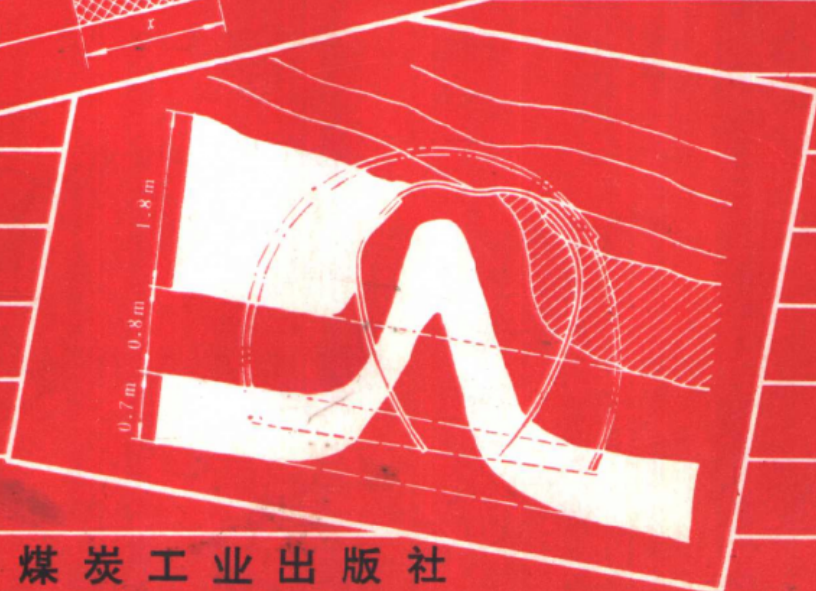
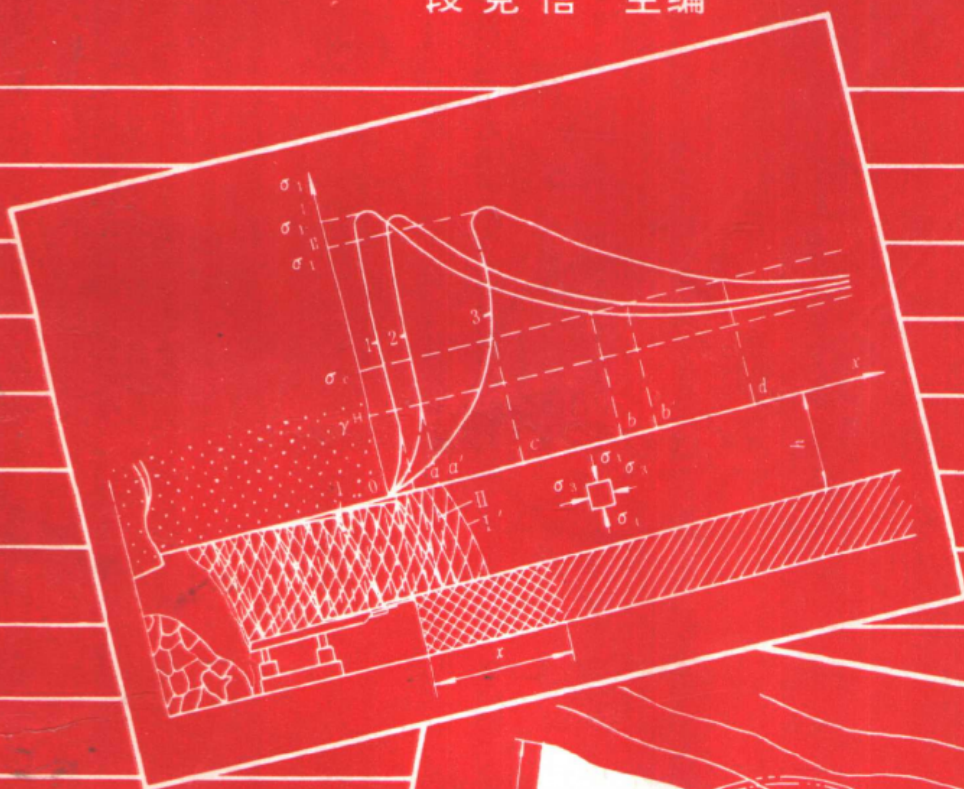


高等学校规划教材

松软围岩煤层开采

段克信 主编



煤炭工业出版社

封面设计：解 冰

ISBN 7-5020-1208-7/TD823·2

书号：3976

定价：14.50元

高等学校规划教材

松软围岩煤层开采

段克信 主编

煤炭工业出版社

(京)新登字042号

内 容 提 要

本书系统地介绍了松软围岩煤层开采的工作面顶底板管理和巷道支护技术。内容包括松软围岩的物理力学性质与分类;在不稳定顶板及松软底板条件下,回采工作面矿山压力显现规律,综合机械化回采,普通机械化回采,煤岩化学加固技术;软岩巷道矿山压力及其显现特点,软岩巷道支架、支护原理和支护方法,以及软岩井筒支护。

本书可作为煤矿高等院校采矿工程专业本科生选修课教材,也可供从事矿山设计、施工和生产的工程技术人员参考。

高 等 学 校 规 划 教 材 松 软 围 岩 煤 层 开 采

段克信 主编

责任编辑:黄朝阳

*

煤炭工业出版社 出版发行

(北京安外门外和平里北街21号)

