

# 公路路基边坡稳定性影响因素与防护

吕守云

云南云岭高速公路工程咨询有限公司 云南 昆明 650200

**【摘要】**：公路修建及长期运行期间，边坡容易受到地质状况、水文情况、气候条件以及施工运营等诸多方面的影响而产生滑坡、坍塌、剥落等病害现象，进而造成道路受损、交通受阻等状况的发生。本文对影响公路路基边坡稳定的各类主要因素进行系统的分析，总结稳定性分析计算方法，结合工程实际情况对主流防护技术进行梳理，提出结论及建议措施，为公路路基边坡的设计、施工和养护加固提供技术支持，提高公路工程的安全性和耐久性。

**【关键词】**：公路路基；边坡稳定性；影响因素；防护技术；工程养护

DOI:10.12417/2811-0722.26.07.048

## 引言

我国山区、丘陵区公路建设所占比例越来越高。此类区域地形地貌复杂，路基开挖填筑工作量大，产生高低不平、坡度不同的路基边坡。路基边坡属于公路工程的附属结构，边坡稳定状况关系到整个公路的安全运行。本文根据公路工程实践经验，对边坡稳定性影响因素进行全方位的分析，总结稳定性分析计算方法，给公路边坡工程的提质增效提供理论和实践支持。

## 1 公路路基边坡稳定性核心影响因素

### 1.1 内在地质地形因素

#### 1.1.1 岩土体物理力学性质

岩土体性质是决定边坡稳定性的主要因素，不同种类的岩土体结构强度、抗剪性能、透水性差别较大，直接影响到边坡的初始稳定状况。粘性土土体粘聚力大，整体成型效果好，但是遇水极易软化，同时具有干湿收缩膨胀性，含水率小的改变会引起土体整体强度大幅度下降。砂土土质松散、颗粒间粘聚力小，自身抗冲刷、抗滑移能力差，在水流冲刷和外力扰动下，很容易发生坡面冲刷和浅层滑移。风化岩层岩体破碎、节理裂隙密集发育，结构完整性差，整体承载和抗变形能力低，是边坡失稳的高发岩土类型。

#### 1.1.2 区域地质构造条件

地质构造状态对边坡内部结构完整性、稳定性的直接影响是断层、褶皱、节理裂隙发育区，岩土体原有的完整结构被破坏，内部产生大量的软弱结构面。当边坡坡面走向和软弱结构面走向基本一致、倾角较小的时候，边坡内部就会出现连续滑动通道，大大提高了滑坡发生的概率。路基开挖造成卸荷回弹作用以及区域地应力分布变化，会引发边坡岩体开裂扩张，进而加重结构破损，给雨水入渗、岩土体风化赋予方便通道，不断削弱边坡稳定性。

#### 1.1.3 边坡几何形态参数

边坡高度、坡度、断面形式等几何参数属于影响边坡受力状况的关键指标。边坡坡度越陡、整体高度越大，岩土体自重

产生的剪切应力就越大，边坡整体抗失稳储备能力就越差。高陡边坡有大面积临空面，岩土体侧向约束力严重不足，即使受到轻微的外力干扰，也会出现形变失稳。平缓低矮边坡土体受力均匀、应力分布合理、剪切应力小、整体稳定性好，病害发生率大大降低。

### 1.2 外在环境气候因素

#### 1.2.1 水文条件影响

水文条件属于引起边坡失稳的主要外部因素，具有持续性、破坏性等特点。降雨入渗是边坡失稳的主要原因，雨水渗透到边坡土体内部之后，土体含水率迅速增加，软化岩土体结构，大大降低土体抗剪强度和颗粒粘聚力。大量雨水入渗会造成坡体内渗透压力和动水压力增大，从而增大边坡整体下滑力，完全破坏了土体原有的受力平衡。持续降雨或者暴雨的时候，土体全部饱和软化，边坡失稳的概率就会突然增大。地表水径流冲刷、地下水长期渗流都会不断侵蚀边坡内部的软弱结构面，不断扩大破损范围，引发各种边坡病害。

#### 1.2.2 突发地质灾害影响

地震等突发地质灾害属于偶然性强、破坏性极大的外部诱因。地震引起的持续震动会使边坡岩土体产生附加惯性力，完全破坏边坡原有的应力平衡状态，瞬间降低边坡的整体稳定性，可以直接引发滑坡、坍塌等重大边坡灾害。这类灾害对于高边坡、破碎岩层边坡、填土松散边坡的破坏作用尤其明显，容易造成大面积边坡损毁，并且灾后边坡修复工作十分困难。

## 2 公路路基边坡稳定性分析

### 2.1 高路堤与陡坡路堤

高路堤堤身圆弧滑动安全系数计算采用简化毕肖普法：

$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{m_{ai}} [c_i b_i + (W_i + Q_i) \tan \phi_i]}{\sum_{i=1}^n (W_i + Q_i) \sin \alpha_i} \quad (1)$$

