

滑坡勘察与设计

柳侃



福建省地质工程勘察院
福建省地质灾害重点实验室

1

规范的解读

2

滑坡勘察设计存在的几个问题

3

福建省暴雨型滑坡

4

福建省重大滑坡案例



1、规范的主要特点（差异）

3.1 滑坡防治工程等级

| 防治工程等级 | | 一级 | 二级 | 三级 |
|--------|------|----------------------------------|--|---------------------------------|
| 经济损失 | | 直接经济损失 > 1000万元，或潜在经济损失大于10000万元 | 直接经济损失1000万元—500万元，或潜在经济损失5000万元~10000万元 | 直接经济损失 < 500万元，或潜在经济损失 < 5000万元 |
| 威胁对象 | 乡村城镇 | 威胁人数 > 300人 | 威胁人数300人~50人 | 威胁人数 < 50人 |
| | 交通道路 | 一、二级铁路；高速公路 | 三级铁路；一、二级公路 | 铁路支线；三级以下公路 |
| | 水利水电 | 大型以上水库，重大水利水电工程 | 中型水库，省级重要水利水电工程 | 小型水库，县级水利水电工程 |
| | 矿山 | 大型矿山 | 中型矿山 | 小型矿山 |



3.2 滑坡勘查地质条件复杂程度划分

| 地质条件 | 特征 | | | | |
|------|---------------------|--------------------------------|-----------------------|---|---------------------------|
| | 地形地貌 | 地层岩性 | 地质构造 | 岩（土）体工程地质 | 水文地质 |
| 简单 | 地形起伏小；冲沟不发育；地貌类型单一。 | 岩性岩相变化不大，地质界线清楚；第四系沉积相，阶地结构清楚。 | 单斜地层；岩层平缓；节理不发育。 | 围岩露头良好，岩体工程地质质量好；风化卸荷裂隙不发育，风化层厚度薄。人类工程活动简单。 | 水文地质结构单一；地下水补给、径流、排泄条件清楚。 |
| 复杂 | 地形起伏大；冲沟发育；地貌类型多变。 | 岩性岩相变化大，地质界线不清楚；地质露头出露差。 | 褶皱强烈；断层规模大；岩溶强烈；节理发育。 | 卸荷裂隙发育，风化层厚度大，岩体工程地质质量差；堆积层厚度巨大；人类工程活动复杂。 | 水文地质结构变化大；地下水赋存及运移条件复杂。 |

- 探讨：
- 1、滑体厚度10米作为界限；
 - 2、2种以上的岩性；
 - 3、地下水丰富；
 - 4、2个以上滑面
 - 5、滑坡后缘山高坡陡，风化层厚



3.4 滑坡防治工程勘察工作布置原则

3.4.1 勘察工作应遵循先地质测绘后勘探和先物探后钻探的原则。物探可作为辅助勘查手段，不宜单独以物探结果直接作为防治工程设计依据。

3.4.2 滑坡防治工程勘察中应根据监测位移矢量图、深部监测位移等监测成果对致灾地质体的位移方向、滑动面和勘察工作量进行校核和必要的调整。



3.5 滑坡防治工程勘察基本要求

3.5.1 滑坡勘察应查明滑坡区的地质环境，查明滑坡的性质、成因、变形机制、边界、规模、变形阶段、稳定状况及其危险程度；提出参与计算评价的有关岩土物理力学参数及地下水的有关参数；查明或预测成灾危害情况；阐明滑坡防治的必要性，为防治工程设计提供地质依据。



3.6 滑坡防治工程勘察设计

3.6.1 滑坡防治工程控制性勘察、详细勘察或一次性勘察实施前均应进行勘察设计。

3.6.2 滑坡防治工程控制性勘察和一次性勘察设计应在充分搜集现状地形图及其它有关资料、认真进行现场踏勘（含访问了解）、划分地质环境复杂程度、确定滑坡防治工程等级的基础上进行；滑坡防治工程详细勘察设计应在控制性勘察结论的基础上编制，勘察工作的布置应充分利用控制性勘察阶段工作量。

3.6.3 勘察设计书内容见附录A。

3.6.4 滑坡工程勘察工作应按勘察设计书实施，不应随意变更勘察工作量。当勘察过程中发现勘察设计书预估的地质情况与实际地质情况有较大出入时，应根据实际地质情况对勘察工作量作适当调整。



附录A 滑坡防治工程勘察设计书内容

(规范性附录)

A.0.1 滑坡防治工程勘察设计书宜有以下主要内容：

- 1 前言，包括勘察依据、目的任务、前人研究程度、执行的技术标准、勘察范围、防治工程等级；
- 2 勘察区自然地理条件，包括位置与交通状况、气象、水文、社会经济概况；
- 3 勘察区地质环境概况，包括地形地貌、地层岩性、地质构造与地震、水文地质、不良地质现象、破坏地质环境的人类工程活动、地质环境复杂程度；
- 4 致灾地质体基本特征，包括形态特征、边界条件、物质组成、近期变形特征、发育阶段、影响因素及形成机制、破坏模式及其危险性；
- 5 勘察工作部署，包括勘察手段的选择、勘察工作比例尺的确定、地质测绘及勘探点密度的确定、控制测量、地形测量、定位测量的布置，工程地质测绘、控制剖面的布置，物探、钻探、槽探、井探、洞探等勘探工作的布置，水文地质试验、岩土现场试验、岩土水样的采集及试验的布置，监测工作的布置以及各种方法的工作量等；
- 6 技术要求，包括第5款中各种手段、方法的技术要求及精度；
- 7 勘察进度计划，包括各项勘察工作的时间安排及勘察总工期（用进度横道图表示）；
- 8 保障措施，包括人员组织、仪器、设备、材料、资金配置，质量保证措施、安全保障措施；
- 9 经费预算（含执行的定额标准）；
- 10 预期成果，包括勘察报告及各种附图附表；实物标本、影集及成果数字化光盘；监理报告、监测报告和野外工作验收报告以及相关附件；



表4.1.1 滑坡物质和结构因素分类

| 类型 | 亚类 | 特征描述 |
|----------------------|---------|---|
| 土质 滑坡 (细 分) | 堆积体滑坡 | 由前期滑坡、崩塌形成的土、石堆积体，沿下伏层面或体内滑动。 |
| | 残坡积层滑坡 | 由基岩风化壳、残坡积土等构成，通常为浅层滑动。 |
| | 人工填土滑坡 | 由人工堆填弃渣构成，次生滑坡。 |
| 岩质 滑坡 | 近水平层状滑坡 | 由基岩构成，沿缓倾岩层或裂隙滑动，滑动面倾角 \leq |
| | 顺层滑坡 | 由基岩构成，沿顺坡岩层、软弱结构面滑动。 |
| | 切层滑坡 | 由基岩构成，常沿倾向山外的软弱面滑动。滑动面与岩层层面相切，且滑动面倾角大于岩层倾角。 |
| | 逆层滑坡 | 由基岩构成，沿倾向坡外的软弱面滑动，岩层倾向山内，滑动面与岩层层面相反。 |
| | 楔体滑坡 | 在花岗岩、厚层灰岩等整体结构岩体中，沿多组弱面切割成的楔形体滑动。 |
| 变形 体 | 危岩体 | 由基岩构成，受多组软弱面控制，存在潜在崩滑面，已发生局部变形破坏。 |
| | 堆积层变形体 | 由堆积体构成，以蠕滑变形为主，滑动面不明显。 |



表 4.1.2 滑坡其它因素分类

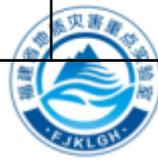
| 有关因素 | 名称类别 | 特征说明 |
|--------|-------|--|
| 滑体厚度 | 浅层滑坡 | 滑坡体厚度在 |
| | 中层滑坡 | 滑坡体厚度在 |
| | 深层滑坡 | 滑坡体厚度在 |
| | 超深层滑坡 | 滑坡体厚度超过 |
| 运动形式 | 推移式滑坡 | 上部岩层滑动，挤压下部产生变形，滑动速度较快，滑体表面波状起伏，多见于有堆积物分布的斜坡地段。 |
| | 牵引式滑坡 | 下部先滑，使上部失去支撑而变形滑动。一般速度较慢，多具上小下大的塔式外貌，横向张性裂隙发育，表面多呈阶梯状或陡坎状。 |
| 发生原因 | 工程滑坡 | 由于施工或加载等人类工程活动引起滑坡。还可细分为： |
| | 自然滑坡 | 由于自然地质作用产生的滑坡。按其发生的相对时代可分为古滑坡、老滑坡、新滑坡。 |
| 现今稳定程度 | 活动滑坡 | 发生后仍继续活动的滑坡，后壁及两侧有新鲜擦痕，滑体内有开裂、鼓起或前缘有挤出等变形迹象。 |
| | 不活动滑坡 | 发生后已停止发展，一般情况下不可能重新活动，坡体上植被较盛，常有老建筑。 |
| 发生年代 | 新滑坡 | 现今正在发生滑动的滑坡。 |
| | 老滑坡 | 全新世以来发生滑动，现今整体稳定的滑坡。 |
| | 古滑坡 | 全新世以前发生滑动的滑坡，现今整体稳定的滑坡。 |
| 滑体体积 | 小型滑坡 | $< 4m^3$ |
| | 中型滑坡 | $10^4m^3 \sim 4m^3$ |
| | 大型滑坡 | $100^4m^3 \sim 4m^3$ |
| | 特大型滑坡 | $1\ 000^4m^3 \sim 4m^3$ |
| | 巨型滑坡 | $> 4m^3$ |



