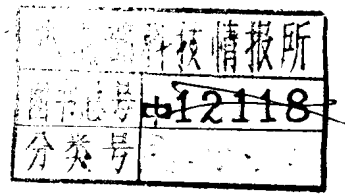
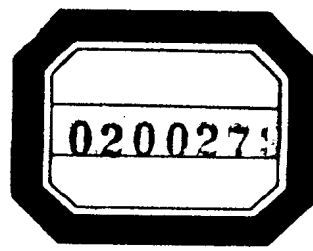


滑坡文集

(第三集)



中国铁道出版社



005840 水利部信息所

滑 坡 文 集

(第 三 集)

滑坡文集编委会主编

中 国 铁 道 出 版 社

1 9 8 2 年 • 北 京

内 容 简 介

本文集选稿23篇,包括(1)国内外滑坡防治的研究和方向;(2)岩石顺层滑坡的研究;(3)几个线、段典型滑坡的整治经验和综合分析;(4)滑坡机理的研究,滑坡测试和滑坡裂缝观察;(5)滑带土强度指标的试验与选用;(6)几种抗滑结构形式和设计等,反映了我国目前滑坡防治和研究的成果,具有一定的实践基础。

本文集可供工程地质及土建专业工程技术人员参考。

滑坡文集编委会

主任委员:李 嘉 副主任委员:徐邦栋
委 员:居恢扬 刘祥海 唐永富 任龙章
刘光代 王恭先 马 骥 程鸿寿

2127/27

滑 坡 文 集

(第三集)

滑坡文集编委会主编

中国铁道出版社出版

责任编辑 施以仁

封面设计 翟 达

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本:787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张:13 字数:312千

1982年2月第1版 1982年2月第1次印刷

印数:0001—3,000册 定价:1.35元

前 言

《滑坡文集》已出版两集，读者反映较好。这是第三集。今后为了及时反映和交流我国在滑坡防治工程技术和理论研究方面的新成果，促进滑坡研究的深入，将根据情况，继续编辑这样的文集，陆续出版。

本集主要内容有：（1）滑坡工程地质研究与工程实践的经验总结（包括岩石顺层滑坡滑带成因及其特征的研究，地质力学方法用于研究岩石滑坡所取得的成效，以及几个线段上滑坡整治的综合分析）；（2）滑坡滑带土强度指标的试验、选择方法和仪器设备的研究（包括工程地质比拟办法、反算法和试验法）；（3）滑坡地面倾斜仪的研制和滑坡裂缝的试验研究；（4）滑坡新型支挡结构的研究（包括桩拱墙、椅式桩墙和排架桩等）；（5）国外滑坡防治研究现状综述（包括综述及滑带土抗剪强度、滑坡化学加固方法、超大型滑坡的运动速度等）。这些内容从不同的侧面反映了我国目前滑坡防治和研究的成果。有些是根据初步试验提出的，供讨论和交流之用。

滑坡文集编委会

1980.7.

目 录

1. 铁路滑坡防治研究的回顾与展望	徐邦栋 王恭先 (1)
2. 岩石顺层滑坡的性质与防治	徐邦栋 (9)
3. 层间错动及其与顺层滑坡的关系	胡厚田 唐永富 (16)
4. 岩石顺层滑坡的发展过程及滑动面形成机理的分析	刘祥海 (25)
5. 应用地质力学方法研究岩石顺层滑坡 (以永加线K27 岩石滑坡为例)	傅传元 (35)
6. 断裂构造对滑坡的控制意义	居恢扬 (47)
7. 层间错动的鉴定特征	胡厚田 (56)
8. 太焦线(北段)滑坡成因性质和整治效果分析	王松龄 (62)
9. 特殊条件下滑坡的治理 (治理成昆线上几个滑坡的实践)	徐邦栋 车必达 (78)
10. 焦枝线锋王村滑坡的整治	苗同德 王恭先 (91)
11. 论工程地质比拟办法确定岩石滑坡的抗剪强度	徐邦栋 王恭先 (96)
12. 滑坡推力计算中强度指标的反算	马 骥 (102)
13. 粘性滑带土的残余强度与界限含水量的关系	李安德 湛壮丽 张颖钧 (106)
14. X-75型环状剪力仪的结构特点及仪器的标定	湛壮丽 张颖钧 (109)
15. 滑坡地面倾斜仪的研制和试用	孟庆贺 车必达 邢开第 (122)
16. 均质土缩口形滑坡裂缝产生机理的实验研究	冯连昌 郎秀清 (128)
17. 用桩拱墙整治滑坡	徐凤鹤 (136)
18. 施溶溪椅式桩墙的研究	闵顺南 徐凤鹤 (143)
19. 排架抗滑桩设计总结	高同玠 吴道忠 何家中 (152)
20. 国外滑坡防治与研究现状述评	马 骥 王恭先 徐邦栋 (162)
21. 滑坡滑带土抗剪强度研究现状	湛壮丽 李安德 张颖钧 (170)
22. 国外滑坡化学加固方法综述	梁仁友 (179)
23. 超大型滑坡及其速度计算	郭崇元 (187)
国外资料	
用航摄像片对滑坡作用进行判断的原则	(194)

铁路滑坡防治研究的回顾与展望

徐邦栋 王恭先

(铁道部科学研究院西北研究所)

三十年来,在我国新建铁路与旧线改造中曾进行了大量的山坡病害整治工作,其中以对滑坡的防治与处理所做的工作量最大,有成功的经验,也有失败的教训。本文扼要地回顾铁路滑坡防治及研究的过程及取得的主要成就,展望今后应当着重研究的课题和方向,以促使滑坡防治技术和滑坡机理的研究能深入发展。

