

文章编号:1671-8879(2014)05-0008-07

# 川藏公路南线(西藏境)松散堆积体类型

毛雪松<sup>1</sup>,王楠<sup>1,2</sup>,高胜雨<sup>1,3</sup>,梁杰<sup>1</sup>

(1. 长安大学公路学院,陕西西安 710064; 2. 西南电力设计院,四川成都 610021;

3. 北京城建集团有限责任公司国际工程总承包部,北京 100088)

**摘要:**松散堆积体的力学性质介于土石之间,其结构松散、稳定性差,直接影响路基路面的使用性能。基于国道 318 线(K3473+000~K4670+000 段)实地调研,采用定性综合分析法,考虑地形地貌、松散堆积体成因类型、物质组成、外形特征以及结构构造等因素,结合路基路面病害特征类型,对川藏公路南线(西藏境)松散堆积体进行类型划分。研究表明:成因类型和地形地貌特征为划分类别的主导定性指标,坡度为辅助定量指标;以地形+成因两段命名方法,将川藏公路南线(西藏境)松散堆积体划分为宽谷冲积体、山前沟口洪积体、山坡中下部崩坡积体、窄河谷上崩坡积体下冲洪积体、平缓山坡残坡积体和坡面碎屑流 6 种主要类型。

**关键词:**道路工程;川藏公路;松散堆积体;地形地貌;成因类型;类型分类

**中图分类号:**U412

**文献标志码:**A

## Loose deposits types along the south line of Sichuan-Tibet(in Tibet) highway

MAO Xue-song<sup>1</sup>, WANG Nan<sup>1,2</sup>, GAO Sheng-yu<sup>1,3</sup>, LIANG Jie<sup>1</sup>

(1. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 2. Southwest Electric Power Design Institute, Chengdu 610021, Sichuan, China; 3. Beijing Urban Construction Design and Development Group Ltd International Engineering General Contracting Department, Beijing 100088, China)

**Abstract:** The mechanical properties of loose deposit material are between that of the soil and the rock, whose loosening structure and poor stability affect directly the subgrade and pavement performance. Based on the onsite investigation of the State Road 318(between sections K3473+000 and K4670+000), the paper studies the type division method of the loose deposit material with qualitative analysis, which is applied to the south line of Sichuan-Tibet (in Tibet) highway. The type analysis considers the landform, forming reason types, components, distribution characteristics and structure, as well as the type of subgrade and pavement disease. The results show that the landform and genetic types are the main qualitative indexes of type division and the slope is auxiliary quantitative index. According to the name method of "landform+genetic types", there are six main types along the south line of the Sichuan-Tibet (in Tibet) highway, namely, wide valley alluvial body, piedmont diluvial body, colluviums body along middle and low of the hillside, alluvial body under the narrow valley colluviums body, residual body along placid hillside

收稿日期:2014-04-20

基金项目:交通运输部科技项目(201231879210)

作者简介:毛雪松(1976-),女,吉林珲春人,教授,工学博士,E-mail:xuesongxian@aliyun.com。

and slope debris flows. 3 tabs, 6 figs, 12 refs.

**Key words:** road engineering; Sichuan-Tibet highway; loose deposit; landform; forming reason types; type classification

## 0 引言

川藏公路南线东起成都西至拉萨,穿越多个大地构造单元,地震活动频繁,强震集中,岩土体破碎松散<sup>[1]</sup>。沿线水系众多,河谷深切、落差大、水量大、水流急,具有极强的侵蚀搬运能力。大部分地区空气稀薄、温差大、雨水丰沛、风化作用强烈;加之近些年人类活动对于原自然状态的扰动,造成川藏公路沿线广泛分布第四纪松散堆积物,在河谷两岸形成堆积台地,或在山坡及高原地带形成厚层覆盖。松散堆积体内节理裂隙发育,产状紊乱,倾角变化大。在外力作用下,容易产生较大的塑性和流变变形,通常为沿下伏基岩接触面的整体滑移。堆积体变形成灾具有反复性和继承性,路线穿越松散堆积体时,边坡滑塌及路基不均匀沉降是路基常见的病害形式<sup>[2]</sup>。

