

文章编号: 1001-1986(2006)01-0058-04

# 近水平层状边坡的层内失稳分析和对策

邵 江<sup>1,2</sup>, 曾高峰<sup>2</sup>, 周德培<sup>1</sup>

(1. 西南交通大学土木工程学院, 四川 成都 610031;

2. 四川省交通厅公路设计研究院, 四川 成都 610041)

**摘要:**以西攀高速公路 K151+180~650 m 深挖路堑开挖失稳形成昔格达层内滑坡为例, 总结了昔格达组泥岩与砂岩互层半成岩堑坡的工程地质特征, 分析了开挖、场区构造影响和水文地质条件对堑坡失稳的影响, 以及开挖造成部分坡体沿层面失稳的机理。并对失稳堑坡提出了综合治理措施, 以及堑坡开挖失稳的防止对策。

**关键词:** 开挖; 近水平层状; 歪斜滑移; 昔格达组

**中图分类号:** P642.22 **文献标识码:** A

## Landslide analysis and control strategy for approximately level slope of Xigeda Formation

SHAO Jiang, ZENG Gao-feng, ZHOU De-pai

(1. School of Civil Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China;

2. Highway Design Institute, Sichuan Provincial Communication Department, Chengdu 610041, China )

**Abstract:** Based on the researching on K151+180~650 m landslide along the Xi-Pan Expressway the paper described the geologic characteristic, analyzed the infection of the excavating, the structure and hydrogeology conditions of the slope, and summarized the slip mechanism on the landslide of the approximately level excavated slope in Xigeda Formation. The advanced control strategy is provided.

**Key words:** excavation; approximately level; deflection slippage; Xigeda Formation

收稿日期: 2005-05-05

作者简介: 邵 江(1973—), 男, 四川南江人, 工程师, 西南交通大学博士生, 岩土工程专业。

d. 周边不能有强震动机械工作, 以保持流体稳定和测量操作稳定。测量深度值时, 测杆要尽量垂直和稳定; 在斜边测量中, 应尽量保证测杆泥托底座中心触及渠道底部。

e. 在前方有较大坡度的明渠低端测量, 一般要离开大坡度低端 20 m 以上, 或有一个以上的转弯。也可以加阻尼栅稳定流速, 这种情况下测量要在距离阻尼栅 5 m 以上的位置处选点。但是在实际工作中, 会经常遇到必须在有坡度的地段测量明渠流量的情况。这就需要采用斜坡校正来修正测量结果。根据通常矿井水的粘度系数、明渠流阻和煤质比重考虑, 最大测量坡度为 15°。由于水体的自重加速, 对于涡轮流量计这种质量测量方式, 需要对测量值进行校正。因为煤比重、流阻、煤粉颗粒度和含量等多种因素难以计量, 一般采用同点校正比对, 来认识相对流量的增加比例。若要与同渠道水平段测量点数据相比时, 可乘以斜坡修正系数  $D$  来校正斜坡段测点的流量测量结果。

$$D = (100 - \text{斜坡角度}) / 100 \quad (3)$$

另外, 在日常工作中还要注意许多影响测量精

度的问题, 如清理测量传感器中及周边缠绕的杂物, 注意定期、及时校准传感器, 测量中密切注意测量数值的突然减小或增大, 以保证结果的可靠性。

### 3 结语

该技术方法在淮北和邢台矿区使用测量中, 通过对矿井不同区段明渠流量测量结果的统计和对比分析, 测量精确度可以控制在 2%~3%, 可以有效地反映工作面或采区短期水量变化, 观察回采过程及采区各部分涌水的动态变化。反之, 如果使用简单的测量方法, 通常误差会大于 5%; 在斜坡或转弯渠段, 误差甚至大于 10%, 这样很难反映工作面或采区涌水的动态流量变化。

### 参考文献

- [1] JJG198—1994, 中国计量科学研究院·流速时流量及检定规程[S]. 国家技术监督局(1994—12)发布.
- [2] 林晖, 黄仁豹. 污水流量测量中流量计的选型与探讨[J]. 工业安全与环保, 2001, 27(10): 15—17.
- [3] M. 艾登, 等. 大型隧洞流量测量的简单方法[J]. 水利水电快报, 2003, 24(13): 15—17.
- [4] 周胜, 王经顺. 多普勒测流仪在河流流量测量中的应用[J]. 环境监测管理与技术, 2002, 14(6): 36.

