

DOI:10.20035/j.issn.1671-2668.2024.06.014

引用格式:周倩,杨世刚,廖永润.支撑渗沟在山区公路滑坡治理中的应用研究[J].公路与汽运,2024,40(6):76-80.

Citation:ZHOU Qian, YANG Shigang, LIAO Yongrun. Research on the application of supporting seepage ditch in landslide control of mountain road[J]. Highways & Automotive Applications, 2024, 40(6): 76-80.

支撑渗沟在山区公路滑坡治理中的应用研究

周倩, 杨世刚, 廖永润

(中远交科设计咨询有限公司, 四川 成都 610036)

摘要:以四川某二级公路 K5+000—200 段滑坡处治为分析范例,结合 JTG/T 3334—2018《公路滑坡防治设计规范》对地下排水支撑渗沟设计的要求,研究山区公路滑坡处治中支撑渗沟布设方案、处治稳定性和施工关键点,分析支撑渗沟在山区公路滑坡治理中的应用效果。

关键词:公路;支撑渗沟;滑坡治理;山区公路;应用效果

中图分类号:U418.5

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2024)06-0076-05

滑坡是中国中西部山区常见地质灾害,会造成建筑损坏、人员伤亡、经济损失等后果。山区地形、地质和自然条件错综复杂,在风雨侵蚀及其他内外因素作用下,经常发生公路滑坡灾害。为确保公路运营安全,需及时、有效地采取治理措施。在地质构造复杂、土质不均匀、雨水较多的浅层山区公路滑坡中,支撑渗沟可起到排出滑坡体中地下水及抗滑支撑的作用,对滑动面埋深浅的滑坡处治具有较好的效果,是一种安全、稳定、经济、快速、环保的滑坡治理方案。罗文君等论述了支撑渗沟在膨胀土地区路堑边坡处治中的应用机理,说明了其设计、施工工艺及施工质量控制措施^[1]。李晟等根据湖南郴州某道路膨胀土浅层路堑边坡发生破坏的原因,结合支撑渗沟的作用原理及尚未完全破坏的坡面人字形骨架,提出了“支撑渗沟+尚未破坏的人字形骨架+坡脚恢复挡土墙”的处治方案^[2]。陈占红探讨了支撑渗沟在路基支撑和岩土混合边坡治理中的施工技术^[3]。本文根据 JTG/T 3334—2018《公路滑坡防治设计规范》对地下排水支撑渗沟设计的要求,研究支撑渗沟在山区公路滑坡治理中的应用。

1 滑坡治水的重要性分析

水是滑坡的重要触发因素之一。对滑坡产生影响的水包括地表水和地下水,地表水下渗软化岩土体使其黏聚力、抗剪强度大幅度降低,地下水可使岩土体产生动水压力、孔隙水压力。地表水和地下水的长期作用,特别是极端降雨,极易诱发滑坡地质灾

害。有效拦截地表水和疏排地下水,可在短期内降低岩土体动水压力和孔隙水压力强度水力梯度,减小滑坡下滑力。截水、排水工程的有效实施,在较长一段时间内可使滑面孔隙水压力下降、有效压力上升,滑面出现不同程度的固结,从而增强滑坡体的抗滑稳定性,且随着滑坡体含水量的不断降低,滑坡体的重力作用不断减小,进而使下滑力不断降低。因此,治水是治理滑坡灾害的有效措施。

支撑渗沟由透水性石料填筑而成,纵横交错布设,形成骨架网络,兼具排水和支撑作用。支撑渗沟骨架网络形成通畅的排水通路,可有效排除滑坡体中地下水,同时增大滑动面抗剪强度。另外,渗沟骨架对滑坡土体具有一定支撑作用,能增强滑坡土体的抗滑性。支撑渗沟用于处理浅层山区公路滑坡具有较好的效果。

