

川藏公路 102 道班滑坡整治保通工程实践与效果分析

杨天军

(交通运输部科学研究院,北京市 100013)

摘要:川藏公路 102 道班滑坡灾害是重要的灾害点,灾害的防治历经几十年仍未彻底根治,通过对灾害防治的回顾,提出了 5 个方面的综合整治方案,并对方案进行了比选。重点对已实施的原线保通整治方案和隧道工程方案进行了详细介绍。根据对 102 道班滑坡稳定性评价,结合现有滑坡整治方案和遥感影像分析,对已实施的两个方案进行了客观分析和评价,结合地质灾害和工程实施方案具体情况,给出了工程实施过程中的针对性建议。通过对滑坡整治工程的总结和评价,不仅可指导 102 道班滑坡灾害的防御工作,也有助于川藏公路滑坡灾害防御水平的整体提高。

关键词:川藏公路;滑坡;综合整治;工程评价;遥感分析

西南高山峡谷区由于高寒、高地应力、滑坡类型复杂等问题,交通干线工程建设中滑坡灾害问题尤其突出。川藏公路穿越世界上地质作用最强、地形高差最大的雅鲁藏布江大峡谷区段和海拔最高的高原,公路工程沿线地质灾害类型多样、爆发频繁、危害巨大,对交通安全和人民生命财产造成严重威胁。102 道班是沿线具有代表性的滑坡路段,虽然经历了多次防御和整治改建,先后多次提出了整治规划、设计方案。但由于均为临时性公路保通工程,没有设置防治滑坡灾害的针对性治理措施。加上受投资及施工条件限制,整治工程仍未达到彻底根治的目的。雨季经常泥石流冲毁或淤埋公路,使得 102 路段仍时常中断交通,成为影响川藏公路交通安全的隐患点之一。开展 102 道班滑坡灾害整治工程的总结、评价和研究,不仅可指导 102 道班滑坡灾害的防御工作,也有助于川藏公路滑坡灾害防御水平的整体提高。

1 滑坡综合整治方案及方案比选

1.1 综合整治方案介绍

中科院成都山地所、西藏交通科研所在对 102 道班滑坡特征调查的基础上,提出了多种滑坡综合整治方案,结合 102 道班实际和应用情况,介绍具有代表性的 5 个方案,具体如下。

(1) 上线绕避方案

方案规划在 102 滑坡群以上的较稳定地带,重新开辟一条线路,使其能够较长期地避开 102 滑坡群的危害,从而达到公路安全运营的目的。

(2) 过河绕行方案

为了使线路长期避开 102 道班滑坡的危害及影响,规划在滑坡的对岸(帕隆藏布左岸)坡地新开辟一条线路,并新建两座桥梁与原线路连接,从而达到该段线路安全运营的目的。

(3) 原线保通整治方案

对原线路的整治改建原则主要以治水、稳沟、固坡为重点,改变现有线路的线形与等级,提高线路的抗灾防灾能力。

(4) 沿江架设顺河桥方案

该方案的主要指导思想与过河绕行方案基本一致。为了使线路避开 102 道班滑坡的直接危害及影响,在滑坡的前部(帕隆藏布右岸滩地)架设高架线路,从而达到该段线路安全运营的目的。

(5) 隧道工程方案

从滑坡后部新建隧洞,彻底避开滑坡的危害。隧道方案可以达到一次绕避、不留后患、无潜伏病害的目的。

1.2 方案比选

对以上 5 种整治方案对比,其优缺点如表 1 所示。

收稿日期:2018-04-10

基金项目:国家科技支撑计划专题项目(编号:2012BAK10B02-4)

作者简介:杨天军,男,高级工程师,E-mail:593477245@qq.com

表 1 5 种整治方案优缺点对比

序号	方案名称	优点	不足
1	上线绕避方案	避开了 102 道班滑坡及帕隆藏布洪水的危害。工程措施技术难度不高,方案中无大型特殊工程,维护方便;工程投资在拟定的各方案中最小	比原线增长约 15 km,降低了长期运营的综合经济效益与社会效益;新线线形差,回头弯超过 20 多处;与原线路衔接地段,地形坡度大,展线技术难度大。有可能诱发相对稳定的陡坡地段发生中、小型崩滑灾害
2	过河绕线方案	避开了 102 道班滑坡的直接危害;具有较强的抗灾、防灾能力;新建线路长度相对较短;施工过程不影响原线的正常运营	需建两座 200 m 大桥,工程投资较大,技术难度较高;新线路施工过程易引发坡体产生新的崩滑
3	原线保通整治方案	根据滑坡形成及活动具体条件,因地制宜采取相应防治工程措施,具备较强的抗灾、防灾能力,对滑坡区山体稳定及保护生态环境有益;改建后的线路长度比原线路缩短了 600 m,线形平顺,无回头弯	在强烈地震及大量降水条件下,后部可能出现崩滑,从而对线路造成不同程度的影响;滑体表面活跃的小型泥石流对线路的运营有一定影响;工程投资比上线绕避方案略偏大
4	沿江架设顺河桥方案	不受主河洪水的影响与危害,也使线路暂时避开 102 道班滑坡的直接危害及影响	线路位于滑坡前缘,具有较大的风险,工程投资偏大
5	隧道工程方案	彻底避开了滑坡的危害	技术难度大、投资高,也存在洞口边坡稳定和泥石流灾害处理问题

