

第一节 地质编录的基本指标体系

野外地质编录工作的质量高低，完全取决于所描述的指标是否完整，为确保描述的内容是否满足工程要求，本节将地质工程编录中需要用的指标逐一介绍，方便学生在野外进行地质编录时有选择的选取。

一、结构面的指标描述体系

对结构面工程地质特性的系统工程地质研究，除了上述分级分类的层次观点外，对某一具体结构面的地质及工程地质性状描述则构成了它的主体内容，直接关系到对结构面性状的认识及强度参数的评价及选取。首先必须建立相应的结构面描述体系，使结构面的描述既全面系统，又标准规范，易于理解与使用。

(1) 结构面的类型

1) 按成因类型见表 3.1 所示

表 3.1 岩体结构面的类型及其特征 (据张成恭, 1979)

成因类型	地质类型	主要特征			工程地质评价
		产状	分布	性质	
原生结构面	沉积结构面 1 层层层面 2 软弱夹层 3 不整合面、假整合面 4 沉积间断面	一般与岩层产状一致，为层间结构面	海相岩层中此类结构面分布稳定，陆相岩层中呈交错状，易尖灭	层面、软弱夹层等结构面较为平整；不整合面及沉积间断面多由碎屑泥质物构成，且不平整	国内外较大的坝基滑动及滑坡很多由此类结构面所造成的，如马尔帕塞坝的破坏，瓦依昂水库附近的巨大滑坡。
	岩浆岩结构面 1 侵入体与围岩接触面 2 岩脉岩墙接触面 3 原生冷凝节理	岩脉受构造结构面控制，而原生节理受岩体接触面控制	接触面延伸较远，比较稳定，而原生节理往往短小密集	与围岩接触面可具熔合及破碎两种不同的特征，原生节理一般为张裂面，较粗糙不平	一般不造成大规模的岩体破坏，但有时与构造断裂配合，也可形成岩体的滑移，如有的坝肩局部滑移
	变质结构面 1 片理 2 片岩软弱夹层	产状与岩层或构造方向一致	片理短小，分布极密，片岩软弱夹层延展较远，具固定层次	结构面光滑平直，片理在岩层深部往往闭合成隐蔽结构面，片岩软弱夹层具片状矿物，呈鳞片状	在变质较浅的沉积岩，如千枚岩等路堑边坡常见塌方。片岩夹层有时对工程及地下洞体稳定也有影响
构造结构面	1 节理(X型节理、张节理) 2 断层(冲断层、擦断层、横断层) 3 层间错动 4 羽状裂隙、劈理	产状与构造线呈一定关系，层间错动与岩层一致	张性断裂较短小，剪切断裂延展较远，压性断裂规模巨大，但有时为横断层切割成不连续状	张性断裂不平整，常具次生充填，呈锯齿状，剪切断裂较平直，具羽状裂隙，压性断层具多种构造岩，成带状分布，往往含断层泥、糜棱岩	对岩体稳定影响很大，在上述许多岩体破坏过程中，大都有构造结构面的配合作用。此外常造成边坡及地下工程的塌方、冒顶
次生结构面	1 卸荷裂隙 2 风化裂隙 3 风化夹层 4 泥化夹层 5 次生夹泥层	受地形及原结构面控制	分布上往往呈不连续状，透镜状，延展性差，且主要在地表风化带内发育	一般为泥质物充填，水理性质很差	在天然及人工边坡上造成危害，有时对坝基、坝肩及浅埋隧洞等工程亦有影响，但一般在施工中予以清基处理

2) 力学成因类型

张性结构面：是由拉应力形成的，如羽毛状张裂面、纵张及横张破裂面、岩浆岩中的冷凝节理等。特点：张开度大、连续性差、形态不规则、面粗糙，起伏度大及破碎带较宽，易被充填，常含水丰富，导水性强。

剪性结构面：是剪应力形成的，破裂面两侧岩体产生相对滑移，如逆断层、平移断层以及多数正断层等。特点：连续性好，面较平直，延伸较长有擦痕镜面等。

(2) 结构面分级

结构面的规模大小不仅影响岩体的力学性质，而且影响工程岩体力学作用及其稳定性。

在野外对结构面描述时，通常情况下，可将结构面分为5级，见表3.2所示。

表3.2 结构面分级表

级序	结构面名称	分级依据	工程地质意义	代号
I	区域性断裂、控制性断层	延伸数十公里以上，破碎带宽度数十米以上，有连续的断层泥	影响区域构造稳定性，对坝址选择起控制作用	F
II	贯穿性大断层	延伸长度>500m，破碎带宽度2m~5m的断层	可对山体及建筑物稳定起控制作用，可成为地下水活动带	F、G
III	一般性断层、挤压带	延伸长达数十米至数百米，破碎带宽度为0.5m~2m的断层	对山坡、坝基、地下洞室围岩及边坡的整体稳定及变形可有较大影响	
IV	IV-1	小断层、挤压面（或层间错动面）、软弱夹层	延伸数十米至百余米，破碎带宽0.05m~0.5m的小断层	f
	IV-2			g _m
V	构造节理、层面节理	连续性差，延伸长几十厘米至数米不等，成组出现或随机出现，统计规律	随机分布，影响岩体的完整性	J

I级：指大断层或区域性断层，一般延伸约数公里至数十公里以上，破碎带宽约数米至数十米乃至几百米以上。有些区域性大断层往往具有现代活动性，给工程建设带来很大的危害，直接关系到建设地区的地壳稳定性，影响山体稳定性及岩体稳定性。所以，一般的工程应尽量避免，如不能避开时，也应认真进行研究，采取适当的处理措施。

II级：指延伸长而宽度不大的区域性地质界面，如较大的断层、层间错动、不整合面及原生软弱夹层等。其规模贯穿整个工程岩体，长度一般数百米至数千米，破碎带宽数十厘米至数米。常控制工程区的山体稳定性或岩体稳定性，影响工程布局，具体建筑物应避免或采取必要的处理措施。

III级：指长度数十米至数百米的断层、区域性节理、延伸较好的层面及层间错动等。宽度一般数厘米至1m左右。它主要影响或控制工程岩体，如地下洞室围岩及边坡岩体的稳定性等等。

IV级：指延伸较差的节理、层面、次生裂隙、小断层及较发育的片理、劈理面等。长度一般数十厘米至20~30m，小者仅数厘米至十几厘米，宽度为零至数厘米不等。是构成岩块的边界面，破坏岩体的完整性，影响岩体的物理力学性质及应力分布状态。该级结构面数量多，分布具随机性，主要影响岩体的完整性和力学性质，是岩体分类及岩体结构研究的基础，也是结构面统计分析和模拟的对象。

V级：又称微结构面。指隐节理、微层面、微裂隙及不发育的片理、劈理等，其规模小，连续性差，常包含在岩块内，主要影响岩块的物理力学性质。

（说明：挤压带一般延伸不长，且不一定有断层物质）

上述5级结构面中，不同级别的结构面，对岩体物理力学性质的影响及在工程岩体稳定性中所起的作用不同。如I级结构面控制工程建设地区的地壳稳定性，直接影响工程岩体稳定性；II、III级结构面控制着工程岩体物理力学作用的边界条件和破坏方式，它们的组合往往构成可能滑移岩体（如滑坡、崩塌等）的边界面，直接威胁工程的安全稳定性；IV级结构面主要控制着岩体的结构、完整性和物理力学性质，是岩体结构研究的重点，也是难点，因为相对于工程岩体来说III级以上结构面分布数量少，甚至没有，且规律性强，容易搞清楚，而IV级结构面数量多且具随机性，其分布规律不太容易搞清楚，需用统计方法进行研究；V级结构面控

制岩块的力学性质，等等。但各级结构面是互相制约、互相影响，并非孤立的。结构面代号见表 3.3 所示。

表 3.3 结构面代号补充

代号	F	G	f	gm	Jm	Jx	Jc	Jn
表示意义	III级及以上断层	III级及以上构造挤压带	IV级小断层	IV级挤压面	节理密集带	卸荷裂隙	剪切裂隙	张开夹泥裂隙

根据规模划分的结构面分级中，I~IV 级结构面总体表现出连续或近似连续、并有确定的延伸方向和延伸长度以及有一定厚度的影响带等特点，相比之下 V 级以下结构面则是随机断续分布、延伸长度较小的硬性接触等特点，而且在数量上后者也远大于前者。根据结构面一般的描述方法，在多个工程经验的基础上，应分别针对 I~IV 级结构面提出一套不同的描述体系。

(3) 结构面性状

结构面性状见表 3.4 所示：

表 3.4 结构面性状

类型	工程类型	结构面特征
刚性（硬性）结构面	胶结（愈合）	两侧岩石与充填物结合紧密，胶结愈合，强度高，呈焊接状
	闭合	面平直粗糙，结合紧密，有一定胶结，强度较高
软弱结构面	蚀变	面平直粗糙，结合紧密，面上有绿泥石、绢云母等蚀变矿物，强度较低
	岩块岩屑型	面平直~起伏，充填岩块、岩屑，无胶结
	岩屑夹泥型	面平直~起伏，充填岩块、岩屑，局部夹泥，面附泥膜，无胶结
	泥夹岩屑型	面平直~起伏，充填岩块、岩屑，泥化糜棱岩断续分布，无胶结
	全泥型	面平直粗糙，张开，充填泥化糜棱岩、断层泥且连续分布
张开结构面	张开	面平直粗糙，张开无充填，无接触或点接触，无胶结，强度低

破碎带结构分类见表 3.5 所示。

表 3.5 破碎带结构分类

类型		破碎带特征	
单结构	破裂岩型	由蚀变破裂岩或岩块构成的“断层”带，无明显断层面	
	压片岩型	由挤压片理或扁平状透镜体构成，胶结好	
复结构	硬接触型	单面硬接触型	一个主裂面，由碎裂岩、碎块岩构成，无软弱物质
		双面硬接触型	两个或多个主裂面，由碎裂岩、碎块岩构成，无软弱物质
	含软弱物质型	单面含软弱物质型	一个主裂面，物质组成中具有连续或断续分布的泥化糜棱岩、断层泥等软弱物质
		双面含软弱物质型	两个或多个主裂面，物质组成中具有连续或断续分布的泥化糜棱岩、断层泥等软弱物质

