

滑坡防治工程措施的国内外现状

王恭先

(铁道部科学研究院西北分院, 兰州, 730000)

提要 滑坡, 作为一种主要地质灾害, 由于其产生的条件、作用因素、运动机理的多样性、多变性和复杂性, 预测的困难, 治理费用的昂贵, 一直是世界各国研究的重要地质和工程问题之一。近 20 年来, 特别是“国际减灾十年活动”开展以来, 国际上研究和防治滑坡灾害空前活跃, 各项研究进一步扩展和深入, 防治工程措施也在完善已有措施的基础上向轻型化、小型化方向发展。本文仅对防治滑坡的工程措施的国内外发展情况作一简介, 希望能对我国的滑坡灾害防治有所帮助。

关键词 滑坡防治 工程措施

滑坡是一种严重的地质灾害, 由于它经常中断交通、堵塞河道、摧毁厂矿、破坏村庄和农田, 造成人员伤亡和重大经济损失而受到世界各国的关注。

本文拟从地下排水工程、减重和反压工程、支挡工程、滑带土改良工程 4 个方面介绍近 10 年来国内外滑坡防治工程措施的新发展。

一、地下排水工程

由于水是形成滑坡的重要作用因素, 特别是作用于滑动面(带)的水增大滑带土孔隙水压力, 减少阻滑力, 因此地下排水工程总是治理滑坡中首先应考虑的措施。

1. 平孔排水的大量应用和改进

据报导, 仅在美国加利福尼亚州, 从 1940~ 1980 年, 作为一种经济的排水方法, 使用了 30 万 m 平孔排水。在日本和其他一些国家也广泛应用, 例如地附山滑坡就打平孔 8400 m。平孔排水的作用为:

(1) 在滑坡体内地下水分布尚不十分清楚时, 在滑坡的后部和前部打平孔, 降低地下水位, 减小孔隙水压力, 减缓或暂时停止滑体的移动, 为勘察和根治工程施工创造条件。

(2) 作为一种永久排水工程可以单独使用, 也可以和排水盲洞或竖井结合使用, 如图 1 所示。(a) 为平孔单独排水的情况, 可布置在滑坡的后部或前缘地下水较集中的部位, 一般顺滑动方向布设, 以防滑坡移动时被破坏。(b) 为井—孔联合排水。平孔一般使用的长度以 30~ 50 m 为宜, 过长时钻孔方向向不易控制。当然国外也有打到 200 m 的平孔。铁道部科学研究院西北分院在成昆线莫洛滑坡上也曾打过 104 m 长的平孔, 单孔涌水量达 $68 \text{ m}^3/\text{d}$ 。但同一工点的另外长孔则出现了偏斜, 效果不佳。为解决平孔过长, 方向不易控制的问题, 在日本广泛采用井—孔联合排水方法。即在井(直径 3.5~ 4.0 m)中打放射状集水孔, 把水集中于井内, 再用平孔或抽水排出。井深以 20 m 左右为宜, 超过 30 m 施工困难, 不比盲洞经

济。井底一般应布在滑面以下,但当滑坡正在移动时可先布在滑面以上,待滑坡稳定后再加深。(c)为洞—孔联合排水,把洞布入滑面以下的稳定地层中,便于施工。在洞中向周围打斜孔,穿过滑面,把水引入洞中,排除。