2 支撑渗沟工作原理分析

滑坡治理中,排水工程一般作为辅助手段,配合抗滑挡土墙、抗滑桩等使用。在安全、可靠的前提下,为有效提高工程的经济性,排水工程也可作为滑坡治理的主要手段。

支撑渗沟可有效疏排滑坡体中地下水,降低土体含水率,减小土体自质量,使土体形成自然拱并疏干下层土体,增大土体黏聚力、抗剪强度,进而提高滑坡体的自身稳定性。支撑渗沟也可通过基底破坏滑动面,大大增加渗沟基底与岩石接触面的抗剪强度,从而提高滑坡体的抗滑力。支撑渗沟还可以利

用自身质量提供一定的抗滑力。因此,支撑渗沟具有支撑和排水作用。其材料来源广、施工方便、经济环保,可用于治理地下水丰富、滑体厚度小于7 m的山区公路滑坡灾害。

支撑渗沟有一字形、Y字形、井字形等布设形式(见图1)。支撑渗沟由主渗沟和支渗沟组成,主渗沟沿滑动方向平行布设在地下水出露处或表层积水处,支渗沟根据施工现场实际需要沿主渗沟两侧呈树枝状布设或垂直于主渗沟呈井字交叉布设。主渗沟和支渗沟相互连接使排水通路顺畅,充分疏排滑体范围内的地下水;它们相互连接形成骨架框架,可承受一定土压力,增强滑体的抗滑稳定性^[5];支撑渗沟能使滑面避免冲刷,阻止坡体的集中渗水,同时将坡体化整为零,使土体充分被渗沟所支撑,不易形成整体坍塌。

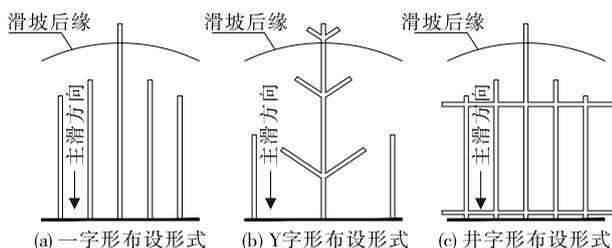


图1 支撑渗沟的布设形式

支撑渗沟一般选用片石、块石、碎石、卵石等透水性材料填筑,渗沟四周设置反滤层,底部采用片石铺砌,以增加接触面的抗滑性能^[4-5]。支撑渗沟的基础设置于滑动面下稳定土层上,滑面坡度较大时,采用台阶状布设。布设间距主要依据滑体性质确定,黏性土一般为6~8 m,碎石、块石土一般为8~10 m。考虑施工安全性、时间紧迫性,支撑渗沟多采用机械设备施工。

3 支撑渗沟滑坡治理应用实例

3.1 工程概况

四川某二级公路K5+000—200段位于低山斜坡下部及坡脚,自然地貌倾角为 $10^{\circ}\sim 15^{\circ}$,地基土厚度为4.0~6.8 m,黏土呈可塑~硬塑状。原设计为清表后填筑路基,路基最大填方高度为12 m,填方坡比为1:1.5。该段路基于2021年10月填筑完成,路面于2022年1月铺筑完成。

2022年4月11日,该项目所在地区遭遇大暴雨,降雨量达115.1 mm/d,加上该路段左侧新填房屋院坝影响了道路排水的通畅性,导致路面出现开

裂,路基整体出现滑动迹象。2022年4月13—16日持续降雨导致滑动进一步加剧,2022年4月18日路面出现明显变形,并伴随坡脚平移。至处治前,路面开裂沉降1.0~1.5 m,前缘平面位移约1.0 m,整体滑坡体量为6万余 m^3 ,道路上形成1~2 m高明显错台,路堤坡体上出现多处垮塌与隆起(见图2)。



图2 滑坡现场

3.2 滑坡体特征

该段边坡表层堆积层厚度为2.0~6.8 m,向道路两侧延伸覆盖层逐渐变薄;前缘为路堤底部前面的自然陡坎,距离路堤底部边缘20~30 m,滑坡体长约200 m,宽约80 m;滑塌后缘及两侧周界清楚,剪出口前缘不明显;变形呈渐进性,靠近坡脚变形大,远离坡脚处变形逐渐减小;坡面张拉裂隙发育,出现变形滑动,为推移滑坡(见图3)。滑坡体特征如下:

(1) 滑坡体周界。滑坡体周界较清楚,结合地形及道路路基的坡面明显可见,后缘为房屋前开挖的平坦院坝(一边开挖一边回填);两侧周界局部连续贯通,呈对称圆弧形,道路上变形错台高度为1~2 m。



图3 滑坡体特征

(2) 滑坡体岩性。滑坡体主要为路基回填土及路基底部原生覆盖层。路面出现数条沿道路方向的张拉裂缝,路堤坡面可见鼓胀裂缝发育,宽度10~20 cm,延伸20~40 m,垂向错动1.0~1.5 m。

(3) 滑动面、滑带土及滑床。滑动面为岩土界面,滑面厚度1~2 mm。滑带土为基岩面被水浸润的薄弱土层,沿基岩面滑动。滑床为下部基岩泥岩。

(4) 滑塌剪出口。前缘局部出现不连续裂缝,

剪出口特征不明显,须通过现场调查,结合现场地形、钻孔及施工方监测数据推断剪出口位置。

3.3 病害分析

3.3.1 地质情况

(1) 从钻孔情况来看,原地面以下可塑土平均厚度为 4.4~6.8 m。根据现场取样情况,土质强度指标较好,黏土呈硬塑~可塑状。

(2) 路基下岩层较平缓,最危险横截面岩层坡度为 12°,坡脚以外地面坡度与岩层坡度基本持平。

(3) 靠近山体内侧泥岩风化程度较高,裂隙发育,路基坡脚位置风化程度明显降低。

3.3.2 监测情况

(1) 地质灾害表现为滑坡,滑动速率与雨水关系密切。

(2) 按照滑坡速度定义为慢速滑坡,无瞬时大滑动前兆迹象。

(3) 未观测到地面隆起、翘曲,滑坡前缘不明显;变形呈渐进性,靠近坡脚变形大,远离坡脚方向变形逐渐减小。

3.3.3 滑坡原因分析

(1) 特殊的地形、地质。该段地形及岩层面均较平缓,无明显滑坡前、后缘地貌特征;表层黏土呈

可塑~硬塑状,厚度为 4.0~6.8 m,透水性差;下部强风化泥岩层裂隙发育,雨水渗入岩层裂隙,高孔隙水压力作用为岩土交界面处形成薄层滑面提供了条件。滑面厚度为 1~2 mm,钻探轻微扰动就会破坏,无法取出滑面样品。根据后续抢险开挖结果,该分析得到证实。

(2) 主要诱因。2022 年 4 月 11 日的大暴雨(降雨量为 115.1 mm/d)及 4 月 13—16 日的持续降雨是滑坡的主要诱因。

(3) 次要诱因。道路排水系统改变是滑坡的次要诱因。原设计该路段左侧为填方路基,水主要沿山坡面流入排水边沟,经 K5+120 涵洞排出路基外。因当地拆迁居民重建房屋,左侧被填平作为房屋院坝,院坝未进行硬化处理,且土体压实不足,大量雨水渗入路基内,导致滑坡。

3.4 滑坡治理方案

3.4.1 方案比选

根据滑坡状况,提出支撑渗沟和抗滑桩两种处治方案,通过造价及优缺点对比(见表 1),确定采用支撑渗沟方案进行滑坡治理。

3.4.2 支撑渗沟设计

支撑渗沟总体设计方案见图 4、图 5。

表 1 滑坡处治方案比选

处治方案	处治措施	造价/万元	优缺点	推荐方案
支撑渗沟	挖除路基填土及滑坡土体后,设置支撑渗沟配合截水、排水沟进行处治,重新筑路路基,恢复地表	487	优点:施工简单,作业快;从病害机理上解决问题; 造价低 缺点:施工质量控制难度大;需额外临时征用土地	推荐
抗滑桩	路基卸载 3 m 高度,滑动基本稳定后,施作抗滑桩,完善截水、排水沟	658	优点:施工质量更易控制;不需要临时征用土地 缺点:施工难度大;造价高	

