

1001467

小浪底

边坡工程地质

主编 杜时贵 副主编 潘别桐



632.613
5

地震出版社

国家自然科学基金资助项目

小浪底边坡工程地质

主编 杜时贵 副主编 潘别桐

地震出版社

1999

内 容 提 要

本书介绍了黄河小浪底水库三个高边坡的地质条件及其工程地质问题,它是小浪底课题组多年研究工作的总结和升华。书中所采用的研究思路和方法体现了当代岩石力学和岩质边坡稳定性评价的最新进展,具有普遍指导意义。

本书可供工程地质专业研究生、高年级本科生以及水利、矿山、地质等部门的科研、技术人员阅读。

小浪底边坡工程地质

主编 杜时贵 副主编 潘别桐

责任编辑: 俸苏华 陈晏群

责任校对: 张晓梅

*

地质出版社 出版发行

北京民族学院南路9号

北京地大彩印厂印刷

全国各地新华书店经售

*

787×1092 1/16 12.375 印张 317 千字

1999年2月第一版 1999年2月第一次印刷

印数 001—500

ISBN 7-5028-1521-X/P·935

(2078) 定价: 25.00 元

序

小浪底水库是世界银行贷款的国家“八五”重点建设工程。经国务院批准,黄河小浪底水库工程已于1992年9月鸣炮开工。

黄河小浪底水库位于河南省孟津县与济源县交界部位,是黄河中游峡谷段最后一个梯级,距下游入海口896km,距上游三门峡水库130km。水库建成后,将能控制黄河流域92%以上的面积,对下游防洪、防凌、减淤及水资源开发利用具有非常重要的战略意义,素有黄河上的“三峡水库”之称。

小浪底水库左岸集中布置着泄水建筑物、输水建筑物、进水建筑物和众多的地下洞室,施工和运行期间的工作环境十分复杂,而这些水工建筑物布置地段的工程地质条件异常复杂,工程开挖将出现诸多工程地质问题。因此,工程岩体的稳定性研究是小浪底水库工程建设的前提。

本书汇集了小浪底水库工程边坡岩体稳定性研究的成果,是小浪底边坡工程地质的资料库。书中所采用的研究思路和研究方法体现了当代岩体力学和岩质边坡稳定性评价的最新研究进展,对岩质边坡的稳定性研究具普适性的指导意义。

本专著是中国地质大学(武汉)小浪底课题组多年研究工作的总结,是集体智慧的结晶。小浪底水库工程的地质勘察工作始于1953年,40多年来,在水利部黄河水利委员会的主持下,坝址区投入了大量的勘察工作量,积累了极为丰富的地质资料,这是小浪底课题组研究工作的重要基础。

本书根据黄河水利委员会下达的系列研究任务的四个课题研究报告,经精选、补充写成。这四个课题研究报告是:

(1)黄河小浪底水库风雨沟西侧边坡稳定性研究 参加研究人员为杜时贵、潘别桐、易萍华、刘佑荣、方云、徐光黎;

(2)黄河小浪底水利枢纽进口高边坡三维地质模型及其综合力学参数研究 参加研究人员为杜时贵、唐辉明、李久林、孙成伟、翁欣海;

(3)黄河小浪底水库工程泄洪、发电引水建筑进口高边坡稳定性研究 参加研究人员为潘别桐、曹美华、刘丰收、陈崇希、余启华、周萃英、刘佑荣、杜时贵;

(4)黄河小浪底水库工程消力池和半地下厂房边坡稳定性研究 参加研究人员为潘别桐、刘丰收、余启华、刘佑荣、杜时贵、易萍华。

本书由杜时贵和潘别桐主编,由杜时贵统一定稿。承蒙王思敬院士和曾国熙教授审阅,并提出许多宝贵意见。中国地质大学杨裕云教授、晏同珍教授和浙江大学龚晓南教授一直指导研究工作。浙江工业大学很多老师十分关注并支持本书的出版工作,本书的出版还得到了浙江工业大学专著出版基金的资助,在此一并致谢!

书中不妥之处,诚请读者批评指正。

杜时贵

1998年10月于浙江工业大学

目 录

第一篇 进口高边坡岩体稳定性研究

引言	(3)
第一章 边坡岩体结构和地质模型	(5)
第一节 边坡岩体工程地质背景	(5)
第二节 进口边坡岩体结构特征	(10)
第三节 进口边坡岩体强度和变形参数估算	(23)
第四节 进口边坡岩体中水压力模拟分析	(29)
第五节 进口高边坡三维地质模型	(31)
第二章 进口边坡岩体应力和位移的有限元分析	(33)
第一节 计算剖面选择和计算方案及加载方式	(33)
第二节 NCAP-1 程序简介	(35)
第三节 有限元计算成果分析	(37)
第三章 进口边坡稳定性评价	(43)
第一节 进口边坡岩体可能破坏方式	(43)
第二节 进口边坡岩体滑动破坏可能性评价	(43)
第三节 进口边坡岩体倾倒或溃屈破坏可能性评价	(50)
第四章 边坡岩体加固处理	(52)
第一节 边坡岩体可能最低滑裂面位置	(53)
第二节 边坡岩体锚杆加固方案建议	(53)
第三节 边坡岩体的排水措施	(59)
第四节 关于进水塔塔基处理建议	(59)
结论	(60)