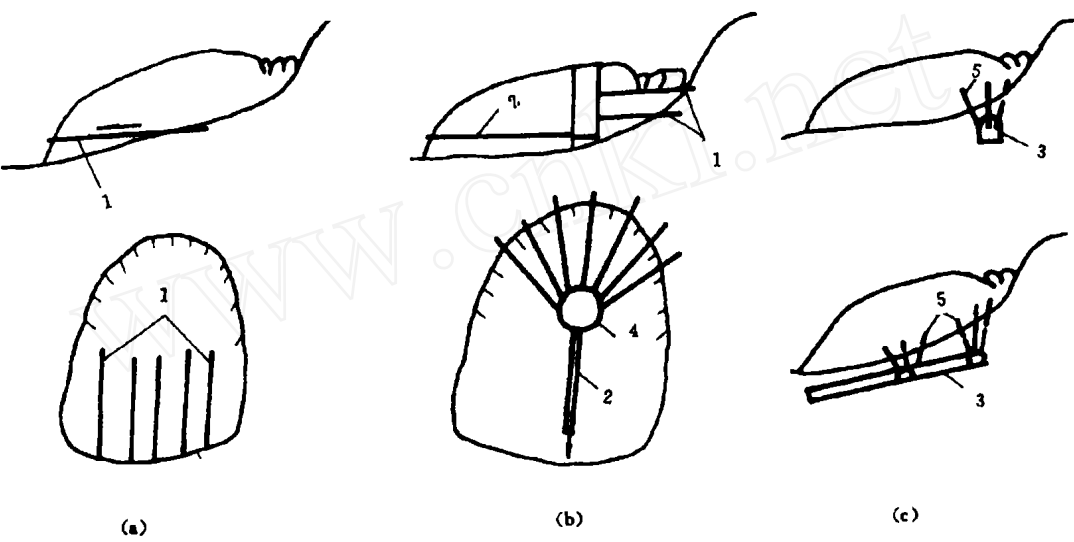


图 1 平孔排水示意图

Fig 1 Scheme of horizontal drainage works

(a) 平孔群单独应用; (b) 井—孔联合排水; (c) 洞—孔联合排水
 1—平孔; 2—排水孔; 3—隧洞; 4—竖井; 5—放射状钻孔

平孔直径一般 120~ 150 mm, 内放 60~ 100 mm 直径的刻槽塑料管, 管外包 1~ 2 层土工布作反滤层, 以防淤塞。关于平孔的长期有效性, 1980 年美国加利福尼亚运输部对 20 处平孔排水作了研究, 结论是: 打眼的金属套管, 30~ 40 年的有效期是最大期望值; 刻槽的聚氯乙烯管有更长的使用寿命; 且可大大减少进入排水管的沉淀物; 用高压水清洗系统清除平孔中的沉淀物是合适的; 多数排水孔 5~ 8 年需清理一次(大量树根和异常的细粒沉淀物可能把清理周期变为 2 年一次)。

孔的间距应该通过水文地质计算确定, 但一般仍是凭经验, 以 5~ 10m 居多。

国内早在 60 年代开始就在矿山边坡和一些滑坡上试用平孔排水。如铁道部第四勘测设计院在鹰厦线 K615 滑坡, 铁道部第二勘测设计院和铁科院西北研究所在成昆线乐塞河滑坡, 陕西省水电设计院在卧龙寺滑坡都采用过, 但由于施工设备和使用寿命等原因后来停顿了。八十年代以来, 随着引进和研制专用设备及一些技术问题的解决, 平孔排水防治滑坡的应用越来越多了。其中, 铁道部第四勘测设计院和铁科院西北分院在深圳—汕头高速公路 K65 和 K101 两滑坡上采用的平孔排水效果明显。

