，两侧岩石极为破碎；F_2沿采场北东部切割围岩，走向NW338°，倾向SW，倾角59°，破碎带宽3—5m，断层泥厚10cm；F_{1-1}分布于下盘采场总出入口路边，距F_1约10m，破碎带宽4m，断层泥厚10m，为F_1的次一级压扭性断层。上述三条断层与采场节理组合产生了四个滑坡体。七采区，主要为第三系与志留—泥盆系的不整合面及采场中部的张扭性断层，对边坡稳定影响不大。

Ⅲ级结构面：为破碎带与小断层，一般延长达数十米，对边坡稳定性影响较大。一采区以岩体边缘破坏带为主；七采区以小断层为主，共71条之多。

Ⅳ级结构面：主要为节理与层间错动面，在边坡中大量分布，破坏了岩体的完整性，控制着岩体的物理机械性质，直接影响岩体的破坏方式。

矿床开采出现的主要工程地质问题是露采场边坡与结构面的不利组合形成的边坡滑动，其次是坑采巷道冒顶、片帮变形破坏。分述如下：

1．露天采场边坡滑动

（1）一号采场：长400m，宽300m，垂深110—130m。采场最终边坡角44—45度，阶段坡面角63—65度。边坡总长2350m，不稳定地段250m。出现四个滑体（图4-2）。

一号滑体：位于采场北东端341—290m 水平，宽40m。由F_2断层和节理两弱面组合而成的楔形滑体（图版Ⅲ-1）。组合交线倾角小于最终边坡角。已采取削坡减荷措施，但仍在下滑，威胁永久运输线路。

二号滑体：位于采场西端323—290m 水平，宽40m。为 F_1 断层与节理面切割形成的楔形滑体（图版Ⅲ-2）。

三号滑体：位于采场总出口处的320—280m 水平处，滑坡长70m。主要由F_1与 F_{1-1} 两断层间的强烈片理化带所形成的平缓滑坡，岩石强度低，片理倾角小于坡面角，对下部永久公路造成威胁（图版Ⅲ-3）。

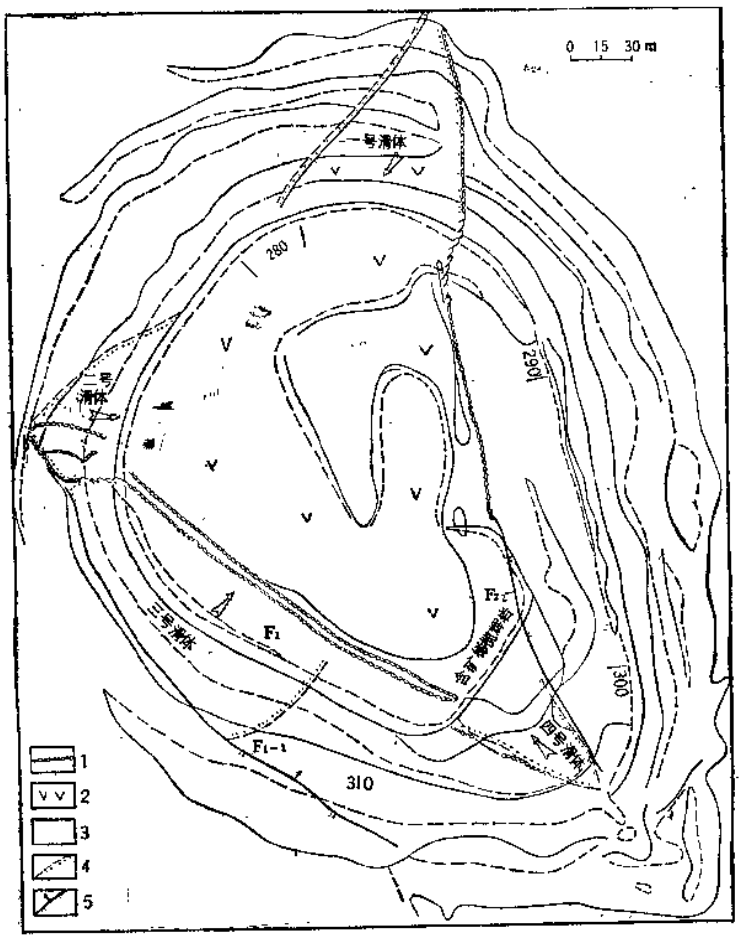


图 4-2 一号采场工程地质示意图

1—破碎岩组；2—橄榄岩组；3—片岩、片麻岩组；4—滑体介线；5—逆断层

四号滑体：位于采场南端300m 的斜坡上，由 F_1 断层及岩体边部破碎带两个弱面组成，范围虽小，但也破坏了永久公路的三分之一。

（2）七号采场：位于矿区东南端，长700m，宽350m，设计垂深136m，采深104m，封闭圈长1880m，边坡不稳段总长370m，下盘有四个滑体（图4—3、图版Ⅲ-4、5、6）。

一号滑体：位于采场北西端，下盘为块状结构及散体结构，黑云母片麻岩受走向

NW315°、倾向NE、倾角60度的层间断层所控制，为顺层推移式滑坡。滑体总量7×10^4m^3，前缘宽100m，后缘宽40m。

二号滑体：位于矿体下盘，前缘宽130m，后缘宽180m，高50m，滑体总量22×10^4m^3，后缘引张裂隙发育。

三号滑体：是由断层面破坏而成的楔形滑体，前缘宽140m，后缘宽70m，滑体总量为5×10^4m^3。

四号滑体：位于采场南东帮上盘262m的永久公路上，为两断层控制的楔形滑体。

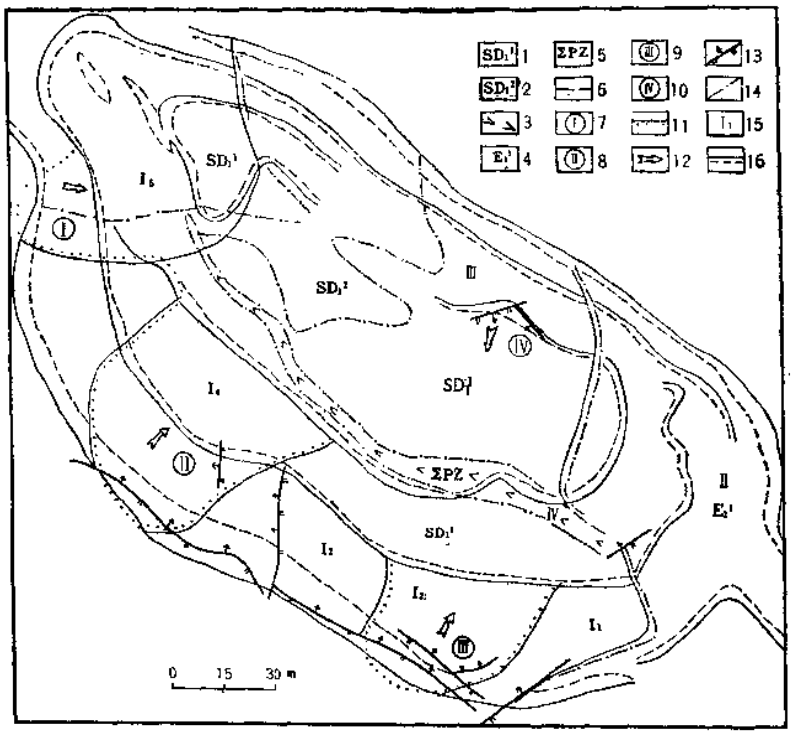


图 4-3 七号采场工程地质示意图

1—片岩片麻岩组；2—破碎岩组；3—大理岩组；4—砾岩组；5—含矿斜方辉岩组；6—岩组界线；7—一号滑体；8—二号滑体；9—三号滑体；10—四号滑体；11—滑坡周界；12—滑动方向；13—断层；14—分区及亚区界线；15—分区号；16—采掘迹

2．巷道变形破坏

（1）顶板塌落：290m中段主运输巷道北端顶板岩石塌落，体积500m^3，1400沿脉北部、1402沿脉、215沿脉也因岩石塌落使支护横木被压弯和压断。

（2）侧壁岩石片帮：在1004、1010、205、217穿脉处，岩石裂隙面向巷道内滑落，尤其在沿脉与穿脉交义处，应力平衡被破坏产生较大的侧压力，片帮严重，并牵动部分顶板塌落。

（3）断层破碎带的冒落与片帮：断层破碎带结构疏松（呈散体结构），力学强度低，同时受地下水流的影响，巷道极不稳定。如1401、215、217、1403等穿脉遇断层时都曾发生大规模冒落和片帮，巷道变形破坏严重，而使矿区生产运输大巷，采用钢筋混凝土全封闭加固。

三、地应力集中对矿床围岩稳定性有显著影响

处于活动断裂带附近的矿床，受构造应力集中的影响，矿床围岩很不稳定，工程地质条件复杂并具有独特的特征，以甘肃省金川铜镍矿床最为典型。

矿区南、北两面是两个不同的地貌单元，南面为龙首山，多呈矛状、锯齿状山脊，沟谷切割强烈，基岩裸露，比高大于250m，为构造剥蚀低中山地形；北面是第四系覆盖的潮水盆地。区内除金川河外，山区都为间歇性溪流，地表水缺乏。属大陆性干旱气候，年平均降水量为122mm。金川矿处于两个大地质构造单元接壤地带，属祁吕贺兰山字型构造前弧西翼北侧，南与河西走廊相接，北与潮水盆地毗邻，其间为龙首山隆起带。矿区内断裂构造具明显的长期继承性活动特征。出露地层主要为前震旦系碎屑岩—碳酸岩建造，经区域变质及岩浆岩侵入而形成一套变质岩系。矿床赋存于含矿超基性岩体中。岩体呈不规则岩墙不整合侵入于片麻岩、混合岩及大理岩中，走向NW，倾向SW，倾角70°以上，由纯橄榄岩、二辉橄榄岩、橄榄二辉岩及绿泥、透闪、蛇纹石片岩等组成，以纯橄榄岩为核心。

矿区主要含水层为前震旦系变质岩系及岩浆岩构造裂隙水、风化裂隙水及第四系孔隙水。由于区内降水稀少，气候干燥，加之矿区北部断裂的阻水作用，基岩地下水与北部的第四系孔隙水水力联系不密切。地下水靠大气降水补给，水量有限，矿坑实际排水量为1412m³/d，对生产威胁不大，水文地质条件简单。

矿区工程地质条件具以下四方面特征：

1．工程地质岩组复杂，含不良层位多。

根据地层、构造、岩性、岩体结构及水文地质条件，共划分八个岩带十四个工程地质岩组（表4-3）。

表 4-3　工程地质岩带、岩组划分表

岩　　带	岩　　组	岩体结构	稳　定　性
混合岩带（Ⅰ）	F_1断层压碎岩组（$Ⅰ_1$）	散体结构	最不稳定
	层间挤压混合岩组（$Ⅰ_2$）	层状、碎裂	欠稳定
	较完整混合岩组（$Ⅰ_3$）	碎裂，镶嵌	欠稳定—稳定
片岩、片麻岩带（Ⅱ）	粗粒片麻岩组（$Ⅱ_1$）	层状、碎裂	欠稳定—较稳定
	F_{14}断层压碎岩组（$Ⅱ_2$）	散体	最不稳定
大理岩带（Ⅲ）	多种岩浆岩侵入的中薄层大理岩组（$Ⅲ_1$）	层状	较稳定
	厚层块状大理岩组（$Ⅲ_2$）	块状	最稳定
	多种岩浆岩频繁穿插的中薄层大理岩组（$Ⅲ_3$）	碎裂	欠稳定
均质条带混合岩带（Ⅳ）	均质条带混合岩组（Ⅳ）	层状碎裂	较稳定
红色碎裂花岗岩带（Ⅴ）	红色碎裂花岗岩组（Ⅴ）	镶嵌	稳定
超基性岩带（Ⅵ）	超基性岩组Ⅵ	块状、碎裂	稳定—不稳定
F_{17}断层破碎岩带（Ⅶ）	F_{17}断层破碎岩组	散体	不稳定
第四系松散岩带（Ⅷ）	山前洪积砾碎石松散岩组（$Ⅷ_1$）	散体	不稳定
	河谷冲洪积砂卵石松散岩组（$Ⅷ_2$）	散体	不稳定

2．地质构造发育、岩层破碎。

金川矿在漫长的地质历史过程中，经历了历次构造运动，致使不同时期形成的构造痕迹叠加于古老的岩块上。加之频繁的岩浆岩侵入穿插，形成各类结构面，互相交叉、重叠，组成了十分复杂的构造网络，将其切割成大大小小的岩块，整体性很差。矿区结构面按成因、大小可划分为构造结构面、变质结构面及火成结构面。其中构造结构面按构造发育程度可以分为四类：

（1）NW向压性结构面：是矿区的主要断裂系统，包括F_1、F_{16}等断裂。在F_1断裂中心部位向南450m距离内有5条大断层、22条小断层，沿每条大断裂带内又有许多大致平行的断层和挤压错动面。断层角砾或断层泥极为发育，显示强烈的压扭作用。本组断裂产状为N50—60°W，倾向SW，倾角70°左右。在两种不同岩性之间成叠瓦状平行排列，又被后生的近EW向扭性断裂或NE向张性断裂错开。

（2）NE向张性结构面：主要为N40°E的小断裂，对岩体的完整性有较大的破坏作用。

（3）近NW向扭性结构面：走向N70—80°E，倾角陡、规模小、延伸短、条数多，常有几十厘米至数米宽的断层泥，对岩体的完整性和稳定性有很大的破坏作用。

（4）节理结构面：主要有三组：①N50—60°W，倾向SW，倾角50—70°，延长几米至数十米；②N30—40°E，倾向NW，倾角60—80°，数量多，延伸小；③N50—60°E，倾向NW，倾角28—44°，延伸长短居以上两组之间。此外还有SN向、N65—70°E向及EW向的节理，但发育程度弱（图4-4）。

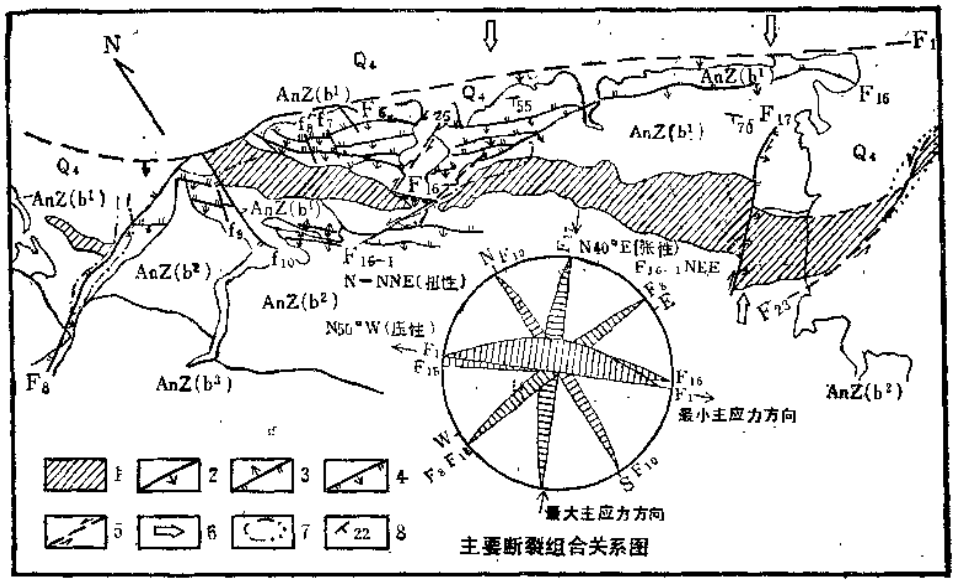


图 4-4　金川矿区地质构造纲要图

AnZ(b¹)—前震旦系均质混合岩斜长片麻岩、大理岩；AnZ(b²)—前震旦系混合岩绿泥石英片岩、大理岩；AnZ(b³)—前震旦系斜长片麻岩、条痕状混合岩；1—第四系；2—超基性岩体；3—实测、推测深断裂；4—逆断层；5—正断层；6—推测平推断层；7—北西向构造线构造主应力方向；8—实测及推测富水地段；9—岩层产状

除构造结构面外，变质及火成结构面也很发育。前者为片理面及片麻理面，在矿床顶、底板围岩中十分发育，于花岗片麻岩中常有伟晶质花岗岩，沿片理发育有小鳞片状黑云母、绿泥石、石墨等集合体，形成岩体中的软弱面，极易滑动；后者多为侵入形成的蚀变接触带，形式多为顺层，分布面积大而稳定，角砾、片理化发育，岩石破碎，遇水易泥化、膨胀、开裂，岩体稳定性极差。

3．新构造运动活跃、地震频繁

金川矿构造断裂具有继承性，特别是F_1大断裂，第三纪以来仍有活动，使前震旦系地层直接逆掩在第四系Q_1及Q_{2-3}砂砾层之上（图版Ⅳ-1、2），龙首山在新构造运动中总上升幅度达140m，年平均0.135mm。构造中不仅有老断层复活，还见有第四纪新断层。如金川市老卧虎沟更新世地层中有一系列NW向断层，使地层扭曲、错动、产状变陡。

该区地震活动强烈，有记载的强震有四次，弱震频繁，分布方向与构造线明显一致。

4．矿区地应力值高

矿区处于活动断裂带附近，地应力值较高，以水平构造应力为主，侧压作用明显，主应力方向为NE—SW。表层最大水平主应力值为30kg/cm²，应力值随深度增加而增加，到200—500m深度内测得最大主应力值和最小主应力值的差值也随深度增加而增加，一般值为200—300kg/cm²，最高值可达500kg/cm²。从地应力测量与地震分布综合分析，龙首山地应力场最优方向为NNE—SSW向，最大主应力方向为N40°E。

金川矿构造断裂发育，岩层破碎，地应力集中，工程地质条件很复杂，在基建及开采中出现了许多工程地质问题，主要是：

1．露采场边坡失稳

露天采坑呈椭园盆形，长轴方向N50°W，长1260m，宽660m，设计最终边坡角，上盘区41—44度，下盘区36—38度，边坡比高180—310m，是一座中型深凹露天采场。采场岩体支离破碎，整个边坡的岩石组成异常复杂，岩体结构类型繁多，具明显的不均质各向异性不连续介质特点。在开采过程中的动力作用下，相继产生了滑坡、坍塌、倾倒—滑移式等变形破坏。破坏方式是先由上部滑移，至大面积倾倒，同时导致坍塌及滚石灾害。整个边坡三个大区近二分之一的地段发生了明显的变形和破坏（图4—5）。

为保证矿区安全生产，采取了削坡减荷措施，总计处理边坡滑坡量达$40\times10^4m^3$，最终边坡角上盘削减至35度，下盘33度。此外还对变形边坡范围内的大块危岩进行处理。

2．竖井变形破坏

矿区已建竖井14个以上，破坏变形突出的是新一号、老一号及二号井。井筒通过的岩性主要为黑云母片麻岩，其中频繁穿插伟晶质花岗岩细脉，片理节理发育，岩体破碎，尤其在井筒穿越较大断层影响带，小断层及裂隙较多的地段，岩体大多为碎裂结构，破坏最为严重，在施工中片帮、冒落不断。片帮后混凝土井筒普遍内鼓开裂，混凝土剥落，钢筋出露弯曲，有的被拉断，井框变形，井筒脱落。处理中有的灌浆后重新开裂，有的重新打孔灌浆固结，有的由主井改为风井，造成时间和经济上的损失。

3．巷道变形破坏

据调查，矿山巷道变形破坏计300多处，主要发生在不良工程地质岩组及断层破碎带、接触蚀变带部位。这些部位的巷道片冒、底鼓、挤压变形，使支护受到严重破坏(图4—6)。如二矿区1250中段巷道围岩揭露得比较充分，据1973年统计，发生片冒塌方共169处，其中

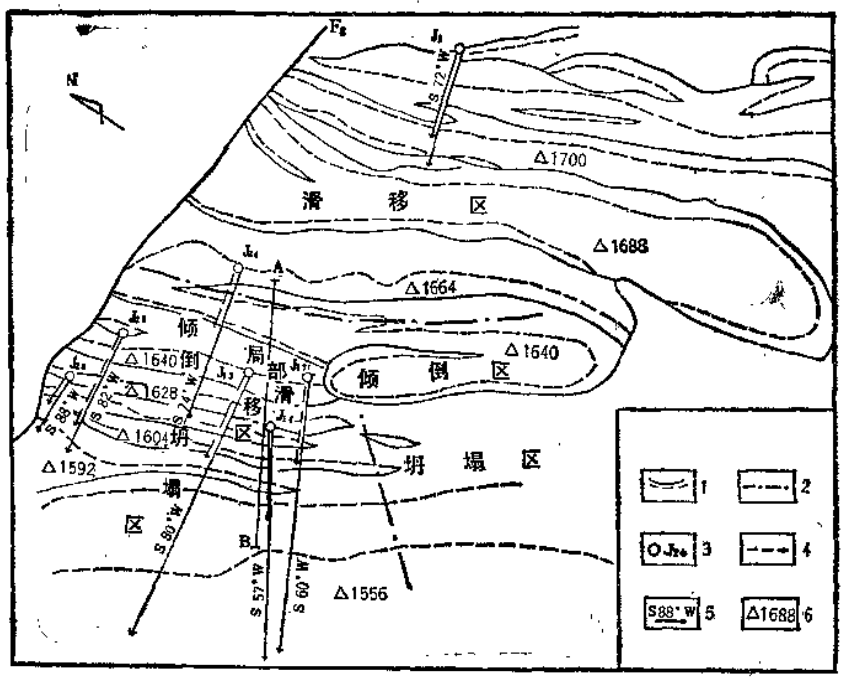


图 4-5 金川矿下盘区边坡破坏类型示意图

1—边坡投影线；2—变形分区界线；3—岩移观测点及编号；4—岩移点沉降矢量；5—岩移点平移矢量及移动方向；6—平台标高

绝大部份是发生在上述不良岩组地段。西风井石门在6—8线通过 F_{16-1} 时，巷道与断层斜交成51度交角，施工时侧压大，片冒频繁，顶板冒落高度达7—8m，成巷后仍在剧烈变形，至今返修三次，最近一次返修时2.7m 高的巷道被挤压得只剩1.7m。32—42线段长520m，因巷道位于靠近超基性岩体及不稳定的工程地质岩组（$Ⅲ_3$），岩石破碎，地压大，掘进中片冒频繁，变形严重，绝大部分巷道都需返修。39—41线巷道通过薄层大理岩，岩浆岩频繁穿插，而且是近矿体的接触带，100多米巷道冒顶，侧墙内鼓开裂，底鼓严重，混凝土剥落，钢筋裸露，多处弯曲。35线穿脉，1974年在超基性岩组中开掘，片冒十分严重，1980年返修灌注，现在又弯形破坏。36线穿脉措施井，处在不良岩组中，片冒严重，“U”型钢拱架压弯、压断，边墙内鼓开裂。总之，巷道穿过不良工程地质岩组时，有以下明显的变形特征：

（1）地压来压快、压力大、持续时间长，巷道掘进1—2天就发生变形，支护不及时就产生片冒。最大主应力值达200—400kg/cm²。有的地段，从1975年开拓开始变形，至今未止。

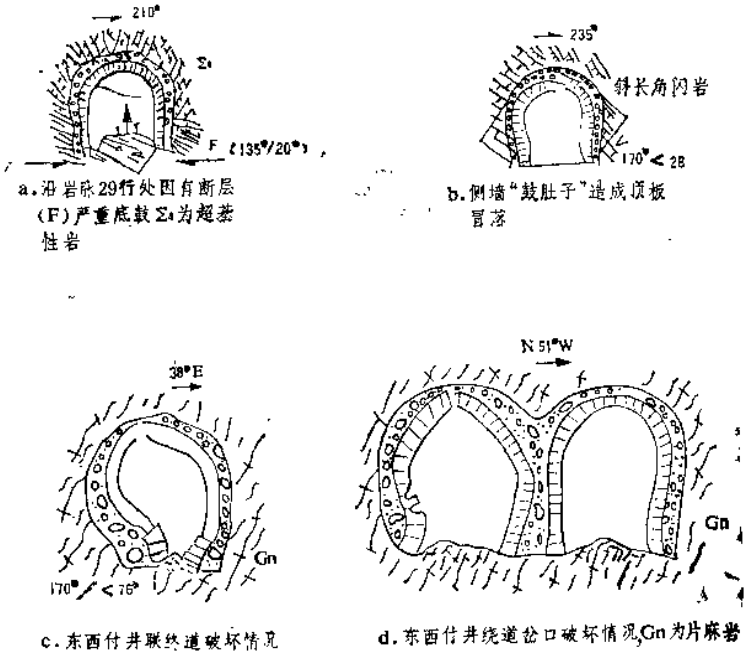
（2）流变明显。

（3）支护变形水平压缩位移较大，呈不均匀受压。

（4）底鼓大而明显，在1300中段39—38线的第二点13天内底鼓高达 39.95cm。

生产实践表明，在不良工程地质岩组内开挖宽度为3m 的巷道时，冒落高度最大可达20m，平均高度为3m 左右。巷道的片落宽度最大达8m，平均宽度为4m 左右。巷道围岩的移动范围为巷道半径的3—4倍，松动范围约为巷道半径的 1—1.5 倍，底鼓可达 0.5—

1.0m。如果施工方法不当，或围岩暴露时间过长，更易发生片冒事故。为此，矿山在生产中，使巷道掘进方向与水平应力方向一致，采用椭圆形巷道断面时，对防止片冒事故的发生，取得了明显效果。



a.沿岩脉29行处因有断层(F)严重底鼓Σ₂为超基性岩

b.侧墙"鼓肚子"造成顶板冒落

c.东西付井联络道破坏情况

d.东西付井绕道出口破坏情况,Gn为片麻岩

图 4-6　金川矿巷道变形破坏示意图

四、蚀变及风化对矿床围岩稳定性影响较大

（一）蚀变影响

在各种岩浆活动有关的矿床中，矿床与围岩之间常分布有宽度不一的蚀变带。蚀变带两侧，节理裂隙发育，并伴生绿泥石化、纤维状蛇纹石化、滑石化、绢云母化及高岭土化蚀变作用。因此，该带岩石强度一般较低，尤其在水的作用下，易软化、泥化，抗剪强度降低，内摩擦系数降到0.3左右，常构成矿床开采中的弱结构面，使围岩稳固性变差。湖北大冶铁矿黄石铁山矿区是典型的块状岩类为主的矿床，该矿床围岩主要为闪长岩、大理

表 4-4　大冶铁山矿岩石力学强度指标表

力学指标 / 岩石名称	抗压强度 湿 (kg/cm²)	抗压强度 干 (kg/cm²)	抗剪强度 内聚力 (kg/cm²)	抗剪强度 内摩擦角 (°)
闪长岩	1918	2591		
闪长岩节理裂隙面			0.5—1.6	33—40.5
大理岩	698	650—850		
大理岩节理面			0.2—4.8	32.5—35.5
矽卡岩	851	1301—1399		
原生矿	906	1150—3022		
矽卡岩弱面(充填绿泥石)			2.5—7.2	30—36

岩、矽卡岩及矿化闪长岩，岩石坚硬，力学强度大（表4-4）。但矿区地质构造发育，风化、蚀变形成的软弱结构面较多，直接影响围岩的稳固性，增加了矿床工程地质条件的复杂程度。矿床开采的主要工程地质问题是露采边坡失稳，如东露天采场从1967年—1978年间先后共发生17次规模不等的台阶滑坡（表4-5）。滑坡体掩埋并摧毁了坑内设施，破坏浅部截水沟渠，增加矿坑排水量。1973年7月尖山南帮西端96—112m台阶边坡滑移，将96m水平台阶铁路堆埋30m以上，毁坏护坡墙约25m。另一次边坡塌落，引起大块转石及矿石下流，危及人身安全，影响生产。

产生上述滑坡主要原因有两点：

1．断裂带及其影响带内岩石破碎，蚀变强烈，节理裂隙密集；蚀变带内蒙脱石、伊利石、绿泥石等粘土矿物，在水的作用下崩解、泥化而形成滑动面。上述17处滑坡有12处是发生在F_{25}穿过的边坡破碎带，11处发生在闪长岩体内。

2．沿矿体和闪长岩接触处及岩、土体接触带上，因排水不畅、结构面密集等原因造成。

表 4-5　大冶矿东露天采场滑坡调查表

滑体名称	规模(m^3)	台阶水平(m)	边坡滑动及破坏情况	原　　因
不稳定体	长50m	48	边坡缓慢滑动	沿F25断层破碎带内蚀变弱面滑动、破坏
崩落体	7410	24~48~72	顺坡产生6条裂缝	
滑坡体	3600		圆弧状滑动	
不稳定体	长180m	84~115	产生9条裂缝	
不稳定体	长70m	48~115	产生1条裂缝	
滑塌体	长140m	48~72	沿F_{25}断层面滑塌	
滑坡体	8000	167~103	沿滑面全部滑下	沿岩体接触面滑动面上有泥
滑坡体	167835	48~156	产生万条纵横裂缝、缓缓滑动	沿闪长玢岩界面滑动
不稳定体	10500	48~72	顺坡产生条裂缝	F_{25}断层影响节理发育
滑坡体	876274	144以下	截水沟破坏	由两组结构面，构成三角体
滑坡体	4250	72~96	沿节理面全部滑下	破坏顺坡向节理
滑坡体	3080	48~72	滑床为折线型	沿N35—40°W/SW节理滑动
崩落体	3000	45~72	倾状崩落	倾向节理
滑坡体	3360	162~192	还于圆弧滑面	位于风化带、整体性差、边坡陡
滑坡体	36460	48~156	128、144、156台阶产生裂缝下沉1.3m	爆破引起
滑坡体	1143	96~112	沿基岩表面全部滑下	排水不畅
土滑体	1237	53~67	圆弧形滑床	土层含水增大

（二）风化作用的影响

一些矿区表层岩石强烈风化，使原岩结构完全破坏，形成砂、碎石及粘土，岩体呈散体结构。风化带深度随地形呈平缓波状起伏，最深可达百米以上。遇断层或蚀变带时，由于岩石破碎、蚀变、强度低，并往往成为地下水活动通道或滞水地带，风化营力易于侵入而形成风化深槽，尤其在几组断裂交汇部位。这种不规则的袋状或囊状风化深槽可深达数十米，以至百米以上，严重地影响边坡及巷道围岩的强度及稳定性，如安徽省凹山铁矿。该矿体赋存于闪长玢岩中，岩体侵入侏罗—白垩系大王山组安山质凝灰岩及粗安岩中，表层岩石风化较剧烈，蚀变带部位形成的风化深槽达10m以上。位于该风化蚀变带的边坡地

段，因岩石强高岭土化，抗剪强度低($C=0.5kg/cm^2$、$\phi=25°$)，常发生滑坡。为此，将边坡角由原42°，修改为34—37°，同时采取喷锚、块石砌坡等技术措施，才使边坡基本稳定。某些赋存于风化壳或古风化壳部位的矿体，受风化及构造影响，往往形成粉状或粉夹块石矿，如氧化铁、锰矿。这类矿床的工程地质特征基本上与散体结构的松散岩类矿床相似，工程地质条件比较复杂。如山东莱芜马庄铁矿，开采中遇粉矿，常出现溜矿井(漏斗)堵塞而报废井巷。更严重的是在回采坑道时，岩石大量混落，矿块回采率只有20—40%，既浪费资源，又对矿山安全生产构成很大威胁。

第二节　块状岩类为主的矿床工程地质工作要求

块状岩类矿床工程地质条件一般较好。工程地质问题主要发生在构造破碎带、接触破碎带及风化带中。工程地质工作的重点应围绕上述"三带"进行，查明其工程地质特征，具体内容有以下几方面：

一、划分矿区工程地质岩组

在研究地层、岩性、地质构造及水文地质条件的基础上，划分矿区工程地质岩组，重点区分对矿山开采不利的工程地质岩组。

二、确定岩体结构面对围岩稳定性的影响

详细研究矿区断层构造破碎带，节理裂隙及各种软弱接触蚀变带在围岩中的发育程度，确定Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ级结构面在矿区的分布范围，特征及组合关系，评价对围岩稳定性的影响。

三、查明岩石风化蚀变程度

一般通过钻孔工程地质编录，坑道调查及声波探测等方法查明风化带深度及岩石风化程度。划分强弱风化带，蚀变带的部位、宽度、各种蚀变作用，研究因风化、构造破坏造成的粉矿及碎裂状矿石的分布规律。

四、测定各类岩矿石的物理力学参数

着重研究对矿床围岩稳定性有影响的构造破碎带、风化蚀变带及软弱岩层的物理力学特性。

五、重视地震、新构造活动的研究

在晚近期构造活动强烈及地震活动比较频繁地区，注意研究矿区的新构造活动、地应力、地热及地震活动，在地应力及地温高的矿区，应进行专门性的地应力及地温的测试研究工作。

六、指出排土场方向

从环境地质角度出发，进行排土场地工程地质调查与评价。

七、矿床不同开采方式的工作重点

（一）露天开采

块状岩类为主的矿床，露采形成的边坡，一般为岩质边坡。对其稳定性的研究，应根据岩石类型、岩体结构及其影响因素，应用岩体工程地质力学方法进行。着重研究以下两个内容：

1．岩体构造的研究。进行断裂构造分级，测量其产状、延深延展长度、组合关系；统计节理裂隙，并采用节理玫瑰花图、极点投影等密度图等方法，确定节理裂隙的分布密度及其对边坡稳定的影响。

2．岩体结构面特征的研究。内容包括：结构面类型与规模，空间分布特征，表面起伏及充填情况。

在分析研究的基础上，依据岩体结构，初拟边坡走向与各种结构面的组合关系，予测边坡可能滑动变形地段和范围，滑体性质；以经验数据或工程地质比拟法，初步计算边坡角。在已知露采场的范围时，应编制露天采场边坡稳定性予测图及说明书。

（二）地下开采（坑采）

地下开采的深度、巷道的形状、大小及方向选择，主要受地质条件及矿体复杂程度的影响。须查明的主要问题是矿体（层）及其顶底板围岩的稳固性，对矿床开采可能出现的工程地质问题作出预测性的评价。从一些典型事例中了解到，块状岩类矿床坑采时主要工程地质问题多发生在断裂带、接触蚀变带及风化带部位，因而工作的着重点在以下几方面：

1．研究矿体围岩的完整性，地质构造发育程度。“三带”的位置、深度及物质组成，结构构造。

2．预测因采掘工程破坏自然平衡条件及热、水动力场的改变对围岩稳固性的影响；可能产生的环境工程地质问题，并采用类比法估算开采后的崩落角。

3．为研究矿层底板，部分地质勘探孔在穿过矿体（层）后，须延深30—50m深度。对岩芯特别是近矿围岩的岩芯，应予以妥善保管。采取物理力学试验样时，应考虑其代表性。

4．对地下开采围岩的稳固性进行评价，一般采用定量的岩体质量评价方法。主要是根据岩石强度、完整程度、岩体结构类型、水文地质条件等资料确定的综合性指标对岩体质量进行评价。

（三）地质工艺采矿法

目前在块状岩类矿床中的地质工艺开采方法以酸浸法为主，在地质勘探阶段主要应查明矿体（层）顶底板岩性、物理力学性质、矿区地质构造及节理裂隙发育程度，评价矿体围岩的稳固性及隔水性。

第五章　层状岩类为主的矿床工程地质特征及工作要求

该类矿床主要分布于沉积岩、沉积型火山岩及部分变质岩地区，矿种多、规模大，以沉积铁矿、锰矿、煤矿、非金属及建筑材料矿产为主。围岩以碎屑岩、层状火山岩及成层状变质岩为主。岩体结构为层状、层状碎裂结构。著名的矿山有庞家堡铁矿、内蒙霍林河煤矿、河南平顶山煤矿、苏州阳山高岭土矿、云南小龙潭褐煤矿等。这类矿床以分布范围大、储量丰富为特点。

第一节　层状岩类为主的矿床工程地质特征

此类矿床岩体变形破坏受岩层组合及结构面控制，压缩变形主要决定于岩层变位情况，剪切滑移受Ⅱ、Ⅲ级结构面的产状及抗剪强度影响。主要工程地质特征如下：

一、岩层组合复杂，岩石强度变化较大

在构造变动不大、岩石成岩程度较高、矿床深埋地下时，矿床工程地质条件一般较简单，如河南省平顶山煤矿。该矿位于华北平原西南部边缘，西北部为低山丘陵，东南部为缓倾斜的冲积平原。构造上为一宽缓大向斜，两翼为次一级的褶皱和断层所控制（图5-1）。区内断层以大致平行于褶皱轴向的正断层和逆断层为主，井下断距一米左右，无一定规律的小断层甚多，对围岩稳定性影响不大。

矿区出露有前寒武系、寒武系、石炭系、二迭系、第三系及第四系地层。较老的前寒武系为片麻岩、片岩、千枚岩、石英岩等，分布在矿区的西南边缘；寒武系为泥质条带灰岩、鲕状灰岩，构成煤系地层的底板，但露头仅见于矿区南部；石炭、二叠系含煤地层分布于矿区中部，构成李口集向斜轴部；第三系露头少，主要分布于矿区外围的断陷盆地内；第四系广泛分布于矿区东南。含煤地层为石炭系太原组、二叠系山西组及石盒子组，共九组46个煤层，总厚约800m。可采煤层总厚约21m，单层最厚可达6m。

矿区水文地质条件较简单，大体上是一个封闭型的向斜盆地，地下水主要受盆地汇水区内大气降水补给。上部为第四系孔隙水，中部为煤系地层孔隙裂隙水，底部为石炭系、寒武系灰岩岩溶裂隙水。第四系孔隙水与下部煤系含水地层间有较厚的隔水层阻隔，水力联系微弱，对矿床充水影响小；煤系孔隙裂隙含水层，含水微弱，涌水量小，对矿床开采不构成主要威胁；底部石炭及寒武系灰岩岩溶裂隙水，含水丰富，是矿床充水的主要来源，采用降压开采，矿井总涌水量近 $12\times10^4m^3/d$，单矿井涌水量大者达$3—5\times10^4m^3/d$，一般都小于$1\times10^4m^3$，对矿床开采不构成太大威胁。

矿床直接顶、底板为中生界的泥岩、砂质泥岩、粉砂岩及砂岩等，间接底板为石灰岩，岩石强度变化大（表5-1），但由于矿层深埋地下（开采深度已达350m左右），断裂构造不

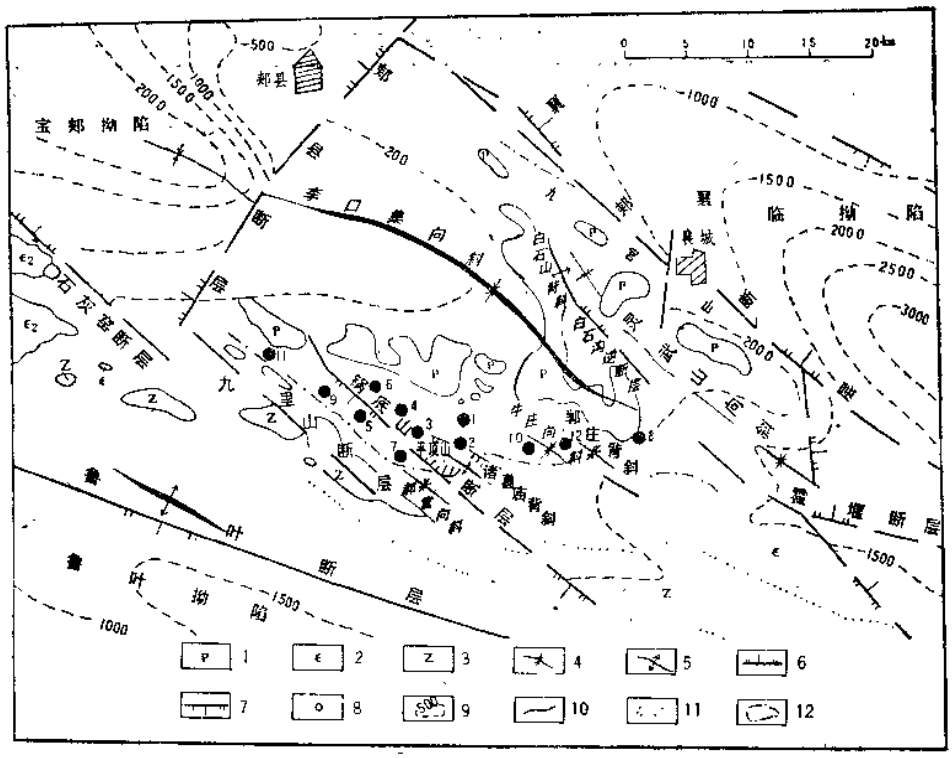


图 5-1 平顶山矿区地质构造略图

1—二叠系；2—寒武系；3—震旦系；4—向斜轴；5—背斜轴；6—正断层；7—逆断层；8—矿井及编号；9—新生界厚度（m）；10—地层露头界线；11—隐伏地层分界线；12—B煤层界线

发育，开采中除局部有小规模的冒落、片帮外，未发现大的工程地质问题，工程地质条件简单。影响矿山安全生产及建设的不良因素，主要是地表的膨胀土及深部开采掌子面出现的高温热害。

在构造变动不大，但矿床埋藏较浅，岩体结构复杂，且岩石成岩程度差异大的情况下，矿床工程地质条件则较复杂，如内蒙霍林河煤田。该煤田位于内蒙古自治区东部的哲里木盟扎鲁特旗西北部，南距通辽市347km。沙尔呼热首采区位于霍林河煤田中部，地形为广阔的山间平原和起伏很小的丘陵，比高约70m，沼泽发育。霍林河为本区主要河流，自南向西北流经矿区，流量0.37—1.0m³/s，季节性强。地区属高寒气候，年降水量为380.5mm，蒸发量1684mm。

矿区含煤地层属晚侏罗系，沉积于大兴安岭东麓的NNE向断陷盆地中，厚1720m。煤田四周为中低山，由石炭、二叠系变质岩和晚侏罗系的火山岩组成。矿区构造活动轻，以宽缓褶皱和稀疏正断层为主。沙尔呼热露采区为宽缓向斜，两翼不对称，东缓西陡，倾角5—10°。矿区共有24个煤层，其中可采煤层9层，厚度大而稳定，平均可采总厚度81.17m，往南厚度增大。I露天的南部煤层埋藏浅，东缘直接出露地表，向斜西翼较窄，倾角12—16°，煤层分叉尖灭（图5-2）。

煤层埋藏于当地侵蚀基准面（标高800m)以下，主要含水层有第四系砂砾石孔隙含水层，煤系风化带孔隙裂隙水，上侏罗系底部火山碎屑岩裂隙含水层。煤系含水层水位埋深一般为10—40m，局部深达65m，水量中等，钻孔单位涌水量0.84—3.3l/s·m。水文地质

表 5-1　岩石力学强度表

煤层顶板或底板	岩　性	抗压强度 (kg/cm²)	普氏系数	抗拉强度 (kg/cm²)	抗剪强度 (kg/cm²)	内摩擦角 (°)
(J)21—22 直接顶	砂质泥岩、泥岩	81—154	0.3—1.5	41		38°41′—56°19′
	细砂岩	207—434	2.1—4.3			63°25′—75°58′
	中砂岩	860—902	8.6—9.0			83°38′
老　顶	砂质泥岩	123—446	1.3—4.5			52°26′—78°40′
	细—中砂岩	330—683	3.3—6.8			71°34′—81°52′
直接顶	泥岩、砂质泥岩	41—335	0.4—3.4			28°35′—71°34′
	细砂岩	587	5.9	41		80°32′
$(C)_{15}$ 直接顶	泥岩	72—299	0.7—2.9			38°48′—75°48′
	砂质泥岩	190—245	2.0—2.5			63°25′
	细砂岩	295—464	3.0—4.6	5.8—21.5		71°34′—78°40′
老　顶	中砂岩	714—1166	7.1—11.6			81°52′—85°12′
	粗砂岩	985	9.8		337	85°35′
	砂质泥岩、细砂岩	592—1052	5.9—10	17.2—25.4		
直接底	泥岩	55—490	0.6—4.9	6.1		30°58′—78°40′
$(B)_{10}$ 直接顶	泥岩	88—317	0.9—3.2			38°40′—71°34′
	砂质泥岩	276—718	2.8—7.2	7.2		71°34′—81°52′
	细砂岩	338—859	3.4—8.6	15.5—76.0	52	75°58′—83°38′
老　顶	中砂岩	550—1019	5.5—10.		52	80°32′—84°18′
	粗砂岩	460—1311	4.6—13.	44—58		
$(B)_{8-9}$ 直接顶	砂质泥岩	102—334	1.0—3.3	17.7	8.2	45°00
	细—中砂岩	200—1175	2.0—11.	26.2—73	43—37.5	63°25′—82°58′
直接顶	砂质泥岩、细砂岩	384—551	3.8—5.5	17.7—26	52	

条件简单。

矿区的主要工程地质岩组为侏罗系河湖相含煤碎屑岩，广布全区，以粉砂岩为主，泥岩次之，底部有粗砂岩和砾岩。多属软弱岩石，物理力学性质特征如下：

1．抗压强度大于100kg/cm²的岩石多位于或近于煤层顶、底板，其累计厚度南部厚、北部薄。

2．抗压强度变化较大，主要受下列因素的影响：

（1）胶结物性质。凡钙质致密胶结的砂质岩层，硬度较大，抗压强度可达250—500 kg/cm²；呈孔隙式胶结时，硬度较低，抗压强度在250kg/cm²以下；泥质胶结的砂质岩石一般比较疏松，易风化，自然状态下抗压强度一般小于100km/cm²。

（2）岩石的粒度。一般是细粒岩石强度大，粗粒岩石强度小。

（3）随深度变化。埋深增大，岩石强度增大。

3．煤系地层沉积环境不稳定，岩相变化较大，岩石抗压强度变化也较大。

4．岩石抗压强度随风化而减弱，在埋深小于100m的地段，主煤段顶板以上15m至底板以下10m层段中，抗压强度大于100kg/cm²的很少，随着岩石埋藏深度增加，风化程度减弱，岩石力学强度随之增大（表5-2）。

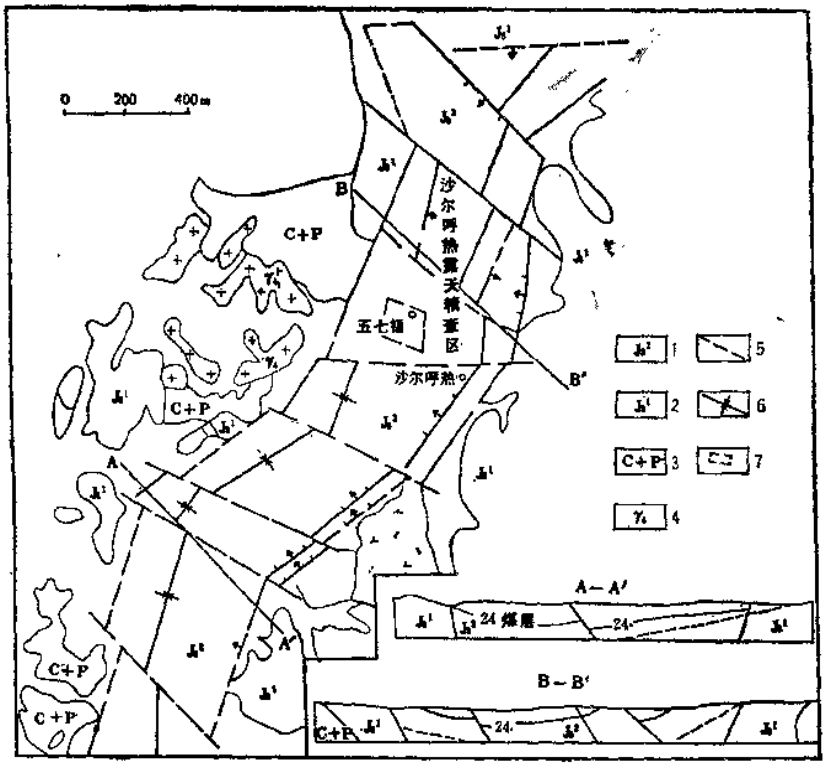


图 5-2 霍林河煤田地质略图

1—霍林河组；2—兴仁组；3—石炭二叠系；4—花岗岩；5—断层；6—向斜；7—露天南区

表 5-2 岩石力学强度变化表

岩石名称 \ 变化带 \ 力学强度指标	强风化带		弱风化带		非风化带	
	内聚力 C (kg/cm²)	内摩擦角 ϕ (°)	内聚力 C (kg/cm²)	内摩擦力 ϕ (°)	内聚力 C (kg/cm²)	内摩擦角 (ϕ) (°)
砾岩	2.6	27°31′	4.97	23°30′	17.10	22°10′
粗砂岩	3.57	31°15′	6.00	27°10′	6.73	25°54′
细砂岩	7.28	20°24′	12.55	21°45′	14.26	25°30′
粉砂岩	9.96	23°58′	12.65	25°21′	15.25	24°06′

