

公路地质灾害整治工程设计中的工程地质分析
——以川藏公路二郎山隧道西口大湾沟滑坡整治工程为例

王卫

(成都理工学院工程地质研究所, 成都 610059)

U418.5

[摘要] 以川藏公路二郎山隧道西口引道段公路大湾沟滑坡整治工程的勘察、设计为例, 阐明工程地质分析在整治工程中的作用和重要意义, 包括各种整治措施与工程地质条件的适应性; 岩土参数取值对整治工程设计优化的影响。

[关键词] 公路, 滑坡, 整治工程设计, 工程地质分析

[分类号] TU457

[文献标识码] A

地质灾害

随着人类工程活动数量和规模的增大, 人与自然的矛盾日益尖锐。20世纪80年代以来, 中国交通基础设施建设得到加强, 高等级公路、高速公路建设突飞猛进, 随之而来的是滑坡、崩塌、泥石流等公路地质灾害的大量出现。川藏公路二郎山隧道西口引道段公路(K263+222~K265+216)近2 km的路段发育了和平沟大桥滑坡、和平沟滑坡、榛子林滑坡、团结村1号灾害点、团结村2号灾害点、大湾沟滑坡、旱桥滑坡共7个地质灾害点。本文以大湾沟滑坡为例, 阐明工程地质分析在整治工程设计中的作用和意义。

1 大湾沟滑坡工程地质分析

1.1 大湾沟滑坡地质背景

大湾沟滑坡位于川藏公路二郎山隧道西口引道K264+650~750段别托区内。别托区指K264+73~K264+760公路引道段, 在仅0.7 km的引道上, 从东往西发育了包括大湾沟滑坡的四个灾害点。别托区南北长1600 m, 东西宽约700 m, 地形北高南低, 最大高差约600 m; 北边后缘形成东、西两个分别宽达100 m左右圈弧状地形, 岩坡较陡, 南边地形平缓, 平均坡度20°(左右)。西侧圈弧主要为强风化的岩浆岩。东侧圈弧为二郎山断裂带通过部位, 次级断层、节理、褶皱非常发育, 岩体破碎。西侧圈弧中松动岩体与坡面强风化岩浆岩, 以及东侧圈弧中风化的构造松动岩体成为别托南侧松散堆积的物源。

自北向南(从高到低), 整个别托松散物堆积区可划分为三个区: 上部坡崩积区、中前部泥石流堆积区、前部和平沟宽谷期冲洪积区。根据地形与物质成分特征及泥石流形成机制, 从西向东泥石流区又可分为三个带, 并且泥石流堆积自上而下又划分为三期(图1)。

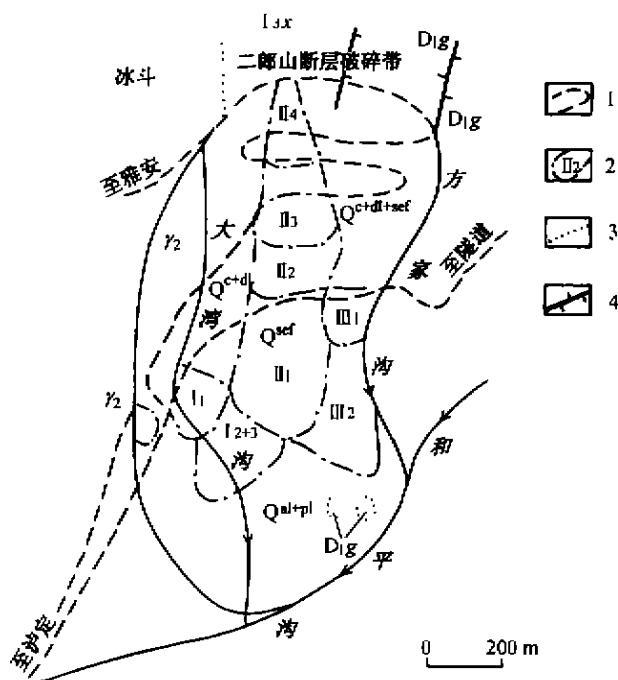


图1 别托区工程地质平面分区示意图

Fig. 1 Diagram showing the engineering geological zonation

1. 公路; 2. 泥石流堆积; 3. 地层界线; 4. 逆断层。
 Q^{c+dl} , 坡崩积; Q^{al+pl} , 冲洪积; Q^{sd} , 泥石流;
 T_{3x} , 须家河组; γ_2 , 花岗岩; D_{1g} , 甘溪组