## 1 引言

昔格达组半成岩是广泛分布于雅砻江、金沙江流域的第一间冰期河湖相静水沉积层。主要由砂岩和泥岩呈韵律互层构成<sup>[1]</sup>。形成时代通常是新近纪晚期至第四纪早期,因层面结合差,固结程度极低,颗粒间的连接差,结构疏松,许多学者将其称为“昔格达组粉砂土或粘土”,并用土的测试方法来对其进行研究<sup>[2~4]</sup>。昔格达组虽具有土的物理、力学性质,但已具有岩体的结构和构造特征。本文仍以岩体力学术语对其进行描述。由于昔格达组砂、泥岩极差的力学性质,和昔格达组发育地区雨季的强降雨气候和地下水活动特点,虽地层平缓,但还是常造成以滑坡为主的工程病害,成昆线和西攀高速穿越此地均遇到不少此类问题<sup>[5]</sup>。发生在昔格达组内部的失稳对工程造成的危害大。

西攀高速 K151+180~650 m 深挖路堑,位于盐边县新九乡蚂蟥沟水库北侧,开挖于旱季,在开挖期间于堑坡左右侧发生过两次昔格达层内滑动,先 S 侧,后 N 侧,S 侧规模小,未进行堪察(为滑坡 2)。N 侧堑坡滑动范围大(为滑坡 1),当路堑开挖至 1 348 m 标高(路面设计标高 1 344.70~1 341.65 m)附近时,N 侧堑坡(K151+280~360 段)已开挖成型的、高达 33 m 的三级边坡突然产生下滑推移,滑体前沿瞬间推移至中线左侧约 4 m 处,险些酿成机毁人亡的重大安全事故。下面以滑坡 1 为重点对昔格达组滑坡的特征、形成机理进行分析,提出相应的防止对策。

## 2 堑坡昔格达组的工程地质环境

### 2.1 堑坡的构造和岩性特征

场地属低中山构造剥蚀地貌,地形总趋势北东高,南西低,坡度一般 10~20°,陡者 30°左右。

K151+180~650 m 段路堑现已按设计 1:1.00 的坡比基本挖至路基标高(差 2~3 m),从右侧高达 30 m 的开挖断面可以清晰地看出,深挖路堑段(K151+180~650)地质构造为一小型向斜。向斜轴部在 K151+310 附近,受向斜影响,场区昔格达层面产状变化较大,在 K151+230~265 段,其 SE 翼在 35 m 范围内,产状由 282°∠20°变为 294°∠2°,倾角逐渐变缓,直至在 K151+310 附近接近水平。其 NW 翼多已风化剥蚀掉,仅在 K151+345 中线附近测得其产状为 78°∠9°,而在滑坡 1 后壁陡坎测得其产状为 215°∠6°。除受向斜影响,昔格达组岩体较破碎,裂隙仍以竖直裂隙为主,其余倾向与倾角裂隙少见,此处昔格达组砂、泥岩仍具有近水平昔格达的岩体结

构特征。

滑体物质为新近系上新统昔格达组(N<sub>2x</sub>)的砂岩夹泥岩构成。砂岩呈棕黄色,泥质半胶结,粉细粒结构,薄~中厚层状构造,局部呈厚及巨厚层状,遇水易软化,岩心呈碎石土状。泥岩呈浅黄色,泥质半胶结,薄层状构造,遇水易泥化,在砂岩中呈多个夹层产出,单个夹层厚一般 0.2~1.5 m,厚者 2.00 m,在场区广泛出露。