(4) I~IV级结构面描述指标体系

I~IV级结构面描述指标体系见表 3.6 所示。

表 3.6 结构面描述指标体系表

内容		指标体系				
破碎带	物质组成	构造描述	破裂岩、构造角砾岩、碎裂岩、糜棱岩、断层泥、次生泥、岩脉、矿脉、构造透镜体			
		工程地质描述	单矿物或脉体	当结构面为岩脉或蚀变矿物充填时，结构面物质以单矿物组分为主，根据充填物组分的差异，按下述情形描述：石英脉、方解石脉、片状绿泥石、绿帘石等。		
	非单矿物		对包含破碎带的结构面而言，结构面物质组分的描述可采用其颗粒组成，这是因为颗粒组成与结构面工程地质特性有着最为密切的联系。为了查明研究区结构面物质组成的基本情况，可采用现场筛分的方式，以粒度成分分析为基础，为了对结构面的物质组成有一个较为系统的描述，将结构面物质定义为以下四种类型：即泥 (<0.075mm)、岩屑 (0.075~2mm)、砾 (2~60mm，其中又可分细砾 2~5mm，中砾 5~20mm 和粗砾 20~60mm)、岩块 (>60mm)。根据结构面中上述四种物质类型所占的比例，可按以下原则对结构面物质组成进行定名描述： a. 结构面中某种成分占绝对优势 (>90%)，则以单成分进行命名，如砾型等。 b. 结构面中主成分含量在 70~90%，次成分含量 10~30%，则以“含 XX 主成分”命名，如含屑砾型。 c. 结构面中主成分含量 50~70%，次成分含量 30~50%，命名时次成分冠于主成分之前，如岩屑砾型 d. 结构面中若夹断层泥或次生泥，则在名称前冠以“夹泥 XX 型”命名。			
	破碎带结构类型	单结构	裂隙型	结构面为裂隙型，结构面两侧岩体完整，无明显构造破坏，但裂面平直，延伸较远。		
			破裂岩型	由蚀变破裂岩或岩块构成的“断层”带，无明显断层面。		
			压片岩型	由挤压片理或扁平状透镜体构成，胶结好。		
		复结构	硬接触型	单面硬接触型	破碎带中包含有一个典型的裂隙型破裂面，此破裂面可位于破碎带的上、中、下部位，破碎带内物质固结紧密。	
				双面硬接触型	破碎带中包含两个裂隙型破裂面，破裂面常位于破碎带的两侧，带内物质固结紧密。	
			含软弱物质型	破碎双屑（泥）型	破碎带结构为中间有 0.5~2cm 的岩屑、或含屑泥、或片状绿泥石夹层，两侧为砾型或岩块型构造岩的破碎带，一般性状较差。	
				破碎双裂夹屑（泥）型	破碎带具有两个夹屑（或泥）的破裂面，位于破碎带的上、下侧。	
破碎单裂夹屑（泥）型	破碎带具有一个夹屑（或泥）的破裂面，位于破碎带的上侧或下侧。					
影响带	影响带位于破碎带或主裂面的两侧，由碎块（大于 60cm）或透镜体（长轴大于 60cm）彼此镶嵌而成，隙间多充填破裂物。影响带的描述主要反映影响带的构造破碎情况，可采用岩体结构的描述术语进行描述： （1）次块状结构：影响带有 2~3 组裂隙发育，岩体被切割成 0~50cm 块径的次棱角块体； （2）似层状结构（裂隙密集带）：影响带通常为裂隙密集带，岩体由于密集节理切割呈“似层状”； （3）似层状碎裂结构：影响带通常表现为有一组裂隙稳定发育，将岩体切割为似层状，而另外 2-3 组裂隙随机发育，岩体被切割为 10~30cm 的岩块； （4）碎裂结构：影响带通常表现为 2-3 组裂隙密集发育，岩体被切割为 5~20cm 的碎块。					
断	蚀变特征	碳酸盐化、绿泥石化、绿帘石化、绢云母化、硅化				

层性 状 描 述	风化状态	微风化：零星轻微浸染，有水蚀痕迹 弱风化：普遍浸染，或呈淡黄色，有岩粉、岩屑 强风化：带内疏松，呈黄褐色或褐色
	胶结类型	好：硅质或硅化胶结、绿帘石 较好：完整方解石脉 中等：局部方解石脉或方解石团块 差：岩屑、粉或少量钙质，片状绿泥石
	密实程度 (破碎带)	密实：胶结好，紧密，片理闭合 中密：胶结中等（钙质或方解石脉），局部微张 疏松：胶结差与中等之间，呈架空状 松散：胶结差，呈散体
	起伏（粗糙度）特征	平直+镜面、光滑、粗糙 波状+镜面、光滑、粗糙 阶坎+镜面、光滑、粗糙
	地下水（渗流）	干燥、潮湿、湿润、浸水、滴水、股状涌水
	断层泥状态	硬质—软化—流动
	糜棱岩状态	固化—碎质—泥化

描述顺序：

1.结构面（断层型）的构造描述

A. 结构面的构造分带（包括：破碎带、影响带）；B. 构造岩划分（主要有以下七类）；

C. 蚀变特征

2.破碎带物质组成的工程地质描述。

A. 单矿物组成的描述；B. 破碎带物质组分的描述（岩块、砾、岩屑、泥）；C. 根据结构面中上述四种物质类型所占的比例综合定名。

3.破碎带结构类型描述

A. 单结构型；B. 复结构型。

4.破碎带胶结和密实状态描述

A. 胶结类型；B. 密实程度

5.影响带的描述

结构面中的构造岩一般属脆性变形环境下形成的碎裂岩系列，可进一步分为四类，见表3.7所示：

表 3.7 主要构造岩类

类型	特征
破裂岩	由碎块及充填隙间的碎裂物固结而成，可进一步分为粗裂岩和嵌裂岩两类，分布在断层影响带、挤压破碎带和松弛拉张带中。
(构造)角砾岩	由构造角砾和碎裂物组成，角砾碎块多呈尖棱角状，棱角状，大小相混杂乱相积，相对位移后难以恢复原位。胶结物为泥质、硅质、铁质和钙质等，其本身显微粒级破碎物（即一些较大的碎斑、碎屑物），亦可作为较高一级角砾岩的胶结物。其中（1）构造角砾：砾径为2cm~60cm，其中磨圆或压扁者可称为磨砾或眼球体或透镜体；（2）碎裂物：砾径小于2cm，可分为三类：（a）碎斑（0.2cm~2cm），肉眼可分辨；（b）碎粒（0.02cm~0.2cm），手搓可感，镜下可辨；（c）碎粉（<0.02cm），呈粉状。
磨砾岩	为断裂带中的角砾岩，其角砾不完全是棱角状的，常见到次棱角状、扁豆状、次圆状，甚至浑圆状，具有一定的磨圆度，系滚动碾磨所致。与角砾岩相对比，磨砾的悬殊不大；碎基含量增加，胶结物多为碾磨更细的碎屑和磨砾，次生胶结物相对减少。
碎裂岩	系指岩石受到相对轻微的不同力学性质的裂隙的切割、裂割、相互穿插，密集排列或大致平行，抑或杂乱交错。明显的特征是：碎块间无较大的相对位移，原岩整体结构略有破坏，似较完整。由于脆性断裂带中颗粒的大小是应变的一种表现，随着受力作用的强化，粒化加剧，粒级变细，碎基增加，根据碎基粒级的大小可以将碎裂岩分为三类：碎斑岩、碎粒岩、碎粉岩（见角砾岩说明）。其中碎裂物含量大于50%。
糜棱岩	是碎裂岩类进一步受力作用的产物，是一种强烈碎裂粒化的岩石，尚未泥化或水化。由于糜棱岩类的岩石，一般都具有固态流动等所造成的条带状的构造，故在野外常常位于劈理、片理、构造透镜体和挤压带上，尤其在滑动面上、擦痕面和动力薄壳上，更为发育。具有以下五个方面的特点：（1）糜棱结构；（2）应力矿物；（3）优选方位；（4）光性异常；（5）带状构造。
构造透镜体	力学属性有两种：（1）压性。常见，特别是呈藕节形的（即中间有导脉相连）；（2）压扭性。透

	镜体的形状呈拉长的菱形状、S形和反S形等，两头尖端指示扭动方向；透镜体的排列呈斜列型，之间不再具有导脉相连，为压扭应力所致。
断层泥	破碎带中的碎裂物因泥化、水化等作用蚀变成粘土矿物（如绿泥石、碎裂岩等），主要特征是它具有可塑性，其中碎裂物含量大于50%。

(5) V级结构面描述指标体系

根据国际岩石力学学会推荐的裂隙描述方法及国内水电部门的实际，对岩体裂隙的测量和描述，采用表 3.8 所列十项指标作为节理（裂隙）描述体系。

表 3.8 V级结构面（基体裂隙）描述指标体系

描述项目		说明		
基体结构面描述	几何特征	1	方位（产状）	结构面的空间位置，用走向、倾向和倾角表示
		2	组数	组成相互交叉裂隙系的裂隙组的数目，岩体可被单个结构面进一步分割
		3	间距	相邻结构面之间的垂直距离，通常指的是一组裂隙的平均间距或典型间距
		4	延续性及迹长	在露头中所观测到的结构面的可追索长度及结构面在露头上的出露长度
	性状特征	5	（结构面侧壁）隙壁粗糙度（起伏）	固有的表面粗糙度和相对于结构面平均平面的起伏程度
		6	（结构面侧壁）隙壁抗压强度	结构面相邻岩壁的等效抗压强度，是结构面在形成过程中由于受力而破坏或由于岩浆后期的热液作用可能使岩块内部也趋于弱化，因此，结构面隙壁的力学强度与充填物一样，控制着结构面的力学性状
		7	张开度	结构面两相邻岩壁间的垂直距离，其中充填有空气或水
		8	充填物	指被充填的裂隙中充填物质的厚度
		9	渗透	分析结构面是否存在渗流以及渗流流量，对于评估结构面的力学性能和对岩体中有效应力的改变以及预测岩体稳定性和施工困难，均有意义
	几何特征	10	块度	系指被结构面切割而成的岩石块体大小程度

描述方法说明：

1) 方位：裂隙产状的描述采用了水电部门的习惯用法，即“走向（象限角）/倾向∠倾角”的形式。

2) 组数：用测线法测量后，用节理等密图表示节理或裂隙的优势发育方位

3) 间距：现场测量的裂隙视间距采用视间距需换算为裂隙的真间距（即同组两条裂隙间在洞壁上的垂直距离）。国际岩石力学学会推荐的标准如表 3.9 所示。

表 3.9 节理、裂隙间距的描述

间距（cm）	<2	2~6	6~20	20~60	60~200	200~600	>600
详细描述	极窄的间距	很窄的间距	窄的间距	中等间距	宽间距	很宽的间距	极宽的间距

4) 延续性及迹长：迹长：裂隙的延续性是表征裂隙可见长度的一个定性描述指标，它是在露头中所观测到的结构面的可追索长度。

由于平洞尺寸及测网大小的限制，在测网内能直接观测到裂隙全迹长的机会是不多的，多数的裂隙会以不同的形式与测网相交切，根据裂隙与测网的关系，实际能测量的有以下三种迹长形式（见图 3.1 所示）：

