

Research Achievements of main Highway Slope in Southwest China (one)

Slope Stability and Classification

Haiping Li

China Merchants Chongqing Communications Technology Research & Design Institute Co., Ltd, Chongqing, China, 400067
Email: lihaiping@cmhk.com

Abstract: The factors controlling influence on highway slope are discussed in detail, which is divided into external and internal factors. The type of slope typical highway in Southwest China were summarized and the slope failure made a distinction, as proposed to lay a solid foundation for targeted governance programs.

Keywords: Southwest region; Main road; Slope; Stability; Classification

中国西南地区干线公路边坡调研成果综述（一）

边坡稳定性及分类

李海平

招商局重庆交通科研设计院有限公司，重庆市，中国，400067
Email: lihaiping@cmhk.com

摘要：对公路边坡的控制性影响因素进行了详细论述，其中分为外部和内部因素，对西南地区典型公路边坡的类型进行了概括，并对边坡的破坏方式做了区分，为提出针对性的治理方案奠定了基础。

关键词：西南地区；干线公路；边坡；稳定性；分类

1 控制边坡稳定性的地质因素

对调查边坡进行统计分析，影响边坡稳定性的因素较多，统计资料分析认为：大中型滑坡诱因多为水的作用，包括降水、地表水入渗引起地下水位变化及地表水冲刷；中小型滑坡多由人类活动和开挖施工不当诱发；倾倒、崩塌及溃屈多为重力和降雨。岩质边坡因内部裂隙、节理、断层构造和地应力变化十分复杂，受诱因影响更为敏感，其规律更难于掌握。其失稳机理也比土质边坡更为复杂。

1.1 边坡失稳的外部因素

从调查的边坡来看，引起边坡失稳的外部因素有以下几个方面：

- (1) 降雨时的渗水浸泡，地下水位升高，引起的岩石力学强度指标降低。
- (2) 边坡开挖或超挖，改变了边坡形态，破坏了原岩体的力学平衡条件，而又未能及时加固补强。
- (3) 人类活动的影响，包括施工用水、动荷载、

爆破扰动、生态环境的破坏以及地震影响等。

(4) 施工过程中，临时性附加荷载增大。

通过统计分析，引起边坡失稳的主要外部因素为工程开挖和地下水，二者引起的边坡失稳占 90% 以上。而堆载和雨水冲刷所占比例较少，在统计的 30 余个滑坡中，两种类型各有 1 个。因此，统计数据提示，要进行合理的边坡开挖，边坡开挖过程中和边坡形成后，应采取有效的防水和排水措施。

1.2 边坡失稳的外部因素

从调查的边坡来看，影响边坡失稳的内部因素主要有以下几个方面：

- (1) 在一定深度范围内存在软弱结构面。结构面的抗剪强度指标较小，当底部开挖后承载力减少，加之水的作用降低了滑动面的抗剪强度指标，因而造成边坡失稳。
- (2) 开挖过程中由于应力重新调整进入塑性状态，其塑性变形将危及公路路基或建筑物的安全；
- (3) 虽然边坡开挖后，岩体质量较好，尚未进入

塑性状态,但围岩总要产生一定量位移,这一位移也将影响建筑物的安全运行。例如很多路边斜坡开挖形成高陡边坡,未采取有效措施限制边坡岩体变形,边坡应力释放和坡表应力调整后产生了较大的变形甚至破坏失稳。

研究诱发因素旨在通过必要的设计、施工手段,对边坡失稳加以预防,对边坡稳定状况加以控制或对不稳定边坡进行加固处理,以确保工程施工和运行安全。而地质勘察的准确性、设计方法的正确性、施工技术的可靠性、使用维护的合理性,是减少诱因、保证治理效果的关键所在。

2 边坡类型

从此次调查情况看,边坡的地质体结构十分复杂,边坡地质体结构主要有以下四种基本类型,即:平卧或缓倾层状结构边坡;板裂结构边坡;块状结构边坡;复合结构边坡和均质边坡。

2.1 平卧或缓倾层状结构边坡

这类边坡一般为水平或近水平层状沉积岩层构成,地质构造作用轻微,层间错动不发育,层面间有一定的结合能力,属于层状地质体,多为泥质岩与砂质岩互层产出。其中泥质岩变化较大,可为粘土岩、页岩、板岩等,多构成软弱夹层。