一、铁路滑坡防治研究的过程

我国虽然是滑坡危害比较严重的国家之一,但解放以前很少对滑坡防治进行研究。我国旧有铁路多建于沿海和平原地区,地质条件比较简单,遭受滑坡的危害并不突出。直至修筑宝天铁路时因地质条件不良,坍方和滑坡的危害才严重地暴露出来。解放后,随着山区铁路的修建,山坡病害日益突出,并具普遍性。五十年代初,在改建宝天铁路和新建宝成、鹰厦等山区铁路时,虽已开始重视地质工作,避开了一些地质不良地段,但终因地质力量薄弱,技术水平低和经验不足,施工后出现了大量病害,其中以大型古、老滑坡的复活最为突出,如宝成线接轨后宝略段遗留的十二大病害都是滑坡。限于当时的认识水平,宝略段在地质工作中只能按地貌外形和勘探的结果来判定滑坡的性质,在处理上主要采取在滑坡前缘修建抗滑挡墙和抗滑土堤等恢复山体平衡的措施,及在滑坡后缘及侧方边界以外用截水盲沟和盲洞等截、排地下水的措施,收到了防止病害扩大的效果。

铁道部对路基病害的整治研究和总结是比较重视的。早在1951年就在宝兰铁路成立坍方流泥研究小组,1956年又分别成立了宝成、宝天坍方委员会,结合两线病害整治进行观测、调查和研究,同时在兰州铁路局成立坍方研究站协助处理天兰等线坍方滑坡病害。1959年在西安正式成立“铁道部坍方科学技术研究所”,后于1961年冬经过调整加强改为“铁道部科学研究院西北研究所崩坍滑坡研究室”,成为当时我国第一个研究崩坍滑坡的专门机构。与此同时,在总结宝成铁路路基坍方滑坡整治经验的基础上,先后于1959、1961和1964年召开过三次全路坍方滑坡经验交流和科研协作会议,有力地促进了这一研究工作的开展。

六十年代初,在鹰厦、外福两线路基病害整治中,对滑坡勘测已逐渐注意到地质调查与勘探并重,有目的地布置钻孔,在处理上针对滑坡的特点采用在滑坡前部修支撑盲沟群和抗滑挡墙相结合的工程,兼起疏干与支挡两重作用,收到了成效。

六十年代中后期,在成昆、贵昆等线修建中,汲取了以往的经验教训,在选线中就注意避开了大量滑坡地段和大型古、老滑坡体,对难以避开者,在摸清其性质和稳定状态的基础上采取了相应的工程措施。但由于地质条件复杂,施工后难于避免地又出现了一些滑坡,如贵昆线的二梯岩、扒挪块、格里桥、小田坝等滑坡,成昆线的会仙桥、甘洛二号、白石崖、乃托、沙北、林场等滑坡。当时由于铁道部西南工地指挥部能及时地组织设计、施工和科研

单位成立“路基崩坍滑坡战斗组”曾对这些滑坡逐个进行研究与整治,故取得了较好的结果。这时在认识滑坡上创用了以工程地质调查为主的分析方法,减少了勘探数量和时间,适应了快速修建铁路的要求;在处理上,除已有的成熟方法外,为节省劳力、保证施工安全和发展防治病害的科学,着重研究试用了垂直钻孔群排滑坡地下水和钢筋混凝土挖孔抗滑桩及沉井抗滑挡墙等新的措施。抗滑桩以后在其他各线得到广泛应用,据不完全统计,仅用于铁路滑坡整治的已近千根了。

七十年代初,在焦枝、阳安、湘黔、枝柳、太焦等线建设中,又遇到另外一些类型的滑坡,如由震旦纪及古生代的变质砂页岩构成滑体的破碎岩层滑坡、发生在新第三纪(也有称 Q_1 的)湖相杂色粘土中的顺层滑坡、具河湖相复理石建造的顺层滑坡、产生于胀缩土地区在挖方边坡或填堤上的胀缩土滑坡、湖相沉积粘土中的浅层滑坡,以及在煤系地层上覆厚层黄土地带的大滑坡等。由于粘土滑坡与其矿物组成密切相关、因此已发展到研究土质与离子化学作用的新领域。同时对粘性滑带土的残余强度的试验进行了大量研究。

最近几年,在综合应用工程地质法中已试用地质力学原理,从地貌形态、岩体结构出发,结合工程地质已可判定滑坡性质、规模和稳定性;用工程地质比拟算法能初步确定滑坡推力的大小和防滑工程量,创造了结合施工进行勘测的办法,已能及时满足调整设计的要求并保证质量,缩短了勘测时间,加快了建设速度,及时整治好了在修建期出现的滑坡。

为了掌握铁路沿线滑坡的分布情况、类型、产生的地质条件和原因,以及防治工程的效果,曾组织路内外三十余个单位对铁路沿线千余处滑坡进行了普查登记。

在上述工作的基础上,我所滑坡研究室于1971年总结编写了《滑坡防治》(总结初稿),经内部交流征求意见修改后,1977年由人民铁道出版社出版。

1973年全路第四次滑坡防治经验交流及科研协作会议,代表来自二十八个省、市、自治区的一百一十八个单位,实际是全国性的滑坡防治经验交流会。会后出版了《滑坡文集》。此外还组织翻译了英、日、俄文六十年代末和七十年代初期有关滑坡防治研究的代表性著作,使能看出我们的特点和存在的差距。总的看来,在滑坡工程地质工作方面我们接近或达到了国际水平,并具有我国的特点;但在勘探手段、测试技术方面尚有较大的差距。

在滑坡防治研究方面之所以能取得以上成就和进展,主要在于:(1)铁路各部门领导的重视和支持。三十年来研究工作没有中断,并保持着一支专业研究队伍。(2)铁路建设的需要。铁路新线和旧线上的大量滑坡不仅为研究提出了课题,而且提供了试验场所。(3)社会主义大协作。发挥了设计、施工、运营和科研各单位人员的集体智慧和力量。(4)科研工作坚持了实践第一的观点,从实际滑坡中提出问题,研究后又回到实践中去检验其正确性,缩短了研究周期。

二、主要成就

我们经过三十年的实践和研究,获得了以下主要经验。

(一) 关于滑坡的类型

滑坡分类是认识和整治滑坡的重要环节。国内外从事滑坡分类研究的学者很多,各从不同的角度,依据不同的分类指标提出了多种多样的分类方案和意见。欧美一些国家在“地滑”这一概念下,将崩塌、错落和土石流等均包括在内,进行统一的分类。我国是将其分别进行研究的。在滑坡分类方面,虽然意见不尽统一,但铁路部门在西北研究所原分类的基础