北京怀柔燕文印刷厂 印刷

*

开本 $787\times 1092\text{mm}^{1/4}$, 印张18

字数429千字 印数1—1,370

1995年11月第1版 1995年11月第1次印刷

ISBN 7-5020-1208-7/TD823.2

书号 3976

定价 14.50元

前 言

松软围岩是指强度低、结构弱面发育,甚至具有膨胀、流变特性的煤层顶、底板岩层,针对工程特点不同,它们常被分为不稳定顶板(破碎顶板)、松软顶底板或软岩。据不完全统计,我国煤矿赋存有松软围岩的煤层约占可采煤层总数的三分之一,随着褐煤煤田的不断开发和矿井开采深度的逐步加大,属于这类开采条件的煤层比例还会逐年增加。开采松软围岩煤层时,工作面冒顶频繁、支架陷底严重,并且巷道收敛强烈,这些矿山压力显现,会造成生产及人身事故,直接影响矿井的安全生产和经济效益。本教材针对上述问题,重点阐述了松软围岩条件下回采工作面顶、底板矿压显现机理,以及相应的管理和巷道支护技术。本书可作为煤矿高等院校采矿工程专业相关课程的补充。

本书内容分三个部分,共十三章。第一、二、三章介绍有关松软岩体性质、应力及工程分类的基本概念和基础知识;第四章~第九章叙述在不稳定顶板及松软底板条件下回采工作面矿山压力显现规律,综合机械化回采,普通机械化回采,以及煤岩化学加固技术;第十章~十三章阐述软岩巷道矿山压力及其显现特征,软岩巷道支架、支护原理和支护方法,以及软岩井筒支护。系统总结大量的、有代表性的应用研究成果、生产经验和工程实例,力图定量地给出解决实际问题的方法是本书的主要特点。

本书由阜新矿业学院与西安矿业学院合编。主编:段克信;各章分别由下列同志执笔:第一、二、三、四、五、六、九、十、十一、十二章,段克信;第七、八章、九章,袁汉春;第十三章,田永山。由于编者水平所限,错误之处在所难免,敬希指正。

编 者

1995年5月

ABE100/1004

目 录

第一章 岩体的力学性质	1
第一节 岩体结构	1
第二节 结构面的刚度系数和抗剪强度	8
第三节 岩体的变形性质	15
第四节 岩体的强度特性	23
第五节 岩体强度准则	29
第二章 岩体中的自然应力	34
第一节 岩体自然应力状态类型	34
第二节 我国现代构造应力场	37
第三节 断层构造应力区	43
第三章 工程岩体稳定性分级	46
第一节 工程岩体分级标准	46
第二节 回采工作面顶板和底板分类	49
第三节 回采巷道围岩稳定性分类	52
第四节 膨胀岩的工程分类	56
第四章 回采工作面顶板破坏与冒落	60
第一节 开采裂缝	60
第二节 顶板离层	68
第三节 工作面冒顶	72
第五章 在不稳定顶板及松软底板条件下回采工作面的矿山压力显现	84
第一节 控顶区顶板破坏状况	84
第二节 顶板下沉和支架下缩量	89
第三节 支架初撑力和工作阻力	92
第四节 生产工序对工作面矿山压力显现的影响	95
第五节 控顶区顶板暴露面积和冒顶的发展	98
第六节 矿山压力显现与支架参数的关系	99
第七节 支架与围岩相互作用的特征	102
第六章 适用于松软围岩煤层回采的液压支架和单体支架	106
第一节 液压支架基本结构件	106
第二节 掩护式液压支架	113
第三节 支撑掩护式液压支架	120
第四节 单体支架	122
第七章 松软围岩煤层的综合机械化回采	125
第一节 支架及其配套设备选型	125
第二节 液压支架主要参数确定	129
第三节 预防冒顶片帮的生产措施	132
第四节 综采机组过地质破碎带	139

第五节	松软围岩煤层放顶煤回采.....	141
第八章	松软围岩煤层的普通机械化回采.....	145
第一节	破碎顶板条件下的支护形式和护顶措施.....	145
第二节	松软底板条件下防止支柱钻底.....	150
第三节	复合顶板支护和工作面冒顶处理.....	154
第四节	再生顶板及金属网下支护.....	157
第九章	煤岩的化学加固技术.....	162
第一节	煤岩化学加固技术发展概况.....	162
第二节	聚氨酯和脲醛树脂加固破碎煤岩.....	163
第三节	其它材料加固破碎煤岩.....	170
第十章	软岩巷道矿山压力及其显现.....	175
第一节	软岩巷道矿山压力显现的特点.....	175
第二节	影响矿压显现的主要因素.....	184
第三节	弹性岩体中巷道围岩应力.....	192
第四节	巷道围岩变形.....	197
第五节	围岩压力.....	203
第十一章	软岩巷道支架.....	208
第一节	可缩性金属支架.....	208
第二节	锚喷支架.....	219
第三节	钢筋混凝土预制弧板支架和巷道壁后充填.....	226
第十二章	软岩巷道支护.....	229
第一节	可缩性金属支架支护.....	229
第二节	锚喷支护.....	240
第三节	砌碛支护.....	256
第四节	联合支护.....	261
第五节	卸压方法.....	266
第十三章	软岩井筒支护.....	272
第一节	软岩井筒的工程地质条件.....	272
第二节	地压与支护原理.....	273
第三节	软岩立井支护方法.....	277
参考文献		282