根据矿区岩石力学试验资料，各种岩石的内聚力和内摩擦角普遍较高，加之矿区地质构造简单，岩层倾角缓（8-10°），仅露头部位局部较大，达20°左右，工程地质条件有利于岩体的稳定。因此，深部大的滑体不易发生，但层间的疏松胶结的粗砂岩和砂砾岩有可能造成露采边坡不稳定。如南部露天小采场中，见到的Ⅱ、Ⅲ级台阶之间沿小构造形成的小型滑体，使台阶连成一片就是例证。预计正式生产矿山这类问题也将不断出现。影响边坡稳定的主要因素有：

1．疏松胶结的粗砂岩和砂砾岩，特别是蒙脱石凝灰岩及凝灰质胶结的各种砂岩遇水后膨胀松软；

2．地表水与地下水的冲刷、浸润，降低岩石强度；

3．断层、节理裂隙的存在；

4．不同深度内存在有内摩擦角小于15度易于滑动的岩石（表5-3）。

表 5-3　内摩擦小于15度岩石的位置、强度表

孔号	深度 (m)	岩石	抗剪强度	
			内聚力 c (kg/cm^2)	内摩擦角 ϕ (°)
1-7	192.4	泥岩	11.8	11
9-19	182.4—189.30	细砂岩	11.5	13
3-19	411—432	细砂岩和含粒粗砂岩	10	13°30′
4-5	217.19—221.19	粉砂质泥岩	31	14
5-15	432.15—434.55	粉砂岩	17	14
17-3	90.8—101.20	细砂岩	3.1	14
25-1	240.65—242.95	泥岩	20	12°40′
34-1	94.18—94.88	含砾粉砂质泥岩	11.7	12
21-1	98.28—101.38	含砾粉砂岩	18.5	14°30′
34-3	108.16—113.35	粉砂质泥岩	3.1	13°

在轻度变质岩区，岩石成岩程度高的矿床，岩石强度大，工程地质条件一般不复杂，如江西樟树墩蛇纹石矿。该矿区处于江南丘陵地带，为一三面丘陵环境，中部低平的长条形盆地。构造上受北东—南西向区域构造所控制，为一向北西倾的单斜构造。岩层倾角50—60°，沿走向略有转折，形成中部向南东突起的弧形构造。矿区内未发现较大的断层与褶皱，但小型褶皱和断层甚多，节理裂隙发育。出露地层以前震旦系板溪群变质岩为主，厚567m，是一套以泥质为主夹古火山岩的浅变质岩系。岩性主要为绢云母千枚岩，少量古火山岩、砂质和硅化千枚岩。古火山岩呈似层状或凸镜状分布于绢云母千枚岩中，层理和片理基本一致。侵入岩体，大部份为斜辉橄榄岩，经变质成为蛇纹岩，为主要目的层。矿区共有19个岩（矿）体，以1号矿体最大，长1350m，宽135m，厚约200m。

矿区主要为裂隙水，50%的矿体虽埋藏于地下水位以下，但含水微弱，且无大的地表水体与之联系，水文地质条件简单。

矿床围岩以绢云母千枚岩、蛇纹岩为主，影响工程地质条件的主要因素有：

1．不良的松软工程地质岩组。主要的岩石为片状蛇纹岩、片理发育的块片状蛇纹岩。透闪—阳起石片岩、风化泥质千枚岩。这类岩石抗压强度小于60kg/cm²，内聚力1.4—7.8 kg/cm²，摩擦系数 1.10—1.13，当其包围较坚硬的岩组时，常形成软硬相间的 球状和眼球状旋卷体，开采时使矿体沿松软层滑动或呈悬垂体崩落。

2．矿体和围岩间的蚀变带。宽0.5—6.5m，以透闪—阳起石片岩为主，次为滑石片岩，片理发育，与小构造挤压面复合时，成为连续性较好的软弱带，是影响采矿场最终边坡稳定性的危险滑动面。

上述接触蚀变带和软弱层的产状与采场边坡的坡向和坡角的关系对采场边坡的稳定有显著影响，一般逆向坡、逆向斜交坡和横交坡稳定性较好；顺向坡、斜交坡稳定性较差，

特别是坡角大于片理倾角的边坡稳定性最差。矿区西北部以逆向坡为主，次为逆向斜交坡，边坡稳定性好；东部和西部均为横交坡，稳定性较好；东南、西南以顺向坡为主，边坡稳定性较差（图5-3）。

矿体多裸露地表，露天开采。采场岩质边坡高度北西帮大于200m，南东帮大于100m。虽也存在对边坡稳定不利的接触蚀变带及软弱岩带，但分布比较局限，对矿床开采不构成多大威胁。因此，从总体来看，矿床工程地质条件好，开采中未出现重大的工程地质问题。

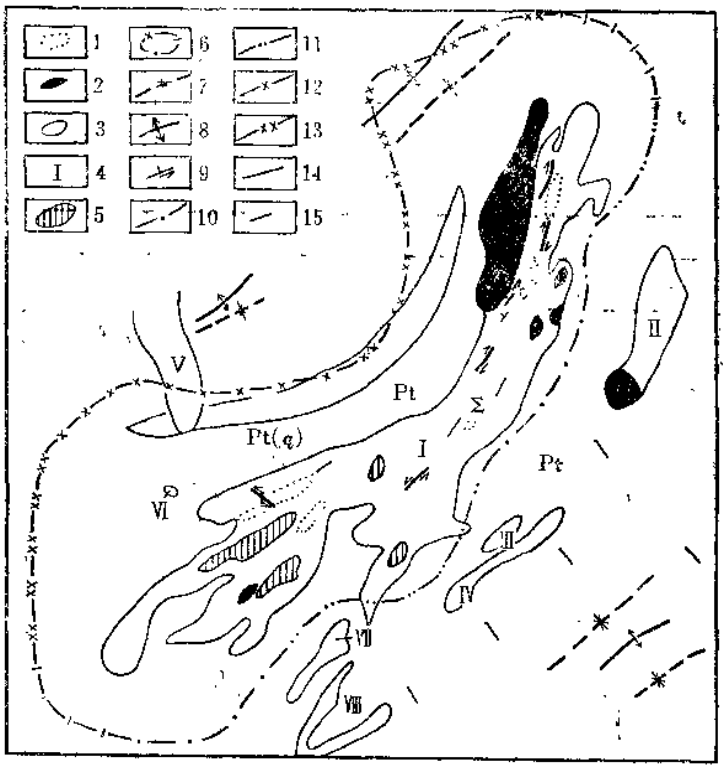


图 5-3　樟树墩矿区工程地质略图

1—片状蛇纹岩；2—块状蛇纹岩；3—块片状蛇纹岩；4—矿体编号；5—残余顶界；6—采矿场范围；7—向斜轴；8—背斜轴；9—断层及倾向；10—顺向坡；11—顺向斜交坡；12—逆向坡；13—逆向斜交坡；14—横交坡；15—张裂隙；Pt—前震旦系板溪群；V—蚀变辉长岩；Pt(q)—古火山岩；Σ—矿体

二、软弱结构面普遍

该类矿床岩体稳定性主要受结构面的控制，岩体中的软弱结构面除各种构造、破碎带外，还有结合力微弱的层面，极薄层或薄层状的原生夹层，以及轻微的层间错动面等。由于这些软弱层及软弱结构面的存在，导致矿床工程地质条件复杂。矿床开采中的主要工程地质问题多沿这些软弱层位或软弱结构面发生，如云南开远小龙潭褐煤矿。

矿区位于开远市以北的山间盆地中，四周高山环抱，最高峰为白家坟山，标高2051m，南盘江为最低侵蚀基准面，标高1033m。矿区地表水系发育，南盘江向南流经矿区，将盆地分割为南北两部分，据此划分为江南、江北两个井田。地区气候温和，最大年降水量1140mm，最小542mm。

矿区处于云南山字型构造前弧东翼，为一断陷盆地。煤系地层为短轴向斜。轴向北东～南西，长 5 km，宽3km。两翼不对称，西北翼平缓，倾角8—20°；南东翼较陡，倾角多在15—30°之间。断裂呈近南北向分布，主要断层有F_2、F_3、F_4、F_7四条（图 5—4，表5-4）。

表 5-4　主要断层产状表

编　号	性　质	走　向	倾　向	倾　角	长度(m)	断距(m)
F_2	正断层	SN	E	49—68°	3000	350
F_3	正断层	NNE	NW	62—78°	3700	160
F_4	正断层	NW	NE	45—55°	2600	215
F_7	逆断层	SN	W	40—55°	3000	40—155

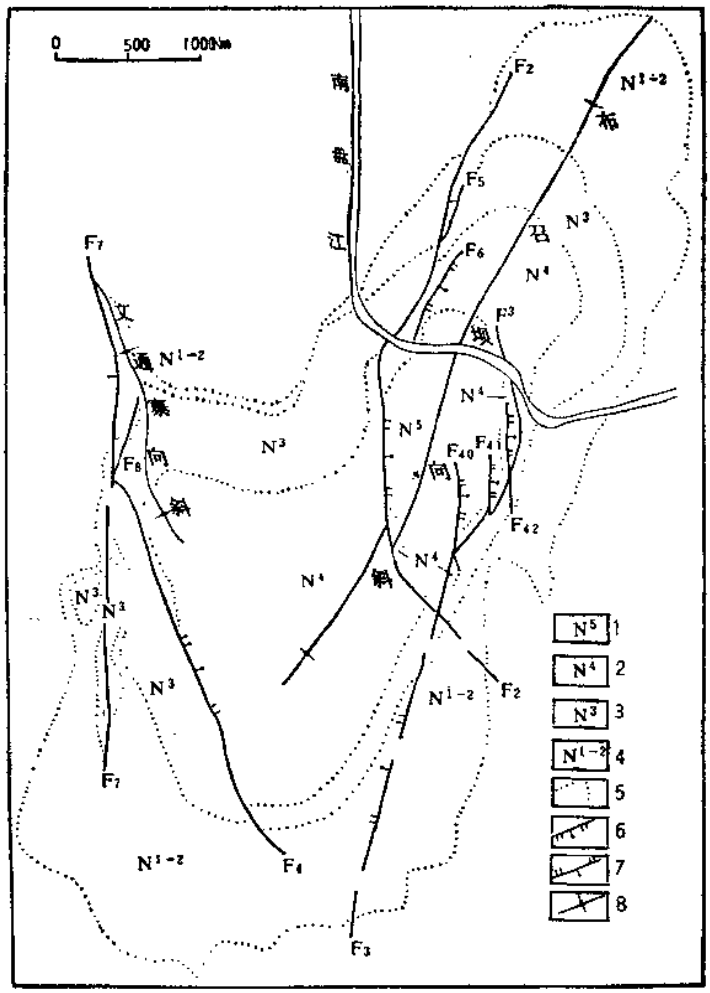


图 5-4　小龙潭煤矿区新第三系地质图

1—河头煤组；2—泥灰岩段；3—主煤段；4—薄煤层；5—地质界线；6—正断层；7—逆断层；8—向斜轴

主煤层为一巨厚褐煤层，分布面积9.03km²。煤层分布受古地形影响，最大厚度222.96m，含煤率89.51%，具条带状结构，呈层状构造。夹矸层数多且薄，单层厚度为几厘米至几十厘米，为炭质粘土岩及粘土岩。煤层上部夹矸少，下部及边部夹矸层数增多，厚度增大，并夹数层至十余层薄层含炭灰岩，多呈凸镜状，厚0.2—0.6m，延长十几米至数十米，与煤层或夹矸构成软硬层相间结构。

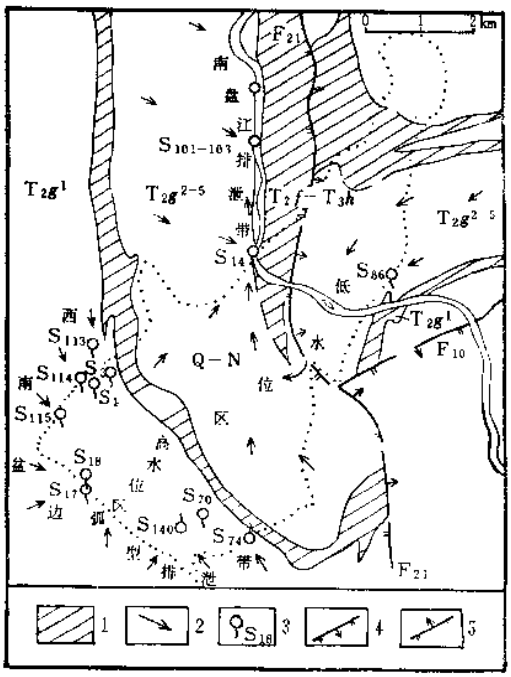


图 5-5 小龙潭煤矿区水文地质略图

1—隔水层；2—地下水流向；3—泉水及编号；4—正断层；5—逆断层；N—Q第三、第四系；T_2f-T_3h—法郎-火把冲组；T_2g^{2-5}—个旧组灰岩段；T_2g^1—个旧组蠕虫状灰岩段

煤层位于盆地中地表水和地下水的汇聚区。含水层有第四系、第三系孔隙水，三叠系岩溶裂隙水。含（隔）水层多达八层。各含水层补给、径流、排泄自成系统，局部又互有联系，水文地质结构复杂（图5-5）。存在的主要水文地质问题是：

1．三叠系岩溶裂隙水的静水压力较大，从矿层底部威胁开采。

2．南盘江切穿了各个含水层，为中后期矿山开采中矿坑的永久补给边界。

根据岩性、结构构造和岩石的物理力学性质，将矿区岩层划分为四个工程地质岩组：

（1）坚硬岩组：分布在盆地边缘，为三叠系纯灰岩，白云质灰岩和黑色灰岩，岩石力学强度大。

（2）半坚硬岩组：包括三叠系火把冲—乌格组泥质砂岩、泥岩和页岩及第三系主煤层和泥灰岩等。泥质砂岩弱胶结，泥岩和页岩易风化成粘土，浸水后抗剪强度明显降低。泥灰岩呈薄至中厚层状，节理裂隙发育，浸水后属不坚硬岩石。泥岩、页岩最大体积膨胀率为7.4—11.8%，崩解速度泥岩每小时最快可崩解27%，页岩20分钟即可崩解35%。

（3）粘土岩组：包括有第四系软粘土、第三系河头煤组含炭粘土、主煤层底部薄煤段及东升桥粘土岩段。该岩组体积膨胀率为0.22—35.05%，浸入的崩解速度一般较快，最快的20分钟完全崩解，慢的可达7天。粘土矿物以拜来石为主。

（4）松散岩组：分布于沿江一带的第四系砂土、亚砂土及砂砾层，第三系河头煤组微胶结的粉砂岩及含砾中粗砂岩，搅动时易形成流砂。

以上各岩组岩石力学指标见表5-5

对矿区岩体稳定性有显著影响的结构面有两类：

1．构造结构面：主要是F_2、F_3、F_4、F_1等断层及F_5、F_6等次级小断层。F_3、F_4、F_2构成矿区东、西南、西三面自然边界。F_3、F_4两断层向露天采矿坑内倾斜，形成了不利于边坡稳定的软弱结构面；其次是新第三系泥灰岩中走向S115—135°E及N50—68°E的两组垂直节理，和主煤层中走向S125°E、N40°E两组垂直节理。边坡的垮塌和小型滑坡多

表 5-5 各类岩石力学指标表

层位	岩性	极限湿抗压强度 (kg/cm²)	室内抗剪（断）强度		野外大型抗剪（断）强度	
			内聚力 (kg/cm²)	内摩擦角 (°)	内聚力 (kg/cm²)	内摩擦角 (°)
Q	钙粒细粉砂土 含钙粘土 胶结的钙华	 194.36—239.41	 0.2—0.6	39°—43° 2.51—11.5		
N^5	粘土岩夹薄煤层 微胶结粉砂岩至含砾中砂岩 含炭粘土岩	0.59—7.72 12.03—15.07	 0.4—1.35	 22°—23°		
N^4	均质泥灰岩 泥灰岩	14.03—41.40	 1.0—9.8	 32—42	 3.5	 54°22′
N^3	薄层炭质粘土岩夹矸 褐煤 含炭生物碎屑灰岩	松软 41.8—73.8 380.6—811.2	 2.1—13.0	 31—41	 0.3—3.25	 43°—64
N^{1-2}	粘土岩夹薄煤层 含钙砾粉砂岩 含炭粘土岩 含砾粘土岩 粘土岩	0.9—6.74 1.23—24.53	 0.6—1.65 0.65—1.85	 15—42 26—47	 1.65—0.45	 46—30
T_2^5	灰岩、白云质灰岩	800—1000				
T_2^4	新鲜白云质灰岩 浅部风化的白云质灰岩	300—500 <1				

与这两组垂直节理裂隙有关。

2．原生结构面

①煤层夹矸及薄煤层：主要为粘土岩，分布于煤层的上部及下部、层位稳定，与含炭灰岩构成软硬互层结构，常构成深部滑体的滑动面。

②第三系底部东升桥粘土岩段（N′）：为矿区主要的不稳定滑动面。

由于矿区主要由砂页岩、泥岩、粘土岩、泥灰岩组成，并存在不利于边坡稳定的构造结构面和原生软弱结构面，矿床工程地质条件复杂。露天开采时，边坡很不稳定，特别是雨季，边坡滑动频繁，小则几十立方米到几百立方米，大则上千立方米到上万立方米，破坏台阶。两个露天采坑原设计边坡角为18—20°，采深至三个台阶后即产生滑坡，为了正常生产，只得采取削坡减荷措施，到目前为止，两个采坑部份非工作帮边坡角已削缓到14—16°，干季基本稳定，雨季仍在缓慢滑动。开采中的主要工程地质问题如下：

1．小龙潭露天采场。目前采坑面积0.89km²，采深100m，采场中的主要工程地质问题是：

（1）露采坑非工作帮边坡缓慢滑移。非工作帮边坡系由煤层底板东升桥粘土岩组成，遇水软化，缓慢滑移，原18—20°边坡已削至15°左右，削坡工作量达$80\times10^4m^3$，雨季仍在缓慢滑动。高10m，宽20m的台阶，两三年即垮塌成缓坡，不得不经常修帮，以保证安全生产。凡座落在该层上的采场辅助设施在底部滑移影响下，都遭到一定程度的破坏。

如1964年距采坑边70m处开挖机道以后，于1965到1966年初处于上部及附近的房屋即产生大裂缝，墙壁和房架裂开，裂缝宽10—20cm，落差1—2m，长300m，10多幢房屋不得不全部拆迁，耗资数百万元。1973年挖9号机绞车道，在东升桥粘土段及第四系松散层中开挖，边挖边塌，挖掉滑体量$30\times10^4m^3$，边坡角削减至13°，并在下部填土构成挡土墙后才基本稳定。

（2）采坑工作帮在采矿中凡遇煤层中的粘土夹矸层，遇水软化后则构成滑动面，在放炮振动或雨后均产生滑坡。如1974年雨季，北帮煤层1020—1040水平，雨后垮塌$6\times10^4m^3$，将铁轨拉断并推下一个台阶，开裂体积约$10\times10^4m^3$；1976年雨季，北帮1060水平沿层面滑下一个台阶，滑动体积约$2\times10^4m^3$；1981年6月，大雨后东帮1070m采煤台阶滑下$4—5\times10^3m^3$；1981年11月11日，东北帮产生大裂缝，长400m，宽40cm，一侧下沉13cm，包括1065m到1040m三个台阶，影响面积达$24840m^2$，体积$29\times10^4m^3$。

（3）北帮皮带运输机系统因基础滑动受到破坏。该系统1979年建成，由于座落在煤层底板东升桥粘土岩上，附近有几条断层通过，边坡形成后，在水的作用下产生滑移，皮带走廊多处开裂变形（图版Ⅳ-3.4）滑动距离达21.80cm，基座移动8—10cm。

2．布沿坝露天采场。目前采坑面积1 km^2，采深150m，采场中的主要工程地质问题是：

（1）非工作帮上顺向滑坡。滑坡体位于北部顺向坡地段小铁路路基台阶上，东西长120m，南北宽10余米，体积上万立方米，由垂直层面的裂隙切割而成，因边坡滑动造成铁轨悬空，运输受到影响。北坡西段滑坡，滑体$4—5\times10^4m^3$，沿层面下滑20m，埋没了电铲并造成二人死亡。滑体形成的原因是因边坡倾向与岩层倾向近一致，受走向N125°和N40°的垂直裂隙切割，地表水渗入使炭质泥岩夹层软化所致。

（2）工作帮滑裂、垮塌，造成破坏大的有：

①1975年4月26日，北帮从1040机车运输线至1030m水平，煤层垮塌约$1\times10^4m^3$，使铁路悬空；

②1980年10月27日，北帮上部顺层滑坡，因煤层中0—5cm厚的粘土岩，在农民往甘蔗地灌水影响下软化滑移。使1030、1040、1050、1060m水平四个台阶开裂，裂缝长90—120m，宽1—14cm，影响生产一个多月；

③1982年7月东南帮产生滑坡、破坏四个台阶，滑体上万立方米，埋了铁路，造成二天停产；

④1983年10月4日三期胶带附近1060m水平大雨后开裂，裂缝宽20 mm，滑裂体积$1974m^3$。

（3）辅助设施的破坏，比较严重的有以下几例：

①1983年8月10日，位于F_7、F_8断层附近的四幢房屋（距工作面100m），由于放炮振动，雨后沿310度方向裂开，裂隙倾向于大坑，使房屋砖柱错动位移1—2cm。

②1975年5月4日雨后，龙桥排土场突然产生滑坡，滑动平距10m，落差30m，滑体约$60\times10^4m^3$。后经放干滑坡后缘的鱼塘，在滑坡体中间施工三个疏干钻孔，滑坡舌经推土压实，方使排土场稳定下来。

三、岩体含水结构复杂

该类矿床围岩为层状结构，岩性多为碎屑岩，岩层中的岩层含水，有的透水，有的隔

水，往往形成多层含(隔)水层相间的复杂水文地质结构。当矿床顶板存在不易疏干的含水层，且顶板又是由软弱隔水层组成或虽不是软弱岩层，但存在有与上部含水层有水力联系的破碎带的条件下，矿床顶板或破碎带，在其上部含水层地下水下渗作用下易软化、泥化，而导致灾害性事故，矿床工程地质条件往往比较复杂，如江苏阳山高岭土矿（图5-6）。

矿区属构造剥蚀低山丘陵地形，山顶标高338m，最低侵蚀基准面标高4 m，山坡较陡。地区为海洋性气候，雨量充沛，年平均降雨量为1100mm。附近无大的地表水体，仅在沟谷中见季节性小溪流及另星池塘，不存在地表水与基岩地下水的直接水力联系。矿区在构造上处于扬子拗陷、苏州—湖州断块的东缘，为燕山期形成的单斜构造，山脉与地层延伸方向一致，走向近南北，倾向东，倾角30°左右。出露地层主要是茅山砂岩、角砾岩、下伏二叠系栖霞灰岩，二者呈断层接触，构成阳山逆掩断层。高岭土矿产于二叠系栖霞灰岩印支期古剥蚀面之上，阳山逆掩断层上盘的泥盆系茅山砂岩超覆其上，呈一似层状和堆积囊状产出，似层状矿体走向近南、北，倾向东，倾角25—40°，与山坡呈反向倾斜。

矿区主要含水层有第四系孔隙水，泥盆系茅山砂砾岩风化裂隙与构造裂隙水及底板二叠系栖霞灰岩溶裂隙水，水量中等。隔水层有高岭土矿体、页岩、火成岩系的花岗闪长岩、石英闪长玢岩等。矿区内大断裂不具活动性，往往被岩脉和矿体所充填，具隔水性。而NNE和NWW向的小断裂和节理裂隙具含水和导水性。地下水受大气降水渗入补给，矿坑排水已成为裂隙水和岩溶水的主要排泄通道。

矿坑主要充水来源是底板的岩溶承压水及顶板砂岩裂隙水。经长期排水疏干，已形成很大的降落漏斗，漏斗至今尚未稳定。目前运输大巷中灰岩地下水位已降至－90m，每天

表 5-5　岩带、组划分及工程地质特征表

岩带	岩组	分布范围	主要物理力学性质			破碎块度 (cm)
			可钻级别	抗压强度 (kg/cm^2)	水理性质	
碳酸盐岩带	未风岩灰岩（大理岩）岩组	－25、－58m脉外运输大巷	4—5	560—880	稳定不崩解	＞20
	较破碎灰岩（大理岩）岩组	13＋50线部份穿脉巷道	4—5	560—880	稳定不崩解	10—20
	破碎灰岩（大理岩）岩组	部份穿脉和16—50线运输大巷	4—5	560—880	充填物易膨胀、崩解	＜10
碎屑岩带	砂岩、角砾岩组	14线以南和15—线矿体顶板	7—8	1190—1540	易崩解	＜5
蚀变岩带	弱蚀变火成岩组	12.16线附近，－58m运输大巷	—	1020	易膨胀崩解	5—10
	高岭土，粘土质岩组	14线以南、15—17线采区	1—3	—	易膨胀、软化和崩解	＜5
第四系松散岩带	山前洪坡积砂砾石岩组	止麓和冲沟口	—	—	易被冲刷和潜蚀	松散

排水量800m³，不受大气降水的直接影响，水量有逐年减少的趋势。矿层顶板砂岩裂隙水，因受矿层（隔水）所阻，不易全部疏干，尤其是在雨季，因降水渗入补给而形成残余水头，给矿层开采构成潜在威胁。

矿区岩石依其成因类型、风化及蚀变程度可划分为四个岩带、七个岩组（图5-7表5-5）。影响矿床工程地质条件的，主要为碎屑岩及蚀变岩带，特征如下：

1．矿体顶板砂岩、泥质角砾岩带：为阳山逆掩断层的上盘，经受燕山期强烈地壳运动，节理裂隙极为发育。岩心十分破碎，块度一般在 5 cm以下。泥质角砾岩浸水后 6 h即可全部崩解。越靠近矿体，砂岩的高岭土化愈严重，砂岩裂隙中充填了大量的高岭土。这些高岭土化物质胶结很差，岩芯浸水后 2 h内崩解，个别的在 10—15min 内全部崩解。因此高岭土在地下水的作用下极不稳定。

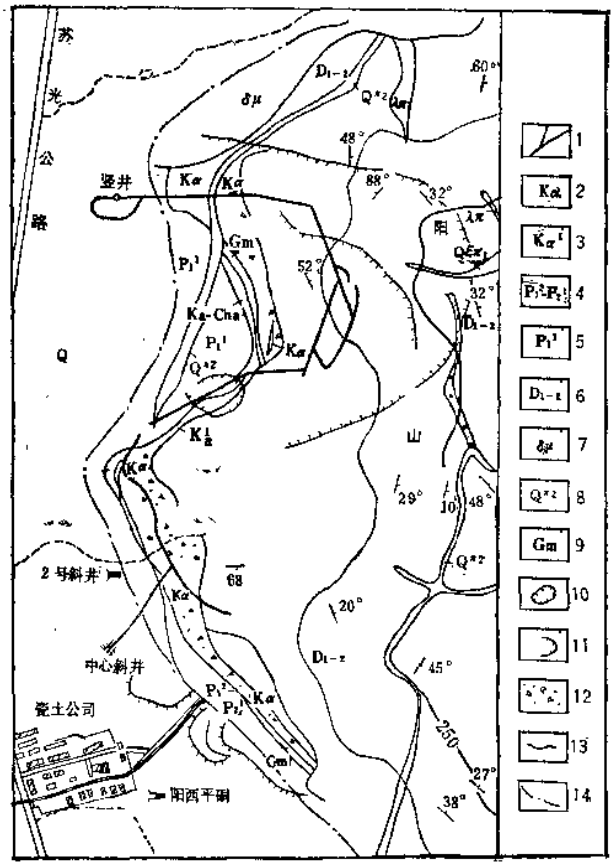


图 5-6　阳西高岭土矿区工程地质略图

1——58m巷道；2—高岭土；3—劣质高岭土；4—二叠系灰岩夹砂页岩；5—二叠系灰岩；6—泥盆系茅山砂岩；7—闪长玢岩；8—石英斑岩；9—脉岩；10—陷落坑；11—地表塌陷区；12—破碎带；13—地质界线；14—地貌界线

2．矿体（高岭土）：是矿区隔水层，具有独特的工程地质特性，即干燥时坚硬，遇水膨胀，吸水后膨胀率可达10.3—13.65%。这些特点，对围岩稳固性极为不利。

矿区断裂构造不发育，已有的大断裂也被岩脉和矿体所充填，对围岩稳固性没有大的影响。

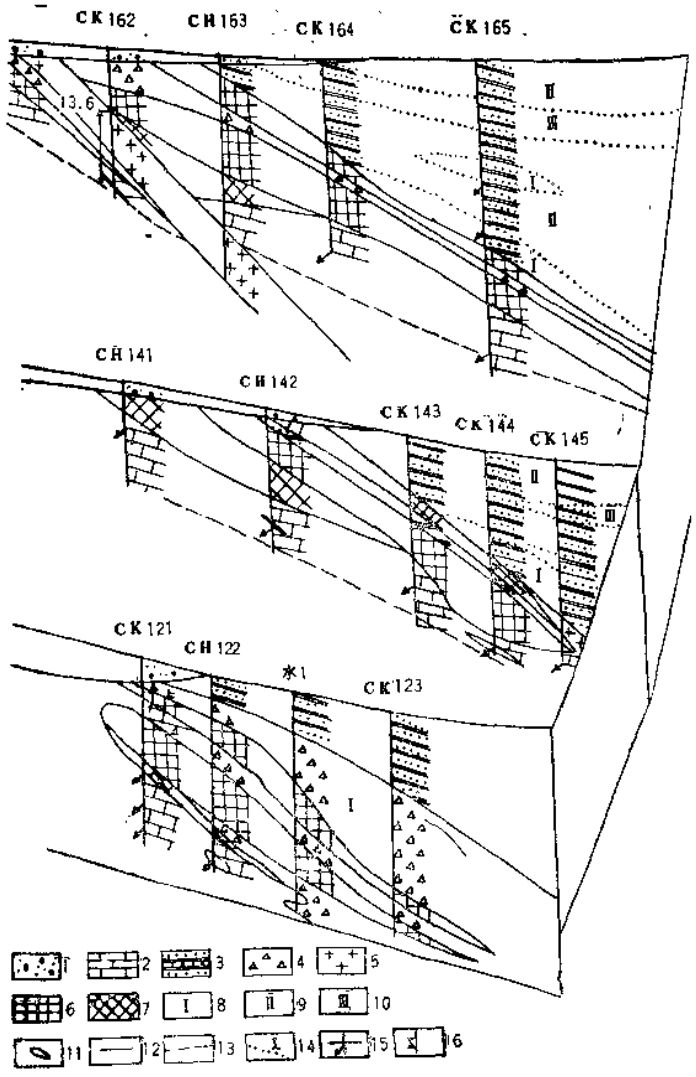


图 5-7 阳山矿矿体立体工程地质示意图

1—粘土及碎石；2—灰岩；3—石英砂岩；4—角砾岩；5—高岭土化火成岩；6—高岭土；7—劣质高岭土；8—岩石块度<5cm部位；9—岩石块度5—10cm部位；10—岩石块度10—20cm部位；11—溶洞；12—地质界线；13—含水层下线；14—块度分区界线；15—钻孔漏水位置；16—承压水位置及其标高

阳山矿由于矿体自身软弱阻水，顶板含水层不易疏干，雨季易形成较高的残余水头，给矿床开采带来潜在威胁，矿床开采中发生的工程地质问题较多，主要表现形式有：

1．井巷变形：在岩层强烈破碎部位，形成块度小于5—10cm的砂岩、角砾破碎层，常发生片帮、冒顶。如16线附近在风化的石榴子石矽卡岩中掘进时，不断冒落，顶板滴水，掘进多少冒落多少，无法施工，只好绕道掘进。成巷后，巷道变形速度加快，1977年成巷至1981年，因变形量过大，被迫翻修，历时两年。侧鼓又达15cm，顶板 石衬 开裂，喷浆层剥落，钢筋外露。在高岭土泥质角砾岩等遇水膨胀软化的岩层中开拓巷道时，产生更大变形与膨胀压力，一般7—12天采场顶板的木支架最大下沉量可达50—60cm，并发生断梁、

断腿现象，每7—15天必须修理一次。在高岭土中的局部运输大巷，采用花岗石料衬砌，再加钢筋混凝土喷锚支护，一般2—3年就出现开裂，变形（图版Ⅴ—4、5）。

2．井下泥石流：由于井巷冒落，含水碎石夹粘土突然溃入巷道，速度极快，来势凶猛，严重的危及人身安全。井下泥石流受地下水、岩性、采空区、开采工艺等因素影响，一般都发生在岩石极度破碎松散的地表汇水区下部，其上存在有残余水头，有地下水活动的地区发生的诱因，明显的与降雨有关。比较严重的有三次。

（1）12+50线253采区，位于1号陷落坑地表迳流汇集区的正下方，矿石为角砾条纹致密状高岭土，质松软、易崩解。1976年3月9日坑道中发生严重的井下泥石流事故。当时开采标高为+11.82m，对应的地面标高为+38.12m，事故前后，3月7日—3月11日连续降雨总量达27.6mm，回采放顶时，从采场上部突然溃入大量含水碎石泥砂，几秒钟内将坑道全部充塞，造成人身伤亡事故。

（2）1978年5月9日该采区又发生雨后井下泥石流，充塞巷道10余米。同年10月10日井下泥石流又充塞巷道6m。

（3）1977年10月26日雨后，位于16+50线大滑移体左脚下方，地表开裂严重，矿石为残斑状高岭土，遇水易软化，在2582m采区立井施工，至21m（标高－2m），因顶板含水，发生冒顶，由于处理不当，冒顶不断扩大，连通邻近采场老窿，大量泥石流从立井井筒高速溃入平巷，几秒钟充塞巷道达60m以上，填塞体积达250m³，由高岭土及砂岩碎块组成。井下泥石流发生后，有小股清水流出，水量为50m³/d。

3．地面变形：由于采用崩落法开采，矿体上部岩层破坏严重，地表陷落、开裂、岩体滑移现象不断发生。

（1）裂缝：随采空区不断发展，地面多级弧形裂缝不断依次伸展，目前已接近山顶，标高达+300m。顶板崩落角浅部为76度，深部为66度。（表5-6）

表5-6 地表主要裂缝分布及规模表

位置	裂缝走向 (°)	裂缝长度 (m)	最大宽度 (m)	可见深度 (m)
16—16+50线	318左右	350—370	2.5—3.5	3—4
15—16线	100—120	300	1.5—2.5	2—3
14—15线	近SN	60—140	1—2.5	1—3
12—13+50线	200—210	180—220	0.5—1.0	0.5—1.0

（2）陷落坑：沿采掘方向呈串珠状分布，形态在平面上呈圆形、椭圆形，剖面上呈坛形、漏斗形。矿体厚度和采空区范围愈大，且巷道接近地表位置时，陷落坑范围也愈大。陷落坑分布及大小见表5-7。

（3）多级滑移：分布于7线以南及14—16线的山坡，呈叠瓦状。发展最迅速的是14—15线，已形成40°左右的三角形坡坎，走向南北，倾向西，宽250m，高300m，面积约45000m²的多级滑坡，向山脚延伸，其后缘的错动台阶高达10m。滑体在地下水的润滑作用下，减少了摩擦阻力，使井巷增加了地压。

总的来说，地面变形由陷落中心向四周大致可分为三个带，即陷落带、滑移带、裂缝

表 5-7 主要陷落坑分布及规模表

位　　置	形状及大小（m^2）	长轴方向	矿体走向	最大深度（m）
12线	约15m，呈椭圆形，150	NE	NE	4
12＋50线	80×100m，园形、520	NE	NE	14
16线	80×25m近长方形，2000	SN	SN	2
7＋50线	35×80m园形、2000	NW	NW	40积水
15线	130×20m长条形			
16＋50～17线	130×60m长条形			

带（图版Ⅴ-1、2、3）。阳山矿开采中的工程地质问题比较典型，其形成机理可概括为以下几点：

（1）不良地层的存在是形成工程地质问题的物质基础。矿区的粘土类岩层，如高岭土、劣质高岭土、角砾岩等，遇水膨胀、软化、崩解，吸水饱和后，水份不易渗出，并起阻水作用，从而使上部的裂隙岩层充水，保持剩余水头，降低了抗滑能力，孕育了产生井下泥石流的条件。

（2）构造。矿区受阳山逆掩断层的巨大应力作用，砂岩、角砾岩均成碎块，破坏了岩体的稳定性。

（3）地下水活动。地面的陷落坑、裂缝、坍塌为大气降水渗入提供了天窗，而通过天窗入渗的雨水又被高岭土隔水层阻隔，积滞在矿体上方，使高岭土软化崩解，形成泥浆，随着顶板冒落，迅速溃入井巷，虽然水量不大，但初始水头压力高，瞬时流量大，对安全造成威胁。由于地下水的补给途径短，具有明显的大气降水补给特征，有较大的潜蚀能力，使裂隙不断扩大。如251采区，雨后24—36h就出现峰值，2—3d后又恢复正常，最大与最小涌水量相差达20多倍。反之，若上覆岩层厚度大、粘性高、降雨入渗率小，局部还有使裂隙充填弥合的可能。此外，地形地貌对雨水的入渗排泄也有较大影响，如12＋15线251采区的地表，为山坡沟谷汇集口，地形低凹，有利于降雨汇集入渗，井下泥石流频繁，而256采区位于坡脊线下，地形陡峭，有利于排泄，雨水入渗量小，开采条件就较好。

（4）采矿活动是形成工程地质问题的诱发因素。开拓井巷以后，形成采空区，具备了岩体滑移的自由空间，岩体应力分布发生改变，重力作用使岩体失稳，相邻岩块互相牵引，滑移、陷落、裂缝等依次发生。

四、岩体中粘土质类岩石的亲水作用导致岩体失稳

层状岩类为主的矿床中常夹有软弱的粘土质岩石，有的直接为矿。如高岭土矿、膨润土矿等。因粘土类岩石中的某些矿物成分具有特殊的水理性质即遇水膨胀、软化、崩解等，对矿山开采、围岩稳固性很不利。如浙江省平山钢基膨润土矿。

矿区位于临安县城西北侧，面积约12km^2。矿区为一山间盆地，地势平坦，标高一般为35—45m，当地最低侵蚀基准面为31m，北和西北部由残丘垅岗环绕，标高约200余米，最高峰玲珑山海拔358m，整个地势由北、西北向南、东南平缓倾斜。区内地表水系较发育，常年流水的有苕溪、马溪和牛轭头溪，苕溪最大径流量达1430m^3/s。地区属亚热带季风湿润气候，多年平均降水量为1463mm，最高年份为2226mm。

矿区为一北东向向斜盆地，北东宽，南西窄，长7.5km，平均宽2.3km。地层由侏罗系上统寿昌组碎屑岩组成，岩层倾角为10—20°，两翼受区域性北东向、北北东向逆断层或逆掩断层（F_8、F_9和F_{11}、F_{12}）的挤压牵引，产状变陡。斜切向斜的断裂有F_1、F_2、F_3等。F_1断裂两侧发育着近东西向的小断层（F_5、F_6、F_7）。

第四系孔隙含水层为矿区主要含水层，水量大，单井涌水量达300m³/d。侏罗系上统寿昌组裂隙孔隙承压含水层，涌水量小，平均单位涌水量为0.08l/s•m。由于矿层具有较好的隔水性能，矿坑涌水量小，据计算－52m开采水平，涌水量为110m³/d，1980年实测矿坑排水量为110m³/d，雨季为230m³/d，旱季为60m³/d。整个巷道大部分处于干燥状态，矿区水文地质条件简单。

矿区含矿岩系属火山喷发—河、湖相沉积。岩性为凝灰岩、粉砂岩、泥岩夹钠基膨润土，韵律十分发育，呈层状结构(图5-8)。主要物质组成为粘土矿物，次为碳酸盐岩类及火山碎屑物、长石、石英等。矿层为主要的不良工程地质岩组，是工程地质问题发生的主要部位。矿区内存在有Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ级结构面，位于盆地边缘的压性断裂规模较大，相当于Ⅱ级结构面。盆地内以扭性为主的断裂、挤压破碎带，规模小，在坑道内所见多小于1m，相当于Ⅲ级结构面。以节理裂隙为主的Ⅳ级结构面不发育，常见的一组为走向N60—85°E，倾向南东（或北西）倾角50—70°；其次为走向N280—310°W，倾角60—70°及走向N30—40°E，倾角70—80°三组。裂隙大都被方解石充填，个别为泥质充填，沿节理裂隙面多有错动擦痕。其中Ⅲ、Ⅳ级结构面对矿区岩体稳定性影响较大。

平山矿采用坑道开采，工程地质问题以巷道变形破坏为主，且由于巷道冒顶，导致了较严重的地表塌落与开裂。如Ⅲ号斜井导线点301—308和321—323段巷道（图5-9），（8）矿层顶板沿灰质页岩严重冒落，冒落高1m左右，预制钢筋水泥支护及木支护横梁折断（图版Ⅵ-2、3），底板蒙脱石化粉砂质泥岩，由于排水不畅，坑道常年潮湿，使其吸水膨胀，造成底板不均匀隆起，坑壁（8）矿层，风化破碎严重，引起向内侧挤压变形。Ⅲ号斜井导线点318，F_{18}横切巷道通过，并有NNE和NNW两组节理互切，造成（7）矿层发生偶发性大冒落，冒落高度约10m，最大块体3—4m³。Ⅳ号斜井导线点405-6，1983年4月沿（7）矿层顶板一组倾向NE或SW裂隙，发生大冒落，冒落高度达5m，并引起地面开裂，裂缝宽8—10cm，延长60余米（图版Ⅵ-4）。Ⅳ号斜井导线点407-6顶板1975年发生严重坍塌后于1976年波及地面，使地表产生长10余米的裂缝。

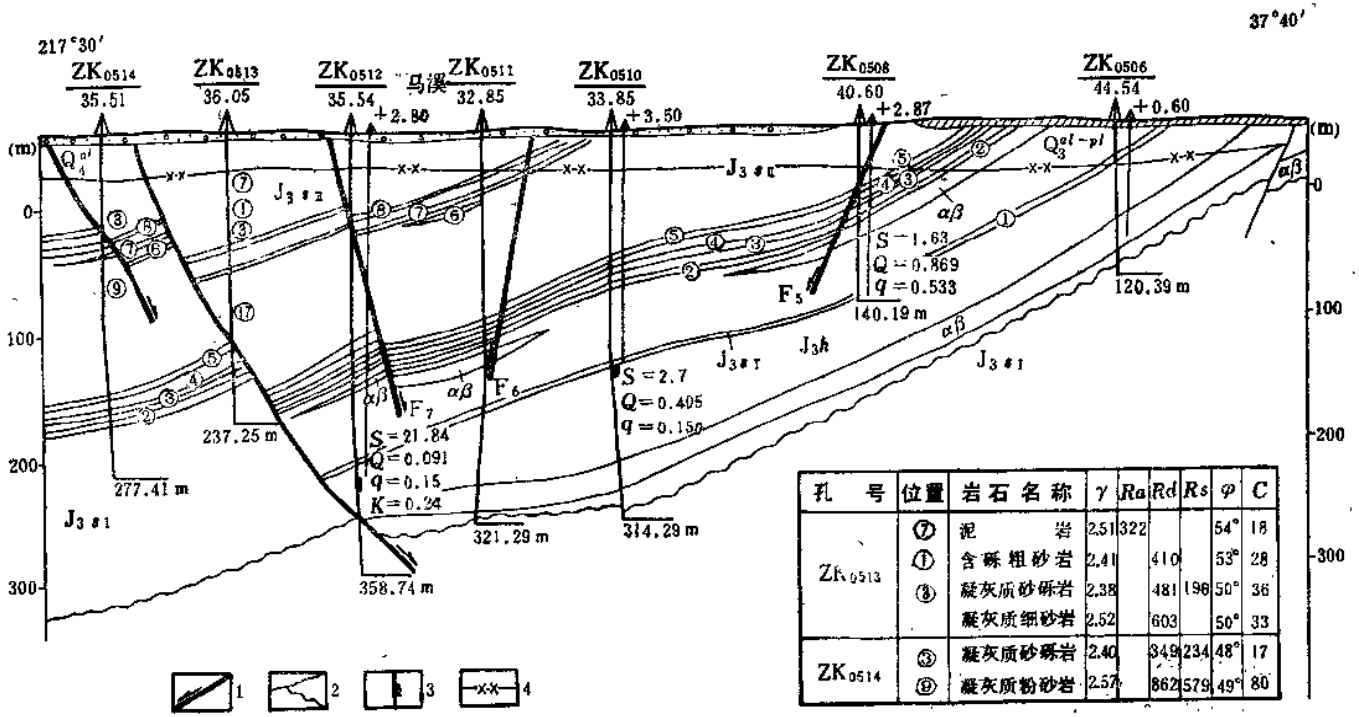
产生上述工程地质问题的主要因素是：

1．粘土矿床的部份含矿围岩具蒙脱石化，岩石力学测试属半坚硬—软弱岩层，遇水易软化崩解，降低强度而失去稳定性，尤其是（8）矿层和直接顶板，常发生冒落。

2．不利的结构面组合。矿区内节理裂隙不甚发育，矿层和含矿围岩大多为厚层，在非构造发育地段，岩体稳定性好，但在构造发育部位，或几组节理裂隙交汇处，常发生偶发性冒落掉块。

3．地下水的作用。地下水沿构造破碎带及浅部风化裂隙带渗入矿层，加速含蒙脱石岩层的软化、崩解和膨胀，从而使巷道变形破坏。

4．矿层大部份为饱水的第四系松散层覆盖，上部有常年地表水流通过，开采中一旦产生坍塌波及上部第四系松散层，则使矿床工程地质条件恶化。



孔号	位置	岩石名称	γ	Ra	Rd	Rs	φ	C
ZK0513	⑦	泥岩	2.51	322			54°	18
	①	含砾粗砂岩	2.41		410		53°	28
	⑧	凝灰质砂砾岩	2.38		481	196	50°	36
		凝灰质细砂岩	2.52		603		50°	33
ZK0514	③	凝灰质砂砾岩	2.40		349	234	48°	17
	⑫	凝灰质粉砂岩	2.57		862	579	49°	80

图 5-8 H_6 线工程地质剖面图

1—断层；2—不整合面；3—含水地段；4—强、弱风化带界线；Q_4^{al}—全新统冲积层；Q_4^{al+pl}—上更新统冲洪积层；J_{3s}Ⅱ—寿昌组上段Ⅱ韵律层；J_{3s}Ⅰ—寿昌组中段Ⅱ韵律层；J_{3s}Ⅰ—寿昌组下段Ⅰ韵律层；J_3h—黄夫组；αβ—安山岩；S—水位降深（m）；Q—涌水量（l/s）；G—单位涌水量（l/s·m）；K—渗透系数(m/d)；+3.50—涌水孔水位高度（m）

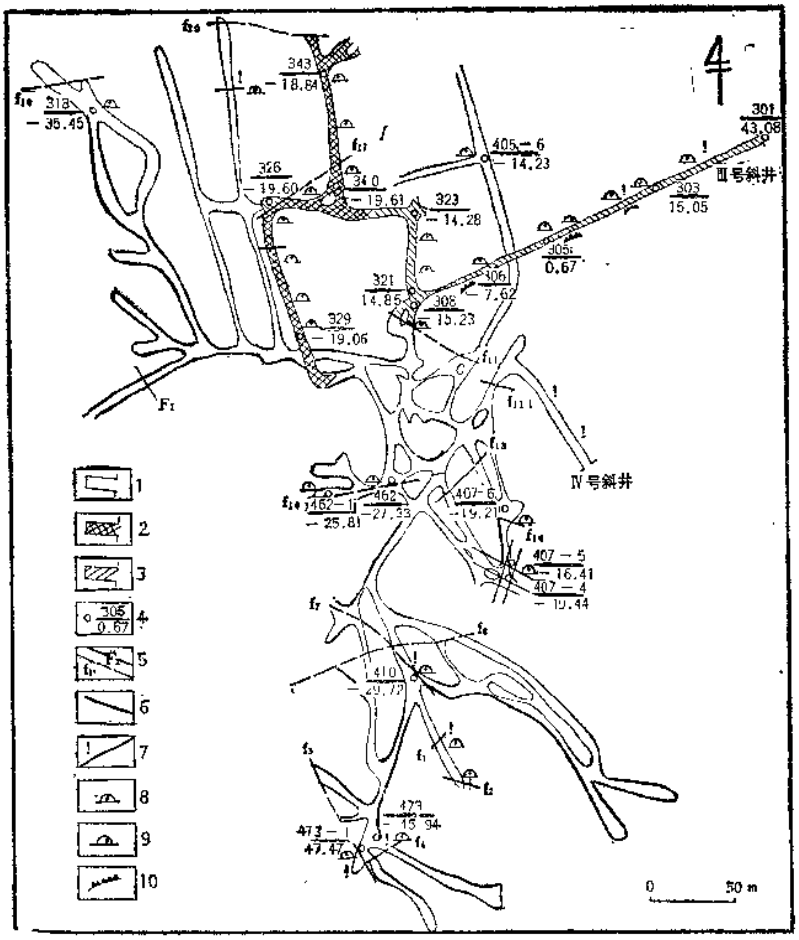


图 5-9 平山矿巷道工程地质水文地质略图

1—坑道顶板为（7）矿层；2—坑道顶板为（8）矿层；3—坑道顶板为（8）矿层顶板；4—导线点编号/标高；5—断裂及编号；6—节理；7—雨后涌水/长期微涌水；8—顶板冒落；9—片帮变形；10—底板变形

