

BAJI RUANRUO JIEGOU MIAN
KANGJIAN QIANGDU ZHIBIAO
QUZHI FANGFA

杜雷功 司富安 贾国臣 高玉生 著

**坝基软弱结构面
抗剪强度指标取值方法**



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

坝基软弱结构面 抗剪强度指标取值方法

杜雷功 司富安 贾国臣 高玉生 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

软弱结构面是岩体的薄弱环节,是控制岩石地基及边坡稳定的关键因素之一。本书针对软弱结构面的成因、典型工程地质特征、勘察试验方法,以及不同类型结构面抗剪强度指标标准值、建议值的确定方法进行了系统研究。针对坝基软弱结构面,提出了新的工程地质分类方法,基于物理模型试验对不连续和不均匀结构面抗剪强度特征及取值方法进行了分析,并对起伏软弱结构面的剪切破坏机理进行了理论探讨。

本书可供从事水库大坝工程、边坡工程勘察设计、咨询和教学工作的学者、工程师参考。

图书在版编目(CIP)数据

坝基软弱结构面抗剪强度指标取值方法 / 杜雷功等著. — 北京: 中国水利水电出版社, 2012.6
ISBN 978-7-5084-9660-3

I. ①坝… II. ①杜… III. ①坝基—结构面—抗剪强度—研究 IV. ①TV64

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第130952号

书 名	坝基软弱结构面抗剪强度指标取值方法
作 者	杜雷功 司富安 贾国臣 高玉生 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 14.75印张 296千字
版 次	2012年6月第1版 2012年6月第1次印刷
印 数	001—800册
定 价	68.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

软弱结构面抗滑稳定问题是水利水电等土建工程中经常遇到的重大工程地质问题之一。作为岩体的薄弱环节，往往对坝基抗滑稳定起控制作用，威胁大坝安全，从不利的方面影响工程的设计方案、施工工期和投资。据统计，因软弱结构面问题而被迫改变设计、增加工程量和投资以及进行后期加固的大坝占总数的比例接近 $1/3$ ，可见其影响和危害之大。

我国水利水电工程坝基软弱结构面的研究大体始于 20 世纪 50 年代。狮子滩水电站坝基为侏罗系红色砂岩、砂质页岩及黏土岩，现在看来这种软硬相间且夹有页岩、黏土岩的红层岩体层间软弱结构面一般是比较发育的，但限于当时的认识和勘探水平，在前期勘探中没有发现软弱夹层的存在。基础开挖后，揭露出厚度 $0.5\sim 4\text{cm}$ 的多层层间夹泥，大坝的抗滑稳定不能满足要求，被迫采取了挖除、锚固等一系列措施，造成了设计、施工的被动。稍后的陈村水电站大坝最大坝高 76.3m ，于 1958 年动工兴建，1962 年停工缓建，1968 年复工续建，1972 年基本建成。由于该工程以“边勘测、边设计、边施工”的方式兴建，大坝建成后，坝基遗留下许多问题，其中困扰人们时间最长的是 F32 断层抗滑稳定问题，曾因此在 1984 年前被迫长期低水位运行。类似的问题还可以举出不少事例，由于这些事件的出现，软弱结构面抗滑稳定问题逐渐受到工程师的重视，将其作为混凝土坝坝基的一个关键问题进行重点勘察研究。

自 20 世纪 50 年代以来，我国陆续开发了存在软弱结构面抗滑稳定问题的一系列大中型水利水电工程，如浑江桓仁、湘江双牌、淦阳河朱庄、长江葛洲坝、滦河大黑汀、汉江安康、大渡河铜街子、白龙江宝珠寺、黄河天桥、万家寨、龙口，以及建设中的涪江武都、乌江银盘、金沙江向家坝和嘉陵江亭子口等。这其中，葛洲坝工程对坝基缓倾角软弱结构面进行了大量的试验和系统研究工作，进一步丰富了我国在软弱结构面方面的勘察评价理论，形成的软弱结构面空间分布勘察方法、试验方法、抗剪强度取值方法等，在今天仍具有非常重要的借鉴意义。