全迹长：裂隙的两个端点在平洞上下界测线位置以内，裂隙的可见迹长。

半迹长：裂隙的一端延伸出平洞顶、底界外，而另一端在洞壁出现，且与中线相交时，裂隙在中测线上的交点与裂隙在洞壁上的端点之间距离定义为裂隙的半迹长。

截（断）半迹长：是裂隙的一端在洞壁上，另一端延伸至洞壁以外的情形，裂隙在中测线上的交点至裂隙与洞顶、底界交点之间的距离定义为裂隙的截半迹长。

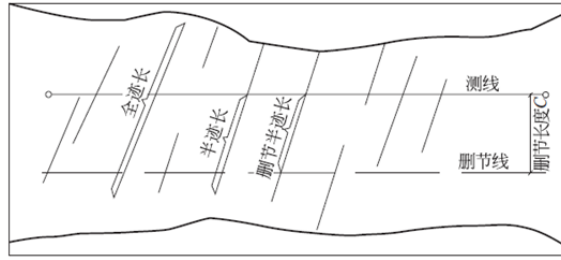


图 3.1 测线与迹长之间的关系

裂隙的延续性是表征裂隙可见长度的一个定性描述指标，它是在露头中所观测到的不连续面的可追索长度，也就是笼统的迹长。在测量露头 and 测网有限的情况下，它本身不具备任何的绝对值涵义。对延续性的描述，采用了表 3.10 的标准：

表 3.10 节理、裂隙延续性描述及对应长度

延续长度 (m)	<1	1~3	3~10	10~20	>20
描述	延续性很差	延续性差	中等延续	延续性好	延续性很好

5) 粗糙度 (起伏度): 根据国际岩石力学学会的建议, 现场对结构面起伏粗糙程度的描述可分九级标准, 它们与 Barton 的裂面粗糙度系数 *JRC* 有对应的关系 (见表 3.11)。

表 3.11 节理、裂隙粗糙度描述

粗糙度		等级	JRC	典型剖面
阶坎状	粗糙的	9	16-18	
	光滑的	8	16-14	
	镜面的	7	14-12	
波状	粗糙的	6	12-10	
	光滑的	5	10-8	
	镜面的	4	8-6	
平直	粗糙的	3	6-4	
	光滑的	2	4-2	
	镜面的	1	2-0	

6) 隙壁强度 (回弹值): 指结构面侧壁抵抗均布压力而保持其自身完整性不被破坏的能力。隙壁强度主要决定于岩石类型和风化程度。隙壁强度可由回弹仪来测定。亦可用隙壁的风化程度来表征。即土状的 (或全风化的)、酥状的 (或强风化状的)、弱风化状的、微风化~

新鲜状的。

7) 张开度：指不连续面两相邻岩壁间的垂直距离，采用表 3.12 的标准进行描述，张开度是描述裂隙结构特征的一个重要指标。裂隙的张开度除直接影响了岩体的变形和强度特性外，更为重要的是，它几乎控制了裂隙岩体的水力学特性。对张开度的测量，严格来说应使用专门的塞尺。节理、裂隙的张开度通常不大，一般 $<1\text{mm}$ ，但在以下三种情况下产生的裂隙，可能具有较大的张开度：（1）波状的和具有较高粗糙度的裂隙发生过剪切位移以后；（2）张性裂隙，特别是在河谷侵蚀或冰川后退而发生的拉伸作用下形成的；（3）已有的裂隙经冲刷或溶蚀而被改造了的。一般用厚薄规或刻度尺测量裂隙张开度。

表 3.12 节理、裂隙张开度描述

张开度	$<0.1\text{mm}$	0.1mm~ 0.25mm	0.25mm~ 0.5mm	0.5mm~ 2.5mm	2.5mm~ 10mm	1cm~ 10cm	10cm~ 100cm	$>1\text{m}$
标准描述	很紧密的	紧密的	不紧密的， 微张开的	窄的张开	中等宽度 的	很宽	极宽	洞穴式的
	闭合~微张			裂开		张开		

8) 充填物及胶结情况：充填度是指被充填的裂隙中充填物质的厚度。充填物是指隔离结构面两相邻岩壁的物质，通常比母岩弱。现场测量中，测出被充填的结构面的最大和最小厚度，从而估计一般厚度。充填物指隔离不连续面两相邻岩壁的物质，通常比母岩弱，例如：裂隙充填物以钙膜或细脉，石英脉为主，部分充填岩屑及岩粉。主要对有充填物的裂隙而，通常按以下五级描述：即胶结好、较好、中等、差及松散无胶结。

好：硅质或硅化胶结、铁质胶结；

较好：完整方解石胶结、绿泥石；

中等：局部方解石脉或方解石团块胶结；

差：岩屑、粉或少量钙质、片状绿泥石。

9) 渗透（地下水情况）：指裂隙及附近洞壁的地下水状况（在单一的结构面中或整个岩体中可见的水流和自由水分）；分六级指标：干燥、潮湿、湿润、浸水、滴水、股状涌水。

10) 块度（体积节理数 J_v 值）：岩体中被结构面切割而成的岩石块体大小程度（见表 3.13）。严格说，该指标不属于结构面的特征，而是由结构面特点（主要为组数、间距和延续性）所决定的岩体特征之一。通常采用体积裂隙数（ J_v ）表示块体大小。主要用于表征洞室围岩的块度及围岩稳定。其定义是：在单位 1m 长度内各组不连续面的和。分别沿各组结构面的倾向设测线，各测线（每条长度为 5m 或 10m）在单位长度上所切过的结构面平均条数之和（ n ）。具体量测有以下两种：

方法一（统计窗法）：在 $2\text{m}\times 5\text{m}$ (m^2) 的岩壁上用粉笔画出 $1\text{m}\times 1\text{m}$ 的 10 个方格，量测并数出每个方格内长度 $>40\text{cm}$ 的裂隙数，同一条裂隙穿过不同方格时，当长度 $>40\text{cm}$ 时需重复计数，而长度 $<40\text{cm}$ 时不计数，最后将 10 个方格内统计的裂隙条数相加再除以 $2\text{m}\times 5\text{m}$ (m^2)，得到的数值再乘以 (1.3~1.5) 倍系数，即得近似 J_v 值。

表 3.13 岩石块体大小

体积裂隙数	$J_v(n/\text{m}^3)$	<1	1~3	3~10	10~30	>30
描述		很大的块体	大块体	中等块体	小块体	很小的块体

工作部位：仅用于地下洞室（如：厂房洞、溢洪洞、泄洪洞、放空洞、导流洞）相应的平洞内。在平洞内根据不同的风化分带，选典型洞壁分别作一组进行统计。

方法二：统计出各组节理的平均间距值，然后各平均间距值的倒数之和再加随机节理的间距值（按 5m 计）的倒数，即为 J_v 值。

二、岩体风化

岩体的风化分带划分见表 3.14 所示。

表 3.14 岩体风化带划分表

风化岩带		主要地质特征
全风化		(1) 岩石矿物全部变色，光泽已消失 (2) 岩石组织结构完全破坏，已崩解和分解成松散的土状或砂状，除石英外，其余矿物大部分风化或蚀变为次生矿物。体积变化大，仍残留有原始结构的痕迹 (3) 浸水可解体 (4) 锤击闷声，有松软感，出现凹坑，用手可捏碎 (5) 用锹可挖掘
强风化		(1) 岩石矿物大部变色，仅局部岩块保持原岩颜色 (2) 岩石组织结构大部分已破坏，小部分岩石已崩解或崩解成土，大部分岩石呈不连续的骨架或心石。风化裂隙和节理发育，裂隙普遍张开，有锈膜或大量次生夹泥充填。除石英外，长石、云母和铁镁矿物多已风化蚀变。岩体多呈碎裂结构或呈砌石状 (3) 岩石大部分变酥，板岩普遍软化，部分泥化，锤击易碎裂坍塌，力学强度明显减弱 (4) 锤击声哑，部分不够清脆 (5) 用镐撬可以挖动，坚硬部分需爆破
弱风化	上段	(1) 裂隙面大部分变色，断口中心部位仍保持新鲜岩石色泽。 (2) 岩石原始组织结构清楚完整。岩体结构松弛，节理和风化裂隙较发育，裂隙多微张或张开，裂隙间有碎屑和泥质充填，裂隙壁风化剧烈，碎裂的岩块咬合较好。沿裂隙铁镁矿物氧化锈蚀，长石浑浊、模糊，有次生泥或泥膜分布。 (3) 板岩有软化现象 (4) 节理、裂隙面附近岩块强度有所降低 (5) 在雨季探洞普遍渗水、滴水 (6) 锤击声不够清脆 (7) 开挖需用爆破
	下段	(1) 岩石仅在节理表面或裂隙面有轻微锈蚀现象，但断口仍保持新鲜岩石色泽 (2) 岩石组织结构变化小，基本保持原始完整结构，岩体结构紧密。大部分节理闭合或钙质薄膜充填，沿大裂隙有风化蚀变现象，厚度可达数毫米，或有锈膜浸染。偶见卸荷拉张裂隙，多微张，少量有次生泥充填。 (3) 锤击声清脆 (4) 开挖需用爆破
微风化 ~新鲜		(1) 保持新鲜色泽，仅大的裂隙面偶见褪色 (2) 岩体坚硬完整，组织结构无变化，保持原始完整结构。风化裂隙极少，裂隙面紧密，完整或焊接状充填，仅个别裂隙面有锈膜浸染或轻微蚀变 (3) 锤击声清脆，开挖需用爆破

注：风化分带考虑以下因素：岩石颜色与光泽、矿物成分的变化情况、岩体组织结构的变化、次生结构面的发育程度，结构面性状变化及附着物情况、物理力学性的一般变化、渗流状况、锤击声、开挖方法。

三、岩体卸荷

岩体卸荷带的分级，主要借助参考实测纵波速度并结合其主要地质特征开展，见表 3.15 所示。

表 3.15 岩体卸荷程度划分表

分级	主要地质特征	v_p (m/s)
强卸荷	卸荷裂隙普遍发育，裂隙密度较大，贯通性好，显著张开，张开宽度一般 $>10\text{cm}$ ，充填有岩屑、碎块石、岩块、植物根系，并可见条带状、团块状地表次生泥，规模较大的裂隙内部多呈架空状，岩体可见到明显的松动或有明显的变位错落现象，可见明显的阶坎状剪胀裂隙。卸荷裂隙多沿原有结构面张开，节理亦大部分张开，岩体多呈整体松弛，岩块呈干砌石状	<1800

