

文章编号: 1674—8247(2019)02—0001—05

DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2019.02.001

## 浅析巨型滑坡防治技术体系框架

魏永幸<sup>1</sup> 李天斌<sup>2</sup>

(1. 中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031; 2. 成都理工大学, 成都 610059)

**摘要:**巨型滑坡,因其形成与演化机理复杂,且治理工程实施困难,其治理工程一直存在“设计难”“评估难”“决策难”的问题。文章基于300多例中外巨(大)型滑坡案例,对巨型滑坡防治工程从理念、方法、技术等方面进行了系统分析,并开展了概化模型试验研究。在此基础上,总结提出了巨型滑坡“分区”“分级”“分期”治理与“排水优先”和“排水与抗滑锚固并重”的防治理念,“两分析,两评估”防治工程设计方法,以及防治工程的“三项”技术、“四种”模式,初步构建了巨型滑坡防治技术体系框架。

**关键词:**巨型滑坡;防治理念;设计方法;防治技术;工程模式

中图分类号:P642.23

文献标志码:A

## Analysis of Prevention and Control Technology System for Giant Landslide

WEI Yongxing<sup>1</sup> LI Tianbin<sup>2</sup>

(1. China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China;

2. Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

**Abstract:** The difficulties of design, evaluation and decision of prevention and control project for giant landslide still exist because of complex formation and evolution mechanisms of giant landslide and the implementation difficulty of its prevention and control engineering. This paper systematically and multi-dimensionally analyzes the giant landslide prevention and control project from concept, method and technology and carries out the experimental study of generalized model based on more than 300 cases of giant landslides at home and abroad. On this basis, the prevention and control technology system framework for giant landslide are proposed, including prevention and control concept of “sectional, grading, staging prevention and control”, “drainage priority, and pay equal attention to drainage and anti-sliding anchoring” and prevention engineering design method of “two analysis, two evaluations”, as well as the “three-technology” and “four-model” of prevention and control project.

**Key words:** giant landslide; prevention concept; design method; prevention and control technology; engineering mode

巨型滑坡,因其形成与演化机理复杂,且治理工程实施困难,其治理工程一直存在“设计难”“评估难”“决策难”的问题。国内有学者对巨型滑坡机理开展

过研究,中铁二院工程集团有限责任公司联合成都理工大学开展了“西南地区巨(大)型滑坡演化机理及防治对策”研究,收集了中外巨(大)型滑坡案例300多

收稿日期:2019-02-20

作者简介:魏永幸(1964-),男,教授级高级工程师,国家注册土木工程师(岩土)。

基金项目:中铁二院工程集团有限责任公司科技发展计划项目(08109159)

引文格式:魏永幸,李天斌. 浅析巨型滑坡防治技术体系框架[J]. 高速铁路技术,2019,10(2):1-5.

WEI Yongxing, LI Tianbin. Analysis of Prevention and Control Technology System for Giant Landslide [J]. High Speed Railway Technology, 2019, 10(2): 1-5.

例,并对巨型滑坡防治工程从理念、方法、技术等方面进行了系统分析,开展了概化模型的试验研究<sup>[1-5]</sup>。本文在上述研究的基础上,基于滑坡防治工程设计的角度,对巨型滑坡防治理念、设计方法、工程技术、工程模式等进行探讨,希望有益于巨型滑坡防治工程的设计、决策,并由此构建巨型滑坡防治技术体系的框架。

## 1 巨型滑坡防治理念

巨型滑坡,范围广、滑体厚、体积大,加之滑床形态通常多样复杂,大部分滑坡都在平面上存在“分区”滑动、在滑动主轴断面上存在“分级”滑动的现象。针对“分区”、“分级”滑动,滑坡治理工程在实施时序上,普遍采用“分期治理”。巨型滑坡治理工程设计,更强调“排水优先”和“排水与抗滑锚固并重”。