坝基软弱结构面问题非常复杂，虽然已经积累了非常丰富的经验，勘察评价手段和方法等方面也有了长足进步，但是其空间分布难以查清，抗剪强

度指标可靠性、合理性有待于进一步提高等问题仍在困扰着地质工程师。近年来已建和在建的部分工程仍然在软弱结构面问题上吃了不少亏，典型的表现是前期勘察、认识不清楚，开挖期间揭露出来后只好采取补救措施，在工期、投资等方面造成被动。对于这样一个具有普遍性的工程地质难题，不断总结工程经验教训，持续进行深入研究是具有重要应用价值的。

本书试图通过一些工程勘察实例和科研试验，对软弱结构面的勘察试验方法和抗剪强度取值方法进行了研究，供大家参考，希望对读者的工作有所帮助。限于作者水平，书中难免存在不当之处，恳请读者不吝指正。

作者

2012年3月

目 录

前言

第 1 章 软弱结构面的工程地质特征	1
1 软弱结构面的成因	1
1.1 冯光愈、余永志等的研究	2
1.2 龙口的研究	2
2 软弱结构面的结构和构造特征	5
2.1 软弱结构面的垂直分带	5
2.2 颗粒的定向排列	9
2.3 具有块状或紊乱状构造的结构面.....	10
3 软弱结构面的物质组成.....	10
3.1 颗粒成分.....	10
3.2 矿物成分.....	12
3.3 化学成分.....	14
4 软弱结构面的物理性质.....	16
第 2 章 影响软弱结构面抗剪强度的主要因素	19
1 软弱破碎物质物理化学特征的影响.....	19
1.1 矿物和化学组成的影响.....	19
1.2 比表面积及碳酸钙的影响.....	19
1.3 颗粒组成的影响.....	21
1.4 含水量、塑性指数、干密度、饱和度等的影响.....	24
2 软弱破碎物质结构与构造特征的影响.....	29
2.1 不同构造带的抗剪强度.....	29
2.2 软弱破碎物质不同结构形式对抗剪强度的影响.....	30
3 厚度及围岩界面特征的影响.....	31
3.1 充填度.....	31
3.2 桓仁的研究.....	31
3.3 朱庄的研究.....	32
3.4 某试验研究.....	32
3.5 徐磊、任青文的数值模拟研究.....	32
4 赋存应力环境的影响.....	33
5 取样质量的影响.....	38
6 试验方法的影响.....	39

第3章 软弱结构面工程地质分类	45
1 软弱结构面颗粒组成分类	45
1.1 泥、岩粉、岩屑与岩块的定义	45
1.2 摩擦系数与凝聚力的关系	45
1.3 不同粒径组对抗剪强度的影响	47
1.4 软弱结构面的颗粒组成分类	48
2 软弱结构面工程地质分类	49
2.1 分类因素筛选	49
2.2 软弱结构面的工程地质分类	51
第4章 软弱结构面勘察	53
1 缓倾角结构面空间分布勘察	53
1.1 常用勘察手段	53
1.2 工程应用	68
1.3 软弱结构面勘察原则	73
1.4 勘察方法选择	78
2 软弱结构面取样	81
2.1 钻孔取样	81
2.2 探洞、探井内试件加工及取样	85
3 软弱结构面抗剪强度试验	88
3.1 常规尺寸直剪试验	88
3.2 中型剪试验	92
3.3 原位大型剪切试验	92
3.4 原位大型慢剪试验	97
3.5 原位剪切流变试验	100
3.6 英美技术标准中的部分规定	102
3.7 不同试验方法的工程应用情况	105
3.8 软弱结构面抗剪强度试验方法选择	106
第5章 软弱结构面抗剪强度指标取值	107
1 取值原则	107
1.1 取值原则	107
1.2 取值程序和步骤	108
2 试验值的确定	109
2.1 软弱结构面抗剪强度准则	109
2.2 不同类型软弱结构面试验值选择	113
3 标准值的确定	115
3.1 算术平均值法	115
3.2 一元最小二乘法	116
3.3 一元线性回归分析法	117

