

# 大型滑坡的治理设计与施工

曾初元

(江西有色工程有限公司,江西 南昌 330000)

**摘 要:**介绍谢家湾大型滑坡的治理设计、施工方法及效果。

**关键词:**滑坡治理;抗滑桩;锚索

## 1 工程概况

京珠公路耒阳至宜章段(K244+400~800)的谢家湾,由于施工将古滑坡的抗滑段挖除,加之雨季地下水的强烈作用,导致古滑坡复活滑移,形成新的滑坡。滑坡呈球状体,垂直高差 80m,比较陡峭,总体积  $108 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,滑动面为球面,距锚固端位置最深达 50m,且已滑移 30cm,滑体与母体之间存在明显的裂缝。抗滑桩加锚索支挡稳固了滑坡,确保了公路施工过程中和通车运营后的安全。

## 2 滑坡段工程地质与水文地质条件

用 Morgenstern—Price 法算的安全系数是  $F=1.696$ , 上限极限平衡法的安全系数  $F=1.702$ , 用相关关联流动法则(即  $\varphi=\phi$ )算得安全系数  $F=1.660$ 。剪胀角等于  $0^\circ$  算得的结果如表 1。图 1 由表 1 中得来,当折减系数过了 1.5,无量纲量迅速增大,即节点的最大位移迅速增加,意味着边坡沉降迅速增大,说明破坏将要或已经发生。图 2 中,  $\varphi=30^\circ$  表示相关关联流动法则,  $\varphi=0^\circ$  表示考虑了部分剪胀性(非相关关联流动法则)。  $\varphi=0^\circ$  时节点最大位移下降十分迅速而且量大,而  $\varphi=30^\circ$  的节点位移变化则比较缓慢,量也不大。说明边坡在  $\varphi=0^\circ$  情况下发生的位移比较大,易于破坏,那取的安全系数肯定较小,而边坡在  $\varphi=30^\circ$  情况下的位移较小,不易破坏,则取的安全系数偏高。所以说传统方法和不考虑剪胀性计算的安全系数偏大了,过于保守了。

表 1 计算结果

安全系数	$E\delta_{\max}/\gamma H^2$	迭代次数
1	0.391263	2
1.2	0.39206	7
1.3	0.398597	15
1.4	0.415258	19
1.5	0.437022	29
1.6	0.64501	1000

算例 2:如图 5 所示一土坡,高 10m,坡脚度数为  $45^\circ$ ,  $\gamma=20 \text{ kN/m}^3$ ,  $c=6 \text{ kPa}$ ,  $\varphi=30^\circ$ 。Abaqus 前后处理,算得安全系数 1.40。

## 3 结论

本文通过分析和简单计算,得出以下简单结论:

K244+400~800 段原始地貌单元为丘陵及山间冲积洼地,滑坡处山坡呈“凹”形坡,坡面向西倾斜。

该段位于上二叠—侏罗纪形成的含煤构造盆地,公路东西侧山体受新华厦系苏仙岭逆断层控制,呈带状南北向座落在该含煤构造盆地之上。

该段地层岩性较为复杂,主要有滑坡堆积层(粉质粘土含碎石的碎石土)和互层状的砂岩、砂质页岩等岩层,岩层中夹有煤层,煤质较差。岩层节理裂隙发育,厚达 11~42m 的碎石土松散、空隙大(甚至有空洞),煤层经水浸泡后崩解、垮塌。地下水具

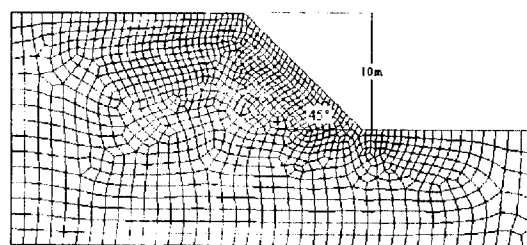


图 5 坡体基本尺寸与网格划分

(1)有限单元法在边坡分析中有很多优点:①不需要事先假设滑面,破坏发生在土体内剪应力超过剪切强度的区域;②不需要假设条间力,维持整体平衡直到达到破坏;③考虑了土体的应力应变关系,可以模拟渐进破坏;④能够对具有复杂地貌、地质的边坡进行计算;⑤能够模拟土体与支护的共同作用。