### 1.1 “分区”、“分级”、“分期”治理

巨型滑坡的平面范围广,滑坡的不同区域,其滑动或变形速率往往不一样,在平面上存在明显的“分区”特征,反应在滑坡主轴断面上,存在“分级”滑动的现象。其主要原因有:(1)不同区域的滑床形态,可能存在差异,导致不同区域滑坡体滑动趋势的不同。滑床陡,滑坡体滑动趋势大,反之,滑床平缓或反倾,滑坡体滑动趋势小。(2)不同区域的滑坡体物质组成、成分、性质不同,特别是滑带土的物质组成、成分、性质可能存在差异,这些差异可能导致不同区域滑坡体滑动趋势的不同。(3)巨型滑坡的滑动区、阻滑区,以及牵引区,其滑动趋势往往不同,反映在滑坡体地表,其变形速率不同。图1为南昆铁路八渡车站滑坡的主轴断面示意图,根据地表变形、滑床形态,综合判断滑坡呈现明显的两级滑动特征<sup>[6]</sup>。

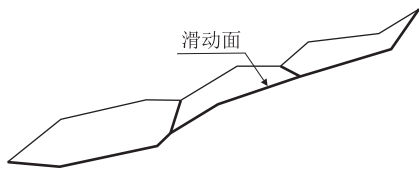


图1 南昆铁路八渡车站滑坡的主轴断面示意图

巨型滑坡防治工程,要针对滑坡“分区”、“分级”特征,采取相应的“分区”、“分级”治理对策。巨型滑坡“分区”、“分级”治理,在实施时序上,实际是“分期”治理。巨型滑坡由于形成演化机理复杂,采用“分期”治理,也有利于通过先期施工,进一步判明滑坡滑动机制、治理工程的针对性和有效性,为后期工程实施提供依据。

### 1.2 “排水优先”和“排水与抗滑锚固并重”

滑坡稳定分析中剩余下滑力 = 下滑力 - 滑床阻滑力,其中,滑床阻滑力 = 滑坡体竖向重力 × 滑带土阻力系数。

巨型滑坡,由于滑坡体积巨大,滑坡体作用在滑面的竖向作用力大,滑带土阻力系数的微小变化,将引起滑床提供的阻滑力的较大变化,从而引起滑坡剩余下滑力的较大变化。如,滑带土体内摩擦角变化 $1^\circ$ ,滑坡剩余下滑力增减一般在1000 kN以上<sup>[6]</sup>。这说明,滑坡剩余下滑力对滑带土阻力系数十分敏感,这是巨型滑坡的重力作用效应。因此,对于巨型滑坡,无论是从增强滑坡稳定因素的角度,还是从保持滑坡长期稳定的角度来看,都必须重视滑坡体,特别是滑带土体的排水。

此外,相关研究表明,巨型滑坡还存“锁固段”锁固效应<sup>[6]</sup>。受“锁固段”锁固作用,滑坡下滑趋势被抑制,滑坡趋向稳定,在稳定状态下,滑带土的性质、强度参数等不断得以改善,其趋势更加稳定。反之,若缺乏“锁固段”锁固作用,滑坡阻滑主要依靠滑带土抗剪强度的发挥来实现,滑坡的稳定性主要与滑带土抗剪强度有关,其可靠度较低。鉴于此,可通过设置人工“锁固段”,来提高巨型滑坡的稳定性。因此,对于巨型滑坡,设置抗滑桩、剪力棒等抗滑锚固工程,通常是滑坡防治工程的首选。

综上,巨型滑坡防治,要贯彻“排水优先”和“排水与抗滑锚固并重”的理念,重视改善滑坡体的水环境,优先实施地表、地下排水工程,同时设置可靠的抗滑锚固工程,确保滑坡的稳定。

## 2 巨型滑坡防治工程设计方法

鉴于巨型滑坡形成演化机理的复杂性,巨型滑坡治理工程设计,应首先进行滑坡机制分析,在此基础上采用数值模拟方法对滑坡在环境因素变化条件下的稳定性、设置抗滑锚固工程对滑坡稳定性的影响等进行分析(统称为滑坡整体模拟分析),依据滑坡机制分析、滑坡整体模拟分析,优化治理工程。同时,由于巨型滑坡治理工程一般规模较大、投资较大、工期较长,需要开展滑坡治理风险评估、滑坡治理价值评估,基于风险评估、价值评估进行科学决策,确定治理工程施工次序、时机等。上述方法,称为巨型滑坡防治的“两分析、两评估”设计方法。