3.4	点群中心法	119
3.5	优定斜率法	120
3.6	可靠度法	121
3.7	随机—模糊法	121
3.8	不同方法计算成果比较	121
3.9	不同方法的应用情况	125
3.10	标准值确定方法的总结	126
4	均匀连续结构面抗剪强度指标建议值	127
4.1	建议值确定需要重点考虑的因素	128
4.2	经验类比法确定建议值	129
4.3	系数调整法确定建议值	132
5	不连续及不均匀结构面抗剪强度指标取值	136
5.1	加权计算原理	136
5.2	原位大型剪模型试验	137
5.3	中型剪模拟试验	149
5.4	沈婷等的试验	154
5.5	乌江渡的试验	156
5.6	抗剪强度指标加权计算成果应用探讨	157
6	起伏结构面抗剪强度指标取值	159
6.1	结构面起伏的分类与分级	159
6.2	结构面起伏对抗剪强度的影响	160
6.3	起伏结构面抗剪强度取值	163
第6章	工程案例	166
1	万家寨水利枢纽	166
1.1	坝址地质环境	166
1.2	层间剪切带工程地质特征	169
1.3	坝基滑动边界条件及滑动模式分析	182
1.4	坝基抗滑稳定分析	183
1.5	结论及问题探讨	193
2	黄河龙口水利枢纽	194
2.1	坝址地质概况	195
2.2	软弱夹层发育特征	196
2.3	软弱夹层的抗剪强度	204
2.4	坝基深层滑移边界条件	212
2.5	坝基深层抗滑稳定分析及处理	214
	参考文献	224

第 1 章 软弱结构面的工程地质特征

岩体结构面是岩体内部具有一定方向、一定规模、一定形态和特性的面、缝、层和带状的地质界面（引自《中国水利百科全书》）。软弱结构面（weak structural plane），是岩体结构面的一种，为软弱夹层、剪切带、层间剪切破碎带、泥化夹层、软化夹层、软弱层带及断层破碎带等的总称。葛洲坝、龙口、朱庄等工程称为泥化夹层，万家寨、隔河岩等称为层间剪切带，安康、大化称为断层破碎带，龙滩称为软弱夹层。徐瑞春、周建军在《红层与大坝》一书中将软弱夹层、泥化夹层、软化夹层、软弱层带等统一称为剪切带（shear zone）。

《水力发电工程地质勘察规范》（GB 50287—2006）将软弱结构面定义为“由力学强度明显低于周围岩石强度的软弱介质充填的结构面”。《建筑边坡工程技术规范》（GB 50330—2002）将之定义为“断层破碎带、软弱夹层、含泥或岩屑等结合程度很差、抗剪强度极低的结构面”。以上的定义中主要描述了软弱结构面的性状，有专家认为应考虑其对稳定的不利影响，将之定义为“岩体中力学强度明显低于围岩，并对岩体稳定起控制作用的结构面”。

从以上的说明来看，软弱结构面是岩体的薄弱环节，具有复杂的形态和成因，其强度显著低于周围岩体，当产状不利时控制岩体的稳定。

1 软弱结构面的成因

软弱结构面是地质历史时期的产物，在漫长的演化过程中，其所经受的物理力学和化学作用非常复杂，应该说大部分软弱结构面都是多成因的。因此，所谓的软弱结构面成因的分类，实际上是以起主导作用的因素作为标准做出的判别。范中原、任自民研究了国内 120 个大中型水电工程资料，以主要地质作用为依据，将软弱结构面划分为 6 大类：构造型、沉积型、火成型、变质型、风化型和次生充填型。从统计的规律看，构造型占 81.1%，风化型占 5.5%，充填型占 13.4%，构造型软弱结构面占绝大多数。对于

坝基工程而言,最为常见的是构造成因结构面,尤其是层间剪切破碎夹层和断层。

1.1 冯光愈、余永志等的研究

冯光愈等研究了葛洲坝基岩中的泥化带,提出泥化带是由于剪切作用与地下水溶液的物理化学作用而形成的。地应力作用使得软弱结构面发生剪切,受多次剪切“研磨作用”变为极细的颗粒。与此同时,地下水溶液入侵,发生离子交换作用,胶结物被溶蚀及溶解,使剪切带的结构及成分发生一系列变化,剪切带进一步软弱,抗剪强度随之降低。剪切的继续发展,出现剪切破坏,泥化的剪切带经受了一个大的剪切位移——先期剪切位移。由此,泥化带的颗粒逐渐发展为定向排列的结构形成,最终形成一个平滑的主剪切面。

