

# 三峡库区三期地质灾害防治工程 地质勘察技术要求

三峡库区地质灾害防治工作指挥部

二〇〇四年十二月

# 目 录

0 前 言 .....	1
1 总 则 .....	2
2 基本规定 .....	3
2.1 地质灾害分类.....	3
2.2 地质灾害危害程度及地质复杂程度分级 .....	5
2.3 勘查阶段的划分 .....	6
2.4 勘查设计 .....	7
3 地形测量主要技术要求.....	9
3.1 作业技术依据 .....	9
3.2 测区采用的坐标系统及成图规格 .....	9
3.3 平面和高程控制测量 .....	9
3.4 地形测量 .....	11
3.5 剖面测量 .....	11
3.6 钻孔等勘探点工程测量 .....	12
3.7 重要野外地质观测点、物探控制点测量 .....	12
3.8 上交资料成果 .....	12
4 工程地质测绘 .....	13
4.1 滑坡工程地质测绘与调查 .....	13
4.2 崩塌（危岩体）工程地质测绘与调查 .....	16
4.3 塌岸工程地质测绘与调查 .....	17
5 勘探 .....	19
5.1 滑坡工程地质勘探 .....	19
5.2 危岩体（崩塌）工程地质勘探 .....	31
5.3 塌岸工程地质勘探 .....	33
6 试验 .....	36
6.1 一般规定 .....	36
6.2 滑坡试验 .....	36

6.3	崩塌（危岩体）试验	40
6.4	塌岸试验	41
6.5	测试结果统计	42
7	稳定性分析与评价	43
7.1	滑坡稳定性分析与评价	43
7.2	危岩稳定性评价	46
7.3	塌岸预测与评价	48
8	监测	49
8.1	一般规定	49
8.2	监测内容	49
8.3	监测方法的选择	50
8.4	监测网点的布设	50
8.5	监测周期及监测精度	51
8.6	监测资料整理分析	51
9	勘查成果	52
9.1	一般要求	52
9.2	滑坡勘查成果	52
9.3	危岩（崩塌）勘查成果	61
9.4	塌岸勘查成果	66
9.5	提交成果要求：	72
10	施工地质工作	74
11	规范性附录	75
11.1	地质灾害勘查物探常用方法技术要求	75
12	资料性附录	85
12.1	崩滑体稳定性野外评价指标	85
12.2	滑坡发育阶段划分	87
12.3	滑坡刚体极限平衡稳定性分析基本方法	88
12.4	危岩稳定性评价	92
12.5	塌岸预测	98
12.6	滑坡涌浪计算方法	102

12.7	库区泥岩岸坡统计参数表 .....	108
12.8	三峡水库运行特征 .....	111
12.9	三峡库区长江干流各断面水位表 .....	113
12.10	三峡库区长江干流各断面土地征用线和分期移民迁移线水位表 .....	116
12.11	三峡库区长江支流各断面土地征用线和分期移民迁移线水位表 .....	121
12.12	钻孔验收表 .....	127
13	参考资料 .....	128
13.1	滑坡滑面(带)的判识 .....	128
13.2	滑带、滑面及其抗剪强度 .....	133
13.3	滑坡稳定性分析 .....	144

## 0 前 言

在三峡库区二期地质灾害防治工作中，国土资源部、湖北省及重庆市等有关部门，根据三峡库区地质灾害防治工程的特点，提出了相关规定或技术要求并在三峡库区二期地质灾害防治中逐步应用。为使三峡库区三期地质灾害防治工程地质勘查有统一的技术要求，按照国家发展与改革委员会和三峡库区地质灾害防治工作领导小组办公室的有关指示，在总结三峡库区二期地质灾害治理工程地质勘查经验的基础上，特编制《三峡工程库区三期地质灾害防治地质勘察技术要求》（以下简称《勘察技术要求》）。

《勘察技术要求》以现行国家有关地质灾害勘查规范的有关规定为主，并吸取了现行的有关地质灾害勘查的行业标准和地方标准中合理的内容（凡列入的参照规范或标准，均在该条款后予以注明）。

《勘察技术要求》主要引用和参考的规范规程有：

- 1) 中华人民共和国国家标准，《岩土工程勘察规范》【GB 50021-2001】；
- 2) 中华人民共和国国家标准，《建筑边坡工程技术规范》【GB 50330-2002】；
- 3) 中华人民共和国国家标准，《水利水电工程地质勘察规范》【GB 50287-99】；
- 4) 中华人民共和国国家标准，《工程测量规范》【GB 50026—93】；
- 5) 中华人民共和国国家标准，《工程岩体试验方法标准》【GB/T50266—99】；
- 6) 中华人民共和国国家标准，《土工试验方法标准》【GB/T50123—99】；
- 7) 中华人民共和国行业标准，《铁路工程地质勘察规范》【TB 10012-2001】；
- 8) 中华人民共和国行业标准，《水利水电工程地质测绘规程》【DL/T 5185-2004】；
- 9) 中华人民共和国行业标准，《堤防工程地质勘察规程》【SL / T188—96】；
- 10) 中华人民共和国行业标准，《铁路工程不良地质勘察规程》【TB10027—2001 / J125—2001】；
- 11) 中华人民共和国行业标准，《公路工程地质勘察规范》【JTJ 064-98】；
- 12) 重庆市地方标准，《地质灾害防治工程勘察规范》【DB50/143-2003】；

《勘察技术要求》主编单位为三峡库区地质灾害防治工作指挥部，参编单位为中国地质大学（武汉）、三峡大学和中国地质调查局水文地质工程地质技术方法研究所。主要起草人：徐开祥、邓清录、简文星、殷坤龙、郭其达、黄学斌、付小林、程温鸣、晏鄂川、易庆林、吴益平、彭光忠、郭建强、孙党生、郭满长、高新平。

# 1 总 则

1.1 为使三峡库区三期地质灾害防治工程勘查有统一的技术标准，达到勘查手段适当、工作量经济合理并确保成果质量的目标，制定《勘察技术要求》。

1.2 本《勘察技术要求》只适用于三峡库区三期滑坡、崩塌及库岸防治工程地质勘查。

1.3 三峡库区地质灾害防治工作要充分贯彻落实“以人为本、预防为主、合理避让、重点治理”的指导思想。

1.4 由于三峡工程三期蓄水提前一年，使三期地质灾害防治时间十分紧迫，为加快速度，三期地勘工作按以下要求实施：

（一）对于已明确必须紧急工程治理项目，在已完成的规前勘查的基础上，将可研和初步设计阶段勘查两阶段合并，达到详勘深度要求。

在勘查过程中，根据设计需要，及时提出中间性勘查成果，供设计单位及时研究防治方案。勘查单位应结合防治方案的工程布置，及时调整原勘查设计，使勘查成果满足防治工程初步设计的需要。

（二）对于其它勘查项目，按正常勘查阶段实施

应首先完成并及时提交可研勘查报告，满足可行性研究的要求，以尽快确定工程治理的必要性和可行性为防治工程决策提供依据。此后则根据可研后的决策决定是否进行下一阶段的勘查，以及相应的工作安排及成果提交。

1.5 三期勘查应充分利用规前勘查的成果资料，进一步分析规前勘查稳定性初步评价和防治工程建议方案，研究勘查方案的布设。

1.6 三期勘查工作中，应加强勘查手段的综合利用，勘查资料的综合分析，稳定性的综合评价，提高勘查成果的质量和水平，为地质灾害防治工程设计提供可靠的地质依据。

1.7 《勘察技术要求》侧重三峡库区地质灾害防治的特点而制定，没有提及的一些通用要求如术语、符号、岩土分类以及归档要求等遵照国家及部门有关标准执行。

## 2 基本规定

### 2.1 地质灾害分类

列入三峡库区第三期地质灾害防治规划的地质灾害包括滑坡、崩塌（危岩体）、塌岸三类。

#### 2.1.1 滑坡分类

根据滑坡体物质组成、形成原因、滑动形式及规模等，可按表 2-1 对滑坡进行分类。

表 2-1 一般滑坡分类表

划分依据	名称类别	特 征 说 明
物质组成	土质滑坡	发生在冲积、洪积、坡积、崩积、残积等松散层中的滑坡
	岩质滑坡	发生在基岩中的滑坡
滑面与岩层面关系	顺层滑坡	沿层面滑动的滑坡，发生在岩层倾向与坡向一致，且倾角<坡角；残、坡积物顺着下部基岩层面滑动的滑坡，亦属顺层滑坡。
	切层滑坡	滑动面与岩层面相切，常沿倾向山外的一组软弱结构面发生，多分布在逆向坡或近水平岩层的斜坡。
滑体厚度	浅层滑坡	滑坡体厚度≤10m
	中层滑坡	滑坡体厚度 10m~25m
	深层滑坡	滑坡体厚度 25m~50m
	超深层滑坡	滑坡体厚度>50m
始滑部位及运移形式	推移式滑坡	始滑部位位于滑坡后缘，主要动力来自滑坡后部的加载
	牵引式滑坡	始滑部在滑坡前缘，主要原因是坡脚受河流冲刷或人工开挖
	混合式滑坡	始滑部位前、后缘结合、共同作用
诱发因素	工程滑坡	由施工开挖、建筑物加载和水库蓄水等工程活动引起的滑坡
	自然滑坡	由自然地质作用产生的滑坡
形成年代	新滑坡	全新始以来、有历史记载或者滑坡形迹清晰、保存完好的滑坡
	老滑坡	晚更新世以来、无历史记载或滑坡形迹不清晰的滑坡
	古滑坡	晚更新世以前形成的滑坡(距今 12.5 万年以前)
滑体体积	小型滑坡	$\leq 10 \times 10^4 \text{m}^3$
	中型滑坡	$10 \times 10^4 \text{m}^3 \sim 100 \times 10^4 \text{m}^3$
	大型滑坡	$100 \times 10^4 \text{m}^3 \sim 1000 \times 10^4 \text{m}^3$
	特大型滑坡	$> 1000 \times 10^4 \text{m}^3$
滑坡期次	复活型滑坡	古滑坡、老滑坡整体或局部再次活动
	新生型滑坡	初次发生的滑坡

#### 2.1.2 崩塌（危岩体）分类

崩塌（危岩体）分类见表 2-2。

表 2-2 崩塌（危岩体）分类表（按【DB50/143-2003】，略修改）

划分依据	类 型	特 征 说 明
破坏方式	滑移式崩塌	危岩沿软弱面滑移，于陡崖（坡）处塌落
	倾倒式崩塌	危岩转动倾倒塌落
	坠落式崩塌	悬空或悬挑式岩块拉断、折断塌落
危岩体体积	小型危岩	$<1 \times 10^4 \text{m}^3$
	中型危岩	$10 \times 10^4 \text{m}^3 \sim 1 \times 10^5 \text{m}^3$
	大型危岩	$100 \times 10^4 \text{m}^3 \sim 10 \times 10^5 \text{m}^3$
	特大型危岩	$>100 \times 10^4 \text{m}^3$
危岩体顶端距陡崖（坡）脚高度	低位危岩	$\leq 15\text{m}$
	中位危岩	$15\text{m} \sim 50\text{m}$
	高位危岩	$50\text{m} \sim 100\text{m}$
	特高位危岩	$>100 \text{m}$

### 2.1.3 塌岸分类

塌岸分类见表 2-3。

表 2-3 塌岸分类表（按【DB50/143-2003】，略修改）

划分依据	类 型	特 征 说 明
岸坡岩土类型	岩质岸坡	岩质岸坡在库水的作用下冲蚀、崩塌
	土质岸坡	土质岸坡在库水的作用下坍塌、滑移
	岩土混合岸坡	岩土混合岸坡塌岸在库水的作用下侵蚀、坍塌或滑移
破坏模式	冲蚀、剥蚀型	在水的冲蚀、浪蚀作用下，岸坡后退。一般发生在岩质岸坡风化带或地形坡度较缓的土质岸坡。变化较慢，规模较小。
	坍（崩）塌型	岸坡在水的作用下，基座软化或掏空，土体或被卸荷裂隙分割的岩体向江、河、水库坍（崩）塌。一般发生在地形坡度较陡的土质岸坡或基岩卸荷带岸坡，具突发性。若岩体中顺岸裂隙发育，突发性更强，规模也较大。
	滑移型	在水流作用下，岩土体沿软弱面（带）向江、河、水库整体滑移。往往规模大、位移大、危害大。
塌岸强烈程度	强 烈	塌岸上边界高程高于移民迁建建设最低高程，宽度大于 20m
	较强烈	塌岸上边界高程高于移民迁建建设最低高程，宽度小于 20m
	轻 微	塌岸上边界高程低于移民迁建建设最低高程



## 2.2 地质灾害危害程度及地质复杂程度分级

### 2.2.1 地质灾害危害程度分级

滑坡、崩塌（危岩体）、塌岸按危害程度等级划分三级，见表 2-4。

表 2-4 滑坡、崩塌（危岩体）及塌岸按危害对象和危害损失分级

级别		I	II	III
危害对象		县级和县级以上 迁建城市。	主要迁建集镇、省 道和国道、桥梁。	移民迁建居民点、 一般工矿企业。
受灾 对象 与损 失	危害人数 (人)	>2000	2000~300	<300
	可能 经济损失 (万元)	>10000	10000~2000	<2000

※注：确定防治工程等级，应符合危害对象、危害人数、可能的经济损失三项指标中的两条或两条以上。因特殊情况需要进行等级增减，需要经过专门论证与批准。

### 2.2.1 地质复杂程度分级

#### 1) 滑坡及崩塌（危岩体）地质复杂程度分级

滑坡及崩塌（危岩体）按地质复杂程度划分三级。符合下列 3 个条件或 3 个条件以上者为复杂，2 个条件者为中等，1 个条件或 1 个条件以下者为简单：

- ① 地形地貌复杂：地貌单元超过 2 个、地形起伏变化大、危岩体陡崖高度在 50m 以上；
- ② 岩土组成种类多、变化大、结构复杂；
- ③ 地质构造复杂，滑坡外围及滑床岩体破碎、危岩体不利结构面（包括软弱夹层）3 组以上，卸荷强烈；
- ④ 水文地质条件复杂：有多个含水层、地下水丰富、泉水出露较多。

#### 2) 塌岸地质复杂程度分级

塌岸预测段按地质复杂程度划分三级。符合下列 3 个条件或 3 个条件以上者为复杂，2 个条件者为中等，1 个条件或 1 个条件以下者为简单：

- ① 地形复杂：地形坡陡多变，不利于库岸稳定；
- ② 岸坡岩土组成复杂：土质岸坡土层厚度大、组成变化大，岩质岸坡以软岩为主，或软、硬岩相间；

- ③ 构造复杂：岩体结构面发育、岩体破裂、强风化、倾角小于坡角具软夹层的顺向坡或处于大的断裂破碎带；
- ④ 水文地质条件复杂：岩土体的性质对水较敏感，含水层、隔水层及地下水分布变化较大。

## 2.3 勘查阶段的划分

根据《岩土工程勘察规范》【GB50021-2001】及《水利水电工程地质勘察规范》【GB50287-99】中勘查阶段的划分，崩塌滑坡和塌岸防治工程地质勘查划分为四个阶段：规划阶段、可行性研究阶段、初步设计阶段和施工图阶段。各勘查阶段工作应与相应阶段设计工作深度相适应。由于三期规划阶段勘查（规前勘查）已经完成，因此《勘察技术要求》不包括规划阶段。

### 2.3.1 可行性研究阶段工程地质勘查

在规前勘查的基础上，进行可研勘查，论证对致灾地质体进行工程治理的必要性和可行性。勘查其产出的地质环境、边界条件、规模、岩土体结构、水文地质条件、有关稳定性计算的参数，对稳定性进行分析与计算，并作出综合评价，分析其成灾的可能性、成灾的条件，调查其危害范围及实物指标，分析论证防治的必要性和可行性，进行工程治理与搬迁避让的比较，提出工程防治方案建议。为可行性研究提供必要的地质资料。

### 2.3.2 初步设计阶段工程地质勘查

在充分分析、利用已有资料及可研阶段勘查成果的基础上，根据可研方案设计的工程布置及尚需研究的地质问题，对设计的治理工程轴线、场地和重点部位进行针对性的工程地质勘探和测试，进一步查明边界条件，复核有关物理力学指标及计算参数，为治理工程初步设计提供所需的工程地质资料。对治理工程措施、结构型式、埋置深度和工程施工等提出工程地质方面的要求和建议。

### 2.3.3 施工图设计阶段工程地质勘查

（1）施工图设计阶段应对初步设计审批中要求补充论证的重大工程地质问题进行专门性或复核性勘查，为优化工程设计提供地质依据（【SL/T188-96】，P2，修改）。

（2）地质灾害防治工程施工期间应开展地质工作，对开挖形成的边坡、基坑和洞体进行地质素描、地质编录和检验，验证已有的勘查成果；必要时补充更正勘查结论，并将新的地质信息反馈设计和施工。当勘查成果与实际情况明显不符、不能满足设计施工需要或设计有特殊需要时，应进行施工勘查。施工勘查应充分利用已有施工工程（【DB/50/143-1

2003】，4.3.5）。

## 2.4 勘查设计

2.4.1 勘查单位在开展野外工作之前，应收集和分析工程地区已有的地质资料，进行野外踏勘，了解场地的自然条件和工作条件，编制地质灾害防治工程地质勘查设计（【GB50287—99】，2.0.3）。

2.4.2 三期地质灾害防治勘查是在三期规前勘查（调查）的基础上进行的，要充分收集研究和利用三期规前勘查（调查）成果，避免重复工作，减少相应的勘查工程量。

2.4.3 设计书必须在2.4.1和2.4.2工作的基础上，根据任务书（或委托书）的有关规定进行认真编写，完成后报业主单位审批。

2.4.4 勘查过程中可以根据具体情况适当变更勘查设计，重大勘查设计变更应履行勘查设计审批程序，主管部门批准后实施。

2.4.5 地质灾害防治工程勘查设计书内容（据【DB50/143—2003】，附录A，略修改）。

地质灾害防治工程勘查设计书宜有以下主要内容：

- （一）前言，包括勘查依据、目的任务、前人研究程度、执行技术标准、勘查范围、防治工程等级；
- （二）勘查区自然地理条件，包括位置与交通状况、气象、水文、社会经济概况；
- （三）勘查区地质环境概况，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；
- （四）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；
- （五）勘查工作内容、方法、勘查工作部署和勘查工作量，包括勘查工作内容、方法、勘查手段的选择、勘查工作比例尺的确定、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、勘探剖面、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勘查的工作量等；
- （六）技术要求，包括（五）款中各种手段、方法的技术要求及精度；
- （七）勘查进度计划，包括各项勘查工作的时间安排及勘查总工期（用进度横道图表示）；
- （八）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；
- （九）经费预算（含执行的定额标准）；

（十）预期成果，包括勘查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；

（十一）勘查设计主要附图附表：

（1）以致灾地质体地质图为底图的勘查工作布置图（附勘探剖面图及典型钻孔、竖井、平洞等勘探设计图）；

（2）主要工作量一览表；

（3）仪器、设备及主要材料明细表；

（4）各种费用预算表。

## 3 地形测量主要技术要求

### 3.1 作业技术依据

- 1) 《工程测量规范》(GB 50026-93)；
- 2) 《全球定位系统(GPS)测量规范》(CH 2001-92)；
- 3) 《国家三、四等水准测量规范》(GB 12898-91)；
- 4) 《1:500 1:1000 1:2000 地形图图式》(GB/T7929-1995)；
- 5) 《1:500 1:1000 1:2000 地形图数字化规范》(GB/T 17160-1997)；
- 6) 《测绘技术总结编写规定》(CH 1001-91)；
- 7) 《测绘产品检查验收规定》(CH 1002-95)；
- 8) 《测绘产品质量评定标准》(CH 1003-95)。

### 3.2 测区采用的坐标系统及成图规格

1) 平面坐标：采用 1954 年北京坐标系，按统一的高斯正形投影 3° 分带。当测区范围比较大、测区处于投影带的边缘或横跨两带时，长度投影变形较大，应当考虑长度投影变形的问题；

2) 高程系统采用 1956 年黄海高程系；特别提示：三峡水库蓄水水位采用的高程系统为吴淞高程系，1956 年黄海高程系和吴淞高程系的换算关系为： $H_{56} \text{ 黄海 (m)} \approx H_{\text{吴淞}} \text{ (m)} - 1.79 \text{ (m)}$ ，各地段之两高程系统差值可查相应手册。

3) 地形图规格：

① 图幅分幅：采用 50cm×50cm 矩形分幅，图廓坐标为 0.25 千米(1: 500)和 0.5 千米(1: 1000)的整数倍数，图幅不可错开拼接。当图廓外有少量地形属于测绘范围时，可破图廓测入同一图幅内；

② 图幅编号：以西南角图廓坐标公里数作为图幅编号，注记在北图廓外中间图名下方；

③ 图名：三峡库区××省(市)××县(区)××滑坡(或库岸、危岩)地形图。

### 3.3 平面和高程控制测量

1) 平面控制测量

根据测区实际情况，可采用对点边连式 D 级 GPS 测量进行平面基本控制，有些库岸段

及滑坡已有 D 级或 E 级平面控制点的则可直接利用。有必要的，则在上述基础上施测 E 级 GPS 加密控制点，或发展 I、II 级电磁波测距导线加密控制点，精度要求见表 3-1。D 级 GPS 测量控制网最弱点相对于邻近高等级控制点的点位中误差应不大于 10cm 或边长相对中误差小于 1/40000。

表 3-1 I、II 级测距导线主要技术要求见下表：

等级	导线长度 (km)	平均边长 (km)	测角中误差 (″)	测距中误差 (mm)	测距相对中误差	测回数		方位角闭合差 (″)	导线全长相对闭合差
						J2	J6		
I	3.6	0.3	5	15	$\leq 1/30000$	2	4	$10\sqrt{n}$	$\leq 1/14000$
II	2.4	0.2	8	15	$\leq 1/14000$	1	3	$16\sqrt{n}$	$\leq 1/10000$

#### 2) 标石埋设要求

所有 D 级、E 级或相对应等级以上控制点要求砼预制后运到现场埋设或现场浇筑；对不宜埋设标石的地方，可采用在稳定岩石或建筑物上刻“十”字的方法（刻划深度 3mm，旁边写出点号，字头朝北）。埋石规格，一般普通标石：顶面 20×20cm，底面 40×40cm，高 40cm；建筑物上标石：顶面 20×20cm，底面 30×30cm，高 15cm）。所有埋石点均应填绘点之记，要实地绘出点位略图，并作简要点位说明。

#### 3) 高程控制测量

测区基本高程控制采用四等水准测量（高程起始点不得少于两个，并进行连测检查。由于三峡库区存在几种不同高程系统的测量成果，须特别注意核实搜集到的起始点的高程系统），每千米高差中数偶然中误差应不大于 5mm。图根点可采用电磁波测距三角高程测量方法，并可与平面控制同时进行。较平坦地区也可采用等外水准测量方式。

#### 4) 平面控制技术要求参照表 3-2、3-3

表 3-2 GPS E 级网基本要求

项目级别	卫星高度角	有效观测卫星总数	时段中任一卫星存放观测时间 (分)	观测时段数	数据采样间隔 (S)	PDOP
GPS E	$\geq 15$	$\geq 3$	$\geq 15$	$\geq 2$	15	$\leq 10$

表 3-3 电磁波高程测距导线技术要求

等级	平均边长 (m)	边数	中丝法垂直角测回数		指标差互差		往返测高差较差	容许闭合差
			J2	J6	J2	J6		
5″	500	10	2	4	15″	25″	0.1S	$0.05\sqrt{n}$
8″	250	10	1	2	15″	25″	0.1S	$0.05\sqrt{n}$
图根	100	12	1	1			0.1S	$0.05\sqrt{n}$

注：S 以 km 为单位，小于 0.1km 时按 0.1km 计，n 为导线边数。

5) 高程控制技术要求, 见表 3-4

表 3-4 四等水准的主要技术指标要求

等级	测段、路线往返测高差不符值(mm)	测段、路线的左右路线高差不符值(mm)	符合路线或环线闭合差(mm)	监测已测测段高差之差(mm)
四等	$\pm 20\sqrt{K}$	$\pm 14\sqrt{K}$	$\pm 20\sqrt{L}$	$\pm 30\sqrt{R}$

注: K 为路线或测段的长度 (km); L 为符合路线 (环线) 长度 (km); R 为检测测段长度 (km)

注意: 非特殊困难地区的高程控制不得采用 GPS 测量方法; 对个别特殊困难地区, 可用四等以上水准高程起算点对 GPS E 级点进行高程拟合(拟合时的起算点不得少于 6 个, 且应经过四等水准联测, 并分布均匀), 并应分析拟合高程精度是否达到  $\pm 5\text{cm}$  要求。

### 3.4 地形测量

1) 地形图上需表示的内容除按《工程测量规范》中的相应规定及《1:500、1:1000、1:2000 地形图图式》执行外, 特别强调要将水沟、水坑、水塘、泉水、裂缝、塌陷坑等与滑坡有关的水文点与微地貌表现在地形图上。

2) 地形图精度, 要求图上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。隐蔽或施测困难地区, 可放宽 1/2。高程注记点一般选在明显地形或地物点上, 图上注记至 0.1 米, 其密度不少于每方格网 10~15 个。等高线插求点高程中误差为 0.5 米, 困难地形可放宽 50%。

3) 采用正版测图外业版软件测图, 或采用薄膜测图后进行数字化, 薄膜测图的刺点精度应达到要求。

### 3.5 剖面测量

- 1) 剖面测量比例尺一般为 1:1000~1:200;
- 2) 每条剖面两端点、剖面控制点一般应埋石, 每一条剖面至少应有两个埋石点;
- 3) 实测剖面应采用全站仪或光电测距仪施测, 剖控点 (含两端点) 间距应小于 1000m, 剖面点至测站点最大距离应小于 800m;
- 4) 测站点间距离应一次照准两次读数, 水平角、天顶距各观测一测回。
- 5) 测站点至剖面点距离一次照准一次读数测定, 天顶距采用盘左一次读数, 用全部仪可直接读平距、高程 (或高差);
- 6) 剖面测量的计算取位, 平距取 0.1m, 高程 0.01m;
- 7) 作剖面图时, 剖面方向一般按左西右东、左北右南原则;
- 8) 剖面图应注明名称、编号、剖面比例尺、剖面实测方位等。

### 3.6 钻孔等勘探点工程测量

- 1) 所有点位均用全站仪或光电测距仪极坐标法测定;
- 2) 水平角、垂直角、距离均测一测回;
- 3) 钻孔平面位置以封孔后标石中心或套管中心为准, 高程以套管口为准, 并量取标石面或套管口至地面的高差。

### 3.7 重要野外地质观测点、物探控制点测量

- 1) 采用极坐标法测量;
- 2) 水平角、垂直角盘左测半测回, 距离读数一次;
- 3) 在同一测站测定点数量超过 10 个或观测时间超过 1 小时后, 应重新整平仪器并重新归零。

### 3.8 上交资料成果

- 1) GPS E 或相应等级以上控制点展点图、点之记、成果表、图根控制点成果表。
- 2) GPS E 级以上控制点, 四等水准观测、计算手簿。
- 3) 测量仪器检验记录;
- 4) 数字地形图、铅笔原图及数字化光盘 (包括地形图接合表);
- 5) 测量报告。



## 4 工程地质测绘

### 4.1 滑坡工程地质测绘与调查

4.1.1 工程地质测绘应在可行性研究阶段进行（【GB50021-2001】，8.0.2），初步设计勘察与施工图阶段勘察可进行修测，或对某些专门地质问题进行补充调查。

4.1.2 在实施勘探工程之前，应先进行地质测绘与调查。

4.1.3 专门性工程地质调查

对于滑坡成生的地质环境、控制性地质构造、滑坡与周边地表水、地下水的水力联系及水文地质条件、滑坡成灾影响范围及派生灾害（如滑坡入江形成的涌浪灾害等）范围等涉及范围较大的专题，宜采用 1/1 万~1/5 万的地形图或地质图，进行专门性工程地质调查。

4.1.4 测绘范围（【DB50 / 143—2003】，6.1.1，修改）

滑坡测绘的范围应包括滑坡及其邻区，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，前部应包括剪出口以下的稳定地段，两侧应到达滑体以外一定距离或邻近沟谷，涉水滑坡尚应到河（库）水面或对岸，一般控制在滑坡边界外 50~100 米。同时，应包含可能造成危害及派生灾害成灾的范围。在某些情况下，纵向拓宽至坡顶、谷肩、谷底、岩性或坡度等重要变化处，横向应包括地下水露头及重要的地质构造等，以充分满足 4.1.5 为准。

4.1.5 地质测绘与调查采用比例尺与精度

1) 地质测绘比例尺参照表 4-1 采用，比例尺上限与下限可按滑坡规模、地质复杂程度而定，对规模小或较复杂的滑坡可用较大比例尺，反之可用较小比例尺。

表 4-1 滑坡测绘比例尺（参考【DL/T5185—2004】，表 5.1.4）

勘察阶段	可研	初步设计	施工图设计
平面测绘	1:5000~1:1000	1:2000~1:500	
剖面测绘	1:1000~1:500	1:1000~1:200	

2) 工程地质测绘的详细程度，应与所选的比例尺相适应。图上宽度大于 2mm 的地质现象必须描绘到地质图上，对于评价滑坡形成过程及稳定性有重要意义的地质现象，如裂缝、鼓丘、滑坡平台、滑坡边界、剪出口等，在图上宽度不足 2mm 时，应扩大比例尺表示，并标注实际数据。地质界线图上误差不应超过 2mm（【DL/T5185—2004】，5.1.9，略修改）。

4.1.6 地质测绘与调查内容

(1) 滑坡所在区的自然地理及经济环境，包括自然地理，气象水文、交通运输、人类工程活动及发展规划等；

(2) 滑坡产生的地质环境，包括地层岩性、地形地貌、地质构造、水文地质、外动力地质现象等；

(3) 滑坡的形态特征及边界条件，包括位置、形态、分布高程、几何尺寸、规模、滑坡体的边界、底界、临空面、剪出口等；

(4) 滑坡体的地质结构，主要包括滑体物质组成、结构构造，滑带形态、物质组成和结构特征；重视滑坡物质组成的分区特征调查，对于岩质滑坡应重视岩体结构面、软弱夹层性状的调查。

(5) 滑坡的水文地质条件和地下水，调查滑体内及其周边沟系发育特征、径流条件，地表水、大气降水与地下水的补排关系，井、泉、水塘、湿地位置，井、泉的类型、流量及季节性变化情况，地下水的水位、水质、水温及其变化，含水层及隔水层的位置、性质、厚度，岩土体的透水性，地下水径流流向、补给及排泄条件，生活用水的排放情况。

(6) 滑坡的变形破坏特征，包括先期滑坡发生时间、滑坡体运动轨迹，如路线、距离、最大水平和垂直位移量等，滑坡地貌如裂缝、鼓丘、洼地分布及成生时间，监测资料分析，变形发育史。

(7) 非地质孕灾因素（如库水位、降雨、冲蚀、人工作用等）的调查，包括其强度、周期以及它们对滑坡稳定性的影响，重点注意水库效应对涉水滑坡稳定性的影响；

(8) 调查预测滑坡灾害的成灾范围和可能的派生灾害范围，涉水滑坡应重视对航道的危害及入江涌浪的危害。

(9) 调查滑坡影响范围内正常移民迁建线以上的人口及实物指标。调查参照标准为：《长江三峡工程初步设计水库淹没实物指标调查大纲》（水利部长江水利委员会，1991）；

《长江三峡工程初步设计水库淹没实物指标调查细则》（水利部长江水利委员会，1991）；

《长江三峡工程初步设计水库淹没实物指标调查细则补充说明》（水利部长江水利委员会，1993）。

10) 天然建筑材料调查，根据滑坡地区的具体情况，必要时进行滑坡治理所需的天然建筑材料调查。

#### 4.1.7 测绘调查方法

测绘方法应采用全面查勘法。对于重要的地质现象如边界、裂缝、软夹层、剪出口，应进行追索。在覆盖或现象不明显地段，应有人工揭露点，以保证测绘精度和查明主要地质问题（【DL/T5185—2004】，5.1.6）。

#### 4.1.8 观测点的布置与测量

1) 观测点布置目的要明确, 密度要合理, 以达到最佳调查测绘效果为准。对于重要的地质现象, 应有足够的调查点控制, 如滑坡边界点、地质构造点、滑坡裂缝、泉水等。

观测点的间距, 一般为 2cm~5cm (图面上的间距), 可根据具体情况确定疏密。

2) 观测点应分类编号, 在实地用红漆标志, 在野外手图上标出点号, 在现场用卡片详细记录。

3) 野外观测点一般分为以下几种:

地层岩性点、地貌点、地质构造点、裂隙统计点、水文地质点、岸坡调查点、地质灾害点 (包括滑坡边界点、裂缝点、滑坡后壁调查点、滑带调查点) 等。

4) 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。

#### 4.1.9 野外记录的要求

1) 必须采用专门的卡片记录观测点, 分类系统编号, 卡片编号与实地红油漆点号一致。

2) 记录必须与野外草图相符, 凡图上表示的地质现象, 均必须有记录。

3) 描述应全面, 不漏项, 突出重点。尽量用地质素描和照片充实记录。

4) 重视点与点之间的观察, 进行路线描述和记录。

#### 4.1.10 地质界线的勾绘

根据观测点, 在野外实地勾绘地质草图, 如实的反映客观情况, 接图部分的地质界线必须吻合。

#### 4.1.11 野外验收

外业工作结束, 原始资料整理完毕之后, 勘查单位技术负责人应对原始资料进行野外验收, 业主单位可派人参加验收。

#### 4.1.12 提交成果

测绘工作结束后, 在全面系统的资料整理和初步分析研究的基础上, 应提交下列主要原始成果:

- 1) 野外测绘实际材料图;
- 2) 野外地质草图;
- 3) 实测地层柱状图;
- 4) 实测地质剖面图;
- 5) 各类观测点的记录卡片;
- 6) 槽探索描图;
- 7) 地质照片图册。

## 4.2 崩塌（危岩体）工程地质测绘与调查

4.2.1 工程地质测绘宜在可行性研究阶段进行（【GB50021-2001】，8.0.2），初步设计与施工图阶段可进行修测，或对某些专门地质问题进行补充调查。

4.2.2 在实施勘探工程之前，应先进行地质测绘与调查。

4.2.3 测绘范围（【DB50 / 143—2003】，7.2，修改）

崩塌（危岩体）的测绘范围应包括危岩带和相邻地段，坡顶应到达卸荷带之外一定位置，坡底应到达危岩崩塌堆积区外一定位置。为获得较大范围的地质条件与地质背景的认识，如存在对危岩起控制作用的区域性结构面时，可进行专题地质调查。

4.2.4 地质测绘与调查采用比例尺与精度

1) 地质测绘比例尺参照表 4-2 采用，比例尺上限与下限视崩塌（危岩体）规模、地质复杂程度而定，规模较小或地质条件较复杂者可用较大比例尺，反之用较小比例尺。

表 4-2 崩塌（危岩体）勘查测绘比例尺

勘查阶段	可研	初步设计	施工图设计
平面测绘	1:2000~1:500	1:2000~1:200	
剖面测绘	1:1000~1:200	1:1000~1:200	

注：参考【GB50021-2001】，5.3.3；【GB50330-2002】，4.4.2；【TB10027-2001】，p20-21

2) 图上宽度大于 2mm 的地质现象必须描绘到地质图上，对于评价危岩崩塌形成过程及稳定性有重要意义的地质现象，如节理、裂缝、软弱层、层间错动带等，在图上宽度不足 2mm 时，均应扩大比例尺表示，并标注实际数据。地质界线图上误差不应超过 2mm。

4.2.5 地质测绘与调查内容

1) 崩塌（危岩体）所在区的自然地理及经济环境，包括自然地理、气象水文、交通运输、人类工程活动及发展规划等。

2) 崩塌（危岩体）发生的地质环境，包括地层岩性、地形地貌、地质构造、水文地质、外动力地质现象等，重点调查崩塌危岩所处地貌部位、形态特征、陡坎坡度与高度、坎面形态特征、坡顶与坡脚形态等，危岩所在斜坡的岩土体组成、组合、分布及产状特征等。

3) 危岩体和崩塌堆积体的形态特征及边界条件，包括位置、形态、分布高程、几何尺寸、规模、边界、临空面、剪出口或断裂面等。

4) 危岩体和崩塌堆积体的地质结构，主要包括岩土物质组成及结构构造，变形破坏特征，控制崩塌的岩体结构面特征（包括结构面类型、成因、性质、产状、规模、充填物和充水情况），崩塌裂缝产状、规模和分布，崩塌裂缝与岩体结构面的关系，结构面与陡坡产状、危岩形成之间的关系。崩塌堆积体块度及分布。

5) 危岩体和崩塌堆积体的变形形迹特征, 主要为危岩体裂缝形态特征(长度、宽度、深度、产状、平面及剖面形态)、尖灭层位及该层特征, 所追踪的结构面特征, 裂缝溶蚀情况、充填情况、充水情况; 危岩体崩塌面形态、展布、产状、壁面特征、崩塌壁与构造、裂隙的追踪发育关系, 崩塌壁上岩溶特征、断裂特征、风化特征、拉张段、锁固段、剪切段; 崩塌运移路线, 崩塌堆积区及崩塌堆积体块度分带。崩塌堆积体的变形破坏特征及转为滑坡、泥石流的可能性。

6) 危岩体基座或下卧软弱层岩性、产状、分布等特征, 危岩体之下天然洞穴(溶洞等)或矿产开采及采空区情况, 危岩体斜坡坡脚受天然河水冲刷、淘蚀或人为破坏情况。调查非地质孕灾因素(如库水位、降雨、冲蚀、人工作用等)的强度、周期以及它们对危岩体稳定性的影响, 重点分析水库效应对涉水危岩体和崩塌堆积体稳定性的影响。

7) 调查崩塌发育史, 通过查阅地方志和走访以及现场填图, 调查历史上该危岩体发生崩塌的时间、规模、气象条件、发生原因、发生次数、运行路线等。

8) 危岩体及崩塌堆积体的水文地质条件和地下水; 重点调查危岩体含水层、隔水层、地下水的补、径、排, 泉点、渗水点, 降雨、地表水与危岩体的裂缝的充水关系等。

9) 分析评价预测崩塌灾害的成灾范围及可能派生灾害的范围, 应重视入江对航运及入江涌浪的灾害。

10) 灾害影响范围内人口及实物指标调查。调查参照标准同 4.1.5 (9)。

11) 根据危岩体规模和治理工程需要, 可进行天然建筑材料调查。

4.2.6 崩塌(危岩体)测绘与调查的其它技术要求与 4.1.6~4.1.11 相同。

## 4.3 塌岸工程地质测绘与调查

4.3.1 塌岸工程地质测绘宜在可行性研究阶段进行(【GB50021-2001】, 8.0.2), 初步设计与施工图阶段可进行修测, 或对某些专门地质问题进行补充调查。

4.3.2 塌岸工程地质测绘范围, 根据三期地质灾害规划阶段调(勘)查成果, 应大于预测塌岸区周界及其影响区, 并进入稳定区 50m 左右。为查明塌岸形成的地质条件与它们失稳后的可能影响范围, 需扩大的范围, 根据需要确定。

4.3.3 地质测绘与调查采用比例尺精度

1) 工程地质测绘比例尺应根据勘查阶段来确定(表 4-3)。可行性研究阶段比例尺宜为 1:1000~1:2000, 初步设计阶段比例尺宜采用 1:1000~1:500; 施工图设计阶段宜采用 1:500。

2) 图上宽度大于 2mm 的地质现象应测绘到图上, 对评价塌岸形成和稳定性有重要意义的地质现象, 如各类结构面等, 在图上宽度不足 2mm 时, 应扩大比例尺表示, 并注明实际数据。

表 4-3 塌岸工程地质测绘比例尺

(【GB 50021-2001】，5.2.2；【TB 10027-2001】，p16)

勘察阶段	可研	初步设计	施工图设计
平面测绘	1:2000~1:1000	1:1000~1:500	
剖面测绘	1:1000~1:500	1:500~1:200	

#### 4.3.4 塌岸工程地质测绘与调查的主要内容：

1) 调查岸坡形态特征，包括水上坡形、稳定坡角、坡高，冲蚀磨蚀坡角，水下堆积坡形、坡角及其分布高程与变化特征等。

2) 调查岸坡地质结构，主要为地层岩性、地质构造、岩土体结构、风化程度、岸坡组合结构和岸坡类型；对于软岩岸坡，重点调查风化带、沿江出露的软弱夹层及岩土界面。

3) 调查岸坡的水文地质条件和地下水，主要为上层滞水、潜水、裂隙水的水位和动态、含水层厚度、隔水底板位置及产状、泉水高程、流量及动态。

4) 调查分析塌岸水动力条件（风向、风速、风浪高度及冲蚀磨蚀特征、行船浪高及冲蚀磨蚀作用强度及高度）的强度、周期以及它们对岸坡稳定性的影响，重点分析水库效应对岸坡稳定性的影响。

5) 调查塌岸段内各种不良地质现象，如小型滑坡、变形体、危岩体等，调查内容与调查方法参照滑坡及崩塌（危岩体）相关部分。

6) 人类活动对塌岸产生的影响。

7) 分析预测塌岸范围，圈定塌岸边界，预测塌岸成灾范围，评价塌岸对航道的影响。

8) 调查塌岸的可能危害对象，包括人数和实物指标。调查参照标准同 3.1.5 (9)。

#### 4.3.5 塌岸测绘与调查的其它技术要求与 4.1.6~4.1.11 相同。

## 5 勘探

### 5.1 滑坡工程地质勘探

#### 5.1.1 滑坡勘探一般要求

5.1.1.1 为查明滑体、滑面（带）及滑床的空间形态、物质组成与结构，了解滑坡地下水存在状态与活动方式，以及为进行现场原位试验或获取样品进行室内试验的需要，滑坡勘探可采用钻探、井探、槽探、洞探和地球物理勘探等方法。各勘探方法适宜性参照表 5-1。