(2)通过数值计算结果的可视化,证实边坡破坏时塑性区确实是贯通的,所以用塑性区判断边坡破坏是一种很有前途的方法,但是该法基于假定边坡内所有土体抗剪强度的发挥程度相同。但是实际可能不是这样。解的数值不收敛作为破坏判据,虽然物理意义不是十分明确,需要进行一定的计算假定。但是通过引入无量纲量  $E\delta_{\max}/\gamma H^2$  和安全系数  $F$  的关系图,可以说明这种人为规定能很直观的反映坡体的变形破坏,不适为一种简单实用的方法。

(3)剪胀性(包含剪缩)是岩土界公认的材料固有特性,不容忽视。相关关联流动法则过大的考虑了材料的剪胀性,使得计算的结果偏大了,本文通过简单算例比较,极限平衡法和极限分析法计算的安全系数也偏高了,过于保守了。

承压性,水量丰富,打穿承压水后几乎成喷泉状。在这种地层中钻进成孔容易塌孔、跑风、排不出岩粉而无法钻孔。

### 3 滑坡治理设计

#### 3.1 滑坡原因分析

该滑坡形成的内因是在开挖路堑存在一大型古滑坡抗滑段挖方卸荷和地下水环境的变化。其中公路路基的开挖是古滑坡复活的直接诱发因素,而雨水季节地下环境的恶化降低了滑坡的稳定性,加剧了滑坡的滑动。

#### 3.2 滑坡治理设计方案

根据滑坡工程地质勘察报告和公路工程施工现状,对该滑坡采取排水、支挡、监测等方案,使该滑坡安全系数达到 1.2 以上,具体设计方案如下:

(1) 地表排水:沿滑坡周界以外 5m 距离设置环形截水沟,将滑坡体以外地表水拦截引离滑体外。在滑坡范围内设置树枝状排水沟,将大气降水或坡面径流引入截水沟;同时对滑坡体表面现有裂缝平整夯实,防止地表水渗入滑体内。

(2) 地下排水:在滑动面下设置一个排水洞,洞长 210m,洞底坡度 5%,洞横断面尺寸 2.6m×3.0m。在排水洞顶向上设置扇形排水孔,孔径  $\varnothing 150$ ,孔深 15~20m,孔距 3.0m,每个断面设置 3 个,每个排水孔进入滑动面以上 5.0m,并在孔内安装透水软管,目的是将滑体内(尤其是滑动处)的地下水排除。

(3) 深部位移监测:建立深部位移监测系统,采用信息法施工,不仅可以指导滑坡治理施工并检验其治理效果,而且为滑坡治理工程交付验收提供客观依据。考虑滑坡现有位移量,深部位移监测工作选用钻孔倾斜仪,在 4 个剖面上共布置 10 个监测孔。

(4) 抗滑桩加锚索支挡:公路路堑的开挖卸除抗滑段荷载是引起古滑坡复活的直接诱发因素,故除了采用排水措施改善地下水环境降低滑坡的下滑力外,还须采取提高滑坡抗滑力的稳固措施。经多方案比较和认证,采用抗滑桩加锚索支挡方案,具体设计如下:

公路 K244+563~704 段左侧山腰顺山体地形布置 23 根抗滑桩,编号 1~23 号。其中 1~12 号桩为 I 类桩,截面尺寸 1.8m×2.4m,长 28m,间距 5m,每根桩顶布置一束锚索,长 40m;13~23 号桩为 II 类桩,截面尺寸 2m×3m,长 35m,间距 6m,每根桩顶布置一束锚索,长 34m。

公路 K244+618~763 段左 20m,设 33 根抗滑桩,间距 4.5m,编号 27~59 号,其中 27~40 号为 III 类桩,截面尺寸 2m×3m,长 38m,每根桩顶布置 2 束锚索,长 68m;41~52 号为 IV 类桩,截面尺寸 2m×3m,长 30m,每根桩顶布置 2 束锚索,长 46.5m;53~59 号为 V 类,截面尺寸 1.2m×1.88m,长 12m。每根桩顶布置 1 束锚索,长 30m。

