

# 滑坡地段隧道变形整治中抗滑桩的设计方法

陶志平, 周德培

(西南交通大学土木工程学院, 四川 成都 610031)

**摘 要:** 针对滑坡地段隧道变形整治中抗滑桩的设计问题, 提出了典型的抗滑桩类型及各类抗滑桩的适用条件, 指出了确定抗滑桩合理位置的方法, 讨论了抗滑桩设计中应注意的问题, 并对具体的设计过程进行了举例说明。

**关键词:** 隧道变形; 抗滑桩; 设计方法

**中图分类号:** P642. 22

**文献标识码:** A

在边坡治理中, 抗滑桩得到了广泛的应用, 其设计计算方法也日趋成熟<sup>[1~6]</sup>。但与一般边坡治理中的抗滑桩设计相比, 以整治滑坡地段隧道变形为主要目的的抗滑桩设计具有特殊性。比如, 在抗滑桩类型的选择和合理位置的确定上, 必须考虑滑坡成因和隧道在滑坡体中的位置; 在抗滑桩受力分析时, 应考虑抗滑桩与隧道衬砌的相互作用等。抗滑桩设计方法是否合理, 是滑坡地段隧道变形整治能否成功的关键。为此, 本文在现场调研及有关模型试验资料的基础上, 针对不同的现场条件, 提出了选择抗滑桩类型和确定抗滑桩合理位置的方法, 指出了抗滑桩设计中应注意的问题及现有的成果或解决方法, 对滑坡地段隧道变形整治中抗滑桩的设计具有参考价值。

## 1 抗滑桩类型的选择

抗滑桩是滑坡地段隧道变形整治中广泛采用的措施之一。根据抗滑桩与隧道的相对位置关系及时隧道稳定所起的作用, 可将抗滑桩分为“上挡式”、“下托式”和“上挡下托式”三类。表 1 给出了这三类抗滑桩在隧道变形整治中的作用和各自的适用条件。根据抗滑桩的埋设条件, 又可将抗滑桩分为全埋式普通桩、全埋式锚索桩和掩埋式抗滑桩等。上述两种分类法组合后的部分抗滑桩的典型图式也列

于表 1 中。

在上述各类抗滑桩中, 掩埋式抗滑桩在隧道埋深较大、滑动面较深或具有多层滑面滑坡的治理中具有重要意义。与一般抗滑桩相比, 掩埋式抗滑桩滑面以上桩身较短, 滑坡推力作用于抗滑桩的作用点较低, 桩的受力条件得到了改善, 因而能够承受较大的推力, 同时又因桩身较短, 可大大节省材料和投资<sup>[7]</sup>。特别适合于在抗滑桩施工后隧道拱顶以上浅层滑动对隧道无影响或可以不予考虑的情况。

在选择抗滑桩类型时, 首先应根据地勘资料和有关的测试报告分析滑坡形成的原因、滑面的贯通情况以及隧道在滑坡体中所处的位置, 依据各类抗滑桩的适用条件, 确定抗滑桩与隧道的相对位置关系。

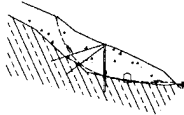
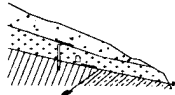
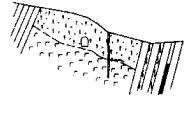
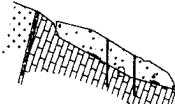
在确定了抗滑桩与隧道的相对位置关系后, 应根据滑南埋深、布桩位置的工程地质条件、抗滑桩的越顶检算和滑坡推力大小等确定抗滑桩的埋设类型。当滑面埋藏较浅、滑坡推力不大时, 可按全埋式普通桩考虑设计。如果桩后滑面较陡, 滑床为较完整岩体, 能够提供较大锚固力, 且滑坡推力较大而经比较采用普遍抗滑桩不经济时, 可采用(预应力)锚索抗滑桩。如果滑面埋藏较深并经检算滑坡体不会从桩顶剪出, 或滑坡体存在多重滑面而浅层滑坡对隧道影响不大时, 则可选用掩埋式抗滑桩。

收稿日期(Received date): 2003- 02- 19; 改回日期(Accepted): 2003- 06- 18。

作者简介(Biography): 陶志平(1967- ), 男, 江苏武进人, 博士研究生, 主要从事岩土工程和滑坡防治等方面的研究工作。Tel: 13708026009, E-mail: Tao6009@sohu.com. [Tao Zhiping(1967- ), male, born in Wujin County, Jiangsu Province, China. Doctorate candidate. Mainly engaged in research work of geotechnical engineering, landslide prevention and treatment, etc..]