第一章 岩体的力学性质

第一节 岩体结构

在漫长的地质历史中,由岩浆活动、沉积作用、变质作用等形成了岩层,尔后又不同程度地遭受了构造运动、风化作用、溶解作用以及天然卸荷等各种地质作用的改造。在地质过程中形成和改造过的天然岩体,特别是与人类工程活动密切相关的地壳表层岩体,是由软弱面及被软弱面切割成的岩石块体所组成的复杂介质。软弱面是具有强度低和易变形特性的各种地质界面,如裂隙、层面、断裂的统称。它泛指岩体中的面、缝、层、带状的地质界面。面是指岩石块体间刚性接触,无任何充填物的地质界面,如节理、片理等;缝是指有充填物,且有一定厚度的裂隙;层是指岩层中相对的具有一定厚度的软弱夹层;带是指具有一定厚度的构造破碎带、接触破碎带、风化槽等。由一系列软弱面将岩体切割成为岩石块体,这种岩石块体称为结构体,与此相应,软弱面又称作结构面。结构面和结构体统称为岩体结构单元。岩体结构就是指不同类型的岩体结构单元在岩体内的组合和排列形式,由结构单元、结构单元组合和结构单元排列构成了不同的岩体结构类型。

一、结构面和结构体

结构面对原位岩体的强度、变形性能、渗透性、各向异性、力学上的连续性,以及岩体中应力分布等,均有显著的影响。一般来说,结构面是影响岩体力学问题的一个控制性因素。不同类型的结构面具有不同的工程地质特征,这些不同特征直接取决于结构面的自然特性,以及造成它们自然特性差异的地质成因和力学成因。

(一)结构面的成因类型

按照地质成因的不同,可将结构面划分为原生的、构造的和次生的三类。

1. 原生结构面

原生结构面系指那些在成岩过程中所形成的结构面。原生结构面基本分为三种。

(1) 沉积结构面。

这类结构面是指沉积建造中所形成的岩石物质分界面。它包括层面、软弱夹层及沉积间断面(不整合面、假整合面等)。它的产状一般与岩层一致,空间延续性强。海相岩层中,此类结构面分布稳定,陆相及滨海相岩层中呈交错状,易尖灭。沉积软弱夹层是指沉积同生的粘土夹层、页岩夹层、泥灰岩夹层、薄煤夹层、石膏夹层等。其产状与岩层相同,厚度较薄,延续性较好,含粘土矿物多,细薄层理发育,易风化、泥化,抗剪强度低,压缩性较大,失水干裂,遇水软化。沉积间断多由碎屑、泥质物质构成,且不平整。

(2) 火成结构面。

这类结构面系指岩浆侵入及冷凝过程中所形成的原生结构面,包括岩浆岩体与围岩接触面、多次侵入的岩浆岩之间接触面、软弱蚀变带、挤压破碎带、岩浆岩体中冷凝的原生节理,以及岩浆侵入冷凝过程中形成的流纹和流层的层面等。岩浆岩与围岩之间呈现裂隙状态的接触或侵入岩附近沿接触带的围岩受到挤压而破碎呈现破碎接触,构成软弱面。

岩浆岩体中的冷凝原生节理常具有张性破裂面的特征，而向深部逐渐闭合，其发育深度有限，从冷却面向深处一般为数米到一、二十米。岩浆岩在侵入冷凝过程中，会形成流纹、流层，它们一般集中发育在侵入体的边部，特别是岩墙、岩床边缘部分，发育极为明显、典型。火成软弱夹层在喷出岩或溢出岩地区最为常见，其产状成层或成透镜体，厚度薄、强度低、遇水易软化。

(3) 变质结构面。

变质结构面是在区域变质作用中形成的结构面，如片理、片岩夹层等。区域变质与接触变质不同，它是伴随强烈的地壳运动而产生的，在较广阔的空间中进行的动变质作用。片理面一般呈波状，片理短小，分布密集，延展范围很大。片岩软弱夹层含片状矿物呈鳞片状。变质软弱夹层在沉积变质岩地区最为常见。这种夹层由变质岩构造决定，产状虽与岩层一致，但多呈波状弯曲或延续性差，成份主要是片状矿物或柱状矿物。

2. 构造结构面

构造结构面是指岩体受地壳运动（构造应力）的作用所形成的结构面，如断层、节理、劈理以及由于层间错动而引起的破碎层等。其中以断层的规模最大，节理的分布最广。

(1) 断层结构面。

断层，一般是指位移显著的构造结构面。断层的规模和性质是用断层带宽度、断距以及断层充填物的性质来表述的。断层带由断层破碎带和断层影响带两部分组成（图1-1）。断层破碎带又称构造软弱夹层，一般都由上盘与下盘侧两个滑动面围着一个破碎带，破碎带由构造应力形成的构造岩组成。构造岩可以是比较连续的层，也可以是连续性不好的透镜体，甚至呈不规则的鸡窝状。由于在构造力与热的作用下，经过挤压研磨后，构造岩的性质与周围原岩相比已产生质的变化，原岩的岩石结构或构造基本上已变动或完全消失，并产生新的应力矿物，形成重结晶或变晶结构。断层破碎带里的构造岩，可以分为断

