

块裂岩体渗漏与稳定分析

——南谷洞水库裂隙发育规律的研究

万长吉

(水利系)

为解决绕坝渗漏和溢洪道边坡稳定问题,对坝址区的裂隙分布规律进行了调查研究。南谷洞水库坝址区分布着被陡倾角裂隙所切割的厚层石英砂岩,属于层状块裂岩体结构。块裂岩体的稳定及渗漏问题,主要受结构面的分布规律及其组合关系所控制。本文主要采用“极大法”按四条测线调查了全区裂隙的最大密度方向及其分布规律,并对可能出现的问题作了定性分析。

南谷洞水库位于河南省林县西北部太行山区,露水河下游。水库建成后发现有严重的渗漏问题,为了提出合理的补救措施,河南省水利厅勘探队进行了补充勘探工作。本人曾参加这一工作并对坝址区的裂隙发育规律进行了调查研究。本文仅根据地表实测资料,对坝址区的裂隙发育规律及其对绕坝渗漏及边坡稳定的影响提出如下分析意见,不当之处敬请批评指正。

一、地质概况

本区处于太行山新华夏褶皱带南段轴部。测区内基本构造特征为:磨沿栈断层及五洞沟断层所组成的南谷洞地堇(参看图1)

1、磨沿栈断层:位于水库下游1.2公里。为一正断层,走向为南东110度,倾向南西,倾角80度左右。

2、五洞沟断层:位于坝上游600米处的五洞沟及圣子沟中间。亦为正断层,其走向为南东105度,倾向北东,倾角70—80度。本测区范围即在两个断层所组成的地堇中间为一平缓的单斜构造,区内除裂隙普遍分布外没有发现其它断层。

岩性单一,在河谷两岸仅分布有寒武系下统(ϵ_1)沧浪铺阶上八里组一套地层,岩性为石英砂岩及页岩。岩石产状一

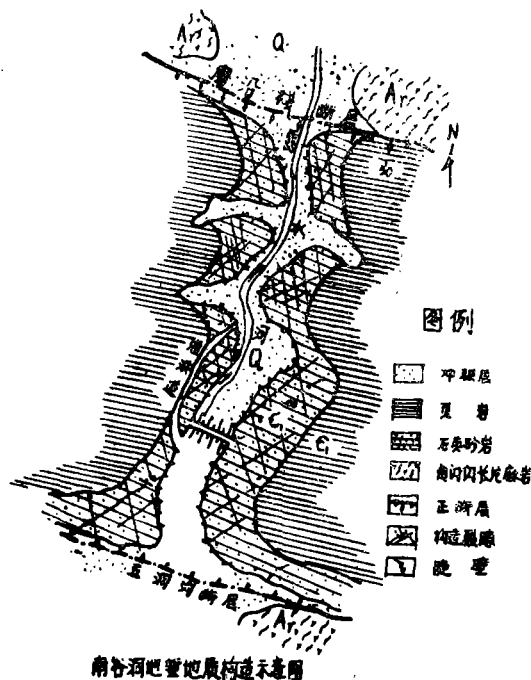


图 1

一般为北东40度。倾向北西，倾角4度。

地形、地貌条件复杂，石英砂岩成陡壁出露。河谷两岸为厚层石英砂岩所组成的嶂谷地形。谷底宽约60米，谷壁高达80米。河谷受构造裂隙的影响成“之”字型分布。在南谷洞地堑中，宛如一条曲折的“胡同”。

