

滑坡防治中的关键技术及其处理方法

王恭先

(中铁西北科学研究院, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 滑坡灾害已成为制约国民经济持续稳定发展的因素之一, 特别是在我国西部地区, 由于特殊的地形地质条件, 滑坡灾害更为严重, 中断交通, 堵塞河道, 摧毁厂矿, 掩埋村镇, 造成了巨大的生命财产和经济损失。以工程地质与岩土力学的有机结合, 对滑坡防治中的几个关键技术介绍其处理方法, 希望对从事滑坡灾害防治的人员有所帮助。主要内容包括: (1) 目前滑坡防治中存在的问题; (2) 滑坡防治中的关键技术及其处理方法: ① 大型复杂滑坡的条块、级、层划分; ② 坡体结构与滑坡的破坏模式; ③ 滑坡的勘察与监测技术; ④ 滑带土抗剪强度参数的试验和选择; ⑤ 滑坡预防; ⑥ 滑坡防治的基本原则和工程措施。

关键词: 边坡工程; 滑坡防治; 关键技术; 处理方法

中图分类号: P 642.2

文献标识码: A

文章编号: 1000 - 6915(2005)21 - 3818 - 10

KEY TECHNIQUE IN LANDSLIDE CONTROL AND ITS HANDLING MEASURES

WANG Gong-xian

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

Abstract: Landslide has become one of the factors which restrict the state economic development, especially in the western area of China, the landslide disasters are more serious owing to special landform and geological conditions. It often blocks traffic and river, destroys factory and mine and burries villages and towns and even results in a great loss of life and property. The author, based on experience and research for landslide control of 44 a and connected engineering geology with rock mechanics, presents several key techniques and its handling measures in landslide prevention so that it can provide reference to the technicians who are engaged in landslide disaster controlling. The main content concludes: (1) the problems existing in landslide control at the present; (2) key techniques and its handling measures in landslide prevention: ① division of slice, grade and layer of large-scale and complex landslide; ② slope structures and failure mode of landslide; ③ survey and monitoring techniques of landslide; ④ test and choice of shearing strength parameter of soil in the sliding zone; ⑤ landslide prevention; ⑥ basic principle for preventing landslide and its engineering measures.

Key words: slope engineering; landslide control; key technique; handling measure

1 引言

我国是世界上滑坡灾害比较严重的国家之一。史书中早有“山崩堵江”、“移山湮谷”和“地移掩村”的记载。20世纪50~70年代在社会主义事业建设中曾发生过许多滑坡, 延误工期、增加投资甚至

造成重大灾害。对此, 许多部门成立专门机构对其进行研究, 并成功地预防和治理了数以千计的滑坡。

改革开放以来, 随着大规模基础设施的建设, 特别是西部大开发战略的实施, 建设速度加快, 机械化施工程度提高, 人类改造自然的力度和广度空前增大, 但与此同时却出现了一个滑坡灾害的多发

收稿日期: 2005 - 06 - 26; **修回日期:** 2005 - 07 - 25

作者简介: 王恭先(1936 -), 男, 1961年毕业于唐山铁道学院, 现任研究员、博士生导师, 主要从事滑坡机理及防治技术方面的研究工作。

期。如川藏公路二郎山隧道建成通车大大改善了运营条件，但其东、西引道上的十余处滑坡和泥石流治理却花费近 2 亿元人民币。西藏境内的 102(道班)滑坡，10 a 内造成 17 次翻车事故。2000 年 4 月发生在其附近的易贡滑坡，体积达 $3 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，堵塞易贡藏布河形成“滑坡坝”，2 个月后坝体溃决，使下游 10 km 公路荡然无存。京珠高速公路粤北段 300 km 内有高边坡和滑坡 200 余个，治理滑坡和高边坡加固增加投资近 8 亿元。云南省元江一磨黑高速公路滑坡和高边坡治理增加投资 6 亿多元。长江三峡库区约 300 处滑坡，治理费用将超过百亿元。南宁—昆明铁路八渡车站滑坡，体积为 $5 \times 10^6 \text{ m}^3$ ，治理费用 9 000 万元^[1]，如图 1 所示。1985 年陕西韩城电厂曾发生因煤矿采空塌陷引起山体滑坡，造成电厂建筑物严重变形，治理费用 5 000 余万元。2004 年北京市戒台寺又发生了因煤矿采空塌陷引起 1 400 a 历史的古寺开裂变形，治理费用也达 5 000 余万元。表 1 为近年发生的滑坡灾害实例。



图 1 八渡滑坡全貌

Fig.1 Overview of Badu landslide

表 1 典型滑坡灾害实例

Table 1 Examples of typical landslide disaster

序号	滑坡名称	位置	体积 (10^4 m^3)	发生 时间 /年份	灾害	治理费用 /万元
1	八渡滑坡	南昆铁路	500	1997	破坏公路、渡口, 威胁铁路车站	9 000
2	海石湾滑坡	兰州市	600	1995	威胁工业广场主、副井安全	3 000
3	102 滑坡	川藏公路	500	1991	中断交通、翻车 17 台	5 000
4	K2730 滑坡	川藏公路	450	1997	破坏公路	6 000
5	向家坡滑坡	重庆市	110	2004	中断高速公路	5 000
6	张家坪滑坡	重庆市	900	2001	威胁高速公路	3 000
7	戒台寺滑坡	北京市	700	2004	破坏千年古寺	5 400

由表 1 可知滑坡灾害的严重性，其治理费用较

为昂贵。从已有的经验教训中，应当反思在大规模经济建设中如何预防滑坡灾害，减少因滑坡造成的巨大损失。

2 目前滑坡防治中存在的问题

2.1 前期地质勘察工作不足

工程建设中对已存在的古老滑坡和可能发生滑坡的地段缺乏认识，该避开的没有避开，加之盲目设计和施工，致使施工后发生众多古老滑坡复活和新生滑坡。前述的八渡滑坡已将南盘江河床宽度压缩 80 m，仍把车站设在老滑坡体上，1997 年南盘江大洪水冲刷了抗滑段滑坡复活，不得不花巨资进行治理。又如甘肃省兰州市海石湾煤矿上工业广场布设在一大型古滑坡的最上一级平台上，施工中滑坡复活，严重威胁主、副井、通风井和变电站的安全，如图 2 所示，花费 3 000 万元进行治理。重庆市万州—梁坪高速公路约 20 km 选在砂、泥岩顺层山坡上，岩层倾角为 $20^\circ \sim 30^\circ$ ，存在多个软弱夹层，是最容易滑动的坡体结构，路堑开挖后切断岩层，几乎是每坡必滑，花费近 2 亿元进行治理。



