

中华人民共和国能源行业标准

P

NB/T 10497—2021

水电工程

水库塌岸与滑坡治理技术规程

Technical Specification for Reservoir Bank Collapse and Landslide

Treatment of Hydropower Projects

2021-01-07 发布

2021-07-01 实施

国家能源局 发布

中华人民共和国能源行业标准

水电工程
水库塌岸与滑坡治理技术规程

Technical Specification for Reservoir Bank Collapse and Landslide

Treatment of Hydropower Projects

NB/T 10497-2021

主编部门：水电水利规划设计总院

批准部门：国家能源局

施行日期：2021年1月7日

中国水利水电出版社

2021 北京

国家能源局
公 告
2021 年 第 1 号

国家能源局批准《水电工程建设征地移民安置综合设计规范》等 320 项能源行业标准（附件 1）、《Carbon steel and low alloy steel for pressurized water reactor nuclear power plants-Part 7: Class 1, 2, 3 plates》等 113 项能源行业标准外文版（附件 2）、《水电工程水生生态调查与评价技术规范》等 5 项能源行业标准修改通知单（附件 3），现予以发布。

- 附件：1.行业标准目录
2.行业标准外文版目录
3.行业标准修改通知单

国家能源局

2021 年 1 月 7 日

附件 1：

行业标准目录

序号	标准编号	标准名称	代替标准	采标号	批准日期	实施日期
...						
14	NB/T 10497-2021	水电工程 水库塌岸与滑坡治理技术规程			2021-01-07	2021-07-01
...						

前 言

根据《国家能源局关于下达 2014 年第一批能源领域行业标准制（修）订计划的通知》（国能科技〔2014〕298 号）的要求，规程编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程的主要内容是：总则、术语、基本规定、勘察技术要求、水库岸坡治理分级与设计安全系数、治理工程设计、治理工程措施、治理工程施工、监测、质量检验及验收、安全。

本规程由国家能源局负责管理，由水电水利规划设计总院提出并负责日常管理，由能源行业水电勘测设计标准化技术委员会（NEA/TC15）负责技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送水电水利规划设计总院（地址：北京市西城区六铺炕北小街 2 号。邮编：100120）。

本规程主编单位：中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司
水电水利规划设计总院

本规程参编单位：中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司
中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司
成都理工大学

本规程主要起草人员：周 恒 赵志祥 杨 贤 王有林 吕庆超 左三胜
付恩怀 邓成进 董秀军 王凤安 张 群 李 茂
吕宝雄 陆 希 王国进 张礼兵 周跃飞 刘要来
王富强

本规程主要审查人员：王惠明 周建平 党林才 姚栓喜 方光达 宫海灵
单治钢 夏宏良 肖平西 郭维祥 吴永锋 谭新平
邢丁家 李院忠 阳运生 郭会平 彭仕雄 谢 豪
严永璞 刘荣丽 王文远 米应中 王汇明 叶志平
熊登峪 陈文华 李仕胜

目 次

1	总则.....	1
2	术语.....	2
3	基本规定.....	3
4	勘察技术要求.....	4
4.1	一般规定.....	4
4.2	水库塌岸.....	4
4.3	水库滑坡.....	4
4.4	变形体.....	5
5	水库岸坡治理分级与设计安全系数.....	6
5.1	水库岸坡治理分级.....	6
5.2	治理设计安全标准.....	6
6	治理工程设计.....	8
6.1	一般规定.....	8
6.2	稳定性计算分析.....	8
6.3	水库岸坡治理方案选择.....	10
7	治理工程措施.....	12
7.1	一般规定.....	12
7.2	削坡减载及压脚.....	12
7.3	排水工程.....	13
7.4	坡面防护.....	14
7.5	挡土墙.....	15
7.6	预应力锚固.....	17
7.7	抗滑桩.....	17
7.8	抗剪洞与锚固洞.....	18
8	治理工程施工.....	20
8.1	一般规定.....	20
8.2	施工组织.....	20
8.3	削坡减载及压脚施工.....	20

8.4	排水工程施工.....	21
8.5	坡面防护施工.....	21
8.6	挡土墙施工.....	22
8.7	预应力锚固施工.....	23
8.8	抗滑桩施工.....	24
8.9	抗剪洞与锚固洞施工.....	24
9	监测.....	26
9.1	一般规定.....	26
9.2	监测内容.....	26
9.3	监测布置.....	28
9.4	监测资料分析.....	29
9.5	监测预警.....	29
10	质量检验及验收.....	31
10.1	一般规定.....	31
10.2	质量检验.....	31
10.3	验收.....	32
11	安全.....	33
11.1	一般规定.....	33
11.2	施工安全.....	33
11.3	风险管控.....	34
附录 A	水库塌岸类型划分.....	35
附录 B	水库滑坡分类与发育阶段划分.....	36
附录 C	水库塌岸防护方案.....	38
附录 D	水库滑坡治理方案.....	39
	本规程用词说明.....	40
	引用标准名录.....	41
	附：条文说明.....	43

Contents

1	General Provisions.....	1
2	Terms.....	2
3	Basic Requirements.....	3
4	Technical Requirements for Investigation.....	4
	4.1 General Requirements.....	4
	4.2 Reservoir Bank Collapse.....	4
	4.3 Reservoir Bank Landslide.....	4
	4.4 Deformed Rock Mass.....	5
5	Classification and Design Safety Factor for Reservoir Bank Treatment.....	6
	5.1 Classification for Reservoir Bank Treatment.....	6
	5.2 Safety Criteria for Treatment Design.....	6
6	Design of Treatment Works.....	8
	6.1 General Requirements.....	8
	6.2 Stability Calculation and Analysis.....	8
	6.3 Selection of Reservoir Bank Treatment Schemes.....	10
7	Measures for Treatment Works.....	12
	7.1 General Requirements.....	12
	7.2 Slope Cutting and Slope Toe Fill.....	12
	7.3 Drainage.....	13
	7.4 Slope Surface Protection.....	14
	7.5 Retaining Wall.....	15
	7.6 Prestressed Anchorage.....	17
	7.7 Slope Stablizing Pile.....	18
	7.8 Shear Resistent Plug and Retaining Concrete Plug.....	19
8	Construction of Treatment Works.....	20
	8.1 General Requirements.....	20
	8.2 Construction Management.....	20
	8.3 Construction of Slope Cutting and Slope Toe Fill	20

8.4	Drainage Works Construction.....	21
8.5	Construction of Slope Surface Protection.....	21
8.6	Retaining Wall Construction.....	22
8.7	Prestressed Anchorage Construction.....	23
8.8	Slope Stabilizing Pile Construction.....	24
8.9	Construction of Shear Resistant Plug and Retaining Concrete Plug.....	24
9	Monitoring.....	26
9.1	General Requirements.....	26
9.2	Monitoring Items.....	26
9.3	Monitoring Layout.....	28
9.4	Monitoring Analysis.....	29
9.5	Monitoring Forecasting.....	29
10	Quality Inspection and Acceptance.....	31
10.1	General Requirements.....	31
10.2	Quality Inspection.....	31
10.3	Acceptance.....	32
11	Safety	33
11.1	General Requirements.....	33
11.2	Construction Safety.....	33
11.3	Risk Management.....	34
Appendix A	Classification for Reservoir Bank Collapse.....	35
Appendix B	Classification and Development Stages of Reservoir Bank Landslide.....	36
Appendix C	Protection Scheme for Reservoir Bank Collapse.....	38
Appendix D	Treatment Scheme for Reservoir Bank Landslide.....	39
	Explanation of Wording in This Specification.....	40
	List of Quoted Standards.....	41
	Addition:Explanation of Provisions.....	43

1 总则

1.0.1 为规范水电工程水库塌岸与滑坡的治理，达到安全可靠、经济合理、技术先进、生态环保的要求，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于水库塌岸、水库滑坡和变形体等的治理，危及枢纽建筑物安全的塌岸、滑坡和变形体的治理应符合现行行业标准《水电工程边坡设计规范》NB/T 10512等的相关规定。

1.0.3 水电工程水库塌岸与滑坡治理，除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语

2.0.1 水库塌岸 reservoir bank collapse

水库周边岸坡土体在库水浸泡、水位升降、风浪冲蚀下发生塌落或塌滑破坏的现象。

2.0.2 水库滑坡 reservoir bank landslide

水库蓄水引起的库岸岩土体沿滑动面或滑动带向下滑动的现象。

2.0.3 变形体 deformed rock mass

斜坡上已存在明显变形，但尚未发生大规模或整体失稳的岩体。

2.0.4 水库岸坡治理 reservoir bank treatment

对库岸稳定性不满足设计要求的塌岸、滑坡和变形体采取开挖、锚固、支挡和排水等工程措施进行处置。

2.0.5 削坡减载 slope cutting

开挖以降低下滑力提高岸坡稳定性的工程措施。

2.0.6 压脚 slope toe fill

在岸坡前缘堆填土石等材料，以增加岸坡抗滑力，提高其稳定性的工程措施。

3 基本规定

3.0.1 根据地质勘察成果和移民安置规划方案等需要治理的涉水及部分涉水岸坡应开展治理工程设计。

3.0.2 水库岸坡治理工程设计前应开展工程地质勘察,并提供满足设计深度要求的勘察成果。勘察成果应主要包括下列内容:

1 水库岸坡治理工程勘察成果,包括塌岸、滑坡和变形体分布范围、边界条件、物质组成及结构特征等基本工程地质条件和地下水位等水文地质条件。

2 塌岸、滑坡和变形体的变形机制与破坏模式、稳定性及其失稳对周围环境的影响分析评价。

3 塌岸、滑坡和变形体工程治理设计所需的岩土体物理力学参数建议值及治理措施建议。

3.0.3 水库岸坡治理设计应收集气象、水文、水库特性等相关资料。

3.0.4 水库岸坡治理设计方案应与移民安置、环境保护、水土保持、土地利用等相协调。

3.0.5 水库岸坡稳定性分析基本方法应采用平面极限平衡下限解法;对于 I 级、II 级的治理工程,宜采取 2 种或 2 种以上的分析方法。

3.0.6 水库岸坡治理应结合岸坡工程地质条件、监测资料等进行动态设计。

3.0.7 对规模大或治理难度大的塌岸、滑坡及变形体,应开展巡视检查、监测预警,并可根据监测成果确定整体或分批、分期实施治理措施。

3.0.8 当水库蓄水或应急放空、检修放空时,宜根据塌岸、滑坡及变形体稳定性提出库水位上升或下降的速率要求。

3.0.9 治理工程使用年限宜与影响建筑物的设计使用年限相适应。

3.0.10 治理设计采用新材料、新技术、新工艺时,应进行专门研究。

4 勘察技术要求

4.1 一般规定

4.1.1 水库塌岸、滑坡及变形体勘察应收集其危害对象的有关资料，分析和预测塌岸、滑坡及变形体的稳定性，评价其对城市、集镇、居民点、企业及重要设施和专项工程的危害性，提出防治措施建议。

4.1.2 水库岸坡治理勘察应进行地质测绘、勘探和试验，各分区主滑方向不应少于 1 条勘探剖面，并提出岩土体物理力学参数建议值。

4.1.3 水库岸坡治理勘察应提供治理工程设计所需的天然建筑材料分布、储量和质量。

4.1.4 水库岸坡的勘察内容、方法和要求应符合国家现行标准《水力发电工程地质勘察规范》GB 50287、《水电工程水库区工程地质勘察规程》NB/T 10131 和《水电工程边坡工程地质勘察规程》NB/T 10513 的相关规定。

4.2 水库塌岸

4.2.1 水库塌岸勘察应查明岸坡地形地貌特征、物质组成、土体结构，划分水库塌岸类型。水库塌岸类型划分宜符合本规程附录 A 的规定。

4.2.2 水库塌岸预测宜选取两种或两种以上方法进行预测结果对比分析。

4.2.3 水库塌岸预测应包括下列内容：

- 1 水库塌岸地形地质条件调查和库水动力条件分析。
- 2 确定水库塌岸类型和塌岸预测所需的参数。
- 3 确定最终塌岸范围与规模。

4.3 水库滑坡

4.3.1 水库滑坡勘察应查明滑坡的边界与规模、物质组成与结构、滑面及滑带特征，分析滑坡形成机制，确定滑坡类型、发育阶段，评价滑坡稳定性。水库滑坡分类与发育阶段划分宜符合本规程附录 B 的规定。

4.3.2 滑带土的强度参数取值宜采用试验法、反演分析法、类比法。

4.3.3 大中型及以上水库滑坡应进行涌浪预测，并分析堵江的可能性。

4.4 变形体

4.4.1 变形体勘察应主要查明变形边界与规模、地层岩性、结构特征、变形特征。

4.4.2 变形体勘察应根据变形破坏特征分析变形体形成机制和失稳模式。

4.4.3 变形体勘察应分析变形演化趋势，评价变形体稳定性。

5 水库岸坡治理分级与设计安全系数

5.1 水库岸坡治理分级

5.1.1 水库岸坡治理应根据塌岸、滑坡及变形体的危害程度及威胁人数进行分级。

5.1.2 水库岸坡危害程度应按表 5.1.2 确定。

表 5.1.2 水库岸坡危害程度

危害对象	破坏后果	危害程度
城市、大型企业、重要设施和重要专项工程	很严重、严重	大
	不严重	中
集镇、中型企业和一般设施	很严重	大
	严重	中
	不严重	小
居民点、小型企业等	很严重	中
	严重、不严重	小

注：1 很严重指造成重大人员伤亡或财产损失；

2 严重指可能造成人员伤亡或财产损失；

3 不严重指可能造成财产损失。

5.1.3 水库岸坡治理工程分级应按表 5.1.3 确定。

表 5.1.3 水库岸坡治理工程分级

级别	危害程度	威胁人数（人）
I 级	大	≥ 500
II 级	中	≥ 100 且 < 500
III 级	小	< 100

注：根据危害程度和威胁人数就高的原则确定。

5.1.4 当危害对象为交通、电力和水利设施等，水库岸坡治理工程等级应按相关行业规范确定。

5.2 治理设计安全标准

5.2.1 水库岸坡稳定分析应区分不同的作用组合或工况，采用极限平衡法进行计算。当采用下限解法时，抗滑稳定设计安全系数应符合表 5.2.1 的规定。

表 5.2.1 抗滑稳定设计安全系数

治理工程分级	持久工况	短暂工况	偶然工况
I 级	1.30~1.20	1.20~1.15	1.10~1.05
II 级	1.20~1.15	1.15~1.10	1.05
III 级	1.15~1.10	1.10~1.05	1.02

注：对失稳后危害性大的滑坡或稳定分析中不确定因素较多的岸坡，设计安全系数宜取本表大值，反之取小值。

5.2.2 对于特别重要、失事后危害巨大或有变形极限要求的岸坡，应经专门论证确定。

5.2.3 影响对象为交通、电力和水利设施等，设计安全系数应按相关行业规范确定。

6 治理工程设计

6.1 一般规定

6.1.1 对于需要治理的水库岸坡，应确定治理工程分级与设计安全系数。

6.1.2 在库水位变动范围内，水库岸坡治理工程设计应考虑岩土体类型、性质、岸坡结构、浪蚀高度和水位变动幅度的影响。

6.2 稳定性计算分析

6.2.1 自重作用的计算应符合下列要求：

1 地下水位以上岩土体的自重应采用天然重度；地下水位以下岩土体的自重应采用浮重度，同时在滑面上扣除自坡外水位起算的静水压力。降雨情况下的非饱和岩土体的重度，可根据测试或估算确定。

2 坡体上的建筑物及附属设施，应计入坡体自重。

6.2.2 地下水作用的计算应符合下列规定：

1 应采用地下水最高水位作为持久状态水位，以特大暴雨或久雨暂态高水位作为短暂状态水位，持久与短暂状况水的作用应符合现行行业标准《水电工程边坡设计规范》NB/T 10512 的有关规定。

2 岸坡治理设计暴雨强度重现期，I级治理工程应取50年一遇~100年一遇；II级治理工程应取20年一遇~50年一遇；III级治理工程应取10年一遇~20年一遇。

3 当岸坡存在地下水渗流时，应考虑渗透水压力作用。

4 水库蓄水后岸坡内地下水位宜根据实测值确定；当无实测值时，可根据库水位计算岸坡内地下水位。

5 库水位骤降状况进行岸坡稳定分析时，渗透系数应采用小值平均值，地下水位可按非稳定渗流估算。

6 对于变形体，应考虑裂隙水压力作用。

6.2.3 地震作用的计算应符合下列规定：

1 设计烈度为Ⅵ度的地区，可不进行地震作用计算；设计烈度Ⅶ度及以上的地区，应进行地震作用计算。

2 I级治理工程设计地震动参数可采用50年基准期超越概率5%地震动峰值加速度；Ⅱ级、Ⅲ级治理工程设计地震动参数可采用50年基准期超越概率10%地震动峰值加速度；特别重要的治理工程应进行专门研究。

3 地震作用计算应符合现行行业标准《水电工程边坡设计规范》NB/T 10512的有关规定。

6.2.4 水库岸坡治理工程设计作用组合应符合表6.2.4的规定：

表 6.2.4 水库岸坡治理工程设计作用组合

作用组合	自重	外水压力	地下水压力	加固力	地震力	备注
基本组合	√	√	√	√	—	除地震、校核洪水位以外的其他情况
偶然组合Ⅰ	√	√	√	√	√	地震情况
偶然组合Ⅱ	√	√	√	√	—	校核洪水位情况

6.2.5 设计状况作用组合的确定应符合下列要求：

1 持久状况为正常工况，应采用基本组合。

2 短暂状况为运行期暴雨或久雨、排水设施短期失效形成的地下水位壅高以及库水位骤降等工况，应采用基本组合。

3 偶然状况为遭遇地震、校核洪水位等工况，应采用偶然组合。

6.2.6 抗滑稳定性计算应符合下列要求：

1 抗滑稳定性计算除采用刚体平面极限平衡法外，Ⅰ级、Ⅱ级治理工程及地质条件复杂的岸坡，可同时采用基于强度折减的数值分析方法进行验算。

2 复合型滑动面宜采用摩根斯坦—普莱斯法或传递系数法进行计算；圆弧形滑动面宜采用简化毕肖普法进行计算。

3 具有多级滑面的滑坡，应分别计算沿不同滑面或滑面组合构成滑体的整体稳定性和局部稳定性。

4 对于滑面倾角变化较大的滑坡，当采用传递系数法进行稳定性评价和推力计算时，宜采用隐式解。

5 抗滑稳定性分析计算方法应符合现行行业标准《水电工程边坡设计规范》NB/T 10512的有关规定。

6.3 水库岸坡治理方案选择

I 塌岸

6.3.1 塌岸防护设计应根据库区工程地质条件，分析蓄水后塌岸范围及影响区、危害程度，并划分和确定塌岸防护范围。

6.3.2 水库塌岸防护方案的选择应满足下列要求：

- 1 冲刷强烈的库岸应采用坡脚和坡面相结合的防冲刷措施。
- 2 护岸工程应能满足库水位升降变动的要求。

6.3.3 水库塌岸防护方案宜符合本规程附录 C 的规定。

II 滑坡

6.3.4 治理方案应采取削坡减载、压脚、截水、排水、支挡、锚固等其中一种或多种措施组合使用，水库滑坡治理方案宜符合本规程附录 D 的规定。水库滑坡治理应优先考虑地面防水、地下排水等降低地下水位的增稳措施。