目前对于松散堆积体的研究多集中于松散堆积体的形成及稳定性分析上,对松散堆积体的分类研究尚不完善。崔之久等研究了国内外大量的混杂堆积实例后,提出了区分各种成因类型灾害(包括冰川、崩塌、滑坡和泥石流等)的多指标判定原则和成因-环境判定原则<sup>[3]</sup>;Carriere 等应用定向冲洗法针对加拿大 3 个城市的松散堆积体的分布特性进行了试验研究<sup>[4]</sup>;刘衡秋等对西部山区大型复杂松散堆积体的一般特征、主要类型和区域分布规律进行了系统总结,从“耦合”的角度来探讨其成因机制,并对大型复杂松散堆积体的一般特征、主要类型和区域分布规律进行了系统总结<sup>[5]</sup>;Zhang 等基于 GIS 定量风险评估法,对汶川地震后震中地区的 305 个松散堆积体的稳定性进行了风险评估<sup>[6]</sup>。研究现状表明,目前对松散堆积体主要从成因或地形等方面进行分类,仅是单因素的划分。

基于此,本文根据川藏公路(西藏境)国道 318 线病害显著地段的实地调研成果,在分析路基主要病害类型的基础上,从成因类型、工程环境和分布特征等方面,提出松散堆积体分类的指标,对川藏南线(西藏境)的松散堆积体的类型进行划分。

## 1 川藏公路南线(西藏境)路基主要病害类型

对川藏公路南线(西藏境)沿线(K3473+000~

K4670+000)21 个典型区域进行实地调研,主要包含 6 个方面:地形地貌、成因类型、物质组成、分布及外形特征、结构构造和路基主要病害等方面,调查结果如下页表 1 所示。由表 1 可知,川藏公路南线(西藏境)沿线主要的路基病害有不均匀沉降、边坡滑塌、坡面泥石流、碎落、崩塌、坡面碎屑流、水毁等 7 种类型,导致路基病害的因素归结于松散堆积体特性,进行松散堆积体类型划分是预防与整治路基病害的前提。

## 2 松散堆积体类型划分的原则与方法

### 2.1 松散堆积体类型划分的原则

(1)服务性原则。松散堆积体分类是为川藏公路南线(西藏境)整治改建工程服务的,该分类的目标性较强,为松散堆积体区域公路的路基设计、施工、养护提供基础的科学数据。

(2)实用性原则。川藏公路南线(西藏境)沿线松散堆积体分类在充分反映松散堆积体的自然综合体特征前提下,从公路建设的实际出发,研究各种松散堆积体类型对公路的影响。

(3)辩证性原则。地形地貌、成因类型、物质组成、分布及外形特征、结构构造等因素都会影响松散堆积体的工程特性,各因素相互联系、相互制约;川藏公路南线(西藏境)松散堆积体分类就是按照地表自然综合体的相似性和差异性进行分类,不能出现相互矛盾的现象。

(4)发生统一性原则。任何区域单位都是在历史发展过程中形成的,进行松散堆积体分类是探讨川藏公路南线(西藏境)沿线工程特性分异产生的原因与形式,以形成该区域单位整体特性的不同分类依据。

(5)综合性和主导因素相结合原则。川藏公路南线(西藏境)沿线的各种松散堆积体,都是由各个自然地理要素组成的整体,进行分类必须综合分析影响工程地质特性的各要素相互作用的方式和过程,认识其类别差异的具体规律性;在进行分类的同时,找出主导作用的因素,即所谓的综合性和主导因素相结合原则。

### 2.2 松散堆积体类型划分的方法

(1)综合性原则和主导因素原则相结合的方法

综合性原则要求在确定分类指标时应全面考虑和分析松散堆积体对路基病害的影响,在此基础上选用对路基稳定起决定性的主导因素作为分类指标。地形地貌、松散堆积体成因类型、松散堆积体物

质组成、松散堆积体分布及外形特征以及松散堆积体结构特征是影响松散堆积体区域路基稳定性的关键,在进行分类时,应充分考虑这些因素。

(2)主导指标和辅助指标相结合的方法

表 1 川藏公路南线(西藏境)沿线松散堆积体路基病害类型分布

Tab. 1 Disaster types of loose deposit subgrade along the south line of Sichuan-Tibet(in Tibet) highway