图 2 海石湾煤矿上工业广场滑坡

Fig.2 Landslide on industry square in Haishiwan coal mine

2.2 滑坡的勘察技术欠缺，判断失误，致使治理工程失败

这里存在两个问题：一是大型复杂滑坡区可包括多个滑动条块，其滑动方向、次数、距离及稳定程度不同，同一滑块可能分多级、多层，必须分别详细勘察，分别治理；否则不是工程浩大，就是工程被破坏。二是勘察方法不合理，盲目钻探，布置许多钻孔，但又开水钻进，致使最需要查明的滑动带(面)和地下水情况无法查清，甚至遗漏了最深层滑面，造成工程失败。如重庆市渝黔高速公路向家

坡滑坡, 由于漏判了深层滑面, 先后作了四排抗滑桩, 但未能稳定滑坡, 不得不作第五排抗滑桩, 总投资达 5 000 多万元。

2.3 高边坡数量过多

边坡数量过多且高度过大, 缺少科学合理的预测评价方法及相应的加固措施, 施工后发生了众多变形和滑坡。

2.4 治理方案上存在问题

在滑坡防治的工程措施上, 我国同国外已没有本质区别, 如排水、减重、反压、支挡工程(抗滑挡墙、抗滑桩、锚索抗滑桩、锚索框架等)均已广泛应用, 大截面钢筋混凝土抗滑桩更符合我国具体情况。问题在于针对每个滑坡的具体地质条件和主要作用因素选择合理的方案。目前存在的问题有:

(1) 方案不合理造成浪费。如内蒙古自治区呼和浩特—集宁高速公路 K153 岩石顺层滑坡, 用注浆处理, 花费 600 万元未能稳定滑坡。

(2) 有些滑坡地下水发育而未重视排水工程, 不仅支挡工程浩大, 而且可能造成失败。

(3) 滑坡推力计算过大造成浪费, 或工程设置不合理, 造成滑坡“越顶”等。

除以上原因外, 施工季节、程序和方法不科学, 也可能造成滑坡范围扩大或急剧滑动。

3 滑坡防治中的关键技术及其处理方法

滑坡防治中的关键技术概括为两方面: 一是正确认识滑坡的性质, 二是有效而合理地预防和治理滑坡。下面分几个方面来说明其作法。

3.1 大型复杂滑坡的条块、级、层划分

规模巨大的滑坡沿河岸宽达数百米, 纵向长度数百米、上千米, 体积达数百至数千万立方米。实践证明滑坡常常是由多个滑动条块构成的一个滑坡区, 沿河流方向可分为若干条; 在高程上可分为若干级; 在滑体结构上可分若干层。各条块的发生年代、滑动方向、滑动次数和距离以及稳定程度都不尽相同, 但又是相互联系的。针对每一条块确定其产生条件、因素、结构、性质、与相邻块体间的关系, 评价其稳定状态和发展趋势, 制定不同的治理方案和措施, 这就使得一个大型复杂滑坡可以分而治之。具体作法为下述几个方面。

3.1.1 先从地貌形态上划分滑坡的条块和级数

滑动过的滑坡, 由于各条块滑动的速度和距离或滑动次数不同, 在两块体之间发生相对位移而撕

裂, 形成陡坎或后期被水流冲刷形成沟谷, 这些沟谷就成为条块间的边界。

滑坡从前缘到后缘有几级缓坡(或反坡)平台, 除正常的剥蚀平台外, 常是由几次滑动所造成, 即可分为几级。

3.1.2 从坡体构造和结构上划分滑坡的条块和级、层

地貌是山坡岩土体岩性、结构和构造等内在条件的外观表现, 地貌上的划分必须以内部结构条件为基础。通过山坡岩性分布和构造格局的详细调查和分析, 可将山坡划分为若干个构造单元, 每一单元可形成一级滑坡。再对各个条块布设主轴勘探断面和辅助断面, 查明岩性分布、埋藏构造、滑动面(带)层数、位置和形状, 以及地下水的分布, 即可确定各个条块的性质及其条块、级、层间的关系。

3.1.3 从各条块的变形形迹和作用因素的分析上判定

从各条块的变形形迹和作用因素的分析上判定其稳定程度和发展趋势, 从而分别制定不同的稳定措施。

如万州—梁平高速公路张家坪堆积层滑坡, 长 1 000 m, 宽 300 余米, 最厚 38 m, 分为 3 级, 只对中级和中层滑面进行治理, 保中级以上滑坡稳定和公路安全节约了投资, 如图 3, 4 所示^[2, 3]。

3.2 坡体结构与滑坡的破坏模式

坡体结构是坡体内岩土体的分布和排列顺序、位置、产状及其与临空面之间的关系。其构成滑坡的地质基础, 主要是控制了滑动面(带)的位置和形状。

谷德振等研究了岩体结构, 文[4]曾划分过 5 种坡体结构。

在滑坡防治中重点研究可能形成滑动面(带)的地质和位置, 将坡体结构划分为六大类 18 个亚类, 如表 2 和图 5 所示^[5]。

(1) 类均质体结构指构成坡体的岩土体近乎均质体, 其变形破坏不受层面或构造结构面控制, 而受坡体内应力分布和变化及土体强度的控制, 如均质黏性土、类均质黄土、岩体的全、强风化残积层及人工堆填的类均质土坡等。滑坡的滑动面在该类土中呈近圆弧状。

(2) 近水平层状结构是指构成坡体的岩层或土层产状水平或接近水平, 其倾角都在 10°以内。如某些黄土层、河湖相沉积的粘土层(膨胀土层)、四川省西南部分布的昔格达层、青海省龙羊峡附近分布的共和组地层以及其他近水平产状的砂、页、泥岩地层等构成的坡体。由于岩层产状平缓, 似乎不