五、陡崖山区矿床围岩山体失稳

矿床围岩山体失稳是一种灾难性的工程地质现象。影响因素有地质的，地形地貌及人为采动等因素。比较典型的例子是湖北省盐池河磷矿。

盐池河磷矿位于湖北省宜昌市北87km处。矿区位于中低山，深切割的峡谷地带，山体大致呈北西、北西西向分布。山顶标高1101m，谷底盐池河（当地侵蚀基准面）标高500m左右，受地层岩性影响，常构成绝壁，俗称"点头哈腰"地形。盐池河由西向东流经矿区北部，最大流量达5m³/s。多年平均降水量1145.5mm，多集中在6—8月。巨型山崩发生在盐池河南岸采区上方陡壁上，使矿山毁于一旦（图版Ⅶ-1、5）。

矿区位于淮阳山字型西翼反射弧的砥柱部份—黄陵背斜的东翼，为一向东、南东东的单斜构造。由前震系空岭群混合花岗岩、片麻岩及片岩组成基底；其上覆盖震旦系上统含磷岩系，由页岩、磷块岩、薄至中厚层白云岩、泥质白云岩组成，厚160—190m；再上为灯影组厚层块状白云岩厚490—510m。岩层走向一般近南北或北北东，倾向东、南东东，

倾角8—15°。工业矿层位于上统（陡山沱组）下部，厚2m左右，直接顶、底板分别由厚层块状白云岩和粉砂质页岩构成。矿区以断裂构造为主，共发现大、小断层29条（图5—10）。滑崩体附近几条主要断层为：

1．黄家冲—大畈断层（F_{12}）：走向280—310°，倾向NE，倾角52—82°，长约6600m，为区域性正断层。破碎带有角砾岩和糜棱岩，穿越前震旦系空岭群至寒武系，组成矿区北部边界。

2．邓家坡断层（F_{72}）：走向320—340°，倾向NE，倾角60°，长700m以上，为正断层。破碎带中有角砾岩及摩擦镜面。破碎带往南展宽，并有坍塌现象。断层穿越空岭群至灯影组地层，从滑崩体西南缘通过。

3．大畈断层（F_{73}）：走向310—330°，倾向NE，倾角45°，长约200m，为正断层。从滑崩体东侧通过。

总的来看，本区断裂构造大都为正断层，较大的断层如F_{12}、F_{82}等，次一级断层较多如F_{71}、F_{72}、F_{73}、F_{69}等。总体走向为280—330°之间，部分断层已深入到基底，使古老岩体与震旦系地层呈断层接触。区内断层未直接控制滑崩体的边界，但在同一构造应力场作用

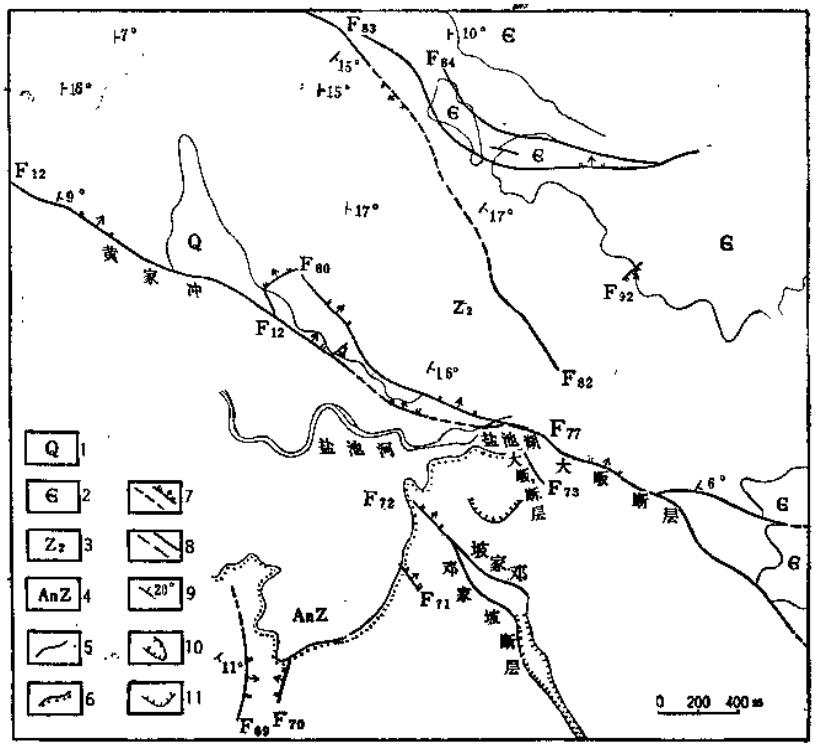


图 5-10　盐池河磷矿区构造纲要图

1—第四系；2—寒武系；3—震旦系；4—前震旦系；5—地质界线；6—角度不整合界线；7—实测及推测正断层；8—实测及推测性质不明断层；9—地层产状；10—破碎带及坍塌；11—岩体滑塌范围

下，岩层中产生的节理裂隙却对滑崩体起着明显的控制作用。据统计主要的三组节理，发育方向分别为NNE、NW或NWW及近EW。节理在不同岩层中发育程度不同，陡山沱

组一般节理密集，闭合，延展性差；灯影组节理间距稀，张开程度较高，延展性也较强，但多被泥质，方解石等充填。

第四系以来，矿区大面积间歇性抬升，河流下切，形成了目前陡峻深切的“V”字型峡谷地形，为滑崩准备了地形条件。

开采矿层位于当地侵蚀基准面以上，矿层上部陡山沱组含泥质较高的白云岩相对隔水，质纯的厚层白云岩含岩溶裂隙水。由于岩溶不发育，裂隙受薄层泥质白云岩抑制，因而未构成较好的储水空间，水力联系弱，水量小。其上部灯影组白云岩顺层岩溶发育，裂隙贯通性好，渗透能力强。由于陡山沱组隔水层的阻拦，大气降水不能直接补给矿坑，地下水转为顺层排泄。矿区水文地质条件简单。

根据岩体结构特征，力学性质，水文地质特点，将矿区岩层划分为四个岩组。

1．薄层状黑色粉砂质页岩软弱岩组：呈薄层板状结构。单向极限抗压强度为750kg/cm^2。近地表风化强裂，节理极为发育，总体走向为300—340°及35—60°，近EW向节理最为密集（1.3m^{2}范围内28条）。岩体被切割成不连续块体，致使整体强度大大低于岩块强度。遇水后易软化，具塑性变形特征。

2．泥质白云岩组：层厚15m左右，层状碎裂结构。干抗压强度为1565kg/cm^2，湿抗压强度688.2kg/cm^2（最低），软化系数0.615。干内聚力86.5kg/cm^2，摩擦角40.5°，饱和内聚力28.2kg/cm^2，内摩擦角44.5°。动弹性模量$E=4.3\times10^5$，泊松比0.165。发育有30°、320°两组节理，节理面平直光滑，倾角陡。岩层在地貌上形成小陡坎。沿结构面常有地下水的贮存和运移，导致岩层泥化作用于分明显，力学强度降低，变化幅度大，在节理裂隙的切割下，对上覆陡崖的稳定很不利。

3．白云岩、泥质白云岩、磷块岩软硬相间岩组：层状碎裂结构，力学强度变化大，层厚100—120m。岩组在地形上构成中陡坡（坡度45°左右），作为上覆陡壁的“基础”。由于软硬相间，不同性质岩层其变形机制不同，岩体强度悬殊大，呈不均一性。地下水量虽不大，但在局部承压地段对层面特别是含泥成分较高的薄层状白云岩具浸蚀及泥化作用。

4．质纯灰白色白云岩岩组：块状结构。岩石抗压强度达1605kg/cm^2，岩性硬脆，节理发育，地貌上常形成陡壁，在内外动力作用影响下，易产生变形直至倒塌，弹性变形明显，采空后放顶不易达到预期效果。顺层面溶蚀现象明显，为较好的透水层。

盐池河磷矿矿体围岩坚硬，软弱结构面不发育，水文地质条件简单，井下工程地质条件并不复杂，坑道开采中未发现大的工程地质问题，但在其特有的地形地貌及岩体结构条件下，坑下采矿引起采场上部山体变形、开裂，在降水渗入的参与下，导致了1980年6月3日在矿区上部鹰崖咀山发生灾难性的大规模山体崩塌。崩塌范围南北长560m，前缘最宽470m，总体积约100×10^4m^3（图版Ⅶ-5及Ⅷ-1）。前缘堆积体最厚达38m，一般厚20m左右。崩塌碎石填塞了盐池河、形成高20—30m的堆石坝、上游形成一个小水库，摧毁矿务局全部地面建筑、井口设施及全部物质，并造成200多人死亡。崩塌同时引起1.4级地震。山体崩塌的形成受采矿活动的影响，大型崩塌之前，井下巷道中也不断产生局部冒顶、底鼓等，地表产生裂缝及小型崩塌，其发展过程及特征简述如下：

矿区于1975年开始采矿，1978年上半年西部一、二、三分段采毕，由于顶板厚层白云岩坚固，放顶效果不佳，在一分段采空区地表发现1—2cm裂缝（Ⅷ号裂缝），长120m，宽2m。同年贮矿仓上部Ⅷ号裂缝附近发生小规模崩塌（图版Ⅷ-3），井下矿柱被压裂、底

鼓，顶板局部冒落等现象。到1979年上半年四、五分段南部采空后，一、二分段地表又产生Ⅳ、Ⅶ号裂缝，宽5—15cm。井下出现矿柱压裂、片帮、底鼓（图版Ⅶ-4），1979年至1980年六分段采空逐块放顶，地表发现Ⅴ、Ⅸ、Ⅹ号纵向裂隙，深约10m，宽2cm左右，山顶（标高880m）发现Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ号裂缝，最宽20cm。此时井下变形日趋严重，中央斜井片帮、底鼓不断发展，局部挤压合拢，难以通行，六分段与中央斜井交叉处，顶板出现张裂隙（图版Ⅶ-2），矿柱压裂，采空区的地表及滑崩山体中先后发现张性裂缝10条，形态上宽下窄，呈"V"字型，走向NE和NWW，倾角80—90°，为山体崩塌准备了条件（图5-11）。

山顶崩塌除上述的采动因素外，与特定的地质与自然地理条件也密切相关，具体的有以下三方面：

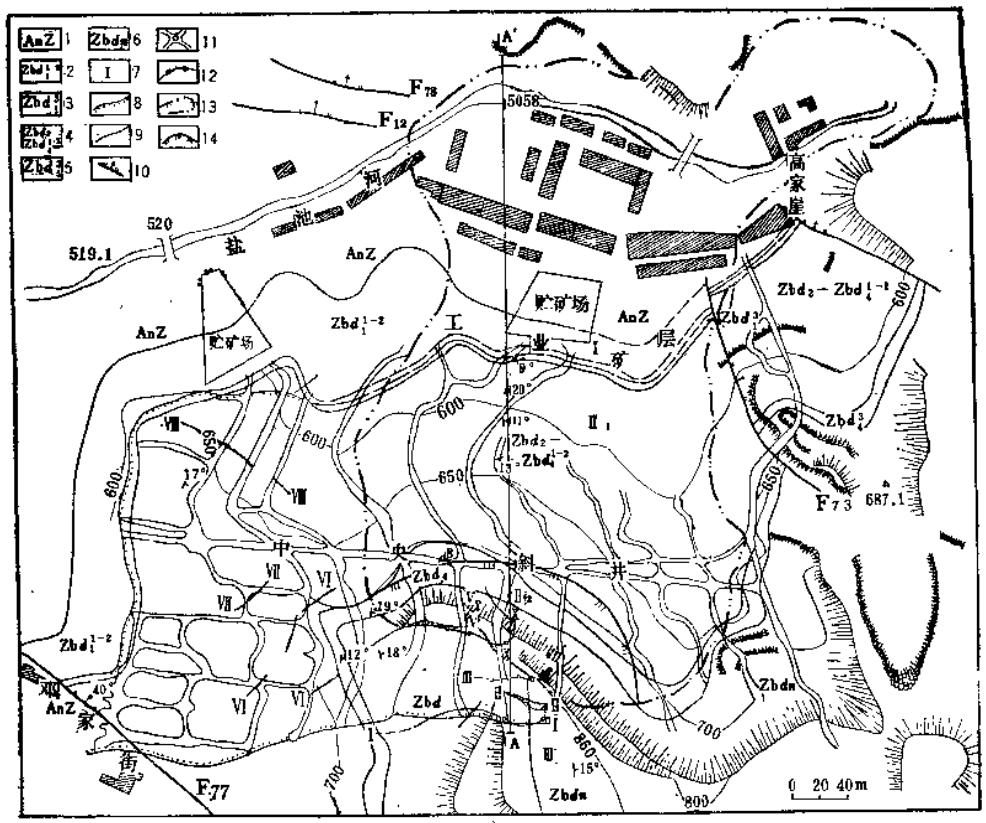


图 5-11 盐池河磷矿区工程地质略图（滑坍前后）

1—前震旦系空岭群；2—震旦系上统陡山沱组一段中下部；3—震旦系上统陡山沱组一段上部；4—震旦系上统陡山沱组二段至四段中下部；5—震旦系上统陡山沱组四段上部；6—震旦系上统灯影组；7—工程地质岩组代号；8—采空区范围；9—地质界线；10—断层；11—地下坑道；12—观测点、地表裂缝及编号；13—滑崩山体分布范围；14—滑崩体界线

1．陡峭的山崖。盐池河磷矿位于中低山区，河流深切形成"V"字型峡谷。滑崩体位于高220m，坡角45°的岩坡之上，向北突出的鹰岩咀岩高160m，两侧为溪沟所切，南缘被Ⅰ号裂缝所切割，形成三面临空，南缘失去联结力的孤立陡崖，其下为沉积的层状软弱结构面，构成了滑崩体完整的几何边界条件。

2．滑崩山体由坚硬和软弱岩层互层组成，各层在山体变形过程中的作用各异。滑崩体为厚层块状白云岩，厚160m，坚硬完整，决定了变形的整体性；其下为陡山沱组上部的薄至中厚层白云岩、泥质白云岩和粉砂质页岩（图版Ⅷ-2），岩石软弱易风化，层面联结力差。粉砂质页岩为滑崩体下部的第一个软弱层位，倾向与地形坡向一致，严格地控制了滑崩体的变形，给滑体提供了滑动面。滑崩体下部矿层开采后，形成了新的临空面，破坏了山体应力平衡，促使底板页岩加速风化，在山体自重压力下，促使山体变形破坏。

3．滑崩体位于矿区Ⅱ级结构面F_{12}、F_{72}之间的断块上，滑体中节理裂隙长而稀，由南及南西边界分别追踪EW、及NW向节理，交汇而成，地表开裂的产生除采动力的影响外，也受到原有结构面发育方向的制约。在灯影灰岩层中地表开裂追踪NWW和近EW向的节理发育，在陡山沱组地层中则沿NE向节理面开裂。山体滑动主要由薄层泥质白云岩的层面及NW和NE向高角度节理面组合而成。此外，大气降水对山体崩塌也起了明显地激发作用。

第二节　层状岩类为主的矿床工程地质工作要求

典型矿山工程地质调查资料表明，该类矿床的工程地质工作重点应放在岩层组合，层面及原生泥化软弱层位的特征上，同时要注意地下水的赋存条件及渗透压力的变化，具体的有以下几方面的内容：

一、研究地层结构、岩性特征

研究地层结构，沉积旋迴及韵律特征，岩性变化及地层中软弱夹层的分布范围、层数、厚度及水理、物理力学性质，碎屑岩的胶结方式，胶结物及胶结程度和围岩力学强度的变化规律。

二、查明矿区地质构造

在查明矿区地质构造的基础上，确定Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ级结构面发育部位、产状、组合关系及其对矿床稳定性的影响，同时注意晚近期构造的活动情况。

三、研究软弱岩层水理、物理力学性质

软弱岩层（主要为含蒙脱石的粘土质岩类）在围岩中的存在及发育程度是该类矿床开采中主要的不稳定因素，工作中除查明其层位、层数及物质成分外，特别应注意软硬岩互层部位及各类软弱岩层，软弱结构面的力学强度的测定。在有条件的地区，应采用定向取芯器，对那些取芯困难的软弱层及软弱结构面采取岩芯，测定其力学强度参数。

四、查明矿床水文地质条件

这类矿床主要为层状结构，含水层一般都在两层以上，水文地质条件较复杂，在工作中应查明水文地质结构，确定构造破碎带的导水性及其对软弱层的影响等。

五、地形、地貌形态的研究

层状岩类矿床易沿层面滑动，造成围岩不稳。地形、地貌与地（岩）层产状的不同组合，对矿床的工程地质条件影响极大。如软硬岩石相互组成的露采边坡，在矿床开采中极不稳定，应注意坡向与软弱结构面组合关系的研究。陡岩山区不利的结构面组合易产生严重岩崩，在工作中应注意危岩（点头哈腰）的位置，高度，泥石流等环境地质研究。并结合地形，地貌条件指出排土场方向。

六、矿床不同开采方式的工作重点

（一）地下开采：

应着重研究地层结构、软弱结构面的分布、地下水的水量、水质。预测崩落角及其影响范围，编制预测性图件及说明表。

（二）露天开采

露采主要的工程地质工作是边坡稳定性的评价。层状矿床由于岩层组合复杂，岩性变化大，边坡易形成软硬互层，在水的作用下很不稳定。工作中应着重研究边坡地段的岩层结构，各种软弱层及软弱结构面的分布特征及其组合关系。要求查明露采矿层以下50m范围内粘土软层的层位、层数、厚度、产状及粘土矿物的成分、含量，粘土层的水理、物理力学性质，区分出软硬岩互层地段及顺层坡向等不稳定地段。如已知露采场范围，应结合上述资料，分段评价边坡岩体的稳定性，提出预测边坡稳定分析图件，采用比拟法预测坡面边坡角。

剥离物强度工程地质勘探是为开采方法选择和设备选型提供地质资料，一般是在详细勘探阶段的首采地段进行。内蒙古霍林河煤田为引进先进的轮斗开采工艺的需要，曾先后两次进行了剥离物强度勘探。经总结认为，剥离物强度的工程地质勘探，从工程地质角度来看，关键是矿区岩石强度以及影响岩石和岩体强度的裂隙发育程度。具体要求有以下四点：

1．进行岩层对比，查明各岩层或层段的岩性、强度、裂隙空间分布，指出影响轮斗正常生产的❶硬岩层位、厚度、强度及其分布范围。

2．对每个地质岩样孔，应提出岩石等级及其准确的厚度、深度，构成完整的强度柱状剖面，并尽可能提出连续完整的强度曲线。

3．岩样试验应在现场，尽可能保持岩样的原始状态，避免震动和失水，严格执行试样加工及测试质量要求，以保证试验数据的准确性。

4．应提交下列主要图件：

①岩石强度和各种物性相关图；

②岩石强度综合解释柱状图；

③岩层（岩段）及矿层划分对比图；

④各主要可采矿层以上各强度等级的岩石含量百分比等值线图；

---

❶ 湿抗压强度大于100kg/cm²为硬岩

⑤对开采影响较大的稳定硬岩层的厚度，强度等值线图；

⑥各种表示岩石强度特征和裂隙发育规律的图件；

⑦各种试验成果表和计算基础表。

露天边坡及剥离物强度的勘探，均应充分利用各种地质、水文地质钻孔，结合岩层的各种物性参数和物理力学试验指标之间的相互关系，首先建立起工作区岩层比较完整的综合工程地质柱状图，进行弱层、弱面的分析对比，调查自然滑坡、崩塌的分布，研究边坡的稳定性。

第六章　岩溶化岩类矿床工程地质特征及工作要求

岩溶化岩类矿床，主要指围岩中以碳酸盐岩及其它可溶岩为主的矿床。我国的碳酸盐岩分布广泛，自太古代的变质碳酸盐岩到新生代的礁灰岩，分布面积达200多万km^2。矿山开采中的水文地质、工程地质问题，主要受岩溶发育的影响。如华北地区的石炭二叠系煤层底板；邯郸、莱芜地区矽卡岩型铁矿的顶板均为奥陶系马家沟灰岩；华南地区二叠系煤田的煤层底板为下二迭茅口、栖霞灰岩；长江中下游地区的矽卡岩型铜铁矿的围岩主要为三叠系灰岩；两广地区的金属矿围岩多为石炭系的壶天、黄龙灰岩以及泥盆系的天子岭灰岩等。其岩溶发育，富水性强，矿坑涌水量大，水文地质条件一般比较复杂。矿床开采过程中疏干排水，常引起地面塌陷、开裂、沉降、管涌、突水及突泥等水文地质和工程地质问题，给矿山生产带来严重威胁，给当地工农业生产造成危害。

第一节　岩溶化岩类矿床工程地质特征

这类矿床除具有层状岩类矿床所具有的一般工程地质特征外，还具有下列特征：

一、矿床工程地质条件受岩溶化强度及分布不均一性的控制

岩溶的形成与发育有着一定的地质背景和自然环境，受地形、气候、水文、地质构造、岩性及地质历史等诸因素的影响，发育程度变化很大。按其发育的空间形态可分为溶隙、溶洞及暗河管道三种形态。就其出露条件又可分为裸露型、埋藏型及覆盖型。岩溶发育程度在全国范围来说是很不均一的。我国北方（包括东北、华北、西北）以埋藏岩溶居多，多发育溶隙及小溶洞，岩溶水量变化大，矿床开采中以水文地质问题为主，工程地质问题较少。如辽宁省复州湾粘土矿，华铜铜矿，矿区岩溶发育以溶隙为主，岩溶水是矿坑主要充水来源，疏干排水中出现地面塌陷，但规模小，数量也不多。据调查华铜铜矿只发生两个塌陷，造成危害很小。华北煤田底板，邯郸、莱芜铁矿顶板均遇奥陶系马家沟灰岩，各矿区岩溶发育，岩溶水丰富，矿床开采时矿坑涌水量一般均较大。但由于埋藏较深，抽排水中不易出现地面塌陷。主要的水文地质、工程地质问题是断裂构造导水及岩层薄弱地段的底板突水。

南方地区以覆盖型和裸露型为主，岩溶发育，一般沿构造裂隙或层面发育。在垂向上岩溶发育程变随深度逐渐减弱。大致可划分为两带，埋藏深变在0—80m的以溶洞为主，溶洞规模大，多充填或半充填；埋深80—300m地段，岩溶发育减弱，充填程度亦差，以溶孔及溶隙为主，岩溶发育最深可达300m以上。地表为薄层第四系覆盖的浅层岩溶矿床，既有水文地质问题，又有工程地质问题。如广东凡口铅锌矿。

矿区位于广东省仁化县山间盆地北缘，东、南、西三面环山，地势平缓，略向东南倾

斜。年平均降水量1669mm。地表水有董塘河、斯溪河及凡口河。影响较大的凡口河，流经矿体分布区，最大流量达2.9m³/s。

矿区位于华南准地台、湘桂粤坳陷与赣南隆起毗连地带，曲仁构造盆地北缘次一级凡口倾伏向斜的昂起部位。凡口向斜轴向北西，向南东倾伏。矿区地层为中、下泥盆统至中、上石炭统的灰岩、粉砂质页岩、粉砂岩、石英砂岩。区内地质构造较复杂，褶皱、断裂发育（图6-1）。

矿体赋存在泥盆系中统东岗岭阶上亚阶至石炭系壶天群以下各组地层中，以泥盆系上统天子岭组为矿区主要矿化层位。

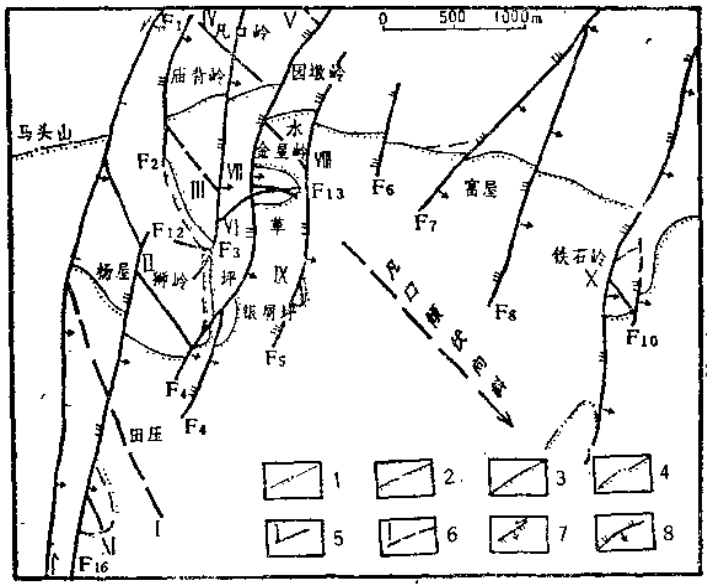


图 6-1 凡口矿区构造纲要图

1—C、E不整合界线；2—C_1与下伏岩层不整合线；3—C_{2+3}与下伏岩层不整合线；4—P_2与下伏岩脉不整合界线
5—背斜代号；6—向斜代号；7—平移正断层；8—逆断层

区内以碳酸盐岩为主，大部分被较厚的第四系松散层覆盖，地表岩溶现象不多。通过电法勘探，初步查明金星岭至盘子岭一带为矿区主要岩溶带；岭背与董塘一带，壶天群岩层较完整，局部地段仍有岩溶发育；田庄、岭背一带岩溶亦较发育。岩溶发育分带以金星岭背斜南翼及轴部、狮岭背斜东翼最为发育；矿区南部及东部岩溶较发育，钻孔中能见率为60—75%。大量溶洞是在0 m标高以上的浅部，近地表溶洞多被充填，充填物主要为亚粘土、亚砂土夹砂砾石，往深部充填物以钙质亚粘土为主。

矿区主要含水层为壶天群溶洞含水层，位于矿床顶板，主要由白云岩、白云质灰岩组成，岩溶发育在－20m标高以上，上部强岩溶带平均厚度74.89m，富水性强，在金星岭南部地段，单位涌水量为5.10—6.06l/s·m。次要含水层为天子岭组溶洞裂隙含水层和第四系孔隙含水层，富水性中等，钻孔单位涌水量最大为0.44—0.95l/s·m。各含水层之间，通过隔水层中的天窗及断层，有一定水力联系，在疏干排水过程中联系更为密切。地下水靠大气降水及地表水补给，排泄于董塘河一带。

根据岩石的物理力学性质、构造及风化、破碎程度，将矿区岩层划分为坚硬、半坚硬及松软三个岩组，特征见表6-1。

表 6-1 岩组力学性质表

岩组		岩性	岩体结构	极限抗压强度 (kg/cm²)	抗剪强度 (kg/cm²)	内聚力 (kg/cm²)	内摩擦角 (°)	压缩系数
坚硬	很坚硬	白云岩、大理岩、黄铁铅锌矿	块状	1003—1404	65—215			
	坚硬	各种灰岩、粉砂岩角砾状白云岩	块状层状	711—1110	154—181			
	硬岩	瘤状灰岩，砂岩	层状	403—1009	133			
半坚硬		风化白云岩，破碎白云岩	层状碎裂	322—554				
松软	软岩	粘土、亚粘土，沼泽泥炭土	散体			2.37	24.20	0.033
	疏松	砂、砾石	散体			0.23	19.20	0.094

根据矿区岩石特性、岩溶发育程度、地形地貌条件及第四系松散层的结构、厚度与分布等因素，结合矿床开采疏干排水可能引起地面塌陷，将矿区的工程地质条件概略地划分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ区。Ⅰ、Ⅱ区分布于低山丘陵，为砂页岩、砾岩、灰岩分布区，岩石较坚硬，第四系沉积层薄，基础稳定，未见地面塌陷，工程地质条件好；Ⅲ区为壶天群白云岩、灰岩区，分布于丘陵斜坡及山间盆地中，工程地质条件差，属非稳定区，按其稳定程度分为：

（$Ⅲ_1$）开采塌陷区：由壶天群白云岩组成的平缓斜坡，基岩面起伏显著，岩溶发育强烈，其上为坡、残积及冲洪积层覆盖，地面已有许多塌陷分布，预计矿床深部开采时将产生大面积的崩落，工程地质条件极差；

（$Ⅲ_2$）冲洪积扇不稳定亚区：分布于盆地中，地形平坦，岩溶比较发育，地面有漏斗及零星塌陷分布，预计矿床开采及疏干时，将会产生大的塌陷，属不稳定区；

（$Ⅲ_3$）冲洪积阶地较稳定亚区：组成平坦阶地，下部壶天群白云岩岩溶发育较弱，岩层完整，离矿床较远，地面稳定。

矿山采用坑道开采，矿体顶板为壶天群含水层，地下水动、静储量大，为了安全采矿，矿山于1966年6月开始疏干放水，金星岭北部水位已降到强岩溶带底部，采区处于疏干状态。

由于放水疏干，产生了一系列的工程地质问题，主要有：

1．地面塌陷

塌陷区范围，东至铁石岭，西过凡口河，南到大贵地，北近隔水边界，塌陷面积达$550\times10^4m^2$（图6-2）。至1982年底共产生塌陷1864处，直径最大为44m，深度最大达30m以上（表6-2），最大体积$9308.5m^3$，锅形下陷。

建矿以来，塌陷受损农田达1000多亩，建筑物拆迁$686000m^2$，报废铁路4km，公路1.5km，每年赔偿费达20余万元（图版Ⅸ）。

地面塌陷与岩溶发育程度有关，凡口矿以壶天群白云岩岩溶发育，地面塌陷也集中，天子岭灰岩次之，东岗岭灰岩最弱。

2．泥沙危害

松散土从塌陷中下灌，使地下水中含砂量增加。西部放水产生的曲塘大塌陷时，含砂

表 6-2　塌陷直径与深度统计表

塌陷	直径 (m)					深度 (m)					备注
	<1	1—5	5—10	>10	总数	<1	1—5	5—10	>10	总数	
个数	31	1239	394	200	1864	670	1133	52	9	1864	1982年
占总数(%)	1.7	66.4	21.1	10.7		35.9	60.7	2.7	0.5		统计

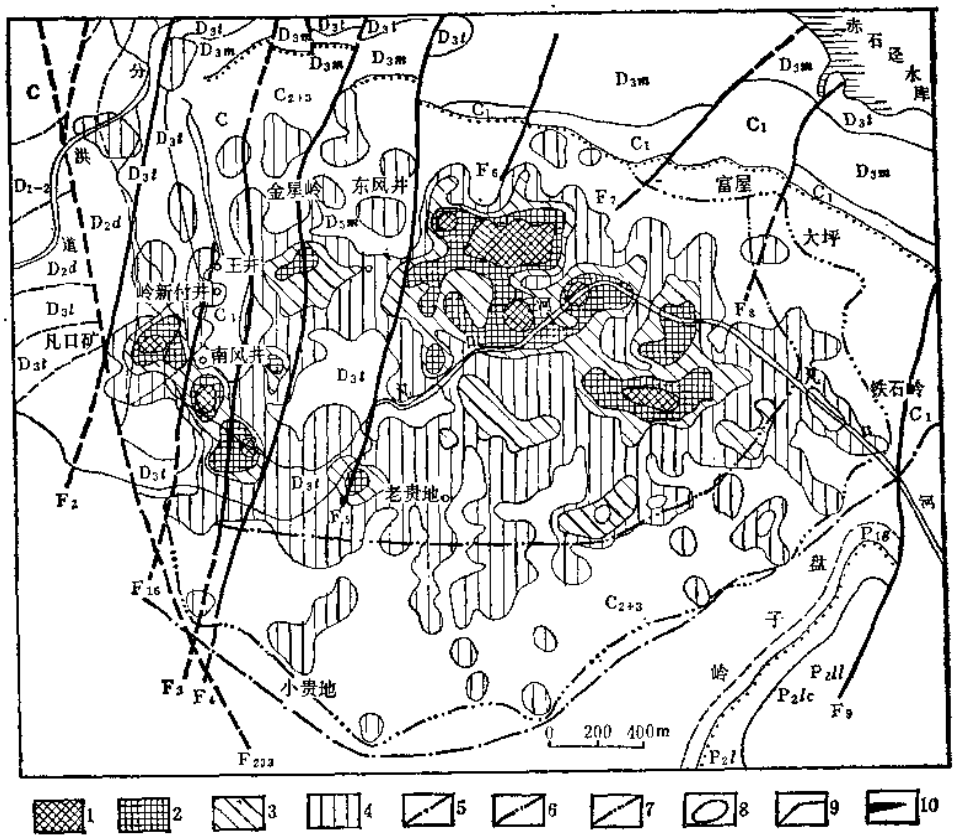


图 6-2　凡口矿地表塌陷密度图

1—单位面积（100×100m²）内塌陷数超过20个；2—单位面积内塌陷数10—20个；3—单位面积内塌陷数5—10个；4—单位面积内塌陷数1—5个；5—疏干漏斗边界；6—塌陷边界；7—疏干区边界（即水位已低于基岩面）；8—新付井开拓及在D_3t、D_2d地层中其他工程抽排水引起的塌陷；9—疏干截水巷；10—矿体

量由8.8%增加到69.55%。涌水矿坑的泥砂以直径小于0.005mm的粘土为主，尚有少量砂、砾、岩石碎块等。据1973年至1979年统计，每年由泵房排出的泥砂达7200—20000m³，总计约151840m³（未包括巷道及水仓沉积泥砂）。由于泥砂涌入巷道，使水沟淤塞，水仓容积变小，南部截水道泥砂淤积已接近巷道。－160m中段金星岭0号穿斜坡道，由于掘到壶天群灰岩中遇东西向裂隙涌水、突泥，突水量虽不大，但突泥量淤积巷道达1400m³，为清理泥砂局部停产6个月。夹带泥砂的地下水也给排水工作带来许多困难，既污染环境，又影响农田。为处理泥砂，净化工程耗资2852845元。

3．巷道局部变形破坏

凡口矿岩体强度大，巷道基本不用支护，但在下石炭系砂页岩中成巷，巷壁很不稳定。主要由于炭质页岩，松软破碎，暴露于空气后易于风化剥落。

4．地表滑坡

地表工程建筑中，由于边坡开挖到软弱层，地表水下渗引起滑坡，目前已发现三处。1979年在矿区西侧乌猪山北坡产生体积达4200m³土层滑坡，高压线路电线杆位移。1981年园墩岭南坡产生体积达157000m³土层滑坡，一间民房被迫折迁。1981年园墩岭东侧山坡进行大修厂基建施工时，当坡脚开挖到下石炭系孟公坳组（C_1Y_m）砂页岩时，由于节理裂隙发育，产生体积达234000m³的顺层滑坡。

我国西南地区暗河管道发育，岩溶水丰富，但分布很不均一，一般暗河管道中水量大，管道外富水性及水力连通性很差。这类矿床以水文地质问题为主，工程地质问题少。如四川红岩煤矿，处于裸露型的碳酸盐岩地层中，暗河管道岩溶发育。初步查明有七条暗河，暗河地下水直接受大气降水及地表水补给季节性变化明显，矿井最大突水（大海空河系）量达18000m³/h。暗河以外的岩层富水性很弱，钻孔抽水单位涌水量仅0.00002—0.28l/s·m。洪水期小海空河水位可提高50余米，而附近观测孔水位上升甚弱。

二、地面塌陷是岩溶化岩溶化岩类矿床的主要工程地质问题

岩溶地面塌陷多发生在浅部溶洞发育，上覆盖有厚度小于30m的第四系松散沉积物，地下水面（压力面）埋藏较浅的地区，尤其在岩溶水排泄区，水位变动带位于岩石界面附近的地区最易发生。在天然情况下，地下水处于覆盖层内，尚能保持土体稳定平衡，而在抽、排水情况下、地下水位下降在岩石界面以下，破坏了土、水、气三者平衡而产生塌陷。塌陷的一般规律是：

1．塌陷分布范围受可溶岩层分布及地下水降落漏斗范围的控制；

2．塌陷强度（频率）与地下水位下降速度和幅度有关；

3．塌陷程度与浅部岩溶发育程度成正比。

如湖南省恩口煤矿，矿区位于湖南省娄底市以北11km，是湖南省炼焦煤重要产地之一。矿区为四周高、中间低的向斜盆地，地势较平缓，一般标高为120—350m。本区属亚热带季风气候区，降雨充沛，，年降水量为1331—1633.6mm，多集中在4—7月，为地表水、地下水的主要补给来源。地表水系发育，主要有壶天河、小碧河、木杉河、涟水。这些河流均自北西向南东流经矿区，切割主要含水层，与地下水有密切的水力联系，据实测倒灌量约占矿坑涌水量的57%。

矿区位于南岭东西向构造带北部，恩口—斗笠山S型构造的北东段，为一弧形向斜。其北东部开阔，南西部紧闭，形似牛角，有利于地下水的储聚。南东翼地层倒转，使两翼岩层都向南东倾斜，倾角一般在50°以上。向斜内断裂构造发育，规模较大，大部份断裂导水性良好。矿区内出露的地层，从石炭系至白垩系均有分布，外围有泥盆系及其下部地区，第四系覆盖于基岩之上，最厚33.4m。含煤地层属上二叠统龙潭煤组，含可采煤一层，一般厚2m左右，分布面积66.5km²，上覆二叠、三叠系硅质灰岩、泥灰岩，下伏二叠系下统茅口、栖霞厚层灰岩。茅口灰岩为矿区主要含水层，厚428m，岩溶发育，含丰富的岩溶水，泉水最大流量达164l/s，与下部栖霞灰岩（厚130余米）组成统一的含水体，

为矿区可采煤层的直接底板，其间有的地段仅有厚度小于1.42m的白色粘土岩，不起阻水作用，直接影响矿井安全。建井初期曾造成多次淹井，70年代采取煤层底板大巷直接对茅口灰岩岩溶水强排疏干后（1980年矿井总排水量达到4500—8500m³/h避免了淹井事故。

排水疏干使矿区沿地层走向长约40km、宽2km的疏干漏斗范围内，出现泉水干涸、塌陷、房裂、水库池塘穿漏、交通受害等不良后果（图版X）。自1972年至1985年底，影响范围达7个乡，破坏面积约40km²。其中塌陷破坏区的面积近10km²，累计塌洞6400余个（直径1—100m，可见深度1—15m）。60多口井、泉干枯，5000余亩良田受损，因塌陷搬迁的居民有435户，民房面积约55000m²。据不完全统计，还发生过七起人身伤亡事故（其中死亡四人），耕牛掉进塌洞数起，使当地群众的生命财产和农业生产受到影响。同时，由于河水和其它地表水体沿着塌洞大量倒灌，致使矿井涌水量剧增。如1977年4月中旬，木杉河发生塌洞时，河水倒灌，其时速在460m以上。距河流较近的二号井，4小时内涌水量由1000m³/h，猛增到2525m³/h。因矿井排水量增加，每年排水费高达350×10⁴元，占吨煤成本的27.8%，每年花在水害赔偿和治理的费用，平均达150×10⁴元。

恩口煤矿的岩溶塌陷有以下分布规律：

1．塌陷分布在浅部岩溶发育地段。塌洞的分布与密度受浅部溶洞发育程度的控制，溶洞的发育方向与地面塌洞的分布一致，塌洞数量反映了地下溶洞的发育程度，如山口冲一带，地下岩溶极为发育，塌洞成群出现（图6-3）。

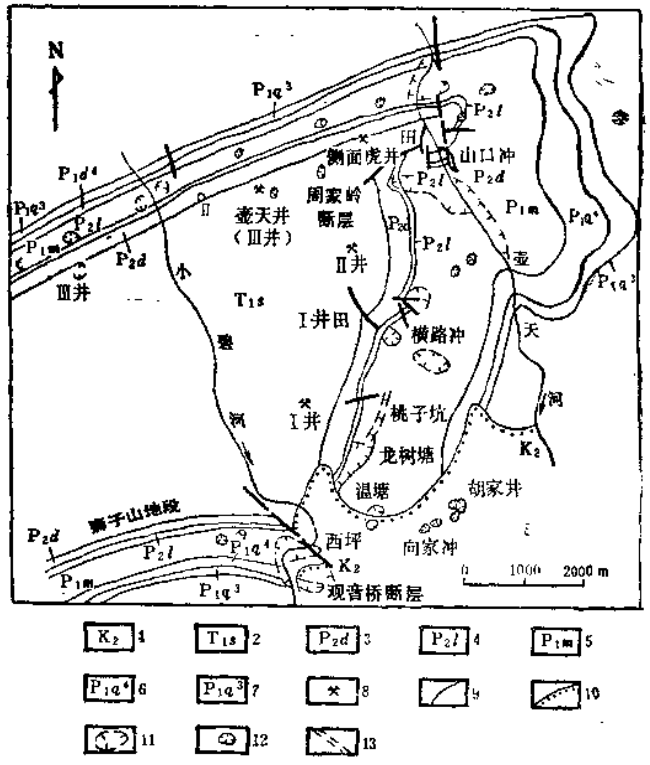


图 6-3 恩口矿地面塌陷分布略图

1—白垩系；2—下三叠统；3—二叠系大隆组；4—二叠系龙潭组；5—二叠系茅口组；6—下二叠系香山泉段；7—下二叠系李子塘段；8—排水矿井；9—地层界线；10—地层不整合线；11—塌陷带；12—分散性塌陷洞；13—断层

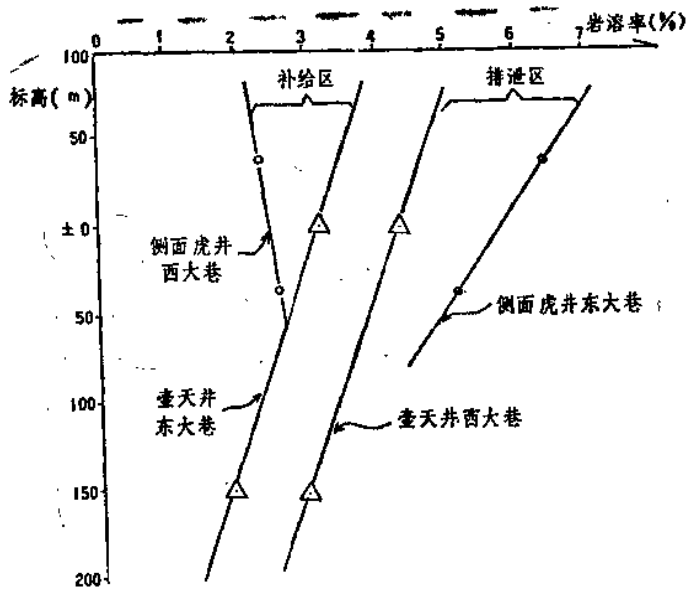


图 6-4 恩口矿不同区段地下岩溶发育程度变化图

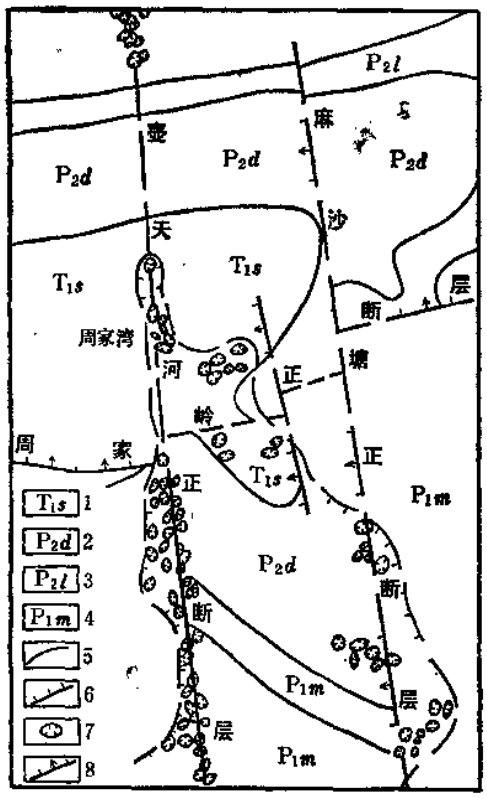


图 6-5 壶天河一带地面塌洞分布与断层关系图

1—下三叠统大冶组；2—上二叠统大隆组；3—上二叠统龙潭组；4—下二叠统茅口组； 5—地层界线；6—塌陷带界线；7—塌陷洞；8—断层线

2．塌陷分布与地形条件关系密切。塌陷大多分布于地形低洼的冲沟和河谷地段。这些地段的地表水和地下水，水力联系密切，是地下水的天然排泄地段，因水流的侵蚀作用，岩溶发育较其他地段强烈（图6-4），排水疏干中塌陷率高（表6-3）。

3．塌陷沿构造线带分布。由于地下岩溶多沿构造裂隙发育，因此地表塌陷呈线状分布。茅口灰岩的断裂带岩溶特别发育，不仅规模大，而且延深远。如I井田周家岭断裂，走向长2300m，落差为220—400m，许多大型岩溶裂隙或溶洞，多沿此断层发育。周家湾四方井地段的塌陷洞，明显地沿一张性断裂带—壶天河断裂展布（图6-5、表6-3）。

从恩口煤矿疏干排水引起的岩溶塌陷的发生和发展过程来看，岩溶塌陷与疏干排水的水位降深、降落漏斗、排水量和流速等存在密切的关系。

1．塌陷区的位置多居于疏干降落漏斗区。塌陷半径一般小于疏干漏斗半径，其比值在0.5—0.8之间（表6-4）。

2．岩溶塌陷随矿坑排水量和地下水

表 6-3 地质构造与塌陷强度对比表

地段名称	地质构造特征	面积 (km^2)	塌洞数 (个)	塌洞密度 (个/km^2)	占塌洞的总数 (%)
壶天河	褶皱断裂发育，地下水天然排泄区	1.35	3200	2370	50.0
山口冲	褶皱发育，伴有少量断层	0.1	1000	10000	15.6
横路冲	断层发育，地下水天然排泄区	0.30	500	1666	7.8
温塘	断裂发育，属天然排水区	0.03	80	2666	1.3
小碧河西坪段	褶皱、断裂发育、属天然排水区	0.16	620	3875	9.7
其他地段	地质构造较简单	8.00	1000	125	15.6

表 6-4 一、二号井塌陷半径与降落漏斗半径的对比表

疏干水平	延展方向	塌陷半径 (L) (m)	疏干漏斗半径 (R) (m)	L/R
-66	南 西	3000	4000	0.75
	北 东	1000	2000	0.5
-150	南 西	2500	4500	0.78
	北 东	2000	3000	0.67

水力坡度的增大而增多。疏干排水使地下水的水力坡度加大，当其增值到临界冲蚀流速时，就能把溶洞充填物逐步带走，产生潜蚀作用，随即产生塌陷。随着排水量的加大，塌洞也随之增多（表6-5）。

表 6-5 一、二号井塌陷与排水量、降深的关系表

项目 / 年别	年降水量 (mm)	疏干水平及水位降深 (m)	年总排水量 (10^4m^3)	产生岩溶塌陷数 (个)
1972	1126	-66	530.84	64
1973	1430		800.59	81
1974	900	185.91	1016.45	172
1975	1426		1853.62	307
1976	1131.5		2967.45	705
1977	1389.5		4232	1315
1978	908.1		4942	1145
1979	1154.3	-150	3895.3	1135
1980	1245.5	278.88	3580	569
1981	1424.5		3480	366
1982	1498		3079.24	345
1983	1161.8		2829.94	260
1984	980.4		2216	215
1985	985.5		2098.91	196

3．沿地下水径流方向易产生岩溶塌陷。茅口组、栖霞组与香泉山段灰岩含水层，其上下为龙潭组及李子塘段隔水层，在平面上沿走向大多呈条带状分布。在一、二号井疏干排水时，降落漏斗首先沿岩层的走向伸展，形成一平行地下水流向的北东—南西向低水位

带，二号井排水最先在南部相距4000m的地区开始塌陷，都说明主要径流方向上地下水来源丰富，流速大，对土体的潜蚀作用强烈，所以在迳流方向上易产生塌陷。

根据恩口煤矿岩溶塌陷分布与岩溶发育地段和矿坑疏干排水的相互关系，岩溶洞穴或溶蚀裂隙是产生塌陷的先决条件，其上覆土层的不稳定性和地下水对土层的潜蚀搬运，以及地下水位下降形成的气蚀，则形成塌陷的有利因素。在天然状态下，地下水对岩溶充填物质和上覆土层的潜蚀搬运作用也在不断地进行，但和强烈疏干排水相比较要缓慢得多。长期的强排，导致地下水位迅速下降、波动剧烈、对岩溶充填物质和上覆土层的潜蚀搬运作用大大加强。当地表水与地下水勾通，地表水强烈下渗时，由于水的重力作用，加剧了对第四系松散物质的搬运。矿区于1978年所做的连通试验结果表明，地下水最大流速可达15796.8m/d，可见其潜蚀和冲刷的能力很大。强排引起的水位下降，破坏了土、水、气三者的平衡，气体流动又破坏了土颗粒的连接性，使土体变松散。在岩溶地层上覆粘性土层地段，由于透气性差，也可形成一定的负压，在疏干洞下方的引力作用下产生空洞，称之为真空吸蚀，岩溶充填物质和上覆土层不断垮落，并被带走，引起地面变形、开裂，一旦上覆土体的自重压力超过了洞顶极限抗压、抗剪强度时，地面就会产生塌陷。