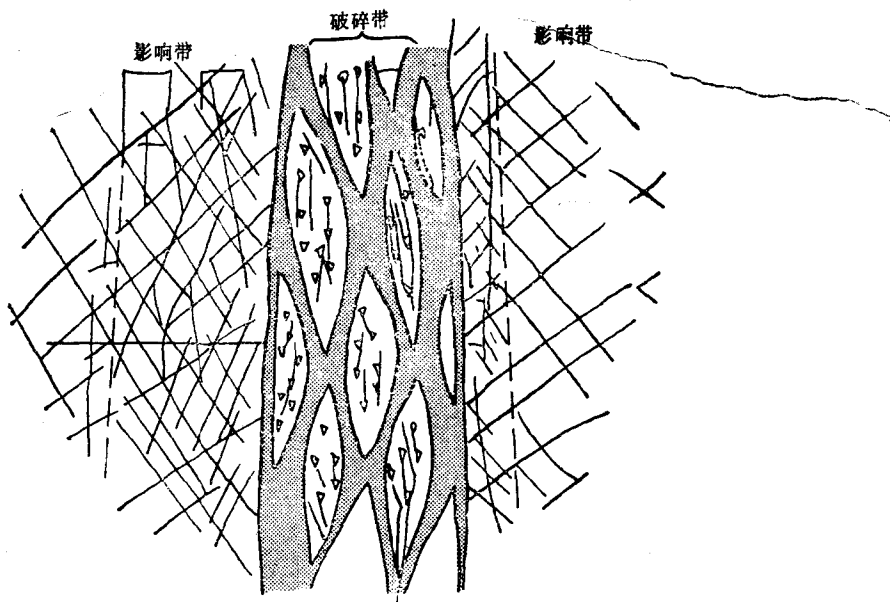


图 1-1 压性断层带地质结构示意图

层泥、糜棱泥、断层角砾岩、片状岩、碎块岩及碎裂岩等。断层破碎带之外为断层影响带，其外限与原岩的界限是过渡的，内限一般有断层滑动面与断层破碎带为界。断层影响带的构造岩主要是碎裂岩和碎块岩，实际上是由纵横交错的节理所穿切的原岩。

断层因应力条件不同而具有不同的特征。根据应力场的特征，可分张性、压性及剪性（扭性）断层，也就是正断层、逆断层及平移断层。

张性断层由张（拉）应力或与张断层平行的压应力形成。张裂面上参差不齐、宽窄不一、粗糙不平、很少擦痕。破碎带宽度多变化于0.1~15m之间，破碎带宽度变化率（最宽与最窄的比值）可达10或更多。破碎带填充物多以角砾岩为主。该类破裂面，含水性和导水性较好，摩擦系数较高。一般地说，影响带宽度与破碎带宽度比值约为2~4。

压性断层主要指压性逆断层、逆掩断层。断面光滑，产状多不稳定，沿走向、倾向多呈舒缓波状，起伏度大，擦痕发育。破碎带宽度多变化于0.01~5m之间，破碎带宽度变化率小于6。构造岩粒度成分细，定向构造显著，糜棱岩、断层泥、片状岩、构造透镜体发育。此类破裂面，含水性和导水性较差，抗剪强度变化较大。影响带宽度与破碎带宽度比值约为2~8。

剪性断层主要指平移断层及部分正断层。一般产状稳定，断面平直光滑，甚至出现构造镜面，平移擦痕发育。破碎带宽度变化于0.01~3.0m之间，破碎带宽度变化率在4以内。破碎带中糜棱岩、细角砾岩发育，常出现不连续断层泥及动力变质矿物薄膜。这一类破裂面，往往咬合力小，摩擦系数低，含水性和导水性多介于逆冲断层和正断层之间。影响带宽度与破碎带宽度比值约为0~3。

（2）节理结构面。

节理可分为张节理、剪节理及层面节理。张节理是岩体在张应力作用下形成的一系列裂隙的组合。其特点是裂隙宽度大，裂隙面延伸短，尖灭较快，曲折、表面粗糙，分布不均，在砾岩中裂隙面多绕砾石而过；剪节理是岩体在剪应力作用下形成的一系列裂隙的组合。它通常以相互交叉的两组裂隙同时出现，因而又称X节理或共轭节理，有时只有一组比较发育。剪节理的特点是裂隙闭合，裂隙面延伸远且方位稳定，一般较平直，有时有平滑的弯曲，无明显曲折，面光滑，常具有磨光面、擦痕、阶步、羽裂等痕迹。在砾岩中裂隙面常切穿砾石而过；层面节理是指层状体在构造应力作用下，沿岩层面（原生沉积软弱面）破裂而形成的一系列裂隙的组合。岩层在褶曲发育的过程中，两翼岩层的上覆层与下覆层发生层间滑动，便形成剪性层面节理，而在层间发生层间脱节，形成张性层面节理。节理在自然界岩石中不是均匀的，它受到岩石性质、岩体原生构造、岩层厚度、地区构造应力、深度等诸多因素的影响。

3. 次生结构面

次生结构面是指岩体在外营力（如风化、卸荷、应力变化、地下水、人工爆破等）作用下而形成的结构面。它们的发育多呈无序状的、不太平整、不连续的状态。

风化裂隙是由风化作用在地壳的表部形成的裂隙。风化作用沿着岩石脆弱的地方，如未开的层理、劈理、片麻构造及岩石中晶体之间的结合面，产生新的裂隙；另外，风化作用还使岩体中原有的软弱面扩大、变宽。风化裂隙的特点是裂隙延伸短而弯曲或曲折；裂隙面参差不齐，不光滑，分支分叉较多；裂隙分布密集，相互连通，呈不规则网状；裂隙发育程度随深度的增加而减弱，浅部裂隙极发育，使岩石破碎，甚至成为疏松土。风化裂

隙由于它的密集，裂隙间的岩块又被化学侵蚀，并且普遍地存在于地壳表层的一定深度，形成一个带的风化岩石，通称风化层。风化层实际上是分布于地壳表层的软弱带。它的深度大致在10~50m范围内。个别风化层，如构造破碎带，其深度可达100m，甚至更深。

卸荷裂隙是岩体的表面某一部分被剥蚀掉，引起重力和构造应力的释放或调整，使得岩体向自由空间膨胀而产生平行地表面的张裂隙，这些裂隙基本平行于岸坡表面。另外，在漫长的岁月中伴随着年复一年的地下水季节性的变动，同样可以产生与地下水面近平行的卸荷裂隙。卸荷裂隙的产状主要与临空面有关，多为曲折的、不连续状态。裂隙充填物包括气、水、泥质碎屑，其宽窄不一，变化多样，结构面多呈粗糙。