4.1.3 滑坡防治工程勘察应划分所处演变阶段。
滑坡所处演变阶段应根据滑动带及滑动面、滑坡前缘、滑坡后缘、滑坡两侧和滑坡体状况分为弱变形阶段、强变形阶段、滑动阶段和停滑阶段，按表4.1.3进行分类。



| 演变阶段 | 滑动带及滑动面 | 滑坡前缘 | 滑坡后缘 | 滑坡两侧 | 滑坡体 | 稳定状态 | 稳定系数 |
|-------|---|---|--|-----------------------|--|--------|---|
| 弱变形阶段 | 主滑段滑动带在蠕动变形，但滑体尚未沿滑动带位移 | 无明显变化，未发现新的泉点 | 地表或建（构）筑物出现一条或数条与地形等高线大体平行的拉张裂缝，裂缝断续分布 | 无明显裂缝，边界不明显 | 无明显异常，偶见“醉汉林” | 基本稳定 | $1.05 < F_s < F_{st}$ |
| 强变形阶段 | 主滑段滑动带已大部分已形成，部分探井及钻孔发现滑动带有镜面、擦痕及搓揉现象，滑体局部沿滑动带位移 | 常有隆起，有放射状裂缝或大体垂直等高线的压致张裂裂缝，有时有局部坍塌现象或出现湿地或有泉水溢出 | 地表或建（构）筑物拉张裂缝多而宽且贯通，外侧下错 | 出现雁行羽状剪切裂缝 | 有裂缝及少量沉陷等异常现象，可见“醉汉林” | 欠稳定 | $1.00 < F_s < 1.05$ |
| 滑动阶段 | 整个滑坡滑动带已全面形成，滑带土特征明显且新鲜，绝大多数探井及钻孔发现滑动带有镜面、擦痕及搓揉现象，滑带土含水量常较高 | 出现明显的剪出口并经常错出，剪出口附近湿地明显，有一个或多个泉点，有时形成了滑坡舌，滑坡舌常明显伸出，鼓张及放射状裂缝加剧并常伴有坍塌 | 张裂缝与滑坡两侧羽状裂缝连通，常出现多个阶坎或地塹式沉陷带，滑坡壁常较明显 | 羽状裂缝与滑坡后缘张裂缝连通，滑坡周界明显 | 有差异运动形成的纵向裂缝，中、后部水塘、水沟或水田渗漏，不少树木成“醉汉林”，滑坡体整体位移 | 不稳定 | $F_s < 1.00$ |
| 停滑阶段 | 滑体不再沿滑动带位移，滑带土含水量降低，进入固结阶段 | 滑坡舌伸出，覆盖于原地表上或到达前方阻挡体而壅高，前缘湿地明显，鼓丘不再发展 | 裂缝不再增多，不再扩大，滑坡壁明显 | 羽状裂缝不再扩大，不再增多甚至闭合 | 滑体变形不再发展，原始地形总体坡度显著变小，裂缝不再扩大不再增多甚至闭合 | 欠稳定或稳定 | $1.00 < F_s \sim F_{st} < F_s > F_{st}$ |



4.1.4 人工开挖不稳定斜坡应根据坡角、坡体、坡肩的状况分为稳定性差、稳定性较差、稳定性好阶段。

| 斜坡要素 | 稳定性差 | 稳定性较差 | 稳定性好 |
|------|--|---|---|
| 坡角 | 临空，坡度较陡且常处于地表径流的冲刷之下，有发展趋势，并有季节性泉水出露，岩土潮湿、饱水 | 临空，有间断季节性地表径流流经，岩土体较湿，斜坡坡度在30~45°之间 | 斜坡较缓，临空高差小，无地表径流流经和继续变形的迹象，岩土体干燥 |
| 坡体 | 平均坡度>40°，坡面上有多条新发展的裂缝，其上建筑物、植被有新的变形迹象，裂隙发育或存在易滑软弱结构面 | 平均坡度在30~40°间，坡面上局部有小的裂缝，其上建筑物、植被无新的变形迹象，裂隙较发育或存在软弱结构面 | 平均坡度<30°，坡面上无裂缝发展，其上建筑物、植被没有新的变形迹象，裂隙不发育，不存在软弱结构面 |
| 坡肩 | 可见裂缝或明显位移迹象，有积水或存在积水地形 | 有小裂缝，无明显变形迹象，存在积水地形 | 无位移迹象，无积水，也不存在积水地形 |



5.1 调查阶段

5.1.1 调查阶段主要了解滑坡所处地质环境条件，了解岩（土）体结构、空间几何特征和体积、水文地质条件，提供基本物理力学参数，分析成因，初步进行稳定性评价，满足立项要求。

5.1.2 调查阶段以工程地质测绘为主，有必要情况下适当布置部分勘探工作量，勘探方法主要以槽探、井探为主，适当采取岩土试样进行测试。



5.2 控制性勘查阶段

5.2.1 控制性勘查阶段应基本查明滑坡所处地质环境条件，初步查明岩（土）体结构、空间几何特征和体积、水文地质条件，提供基本物理力学参数，分析成因，进行稳定性评价，满足制定防治工程方案的地质要求。

5.2.2 在工程地质测绘的基础上确认主滑方向及主滑线，沿主滑线布设主勘探线，并在主勘探线两侧增加辅助勘探线，勘探线间距见表5.2.2。

表5.2.2 控制性勘查阶段勘探点线间距布置要求

| 危害等级 | 勘探线 | 主辅勘探线间距m | 主勘探线勘探点间距m | 辅勘探线勘探点间距m |
|------|-----|----------|------------|------------|
| 三级 | 纵向 | 60 | 60 | 80 |
| | 横向 | 60 | 60 | 80 |
| 一、二级 | 纵向 | 40 | 40 | 40 |
| | 横向 | 40 | 40 | 40 |

5.2.3 滑坡勘探线（点）的布置应满足防治工程可行性研究或初步设计需求，重要控制性工程布设区可适当加密。

5.2.4 勘探方法可以物探为主，辅以钻探、槽探、井探等进行。

5.2.5 应对防治工程可能需要的天然建筑材料分布储量进行踏勘和评估。

5.2.6 了解滑坡周围水源分布，评价防治工程及生活用水需水量和水质，提出供水建议。



5.3 详细勘查阶段

5.3.1 控制性勘查阶段应查明滑坡和崩塌区域岩（土）体结构、空间几何特征和体积、水文地质条件，提供物理力学参数，分析成因，进行稳定性定量评价和计算，满足制定防治工程施工图设计的地质要求。

5.3.2 详细勘查阶段应结合防治工程部署，充分利用前期的勘查成果，进行重点勘查。

5.3.3 在前期勘查的基础上，沿主滑线及两侧加密勘探线和勘探点，勘探线（点）间距见表5.3.3。

表5.3.3 详细勘查阶段勘探点线间距布置要求

| 危害等级 | 勘探线 | 主辅勘探线间距 | 主勘探线勘探点间距 | 辅勘探线勘探点间距m |
|------|-----|---------|-----------|------------|
| 三级 | 纵向 | 30 | 30 | 30 |
| | 横向 | 30 | 30 | 30 |
| 一、二级 | 纵向 | 20 | 20 | 30 |
| | 横向 | 20 | 20 | 30 |

5.3.4 滑坡和崩塌勘探线的布置应满足防治工程设计需求，控制性工程设置部位应布设相应的勘探线和点，如需进行支挡时应沿拟支挡部位布置横勘探线；需采取地下排水措施时，应在拟设排水构筑物位置增布勘探线。

5.3.5 勘探方法以场地的适用条件和防治工程设计需要为主，勘探点之间可用物探方法进行验证。



5.4 补充勘查

5.4.1 一般规定

5.4.1.1 施工阶段补充勘查是设计阶段详细勘查工作的延续补充。

5.4.1.2 施工阶段补充勘查应采用信息反馈法，结合防治工程实施，及时编录分析地质资料，将重大地质结论变化及时通知业主，情况紧急时应及时通知施工和设计单位，采取必要的防范措施。

5.4.1.3 施工阶段补充勘查应针对现场地质情况，及时提出改进施工方法的意见及处理措施，保障防治工程的施工适应实际工程地质条件。

5.4.2 开挖露头测绘与工程钻孔勘探

5.4.2.1 施工地质工作方法应采用观察、素描、实测、摄影、录像等手段编录和测绘施工揭露的地质现象，对滑体、滑床、滑带、软弱岩层、破碎带及软弱结构面宜进行复核性岩（土）物理力学性质测试，可进行必要的变形监测或地下水观测。

5.4.2.2 根据施工设计图开挖最终形成的地质露头，应在工程实施前进行工程地质测绘，提交平面图、剖面图、断面图或展示图，并进行照（摄）像。



5.4.2.3 开挖过程中间揭露的滑带土、擦痕等典型滑坡地质形迹应及时加以编录、照（摄）像，留样。

5.4.2.4 抗滑桩开挖的探井，在开挖中应及时进行工程地质编录、照（摄）像，特别注意主滑带和滑坡体内各种软弱带。在主剖面线的探井内采取主滑带和软弱带原状样，进行抗剪强度试验，复核或校证原地质报告的结论。

5.4.2.5 对于一级滑坡防治工程，宜抽取锚杆（索）钻孔总数的5%，且不宜少于3孔，采用物探等手段，结合钻进判断滑带位置和进行岩（土）体质量划分。

5.4.2.6 锚杆（索）钻孔和抗滑桩竖井等探测的滑带位置与原地质资料误差较大时，应及时修正滑坡地质剖面图和工程布置图，并指导工程设计变更。

5.4.2.7 在实施喷锚网工程和砌石工程前，应进行地质露头工程地质测绘，并进行照（摄）像。

5.4.2.8 采用注浆等方法改性加固滑坡体后，应沿主勘探线进行钻探取样，提供改性后的滑坡体物理力学参数。

5.4.2.9 对于回填形成的堆积体，应沿主勘探线进行钻探取样，提供物理力学参数。



6 滑坡地质测绘与勘探

6.1 一般规定

6.1.1 滑坡勘察的范围应包括滑坡及其邻区。勘察区后部应包括滑坡后壁以上一定范围的稳定斜坡或汇水洼地，勘察区前部应包括剪出口以下的稳定地段，勘察区两侧应到达滑体以外一定距离或邻近沟谷。涉水滑坡尚应到达河（库）心或对岸。

6.1.2 滑坡勘察应以地质测绘与调查、钻探、井探、槽探为主，必要时，尚应采用洞探和物探。



6.2 滑坡地质测绘与调查

6.2.1 滑坡地质测绘与调查应查明滑坡区的自然地理条件、地质环境、滑坡各种要素特征和滑坡的变形破坏历史及现状，并对滑坡成因、性质和稳定性作出判断。

6.2.2 滑坡自然地理条件调查应以搜集资料为主，其内容应包括滑坡所处地理位置（地理坐标）、行政区划、滑坡区的交通状况、气象水文（尤其是降雨、河流或水库水位）、区域经济状况。

6.2.3 滑坡地质环境调查的内容应包括地形地貌、地质构造、新构造运动、地震、地层岩性、水文地质条件。应在收集分析区域地质和前人已有勘察资料的基础上，对外围进行必要的核查。

6.2.4 滑坡地质测绘应识别滑坡特征和滑坡要素，根据地形特征及地面裂缝分布规模等情况判定滑坡范围、主滑方向及主滑线。对能够观察到的滑坡要素和异常地质现象，以及能反映滑坡基本特征的地质现象，应有地质观测点控制。

6.2.5 滑坡地质测绘应从地形地貌、地层岩性、地质构造、地震、地下水等基本条件，降雨、地表水等自然因素及边坡开挖、堆填加载、采石采矿、水库渠道渗漏等人为因素多方面对滑坡的成因、性质作出分析判断。

