

铁路工程设计技术手册

《路基》 第四篇

# 特殊条件下路基

铁道部第一设计院主编

人民铁道出版社

铁路工程设计技术手册

《路基》第四篇

# 特殊条件下路基

铁道部第一设计院主编

人民铁道出版社

1978年·北京

## 内 容 简 介

铁路工程设计技术手册《路基》，内容包括路基构造、路基排水、浸水路基及改河工程、特殊条件下路基、既有线改建及增建第二线、路基防护、挡土墙等七篇及附录——路基设计参考资料。为满足现场设计工作急需，现按各篇定稿先后，暂以分篇形式出版。

本篇包括：

- 第十一章 滑坡地段路基——铁道部科学研究院西北研究所编写。
- 第十二章 崩塌及岩堆地段路基——铁道部第一设计院编写。
- 第十三章 泥石流地区路基——铁道部第二设计院编写。
- 第十四章 软土和泥沼地区路基——铁道部第四设计院软土队编写。
- 第十五章 裂隙粘土地区路基——铁道部第四设计院编写。
- 第十六章 岩溶及其他坑洞地区路基——铁道部第二设计院编写。
- 第十七章 盐土地区路基——铁道部第一设计院编写。
- 第十八章 风砂地区路基——铁道部第一设计院编写。
- 第十九章 雪害地区路基——铁道部第三设计院编写。
- 第二十章 多年冻土地区路基——铁道部第三设计院编写。
- 第二十一章 地震地区路基——铁道部第一设计院编写。

铁路工程设计技术手册

《路基》 第四篇

特殊条件下路基

铁道部第一设计院主编

人民铁道出版社出版

(北京市东单三条14号)

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民铁道出版社印刷厂印

开本787×1092 $\frac{1}{16}$  印张：14.75 插页：1 字数：501千

1978年1月 第1版

1978年1月 第1版 第1次印刷

印数：0001—8,000册 定价：1.20元

限国内发行

# 毛主席语录

领导我们事业的核心力量是中国共产党。

指导我们思想的理论基础是马克思列宁主义。

鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义。

抓革命，促生产，促工作，促战备。

工业学大庆

自力更生，艰苦奋斗，破除迷信，解放思想。

要认真总结经验。

我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

## 目 录

## 第四篇 特殊条件下路基

<b>第十一章 滑坡地段路基</b> .....	4·1	八、钢筋锚固 .....	4·94
<b>第一节 概述</b> .....	4·1	<b>第六节 落石计算参考资料</b> .....	4·96
一、基本概念 .....	4·1	一、计算前提 .....	4·96
二、勘测调查要点 .....	4·2	二、石块运动速度的计算 .....	4·96
三、滑坡动态观测 .....	4·3	三、落石运动轨迹 .....	4·98
<b>第二节 设计原则</b> .....	4·4	四、石块腾越计算 .....	4·100
一、线路位置选择 .....	4·4	五、石块弹跳计算 .....	4·103
二、防治原则 .....	4·4	六、落石的冲击力及缓冲填土层厚度	
三、防治措施 .....	4·4	的计算 .....	4·105
<b>第三节 滑坡稳定性分析与计算</b> .....	4·5	<b>II 岩堆地段路基</b> .....	4·107
一、滑坡稳定性分析 .....	4·5	<b>第一节 概述</b> .....	4·107
二、滑坡推力计算 .....	4·9	一、基本概念 .....	4·107
<b>第四节 常用防治工程的设计</b> .....	4·15	(一) 岩堆的成因 .....	4·107
一、滑坡排水 .....	4·15	(二) 岩堆的工程地质特征 .....	4·108
二、减重与加载措施 .....	4·16	(三) 岩堆按其发展过程和稳定性的	
三、支撑建筑物 .....	4·18	分类 .....	4·108
<b>第五节 抗滑桩的计算及设计</b> .....	4·25	二、勘测调查要点 .....	4·108
一、基本假定 .....	4·25	<b>第二节 处理原则及措施</b> .....	4·109
二、桩按极限平衡办法的计算 .....	4·27	一、线路位置的选择 .....	4·109
三、刚性桩的计算 .....	4·28	二、在岩堆体上修筑路基时的处理措	
四、弹性桩的计算 .....	4·43	施 .....	4·109
五、抗滑桩的设计步骤 .....	4·49	(一) 注意岩堆体的稳定性 .....	4·109
六、计算示例 .....	4·49	(二) 注意路基本体的稳定性 .....	4·109
<b>第十二章 崩塌及岩堆地段路基</b> .....	4·82	(三) 注意路基上侧山坡及岩堆上部	
<b>I 崩塌地段路基</b> .....	4·82	的稳定性 .....	4·109
<b>第一节 概述</b> .....	4·82	(四) 注意做好排水设施 .....	4·110
一、基本概念 .....	4·82	<b>第十三章 泥石流地区路基</b> .....	4·111
二、勘测调查要点 .....	4·82	<b>第一节 概述</b> .....	4·111
<b>第二节 设计原则</b> .....	4·82	一、基本概念 .....	4·111
一、线路位置的选择 .....	4·82	二、泥石流对路基工程的危害 .....	4·114
二、防治原则及措施 .....	4·82	三、泥石流地区路基设计的调查测绘 .....	4·114
<b>第三节 遮挡建筑物的处理示例</b> .....	4·83	<b>第二节 设计原则</b> .....	4·115
<b>第四节 拦截建筑物的设计</b> .....	4·85	一、线路位置选择 .....	4·115
一、落石平台和落石槽 .....	4·85	二、路肩设计标高的确定 .....	4·115
二、拦石墙和拦石堤 .....	4·88	三、泥石流地区的路基设计原则 .....	4·116
三、其他拦截落石的措施 .....	4·88	<b>第三节 泥石流水文计算</b> .....	4·117
<b>第五节 综合治山的支补建筑物</b> .....	4·89	一、泥石流流速计算 .....	4·117
一、支顶 .....	4·89	二、泥石流流量计算 .....	4·118
二、支撑 .....	4·89	三、土的侵蚀速度及坍塌储备量的计	
三、支护 .....	4·89	算 .....	4·119
四、嵌补 .....	4·90	<b>第四节 泥石流的防治措施</b> .....	4·119
五、托梁加固 .....	4·90	一、预防泥石流发生的措施 .....	4·119
六、锚杆串联 .....	4·90	二、泥石流输、导、滞、拦建筑物 .....	4·120
七、插别 .....	4·90	<b>第十四章 软土和泥沼地区路基</b> .....	4·127

第一节 概述 .....	4·127	(二) 边坡病害的处理 .....	4·155
一、软土和泥沼的区分及其特征 .....	4·127	二、路堤 .....	4·155
二、软土和泥沼地区的基本类型 .....	4·127	(一) 路堤设计 .....	4·155
三、勘测调查要点 .....	4·128	1. 路堤填料的选择 .....	4·155
第二节 设计原则 .....	4·128	2. 路堤边坡设计 .....	4·156
一、线路位置的选择 .....	4·128	3. 路堤顶面预留沉落的加宽度 .....	4·156
二、软土路堤的临界高度 .....	4·128	(二) 路堤病害的处理 .....	4·156
三、泥沼地区路堤处理原则 .....	4·129	<b>第十六章 岩溶及其它坑洞地区路基</b> .....	4·157
第三节 路堤的加固与处理措施 .....	4·129	第一节 岩溶地区路基 .....	4·157
一、换土 .....	4·130	一、基本概念 .....	4·157
二、抛石挤淤 .....	4·130	(一) 岩溶类型 .....	4·157
三、反压护道 .....	4·130	(二) 岩溶形态 .....	4·157
四、砂井 .....	4·131	(三) 岩溶形成的基本因素 .....	4·157
五、排水砂垫层 .....	4·131	二、勘测调查要点 .....	4·157
六、爆破排淤 .....	4·131	三、设计原则 .....	4·158
七、侧向约束 .....	4·131	(一) 线路位置的选择 .....	4·158
八、石灰砂桩 .....	4·132	(二) 岩溶病害处理原则 .....	4·158
九、柴排 .....	4·132	四、路基设计 .....	4·158
十、电化学加固法 .....	4·132	(一) 溶洞顶板安全厚度估算 .....	4·158
十一、综合加固措施 .....	4·132	(二) 溶洞距路基的安全距离估算 .....	4·159
第四节 路堤设计 .....	4·133	(三) 岩溶病害处理措施 .....	4·160
(I) 软土 .....	4·133	<b>第二节 煤窑采空区的路基</b> .....	4·162
一、软土的抗剪强度 .....	4·133	一、采空区的变形特点 .....	4·162
二、软土地基上路堤的稳定分析 .....	4·133	(一) 大型采空区的变形 .....	4·162
三、砂井地基的设计 .....	4·134	(二) 小型采空区的变形 .....	4·163
四、软土地基上路堤的沉降计算 .....	4·138	二、处理原则 .....	4·164
五、软土路堤设计中应考虑的施工注		三、小型采空区的处理措施 .....	4·164
意事项 .....	4·139	(一) 洞探回填 .....	4·164
六、设计算例 .....	4·140	(二) 灌浆 .....	4·164
(II) 泥沼 .....	4·146	<b>第三节 黄土陷穴区的路基</b> .....	4·164
一、第一类泥沼的路堤 .....	4·146	一、黄土陷穴的生成条件 .....	4·164
二、第二类泥沼的路堤 .....	4·147	二、黄土陷穴对路基的危害 .....	4·164
三、第三类泥沼的路堤 .....	4·147	三、黄土陷穴的预防原则 .....	4·165
第五节 桥头路堤的纵向坍塌及处理 .....	4·147	四、已有黄土陷穴的处理 .....	4·165
<b>第十五章 裂隙粘土地区路基</b> .....	4·148	(一) 处理方法 .....	4·165
第一节 概述 .....	4·148	(二) 处理范围 .....	4·165
一、基本概念 .....	4·148	<b>第四节 其他人工坑洞地段的路基</b> .....	4·166
(一) 裂隙粘土的主要特征 .....	4·148	一、主要类型及其特征 .....	4·166
(二) 裂隙粘土的分布地区和其主		二、一般处理措施 .....	4·166
要指标 .....	4·148	<b>第十七章 盐渍土地区路基</b> .....	4·167
(三) 裂隙粘土的工程性质 .....	4·149	I、盐渍土地区路基 .....	4·167
(四) 裂隙粘土的水文地质特征 .....	4·150	第一节 概述 .....	4·167
二、勘测调查要点 .....	4·150	一、基本概念 .....	4·167
第二节 设计原则 .....	4·152	二、勘测调查要点 .....	4·169
一、线路位置的选择 .....	4·152	第二节 设计原则 .....	4·169
二、路基设计原则 .....	4·152	一、线路位置 .....	4·169
第三节 路基设计 .....	4·152	二、处理措施 .....	4·169
一、路堑 .....	4·152	<b>第三节 盐渍土地区路基设计</b> .....	4·171
(一) 路堑设计 .....	4·152	一、路基横断面形式参考图 .....	4·171
1. 路堑边坡设计 .....	4·152	二、毛细水隔断层设计 .....	4·173
2. 路堑断面形式 .....	4·153	三、基底处理 .....	4·174
3. 路堑边坡防护加固 .....	4·154	四、降低地下水位和排水措施 .....	4·174
4. 排水设计 .....	4·155	五、路基加固措施 .....	4·175