6.3.5 对规模较大的推移式滑坡，宜采用削坡减载、压脚的综合处理方案，辅以支挡及加固等措施。对滑面较缓的推移式滑坡或前缘有平缓段的牵引式滑坡，宜采用压脚措施。

6.3.6 库区滑坡具有多层滑面时，应根据各滑动面的计算成果，取滑坡推力作用最大值作为治理工程加固结构受力的设计值。

6.3.7 抗滑桩可用于浅层、中厚层和有数层软弱夹层的滑坡；对变形较大的滑坡体，不宜开挖大型抗滑桩孔，必须使用时不得连续开挖。

6.3.8 预应力锚索锚固段应置于稳定岩土层内；腐蚀性环境中不宜采用预应力锚索，必须使用时应采取严格的防腐措施。

6.3.9 对表面岩土体易风化、剥落的滑坡，或有浅层崩滑和蠕滑的滑坡，以及需要坡面绿化等生态治理的滑坡，可采用格构锚固措施。

6.3.10 护坡作为辅助治理措施时应符合下列要求：

- 1 护坡工程前，应先进行坡面整形。
- 2 砌体护坡宜用于滑坡稳定性满足设计要求的坡面防护。

- 3 喷锚护坡宜用于岩质滑坡及密实、硬塑或坚硬状的土质滑坡。
- 4 水下抛石护坡宜用于受水流冲刷和淘刷的滑坡。

III 变形体

6.3.11 水库变形体治理宜考虑削坡减载、锚固、支挡及截排水等措施。当变形体后缘存在裂隙水压力时，可首先采用截排水措施。

6.3.12 水库变形体采用预应力锚索进行锚固治理时，不宜施加较大的预应力；当变形较大，进行应急处理时，可采用不张拉锚索。

6.3.13 变形体下部存在软弱岩带压缩变形时，可对下部进行支撑加固、置换混凝土或灌浆加固等措施；变形体上部可根据岩体的完整性、稳定状态等条件选择开挖、锚固等措施。

7 治理工程措施

7.1 一般规定

7.1.1 水库岸坡治理宜根据岸坡结构、岩土体特性、失稳模式、危害程度等综合比选确定治理工程措施。

7.1.2 对变形有要求的水库岸坡应采用能控制变形的治理措施。

7.1.3 由特殊性岩土形成的水库岸坡，应进行专门治理措施研究

7.2 削坡减载及压脚

7.2.1 滑坡治理应根据保护对象、场地条件等，可采用开挖减载、削缓坡度、坡脚压重等单一或组合方式治理。

7.2.2 削坡减载的高度和体积或压脚的厚度、长度应经岸坡局部稳定和整体稳定计算确定。

7.2.3 削坡减载平台宜倾向坡外，坡比不宜小于 1%，并结合开挖后体型布置截、排水沟。

7.2.4 压脚填料宜选用透水性较好的块碎石、砂卵石或砂土；水上压脚填料透水性差时，应做好排水措施。

7.2.5 库水位变动带压脚时，应设置反滤层和防冲刷护坡，寒冷地区应考虑防冰冻措施。

7.2.6 水下、库水位变动区等回填无法进行碾压和夯实处理时，可采用抛石护脚，并应满足下列要求：

1 抛石可选用块石、石笼、混凝土预制块等，抛石护脚的最深部位应预投一定数量的备填体。

2 抛石护脚的坡度应根据水深、流速和波浪强度、岸坡状况综合确定，不应陡于所抛石料浸水后的天然休止角。

3 石料粒径应满足抗冲流速要求；流速大、波浪高及水深大时，应采用较大块径的石料。

7.3 排水工程

7.3.1 滑坡治理应根据所处位置、工程地质和水文地质条件，因地制宜地进行截水、排水系统设计。当滑坡体变形持续发展时，应提前实施截水、排水措施。

7.3.2 当滑坡表面存在明显的开裂变形时，宜采用黏土、砂浆、混凝土、沥青等填缝夯实，整平积水坑、洼地。

7.3.3 截水沟、排水沟的布置，宜将地表水引至附近的冲沟或河流中，并避免形成冲刷，可设置消能防冲设施。

7.3.4 截水沟、排水沟宜采用梯形或矩形断面，可采用浆砌石或混凝土衬护，砂浆强度等级不宜小于 M7.5，混凝土强度等级不宜低于 C20，护面厚度不宜小于 20 mm~30 mm。

7.3.5 陡坡和缓坡段沟底及边墙应设伸缩缝，缝间距宜为 10 m~15 m，伸缩缝处的沟底应设齿前墙，伸缩缝内应设止水、反滤盲沟或同时采用。

7.3.6 岸坡表层的喷锚支护、格构、挡土墙等均应配套有系统布置的排水孔。排水孔设计应符合下列规定：

1 排水孔宜采用梅花形布置，孔径不宜小于 50 mm，仰角不宜小于 5°。

2 排水孔应伸至地下水富集部位或潜在滑动面以下，孔深不宜小于 4 m，并宜根据岸坡渗水情况成群分布。

3 当排水孔设置于松散结构岸坡或穿过滑面时应设置排水花管，并做好反滤保护。

7.3.7 岩质滑坡体或变形体内地下水宜采用排水洞排出。排水洞的设计应符合下列规定：

1 排水洞应布置于潜在滑动面以下的稳定岩土体内，主洞走向与岸坡走向宜一致或接近。

2 排水支洞宜垂直岸坡方向布置，并穿过隔水软弱层带或滑带。

3 对于大型滑坡或变形体，可设多层排水洞形成立体地下排水系统。

4 排水洞洞径宽×高不宜小于 1.5 m×2.0 m，或采用施工经济断面，洞底坡度不宜小于 1%，可在迎水侧设排水沟。

5 排水洞顶和洞壁宜设辐射状排水孔。排水洞之间宜设置排水幕。

7.3.8 在滑坡体外相对稳定且地下水集中的区域，可用排水井降低地下水位，深度宜为15 m~30 m、竖井直径宜大于3.5 m。

7.3.9 土质岸坡或滑坡周边可采用渗沟截、排浅层地下水。渗沟应垂直嵌入岸坡坡体，其基底宜设置在含水层以下较坚实的土层上；寒冷地区的渗沟出口应采取防冻措施。

7.3.10 运行期应定期对地表截水、排水系统进行巡视检查，发现损毁应及时修复。

7.4 坡面防护

7.4.1 坡面防护措施应结合地形、地质、环境条件和环境保护要求，选择喷混凝土、贴坡混凝土、模袋混凝土、钢筋笼、砌石、土工织物和植被覆盖等措施。

7.4.2 对表面易风化、完整性差的岩质岸坡，可采取挂网喷护并结合表层锚固等措施进行保护。

7.4.3 喷护材料可采用砂浆或混凝土，素喷时防护厚度不宜小于 50 mm，喷射混凝土防护厚度不宜小于 100 mm。喷射混凝土强度等级不应低于 C20，喷射混凝土 1d 龄期的抗压强度设计值不应低于 5 MPa。

7.4.4 挂钢筋网宜采用单层双向钢筋网，钢筋直径宜为6 mm~8 mm，间距宜为 150 mm~250 mm。

7.4.5 锚杆设计应符合下列规定：

1 锚杆倾角宜为 10° ~ 20° ，可采用纵横行列式排列或菱形排列，宜采用全粘结锚杆。

2 锚杆长度和间距应根据岸坡岩土体条件及稳定性确定，间距宜为1.5 m~3 m，且不应大于锚杆长度的一半。

3 锚杆杆体与喷射混凝土层及锚头拉筋宜采用弯折连接，弯折长度不宜小于15倍钢筋直径，杆体与拉筋绑扎或焊接。

4 锚杆注浆固结体嵌入混凝土面层不宜小于30 mm，并做好防腐处理。

7.4.6 对于稳定性较好但表层有零星危岩或松动块石的高陡岸坡，可采取局部清除、局部锚固和防护网、拦石沟、挡石墙等措施进行防护。高地震烈度区应加强坡面防护措施。

7.4.7 对于表层松散的岸坡，可采取钢筋笼、砌石、土工织物、模袋混凝土等措施进行保护，所有表层保护结构均应保证自身在坡面上的稳定性。

7.5 挡土墙

7.5.1 挡土墙应根据坡体的地形、岩土层特征、土压力分布选择适宜的型式。松软地基上可采用桩板式挡土墙；塌岸或滑坡前缘反压填土岸坡可采用扶壁式挡土墙；地基承载力较低、受水流冲刷且防护工程基础不易处理的滑坡可用石笼式挡土墙。对变形有严格要求或开挖可能影响稳定的岸坡、深层滑坡及地下水丰富的岸坡，可采用桩板式挡土墙。

7.5.2 挡土墙应布置在滑坡主滑地段的下部区域。当滑体长度大而厚度小时，宜沿滑坡倾向设置多级挡土墙。

7.5.3 当坡面无建筑物或其他用地，且地质和地形条件有利时，挡土墙宜设置为向坡体上部凸出的弧形或折线形，提高整体稳定性。

7.5.4 独立挡土墙应仅用于小型浅层滑坡。滑体厚度小于 6 m 时，可采用重力式挡土墙；滑体厚度超过 6 m 时宜采用锚碇式挡土墙。

7.5.5 重力式挡土墙的结构要求应符合下列规定：

1 土质岸坡墙高不宜大于 8 m，岩质岸坡墙高不宜大于 10 m。对变形有严格要求的岸坡和坡脚开挖危及稳定性的岸坡，不宜采用重力式挡土墙。

2 挡土墙墙面坡度宜采用 1:0.5~1:0.3；当墙高小于 4.0 m 时，可采用直立墙面；当地面较陡时，墙面坡度可采用 1:0.2~1:0.3。

3 墙背可设计为倾斜式、垂直式、台阶式，整体倾斜度不宜小于 1:0.25。

4 挡土墙基础宽度与墙高之比宜取 0.5~0.7，基底宜设计为 1:1.0~1:5.0 的反坡，土质地基宜取小值，岩质地基宜取大值。

5 挡土墙地基表面纵坡大于 5% 时，应将基底设计为台阶式，且其最下一级台阶底宽不宜小于 1.0 m。

6 重力式挡土墙的伸缩缝间距，条石及块石挡土墙宜为 20 m~25 m、混凝土挡土墙宜为 10 m~15 m；伸缩缝的缝宽宜为 20 mm~30 mm，缝中应填塞防水材料，填塞深度不应小于 150 mm。