由表 1 可知:在满足西藏国道技术标准的防灾、抗灾能力下,原线保通整治工程方案有关技术经济指标较为合理;工程技术成熟,易于施工。隧道工程方案优点亦比较突出,在经济技术条件许可的情况下,是一个较优的方案。

2 102 道班滑坡稳定性评价

102 道班滑坡在 1991 年快速滑动后,其稳定性发生了较大的变化。随着坡体结构、形态、能量及影响因素的不断改变,滑坡的稳定状态也随之处于不断变化中。经多年观测,102 道班滑坡整体处于基本稳定状态,滑坡主轴剖面如图 1 所示,下文对 102 道班滑坡进行稳定性计算。

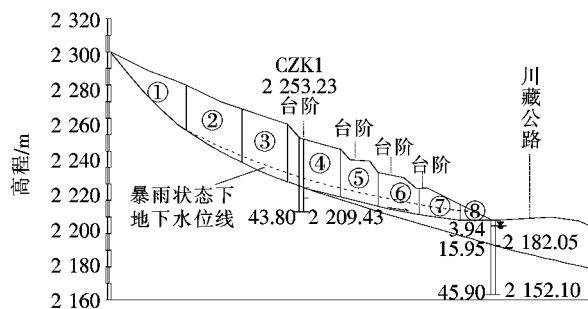


图 1 102 道班滑坡计算剖面图(单位:m)

计算采用极限平衡方法,其稳定性计算公式如下:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (R_i \prod_{j=i}^{n-1} \phi_j) + R_n}{\sum_{i=1}^{n-1} (T_i \prod_{j=i}^{n-1} \phi_j) + T_n} \quad (1)$$

$$\prod_{j=i}^{n-1} \phi_j = \phi_i \cdot \phi_{i+1} \cdot \phi_{i+2} \cdot \cdots \cdot \phi_{n-1} \quad (2)$$

式中: K 为稳定系数; R_i 为作用于第 i 块段抗滑力(kN/m); T_i 为作用于第 i 块段滑动面上的滑动分力(kN/m); R_n 为作用于第 n 块段的抗滑力(kN/m); T_n 为作用于第 n 块段的滑动面上的滑动分力(kN/m); ϕ_i 为第 i 块段的剩余下滑力传递至第 $i+1$ 块段时的传递系数($j=i$)。

经综合分析,影响公路以上坡体部分稳定性的主要因素为地下水。根据滑坡体饱水程度,选定 3 种工况计算评价滑坡稳定性:① 天然状态;② 饱水状态;③ 饱水状态+地下动水压力。

当地属Ⅷ度地震烈度区。按照 JTG B02—2013《公路工程抗震规范》要求,在高烈度地震区,应考虑地震力的作用,将作用于滑坡体重心处的水平地震力引入计算。计算时将水平地震力分解为平行滑面与垂直滑面两个方向。

坡体水平地震荷载计算公式为:

$$Ehs = C_i C_z K_h W \quad (3)$$

式中: C_i 为重要修正系数,Ⅲ级公路上的重点工程取值为1.0; C_z 为综合影响系数,取 $C_z=0.25$; K_h 为Ⅷ度地震,取 $K_h=0.2$; W 为滑坡体自重。

将各系数代入式(3)得: $Ehs=C_iC_zK_hW=1.0\times 0.25\times 0.2W=0.05W$ 。

计算中滑坡体重度天然状态下取 21.0 kN/m^3 ,饱水条件下取 22 kN/m^3 。 c 、 φ 值结合滑坡当时活动状况确定选用参数:在天然条件下取 $c=20\text{ kPa}$ 、 $\varphi=30^\circ$;饱水条件下取 $c=15\text{ kPa}$ 、 $\varphi=29^\circ$ 。