余永志等对湖南皂市水利枢纽软弱结构面工程地质特性进行了研究,认为坝址区软弱结构面的成因与岩性、层间挤压错动的强弱及后期地下水活动等因素有关。

(1) 夹于硬岩间的软岩是产生软弱结构面的物质基础,组成软岩的黏土矿物强度低,且软硬相间的层状结构有利于剪应力在软硬岩界面上集中,形成剪切带。

(2) 在皂市背斜褶皱过程中,挟持在硬层间的软岩在构造应力作用下,产生剪切破坏,形成层间挤压剪切带,包括节理带、劈理带及后期形成的泥化带,部分节理带不明显。同时层间错动,使软岩主要沿硬岩界面产生剪切破坏,剪切面的颗粒逐渐磨细,使软岩的结晶胶结大部分变为水胶结,降低了剪切面的抗剪强度,并使非错动区劈理带、节理带及微裂隙发育,部分可见擦痕和光面现象。如Ⅱ205软弱结构面,劈理发育,有明显的揉皱现象。

(3) 地下水活动和岩体风化作用:夹层揭露时,均呈潮湿状态,地下水的溶蚀、淋滤等作用改变着夹层的性状。在剪切面上被磨细的岩粉与水作用下,岩石中可溶盐发生水解反应,逐步使黏土矿物(如高岭石、伊利石等)富集,使颗粒表面失去保护膜,减弱了颗粒间连结力;同时软弱矿物绢云母中 Al^{3+} 被风化及水的淋滤离解后;变成次生的黏土矿物水云母,水云母进一步变化成高岭石,同时水的分散溶解作用使夹层由硬塑变为软塑,从而形成软弱结构面。

1.2 龙口的研究

黄河龙口水利枢纽坝基中软弱结构面发育,其形成是多种因素共同作用的结果。这些因素主要包括多次的构造错动破碎作用、卸荷引起的错动和水动力条件的改变,以及地下水长期的物理化学作用等。对于不同类型的夹层,这些因素所产生的影响程度有所

不同，但层间错动破碎是最主要和基础的条件。

1.2.1 层间错动的破碎作用

从龙口坝址区域构造发展史来看，褶皱化是早期构造运动的主要形式之一，晚近期构造活动则以地壳的差异升降为主。坝址处于榆树湾挠曲和弥佛寺背斜、红树卯—欧梨咀挠曲之间，在晚近期处于相对上升区与相对下降区之间的过渡地段，在褶皱形成和地壳差异升降过程中处于其间的坝址岩体必将受到影响，即沿相对软弱的岩层或层面发生错动。由于构造运动的多期性，可以推断沿夹层的错动也是多期和多方向的。

从坝址地应力测量的成果来看，坝址最大主应力为近水平方，河床浅部（35m 以上）最大水平主应力为 5~6MPa，深部（40m 以下）为 8~9MPa 以上，大体为自重应力的 5~6 倍，也一定程度说明坝址具备形成层间错动或卸荷变位的应力条件。

从地表及一些勘探点能够看到夹层本身及附近岩体发生过明显错动的迹象：

- （1）软弱夹层在剖面方向上常具有明显的构造分带性，可分为节理带、劈理带和泥化带或糜棱化的钙质岩带，节理带、劈理带内的岩块多呈定向排列，泥化带内岩屑大小不一，透镜体状岩屑也具定向排列特征，泥质物则具鳞片状构造，排列方向多与岩层面平行或小角度斜交，见图 1.1-1。
- （2）与软弱夹层相交的裂隙多有错开，最大错距达 10cm，见图 1.1-2 和图 1.1-3。

