

# 滑 坡 文 集

(第十六集)

《滑坡文集》编辑委员会 主编

中 国 铁 道 出 版 社

2 0 0 3 年 · 北 京

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本集选文共 17 篇,内容涉及滑坡机理分析与防治措施、勘测技术及稳定性分析等方面,每篇文章后均附有英文摘要,以便于国际交流。  
滑坡文集在国内滑坡及工程地质方面是极具权威性的读物。

图书在版编目(CIP)数据

滑坡文集 第 16 集/《滑坡文集》编委会编.—北京:中国铁道出版社,2003.10  
ISBN 7 - 113 - 05474 - 9

I . 滑… II . 滑… III . 滑坡—文集 IV . P642.22 - 53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 077642 号

书 名:滑坡文集(第十六集)  
著作责任者:《滑坡文集》编辑委员会  
出版·发行:中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街 8 号)  
责任编辑:许士杰 编辑部电话:市(010)51873142,路(021)73142  
封面设计:陈东山  
印 刷:  
开 本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张: 字数: 千  
版 本:2003 年 10 月第 1 版 2003 年 10 月第 1 次印刷  
印 数:1~1 500 册  
书 号:ISBN 7 - 113 - 05474 - 9 TU·746  
定 价:25.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。  
发行部电话:市(010)63545969,路(021)73169

## 《滑坡文集》编辑委员会

(甘肃省兰州市民主东路 365 号 730000)

名誉主任委员:李 嘉 徐邦栋(中铁西北科学研究院)

主任委员:王恭先(中铁西北科学研究院)

委 员:(以姓氏笔画为序)

于济民(中铁西北科学研究院)

马 骥(中铁西北科学研究院)

王传仁(交通部第一勘察设计院)

孔纪名(中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所)

仇祥凯(铁道第三勘察设计院)

叶宗荣(铁道第三勘察设计院)

刘光代(中铁西北科学研究院)

安鸿逵(中国铁道出版社)

许士杰(中国铁道出版社)

张永生(中铁西北科学研究院)

李传珠(中铁西北科学研究院)

陆玉珑(铁道第二勘察设计院)

陈自生(中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所)

陈得基(水利部长江水利委员会综合勘察设计院)

孟英 (铁道第一勘察设计院)

胡厚田(西南交通大学)

徐峻龄(中铁西北科学研究院)

徐凤鹤(铁道第四勘察设计院)

崔建恒(交通部第一勘察设计院)

谭远发(铁道第四勘察设计院)

魏永幸(铁道第二勘察设计院)

秘 书:马原生(中铁西北科学研究院)

# 预防滑坡的原理和方法

王恭先

(中铁西北科学研究院, 兰州, 730000)

## 摘 要

滑坡发生后的被动治理在我国已进行了几十年,既增大了投资,又延误工期,还给运营留下了安全隐患。现在人们越来越感觉到预防滑坡灾害的重要性,但是如何正确有效地预防滑坡灾害在认识上并不统一。本文根据作者多年的研究和防治滑坡的实践经验,分析了防止古老滑坡复活、防止已活动的滑坡大滑动造成灾害以及防止潜在滑坡地段发生滑坡的原理和方法。

关键词:滑坡 预防 原理和方法

## 一、预防滑坡的重要性

20 世纪 50~60 年代,由于对滑坡灾害认识不足,山区铁路不少地段通过古滑坡体,许多车站设在古滑坡区,施工开挖后出现了众多滑坡,既增加了投资,又延误了工期,还给运营安全留下了隐患。后来,有些地段不得不重新改移线路位置,如陇海线宝天段葡萄园车站东、西两边改线,宝天段拓石车站以东的 105 号隧道改线,宝成铁路的西坡改线和熊家河改线等,都是为避开大型滑坡区(群)。成昆铁路地质条件更为复杂,但是加强了地质工作,选线时就避开了 100 余处滑坡,如在孙水河展线地段曾数次跨河设桥而避开滑坡集中分布的地段,也曾为避开大型滑坡而进行跨河绕避、隧道绕避及原线治理滑坡的多方案比较。目前铁路部门已重视了地质选线,避开了许多滑坡发育的地段,但仍然有个别失误,如南昆铁路的八渡车站古滑坡复活,增加了 9 000 余万元用于稳定滑坡。山区高速公路建设中由于时间紧造成地质工作不足,施工后出现了不少高边坡变形和滑坡,如深圳至汕头高速公路 K101 滑坡,同江至三亚高速公路福鼎至宁德段的八尺门互通区滑坡,都花费数千万元进行治疗。万县至梁平高速公路约 20 km 长线路选在砂泥岩顺层地段,岩层倾角达  $20^{\circ}\sim 30^{\circ}$ ,开挖后出现了十余处滑坡,也需增加数千万元进行治疗。北京—珠海高速公路粤北段和云南省元江—磨黑高速公路都因开挖后出现滑坡和高边坡变形,增加数亿元进行治疗。

众所周知,滑坡灾害危害严重,治理费用昂贵,一个中型滑坡治理需数百万元,而大型滑坡常需数千万元。这就使人们越来越认识到事先预防滑坡的重要性。如在铁路、公路选线,厂矿与城镇选址时充分重视地质勘察配合选线(即所谓“地质选线”),尽量避开大型滑坡和多个滑坡连续分布地段,以及开挖后可能发生滑坡的地段,或采取必要的预防措施,则可避免滑坡灾害,减少工程投资。

当然,要想避开所有的滑坡也是不可能的,有时在技术和经济上也是不合理的。对于避不开的滑坡,应经过较详细地勘察,查明其性质、规模、目前的稳定程度及人为工程活动作用后

其稳定状态的变化和发展趋势,尽量少破坏其稳定性。如局部调整线路平面位置和纵坡,少填少挖,特别是在古滑坡抗滑地段作挖方,不在其主滑和牵引地段作填方。必要时采取一定的预防加固措施,如地表和地下排水、减重、反压与支挡等,提高其稳定程度,也可减少灾害的发生。以往的许多教训表明,施工后发生的古老滑坡复活和新生的滑坡,多是由于前期地质资料不足、判断失误造成的,施工方法不当也会造成不该发生的滑坡。

预防为主,治理为辅,防治结合,防患于未然已成为预防和治理滑坡的基本原则与共识。

## 二、防止古老滑坡复活

所谓古老滑坡,是指发生年代久远,滑坡的主要作用因素已经消失或虽未消失但滑动后处于相对稳定状态的滑坡。防止古老滑坡再次整体或部分滑动应从以下几方面考虑:

(一)在选线、选厂、选址时通过卫星照片、航测照片判释和现场踏勘,尽量避开大型滑坡和多个滑坡密集分布的地段,彻底避开其危害应是优选方案。

(二)在河道或大的沟谷中修建水库时,应对库岸已有古老滑坡的稳定性和蓄水后及库水位升降时对滑坡产生的影响和变化做出预测和评价,必要时采取相应的预防措施。

水库蓄水后古老滑坡的抗滑段、部分主滑段,甚至整个滑坡体都被浸入水下,随滑坡距水坝的远近及滑坡剪出口高程的不同而不同。滑带土浸水后被软化,孔隙水压力增大,强度降低,加之库水位骤降时的动水压力作用,都会使原来稳定的古老滑坡不稳定而复活。原来稳定的岸坡也会因坡脚浸水强度降低而发生坍岸和滑坡,这属于新生滑坡。地矿和水电部门对大型水库如黄河上的龙羊峡、李家峡及长江三峡库岸古老滑坡复活问题进行了深入的研究,有成功的经验,在预防措施上多是采用滑坡上部减重、前缘压脚(占死库容)等经济有效的办法。对小型水库,因库容限制,也可采用减重与支挡工程(如抗滑桩和锚索等)相结合的措施稳定滑坡。