对于路堑左侧边坡抗滑桩桩顶以上台阶按 1:1.5 放坡后采用衬砌拱防护,抗滑桩桩顶之下采用挡土墙护坡。

以上锚索设计轴拉力为 1200kN,试验锚 1900kN,锚固段长度初定 18m,根据锚索抗拔试验结果对锚固段进行适当调整。

#### 4 施工方法

先进行地表排水(滑坡体外的截水沟、滑坡体内的树枝状排水沟)和地下排水(排水洞及洞顶向上扇形排水孔)施工,建立深部位移监测系统,然后由上而下逐排施工桩锚结构,待抗滑桩和

锚索特工完成后,再进行坡面防护施工。

锚索施工工序如下:造孔→锚索制作安装→锚孔注浆→补浆→锚具安装与张拉锁定→高压补浆→锚头封闭。

锚索施工方法:

(1) 测定孔位:采用全站仪测放孔位及倾角,并反复校核,误差  $\leq 3$ mm。

(2) 钻机安装:运用两点定线原理安装钻机方位角,用钻机前后高差点和开孔点控制钻机倾角、钻孔轴线,钻机安装时多点固定,以确保钻机稳定可靠,钻进时不会偏位。

(3) 造孔:采用风动冲击和随钻跟进同径导管的钻进工艺成孔。根据设计和地层条件,选用重庆探矿机械厂生产的 MGY-100 型全液压锚索钻机、 $\varnothing 150$ mm 偏心钻头、DHD360 型冲击器、 $\varnothing 89$ mm 风水双壁钻杆、随钻跟进的同径导管、英格索兰 XHP750SCAT 型空压机。正式钻孔前,开动钻机先钻 10cm 左右,停机检查钻机是否移位,确认钻机稳固后便可正式钻进。正式钻进时,根据冲击器做功风压范围和碎石土、煤层、砂、页岩等不同地层及不同的孔深来合理控制钻压和风压,即在碎石土中遇大块石和砂岩以及孔深超过 40m 时选择 6~10MPa 的孔压和 1.2~1.7MPa 的风压,否则取 4.5~8.0MPa 的孔压和 0.9~1.4MPa 的风压。钻进时,当每根钻杆钻毕到位后即提升钻具,使钻头离开岩面反复冲净孔内岩粉、岩渣后,接杆继续钻时。在钻进过程中,发现钻头有时会掉落或收不回来、导管靴会打断。处理办法是:将钻头与冲击器连接的定位销焊死,解决了钻头脱落问题;导管靴底部开一个斜口,顶住钻头反转,解决了钻头收不回来的问题;改变导管靴结构,改公扣为母扣,以加厚导管靴,解决了导管靴被打断的问题。通过上述改进钻具,使跟管和拔管深度由当时 23m 提高到 52m,顺利地解决了在这种复杂地层中钻进的难题。

(4) 锚索制作与安装:锚索采用高强度、低松弛的优质钢绞线制成,钢绞线标准强度为 1860MPa、计算截面积 140mm<sup>2</sup>。锚索制作前,先将钢绞线除锈、去污,保证其表面清洁、无锈斑、无油污,采用集中人力共同下索。下索时要求索体不能旋转,以避免架线环损坏磨损钢绞线,并确保锚索归中和锚固端到孔底。

(5) 灌浆与补浆:灌浆泵选择 BW100/15 型注浆泵。浆材包括 42.5 级的普硅水泥、8% 的 AEA 和 0.7% 的 GYA 外加剂。外加剂的加入可使浆液结石产生微膨胀而导致侧向应力的产生,以加强锚固。浆液水灰比 0.4,比重不小于 1.9,其标号要达到 M35。灌浆压力不宜过大,选择 0.3~0.7MPa,以能连续缓慢压入浆液为原则,这样浆液能由孔底慢慢流向孔口,使浆液有效地将孔内积水排出和充填空隙,而不会与水产生混合。当回浆管返出完全纯净的水泥浆液时,可以认为孔内积水已完全排出,这时可以并浆,并浆压力 0.3~0.5MPa,并浆时间 30min。灌浆结束以实际灌浆量大于理论吃浆量和回浆量相对体积质量大于进浆相对体积质量且孔内不再吸浆为控制标准。浆液收缩后及时补浆,使孔口浆液饱满。