### 2.2 堑坡的水文地质特征

场地地下水类型主要为基岩风化带裂隙水。此次勘察钻孔均在不同标高见地下水,如横剖面 I—I 所示(图 1),地下水位均在滑面附近出现,其中 ZK1、ZK2 的地下水位位于滑面,ZK3 的地下水位高于滑面 0.40 m。在 SN 向上,地下水的水力坡度为 24.78%,在 EW 向上,地下水的水力坡度为 5.43%,倾向 SE 方向。由于受向斜构造、裂隙发育程度、岩性等因素影响,基岩风化带裂隙水的富存具明显不均匀性。主要汇集并赋存于向斜核部(水位在滑面标高附近)以及泥岩(相对隔水层)上部裂隙发育的岩体。

### 2.3 近水平昔格达组的结构特征

岩体的结构特征主要表现为结构面特征,包括层面、层理面和节理面。层面包括砂岩和泥岩的结构面,以及砂岩内部的层理面,泥岩内部的层理面。各种结构面具有以下特征:砂岩与泥岩的层面结合极差,由于泥岩由粉、粘粒构成,孔隙比较砂岩低,透水性微弱,泥岩的层面是地下水的相对隔水层,因此在靠近泥岩上部的一层砂岩其含水量相对较高<sup>[2]</sup>;砂岩与砂岩层理面结合极差,砂岩的层面是地下水的相对透水层,具有较高的含水量,在两层泥岩间的砂岩内部,含水量由上向下逐渐增多;泥岩内部的层理面结合极差,但其含水量较砂岩低,受地下水影响其力学性质相对较砂岩与泥岩的层面小。事实证明昔格达内部的滑坡多是沿砂岩与泥岩层面滑动。昔格达内部构造节理相对较少,以崩解而产生的竖直方向的节理为主,此种节理切层发育,深达 10 m,节理面平直光滑。

## 3 滑床的特征

滑坡 1 平面呈圈椅状。纵、横向宽张拉裂缝发育,个别裂缝宽达 20~30 cm,延长 10 余 m,其中以滑坡边界裂缝为主,此裂缝连续、完整、陡立,高约 2.0~10.0 m,构成滑体后壁和侧壁。滑体后部下凹,地势略低;中部上凸,地势略高。

据钻孔揭露,岩心中均见明显镜面和擦痕。通常受层面控制岩体滑坡多发生在泥岩顶面。此滑坡

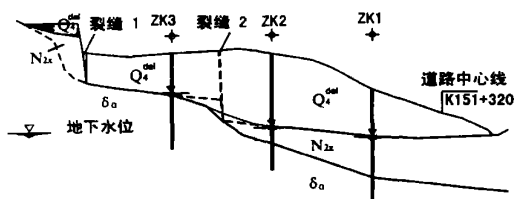


图 1 I—I 剖面图

Fig. 1 The I—I' landslide profile

滑面呈带状,具有一定厚度,钻孔揭露厚度约 0.40~1.90 m,具有多镜面特点,各镜面倾角与层理面倾角相当,这与泥岩内层理面发育,层理面结合极差相关。

在滑面确定后,综合地下水水位、滑体裂缝分布、钻进情况、下卧前震旦系康定群大田组( $\delta_a$ )的石英闪长岩形态等因素,可判定滑床形态。如图 1 所示,ZK1、ZK2 滑面高程变化小,与岩层层面倾角相当,受层面控制。ZK2 与 ZK3 间滑面高程变化大,且与后部裂缝 1 处昔格达产状相差大,则 ZK2 与 ZK3 间滑床有两种可能:其一是受层面控制,如图 1 虚线所示;或者是切层滑动,向 ZK2 渐变过渡,如图 1 实线所示。若受层面控制,则在 ZK2 与 ZK3 间的相应位置应呈台阶状,并有裂缝 2 出现。但通过现场的详细调查,仅有裂缝 1 发育于滑体后部,ZK2 与 ZK3 间地表连续,无异常变形痕迹,因此可排除此段滑床受岩层层面控制。因受下卧石英闪长岩被剥蚀后地表形态影响,此段渐变过渡。最后可确定滑床与后壁裂缝 1 贯通,从裂缝至剪出口,呈“之”形,分别为沿昔格达组( $N_{2x}$ )与石英闪长岩( $\delta_a$ )接触面—昔格达组内部切层—昔格达组内部顺层滑动。