上经“滑坡分类与分布”专题协作组1974~1976年的进一步研究,基本赞同分类目的在利于防治,用较少量的调查、勘探工作即可了解滑坡的基本性质、规模和危害,便于确定防治对策为主,同时考虑到我国的区域地质特点,提出了“以滑体物质及其成因的分类方法”。将滑坡分为粘性土、黄土、堆填土、堆积土、破碎岩石和岩石滑坡六大类;然后又按主滑面成因类型分为堆积面、层面、构造面和同生面滑坡四类;再按滑体厚度分为巨厚层(>50米)、厚层(20~50米)、中层(6~20米)和浅层(<6米)滑坡四类。这种既考虑了地质条件又考虑了整治难易的工程地质分类法,是目前比较统一的一个分类方法。实践证明,它对防治滑坡和研究滑坡的规律及积累经验都是较为合适的。当然它也并非是最完善的分类方案,今后还可继续研究。

(二) 关于滑坡的分布

为全面了解和掌握铁路沿线滑坡的基本情况、产生的地质条件、原因和分布规律,以便为新线建设提供必要的参考资料,“滑坡分类与分布”专题协作组于1974~1976年对全国铁路沿线滑坡进行普查,共登记滑坡一千余处,编制了全国铁路滑坡分布图。从中提出以下滑坡分布规律:

1. 滑坡的产生和分布与岩性关系最密切

把滑坡分布的地层分为十个岩组,其中易滑岩层为泥岩、页岩及其变质岩,煤系地层,泥灰岩、凝灰岩,已风化的长石岩类、云母岩类和含石膏或其他易溶盐的地层。易滑岩层中往往是在粘土化、泥化、长石化、绢云母化、滑石化、石墨化、蛇纹化、绿泥化和千枚化等一些软质岩石分布的部位产生滑动。它们常含有蒙脱石或高岭石、伊利石、海绿石、绿泥石和铝土等特殊矿物以及碳酸钙、硫酸镁、氯盐和其他易溶盐等。它们或因整体上软弱,或因形成岩体中的软弱夹层而易变成滑带而滑动。

2. 在岩性条件类同时,构造条件是滑坡的控制因素

地壳表层的一切岩土是在一定的地质条件下形成的,基本上是各向异性的,一般顺层的抗剪强度总比垂直切层者为小;在受构造作用后,一些沿裂面或隐裂面处,由于受各种性质力的破坏其强度显著降低,使得在构造较平缓的单斜山,顺层滑坡常成群分布;大断层附近,滑坡往往集中分布,两条或多条断层交叉处尤甚;褶曲轴部和大断层的上盘因岩层较破碎,常常也是滑坡集中处。构造条件除控制滑动面的空间产状外,还控制滑坡地下水的状态(如构造供水)或使地面水、滑体中水、滑带水向隔渗层上岩性不良的一层集中而产生滑坡。

3. 在岩性、构造条件一致时,山坡的地形地貌对滑坡的产生也有重要作用

它主要决定着坡体临空面的大小、陡缓和坡体的应力状态及变化,特别是由于侧向卸荷的作用不断产生新的裂隙而破坏岩体,使之向一定方向松弛,为各种水流创造通道并因之软化各裂面。它决定地表汇水条件,改变地下水的渗流条件。据统计,铁路沿线的滑坡40%以上是在工程施工开挖改变山坡外形后产生或使古、老滑坡复活的。由此可看出山坡外形改变对滑坡产生的影响。

4. 在上述三者的基础上,不同气候带也有不同类型的滑坡

如我国西北干旱地区多分布黄土滑坡,且多为黄土沿基岩顶面或含水的砂砾层部位滑动;多雨的中南、西南、华东地区多各种类型的堆积土滑坡和风化岩浆岩及其变质岩的滑坡;严寒的东北地区和青藏高原则分布着浅层的融冻土滑坡等。

不良的岩性决定着滑坡分布具区域性特点。大的构造线使滑坡分布具带状集中的特点。当地不同的夷平面和阶地是地质作用的结果,它影响一定年代水文地质的循环,在其影响

下, 由于地下水的成层分布又决定了某些滑坡具有成层分布的特点。

(三) 关于滑坡的基本属性及防治对策

1. 堆积土(堆积层)滑坡

除一般的堆积层沿下伏基岩面滑动者外, 还有崩、坡积层中崩积层沿坡积层滑动; 崩、坡积层沿老洪积层(Q_3)滑动; 洪、坡积层沿残积层滑动; 洪积层中新洪积层沿老洪积层面滑动等。又如在数十米厚的花岗岩和片麻岩的风化层中, 滑动带可随地下水分布的变化而变化。堆积土滑坡的滑带水, 有从滑坡后缘及侧缘补给的, 有从滑床以下承压补给的, 有时分几个带补给, 这是补给位置较固定的一类。此外, 还有随侵蚀基准面(包括人工开挖面)的改变斜坡岩体松弛而造成水文地质条件的变化。这类滑坡类型多、条件复杂, 其防治对策必须针对具体滑坡的具体条件和原因采取有效的措施。尤应注意工程活动对条件因素引起的变化和趋势。

2. 黄土滑坡

除新黄土沿老黄土或基岩面滑动外, 从滑带特征上黄土滑坡可分两类: 一为黄土沿不同年代或成因的老黄土界面或基岩(主要为新第三系粘土岩)滑动的, 因成因关系一般滑带平缓, 仅有几度倾斜, 只有当滑带中有丰富的地下水时才能滑动; 由于滑体中老黄土, 特别是洪积黄土及古土壤层具隔水性, 故地表水的作用不显著。此类滑坡有不断缓慢滑动的, 也有因滑带较厚在水压下易潜蚀或挤出而急剧滑动的。另一类为黄土覆盖在老基岩面上的悬挂式滑坡, 因接触面较陡, 滑带水一般不发育, 一旦因受地震或侧向卸荷等作用后形成土中节理和土体松弛, 经表水和土中水沿接触面集中后常形成崩塌性滑坡。在防治对策上, 由于性质不同, 前者以截、排或降低滑带水为主结合支挡; 后者以支挡为主结合减重。值得注意的是黄土滑坡多产生在洪积、堆积及有地震节理的黄土中, 与黄土年代关系并不密切。只有新黄土及风成黄土才具大孔隙、垂直节理, 有垂直渗水作用, 但它本身无软层, 只有水渗至下伏相对隔渗层部位, 使之变为软层后才产生滑动。

