

软弱层带对似层状结构岩体强度参数的影响

胡卸文

(西南交通大学土木工程学院, 四川 成都 610031)

摘 要:通过对赋存于似层状结构玄武岩岩体中随机发育缓倾角软弱结构面的厚度、间距及连通状况的调查,分析了缓倾角软弱结构面对相应基本岩体强度参数各向异性的影响,并探讨了缓倾角软弱结构面连通率的求解方法,最后通过“连通率”和“厚度加权”法得到了水平和垂直的强度参数值。

关键词:似层状结构;强度参数;连通率

中图分类号:TU45;TU43

文献标识码:A

水电及交通工程建设中,常见以沉积岩(如砂岩、泥岩)、部分变质岩(如板岩)等层状结构和火山岩(如玄武岩)等似层状结构岩体,由于这种特殊结构对所赋存岩体力学性质的控制作用,人们通过大量的工程试验研究,提出了层状结构岩体力学性能的“各向异性”的概念。近年来,国内外学者在岩石各向异性方面进行了大量研究工作,如对层状岩石抗压强度围压效应各向异性;以节理、完整岩块及其组合体之间应力、位移协调关系,导出了成层单向节理岩体的弹性参数;通过建立岩体的损伤断裂模型,用计算机模拟试验法研究了节理岩体变形模量、抗剪强度的各向异性特征;根据断续节理岩体结构的力学效应和压剪断裂破坏特征,用 Hock-Brown 经验准则预测含断续节理岩体的强度,建立出强度参数 m, s 值与断续节理的几何尺寸等^[1~5]。上述研究成果主要都是针对含硬质结构面的各向异性研究,而就似层状结构岩体中软弱结构面的间距、厚度等对其力学性质的各向异性涉及得较少,其中对变形模量的软弱层带厚度效应作者已作过分析^[6];实际上这种软弱层带厚度、间距及空间连通状况也会对强度参数各向异性产生影响。下面以西南某水电工程坝区似层状结构的玄武岩岩体为实例,分析玄武岩岩体中随机发育的层内构造错动带(简称 Lc)

厚度、间距及空间连通状况对强度参数的控制效应。

1 玄武岩岩体中 Lc 总体发育状况

1.1 Lc 间距

据文献[6],坝区玄武岩岩体中随机发育的层内错动带(Lc)均分布于每一岩流层下伏玄武岩岩体中,通过对 Lc 性状及不同层位 Lc 的发育密度、产状等调查,表明坝区 Lc 从物质成分上可分成三类,即裂隙岩块型、含屑角砾型和岩屑角砾型;软弱物质厚度一般在 0.5~3 cm。而从产状、尤其是倾角上看,则以 10°~15°倾角最具优势。从延伸长度上看,主要集中在 20~60 m 间;部分在 0~20 m 和 >60 m。因此从 Lc 性状、厚度、产状及延伸长度上看,它对本已属似层状结构的玄武岩岩体力学性质的各向异性更进一步起重要的控制作用。

表 1 显示坝区 Lc 的总体平均发育度为 0.59 条/10m。就各岩流层而言,以第 5、4、8 三层最为发育,平均发育度分别为 1.06、0.85 和 0.71;其次为第 6、2、9、7 层,而第 10 层最不发育。据表 1 统计结果,可以得出各岩流层在顺平洞方向(水平方向)之间的间距,为了方便起见,同时也为了将复杂问题简单化,在将水平方向上的 Lc 间距换算成真间距时,

收稿日期(Received date):2002-12-10;改回日期(Accepted):2003-01-15。

基金项目(Foundation item):西南交通大学科学研究基金(项目编号:1999XM15)资助。[Supporting by Science foundation of Southwest Jiaotong University.]

作者简介(Biography):胡卸文(1963-),男,博士,教授,博士生导师,1985年毕业于成都理工大学水文地质专业,主要从事工程地质、环境地质方面的教学和研究工作。[HU Xie-wen(1963-), male, doctor, professor, graduating from Chengdu University of Technology, experting in teaching and researching of engineering geology or environmental geology.]

