

【专题研究】

宝泉抽水蓄能电站龟山滑坡体稳定性分析

肖扬, 景来红, 任国强

(黄河水利委员会 勘测规划设计研究院, 河南 郑州 450003)

摘要: 龟山滑坡体是影响宝泉抽水蓄能电站建设的重大工程地质问题。通过对滑体边界条件、稳定条件分析及稳定性计算后认为: 滑坡体在自然条件下处于稳定状态, 但在特殊荷载条件下处于极限平衡状态, 结合上库筑坝须堆石料的情况, 将滑体上部岩体开挖至高程 790 m 后, 在特殊荷载下, 滑坡体将处于稳定状态。

关键词: 参数选取; 稳定计算; 安全系数; 龟山滑坡体; 宝泉抽水蓄能电站

中图分类号: P642.2 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-1379(2002)06-0032-02

宝泉抽水蓄能电站位于河南省辉县市境内。龟山滑坡体高耸于电站下水库进、出水口的上方, 其稳定性将直接影响下水库及整个电站的安全, 是影响电站建设的重大工程地质问题。

1 地质概况

龟山滑坡体底部高程 640~660 m, 顶部高程约 900 m, 相对高差达 250 m。滑坡体北部以 F_{14} 断层为切割边界, 东部以寒武系正常地层发生拖拽挠曲部位为边界, 西部及南部形成高达 150 余 m 的直壁陡崖, 并向峪河方向(下水库)凌空。整个滑

坡体东西长 550~800 m, 南北宽 260~350 m, 滑体最大厚度 210 m, 体积约 2 100 万 m^3 , 系一大型滑坡体。组成滑坡体地层由西向东依次为寒武系馒头组 ($\epsilon_1 m$)、毛庄组 (ϵ_{1m2})、徐庄组 (ϵ_{2x})、张夏组 (ϵ_{2z}), 并以 ϵ_{2z} 灰岩、白云岩为主体。滑坡体表层大部分已呈胶结状, 内部一般较完整, 基本保持原岩结构, 内部地层总体表现为向东及北东倾斜与滑面呈反倾接触。滑面呈东陡西缓 and 北陡南缓形态(见图 1), 总体向西及南西方向倾斜。据滑体东部底滑面产状及擦痕、近滑体处滑床地层的拖拽方向及滑体内的地层产状等分析, 滑体总体向西或南西滑

