

文章编号: 0451-0712(2004)12-0089-04

中图分类号: U416.14

文献标识码: B

# 水南公路挖方边坡的稳定性评价及其整治

沈小辉

(广西交通基建管理局 南宁市 530021)

**摘 要:** 水南公路挖方边坡的稳定条件极为复杂, 整治工作不仅数量大, 而且难度较大。采用系统工程地质学和岩体结构控制论的思想, 根据挖方边坡的工程地质基础和实际施工情况, 提出了适用于水南公路挖方边坡岩体的分类方法, 总结了边坡稳定规律。不仅对一般挖方边坡的稳定性做了定性评价, 还利用数字测绘技术和数值模拟技术对全线重点边坡进行了定量评价。最后对边坡整治工作提出了若干措施。

**关键词:** 水南公路; 边坡岩体分类; 稳定性评价; 边坡整治

广西省河池(水任)~南宁公路(简称水南公路)是重庆~湛江国道主干线的重要路段, 全长 236.6 km, 大部分路段位于山岭重丘区。沿线石灰岩岩溶地区坡陡岭峻, 沟壑纵横, 深挖路堑多达 100 余处, 边坡高度一般为 30~80 m。由于该地区地质构造较为复杂, 断裂和褶皱较发育, 石灰岩层理发育, 并伴有溶洞等不良地质问题, 部分路段岩石为泥质页岩、炭质页岩, 岩体软弱破碎。同时地表水和岩溶地下水较丰富, 强降雨季节时间长。深挖路堑边坡的稳定问题较突出, 工程开工后, 按原设计坡比进行路堑开挖, 不少边坡存在不同程度的变形或失稳情况, 而且个别路段存在大型滑坡体。考虑到当今高等级公路建设中对边坡的稳定和美观以及与自然环境的协调等方面的较高要求, 避免公路在施工和运营中出现边坡破坏和山体塌方, 就全线深挖路堑边坡的稳定性评价

及其整治组织了系统的专题研究和处置。

## 1 挖方边坡的工程地质基础

水南公路挖方边坡的地层和岩性主要为: 泥盆系、石炭系、二迭系和三迭系的石灰岩、页岩和泥岩, 第三系的泥岩和粉砂岩, 第四系的冲洪积层粘土和砂砾土; 另外, 在南宁盆地边缘出露有寒武纪砂岩。其岩组可以划分为碎屑岩建造岩组和碳酸盐建造岩组, 沿线地区属广西省山字型构造体系的前弧西翼的一部分, 有华力西—印支构造层出露, 总体呈北西向构造。

## 2 挖方边坡岩体分类

水南公路的挖方边坡岩体由于岩性、产状和风化程度等不同, 在不同的坡形设计和开挖中表现为

收稿日期: 2004-09-16

土+38 cm 水泥稳定碎石+20 cm 二灰稳定土, 造价 215 元/m<sup>2</sup>。

(2) 采用路面结构组合 I, 如水泥稳定碎石基层厚度增加到 50 cm, 则造价约为 236 元/m<sup>2</sup>, 与常用路面结构相比, 造价增加 10%。

(3) 采用路面结构组合 II, 如粗粒式沥青混凝土层厚度增加到 25 cm, 则造价约为 285 元/m<sup>2</sup>, 与常用路面结构相比, 造价增长 32.6%; 如粗粒式沥青混凝土层厚度增加到 30 cm, 则造价约为 312 元/m<sup>2</sup>, 与常用路面结构相比, 造价增长 45.1%。

## 参考文献:

- [1] JTG D40-2002, 公路水泥混凝土路面设计规范[S].
- [2] JTJ 014-1997, 公路沥青路面设计规范[S].
- [3] 邓学钧, 黄晓明. 路面设计原理与方法 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2001.
- [4] 朱照宏, 许志鸿. 柔性路面设计理论和方法 [M]. 同济大学出版社, 1987.
- [5] (美) 黄仰贤. 路面分析与计算 [M]. 北京: 人民交通出版社, 1998.
- [6] 姚祖康, 朱以敬. 道路路面工程 [M]. 北京: 中国建筑出版社, 1984.