其中：

$$m_{ai} = \cos \alpha_i + \frac{\tan \phi_i \sin \alpha_i}{F_s} \quad (2)$$

式中： $F_s$ 为稳定系数； $b_i$ 为计算土条宽度； $c_i$ 、 $\varphi_i$ 为计算土条滑面黏聚力、内摩擦角； $\alpha_i$ 为计算土条滑面倾角； $W_i$ 为计算土条单位宽度自重； $Q_i$ 为计算土条单位宽度竖向方向外力。

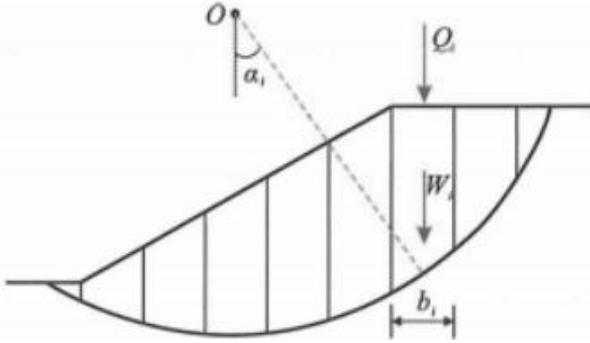


图1 高路堤

沿路堤与原始地形斜坡结合面滑动稳定性分析采用计算剩余下滑力的不平衡推力法：

$$E_i = E_{i-1}\psi_{i-1} + W_{Qi}\sin\alpha_i - \frac{W_{Qi}\cos\alpha_i\tan\varphi_i + c_i l_i}{F_s} \quad (3)$$

其中上一条块滑坡推力传递至本条块的传力系数：

$$\psi_{i-1} = \cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - \frac{\sin(\alpha_{i-1} - \alpha_i)\tan\varphi_i}{F_s} \quad (4)$$

计算需满足 $E_n = 0$ ，以此确定稳定系数 $F_s$ 。式中： $E_i$ 为本条块传递给下一条块的下滑力； $E_{i-1}$ 为上一条块传递给本条块的下滑力； $W_{Qi}$ 为本条块重力与竖向荷载的合力； $\alpha_i$ 、 $\alpha_{i-1}$ 为本条块和上一个条块滑面倾角； $c_i$ 、 $\varphi_i$ 为本条块黏聚力、内摩擦角； $l_i$ 为本条块滑面长度。第 $n$ 条的剩余推力 $E_n$ 为零，由此确定稳定系数 $F_s$ ，用规定的 $F_{st}$ 替换 $F_s$ 计算滑坡推力 $E_n$ ，或令 $E_n = 0$ 反算 $c$ 、 $\varphi$ 值。

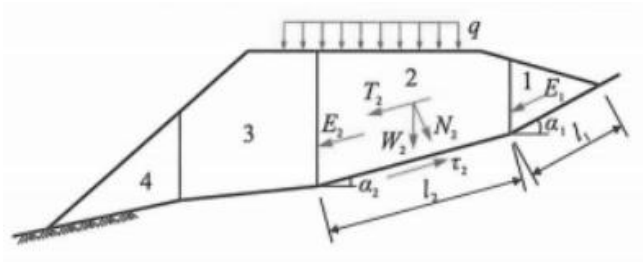


图2 路堤沿斜坡地基

## 2.2 深路堑挖方边坡

深路堑挖方边坡稳定性计算方法：均匀土层边坡和极其破碎的全风化岩石边坡采用圆弧滑动简化毕肖普法；直线滑动可能性较大的边坡采用直线滑动稳定分析法；发生折线滑动可能性大的边坡采用不平衡推力传递系数法；对于结构面，如节理、裂隙面、层面，具有一定规律的边坡，结合赤平投影分析，综合判断边坡的稳定性；边坡破坏情况难以用经典力学计算方法计算时，采用有限元方法，建立符合实际的数值模型进行模拟分析。

## 2.3 公路滑坡范围的路基边坡

计算主要考虑天然（无地震暴雨、连续降雨）、暴雨或连续降雨、地震3种情况：

表1 公路滑坡范围路基边坡稳定计算需要主要考虑的3种情况

|      |                    |
|------|--------------------|
| 一般情况 | 天然，无异常地下水、地表水时     |
| 情况1  | 暴雨或连续降雨时岩土体饱和、异常渗流 |
| 情况2  | 发生地震时              |

稳定系数应大于表2中列出的数值。对于情况2，稳定系数计算应符合《公路抗规》中相关要求。

表2 公路滑坡范围路基边坡稳定系数 $F_{st}$ 取值

| 分析计算情况 | $F_{st}$ |          |          |
|--------|----------|----------|----------|
|        | 一级~高速路   | 二级路      | 三~四级路    |
| 一般情况   | 1.2-1.3  | 1.15-1.2 | 1.1-1.15 |
| 情况1    | 1.1-1.2  | 1.1-1.15 | 1.05-1.1 |

剩余下滑力采用传递系数法：

$$T_i = F_s W_i \sin\alpha_i + \psi_i T_{i-1} - W_i \cos\alpha_i \tan\varphi_i - c_i L_i \quad (5)$$

