

三峡工程永久船闸边坡岩体卸荷特性*

陈洪凯 唐红梅

(重庆交通学院岩土工程研究所 重庆 630074)

提 要 从地貌学角度,分析了三峡工程永久船闸边坡岩体的自然及人为卸荷特性.指出了地表侵蚀、河流下切、开挖船闸等自然及人为地貌过程诱发了岩体的基本卸荷过程.构筑了一个三峡工程永久船闸边坡岩体卸荷特性的宏观模式.实地调研及数值计算成果均表明,地貌分析法在分析实际岩体工程中,岩体卸荷特性方面具有较强的应用价值.

关键词 三峡工程 永久船闸 岩体结构面 地貌分析法 卸荷

永久船闸是三峡工程三大重要的组成部分,是目前世界上最大的通航建筑物之一.它位于长江三峡工程坝址的左岸山体中,线路上起祠堂包,下迄坝河口,全长 6 442m,其中上游引航道长 2 113m,闸室段长 1 617m,在此区域内,长江为一河曲,左岸为凸岸,地面海拔由河岸约 60m 向左逐渐增至约 262m(坛子岭),过坛子岭后局部较低,然后往左继续增至 360m.大岭为地形分水岭,近南北走向.永久船闸实施方案为轴线方位角 111°双线五级连续船闸.船闸边坡的最大开挖高度 170m,一般 50~120m;边坡坡度全强风化带,弱风化带和微新岩体带分别为 34.0°~45.0°,63.5°和 73.0°,闸室部分边墙直立¹⁾.因此三峡工程永久船闸边坡为一典型的人工开切陡高边坡.边坡具有尺度大、岩体各向异性及岩体水平卸荷明显等特性^{1,2)},其对边坡的稳定和变形具有控制性的作用.在现场考察、分析的基础上,力图从地貌学角度对永久船闸区及边坡岩体的卸荷特性进行宏观分析.

1 永久船闸区的地质环境及地貌过程分析

三峡工程永久船闸区基岩以前震旦系闪云斜长花岗岩为主.断裂构造十分发育,按走向可分为 NE~NEE, NNE, NNW 和 NWW 四组,以陡倾角为主,其中 NE~NEE 组属于地质优势结构面,占总数的 48.22%. NE~NEE 和 NNW 组结构面具有明显的张性及张扭性特性,均为渗透结构面.区域岩体处于中高地应力环境区.区域宏观构造应力场主方向 NE 约 50°,以距地表深约 600m 为界,主应力方向在深 600m 约有 90°的向右偏转,量级 4.5~10.0MPa^[1].

区内自然及人为地貌过程是相当发育的.坚硬而非均质的岩性、各向异性岩体结构及中高地应力赋存环境是地貌发育过程的基本原因.自然斜坡的地表侵蚀、长江河谷的向下切割组成船闸区斜坡岩体的自然卸荷过程;而船闸的人为开挖及其施工爆破振动等

* 国家“八五”重点科技攻关项目[编号:85160305(3)]成果之一.

1)哈秋.三峡工程永久船闸陡高边坡关键技术研究(国家“八五”攻关项目 85160305),1995,1~10.

2)陈洪凯.三峡工程永久船闸岩体渗流排水机理研究.重庆建筑大学博士学位论文,1996,81~96.

本文收稿日期:1997-04-03.

构成边坡岩体的人为卸荷过程;地下水在岩体中的活动加速了卸荷过程的发育. 其发育, 造就了边坡岩体中既有原岩体结构面张压性质的变化, 又有相应新的结构面系统产生, 进而劣化了边坡岩体的力学及水力学性质, 影响边坡的稳定与变形. 因此, 开展对永久船闸边坡岩体卸荷特性的地貌学研究, 探讨岩体卸荷的宏观特性, 是很有价值的.

2 永久船闸区岩体的自然卸荷特性

永久船闸区内的黄陵花岗岩岩基属于扬子准地台, 由同源、同期、不同侵入序次的前震旦系闪云斜长花岗岩组成. 受多次构造运动的制约, 岩体中产生了丰富的陡倾角结构面. 区域内沉积盖层发育, 厚近 7 000m, 自震旦纪开始地壳隆升^[2], 历经印支运动、燕山运动和喜马拉雅山运动, 绝对隆升量数千米. 根据 Davis 地貌循环理论, 在此内力地质作用过程中, 外力地质作用则对区域岩体要产生侵蚀、剥蚀和搬运作用, 形成了与侵蚀面(地面)近于平行的一系列回弹裂隙, 回弹裂隙属于张性岩体结构面. 距地表愈浅, 回弹裂隙愈发育, 其下限一般在微风化带顶板以下 3m 左右, 即距地表 30~50m.