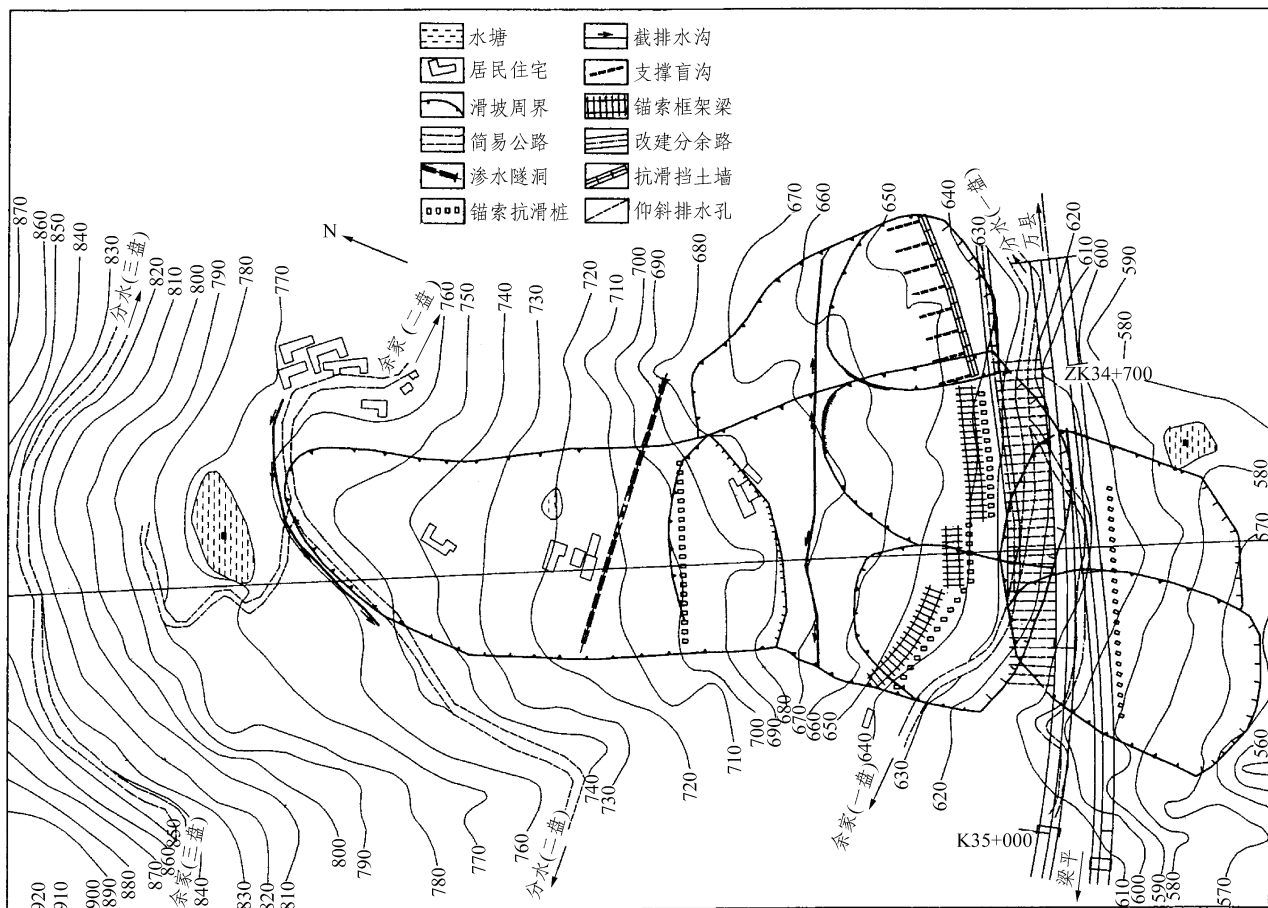


图3 张家坪滑坡平面图(单位: m)

Fig.3 General layout of Zhaojiaping landslide(unit: m)

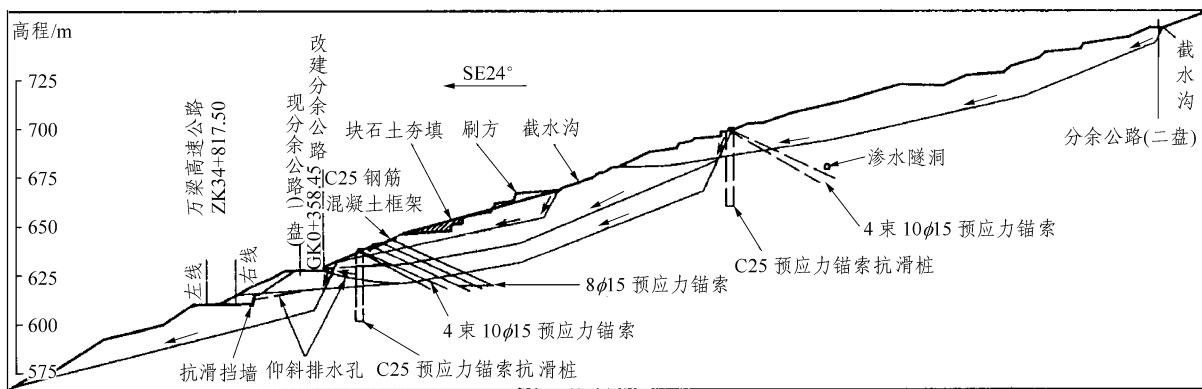


图4 张家坪滑坡断面图

Fig.4 Profile of Zhangjiaping landslide

应该产生滑坡,然而在这些地层中却发生了许多滑坡。特别是顺层滑坡。尽管岩层面倾向临空面的倾角较小,但由于特殊的岩性和坡体结构,软弱的泥质岩层岩性弱、强度低,相对隔水,在地下水作用下容易形成滑动面而使上覆岩体滑动。另一类是厚层硬岩如砂岩、石灰岩等构成斜坡的主体,而在斜坡脚附近下伏了软弱的泥岩、页岩、粘土岩等,由于其强度低,受水软化,在上覆岩体重压下发生塑

性流动,从而发生软岩挤出性滑坡(错落型滑坡)。当然也有在滑坡前先崩塌的。有时崩塌的卸载效应会延迟滑坡的发生。

(3) 顺倾层状结构指构成坡体的岩层或土层层面倾向临空面且倾角 $\geq 10^\circ$,如斜坡上堆积的不同时期的黄土层、斜坡脚附近不同时期堆积的崩积、坡积、洪积层,以及各个地质时代地壳运动造成的倾向临空面的岩层,特别是软硬相间的岩层。

表2 坡体结构类型与滑坡的破坏模式

Table 2 Slope structures and failure modes of landslide

坡体结构		滑坡的破坏模式
基本类型	亚类型	
类均质体结构	(1) 均质黏性土结构	旋转式滑动
	(2) 均质黄土状土结构	
	(3) 强风化残积层结构	
	(4) 类均质堆填土结构	
近水平层状结构 ($\alpha < 10^\circ$)	(1) 河湖相沉积层结构	顺层滑动
	(2) 黄土软岩层状结构	切层滑动
	(3) 软、硬岩互层结构	切层滑动
	(4) 厚层硬岩下伏软岩结构	挤出式滑动
顺倾层状结构 ($\alpha \geq 10^\circ$)	(1) 黄土顺倾层状结构	顺层滑动
	(2) 堆积土顺倾层状结构	顺层滑动
	(3) 岩层缓倾层状结构	顺层滑动
	(4) 岩层陡倾层状结构	顺层-切层滑动
反倾层状结构 ($\alpha \geq 10^\circ$)	(1) 缓倾层状结构	切层滑动
	(2) 陡倾层状结构	倾倒-切层滑动
碎裂状结构	(1) 碎块状结构	旋转滑动
	(2) 碎裂状结构	顺构造面滑动
块状结构	(1) 似层状结构	顺构造面滑动
	(2) 眼球状结构	顺构造面滑动