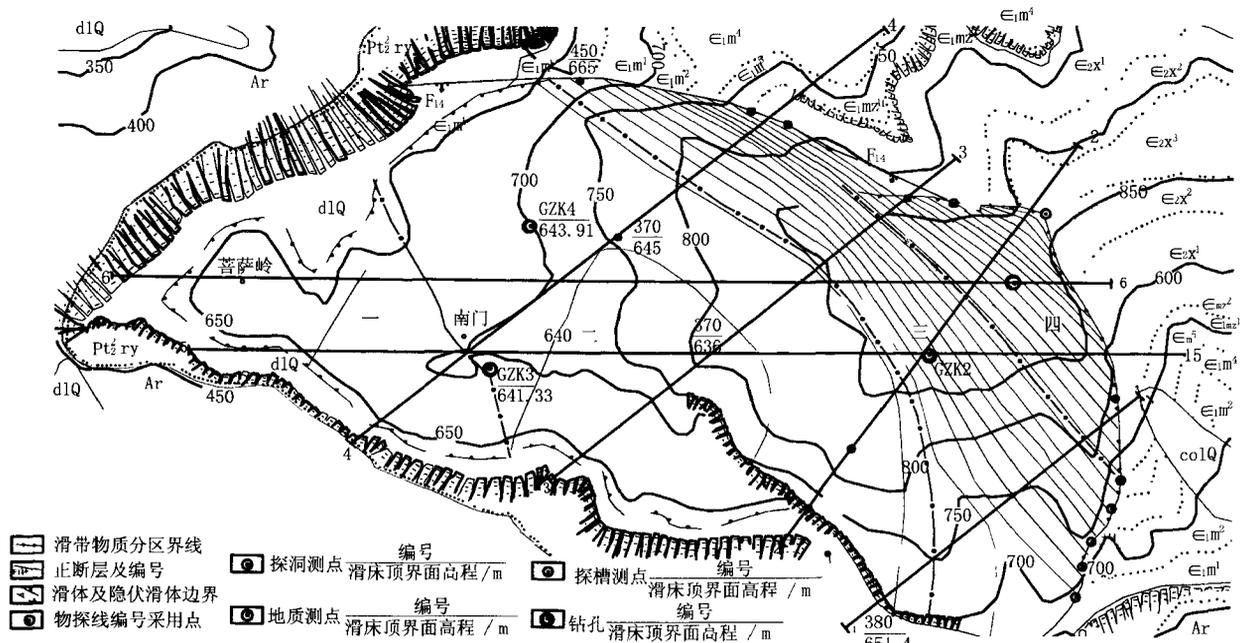


图 1 龟山滑坡体滑床顶界面等高线及滑带分区

动。滑动水平距离最大可达 510 m, 滑动垂直距离最大为 250 余 m。滑体中上部为切层剪切区, 滑体下部为顺层滑动或被动推动区, 主要沿 $\epsilon_1 m^1$ 底部泥灰岩层滑动。分析认为, 滑体形成于峪河及其支流侵蚀至中元古界汝阳群 (Pt_2ry) 地层之前, 结合滑带物质测年资料判断, 滑体形成于中、晚更新世, 距今 14

万~21 万年, 系一古老滑坡体。

收稿日期: 2002-04-03

作者简介: 肖扬(1962-), 男, 河南信阳人, 高级工程师。

2 滑带特征及计算参数的选取

根据滑带物质组成及强度特征,滑带分为4个区。一区,南门至菩萨岭一带,滑面近水平,滑带是 $\epsilon_1 m^1$ 底部的泥灰岩破碎形成,其性状与一般的 $\epsilon_1 m^1$ 底部泥灰岩相当。据现场原位大型抗剪资料,抗剪强度参数 $f=0.36$ 、 $c=0.05$ MPa。二区,底滑面高程652 m以下至南门附近,分布面积占滑带的50%以上,是主要的阻滑区,滑面平缓,滑带厚度一般0.4~0.9 m,物质主要由角砾、泥组成,处于地下水位以下,部分角砾内部的细小石英矿物及重结晶的绢云母具有定向排列,石英矿物有拉长现象。对该滑带现场大型抗剪试验表明, $f=0.33$ 、 $c=0.01$ MPa。三区,底滑面高程652~736 m间的区域,滑带厚度0~15 m,滑面倾角 $31^\circ\sim 45^\circ$,局部达 57° ,是形成滑动的主动力区。从钻孔及滑体东部的露头观察,滑带物质由角砾、泥组成,泥质、局部钙质胶结,为碎屑夹泥型,且处于地下水位变动带。根据类似物质组成的工程类比,此类滑带强度参数 f 应在0.4~0.6之间,但鉴于该区滑带仍有大部分未揭露,含泥等情况可能有所变化,并考虑地下水的影响,强度参数取 $f=0.45$ 、 $c=0.03$ MPa。四区,底滑面高程736 m以上的区域,是形成滑动的另一动力区。滑面倾角 $41^\circ\sim 68^\circ$,滑带厚度2~3 m,角砾大小混杂,呈次棱角~棱角状,是滑动揉搓时间短、滑动距离近的特征。从该滑带东部周缘看,大部分已钙质胶结,且处于地下水位以上。根据类似物质的工程类比,并考虑到滑带钙质胶结可能是上部滑坡体的灰岩经雨水淋滤所致,而滑体内部该区又无地下水,加之雨水下渗较少,胶结程度可能较差,故滑带强度参数选取 $f=0.6$ 、 $c=0.05$ MPa。另外,对于50年超越概率10%的地震,即场地地震烈度为Ⅶ度时,滑坡体的地震系数分别用0.10、0.12计算。