二、裂隙发育的基本规律

为研究裂隙的发育规律，我们在坝址区0.6平方公里面积内对494条裂隙进行调查，并在对裂隙统计分析的基础上提出定性的评价。

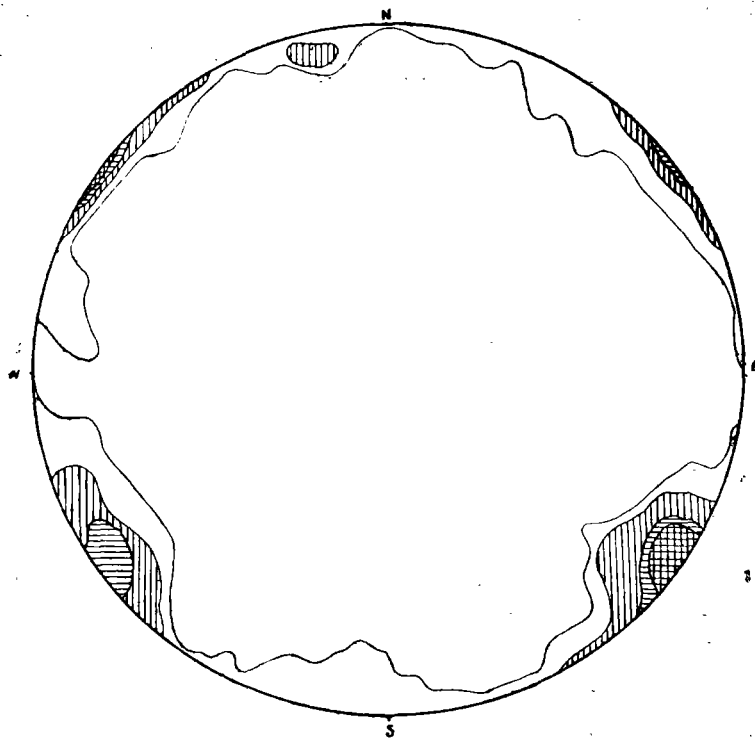
1、裂隙的分布与岩性有密切联系：

通过野外测绘明显看到裂隙主要分布在河谷两岸的厚层石英砂岩中，在页岩中极少看到，同时由于页岩容易被风化，即是有少量的裂隙也变得极不明显。我们所调查的裂隙也都是分布在厚层的石英砂岩之中。因此这里所谈到的裂隙分布规律系指在砂岩中的分布规律。

2、裂隙产状的分布规律：

将494条裂隙按测量的不同方向分为四组进行统计，即溢洪道、河谷左右岸，圣子沟一

图 2. 南谷洞水库裂隙极点等密度图



图例 >5-7% (3-5)% (1-3)% (0.5-1)%

图2 南谷水库裂隙极点等密度图

五洞沟等四个测区, 并根据右岸Ⅱ级输水洞的编录资料综合分析, 并编出全区的裂隙极点等密度图(参看图2)。

从全区极点等密度图上分析可得出下面二个结论:

①、本区裂隙可分为四组: 其中以北西(310—340度)及北东(30—60度)为最发育, 其次为北东东(80—90度)和北西西(270—290度)

②、高角度裂隙在本区占绝大多数, 倾角大于 80° 的占84%。

按极大法^[3]将五个测区的裂隙(其中包括Ⅱ级输水隧洞)综合分析求得本区裂隙极大发育方向为北321—330度西(4M, 69条; M表示裂隙密度极大位置的出现次数), 第二极大值为北31—40度东(4M49条)。(参看表一)

从表一中可看出, 北西向的裂隙最多, 但出露方向不集中。例如北311—320度西(2M55条), 北321—330度西(4M69条), 北331—340度西(1M47条)。但北东方向的裂隙条数虽没有北西方向的裂隙多, 但发育方向集中。均集中在北31—40度东之间。从地质图上可看到北东方向的裂隙多成密集带出露。因此, 按发育强度及对渗漏的影响程度来说北东方向的裂隙要比北西方向的裂隙强烈。

这里应当说明, Ⅱ级输水洞的方向为北东32度, 因此在这个方向所进行的裂隙统计中使得北31—40度东方向的裂隙极大值不能反映出来。(见图3)

此外, 从表中还可以看出其它方向的裂隙分布的数量不多, 分布的方向也比较分散。上述这些规律与实际情况基本符合。

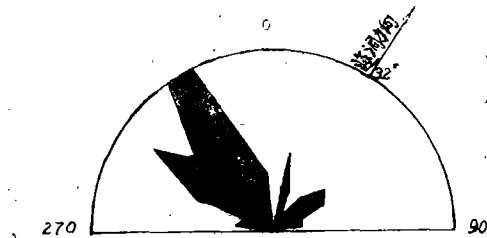


图3 Ⅱ级输水隧洞裂隙玫瑰图 (101条)

厘米=5条

3、裂隙的成因规律。

本区裂隙按成因可分为四种类型: 即构造裂隙、风化裂隙、岸边减荷裂隙及局部应力(爆破)所产生的裂隙四种。这里以构造裂隙为主, 后三种裂隙不但分布范围有局限性, 其数量也较少。