第四纪以来, 永久船闸区伴随鄂西地块的间歇性隆升, 长江河谷下切过程加剧, 产生了一系列与岸坡近于平行的岸坡卸荷裂隙(图 1). 永久船闸所在的 D 区同时受到 SW 和 SE 两组与岸坡近于垂直的卸荷方向交汇产生近于正交的两组卸荷裂隙系统. 其机理是在河流发育过程中, 河流切割使岩体在岸坡形成临空面, 改变了岩体内的应力状态, 在重力作用下(暂不考虑地应力的影响)产生平行岸坡的卸荷裂隙(也属于张性裂隙). 其发育长度、隙宽、连通性及出现

密度等均与距河岸的距离有关. 距河岸愈近, 则裂隙出现的密度愈大、连通性愈好、隙宽及长度均增大. 由于永久船闸区结构面以陡倾角为主, 因此可推知, 此类岸坡卸荷裂隙是相当发育的, 这在南北向穿越临时船闸和永久船闸的 3 008[#]地质勘探平洞中可以得到证实, 距河岸 500m 以内, 及距河岸约 1 600m 的船闸区, 结构面的平均隙宽都在 0.5~0.6mm. 此规律在地质条件较为相似的黄河小浪底工程也是十分明显的^[3].

将区内长江河谷的总体方向和新构造应力场的主压应力方向进行综合分析, 针对永久船闸边坡及岸坡构造应力主要起到 σ_3 的作用. 随着河谷的下切, σ_3 释放能量量级增大, 呈现为拉应力, 通常产生陡倾角拉张裂隙. 因此区域构造应力本质上起着卸荷应力的作用, 加速了岸坡岩体卸荷过程的发育. 使现代 NE~NEE 及 NNW 两组岩体结构面具有

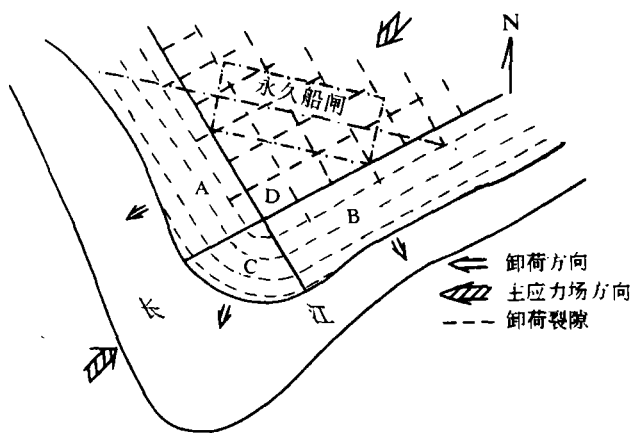


图 1 河谷发育对永久船闸区自然卸荷裂隙的影响

Fig. 1 Impact of development of the Changjiang River Valley on natural unloading fracture in permanent shiplocks

张性或张扭性特性,成为岩体中地下水流动的主要路径,其组合构成岩体节理渗流网络。

3 永久船闸边坡开挖岩体的卸荷特性

边坡开挖诱发的岩体人为卸荷过程属于人为地貌过程。由于永久船闸轴线方向为 111° ,因此其开挖相当于河谷的快速下切过程,与区域构造主应力方向大角度相交。船闸深切开挖,可以产生两种明显的卸荷作用:其一,由于岩体的机械化施工开挖,其爆破震动促使岩体中原有结构面长度延伸、连通率增高、隙宽加大,进而达到松动岩体的目的,岩体结构由原来的块状及次块状劣化为碎块状或散体状。此类岩体卸荷区域在现场由物探法测得距永久船闸边坡坡面 50m 以内最为明显,岩体中的纵波速在 $3\ 000\sim 4\ 000\text{m/s}$,而在卸荷以外山体岩体中多 $>5\ 000\text{m/s}$;其二,根据 Heim 假定,岩体中距地表任一深度 h 处的大主应力 $\sigma_1=\sigma_v=\gamma h$,小主应力 $\sigma_3=\sigma=k_0\sigma_1$,(k_0 为岩体中的静止侧压力系数)。对于边坡岩体而言,船闸开挖则使坡面岩体的 σ_3 解除,进而 σ_1 必然会发生重分布,使距离开挖面(坡面)一定距离内的岩体处于拉应力状态,并诱发岩体中近于与坡面平行的卸荷裂隙。另外,由于岩体富含结构面而非理想弹性体,因此岩体开挖爆破,使侧压力的突然释放,其变形恢复则具有动态特征,不可恢复的变形则使边坡岩体隙宽加大、长度延伸。