计算结果表明:102滑坡群2号滑坡体在不同工况下,滑坡的稳定性不同:

(1) 滑体在天然状态下不考虑地下水影响条件时,稳定系数 $K=1.206$,滑坡处于基本稳定状态。

(2) 滑体在饱水状态下不考虑地下水动水压力条件时,稳定系数 $K=1.126$,滑坡处于基本稳定状态。

(3) 在滑坡体饱水状态下,并考虑地下水动水压力条件时,稳定系数 $K=1.061$,滑坡处于蠕动挤压变形状态。

(4) 滑体在天然状态下,考虑水平地震荷载,稳定系数 $K=1.08$,滑坡处于蠕动挤压变形状态。

(5) 滑体在饱水状态下,考虑水平地震力条件,稳定系数 $K=1.008$,滑坡处于极限平衡或不稳定状态。

3 原线保通整治工程实践

3.1 保通工程实施情况

为了改善102道班滑坡路段的通行条件,提高公路的通行能力,交通部门采用了原线保通整治方案。整治工程主体包括两部分:①适当减重卸载,并配以大量截排水工程减少地表水入渗,增加滑坡体稳定性;②采用锚索肋板挡墙等支挡工程稳固滑坡。滑坡治理共使用768根锚索,绝大多数布置在滑坡中、下部的公路内外边坡。锚索设计长度25~50 m,设计拉力为600 kN,锚索孔径135 mm,钻孔俯角 15° 。一般填方路段以锚索肋板挡墙处理路基外边坡并稳固滑坡;半挖半填路段以预应力锚索肋板挡墙分别稳固路基内、外边坡并加固滑坡,如图2所示。此外,在滑坡前部布置了抗滑桩2根,前缘修筑了防冲挡水墙。

3.2 工程的遥感分析

从IKONOS遥感影像可以看出:经过保通工程实施,总体上102道班滑坡左侧、中部、右侧锚索肋板墙清晰可见,有效缓解了滑坡岩土体的下滑,路基上部边坡植被得到了恢复。但仍然还存在以下问题:①滑体

左侧地表变形强烈,部分掩埋或破坏了支挡结构;②滑体中后部卸荷减载台阶基本变形或消失;③滑坡前缘挡墙已变形破坏。

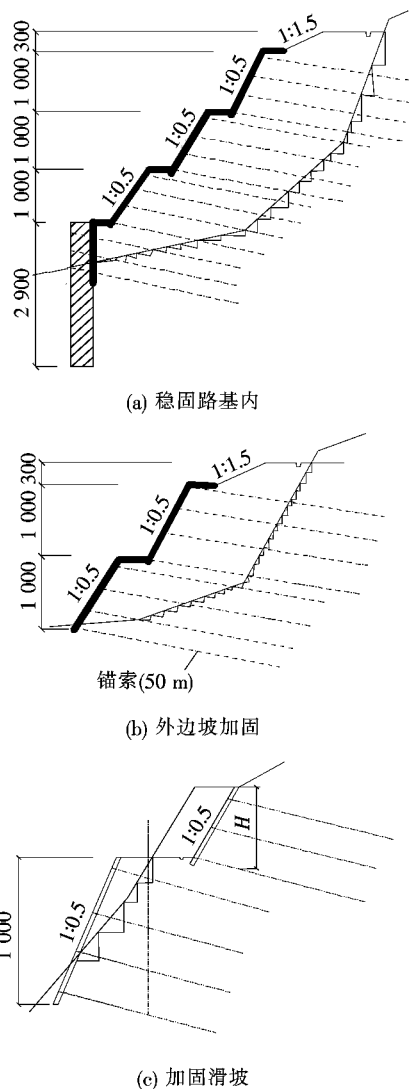


图2 102道班滑坡段整治工程锚索布置形式(单位:cm)

3.3 工程评价

经过整治后,102道班滑坡的整体稳定性提高,截至目前,未发现滑坡整体复活或大规模变形迹象。但是,该工程仍未彻底解决102道班滑坡对公路的危害,随着时间的推移,一些问题将日益突出。

(1) 受投资及施工条件的限制,治理工程主要集中在滑坡的前部,对滑坡后部及高陡的后壁基本未设置工程。近年来,滑坡左后部在降雨作用下发育了次级滑动并不断向后扩展,滑动物质碎屑化后堆积于公路,对公路造成危害。