6.2.6 滑坡地质测绘应从滑坡体上的微地貌特征、植物生长情况、建构筑物变形破坏情况、地面开裂位移情况及井泉动态变化等方面对滑坡的稳定性作出宏观分析判断。



6.3 滑坡勘探

6.3.1 滑坡勘探应查明滑体范围、厚度、物质组成和滑面（带）的个数、形状、滑带厚度及物质组成；查明滑体内含水层的个数、分布和地下水的流向、水力坡度、水位、水量及动态变化。

6.3.2 滑坡勘探方法应根据需要参照表6.3.2进行选择。

6.3.3 滑坡勘探可采用主—辅剖面法，不少于一条主纵、一条主横剖面布置勘探线，并在主勘探线两侧增加辅助勘探线。工程实施部位应设横向勘探线。

6.3.4 勘探线应由钻探、井探、槽探及物探等勘探点构成。滑坡勘查的地质条件复杂程度为复杂的滑坡，勘探方法应采用钻探、井探或探硐相结合，并进行滑坡监测。

6.3.5 纵向勘探线的布置应结合滑坡分区进行，不同滑坡单元均应有主勘探线控制，在其两侧可布置辅助勘探线。

6.3.6 横向勘探线宜布置在滑坡中部至前缘剪出口之间。



6.3.7 勘探点间距应根据勘查阶段、滑坡结构复杂程度和规模等综合确定，详见表5.2.2和表5.3.3。

表6.3.2 滑坡勘探方法适用条件及勘探点布设位置

| 勘探方法 | 适用条件及勘探点布设位置。 |
|-----------|---|
| 钻探 | 用于了解滑体结构，滑面（带）的深度、个数、地下水位及水量，观测深部位移，采集滑体、滑带及滑床岩、土、水样。 |
| 槽探 | 用于确定滑坡周界、后缘滑壁和前缘剪出口附近滑面的产状及裂隙延伸情况，有时也可用作现场大剪及大重度试验。 |
| 井探 | 用于观察滑体结构和滑面（带）特征、采集原状土样和进行原位大剪、大重度试验。主要应布在滑坡的中前部主轴附近。 |
| 洞探（平洞或斜洞） | 用于了解滑坡内部特征，采集原状土样和进行原位大剪、大重度试验。适用于地质环境复杂、深层、超深层滑坡。洞口宜选在滑坡两侧沟壁或滑坡前缘。平洞可兼作观测洞，也可用于汇排地下水，常结合滑坡排水整治施工布置 |
| 物探 | 电法勘探 常用高密度电法。用于了解滑体厚度、岩性变化，了解下伏基岩起伏和断裂破碎带的分布。了解滑坡区含水层、富水带的分布和埋深。在滑坡规模较大、物性差异较大、地形地物变化。较小时采用。勘探线宜布置在拟设主剖面线上、剖面线间及支挡线附近。 |
| | 地震勘探 常用浅震反射波法。用于探测滑坡区基岩埋深，滑面位置、形状。在非人口密集区滑坡规模。较大时采用。勘探线宜布置在拟定主剖面线上、剖面线间及支挡线附近。 |



6.3.8 勘探方法应采用钻探、井探或槽探相结合，并用物探沿剖面线进行探测验证。

6.3.9 滑坡勘探深度的确定应符合下列规定：

6.3.9.1 对岩质滑坡或最低滑面为岩土界面的土质滑坡，勘探深度应根据滑面的可能深度确定。控制性勘察阶段钻孔应进入可能的最低滑面以下3m~5m，滑坡有无深层滑面难以判断时，个别控制性勘探点可根据需要加深；详细勘察阶段控制性钻孔进入最低滑面以下3m~5m，一般性钻孔进入最低滑面以下1m~3m；探井揭穿最低滑面即可。

6.3.9.2 对土层内部滑坡，详细勘察阶段的少数控制性钻孔可加深至下伏基岩中等风化层1m~3m。

6.3.9.3 土层滑坡勘探孔进入滑床的深度应大于土层中所见同类岩性最大块石直径的1.0~1.5倍。

6.3.9.4 对需要防治的滑坡，详细勘察阶段可能治理部位的勘探深度应满足防治工程设计需要。

6.3.10 对结构复杂的大型滑坡体，可采用探硐进行勘探，并绘制大比例尺的展示图，进行照（录）像。应采取滑带与滑体岩（土）试样，测试其物理、水理与力学性质指标。

6.3.11 应初步查明地下水基本特征，结合钻孔和探井进行地下水位动态观测，分析地下水的流向、径流和排泄条件、地下水渗透性等。



7 主要勘查方法

地质测绘

7.2.1 应充分收集已有资料，了解前人工作程度，并进行现场踏勘（含访问了解）。

7.2.2 地形图成图规格应根据滑坡区范围、比例尺的要求，选择合适的图幅尺寸，以完整将滑坡区范围表达在一个分幅内为宜。

7.2.3 滑坡地质测绘平面图和剖面图比例尺宜采用1:200~1:500，应根据滑坡面积、滑坡地质环境复杂程度、防治工程等级和滑坡治理工程设计需要进行选择。

7.2.4 滑坡区测量坐标系统宜采用1954年北京坐标系，高程系统宜采用1956年黄海高程系。

7.2.5 测绘应将滑坡区及周边主要的地质现象和地物要素等表达在地形图上。

7.2.6 地形图精度，要求图上具有定位意义的独立地物点相对于邻近图根点的点位中误差不大于图上0.5mm，邻近地物点间距中误差不大于图上0.4mm。

7.2.7 地质测绘应采用定点法进行测绘。对于反映滑坡特征测绘点，应进行追索并沿线合理定点测绘。

7.2.8 根据观测点之间的联系，应在野外实地勾绘连接观测点之间的地质界线草图。

7.2.9 地质观测点的布置与测量点密度以达到最佳调查测绘效果为准。

7.2.10 对于与滑坡有关的重要地质现象，应有足够的调查点控制。

7.2.11 对重要观测点的定位应采用仪器测量，一般观测点可采用半仪器定位。



7.2.12 滑坡平面图测绘精度应满足如下要求：

- 1 宏观地形地貌在图上宽度大于2mm的现象应按比例描绘；
- 2 滑坡微观地形地貌在图上宽度不足2mm时，宜按特定图例标注，且应进行更大比例尺的专门测绘，作为附图一并提交；
- 3 地质界线图上误差不应超过2mm；其它地段不应超过5mm。

7.2.13 滑坡剖面图宜与滑坡勘探线一致，采用与平面图等同或更大的比例尺。

7.2.14 滑坡剖面的两 endpoint、剖面控制点应设立显著标志，每一条剖面至少应有两个标志点。

7.2.15 与滑坡有关的水文点、微地貌、地形变点等应测在剖面图上，图上地形和地质测绘内容误差不得超过1mm。

7.2.16 受表土覆盖影响的重要地质观测点宜采用剥土、槽探等手段进行人工揭露。

7.2.17 地质调查与测绘野外记录应分类采用统一的专门卡片记录观测点。

7.2.18 地质测绘应提交地形测量、地质调查和测绘正式成果，图册及相关原始附件。



7.3 勘探线（剖面）布设

7.3.1 主勘探线布设应纵贯整个滑坡体，宜与初步认定的滑动方向平行，其起点应在滑坡后缘以上稳定岩（土）体范围内20m~50m。

7.3.2 主勘探线上所投入的工程量及点位布设应满足主剖面图绘制、试验及稳定性评价的要求，并兼顾地下水观测和变形长期监测的需要。

7.3.3 对于分布有多个次级滑体，或后缘出现2个以上弧顶的中型及以上规模的滑坡，主勘探线不宜少于两条。

7.3.4 主勘探线上不宜少于3个勘探点。

7.3.5 滑坡和崩塌勘探线的布置应满足防治工程设计需求，控制性工程设置部位应布设相应的勘探线和点，如需进行支挡时应沿拟支挡部位布置横勘探线；需采取地下排水措施时，应在拟设排水构筑物位置增布勘探线。

7.3.6 对于大型规模以上的滑坡，纵勘探剖面上应反映每一个滑坡地貌要素。

7.3.7 滑坡横向勘查钻孔布设宜控制滑面横断面形态，可依据地质、地貌或物探资料从滑坡中轴线向两侧进行布设。

7.3.8 辅助勘探线分布在主勘探线两侧，线间距据勘查阶段要求而定。



7.3.9 辅助勘探线上的勘探点宜与主勘探线上的勘探点位置相对应（或隔1个勘探点相对应），使横向上构成垂直于勘探线的横勘探剖面，形成控制整个滑坡体的勘探网。

7.3.10 工程轴线勘探剖面布设应按防治工程方案，有针对性地进行布设。

7.3.11 勘探点的布设原则

7.3.11.1 勘探点应布设在重点勘查和设计的治理工程部位，除反映地质情况外，应兼顾采样、现场试验和监测。

7.3.11.2 勘探点的布设应限制在勘探线的范围内。若由于地质或其他重要原因必须偏离勘探线时，宜控制在5m范围之内。对于必须查明的重大地质问题，可以单独投入勘探点而不受勘探线的限制。



7.5 井探、硐探和槽探

- 7.5.1 对地质结构复杂的滑坡，宜沿主剖面采用钻探与井探相结合的方法进行勘探。
- 7.5.2 应根据地质测绘和露头剖面，合理推测探井地质柱状图，建立探井结构理想柱状图。
- 7.5.3 矩型探井断面短边长宜大于1.5m，圆断面探井直径宜大于1m。
- 7.5.4 对地质结构复杂难以定论，且等级为一级的滑坡防治工程宜用探硐进行勘探。
- 7.5.5 硐探工程轴线上应布置一定数量的钻孔或探井，并安排先施工。
- 7.5.6 探硐净断面高×宽宜大于1.8m×1.8m。
- 7.5.7 探硐宜进行支护，并综合利用，且探洞护壁应预留足够的观测窗，面积不小于20 cm×20cm。
- 7.5.8 硐探工程应编制专门的设计书，或在滑坡总体勘查设计中编写专门章节论证其必要性和可行性内容。
- 7.5.9 开挖掘进过程中及时记录掘进中遇到的地质现象，每5m宜作一掌子面素描图。
- 7.5.10 对于围岩失稳而必须支护的地段，应及早进行素描、拍照、录像、采样及埋设监测仪器，可在支护段预留窗口。
- 7.5.11 在滑坡体前缘、后缘、侧缘部位及勘探线上地质露头不清时，应布置必要的槽探。
- 7.5.12 应及时进行探井、探硐或探槽展示图和地质编录。
- 7.5.13 应按要求配合进行滑动面（带）力学抗剪强度的原位试验，同时在预定层位按要求采取岩、土、水样。
- 7.5.14 勘探完成后的探井不得裸露或直接废弃，可作为滑坡监测井或浇筑钢筋砼形成抗滑桩。