(三)预防古老滑坡复活的重要措施之一是加强滑坡区的地表排水系统和必要的地下排水。水是滑坡的重要作用因素,是人所共知的,减少地表水渗入滑体和排出疏干滑带水对稳定滑坡作用是显著的,只是目前还缺少定量评价的科学方法,人们只把这项措施作为提高稳定性的安全储备。这是值得研究的。以往我们在防治滑坡的实践中,当用截水隧洞截排滑带水后,将滑带土的内摩擦角 $\varphi$ 值提高 $1^{\circ}\sim 2^{\circ}$ 进行稳定性计算和推力计算,节约了工程投资。成昆铁路甘洛1号滑坡采用地面排水和垂直钻孔群排滑坡地下水后保持了古滑坡的稳定,是成功的事例之一。

值得提出的是,我国南方许多地区古滑坡上居住着村民(甚至城镇居民),并耕种着水田,长期的漫灌,常常造成古滑坡局部或整体复活,或使其处于极限平衡状态,一旦有工程活动(如开挖路堑),就造成古滑坡复活。因此,变水田为旱田或改种林木是防止滑坡复活的重要措施之一。否则地面排水也难以达到应有的效果。

(四)由于各种条件的限制,工程设施必须通过古老滑坡时,首先必须通过详细地调查、勘探掌握滑坡的性质、规模、产生的地质条件、作用因素和滑动机理,评价目前的稳定状态和工程活动影响下的发展趋势,然后根据不同的情况采取相应的预防措施。

1 局部改移线路的平面位置和纵坡,在滑坡的抗滑段和前缘做填方增加其稳定性,或在主滑和牵引段做挖方减小其下滑力,不可在其抗滑段作挖方及在主滑段和牵引段作填方加载。以往因处治不当引起老滑坡复活的教训是很多而深刻的。如在滑坡的抗滑段挖方引起山坡开

裂,又采取刷方放缓边坡措施,进一步削弱了支撑力,造成滑坡扩大甚至急剧滑动。

2 对于小型滑坡,也可采用桥梁跨越滑体而不处理滑坡,但必须肯定滑坡滑动或扩大不会对桥梁墩台的安全产生影响。

3 当不得不在滑坡的抗滑段作挖方或在主滑与牵引段作填方时,必须对滑坡进行预防加固,并应在加固工程完成后再挖方或填方。加固工程除地表和地下排水外,应有支挡工程,依据具体条件可用抗滑挡土墙、抗滑桩、预应力锚索抗滑桩,预应力锚索框架(或地梁),以及上部减重、前缘反压(或改沟、填沟)等。

4 当用隧道绕避滑坡时,其洞门和洞身都应置于滑坡影响范围以外的稳定地层中,洞身埋入滑动面以下的深度取决于岩体的质量,一般应大于15 m。洞口段穿越古老滑坡的情况,应尽量避免,因隧道开挖常引起滑坡复活。如宝鸡至兰州铁路二线设计时,鸳鸯镇附近一隧道进口130 m长穿过一大型古滑坡,经论证后改移了位置,但伯阳隧道进口穿过古滑坡,施工后山坡开裂,难以改线,不得不花1 000余万元稳定滑坡。

在山西省祁县至临汾高速公路上的常家山隧道出口,因线路位置难以避开古滑坡,作者同中交第一公路勘察设计院分析滑坡状况后,在前缘沟中填方稳定整体滑坡的前提下,在隧道口采用锚索抗滑桩和滑体注浆方法保证了隧道的安全。如图 1 所示。

对于剪出口较高的滑坡,也可用明洞通过而不处理滑坡。但明洞应特别设计。

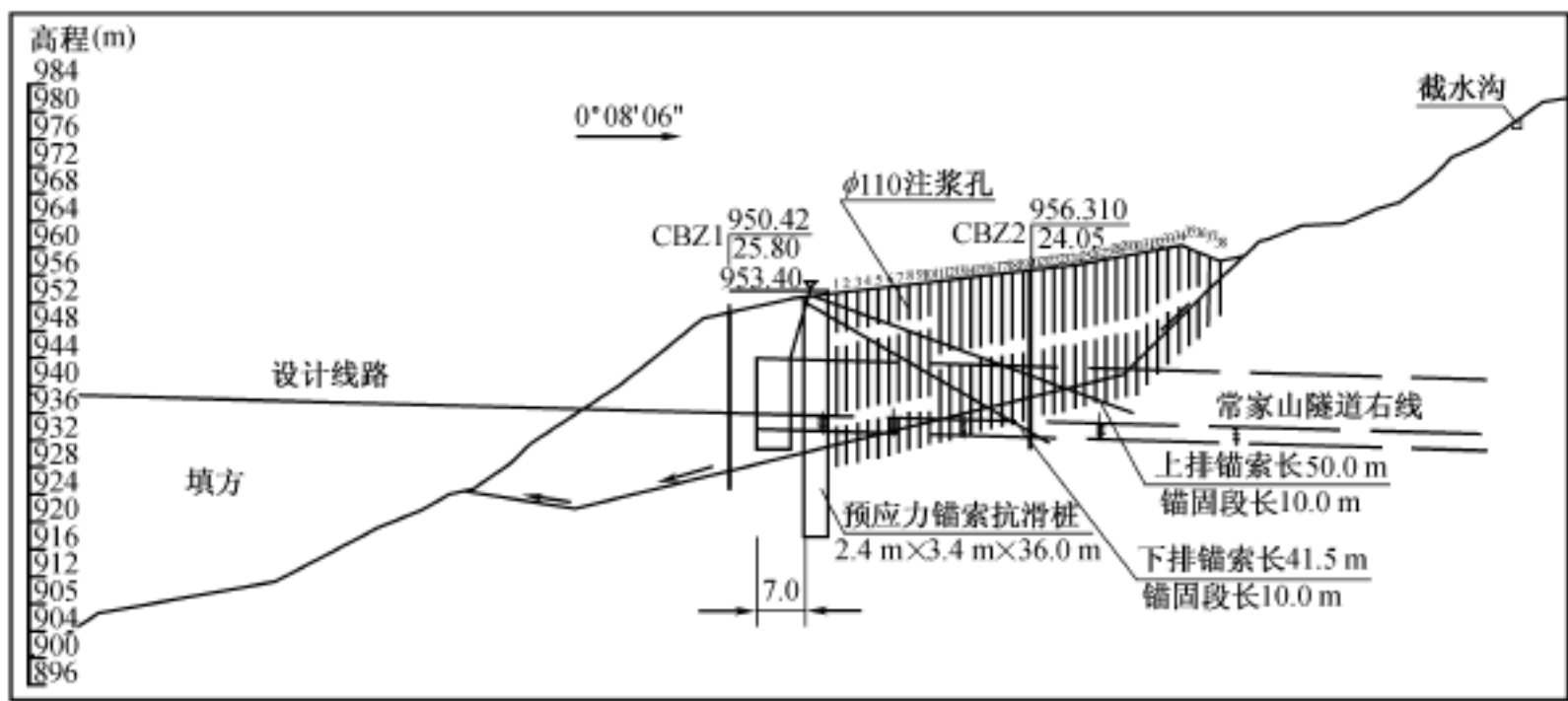


图 1 常家山隧道出口滑坡加固断面图

### 三、防止已活动的滑坡大滑动造成灾害

当边坡或山坡变形已经发生,已有建筑物出现裂缝、变形或错位,甚至山坡裂缝已贯通或有下错时,应迅速判明变形的性质和原因,如是坍塌变形还是滑坡变形?是老滑坡的复活还是新生的滑坡?尽快采取措施防止其继续发展扩大或大滑动造成灾害,根据不同情况采用以下措施:

(一) 若系施工开挖或填方堆载而引起变形者,应立即停止施工,待查清变形性质,采取相应措施后再施工。同时应对变形进行监测,防止急剧变形造成灾害。

(二) 若系不利水源(生产和生活用水、渠道或池塘、管道漏水等)渗入坡体而引起变形者,

应立即切断水源并将其引出不稳定坡体之外,同时监测其变形的发展变化。

(三)若系施工大量爆破震动而引起者,应立即停止爆破施工,待观测变形变化之后再决定施工方法。

(四)坡体和建筑物的裂缝和变形监测是掌握变形发展、防止灾害的重要手段,不可缺少,有地下水露头时应作地下水变化观测。

(五)初步调查测绘后,应尽快夯填地表裂缝,增加临时或永久排水沟,防止地表水渗入坡体和灌入裂缝促使变形加剧。

(六)对性质比较复杂的滑坡或老滑坡的局部复活,应尽快开展地质调查和必要的勘探(如完成一个主轴断面),判明其性质、范围、原因、危害性和发展趋势,制定防止恶化的应急措施和永久稳定措施。在未确定性质前,不可在滑坡前缘刷方,以免进一步削弱抗滑段的抗力,促使滑坡扩大(如向后牵引)和剧滑。

(七)对变形发展较快、危害严重的滑坡,特别是坡面高陡、下滑力较大的滑坡,应立即在滑坡上部牵引段和主滑段进行减重,减小下滑推力,常常是阻止滑坡大滑造成灾害的有效措施。减重方式和数量应设计和计算,一般挖去滑体总量的 $1/6 \sim 1/5$ 可取得明显效果。有条件时把滑坡上部减重的土石移到滑坡前缘压脚更能收到事半功倍的效果,既是应急工程,又是永久工程。成昆铁路会仙4号桥头滑坡就是采用上部减重、前缘改沟、反压取得稳定的。当然填方部分必须作好地下水处理和基底软弱土层处理。1995年4月内蒙古自治区准格尔煤矿成品煤仓前边坡滑坡以每天 $3 \sim 5$  mm的速度在发展,严重威胁煤仓的安全,立即采取前缘反压稳定了滑坡。

当滑坡地下水比较发育或有地下水渗出时,采用施工快的仰斜排水孔排出滑带水,减小其孔隙水压力,提高抗滑力,也是很有效的应急措施。

实例一:1992年6月宝成铁路K190处发生滑坡,中断运输,滑坡体积约 $30$ 万 $\text{m}^3$ ,但其剪出口高悬于线路以上 $80 \sim 100$  m,滑坡滑出剪出口后不断崩落到线路上,致使抢修人员和设备无法开展工作,作者等建议采用上部减重 $5$ 万 $\text{m}^3$ 并清除危石的方案使滑坡处于暂时稳定状态,为抢修通车争取了时间。

实例二:1998年2月,205国道福建省永安市的箭丰滑坡,后缘拉张裂缝已贯通并下错,两侧羽状裂缝明显张开,前缘公路路面拱起,公路内侧挡土墙不断倒塌,处于十分危险的状态。为防止滑坡大滑动中断公路运输,采取了两项应急措施:一是在滑坡上部减重约 $10$ 万 $\text{m}^3$ ,减小下滑力,二是在公路内侧抗滑段打仰斜排水孔排出滑带水,提高抗滑力。其中有一孔地下水喷出 $10$ 余米远达到公路另一侧。采取这两项措施后,滑坡滑动速度明显下降,为勘察和治理争取了时间,也防止了灾害。

实例三:2000年9月正在施工中的北京—珠海高速公路粤北段152公里处发生一石灰岩顺层滑坡。原设计为一高 $60$  m的高边坡,在第四级边坡设预应力锚索抗滑桩已完成,第二、三级坡设预应力锚索地梁尚未完成,第一级边坡已开始开挖。9月20日台风暴雨后第四级边坡以上出现一条环形拉张裂缝,立即采取了减重约 $1$ 万 $\text{m}^3$ ,第三级已成锚索进行预张拉等,但未能阻止滑坡的发展。至10月16日,后缘裂缝发展扩大到4条,远离坡顶 $70$  m,已加预应力的锚索有的被拉断,有的被弹出。未张拉的原留 $1.5$  m张拉段仅剩 $0.5$  m,表明坡体已位移达 $1.0$  m。在这种危险情况下,如何阻止滑坡滑下破坏已有工程?由于未见地下水渗出,故建议立即在第四级平台锚索抗滑桩以上坡面减重 $8$ 万 $\sim 10$ 万 $\text{m}^3$ ,同时开展补勘和深孔位移监测。当减重达 $7$ 万 $\text{m}^3$ 时,滑坡位移速度减至每天 $1$  mm以下,为补强加固争取了时间,防止了滑坡大滑动。

## 四、防止易滑坡地段发生新滑坡

防止易滑坡地段发生新的滑坡属于滑坡的预测和预防问题,从防灾角度来说,这是最有意义的一项工作,但也是目前尚未很好解决的一个难题。因为变形和滑坡尚未发生,要预测随着人类工程活动(如开挖)的进行会否发生滑坡,以及可能滑动的规模、范围、发生的部位及其危害性,从而制定出合理的预防和加固措施防止其发生是相当困难的。古老滑坡因其具有较明显的特征,有经验的地质人员和岩土工程人员只要在现场调查时稍微留心,是不难发现的。对已经或正在滑动的滑坡,特别是发育完全、动态明显的滑坡,由于变形形迹比较清楚,人们在认识上比较一致。但是对那些刚开始变形,发育尚不完全的滑坡,如滑坡后缘拉张裂缝已经出现,但两侧和前缘尚无变形迹象或不明显,就会出现不同的认识和判断,有的认为是滑坡变形,有的则认为不是,加之勘察和动态监测资料不足,下不了采取预防大滑动的决心,当滑坡大滑了,滑面已贯通,强度又降低(达其残余强度),治理费用大大增加,甚至造成已有工程破坏。当然,若不是滑坡而按滑坡治理也是浪费资财。