层面可以是一个平直面，也可以是连续变化的曲面。从理论上讲，这类面越陡，即倾角越大越容易发生顺层滑动，实际上受两个条件控制：一是层面与临空面的关系，当坡面陡于层面，即层面在坡面上出露时容易滑动；二是层面倾角与层面间摩擦角的关系，前者大于后者时容易滑动。顺层面滑坡是自然界分布很广的一类滑坡，其滑动面地层是相对隔水、受水软化强度降低幅度较大的泥质地层或层间错动带。顺倾层状坡体当岩层陡倾倾角 $>40^\circ$ 时，往往层面控制了斜坡面，不易形成滑坡，但当坡体下部岩性软弱或遭构造作用而破碎时，在上部岩体顺层推力作用下，能形成上部顺层下部切层的滑坡，如昆铁路铁西滑坡。

(4) 反倾层状结构指构成坡体的岩层层面(或片理面)倾向山内且倾角 $\geq 10^\circ$ ，如众多的沉积岩和变质岩层。当受构造作用岩体破碎，节理裂隙发育时会产生切层滑坡，滑动面为构造面的组合。陡倾向山的岩层当坡脚受构造破碎或岩性软弱时，会形成先倾倒而后滑动的切层滑坡。

(5) 碎裂状结构主要指大的断层破碎带或断层交汇带的岩层形成的坡体，岩体破碎成碎块状，大断层带中又有许多派生的小规模断层或错动带，泥化或糜棱化而成为相对隔水层，强度低，易形成滑动带。此种坡体结构中出现的滑坡多为顺构造面的滑动，也有较小规模的旋转式滑动。

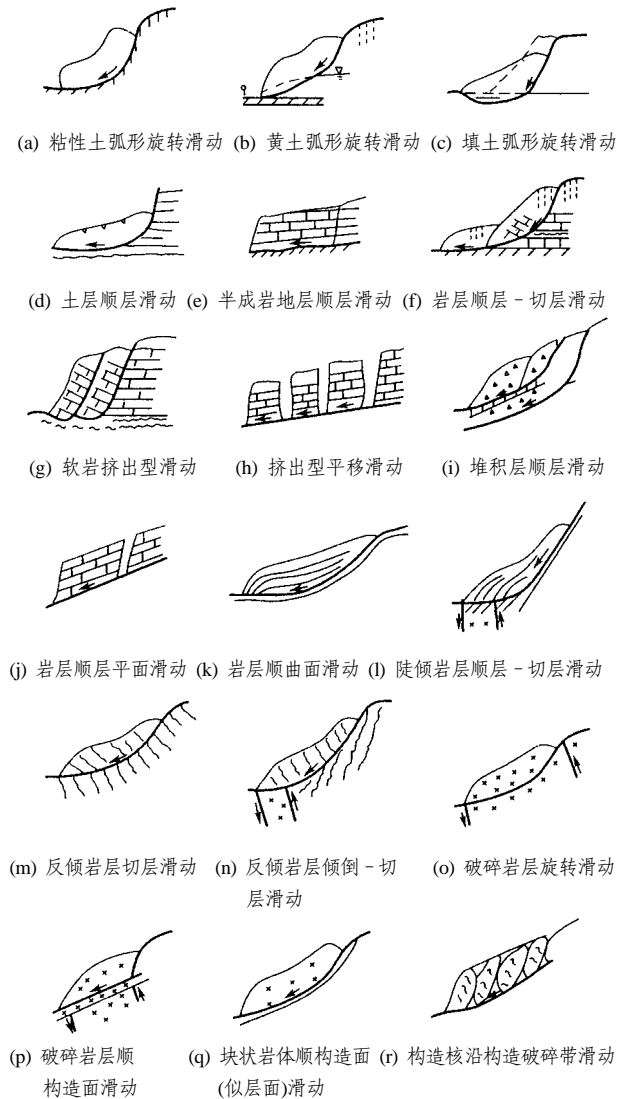


图5 坡体结构与滑坡的破坏模式示意图

Fig.5 Diagrams of slope structures and failure modes of landslides

(6) 块状结构指块状火成岩、或厚层状的沉积岩、变质岩形成的坡体，岩体相对完整，强度高。但当岩体内受构造作用存在似层状的大节理面或小断层面且倾向临空面时，会产生沿此构造面的滑坡。另一种是构造作用下坚硬岩层形成了构造核(似眼球状)，而核的周围为构造破碎带，构造面常呈弧形发育，当其倾向临空面时，易形成沿该构造面的滑坡。

坡体结构控制了滑坡的类型、规模、滑动面位置和层数，以及地下水的分布，因此为调查的重点。

3.3 滑坡的勘探和监测技术

在全面详细的滑坡地面地质调查测绘的基础上要进一步了解滑体结构，特别是滑动面(带)的层数、位置、滑体厚度、滑床形态、地下水的分布等，必

须通过勘探来查明。

(1) 滑坡勘探一般应采用物探、钻探、坑(槽)探等综合勘探方法。大型复杂的滑坡, 还应布置适量的井探或洞探, 直接观察滑带和地下水情况, 进行原位试验或取岩土水样进行试验和分析。

(2) 滑坡勘探不应采用面状勘探, 而应抓住每一滑坡条块的主轴断面进行详细勘探, 适当辅以其他平行主滑方向的纵断面以及横断面。主轴断面是滑体最厚、最长、滑速最快、滑坡推力最大的断面, 可以是直线或曲线。勘探点布置如图 6 所示, 线间距为 30~50 m, 大型滑坡可为 40~60 m; 点间距为 30~50 m, 每级滑坡剪出口附近应适当加密。钻孔深度应达调查推测的最深层滑面以下 3~5 m。在滑坡中前部应有 1~2 个钻孔深入当地侵蚀基准面(河、沟底)或开挖面下一定深度, 以免漏掉最深层滑面。