弱卸荷	卸荷裂隙发育较稀疏，间隔成带发育，分布不均匀，间距较大，卸荷裂隙之间岩体完整，裂隙微张~张开，节理张开宽度一般<10cm，具有较好的贯通性，充填岩屑或无充填，局部或少量可见细脉状或膜状次生夹泥。个别裂隙有空气对流现象，雨季沿裂隙可见串珠状滴水或较强渗水，其它的原生节理一般呈闭合状，岩体部分松弛	1800~2500
微卸荷	较深部位，偶见卸荷裂隙，张开宽度一般<2cm，一般无充填，少数有锈染或夹泥，其它的原生节理一般呈闭合状，岩体弹性波纵波速度变化较大	2500~3500

四、倾倒岩体

根据倾倒岩体的倾角与正常岩层产状的对比及岩块互相间咬合状态、折断面状态等因素将倾倒岩体划分为强倾倒岩体和弱倾倒岩体，其划分标准详见表 3.16。

表 3.16 岩体倾倒程度划分表

分类名称	岩层倾角	地质描述
强倾倒	软弱岩层，实际倾角与正常岩层倾角相差一般>45° 脆性岩层，实际倾角与正常岩层倾角相差一般>30°	见有明显的折断面现象，折断面基本贯通，岩体中产生一系列的折断裂隙，多垂直于层面发育，延伸往往受限于岩层面，裂隙面及原生节理普遍张开，并伴有剪切错动现象，无充填或充填岩块、岩屑、次生泥和方解石晶体。岩体中岩块之间的咬合极差呈松弛状，架空明显，常表现为干砌石状
弱倾倒	软弱岩层，实际倾角与正常岩层倾角相差一般<45° 脆性岩层，实际倾角与正常岩层倾角相差一般>30°	折断面现象不明显，岩层倾角呈现连续渐变分布。岩体中岩块之间的咬合力较差，多呈镶嵌状，岩体中由于倾倒作用产生少量垂直于层面发育的裂隙，部分节理裂隙呈微张~张开状，局部有方解石晶体充填

五、岩体蚀变

岩体结构面因热液活动或水化作用等常发生蚀变。根据其特征可分为五类：

钾长石化：在破碎带中表现为裂隙壁或碎块的红化（钠长石蚀变为微斜长石等），此为地质历史时期岩浆热液蚀变产物。

黄铁矿-石英化（硅化）：表现为黄铁矿细脉及黄铁矿石英细脉沿裂隙穿插、交代，为地质历史时期热液蚀变产物。

绿帘石（石英）化：由黄绿色绿帘石（石英）脉沿裂隙充填、交代而成，脉厚一般为2~5mm。

绿泥石化：表现为深绿色绿泥石薄膜沿结构面充填，多由碎裂物蚀变而成，是野外最常见的蚀变现象。

方解石化：由方解石脉或团块充填裂隙而成，也是野外常见的蚀变现象。其中发育晶簇者多为近期构造作用形成空间后，因地下水活动而形成。

岩体蚀变的划分原则：把影响或降低岩体强度的蚀变划分出来（如：碳酸盐化、绢云母化），而对于岩体强度无影响的蚀变可以忽略（如：硅化），岩体蚀变程度划分见表 3.17 所示。

表 3.17 岩体蚀变程度划分表

蚀变程度	主要地质特征
强烈蚀变	矿物全部变色，光泽消失。岩石的组织结构完全破坏，呈疏松的、浅灰白色的粉末状或砂状。岩块强度显著降低。锤击有松软感，地质锤可挖动，属软岩
中等蚀变	矿物部分变色，只有部分岩块保持原有颜色。岩石的组织结构大部分已破坏。沿裂隙面或隙壁周边出现风化晕带，岩块强度明显降低，属中等坚硬岩。锤击哑声，部分较疏松，易碎
轻微蚀变	仅沿节理面产生蚀变。岩石原组织结构清楚完整。岩石中部分矿物蚀变，岩块强度有所降低，仍表现为坚硬岩。锤击声较脆

六、岩体结构

岩体的结构类型划分见表 3.18 所示，完成程度分类见表 3.19。

表 3.18 岩体结构分类表

类型	亚类	岩体结构特征
块状结构	整体状结构	岩体完整, 呈巨块状, 结构面不发育, 间距大于 100cm
	块状结构	岩体较完整, 呈块状, 结构面轻度发育, 间距一般 100cm~50cm
	次块状结构	岩体较完整, 呈次块状, 结构面中等发育, 间距一般 50cm~30cm
层状结构	巨厚层状结构	岩体完整, 呈巨厚层状, 结构面不发育, 间距大于 100cm
	厚层状结构	岩体较完整, 呈厚层状, 结构面轻度发育, 间距一般 100cm~50cm
	中厚层状结构	岩体较完整, 呈中厚层状, 结构面中等发育, 间距一般 50cm~30cm
	互层状结构	岩体较完整或完整性差, 呈互层状, 结构面较发育或发育, 间距一般 30cm~10cm
	薄层状结构	岩体完整性差, 呈薄层状, 结构面发育, 间距一般小于 10cm
镶嵌结构	镶嵌结构	岩体完整性差, 岩块嵌合紧密~较紧密, 结构面较发育到很发育, 间距一般 30cm~10cm
碎裂结构	块裂结构	岩体完整性差, 岩块间有岩屑和泥质物充填, 嵌合中等紧密~较松弛, 结构面较发育到很发育, 间距一般 30cm~10cm
	碎裂结构	岩体较破碎, 岩块间有岩屑和泥质物充填, 嵌合较松弛~松弛, 结构面很发育, 间距一般小于 10cm
散体结构	碎块状结构	岩体破碎, 岩块夹岩屑或泥质物, 嵌合松弛
	碎屑状结构	岩体极破碎, 岩屑或泥质物夹岩块, 嵌合松弛

类型理解: 层状结构岩体指具有各向异性的沉积岩或浅变质岩结构岩体, 其余结构一般无各向异性, 相对均质。镶嵌结构一般指块状构造的岩浆岩岩体, 未成层。

表 3.19 岩体完整程度定性分类表

完整程度		完整	较完整		较破碎		破碎		极破碎	
结构面发育程度	组数	1~2	1~2	2~3	2~3	≥3		≥3	无序	
	平均间距 (m)	>1.0	>1.0	1.0~0.4	1.0~0.4	0.4~0.2		0.4~0.2	≤0.2	
主要结构面的结合程度		结合好或结合一般	结合差	结合好或结合一般	结合差	结合好	结合一般	结合差	结合一般或结合差	结合很差
主要结构面类型		裂隙、层面	裂隙、层面		裂隙、层面、小断层			各种类型结构面		
岩体结构类型		整体块状或巨厚层状结构	块状或厚层状结构	块状结构	裂隙块状或中厚层状结构	镶嵌碎裂结构	中、薄层状结构	裂隙块状结构	碎裂状结构	散体状结构

七、岩土渗透性

岩土体渗透性分级见表 3.20 所示。

表 3.20 岩土渗透性分级

渗透性等级	标准		岩体特征	土类
	渗透系数 K (cm/s)	透水率 q (Lu)		
极微透水	$K < 10^{-6}$	$q < 0.1$	完整岩体, 含等价开度 < 0.025 mm 裂隙的岩体	粘土
微透水	$10^{-6} \leq K < 10^{-5}$	$0.1 \leq q < 1$	含等价开度 0.025~0.05mm 裂隙的岩体	粘土~粉土
弱透水	$10^{-5} \leq K < 10^{-4}$	$1 \leq q < 10$	含等价开度 0.05~0.1mm 裂隙的岩体	粉土~细粒土质砂
中等透水	$10^{-4} \leq K < 10^{-2}$	$10 \leq q < 100$	含等价开度 0.1~0.5mm 裂隙的岩体	砂~砂砾
强透水	$10^{-2} \leq K < 10^0$	$q \geq 100$	含等价开度 0.5~2.5mm 裂隙的岩体	砂砾~砾石、卵石
极强透水	$K \geq 10^0$		含连通孔洞或等价开度 > 2.5 mm 裂隙的岩体	粒径均匀的巨砾

第二节 结构面调查

一、结构面采样要求

由于结构面在岩体中分布的随机性以及提供调查露头的局限性，因此，如何查明结构面的性状特征。目前在这方面的工作主要遵循了两条主要途径：统计方法和非确定性的概率模型方法。

(1) 结构面在岩体中的分布具有确定性和随机非确定性。因而对结构面的研究，既应采用确定性的方法，通过露头调查获得具体实际的岩体结构参数，同时，又应该综合考虑调查露头的有限性乃至局限性对调查结果的影响，充分利用非确定性概率模型探讨对岩体结构的进一步准确描述。

(2) 确定性方法与非确定性方法相结合、露头调查与概率模型相结合、整体与局部相结合，从综合的途径探讨岩体结构面的分布特征及发育规律，这正是岩体结构研究的基本出发点。显然岩体结构的现场调查是其重要基础，因而有必要使现场调查技术规范、系统化，即应用上述结构面描述指标体系，针对不同的研究问题，形成岩体结构现场调查系列技术、操作方法、规范化表格和相关的数据库管理和处理分析技术。

采样分区要求：

(1) 确定采样在同一结构区。

(2) 保证采样的系统、客观、科学性，采样前对工程区岩体进行结构区划分，把岩性相同、地质年代相同、岩体结构类型相同的结构区作为采用的同一结构区，分区采样分区模拟。

(3) 同一露头数量不足应在同一区其它露头采用，不可跨区采样。

(4) 采样同一结构区应根据岩体的宏观结构特征及地质条件划分。野外不易划分，可根据样本观测值的统计相似性进行划分。

采样露头面选择：

(1) 选择露头好的面，以便保证方便和精度。在三个正交的露头面上采样，若无法满足，尽量采用大角度相交的面。

(2) 选择平坦的露头面采样，面不平容易引起迹长等误差，面太平不易测量产状。

(3) 选择新鲜、未扰动、未遭受爆破、破坏、风化剥蚀、植物生长等的露头面采样。

(4) 选择大的露头面采样，保证数量；选择铅直的露头面，保证精度。

对露头面的观察、描述、记录：

(1) 描述露头面条件：包括露头面的产状、尺寸、类型（自然坡、隧道侧壁面、隧道掌子面等等）、岩石类型、风化、剥蚀、爆破松动情况等。

(2) 区别主要结构面和次要结构面：由于结构面的规模对岩体性质影响不同，通常划分主要结构面和次要结构面。

(3) 对结构面进行分组，根据结构面的发育规律、优势结构面方位、结构面宏观性质等进行分组。

二、结构面的调查方法

对岩体结构的第一步认识主要通过现场调查来实现。岩体结构的各种自然特征或性质总含有一随机性，因而只有从足够的测试资料中求出统计规律，才能准确地取得用于岩体稳定性分析评价的代表性征指标，而这一切必定是建立在系统、可靠的调查方法之上。现场调查