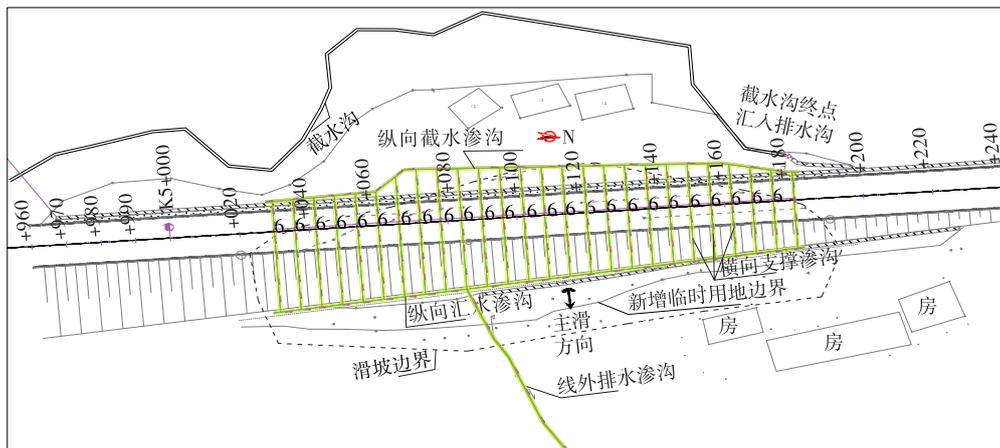


图 4 支撑渗沟方案平面图(单位:m)

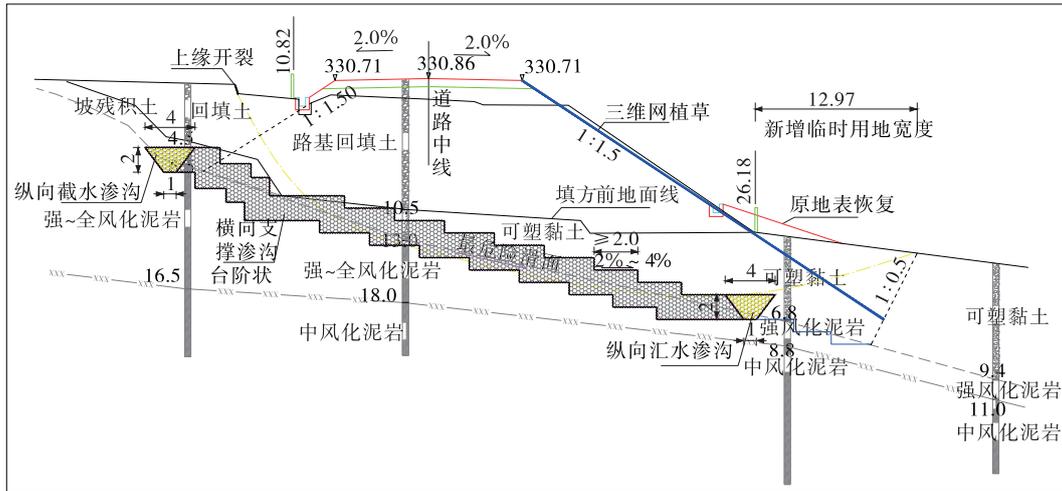


图 5 支撑渗沟典型断面图(单位:m)

处治措施如下:1)完善灾害位置截水、排水设施。2)挖除路基土,既有地表下黏土开挖至基岩面。开挖时注意参照设计断面并增加探坑,以便准确判断开挖深度。3)施作片石、碎石支撑渗沟,渗沟为梯形,底部宽度1 m,顶部宽度4 m,高度2 m,坡率为1:0.75。渗沟按所放位置,分为纵向截水渗沟、横向支撑渗沟、纵向汇水渗沟及线外排水渗沟。纵向截水渗沟位于道路左侧坡脚,内设 $\phi 100$ mm带孔波纹管,共设1道;横向支撑渗沟横穿道路,间距为6 m,内设 $\phi 100$ mm带孔波纹管,共设30道;纵向汇水渗沟位于道路右侧坡脚,内设 $\phi 200$ mm带孔波纹管,共设1道;线外排水渗沟位于K5+080道路右侧,内设 $\phi 300$ mm带孔波纹管,共设1道,引排路基水至既有水沟。4)重新填筑路基,恢复地表、路面及坡面植草。