### 2.1 滑坡机制分析

巨型滑坡形成演化机理复杂,常见的巨型滑坡形

成演化模式,如表 1 所示<sup>[7]</sup>。

表 1 巨型滑坡形成演化模式及其特征

形成演化模式		基本特征
岩质 滑坡	震动拉裂 - 剪切滑移	受地震水平惯性力作用,后缘产生深大断裂,继而或同时出现剪切滑移
	滑移 - 拉裂 - 平推	近水平或缓倾坡体出现滑移,产生竖向拉裂,受降雨作用出现平推滑移
	滑移 - 拉裂 - 剪断	高陡坡体沿软弱面滑移,并渐次发展,后缘出现拉裂,因锁固段逐一被剪切而形成贯通滑面,引起突然失稳
	滑移 - 弯曲 - 剪断	顺层坡体滑移受阻,应力集中导致岩层弯曲变形而产生破坏
	倾倒 - 拉裂 - 剪断	陡倾互层坡体上部岩体出现倾倒变形,导致岩体拉裂,进而产生破坏
	滑移 - 锁固 - 剪断	坡体滑移受到中下部“锁固段”阻挡,但因“锁固段”持续应力集中而被剪断,产生突然破坏
土质 滑坡	整体蠕滑 - 拉裂 - 剪断	均质或类均质坡体产生蠕滑,引起坡体后缘拉裂,并使潜在滑移面被剪断,形成贯通滑移面
	分区蠕滑 - 拉裂 - 剪断	在平面上出现分区蠕滑 - 拉裂 - 剪断,并相互影响
	分级蠕滑 - 拉裂 - 剪断	在纵断面上出现分级蠕滑 - 拉裂 - 剪断
	蠕滑 - 锁固 - 溃滑	坡体产生蠕滑,受到“锁固段”或阻滑结构的抵抗,后因“锁固段”破坏或阻滑结构失效而导致坡体溃滑
	滑移 - 拉裂 - 剪断	坡体出现滑移,引起后缘拉裂并逐渐向深部发展,其间“锁固段”被逐一剪断,形成贯通滑面,产生突然破坏

对于具体的滑坡,必须在测绘、调查、勘察、试验,基本查清滑坡范围、滑体物质、滑体变形、地质环境等基础上,进行滑坡机制分析,以判明滑坡形成演化机制,以及影响滑坡稳定的主要因素等,为针对性制定滑坡防治对策提供依据。

2.2 滑坡整体模拟分析

巨型滑坡一般存在“分区”、“分级”滑动。如何进行“分区”与“分级”的划分与判别,是巨型滑坡防治工作的难点、重点。

滑坡“分区”与“分级”,可依据滑坡体的变形来进行划分。当缺乏滑坡体变形资料时,则需要运用数值分析方法,对滑坡进行整体模拟分析,分析滑坡不同区域的滑动趋势,并据此进行滑坡的“分区”、“分级”。

利用滑坡整体模拟分析,还可分析抗滑锚固工程对滑坡的影响,评价“分区”、“分级”设置抗滑锚固工程的合理性、有效性,为优化防治工程提供依据。

2.3 滑坡治理风险评估

巨型滑坡规模大、滑体厚,治理工程往往难度大、

周期长、投资大。同时,由于巨型滑坡形成演化机制复杂,如对滑坡形成机制判别不准,可能出现治理工程针对性不够,导致不必要的工程增加,出现工程失效或报废,造成经济、工期、环保等多重损失。为防范风险,在巨型滑坡治理工程实施前,应进行滑坡治理风险评估。