7.6 地球物理勘探

7.6.1 地球物理勘探可作为辅助勘查手段，不宜单独以物探结果直接作为防治工程设计依据。

7.6.2 地球物理勘探线的布设应与滑坡主要勘探线相叠合。

7.6.3 当物探反映有重大异常时，应补充钻探、井探、硐探和槽探等予以验证。

7.6.4 进行地球物理勘探前，应通过现场试验，研究方法有效性，确定合适的野外观测系统和仪器工作参数，可参见附录B。



7.7 监测

7.7.1 滑坡防治工程监测包括长期监测、施工安全监测和工程效果监测。

7.7.2 监测内容一般包括：地表大地变形监测、地表裂缝位错监测、地面倾斜监测、建筑物变形监测、滑坡裂缝多点位移监测、滑坡深部位移监测、地下水监测、孔隙水压力监测、滑坡地应力监测等。

7.7.3 滑坡防治工程应及时获取监测信息，作为滑坡勘察的重要内容。

7.7.4 对于一级滑坡防治工程，应建立地表与深部相结合的综合立体监测网，并实施长期监测。

7.7.5 对于二级滑坡防治工程，在施工期间应建立安全监测和防治效果监测点，同时，可建立以简易监测为主的长期监测点。

7.7.6 对于三级滑坡防治工程，可建立简易长期监测点。

7.7.7 施工安全监测应对滑坡体进行实时监控，了解由于工程扰动等因素对滑坡体的影响，及时地指导工程实施、调整工程部署、安排施工进度等。

7.7.8 施工安全监测点应布置在滑坡体稳定性差，或工程扰动大的部位，力求形成完整的剖面，采用多种手段互相验证和补充。

7.7.9 防治效果监测应结合施工安全和长期监测进行，了解工程实施后，滑坡体的变化特征，为工程的竣工验收提供科学依据。

7.7.10 防治效果监测时间长度不应小于一个水文年，数据采集时间间隔不宜小于10d。

7.7.11 长期监测宜沿滑坡主剖面进行。

7.7.12 监测报告应以时报、天报、旬报、月报、季报或年报等形式提交。



滑带抗剪强度指标取值建议表

| 稳定状态 | | 试验方法 | | |
|-----------|-----|----------|----------|--------|
| | | 滑带峰值抗剪强度 | 滑带残余抗剪强度 | 滑体抗剪强度 |
| 稳定 | 未滑动 | ※ | | |
| | 曾滑动 | | ※ | |
| 基本稳定 | 未滑动 | ※ | | |
| | 曾滑动 | | ※ | |
| 欠稳定 | | | ※ | |
| 不稳定 | | | ※ | |
| 未形成滑带的变形体 | | | | ※ |



8.3.2 滑坡稳定状态可据滑坡稳定系数进行划分，见表8.3.2。

| 滑坡稳定系数 | $F_s < 1.00$ | $1.00 \leq F_s < 1.05$ | $1.05 \leq F_s < F_{st}$ | $F_s \geq F_{st}$ |
|--------|--------------|------------------------|--------------------------|-------------------|
| 滑坡稳定状态 | 不稳定 | 欠稳定 | 基本稳定 | 稳定 |

注： F_{st} ——滑坡稳定性安全系数。



8.4 滑坡稳定性评价

8.4.1 滑坡稳定性评价应根据滑动面类型和物质组成选用恰当的方法，并可采用数值模拟方法综合考虑。

8.4.2 滑坡稳定性评价和推力计算公式推荐采用如下方法：

1 堆积层（包括土质）滑坡。包括二种滑动面类型：

(1) 滑动面为折线形

用传递系数法（隐式解）进行稳定性评价和推力计算，用摩根斯坦-普赖斯法（Morgenstern-Price）等方法进行校核。

(2) 滑动面为单一平面或圆弧形

用毕肖普法（Bishop）进行稳定性评价和推力计算，用摩根斯坦-普赖斯法（Morgenstern-Price）等方法进行校核。

2 岩质滑坡

用平面极限平衡法进行稳定性评价和推力计算。



8.4.3 地下水位以下范围内水压力应按下列方法计算：

- 1 当滑坡体渗透系数大于 $1 \times 10^{-7} \text{m/s}$ 时，应计算渗透压力；
- 2 当滑坡体渗透系数小于或等于 $1 \times 10^{-7} \text{m/s}$ 时，可不计渗透压力；
- 3 对岩体完整或较完整、滑面缓倾、后缘有陡倾裂隙的岩质滑坡，应考虑降雨入渗在后缘裂隙形成的静水压力，以及在滑面形成的扬压力和超孔隙水压力。

8.4.4 地震设防烈度为6度以下（含6度）的地区，可不进行地震作用计算，地震设防烈度6度以上的地区，应进行地震作用计算；设计水平地震加速度为0.4g的一级、二级滑坡防治工程宜同时考虑竖向地震惯性力的作用。



附录E 滑坡稳定性安全系数 (规范性附录)

E.0.1 滑坡荷载及强度标准

1 作用于滑坡体上的荷载

- (1) 滑坡体自重；
- (2) 滑坡体上堆载、建筑物等产生的附加荷载；
- (3) 地下水产生的静水压力和动水压力等荷载；
- (4) 动荷载，如地震荷载、车辆荷载等；
- (5) 暴雨、河水位。

2 滑坡稳定性计算暴雨和地震荷载强度取值标准参见表E.0.1。

表E.0.1 滑坡稳定性计算荷载强度标准表

| 滑坡治理 工程级别 | 暴雨强度重现期/a | | 地震荷载(年超越 概率10%) | |
|--------------|-----------|-----|--------------------|----|
| | 设计 | 校核 | 设计 | 校核 |
| 一级 | 50 | 100 | 50 | |
| 二级 | 20 | 50 | | |
| 三级 | 10 | 20 | | |



E.0.2 滑坡稳定性安全系数

1 设计工况

选用下述工况中最不利工况，作为滑坡稳定性计算工况：

工况1：自重

工况2：自重+地下水

工况3：自重+暴雨+地下水

工况4：自重+地震+地下水

2 滑坡稳定性安全系数

根据不同工况条件，滑坡稳定性安全系数取值推荐如下（表E.0.2）。

| 防治工程等级 | 一级 | | | | 二级 | | | | 三级 | | | |
|--------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 设计 | | 校核 | | 设计 | | 校核 | | 设计 | | 校核 | |
| 设计工况 | 工况1 | 工况2 | 工况3 | 工况4 | 工况1 | 工况2 | 工况3 | 工况4 | 工况1 | 工况2 | 工况3 | 工况4 |
| 设计安全系数 | 1.35 | 1.3 | 1.15 | 1.15 | 1.30 | 1.25 | 1.10 | 1.10 | 1.25 | 1.20 | 1.05 | 1.05 |



4.1 基本原则

4.1.1 滑坡治理工程设计，应在审查通过的工程地质勘查成果基础上进行。治理措施的选择必须建立在滑坡工程地质勘查和斜坡变形破坏机制分析的基础之上。

4.1.2 滑坡治理措施应针对引起滑坡的主导因素、类型、规模、失稳破坏模式进行，原则上应一次根治，不留后患。治理应采用截排水、抗滑支挡、锚固或其它防治工程措施进行综合治理的原则。

4.1.3 滑坡治理设计应与周边环境条件相协调，宜采用绿色生态、环境友好型治理技术原则。

4.1.4 一般情况下，对滑坡的治理，宜避开雨季，施工方法和程序应避免造成坡体产生新的变形破坏为原则。

4.1.5 加强滑坡治理过程监测与过程控制，实施动态设计与信息化施工。

4.1.6 滑坡治理工程抗震设防烈度应采用地震基本烈度，且不应低于滑坡破坏影响区内建筑物的设防烈度；地震烈度为6度时，不计入地震力，但对支挡结构和锚杆外锚头等，应采取相应的抗震构造措施。

4.1.7 滑坡治理工程设计使用年限应不低于受其影响相邻建（构）筑物的使用年限。

4.1.8 滑坡治理工程设计方案，必须进行技术、社会、经济论证。通过方案比较，选择最合适的治理方案和工程措施。

4.1.9 滑坡治理工程应与社会、经济和环境发展相适应，与市政规划、环境保护、土地利用相结合。



| 治理措施 | 适用条件 |
|---------|---|
| 截、排地表水 | 几乎适用于各类滑坡的防治，尤其适于滑坡变形与降雨有密切关系、透水性强的土质滑坡的防治。 |
| 疏、排地下水 | 几乎适用于各类滑坡的防治，尤其适用于滑坡变形与降雨有密切关系、地下水量丰富的滑坡的防治，常与地表排水工程结合使用。 |
| 削方减载 | 适用于滑坡后壁及两侧地层不会因削方引起新的滑坡或恶化地质环境的推移式滑坡；适用于主滑段、牵引段后部较陡而前缘较缓，具有上陡、下缓滑床、前缘采用压脚或支挡阻滑的牵引式滑坡；对于厚度大的滑体，在锚固、抗滑桩等方案施工技术达不到抗滑要求或效果不佳的情况下，应考虑后方削坡方案或削方、锚固、支挡结合的方案。 |
| 压脚 | 前缘有阻滑地段或下方斜坡稳定的滑坡。压脚常与削方配合，以改善滑坡受力条件。 |
| 抗滑挡土墙 | 适于规模不大或剩余推力不大、滑床较平缓的中小型滑坡的支挡和崩塌滚石的拦挡，不宜用于处理深层滑坡及地下水丰富的滑坡。 |
| 抗滑桩 | 主要适用于浅层、中厚层岩质滑坡及中厚层土质滑坡以及埋藏有数层软弱夹层的岩质及土质滑坡。对正在滑动的滑坡体，不宜开挖大型抗滑桩孔，尤其是不宜连续开挖。 |
| 锚拉抗滑桩 | 锚拉桩的锚杆（索）和桩共同工作，改变桩的悬臂受力状况和桩完全靠侧向地基反力抵抗滑坡推力，使桩身的应力状态和桩顶变位大大改善，是一种较为合理、经济的抗滑结构。 |
| 锚索（杆） | 预应力锚索主要用于岩质滑坡。当采取有效防腐措施时，也可与其它抗滑结构共同组成抗滑支挡体系，用于岩质滑床上的土质滑坡。下列情况不应采用预应力锚索：1 2 3 |
| 格构锚固 | 格构锚固包括预应力和非预应力格构锚固。预应力格构锚固，适用于岩质滑床；非预应力格构锚固，适用于中浅层土体滑床。在岩（土）有腐蚀性的地层，不应采用格构锚固。 |
| 坡面防护与绿化 | 用于防止滑坡体表面局部滑崩和被冲刷，同时美化斜坡 |