3. 粘性土滑坡

粘土滑坡的成因主要是其中含有特殊的亲水矿物如蒙脱石等, 具有强烈的胀缩性、水解性和受水后极低的强度。所以滑坡的产生及其规模大小与含特殊矿物的这一土层的产状、分布位置和当地水文地质条件及其变化有关, 特别是在改变地形地貌条件后上层地下水的分布发生变化对之影响很大。其一为含特殊土层顶面的倾斜度与临空面、开挖面间的关系; 其二为滑带水多为上层滞水补给, 和地形地貌条件有关。铁路通过红色盆地边缘的岗垅从中拉槽挖堑通过时, 因改变了上层滞水的状态而产生大量滑坡。滑动带多发生在岩性不良的一层粘土的顶、底面, 而位于该层中部者则少见。防治该类滑坡时, 一般在弄清大范围内胀缩土的分布与产状及其埋藏情况后, 多以调整铁路走向与路基标高为主, 少用该类土作填料; 否则要以彻底做好截、排滑带水的工程为主, 支挡建筑物基础要深过软层。必要时亦可用改良土质办法。此外, 粘土中的风化裂隙是一种带普遍性的表现现象, 特别在成岩差的粘土层表现突出。因沿此类裂隙进水而滑动者仅是浅小滑坡。其防治对策以疏干壤中水为主, 结合坡脚支挡与表面隔温、保湿措施。若用该类土作填料, 必须有良好的疏干措施。

4. 岩石滑坡

可分为较整体的岩石滑坡(以顺层者居多)与破碎岩石滑坡(滑体裂面发育、岩石破碎, 以逆断层上盘岩石由错落转化为滑坡者多)两类。前者除与岩性有密切关系(易滑地层)外, 其滑动带多为层间错动带, 该带的产状与临空面间的关系以及带中岩土的结构和强度,

决定着滑坡的性质和状态。后者主要由断层错动所控制，滑动面不一定是单一的面，可为台阶状、锯齿状等。在防治对策上，根据具体特点，前者可分别采用锚杆或支挡为主，结合截、排滑带水；后者则以支挡为主，结合减重及疏排滑带水。

从防治岩石滑坡的研究实践中得出，用地质力学方法从滑坡地区岩体中的构造形迹的调查研究入手，分清构造序次及构造应力场，以及各组裂面间的力学性质和相互关系，可以较快而准确地找出滑坡的边界条件、滑坡的分块、滑带土强度的参数值，以及滑带水的分布等。这样可节省大量勘探工作量，加快滑坡整治过程。

对滑坡的发生机理和地质力学特征也进行了一定的研究。

（四）关于滑坡的勘探和试验

在滑坡地区曾综合应用过钻探、坑槽探、洞探、电探、地震探等方法，重点在于摸清滑坡地层、尤其是滑动带与可能滑动带的空间部位和地下水的分布，为确定滑坡的性质和规模提供确凿的依据。曾总结出确定滑动带（面）的十种方法。在以鉴定分析岩心为主的综合工程地质法确定滑动带位置上有我们独到的见解和做法。在分辨滑动擦痕与构造擦痕，区分正在活动的滑带与已经死去的滑带，滑带中几组裂面的性质，以及滑带的相互关联与区别等综合分析方面，都取得了进展。结合不同滑坡地层研究了不同的钻探方法，如无水反循环等。以地面调查为主抓住每一滑坡的主轴断面重点钻探的方法大大减少了钻探工作量，取得了较显著的效果。但是在综合物探、遥感技术的应用方面我们还比较落后。

在滑带土强度试验方面，我们首先根据模拟滑坡的实际状态的原则做试验，对滑面重合剪、多次剪、野外大型直剪等多种方法进行了研究。特别是结合我国当时条件，创用直剪仪重塑土多次剪的方法，结合对大滑动的调查了解和滑动时滑带土的可能含水状态，找到滑带土在某一含水量下某次剪切后的强度指标与大滑动次数的关系，用于实际滑坡的整治。并用多次剪找到了残余强度。与此同时，研制了环状剪力仪和往复式直剪仪，对粘性滑带土的残余强度进行了比较系统的研究，找到了一些规律。

（五）关于滑坡的动态观测

从五十年代初至六十年代末曾对一些大型滑坡进行了较系统的位移和地下水的动态观测，并对观测资料在滑坡中的分析应用进行了较系统的研究，提出用观测资料确定滑坡周界、分条块、决定主滑方向、区分土移和土聚区、区分滑体各部受力区、以及估算滑床坡度和埋深等方法。通过地下水的观测和水力试验找到了滑带水与当地地下水的补给关系、方式、来源以及滑带水的流速、流量等。近年来又研究试制了滑坡地面倾斜仪、伸缩计和滑动面测定管等。但在滑坡地下位移、地下水观测及新技术应用方面还比较落后。

（六）关于滑坡的稳定性判断

对于滑坡的稳定性判断，经过二十多年的研究与实践，我们已经创造性地总结出以工程地质为主的综合分析方法，它包括（1）地貌形态演变，（2）地质条件对比，（3）滑动前的迹象观测，（4）分析滑动因素的变化，（5）斜坡平衡核算，（6）斜坡稳定性计算，（7）坡脚应力与岩土强度对比，（8）工程地质比拟计算八个方面。实践证明，对每一个滑坡均可采用其中的三至五个方面进行判断，并可相互验证、补充以达到正确判断的目的。用此法可以比较准确地划分出滑坡的发育阶段，判断出滑坡目前的稳定状态和发展趋势、历史上滑坡的推力界限。在找出滑坡的主要控制条件后，可控制某些条件因素在一定范围内变化，从而定出设计推力的大小。特别是用我们首创的工程地质比拟计算办法确定的推力界限和建筑物尺寸已可达到定量，其他方面也随测试手段的增加和原始资料掌握的精确程