的本质是运用地质理论知识，对地质体和地质现象进行观察、描述和测量，以取得实际的地质资料，研究其特征和演变过程，探讨各种地质要素的相互关系，追索空间上和时间上的地质变化过程，这是一切地质工作的共同基础，也是认识岩体结构特征最为有效的方法，同时有效的应用各种新技术、新理论，必将提高对地质体认识的精度和深度。

岩体中的 I~IV 级结构面方位明确，分布相对比较集中，一般都列为专门性调查对象。V 级结构面，亦即岩体中可目测的裂隙系统，则是随机、大量分布，因而在现场调查中需要作为统计的主要对象，有多种量测方法，如测线法、普遍测网法、全迹长测量法、迹长估计法以及岩芯裂隙测量法（RQD）等。

岩体中的 I~IV 级结构面的现场调查，是以专门、逐条、逐点的方式进行的。一般可采用如下步骤：

（1）现场调查工作中，对揭露的每一条结构面，按前述描述指标体系逐点记录，点距一般为 0.5~1.0m；并建立该结构面的在此揭露点的档案。

（2）将在不同露头或平洞中调查到的同一结构面资料汇总于总结表，以获得对该结构面的空间展布规律、构造特征和工程地质特征的总体认识。

（3）将上述表格内容纳入数据管理系统，实现数据信息的科学、有效管理，为进一步分析提供所需的信息。

岩体 V 级（岩体裂隙）结构面是指岩体中随机发育的硬性裂隙型结构面，也称岩体裂隙。这类结构面在岩体中大量发育，随机展布，构成岩体结构最基本的层次；它不仅控制了岩体的基本力学特性，而且在一定条件下，可以构成工程岩体失稳的潜在几何和力学边界，在典型的节理岩体中，它还是局部岩体失稳最具普遍意义的控制边界。因此，对岩体结构面的研究一直为大型工程所重视。

现场测量及数据获取主要工作要点：

（1）根据前述的测网形式和布置方式在洞壁上布置好测网和测线；

（2）准备好以下形式的裂隙调查记录表格和绘图纸；

（3）首先测量精测网内的裂隙：对每一条裂隙，根据其出露情况按 1:20 的比例将其准确地描绘在绘图纸上，然后，根据上述指标体系，观测描述裂隙，并逐项记录在表格上。

（4）对粗测网内的裂隙，除了不作绘图描述外，其观测与记录内容与精测网一致。

（5）裂隙测量记录完毕后，分别以中测线和上下两条辅助测线为基线，测量这三条测线上的 RQD 值，并取其平均值代表测量段岩体在水平方向上的 RQD 值；同样，取竖直的中测线和两侧的边测线为基线，分别测量三条测线在垂直方向上的 RQD 值，并取其平均值代表测段岩体在垂直方向上的 RQD 值。

（6）最后，对测段岩体作综合描述，包括岩性、层位、岩体的风化卸荷、岩体结构类型、地下水状况、岩体质量的初步分级及其它重要的地质现象等。

三、结构面调查的测线法

测线法由Robertson和Piteau于1970年提出来，它是在岩石露头表面布置一条测线，逐一测量与测线相交切的各条结构面的几何参数。由于露头面的局限，准确测量结构面迹长非常困难，一般只能测量到结构面的半迹长或删节半迹长，结构面半迹长是指结构面迹线与测线的交点到迹线端点的距离，在测线一侧适当距离布置一条与测线平行的删节线，测线到删节线之间的距离称为删节长度，结构面迹线处于测线与删节线之间的长度便称为删节半迹长，半迹长是针对与测线相交且端点在删节线内侧的结构面，删节半迹长是针对同时与测线和删

节线相交的结构面，在一次采样中，结构面半迹长应统计布置有删节线一侧的长度，另一侧则不在采样之列，为了保证采样的系统、客观、科学，应在采样前对研究区工程岩体进行结构区的划分，把岩性相同，地质年代相同，构造部位相同，岩体结构类型相同的结构区作为采样同一结构区，结构面采样和统计分析应在同一结构区内进行，在采样中应尽量选择条件好的露头面，这样不仅采样方便，更能保证采样精度，一般应尽量选择平坦的、新鲜的、未扰动的、出露面积较大的铅直露头面进行采样，并尽可能在三个正交的露头面上采样，在露头面上确定出采样区域、布置测线和删节线，删节线应与测线平行，删节长度应根据露头面的具体情况和结构面规模来确定，记录测线的方位、删节长度，从测线一端开始逐条统计与测线相交的每条结构面，包括结构面位置、产状、半迹长、删节半迹长、端点类型、张开度和类型、观察结构面的胶结和填充情况以及结构面的含水性等，结构面端点划分为三种类型（见图3.2所示）：（1）结构面端点中止于删节线与测线之间；（2）结构面端点中止在另一条结构面上，即被另一条结构面所切；（3）结构面延伸到删节线外。

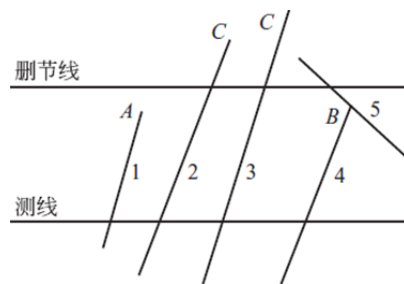


图3.2 结构面端点图

结构面的成因类型，可用不同的符号表示，进行结构面统计分析#应有一定数量的结构面样本，建议统计样本数目应介于80-300条之间，一般情况下可取150条。

测线法（见图3.3）的基本做法是在岩石天然露头或人工开挖面内布置一条量程较大的皮尺，首先测量皮尺的倾伏向和倾伏角，然后对与皮尺相交的结构面，逐条记录其桩号里程（与皮尺起始点的距离）、产状、迹长、隙宽等信息。根据迹长的数据特征，测线法又可分为全迹长测线法和半迹长测线法，

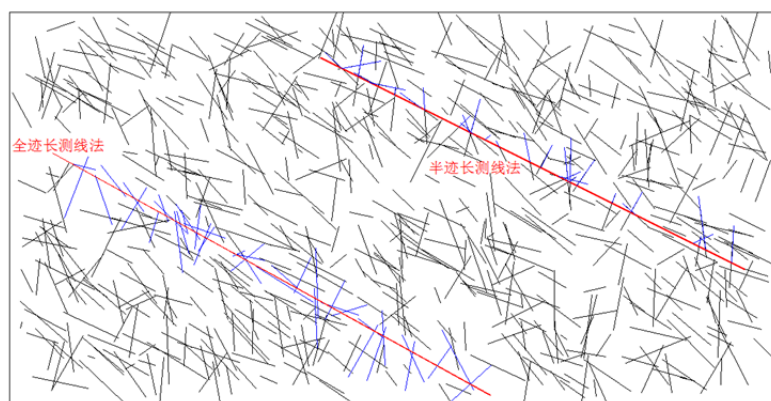


图3.3 结构面迹长测线法

顾名思义，全迹长测线法就是记录所有与测线(皮尺)相交的结构面全迹长，半迹长测线法就是记录所有与测线(皮尺)相交的结构面半迹长。由于一般工程场地都无法满足全迹长测线法的基本要求，因而半迹长测线法应用颇广，其中半迹长既可为测线以上的结构面迹线长度，也可为以下长度，若是竖直测线，则测线左右迹线长度均可。需要指出的是，即使对于半迹长测线法，由于岩体结构面的多尺度性，对于一些迹长极为短小、但数量又相当庞大

的微小结构面（V级结构面或短小的IV级结构面），在测量过程中难以分辨或即使能分辨但在计算机中也难以全部生成，因此需设置截短值C1，小于此值的半迹线不予测量；另由于野外场地的限制，会存在相当数量的迹线端点无法达到，如位置太高、太险等情况，因此需设置截长值C2，大于此值的半迹线一般只统计数量。因此，实测的半迹线长度落在区间[C1，C2]。需要注意的是，截短值和截长值是针对半迹线的长度而言，并不是平行于测线画两条距测线为C1和C2的删节线再测量的意思。

四、结构面调查的普遍测网法

测窗法由 P. H. S. W. Kulatilake 和 T. H. Wu 于 1984 年提出，根据窗口形态可分为矩形测窗法和圆形测窗法（见图 3.4）。

普遍测网法即在研究区范围内布置大量的岩体裂隙测网，对各部分工程岩体实施有效的控制与覆盖，在通过现场的精细测量获得单个测网详细岩体结构特征指标的前提下，采用统计的方法，提出工程区各区段或各具体工程部位的岩体结构参数。实际上，这是一种基于统计学的确定性模型方法，其基本出发点就是当采样的点数足够多时，具有统计意义的参数估计（数学期望）可以逼近其真实值。当工程区有足够的勘探工作，并能对整个工程区的岩体结构作到基本有效的控制时，采用这种调查-研究方法是最好的，因为这种方法所提供的信息量及它在有效地提供不同部位岩体结构参数方面所显示的优越性是其它方法所不能比拟的。

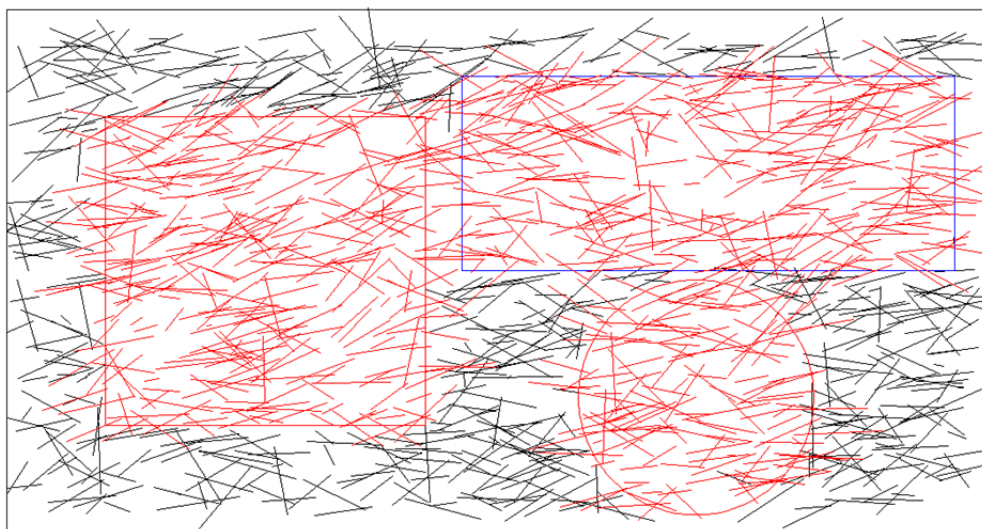


图 3.4 结构面普遍测网法

具体操作方法是首先选取较好的露头，在岩体露头出露面上布置一个长为 a 、宽为 b 的矩形范围即统计窗口，首先确认窗内结构面与统计窗的位置关系（结构面与窗口的关系有三种分别是：包容关系，迹线两端点都在窗口内；相交关系，迹线的一个端点在窗口内；切割关系，迹线的两端点都在窗口外，但有部分迹线落在窗口内）即统计落在统计窗内的所有结构面，再描述和记录每条结构面的走向、倾角、可见迹长、粗糙度、结构面张开度以及充填情况等。