有变形迹象者尚且如此,对那些尚未施工开挖没有变形发生的地段的预测和预防,认识上的差距就更大了。但是,从过去铁路、公路、水利和矿山建设中施工后出现大量边坡变形和滑坡被迫治理的经验教训中,人们深切认识到滑坡预测和预防的重要。20世纪60年代,铁道部门曾做出决定:高度超过30 m的高边坡应和隧道方案作比较,并且隧道应早进洞、晚出洞避免洞口出现高边坡。因此铁路新线建设中高边坡数量大大减少,因高边坡开挖引起的滑坡也少了很多。但是近十余年来随着高速公路建设的飞速发展,山区高速公路上出现了许多高边坡及其变形现象,不得不追加大量投资进行病害治理。如陕西省的铜川—黄陵高速公路在80 km内发生滑坡27处,北京—珠海高速公路粤北段近300 km,高度大于30 m的高边坡近300处,广东省交通厅专门立项作设计复查研究,补充了地质调查和勘探,对欠稳定和不稳定边坡进行了变更设计和补强加固。云南省昆明至曼谷高速公路元江至磨黑段147 km,地形地质复杂,高度大于50 m高边坡有160处,开挖后因坍滑高度超过100 m的有60余处。北京至福州高速公路福建段200余千米,高度大于30 m的高边坡有180余处。都在开展研究和治理。交通部门已开始重视高边坡变形和滑坡的预防和治理。

以下主要介绍如何预测和预防滑坡。

### (一)如何预测人类工程活动后会否发生新滑坡

预测人类工程活动作用后会不会产生滑坡,主要还是应用工程地质对比法,辅以力学平衡计算方法,从以下几方面做工作:

#### 1 从宏观地质条件上调查预测

从某一地区或地段的地层、岩性、构造上分析是否为易滑坡地层。若属于易滑坡地层,如黏性土、黄土、厚层山坡或沟口堆积层、砂岩、页岩、泥岩地层、煤系地层、变质岩、火成岩的厚层风化壳及大的断层破碎带等,应注意其周围有无斜坡变形现象。有无古老滑坡和正在活动的滑坡。它们产生的条件、性质和规模大小,以便与将要开挖的地段作比较,判断开挖后会否产生滑坡。

#### 2 从自然山坡和人工边坡稳定状况调查预测

自然山坡的走向、朝向、坡形(直线坡、凸形坡、凹形坡、台阶状坡等)、坡度和坡高、植被状况,同类地层在河岸或沟岸所能保持的稳定斜坡坡度和高度,从中寻找其极限稳定坡。自然



坡上的变形现象、类型,规模和稳定状况。已有的人工边坡的岩土种类、性状、稳定状况、设计的坡形、坡度、坡高和防护措施,从中寻找稳定坡形和设计参数。

### 3 从软弱结构面调查预测

滑坡与其它斜坡变形的区别是它沿着相对固定的软弱面(带)滑动,滑动面多是沿坡体内已有的软弱结构面,特别是倾向临空和开挖面的软弱面发育的。应注意这些软弱面的产状、分布及其与开挖面的关系,如是否含水,开挖后会否被切断或接近暴露?这些面在土质滑坡中是下伏的基岩顶面、不同成因土层的分界面、不同时期堆积的土层分界面、透水和隔水性能不同的土层界面、含水层的顶底面,老地面,以及较均质土中的剪应力最大的面。在岩质滑坡中,它们是岩层层面、片理面、不同成因、不同时代岩层的接触面(整合面、假整合面)、层间错动面、缓倾角断层面、大节理面、不同风化程度的分界面,及以上软弱面的组合面。这些软弱面的产状、性质、延伸长度、充填物及含水状况及其与临空面或开挖面的关系,控制着滑坡会否发生,以及发生滑坡的位置和规模大小,因而是调查勘探的重点。一般说,当这些软弱面倾向山下或近于水平时,发生滑坡的可能性较小,而当其倾向临空面、倾角或视倾角大于 $10^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 时,发生滑坡的可能性很大。比较典型者如砂页岩顺层地段,当岩层层面倾向临空面倾角为 $10^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 时,自然发生的顺层滑坡就很多,人工边坡开挖后也会发生众多的顺层滑坡。当有多个软弱层存在时,会发生多层滑坡。

### 4 地下水是形成滑坡的重要因素

存在有一个隔水层,就可能形成一个滑动面,因此调查中应注意地下水露头的出露位置和标高及相应的隔水层性状,并应考虑开挖后坡体松弛引起地下水向下渗透和变化,造成滑坡面向深部转移。

5 在工程地质条件和作用因素变化分析、对比的基础上,基本上可以定性确定开挖后发生滑坡的类型、部位、规模大小,但要作到定量评价,还需借助力学计算方法。没有力学计算,就得不出边坡的稳定系数大小,也不知加固工程所应平衡的力量大小。因此它是不可缺少的手段之一。除了传统的极限平衡方法以外,目前还有有限单元法、三维稳定计算方法等等。但是力学算法存在两个困难使其计算结果的可信度受到怀疑:一是变形的边界条件如何确定。因为变形尚未发生,边界不确定,计算范围大了工程浩大造价高,计算范围小了,可能稳定不了坡体,造成工程破坏;二是计算参数难以准确试验和选择。因受取样条件和试验手段的限制,目前还主要靠已有或假定滑面的反算(演)法和经验数据对比法确定。关于高边坡稳定性计算的范围,根据作者的经验,主要考虑边坡开挖后坡体可能松弛的范围,因坡体侧向卸荷支撑力减弱而松弛变形、裂隙张开、地表水下渗,易引起坡体滑动。其松弛的范围依岩土体的质量而不同,一般在坡高 $H$ 的 $1.0\sim 3.0$ 倍,如图2所示。中等风化以下的岩体约为 $(1.0\sim 1.5)H$ ,强风化岩体和土层可达 $(1.5\sim 3.0)H$ 。有的情况下滑坡范围会更大,如顺层滑坡和沿大的构造面滑动时,可能达 $5H$ 以上,应根据具体坡体结构来决定。当然坡体松弛也有一个过程。

### (二)如何预防高边坡开挖后发生滑坡

高边坡是将地质体的一部分改造成为人为工程设施,其稳定性受控于当地的环

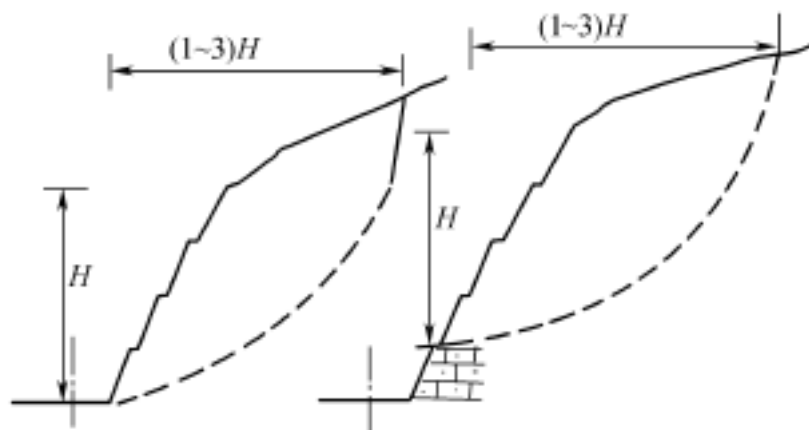


图2 边坡松弛范围示意图

境地质条件和人为改造的程度。设计的边坡只有符合当地岩土的结构和构造条件及强度特征才能保持稳定,否则就会发生变形。前面已经讲到对边坡所在地环境地质条件的详细调查是正确设计的前提。这里主要讨论如何在设计和施工上保证边坡的稳定。