表 1 三类抗滑桩的适用条件及典型图式

Table 1 Application conditions and typical patterns of three anti-slide pile types

抗滑桩类型	作用	适用条件	典型图式
“上挡式”抗滑桩	截断山侧来力对隧道的挤压作用, 从而避免隧道产生变形和破坏	①推动式滑坡; ②隧道位于抗滑桩, 或隧道位于主滑段, 且距离抗滑段较近; ③在隧道山侧布设一排抗滑桩截断山侧来力后, 桩前滑体能够自身稳定而不再引起隧道变形	 
“下托式”抗滑桩	阻止隧道下方坡体滑动从而保证斜坡上部的稳定和隧道安全	①牵引式滑坡; ②隧道及隧道上部滑面尚未完全形成; ③在隧道下方布设一排抗滑桩稳定坡脚后, 桩后滑体能够自身稳定而不再引起隧道变形	全埋上挡式锚索抗滑桩 掩埋式上挡抗滑桩
“上挡下托式”抗滑桩	上挡抗滑桩截断山侧来力对隧道产生的挤压作用, 下托抗滑桩阻止两排桩间滑体的滑动, 从而消除滑坡对隧道产生的影响, 保证隧道的安全	①隧道位于主滑段, 且距离抗滑段较远; ②在隧道山侧布设一排抗滑桩后, 桩前滑体不能维持自身稳定而隧道仍会发生变形破坏	 

2 抗滑桩合理位置的确定

2.1 “上挡式”抗滑桩合理位置的确定

对于“上挡式”抗滑桩来说, 一方面要尽可能地减少传递到隧道衬砌上的滑坡推力, 另一方面又不能影响隧道的正常运营。为了研究合理的桩隧间距, 我们进行了大型室内地质力学模型试验, 结果显示: 当桩隧间距为 16 m 时, 传递到隧道衬砌上的滑坡推力很小, 隧道两侧边墙上的弯矩基本对称, 隧道的变形和受力状态得到了明显改善。同时抗滑桩施工未对隧道稳定产生明显影响。因此, 一般情况下桩隧间距在 16 m 左右是合理的。就具体工程而言, 笔者认为可在上述模型试验成果的基础上采用文献[ 8]介绍的“改进 Janbu 法”进行滑坡推力计算, 画出隧道上方滑体的滑坡推力和极限抗力分布曲线, 找出剩余推力和最大剩余推力的分布部位, 选择能最大限度阻挡滑坡推力的点作为布设抗滑桩的合理位置。

2.2 “下托式”抗滑桩合理位置的确定

在隧道变形整治中, “下托式”抗滑桩主要是针对牵引式滑坡设置的。由于牵引式滑坡是因下部坡体失稳引起的, 如河流冲刷坡脚、不合理的边坡开挖或采矿等, 滑面由坡体下方逐渐向上延伸, 作用于隧道衬砌上的滑坡推力一般不大, 隧道变形主要表现为随滑坡体的整体外移、纵向弯曲和向滑坡体下侧整体倾斜等。因此只要滑坡体能保持稳定, 则隧道变形就可得到遏制。所以在确定抗滑桩的合理位置

时, 除需要考虑抗滑桩施工对隧道的影响外, 应尽可能选择滑坡推力小的点来布设抗滑桩, 这样抗滑桩承受的载荷小, 有利于节约工程投资。

2.3 “上挡下托式”抗滑桩合理位置的确定

“上挡下托式”抗滑桩中上挡桩的位置可根据 2.1 介绍的方法确定。由于上挡桩截断了部分作用于隧道衬砌上的滑坡推力, 设置下托桩的目的主要是保证上挡桩以下滑体的稳定。为了减小滑坡推力和两桩间滑体变形对隧道稳定的影响, 下托桩应尽可能地靠近隧道布置。值得注意的是, 在计算上挡桩下方滑体的滑坡推力时, 应将上挡桩对桩前岩土体产生的反力作为下滑力进行计算。

3 抗滑桩设计中应注意的问题

3.1 合理桩间距问题

确定桩的间距是抗滑桩设计的一个重要内容, 但目前尚无完善的计算方法。在具体工程设计时, 桩间距过小会使工程量增加造成投资浪费, 桩间距过大又容易导致桩间土挤出滑移使抗滑桩失去功能。因此如何确定合理的桩间距是一个值得研究的问题。