广东石菉次生铜矿床也是一个产生地面塌陷的典型岩溶化矿床。该矿床位于广东省的剥蚀堆积平原中，四周为延绵起伏的西山山脉，地势北高南低，一般海拔标高为26—46m。地区气候温和，雨量充沛，平均年降水量为2372.8mm。地表水属漠阳江水系，流经矿区的有石根河、石菉溪，最大迳流量达24m³/s。

矿区处于阳春复式向斜盆地的北西翼，主要地层有寒武系、泥盆系、石炭系的砂页岩及灰岩。露天采场由石炭系中统黄龙灰岩组成，除石根山和石菉山外，均被第四系覆盖。其次还有石英闪长玢岩、花岗岩及矽卡岩。区内断裂发育，以NNW向及NE向两组断裂为主。节理发育程度因岩性而异，在大理岩中较发育，矽卡岩、花岗岩中次之，在灰岩及砂页岩中不发育。

矿床分为原生矿和次生矿两部分，前者主要产于燕山期石英闪长玢岩与石灰岩和白云岩接触带中，矿体规模小，品位较低为矽卡岩型矿床；后者产于第四系松散沉积物中，矿体集中，品位高，规模大，属次生富集矿床，矿体顶、底板标高为20—120m，东段主矿体呈NE向展布，倾向NW，倾角10—20°，长1504m，宽102—550m，厚1—113m，面积0.31km²，呈似层状、凸镜状，局部分支尖灭，是目前开采的主要对象（图6-6）。

矿床属隐伏岩溶型大水矿床，矿体底板70—80%为黄龙灰岩，岩溶发育，平均岩溶率达24.56%，承压水丰富。岩溶分布具明显的分带性，水平方向多呈层状并沿断裂呈NE向分布。排泄区岩溶发育强，补给区弱，如南部排泄区岩溶率为5.96%，而补给区仅1.4%。主要岩溶多发育在40m以内，并有管道相连，富水性强；40—60m深度，岩溶多沿裂隙发育，富水性弱。构造带及其复合部位岩溶化程度最高，主要发育于F_9、F_{11}、F_{25}三条断裂带附近。盆地中沿NNW向的张性断裂，形成本区的穿层岩溶，勾通含水层之间的水力联系（图6-7）。

矿区主要含水层为下石炭统黄龙群灰岩、大理岩岩溶承压含水层，分布面积约12km²，平均厚度60m，富水性不均一，单井涌水量0.14—69.14l/s，与第四系含水层有密切的水力联系，具涌水量大、承压水头高等特点，是矿床疏干的主要对象。

次生矿床埋藏在第四系松散沉积层中，露采场边坡主要由第四系组成，底板为黄龙群

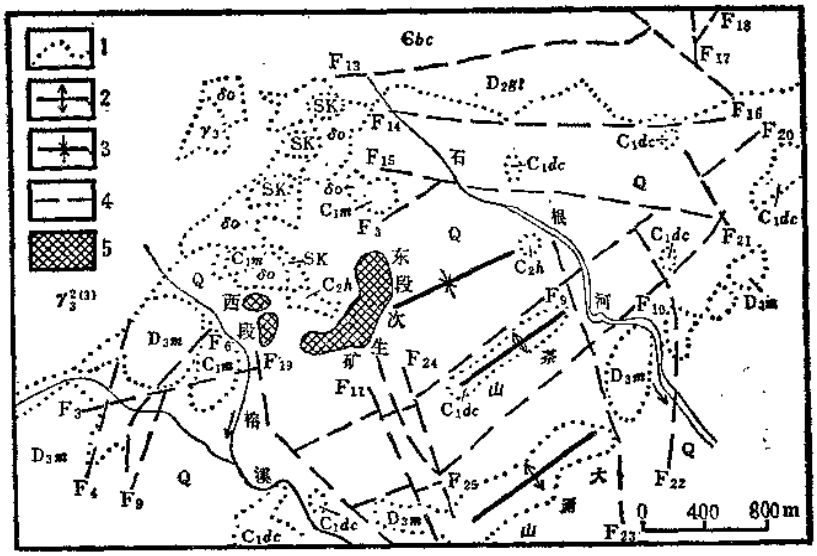


图 6-6 石蒜矿地质构造略图

1—地质界线；2—背斜；3—向斜；4—断层；5—矿体；Q—第四系；C_2h—中石炭统黄龙灰岩；C_1dc—下石炭统测水段；C_1m—下石炭统孟公坳组；D_3m—泥盆系帽子峰组；D_2gt—泥盆系桂头群；$\in bc$—寒武系八村群；$\gamma_3^{2(3)}$—黑云母花岗岩；γ_3—花岗片麻岩；δo—石英闪长玢岩；Sk—矽卡岩

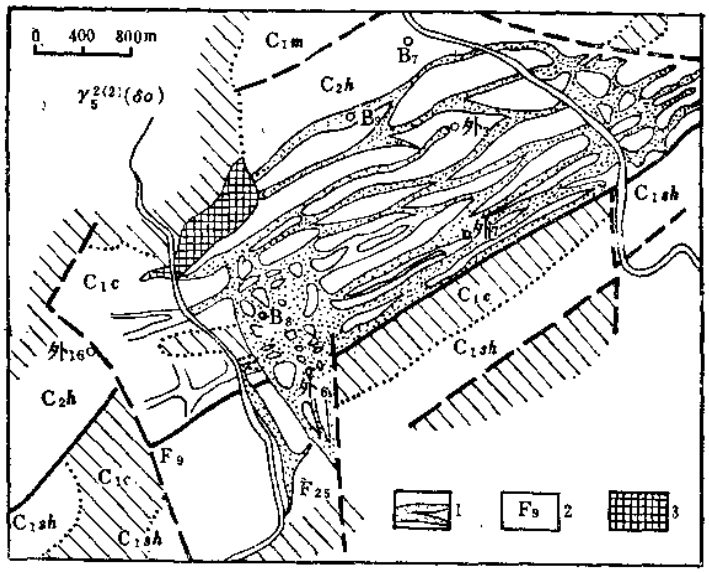


图 6-7 石蒜矿物探推测岩溶发育示意图

1—物探推测岩溶发育带；2—断层；3—矿体；Q—第四系；Ch_2—中石炭统黄龙灰岩；C_1c—下石炭统测水组；C_1sh—下石炭统石磴子组；C_1m—下石炭统孟公坳组；$\gamma_3^{2(3)}$—黑云母花岗岩

灰岩、大理岩。主要工程地质岩组为：

1．第四系松散、松软岩组：由亚砂土、含砾粘土、砂砾石组成，散体结构，厚度1.62

—127m，是主要含矿层位，充填在古岩溶洼地中。具松散、松软、塑性变形特征，物理力学性质见表6-6。

表 6-6　松散岩石物理力学指标表

指标 / 岩性	湿度 (%)	干体重 (g/cm³)	松散系数	天然休止角 干 (°)	天然休止角 湿 (°)	内聚力 (kg/cm²)	内摩擦角 (°)	剪切系数
亚砂土	18.1	1.56	1.49	49	24—25	/	/	/
砂砾石	1	1.56	1.49	29	40—42	/	/	/
含砾石粘土层	27.3	1.45	1.32	/	/	0.328	23°38′	0.411
含砾石亚粘土	27.1	1.67	1.18	/	42	0.339	23°34′	0.45
含砾石亚砂土	27.1	1.67	1.18	/	42—43	0.39	18°55′	0.347

2．黄龙群灰岩、大理岩岩组：由浅灰—深灰色中厚层隐晶至细晶质灰岩互层组成，平均厚度60m，层状结构，走向NE，倾角35—50°。岩溶裂隙、溶洞、构造裂隙发育，抗压强度465—843.89kg/cm²，剪切系数0.52—0.76。

其次还有石英闪长玢岩、矽卡岩、砂页岩夹灰岩三个岩组，由于远离露天采场，对生产影响不大。

矿区突出的工程地质问题一是疏干区的岩溶塌陷，二是露采场边坡失稳。

1．地面塌陷：矿区在进行补充水文地质勘探时的井群抽水试验中，地面塌陷就相继出现。矿床开采中，由于矿坑疏干排水量不断加大，地面塌陷也日趋严重，形成了强、中弱三个塌陷带，长达4.9km，出现大、小塌洞3171个。因塌陷造成受损农田390亩，搬迁民房面积$1.12\times10^4m^2$，经济损失近百万元，给矿山建设和附近工农业生产造成威胁。地面塌陷规律是：

1．矿床疏干强度与地面塌陷强变成正比。当矿坑排水量在$3.1\times10^4m^3/d$，中心水位下降5.25m时，地面即出现沉降、开裂及塌洞；排水量达$5.3m^3/d$，水位下降至12.23m，疏干漏斗半径为3000m时，塌陷达450个；1982年排水量增至$8.2\times10^4m^3/d$，水位降至负13.04m（降深达33.71m），疏干影响半径4500m，年塌陷达310个。

2．塌陷分布规律与岩溶发育规律基本一致。

3．塌陷强度与第四系沉积厚度有关，第四系厚度小于30m的地区易产生塌陷。

4．塌陷多产生在地表径流及地面低洼地带。

5．水位频繁波动，破坏地下水动态平衡也可引起塌陷。

6．丰、枯水期之间是塌陷频繁发生的时期，即在11月的旱季至次年4月，尤其在11月、2、3、4月农田灌水时更为严重，在此期间的塌陷多具突发性。

石菜矿区按塌陷强弱可分为五个区（表6-7、图6-8）。

2．边坡失稳：露天采场的设计开拓深度为84m，采场底部标高为－44m，最大开拓深度为124m（－84m），台阶高8m。台阶最终边坡角，土层35°，矽卡岩及石英闪长玢岩50°，大理岩60°。采场最终边坡角下盘20—38°，土盘20—37°，两端20—26°。现已形成6个台阶，采深已达－4m标高。部分第四系土层组成的永久边坡，由于水的浸蚀

表 6-7　塌陷分区表

区	段	地质及水文地质特征	变形特征	分布范围
龙林寨强塌陷区 I	构造段	NE，NW向断裂发育，底部黄龙灰岩、上升泉变，	塌洞为主	北西及东南一带
	岩溶段	黄龙灰岩，岩溶率5.96%，富水性强	塌陷开裂	
茶山中等塌陷区 II	岩溶段	黄龙灰岩区、岩溶率1.4%，富水性中等	沉降、开裂塌洞	北东南西带状分布
弱塌陷区 III	河流渗漏段	黄龙灰岩、富水性不均一	沉降、开裂为主	北、北东
	岩溶段	黄龙灰岩、岩溶率0.5%，富水性弱	地裂、沉降为主	西南部
予计塌陷区 IV	降深段	疏干范围内、断裂构造发育富水性中等	塌洞、开裂	北西部
	岩溶段	黄龙灰岩，富水性不均	沉降开裂	西南部
稳定区 V	露头段	测水组砂页岩、隔水层	/	北西，北部
	覆盖段	第四系厚度大	/	北西，北部

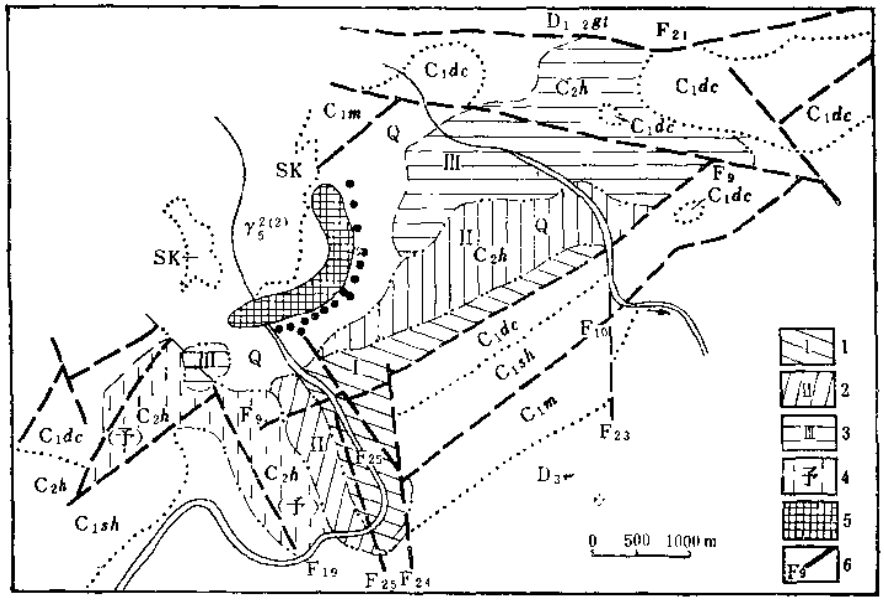


图 6-8　石煤矿塌陷分区示意图

1—单位面积（100×100m²）塌陷 3—5 个；2—单位面积内塌陷 1—3 个；3—单位面积内塌陷 1—2 个；4—予测降深塌陷区；5—矿体；6—断层；C_2h—黄龙群灰岩；C_1c—测水组砂页岩；C_1sh—石磴子组石灰岩；C_1m—孟公坡组灰岩；D_3m—帽子峰组砂页岩；$D_{1-2}gt$—桂头群砂页岩；$\gamma_3^{2(2)}$—黑云母花岗岩；Sk—矽卡岩

作用，产生塌落、滑坡。工作台阶则产生局部大塌方、掉块、伞檐倒挂及大裂缝（图 6—9）。

边坡失稳主要由于土层力学强度低和裂缝在水的作用下形成。1972年 5 日 8 日暴雨后，次日出现宽22.5m，斜长12.5m的大滑坡，部分坡面角设计不合理也有影响。原土层坡面

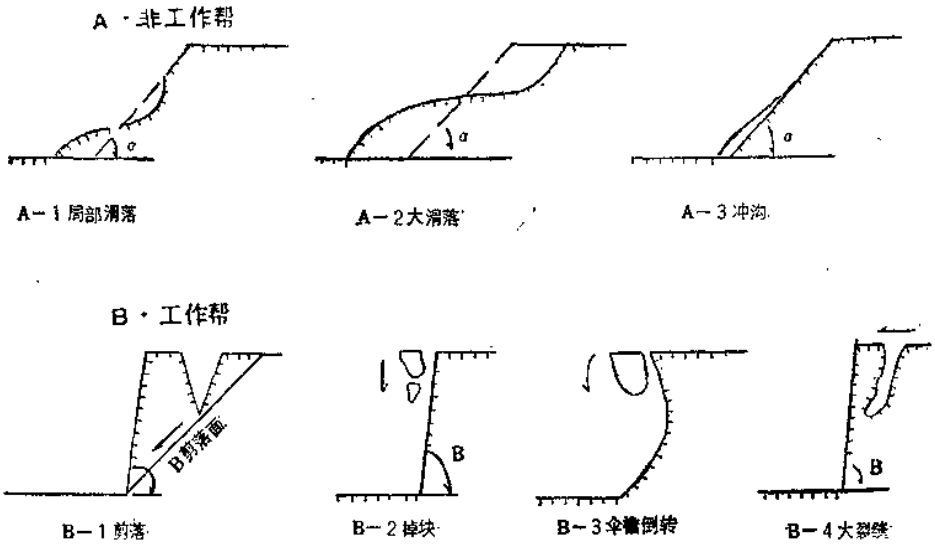


图 6-9 土体台阶坡面破坏示意图

角设计为35°，从基建到开采中边坡不断失稳，后不断向外扩坡，坡面角降到28—30°时，再加上排水，护坡等措施，永久帮才趋稳定。

三、矿床围岩力学强度大，岩体稳固性较好

碳酸盐岩力学强度一般较高，湿抗压强度值大于600kg/cm²（表6—8）。矿山开采中巷道及边坡遇该类岩石时，围岩稳固，巷道一般不用支护，露采场边坡坡面角可大于55°，不易产生滑坡。

表 6-8 碳酸盐岩力学强度指标表

矿山名称	岩石名称	抗压强度 (kg/cm²)	抗剪强度 (kg/cm²)	抗拉强度 (kg/cm²)	弹性模量 (kg/cm²)	泊松比
广东凡口铅锌矿	块状白云岩大理岩	1053	65			
	灰岩、角砾状白云岩	711—1100	154—181			
	瘤状灰岩	403—1009	133			
	风化及破碎白云岩	322—544				
广东石录铜矿	黄龙灰岩	465—843	52			
	矽卡岩	1578				
四川金河磷矿	厚层状白云岩	813—1598	66—216	27—100	4.5×10^5	0.2
	层状斑状白云岩	466—1381			5×10^5	0.25

四、山体失稳及巷道突水、突泥等工程地质问题

岩溶化岩类矿床的工程地质问题除地面塌陷外，还存在山体失稳（危岩崩塌）及巷道突水、突泥等问题。如四川金河马槽滩磷矿，矿区处于中高山区，地形特点是山高谷深、坡陡水急，气候潮湿，年降水量达1246.7mm。

矿区为一倒转背斜—马槽滩背斜，出露地层有震旦系、泥盆系、二叠系，三叠系和侏罗系。岩性多为石灰岩、白云岩及砂页岩。地层总体走向为NEE，向NWW倾斜。北NW翼（正翼）倾角较缓，一般为8—20°；南东翼（反翼）倾角较陡，背斜两端和两翼边缘构造复杂，核部（工业矿体地段）构造较简单，断层虽发育，但规模小，断距不大，对矿层开采无大影响。含磷岩系属泥盆系上统沙窝子组，矿床顶、底板为碳酸盐岩。

矿区内碳酸盐岩类岩石分布广泛，厚度大，大部份裸露地表，岩溶发育。其发育特点有四：（1）河流、沟谷地段溶洞分布较多，并和某一高程的阶地有一定关系；（2）分水岭地段的夷平面附近岩溶发育，岩溶漏斗密布；（3）岩溶顺层或沿隔水层面发育，含磷矿层相对阻水，其上、下部位岩溶均较发育；（4）岩溶与构造带关系密切，断裂构造带附近，往往也是岩溶发育较强的部位，如位于三道沟标高1058m南大巷的A3-1溶洞（标高1062.2m），处于反层矿顶板古侵蚀面上，溶洞呈不规则管道状，长34m，宽0.5—3.8m，高0.5—1.8m（图6-10）。

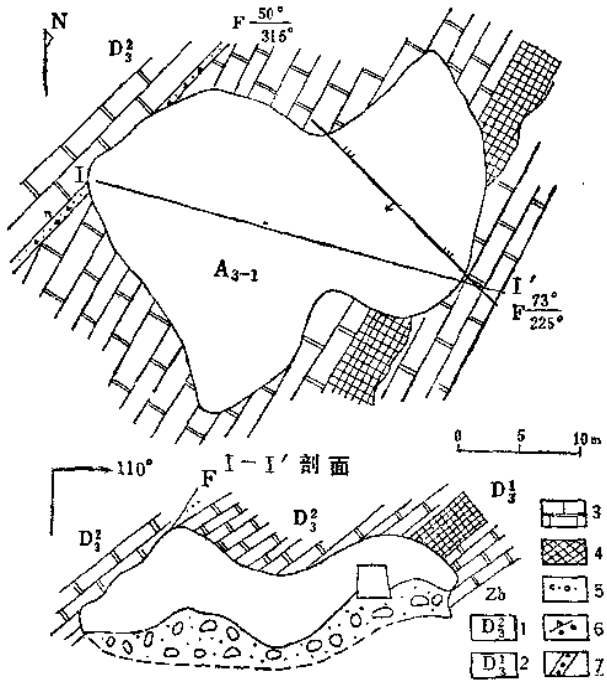


图 6-10 A_{3-1}溶洞素描图

1—泥盆系上统沙窝子组厚层白云岩；2—泥盆系沙窝子组含磷岩系；3—白云岩；4—磷矿层；5—洞穴底崩碎屑沉积；6—断层；7—断层破碎带

矿区出露的含水层有第四系松散及半胶结砂砾石孔隙含水层，上二叠统长兴组岩溶含水层，下二叠统茅口、栖霞组岩溶强含水层，上泥盆统岩溶裂隙含水层及上震旦统岩溶裂隙含水层。下二叠统茅口、栖霞组岩溶强含水层是矿床充水的主要含水层，岩溶发育，地表见溶洞11处，钻孔深部亦发现有溶洞，在河床地段溶洞裂隙沟通了地表水与地下水的联系，富水性极强，泉水出露多，流量大，最大可达4900l/s。上泥盆统岩溶裂隙含水层是磷

矿层（正矿层的顶板，反矿层的底板），上震旦统岩溶裂隙含水层是磷块岩的底板（反矿层的顶板），两含水层富水性中等，单位涌水量近河床地段分别为3.05l/s•m，及6.1-10.1l/s•m，远离河床地段分别为0.027-0.0161/s•m及0.0021-0.1l/s•m，对矿床开采威胁不大。金河磷矿开采970m标高以上的磷块岩，全部为坑道自流排水，标高1100m以上各中段坑道干燥无水；七中段（标高1060m）开始有水排出，最大排水量为20304m³/d，一般均小；970m以下，茅口灰岩的岩溶发育，富水性增强，泉水最大流量1m³/s以上；943m掘进巷道（十一中段）的排水量月平均最大可达34265m³/d，水文地质条件较上部复杂。

根据岩性、结构、岩溶发育及岩层的力学特性，矿区岩层划分为三个工程地质岩组：

1．上泥盆统厚层白云岩岩组：厚188.58-204.62m，层状、块状—厚层状结构，裂隙率小于5%，岩石坚硬，抗压强度最大为2740kg/cm²，最小621kg/cm²，抗拉强度为27—100kg/cm²，抗剪强度50—216kg/cm²。以白云岩为顶板的巷道，围岩稳固性好，无片帮、冒顶现象发生。

2．上震旦统灯影白云岩岩组：出露厚度大于200m，为厚层、块状花斑状白云岩，性硬而脆，与矿层呈假整合接触。节理裂隙发育，风化后呈小块状，稳固性较差，抗压强度为466—1381kg/cm²。

3．硫磷铝锶矿，含磷高岭石粘土岩及含磷水云母粘土岩软弱岩组：厚度极不稳定，由零至数米。抗压强度271—1294kg/cm²。由于粘土矿物（水云母，高岭石）有特殊的水理性质，遇水后易膨胀、崩解使围岩变形破坏，巷道稳固性差。

矿区断裂构造发育，共发现断层81条，但规模不大，一般长100—500m，斜距10—100m，延长2000m以上的仅有3条，断裂破碎带宽，对矿床破坏较大的只是F_{37}、F_{28}、F_{61}等三条断层。

矿区内由软弱层构成的软弱结构面有四：

1．含磷层顶部的含磷炭质水云母粘土岩：厚度一般为0.3—0.4m，水云母呈鳞片状，极软弱，遇水膨胀、崩解。

2．上泥盆统砂质白云岩中夹的灰绿色铝土质页岩：厚度不一，有时可达1m。

3．下二叠统铜溪层钙质水云母粘土岩：间夹灰岩，软硬互层结构，厚1.5—12.5m。掘穿此层时均有较大的水流出，以致片帮、冒顶现象十分突出。

4．上二叠统长兴灰岩中页岩和煤线夹层：厚度由数十厘米到数米不等。

这些软弱岩层均与山坡坡面呈反向倾斜，倾角多在15—20°左右。部份与山坡倾斜一致，尚未发现较大规模的山体滑动。

金河磷矿是裸露区岩溶化岩类矿床中比较典型的矿床，开采中的工程地质问题不像隐伏岩溶矿床那样，出现大量的岩溶塌陷，而主要是岩体崩塌，地表开裂及井巷突水等。

1．岩体崩塌：矿区由于地形陡峻，断层、节理发育，岩层硬而脆，且地区潮湿多雨，降水多沿节理裂隙下渗，减小了岩体的内聚力，在软弱结构面的影响下造成部份地区危岩崩塌，其中以三坪、三道沟等地发生的大面积崩塌危害最大。三坪从1969—1983年间，塌体总体积约$14.6\times10^4m^3$，因崩塌而埋没了主风机的进风口，压垮混凝土发旋巷道20余米，迫使地面工业、民用建筑搬迁和运输系统改造，增加额外投资1000×10^4元。三道沟从1970—1973年崩塌岩石体积达$26.55\times10^4m^3$。尤以1973年3月的崩塌规模最大，崩

塌体积达25×10⁴m³，埋没了主硐口、风硐口以及地面风、水、电线路，井口食堂也遭破坏。石亭江以西的什邡磷矿1969—1975年期间也发生多次崩塌，崩塌体积可达60×10⁴m³，崩塌掩埋了硐口、坑口，破坏了泵房、食堂、风、水、电线路，摧毁了重力索道、破碎筛分系统，堵塞了公路，造成人身伤亡事故，直接的经济损失上百万元。1975年8月火车站道班房上方发生崩塌，体积为3.48×10⁴m³，铁路被摧毁，火车停运四个月之久，直接的经济损失达17×10⁴元（图6—11、图版X-1）。

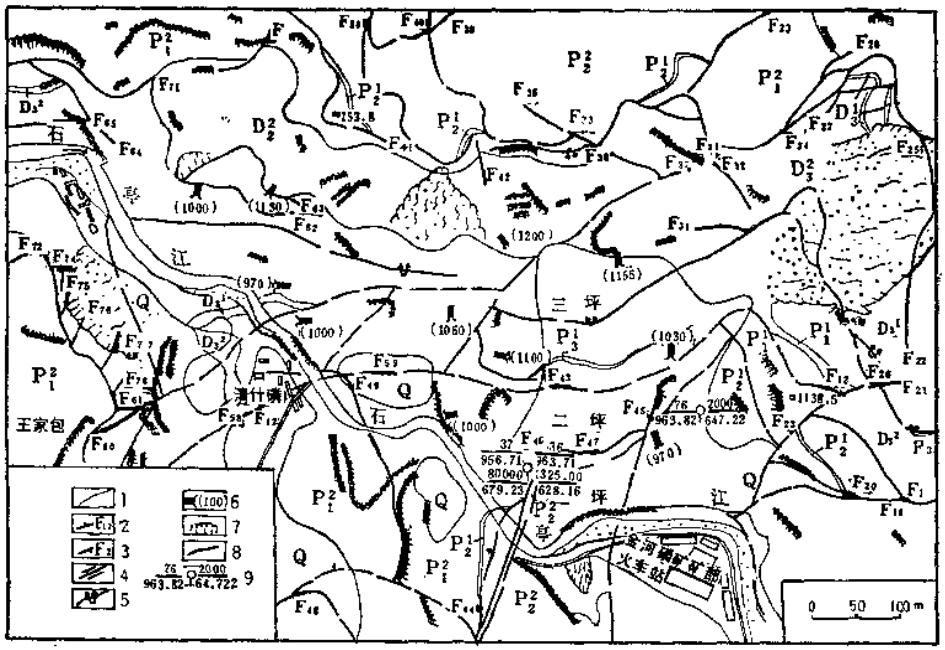


图 6-11 金河磷矿崩塌区分布图

1—实测及推测地质界线；2—正断层及编号；3—逆断层及编号；4—平移断层及编号；5—倒转背斜轴线；6—生产坑口位置及高程；7—地表崩塌范围；8—裂缝；9—泉（左侧上为编号，下为出露高程；右侧上为最大流量l/s，下为观测时间）

2．地表开裂

采空区的自由垮塌及放顶，波及地面，导致采区范围内地表开裂。经实地勘察，共发现80余条裂缝，分布在标高1170—1380m的整个矿区范围内（图版X-2、3）裂隙最长达百余米，最宽达4m，一般长20—60m，宽0.1—0.5m。裂缝大多以高角度倾斜，为地表崩塌形成的一个重要因素。

3．井巷变形破坏

金河矿巷道基本稳定，但在节理裂隙发育、断层破碎带地段或遇软弱夹层时常发生片帮和冒顶。开采正矿层时，直接顶板垮落以后，间接顶板较稳固，一般能维持采场生产。反层矿由于节理裂隙发育，受震后顶板碎块易塌落，常发生片帮、冒顶事故，造成人身伤亡；底板松软破碎，不能形成砥柱，造成矿石贫化。

4．突水

位于标高在970m以下的下山矿，由于岩溶含水层水量大，开采中易发生突水事故。如排水坑道施工至778m处，掌子面右帮顶炮眼涌水，压力在5kg以上，涌水量26.24l/s。

在主平巷用潜孔钻向前探水时，左帮孔钻进22.5m遇强涌水，水压在5kg以上，涌水量为70l/s，两巷总涌水量为12787.2m³/d。一年后，探水坑道掌子面全面爆破后，主平硐涌水压力减小，探水巷道涌水量增大，两巷道总排水量达34464.96m³/d，雨季总水量更高达58916.16m³/d（图版Ⅺ-4、5）。

五、盐类矿床工程地质条件一般比较简单

盐类中的硫酸盐岩类（石膏）及卤素岩类（岩盐），都可直接构成可采矿床。该类矿床由于在封闭条件下形成，有较厚的隔水顶、底板，地质构造不发育，围岩以碎屑岩为主，岩块强度为半坚硬—软弱岩类（表6-9），矿床水文地质工程地质条件简单，但在浅部开采或开采措施不当时，则易引起地面沉陷和环境污染等问题。如云南省一平浪盐矿及湖北应城石膏矿等都存在上述问题。

表 6-9　岩盐类矿床岩石力学强度表

矿山名称	岩性	抗压强度 (kg/cm²)		软化系数	内摩擦角 (°)	内聚力 (kg/cm²)
		干	湿			
云南一平浪盐矿	硅质石英砂岩	1304.64	1078.77	0.82		
	灰质粉砂泥岩	91.30	68.19	0.75	39°30′	26.3
	灰质细粉砂岩	15.74		崩解	48°22′	3.2
	含岩盐细粉砂岩	389.09		崩解	37°14′	122.5
	粉砂岩	250.28	108.21	0.43	41°38′	31.2
湖北应城石膏矿	砂岩、页岩	68-230			30°50′	
	泥质石膏	138-238			50°00′	
	纤维石膏	68-123			35°63′	

一平浪盐矿位于云南省禄丰县境内，距昆明146km。矿区为低中山地形，地势北高南低，一般海拔标高为2320—2550m（照片Ⅻ—1）河流有舍资河，河床窄而陡，一般流量为470l/s。地区属温带气候，年降水量716.2—932.6mm，多集中在6—9月。

矿区为N30°E的背斜，长约10km，背斜轴部为逆断层所切，构造简单。矿床赋存于上白垩统元永井组的紫红色、灰绿色含石膏钙质粉砂岩中，为内陆湖相沉积矿床。主矿体呈层状，赋存于背斜西翼，厚度变化较大，平均厚度37m，向北西倾斜，倾角20—60°（图6-12）。背斜轴部为"V"形山谷，其东北部地势较低而开阔，西南部较高而狭窄，山谷两侧横向沟谷发育，切割较深，成为地下水的良好排泄通道。盐层厚8—140m，干燥无水，顶底板为紫红、灰绿色含石膏钙质粉砂岩，隔水，间接顶板紫红色长石砂岩夹泥岩，含微弱裂隙水，大气降水为地下水的主要补给来源，水文地质条件简单。经多年采用房柱法旱采证实，岩盐层干燥、致密坚硬，抗压强度中等。顶、底板为多旋回含石膏粉砂岩、泥岩互层，为半坚硬岩组，矿房和运输大巷一般不需要支护，矿床工程地质条件亦较简单。

盐矿1964年以前采用房柱法旱采，矿山未出现工程地质问题，以后改用硐室水溶法开采，由于开采不合理，使地表水和邻区地下水渗入矿坑，溶蚀岩盐，破坏了坑道的稳定，相继产生了一系列工程地质问题。

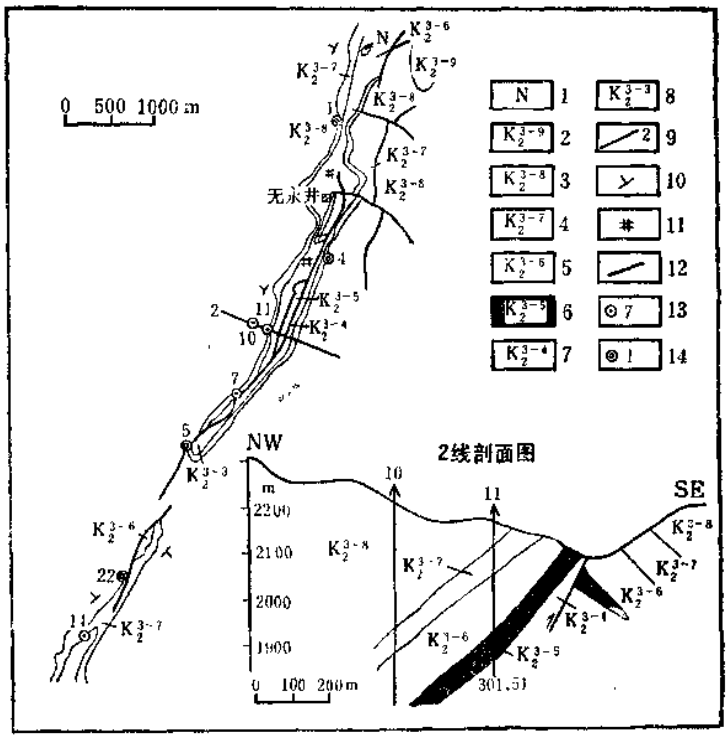


图 6-12 一平浪盐矿地质略图

1—第三系灰白色粉砂岩含泥炭；2—白垩系紫红、紫灰色长石砂岩；3—白垩系紫红色长石细砂岩；4—白垩系紫红色钙质粉砂岩；5—白垩系紫红、深灰色上含石膏层；6—白垩系岩盐层；7—白垩系紫红、灰绿色下含石膏层；8—白垩系赭红色细砂岩；9—勘探剖面；10—地层产状；11—采矿竖井；12—断层；13—见矿钻孔及编号；14—未见矿钻孔及编号

1．地面塌陷

1958年，为了多出矿，北硐采区不少房柱被挖掉，导致0—8中段（80—150m）产生塌陷而连通，上覆老采区的积水及长石砂岩含水层中的地下水溃入矿坑，并由于水的进入，冒顶现象继续发展，到1971年形成陷落漏斗数处，虽经多次回填，至今仍未稳定。

1971年元月底，新井南西方向120m处，地面出现塌陷漏斗，长80m，宽60m，陷下房屋三间，屋顶陷入地下3m多，死亡3人。漏斗经多次回填，仍有痕迹可见，卷扬机房和民房也同时多处开裂（图版Ⅻ）。新井与北硐之间的山坡，1971年产生塌陷漏斗，直径30—40m，陷落深度可达10m。

2．滑坡

浅部老采区（解放前早采部份，距地表40—80m），雨季地表经常出现塌陷漏斗。由于山坡地段，地形坡度较大（40—50°）塌陷漏斗形成后，随即造成上部山体失稳，产生滑坡及崩塌，如1981年8月14日雨后在塌陷漏斗上方发生了$2.3\times10^4m^3$的滑坡（图版Ⅻ-5）。

3．井巷变形破坏

矿区开采时间长，老硐多，加之开采方法不合理，致使地下硐室被溶蚀，压塌。如跃进斜井（通风井）位于背斜谷溪沟旁，井筒浇灌30m后，于30—50m段一直渗水，每天达

200m³，结果在底板芒硝层中形成一个大的溶腔，浇灌的混凝土开裂，威胁井筒安全。

湖北省应城石膏矿。矿区处于江汉平原北部与山区的连接部位，地势低平，海拔最高89m，最低21m。大富水河流经矿区，最大流量为671m³/s。三分矿利用物探及实地调查的方法，圈定了部分老窿分布位置，对采矿生产有一定参考价值（图6-13）。区气候属亚

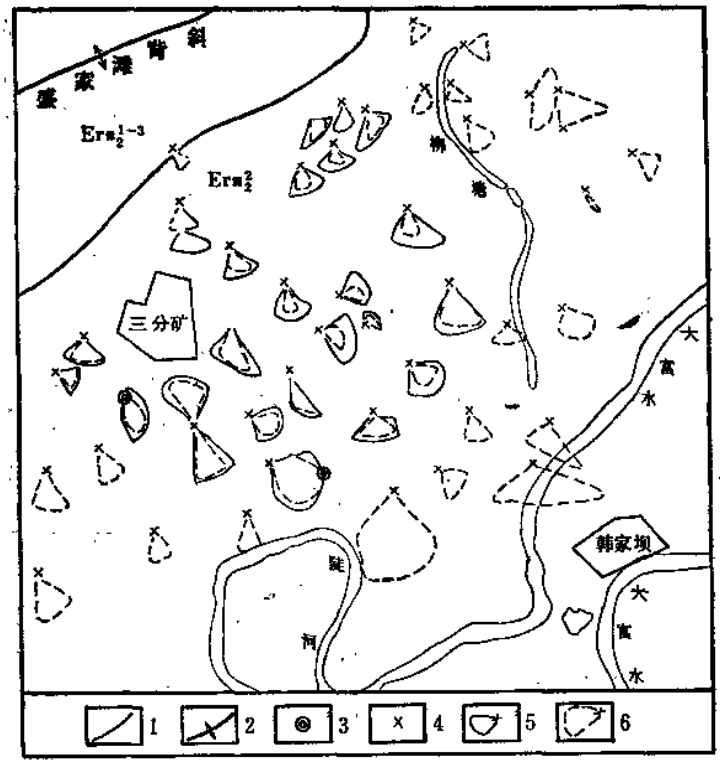


图 6-13 湖北应城石膏矿三分矿矿区老窿分布图

Erm_2^3—王家庙含钙芒硝硬石膏岩组；Erm_2^{1-3}—盛家滩含硬石膏岩、盐岩组上段；1—地层界线；2—背斜；3—钻孔位置；4—老窿口；5—实测老窿采空范围；6—物探圈定老窿分布范围

热带，年降水量约900—1800mm，多集中在4—6月。

矿区位于云应向斜西部，由渐新统含盐岩组组成向斜轴，两翼由东湖砂岩组成，北翼缓，倾角6—12°，南翼较陡，倾角15—25°，至应城逐渐开阔。岩盐、石膏矿床产于第三系内陆湖泊地层中。矿区断裂构造不发育，水文地质工程地质条件简单。主要含水层有第四系孔隙水及第三系砂页岩裂隙水，富水性弱，上部第四系孔隙水泉水流量1—3l/s，下部第三系砂页岩（含矿层顶、底板）含水性更弱，坑道涌水量仅0.1—0.8l/s，大部份巷道干燥无水。矿层顶、底板围岩，主要为第三系砂，页岩，属半坚硬岩石，稳固性较好，巷道一般不用支护，其他岩组对矿山开采无大影响。

矿区解放后开采二十余年，未发生大的工程地质问题。但自1969以来，沿崩落角范围内地面下沉，出现了塌陷100多处，虽未直接威胁矿床开采，但对矿山建设，附近农田、公路、房屋等都有影响，有的水田变水塘，房屋开裂、斜倾，直接影响当地的农业生产。

此外，矿区老窿较多，且分布范围不清，开采中为防止勾通老窿，引起巷道突水及冒顶、塌落，都留有较厚的安全矿层，从而积压了部分工业矿体。

第二节　岩溶化岩类矿床的工程地质工作要求

岩溶化岩类矿床的主要工程地质问题是地面塌陷、开裂、沉降。出现这类问题与矿床所在地区的地层、岩性、地质构造、岩溶发育规律、第四系地层分布及沉积厚度和岩性特征、地下水的补给、径流、排泄条件等因素有直接关系。因此在地质勘探阶段应查明的问题有以下几方面：

一、研究矿区地层、岩性特征及其化学成份

研究碳酸盐岩、岩盐类岩石的矿物及化学成份、分布规律和地层、岩性组合特征；粘土软弱夹层的厚度分布情况及其对围岩稳固性的影响。

二、查明矿区地质构造

主要查明褶皱、断层、破碎带、接触带的位置、力学特性、延展情况、充填及胶结程度、构造与岩溶发育的关系。

三、研究岩溶发育规律

查明岩溶发育层位及其沿地质构造、层面及地形低洼处发育的特点，溶洞形态、大小、充填物及充填程度，岩溶垂直分带及在钻孔中的可见率、岩溶率等。编制岩溶发育的平剖面图。

四、研究矿区的水文地质条件

位于当地侵蚀基准面以下的矿床，矿坑涌水量和水头压力都比较大，对矿床开采的危害亦大，是该类矿床研究的主要问题。应查明含水层的分布、岩性、含水性及其与邻近地表水体的水力联系。地下水的补给、径流、排泄条件。要注意研究岩溶洼地，常年积水地段和古塌陷分布区，必要时采用大强度的抽水试验，充分地暴露矿坑主要充水含水层的补给条件。求出各含水层的水文地质参数，计算矿坑涌水量。

五、研究矿区的第四系松散层

着重研究矿床疏干排水可能影响范围内的第四系松散沉积物的特征及其分布规律，成因类型，岩性、厚度及结构特征。编制第四系等厚度图、立体投影图，并评价与地面塌陷的关系。

六、研究岩溶地面塌陷

从典型矿山调查资料归纳得出，地面塌陷规律性的研究和预测，除运用一般性的地质勘探手段进行勘探研究外，一个重要的手段就是进行大口径的孔（井）群抽水或坑道疏干排水试验，初步暴露矿床疏干可能引起的地面塌陷等工程地质问题。矿床疏干排水中地下

水位的大幅度下降是岩溶塌陷的主要诱因，不少已采矿山的资料表明，当水位下降至松散层底板或处于基岩顶板时，才开始产生塌陷。凡口矿、恩口矿及石棉矿等几个岩溶地面塌陷突出的矿区，在地质勘探后期都补做了专门性的水文地质勘探工作，其目的在于：

1．取得接近实际的含水层水文地质参数。

2．初步暴露地面塌陷等工程地质问题。

3．为疏干排水提出合乎实际的方案。

在研究塌陷形成条件的基础上，预测在疏干排水条件下，地面塌陷的分布范围及强弱分区，并提出预防及处理意见，为此要认真的综合分析下列水文地质及工程地质资料：

1、区域及矿区水文地质图。

2、第四系等厚线图，溶洞充填物的物质力学性质及水理性质试验资料。

3、矿区地下水等水位线图，中段疏干漏斗图。

4．矿区岩溶发育平、剖面图，富水性分区图。

5．矿区电法勘探等视电阻率平面图。

6．大口径孔（井）群抽水试验及水文地质工程地质资料图表等。

在上述资料基础上，预测并编制出矿区疏干排水后的塌陷分区图。图内可划分出稳定区，强塌陷区，中等塌陷区及弱塌陷区。如广东凡口矿利用地质勘探中ZK_{19}孔群抽水试验，降落漏斗的影响半径，预测+50、0m两个中段在疏干排水后的塌陷影响半径，经回访调查准确率达60—70%。

七、盐类矿床工程地质研究重点

1．矿体顶底板的隔水性能，稳定程度。

2．断层的接触关系，破碎带的宽度，胶结程度及导水性，节理裂隙发育程度，产状及组合关系。

3．老窿的分布，积水充填程度及垮塌情况等。在老矿山应采用地质调查及物探方法圈定老窿分布位置及深度。

4．含水层的层数、水量、水位，地下水与地表水的水力联系等。

5．按岩类及不同位置，测定矿岩的水理、物理力学性质。

6．研究环境地质问题，指出开采后，岩盐对地下水、地表水的污染途径，提出预防地表塌陷、沉降及开裂的建议。

第七章　矿床工程地质勘探工作基本方法

固体矿床地质勘探阶段工程地质勘探工作基本方法，主要采用岩体工程地质力学的方法，即以岩体结构特征为基础，用地质力学和岩体力学相结合的方法，来解决岩体稳定性等问题。工程地质基本工作可概括成如下框图（图7-1）。

第一节　编写矿区工程地质工作设计任务书

矿区工程地质工作有其特殊性，主要区别在于矿山开采的比选性小，受矿床工程地质条件复杂程度的影响较大。然而，在地质勘探阶段之前，一般已经过普查阶段的地质工作，对矿区工程地质条件已有初步了解，因而对勘探阶段布置工程地质工作的目的性和方向性比较明确。矿区工程地质设计任务书的编写，一般需进行以下几方面的工作。

一、熟悉和收集资料

首先熟悉区域和矿区含矿岩系，了解本区工程地质背景，前人资料及研究程度。具体而言：①矿区围岩的地层时代、形成环境、岩性岩相变化以及彼此的接触关系；②区域构造和矿区所处的构造部位，主要构造线方向，各种构造形迹的发育与展布特征；③矿区自然地理、水文地质工程地质条件。在此基础上，进一步收集相邻矿区或邻近开采矿山的地质构造、水文地质工程地质条件及开采后出现的水文地质工程地质问题等资料。经过归纳对比，明确本矿区工程地质工作的重点。

二、确定矿区工程地质工作范围

对具有露采条件的工程地质条件简单—中等类型的矿床，一般可采用初拟露采边坡角圈定露采境界线，再外延不小于300m作为工程地质工作范围；对不具备露采条件的工程地质条件简单—中等类型的矿床，一般可采用初拟崩落角圈定的范围适当外延作为工程地质工作范围；对工程地质条件复杂类型的矿床，工程地质工作范围应扩大到未来开采的可能影响到范围。

初拟边坡角的确定，一般采用类比法。对无类比矿山的矿区，以松散岩类为主的露采矿区，初拟边坡角一般可采用20—30°；以岩质岩类为主的露采矿区，对层状岩体的顺向坡取岩层倾角作为初拟边坡角（缓倾斜岩层顺向坡例外），对层状岩体逆向坡或块状岩体的边坡角一般取40—50°作为初拟边坡角；对构造发育的岩体，应注意研究构造结构面对边坡稳定的作用，从而可扩大工作范围。初拟崩落角的确定，一般也采用类比法，对无类比矿山的矿区，可类同确定初拟边坡角的方法确定初拟崩落角。

另外，在矿区开展工程地质工作的同时，相应地进行区域工程地质工作，工作范围一般与区域水文地质工作范围相同。

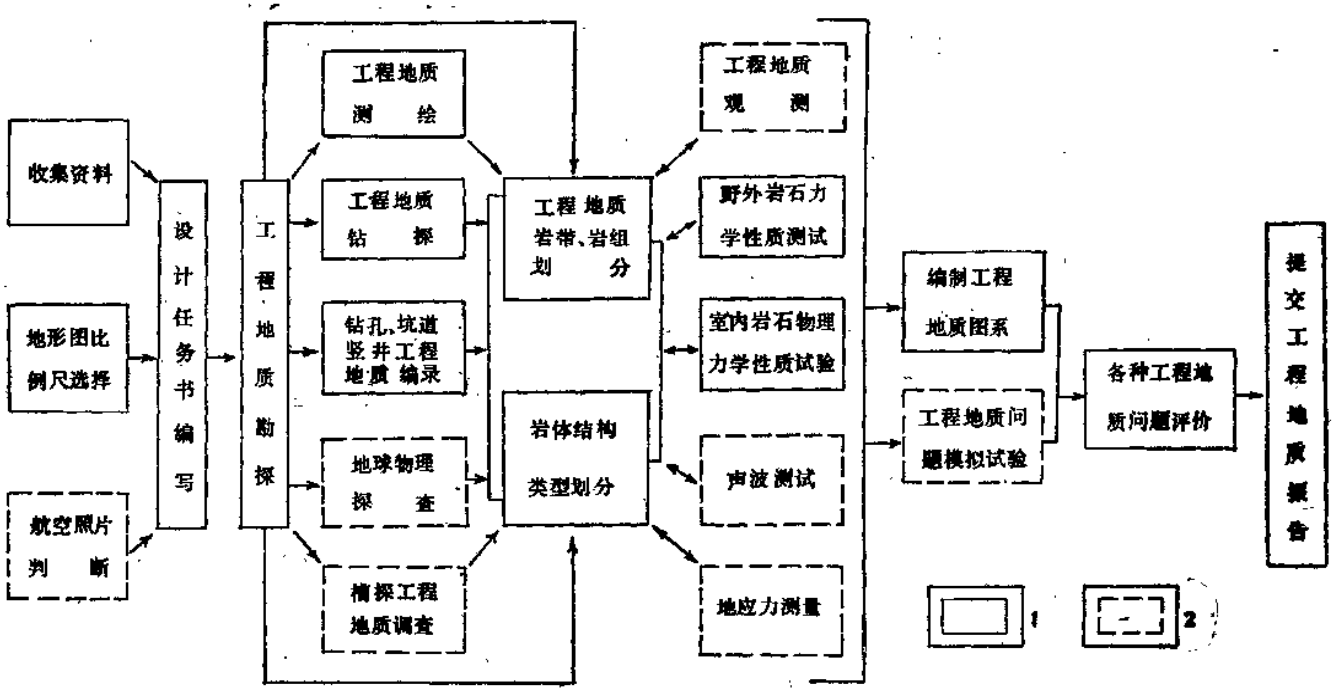


图 7-1 固体矿床地质勘探阶段工程地质工作框图

1—经常进行的工作；2—有时进行的工作

三、确定矿区工程地质测绘比例尺

矿区工程地质测绘比例尺一般采用1:5000—1:2000的精度。对工程地质条件简单—中等的矿区，可采用1:5000的精度；对工程地质条件复杂的矿区，可采用1:2000的精度。区域工程地质测绘的比例尺，与区域水文地质测绘相同，以1:50000—1:25000为宜。