表 5-1 地质灾害常用勘探方法适宜性表(根据【DB50/143-2003】，6.3.2 修改)

勘探方法		适用条件及布置
钻探		用于了解地质灾害体内部组成与结构，包括岩土组成、滑面(带)的情况、崩塌危岩控制性结构面的情况及地下水状态，观测深部位移，采集各类岩土样品。
槽探		用于确定岩土层界线、滑坡周界、后缘滑壁和前缘剪出口产状、卸荷裂隙等控制性结构面的产出情况，有时也可用作现场大剪及大重度试验。
井探		用于观察地质灾害体内部结构特别是滑面(带)特征、采集不扰动土样和进行原位大剪、大重度试验。一般应布置在滑坡的中前部主勘探线附近。当勘探的目标层在地下水位以下且水量较丰时不宜采用。
洞探 (平洞或斜洞)		用于观察地质灾害体内部结构特征，采集不扰动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、超深层滑坡和大型的危岩崩塌的勘查。洞口宜选在滑坡两侧沟壁、滑坡前缘、危岩崩塌侧壁等易成洞口且安全的部位。平洞可兼作观测洞，也可用于汇排地下水，常结合斜坡排水整治措施布置。
物探	电法勘探	常用电测深及高密度电法。用于了解覆盖层厚度、滑面位置、基岩面起伏变化、岩性变化、破碎带的分布、含水层或富水带的分布等。通常在规模较大、物性差异较大、地形地物变化较小的滑坡勘查中采用。勘探线宜布置在拟设主勘探线及支挡线附近。
	地震勘探	常用浅震反射波法。用于探测滑坡区基岩埋深、滑面位置及形态。一般在非人口密集区、规模较大的滑坡勘探时采用。勘探线宜布置在拟定主勘探线及支挡线附近。

5.1.1.2 工程地质勘探应在充分分析已有资料及进行地质测绘调查的基础上开展。

5.1.1.3 勘探方法应以钻探、井探、槽探为主，辅以洞探及物探。

5.1.1.4 勘探线与勘探点布置要求

##### (一) 主勘探线（剖面）的布设原则

(1) 主勘探线（剖面）为勘探工作的重点，应在地面测绘和物探工作的基础上进行布

设。由于三期规前勘查对每个滑坡已经实施了一条主勘探剖面，后续勘查应对三期规前勘布置的主勘探剖面的合理性进行分析研究，可利用时，可在此基础上进行补充勘探。

(2) 主勘探线应布设在滑坡主滑方向厚度取大的部位，纵贯整个滑体，与初步认定的中轴线重合或平行，其起点（滑坡后缘以上）要进入稳定岩（土）体范围内 10~50m，终点应在剪出口以下 10~50m，必要时可至谷底。

(3) 主勘探线上所投入的工程量及点位布设，应尽量满足主剖面图绘制、试验及稳定性评价的要求，宜投入槽探、钻探、井探、平（斜）洞，应保证控制性井探、洞探工程的数量。

(4) 主勘探剖面上投入的工程量和点位布设，应尽量兼顾到地下水观测和变形长期监测的需要，以便充分利用勘探工程立即进行观测和监测。

(5) 对于主要变形块体在两个以上、面积较大的滑坡或后缘出现两个弧顶的滑坡，主勘探线宜布置两条以上。

(6) 主勘探线上不宜少于 4 个勘探点。其中，作稳定性分析的块体内至少有 3 个勘探点，后缘边界以外稳定岩（土）体上至少有 1 个勘探点。

(7) 对于大型滑坡，纵勘探剖面上应尽可能反映滑坡的地貌要素，诸如后缘陷落带、横向滑坡梁、纵向滑坡梁、滑坡平台、滑坡隆起带、次一级滑坡等。滑坡横向勘查钻孔布设力求控制滑面横断面形态，从滑坡中轴线向两侧可依据地质、地貌或物探资料进行布设。

## **（二） 副勘探线（剖面）的布设原则**

(1) 副勘探线一般平行主勘探线，分布在主勘探线两侧，线间距据勘查阶段要求而定。在主勘探线以外还有次级滑坡时，副勘探线应沿其中心布设，在需要或条件允许的情况下，尽量达到稳定性计算剖面 and 监测剖面的勘查要求。

(2) 副勘探线上的勘探点一般应与主勘探线上的勘探点位置相对应（或隔一个勘探点相对应），使横向上构成垂直于勘探线的数条横贯滑体的横勘探剖面，探查滑体的横向变化特征，及探查侧边界，形成控制整个滑体的勘探网。

## **（三） 工程轴线勘探剖面的布设**

按选定的治理方案，有针对性地进行布设；对于实行一次详勘的项目，要及时与设计方沟通配合，其点线应服从设计工程布置要求。

## **（四） 勘探点的布设原则**

(1) 勘探点应布设在勘查对象的关键部位和治理工程设计部位，除反映地质情况外，尽可能兼顾采样、现场试验和监测。

(2) 勘探点的布设服从勘探线，尽量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，应尽可能控制在 10m 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。



### （五）各勘查阶段勘探线与勘探点间距要求

（1）可行性研究阶段勘探线、勘探点间距参照表 5-2；其间距可按危害程度和地质复杂程度分级取值，当危害程度为三级、复杂程度为简单者取大值，反之取小值。

（2）初步设计阶段（详勘）勘探线、勘探点间距参照表 5-3。本阶段应尽量在可行性研究阶段勘探线、勘探点之上内插布置，勘探线、勘探点不必追求等间距布置，可在重要部位如拟布置治理工程的部位内、滑体纵向与横向变化大的部位插入勘探线和勘探点。

表 5-2 可行性阶段滑坡勘探点线间距布置要求

纵勘探线间距（m）	主勘探线勘探点间距（m）	副勘探线勘探点间距（m）
80~150	40~60	60~80

参考：【DB50/143-2003】，6.3.3；

表 5-3 初步设计阶段勘探（详勘）点线间距布置要求

纵勘探线间距（m）	主勘探线勘探点间距（m）	副勘探线勘探点间距（m）
60~80	30~50	40~60

参考：【DB50/143-2003】，6.3.3；【GB50021-2001】，5.2.4；【JTJ064-98】，7.2.1

（3）施工图设计阶段勘探线、点，主要结合防治工程设计需要和专门性工程地质问题进行补充勘探布置。

#### 5.1.1.5 勘探工作量的要求

（一）钻探、井探、洞探的总数量应满足 5.1.1.4（一）（6）的要求。

（二）钻探可占勘探点总数量的  $4/5 \sim 3/4$ 。其中控制性钻孔的数量可占钻孔数量的  $1/3$ 。

（三）井探、洞探工程是查证滑坡存在与否的重要手段，由于单靠钻探工程往往难以定论，因此必须保证井探、洞探工程的数量

（1）规前勘查已保证了每个滑坡一个探井，应充分利用；

（2）可研阶段勘查探井、探洞数量占钻孔、探井、探洞总数的比例不宜少于  $1/5$ ；初设勘查阶段探井、探洞数量占钻孔、探井、探洞总数的比例不宜少于  $1/4$ ，对深层、超深层、超大型滑坡可适当减少，但不应少于  $1/5$ （【DB50/143-2003】，6.3.2）。

（四）槽探的工作量，应根据地质测绘和地表采样的需要而定。

（五）物探的工作量

物探可用于勘查滑坡范围、滑体厚度、组成及滑床形态。常用于勘探点之间的剖面探测，并可用于对钻孔进行测井和井下电视观察。

适宜的物探方法有电测深、高密电法、浅层地震和声波测井等，具体应用宜根据滑坡

勘查的具体情况而定。

(1) 在投入钻探、坑探之前，按勘探剖面的要求先布设物探剖面，用于探查该剖面上滑体厚度、物质组成和滑床形态，优化选定勘探剖面及勘探点位。在可研勘查及初设阶段勘查（详勘）其工作量可根据滑坡勘查剖面的数量、长度而定，测井可根据需要而定。施工图勘查可不用物探。

(2) 上述物探工作应进行二次解释。在钻探、井探、洞探对物探工作验证的基础上，与地质技术人员一起进行二次解释，避免消除物探的多解性的误差，提高物探的探测精度。

#### 5.1.1.6 滑坡勘探深度的确定

滑坡勘探深度的确定应符合下列要求：

##### (一) 一般性勘探孔

(1) 可研和初设阶段的勘探孔的深度应穿过最下一层滑面，应达到滑动面以下稳定岩土体中 5m（滑面以下为土体）～8m（滑面以下为岩体）。

(2) 施工图设计阶段的勘探孔的勘探深度应满足治理工程设计需要，拟设置抗滑桩地段的钻孔进入滑床的深度宜为滑体厚度的  $1/3 \sim 1/2$  【DB50/143—2003，6.3.4】。

##### (二) 控制性勘探孔

(1) 控制性勘探孔应在可研或初设阶段勘查的前期完成。

(2) 可研勘查阶段的控制性钻孔，应不少于 3 个深孔，以查明深部滑动面或潜在滑动面（软夹层）为目的，其勘探深度应以地质判断为准。

(3) 初设阶段的控制性钻孔，需探查滑床作为治理工程持力层岩土体的地质情况，其控制性钻孔进入滑床的深度宜为孔位处滑体厚度的  $1/3 \sim 1/2$ 。

(4) 探井、探洞探测深度应穿过最低滑面（带），进入稳定岩土体即可，但宜保证取样、现场原位试验、地下水观测和变形监测的要求。

### 5.1.2 钻探主要技术要求

#### 5.1.2.1 钻孔设计书的编制

孔位确定后，地质人员应编制钻孔设计书，作为钻孔的预测，指导钻探施工并阐明预期的目的，钻孔设计内容包括：

(1) 钻孔目的：充分说明该钻孔的目的，使钻探人员了解该孔的重要性及钻进中应注意的问题，保证钻进、观测和编录工作的质量。

(2) 钻孔的类型：直孔。

(3) 钻孔深度：标明设计深度并说明何种情况下可以适当减少或加深孔深。

(4) 钻孔结构：标明钻孔理想柱状图，包括孔径（开孔、终孔孔径）、换径位置及深度、固壁方法；作出推测地质柱状图，标识层位深度、岩性、可钻性分级、地质构造、断

层、裂隙、裂缝、破碎带、岩溶、滑带、溃屈带、软夹层、可能的地下水位、含水层、隔水层和可能的漏水情况以及钻进过程中针对上述情况应采取的准备和措施。

(5) 钻孔工艺：钻进方法、固壁办法、冲洗液、孔斜及测斜、岩芯采取率、取样及试验要求、水文地质观测、钻孔止水办法、封孔要求、终孔后钻孔处理意见（长观、监测或封孔等）。

#### 5.1.2.2 钻孔深度的确定

应根据不同勘查阶段对勘探深度的具体要求，进行具体的设计，以达到地质要求为准。

#### 5.1.2.3 钻孔孔径的确定

应根据钻孔深度，取芯要求，水文地质要求具体设计。为保证岩芯满足实验要求，终孔孔径不应小于 110mm。

#### 5.1.2.4 孔深误差及分层精度的要求

(1) 下列情况均需校正孔深：主要裂缝、软夹层、滑带、溶洞、断层、涌水处、漏浆处、换径处、下管前和终孔时。

(2) 终孔后按班报表测量孔深，孔深最大允许误差不得大于 1‰。在允许误差范围内可不修正，超过误差范围要重新丈量孔深并及时修正报表。

(3) 钻进深度和岩土分层深度的量测精度，不应低于±5cm（【GB50021—2001】，9.2.4）。

(4) 应严格控制非连续取芯钻进的回次进尺，使分层精度符合要求（【GB50021—2001】，9.2.4）。

#### 5.1.2.5 孔斜误差要求

(1) 下列情况均需测量孔斜：每钻进 50m、换径后 3~5m、出现孔径斜征兆时、终孔后。

(2) 顶角最大允许弯曲度，每百米孔深内不得超过 2 度。

#### 5.1.2.6 取芯要求

(1) 不允许超管钻进。重点取芯地段（如破碎带、滑带、软夹层、断层等）应限制回次进尺，每次进尺不允许超过 0.3 米，并提出专门的取芯和取样要求，看钻地质员跟班取芯、取样。

(2) 松散地层潜水位以上孔段，应尽量采用干钻；在砂层、卵砾石层、硬脆碎地层和松散地层中以及滑带、重要层位和破碎带等应采用提高岩芯采取率的钻进及取样工艺。

(3) 长度超过 35cm 残留岩芯，应进行打捞，残留岩芯取出后，可并入上一回次进尺的岩芯中进行计算。

(4) 岩芯采取率要求（参考【DB50 / 143 —2003】，6.3.5），滑体>75%，滑床>85%，滑带>90%。同时应满足钻孔设计书指定部位取样的要求。

#### 5.1.2.7 钻孔简易水文地质观测

应观测初见水位、稳定水位、漏水和涌水及其它异常情况，如破碎、裂隙、裂缝、溶洞、缩径、漏气、涌砂和水色改变等。

(1) 无冲洗液钻进时，孔中一旦发现水位，应停钻立即进行初见水位和稳定水位的测定。每隔 10~15min 测一次，三次水位相差小于 2cm 时，可视为稳定水位。

(2) 清水钻进时，提钻后、下钻前各测一次动水位，间隔时间不小于 5min。长时间停钻，每 4h 测一次水位。

(3) 准确记录漏水、涌水位置并测量漏水量、涌水量及水头高度。

(4) 接近滑带并没打穿滑带时，必须停钻测一次滑坡体的稳定水位，测稳定水位时应提水，观测其恢复水位，稳定时间应大于 2h。终孔时应测一次全孔稳定水位。对于设计要求进行分层观测水位的钻孔，施工时应严格按分层观测水位进行，未完成此项则作为验收时报废钻孔的条件之一。

#### 5.1.2.8 封孔要求

钻孔验收后，对不需保留的钻孔必须进行封孔处理。土体中的钻孔一般用粘土封孔，岩体中的钻孔宜用水泥沙浆封孔。

#### 5.1.2.9 保留岩芯要求

勘查报告验收前，各孔全部岩芯均要保留。勘查报告验收后按专家组意见，对代表性钻孔及重要钻孔，应全孔保留岩芯，其它钻孔岩芯，可分层缩样存留，对有意义的岩芯，应揭片留样。治理工程竣工验收后，可不予保留。

#### 5.1.2.10 钻孔地质编录

(1) 钻孔地质编录是最基本的第一手勘查成果资料，应由看钻地质员承担。必须在现场真实、及时和按钻进回次逐次记录，不得将若干回次合并记录，更不允许事后追记。

(2) 编录时要注意回次进尺和残留岩芯的分配，以免人为划错层位。

(3) 在完整或较完整地段，可分层计算岩芯采取率；对于断层、破碎带、裂缝、滑带和软夹层等，应单独计算。

(4) 钻孔地质编录应按统一的表格记录。其内容一般包括日期、班次、回次孔深（回次编号、起始孔深、回次进尺）、岩芯（长度、残留、采取率）、岩芯编号、分层孔深及分层采取率、地质描述、标志面与轴线夹角、标本取样号码位置和长度、备注等。

#### (5) 岩芯的地质描述

岩芯的地质描述应客观、详细，使别人能据描述作出自己的判断。对于只有结论性意见而无具体描述的编录，视为不合格。

重视岩溶、裂缝、滑带及软夹层的描述和地质编录，编录中宜多用素描及照片辅助说明。注意对滑带擦痕的观察与编录；重视水文地质观测记录和钻进异常记录和取样记录。

岩芯照相要垂直向下照，初特殊部位特写镜头外，每岩芯箱照一张照片，有标注孔

深、岩性的标牌。

#### 5.1.2.11 钻孔施工记录

(1) 要求每班必须如实记录各工序及生产情况，不得追记、伪造。原始记录均用钢笔填写。要求字迹清晰、整洁。记录员、班长、机长必须签名备查。

(2) 每孔施工结束后 2 天内原始报表必须整理成册，存档备查。

#### 5.1.2.12 钻孔验收

钻孔完工后勘查单位应及时组织按孔径、孔深、孔斜、取芯、取样、简易水文地质观测、地质编录、封孔八项技术要求对钻孔进行现场验收，业主单位可派人参加。对于未能取到滑带岩心的或水文地质观测未能满足 5.1.1.7 (4) 之要求的，应定为不合格钻孔。对于不合格钻孔，应补做未达到要求的部分或者予以报废重新施工。验收打分评定为优良、合格、不合格三种钻孔，其评分标准及验收表格见附件。

#### 5.1.2.13 钻探成果

(1) 钻孔终孔后，应及时进行钻孔资料整理并提交该孔钻探成果，包括钻孔设计书、钻孔柱状图、岩芯数码照片、简易水文地质观测记录、取样送样单、钻孔地质小结（或报告书）等。

(2) 钻孔柱状图的内容与要求。

柱状图的比例尺，以能清楚表示该孔的主要地质现象为准，一般为 1: 100~1: 200。对于岩性简单或单一的大厚岩层，可以用缩减法断开表示；柱状图图名处应标示：勘探线号、孔号、开孔日期、终孔日期、孔口座标、钻孔倾角及方位。柱状图底部应标示责任签；柱状图包括下列栏目：回次进尺、换层深度、层位、柱状图（包括地层岩性及地质符号、花纹、钻孔结构）、标志面与轴心线夹角、岩芯描述、岩芯采取率、取样位置及编号、地下水位和备注等。

(3) 钻孔小结（钻孔报告书）的编写内容：钻孔周围地质概况、钻孔目的任务、孔位、施工日期、施工方法、钻孔质量、钻进过程中的异常现象、主要地质现象、技术小结和地质成果分析及建议等。

### 5.1.3 槽探、井探、洞探工程主要技术要求

#### 5.1.3.1 槽探、井探、洞探工程的目的和适宜性

(1) 槽探是在地表开挖的长槽形工程，深度一般不超过 3m，多半不加支护。探槽用于剥除浮土揭示露头，多垂直于岩层走向布设，以期在较短距离内揭示更多的地层。探槽常用于追索构造线、断层、滑体边界，岸坡地层岩性揭示地层露头，了解堆积层厚度等。

(2) 垂直向地下开掘的小断面的探井，深度小于 15m 者称为浅井，大于 15m 者为竖井。浅井、竖井均需进行严格的支护。适用于厚度为浅层、中层的滑坡，用于自上而下全断面探查，达到连续观察研究滑体、滑带、滑床岩土组成与结构特征的目的，同时满足进

行不扰动样采样、现场原位试验及变形监测的需要。

(3) 近水平或倾斜开掘的探洞，一般断面为  $1.8\text{m} \times 2\text{m}$ ，进行严格支护或永久性支护（注意留观察窗口），适用于滑体厚度为中层以上的滑坡。除达到连续观察研究滑体、滑带、滑床以及用于取样、现场原位试验及现场监测的目的外，还可兼顾用于滑坡排水等工程。

#### 5.1.3.2 井探、洞探工程设计

(1) 采用井探、洞探工程时，需编制专门的井探、洞探工程勘查设计或在总体勘查设计中列入专门章节。

(2) 井探、平（斜）洞坑探工程应布置在主勘探线上，平（斜）洞方向应与主勘探剖面方向一致，一般宜布设于滑体底部，深度应进入不动体基岩  $3\text{m}$ ，亦可在滑体不同高程上布设。

##### (3) 设计书的内容

① 井探、洞探工程场地附近地形、地质概况。

② 掘进目的。

③ 掘进断面、深度、坡度。

④ 施工条件及施工技术要求：岩性及硬度等级、破碎情况、掘进的难易程度、掘进方法及技术要求、支护要求、地压控制、水文地质条件、地下水、掘进时涌水的可能性及地段、防护及排水措施、通风、照明、有毒有害气体的防范、其它施工问题、施工安全及施工巷道断面监测、施工动力条件、施工运输条件、施工场地安排、施工材料、施工顺序、施工进度、排渣及排渣场地与环境保护等。

⑤ 地质要求：掘进方法的限制、施工顺序、施工进度控制、现场原位试验要求、取样要求、地质编录要求、验收要求、监测要求及应提交的成果等。

#### 5.1.3.3 井探、平（斜）洞工程的地质工作

##### (1) 地质编录的内容

① 揭露的岩土体名称、颜色、岩性、结构、层面特征、层厚、接触关系、层序、地质时代、成因类型、产状。放大比例尺对软弱夹层进行素描，并注意其延伸性及稳定性。

② 岩石风化特征及风化带卸荷带的划分，注意风化与裂隙裂缝的关系。

③ 断层及断层破碎带：产状、规模、断距、断层形态与展布特征、破碎带的宽度、构造岩、两盘岩性、断层性质等。

④ 裂缝、裂隙：逐条描绘裂缝及贯穿性较好的节理，记录其性质、壁面特征、成因、裂缝张开、闭合情况、充填情况、连通情况、相互切割关系、错动变形情况、渗漏水情况。

⑤ 滑带及重力变形带作为描述的重点，放大表示。描述其厚度、岩性、物质组成、构造岩、产状及展布特征、含水情况、近期变形特征及挤压碎裂和擦痕，其底部不动体的岩

性特征、构造面、风化特征。

⑥ 水文地质现象；注意滴水点、渗水点、涌水点、连通试验出水点、临时出水点。注意其产出位置、水量，与裂缝、裂隙、岩溶及老窿的关系，水量与降雨的关系。

⑦ 记录各种试验点、物探点、长观点、取样点、拍照点、监测点的位置、作用、层位、岩性及有关的地质情况。

#### （2）槽探、井探、洞探工程地质素描图的有关规定

① 比例尺一般采用 1:20~1:100。

② 探槽的素描，应沿其长壁及槽底进行，绘制一壁一底的展示图。如两壁地质现象不同，则绘制两壁图。为了便于平面图上应用，槽底长度可用水平投影，槽壁可按实际长度和坡度绘制，也可采用壁与底平行展开法。

③ 浅井、竖井的素描，其展视图至少作两壁一底，并注明壁的方位。圆井展视图以 90 度等分分开，取相邻两壁平列展开绘制，斜井展视图需注明其斜度。

④ 平洞的素描，其展视图一般绘制洞顶和两壁。其展开格式为以洞顶为准，两壁上掀的俯视展开法。若地质条件复杂，视需要加绘底板。当洞向改变时，需注示转折前进方向，洞顶连续绘制，两壁转折时凸出侧呈三角形撕裂叉口。洞深计算以洞顶中心线为准。洞顶坡度一般用高差曲线表示。

#### ⑤ 开挖过程中的编录

开挖掘进过程中及时记录掘进中遇到的现象，尤其是裂缝、滑带、出水点、水量、顶底板变形情况（底鼓、片帮、下沉等）。一般要求每 5m 作一掌子面素描图。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，必要时在支护段应预留窗口。

施工完成后，有条件情况下应对洞壁进行冲洗，然后进行详细的地质素描。

#### （3）取样及现场原位试验

槽探、井探、洞探工程一项重要的工作是采以原状试样，应按勘查试验的有关规定和设计要求进行取样。对于现场原位试验，视需要进行试验硐段的地质素描和试件的地质素描及试验后的试件素描。

#### （4）录像

有条件宜对井探、洞探工程进行录像。录像时应记录并口述（同步录音）录像时镜头的方位及主要地质内容。

#### 5.1.3.4 槽探、井探、洞探工程应提交的成果

地质素描图、重要地段施工记录（支护及服务年限、地压防护、变形情况、通风措施、地下水排水措施等）、照片集、录像带、取样送样单、各种点位记录、工程勘查小结（或简报）等。

#### 5.1.3.5 探井、探洞工程的保护与封闭

(1) 对于竣工的探井、探洞宜综合使用，可用于现场原位试验、取样、地下水观测、滑坡变形监测、排放地下水及施工等，需妥善保护。对于不使用的，则予以切实封闭，不留隐患。

### 5.1.4 物探的主要技术要求

#### 5.1.4.1 物探技术方法选择及原则

地质介质与地质灾害体（如滑坡）的结构、成分及其组合形式的不同，决定了不同地质对象间的物性差异，包括弹性波参数（主要是波阻抗）、电阻率、电磁参数、密度、放射性参数的差异，为物探技术的应用提供了地球物理前提。

#### （一）地质灾害勘探中物探方法的适宜性

本技术要求涉及的主要地球物理方法有：浅层地震勘探、电阻率测深、高密度电法、声波测井。各方法的适宜性及解决问题的有效性与方法组合如下：

表 5-4 地质灾害勘探主要物探方法及适宜性

方法名称		解决问题	应用条件	经济、技术特点
电 阻 率 测 深 法	电 阻 率 测 深 法	1. 测定覆盖层厚度，确定基岩面形态； 2. 划分基岩风化带，确定其厚度； 3. 探测滑坡体的岩性结构，岩性接触关系； 4. 测定滑坡堆积体的厚度，确定堆积床形态。	1. 地形无剧烈变化； 2. 电性变化大且地层倾角较陡地区不宜。	方法简单、成熟，较普及；资料直观，定性定量解释方法均较成熟。成本较低。
	高 密 度 电 阻 率 法	1. 探测隐伏断层，破碎带位置、产状、性质； 2. 探测后缘拉张裂缝、前缘鼓胀裂缝的位置、产状及充填状况； 3. 测定覆盖层厚度，确定基岩面形态； 4. 划分基岩风化带，确定其厚度； 5. 探测滑坡体地层结构，岩性接触关系； 6. 测定滑坡堆积体的厚度，确定堆积床形态。	1. 地形无剧烈变化，要求有一定场地条件。 2. 勘探深度一般较小，〈60m。	兼具剖面、深测功能，装置形式多样，分辨率相对较高，质量可靠，资料为二维结果，信息丰富，便于整个分析。定量解释能力强。成本较高。
弹 性 波 法	浅 层 地 震 勘 探	1. 探测隐伏断层的位置、产状、性质； 2. 测定覆盖层厚度，确定基岩面形态； 3. 测定滑动面的埋深，确定滑动面形态； 4. 探测滑坡体的地层结构，岩性接触关系； 5. 探测滑坡堆积体的厚度，确定堆积床形态。	1. 人工噪音大的地区施工难度大； 2. 要求一定范围的施工场地。	对地层结构、空间位置反映清晰，分辨率高，精度高。成本高。



方法名称		解决问题	应用条件	经济、技术特点
	声波测井法	1. 探测隐伏裂缝的延深、产状； 2. 测定崩塌体岩石力学性质，确定岩石完整程度； 3. 探测破碎带、裂缝带，较弱地层的位置、厚度； 4. 检测防治工程质量，确定其强度、均匀性，破坏情况。	1. 钻孔测试需在下井管之前进行； 2. 干孔测试需要特殊的耦合方式。 3. 可对岩芯(样)进行测定	测试工作技术简单，资料分析直观，效率高，效果明显，并可获得动力学参数。成本适中。

## (二) 物探方法的选择原则

为充分发挥地球物理勘查技术方法在地质灾害勘查中的作用，在具体的方法、手段选用时应考虑如下选择原则：

(1) 充分收集分析工作区已有地质、工程地质、水文地质、物探成果资料及水文、气象等相关资料。根据工作区地质环境、灾害种类选择相应技术方法。

(2) 地质和物探技术人员共同赴工作区现场踏勘，根据工作区现场条件，结合各种物探工作方法的原理、适用范围、适宜的工作环境及须尽力避免的制约、不利因素，因地制宜分析选择。

(3) 勘查总工作量许可的前提下，尽可能选用多种方法、手段，发挥各自特长，互相验证、补充；并做到地面与深部（井、孔、洞内）物探工作搭配适当。

### 5.1.4.2 执行规范与标准：

#### (一) 通用规范与标准

GB 11933.4-89《地质仪器术语 地震勘探仪器术语》

GB/T 1499-93《地球物理勘察技术符号》

DZ/T0121.1-94《地质仪器术语 通用术语》

DZ/T0121.7-94《地质仪器术语 地球物理勘探井仪器术语》

#### (二) 浅层地震勘探

SY/T6051-2000《山区地震勘探资料采集技术规程》

SY/T5332-1997《陆上二维地震勘探数据处理技术规程》

DZ/T (0170-1997)《浅层地震勘探规范》

JGJ/T143-2004《多道瞬态面波勘察技术规程》

#### (三) 声波测井

DZ/T0196.7-1997《测井仪通用技术条件 声波测井仪》

DZ/T0196.2-1997《地面仪器（系统）测井仪通用技术条件》

DZ/T0196.8-1997《测井绞车和控制器 测井仪通用技术条件》

DZ/T0181-1997《水文测井工作规范》

DZ 0005-91 《测井电缆接头要求》

#### （四）电测深法 、高密度电法

DZ/T0072-93 电阻率测深法技术规程

DZ/T0073-93 电阻率剖面法技术规程

#### 5.1.4.3 物探设计书的编制

（1）根据总体勘查设计书提出的物探任务，遵照有关物探规范，编制专门性物探设计书。按审批后的设计进行勘查、资料整理、编写报告和成果验收。

（2）物探技术要求按现行的专业标准执行。对专业标准尚未能包容的手段，应根据有关资料或经验等自行编制，审批后作为暂行标准使用。

（3）充分收集、分析与任务有关的资料，含以往地质、物探（含物性）、化探、遥感等资料。做到充分利用以往资料，不做重复工作；分析方法的适宜性和有效性；选择适宜的物探方法。必要时，应在设计前进行现场踏勘和方法有效性试验。

#### 5.1.4.4 物探剖面

物探剖面应与勘探剖面一致，充分利用地质测绘成果和钻探坑探成果来求解，提高其可靠性与准确性。

#### 5.1.4.5 探测深度

物探的探测深度，应大于崩滑体和塌岸岩土体厚度、裂缝深度、控制性软夹层的深度和钻孔深度，具体应满足总体勘查设计所提出的地质要求。

#### 5.1.4.6 野外工作要求

（1）原始记录应准确、齐全、清晰，记录应及时，不得事后凭回忆填写，不得任意涂改，严禁伪造。

（2）每天野外工作结束，应及时将原始记录进行初步整理，交项目组或专人对全部野外资料进行检查和初步验收，并作出评价，发现较大质量问题应及时通知，并提出改进建议。

（3）数据文件名应在野外记录清晰记录下来，文件名应遵循一定原则，以便记忆，如在后期 更改文件名，应在野外记录中加以说明。每个工地结束后，应将数据文件备份到计算机中，防止数据丢失。整个项目结束时，应将原始数据文件刻入光盘存档，以便将来项目验收。

#### 5.1.4.7 物探成果解释

地球物理勘探成果应由地球物理与工程地质人员联合作出解释，在钻探、井探、洞探实施后应结合勘探成果进行二次解释，提高物探成果的准确性和探测精度。

#### 5.1.4.8 应提交的物探成果

（1）物探勘查（测试）成果报告；

（2）物探工作实际材料图；

- (3) 物探勘查、测试原始记录材料：数据、图像、曲线、磁盘、卡片等；
- (4) 物探勘查（测试）资料解释、处理曲线、图件，解释（或推断）灾害体地质平面图、剖面图，物探成果验证地质图；
- (5) 岩土体物理力学参数，动弹性学参数；
- (6) 物探勘查剖面、点位地形测量成果。

## 5.2 危岩体（崩塌）工程地质勘探

### 5.2.1 危岩体（崩塌）勘探的一般要求

5.2.1.1 鉴于三峡库区尚未防治的危岩体多为中小型，也限于其悬崖陡壁的环境条件，采用钻探及洞探难度大、费用高、耗时多，往往也难以取得可信和有代表性的成果。对危岩体的稳定性评价及采取的防治措施，应以工程地质测绘和实测地质剖面为主，辅以坑槽探，结合现场变形迹象及已有的监测资料进行综合分析和决策。

对于崩塌体，根据地质测绘判断属稳定的，可不作勘探工作，但对后方和侧面有高耸的危岩，并有活动加载，其下部为软岩或前缘上部有活动迹象的，可依据其危害性及规模参照滑坡勘察要求执行。

5.2.1.2 工程地质勘探应在充分分析已有资料及进行地质测绘调查的基础上开展。

5.2.1.3 勘探方法应以钻探洞探为主，辅以槽探、井探及物探。陡壁面宜用水平或倾斜钻探。物探方法宜采用钻孔波速测试、井下电视、高密度电法、浅层地震等。

### 5.2.2 勘探线与勘探点布置要求

#### （一）危岩体主勘探线的布置

主勘探线应垂直于危岩体临空面整体展布方向布置，且位于危岩体的中心，纵贯整个危岩体，向下穿过危岩体的可能失稳的部位进入稳定基座岩土体内，向上穿过危岩体最后一条控制性裂缝或卸荷带以外进入其后方稳定岩土体内（参考【DB50 / 143—2003】，7.3.5）。

#### （二）危岩体副勘探线的布置

副勘探线平行于主勘探线布置。若有次一级危岩体（岩块），副勘探线应布设在其中心。

#### （三）危岩体工程轴线勘探剖面的布置

沿设计工程轴线布置。

#### （四）危岩体勘探点的布设

- (1) 当危岩体顶面裂缝不甚发育时，可按一定间距布置。当危岩体被裂缝切割时，宜

保证被裂缝切割后形成的大的岩体（岩块）上均有一个钻孔，能控制其岩性、岩体结构、软夹层及基座；应保证危岩体后缘以上稳定岩体内有一控制性钻孔。

（2）当危岩体后缘边界主裂缝发育时，该主裂缝的宽度、长度、深度、剖面形态、尖灭层位、充填情况应是勘探重点。在其两侧一定范围内宜布置一对钻孔，分别查明稳定岩（土）体和危岩体的岩性及结构并进行对比，投入跨孔声波探测以查明主裂缝发育深度、尖灭层位及主要控制性底面。

（3）临近陡崖临空面处可布设钻孔，但不宜太近，以防止钻孔漂出临空面。

（4）可在主勘探线上临空面高度（从崖脚算起）的  $1/2$  或  $1/3$  处布置水平（或倾斜）钻孔（【DB50/143—2003】，7.3.2）。

（5）宜在主勘探线下端危岩体底部布设一条平斜洞，探查危岩体底部控制面，其长度可纵贯整个主勘探线。

（6）勘探点应能控制危岩体的主要结构面，揭露同一结构面的勘探点不宜少于 3 个（【DB50/143—2003】，7.3.6）。

（五）各勘查阶段勘探线与勘探点间距要求

（1）可行性研究勘探线间距参照表 5—4，危岩体（崩塌）侧向变化大、地质条件复杂或危岩体（崩塌）规模小时取小值，否则取大值。

（2）初步设计阶段勘探主要针对工程方案进行，其勘探线间距参照表 5—5，崩塌（危岩体）侧向变化大、地质条件复杂或危岩体（崩塌）规模小时取小值，否则取大值。

（3）施工图设计阶段勘查主要为查明重大地质问题，应针对具体问题进行勘探和布置。

表 5-5 危岩体（崩塌）勘探点线间距布置要求

勘查阶段	可研阶段	初设阶段
勘探线间距（m）	80~120	20~30

参照【GB50330—2002】，4.2.5；【DB50 / 143—2003】，7.3.5；

（4）勘探点间距不强行要求，按上述 5.2.2.4（四）的要求按具体情况进行布置。

### 5.2.3 勘探工作量的要求

（一）钻探、洞探的总数量应能满足 5.2.2.4 的要求，控制性钻孔数量可占钻孔数量的  $1/3$ ，每个危岩体的勘探主勘探线上宜有一条探洞。

（二）槽探的工作量，应根据地面测绘和地表采样的需要而确定。

（三）物探宜投入声波测井，跨孔声波透视、高密电法等，其可研阶段勘探与初设勘探的工作量，可根据钻孔、平洞、勘探剖面的具体情况和要求而定。

## 5.2.4 危岩体勘探深度的要求

### （一）一般勘探孔

（1）可研和初设阶段的垂直（倾斜）勘探孔的深度应穿过最底层危岩体崩滑面（带），进入稳定岩土体（危岩体基座内）5m。水平（倾斜）钻孔应穿过危岩体后缘裂缝（或卸荷带）进入稳定岩土体内 5m。

若危岩体底部有溶洞或采空区，勘探孔应穿过并进入稳定基岩内。

（2）施工图阶段的勘探孔深度，应满足治理工程设计的需要，拟设置桩、键、锚索等各种工程的勘探孔的深度应达到设计的地质要求。

### （二）控制性勘探孔

（1）可研阶段的控制性钻孔，应保证 2 个以上（在危岩体中心部位和后方稳定岩（土）体内各一个），以查明危岩体深部崩滑面或潜在崩滑面为目的，其钻孔深度以地质判断为准，应深入到临空面底部高程以下部位。

（2）初步设计的控制性钻孔，需探查危岩体基座和周边岩（土）体作为工程持力岩体的地质情况，水平（倾斜）钻孔以探查内锚固段为目的，垂直钻孔以探查桩、键设置为目的，应根据分析具体地质情况而定。

### （三）平（斜）洞的探测深度

垂向上应穿过最底层崩滑带进入稳定岩土体内，水平方向应穿过危岩体后缘边界进入稳定岩土体内。

## 5.2.5 崩塌堆积体的勘探

（一）对于稳定的崩塌堆积体，根据需要可只进行地面测绘，不投入勘探工作量。

（二）对于有变形的且构成危害的崩塌堆积体，可进行针对性勘探。由于其地质和特征与周边差异较大，宜首先采用物探查明共规模、厚度、周界、底界等。可根据其变形破坏发展趋势（如崩塌、滑坡、泥石流等），采取适宜的勘探方法。

## 5.2.6 崩塌（危岩体）勘探工作的其它要求

参照滑坡勘探的有关要求（5.1.2～5.1.4）。

## 5.3 塌岸勘探

### 5.3.1 塌岸勘探的一般要求

5.3.1.1 塌岸勘探应在工程地质测绘的基础上进行，采用钻探、井探、洞探、槽探及物

探相结合的勘探方法。

5.3.1.2 勘探工程应详细、准确查明可能塌岸面（带）的位置、形态和特征，塌岸区的岩土组成、结构和特征，地下水分布特征。并采取岩、土物理力学试样，进行岩、土现场试验和水文地质试验等。

对于土质岸坡，应重点查明松散堆积体的厚度及地下水的分布情况等；对岩质包括软岩、含软弱夹层的岸坡，应针对性查明软弱夹层、软弱结构面的分布、性状等；对于岩土混合型的岸坡，应综合土质岸坡与岩质岸坡的特点进行勘探。**5.3.2 可行性阶段塌岸勘探应符合下列要求：**

1) 勘探线应垂直塌岸方向布置，勘探线及点间距布置见表 5-6。勘探线之间可布置适量的物探工程，以便控制塌岸松散堆积体的厚度或风化层的深度等。

**表 5-6 可行性阶段塌岸勘探线及点间距布置表**

纵向勘探线间距（m）	勘探线上点间距（m）
80~120	50~80

参考：【DB50/143-2003】；【GB50021-2001】；【GB50287-99】；【JTJ064-98】

2) 纵勘探线的上端和横勘探线的两端点均应超出预测塌岸边界 30~50m。预测塌岸区外围，必要时可布置少量勘探点。纵勘探线下端应进入水下，水下部分的地形应收集蓄水前地形图或航道图进行图切。

3) 每条纵勘探剖面上的勘探点不得少于 3 个，勘探线最下面的一个勘探点应布置在河流枯水位与水库死水位附近。（【DB50 / 143—2003】，9.3.1）。

4) 一般情况下，勘探点以钻孔为主。严重塌岸地段和重要工程部位，可使用槽探和探井。探井的数量，根据需要确定，以查清岸坡结构及满足现场试验的需要为目的。

5) 要充分重视顺层滑移型塌岸的勘探，应参照滑坡勘探要求执行。

### **5.3.3 初步设计阶段塌岸勘探应符合下列要求：**

(1) 勘探工作点应在可行性研究工作的基础上结合试验、防治工程设计需要和专门性地质问题需要布置。

(2) 勘探线及点间距布置见表 5-7。

**表 5-7 初步设计阶段塌岸勘探线及点间距布置表**

纵向勘探线间距（m）	勘探线上点间距（m）
60~80	30~50

参考：【DB50/143-2003】；【GB50021-2001】；【GB50287-99】；【JTJ064-98】

(3) 有条件时，在勘探线上进行综合物探，对钻孔进行综合测井和井下电视等，进一

步查明预测塌岸面（带）及有关结构面、软弱层的位置、特征，勘查塌岸区的岩土结构及其特征。

### **5.3.4 施工图阶段塌岸勘探符合下列要求**

（1）施工图设计阶段塌岸勘探内容为：

①复核影响岸坡稳定的工程地质条件和失稳的边界条件以及潜在滑动面的物理力学性质参数。

②复核失稳的可能性及其对工程的影响；

③对可能失稳的岸坡，应对其施工方案和防护措施提出建议。

（2）施工图设计阶段塌岸勘探线、点，主要结合防治工程设计需要和专门性工程地质问题进行补充勘探布置，重点沿着防护构造物设计点位布置。

### **5.3.5 塌岸勘探深度要求**

塌岸勘探的最小深度，应至岸坡塌岸稳定坡角线以下不少于 5m。同时，勘探深度还应满足防护工程(主要是支挡工程)地基评价深度的需要。部分控制性勘探深度，根据需要确定。

### **5.3.6 塌岸勘探的其它要求**

参照滑坡勘探的有关要求（5.1.2～5.1.4）。

## 6 试验

### 6.1 一般规定

试验以满足滑坡、崩塌（危岩体）的稳定性评价和塌岸预测及治理工程设计需要为目的。试验应符合滑坡、崩塌（危岩体）、塌岸的实际性状、受力状态及实际条件，并符合有关的规程标准。试验应尽量以现场试验与室内试验相配合。

### 6.2 滑坡试验

#### 6.2.1 滑坡试验对象

包括滑带、滑体和滑床的岩土体和地下水。

#### 6.2.2 室内试验

1) 室内试验项目包括岩土的物理性质和力学性质，岩土的颗粒成分、矿物成分、化学成分和微观结构特征，地下水和地表水的化学成分及对砼的侵蚀性和对钢结构的腐蚀性。详见表 6-1。

