

湖北省巴东县黄土坡滑坡深部变形防治方案探讨

江鸿彬

(湖北省地质灾害防治中心,湖北 宜昌 443002)

摘要:文章根据几年来从事黄土坡滑坡区的勘查、可研及现场工程管理的认识,从滑坡分布特征、物质构成、稳定研究、变形特征等方面对滑坡进行研究。针对该滑坡厚度巨大,滑体强度高,近期深部变形较明显的实情,作者以库仑定律为基础,提出采用岩土加固治理滑坡区深部滑移的初步治理方案。

关键词:探讨;岩土加固;滑体;库仑定律

文章编号:1003-8035(2005)01-053-04

中图分类号:P642.22

文献标识码:B

1 引言

黄土坡滑坡区位于长江南岸湖北省巴东县新城黄土坡小区,平面呈蝶状向北展布,属巨型岩土混合滑坡,目前居三峡水库区滑坡之首。随着三峡水库蓄水水位不断升高,因库水侵蚀、浮托作用,前缘阻滑力下降,自 135m 蓄水以来,临江崩滑堆积体与基岩接触面开始产生明显蠕滑。若该滑坡一旦产生大规模滑移破坏,将直接危及其上 $54 \times 10^4 \text{m}^2$ 房屋和 1.8 余万人的生命财产安全,预计可能造成的直接经济损失为 11.2 亿元。因此,已将其纳入国务院批准的《三峡库区地质灾害防治总体规划》。

黄土坡滑坡区治理工程分两阶段实施,第一阶段,通过对崩滑堆积体前缘水位变动带的防护,限制库岸再造向岸坡内发展,保护库岸稳定,并辅以滑坡区排水措施,提高坡体的整体稳定性。治理工程主要采取以护坡桩浅部支挡和锚杆格构砌石护坡为主,同时辅以三道沟填筑工程、地表排水与监测工程等综合治理措施,现已实施。

第二阶段,对滑坡区深部滑移进行治理,保证滑坡区整体稳定。由于该滑坡区滑体厚度巨大,且多为碎石(块石)土、碎(散)裂岩,滑体不均一,碎块石含量高、大,强度较高,采用目前较成熟抗滑支挡工程进行治理,因厚度大、挖攫困难、受地下水影响等特点,给滑坡的治理带来挑战。为解决以上矛盾,本人结合近年来从事该滑坡勘查、可研及现场工程管理的体会和认识,抛出对其深部变形防治的初步方案之拙见,供探讨和参考。

2 滑坡特点研究

2.1 分布特征

黄土坡滑坡区发育于三叠系巴东组第二段、第三段,以泥岩、泥质粉砂岩、泥灰岩为主的易滑地层中,是一个多期次形成结构复杂、由古滑坡体及崩滑堆积体组成的复合岩土混合地质灾害体。其以三道沟为界,西、东前缘临江分布 1、2 号崩滑堆积体,与其上园艺场、变电站两古滑坡构成。1 号崩滑堆积体面积 $32.5 \times 10^4 \text{m}^2$,体积 $2255.5 \times 10^4 \text{m}^3$,平均厚 69.4m,最厚 95.27m;2 号崩滑堆积体面积 $32.6 \times 10^4 \text{m}^2$,体积 $1992.2 \times 10^4 \text{m}^3$,平均厚 61.11m,最厚 91.84m,分布高程在 250~260m 以下。园艺场滑坡分布于三道沟西侧,滑体面积为 $32.6 \times 10^4 \text{m}^2$,体积 $1352.9 \times 10^4 \text{m}^3$,其前缘超覆于 1 号临江崩滑堆积体之上,平均厚 41.5m,最厚 86.64m;变电站滑坡分布于三道沟以东,滑体面积 $38.1 \times 10^4 \text{m}^2$,体积 $1333.5 \times 10^4 \text{m}^3$,其前缘超覆于 2 号临江崩滑堆积体之上,平均厚 35m,最厚 58m,分布高程 180~600m。该滑坡区总面积 1.358km^2 ,体积 $6934.1 \times 10^4 \text{m}^3$ 。

2.2 物质构成

滑坡区滑体物质主要包括块石土、碎石土、粉质粘土夹碎(块)石、散裂岩、碎裂岩及块裂岩等,呈紫红、黄褐、绿灰、灰黄、棕红色,表层大多为块石土或碎石土,一般紫红色碎石土,重度 $20 \sim 23.5 \text{kN/m}^3$,其它颜色碎石土重度差异较大,一般在 $16.7 \sim 20.8 \text{kN/m}^3$ 。