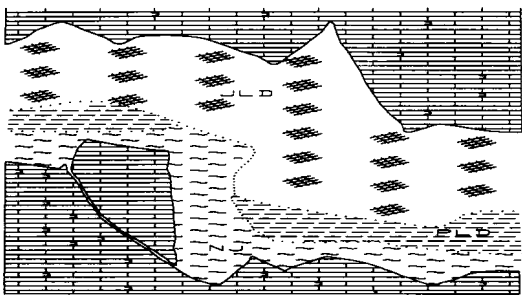


图 1.1-1 SJ01 竖井 NJ303 泥化夹层剖面示意图

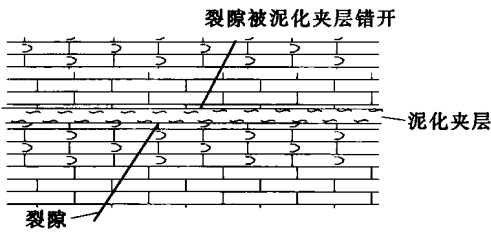


图 1.1-2 裂隙被泥化夹层错开

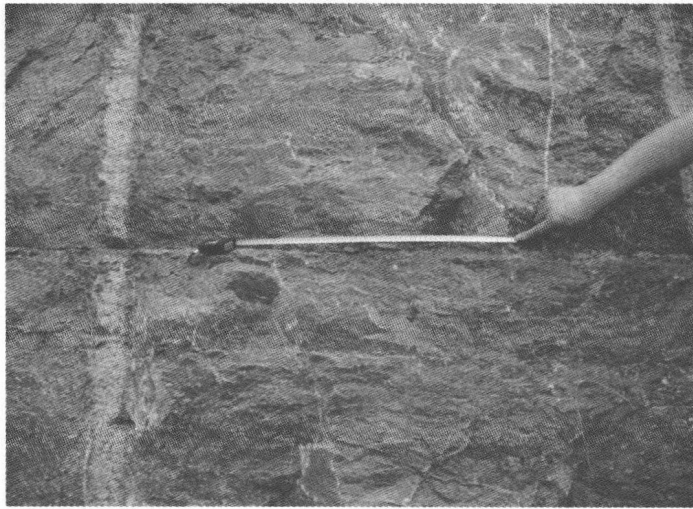


图 1.1-3 贯穿软弱结构面的节理显著错位

(3) 软弱夹层顶底面处见有大量擦痕、阶步、磨光面等，夹层内部也见有剪节理、微裂隙的存在，见图 1.1-4。



图 1.1-4 软弱结构面底面上的擦痕

1.2.2 风化卸荷作用

岩体的风化卸荷影响主要体现在两个方面：

(1) 因黄河下切迅速，龙口坝址两岸向河流方向的水平卸荷变位和河床位置垂向的卸荷变位均很明显，引起岩体沿相对软弱的岩层、层面或已经形成的夹层产生相对运动，可能形成新的夹层或加剧已有夹层的进一步破碎。通过地表调查可以看到，两岸陡

壁往往沿夹层形成倒台阶，上盘向黄河方向错动，最大错距 15cm。

(2) 岩体的风化卸荷将破坏岩体的完整性，形成新的裂隙，扩大原有构造裂隙的开度和长度，为空气和地下水的活动提供了通道。其具体影响体现到夹层性状的差异，如在两岸和河床浅部风化卸荷带范围，夹层的厚度相对较大、泥化程度相对较高，即使钙质充填夹层也有明显的泥化面或泥化带。

从钻孔揭示的情况看，河床部位岩体强卸荷带深度最大不超过 7.4m，在这一范围内的 NJ305、NJ305—1、NJ306、NJ306—1 和 NJ306—2 泥化夹层，性状相对较差，厚度大、泥化程度高、含水量高。

根据坝址地应力测量成果分析，河床部位受卸荷影响的深度可达 35m。具体到夹层性状的变化，同类夹层相比较主要有两方面的表现。一是随深度的增加性状逐渐趋好；二是处于 35m 埋深以下的 NJ302、NJ301 性状明显要好一些，岩屑含量明显较高。

1.2.3 地下水的物理化学作用

从夹层的物质组成来推断，地下水对不同类型夹层的作用方式和影响程度是不同的。

岩屑岩块状夹层主要由碎块状、片状岩块构成，地下水对其分解破坏作用较轻微。

钙质充填夹层矿物成分以钙质为主，与原岩相近，但有一定程度胶结，局部又有泥化，泥化部分和胶结部分均有透镜状岩石碎屑存在。其形成较复杂，地下水的影响有待进一步研究，初步推断为岩屑、岩粉在应力作用下重新胶结的结果。