(二) 结构面的表现

结构面的表现（自然）性质有闭合度、粗糙度、贯通性、充填物性质与厚度以及结构面的空间分布。

1. 闭合度

结构面闭合度又称张开度，是指结构面两侧岩壁的垂直分离距离，其空隙由空气或水充填，它与被充填的结构面厚度是不同的，如图1-2所示。

结构面闭合度对结构面抗剪强度、结构面及岩体渗透性有很大影响。一般说来，在相同边界条件受力的情况下，岩石（煤）越硬，结构面的间距越大，张开度也大，其抗剪强度随之增大，见表1-1。张开度还可以说明岩体的“松散度”和岩体的水力学特征，一般结构面张开度愈大，岩体将愈“松散”，含地下水将愈丰富。

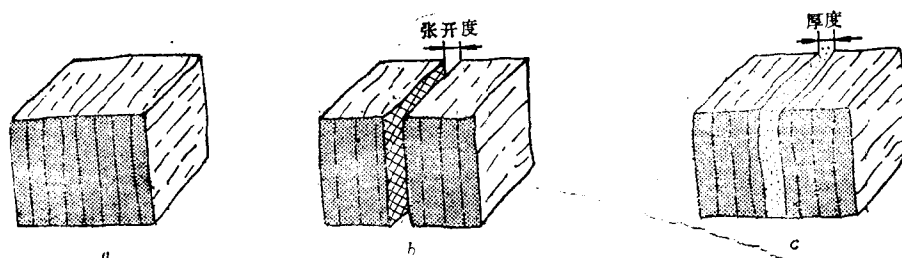


图 1-2 张开结构面张开度和充填结构面厚度
a—闭合的不连续面；b—张开的非连续面；c—充填的不连续面

表 1-1 煤的结构面间距和张开度对抗剪强度的影响

结构面间距(mm)	2	0.95	0.62	0.44	0.28
平均结构面张开度(mm)	0.027	0.015	0.010	0.005	0.004
抗剪强度(MPa)	16.9	0.62	0.58	0.23	

为适于野外定性鉴别，凡结构面闭合度大于3mm者，认为是张开的；小于1mm者已不易肉眼判别，认为是闭合的。所以，描述结构面的闭合度可采用如下术语：闭合，微张开，张开；相应的结构面张开宽度分别为<1.0mm，1.0~3.0mm，>3.0mm。

2. 起伏度和粗糙度

起伏度是指结构面几何形态的起伏差。粗糙度是指结构面上的凹凸不平程度。起伏度由

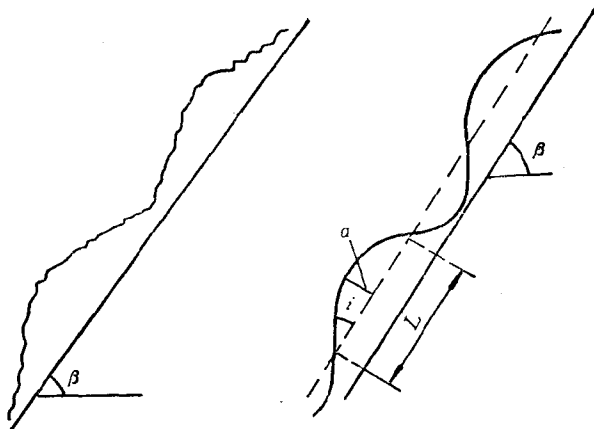


图 1-3 起伏度的几何要素

几何要素起伏角 i 和起伏的幅度 a 描述,如图1-3所示。起伏角的大小可以说明结构面的形态; $i=0^\circ$ 时,结构面为一平直面, $i=10^\circ\sim 20^\circ$ 时,结构面为波浪状,当 i 更大直至等于 90° 时,结构面为锯齿状和台阶形。粗糙度按程度分为粗糙的、平坦的和光滑的。

结构面的抗剪强度与起伏角密切相关,起伏角愈大,结构面的抗剪强度就愈大。另外,粗糙度的增大,可以增大结构面的摩擦角。

3. 贯通性

结构面的贯通性是指结构面在某一方向延伸并对工程所在地段岩体有影响的长度,即贯穿工程部位的程度。一般可通过观测露头上结构面的迹线长度来度量贯通性。从工程应用角度出发,结构面的贯通性可按表1-2划分为全贯通、半贯通和微贯通。

表 1-2 结构面贯通性

贯通性	结构面穿越岩体工程地段的程度	代表性结构面
全贯通	贯穿整个岩体工程地段	构造断裂、软弱层面构造节理、小断层
半贯通	贯穿岩体工程地段的 $1/3\sim 2/3$	构造节理、小断层
微贯通	贯穿岩体工程地段小于 $1/3$	节理、裂隙

显然,结构面贯通程度不同对岩体工程的影响将不一样。全贯通结构面多为规模较大的构造断裂或软弱层面,对工程岩体的变形、破坏类型和规模起控制作用。微贯通的结构面将使岩体强度降低,变形加大,相对来说对工程岩体影响小。

4. 胶结充填特征

结构面的胶结充填可以分为无充填和有充填两类。无充填结构面的强度主要取决于结构面两侧岩石的力学性质以及结构面的起伏度和粗糙度。有充填的结构面,其力学强度取决于充填物的成份和厚度。就充填物的成份来说,以粘土质充填,特别是充填物中含不良矿物,如蒙脱石、高岭石、绿泥石、绢云母、蛇纹石、滑石等较多时,其力学性质最差;含非润滑性质矿物,如石英和方解石较多时,其力学性能较好。充填物的粒度成份,对结