六、施工注意事项	4·175
II 石膏土地区路基	4·175
第一节 概述	4·175
一、基本概念	4·175
二、勘测调查要点	4·176
第二节 设计原则	4·176
一、路堑的处理	4·176
二、路堤的处理	4·176
<b>第十八章 风沙地区路基</b>	4·178
第一节 概述	4·178
一、基本概念	4·178
二、勘测调查要点	4·184
第二节 设计原则	4·185
一、线路位置的选择	4·185
二、铁路路基沙害特征	4·185
三、防治原则	4·185
第三节 风沙地区路基设计	4·186
一、路基两侧防护带的设计	4·186
二、路基本体及其防护的设计	4·186
三、路基两侧的工程防护	4·186
四、施工注意事项	4·195
第四节 植物固沙	4·195
一、植物固沙的重要意义	4·195
二、立地条件	4·195
三、树种选择	4·196
四、沙地造林方法	4·197
五、林带结构	4·198
六、戈壁风沙流地区的灌溉造林	4·198
七、加强协作	4·198
<b>第十九章 雪害地区路基</b>	4·199
第一节 概述	4·199
一、积雪的类型和形成条件	4·199
二、积雪与路基断面形式及地形、地物的关系	4·199
三、雪害地区勘测设计要求	4·201
第二节 积雪防治措施	4·201
一、防雪林	4·201
二、防雪棚栏	4·202
三、防雪堤(墙)	4·204
四、导风设备(导风板)	4·204
<b>第二十章 多年冻土地区路基</b>	4·207
第一节 概述	4·207
一、基本概念	4·207
二、多年冻土地区建筑物的冻害	4·208
三、多年冻土的物理力学性质	4·208
四、多年冻土地区的不良地质现象	4·211
五、勘测调查要点	4·211
第二节 设计原则	4·211
一、线路位置的选择	4·211
二、路基设计原则	4·211
第三节 路基设计及防护措施	4·212
一、路堤	4·212
二、路堑	4·214
三、冻土沼泽地段路堤	4·216
四、冰丘、冰椎地段路堤的防治措施	4·216
五、地下水路堑	4·217
六、热融湖(塘)地段路堤	4·217
七、排水措施与取土坑的布置	4·218
八、施工注意事项	4·220
第四节 有关计算	4·220
一、保温层厚度计算	4·220
二、路堤基底沉降量的计算	4·221
三、保持多年冻土不融化的最小路堤高度	4·223
四、路基建建筑物基础埋置深度计算	4·224
<b>第二十一章 地震地区路基</b>	4·225
第一节 概述	4·225
一、基本概念	4·225
二、路基受震后的变形及其原因分析	4·226
第二节 设计原则	4·227
一、线路位置的选择	4·227
二、设计原则	4·227
第三节 路基抗震稳定性验算	4·227
一、数解法	4·227
二、图解法	4·228



## 第四篇 特殊条件下路基

### 第十一章 滑坡地段路基

#### 第一节 概 述

##### 一、基本概念

##### (一) 滑坡的涵义

在一定的地形地质条件下,由于破坏力学平衡的各种自然的或人为的因素的影响,山坡上的不稳定土体(或岩体)在重力作用下,沿着山坡内部某一软弱面(或带)作整体的、缓慢的、间歇性的滑动的变形现象称为“滑坡”。有些滑坡的滑动初期较缓慢,但到后期其运动速度突然变大,表现为急剧的山坡变形,滑体内有部分土体(或岩体)形成翻

倾,而其大部分则仍作整体位移,这种先缓后急的滑坡现象称为“崩塌性滑坡”。

一个发育完全的滑坡,一般具有:环状的滑坡壁,与滑坡形状相适应的封闭洼地,微向后倾的滑坡台阶,垄状前缘和鼓起的隆丘,分布于滑坡周界及滑体上部的拉张裂缝,分布于滑体下部的挤压鼓张裂缝及前缘舌部的扇形放射状裂缝,分布于滑体中部两侧的剪切裂缝和伴随的羽毛状裂缝,以及滑体两侧为新生沟谷所环绕等外貌。如图 11—1 所示。

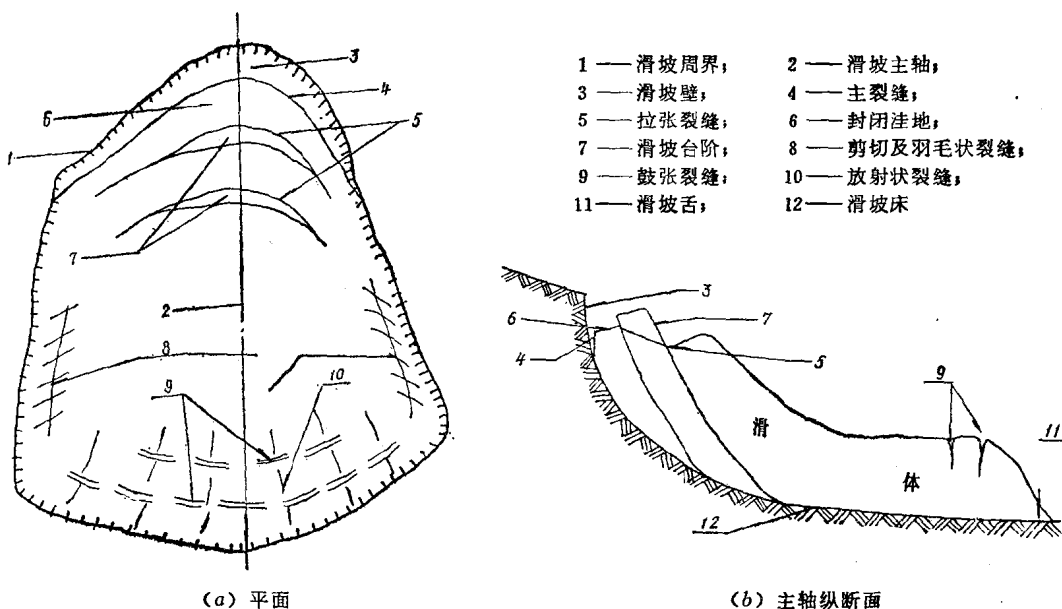


图 11—1 典型滑坡外貌示意图

对于某一个具体的滑坡,因其所处的发育期不同,往往不一定能观察到其全部外貌,但根据部分已出现的现象,辅以必要的勘查手段,是可以认出滑坡及其性质和规模的。

##### (二) 滑坡发生和发展的条件及主要影响因素

滑坡的发生和发展,一般说来是由于各种内在因素和外在因素的互相作用所促成,因而是错综复杂的,也是不断变化的。但对任何一个滑坡而言,在其发生和发展的每一阶段,必有少数几个起主导

