

# 仁义立交滑坡整治工程方案设计

骆 凤 涛

(中交通力公路勘察设计工程有限公司, 陕西 西安 710075)

摘 要: 就仁义立交滑坡整治工程方案设计中的一些问题进行了探讨, 分析滑坡发生机理及其强度指标, 并列出了滑坡整治工程设计的可行性方案, 通过对方案的综合性比较论证了采纳不同方案的优点和缺点。

关键词: 滑坡; 整治方案; 滑动机理; 推力计算; 推荐方案

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2002)02-0055-03

中图分类号: P642.22

## Program of Renyi Flyover-crossing Slide Treatment

LUO Feng-tao

(China Transportation Tongli Highway Survey of Design Engineering Company, Xi'an 710075, Shaanxi Province, China)

**Abstract** The problems in designing of the program of Renyi flyover-crossing slide treatment are discussed. The mechanism and intension indices of it are analyzed. The feasibility of each program are expounded by comparing comprehensively.

**Keywords** slide; treatment program; slide mechanism; push thrust calculation; proposal scheme

## 1 前 言

滑坡作为山区公路建设中的主要病害之一, 其治理在公路建设中尤为重要。目前, 在我国山区、丘陵区以及黄土高原等地区均有不同程度、不同类型的滑坡分布, 由于所处地貌单元的特殊性通常在地质构造复杂、岩层产状变化大的地段多为滑坡分布区, 局部地区滑坡分布规模大、类型多, 而且分布广泛, 发生频繁、危害严重。滑坡的活动将严重影响到公路的正常运营, 对路基造成永久性破坏。大规模的滑坡可堵塞河道, 摧毁公路, 破坏厂矿, 掩埋村庄, 对山区建设和交通设施危害极大。如何采取有效可行的滑坡治理措施达到减少和防治其所产生的危害, 是公路建设中的一项重要研究内容。它对改善山区不良地况, 提高山区公路等级, 促进山区经济发展有着不可忽视的重要意义。本文结合祁临高速公路中仁义立交滑坡整治工程方案设计, 以探索滑坡整治工程方案设计在实际工作中的应用。

## 2 仁义立交滑坡的地质环境条件

### 2.1 滑坡概况

该滑坡位于山西省祁县至临汾县境内, 路线 K86+514~+812 段右侧。该段路基以挖方为主, 施工时挖方弃方于路线右侧的低缓处, 2001 年 4 月 8 日施

工单位发现在距路线约 500 m 处的窑深沟左侧边坡上有掉土现象, 随后在路线中线附近有地表裂缝出现, 并发现圈椅状裂缝, 裂缝贯通性好, 表明滑坡已经形成。现场调查发现, 该滑坡特征明显, 后缘圈椅状裂缝贯通性良好, 并在滑体右侧有贯通性很好的侧缘裂缝由滑体后缘延伸至滑体前缘剪出口一带, 裂缝的最大宽度达 20 cm 左右; 滑体前缘剪出口已经形成, 并已发生剪出, 该滑坡目前处于时滑时停的蠕滑阶段。该滑坡的滑动, 不仅对仁义互通立交的 A 匝道的填方路基构成威胁, 同时滑坡后缘裂缝已达主线中线, 直接影响到该立交的安全。

### 2.2 地形地貌

该区域属丘陵深切沟谷区, 滑坡发生在窑深沟右侧坡体, 滑体主滑方向为  $232^{\circ}$ , 窑深沟由滑坡前缘向北向南径流, 沟底与滑坡后缘高差约 73 m。

滑坡坡体较平缓, 前部伸向窑深沟, 其左侧受断层控制, 滑体中有 2 条冲沟, 滑体前部发育落水洞。滑体前缘最高处与窑深沟沟底高差约 27 m。滑坡区未见地下水出露。

### 2.3 地层岩性

滑坡区地层, 上部以第四系上更新世 ( $Q_3^{col}$ ) 黄土为主, 下部以二叠系的泥岩、砂岩为主。表层局部分布施工弃方的碎块石。第四系上更新统 ( $Q_3^{col}$ ) 黄土呈灰黄色、棕黄色等, 大孔, 土质较均匀; 夹 1~2 层含钙质