3 滑坡体稳定性分析

通过调查分析认为:①滑体表面及部分滑带物质已胶结,且未发现贯穿整个滑体的较新切割面。②上水库蓄水后,滑体距上水库库区较远(1.3 km),库水沿南北方向渗径要比东西方向(龟山滑坡体)渗流的渗径近得多。同时,龟山滑坡体底滑面652 m高程以下的滑带物质已处于饱水状态。因此,上水库蓄水后,基本不会改变龟山滑坡体的水文地质条件。另外,峪河及其支流已远离滑体,对滑体已不起侵蚀、切割作用。③滑体形成于中晚更新世,在14万~21万年的地质历史过程中,龟山滑坡体已经历了无数次古地震的考验,至少14万年以来未发现再次活动。综上所述,龟山滑坡体整体是稳定的。

4 滑坡体稳定性计算

4.1 刚体极限平衡法

选择滑体最有可能的滑动方向和古滑动方向等6个有代表性的剖面(见图1),采用Catter法、Force法和Sarma法,对自然状态下、水平开挖至790 m高程时在无地震、水平地震系数分别为0.10、0.12条件下的龟山滑坡稳定性进行分析计算。

以上三种方法的假设条件不同,因而其计算成果是不同

的。Catter法是在Bishop法基础上改进的,提出了普遍条分法的概念,将圆弧滑面推广到任意形状的滑裂面,主要用于土质边坡稳定性分析,忽略了条块间的剪切力,一般情况下计算结果偏小。Force法是计算每一条块的剩余下滑力,依次从上往下进行累加,通过改变稳定系数使得最后一块的下滑力为零的分析方法。Sarma法允许各滑块底面及侧面具有不同的抗剪强度(c, ϕ)值,而且滑块的两侧面可任意倾斜,并不局限于垂直边界,因而能分析各种地质结构对滑坡的稳定性影响。该方法比较全面客观地反映了各种控制岸坡稳定性因素。

4.2 三维有限元法

鉴于目前对岩体、不连续面等材料的精确结构关系掌握的不确定性,计算中采用在弹性分析的基础上增加非线性校正的方法,即完整、均一、变形小的岩体按弹性材料考虑,对弱面材料(滑移面、层面、节理等)按非线性材料考虑,用抗拉强度准则和莫尔-库伦准则进行应力释放。采用常刚度应力迁移代法作非线性计算,以弹性刚度矩阵为计算刚度矩阵。有限元分析的结果为结点的位移和单元的应力,利用下式可以计算边坡稳定性系数 F_s 。计算成果见表1。

$$F_s = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (C_i + \sigma_{1i} f_i)(C_i + \sigma_{3i} f_i)}}{\sum_{i=1}^n \tau_i}$$

式中: n 为滑面上的单元数; σ_{1i} 、 σ_{3i} 为单元上主应力; C_i 、 f_i 为单元体的内聚力和摩擦系数; τ_i 为滑面上单元剪应力。

表1 开挖至790 m高程稳定性三维有限元计算成果

稳定系数	自然状态	地震力作用状态的水平地震系数	
		0.10	0.12
F_s	2.15	1.35	1.22

5 滑体安全系数分析

如何选择适宜的安全系数是边坡工程设计中的关键问题,目前尚无统一规定,只有根据对边坡的了解和掌握,以及边坡所处位置的重要性和工程等级,通过分析计算边坡影响因素的敏感性,利用工程经验和工程类比来确定。在力学分析计算时,有的边坡随着一些影响稳定性的易变因素变动,其安全系数就有很大的变化,从而反映出对一些因素的变化很敏感;而有的边坡在一些因素变化时,安全系数变化不大。对易变性因素敏感高的边坡应给出较大的安全系数,反之则小。多年来的工程经验表明,岩质高边坡在特殊荷载条件下,安全系数一般选在1.05~1.40之间。因为龟山滑坡体位于下水库进、出水口上方,与下水库水面高差有400~650 m,距下水库大坝直线距离仅1.3 km,即使开挖滑体上部岩体到790 m高程,滑体仍有1 000多万 m^3 ,其稳定性如何直接影响电站的安全。加之滑体面积较大,对其滑面形态及抗剪强度等研究得仍不够充分,所以适当提高安全系数是有必要的。鉴于此,对龟山滑坡体在特殊组合(地震烈度为Ⅶ度,地震系数为0.12)情况下,认为允许的安全系数为1.20较为合适,即当安全系数大于1.20时,龟山滑坡体是稳定的。

【责任编辑 王琦】