作用的条件和因素存在。当作具体的研究和分析时,应找出主要矛盾,据以制定出正确而有效的防治方法。

根据实践经验,形成滑坡的条件和主要影响因素如下:

##### 1. 地形条件

(1) 容易汇集地面水和地下水的周围为高山的山间缓坡地段。

(2) 易受水流冲刷和淘蚀的山区河流凹岸地



段。

(3) 黄土地区高阶地前缘斜坡的坡脚, 易受水浸湿, 土的强度被降低的地段。

## 2. 地质和水文地质条件

(1) 山坡地层的土体(或岩体)具有能渗水和聚水的结构。例如节理发育的破碎岩层, 结构松散的残积、坡积和洪积土层, 湿胀干裂的粘土层等。

(2) 山坡地层内有倾向于临空面的软弱层面(或带)。例如堆积层下伏泥质基岩顶面的风化层, 沉积土层或软质岩层内的层理面或软弱土夹层, 硬质岩层与下伏软质岩层的接触面, 各类岩层中的贯通断裂构造面和裂隙面等。这些倾斜软弱层面及其组合的产状愈有利于向下滑动, 则发生滑坡的可能性愈大。

若上述各种软弱层面(或带)容易聚水, 而山坡的上方和旁侧又有丰富的地下水补给, 则更能促进滑坡的形成和发展。

## 3. 气候条件

(1) 在降水量较多, 雨季持续时间较长地区的滑坡地段, 山坡土体潮湿软化, 容重增大, 强度减弱, 同时使地下水量增多, 容易促进滑坡活动。浅层滑坡往往在雨季中十分活跃, 中厚层及大型滑坡一般在雨季的中后期活动。

(2) 在干旱和半干旱地区的滑坡地段, 如为粘土或粘土质岩石地层容易风化开裂, 一旦暴雨来, 裂隙充水, 就可能发生滑动。

## 4. 水的作用

(1) 地面水和地下水渗入滑坡体, 润湿滑面后, 滑带土就被软化。若在土体或岩体的裂隙中充水, 则产生静水压力, 当裂隙水与地下渗流连通时, 又将产生动水压力和上浮力, 均能促进滑坡下滑。

(2) 当滑坡的前缘为江河、湖、海或水库的岸坡, 经常受水流的冲刷和波浪的侵袭, 切割滑坡前缘, 削弱了滑体下部的支撑部分, 引起滑坡活动。

江、河、湖、海及水库的水位涨落可以影响附近山坡区域内的地下水位的升降, 从而引起滑带土和其附近土体强度性质的改变以及静水压力和动水压力的改变, 破坏滑坡的稳定。

(3) 地下水的水量增多流速增大时, 即加剧对滑带岩石的潜蚀作用。地下水的水质变化可能会降低滑带岩石的力学性能, 助长滑体下滑。

## 5. 人为活动的作用及其他

(1) 在滑体的上中部主滑部分堆置弃土, 增加荷载, 或在滑体的下部抗滑部分切坡, 削弱支撑, 都能促进滑坡下滑。

(2) 破坏山坡地表覆盖层及其天然植被, 促使滑体加速风化, 地面水易于渗入, 或不适当的向滑体供水(如在滑坡区域内引水灌溉、长期地和大量地倾倒生活用水、滑体上的天然沟谷和人工渠道管道有渗漏和排水不畅及漫溢等), 都可能促进

滑坡活动。

(3) 震动作用(例如地震或人工大爆破)使山坡岩石的结构松散, 粘结强度降低, 震波的水平加速度又可增大滑坡推力, 往往易于发生崩塌性滑坡。

## (三) 滑坡的分类

以往曾有过多种分类, 例如: 按滑坡的发展和形成的历史划分为古滑坡、老滑坡、新滑坡、近代活动滑坡; 或划分为原生滑坡及次生滑坡; 或按滑坡的规模和体积划分为大、中、小型滑坡, 浅、中、深层滑坡; 或按滑动的力学性质划分为推动式和牵引式滑坡等等。

滑坡的分类, 最好能从有利于防治滑坡工作的开展并能反映出地质成因、发生和发展的条件和不同的特征出发, 以便于评价其稳定程度和采取适宜的防治措施。根据国内多年来治理滑坡的实践, 认为下列的分类是比较合适的。

### 1. 按组成滑体的物质分类

- (1) 粘性土滑坡
- (2) 黄土滑坡
- (3) 堆填土滑坡
- (4) 堆积土滑坡
- (5) 破碎岩石滑坡
- (6) 岩石滑坡

### 2. 按主滑面成因类型分类

- (1) 层面滑坡
- (2) 构造面滑坡
- (3) 接触面滑坡
- (4) 同生面滑坡

### 3. 按滑体规模和厚度分类

- (1) 特大型滑坡(巨厚层滑坡)
- (2) 大型滑坡(厚层滑坡)
- (3) 中型滑坡(中层滑坡)
- (4) 小型滑坡(浅层滑坡)

对一个滑坡有了上述三种的分类, 可使设计人员对这滑坡的性质、成因和规模有一清晰的总的概念, 然后才能针对其特点考虑采取相适应的防治措施。

## 二、勘测调查要点

### (一) 一般要求

通过访问和地形地貌调查以及概略的地质调查, 估计滑坡的规模和范围。对规模较小的浅层滑坡, 勘查工作可以一次做完。须查明: 山坡岩石的性质和结构, 裂隙水或土中水的补给来源及其分布和运动情况, 滑床的位置和形状以及其滞水和储水条件, 此外再搜集为排除和疏干土中水或裂隙水所需的辅助资料等。

对规模较大的中层和厚层滑坡, 其成因是较复杂的, 勘查工作可按初测和定测两阶段进行。

1. 初测的目的是为了满足滑坡定性和防治方案比选的需要, 其内容有:

- (1) 做好滑坡区域及其附近的地形地貌测

绘, 工程地质和水文地质调查、测绘及重点部位的勘探工作, 完成地形、地貌、地质平面图及主要的地质纵断面和横断面图。

(2) 查明滑坡区域及其附近的山坡地层的组成, 各层岩、土的性质和结构, 整体的和局部的滑动面(或带)的位置和形状以及其滞水或储水条件。

(3) 查明可能向滑坡区域供水的地面水和地下水的来源及其活动规律, 特别是向滑面(或带)供水的情况。

(4) 测定滑体和滑带岩、土的物理力学性能、指标。

通过上述工作及综合分析, 要求能确定滑坡的类型和现在所处的稳定阶段, 找出滑坡发生和发展的主、次要条件和影响因素及其可能的变化, 判断滑坡的分区、分条、分级与分块及相应的滑动方向和稳定性, 以及其处于极限状态的条件和今后可能出现的危害程度。

2. 定测的目的是对所采用的防治方案, 作进一步补充调查、测绘、勘探和试验工作, 以取得关于滑体结构、滑动性质、滑面(或带)及地面水和地下水的有害作用等更详细的资料, 为防治工程的正确布置和设计提供必要的地质图件和试验数据。其内容有:

(1) 根据补充勘查所得的细部资料, 修改和充实初测阶段的地形地貌地质平面图、纵断面图及横断面图, 补充绘制必要的图件, 如滑床顶面等高线平面图, 地下水过湿带图, 重要工程部位的地质纵、横断面图等。

(2) 根据更细致的试验结果和分析对比, 修订和补充滑体和滑带各部分的岩、土物理力学性质指标, 提供滑带水的水量和水质分析资料。

(3) 根据需要以简易观测设备建立观测网, 进行滑坡动态观测并绘制观测成果图件。

3. 在配合施工阶段, 随着施工的进展, 要及时检查滑体结构、滑动面(或带)以及地下水的分布和活动情况等有无变化, 作出记录。根据滑坡动态观测的分析, 了解防治工程施工后的效果。当发现地质情况与原来的判断有出入, 影响工程的布置和设计不够恰当时, 应补充搜集必要的资料, 提出修改设计。

(二) 对不同滑体物质组成的滑坡的地质勘察重点

1. 对于堆积土滑坡, 着重查明: 堆积层的组成和成因, 各分层的土石成分、性质、结构和含水情况; 其不同时期的和不同成因的沉积面的形态和产状, 其下伏基岩顶面的形态和产状, 以及这些分界面上地面水和地下水的活动情况。

2. 对于黄土滑坡, 着重查明: 黄土的成因、沉积年代和结构特点(如大孔隙、垂直节理、古土壤层、钙核层等), 各分层黄土的厚度及相应的物理力学性质, 黄土地层内部和下部有无沙砾卵石透镜体(或夹层)的分布及其产状和含水情况, 下伏