四、设计任务书内容

矿区工程地质工作设计任务书，一般为初（详）勘设计任务书中的一个章节，工程地质条件复杂的矿区也可单独编制，主要包括下述基本内容：矿区自然地理、水文地质工程地质概述；工程地质工作中应着重研究的问题；工作部署及工作方法；各项工作的技术要求及其实物工作量；预计提交报告的时间；人员组织、仪器设备、材料及经费预算；各种基本图件及工作量布置图。

第二节　矿区工程地质测绘

工程地质测绘一般在初勘阶段与水文地质测绘结合进行。工程地质条件复杂的矿区，在详勘阶段应针对主要工程地质问题进行适当的补充测绘。

一、测绘方法与要求

首先选择有代表性地段实测工程地质剖面，划分工程地质岩组，然后按穿越岩层走向、构造线方向或横穿地貌单元的原则，布置观测路线及观测点，并适当布置一些顺岩层走向和构造线走向的路线，追踪岩相变化和构造线的延伸情况，进行工程地质测绘。岩组界线在图上的误差范围要求不大于2 mm，具有特殊意义的界线和现象可适当夸大表示。

工程地质观测点的种类一般包括：微地貌点、工程地质岩组界线点、物理地质现象点、构造破碎带和软弱夹层界线点、占孔竖井槽探工程地质编录点、节理裂隙统计点、自然斜坡和人工边坡调查点（线）、水文点及采样点等。

二、测绘基本内容

工程地质测绘的任务是研究和查明矿区地形地貌特征及其成因类型、物理地质现象、岩（土）体及结构面的特征、地下水的作用和影响，并进行工程地质岩带、岩组及结构面的划分。

（一）地形地貌

对矿区而言，一般都处于同一大的地貌单元中，因此主要应查明次一级地貌单元及微地貌的成因类型、形态特征、组成物质及分布，以及对工程地质条件的影响。

（二）物理地质及工程地质现象

查明矿区物理地质现象（如崩塌、滑坡及泥石流）的形成条件及影响因素、分布范围及发展趋势。对自然斜坡和人工边坡进行野外测量。调查内容包括斜坡和边坡的岩石组成、岩体结构、坡高坡角、坡面形态与坡面变形特征，查明边坡结构与岩性关系，为应用比拟法及岩体结构分析法，评价露采场边坡稳定性提供依据。对冻土地区还应查明冻胀丘、

冰锥、融冻泥流堆积、热融滑坡、热融沉陷及热融湖的特征和分布特征。

（三）岩（土）体特征及工程地质岩带、岩组划分

对岩体应查明矿体及围岩岩性、成因类型、时代、结构构造、岩石强度（在野外可按岩石强度估计表（表7-1)进行划分）及岩石风化程度。尤其应查明原生软弱夹层的厚度、连续性及分布范围。对土体应查明土层的成因类型、时代、厚度及分布范围，尤其应重视软粘性土、膨胀土及冻土等特殊土体的调查。在此基础上，对岩（土）体进行工程地质岩带和工程地质岩组的划分。

表 7-1　岩石强度估计表

编　号	测 定 岩 石 强 度 方 法	估计强度　(kg/cm²)
S_1	易用手成形，显示出清楚的足迹	<1.0
S_2	以手用力成形，显示出模糊的足迹	1.0—5.0
S_3	成形困难，难于用铁锹切割	5.0—10.0
S_4	不能用手成形，不能用铁锹切割，需用手镐掘	10.0—20.0
S_5	难于用手镐掘动，需用风动铲挖掘	20.0—40.0
R_1	在地质锤的重击下破碎，能用小刀刻划	40.0—100.0
R_2	难得能用小刀刻划，用地质锤重击产生线的凹痕	100.0—300.0
R_3	不能用小刀刻划或刮动，手标本可用地质锤尖或锤端重击而碎	300.0—600.0
R_4	手标本需用地质锤端打击几下才能破裂	600.0—1000.0
R_5	手标本需用地质锤端打击许多下才能破裂	>1000.0

注：参考《边坡工程手册》作适当修改

工程地质岩带一般依据岩（土）体的成因类型和岩性岩相的变化来划分。工程地质岩组（简称岩组）一般依据岩石的物质成分、成层条件、厚度变化及构造作用对岩石的破坏程度等进行划分。因此，每个岩组也可以由一种或几种岩石组成。以金川铜镍矿山为例，将矿区地层划分成七个岩带，14个岩组（表7-2)。

另外，对特殊岩（土）类可单独划分岩组。特殊土类为淤泥、膨胀土、黄土及红土等，特殊岩类为含薄煤层、含盐及蚀变岩类的岩体。这类岩（土）体因有特殊的水理及物理力学性质，如吸水膨胀、失水收缩、崩裂、溶解、亲水性强、易泥化和软化等特征，使矿床工程地质条件受其影响而变得复杂。

在工程地质力学研究中，正确地划分岩组是一项极为重要的工作，它不仅有利于掌握岩组的工程地质特征，而且有利于对岩(土)体结构的认识，有利于对岩（土）体的评价。

（四）岩（土）体结构类型研究

1．结构面分级及其主要研究内容

结构面在工程地质力学概念中不仅包括构造结构面（断层、挤压破碎带、蚀变带、节理裂隙、片理和片麻理等），而且也包括原生结构面（层面、层理、原生软弱夹层等）和次生结构面。因此，在矿区测绘过程中不仅要查明矿区所处构造体系和构造部位、主要构造线方向及各种结构形迹的发育与展布特征，而且要查明不同性质、不同成因结构面的分布、产状、规模及性质。各类规模不等的结构面对区域稳定性、山体稳定性及工程局部岩体稳定性评价是一项十分重要的因素，因此一般对结构面应进行分级研究。按其规模大致可分成五级。

表 7-2　金川矿岩组划分、力学强度指标表

岩带	代号	岩组	岩体结构	抗压强度 (kg/cm²)	抗剪强度		水文地质条件及其他
					c (kg/cm²)	φ (°)	
混合岩带 I	I_1	F_1压碎岩组	碎裂	336	0.8	36—43	地下水渗入，软化泥质物使围岩失稳
	I_2	层间挤压混合岩组	层状碎裂		1—1.5	49—53	
	I_3	较完整混合岩	碎裂				
片麻岩及片岩带 II	II_1	粗粒片麻岩	层状碎裂	300—400			软硬相间、弱层控制围岩稳定
	II_2	F_{16}断层破碎岩	散体碎裂		1.5—2.8	42—46	
大理岩带 III	III_1	多种岩浆岩侵入的中薄层大理岩	层状碎裂	300—400	2.0	50	地下水在破碎带中相对富集，使岩组不稳
	III_2	厚层大理石	块状	900—1000	2.0		
	III_3	多种岩浆岩频繁穿插的中薄层大理岩	碎裂散体				
均质条带状混合岩 IV	IV	均质条带状混合岩组	层状碎裂	336	1—1.5	49—57	
红色碎裂花岗岩带 VI	V	红色碎裂花岗岩岩组	镶嵌	286	3.0	30	
超基性岩带 VI	VI_1	超基性岩组	菱块状	250—500	1.5—3.0	38	
	VI_2	F_{17}断层破碎带岩组	碎裂加完整				
第四系松散岩带 VII	VII_1	山前洪积卵砾石岩组	散粒		0.01—0.17	51—55	含水
	VII_2	河谷中冲积砾卵石岩组	散粒		0.4—0.35	42—45	

I 级结构面：一般泛指对区域构造起控制性作用的断裂带。其规模，在走向上延展数十公里以上，纵深至少可切穿一个构造层。I 级结构面控制着区域稳定性，应着重研究其断裂力学机制、判断区域构造应力场方向以及第四纪以来断裂带的活动性。

II 级结构面：一般是矿区内的主要断裂和延伸较稳定的原生软弱夹层及蚀变带。其规模，在走向延展数公里、倾向延深数百米以上，破碎带宽数米。II 级结构面往往控制着山体的稳定性，应着重研究结构面产状、形态、组成物质成分、微结构特征、水文地质条件与泥化趋势以及物理力学性质。研究以上内容对原生软弱夹层显得更为重要。

III 级结构面：一般是矿区次要断裂和延展不稳定的原生软弱夹层、层间错动带及蚀变带。其规模，走向、倾向延展在数百米以内，破碎带宽度小于 1 m。III 级结构面往往控制了岩体的稳定性，因此对 III 级结构面研究除同 II 级内容外，还应分析可能出现的滑动面及滑动面的物理力学性质。

IV 级结构面：主要是节理裂隙，无明显宽度，延展性有限。IV 级结构面破坏了岩体的完整性，直接影响岩体的力学性质及岩体的局部稳定性，应着重研究其发育组数、密度、间距、粗糙程度、充填于结构面的物质成分及其水理性，并按岩组进行节理裂隙统计测量。

V 级结构面：是一些连续性差的刚性接触的细小或隐微裂面，主要是一些微小的节理、劈理、不发育的片理等。它们的存在降低了岩石的强度。

从对结构面的划分可以看出，在工程地质测绘中特别应对Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ级结构面进行较深入细致的研究。

2．岩体结构类型及其结构特征

岩体结构类型一般按岩组进行划分，视被结构面切割情况和结构体组合特征，可将岩体划分成整块状结构、层状结构、碎裂结构和散体结构四大类及八亚类。

（1）整块状结构（A）

整体结构岩体（A_1）：一般为岩性单一的构造变形轻微的巨厚层沉积岩、变质岩及火成岩体。Ⅳ、Ⅴ级结构面存在，偶见Ⅲ级结构面，多呈闭合、粗糙状态，无充填或夹少量碎屑。结构体大多呈整体状。

块状结构岩体（A_2）：一般为岩性单一的、构造变形轻一中等的厚层状沉积岩、变质岩及火成岩体。Ⅳ、Ⅴ级结面为主，少见Ⅱ、Ⅲ级结构面。以两组高角度剪切节理发育，面多闭合、粗糙或夹碎屑。结构体大多呈长方体和多角形块体。

（2）层状结构（B）

层状结构岩体（B_1）：主要指构造变形轻一中等的中厚层（单层厚度大于30cm）的层状岩体。Ⅲ、Ⅳ级结构面为主，亦存在Ⅱ级结构面。结构体大多呈厚板体、长方体和块体。

薄层状结构岩体（B_2）：同B_1，但层厚小于30cm，表现出相对强烈的褶皱和层间错动。层理、片理发育，Ⅱ、Ⅲ级结构面较普遍，结构面多为泥膜、碎屑和泥质充填。结构体呈组合板状体和薄板状体。

（3）碎裂结构（C）

镶嵌结构岩体（C_1）：一般指发育于脆性硬质岩层中的压碎带、节理劈理密集带。Ⅳ、Ⅴ级结构面为主，结构面组数多、密度大，结构面粗糙、闭合、无充填，或少夹碎屑。结构体形态、大小不一，棱角显著彼此咬合。

层状碎裂结构岩体（C_2）：一般指软硬相间的岩石组合。Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ级结构面均发育，骨架岩体中以Ⅳ、Ⅴ级为主。骨架岩体为大小不等、形态各异的岩块体。

碎裂结构岩体（C_3）：岩性复杂、构造变动剧烈、断裂发育，Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ和Ⅴ级结构面均发育，但数不下4～5组，结构面均被充填，擦痕镜面多见。结构体呈碎屑和大小不等形态不同的岩块。

（4）散体结构岩体（D）：指构造变动剧烈的断层破碎带、岩浆岩侵入接触破碎带以及强风化带，结构体呈泥、岩粉、碎块状等。

岩体结构类型是岩体工程地质性质综合评价的基础，一般从岩性、结构面特征、结构体特征、水文地质特征及岩体变形破坏特征等几方面进行评述。

3．土体结构类型

土体结构类型按勘探深度范围内（到基岩面）土层组合关系进行划分，一般分为：

（1）单层结构：土体岩性单一。

（2）双层结构：主要由二层不同岩性的土体组成，如由粘性土和砂性土组成的二元结构。

（3）多层结构：主要由三层以上不同岩性的土体组成，如由砂砾石、粉细砂土和一般粘性土等组成。

土体结构类型的评价，随单层土体性质而异，主要评价边坡失稳及流砂等工程地质问题。

（五）研究矿区水文地质条件

重视对工程地质条件有影响的水点分析，评价地下水对岩体稳定的影响。

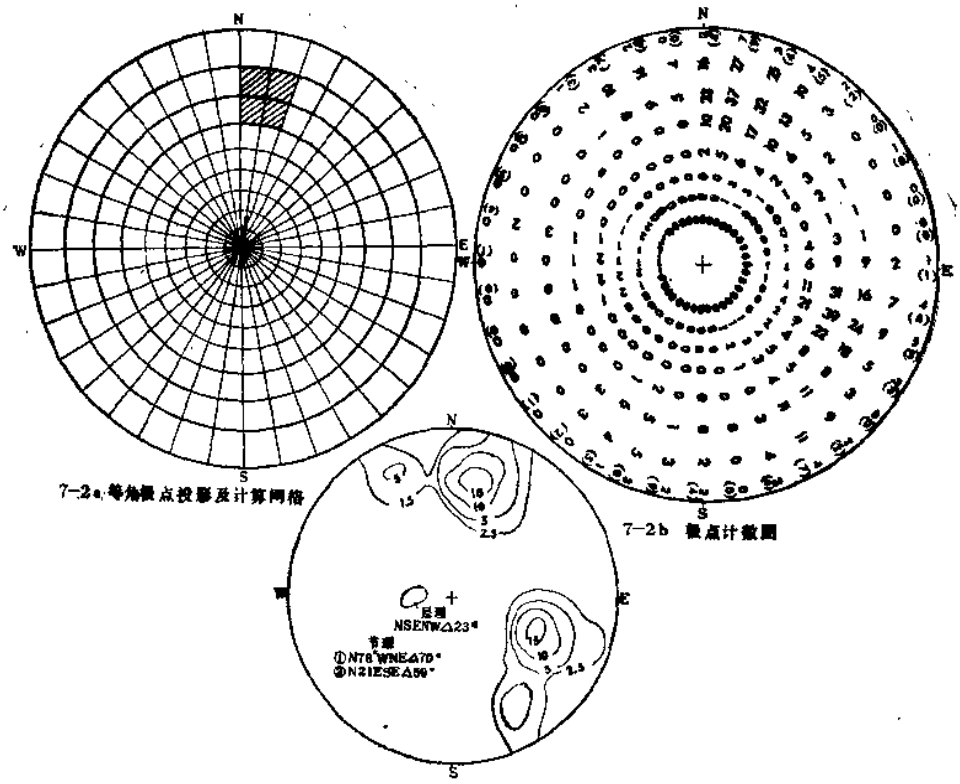
（六）节理裂隙统计测量

节理裂隙统计测量是工程地质测绘中一项必做的工作，当地表植被覆盖难于找到理想地点进行时，可在坑道、竖井内进行。统计测量步骤如下：

1．野外测量　首先在地表露头或坑、井按岩组选择统计地点，统计点的面积应大于$2\times3m^2$，节理裂隙统计数最好不少于100条。统计方法以1 m间距布置测线，为测量方便最好按东西、南北方位布置；当统计点为倾斜面时，应将其中一组测线与水平线平行。最后按测线分别测量各组节理裂隙与测线的交点、产状、宽度、粗糙度、充填物及延伸长度。

2．归纳统计　首先计算出节理裂隙总密度值（条/米），然后将测量的节理裂隙资料以极射投影进行统计分析，表达出最具代表性的几组结构面的倾向及倾角。

极射投影统计分析目前有等面积赤平极射投影网、等角度赤平极射投影网（吴尔福网）及等角度投影网等作图方法，其中等角度投影网（图7-2a）是一种比较简便的近似方法，网格是利用等角度投影网EW线上的分度作半径绘成。用时直接在这张网格上作极点



7-2a 等角极点投影及计算网格

7-2b 极点计数图

7-2C 节理极点等密图
（数字为百分比）

图 7-2　节理统计图

投影，然后用透明纸蒙在这张网格上，将每20度的方扇形中的极点数记于中心点；其边缘一圈括号中点数为与其对称的两点数之和。20度方扇形统计完后，向左或向右、向前或向后移10度，在新组成20度方扇形重新统计一次，依次类推就得到极点计数图（图7-2b）。最后将极点计数图上各点的极点数被测量结构面总数除，便得各点的极点密度，以百分数表示，按整数分级，连结相同密度的各点就得等密度图（图7-2c）。从图7-2c看出，最发育的二节理组裂隙为走向N78°W倾向NE倾角70°和走向N21°E倾向SE倾角59°，层理为走向N5°E倾向NW倾角23°。与吴尔福网作图法所得结果几乎无差别。

（七）邻近矿山工程地质问题对比调查

在对矿区进行工程地质测绘的同时，应对邻近矿山进行调查。了解矿山坑道或露采场的地质构造、工程地质岩组特征、岩体结构类型和岩层风化、岩溶发育情况；详细调查坑道和露采场边坡变形地段形态、变形类型、形成条件和影响因素、变形发展过程和动态特征以及治理措施和实施效果。从而有利于发现本矿区的主要工程地质问题，为进行矿区工程地质比拟评价提供依据。

第三节　工程地质编录

地质勘探阶段对占孔、坑道和竖井进行工程地质编录是一项重要的工程地质基础工作，具体编录内容分述如下：

一、占孔工程地质编录

（一）编录要求

工程地质编录的重点是描述岩心的岩性、结构构造和岩心块度；确定破碎带、节理裂隙密集带、岩层风化带、软弱夹层及岩溶发育带等的位置和深度，以及岩溶率和充填率；最后进行岩石质量指标（RQD）测定以及按表7-1进行岩石强度值的估计或进行岩石点荷载强度测试。在冻土区应确定冻土层顶底板埋深及冻土类型。

岩心块度可按岩心长度进行分级：长柱状大于20cm，短柱状10—20cm，块状5—9cm，碎块状2—4cm，碎屑状小于2cm，土状岩心呈粘结土状。

（二）岩层风化带划分

目前对风化带的划分尚不统一，一般按四分法应用最多，即剧、强、弱和微风化带。但从矿区工程地质角度来看，剧、强风化带岩体结构基本解体，强度显著降低；微风化带岩体结构和特性与新鲜基岩相差甚微。因此，在矿区以四分法为基础，划分出强风化带、弱风化带是有实际意义的，即将剧、强风化带并成强风化带，微风化带并入新鲜基岩。各带具体划分标准，可分定性和定量两种，最好能一起使用，互相验证。定性划分是根据工程地质测绘，结合占孔和坑道工程地质编录所揭示的岩体结构特征、风化程度、结构面特征及岩石强度特征进行定性分带（表7-3）。

定量评价可作为一种辅助手段，用某种定量参数进行分带。如采用点荷载抗拉强度风化降低率（fst）和常用对数法（$lgst$）及声波测试岩体纵波速度（V_{pm}）法（详见本章第六节）。

表 7-3 块状结构岩体风化带划分表

风化带		岩石硬度	风化强度	裂隙面状况	岩心块度	结构类型
四分法	建 议					
剧风化带	强风化带	手搓立即碎	土壤化呈岩片	粘土化，裂隙不明显	5cm一破碎，岩心砂一砾状	松散结构
强风化带		锤击浊音易粉碎	岩石全部退色造岩矿物粘土化	裂隙明显但有粘土化	5—15cm 多砾—岩片（块）状	团块一碎裂结构
弱风化带	弱风化带	锤击浊音易～稍难破碎	岩石大部分退色，造岩矿物已蚀变	裂隙大多已张开，并充填粘土	5—30cm，岩心多呈短柱状	碎裂一裂隙块状结构
微风化带	新鲜基岩	锤击金属音，难于破碎	沿裂隙面有退色，矿物未蚀变	闭合～稍张开，未充填粘土	30—50cm 岩心多长柱状一棒状	整块状结构
新鲜基岩		锤击金属音，难于破碎	新鲜	闭合，无充填粘土	50cm以上，岩心棒状	整体结构

（三）岩石质量指标（RQD）测定

在描述岩心块度的同时，分岩组进行岩石质量指标测定。其表达式：

$$RQD(\%)=\frac{L\phi}{Li}\times 100 \qquad (7-1)$$

式中$L\phi$：某岩组大于10cm完整岩心之和（m）；

Li：某岩组占孔总进尺（m）。

在进行岩石质量指标测定时，应注意观测小于10cm岩心破碎情况，如果是占进过程中机械破碎，则当上下对接长度大于10cm时应计算在内。

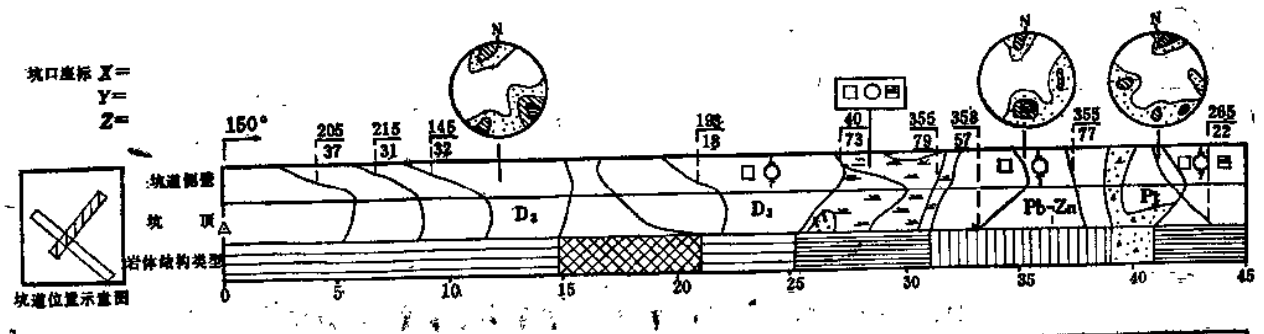
根据RQD值的高低，可划分出岩石的质量等级，进行岩体完整性评价(表7-4)。这里还需指出，RQD值在国外是使用NX占头（内径54.1mm）金刚石占进来评价的。因此，当采用合金或钢砂占进时RQD值应相应地降低。究竟降低多小，目前尚无对比资料，但根据试点矿区少量RQD值测定的对比值，合金或钢砂占进RQD值至少降低50%。

表 7-4 岩石质量等级表

等 级	RQD(%)	岩石质量描述	岩体完整性描述
Ⅰ	90—100	极好的（优）	岩体完整
Ⅱ	75—90	好的（良）	岩体较完整
Ⅲ	50—75	中等的（中）	岩体中等完整
Ⅳ	25—50	劣的（差）	岩体完整性差
Ⅴ	<25	极劣的（坏）	岩体破碎

二、坑道和竖井工程地质编录

在地质勘探阶段一般不施工专门性的工程地质坑道和竖井，而是结合地质坑道和竖井进行工程地质编录。



地段 自(m)	地段 至(m)	岩性	水文工程地质特征	室内岩石力学指标: Rw	Rt	E	φ	C	现场小型测试指标 R	Rt	φ	C
0.00	26.2	D_2 含铅锌矿化中粒石英砂岩	节理交叉发育，两壁岩性完整，全段干燥，未见冒顶，巷道完好。									
25.2	31.2	D_3 铅锌矿化水云母岩	发育2组主要节理，岩石破碎，由层间小断层隔开与石英岩滴水渗水主要在与砂岩接触部位，局部冒落									
31.2	39.2	铅锌矿原岩为C₂灰岩	略									
39.2	41.0	F_1 断层破碎带	略									
41.0	45.0	P_1 千枚岩夹变质粉砂岩	略									

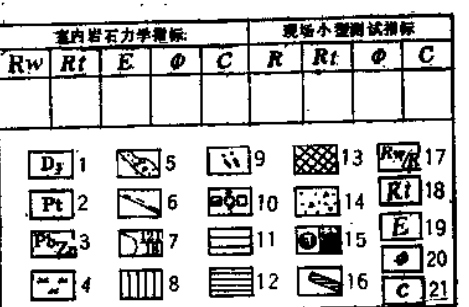


图 7-3 ××矿区YM₁坑道北段水文地质工程地质展示图

1—上泥盆系矿化石英砂岩；2—元古界千枚岩夹变质砂岩；3—铅锌矿体（原岩为石炭系灰岩）；4—水云母岩；5—F_1断层破碎带；6—性质不明小断层；7—结构面及产状；8—室内力学点荷载、剪切试验点；9—滴水点；10—块状结构；11—层状结构；12—薄层状结构；13—碎裂结构；14—散体结构；15—节理裂隙等密度图；16—坑道平面位置示意图；17—饱和抗压强度/天然抗压强度；18—抗拉强度；19—弹性模量；20—内摩擦角(φ)；21—内聚力

编录要求：对坑道和竖井所揭示的岩石进行岩组划分，描述软弱夹层、岩层风化及构造破碎带的特征、分布及产状，统计岩组裂隙率，调查岩溶现象及地下水活动对坑道、竖井围岩稳定性的影响，详细记录工程地质现象（冒顶、片帮和底鼓等）及其发展过程，不稳定地段的掘进与支护方法。必要时可对坑道特定部位进行不少于一个水文年的工程地质观测，主要观测坑道工程地质现象发展过程。

坑道和竖井工程地质编录的最终成果，应绘制坑道和竖井工程地质展示图（图7-3）。展示图上一般应反映的内容：岩组界线，主要软弱夹层和构造破碎带的界线、产状、厚（宽）度及节理裂隙的产状，岩层风化带界线，工程地质和水文地质现象，岩、土、水的取样位置，节理裂隙统计点位置及极点等密度图，列表表示岩、土、水样的试验成果。

第四节　工程地质钻探

工程地质占探一般在工程地质条件复杂矿区的详勘阶段根据需要补充布置的专门性工程地质占孔。

一、占孔布置原则

工程地质占孔一般布置在拟定的工程地质剖面上。工程地质剖面应充分利用地质剖面，一般情况下，对中型矿床、工程地质条件中等的矿区，横剖面不少于2条，纵剖面不少于1条。

若地质、水文地质占孔能满足应查明的工程地质条件，原则上不再布置专门性工程地质占孔。应查明的是：①在剖面上对每个岩组应有3个以上岩石质量指标数；②能满足基岩风化带的划分；③主要工程地质岩组（包括矿层、顶底板岩组及对矿山稳定性有影响的岩组）应有3组以上岩石物理力学性质数据（岩石抗压强度可用点荷载仪，软弱结构面抗剪强度可用携带式剪切仪测试）。

二、占探深度

专门工程地质占孔的勘探深度，对露采矿区，在拟定坡脚附近控制到露采坑底以下50m左右；对坑采矿区，控制到首期开采地段工业矿体以下50—70m。

三、占孔技术要求

占孔终孔孔径以能采取岩、土力学试验样为准，一般不宜小于110mm；要求取心占进，对粘性土岩心采取率不低于75%，砂性土不低于50%，基岩不低于70%，风化基岩和破碎基岩不低于50%，对矿体围岩稳定性有影响的软弱层应采用专门工具取心（如定向取心器）；孔深校正、孔斜测量及封孔要求与一般地质占孔相同。

四、占孔工程地质编录

编录同前。但均应进行物探测井，有条件的矿区应进行声波测井，确定软弱夹层及破碎带的位置，并划分风化带，编制占孔工程地质综合成果柱状图（图7-4）。

开放日期	
终孔日期	
开孔方位倾角	
终孔深度	

××矿区××孔工程地质综合柱状图

孔口座标：X =

Y =

Z =

剧强风化带深度	
弱风化带深度	
微风化带深度	
终孔静止水位	

地层及岩组代号	岩心编号	分层				岩体结构类型	柱状图	综合描述工程地质	岩石力学试样采取位置及其指标	回次采取率曲线(%)	回次岩石质量指标曲线(%)	声波纵波测井曲线 Vp(km/s)	钻孔结构		钻孔测斜弯曲度/方位角	备注
		孔深(m)	厚度(m)	岩心长度(m)	采取率(%)								孔位置及封换径	结构图	孔深(m)	钻孔内特殊现象及其它情况

注：根据需要可增加水文地质编录内容

图 7-4 ××矿区××孔工程地质综合柱状图

第五节 地球物理探查

对于松散岩类或岩溶化岩类矿床应进行地球物理勘探。一般配合工程地质测绘进行或在测绘时确定的重要地段布置适量的物探工作。主要了解基岩埋藏深度、隐伏断裂带、第四系松散沉积物的岩性、厚度、空间分布及古河道位置、岩溶洞穴及主要通道的分布和深度、岩溶层与非岩溶层的分布情况、接触关系及岩溶层顶底板埋藏深度等。

第六节 工程地质测试

矿区工程地质测试的主要任务是了解岩、土体的物理力学性质，取得必要的力学参数，从而对边坡的稳定性、矿坑的稳固性评价提供定量的数据。工程地质测试可分室内、现场和原位三种。

一、室内岩、土样物理力学性质测试

一般对矿体、矿体顶底板围岩及对矿床开采稳定性有影响的岩组均需采样进行物理力学性质测试。对岩质岩石按不同岩组分层取样。对松散岩层，当岩性均一、厚度大于10m时，每3～5m取一组试样；当岩性不均时，按岩性变化分层取样。坑采矿区采样主要在

首期开采地段；露采矿区主要在初拟边坡地段采样。采样规格和数量与测试单位联系确定，送样时注明加荷方向。

室内岩、土样物理力学性质测试项目见表7-5。

表 7-5　室内岩、土样试验项目表

试验项目		砂质土	粘性土	软岩软弱夹层	半坚硬岩石	坚硬岩石
成分	颗粒分析	+	+			
	矿物成分			+	(+)	(+)
	化学成分			(+)	(+)	
	粘土矿物		(+)	(+)		
物理性质	比　　重	+	+	+	(+)	(+)
	容　　重	+	+	+	+	+
	相对密度	+				
	天然含水量	+	+	(+)		
	孔隙率		+	(+)		
	吸水率、饱和吸水率			(+)	+	
	塑限、液限		+			
	膨胀量、膨胀力		(+)	(+)		
	耐崩解性指数		(+)	+		
	安息角（天然、水下）	+				
力学性质	压缩性		+			
	抗压强度（干、湿）			+	+	+
	抗剪强度（天然、湿）	(+)	+	+	+	+
	弹性模量（干、湿）			(+)	(+)	(+)
	泊桑比			(+)	(+)	(+)
	抗拉强度			(+)	(+)	(+)
	抗冻性			(+)	(+)	(+)

注："+"表示大体上必须作的项目

"(+)"根据实际情况决定需作的项目

二、现场小型岩石力学性质试验

对于一些软岩、软弱夹层和断层破碎带的力学性质试验，往往由于运输、加工过程中易被损坏或无法加工，造成缺少测试数据或使室内测试数据可信度降低。同样，对于一般岩石，也由于岩石的不均一性，少量室内岩块力学性质试验，并不能真实反映该岩石的力学特性。因此，在此推荐利用岩心或不规则岩样在现场进行岩石点荷载试验和岩石剪切试验。由于仪器小型轻便，对测试样品的规格要求低，可较大量地进行试验。而且试验可由工程地质人员自己操作，这样更有利于对矿区各类岩石力学性质的研究，提高工程地质的研究程度。

（一）岩石点荷载试验

1．试验原理

将不规则岩样（岩心或岩块）夹于点荷载仪两个球状加荷锥之间，施加荷载直至压裂试样(图版XIV-1)。根据达到破坏时的最大荷载（P）和两锥加荷点的距离（D）求出试样

的抗拉强度（St），即：

$$St=\frac{K\rho}{D^2}=KI_s \qquad (7-2)$$

式中K：形状系数；

Is：点荷载强度指数（kg/cm²）。

形状系数是由不规则岩样尺寸与加荷方向之关系而定。当用岩心作径向加荷时，岩心长度为直径的1.4倍；当用岩心作轴向加荷时，岩心长度与直径相同；当用不规则岩块时，加荷距离与岩样短边宽度大致相同的情况下，都认为试验值与形状系数无关，则取形状系数为0.9。

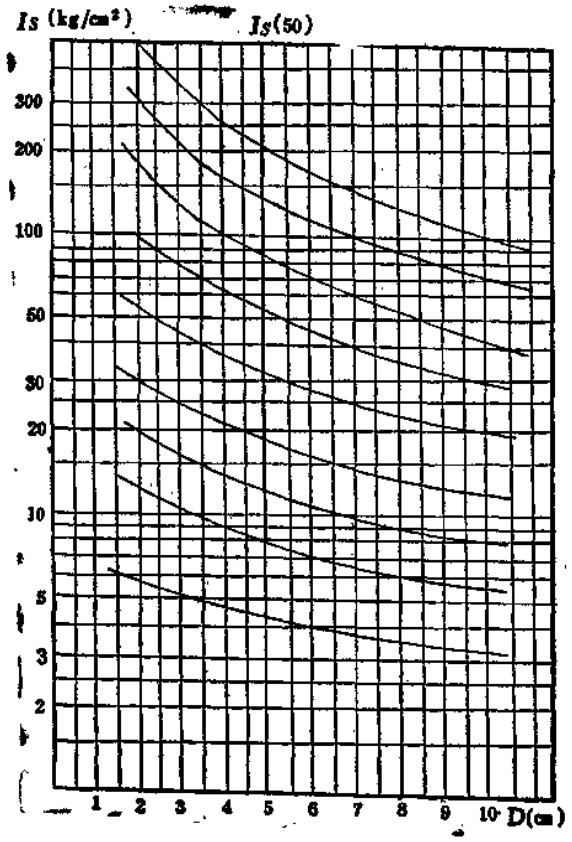


图 7-5 建议的尺寸修正曲线

点荷载强度指数一般认为与加荷点间距有关，国际岩石力学协会规定D=50mm的点荷载强度指数作为标准点荷载强度指数，并以Is（50）表示。Is（50）值可查尺寸修正曲线，结合我国占探孔径较大的特点，成都地质学院提出了适合我国的尺寸修正曲线❶（图7-5）。

2．试验数据处理

由于点荷载试验是利用不规则岩样，为使测试数据具代表性。一般应满足如下二个条件：①一组岩样不得少于10块；②变异系数小于30%（变异系数（%）$=\frac{\text{均方差}}{\text{算术平均值}}\times 100$）。这样的测试资料一般认为是较可靠的。当变异系数大于30%时，应删去算术平均值（$\bar{X}$）$\pm\bar{X}$50%以外的非代表性数据。经过这一处理，一般能满足变异系数小于30%的要求。

3．实际应用

（1）确定岩石抗拉强度(S_t)。

（2）确定岩石抗压强度$R_c=CIs(50)$，其中C为强度换算系数。当沿试样短轴向加荷时，C值取18；当沿试样径向加荷时，C值取24。

（3）划分风化岩体的风化带。根据点荷载试验划分风化带，国内外都在进行探索，还有待进一步完善。在国内提出了采用点荷载抗拉强度风化降低率（f_{st}）作为风化带划分指标，其表达式：

$$f_{st}(\%)=\frac{S_{to}-S_t'}{S_{to}}\times 100 \qquad (7-3)$$

❶ 向桂馥等，《岩石点荷载试验的尺寸形状效应及强度公式的探讨》，成都地质学院，1985年10月。

式中S_{w}：为新鲜岩石抗拉强度；

S_{f}'：为风化岩石抗拉强度；

风化带划分标准：强风化带$f_{n}>55\%$，弱风化带$f_{n}>10\%$。

在国外，日本的木宫一邦提出以点荷载抗拉强度的常用对数来表示风化程度（即log S_{f}）。国内的具体作法是在占孔中按1.0m间距（或0.5m间距）取一个岩样进行点荷载试验，若与肉眼观察结合起来，在可能分界点附近缩小取样间距，更可以保证精度。然后作logS_{f}随深度的变化曲线（logS_{f}～l）划分风化带（图7-6）。从该图可以看出，强风化带、弱风化带和微风化带的界线还是明显的。

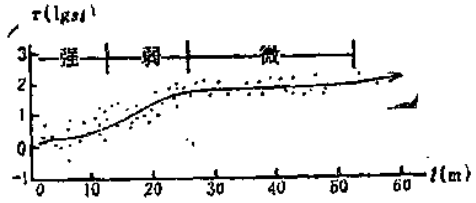


图 7-6　logS_{t}—l变化曲线图

（二）岩石剪切试验

现场岩石剪切试验是采用携带式剪切仪，主要是用来测定岩体中的软弱结构面（包括软弱夹层）和软岩的抗剪强度。

1．试验原理

现场小型剪切试验与室内直剪仪试验原理一致，即压应力与抗剪强度之间的关系，其表达式为：

$$\tau=\sigma\mathrm{tg}\phi+c \qquad (7-4)$$

式中τ：抗剪强度（kg/cm^2）；

σ：垂直于剪切面的压应力（kg/cm^2）；

tgϕ：内摩擦系数，ϕ为内摩擦角；

c：内聚力（kg/cm^2）。

但与室内剪切试验不同的是加荷方式和不规则岩样的制备（图版XIV-2）。加荷装置是用两个液压千斤顶通过柔性钢丝绳向剪力盒传递垂直和水平荷载，不规则岩样是通过特制的模具浇于速凝水泥制成规则的试样。

2．抗剪强度值的确定

抗剪强度值主要根据试验时剪应力与水平位移的关系而定。当水平位移出现屈服点时，以该点值作为抗剪强度值；当水平位移不出现屈服点时（主要为粘性土），一般以水平位移4 mm的剪应力作为抗剪强度值。

3．软岩、软弱结构面内摩擦角（ϕ）和内聚力（c）的确定

（1）作图法确定ϕ和c：根据试验的压应力（σ）和抗剪强度（τ）的直角座标图确定ϕ和c值。

（2）最小二乘法确定ϕ和c：按最小二乘法公式计算，其公式如下：

$$\mathrm{tg}\phi=\frac{N(\Sigma\sigma_i\tau_i)-\Sigma\sigma_i\Sigma\tau_i}{N(\Sigma\sigma_i^2)-(\Sigma\sigma_i)^2} \qquad (7-5)$$

$$c=\frac{\Sigma\sigma_i^2\Sigma\tau_i-\Sigma\sigma_i\Sigma\sigma_i\tau_i}{N(\Sigma\sigma_i^2)-(\Sigma\sigma_i)^2} \qquad (7—6)$$

式中N为一组试样总数，一般一组试样应大于8块。

另外，无论用作图法或计算法，在作图或计算前应删去非代表性数据。从试点矿区的资料来看，二种方法所确定的ϕ和c值基本一致。

三、野外原位测试

（一）占孔声波测试

声波探测技术是一种新颖的原位测试手段，测试方法尚属简单。根据国外资料表明，只有微细裂隙宽度小于0.04mm时，对声波测试才没有影响，因此声波测试的精度还是较高的。测试声波的仪器种类较多，一般可选用SSJ—1型数字声波测井仪较为合适，该仪器在孔径56—110mm钻孔中测深可达200m。声波测试的实际应用大致有如下三方面：

根据岩体的纵波速度（V_{pm}）及波形划分岩体的风化带。对整块状结构岩体，在一般情况下可划分出剧、强、弱风化带界线（表7-6）。

表 7-6　结晶岩风化带声波特征表

风化带	纵波速度范围 (m/s)	声波曲线形态
剧风化带	1000—2000	低跳多且比较集中，以不规则短尖刺状锯齿或方形锯齿形态为主
强风化带	2000—3000	声波形态以该带岩石结构而异
弱风化带	3200—4800	一般以多紧密排列的长尖刺锯齿形为主
微风化带	5900—6300	声波曲线形态较规整

根据岩体的纵波速度，结合测定岩块的纵波速度（V_{pr}），可计算出岩体完整性系数（I），其表达式$I=(V_{pm}/V_{pr})^2$。岩体完整性可根据完整性系数分成五级：$I>0.9$时，岩体完整；$I=0.75\sim0.9$时，岩体较完整；$I=0.45—0.75$时，岩体中等完整；$I=0.2—0.45$时，岩体完整性差；$I<0.2$时，岩体破碎。

根据岩体完整性系数和新鲜岩石轴向抗压强度(Rr)，可确定岩体抗压强度(Rv)，其表达式$Rv=Rr\cdot I$。

另外，通过声波测试尚可确定占孔内裂隙带、断层破碎带的位置。

（二）占孔地应力测量

根据矿山工程地质回访调查，认为在新构造运动明显的地区（即有活动性断裂地区）和地震震级较高地区（即强震区），进行地应力测量是十分必要的，它关系到对矿坑和露采边坡稳定性评价。

地应力测量方法较多，如压磁法、电阻片法以及光弹片法。在矿区工程地质勘探中，这项工作可请有关专门单位承担。

第七节　块状、层状岩类矿床工程地质评价方法

块状、层状岩类矿床在矿山开采中威胁较大的工程地质问题，主要是露采边坡的稳定

性和坑采巷道的稳固性问题。由于在地质勘探阶段不可能投入过多的工程地质工作，故对工程地质问题评价方法一般采用定性和定量评价相结合的原则。

一、露采边坡稳定性评价

露采边坡稳定性评价的目的是为了合理地确定最终边坡角和台阶边坡角。最终边坡角关系到矿山安全生产与剥采比的问题；台阶边坡角目前趋向于允许台阶边坡有局部的滑落，这样既省投资又不致于影响露采安全生产。

从国内外已发生露采边坡滑动实例来看，边坡的破坏受结构面所控制，尤其是Ⅱ、Ⅲ级结构面起着重要作用。因此，在地质勘探阶段对露采边坡稳定性评价的步骤一般如下：

（一）露采边坡岩体滑动可能性分析

边坡岩体滑动可能性分析一般是利用赤平极射投影原理进行。在可能性分析前，首先需查明岩组特征和岩层产状，特别是倾角变化以及各类结构面的发育规模、空间分布和结构面的地质特征。然后根据露采边坡与优势结构面的组合关系来分析、判断露采边坡的稳定性（图7-7）。图7-7a两组结构面交点处于边坡投影弧的另一侧，且组合交线倾向坡里，为最稳定条件。图7-7b两组结构面交点与坡面在同一侧，但在开挖坡面投影弧内侧，组合交线较边坡陡，为稳定条件。图7-7c两组结构面交线虽较边坡平缓，但在坡顶上无出露点，因此还是比较稳定的条件。图7-7d两组结构面交点落于人工开挖边坡及天然边坡投影弧之间，为较不稳定条件。但当结构面在坡顶面出露点c_0距开挖坡面较远，以致交线在开

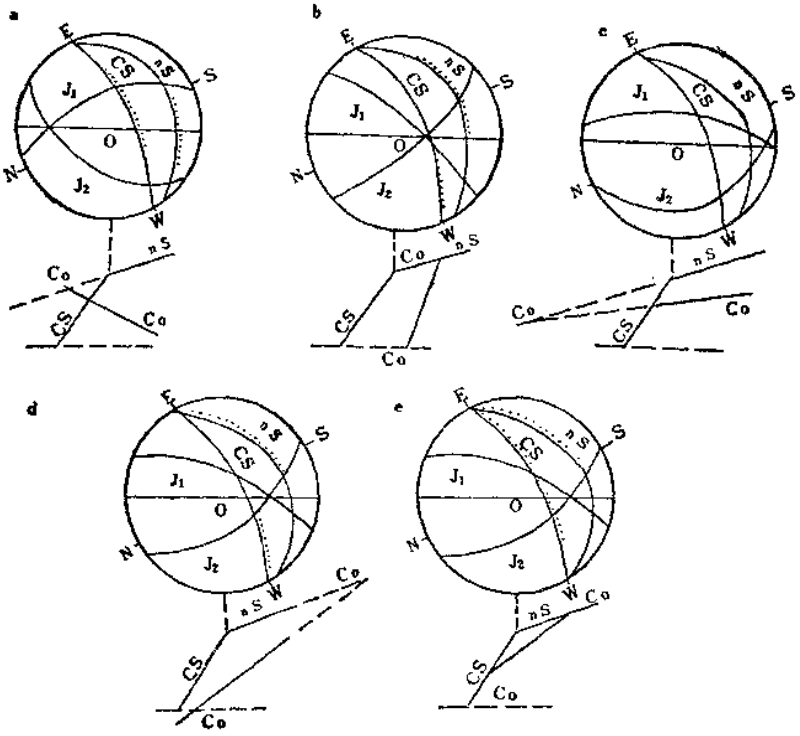


图 7-7　边坡岩体滑动条件分析

J_1、J_2—结构面；cs—开挖边坡；ns—天然边坡（坡顶面）；c_0—结构面交线在天然边坡面上的出露点

挖边坡上不出露，而插于坡脚下，这样又有利于稳定。图7-5e两组结构面交点落于两部分坡面投影弧之间，且交线在两部份坡面都有出露，为不稳定。

当露采边坡经过滑动可能性分析后，认为有较不稳定和不稳定结构体存在时，须进行稳定性计算。

（二）露采边坡稳定性计算

目前露采边坡稳定性计算仍以极限平衡法为主，也有以赤平极射投影方法来评价边坡岩体的稳定性。下面简单介绍第二种方法：

1．根据极限平衡法评价边坡岩体稳定性，以下计算公式仅适用于具有明显滑动面及坡面与滑动面切割的岩质边坡，滑动方式是岩体的平面和楔体移动（图7-8）。

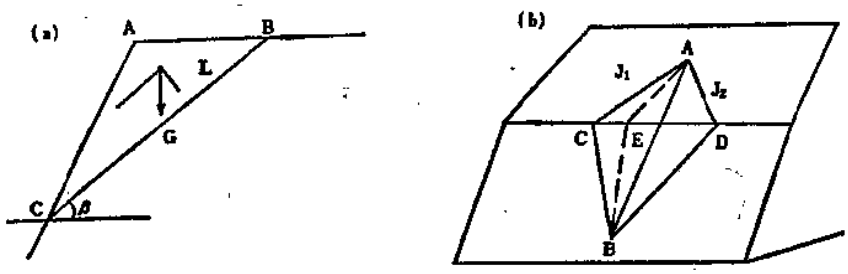


图 7-8　滑动面类型示意图

（1）自重作用下平面滑动（图7-8a）

$$\eta=\frac{G\cdot\cos\beta\cdot\mathrm{tg}\phi+cl}{G\cdot\sin\beta} \tag{7—7}$$

（2）自重、孔隙水压力作用下平面滑动

$$\eta=\frac{(G\cdot\cos\beta-w)\,\mathrm{tg}\phi+cl}{G\cdot\sin\beta} \tag{7—8}$$

（3）自重作用下楔体滑动（图7-8b）

$$\eta=\frac{G\cdot\cos\beta_{1,2}(\sin\beta_1\cdot\mathrm{tg}\phi_1+\sin\beta_2\cdot\mathrm{tg}\phi_2)}{G\cdot\sin\beta_{1,2}\cdot\sin(\beta_1+\beta_2)}+\frac{(s_1+s_2)(c_1+c_2)\sin(\beta_1+\beta_2)}{G\cdot\sin\beta_{1,2}\cdot\sin(\beta_1+\beta_2)} \tag{7—9}$$

（4）自重、孔隙水压力作用下楔体滑动

$$\eta=\frac{(G\cdot\cos\beta_{1,2}\cdot\sin\beta_1-w_1)\,\mathrm{tg}\phi_1}{G\cdot\sin\beta_{1,2}\cdot\sin(\beta_1+\beta_2)}+\frac{(G\cdot\cos\beta_{1,2}\cdot\sin\beta_2-w_2)\,\mathrm{tg}\phi_2}{G\cdot\sin\beta_{1,2}\cdot\sin(\beta_1+\beta_2)}$$

$$\frac{(s_1+s_2)(c_1+c_2)\sin(\beta_1+\beta_2)}{G\cdot\sin\beta_{1,2}\cdot\sin(\beta_1+\beta_2)} \tag{7—10}$$

式中G：滑体重量（t）；

l：滑动面单位长度（m）；

s_1、s_2：滑动面积（m^2）；

β_1、β_2：滑动结构面夹角分角（度）；

$\beta_{1,2}$：二结构面交线倾角（度）；

ϕ_1、ϕ_2、ϕ：结构面内摩擦角（度）；

c_1、c_2、c：结构面内聚力（t/m^2）；

w_1、w_2、w：孔隙水压力（t）。

其中对楔体滑动的滑体重量(G)、滑动面面积（s_1、s_2）、滑动结构面夹角分角（β_1、β_2）、二结构面交线倾角（$\beta_{1,2}$），可由赤平极射投影作图法求得。