(2) 由于坡面防护工程、沟道工程及排水工程的缺乏,破碎的滑坡体表面发育大量冲沟,在雨季时发育

小型泥石流冲毁或淤埋公路,造成 102 道班路段仍时常中断交通。

(3) 在雨水等自然作用下,坡面物质不断流失,局部肋板锚索所支挡的坡体松散物质随水沿桩板底流失,造成桩板内被掏空,锚索外露,锚索与桩板逐渐丧失支护作用。

4 隧道工程实施实践

4.1 隧道工程内容

随着国家对西藏交通投入的不断增加,对 102 道班滑坡也提出了采用从滑坡后部隧洞通过的方案,以期彻底避开滑坡的危害。施工中的下穿隧道为单洞双向行驶车道,全长 1 731 m,属傍山长隧道,按 40 km/h 二级公路标准设计,内轮廓净宽 9.00 m,净高 5.00 m。下穿隧道洞身从 102 道班滑坡后缘滑床以下通过,并穿过 102 道班滑坡西侧山脊。

4.2 隧道方案实施

(1) 隧道地质灾害特征

隧道洞身平面上从 102 道班滑坡两侧斜坡通过滑坡体,纵向上从滑坡中后缘滑床以下通过,修筑于滑床以下厚 65~170 m 的花岗片麻岩体或花岗片麻岩断层破碎带中。102 道班滑坡基本对隧道影响不大。隧道区内主要在进出口段发育滑坡、泥石流、潜在不稳定斜坡等山地灾害。102 东沟及 102 西沟纵坡降大,冲沟上游为冰川雪山,且 102 平台以上已接近雪线。在发生大规模降雪天气下,有可能发生雪崩,直接影响 102 隧道进口出口安全。

(2) 隧道出口段工程地质评价与建议

① 隧道出口段线路横穿 102 西沟泥石流沟后,斜穿不稳定坡体,与坡体呈 $50^{\circ}\sim 55^{\circ}$ 斜交而出。隧道开挖偏压大,易使洞壁内边坡潜在不稳定坡体发生整体失稳滑移。建议隧道出口段从 102 西沟至洞门段采用明洞通过,对出口处潜在不稳定斜坡采用抗滑挡墙或抗滑桩进行支挡;② 明洞开挖前,应在明洞洞顶设置导流槽,做好 102 西沟排导措施。潜在不稳定斜坡段明洞大开挖前,应对潜在不稳定斜坡以上的边坡采用抗滑挡墙或抗滑桩进行支挡。建议按 1:1.5 坡率进

行放坡并采取适当的防护措施;③ 隧道进洞后的浅埋段,围岩为散体结构的第四系冰碛层碎石类土或断层破碎带。且洞顶埋深较浅,隧道开挖时围岩易发生坍塌。开挖前应做好超前支护;④ 102 隧道开工建设过程中,历经隧道大量突水、突泥等病害过程,采用长导管全断面注浆、隧道纵向设置双侧排水沟等施工工艺。针对项目技术复杂性和安全重要性特点,及时对隧道进行超前地质预报,全天候不间断进行跟踪检查。

5 结语

介绍了 102 道班滑坡灾害的整治过程,对提出的 5 个综合整治方案,进行了对比分析,并对原线保通方案和隧道工程方案进行了详细介绍。重点分析这两个方案实施过程的效果和工程灾害对策建议。项目研究成果有助于川藏公路滑坡灾害防御水平的整体提高,可有效减少灾害对交通运输的影响,对西藏其他地区的公路建设具有指导和借鉴意义。

参考文献:

- [1] 吕光东,何竹,金建立.川藏公路西藏段主要地质灾害及成因分析[J].中国西部科技,2009(2).
- [2] 张小刚,杨天军,陈伟.藏东南溜砂坡的发育特征与防治[J].灾害学,2014(1).
- [3] 张小刚,杨天军,田金昌.川藏公路特殊碎屑流灾害综合防治技术[J].地质通报,2013(12).
- [4] 李铭,支喜兰,柳波.川藏公路南线西藏境内病害类型分析与防治措施研究[J].自然灾害学报,2015(1).
- [5] 陈洪凯,唐红梅.川藏公路地质灾害危险性评价[J].公路,2011(9).
- [6] 张正波,何思明,等.西藏公路滑坡防治中锚固结构的耐久性及修复技术[J].地质通报,2013(12).
- [7] JTG B02—2013 公路工程抗震规范[S].
- [8] 张小刚,田金昌.川藏公路 102 道班滑坡群防治技术与示范[R],2016.
- [9] 陈羽,王德富,肖文辉,等.隧道洞口滑坡稳定性分析及治理研究[J].中外公路,2016(2).
- [10] 韩叙平,岭岭大型滑坡稳定性分析及治理方案研究[J].中外公路,2016(5).