7 当基础砌筑在坚硬完整的基岩斜坡上且不产生侧压力时,可将下部墙身切割成台阶式,切割后应进行全墙稳定性验算。

7.5.6 扶壁式挡土墙的设计应符合下列规定:

- 1 扶壁式挡土墙的基础应置于稳定的岩土层内。
- 2 两扶壁之间的距离宜取挡土墙高度的 $1/3 \sim 1/2$ 。
- 3 扶壁的厚度宜取扶壁间距的 $1/8 \sim 1/6$,且不宜小于 300 mm。
- 4 立板顶端和底板的厚度不应小于 200 mm。
- 5 立板在扶壁处的外伸长度,宜根据外伸悬臂固端弯矩与中间跨固端弯距相等的原则确定,可取两扶壁净距的 0.35 倍。

7.5.7 桩板式挡土墙的设计应符合下列规定:

- 1 桩板式挡土墙墙顶位移应小于悬臂段长度的 $1/100$,且不宜大于 100 mm;地面及滑动面处桩的水平位移不宜大于 10 mm。
- 2 桩应嵌固在稳定的地层中且不应产生新的深层滑动。悬臂式桩板挡土墙桩长在岩质地基中嵌固深度不宜小于桩总长的 $1/4$,土质地基中不宜小于 $1/3$ 。
- 3 用于安装预制挡土板的桩侧牛腿高度不宜小于 400 mm,宽度不宜小于 300 mm。
- 4 挡土板置于桩背时,挡土板与桩搭接长度不宜小于 400 mm。
- 5 拱形挡土板不宜采用素混凝土,应沿径向和环向配置构造钢筋,间距不宜大于 250 mm,直径不宜小于 10 mm。

7.5.8 石笼式挡土墙的设计应符合下列规定:

- 1 石笼式挡土墙墙高不宜大于 6 m,当与土工格栅、钢丝网等加筋技术联合使用时,可适当提高墙体高度。
- 2 石笼式挡土墙不宜设置于水流流速大于 5 m/s 的地段。
- 3 填充料应使用重度大、浸水不崩解、坚硬且耐风化的岩石,平均重度不应低于 17 kN/m^3 ,且至少 80%的石料粒径应大于网孔孔径。
- 4 石笼层与层间砌体应丁顺交错,上下搭接,不应出现通缝。

7.5.9 水下岸坡挡土墙设计应考虑水位升降变化引起的岸坡内不利水压力的作用,宜研究设置挡土墙内侧排水降压措施的必要性。

7.6 预应力锚固

7.6.1 当滑坡体为堆积层或土质滑坡，预应力锚固应与钢筋混凝土梁、格构或支挡结构组合使用。

7.6.2 预应力锚索材料应采用低松弛高强钢绞线加工，应符合现行国家标准《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224的要求。

7.6.3 预应力锚索锚固段应位于滑坡内部稳定完整的岩体内，内锚固段岩体的完整性判断可采用取岩芯或孔内录像方法，必要时可对内锚固段进行灌浆处理。锚固段位于地下水位以下时，宜先实施排水设施再进行锚固处理。

7.6.4 当内锚固段岩体承载力低或预应力锚索设计吨位较大时，宜优先选择压力分散型或拉力分散型无粘结锚索结构。

7.6.5 预应力锚索的设计总锚固力应根据岸坡稳定分析和应力变形分析确定。预应力锚固的布置及其设计参数应根据岩土体性状和施工条件研究确定。

7.6.6 预应力锚固锁定吨位不宜小于设计吨位。当被加固岩土体结构松散，预计锚索预应力损失较大时，应采用超张拉锁定；当被加固岩土体预计变形较大，或锚索与抗滑桩协同作用时，应采用欠张拉锁定。

7.6.7 预应力锚索布置间距宜为4 m~10 m；锚索间距小于4 m时，应进行群锚效应分析。预应力锚索长度不宜超过60 m，单根锚索设计吨位不宜超过3000 kN。

7.6.8 相邻锚固体不宜等长设计，可根据岩体强度和完整性交错布置，长短差不宜小于内锚固段长度的1/2。

7.6.9 预应力锚索钻孔方向应根据岸坡可能滑动方向确定；钻孔设计倾角应根据稳定分析并结合地形地质情况和施工条件分析确定。自由注浆锚索的钻孔宜向坡内倾斜，倾角不宜小于10°，否则应增设止浆环进行压力注浆。

7.6.10 预应力锚固设计应符合现行行业标准《水电工程预应力锚固设计规范》DL/T 5176的有关规定。

7.7 抗滑桩

7.7.1 抗滑桩宜用于浅层、中厚层岩质滑坡和土质滑坡、有数层软弱夹层的岩质和土质滑坡。正在移动的滑坡，不宜开挖大型抗滑桩孔。

7.7.2 抗滑桩布置应符合下列规定：

1 抗滑桩桩长不宜超过 50 m，应嵌固在滑动面以下的稳定岩土体中，嵌固段长度应根据岩土强度与变形分析确定，可为桩长的 1/4~2/5，在坚硬岩石中嵌固深度宜为 1/4 桩长。

2 抗滑桩宜设在岸坡前缘阻滑区或主滑段的前部，宜采用多排布置，单桩桩间应成“品字型”错开布置，桩顶宜设置连系梁或板等构件。

3 桩间距和断面尺寸应根据计算成果，结合施工条件、岩土体特性、桩体结构等因素确定，间距宜为 5 m~10 m，间隔开挖。

4 抗滑桩截面形状为矩形时，其短边应与滑动方向垂直；当滑坡的滑动方向多变或不确定时，可采用圆形截面。

7.7.3 桩体宜采用细石混凝土，骨料粒径宜小于 20 mm，混凝土强度等级不应低于 C25；桩体采用水泥砂浆时，宜采用二次注浆工艺灌注，砂浆的强度等级不应低于 M25。

7.7.4 抗滑桩设计计算应符合下列规定：

1 锚索抗滑桩的内力应按超静定体系分析，依据桩体和锚索或锚杆的变形协调条件，进行锚索或锚杆和桩身设计。抗滑桩上预应力锚索或锚杆不应超张拉，锁固力不应大于设计锚固力的 80%。

2 对岩质滑坡，可假定作用于小口径组合抗滑桩的水平推力均匀分布于各排桩，应按桩的抗剪断强度进行设计计算。

3 对土质滑坡，应按水平推力不均匀系数确定各排桩的单桩桩径、桩间距。

7.7.5 抗滑桩的截面面积、混凝土强度等级、桩体配筋应根据抗滑桩所受的剪力和弯矩按现行行业标准《水工混凝土结构设计规范》DL/T 5057 计算确定。

7.8 抗剪洞与锚固洞

7.8.1 滑动面位置明确，且滑动面上、下岩体相对完整时，抗剪洞轴线可沿滑动面走向布置。

7.8.2 滑动面倾角较陡或滑动面上部岩体破碎时，抗剪洞轴线可与滑动面走向垂直或大角度相交布置。

7.8.3 抗剪洞轴线沿潜在滑动面走向布置时，应切断滑动面且水平布置，抗剪洞

应穿过滑面，且嵌入上、下盘完整岩体深度不应小于 3 m。

7.8.4 抗剪洞轴线与滑动面走向垂直或大角度相交时，宜布置成向坡内倾斜，在稳定岩体的锚固长度宜大于洞径的 2 倍。

7.8.5 滑动面倾角较陡、滑面上部岩体坚硬完整时，锚固洞轴线及预应力锚索宜与滑面正交；宜布置成向坡内倾斜，嵌入稳定岩体内长度不宜小于 2 倍洞径。

7.8.6 治理工程宜利用已有勘探洞、施工支洞或与排水洞等结合使用的锚固洞作为加固措施，与其他加固措施共同参与抗滑稳定计算。

7.8.7 抗剪洞与锚固洞的布置和数量、断面尺寸均应通过计算确定。

7.8.8 抗剪洞与锚固洞设计断面应结合岸坡稳定计算确定，其回填钢筋混凝土计算应符合现行行业标准《水工混凝土结构设计规范》DL/T 5057 的有关规定。

7.8.9 抗剪洞与锚固洞应验算岸坡沿次级滑面和混凝土与岩土体界面发生剪切滑动的可能。

7.8.10 抗剪洞与锚固洞设计应分析阻滑结构自身发生剪切破坏的可能性。

7.8.11 抗剪洞与锚固洞应对顶拱进行回填灌浆，必要时对洞周可进行固结灌浆。

8 治理工程施工

8.1 一般规定

8.1.1 水库岸坡治理的工程布置应与现状交通条件、施工场地条件以及施工强度等相适应。削坡减载开挖料应就近用于坡脚压脚填筑，减少削坡弃渣。

8.1.2 岸坡治理时机的选择宜避免水库水位变动、强降雨以及季节性冻融等不利时段。

8.1.3 潜在塌岸或滑坡区不应堆载。岸坡治理施工时应做好施工区临时排水措施，临时排水措施应满足地下水、暴雨和施工用水等的排放要求，宜结合工程的永久性排水措施进行。

8.2 施工组织

8.2.1 治理工程施工组织的主要依据应包括下列内容：

- 1 工程建设法规、建设要求及工程相关批件。
- 2 治理工程区的自然条件、施工条件现状。
- 3 治理工程所需各种原材料试验、混凝土配合比试验、岩土物理力学试验等成果。
- 4 治理工程有关工艺试验或生产性试验成果。