露采边坡稳定性系数的大小与内摩擦角（ϕ）和内聚力（c）值的关系十分密切，比较符合实际的确定 ϕ 和 c 值是计算中可靠程度的关键。但地质勘探阶段由于不可能进行大批的野外大型试验来确定ϕ和c值，如根据现场小型携带式剪切仪求得的 ϕ和c 值，毕竟试样的剪切面积小，试验条件中有很多因素未考虑进去，因此ϕ和c值可能比实际的偏大，尤其是c值更是如此。我们建议：对内摩擦角采用剩余强度内摩擦系数与峰值强度内摩擦系数之比值的经验数据（平均为 0.8），对试验所获得的峰值内摩擦系数进行折减，即$0.8\times tg\varphi$，作为计算时的内摩擦系数；对内聚力采用试验值的 20%，即 $0.2\times c$ 作为计算时的内聚力。

以上公式也适于台阶边坡稳定性评价。

当所选择的最终边坡角计算结果的稳定系数（η）等于或大于安全系数（K）1.2—1.3时，可认为是安全的（坡高或研究程度低的露采矿区安全系数可采用大值）；当所选台阶边坡角计算结果的稳定系数（η）等于或大于安全系数（K）1.1时，同样认为是安全的。

2．根据赤平极射投影作图法评价边坡岩体稳定性（近似法）

虽然赤平极射投影在工程地质力学的研究中已得到初步应用，但还不够成熟，这里介绍的仅是一个近似法，只能起到以赤平极射投影方法评价边坡稳定的入门。

以下以楔体滑动为例，如图 7-9 所示。假设岩体中不稳定结构体的滑动受结构面 J_1（240°<50°）及 J_2（120°<30°）的组合交线 OC 所控制。J_1和J_2的内摩擦角分别为30°、25°，内聚力分别等于零或分别为6.0t/m²、3.0/t/m²时的稳定分析作图法步骤如下。

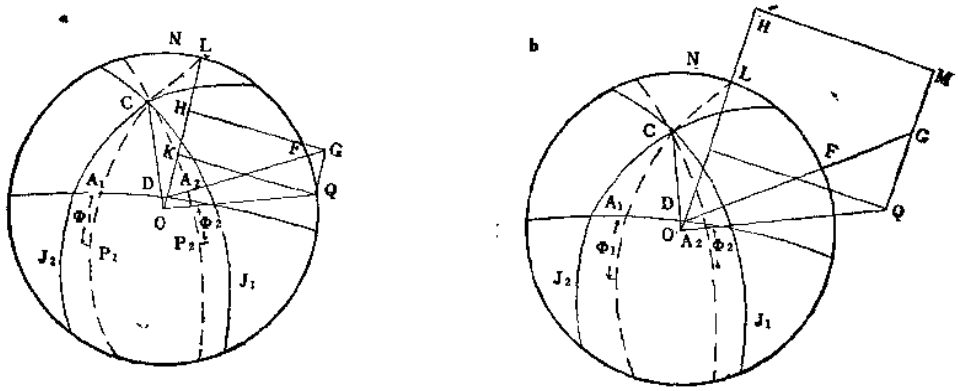


图 7-9　赤平极射投影岩体边坡稳定性作图法

（1）在赤平投影网图上作J_1和J_2的投影，交于C点，CO为两结构面组合交线。

（2）作J_1的极点P_1，过P_1及C作一面，在所得面上由P_1向C的方向取ϕ_1后得A_1，OA_1为滑动时在J_1面上内摩擦力的作用方向。同理，OA_2为A_2面上内摩擦力作用方向。

（3）过A_1和A_2作一面，它是J_1和J_2两滑动面上的摩阻抗力的合力面。当A_1A_2与CO相交，表明摩阻抗力与滑动线夹角较重力与滑动线间夹角小，因而稳定系数大于 1.0，处于稳定状态。

（4）求不考虑C值时稳定系数值，可如图7-7a作图法求得。将投影图复于投影网上，使CO与投影网NS重合，将C及D点沿纬线移至外圈交L及F，联结LO及FO，作OQ⊥CO。由于C＝0，此处OQ可取任一相对重量即可。作QK⊥LO，则KO为滑动力。作QG∥LO，与FO延长线相交于G，作GH⊥LO，则HO为内摩擦力。由此，结构体稳定系数 $\eta=\frac{Ho}{Ko}$（值可按比例量得），得$\eta=1.65$。

（5）考虑c值时稳定系数值，可如图7-7b作图法求得。同上，将C及D点沿纬线移至图外交L及F后，作QO⊥CO，并使QO按比例等于滑动体重量。作QK⊥LO，则KO为滑动力。作QG∥LO，G在FO延线上，再在QG的延线上取$GM=\Delta F_1\cdot C+\Delta F_2\cdot C_2$，$\Delta F_1$和$\Delta F_2$分别为滑动面积。自M作MH⊥LO，则HO为抗滑力合力。由此，结构体稳定系数 $\eta=\frac{HO}{KO}$，（值可按比例量得），得$\eta=2.7$。

（三）提出露采区建议边坡角

在地质勘探阶段提出的建议露采边坡角，一般可采用工程地质类比法或用极限平衡法试算求得建议露采边坡角。

1．工程地质类比法

工程地质类此法系根据所勘探矿区的岩石性质和强度、软弱结构面的性质和空间分布、矿区水文地质条件及未来矿山露采深度，对照已开采的条件相似的矿山，参考其稳定边坡角，用下式进行类比计算，其公式：

$$\alpha_2=(\alpha_1-\beta_1)\left(\frac{H_1}{H_2}\right)^{1.5}\left(\frac{A_1}{A_2}\right)+\beta_2 \qquad (7—11)$$

$$A_1=\beta_1-\phi_1\left[1-0.1\left(\frac{H_{01}}{H_1}\right)^2\right]$$

$$A_2=\beta_2-\phi_2\left[1-0.1\left(\frac{H_{02}}{H_2}\right)^2\right]$$

式中α：边坡角（度）；

β：最可能产生滑动的结构面倾角（度）；

ϕ：沿β面的内摩擦角（度）；

H：边坡高度（m）；

H_0：边坡附近的地下水头高度（m）；

脚码1：已知矿山边坡参数；

脚码2：勘探矿区边坡参数。

用类比法求得建议边坡角后，最好进行边坡稳定性验算，验算方法同上。

目前，露天开采在我国金属矿山中占有相当重要的地位，露采的铁矿约占90%，有色金属约占40%，因此对露采边坡采用工程地质类比法是有一定条件的。

2．试算法

试算法是采用极限平衡理论，在假定若干边坡角（α）的条件下进行稳定性试算，求得稳定性系数（η），然后作η—α的直角座标图来确定建议的露采边坡角。

（四）露采边坡稳定性综合评述

首先，作露采矿区边坡稳定性预测分区图（图7-16）。其次，根据预测区、亚区进行

综合评述（或列表评述），评述内容应包括：工程地质岩组、岩体结构、边坡地质结构及优势结构面组数和产状、可能出现的变形类型与模式、岩体强度、软弱面抗剪强度、水文地质条件的影响、边坡稳定性及建议边坡角等。

二、坑采矿床围岩稳固性评价

过去的勘探报告中常采用普氏系数来评价坑道的山岩压力和冒落拱高度，作为对围岩的稳定性评价。其实山岩压力和冒落拱高度与围岩岩性、风化程度、岩体结构特征以及地下水活动等一系列因素有关，但普氏系数并不能完全反映上述诸因素的影响。多年实践表明：在坚硬或半坚硬岩体中，按普氏公式计算的山压与实际不符，当顶拱不稳定时，坍落拱的形状与高度也并不象普氏所假定的那样，而是取决于围岩的结构特征。所以，按普氏系数评价围岩稳定性是不可取的。我们认为，在地质勘探阶段对坑采矿床围岩稳定性评价宜粗不宜细，可以按岩组、岩体结构类型，根据诸多因素，求出一个综合性指标—岩体质量指标，作为对坑采围岩稳固性进行评价和分类，是目前为较多人接受的便于使用的和比较实际的方法。另外，对第四系覆盖地区，为保证坑采的安全及坑道的稳定性，提出安全开采深度也是必须的。

（一）岩体质量评价方法

评价岩体质量目前一般采用岩体质量指标，但由于研究者对岩体质量指标的认识不一，至今国内外尚没有统一的表达方式。在国外，Z.T.比尼维茨基的RMR分类曾被1978年国际岩石力学学会所推荐，巴顿等人的岩体质量(Q)分类是目前各国所重视的一种方法，但在地质勘探阶段的应用中还有一定困难。因此，下面仅介绍国内的几种评价岩体质量指标的方法，供选择。

1．按《岩体工程地质力学基础》一书提出的岩体质量系数法，其表达式：

$$Z = I \cdot f \cdot s \qquad (7—12)$$

式中Z：岩体质量系数；

I：岩体完整性系数，$I=(v_{pm}/v_{pr})^2$；

f：结构面内摩擦系数，$f=\mathrm{tg}\phi$；

s：岩块坚硬系数，$s=\dfrac{R_w}{100}$，R_w为岩块饱和轴向抗压强度。

表 7-7 岩体质量分级表

岩体质量系数 Z	0.002 0.005 0.01 0.02 0.05 0.1 0.2 0.5 1 2 5 10 20
岩体结构类型	0.002 散体结构 0.1　0.3 块状结构 10 0.05 碎裂结构 1　2.5 整体结构 20 0.2 镶嵌结构 2.5 0.08 薄层状结构 3.0 0.2 层状结构 5
岩体质量优劣等级	极坏　0.1 坏　0.4 一般　2.5 好　4.5 特好

从公式（7-12）看出，该方法考虑到岩石坚硬性、岩体的完整性及结构面抗剪强度。按此式求得的岩体质量系数 Z，根据岩体质量优劣可分成五级（表7-7）。对于一般跨度（5m以内的坑道，根据对毛洞坍方的实地调查认为：

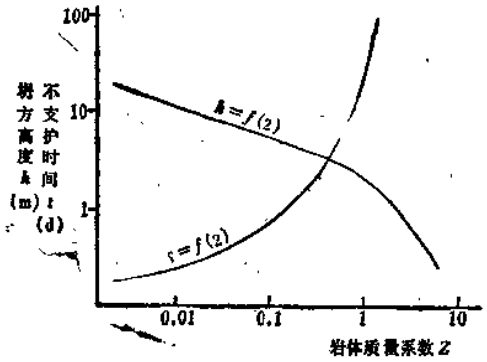


图 7-10　洞体围岩稳定性与岩体质量关系曲线图

（1）当$Z>4.5$时，岩体属稳定型，无需支护（图7-10）；当 Z在 2.5—4.5 之间，岩体属基本稳定型，一般采用喷射混凝土即可；当Z在0.4—2.5 之间，岩体属一般型，尤其当 $Z<1.0$ 时易塌方，对各类结构体一般都得用不同方法进行支护；当Z在 0.1—0.4 之间时，岩体属不稳定型，在施工过程中岩体失稳现象是常见的，故对各类结构体都得考虑不同的支护措施；当$Z<0.1$时，岩体属极不稳定型。

（2）当$Z<10$，毛洞塌落高度与Z呈幂函数关系，其方程式：

$$\log h=0.4048-0.332\log z \qquad (7-13)$$

2．按《岩体质量的工程地质评述方法》●一文提出的岩体质量评价方法。

该方法是考虑到岩体的不同结构特征采用不同的评价方法。

（1）完整岩体（相当于整块状结构岩体）的质量评价：由于完整岩体的力系性质和稳定性主要受岩性控制，因此采用岩石饱和抗压强度（R_w）与标准软岩饱和抗压强度（150 kg/cm²）之比值，作为完整岩体的质量系数(s)，即$s=R_w/150$。根据s值将完整岩体分成四级（表7-8）。

（2）层状岩体的质量评价：控制层状岩体稳定性的内在因素，主要有层厚、岩性、结构面的抗剪强度，因此采用似块度指标 B（即层厚）、岩石质量系数（s）及结构面内摩擦系数（f）的关系式表示岩体的质量（M），即 $M=B\cdot f\cdot s$。根据M值将层状岩体分成四级（表7-8）。

（3）块断岩体（相当于层状碎裂结构岩体）的质量评价：块断岩体主要特征是岩体被软弱夹层等软弱结构面切割形成分离单元体，因此控制该类岩体质量的主要因素是软弱夹层的成分、形状及其物理力学性质，故用软弱结构面的内摩擦系数（f）作为评价块断岩体的质量，并把岩体质量分成三级（表7-8）。

（4）碎裂岩体的质量评价：控制该岩类岩体稳定性的主要因素是岩体的完整性(B_n)、结构面的性能（f）及结构体的强度(s)，因此碎裂岩体的质量（M）可用下式计算：

$$M=B_n\cdot f\cdot s \qquad (7-14)$$

$$B_n=\frac{A_1+2A_2+3A_3+4A_4+5A_5}{100}$$

式中 $A_1\sim A_5$：各级块度占统计面积（一般选择10m²进行统计）的百分数；

A_1：裂隙间距<0.1m，块度值<0.01；

● 孙万和《岩体质量的工程地质评述方法》武汉水利电力学院，1984年

表 7-8 岩体质量分级表

岩体结构	岩体质量分级指标					
	很好	好	中等	较差	坏	最坏
完整岩体	$s>6$		$s=2—6$	$s=1—2$	$s<1.0$	
层状岩体		$M>1.0$	$M=0.1—1.0$		$M=0.02—0.1$	$M<0.02$
块断岩体			$f>0.35$		$f=0.25—0.35$	$f<0.25$
碎裂岩体	$M>16$	$M=7—16$	$M=2—7$		$M=0.3—2$	$M<0.3$

A_2：裂隙间距 0.1—0.3m，块度值0.01—0.1；

A_3：裂隙间距0.3—0.6m，块度值0.1—0.5；

A_4：裂隙间距0.6—1.0m，块度值0.5—1.0；

A_5：裂隙间距>1.0m，块度值>1.0。

根据M值的大小，将碎裂岩体质量分成五级（表7-8）。

（5）散体结构岩体：主要由大型断层破碎带、大型岩浆岩侵入接触破碎带及强风化带组成，第四系松散沉积层也可划归此类。水对这类岩体的作用非常明显，这类岩体质量是非常差的，通常划归为最坏级。

3．按《岩石力学的理论与实践》一书提出的岩体质量评价方法。

考虑到岩体质量是一个综合特征值，是与岩体完整性系数（I）、岩石风化程度系数（K_y）、岩石的软化系数（K_R）及岩石质量系数（S_r）有关，即岩体质量指标$M=f(I、K_y、K_r、S_r)$，经过这一函数关系式的简化，得岩体质量指标M值的近似式：

$$M=\left(\frac{R_w}{300}\right)\cdot\left(\frac{v_{pm}}{v_{pr}}\right)^2 \qquad (7—15)$$

当无岩石完整性系数时，可用RQD值代替作粗略地计算M值，即$M=\left(\frac{R_w}{300}\right)\cdot$RQD。按（7-15）式求得的岩体质量指标来划分岩体质量优劣（表7-9）。

表 7-9 岩体质量分级表

岩体分类	Ⅰ类	Ⅱ类	Ⅲ类	Ⅳ类	Ⅴ类
岩体质量指标（M）	>3	1.0—3.0	0.12—1.0	0.01—0.12	<0.01
岩体质量	优	良	中等	差	坏

以上三种岩体质量评价方法，对结构面内摩擦系数和岩体完整性系数要求以野外大面积抗剪试验和声波测试求得，但由于地质勘探阶段的限制，我们认为可采用现场携带式剪切试验和RQD值代替；而饱和抗压强度可采用点荷载试验代替。为使岩体质量评价的各个计算指标具有一定的代表性，通常不得少于3—5组试样，取其算术平均值参加计算。

（二）安全开采深度的确定

确定安全开采深度的目的是为防止"三下"采矿时地表塌陷、开裂及导致第四系沉积物和地下水大量涌入矿坑而带来的危害。在"三下"开采中，尤以水体下开采对矿坑威胁最大。目前确定安全开采深度一般采用以下经验公式：❶

$$h = H_{裂} + (5 \sim 10) \tag{7—16}$$

式中h：安全开采深度（m）；

$H_{裂}$：导水裂隙带高度或有效裂隙带高度（m）。

从（7-16）式可看出，确定安全开采深度的关键是确定导水裂隙带高度，但确定此高度比较困难，更多地需要依靠实践的经验。目前，除煤矿开采中积累了比较丰富的经验，可借助经验公式来确定导水裂隙带高度外，尚无理想方法。现将有关经验公式介绍如下：

1．矿层为缓倾斜、中倾斜（36—54°）隔水性不好的坚硬复岩，开采后引起导水裂隙带高度

$$H_{裂} = \frac{100m}{1.28m + 2.85} \pm 7.34 \tag{7—17}$$

2．矿层为缓倾斜、中倾斜隔水性好的中硬（半坚硬岩石）复岩：

$$H_{裂} = \frac{100m}{1.4m + 4.16} \pm 6.03 \tag{7—18}$$

3．矿层为缓倾斜、中倾斜隔水性好的软弱复岩：

$$H_{裂} = \frac{100m}{3.21m + 3.15} \pm 5.34 \tag{7—19}$$

4．矿层为急倾斜隔水性好的中硬复岩：

$$H_{裂} = \frac{16.8m'}{m' + 8.95} + 13.13 \tag{7—20}$$

式中m：矿层厚度（m）；

m'：回采垂高（m）。

第八节　岩溶化岩类矿床工程地质评价方法

岩溶矿区的工程地质问题，除同样存在露采边坡稳定性和坑采矿床围岩稳固性等工程地质问题外，还存在着地面塌陷和矿坑底板突水的工程地质问题。前二个工程地质问题可参照第七节评价方法，下面就后二个工程地质问题评价提出定性与定量相结合的评价方法。

一、地面塌陷评价

在地质勘探阶段评价地面塌陷的工程地质问题，主要是查明岩溶发育程度，特别是浅部岩溶发育带的情况；其次是查明第四系盖层的岩性、厚度、时代及分布的地貌特征；再次是查明矿区水文地质条件。一般通过水文地质勘察基本能满足对岩溶矿区地面塌陷的评价，评价所涉及到的主要内容为产生地面塌陷的程度、分布范围及对开采的影响，其中最主要的是预测地面塌陷的范围及评价塌陷的程度。在预测方式上可分为定性和定量两种。

❶ 《水体下采煤调查报告》湖北煤矿设计院1974年

（一）定性预测

定性预测以塌陷分布和岩溶发育规律为基础，一般来说岩溶地面塌陷大多数发生在低洼谷地、洼地和冲沟等较为平坦的开阔地；第四系覆盖层主要为一些全新统冲洪积层、厚度一般小于30m的松软粘性土和砂砾石混粘性土层；浅部岩溶发育地带。根据这三种条件的复合程度来定性预测塌陷的强弱程度，最后作出地面塌陷预测图。在该图上分出稳定区和塌陷区，再按土层厚度和岩性对塌陷区进一步划分出严重、中等和微弱的亚区（图7-11）。

（二）定量预测

定量预测是一个难度相当大的课题，因为控制塌陷的因素很多，往往是多因素的综合作用。塌陷区预测一般是指塌陷半径（l）的预测，即抽、排水中心到最远塌坑的距离。塌陷半径大小与抽水量、水位降低、土层厚度、土层性质、抽水时间、岩溶率和构造破碎带发育程度等因素成函数关系，目前还没有一个能普遍适应的模式，这里仅采用一些经验公式来进行定量预测。

（1）根据抽、排水降落漏斗影响半径计算塌陷半径：塌陷总是在抽水影响半径（R）以内的范围内产生，塌陷半径与抽水影响半径之比值（L/R），随岩溶发育程度、土层厚度等因素而变化，因而可以利用相似地区的比值来进行预测，其公式为：

$$L = a \cdot R \qquad (7—21)$$

$$a = L/R$$

式中a：比例系数或称塌陷系数；

R：抽水影响半径（可根据观测孔实测或水文地质学公式进行计算）。

比例系数可按下列原则选取：

①岩溶极发育、地形平坦、土层薄（<10m）的地区，a值可选在0.7—1.0之间；

②岩溶发育、土层较厚（10—30m）地区，a值可选0.4—0.7之间；

③岩溶不发育，土层厚的地区，a值可选≤0.4。

（2）根据水位降低预测塌陷半径：根据孔群长时间抽水，对已暴露的地面下沉、开裂及塌陷的现象进行详细系统的编录，并详细记录水位降深与产生塌陷影响半径的关系。在此基础上，根据类比法预测地面塌陷的范围，其公式为：

$$L = n\frac{L_1 S}{S_1} \qquad (7—22)$$

$$L' = X + (L - X)\frac{K_2}{K_1} \qquad (7—23)$$

式中L：未经修正的预测塌陷影响半径（m）；

L'：经修正的预测塌陷影响半径（m）；

S：未来矿坑排水水位降低值（m）；

L_1：已知矿坑塌陷影响半径（m）；

S_1：已知矿坑排水水位降低值（m）；

X：抽水点至岩溶分区界线的距离（m）；

K_1：抽水孔所在区的岩溶率；

K_2：各区的岩溶率；

n：不同方向的比例常数，由抽水孔已知两次水位降低值及相应的塌陷影响半径求得。

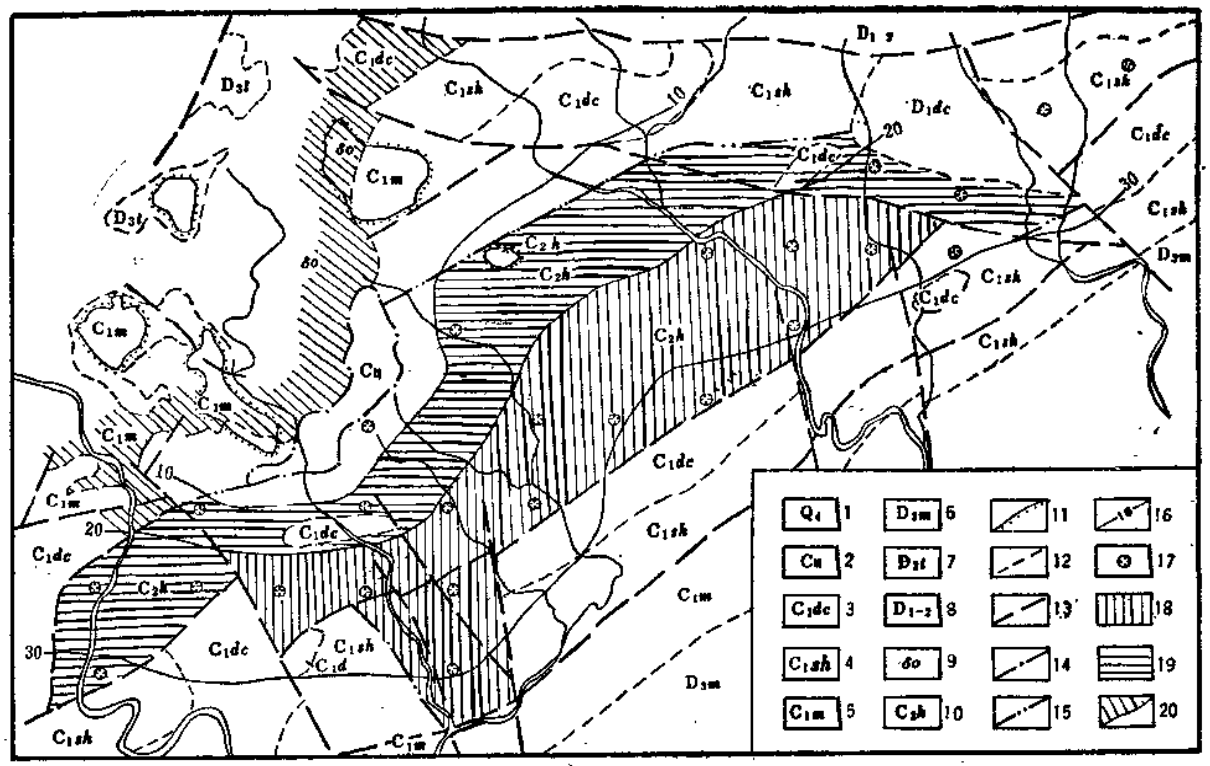


图 7-11 ××矿区地面塌陷预测图

1．全新统松散沉积层；2．中石灰系黄龙灰岩；3．下石炭系测水段砂页岩；4．下碳系石橙子段灰岩；5．下石炭系孟公坳灰岩；6．上泥盆系帽子峰组砂页岩；7．上泥盆系天子岭组 灰岩；8．中、下泥 盆系砂页岩；9．石英闪长纷岩；10．(C_2h, C_1ds) 第四系覆盖区；11．基岩与第四系界线；12．覆盖区地层 界线；13．覆盖区断层；14．矿体界线；15．岩溶发育界线；16．第四系等厚线 (m)；17．岩溶发育符号；18．预测地面塌陷较强区；19.预测地面塌陷较弱区；20；相对隔水边界

公式（7-22）和（7-23）的可靠性与抽水试验塌陷暴露程度有关，如果在一定降深内塌陷未充分暴露，则预测偏差较大。且该公式是根据广东凡口铅锌矿孔群抽水试验所产生的塌陷而提出的经验公式。

二、矿坑底板突水工程地质评价

底板突水严重地威胁着安全开采，对煤矿开采更为突出。例如淄博矿区突水达110次，焦作矿区达80次，峰峰矿区达20多次，由于受奥陶系灰岩承压水的威胁，造成的呆滞储量仅邯邢地区就达35亿吨。因此，底板突水是一个极待解决的问题。

在地质勘探阶段如何评价底板突水，目前方法甚少，但根据底板突水机理的初步研究，可采用定性或经验计算公式进行评价。

（一）定性评价方法

根据峰峰矿务局科研所及山东矿冶学院对峰峰二矿2701采煤工作面底板破坏变形测试（测试方法有：矿山压力观测、岩体受力观测、岩移观测、古孔水压试验、声波及无线电透视观测、地质素描及断裂构造控制观测），对底板突水机理有了初步认识。研究表明，突水发生与矿山压力、地质构造、水压和隔水条件有关。其中矿山压力是底板突水的触发与诱导因素，断裂构造是底板突水的控制因素（大量统计资料证明，80%以上的突水与断裂有关）。因此，在地质勘探阶段主要应查明断裂构造（Ⅱ、Ⅲ级为主）的分布、断裂性质、破碎程度及导水性，底板隔水岩层的厚度、分布及岩石强度，岩溶承压水的水压等，然后进行综合性的定性评价。

（二）根据实测突水资料的曲线拟合法❶

曲线拟合法是根据突水岩体力学机制的分析，建立起评价突水预测的关系式：

$$P_0 = Ah^2 + Bh - Q \qquad (7—24)$$

式中P_0：临界水压，（t/m²）；

h：隔水底板厚度，（m）；

Q：矿山压力（t/m²）；

A：与岩体抗拉强度、采煤工作面长、宽有关的参数；

B：与岩体平均容重r有关的参数，即$B=r-1$。

该式反映了水压、隔水底板厚度、岩石物理力学性质、地质构造和矿压等对底板突水的影响。具体拟合方法：

首先，按$P_0-Q=Ah^2+Bh$方程绘制标准曲线图（图7-12）。

第二，根据已知突水矿区的突水资料（最好有8—10个实测突水数据），在透明方格纸上用与标准曲线相同比例尺，以P_0为横座标，h为纵座标，将矿井历年来发生过突水的采区和未发生突水的采区，标在P_0—h座标图上（图7-13）。对于断层附近的突水点，其隔水底板厚度h应改用该突水点至断层另一盘含水层的最短距离；对于导水断层，则h应采用突水点至断层的最短距离。

第三，将P_0—h图（图7-13）与标准曲线图迭置在一起，P_0轴与P_0+Q轴重合，作横向移动，使P_0—h图上突水点与不突水点可能最佳分界线与标准曲线图上某一条曲线吻

❶ 葛亮涛，淄博煤矿区底鼓水的岩体力学机制，1985年4月

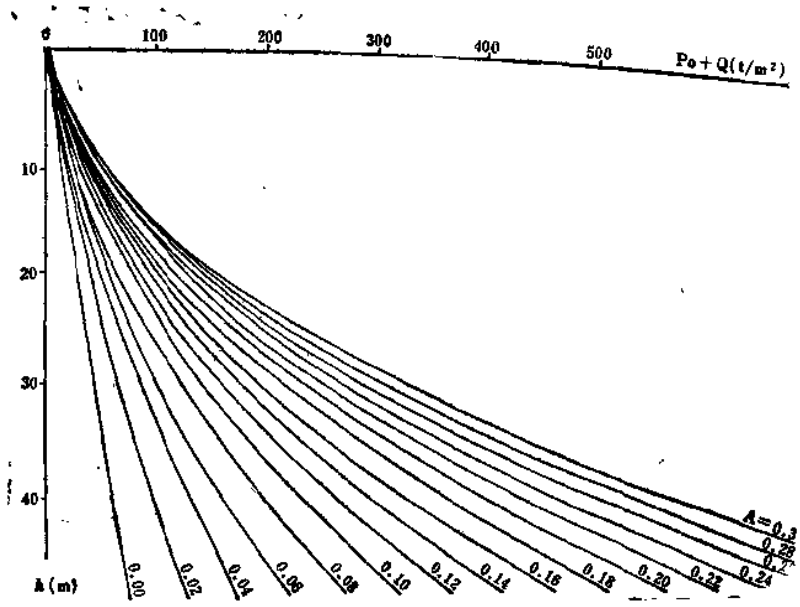


图 7-12　标准曲线图（$P_0+Q=Ah^2+Bh$）

合，在P_0—h图上描上此曲线，此曲线及其A值即为矿井$P_0=Ah^2+Bh+Q$曲线和A值，其横座标之差即为Q值。此曲线之上方即为突水区，下方为安全区。

第四，对勘探矿区而言，可利用地质构造、岩性近似的突水矿床资料，将所获得的A值和Q值与勘探矿区隔水底板顶面水压值P_0，按$P_0=Ah^2+Bh-Q$求出隔水底板临界厚度。当勘探矿区隔水底板厚度小于临界厚度时，一般为可能发生突水的区段；相反，为可能不发生突水的区段。

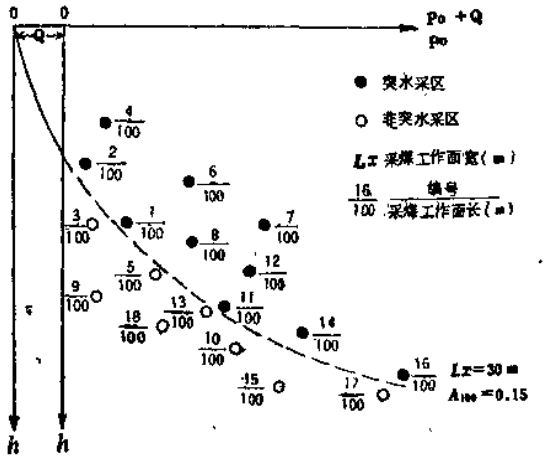


图 7-13　P_0—h曲线图

第九节　松散岩类矿床工程地质评价方法

松散岩类矿床由于开采方式不同，工程地质问题也就不同。对用船采、水采的砂矿

床，开采方法简单、安全，因此无特殊的工程地质问题。但位于冻土区的此类矿床，要注意由于热融滑塌、热融沉陷对地面设施带来的破坏。对直接为第四系覆盖的矿床（包括原生矿床及在剥蚀面附近的矿床），由于需露天开采，故不管围岩是一般粘性土、砂性土，还是特殊类土（如冻土、膨胀土等），其主要工程地质问题均是露采土体边坡的稳定性问题。对土体边坡稳定性评价，大体土与岩质边坡一致，可分几步进行。

一、土体边坡工程地质分区（或分段）

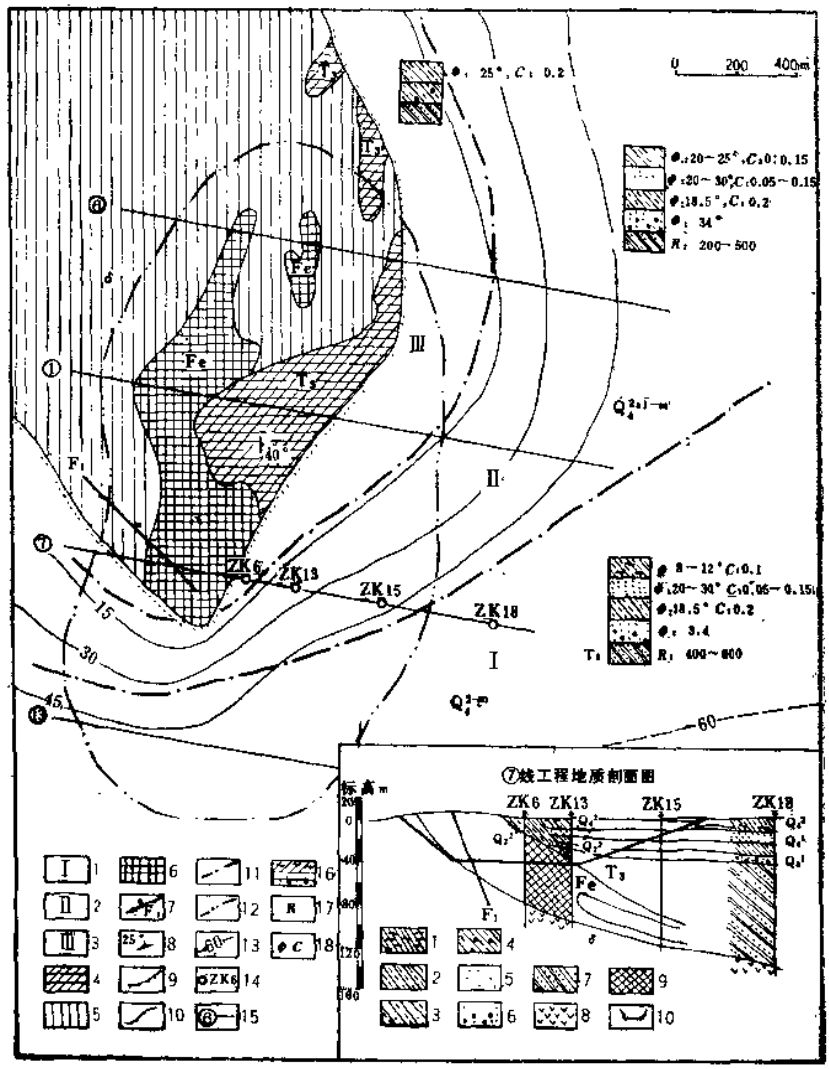


图 7-14 ××矿区岩（土）体结构类型图

一、平面：1—表层为海积层的四层结构(Q_4^{2m})；2—表层为冲积海积的四层结构(Q_4^{2al-m})；3—表层为冲洪积层的双层结构($Q_4^{2alf\,pl}$)；4—上三叠统砂页岩层状碎裂结构(T_3)；5—闪长岩(δ)整块状结构；6—铁矿体（Fe）块状结构；7—逆断层及编号；8—岩层产状；9—基岩与第四系界限；10—岩层界线；11—土体成因类型及结构类型界线；12—露天采场境界线；13—基岩顶板埋深等值线（m）；14—钻孔编号；15—勘探线及编号；16—岩性小柱状；17—抗压强度(kg/cm²)；18—内摩擦角（度）及内聚力(kg/cm²)。

二、剖面：1—淤泥质亚粘土；2—亚粘土；3—亚砂土；4含砾亚粘土；5—粉细砂；6—砂砾石；7—砂页岩互层；8—闪长岩；9—矿体；10—露采边界线

在较详细研究第四系地层的岩性、时代、成因类型、水文地质条件和基岩强风化带的基础上，按土体结构类型(图7-14)将拟建采场周围的土坡划分不同的工程地质区（或段），并分区（或段）进行稳定性计算。

二、露采土体边坡稳定性计算

土坡和岩坡不同，岩坡滑动面的形状和位置常依据软弱结构面的产状和空间组合关系来确定，而土坡滑动面的形状和位置，则需据有关理论进行假定和试算，找出危险滑动面。目前计算土坡稳定性的方法很多，但大多适合于均质土坡，而矿区土坡往往是不均质的，也就是由多种土层结构构成的土坡，滑动面上的抗剪强度并非均匀分布，因此这里仅选择分条法（图7-15），假定滑动面进行试算（一般当内摩擦角$\phi>3°$时，滑弧都通过坡脚），其计算公式如下：

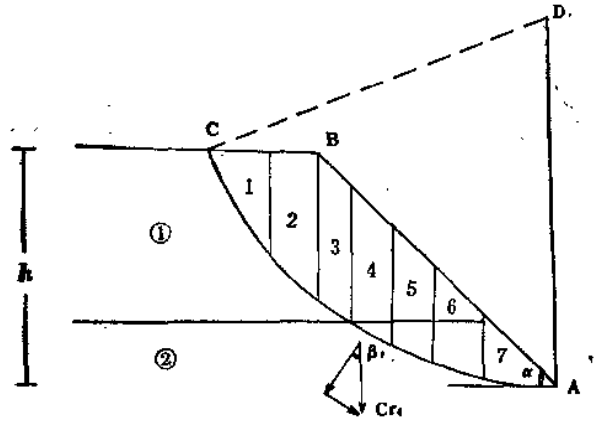


图 7-15 分条法计算土坡稳定示意图

$$\eta=\frac{\sum G_i\cos\beta_i\operatorname{tg}\phi_i+\sum C_iL_i}{\sum G_i\sin\beta_i} \qquad (7—25)$$

式中η：稳定性系数；

G_i：滑体第i条块的重量(t)；

ϕ_i第i条块土的内摩擦角(度)；

C_i：第i条块土的内聚力(t/m^2)；

β_i：第i条块滑动面的倾角(度)；

L_i：第i条块滑动面的长度(m)。

对于土层较薄、滑动面沿基岩表面滑动的土坡，则滑动面为一折线，按折线分条仍可采用公式（7-25）进行稳定性计算。

上式未考虑水压力、爆破震动力以及机车动载荷等作用，故对于较永久性土坡来说，安全系数（K）常取1.15—1.25之间，而对非永久边坡，安全系数可适当降低。

对于具有饱和的粉细砂和亚砂土层的上坡，由于在自然状态下会引起流砂，形成自然边坡极低，对这种土坡必须进行预先疏干，一般在假定疏干的情况下进行土坡的稳定性计算。

三、提出建议边坡角

根据上述公式，在假定若干个边坡角的条件下，进行稳定性计算，求得各边坡角的稳定系数，以接近于安全系数值的边坡角作为建议边坡角。

第十节 矿区工程地质报告及图件编制

一、报告编写

报告编写内容力求文字简明通顺、重点突出、条理分明、依据充分和结论明确。

矿区工程地质报告一般为地质勘探报告的一章，当工程地质条件复杂，进行专门性工程地质勘探工作的矿区，也可单独提交。报告编写一般包括下列内容。

序言：包括目的任务、研究程度、工作方法、完成工作量、工作起止日期及对各项工作的简要质量评价。

区域工程地质条件：包括自然地理、地貌及物理地质现象　地质构造特征、工程地质岩组特性、水文地质条件和新构造运动与地震。

矿区工程地质条件：包括矿区工程地质岩组空间分布规律及其工程地质特性，矿区结构面和岩体结构类型划分、空间分布特征，地下水对工程地质条件的影响。

排土场工程地质条件：根据区域工程地质条件，指出排土场的方向。

工程地质问题的预测和评价。主要结论及进一步工作意见。

附图、附表。

二、图件编制

（一）矿区一般应提交的图件

1．基本图件

矿区工程地质图（样图1）

矿区工程地质剖面图（样图2）

坑道工程地质展示图（图7-3）

工程地质占孔综合柱状图（图7-4）

2．预测性图件

岩溶化矿区地面塌陷预测图（图7-11）

露采矿区边坡稳定性预测图（图7-16）

坑采矿区首采地段岩体稳固性预测图（图7-17）

3．主要附表：岩组节理裂隙统计图表、岩（土）样物理力学试验成果统计表。

以上所列举的图、表，根据矿区工程地质条件复杂程度，开采方式及工程特殊要求，可酌情增减部份图件或与水文地质图件合并。

（二）矿区工程地质图编图要求

1．编图原则

工程地质图是对矿区工程地质研究的总结性图件，也是针对工程目的而编制的一种地质图件，图中应反映出矿区内的工程地质条件，并结合矿区开采条件作出综合性的工程地质评价。因此其编图基本原则，一方面必须充分反映矿区客观存在的工程地质条件，另一方面又必须为设计人员所理解、利用。

2．图面表示基本内容（样图1）

工程地质图一般是通过工程地质测绘，在地质图、水文地质图及其它基础性图件的基础上编制而成的。因此，在矿区工程地质图上应表示的基本内容如下：

（1）地形地貌；

（2）地层岩性：主要应表示工程地质岩组（着普色表示）、岩体结构类型（可在剖面上表示）以及对矿山开采有影响的软弱夹层，地层年代概念较之岩性类型在工程地质图上是次要的，但地层时代在图中仍应指出，另外还需将第四系松软土层的厚度变化特点表

示出来，其方法可采用绘制岩性柱状、厚度分区或用等厚线表明；

（3）地质构造：构造特征在工程地质图上是最重要的和最基本的内容，应表明断层位置、性质和产状，褶皱轴线和岩层产状，对Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ级结构面用线的粗细表示，对Ⅳ级结构面用密度图表示，活动性断裂应以特殊符号表示；

（4）物理地质和工程地质现象：应表示出各种物理地质现象（如滑坡、山崩或崩塌、泥石流、岩溶、湿地等）和工程地质现象（地石塌陷、人工边坡失稳等）的类型、各类现象的形态；

（5）水文地质要素：包括地下水位、泉水出露点等；

（6）工程地质控制点：代表性占孔和坑道位置，岩、土、水取样点和现场测试点，自然斜坡和人工边坡调查点（线），节理裂隙统计点等；

（7）岩（土）体物理力学参数；

（8）与矿山开采设计有关的界线（首采界线、境界线等）和控制性勘探剖面线以及工程地质分区界线；

（9）附必要的工程地质剖面（样图2）。

3．矿区工程地质分区

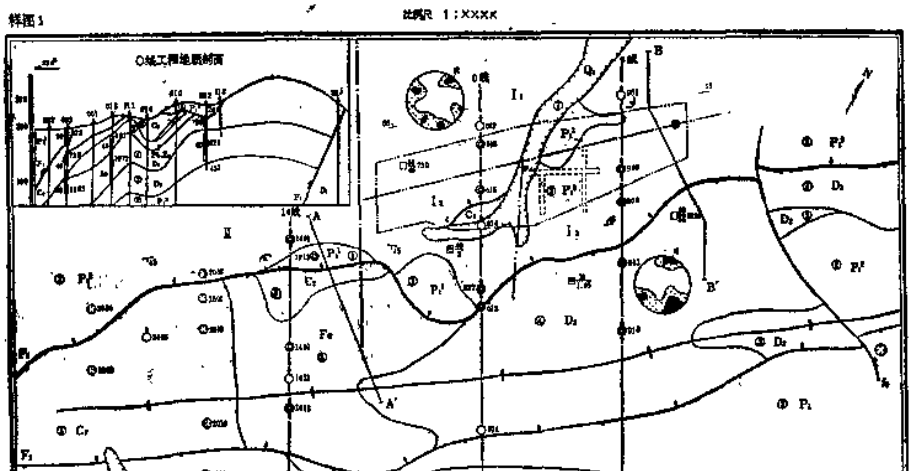
一般考虑工程地质条件的差异，即考虑工程地质岩组特性、结构面特征、岩体结构类型及水文地质条件的差异性，以及矿山开采时可能出现的工程地质问题等因素进行分区。

工程地质图应附工程地质分区说明表，说明表应包括：分区代号、工程地质特征（工程地质岩组、结构面和岩体结构特征，可作为评价依据的物理力学指标、地下水的作用及主要工程地质问题）、工程地质条件等。

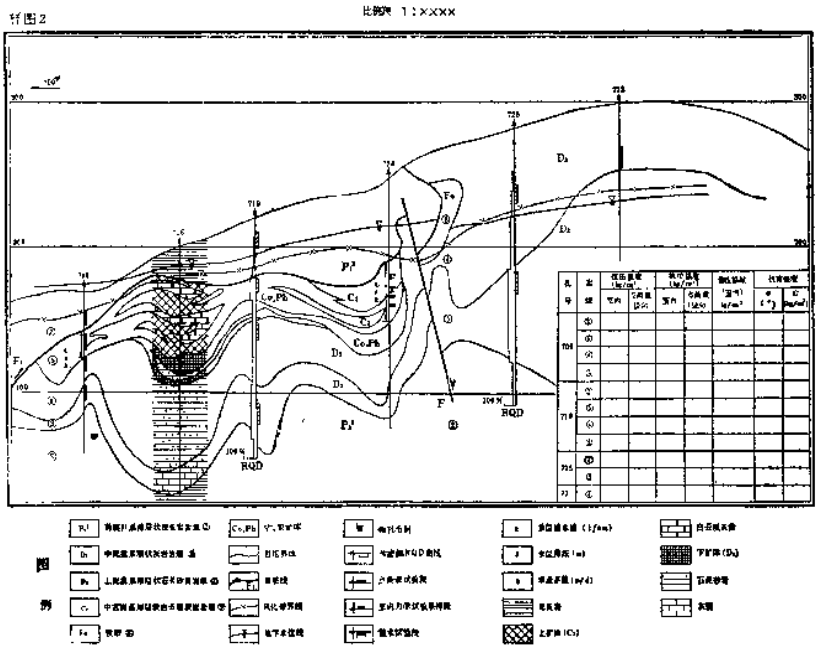
××省××县××矿区工程地质图

样图3

比例尺 1：××××



××省××县××矿区×线工程地质剖面图



（三）预测性图件编制要求

预测性图件是矿区工程地质平、剖面图的辅助性图件。一般是在矿区已确定了开采方式及开采中段的情况下编制的，目的为设计、基建、生产提供更为直接的地质基础资料，也为预防及防治工程地质问题指出方向。一般常见的预测性图件有三种：即露采场工程地质预测图，井采中段岩体稳固性预测图，矿区地面塌陷预测图。下面仅对前两种预测图做简要介绍：

1．露采场工程地质预测图（图7-16）

预测图编制范围与工程地质测绘范围一致，重点内容为地层、岩性、岩层风化带界线，水文地质要素，地质构造及边坡稳定性分区，结构面赤平投影方位图等。

2．开采中段岩体稳固性预测图（图7-17）

实际上是某中段工程地质平面图，主要内容有工程地质岩组，主要构造线及结构面赤平投影方位图，水文地质要素，力学指标等。结合上述资料，对各岩组进行工程地质评价，同时指出不良工程地质岩组及工程地质问题易产生的地段。