第二篇 风雨沟西侧边坡稳定性研究

引言	(65)
第一章 边坡岩体工程地质特征	(67)
第一节 边坡岩体工程地质特征	(67)
第二节 边坡岩体的物理力学性质	(72)
第二章 边坡岩体结构面发育特征	(75)
第一节 边坡岩体Ⅲ级结构面	(75)
第二节 边坡岩体Ⅳ级结构面	(75)
第三章 边坡岩体结构面抗剪强度	(86)
第一节 结构面抗剪强度研究现状	(86)
第二节 粗糙度系数 JRC 的评定方法	(90)
第三节 JRC 修正直边法	(94)
第四节 结构面摩擦角的物理解析	(98)

第五节 R_f 与 JRC 的相关性	(101)
第六节 JRC 和 JCS 的尺寸效应	(103)
第七节 JRC 的应力效应	(105)
第八节 边坡岩体Ⅳ级结构面的抗剪强度	(106)
第九节 边坡岩体Ⅲ级结构面的抗剪强度	(110)
第四章 边坡岩体稳定性分析	(113)
第一节 边坡岩体稳定性工程地质类比分析	(113)
第二节 边坡稳定性的岩体结构分析	(115)
第三节 边坡岩体稳定性关键块体分析	(116)
第四节 边坡岩体稳定性极限平衡分析	(121)
结论	(131)

第三篇 消力池边坡稳定性研究

引言	(135)
第一章 边坡岩体工程地质特征	(136)
第一节 岩体工程地质特征	(136)
第二节 岩体结构特征	(139)
第二章 岩体力学参数的工程处理	(144)
第一节 岩石(块)的物理力学性质	(144)
第二节 出口段岩体工程分类	(145)
第三节 岩体力学参数的弱化处理	(147)
第三章 边坡破坏模式和影响稳定性因素的敏感性分析	(152)
第一节 破坏模式分析原则	(152)
第二节 破坏模式分析	(152)
第三节 敏感性分析	(154)
第四章 消力池边坡岩体稳定性有限元分析	(157)
第一节 地质模型和计算方案	(157)
第二节 计算参数的选取	(158)
第三节 有限元分析基本方法	(160)
第四节 消力池边坡计算结果分析	(161)
第五章 消力池边坡岩体稳定性评价	(168)
第一节 消力池边坡岩体稳定性概率分析	(168)
第二节 消力池边坡稳定性关键块体分析	(172)
第三节 古倾倒变形体的稳定性问题	(175)
第六章 消力池边坡岩体加固方案	(177)
第一节 消力池上游坡的加固方案	(177)
第二节 消力池上游坡地下水排水设计	(182)
结论	(184)
参考文献	(185)
杜时贵发表论文、专著和奖励一览表	(187)

第一篇

进口高边坡岩体稳定性研究

引 言

黄河小浪底水库工程泄洪发电建筑物进口边坡高达 100 多 m, 长 250 多 m。进口部位由九个塔架组成。水库建成以后, 进口边坡运用期间工作环境条件复杂, 既要考虑各种库水位降落时, 边坡稳定性状, 又要分析地震力和库水位降落时岩体水压力联合作用下, 边坡岩体的稳定性状。总之, 进口边坡是小浪底水库的咽喉工程, 边坡稳定与否, 直接影响到整个水库工程的正常使用和安危, 进口高边坡的稳定性研究具有重大的现实意义。

进口高边坡稳定性研究内容如下:

(1) 根据已有地质资料, 运用岩体结构概率模型模拟原理与方法, 研究进口边坡岩体结构, 建立边坡岩体的地质模型, 为边坡稳定性分析的力学模型和计算模型抽取提供依据。

(2) 根据岩体地质特征和岩体结构模拟结果, 进行岩体强度参数和变形参数估算, 为计算分析提供岩体力学参数。

(3) 根据边坡岩体的地质特征和岩体结构模拟结果, 建立水文地质介质模型, 进行不同水库水位条件下, 边坡岩体水压力的模拟分析, 为边坡岩体稳定性分析提供水文地质参数。

(4) 根据边坡岩体结构条件, 选取两个代表性剖面, 并研究开挖垂直坡和 1:0.2 伽马道坡的两种设计方案, 分析计算边坡岩体的静、动力反应、变形情况、局部破坏的发展变化过程。在分析计算中, 考虑泥岩、泥化夹层非线性和屈服特性。考虑库水位 250、230m 时, 在地震力联合作用下, 边坡岩体性状, 以及库水位由 275m 骤降至 230m 时的边坡岩体性状。考虑进行锚固后, 边坡岩体的性状。

(5) 研究边坡岩体可能失稳的变形破坏形式和可能滑动破坏的概率。

(6) 对边坡稳定性进行综合评价, 并提出处理方案的建议。

根据上述研究目的要求, 本研究制定如图 1-1 所示的研究技术路线。根据制定的研究技术路线, 完成的工作量如下:

(1) 根据设计院地质总队提供的平硐探槽、竖井、钻孔等展示和柱状图, 进行 4000 多条节理、层面、泥化夹层等结构面的几何参数的统计分析, 建立了结构面几何参数的概率模型。

(2) 利用得出的结构面几何参数概率模型, 进行平、剖面岩体结构的计算机模拟分析, 建立了进口边坡岩体结构模型、地质模型和水文地质介质模型。

(3) 根据水文地质介质模型, 进行一个剖面八种水位降落情况下, 边坡岩体结构面水压力分布的计算机预测模拟, 得出边坡岩体中水压力分布图。

(4) 根据岩体地质结构模型, 进行岩体质量评估和岩体力学参数的估算。

(5) 根据岩体地质结构模型, 选择 1[#] 孔板剖面, 进行八种方案的有限元分析。

(6) 根据岩体结构模型和有限元分析结果, 进行八种方案的滑动破坏面计算随机搜索和破坏概率分析。

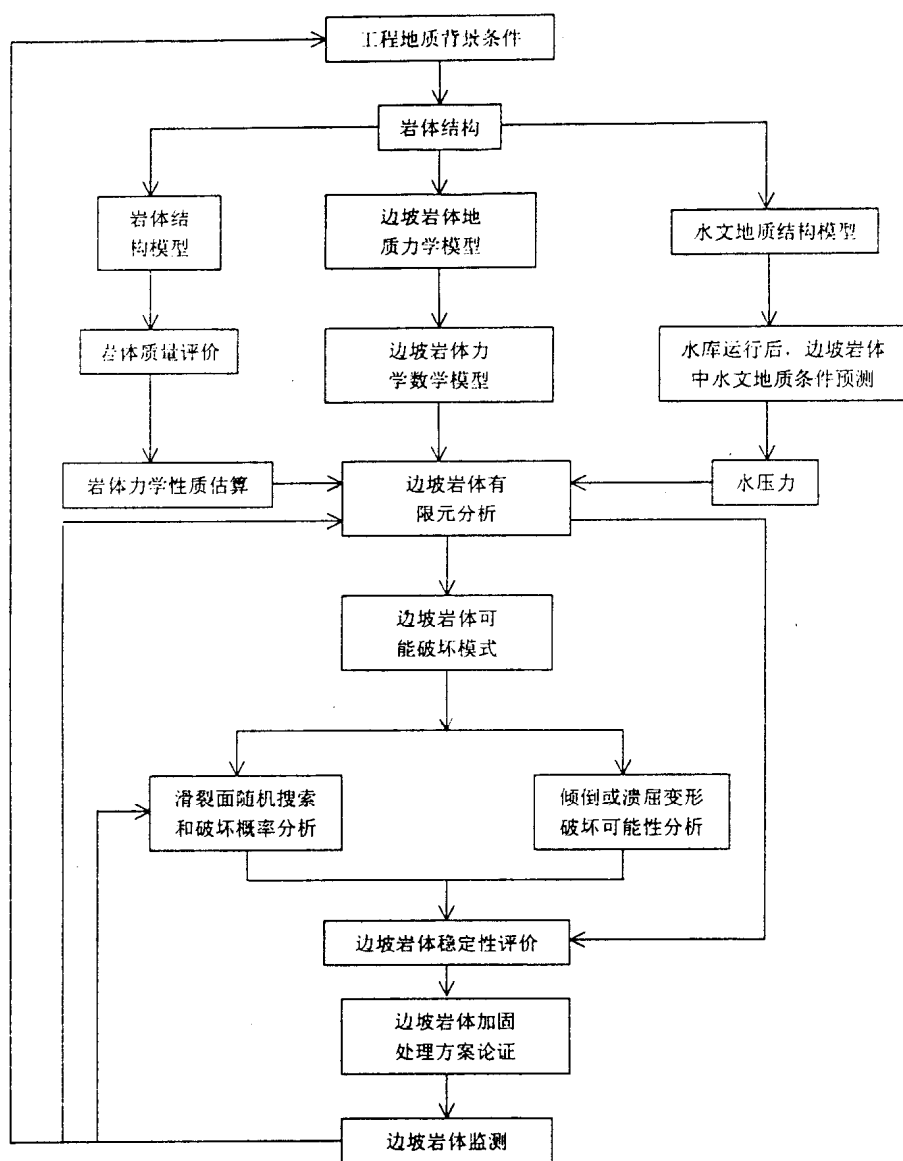


图 1-1 小浪底水库工程引水建筑进口边坡稳定性研究技术路线

第一章 边坡岩体结构和地质模型

第一节 边坡岩体工程地质背景

一、边坡岩体地层岩性特征

小浪底水库工程泄洪、发电引水建筑进口高边坡岩体位于风雨沟东侧。由图1-2可知,边坡岩体主要由下三叠统刘家沟组中、上部红层组成。其岩性特征按由新到老分述如下:

T_1^6 : 棕红色泥质粉砂岩为主,夹紫红色钙质细砂岩,厚度为50.4m。

T_1^{5-3} : 紫红色硅质钙质细砂岩及砂质粘土质、页岩互层,单层多为中厚层,厚30m。

T_1^{5-2} : 紫红色硅质砂岩为主,夹页岩、粘土岩薄层,砂岩为厚至巨厚层状,总厚15~20m。

T_1^{5-1} : 紫红色砂岩,中厚层状,夹较多的粘土岩、页岩层,厚10~15m。

T_1^4 : 浅紫红色厚—巨厚层状硅质中、细砂为主,含极少量页岩夹层,且多集中在底部10余m处,厚60m。

T_1^{3-2} : 紫红色钙质细砂岩为主,其次为泥质粉细砂岩及薄层页岩、粘土岩。泥质粉砂岩为巨厚层状,均匀致密,厚3.0m。

T_1^{3-1} : 浅紫红色硅质细砂岩,夹薄层粉砂岩页岩、岩性相变大。厚30~36m。

T_1^2 : 以紫红色硅质细砂岩为主,其次为泥质粉砂岩、页岩等,中部夹1~2层厚2~5m的葡萄状砾岩,砂岩层间有青灰色粉砂岩条带,厚度共30m。

T_1^1 : 灰紫红色钙泥质粉砂岩,钙质细砂岩夹页岩、粘土岩和少量葡萄状砾岩,厚度30m。

根据设计边坡坡高和位置,边坡顶部由 T_1^{5-2} 、 T_1^{5-3} 和 T_1^{6-1} 组成。边坡眉峰由岩性较软的 T_1^{3-1} 组成,边坡的主体由岩性坚硬的 T_1^4 硅质细砂岩组成,边坡坡脚由岩性比较软的 T_1^{3-2} 地层组成,边坡基底为岩性较坚硬的 T_1^{3-1} 、 T_1^2 和 T_1^1 地层组成。因此,进口边坡岩体可视为由硬—软—硬—软—硬的岩性组成。在边坡稳定性分析中,在边坡眉峰和坡脚的两个软岩层,将起控制作用,应予以充分重视。

二、边坡岩体的地质构造特征

拟开挖进口边坡坡面倾向为NW292°,走向为NE22°。边坡岩层面倾向为112°,倾角为8°~10°,拟开挖边坡属反向坡。

边坡岩体及邻区发育七条断层。表1-1给出这些断层的主要特征。由图1-2和表1-1可知,规模较大的 F_{236} 和 F_{238} 断层走向与边坡走向大致正交,对边坡稳定性影响不大。 F_{28} 断层走向与

进口边坡走向交角约 $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$ ，但其出露位置已在设计边坡范围之西侧，距拟开挖边坡约 400~500m，故此断层对边坡稳定性亦影响不大。其他各条断层均已位于边坡岩体之外，对边坡岩体稳定性不构成威胁。

