

# 降雨作用下川藏铁路高陡边坡稳定性分析及监测

## Stability Analysis and Monitoring of High and Steep Slopes on the Sichuan Tibet Railway under Rainfall

唐潇 杨锋

Xiao Tang Feng Yang

重庆北方地质工程勘察有限公司 中国·重庆 401520

Chongqing North Geological Engineering Survey Co., Ltd., Chongqing, 401520, China

**摘要:** 论文主要研究了降雨对川藏铁路高陡边坡稳定性的影响。通过对地质条件、边坡形态特征和边坡变形破坏案例的分析,深入探讨了降雨对高陡边坡稳定性的影响机理,包括边坡渗透系数的改变、地下水位变化对边坡力学性质的影响以及边坡安全系数的计算。同时,论文还介绍了边坡监测与预警技术,并通过川藏铁路边坡监测案例进行了实证分析。

**Abstract:** This paper mainly studies the impact of rainfall on the stability of high and steep slopes on the Sichuan Tibet Railway. Through the analysis of geological conditions, slope morphology characteristics, and slope deformation and failure cases, the impact mechanism of rainfall on the stability of high and steep slopes was deeply explored, including changes in slope permeability coefficient, the impact of groundwater level changes on slope mechanical properties, and the calculation of slope safety coefficient. At the same time, this paper also introduces slope monitoring and early warning technology, and conducts empirical analysis through slope monitoring cases of the Sichuan Tibet Railway.

**关键词:** 川藏铁路; 高陡边坡; 稳定性分析; 降雨影响

**Keywords:** Sichuan Tibet Railway; high and steep slopes; stability analysis; rainfall impact

**DOI:** 10.12346/etr.v5i9.8562

## 1 引言

随着川藏铁路的建设和运营,其沿线的高陡边坡稳定性问题日益突出。特别是在降雨条件下,边坡稳定性问题更为严重。因此,对降雨对高陡边坡稳定性的影响进行深入研究,对于保障川藏铁路的安全运营具有重要意义。论文旨在通过对川藏铁路高陡边坡工程情况的介绍,分析降雨对高陡边坡稳定性的影响机理,并探讨边坡监测与预警技术,以期为川藏铁路的安全运营提供理论支持和实践指导。

## 2 川藏铁路高陡边坡工程情况介绍

### 2.1 地质条件分析

川藏铁路沿线地质条件复杂多变,主要包括岩性、构造、地貌和气候等因素。岩性主要包括花岗岩、片麻岩、石英砂岩、页岩等,这些岩石的力学性质和耐候性各不相同,对边

坡稳定性有重要影响。构造上,川藏铁路沿线处于青藏高原东南缘,地壳运动活跃,断裂发育,这对边坡稳定性也产生了重要影响。地貌上,川藏铁路沿线多山地,地形起伏大,边坡陡峭,这增加了边坡稳定性的难度。气候上,川藏铁路沿线气候多变,降雨量大,冻融作用明显,这些都对边坡稳定性产生了影响。因此,对川藏铁路高陡边坡的地质条件进行深入分析,对于保证边坡的稳定性具有重要意义<sup>[1]</sup>。

### 2.2 边坡形态特征

川藏铁路沿线的高陡边坡形态特征多样,主要表现为边坡高度大、坡度陡、坡形复杂。由于地质条件的影响,边坡可能出现直立、倾斜、曲折、分段等多种形态。直立的边坡通常在硬岩区域出现,这种边坡稳定性相对较好,但是一旦发生破坏,后果通常非常严重。倾斜的边坡多见于软弱岩层,这种边坡稳定性较差,容易发生滑坡。曲折的边坡则是由于