基岩的岩性及其顶面形态和产状, 隔水层与含水层的关系, 以及含水层的补给来源等。

3. 对于粘性土滑坡, 着重查明: 粘性土的矿物成分(特别是蒙脱石和水云母的存在)及其物理化学性质, 土中不同成因裂隙的分布及其发育程度和扩展深度, 裂隙水和层间水的分布情况及其补给来源, 下伏稳定土层或基岩的顶面产状和岩性及接触带附近富集物的性质, 以及接触带饱水后的稳定性等。

4. 对于岩石滑坡, 着重查明: 岩层的破碎程度、主要结构面(如断裂面、层理面、节理面、片理面、不整合面等)或薄弱夹层的产状和连通情况及倾向临空面的关系, 裂面附近岩石及裂缝内填充物的潮湿程度和强度性质, 有无裂隙水和层间水活动及这些水的补给来源等。对于上部为硬质岩而下部为软质岩组成的山坡, 还应着重查明软质岩的岩性、强度及其风化破碎程度和含水情况, 接触带(或面)的产状及倾向临空面的关系, 上部硬质岩的厚度和斜坡陡度以及其裂面和裂隙发育情况等。

### 三、滑坡动态观测

对于规模大、性质较复杂的滑坡, 为了更能确切了解滑坡的内在联系和定量及其发展趋势, 可以建立一些观测网, 取得有关滑坡动态的数据以供分析之用。

#### (一) 滑坡位移观测

对运动中的滑坡进行位移观测, 不仅可以直接了解滑体移动速度和方向, 而且将整理后的观测成果与其他勘查结果综合起来分析, 还可以得出有关滑坡特性和防治滑坡的重要资料。滑坡位移观测一般分为简易观测和建网观测两种, 可参考《铁路工程地质手册》。

#### (二) 建筑物变形观测

位于滑坡体上的建筑物如房屋、桥涵、挡土墙、沟渠、隧洞等, 对于滑坡变形一般是反映敏感且表现很清楚的。对这些建筑物各部位的开裂、沉降、位移或倾斜作详细的观测和描述, 常可帮助分析滑坡的性质、规模和滑坡的稳定程度及其发展趋势, 为防治措施提供较确切的参考数据。

观测内容包括: 变形发生的时间、部位、产状、性质、破坏范围和程度、动态过程及加固维修的历史等。

建筑物变形观测资料可在滑坡地质平面图上绘出, 与滑坡位移观测资料结合起来分析。

#### (三) 地下水动态观测

在滑坡区域对地下水动态进行长期观测, 可以了解地下水与滑坡活动的关系, 也可以了解排水设施的效果。通过观测往往可以预报滑坡活动情况。一般与位移观测同时进行。观测项目包括水位、涌水量、水温、气温及水化学成分等。观测点有钻孔、泉、试坑、隧洞、平孔及天然水沟等。观测时间至少一年。观测结果应绘制成曲线图, 进行综合分析并与降水量、滑坡位移量比较, 从中找出

其关系和规律。

#### (四) 滑坡压力观测

目前一般用压力盒安装在抗滑建筑物(如抗滑挡墙、抗滑桩等)上观测,以测定滑坡推力分布及建筑物的受力状态。

现在国内多采用钢弦式压力盒,可保持长期观

测的稳定。压力盒的布置间距以0.5米为宜,以免个别压力盒可能由于失效而导致观测资料的收集。观测时间一般每隔2~3个月一次,但雨季前后必须观测压力的变化情况。从观测资料绘出滑坡推力分布图,供分析使用。

## 第二节 设计原则

### 一、线路位置选择

滑坡属于严重不良地质现象,对线路威胁较大,勘查工作繁重,防治工程艰巨,选线时应慎重对待;对大型滑坡可以绕避时,应尽量绕避。例如在河谷地段,可把线路位置移至滑坡的对岸通过,或在滑坡的滑床以下适当位置以隧道通过。当线路绕避有困难,在经济上有显著的不合理,必须通过滑坡地段时,线路应选在什么部位,以何种工程通过,应根据滑坡规模的大小,修建铁路对滑坡稳定的影响程度,防治费用的多少,进行具体方案比选。应以力求不恶化滑坡并增强其稳定因素为原则。一般可按下述情形选择:

(一) 当线路标高与滑体舌部的顶面标高接近或较高时,宜在滑坡前缘的抗滑部分作适当高度的路堤通过,以增强抗滑作用。但不可堵塞地下水的出路。若滑坡前缘濒临狭河道的凹岸路堤不宜侵占河道或防护困难时,则可采用旱桥通过。

(二) 当线路标高与滑坡前缘处滑床面的标高接近时,线路可在滑体前缘以低路堤或浅路堑通过,并在山坡下侧设置抗滑支挡工程。

(三) 当线路标高低于滑体上部的滑坡台阶时,线路可在滑体上部或中后部以半路堑形式通过,作为起减载作用的措施。但应注意滑体后缘的稳定以及路堑下部滑体的稳定,必要时应采取适当的工程措施。

(四) 当路堑的路基面标高低于滑床面的标高较多时,可在滑床面以下作明洞通过;若滑面易于改变且滑坡推力不太大时,则可采用加强边墙及拱圈结构的明洞方案。

### 二、防治原则

滑坡防治,应及早治理,一次根治,不留后患为原则。

对于性质较简单、规模较小的中小型滑坡,无论勘查、设计和施工,一般都比较简易,务必做到彻底防治。

对于性质较复杂、规模较大,但不致发生急剧变形而对铁路产生灾害性危害的滑坡,可在滑坡定性后作出妥善的防治规划,进行分期治理,并注意观测每期工程的效果,作为下一步处理办法的根据。

对于施工和运营时期中新发现的滑坡,应在查明原因和掌握充分资料的基础上,作出绕避方案、

治理方案或局部移动线路与防治措施相结合的方案等的全面比较后决定取舍。在取舍中要注意尽量利用已完成的工程建筑物,不可轻易废弃。

对于运营线路上可能发生急剧变形的滑坡,将使铁路行车受到严重威胁时,应迅速采取便于快速施工的有效措施,预防其造成灾害。

### 三、防治措施

常用的防治措施有如下述。可针对不同的具体情况选择使用或配合使用。

#### (一) 消除水的有害作用

1. 在滑坡区域外的上方和侧方截断流向滑体的地面水。

2. 在滑坡区域内整平夯实地表,填塞裂缝,修整好地面排水系统(包括滑体上的天然沟谷),使之畅通并隔渗,以防地面水的积聚或下渗。

3. 在滑体上的积水洼地和泉水露头处,设置引水渗沟或槽沟等将水排入地面排水系统内,以排除浅层地下水和疏干附近土体。

4. 在易发生浅层滑坡的自然山坡或人工边坡上设置边坡渗沟群;在常有潜水活动的滑体舌部设置支撑渗沟群,以疏干土体并兼起支撑作用。

5. 当滑坡的滑动面(或带)附近有地下水的聚积或活动时,应在掌握准确的和足够的工程地质和水文地质资料并经详尽分析后,按照地层地质条件及对滑坡活动的影响,采用渗沟截断地下水的补给来源,或采用渗沟、隧洞、平式钻孔引排及疏干被封闭的积水,或采用渗井或渗管、垂直钻孔群降低地下水位等措施,以增加滑带土的强度,达到预期的目的。

#### (二) 改变滑体重心位置,增强稳定因素

1. 在滑体的中上部主滑部分及其后部被牵引部分减重以减少下滑力。如滑体的下部和前缘为抗滑部分,可在抗滑部分加载以增强抗滑力。这对于崩塌性滑坡及正在发展中的滑坡,常是防止滑坡活动收效较快的有力措施。但这种措施只有在推动式滑坡的后部可能起到根治作用;一般对于牵引式滑坡及主滑部分位在中前部的层面滑坡则作用不大。

2. 对于滑体大致等厚且具有平面形状的滑动面的滑坡,若滑动面上的抗剪系数( $f = \text{tg}\varphi$ ,  $\varphi$ 为土的内摩擦角)大于滑动面倾斜角( $\alpha$ )的正切值( $\text{tg}\alpha$ )时,则均匀地减小滑体厚度可以减少滑坡推力。但当滑面附近有水的作用,而使滑带土的C、 $\varphi$ 值变化不定时,均匀减重不能解决问题。

3. 对于规模较小且确有把握在清除后不致向后至及两侧牵引发展的滑坡,当弃方可以被利用或有适宜的堆置地点时,可将滑体全部清除以绝后患。但应注意采取适当措施防止地面水对清除后坡面的冲刷,以避免可能发生的流泥危害。

### (三) 修建支挡建筑物,防止滑动

1. 在滑体舌部或前缘设置支撑渗沟及抗滑挡墙或抗滑桩群等,以抵抗整个滑体的滑动。

2. 对于多级的滑坡,可在每分级的出口处设置适当的支撑建筑物以抵抗各级滑体的下滑力;对于规模较大、纵轴较长的滑坡也可根据具体情况在滑体下部和中部的适宜部位设置抗滑挡墙或抗滑桩群,分别抵抗各部分的下滑力。