图 2 是新西兰 Clyde 电站工程中对 Brewery 河滑坡在滑坡前缘作扶壁、垫层、挡水帷幕和在库水位及滑面下作盲洞、平孔排水的一个实例。

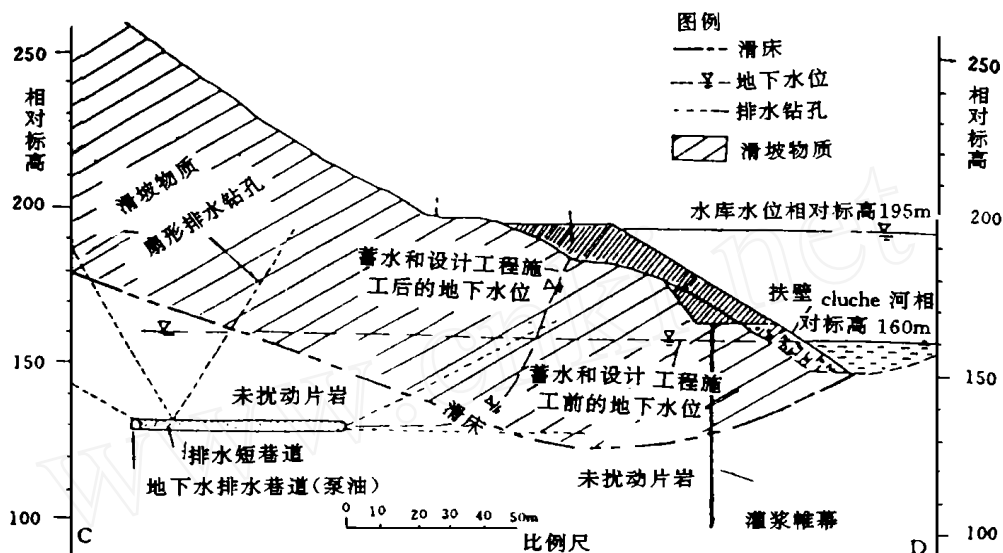


图2 新西兰 Clyde 电站工程 Brewery 河滑坡

Fig 2 Landslide remedial works on Brewery River, Clyde power station in New Zealand

2. 虹吸排水

80 年代以来在法国已用虹吸排水方法稳定了约 100 个滑坡。其最大优点是可以自流排水,降低滑坡地下水位。它是一个密封的聚氯乙烯管系统。图 3 是法国Dijon 附近用虹吸排水稳定公路路堤和下伏不稳定斜坡的例子。共设置 5 个虹吸管,间距 10m,把水位从公路下深 2 m 降到深 8 m。

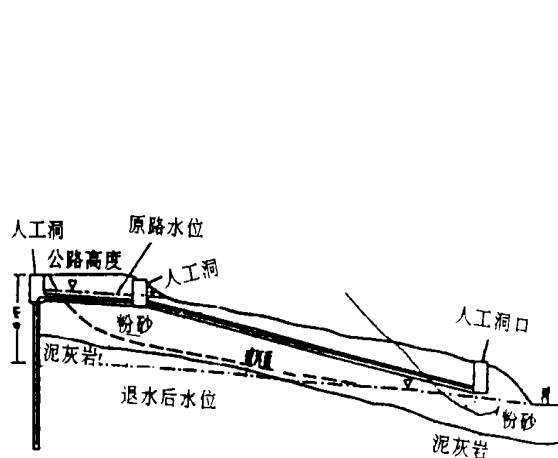


图3 虹吸排水示意图

Fig 3 Scheme of siphon drainage works

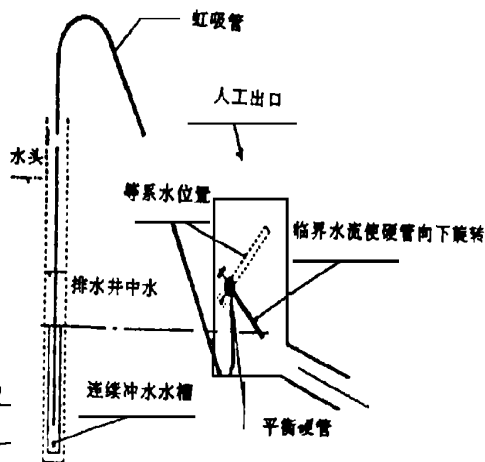


图4 平衡硬管的应用

Fig 4 Application of balance hard tube

他们提出虹吸管顶点与其端点的高差应小于下式的计算值:

$$Pa = \frac{1.16x}{1000} - \frac{\theta}{73.6}$$

式中 Pa ——海平面上最不利的大气压, m;

x ——工程区的高程 m;

θ' ——管子内的温度。

由于浮力的作用, 管子顶端形成气泡, 并逐渐变大而阻断水流。后来又设计了在出口端设一旋转铰接硬管, 用平衡重调节其位置, 使能自动控制水流速度低于临界值, 用端流冲出口泡。如图 4 所示。但该系统需经常维修。1993 年以后又设计了简单的冲洗系统, 即在出口端设—PVC 管水压累积器, 使水流速度大于临界流速而带出口泡。

当然, 虹吸排水有一个深度限制, 且需经常维修。

铁科院西北分院正在研究引进这一技术, 并正在长沙分局和重庆分局作实际工点试验。

二、减重和反压工程

减重和反压工程是经济有效的防治滑坡的措施, 得到广泛的应用。特别对厚度大的、主滑段和牵引段滑面较陡的滑坡效果更明显。但其合理应用则需先行准确判定主滑、牵引和抗滑段落。在前者部位减重; 在后者部位反压。