2) 室内试验应符合《工程岩体试验方法标准》GB / T50266—99，《土工试验方法标准》GB / T50123—1999 及有关规程标准。

3) 大部分试验工作量应在可研阶段完成，至初设阶段累计的试验工作量应达到表 6-2 要求。

表 6-2 室内试验每单项试验数量（组）

滑坡规模及防治工程等级	滑带及滑床和滑体的岩土层的物理、力学性质（组）	滑带土的物质组成成分和微观结构特征（组）	地下水、地表水的化学简分析及对砼的侵蚀性分析（组）
大型及以上，一级	$\geq 10$	4~6	4~6
中 型，二级	$\geq 8 \sim < 10$	2~4	2~4
小 型，三级	$\geq 6 \sim < 8$	2	2

4) 室内试样应尽可能在探井，探洞或坑槽内采集不扰动试样（原状试样），岩石试样也可在钻孔中采集，土试样和滑带试样可通过钻孔用薄壁取土器静力压入法采集不扰动试样（原状试样）。不宜采用扰动土样做重塑土样试验。但在天然原状试样无法采集时，可采用保持天然含水量



的扰动土样做重塑土样试验，但对试验结果应加强分析。

5) 滑带土抗剪强度 ( $c$ 、 $\phi$ ) 值室内试验，应根据滑坡现场含水情况和排水条件及实际受力状态，采用天然快剪和饱和快剪或固结快剪和饱和固结快剪试验方法进行，以获得相应的峰值和残余值的抗剪强度 ( $c$ 、 $\phi$ ) 值。

表 6-1 岩土室内试验项目一览表

试验项目		符号	单位	滑带土	滑床	滑体	备 注
物理性质	天然含水量	$\omega$	%	√	√	√	
	密度	$\rho$	g/cm <sup>3</sup>	√	√	√	
	重度(天然、饱水)	$\gamma, \gamma_w$	kN/m <sup>3</sup>	√	—	√	
	孔隙比	$e$		√	—	√	
	塑限	$w_p$	%	√	—	○	
	液限	$w_L$	%	√	—	○	
	膨胀性			○	○	○	
	渗透性	水平渗透系数	$k_{-}$	—		○	
		垂直渗透系数	$k_{\perp}$	√		○	
力学性质	天然快剪 ①	$c, \phi$	kPa, °	√	—	—	抗剪强度试验均要求取峰值和残余值强度值
	饱和快剪 ②	$c, \phi$	kPa, °	√	—	—	
	固结快剪 ③	$c, \phi$	kPa, °	√	—	—	
	饱和固结快剪 ④	$c, \phi$	kPa, °	√	—	—	
	重复剪	$c, \phi$	kPa, °	○	—	—	
	三轴压缩	$c, \phi$	kPa, °	△	√	○	
	压 缩	$\sigma, E, M$	KPa, kPa <sup>-1</sup> , —	—	√	○	
	直 剪	$c, \phi$	KPa, °	—	△	○	
微观结构(擦痕、光面、排列)				√	—	—	
物 质 组 成	颗粒成分		%	√	—	—	
	土石比		%	√	—	○	
	粘土矿物成分			○	—	—	
	化学成分		%	○	—	—	

注：① √ 应做的试验，△根据实际状态选做的试验，○根据需要选做的试验；②水质分析根据需要确定做的试验；③室内试验岩土样采取，按《原状样取样技术标准》JGJ/89-92。

当滑带土厚度大于 20cm 时，应注意确定其主滑面或其主滑方向及其倾角，采集相应的试样，以沿其主滑面或滑带土指向进行上述相应的直剪试验；也可按其滑动方向确定的主应力进行三轴压缩试验；对不含碎石颗粒而砾石（砾粒）含量较高的滑带土，宜进行中型直剪试验；通过上述试验，以获得相应的峰值和残余值的抗剪强度（ $c$ 、 $\phi$ ）值。

必要时，可适当的进行滑动面的重合剪切试验。

6) 为防止施加工程后滑体在软弱界面处产生次级滑动，必要时，可采集滑坡堆积层主要软弱界（层）面不扰动试样，沿着滑动方向进行直剪试验；或在滑坡堆积层中采集不扰动试样，沿其滑动方向进行直剪试验或按其滑动方向确定的主应力进行三轴压缩试验；以求取相应的峰值和残余值的抗剪强度（ $c$ 、 $\phi$ ）值。

7) 为治理工程设计需要为主要目的，对滑床的主要有关岩层采集原状试样，进行按铅直方向为最大主应力的三轴压缩试验；还应对顺坡层状滑床和近水平层状滑床采集其对稳定性控制的层面和软弱夹层的原状试样，沿可能滑动方向进行其抗剪强度（ $c$ 、 $\phi$ ）值试验；以求取相应的峰值和残余值抗剪强度（ $c$ 、 $\phi$ ）值。采集滑床原状试样，进行铅直方向的压缩试验，以求取相应的抗压强度，弹性模量和泊松比。

8) 直剪试验时，滑带（面）或剪切面上的最大法向应力应根据滑带（面）或剪切面上覆实际荷载（岩土体自重等）的 1.2 倍的法向分应力确定。三轴压缩试验的围压应据其相应的实际荷载来确定。

### 6.2.3 岩土原位试验

1) 岩土原位试验项主要是滑带土原位大面积直剪试验和滑体大体积重度试验。

2) 滑带土的原位大面积直剪试验应符合《岩土工程勘察规范》GB50021—2001 和《工程岩体试验方法标准》GB / T50266—99，滑体大体积重度试验应符合《土工试验方法标准》GB / T50123—1999。

3) 大部分试验工作量应在可研阶完成，至初设阶段累计的试验工作量应达到表 6-3 要求。

表 6-3 岩土原位试验数量

项目 试样状态 滑坡规模 及防治工程分级	滑带土原位大面积直剪试验（组）		滑体大体积重度试验（组）	
	天然状态	饱和状态	天然状态	饱和状态
大型以上，一级	2	2	$\geq 6$	$\geq 6$
中 型，二级	1~2	1~2	4~6	4~6
小 型，三级	依据需要确定		2~4	2~4

4) 滑带土原位大面积直剪试验应在探洞、探井中进行；滑体大体积重度试验应在滑体的主要组成岩土层中进行。

5) 滑带土的原位大面积直剪试验，应选择对滑坡稳定及控制性的滑带土，试验分为滑带土处于天然含水状态和饱和含水状态两种试样直剪试验，每组试样 5 块，其物理性质、物质组成和地质特征应基本相同。每块试样尺寸，滑带土作为剪切面其尺寸为  $50\text{cm} \times 50\text{cm}$ ，其上试样高度不小于剪切面最小边长的  $1/2$  倍，每块试样间距宜大于最小边长。试验时，在每块试样（滑带或剪切面）上，施加不同的法向荷载，其值按最大法向荷载大致 5 等分的 1 至 5 倍分别施加于 5 块试样上，最大法向荷载为试样上覆实际荷载在滑带或剪切面上法向荷载的 1.2 倍。每块试样的推力方向应与滑坡主滑方向一致。

6) 通过滑带土的原状大面积直剪试验，以求取滑带土在天然含水状态下和饱和含水状态下的相应的峰值和残余值抗剪强度（ $c$ 、 $\phi$ ）值。

7) 滑带土原位大面积直剪试验前，应对试样主要是滑带土的含水状态和饱水状态物理性质和物质组成，及地质特征等进行描述，试验结束后，应对剪切面的剪切角和实际剪切面积进行测量，对剪切面的剪切（滑移）形迹特征及其方向以及其它的力学现象进行详细描述记录，并进行照像和作图。

8) 应同时采集原位大面积直剪试验的滑带土，进行如表 6—1 的室内试验项目。

9) 滑体大体积重度试验宜采用容积法，试坑体积根据土石粒径或尺寸确定，一般不宜小于  $50\text{cm} \times 50\text{cm} \times 50\text{cm}$ ，体积可通过注水测量，试坑内岩土体试样通过称重法确定，并测定试样的含水率。

## 6.2.4 水文地质原位试验与观测

1) 水文地质原位试验项目主要是采用钻孔注水试验、钻孔抽水试验或试坑注水试验来了解岩土层的渗透性和含水层状态及求取岩土层渗透系数，采用钻孔地下水动态简易观测来了解地下水动态和求取地下水水位。

2) 岩土层渗透系数试验和地下水水位量测应符合《岩土工程勘察规范》GB50021—2001 和《地质灾害防治工程勘察规范》DB50 / 143—2003 的规定。

3) 滑坡的钻孔注水试验或钻孔抽水试验的试验钻孔数量，应视滑坡的规模及岩土结构、含水层数量和透水性差异而定，大部分试验工作量应在可研阶段完成，至初设阶段累计的试验工作量应达到表 6—4 要求。

4) 滑坡体存在地下水时，应进行抽水试验，地下水水量较小时，可采用简易抽水试验（提筒抽水），地下水水量较大时，应进行一次最大降深抽水试验，其稳定时间应为 4h-8h，当滑坡体具

多个含水层时，应进行分层抽水试验；

表 6-4 钻孔注(抽)水试验和地下水简易观测孔数

滑坡规模	钻孔分层(段)注 (抽)水试验(孔)	钻孔地下水动态简易观测(孔)
大型及以上，一级	5	9 孔(主勘探线上 3 孔，两邻侧副勘探线上各 3 孔)
中 型，二级	3	5~7 孔(主勘探线上 3 孔，两邻侧副勘探线上各 1~2 孔)
小 型，三级	2	3 孔(主勘探线上)

5) 当滑坡体处在地下水位以上时，宜采用注水试验，当在垂向上岩土层组成与结构及透水性的差异较大时，宜进行分层注水试验。

6) 地表试坑渗水试验可配合进行，其数量按各类土层 6 组计。

7) 钻孔发现地下水时，视情况做好分层止水，测定其初见水位和稳定水位及含水层厚度，并进行动态观测，一般的滑坡勘查期间地下水动态观测可采用简易观测，观测时间一直到勘查结束。

## 6.3 崩塌（危岩体）试验

6.3.1 崩塌（危岩体）破坏模式为滑移式危岩、倾倒式危岩和坠落式危岩三类。其试验对象为滑带、软弱夹层、破碎带或结构面，滑床、母岩和基座岩体及地下水和有关地表水。

6.3.2 试验项目包括岩土的物理性质、力学性质、岩土的颗粒成分、矿物成分和微观结构特征，地下水和地表水的化学成分及其对砼的侵蚀性和对钢结构的腐蚀性。

6.3.3 试验应符合《工程岩体试验方法标准》GB / T50266—99，《土工试验方法标准》GB / T50123—1999 及有关规程标准。

6.3.4 室内试样应尽可能在坑槽、探井或探洞中采集原状试样，岩石试样也可在钻孔中采集，土层、软弱夹层和滑带土试样也可通过钻孔用薄壁取土器静力压入法采集不扰动试样（原状试样）。

6.3.5 除岩土体一般常规试验外，参照表 6.1，控制崩塌（危岩体）的滑带、软弱夹层（泥化夹层）、破碎带或结构面（节理面，裂隙面或层面）等及滑床，母岩和基座岩体的相应力学参数是其试验重点。对滑移式危岩应注意进行滑带或有利滑移的软弱夹层（泥化夹层及破碎带的抗剪强度试验，倾倒式危岩体应注意进行有拉裂的结构面抗拉强度试验，坠落式危岩体应注意进行沿结构面的抗剪强度或抗切强度试验。大型及以上崩塌（危岩体）勘查宜进行原位试验。

6.3.6 以治理工程设计需要为主要目的，根据滑床和基座岩体的实际工程地质实际条件和岩层结构特征，可按前 6.2.2 中第 7 条采集原状试样进行有关的室内力学参数试验。必要时对倾倒危

岩体和坠落危岩体的母岩体及滑移危岩体的滑床的重要岩层采集原状试样进行抗拉强度和抗剪强度试验。

6.3.7 注意观测和分析危岩体的地下水动态和裂隙水头压力。

6.3.8 大部分试验工作量，应在可研阶段完成，至初设阶段累计的试验工作量要求参照表 6—2—1 和表 6—2—2 有关项目确定。

## 6.4 塌岸试验

6.4.1 塌岸破坏模式为滑移型塌岸，坍（崩）型塌岸和侵蚀剥蚀型塌岸三类，其试验对象为滑带、软弱夹层或结构面，滑床、母岩和基座岩体及地下水和有关地表水。

6.4.2 试验项目包括岩土的物理性质、力学性质，滑带土的颗粒成分，矿物成分、化学成分和微观结构特征，地下水和地表水的化学成分及其对砼的侵蚀性和对钢结构的腐蚀性。

6.4.3 试验应符合工程《岩体试验力学标准》GB / T50266—99，《土工试验方法标准》GB / T50123—1999 及有关规程标准。

6.4.4 试验试样宜在探井坑槽和钻孔中采集原状试样。

6.4.5 滑移型塌岸参照滑坡和滑移式危岩体对滑带和有利滑移的软弱层等按其实际性状，受力状态及实际条件进行快剪和饱和快剪或固结快剪和饮和快剪等直剪试验，以求取相太的峰值和残余值抗剪强度（ $c$ 、 $\phi$ ）值。

坍（崩）型塌岸，应对预测的塌岸面（滑带、软弱层（面），结构面），参照相关崩塌（危岩体）中滑移式危岩、倾倒式危岩和垮落式危岩的试验要求进行。对侵蚀剥蚀型塌岸，宜对岸坡岩土体采集原状试样进行快剪和固结快剪，或饱和快剪和饱和固结快剪等直剪试验以及软化、崩解和冲刷试验。

6.4.6 针对治理工程设计特点和需要，必要时，可对其滑床，母岩和基座岩土体参照崩塌（危岩体）对主要岩土层进行有关试验，对侵蚀剥蚀型塌岸岸坡一定深度的岩土体宜时行抗拉强度试验。

6.4.7 为治理工程设计和塌岸预测需要，应进行一定数量的钻孔抽水、注水试验和坑槽注水试验。

6.4.8 大部分试验工作量，应在可研阶段完成，至初设阶段累计的试验工作量要求参照表 6—2—1 和表 6—2—2 有关项目确定。

## 6.5 测试结果统计

6.5.1 岩土性质指标测试值应根据概率理论进行统计。统计前应根据岩土的性质差异划分不同的统计单元，并根据采样方法、测试方法及其它影响因素对测试结果的可靠性和适用性作出评价（【DB50/143—2003】，10.5.1）。

6.5.2 每一个测试值均应参与统计，当不能参与统计时应说明其原因。参加统计分析的岩土性质指标测试值有效数量，物性指标和抗剪强度指标不应少于 8 个，其它指标不应少于 12 个。强度指标测试数量达不到数理统计的要求时，可采用平均值乘以 0.85~0.95 的折减系数修正，可研勘察阶段取较小值（【DB50/143—2003】，10.5.2）。

6.5.3 岩土性质指标测试值统计结果应包括范围值、算术平均值、标准差、变异系数及标准值。其统计要求应符合（GB50021—2001）的有关规定。

6.5.4 抗剪试验和三轴压缩试验成果可按摩尔理论或库仑理论的图解法或计算及最小二乘法进行分析整理。

## 7 稳定性分析与评价

### 7.1 滑坡稳定性分析与评价

#### 7.1.1 地质定性分析评价

进行滑坡稳定性计算前，应根据滑坡地质范围、规模、地质条件，滑坡成因及已经出现的变形破坏迹象，对滑坡的稳定性作出定性判断（【DB50 / 143—2003】，12.1.12）。

#### 7.1.2 滑坡稳定性评价应给出滑坡计算剖面在设计工况下的稳定系数和稳定状态。

7.1.3 对每条纵勘探线和每个可能的滑面均应进行滑坡稳定性评价。除应考虑滑坡沿已查明的滑面滑动外，还应考虑沿其它可能的滑面滑动。应根据计算或判断找出所有可能的滑面及剪出口。对推移式滑坡，应分析从新的剪出口剪出的可能性及前缘崩塌对滑坡稳定性的影响；对牵引式滑坡，除应分析沿不同的滑面滑动的可能性外，还应分析前方滑体滑动后后方滑体滑动的可能性。对涉水滑坡尚应分析塌岸后滑坡稳定性的变化。滑坡稳定性计算最终结果所对应的滑动面应是已查明的滑面或通过地质分析及计算搜索确定的潜在滑面，不应随意假设（【DB50 / 143—2003】，12.1.13；12.1.15）。

#### 7.1.4 参数选取

滑动面（带）土的计算强度指标应根据试验成果、反分析成果和当地相似滑坡工程经验值综合确定（【GB50021—2001】，5.2.8）。

（1）试验参数的选取，应注意测试方法与计算模型的配套性（【GB50021—2001】，14.2.1）；应注意参数测试方法、测试条件与滑坡原型条件之间的相似性与差异性；应进行统计分析，算出其平均值，标准差、变异系数。

（2）反分析方法，一般应根据已经滑动或有明显变形的滑坡，采用双剖面法进行联合反算，条件不具备时可采用单剖面进行计算。应准确考虑滑坡出现滑动或变形时所处的工况，根据室内与现场不扰动滑动面（带）土的抗剪强度的试验结果及经验数据，给定粘聚力  $C$  或内摩擦角  $\phi$ ，反求另一值。对已经滑动的滑坡，稳定系数  $F_s$  可取 0.95~1.00；对有明显变形但暂时稳定的滑坡，稳定系数  $F_s$  可取 1.00~1.05（【GB50021—2001】，条文说明 5.2.7）。

#### 7.1.5 稳定性计算荷载及荷载组合

7.1.5.1 根据滑坡与水库水位的关系，可分为涉水滑坡和不涉水滑坡。作用于涉水滑坡的荷载有：灾害体的自重及地面荷载；水库水位和水库水位变动产生动静水压力；降雨入渗形成的地下

水动静压力等。

作用于不涉水滑坡的荷载有：灾害体的自重及地面荷载；降雨入渗形成的地下水动静压力等。

#### 7.1.5.2 涉水滑坡的水库运行水位工况（附录 11.10）

涉水滑坡的荷载组合主要涉及水库运行工况和暴雨工况的组合。水库运行工况分为静止水位工况和水位降落工况。

##### 1) 水库静止水位工况

分为非汛期和汛期两种组合。非汛期静止水位分别为坝前 175 米水位接非汛期（11 月份）20 年一遇洪水水面线、坝前 156 米水位、坝前 139 米水位接非汛期 20 年一遇洪水水面线；汛期水位为坝前 162 米水位（50 年一遇）接汛期 50 年一遇洪水水面线、坝前 156 米水位（接近于 20 年一遇）、坝前 145 米水位（水库限制水位）接汛期 20 年一遇洪水水面线（详见附录 11.11，11.12）。

##### 2) 水库水位降落工况

据“三峡（初期运行期）葛洲坝水利枢纽梯级调度规程（2004.10）”，三峡水库正常蓄水后运行方式为：一般情况下，5 月初至 5 月底，坝前水位从 175 米降至 155 米，每天下降不大于 1 米，平均为 0.67m/d；6 月 1 日至 6 月 10 日，坝前水位从 155 米降至 145 米，平均 1.0m/d。

汛期遇百年一遇、千年一遇洪水，坝前水位上升速率为 3~4m/d，千年一遇控制坝前水位不高于 175 米（百年一遇控制坝前水位不高于 166.7 米，20 一遇坝前水位为 157.5 米），大水后坝前水位下降速度不大于 3m/d。

#### 7.1.5.3 降雨工况

稳定性计算采用的降雨过程，在非汛期（10—5 月）为重现期 N 年一遇 5 日暴雨（q 枯），汛期（6—9 月）为重现期 N 年一遇 5 日暴雨（q 全）。对降雨入渗应进行相应的地下水渗流计算。降雨强度重现期（N）见表 7-1。

表 7-1 暴雨强度重现期（N）表

滑坡工程级别	暴雨强度重现期（N）	
	设计	校核
I	50	100
II	20	50
III	10	20

降雨入渗应进行相应的地下水渗流计算。

对特大型滑坡和崩塌防治工程的设计降雨过程应进行专门论证。



#### 7.1.5.4 地震荷载

地震烈度为 VI 度时，不计入地震力（《水工建筑物抗震设计规范》[SL2003-97]），根据《中国地震动参数区划图》[GB 18306-2001]，三峡库区位于 VI 度区，不考虑地震荷载。

#### 7.1.5.5 滑坡稳定性计算工况及荷载组合

1) 滑坡稳定性计算工况及荷载组合见表 7-2。

**表 7-2 稳定性计算工况、荷载组合**

涉水或不 涉水 滑坡	水库运 行水位	工况组 合编号	荷 载 组 合 内 容	抗滑稳定安全系数			涉水滑坡点位 处水位线
				地质灾害危害性分级			
				I	II	III	
涉水  滑坡	静止  水位	1	自重 + 地表荷载 + 现状水位	1.25	1.20	1.15	坝前水位接 11 月份 20 年一遇 洪水水面线
		2	自重 + 地表荷载 + 水库坝前 175m、156m、139m 静水位+ 非汛期 N 年一遇暴雨（q 枯）	1.25	1.20	1.15	
		3	自重 + 地表荷载 + 水库坝前 162m、156m、145m 静水位 + N 年 一遇暴雨（q 全）	1.25	1.20	1.15	坝前 162m 水位 接汛期 50 年一 遇洪水水面 线，156m， 145m 接汛期 20 米一遇洪水水 面线
	水位  降落	4	自重 + 地表荷载 +坝前水位从 175m 降至 145m	1.20	1.15	1.10	坝前水位接 11 月份 20 年一遇 洪水水面线
		5	自重 + 地表荷载 +坝前水位从 175m 降至 145m + 非汛期 N 年一遇暴雨 （q 枯）	1.20	1.15	1.10	
		6	自重 + 地表荷载 + 坝前水位从 162m 降至 145m+N 年一遇暴雨（q 全）	1.20	1.15	1.10	坝前水位接汛 期 50 年一遇洪 水水面线
不涉水  滑坡		7	自重 + 地表荷载	1.25	1.20	1.15	
		8	自重 + 地表荷载 + N 年一遇暴雨 （q 全）	1.20	1.15	1.10	

注：表中水位为坝前水位，坝区以上各灾害点水位应是坝前 175m、162m、156m、145m 水位相应回水水面线在该地水位（参考附录 12.9、12.10、12.11）。由于资料及时间所限，在重庆以下库段，坝前水位接 11 月份 20 年一遇洪水水位线用坝前水位接汛期 5 年一遇洪水水位线替代，重庆至江津库段，可参考附录 12.10。

2) 计算工况的选择

① 涉水滑坡

计算工况 1、工况 2、工况 3、工况 4

② 不涉水滑坡

计算工况 7、工况 8。

7.1.6 计算方法

1) 滑坡的稳定性分析应采用刚体极限平衡法（【GB50330—2002】，5.1.2），对大型、复杂的滑坡、危岩体可进行数值模拟专题评价。

2) 根据滑面（滑带）条件，按平面、圆弧或折线、选用正确的计算模型（【GB50021—2001】，5.2.8）。

3) 圆弧滑动法、平面滑动法和折线滑动法的稳定性系数计算公式，宜分别采用【GB50330—2002】、【DB50 / 143—2003】、【GB50021—2001】所规定的计算公式（详见附录 12.3）。

4) 当滑坡体内地下水已形成统一水面时，应计入浮托力和动水压力。

5) 有后缘裂缝的岩质滑坡稳定性计算应考虑后缘裂缝的静水压力。

6) 当库水位上升或下降时，浸润线计算可参照【DB50/143—2003】，P25～27。

7) 当有局部滑动可能时，除验算整体稳定性外，尚应验算局部稳定性（【GB50021—2001】，5.2.8）。

7.1.7 稳定状态分级

滑坡稳定性状态按稳定系数分四级，见表 7-3（据【DB50/143-2003】），其中界定滑坡稳定程度与工况条件及滑坡灾害程度分级有关，不同灾害等级滑坡安全系数见表 7-2。当某一工况条件下滑坡稳定系数大于或等于滑坡稳定性安全系数时，该滑坡在该工况下的稳定性可视为满足要求。

表 7-3 滑坡稳定状态分级

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

※ $F_{st}$  为滑坡稳定性安全系数

7.2 危岩稳定性评价（【DB50/143—2003】，12.2，略修改）

7.2.1 危岩稳定性评价应给出危岩在设计工况下的稳定系数和稳定状态。

7.2.2 危岩稳定性计算所采用的荷载可分为危岩自重和裂隙水压力。

7.2.3 危岩稳定性计算所采用的工况可分为现状工况和暴雨工况。

上述各工况组成因素中，“现状”应是勘察期间的状态，“暴雨”应是强度重现期为 50 年一遇 5 日暴雨（ $q_{全}$ ）。

7.2.4 危岩稳定性计算中各工况考虑的荷载组合应符合下列规定：

对现状工况和暴雨工况，应考虑自重，同时对滑移式危岩和倾倒式危岩应分别考虑现状裂隙水压力和暴雨时裂隙水压力；

7.2.5 裂隙充水高度对现状裂隙水压力应根据调查资料确定，对暴雨时裂隙水压力应根据汇水面积、裂隙蓄水能力和降雨情况确定；当汇水面积和蓄水能力较大时，可取裂隙深度的  $1/3 \sim 1/2$ 。

7.2.6 考虑降雨对危岩稳定性的影响时，除应计算暴雨时裂隙水压力外，还应分析降雨引起的土体物质的迁移及上覆土层重度的增加。

7.2.7 在进行危岩稳定性计算之前，应根据危岩范围、规模、地质条件，危岩破坏模式及已经出现的变形破坏迹象，采用地质类比法对危岩的稳定性作出定性判断。

7.2.8 危岩计算剖面应通过危岩块体重心。

7.2.9 滑移式危岩稳定性计算

应根据危岩体不同的破坏模型，选择适当的方法进行稳定性计算，主要的破坏型式及计算方法参见附录 12.4。

7.2.9 当危岩破坏模式难以确定时，应同时进行各种可能破坏模式的危岩稳定性计算。

7.2.10 当危岩断面尺寸变化较大时，危岩稳定性计算应按空间问题进行。

7.2.11 按危岩稳定系数判断危岩稳定状态时，应符合表 7-4 的规定。

表 7-4 危岩稳定状态

危岩类型	危岩稳定状态			
	不稳定	欠稳定	基本稳定	稳定
滑移式危岩	$F < 1.0$	$1.00 \leq F < 1.15$	$1.15 \leq F < F_t$	$F \geq F_t$
倾倒式危岩	$F < 1.0$	$1.00 \leq F < 1.25$	$1.25 \leq F < F_t$	$F \geq F_t$
坠落式危岩	$F < 1.0$	$1.00 \leq F < 1.35$	$1.35 \leq F < F_t$	$F \geq F_t$

7.2.12 危岩稳定状态应根据定性分析和危岩稳定性计算结果综合判定。

7.2.13 滑移式危岩稳定安全系数参照滑坡执行，倾倒式、坠落式危岩稳定性安全系数应根据危岩崩塌危害性等级和危岩类型按表 7-5 确定。

表 7-5 危岩稳定性安全系数

危岩类型	危岩崩塌危害性分级		
	一级	二级	三级
倾倒式危岩	1.50	1.40	1.30
坠落式危岩	1.60	1.50	1.40

## 7.3 塌岸预测与评价

7.3.1 塌岸预测的主要内容，包括定量分析估算水库建成蓄水后塌岸范围，某一库岸段塌岸宽度和速度，某一期内的最终的塌岸宽度，以及形成最终塌岸所需年限，以便给库岸防护提供依据。

7.3.2 目前塌岸预测的方法，主要有类比法、动力法、统计法和试验法，多属于经验和半经验性，附录 12.5 列出了几种常用预测方法，可以参照使用。在具体预测评价时，宜采用多种方法预测，进行综合性评价。一般详细勘查阶段塌岸预测方法，不宜少于二种。

7.3.3 塌岸预测，对每条垂直水库库岸的勘探剖面均应进行。

7.3.4 对厚层土质(包括崩滑堆积)岸坡，应先进行圆弧形滑动可能性搜索，当不存在整体滑移时，再用基于地质类比的图解法等进行塌岸宽度预测。预测可采用当地长江天然状态下洪、枯水位变幅带有关各种土质的稳定坡角，类比库水位变幅带(145--175m)同类土质的稳定坡角，水下和库水位以上岸坡稳定坡角，可根据岩土物理力学性质，结合岸坡现状调查统计，综合分析得出。

对存在整体滑移的崩滑型塌岸，可按崩滑体稳定性计算的有关方法进行预测评价。

## 8 监测

### 8.1 一般规定

8.1.1 地质灾害防治工程勘查期间对有明显变形迹象的和定性评价稳定性差的地质灾害均应进行监测，其目的是监测地质灾害的变形及施工扰动的影响，保证勘查施工的安全，并为评价地质灾害的稳定性提供监测数据。

8.1.2 勘查期监测应以地表变形（位移）监测为主。对于变形十分明显且速率较大的灾害地质体，可结合勘查工程施工，利用勘查的钻孔、平洞、竖井，对滑体及滑带等进行深部变形监测。当灾害地质体变形与地下水关系明显时，可利用勘探钻孔及泉水进行简易水文地质观测。

8.1.3 在勘查设计中应单列监测设计，应针对地质灾害的变形情况及扰动大的勘查工程（如平洞、竖井）的具体情况制定监测方案，其监测网点应尽可能为后期监测工作利用。

### 8.2 监测内容

#### 8.2.1 滑坡监测

地表变形监测、裂缝监测、建筑物变形监测、滑动面位移监测、地下水位、水量；布置平硐和竖井进行勘查的，宜进行硐（井）口位移、硐（井）内滑带位移、裂缝收敛变化、位移错动等内容的监测。

#### 8.2.2 危岩（崩塌）监测

岩体绝对位移与沉降、裂缝（张开、闭合、位错）变化、地下水位变化及泉水流量监测、裂缝充水情况等监测；布置平硐勘查的，还应进行硐口位移、硐内软层、裂缝收敛变化、位移错动等内容的监测。

#### 8.2.3 塌岸监测

塌岸岩土体绝对位移、地表裂缝（张开、闭合、位错）变化、地下水位变化、泉水流量监测及塌岸前缘坍塌情况监测等。

#### 8.2.4 对于滑坡、危岩及塌岸，除上述监测内容外，还应包括：

（1）进行人工巡视检查（由经验丰富的技术人员现场对地表裂缝、塌陷、泉水露头等各种变形迹象进行巡视检查、拍照和记录）；

(2) 收集当地降雨量资料，进行地质灾害体前缘河库水位变化监测。

## 8.3 监测方法的选择

可根据地质灾害勘查期间的监测内容和现场条件，参照表 8-1 选择监测方法。

表 8-1 地质灾害部分常用监测方法一览表

序号	监测项目	观测内容	观测仪器	常用观测方法
1	地表绝对位移监测	地表水平位移、下沉	Trimble/Leica/Ashtech 等系列 GPS 接收机	GPS 测量法
			高精度全站仪、精密测距仪、精密水准仪、2" 级以上电子经纬仪等	视准线法、小角法、极坐标法、交会法等监测水平位移；水准测量、精密三角高程测量等方法监测垂直位移。
2	滑坡体内部位移监测	滑体深部位移变形、滑带处错动等	钻孔倾斜仪、位移计、多点位移计	便携仪表量测法、固定埋设仪表量测法
3	裂缝相对位移监测	裂缝两侧相对张开、闭合、下沉、抬升或错动等	测缝计、位移计、收敛计、伸缩仪、游标卡尺、钢尺	简易量测法、机械或电子仪表量测法
4	泉点监测	泉水流量	矩形堰、T 形堰、V 形堰	测流堰观测法
5	地下水监测	地下水水位、水量、水温等	水位自动记录仪、监测盅、水温计	地下水监测钻孔
6	常规水文监测	与滑坡相关的河、库、溪水位等	水位标尺	有条件可搜集当地气象水文站资料；也可人工测读
7	常规气象监测	大气降水量、温度	雨量计、温度计	可搜集当地气象局观测资料；也可人工或自动记录量测

## 8.4 监测网点的布设

8.4.1 应尽量利用勘查前已有监测点进行监测；勘查前没有监测点的，应在地质人员现场踏勘基础上，在地质灾害体的变形控制性部位、代表性部位和易变形敏感部位布设位移监测点。大型地质灾害体地表位移监测点宜为 3 纵 3 横监测共 9 点，中型为 2 纵 3 横共 6 点，小型可为 1 纵 3 点。

8.4.2 位移观测基准点应设置在地质灾害体以外的稳定地质体上，并构成可以进行稳定性检测的简单网型；基准点还应满足对变形点进行位移监测的各种观测条件。

8.4.3 应尽量利用勘探钻孔布置地下水位监测孔，利用平硐、探井进行滑体深部位移变形监测。

8.4.4 尽可能将位移监测点和地下水监测孔布置在与主滑方向重合和的纵剖面上。

8.4.5 注重在地质灾害体地表及其上建筑物上出现的裂缝处多布设测点进行裂缝简易量测。

## 8.5 监测周期及监测精度

8.5.1 监测周期：绝对位移监测周期一般为 7—15 天，变形速率增大或出现异常变化时，应缩短监测周期；地下水位变化、泉水流量、裂缝变化监测与人工巡视检查周期宜为 1 天~7 天，发现异常应随时加密监测和巡查。

8.5.2 绝对位移、主要裂缝变化等监测内容的首期观测值应在现场勘探工作开始前取得。

8.5.3 观测精度应满足以下要求：

- 1) 位移和下沉变化观测误差应小于实际变形值的  $1/5 \sim 1/10$ ，一般应在毫米级。
- 2) 裂缝变化、深部位移观测误差一般应不大于 2 mm 或监测周期内平均变化量的  $1/5$ 。

## 8.6 监测资料整理分析

8.6.1 每次监测均应有原始记录，并及时进行监测数据计算和整理。

8.6.2 每次监测后应及时对监测数据进行分析，绘制时程曲线，并及时书面报送业主(工程管理单位)、监测及勘查施工单位等有关各方；情况紧急时应作出临灾预报。

8.6.3 现场勘查工作结束后，提交勘查成果时应一并提交勘查阶段监测报告。监测报告除进行监测分析总结外，还应包括监测点位布置图、观测成果表、位移矢量图、各种变化时程曲线、监测仪器检定资料及其它必要的附图附件。

## 9 勘查成果

### 9.1 一般要求

9.1.1 勘查报告所依据的原始资料，应进整理、检查、分析，确认无误后方可使用（【GB50021—2001】，14.3.1）。

9.1.2 勘查报告应资料完整、真实准确、数据无误、图表清晰、结论有据、建议合理、便于使用和适宜长期保存，并应因地制宜，重点突出，有明确的工程针对性（【GB50021—2001】，14.3.2）。

9.1.3 勘查报告的文字、术语、代号、符号、数字、计量单位、标点，均要符合国家有关标准的规定（【GB50021—2001】，14.3.8）。

9.1.4 勘查单位资质证书、勘查人员资格证书、勘查委托书（或技术要求书）、勘查合同书、经审查通过的勘查设计书、勘查单位自审意见书及影像资料应作为附件随报告提交（【DB50/143-2003】，13.1.2）。

9.1.5 勘查报告应包括书面报告和数字化报告（【DB50/143-2003】，13.1.3）。

9.1.6 对不同致灾地质体的勘查应分别提交勘查报告。当几个致灾地质体距离很近、条件相似且规模不大时勘查成果可以一个报告的形式提交（【DB50/143-2003】，13.1.4）。

9.1.7 地质灾害防治工程勘查报告中剖面图的水平、垂直比例尺应一致（【DB50/143-2003】，13.1.6）。

### 9.2 滑坡勘查成果

#### 9.2.1 可行性研究勘查报告

##### 9.2.1.1 报告内容

0 前言

0.1 任务由来

0.2 地质灾害概况及危害情况（地质复杂程度、危害程度等）

0.3 勘查目的、任务



0.4 勘查工作评述(前期工作评述、勘查依据、勘查时间、勘查范围、勘查工作量、勘查质量等)

## 1 勘查区自然地理及地质环境

### 1.1 自然地理

包括勘查区地理位置、行政区划、准确地理坐标、交通状况、气象与水文(含三峡工程水库运行)、区域经济状况、移民概况等。

### 1.2 地质环境

#### 1) 地形地貌

#### 2) 地层岩性

#### 3) 地质构造与地震

#### 4) 水文地质条件

#### 5) 不良地质现象

#### 6) 人类工程活动

## 2 滑坡基本特征及类别

### 2.1 滑坡地形地貌

包括微地貌单元与结构、地形坡度及变化等,突出地形地貌形成与滑坡之间的联系。

### 2.2 滑坡空间形态

主要描述滑坡边界、滑面的形态、滑体厚度空间变化等。

### 2.3 滑坡物质组成及结构特征

分别叙述滑体、滑带、滑床的岩土组成、结构构造特征,突出滑带的识别依据。

### 2.4 滑坡水文地质

阐述滑体水文地质条件及地下水,即滑坡含水层、隔水层的位置、性质、厚度,岩土体的透水性,地下水径流流向、补给及排泄条件;滑坡地下水及其动态特征,注水试验等与岩土渗透性,地表地下水简分析与侵蚀性。

### 2.5 滑坡岩土物理力学性质

#### 2.5.1 滑体岩土物理力学性质

叙述滑体岩土物理力学试验的取样情况、试验方法、试验结果

#### 2.5.2 滑带土物理力学性质

叙述滑带土物理力学试验的取样情况、试验方法、试验结果

### 2.5.3 滑床岩土物理力学性质

叙述滑床岩土物理力学试验的取样情况、试验方法、试验结果

### 2.5.4 滑坡岩土物理力学参数建议值

在进行岩土试验参数统计、反分析（条件具备时）及经验类比的基础上，提出参数建议值。

## 3 滑坡稳定性分析评价

### 3.1 滑坡变形宏观分析

包括变形现象、影响因素、变形破坏的模式、稳定性判断及发展趋势等

### 3.2 滑坡稳定性极限平衡法分析

包括计算模型、计算方法、计算工况、计算结果

### 3.3 滑坡稳定性敏感因素分析

### 3.4 数值模拟分析（根据任务需要做）

### 3.5 稳定性综合评价

## 4 滑坡发展变化趋势及危害性预测

### 4.1 发展变化趋势

### 4.2 危害性预测

包括成灾可能性、成灾条件、危害范围、居民人数、实物指标调查。

## 5 天然建筑材料（任务需要则列此章）

## 6 综合分析与建议

### 6.1 综合分析

### 6.2 建议

#### 1) 参数

#### 2) 治理措施

## 7 结语

### 9.2.1.2 附图及附件（详见表 9-1）

#### 1) 工程地质平面图册(1:500~1:2000)

#### 2) 工程地质剖面图册(1:200~1:1000)

#### 3) 钻孔柱状图册(1:100)

#### 4) 井、槽、洞探成果及崩塌危岩体素描(1:50)图册

#### 5) 试验成果报告册(岩、土、水室内试验成果和野外试验成果)

- 6) 计算剖面册
- 7) 专门数值分析报告（根据需要做，必要时附计算程序）
- 8) 物探成果报告
- 9) 照片集册
- 10) 监测报告
- 11) 滑坡危及人口及实物指标调查成果

**表 9-1 勘察报告附图和附件**

序号	图 件 与 附 件 名 称	可研阶段	初设阶段	施工图阶段	一次详勘
1	综合工程地质图	√	√		√
2	工程地质剖面图	√	√		√
3	专门性工程地质平面图、剖面图			√	
	地层柱状图	√			√
4	勘察实际材料图	√	√	○	√
5	天然建筑材料产地分布图	○	○		○
6	地质测绘调查点记录表或记录本	√	√	√	√
7	钻孔柱状图	√	√	○	√
8	坑槽、平洞、竖井展示图和说明	√	√	○	√
9	岩、土、水试验成果汇总表	√	√	√	√
10	岩、土、水试验报告	√	√	√	√
11	岩矿鉴定和岩土化学分析报告和成果表	○	○	○	○
12	物探报告和成果图表	○	○		○
13	变形动态监测报告和图表	○	○	○	○
14	照片、音像资料	√	√		√
15	监理报告	√	√		√
16	其它				

注：① √ 应做的附图与附件，○根据需要做的附图与附件。

## 9.2.2 初步设计阶段勘察报告

### 9.2.2.1 报告内容

#### 0 前言

#### 0.1 任务由来

#### 0.2 地质灾害概况及危害情况（地质复杂程度、危害程度等）

### 0.3 可行性研究阶段工程地质勘查提出的主要问题和结论

### 0.4 勘查目的、任务

0.5 勘查工作评述(前期工作评述、勘查依据、勘查时间、勘查范围、勘查工作量、勘查质量等)

## 1 勘查区自然条件及地质环境条件

### 1.1 自然条件

包括勘查区地理位置、行政区划、准确地理坐标、交通状况、气象与水文、区域经济状况、移民概况等。

### 1.2 地质环境

#### 1) 地形地貌

#### 2) 地层岩性

#### 3) 地质构造与地震

#### 4) 水文地质条件

#### 5) 不良地质现象

#### 6) 人类工程活动

## 2 滑坡基本特征及类别

### 2.1 滑坡地形地貌

包括微地貌单元与结构、地形坡度及变化等，突出地形地貌形成与滑坡之间的联系。

### 2.2 滑坡空间形态

主要描述滑坡边界、滑面的形态、滑体厚度空间变化等。

### 2.3 滑坡物质组成及结构特征

分别叙述滑体、滑带、滑床的岩土组成、结构构造特征，突出滑带的识别依据。

### 2.4 滑坡水文地质

滑坡水文地质条件，滑坡地下水的补、径、排及动态特征、注水试验等与岩土渗透性，地表地下水简分析与侵蚀性。

### 2.5 滑坡岩土物理力学性质

#### 2.5.1 滑体岩土物理力学性质

叙述滑体岩土物理力学试验的取样情况、试验方法、试验结果

#### 2.5.2 滑带土物理力学性质

叙述滑带土物理力学试验的取样情况、试验方法、试验结果

#### 2.5.3 滑床岩土物理力学性质

叙述滑床岩土物理力学试验的取样情况、试验方法、试验结果

#### 2.5.4 滑坡岩土物理力学参数建议值

在进行岩土试验参数统计、反分析（条件具备时）及经验类比的基础上，提出参数建议值。

### 3 滑坡稳定性分析评价

#### 3.1 滑坡变形宏观分析

包括变形现象、影响因素、变形破坏的模式、稳定性判断及发展趋势等

#### 3.2 滑坡稳定性极限平衡法分析

包括计算模型、计算方法、计算工况、计算结果

#### 3.3 滑坡稳定性敏感因素分析

#### 3.4 数值模拟分析（根据任务需要做）

#### 3.5 稳定性综合评价

### 4 防治工程布置部位工程地质条件

重点阐述工程布置轴线及工程部位的水文地质和工程地质条件，包括地表水、地下水与滑坡水的水力联系、补给来源、补给方式，渗透系数、水的腐蚀性；滑体土、滑带土及滑床岩土的物理力学指标（含不同区段的  $C$ 、 $\phi$  值以及在使用期内，可能出现的最不利情况等）、滑床岩（土）水平承载力特征值及岩土体的地基系数等，以及存在的主要工程地质问题处理建议。

