

某小型土质滑坡成因分析、参数反演及综合治理方案探讨

史俊勇

中国华西工程设计建设有限公司 四川 成都 610000

【摘要】：本文以某小型土质滑坡工程实例为研究对象，详细阐述了该滑坡的工程概况、成因分析、滑面参数反演过程及处治方案。通过对滑坡发生的地质条件、诱发因素进行深入剖析，结合现场勘察与计算分析，确定了合理的滑面参数，并制定了针对性的处治方案。

【关键词】：土质滑坡；工程概况；成因分析；参数反演；处治方案

DOI:10.12417/2811-0528.25.21.022

1 前言

在公路、铁路、房建等各类工程项目建设过程中，边坡工程是常见的工程类型，而小型土质滑坡作为边坡工程中的一种常见病害，常常给工程建设和运营带来较大困扰。小型土质滑坡虽然规模相对较小，但如果处治不当，可能会造成较大的生命财产损失。

本文结合某小型土质滑坡的实际案例，从工程概况入手，详细分析了滑坡发生的原因，进行了滑面参数反演，最终提出了切实可行的处治方案，并对方案的实施效果进行了跟踪评估。由于作者知识水平有限，文中难免存在不足之处，恳请各

位前辈同行批评指正。

2 工程概况

该项目路段位于山凹底部，所处区域地形较为复杂。原地表整体坡度较为平缓，在 $2^{\circ}\sim 5^{\circ}$ 之间，地势呈现出一定的起伏变化。根据最初的地质勘察报告，该区域的地层结构具有明显的分层特征：最上层为耕植土，厚度在 $0.3\text{m}\sim 0.8\text{m}$ 之间，其下依次为约 1m 厚的强风化泥质砂岩，中风化泥质砂岩。

该区域的地下水埋藏较深，在项目初期勘察时，未发现明显的地下水露头，地下水对原地基和边坡的影响较小。岩土的物理力学性质指标建议值见下表：

岩土的物理力学性质指标建议值

地层编号及名称	重度 γ	压缩模量	粘聚力	内摩擦角	承载力基本容许值	基底摩
	(KN/m^3)	(MPa)	$C(\text{kPa})$	$\varphi(^{\circ})$	[f_{a0}] (kPa)	擦系数
						m
粉质黏土	19.8	6	30	15	150	0.25
强风化砂岩	21.5	25	45	35	260	0.45
中风化砂岩	23	/	260	40	700	0.5
强风化泥岩	22	20	40	30	250	0.4
中风化泥岩	24	/	200	35	600	0.5

项目地质勘察与设计外业踏勘工作完成后，项目因故暂停3年。在此期间，场地周边有房建项目开展场坪作业，施工单位在该项目路段的原地貌上堆填了大量弃土，厚度达到 $6\text{m}\sim 8\text{m}$ 。这些弃土仅经过简单的压实处理，压实度不足，土体结构较为松散，整体性较差。弃土的堆积改变了原有的地形地貌，使该区域的地面高程大幅提高。

同时，弃土也改变了地表的排水路径，在弃土的后缘形成了一个堰塞水塘，水深约 4m 。该水塘与道路边坡渗水面的高差约 9m ，渗流路径长度约 52m 。堰塞水塘的形成使得该区域的水文条件发生了重大改变。

3 原因分析

项目重启后，未开展补充地质勘察工作，设计人员也未进

行重新踏勘，仅仅通过简单的地形重测就推进施工图设计，这为滑坡的发生埋下了先天性的隐患。受征地范围的限制，路段第一级边坡采用 $1:1$ 放坡，二级边坡坡率采用 $1:1.5$ 放坡，坡面仅采用普通挂三维网防护措施，未针对场地变化后的特殊条件强化防护设计。

弃土后缘形成的堰塞水塘由于原排水通道被堵塞，自然水体无法正常排泄，导致水塘水位不断上升。在路基开挖成型初期，沿岩土交界面就出现了少量渗水现象，但由于此时坡面未出现明显的变形迹象，该现象未引起相关单位的足够警惕，错过了早期处理的最佳时机。