由于组成滑坡体的岩土材料纷繁复杂、力学特性千差万别, 要对桩间距问题进行系统研究尚存在不少困难。在现有的研究成果中, 文献[ 9]对矩形抗滑桩、桩间土为粘性土的情况进行了研究, 分析了桩间土拱形成的原理、力学特性以及桩间土拱的受力、变形破坏条件等, 建立了最大桩间距平面计算模型

$$L = \frac{2cbh}{F_i(1 - tg\varphi) - R_i}$$

式中  $L$  为两抗滑桩之间的距离;  $c$ 、 $\varphi$  为桩间土体的内聚力和内摩擦角;  $F_i$ 、 $R_i$  为单宽滑坡推力和土拱剩余抗滑力;  $b$ 、 $h$  为抗滑桩侧滑动面以上的宽和高。该成果对抗滑桩桩距设计具有一定的指导意义。

在失事后果严重或滑坡体上有重要建(构)筑物的滑坡治理中,设计人员可以采用设置桩间挡土板的办法来避免合理桩间距难以确定的难题。设置桩间挡土板后,桩间滑坡推力通过挡土板传递到两侧抗滑桩上,保证了桩间滑体的稳定性。此时,合理的桩间距只须通过技术经济比较即可确定。

3.2 滑坡推力计算中的问题

1. 滑动面的确定是否正确,直接影响推力的大小。在实际工程中,滑动面不可能测得绝对正确,而且滑动面具有非确定性。因此在计算滑坡推力时,应分析滑动面可能的变化范围并分别加以计算,得出推力的变化范围和经常出现的推力大小。

2. 在选择计算断面时,应分析滑体的受力特征。如牵引式滑坡是下部先动影响上部,其计算断面以下部为主。上部被牵引部分,系受下部牵引而拉开,因此它的底面不是滑动面,只是土体内一个主动状态的破裂面,在计算中可假定  $c = 0$ ,采用综合  $\phi$ 。对推动式滑坡,其计算断面应以上部为主。其下部被挤压破碎部分的底面也不一定是滑动面,而往往是滑体内部被动状态的破坏面,其计算指标值应通过常规试验方法取得。

3. 比较复杂的滑坡往往不是一层滑动面,应通过勘察等手段弄清滑面和隧道的相对位置关系,分析各层滑坡对隧道的危害程度,从中选定危害最大者建立相应的计算断面。

3.3 受荷段桩前抗力问题

对于“上挡式”抗滑桩或“上挡下托式”抗滑桩中的上挡桩来说,在承受滑坡和的同时必然会对桩前岩土体产生反力,而该反力最终将传递到隧道衬砌上,对隧道稳定不利。因此在设计时,不宜对受荷段桩前抗力估计过高。对“下托式”抗滑桩来说,由于常用于牵引式滑坡,桩前滑体并不稳定,因此不应考虑受荷段的桩前抗力。对“上挡下托式”抗滑桩中的下托桩,受荷段桩前抗力则可根据布桩位置的工程地质条件、桩前滑体的稳定性和滑面贯通情况等由桩前滑体剩余抗滑力、被动土压力或弹性抗力中的小者决定。

4 应用举例

本文选取文献[8]中所举实例并假设隧道位于第9条块进行说明。图2是选取的计算断面。表1列出了改进 Janbu 法和传递系数法的计算结果。

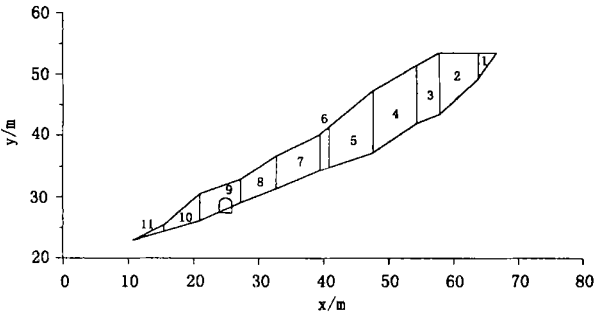


图 1 计算断面

Fig. 1 Cross-section for calculation

表 2 改进 Janbu 法与传递系数法计算结果

Table 2 Results of modified Janbu method and transfer coefficient method

条分界面 编号	推力 (kN)	改进 Janbu 法 极限抗力 (kN)	剩余推力 (kN)	传递系数法 滑坡推力 (kN)
1	0			0
2	112.1	754.4		94.0
3	665.3	860.1		326.1
4	673.4	903.0		329.8
5	1707.5	587.8	1119.7	543.8
6	529.7	596.9		559.1
7	436.1	348.1	88.0	448.4
8	473.7	316.8	156.9	479.4
9	349.2	128.1	221.1	420.5
10	168.2	138.0	30.2	382.4
11	124.4	23.4	101.0	285.3
12	12.8			205.0

传递系数法的计算结果表明,该滑坡上部条块间的滑坡推力逐渐增加,属不稳定区,至第6条块后,滑坡推力基本呈减小趋势,为稳定区,因此该滑坡为一失去式滑坡。从改进 Janbu 法的计算结果可以看出,最大剩余推力出现在第2条块,在第5、6条块间布设抗滑桩可以最大限度地截断上部滑体传来