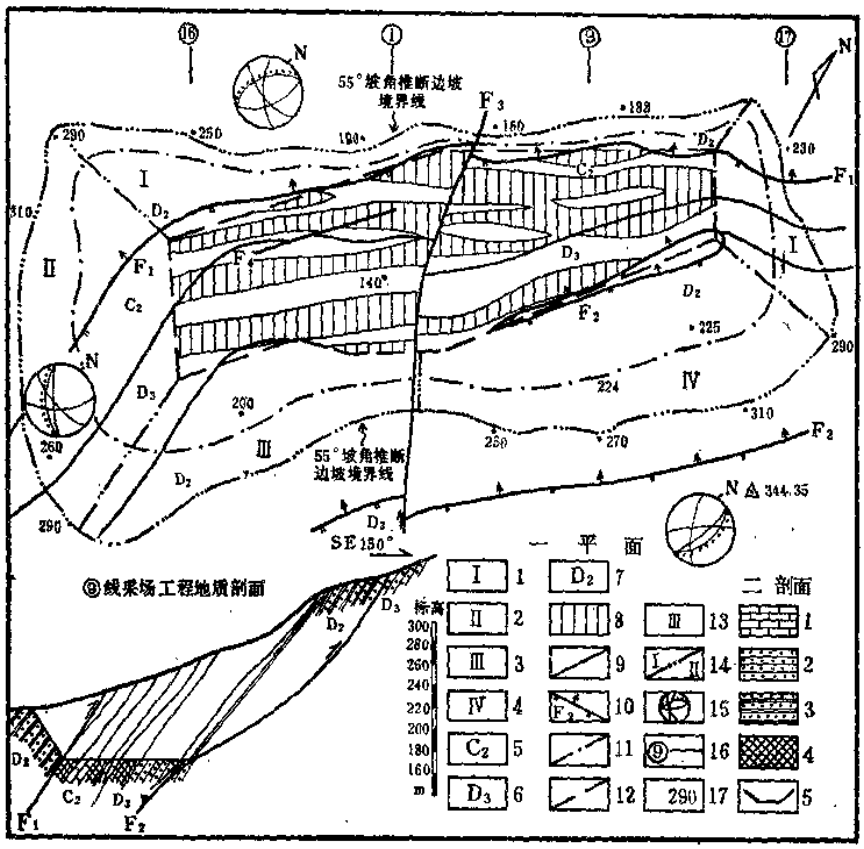
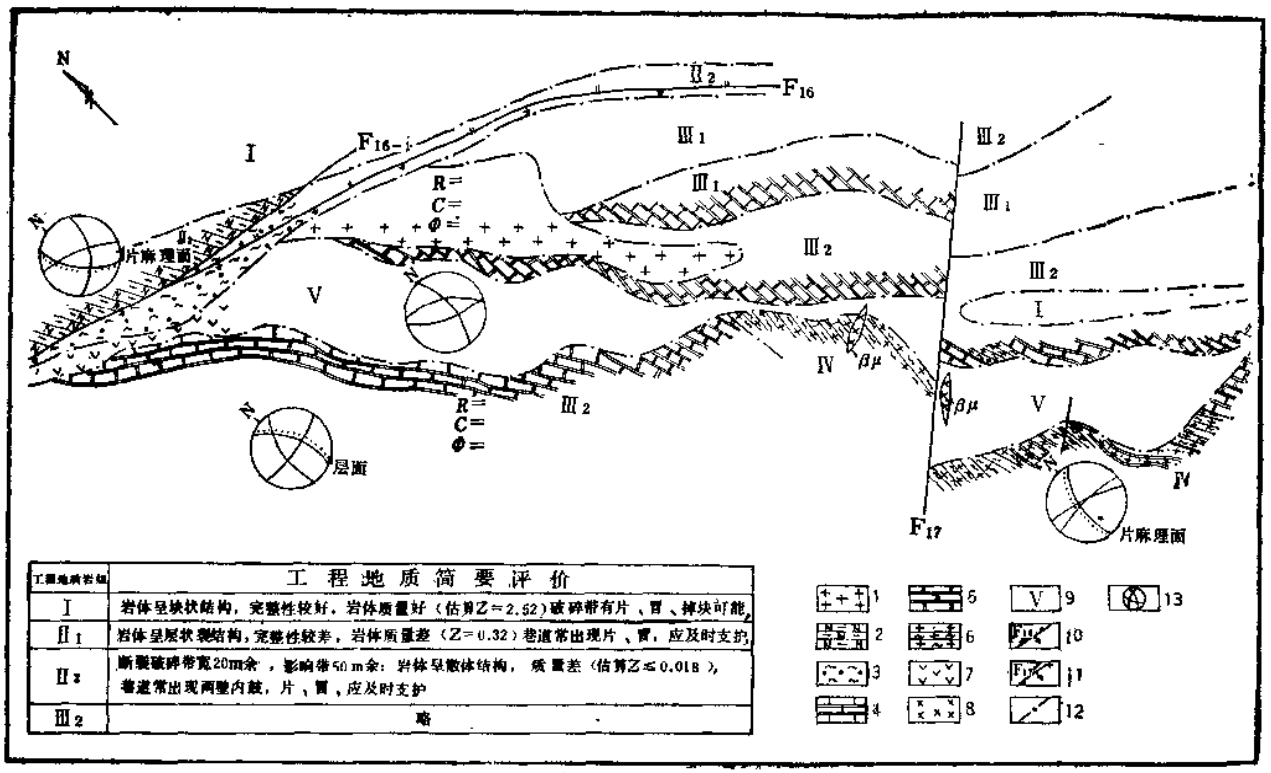


图 7-16 ××矿区露采场工程地质预测图

一. 平面图：1—稳定边坡地段；2—较稳定边坡地段；3—较不稳定边坡地段；4—不稳定边坡地段；5—上石炭系灰岩；6—上泥盆系石英砂岩；7—中泥盆系砂页岩；8—矿体；9—地层界线；10—断层及编号；11—岩层风化带界线；12—预测露采底界；13—预测露采境界线；14—分区界线及编号；15—赤平极射投影方位图；16—勘探线号；17—高程点及高程（m）

二、剖面图：1—灰岩；2—石英砂岩；3—砂页岩互层；4—矿体；5—露采边坡线



工程地质岩组	工程地质简要评价
Ⅰ	岩体呈块状结构，完整性较好，岩体质量好（估算Z≈2.52）破碎带有片、冒、掉块可能
Ⅱ1	岩体呈层状裂结构，完整性较差，岩体质量差（Z=0.32）巷道常出现片、冒，应及时支护
Ⅱ2	断裂破碎带宽20m余，影响带50m余：岩体呈散体结构，质量差（估算Z≤0.018），巷道常出现两壁内鼓，片、冒，应及时支护
Ⅲ2	略

图 7-17　××矿区+20m开采中段（第二中段）岩体稳定性预测图

1—中细粒花岗岩（Ⅰ）；2—粗粒片麻岩岩组（Ⅱ1）；3—F16断层压碎岩岩组（Ⅱ2）；4—中厚层大理岩岩组（Ⅲ1）；5—中薄层大理岩岩组（Ⅲ2）；6—均质混合岩岩组（Ⅳ）；7—含矿超基性岩岩组（Ⅴ）；8—辉绿岩脉；9—工程地质岩组编号；10—逆断层及编号；11—平推正断层及编号；12—工程地质岩组界线；13—主要结构面赤平投影方位图

图中R为抗压强度，Φ为内摩擦角，C为内聚力

第八章　典型矿床工程地质勘探方法

为验证本课题研究中提出的工程地质工作方法在地质勘探中是否可行，选择了矿床工程地质条件中等的江西七宝山多金属矿区，进行了矿区工程地质工作试点研究。简介如下：

第一节　矿区概况

七宝山矿区位于江西省上高县的丘陵山区，区域地表分水岭附近。出露地层有前震旦系双桥山群（Pt_{1s}）的变质砂岩、千枚岩，泥盆系中上统佘田桥一棋子桥组（D_{3s}—D_{2q}）灰岩、不纯灰岩，泥盆系上统锡矿山组（D_{3x}）石英砂岩、砂砾岩，中石炭系黄龙组（C_{2h}）白云质灰岩，下二叠系茅口组（P_{1m}）灰岩及上二叠龙潭组（P_{2l}）煤系的砂页岩、灰岩。地质构造以褶皱为主，由走向北东、倾向南西的高幛山背斜及银子洞复式向斜组成。走向北东的F_1断层为区域性的逆掩断层，使上盘的Pt_{1s}变质砂页岩形成堆复体，掩盖于C_{2h}、D_{3x}地层之上；同是北东向的F_2断层也是区域性逆断层，倾角陡，使C_{2h}灰岩和D_{3x}石英砂砾岩与P_{1m}灰岩、P_{2l}煤系地层呈断层接触（图8-1）。矿床赋存于高幛山背斜北西翼及其轴部的C_{2h}灰岩（上矿体）和D_{3x}石英砂砾岩（下矿体）中，露头部份被风化成铁帽型铁矿，原生矿呈层状、似层状和透镜状产出，并随褶曲在剖面上构成波浪状或"W"状。

根据岩石的成因类型、岩性、岩相和工程地质特性的近似性，矿区岩石可划分为九个工程地质岩组。

1．板岩及变质粉砂岩岩组（I_2）：为Pt_{1s2}地层，大片出露于F_1断层上盘，层理、片理发育，具层间错动与小断层，浅层风化强烈，抗水性差。岩体主要呈薄层状结构，属软弱—半坚硬岩石。主要节理有三组：55°∠65°、155°∠80°、280°∠40－60°，岩体较为破碎。沿结构面易掉块及小型坍塌。矿区内的F_1逆掩断层常为此岩组与其它岩组的分划界线。

2．变质砂岩夹变质粉砂岩岩组（I_2）：为Pt_{1s1}地层，在F_1断层上盘零星出露，属半坚硬岩石，层理发育，具层间错动面，浅层风化强烈，裂隙发育。

3．灰岩夹薄层粉砂岩岩组（Ⅱ）：为D_{3s}—D_2q地层，仅出露于高幛山附近的背斜轴部，属坚硬、半坚硬岩石，层理发育，风化轻微，岩溶较为发育，岩体呈块状—层状结构。

4．石英砂岩岩组（Ⅲ）：为D_3x地层，大片出露于F_1断层下盘，4线以东地段，属坚硬岩石，层间局部夹粉砂岩和透镜状水云母软弱层。由于出露于背斜轴部，节理发育，呈镶嵌状结构。主要节理三组：20°∠75°、75°∠70°和200°∠45°，浅部岩石风化强烈。本岩组为矿体直接底板。

5．白云质灰岩岩组（Ⅳ）：为C_{2h}地层，大片出露于F_1断层下盘4线以西地段，属坚硬岩石，偶见水云母岩。微节理发育，多闭合，大多为方解石脉充填。岩溶仅局部发育。岩体呈块状结构，主要节理二组：210°∠70°和320°∠70°。本岩组为矿体的直接顶板。

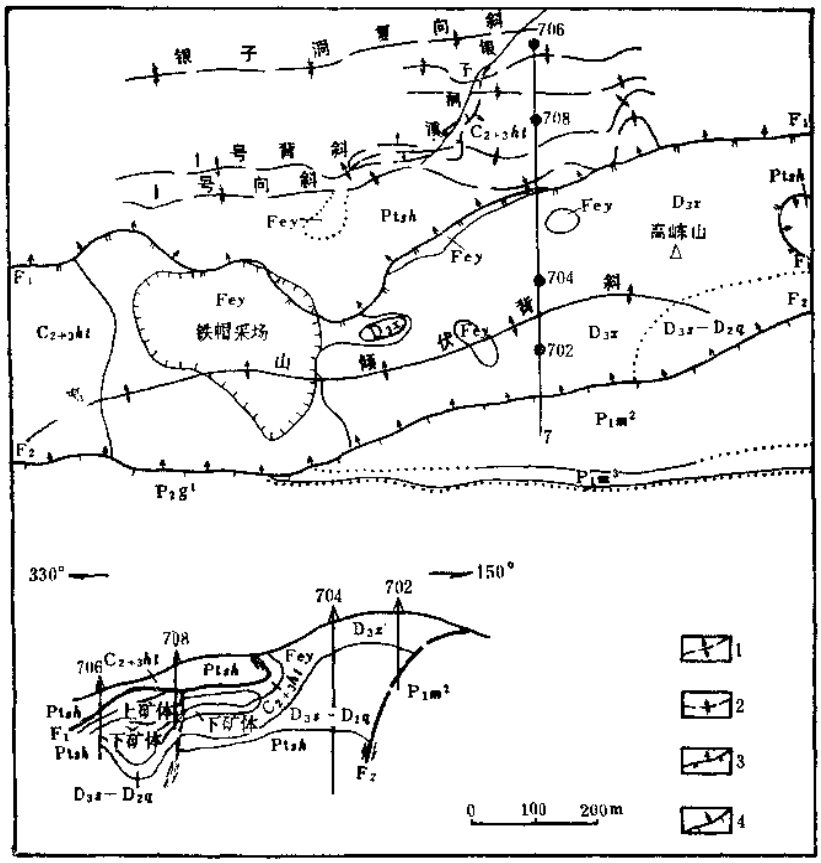


图 8-1 七宝山矿区地质构造略图

1—背斜、隐伏背斜；2—隐伏向斜；3—逆掩断层；4—逆断层；P_{2g}.上二叠官山段；P_{1m3}.下二叠茅口组上段；P_{1m2}.下二叠茅口组下段；C_{2+3h}.中石炭壶天群；D_{3x}.上泥盆锡矿山组；$D_{2a}+D_{3q}$.上泥盆余田桥组—中泥盆棋子桥组；P_{t+sh}.前震旦双桥山组；Fey.铁帽

6．条带状燧石灰岩岩组（V_1）：为P_1m^1地层，层理、节理发育，多闭合，有方解石充填，属层状结构的坚硬岩石。F_2断层附近岩溶发育，形成富水带。该岩组远离矿体。

7．钙质泥岩夹灰岩岩组（V_2）：为P_1m^2地层，层理、页理发育，具层间错动，具薄层状结构，属软岩或半坚硬岩石。岩组远离矿体。

8．砂岩、粉砂岩岩组（Ⅵ）：为P_2l地层，层理发育，具层间小错动与小断层。浅部风化强烈，岩石强度差异大，坚硬—半坚硬—软弱岩石相间。岩组远离矿体。

9．松散堆积岩组（Ⅶ）：为分布于沟谷内第四系松散层，铁帽粉状褐铁矿归入此岩组。主要岩组岩石物理力学指标见表8—1。

矿区主要结构面可划分为四级：

Ⅰ级结构面：矿区F_1、F_2断层属此级。F_1断层为区域性逆掩断层，总体走向NEE，倾向NW，延长大于30km。结构面光滑，沿倾向和走向呈不协调波状起伏（图版Ⅻ-1、2），断层带的结构差异性明显，一般见数厘米至数十厘米的水云母化糜棱岩，或仅见密集裂隙带，局部有规模达数米的压碎岩带。风化后结构面强度显著降低，在浅部，下盘矿体风化

表 8-1 岩石物理力学指标表

岩性	干容量 (g/cm³)	比重 Δ	饱和吸水率 (%)	总孔隙率 (%)	抗压强度 (kg/cm²) 干	饱和	软化系数	饱和抗拉强度 (kg/cm²)	饱和弹性模量 E (kg/cm²)	饱和抗剪强度 内聚力 (kg/cm²)	内摩擦角(°)
变质粉砂岩	2.73	2.81	0.54	2.85	803.0	472	0.59	57	55.4×10^4	28.0	49.0
变质细砂岩	2.60	2.77	2.37	6.14	414.0	582		27	30.4×10^4	50.0	52.0
灰岩	2.69	2.75	0.26	2.18	1131.5	903	0.8	33.7	42.5×10^4	93.5	53.5
石英砂岩	2.64	2.73	0.69	3.08	1352.0	1165	0.86	66.9	33.7×10^4	116.8	53.5
水云母岩	2.70	2.75	0.60	1.82	328.8	176	0.53	6.5	21.0×10^4	10.5	48.0
白云质灰岩	2.52	2.80	4.87	9.80	1436.0	1203	0.84	77.7	89.9×10^4	133.3	48.0
矿化白云岩	3.52	3.95	0.36	10.66	1878.0	1163	0.62	96.3	90.9×10^4	200.0	49.0

成粉状褐铁矿，同样降低结构面结合力，是影响边坡岩体稳定的主要软弱结构面。F_2 断层为区域性逆掩断层，走向 NE，倾向 NW，倾角陡，延长大于30km。地面出露不明显，钻孔中见有明显的破碎带和压碎岩带。风化剧烈，两侧灰岩强烈岩溶化。因远离矿体，对开采无直接影响。

Ⅲ级结构面：为矿区次一级压性、张扭性断裂面，走向NW为主，规模较小，延长百余米至数百米，有可能与 F_1 断层组成不稳定的滑体。另外，D_3x 地层中的水云母岩为构造粘土岩蚀变而成，呈似层状透镜体，可视为Ⅲ级结构面，具页理，饱水情况下，力学强度显著降低，影响岩体的稳定性。

Ⅳ级结构面：为矿区发育的主要三组节理，与其它结构面组合，能使岩体产生小规模失稳。

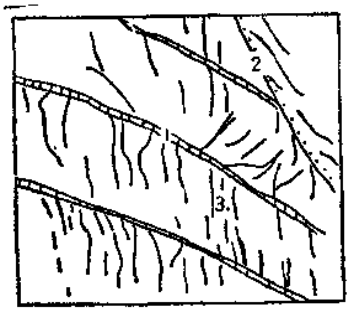


图 8-2 D_3x 石英砂岩结构面
1—层面；2—Ⅳ级结构面；3—Ⅴ级结构面

Ⅴ级结构面：岩体中延展小于 1m 的细微节理，多不切穿层理（图8-2）。以 D_3x 石英砂岩最发育，次为 C_2h 白云质灰岩，呈碎裂状、镶嵌状结构。

C_2h 白云质灰岩为矿体的直接围岩。在一号向斜处形成西高东低的岩溶发育带，最大溶洞高17.47m，充填含砾粉土或土状褐铁矿，含水，具流动性，直接影响开采，其在向斜东段南翼，因上覆 Pt_1h 变质砂岩，岩溶发育弱。D_2r—D_2q 灰岩，为下矿体间接底板，岩溶较发育，主要分布于高崾山小背斜核部附近。在F_2断裂两侧的此层灰岩和 P_1m 灰岩，构成矿区的岩溶富水带，但因离矿区较远，对未来开采无直接影响。

矿区内天然斜坡稳定性好，未发现滑坡及崩塌现象。但银子洞沟至高崾山有高差180m、长500m的高斜坡，坡角35—40°，局部达50°，是构成银子洞主矿体露采场的主要边坡段，工程地质条件较为复杂。

矿区内铁帽型铁矿露天开采已十余年，采场北部已形成高60m，斜长 100m 的边坡，设计最终边坡角43°，台阶坡角60°。边坡破坏的主要形式有：

1．沿Ⅳ级结构面形成小型的楔形滑落（图版XⅡ-3）：其特点是结构面组合线向边坡临空面倾斜，倾角小于坡面角（图8-3）。

2．小型弧形滑落：特点是滑体的横断面成弧形，发生于具有碎裂结构的风化岩体中

（图8-3、图版XⅢ-4）。

3．拉张裂缝：为弧形滑落的前奏，大量见于开采台阶，一般长3—5m，宽数厘米至十余厘米，向采场内倾斜，倾角大于坡面角（图8-3、图版XⅢ-5）。

4．顺层滑落：多发生在变质的碎屑岩中（图版XⅢ-6）。



图 8-3　露采场边坡破坏形式示意图

探矿坑道内岩体质量强于地表，岩石强度增高，硐顶和硐壁都很完整，除软弱岩段局部滑落，近硐口强风化段需支护外，几乎整个坑道都不需支护。

总体来看，矿区的岩石组合复杂，岩石结构类型多样，属于以层状岩类为主的工程地质条件中等的矿床。银子硐一带主矿体埋藏浅，宜露采，但南坡在自然条件下已形成高180m的高坡。这段斜坡内有F_1断层，风化强烈，局部岩溶发育，地下水活动较强，并有一定水压，是矿区工程地质条件相对复杂的地段。中深部矿体及围岩均为坚硬半坚硬岩石，无连续性软弱层，C_{2h}白云质灰岩岩溶不发育，富水性弱，工程地质条件相对简单。

第二节　工程地质勘探方法

根据《矿区水文地质工程地质普查勘探规范》的要求及七宝山矿区的主要工程地质特征，矿床地质勘探阶段针对露采边坡稳定性、坑采矿体围岩稳固性及未来开采中可能产生的工程地质问题等三个方面布署工程地质工作。其中适宜露采的银子洞主矿体南坡为工作重点，原则上按100m线距布置钻孔控制边坡，除利用地质钻孔外，还单独布置了工程地质占孔，深度为初拟露采底板以下50m。作为试点矿区后，调正了工作计划，主要是扩大了

表 8-2　工程地质工作量表

项　　目	单　位	计　划　工　作　量			实际完成工作量
		勘探设计	试点增加	合　计	
1/2000工程地质测绘	km^2	0.6	0.9	1.5	1.5
人工边坡调查	处		7	7	7
实测露采场剖面	m				323.7
天然斜坡调查	m/处		514/1	514/1	514/1
节理裂隙测量	m/处				439/6
工程地质占孔	个	5		5	5
钻孔（RQD）值统计	孔	11	9	20	16
坑道水文地质工程地质编录	m	423	127	550	338
岩石物理力学试验样	套	14		14	14
岩石点载荷试验	块/组		110/11	110/11	182/12
直剪仪试验	组		3	3	4

测绘面积，加强了工程地质编录和调查以及岩石野外力学测试手段，强调了矿区工程地质条件评价及预测。投入的主要工程地质工作量如表8-2所示。

一、工程地质测绘

测绘范围定为初拟露采边坡角境界线和未来崩落角境界线再外推300m，面积1.5km²。初拟边坡角和崩落角参考文献资料确定为45度。正式测绘之前，选择槽探揭露好、穿过地层较全的勘探线实测工程地质剖面，在此基础上结合钻孔资料划分工程地质岩组，并以此作为填图单位，统一测绘要求。在测绘工作中除了按统一的规范要求进行外，主要进行了以下几方面的工作：

（一）节理裂隙统计测量

1．测量原则与方法：在经工程地质测绘选定的人工露头或勘探巷道壁进行，分岩组统计。统计对象以Ⅳ级结构面为主，测量面积5—10m²，测量的节理条数尽可能达到100条或更多，主要岩组布2个以上的测点。测量方法是在测量面上布置一条至数条水平测线，记录测线通过的每条节理裂隙的产状、宽度及结构面特征。

2．结构面组合特征的研究

将统计资料作成极点投影等密度图（图8-4）。该图能反映节理裂隙的实际产状、分布和出现频率的定量概念。从图8-4可看出：

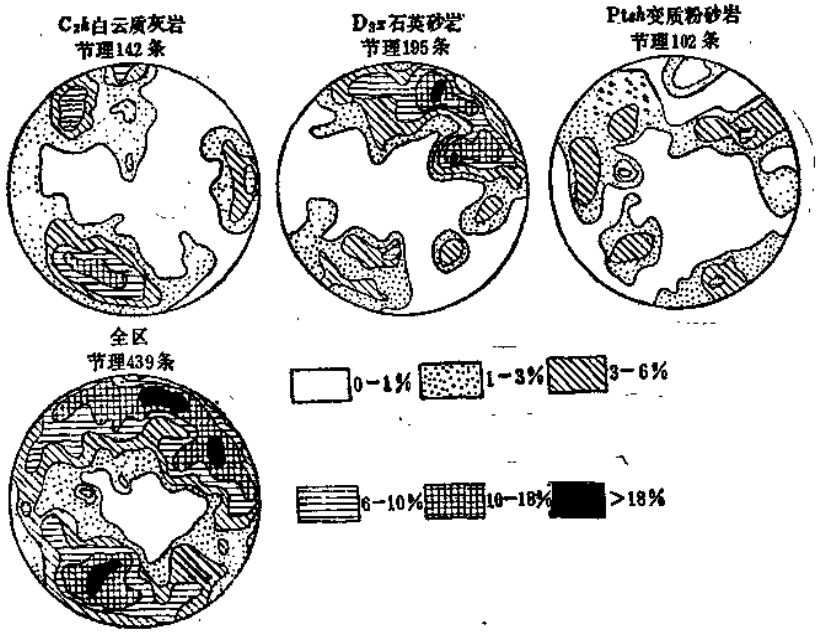


图 8-4　七宝山矿区节理裂隙等密度图

① D_{3x}石英砂岩，主要节理20°∠75°和75°∠70°两组，出现频率10%以上，次要节理340°∠75°和200°∠45—70°两组，出现频率6—10%，节理分布集中，方向性强，岩组的各向异性较突出。

② C_{2h}白云质灰岩，主节理210°∠70°和320°∠70°两组，出现频率≥10%，次要节理88°∠75°和35°∠40—80°两组，节理分布也较集中，各向异性比较突出。

③Pt_{sh}变质粉砂岩，主要节理为55°∠65°、280°∠48—60°和155°∠80°三组，出现频率6—10%；次要节理15°∠80°、320°∠50—70°和215°∠50—60°三组，出现频率3—6%。此岩组的节理组数多、分散、各向异性不明显，岩体较破碎。

④全区的节理分布主要节理有：20°∠75°、70°∠70°和200°∠70°三组，其中第一、三组走向相同，倾向相反，是共轭的X型节理。第一、二组走向代表了矿区水平方向的剪节理，与矿区的应力场相吻合（图8-5）。以上几组节理与D_{3x}岩组所测定的结果相同，初步认为脆性岩石的节理统计对分析、应力场效果较好。

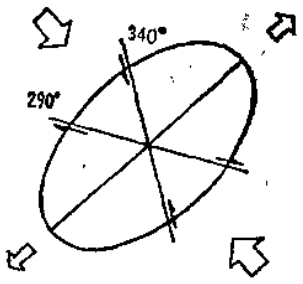


图 8-5　剪节理与应力场关系图

用赤平极射投影图解法可分析节理组合与未来的主要露采边坡的关系，如表8-3、图8-6所示。

（3）节理发育程度的评价

节理发育密度以节理的平均间距为代表，我们用下式分组计算：

$$\text{视间距 } D = L / n$$

式中L：测线长度（m）；

n：该组节理数目，取平均走向正负15°范围内的节理进行统计。

表 8-3　节理组合与边坡关系表

岩组		D_{3x}			Pt_{sh}		
节理组	编号	j_1	j_2	j_3	j_1	j_2	j_3
	产状	20°∠75°	70°∠70°	200°∠45°	55°∠65°	155°∠80°	280°∠40°
组合	组合号	1、2	2、3	1、3	1、2	2、3	1、3
	组合线产状	63°∠68°	146°∠32°	走向290°水平线	27°∠60°	238°∠31°	338°∠24°
边坡产状			315°∠45°			315°∠45。	
楔形滑动可能性		无	无	无	无	无或小	有

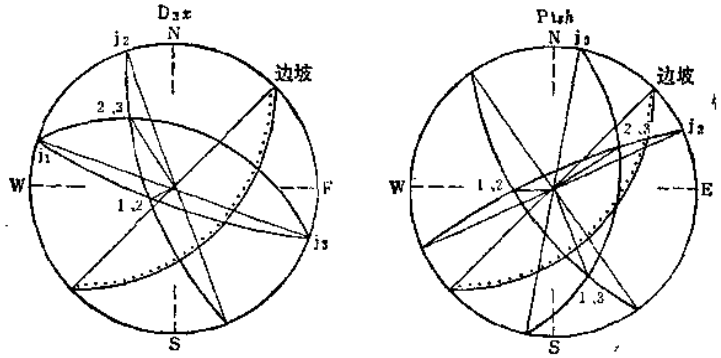


图 8-6　节理组合与初拟边坡关系图

节理裂隙间距的倒数为节理裂隙密度（条/米），统计结果见表8-4。

表 8-4 节理密度统计结果表

岩组	D_3x		C_2h		Pt_1h		
节理组	20°∠75	70°∠70°	210°∠70°	320°∠70°	55°∠65°	155°∠80°	280°∠50°
节理走向	290°	340°	300°	50°	325°	650°	10
L	9	10	7.5	9.0	10	10	5.5
n	41	47	27	14	14	7	15
D	0.22	0.21	0.28	0.64	0.71	1.43	0.37
密度	4.6	4.7	3.6	1.6	1.4	0.7	2.7

（二）自然斜坡调查

自然斜坡调查采用了两种方法：一为实测剖面，地点选择银子洞主矿体的南坡；一为从大比例尺地图上切剖面，再到实地观察。经过对比认为：当有1:2000以上精度的地形图时，切图法基本上能反映出斜坡的形态，满足斜坡分析要求，工作效率可得到提高。故采用室内同野外相结合的调查方法比较好。

银子洞至高峰山斜坡上段由风化破碎的D_{3x}石英砂岩、砾岩组成，下段由 F_1 上盘的 Pt_1^4 变质粉砂岩、千枚岩组成，斜坡的形态与地貌位置、地质结构有关，见表8-5。

表 8-5 自然斜坡调查表

地貌位置		脊线斜坡		谷线斜坡		坡面斜坡	
岩组		Pt_1sh	D_3x	Pt_1sh	D_3x	Pt_1sh	D_3x
坡角（度）	最大	19	22	17.2	34.3	25.8	37.5
	平均	34	40	26.6	51.3	37.5	46
坡型		顺向	顺向	顺向	顺向	切层	切层

（三）露采场边坡工程地质调查

调查的主要内容：

1．实测工程地质剖面：实测剖面垂直于采场的长轴方向，作法与地质剖面测量类似。但侧重于了解边坡工程地质岩组、结构面特征、岩体结构、边坡实际形态及其稳定性。

2．采场工程地质现象调查：侧重调查引起边坡破坏的主导因素，不利结构面的组合关系，圈定边坡滑动范围，确定边坡破坏类型，测量边坡破坏角。调查资料列入表 8-6。

表 8-6 边坡破坏调查实际资料表

破坏方式	楔形	弧形	拉张裂缝
破坏角	小于边坡角	52—55°	小于47—54°

3．采场结构面调查：调查主要结构面的产状、形态、充填胶结情况、结构面延展长度及宽度等。

二、勘探工程的工程地质编录

（一）钻孔工程地质编录及岩石质量指标（RQD）测定

钻孔工程地质编录，着重于裂隙、风化带完整性方面的研究，钻孔岩石质量指标（RQD）的测定仅在工程地质孔、水文地质孔及少数地质孔内进行，总计16个。RQD测定方法是按钻进回次进行统计。

$$\text{即：RQD}(\%)=\frac{\geqslant 10\text{cm岩芯长度之和}}{\text{回次进尺}}\times 100$$

统计结果在钻孔柱状图上绘制成（RQD）曲线，以作对比分析。岩组的RQD值，以该岩组大于10cm岩芯长度之和除以该岩组厚度来代表，按岩组分别进行统计，以反映不同岩组岩石完整性的差异。矿区实测结果如表8-7所示。

表 8-7　七宝山矿区岩组（RQD）测定统计表

岩　　组	P_1sh^2	P_1sh^1	D_3s-D_2q	D_3x	C_2h
RQD（%）	20.79	24.67	68.65	32.49	35.26
岩石完整性	破　碎	破　碎	中等完整	完整性差	完整性差

通过（RQD）指标测定结果可看出：

1．结构面发育程度是影响（RQD）指标的主要因素。结构面发育，（RQD）值低，以薄层、片理化的 $Ptsh$ 岩组及呈镶嵌结构 D_3x 岩组（RQD）值低；以层块状结构的 D_2s-D_3g 岩组（RQD）值相对较高。另外，结构面的倾角对RQD值也有一定影响，这是由于钻探揭露结构面视间距的缘故。

2．人为因素主要是钻进方法、钻孔口径等对（RQD）指标亦有较大影响，其中以钻进方法影响最大。常规钻进比小口径钻进影响大（表8-8），金刚石或合金钻进比钢粒钻进影响小。

表 8-8　不同钻进方法（RQD）对比表

岩　　组		C_2h	D_3x	P_1sh
RQD（%）	常规钻进	15.75	9.0	6.23
	小口径钻进	35.26	32.49	20.79

3．（RQD）与岩心采取率对比，更能反映岩体的完整程度：传统的统计岩心采取率，在某种程度上虽能反映岩心的完好程度，但它本身所统计的岩心长度包括了块状、碎屑状等不完整岩心，故不能如实地反映岩体完整程度。而（RQD）只统计柱状岩心，能定量地反映岩体完整程度，如具镶嵌结构的石英砂岩，岩心成块状、碎屑状，（RQD）值低，但采用反循环钻进，岩心采取率仍比较高，其它岩组也有类似情况（图8-7）。

（二）坑道水文地质工程地质编录

编录在175m 标高的勘探坑道及189m 标高的矿山采样坑道中进行，编录要求按《矿区水文地质工程地质普查勘探规范》进行，但在编录中加强了岩组结构类型、节理裂隙发育情况、水云母岩软弱夹层、F_1结构面、D_3z与C_2h间不整合面以及围岩稳定性的观察与描述，注意地表同地下、坑道同钻孔中的情况对比研究。

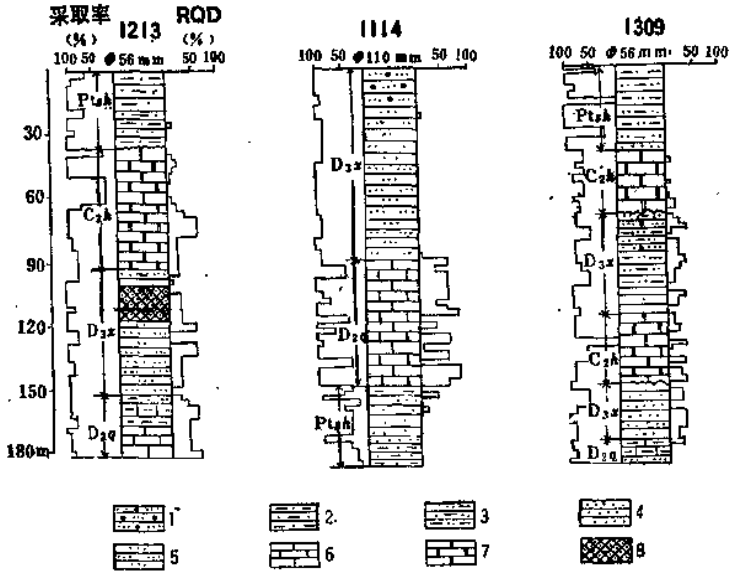


图 8-7 七宝山矿区钻孔岩芯采取率与RQD对比图

1—砂砾岩；2—石英砂岩；3—细粉砂岩；4—石灰岩；5—粗粉砂岩；6—白云质灰岩；7—砂岩；8—矿体

三、岩石点荷载测试及携带式剪切仪测试

矿区除按规范进行了分岩组的室内岩石物理力学测试外，还用点荷载仪和携带式剪切仪在现场测试岩样16组。

（一）岩石点荷载测试

对变质粉砂岩、白云质灰岩、灰岩及石英砂岩进行了沿径向（小口径岩心）的强度测试，另外对水云母岩进行了垂直层理和平行层理的不规则岩块强度测试。测试仪器采用成都地质学院制造的 XD-2 型岩石点荷载仪。测试结果见表8-9。（表8-9）表明：①同一岩组的两组试样结果相近；②水云母岩的岩心样与不规则平行层理岩块样的测试数据相近；③云母岩测试结果表明各向异性明显。通过试验有以下几点认识：

1．每组岩样的取样数：同一组试样，试件越多，代表性越好，但过多将增加工作量，一般10—20件较为合适。矿区每组实际采用9—20件。

2．数据整理：按修正的 $I_s(50)$ 计算每组试样的算术平均值、标准离差及变异系数：

算术平均值：
$$\bar{x}=\sum_{i=1}^{n} x_i/n$$

标准离差：
$$\delta=\sqrt{\frac{\sum(x_i-\bar{x})^2}{n-1}}$$

表 8-9　点荷载测试成果表

岩性	地层代号	样点	样数（块）	加荷点间距D（cm）	标准离差 δ	变异系数 Cr（%）	加荷方向	强度指数 I_s（kg/cm²）	修正后指数（kg/cm²）		
									强度指数 $I_{s(50)}$	抗拉强度	抗压强度
板岩、变质粉砂岩	Pt_{sh}	ZK610	14	3.9	4.27	31.24	径向	13.67	11.0	9.9	264.0
板岩、变质粉砂岩	Pt_{sh}	ZK516	11	3.9	3.11	25.9	径向	12.01	10.0	9.0	240.0
白云质灰岩	C_{2h}	ZK1212	15	3.9	6.74	33.33	径向	20.22	17.5	15.8	420.0
白云质灰岩	C_{2h}	ZK416	17	3.9	6.14	22.81	径向	26.92	24.0	21.6	576.0
灰　岩	D_{3s}—D_{2g}	ZK514	19	3.9	8.56	25.30	径向	33.84	28.0	25.2	672.0
灰　岩	D_{3s}—D_{2g}	ZK1114	10	3.9	7.39	32.68	径向	22.61	33.5	30.2	804.0
石英砂岩	D_{3x}	ZK1115	10	3.9	19.50	31.06	径向	62.82	53.0	47.7	1272.0
石英砂岩	D_{3x}	ZK310	36	3.9	20.99	27.07	径向	77.53	62.0	55.8	1488.0
石英砂岩	D_{3x}	ZK516	24	3.9	17.51	28.75	径向	60.90	52.0	46.8	1248.0
水云母岩	D_{3y}中夹层	ZK610	14	3.9	2.29	32.16	径向	7.12	6.5	5.9	156.0
水云母岩	D_{3x}中夹层	189坑道	13	3.9	13.97	34.68	垂直层面		40.3	36.3	725.0
水云母岩	D_{3x}中夹层	189坑道	9	3.9	2.11	28.44	平行层面		7.4	6.7	178.1

变异系数：　$c_r=\frac{\delta}{\bar{x}}\times 100$

式中 x_i：某试件的 $I_{r(50)}$ 值，$i=1$、2、3……n；

n：数据总数。

当变异系数大于30%时，应舍弃超过允许误差范围的非代表性数据，这次我们采用舍去大于 $\bar{x}+0.5\bar{x}$ 及小于 $\bar{x}-0.5\bar{x}$ 的数据。舍去非代表性数据后，重新计算$\bar{x}$、δ 及 c_r 值，用此 $\bar{x}$ 值计算该组样的抗拉、抗压强度。

3．结果对比：点荷载测试结果与室内试验结果对比（表8-10）表明：①对各向异性的岩石加荷方向不同，二者强度差别大。室内垂直岩石层理加荷的抗压强度、抗拉强度比

表 8-10　岩石点荷载与实验室测试对比表

岩石层位	点荷载测试		实验室测试	
	抗拉强度（kg/cm²）	抗压强度（kg/cm²）	抗拉强度（kg/cm²）	抗压强度（kg/cm²）
变质粉砂岩（Pt_{sh}）	9.9	260.7	57	472
	9.0	237.0	25	392
白云质灰岩（C_{2h}）	15.8	414.8	121	1457
	21.6	568.8	69	1097
灰　岩（D_{3s}—D_{2g}）	25.2	663.6	21	767
	30.2	794.0	46	1039
石英砂岩（D_{3x}）	47.7	1256.1	123	1242
	55.9	1469.4	71	1322
水云母岩（⊥层面）	36.3	725.0	/	/
水云母岩（// 层面）	6.7	175.9	6.35	176

点荷载测试近似平行岩石层理的抗压强度、抗拉强度大（如变质粉砂岩、白云质灰岩），微层理越发育，二者差别越大；②对各向异性小的岩石（如石英砂岩）虽加荷方向不同，二者强度几乎无差别；③对于同一加荷方向的（如水云母岩）二者强度也比较接近。

总之，不规则岩样具有一定数量时，点荷载测试所得资料是可信的。

（二）岩石携带式剪切仪测试

岩石携带式剪切仪一般仅适用于软岩及软弱结构面的抗剪强度试验，本矿区仅对变质粉砂岩、细粉砂岩、水云母岩及 F_1 断层泥进行了抗剪强度试验。试验仪器采用成都地质学院制造的 XJ—1 型携带式剪切仪，试验结果见表 8—11。通过试验看出，沿一定面剪切的（如水云母岩）现场和室内测试数据比较接近；现场沿微层理面，而室内比较完整的相同岩石，则室内试验数据大大超过现场的测试数据，说明现场测试数据更接近客观情况。

表 8-11 携带式剪切仪测试结果表

试样样石种类	块数	图解法		计算法		实验室值	
		c	ϕ	c	ϕ	c	ϕ
D_{3x}细粉砂岩	9	3.5	47.0°	3.4	48.4°	/	/
水云母岩	13	9.4	54.0°	9.8	53.0°	7	52°
F_1断层泥	9	0.8	33.0°	0.7	33.4°	/	/
P_{t_2n}变质粉砂石	5	3.0	38.5°	3.4	38.7°	28	49°

为保证试验精度，应做好以下几项工作：

1．保证试样数量：以每组10块左右为宜。

2．试样制备过程中，尽量不扰动剪切结构面。

3．试验注意事项：①试验过程中正应力尽量保持定值；②各块试件用的正应力应尽量均匀分配，最高压力应接近未来开采时正应力，一般为10—30kg/cm²；③控制水平剪力加荷速度和读数密度，以慢速为宜，一般每水平位移0.2mm 读数一次，通常不少于10次，以保证能作出变形曲线。

4．抗剪强度值确定：抗剪强度值主要根据试验时剪应力与水平位移的关系而定。当水平位移出现屈服点时，以该点值作为抗剪强度值；当水平位移不出现屈服点时，取水平位移 4 mm的剪应力值作为抗剪强度值（图8-8）。

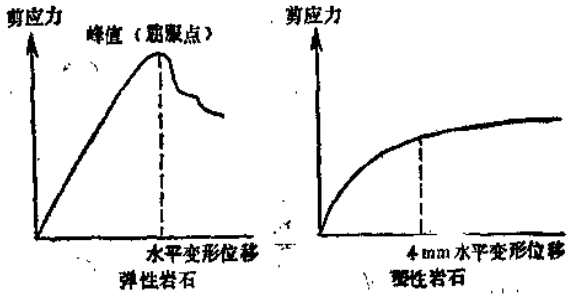


图 8-8 抗剪强度值的确定示意图

（三）野外简易测试的体会

1．点荷载仪、携带式剪切仪等野外简易测试的特点是：仪器轻便操作简单，测试时间短，成果出来快，成本低廉，适应性强，可以大量进行，尤其是点荷载仪更为方便，测一组样的岩心，从选择到测完1—2小时即可完成。

2．试样数量多，具代表性。同一岩组，结构面可以合理的分布于不同位置多取几组样，得出结果整体代表性好；同一组样有10个以上的测试数据，非代表性数据可用统计法舍去，减少了随机误差。

3．便于测试实验室不易进行测试的软岩石及软弱结构面抗剪强度的试样。这些正是工程地质最重要的研究对象，因此对提高工程地质研究程度有利。

4．成果的应用范围比较广泛，我们用点荷载测试结果，划分岩石坚固程度，评价岩体综合质量，比较符合矿区情况。因此我们认为：点荷载仪、携带式剪切仪的试用是成功的，是一种好的测试手段，建议推广应用。但是由于剪切仪试件用水泥浇注方法较繁，需进一步改进。

四、矿区岩体质量评价

岩体质量评价在岩体稳定性评价中是不可缺少的指标，岩体质量评价国内外有许多方法，鉴于矿区没有进行声波测井，因此只能参照武汉水科院分类法中根据岩石抗压强度及RQD值粗略估算评价。即岩体质量指标：

$$M=\left(\frac{R_w}{300}\right)\times RQD$$

本矿区按各岩组实测RQD值和岩石力学测试结果计算M值，其结果见表8-12。用实验室或点荷载测试结果计算所得的岩体质量等级相同。据勘探坑道所见，D_{3x}和C_{2h}为围岩的巷道都属稳定型，不需支护，同岩体质量综合评价的结果相符合。

表 8-12　七宝山矿岩体质量指标表

代　号	岩组名称	RQD	岩体质量指标（M）		岩体质量评价
			点荷载	实验室	
$I_1(P_{t_2n}^1)$	变质砂岩夹粉砂岩组	0.21	—	0.41	中等
$I_2(P_{t_2n}^2)$	板岩、变质粉砂岩组	0.25	0.2	0.57	中等
$II(D_{3x}—D_{2g})$	灰岩夹薄层粉砂岩组	0.69	1.67	2.08	良
$III(D_{3x})$	石英砂岩组	0.32	1.43	1.37	良
$IV(C_{2h})$	白云质灰岩组	0.35	0.93	1.39	良

五、工程地质图件的编制

反映矿区工程地质工作成果的图件有原始编录图件、基础综合图件及预测性综合图件三类。七宝山矿区编制的图件中，有钻孔水文地质工程地质综合柱状图、矿区工程地质图、工程地质剖面图、露采工程地质预测平面图、首采中段的坑采工程地质预测图和坑道工程地质展示图。

小 结

从七宝山矿区工程地质工作试点研究中可得出以下几点认识：

1．把岩体工程地质力学方法应用于矿产普查勘探，有利于提高矿区工程地质研究程度，推动工程地质工作的发展。通过试点，对矿区工程地质岩组，岩体结构类型、结构面特征、岩体质量综合评价等方面都得到加强。七宝山矿区试点也推动了其它矿区的工作。

2．把工程地质工作落实到矿产开采的工程地质预测评价上，工作就更有实际意义。整个矿区工程地质工作布署和工作内容，不但要着眼于查明矿区的工程地质条件，而且要着眼于未来的工程地质问题的预测。

3．点荷载仪和携带式剪切仪在矿产普查勘探中应用，为矿区工程地质工作提供了新的有效的测试手段。两种仪器具备了重量轻、操作简便、测试时间短、成果出来快、成本低、适应性强并可以大量进行等优点。测试结果代表性好、应用范围广，值得在矿产普查勘探中推广使用。

4．岩石质量指标能综合反映岩体完整程度。尤其用小口径、合金金刚石钻进时，反映更为真实，更重要的它还能作为重要指标之一，用于岩体质量的综合评价和围岩稳定性的定量预测。统计方法简单易行，远优于传统用统计采取率反映岩石完好性的方法，为此建议在钻探编录中使用。为取得系统的资料，普查阶段即开始做。

5．岩体工程地质综合分类方法，既可以反映岩体质量好坏，又可用于围岩稳定性的定量评价。这次试用的岩体质量指标法，同坑道所见的围岩实际情况接近，说明此类方法是工程地质比拟评价的较好方法。

此次方法试点对我们来说，是一个从实践中学习的过程，初步掌握了一些新理论、新的工作方法和测试手段，提高了七宝山矿区的研究程度，摸索到一些工作经验，方法试点是成功的。但也存在一些不足之处，主要是：（1）点荷载测试对岩心除作了定向测试外，只作了一组轴向测试，对岩组各向异性评价尚缺乏数据；（2）钻进方法、钻孔孔径等人为因素对（RQD）值的影响，尚未得出具有代表性的定量对比资料；（3）计划中的声波测井未能实现，对岩体质量评价，缺乏多种方法的验证对比。其原因是开展此项工作时，地质勘探工作已接近尾声，余下的钻探工作已不多，时间比较仓促，使方法试点的深度和广度上受到一定限制；有待在今后的矿区工程地质工作中不断充实完善。

结　语

本课题研究主要涉及到矿床开采技术条件中有关工程地质工作方面的内容，并未包括矿床开采技术条件的全部内容。

研究成果概述了我国固体矿床工程地质特征，开采中主要的工程地质问题，以及我国矿床工程地质研究现状及工作展望。

研究成果将矿床工程地质工作划分为：地质勘探；设计、基建；生产三个阶段。主要依据岩体结构或危及矿山生产的主要工程地质问题及产生工程地质问题的主导因素，将我国固体矿床工程地质勘探类型划分为四类十二型。在总结已有勘探经验的基础上，提出了不同地质勘探类型在地质勘探阶段对矿床工程地质工作要求及其工作方法。本项研究工作是以应用研究为主，目的在于探索、总结已有的工作的经验，从中找出一些规律性的、可以推广应用的工作方法。整个成果是从我国的实际情况出发，对我国矿床工程地质工作的系统总结，可供矿床地质勘探、开采设计、矿山生产、科研和教学参考。

由于课题涉及范围广，水平有限，深感尚存在以下不足：

1．典型矿山实例偏少。有的矿床工程地质勘探类型缺少有说服力的典型实例；

5．对三下（水下、铁路、建筑物下）及地质工艺方法采矿出现的工程地质问题及其特殊工作要求研究不够。我国西部地区因为条件限制，矿床工程地质资料偏少，研究欠充分；

3．研究工作基本上是以应用研究为主，缺少理论上的探讨和形成机理的研究。

4．研究中试点偏少。所提出的矿区工程地质工作方法，仅在江西七宝山矿区进行了试点研究。

总的来看，矿床工作地质工作起步较晚，是一项比较薄弱的工作。随着我国社会主义建设的发展，越来越多的矿床工程地质工作等待我们去做。我们提出的这个研究成果，仅作为一个开始，为推动我国的矿床工程地质工作的发展，统一矿床工程地质工作方法、要求，作一点实际工作。为此，我们殷切地期望读者批评指正，共同为搞好我国未来的矿床工程地质工作作出贡献。