8.2.2 治理工程施工组织应主要包括施工组织管理、施工准备、施工布置、施工方案、施工进度计划、施工劳动力及主要设备配置、安全文明施工等内容。

8.2.3 水库塌岸、滑坡及变形体治理的施工,应与库区移民工程、枢纽区工程等的施工统筹规划。

8.3 削坡减载及压脚施工

8.3.1 削坡减载开挖前应对开挖线上部的危石岸坡进行清理、加固。

8.3.2 开挖前应规划好开挖区域内外的临时性排水措施，并与截排水沟形成排水网络。

8.3.3 开挖应自上而下进行，高度较大的岸坡，应按梯段或分层的高度，并根据开挖方式、施工机械性能及开挖区布置等因素确定，开挖高度宜为 10 m~15 m。

8.3.4 采用爆破开挖应分析爆破振动对岸坡稳定的影响，爆破施工应满足下列要求：

- 1 在爆破安全影响区应采取安全保护措施。

2 当采用坡面防护治理措施时，宜采用光面爆破法。

3 爆破施工技术应符合现行行业标准《水电水利工程爆破施工技术规范》DL/T 5135 的规定。

8.3.5 在开挖过程中应对岸坡设计控制点、线和高程进行复测，并在岸坡上设置变形观测点，及时观测岸坡变形情况。

8.3.6 压脚填料宜优先选用透水性较好的块碎石、砂卵石或砂土，采用机械分层压实。

8.3.7 填料宜采用自卸汽车运输，运输车辆应相对固定，并保持车厢、轮胎的清洁。

8.3.8 填料开采、装料、运输、卸料、铺料及压实等工序应连贯进行。

8.3.9 填料中不应夹草、木等杂物，卸料和铺筑时应避免粗细料分离和架空。

8.3.10 靠近岸坡以及建筑物周边难以振动碾压的部位宜采用小型机具压实。

8.3.11 抛石施工宜采用自卸汽车倒退自卸方式进行，并根据水深、流速和波浪强度及岸坡状况保持一定的安全距离。

8.4 排水工程施工

8.4.1 地表排水工程开挖前应规划好开挖区域内外的临时性排水措施。

8.4.2 排水洞宜采用控制爆破、短进尺开挖。

8.4.3 排水沟宜根据工程规模采用小型机械配人工修筑；浅层排水孔宜采用手风钻钻孔，导入 PVC 管的方法，深层排水孔宜采用潜孔钻钻孔，导入 PVC 管的方法。

8.5 坡面防护施工

8.5.1 坡面防护施工应满足下列要求：

- 1 施工前应对岸坡进行修整，清除危石及松土。
- 2 挖方岸坡防护工程应采用自上而下施工，开挖一级防护一级。
- 3 坡面防护层应与坡面紧密贴合。
- 4 坡面防护工程施工应采取有效截水、排水措施。

8.5.2 喷射混凝土防护施工应符合下列规定：

- 1 喷护前应对泉水、渗水进行处理，并按设计要求设置排水孔。
- 2 施工作业前应进行试喷，选择合适的水灰比和喷射压力。

- 3 喷射应自下而上进行。
- 4 喷射混凝土初凝后，应立即开始养护，养护期不应少于 7d。
- 5 应对混凝土层顶部进行封闭处理。

8.5.3 砌体护坡工程施工应满足下列要求：

- 1 砌体护坡施工前应将坡面整平，局部坑洞应采用混凝土或浆砌片石填平。
- 2 浆砌块石、片石、卵石护坡应采取坐浆法施工，预制块应错缝砌筑，护坡面应平顺，并与相邻坡面顺接。
- 3 砂浆初凝后应及时进行养护。

8.5.4 钢筋混凝土网格梁施工应符合现行行业标准《水工混凝土施工规范》DL/T 5144 的规定。

8.5.5 植物护坡施工应满足下列要求：

- 1 种草施工的草籽应撒布均匀，并做好保护措施。
- 2 灌木、树木应在适宜季节栽植。

8.6 挡土墙施工

8.6.1 浆砌块石、条石挡土墙施工所用石材的表面宜平整，块石厚度不应小于 250 mm，表面应清洗干净。

8.6.2 挡土墙应分层错缝砌筑，墙体砌筑时不应有垂直通缝；砂浆宜采用机械拌合，不应灌浆法砌筑；外露面应采用砂浆勾缝。

8.6.3 墙后填料应在砌体结构强度或混凝土强度达到设计强度的 75%后进行，并分层压实。

8.6.4 重力式挡土墙宜分段、跳仓施工；施工前应预先设置好排水系统，保持岸坡和基坑坡面干燥。基坑开挖后，基坑内不应积水，并及时进行基础施工。

8.6.5 扶壁式挡土墙扶壁间填土宜对称实施。

8.6.6 悬臂式桩板挡土墙应先施工桩，后施工挡板。

8.6.7 锚碇式桩板挡土墙应先施工桩，后施工锚索及挡板。

8.6.8 桩板挡土墙桩板后 2 m 内不应使用大型碾压机械填筑。

8.7 预应力锚固施工

- 8.7.1** 锚孔钻孔过程中遇岩体破碎或地下水渗漏严重造成钻进受阻时，宜采用护壁及固结灌浆等堵漏止水措施。
- 8.7.2** 采用跟管法钻孔时，应以低转速、低给进，反复进行排渣清孔。
- 8.7.3** 终孔后应使用压缩空气或压力水进行清洗，并排干孔内积水。
- 8.7.4** 锚孔经验收合格后，应及时安装锚索。
- 8.7.5** 岩锚内锚固段的进出浆管应按设计编入索体。靠近孔底的进浆管出口至锚索端部距离不宜大于200 mm。
- 8.7.6** 有防护套管的岩土体锚索，应先将套管与索体固定牢靠后再行安装，采取缓慢均匀推进。
- 8.7.7** 在锚索张拉段安装隔离架，其间距宜为1.5 m~2 m，应拉直钢绞线，将隔离架平面调整至与各钢绞线垂直，并将隔离架与各钢绞线扎紧，两隔离架间也应绑扎。
- 8.7.8** 锚索的外锚头防护、钢筋混凝土锚墩外形尺寸、铺垫板、螺旋筋和加强筋、锚墩混凝土强度等级应满足设计要求。锚墩混凝土施工应符合现行行业标准《水工混凝土施工规范》DL/T 5144的有关规定。
- 8.7.9** 预制钢筋混凝土锚墩所用钢筋、水泥、砂石骨料、外加剂、钢套管等材料及锚墩外形尺寸、固定锚墩的插筋均应满足设计要求。
- 8.7.10** 锚索安装孔口临时封堵后，应进行锚墩建基面平整，清除浮土、碎石。
- 8.7.11** 预制锚墩接触的孔口岩面，应采用M35水泥砂浆找平，其平面应与孔道轴线垂直，且平整度应小于2 mm。
- 8.7.12** 预应力锚索张拉应符合下列规定：
- 1 锚索张拉至设计应力待压力表稳定后锁定，持荷稳压时间不得小于10min。
 - 2 锚索张拉每级加载后应同步量测其伸长值，锁定后应量测预应力钢绞线的内缩量。
 - 3 锚索张拉完毕后48h内，如发现锚索锁定力低于设计张拉力的10%时，应进行补偿张拉。
 - 4 锚索张拉锁定后夹片错牙不应大于2 mm，否则应退锚重新张拉。
- 8.7.13** 封孔灌浆应在锚索张拉锁定后3d内进行。

8.7.14 锚索安装完毕后，应对外露钢绞线进行临时防护。

8.8 抗滑桩施工

8.8.1 地质条件较好且埋深较浅时桩体宜采用明挖的方式；地质条件较差且埋深较深时桩体宜采用泥浆固壁成孔方式；宜采用跳挖施工或跳仓浇筑施工工艺。

8.8.2 箱型抗滑桩宜采用明挖、现浇的施工方式。

8.8.3 桩身混凝土应连续灌注，不得形成水平施工缝。

8.8.4 当需加快施工进度时，宜采用速凝、早强混凝土。

8.8.5 桩身纵筋的接头不得设在土石分界处和滑动面处。

8.9 抗剪洞与锚固洞施工

8.9.1 抗剪洞、锚固洞施工方法与参数应根据抗剪洞与锚固洞的围岩类别及产状构造特征确定。

8.9.2 抗剪洞与锚固洞的断面型式及尺寸，应能满足小型施工机具作业的要求。

8.9.3 采用钻爆法进行抗剪洞与锚固洞的开挖施工时，应根据洞室断面尺寸、地质条件和适用施工设备性能，分析研究确定采用全断面开挖或分部分层开挖。

8.9.4 出渣运输方式应根据洞室断面的大小、长度、工期要求和施工设备性能因素综合分析确定。

8.9.5 抗剪洞与锚固洞开挖施工后应及时进行洞室支护作业。初期支护宜采用锚喷支护。当围岩条件差，锚喷支护难以满足安全施工时，应研究采用挂网喷混凝土、钢支撑等不同组合的联合支护措施。对不良地质区，应及时锚喷支护进行封闭，必要时可加强挂网或加钢支撑。

8.9.6 洞内应设置通风、排水设施。

8.9.7 抗剪洞与锚固洞混凝土回填施工应采用薄层短间歇浇筑，并振捣密实，混凝土浇筑厚度控制在 1.5 m~2.5 m。

8.9.8 抗剪洞与锚固洞施工宜选用下列温控措施：

- 1 优化混凝土配合比。
- 2 控制混凝土浇筑温度。
- 3 控制混凝土浇筑层厚及间歇期。

4 通水冷却。

8.9.9 回填混凝土与围岩之间,应进行回填灌浆。灌浆范围宜在顶拱中心角 $90^{\circ} \sim 120^{\circ}$ 以内。孔距和排距宜为 2 m~6 m, 灌浆压力宜为 0.2 MPa~0.3 MPa, 回填灌浆孔应深入围岩 0.1 m。