1 首先,在设计原则上:(1)应尽量减小边坡的总高度,特别是地质条件不良和岩层顺倾地段的边坡,必要时应和隧道方案作比较。(2)高度低于30 m的边坡可以结合岩土性质以设计稳定坡形和坡率为主,即以放缓边坡坡率为主;而高度大于30 m的边坡,则不宜以放缓坡率为主,而应增加一定的支挡或锚固工程减小边坡的总高度,也可在边坡中部留较宽的平台以减小坡脚应力。过高的边坡,大量破坏原有植被,破坏斜坡的稳定性,不仅增大了坡面防护工程量,还潜伏了边坡变形的隐患。(3)地下水发育的边坡,除地表排水系统外,还应设置地下排水工程,如仰斜孔排水等,以减小孔隙水压力,提高软弱带的强度,增加边坡的稳定性。(4)有可能滑动的边坡必须设置预防滑动的支挡工程,最好是先加固后开挖,防止坡体松弛和滑动。(5)高边坡设计应考虑建立绿色通道和环境保护,避免“扒山皮”式的刷方,宁可设置支挡工程以减少刷方高度。

2 其次,在边坡的设计上,应综合应用工程地质比拟法、力学计算法和经验数据对比法。所谓“工程地质比拟法”,即从当地同类地层结构的自然山坡和已有人工边坡的调查找出稳定的、不稳定的和极限平衡的斜坡的坡高和坡率,作为设计的参考值。从坡体结构的分析中判定可能发生变形的类型和范围,作为力学计算的边界条件,并从已变形斜坡的反算中求可供使用的计算参数。力学计算法,是在工程地质调查勘探的基础上,拟定边坡变形破坏的模式、变形范围、可用有限元方法计算不同工况下边坡的应力分布和可能的松弛范围,但主要还是应用极限平衡方法计算边坡整体和各个局部的稳定系数及滑动时的推力大小。从而决定放缓坡率还是增加加固工程。经验数据对比法是已有工程经验的总结,可供类似工程参考。

当用工程地质比拟法和力学平衡计算法评判为不稳定和欠稳定的边坡时,其处理办法有二:一是放缓边坡、减小每一级边坡的高度。这只有在不过多增大边坡总高度的情况下才可采用。二是设置必要的加固工程和地下排水工程。当边坡高度大于30 m时,我们更倾向于采取加固措施。由于坡脚应力集中,容易被破坏,一般用挡土墙或桩进行加固,中下部用预应力锚索框架(或地梁)加固,即所谓“强腰固脚”。上部则可放稳边坡只作坡面防护和绿化。当坡脚一级岩体较好,风化轻微时,加固的重点在中上部。图 3 是高边坡加固的示意图。

值得指出的是,滑坡问题不是边坡坡率和坡高问题,而是由于潜在滑动面(带)的存在,边坡开挖后(边坡不一定很高),削弱了滑坡的支撑部分,加之坡体松弛、地表水下渗及施工爆破震动,使坡体沿潜在滑面滑动。这种情况必须采取抗(防)滑加固措施。最好是用抗滑桩、预应力锚索抗滑桩或预应力锚索框架,必要时设置仰斜排水孔疏干地下水。这

种预加固桩的设计,由于滑坡尚未发生,潜在滑动面上的强度未降到其残余强度,推力会小一些,因此工程自然比已发生的同规模滑坡要小一些。这就是预先加固的好处。

3 高边坡施工开挖方法正确与否也是发生滑坡的关键。施工最好安排在旱季,并先做好

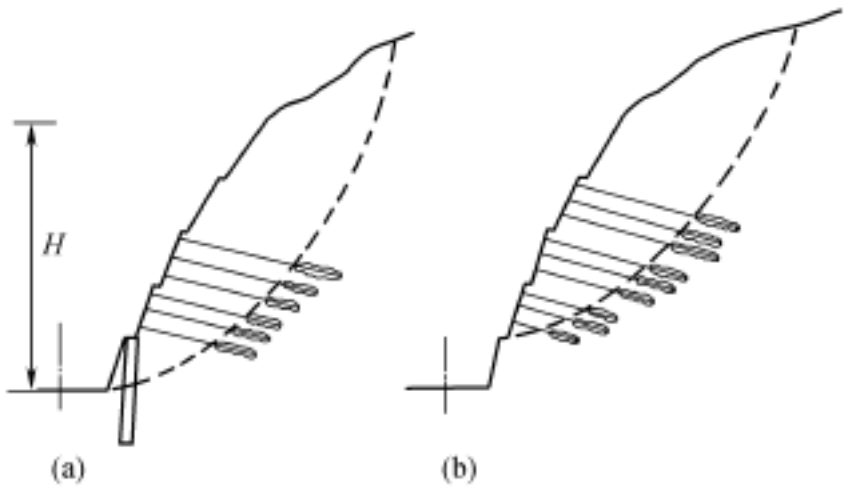


图 3 高边坡加固示意图  
(a) 坡脚为不稳定地层时; (b) 坡脚为稳定地层时。

山坡截水沟,减少地表水渗入坡体。为减少坡体松弛,随时增加支撑力,高边坡开挖应开挖一级,立即加固一级,不允许一直挖到坡底再加固。施工中不允许大药量爆破,以免震动引起边坡变形发生。若最下一级边坡用桩加固,应先做桩后开挖,以保边坡的稳定。

4 具有多层潜在滑动面的高边坡加固设计,如岩石顺层高边坡,应特别注意不同施工工况下的局部和整体稳定问题。如图 4 所示。

(1) 当滑面较陡,一、二、三、四级边坡均用预应力锚索加固,且每级的锚索均穿过深层滑面时,上层锚索既要稳定浅层滑坡,又要承担一部分深层滑坡的推力,自然要作分层稳定检算和设计。但是值得注意的是,设计上往往以四级边坡上锚索的总抗力平衡最深一层滑坡的推力,然而当开挖最下一级边坡到设计标高时,最下级

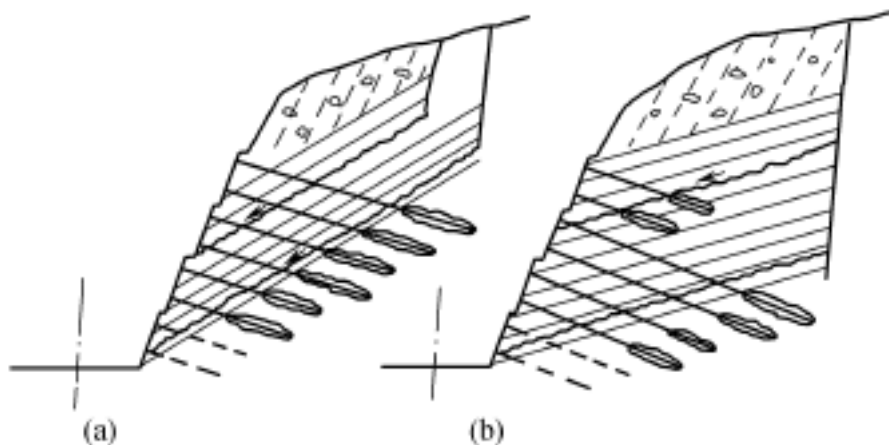


图 4 多层潜在滑面锚固示意图

(a)全部锚索穿过深层滑面的情况;(b)部分锚索穿过深层滑面的情况。

边坡上锚索尚未施工或未施工完成,这是边坡整体上最不稳定的状态,若考虑不周,会造成深层滑动变形,破坏已做好的锚索工程,后果十分严重。设计上必须考虑施工过程这一特点,使第二、三、四级锚索的抗力略大于深层滑坡的推力,防止其变形,而第一级锚索的抗力作为提高边坡的稳定系数到 1.2~1.3,如此才可保证施工过程中和工后的安全。