所有上述支挡建筑物均应根据滑体的滑动方向

及滑坡推力进行布置和设计。支挡建筑物必须具有足够的强度并不允许由于滑面出口位置的改变而越顶滑出或自基础以下整个位移。

### (四) 改善滑带土的性质,提高其力学强度

1. 钻孔爆破。当滑带下有渗水的地质,采用钻孔爆破,可使滑带下岩土增加裂隙,便于滑带水渗入下部地层排走。爆破后,于钻孔内滑带附近灌注混凝土,以增强其抗滑能力。

2. 焙烧。对于均质粘性土滑动带布置导洞进行焙烧,温度一般达到 $500^{\circ}\text{C}\sim 800^{\circ}\text{C}$ 以上,可使滑带土具有一定的抗水性和较高的抗剪强度,也可用砂化或灌注水泥浆等方法来提高滑带土的强度。

这些方法,在国内治理滑坡实践经验尚不多,本章不再作进一步的介绍。

## 第三节 滑坡稳定性分析与计算

### 一、滑坡稳定性分析

正确地判断滑坡的稳定性,是找出切合实际的、经济合理的防治方案的前提。

一般堆积土和岩石滑坡,可从野外调查的外貌上的滑动迹象,划分为七个发展阶段,并粗略地判断其稳定性。

(一) 蠕动阶段:滑体与滑带(或面)尚未分开,仅滑体中后部有微动,后缘地表出现一些不连续的隐约可见的微裂隙。由蠕动向挤压阶段过渡时,后缘裂缝开始明显并有错距,但未贯通。

(二) 挤压阶段:除抗滑地段外,滑带已形成,并有小量位移;后缘裂缝已贯通并错开;滑体中前部被挤紧,两侧羽毛状裂缝陆续出现但未贯通和撕开。由挤压阶段向滑动阶段过渡时,两侧羽毛状裂缝已贯通但仍未撕开,前缘出现X形微裂缝,有时在滑坡出口附近渗水潮湿呈带状分布。

(三) 滑动阶段:全部滑带已形成,整个滑体沿滑带(或面)作缓慢移动;两侧羽毛状裂缝撕开;前沿出现断续的隆起裂隙和不连续的放射状裂隙;前缘和两侧的斜坡不断坍塌;滑坡出口业已形成。由滑动阶段向急剧变形阶段过渡时,前缘隆起裂缝贯通,放射状裂缝形成并张开;滑坡舌部凸出且变形速度不断增大;后缘裂缝急剧张开并下错;前缘或两侧的斜坡有大量坍塌,有的滑体上出现几条裂缝且彼此间有错距;少数滑坡因滑带上含有大量岩块而发生微小的岩石碎裂的声音。

(四) 急剧变形阶段:滑体急剧滑动,滑带不断遭到严重破坏,有的滑体已分成几块而有显著的不均匀变动,彼此间的错距很大,滑动速度有增有减,有的在前缘出现气浪并有巨大的音响,有的随滑舌前移而带出大量泥水。

(五) 滑带固结阶段:滑带土在压密作用下排出水分而逐渐固结增大强度,整个滑体在自重作用下固结,基本上以垂直压密变形为主而水平位移很小。滑体上各分块由后向前逐渐挤紧作横向挤压,

地表裂缝逐渐消失,有的出现因垂直压密而产生的沉降性裂缝。

(六) 暂时稳定阶段:滑体表层岩土已挤压密实,外貌平顺,地表裂缝完全消失或极不明显,两侧及前缘的斜坡基本无坍塌现象,滑带土已固结,滑坡出口附近已无带状湿地,只有渗水现象或有成线点分布的清澈水泉,用仪器观测不出移动现象。

(七) 消亡阶段:地表已完全夷平,滑坡外貌完全消失。

对滑坡的稳定性分析,必须运用工程地质的各种手段,通过调查、测绘、勘探和观测,对滑坡地段的地貌形态演变、地质条件的对比、滑动因素变动的研究分析,再辅以力学平衡检算,才能作出较为正确的判断。下面介绍几种判断滑坡稳定性中所用的力学平衡检算方法。

#### (一) 恢复山体极限平衡状态的核算

对于新近发生的滑坡,将山坡轮廓恢复至开始滑动瞬间的形状,认为此时山体处于极限平衡状态,即其稳定系数 $K=1$ ;按测定的滑面形状反求滑面(或带)上的综合抗剪强度值,然后将此值用于目前滑动后的山坡状态的稳定计算,得出相应的 $K$ 值。再根据今后可能出现的最不利状态与极限平衡状态的对比,判断 $K$ 应为何值时滑坡才能稳定;或者将反算所得的抗剪强度指标除以所要求的稳定系数后用于目前山坡状态的稳定计算,以判断其稳定性。此法因将全部滑带土强度指标按平均值考虑,故其精度较差。

图11-2为常见的圆弧滑面和折线形滑面核算示意图。根据滑带土的组成成分的不同又可分为三种方法:

#### 1. 综合C法

适用于滑带土的组成成分以粘性土为主且土质较均匀、滑带饱水且在滑动中排水困难的情况,亦即 $\phi\approx 0$ 。

(1) 对于圆弧滑面,稳定系数 $K$ 的计算公式为:

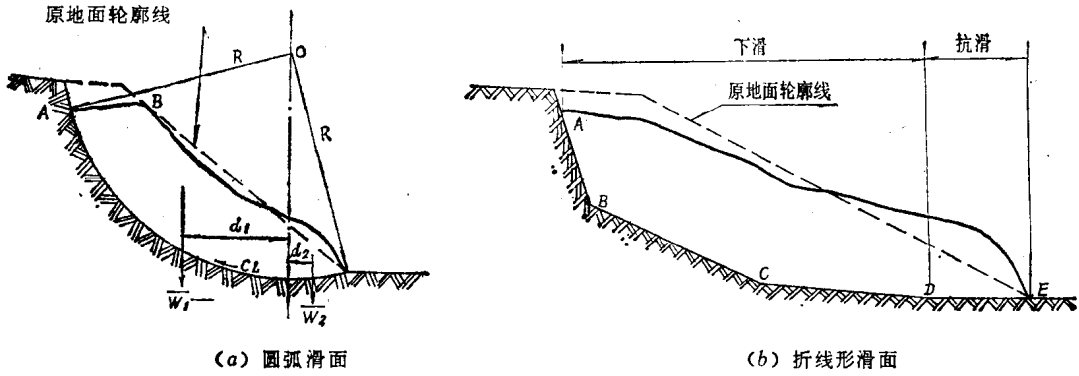


图11-2 恢复山体极限平衡状态的核算示意图

$$K = \frac{W_2 d_2 + CLR}{W_1 d_1} \quad (11-1)$$

式中  $W_1$ ——滑体下滑部分的重量 (t/m) ;  
 $d_1$ —— $W_1$ 对于通过滑动圆弧中心的铅直线的力臂 (m) ;  
 $W_2$ ——滑体阻滑部分的重量 (t/m) ;  
 $d_2$ —— $W_2$ 对于通过滑动圆弧中心的铅直

线的力臂 (m) ;  
 $L$ ——滑动圆弧的全长 (m) ;  
 $R$ ——滑动圆弧的半径 (m) ;  
 $C$ ——滑动圆弧面上的综合单位粘聚力 (t/m<sup>2</sup>) .

$$K = \frac{\sum W_{2j} \sin \alpha_j \cos \alpha_j + \sum C (l_j \cos \alpha_j + l_j \cos \alpha_j)}{\sum W_{1i} \sin \alpha_i \cos \alpha_i} \quad (11-2)$$

式中  $W_{1i}$ ——滑体下滑部分第*i*个条块的重量 (t/m) ;  
 $W_{2j}$ ——滑体阻滑部分第*j*个条块的重量 (t/m) ;  
 $\alpha_i$ ——滑体下滑部分第*i*个条块所在折线段滑面的倾角 ;  
 $\alpha_j$ ——滑体阻滑部分第*j*个条块所在折线段滑面的倾角 ;  
 $l_i$ ——滑体下滑部分第*i*个条块所在折线

(2) 对于折线形滑动面, 按折线段将滑体分为若干条块进行计算, 其稳定系数为:  
 段滑面的长度 (m) ;  
 $l_j$ ——滑体阻滑部分第*j*个条块所在折线段滑面的长度 (m) ;  
 $C$ ——折线形滑面上的综合单位粘聚力 (t/m<sup>2</sup>) .