结核的红褐色古土壤 稍湿,硬塑状态 其最大厚度 32.60 m

二叠系上石盒子组 ( $P_2$ ): 为浅灰绿砂岩与杂色泥岩组成,强—弱风化,中厚层状,层状构造,节理裂隙较发育。最大揭露厚度 40.00 m 滑坡的滑动带主要位于该层的泥岩中。

二叠系下石盒子组 ( $P_{1s}$ ): 主要揭露地层为泥岩,青灰—灰黑色,强—弱风化,中厚层状,泥质结构,节理裂隙较发育。该层最大揭露厚度 7.50 m

### 3 滑坡规模和滑坡形成机理

#### 3.1 滑坡规模

滑坡纵长约 325 m,横宽 180~260 m,滑体平均厚度约 35 m 滑坡发生后,右侧(北)周界清晰,左侧较模糊;滑体后部形成围椅状张拉裂隙,与滑体右侧剪胀裂隙贯通,并延伸至前缘剪出口。滑体前部剪出口一带见有鼓胀裂缝 滑体中未见裂隙发育。现滑体约  $1.80 \times 10^6 \text{ m}^3$ 。为一特大型深层岩质滑坡。

#### 3.2 滑坡滑动机理

该滑坡是路基工程施工弃方过程中诱发的工程滑坡,施工时弃方于坡体中后部 给坡体加载后沿泥岩中的软弱面发生的典型推移式滑坡,其滑床为二叠系的砂岩或泥岩。滑床基岩的产状在滑体后部为  $240^\circ \sim 255^\circ \angle 34^\circ \sim 42^\circ$ ,前部据区域地质调查资料为  $240^\circ \sim 253^\circ \angle 5^\circ \sim 18^\circ$ ,其倾向与主滑方向大体一致。主滑方向  $232^\circ$ ,原坡体处于极限平衡状态

#### 3.3 滑坡形成机理

在原坡体中后部不断填方加载,即垂直应力不断增加,其沿滑向的分力随之增加。随着填土加载,垂直应力沿滑向上的分力逐渐大于潜在滑动面(带)岩体的剪应力,使坡体后部形成裂缝,部分岩体发生蠕动,至 2001 年 4 月 8 日,当加载到一定程度时,促使滑体后部(加载部分)下滑,形成后缘之弧形拉张裂缝,当张裂缝与滑面贯通后,下滑蠕动速度加快,后部、中部滑体形成贯通滑动面产生推力,其推力作用于滑体前部,推挤前部抗滑段坡体,迫使其向临空面最薄弱处位移形成贯通性滑面,使该滑坡发生整体滑动 整体滑动过程中,由于受基岩产状的控制,滑体右侧的位移速度明显大于左部,使右侧形成贯通性裂缝 目前该滑坡处于整体下滑的初期,随着时间的推移,当地表水沿裂缝灌入滑面后,将使滑动面的抗剪强度进一步降低,引发滑坡的快速滑动

该滑坡形成的原因: 具有易滑地层(强—弱风化泥岩)是产生滑坡的物质基础,坡体后部加载是滑坡发生的重要原因

### 4 滑动面(带)和强度指标的确定

为了正确确定滑动面位置和滑坡的各项技术指标,布置钻孔 7 个,1 条主轴断面和 2 条横断面,取试件 33 个。根据滑坡滑动后地面滑坡要素的调查和钻孔揭露,该滑坡的滑动面明显,其主要特征: 滑面多位于泥岩中,滑面(带)处地下水含量增大,多呈很湿—饱和流塑状态,擦痕明显。通过试验,滑带土的重塑土抗剪强度指标: 饱水快剪平均值  $C = 22.8 \text{ kPa}$ ,  $\varphi = 6.4^\circ$ ,其饱水残剪平均值  $C = 1.2 \text{ kPa}$ ,  $\varphi = 1.2^\circ$  由于滑面位于泥岩层中,钻孔中难于取得原状滑带土样,故进行综合强度指标的反算。