英国人 Hutchinson 提出的“中性线”方法为减重和反压计算提供了理论依据。该方法是在滑坡断面上用稳定性计算将滑坡上部土体移多少压于滑坡下部即可达到要求的稳定系数。当然, 计算的前提是滑面形状和滑带土参数都需准确。

三、支挡工程

支挡工程的主要发展表现在一大、二锚、三小即大直径抗滑桩、锚索和微型桩的研究和应用。

1. 大截面抗滑桩的应用

60 年代以前, 各国在滑坡防治中多用抗滑挡土墙和小直径的抗滑桩, 如直径 40 m 左右的钢管桩, 或钢管中再放入 H 型钢而后灌注混凝土, 以及直径 1 m 左右的钻孔灌注桩。60 年代中期我国铁路部门开始应用大截面挖孔抗滑桩, 后在各部门推广, 被广泛应用。之后外国在治理大型滑坡中也开始应用大截面的抗滑桩(柱), 如日本, 也采用挖孔方法, 作直径 5.0 ~ 6.5 m, 深 50~ 100 m 的大型桩。

我国除了单排桩外, 成都铁路局还采用过排架桩, 铁道部第四设计院设计过刚架式椅式桩墙。但由于施工上的一些困难, 后来应用不多。许多单位通过室内和现场试验研究了抗滑桩的受力模式和计算方法。我国在这一方面居于世界前列。

2. 锚索抗滑桩

由于单根悬臂桩受力状态不尽合理, 常常截面大, 埋深长, 造价高。故铁道部科学研究院于 80 年代研究在单桩顶部加锚索锚固于滑面以下稳定地层, 使形成“锚索抗滑桩”; 如图 5 所示, 形成上、下两个支点, 这样桩的弯矩大大减少, 因而截面尺寸和埋深也大大减小。先后

在四川省金鸡岩煤矿滑坡、四川省江油松花岭滑坡、成昆线莫洛滑坡、川藏公路二郎山龙胆溪滑坡上成功使用,比单桩节省 30% 投资。

根据滑坡推力大小、设计锚固拉力及地层情况,一般设 2~ 4 束锚索于每一桩上,预应力加到设计拉力的 60~ 80%。锚索与桩结合使用,适用于任何类型的滑坡,它避免了滑体压缩预应力损失问题。

3. 锚索

早期在中小型岩石滑坡治理中曾报道过岩栓(Rock bolt)的应用。但大吨位预应力锚索用于滑坡治理是近 20 年的事。随着高强度锚索的生产和防腐技术的解决,预应力锚索在边坡加固和滑坡治理中已广泛应用。或与抗滑桩联合使用,或单独使用,即在滑坡的中、前部打若干排锚索,锚于滑动面以下稳定地层中,加预应力 500 kN ~ 3000 kN 以上,变被动受力为主动抗滑,能有效地阻止滑坡的移动。国内水电部在李家峡水电站漫湾水电站滑坡治理中、铁道部第二勘测设计院在草坡滑坡治理中,铁科院西北分院在甘肃敦煌榆林窟和山东蓬莱阁丹崖加固,以及深圳市多处滑坡治理中成功地应用了这一技术,地矿部在链子崖危岩体加固中也应用了这一技术。

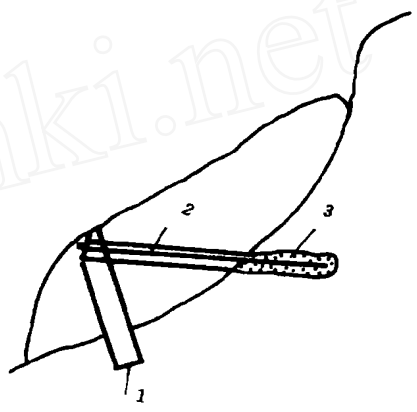


图 5 锚索抗滑示意图

Fig 5 Scheme of antislid pile with anchor

1—抗滑桩; 2—锚索自由段; 3—锚索锚固段

锚索锚固段一般有两种锚固方式: 一是灌水泥砂浆锚固,即所谓摩擦型,主要靠锚固体与周围孔壁的粘着力提供锚固力;另一种是机械式(涨壳式)锚固,即所谓承压型,靠机械式锚头在扩孔段的岩石抗压力提供锚固力。图 6 是日本防灾株式会社开发的锚头。图 7 是在隧洞中对滑动面进行锚拉的一个例子。