9 监测

9.1 一般规定

- 9.1.1** 水库岸坡治理工程安全监测应进行施工期安全监测、运行期安全监测。
- 9.1.2** 安全监测应以整体稳定性为主，兼顾局部稳定监测，并对治理措施进行重点监测。
- 9.1.3** 安全监测项目应根据水库岸坡治理工程等级、地质条件、变形与破坏的机理和失稳风险综合确定。对重要的治理工程具备条件时宜采用自动化监测，监测仪器和传输设备应考虑冗余设置。
- 9.1.4** 监测布置应统筹考虑施工期和运行期的衔接，保持监测资料的连续性和完整性。表部与深部监测宜相结合布置，应能反映水库岸坡治理工程的变形、受力性态。
- 9.1.5** 监测方法和监测精度应根据监测内容、变形特征、场地条件等综合确定，监测频次应按监测阶段分别要求。
- 9.1.6** 对于坡面陡峻，巡视检查有较大安全风险时，应布置安全、方便的巡视检查和监测通道。
- 9.1.7** 监测成果应及时整理、分析。

9.2 监测内容

- 9.2.1** 水库岸坡治理安全监测内容应包括仪器监测和巡视检查。
- 9.2.2** 水库岸坡治理工程监测项目应符合表 9.2.2 的规定。

表 9.2.2 水库岸坡治理工程监测项目

监测类型	监测项目	治理等级		
		I 级	II 级	III 级
巡视检查	塌岸与滑坡及相关区域	★	★	★
变形	表面位移	★	★	★
	内部位移	★	☆	☆
	裂缝	★	☆	☆
渗流	地下水位	★	★	☆
	渗透压力	☆	☆	☆
	渗流量	☆	☆	☆
	水质分析	☆	☆	☆
环境量	降水量	★	★	☆

注：★为应设监测项目，☆为可选监测项目

9.2.3 巡视检查应符合下列规定：

- 1 施工期和运行期应进行日常巡视检查、年度巡视检查及特殊情况下巡视检查。
- 2 巡视检查应重点检查岸坡及支挡、加固结构的裂缝、错动、坍塌、渗漏、变形、锈蚀、脱落等，并将历次检查结果进行对比分析。
- 3 巡视检查施工期宜每周进行 1 次，运行期可适当减少次数，但每月不宜少于 1 次。
- 4 遇暴雨、地震、变形异常等特殊情况时应加强巡视检查。

9.2.4 水库岸坡治理加固结构监测项目应符合表 9.2.4 规定。

表 9.2.4 水库岸坡治理加固结构监测项目

加固措施	监测项目	治理等级		
		I 级	II 级	III 级
预应力锚固	锚固力	★	★	★
非预应力锚杆	应力	★	☆	—
抗滑桩	位移	★	☆	—
	应力	☆	—	—
	界面压力	☆	—	—
挡土墙	表部变形	★	☆	—

注：★为应设监测项目，☆可选监测项目

9.2.5 水库岸坡治理监测频次应符合表 9.2.5 的规定。

表 9.2.5 水库岸坡治理监测频次

监测项目	施工期	运行期
位移	1 次/周~1 次/月	2 次/月~1 次/季
裂缝	1 次/周~1 次/月	2 次/月~1 次/季
地下水位	1 次/旬~1 次/月	2 次/月~1 次/季
渗透压力	1 次/旬~1 次/月	2 次/月~1 次/季
渗流量	1 次/旬~1 次/月	2 次/月~1 次/季
水质分析	按需要	按需要
预应力锚固力	1 次/周~1 次/月	2 次/月~1 次/季
锚杆应力	1 次/周~1 次/月	2 次/月~1 次/季
抗滑桩应力、界面压力	1 次/周~1 次/月	2 次/月~1 次/季
降水量	逐日量	逐日量

注：1 表中测次均为正常情况下人工监测的最低要求。

2 特殊时期，如暴雨、地震、施工期削坡减载进度快、水位变化较快、监测成果出现异常时，应增加测次。

3 实现自动化监测的项目宜每天监测 1 次。

9.3 监测布置

9.3.1 监测断面布置应符合下列规定：

- 1 监测断面应覆盖塌岸及滑坡区域，并兼顾治理工程对周边建（构）筑物的影响范围。
- 2 纵向监测断面应沿变形方向布设；当存在两个或两个以上变形方向时，监测断面宜沿变形方向呈扇形或放射状进行布设。
- 3 横向监测断面宜垂直纵向监测断面布设。
- 4 监测断面应充分利用勘探剖面 and 稳定性计算剖面布设。
- 5 I 级治理工程不应小于 2 个监测断面，II 级、III 级治理工程不应少于 1 个监测断面。

9.3.2 监测点应布设在滑坡阻滑段、边界裂缝、剪出口、滑带等变形破坏关键位置，并应符合下列规定：

- 1 监测点应在监测断面上或附近 5 m 范围内布设。
- 2 每个监测断面上的表面位移测点不宜少于 3 个，其它监测项目的测点不宜少于 1 个。
- 3 地下水位高的 I 级治理工程，每个断面的地下水位测点不宜少于 3 个。
- 4 监测点的布置应充分利用已有钻孔、探井或探洞。
- 5 表部位移、内部位移、地下水位等监测点应相对应或相结合布设。
- 6 表部位移监测工作基点应布设在稳定区域。
- 7 测斜孔钻孔深度应穿过潜在滑面以下 5 m。
- 8 多点位移计及岩石变位计钻孔应穿过断层、节理裂隙密集带、夹泥层或岩石破碎带。钻孔底部测点应锚固在相对稳定的岩体内；当不能锚固在相对稳定的岩体内时，应在孔口附近布置 1 个表部水平位移测点。
- 9 地下水位监测孔孔底应深入原始地下水位以下 5 m。

9.3.3 表部位移监测可采用全球导航卫星系统、雷达等监测方法；深部位移监测可采用钻孔倾斜仪、多点位移计、岩石变位计、垂线系统监测等。

9.3.4 预应力锚杆或锚索可采用测力计进行监测，其数量不应少于总根数的 5%，且预应力锚索监测数量不应少于 3 根。

9.3.5 监测精度应符合表 9.3.5 的规定。

表 9.3.5 监测精度

监测项目		监测精度	
		岩质岸坡	土质岸坡
变形	表部水平位移	±3.0mm	±5.0mm
	表部垂直位移	±3.0mm	±5.0mm
	裂缝	±1.0mm	
渗流	地下水位	±50mm	
	渗透压力	±0.5%满量程	
	渗流量	±10%满量程	
锚固力、应力与界面压力	锚固力	±0.5%满量程	
	应力	±0.5%满量程	
	界面压力	±0.5%满量程	

注：1 表中监测精度为最低要求，特殊情况下的监测精度要求，可根据实际情况确定。

2 表中表部水平位移、表部垂直位移监测精度指测点相对工作基点的测量中误差。

9.4 监测资料分析

9.4.1 对水库岸坡治理工程的监测数据应定期或不定期进行整理整编和分析。资料分析宜采用比较法、作图法、特征值统计法、数学模型法等方法。

9.4.2 监测数据整理整编分析应符合下列规定：

1 应对岸坡表部变形、深部变形效应量进行整理整编，分析变形效应量的时间变化规律及趋势、空间分布规律，与环境量的相关性及其敏感性。

2 应对岸坡地下水位、渗流量等渗流效应量进行整理整编，分析渗流效应量时间变化规律及趋势、空间分布规律，与环境量的相关性及其敏感性。

3 应对岸坡锚索预应力、锚杆应力等结构支护效应量进行整理整编，分析支护效应量的时间变化规律及趋势，空间分布规律。

4 监测资料综合分析应综合抗滑稳定、变形效应量、渗流效应量、结构支护效应量、巡视检查成果评判岸坡稳定状况。

9.5 监测预警

9.5.1 对于破坏后果严重，可能造成人员伤亡和财产重大损失的滑坡与塌岸，应制定相应的安全警戒等级和预警标准。

9.5.2 监测预警等级宜分级设置，级别可根据水库岸坡治理工程分级、变形与破坏形式、稳定和失稳风险分析成果、已有监测成果综合确定，宜采用三级预警，并应满足下列要求：

1 岸坡变形出现异常、表部出现开裂或旧裂缝有新发展、个别加固结构发生破坏时为一级预警。

2 岸坡变形持续且不收敛、表部出现较多裂缝或旧裂缝发展较快、局部区域加固结构破坏、确认岸坡已进入渐进破坏阶段时为二级预警。

3 岸坡变形加速，表部裂缝加宽加深、部分裂缝连通，短期内有可能发生失稳破坏时为三级预警。

9.5.3 结合水库岸坡治理工程的特点和设计成果，应按下列原则制定预警标准：

1 对变形有严格限制的岸坡，应按设计允许最大变形量制定变形预警标准。

2 滑动或变形岸坡，宜按地面代表性监测点的临界位移速率或累计位移量制定预警标准。

3 受地下水作用影响较大的岸坡，宜按失稳状态的渗透压力或库水位变化速率制定预警标准。

4 对于有加固结构的岸坡，可辅以加固结构的变形量值或变化速率制定预警标准。

5 对降雨敏感的岸坡可根据时段降雨强度或累计降雨量制定预警标准。

6 对于复杂的水库岸坡治理，应制定表部变形、内部变形、渗透压力、渗流量、地下水位、降雨量、强震事件等多指标预警标准体系。

9.5.4 监测预警宜进行研究论证，预警主要内容应包括预警级别、可能失稳的方量、产生的次生灾害及影响范围、主要建议。

9.5.5 根据监测预警成果，应制定相应的应急预案。

10 质量检验及验收

10.1 一般规定

10.1.1 水库岸坡治理工程完成后，应对工程质量进行验收和评定，对工程质量提出明确结论意见。

10.1.2 水库岸坡治理工程施工质量检验与评定应符合现行行业标准《水电水利基本建设工程单元工程质量等级评定标准 第1部分：土建工程》DL/T 5113.1的规定。