编号	路段	地形地貌特征	松散堆积体主要成因类型	松散堆积体组成	松散堆积体分布及外形特征	松散堆积体的结构构造	主要病害类型
1	K4520 + 000 ~ k4474 + 000	石灰岩区,翻越米拉山	坡积体	以碎石和砂为主,碎石粒径 3~5 cm	堆积层较厚,坡度 40°~45°	无分选、较均匀、无磨圆	边坡滑塌
2	K4450 + 000 ~ K4218 + 000	处于窄河谷,尼洋河沿线,植被茂密,水量丰沛	冲积体	以卵砾石为主,约占 60%,粒径 3~15 cm;有少量砂砾土和漂石	堆积体沿河分布,典型纵向沉积,纵向平整	有磨圆,略有分选,胶结性差	水毁、不均匀沉降
3	K4207 + 700 ~ K4214 + 350	山坡上,植被为草灌木	坡积体 洪积体	35%左右亚粘土、60%左右碎石、少量石块	斜坡坡面平整斜长 40 m,坡度 20°~30°	不均匀、无分选、略有磨圆	坡面泥石流、不均匀沉降
4	K4200 + 500 ~ K4200 + 300	边坡位于道路南侧,主体为片麻岩,坡面有稀疏的草	坡积体 残积体	上部边坡为碎石土,中下部为风化片麻岩	上部边坡 55°~65°,中下部边坡坡度较大	结构破碎、密实度差无分选	碎落、坡面泥石流
5	K4197 + 500 ~ K4195 + 000	山坡上,堆积体夹杂基岩,植被稀疏	坡积体 崩积体	坡积体以碎石土为主,基岩为花岗岩闪长岩	以坡积体碎石和亚粘土为主	分布不均无分选,节理裂隙发育	碎落、崩塌
6	K4194 + 000 ~ K4193 + 000	半填半挖路段,缓坡植被茂密,降雨丰沛	坡积体 崩积体	以亚粘土为主,夹杂有大漂石	沿坡面堆积,上部边坡 30°~40°;下部 50°	组成不均、密实度差	边坡滑塌、坡面泥石流
7	K4110 + 000 ~ K4091 + 300	沿河路段,处于河谷,河水湍急水量大	坡积体 冲积体 洪积体	以卵石、漂石为主	坡度 50°~60°,沿河谷纵向堆积	有分选、有磨圆、无胶结力	水毁、崩塌、边坡滑塌
8	K4089 + 000 ~ K4086 + 000	帕隆藏布江沿岸,河谷纵深大,坡体含水量大,植被茂密	坡积体 冲积体 洪积体	砂、漂砾、角砾和碎石层,粒径 2~5 cm,最大 400 cm,成分以花岗岩片麻岩为主	典型的横向堆积体,分布不均,堆积层巨厚,坡度 50°左右	结构较为密实,半胶结	边坡滑塌、不均匀沉降
9	K3985 + 100 ~ K3976 + 000	河流凸岸部分,山坡上植被以草灌木为主	冲积体 坡积体	50%~60%卵石,粒径 10~40 cm,40%砾石,粒径较小还有少量漂石	人工边坡 60°左右,上部自然边坡 40°~50°	有分选、较致密、无胶结	碎落
10	K3954 + 200 附近	边坡位于道路的北侧,河流的凸岸部分,坡顶有草灌木	洪积体 坡积体	70%~80%砂砾石,20%左右卵石和少量漂石	坡高约 30~40 m,坡度 60°~70°,坡顶横坡小	不均匀、无分选、半胶结	边坡滑塌、坡面泥石流、不均匀沉降
11	K3932 + 200 ~ K3931 + 400	干热河谷,路南侧为河流,坡顶有少量乔灌木,山体上部基岩裸露	残坡积体	少量的卵石,80%以上均为砾石和砂	坡高约百米,坡度约为 30°,风化颗粒沿坡面堆积	松散破碎、均匀、无胶结性	坡面碎屑流