若顺层边坡倾角加大时,会产生沿软弱层面的顺层滑坡。在边坡较高时,底部的泥质岩产生大变形,甚至可产生挤出,导致边坡上部硬岩出现崩塌。如无软弱夹层存在时,这类边坡如块状地质体结构边坡,其自身稳定性将取决于组成边坡地质体的岩性及地质体内结构面发育状况,很大程度上受结构面组合特征控制。如无临空的、倾向外的软弱结构面切割时,如岩体的强度足够高,高达100余m的陡边坡(坡角达 50° 以上)亦可自稳。如组成边坡的地质体强度较低,边坡主要由软弱岩石,或边坡岩体节理裂隙发育成为节理化边坡,边坡性质近于均质化,可出现弧形滑动破坏。

2.2 板裂结构边坡

这类边坡多为层状岩体(沉积岩或变质岩)在褶皱作用下产生层间错动,形成板裂结构地质体。这类地质体结构的边坡岩层一般为倾斜的,且倾角愈陡,板裂化愈强烈。这类地质结构边坡主要有三种类型破坏形式:

①顺层地质体边坡岩层被切断时易产生顺层滑动;

②顺层高边坡当坡脚未被切断时,易产生溃屈破坏或滑移弯曲破坏;

③反倾向岩层的边坡易产生倾倒(变形)破坏。

2.3 块状结构边坡

这类边坡主要由岩浆岩、火山熔岩、变质岩及碳酸岩构成。如无软弱结构面贯通和不利的坚硬结构面切割时,其自稳能力较高。这类地质体构成的边坡的稳定性主要控制于临空的延展较长的结构面。国道108线广元段的很多灰岩边坡便属于此类地质结构。

2.4 复合结构边坡

这类边坡的地质体结构有两种类型:

①上部为第四纪沉积物,下部为基岩构成的复合结构地质体边坡;

②上部为风化层,下部为新鲜基岩构成的复合结构地质体边坡。这类地质结构边坡最大问题是第四纪堆积层和风化残积层内常赋存有大量的潜水,它威胁着上部边坡稳定性。

岩体结构中的一个重要要素是软弱结构面。边坡地质体内的软弱结构面发育状况对边坡自稳性有极大影响。上列四种边坡地质体结构中,除板裂结构地质体外,如果没有临空的控制性软弱结构面,其自稳能力是很强的。

2.5 均质边坡

均质边坡有两种类型,一种为均质的土坡,另一种为近于散体结构或碎裂结构的岩质边坡。

岩体结构中的一个重要要素是软弱结构面。边坡地质体内的软弱结构面发育状况对边坡自稳性有极大影响。上列所列的五种边坡中的前四种边坡地质体结构中,除板裂结构地质体外,如果没有临空的控制性软弱结构面,其自稳能力是很强的。

控制性软弱结构面有顺倾向的和反向的软弱结构面,有临空的和隐伏未临空的。其中顺倾向的结构面对边坡稳定性有很大威胁。因此,在边坡调查和稳定性分析中要特别注意研究控制性结构面。软弱结构面不仅是存在有临空条件时具有控制作用,而在不存在临空的情况下亦具有控制作用。存在有临空软弱结构面的边坡很容易产生块体滑动;没有临空条件下顺向坡岩体内发育的软弱结构面,特别是层间错动面,是

边坡产生溃屈破坏和滑移弯曲的控制条件；反倾向的边坡岩体内发育的软弱结构面，主要是层间错动面或长大的节理面，是产生倾倒变形的控制条件。岩体内如果不存在软弱结构面也就不会产生溃屈破坏和倾倒变形，存在有软弱结构面，加之开挖卸荷，边坡岩体应力释放和转移，才可能出现各类变形和破坏。所以说，软弱结构面都属于控制性结构面。

对边坡稳定性具有控制作用的另一重要因素是地下水活动，统计结果表明，85%以上的边坡破坏和比较大的滑坡发生都与地下水活动有关。疏松的地质体，特别是孔隙体中的地下水已有大量的研究，不论从理论上或研究方法上都比较成熟。而裂隙岩体中的地下水活动研究的是很不够的。一般公认裂隙岩体中的地下水是沿节理、断裂带运动的。好象是对裂隙岩体中的地下水来说，地下水和裂隙是存在着依存关系似的。实际上裂隙岩体中的地下水必须通过裂隙运动，这是一方面；相反，不是所有的裂隙都有地下水活动，有的裂隙内有地下水活动，有的没有。断层带也是一样，有的是导水，有的是隔水。即使在同一个地区内有的裂隙导水，有的裂隙则不导水。原因在于有的裂隙是充填的，有的裂隙是干净的，有的裂隙是开裂的，有的裂隙是闭合的。节理面和断层面内如果充填有粘土质物质，它具有隔水作用。因此，在边坡岩体结构调查中，加强了对地下水的关注，同时对结构面的发育特征、表面形态特征和卸荷风化程度进行了系统的观测和描述。