(2) 当滑动面较平缓,上层边坡锚索伸入深层滑面,长度太大施工困难时,可以分层加固,即上层只稳定浅层滑坡,中、下级锚索才伸入深层滑面以下保证深层滑坡的整体稳定。这时,中、下级锚索必须有足够的抗力抵抗整个滑坡的推力,而且同样应考虑上面已说明的第一级开挖后尚未锚固的情况。若第一级用抗滑桩加固,先作桩后开挖,情况会要好得多。

以上主要介绍了高边坡开挖引起滑坡的预防问题,至于填堤、弃土引起滑坡的预防问题,其原则是一样的,只是作用因素有所不同,可以结合具体情况去分析、处理。

## 五、结 语

滑坡的有效预防具有巨大的防灾、减灾和经济效益。但是目前由于存在认识上、技术上和经济上的一些原因,还有很多不足,基本上还未摆脱滑坡灾害发生后被迫治理的被动局面。本文提出作者的想法和认识,与同行专家讨论,希望能促进我国滑坡预防技术的提高。

The Principles and Methods for Preventing Landslide

Wang Gongxian

(Northwest Research Institute, China Railway Engineering  
Corporation, Lanzhou, 730000)

### ABSTRACT

The passive controlling method for landslide after its occurring has been used in China for several ten

years, which not only increases the investment but also delays the construction time, and causes the operation in danger. Nowadays, people realize more and more the importance of preventing landslide hazard, but they can not reach a common understanding on how to prevent a landslide effectively. This paper, based on the author's research for many years and the practice experiences of controlling landslide, analyzes the principles and methods to prevent old landslide reviving, to prevent a already active landslide sliding to cause a hazard, and to prevent the potential landslide section occurring landslide.

Key words: landslide, preventing, principle and method

# 滑坡整治工程设计思想与实践

赵肃菡

杜寅堂

(中铁西北科学研究院, 兰州, 730000) (铁道第一勘察设计院, 兰州, 730000)

## 摘 要

本文根据作者从事大量滑坡整治工程实践的归纳总结,对滑坡整治工程区别于一般工程设计的典型特点以及设计工作中应该考虑的主要问题和主要设计思想进行了论述,采用了大量典型工程实例。文中首次提出的(预应力锚索)抗滑桩与桩周岩土刚度耦合概念对于当前大量采用的新型工程结构设计具有重要意义。

关键词:滑坡 整治工程 设计

## 一、前 言

随着人类工程建设活动的大规模扩张,滑坡灾害对人类造成的危害和损失也越来越大,滑坡灾害已涉及到国民经济和人民生活的各个领域,越来越多的地区和管理部门遇到滑坡灾害问题,已经有大量原来从事结构工程、岩土工程、环境地理、环境保护、水利工程、交通工程、矿山地质、工程地质和水文地质等专业的科技人员投身于滑坡防治工程实践中。

滑坡防治是涉及到地质、工程、气象、水文、经济等各个专业的综合性学科,但直到目前为止,滑坡灾害防治没有统一的规范可循,许多单位和个人凭经验进行勘察和治理工程设计,不规范、不统一。虽然大家在滑坡性质分析和整治工程设计中,所采用的基本理论和原理基本是相似的,比如滑坡稳定性分析、推力计算、整治工程结构计算公式和程序在大量书籍上都可找到而且得到普遍应用,但在工作程序、方法和具体参数选用、计算原则确定、边界条件认定等方面存在很大差异,往往造成设计计算结果的巨大差别,甚至由于设计上的原因或地质基础资料原因造成滑坡整治工程失败的事例屡屡出现,教训惨痛。

本文主要根据工作实践中滑坡整治工程设计的几个主要方面进行论述。

## 二、滑坡整治工程设计的特点

滑坡整治工程属于岩土工程范畴,其最重要的特点是:地质条件和工程环境条件以及动态变化是决定工程设计的关键因素,设计的合理与否,成功与否,往往在更大程度上取决于对结构体以外的地质和环境条件的分析和判断,比如对滑坡当前状态和今后发展状态(特别是工程实施以后)的判断,结构体周围岩土地质和水文条件、滑面位置和滑体范围、岩土参数选择、结构和岩土相互作用关系模式确定等。

### (一)滑坡整治工程设计基础

滑坡整治工程设计的基础是地质,地质工作为设计服务,地质思想必须从勘察阶段延续到

设计阶段直至工程施工阶段和工程竣工后的运营阶段。

不能把设计工作和地质工作在工作组织上割裂开,绝对不能把滑坡整治工程设计工作当作独立于滑坡地质勘察工作以外的一项工作来对待。一个成功的滑坡整治工程设计必然来自地质工作和设计工作的紧密结合,地质思想与设计思想间的相互渗透,两者关系,如图 1 所示。