12	K3876 + 000 ~ K3865 + 000	边坡位于道路北侧,河流凸岸,山坡长有松木	坡积体 冲积体	以砂砾石为主约占 60%,卵石约占 30%,还有少量漂石	边坡高约 3~20 m,坡度 45°~70°	无分选、略有胶结、不致密	碎落、边坡滑塌
13	K3846 + 750 ~ K3840 + 000	处于较宽河谷,典型堆积体边坡,难见基岩,表面无植被	洪积体 冲积体 坡积体	坡体组成较细,主要为细粒的砂,还有 10%~15%的风化碎石,20%的亚粘土	坡高约有十余米,坡度 70°~80°	略有胶结、有层理、无分选	边坡滑塌、碎落崩塌
14	K3770 + 000 ~ K3758 + 000	位于河谷地带,道路南侧为河流,水流流速较快,流量较大	冲积体 坡积体	砾石和砂,砾石粒径在 2~5 cm,含量均在 50%左右,还有 30%左右的卵石,粒径在 10 cm 左右	坡高约有十余米,坡度 35°左右;表层有坡积,为分化侵蚀后的碎屑岩	无分选、不均匀、略有胶结	碎落、下边坡水毁
15	K3750 + 100 ~ K3745 + 000	怒江沿岸,处于石灰岩区,植被较少,有稀疏的草灌木	冲积体 坡积体	以卵石砾石为主,夹杂有砂、亚粘土和大的石块	边坡高约一两百米,坡度约有 70°,下部可见凹腔	坡面松散、节理裂隙发育、胶结能力差	碎落、崩塌坡面泥石流
16	K3645 + 600 ~ K3645 + 000	道路位于河流凹岸,边坡在道路北侧,坡面上有少许的乔木和灌木	冲积体 坡积体	以卵砾石为主,卵石约占 60%~70%,粒径在 4~10 cm 之间,其余为砾石和砂	坡高约 5 m,坡度 60°~70°,边坡中部纵长约百米,高 10 m,坡度 35°左右	不均匀、无分选、略有胶结	不均匀、沉降坡面泥石流、水毁
17	K3576 + 000 ~ K3570 + 000	越岭线区域,海拔高,植被稀疏,地势相对平缓	坡积体 冰积体	以细小的碎石和砂为主,还有少量的块石,下伏基岩为片岩	边坡前缘高约 8 m,坡度约 70°,上部边坡高约 7~8 m,坡度约为 50°	不致密、无分选、胶结性差	边坡滑塌、不均匀沉降
18	K3586 + 000 附近	道路位于东达山口两侧,气温低海拔高,植被稀疏	坡积体 冰积体	以卵砾石为主,有少量的大的石块	坡高约有 50 m,坡度约为 50°	风化碎裂严重、质地松散、不稳定	边坡滑塌、不均匀沉降
19	K3529 + 085	东达山河谷中,沿河路段,植被以草灌木为主,公路处于河流凹岸,侵蚀严重	冲积体 洪积体	以卵砾石为主,含量约占 65%,还有 30%左右砂砾土和少量漂石	外边坡高约 2 m,坡度 60°	少量分选、无胶结略均匀	边坡滑塌、水毁
20	K3516 + 000 K3535 + 000	东达山东坡路段,处于吴仲河峡谷地带,水量丰沛,草灌木茂密	冲积体 洪积体	以卵砾石为主,含量约占 70%,粒径 3~15 cm	堆积体沿河谷分布,堆积厚度大,稳定性差	少量分选、结构性差松、散破碎	边坡滑塌、水毁
21	K3477 + 500 附近	山坡上,海拔较高,植被为稀疏草灌木,沟谷较深	坡积体 残积体	主要为小块石,粒径在 5~10 cm,含量占 50%,10%左右大块石,直径 50~100 cm	高度约有 20 m,坡度在 40°~50°	结构松散、胶结性差	碎落、边坡滑塌