### 5 天然建筑材料（任务需要则列此章）

### 6 治理方案评价及建议

#### 6.1 可行性研究阶段治理方案评价

#### 6.2 治理方案优化建议

#### 6.3 防治工程设计参数建议

### 7 结语

#### 9.2.2.2 附图及附件（参照 9.2.1.2 及表 9-1）

## 9.2.3 施工图设计阶段勘察报告

#### 9.2.3.1 报告内容

## 0 前言

### 0.1 任务由来

### 0.2 地质灾害概况

### 0.3 初步设计阶段工程地质勘查主要结论及存在的问题

### 0.4 勘查目的、任务

### 0.5 勘查工作评述(勘查依据、勘查时间、勘查范围、勘查工作量、勘查质量等)

## 1 勘查区地质概况

### 1.1 自然条件

包括勘查区地理位置、行政区划、准确地理坐标、交通状况、气象与水文、区域经济状况等。

### 1.2 地质环境概况

## 2 滑坡基本特征

## 3 专门性工程地质问题

## 4 专门性工程地质问题的主要勘查方法及取得的主要成果

## 5 专门性工程地质问题评价

### 5.1 地质宏观分析

### 5.2 计算分析

### 5.3 综合评价

## 6 治理方案评价及建议

### 6.1 初步设计阶段治理方案评价

### 6.2 治理方案优化建议

### 6.3 防治工程设计参数建议

## 7 结语

### 9.2.3.2 附图及附件（参照 9.2.1.2 及表 9-1）

## 9.2.4 滑坡详细勘查（可研及初设勘查）报告

### 9.2.4.1 报告内容

## 0 前言

### 0.1 任务由来

0.2 地质灾害概况及危害情况（地质复杂程度、危害程度等）

0.3 勘查目的、任务

0.4 勘查工作评述

包括前期工作评述、勘查依据、勘查时间、勘查范围、勘查工作量、勘查质量等。

1 勘查区自然条件及地质环境条件

1.1 自然条件

包括勘查区地理位置、行政区划、准确地理坐标、交通状况、气象与水文、区域经济状况、移民概况等。

1.2 地质环境

1) 地形地貌

2) 地层岩性

3) 地质构造与地震

4) 水文地质条件

5) 不良地质现象

6) 人类工程活动

2 滑坡基本特征及类别

2.1 滑坡地形地貌

包括微地貌单元与结构、地形坡度及变化等，突出地形地貌形成与滑坡之间的联系。

2.2 滑坡空间形态

主要描述滑坡边界、滑面的形态、滑体厚度空间变化等。

2.3 滑坡物质组成及结构特征

分别叙述滑体、滑带、滑床的岩土组成、结构构造特征，突出滑带的识别依据。

2.4 滑坡水文地质

叙述滑坡体水文地质条件及地下水，即滑坡体含水层、隔水层的性质、厚度、透水性、地下水的补、径、排，地下水水位及动态，注水试验等与岩土渗透性，地表地下水简分析与侵蚀性。

2.5 滑坡岩土物理力学性质

2.5.1 滑体岩土物理力学性质

叙述滑体岩土物理力学试验的取样情况、试验方法、试验结果

2.5.2 滑带土物理力学性质

叙述滑带土物理力学试验的取样情况、试验方法、试验结果

#### 2.5.3 滑床岩土物理力学性质

叙述滑床岩土物理力学试验的取样情况、试验方法、试验结果

#### 2.5.4 滑坡岩土物理力学参数建议值

在进行岩土试验参数统计、反分析（条件具备时）及经验类比的基础上，提出参数建议值。

### 3 滑坡稳定性分析评价

#### 3.1 滑坡变形宏观分析

包括变形现象、影响因素、变形破坏的模式、稳定性判断及发展趋势等

#### 3.2 滑坡稳定性极限平衡法分析

包括计算模型、计算方法、计算工况、计算结果

#### 3.3 滑坡稳定性敏感因素分析

#### 3.4 数值模拟分析（根据任务需要做）

#### 3.5 稳定性综合评价

### 4 滑坡发展变化趋势及危害性预测

#### 4.1 发展变化趋势

#### 4.2 危害性预测

包括成灾可能性、成灾条件、危害范围、居民人数、实物指标调查。

### 5 天然建筑材料（任务需要则列此章）

### 6 综合分析与建议

#### 6.1 综合分析

#### 6.2 建议

##### 1) 参数

##### 2) 治理措施

### 7 结语

#### 9.2.4.2 附图及附件（参照 9.2.1.2 及表 9-1）



## 9.3 危岩（崩塌）勘查成果

### 9.3.1 可行性研究勘查报告

#### 9.3.1.1 报告内容

##### 0 前言

##### 0.1 任务由来

##### 0.2 地质灾害概况及危害情况（地质复杂程度、危害程度等）

##### 0.3 勘查目的、任务

0.4 勘查工作评述(前期工作评述、勘查依据、勘查时间、勘查范围、勘查工作量、勘查质量等)

##### 1 勘查区自然条件及地质环境

##### 1.1 自然条件

包括勘查区地理位置、行政区划、准确地理坐标、交通状况、气象与水文、区域经济状况、移民概况等。

##### 1.2 地质环境

##### 1) 地形地貌与新构造运动

##### 2) 地层岩性

##### 3) 地质构造与地震

##### 4) 水文地质条件

##### 2 危岩（崩塌）带工程地质条件

##### 2.1 地形地貌

##### 2.2 地层岩性与岩体工程地质结构特征

##### 2.3 地质构造

##### 2.4 水文地质条件

##### 2.5 不良地质现象

##### 2.6 人类工程活动

##### 2.7 岩土体物理力学性质

##### 3 危岩（崩塌）特征及稳定性评价

##### 3.1 范围、规模及形态

- 3.2 结构特征
  - 3.3 破坏方式及主要影响因素
  - 3.4 稳定性评价
    - 1) 稳定性定性分析
    - 2) 计算分析
    - 3) 稳定性综合评价
  - 4 发展变化趋势及危害性预测
    - 4.1 发展变化趋势
    - 4.2 危害性预测（成灾可能性、成灾条件、危害范围、居民人数、实物指标调查）
  - 5 天然建筑材料（任务需要则列此章）
  - 6 综合分析与建议
    - 6.1 综合分析
    - 6.2 建议
      - 1) 参数
      - 2) 治理措施
  - 7 结语
- 9.3.1.2 附图及附件（详见表 9-1）

## **9.3.2 初步设计阶段勘察报告**

### **9.3.2.1 报告内容**

- 0 前言
    - 0.1 任务由来
    - 0.2 地质灾害概况及危害情况（地质复杂程度、危害程度等）
    - 0.3 可行性研究阶段工程地质勘察提出的主要问题和结论
    - 0.4 勘察目的、任务
    - 0.5 勘察工作评述(勘察依据、勘察时间、勘察范围、勘察工作量、勘察质量等)
  - 1 勘察区自然条件及地质环境条件
    - 1.1 自然条件
- 包括勘察区地理位置、行政区划、准确地理坐标、交通状况、气象与水文、区域经济状况、

移民概况等。

## 1.2 地质环境

### 1) 地形地貌与新构造运动

### 2) 地层岩性

### 3) 地质构造与地震

### 4) 水文地质条件

## 2 危岩（崩塌）带工程地质条件

### 2.1 地形地貌

### 2.2 地层岩性与岩体工程地质结构特征

### 2.3 地质构造

### 2.4 水文地质条件

### 2.5 不良地质现象

### 2.6 人类工程活动

### 2.7 岩土体物理力学性质

## 3 危岩（崩塌）特征及稳定性评价

### 3.1 范围、规模及形态

### 3.2 地质结构特征

### 3.3 破坏方式及主要影响因素

### 3.4 稳定性评价

#### 1) 稳定性宏观分析

#### 2) 计算分析

#### 3) 稳定性综合评价

## 4 防治工程布置部位的工程地质条件

### 4.1 危岩体岩性结构及物理力学指标

### 4.2 持力岩（土）体岩性结构及物理力学指标

### 4.3 水文地质条件及地下水

### 4.4 岩溶发育特征（有则列）

### 4.5 存在的主要工程地质问题

## 5 天然建筑材料（任务需要则列此章）

## 6 治理方案评价及建议

### 6.1 可行性研究阶段治理方案评价

### 6.2 治理方案优化建议

### 6.3 防治工程设计参数建议

## 7 结语

### 9.3.2.2 附图及附件（参照 9.3.1.2 及表 9-1）

## 9.3.3 施工图设计阶段勘察报告

### 9.3.3.1 报告内容

#### 0 前言

##### 0.1 任务由来

##### 0.2 地质灾害概况

##### 0.3 初步设计阶段工程地质勘察主要结论及存在的问题

##### 0.4 勘察目的、任务

##### 0.5 勘察工作评述(勘察依据、勘察时间、勘察范围、勘察工作量、勘察质量等)

#### 1 勘察区地质概况

##### 1.1 自然条件

包括勘察区地理位置、行政区划、准确地理坐标、交通状况、气象与水文、区域经济状况等。

##### 1.2 地质环境

#### 2 危岩体基本特征

#### 3 专门性工程地质问题

#### 4 专门性工程地质问题的主要勘察方法及取得的主要成果

#### 5 专门性工程地质问题评价

##### 5.1 地质宏观分析

##### 5.2 计算分析

##### 5.3 综合评价

## 6 治理方案评价及建议

### 6.1 初步设计阶段治理方案评价

6.2 治理方案优化建议

6.3 防治工程设计参数建议

7 结语

9.3.3.2 附图及附件（参照 9.3.1.2 及表 9-1）

### 9.3.4 危岩体（崩塌）详细勘查（可研及初步设计勘查）报告

#### 9.3.4.1 报告内容

0 前言

0.1 任务由来

0.2 地质灾害概况及危害情况（地质复杂程度、危害程度等）

0.3 勘查目的、任务

0.4 勘查工作评述(前期工作评述、勘查依据、勘查时间、勘查范围、勘查工作量、勘查质量等)

1 勘查区自然条件及地质环境条件

1.1 自然条件

包括勘查区地理位置、行政区划、准确地理坐标、交通状况、气象与水文、区域经济状况、移民概况等。

1.2 地质环境

1) 地形地貌与新构造运动

2) 地层岩性

3) 地质构造与地震

4) 水文地质条件

2 崩塌（危岩）带工程地质条件

2.1 地形地貌

2.2 地层岩性与岩体工程地质结构特征

2.3 地质构造

2.4 水文地质条件

2.5 不良地质现象

2.6 人类工程活动

#### 2.7 岩土体物理力学性质

### 3 崩塌（危岩）特征及稳定性评价

#### 3.1 范围、规模及形态

#### 3.2 结构特征

#### 3.3 破坏方式及主要影响因素

#### 3.4 稳定性评价

##### 1) 稳定性宏观分析

##### 2) 计算分析

##### 3) 稳定性综合评价

### 4 崩塌（危岩）发展变化趋势及危害性预测

#### 4.1 发展变化趋势

#### 4.2 危害性预测（成灾可能性、成灾条件、危害范围、居民人数、实物指标调查）

### 5 天然建筑材料（任务需要则列此章）

### 6 综合分析与建议

#### 6.1 综合分析

#### 6.2 建议

##### 1) 参数

##### 2) 治理措施

### 7 结语

#### 9.3.4.2 附图及附件（参照 9.3.1.2 及表 9-1）

## 9.4 塌岸勘查成果

### 9.4.1 可行性研究勘查报告

#### 9.4.1.1 报告内容

##### 0 前言

##### 0.1 任务由来

##### 0.2 地质灾害概况及危害情况（地质复杂程度、危害程度等）

##### 0.3 勘查目的、任务

0.4 勘查工作评述(前期工作评述、勘查依据、勘查时间、勘查范围、勘查工作量、勘查质量等)

1 勘查区自然条件及地质环境条件

1.1 自然条件

包括勘查区地理位置、行政区划、准确地理坐标、交通状况、气象与水文、区域经济状况、移民概况等。

1.2 地质环境

1) 地形地貌与新构造运动

2) 地层岩性

3) 地质构造与地震

4) 水文地质条件

2 勘查区工程地质条件

2.1 地形地貌

2.2 地层岩性

2.3 地质构造

2.4 岸坡结构类型

2.5 水文地质条件

2.6 不良地质现象

2.7 三峡工程水库运行特征

2.8 人类工程活动

2.9 岩土体物理力学性质

3 库岸分段及各段工程地质特征

3.1 库岸工程地质分段原则

3.2 各库岸段工程地质特征

4 塌岸预测与评价

4.1 塌岸类型及主要影响因素

4.2 塌岸破坏方式预测(预测方法不少于两种)

4.2 各库岸段塌岸预测评价

5 危害性预测(成灾可能性、成灾条件、危害范围、居民人数、实物指标调查)

6 天然建筑材料（任务需要则列此章）

7 综合分析与建议

7.1 综合分析

7.2 建议

1) 参数

2) 治理措施

8 结语

9.4.2.2 附图及附件（参照 9.2.1.2 及表 9-1）

## 9.4.2 初步设计阶段勘察报告

### 9.4.2.1 报告内容

0 前言

0.1 任务由来

0.2 地质灾害概况及危害情况（地质复杂程度、危害程度等）

0.3 可行性研究阶段工程地质勘察提出的主要问题和结论

0.4 勘察目的、任务

0.5 勘察工作评述（勘察依据、勘察时间、勘察范围、勘察工作量、勘察质量等）

1 勘察区自然条件及地质环境条件

1.1 自然条件

包括勘察区地理位置、行政区划、准确地理坐标、交通状况、气象与水文、区域经济状况、移民概况等。

1.2 地质环境

1) 地形地貌与新构造运动

2) 地层岩性

3) 地质构造与地震

4) 水文地质条件

2 勘察区工程地质条件

2.1 地形地貌

2.2 地层岩性



- 2.3 地质构造与地震
  - 2.4 岸坡结构类型
  - 2.5 水文地质条件
  - 2.6 不良地质现象
  - 2.7 三峡水库运行特征
  - 2.8 人类工程活动
  - 2.9 岩土体物理力学性质
  - 3 库岸分段及各段工程地质特征
    - 3.1 库岸工程地质分段原则
    - 3.2 各库岸段工程地质特征
  - 4 塌岸预测与评价
    - 4.1 塌岸类型及主要影响因素
    - 4.2 塌岸破坏方式预测(预测方法不少于两种)
    - 4.2 各库岸段塌岸预测评价
  - 5 防治工程布置部位的工程地质条件
    - 5.1 岸坡地层、岩性、结构、岸坡类型及物理力学指标
    - 5.2 持力岩(土)体地层岩性、结构及物理力学指标
    - 5.3 水文地质条件及地下水
    - 5.4 主要工程地质问题
  - 6 天然建筑材料(根据任务需要列此章)
  - 7 塌岸治理方案评价及建议
    - 7.1 可行性研究阶段治理方案评价
    - 7.2 治理方案优化建议
    - 7.3 防治工程设计参数建议
  - 8 结语
- 9.4.2.2 附图及附件(参照 9.2.1.2 及表 9-1)

### **9.4.3 施工图设计阶段勘察报告**

#### **9.4.3.1 报告内容**

## 0 前言

### 0.1 任务由来

### 0.2 地质灾害概况

### 0.3 初步设计阶段工程地质勘查主要结论及存在的问题

### 0.4 勘查目的、任务

### 0.5 勘查工作评述(勘查依据、勘查时间、勘查范围、勘查工作量、勘查质量等)

## 1 勘查区地质概况

### 1.1 自然条件

包括勘查区地理位置、行政区划、准确地理坐标、交通状况、气象与水文、区域经济状况、移民概况等。

### 1.2 地质环境概况

## 2 塌岸岸坡基本特征

## 3 专门性工程地质问题

## 4 专门性工程地质问题特征的主要勘查方法及取得的主要成果

## 5 专门性工程地质问题评价

### 5.1 地质宏观分析

### 5.2 计算分析

### 5.3 综合评价

## 6 治理方案评价及建议

### 6.1 初步设计阶段治理方案评价

### 6.2 治理方案优化建议

### 6.3 防治工程设计参数建议

## 7 结语

### 9.4.3.2 附图及附件（参照 9.2.1.2 及表 9-1）

## 9.4.4 塌岸详细勘查（可研及初设勘查）报告

### 9.4.1.1 报告内容

## 0 前言

### 0.1 任务由来

- 0.2 地质灾害概况及危害情况（地质复杂程度、危害程度等）
- 0.3 勘查目的、任务
- 0.4 勘查工作评述(前期工作评述、勘查依据、勘查时间、勘查范围、勘查工作量、勘查质量等)
- 1 勘查区自然条件及地质环境条件
  - 1.1 自然条件
    - 包括勘查区地理位置、行政区划、准确地理坐标、交通状况、气象与水文、区域经济状况、移民概况等。
  - 1.2 地质环境
    - 1)地形地貌与新构造运动
    - 2)地层岩性
    - 3)地质构造与地震
    - 4)水文地质条件
- 2 勘查区工程地质条件
  - 2.1 地形地貌
  - 2.2 地层岩性
  - 2.3 地质构造
  - 2.4 岸坡结构类型
  - 2.5 水文地质条件
  - 2.6 不良地质现象
  - 2.7 三峡水库运行特征
  - 2.8 人类工程活动
  - 2.9 岩土体物理力学性质
- 3 库岸分段及各段工程地质特征
  - 3.1 库岸工程地质分段原则
  - 3.2 各库岸段工程地质特征
- 4 塌岸预测与评价
  - 4.1 塌岸类型及主要影响因素
  - 4.2 塌岸破坏方式预测(预测方法不少于两种)

#### 4.2 各库岸段塌岸预测评价

#### 5 危害性预测

成灾可能性、成灾条件、危害范围、居民人数、实物调查指标

#### 6 天然建筑材料（任务需要则列此章）

#### 7 综合分析与建议

##### 7.1 综合分析

##### 7.2 建议

###### 1) 参数

###### 2) 治理措施

#### 8 结语

#### 9.4.2.2 附图及附件（参照 9.2.1.2 及表 9-1）

### 9.5 提交成果要求：

#### 9.5.1 提交成果内容及介质

##### （1）成果内容

根，按照《三峡库区地质灾害治理工程文件归档整理规定》执行。

##### （2）成果介质要求

提交电子文档（光盘介质）和纸质文档。

#### 9.5.2 文件格式要求

（1）照片采用 jpg 格式，文件名为照片编号和名称；

（2）文档利用 word 办公软件的 doc 格式，文件名为文档标题名称；

（3）表格采用 EXECL 办公软件的 xls 格式，文件名为表格编号和名称；

（4）图形必须为数字化图形，采用 GIS 文件及 CAD 格式，要求一个图形保存为一个单独图形文件，文件名为图形编号和名称。

#### 9.5.3 勘查数据采集及资料处理软件要求

##### 1、采集软件及要求

（1）采用地质灾害勘查信息系统（GHEIS）进行数据采集及处理；

（2）以 Microsoft Access 管理各类成果资料（图件、图片、表格、文档等），并保持资料间的关联关系；

(3) 图元属性录入完整、正确，要与数据库相应记录保持一致；

(4) 拓扑关系完整、准确；

## 2、规范和标准要求

(1) GB2660—1999 中华人民共和国行政区划代码

(2) GB9649-88 地质矿产术语分类代码

(3) DZ/T 0197—1997 数字化地质图图层及属性文件格式

(4) GB/T13989-92 国家基本比例尺地形图分幅编号

(5) GB2808-81 全数字式日期表示法

(6) GB 50021—2001 岩土工程勘察规范

(7) DZ/T0197-1997 数字化地质图图层及属性文件格式

(8) DZ/T 0179—1997 地质图用色标准及用色原则

(9) DDB9702 GIS 图层描述数据内容标准

(10) GB9649-88 地质矿产术语分类代码

(11) GB14804-1993 1: 500 1: 1000 1: 2000 地形图要素分类与代码

(12) GB/T 7929-1995 1:500 1:1000 1:2000 地形图图式

## 3、地理信息建库要求

(1) 坐标及高程体系要求

大地基准应采用北京 54 坐标系；投影方式采用高斯-克吕格投影；分带方式采用 3° 分带；高程基准采用 1956 黄海高程；

(2) 数字成果图必须采用真实的大地坐标；

(3) 按《三峡库区地质灾害防治信息与决策支持系统》建设要求采集数据、划分图层，建立地质勘查空间数据库及属性数据库，空间数据拓扑关系及图元属性应录入完整、正确，与数据库相应记录保持一致，数据交换格式为 E00 格式。

## 10 施工地质工作

10.1.1 施工阶段工程地质工作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符合实际工程地质条件，根据施工情况编录施工竣工资料（【TB10012—2001，J124—2001】，9.1.1，修改）。

10.1.2 地质灾害治理施工过程中必须有工程地质人员在现场开展施工地质工作。

10.1.3 因施工揭露出地质问题而进行的设计变更必须有施工地质的依据。

10.1.4 承担施工地质工作的单位，应根据合同或任务书的要求，编制工作大纲，阐明工作项目、内容、技术要求、工作方法、提交资料、成果质量保证措施，以及人员安排、仪器设备、经费预算等。

10.1.5 在施工地质工作中，应建立“施工地质日志”和重要工程的施工地质编录档案（图、表、音、像等），真实记载、反映施工地质现象和有关事项，特别是崩滑体和预测塌岸区地质变异情况和防治工程重大地质问题与事项，以及工程处理情况和实施效果。

10.1.6 施工地质工作应包括下列主要内容：

（1）编录、测绘施工揭露的地质现象，特别是地质变异现象，检验、修正前期地质勘查资料 and 评价结论。

（2）提出对地质变异和不良地质问题的处理意见和建议。因重大地质变异和不良地质问题引起的设计变更，必要时进行专门性勘探和试验。

（3）进行地质观测和预报可能出现的地质问题（【GB50287—99】，6.3.1）；

（4）进行地基加固和不良工程地质问题处理措施的研究（【GB50287—99】，6.3.1）；

（5）进行与地质有关的工程验收（【GB50287—99】，6.3.1）。

10.1.7 施工地质方法应采用观察、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可进行复核性岩土物理力学性质试验，可进行必要的变形监测或地下水观测（【GB5028—99】，6.3.2，修改）。

10.1.8 参加重要工程，特别是隐蔽工程的地质竣工验收意见。

10.1.9 编制防治工程施工地质报告，从地质角度提出工程竣工验收意见。

## 11 规范性附录

### 11.1 地质灾害勘查物探常用方法技术要求

#### 11.1.1 浅层地震勘探工作技术要求

地震勘探是通过人工激发的弹性波在地下传播的特点来解决某地质问题，由于岩石的弹性性质不同，弹性波在其中的传播速度也有差异，利用这种差异可断定地层岩性、覆盖层厚度、地质构造等。工作要求分为：

11.1.1.1 采用浅层反射波法地震勘探，单边激发地震波，接收道 24 道，道间距 2-3m，锤击震源，3-6 次覆盖观测系统，偏移距根据工作目的和勘探要求，依据现场试验确定。

11.1.1.2 开工前应做检波器一致性检查试验，道一致性检查试验，以及仪器放大器一致性试验，要求各道振幅差不大于 5%，相位差不大于 0.5ms，并具有仪器最近一年的年检报告。DZ/T (0170-1997) 《P4 页 5.2》

11.1.1.3 仪器设备采用瞬时浮点增益型数字地震仪，动态范围 80-120db，检波固有频率宜采用 38-60HZ。DZ/T (0170-1997) 《P3 页 5.1.1》

11.1.1.4 应通过现场试验工作，进行方法有效性试验，包括展开排列试验，了解工作区有效波、干扰波情况，选择激发、接收方式和条件，确定最佳的野外观测系统和仪器工作参数。DZ/T (0170-1997) 《P2 页 3.2》

11.1.1.5 地震勘探的深度要求大于目的层深度以下 20m，对于岩质滑坡体，要求能了解基岩内滑面（软弱面）以下 20m 范围有无其他异常。

11.1.1.6 地震勘探线，测量工作应先于勘探工作前期进行，测线布设应根据地质任务要求确定，主要测线方向应尽可能垂直构造走向，还要考虑选择地形起伏较小的地段，表层介质较为均匀，测线应尽可能与地质勘探线式电法勘探线相重合，以便于资料的对比分析。DZ/T (0170-1997) 《P2 页 4.4.》

11.1.1.7 测线宜布成直线，若由于受场地条件限制，测线最大转折角不允许超过  $8^{\circ}$ ，若因测线转折影响叠加效果时，可采用分段布线，式弯线叠加方法。DZ/T (0170-1997) 《P4 页 6.2.2》

11.1.1.8 地震测线上各类测点（炮点、检波点）平面位置和高程的精度要求为：平面位置误

差小于 3.5m，高程误差小于 0.4m，当地形高程变化较大时，应对采集的单炮记录做地形校正影响。DZ/T（0170-1997）《P5 页 6.2.6》

11.1.1.9 检波器应与地面接触良好，安置牢固，藕合条件尽量一致，检波器埋置的位置应准确，受条件限制不能埋置在原设计点位时，沿测线方向移动不得超过 1/10 道间距，垂直测线方向移动不得超过 1/5 道间距，检波点位于干沙、虚土层时，应挖坑并压实埋置，位于水泥、沥青路面安置时，应用黄油或熟石膏将检波器粘于地面，以保证藕合良好。DZ/T（0170-1997）《P6 页 6.5.1—6.5.2.2》

11.1.1.10 严禁用脚踏、敲击等方式安置检波器，

11.1.1.11 检波器与仪器之间联结电缆（大线）绝缘电阻应大于 200K $\Omega$ ，检波器与电缆连接极性应正确，杜绝反极性、短路或接触不良等现象。DZ/T（0170-1997）《P6 页 6.5.2.5》

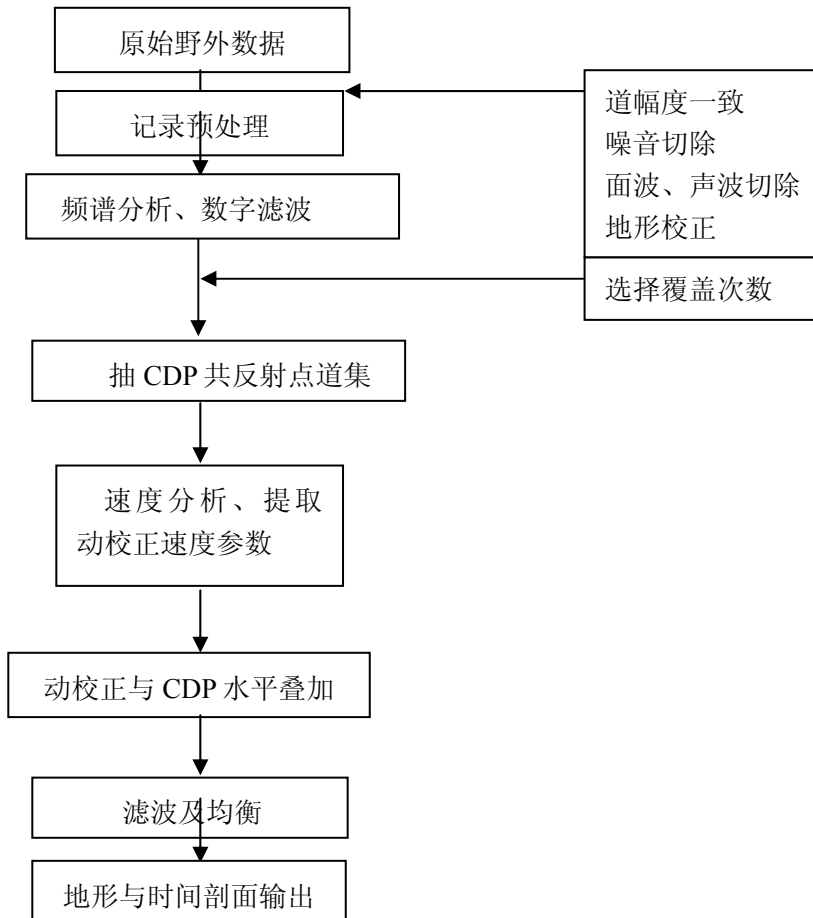
11.1.1.12 仪器操作员应密切监视现场记录，注意每次激发—接收信号的一致性对比，对于连续出现 3 次无记录，或单张记录有 4 道以上不工作时，应采取应对措施，或现场补救。DZ/T（0170-1997）《P11 页 9.2.3》

11.1.1.13 根据 DZ/T（0170-1997）《浅层地震勘探规范》中对采集单炮记录分为 I、II、III 类的评价标准，采集记录的优良应达至 85%以上。

11.1.1.14 观测系统图上应注明施工方法、测线长度，起始和结束炮应注明道号，应标明剖面经过的主要地物标志。DZ/T（0170-1997）《P8 页 7.3.1》

11.1.1.15 资料的处理应包含以下主要流程





11.1.1.16 根据叠加时间剖面图，采用钻孔资料、地质资料以及测井资料对比分析方法，确定地质层位和地震波组对应关系。选取勘查目的层位对应的波组进行波形对比、追踪、分析，获得目的反射变化情况，确定与主要地质层位的关系。DZ/T（0170-1997）《P9 页 8.2.1》。

11.1.1.17 对剖面中波组分叉、合并、中断、尖灭等现象要认真分析，尽可能得出这些变化与地层变化的关系，从而获得地层厚度、岩性横向变化及构造情况。DZ/T（0170-1997）《P10 页 8.2.3》

11.1.1.18 将时间剖面通过时深度转换处理获得深度剖面，剖面图上应标明测线号、测线方位、钻孔位置及主要地物标志。DZ/T（0170-1997）《P10 页 8.2.4》

11.1.1.19 成果报告中应包括：主要的地质结论、测线布置及观测系统的选择依据，采用的解释方法。DZ/T（0170-1997）《P9 页 10.1.2》

地震勘探成果地质解释图

地震工作布置图 钻孔柱状图 地震剖面图 地质综合解释图

根据设计书要求需提供的其他成果图件

### 11.1.2 声波测井技术要求

声波测井在孔内沿井壁发射、接收声波信息，测井时将测井探管下至井底，按测井点距向上探测。由计算机完成全波列数据采集与数据存贮，室内通过回放和资料处理得到纵波波速，在全波列采集波形中根据波形干涉点、幅度、频谱分析确认横波初至走时，提取横波波速。地质灾害勘查中，使用声波测井是一种行之有效的物探方法，用于划分覆盖层、基岩岩性、风化破碎程度，确定破碎带位置及在基岩与覆盖中确定低速层等。判断岩体完整性，提供岩体其他动力学参数等。作为一种物探方法可以弥补钻孔资料的不足，尤其是钻孔不易取芯时。

#### 技术要求

##### 11.1.2.1 仪器功能 DZ/T0196.7--1997《P2 页 5.1.》

—仪器应具有自校或自诊功能。

—井下向地面传送信号为模拟信号或数字信号。

##### 11.1.2.2 测量范围 DZ/T0196.7--1997《P2 页 5.2.1.》

A 级：120~800  $\mu$  s/m（用于松散软地层为 120~2000  $\mu$  s/m）；

B1 级：130~650  $\mu$  s/m

B2 级 130~550  $\mu$  s/m。

##### 11.1.2.3 测量相对准确度 DZ/T0196.7--1997《P2 页 5.2.2.》

A1 级：±2%；

A2 级：±3%；

B 级：±5%。

##### 11.1.2.4 发射频率：30kHz±5kHz，直接横波≤10kHz。

DZ/T0196.7--1997《P2 页 5.2.3.》

##### 11.1.2.5 探管参数

源距：0.5、0.7、0.9m，或 1~3m 可选。

间距：0.2、0.3m，或 0.1~0.3m 可选。

探管直径  $\phi$  50、65mm，或在 DZ/T0196.1-1997《测井仪通用技术条件总则》井下仪器外径尺寸要求中选择。DZ/T0196.7--1997《P3 页 5.2.4.》

##### 11.1.2.6 动态范围

40dB 和 100dB 两种，或产品标准规定 DZ/T0196.7--1997《P3 页 5.3.3.》

##### 11.1.2.7 带宽：井下探管 10KHz~50KHz

地面仪器 10KHz~50KHz

11.1.2.8 具有手动、自动或遥控收发功能和有发射、延时与数据采集监控指示 DZ/T0196.7—1997《P3 页 5.4.4.》

11.1.2.9 具有实时处理软件和打印输出纵波、横波声速和声速比的功能。DZ/T0196.7—1997《P3 页 5.4.5.》

11.1.2.10 仪器绝缘电阻 DZ/T0196.7—1997《P3 页 5.6.》

地面仪器外壳、面板上各旋钮、插孔等与人体可接触部分均应与线路绝缘，其绝缘电阻：

A 级： $\geq 10\text{M}\Omega$ （1000V）

B 级： $\geq 10\text{M}\Omega$ （500V）

下井仪器绝缘电阻：

A 级： $\geq 2\text{M}\Omega$ （1000V）

B 级： $\geq 2\text{M}\Omega$ （500V）

11.1.2.11 仪器绝缘耐电强度 DZ/T0196.7—1997《P4 页 5.7.》

工作电压和耐电试验电压（有保护接地），工作电压 $\leq 60\text{V}$ 时，耐电试验电压 0.5KV。

11.1.2.12 声波测井仪标定 DZ/T0196.7—1997《P4 页 6.2.》

#### 1) 测量范围试验

从满足仪器测量范围和准确度要求的专用声波模拟器输出三个不同时间的三组波形（如正弦振荡波形）给被测声速测井仪（以单发双收为例：源距  $L=0.5\text{m}$ 、间距  $l=0.2\text{m}$ ，使仪器工作，测量范围  $120\mu\text{s/m}$ ，仪器显示应为相应的正常值  $120\mu\text{s/m}$ ）。

#### 2) 测量准确度试验 DZ/T0196.7—1997《P4 页 6.2.》

a、将仪器探管放入内径为 75-130mm 的钢筒与塑料筒内，浸没在水中并保持居中位置，使仪器工作并读出不同源距、间距时的读数进行校验（钢筒中声速约为 5500 m/s，塑料筒中声速约为 2600 m/s）。DZ/T0196.7—1997《P4 页 6.2.》

#### b、将探管放入试验井中进行试验

11.1.2.13 雨季或地潮时，必须用绝缘胶垫把电源和仪器与地面隔开，使用发电机供电须有稳压装置。

11.1.2.14 探头下井前，须用重锤下井检查孔深及孔壁的完整程度。

11.1.2.15 探头下井应平稳匀速、不能自由下落，提升探头应准确到位，切忌用力过猛或硬拉硬拽。

11.1.2.16 野外观测现场的所有基本观测数据、各种检查观测数据，必须当即如实地记录在专用的记录本上，严禁追记、混记或转抄。

11.1.2.17 成果报告中应包括：

声波测井成果地质解释图

声波测井波速曲线图、声波测井变面积图、钻孔柱状图 地质综合解释图

波速测试成果表及其他计算的动力学参数

根据设计书要求需提供的其他成果图件

### 11.1.3 电阻率测深法工作技术要求

垂向直流电测深法是以地下不同岩层的电阻率差异为基础，通过建立地下人工电流场，并以一定的极距系列观测同一测点在不同深度处岩层的宏观电阻率，随着供电电极距 AB 增大，探测深度增加，从而达到测深目的。通过研究垂直方向的电性变化规律，查明地质构造或者解决与深度有关的地质问题。

地矿部 1993 行业标准汇编：DZ/T0072-93 电阻率测深法技术规程《P339 页 3.1.》

11.1.3.1 物探剖面应与地质剖面一致，充分利用地质测绘成果和钻探成果来求解，提高其可靠性与准确性。DZ/T0072-93《P344 页 4.6.2》

11.1.3.2 测线方向应尽量垂直勘探对象的总体走向，必要时分段控制。线距 50m~100m，测线长度大于勘探对象宽度的 2/3，点距 25m~50m。

11.1.3.3 电极线要直，并且尽可能保持在同一等高线上。DZ/T0072-93《P344 页 4.6.4》

11.1.3.4 极距长度要准确，电极要垂直入地(特别是小极距时更要注意)。

11.1.3.5 雨季地潮，中心站必须用绝缘胶垫把电源和仪器与地面隔开。

11.1.3.6 供电电极和测量电极一定要接地良好。尽量减小接地电阻，供电流应大于 50mA，如遇接地电阻太大，可采用两根电极并联。DZ/T0072-93《P349 页 6.2.3.4》

11.1.3.7 测量电极应选择无极化电极，布设 MN 时，与 AB 方向的偏离角度应小于 $\pm 3^\circ$ 。DZ/T0072-93《P349 页 6.2.3.1》

11.1.3.8 当电极无法置于预定接地点时，沿测线方向移动不得超过 AB/2 的 1/100，垂直测线方向移动不得超过 AB/2 的 1/40。DZ/T0072-93《P349 页 6.2.3.2》

11.1.3.9 野外记录 DZ/T0072-93《P349 页 6.2.4.10》

① 野外观测现场的所有基本观测数据、各种检查观测数据，必须当即如实地记录在专用的记

录本上，严禁追记、混记或转抄。

② 记录本不得空页、撕扯或粘贴其他纸张，更不得兼做他用。单点观测结束后，操作员、记录员须签名。

③ 记录必须使用中等硬度铅笔，字迹清晰，页面清洁，项目齐全(本次工作要示记录地形坡度角  $\alpha$ 、测线端点 GPS 坐标、沿线浅层岩性及探槽等地形地物标志)，备注明确。

④ 原始数据不得涂改、擦除，记错了的数据必须划去，并注明原因，另起一行重记正确数据。

⑤ 测线编号与地质测线编号相同。

⑥ 及时绘制单点曲线。

11.1.3.10 测点的平面位置应根据地形图或测量仪器确定，实际施工时，测线两端应打木桩作标记，并采用 GPS 定位及记录。

11.1.3.11 质量保证和质量评价：DZ/T0072-93《P351 页 6.3》

① 规范测量：正常情况下电测深曲线应当是一条圆滑曲线。

② 重复观测：单次观测难以保证精度的极距或电测深曲线无规律的极距，需进行重复观测。将其中有效数值的算术平均值作为该测点最终的基本观测数据。DZ/T0072-93《P351 页 6.3.1》

③ 自检观测：对电测深曲线上的畸变点以及基本观测质量有疑异的测段，一定要严格按照相关规范进行重复测量。如果曲线畸变依然存在，应检查仪器或电极线是否漏电、检查电极距是否准确、检查在 MN 之间是否有不均匀地质体，并应该在记录中记录相应内容。进行相应处理之后，应进行重新观测，记录正确数据。重新测量时，供电电流的改变量应大于 25%。DZ/T0072-93《P351 页 6.3.2》

④ 质量检查：基本观测进行到一定阶段或全区基本观测结束后，对总工作量 3%~5%的测深点，重新布极观测检查，通过单个极距的相对误差来判定该测点是否有效，最终由全区系统检查观测结果所统计的均方相对误差评价观测质量。随工作进度及时进行质量检查。

11.1.3.12 应提交的成果

物探工作实际材料图；

电测深原始记录材料：数据、曲线、磁盘、卡片等；

电测深资料解释、处理曲线、图件，解释（或推断）地质平面图、剖面图，物探成果验证地质图；典型曲线解译图等。

物探勘查剖面、点位地形测量成果。

### 11.1.4 高密度电阻率法工作技术要求

高密度电阻率法没有现行规范，参阅电测深及 DZ/T0072-93 电阻率测深法技术规程、DZ/T0073-93 电阻率剖面法技术规程。

高密度电阻率法的基本原理与传统的电阻率法完全相同，是以岩（矿）石的电性差异为基础，研究在供电电场作用下地下传导电流的分布规律，从而达到勘探地质体的目的。该系统包括数据的采集和资料处理两部分。现场测量时只需将全部电极设置在一定间隔的测点上，测点密度远较常规电阻率法大，每根电极既是供电电极又是测量电极。通过程控式多路电极转换器选择不同的电极组合方式和不同的极距间隔，从而完成野外数据的快速采集。

高密度电阻率法可以根据不同的勘探对象和地质条件选择不同的装置形式或组合，其常见的电极装置有温纳四极、偶极和微分装置，此外，根据需要也可增设无穷远极，进行联合三极测量。

11.1.4.1 物探剖面应与地质剖面一致，充分利用地质测绘成果和钻探成果来求解，提高其可靠性与准确性。

11.1.4.2 测线方向应尽量垂直勘探目标走向，尽量选择地形平坦且覆盖较均匀的地段。极距的选择要保证最大隔离系数  $AB/2$  大于勘探目标埋深的 1.5 倍。