①、构造裂隙:

a、分布规律:

在测区可以看到两套构造裂隙, 一种是古老的构造裂隙, 它们已被石英脉所胶结。因此对水库的渗漏问题没有影响, 这里没有进行分析研究。另一种构造裂隙在形成时间上是比较新的, 从充填物的性质及胶结的情况来看它们都是在较新的构造作用下形成的。这种裂隙对水库的渗漏影响较大, 是我们主要研究对象。这些裂隙的特点是: 平直长大, 而北西方向裂隙多成波状弯曲。裂隙面光滑。延伸方向较长, 而且互相贯通, 但一般宽度较小, 其中宽度小于0.5厘米的占40%, 宽度为0.5—1.0厘米的占35%。这种裂隙中有80%以上被粘土及粘土夹碎石充填, 并且密实程度及胶结情况良好。

b、结构面(裂隙面)特征:

在北东北西两组结构面上可以看出有以下特点:

裂隙走向频度值及极大位置综合表

表1

度数间距	分 区					总数	分 区					总数
	溢洪道	左岸	河谷	五洞沟	II级输		溢洪道	河谷	河谷	五洞沟	II级输	
		谷壁	右岸		水洞			左岸	右岸		水洞	
	频 度						频度相对极大 (以M表示)					
1—10	0	1	3	5	0	9						
11—20	0	0	1	7	7	15					M	M
21—30	4	1	7	11	3	26						
31—40	18	8	9	13	1	49	M	M	M	M		4 M
41—50	6	4	3	0	3	15						
51—60	1	9	8	1	6	25		M	M		M	3 M
61—70	2	3	5	3	3	16						
71—80	3	4	6	4	2	19		M				1M
81—90	4	4	8	9	2	27			M	M		2 M
271—280	5	2	2	7	3	19	M					1M
281—290	4	11	4	2	2	23		M				1M
291—300	5	4	4	0	7	20	M					1M
301—310	3	2	6	2	12	25					M	1M
311—320	18	11	13	5	8	55		M		M		2 M
321—330	21	11	21	1	15	69	M	M	M		M	4 M
331—340	18	7	6	1	15	47					M	1M
341—350	8	6	4	0	7	25						
351—360	1	2	1	1	5	10						
合 计	120	90	111	72	101	494	4 M	6 M	4 M	3 M	5 M	22M

(1) 结构面光滑, 并可以看出具有水平方向的擦痕, 滑沟及硅化等构造现象, (滑动方向见示意图) 其中以北东方向结构面更为明显。

(2) 沿水平及倾斜方向有波状弯曲现象, 其中以北西方向明显。

在北东东、北西西方向的两组结构面, 光滑、有硅化现象, 擦痕不明显, 裂隙闭合。

在右岸五洞沟断层附近分布一种帚状结构面。

c、成因分析: 北西北东两组结构面为本区最发育的方向。并成“X”型分布。按其性质来看, 可认为是剪力而引起的构造现象, 它们之间的锐角方向指向南北, 故南北向的构造力是两组结构面共同作用方向。这种力的产生就是当南谷洞陷落地堑形成时地块所受到的作用力。其方向和性质即是南北方向的压力并伴有北东向的扭力。这种扭力是由于地堑东北部局部地区的应力释放而产生的。因此地块中北东、北西构造系统的形成是复合力作用的结果, 由于北东方向的扭力使其结构面的剪应力集中, 并由于压力的不均一性而造成两组结构面成波状弯曲。

此外, 因本区是受力偶的作用结果 (但以压力为主) 使地块中岩体变形成“变形椭球体”形状, 其长轴方向有所偏移。因此, 在平行长轴方向的北东东、北西西的压扭性结构面, 分布方向是比较分散的。

在靠近五洞沟断层所分布的帚状结构面是小型的旋转构造, 主要为北—东方向扭力传递到五洞沟断层附近时受到断层下盘岩体的阻截而使扭应力围绕一点旋转分布。并于平行断层方向的引张应力汇合。故在此处形成了一组小型的旋转构造。(见图4)