度,可从定性逐渐向定量过渡。

(七) 关于滑坡的预测预报

经过大量滑坡防治和研究实践,对各类滑坡产生的基本条件、因素、动态过程、分布规律等有了一定的了解之后,对滑坡的空间预测,即可能产生滑坡的地点、规模、危害程度和发展趋势等的预测已大体可以做到,因此在选线中有可能避开大量滑坡地段,并对已有滑坡采取了稳定措施。但对滑坡发生发展时间的预报和滑坡滑动速度还研究得很少,是今后应着重研究的内容之一。

(八) 关于滑坡的处理

对滑坡的处理对策是随着对滑坡性质认识的逐步加深而发展的。初期因对滑坡缺乏认识造成工程失败,或盲目刷方使病害越来越大的教训是不少的。后来曾被迫采用恢复山坡原有支撑的方法收到了成效。只有到对滑坡性质有了较多的了解之后,如在宝成、鹰厦、成昆、贵昆、太焦等线,才能针对病因采取有效的措施,而对次要因素采取综合处理的办法,逐步做到技术经济上比较合理。

1. 处理原则

对滑坡连续分布区段,或对个别大型滑坡,或处理滑坡在技术和经济上不合理时,则应绕线以避开滑坡;也可在某些条件下向河移线不破坏或尽量少破坏原有山坡的平衡状态。对个别大滑坡处理有困难或不合理时可用隧道方案在滑带影响范围以下通过。位置较低的中小型滑坡可用桥渡跨过它;当其位置较高时,可用“渡槽”使其从洞顶滑走。对个别大滑坡群可将线路移至较稳定地段以避开正在活动的前部。对小型滑坡,条件许可时也可全部清除。对滑坡处理应采取“一次根治,不留后患”的原则。

2. 工程措施

根据病因,如系地下水作用引起的滑坡,主要采用截水盲沟、盲洞、斜孔等排除之,但必须事先弄清地下水的补给来源、方式、数量、位置、方向等,如此办了,已在宝成、成昆线处理滑坡中取得成效。在无时间查清地下水详细情况时,曾在滑坡前部修支撑盲沟群并加小挡墙,它产生了疏干前部使之变成抗滑部分和挤密滑体减少表水下渗的作用;这样做了,已在鹰厦、宝成线收到稳定滑坡的良好效果。由于江河冲刷引起滑动者,应着重作河岸防护工程,宝成等线在滑坡前缘的河床上修筑防冲淘浆砌护坡,钢筋混凝土块板沉排和促淤的各种丁坝群等都收到显著效果。如系铁路挖方破坏山体平衡引起滑动者,在许多线路上采取抗滑挡墙等恢复支撑的措施取得成功;1966年在成昆线采用钢筋混凝土挖孔抗滑桩取得成效后,已在全国各地得到广泛应用。若为表水下渗或自然沟水补给滑坡引起滑动者,则采取地面铺砌防渗、地表排水及沟床铺砌等措施。如因滑带土质不良的,似应采用改良土质的办法,如灌浆、焙烧等,或用疏干工程减少水的作用,尚在研究中。

实践证明,凡用排地下水措施者都收到了效果。凡用支挡措施者,只要设计无误且埋基马滑床下有足够深度者,也取得了快速稳定滑坡的效果。但抗滑挡墙挖基时,必须分段跳槽于口施工,否则过多地削弱支撑力量引起滑动,致使工程无法进行,这种教训不可忽视。凡单纯用减重措施者,不能最终稳定滑坡,必须加以支挡或排水才能见成效。

在滑坡推力计算中,对强度指标的选择,我们已摒弃了全滑面取平均值的作法。我们采用的方法是结合滑坡地质条件将滑带分为主滑、牵引、抗滑段,分别选取指标,对含水条件不一致者还应增加段落选用不同的指标,并考虑到各不利因素的组合,将试验值与反算值、经验值综合分析后,在互相核对、彼此补充下选用。

在支挡工程设计中,基础埋深必须根据滑床地质情况考虑滑带向下发展的可能深度。对埋基较深的挡墙,创用在墙底摩阻力充分发挥作用后再考虑一定的墙前被动土压以减少墙体圯工,并取得成功。目前抗滑挡墙已几乎被抗滑桩取代了,盲沟、盲洞也将被斜孔排水所代替,只是由于机具问题尚未大量采用。

三、今后滑坡防治研究的展望

在滑坡防治的研究方面,我们虽然取得了一些成绩,但是和世界先进水平相比,在某些方面还存在着一定的差距。为了尽快赶上和超过先进水平,我们更应加强研究工作。

(一) 研究的基本出发点

1. 应紧密结合我国的地质特点进行研究。我国地域大,地质条件比较复杂,滑坡类型多,并有一定的区域性分布,因此应分类别摸清每类滑坡发生的机理;对不同类型的滑坡采用不同的研究和处理方法。

2. 研究滑坡应以工程地质为主、结合其他学科如土力学、土质学、岩体力学等,增加试验与测试手段,以较典型的滑坡为对象模拟相应的边界条件并以之验证结果的正确性,使工作由定性逐渐向定量过渡。

3. 从事滑坡研究的人员必须掌握一定的地质基础知识,岩、土力学知识,铁道工程知识,结构设计、量测、勘探和试验技术知识,要既专又博。

4. 滑坡研究中应发挥我之所长,克服我之所短。对我们研究较深有些成就的部分,如理论密切结合实际、地质结合工程和综合分析等应继续提高使之更加完善;对我们尚缺或落后的部分,如模型试验、勘探、量测、预测预报及防治新技术等应作重点突破。研究成果仍应及时用于现场,用于滑坡整治实践。

(二) 主要研究课题

1. 各类滑坡破坏机理的研究

滑坡机理包括了滑坡产生的条件、因素、原因及其发生发展的动态过程。要针对各类滑坡的特点去研究,如岩石滑坡主要用地质力学方法,粘土滑坡主要从特殊矿物的性质及当地局部水文地质条件去研究。应采用现场调查与室内试验相结合的办法揭示滑坡破坏的实质。

2. 滑坡主要作用因素的研究

水一般是滑坡的主要作用因素,但过去限于勘探、测试手段落后,有关知识浅薄,对地下水未进行深入系统的研究。今后应结合滑带土质及滑带水的矿物离子等,研究地下水的作用实质,以及应力条件的改变对滑带产生的影响,包括应力集中、滑带的逐渐形成等。