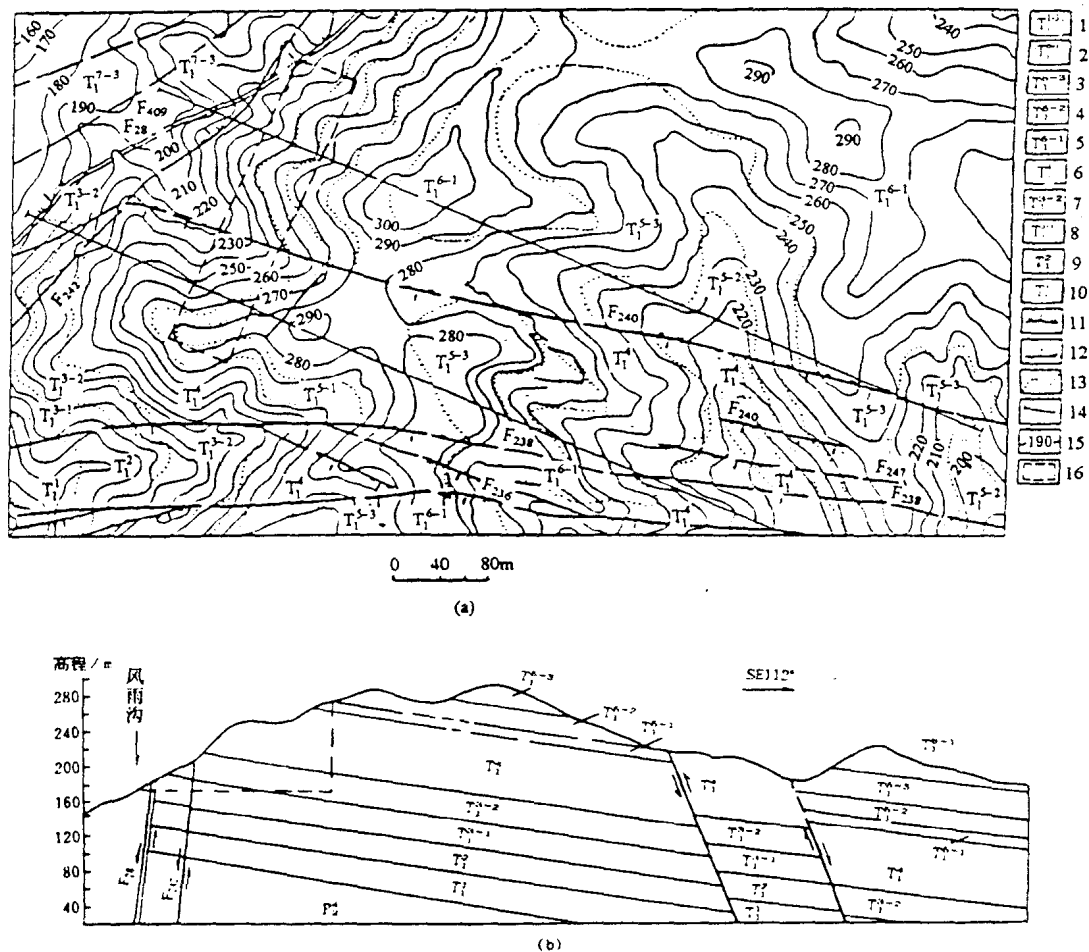


图 1-2 进口高边坡工程地质平面图(a)和剖面图(b)

1. 灰紫色钙质细砂岩；2. 紫红色粘土质粉砂岩；3. 紫红色钙质粉细砂岩；4. 紫红色粉细砂岩和粘土岩；5. 紫红色粉砂质粘土岩；6. 浅紫色厚层状细砂岩；7. 紫红色泥质粉砂岩；8. 紫红色细砂岩；9. 紫红色粉细砂岩；10. 暗紫色泥质粉砂岩；11. 正断层；12. 逆断层；13. 地质界线；14. 剖面线；15. 地形等高线；16. 进口边坡位置

根据边坡岩体中平硐、竖井、探槽中出露的节理统计，边坡岩体发育有三组节理：①近东西，倾向 S，倾角 $70^{\circ} \sim 80^{\circ}$ ；②NW $330^{\circ} \sim 340^{\circ}$ ，倾向 SW，倾角 80° 左右；③NE $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$ ，倾向 SE，倾角 80° 左右。

野外节理调查发现，绝大部分节理发育在砂岩中，且不切过上、下软岩层。对比各组节理产状和边坡坡面产状可知：①、②两组节理的倾向与坡向呈 $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 交角，③组节理的倾向与坡向交角为 80° ，对边坡稳定性影响不大。但三组节理均为陡倾，其倾角与边坡倾角近于一致，把边坡岩体切割成板柱状结构，影响岩体的完整性。对进口边坡稳定性可能起控制性作用。

表 1-1 进口边坡岩体断层特征表

序号	断层编号	位置	产状/(°)			垂直断距/m	延伸长度/m	断层带宽度/m	断层性质	断层带物质组成及胶结情况
			走向	倾向	倾角					
1	F ₂₃₆	风雨沟左岸	NE80~SE106	SE~SW	75	65~75	大于1000	1~3	正	泥质胶结角砾岩,两侧发育有顺倾向分支断层
2	F ₂₃₈	风雨沟左岸	NE80~SE106	SE~SW	80~85	32~36	大于1000	1~3	逆	泥质胶结角砾岩,两侧发育有顺倾向分支断层
3	F ₂₄₀	风雨沟左岸	SE105	SW	85	12~15		0.5	逆	泥质胶结角砾岩
4	F ₂₈	风雨沟左岸	NE45~NE55	NW	85	300	大于2000	0.8~5.0	正	泥质胶结角砾岩,有方解石断续充填
5	F ₂₄₂	风雨沟左岸	NE35~45	NW	86	0.5			正	
6	F ₄₀₆	风雨沟左岸		SE	70				正	
7	F ₄₀₉	风雨沟沟底	NE45~55	SE	66		950		正	

三、边坡岩体泥化夹层特征

野外调查表明,拟开挖的进口高边坡岩体中夹有多层泥化夹层,这些泥化夹层均与软岩相伴生,多数沿软岩与砂岩的接触面分布。大多位于软岩夹层的顶部或底部,其次位于软岩夹层中部,少数软岩夹层全部泥化。据泥化夹层结构和构造特点,把泥化夹层分为:单层构造、双层构造、三层构造和多层构造等四种,其中双层构造泥化夹层最为常见,约占泥化夹层总数的70%。根据泥化夹层粒度成分和厚度,将泥化夹层分为:全泥型、泥夹碎屑型、泥夹粉砂-粉砂夹泥型、泥膜型、碎屑夹泥型等五类。这五类泥化夹层的抗剪强度以碎屑夹泥和粉砂夹泥型为最好,泥膜型次之,全泥型最差。

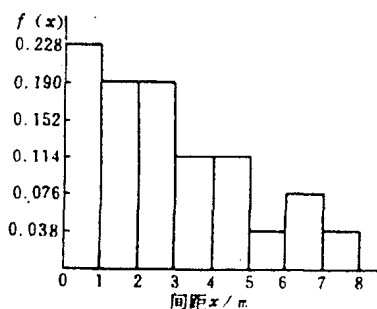


图 1-3 泥化夹层间距直方图

图 1-3 给出了边坡岩体泥化夹层间距概率密度分布直方图。由图可知,泥化夹层间距概率密度分布近似服从负指数分布。

泥化夹层产状与层面一致,因此,其对进口边坡稳定性的影响,主要表现在降低岩体的抗变形能力。在边坡开挖后,在分布应力作用下,泥化夹层产生压缩,使泥化夹层上、下岩层出现拉应力。当夹层层数较多时,这种拉应力区将不断扩大,进而使边坡岩体中存在较大范围的拉应力区,而不利于边坡稳定。