显然，用测窗法采集获得的结构面几何参数资料比测线法更为丰富、翔实。围绕上述指标的获取进行的，主要工作要点：

- (1) 根据前述的测网形式和布置方式在洞壁上布置好测网和测线。
- (2) 准备好以下形式的裂隙调查记录表格和绘图纸。
- (3) 首先测量精测网内的裂隙：对每一条裂隙，根据其出露情况按 1:20 的比例将其准

确地描绘在绘图纸上，然后，根据上述指标体系，观测描述裂隙，并逐项记录在表格上。

(4) 对粗测网内裂隙，除了不作绘图描述外，其观测与记录内容与精测网是一致的。

测窗法的明显缺点是无法求得迹长或直径的概率模型，因而目前只是作为测线法的补充，用以校验平均迹长的准确性。由于 IV~V 级结构面在岩体中的分布具有随机性、普遍性，破坏了岩体的完整性，影响坝肩岩体的连续性、均匀性，使岩体物理力学参数具有各向异性的特征。因此，需对 IV~V 级结构面进行重点调查，并对此进行统计分析。

采用普遍测网法对工程中的 IV~V 级结构面进行调查。普遍测网法可以在露头剖面上开展，也可以在地下平洞中开展，若在洞室中开展，首先和平洞左（右）壁上连续布置大量的测网，使之覆盖整个平洞的一侧壁。普遍测网法是以单个测网为测量基础的（见图 3.5）。由于受平洞高度的限制，单个测网的高度最多不超过 2m，通常采用 10m×2m 的单个测网。在测量过程中，可采用粗测与精测相结合的方法。

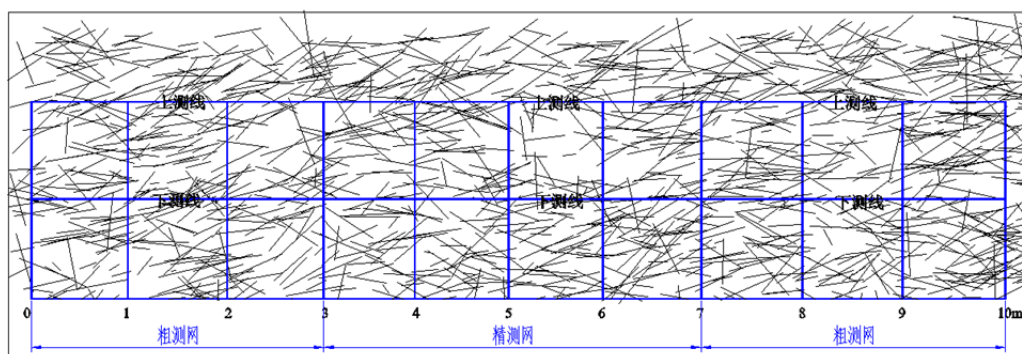


图 3.5 结构面普遍测网法（平洞洞壁）

在单个测网中，(0~3m)×2m 和 (7~10m)×2m 测量区域为粗测网，位于粗测网内的结构面需要测量的指标有：裂隙位置、产状、出露端点、张开度；(3~7m)×2m 测量区域为精测网，位于精测网内的结构面需要精测的指标有：裂隙位置、产状、间距、出露端点、迹长、延续性、粗糙度、张开度、充填物、风化与蚀变状况和地下水。参照国际岩石力学学会推荐的结构面描述方法，并结合国内外水电工程的实际经验，结构面各指标的描述方法具体见第二节结构面的指标描述体系中的内容。

第三节 钻孔岩芯编录

一、准备工作

(1) 业务准备

1) 了解工程区的基本地质情况,如地层、岩石、构造、岩石特征及岩层划分单元等; 2) 熟悉钻孔原始地质编录的有关规定,程序、要求等; 3) 熟悉工程区地质工作部署及工程布置情况; 4) 了解,熟悉钻孔施工设计即钻孔指示书。

(2) 工具、材料、表格

图包、地质锤、放大镜、三角板量角器、钢卷尺、文具盒(铅笔、橡皮擦、铅笔刀、防水墨笔等)、讲义夹、数码照相机、计算器、红油漆、白胶布,标本包装纸、样品袋等。表格及标签: ① 表格: 钻孔地质记录表、钻孔采样记录表、标本登记表、岩石体重记录表、照片记录表、录相记录表、孔深校正及弯曲度测量记录表 ② 标签: 钻孔回次标签、岩芯分层签、岩芯采样签、样签、标本签。

二、检查钻探班报表并整理检查岩芯

(1) 正式编录前应详细检查机台钻探班报表(包括孔深校正及弯曲度测量记录、简易水文观测记录表)记录的回次进尺、井深、水文观测资料等是否齐全,无误。

(2) 根据编录场地大小,将岩芯箱依井深顺序排列,仔细检查岩芯长度及编号是否正确,岩芯摆放有无拉长现象,若发现岩芯顺序有颠倒,应正确地予以调整,若发现破碎的岩芯有人为的拉长现象时,应正确地压缩后重新丈量,并通知机台当班记录更正班报表。

(3) 检查回次标签: 孔深、进尺; 岩芯长度、残留岩芯长度、回次号、回次岩芯编号等数据准确无误。若发现有误,应通知机台更正。

(4) 检查岩芯是否有错放,一旦发现,应正确地予以调整并重新编岩芯号。

(5) 岩芯编号: 大于 10cm 以上的岩芯及大于 5cm 以上的岩芯用红油漆编上号。

三、检查处理残留岩芯

(1) 残留岩芯认定

某回次的岩芯长度大于回次进尺时,超过的岩芯为“残留岩芯”。如某回次进尺 2.10m,但完整的岩芯有 2.56m,超出进尺 0.46m 的岩芯即为“残留岩芯”。残留岩芯长度一般以施工人员测量为准,在未进行残留岩芯测量,或残留岩芯测量不准时,残留岩芯处理由编录人员进行。

(2) 残留岩芯处理原则

在岩芯完整时,以本回次岩芯采取率为 100%,将超出部分推到上回次计算,如继续超出可继续上推,最多只能上推三个回次。

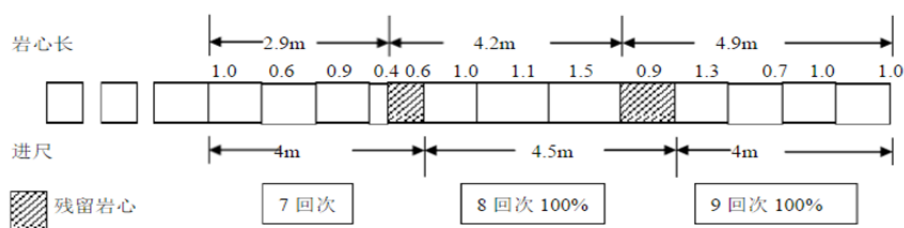


图 3.10 残留岩芯处理

例如: 图 3.10 中第 9 回次进尺 4.0m, 岩芯长度 4.9m, 大于该回次进尺 0.9m 的岩芯作为残留向上推到第 8 回次(第 9 回次采取率为 100%); 第 8 回次进尺是 4.5m, 岩芯长度 4.2m,

现加上第 9 回次上推的 0.9m 残留岩芯，岩芯长度为 $4.2+0.9=5.1\text{m}$ ，超过进尺 0.6m 继续上推至第 7 回次，则第 8 回次采取率为 100%。（改回次原采取率 93%更正为 100%）；第 7 回次原进尺 4.0m，岩芯长度 2.9m，采取率为 73%，现加上第 8 回次上推的 0.6m 残留岩芯，则岩芯长度为 $2.9+0.6=3.5\text{m}$ ，采取率为 88%，岩芯长度小于进尺，无残留上推，至此，第 9 回次残留岩芯的处理完毕，（第 7 回次的原采取率为 73%更正为 88%）。如果残留岩芯处理中，上推 3 个回次仍然超出，应查明原因，再作处理。

四、岩芯编录工作步骤

（1）首先通过钻孔值班和班报表全面了解全孔钻进情况及试验情况

收集以下资料：开工与竣工时间、孔斜、孔内变径情况、钻进方法、地下水位、试验数据（抽水、压水、注水、灌浆试验）、孔内事故等。

（2）工程岩组划分及地质构造划分

主要是覆盖层和基岩的划分以及基岩内不同岩组划分，其中：覆盖层需进行细分，细分标准参照《土的工程分类标准》（GB/T50145-2007）或《岩土工程勘察规范》（GB50021-2001（2009））。

（3）岩体风化、卸荷、倾倒变形、岩体结构类型划分

其中钻孔中的卸荷，可依据岩芯中裂隙面及充填物大致判断。

（4）岩芯性状及特征描述以及基础统计（包括：节理、RQD）

统计方法：按钻孔回次分段（即隔板间）进行数据编录。详细记录每一回次进尺、采芯长度（计算采取率）、完整岩芯长度（计算完整率）、岩芯编号、RQD（必须是：以金刚石钻进，双管采取的岩芯，一般岩芯直径 $\leq 75\text{mm}$ ，岩长中 $> 10\text{cm}$ 的岩芯记入统计，注意观察断口，因机械破碎造成的断开，应合并记入统计）。

（5）岩芯照相及取样

岩芯照相：主要勘探线部位用数码+胶片成像。胶片成像装订成册，用于归档；其余钻孔均用数码成，岩芯摄影是通过摄影手段，真实记载岩芯上获得的工程地质现象。要求：① 满足清晰、美观（纯属摄影技术方面）；② 满足对地质现象观察的要求，且使用方便；③ 采用卡片标示工程名称、孔号、孔深位置；④ 标出掉钻、塌孔、大量漏水、取样位置；⑤ 岩芯编号，层面、节理裂隙、断层采用红油漆标示。

岩芯取样：必要时可取样进行岩石常规物理力学性试验及磨片岩矿鉴定，应记录取样深度、岩号，并对岩样编号，取样处作出标记。

钻孔内地下水取样：终孔后取样，需记录取样深度。

（6）钻孔质量评定

（7）取样试验。

五、地质鉴定描述要点

（1）覆盖层描述

总体描述顺序：定名《土的工程分类标准》（GB/T50145-2007）、颜色、稠度状态（软塑、可塑、硬塑）、夹有或含有的物质组成及成分、一般粒径大小、颗粒形状及粗估含量等。

第四系覆盖层一般为冲积层、坡积层、崩塌堆积层，冰水堆层积，在钻孔中可能单一出现或多种组合出现，其基本性状及组成物质有以下几种状况：

1) 冲积层（ Q^{al} ）：漂石、卵石、砾石及粉细砂。漂石、卵石、砾石磨圆及分选性好，一般呈扁圆状、椭圆状或次圆状，绝大部分含有外来物质（如花岗岩等）。钻孔岩芯中基本