不同的边坡岩体类别,这是进行稳定性评价和整治设计的地质基础。根据通用、系统和实用的原则,水南公路的挖方边坡岩体可以分为 4 大类 10 个亚类,见表 1。

表 1

结构类型		亚 类		地质描述
代号	名称	代号	名称	
I	块状结构	I — 1	块状结构	岩性单一,构造变形轻~中等的厚~巨厚层石灰岩、溶洞角砾岩。
II	层状结构	II — 1	顺层缓倾结构	薄~厚层的石灰岩、砂岩或微风化的页岩,岩层走向与路线走向呈小角度(小于 30°)相交,岩层倾向与边坡倾向一致,岩层倾角小于边坡倾角。
		II — 2	顺层陡倾结构	薄~厚层的石灰岩或微风化的页岩,岩层走向与路线走向呈小角度(小于 30°)相交,岩层倾向与边坡倾向一致,岩层倾角大于边坡倾角。
		II — 3	顺层同倾结构	薄~厚层的石灰岩或微风化的页岩,岩层走向与路线走向呈小角度(小于 30°)相交,岩层倾向与边坡倾向一致,岩层倾角接近于边坡倾角。
		II — 4	反倾层状结构	薄~厚层的石灰岩或微风化的页岩,岩层走向与路线走向呈小角度(小于 30°)相交,岩层倾向与边坡倾向相反。
		II — 5	横向层状结构	薄~厚层的石灰岩或微风化的页岩,岩层走向与路线走向呈大角度(大于 30°)相交。
III	碎裂结构	III — 1	块状碎裂结构	由厚~巨厚层的石灰岩、砂岩或溶洞角砾岩受强烈构造或重力变形作用而形成块状碎裂岩块组成的坡体。
		III — 2	层状碎裂结构	由薄~厚层的石灰岩、砂岩或中风化的岩页、泥岩受强烈构造或重力变形作用而形成层状碎裂岩块组成的边坡体。
IV	散体结构	IV — 1	全、强风化体	由全、强风化的页岩、泥岩或砂岩形成的近似于碎石土或土质的松散物质组成的边坡体。
		IV — 2	土质结构	由第四系的冲洪积层粘土、砂砾土组成的边坡体。

3 挖方边坡的稳定性规律

由于路线是循低垭口及低山矮岭内通过,挖方边坡一般是开挖山体斜坡而获得的人工边坡,挖深相对于水电和矿山等工程的边坡要小,一般为几十米,因此接近地表的斜坡岩体在演化过程中的重力变形结果和风化、剥蚀程度是影响边坡的稳定状况的最关键因素。从全线挖方边坡的现场考察情况看,影响稳定性的主要非构造营力作用规律有以下几种。

(1)对于中~薄陡倾(倾角大于 45°)顺层岩体,只要在斜坡演化过程中有滑移~弯曲变形迹象,则层间强度大大降低,表现为层面可见锈染,甚至充填有粘土,并且垂直于层面的多组切割裂隙也很发育。不论其岩性和风化程度如何,也不论岩层倾角与边坡倾角关系如何,其挖方边坡的稳定性都是较差的。比如 K132+850~K132+920 右边坡、K133+180~K133+320 左边坡、K137+800~K137+900 右边坡及 K150+950 左边坡等都属于这类情况,因此在整治中必须注意这类边坡,尤其是那些貌似稳定的厚层顺层的石灰岩边坡,目前虽然坡面整齐,也很稳定,但是在切脚开挖后,由于卸荷和雨水的作用,其长期稳定性往往难以保证。

(2)对于中~厚缓倾(倾角小于 30°)顺层岩体,尤其是第九合同段南宁盆地边缘的寒武纪弱风化砂岩,只要层面发育,并且发育着 2 组垂向共轭节理,在切脚开挖后,由于卸荷和雨水的作用,边坡岩体发生蠕滑—拉裂变形和破坏是难以避免的。比如 K313+200~K313+580 右边坡和西津立交 G0+150~G0+300 右边坡等都属于这类情况。

(3)一般的反倾岩体边坡的整体稳定性较好,但是对于薄~中厚层状石灰岩,由于反倾岩层在斜坡演化过程中,接近临空面的岩体大多发生过弯曲—拉裂变形或破坏,因此挖方边坡的坡面一定深度内的反倾岩体发育着拉裂结构面,并有崩落的可能性,其坡面的局部稳定性较差,如不进行坡面防护,公路运营时,发生坡面落石事故的可能性较大。

(4)对于由各类页岩和泥岩组成的挖方边坡,不论是顺层还是反倾的,尽管边坡成形时的稳定性较好,但是这类岩体经开挖暴露后,能快速风化、崩解,一旦边坡过陡时,发生局部坍塌的可能性较大。比如 K97+310~K97+360 左边坡和 K97+365~K97+600 左边坡等都属于这类情况,而且这种破坏情形在雨季中发生较普遍。

(5) 各类横向边坡(岩层走向与路线走向大角度相交,注意与缓倾顺层边坡的区别),即便是开挖暴露后易风化的页岩或泥岩边坡,其稳定性也较好。对于一般的石灰岩边坡可以不做防护,对于页岩或泥岩边坡,只做较弱的坡面防护即可。