3. 滑带土的性质及其变化的研究

对前述各类滑坡逐类研究其滑带土的强度试验方法以满足设计需要,同时研究新生滑坡与老滑坡复活中各运动阶段滑带土强度的衰减情况及其破坏的机理。对胀缩土滑坡从土质和地质成因方面研究其滑带土的性质及变化;对液化溃爬性滑坡从组成物质和结构方面研究其滑带土在震动下的性质和变化;对崩坍性滑坡从侧向卸荷应力变化与裂面形成等方面研究其滑带土的性质和变化。

4. 滑坡勘探和量测新技术的研究

应下决心研究解决综合物探用于找滑动面和地下水,遥感技术用于滑坡动态观测和滑坡分布的研究。滑坡体及滑动面的位移及应力测定仍是一个薄弱环节,应尽快研究新的测试设

备、手段和技术。新的勘探和量测技术的发展必将大大促进滑坡机理的研究。

5. 新的抗滑工程措施的研究

应研究解决斜孔排水推广中的技术问题；在进一步研究抗滑桩桩排设计理论的同时，应研究桩加锚杆、桩群组合的刚架结构和锚碇结构等新结构的抗滑能力，以达到经济合理和减少桩的埋深、便于施工的目的。化学方法加固滑坡和用旋喷技术改造滑带的工作也应开展，为滑坡防治技术开辟新而省工的领域，使我国在滑坡防治技术方面跨入世界先进行列。

6. 滑坡预测预报的研究

在加强滑坡机理研究的同时，从测试技术上研究滑坡的动态过程，从而逐步研究出滑坡预报的理论和方法。

岩石顺层滑坡的性质与防治

徐 邦 栋

(铁道部科学研究院西北研究所)

岩石顺层滑坡系指主滑带与岩层的产状基本一致,滑动后滑体的结构仍保持较完整状态的滑坡。

一、岩石顺层滑坡的类型及滑动机理

(一) 实践中遇到的四种类型

1. 组成山体的岩石,特别在滑带处为薄的软(柔性)、硬(脆性)岩互层,滑带往往产生在这些渗水的薄互层或其中泥(或页)岩的一层,常产生多层性滑坡。

2. 组成山体的岩石为层厚巨大的硬、软两类岩石相间结构,滑带产生于两者的接触带,常形成多级性滑坡。

3. 滑体及滑床的岩石均为层厚较大的脆性岩石,其间有软弱夹层,主滑带即沿此夹层发育生成,常产生多层性滑坡。

4. 滑体为层厚较大的脆性岩石,滑床为层厚更大的柔性岩石,滑带则产生在两者之间层厚较小的具揉皱错断的软硬岩石互层之内,产生多级性滑坡。

(二) 一般岩石顺层滑坡的滑动机理

能滑动的岩体,一般在各个方面都有裂面与山体分开,或仅有部分未断开但早已蕴藏了断开的趋势,这与母体脱离的岩体只有在自重为主的作用下能产生下滑力时才能沿层间某一软层形成滑坡。一般滑动机理为:

1. 由于种种原因,当作用于滑体底部某层软弱带上的应力不断增大,或该带的强度不断衰减致使应力大于强度时,该带即在四周封闭的状态下发生变形,并逐渐扩展形成主滑带。它可以从软弱带的任一部分开始向四周发展,随外因而异。一般由于前缘被切割,产生自坡面向坡体内的应力松弛,近坡面一带的岩体因松弛而导致水的渗入并集中至底部软弱带,此时,主滑带是由前部向后逐渐生成,也有由于在滑坡的中后部加载迫使软弱带由后向前逐次变形的,也有当滑带水自软弱带某一部位受补给时,滑带即从该处最先形成逐渐向前、向下发展。这一自行蠕动变形的范围,称为主滑段。变形仅限于主滑范围时,滑动处于酝酿期的蠕动阶段。

2. 由于主滑地段的向下、向前移动,有立即顺软弱层发展到斜坡出口者,也有先使主滑带以上的岩体产生张拉破坏尔后挤出前缘出口的。在岩体后部产生类似主动土压的破裂面组由地表直达滑床者,常依附于邻近岩体中已有的、陡倾向临空的一组构造裂面出现,或依附于两组呈锯齿状交叉、总走向横截滑动方向的裂面生成。从后缘裂面至主滑带的后部,这一范围属牵引段。在滑体后部的岩石未因主滑带移动而断开前,牵引段的岩石并无推力作用于主滑体,断开后,裂面间从结合力转化为外摩擦,也因地面水及岩层中裂隙水沿此裂开面

汇集,或由于暴雨中雨水排泄不及而产生的水静压等才产生推力作用于主滑体。

同时,主滑体因应力不断增大和受补给滑带的水的种种作用,使滑带强度不断降低而扩大范围。在主滑体产生巨大推力下不断挤压本来稳定的前部,使之脱离主滑体所依附的软弱带向地表产生新的滑带。这本来稳定的前部为抗滑段。该新生滑带是在推力作用下,由后向前变形,随之进水逐渐形成的。在前部滑带未完全贯通至出口以前,滑动处于挤压阶段。

3. 一旦前缘滑带出口形成,整个滑带就贯通,滑坡即进入滑动阶段。滑动初期的速度一般较缓慢,作等速运动或时动时停,谓之微动。也有因整体移动,使滑带土强度因移动而衰减,或因移动使滑体结构松弛而导致岩体中各层地下水向滑带集中而产生浮力等不利因素,使滑坡产生加速大动的。滑坡由于大动或移动中排出了大量滑带水、或滑体移动一定距离后使脱离原滑床的范围加大而增大了阻力等,使滑动逐步稳定下来。之后可由于种种原因,在不利因素增加和稳定因素减小下,滑坡又沿主滑带复活。

4. 由于条件的限制或滑动因素随时间的变化,滑坡可由蠕动、挤压或滑动阶段直接进入暂时稳定阶段,并不一定经过上述全过程。也有前缘出口高悬于半坡之上,滑体滑出滑床后即崩落至坡脚而无抗滑地段者。