[收稿日期] 1999-06-29

[作者简介] 王卫(1967-), 女, 硕士, 工程师, 岩土工程专业。

引道公路从别托区中前部泥石流堆积区穿过。大湾沟滑坡位于引道 K264+650~750 段近 100 m 范围内。滑坡西侧为大湾沟,大湾沟上游沟头即为别托区西侧宽阔的圆弧状圈谷,地形开阔,汇水面积较大,历史上曾多次形成泥石流。大湾沟滑坡就发育在别托区中前部泥石流堆积区 I 带内。

1.2 大湾沟滑坡的基本特征及成因

滑坡发育于泥石流堆积体内,滑坡坡面地形较为平缓,坡度约 23° 。平面上,滑坡形态如图 2 所示,滑体主要在公路内挡墙以内。滑坡前缘至后缘斜距约 33 m,滑坡体体积约 $10\,000\text{ m}^3$ 。根据滑面特征不同,把滑坡分为东、西两区,并且在后面的整治设计中也将采用不同的整治措施。钻探资料揭示,大湾沟滑坡由上至下为:碎石土、有机质土、碎石土,且西区有机质土埋藏较东区深。在东、西区有机质土层均发现新鲜滑面,西区滑面埋深约 3 m,位于公路路面下至下挡墙(图 3);东区有机质土在上挡墙顶部附近构成滑坡主滑带(图 4)。从滑坡变形迹象看,西区滑坡体内的四级阶坎裂缝贯通,平面上已形成较完整的弧形裂缝,滑体位移大于东区,使该区上挡墙外鼓折断,发生明显位移,位移最大可达 40 cm,破坏严重。东区滑体内的四级阶坎裂缝也近贯通,但未形成弧形裂缝,位移较小,该区挡墙除少量裂缝外,基本未破坏。钻孔资料与滑坡变形破坏迹象基本吻合。在新滑面以下,钻孔资料还揭示了多层老滑面,从大湾沟沟壁泥石流堆积层断面可直接观察到下伏的老滑面,并且可以判断无新近活动迹象。

由此可见,大湾沟滑坡发育于泥石流堆积体内,为大湾沟古滑坡的局部浅层复活,并具有滑面东高西低和滑体四级解体,逐级滑移拉裂的特征。大湾沟滑坡的形成主要由于公路开挖边坡形成临空面,而上挡墙又不足以抵挡边坡下滑推力。这一带又是地下水相对富集的部位,促进了变形破坏的发生。

1.3 大湾沟滑坡滑带土参数取值与稳定性评价

大湾沟古滑坡滑面参数采取工程地质类比法,选定:容重 $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$, 内聚力 $c = 5 \text{ kPa}$, 内摩擦角 $\varphi = 21^\circ$, 地震烈度 8 度采用水平地震系数 $E_{\text{QH}} = 0.224$, 用传递系数法计算得 $K = 1.5936$ 。结合现场调研, 实际观察到的现象也证明大湾沟古滑坡处于稳定状态。

大湾沟滑坡的变形破坏迹象表明滑坡已经失稳,并正在加速变形。由于滑坡东、西区滑面深度不同,变形破坏所处的阶段不同,采用类比法,取西区滑带参数 $c=5 \text{ kPa}$, $\varphi=12^\circ$, $\gamma=19 \text{ kN/m}^3$, 得 $K=1.0078$; 取东区滑带参数 $c=5 \text{ kPa}$, $\varphi=19^\circ$, $\gamma=19 \text{ kN/m}^3$, 得 $K=0.997$ 。由上可见,大湾沟滑坡处于

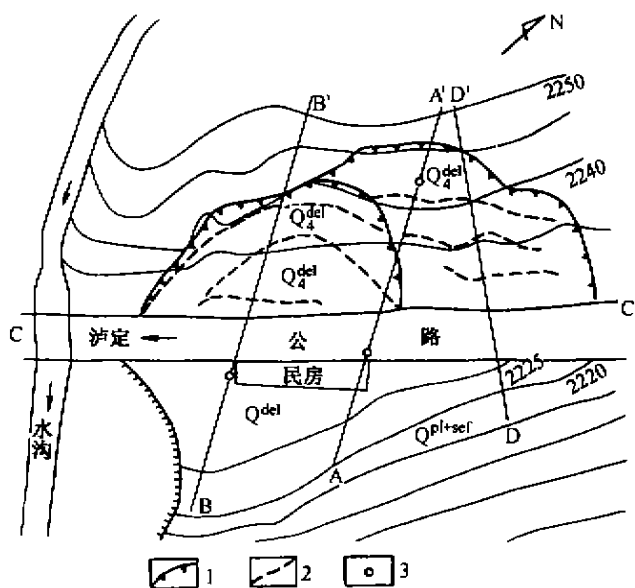


图 2 大湾沟滑坡工程地质平面图

Fig. 2 Engineering geology plan of Dawangou landslide

1. 新滑坡界线; 2. 裂缝阶坎; 3. 钻孔。

Q_1^{del} 、新滑坡堆积层; Q^{del} 、老滑坡堆积层;