可以分辨出层理性（水平韵律结构的表现），局部见均一的粉细砂层和卵、砾石层。

2) 洪积层 (Q^{pl}): 块石、卵石、砾石及砂。块石、卵石、砾石磨圆及分选性一般~好，一般呈椭圆状、次圆状或次棱角状，均为当地物质。

3) 坡积层 (Q^{dl}): 块石、碎石或砾石质砂、粉土。块石、碎石或砾石一般呈棱角状，部分为次棱角状，在岩芯中杂乱分布，不成型，注意描述岩石的风化状态。

4) 崩塌堆积层 (Q^{col}): 大块石、块石、碎石夹砂、粉土。岩芯中的块石岩性混杂，多呈棱角状或次棱角状，注意描述岩石的风化状态。

5) 冰水堆积层 (Q^{fel}): 块石、碎石及砂、粉土。野外从上到下，块、碎石直径逐渐变小，具有明显的顺坡向韵律结构，局部可见透镜状砂穴，稳定性好，钻孔中的韵律结构基本可以区分出来，注意描述。

6) 滑坡堆积层 (Q^{del}): 块石、碎石夹砂土、粉土。块石、碎石大部分为棱角状或次棱角状，少量碎石见轻微磨圆，局部可见透镜状砂穴及韵律层。

在钻孔鉴定中，以上各岩土层的鉴定和工程细分类需按照国标《土的工程分类标准》(GB/T50145-2007) (见表3.21) 来实施。

表 3.21 土的粒组划分 (GBJ145-90)

粒级名称		粒径 (mm)	
巨粒	漂石 (块石)	$d > 200$	
	卵石 (碎石)	$60 < d \leq 200$	
粗粒	砾粒	粗砾	$20 < d \leq 60$
		中砾	$5 < d \leq 20$
		细砾	$2 < d \leq 5$
	砂粒	粗砂	$0.5 < d \leq 2$
		中砂	$0.25 < d \leq 0.5$
		细砂	$0.075 < d \leq 0.25$
细粒	粉粒	$0.005 < d \leq 0.075$	
	粘粒	$d \leq 0.005$	

土可分为以下三大类:

1) 巨粒类土: 试样中巨粒组质量多于总质量的 15% 的土, 可细分为以下三类: A. 巨粒土: 试样中巨粒组质量多于总质量的 75% 的土; B. 试样中巨粒组质量大于 50%, 小于等于 75% 的土; C. 巨粒混合土: 试样中巨粒组含量大于 15%, 小于等到于 50% 的土。

2) 粗粒类土 (细分为: 砾类土、砂类土): 试样中粗粒组质量多于总质量的 50% 的土, 可细分为以下两类: A. 砾类土: 试样中砾粒组含量大于砂粒组含量的土; B. 砂类土: 试样中砾粒组含量不大于砂粒组含量的土的土。

3) 细粒类土: 试样中细粒组质量多于或等于总质量的 50% 的土, 可细分为以下三类: A. 细粒土: 试样中粗粒组含量不大于 25% 的的土; B. 含粗粒的细粒土: 试样中粗粒组含量大于 25% 且不大于 50% 的土; C. 有机质土: 有机质含量小于 10% 且不大于 5% 的土。

(2) 基岩鉴定与描述:

1) 岩性

正确定名, 描述其颜色, 矿物成分和颗粒成分、结构、构造及矿物蚀变 (必要时取样进行岩矿鉴定)。

根据钻孔岩芯详细进行岩性分层，有覆盖层的要求查清覆盖层与基岩界线，基岩按岩性分段。

2) 岩芯状态

岩芯完整性状况的判定是依据岩芯长度来定义（见表 3.22）。

表 3.22 岩芯完整性状况

岩芯长度 (cm)	>40cm	20cm~40cm	10cm~20cm	5cm~10cm	2cm~5cm	<2cm
定名	长柱状	柱状	短柱状	块状	碎块状	碎屑状或土状

对于饼状岩芯需描述其数量、厚度（最大、最小及一般）、状态（上凸、上凹、下凸、下凹四种组合）、擦痕状况。

3) 结构面构造（断层、节理（裂隙）或板理）描述

A. 断层

描述构造发育状况：断层、挤压面发育深度、宽度、组成物质及胶结状况，擦痕倾角及力学性质等。仔细观察构造迹象，如破碎、擦痕、断层物质（糜棱岩、断层泥、角砾岩、片状岩等），注意区分构造破碎与节理破碎、机械破碎。

B. 节理（裂隙）或板理

描述节理或板理发育状况：节理或板理面的粗糙度、充填状况（铁锈、绿泥石或钙质充填）。宜结合压水资料、岩性、风化、岩体结构，按裂隙密度统计描述节理，统计缓（0~30°）、中（31~60°）、陡（61~90°）倾角分类的发育状况。

4) 风化鉴定

结合周边勘探点、剖面以及本孔实际情况、岩芯实际情况。根据风化标准确定，必要时先完成剖面图，进行勘探点对比，再确定风化深度。

5) 卸荷鉴定

根据相应岩段结构面的性状，结合附近的平洞、钻孔压水试验资料、声波资料、裂隙间充填物质及周边的地质情况，来综合判断钻孔内岩体卸荷状况。

仅作为卸荷鉴定的参考依据。

6) 蚀变鉴定

结合岩芯实际情况根据蚀变标准划分。

7) 倾倒鉴定

结合岩芯岩层实际倾角情况，根据岩层倾倒标准划分。

8) 岩体结构类型

结合岩芯实际情况，根据岩体结构类型标准确定（注意机械破碎造成的岩体结构失真）。

9) 其它

描述钻孔及岩芯中存在的特殊地质现象及钻进现象，如石英、方解石团块、溶蚀、蚀变，镜面、揉皱现象及倾倒及掉钻等。

六、钻孔室内成图及资料汇总

(1) 室内资料的整理及成图

熟悉钻孔柱状图制图程序，掌握其使用方法，综合编制成 1: 100 的钻孔柱状图。

对照钻孔野外鉴定资料，按钻孔柱状图制图程序数据库逐项填写，其中压水（或抽水及注水）试验、岩芯采取率、RQD（按工程地质分段统计）、节理密度需计算后填写，各项数据检查无误后，按要求选定比例、字体后绘制图件。保存钻孔数据文件，对钻孔图进行图面

处理，根据要求调整字体样式、大小、颜色及图面布局等。钻孔说明栏除钻孔钻进过程的简要说明外，需补充钻孔孔径、孔斜、加权平均采取率、加权平均 RQD，以及钻孔抽水、压水、注水实验成果。制图完毕，整理、制图人员签名。

(2) 资料汇总

要求完成：整个工程汇总表、各分项工程汇总表、基础数据的统计。

第四节 平洞（竖井）编录

一、准备工作

（1）业务准备

1) 了解工程区的基本地质情况，如地层、岩石、构造、岩石特征及岩层划分单元等； 2) 熟悉平洞原始地质编录的有关规定，程序、要求等； 3) 熟悉工程区地质工作部署及工程布置情况； 4) 了解，熟悉平洞施工设计即钻孔指示书。

（2）工具、材料、表格

图包、地质锤、放大镜、三角板量角器、钢卷尺、文具盒（铅笔、橡皮擦、铅笔刀、防水墨笔等）、讲义夹、数码照相机、计算器、红油漆、白胶布，标本包装纸、样品袋等。表格及标签：① 平洞地质记录表、平洞采样记录表、标本登记表、照片记录表、录相记录表、洞深校正及弯曲度测量记录表。

二、平洞（竖井）编录工作要点

平洞编录方向只有一个，无论是边施工边编录，还是完工后编录的坑道，都是从坑口起“0”开始编录。虽然编录方向只有一个，但绘图方向可以自左往右。绘图员将坑口端置于图纸的左侧，自左往右绘图（比较方便），前进方向的左壁绘于图纸上方，右壁绘于图纸下方，坑顶绘于左、右壁之间，平洞编录的基本程序为：准备工作→测定洞向和倾角→桩号标注→三壁形态测绘→地层界线测绘和地层岩性描述→断层裂隙测绘和描述→出水点测绘和水文地质描述→岩体结构分带和岩体特征描述→风化分带及描述。

编录方法：平洞、竖井对每一壁来说，相当于编录比例尺为 1: 50 ~ 1: 100 的工程地质剖面图；关键是展开和连接方法。

（1）平洞

1) 要求：由于洞底面有残渣。因此，除大断层、溶洞、原位测试点处做四壁编录，其余通常只进行三壁（两侧壁、洞顶）编录，有时也包含掌子面编录；

2) 展开方式：以洞顶为基准，采用俯视展开法（印模式、两壁掀起压平的展开法）；

3) 作图法（有两种）：其一为按理想开挖断面绘制成一张图，在两个拱角对超挖延伸、欠挖缩回的办法制图；其二为两壁、拱顶单独绘成一张剖面，反映不规则形状，分三块图面绘制。

4) 野外编录：编录时，在洞口稳定的岩体处设置固定点（用红漆编号），测出其坐标位置(x,y)；绘出两壁腰线及洞顶中线，在任一壁按 1m 间距标出桩号；按桩号在两腰线及中线上测出要编录的地质界线位置，而后在中线上用垂线法标出地质界线在拱角及壁底的位置。这样一个贯穿整个洞径的地质界线通过 7 点出露位置，即可勾绘出来。

5) 绘制这种图的关键也是要把空间上三个位置不同的平面，通过展开的方式缩绘到同一个平面上去。其展开的方式也有两种：即外倒式和内倒式。目前大多数工程中都采用内倒式展开，如一帮一项素描图、二帮一项素描图、顶板及掌子面素描图等。在实际素描时必须根据具体的地质情况和要求来确定。此外，还需简单说明一下在素描时对拐弯坑道的处理方法：当坑道弯度不大时（即坑道方位角的改变小于 10° ），仍可按直线坑道进行素描；当坑道弯度较大时（即坑道方位角的改变大于 10° ），有两种处理方法：一是分段素描，二是采用展开图的形式进行素描。拐弯坑道所采用的展开图的形式又有两种：一种是以坑道的一帮为基准，将顶板和另一帮按坑道拐弯角度的大小拉开；另一形式是以顶板为基准，根据坑