二、岩石顺层滑坡与地层岩性及地质构造间的关系

岩层中岩性不良的一层往往就是岩石顺层滑坡滑带产生处。在同一岩性条件下,沿构造破坏的一层更易滑动。以下以贵昆铁路大海哨等滑坡为例说明其规律。

(一) 主滑带沿岩性不良的一层生成

大海哨车站一带为志留系马龙群浅海相地层,在厚约60米的地层中,曾产生I、II、III号滑坡(见图2-1),其中I号滑坡又分为 I_a 、 I_b 、 I_c 三块。各块滑坡的主滑带基本上都由薄层泥灰岩(或钙质页岩,下同)与多种灰岩的互层中页岩这一相对软弱夹层发育生成。其厚度虽仅2~10厘米,但在当地岩层倾向临空面倾角为 $12^\circ \sim 15^\circ$ 时就能产生滑动,产生滑带处有以下特点:

1. 薄层泥灰岩比厚层者及各种灰岩的强度低,在同一倾斜度下易沿薄层泥灰岩滑动。
2. 新鲜的泥灰岩呈灰与青灰色,比风化破碎呈黄及褐黄色的强度大,易沿风化破碎的一层滑动。

3. 在风化破碎的各薄泥灰岩中,由于受构造错动及长期地下水活动的不同,风化破碎的程度有异,强度也有差别。以鳞片状岩屑、角砾、岩末及岩粉组成者强度最大,基本不滑。如为岩土似粘砂土状者,虽渗水,因强度大(原位大剪得 $c=0.7t/m^2$ 及 $\varphi=19^\circ$),倾角小于 14° 时不发生滑动。如为岩粉似砂粘土状者(如 I_a 号滑坡),水量大,在滑床倾角为 $12^\circ \sim 13^\circ$ 时,其强度小(浸水原位大剪得 $c=1.4t/m^2$ 及 $\varphi=10^\circ 30'$),故在雨季中滑动;II号滑坡滑床为 13° ,而滑带土 $c=1.1t/m^2$ 及 $\varphi=13^\circ$,必需在水压大时才滑动。已风化成粘土者如III号老滑坡,其强度最小,早就滑动,被掩埋的草木已炭化,在78年春仍见老滑带的顶面潮湿有水活动,并在顶面薄敷一层灰色岩粉,反映它并未完全死去。

(二) 断层发育破坏了岩体的完整性,如断层供水更易产生滑坡

大海哨车站南坡,493.1公里自然沟以东的东段滑坡成群而西段极少,是因东段有 F_1 、 F_2 、 F_3 三条北西西向的主断层斜截了山坡,分割了岩体,且断层有供水现象。

1. F_3 断层属先压扭后张拉性质,它倾向南西。由于它基本属压扭性,使南西侧来水

受阻,再沿断层走向流动,故在断层以西自然沟中早就产生了Ⅲ号老滑坡,近期又在沟东岸产生了Ⅱ号滑坡。Ⅱ号滑坡滑动中出口不断排出滑带水即是证据。

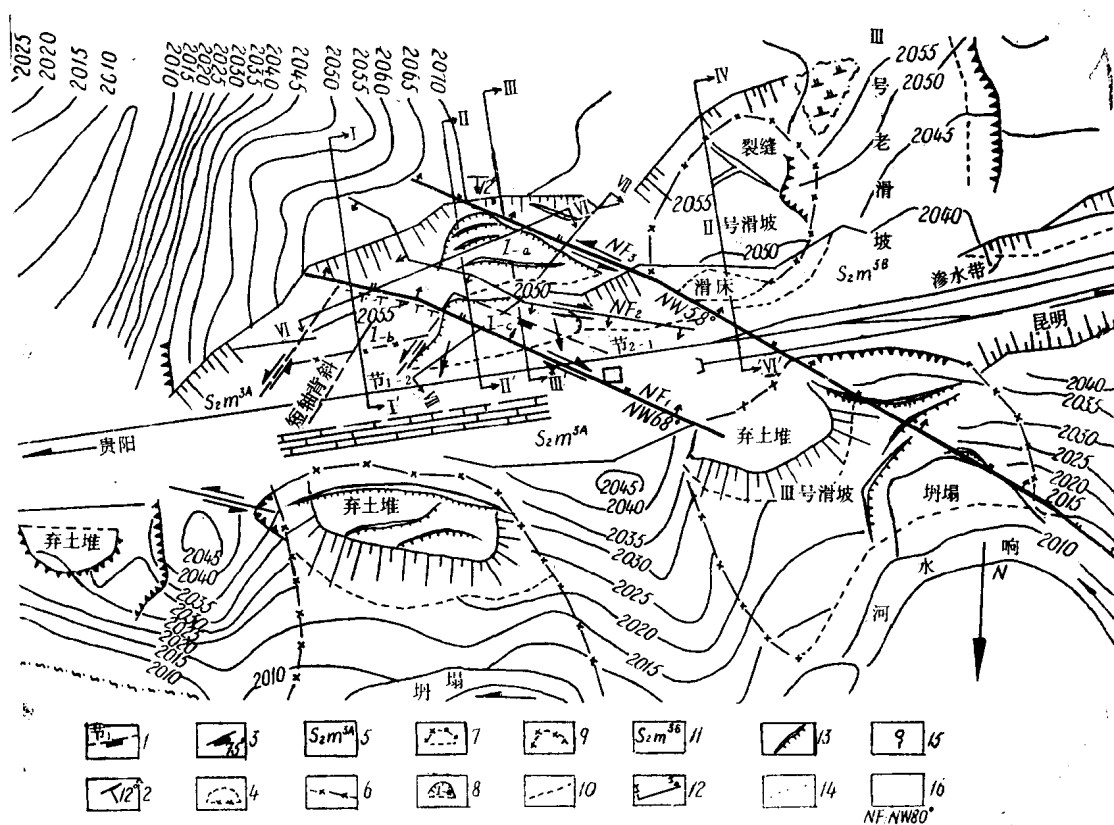


图 2-1 大海哨滑坡群平面示意图

1——节理编号及产状; 2——岩层产状; 3——节理产状; 4——具有滑动条件的地段; 5——中志留系马龙统第三层中部; 6——软弱层; 7——Ⅱ、Ⅲ号滑坡界限; 8——Ⅰ号滑坡分块; 9——不良地段; 10——软弱层渗水带; 11——中志留系马龙统第三层上部; 12——断面编号; 13——滑坡裂缝; 14——岩层分界线; 15——泉水露头; 16——正断层编号及产状。