收稿日期:2004-02-05;修回日期:2004-07-25

作者简介:江鸿彬(1967—),男,长期从事地质灾害的调查、勘查、监测以及防治工程设计、监理、管理工作。

之间;孔隙比最小值为 0.481,最大值达 1.041,但大多数在 0.6~0.85,属中密-稍密类。临江崩滑堆积体在空间上分布有多层不连续软弱夹层,其物质为粉质粘土夹碎石(或角砾、砾砂),属可塑-坚硬类土,直剪试验内摩擦角(ϕ)为 8~18°,粘聚力(c)为 33~124kPa。园艺场滑坡滑带物质为粉质粘土夹角砾、碎石,为中-高塑性土,直剪试验 ϕ 值为 15°, c 值为 33kPa。变电站滑坡上段滑带土以棕红色亚粘土为主,天然状态下的峰值抗剪强度: ϕ 值为 17.5°, c 值为 19.6kPa;下段滑带土多为棕红、灰黄色粉质粘土夹角砾及碎块石,天然状态下的峰值抗剪强度: ϕ 值为 16.5°。滑坡区下伏基岩为三叠系巴东组第二段($T_2 b_2$)紫红色泥岩夹粉砂岩,第三段下亚段($T_2 b^{3-1}$)深灰色中厚-厚层泥灰岩、灰岩夹钙质泥岩、灰黄色中厚-厚层泥质灰岩与白云质灰岩互层,上亚段($T_2 b^{3-2}$)浅灰绿、黄绿、浅灰色中厚层泥灰岩夹泥质白云岩。

2.3 稳定研究

经采用 NACP 岩土边坡工程稳定性有限元计算程序,按理想塑性模型与 Mohr-coulomb 屈服准则,对黄土坡滑坡进行了非线性弹-塑性二维有限元数值模拟分析计算,并按弹塑性力学理论,采用美国 Itasca 顾问有限公司开发的 FLAC3D 计算程序进行了模拟分析计算。计算结果表明:黄土坡滑坡区目前在天然状态下处于基本稳定状态;在水库各阶段蓄水及运行条件下,水位以下部分坡体总位移量便达到 5.3m 和 10m 左右,最大剪应变增量集中带主要出露在:、号临江崩滑堆积体中部及近三道沟侧水下坡体,尤其是水库从 175m 水位下降到 145m 水位过程,临江崩滑堆积体与基岩接触带(古滑动带)是潜在失稳的控制性层位,处于库水位下的坡体将沿崩滑堆积体与基岩的接触带产生失稳破坏,破坏形式将以牵引式为主。

随后,根据勘察进行的岩土物理力学性质试验数据、实测的地质剖面和水库各阶段蓄水不同工况,用传统的极限平衡之传递系数法对滑坡区各剖面稳定性进行分析计算,结果表明:天然状态下,安全系数为 1.03~1.23,坡整体处于基本稳定状态。但在水库 135m、175m 蓄水运行后,三道沟两侧临江崩滑堆积体及部分滑体不稳定,安全系数为 0.93~1.05 间,当水位缓降 30m 工况下,安全系数仅 0.9~0.98,135m、175m 蓄水叠加地震情况仅 0.79~0.92,且以三道沟

西侧安全系数最低,比东侧约低 5%~10%。

2.4 变形特征

2003 年 4 月~2004 年 6 月,分布于滑坡区的 22 个大地形变、GPS 位移监测点,8 个深层钻孔倾斜仪、地下水位监测孔,2 处滑带平硐短基线监测,蓄水前,滑坡区滑体基本稳定,各监测点基本无变形迹象。自 2003 年 6 月蓄水后至 9 月,号临江崩滑堆积体中、后缘地表,以及、号临江崩滑堆积体 19~70m 深部多层软弱带位移量逐月增大。其中以号临江崩滑堆积体三道沟西侧累计位移最大,深部达 9.18~17.25mm,崩滑堆积体与基岩间位移 24mm。10~12 月呈现位移量逐渐减少的变形趋势。当 2003 年 11 月库水位抬升至 139m 后,2004 年 1~3 月号临江崩滑堆积体深部位移又有一个加速的过程。3 月后趋缓,崩滑堆积体与基岩间累计位移增至 2004-06-30 的 46mm,三道沟西侧深部累计位移达 16.26~31.04mm。