3.4.3 安全性计算评价

(1) 剩余下滑力计算。正常工况下滑面直剪参数取值如下:滑体重度 $\gamma=19.5$ kN/m³;黏聚力 $c=15$ kPa;内摩擦角 $\varphi=13.9^\circ$;滑体安全系数 $F=1.25$ 。非正常工况(暴雨工况)下滑面直剪参数取值如下:滑体重度 $\gamma=20.6$ kN/m³;黏聚力 $c=10$ kPa;内摩擦角 $\varphi=8.9^\circ$;滑体安全系数 $F=1.15$ 。采用传递系数法计算至路肩拟设置桩前条块时剩余下滑力,计算得正常工况下剩余下滑力为117.105 kN,非正常工况下剩余下滑力为387.406 kN。

(2) 处治后安全性评价。按上述方案处治滑坡,挖除全部土体,在基岩面重新填筑,并对基岩面开挖台阶。正常工况下,路基土体及路基与基岩面综合内摩擦角 $\varphi=35^\circ$,滑体重度 $\gamma=20$ kN/m³,岩

石坡面斜角为 15° 。非正常工况(暴雨工况)下,路基土体及路基与基岩面综合内摩擦角 $\varphi=33^\circ$,滑体重度 $\gamma=21$ kN/m³,岩石坡面斜角为 15° 。采用简化Bishop法计算路堤自身稳定性,采用不平衡推力法计算路堤沿岩石面的稳定性,计算结果见表2。处治后安全系数满足规范要求,支撑渗沟滑坡治理方案可行。

表 2 支撑渗沟处治后边坡安全系数计算结果

工况	稳定系数	
	路堤自身	路堤沿岩石面
正常工况	1.383 > 1.35	2.613 > 1.30
非正常工况	1.383 > 1.35	2.424 > 1.20

3.4.4 支撑渗沟施工关键点

(1) 支撑渗沟宜顺滑坡方向平行布置,渗沟基础置于基岩面以下不小于50 cm。

(2) 当滑动面坡度较大时,基底应设为台阶状,台阶宽度宜为2~3 m,台阶向外倾斜坡度宜为2%~4%。

(3) 支撑渗沟内部充填片石、碎石,片石、碎石采用不易粉化的砂岩或其他硬质石料,片石和碎石比例为3:7。沟壁两侧、顶面及底面均设置透水土工布,内部设置带孔波纹管。

(4) 渗沟排水纵坡不得小于1%。

3.5 施工监测与效果评价

支撑渗沟工后变形监测要求:1)地表位移监测。地表位移包括竖向位移和横向位移,竖向位移采用沉降板进行监测,水平位移通过设置侧向位移观测桩进行监测。滑坡段每30 m设置一个监测横

断面,每个监测横断面上监测点不少于 7 个。其中沉降监测点 3 个,位于路中线、两侧路肩;水平位移监测点 4 个,分别设置在两侧边沟外缘及边沟外距离边沟 10 m 处^[5]。施工期间位移每 3 d 监测一次,遇强降雨及突发性暴雨时增加 1 次;施工结束后至道路通车前,15 d 监测一次;道路通车 1 年半时间内 1 个月监测 1 次^[5]。记录沉降、位移变化,绘制时间-沉降(位移)变化曲线。2) 地下水监测。地下水采用水位自动记录仪进行监测,滑坡段至少设置 3 处地下水监测断面,每个监测断面设置 2 个监测点。监测点应尽可能靠近公路路基,确保监测数据的准确性^[6]。监测频率与位移监测一致。记录地下水位变化与降雨的关系,绘制时间-水位、水位-降雨变化曲线。