构面的强度也有影响，粗颗粒含量愈高，力学性能愈好，细颗粒愈多，则力学性能愈差。充填物的厚度对结构面的力学性质具有显著影响。按充填物厚度和连续性，可将有充填结构面分为薄膜充填、断续充填、连续充填和厚层充填四类。

5. 结构面密度

结构面的密度是指岩体中结构面发育的程度。它可以用结构面的线密度、间距或体积结构面数表示。

线密度 R 是指同一结构面沿着法线方向单位长度上结构面的数目。如以 L 代表在法线上量测的长度， N 为在 L 长度内出现的结构面的数目，则

$$R = \frac{N}{L}$$

如果测线不可能沿结构面法线方向布置时，应使测线水平，并与结构面走向垂直。此时，如实际测线长度为 L ，结构面的倾角为 β ，则

$$R = \frac{N}{L \sin \beta}$$

结构面间距是指同一组结构面在法线方向上的平均间距，如以 d 来表示，则

$$d = \frac{L}{N} = \frac{1}{R}$$

岩体体积结构面数是指单位体积岩体内所含的结构面条数，它等于各组线密度之和，即

$$J_v = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

(三) 结构体

结构体与结构面是相互依存的。结构面的形态、组数、产状决定着结构体的形状和尺寸。结构体形状的典型类型如图1-4所示。一般说来，结构体可归为两类：一类是块状结构体，包括柱状、楔锥状等结构体。这类结构体各向尺寸接近相等，其力学表现以压碎、滚动、滑动为主。另一类是板（柱）状结构体，板的厚度与延展长度（或宽度）比小于1:15，其力学表现主要为弯曲变形和溃折破坏。

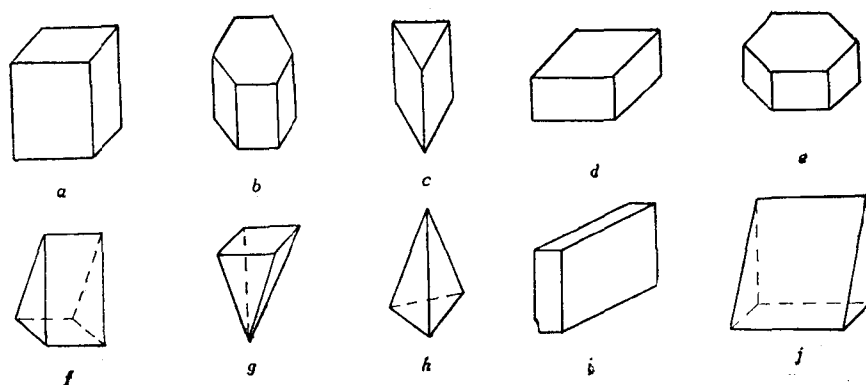


图 1-4 结构体形状典型类型

a, b, c, f, g, h —块状结构体； d, e, i, j —板（柱）状结构体

结构体块度可以用 1m^3 内含有的结构体数表示,亦可以用单个结构体尺寸表示。结构体产状以结构体表面上最大结构面长轴方向的产状说明。

二、岩体结构类型

不同类型的岩体结构单元在岩体内组合和排列形式组成了不同的岩体结构。各类岩体结构的典型图如图1-5所示。现将其力学表现分述如下。

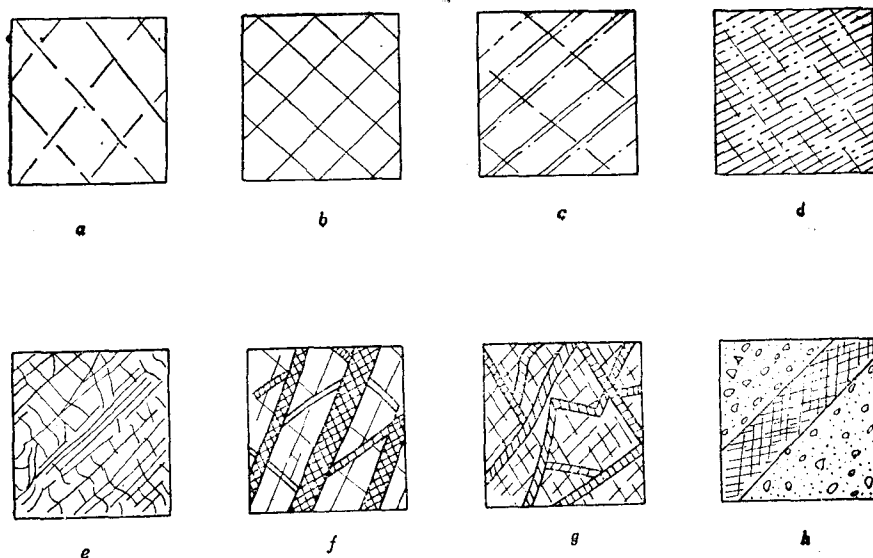


图 1-5 各类岩体结构图式

a—整体结构图式; b—块状结构图式; c—层状结构图式; d—薄层状结构图式; e—镶嵌碎裂结构图式;
f—层状碎裂结构图式; g—碎裂结构图式; h—散体结构图式

1. 整体结构

岩性单一且构造变形轻微的巨厚层沉积岩、变质岩和火成岩体。其结构面不发育,延展性差,组数一般不超过2组;结构面的摩擦系数 $\text{tg}\phi \geq 0.6$,结构间的结合力强。岩体呈完整或基本完整状态,结构面间距 $d > 1.0\text{m}$;地下水作用不明显,渗流对岩体特性影响不大。