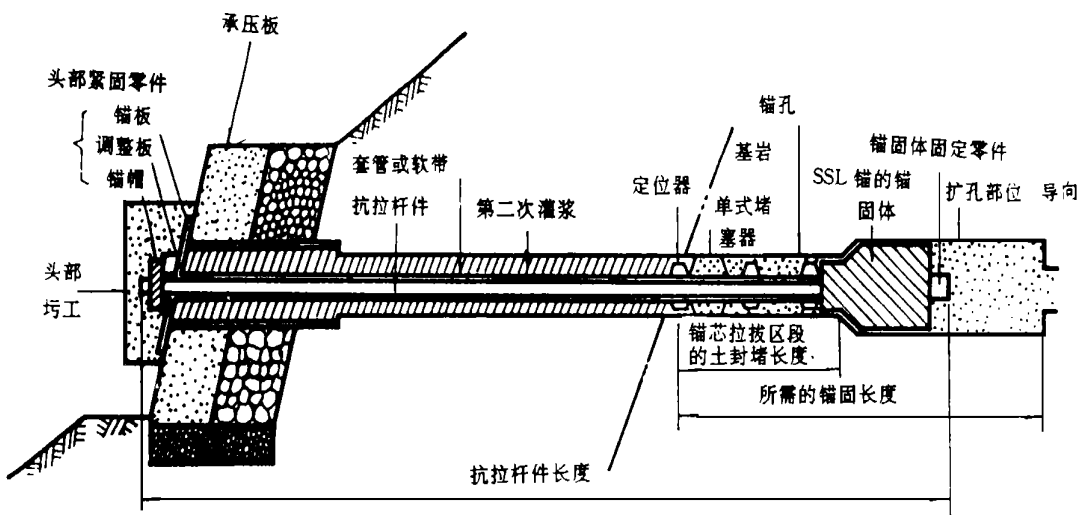


图 6 扩孔承压型 SSL 锚固施工图

Fig 6 Scheme of SSL anchor

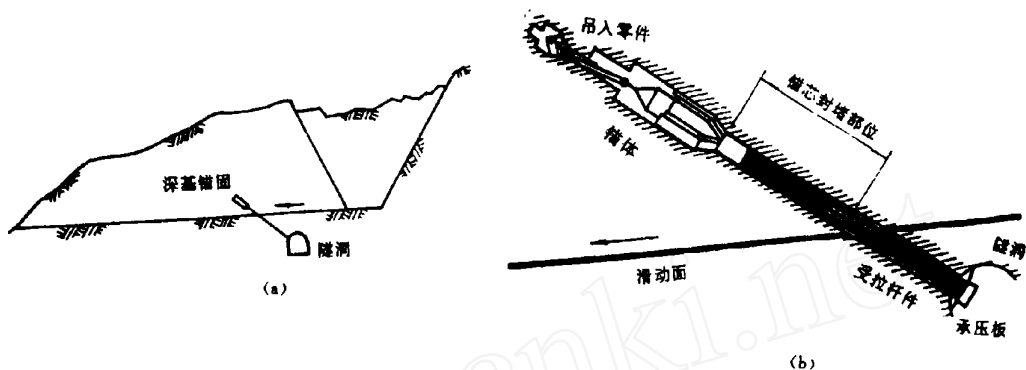


图7 从隧洞中拉锚示意图

Fig 7 Scheme of anchoring from tunnel

锚索的防腐是人们担心的主要问题之一。目前国内主要用多层防护, 先是锚索涂油; 再在每锚索上套一软质塑料管; 张拉之后二次灌浆封闭。如此可以达到防腐效果。在日本则是在锚索束外套以塑料管, 管内充填防腐油, 张拉之后, 管外二次灌浆。都可达到防腐目的。