综合上述力学分析可得出各组结构面是在同时受复合的构造力所形成的。因此可以得出这样的结论: 这些裂隙的形成时间与地堑形成的时间相同。但因两条断层均在测区以外, 因此没能进一步研究南谷洞地堑的形成时间。

②、风化裂隙:

在本区河谷两岸普遍分布着风化裂隙, 按成因条件又可分为三种类型: 即风化裂隙、构造风化裂隙、层面风化裂隙。

a、风化裂隙: 此种裂隙在厚层石英砂岩中不发育, 仅在厚层的砂岩上部及砂页岩互层中较多, 大部岩石已被风化成碎块, 但此种裂隙的分布高程均在180米以上(高出坝顶高程) 没有工程意义故没有详细研究。



图4 构造裂隙分布图及成因分析示意图

b、构造风化裂隙：主要分布在河谷两岸构造裂隙出露的地方，风化营力沿着构造线方向作用，使得裂隙变得很宽，形成开口的石缝。有些裂隙口宽达1—2米。但大多数裂缝在水平方向延伸一米左右宽度突然变窄，个别裂缝深达5米尚可钻进去人。这些石缝是水鸟野兽集居的地方，在裂缝中一般看不到充填物。根据地表测绘资料可以确定沿水平方向延伸0~1米为极强烈构造风化裂隙带，1~5米为强烈构造风化裂隙带。这两带虽然不厚，但对水库的渗漏影响很大，并威胁到坝肩接头部分的坝体安全。

c、层面风化裂隙：是沿着层面裂隙及岩石中软弱夹层受风化作用所形成的。延伸较长的可见到4条，它们在水库上游坝脚处的出露高程为122米、140米、144米、150米。这4条裂隙宽度为20~60厘米；水平发育深度为0.2~1米。这些裂隙以4度的倾角向水库下游方向倾斜，穿过坝体在水库下游出露。因此，它们是水库渗漏的主要通道。

③、岸边减荷裂隙：

这种裂隙的一般特点是上宽下窄。裂隙面上部平直，下部呈弧形向河谷倾斜。分布在地形突出处，在坝肩接头部位没有看到。在这种裂隙中一般只在下部被风化物所充填，当水库蓄水时受库水位的变化影响，会增大它们的活动性。又因为它们都是平行岸边分布，因此，对水库渗漏有一定的作用。但比起构造裂隙及构造风化裂隙，它则属于次要地位。

④、局部应力（爆破）裂隙：

在左岸溢洪道及右岸Ⅰ、Ⅱ级输水洞的施工过程中，由于爆破的影响使得该处的岩石产生很多裂隙缝。它们在分布上无什么规则，但一般是沿着构造裂隙发展形成开口的石缝，并有错动现象。在溢洪道的入口处和坝接头部分最为明显。

三、绕坝渗漏问题

如上所述，本区所分布的4种成因类型的裂隙对渗漏问题都存在着一定的影响，下面就各种裂隙发育程度综合进行工程地质评价。

1、裂隙的最大密度方向与渗漏方向一致：

①、从构造裂隙的分布规律可看出最大密度方向即各组裂隙的出现率最大方向近于南北方向，基本上与河流的方向一致，并且各组裂隙互相勾通，这就更加强了水库向下游渗漏的影响。其中以北西、北东两组最发育的裂隙影响最甚。宽度大于0.5厘米裂隙的最大密度值为33/百米。在河流右岸可见到5条裂隙密集带，它们的分布方向为北30度东，宽度为2~7米，并且延伸方向较长是漏水的主要通道。从水库管理所的观测资料可说明历次坝体因渗漏而造成的塌坑、塌沟等现象，均在右岸发生，更说明裂隙密集带对水库渗漏及坝体稳定的影响是很严重的。

②、层面风化裂隙倾向下游，并穿过坝体在下游出露，是水库畅通无阻的渗漏通道。并对坝体安全有严重的影响。

2、距岸边不同的距离裂隙的面积系数不同：

据现有的溢洪道编录资料可做出溢洪道入口处（距岸边平均距离10米）及距入口150米（位于坝肩接头处50米）两个不同位置的面积系数，可基本上反映出两地的裂隙发育程度。