在具体进行松散堆积体分类时,对路基稳定性有决定影响的要素有几个或者几类,要想将各种要素均体现在分类中,是不可实现的,实际上也是不必要的。地形地貌因素和松散堆积体的成因类型是影响路基稳定的主导指标;松散堆积体物质组成、松散堆积体分布及外形特征、松散堆积体结构特征及常见的路基病害类型为影响路基稳定性的辅助指标。

3 影响川藏公路南线(西藏境)松散堆积体稳定性的因素

3.1 地形地貌

川藏公路南线(西藏境)始于芒康、左贡、邦达、八宿、波密、林芝、八一、工布江达、墨竹工卡、达孜—拉萨。该公路由山坡线、越岭线、山脊线、沿溪线等线型构成,从东往西横穿横断山、念青唐古拉山、喜马拉雅山三大山系,依次翻过二郎山、雀儿山、色季拉山等 14 座海拔在 4 000 m 以上的险峻高山;跨过长江、澜沧江、怒江、雅鲁藏布江 4 大水系<sup>[7]</sup>。本文根据川藏公路南线(西藏境)实地情况结合工程条件,将沿线主要的地形地貌分类如下。

(1)宽阔河谷(简称宽谷):此类地区由于河流冲刷形成的河谷宽阔平坦,覆盖有巨厚的松散堆积物,

两边为高山,植被茂密。道路一般修筑于河流阶地之上。

(2)窄河谷:由于地质构造、河流冲刷作用形成的河谷,曲折、狭长、纵深大、崖壁陡峭,其中河流流量大,流速快。

(3)山坡:①陡峭山坡,道路沿山体延伸方向,修筑于山坡上,路基横断面为半填半挖,坡度为 50°~80°,坡体表面植被以草灌木为主;②平缓山坡,位于海拔较高的山顶部位,坡体较为平缓,主要为残坡积体和冰积体。

3.2 川藏公路南线(西藏境)松散堆积体主要成因类型

一般来说,第四纪松散堆积物沿河流、沟谷两岸、山麓及其边缘均有分布,主要有冰积体、冲洪积、残坡积、化学沉积、湖沼沉积等,其中前 3 种最为发育<sup>[8]</sup>。成因类型主要包括滑坡堆积物、崩塌堆积物、残坡堆积物、冲洪积物、冰碛物等。其类型可以划分为滑坡堆积体、崩塌堆积体、泥石流堆积体、岩溶堆积体、断裂破碎岩体和重力卸荷松动岩体等<sup>[9]</sup>。

结合实地调研,川藏公路南线沿线松散堆积体的主要成因有冲积、洪积、静水沉积、坡积、残积、崩积及冰积 7 大类型。川藏公路南线沿线松散堆积体主要成因类型见表 2。

表 2 川藏公路南线(西藏境)沿线松散堆积体主要成因类型

Tab. 2 Forming reason types of loose deposits along the south line of Sichuan-Tibet(in Tibet) highway

成因类型	形成原因	主要分布
冲积	长期水流冲刷搬运	分布于河谷和三角洲地带
洪积	突发洪水冲刷搬运	两山沟口处,形成洪积扇
静水沉积	以湖沼沉积为主的静水沉积	处于宽谷之中,河床上
坡积	风化岩体沿坡地堆积	广泛分布于山坡,组成山体
残积	风化作用,破碎岩体原地堆积	分布在山脊山坡和夷平面上
崩积	重力崩塌作用	分布于较大河谷两岸及陡崖下
冰积	冰川作用,搬运堆积	高山冰川地区

3.3 松散堆积体组成

3.3.1 岩 性

川藏公路南线沿线分布的地层以古生界、中生界沉积碎硝岩和碳酸盐岩最广,出露基岩为受构造影响强烈的石炭、二叠、三叠、侏罗系灰岩、碎屑岩和变质岩。沿线的松散堆积体主要是第四纪的松散沉积物,组分复杂。岩性包含岩浆岩、沉积岩和变质岩等 3 大岩类,互相混杂。区内出露的岩石主要有:岩浆岩类——粗粒的花岗岩、花岗闪长岩、闪长岩、安山岩等;沉积岩类——石灰岩、紫红色砂岩、砾岩、灰色泥岩等;变质岩类——大理岩、片麻岩、片岩、板岩等。由于成因的复杂性和区内地表分布岩性的多

样且频繁变化,使得区内的各种松散堆积体组成成分丰富多样且复杂多变,既有粘土成分、又有各种岩屑、岩块。

3.3.2 粒度组成

川藏公路南线(西藏境)沿线覆盖有巨厚的松散堆积层,主要以巨粒土和粗粒土为主,一般为 0.1~1.0 m。通常残坡积的较细,冲积的其次,而洪积、泥石流堆积、崩积的较粗。同样是残坡积,软质的片岩、板岩、泥岩风化形成的较细,主要由粘粒组成、含碎石较少且碎石的粒径也较小;而由坚硬岩石风化形成的较粗,不但含碎石较多而且碎石的粒径也较大;早期形成的较细而近期形成的较粗;有的冲积体

由卵砾石夹漂石组成,而有的由砂砾石组成,很少含卵漂石<sup>[10]</sup>。

3.4 松散堆积体分布及外形特征

川藏公路(西藏境)沿线两侧几乎每公里都间断而又密集的分布着不同类型、不同特征、不同规模的松散堆积体,甚至在公路跨越的山岭垭口处也有数米厚的残坡积层,有的构成公路边坡,有的构成公路路基或路堤的地基。