4. 小型刚架桩加锚索

在原苏联 70 年代以前多用钻孔桩(直径 0.8~1.2 m)防治滑坡, 作者以前曾作过介绍(见“滑坡文集”第四集)。近年来 L. K. Ginzburg 又研究开发了一些新的结构, 如图 8 所示的倾斜门架桩和图 9 所示的竖向锚杆刚架桩, 使土和桩能更好地联合, 起抗滑作用。

5. 微型桩群

所谓微型桩指直径小于 300 mm 的插入桩或灌注桩。50 年代从意大利开始, 20 年后传入美国和其他国家。早期主要用于房屋地基加固。80 年代以后迅速发展, 也用于斜坡和滑坡加固。美国联邦公路局最近立一研究项目, 研究微型桩的实施状况和设计方法。

图 10 是用大直径桩和微型桩加固斜坡的几种形式: 一是许多微型桩密布在滑体上, 穿过滑动面, 增加抗滑力; 二是呈树根桩将滑体与不动体形成一个复合体; 三是微型桩加横梁形成排架结构抗滑; 四是微型桩网与包围的土体形成一重力式挡土结构抗滑。排架结构与一般排架无大的区别。作为斜坡加固则视桩-土为一结合体, 应满足土、桩和桩土相互作用的破坏准则。由于桩的直径小, 细长比大, 桩相对土位移也大, 因此可充分调动桩侧摩擦力。为了计算桩的位移、剪

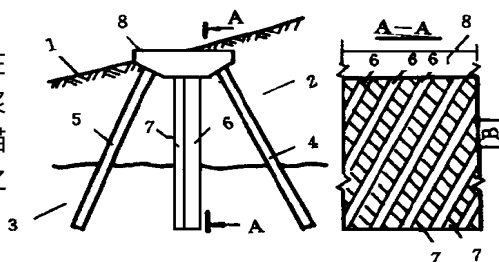


图8 门架式抗滑结构

Fig 8 Bent antislide structure

1—斜坡面; 2—滑坡推力作用方向; 3—滑面以下的稳定岩层; 4—滑坡推力侧的斜桩; 5—相反方向的斜桩; 6、7—形成门架的非倾斜桩; 8—钢筋混凝土承台

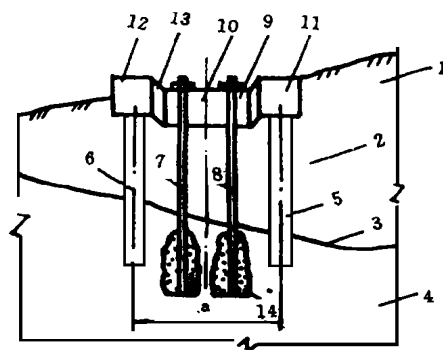


图9 锚桩结构

Fig 9 Pile-anchor structure

1—滑坡体; 2—滑坡推力方向; 3—滑动面; 4—稳定岩石; 5、6—就地灌注桩; 7、8—加固土的锚索; 9—钢筋混凝土承台; 10—承台的可压缩部件; 11、12—可动的承台部件; 13—格栅桩连接构件; 14—锚固体;