主要参考文献

（1）中国地质科学研究院主编，中华人民共和国地质图集，地质出版社，1973。

（2）王思敬，赤平极射投影方法及其应用《岩体工程地质力学问题》（一），科学出版社，1976。

（3）谷德振，《岩体工程地质力学基础》，科学出版社，1979。

（4）《水文地质工程地质选辑》（12），地质出版社，1979。

（5）刘广润，鄂西山区与采矿有关的环境工程地质，《湖北地质科技情报》第一期，1981。

（6）陶振宇主编，《岩石力学的理论与实践》水利出版社，1981。

（7）张倬元等，《工程地质分析原理》，地质出版社，1981。

（8）许兵、李毓瑞、张汲源，金川矿露天边坡稳定性的岩体工程地质力学研究，中国科学院、金川公司，1981。

（9）张汲源，金川露天矿边坡倾倒破坏的工程地质研究，《矿山地质论文汇编》，1981。

（10）田永绥，金川矿地下巷道工程概况，《岩石力学与工程学报》第一期，1982。

（11）陈宗基，地下巷道长期稳定的力学问题，《岩石力学与工程学报》第一期，1982。

（12）王兰生、张倬元，斜坡岩体变形的基本模式，《岩石力学动态》第一期，1982。

（13）《工程地质手册》（第二版），中国建筑工业出版社，1982。

（14）谷德振等，岩体稳定性评价的工程地质力学原理《中国科学院地质研究所地质科研成果选集》（第一集），文物出版社，1982。

（15）魏克和，用点荷载法对花岗岩风化程度进行定量评价的研究，《水文地质工程地质》第二期，1982。

（16）《矿区水文地质工程地质普查勘探规范》地质出版社，1982。

（17）孙玉科、姚宝魏，盐池河磷矿山体崩塌破坏机制的研究，《水文地质工程地质》（第一期），1983。

（18）D.F.科茨等，《岩石力学增量计算》，中国建筑工业出版社，1983。

（19）《全国首届工程地质学术会议选辑》，科学出版社，1983。

（20）小岛圭二，地表の開發と地质工学，《地球科学》（14），岩波书店，1983。

（21）聂德新，划分岩体结构类型的基本指标的统计研究，兰州大学地质地理系，1983。

（22）孙广忠，《岩体力学基础》，科学出版社，1983。

（23）王永余、谢积烦，凡口矿区地面塌陷工程地质评价，《广东地质科技》（第一期），1983。

（24）《边坡工程手册》加拿大矿物和能源技术中心，冶金工业出版社，1984。

（25）向桂馥，岩体风化带的快速简便的试验方法研究，成都地质学院学报，1984。

（26）王振安等，峰峰二矿开采活动与底板突水关系的研究，煤炭学报（第二期），1984。

（27）罗国煜等，苏南核电站厂址边坡稳定性评价和分析《南京大学学报》工程地质专辑，1984。

（28）胡广骏、杨文远主编，《工程地质学》，地质出版社，1984。

（29）卢世宗等，《矿山边坡稳定性研究与评价问题》，东北工学院，1984。

（30）采用轮斗开采工艺的露天煤矿剥离物强度勘探方法，《煤田地质与勘探》（第二期），1984。

（31）三谷哲等，TBMの施工性と地山条件の关系について《应用地质》26卷1号，1985。

（32）罗斯等，《测试岩石裂隙的一种携带式剪切仪》，成都地质学院工程地质教研室译。

（33）《岩体工程地质力学问题》（六），科学出版社，1985。

（34）张英骏等，《应用岩溶学及洞穴学》，贵州人民出版社，1985。

（35）陈君联，《水文地质工程地质》（第七期）1958。

图版及图版说明

图版 I　吉林舒兰煤矿巷道变形

1、巷道顶板变形
2、料石衬砌井巷开裂
3、巷道底鼓
4、软岩挤压包抄井巷"U"形钢架
5、巷道冒顶、支架破坏
6、巷道挤压呈桃形

图版 II　云南向阳煤矿露天采场边坡滑动变形

1、采场全景
2、滑坡体上树木位移
3、滑坡体上的张裂缝
4、滑坡体后缘陡坎
5、滑坡体前缘底鼓及其张裂缝
6、底鼓引起的排水管拱起

图版 III　吉林盘石镍矿露采场边坡滑动变形（卢世宗摄）

1、一号采场一号楔形滑体
2、一号采场二号楔形滑体
3、一号采场三号楔形滑体
4、七号采场一号楔形滑体
5、七号采场二号楔形滑体
6、七号采场三号楔形滑体

图版 IV

1、金川矿F_1，断层处震旦系地层逆掩于第四系地层之上
2、金川矿露采场下盘区F_8断层滑坡
3、云南小龙潭煤矿运输皮带走廊因边坡滑动引起的变形破坏地段
4、云南小龙潭煤矿运输皮带走廊各破坏地段的破坏情况

图版 V　江苏阳山矿地表及井巷变形破坏情况

1、阳山西部矿区全景（①②③为陷落坑）
2、①号陷落坑
3、采场崩落角范围内形成的地面裂缝
4、巷道变形破坏情况
5、混凝土喷浆加固巷道中的变形裂缝

图版Ⅵ　浙江平山矿井巷及地表变形破坏情况

1、（7）号矿层中的完整巷道
2、（8）号矿层中巷道顶板冒落
3、（8）号矿层中巷道顶板冒落及支架破坏
4、巷道冒落引起的地面开裂

图版Ⅶ　湖北盐池河矿区山体变形破坏情况(一)

1、山体滑崩前矿区全景
2、巷道顶板张裂缝（1）顶板裂缝；（2）巷道
3、崩坍体后缘陡坎
4、采区五分段中央斜井底装
6、山体崩坍体全貌

图版Ⅷ　湖北盐池河矿区山体变形破坏情况(二)

1、山体崩坍后地貌景观（航空照片）
Ⅰ—前缘崩积墩区；Ⅱ—崩积槽区；Ⅲ—斜坡下部状崩积区；Ⅳ—崩积斜坡区；Ⅴ—后缘崩积平台区
2、陡山沱组（Z_1d）中粉砂质页岩软弱结构面
3、储矿仓上部的山体小崩坍

图版Ⅸ　广东凡口矿排水引起的岩溶地面塌陷

1、串珠状地面塌陷坑
2、地面变形引起的房屋开裂
3、地面塌陷使排水渠破坏断流
4、观测孔旁塌陷
5、非稳定区转化为稳定区后兴建的矿区住宅

图版Ⅹ　湖南恩口煤矿排水引起的岩溶地面塌陷

1、壶天河边塌陷之一。
2、壶天河旁塌陷
3、山口冲稻田区塌陷
4、山口冲地面塌陷
5、小碧河旁塌陷引起的房屋倒塌
6、小碧河旁塌陷

图版Ⅺ　四川金河矿地面变形及井巷排水

1、矿区山体崩塌
2、地面裂缝之一
3、地面裂缝之二
4、巷道探水孔高压突水
5、坑道排水壮观

图版XII　云南-平浪盐矿地面变形破坏

1、矿区全景（Ⅰ--新井；Ⅱ—北硐；Ⅲ—利民井）

2、地面陷落漏斗位置

3、地面塌陷引起的房屋开裂之一

4、地面塌陷引起的房屋开裂之二

5、1981年8月雨后产生的滑坡

图版XIII　江西七宝山矿露采场部份边坡结构特征及其变形破坏

1、F_1断层面沿倾向的波状起伏

2、F断层面沿走向的波状起伏

3、270m台阶的楔形滑体

4、采场石英砂岩弧形滑落

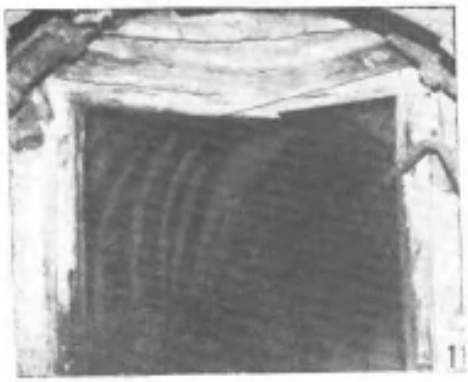
5、270m台阶拉张裂缝

6、变质粉砂石中的顺层滑落

图版XIV　岩石简易测试仪器

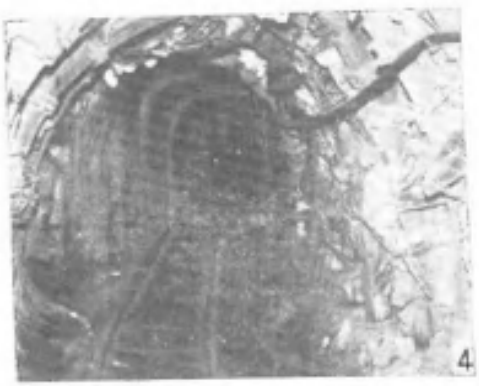
1、轻便点荷载试验仪

2、携带式剪切仪


1


2


3

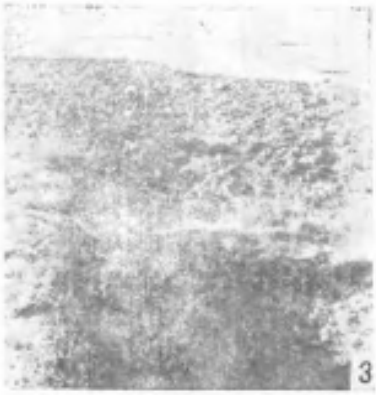

4


5


6


1


2


3


4


5


6


1


2


3


4


5


6



1



2



3









4



1


2



3


4


5


1

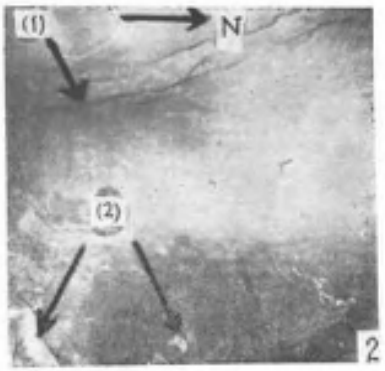

2


3


4



1



2



3



4



5


Ⅳ
Ⅱ
Ⅲ
Ⅱ
Ⅰ
Ⅰ
Ⅳ
1


2


3


1


2


3


4


5


1


2


3


4


5

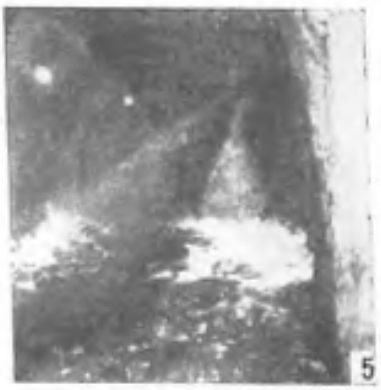

6


1


2


3


4


5

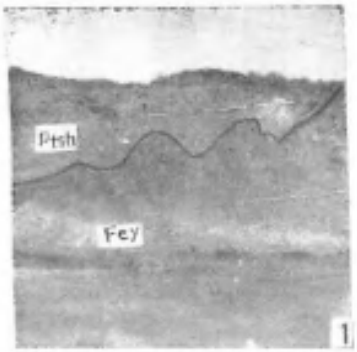

I
II
III
1

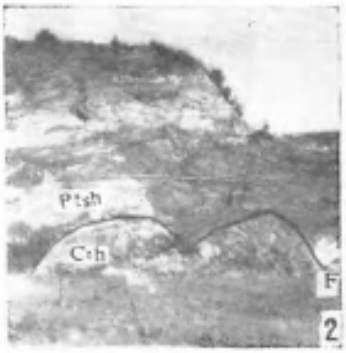

2

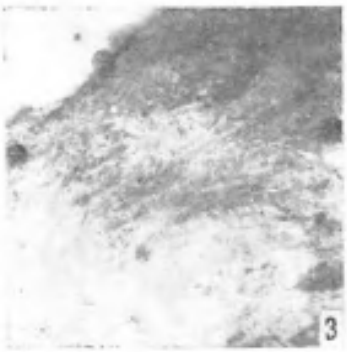

3


4


5


Ptsh
Fey
1

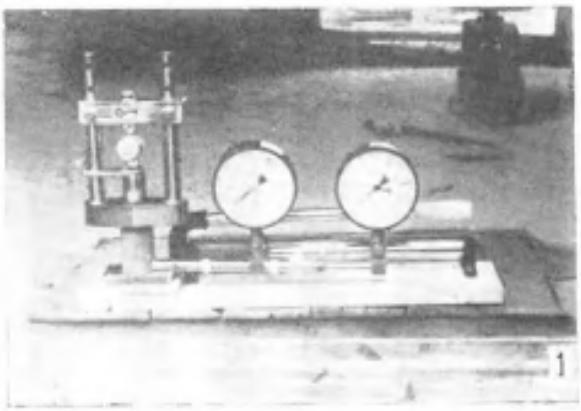

Ptsh
C-h
F
2

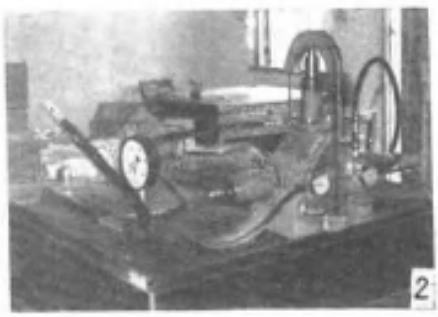

3


4


5


6


1


2

Study on Engineering geological work of solid ore deposits in China

(Abstract)

Preface

For the rational exploitation of mineral resources and the safe production of mining area, it is an important premise to investigate the technical conditions of mining. The information of mine technical conditions provided by the geologic explorations survey must meet the demand of designation of mine exploitation. Since New China(PRC)was founded, we have done a lot of work in the studies of technical conditions in geologic exploration, especially in the field of hydrogeology of ore deposits. However, studies on the engineering geology of deposits have been overlooked to a certain extent, which has emerged the same problems in the designation and construction of mines. For the purpose of summarizing experiences and unifying the methods and regulations of work in engineering geology of ore deposits, the office of National Committee of Mineral Reserves (NCMR) organized the local committees of mineral reserves in 14 provinces and autonomous regions) such as Jilin, Yunnan, Zhejang etc., together with some related units and institutions to make a subject research on technical conditions for ore deposits exploitation with an emphasis on the study of engineering geologic work in solid ore deposits in China in 1982.

The subject research was begun with investigation of engineering geology in 19 typical mines. Data collection and surveys were combined with the investigation and finally a topic research report was put forward after a comprehensive analysis. The experts, who give the report an examination in June, 1986, agreed that the report was a comprehensive research on the engineering geology of various kind of solid ore deposits in China and that it had laid a foundation for the development of engineering geology of solid ore deposits at the stage of geological exploration. The experts also considered that the report was the research result of combination of advanced theory and advanced practice in China and that, It has not only guiding significance for the development of engineering geology of solid ore deposits

at the stage of geological exploration, but also important reference value for designation essential construction, and exploration of mines and for scientific research and teaching as well.

After modified, the report is compiled into the book, whose name is 《Research on the Work of Engineering Geology of Solid ore Deposits in China》. The book with 280,000 characters consists of eight chapters and is also divided into twenty seven sections. The following is an abstract of the book.

Chapter I Introduction

The first section is a review of the work of engineering geology of ore deposits in our country. The development of engineering geology of ore deposits summarized in three periods in the section. The first period is a period of beginning, in which the geologic exploration in China was mainly from the experiences of the Soviet Union, the exploration of some large-scale ore deposits and engineering geology were done with the help of Soviet experts. The second period was a period of seeking to develop China's independent study on geological exploration. In this period the complicated problems in hydrogeology and engineering geology of some ore deposits were solved very well on the basis of our own technology and experience. The third period was the decade from 1970 to 1980. In this period, the study and work in engineering geology of ore deposit was strenthened and farther developed.

Since 1949 the working experiences were suitable for the practical conditions of our country, and from 1985, the regulations of hydrogeological and engineering geological work have been compiled and promulgated for four times. These regulations have successfully directed hydrogeological and engineering geological work in the exploration of ore deposits.

The second section is the division of stages of work in engineering geology of ore deposit. The geological exploration, designation and fundamental construction of mines and mine production have their different requirment for engineering geologic work. The work can be divided into three main stages——geological exploration, mine designation and fundamental construction, mine production. The degree of research in engineering geology work is proposed, the conditions and problems of engineering geology should be found out in different stages. Section three is an illustration of engineering geological characteristics of solid ore deposits in China. According to geographic range the country is divided into four regions concerning engineering geology of ore deposit: Northeast, Northwest, Southeast and Southwest Region. The engineering geological characteristics of ore deposits in each region are illustrated in various aspects such as physical geography, geological stru-

cture, hydrogeological conditions, structure of surrounding rocks, problems in engineering geology and so on.

In section four, major problems of engineering geology in the exploitation of ore deposits in China.Based on the data collected from the survey in some typical mines, the problems can be divided into the following six categories:

(1) Instability of slope. According to the lithological characters of slopes, slopes can be divided into three kinds: slope of friable rock, slope of interbedding of incompetent and hard rock and slope of hard rock. Factors that affect the stability of slopes vary with the kinds of slopes. Slopes of the kind of hardrock are greatly affected by faulted structures, and the slopes of interbedding of incompetent and hard rock are controlled by loose and weak intercalated layer or plane of weakness.

(2) Ground deformation failure. Being a common problem of environmental engineering geology in exploitation of mines, ground deformation not only affects the safety of mine production, but also threatens the industry and agricuture, traffic and daily life in the vicinities of mines. According to the causes of events, ground deformation can be divided into two kinds, collapse of Karst ground caused by the drainage of deposits in Karst regions; settlement, fission and collapse of ground caused by over exploita-tion to the mines. The former often occurs in hidden watery Karst deposit of large scale. The water quantity in Karst is great and high pressure, so its harm is large. The first kind is mainly distributed among big mines in Guang dong, Guangxi and Hunan Province such as Fankou Mine and Shilu Mine in Guang dong, Enkon Mine in Hunan autonomous region etc.. The latter is a common engineering geological problem in underground exoloitation, but the rate and degree of its impact is rather small.

(3) Deformation destruction of shaft and tunnel. Deformation destructions of shaft and tunnel such as lateral desquamation, roof fall, lift of the floor of tunnel, break of support, shaft wall rapture are common problems in engineering geology, Its severity degree depends on the geological structure in which the deposits were located, some other factors such as earth stress, ground water and weakly rocks. Two typical examples are Jinchuan Coppernickel Mine in Gansu Province, which locates in a mabile fracture zone, and Shulan Coal Mine in Jilin Province, the surrounding rock of which is friable rock.

(4) Waterrush mudrush and collapse of tunnel are either hydrogeological problems or engineering geological problems. Generally, thses problems happen when ground water taking mud, sand and debris break the weak part

of the roof or the floor into the tunnel. They result in very serious destruction. For example, we take some shafts and tunnels in Yangshan Kaolin deposit in Jiangsu Province. In these shafts and tunnels, the roof rocks are broken to pieces and surface water assembls easilly, when the roof falls suddenly, water flow, mud and debris dashed into the shafts and tunnels so rapidly that within several minutes, tunnels would be filled. This, of course, would greatly threaten the safty of workers.

(5) Instability of mountain body can cause very serious and wide-extended destruction to mines. For example, On June 3,1980, the Yingzuiya Mountain in Hebei Province, which is over Yanchihe phosphate Mine, had a disstrous(landslide)with an extend of 560 metres long from northto south, 470 metres wide and 38 metres high in the forefront, and a volume of around 1000,000 cubic metres. The collapsed debris had filled up the Yanchihe River, formed a dam of 20—30 metres high, destroyed all the surface buildings and equipment at the entrance of tunnel and all the material. Investigation showed that, the reason of the landslide is chiefly the following five factors:

a) Topographic or geomorphologic factor——the critical factor.

b) Lithological characters——strata-material condition of landslide body.

c) Geological structure——the boundary condition of landslide body.

d) Quarrying——man-made dynamic factor.

e) Meteoric water——physical geographic factor of landslide body.

(6) Rock pressure due to blast. This is refered to the strong airflow formed by high pressure air,when stiff rock apicalplate fall suddenly in a arge area in over exploitation area, with a very high velocity and energy,the airflow is very destructive to inner equipment in tunnel and threatening to humman safty.

Chapter II Classification of types of solid ore deposits for engineering geological exploration

§ 1 General principles

In this section, the purpose and principles of "classification" and the engineering geological characteristics of each type are outlined. The type classification is an important content in the topic reaearch.The efforts are mainly made around the fllowing two aspects:

i) Distinguishing the type of engineering geology of ore deposit from the type of engineering geological exploration of ore deposit. "Type of explora tion" is used to direct engineering geological work in geological exploration of ore deposit. They are classified on the basis of the characteristic of engineering geology of ore deposits, and with a thorough consideration of

complexity of engineering geological conditions of mineral deposits. They are formed in accordance with geological reconnaissance and detailed survey, due to the limitation of depth and extent of our understanding and knowledge of engineering gelolgical conditions of mineral deposits, the types concerning exploration determined at the initial stage of geological exploration are in a large part predictive. The types of engineering geology of mineral deposit are essential not only to geological exploration, but also to the designation of exploration of mineral deposits and to the fundamental construction of mines. Their determination are made in the light of both practical experiences and scientific research on the engineering geological conditions and problems of mineral deposits. The subject made deals with the engineering geololgical work at the stage of geological exploration and concerns the limitation of depth and extent of survey and investigation, we just make a classification on "types of exploration."

ii) classification of "types of exploration" is made on purpose that engineering geological condition that must be found out in the exploration of mineral deposits, the depth and metheds of exploration can be determined, so that engineering geological exploration of mineral deposits can be well directed.

§2 Classifications

The "types concerning exploration" are classified on the basis of structure of surrounding rock mass and some special lithological characters of surrounding rock of mineral deposits, and in a principle that when there are some differences between the structure of surrounding rock and engineering geological problems rised, the classification will be made on the basis of structure of surrouding rock of the location in which the problems is risin. If surrounding rock has a block structure and the engineering geological problems rising in exploration of mine occur in shifting sand and in weak intercalated layer in the loose bed of quarternary, then the mineral deposit, will be belong to the type of loose bed. On the above principle, we classify the types of mineral deposits concerning engineering geological exploration" into the following four chief categories, type of loose bed, type of massive rock, type of bedded rock, and type of rock of karst. The characteristics of each categary is as follows.

The type of dominant loose bed: The major lithological characters are sandy gravel and clay soil. The chief part of rock mass structure is loose. The rock is very weak in strength. Plastic deformation often drifting sand and plastic deformafion easily occur in the condition of water—saturation drifting sand is a common problem. In the process of exploitation, slope

angle of opencut mining is smaller than 30°, Tunnels in this kind structure of rock mass have no capacity of self-support.

The type of dominant massive rock: the major parts of their constitution are pyrogenic rock, ortho—rock and thick bedded sedimentary rock. The structure of the rock mass is the block structure. The rock is very high in strength. The slope angle of opencut mining is over 50°. In the process of exploitation Tunnels in this kind rock mass structure have a very good capacity of self-support.

The type of dominant bedded rock: These rocks include fragmental rock, volanic rock, and metamorphou shale. The rock mass has a bedded structure. There is a great variation in rock strength, The medium is anisotropy. The slope angle of opencut mining varies greatly in the process of exploitation. Tunnels in this kind rock mass structure have a good capacity of self-support.

The type of dominant karst rocks: their cheif constitution is carbonatite, with a characteristic of Karst development. It affects the engineering geological condition very much. The rock is intermediate in strength. The slope angle can be over 55°. In pitmining, tunnels can be very well self-supported. The major engineering gelolgical problem is collapse of Karst ground.

§ 3 Sub-types

On the basis of classification of "types", several classes are divided according to the various factors deciding the complexity of engineering geological conditions of mineral deposit. The chief factors are: degree of development of discontinuity, degree of weathering of rock, degree of karst development, distribution of quarternary sedimentary layers, complexity of hydrogeological conditions and existence of some special kind of rock(soil), earth stress, perpetually frozen soil etc. Thus we have four types, twelve sub—types altegether.

A diagram is given at the end of this chapter in which engineering geological characteristics, major problems in engineering geology, and typical mines of each type and sub-types are listed

Chapter III Engineering geological characteristics and requirement of engineering geological work for the type of dominant loose bed

The chief kinds of mineral deposits of the type of loose bed are placers, and incompetently cemented lignite deposits of Tertiary, with some fewer kinds of chemical leachings and oxidized deposits. The characteristics of mineral deposits of this type are of complex origins, various mineral species, widespread distribution. Mineral deposits of this type are usually thin-

ly covered, Loccally with a high tenor, easy to be extracted, low in production cost, convenient for exploitation and utilizati on, thus have certain importance in antional econemy.

The characteristics of mineral deposits of this type are as follows,

(Ⅰ) Lithological characters vary greatly, and there is a prominent nonhomogenecity in their structure. There are often water-suturated sand lagers and weak clay layers in strata. Some characteristics of mineral deposits of this type such as morphology and dimension of bady, structure of surrounding rock, and regular patterns of gravel and mud content have a close relationship with the formation condition of loose layers. As an example we take placer gold deposit. Generally, they are sedimentation resulted from fluvial out wash, have abinary stracture. The upper is sandy clay, and the lawer is gravel, Lithological characters vary very much both horizontally and vertically. There are often water saturated gravel layer and mud layer, which are disastrous to mining, In the deposit. The typical mine of this kind is luhezi gravel gold deposit in Hunchnu of Jilin province.

(Ⅱ)Rock mast (soil body) has a loose, incompetent, water-saturated, low-strength structure. The structure is granular and stratified, has plastic and rheologic character. Rock mass (soil dody) has a low shearing strength. The coefficient of friction is 0 . 3 in general, and even smaller in saturated condition. In exploitation, tunnels has a very low capacity of self-support, slope are unstable. Because of the existence of quicksand and weak rock, there will be great dificulties in tunneling and supporting of tunnels As an example we take the lignite of tertinary in Shulan of Jilin province, The enclosing rocks are constituted by sandstone of gady light green and brown color siltstone, pelitic sittstone, mud-stone and coal. Diagenetic conditions are very poor. Internal moisture is high. The comentation is generally argillaceous, low in machanical strengh and great in variation. The rocks of 40-60percents are loose water-saturated sand layers. In addition to this, because of structural factors and fracture of rocks, engineering geological problems such as the rushing of quicksand into the tunnels and destruction caused by deformation of tunnels etc are very common in exploitation,can couse very serious destruction to mine production.

(Ⅲ)Great impact of underground water on the stability of soil body, The rock mass (soil body) of loose rock (soil) usually has well developed pores and cracks, and very good water-reserving conditions. Besides, it often distributes in surface layer of ground, easily absorbs atmospheric water and surface water. The loose rock layers in low terrain are often soa-

ked by underground water. Exploitation of the deposits buried among or under them often has to be carried out in the condition of "a pond over the head"opencut mining will be directly threatened by that.

(Ⅳ) The poor stability of slope. Slope of open slope usually slides along the contact plane of rock layer or weak interbed. Since the water perched in the qui-cksand and clay layer is difficult to be unwatered, Slopes are often in the state of continuous destruction. A typical example is Xiangyang lignite deposits of Tertiary system in Huaning, Yunnan province. The deposit locates in Fawei Basin, is surrounded by high mountains, so its area which can absorb water is large. The enclosing rock is constituted by loose and incompetent sandy shale, mudstone. Many weak interbeds are in the roof and floor of coal layer, Slopes of opencut mining are very unstable. Large landslids occur on the northwestern side and east side, with a total volume up to 9 million cubic metres, threaten mine production and the life of residents in the vicinity of the mine.

Except the thinly covered case, minered deposits of this type all have very complex engineering geological conditions. In pit mining, shaft and tunnel deformation destructure can occur easily. In opencut mining, slopes are unstable, there often occur landslids along plane of weakness. The landslides will be harmful to production of mine, For mineral deposits with milti-layer water-bearing stratum distribution, the under-ground water in upper competent aquifer are uneasy to be unwatered, there often exist some residual water level, which directly affecting the stability of slopes.

The following should be made clear in engineering geological exploration of mineral deposits of this type:

i) Distribution law of loose sediment in loose regular forms of distribution of mine area. The structure and numbers of weak in terbed. The division of engineering geological complex rock complex.

ii) Measurement of physics, mechanics and water physics property coefficient by means of stratified sampling.

iii) Initial deter mination of slope angle.

iv) For mineral deposits in special geographied environment or to be exploited by special means, some special requirement are needed. For example, investigation and research on frozen soil should be stressed for mineral deposits in old frost zone; slope of surface of bedrock and gravel content in sabulous soil should be made clear for mineral deposits exploited by machines. For mineral deposits exploited by high pressure water, mud content in clay layer and sandy gravel layer, degree of cementation, cementation material, development of crack and so on should be found out.

Chapter Ⅳ Engineering geological characteristics and requirment of engineering geological work for the type of dominant massive rock

The enclosing rock of mineral deposits of this type is mainly constituted by hard rock such as magmatic rock, ortho-rock and lean sedimentary rock. The large parts of mineral deposits of this type are metalliferous deposits, and distribute in northwest and northeast of our country. Typical examples are Aushan iron deposit and Dappaozi iron deposit in the Northeast Baiyune iron deposit in Inner Mongolia, and nonferrous metal deposits in Gansu province. Major engineering geological characteristis are as follows:

(Ⅰ)Enclosing rock is made of rock layers of single lithological character or similar hardness. The rock is very high in hardness and strength with complete rock mass. Saturated strength of compressure is above 600kg/cm^2, coefficient of completeness is 0.35—0.75. The distance betwen planes of discontinuity usually is 50—100cm. The deformation destruction of enclosing rock seldom occurs. After excavation, tangential stress can reach equilibrium in a short time. The enclosing rock has a very good capacity of self-support and is generally stable. Only in some location, because of the consititution of planes of discontinuity, block fall, slacktip and sliding may happen.

(Ⅱ) The deformation destruction of enclosing rock is controlled by discontinuities of structure. Grade Ⅱ—Ⅳ discontinuities of developed in rock-mass are very essential to the stability of enclosing rock. In districts of slight or intermediate inclination with minor variation in texture, planes of discontinity are rough and in slightly open state, have a certain capacity of combination or in contact of regidity, with a coefficient of friction from 0.4 to 0.6. The engineering geological conditions are quite simple. open stopes have stable slopes. For some mineral deposits in intermeditly and sharplly inclined strate area, Grade Ⅱ—Ⅳ discontinuities are well developed. If the argillaceous substance in discontinuity increase, coefficent of friction can decrease to 0.3, the stability of enclosing rock will lessen and engineering geological conditions will become worse. in exploitation, becuse of the unfovourable constitution of discontinuity slopes of stope will have landslip, shafts and tunnels will have roof fall and Interal desquamation. As an example we take Panshi nickel deposit in Jilin province. In open stope, discontinuity of Grade Ⅱ—Ⅳ are well developed, there are more than 70 faults in No. 7 stope and 3 or 4 faults in No. 1 stope. There are eight sphenoidal landslide bodies formed by faults and joint fracture. Mine production has been seriously affected.

(Ⅲ)The prominent impact of the concentration of earth stress on the stability of the enclosing rock. Affected by the concentration of tectonic stress, enclosing rock of mineral deposits in the active fracture zone are very unstable, so it have very complex engineering geolgoical conditions with some peculiar characters. The most typical example is in Jichuan copper-nickel deposit. It was located on the north side of the west of the front are Qilu "山" formation structure. In the midist of it, Dragon head mountain rises. Affected by this rising zone, engineering geological conditions have the following several characteristics:

i)complex engineering geological rockgroups, with many bad layers.

ii)well developed geolocical structure rock discontegration.

iii)active neotectonic movement, frequent earthquake.

iv)High earth stress with a mean value of 200-300 kg/cm^2, and the highest value of 500kg/cm^2 and the direction of maximum principal stress can be N40E

v)various problems of engineering geology. In open-cut mining, the major problem is slump with a minor problem of slacktip. In pit mining, roof fall, slacktip, floor-lift of tunnel floor, lateral desquamation, and shaft wall rapture are the usual problems.

Ⅵ)Alteration and weathering have serious effects on the stability of enclosing rocks,

i)Effects of alteration. In mineral deposits related to the movement of various magma, there are often distribution of alteration envelopes of various width between the deposit and the enclosing rock. In both side of alteration envelopes, there are well developed joint crack, and alteration of various kinds such as chloritization, fibrous serpentinization, and kaolinization. For these reasons, alteration envelops have very low rock strength, especially under the action of water, they are easy to be softened and muddened, thus have a even low shearing strengh and coefficient of internal friction decreased to 0.3, In exploitation, these alteration envelopes often form the plan of weakness, affact the stability of enclosing rock. A typical example is yellow-stone iron deposit in Dayie, Hube province.

ii)Effects of weathering. Because of the serious weathering of rock, original texture of rocks in mining area had been completely destroyed, with the formation of ore, debris and clay, become dispersed structure. The depth of weathering zone varies with the varies of the landform, with a maximum depth of hundred metress. Some faults and alteration envelopes for the reason of broken rock and low rock strength, often become the passages of underground water or water-perching Zones, thus are easy to be

weathered and from some deep weathering throughs of irregular sack or chamber from, these happen commonly on the intersecting locations of several faulsts. These deep weathering throughs can have depth around a handred metres, thus seriously affect the strength and the stability of enclosing rock and slopes. Some mineral deposits buried in crust of weathering or old crust of weathering, under the action of weathering and the effect of texture, usually form powdery ore or powdery block ore such as ironstone and manganess ore. Engineering geological characteristics of these mineral deposits belong to the type of sriable rock, with fragmental structure. In exploitation, blocking up of shaft and tunnel and rockburst and rock fall can easily occur.

Mineral deposits of this type generally have good engineering geological conditions. The problems may occur in tectonoclastic zone, contact broken zone and weathering zone. Investigation around the following problems should be stressed in the study of engineering geology of mineral deposit:

i)Texture of rock mass in mining area. To divide the grades of fracture texture, measure its occurrence, extent of width and depth, investigate its constitution count the joint crack.

ii)Characteristics of discontinuity of rock mass in mining area. The kind and scale of discontinuity, distribution in space, undulation of surface and infiltration.

iii)Degree of alteration and weathering and distribution of rock.

iv)Recent geological, tectonic movement.

Chapter V Engineering geological characteristics and requirment of engineering geological work for the type of dominant bedded rock

Mineral deposits of this type mainly distribute among the sedimentary rock, sedimentary volcanic rock and some metamorphic rock areas. They include a large variety of deposit kinds such as sedimentary metal deposit manganese deposit, coal deposit, nonmetalliferous and building material deposits. The enclosing rock is constituted mainly by fragmental rock, bedded volcanic rock and metamorphic rock. The rock mass has bedded and bedded cataclastic structure. Among the typical examples are Pangjiapu iron deposit and Huolinhe coal deposit in Inner Mongolia, Yangshan kaolin deposit in Suzhou. The mineral deposits of this type are characteristized by their large area distribution and large quantity reserves. The engineering geological characteristics are as follows:

i)Complicated composition of rock formation. Anisotropic discontinuous media cut by discontinuities vary greatly in the rock strength. when there is only minor variation in structure, and rock has a rather high degree of

diagenesis, and the mineral deposit is buried in deeply. Sub-surface, the mineral deposits would have a rather simple engineering geological conditions. Serious engineering geological problems would hardly occur in general. As an example we refer to pinddin shan coal deposit in Henan province. But for some mineral deposits with low degree of diagenesis, the existence of slight cementation layer or weak layer may result in unstabitity of rock mass. In this case, the mineral deposits would have complex engineering geological conditions, as an example we take Huolinhe coal deposit in Inner Mongolia.

ii)Widespread distribution of plane of weakness. The stability of rock mass is controlled in a very large part by discontinuities. In addition to various kinds of fragmental zones, the plane of weakness also include stratification plane with poor capacity of cementation, very thin layer or thin progenous intercalations, and slightly faulted bedding planes and so on. In exploitation, engineering geological problems often occur along these weak layers and discontinuities. For example xiaolongtian brown coal deposit in Kanyuan, Yunnan province, the Dongshergquao clay layer on the bottom of cealseries and the intercalated clay layer in the strata in which the coalseries locate are the chief parts of its weak layers, slumping of slope in opencut mining is for a large part, related to them.

iii)Complexity of water-bearing structure of rock mass is an important factor affecting engineering geological conditions of mineral deposits. The enclosing rock has a stratified structure and a lithological character of fragmental rock. In strata, some formation are water-bearing and some permeable, and some others warter—resisting, these form a multiple water-bearing (water-resisting), layer complex hydrogeological structure. Because the roof aquifer is blocked up by water resisting layer and difficult to be drained, deposit body residual water head pressure can form. Under certain conditions, these may result in muddenning and softeening, cause serious accidents, the engineering geological conditions of ore deposits often become rather complicated. As an example, we take Kao lin deposit in Yangshan, Jiangsu province.

iv)Hydrophilic effect of argillaceous rock in rock mass. This is one of the factors for unstability of rock mass. Mineral deposits of this type often contain some weak argillaceous rock, some of which can form ores such as Kaolin ore, swell soil ore and so on. Because some mineral constituents in argillaceous rock have some special properties concering water physical character, such as extending, softenning, discontegration in the existence of water, the stability of surrounding rock are seriously affected by them. As

an example we take Na-Swell soil deposit in Pingshan, Zhejiang province.

v) A special problem in engineering geology of this type mineral deposits is unstability of mountain body in steep rock areas. In these areas, Because of the special landform, geographic and geological conditions, exploitation may cause deformation of mountain body over the mineral deposit, thus result in disastrous mountain slides. A typical example is the heavy landslide happened on June 3. 1983, in Yanchihe, and phosphorus deposit in Hubei province.

The information collected form surveys on typical mines have shown that work in engineering geology of mineral deposits of this type should stress the composition of rock layers, the characters of stratification plane and prologenous silttied weak layer. At the same time, problems of other aspects such as changes in the seepage pressure and the perching condition of underground water.

Chapter VI Engineering geological characteristics and requirment of engineering geological work for the type of dominant karst rock

Mineral deposits of this type are those whose enclosing rock is mainly constituted by carbonatites and some other solutable rock. Carbonatites have a very broad distribution in our country, form the metamorphic carbonatites of archaean era to the reef limestone of canozoic era, distribution area could be 200 square miles. The hydrogeological and engineering geological problems in exploitation are chiefly dominated by the development of karst in carbonatites rock. The floor of coal-seam of Permo-Carboniferous system in North China the roof of iron deposit of skarns type in Handan, Laiwe Districts are all machiakou limestones of ordovician system. The enclosing rock of gold deposit in Guangdong and Guangxi are Hutian and Huanglong limestone of carboniferous system and Tiangiling limestone of Devonian system. These mineral deposits have well developed karts, and are very wartery, there is a large amount of water seepage in the pit. Hydrogeological condition are very complex. In exploitation, when unwatering, problems such as collapse, fission, and settement of ground, piping, mud rush and water rush often occur which threaten the mine production seriously and do harm to the local industrial and agricultural production. Besides of some general engineering geological characteristics possesed by mineral deposits of the type of bedded rock, mineral deposits of this type also have the following characteristics:

(I) Engineering geological conditions are controlled by degree of karst erosion and nonuniformity of distribution of karst. The formation and the development of karst have their geological background and natural environ-

ment, and according to the effect of factors such as landform climate, hydrology, geologic texture, lithological characters and geological history, there would be a great variation in the development of karst. In the north of China, the major kind is baried karst, with development of rock fracture and minor caves. There is often a great variation in the content of karst water. The major problems in exploitation are in hydrogeological problems. In the south karst is well developed. There is a large content of karst water with a great head pressure. If surface layer contains non-cohesive cover seam of Qarternary system, there would be at the same time both hydrogeological and engineering geological problems. For example, Fancou lead-zine deposit in Guangdong province, had a collapse caused by drainage and mining, with a area of more than 5 million square metres, and 1860 collapse points.

(Ⅱ) The major engineering geological problem of mineral deposits of this type is ground collapse. Not in all the mineral deposits of this type may accur this problem, the problem most often occurs in the regions which have development of supergene caves, and cover layers with non-cohesive deposits of quarternary system of thickness less than 30 metres in them, and thinly covered underground water level, especially in zones of discharge of karst water and regions where the fluctuation belt of water table locates at the boundary of rock formation. In natural conditions, underground water is contained in the cover layer, soil body can be in its equilibrium state. When unwatering, underground water level will be below the boundary of rock formation, this will destroy the equilibrium system of soil, water and air, thus result in collapse. The regular forms of collapse are:

i) The extent of distribution of collapse is controlled by the distribution of solutable rock formation and the extent of sunken tunnel of underground water.

ii) The intensity and frenquency of collapse are related to the speed and extent of declination of underground water.

iii) The degree of collapse is in direct ratio to the degree of development of thinly covered karst. Among typical mines are Encou coal deposit in Lianyuan, Hunan province, and Shilu copper deposit in Guangdong province.

(Ⅲ) The enclosing rock has a great machanical strength, rock mass has a good stability. Saturated compressive strength is above 600kg/cm^2. In exploitation, enclosing rock can be very stable, tunnels are not necessarily to be supported in general. Slope angle of opencut mining can be greater than 55°, there is seldom landslide.

(Ⅳ) Besides the collape, mineral deposits of this type have also engi-

neering geological problems such as unstability of mountain body, water rush and mud-rush in tunnels, As an example, we take macaotan phosphorus deposit in Jinhe, Sichuan Province.

(V) Solt rock deposits in general have rather simple engineering geological conditions and few engineering geological problems. But if measures in engineering are not proper in exploitation, causing changes in hydrogeological and engineering geological conditions would be changed and problems such as collapse, landslide may also occur. As examples we take Ying-cheng Gypsum Deposit in Hubei Province and Yipinglang Salt Deposit in Yunan Province.

The major engineering geological problems of mineral deposits of this type are collapse, fission and sefflement of ground. These problems are related to the factors such as strata in which the deposite locate, lithological characters, geological texture, development of karst, the distribution, the thickness of deposit and the lithological characters of strata of quarter nary system, infilstrationflow off, and drainage of underground water and so on, For this reason, at the stage of geological exploration, all the factors mentioned above should be investigated, and stress should be laid on the following two aspects:

i) Investigation on the regular form of development of karst. The approach should be the combination of geological survey and the extent and depth of karst distribution and deposits in caves should be faund out.

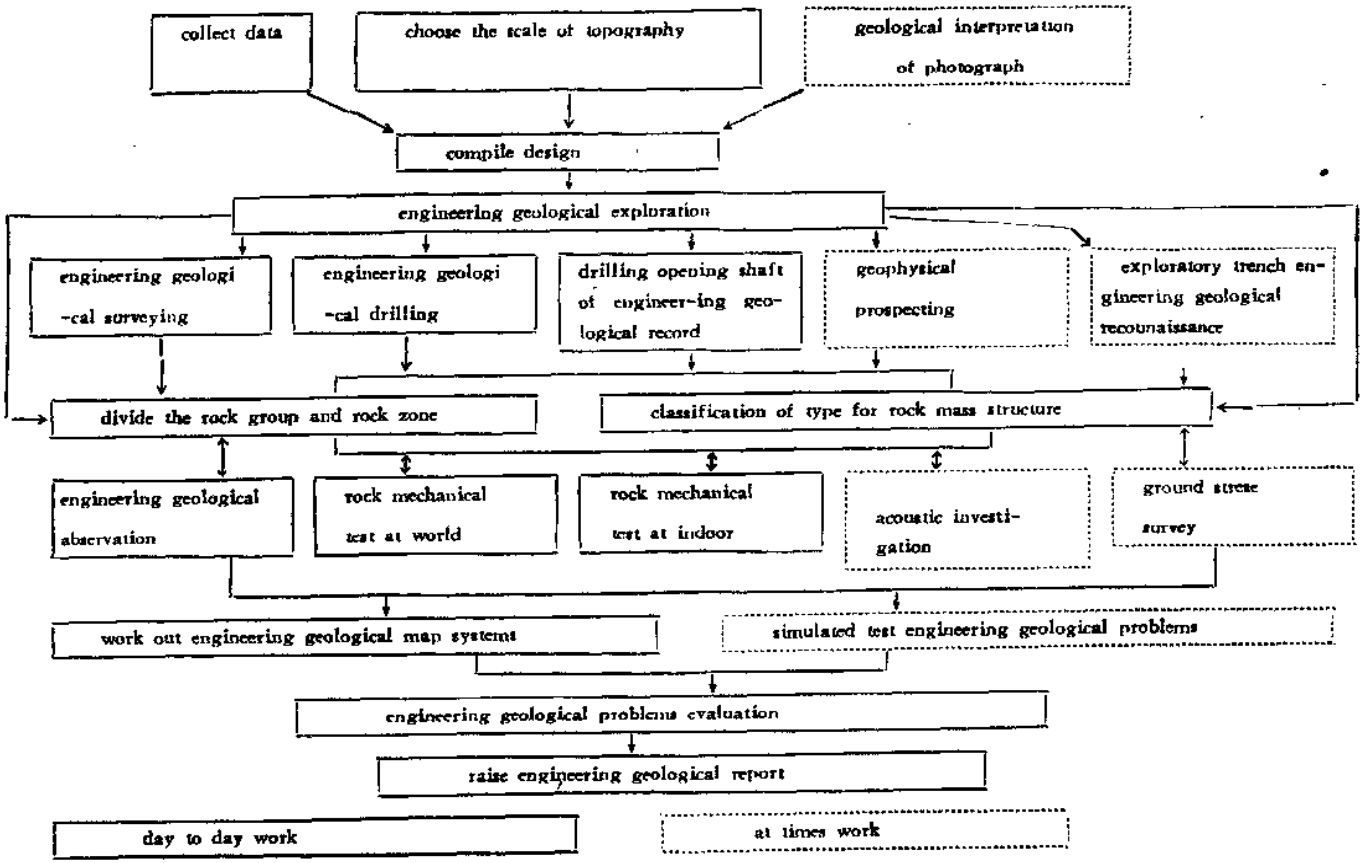
ii) Investigation on the regular form of collapse of karst ground, prediction of the extent of probable collapse ofter unwatering and drainage. From the data of surveys on some typical mines, we have inducted that, beside the usual approaches of geological prospecting, an important approach for investigation and prediction of the regular form of surface collapse is the pumping test with great deameter well groups or make a preliminary estimate on the possible engineering geological problems such as collapse and fission of ground etc.

Chapter Ⅵ The fundamental methods for the engineering geological exploration of mineral deposit

The main method is engineering geomachenics of rock mass, that is to say, based on the characteristics of rock mass, combine geomlechenics and rock mechanics, and solve such problems as stability of rock mass and so on the fundamental work in engineering geology can be demonstrated by the follow Diagram:

In the method section of every working stages demonstrated in the diagram. We have introduced with emphasis the following:

Diagram 7-1 The diagram of engineering geology of solid mineral deposits at the stage of geological exploration



i)Division of engineering geological rock zones or rock complexes as well as investigation on the types of their structure.

Ii)Measurement of method of determination of rock quality degree (RQD) and its applications in engineering geological exploration of mineral deposits.

iii) The technique of on the spot measuring of mechanic property of rock using such apparatus as portable point load instrument and portable shearing instrument.

iv) Method of engineering geological evaluation of various types of mineral deposits(including: type of friable rock, massive rock, sound rock, rock of karst).

v)The report, the content and requirement of diagram of the engineering geology of meneral deposits.

Chapter Ⅶ Methods of engineering geological exploration used in a typical mine

As a model, we introduce the practical methods in engineering geological exploration of Qibaoshan metal-rich deposit In Jiangxi province. This mineral deposit belongs to the type of bedded rock, with medarate engineering geological conditions. In order to examine the working methods put forward in our research, using geological prospecting as an auxiliary methods. We have made purposely research experiments concerning the working approches in engineering geology of mineral deposit. The following practical methods are introduced:

i)Evaluation on the degree of development of rock joint and statistical measurement of rock joint crack in engineering geological survey.

ii)The effect of application of rock quality degree (RQD) to engineering geological prospecting of mineral deposits. The fectors that effect this RQD and the proportion of its value to the ratio of core sampling in the evaluation of degree of completemess of rock mass.

iii) The effect of field experiment of point loading instrument and portable shearing instrument, the handling of data collected from the field experiment, and the application methods of these two apparatus.

iv)Evaluation of the quality of rock mass of mining area.

The results of the experiment showed that:

i) The application of the method of engineering geomechanics of rock mass to the survey and exploration of mineral resourses will help to improve the research of engineering geology of mining area and to push forward the development of work in engineering geology.

ii) It will be even meaningful if engineering geological study can be

applied to predictive evaluation of engineering geology in mining, combined with the exploitation of mineral resources.

iii) The application of point loading instrument and portable shearing instrument in the survey and exploration of mineral resources has been proved a new and useful measuring means for engineering geological work, and is worth to be popularized.

iv) The rock quality degree (RQD) can comprehensively indicate the degree of completeness of rock mass, thus can be used as one of the important indexes in comprehensive evaluation on the quality of rock mass and quanlitative prediction of the stability of rock mass.

v) classification method in engineering geology of rock mass not only can reflect the quality of rock mass, but also can be used in quantitative evaluation of the stability of enclosing rock.

Because of the stringency of time, the degree of depth and the scope of our experiment and been limited, and need to be enriched and perfected in the research of geology of mineral resources in future.

Summary

This subject is devoted only to those topics in the study of technical conditions for exploitation of mineral deposit which related to engineering geology, other aspects. In this field have hardly been toached. Because of the large scope of the research and the limited knowledge we have, some topics studied have not been satisfactorily solved, although we have got a lot of helps form many units and institutions and made great efforts. The followings are some of the aspects that need to be improved:

i)It seems that more examples of typical mines are needed some of the "types concerning exploration" lack convincing examples.

ii)Engineering geological problems rising from underwater under railway, under—construetion and geotechnique mining have not been fully studied. The west region of China have not been fully investigated, because of the lack of data of engineering geology of mineral deposts and the limit of other conditions.

iii)The major port of our research is in the applied field, studies on the machenism of some engineering geological problems have been just the illustration of phenonmina. Theoretic discussion need to be strengthened.

iv)More typical example are still needed to support the method of work in engineering geology put forward in our research.

In general, work and study of engineering geology of mineral deposits are rather weak in this country, this situation can not meet the need of construction of mines in the country. Although the results contained in our

reseach are not perfect, what we have done is a good beginning. In order to promote the study of engineering geology of mineral deposit, and to requlate the methods and requirment of study and work in engineering geology of mineral deposits. We earnest hope readers would give criticism to this book.

《地质专报》包括以下各类

1—区域地质

2—地层古生物；

3—岩石矿物地球化学；

4—矿床与矿产；

5—构造地质地质力学，

6—水文地质工程地质；

7—普查勘探技术与方法；

8—地质应用计算技术；

9—分析测试与综合利用；

10—仪器与设备。

SERIES OF GEOLOGICAL MEMOIRS

1. Regional Geology
2. Stratigraphy and Paleontology
3. Petrology, Mineralogy and Geochemistry
4. Mineral Deposits and Mineral Resources
5. Structural Geology and Geomechanics
6. Hydrogeology and Engineering Geology
7. Prospecting Techniques and Methods
8. Geomathematics
9. Analysis and Multi-Utilization of Minerals
10. Instruments and Equipments