公路沿线分布的松散堆积体无论是成因类型、组成特征、规模厚度、稳定程度等都显示出频繁而显著的变化。在山坡浅表层小范围内分布残坡积体、沿坡脚大规模分布的崩坡积体、分布于宽阔河谷河床两侧的大规模冲洪积层或泥石流堆积扇或冰碛垄;其厚度从数米至上百米不等。

不同区域的松散堆积体有不同的特性,川藏公路南线(西藏境)沿线松散堆积体的外形特征与其成因有很大关系。冲积体是沿河谷的纵向堆积物,一般会形成阶地,横坡、纵坡都较小,土体密实结构性较好,对道路工程几乎没有影响。洪积体一般在山前,形成洪积扇,走向与线路方向垂直,坡度在 15°~45°之间,形成时间久远的一般已达到平衡状态,需要防范的是特殊天气条件下的重新发作。坡积体广泛分布在川藏公路南线沿线山体之上,坡度一般在 45°~80°之间,若形成时间较早坡度较缓且坡面植被良好,则一般无病害。若坡度较陡且防护措施不得当,常见有碎落、滑坡等病害危害道路安全<sup>[11]</sup>。残积体一般分布在高山越岭线附近,此区域植被稀疏,温差大,坡度一般在 30°~60°之间,对于道路影响在可控范围内。崩积体一般分布在陡峭岩壁下及河谷两岸,边坡坡度大,岩体破碎常有崩塌碎落,是川藏公路南线(西藏境)最为常见的病害,严重影响

公路安全。冰积体一般分布在高山冰川地区,对于道路工程的影响较小。

3.5 松散堆积体的结构构造

松散堆积体属于土石混杂堆积,其整体结构松散,内含大量孔隙,透水性较强。胶结程度和密实程度与其成因和形成年代有关。冲积体、洪积体、坡积体,若形成时间较早,一般较为密实。如果细粒土含量较大,则有一定胶结能力。残坡积体破碎松散,几乎没有胶结能力,且不密实。冲积体、静水沉积体有良好的分选性、明显的近水平层理、颗粒磨圆度良好。洪积体呈惯性或粘滞性状态流动,杂基支撑,随机组构,碎屑粒级变化大,杂质含量不等,内部有流动构造<sup>[12]</sup>。坡积体、残坡积体和崩积体无分选性、大小混杂,颗粒磨圆度不佳或无磨圆,层理也不清晰,显示出明显的结构无序性。受重力分选作用控制,在剖面上具有自上往下土颗粒变粗的规律性,即下部岩土体主要为巨大的碎裂块石组成,甚至保留了基岩的特征,上部岩土体主要为含碎块石的细粒土,中间岩土体则介于两者之间。冰积体结构较为松散,无胶结能力,以碎石为主。

4 松散堆积体类型划分

松散堆积体指标体系一方面能有效反映和揭示松散堆积体的区域分异规律及本质特征,另一方面又能充分有效反映与路基稳定性之间的关系。进行松散堆积体类型划分时以成因类型和地形地貌特征为主导的定性指标;以坡度为辅助定量指标。川藏公路南线沿线松散堆积体划分为:宽谷冲洪积体、山前沟口洪积体、山坡中下部崩坡积体、窄河谷上崩坡积体下冲洪积体、平缓山坡残坡积体和坡面碎屑流 6 种主要类型,松散堆积体类型如表 3 所示。

表 3 川藏公路南线(西藏境)沿线松散堆积体类型

Tab. 3 Loose Deposits types along the south line of Sichuan-Tibet(in Tibet) highway