力和弯矩, 需要侧向荷载“P-y”曲线。其设计方法分两类: 一是极限平衡分析; 二是位移分析。

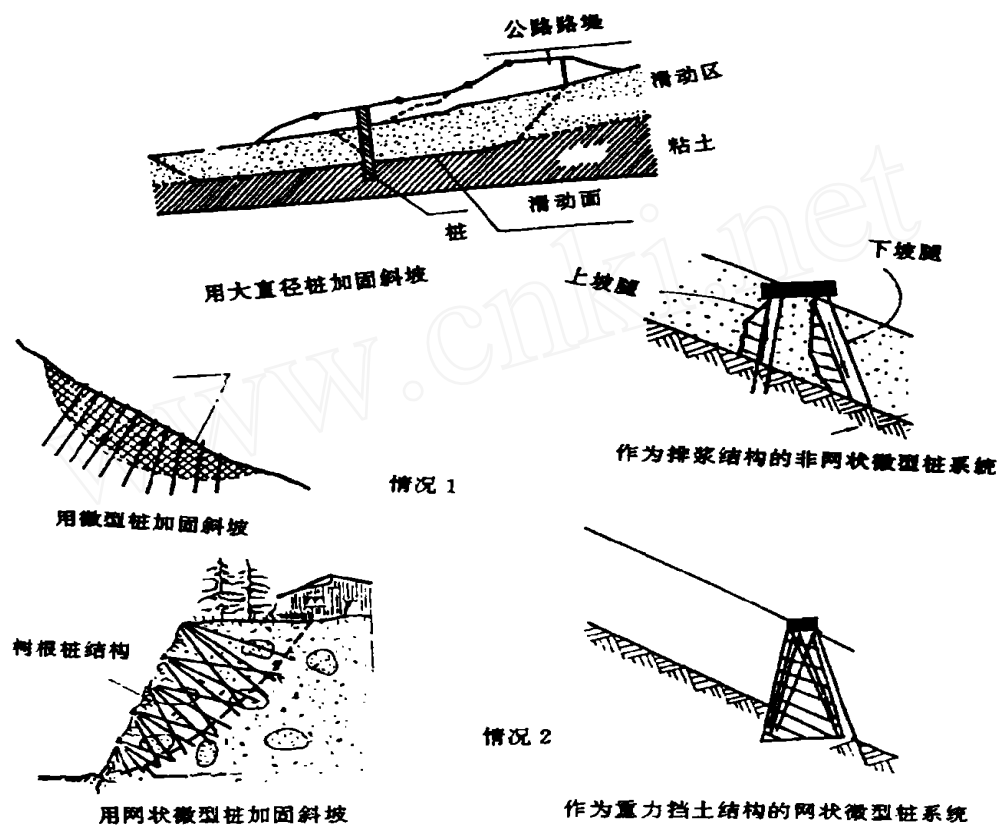


图 10 微型桩加固斜坡的几种形式

Fig 10 Types of slope stabilization using micropile system

- (a) 用大直径桩加固滑坡; (b) 用微型桩加固斜坡; (c) 作为排架结构的非网状微型桩系统;
(d) 用网状微型桩加固斜坡; (e) 作为重力挡土结构的网状微型桩系统

图 11 是用微型桩排稳定一铁路滑坡的例子。施工后 9 个月滑坡基本停止移动。

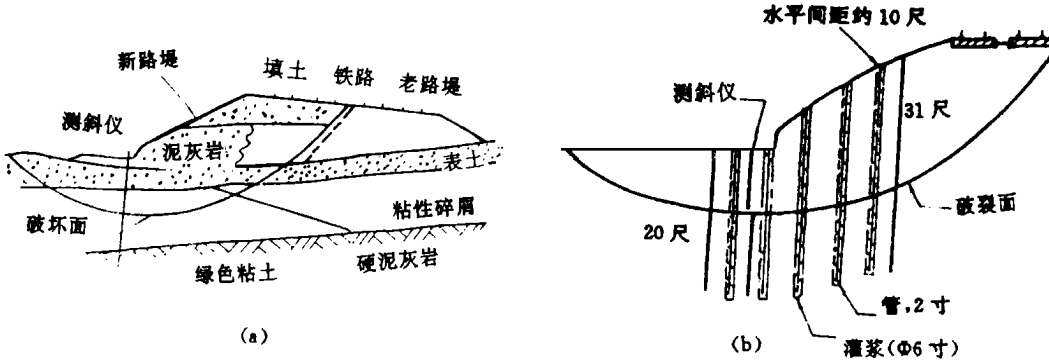


图 11 用极限稳定分析法加固滑坡的设计

Fig 11 Design of slide stabilization using limited stabilization analysis

- (a) 铁路路堤岩土横断面; (b) 用微型桩稳定滑坡

网状微型桩的作用也分两种:一是重力式挡土结构物的概念;二是斜坡加固的概念。前者桩不受拉力,只承受压力和剪力。后者是用桩包围滑面以上的土并“钉”住滑面增大抗剪阻力。Cantoni 等(1989)提出了网状微型桩加固斜坡的设计方法。其步骤为:

- (1) 滑坡推力计算;
- (2) 相邻桩间土的塑性变形稳定性分析;
- (3) 网状结构的滑动稳定性分析;
- (4) 该块体复合横断面的结构分析;
- (5) 用传统的弹性分析方法评估弯矩和剪力随深度的分布。

图 12 是用网状微型桩加固 Milan-Rome 公路斜坡的例子。滑动面深 15 m,沿砂质粉土与基岩界面发育。修建了 4 个网状微型桩群,深入基岩 5 m,桩间中心距 500m,桩与垂直面倾角 4°。桩顶设钢筋混凝土连接梁增加其刚度,并在其上设预应力 90 t 的锚索,锚索间距 2 m。

看来,微型桩治理中小型滑坡是一个方向。但目前设计方法和参数还研究不足,是今后的一个课题。

6. 关于滑带土的改良

滑带土的改良目的在于提高滑带土的强度,增加滑坡自身的抗滑力。过去曾研究过灌浆、爆破、焙烧等方法,但至今进展甚小,更没有广泛应用,主要是处理效果难以检验。最近由铁道部第二设计院设计,地矿部四川 101 地质队在金堂一滑坡上用旋喷桩在滑动面上下作成灌浆体短桩,是一种有益的尝试。它究竟属滑带土加固,还是属于抗滑支撑短桩或抗滑键?还值得研究。

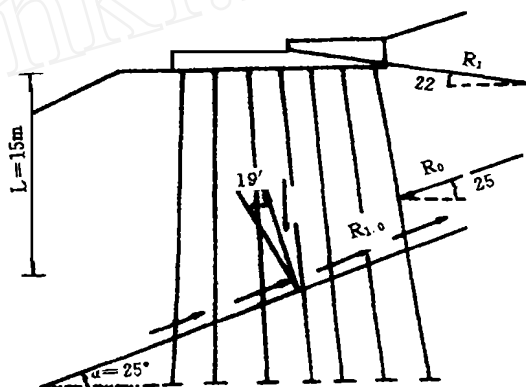


图 12 Milan-Rome 公路斜坡加固

Fig 12 Slope stabilization on Milan-Rome highway

R_1 —锚索的工作荷载; R_0 —网状结构能抵抗的最大土压力;
 $R_{1.0}$ —微型桩允许的抗剪力; R —沿滑面的土反力(参照网状结构宽度); W —网状结构的重量。

参考文献

- [1] R. L. Schuster 斜坡加固技术的新进展, 第六届国际滑坡学术讨论会专题报告, 《路基与地基》, 第 1 期, 总 2 期 铁道部科学研究院西北分院 1992 年
- [2] M. E. Popescu 从滑坡原因到滑坡治理, 第七届国际滑坡治理, 第七届国际滑坡学术讨论会专题报告, 《路基与地基》, 总第 7 期 铁道部科学研究院西北分院 1996
- [3] L. K. Ginxburg Effectiveness of antilandslide retaining structures, 《Landslides》, Proceedings of The seventh international symposium on Landslides, 1996
- [4] J. C. Gress. Dewaterign a landslip through Siphoning drains-ten years of French experience, 《Landslides》, 1996
- [5] D. A. Bruce. Ilan Juran and Aomar Benslinace, Slope Stabilization by micropile reinforcement, 《Landslides》, 1996
- [6] The Japan Landslide Society, National Conference of Landslide Control(1996), Landslides in Japan, (The fifth Revision) 1996
- [7] 申润植. 《滑坡整治理论和工程实践》. 李妥得, 杨顺焕译. 中国铁道出版社, 1996

Present Situation of Engineering Measures For Preventing And Controlling Landslide In China And Abroad

Wang Gongxian

(Northwest Branch, China Academy of Railway Sciences Lanzhou, 730000)

Abstract Landslide is a main geological hazard and one of the important geological and engineering problems which have been under research over the world, because its occurring conditions, factors and mechanism are variable and complex, and difficult to predict. The remedial costs much. In recent 20 years, especially during the “International Decade of Natural Disaster Reduction” researches and prevention and control of landslide have been developed. Engineering measures for preventing and controlling landslide have been developed toward micro-type structure. This paper introduces briefly the development of engineering measures for preventing and controlling landslide in the world.

Key Words landslide prevention and control engineering measures present situation in China and abroad