(6) 张拉锁定:张拉是预应力锚索施工的关键工序。根据张拉力的要求,合理选用了 ZB4-200 型高压油泵、200t 调压千斤顶、OVM15G-8 型锚具,并对张拉机具进行了率定,包括对千斤

(下转第 298 页)

斜向钢管和 25 根竖直钢管。斜向钢管长 8~16m, 直径  $\varnothing 50$ , 倾向上游, 倾角  $30^\circ$ ; 竖直钢管长 8m, 直径  $\varnothing 50$ , 垂直向下; 施工中由于成孔较困难, 后将钢管改为直接用钻杆代替, 并于管内灌注水泥砂浆。

#### 4 抗滑桩锚固效果分析

根据开挖后揭露地质情况, 实际地质条件与原推测基本吻合。

大部分抗滑桩都已进入弱风化岩体内, 其中 9# 桩下部已进入微风化岩体。抗滑桩的嵌岩深度为 5.94~17.6m 之间, 绝大部分大于 11m; 嵌岩段强风化层厚度多在 9m 左右, 局部逾 11m, 除 12#、13# 桩未进入弱风化层外, 其余各桩深入弱风化层约 1.3~11.4m, 各桩嵌岩深度基本满足设计要求。

根据抗滑桩阻岩体补充勘察及抗滑桩开挖揭露地质情况, 各桩桩前阻岩体厚度均可达 12m 以上, 满足设计要求。

由于厂房基坑开挖, 抗滑桩前沿土体将大部分被挖除, 抗滑桩基本处于临空状态, 故前沿土体对于桩的支撑作用非常小, 在对抗滑桩进行设计时对此部力不作考虑, 取值为零, 只以其锚固作用力作为计算依据。

根据原开挖设计情况, 厂房基坑开挖后, 抗滑桩前缘阻岩体部分被挖除, 形成临空面, 5#~9# 桩嵌岩深度由于桩前部分岩体被挖除而减短, 但桩的设计开挖线多在强风化层或覆盖层内, 阻岩体的厚度变化不大, 在施工过程中根据实际地质情况对各桩桩深作了适当调整以满足其锚固要求。

#### 5 厂房后边坡整体稳定复核

在计算过程中, 同样假定覆盖层土体沿基岩顶板整体滑动, 但由于芭蕉林地表排水系统较完善, 故不计地下水影响。只在汛期考虑采用饱和容重和饱和抗剪指标进行复核计算。另考虑公路荷载  $5.0\text{t/m}^3$ 。安全系数、滑动面参数、滑坡体容重采用开挖后修改的参数进行复核。

经计算, 为达到设计安全系数  $K=1.05$  所需的锚固力最大值为  $131.64\text{t/m}$ , 仅超过桩结构计算设计时所取单宽下滑力 ( $122\text{t/m}$ )  $9.64\text{t/m}$ , 故复核计算的结果没有超出原设计的范围, 原设计方案较合理。

#### 6 结束语

(上接第 295 页)

顶、油泵、油管、压力表校验, 校验合格后将千斤顶与油泵配套进行率定。张拉分 5 级, 即  $240\text{kN}$ (预张拉)  $\rightarrow 600\text{kN} \rightarrow 900\text{kN} \rightarrow 1200\text{kN} \rightarrow 1320\text{kN}$ 。