3 边坡破坏模式

边坡破坏模式与边坡地质结构密切相关。调查中所见到的破坏模式可概括为六种：平面滑动、楔形体滑动、圆弧形滑动、倾倒变形、溃屈破坏（滑移弯曲破坏）、复合式破坏。

3.1 平面滑动模式

平面滑动的特点是岩体沿某一层面、或断层面、大节理面下滑。产生平面滑动的条件是：

- a.控制性结构面的走向与边坡近平行，在边坡上有临空面出露，即边坡角大于控制性结构面倾角；
- b.垂直于边坡走向的控制性结构面倾角大于结构面的摩擦角。
- c.地下水活动和各种振动(包括地震和大爆破)往往是这类滑动的触发因素。

3.2 楔形体滑动模式

楔形体滑动模式在公路边坡中极为常见。其基本形式是由两个或三个与边坡斜交的控制性结构面将边坡切割成楔形块体。在自重作用下沿结构面组合交线下滑，它的规模与控制性结构面分布状况有关。

3.3 圆弧形滑动模式

曲面滑动模式主要发生于第四纪堆积层、风化层、大型断层破碎带及节理密集切割的碎裂岩体内。滑面的曲率与地质体的松散程度有关。愈松散愈软弱的地质体滑面曲率半径愈小，愈密实愈坚硬的地质体滑面曲率半径愈大。第四纪粘土层的滑动面近似圆弧形，而碎裂岩体及断层松动带内滑面近似为平面形。

3.4 倾倒变形模式

当边坡岩体内存在有贯通性的反倾向的软弱结构面时，由于开挖卸荷，在地应力松弛作用下而产生向临空面倾倒变形现象。倾倒变形产生的主要原因为开挖卸荷，一旦边坡停止开挖，停止卸荷，倾倒变形相应地也停止发展；但由于倾倒已经使结构面开裂，当有水灌入时，结构面内充填物软化，还可以继续产生倾倒变形；施工过程中采用较大规模的爆破振动作用时亦可以导致继续产生倾倒变形。倾倒变形的结果在岩体内形成一条折断面，贯通整个边坡。当边坡很高时，倾倒变形所形成的临边坡的碎裂似板裂体有可能在坡脚处剪出或产生溃屈破坏，引起边坡失稳，当边坡内存在有小断层等软弱结构面切割似板裂体时亦可沿软弱结构面产生滑动破坏。

3.5 溃曲（滑移弯曲）破坏模式

受到比较强烈的褶曲作用的岩体(包括岩浆岩、沉积岩、变质岩)，层间错动比较发育，而形成板裂结构岩体。板裂结构岩体在自重作用下克服层间的摩擦力，而在剩余的下滑力作用下产生板裂体弯曲导致失稳破坏的一种破坏模式。另外，顺层状的岩体，岩层面下滑，但下滑面未临空或在坡脚附近结构面的产状发生较大的变化，这时，边坡中下部的层状岩体将在上部推理作用下发生弯曲变形。最终，在下部沿最大剪应力集中带剪切破坏。

3.6 复合式破坏模式

某边坡为一个典型的软弱基座边坡。下部为塑性

挤出变形，上部为倾倒变形。

此次边坡调查见到的边坡破坏基本模式大体上可归纳为上述六种。这六种破坏模式实际上是两种力学模型，即一种是滑动模型，另一种是板裂介质力学模型。前者宜用极限平衡滑动理论分析其稳定性，后者宜用板裂介质岩体力学理论或断裂力学理论来分析其稳定性。因此，对边坡稳定性分析来说，必须建立两种力学分析方法。

4 结论

对西南地区公路边坡的调研分析研究，揭示了边坡稳定性的控制性影响的内外因素，并对边坡进行了

分类，为治理措施的提出提供了前提条件。

参考文献

- [1] 文建华; 周翠英; 黄林冲; 程晔. 边坡稳定性分类评价的同伦模糊 C-均值聚类算法[J]. 岩土工程研究, 2012年 05 期
- [2] 陈志波; 简文彬. 边坡稳定性影响因素敏感性灰色关联分析[J]. 防灾减灾工程学报, 2006年 04 期
- [3] 任沛菘; 孙勇. 地震边坡稳定性计算的时程分析方法研究[J]. 路基工程, 2016年 04 期
- [4] 李永亮; 余成华; 马佐成; 张殿义. 网格划分对边坡稳定有限元分析的影响[J]. 水利与建筑工程学报, 2014年 06 期
- [5] 唐高朋; 赵炼恒; 李亮; 高连生; 谭悍华. 基于 MATLAB 的边坡稳定性极限上限分析程序开发[J]. 岩土力学, 2013年 06 期