表 1 坝区两岸各层 Lc 总体发育状况统计表
Table 1 Total developing characteristic of Lc in every strata

层位	统计 洞数	总洞长 (m)	Lc 条数	平均发育度 (条/10m)	集中发育段数 /总长度(m)	集中带 条数	集中度 (条/10m)	集中带条数占 总条数(%)	集中带占总 洞长(%)
P2β4	1	200	17	0.85	3/98	16	1.63	94.1	49.0
P2β5	5	746.2	79	1.06	15/359	70	1.95	88.6	45.1
P2β6	15	3668.39	206	0.56	27/713	136	1.91	66.0	19.3
P2β7	5	555.0	26	0.47	7/94	16	1.70	61.5	16.9
P2β8	12	1232.18	88	0.71	14/341	75	2.20	85.2	27.7
P2β9	7	924.9	46	0.50	8/87	25	2.87	64.1	9.4
P2β10	4	384.8	11	0.29	2/38	6	1.58	54.5	9.9
P2β11	2	165.0	—	—	—	—	—	—	—
P2β12	6	888.9	47	0.53	10/114	40	3.51	85.1	12.9
总计	57	8778.37	520	0.59	86/1844	384	2.08	73.8	21.0

对 Lc 作简单概化处理,即 Lc 总体均按 15°倾角计算,所得 Lc 的真实概化间距见表 2。

1.2 Lc 全迹长及连通率的投影法分析

根据上述关于地表实测 Lc 全迹长的有关特点,为了全面了解 Lc 的连通情况,在掌握上述 Lc 全迹长及 Lc 间距成果的基础上,利用实测资料所获的坝区两岸立面图关于 Lc 延伸分布状况,对每一岩流层的 Lc 进行按水平方向(类似今后拱坝推力方向)及顺层面方向的线连通率统计,结果见表 3 和表 4。根据两表对比,从中可以看出以下特点:

表 2 坝区各岩流层 Lc 间距概化统计
Table 2 Statistical spacing of Lc in every strata

层位	平均发育度 (条/10m)	水平方向视 间距(m)	实际概化 间距(m)
P2β4	0.85	11.76	3.04
P2β5	1.06	9.43	2.44
P2β6	0.56	17.86	4.62
P2β7	0.47	21.28	5.51
P2β8	0.71	14.08	3.65
P2β9	0.50	20.00	5.18
P2β10	0.29	34.48	8.92
P2β12	0.53	18.87	4.88
总计	0.59	16.95	4.39

1. 在相同统计厚度条件下,Lc 顺层面获取的连通率均高于水平方向。如从总平均值上看,按 2m 投影统计厚度,顺层面 Lc 连通率为 18.6%,而水平方向则为 13.2%,这一结果显然与 Lc 的产状分布密切相关;

2. 在相同测线方向条件下,随统计厚度的增加,Lc 连通率也随之增加。也从总平均值上看,统计厚度从 2m→3m→4m,相应的顺层面 Lc 连通率则从 18.6%→26.0%→30.9%,这是符合一般发育规律的。

3. 从不同岩流层 Lc 的连通率看,以顺层面为例,第 5、12、8、4 层值相对较高,第 6、7 层则稍低一些,这种特点与上节各岩流层 Lc 间距大小也完全相符,即间距小,则相应连通率要大一些。

2 Lc 厚度及间距对坝区强度参数各向异性的影响

2.1 岩体强度参数考虑软弱层带效应的弱化参数确定

综合上述分析,对坝区岩体强度参数在考虑 Lc 的效应时,Lc 间距、连通率是很重要的基本参数。根据 Lc 在不同风化带岩体中的强度参数整理值,结合已论证的 Lc 在不同风化带岩体中主错带和影响带的厚度变化情况,提出坝区岩体强度参数考虑 Lc 效应所需的概化值,见表 4。