反算强度指标时的断面按填方前地面线确定,根据试验资料滑体容重的加权平均值取  $V = 20 \text{ kN/m}^3$ ,拟定滑体下滑前其稳定度为极限状态,  $K = 1.0$ ,假定  $C = 5 \text{ kPa}$ ,求算  $\varphi_{\text{算}} = 7.8^\circ$ (取用值)。

### 5 滑坡稳定性验算与推力计算

#### 5.1 滑坡稳定性验算

稳定性验算时,按折线形滑面传递系数法公式进行计算,其公式为:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (R_i \prod_{j=1}^{n-1} j_i) + R_n}{\sum_{i=1}^{n-1} (T_i \prod_{j=1}^{n-1} j_i) + T_n}$$

式中:  $K$ —— 滑坡稳定系数;  $R_i$ —— 第  $i$  块的抗滑力 ( $\text{kN/m}$ );  $T_i$ —— 第  $i$  块的下滑力 ( $\text{kN/m}$ );  $j_i$ —— 第  $i-1$  块滑体的剩余下滑力传递给第  $i$  块时的传递系数  $j_i = \cos(\tau_{i-1} - \tau_i) - \sin(\tau_{i-1} \tau_i) \tan \varphi$ ,经过计算,该滑坡在天然状态下的稳定系数  $K = 0.99$  由于滑坡位于 7 度地震区,取水平地震力系数  $K_h = 0.1$ ,计算的滑坡稳定系数为 0.84

#### 5.2 滑坡推力计算

滑坡的推力采用折线滑动面的传递系数法公式进行计算。公式如下:

$$E_i = K_s (W_i \sin \tau_i + Q \cos \tau_i) + j_{i-1} E_{i-1} - (W_i \cos \tau_i + Q \sin \tau_i) \tan \varphi - \sigma L_i$$

式中:  $E_i$ —— 第  $i$  块的剩余下滑力 ( $\text{kN/m}$ );  $K_i$ —— 安全系数;  $W_i$ —— 第  $i$  块的滑体重 ( $\text{kN/m}$ );  $Q$ —— 第  $i$  块的水平力 ( $\text{kN/m}$ );  $\tau_i$ —— 第  $i$  块滑体滑面的倾角 (度);  $L_i$ —— 第  $i$  块滑体滑面的长度 (m);  $E_{i-1}$ —— 第  $i-1$  块滑体的剩余下滑力 ( $\text{kN/m}$ )

经过计算,在天然状态下,主滑断面剪出口处的滑坡剩余下滑力为  $E = 278 \text{ kN/m}$ ;在 7 度地震作用时,其剩余下滑力急剧增加,达  $5287 \text{ kN/m}$

在计算中,取天然状态和地震状态的安全系数分别为 1.15 和 1.05 时,滑坡剪出口处的滑坡推力分别为  $E = 4\,588\text{ kN/m}$  和  $E = 6\,970\text{ kN/m}$ 。根据计算可知,要使该滑坡不对公路工程构成威胁,使之达到规范所要求的稳定度,就必须采取整治工程措施。

## 6 滑坡整治

### 6.1 整治工程方案的设计原则

该滑坡规模大,治理难度也大,其整治工程设计方案的选用主要遵循以下原则: (1) 一次根治,不留后患; (2) 治理工程方案应做到方法先进、技术可行、经济合理、施工简便; (3) 治理工程方案的实施不会引发新的地质病害; (4) 减少占用耕地; (5) 有利于环境保护,尽量减少对植被和自然环境的破坏。

### 6.2 整治工程方案

根据上述设计原则,对各种可能的整治工程方案进行了分析,结合该滑坡的具体特点,提出如下整治工程方案进行同深度的比较。

**6.2.1 普通钢筋混凝土抗滑桩支挡方案** 本方案的目的在于仅仅保护路基的安全,其宗旨是:在滑坡后部适当位置通过设置抗滑桩支挡主滑段的岩土体,以达到保证路基安全的目的。主滑断面设桩处的滑坡推力为  $6\,675\text{ kN/m}$ ,桩前剩余抗滑力  $5\,167\text{ kN/m}$ ,按 7 度地震状态进行设计。