泥化夹层中泥质物的矿物成分主要为伊利石，化学成分中以 SiO_2 、 Al_2O_3 含量居多，与原岩差别明显，说明地下水对泥化夹层的后期改造较强烈。 CaO 、 MgO 等在地下水的长期的物理化学作用下逐渐流失，而 Al_2O_3 和 SiO_2 等难溶物得到积聚，成为泥化夹层的主要组成部分。

综合以上的资料，软弱岩石的存在是软弱结构面生成的内因和物质基础，其中的夹泥带是在原已存在的软弱岩石的基础上，经过一系列机械的和化学的改造作用而形成的产物，而构造剪切作用则是生成的直接原因。所谓的构造成因说只是相对而言，实际上是多种因素共同作用的综合产物。

2 软弱结构面的结构和构造特征

2.1 软弱结构面的垂直分带

一般受构造剪切作用的软弱结构面具有较明显的分带性，并具有擦痕、镜面、阶步

等剪切特征。典型的构造性软弱结构面常包含有三种不同的构造影响部位或者称为三元结构，一般称为节理带、劈理带和错动带（主剪切带），而泥化主要发生在错动带，故错动带通常也称之为泥化带。由于所受的构造破坏和地下水的物理化学作用不同，三者在结构和性状上有明显的差别，见图 1.2-1 和图 1.2-2。

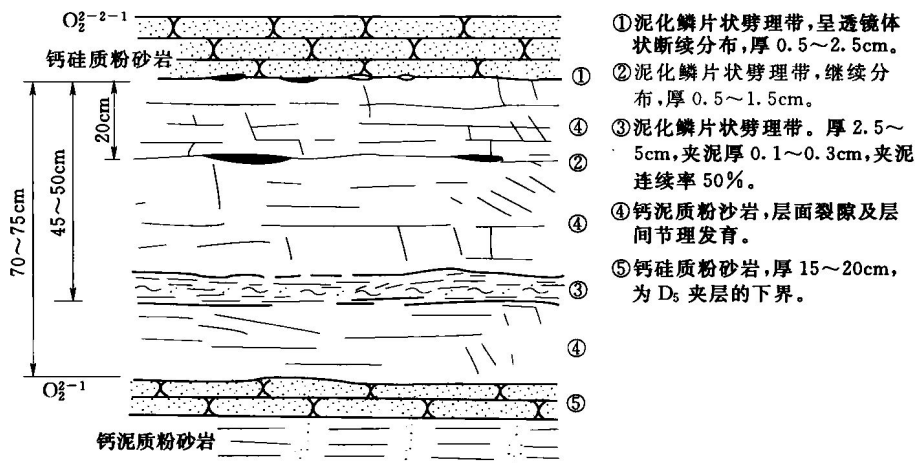


图 1.2-1 宝珠寺水电工程坝址区软泥化夹层素描
(引自：王东华,《宝珠寺水电工程坝址区泥化夹层的工程地质研究》)

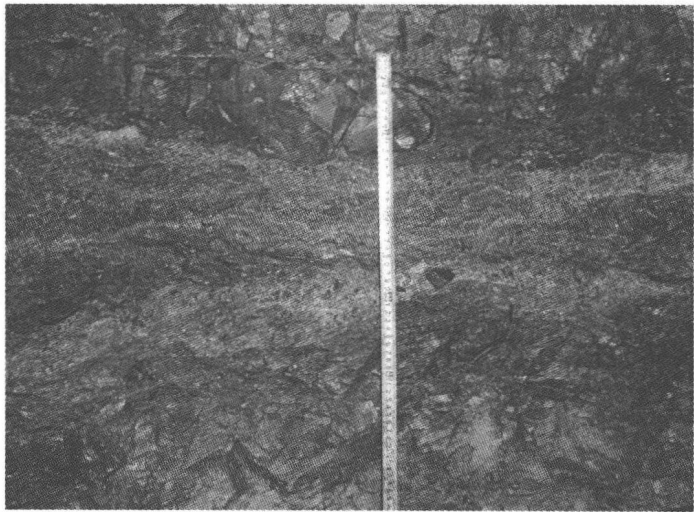


图 1.2-2 金沙江白鹤滩 LS337 层间错动带 (周火明摄)