11.1.4.3 电极线要直，并且尽可能保持在同一等高线上。

11.1.4.4 极距长度要准确，电极要垂直入地。

11.1.4.5 雨季地潮，中心站必须用绝缘胶垫把电源和仪器与地面隔开。

11.1.4.5 供电电极和测量电极一定要接地良好。尽量减小接地电阻，供电流应大于 50mA。

11.1.4.6 野外记录

① 野外观测现场的所有基本观测数据、各种检查观测数据，必须当即如实地记录在专用的记录本上。

② 记录本不得空页、撕扯或粘贴其他纸张，更不得兼做他用。观测结束后，操作员、记录员须签名。

③ 记录必须使用中等硬度铅笔，字迹清晰，页面清洁，项目齐全，备注明确。

④ 原始数据不得涂改、擦除，记错了的数据必须划去，并注明原因，另起一行重记正确数据。

⑤ 测线编号与地质测线编号相同。

11.1.4.7 测点的平面位置应根据地形图或测量仪器确定，实际施工时，测线两端应打木桩作标记，并采用 GPS 定位及记录。

#### 11.1.4.8 质量保证和质量评价：

① 规范测量：严格按照仪器操作手册。

② 重复观测：单次观测数据难以保证精度、测试曲线无规律的极距，需进行重复观测。将其中有效数值的算术平均值作为该测点最终的基本观测数据。

③ 自检观测：一定要严格按照相关规范进行重复测量。如果曲线畸变依然存在，应检查仪器或电极线是否漏电、检查电极距是否准确，并应该在记录中记录相应的内容。进行相应处理之后，应进行重新观测，记录正确数据。重新测量时，供电电流的改变量应大于 25%。

④ 质量检查：基本观测进行到一定阶段或全区基本观测结束后，对总工作量 3%~5%的测点，重新布极观测检查，通过单个的相对误差来判定该测点是否有效，最终由全区系统检查观测结果所统计的均方相对误差评价观测质量。随工作进度及时进行质量检查。

#### 11.1.4.9 资料的解释

① 异常的定性解释

分析对比各种参数断面图，正确区分正常场和异常场。根据参数等值线梯度变化密集程度确定异常大致分布特征。

② 异常的定量解释

定量解释的方法主要有特征点法、数值模拟法等。对于几何形态近似为规则体(球、柱、板状等)，可采用经验公式确定其规模及埋深。对于不规则勘探对象，可利用二维反演方法进一步确定异常源的空间分布特征。

③ 合理利用定性解释和定量解释的结论，结合地质情况，最终作出地质推断解释。

#### 11.1.4.10 成果表达形式

① 各种参数( $\rho_s^\alpha$ 、 $\rho_s^\beta$ 、 $\rho_s^\gamma$  以及其它方法处理对应之参数)的等值线断面图；

② 各种参数的分级断面图(灰阶图、彩色图)；

③ 各种参数不同隔离系数的剖面图

#### 11.1.4.11 应提交的成果

物探工作实际材料图；

高密度测试原始记录材料：数据、曲线、磁盘等；

测试资料解释、处理曲线、图件，解释（或推断）地质平面图、剖面图，物探成果验证地质

图。

物探勘查剖面、点位地形测量成果。

成果报告及验证报告



## 12 资料性附录

### 12.1 崩滑体稳定性野外评价指标

崩塌、滑坡稳定性评价是地质勘查的主要内容之一。在地质测绘与调查中应宏观定性评价其稳定性，为统一判别尺度，特制定下列评价指标和条件，供野外参考。

#### 12.1.1 评价方法

崩塌、滑坡及斜坡稳定性评价采用定性的地质分析法，即选择影响稳定性的主要地质环境因素，内外动力地质作用，结合宏观变形性状，建立稳定性地质判别指标，进行定性评价。

#### 12.1.2 主要评价内容

(1) 主要地质环境因素包括坡面平均坡度、斜坡类型、前缘临空状况、沟谷切割程度、岩土体结构、结构面特征、岩土性质。

(2) 主要动力因素包括地下水作用、河流作用及淹没情况、后缘加载、暴雨强度及降雨过程、地震影响、人类工程活动强度等。库水位变化对崩滑体稳定性的影响，应作为库区崩滑体稳定性评价的重要因素予以充分考虑。

(3) 崩滑体的宏观变形形迹，主要包括裂缝、位错、陷落、膨胀等，是其不稳定的直接标志，应充分重视。

#### 12.1.3 评价标准（据国土资源部“三峡库区地质灾害防治总体规划”）

##### (1) 稳定的（A）

定义为：在设计工况和特殊工况条件（暴雨等）下均是稳定的。

定性判别标准为：崩滑体外貌特征后期改造很大，滑坡洼地基本难于辨认，滑体地面坡度平缓（ $\leq 10^\circ$ ），前缘临空低缓（一般 $< 5$ 米，坡度 $< 15^\circ$ ），滑体内冲沟切割已至滑床。滑面起伏较大，且倾角平缓（ $\leq 10^\circ$ ），滑面饱和阻抗比 $> 0.8$ ，滑坡残体透水性良好，剪出口一带泉群分布且流量较大，滑距较远，能量已充分释放，残体处于稳定状态，滑坡周边没有新的堆积体加载来源，滑坡前缘已形成河流侵蚀的稳定坡型或有河流堆积。经分析和实地调查，找不出可导致整体复活的主要动力因素，人为动力因素很弱或不存在。

##### (2) 基本稳定的（B）

定义为：在设计工况条件下是稳定的，在特殊条件下其稳定性有所降低，有可能局部产生变形，但整体仍是稳定的。

定性判别指标为：崩滑体外貌特征后期改变较大，滑坡洼地能辨认但不明显或略有封闭，滑体地面平均坡度较缓（ $10\sim 20^\circ$ ），滑坡前缘临空比较低缓（高度  $15\sim 30$  米，坡度  $15\sim 20^\circ$ ），滑体内沟谷已切至滑床。滑面形态起伏，滑面平均倾角 $\leq 20^\circ$ ，滑面阻抗比  $0.6\sim 0.8$ ，滑坡残体透水性良好，滑距较远，能量已充分释放。滑坡周围无新的堆积物加载来源，滑坡前缘已形成河流侵蚀的稳定坡型。经分析和实地调查，在特殊工况条件下其整体稳定性有所降低，但仅可能产生局部变形破坏。

### **（3）潜在不稳定的（C）**

定义为：在现状条件下是稳定的，但安全储备不高，略高于临界状态。在设计工况条件下其向不稳定方向发展，在特殊工况条件下有可能失稳。

定性判别指标为：崩滑体外貌特征后期改造不大，后缘滑坡洼地封闭或半封闭。滑体平均坡度中等（ $20^\circ \sim 30^\circ$ ），滑坡前缘临空较陡（高度  $30\sim 50$  米，坡度  $20\sim 30^\circ$ ），滑体内沟谷切割中等。滑面形态为靠椅状或平面状，滑面平均倾角  $20^\circ \sim 30^\circ$ ，滑面阻抗比  $0.4\sim 0.6$ 。滑坡残体透水性一般，滑距不太远，能量释放不充分。滑坡后缘有加载堆积或有一定数量的危岩体为加载来源，滑坡前缘受冲刷尚未形成稳定坡型有局部坍塌产生，整体尚无明显变形迹象。经实地调查和定性分析，在一般工况条件下是稳定的，但是安全储备不高，在特殊工况条件下有可能整体失稳。

### **（4）不稳定的（D）**

定义为：在现状条件下即近于临界状态，且向不稳定发展。在设计工况条件下将失稳。

定性判别指标为：崩滑体外貌特征明显，滑坡洼地一般封闭明显。滑体坡面平均坡度较陡（大于  $30^\circ$ ），滑坡前缘临空较陡（高度大于  $50\text{m}$ ，坡度大于  $30^\circ$ ），滑体内沟谷切割较浅。滑面呈靠椅状或平面状，滑面平均倾角大于  $30^\circ$ ，滑面阻抗比小于  $0.4$ 。滑坡结构松散，透水性差。滑距短，滑坡残体保留较多，剪出口以下脱离滑床的体积较少。滑坡有加载来源。滑坡前缘受冲刷，有坍塌产生。近期滑体上有明显变形破坏迹象。变形迹象为滑坡变形配套产物：后缘弧形裂缝或塌陷，两侧羽状开裂，前缘鼓胀、鼓丘等。经实地调查和分析，滑体目前接近于临界状态，且正在向不稳定方向发展，在特殊工况条件下有可能大规模失稳。

## 12.2 滑坡发育阶段划分（【DB50/143—2003】表 B.1.9，修改）

发育阶段	滑动带及滑动面	滑坡前缘	滑坡后缘	滑坡两侧	滑坡体
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，少数探井及钻孔发现新滑动面	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，多成弧形向内侧突出	无 明 显 裂 缝，边界不明显	无明显异常
蠕动阶段	主滑段滑动带已基本形成，滑体局部沿滑动带位移，滑带土特征明显，多数探井及钻孔发现滑动带有镜面、擦痕及搓揉现象	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
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堑式沉陷带，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，不少树木成醉树，滑坡体整体位移
稳定阶段	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

## 12.3 滑坡刚体极限平衡稳定性分析基本方法

### 12.3.1 要选择与滑坡破坏模式相适应的稳定性计算方法

在进行滑坡稳定性计算之前，应根据滑坡水文地质、工程地质、岩体结构特征以及已经出现的变形破坏迹象，对滑坡的可能破坏形式和滑坡稳定性状态做出定性判断，确定滑坡破坏的边界范围、滑坡破坏的地质模型，对滑坡破坏趋势作出判断。

滑坡稳定性计算方法，根据滑坡类型和可能的破坏形式，可按下列原则确定：

- 1) 土质滑坡和较大规模的碎裂结构岩质滑坡宜采用圆弧滑动法计算；
- 2) 对可能产生平面滑动的滑坡宜采用平面滑动法进行计算；
- 3) 对可能产生折线滑动的滑坡宜采用折线滑动法进行计算。

### 12.3.2 折线滑动法（传递系数法）

折线滑动法（传递系数法）计算公式如下（图 12.3-1，参考【GB50021-2001】p206-207，5.2.8 条补充完善）：

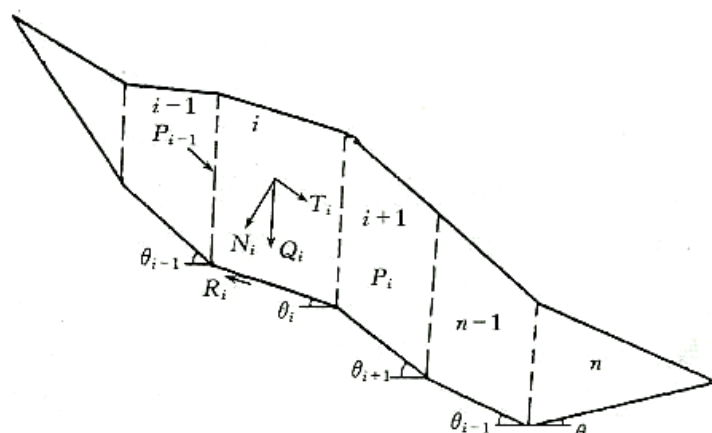


图 12.3-1 传递系数法计算说明图

$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (R_i \prod_{j=i}^{n-1} \psi_j) + R_n}{\sum_{i=1}^{n-1} (T_i \prod_{j=i}^{n-1} \psi_j) + T_n} \quad (1)$$

$$\psi_j = \cos(\theta_i - \theta_{i+1}) - \sin(\theta_i - \theta_{i+1}) \tan \varphi_{i+1} \quad (2)$$

$$\prod_{j=i}^{n-1} \psi_j = \psi_i \cdot \psi_{i+1} \cdot \psi_{i+2} \cdots \psi_{n-1} \quad (3)$$

$$R_i = N_i \tan \varphi_i + c_i l_i \quad (4)$$

$$T_i = W_i \sin \theta_i + P_{wi} \cos(\alpha_i - \theta_i) \quad (5)$$

$$N_i = W_i \cos \theta_i + P_{wi} \sin(\alpha_i - \theta_i) \quad (6)$$

$$W_i = V_{iu} \gamma + V_{id} \gamma' + F_i \quad (7)$$

$$P_{wi} = \gamma_w i V_{id} \quad (8)$$

$$i = \sin | \alpha_i | \quad (9)$$

$$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w \quad (10)$$

式中  $F_s$ —滑坡稳定性系数;

$\psi_i$ —传递系数。

$R_i$ —第  $i$  计算条块滑体抗滑力 (kN/m) ;

$T_i$ —第  $i$  计算条块滑体下滑力 (kN/m) ;

$N_i$ —第  $i$  计算条块滑体在滑动面法线上的反力 (kN/m);

$c_i$ —第  $i$  计算条块滑动面上岩土体的粘结强度标准值 (kPa)

$\varphi_i$ —第  $i$  计算条块滑带土的内摩擦角标准值 (°) ;

$l_i$ —第  $i$  计算条块滑动面长度 (m);

$\alpha_i$ —第  $i$  计算条块地下水流线平均倾角, 一般情况下取浸润线倾角与滑面倾角平均值 (°),

反倾时取负值;

$W_i$ —第  $i$  计算条块自重与建筑等地面荷载之和 (kN/m) ;

$\theta_i$ —第  $i$  计算条块底面倾角 (°) , 反倾时取负值;

$P_{wi}$ —第  $i$  计算条块单位宽度的渗透压力, 作用方向倾角为  $\alpha_i$  (kN/m);

$i$ —地下水渗透坡降;

$\gamma_w$ —水的容重 (kN/m<sup>3</sup>);

$V_{iu}$ —第  $i$  计算条块单位宽度岩土体的浸润线以上体积 (m<sup>3</sup>/m);

$V_{id}$ —第  $i$  计算条块单位宽度岩土体的浸润线以下体积 (m<sup>3</sup>/m);

$\gamma$ —岩土体的天然容重 ( $\text{kN/m}^3$ );

$\gamma'$ —岩土体的浮容重 ( $\text{kN/m}^3$ );

$\gamma_{sat}$ —岩土体的饱和容重 ( $\text{kN/m}^3$ );

$F_i$ —第  $i$  计算条块所受地面荷载 ( $\text{kN}$ );

### 12.3.3 圆弧滑动法

滑坡具有圆弧型滑动面, 稳定性系数可按式计算 (据【GB50330-2002】5.2.3 条修改完善):

$$F_s = \frac{\sum R_i}{\sum T_i} \quad (11)$$

$$R_i = N_i \tan \varphi_i + c_i l_i \quad (12)$$

$$T_i = W_i \sin \theta_i + P_{wi} \cos(\alpha_i - \theta_i) \quad (13)$$

$$N_i = W_i \cos \theta_i + P_{wi} \sin(\alpha_i - \theta_i) \quad (14)$$

$$W_i = V_{iu} \gamma + V_{id} \gamma' + F_i \quad (15)$$

$$P_{wi} = \gamma_w i V_{id} \quad (16)$$

$$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w \quad (17)$$

式中符号意义同前。

### 12.3.4 平面滑动法

采用平面滑动法时, 滑坡稳定性按下列公式计算 (据【DB50/143-2003】12.1.17 条, 局部修正):

12.3.4.1 对土质滑坡和岩体破碎的岩质滑坡, 按下式计算:

$$F_s = \frac{R}{T} \quad (18)$$

$$R = N \tan \varphi + cl \quad (19)$$

$$T = W \sin \theta + P_w \cos(\alpha - \theta) \quad (20)$$

$$N = W \cos \theta + P_{wi} \sin(\alpha_i - \theta_i) \quad (21)$$

$$W = V_u \gamma + V_d \gamma' + F \quad (22)$$

$$P_w = \gamma_w i V_d \quad (23)$$

式中:  $F_s$ —滑坡稳定性系数;

$R$ —滑坡体抗滑力 (kN/m) ;

$T$ —滑坡体下滑力 (kN/m) ;

$N$ —滑坡体在滑动面法线上的反力 (kN/m);

$c$ —滑面粘聚力标准值 (kPa) ;

$\varphi$ —滑带土的内摩擦角标准值 ( $^{\circ}$ ) ;

$l$ —滑动面长度 (m);

$\alpha$ —滑坡体地下水流线平均倾角, 取浸润线倾角与滑面倾角平均值 ( $^{\circ}$ );

$W$ —滑坡体自重与建筑等地面荷载之和 (kN/m) ;

$P_w$ —滑坡体单位宽度的渗透压力, 作用方向为  $\alpha_i$  方向 (kN/m);

$V_u$ —滑坡体单位宽度岩土体的浸润线以上体积 ( $\text{m}^3/\text{m}$ );

$V_d$ —滑坡体单位宽度岩土体的浸润线以下体积 ( $\text{m}^3/\text{m}$ );

$F$ —滑坡体所受地面荷载 (kN);

$\theta$ —滑面倾角;

其他符号意义同前。

12.3.4.2 对岩体完整或比较完整的岩质滑坡按下式计算:

$$F_s = \frac{R}{T} \quad (24)$$

$$R = N \tan \varphi + cl \quad (25)$$

$$T = W \sin \theta + V \cos \theta \quad (26)$$

$$N = W \cos \theta - V \sin \theta - U \quad (27)$$

$$W = V_u \gamma + V_d \gamma_{sat} + F \quad (28)$$

$$V = \frac{1}{2} \gamma_w h_w^2 \quad (29)$$

$$U = \frac{1}{2} \gamma_w l h_w \quad (30)$$

式中:  $V$ —后缘裂隙水压力 (kN/m) ;

$U$ —滑面水压力 (kN/m) ;

$h_w$ —裂隙充水高度 (m) ;

其他符号意义同前。

## 12.4 危岩稳定性评价（【DB50/143—2003】，12.2）

12.4.1 危岩稳定性评价应给出危岩在设计工况下的稳定系数和稳定状态。

12.4.2 危岩稳定性计算所采用的荷载可分为危岩自重和裂隙水压力。

12.4.3 危岩稳定性计算所采用的工况可分为现状工况(工况 1)、枯季工况(工况 2)和暴雨工况(工况 3)。

上述各工况组成因素中，“现状”应是勘察期间的状态，“暴雨”应是强度重现期为二十年的暴雨。

12.4.4 危岩稳定性计算中各工况考虑的荷载组合应符合下列规定：

对工况 1、工况 2 和工况 3，应考虑自重，同时对滑移式危岩和倾倒式危岩应分别考虑现状裂隙水压力、枯季裂隙水压力和暴雨时裂隙水压力；

12.4.5 裂隙水压力应按 12.3 中(32)式计算，裂隙充水高度对现状裂隙水压力应根据调查资料确定，对暴雨时裂隙水压力应根据汇水面积、裂隙蓄水能力和降雨情况确定；当汇水面积和蓄水能力较大时，可取裂隙深度的  $1/3 \sim 1/2$ 。

12.4.6 考虑降雨对危岩稳定性的影响时，除应计算暴雨时裂隙水压力外，还应分析降雨引起的土体物质的迁移及上覆土层重度的增加。

12.4.7 在进行危岩稳定性计算之前，应根据危岩范围、规模、地质条件，危岩破坏模式及已经出现的变形破坏迹象，采用地质类比法对危岩的稳定性作出定性判断。

12.4.8 危岩计算剖面应通过危岩块体重心。

### 12.4.9 滑移式危岩稳定性计算应符合下列规定：

1) 后缘无陡倾裂隙时按下式计算(图 12.4-1)：

$$F = \frac{(W \cos \alpha - V) \cdot \operatorname{tg} \varphi + cl}{W \sin \alpha} \quad (1)$$

式中：V——裂隙水压力(kN/m)，根据不同工况按第 12.1.10 条的规定计算；

F——危岩稳定性系数；

c——后缘裂隙粘聚力标准值(kPa)；当裂隙未贯通时，取贯通段和未贯通段粘聚力标准值按长度加权的加权平均值，未贯通段粘聚力标准值取岩石粘聚力标准值的 0.4 倍；

$\varphi$ ——后缘裂隙内摩擦角标准值(°)；当裂隙未贯通时，取贯通段和未贯通段内摩擦角标准



值按长度加权的加权平均值，未贯通段内摩擦角标准值取岩石内摩擦角标准值的 0.95 倍；

$\alpha$  ——滑面倾角( $^{\circ}$ )；

$W$ ——危岩体自重(kN / m)；

其它符号意义同前。

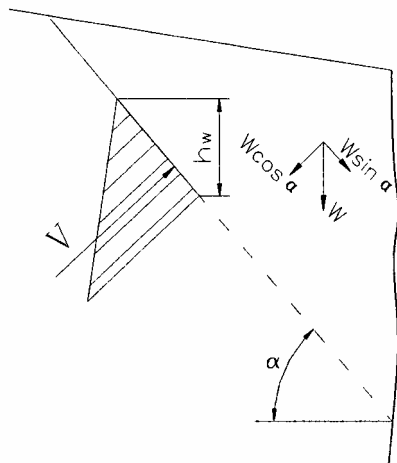


图 12.4-1 滑移式危岩稳定性计算（后缘无陡倾裂隙）

b) 后缘有陡倾裂隙、滑面缓倾时，滑移式危岩稳定性按 12.3.4.2 条 b) 款的规定计算。

#### 12.4.10 倾倒式危岩稳定性计算应符合下列规定：

a) 由后缘岩体抗拉强度控制时，按下式计算(图 12.4-2)：

$$F = \frac{\frac{1}{2} f_{lk} \cdot \frac{H-h}{\sin \beta} \left( \frac{2}{3} \frac{H-h}{\sin \beta} + \frac{b}{\cos \alpha} \cos(\beta - \alpha) \right)}{W \cdot a + V \left( \frac{H-h}{\sin \beta} + \frac{h_w}{3 \sin \beta} + \frac{b}{\cos \alpha} \cos(\beta - \alpha) \right)}$$

(危岩体重心在倾覆点之外时) (2)

$$F = \frac{\frac{1}{2} f_{lk} \cdot \frac{H-h}{\sin \beta} \cdot \left( \frac{2}{3} \frac{H-h}{\sin \beta} + \frac{b}{\cos \alpha} \cos(\beta - \alpha) \right) + W \cdot a}{V \left( \frac{H-h}{\sin \beta} + \frac{h_w}{3 \sin \beta} + \frac{b}{\cos \alpha} \cos(\beta - \alpha) \right)}$$

(危岩体重心在倾覆点之内时) (3)

式中： $h$ ——后缘裂隙深度(m)；

$h_w$ ——后缘裂隙充水高度(m)；

$H$ ——后缘裂隙上端到未贯通段下端的垂直距离(m)；

$a$ ——危岩体重心到倾覆点的水平距离(m)；

$b$ ——后缘裂隙未贯通段下端到倾覆点之间的水平距离(m)；

$h_0$ ——危岩体重心到倾覆点的垂直距离(m)；

$f_{lk}$ ——危岩体抗拉强度标准值(kPa)，根据岩石抗拉强度标准值乘以 0.4 的折减系数确

定；

$\alpha$ ——危岩体与基座接触面倾角( $^\circ$ )，外倾时取正值，内倾时取负值；

$\beta$ ——后缘裂隙倾角( $^\circ$ )。

其它符号意义同前。

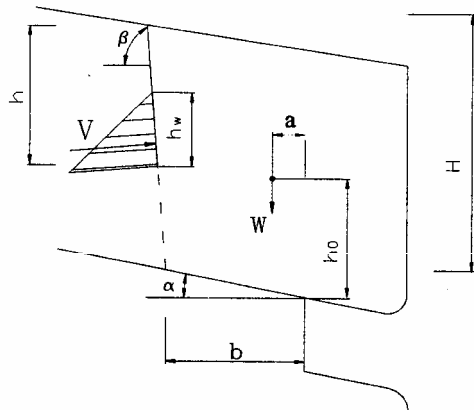


图 12.4-2 倾倒式危岩稳定性计算（由后缘岩体抗拉强度控制）

b) 由底部岩体抗拉强度控制时，按下式计算(图 12.4-3)：

$$F = \frac{\frac{1}{3}f_{lk} \cdot b^2 + W \cdot a}{V \left( \frac{1}{3} \frac{h_w}{\sin \beta} + b \cos \beta \right)} \quad (4)$$

式中各符号意义同前。

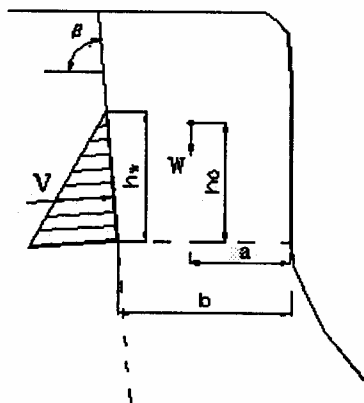


图 12.4-3 倾倒式危岩稳定性计算（由底部岩体抗拉强度控制）

#### 12.4.11 坠落式危岩稳定性计算应符合下列规定：

a) 对后缘有陡倾裂隙的悬挑式危岩按下列二式计算，稳定性系数取两种计算结果中的较小值（图 12.4-4）：

$$F = \frac{c(H-h)}{W} \quad (5)$$

$$F = \frac{\zeta \cdot f_{lk} \cdot (H-h)^2}{W a_0} \quad (6)$$

式中： $\zeta$ ——危岩抗弯力矩计算系数，依据潜在破坏面形态取值，一般可取  $1/12 \sim 1/6$ ，当潜在破坏面为矩形时可取  $1/6$ ；

$a_0$ ——危岩体重心到潜在破坏面的水平距离(m)；

$b_0$ ——危岩体重心到过潜在破坏面形心的铅垂距离(m)；

$f_{lk}$ ——危岩体抗拉强度标准值(kPa)，根据岩石抗拉强度标准值乘以 0.20 的折减系数确定；

$c$ ——危岩体粘聚力标准值(kPa)；

$\varphi$ ——危岩体内摩擦角标准值(°)。

其它符号意义同前。

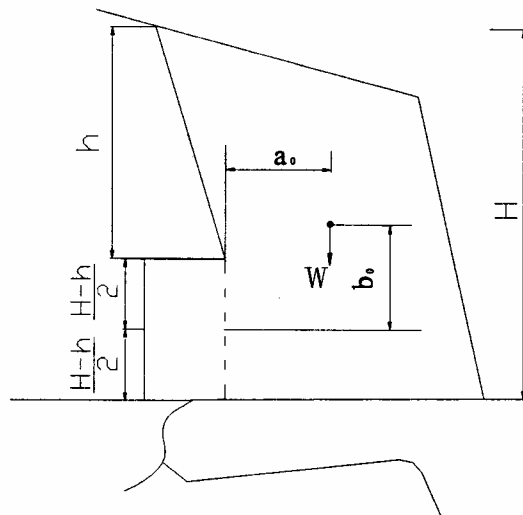


图 12.4-4 坠落式危岩稳定性计算（后缘有陡倾裂隙）

b) 对后缘无陡倾裂隙的悬挑式危岩按下列二式计算，稳定性系数取两种计算结果的较小值（图 12.4.5）：

$$F = \frac{c \cdot H_0}{W} \quad (7)$$

$$F = \frac{\zeta \cdot f_{lk} \cdot H_0^2}{W \cdot a_0} \quad (8)$$

式中：  $H_0$  ——危岩体后缘潜在破坏面高度 (m)；

$f_{lk}$  ——危岩体抗拉强度标准值 (kPa)，根据岩石抗拉强度标准值乘以 0.30 的折减系数确定；其它符号意义同前。

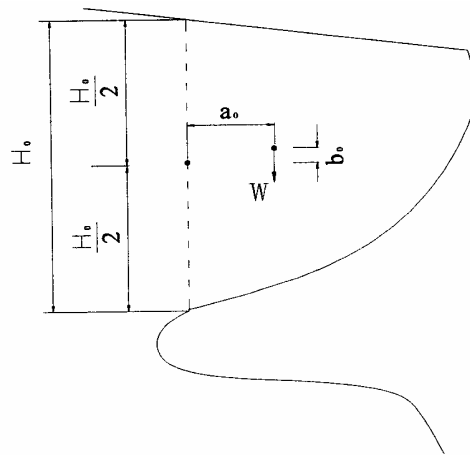


图 12.4-5 坠落式危岩稳定性计算（后缘无陡倾裂隙）

- 12.4.12 当危岩破坏模式难以确定时，应同时进行各种可能破坏模式的危岩稳定性计算。
- 12.4.13 当危岩断面尺寸变化较大时，危岩稳定性计算应按空间问题进行。
- 12.4.14 按危岩稳定系数判断危岩稳定状态时，应符合表 12.4-1 的规定。

表 12.4-1 危岩稳定状态

危岩类型	危岩稳定状态			
	不稳定	欠稳定	基本稳定	稳 定
滑移式危岩	$F < 1.0$	$1.00 \leq F < 1.15$	$1.15 \leq F < F_t$	$F \geq F_t$
倾倒式危岩	$F < 1.0$	$1.00 \leq F < 1.25$	$1.25 \leq F < F_t$	$F \geq F_t$
坠落式危岩	$F < 1.0$	$1.00 \leq F < 1.35$	$1.35 \leq F < F_t$	$F \geq F_t$

- 12.4.15 危岩稳定状态应根据定性分析和危岩稳定性计算结果综合判定。
- 12.4.16 危岩稳定性安全系数应根据危岩崩塌防治工程等级和危岩类型按表 12.4-2 确定。

表 12.4-2 危岩稳定性安全系数

危岩类型	危岩崩塌防治工程等级					
	一级		二级		三级	
	非校核工况	校核工况	非校核工况	校核工况	非校核工况	校核工况
滑移式危岩	1.40	1.15	1.30	1.10	1.20	1.05
倾倒式危岩	1.50	1.20	1.40	1.15	1.30	1.10
坠落式危岩	1.60	1.25	1.50	1.20	1.40	1.15

## 12.5 塌岸预测

**12.5.1 塌岸预测类比法。**类比已知条件相似的水库岸坡的剖面，绘制待预测岸坡的塌岸剖面。

**12.5.2 塌岸预测动力法。**塌岸量与波能和岩土抗冲刷强度之间的“关系方程”：

$$Q = E \cdot k_p \cdot t^b \quad (1)$$

式中， $Q$  为库岸单宽内被冲刷的岩土体体积 ( $\text{m}^3/\text{m}$ )

$E$  为波浪作用于单宽库岸的动能 ( $\text{t} \cdot \text{m}$ )

$k_p$  为岩土体的抗冲刷系数 ( $\text{m}^3/\text{t}$ )

$t$  为水库运营年限

$b$  为经验常数，取决于滨岸浅滩中堆积部分的宽度，变化于 0.45—0.95

该法有一定的物理依据，但“关系方程”的建立同时也需要一定量的观测样本。在海洋工程科学领域，借助于造波机已经通过室内试验，以及某些海岸工程的实地观测，建立了相应的动力法预测方程供地域性海岸工程加固设计使用。

**12.5.3 塌岸预测统计法。**主要是依据已建成水库的观测资料，用数理统计的方法建立岸坡再造的规模、速度与各种自然因素的统计关系，借以预测设计水库的岸坡再造过程。

**12.5.4 塌岸预测经验法。**准确的塌岸长期预测不是一次完成的，必须对水库运行期间的塌岸剖面进行跟踪式水准测量，用以检验、修正和再预测先期的长期预测结果。

目前，主要的预测方法包括： $E \cdot \Gamma \cdot$  卡丘金法、 $\Gamma \cdot C \cdot$  佐洛塔廖夫法、平衡剖面法三种，它们的基本原理和计算方法如下。

### (1) 卡丘金法

$E \cdot \Gamma \cdot$  卡丘金于 1949 年提出的库岸最终塌岸预测宽度计算公式为，

$$S = N [(A + h_p + h_b) / \text{ctg} \alpha + (h_s - h_b) / \text{ctg} \beta - (A + h_p) / \text{ctg} \gamma] \quad (2)$$

式中： $S$  为最终塌岸宽度 ( $\text{m}$ )；

$N$  为与土的类型有关的系数：粘土为 1，冰积亚粘土为 0.8，黄土为 0.6，砂土为 0.5；

$A$  为水位变化幅度 ( $\text{m}$ )；

$h_p$  为波浪影响深度 ( $\text{m}$ )；

设计低水位以下波浪影响深度一般取 1~2 倍浪高；浪高取 0.5m 时，波浪影响深度取 1m。

$h_b$  为浪爬高度 ( $\text{m}$ )；

设计高水位以上浪爬高度可按下式计算：

$$h_b = 3.2K \cdot h \cdot \tan\alpha$$

式中：K 为岸坡粗糙系数，取 0.6

h 为浪高（m），取 0.5m

$h_s$  为正常高水位以上岸坡的高度（m）

$\alpha$  为水库水位变动和波浪影响所涉及的范围内，形成均一的磨蚀浅滩的坡角（°）

$\beta$  为水上岸坡的稳定坡角（°）

$\gamma$  为原岸坡坡角（°）

图 12.5-1 给出了适合于三峡库区塌岸预测的卡丘金方法图解，该式的实质是依据实测的洪、枯水水变幅带各类岩土岸坡长期稳定坡角，根据几何关系用图解法求解库岸最终塌岸宽度，其精度取决于计算参数的选定。

类似卡丘金法的计算公式很多，但它们在本质上是相同的，考虑到计算参数较多的选自经验值，因此在实际预测时必须对类似水动力条件和类似岩土条件下的已有岸坡塌岸进行观测，以获得相应的较为可靠的计算参数。有时，参考水库蓄水前洪、枯水位变幅带岸坡形态数据，也具有较好的预测效果。

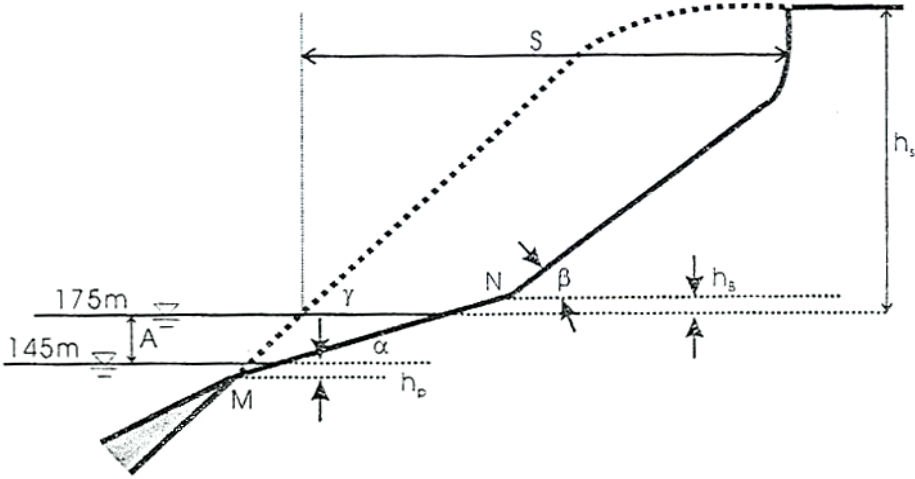


图 12.5-1 卡丘金方法预测塌岸图解（Е·Г·Ка ЧУГи Н1949）

卡丘金法适用于自然岸坡较陡，且由松软均质土体如黄土、砂土、砂质粘土以及粘土等组成的库岸的塌岸预测。目前，在我国中小型水库塌岸预测中，多采用这种方法。卡丘金法也适用于大型水库的中、上游地带岸坡。

## （2）佐洛塔廖夫法

此方法为苏联学者 Г·С·Золотарев 于 1955 年提出（如图 12.5-2 所示）。预测的具体步

骤如下：

- ① 绘制出预测地点的地形地质剖面；
- ② 标出水库正常高水位线与水库最低水位线；
- ③ 由正常高水位向上标出波浪爬高线，爬升高度  $h_B$  可取一个波高；
- ④ 由最低水位向下，标出波浪影响深度线。影响深度  $h_p$  取  $(1/3 \sim 1/4)$  波长，粘性土应大一些，砂土小些；
- ⑤ 在波浪影响深度线上选取 a 点，该点位于堆积浅滩带与浅滩外缘陡坡带之转折点处，该点的选取应使堆积系数  $k_a$  之值与图中所列数值相符。
- ⑥ 由 a 点向下，根据浅滩堆积物的岩性绘出外缘陡坡，使之与原斜坡线相交：其稳定坡度  $\alpha_1$ ：粉细砂土和粘性土为  $<8^\circ \sim 12^\circ$ ，卵石层和粗砂土为  $<18^\circ \sim 12^\circ$ 。由 a 点向上绘出堆积浅滩的坡面线，与原斜坡线相交于 b 点：其稳定坡度  $\alpha_2$ ：细粒砂土为  $1^\circ \sim 1.5^\circ$ ，粗砂小砾石为  $3^\circ \sim 5^\circ$ ；
- ⑦ 由 b 点作冲蚀浅滩的坡面线，与正常高水位线相交于 c 点，其稳定坡度  $\alpha_3$ ：视 b、c 间岸坡岩性而定；
- ⑧ 由 c 点作波浪爬升带的坡面线，与波浪爬升高度水位线相交于 d 点，其稳定坡度  $\alpha_4$  按图 12.5-2 法采取；
- ⑨ 绘制水上岸坡坡面线 de； $\alpha_5$  据自然坡角确定；
- ⑩ 检验堆积系数与经验数据是否相符，如不符则向左或向右移动 a 点并按上述重新作图，直至适合为止。

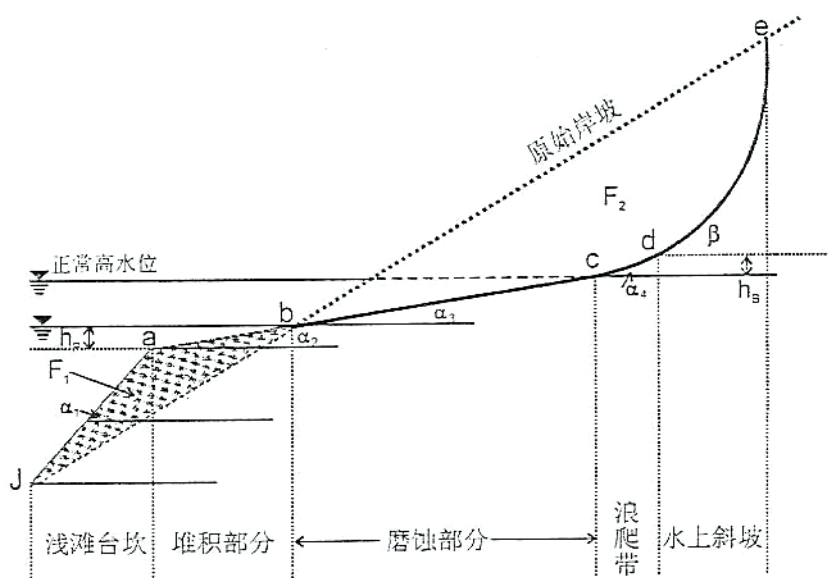


图 12.5-2 佐洛塔廖夫法预测塌岸图解 (Г·С·золотарев, 1955)



### (3) 平衡剖面法

在水库风波浪和船行波浪的长期作用下，岸坡断面将逐渐调整至平衡位置，形成平衡断面。根据水库运行性质、波浪作用规律，以及岸坡岩土体工程地质特征，运用水力学、泥沙运动学等理论以及实际观察数据，可以建立基于经验的数学模型，用于预测平衡断面，从而获得水库塌岸的空间规模。

当地形坡度甚缓时，岸坡不但不会产生水库塌岸，还会产生局部淤积，并进而调整至平衡形态。对于这类岸坡，通常无需采取护坡措施，经验数据是缓于 1:5 的岸坡，就无需护坡；相反，当地形坡度甚陡时，岸坡将会产生快速的塌岸过程，直至断面平衡为止。

对于非粘性土，当土体主要由 0.1-1.5mm 土颗粒组成时，В·Л·Ма К С И М Ч У К 根据试验资料，提出正常高水位以上至波浪爬升高度上界范围内，平衡剖面的坡角余切  $m_1$  为：

$$m_1 - m_0 = 0.17 \left( \frac{H \sqrt[3]{L/h}}{d} \right)^{1/2} \quad (4)$$

水库最低水位以下至波浪影响深度下界范围内，平衡剖面的坡角余切  $m_2$ ：

$$m_2 - m_0 = 0.37 \left( \frac{H \sqrt[3]{L/h}}{d} \right)^{1/2} \quad (5)$$

式中， $m_0 = \cot \alpha$ ， $\alpha$  是岸坡自然坡角； $h$  是波高 (m)； $L$  是波长 (m)； $d$  是岸坡岩土体的平均粒径 (m)。

波浪影响深度  $h_p$  可采用下式计算：

$$h_p = 0.028 \left( \frac{HL}{d^{1/2}} \right)^{2/3} \quad (6)$$

活动砂层厚度  $t$  可取波浪影响深度  $h_p$  的 0.1 倍。

对于粘性土岸坡，В·А·Д Ы Ш К И Н 根据试验及现场观察提出，当波高  $h \leq 3m$ ，波长与波高的比值  $L/h=10-25$ ，塑性指数  $I_p=7-17$ ，孔隙比  $e=0.5-1.20$  时，有：

$$h_p = 0.5h \quad (7)$$

$$h_p = 3.33 h \sqrt{e} \quad (8)$$

$$m_1 - m_2 = 7e \sqrt{h I_p} \quad (9)$$

$$m_2 - m_0 = 50e \sqrt{h} \quad (10)$$

实际上,根据观测和试验数据,苏联学者已经总结出诸多水位变幅带间、波浪作用带间稳定岸坡坡角与波浪要素间的关系曲线,以供绘制平衡断面。

#### (4) 岩质库岸的塌岸预测

应根据库岸地质结构、岸坡天然坡高、坡角、裂隙组合与坡向的关系等,分以下情况综合判定:

——库岸为逆向-斜向坡,外倾裂隙不发育,且岸坡天然坡角小于  $35^{\circ}$  时,一般不会产生塌岸;

——库岸为逆向-斜向坡,岸坡高、陡,各种结构面的组合在坡面上可形成危岩体时,会产生局部崩塌,但不会产生大范围塌岸;

——库岸为顺向坡,外倾裂隙发育,且岸坡天然坡角大于结构面倾角时,可能产生较大范围的塌岸。

滑移型塌岸预测应参考滑坡或塌岸稳定性计算,当其稳定系数小于安全系数时,塌岸宽度应算至滑坡、崩塌后缘边界;当其稳定系数大于或等于安全系数时,应进行塌岸后的稳定系数校核。

