

某电站勘探平洞超挖块体评价

吴继敏 魏继红 孙少锐

(河海大学土木工程学院, 江苏 南京 210098)

摘要 通过某电站勘探平洞的超挖测绘, 分析了平洞超挖块体的边界条件, 确定了超挖块体的类型及其特征, 推导了各类型超挖块体体积及其有关重心位置的计算公式, 评价了各类型超挖块体的体积及其相关分布模型, 以及块体重心位置的分布特征, 这对于节理岩体地下洞室稳定性评价以及加固处理方案的确定具有一定指导意义.

关键词 超挖 块体 体积 重心 评价

中图分类号: P642 文献标识码: A 文章编号: 1000-1980(2001)02-0057-04

在节理岩体地下洞室开挖中, 塌方事故或超挖频繁发生, 直接影响施工工期和人身安全. 据国内隧道施工统计, 由于塌方等地质灾害事故造成的停工时间大约占总工期的 30%. 因此, 地下工程施工中地质灾害的预测和防治是急待解决的一个地质工程问题^[1]. 本文利用某电站的勘探平洞进行超挖调查与评价, 对输水隧洞的开挖及其随机锚杆加固处理方案的选定有一定的帮助.

1 工程地质条件

该电站输水隧洞出水口段地形坡度沿线地形陡缓不一, 高程 160 m 以上地形坡角约 20°, 高程 160 m 以下更平缓, 属泥盆系茅山组中段地层(岩性为以紫红色为主的岩屑砂岩夹青灰色泥岩、粉砂质泥岩)及茅山组上段地层(岩性为灰白、灰黄色岩屑石英砂岩夹粉砂质泥岩); 常出现强风化花岗岩脉. 结构面以层面为主, 层面产状为 $N40^\circ \sim 85^\circ W/NE \angle 15^\circ \sim 32^\circ$, 其中走向多在 $N50^\circ \sim 70^\circ W$ 之间, 倾角大多在 $20^\circ \sim 25^\circ$ 之间. 构造节理主要有 $N50^\circ \sim 80^\circ W/SW \angle 50^\circ \sim 75^\circ$ 和 $N10^\circ \sim 40^\circ E/NW \angle 50^\circ \sim 85^\circ$.

2 超挖块体评价

超挖块体调查在某平洞中进行, 洞口基点高程 84.00 m, 洞轴向为 $N55^\circ E$. 实际开挖断面宽约为 2.70 m, 洞侧高为 2.10 m 左右, 拱顶的弓形高约为 0.45 m. 洞内以弱风化岩体为主.

2.1 形状特征

由于结构面和平洞布置的不同组合, 洞室开挖过程中必然导致洞室两侧和洞顶出现不稳定块体. 当开挖爆破引起这些块体松动并由于开挖出现临空面时, 块体优势面(即层面)的抗剪强度小于其下滑力(本文暂不考虑夹力条件)时, 块体就会塌滑或塌落, 形成超挖现象, 即为本文定义的超挖块体. 在平洞中, 共测绘了 147 个超挖块体, 超挖块体的形状大致可分为以下 6 种类型^[2].

①四面体 一般由两组相交节理面、层面与临空面共同切割而成, 是超挖块体最基本、最常见的块体形式, 其中以倒立四面体最为常见, 出现在平洞两侧(图 1①);

②截头四面体 四面体的任一头由平行于底面的结构面(层面)切割而成, 即两组相交节理和临空面的切割组合被两层面切割, 多出现在平洞两侧(图 1②);

③三棱柱体 两组相交节理与临空面构成侧面, 上下缓倾角结构面(层面)平行, 并与相交节理与临空面组合, 出现在平洞两侧(图 1③);

④四棱带弧台体 是由两组相交(近于正交)节理面互相平行切割, 再与层面组合而成的, 临空面为洞顶

的弧形 ;出现在平洞洞顶 (图 1④) ;

⑤四棱带弧锥体 (A) 由四棱带弧台体的一组节理间距较大 ,交于洞侧与层面组合而成 ;锥顶平行洞轴线 ,临空面为洞顶的弧形 ;出现在平洞洞顶 (图 1⑤) ;

⑥四棱带弧锥体 (B) 同四棱带弧锥体 (A) ,由四棱带弧台体的一组节理间距较大 ,交于洞顶与层面组合而成 ;锥顶垂直洞轴线 ,临空面为洞顶的弧形 ;出现在平洞洞顶 (图 1⑥) .