2. 块状结构

岩性单一或由强度相近的岩层所共同组合的构造变形轻微、中等的厚沉积岩、变质岩或火成岩体。结构面延展短,未错动,不夹泥,有的呈弱结合状态,将岩体切割成为岩块集合。岩块之间结合力强,一般 $\text{tg}\phi = 0.4 \sim 0.6$, $d = 0.5 \sim 1.0\text{m}$ 。裂隙水甚为微弱,沿结构面可能出现渗水、滴水现象。

3. 层状结构

岩层组合可以是单一的,也可以是不同性质岩层的互层,有的情况下还夹有极薄的层状软弱夹层,结构面以层理、片理、节理为主,延展性较好,一般有2~3组结构面,层面尤为显著。层间结合力较差, $\text{tg}\phi = 0.3 \sim 0.5$ 。地下水的软化、泥化作用较明显。

4. 薄层状结构

岩层组合复杂,以薄层为主,层理、片理显著发育。结构面多为泥膜、碎屑和泥土所

充填。结构面的摩擦系数 $\operatorname{tg}\phi = 0.3$ 左右，结构面平均间距 $d < 30\text{cm}$ ，此类岩体在压应力作用下表现出压缩、挤出和膨胀现象。结构面的抗剪强度和薄板结构体强度控制着岩体剪切滑移。地下水引起岩层软化、泥化及沿结构面失稳。

镶嵌碎裂结构岩性单一，岩质坚硬。结构面密度大、组数多，延展性差，多呈粗糙闭合，无充填物（或夹少量碎屑）。岩块棱角明显，彼此镶嵌咬合，结构面上 $\operatorname{tg}\phi = 0.4 \sim 0.6$ 。在岩体变形、破坏过程中，结构体的镶嵌咬合力起决定作用。

5. 层状碎裂结构

岩性复杂多变，软硬相间尤为明显。岩体中存在一组近似平行的软弱破碎带与完整程度相对良好的岩层（即骨架岩层）相间存在。结构面上的 $\operatorname{tg}\phi = 0.2 \sim 0.4$ 。此类岩体受地下水的软化、泥化作用明显。较软的破碎带往往导致岩体坍塌、滑移。

6. 碎裂结构

岩体组合不一，多级结构面发育，并被软弱物质所补填。结构体的大小和形态均不相同。结构面上 $\operatorname{tg}\phi < 0.2$ 。地下水对此类岩体作用明显。岩体整体强度很低，塑性大，变形具有明显的时间效应。在此类岩体中开挖工程，易发生坍塌、滑移、片帮、侧向挤出和底鼓等现象。

7. 散体结构

岩性复杂，呈松散状态，有的为块夹泥，有的为泥包块。岩体的 $\operatorname{tg}\phi < 0.2$ 。地下水作用强烈，可引起泥化、软化、崩解、膨胀。此类岩体具有明显的塑性或流变特性。

第二节 结构面的刚度系数和抗剪强度

一、刚度系数

结构面的变形分为法向变形和切向变形。在实验室内进行剪切、压缩试验的方法是，在现场取样，使试件的试验面积为 $200 \sim 400\text{cm}^2$ 。在直剪试验装置上进行，图1-6为岩石结构面的受力状况示意图。如试件为石灰岩，按要求进行压缩试验，即在不同的剪应力下得到一族法向应力 σ 和法向位移 v 的关系曲线，如图1-7所示。另外，进行剪切试验，即在不同的