(6) 各类土质边坡的稳定性取决于土体自身的自稳能力,即土体本身的内摩擦角和粘结力。比如 K137+800~K137+900 右边坡下部的 2 级土质边坡,至今仍然按照 1 : 0.75 放坡,并且现在开始进行护坡施工。显然,这样的边坡是不稳定的,将来必定坍塌,宜停止护坡施工,继续放缓是适宜的办法。另外,对于第五、六合同段的一些土质边坡,由于降雨形成的地表径流对坡面的局部稳定和美观影响较大,根据土质采用不同的坡面防护措施是必要的。

4 挖方边坡的稳定性评价

4.1 评价方法和原则

根据公路工程路堑边坡的特点,在进行稳定性评价时要充分考虑:工程地质条件与施工条件(开挖与防护)相结合;边坡施工稳定与运营稳定相结合;区域地质特征与局部地质构造相结合;评价结果的合理性与可操作性相结合;一般评价与重点研究相结合。

4.2 边坡稳定性分析考虑的因素

边坡稳定性分析所要考虑的因素主要有:坡体物质组成(土、岩性);边坡形式(坡高、坡比和台阶等);主要岩体结构面与边坡坡面的关系;岩体完整性;水文、地质条件;施工条件(开挖方案、开挖顺序和爆破方法等);防护方法;有无滑动面。

4.3 评价结果与处置措施

根据上述评价原则,将水南公路深挖路堑边坡的稳定性分为 3 类。

(1) 基本稳定:边坡整体稳定,坡体无贯通性不利结构面,坡面完整或有个别危石、浮石,坡顶尚需清理。

(2) 稳定性较差:边坡整体基本稳定,但是局部有不利结构面交切形成的不稳定块体;土质边坡放坡过陡导致坡面局部坍塌。

(3) 不稳定:边坡整体不稳定,坡体存在长大贯通性滑动面,可直接导致边坡体整体失稳。

对全线 68 个路堑边坡进行定性评价,其中的 53 个由于地质条件简单、稳定性较好,在地质调查完成后直接提出了合理的边坡形式及其防护措施。另外的 15 个重点边坡因其地质条件复杂、挖深较大且整体

稳定性差,对工程影响巨大,还进行了更深入研究。

经历了 2 个雨季的考验和 1 年多的边坡整治,水南公路全线挖方边坡的总体稳定状况较好。全线 92% 以上的挖方边坡整体稳定性较好,表现为基本稳定或只是存在局部稳定性较差;约有 8% 以下的挖方边坡整体稳定性仍然较差,其中约有 8~10 个边坡的坡体存在 1 级或多级滑面的滑坡,稳定性极差,水南公路深挖路堑边坡的稳定性评价结果如图 1 所示。对于局部稳定和不稳定的边坡,采取了有针对性的加固措施。

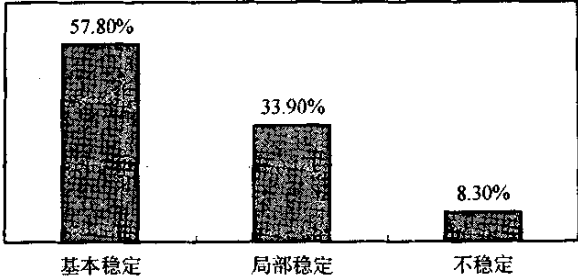


图 1 水南公路深挖路堑边坡稳定性评价结果

4.4 重点边坡的评价方法

采用了边坡勘测——分析——设计一体化的综合技术,即以自反射激光全站仪+数码相机+公路设计软件 CARD/1+离散元数值模拟软件 UDEC+边坡稳定性分析计算程序为核心的集成技术,遵循系统工程地质思想,对 15 个边坡进行了系统研究。UDEC 对岩土体的模拟与实际的物理过程是一致的,可以模拟生成初始地应力场,以及开挖、回填和加固等过程,对边坡的参数反演、变形破坏机制分析以及加固效果评价十分有效。在此基础上提出了设计方案,并对几个典型边坡的加固进行了初步设计。

5 挖方边坡的整治措施

水南公路挖方边坡的整治工作,普遍采用重力式挡土墙、抗滑桩、锚杆和锚索等形式加固坡体,采用挂网喷射混凝土、浆砌片石护坡(包括护面墙)和拱肋护坡等形式防护坡面。对防护形式和加固参数的设计上注意了以下几点。

5.1 关于挡土墙

挡土墙属被动支挡加固措施,有着固脚作用,尤其适用于坡脚失稳、坡脚软弱或坡体松散的挖方边坡整治。整治设计中根据类似的地质原型合理使用,有些情况还考虑采用其他形式的挡土墙,比如桩板挡土墙,可以使用在坡体潜在滑面位于路基面以下的边坡