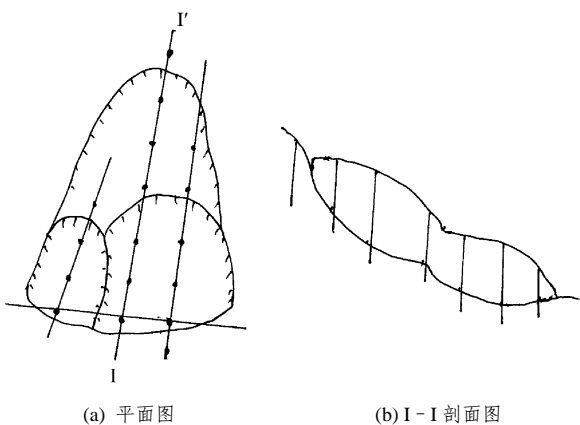


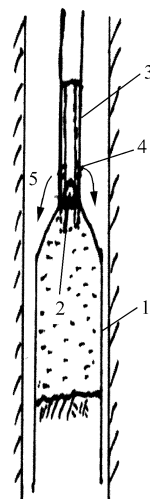
图 6 勘探点布置示意图
Fig.6 Distribution of prospecting points

这样做可大量节约勘探数量、时间和资金。

(3) 钻探的主要目的是找出滑动面和地下水分布, 为治理工程提供科学依据。因此不宜采用开水正循环钻探方法, 因为会冲掉滑带软弱层, 岩芯采取率低, 漏判滑动面, 也查不清地下水的分层, 对正活动的滑坡稳定也不利。正确有效的方法是采用无泵反循环或双管单动岩芯管钻探方法, 岩芯采取率 85% 以上, 不易漏掉滑动面, 且易查明各含水层的位置和涌水量大小。图 7 为无泵反循环钻具示意图, 它虽钻速稍慢, 但能提供较多信息。

(4) 滑坡的动态监测

滑坡动态监测包括地面位移、地下位移、滑动面、地下水和建筑物变形及受力监测等, 它既是滑坡勘察的手段之一, 也可作为施工安全监测及检验防治工程的效果。这里只介绍用钻孔侧斜仪测定滑



1—岩芯管; 2—钢球; 3—短钻杆;
4—短钻杆上出水孔眼; 5—反循环水流
图 7 无泵反循环钻具示意图

Fig.7 Diagram of back-circulation drill without pump

坡的深部位移和正在活动的滑动面位置, 当滑坡有多层滑面时, 能监测出正在滑动的滑面位置, 对有效治理滑坡是非常有用的。图 8 为用钻孔测斜仪监测山西省一顺层岩石滑坡的两层滑动面监测图, 监测孔一般布设在滑坡主轴断面上, 且不少于 3 孔。

3.4 滑带土抗剪强度参数的试验和选择

滑坡的类型多, 滑动机理复杂, 但均沿滑动面(带)滑动, 因此从某种意义上而言, 滑坡机理就是滑带土的变形破坏机理。滑带土种类多, 成因和成分不同, 强度差别也很大, 有的内摩擦角只有几度, 有的可达 20° 以上。多数滑坡的滑带土为粘性土, 或夹有一定量的砾石和碎石, 且多处于可塑~软塑状态。

滑带土的抗剪强度参数——粘聚力 c 和内摩擦角 φ 是滑坡稳定性定量评价和推力计算的重要参数, 其少量变化对计算结果都有很大影响, 使经验不多的年轻人感到选择的困难。

3.4.1 粘性滑带土变形破坏规律

试验研究表明黏性滑带土有如图 9 所示的剪切变形破坏形式。纵坐标为剪应力, 横坐标为剪应变。(OA 段为弹性变形段, AB 段为弹塑性变形段, 至点 B 达到土的最大强度, 称为峰值强度 τ_f 。过点 B 之后, 随着剪切变形的增加, 抗剪强度迅速降低, 这是由于剪切过程中土体结构被破坏, 膨胀吸水软化所致, 即所谓“加工软化”, 所以点 C 处的强度称为软化点强度, 它相当于结构破坏后的重塑土正常固结下的峰值强度 τ'_f 。CD 段土的抗剪强度继续降

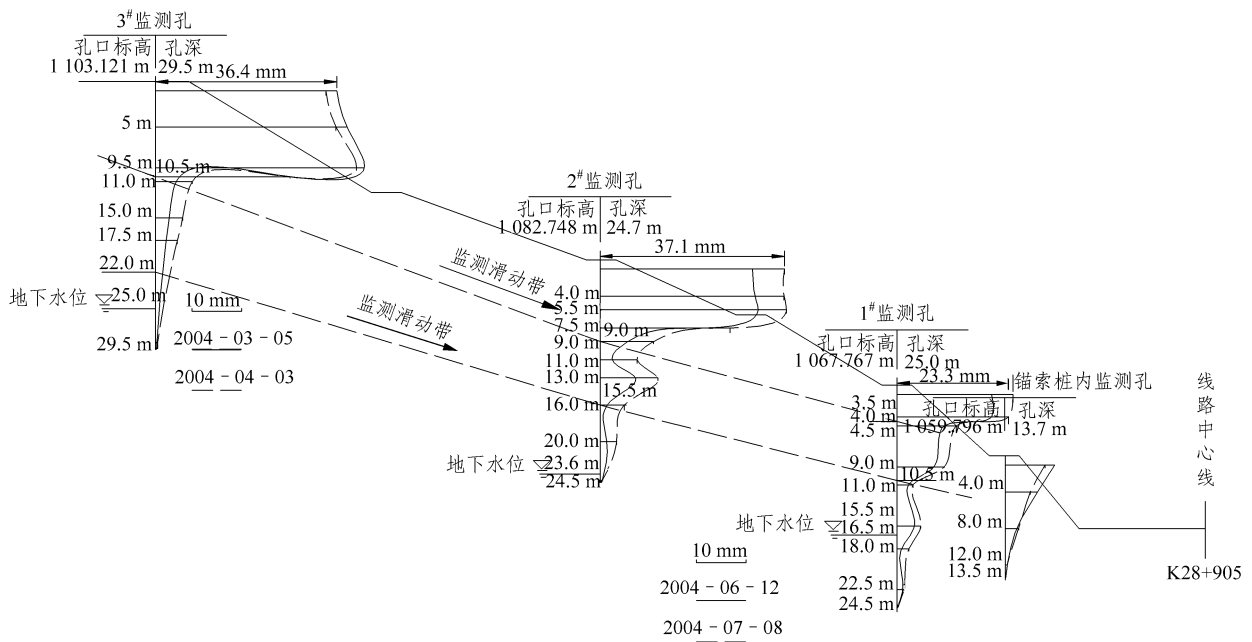
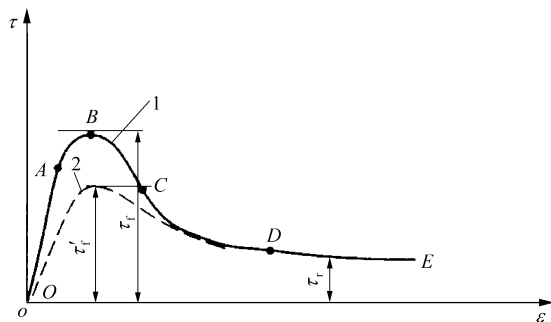