表 3 坝区地表 Lc 连通率统计表

Table 3 Statistical continuity of Lc along with horizontal

实测位置	顺层面方向 (bedding plane)				实测位置	水平方向 (horizontal)			
	总长(m)	Lc 长度 (m)	线连通率 (%)	统计厚度 (m)		总长(m)	Lc 长度 (m)	线连通率 (%)	统计厚度 (m)
右 P2 β 8 I ~ VII	1075	180.9	16.8	2	I ~ II	525	65.3	12.4	2
		253	23.5	3			111.5	21.2	3
		324.6	30.2	4			133.9	25.5	4
右 P2 β 12 I ~ VII	1075	182.8	17	2	I ~ II	525	54.77	10.4	2
		321	29.9	3			73.13	13.9	3
		411.2	38.34	4			112.78	21.5	4
右 P2 β 7 I ~ VII	1075	188.6	17.5	2	I ~ II	525	109.44	20.8	2
		240.9	22.4	3			167.61	31.6	3
		277.2	25.8	4			192.2	36.6	4
右 P2 β 6 I ~ II	526	106.9	20.3	2	I ~ III	525	94.13	17.9	2
		122.6	23.3	3			121.71	23.2	3
		142.5	27.1	4			147.98	28.2	4
右 P2 β 4 I ~ 上游	606	153.6	25.3	2	I ~ 上游	525	81.28	15.5	2
		196.5	32.4	3			84.7	16.1	3
		219.6	36.2	4			111.6	21.3	4
左 P2 β 8 上游 ~ VII	1267	108.8	8.3	2	I ~ II	525	58.6	11.2	2
		193.4	15.3	3			79.1	15.1	3
		241.3	19	4			98.9	18.8	4
左 P2 β 5 I ~ 上游	425	106.8	25.1	2	左 P2 β 7 I ~ II	425	22.2	4.2	2
		150.5	35.4	3			31.5	6.0	3
		167.7	39.5	4			37.59	7.2	4
总体统计		投影厚度(2m)%	投影厚度(3m)%	投影厚度(4m)%			投影厚度(2m)%	投影厚度(3m)%	投影厚度(4m)%
右平均		19.4	26.3	31.5			15.4	21.2	26.6
左平均		16.7	25.4	29.3			7.7	10.6	13.0
总平均		18.6	26	30.9			13.2	18.2	22.7

2.2 综合效应的计算方法

对似层状岩体强度参数(f' 、 c')考虑 Lc 的综合,同 E_0 相似^[9],也按水平和垂直两个方向进行,水平方向的综合将按连通率的折减方法进行,而垂直方向的综合则仍采用“厚度加权法”进行。

表 4 软弱层带对岩体强度参数综合效应所需的 Lc 概化值

Table 4 Statistical parameter of Lc for rock mass strength parameter weakening

岩体风化卸荷带	Lc 类型	考虑单条随机分布 Lc	
		f'	c' (MPa)
微-新	裂隙岩块型	0.55	0.25
弱下、无卸荷	弱风化含屑角砾型	0.44	0.10
弱上、弱卸荷	弱风化岩屑角砾型	0.40	0.07
弱上、强卸荷	强风化岩屑角砾型	0.35	0.05

2.3 Lc 对岩体强度参数各向异性的影响

根据上述计算原则和方法,似层状岩体强度参数(f' 、 c')将按不同级别岩体,据坝区两岸实测 Lc 连通率和间距的总体平均值进行综合分析,具体详见表 5。可见由于水平方向和垂直方向的综合方式不同,强度参数(f' 、 c')相应降低幅度也不相同,水平方向上的降低幅度一般分别在 15% ~ 18% (f')和 20% ~ 24% (c')(2m 投影厚度),垂直方向上的降低幅度一般分别在 4% ~ 8% (f')和 7% ~ 10% (c')。而相应得到的 f' 的各向异性系数(\perp/\parallel)一般在 1.02 ~ 1.08 之间; c' 的各向异性系数(\perp/\parallel)一般在 1.08 ~ 1.17 之间,这一结果与实际地质状况是相符的。