根据该滑坡处治后两个雨季的监测结果,滑坡治理后道路位移量和沉降量均较小,雨季地下水位较低,滑坡体基本处于稳定状态,支撑渗沟处治滑坡的效果良好。

4 支撑渗沟应用优点

(1) 治水是治理滑坡灾害的关键,支撑渗沟兼具排水和支撑作用,能有效疏排地下水,破坏潜在滑动面,提高滑坡体的自身稳定性,同时对滑坡体有一定支撑作用,可从病害机理上解决问题。

(2) 支撑渗沟内部填充材料来源广,片石、块石、碎石、卵石等透水性材料均可。山区公路一般是挖方大于填方,会产生大量弃石方,支撑渗沟内部填充材料可直接利用弃石方,取材方便。

(3) 支撑渗沟的施工期比抗滑桩短,对于工期紧的项目是一大优点。抗滑桩需跳桩施工、进行混凝土养护,施工持续时间长,不利于工期紧的项目抢抓工期^[7]。支撑渗沟施工简单,施工快。

(4) 应用案例支撑渗沟治理方案的建安费为 487 万元,抗滑桩治理方案的建安费为 658 万元,支

撑渗沟的建安费比抗滑桩节约 171 万元,节约投资 26%,支撑渗沟的经济优势较明显。

(5) 支撑渗沟治理滑坡比支挡工程更符合环保、美观的需求。建筑工程是一种对大自然的特殊改造,应尽量做到工程与自然和谐共处。支撑渗沟治理滑坡顺应自然,施工完成后表面看不出工程痕迹,环保、美观。

5 结语

滑坡灾害治理需根据滑坡类型、滑坡规模、水文地质条件、施工条件、工期条件、经济条件等,通过方案比选确定技术可行、经济合理、快速、环保的处治方案。在地质构造复杂、土质不均匀、雨水较多的山区,浅层公路滑坡灾害采用支撑渗沟治理技术可行、经济、环保、施工难度小、施工速度快,且处治效果较好,可有效减少支挡工程的应用规模。采用支撑渗沟治理滑坡可有效提高治理效果并降低治理成本。

参考文献:

[1] 罗文君,罗家国,罗光.支撑渗沟在膨胀土路堑边坡处治中的应用[J].公路与汽运,2005(2):63-65.
 [2] 李晟,刘浪.支撑渗沟在膨胀土浅层路堑边坡处治中的应用[J].科技资讯,2024,22(5):122-124.
 [3] 陈占红.铁路路基支撑渗沟工程施工技术探讨[J].建筑·建材·装饰,2019(8):86-87.
 [4] 黄宁.浅谈支撑渗沟在滑坡治理中的应用[J].城市建设理论研究(电子版),2016,6(8):2176.
 [5] 中交第一公路勘察设计研究院有限公司.公路软土地基路堤设计与施工技术细则:JTG/T D31-02—2013[S].北京:人民交通出版社,2013.
 [6] 李金标,黄厚罡.西南复杂山区国省干线公路养护地质灾害特征及处治原则[J].公路与汽运,2021(2):82-86.
 [7] 王杜,王朦,李者,等.含软弱夹层路堑边坡开挖变形及稳定性分析[J].交通科学与工程,2022,38(3):26-32.

收稿日期:2023-12-11

 (上接第 75 页)

[16] 贺炜,刘剑锋,尹平保,等.工业镍铁渣的路用特性及原位试验研究[J].岩土工程学报,2019,41(10):1809-1816.
 [17] 尹平保,杨文斌,贺炜,等.镍铁渣加筋路堤填筑方法及足尺试验[J].中国公路学报,2020,33(5):55-65.
 [18] 尹平保,王书勤,贺炜,等.镍铁渣-黏土-水泥改性土力学特性试验及修正的邓肯-张模型[J].工程科学与技

术,2022,54(5):93-102.
 [19] 王书勤,尹平保,贺炜,等.镍铁渣-黏土改性土承载特性试验研究[J].公路与汽运,2022(4):63-67.
 [20] 李又云,张玉伟,李恒,等.车辆荷载下黄土参数对路堤沉降变形的影响[J].铁道科学与工程学报,2018,15(2):361-368.

收稿日期:2023-05-22