图8 滑动面监测图

Fig.8 Profile of monitoring of sliding plane



1—超固结土的剪切变形曲线；2—正常固结土的剪切变形曲线；A—弹性极限；B—强度极限；C—完全软化点；D—残余强度起始点

图9 黏性滑带土的剪切变形曲线

Fig.9 Deformation curves of shearing of soil in sliding zone

低,是由于剪切面上土的团粒和颗粒产生定向排列,至点D达到相应垂直压力下的最佳定向排列,达到残余强度 τ_r ,DE段强度不再降低。相应于峰值强度 τ_f 有相应的强度参数 c_f, ϕ_f ,相对于残余强度 τ_r 有相应的强度参数 c_r, ϕ_r 。

SKempton 在研究伦敦超固结裂隙黏土边坡的长期稳定性时认为,由于裂隙的存在,土坡稳定性计算时不能用峰值强度 τ_f ,而应考虑残余强度所占的比例,提出残余强度系数R的概念:

$$R = \frac{\tau_f - \bar{\tau}}{\tau_f - \tau_r} \quad (1)$$

$$\bar{\tau} = R\tau_f + (1-R)\tau_r$$

式中: τ_f 为滑动面土的峰值抗剪强度, $\bar{\tau}$ 为滑动面

土的平均抗剪强度, τ_r 为滑动面土的残余抗剪强度。

由式(1)可知,当 $R = 0$ 时,整个滑动面上都是峰值强度;当 $R = 1$ 时,整个滑动面上都达到残余强度。一般情况下R为[0, 1]。土坡的长期失稳也就是残余强度所占比例逐渐增大的过程,即所谓“渐进破坏过程”。对已经滑动过的滑坡和构造破坏区应采用残余强度或 $R > 0.95$ 的平均抗剪强度。

中铁西北科学研究院结合滑坡防治较系统地研究了粘性滑带土的残余强度,得出以下结论^[5]:

- (1) 粘性滑带土的残余强度随土中粘粒含量增大而减小。
- (2) 残余强度与土的原始含水量及原始密度无关。即不论是超固结土还是正常固结土,不论其初始密度是多少,其残余强度都是一样的,这就可以用重塑土求滑带土的残余强度,减少了取样困难和费用。
- (3) 国外测定残余强度多采用排水剪切,因此得出残余强度与土的含水量无关, c_r 接近于0。国内多用固结不排水剪切,结果残余强度随含水量增大而减小, c_r 不等于0,尽管也很小。
- (4) 不同仪器测定的残余强度有差别。
- (5) 滑带土中小砾石含量超过30%时对残余强度大小有影响。

3.4.2 滑坡不同发育阶段、滑带不同段落强度参数不同

滑坡的形成是一个过程, 可以把整个过程划分为蠕动、挤压、滑动、剧滑、稳定固结几个阶段, 把整个滑动面分为主滑段、牵引段和抗滑段等 3 个不同段落^[6], 如图 10 所示。它们的物质组成和含水状态不同, 因此具有不同的强度参数。滑坡的不同发育阶段滑带土强度也并不同时达到残余强度, 因此应按不同发育阶段各段滑面的受力状态选用不同的参数, 否则会得出不符合实际的错误结果。

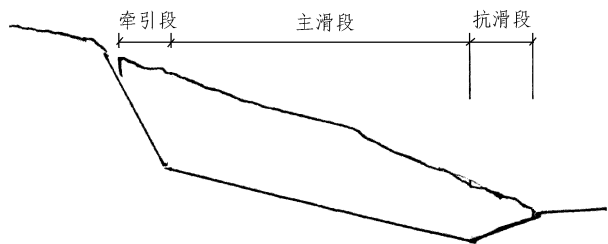


图 10 滑动面的 3 段划分

Fig.10 Three sections divided in sliding surface

3.4.3 滑带土强度参数的选择

由于滑带土取样的困难和试验仪器对滑坡滑动过程模拟的限制, 室内试验结果常较分散难以直接用于计算, 因此, 国内外目前对滑带土强度参数的选择仍采用试验法、反算法和经验法综合分析选取。

(1) 试验法

不仅要测定天然状态下的峰值强度和残余强度, 而且要测定可塑和软塑状态的重塑土峰值强度和残余强度, 以满足不同含水状态下计算的需要。

(2) 反算法

其基本原理是将滑坡本身视为一个大的模型试验, 以滑动刚开始的瞬间为斜坡极限平衡状态($F_s = 1$)反求滑带土的 c 值或 φ 值。对于均质土坡的圆弧形滑动, 整个滑面上物质较均匀, 假定 c 值求 φ 值, 或假定 φ 值求 c 值, 或用 2 个断面方程联立求 c, φ 值都是可行的。但是对大型堆积土滑坡和岩石滑坡, 滑面不是圆弧形, 且滑面长, 各段物质成分和含水状态不同, 全滑面取同一参数显然不符合实际。对于古老滑坡的复活更难以恢复原始断面形态。这时, 就需根据滑坡的发育阶段和变形形迹从宏观上评定其稳定度, 再根据各段滑面的物质组成给定牵引段和抗滑段的 c, φ 值, 只反求主滑段的 c, φ 值, 且因主滑段最先开始变形破坏, 接近或达到其残余强度, c 值很小(如 $c = 5 \sim 20 \text{ kPa}$), 可给定 c 值而反求 φ 值。也可用类似的 2 个断面方程联立求解 c, φ 值。大量实践证明这样的做法是比较符合实际的。

(3) 经验法

是把同一地区、同类滑坡治理中成功的经验数

据用于即将治理的同类型滑坡。

滑坡的稳定性评价和发展趋势预测应以工程地质条件和作用因素分析为主, 辅以力学计算, 两者有机结合。只用力学计算有时会得出错误结果。

3.5 滑坡预防

任何灾害都应该以预防为主, 治理为辅, 防治结合。滑坡预防包括下述几方面的内容。

(1) 绕避大型古老滑坡和易滑坡地段

对已经存在的大型古老滑坡或滑坡连续分布地段在选线、选厂、选址时应贯彻“地质选线”的原则, 加强前期地质工作, 判明其规模和性质, 尽量避开。对易发生滑坡的地段, 如岩层顺倾地段、大断裂带和大型堆积层地段也应尽量避开, 防止开挖后出现滑坡。这是最彻底的预防。