2. 同样由于 F_2 属张性断层(倾向北东), F_1 为先压扭后张拉断层(倾向南西), 两者相对构成地堑而汇水, 这集水廊道对产生滑坡 I_b 及 I_c , 有密切关连。

(三) 顺层滑坡几乎都是沿层间错动带滑动的, 特别是多次错动者及有顺坡向下错动过的, 更易于滑动

按构造形迹及裂面性质调查分析, 该区至少受过三期构造作用: (1) 最早是由北向南的主压应力作用下产生东西向的长轴构造, 奠定了现代山坡发育的雏形; (2) 随后, 受了云南山字型(在小江断裂范围之内)逆时针扭动的改造, 使整个岩体旋转约 10° ; (3) 后期在新华夏运动的作用下产生了北东 $20\sim 25^\circ$ 的短轴构造。这样山坡上的岩石在有些层间错动面上留下三组擦痕, 即逆指(向山坡上方)南东 $5\sim 10^\circ$ 的老擦痕遭逆指南西 $20\sim 25^\circ$ 者所割切, 最终贯通者为逆指南东 $65\sim 70^\circ$ 一组。各构造与滑动的关系:

1. 在493.5公里自然沟西岸上, 见老滑床的残存面上(钙页岩)逆指正南仰角 14° 的早期擦痕, 被后期逆指南东 65° 仰角 5° 者所割切。该滑床因有顺坡向下的阶步(增陡 1°), 总倾

角为 15° 。因曾受两期构造作用，故上部岩体早就滑光了。

2. II号滑坡的滑床上有两组擦痕及一组滑痕：早期者粗而显，逆指正南，仰角 $10^{\circ}30'$ ；后期的细而深，顺指（向坡下者）北西 5° ，俯角 13° ；而贯通的滑痕舒缓而浅，顺指北西 2° ，俯角 13° 。区分了三者关系，也就易于判断该错动带因受过往复错动使强度降低，故在滑带水量大时滑动。

3. 至于I号滑坡的三块，在 I_0 的滑床上见错动擦痕为逆指南西 5° ，仰角 12° ，滑动带遭破坏严重，为岩粉似砂粘土状，且水量大，故活动性强； I_0 则见逆指正南、仰角也是 12° ，但错动带为糜棱物，如岩末、岩粉，含水量小，故活动性小； I_0 在出口所见为逆指南东 10° ，仰角 12° ，由于中部有顺坡阶步使俯角增陡，且水量多，故易于滑动。

4. IV号堑坡中的软层，也同样是层间错动带，并渗水，所见擦痕浅而不显，逆指南东 10° ，仰角 10° ，它反映遭错动破坏的程度不严重，且由岩屑、岩末组成似粘砂土状，强度大，故不滑动。

（四）岩体构造裂面的分布控制滑坡的发展与变化，要针对其特点确定防治原则

滑坡 I_0 在堑坡平台面以上，该面为一错动带，也即滑带。其西侧及后缘为 F_3 断层所切割，故主滑带只能至 F_3 。由于 F_3 倾向山，如 I_0 滑走，后山也只好沿另一软层滑动。该滑坡的东侧为北北东向（先剪后压性质）平行的直立裂面分割，也止于 F_3 。如 I_0 滑动易于沿北北东一组裂面向东发展，因此防治这块滑坡，以在前缘支挡为主，不能轻易清除。现在滑坡出口处修筑了抗滑桩排，制止了滑动。

滑坡 I_0 （见图2—1、2—2）后缘及西侧为 F_2 断层断开，滑带以 F_2 为界。 F_2 属张性，倾向河，故后山对之无压力；但 I_0 滑坡位于后山高处，一旦 I_0 滑走，后山有坍塌之虞，则 I_0 抗滑桩的基础有变动可能。且 I_0 西侧及后缘为 F_2 所断不易发展，但东侧可沿北北东向裂面发展。故仍以在 I_0 的前缘做抗滑支挡工程为宜。现已在前缘做了抗滑桩排，防止了滑坡向东发展。

（五）形成滑带的软层及其上下岩石的特点决定了滑坡性质

滑坡滑动与滑带厚薄及平整程度有密切关系。即滑动面是发生在滑带中，还是在滑带上下接触面上，或三者过渡都分别影响滑带强度的变化；滑动中滑带土强度的变化如巨大，则因推力变化也大，使滑动速度加快而影响滑动性质。

如大海哨II号滑坡，滑带系由泥灰岩夹层生成，仅厚2厘米。成岩后先有东西向单斜长轴构造，后经新华夏北北东的构造，产生短轴褶皱，故在横截滑动方向上有波状起伏。其上、下为脆性岩石（灰岩），因此，滑动时往往将软泥挤入凹槽，使突出的岩脊几乎为滑体与滑床两硬岩直接接触。由于两者之间为硬岩属外摩擦现象，其抗剪强度不因滑动次数与移动距离有显著变化（野外试验已证实这一判断）。该滑坡的滑动只能与变化的外力和其物理现象有关，实际是受后缘裂隙的水柱压力及滑带水压的增减所控制。由于上、下均为硬灰岩，其排水不畅，尤其在暴雨下因水压而产生浮力时对滑带强度的影响大。因在水浮力作用下，滑体与滑带或滑床被水膜隔断的部分其强度特别小。一旦滑动后，水道通畅，自滑坡前缘挤出一些承压水，静、动水压力减少，滑带土强度增大，滑动又停止了。这是滑带的特点决定滑动性质之一。

又如福建永加铁路27公里滑坡，为二叠系石英砂岩夹薄层泥岩沿下伏巨厚的泥岩的顶面滑动。由于产状稳定，错动带平顺并延伸较远，所以滑带在滑动方向的延伸长。上部砂岩夹薄泥岩受短轴构造（轴向垂直山坡）作用，起伏较急，所以滑坡的横宽小于纵长。顺滑动方