滑坡治理风险评估的内容包括滑坡滑动风险评估、滑坡治理风险评估和滑坡治理工程风险评估。

(1)滑坡滑动风险评估:识别影响滑坡稳定的因素,评估滑坡滑动的可能性,评估滑坡滑动造成的损失。

(2)滑坡治理风险评估:分析滑坡治理工程的可行性,评估滑坡治理工程的可靠性,评估滑坡治理工程失效的风险。

(3)滑坡治理工程风险评估:评估滑坡治理工程设计风险,评估滑坡治理工程施工风险,评估滑坡治理工程投资风险。

2.4 滑坡治理价值评估

巨型滑坡治理工程投资大,与此同时,由于巨型滑坡滑体厚,治理工程往往施工难度大,加之巨型滑坡形成演化机制复杂,如对滑坡形成机制判别不准,可能出现治理工程针对性不够,甚至出现工程失效或报废,造成经济损失。为防范风险,在巨型滑坡治理工程实施前,应进行滑坡治理价值评估。

滑坡治理价值评估的内容包括滑坡治理必要性评估和滑坡治理价值评估。

(1)滑坡治理必要性评估:滑坡治理必要性分析。

(2)滑坡治理价值评估:滑坡治理投入产出分析,滑坡治理经济效益分析,滑坡治理社会效益分析。

3 巨型滑坡防治工程技术

巨型滑坡防治技术可归纳为 3 类:①抗滑锚固;②改善滑坡环境;③减载反压。

3.1 抗滑锚固

抗滑锚固是通过设置阻滑结构阻止滑坡滑动,或将滑坡锚固于稳定地层。常用的抗滑锚固结构包括抗滑桩、剪力樨、以及锚索抗滑桩、锚索框架梁等。

抗滑桩在滑坡治理中使用较多。可单排布置,也可布置为双排或多排。上世纪 70 年代,襄渝铁路赵家塘滑坡整治曾采用了截面 3.5 m×7 m 的抗滑桩,最大桩长 46.7 m<sup>[8]</sup>。

剪力樨是抗滑桩的一种特殊形式,适用于滑动面清晰、滑坡体整体性较好的滑坡。南昆铁路柏子村 1 号隧道曾受不稳定斜坡蠕滑的影响出现开裂,为保护

隧道,在隧道外侧(线路中心右侧16~20 m处)设置了1排剪力棒(埋设抗滑桩),以阻止不稳定斜坡的滑动,截面有2.5 m×3.5 m和3.0 m×4.5 m 2种,最大桩井挖深80 m,最大桩长20 m,如图2所示<sup>[9]</sup>。

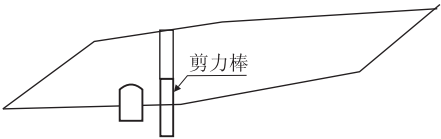


图2 南昆铁路柏子村1号隧道不稳定斜坡治理示意图

当滑坡体较厚时,为改善抗滑桩的受力,可在抗滑桩顶部设置预应力锚索,形成锚索抗滑桩结构。滑坡体不厚且整体性较好时,也可采用锚索框架梁结构。南昆铁路八渡车站滑坡治理中采用了双排锚索抗滑桩和锚索框架梁结构,如图3所示。

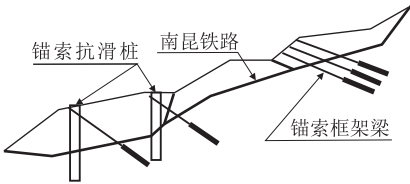


图3 南昆铁路八渡车站滑坡治理示意图

3.2 改善滑坡环境

改善滑坡环境,包括设置防止雨水下渗、迅速排泄地表水的地面防水、排水系统工程,以及疏排滑动带土体地下水的地下泄水洞和排水洞工程。

南昆铁路八渡车站滑坡,在滑坡后缘外设置截水沟,在滑坡范围设施了“横七竖八”的截、排水沟,夯填地表局部凹地,将两条自然沟渠化,形成完整的排水系统。并在主次两级滑坡范围内分别设置了“T”型、“Y”型地下泄水洞,疏排滑动带土体地下水。

3.3 减载反压

在滑坡后缘清方减载,在滑坡前缘填土反压,均有利于减缓、抑制滑坡的变形。

对于有条件的巨型滑坡,采用滑坡后缘清方减载,或滑坡前缘堆载反压的措施,可起到迅速抑制巨型滑坡变形的作用,这对巨型滑坡治理而言,既是一种应急抢险的措施,也是巨型滑坡治理工程的一部分。