2. 综合  $\phi$  法

适用于滑带土的组成成分以粗粒岩屑或残积物为主且在滑动中可排出滑带水的情形, 即考虑  $C \approx 0$ 。一般是折线形滑动面, 其稳定系数为:

$$K = \frac{\sum W_{2j} \sin \alpha_j \cos \alpha_j + [\sum W_{2j} \cos^2 \alpha_j + \sum W_{1i} \cos^2 \alpha_i] \tan \phi}{\sum W_{1i} \sin \alpha_i \cos \alpha_i} \quad (11-3)$$

式中  $\phi$ ——折线滑动面上的综合内摩擦角 ;  
 其余符号同前。

土和岩屑碎粒时的情况, 可利用当地两个不同断面的核算解联立方程式以反求  $C$  和  $\phi$ 。一般为折线形滑动面, 其稳定系数为:

3. 兼有  $C$  和  $\phi$  法

适用于滑带土的组成成分为含量相接近的粘性

$$K = \frac{\sum W_{2j} \sin \alpha_j \cos \alpha_j + (\sum W_{2j} \cos^2 \alpha_j + \sum W_{1i} \cos^2 \alpha_i) \tan \phi + \sum C (l_j \cos \alpha_j + l_j \cos \alpha_j)}{\sum W_{1i} \sin \alpha_i \cos \alpha_i} \quad (11-4)$$

式中符号意义同前。

如对于老滑坡的滑动历史条件已不易查清, 恢复其开始滑动瞬间的极限状态很困难时, 则只有根据当前所处的状态, 利用量测、试验等方法取得需要的计算指标, 并考虑今后可能发生的变化与最不利的影响因素组合条件, 加以分析调整, 作为稳定性计算用, 从而判断滑坡的稳定性。

从以上所算得的稳定系数值, 可以分析判断该滑坡是否处于稳定状态, 从而确定是否需要进一步进行治理以增强其稳定性。在分析中应注意到滑坡原始滑动时的外界条件与今后工程使用期间的最不利外界条件有何不同, 例如, 当时滑动瞬间的降雨量与历年最大降雨量有何差别, 如滑动与水流冲刷有关, 当时的洪水频率与工程设计的洪水频率有何差别, 如滑动与地震有关, 当时滑动瞬间的地震烈度与可能发生的最大地震烈度有何差别, 等等。由此来权衡必要的稳定系数值, 作为要不要治理的根据。一般当  $K$  值在 1.5~3.0 之间时, 可认为是稳定的。

滑带岩土强度指标常因所在部位的不同及滑坡所处发展阶段的不同而有差别, 故滑带的各部分岩土的强度指标应根据岩土的特性和含水条件加以细分, 慎重对待。

不同情况下稳定系数的计算方法和公式如下:

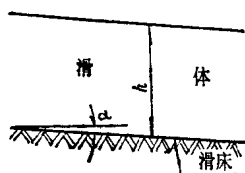
(二) 斜坡当前稳定程度的核算

1. 滑体大致等厚, 滑床为单一坡度的倾斜平面的层面滑坡

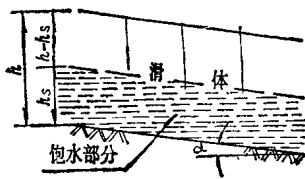
(1) 滑床相对隔水、滑体及滑带土湿度变化不大的情形[图11-3(a)];

$$K = \frac{\gamma h \cos \alpha \tan \phi + C \cdot \sec \alpha}{\gamma h \sin \alpha} \quad (11-5)$$

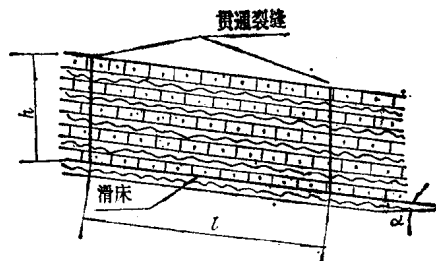
$$K = \frac{(\gamma_s - \gamma_w) h \cdot \cos \alpha \tan \phi + C \cdot \sec \alpha}{(\gamma_s - \gamma_w) h \sin \alpha + \gamma_w h \sin \alpha} = \frac{(\gamma_s - \gamma_w) h \cdot \cos \alpha \tan \phi + C \cdot \sec \alpha}{\gamma_s h \sin \alpha} \quad (11-6)$$



(a) 非饱水土层



(b) 部分饱水土层



(c) 软硬岩互层

图11-3 滑体等厚、滑床为单一倾斜平面的层面滑坡

(3) 情形同(2), 但滑体只部分饱水[图 11-3 (b)];

$$K = \frac{[\gamma(h-h_s) + (\gamma_s - \gamma_w)h_s] \cos \alpha \tan \phi + C \cdot \sec \alpha}{[\gamma(h-h_s) + \gamma_s h_s] \sin \alpha} \\ = \frac{[\gamma h + (\gamma_s - \gamma - \gamma_w)h_s] \cos \alpha \tan \phi + C \cdot \sec \alpha}{[\gamma h + (\gamma_s - \gamma)h_s] \sin \alpha} \quad (11-7)$$

(4) 由软硬岩互层组成的斜坡沿某一软层滑动、滑体在一定间距内有贯通裂隙的情形[图11-3(c)](暴雨时需考虑裂隙充水的静水压力):

$$K = \frac{\gamma_r h \cos \alpha \tan \phi + C \cdot \sec \alpha}{\gamma_r h \sin \alpha + \frac{1}{2} \gamma_w \cdot h^2 \cdot \eta} \quad (11-8)$$

(5) 情形同(4), 但裂隙未充水, 在地震力作用下发生滑动:

$$K = \frac{\gamma_r h \cos \alpha \tan \phi + C \cdot \sec \alpha}{\gamma_r h \sin \alpha + P} \quad (11-9)$$

以上诸式中:

- $\gamma$ ——滑动土体的天然容重 ( $t/m^3$ );
- $\gamma_s$ ——滑动土体饱水后的容重 ( $t/m^3$ );
- $\gamma_w$ ——水的容重 (一般以  $1t/m^3$  计);
- $\gamma_r$ ——滑动岩体的天然容重 ( $t/m^3$ );
- $h$ ——滑动土体 (或岩体) 的垂直厚度 (m);
- $C$ ——滑带岩土的单位粘聚力 ( $t/m^2$ );
- $\phi$ ——滑带岩体的内摩擦角;
- $\alpha$ ——滑面的倾斜角;
- $\eta$ ——滑动岩体的裂缝系数, 即每延米水平距离上的贯通裂缝个数, 等于  $1/l \cdot \cos \alpha$ ;
- $P$ ——地震作用力, 可按《铁路工程抗震设计规范》引入计算 ( $t/m$ )。

2. 滑体不等厚, 滑床为多个坡度组成的折线形倾斜平面的滑坡

(1) 整个滑坡可认为是均匀地整体滑动, 按折线段滑面将滑体分成若干垂直条块, 其稳定系数计算公式如下:

(2) 滑床相对隔水、滑体上裂隙贯通至滑带的情形 (雨季中滑体全部饱水, 需考虑动水压力的作用):

$$K = \frac{\sum f_i N_i + \sum C_i l_i}{\sum T_i} \quad (11-10)$$

- 式中:  $T_i$ ——第  $i$  个条块滑体的下滑力 ( $t/m$ );
- $N_i$ ——第  $i$  个条块滑体的法向压力 ( $t/m$ );
- $l_i$ ——第  $i$  个条块所在折线段滑面的长度 (m);
- $f_i$ ——第  $i$  个条块所在折线段滑面上的内摩擦系数, 等于  $\tan \phi_i$ ;
- $C_i$ ——第  $i$  个条块所在折线段滑面上的单位粘聚力 ( $t/m^2$ )。

注: ① 若在滑带有承压地下水活动 (其压头为  $H_0$ ) 时, 则应在滑体条块上加入  $\gamma_w H_0$  的浮力。

② 若滑体底部有一部分饱水并与滑带水连通且自滑坡出口不断渗出, 则应在各条块饱水面积 ( $A_i$ ) 的重心处加上一个动水压力  $\gamma_w A_i \sin \alpha_i$ , 其方向与滑体条块的下滑力相同。

③ 若滑体后有贯通至滑带的裂缝, 其深度为  $h_i$ , 滑动时裂缝充水不及排出, 则应在裂缝位置处加上一个水平的静水压力  $1/2 \gamma_w \cdot h_i^2$ , 作用于滑面以上  $1/3 h_i$  处, 指向滑动方向。

④ 在地震作用下不致使滑体岩土结构遭到破坏的条件下, 考虑地震力的作用时, 可于每个滑体条块重心加上一个水平地震力, 指向滑动方向。

⑤ 当滑坡滨临江河湖海或水库, 受到水位升降的影响时, 应考虑水位上升时增加对滑坡的静水压力及地下水抬高后滑坡头部浸湿部分的浮力, 水位骤降时失去的静水压力及由于滑体内来不及排水而产生的动水压力和浮力等, 列入计算。