表 5 坝区基本岩体强度参数背景值与似层状岩体强度参数考虑 Lc 影响效应整理值

Table 5 Background value of basic rock mass and weaked and collating value of synthetic rock mass(f' , c')

岩级	垂直方向				Lc 间距 (m)	水平方向				连通率
	背景值		综合效应值			背景值		综合效应值		
	f'	c' (MPa)	f'	c' (MPa)		f'	c' (MPa)	f'	c' (MPa)	
I	1.642.8	1.64	2.8			1.64	2.8	1.64	2.8	0
II	1.35	2.5	1.30	2.3		1.35	2.5	1.20	2.1	
III ₁	1.22	2.2	1.16	2.0	4.39	1.22	2.2	1.07	1.8	13.2%
III ₂	1.20	1.4	1.11	1.3		1.20	1.4	1.05	1.2	(2m 投 影厚度)
IV ₁	1.02	1.0	0.94	0.9		1.02	1.0	0.90	0.8	
V	0.35	0.05	0.35	0.05	0.35	0.05	0.35	0.05	100%	

参考文献(References):

- [1] XI Daoying, CHEN Lin, ZHANG Tao, Anisotropic property of sandstone deformation, *Chinese journal of rock mechanics and engineering*, 1995, **14**(1):49~58. [席道瑛, 陈林, 张涛. 砂岩的变形各向异性[J]. 岩石力学与工程学报, 1995, **14**(1):49~58]
- [2] LIU Dongyan, ZHU Keshan, Anisotropic study of rockmass strength containing intermittent joint, *Chinese journal of rock mechanics and engineering*, 1998, **17**(4):366~371. [刘东燕, 朱可善. 含断续节理岩体强度的各向异性研究[J]. 岩石力学与工程学报, 1998, **17**(4):366~371]
- [3] HU Xiewen, LI Qunfeng, ZHAO Zesan, Mechanic property of fissuring clay, *Chinese journal of geotechnical engineering*, 1994, **16**(4):81~88. [胡卸文, 李群丰, 赵泽三, 等. 裂隙性粘土的力学特性[J]. 岩土工程学报, 1994, **16**(4):81~88]
- [4] KONG Defang, ZHANG Huiying, HU Xiewen, Fissuring Clay, Beijing: Geology Publishing House, 1994. [孔德坊, 张惠英, 胡卸文, 等. 裂隙性粘土[M]. 北京:地质出版社, 1994.]
- [5] ZHOU Weiyuan, Advanced Rock Mechanics, Beijing: Water Conservancy Publishing House, 1990. [周维垣. 高等岩石力学[M]. 北京:水利出版社, 1990.]
- [6] HU Xiewen, ZHONG Peilin, Effect of weak interbed thickness on deformation modulus of rock mass with quasi-lamellar structure, *Chinese journal of rock mechanics and engineering*, 2002, **21**(4):1302~1306. [胡卸文, 钟沛林. 似层状结构岩体变形参数的软弱层带厚度效应[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, **21**(4):1302~1306]

Study on Evaluation of Strength Parameter of Quasi-lamellar Structure Rock Mass

HU Xie-wen

(Department of Engineering Geology, Jiaotong University of Southwest, Chengdu, 610031 China)

Abstract: Through statistical investigation spacing, thickness and continuity of low angle weakness plane that existing quasi-lamellar structure basalt rock mass, we analyze the affect of this low angle weakness plane to rock mass strength parameter, and obtain the method of low angle weakness plane continuity. Through continuity and thickness weighted average method, the horizontal and vertical strength parameter of synthetic rock mass are obtained.

Key words: quasi-lamellar structure; strength parameter ; continuity