的剩余推力。由于隧道位于第 9 条块, 能够满足桩隧间距的要求, 同时考虑到该滑坡滑面埋藏较浅、滑坡推力不大, 因此在隧道变形整治时可采用全埋上挡式普通抗滑桩并布设在 5、6 条块间。上挡桩布设后, 还应对桩前滑体进行稳定性检算, 确定是否需要设置下托桩。在本例中, 由于桩前滑体位于稳定区, 假设抗滑桩在承受荷载时传递给桩前岩土体的荷载传递系数  $\zeta = 0.3$ , 经检算, 桩前滑体仍能保持稳定, 因此无须设置下托桩。

## 5 结论

将抗滑桩用于滑坡地段隧道变形整治的工程实例正不断增多, 但尚无有针对性的设计方法, 本文对此进行了分析探讨, 对滑坡地段隧道变形整治中抗滑桩的设计和应用具有重要的参考作用。

## 参考文献(Reference)

[1] The Second Institute of Railway Survey & Design. Calculation and Design of Anti-slide Pile. Beijing: China Railway Press, 1983. [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.]

[2] Dai Zihang. Study on Distribution Laws of Landslide thrust and Resistance of Sliding Mass Acting on Anti-slide Piles. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2002, 21(4): 517~ 521. [戴自航. 抗滑桩滑坡推力和桩前滑体抗力分布规律的研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(4): 517~ 521.]

[3] He Jianqing, Zhang Jiaoheng, Mei Songhua. Inquiring into Some Questions in Designing Anti-slide Pile. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 1999, 18(5): 600~ 602. [贺建涛, 张家生, 梅松华. 弹性抗滑桩设计中几个问题的探讨[J]. 岩石力学与工程学报, 1999, 18(5): 600~ 602.]

[4] Zhang Youliang, Zhu Ruigeng. A New Method for Calculating Internal Forces of Anti-slide Pile for Controlling Landslide. *Subgrade Engineering*, 2000, 21(4): 40~ 41, 56. [张友良, 朱瑞赓. 滑坡整治中抗滑桩内力计算新方法[J]. 路基工程, 2000, 21(4): 40~ 41, 56.]

[5] Zou Xingpu. Calculation and Design of Anti-slide Pile with Anchoring Cable. *Subgrade Engineering*, 2000, 21(2): 9~ 11. [邹兴普. 锚索抗滑桩的设计计算[J]. 路基工程, 2000, 21(2): 9~ 11.]

[6] Tian Jingui, Fan Caoyuan. The Principle and Design of Retaining Piles with Prestressing Cables. *Journal of Chongqing Jiaotong Institute*, 1998, 17(4): 59~ 64. [田景贵, 范草原. 预应力锚索抗滑桩的机理初步分析及设计[J]. 重庆交通学院学报, 1998, 17(4): 59~ 64.]

[7] Xiong Zhiwen. Force Distribution Rule of Deeply Buried Anti-slide Pile. *China Railway Science*, 2000, 21(1): 48~ 56. [熊治文. 深埋式抗滑桩的受力分布规律[J]. 中国铁道科学, 2000, 21(1): 48~ 56.]

[8] Lin Feng, Huang Runqiu. The Modified Janbu method for Calculation of Thrusting Force of Landslide. *Journal of Engineering Geology*, 2000, 8(4): 493~ 496. [林峰, 黄润秋. 滑坡推力计算的改进 Janbu 法[J]. 工程地质学报, 2000, 8(4): 493~ 496.]

[9] Wang Chenghua, Chen Yongbo, Lin Lixiang. Soil Arch Mechanical Character and Suitable Space between One Another Anti-slide Pile. *Journal of Mountain Science*, 2001, 19(6): 556~ 559. [王成华, 陈永波, 林立相. 抗滑桩间土拱力学特性与最大桩间距分析[J]. 山地学报, 2001, 19(6): 556~ 559.]

# The Design Method of Anti-slide Pile for Controlling Tunnel Deformation in Landslide

TAO Zhi ping and ZHOU De ped

(School of Civil Eng., Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031 China)

**Abstract:** The examples of using anti-slide pile to control tunnel deformation in landslide field are increasing continually, but a perfect design method isn't set up as yet. In view of the status quo of this field, typical types of anti-slide pile and application conditions of various anti-slide pile types are put forward. The methods to determine the reasonable site of anti-slide pile are pointed out. And some problems about anti-slide pile design are discussed. The achievement of the paper is helpful for design and application of anti-slide pile for controlling tunnel deformation in landslide field.

**Key words:** tunnel deformation; anti-slide pile; design method