【作者简介】唐潇(1988-),男,中国重庆人,本科,工程师,从事岩土工程研究。

地质构造作用和侵蚀作用共同作用,这种边坡稳定性介于直立和倾斜之间。分段的边坡则是由于地质条件变化引起的,每一段的稳定性可能都不同。

### 2.3 边坡变形破坏案例

在川藏铁路的建设和运营过程中,由于地质条件复杂和气候条件恶劣,高陡边坡的变形破坏案例时有发生。以下是一些典型的案例。

**岷江深切谷地段:**在这个地段,由于地质条件复杂,加之降雨和地震等自然因素的影响,曾经发生过严重的边坡滑坡事件。滑坡导致铁路线路中断,给铁路运营带来了严重影响。

**雅鲁藏布江大峡谷:**在这个地段,由于地形陡峭,岩石风化严重,加之降雨侵蚀作用强烈,边坡稳定性差,曾经发生过多次边坡崩塌事件。

**念青唐古拉山地段:**在这个地段,由于海拔高、气候恶劣、冻融作用强烈,边坡变形破坏问题十分严重。尤其是在雨季和冬季,边坡滑坡和崩塌事件频发。

以上案例表明,川藏铁路沿线的高陡边坡稳定性问题十分严重,需要进行深入研究和有效监测。同时,也说明了降雨对边坡稳定性的影响不容忽视<sup>[2]</sup>。

## 3 降雨对高陡边坡稳定性的影响机理

### 3.1 边坡渗透系数改变

降雨对边坡稳定性的影响主要体现在边坡的渗透系数上。渗透系数是描述水分在土体中渗透能力的一个参数,它直接影响到边坡的稳定性。当降雨发生时,水分会渗入边坡,使得边坡的渗透系数发生变化。降雨会增加边坡土体的湿度,使得土体的饱和度提高。这将导致边坡的渗透系数增大,从而增加了边坡的不稳定性。因为当土体饱和度提高时,土体内部的孔隙水压力也会随之增大,这将降低土体的抗剪强度,从而降低了边坡的稳定性。降雨还可能导致边坡表面的侵蚀,这将改变边坡表面的形态和结构,从而改变了边坡的渗透系数。例如,降雨可能会冲刷掉边坡表面的松散物质,使得边坡表面变得更加光滑,这将减小边坡的渗透系数。而当边坡的渗透系数减小时,降雨水将更容易在边坡表面形成积水,这将增加了边坡的不稳定性。因此,降雨对高陡边坡稳定性的影响机理主要是通过改变边坡的渗透系数来实现的。这就需要在设计和施工过程中,充分考虑到降雨对边坡渗透系数的影响,采取相应的防治措施,以保证川藏铁路高陡边坡的稳定性。

### 3.2 地下水位变化对边坡力学性质影响

地下水位的上升会增加边坡土体的饱和度,使得土体的孔隙水压力增大。这将导致土体的抗剪强度降低,从而降低了边坡的稳定性。当土体饱和度提高到一定程度时,可能会引发边坡的滑动或崩塌。地下水位的上升还可能改变土体的物理性质,如密度、孔隙率和渗透性等。这些改变可能会进

一步影响边坡的稳定性。例如,当地下水位上升时,土体的密度可能会降低,这将降低土体的抗剪强度;而土体的孔隙率和渗透性可能会增大,这将增加土体的饱和度和孔隙水压力,从而降低边坡的稳定性。降雨通过改变地下水位,对边坡力学性质产生了重要影响。在川藏铁路高陡边坡的设计和施工过程中,必须充分考虑到降雨对地下水位变化的影响,并采取相应的防治措施,以保证边坡的稳定性。

## 4 边坡监测与预警技术

### 4.1 边坡裂缝监测

边坡裂缝的监测是评估边坡稳定性的重要手段。裂缝是边坡变形和破坏的前兆,通过对裂缝的监测,可以及时发现边坡的不稳定迹象,从而采取相应的防治措施。裂缝监测主要包括裂缝的宽度、深度和延伸方向的监测。裂缝宽度的监测可以通过裂缝计或裂缝塞进行;裂缝深度的监测则需要使用深度探针或声波探测器;而裂缝延伸方向的监测则需要结合地质调查和地质雷达等技术。在降雨条件下,由于水分会渗入裂缝,使得裂缝内部的压力增大,可能会导致裂缝的扩展。因此,降雨期间对裂缝的监测尤为重要。同时,由于降雨可能会改变边坡的渗透系数和地下水位,在进行裂缝监测时,还需要同时对这些因素进行监测<sup>[3]</sup>。

### 4.2 地下水位监测

地下水位的监测是评估边坡稳定性的另一个重要手段。地下水位的监测直接影响边坡的力学性质和稳定性。因此,对地下水位的实时监测和预测是保证边坡稳定性的关键。地下水位的监测主要通过水位计进行。水位计可以分为机械式、电子式和遥感式等多种类型。机械式水位计通过浮子和指针读取水位高度;电子式水位计则通过压力传感器或电容传感器转换为电信号,然后通过数据采集设备进行记录和分析;遥感式水位计则通过卫星或无人机等遥感设备,对地下水位进行远程监测。在降雨条件下,地下水位可能会发生快速变化。因此,需要采用高频率的监测方式,以便及时发现地下水位的异常变化。同时,由于降雨可能会改变边坡的渗透系数,因此在进行地下水位监测时,也需要同时对边坡的渗透系数进行监测。

### 4.3 预警模型建立

预警模型的建立是边坡稳定性评估的重要环节。通过预警模型,我们可以根据监测数据预测边坡的稳定性,从而及时采取防治措施。

预警模型的建立主要包括以下步骤。

**参数选择:**我们需要选择影响边坡稳定性的关键参数。这些参数可能包括裂缝宽度、地下水位、渗透系数等。这些参数的选择应基于对边坡稳定性影响因素的深入理解和分析。

**数据收集:**一旦确定了关键参数,我们需要通过边坡监测设备收集这些参数的数据。这可能涉及在边坡上安装各种

监测设备,如裂缝计、水位计和渗透仪等。

**模型构建:**根据收集的数据,我们可以利用统计或机器学习方法构建预警模型。这个模型应该能够描述关键参数与边坡稳定性之间的关系。例如,我们可以使用回归分析、神经网络或支持向量机等方法来构建模型<sup>[4]</sup>。

**模型验证:**模型构建完成后,我们需要通过实际的边坡稳定性案例来验证模型的准确性和可靠性。这可能涉及使用历史数据进行回溯测试,或者使用新收集的数据进行前瞻性验证。

**预警阈值设定:**根据模型结果和实际情况设定预警阈值。当模型预测的结果超过这个阈值时,就应该发出预警信号。阈值的设定应考虑到边坡的实际情况和安全要求。

在降雨条件下,由于降雨会影响边坡的渗透系数和地下水位,因此在建立预警模型时,需要考虑到这些因素。同时,由于降雨可能会引起边坡状态的快速变化,因此预警模型需要具有实时性和快速反应能力。预警模型如图1所示。