四、边坡岩体的水文地质条件

根据压水试验资料表明,进口边坡岩体的渗透性具有垂直分带规律,如图 1-4 所示,由坡顶至坡底可分为:①强或极强透水层;②弱透水层或相对隔水层;③强透水层;④弱透水或相对隔水层;⑤中等透水层。表 1-2 给出了各层的单位吸水量值。由图 1-4 可知,拟开挖的进口边坡,在眉峰附近有一相对隔水或弱透水层,在坡脚附近有一厚 30m 的弱透水或相对隔水层。在水库蓄水前,边坡岩体的地下水位约 130~140m。因此,边坡岩体不含水。

表 1-2 进口边坡岩体透水性垂直分带

编号	透 水 性	底面高程/m	厚度/m	ω_{cp} 值	相应地层层位
1	强或极强透水层	270		0.54~0.51	$T_1^{5-2} \sim T_1^{5-3}$
2	弱透水或相对隔水层	260	10	0.02~0.005	T_1^{5-1}
3	强透水层	200	60	0.54	T_1^4
4	弱透水或相对隔水层	170	30	0.02~0.01	T_1^{3-2}
5	中等透水层	80	90	0.088	T_1^{3-1}, T_1^3, T_1^1

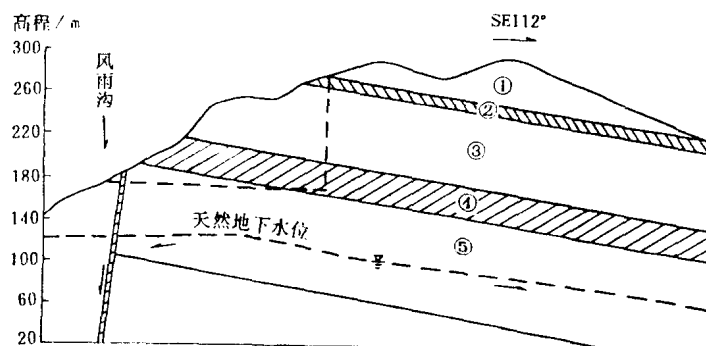


图 1-4 边坡岩体水文地质剖面

五、边坡岩体断裂力学特征

进口高边坡地段岩体普遍发育脆性断裂构造,从较大的断层至局部节理均具有典型脆性岩体结构特征,正确认识这些断裂特征对开挖、运营中的岩体稳定问题分析具有重要的意义。

传统构造地质学、岩石力学对岩体断裂的认识,主要局限于直剪(direct shear)和拉断机制,它不能有效地考虑岩体的原始缺陷,也不能考虑断裂发育的力学阶段,因而不能完全揭示断裂发育的客观规律性。岩体断裂力学将岩体视为多裂隙系统,运用应力强度因子(或断裂扩展力)的概念和新的断裂扩展模式研究断裂的发展过程,认为断裂的起始、扩展终结和相互作用都是岩体原有缺陷的发展。理论和实践表明,较传统研究其具有明显的优越性,并已成功地解释一些构造断裂和工程断裂机制,准确地解决工程实际问题。可以认为,岩体断裂力学是岩体力学发展的新阶段。

(一) 边坡岩体断裂构造轮廓的断裂力学分析

断裂形态是通过断裂在地表出露的迹线表现出来的, 它们无论在平面上或剖面上都表现为分形。断裂平面形态是长期研究的热点, 它不仅可以揭示断裂分布及其相互归属的特性, 而且可以分析断裂活动方式, 并进行活动性分区带。

研究表明, 在一条断裂带上断裂几何形态最复杂的地段分维数最高, 而这些地段最易引起应力集中, 导致岩体失稳。小浪底地区岩体断裂平面分维数在 1.1~1.4 左右, 显示断裂属中等至中等偏低复杂程度, 这与断裂野外调查结果是一致的。进一步分析发现, 边坡岩体中断裂分维数并不偏高, 显示断裂发育不甚复杂; 而断裂分叉部位(风雨沟附近)分维数急剧增高, 断裂活动性增强。

断裂的分维与其形成的力学环境存在着密切的关系, 剪切断裂具较小的分维数, 经统计其典型值在 1.1~1.3 左右, 而在张性环境中形成的断裂系则具有较高的分维数, 其统计典型

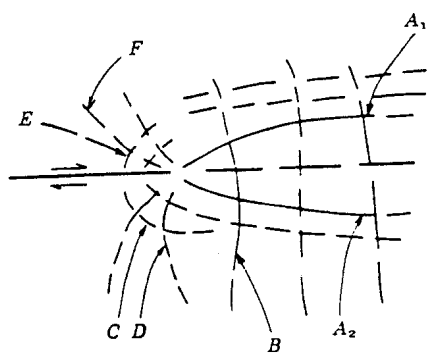


图 1-5 水平位移断裂尖端的断裂扩展

值在 1.5~1.6 左右(周尽, 1991)。可见小浪底地区岩体断裂后期平面图像表现出一定的剪切活动特征, 而不是典型的正断活动, 即断裂有一定的水平位移。这与野外观察十分一致!