滑坡勘察设计存在的几个问题

- 1、不重视滑坡踏勘、地质测绘（含访问了解）；
- 2、勘探手段单一，大部分只采取钻探，可是钻探质量又不高；
- 3、稳定性计算与评价的不合理；
- 4、滑坡排水设计不够完善；
- 5、抗滑支挡措施不尽合理；
- 6、不重视滑坡治理过程中的施工勘察；



不重视滑坡踏勘、地质测绘（含访问了解）

地质勘察应充分搜集分析现有资料，并进行实地踏勘，重视地质测绘、工程勘探、岩土物理力学参数测试、资料综合分析和报告、图件编制过程中的每个环节保证地质资料准确可靠。

地质测绘是滑坡勘察的基础，是重中之重的环节。是滑坡稳定性定性判断的基础。



访问了解内容

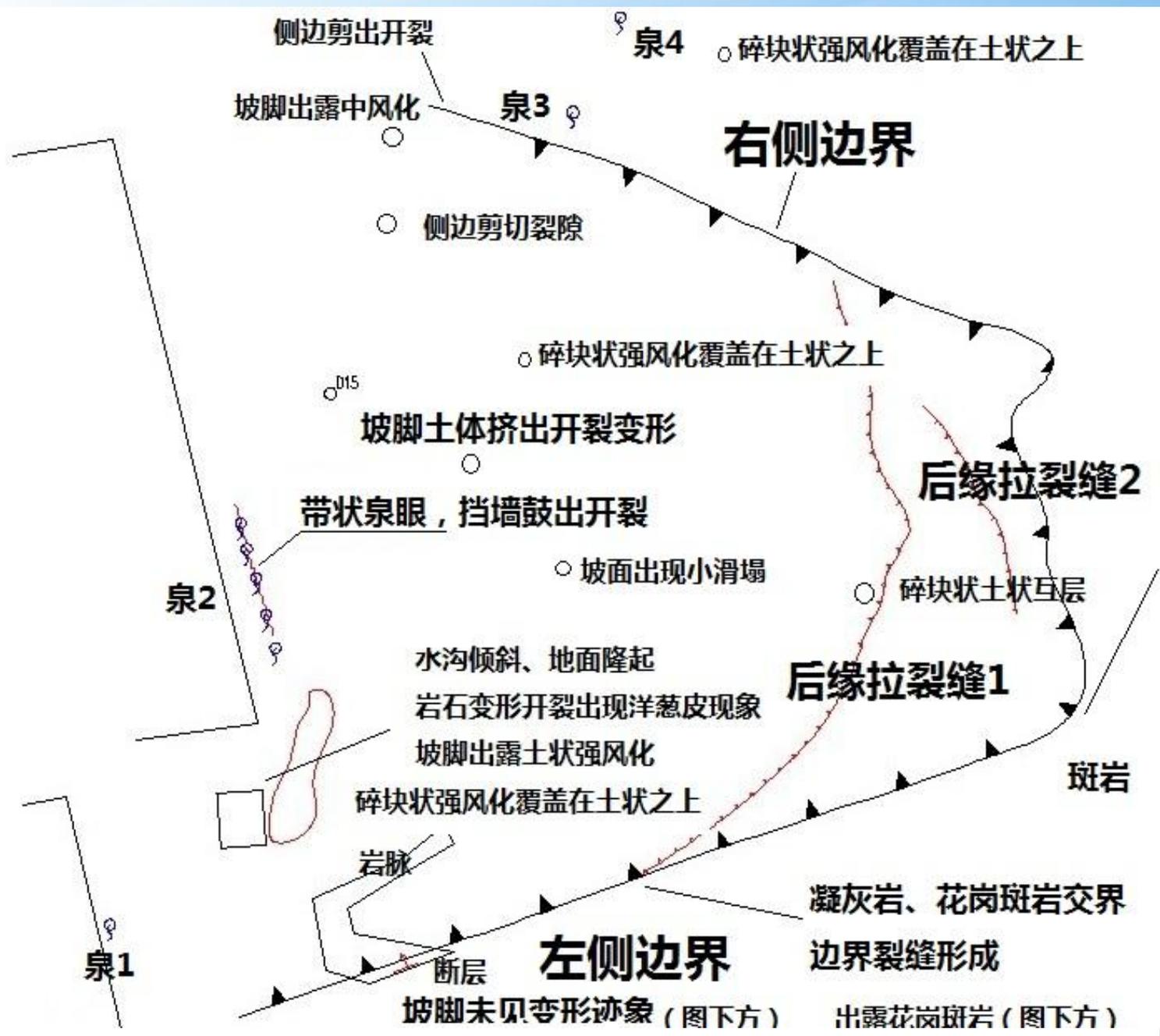
- (1) 人员伤亡情况;
- (2) 直接和间接经济损失;
- (3) 地质环境破坏情况;
- (4) 社会影响。
- (5) 滑坡过程 (时间、降雨、变形等)











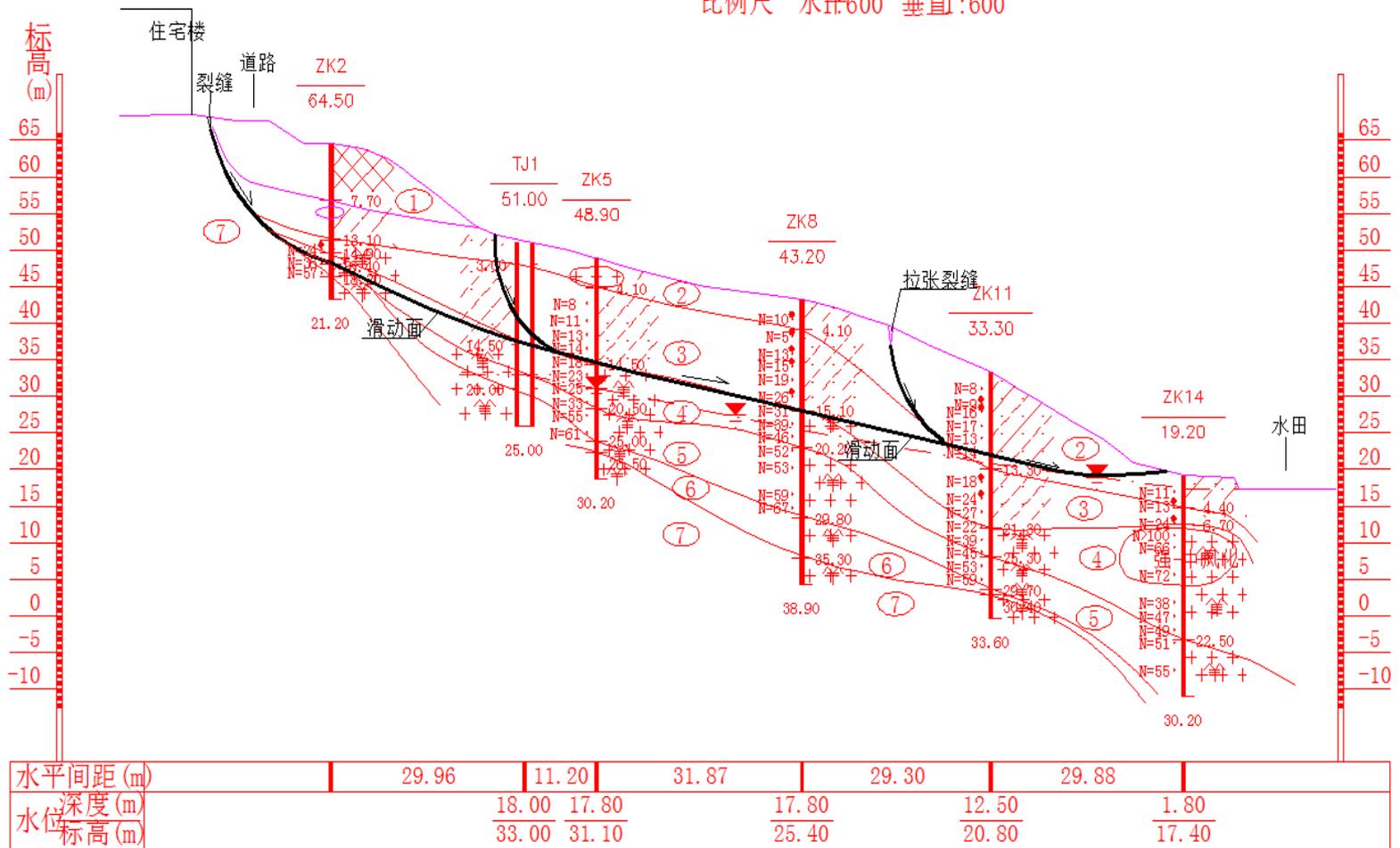
勘探手段单一，大部分只采取钻探，可是钻探质量又不高

滑坡控制性勘察阶段探井、探洞数量占钻孔、探井、探洞总数的比例不宜小于 $1/5$ ；详细勘察阶段探井、探洞数量占钻孔、探井、探洞总数的比例不宜小于 $1/4$ 。对深层、超深层滑坡可适当减少，但不应少于 $1/5$ 。

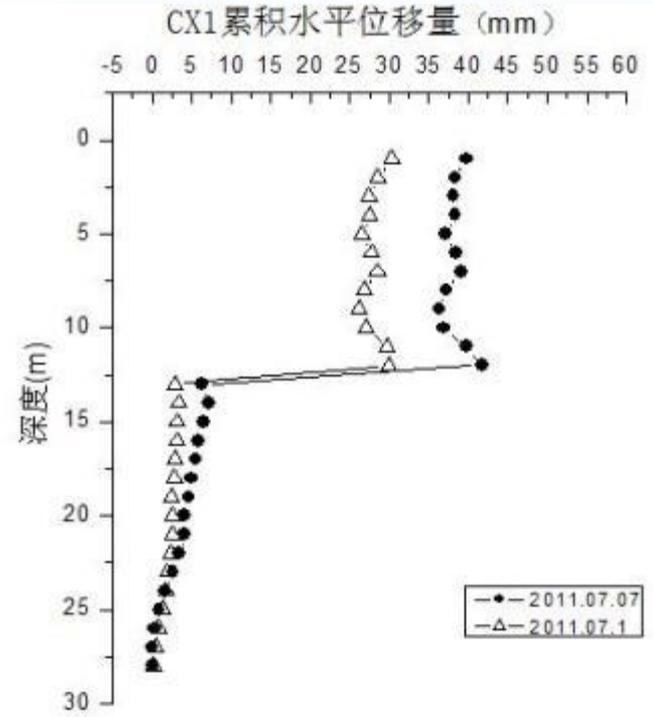


2-2'工程地质剖面图

比例尺 水平:600 垂直:600









稳定性计算与评价的不合理

1、设计计算工况模糊

附录E 滑坡稳定性安全系数
(规范性附录)