入口处底板面积系数 $T_{K1} = 0.54$

距入口150米处底板面积系数 $T_{K2} = 0.22$

两个数据说明, 距岸边的距离不同, 裂隙发育程度不同。因此在岸边附近的裂隙对渗漏的影响较大。

3、从裂隙宽度及充填物的变化规律说明: 距离岸边越近, 裂隙的发育程度越强。

根据实测结果, 编出不同位置的宽度变化曲线(见图5)。从图上可以看出远离岸边裂隙宽度逐渐变窄。

通过测绘明显的看到, 分布在岸边附近的裂隙由于受到风化的作用, 雨水淋滤作用的影响有50%的裂隙成为张开无充填的裂隙, 而在部分有充填物的裂隙中其密实程度和胶结的情况也是不好的。在左岸溢洪道中所见到的现象与此不同, 根据实测资料编出两地及右岸Ⅱ级洞裂隙充填物百分比分配图(参看图6—A、B、C)。

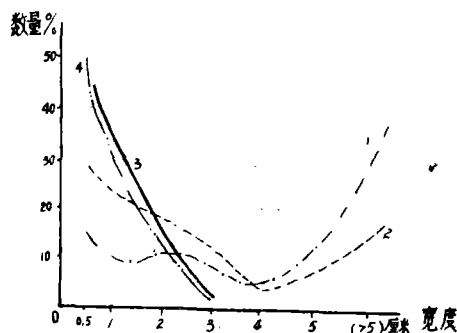


图5 裂隙宽度变化规律曲线

- 1、位于河谷陡壁上的裂隙宽度分配曲线
- 2、垂直于河谷陡壁沿水平方向延伸1米时裂隙宽度分配曲线

- 3、距河谷30米处溢洪道内裂隙宽度分配曲线
- 4、二级输水洞内裂隙宽度分配曲线(距河谷30米高程为318米)

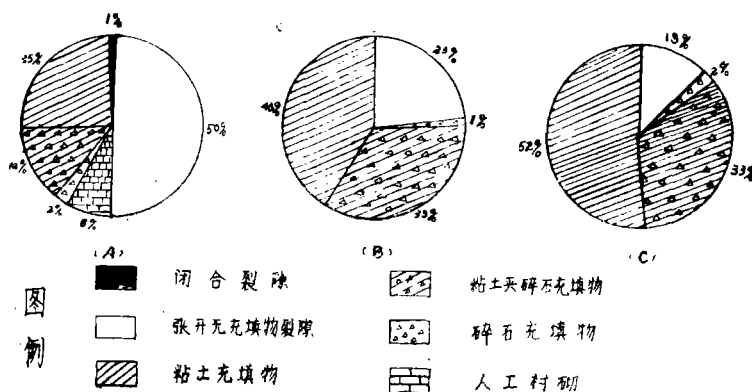


图6—A是反映分布在河谷两岸裂隙的充填物分布情况其中张开有充填物的裂隙占50%。粘土充填物的裂隙占25%(其中有83%是密实程度不好的)

粘土夹碎石充填的裂隙占14%(其中有93%是没有胶结好的)。图6—B中反映分布在溢洪道中裂隙充填物的分布情况。其中张开有充填物的裂隙只占23%(这里还包括一部分受爆破影响而张开的裂隙)要比前者少27%;粘土充填的裂隙占43%(其中有97%密实程度好的)粘土夹碎石充填裂隙占33%(其中有64%是胶结好的)。

图6—C中是反映分布在右岸Ⅱ级输水洞中裂隙充填物的分配情况:

其中, 张开无见充填物的裂隙只占13%, 粘土充填的裂隙占52%。

粘土夹碎石充填的裂隙占33%, 以上两种充填物除受爆破影响之外大部分密实情况和胶

结情况是良好的。

将以上实际情况如结合裂隙宽度变化曲线(图5)综合分析就更说明分布在岸边附近的裂隙对绕坝渗漏影响最大。

四、边坡岩体稳定分析

1、库岸及坝址区边坡稳定分析

在南谷洞地堑内的河谷(包括坝址及部分库岸)为陡峭的峡谷地形,坡高达80米,边坡岩体被多组结构面所切割成为块裂岩体,为确保工程安全必须进行边坡稳定分析。

通过对本区裂隙发育规律的分析可以看出,以北西方向及北东方向的两组陡倾角的构造裂隙,为本区的主要裂隙。在它们的控制下使峡谷沿裂隙发育方向呈“之”字型折转,并将边坡岩体切割成近于直立状态的棱柱体。一般来说这种岩体结构形式对边坡稳定是较为有利的。但由于受风化作用的影响,使得在坡顶部位的部分裂隙开口较宽,并有粘土碎石充填。在植物的根劈作用、隙裂水的冻胀作用及地震等力的作用下也会使部分岩体失去稳定,以岩崩形式塌落下来。因此,在工程部位采取保护坡顶,清除陡坡的危岩等措施是非常必要的。