10.1.3 水库岸坡治理工程验收应按水电工程的特殊单项工程程序进行，并符合现行行业标准《水电工程验收规程》NB/T 35048的规定。

10.2 质量检验

10.2.1 水库岸坡治理工程的原材料质量检验应包括下列内容：

- 1 材料出厂合格证检查。
- 2 材料现场抽样检测。
- 3 锚杆或锚索注浆体强度等级检验。
- 4 结构混凝土和喷混凝土的配合比试验，强度等级检验。
- 5 砌体、砂浆强度等级检验。

10.2.2 对于喷混凝土，应对其厚度和强度进行检验，且不得空鼓。喷混凝土厚度可采用钻孔法检测，每100 m²应至少抽检一组，每组不应小于3个点，平均厚度应大于设计厚度，最小厚度不应小于设计厚度的85%。锚杆、喷护施工施工质量检验应符合现行行业标准《水电水利工程锚喷支护施工规范》DL/T 5181的规定。

10.2.3 对于锚杆或锚索的验收，可采用试验的方法检验施工质量是否达到设计要求，试验的数量宜取每种类型锚杆或锚索总数的5%，且均不得少于3根。预应力锚索施工质量检验应符合现行行业标准《水电水利工程预应力锚索施工规范》DL/T5083的规定。

10.2.4 锚杆浆体强度检验用试块的数量每30根锚杆不应少于一组，每组试块不应少于6个。

10.2.5 治理工程中抗滑桩、锚固洞、抗剪洞等采用混凝土结构的施工质量检验应符合

现行行业标准《水工混凝土施工规范》DL/T5144 的有关规定。

10.3 验收

10.3.1 水库岸坡治理工程验收资料应包括下列内容：

- 1 施工记录、隐蔽工程检查验收记录和竣工图。
- 2 治理工程与周围建(构)筑物位置关系图。
- 3 原材料出厂合格证、场地材料复检报告或委托试验报告。
- 4 混凝土强度试验报告、砂浆试块抗压强度试验报告。
- 5 锚杆或锚索拉拔试验等现场实体检测报告。
- 6 治理工程和周围建(构)筑物监测施工及资料分析报告。
- 7 施工质量评定和检验有关文件。
- 8 勘察设计文件及审查意见，实施以来设计变更通知、重大问题处理文件及技术会议纪要。

10.3.2 验收主持单位应组织编制竣工验收工作大纲，提出验收工作计划和准备工作要求。

10.3.3 验收主持单位应组织专家组开展现场检查和技术预验收。

10.3.4 在现场检查处理意见的整改落实基础上，验收主持单位应组织开展对现场整改情况复核，并检查相关技术文件，提出专家组意见。

10.3.5 在已完成技术预验收、满足工程验收要求的基础上，可组织召开验收会议。

10.3.7 验收成果应符合国家现行标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300 及《水电工程验收规程》NB/T 35048 的有关规定。

11 安全

11.1 一般规定

11.1.1 水库岸坡治理工程应对工程施工中可能存在的风险进行辨识、分析与评价，并根据风险辨识结果，从劳动安全、职业健康、安全文明施工、应急救援管理、环境保护等方面制定应急预案。

11.1.2 水库岸坡治理工程应对工程从业人员进行针对性的施工安全、职业健康、安全文明施工、环境保护和应急救援等专项教育和培训。

11.1.3 水库岸坡治理工程应根据风险预防要求配置应急资源，完善应急措施。

11.1.4 发生生产安全事故时应按程序进行报告、开展救援、现场保护、协助调查等。

11.1.5 施工安全应符合现行行业标准《水电水利工程施工通用安全技术规程》DL/T 5370、《水电水利工程土建施工安全技术规程》DL/T 5371、《水电水利工程施工作业人员安全操作规程》DL/T 5373、《水电水利工程施工安全防护设施技术规范》DL/T 5162的有关规定。

11.2 施工安全

11.2.1 水库岸坡治理工程应制定针对性的现场安全措施和实施方案。

11.2.2 施工现场的防护措施应满足安全施工的要求，应配置应急设施并标明位置。

11.2.3 结合工序流程应为施工人员配备安全防护装备。

11.2.4 施工前应检查和处理作业区的危石、松动岩块和松散土体，施工机具、临时加工区、施工用材应布置在安全地带。

11.2.5 在可能受洪水、山洪威胁的治理区域施工时，应加强观测和预警，发现异常情况应按应急预案组织撤离。

11.2.6 施工现场及其周围的悬崖、陡坎、深坑及临水区等危险区域应设有防护措施及警示标志。现场安全标志的使用应符合现行国家标准《安全标志及其使用导则》GB 2894的有关规定。

11.2.7 在林区和有防火要求的区域作业时，应制定防火应急措施，配备灭火设施。

11.2.8 施工脚手架平台搭设应确保排架结构安全，并设置安全应急绿色通道。脚手架平台的设计、搭设应符合现行国家标准《建筑施工脚手架安全技术统一标准》GB 51210的有关规定。

11.3 风险管控

11.3.1 水库岸坡治理风险评估应满足下列要求：

- 1** 治理前应进行全面风险评估，根据评估结果应采取相应治理措施。
- 2** 施工期应结合工程监测对水库岸坡进行动态评估。
- 3** 治理措施实施完成后，应重新进行风险评估。
- 4** 运行期宜在每年汛后进行一次评估，遭遇特大暴雨或地震后应进行评估。

11.3.2 水库岸坡治理工程可采用作业条件危险性评价法、风险矩阵法等进行风险评估，并根据评估结果进行分级管控。

附录 A 水库塌岸类型划分

表 A 水库塌岸类型划分

塌岸类型		基本特征
冲蚀磨蚀型		冲磨蚀型是在库水、风浪冲刷、地表水及其它外部营力作用下，岸坡物质逐渐被冲刷、磨蚀，然后被搬运带走，从而使岸坡坡面产生缓慢后退的一种库岸再造形式
坍塌型	冲蚀浪坎型	坍塌型是土质岸坡坡脚在库水长期作用下，基座被软化或淘蚀，岸坡上部岩土体失去平衡，从而造成局部下错或坍塌，而后被库水逐渐搬运带走的一种岸坡变形破坏方式
	坍塌后退型	
	塌陷型	
滑移型	古滑坡复活型	蓄水前，处于稳定或者基本稳定的古滑坡体，在水库蓄水进行期间，由于库水作用，整体或局部复活产生滑移变形，最终产生塌岸
	浅表部滑移型	发育于各种厚层堆积体中，由于外界条件的改变，导致岸坡体物质沿着潜在滑动面发生向江河方向的整体失稳，产生塌岸
	沿基-覆界面滑移型	基岩上覆厚层堆积体，在外界营力作用下，堆积体沿着基-覆界面发生整体性滑动的岸坡破坏形式

附录 B 水库滑坡分类与发育阶段划分

B.0.1 水库滑坡分类应按表 B.0.1 确定。

表 B.0.1 水库滑坡分类

分类依据	类 型	特征概述
成因类型	自然滑坡	自然因素如河流冲淘、降雨、冻融、地震等导致的滑坡
	工程滑坡	人类工程活动如开挖、用水排放、建筑物加载等导致的滑坡
滑面特征	顺层滑坡	顺岩体层面形成滑坡，常具有沿多层面滑动的可能
	切层滑坡	一般沿断裂结构面发生滑动
	复合型滑坡	不同类型的层面、结构面复合形成滑动面
	堆积体滑坡	多沿各种类型堆积体底面，或在堆积体内部发生弧面形滑动
	倾倒地滑坡	沿倾倒地底部岩层折断面滑动，常形成破碎滑动带
	溃屈滑坡	后缘顺层前缘鼓胀、溃屈，沿折断面形成滑动破碎带
滑动机制	推移式滑坡	主滑力在上部，推挤下部而失稳，多整体式滑动，滑速较快
	牵引式滑坡	下部先滑动，牵引上部失稳，多解体式滑动，滑速较慢
滑坡厚度	浅层滑坡	滑体厚度 ≤ 10m
	中层滑坡	10m < 滑体厚度 ≤ 25m
	深层滑坡	25m < 滑体厚度 ≤ 50m
	超深层滑坡	滑体厚度 > 50m
滑体规模	小型滑坡	滑体体积 ≤ 10 万 m ³
	中型滑坡	10 万 m ³ < 滑体体积 ≤ 100 万 m ³
	大型滑坡	100 万 m ³ < 滑体体积 ≤ 1000 万 m ³
	特大型滑坡	1000 万 m ³ < 滑体体积 ≤ 1 亿 m ³
	巨型滑坡	滑体体积 > 1 亿 m ³
物质组成	土质滑坡	由土、砂土、或土石混合体组成的边坡
	岩质滑坡	由各种结构面切割的岩体组成的边坡
滑动速度	快速滑坡	突然发生的滑坡，易造成突发性的灾害
	蠕动滑坡	坡体沿滑动面缓慢断续的滑动