正式张拉前, 取  $240\text{kN}$  的预紧张拉力, 采用多次循环预紧方式每根钢绞线进行预张拉, 使其各部位的接触紧密, 钢绞线完全平直。每根钢绞线预紧时, 以两次张拉伸长值差不超过  $3\text{mm}$  为限, 否则进入下一循环继续预紧直至符合要求为止。预紧后安装千斤顶和工具锚都要与工作锚对中, 夹片要平整, 严禁钢绞线在千斤顶的穿心孔内交叉。正式张拉时, 采用限位自行锚固的方式进行。张拉过程中, 当达到某一级控制张拉力后稳定  $15\text{min}$  即可锁定。张拉时采用力控制及伸长值校核的操作方法, 及时准确地记录油压泵读数、千斤顶伸长值、夹片外长度等。当实际伸长值大于计算伸长值的  $10\%$  或小于  $5\%$  时, 要停止张拉, 待查明原因并采取相应措施予以调整之后可继续张拉。张拉时, 升荷速率每

原推测的边坡地质条件基本符合实际情况, 提出的地质参数、采用的设计方案及设计参数在抗滑桩开挖后得到较好的验证; 抗滑桩的设计、布置对厂房后边坡岩土体的稳定控制作用在厂房基坑开挖期间亦得到验证, 采用抗滑桩是合理的。

根据施工开挖后地质条件变化情况及施工中出现的具体问题, 设代人员根据实际情况对抗滑桩设计深度、护壁支护方式等作了一定程度的修改、调整, 事实证明, 这些设计修改比较及时、适当。

后边坡抗滑桩的开挖也为以后的厂房基坑开挖提供了极为丰富、必要的水文地质工程地质资料, 根据厂房后边坡抗滑桩开挖后的地质情况重新编制的厂房区地质剖面图与厂房开挖后揭露的实际地质情况较吻合, 厂基基岩面高程较原推测相差仅  $1\text{m}$  左右, 这个精度在地质勘察工作中是相当高的。

根据前期勘察资料及开挖后的实际情况, 以下几个地质条件的判断对设计总体方案非常重要:

(1) 边坡区强风化层厚度的判断不易, 尤其是以泥页岩为主的地段, 这些地段强风化泥页岩的性状与残积土相差无几, 钻孔取芯率差, 波速低, 钻探或物探勘察时易将其误划为残积层;

(2) 局部沿泥页岩顺层发育强风化深槽, 由于勘探布孔有限, 强风化深槽的存在也导致将该区强风化层划分过厚, 实际上除强风化深槽外, 其余突出部位多以砂岩为主, 性状相对较好, 必要时可充分利用。这种风化层厚度划分上的误差在电站工程较大时影响尚不明显, 但对规模较小的电站来说, 不利于设计方案的优化。因此, 在前期勘察工作查明砂泥岩边坡区岩体风体特征非常重要。

#### 参考文献:

- [1] 冶金工业部建筑研究总院. 建筑基坑工程技术规范(YB 9258-97)[S]. 冶金工业出版社, 2003, 08.
- [2] 厦门市建设委员会. 深基坑支护技术——厦门市深基坑支护工程实例[M]. 中国水利水电出版社, 2002, 09.
- [3] 彭振斌. 深基坑开挖与支护工程设计计算与施工[M]. 中国地质大学出版社, 1997.

分钟不超过设计张拉力的  $10\%$ ; 张拉人员必须站在千斤顶两侧位置操作, 不得在千斤顶正面操作, 以免发生夹片飞出伤人事故。

(7) 高压补浆: 通过锚垫板的补浆孔高压补浆, 补浆压力  $\geq 0.6\text{MPa}$ 。

(8) 锚头封闭: 高压补浆 3 天后, 将锚索预留  $50\text{mm}$  长度后将多余的钢绞线切掉, 钢绞线工作锚清洗干净, 桩侧凿毛清洗后, 用 C25 砼将锚头封闭。

#### 5 结论

通过地表水、地下水排除和抗滑桩加锚索支挡等综合治理措施, 成功的治理了谢家湾大型滑坡, 尤其在复杂地层中锚索孔钻进方面解决了跟管钻进  $52\text{m}$  的难关, 取得了复杂地层中随钻进导管和拔管的突破性进展。

两年多来的滑坡深部位移监测结果表明, 谢家湾滑坡经治理后至今, 几乎没有新的滑移量, 达到了预期效果。