E.0.1 滑坡荷载及强度标准

1. 作用于滑坡体上的荷载

- (1)滑坡体自重;
- (2)滑坡体上堆载、建筑物等产生的附加荷载;
- (3)地下水产生的静水压力和动水压力等荷载;
- (4)动荷载, 如地震荷载、车辆荷载等;
- (5)暴雨、河水位。

2 滑坡稳定性计算暴雨和地震荷载强度取值标准参见表E.0.1。

表E.0.1 滑坡稳定性计算荷载强度标准表

| 滑坡治理 工程级别 | 暴雨强度重现期/a | | 地震荷载(年超越概率 10%) | |
|--------------|-----------|-----|--------------------|----|
| | 设计 | 校核 | 设计 | 校核 |
| 一级 | 50 | 100 | 50 | |
| 二级 | 20 | 50 | | |
| 三级 | 10 | 20 | | |



E.0.2 滑坡稳定性安全系数

1 设计工况

选用下述工况中最不利工况，作为滑坡稳定性计算工况：

工况1：自重

工况2：自重+地下水

工况3：自重+暴雨+地下水

工况4：自重+地震+地下水

2 滑坡稳定性安全系数

根据不同工况条件，滑坡稳定性安全系数取值推荐如下（表E.0.2）。

| 防治工程等级 | 一级 | | | | 二级 | | | | 三级 | | | |
|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 设计 | | 校核 | | 设计 | | 校核 | | 设计 | | 校核 | |
| 设计 工况 | 工 况 1 | 工 况 2 | 工 况 3 | 工 况 4 | 工 况 1 | 工 况 2 | 工 况 3 | 工 况 4 | 工 况 1 | 工 况 2 | 工 况 3 | 工 况 4 |
| 设计安 全系数 | 1.35 | 1.3 | 1.1 5 | 1.1 5 | 1.3 0 | 1.2 5 | 1.1 0 | 1.1 0 | 1.2 5 | 1.2 0 | 1.0 5 | 1.0 5 |



建筑边坡规范2013

表 5.3.2 边坡稳定安全系数 F_{st}

| 边坡工程 安全等级 | | 稳定安全系数 | | |
|--------------|------|--------|------|------|
| | | 一级 | 二级 | 三级 |
| 边坡类型 | | 一般工况 | 地震工况 | |
| 永久边坡 | 一般工况 | 1.35 | 1.30 | 1.25 |
| | 地震工况 | 1.15 | 1.10 | 1.05 |
| 临时边坡 | | 1.25 | 1.20 | 1.15 |

- 注：1 地震工况时，安全系数仅适用于塌滑区内无重要建构筑物的边坡；
 2 对地质条件很复杂或破坏后果极严重的边坡工程，其稳定安全系数应适当提高。



建筑边坡规范2013

5.3.2 由于建筑边坡规模较小，一般工况中采用的安全系数又较高，所以不再考虑土体的雨季饱和工况。对于受雨水或地下水影响大的边坡工程，可结合当地做法，按饱和工况计算，即按饱和重度与饱和状态时的抗剪强度参数。

规范中边坡安全系数是按通常情况确定的，特殊情况（如坡顶存在安全等级为一级的建构筑物，存在油库等破坏后有严重后果的建筑边坡）下安全系数可适当提高。

↵



2、稳定性计算和滑坡推力计算不合理

1) 堆积层（包括土质）滑坡。包括二种滑动面类型：

——滑动面为折线形

用传递系数法（隐式解）进行稳定性评价和推力计算，用摩根斯坦-普赖斯法（Morgenstern-Price）等方法进行校核。

——滑动面为单一平面或圆弧形

用毕肖普法（Bishop）进行稳定性评价和推力计算，用摩根斯坦-普赖斯法（Morgenstern-Price）等方法进行校核。

2) 岩质滑坡

用平面极限平衡法(隐式解)进行稳定性评价和推力计算。



建筑边坡规范2013

5.2.4 对于圆弧形滑动面，本规范建议采用简化毕肖普法进行计算，通过多种方法的比较，证明该方法有很高的准确性，人。以往广泛应用的瑞典法，虽然求解简单，但计算误差较大，过于安全而造成浪费，所以瑞典法不再列入规范。

对于折线形滑动面，本规范建议采用传递系数隐式解法。传递系数法有隐式解与显式解两种形式。显式解的出现是由于当时计算机不普及，对传递系数作了一个简化的假设，将传递系数中的安全系数值假设为 1，从而使计算简化，但增加了计算误差。同时对安全系数作了新的定义，在这一定义中当荷载增大时只考虑下滑力的增大，不考虑抗滑力的提高，这也不符合力学规律。因而隐式解优于显式解，当前计算机已经很普及，应当回归到原来的传递系数法。



建筑边坡规范2013

无论隐式解与显式解法，传递系数法都存在一个缺陷，即对折线形滑面有严格的要求，如果两滑面间的夹角（即转折点处的两倾角的差值）过大，就会出现不可忽视的误差。因而当转折点处的两倾角的差值超过 10° 时，需要对滑面进行处理，以消除尖角效应。一般可采用对突变的倾角作圆弧连接，然后在弧上插点，来减少倾角的变化值，使其小于 10° ，处理后，误差可以达到工程要求。

对于折线形滑动面，国际上通常采用摩根斯坦-普赖斯法进行计算。摩根斯坦-普赖斯法是一种严格的条分法，计算精度很高，也是国外和国内水利水电部门等推荐采用的方法。由于国内许多工程界习惯采用传递系数法，通过比较，尽管传递系数法是一种非严格的条分法，如果采用隐式解法且两滑面间的夹角不大，该法也有很高的精度，而且计算简单，国内广为应用，我国工程师比较熟悉，所以本规范建议采用传递系数隐式解法。在实际工程中，也可采用国际上通用的摩根斯坦-普赖斯法进行计算。



(一) 传递系数法显示解公式

传递系数法是采用投影法建立的一个力的平衡方程。

《岩土工程勘察规范》、《建筑边坡工程技术规范》、《滑坡防治工程勘察规范》中采用的是显示解：

$$K_s = \frac{\sum R_i \psi_i \psi_{i+1} \cdots \psi_{n-1} + R_n}{\sum T_i \psi_i \psi_{i+1} \cdots + T_n}, (i = 1, 2, 3 \cdots, n-1)$$

$$\psi_i = \cos(\theta_i - \theta_{i+1}) - \sin(\theta_i - \theta_{i+1}) \operatorname{tg} \varphi_i$$

对存在地下水作用时，稳定性分析应考虑地下水的作用：

- 1、水下（浸润线）部分岩土体重度取浮重度；
- 2、第*i*计算条块岩土体所受的动水压力 P_{wi} 按下式计算：



(一) 传递系数法显示解公式

$$P_{wi} = r_w V_i \sin \frac{1}{2} (a_i + \theta_i)$$

分子：各条块抗滑力之和

分母：各条块下滑力之和。

1、公式是按逐块投影法进行推导，其数学逻辑是正确的。按公式可理解为：滑体各条块下滑力传递至最末条块之剩余下滑力和最末条块下滑力之和与滑体各条块抗滑力传递至最末条块之剩余抗滑力和最末条块抗滑力之和的绝对值之比。但忽略了各条块之下滑力和抗滑力在传递过程中的相互作用关系。

在某一平行于条块分界面的竖直分界面位置，若满足条件：剩余下滑力 ≤ 0 、靠滑坡前缘一侧条块下滑力 > 0 ，则该竖直分界面靠滑坡后缘一侧各条块的下滑力和抗滑力均不再向下传递。



2、动水压力对滑体的稳定性是不利的。在动水压力计算公式中，当第*i*计算条块底面倾角为负值（向下）且绝对值大于第*i*计算条块地下水位面倾角时，所产生的动水压力方向指向上为一抗滑力，这违背了动水压力性质。



(二) 传递系数法隐式解

$$F_s = W_i \sin \alpha_i + \psi_{i-1} F_{i-1} - \frac{W_i \cos \alpha_i + C_i L_i}{F_s}$$

隐式解中是对滑体下滑力进行折减，经多交迭代使滑体未条块剩余下滑力等于零时的系数（ F_s ）即为滑坡稳定性系数。

传递系数法显式解和隐式解有如下关系：

- 1、当稳定性系数小于1.0时，稳定性系数的显式解小于隐式解；
- 2、当稳定性系数等于1.0时，稳定性系数的显式解等于隐式解；
- 3、当稳定性系数大于1.0时，稳定性系数的显式解大于隐式解。



验证滑面抗剪强度指标的反演分析法

滑坡反演分析依据的原理是，当荷载条件和滑面抗剪强度参数与滑坡的实际情况一致时，边坡的理论最小稳定系数接近于1，而略小于1；当荷载条件和滑面抗剪强度参数与滑坡的实际情况一致时，与边坡的理论最小稳定系数接近1，而略小于1 相对应的最危险滑面，与滑坡的实际滑面一致。

一般采用滑坡实测体形及滑面位置进行反演分析。近期复活的古滑坡及处于滑动阶段的新生滑坡，稳定系数取0.95—1.00；处于基本稳定、滑后稳定及蠕动阶段的滑坡，稳定系数取1.00~1.05。

根据降雨情况下发生滑坡的反演结果，代表滑面湿润至饱和情况下临滑时的抗剪强度，接近峰值。滑后仍在变形则宜采用蠕动阶段下的实测滑坡体形、滑面位置进行反演分析，得出的抗剪指标接近残余值。

反演分析结果只代表整个滑面力学参数的平均指标。由于滑面各部位性质有差别，使用同一力学参数有时会引起较大误差。为消除这一影响，可先用试验方法或参考经验数据，确定牵引段及抗滑段指标，只反算埋深较大的主滑段的力学参数。



计算参数选取

| 稳定状态 | | 试验方法 | | |
|-----------|-----|----------|----------|--------|
| | | 滑带峰值抗剪强度 | 滑带残余抗剪强度 | 滑体抗剪强度 |
| 稳定 | 未滑动 | ※ | | |
| | 曾滑动 | | ※ | |
| 基本稳定 | 未滑动 | ※ | | |
| | 曾滑动 | | ※ | |
| 欠稳定 | | | ※ | |
| 不稳定 | | | ※ | |
| 未形成滑带的变形体 | | | | ※ |