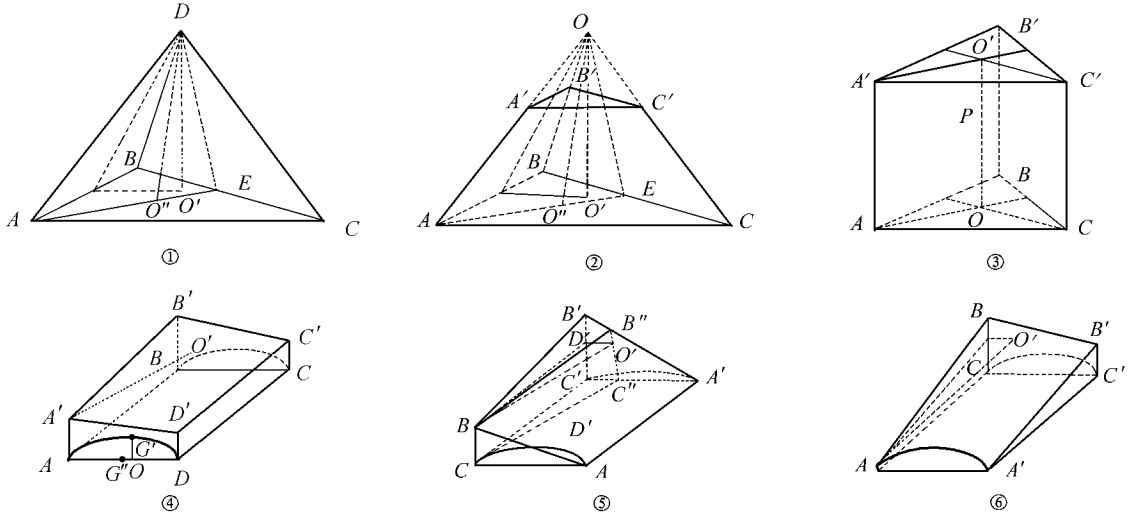


图 1 超挖块体的形状类型

Fig.1 Shape types of overbroken blocks

2.2 体积及重心计算

不同类型超挖块体的体积计算 ,对于平洞超挖方量的验收 ,施工平洞中防止超挖而须考虑的临时随机锚杆的设计等 ,均具有实际意义 .

①四面体 (图 1①) .设 ACD 为临空面 , ABD 和 BCD 为两相交节理面 , ABC 为岩层层面 .已知节理面 D_1 、节理面 D_2 和岩层层面产状 (倾向和倾角) .又假设 : $|AB| = a$, $|BC| = b$, $|AC| = c$, $|O'D| = d$; O' 为顶点 D 在底面的垂足 , O'' 为底面三角形 ABC 的重心 ; E 为 BC 边的中点 ; P 为四面体的重心 ; α 为节理面 D_1 与岩层层面的锐夹角 .则该超挖块体体积及重心位置为

$$V = \frac{1}{3} d \sin \theta \sin \alpha \sqrt{|p(p-a)(p-b)(p-c)|} \quad (1)$$

$$|O'P| = \frac{1}{4} \sqrt{e^2 + \left(\frac{2}{3}g\right)^2 - \frac{4}{3}eg \cos \beta} \quad (2)$$

式中 : $p = (a+b+c)/2$; $e = \sqrt{a^2 + d^2 - 2ad \cos \theta}$; $g = \frac{1}{2} \sqrt{(a^2 + c^2) - b^2}$; $\cos \beta = \frac{e^2 + g^2 - f}{2eg}$, $f = \frac{1}{2} \sqrt{(\frac{1}{2}b^2) + d^2 - bd \cos \theta}$, θ 是结构面法向矢量和四面体棱边方向矢量的函数 .

②截头四面体 (图 1②) .设 ABC , $A'B'C'$ 为两平行层面 ; $AA'B'B$ 和 $BB'C'C$ 为两相交节理面 ; $AA'C'C$ 为临空面 .又假设 : $|A'B'| = a_1$, $|B'C'| = b_1$, $|A'C'| = c_1$; $|OA| = e$, $|AE| = g$, $|OZ| = f$.则该超挖块体体积为 (其它符号同前)

$$V = \frac{1}{3} \sqrt{|p(p-a_1)(p-b_1)(p-c_1)|} \frac{a}{a-a_1} d \sin \theta \sin \alpha - \frac{1}{3} \sqrt{|p(p-a)(p-b)(p-c)|} \frac{a_1}{a-a_1} d \sin \theta \sin \alpha \quad (3)$$

相应的重心位置为 $|O'P| = \frac{1}{4} \sqrt{e^2 + \left(\frac{2}{3}g\right)^2 - \frac{3}{4}eg \cos \beta} - \frac{1}{4} \sqrt{e_1^2 + \left(\frac{2}{3}g_1\right)^2 - \frac{3}{4}e_1g_1 \cos \beta}$ (4)

式中 : $p_1 = (a_1 + b_1 + c_1)/2$; $e_1 = |OA'| = \sqrt{a_1^2 + d_1^2 - 2a_1d_1 \cos \theta}$; $g_1 = |A'E'| = \frac{1}{2} \sqrt{(a_1^2 + c_1^2) - b_1^2}$; $f_1 =$

$|OZ'| = \frac{1}{2}\sqrt{(\frac{1}{2}b_1)^2 + d_1^2 - b_1d_1\cos\theta}$;其它符号意义同前.