有时坚硬的灰岩、砂岩中夹有软弱的薄层页岩或泥灰岩，夹层的强度很低，错动磨蚀剧烈，且地下水活动强，形成的软弱结构面往往没有完整的三元结构，劈理带、节理带缺失或者厚度很小，部分甚至只有泥化带存在，见图 1.2-3。

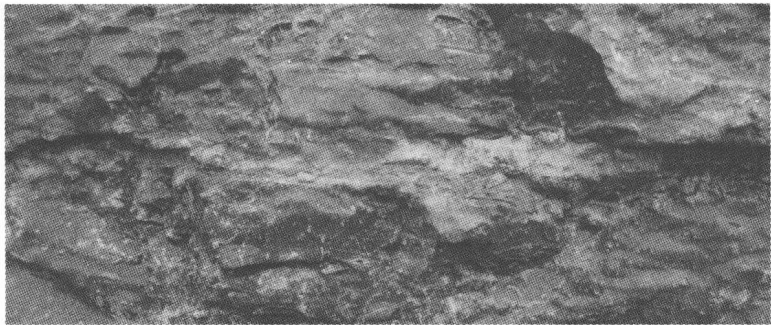


图 1.2-3 局部缺失劈理带和节理带的构造性软弱结构面

2.1.1 节理带

节理带是构造影响较轻的部位，一般呈片状、块状，原岩内部结构遭到轻微破坏。从微观角度看，它仍然保持了原岩的结构特点，粒团之间的排列较致密，干容重也较大；其中的胶结物质在岩化（陈化）过程中，经过沉淀、胶凝、结晶之后，将黏土颗粒和粒团包裹起来，充填在孔隙和裂隙中，使颗粒或粒团之间的物理化学连结比较牢固，不仅有较高的结构强度，表面活性也大为减弱，比表面和吸附性能都比较小（见表 1.2-1）。因而黏土矿物等高分散物质处于一种活性较低的物理化学状态之中，对环境因素如水分等的影响不敏感。

表 1.2-1 葛洲坝软弱结构面不同部位的基本性质

夹层编号	葛-308			葛-202		
岩性及矿物	以蒙脱石为主的黏土岩			以伊利石为主的粉砂质黏土岩		
构造部位	节理带	劈理带	泥化错动带	节理带	劈理带	泥化错动带
比表面 (m ² /g)	113	128	368~685	—	—	110~353
阳离子交换量 (me/100g)	15.36~21.53	18.61~47.84	23.53~74.9	—	—	11.32~17.38
天然含水量 (%)	12.7	28.7	34~49	9.0	12.9	21~25
天然干容重 (g/cm ³)	2.04	1.54	1.18~1.37	2.20	2.02	1.63~1.75
小于 2μm 粒级含量 (%)	26	31	34~61	16	30	32~40
流限 (%)	36	47	51~72	27	30	31~33
塑限 (%)	23	24	26~40	14	16	16~19
抗剪强度 (峰值)	c(kPa)	45	32	13	84	67
	φ(°)	24.6	12.5	11	38	16
						21
						13.5

2.1.2 劈理带

岩块一般呈碎片、碎屑状，排列方向与上下岩层呈小角度相交或平行，局部排列无序。由于原岩结构已经受到较严重的破坏，在劈理带中出现了与构造应力相适应的“新”结构，微裂隙极其发育是其主要特征，孔内电视揭示到的劈理带见图 1.2-4。以致粒团之间的连结力被破坏，呈较松散的紊乱排列，粒团本身也支离破碎，其中片状颗粒呈边一面、边一边的疏松排列。随着粒团之间和粒团内部的连结被破坏，表面活性得以恢复，出现了比节理带或原岩还要强烈的吸附性质；而微裂隙的发育，又为强度降低和促进变形的吸附效应创造了良好条件。