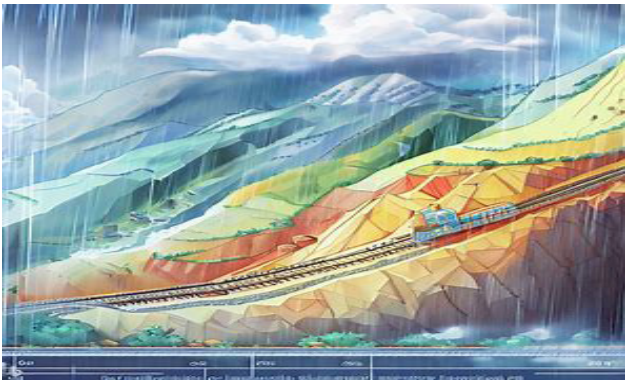


图1 预警模型

## 5 川藏铁路边坡监测案例分析

### 5.1 边坡工程情况简介

在川藏铁路的建设过程中,有一段位于雅鲁藏布江大峡谷的高陡边坡,由于地形陡峭和地质条件复杂,边坡稳定性问题十分突出。这个边坡的高度达到了200m,坡度超过75°,是川藏铁路最具挑战性的边坡之一。这个边坡的岩性主要为花岗岩,岩石风化严重,裂缝发育。在降雨条件下,裂缝中的水分会迅速增加,导致裂缝内部压力升高,可能引发边坡滑动或崩塌。此外,由于地下水位变化大,边坡土体的湿度和饱和度也会随之变化,这对边坡的稳定性产生了重要影响。为了保证这个边坡的稳定性,我们在建设过程中采

取了一系列的防治措施,并对边坡进行了长期的监测。

### 5.2 监测数据分析

我们对这个边坡进行了长期的监测,主要包括裂缝宽度、地下水位和边坡渗透系数的监测。通过对这些数据的分析,我们可以更好地理解边坡的稳定性状况。监测数据显示,裂缝宽度在降雨期间有明显的增加。例如,在连续三天的降雨后,裂缝宽度平均增加了5mm。这表明降雨会导致裂缝内部压力增大,可能引发边坡滑动或崩塌。因此,我们需要密切关注裂缝宽度的变化,及时采取防治措施。监测数据显示,地下水位在降雨期间有明显的上升。例如,在一次暴雨后,地下水位上升了约1m。这表明降雨会导致边坡土体湿度和饱和度增大,可能影响边坡的稳定性。因此,我们需要密切关注地下水位的变化,及时采取防治措施。监测数据显示,边坡渗透系数在降雨期间有明显的变化。例如,在连续降雨后,边坡渗透系数从 $10^{-6}$ m/s增加到 $10^{-5}$ m/s。这表明降雨会改变边坡的渗透性能,可能影响边坡的稳定性。因此,我们需要密切关注边坡渗透系数的变化,及时采取防治措施。通过对这些监测数据的分析,我们可以更好地理解降雨对边坡稳定性的影响,并及时采取相应的防治措施。同时,这些数据也为我们建立预警模型提供了重要的依据<sup>[5]</sup>。

## 6 结语

论文详细介绍了降雨对川藏铁路高陡边坡稳定性的影响,包括地质条件分析、边坡形态特征、边坡变形破坏案例、降雨对高陡边坡稳定性的影响机理、边坡监测与预警技术以及川藏铁路边坡监测案例分析。通过深入研究,我们可以更好地理解降雨对高陡边坡稳定性的影响,从而采取有效的防治措施,保证川藏铁路的安全运营。

## 参考文献

- [1] 刘国栋.降雨影响下黄土边坡挡土墙工程的后评价研究[D].西安:长安大学,2022.
- [2] 钱均益.三维随机块石生成投放系统开发及冰碛体力学特性研究[D].石家庄:石家庄铁道大学,2022.
- [3] 李睿祺.川藏交通廊道拉林铁路段泥石流特征、分布规律与风险评估研究[D].昆明:昆明理工大学,2022.
- [4] 贺琛方.降雨作用下川藏铁路高陡边坡稳定性分析及监测预警[D].成都:西南交通大学,2022.
- [5] 陈华川.高速公路花岗岩类土质边坡稳定性分析及变形加固措施[D].成都:西南交通大学,2022.