③三棱柱体(图 1③). 设 ABC , $A'B'C'$ 为两平行层面 ; $AA'B'B$, $BB'C'C$ 为两相交节理面 ; $AA'C'C$ 为临空面. 又假设 $|BB'| = d$. 则该超挖块体体积为(其它符号同前)

$$V = d\sin\theta\sin\alpha \sqrt{|p(p-a)(p-b)(p-c)|}$$
 (5)

相应的重心位置为 $|OP| = \frac{1}{2}d$ (6)

④四棱带弧台体(图 1④). 设 $A'B'C'D'$ 为层面 , $AA'B'B$ 和 $CC'D'D$ 为一组平行节理面 , $AA'D'D$ 和 $BB'C'C$ 为另一组平行节理面 ,弧 AD , BC 为开挖拱形洞顶边界线. 又假设 :洞室宽为 b ,拱顶的弓形高 a ,拱顶圆的半径为 R ,弧 AD 对应的圆心角为 β ; $|AB| = |CD| = c$, $|AA'| = h_1$, $|CC'| = h_3$, $|A'O'| = h$; θ 和 θ' 是结构面法向矢量和四面体棱边方向矢量的函数. 则该超挖块体体积为(其它符号同前) $\chi D' = \arcsin(\frac{h_1 - h_3}{b}\sin\theta')$)

$$V = \frac{1}{2}bc(h_1 + h_3)\sin\theta\sin\alpha\sin(\theta' + D') + \frac{1}{2}b(R - a)h - \frac{\beta}{360}\pi hR^2$$
 (7)

重心位置的计算较为复杂 :柱体的重心在沿洞轴向($c/2$)处 ,距底面为 $|G'O| = |\frac{h_2}{2} + \frac{h_1 - h_3}{2}[\frac{h_3 + 2h_1}{\chi(h_3 + h_1)}]|$ 块体的重心可近似地认为在柱体的上方 ,即为 $|G'O| + a$.

⑤四棱带弧锥体(A 图 1⑤). 此块体可认为是由两组相交节理面互相切割 ,再与层面组合而成的. 假定 O' 为 B 在底面 $A'B'C'$ 上的垂足 ,设在三角形内部 ,即 $\alpha < 90^\circ$,其中 α 为两相交节理面的锐夹角 ,作 $|B''C''| = h_1$, $|BC| = h_1$, $|B'C'| = h_2$, $ABCC''B''A''$ 为柱体 ;底面长为 $(h_1 + h_2)/2$ 、宽 $b' - b$,拱的跨度为 $b_1 = (b + b')/2$; $(b_1/2)^2 + (R - a)^2 = R^2$. 则该超挖块体体积为(其它符号同前)

$$V = c'\sqrt{p(p-b)(p-h_1)(p-d)}\sin\theta\sin\alpha + \frac{1}{6}h(b' - b)(2h_1 - h_2) + \frac{1}{4}h(b' + b)(R - a) - \frac{\pi}{360}R^2h\beta$$
 (8)

重心位置的计算极为复杂 ,略.

⑥四棱带弧锥体(B 图 1⑥). 设 a , $b = |CC'|$, $c = |AC|$, $h_1 = |B'C'|$, $h_2 = |BC|$ 可测得 ,该体假定为一楔形体与拱形的组合 ,楔形体底面边长为 b 、宽为 $(h_1 + h_2)/2$. 则该超挖块体体积为(其它符号同前)

$$V = \frac{bh(h_1 + h_2)}{4} + \frac{bh(R - a)}{2} - \frac{\beta\pi R^2h}{360}$$
 (9)

$$R = \frac{1}{2}(a + \frac{b^2}{4a}) \quad \beta = 2\arcsin\frac{b}{2R}$$

重心位置的计算极为复杂 ,略.

2.3 体积分布

根据不同超挖块体的类型及其块体体积的计算公式 ,进行了野外测绘 ,所得各类型以及总样本的样本数 ,体积最大值、最小值、平均值及均方差如表 1 所示.