号临江崩滑堆积体及园艺场、变电站滑坡地表位移不十分明显,深部仅局部有 3.25~6.4mm 微量蠕动。通过位移监测表明,水库蓄水对黄土坡滑坡区的影响十分明显,尤其是对号临江崩滑堆积体的影响更为直接,并体现深部位移大于地表的特点。这种表现与以上滑坡区稳定性分析计算结果较吻合。

3 防治方案论证

从滑坡成因上分析,相当一部分滑坡的产生主要是由于滑体岩土含水量增加,致使滑体内动水压力增大,滑体岩土抗剪强度降低,而促使滑体沿软弱带(面)滑移变形。滑体在自重应力及附加应力(建筑荷载、动水压力、库水作用等)作用下,以滑带(面)岩土体剪切破坏的形式表现,而各条块之间是连续的,即使存在转动或相对运动,最终仍以滑体、滑带(面)岩土体的剪切破坏为表现形式。因此,在滑坡治理时首先想到的是排水,尽可能减少地表、地下水对滑体的影响,然后采取工程措施,提高阻滑力。对于受库水影响的黄土坡滑坡区,因前缘受库水位的侵蚀、浮托作用,而使滑坡前缘岩土力学强度降低以牵引式滑移破坏,显然排水工程不能完全满足防治目的。因此,滑坡区治理的重点应为提高前缘岩土力学性质及阻滑力。解决以上问题一般有两种途径:通过抗滑桩、挡土墙、锚杆(索)等工程,利用工程本身的强度提高滑坡阻滑力;就是采取工程措施提高滑体及滑带(面)岩土体力学强度,提高滑坡阻滑力。

从进度、技术、经济角度看,采用常规的抗滑支挡工程治理厚度巨大的黄土坡滑坡难度较大,而从提高滑体及滑带(面)岩土体力学性质入手,显得直接、简便和高效。提高滑体及滑带(面)岩土力学性质主要手段有加固、灌浆、焙烧等,因受岩土物理力学特性和库水的影响,原位岩土加固显得更加适应该滑坡的治理。且根据目前现场锚杆施工中,实际单根锚杆注浆量为设计理论量的 2~3.8 倍的现象,充分证明该滑坡区岩土具有较好的可注性。

岩土加固用于滑坡治理早有先例。1988 年原重庆市制药五厂发生大规模滑移变形,裂缝最宽 50cm,长 12~35m,最长达 70m。该滑坡表层 1~2.66m 深为粒径 20~130mm 的松散人工砾卵石填土,其下为 0.15~2.19m 厚残坡积粉质粘土,再向下为强风化泥岩。主要形成原因为表层土体力学强度低,透水性强,在大气降雨及工业废水作用下致使表层 8~12m 厚土体滑移。经论证分析,于滑体中部柠檬酸车间北、南段外墙布设 203 根 $\phi 300\text{mm}$ 的钻孔灌注桩,桩间距 1m,桩端伸入滑床 2~3m。经施工期间监测,随着桩的施工,滑坡变形速度逐步减缓,最终稳定。另在达 - 成铁路施工中,在治理金堂滑坡时,也采用了 7 排 1.2m 间距的旋喷桩加固滑带土体,使其力学强度增加,滑坡稳定。意大利的 Lizzi 早在 1983 年将密集的小直径钻孔灌注桩用于滑坡治理。

4 设计方法

4.1 基本原理

岩土加固是指用人工或机械方法挖出或充填加固区内部分不良岩土体,人为填入强度高、力学性质好的天然或人工复合材料,用以改善加固区岩土体整体力学性质,提高整体强度和稳定性的工程措施。其根据施工方法分为人工挖填加固及机械加固。人工

挖填加固根据其规模分为大面积挖填加固和局部挖填加固;机械加固根据其工法不同分为振冲加固、高压旋喷加固、深层搅拌加固及钻孔灌注加固等。其中机械加固因工作效率高、工期短、对滑坡扰动小而更适应该滑坡的治理。

因此,通过人为岩土加固的方法,原位加固滑坡某个条块,使该条块及滑带(面)岩土体力学强度大幅提高,形成一岩土加固带,并以加固后的岩土体综合抗剪强度参与滑坡稳定性及推力计算,通过调整加固带宽度使滑坡在设计工况下,达到设计安全标准,整体稳定。

4.2 基本设计方法^[1,2]