可以说,由于地质问题造成滑坡整治工程在建设过程中破坏及建成后出现病害不乏其例,工程失误时有发生,教训深刻。

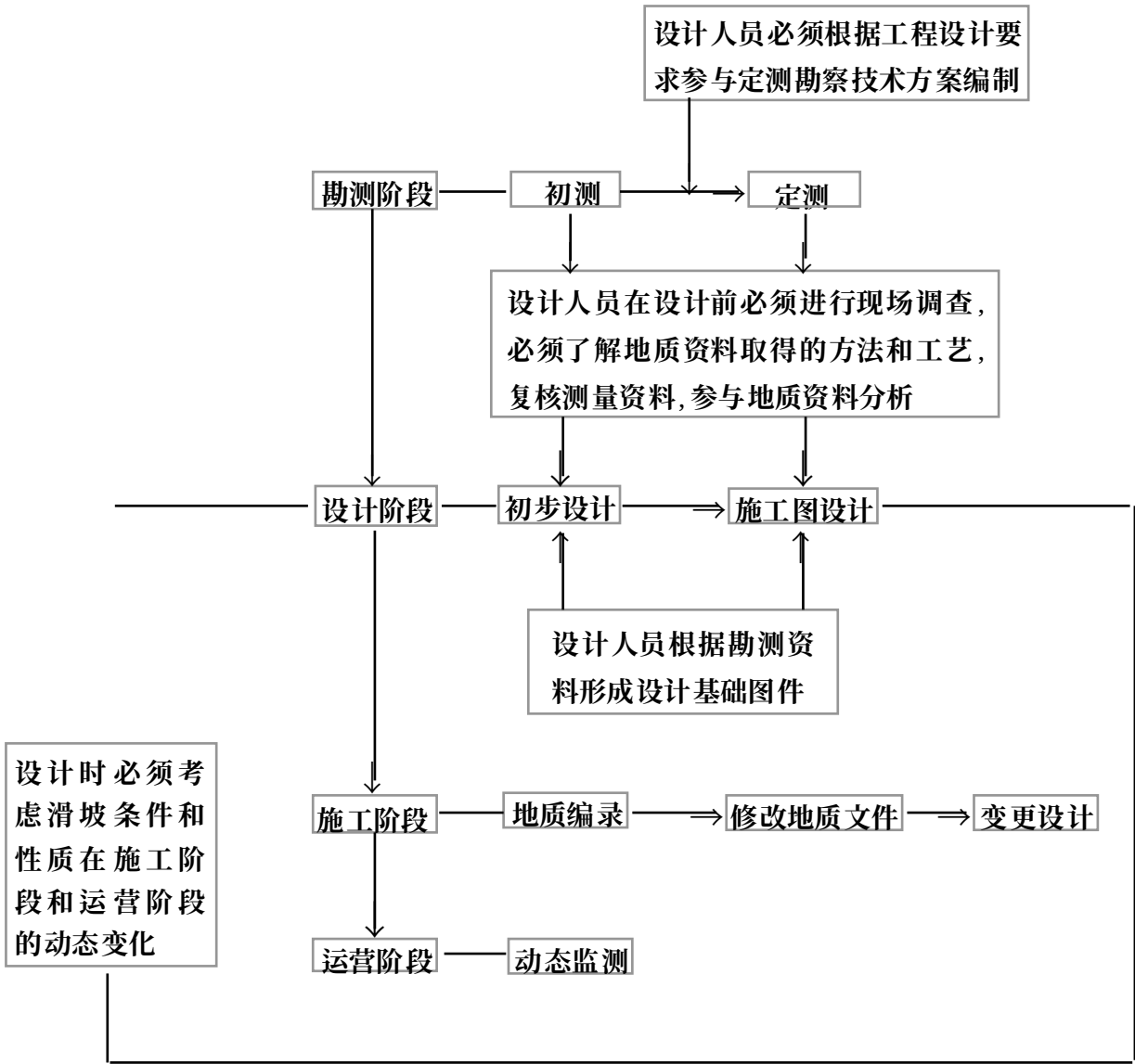


图 1 地质工作和设计工作的关系

(二) 滑坡动态设计思想

滑坡的性质和稳定性是动态变化的,不仅在整治工程实施前,而且在整治工程实施后很长一段时间都在不停的变化过程之中。动态变化不仅体现在滑坡体和周围岩土地质和水文地质条件随时间的变化,而且体现在由于人类活动或工程结构物的施展,本质上这是给原来的地质环境增加了一个新的内涵,结构物和地质体间的相互作用和影响会带来新的动态变化。

因此,滑坡整治工程设计不是静态的,而是动态的。

1 整治工程设计的初始状态应该是工程施工时的滑坡状态,而不是勘探工作完成时的状态(工程实际中往往从勘探工作完成到工程实施间有一段比较长的时间,甚至工程施工期也有一个比较长的时间)。

2 工程结构物必须根据滑坡今后发展历程中所有不利状态的“ 包络线 ”来计算和设计。

3 在设计中要考虑到工程结构物引起环境条件、地质条件和水文条件变化的因素。

如图 2~图 5 所示的变化过程都是工程师在设计时必须考虑到的条件。

(三)地质体是滑坡支挡工程的一部分

对于当前大量采用的普通抗滑桩、预应力锚索抗滑桩、预应力锚索等支挡工程来说,它们是通过结构体本身和周围岩土的作用来发挥抗滑支挡作用的,地质体也属于支挡工程的一部分,支挡工程周围岩土体的力学参数以及由设计人员根据相互作用原理选定的结构物的力学特性对于工程设计有重大影响。

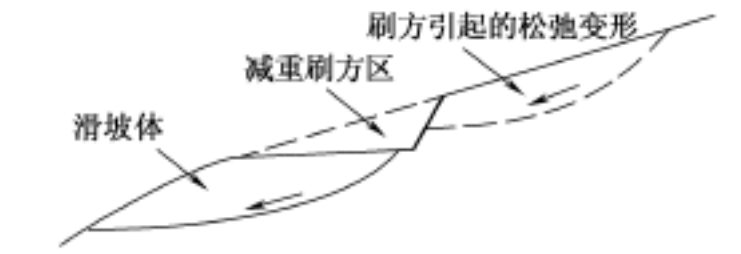


图 2 滑坡后部减重引起更大范围山体失稳

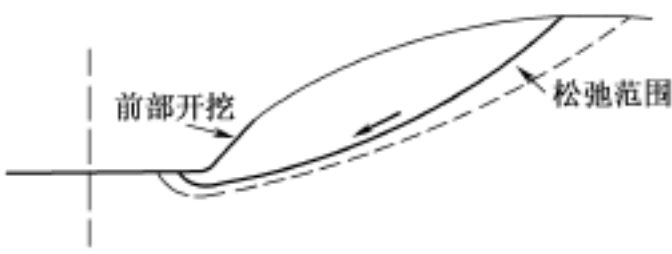


图 3 前部开挖引起山体松弛范围加深

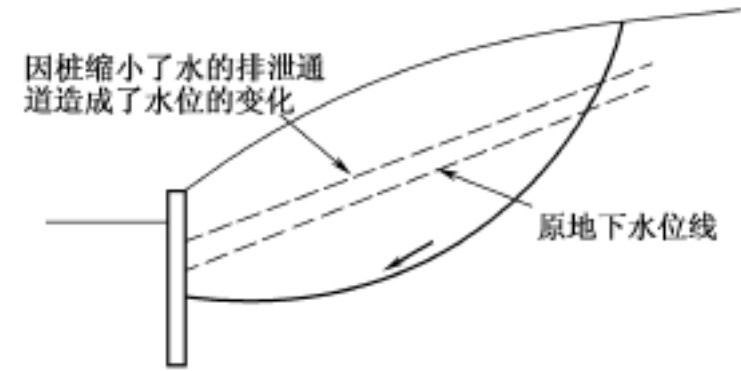


图 4 抗滑桩设置引起地下水位变化

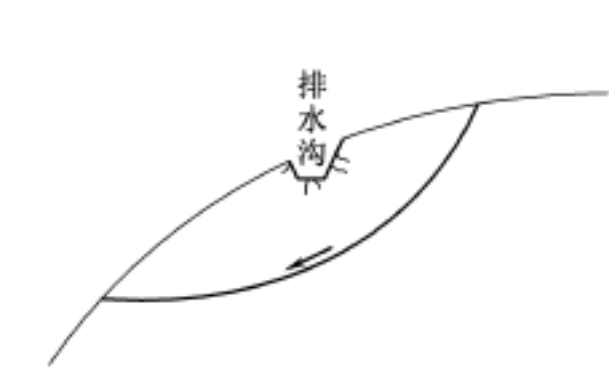


图 5 在滑坡挤压稳定前施工的地表排水沟开裂增加了地表水向滑坡体的渗入量

如图 6 所示,对于预应力锚索抗滑桩,选取适当的锚索抗拉刚度  $EA/L$  及桩身的抗弯刚度,使其与桩周岩土抗压刚度形成良好的耦合关系,达到当整体结构处于最不利条件时预应力锚索、桩身、桩侧岩土都能发挥最大强度,是优化设计方案的重要因素。