#### 4 昔格达组泥岩和滑带土的物理力学性质

虽然昔格达组整体承载力低,易崩解,上覆土层易滑动。但受形成时代和沉积环境不同,其泥岩的物理力学性质呈现差异性。

在对场区昔格达组泥岩进行了物理、力学测试,其测试结果如下:天然含水量为 25%,天然密度为  $1.93 \text{ g/cm}^3$ ,比重为 2.70,孔隙比为 0.79,固结快剪  $C$  值为 12.22 kPa、 $\Phi$  值为  $19.03^\circ$ ,残余快剪  $C$  值为 4.55 kPa、 $\Phi$  值为  $8.54^\circ$ 。而对泥岩与砂岩的层面以及砂岩内部层理面进行直剪测试离散性较大,在天然状态下,凝聚力  $C$  值为 1.2~5.8 kPa,内摩擦角  $\Phi$  值为  $6.7^\circ \sim 28.5^\circ$ ,凝聚力极小,与现场钻探结果极为接近,现场钻探岩芯横向放置,横向拿起,即沿泥岩与砂岩的结构面或砂岩内层理面断裂。通过对比可看出,泥岩与砂岩的层面以及砂岩内部层理面结合程度极差,小于泥岩自身的力学强度,且都较泥

岩抗剪强度低。但因泥岩相对界面隔水,易在其上形成泥化水膜,抗剪强度更较砂岩内部层理面低,斜坡更易沿泥岩与砂岩层面滑动。

经钻孔及试坑揭露,该滑坡滑床清楚,滑带土由原泥岩段构成,钻孔揭露滑面倾角约  $10^\circ$ ,呈青灰~灰白色,已成软塑土状,擦痕及镜面特征明显。滑带土的天然含水量为 32.06%,天然密度为  $1.92 \text{ g/cm}^3$ ,比重为 2.67,孔隙比为 0.89,快剪  $C$  值为 3.78 kPa、 $\Phi$  值为  $8.45^\circ$ 。从测试结果可以看出,滑带土的剪切值与泥岩的残余快剪非常接近,这也说明虽然滑坡是沿泥岩与砂岩界面发生破坏,但其挤压范围主要是在层面以下的泥岩内部,也是钻探中镜面和擦痕的主要分布带。

#### 5 滑坡的成因和发展趋势

路堑开挖之前,该自然边坡的稳定性高;开挖之后,堑坡在内部因素和外部条件的作用下,造成开挖堑坡部分岩体的失稳。

##### 5.1 滑坡 1 的歪斜滑移<sup>[5]</sup>特征

滑坡区发育一小型向斜,造成层面产状变化大,向斜核部产状近水平,两翼产状不规则变化,虽倾角小,但对堑坡提供了不稳定结构面,造成堑坡两侧均发生昔格达组滑坡。滑坡 1W 侧所测产状  $78^\circ \angle 9^\circ$ ,与路线两侧堑坡坡面均垂直,对 N 侧堑坡的稳定性无影响,但滑坡 1 后壁附近产状  $215^\circ \angle 6^\circ$ ,与此侧堑坡倾向小角度相交,对堑坡的稳定性不利。因滑坡发生于向斜核部 W 侧,而向斜两侧产状不对称,在滑坡沿层面滑动时,导致歪斜滑移。从地表裂缝和滑坡形态特征也可看出,滑坡 1 在 W 侧裂缝宽度较大,且有台坎相连,在 E 侧裂缝宽度小,且有挤压痕迹,并且在滑坡舌部剪出口并不对称,滑坡 W 侧剪出口向内收,而滑坡 E 侧张开,但程度较小。说明因场区昔格达组产状角度变化小,对前缘舌部 E 侧挤压分力小,其主要滑动力倾向临空方向。这也再次证明了 ZK2 和 ZK3 间的滑床为渐变过渡。