4.2.1 加固带岩土物理力学性质的确定

经 Aboshi 等人研究,加固带复合岩土体力学强度主要受被加固土体的不排水抗剪强度、加固体的抗剪强度及加固率影响,具体见式(1):

$$S_{sp} = (1 - M) C_u + MS_p \cos \alpha \quad (1)$$

式中: S_{sp} ——加固带复合体的抗剪强度;

M ——面积加固率;

C_u ——被加固土体的不排水抗剪强度;

S_p ——加固体的抗剪强度;

α ——滑面与水平面的夹角。

其中 C_u 在滑坡勘察过程中已查明; S_p 根据国内外大量试验及工程实测,可采用类比或试验获取。在实际工程中,因工法和被加固岩土体不同,其固结体的力学强度也不尽相同,参考表 1。

在 C_u 和 S_p 已知的前提下,根据地区经验、类似工程或试验,可以确定一个能达到和可以实现的加固带复合体综合抗剪强度 S_{sp} 目标值(一般砂类土 C 取 250~350kPa, ϕ 取 25~35°;粘性土取 300~400kPa, ϕ 取 20~30°)。

表 1 岩土加固体力学强度统计表

Table 1 The mechanical strength of geotechnical reinforced bodies

工程名称	加固方法	固结体力学强度		备注
		$C(\text{kPa})$	$\varphi(^{\circ})$	
达成铁路金堂滑坡	高压旋喷	341	40.12	粘性土
《工程地质手册》	高压旋喷	700~1000	20~30	粘性土
《工程地质手册》	高压旋喷	400~500	30~40	砂类土
奉节库岸	高压旋喷	300~600	26.1~28.01	碎石土
链子崖危岩加固	现浇阻滑键	720	36.2	砼与灰岩接触面

4.2.2 加固带宽度计算

全面分析滑坡纵剖面,按前述规范推荐公式分别计算滑坡在天然状态及设计工况下的稳定性和滑坡推力,根据滑面形态和推力曲线选择适当的部位布设加固带条块,将确定的 s_{sp} 目标值带入该条块参与滑坡稳定性及推力计算,调整此条块宽度反复试算,直至满足设计工况下设计安全标准止,此时该条块的宽度即为需加固带的宽度。

4.2.3 加固率的计算

因滑体(带)土体、加固体、加固带复合体的抗剪强度均已确定,所以根据(1)式加固率已经可以计算,然而(1)式中的加固率仅为二维平面概念。为了更加适应滑坡治理设计的需要,首先假定各微分加固带在滑坡破坏时为不同深度的水平剪切破坏($\alpha = 0^\circ$),于是将式(1)进一步概化为式(2),

$$\tau_{sp} = (1 - M) \tau_s + M \tau_p \quad (2)$$

然后又根据库仑定律($\tau = C + \sigma \tan \phi$)引入滑体深度值,将加固率的计算变为三维空间立体问题,详见式(3)。这样加固率就成为一个随滑体厚度不同而变化的一个量,且与滑体厚度成正比,与加固体抗剪强度成反比。

$$\begin{aligned} M &= (\tau_{sp} - \tau_p) / (\tau_p - \tau_s) \\ &= [(C_{sp} - C_s) + (\gamma_s \tan \phi_{sp} - \gamma_s \tan \phi_s) h] / \\ &\quad [(C_p - C_s) + (\gamma_p \tan \phi_p - \gamma_s \tan \phi_s) h] \quad (3) \end{aligned}$$

4.2.4 布置及结构

在加固率、加固带宽度已知的前提下,也就知道对于不同厚度的滑体单位面积内需加固的面积,这样就可以在先设定加固桩(孔)径的前提下,计算出不同直径时的间距,最终根据实际确定最优布置。在确定加固桩(孔)的布置时,间距应尽量不小于 2.5 倍直径,且必须考虑滑坡体内地下水的排泄,不可因加固体的设置而使滑坡体内地下水流不畅。因此,加固桩(孔)的布置平面上可考虑分段交错布置或呈多种异型组合形态,同时空间上亦可根据滑体厚度和稳定性不同而采用不同的带宽和桩长分段布设。

根据上述设计方法,充分考虑并结合前期治理工程,初步拟定于、号临江崩滑堆积体前阶段防治工程后缘,港务局平台至三道沟 300m,以及三道沟至复合肥厂 200m 范围布设两个加固带,采用 150mm 直径注浆孔相间 600mm 直径加固桩对带内滑体(带)进行加固,桩(孔)端伸入基岩 5 ~ 8m,加固深约 70 ~