(2) 若整个滑坡情况复杂, 可按其各部分滑动速度和方向的差异而划分为若干部分, 在平面及

横断面上按滑床形状分条，在剖面上顺滑动方向分级或分层，在每条、每级或每层上分块。先判断每条、每级或每层、每块的稳定性，然后从局部与整体的关系上判断整个滑坡的稳定性。工作中注意先分析地质资料了解变形历史，再分析每条、每级或每层、每块在滑动后的状态及相互间的影响，然后确定每块的检算内容和方法以及选用切合其特点的基本数据等。

a) 查明局部滑坡彼此间的关系是重要的。例如：对于两级滑坡，若后一级掩盖在前一级之上，则可知后一级滑坡发生在后，从其出口在前一级滑坡后缘滑壁之上，又可知后一级滑坡对前一级滑坡并无推力作用。故在检算前一级滑坡的稳定性时，只考虑后一级滑坡体堆在前一级滑坡后部所增加的重量即可。但若前一级滑坡发生在后面牵引了后一级滑坡的中前部且沉降量不大时，则检算其稳定时就应考虑后一级滑坡对它的剩余下滑力。又若前一级滑坡可能继续滑动，则检算后一级滑坡的稳定性时应考虑失去前一级滑坡的支撑作用的影响。

对于一条滑坡在同一沟槽形滑床上有几块滑体的情形，则应自前至后逐块检算其本身的稳定性，并检算逐块向前滑动后的共同稳定性。

对于多层滑坡，应检算各层滑坡的稳定性，并应考虑相邻的上层和下层的滑动而引起的相互影响，也要充分注意上层滑动时滑体和滑带中的水能否渗透到下层的滑带内的有害影响，借以判断滑坡的共同稳定性。

b) 各个单元的稳定系数计算仍用(11-10)

式，但应根据对具体情况分析增加可能同时出现的其他力系，合理地选用滑带各不同部分的岩土强度指标并估计到其可能的变化，力求符合实际。

(三) 坡脚应力与坡脚岩土强度的对比

1. 由相对较坚实的岩土所组成的山坡，当其下伏地层为软弱土层或松散破碎岩层时，易于产生深层滑坡。这类滑坡的滑带(或面)位置是在下伏松散软弱层中，当松散软弱层受到上层山坡的荷载后，产生塑性变形区，区内剪应力增大到超过土的抗剪强度时，就连贯成一破裂面，滑体由此破裂面滑出。

一般先在有代表性的山坡地质断面图上，利用计算路基基底应力的方法，求得坡脚松软地层内不同部位和深度处的应力分布，并绘出最大剪应力等值线图；再按此地层分层取样的试验资料绘出相应部位岩土的等强度系数图。对比这两个图，可以圈出塑性变形区，根据此塑性变形区的范围大小即可判断山坡的当前稳定程度。若注意到山坡荷载的可能变化及其他环境条件(例如水的作用)对岩土强度的影响，分析出塑性变形区的发展趋势，则可判断山坡今后的稳定性。较现实的方法是采用地质勘查，了解坡脚附近岩土的破碎变形状况，试验其强度，量测坡脚应力并注意观测其变化。这样，常能直接判断山坡的稳定性及预报发展趋势。

2. 由破碎岩层组成的高陡山坡，也常易产生

深层滑坡。判断其稳定性可用下述方法：首先求出坡脚的垂直压应力，与坡脚岩土强度对比，估计山坡变形的可能性；然后将坡脚附近部分岩体视为“挡土墙”，检算其在上部山坡推力作用下的稳定性。举例如下：

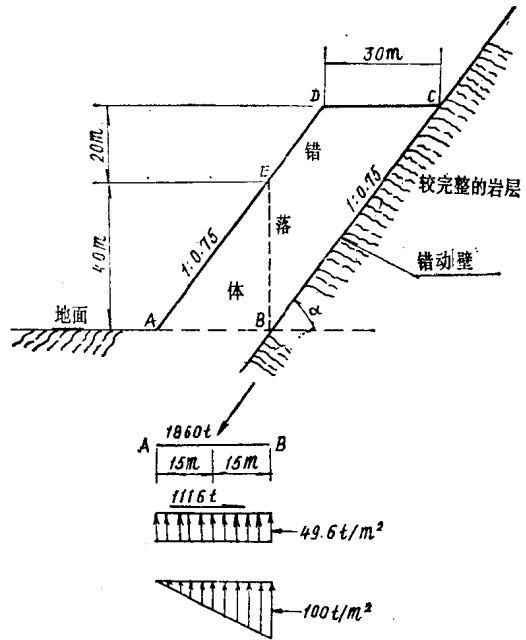


图11-4 山坡错落体的滑动稳定性检算示例图

图11-4示一错动过的岩层山坡，要求判断此错落体的稳定性。设已知错动面BC上的综合摩擦系数 $f_{BC}=0.3$ ，错落岩体的容重 $\gamma_y=2.5(t/m^3)$ ，又视错落体下部 $\triangle ABE$ 部分为假想的“挡墙”。

整个错落体重量  $W=2.5 \times 60 \times 30=4500t$

$\triangle ABE$ 部分的重量

$$W_1 = \frac{1}{2} \times 30 \times 40 \times 2.5 = 1500t$$

梯形 $EBCD$ 部分的重量

$$W_2 = W - W_1 = 3000t$$

错动面BC的倾斜角  $\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{4}{3}\right)$

作用于假想挡墙BE上的推力(方向平行于错动面BC，并假定作用于BE面的中点)为：

$$\begin{aligned} E &= W_2 \sin \alpha - W_2 \cos \alpha \cdot f_{BC} \\ &= 3000 \times \frac{4}{5} - 3000 \times \frac{3}{5} \times 0.3 = 1860t \end{aligned}$$

E的垂直分力  $E_V = 1860 \times \frac{4}{5} = 1488t$

E的水平分力  $E_H = 1860 \times \frac{3}{5} = 1116t$

由推力所产生的作用于AB面上的斜向压应力等于 $1860/30=62.0t/m^2$ ，而垂直压应力等于 $1488/30=49.6t/m^2$ 。

由假想挡墙ABE自重所产生的作用于AB面上的垂直压应力系数按三角形分布，在A点之值为



0, 在B点之值为100t/m<sup>2</sup>。

故在A点的垂直压应力总和为49.6 t/m<sup>2</sup>, 在B点的垂直压应力总和为149.6t/m<sup>2</sup>。

为保持错动体滑动平衡所需要的AB面上的摩擦系数  $f_{AB} = 1116 / (1488 + 1500) = 0.373$ , 即AB面附近岩体的内摩擦角应不小于20.5°。

根据以上计算结果可推知: 坡脚A点需承受4.96~6.20公斤/厘米<sup>2</sup>的压应力, 对于风化破碎岩层在可能受水浸湿的条件下是危险的; 又B点比A点所承受的垂直压应力约大3倍, 而且不能由山坡内部完整岩层调整应力, 势必破坏了AB面以下松软岩层的结构, 使错落体有向山坡临空面产生侧向推力的条件。这时, 对比AB面附近岩土的实际强度, 当强度不能抵抗其侧向推力时, 就可判断此错落体有发展为滑坡的可能。

## 二、滑坡推力计算

### (一) 计算前提

1. 将滑动方向和速度大体一致的滑体视为一个计算单元, 在顺滑动主轴方向的地质纵断面图上按滑面(或带)的产状和岩土性质划分为若干垂直条块, 由后向前计算各条块分界面上的剩余下滑力即是该部位的滑坡推力。计算时的基本假定如下:

(1) 每段滑体的下滑力方向与其所在条块的滑面(或带)平行;

(2) 横向按每米宽计算, 略去两侧的摩擦阻力不计;

(3) 视滑体为连续而无压缩的介质, 由后向前传递下滑力作整体滑动, 不计滑体内部的局部应力作用;

(4) 作用在任一分界面上的推力分布图形, 在一般情况下滑体上层和下层的滑动速度大体一致时, 可假定为矩形; 对于软塑体或塑流滑坡, 底部滑速往往大于其表层, 其推力分布图形为三角形, 推力的合力作用点在滑体厚度的下 $\frac{1}{3}$ 处; 介于上述两种情形之间者, 推力分布图形可假定为梯形。

### 2. 注意事项

(1) 各段滑面(或带)的位置应有可靠的依据, 还应检查每段滑床和滑体在最不利条件下能否形成新的滑面而需要另做计算。

(2) 选取各段滑面(或带)岩土的强度指标, 应以切合实际的试验资料与反算结果互相核对后的数值为准, 并应考虑到日后可能出现的含水条件与岩土性质的变化。滑坡的主滑地段、抗滑地段和被牵引地段的滑带岩土强度指标, 一般是有区别的, 注意起决定作用的是主滑地段, 其次为抗滑地段。

(3) 按滑坡性质与防治目的的不同, 计算上宜有不同的考虑。例如对于牵引式的多级滑坡, 若系临时应急工程, 可只按前级滑坡的推力进行力学平衡计算, 而不计后级滑坡对它的作用, 即只考虑恢复初次滑动时失去支撑的力便可; 若系永久治理

工程, 则应充分估计到在工程使用年限内可能出现的各种不利因素的影响, 查明有几级滑坡的推力能传递到前级滑坡并列入计算。对于推动式的多级滑坡, 应查明滑床形态和产状以及后级滑坡的前缘与前级滑坡的后缘连接地段的滑体岩土性质, 以确定后级滑坡作用于前级滑坡的推力。