其中： $\psi_i = \cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - \sin(\alpha_{i-1} - \alpha_i)\tan\varphi_i$

条块作用力如图所示， $T_i < 0$ 时，取 $T_i = 0$ ；最后1个条块的剩余下滑力 $\leq 0$ 时，稳定； $> 0$ 时，不稳定。式中： $T_i$ 、 $T_{i-1}$ 为本条块及上一条块滑坡推力； $F_s$ 为稳定安全系数； $W_i$ 为本条块重力； $\alpha_i$ 、 $\alpha_{i-1}$ 为本条块及上一条块对应的滑弧倾角； $\psi_i$ 为上一条块滑坡推力传递至本条块的传力系数，可 $\geq 1$ ； $\varphi_i$ 为本条块滑动带内摩擦角； $c_i$ 为本条块滑动带黏聚力； $L_i$ 为本条块滑面长度，用规定的 $F_{st}$ 替换 $F_s$ 计算滑坡推力 $T_n$ ，或令 $T_n = 0$ 反算 $c$ 、 $\varphi$ 值。

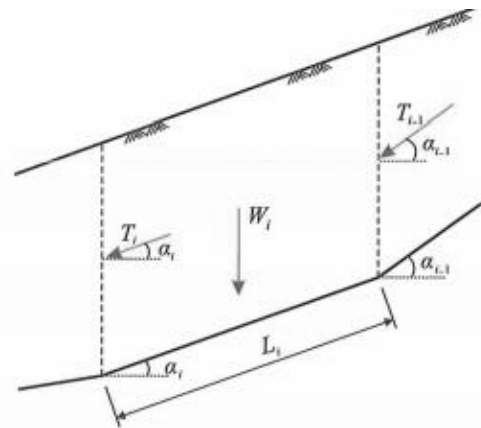


图3 条块作用力

## 3 公路路基边坡主流防护技术

### 3.1 刚性防护技术

#### 3.1.1 坡面硬质封闭防护

坡面硬质封闭防护主要采用浆砌片石护坡、混凝土护坡两

种形式。浆砌片石护坡用水泥砂浆砌筑片石构成连续的整体防护面层,能很好地封闭坡面岩土体,隔绝雨水、风力的侵蚀作用,防止坡面剥落、冲刷病害的发生。该技术施工工艺成熟、造价低、防护耐久性好,适合于土质、风化岩质等大多数常规边坡。混凝土护坡分为现浇混凝土护坡和预制混凝土块护坡,整体强度高、结构整体性好,能抵抗强水流冲刷和外力扰动,常用于沿河、临水路基边坡和高填方边坡的防护加固。

### 3.1.2 支挡式刚性防护

该类防护适用于地形受限、边坡坡度大、土体侧压力集中的路段,常见的有重力式、悬臂式、锚杆式挡土墙。刚性防护整体防护性能较好,但是存在明显的不足,结构柔韧性差、适应地基形变能力低,长期运行后容易产生开裂、脱落现象,而且生态适配性差,会破坏沿线的自然景观,抑制植被自然生长。

### 3.2 柔性防护技术

主要为网类柔性防护,分为主动防护和被动防护两种形

式。主动网防护就是在坡面上铺上高强度钢丝绳网,用锚杆、支撑绳固定,把破碎的岩体全部约束在坡面上,防止岩体脱落、坍塌,并且保留坡面的排水通道,防止积水入渗软化土体。被动防护网主要设置在边坡坡脚和坡面平缓处,可以拦截边坡滑落的碎石、土体,阻挡小型坍塌物下移,保护路基结构和行车安全,防控边坡次生灾害。

## 4 结论

公路路基边坡稳定性受地质地形、环境气候、人为工程等多方面因素相互影响,各种因素相互作用共同决定边坡的安全状况。公路边坡工程及运维全过程要准确判断边坡稳定的主要影响因素,坚持因地制宜、综合治理的思想。根据科学的差异化防护方案,严格控制施工全过程质量,完善坡面综合排水系统,建立常态化养护监测机制,从各个方面提高路基边坡稳定性。同时顺应绿色交通的发展趋势,大力推广生态组合防护技术,兼顾工程安全和生态保护,实现公路边坡工程的长效稳定、绿色可持续发展,给公路长期安全运营提供强有力的保障。

## 参考文献:

- [1] 吴俊扬,朱彬彬,骆超群.降雨条件下考虑多因素耦合的公路路基边坡稳定性分析[J].居业,2026,(04):154-156.
- [2] 李清.公路路基边坡稳定性分析及支护设计[J].四川水泥,2026,(04):170-171.
- [3] 杨婷.山区公路路基边坡稳定性分析及防护体系设计[J].交通世界,2026,(Z1):97-99.
- [4] 孙斌.公路路基边坡稳定性及锚固加固措施分析[J].工程技术研究,2025,10(19):166-168.
- [5] 张越超.公路路基边坡稳定性及防治措施应用探析[J].城市建设,2025,(17):74-76.