## 12.6 滑坡涌浪计算方法

**12.6.1** 滑坡涌浪的计算包括滑坡激起的初始浪高的计算及涌浪在河道中的传播计算方法主要有经验公式、模型试验方法及数值模拟计算方法,工程上的滑坡涌浪计算以经验公式为主。

**12.6.2** 滑坡涌浪初始浪高计算的经验公式主要包括潘家铮方法、无量纲组合方法和无量纲动能方法。

#### (1) 潘家铮方法

潘家铮于 1980 年提出初始浪高的计算方法,计算模式按岸坡变形分为水平运动和垂直运动两种。

当岸坡发生水平运动时,激起的初始浪高可表示为:

$$\frac{\xi_0}{h} = 1.17 \cdot \frac{v}{\sqrt{g \cdot h}} \quad (1)$$

式中:  $\xi_0$  为激起的初始涌浪高度 (m)

$h$  为水库平均深度 (m)

$v$  为岸坡水平运动速度 (m/s)

$g$  为重力加速度 ( $\text{m/s}^2$ )

当岸坡发生垂直运动时，激起的初始浪高可用下面的函数表示为：

$$\frac{\xi_0}{h} = f\left(\frac{v'}{\sqrt{g \cdot h}}\right) \quad (2)$$

其中，当  $0 < \left(\frac{v'}{\sqrt{g \cdot h}}\right) \leq 0.5$  时， $\frac{\xi_0}{h} = \frac{v'}{\sqrt{g \cdot h}}$ ；

当  $0.5 < \left(\frac{v'}{\sqrt{g \cdot h}}\right) \leq 2$  时， $f\left(\frac{v'}{\sqrt{g \cdot h}}\right)$  呈曲线变化；

当  $\left(\frac{v'}{\sqrt{g \cdot h}}\right) > 2$  时， $\frac{\xi_0}{h} = 1$ ；

两者模拟下的变化曲线见图 12.6-1

## (2) 无量纲组合方法

Kamphis, J. W 和 Bowering, R. J 两位学者于 1971 年通过试验研究总结出影响浪高的无量纲组合模式，其最初的表示形式如下：

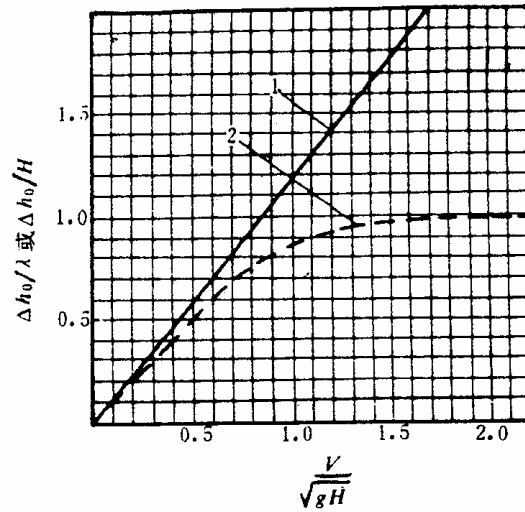


图 12.6-1 两种模式下的初始涌浪高度求解曲线图

(1—岸坡水平运动模式；2—岸坡垂直运动模式)

$$\pi_A = \phi_A\left(\frac{l}{d}, \frac{w}{d}, \frac{h}{d}, \frac{v}{\sqrt{gd}}, \beta, \theta, p, \frac{\rho_s}{\rho}, \frac{\rho d \sqrt{gd}}{\mu}, \frac{x}{d}, t \sqrt{\frac{g}{d}}\right) \quad (3)$$

式中， $l$  为滑坡体的长， $w$  为滑坡体的宽、 $h$  为滑坡体的高， $d$  为水深， $v$  为滑体速度， $\beta$  为滑坡体的前缘倾角， $\theta$  为滑坡体前缘的滑床倾角， $p$  为滑坡孔隙率； $\rho_s$  为滑坡体密度， $\rho$  为流体密度， $\mu$  为流体的动力粘滞系数， $x$  为滑坡体离滑坡点的距离， $t$  为滑坡的滑动时间。

如果用独立的量表示，结合式 5，涌浪高度可以表示为如下形式：

$$\frac{\eta}{d} = \phi_A(q, \frac{h}{d}, \frac{v}{\sqrt{gd}}, \beta, \theta, p, \frac{\rho_s}{\rho}, \frac{x}{d}) \quad (4)$$

$$\text{其中, } q = \frac{l}{d} \cdot \frac{h}{d}$$

结合具体试验提出了稳定浪高与滑坡单宽体积的关系式：

$$\frac{\eta_c}{d} = F^{0.7} (0.31 + 0.20 \cdot \log q) \quad (5)$$

$$\text{其中, } F \text{ 为滑坡体佛汝德数: } F = \frac{v}{\sqrt{gd}}$$

其适用条件为：  $p=0$ ，  $0.5 < q < 1.0$ ，  $\frac{h}{d} \geq 0.5$ ，  $\theta \geq 30^\circ$ ，  $\beta \approx 90^\circ$ 。

### (3) 无量纲动能方法

R.L.Slingerland 和 B.Volght 于 1979 年在 Mica 坝模型试验的基础上无量纲动能与最大涌浪高度之间的经验公式；

$$\lg(\frac{\eta_{\max}}{d}) = a + b \lg(K_E) \quad (6)$$

$$\text{式中, } K_E = \frac{1}{2} \cdot \frac{l \cdot h \cdot w}{d^3} \cdot \frac{\rho_s}{\rho} \cdot \frac{v^2}{gd}$$

**12.6.3** 滑坡涌浪在河道中传播衰减主要用潘家铮方法来进行计算。

潘家铮于 1980 年以滑坡失事点为扰动中心，考虑了推进波及孤立波传到对岸的反射波两者波型，根据波高按距离的倒数递减的规律（连续原理），计算出各小波直接传到水库某点的波高和反射波传到该点的波高，并把两者进行迭加，得出了滑坡失事点对岸任意点的最高涌浪公式

假定两岸为平行陡壁，宽度为 B，滑坡范围 L 内的断面尺寸一致，岸坡变形率为常数（即滑速 V 为常数），则可按下述方法计算滑坡沿河道传播的最高涌浪。

#### 1. 对岸 A 点最高涌浪计算

岸边滑坡突然滑入水中，产生的涌浪经水域传至对岸 A 点（图 12.6-2）的最大涌浪高度为

$$\zeta_{\max} = \frac{2\zeta_0}{\pi} (1 + C_k) \cdot \sum_{n=1,3,5,\dots}^n \left\{ c_k^{2(n-1)} \cdot \ln \left[ \frac{l}{(2n-1)B} + \sqrt{1 + \frac{l^2}{(2n-1)^2 B^2}} \right] \right\} \quad (7)$$

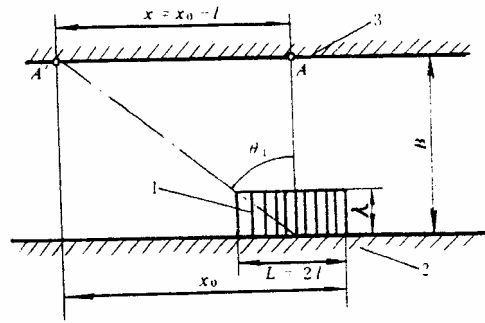


图 12.6-2 涌浪传播模型图

式中： $\zeta_{\max}$  为对岸 A 点最高涌浪(m)；

$\zeta_0$  为初始浪高；

l 为滑坡体宽度的一半(m)。

$C_k$  为波的反射系数，在求对岸最高涌浪时，为 1；

$\Sigma$  为级数和。该级数的项数取决于滑坡历时 T 及涌浪从一岸传播至对岸需时  $\Delta t = \frac{B}{C}$  之比，见表 1。

波速 C 按下式计算：

$$C = \sqrt{gh} \cdot \sqrt{1 + 1.5 \frac{\zeta}{h} + 0.5 \left( \frac{\zeta}{h} \right)^2} \quad (8)$$

表 1 不同 T /  $\Delta t$  比值所应采用的级数项数

T / $\Delta t$	1 ~ 3	3 ~ 5	5 ~ 7	7 ~ 9
级数应采用的项数	1	2	3	4
n 的取值	1	1, 3	1, 3, 5	1, 3, 5, 7

## 2. 对岸任一点 A' 的最高涌浪计算

滑坡涌浪传至对岸任一点 A' (图 12.6-2) 产生的最大涌浪高度为：

$$\Delta h = \frac{\zeta_o}{\pi} \sum_{n=1,3,5}^n (1 + C_K \cos \theta_n) C_k^{n-1} \cdot \ln \left\{ \frac{\sqrt{1 + \left( \frac{nB}{x_o - L} \right)^2} - 1}{\frac{x_o}{x_o - L} \left[ \sqrt{1 + \left( \frac{nB}{x_o} \right)^2} - 1 \right]} \right\} \quad (9)$$

式中:  $\zeta_0$  为初始浪高(m);

$C_k$  为波的反射系数;

$X_0$  为滑坡至  $A'$  的距离(m);

$L$  为滑坡体宽度(m);

$n$  为级数应取的次数;

$\theta_n$  为第  $n$  次入射线与岸坡法线的夹角, 其值可以这样计算: 河道宽为  $B$ , 滑坡区中心到  $A'$  点的水平距离为  $x$ , 则

$$\tan \theta_1 = \frac{x}{B}; \tan \theta_3 = \frac{x}{B}; \cdots; \tan \theta_n = \frac{x}{nB}$$

$n$  值取决于  $T$ 、 $\Delta t$ 、 $\frac{x_0}{B}$  及  $\frac{x_0 - L}{B}$  值, 可由图 12.6-3 确定。其步骤见图 12.6-4, 先计算  $\frac{x_0}{B}$ 、

$\frac{x_0 - L}{B}$  及  $\frac{T}{\Delta t}$  值, 在图 12.6-4 的横坐标轴上, 定下  $a$ 、 $b$  两点, 相当于  $\frac{x_0 - L}{B}$  及  $\frac{x_0}{B}$ 。由此引垂线

和图中“-0”曲线相交, 得  $a'$  及  $b'$  点。再从  $a'$  及  $b'$  开始, 向上量取时段  $\frac{T}{\Delta t}$ , 在这段垂直范

围内所包括的负波个数, 就是应取的项数, 在图 12.6-4 所示的  $\frac{T}{\Delta t}$  范围内, 共包括-0, -2, -

4, -6 等 4 个波, 故级数应取 4 项。

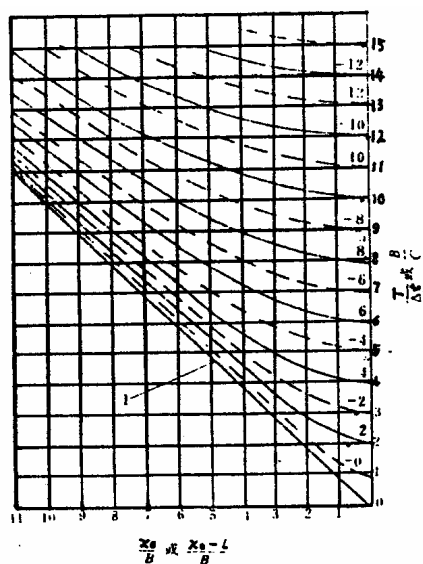


图 12.6-3 计算项数曲线图

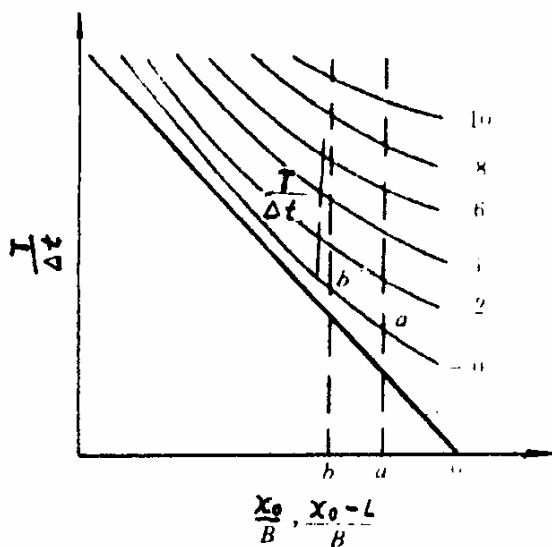


图 12.6-4 计算项数的作图方法

求出的  $A'$  点浪高是指涌浪可向下游继续自由行进时的值。如果涌浪到达  $A'$  点受阻, 例如

A' 点为一溢流坝，浪高超过堰顶下泄，则在 A' 处出现一个负波反向上游传播，水面将出现反复振荡现象。

参考文献：

1. 潘家铮. 建筑物的抗滑稳定和滑坡分析. 北京:水利出版社, 1980. 133—154
2. 陈学德. 水库滑坡涌浪研究的综合评述. 水电科研与实践, 1984, 1(1):78—96
3. 陈学德. 水库滑坡涌浪的经验算法及程序设计.长沙: 水利电力部中南勘测设计院科研所, 1984.1—18
4. Edward Noda. Water Waves Generated by Landslides. Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division, 1970, Vol. 96, No. 4, pp. 835-855
5. J. W. Kamphuis, R. J. Bowering. Impulse Waves Generated By Landslides. ASCE, Proceedings of the 12th Coastal Engineering Conference, 1971, 1:pp. 689-699
6. Robert L. Wiegel, Edward K. Noda, Dennis M. Gee, et al. Water Waves Generated by Landslides in Reservoirs. Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division, 1970, Vol. 96, No. 2, pp. 307-333

## 12.7 库区泥岩岸坡统计参数表（据三峡库区地质灾害防治规划二期科研：三

峡库区塌岸预测与防治研究，成都理工大学）

对三峡库区奉节段三叠系中上统泥岩组成的岸坡水上、水下坡角进行实地调查、统计，成果见表 17.8-1。

表 12.7 泥岩坡角及岸坡结构统计表

观测点号	水上坡角 $\beta_{\pm} (^{\circ})$	水下坡角 $\beta_{\mp} (^{\circ})$	岸 坡 结 构				统计点位置
			岩层产状: (倾向 $\angle$ 倾角 $\alpha$ )	岩层倾向与岸坡倾向间夹角 $\gamma (^{\circ})$	岸坡类型	备注	
D01	17°	18°	125° $\angle$ 15°	2.5°	缓倾外顺向岸坡	似层状浅紫红色泥岩，部分泥化	奉节县老码头上游 500m 左岸
D02	15°	12°		2°	同上	已泥化，未见层面	老码头上游 600m（风化）
D03	14°	11°	140° $\angle$ 9.5°	2°	平缓倾外顺向岸坡	已泥化，呈暗黄色	桂花大队抽水码头上游 500m（风化）
D04	17°	9.5°		4°	同上	已泥化，未见层面	同 D03
D05	17°	9°		2°	同上	已泥化，未见层面	同 D03
D06	16°	12.5°		4°	同上	紫红色泥岩，表面被冲蚀	同 D03
D07	19°	7°	110° $\angle$ 42°	29°	中倾外顺向岸坡	浅紫红色泥岩，表面被冲蚀	新建奉节长江大桥下游 150m（风化）
D08	27°	10°		8.5°	缓倾外顺向岸坡	表面被冲蚀，可见植被	长江右岸轮渡码头上游 500m（可见基岩）
D09	28°	11°		9.5°	同上	紫红色泥岸，基岩出露	上点码头上游 490m
D10	30°	14°		11°	同上	同上	上点码头上游 480m
D11	29°	15°	287° $\angle$ 11.5°	10.5°	同上	同上	上点码头上游 470m
D12	30°	17°	267° $\angle$ 9°	14.5°	平缓倾外顺向岸坡	紫红色、灰绿色泥岩互层	上点码头上游 460m
D13	28°	18°		13°	同上	同上	上点码头上游 450m
D14	27°	16°	265° $\angle$ 11°	10.5°	缓倾外顺向岸坡	同上	上点码头上游 440m
D15	29°	15°		8°	同上	同上	上点码头上游 430m
D16	30°	16°	281° $\angle$ 18°	5°	同上	同上	上点码头上游 420m



观测点号	水上坡角 $\beta_{\pm} (^{\circ})$	水下坡角 $\beta_{\mp} (^{\circ})$	岸 坡 结 构				统计点位置
			岩层产状: (倾向 $\angle$ 倾角 $\alpha$ )	岩层倾向与岸坡倾向间夹角 $\gamma (^{\circ})$	岸坡类型	备注	
D17	31°	15°		8°	同上	同上	上点码头上游410m
D18	22°	14°	280° $\angle$ 12°	6°	同上	同上	上点码头上游400m
D19	25°	15°		5°	同上	同上	上点码头上游390m
D20	24°	15°	278° $\angle$ 18°	2°	同上	同上	上点码头上游380m
D21	23°	15°	332° $\angle$ 35°	17°	中倾外顺向岸坡	同上	上点码头上游370m
D22	23°	24°	334° $\angle$ 24°	1°	中倾外顺向岸坡	同上	上点码头上游360m
D23	23°	22°	327° $\angle$ 19°	2°	缓倾外顺向岸坡	同上	上点码头上游350m
D24	25°	20°	320° $\angle$ 26°	3.5°	中倾外顺向岸坡	同上	上点码头上游340m
D25	24°	18°	321° $\angle$ 15°	6°	缓倾外顺向岸坡	同上	上点码头上游330m
D26	25°	16°		2°	缓倾外顺向岸坡	同上	上点码头上游320m
D27	25°	16°	301° $\angle$ 24°	4°	中倾外顺向岸坡	同上	上点码头上游310m
D28	25°	14°	303° $\angle$ 19°	0.5°	缓倾外顺向岸坡	同上	上点码头上游300m
D29	27°	13°	307° $\angle$ 21°	1°	中倾外顺向岸坡	同上	上点码头上游290m
D30	27°	13°	297° $\angle$ 16°	4°	缓倾外顺向岸坡	同上	上点码头上游280m
D31	27°	12°	304° $\angle$ 18.5°	1°	同上	同上	上点码头上游270m
D32	27°	18°	293° $\angle$ 14°	4°	同上	同上	上点码头上游260m
D33	18°	10°	290° $\angle$ 7°	7°	平缓倾外顺向岸坡	已泥化, 呈浅紫红色, 似层状	长江右岸轮渡码头下游450m
D34	18°	13°	295° $\angle$ 9°	6.5°	同上	同上	上点码头下游460m
D35	19°	13°	210° $\angle$ 5°	11°	同上	同上	上点码头下游470m
D36	16°	9°		5°	同上	同上	上点码头下游480m
D37	17°	10°		3.5°	同上	同上	上点码头下游490m
D38	14.5°	12°		3°	同上	同上	上点码头下游500m
D39	14.5°	8°	327° $\angle$ 6°	5°	同上	同上	上点码头下游510m

观测点号	水上坡角 $\beta_{\text{上}}(^{\circ})$	水下坡角 $\beta_{\text{下}}(^{\circ})$	岸 坡 结 构				统计点位置
			岩层产状: (倾向 $\angle$ 倾角 $\alpha$ )	岩层倾向与岸坡倾向间夹角 $\gamma(^{\circ})$	岸坡类型	备注	
D40	14.5°	8°	340° $\angle$ 15°	2°	缓倾外顺向岩坡	同上	上点码头下游520m
D41	13.5°	8.5°		3°	同上	同上	上点码头下游530m
D42	15°	9.5°		2°	同上	同上	上点码头下游540m
D43	15°	12°	290° $\angle$ 12°	2°	同上	同上	上点码头下游550m
D44	16.5°	12.5°		2.5°	同上	同上	上点码头下游560m
D45	20°	12°		4°	同上	部分泥化, 呈浅紫红色。	长江左岸梅溪河口附近
D46	21°	9°		2°	同上	部分泥化, 呈浅紫红色。	长江左岸梅溪河口附近
平均值	21.9°	13.4°		5.7°			
方 差	30.2°	14.2°		26.8°			
标准差	5.49°	3.77°		5.18°			
最大值	31°	24°		29°			
最小值	13.5°	7°		0.5°			

12.8 三峡水库运行特征（据水利部长江水利委员会《长江三峡工程库区淹没处理及移民安置崩滑体处理总体规划报告》，2001）

12.8.1 施工期蓄水位 135 米时的运行情况

按照三峡工程原定施工进度，2003 年 6 月水库蓄水至 135 米，第一批机组发电，直到 2007 年 9 月均保持 135 米水位运行。若遇 100 年一遇洪水，坝前水位不超过 140 米。

12.8.2 施工期蓄水位 156 米时的运行情况

三峡工程施工期间，2007 年～2009 年（汛前），水库按 156 米方案运行，2007 年 10 月份开始，水库坝前水位从 135 米抬升至 156 米，10 月至次年 6 月上旬坝前水位在 135 米～156 米～135 米之间波动。在汛期 6 月中旬～9 月底，坝前水位降至防洪限制水位 135 米，库水位变幅为 21 米。

12.8.3 正常蓄水位 175m 时的运行情况

三峡库区建成后，汛期（6 月中旬～9 月底）水库限制水位为 145 米，以便洪水来临时拦蓄洪水。若遇上洪水，坝前水位达到 147.2 米（5 年一遇），20 年、100 年和 1000 年一遇洪水坝前水位分别为 157.5 米、166.7 米和 175.0 米。洪峰过后，水库水位又迅速降低到防洪限制水位 145 米左右，以备可能再次发生洪水。三峡水库坝前水位在 145 米～175 米～145 米之间波动，水库水位变幅为 30 米。

三峡工程施工期和正常 175 米时水库调度见图 12.8-1、图 12.8-2。

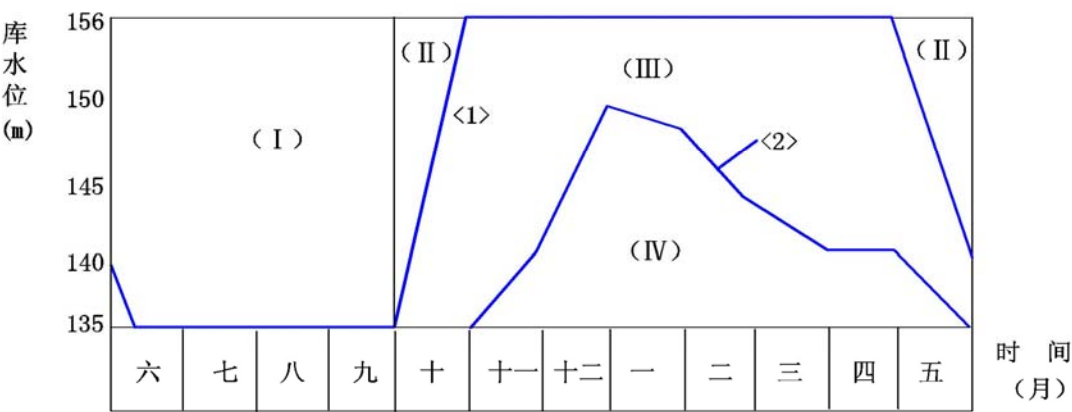


图 12.8-1 三峡工程施工期蓄水位 156m 时水库调度图

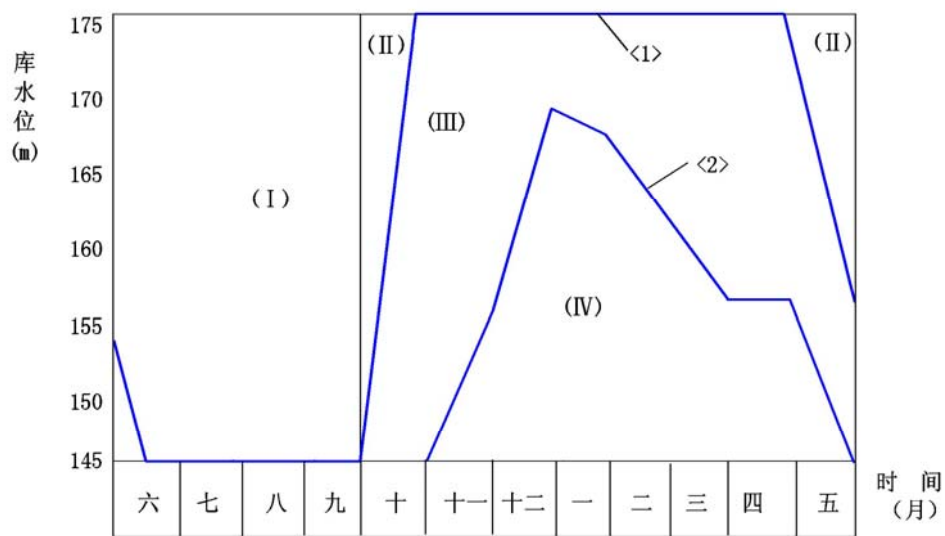


图 12.8—2 三峡工程正常蓄水位 175m 时水库调度图

注：<1>防破坏线，<2>限制供水线

（ I ） 防洪区，（ II ） 装机预想出力区，（ III ） 保证出力区，（ IV ） 降低出力区

## 12.9 三峡库区长江干流各断面水位表

编号	断面名称	距坝址距离 (公里)	坝前 135m 接 20%洪水水 位线	坝前 145m 接 20%洪水水 位线	坝前 156m 接 5%洪水 水位线	坝前 162m 接 2%洪水 水位线	坝前 175m 接 20%洪水水 位线
1	坝址	0.0	135.0	145.0	156.0	162.0	175.0
2	太平溪	7.0	135.0	145.0	156.0	162.0	175.0
3	柳林溪	13.0	135.0	145.0	156.0	162.0	175.0
4	九湾溪	18.4	135.0	145.0	156.0	162.0	175.0
5	新滩	25.7	135.0	145.0	156.0	162.0	175.0
6	香溪	31.1	135.0	145.0	156.0	162.0	175.0
7	秭归站	37.6	135.0	145.0	156.0	162.0	175.0
8	沙镇溪	44.0	135.0	145.0	156.0	162.0	175.0
9	泄滩溪	48.3	135.0	145.0	156.0	162.0	175.0
10	谢家河	55.1	135.0	145.0	156.0	162.0	175.0
11	骆驼河	62.1	135.0	145.0	156.0	162.0	175.0
12	巴东二站	66.8	135.0	145.0	156.1	162.1	175.0
13	巴东县	72.5	135.0	145.0	156.1	162.1	175.0
14	宫渡口	78.2	135.0	145.0	156.1	162.1	175.0
15	杨家棚	82.2	135.0	145.0	156.1	162.1	175.0
16	黄花口	89.1	135.0	145.0	156.1	162.1	175.0
17	冷水碛	93.8	135.0	145.0	156.1	162.1	175.0
18	碚石	100.1	135.0	145.0	156.2	162.1	175.0
19	青岩子	105.0	135.0	145.0	156.2	162.1	175.0
20	青石	108.3	135.0	145.0	156.2	162.1	175.0
21	向家湾	113.6	135.0	145.0	156.2	162.1	175.0
22	大青溪	119.7	135.0	145.0	156.3	162.2	175.0
23	巫山县	124.3	135.1	145.1	156.3	162.2	175.1
24	上安坪	127.9	135.1	145.1	156.3	162.2	175.1
25	关上	132.1	135.1	145.1	156.3	162.2	175.1
26	曲尺盘	140.6	135.1	145.1	156.3	162.2	175.1
27	大溪镇	149.1	135.1	145.1	156.4	162.3	175.1
28	风箱峡	153.2	135.1	145.1	156.5	162.3	175.1
29	关庙沱	158.3	135.1	145.1	156.5	162.3	175.1
30	奉节县	162.2	135.1	145.1	156.5	162.3	175.1
31	口前	168.3	135.1	145.1	156.5	162.3	175.1
32	三沱	176.3	135.1	145.1	156.5	162.3	175.1
33	安坪	182.2	135.1	145.1	156.5	162.3	175.1
34	庙坪	187.2	135.1	145.1	156.5	162.3	175.1
35	拖板	193.1	135.1	145.1	156.5	162.3	175.1
36	罐子口	197.9	135.1	145.1	156.5	162.3	175.1
37	故陵镇	206.2	135.1	145.1	156.5	162.3	175.1
38	东洋子	212.8	135.1	145.1	156.5	162.3	175.1
39	新津口	218.7	135.1	145.1	156.6	162.4	175.1
40	云阳站	223.7	135.1	145.1	156.6	162.4	175.1

编号	断面名称	距坝址距离 (公里)	坝前 135m 接 20%洪水水 位线	坝前 145m 接 20%洪水水 位线	坝前 156m 接 5%洪水 水位线	坝前 162m 接 2%洪水 水位线	坝前 175m 接 20%洪水水 位线
41	山坝溪	231.3	135.1	145.1	156.6	162.4	175.1
42	复兴场	237.1	135.1	145.1	156.6	162.4	175.1
43	盘石	243.8	135.1	145.1	156.6	162.4	175.1
44	双江镇	248.4	135.1	145.1	156.6	162.4	175.1
45	白水滩	254.1	135.1	145.1	156.6	162.4	175.1
46	糟房院子	258.7	135.1	145.1	156.6	162.4	175.1
47	大周溪	266.4	135.1	145.1	156.6	162.4	175.1
48	拖路口	272.5	135.1	145.1	156.6	162.4	175.1
49	晒网坝	276.3	135.1	145.1	156.6	162.4	175.1
50	万州区	281.3	135.1	145.1	156.6	162.4	175.1
51	沱口水尺	288.3	135.1	145.1	156.7	162.4	175.1
52	潭绍溪	293.2	135.5	145.1	156.7	162.6	175.1
53	新开田	297.3	135.9	145.1	156.7	162.8	175.1
54	冯家码头	303.4	136.5	145.1	156.8	163.2	175.1
55	杨河溪	305.8	136.8	145.1	156.8	163.3	175.1
56	壤渡场	309.9	137.1	145.1	156.8	163.5	175.1
57	复兴场	315.6	137.6	145.1	156.9	163.8	175.1
58	武陵镇	322.3	138.5	145.1	157.0	164.3	175.1
59	毛磊镇	327.3	139.1	145.1	157.0	164.6	175.1
60	石槽镇	332.2	139.7	145.1	157.0	164.9	175.1
61	石宝寨	338.3	140.2	145.1	157.0	165.1	175.1
62	坪山坝	342.1	140.5	145.1	157.1	165.3	175.1
63	内院嘴	346.7	141.0	145.1	157.1	165.6	175.1
64	顺溪场	350.7	141.4	145.1	157.2	165.8	175.1
65	复兴场	358.3	142.2	145.1	157.2	166.2	175.1
66	陈家院子	363.9	143.1	145.1	157.2	166.7	175.1
67	忠县站	370.3	144.4	145.1	157.3	167.4	175.1
68	曹溪河	374.4	144.7	145.1	157.4	167.6	175.1
69	邓家沱	378.4	145.0	145.1	157.4	167.7	175.1
70	新生	384.4	145.3	145.3	157.6	168.0	175.1
71	野猫溪	390.4	145.9	145.9	157.7	168.3	175.1
72	洋渡	395.3	146.5	146.5	157.8	168.7	175.1
73	浊溪口	400.9	147.4	147.4	157.8	169.1	175.1
74	鲤鱼沱	406.7	148.0	148.0	157.9	169.5	175.1
75	高家镇	411.5	148.5	148.5	158.0	169.8	175.1
76	白板溪	415.8	149.1	149.1	158.1	170.1	175.1
77	弥沱湾	420.3	149.9	149.9	158.2	170.6	175.1
78	朗溪	424.5	150.0	150.0	158.3	170.7	175.1
79	丰都县	429.0	150.1	150.1	158.4	170.8	175.1
80	丰都站	432.5	150.4	150.4	158.5	171.0	175.1
81	黄桶碑	437.2	151.5	151.5	159.4	172.0	175.1
82	毡帽石	442.7	152.9	152.9	160.1	173.0	175.1
83	白银坪	446.2	153.7	153.7	160.5	173.6	175.1
84	南沱场	450.4	154.8	154.8	161.1	174.5	175.1

编号	断面名称	距坝址距离 (公里)	坝前 135m 接 20%洪水水 位线	坝前 145m 接 20%洪水水 位线	坝前 156m 接 5%洪水 水位线	坝前 162m 接 2%洪水 水位线	坝前 175m 接 20%洪水水 位线
85	盐汉溪	454.6	155.9	155.9	161.6	175.3	175.2
86	珍溪	458.9	156.8	156.8	162.3	176.1	175.2
87	羊西坝	465.3	158.2	158.2	163.4	177.3	175.2
88	大沱铺	468.7	158.9	158.9	164.0	178.0	175.2
89	清溪场	472.5	159.8	159.8	164.7	178.8	175.2
90	韩家沱	476.2	160.6	160.6	165.2	179.4	175.2
91	郭家嘴	479.7	160.9	160.9	165.8	182.2	175.2
92	涪陵站	483.0	161.4	161.4	166.2	182.4	175.3
93	鸣羊嘴	486.4	162.6	162.6	167.3	182.9	175.3
94	碧小溪	489.6	163.7	163.7	168.3	183.4	175.3
95	李渡镇	493.9	165.1	165.1	169.7	184.1	175.4
96	北拱	498.8	166.4	166.4	171.0	184.8	175.4
97	盐井沟	504.0	167.5	167.5	172.1	185.3	175.4
98	令牌丘	507.9	168.4	168.4	172.9	185.7	175.5
99	石沱	514.4	170.1	170.1	174.7	186.6	175.5
100	周家院子	518.2	170.9	170.9	175.4	187.0	175.5
101	瓦罐	522.8	171.6	171.6	175.9	187.2	175.5
102	长寿县	527.0	172.3	172.3	176.6	187.6	175.6
103	长寿站	529.3	172.7	172.7	177.0	187.8	175.7
104	唐家湾	532.9	173.3	173.3	177.5	188.0	175.7
105	芝麻坪	539.1	174.3	174.3	178.6	188.6	175.8
106	杨家湾	544.7	175.6	175.6	179.6	189.1	176.1
107	媚家湾	549.9	176.1	176.1	180.3	189.4	176.8
108	下刘家坪	555.2	177.0	177.0	181.2	189.9	177.6
109	中湾	560.1	177.8	177.8	182.1	190.3	178.4
110	木洞	565.7	178.8	178.8	183.0	190.8	179.3
111	温家沱	570.0	179.6	179.6	183.7	191.1	180.0
112	大塘坝	573.9	180.4	180.4	184.5	191.5	180.7
113	弹子田	579.6			185.7	192.1	
114	广场坝	583.8			190.0	194.3	
115	郭家沱	587.5			190.9	194.7	
116	唐家沱	589.6			191.6	195.1	
117	生基塘	593.5			192.5	195.5	

## 12.10 三峡库区长江干流各断面土地征用线和分期移民迁移线水位

表（据水利部长江水利委员会《长江三峡工程库区淹没处理及移民安置崩滑体处理总体规划报告》，2001,略修改）

三峡库区长江干流各断面土地征用线和分期移民迁移线水位表

编号	断面名称	距坝址公里	土地征用线	移民迁移线			天然水位线		
			土地征用调查线	二期移民线	三期移民线	移民迁移调查线	汛期 80%洪水日平均水位线	20%洪水	5%洪水
1	坝址	0	175	135	156	177	65.4	71.1	74.2
2	太平溪	7.0	175	135.1	156	177	68.1	74	76.5
3	柳林溪	13.0	175	135.2	156	177	70.4	76.6	79.5
4	九湾溪	18.4	175	135.4	156	177	72.4	79.1	82.4
5	新滩	25.7	175	135.7	156	177	75.2	84.1	87.6
6	香溪	31.1	175	135.9	156	177	77.2	86.7	90.4
7	秭归站	37.6	175	136.1	156	177	79.7	88.7	92.4
8	沙镇溪	44.0	175	136.2	156	177	81.6	90.7	94.3
9	泄滩镇	48.3	175	136.3	156	177	82.9	91.6	95.3
10	谢家河	55.1	175	136.6	156	177	85	93.4	97.1
11	骆驼河	62.1	175	137	156	177	87.1	96.6	100.3
12	巴东二站	66.8	175	137.3	156.1	177	88.5	98.5	102.2
13	巴东县	72.5	175	137.7	156.1	177	90.2	100.6	104.4
14	官渡口	78.2	175	138	156.1	177	91.9	102	106.1
15	杨家棚	82.2	175	138.2	156.1	177	93.1	103.3	107.4
16	黄花口	89.1	175	138.8	156.1	177	95.1	105.1	109.5
17	冷水碛	93.8	175	139.1	156.1	177	96.5	106.1	110.6
18	培石	100.1	175	139.7	156.2	177	98.5	108.4	113.1
19	青岩子	105.0	175	140.3	156.2	177	99.8	110.6	115.4
20	青石	108.3	175	141	156.2	177	100.7	112.3	117.3
21	向家湾	113.6	175	141.9	156.2	177	102.3	115	120.1



三峡库区长江干流各断面土地征用线和分期移民迁移线水位表

编号	断面名称	距坝址公里	土地征用线	移民迁移线			天然水位线		
			土地征用调查线	二期移民线	三期移民线	移民迁移调查线	汛期 80%洪水日平均水位线	20%洪水	5%洪水
22	大青溪	119.7	175	142.9	156.3	177	104.1	117.8	123.3
23	巫山县	124.3	175.1	143.2	156.3	177	105.4	118.7	124.0
24	上安坪	127.9	175.1	143.4	156.3	177	106.1	119.1	124.5
25	关上	132.1	175.1	143.7	156.3	177	107	119.9	125.3
26	曲尺盘	140.6	175.1	144.7	156.3	177	108.7	122.2	127.8
27	大溪镇	149.1	175.1	145.5	156.4	177	110.4	123.9	129.6
28	风箱峡	153.2	175.1	145.9	156.5	177	111.2	124.8	130.6
29	关庙沱	158.3	175.1	146.5	156.5	177	111.2	125.9	131.7
30	奉节县	162.2	175.1	146.7	156.5	177	113	126.3	132.1
31	口前	168.3	175.1	146.7	156.5	177	113.8	126.5	132.3
32	三沱	176.3	175.1	146.9	156.5	177	114.8	126.8	132.6
33	安坪	182.2	175.1	147	156.5	177	115.5	127.3	133.0
34	庙坪	187.2	175.1	147.2	156.5	177	116.1	127.7	133.4
35	拖板	193.1	175.1	147.4	156.5	177	116.9	128.0	133.7
36	罐子口	197.9	175.1	147.4	156.5	177	117.5	128.1	133.8
37	故陵镇	206.2	175.1	147.7	156.5	177	118.5	128.6	134.3
38	东洋子	212.8	175.1	148	156.5	177	119.3	129.3	134.9
39	新津口	218.7	175.1	148.2	156.6	177	120.1	130.0	135.3
40	云阳站	223.7	175.1	148.4	156.6	177	120.7	130.5	136.0
41	山坝溪	231.3	175.1	148.7	156.6	177	121.4	131.2	136.7
42	复兴场	237.1	175.1	148.9	156.6	177	121.9	131.5	137.0
43	盘石	243.8	175.1	149	156.6	177	122.5	131.8	137.3
44	双江镇	248.4	175.1	149.2	156.6	177	122.8	132.2	137.6
45	白水滩	254.1	175.1	149.4	156.6	177	123.3	132.7	138.1
46	糟房院子	258.7	175.1	149.5	156.6	177	123.7	133.1	138.4
47	大周溪	266.4	175.1	149.6	156.6	177	124.4	133.5	138.7

三峡库区长江干流各断面土地征用线和分期移民迁移线水位表

编号	断面名称	距坝址公里	土地征用线	移民迁移线			天然水位线		
			土地征用调查线	二期移民线	三期移民线	移民迁移调查线	汛期 80%洪水日平均水位线	20%洪水	5%洪水
48	拖路口	272.5	175.1	149.8	156.6	177	124.9	134.0	139.1
49	晒网坝	276.3	175.1	149.9	156.6	177	125.3	134.3	139.4
50	万县市	281.3	175.1	150.1	156.6	177	125.7	134.6	139.8
51	沱口水尺	288.3	175.1	150.4	156.7	177	126.5	135.0	140.2
52	潭绍溪	293.2	175.1	150.6	156.7	177	127.0	135.5	140.6
53	新开田	297.3	175.1	150.7	156.7	177	127.4	135.9	141.0
54	冯家码头	303.4	175.1	151.0	156.8	177	128.0	136.5	141.5
55	杨河溪	305.8	175.1	151.1	156.8	177	128.3	136.8	141.8
56	壤渡场	309.9	175.1	151.3	156.8	177	128.7	137.1	142.1
57	复兴场	315.6	175.1	151.5	156.9	177	129.4	137.6	142.6
58	武陵镇	322.3	175.1	152.0	157	177	130.0	138.5	143.5
59	毛磊镇	327.3	175.1	152.2	157	177	130.6	139.1	144.0
60	石槽溪	332.2	175.1	152.5	157	177	131.1	139.7	144.5
61	石宝寨	338.3	175.1	152.8	157	177	131.8	140.2	145.1
62	坪山坝	342.1	175.1	152.9	157.1	177	132.2	140.5	145.3
63	内院嘴	346.7	175.1	153.2	157.1	177	132.8	141.0	145.8
64	顺溪场	350.7	175.1	153.4	157.2	177	133.4	141.4	146.2
65	复兴场	358.3	175.1	153.8	157.2	177	134.4	142.2	147.0
66	陈家院子	363.9	175.1	154.3	157.2	177	135.2	143.1	147.8
67	忠县站	370.3	175.1	154.8	157.3	177	136.1	144.4	149.0
68	曹溪河	374.4	175.1	154.9	157.4	177	136.6	144.7	149.3
69	邓家沱	378.4	175.1	155.0	157.4	177	137.2	145.0	149.6
70	新生	384.4	175.1	155.2	157.6	177	137.9	145.3	149.9
71	野猫溪	390.4	175.1	155.5	157.7	177	138.6	145.9	150.3
72	洋渡	395.3	175.1	155.8	157.8	177	139.3	146.5	150.9
73	浊溪口	400.9	175.1	156.3	157.8	177	140.0	147.4	151.7