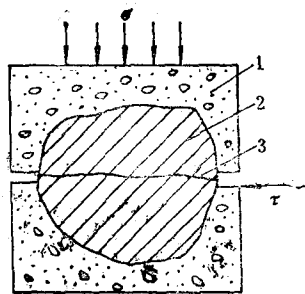


图 1-6 岩石结构面受力状况

1—混凝土；2—试件；3—裂隙

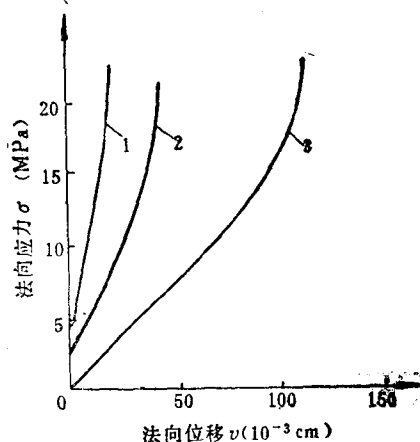


图 1-7 法向刚度系数

1— $\tau = 24.8$ ；2— $\tau = 13.4$ ；3— $\tau = 0$

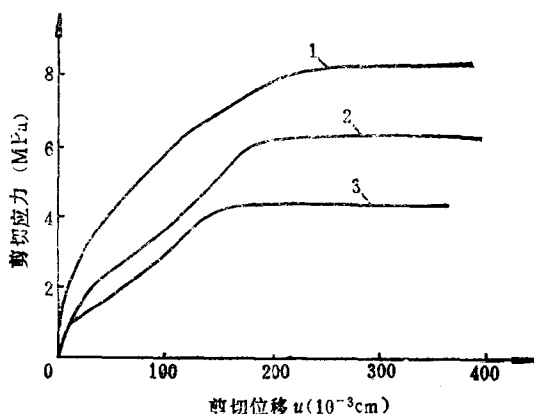


图 1-8 剪切刚度系数
1— $\sigma = 109$; 2— $\sigma = 103$; 3— $\sigma = 85$

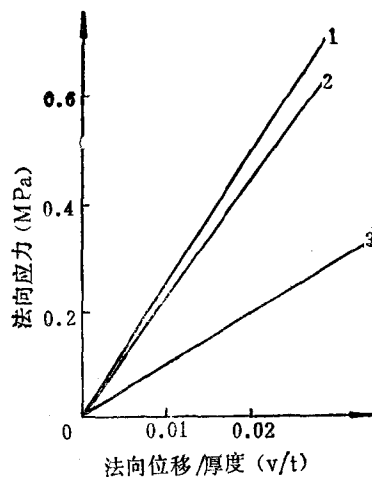


图 1-9 各类夹层的 $\sigma-v/t$ 关系曲线
1—粘土岩, $K'_n = 24.1 \text{ MPa}$; 2—砾状粘土岩, $K'_n = 21.1 \text{ MPa}$; 3—202剪切带, $K'_n = 9.6 \text{ MPa}$

法向应力下得到一族剪切应力 τ 和剪切位移 u 的关系曲线, 如图1-8所示。

1. 法向刚度

在法向应力和法向位移曲线图上, 曲线的斜率表示法向刚度, 即 $K_n = \left(\frac{\partial \sigma}{\partial v} \right)_\tau$, 若将曲线线性化, 则 $K_n = \frac{\sigma}{v}$ 。对于软弱夹层, 由于厚度不同, 应将位移 v 除以夹层厚度 t , 称为单位法向刚度, 即 $K'_n = \frac{\sigma}{v/t} = K_n \cdot t$, 图1-9为砾状粘土岩、粘土岩、剪切带(塑性泥)软弱夹层的 $\sigma-v/t$ 关系曲线。从图中可见, 关系曲线呈线性。剪切带的粘土的 K'_n 约为 10 MPa , 粘土岩的 K'_n 约为 20 MPa 。

2. 切向刚度

剪切应力和剪切位移关系曲线的形状, 主要取决于结构上下两面的岩石性质、表面粗糙程度、层间粘聚状态和层间充填物的性质。它们大致有三种: 剪力—位移曲线峰值不明显(图1-10a)、有峰值(图1-10b)和峰值强度明显(图1-10c)。在剪切应力和剪切位移关系曲线上, 峰值前曲线的斜率表示切向刚度, 即 $K_s = \left(\frac{\partial \tau}{\partial u} \right)_\sigma$; 若将曲线线性化,

则 $K_s = \frac{\tau}{u}$ 。

一些岩石结构面的 K_n 、 K_s 值见表1-3。

二、结构面的抗剪强度

(一) 摩擦角

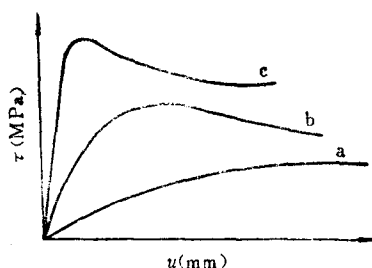


图 1-10 结构面 $\tau-u$ 曲线类型

表 1-3 结构面的法向和切向刚度

岩石及结构面情况	$K_n(\text{MPa/cm})$	$K_s(\text{MPa/cm})$
充填粘土的断层, 岩壁风化	15	5
充填粘土断层, 岩壁轻微风化	18	8
新鲜花岗片麻岩, 岩壁轻微风化	20	10
玄武岩与角砾岩接触面	20	8
致密玄武岩水平不连续结构面	20	7
玄武岩张开节理面	20	8
玄武岩不连续面	12.7	4.5

依据Amontons定律, 法向压力与摩擦力成正比, 摩擦阻力与相互滑动物体的接触面积无关, 即

$$F = \mu W \quad (1-1)$$

或

$$\tau = \mu \sigma \quad (1-2)$$

式中 F ——摩擦力;

μ ——摩擦系数;

W ——法向压力;

τ ——摩擦阻力或引起滑动所需的剪应力;

σ ——法向应力。

对于摩擦系数 μ , 由于岩石表面的粗糙度不同而不同。为了比较, 将岩石表面做平成的, 如锯开面、残存面等, 求得表面之间的摩擦系数或摩擦角, 称基本摩擦角, 各种岩石的基本摩擦角列入表1-4中。

式1-1中讨论的结构面上的滑动摩擦, 其剪应力平行于表面的方向。若结构面的表面与

表 1-4 岩石基本摩擦角

岩 石	干 湿	法向应力 (MPa)	$\varphi_s(^{\circ})$	岩 石	干 湿	法向应力 (MPa)	$\varphi_s(^{\circ})$
煤			18~22	石灰岩	湿	0~0.5	33~36
页岩	湿	0~0.3	27		干	0~0.5	33~39
白垩	湿	0~0.4	30		湿	0.1~7.1	35~38
板岩	湿 干	0~1.1	21		干	0.1~7.1	37~40
			25~30	斑岩	干	0~13.3	31
片麻岩(片状)	湿	0.1~7.9	23~26	白云岩	湿	0.1~7.2	27~35
	干	0.1~8.1	26~29		干	0.1~7.2	31~37
砂岩	湿	0~0.5	25~33	花岗岩	湿	0.1~7.5	29~33
	干	0~0.5	26~35		干	0.1~7.5	29~35
	湿	0.1~7.3	31~34	角闪岩	干	0.1~7.5	32
	干	0.1~7.0	32~34	砾岩	干	0.3~3.4	35
粉砂岩	湿	0~7.2	27~31	玄武岩	湿	0.1~7.9	31~36
	干	0.1~7.5	31~33			0.1~8.5	35~38