##### 5.2 滑坡 2 的推移式滑动

滑坡 2 先于滑坡 1 滑动,未进行详细勘查,但通过现场调查可得出滑动机制。

滑坡 2 外形似草帽状,位于向斜 ES 翼部,受向斜影响,岩层产状为  $282^\circ \angle 20^\circ$ ,与 S 侧堑坡倾向小角度相交,其风化裂隙陡倾且发育,在堑坡开挖后,因层面结合差,内摩擦角小,产生推移式滑动。

##### 5.3 滑坡形成的主要因素<sup>[5, 7, 8]</sup>

a. 由以上分析可知,滑坡 1、2 内均有倾向于临空面的岩层产状; b. 虽产状近水平,但张裂隙较发育,切深大,有利于地下水的汇集、运移; c. 滑坡位

于或靠近向斜核部,有利于地下水的赋存,地下水含量较两翼丰富; d. 昔格达组地层为相对含水的粉砂岩夹相对隔水的泥岩,且均为半成岩,胶结程度低,颗粒连接差,粉砂岩遇水易软化,泥岩遇水易泥化,导致内摩擦角、凝聚力急剧降低; e. 泥岩具相对隔水作用,地下水易将其上部的粉砂岩中的粘粒淋滤,向下运移,在软化泥岩的同时,在泥岩与粉砂岩的界面形成泥化薄膜; f. 边坡开挖后,在 K151+280~360 m 段形成了高达 33 m 的临空面,对开挖坡体未即时检测和实施防止失稳的措施,造成每级开挖均对上部坡体产生向临空方向的附加应力,导致坡体内部的竖直裂缝进一步贯通、加大。加速了地下水的运移、排泄,改变了岩体原始平衡条件及水文地质条件。

由以上分析知道,结构面因素确定了滑坡的稳定性,水文地质条件则影响滑坡滑动范围的大小。由滑坡 1 钻孔揭露可知,滑坡区的地下水向 S 逐渐埋深增加;在滑坡 2 的滑塌范围内未见地下水出露,在堑坡开挖深度范围内,层面力学性质未受地下水影响,其滑动主要因素可表述为:开挖临空+不利结构面+昔格达组层间力学特性;而滑坡 1 的地下水位在滑动面附近,滑动主要因素可表述为:开挖临空+地下水+不利结构面+昔格达组层间力学特性。

#### 5.4 滑坡的发展趋势和稳定性

在勘察期间,滑坡 1 无进一步位移、变形迹象,采用残余快剪  $C$  值为 4.55 kPa、 $\Phi$  值为  $8.54^\circ$ ,不考虑地震影响,通过传递系数法可确定滑坡体稳定系数为 1.03,滑坡 1 基本稳定。滑体 2 发生滑坡早于滑坡 1~2 个月,在勘查期间滑坡体未继续变形,在无外部因素(如继续挖路堑、降雨入渗等)的影响下,滑坡基本处于稳定状态。两滑体后壁陡倾,已形成临空面,勘查期间已有沿结构面的掉块,在雨季,或人工扰动下,因地表水渗入,滑体有进一步向后发展的可能。随着滑体物质的增加,现有滑体有复活滑动的可能。