(1) C20 钢筋混凝土抗滑桩。抗滑桩在平面上垂直主滑方向进行布设,考虑到地形因素和 A 匝道路基填方后的坡脚位置,分二排布置:后排位于滑坡轴线附近其左侧,前排位于其右侧。桩距(中—中)  $6\text{ m}$ ,桩径为  $3.40\text{ m} \times 4.40\text{ m}$ ,共布置 31 根,桩长  $28.0\sim 42.5\text{ m}$ ,总桩长  $1\,136.0\text{ m}$ 。采用 C20 混凝土浇注,为普通钢筋混凝土抗滑桩。为施工安全,抗滑桩设有锁口盘和钢筋混凝土护壁。

(2) 夯填裂隙及落水洞。对滑体后缘及右侧边界一带的滑动裂隙、落水洞进行回填夯实处理。该方案实施后,桩后滑体在天然状态下的稳定安全系数为 1.15,在 7 度地震作用下的安全系数为 1.02;桩前剩余滑体处于稳定状态,其稳定度分别为 1.60 和 1.26。

**6.2.2 清方、卸载、反压及滑体注浆方案** 本方案的宗旨是通过滑坡后部的减载和弃方的清除,降低滑坡推力,再通过滑坡前缘的反压,达到治理该滑坡的目的。具体工程措施和相应的工程量如下:

(1) 清除弃方。清理主滑断面左侧地表的碎块石土弃方,清理厚度  $3.0\sim 6.5\text{ m}$ ,在主滑面上以到原地面标高为宜。清除的弃方用于滑坡前缘反压。清方量为  $78\,400\text{ m}^3$ 。

(2) 卸载。在滑坡后部通过减载,以减少滑坡推力。减载时为保持挖方断面和相邻路基边坡的协调关系,设置了二级边坡,坡率为  $1:1.10$ ,平台宽度根据地形进行调整。平台上设置平台排水沟,卸载体积为  $75\,200\text{ m}^3$ 。

(3) 填土反压。在滑坡前缘窑深沟中利用清除的弃方和减载土石方进行填土反压。填土时分层填筑,填至设计标高后,对填土进行强夯处理,强夯处理后的填土平均高度在  $13\text{ m}$  内的平均压实度应不小于 85%,大于  $12\text{ m}$  的滑坡前缘左侧填土的平均压实度应不小于 80%。填土体积  $258\,000\text{ m}^3$ 。

(4) 填土强夯处理。为提高填土的密实度,对滑坡前缘部分的反压填土进行强夯处理,夯点按梅花状布置,点距  $6\text{ m}$ ,单击夯击能量为  $2\,000\text{ kN/m}$ ,夯点的夯击数按最后两击沉降差小于  $5\text{ cm}$  控制。强夯时隔点跳夯,以提高夯击效果。点夯完成后,推平夯坑,进行表面平整处理,并用黄土覆盖填至设计标高。强夯处理面积  $28\,200\text{ m}^2$ 。

(5) 注浆。对滑坡后部滑带及松散破碎岩体进行注浆,以提高滑带的力学强度,充填裂隙。注浆孔孔距为  $15\text{ m}$  左右,梅花状布置,孔深至滑带下  $2\sim 3\text{ m}$ ,共布置 51 孔,总孔深  $1\,275\text{ m}$ 。注浆材料为水灰比  $1.0\sim 0.8$  的纯水泥浆液,浆液采用 32.5 水泥制作,单孔设计注浆量  $70\text{ m}^3$ 。此外,对挖方减载暴露的裂隙进行地表灌浆封闭处理,预计灌浆量  $180\text{ m}^3$ 。总注浆量  $3\,750\text{ m}^3$ ,注浆钻孔  $1\,275\text{ m}/51$  个。本方案实施后,滑坡在天然状态和 7 度地震状态下的稳定系数分别为 1.46 和 1.18。

上述 2 个方案中,依据本滑坡的地形及实际情况,前者施工技术难度大,要求高,同时投资大;后者的优点是施工简单,便于施工,且投资较小,缺点是需永久性占地,但该永久占地在反压填土完成后可予以部分偿还。

### [ 参 考 文 献 ]

[1] 交通部第二公路勘察设计院主编. 公路设计手册. 路基 [S]. 北京: 人民交通出版社.