令岩体的抗拉强度为 R ,拉应力区任一点岩体的应力状态为 σ_i 和 τ_i ,则由比较能反应岩体特性的第三强度理论可知,当

$$\sqrt{\sigma_i^2(h) + 4\tau_i^2(h)} \geq R_i$$

时,便将于岩体中产生拉张裂隙,其主要平行于边坡开挖面。而同时考虑构造应力及边坡开挖释放荷载 σ_i 和 τ_i 及非直线型开挖面时,在拉应力区将产生陡倾角的拉张裂隙^[4](图2)。主要原因是边坡开挖过程中及其以后,在加载卸载的本构曲线图示中存在较大的能量释放区,而此释放能量则作用于岩体,产生新的裂隙或加速原有裂隙的扩展过程。

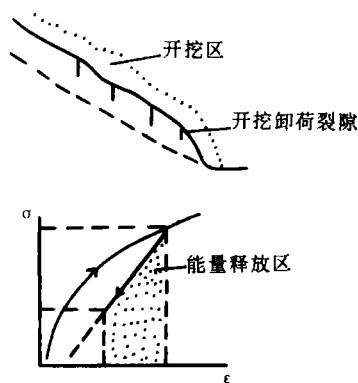


图2 边坡开挖的能量释放及渐近破坏

Fig. 2 Stress isogram of 16# section of permanent shiplocks

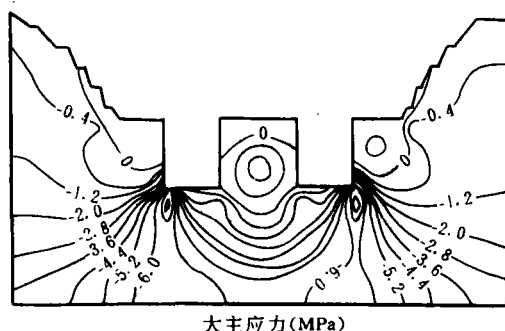


图3 永久性船闸区16#剖面应力待值线^[2]

Fig. 3 Stress isogram of 16# section of permanent shiplocks

4 船闸边坡岩体拉应力区的数值计算

边坡岩体卸荷过程具有相对初始状态时岩体力学的行为特性。在自然卸荷及船闸开挖卸荷之前岩体处于受压应力状态,开挖后岩体一定范围内处于卸荷应力状态,其严重发育部位为拉应力区,拉张裂隙比较发育,取区域构造应力为4Mpa时,用岩体非线性卸荷力学的卸荷变刚度迭代有限元数值计算方法,对永久船闸中部16#断面的计算显示,大主应力表征的拉应力区在船闸边坡中部十分发育(大主应力线稀少, σ_3 效应强烈),坡脚为强烈应力集中区,量级约6Mpa;位于船闸底部以上的整个山体处于应力卸荷区(图3)。

5 结 语

由上分析可见,三峡工程永久船闸边坡岩体的卸荷作用是相当典型的,包括自然卸荷过程和开挖卸荷过程。区域构造应力加速了边坡岩体的卸荷过程。岩体卸荷是边坡渐进性破坏的基本原因之一。卸荷裂隙多以陡倾角的NNW向和NE~NEE向为主,具有明显的张性或张扭性特性,属于渗透结构面,是地下水活动的主要通道。

参 考 文 献

- [1] 陈洪凯,朱凡. 三峡工程永久船闸区地应力场概化研究. 重庆交通学院学报,1995,14(3):42~46.
- [2] 高士钧. 长江三峡地区地壳应力场与地震. 北京:地震出版社,1992. 18~25.
- [3] 田开铭,万力. 各向异性裂隙介质渗透性的研究与评价. 北京:学苑出版社,1989. 103~112.
- [4] Belloni, L., Sordi P. Slope failure triggered by reshaping of the valley side at the Esaro Dam. In Assessment and Prevention of Failure Phenomena in Rock Engineering. Balkema, Rotterdam, 1993. 555~560.

UNLOADING FEATURES OF ROCK MASS IN PERMANENT SHIPLOCKS OF THE THREE GORGES PROJECT

Chen Hongkai Tang Hongmei

(Institute of Geotechnical Engineering, Chongqing Jiaotong College Chongqing 630074)

Abstract

On the viewpoint of geomorphology, natural and artificial unloading features of rock mass slope in the permanent shiplocks of the Three Gorges Project are analyzed in this paper, which shows that geomorphological processes, e. g. ground erosion, cut of the Changjiang River and artificial cut of the shiplocks etc. have been inducing general unloading features of rock mass in the slope. Unloading features are consistent with characteristics insitu and calculating results using unloading nonlinear FEM method.

Key words the Three Gorges Project, permanent shiplocks, rock mass structure, geomorphological analysis method, unloading