一周后，一场大雨的降临使得水塘水位急剧上升，渗透压力显著增大，坡面的渗水量也随之明显增大，进一步加剧了坡体的失稳趋势。首先，坡顶出现张拉裂缝，最初呈断续状，随

着时间的推移,裂缝逐渐发展,且宽度不断加大,三天后形成了圆椅状的贯通裂缝,坡体最终沿岩土交界面发生滑塌。经现场测量,滑体主轴长约20m,宽约35m,沿岩土交界面剪出,滑体规模约1800立方米。

边坡滑塌后,设计人员第一时间开展现场详细踏勘,地质勘察单位同步对该路段实施补充勘察。综合病害发展全过程分析,初步判定病害成因主要包括以下方面:

①原设计中素填土路段边坡坡率过陡,导致边坡安全系数不满足规范要求,这是边坡滑塌的基础。

②坡面持续渗流破坏了岩土体的物理力学性质,降低了岩土体界面的抗剪强度。

③堰塞水塘水位上升使渗透压力显著增大,进一步加剧了坡体失稳趋势,多重因素叠加加速了病害的发展进程。



图1 现场照片

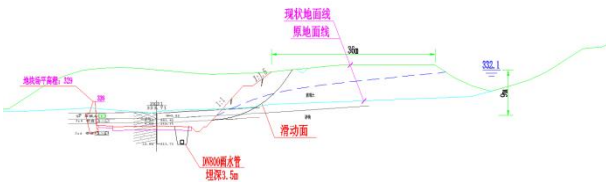


图2 滑体主轴断面情况

4 滑面参数反演

本次边坡滑塌过程并非一蹴而就,而是呈现出三个明显的发展阶段,各阶段的特征及稳定状态如下:

①基本稳定阶段:边坡成型初期,渗水量较小,坡面未出现变形迹象,此时坡体的自身强度能够抵抗外部荷载的作用,从整体稳定性来看,此时边坡处于基本稳定状态,初步判断其稳定系数 $F_s > 1.1$ 。

②欠稳定阶段:降雨过后,边坡渗水量显著增大,但并未立即发生滑塌。这一阶段,坡顶率先出现断续状裂缝,随后裂

缝逐渐由断续状态向贯通状态发展,且宽度不断加大,已出现失稳征兆。不过,主滑面尚未形成,滑坡整体的稳定系数处于 $1.05 > F_s \geq 1.0$ 的区间。

③失稳阶段:边坡持续渗水,在水力的持续作用下,滑坡的滑面以及四周不同性质的裂缝已完全贯通,最终导致边坡发生整体滑塌变形,之后进入稳定压密状态。值得注意的是,整个过程并非短时间完成,而是存在一定的时间积蓄,据此推测此时滑坡的稳定系数为 $1.0 > F_s \geq 0.95$ 。

边坡滑塌后,为了准确掌握滑坡区域的地质情况,地质勘察单位及时对该路段实施了补充勘察工作,给出了新的素填土岩土参数,如下表所示:

补勘岩土的物理力学性质指标建议值

地层编号及名称	重度 γ (KN/m ³)	压缩模量 (MPa)	粘聚力 C(kPa)	内摩擦角 φ (°)	承载力基本容许值 [fa0] (kPa)	基底摩擦系数 m
素填土	19	3.5	18	14	60	/

故根据现场踏勘资料和实测数据,技术人员勾勒出滑体半径约18.5m,滑面长约20.8m,并通过挖探坑的方式,大致推算土体内部水位线变化情况见图2。根据以上基础资料,对岩土参数进行反演。

本次反演采用粘聚力不变,调整内摩擦角的方法,根据《建筑边坡工程技术规范 GB 50330-2013》公式进行参数反演计算,计算公式如下:

$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{m_{0i}} [c_i l_i \cos \theta_i + (G_i + G_{bi} - U_i \cos \theta_i) \tan \varphi_i]}{\sum_{i=1}^n [(G_i + G_{bi}) \sin \theta_i + Q_i \cos \theta_i]} \quad (\text{A. 0.1-1})$$

$$m_{0i} = \cos \theta_i + \frac{\tan \varphi_i \sin \theta_i}{F_s} \quad (\text{A. 0.1-2})$$

$$U_i = \frac{1}{2} \gamma_w (h_{wi} + h_{w,i-1}) l_i \quad (\text{A. 0.1-3})$$

式中: F_s ——边坡稳定性系数;

c_i ——第 i 计算条块滑面黏聚力 (kPa);

φ_i ——第 i 计算条块滑面内摩擦角 (°);

l_i ——第 i 计算条块滑面长度 (m);

θ_i ——第 i 计算条块滑面倾角 (°), 滑面倾向与滑动方向

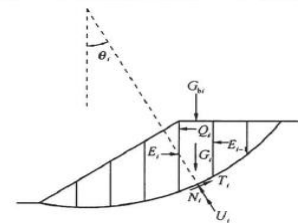


图3 滑坡计算图示

根据现场实际情况,同路段未发生渗水路段仍然稳定,边

坡完好,安全系数取 $F_s=1.1$,发生病害段安全系数取 $F_s=0.95$,将这些参数带入上述公式进行反算,反演过程采用理正岩土6.5PB2版边坡稳定性分析模块进行点算,模拟滑面工况。结合补勘建议值,综合确定的出土层天然工况 $C=18\text{KPa}$, $\Phi=14.4^\circ$;饱和状态 C 、 Φ 值适当折减,取用 $C'=16\text{KPa}$, $\Phi'=12^\circ$ 。

5 处治方案

因道路上部弃土压实度不足,渗水主要来源为弃土后缘堰塞水体。同时设计人员经过计算后提出了挡墙加固、削方卸载两种治理方案,经过技术、经济分析对比后,综合考量项目的实际情况,如场地条件、工程造价、施工难度等,最终选取了放缓坡+防排水综合治理方案。该方案结合了削方卸载和防排水的优点,既能通过放缓坡率和削方来提高边坡的稳定性,又能通过完善的排水系统来消除水对坡体的不利影响,具有较好的技术可行性和经济性

为保障运营期行车安全,确保治理效果稳定可靠,依据反演参数计算结果,综合拟定以下处治方案:

①边坡卸载:针对整段素填土边坡实施放缓处理。考虑到原滑体残余强度较低,卸载方案需尽可能进行充分削切,将边坡坡率调整为 1:2。其中,一级边坡坡面采用挂三维网喷播植草的防护方式;二级边坡则结合实际情况,规划为还林或复耕区域。

参考文献:

[1] 建筑边坡工程技术规范 (GB 50330-2013) [S].
[2] 滑坡防治设计规范 (GB/T38509-2020) [S].

②祛除病害根源:先对上部堰塞体进行抽水处理,将水塘中的积水排空,减少水体对坡体的渗透压力,随后利用削坡产生的土方进行填平,以此消除渗流水源,从而避免边坡因长期持续渗流导致泥土流失,防止岩土体参数降低。

③截断水源、梳理排水体系:沿填土边缘设置硬化排水沟;在路堑坡口线以外 5m 处布设顶截水沟,通过急流槽将汇集的雨水引流至道路边沟,形成完整有效的排水路径,阻断外部水源对边坡的不利影响。

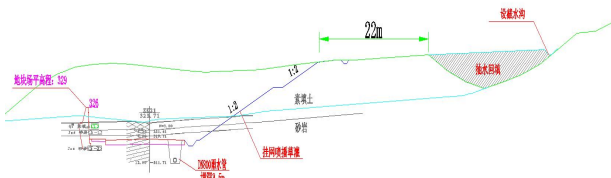


图 4 综合处治方案设计图

6 结语

按上述方案综合处治后,边坡渗水问题得到有效控制,经计算,边坡稳定性系数 $F_s=1.384$,满足规范要求。该治理方案报专家评审通过后顺利实施,取得了显著成效,道路通车运营两年以来,边坡始终保持稳定状态,未出现任何变形迹象,这表明该处治方案是科学合理、切实有效的,能够很好地解决该小型土质滑坡问题,为道路的安全运营提供了坚实保障。