Chinney(1965)考察了长 200km, 深 10km 的垂直断裂模型, 在使断层中点产生 5m 水平位移的条件下, 求出了断裂附近产生的应力集中和最大剪应力方向, 并指出, 由于这一运动的结果, 在应力集中的断裂末端可产生 6 种类型的剪断型断裂(图 1-5)。进口高边坡地段岩体平面特征与此类似, 只是同时还有较大的垂直

位移分量, 属于混合型断裂。

进行岩体稳定性分析时应当充分考虑断裂的这种力学性质。

根据岩体断裂力学研究, 一条断裂本身通常并不是由一个平面组成, 剪性断裂通常由雁列排列的断裂组成。实验室和野外研究表明, 这是先期张性初始断裂和后续剪切断裂共同组成的外观(图 1-6)。边坡附近有多条这类断裂, 如 F_{250} 、 F_{238} 和 F_{236} 等。因此根据地表局部露头点断裂产状推测地下开挖断裂出露位置时, 应当考虑断裂的这一特征, 而按单一断裂面进行推测是会出现较大误差的。一号和二号导流支洞断裂出露位置估计的偏差主要即是由此原因造成的。

研究表明, 断裂在剖面上的展布有时也呈现雁列分布的特点, 这时断裂面可出现数个, 呈一断裂带, 并向完整围岩过渡。

本区野外观察到的最典型断裂为 F_{250} , 该断裂在东翁沟出现典型的剖面扩散现象, 各分支断裂面均具 0.5~1m

厚度。 F_{236} 和 F_{238} 也具有类似的特点。以上现象在多处探槽和平峒中均有所揭示。

据一号和二号导流支洞施工情况介绍, 洞内出现的断裂大多具有多面扩散的现象, 施工

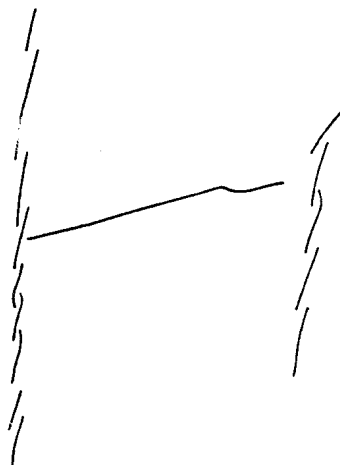


图 1-6 断裂的组成

时不应将这些断裂中的一条或数条当作断裂的整体。正确认识这些断裂的特征,对施工预报是极为有效的。

(二) 边坡岩体节理性质的断裂力学特征

岩体断裂力学按照位移方式将断裂划分为Ⅰ型(张开型)、Ⅱ型(滑移型)和Ⅲ型(撕裂型)(图 1-7)及其复合型,定义节理以Ⅰ型位移为主,断层以Ⅱ、Ⅲ型位移为主。

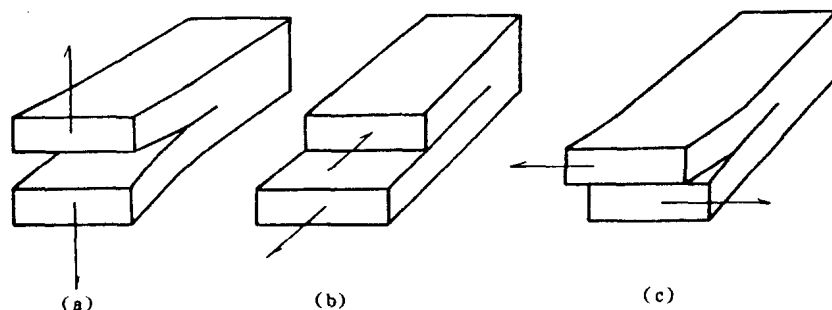


图 1-7 断裂的三种基本形式

(a) Ⅰ型(张开型); (b) Ⅱ型(滑移型); (c) Ⅲ型(撕裂型)

进口高边坡地段普遍发育十分典型的节理(Ⅰ型断裂)构造,其主要特点是:

- (1) 节理大多陡倾,近于正交切割层面。
- (2) 节理密集程度与层厚、岩性有密切的关系,厚层砂岩中节理较稀疏,薄层砂岩节理较密集。页岩和薄层粘土岩中节理普遍十分密集。节理由砂岩进入页岩(粘土岩)时具有折射和扩散现象。
- (3) 节理普遍发育十分优美的羽饰构造,使之十分便于辨认。
- (4) 由于局部应力场的改变,Ⅰ型面的前端可扩散成雁列式构造,这种现象在小浪底地区发育得特别典型。风雨沟和东翁沟两处可见的规模巨大的扩散现象。
- (5) 多处发育有 Griffith 型节理,其翼形分叉为垂直方向,显示本区应力场为以自重为主。