### (二) 作用于滑体上的力系分析及推力计算

1. 推力计算: 取单位宽度滑体的任一块分离体作极限平衡状态下的静力分析, 作用于其上的力一般可分为下述两类:

(1) 基本力系(在任何情况下必须计入, 参看图11-5)。

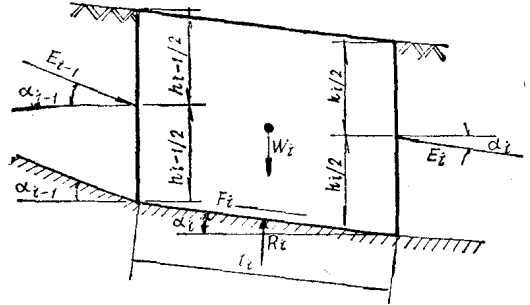


图11-5 作用于滑体任一分块的基本力系

a) 滑体自重( $W_i$ ), 作用于该条块的重心, 方向垂直向下;

b) 自上一块传递来的剩余下滑力( $E_{i-1}$ ), 作用于分界面的中点, 方向平行于第( $i-1$ )段滑面, 指向下滑方向;

c) 下一块产生的支撑力( $E_i$ ), 作用于分界面的中点, 方向平行于本段滑面, 指向反滑动方向;

d) 滑床反力( $R_i$ ), 作用于本段滑面中点, 方向垂直滑面向上, 其大小等于 $W_i \cos \alpha_i$ ;

e) 滑面的抗滑力( $F_i$ ), 方向平行于本段滑面而与滑动方向相反, 其大小等于 $W_i \cos \alpha_i \tan \phi_i + C_i L_i$ ; 其中 $C_i$ 及 $\phi_i$ 为滑动面上岩土的强度指标。

(2) 特殊作用力(在可能出现的条件下才列入计算, 参看图11-6)。

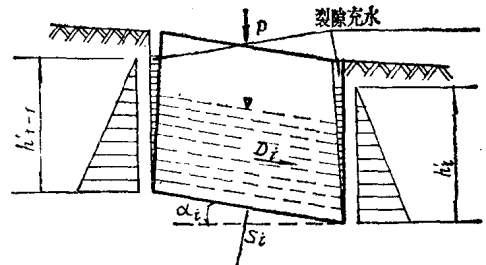


图11-6 作用于滑体分块的特殊作用力示例

a) 作用于条块上的外部荷载( $P$ );

b) 滑体裂隙充水或滑体中有上层滞水但不与滑带水连通时, 其中水重按增加滑体自重考虑;

c) 滑体全部饱水或其下部分饱水且与滑带

水相连通时,需考虑有动水压力( $D_i$ )作用于饱水面积的重心,方向与滑动方向相同并平行于本段滑面,其大小为:

$$D_i = \gamma_w \cdot \Omega_i \cdot n_i \cdot \sin \alpha'_i \quad (11-11)$$

式中  $\gamma_w$ ——水的容重 ( $t/m^3$ );  
 $\Omega_i$ ——滑体条块的饱水面积 ( $m^2$ );  
 $n_i$ ——滑体土的孔隙度;  
 $\alpha'_i$ ——滑体水的水力坡度角。

同时还要考虑在滑床上产生的浮托力( $S_i$ ),方向与滑床反力( $R_i$ )相同,其大小为

$$S_i = \gamma_w \cdot \Omega_i \cdot n_i \cdot \cos \alpha_i \quad (11-12)$$

因而滑面上的抗滑力改变为:

$$F_i = (W_i \cos \alpha_i - S_i) \tan \phi_i + C_i l_i$$

滑体饱水部分的容重应按饱水后的容重计算;

d) 滑体两端有贯通至滑带的裂隙,在滑动时裂隙部分充水,应考虑裂隙水对滑体的静水压力,其分布图形及方向如图11-6所示,其合力大小分别为  $\frac{1}{2} \gamma_w h'_1$  及  $\frac{1}{2} \gamma_w h'_2$ ;

e) 当滑带水系有压头  $H_0$  的承压力时,应考虑浮托力( $S'_i$ )的作用,其方向与滑床反力相同,其大小等于  $\gamma_w H_0$ ,因而滑面的抗滑力改变为:

$$F_i = (W_i \cos \alpha_i - S'_i) \tan \phi_i + C_i l_i$$

f) 在高烈度地震区,应考虑地震力的作用,可按照《铁路工程抗震设计规范》办理,将作用于滑体条块重心处的水平地震力引入计算,其方向指向下滑方向。

从图11-5可知第  $i$  个条块滑体的剩余下滑力( $E_i$ ),即为该部位的滑坡推力,其基本计算公式如下:

$$\begin{aligned} E_i &= KW_i \sin \alpha_i + E_{i-1} [\cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i) \\ &\quad - \sin(\alpha_{i-1} - \alpha_i) \tan \phi_i] \\ &\quad - W_i \cos \alpha_i \tan \phi_i - C_i l_i \\ &= KW_i \sin \alpha_i + \psi E_{i-1} \\ &\quad - W_i \cos \alpha_i \tan \phi_i - C_i l_i \end{aligned} \quad (11-14)$$

式中  $K$ ——所考虑需要的安全系数;  
 $W_i$ ——第  $i$  个条块滑体的重量 ( $t/m$ );  
 $\alpha_i$ ——第  $i$  个条块所在滑面的倾角;  
 $\alpha_{i-1}$ ——第  $i-1$  个条块所在滑面的倾角;  
 $\psi$ ——传递系数,等于  $[\cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - \sin(\alpha_{i-1} - \alpha_i) \tan \phi_i]$ ;  
 $\phi_i$ ——第  $i$  个条块所在滑面上的内摩擦角;  
 $C_i$ ——第  $i$  个条块所在滑面上的单位粘聚力 ( $t/m^2$ );  
 $l_i$ ——第  $i$  个条块所在滑面的长度 ( $m$ )

当滑体条块上有特殊作用力的作用时,应分别加入下滑力和抗滑力内进行计算。若所得某条块的剩余下滑力为负值时,则说明自该条块以上的滑体是稳定的,并考虑其对下一条块的推力为零。

## 2. 滑带岩土强度指标的选取

(1) 用模拟滑动特点的试验方法取得,经分析后采用最小者。

a) 对于连续滑动的滑坡的滑带土,可采用重塑土做超压密多次快剪试验,以求得其抗剪强度随剪切变形的增加而变化的曲线,如图11-7所示。

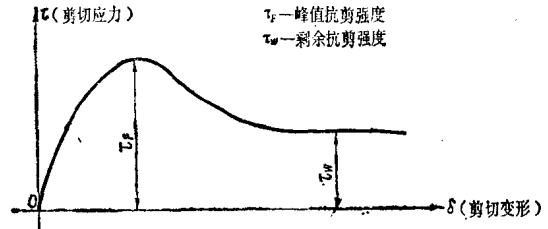


图11-7 连续剪切的应力与变形的关系曲线

土样在试验过程中,起初随着剪切变形的增加,剪切应力逐渐增加;当剪切破裂面完全形成时,剪切应力达到峰值,然后开始逐渐下降,最终趋近于—稳定值,称为“剩余抗剪强度”,用于滑带土的强度指标。

b) 对于断续滑动的滑坡,可按滑坡当前所处的状态,采用沿滑带原状土样中已有滑面在固结下剪切(或浸水剪)的试验方法;亦可将滑带土重塑后,按滑坡可能再次滑动的性质,采用多次不浸水固结快剪或慢剪的试验方法,求出各次剪切的强度指标。

c) 对于尚未滑动的崩塌性滑坡,可用滑带原状土做固结快剪的试验方法;对于已开始滑动的崩塌性滑坡,未脱离滑床的滑面已形成,滑带土强度的试验方法同(b)条。

(2) 用反算法求得

对于整个滑带刚刚形成的滑坡,利用滑体在极限平衡状态下的断面,令剩余下滑力为零,安全系数为1,则公式(11-14)中只有 $\phi_i$ 和 $C_i$ 是未知数。寻找与断面有关的边界条件,列出辅助方程式求出 $\phi_i$ 和 $C_i$ 值。

a) 一般对抗滑地段和被牵引地段的滑带岩土强度指标,可根据试验资料或经验数据经分析对比后选用,并通过反算以求出主滑地段滑带岩土的强度指标。有时需反复计算多次才能求得较合理的数值。

b) 若有充分可靠的资料证明,滑坡曾经两次或多次滑动均通过某一固定滑面,或同一滑坡有两个不同外形的断面,或者此滑坡与另一滑坡的性质极为类似并有断面资料时,则可建立联立方程式以求解强度指标值。

c) 当可用被动土压法(详后)求出已知断面处的滑坡推力时,则可按此推力来反求滑带土的强度指标值。

(3) 用与经验数据对比的方法求得

当滑带岩土的性质及所在部位与已有可靠的经验数据的滑坡相同或非常近似,可经过对比,将经