(2) 防止古老滑坡复活

对于工程设施避不开的古老滑坡, 必须有详细的地质勘察, 了解其规模和性质, 评价其稳定性和自然与人为因素作用下的发展趋势, 采用有效的预防其复活的措施。如不在滑坡前缘抗滑段作挖方削弱支撑, 不在其主滑和牵引段堆载增大重量。前缘填堤或后部挖方增加其稳定性; 加强地表和地下排水, 先支挡后开挖等等。只要科学合理地采取措施是可以预防古老滑坡复活的。前面提到的古老滑坡复活实例, 主要是地质工作不足, 判断失误和措施不当造成的。

(3) 防止已发生变形的滑坡大滑动造成灾害

在山区工程建设中, 由于边坡和隧道的开挖常发生边坡和山坡变形开裂的现象, 这是斜坡岩土体发生应力调整的过程。当山坡出现裂缝时, 必须立即停止施工, 进行勘察和变形监测, 判明变形性质, 如是滑坡变形, 还是坍塌变形, 然后采用不同的防止变形破坏的措施。若是坡率过陡造成的坍塌, 放缓坡率或增加支挡可保边坡稳定。但若是滑坡, 在前缘刷方会进一步削弱滑坡的抗滑力, 造成滑坡范围扩大, 甚至急剧滑动, 作者在深圳—汕头、福州—厦门和元江—磨黑高速公路上多次遇到因刷方不当造成滑坡范围扩大、增大工程投资的事例。对于滑坡变形, 最快速而有效的防止继续变形的办法是滑坡上部减重、前缘压脚, 既减小了下滑力又增大了抗滑力, 使其达到新的力学平衡。当无减重条件(如上部有重要建筑物)时, 可用前缘填土压脚。当无前缘压脚条件时(如为道路等), 上部减重可减小下滑力、降低滑动速度, 防止滑坡大滑动破坏已有工程设施。作者在 205 国道福建箭丰滑坡和京珠高速公路粤北段 K152 滑坡变形十分严重的情况下, 建

议上部减去滑体总量的 1/6~1/5, 使滑坡滑移速度由大于 3 mm/d 降至 1 mm/d 以下, 防止了滑坡大滑动, 为勘察设计和施工争取了时间。当然, 若滑坡地下水发育, 能采用仰斜排水孔排出滑坡地下水, 降低滑带孔隙水压力, 对防止滑坡大滑动也是十分有利的。

(4) 防止易滑坡地段发生新滑坡

在山区高速公路和其他建设中出现了许多高边坡失稳变形与滑坡, 如何预防边坡开挖后发生滑坡已引起人们的高度关注。

① 预测高边坡开挖后是否会发生滑坡

高边坡是将地质体的一部分改造成为人为工程设施, 因此, 其稳定性取决于坡体的地质条件和人为改造的程度。一般从以下几方面去预测(不展开讨论): 从宏观地质条件调查预测; 从自然山坡与人工边坡的稳定状态调查预测; 从边坡所在的坡体结构和软弱结构面的分布和产状预测; 从地下水的分布和发育程度预测; 从作用因素(主要是人为因素)的变化分析预测。

② 预防边坡开挖后发生滑坡

在设计原则上, 要有充分的地质资料作为设计的基础, 尽量减小边坡的总高度。高度 30 m 以下的边坡以设计稳定的坡形和坡率为主, 大于 30 m 者应以坡形坡率与排水和支挡工程相结合“固脚强腰”, 既保整体稳定, 又保局部稳定。有滑坡可能的边坡必须设置防止滑坡的支挡工程, 并应考虑与周围环境相协调。

在设计方法上, 应以地质条件为基础综合应用工程地质比拟法、力学计算法和经验数据对比法, 并应对施工程序和方法提出详细而严格的要求, 贯彻“动态设计, 信息化施工”的原则, 施工开挖暴露的地质条件, 调整设计使之符合实际情况。

对于具有多层潜在滑面的高边坡锚固设计, 如岩石顺层高边坡, 应注意不同施工工况下的局部和整体稳定问题, 保证施工过程的稳定, 如图 11 所示, 最下一级边坡开挖后尚未锚固时是最不稳定状态, 上部锚固工程必须保证滑坡稳定系数大于 1.0, 以免施工过程中破坏。

3.6 滑坡防治的基本原则和工程措施

3.6.1 防治原则

滑坡防治是一个系统工程, 各个环节环环相扣, 紧密联系, 作者根据防治滑坡的经验教训, 提出以下 10 条原则: (1) 正确认识滑坡的原则; (2) 预防为主的原则; (3) 一次根治, 不留后患的原则; (4) 全面规划, 分期治理的原则; (5) 治早、治小的原则; (6) 综合治理的原则; (7) 技术可行经济合理的原

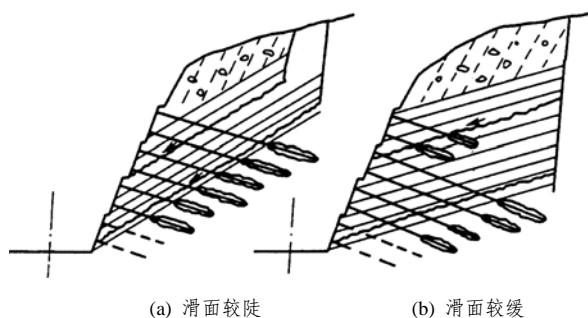


图 11 多层滑面边坡的锚固

Fig.11 Anchorage of multi-sliding surface of slope

则; (8) 科学施工的原则; (9) 动态设计, 信息化施工原则; (10) 加强防滑工程维修保养的原则。

3.6.2 防治滑坡的主要工程措施及应注意的问题

国外防治滑坡有 100 多年的历史, 我国从 20 世纪 50 年代以来也防治了许多滑坡。美国将防治措施分为绕避、减小下滑力、增加抗滑力及滑带土改良四类。日本将其分为抑制工程和控制工程两大类。我国将其分为绕避、排水、力学平衡和滑带土改良四类, 如表 3 所示^[3]。从防治措施上与国外经济发达国家没有大的区别。我国在滑坡防治中大量使用挖孔钢筋混凝土抗滑桩及锚索抗滑桩, 其基本形式如图 12 所示。