2、溢洪道边坡岩体稳定分析

溢洪道布置在右岸坚硬岩石之中,其裂隙分布情况与峡谷区基本一致。(见图7)

为了对溢洪道人工边坡进行稳定分析,在溢洪道右岸(中段)进行了实际调查,并根据实测资料绘制出反映结构面组合关系的赤平投影图(见表2、图8)。

分析赤平投影图可得出以下两点结论:

论:

①、从 T_1 及 T_2 两组结构面的交线(棱线)产状可以看出,它们所切割的棱柱体近于直立并微向山里倾斜。

②、该棱柱体又被缓倾角(近于水平)的岩层面所切割。如层面上有软弱夹层时,则形成分离体,软弱夹层即成为分离体的滑动面,并沿岩层倾斜方向滑动。但在实际调查中没有发现此种情况。

因此,溢洪道人工边坡的主要破坏形式仍以小范围的局部崩塌为主。为防止风化营力加速岩体分离,应在裂隙发育地段采用表面喷水泥浆,埋设排水管道等工程措施。

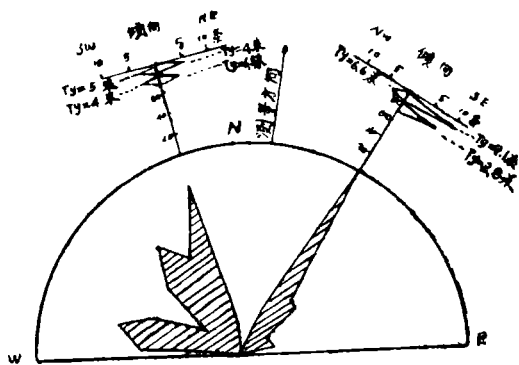


图3 裂隙玫瑰花图(1厘米=5度)

T_1 代表裂隙率

测量长度50米

溢洪道右岸主要结构面产状

表2

结构面	代号	产 状			频度平均值 (TY)
		走向	倾向	倾角	
裂隙面	T ₁	N35E	SE	< 80	TY=0.4米
裂隙面	T ₂	N345W	NE	< 80	TY=2.2米
岩层层面	S ₀	N40E	HW	< 4	

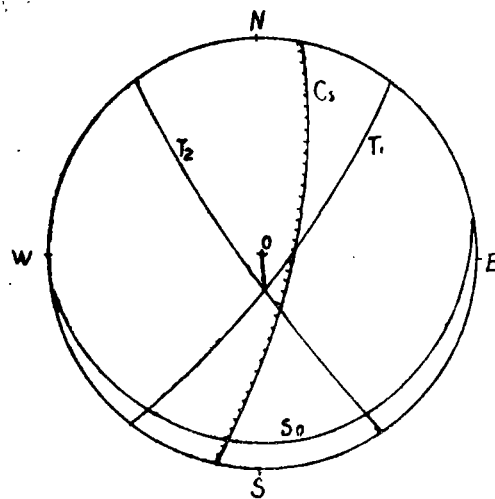


图 8

溢洪道右岸(中段)赤平投影图

T₁, T₂——主要裂隙(按平均产状作图)

T₁, T——人工边坡

S₀——岩层层面

参 考 文 献

- [1] 李四光. 地质力学概论 地质出版社 1967
- [2] 水电部科研所. 中科院地质研究所. 水利水电工程地质. 科学出版社. 1974
- [3] 哈鲁申, Т. В. 快速查明最发育裂隙组走向的方法. 地质译丛 1964. 第二期
- [4] Артемьев, А. В. Инженерно-Геологическое изучение естественных пластических разрывных деформаций Горных пород. издательство «НАУКА». 1964