8.2.7 岩（土）体抗剪强度指标标准值取值时应根据滑坡所处变形滑动阶段及含水状态分别选用峰值强度指标、残余强度指标，或两者之间的强度指标；以及天然强度指标、饱和强度指标，或两者之间的强度指标。



原则上要求滑体、滑面、滑床天然剪和饱和剪都必须做 建筑边坡规范2013

4.3.5 边坡稳定性计算应根据不同的工况选择相应的抗剪强度指标。土质边坡按水土合算原则计算时，地下水位以下宜采用土的饱和自重固结不排水抗剪强度指标；按水土分算原则计算时，地下水位以下宜采用土的有效抗剪强度指标。

参数反演

抗剪强度指标反分析应在具备反分析条件的前提下进行。进行反分析时应根据滑坡所处演变阶段确定滑坡稳定性系数 F^S 值。对处于强变形阶段的滑坡， F^S 可取1.01~1.05；对处于滑动阶段的滑坡， F^S 可取0.95~1.00；对处于弱变形阶段的滑坡滑面 c 、 ϕ 值不应低于根据 F^S 为1.05反算出的结果。当采用两条剖面进行联合求解时，两条剖面的 F^S 值应相当。



参数反演

根据滑带不同土质，采用综合C法、综合 ϕ 法或兼有C、 ϕ 法进行反演分析。

(1) 综合C法

滑带为饱和黏性土，为粗颗粒含量较少且被黏性土包裹、滑动时粗颗粒不相互接触，排水困难的滑坡，其滑面抗剪强度主要由黏聚力C控制。可将摩阻力的实际作用纳入综合黏聚力C的指标内，采用综合C反演分析法。

圆弧形滑面(图2)的综合黏聚力C值由下式求出：

$$K = \frac{w_2 \cdot d_2 + C \cdot L \cdot R}{w_1 \cdot d_1} \quad (2)$$

式中：K 为稳定系数，根据所处滑动阶段取 0.95—1.05；C 为极限平衡条件下，滑面的综合黏聚力(kPa)；R 为滑动圆弧半径(m)； W_1 、 W_2 为滑面圆心铅垂线(OA)两侧的滑体下滑部分、阻滑部分的重力(kPa)；L 为滑面长度(m)； d_1 、 d_2 分别为 W_1 、 W_2 重心至滑面圆心铅垂线的水平距离(m)。

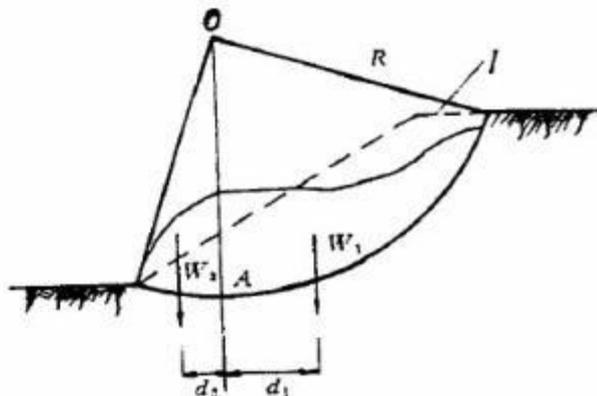


图2 圆弧滑动面

1-滑动前地面



折线形滑面(图 3)根据主轴断面上折线变坡点,将滑体分为若干条块,将各条块的下滑力与抗滑力投影到水平面上。其综合黏聚力 C 值按下式计算。

$$K = \frac{\Sigma T_R + \Sigma C_R}{\Sigma T_C} \quad (3)$$

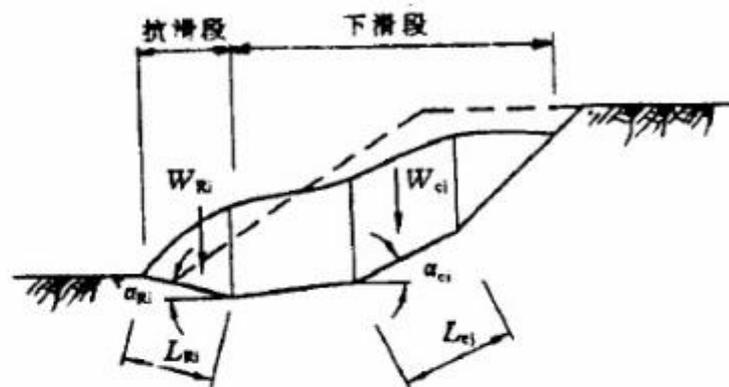


图 3 折线形滑动面

$$\Sigma T_R = \Sigma W_{Ri} \cdot \sin \alpha_{Ri} \cdot \cos \alpha_{Ri}$$

$$\Sigma C_R = C \cdot \Sigma (L_{Ri} \cdot \cos \alpha_{Ri} + L_{cj} \cdot \cos \alpha_{cj})$$

$$\Sigma T_C = \Sigma W_{cj} \cdot \sin \alpha_{cj} \cdot \cos \alpha_{cj}$$

式中: ΣT_R , ΣT_C 分别为滑体抗滑段的抗滑力、下滑段下滑力的水平投影; ΣC_R 为滑面黏聚力的水平投影; W_{Ri}, W_{cj} 分别为阻滑段、下滑段滑体重力 (kN); α_{Ri}, α_{cj} 分别为阻滑段、下滑

段的滑面倾角($^{\circ}$)； L_{Ri}, L_{cj} 分别为阻滑段，下滑段的滑面长度(m)。

(2) 综合 ϕ 法

滑带土为断层错动带或错落带等的风化破碎岩屑组成，或为硬质岩的风化残积层时，粗颗粒含量大，在滑动中可排水。滑面的抗剪能力主要取决摩擦力，黏聚力很小；可将黏聚力的实际作用纳入综合 ϕ 值的指标内。这类滑坡具有折线形滑面，可按下式反演得出综合 ϕ 值。

$$K = \frac{\sum W_{Ri} \sin \alpha_{Ri} \cdot \cos \alpha_{Ri} + \operatorname{tg} \phi (\sum W_{Ri} \cdot \cos^2 \alpha_{Ri} + \sum W_{cj} \cdot \cos^2 \alpha_{cj})}{\sum W_{cj} \cdot \sin \alpha_{cj} \cdot \cos \alpha_{cj}} \quad (4)$$

式中： ϕ 为滑面的综合摩擦角($^{\circ}$)；其他同公式 3。

(3) C、 ϕ 法

滑带土由粗细颗粒混合组成，其滑面抗剪强度需同时考虑 C、 ϕ 两个抗剪强度参数影响，采用下述 C、 ϕ 反演分析方法。



方法 1: 在同一次滑动中, 找出两邻近的瞬间滑动计算断面, 建立两个反算式联立求解。

方法 2: 根据同一断面位置、不同时间, 条件有差异的两次滑动瞬间计算断面, 建立两个反算式联立求解。

方法 3: 根据滑面土质及滑动瞬间含水情况、抗剪强度试验成果及相类似滑带土强度的经验数据(表 5), 定出其中一个参数值(C 或 ϕ 值), 反算另一个参数值。当滑带土以黏性土为主时, 可先定 ϕ 值; ϕ 值较可靠, 宜用偏大值, 用下式反求 C 值。当滑带土以碎石土或砂性土为主时, C 值主要由嵌锁效应产生, 宜先按滑体土层厚度确定相应 C 值, 再用下式反算 ϕ 值。

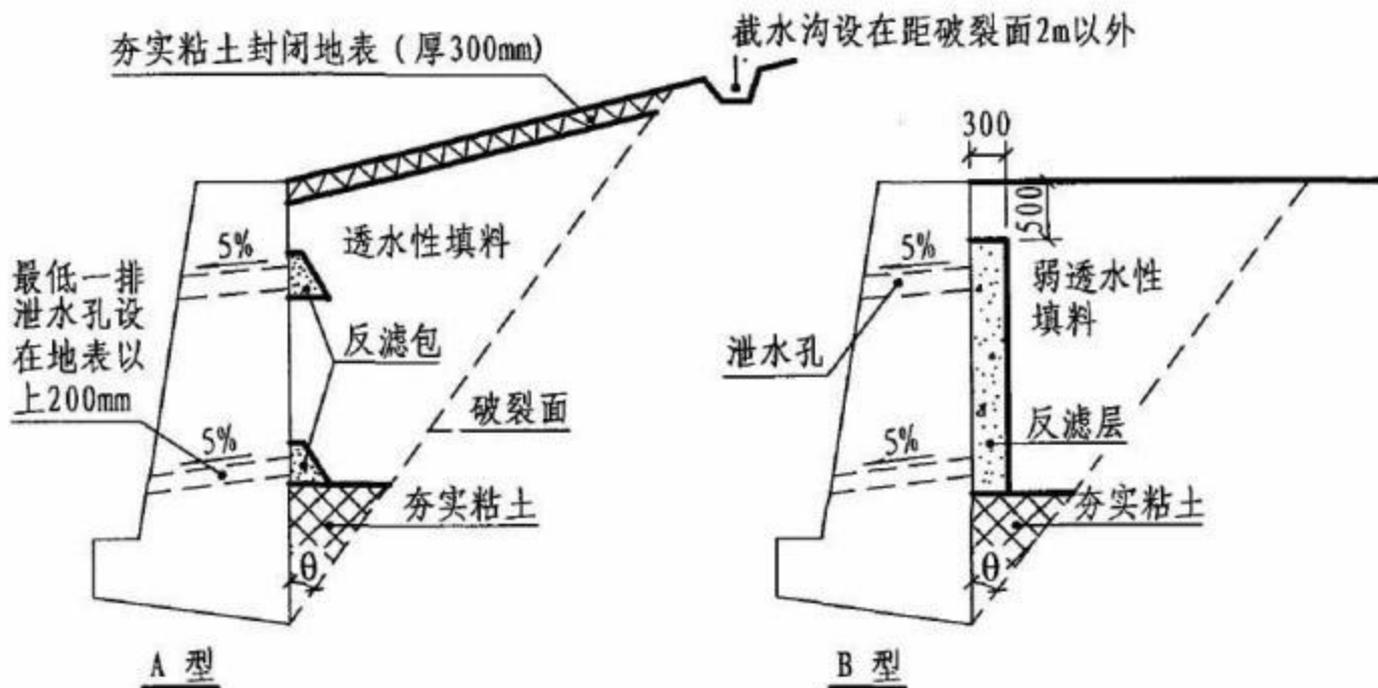
$$K = \frac{\sum W_{Ri} \cdot \sin \alpha_{Ri} + \operatorname{tg} \phi (\sum W_{Ri} \cdot \cos^2 \alpha_{Ri} + \sum W_{cj} \cdot \cos^2 \alpha_{cj}) + C \cdot \sum (L_{Ri} \cdot \cos \alpha_{Ri} + L_{cj} \cdot \cos \alpha_{cj})}{\sum W_{cj} \cdot \sin \alpha_{cj} \cdot \cos \alpha_{cj}}$$