表 3 防治滑坡的工程措施

Table 3 Engineering measures for preventing landslide

绕避滑坡	排水	力学平衡	滑带土改良
改移线路	1 地表排水系统	1 减重工程	滑带注浆
用隧道避开滑坡	(1) 滑体外截水沟	2 反压工程	滑带爆破
用桥跨越滑坡	(2) 滑体内排水沟	3 支挡工程	旋喷桩
清除滑坡	(3) 自然沟防渗	(1) 抗滑挡墙	石灰桩
	2 地下排水工程	(2) 挖孔抗滑桩	石灰砂桩
	(1) 截水盲沟	(3) 钻孔抗滑桩	焙烧
	(2) 盲(隧)洞	(4) 锚索抗滑桩	
	(3) 水平钻孔群排水	(5) 锚索	
	(4) 垂直孔群排水	(6) 支撑盲沟	
	(5) 井群抽水	(7) 抗滑键	
	(6) 虹吸排水	(8) 排架桩	
	(7) 支撑盲沟	(9) 刚架桩	
	(8) 边坡渗沟	(10) 刚架锚索桩	
	(9) 洞-孔联合排水	(11) 微型桩群	
	(10) 井-孔联合排水		

这里主要讨论在防治工程中应注意的几个问题:

(1) 应重视地下排水工程

由于滑坡地下水分布的复杂, 不易查清, 造成一些设计人员只重视支挡工程而不重视排水工程, 结果不少滑坡作了抗滑桩, 地下水位抬高, 滑坡继

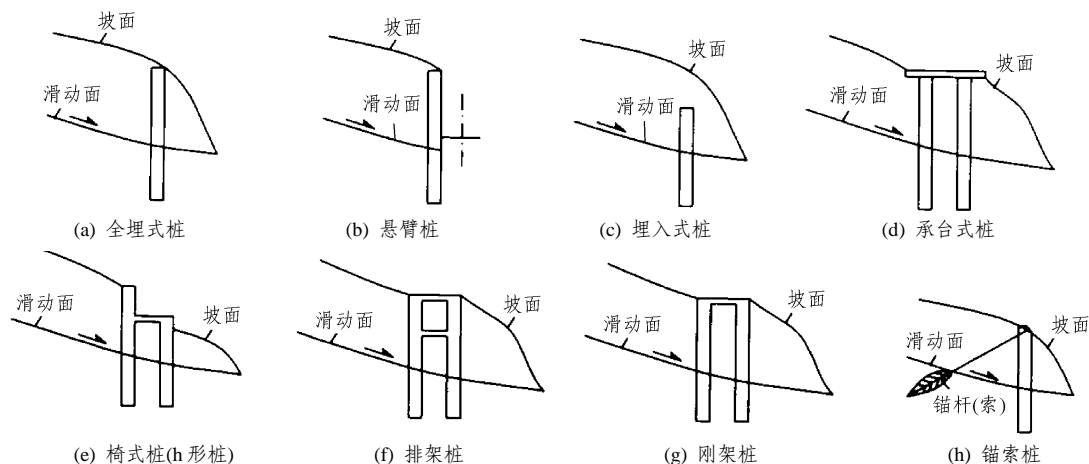


图 12 抗滑桩的基本形式

Fig.12 Basic forms of anti-slide pile

续变形,如前述的向家坡滑坡,地下水位抬高 6 m 以上,实际上排除地下水,减小滑带孔隙水压力,提高滑带土抗剪强度,其作用是十分显著的。

(2) 半坡桩的稳定问题

近几年在高边坡滑坡防治中设计了不少位于边坡中部的抗滑桩,即所谓半坡桩。有的桩出现了变形,其原因之一是潜在滑面确定不准确,桩的埋深不够。原因之二则是不了解抗滑桩设计理论是引用了桥梁桩基的半无限体锚固原理,抗滑桩与桥梁桩基又有区别。若在半坡上桩的锚固深度不足则不能形成半无限体锚固条件,这是值得注意的。

(3) 微型桩的设计问题

直径小于 30 cm 的桩称为微型桩,在中小型滑坡上有应用前景,在地面机械化施工见效快。若桩头不联结则抗弯刚度很小,一般应群桩联结。但目前其适用条件和设计计算理论尚不完善,值得进一步研究。

(4) 埋入式桩的设计问题

埋入式桩即厚层滑坡的抗滑桩不做到地面,埋入地面下一定深度,减小了桩长,抗滑桩的弯矩和截面减小,节省材料和工程造价,但目前对桩上滑坡推力的分布,桩顶以上滑体受力等尚缺乏系统研究。

(5) 关于滑带注浆问题

滑带土改良提高滑坡自身抗滑力稳定滑坡从理论上讲是完全正确的,国内外都作过不少试验,但至今很少用于工程实践,原因是在工艺上难以控制浆液进入滑带土提高其强度,效果也不易检验,所以,除类均质土密度和强度不足可用注浆提高强度外,对沿软弱带滑动的滑坡应慎用。

4 结 语

滑坡灾害是山区建设中的一个重要工程地质和岩土工程问题,曾造成了较严重的经济损失。作者就滑坡防治中的几个关键技术作了基本介绍,指出关键在于重视地质工作,并把工程地质与岩土力学有机结合才能有效预防和治理滑坡。同时提出了滑坡防治中值得进一步研究的问题,希望与同行共同努力研究,把我国的滑坡灾害防治提到一个新水平。

参考文献(References):

- [1] 孙德永. 南昆铁路八渡滑坡工程整治[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2000.(Sun Deyong. Control Engineering of Badu Landslide along Nanning—Kunming Railway[M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2000.(in Chinese))
- [2] 王恭先. 滑坡防治中的两个关键技术问题[A]. 见: 海峡两岸岩土工程学会论文集[C]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1994. 66 - 76.(Wang Gongxian. Two key technical problems in landslide control[A]. In : Proceedings of Geotechnical Engineering Conference[C]. Xi'an: Shaanxi Sciences and Technology Press, 1994. 66 - 76.(in Chinese))
- [3] 王恭先. 滑坡学与滑坡防治技术[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2004. (Wang Gongxian. Landslides and Landslide Control Technique[M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2004.(in Chinese))
- [4] 张倬元. 工程地质分析原理[M]. 北京: 地质出版社, 1981.(Zhang Zhuoyuan. Engineering Geological Analysis Principle[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1981.(in Chinese))
- [5] 交通部科学研究院西北研究所. 滑坡防治[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1997.(Northwest Research Institute of China Academy of Railway Sciences. Landslide Control[M]. Beijing: China Railway Publishing House, 1997.(in Chinese))
- [6] 徐邦栋. 滑坡的分析与防治[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2001. (Xu Bangdong. Analysis and Control of Landslide[M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2001.(in Chinese))