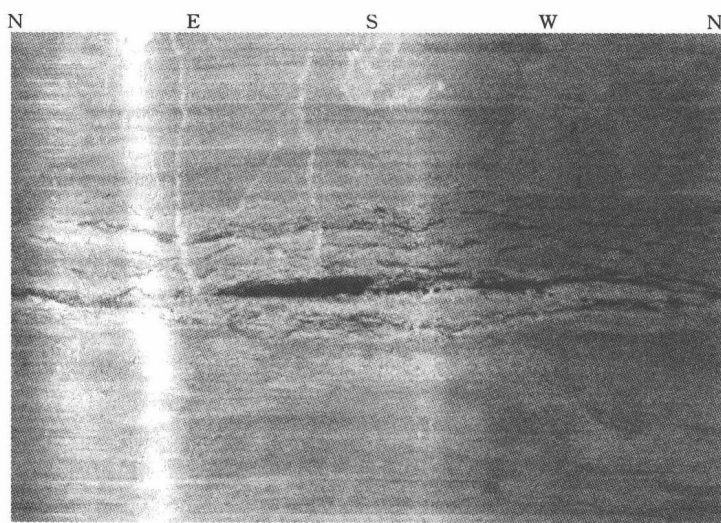


图 1.2-4 孔内电视揭示到的密集劈理

2.1.3 泥化（错动）带

泥化带是遭受过剧烈错动（有的不止一次）的部位，错动产生的位移使原岩结构被破坏，形成与构造应力相适的剪切变形的结构。按其特征可细分为两个亚带：①粒团定向排列亚带，通常含有两个以上明显的构造擦痕和定向条带的主剪切面，厚约 $10 \sim 300 \mu\text{m}$ 。其中，粒团沿构造剪切方向呈平行定向排列。②粒团非定向排列亚带，是微裂隙较劈理带更为发育的密集部位。其中粒团受到位移牵动的影响，粒团之间往往呈“点”接触的松散紊乱排列。

泥化带中粒团因剧烈构造错动而受到剪损或研磨作用，故其黏粒含量通常都高于其他部位。例如葛—308 夹层泥化带小于 $2 \mu\text{m}$ 粒级含量比其他部位要高出 $0.6 \sim 1$ 倍左右。从而使其比表面和吸附性大为增高；同时黏土矿物等高分散物质的表面活性也得到较充分的

恢复或加强,能强烈地吸附周围水分(这也是错动带含水量异常增大的主要原因),导致粒团和颗粒表面及其所吸附的阳离子水化程度大为增高,形成了较发育的表面溶剂化层(见图1.2-5)。

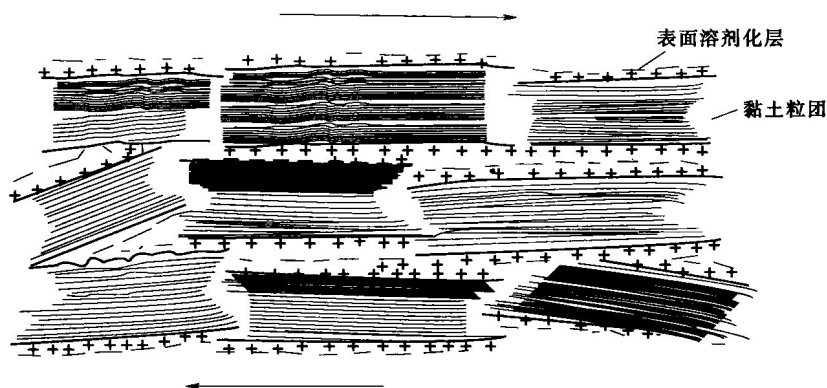


图 1.2-5 定向排列粒团通过表面溶剂化层接触的示意图

2.2 颗粒的定向排列

软弱结构面中松散物质颗粒定向排列的形成,有以下几种情况:

(1) 构造成因的结构面,如层间剪切带、断层等,在形成过程中,于特定方向上曾经受到过多次挤压、剪切作用,沿剪切方向上颗粒定向排列,碎屑长轴方向或平行于结构面或与之小角度相交。见图1.2-6。



图 1.2-6 龙口坝基泥化夹层中岩屑的定向排列现象(贾国臣摄)

(2) 薄层软弱岩石发展而成的原生、次生软弱结构面。如泥质页岩、薄层泥灰岩、泥质白云岩等,岩体层理发育,形成的软弱结构面继承了原岩的结构特征,岩屑岩块主