三峡库区长江干流各断面土地征用线和分期移民迁移线水位表

编号	断面名称	距坝址公里	土地征用线	移民迁移线			天然水位线		
			土地征用调查线	二期移民线	三期移民线	移民迁移调查线	汛期 80%洪水日平均水位线	20%洪水	5%洪水
74	鲤鱼沱	406.7	175.1	156.6	157.9	177	140.7	148.0	152.3
75	高家镇	411.5	175.1	156.9	158.0	177	141.3	148.5	152.7
76	白板溪	415.8	175.1	157.2	158.1	177	141.9	149.1	153.2
77	弥陀湾	420.3	175.1	157.6	158.2	177	142.5	149.9	153.9
78	朗溪	424.5	175.1	157.7	158.3	177	143.0	150.0	154.0
79	丰都县	429.0	175.1	157.8	158.4	177	143.7	150.1	154.1
80	丰都站	432.5	175.1	158.0	158.5	177	144.4	150.4	154.4
81	黄桶碑	437.2	175.1	159.2	159.4	177	145.4	151.5	155.5
82	毡帽石	442.7	175.1	159.8	160.1	177	146.6	152.9	157.0
83	白银坪	446.2	175.1	160.3	160.5	177	147.3	153.7	157.8
84	南沱场	450.4	175.1	161.0	161.1	177	148.2	154.8	158.9
85	盐汉溪	454.6	175.2	161.6	161.6	177	149.2	155.9	160.0
86	珍溪	458.9	175.2	162.3	162.3	177	150.0	156.8	160.9
87	羊西坝	465.3	175.2	163.4	163.4	177	151.5	158.2	162.2
88	大沱铺	468.7	175.2	164.0	164.0	177	152.3	158.9	162.8
89	清溪场	472.5	175.2	164.7	164.7	177	153.2	159.8	163.7
90	韩家沱	476.2	175.2	165.2	165.2	177	154.0	160.6	164.5
91	郭家嘴	479.7	175.2	165.8	165.8	177	154.6	160.9	164.9
92	涪陵站	483.0	175.3	166.2	166.2	177	155.4	161.4	165.5
93	鸣羊嘴	486.4	175.3	167.3	167.3	177	156.2	162.6	166.7
94	碧小溪	489.6	175.3	168.3	168.3	177	156.8	163.7	167.8
95	李渡镇	493.9	175.4	169.7	169.7	177	157.7	165.1	169.4
96	北拱	498.8	175.4			177	158.7	166.4	171.0
97	盐井沟	504.0	175.4			177	159.8	167.5	172.1
98	令牌丘	507.9	175.5			177	160.6	168.4	172.9
99	石沱	514.4	175.5			177.2	162.0	170.1	174.7

三峡库区长江干流各断面土地征用线和分期移民迁移线水位表

编号	断面名称	距坝址公里	土地征用线	移民迁移线			天然水位线		
			土地征用调查线	二期移民线	三期移民线	移民迁移调查线	汛期 80%洪水日平均水位线	20%洪水	5%洪水
100	周家院子	518.2	175.5			177.3	162.8	170.9	175.4
101	瓦罐	522.8	175.5			177.4	163.9	171.6	175.9
102	长寿县	527.0	175.6			177.6	164.8	172.3	176.6
103	长寿站	529.3	175.7			178.0	165.2	172.7	177.0
104	唐家湾	532.9	175.7			178.5	165.8	173.3	177.5
105	芝麻坪	539.1	175.8			179.4	167.0	174.3	178.6
106	杨家湾	544.7	176.1			180.3	168.1	175.6	179.6
107	婿家湾	549.9	176.8			180.9	169.1	176.1	180.3
108	下刘家坪	555.2	177.6			181.8	170.1	177.0	181.2
109	中湾	560.1	178.4			182.6	171.1	177.8	182.1
110	木洞	565.7	179.3			183.5	172.1	178.8	183.0
111	温家沱	570.0	180.0			184.2	172.9	179.6	183.7
112	大塘坝	573.9	180.7			184.9	173.6	180.4	184.5
113	弹子田	579.6				186.0	174.6	181.5	185.7
114	广场坝	583.8					175.4		190.0
115	郭家沱	587.5					176.1		190.9
116	唐家沱	589.6					176.5		191.6
117	生基塘	593.5					177.2		192.5
编号	断面名称	距坝址公里	汛后河滩地调查线	汛后建筑物影响线		汛后天然水位			
						80%	20%	5%	
120	重庆站	603.7	177.2	178.5		159.1	169.5	171.1	
125	大渡口站	624.5	178.7	180.3		165.6	175.2	176.6	
130	铜罐驿	654.6	182.1	183.9		170.8	181.4	182.9	
134	羊角滩	662.9	184.7	186.0		172.3	184.5	185.6	
135	花红堡	667.0		186.8		173.2		186.5	

## 12.11 三峡库区长江支流各断面土地征用线和分期移民迁移线水位表

（据水利部长江水利委员会《长江三峡工程库区淹没处理及移民安置崩滑体处理总体规划报告》，2001,略修改）

三峡库区长江支流各断面土地征用线和分期移民迁移线水位表

支流名称	编号	断面名称	距河口公里	土地征用线	移民迁移线			天然水位线		
				土地征用调查线	二期移民线	三期移民线	移民迁移调查线	汛期80%洪水日平均水位线	20%洪水	5%洪水
香溪	1	河口	0	175	135.9	156	177		86.7	90.4
	2	刘家坝	1	175	135.9	156	177		86.7	90.4
	3	乔家坝	4.9	175	135.9	156	177		86.9	90.8
	4	官庄坪	7.8	175	135.9	156	177	88	88	92.1
		一期终点	9.6	175	135.9	156	177	95		
	5	白马滩上	12.9	175	135.9	156	177	103.9	104.7	105.9
	6	游家河	16.5	175	135.9	156	177	114.5	116.5	118.7
	7	峡口	19.5	175	135.9	156	177	120.9	123.2	125.1
		二期终点	23.9	175	135.9	156	177			
	8	下河坝	25	175		156	177	134.5	136.3	138.3
	9	三块石上	29.1	175		156	177	143.9	146.3	148.4
	10	兴山水文站	32	175		156	177	150.7	153.6	155.2
		三期终点	32.3	175		156	177			
	11	兴山县	34.6	175			177	156.6	157.8	159.6
	12	响滩	36.7	175			177	161.5	164.4	165.7
	13	汛期终点	39	175			177	174	174.7	174.7
	14	延长点	40	175			177	175		
大宁河	1	河口	0	175.1	143.2	156.3	177	108	118.7	124
	2	巫山县	1.8	175.1	143.2	156.3	177	108	118.7	124
	3	宝塔坪	6.8	175.1	143.2	156.3	177	108	118.7	124

三峡库区长江支流各断面土地征用线和分期移民迁移线水位表

支流名称	编号	断面名称	距河口公里	土地征用线	移民迁移线			天然水位线		
				土地征用调查线	二期移民线	三期移民线	移民迁移调查线	汛期 80% 洪水日平均水位线	20% 洪水	5% 洪水
	4	东坪坝	13.1	175.1	143.2	156.3	177	108.4	119	124.3
	5		19.2	175.1	143.2	156.3	177	109	119.5	124.7
	6	双龙	20.2	175.1	143.2	156.3	177	109.2	119.7	124.8
	7	天鹅	21.3	175.1	143.2	156.3	177	111.1	121.2	125.3
	8	大沟口	30.4	175.1	143.2	156.3	177	126.6	133.9	134.4
	9	龙池坝	33	175.1	143.2	156.3	177	131.1	137.1	139
		二期终点	36.5	175.1	143.2	156.3	177	137		
	10	大昌镇	37.7	175.1		156.3	177	139.1	142.8	144.3
	11	七里桥水文站	42.2	175.1		156.3	177	146.8	150	151.2
		三期终点	43.6	175.1		156.3	177			
	12	水口	46.2	175.1			177	159.2	162.3	164.9
	13	高家坪	48.5	175.1			177	163.3	166.5	169.3
	14	石板滩	51.8	175.1			177	169.3	172.1	175.1
	15	汛期终点	53.6	175.1				172.5	174.8	
	16	延长点	55	175.1				175.1		
梅溪河	1	河口	0	175.1	146.7	156.5	177	113.8	126.3	132.1
	2	奉节县	1.7	175.1	146.7	156.5	177	114.2	126.3	132.1
	3	灯盏窝	5.4	175.1	146.7	156.5	177	115	126.4	132.3
		一期终点	7.2	175.1	146.7	156.5	177			132.8
	4	烂泥村	11.2	175.1	146.7	156.5	177	118	128	133.9
	5	枣树湾	14.8	175.1	146.7	156.5	177	132	136.9	139.9
	6	冉家坝	17	175.1	146.7	156.5	177	137.5	140.5	142.5
	7	干溪口	18.3	175.1	146.7	156.5	177	143	144.5	145.1
		二期终点	18.8	175.1	146.7	156.5	177			146.4
		三期终点	22.5	175.1		156.5	177			156.2

三峡库区长江支流各断面土地征用线和分期移民迁移线水位表

支流名称	编号	断面名称	距河口公里	土地征用线	移民迁移线			天然水位线		
				土地征用调查线	二期移民线	三期移民线	移民迁移调查线	汛期 80%洪水日平均水位线	20%洪水	5%洪水
	8	长花河	23	175.1			177	153	156	157.5
	9	西河口	27.7	175.1			177	164.5	168.6	171.6
	10	移民线终点	28.5	175.1			177	168.2		175
	11	土地尖灭点	29.2	175.1				171.2	175	
	12	延长点	30	175.1				175.1		
磨刀溪	1	河口	0	175.1	148.2	156.6	177		130	135.5
	2	新津口	0.3	175.1	148.2	156.6	177		130	135.5
	3	腰店子	4.6	175.1	148.2	156.6	177		130.2	135.8
	4	马鞍山	10.6	175.1	148.2	156.6	177		131.2	137
	5	郎家坝	15.2	175.1	148.2	156.6	177		133	138.6
	6	两会口	21.2	175.1	148.2	156.6	177		141.2	144.6
	7	沙咀	24.4	175.1	148.2	156.6	177		144.3	147.6
	8	龙角水文站	24.8	175.1		156.6	177		148.2	151.5
	9	石板滩	28.8	175.1		156.6	177		155	158.2
	10	移民线终点	32.6	175.1			177			174.9
	11	土地线终点	33.1	175.1					174.8	
汤溪河	1	河口	0	175.2	148.4	156.6	177	据地形定线	130.5	136
	2	云阳县	1.2	175.2	148.4	156.6	177	据地形定线	130.5	136
	3	老渡口	3.7	175.2	148.4	156.6	177	据地形定线	130.5	136
	4	碕村	8.5	175.2	148.4	156.6	177	130.5	130.5	136.2
		二期终点	13.7	175.2	148.4	156.6	177			
	5	云安镇	15.4	175.2		156.6	177	147		152.1
		三期终点	20	175.2		156.6	177			
	6	水市	21.2	175.2			177	151.6		157.4
	7	盐渠水	29.8	175.2			177	163.7		168.4

三峡库区长江支流各断面土地征用线和分期移民迁移线水位表

支流名称	编号	断面名称	距河口公里	土地征用线	移民迁移线			天然水位线		
				土地征用调查线	二期移民线	三期移民线	移民迁移调查线	汛期 80% 洪水日平均水位线	20% 洪水	5% 洪水
		文站								
			34.8	175.2			177	170.8		175
	8	南坝	35.7	175.2				172		
		延长点	37.6	175.2				175.2		
小江	1	河口	0	175.1	148.4	156.6	177	122.8	132.2	137.6
	2	双江镇	0.5	175.1	148.4	156.6	177	122.8	132.2	137.6
	3	沙地湾	4.5	175.1	148.4	156.6	177	122.8	132.2	137.7
	4	陈家湾	8	175.1	148.4	156.6	177	123	132.3	137.8
	5	黄石板	11.4	175.1	148.4	156.6	177	123.3	132.5	138
	6	牛湾沱	16.5	175.1	148.4	156.6	177	124	133.1	138.5
	7	高阳镇	20.5	175.1	148.4	156.6	177	127	134.9	139.7
	8	小江电站	27.6	175.1	148.4	156.6	177	134	141.1	143.7
	9	渠马河公社	32.1	175.1	148.4	156.6	177	138.2	145	147.8
		二期终点	32.5	175.1	148.4	156.6	177			148.1
	10	班竹坪	36.9	175.1		156.6	177	142.2	148.4	151.5
	11	竹溪沱	41.3	175.1		156.6	177	143.4	149.5	152.6
	12	养鹿水文站	44.6	175.1		156.6	177	144.2	150.2	153.4
		三期终点	49.5	175.1		156.6	177			156.3
	13	白家溪	50.9	175.1			177	147.7	153.7	157.1
	14	铺溪口公社	55.6	175.1			177	150.3	156.4	159.6
	15	普里河口	61.4	175.1			177	152.8	158.9	161.8
	16	猪草坝	65.8	175.1			177	153.8	159.7	162.5
	17	夹口坝	68.4	175.1			177	156	161.3	163.5
	18	开县县城	75.7	175.1			177	163.2	167	167.9
	19	教场坝	77.8	175.1			177	164.5	168.4	169.3



三峡库区长江支流各断面土地征用线和分期移民迁移线水位表

支流名称	编号	断面名称	距河口公里	土地征用线	移民迁移线			天然水位线		
				土地征用调查线	二期移民线	三期移民线	移民迁移调查线	汛期 80% 洪水日平均水位线	20% 洪水	5%洪水
	20	陈家垸	82.4	175.1			177	168	171.6	173.2
	21	尖灭点	84.3	175.1			177			175
	22	沙荡湾	86.2	175.1			177	174.8	174.8	
龙河	1	河口	0	175.1	157.8	158.4	177		150.1	154.1
	2	庙咀	0.6	175.1	157.8	158.4	177		150.1	154.1
	3	狮子口	2.9	175.1	157.8	158.4	177		151	155.2
	4	一期终点	4.1	175.1	157.8	158.4	177		154.5	157.8
	5	二期终点	4.3	175.1		158.4	177		155.1	158.4
	6	两会口	6.4	175.1			177		161.2	163.1
	7	大上沟口	8.9	175.1			177		170.7	172.9
	8	移民线终点	10	175.1			177			175
	9	安宁场	11.2	175.1					174.4	
	10	土地线终点	11.4	175.1					174.8	
渠溪河	1	河口	0	175.4	161.6	161.6	177		155.9	160
	2	渠溪口	0.3	175.4	161.6	161.6	177		155.9	160
	3	腰沟沱	3.6	175.4	161.6	161.6	177		156	160.1
	4	水子坝	6.5	175.4	161.6	161.6	177		156.1	160.3
	5	干圪湾	10.6	175.4	161.6	161.6	177		156.6	160.7
	6	吊咀	14.3	175.4	161.9	161.9	177		158.6	161.9
	7	调查线终点	19	175.4			177		174.9	175.2
御临河	1	河口	0	177.6			181.8		177	181.2
	2	孙家河	3.5	177.6			181.8		177	181.2
	3	斑竹林	8.2	177.6			181.8		177	181.2
	4	陈家岩	11.3	177.6			181.8		177	181.2
	5	白堰桥	14.2	177.7			181.8		177	181.2
	6	舒家河	17.4	178			181.9		177.8	181.3

三峡库区长江支流各断面土地征用线和分期移民迁移线水位表

支流名称	编号	断面名称	距河口公里	土地征用线	移民迁移线			天然水位线		
				土地征用调查线	二期移民线	三期移民线	移民迁移调查线	汛期80%洪水日平均水位线	20%洪水	5%洪水
	7	沙咀头	21.2				181.9			181.6
乌江	1	崩土坎	0	175.3	165.8	165.8	177		160.9	164.9
	2	二、三期终点	1.3	175.3	165.8	165.8	177			165.8
	3	磨池口	10.2	175.3			177		167.1	172
	4	网背沱	22.7	175.5			179.9		173.6	178.9
	5	鸭江口	31.4	178.1			183.8		177.5	183.1
	6	桐麻湾	38	182.7			188.5		182.3	188.1
	7	汛期土地线终点	41.5	184.7			190.7		184.4	190.3
	8	白马镇	44.8				192.7			192.3
支流名称	编号	断面名称	距河口公里	汛后土地征用线			汛后移民迁建线	汛后天然水位线		
								80%	20%	5%
乌江	9	羊角碛	52.9	117.3			180.2		170.6	175.5
	10	土坎	61.6	178.3			182.0		172.9	178.6
	11	武隆	70.5	180.1			184.8	169.0	176.6	182.7
	13	江口	88.2	183.2			188.2	175.0	181.7	187.1
	14	汛后终点	92.0	189.0			192.7		188.7	192.4
嘉陵江	2	元宝	10.0	177.3			178.4		169.9	173.0
	3	磁器口	14.5	177.3			178.4		170.2	173.4
	6	悦来	41.6	178.1			181.2		175.3	179.8
	9	北培	61.0	178.8			182.8	175.9	176.5	181.8
	10	草街	66.9	179.9			184.7		178.2	184.0
	11	麻柳坪	70.7	182.3			186.8		182.0	186.5

## 12.12 钻孔验收表

钻孔质量验收表

项目名称: \_\_\_\_\_ 5No. \_\_\_\_\_ 2

滑坡名称				勘查单位			
钻孔编号		钻机编号		开孔日期		终孔日期	
钻孔位置				钻孔目的		终孔孔深 (m)	
验收项目		设计要求		完成情况		是否达到地质要求	
钻孔	钻孔高程 (m)			<input type="checkbox"/> 达到 <input type="checkbox"/> 未达到 <input type="checkbox"/> 基本达到		2	
	孔径要求 (m)	终孔孔径Φ110mm		<input type="checkbox"/> 达到 <input type="checkbox"/> 未达到 <input type="checkbox"/> 基本达到		5	
	终孔孔深 (m) 控制	地质要求		<input type="checkbox"/> 达到 <input type="checkbox"/> 未达到 <input type="checkbox"/> 基本达到		15	
	孔斜	2° /100m		<input type="checkbox"/> 达到 <input type="checkbox"/> 未达到 <input type="checkbox"/> 基本达到		3	
岩芯采取率		滑体土滑>75% 岩滑>85%		<input type="checkbox"/> 达到 <input type="checkbox"/> 未达到 <input type="checkbox"/> 基本达到		10	
		滑带>90%		<input type="checkbox"/> 达到 <input type="checkbox"/> 未达到 <input type="checkbox"/> 基本达到		15	
		滑床>85%		<input type="checkbox"/> 达到 <input type="checkbox"/> 未达到 <input type="checkbox"/> 基本达到		10	
取样		滑带取样		<input type="checkbox"/> 达到 <input type="checkbox"/> 未达到 <input type="checkbox"/> 基本达到		8	
地下水位观测		打穿滑带前测稳定 水位		<input type="checkbox"/> 达到 <input type="checkbox"/> 未达到 <input type="checkbox"/> 基本达到		5	
		终孔后测全孔水位		<input type="checkbox"/> 达到 <input type="checkbox"/> 未达到 <input type="checkbox"/> 基本达到		5	
地质编录		及时、正确描述详细		<input type="checkbox"/> 达到 <input type="checkbox"/> 未达到 <input type="checkbox"/> 基本达到		12	
封孔		土滑粘土封孔 岩滑砼封孔		<input type="checkbox"/> 达到 <input type="checkbox"/> 未达到 <input type="checkbox"/> 基本达到		5	
班报表记录		整齐、及时、正 确、完整		<input type="checkbox"/> 达到 <input type="checkbox"/> 未达到 <input type="checkbox"/> 基本达到		5	
质量评定		<input type="checkbox"/> 优秀 <input type="checkbox"/> 良好 <input type="checkbox"/> 合格 <input type="checkbox"/> 不合格					100
验收 签 认	钻机机长:				监理工程师:		
	看钻地质员:				主任监理工程师:		
	承包单位负责人:				日期: ____年____月____日		

注: 小于 60 分为不合格; 60~79 分为合格; 80~89 分为良好; 大于 90 分为优秀。

## 13 参考资料

### 13.1 滑坡滑面(带)的判识（据中国科学院武汉岩土力学研究所，彭光忠）

#### 13.1.1 滑面(带)的识别方法

##### 1、滑面(带)的识别方法

(1) 地质识别方法：通过取样或现场原位，以滑坡形成的力学原理为基础，以地质力学和工程地质学的方法，对滑面(带)的滑动形迹和滑动现象进行定性定量的宏观观察和微观鉴定，以确定其滑面(带)的存在和赋存状态，通过地层滑坡的变形形迹，分析推测滑面(带)的分布位置和形态；

(2) 力学判识方法：在分析确定了斜坡力学边界条件基础上，采用库仑强度理论为基础的力学判别方法，确定可能的滑面(带)；

(3) 钻探、井、槽、洞探和地球物理方法：在滑面(带)特征和特性确定基础上，采用钻探，井槽洞探和地球物理方法，确定滑面(带)的存在及其分布高程、位置、形态和厚度；

(4) 位移观测方法：通过对滑坡位移观测，尤其对滑坡地下位移观测资料来分析确定滑面(带)的存在、分布高程、位置和形态；

(5) 数值模拟方法：通过数值反演和搜索，推测和复核滑面(带)的分布高程和形态；

在上述诸多判识方法中，地质判识方法和位移观测方法属于确定性方法，可以较准确地确定滑面(带)存在，其余方法均属可能性方法，只能确定相对软弱夹层(面)，或可能的潜在滑面(带)和滑面(带)；只有在采用确定性方法对滑面(带)确定的基础上，确定滑面(带)的特征或确定与滑面(带)相匹配的相应于各种可能性方法的技术指标和技术标准后，这些可能性方法，就转化为确定性方法，才能正确判识滑面(带)存在、分布高程、位置、形态和厚度。

##### 2、滑面(带)判识的关键问题

斜坡岩土体是地质体的一部分，由不同的成因、性质、形态和规模的结构面及其被分割的不同的地层和性质的岩土体所组成，形成了多种斜坡结构类型；斜坡岩土体中这些结构面，在不同结构类型的斜坡中，在适宜的条件下可以构成滑面(带)。

因此，较准确的划分出斜坡岩土体中的结构面(层)，正确的区别开软弱结构面(层)，确定易滑面(层)，进而鉴定出滑面(带)是一个关键问题。正确的确定易滑组合结构面和组合滑面(带)也是一个关键问题。

### 13.1.2 滑面(带)的类型

根据三峡库区普通发育的滑坡结构类型，其滑面(带)可划分为三大类型。

1、**岩质滑坡滑面(带)**：滑面(带)多追踪和沿着斜坡岩体中软弱结构面(层)或软弱结构面(层)组合面(层)，形成单一平面滑面(带)或折线形滑面(带)；

2、**堆积体下伏基岩面滑面(带)**：滑面(带)追踪和沿着堆积体与下伏基岩界面发育，形成以该界面形态为主的非线性形的滑面(带)；

#### 3、土质滑面(带)

(1) 在厚层似均质的土层或全强风化层的斜坡中，沿着最大剪应力带产生圆弧形滑面(带)；

(2) 在厚层破碎岩斜坡中，也可能沿着最大剪应力带产生追踪破碎裂缝的似圆弧形滑面(带)；

(3) 在斜坡土层中赋存有软弱夹泥层和其它明显结构面时，其滑面(带)也可能追踪夹层(面)发育。

### 13.1.3 三峡库区岸坡稳定性的控制性结构面(层)

#### 1、不同工程地质岩组岸坡稳定性控制结构面(层)

库岸地层除缺失泥盆系下统，石灰系的上、下统，白垩系的大部分及第三系外，由前震旦系至第四系皆有出露。库岸地层总体上有自东向西展布的规律。

按照岩相建造和岩体结构特征可划分为四种工程地质岩组，不同工程地质组岸坡具有相应的岸坡稳定性控制结构面(层)。

(1) **块状结晶岩组**：包括前震旦系岩浆岩及混合化的中、深度变质岩。前者由石英闪长岩组成，岩体中裂隙发育，岩性坚硬，但表部风化强烈。由此岩组形成的斜坡的稳定性主要受裂隙发育特征、风化岩性质和厚度等控制。后者由黑云母、斜长片麻岩、角闪石、石英长石片岩组成，由此岩组形成的斜坡的稳定性主要受其岩体中的片理和裂隙等结构面的控制。

该岩组仅分布在庙河至三斗坪段。

(2) **层状碎屑岩组**：可再分两个亚组，第一亚组，以硬层为主，硬软相间(砂岩夹泥岩)，包括中、上三叠系的巴东组(主要是中段)，须家河组(香溪组)及部分侏罗系和白垩系地层，斜坡稳定性主要受软弱夹层或层面控制；第二亚组，以软层为主，软硬相间(泥岩与砂岩互层)，主要包括中、上奥陶系、志留系，中、上泥盆系，部分侏罗系及白垩系地层，斜坡稳定性主要受软层或层面控制。

第一亚组主要分布于香溪至秭归、奉节至库尾；第二亚组主要集中分布于庙河至奉节段，该岩组为库区内易滑岩组。

(3) 层状碳酸盐岩组：包括震旦系上统、寒武系、奥陶系下系、石灰系中统、二叠系和三叠系下统，碳酸盐岩坚硬完整，但在斜坡上沿裂隙形成宽大溶隙，岩体中偶夹页等软层，它们共同控制斜坡的稳定性。

(4) 松散松软堆积岩(土)组：包括各种成因的第四系堆积物，多为斜坡地带的残坡积、崩滑土堆积和城镇人工堆积；由于岩(土)性软弱，未胶结，易沿其下覆基岩面或内部适宜面产生滑动；该岩(土)组为库区易滑岩(土)组。

## 2、库区岸坡稳定性主要控制性结构面(层)

按其地质成因可以分为三大类

(1) 原生结构面(层)：主要为沉积结构面，包括软弱层理层面、软弱夹层、地层界面(整合面和不整合面、堆积层与基岩界面)；

(2) 构造结构面(层)：主要为层间错动面，层间挤压带，断层面和断层破碎带，节理裂隙密集带和追踪组合裂隙，劈理密集带；

(3) 次生结构面(层)：主要为卸荷裂隙(带)，风化裂隙(带)，风化夹层，泥化夹层，充填夹泥层。

## 13.1.4 滑面(带)的地质判识

### 1、工程地质剖面判识

滑坡产生时，在滑体及临近滑面(带)的滑床和滑体等岩土体(层)，均会产生不同程度的牵引等变动，用以判识滑面(带)的存在。

(1) 在顺向切层滑而上，易形成向坡下阶步或陡坎，在逆向岩层滑床面或陡倾角岩层滑床面上易产生层面向坡下弯曲。

(2) 在滑下覆滑床为全强风化层或第四沉积层(坡残积层或河流冲积层等)，滑坡发生时易产生扰动。

(3) 在滑速较大时，往往在其滑面(带)中易裹杂着滑床表层岩土物质，在一般滑坡滑动时，其滑面(带)中也易混杂下覆风化层或第四系沉积层物质。

(4) 在滑坡发生时，往往在临近主滑面(带)的滑体部分和滑床部分，产生牵引作用，形成相应的劈理、裂隙和挠曲褶皱。主滑面(带)往往形成泥化层。

(5) 滑坡发生时，滑体内部往往发生块体间相互错动，蓑衣状挤压磨擦镜面和擦痕，以及原始岩层产状的变动。深层层状滑体，往往在临近主滑面（带）产生纵向挤压褶皱。

(6) 滑坡滑动时，呈现前缘剪出口，剪出口前缘岩层的产状产生挤压变动，或挤压破碎，或挤压隆起，或将底岩土层挤出。

## 2. 擦痕和磨擦镜（光）面

(1) 滑面（带）的擦痕和磨擦镜（光）面的方向和倾角，基本与滑面（带）的滑移方向和倾角一致，可由阶步陡坎临空滑移方向鉴定。

层间挤压带和层间错动面的擦痕和磨擦镜（光）面的方向和倾角与挤压和错动方向基本一致。

断层面的擦痕与磨擦镜（光）面的方向和倾角，基本上与断层力学性质有关，基本上与上盘错动方向一致。块石堆积滑体内部由块石相互挤压错动形成局部的挤压错动擦痕和挤压错动镜（光）面，其方向和倾角较混乱。

在斜坡块石土堆积体，在其上段由动力产生向下侧向挤压推力和下段块石堆积体向上产生侧向阻力下，其间块石堆积体产生类三轴压缩试验样品的“×”共轭剪切面及其相应的擦痕和镜（光）面。

(2) 滑面（带）擦痕与镜（光）在滑坡沿根底向剖面上的分布与其滑坡的发生发展阶段和滑坡力学类型有关。

滑坡发生发展阶段，一般依次划分为蠕滑阶段，等速阶段，加速阶段和急速（临滑）阶段。在蠕滑阶段，其滑面（带）擦痕和镜（光）面与滑面（带）一样呈断续分布。随阶段发展，至等速阶段。随滑面（带）贯通而普通分布。蠕滑阶段的擦痕呈非线性状，等速和加速阶段呈直线状，急速（临滑）阶段已有的擦痕基础上，增加了许多两头尖的直线状擦痕。

在推移式滑坡中，擦痕和镜（光）后，开始和主要发生在滑面（带）的上段，以挤压隆起带以上滑面（带）上，出现较早、较多，在牵引式滑坡中，擦痕和镜（光）面开始和主要发生在滑面（带）的下段。随着滑坡的发展，逐渐向滑坡生缘发展。

### (3) 破裂结构面（裂隙）

在滑坡滑移时或追踪软弱夹层或追踪软弱结构面，形成不厚的滑面（带），这些滑面（带）在与上下硬层界面上的剪切力偶作用下，在滑面（带）中，形成相应的成对的主压性结构面（压性裂隙）和主张性结构面（张性裂隙），有时还形成成对的剪性结构面（扭裂隙）。此时，主压性结构面与主张性结构面，在滑面（带）中组成似格状微结构，其滑移方向与压性结构面间夹角均呈锐

角，上界面锐角角顶指向与滑移方向一致。有时，在较厚的滑面（带）中，如软弱夹层形成的滑面（带）内，可以看到由沿着与下硬层界面形成的泥化层，中部形成劈理，上部形成裂隙，此时裂隙以扭性结构面较明显。有时，滑坡沿着单一的薄层面滑移。

层间错动面和层间挤压带，也可形成上述相应的类似的格状微结构或滑移面、劈理和成对裂隙，但上界面锐角角顶指向反层倾向方向。

断层面或断层破碎带，也往往形成上述相应的类似的格状微结构或滑移面、劈理或成对的裂隙，但上界面锐角角顶指向与断层上盘位移方向相一致。在断层中劈理发育较显著，也带追踪格状结构形成角砾岩，糜棱岩等顺位移方向排列。

#### （4）物质组成、物质结构和物理性质

在庫区滑面（带）的土石比一般为 5: 5, 7: 3~8: 2 也常见有，土的粘粒含量较高，一般在 30%以上，有时也含有一定量的粉粒；近饱和含水量，一般呈软塑状，含伊利石和蒙脱石粘土等矿物较多，有时也含有一定量的高岭石和一定量的绢云母的绿泥石粘土矿物。

滑面（带）中多赋存摩擦粗颗粒，磨圆度较好，沿滑移方向呈定向分布。镜下鉴定，粘土矿物结构有扰动现象或沿滑移方向呈一定程度的定向排列。层间挤压和层间错动面中以挤压形成的碎屑岩粒为特征。断层和断层破碎带中以断层角砾岩和糜棱岩为特征。

注意区别开在层面裂隙，层面挤压带和层间错动面以及各种断裂中，外来充填泥质物。这些充填泥质物，是由水流搬运和淋漓下渗形成，其泥质物粒较细和较均匀，无受力形迹。



## 13.2 滑带、滑面及其抗剪强度（长江水利委员会长江勘测规划设计研究院、杨光煦）

### （一）滑带与滑面

#### 1. 滑带土质

滑带为滑坡发生滑移时滑体与滑床间受揉皱地带，厚度从几厘米至数米。

（1）土质滑坡的滑带土多为黏粒含量较高、含水量高至饱和状的黏性土。土质软弱、塑性强、粘手、滑腻；易吸水，不易排水，呈软塑至流塑状。滑带底部黏粒含量和含水量又较滑带其他部位高。有新近沉积过程及临水岸边堆积形成的滑坡，滑带上常有一定厚度的淤积或淤泥质土。

（2）堆积层滑坡的滑带土及下部滑床透水性较滑体差的滑带土，在雨水丰沛地区常为带有碎块结构的淤泥质软土，一般地区多为含碎块结构的黏性土。

（3）岩质滑坡的滑带岩性相对破碎，常被碾磨成细粒状，组成比较复杂，多为含黏土质的碎石或黏土夹层。

#### 2. 滑带土的力学性质

（1）滑带土为黏性土时，抗剪强度与矿物质成分及含水量、滑移状况有关。处于同一种塑性状态时，力学参数虽随含水量增加而降低，但幅度不大；而从可塑到软塑，或从软塑转到流塑状态，力学参数变化较大；含水量超过一定限度后，便不再减小。含水量由非饱和状态至饱和状态，内摩擦角降幅多在 15%—20% 之间，黏聚力降幅则可达 40%—50%。这种效应常是造成浅层滑坡的主要根源。滑坡在从静态向动态转化过程中，力学参数还会不断降低至残余强度，内摩擦角约为峰值强度的 85%—90%，黏聚力约为峰值强度的 60%—65%；但与土的原始受力状态及原始密度无关，因此可采用重塑土样试验得到滑带土的残余强度。

（2）滑带土为粉细砂时，其内摩擦角随含水量变化相对较迟钝，由非饱和到饱和状态的降幅多在 10%—15%；但由物理吸附力丧失造成的凝聚力降低非常明显，可由 20—40kPa 呈负指数关系降低至接近于零。这种效应通常是浅层滑坡及滑溜现象的主要根源。

（3）滑带土以粗粒土为主时，含水量对强度参数的影响相对较小。粗细颗粒接触情况对粗细粒土混杂的滑带土强度参数有较大影响。当粗粒土体积含量小于 60%—65% 时，在混合料中形不成受力骨架，其抗剪强度主要由细粒土——黏性土决定。

（4）以结构面为滑面的岩质滑坡，滑带及滑面强度受结构面咬合嵌锁作用影响，在滑体上

增加荷载时，增加了结构咬合程度，力学参数也会有所提高。被水饱和后抗剪强度降低则与岩性有关，泥质岩类降幅可达 40%—60%，而砂岩降幅仅为 10%—20%。

### 3. 滑带及滑面表现特征

滑带主要表现特征为挤压、错动现象明显，含水量偏高。滑面出现擦痕、镜面、揉皱，含水量高。主滑段上的滑面多具一组擦痕；阻滑段滑面附近的滑带土内揉皱严重，常有几组有擦痕的滑面。

(1) 黏性土滑带常被挤压成鳞片状；滑面形成光滑镜面，并且明显擦痕。

(2) 黄土质或砂性土滑带常呈饱水状，滑面擦痕不明显。

(3) 堆积层滑坡的滑带土中含细粒碎块或黏性土较滑体及滑床多，含水量增大。晾干后的岩芯可见沿滑面形成的镜面及擦痕。

(4) 岩质滑坡的滑床岩体完整性较滑体及滑带要好，滑带顶、底部倾角不一致，滑面有擦痕和光滑面。

### 4. 滑面形态

#### (1) 土质滑坡的滑面形态

发生在土质边坡的滑坡，以剪切破坏为主。均质土中的滑面形状多近似圆弧形，非均质土中的滑面形状为圆弧形、折线形，或圆弧与夹泥层的组合型。普通黏性土滑坡的滑面多为平缓弧形；膨胀土滑坡多呈弧形、倒椅形滑面的浅层牵引式滑坡。

主滑段的坡角常小于  $25^\circ$ ，长度大于与滑壁相联的陡坡部分。滑面出口位置多在坡脚临空面以上。均质土或下部为相对软层时，出口位置可潜入临空面以下，前缘滑面形成反翘。河谷岸边滑坡前缘段滑面位置则往往位于河床相表面附近。

#### (2) 堆积层滑坡的滑面形态

堆积层滑坡分布在河谷缓坡地带，滑面多下伏基岩面或堆积间歇面。滑带后缘上部常为地下水初见水位，滑面常为含水层顶板或底部。滑面多为平面型或折线型；均质碎石角砾土滑坡的滑面多呈圆弧形，顺层风化带滑坡呈缺失前缘的倒椅形。

#### (3) 岩质滑坡的滑面形态

岩质边坡因受岩体结构、地应力及风化侵蚀影响，呈现出崩塌、滑动、倾倒、溃屈等破坏类型。岩质滑坡的滑面主要为断层、裂隙、节理、软弱夹层等结构面，部分可为完整岩石缝面。滑面多为折线形；

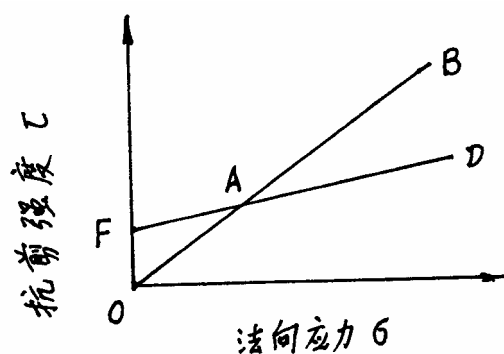


图1 法向应力与抗剪强度关系

在顺层地区多为缺失后缘的椅子型或直线形。

5. 滑面位置及强度特征

不同散粒材料接触面抗剪试验成果表明，当接触面两侧散粒材料强度参数相差较大时，接触面强度介于两者之间，产生的剪切破坏面位于抗剪强度较低的材料内，其抗剪切破坏强度等于较低强度材料的强度，沿剪切破坏面产生错动、滑移或张开等位移不连续现象。当接触面两侧散体强度相接近时，接触面抗剪强度参数小于两侧散体材料的强度参数，剪切面为接触面。当散粒材料与具有整体结构的材料接触时，产生剪切错动位移部位与整体结构接触面光滑程度有关，表面光滑时的接触面抗剪强度最小，为散粒材料内摩擦角的  $2/3$  以下；当接触面粗糙时，滑面位于散粒材料内，其抗剪强度参数值等于散粒材料抗剪强度参数，滑动破坏面沿许多面发生，形成剪切破碎带。

土质滑坡的滑带有一定厚度，其力学性质远较滑体、滑床差；滑面存在于滑带中，其抗剪强度参数等于滑带土的抗剪强度参数。当滑带为饱和黏性土，滑床或滑体为抗剪强度较低的粉细砂时，则为砂土强度包线 OAB 和黏性土强度包线 FAD 的低值(图 1)，即 OAD 线作为滑面抗剪强度包线。

滑带很薄或位于较完整岩质滑床上的岩质滑坡的滑面位置及强度主要受软弱结构面控制。滑面为滑带或滑体与滑床的接触面，抗剪强度参数低于滑体及滑床的抗剪强度参数。当有一定厚度的滑带，滑床表面较粗糙时，滑面抗剪强度参数等于滑带土的抗剪强度参数；滑床表面较平整光滑时，则滑面抗剪强度参数小于滑带土的抗剪强度参数。

(二) 滑面强度

滑面抗剪强度大于及其变化直接影响到滑坡稳定性(表 13.2-1)，关系到采用治理措施的有效性，是滑坡稳定分析和治理工程设计所需要的最基本、最重要参数。

表 13.2-1 滑面抗剪强度参数大小对滑坡稳定系数影响的敏感性分析

滑坡地点		湖北兴山粮管所滑坡	重庆丰都绸厂滑坡	重庆涪陵师专滑坡
滑体土质		黏土夹碎块石	残坡积体和人工堆积体	堆积体
滑带土质		黏土，粉质黏土，厚度小于 0.2m	含碎石黏土	淤泥质粉质黏土
倾角 (°)	坡 面	17~30	15~30	15~20
	滑 面	平均 21	7~24	9~13
滑面抗剪 强度参数	摩擦角 $\phi$ (°)	18	10	7
	黏聚力 $c$ (kPa)	5	10	9
$\phi$ 值增加 1° 对滑坡稳定系数影响		0.04	0.062	0.13
$c$ 值增加 1kPa 对滑坡稳定系数影响		0.015	0.018	0.02

当滑带为内摩擦角  $\phi$  值较大、黏聚力  $c$  值很小的碎块石土时，滑体内的地下水位高低对滑坡稳定性影响很大。尤其是岸边滑坡，在河水或库水位上升期及高水位期间，由于阻滑段有效应力减小及滑面被水充分饱和后的抗剪强度减小，稳定系数有较大减小；而在水位骤降时，滑坡的稳定性与滑体的渗透性有很大关系，滑体的渗透系数越小，库水位与滑体地下水位差值越大，稳定性降低也越多。这类滑坡采用排水治理效果明显，后缘削坡减载、前缘压坡或设置支挡工程均有效果。

当滑带为  $\phi$  值很小，抗剪强度以  $c$  值为主的软土时，直接在阻滑段上压载，增加滑坡稳定性的效果很小，通过排水降低滑体内的地下水位作用也不大。即使降低地下水面到滑面以下，由于软土排水固结困难，而软化所需水量却很少，效果也有限。这类滑坡则宜采用清除全部滑体、滑带土，或采用通过滑面较大面积进入稳定滑床内的支挡结构，或通过大范围改良滑带土提高滑面抗剪强度参数方法来增加稳定性。

确定滑面抗剪强度参数采用值时，以滑坡稳定性的宏观地质判断为前提，以滑带土的物质组成及综合性状为基础。首先根据地质勘查成果，进行地质判断滑带位置、形态、土质、可能滑面；以符合滑坡稳态的总应力法剪切试验(快剪、饱和快剪或固结快剪、饱和固结快剪)成果作为设计取值依据；根据滑坡过去或现状进行反演分析得出的  $c$ 、 $\phi$  值验证；并参考类似工程的经验数据等四方面分析对比，充分考虑滑坡目前所处的环境、状态及地下水等诱发因素的影响，得出的抗剪强度计算参数比较符合实际。