### 6 滑坡的治理措施和防止对策<sup>[6,7]</sup>

#### 6.1 滑坡的治理措施

结合昔格达组的物理力学特性和滑坡特点,对现有挖方路堑段滑坡采用综合治理的方法。

a. 原开挖堑坡采用 1:1.0~1.25 多级放坡,并结合抗滑桩支挡和坡面防护。对滑坡区结合现有地貌和稳定性,建议清方减载,以 1:1.75 的坡比放缓边坡,并用碾压机械将松散坡体碾压密实。对未滑的开挖边坡进行清方减载,以 1:1.50~1:1.25 放缓边坡,使其与滑坡段 1:1.75 的坡比顺接。在施工

时,为保证堑坡的稳定性,先支挡后清方减载,先清坡上部后清坡下部。

b. 清方后,在滑坡体坡脚处设置抗滑挡墙。而对开挖堑坡,仍设置抗滑桩,但抗滑桩的抗滑力和配筋需按清方后重新计算。

c. 滑坡后缘外侧约 30 m 处的冲沟,现已被人工填筑土填埋,建议清挖并恢复该冲沟,同时沿昔格达层与石英闪长岩接触界限设置截水沟,与冲沟连成一体,各级平台均设截水沟,共同组成坡体截排水系统。在一级坡面及挡墙上或抗滑桩间以约 4 m 间距设置泄水孔,在向斜核部排水孔间距应加密,孔深宜进入滑面不小于 5 m 或进入石英闪长岩 1~2 m。

d. 坡面植草绿化,防治坡面冲刷。

#### 6.2 防止对策

近水平昔格达组开挖堑坡失稳防止对策是一个各种方法结合的综合决策过程。对于近水平层状的堑坡自稳性是极高的,但因昔格达组层间结合极差,凝聚力和内摩擦角低,对于其他地层(如红层)的近水平层状边坡能维持稳定的角度,昔格达组边坡通常难于维持稳定,或维持稳定时间较短。结合对西攀路大量昔格达组边坡调查,可将近水平层状的角度范围定位  $0^\circ\sim5^\circ$ 。在此角度范围内,昔格达组边坡自稳性高,在层内产生滑移的可能性小。

在开挖堑坡时进行信息化设计和施工是必要的。在开挖中布置监测点,边开挖、边监测。监测主要指对监测点位移的变化、裂缝宽度的变化等。因昔格达组力学性质的特点,通常采用抗滑桩或挡墙进行支挡,对于设计中或信息化施工中需进行挡防的昔格达堑坡,应进行先挡防后开挖,或开挖到一定深度后,再挡防再开挖的措施,对于此类堑坡建议采用抗滑桩。以避免开挖堑坡的变形和破坏。

#### 参考文献

- [1] 腾彦国,倪师军. 攀枝花地区昔格达土的土壤层环境地球化学特征[J]. 地质灾害与环境保护, 2002, (12): 16—20.
- [2] 向贵俯,任光明,聂德新,等. 含水量对昔格达土填料工程地质性质的影响研究[J]. 工程地质学报, 2004, 12(02): 136~140.
- [3] 李小泉. 栗子坪水电站厂基昔格达土的工程特性[J]. 广西水利水电, 1996, (1): 16—20.
- [4] 孔德坊,黄俊. 昔格达组泥岩的力学特性及其与滑坡产生的关系[A]. 孔德坊. 工程岩土与环境地质[C]. 成都: 西南交通大学出版社, 1999. 36—50.
- [5] 贺跃光,颜荣贵. 软岩水膜型泥化夹层滑坡机理及对策[J]. 岩石力学与工程学报, 2000, (1): 39—42.
- [6] 刘维宁,张师德,吴邦颖. 昔格达组场地上高大结构型挡土墙的离心加载试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 1995, (12): 362—370.
- [7] 王金国. 二滩水力发电厂滑坡整治设计[J]. 水文地质工程地质, 2001, (2): 38—41.
- [8] 陈倩. 雅攀路南段小高滑坡成因与发展趋势分析[J]. 四川地质学报, 2000, (4): 294—297.