80m,间距及排距 3m,分 10 ~ 18 排呈梅花相间布置,2350 个注浆孔布置于各排加固桩中间,与 2350 根加固桩一同呈梅花布置。由此构成了以注浆加固带和加固桩联合形成的加固体系。

以加固为目的的加固体、加固桩不同于依靠桩体刚度来抗滑的抗滑桩,其主要考虑的是加固带各截面的抗剪强度以及各桩体组合后所构成的整体加固效果,所以加固桩的结构设计不象钢筋混凝土抗滑桩,仅需根据不同材料配比和施工工艺,达到不同深度设计抗剪强度即可。设计时,可根据不同滑体深度段不同的加固率采用改变注浆压力、浆体配比、水泥标号和稠度等,以及改变不同深度的桩径、桩体配筋率、数量等从深度上、平面上分段设计,构成空间立体最优布置,达到经济、安全、可行的要求。

4.3 方案实施建议

钻孔注浆加固具有施工机械化程度高,效率高,对滑坡的扰动小,可多段面同时施工,在治理整体稳定的同时,也将多层不连续软弱带、潜在破坏面也一并治理等特点。为满足设计的各加固桩和加固带的抗剪强度,以及综合考虑施工环境条件和滑体、滑带(面)、滑床的物理特性,对不同的岩土体,可采用不同的工法进行施工。由于目前在我国将岩土加固用于滑坡治理的实例还相对较少,可以类比和借鉴的经验不多,建议先进行注浆加固,后施工加固桩,于各加固区注浆孔中均匀选择部分孔进行取芯勘探试验,以确定注浆技术参数。注浆加固施工完后,再通过部分加固桩取芯施工检验注浆加固效果,并进一步检验预期加固效果及参数。

5 结语

根据本人几年来从事黄土坡滑坡相关工作的认识和体会,作者初步提出了采用岩土加固方法防治黄土坡滑坡深层变形的基本思路和技术要求,并考虑与前阶段治理工程构成一个完整的防治体系,供有关方面论证决策第二阶段治理方案时参考。

参考文献:

- [1] 江鸿彬. 钻孔灌注抗滑桩束(群)简化设计方法探讨[A]. 湖北工程地质环境地质五十年[C]. 湖北:中国地质大学出版社,1999. 120 - 124.
- [2] 江鸿彬,孙仁先,刘行架. 岩土强度加固用于滑坡治理的设计方法初探[J]. 湖北地矿,2002,(4) 16:151 - 153.

(下转第 60 页)

Analysis on the induced factors of landslide in Dingnan County of Jiangxi Province

BIAN Xiao-geng

(1. China University of Geology, Wuhan 430074, China;

2. Institution of Environmental Geology of JiangXi Province, Nanchang 330012, China)

Abstract: Landslides distribute widely in Dinnan County of Jiangxi Province. From 1990 to 2002, there were 283 landslides took place. The scale of the landslide is currently small, but the losing is large. Most landslides are induced by rainfall. Rainstorm is often happened and the precipitation is large from April to June every year. In these days, a great deal of landslides took place. Besides rainfall, the factors inducing landslide include geomorphy, type of rock and soil mass, geological structure, structural type of rock and soil mass, artificial slope, etc. Medium-low mountain and hill cover the main areas in this county, where has the characteristics of large gradient, main rock type of magmatic rock and metamorphic rock, rock masses are mostly crashed and easy to be weathered, large thickness of eluvial-declivous soils and strongly weathered zone, wide distribution of faults. The residents build houses by digging mountain slopes, thus a number of high and steep artificial slope have been formed. All of these are the reasons of a great deal of landslides having been taken placed in this county.

Key words: Dingnan County of Jiangxi Province; landslide; formation factor; condition analysis

(上接第 56 页)

Approach on the control plan for deformation in depth of Huangtupo Landslide, Badong County in Hubei Province

J IANG Hong-bin

(Hubei Center of Geological Hazards Control, Yichang 443002, China)

Abstract: According to the investigation of the Huangtupo landslide area, the possibility of research for the prevention and control and the cognition of engineering management at the site in recent years, the paper studies on the distribution characteristic, material composition, stability and deformation characteristic of the landslide. For the properties of large thickness, high strength of the landslide mass and the obvious deep deformation in the recent days, based on the Coulomb Law, the author puts forward a primary control plan in this paper of adopting the rock and soil reinforcement to prevent the deep sliding of the landslide.

Key words: approach; rock and soil reinforcement; landslide mass; Coulomb Law