#### 1. 确定滑面抗剪强度的剪切试验方法

采用滑带土进行剪切试验，以原状土的天然快剪或饱和快剪为主；无法取得原状样时，采用滑带重塑土试验。处于基本稳定或变形阶段的滑坡取峰值强度；处于滑动阶段的滑坡取残余强度(地下水位以下的滑带土采用近液限固结快剪残余强度，地下水位以上的滑带土采用天然状态下的快剪残余强度)；处于蠕动阶段和滑后稳定阶段的滑坡，滑面抗剪强度在滑带土的峰值强度与残余强度之间取值。处于蠕动、滑动或稳定阶段的滑体、滑床内未曾有过位移的潜在滑面均可取峰值强度指标。

(1) 新生的、处于基本稳定或变形阶段滑坡的滑面尚未完全形成，宜采用滑带原状土的试验成果。根据滑带充水情况，当滑带为埋藏较深的不透水黏土层采用固结快剪；滑带为含水量较高的不透水黏土层，宜采用快剪试验。均取峰值作为设计采用值。

(2) 多次滑动，已有完整滑面的滑坡，宜取抗剪强度的残余值。目前仍处于滑动阶段的滑坡，滑带为黏性土或残积、坡积土时，采用重塑土多次直剪试验得出的残余强度；滑带为流塑状态的软土时，上部土层所构成的垂直荷载难以成为滑带土内颗粒间的有效应力，可用快剪强度的

残余值；滑带土湿度不大，宜采用滑面重合剪的残余强度。

(3) 滑带为角砾土或其他粗颗粒含量较多的土、或滑面为岩层接触时，宜采用现场大面积剪切试验成果；采用室内直剪试验成果时，宜乘以 1.15—1.25 系数。

(4) 古滑坡及滑移量小的滑坡，滑面抗剪强度介于滑带土的峰值与残余值之间，可采用原状土样的重合剪切试验或现场原位剪切试验测定值。

(5) 滑坡稳定计算参数采用值。物理和变形指标宜采用平均值；滑面强度指标宜采用标准值  $\mu_k$ （重要工程尚可采用小值平均值复核），其与算术平均值  $\mu_0$  的关系为：

$$\mu_k = \psi_a \cdot \mu_0 \quad (1)$$

$$\psi_a = 1 - \left( \frac{1.704}{\sqrt{n}} + \frac{4.678}{n^2} \cdot \bar{\sigma} \right)$$

式中： $\mu_k$  为强度标准值； $\mu_0$  为强度算术平均值； $\psi_a$  为统计修正系数； $\bar{\sigma}$  为标准差；n 为试验组数。

各试验方法得出的抗剪强度平均值与标准值见表 13.2-2。

## 2. 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。

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

表 13.2-2 滑面抗剪强度参数的平均值与标准值

项 目	滑带土质	天然 含水量 (%)	统计 方法	快剪峰值		快剪残余值		饱和快剪峰值		饱和快剪残余值	
				$\phi$ (°)	C (kPa)	$\phi$ (°)	C (kPa)	$\phi$ (°)	C (kPa)	$\phi$ (°)	C (kPa)
郭家二社滑坡 (奉节)	黏土, 粉质黏 土 (厚 0.1~ 0.15m)	25.9	平均值	11.1	37.6	8.5	21.9	9.4	23.3	7.1	13.4
			标准值	7.4	33.6	5.9	19.9	6.7	21.0	4.8	12.0
老屋里滑坡 (奉节)	粉质黏土, 含 10%~20% 的碎石角砾	25.7	平均值	11.3	30.0	8.4	17.0	10.1	21.6	8.4	11.6
			标准值	8.5	22.7	6.4	12.2	7.7	16.0	6.1	8.7
陈家包滑坡 (奉节)	黏性土夹灰岩 及泥灰岩角砾	23.3	平均值	18.8	45.8	16.8	34.3	11.2	20.9	9.0	14.6
			标准值	16.3	34.5	14.5	25.9	9.6	18.8	7.4	12.1
隆家湾滑坡 (云阳)	粉质黏土	19.2	平均值	16.7	50.7	12.0	36.9	10.0	27.8	7.0	20.1
			标准值	14.8	41.0	10.2	29.6	8.1	25.4	5.4	18.6
兴隆滩滑坡 (云阳)	粉质黏土夹 8 %—10%的泥 岩角砾	20.1	平均值	16.8	44.8	12.5	32.9	9.8	28.2	6.4	22.0
			标准值	13.3	37.9	9.4	27.9	7.8	25.3	4.9	19.2

(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：

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

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)。

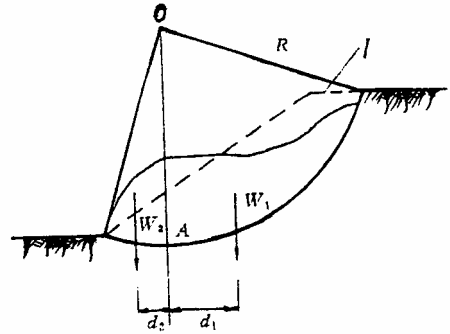


图 2 圆弧滑动面  
1-滑动前地面

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。

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

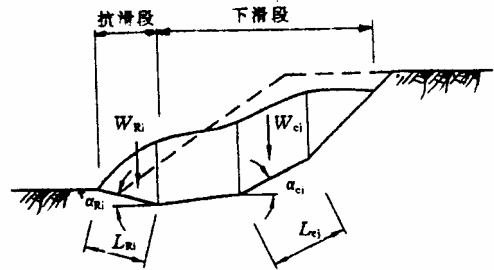


图 3 折线形滑动面

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

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

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

式中： $\Sigma T_R$ ， $\Sigma T_C$  分别为滑体抗滑段的抗滑力、下滑段下滑力的水平投影； $\Sigma C_R$  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)； $\alpha_{Ri}$ 、 $\alpha_{cj}$  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 $\phi$ 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  $\phi$  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  $\phi$  值。

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

式中： $\phi$  为滑面的综合摩擦角( $^{\circ}$ )；其他同公式 3。

## (3) C、 $\phi$ 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、 $\phi$  两个抗剪强度参数影响，采用下述 C、 $\phi$  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  $\phi$  值)，反算另一个参数值。当滑带土以黏性土为主时，可先定  $\phi$  值； $\phi$  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  $\phi$  值。

$$K = \frac{\sum W_{Ri} \bullet \sin \alpha_{Ri} + \operatorname{tg} \phi (\sum W_{Ri} \bullet \cos^2 \alpha_{Ri} + \sum W_{cj} \bullet \cos^2 \alpha_{cj}) + C \bullet \Sigma (L_{Ri} \bullet \cos \alpha_{Ri} + L_{cj} \bullet \cos \alpha_{cj})}{\sum W_{cj} \bullet \sin \alpha_{cj} \bullet \cos \alpha_{cj}} \quad (5)$$

三峡水库库区万州袁家蹬滑坡处于蠕动状态，滑带为泥岩，黏土矿物成份为具有较强亲水性的伊利石、蒙托石。采用 C、 $\phi$  反演分析法得出的 C、 $\phi$  值与室内试验、原位大型剪切试验对比如表 13.2-3。天然状态反演值介于室内试验的峰值与残余值之间，与原位大型剪切试验值相近；饱和状态下的反演值则较接近室内试验峰值。



表 13.2-3 袁家蹬滑坡滑面抗剪强度参数

项 目		天然状态		饱和状态(饱和固结快剪)	
		C(kPa)	$\phi$ (°)	C(kPa)	$\phi$ (°)
室内试验	峰 值	26.0	11.0	19.0	9.8
	残余值	17.0	9.0	10.0	7.0
野外原位大型剪切试验		24.8—25.1	11.8—12.1		
反演分析值		23.5	10.45	17.5	9.15

### 3. 滑面抗剪强度参数统计值

(1) 滑带土由粗细颗粒混合组成的崩积、坡积体,滑面抗剪强度参数大小与滑坡斜面坡角(滑坡前缘剪出口与后缘顶部连线的坡角)  $\theta$  有明显相关关系(表 13.2-4)。

表13.2-4 粗细颗粒混合组成的崩积坡积体滑面抗剪强度参数(日本统计资料)

滑坡斜面坡角 $\theta$ (°)	统计 实例数	滑面抗剪强度参数值		相关系数
		$\phi$ (°)	C(kPa)	
<10	46	<9.0	5.8	0.941
10—15	132	14.8	3.4	0.951
15—20	127	20.7	0.4	0.935
20—25	95	23.6	4.4	0.941
25—30	40	27.9	4.0	0.930
>30	27	30.0	7.3	0.944

(2) 我国铁道部门对黏性土滑带土,主要由黏聚力 C 决定滑面抗剪强度,提出如下统计经验公式。

$$\lg C = 2.4278 - 1.2279 \lg I_p - 0.1173 \lg I_L \quad (6)$$

式中: C 为滑面残余抗剪强度(kPa);  $I_p$ 、 $I_L$  分别为滑带土的塑性指数、液性指数。

表 13.2-5 各滑坡治理工程中采用的滑面抗剪强度参数

滑带土 土质	天然重度 (kN / m <sup>3</sup> )	含水量 (%)	液限 (%)	塑限 (%)	塑性 指数	计算指标		备 注
						C (kPa)	$\phi$ (° )	
黏土		20. 9	33. 9	15. 4	18. 5	9. 8	13° 00′	西南地区
		24. 6	43. 8	22. 5	21. 3	13. 7	8° 00′	勉西, 残余强度, 裂土滑坡
		28. 1	48. 3	23. 0	25. 3	12. 3	5° 00′	陕南, 残余强度, 裂土滑坡
		28. 4	41. 3	22. 0	18. 4	10. 8	8° 24′	贵昆线大海哨, 残余强度, 灰岩层间错动薄层黏土
		31. 1	59. 5	21. 0	35. 5	8. 8	4° 48′	雷河, 残余强度, 裂隙黏土
		39. 0	71. 6	30. 8	40. 8	8. 3	3° 30′	七里沟, 残余强度, 膨胀土
		40. 6	72. 9	34. 9	38. 0	8. 8	3° 50′	雅崔岭, 残余强度, 裂土滑坡
粉质 黏土		20. 4	28. 4	14. 4	14. 0	0	16° 06′	宝成线, 残余强度, 堆积土滑坡
		21. 4	30. 0	18. 0	12. 0	7. 8	15° 00′	宝成线, 残余强度, 黄土滑坡
	19. 9	23. 2	29. 9	19. 0	10. 9	10. 3	8° 49′	西南地区
	19. 1	30. 0	33. 5	20. 0	13. 5	10. 3	8° 00′	西南地区
	18. 5	31. 1				12. 7	7° 00′	华北地区, 反算
黏土夹 角砾	20. 9	18. 4	36. 0	21. 0	15. 0	0	9° 24′	宝成线
	19. 0	19. 6	30. 5	18. 3	12. 2	10. 0	10° 00′	丰都绸厂, 滑体为残坡积物, 滑床为砂岩及泥岩
页岩风化的 粉质黏土、粉土	21. 4	20. 4	28. 4	14. 4	14. 0	8. 8	8° 03′	宝成线, 多次剪、反算
	20. 0	23. 0	38. 1	19. 5	18. 6	19. 6	4° 00′	宝成线, 多次剪, 反算
	19. 6	33. 4	43. 0	25. 0	18. 0	5. 9	3° 20′	宝成线, 排水后提高至 9.8kPa 及 5°
页岩风化的 粉质砂土	20. 4	19. 0	35. 4	14. 5	20. 9	14. 7	7° 30′	宝成线, 多次剪、反算
泥质页岩 风化物		15. 4	26. 3	12. 7	13. 6	2. 9	17° 30′	甘洛, 残余强度, 岩质顺层滑坡
		20. 0	26. 7	13. 4	13. 3	0	16° 00′	成昆线, 反算
		25. 3	31. 9	19. 2	12. 7	3. 9	12° 00′	残余强度, 岩质滑坡
		26. 8	36. 1	19. 1	17. 0	3. 9	8° 58′	皇图岭, 残余强度, 岩质顺层滑坡

续表 13.2-5 各滑坡治理工程中采用的滑面抗剪强度参数

滑带土 土质	天然重度 (kN / m <sup>3</sup> )	含水量 (%)	液限 (%)	塑限 (%)	塑性 指数	计算指标		备 注
						C (kPa)	$\phi$ (° )	
绢云母片 岩风化物		15. 8	27. 0	15. 2	11. 8	3. 9	14° 00′	白河杨家沟, 残余强度, 岩质滑坡
		16. 4	28. 5	15. 8	12. 7	4. 4	16° 48′	白河周院沟, 残余强度, 岩质滑坡
	20. 6	17. 3	28. 3	12. 3	16. 0	0	14° 48′	中南地区
		28. 0	36. 0	22. 6	13. 4	0	11° 00′	软塑成泥状, 岩质滑坡
云母片岩和 花岗岩风化物	20. 3	22. 7	38. 3	19. 2	19. 1	7. 4	15° 50′	鹰厦线
千枚岩风化的角砾	19. 6	20. 0				0	15° 06′	宝成线
玄武岩风化残积土	19. 6	29. 0				9. 8	16° 00′	扒挪块, 排水后提高至 19. 6kh 及 20°
花岗岩风化残积土		23. 0	38. 3	19. 2	19. 1	8. 3	8° 12′	鹰厦线, 残余强度, 堆积层滑坡
灰岩层间 错动 3—5mm 厚 黏土密集层		28. 4	41. 3	22. 0	18. 4	10. 8	8° 24′	大海哨, 残余强度, 岩质顺层滑坡
破碎岩层 沿基岩面滑动		21. 9	31. 4	17. 2	14. 2	4. 9	12° 06′	酒店塘、残余强度, 破碎岩质滑坡
砂岩沿泥岩 顶面的泥化层滑动		21. 0	37. 6	18. 9	18. 7	6. 9	16° 00′	永加线, 残余强度, 岩质顺层滑坡

(3) 我国在滑坡治理工程中采用的滑面抗剪强度参数，见表 13.2-5。黏聚力  $C$  在 0—20kPa、摩擦角  $\phi$  在 3—18° 范围内。

云阳松树林滑坡滑带为厚 0.1—0.3m 的黏质粘土夹碎石、坡面坡度为 20°、巫山望碑沟滑坡滑带为厚 0.4—1.0m 的碎石土。根据现场原位试验、室内饱和快剪试验、类似工程经验及反分析成果，确定的滑面设计参数如表 13.2-6。

表 13.2-6 采用的滑面计算强度

项目	抗剪强度参数	现场原位试验值	室内饱和快剪试验值	类似工程经验值	反分析值	采用值
云阳松树林滑坡	$\phi$ (°)	13.4	20.0		16.0	16.5
	$C$ (kPa)	13.6	13.8		13.5	13.6
巫山望碑沟滑坡	$\phi$ (°)		18.8	21.0	19.5	19.0
	$C$ (kPa)		29.4	30.0	28.5	29.0

### 13.3 滑坡稳定性分析（长江水利委员会长江勘测规划设计研究院，杨光煦）

#### （一）滑坡作用荷载

##### 1. 滑块重力 $W_1$

为滑面以上滑体或滑块重量。表示为

$$W_1 = \gamma \cdot V \quad (1)$$

式中： $W_1$  为滑体或滑块重量(kN)； $\gamma$  为滑体土的重度(kN / m<sup>3</sup>)。地下水面线在滑面以下时，取自然重度(湿重度)； $V$  为滑体或滑块体积(m<sup>3</sup>)。

滑块重力方向为垂直向下，作用点为滑块重心。

##### 2. 滑体上的建(构)筑物重量 $W_2$

方向为垂直向下，作用面为基础底面或桩底。

##### 3. 动水压力

滑坡坡面及滑面倾角大于 20° 时，基本无饱和水或仅前缘季节性饱水；小于 15° 时，常年饱水。当滑体内地下水已形成统一水面时，应计入动水压力和浮托力。土质滑体内地下水与滑面连通，且向前缘渗出时，按下述方法考虑动水压力作用。

##### (1) 替代重度法



#### 6. 裂隙水引起的静水压力 $P_J$

岩质滑体内有贯通至滑面的充水裂隙时，应计入裂隙水对滑体的静水压力  $P_J$ ，作用于裂隙底以上  $\frac{hi}{3}$  高度处，垂直于裂隙面。

$$P_J = \frac{1}{2} \gamma_w \bullet h_i^2 \quad (11)$$

式中：  $h_i$  为裂隙水深度 (m)。

#### 7. 地震力 $P_h$

地震基本烈度  $\geq 7$  度 (地震加速度  $\geq 0.1g$ ) 地区，应计入地震力  $P_h$ ，作用于各滑块重心处，水平指向下滑方向，大小为

$$P_h = G_z \bullet K_h \bullet W_1 \quad (12)$$

式中：  $G_z$  为综合影响系数，一般取 0.25；  $K_h$  为水平地震力系数，对 7、8、9 度地震分别为 0.1、0.2 及 0.4。

表 13.3-1 滑体内渗流降落曲线的地下水面平均坡度 I 及倾角  $\beta$

滑体 土质	角砾或粗砂	中 砂	细 砂	粉砂	粉 土	粉质黏土	黏 土	重黏土	淤泥质土
I	0.025~0.005	0.005~0.015	0.015~0.02	0.015~0.05	0.02~0.05	0.05~0.12	0.12~0.15	0.15~0.20	0.09~0.12
$\beta$	1° 25' ~0° 20'	0° 20' ~0° 50'	0° 50' ~1° 10'	0° 30' ~3°	1° 10' ~3°	3° ~7°	7° ~8° 30'	8° 30' ~11°	5° 10' ~7°

## (二) 滑坡稳定性分析

高陡边坡的稳定性往往取决于边坡的应力状态，既需采用刚体极限平衡法分析其稳定性，还宜采用有限元应力应变分析方法确定塑性区范围及大小，判断破坏及影响范围。而滑坡的坡面及滑面一般较平缓，滑体透水性一般大于滑带透水性，滑体内的地下水位受降雨及环境影响大，采用刚体极限平衡法中的总应力法计算滑坡稳定性已可满足工程要求。一般根据滑面形状不同，采用圆弧滑面的力矩平衡法、单一平面滑面及折线法滑面的力平衡法计算。

### 1. 圆弧滑面的滑坡稳定性

2. 一般土质滑坡、部分堆积层滑坡、节理发育呈破裂结构的岩质滑坡，滑移时产生旋转破坏，滑面呈圆弧面。滑坡有明显滑面，稳定性主要与滑面抗剪强度有关，采用一般条分法与毕绍普法的计算结果很接近(表 13.3-2)。采用一般条分法计算精度可满足工程设计要求，按对圆弧圆心 O(图 5)取矩的力矩平衡法，得出其稳定系数为

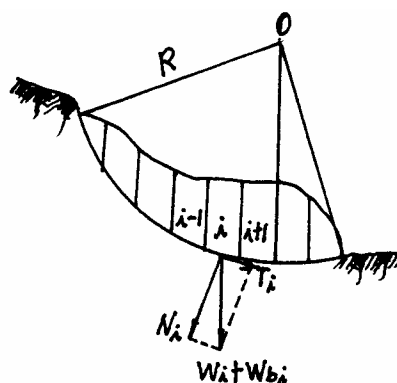


图 5 滑弧滑面稳定系数计算

表 13.3-2 车家坝滑坡稳定系数计算成果

计 算 工 况	稳定系数	
	一般条分法	毕绍普法
自重+地表荷载(10kN / m)+5 年一遇暴雨	1.055	1.060
自重+地表荷载(10kN / m)+50 年一遇暴雨	1.052	1.057
自重+地表荷载(10kN / m)+地震+5 年一遇暴雨	1.010	1.016

$$K_s = \frac{\sum R_i \cdot R}{\sum T_i \cdot R}$$

故 
$$K_s = \frac{\sum R_i}{\sum T_i} \quad (13)$$

式中：K<sub>s</sub> 为滑坡稳定系数；R 为滑弧半径； $\sum R_i$  为各滑块沿圆弧滑面的抗滑力； $\sum T_i$  为各滑块沿圆弧滑面的滑动力。

$$R_i = N_i \cdot \tan \phi_i + C_i \cdot L_i$$



$$N_i = (W_i + W_{bi}) \cos \alpha_i$$

$$T_i = (W_i + W_{bi}) \sin \alpha_i$$

式中： $C_i$  为第  $i$  计算滑块滑面黏聚力标准值 (kPa)； $\phi_i$  为第  $i$  计算滑块滑面摩擦角标准值 ( $^\circ$ )； $L_i$  为第  $i$  计算滑块的滑面长度 (m)； $\alpha_i$  为第  $i$  计算滑块的滑面倾角 ( $^\circ$ )； $W_i$ 、 $W_{bi}$  为第  $i$  计算滑块单位宽度岩土体自重 (kN / m)、滑体地表建筑物的单位宽度重量 (kN / m)； $N_i$ 、 $T_i$  为第  $i$  计算滑块在滑面法线上单位宽度反力 (kN / m)、切线上单位宽度的反力 (kN / m)； $R_i$  为第  $i$  计算滑块滑面上的抗滑力 (kN / m)。

滑面抗剪强度为以黏聚力  $C$  为主的饱和黏性土时，可用简易圆弧法 (图 2) 求出  $K_s$ ：

$$K_s = \frac{W_i \cdot d_2 + C \cdot L \cdot R}{W_i \cdot d_i} \quad (14)$$

## 2. 单一平面滑面的滑坡稳定性

岩质滑坡、堆积层滑坡沿岩层结构面、表层滑移的滑面为近似平面 (图 6)，没有明显剪切段、主滑段及抗滑段，按力平衡原理得出稳定系数为：

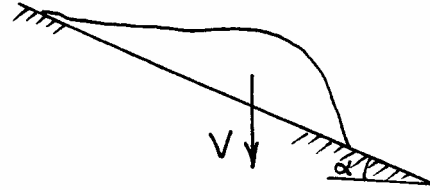


图 6 单一平面滑面稳定系数计算

$$K_s = \frac{\gamma \cdot V \cdot \cos \alpha \cdot \tan \phi + A \cdot C}{\gamma \cdot V \cdot \sin \alpha}$$

(15)

式中： $\gamma$  为滑体的重度 (kN / m<sup>3</sup>)； $C$  为滑面黏聚力 (kPa)， $\phi$  为滑面摩擦角 ( $^\circ$ )； $A$  为滑面的面积 (m<sup>2</sup>)； $V$  为滑体的体积 (m<sup>3</sup>)； $\alpha$  为滑面倾角 ( $^\circ$ )。

滑体大致等厚的单一平面滑面的稳定系数可简化为：

$$K_s = \frac{\gamma \cdot h \cdot \cos \alpha \cdot \tan \phi + C \cdot \sec \alpha}{\gamma \cdot h \cdot \sin \alpha} \quad (16)$$

式中： $h$  为滑体的垂直厚度 (m)。

## 3. 折线滑面的滑坡稳定性

滑面呈折线 (图 7) 或既有折线又有弧面时，采用按力平衡原理推导的力传递系数计算滑坡稳定系数。

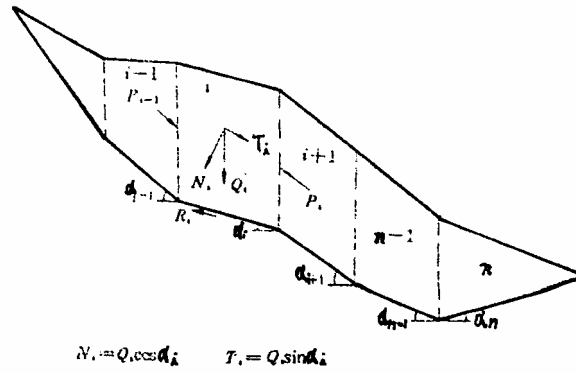


图 7 折线滑面稳定系数计算

$$K_S = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \left( R_i \pi \psi_j \right) + R_n}{\sum_{i=1}^{n-1} \left( T_i \pi \psi_j \right) + T_n} \quad (17)$$

$$\Psi_j = \cos(\alpha_i - \alpha_{i+1}) - \sin(\alpha_i - \alpha_{i+1}) \cdot \tan \Phi_{i+1}$$

$$\pi \psi_j = \psi_i \cdot \psi_{i+1} \cdot \psi_{i+2} \cdots \psi_{n-1}$$

$$R_i = N_i \cdot \tan \Phi_i + C_i \cdot L_i$$

$$N_i = W_i \cdot \cos \alpha_i$$

$$T_i = W_i \cdot \sin \alpha_i$$

当考虑动水压  $P_{wi}$  及水浮力作用时，

$$N_i = W_i \cdot \cos \alpha_i + P_{wi} \cdot \sin(\beta_i - \alpha_i)$$

$$T_i = W_i \cdot \sin \alpha_i + P_{wi} \cdot \cos(\beta_i - \alpha_i)$$

式中： $W_i$ 为第  $i$  滑块所受的重力(kN / m)； $R_i$ 为作用于第  $i$  滑块的抗滑力(kN / m)； $N_i$ 为第  $i$  滑块滑面的法向分力(kN / m)； $\Phi_i$ 为第  $i$  滑块滑面的摩擦角； $C_i$ 为第  $i$  滑块滑面黏聚力(kPa)； $L_i$ 为第  $i$  滑块滑面长度(m)； $T_i$ 为作用于第  $i$  块滑面上的滑动分力(kN / m)，出现与滑动方向相反的滑动分力时， $T_i$ 应取负值； $\Psi_j$ 第  $i$  滑块剩余下滑力向第  $i+1$  滑块的传递系数( $j=i$  时)。

#### 4. 岩质滑坡稳定性

由构造面与后缘张裂隙形成的岩质滑坡，应计入后缘裂隙充水产生的静水压力及滑面扬压力对其稳定性影响，按块体极限平衡法原理(图 8)，由下式计算稳定系数。

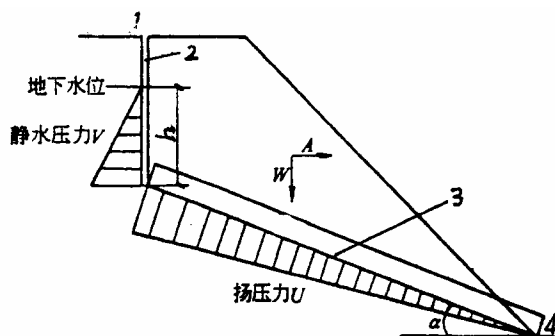


图 8 极限平衡法（岩质滑坡计算模型）

1-滑坡后缘；2-后缘裂隙；3-滑面；4-滑坡前缘

$$K_s = \frac{(W \cdot \cos \alpha - P_j \cdot \sin \alpha - U) \cdot \tan \phi + C \cdot L}{W \cdot \sin \alpha + P_j \cdot \cos \alpha} \quad (18)$$

$$U = \frac{1}{2} \gamma_w \cdot L \cdot h$$

式中：P<sub>j</sub> 为后缘裂隙静水压力(kN / m，公式 11)；U 为沿滑面扬压力(kN / m)；h 为后缘裂隙充水高度(m)；W 为滑体重力(kN / m)；Φ 为结构面摩擦角(°)；α 为滑面倾角；L 为底滑面长度。

水库初次蓄水时，高渗透系数滑体内地下水位上升较快，阻滑段有效应力及滑面抗剪强度减幅也较快，易导致滑坡。而当库水位、江河水位骤降时，低渗透系数滑体内产生较高孔隙水压力及动水压力，有效应力降幅大，更易导致滑坡，且还易再次产生滑坡。

#### 5. 滑坡稳定安全系数 K

上述滑坡稳定系数计算方法均属于定值设计法的范畴，将不确定的因素和参数都定值化，把未知的不确定因素归结到安全系数上。滑坡及其治理工程对象为岩土，具有较大的自身天然变异性，失效控制原理极其复杂，其稳定安全系数选取须考虑力学指标测定条件，采用计算参数和方法的可靠性、治理工程的重要和建设规模。滑坡变形速率较大、失稳后危害大、治理工程失效后修复困难、滑面计算参数可靠性差(或采用峰值抗剪强度参数)时，宜采用较大安全系数。自然边坡稳定性评价，可取较小安全系数。特殊荷载组合可适当降低安全系数。

《建筑边坡工程技术规范》(GB50330—2002)规定，自然滑坡和工程古滑坡的稳定安全系数

为，破坏后果很严重，难以处理的滑坡取 1.25，较易处理时取 1.2；破坏后果严重的滑坡取 1.15；破坏后果不严重，难处理的滑坡取 1.1；破坏后果不严重，又易处理的滑坡取 1.05。工程滑坡的稳定安全系数见表 13.3-3。

表 13.3-3 工程滑坡的稳定安全系数 K

破坏后果		很严重	严重	不严重
边坡工程安全等级		一级边坡	二级边坡	三级边坡
稳定 安全系数 K	圆弧滑动法	1.30	1.25	1.20
	平面滑动法	1.35	1.30	1.25
	折线滑动法	1.35	1.30	1.25

预估未采取工程措施的滑坡在外界诱发因素(暴雨、水位暴涨暴落、地震等)作用下是否安全时，亦可借助滑坡稳定系数降低值来评估安全性。取天然状态下稳定系数为 1.0，反演计算参数，再据此计算滑坡在外界诱发因素作用下的稳定安全系数。若仍大于 0.95，认为基本安全；若小于 0.95 则认为很可能产生新的滑坡，宜采取工程措施，提高稳定系数：对目前已稳定的滑坡提高至 1.1， 目前欠稳定的滑坡提高至 1.15—1.2，目前已在滑移的滑坡提高至 1.25—1.3。

(三) 滑坡推力计算

滑坡推力为滑坡向下滑动的力与抵抗向下滑动的抗滑力之差，又称剩余下滑力，可为设计抗滑治理工程提供定量设计数据，亦可用以评价判定滑坡的稳定性。当滑坡稳定系数  $K_s$  小于要求的稳定安全系数  $K$ ，需计算滑坡支挡或加固所需外力时，按滑坡作整体运动，不考虑各滑块间的挤压和拉裂作用。

推力分布及其作用点与滑坡的类型、部位、地层性质、滑坡变形情况有关。液性指数小、刚度较大和较密实的较完整岩层、黏聚力较大的土层滑体，或采用锚拉桩时，从顶层至底层的滑移速度大体一致，滑坡推力分布近似为矩形，推力作用点可取在滑体厚度的  $\frac{1}{2}$  处。液性指数较大、刚度较小和密实度不均匀的塑性滑体，例如以内摩擦角为主要抗剪特性的松散体、碎石类土堆积体时，滑移时靠近滑面的速度大于表层速度，滑坡推力分布近似为三角形，推力作用点取在滑体距滑面  $\frac{1}{3}$  高度处。介于以上两种情况之间的滑坡推力分布可认为是梯形。土质滑坡推力一般远大于相应滑体高度产生的土压力，滑坡推力方向平行该计算滑块的底滑面；当用于计算抗滑桩、挡墙承受的推力时，认为推力方向与紧挨桩、墙背的一段较长滑动面平行。

1. 滑面为圆弧形时滑坡推力

防止滑坡滑移所需支挡的推力为

$$F = (K_f - K_s) \cdot \sum (T_i \cdot \cos \alpha_i) \quad (19)$$

式中：F 为滑坡推力(kN)； $K_f$  为滑坡推力安全系数； $K_s$  为按圆弧滑动法计算得出的稳定系数(公式 13)； $T_i$  为第 i 滑块重量在滑面切线方向的分力(kN / m)； $\alpha_i$  为第 i 滑块滑面与水平面间的倾角(°)。

2. 滑面为单一平面时滑坡推力

$$F = K_f \cdot W \cdot \sin \alpha - (W \cdot \cos \alpha \cdot \tan \phi + C \cdot L) \quad (20)$$

式中：W 为滑体重力(kN)； $\alpha$  为滑面与水平面间的倾角(°)；L 为滑面长度(m)；C、 $\phi$  为滑带土(面)的黏聚力(kPa)、摩擦角(°)。

3. 滑面为折线时滑坡推力

$$F_i = \psi_i \cdot F_{i-1} + K_f \cdot W_i \cdot \sin \alpha_i - W_i \cdot \cos \alpha_i \cdot \tan \phi_i - C_i \cdot L_i \quad (21)$$

$$\psi_i = \cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - \sin(\alpha_{i-1} - \alpha_i) \cdot \tan \phi_i$$

式中  $F_i$  为第 i 滑块末端的推力(剩余下滑力, kN)； $F_{i-1}$  为第 i 滑块的上滑块(i—1 块)的剩余下滑力(kN)； $F_{i-1}$  为负值时按零计算； $\psi_i$  为推力传递系数； $W_i$  为第 i 滑块的重力(kN)，位于地下水位线以下部位应考虑渗透力作用，计算滑动力时取饱和重度，计算抗力项时取浮重度； $\phi_i$ 、 $C_i$  为第 i 滑块滑面的摩擦角(°)、黏聚力(kPa)； $L_i$  为第 i 滑块沿滑面的长度(m)； $\alpha_i$ 、 $\alpha_{i-1}$  为第 i 滑块、第 i—1 滑块的滑面倾角。

第 1 条滑块的推力计算方法与单一滑面相同(公式 20)。

4. 滑坡推力安全系数  $K_f$

《建筑边坡工程技术规范》(CB50330-200)规定，滑坡推力安全系数  $K_f$ ，工程滑坡取 1.25；自然滑坡和工程古滑坡中，破坏后果很严重，且难以处理时取 1.25，较易处理时取 1.2；破坏后果严重的滑坡取 1.15；破坏后果不严重，但难处理时取 1.1，较易处理时取 1.05。

#### (四) 滑坡入水涌浪计算

位于水库或江河岸边的滑坡，尤其是以弹性能积累、脆性断裂和瞬间破坏为特性的岩质脆性岸坡突然失稳会形成巨大涌浪。柘溪水库塘岩老滑坡的滑体约 165 万  $m^3$ ，沿层面急速滑落形成的涌浪达到对岸的浪高达 21m；黄龙滩马头山滑坡的滑体 40 万  $m^3$ ，滑入水库形成涌浪高度 16.18m。涌浪

在水域中以一定速度传递，危及附近船只、建筑物安全；当遇到港工或水工建筑物时，涌浪前进方向受到阻挡，引起附加水压力，并有可能翻过建筑物顶部向下游宣泄，引发垮坝、翻船事故。意大利丽依吊(Waiont)库区大滑坡的滑速达 25m / s，最大涌浪高达 250m，滑体达 2.7~3.0 亿 m<sup>3</sup>，填满坝前 1.8km 长水库，库水越坝下泄，死亡 2400 余人。因此，对位于水库或江河岸边的滑坡应进行涌浪计算，并根据计算成果，核算建筑物应力和稳定状况；或及早治理。

假定两岸为平行陡壁，宽度为 B，滑坡范围 L 内的断面尺寸一致，岸坡变形率为常数(即滑速 V 为常数)，则可按下述方法计算滑坡产生的最高涌浪。

1. 至对岸最高涌浪计算

岸边滑坡突然滑入水中，产生的涌浪经水域传至对岸 A 点(图 9)的最大涌浪高度为

$$\Delta h = \frac{2\Delta h_0}{\pi} \left( 1 + C_k \sum_{n=1.35}^n \left\{ c_k^{2(n-1)} \ln \left[ \frac{1}{(2n-1)B} + \sqrt{1 + \frac{l^2}{(2n-1)^2 B^2}} \right] \right\} \right) \tag{22}$$

式中：Δh 为对岸 A 点最高涌浪(m)；Δh<sub>0</sub> 为初始浪高，当岸坡以速度 V 作水平变形时，查图 9；可按式(23)计算；l 为滑坡体长度的一半(m)。

$$\Delta h_0 = 1.17V \bullet H / \sqrt{g \bullet H} \tag{23}$$

式中：V 为岸坡变形速度(m / s)；H 为水深(m)；C<sub>k</sub> 为波的反射系数；在求对岸最高涌浪时，为 1；Σ 为级数和。该级数的项数取决于滑坡历时 T 及涌浪从一岸传播至对岸需时 Δt =  $\frac{B}{C}$  之比，见表 13.3-4。

表 13.3-4 不同 T / Δt 比值所应采用的级数项数

T / Δt	1 ~3	3~5	5~7	7~9
级数应采用的项数	1	2	3	4
n 的取值	1	1, 3	1, 3, 5	1, 3, 5, 7

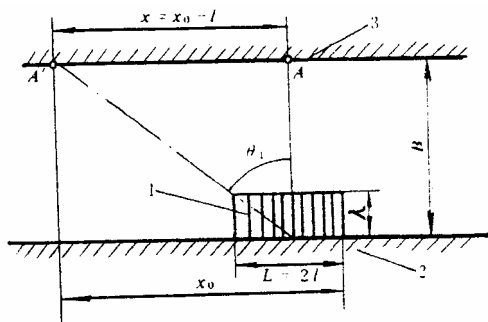


图9 滑坡体形成的涌浪计算示意图

L-滑坡体长；λ-滑坡体厚度；B-水面宽  
X-滑坡体中心到A'点的距离；  
1-滑坡体；3-滑坡岸；3-对岸

岸坡的变形速度用下式计算：

$$V = \sqrt{2g(h - f \cdot l_o)} \quad (24)$$

式中：g 为重力加速度(m/s²)；h 为滑坡下落高度(m)；f 为平均摩擦系数；l\_o 为滑动的水平距离(m)。

波速 C 按下式计算：

$$C = \sqrt{g \cdot H} \cdot \sqrt{1 + 1.5 \frac{\Delta h_o}{H} + 0.5 \left( \frac{\Delta h_o}{H} \right)^2} \quad (25)$$

## 2. 至对岸任一点最高涌浪计算

滑坡涌浪传至对岸任一点 A' (图9)产生的最大涌浪高度为：

$$\Delta h = \frac{\Delta h_o}{\pi} \sum_{n=1,3,5}^n (1 + C_k \cos \theta_n) C_k^{n-1} \cdot \ln \left\{ \frac{\sqrt{1 + \left( \frac{nB}{x_o - L} \right)^2} - 1}{\frac{x_o}{x_o - L} \left[ \sqrt{1 + \left( \frac{nB}{x_o} \right)^2} - 1 \right]} \right\} \quad (26)$$

式中：Δh\_o 为初始浪高(m)；C\_k 为波的反射系数，对 A' 为 0.9；X\_o 为滑坡至 A' 的距离(m)；L 为滑坡体宽度(m)；θ 为第 n 次入射线与岸坡法线的夹角；n 为级数应取的次数。

θ\_n 值可以这样计算：河道宽为 B，滑坡区中心到 A' 点的水平距离为 x，则

$$\tan \theta_1 = \frac{x}{B}; \tan \theta_3 = \frac{x}{B} \cdots \tan \theta_n = \frac{x}{nB}$$

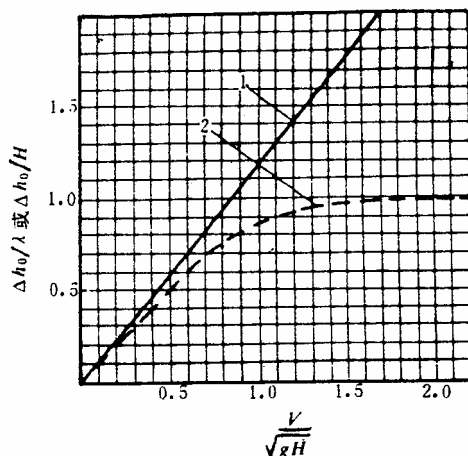


图10 相对初始浪高

1-岸坡水平变形；2-垂直变形

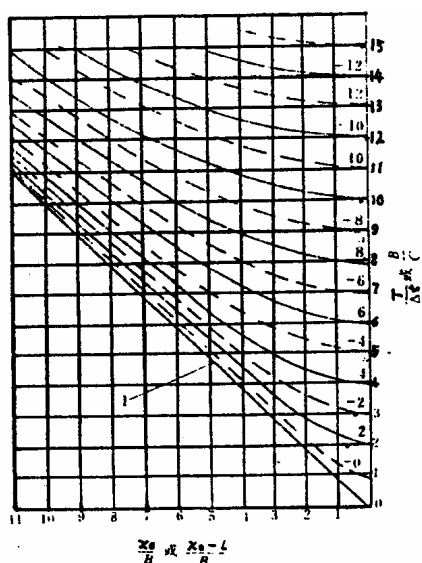


图 11 计算项数曲线图  
1-初始波

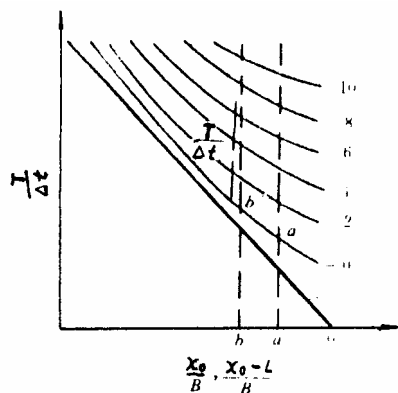


图 12 计算项数的作图方法

$n$  值取决于  $T$ 、 $\Delta t$ 、 $\frac{x_0}{B}$  及  $\frac{x_0-L}{B}$  值，可由图 11 确定。先计算  $\frac{x_0}{B}$ 、 $\frac{x_0-L}{B}$  及  $\frac{T}{\Delta t}$  值，在图 11 的横坐标轴上，定下  $a$ 、 $b$  两点(图 12)，相当于  $\frac{x_0-L}{B}$  及  $\frac{x_0}{B}$ 。由此引垂线和图中-0 曲线相交，得  $a'$  及  $b'$  点。再从  $a'$  及  $b'$  开始，向上量取时段  $\frac{T}{\Delta t}$ ，在这段垂直范围内所包括的负波个数，就是应取的项数，在图 12 所示的  $\frac{T}{\Delta t}$  范围内，共包括-0，-2，-4，-6 等 4 个波，故级数应取 4 项。

求出的  $A'$  点浪高是指涌浪可向下游继续自由行进时的值。如果涌浪到达  $A'$  点受阻，例如  $A'$  点为一溢流坝，浪高超过堰顶下泄，则在  $A'$  处出现一个负波反向上游传播，水面将出现反复振荡现象。