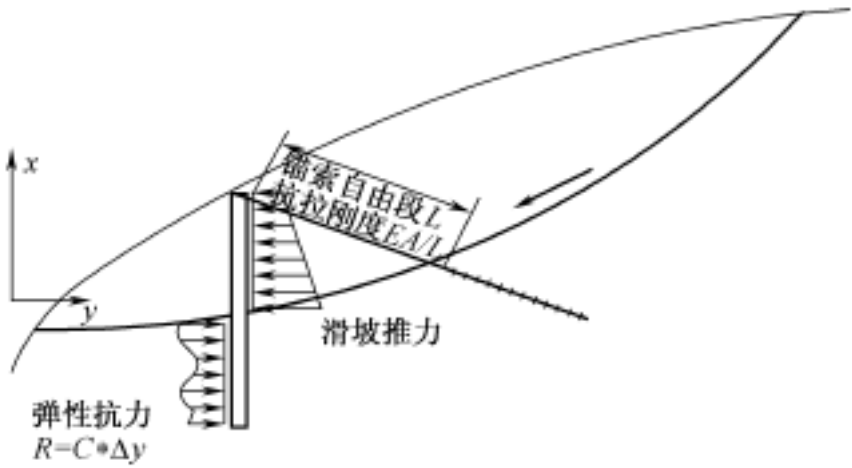


图 6 预应力锚索抗滑桩的刚度耦合模型

(四)滑坡治理必须采取综合整治措施

引起滑坡病害的原因是多种多样的,对于大型复杂滑坡必须针对产生病害的原因采用多种手段的综合整治措施才能根治,简单地单独采用支挡或排水措施,不仅不经济,而且在许多情况下如果不能控制引起病害的主因,最终可能造成工程失败。图 7 和图 8 所示工程是综合整治的典型实例。

(五) 滑坡整治工程设计的特殊性和非标准性

绝大部分滑坡的形成都是在地质条件极为复杂的背景下产生的。滑坡产生的影响因素也非常多,可以说条件相同的滑坡是极少的,每一个滑坡的整治工程设计都具有其特殊性,只有在准确地把握滑坡性质的基础上,针对每个滑坡的主要因素采取相应的工程措施,才能获得满意的治理效果。因此,要想建立一套对各类滑坡均适用的标准设计几乎是不可能的。哪怕是两个条件相近的滑坡,在滑坡整治工程设计时要互相类比也必须考虑到其差异性。

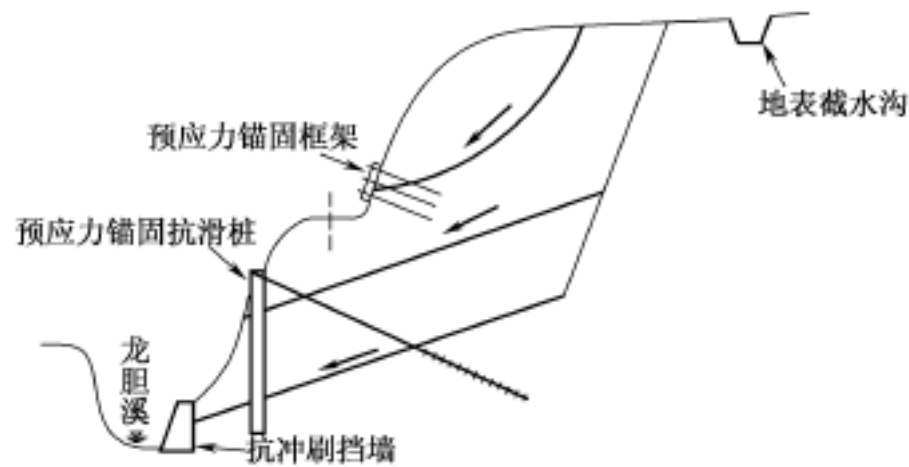


图 7 川藏公路南线(G318)二郎山 K2729 I 号滑坡整治工程示意图

说明: 龙胆溪泥石流对坡脚冲刷是引起坡体松弛和产生滑坡的主要因素,因此在四项措施中,坡脚抗冲刷挡墙是确保整体治理工程成功的关键措施。

(六) 要考虑工程的可实施性和特殊环境条件

滑坡整治工程都是地下工程和地表工程,施工条件非常复杂,有一些实际施工条件是不易控制的,现场实际不一定能达到设计考虑的理想状态,设计时对此要有所预计。

如图 9 所示成昆铁路莫洛滑坡仰斜排水孔设计孔深达 120 m, 钻孔深和滤管推送长度都达到了设计要求,但在拔取套管时把滤管带出,采取了大量技术措施均不能解决,只好变更设计。

有些自然环境条件是工程措施无法解决的,即使设计计算十分完美合理,当自然环境条件改变时也会引起工程失败。

如图 10 所示某公路隧道洞口仰坡滑坡采用

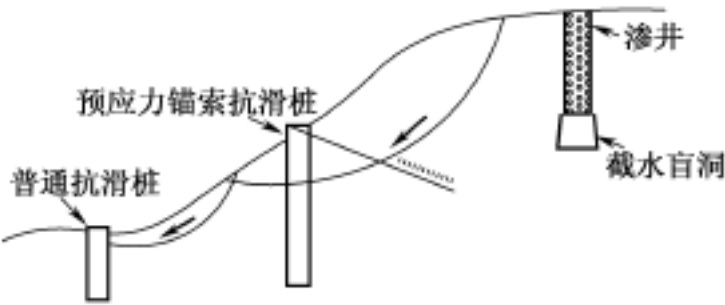


图 8 四川江油六二四研究所高空台  
试验区滑坡整治工程

说明: 通过两级支挡和上部截水的综合措施达到根治滑坡的目的。



图 9 成昆铁路莫洛滑坡排水孔施工



预应力锚索地梁进行支挡。由于坡面地层破碎松散,工程竣工后未经过一个雨季,就因为地梁下土和块碎石受地表水冲刷而流失,地梁产生大量倾斜和下沉位移,工程结构完全失效。



图 10 某隧道西洞口滑坡锚索工程

### 三、滑坡整治工程设计基础资料的准备

一般的工程设计,设计人员拿到勘察报告后就可依据报告提供的图件和参数来展开计算、设计工作,但对滑坡整治工程设计而言,设计人员必须对基础资料进行充分的准备和分析。

#### (一)设计人员必须到现场进行实地调查

绝大部分滑坡的地貌、地质条件都是非常复杂的。这些条件反映在图件上必然会与现场实际情况存在差异或细部得不到充分反映。另外,滑坡和建筑物变形的细部特征等对设计而言极为重要的资料更是需要详细掌握,因此设计人员有必要到现场进行实地调查,以做到心中有数。

为了能充分反映有关资料,一般应要求平面图比例为 1:500,断面图比例 1:200。有时因种种原因勘察资料提供的是较小比例尺的图件,就更有必要通过现场调查来补救图件上的不足。

#### (二)对测量资料和地质点的复核

测量是地质和设计的基础工作。相对大型工程项目而言,往往滑坡测量的控制网精度较低,而且工作量也比较分散,设计技术人员有必要对测量资料和地质点进行复核,确保基础资料的准确性。

#### (三)对勘探技术工艺的了解

在滑坡勘察工作中采取综合勘察技术已经被广泛地认同。勘探内容包括物探、钻探、挖探、监测、试验等。这些工作虽然主要由地质人员负责完成,但滑坡整治工程设计人员也必须了解现场实施的工艺方法。因为不同的工艺方法所获取的地质信息是有差别的,对设计产生巨大的影响,比如对钻进方法中采用干钻、开水钻、双管钻进、无泵小循环等,深孔位移监测管的埋设工艺、土的剪切试验方法等的了解。

#### (四)全面掌握地质资料分析结论

设计人员简单地依据勘察报告提供的资料着手进行推力计算、工程布置、工程设计是非常危险的,滑坡是一个动态变化的过程,滑坡性质和动态不仅与地质、气象、水文等自然条件随时间改变有关,而且和人的工程活动、结构物的影响作用有关。通过对地质资料分析过程和结论的全面掌握,结合工程设计思想,对滑坡性质和动态进行再分析,得出的结论才能作为动态设