加固中。对于坡脚稳定的边坡使用挡土墙则没什么必要。

### 5.2 关于锚杆

锚杆设计时分清锚杆功能和锚固对象进行设计。在挖方边坡的整治中,锚杆的功能分为结构锚固和挂网构件 2 种,结构锚固型的锚杆担负着加固边坡岩层的作用,其锚固长度不宜太短(一般不小于 3 m),而挂网构件只是用于固定钢筋网,其长度一般不超过 2 m。

锚杆的功能和参数一般根据边坡岩土结构体和可能的破坏面来确定,比如对于顺层岩石边坡,坡面岩体是否发生过重力蠕滑变形迹象,决定设计所采用的锚杆长度和间距不一样,但是 2 种情况都考虑采用结构锚固锚杆;对于反倾岩石边坡,坡面岩体是否发生过重力弯曲—拉裂变形迹象,则设计所采用的锚杆类型都不一样;而对于横向岩体边坡,设置结构锚固锚杆的作用不太大,只要是不易风化的岩石,尽管层面发育,稳定性也很好,但是对于易风化的岩石,需要的是放缓边坡,仅靠锚杆加固是难以奏效的。

对于某些土质边坡或者全、强风化的页岩、泥岩边坡一样可以采用锚杆加固,可以认为是土钉。但是在公路挖方边坡中使用有限,因为可以用成本低廉的放缓边坡方式来解决这类边坡的稳定问题。但是水南公路上存在一些挖方边坡,坡比尽管放到大于 1:1.5,坡面仍然有局部坍塌,甚至采取浆砌片石或拱肋护坡等防护形式还是局部坍塌,这是由于潜在的岩层滑面和水的的作用,实际考虑采用挂网联锚喷合防护是有效而合理的,但是锚杆的长度不能太短,一般不小于 4 m,而且间距要密。

### 5.3 关于护坡

拱肋护坡和浆砌片石护坡的适用条件要弄清。水南公路地处生态脆弱的广西区石灰岩山区,考虑边坡的生态恢复是必要的。原设计挖方边坡的坡面防护多采用拱肋护坡,便于坡面植草。从现场考察结果看,对于坡比较缓、坡体土质主要为第四系土或者坡面不存在潜在岩层滑面的挖方边坡,只要做好坡顶截水和坡面排水设施,采用可绿化的拱肋护坡仍然是第一选

择。但是对于那些遇水极易崩解、局部稳定受水影响极大,而且不利于植物生长的风化岩石边坡,需要采用全坡面封闭防护的边坡,就地取材,选择浆砌片石护坡防护也是可行的。

### 5.4 关于水的危害

防、排水对水南公路挖方边坡的整治是至关重要的。强降雨下渗的地下水对各类岩石边坡或岩土混合边坡的危害性远大于土质边坡,这是石灰岩山区公路边坡的特征。水对岩石边坡的危害作用包括 2 个方面:一是对岩体中控制性不利弱结构面(层面或节理面,也包括滑面)的软化,使得结构面的层间强度明显降低;二是空隙水压力对结构体失稳的触发作用。水南公路约有 85% 以上严重坍塌的挖方边坡都属于水对岩石边坡或岩土混合边坡的危害作用结果,不认识到这一点,即便有好的整治措施,在实施中也会失败。

对于大部分土质边坡,除了存在滑坡体,只要坡比缓于土体的自身稳定坡比,水的危害仅仅引起坡面局部坍塌或坡面冲蚀,对于坡体的整体稳定性影响不大。如果坡比过陡则是另外的情况,因为水的作用必然会影响坡体的自身稳定性。

### 参考文献:

- [1] 张雨化. 道路勘测设计[M]. 北京:人民交通出版社, 1996.
- [2] JTJ 013—95, 公路路基设计规范[S].
- [3] 张倬元,王士天,王兰生. 工程地质分析原理[M]. 北京:地质出版社, 1994.
- [4] 孙国富,等. 广西河池(水任)至南宁公路深挖路堑边坡稳定性评价及加固方案研究[R]. 北京:北京工业大学建工学院, 2002.
- [5] 王泳嘉,邢纪波. 离散单元法及其在岩土力学中的应用[M]. 沈阳:东北工学院出版社, 1991.
- [6] Anderson M G, Richards K S. Slope Stability [M]. John Wiley & Sons, New York, 1987.
- [7] Goodman R E Introduction to Rock Mechanics [M]. John Wiley & Sons, New York, 1989.
- [8] Hoek E. Rock Slope Engineering [M]. Insti Min Metal, London, 1977.