Q^{pl+sel} . 泥石流、洪积层

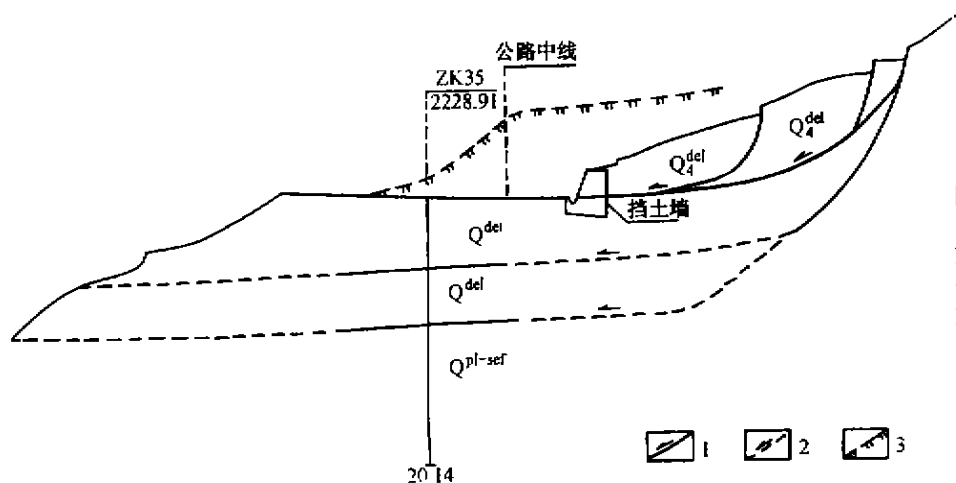


图 3 大灣沟滑坡 B-B' 剖面
挡墙布置图

Fig. 3 Retaining wall plot on the B-B' profile of the Dawangou landslide

1、实测滑面;2、推测滑面;

3、原地形线

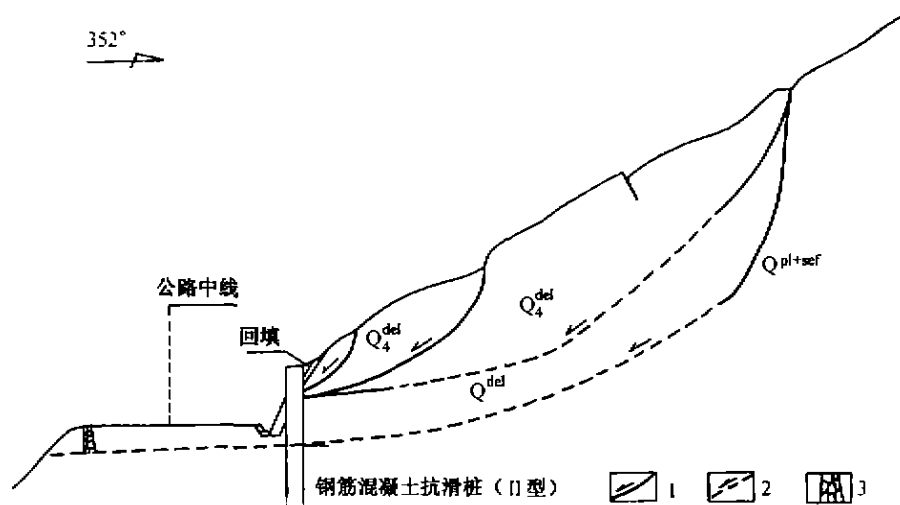


图4 大湾沟滑坡 D-D'剖面抗滑桩布置图

Fig. 4 Anti-slide pile on the D-D' profile of Dawangou landslide
1. 实测滑面; 2. 推测滑面; 3. 挡墙

不稳定状态;若再加上地下水的作用,稳定性将更差。

1.4 滑坡下滑推力计算

滑坡下滑推力的计算,考虑到整治工程设计的需要和滑坡特征,在东、西区分别选取一典型断面(D-D', B-B', 参见图2)。采用传递系数法计算下滑推力分别为:

东区: $c=5 \text{ kPa}$, $\varphi=19^\circ$, $\gamma=19 \text{ kN/m}^3$, $\text{EQH}=0.224$; $K=1.1$ 时, $F=160.5 \text{ kN}$

西区: $c=5 \text{ kPa}$, $\varphi=12^\circ$, $\gamma=19 \text{ kN/m}^3$, $\text{EQH}=0.224$; $K=1.1$ 时, $F=83.8 \text{ kN}$

敏感性分析证明, c , φ 的调整对稳定性评价和下滑推力大小均有明显影响。是否合理选定参数将会影响整治措施的制定和整治工程设计。

2 大湾沟滑坡整治工程设计

2.1 滑坡整治对策及措施

从大湾沟滑坡与引道的相对位置来看,由于公路开挖,以上挡墙为界的滑坡前缘较薄,且为抗滑区,中部及后缘坡面也较平缓,为主滑区。鉴于上述滑坡发育分布特点,在引道内侧(滑坡中部,原挡墙位置)设置支挡结构物切断主滑区,在滑坡边界外设截水沟的整治对策。

由于滑坡东、西区滑坡深度不同,下滑推力也有差别,设计中对滑坡东、西区采用不同的整治措施。

西区滑面深度较东区深,位于公路路面附近;但滑坡范围较小,计算出的下滑推力并不大,在原挡墙处采用重修片石砼重力式挡墙,施工方便,造价低。

东区设计考虑了以下因素:(1)东区滑面埋藏浅,位于上挡墙顶附近,但滑坡范围大,下滑推力较西区大。(2)东区新滑面以下古滑坡滑面在公路路面以下约1.2 m,埋藏也不深。虽然古滑坡处于稳定状

态,从图4可以看到由于公路开挖,古滑坡前缘较薄,从长远考虑为防止古滑坡从公路路面剪出,采取适当措施,提高边坡稳定性。有鉴于此,东区采用小型抗滑桩比挡土墙更为稳妥。

2.2 滑坡整治工程设计中的参数取值问题

滑坡西区挡墙设计中,抗倾覆能力很容易得到满足,而抗滑性较难于满足要求。挡墙基础置于碎石土层上,摩擦系数 μ 取0.5,地基承载力设计值 $f=200 \text{ kN/m}^2$,为满足抗滑要求,墙底做成反倾面。经过地基承载力验算,墙身抗压、抗剪强度验算,多次调整挡墙断面形式和尺寸后,挡墙设计断面如图3所示。

滑坡东区根据滑体厚度不同,采用两种型号小型抗滑桩(人工挖孔桩),设计模型为刚性悬臂桩。设计中涉及到滑面前后地基系数 A, A' , 比例系数 m , 滑床容重 γ_2 , 内聚力 c_2 , 内摩擦角 φ_2 的取值问题。根据计算得到的滑坡下滑推力和桩前地层抗力,拟定桩长 l , 受荷段长 l_1 , 锚固段长 l_2 , 桩间距 r , 桩截面尺寸, 设定外力分布后, 计算每根桩受荷段桩身内力 Q_y, M_y , 然后根据如下公式计算:

a. 滑动面至桩的转动中心距离 y_0 :

(假定 $A=A'$)

$$y_0 = \frac{l_2[2A(3M_A + 2Q_A l_2) + m l_2(4M_A + 3Q_A l_2)]}{2[3A(2M_A + Q_A l_2) + m l_2(3M_A + 2Q_A l_2)]}$$

式中: M_A 为滑动面处桩身的弯矩; Q_A 为滑动面处桩身的剪力。

b. 桩的转角 $\Delta\varphi$:

$$Q_A = \frac{1}{2} B_p A \Delta\varphi y_0^2 - \frac{1}{2} B_p A' \Delta\varphi (l_2 - y_0)^2 + \frac{1}{6} B_p m \Delta\varphi l_2^2 (3y_0 - 2l_2)$$

c. 锚固段桩的侧应力 σ_y :

$$\sigma_y = (A + m y)(y_0 - y) \Delta\varphi$$

式中: y 为滑动面至桩锚固段截面深度。

d. 桩的容许侧应力 $[\sigma_y]$:

$$[\sigma_y] = \frac{4}{\cos \varphi_2} [\gamma_2(l_1 + y) \tan \varphi_2 + c_2]$$