道拐弯角度的大小，将一帮拉开，另一帮重叠，如图3.14所示。

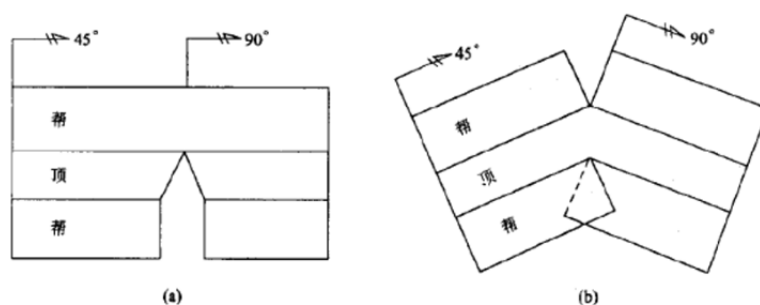


图3.14 平洞转弯展开示意图

(2) 竖井

当地质情况简单时，一般只素描垂直岩层走向的一壁；当地质情况复杂时，则要求素描浅井的四壁，常采用四壁平行展开法：就好像拿一个直立的火柴盒，从接头的地方把它撕开，按顺序展开成一个平面，每壁标上方位；并将浅井中所揭露的各种地质现象，按一定的比例尺缩绘在平面展开图上，即成一张浅井素描图。只要掌握了它的展开方式，读图也就比较容易了。其他垂直坑道（如天井、溜井等）素描图的绘制方法均与浅井素描图相同。

三、平洞（竖井）编录工作步骤

(1) 首先通过平洞的日常巡视全面了解平洞的掘进情况及试验情况

收集以下资料：开工与竣工时间、洞向、洞径情况、掘进方法、地下水位、试验数据等。

(2) 工程岩组划分及地质构造划分

首先是覆盖层和基岩的划分以及基岩内不同岩组划分。其中：覆盖层需进行细分，细分标准参照《土的大工程分类标准》(GB/T50145-2007)。

(3) 岩体风化、卸荷、倾倒变形、岩体结构类型划分

岩体结构类型中需统计 BSD 参考值（当岩体较完整时可量测 $<10\text{cm}$ 的岩块；当岩体较碎时可量测 $>10\text{cm}$ 的岩块，并以此换算 BSD 值）

(4) 平洞素描

素描基本内容包括以下七项：岩性、构造、物理地质现象（风化、卸荷、倾倒、蚀变）、渗流条件、测线或 BSD 统计、施工及支护情况、基本评定。

其中：主要岩性界线、IV级以上结构面界线（V级节理、裂隙中闭合及微张状况的不素描，而处于张开状的裂隙需素描）、

(5) 节理、裂隙统计

统计方法：(A) 测线法进行线率统计；(B) 统计窗法统计体积节理数（ J_v 值）。

(6) 平洞照相及取样

平洞照相：所有平洞均用数码成像，重大物理地质现象需记录。

平洞取样：必要时可取样进行岩石常规试验及岩矿鉴定，应记录取样深度、岩层层位、风化状况，并对岩样编号，取样处作出标记。

平洞水取样：视需要取样，需记录取样深度。

(7) 围岩分类

(8) 平洞质量评定

四、地质描述要点

(1) 覆盖层描述:

参照第四节要求。

(2) 基岩鉴定与描述:

1) 岩性

正确定名,描述其颜色,矿物成分和颗粒成分、结构、构造及矿物蚀变(必要时取样进行岩矿鉴定)。根据洞壁剖面详细进行岩性分层,有覆盖层的要求准确界定覆盖层与基岩界线,基岩按岩性分段。

对沉积岩和浅变质岩,应按下述标准确定岩性组合类型:

相间状结构:一般发育于两种不同的岩性的组合中。同一岩性单层(厚度不定)形成一定厚度的单层组与不同岩性的单层组呈间隔分布(即岩组间的间隔分布),单层组的厚度较大,一般 $>1\text{m}$ 以上,不同岩性的单层组线率统计百分含量比例一般为4:6,最低不少于3:7。

互层状结构:一般发育于两种不同的岩性的组合中。为不同岩性间单层(厚度不定)或单层组呈韵律间隔分布,岩组的韵律间隔分布很少,不同岩性的岩组线率统计百分含量比例一般为4:6,最低不少于3:7。

夹层状:两种不同的岩性组合中,某一岩层组的线率统计百分含量比例低于30%时,称为**夹**层。

2) 结构面构造(断层、节理(裂隙)或板理)描述

A. 断层

描述构造发育状况:断层、挤压面发育深度、宽度、组成物质,擦痕及力学性质等。

仔细观察构造迹象,如破碎、擦痕、断层物质(糜棱岩、断层泥、角砾岩、片状岩等),注意区分构造破碎与节理破碎、机械破碎。

B. 节理(裂隙)或板理

描述节理或板理发育状况:节理或板理面的粗糙度、充填状况(铁锈、绿泥石或钙质充填)。必要时结合压水资料、岩性、风化、岩体结构,按裂隙密度统计描述节理,统计缓($0\sim 30^\circ$)、中($31\sim 60^\circ$)、陡($61\sim 90^\circ$)倾角分类的发育状况。

3) 风化鉴定

根据风化标准确定。

4) 卸荷鉴定

根据卸荷标准划分。

5) 倾倒鉴定

根据岩层倾倒标准划分。

6) 蚀变鉴定

根据蚀变标准划分。

7) 水文地质条件

地下水的揭露的情况:

1. 揭露点洞内桩号

2. 发育部位(左壁、右壁、顶拱中心、左顶拱、右顶拱)

3. 地下水流态(干燥、潮湿、湿润、浸水、滴水、股状涌水)

4. 流量

8) 岩体结构类型

根据岩体结构类型标准确定（注意爆破产生的破碎而造成的岩体结构失真）。

9) BSD 统计

结合地层岩性、岩体风化带来分段统计。

10) 平洞试验

A. 岩体力学试验（包括点荷载试验）

B. 平洞物探声波测试

11) 取样试验

五、平洞（竖井）室内成图及资料汇总

（1）室内资料的整理及成图

根据制图的规程、规范成图。图面中应反映所量测到的各类地质界线，对于张开的裂隙需标示（可判断卸荷状况）。图面上的节理仅需表示三壁贯通的节理、成组或成带出现的节理，其余节理不需表示。

平洞工程地质说明需加入物探声波资料、地应力试验资料、岩体剪切资料，对有地温测试、有害气体测试的均需反映成果。

制图完毕，整理、制图人员签名。

（2）资料汇总

要求完成：整个工程汇总表、各分项工程汇总表、基础数据的统计。

六、句容抽水蓄能电站平洞编录简介

句容抽水蓄能电站共布置 6 个探洞，分别为上水库 PD1、PD3、PD4、PD5、PD6 和下水库的 PD2，PD1 和 PD2 位输水系统进出水口探洞。

PD1 位于上水库库盆左岸（东库岸），见图 3.15（a），在进/出水口上方（洞底高程为 260m），进出水口地面高程为 220~370m，自然边坡坡度为 28~35°，坡顶局部形成陡坎，地表大片基岩出露，岩性为寒武系观音台群下段（ \in_{2-3gn}^{-1} ）中厚层含燧石结核或燧石条带白云岩夹薄层灰质、泥质白云岩，弱~微风化，PD1 探洞揭露：泥质白云岩呈薄层状，单层厚度 1~10cm，岩层产状为 $N70\sim75^\circ E$ ， $SE\angle 50\sim55^\circ$ 。

PD2 长探洞进口位于下水库进/出水口部位，见图 3.15（b），主洞长 568.50m，洞口底板高程约 85.74m，洞底底板高程约 99.14m，洞向 $S28^\circ W\rightarrow S42^\circ W$ ；厂房支洞 PD02-1、PD02-2 探洞位于主洞桩号 166.5m 处，洞口底板高程 273.30m，PD02-1 洞位于主洞右侧，长 171.5m，洞底底板高程为 274.20m，洞向 $N60^\circ E$ ；PD02-2 支洞位于主洞左侧，长 150.0m，洞底底板高程约 274.15m，洞向 $S60^\circ W$ ，高于地下厂房顶拱约 37m。地下厂房长探洞内共布置 5 个垂直钻孔、4 个斜孔及 6 个水平孔，孔内进行原位试验。主洞及支洞内共布置 5 组岩体变形试验，洞内钻孔地下水水位观测，地震波试验、洞室有害气体及放射性等工作。



(a) 平洞入口

(b) 现场编录

图 3.15 工作区平洞入口及现场编录

图 3.16 为现场现场编录岩芯柱状图。

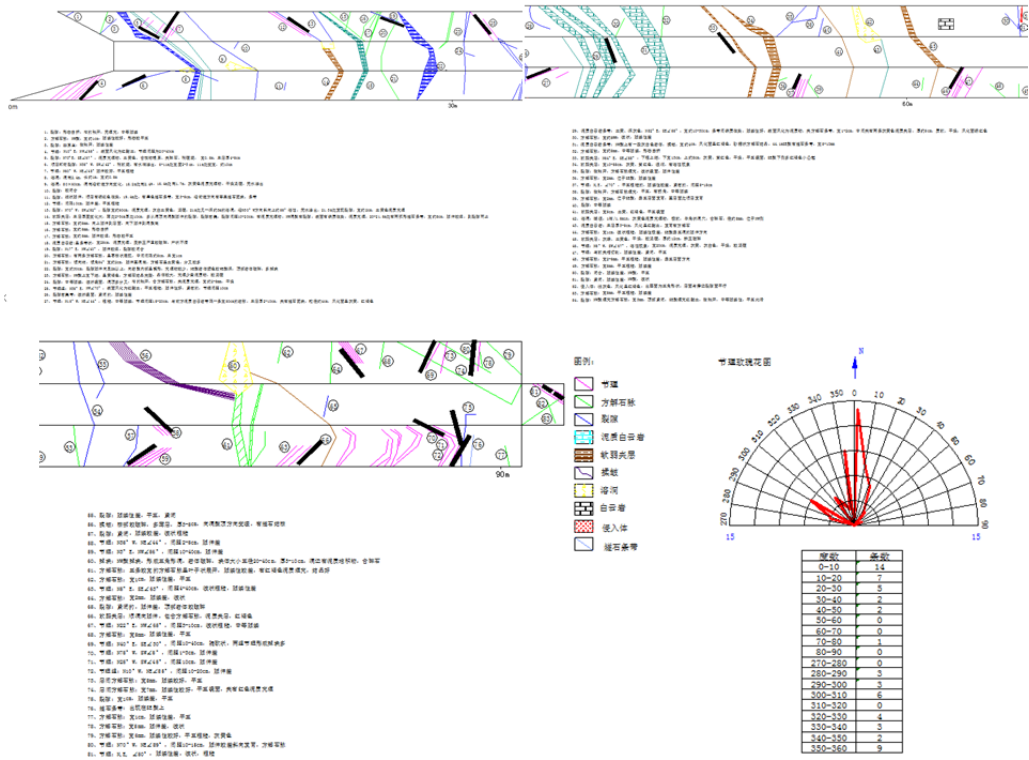


图 3.16 PD1 编录实例 1