松散堆积体类型	成因类型	地貌特征	坡度/(°)	路基病害类型	自然地理特征
宽谷冲洪积体	冲积体、洪积体	位于宽河谷中	<15	一般路段无路基病害,在河流凹岸处常有水毁发生	地势平坦,堆积方向即为河流流向;植被覆盖率高
山前沟口洪积体	洪积体、泥石流堆积体	一侧为山前沟口	15~30	特殊天气条件宜爆发泥石流	山前有明显洪积扇,扇上有冲沟;表面有草灌木覆盖
山坡中下部崩坡积体	崩积体、坡积体	坡体的组成部分	30~90	碎落、崩塌、不均匀沉降、坡面泥石流	表面有植被覆盖,类型与海拔有关
窄河谷上崩坡积体下冲洪积体	崩积体、坡积体、冲洪积体	处于窄河谷地段	60~90	碎落崩塌、水毁、不均匀沉降	河流深切形成,侧边河流水量大流速快;表面无植被
平缓山坡残坡积体	残积体、坡积体、冰积体	坡体的组成部分	<15	不均匀沉降	处于高山越岭线上,海拔高,植被以草为主,较为稀疏
坡面碎屑流	坡积体	干热河谷路段山坡	60~90	溜砂坡、滑坡、坡面泥石流	干热河谷路段,气候干燥,坡面植被差

(1)宽谷冲洪积体。路线所处地区地势平坦,地面坡度小于  $15^{\circ}$ ,属于缓坡,植被茂密。松散堆积体类型一般为冲积体、洪积体和静水沉积体。松散堆积体结构密实,如图 1 所示。工程性质良好,一般无明显病害。



图 1 宽谷冲洪积体  
Fig. 1 Wide valley alluvial body

(2)山前沟口洪积体。松散堆积体沉积方向垂直道路方向,有明显的两山相夹的沟口,坡度在  $15^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 之间,属于斜坡。主要为洪积体和泥石流堆积体,大小混杂,如图 2 所示。堆积体横向坡度不大,一般要防范雨雪天气的泥石流等病害。



图 2 山前沟口洪积体  
Fig. 2 Piedmont diluvia body

(3)山坡中下部崩坡积体。处于山坡线,边坡坡度  $30^{\circ}$ 以上,处于陡坡及急坡状态,变化较大。松散堆积体一般为坡积体、残坡积体和崩积体,无分选性、大小混杂,颗粒磨圆度不佳或无磨圆,层理也不清晰,如图 3 所示。常见的病害有碎落、崩塌、不均匀沉降、坡面泥石流等。

(4)窄河谷上崩坡积体下冲洪积体。此类型较为常见,处于窄河谷地段,边坡陡峻,边坡坡度在  $60^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 之间,为急坡。松散堆积体为冲洪积体和崩坡积体的混杂类型,结构松散,几乎无植被,如图 4 所示。常见碎落崩塌等病害,是较为难以治理的一种类型。

(5)平缓山坡残坡积体。一般处于越岭线之上,植被以草灌木为主,边坡较为平缓,小于  $15^{\circ}$ ,属于缓坡。松散堆积体一般为残坡积体和冰积体,如图 5 所示。常见的病害为冻融循环下的不均匀沉降等病害。



图 3 山坡中下部崩坡积体  
Fig. 3 Colluviums body along middle and low of hillside



图 4 窄河谷上崩坡积体下冲洪积体  
Fig. 4 Alluvial body under the narrow valley colluviums body



图 5 平缓山坡残坡积体  
Fig. 5 Residual body along placid hillside

(6)坡面碎屑流。处于干热河谷,坡体表面植被稀疏,边坡坡度在  $60^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 之间,为急坡。组成物质结构破碎,在重力作用下颗粒沿坡面向下滑动,而且数量巨大,如图 6 所示。其溜砂、泥石流等病害严重影响道路安全。



图 6 坡面碎屑流  
Fig. 6 Slope debris flows

## 5 结 语

(1)川藏公路南线(西藏境)沿线(K3473+000~K4670+000)21个典型区域的现场调查表明,不均匀沉降、边坡滑塌、坡面泥石流、碎落、崩塌、坡面碎屑流、水毁7种类型为川藏公路南线(西藏境)路基主要病害类型。

(2)从地形地貌、松散堆积体成因类型、物质组成、外形特征及结构构造等方面,分析了松散堆积体对路基稳定性的影响。

(3)以成因类型和地形地貌特征为主导的定性指标,以坡度为辅助定量指标,采用地形+成因两段命名方法,将川藏公路南线(西藏境)沿线松散堆积体划分为宽谷冲洪积体、山前沟口洪积体、山坡中下部崩坡积体、窄河谷上崩坡积体下冲洪积体、平缓山坡残坡积体和坡面碎屑流6种主要类型。