当 $\sigma_y < [\sigma_y]$ 时, 计算锚固段桩身剪力 Q_y , 弯矩 M_y , 然后进行抗滑桩结构设计。

对比计算发现, 当桩的受力情况不变, 锚固段长度 l_2 固定的情况下, A, A', m 的取值不同, 对 y_0 影响很小, 但对桩的转角 $\Delta \varphi$ 影响较大; 对桩的侧应力分布状况有一定影响, 但影响不大。而滑床参数 γ_2, c_2, φ_2 的取值对 $[\sigma_y]$ 影响显著; γ_2, c_2, φ_2 增大, $[\sigma_y]$ 增

大; γ_2, c_2, φ_2 减小, $[\sigma_y]$ 减小。在抗滑桩设计中, 桩的侧应力的满足成为控制因素。因此对滑床岩土体的鉴定、物理力学性质的测试分析, 就非常重要, 它决定了对 A, A', m , 特别是 γ_2, c_2, φ_2 的取值, 直接影响到设计结构物的形式、尺寸大小, 结构设计, 带来造价的极大差异。在设计参数选取合理的前提下, 当桩的侧应力大于桩的容许侧应力时, 可采取加大桩的截面尺寸, 调小桩间距 r , 增大桩锚固段长度 l_2 或设计成预应力锚索抗滑桩等措施。大湾沟滑坡挡墙、抗滑桩布置见图 5。

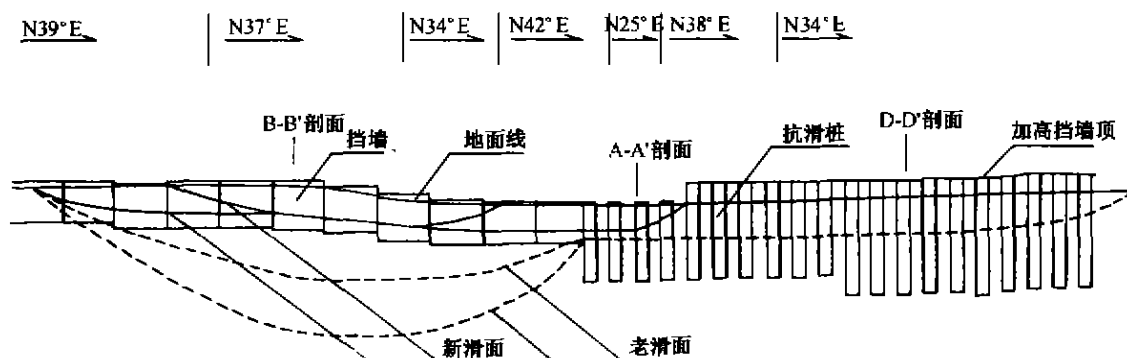


图 5 大湾沟滑坡挡墙、抗滑桩立面图

Fig. 5 Retaining wall and anti-slide pile for the Dawangou landslide

3 整治工程设计中的几点认识

a. 整治工程设计是针对工程中出现的不良地质现象采取的措施, 工程地质勘察的准确性决定了设计的成败。

b. 设计人员若能把工程地质分析与设计相结合, 深入理解设计结构物所处的工程地质条件, 对滑坡的形成演化机制及演化所处的阶段、稳定状况、滑坡下滑推力的计算有清楚的认识, 就能从工程地质分析的角度来优化设计, 使设计更符合实际情况。

c. 整治工程设计的设计理论还处于不成熟、不完善的阶段, 其中的主要原因在于地质体的复杂多

变。现有的设计模型往往很难与之相适应, 因此为推动设计理论日趋完善, 加强工程地质分析在工程设计中的渗透及应用是一条十分重要的途径和措施。

[参 考 文 献]

- [1] 张倬元, 王士天, 王兰生. 工程地质分析原理[M]. 北京: 地质出版社, 1994.
- [2] 尉希成. 支挡结构物设计手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1995.
- [3] 铁道部第二勘测设计院. 抗滑桩设计与计算[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1983.
- [4] 工程地质手册编委会. 工程地质手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1990.

ENGINEERING GEOLOGY ANALYSIS IN THE CONTROL PROJECT DESIGN FOR HIGHWAY GEOLOGICAL DISASTER

WANG Wei

(Chengdu University of Technology, China)

Abstract: Taking the exploration and the design of the Dawangou landslide (It is located in the west approach of Erlang mountain tunnel on Sichuan-Tibet highway) as an example, the paper elucidates the effect and importance of engineering geological analysis in designing a geological disaster control project, including the adaptability of control measures to the engineering geological conditions and the influence of geotechnical parameter selection on the engineering design optimization.

Key words: highway; landslide; design of renovation engineering; engineering geological analysis