4 巨型滑坡防治工程模式

综上所述,巨型滑坡防治模式主要有4种模式:①“抗滑锚固+滑带排水”模式;②“抗滑锚固+地表排水”模式;③“抗滑锚固+滑带排水+地表排水”模式;

④“减载反压+抗滑锚固+地表排水”模式。

4.1 “抗滑锚固+滑带排水”模式

“抗滑锚固+滑带排水”模式是巨型滑坡治理常用的一种模式。抗滑锚固以大截面抗滑桩为主(亦可采用剪力棒、锚索抗滑桩、锚索框架梁)。滑带排水主要采用泄水廊道,以及与泄水廊道联通的疏排滑带土体自由水的渗井、渗管。模式示意如图4所示。

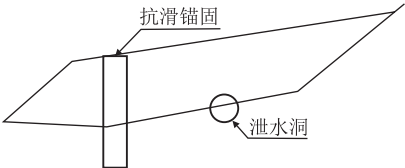


图4 巨型滑坡治理“抗滑锚固+滑带排水”模式示意图

4.2 “抗滑锚固+地表排水”模式

地表排水包括截排地表水的排水系统,以及减少或防止地表水下渗的地面压实、改造和植被恢复。模型示意如图5所示。

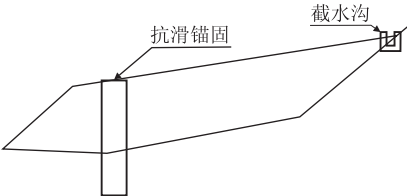


图5 巨型滑坡治理“抗滑锚固+地表排水”模式示意图

4.3 “抗滑锚固+滑带排水+地表排水”模式

该模式为巨型滑坡治理使用较多的一种模式,也是模式①与模式②的组合模式,模式示意如图6所示。

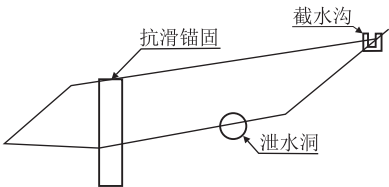


图6 巨型滑坡治理“抗滑锚固+滑带排水+地表排水”模式示意图

4.4 “减载反压+抗滑锚固+地表排水”模式

在条件允许的情况下,在滑坡后缘清方减载,在滑坡前缘填土反压,对减缓、抑制滑坡变形效果明显,通常可作为滑坡应急抢险措施使用。且对保障后续抗滑锚固工程的施工安全十分有利。

5 巨型滑坡防治技术体系框架

巨型滑坡,因其形成与演化机理复杂,且治理工程

实施困难,其治理工程在理念、方法、技术、模式等方面存在特殊性。基于上述研究,本文提出巨型滑坡防治技术体系框架及主要内容,如表 2 所示。

表 2 巨型滑坡防治技术体系框架及主要内容

构成	主要内容	
理念	两大防治理念	“分区”、“分级”、“分期”治理 “排水优先”和“排水与抗滑锚固并重”
方法	四种分析评估方法(“两分析、两评估”方法)	滑坡机制分析 滑坡整体模拟分析 滑坡治理风险评估 滑坡治理价值评估
技术	三项基本技术	抗滑锚固 改善滑坡环境 减载反压
模式	四种工程模式	“抗滑锚固 + 滑带排水”模式 “抗滑锚固 + 地表排水”模式 “抗滑锚固 + 滑带排水 + 地表排水”模式 “减载反压 + 抗滑锚固 + 地表排水”模式

6 结束语

本文基于滑坡治理工程设计的角度,对巨型滑坡防治理念、防治工程设计方法、防治工程技术、防治工程模式等进行探讨,得出以下结论:

(1)巨型滑坡一般存在“分区”、“分级”滑动的特征,应针对性采取“分区”、“分级”、“分期”治理。

(2)巨型滑坡防治要贯彻“排水优先”和“排水与抗滑锚固并重”的理念,优先实施地表、地下排水工程,并设置可靠的抗滑锚固工程,确保滑坡的稳定。

(3)巨型滑坡形成演化机理复杂,治理工程艰巨,为科学评价治理工程的合理性、可行性,应开展滑坡机制分析、滑坡整体模拟分析,以及滑坡治理风险评估和滑坡治理价值评估。上述方法,称为巨型滑坡防治工程“两分析、两评估”设计方法。