节理网络的发育控制了边坡岩体的滑移型式。本区开挖边坡出现的滑移面均为折线状,即由断层面、节理面和层面(或泥化夹层)共同决定了滑移面。这种滑移模式在本区具有普遍意义。

第二节 进口边坡岩体结构特征

拟开挖的进口边坡岩体为下三叠系组成的缓倾层状砂泥岩岩体,经过构造应力作用,岩体中形成规模不同、方向各异的构造结构面,使层状岩体完整性进一步解体,并形成特定的岩体结构。这种特定的岩体结构,决定了岩体的强度和变形性质,决定了岩体的透水性能,控制边坡开挖卸荷引起应力传播和可能变形破坏机制,因此,决定了对边坡工程的适应性。

岩体结构包括结构面和结构体两要素,并可把岩体视为结构面交切而成的各种结构体组合而成的地质体。岩体中结构体规模与结构面规模密切相关,不同规模结构面交切而成的结构体,形成不同级序结构体。根据边坡岩体的工程地质调查表明,边坡岩体中无大的断层构造,仅发育构造节理、层面和泥化夹层(可作层面构造处理)。根据已故谷德振教授的结构面规模五级分级标准(谷德振,1980),均属于Ⅳ~Ⅴ级结构面。对于这种规模较小,密度很大Ⅳ

级结构面及其交切而成的结构体的情况,由于岩体露头条件限制,仅根据野外地质调查,很难查明。为此,本研究中,采用野外露头(天然和人工露头)上Ⅳ级结构面(节理、层面)的实测统计,建立表征Ⅳ级结构面空间位置的各种几何参数的概率模型,运用蒙特卡洛模拟原理和方法,由计算机模拟Ⅳ级结构面网络的发育形式,得出表征Ⅳ级结构面特点的节理网络图像,根据得到Ⅳ级结构面网络,求得表征Ⅳ级结构体规模和特征的结构参数,为评价和估算边坡岩体的工程性质、边坡岩体地质结构模型和水文地质介质模型抽取提供依据。

一、岩体结构面几何特征的实测统计概率模型

岩体结构是由结构面空间几何分布特征所决定,而结构面在三维空间中分布,由结构面形态、产状、规模、密度和隙宽(张开度)等五个因素决定。概率论可证明,间距等参数不是独立于上述五个参数的因素。为此,首先讨论边坡岩体结构面各几何参数的统计特性及统计参数,为岩体结构计算机模拟提供依据。

(一) 结构面形态

单个结构面的几何形态是计算机模拟基础。但迄今为止,结构面形态的形成机制尚未解决。目前国内外研究者认为:岩体结构面形态为圆形、椭圆形或长方形,在沉积岩中,岩体结构面多呈长方形。据此,本研究作如下假设:①边坡岩体中结构面为长方形;②长方形中心,在岩体中呈随机或准随机分布。

(二) 结构面产状和组数

节理等结构面产状和组数是岩体受构造应力作用的产物。因此,对于一定地质环境中形成的岩体而言,其结构面组数和产状变化有一定规律。因此,在结构面几何参数分布函数形式实测统计时,首先要对结构面分组,然后按所划分结构面组分别统计几何参数概率分布特征。

结构面分组可用极点投影方法,通过极点投影找出各组结构面优势方位,以及确定每个结构面分组归属。然后,按组结构面产状分别进行统计,得出各组结构面产状要素变化直方图。

为了给平面和剖面结构面网络模拟提供产状概率模型,结构面分组应分别按走向和倾向进行分组。

根据进口边坡附近岩体的平硐和天然露头的结构面产状实测资料,得出如图1-8所示的极点投影图,由图可知,进口边坡岩体结构面(节理)可分为如表1-3所列的三组。

(三) 结构面产状概率模型

1. 结构面走向和倾角概率模型

现场岩体结构面产状实测资料表明,同一组结构面在其展布方向(走向)上有较好一致性,但由于岩体介质的不均性、构造应力作用方式和边界条件的影响,同一组结构面产状在极点投影图上,并非严格

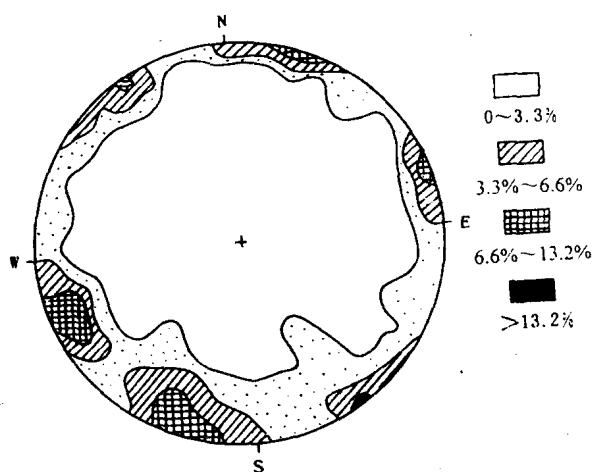


图 1-8 边坡岩体节理极点投影密度图