(5)



4、滑坡排水设计不够完善

| | |
|--------|---|
| 截、排地表水 | 几乎适用于各类滑坡的防治，尤其适于滑坡变形与降雨有密切关系、透水性强的土质滑坡的防治。 |
| 疏、排地下水 | 几乎适用于各类滑坡的防治，尤其适用于滑坡变形与降雨有密切关系、地下水量丰富的滑坡的防治，常与地表排水工程结合使用。 |



5.1.3.4 为排出滑体内地下水，可采用仰斜排水孔导水，如图5.1.3.4。

1 仰斜排水孔钻孔孔径150~300mm，仰角不宜小于 5° 。

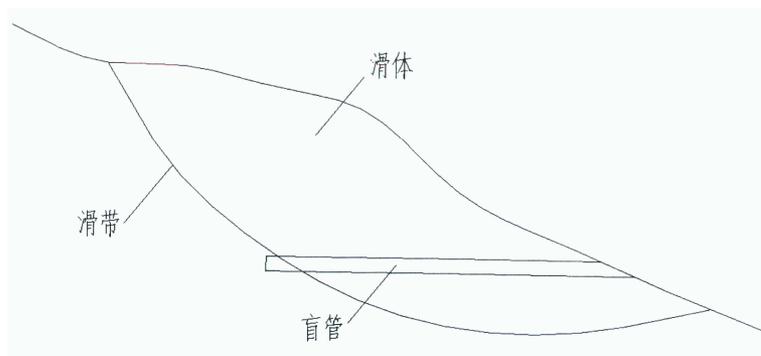


图5.1.3.4 仰斜排水孔导水

2 仰斜排水孔钻孔宜干钻，钻进中，采用导管跟孔钻进，待安放软式透水管或圆形塑料盲沟后，将导管拔出，仰斜排水孔宜穿过滑动带不少于2000mm。软式透水管或圆形塑料盲沟口径不小于90mm。

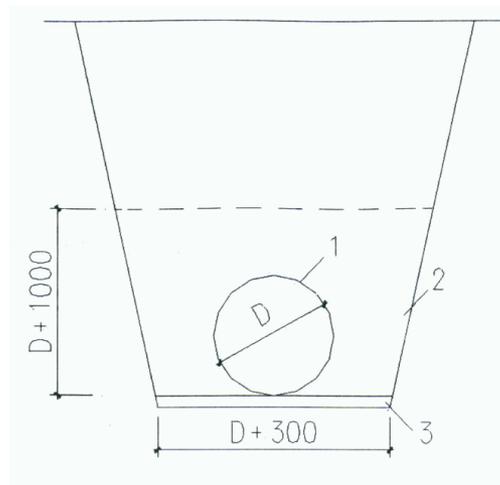
3 仰斜排水孔的间隔最好不大于6米；原始地形为山谷或发现泉眼等地下水露头地段应加密布设。

4 仰斜排水孔的深度要进入到强风化、中风化等渗透性较好的岩土体中。排水孔一般情况下为仰斜或水平；当渗透性较好地层埋藏较深时，为确保排水通畅，快速有效降低地下水水位，布设排水工程位置和排水孔角度可俯斜甚至垂直向下。

5 应在坡面设置排水沟，将仰斜排水孔从滑体内排出的水排出滑体外。



5.1.3.5 对于浅层滑坡，可设置排水盲沟排除深层地下水。从坡面开挖沟槽，安放带孔排水管后，再回填，如图5.1.3.5。排水管纵坡 $i=3\% \sim 5\%$ ，管内径一般取 $200 \sim 400\text{mm}$ ，宜用圆形或方形塑料盲沟。



注：1、塑料盲沟；2、透水性回填料；3、不透水或透水层。

图5.1.3.5 排水盲沟

排水管周围应回填透水性材料，管两侧的回填料，宽度不宜少于 500mm 。透水性回填料，可采用粒径 $5 \sim 40\text{mm}$ 的碎石或砾石。

5.1.3.6 枯水季节勘查未发现地下水不等于降雨情况下坡体内没地下水，为确保降雨情况下地下水能尽快排出，后山有汇水条件下均应布设地下排水工程。

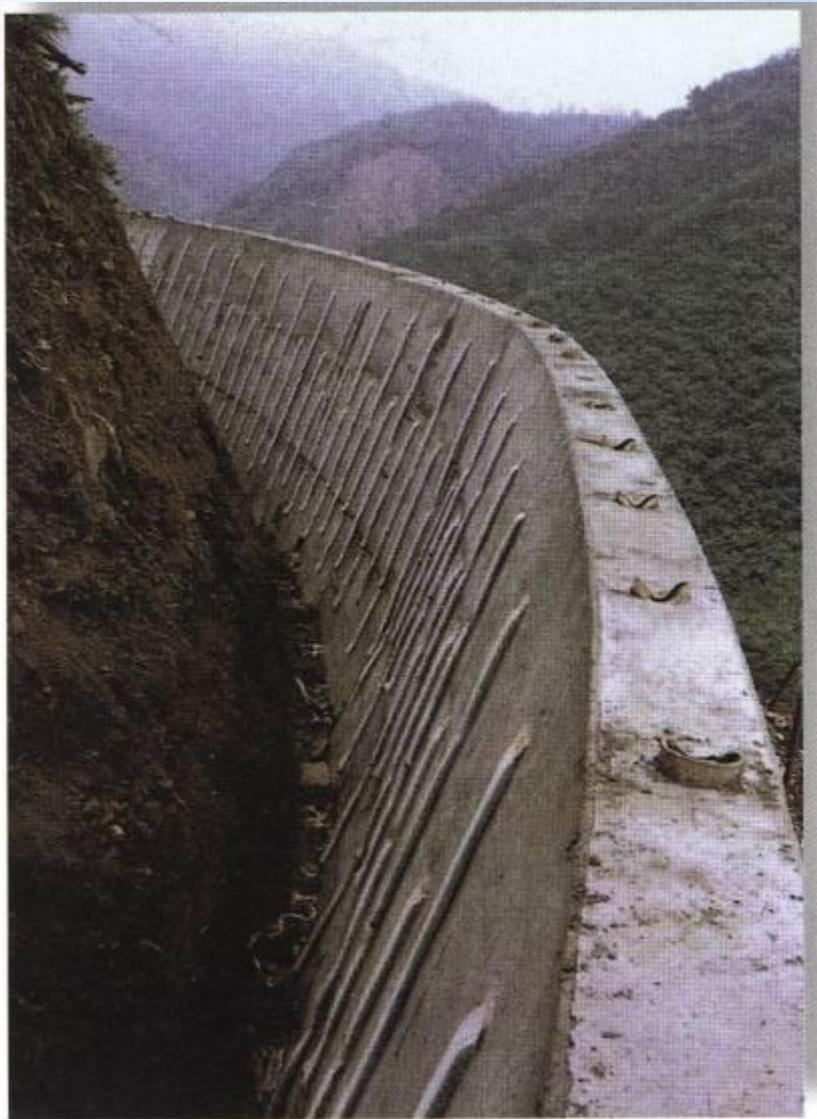




塑料盲沟；



软式透水管







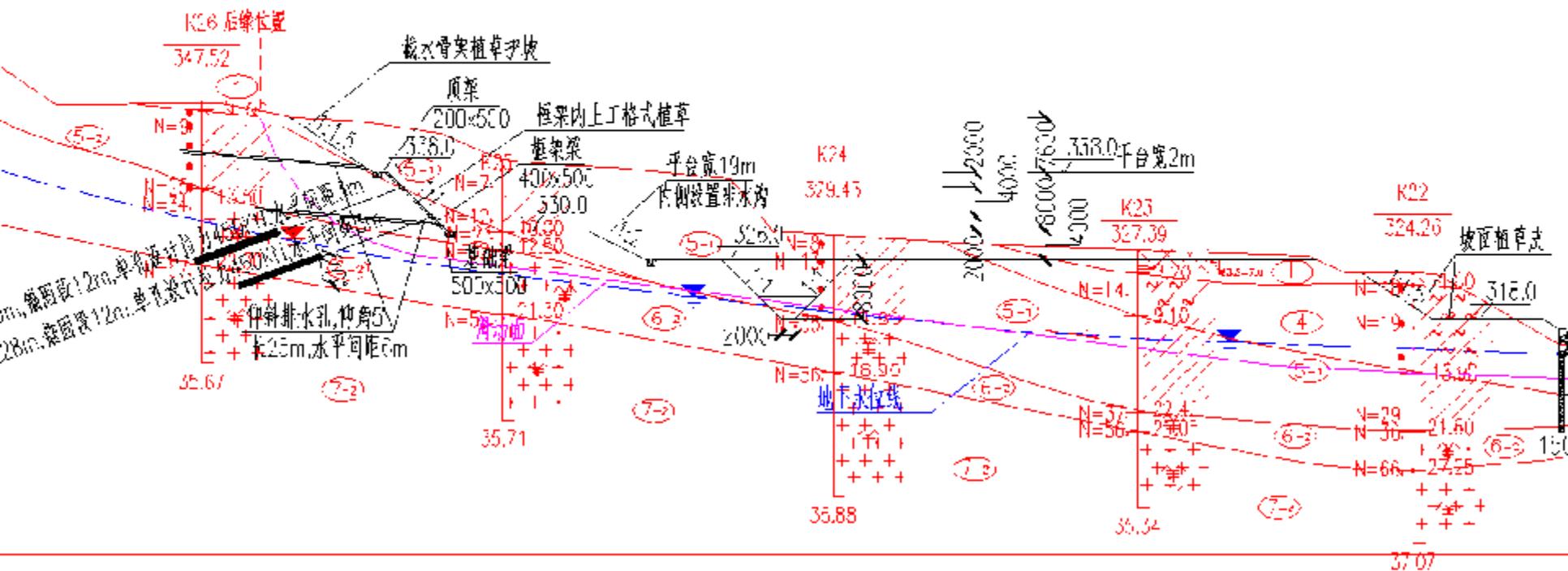








6-6'剖面图
1:1000











5、抗滑支挡措施不尽合理



6、不重视滑坡治理过程中的施工勘察；









谢谢!