(4)总结归纳,巨型滑坡防治工程主要有“抗滑锚固 + 滑带排水”“抗滑锚固 + 地表排水”“抗滑锚固 + 地表排水”“抗滑锚固 + 滑带排水 + 地表排水”“减载反压 + 抗滑锚固 + 地表排水”4 种治理模式。

参考文献:

[1] 黄润秋,裴向军,李天斌. 汶川地震触发大光包巨型滑坡基本特征及形成机理分析[J]. 工程地质学报,2008,17(6):730-741.  
HUANG Runqiu, PEI Xiangjun, LI Tianbin. Basic Characteristics and Formation Mechanism of the Largest Scale Landslide at Dagunobao Occurred during the Wenchuan Earthquake[J]. Journal of

Engineering Geology, 2008, 17(6): 730-741.  
[2] 李天斌,刘吉,任洋,等. 预加固高填方边坡的滑动机制:攀枝花机场 12#滑坡[J]. 工程地质学报, 2012, 21(5): 723-731.  
LI Tianbin, LIU Ji, REN Yang, et al. Sliding Mechanism of High-fill Slope with Pre-reinforced Piles at Panzhihua Airport[J]. Journal of Engineering Geology, 2012,21(5):723-731.  
[3] 冯文凯,何川,石豫川,等. 复杂三维巨型滑坡形成机制三维有限元模拟分析[J]. 岩土力学,2009,31(4):1122-1126.  
FENG Wenkai, HE Chuan, SHI Yuchuan, et al. Simulation Analysis of Formation Mechanism of Some Complex and Giant Landslides using Three-dimensional Finite Element Simulation Analysis [J]. Rock and Soil Mechanics, 2009, 31(4): 1122-1126.  
[4] 李天斌,田晓丽,韩文喜,等. 预加固高填方边坡滑动破坏的离心模型试验研究[J]. 岩土力学,2013,35(11):3061-3070.  
LI Tianbin, TIAN Xiaoli, HAN Wenxi,et al. Centrifuge Model Tests on Sliding Failure of a Pile-stabilized High Fill Slope[J]. Rock and Soil Mechanics, 2013, 35(11): 3061-3070.  
[5] 中铁二院工程集团有限责任公司. 西南地区巨型滑坡演化机理及防治对策[R]. 成都:中铁二院工程集团有限责任公司,2014.  
China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd. Evolution Mechanism and Control Project for the Giant Landslide in Southwest China [R]. Chengdu: China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., 2014.  
[6] 黄润秋,陈国庆,唐鹏. 基于动态演化特征的锁固段型岩质滑坡前兆信息研究[J]. 岩土力学与工程学报,2017,36(3):521-533.  
HUANG Runqiu, CHEN Guoqing, TANG Peng. Precursor Information of Locking Segment Landslides Based on Dynamic Evolution Characteristics [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2017, 36(3): 521-533.  
[7] 魏永幸,李天斌. 巨型滑坡及其演化机理与防治对策[C]//川藏铁路建设面临的挑战与对策——2016 学术交流论文集. 北京:人民交通出版社,2017:48-53.  
WEI Yongxing, LI Tianbin. Study on Evolution Mechanism and Control Measures of Huge Landslide[C]// The Sichuan Tibet Railway Construction Challenges and Countermeasures Symposium of 2016. Beijing: China Communications Press Co.,Ltd., 2017: 48-53.  
[8] 王恭先,廖小平. 中国铁路滑坡灾害及其防治研究[J]. 中国地质灾害与防治学报,1996,7(1):6-9.  
WANG Gongxian, LIAO Xiaoping. Landslide Disaster and Control Research of Railway in China[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control,1996,7(1):6-9.  
[9] 杨文辉. 南昆铁路柏子村 1 号隧道病害研究[J]. 铁道工程学报, 2013,30(4):86-91.  
YANG Wenhui. Research on Disease of Baizicun No. 1 Tunnel of Nanning-Kunming Railway [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2013, 30(4): 86-91.

(编辑:刘会娟 苏玲梅)