## 参考文献:

## References:

- [1] 崔建恒. 川藏公路地质环境与整治改建方案的思考[J]. 工程地质学报, 2003, 11(1): 100-104.  
CUI Jian-heng. Pondering upon the geological environment along the Sichuan-Tibet highway and plan of hazards controlling[J]. Journal of Engineering Geology, 2003, 11(1): 100-104. (in Chinese)
- [2] 李家春, 黄丽珍, 田伟平, 等. 公路自然灾害类型划分[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2011, 31(2): 33-37.  
LI Jia-chun, HUANG Li-zhen, TIAN Wei-ping, et al. Type classification on natural disasters of highway[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2011, 31(2): 33-37. (in Chinese)
- [3] 崔之久, 熊黑钢. 论混杂堆积和混杂堆积岩的成因判别原则与标志[J]. 地质论评, 1988, 34(3): 369-376.  
CUI Zhi-jiu, XIONG Hei-gang. Discussion on principle and indicate of recognition for the formation of diamiction and diamictite[J]. Geological Review, 1988, 34(3): 369-376. (in Chinese)
- [4] Carriere A, Gauthier V, Desjardins R, et al. Evaluation of loose deposits in distribution systems through unidirectional flushing[J]. Journal of American Water Works Association, 2005, 97(9): 82-92.
- [5] 刘衡秋, 胡瑞林. 大型复杂松散堆积体形成机制的内外动力耦合作用初探[J]. 工程地质学报, 2008, 16(3): 291-297.  
LIU Heng-qiu, HU Rui-lin. Coupling of earth's endogenic and exogenic geological procession formation mechanism of large-scale loose complex quaternary deposits in western China[J]. Journal of Engineering Geology, 2008, 16(3): 291-297. (in Chinese)
- [6] Zhang S, Zhang L M, Peng M Z, et al. Assessment of risks of loose landslide deposits formed by the 2008 Wenchuan earthquake[J]. Natural Hazards and Earth System Sciences, 2012, 12(5): 1381-1392.
- [7] 尚彦军, 杨志法, 袁广祥, 等. 雅鲁藏布江大拐弯北部川藏公路地质灾害发育与分布研究[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2010.  
SHANG Yan-jun, YANG Zhi-fa, YUAN Guang-xiang, et al. Geohazards development and distribution along Sichuan-Tibet highway in north of the grand canyon of Yarlu Tsangpo river[M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2010. (in Chinese)
- [8] 胡瑾, 李又, 聂平, 等. 川藏公路海竹段泥石流问题及对策分析[J]. 地球科学进展, 2004, 19(增1): 250-253.  
HU Jin, LI You, NIE Ping, et al. Issue of mud-rock flow and analyse of its discounter-measure of section between HaiZhu of highway between Sichuan-Tibet[J]. Advance In Earth Sciences, 2004, 19(S1): 250-253. (in Chinese)
- [9] 殷跃平, 张加桂, 陈宝荪, 等. 三峡库区巫山移民新城址松散堆积体成因机制研究[J]. 工程地质学报, 2000, 8(3): 265-271.  
YIN Yue-ping, ZHANG Jia-gui, CHEN Bao-sun, et al. Formation mechanism of large-scale loose sediment at the relocation sites of Wushan county on the Three-Gorges[J]. Journal of Engineering and Geology, 2000, 8(3): 265-271. (in Chinese)
- [10] 李哲, 王芝银, 谢永利. 粗粒土类别的分形图解[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2004, 24(6): 15-19.  
LI Zhe, WANG Zhi-yin, XIE Yong-li. Fractal graphic of sands categories[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2004, 24(6): 15-19. (in Chinese)
- [11] 杨志法, 尚彦军, 张路青, 等. 川藏公路地质灾害及其防治对策研究: 以八宿至林芝路段为例[M]. 北京: 科学出版社, 2006.  
YANG Zhi-fa, SHANG Yan-jun, ZHANG lu-qing, et al. Geological disaster and its preventive method for the Sichuan-Tibet highway: a case study on the Basu to Linzhi section[M]. Beijing: Science Press, 2006. (in Chinese)
- [12] 王宗起. 中朝板块南缘的滑塌堆积及其构造环境[J]. 西安地质学院学报, 1992, 14(3): 31-39.  
WANG Zong-qi. Olistostromes and tectonic settings in the southern margin of the Sino-Korean plates[J]. Journal of Xi'an College of Geology, 1992, 14(3): 31-39. (in Chinese)