表 1 平洞超挖块体类型、样本数及其体积 (m³) 统计

Table 1 Statistics of the types , samples , and their volumes for overbreaking in an opening

类型	①	②	3	④	⑤	⑥	总样本
样本数	70	7	39	18	8	5	147
最大值	0.4876	0.0628	0.5968	1.2400	1.2703	0.1078	1.2703
最小值	0.0002	0.0019	0.0024	0.0228	0.1065	0.3672	0.0002
平均值	0.0381	0.0175	0.0741	0.5346	0.5323	0.6043	0.1536
均方差	0.0833	0.0208	0.1300	0.3890	0.3564	0.3063	0.2750

从表 1 可知 ,依据不同结构面的组合、结构面产状的变化、洞室的几何特征和轴线方位 ,平洞超挖的总样本最大块体体积为 1.2703 m^3 ,最小块体体积为 0.0002 m^3 ,平均值为 0.1536 m^3 .洞顶 (类型④ ,⑤和⑥)超挖块体体积明显大于洞侧(类型① ,②和③)超挖块体. 表 1 说明 ,洞侧的超挖块体(116 个块体)最大值为

0.596 8 m³ ,最小值为 0.000 2 m³ ,平均值为 0.049 0 m³ .经比较 ,洞侧的超挖块体的分布可以用威布尔模型分布的累计形式来模拟^[3](图 2) .比较实际分布和模型分布 ,用 χ^2 检验^[4] ,说明模型假设是可接受的 .洞顶超挖块体体积最小值为 0.022 8 m³ ,平均值为 0.545 2 m³ .由于洞顶块体样本较少(31 个块体) ,其分布模型缺少统计意义 ,而结构面产状特征的变化 ,超挖块体体积具有相对集中趋势 ,即在 0.020 0 ~ 0.770 0 m³ 区间有 24 个块体 ,占总数的 3/4 ,在 0.780 0 ~ 1.280 0 m³ 区间只有 7 个块体 ,占总数的 1/4(图 3) .

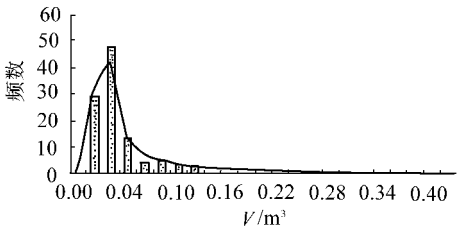


图 2 洞侧超挖块体体积分布及其模型
Fig.2 Volume distribution and its model for blocks

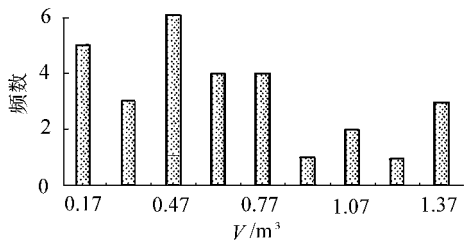


图 3 洞顶的超挖块体体积分布
Fig.3 Volume distribution for blocks in the top of an opening

3 结 论

某电站的勘探平洞超挖块体测绘 ,表明了块体的类型、大小及其分布均是有一定规律的 ,由于岩层层面的缓倾角特征、洞室几何特征和其它结构面组合特征 ,洞顶(类型④、⑤和⑥)超挖块体体积明显大于洞侧(类型①、②和③)超挖块体 ,前者的体积分布具有两类集中趋势 ,后者的体积分布服从威布尔模型分布 .

参考文献 :

[1] 吴继敏 ,Mahtab A. 节理岩体中地下洞室超挖预测[J]. 工程地质学报 ,1999 ,7(1) :3 ~ 8.
[2] 《数学手册》编写组 .数学手册[M]. 北京 :高等教育出版社 ,1979. 77 ~ 86.
[3] 吴继敏 . GUERET 花岗岩内黑云母粒径分析的图像开操作法[J]. 岩石学报 ,1999 ,15(1) :124 ~ 128.
[4] Morinean A. Aide memoire statistique[M]. Paris :Cisia ,Ceresta ,1995. 119 ~ 140.

Estimation of Overbreak Block in an Opening at a Hydropplant

WU Ji-min ,WEI Ji-hong ,SUN Shao-rui

(College of Civil Engineering , Hohai Univ. , Nanjing 210098 ,China)

Abstract : This article presents an analysis of the bordering condition of the overbroken block in an opening , the determination of types and characters of the overbroken block , and estimation of the volume and the center of gravity , on the basis of the investigation of overbreaking in an opening at a hydropplant . These will be very useful in the estimation of the stability of openings in jointed rock mass and in the determination of the design of treatment and reinforcement .

Key words : overbreaking ;block ;volume ;gravity ;estimation