B.0.2 滑坡发育阶段划分宜符合表 B.0.2 的规定。

表 B.0.2 滑坡发育阶段划分

序号	发育阶段	主要特征	稳定性系数
1	蠕变变形阶段	滑坡某一部分，一般是中部主滑段处于封闭条件下的软弱带，由于种种原因，抗剪强度降低，产生蠕变变形的阶段。此时，软弱带并未形成连续的剪切面，但由于中部滑体向前移动，引起后部岩土体产生破坏，反映在地表上，滑坡后缘处出现一些不连续的弧形拉张裂缝，呈张开微下错状，滑坡微地貌特征不明显	1.05~1.00
2	挤压变形阶段	滑体的中部、后部继续向前移动，致使前端的抗滑部分受挤压，产生破裂面的阶段，没有抗滑段的滑坡无此阶段。此时，除抗滑段外，中、后部软弱带的剪切面已贯通，滑带业已形成，在地面上的反映为后缘的弧形拉裂隙，并有局部塌滑现象，滑坡微地貌特征相继出现	1.05~1.00
3	初滑阶段	整个滑坡沿滑动面作缓慢移动的阶段，当抗滑段滑动带一旦形成，滑坡的整个滑动带即已全部贯通，随着滑坡的缓慢移动，地面变形加剧，滑坡体结构松弛，地表纵向平均坡度降低，后缘张开裂隙错距增大，后部反倾裂缝逐渐清晰，两侧羽毛状裂纹已被错断，前缘隆起，产生放射状裂缝，并出现小量坍塌，滑坡微地貌特征比较明显，有时，在滑坡出口一带会出现带状分布的泉水和湿地，如滑坡区有树木，则会出现“醉汉林”	0.99~0.95
	剧滑阶段	即滑坡作加速移动至急剧滑动阶段。此时，滑坡体结构进一步松弛，地表纵坡更趋平缓，后缘错壁高陡，擦痕鲜明，并出现封闭洼地。前缘斜坡产生大量坍塌，滑坡微地貌特征更加清楚，有的滑坡常因舌部移动而带大量浊水，如滑动速度很大，前部可产生气浪，并伴随有声响，当滑坡中前部移动速度有差异时，则纵横裂缝错开并扩大，滑坡前缘一带可能形成垄状堆积	<1.00
4	固结阶段	滑坡停止移动后，滑体逐渐压实，滑带亦因排水而逐渐固结，强度也相应的有所增加，地表裂缝逐渐闭合，斜坡表面台坎变缓而稳定，滑壁坍塌变缓，擦痕渐趋模糊，有的新生了植被，大部分滑坡微地貌特征渐不清晰	>1.00
5	重复滑移阶段(复活阶段)	稳定固结后的滑坡，当地形、地质条件的变化，如河流的冲刷、下切，滑动面物质的风化、崩解，地震，降水，以及人类活动因素的影响都可能促使滑坡复活	1.00~0.95

附录 C 水库塌岸防护方案

表 C 水库塌岸防护方案

塌岸模式	冲刷强度	建议防护方案	适用条件
冲磨蚀型	弱	散抛石；水下抛石+坡面植被防护	缓坡
	强	水下抛石+点砌石或混凝土模块护坡；水下抛石+浆砌石或混凝土模块护坡；沉排结构	
坍塌型	弱	垂直护岸+坡脚防冲；格构+点砌石或浆砌石+坡脚防冲	陡坡
	强	垂直护岸+坡脚防冲；格构+点砌石或浆砌石+坡脚防冲；垂直护岸	
滑移型	-	支挡结构+护坡+坡脚防冲+排水，支挡结构可选抗滑挡土墙、钢板桩、微型桩；削坡压脚+护坡+坡脚防冲+排水	浅层滑移
	-	深层整体滑移型塌岸防治宜按滑坡处理。	深层滑移
流土型	-	渗水盲沟+坡式护岸+坡脚防冲	缓坡
	-	渗水盲沟+垂直护岸+坡脚防冲	陡坡

附录 D 水库滑坡治理方案

表 D 水库滑坡治理方案

治理原理	治理方案	采用措施	布置原则及部位	适用条件	
减少滑动力	地表排水	树枝状排水沟	滑坡体范围内的自然沟谷位置	所有土质滑坡	
		岸坡渗沟、盲沟	滑坡体前缘的岸坡上	排除滑坡体前缘的浅层地下水	
	浅层地下水排水	暗沟及连接暗沟的排水沟、排水砂井等	滑坡体内外的封闭积水处或有深层地下承压水处	排除浅层积水或深层地下承压水	
		长水平排水孔	排水孔应穿过滑面	土质滑坡、岩质滑坡排水滞水及潜水	
	深层地下水排水	排水隧洞或洞孔联合	布置在滑床内	岩质滑坡，排出深层滑床内的承压水	
		竖向排水孔、井	排水孔垂直滑坡轴线布置排水井群平行滑坡轴线布置	排水量大的滑坡降低承压水压力、潜水水位	
		降压管井	需降低承压水部位		
	截水	地表截水	环形截水沟	滑坡可能发展的边界以外不小于 2m 处	拦截或旁引流向滑坡体的地表水
		地下截水	截水渗沟、盲沟		拦截和旁引滑坡体范围外的地下水
			截水隔渗帷幕		拦截滑坡体范围外的地下水
削坡减载	开挖减载，减缓坡面总坡度	滑坡体后缘	适用于推移式滑坡，减少下滑推力		
增加抗滑力	压脚	填筑压坡、压脚马道	滑坡体的抗滑地段	增加抗滑力，防止库水冲刷	
	挡土墙	重力式挡土墙	滑坡体前缘以外，滑面出露部位	依靠挡土墙自重及墙后填土阻止滑坡体下滑	
	抗滑系统	抗滑桩、抗剪洞、抗滑沉井	滑坡体内或前缘适当位置	依靠桩、洞的锚固抗剪作用支撑滑坡体	
	锚固系统	预应力锚索、锚杆、格构锚固	布置在阻滑段及主滑段坡面，锚杆或锚索进入稳定滑床内	可用于软土滑坡以外的各类滑坡	

本规程用词说明

- 1 为便于在执行本规程条文时区别对待，对于要求严格程度不同的用词说明如下：
 - 1) 表示很严格，非这样做不可的：
正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”。
 - 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的。
正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。
 - 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。
 - 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。
- 2 条文中指定应按其他有关标准执行的写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 《水力发电工程地质勘察规范》 GB 50287
- 《建筑工程施工质量验收统一标准》 GB 50300
- 《建筑施工脚手架安全技术统一标准》 GB 51210
- 《预应力混凝土用钢绞线》 GB/T 5224
- 《水电工程水库区工程地质勘察规程》 NB/T 10131
- 《水电工程验收规程》 NB/T 35048
- 《水电工程边坡设计规范》 NB/T 10512
- 《水电工程边坡工程地质勘察规程》 NB/T 10513
- 《水工混凝土结构设计规范》 DL/T 5057
- 《水电水利工程预应力锚索施工规范》 DL/T 5083
- 《水电水利基本建设工程单元工程质量等级评定标准 第1部分：土建工程》
DL/T 5113.1
- 《水工混凝土施工规范》 DL/T 5144
- 《水电水利工程施工安全防护设施技术规范》 DL/T 5162
- 《水电工程预应力锚固设计规范》 DL/T 5176
- 《水电水利工程锚喷支护施工规范》 DL/T 5181
- 《水电水利工程施工通用安全技术规程》 DL/T 5370
- 《水电水利工程土建施工安全技术规程》 DL/T 5371
- 《水电水利工程施工作业人员安全操作规程》 DL/T 5373

中华人民共和国能源行业标准

水电工程水库塌岸与滑坡治理技术规程

NB/T 10497—2021

条文说明

制定说明

《水电工程水库塌岸与滑坡治理技术规程》NB/T 10497-2021，经国家能源局 2021 年 1 月 7 日以第 1 号公告批准发布。

本规程制定过程中，编制组在广泛调查、深入研究的基础上，总结了水电工程水库滑坡及塌岸防治方面的实践经验，同时吸收了近年来所取得的相关科技成果，并向有关设计、科研、建设和施工单位征求了意见。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本规程时能正确理解和执行条文规定，《水电工程水库塌岸与滑坡治理技术规程》编制组按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中应注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与规程正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握规程规定的参考。

目 次

1	总则.....	46
3	基本规定.....	46
4	勘察技术要求.....	47
4.1	一般规定.....	47
4.2	水库塌岸.....	47
4.3	水库滑坡.....	48
4.4	变形体.....	48
5	水库岸坡治理分级与设计安全系数.....	49
5.1	水库岸坡治理分级.....	49
5.2	治理设计安全标准.....	51
6	治理工程设计.....	57
6.1	一般规定.....	57
6.2	稳定性分析计算.....	57
6.3	水库岸坡治理方案选择.....	61
7	治理工程措施.....	63
7.2	削坡减载及压脚.....	63
7.3	排水工程.....	63
7.4	坡面防护.....	64
7.6	预应力锚固.....	65
7.7	抗滑桩.....	65
7.8	抗剪洞与锚固洞.....	65
8	治理工程施工.....	67
8.2	施工组织.....	67
9	监测.....	68
9.3	监测布置.....	68
9.4	监测资料分析.....	68

1 总则

1.0.1 本规程主要针对由于水库蓄水形成的涉水或部分涉水塌岸、滑坡及变形体的治理，不涉水的相应岸坡可以按现行国家标准《滑坡防治设计规范》GB/T 38509-2020 执行。

1.0.2 行业标准《水电工程边坡设计规范》NB/T 10512-2021对危及水工建筑物安全的水库边坡以及对工程运行有影响的河道边坡的治理设计进行了规定。对于不危及水工建筑安全，但影响水库区城镇、居民点、企业及重要设施和专项工程安全的水库塌岸、水库滑坡及变形体的治理设计只能参照执行，但由于保护对象不同，治理设计的侧重点不同，难以保证塌岸、滑坡、变形体治理工程的安全性和经济合理性。因此，本规程对《水电工程边坡设计规范》NB/T 10512-2021适用范围以外的水库塌岸、水库滑坡和变形体等的治理技术进行了规定。

3 基本规定

3.0.3 水库岸坡治理设计需要收集的基本资料包括地形、地质、地震、水文、气象、施工及水库特性资料等，其中水库特性资料包括水库初期发电水位、水库正常蓄水位、水库校核水位、水库死水位等。

3.0.6 动态设计主要根据治理工程实施中岸坡变形和地下水动态监测资料、地质编录资料，进行监测资料分析反馈和地质预测预报，当变形值超过预警值或变形速率持续加大或地质条件变化较大，需复核其稳定性，及时调整和修改设计方案，实现治理工程动态设计。动态设计的关键是有效的监测系统。

3.0.7 对于规模大或治理难度大的岸坡，需要进行稳定性、失稳方量、涌浪及壅水风险、堵江风险等深入分析研究，确定影响范围、危害程度、威胁对象等，结合安全监测、预测预报成果，掌握岸坡变形发展趋势，确定是否开展分批、分期治理。

3.0.10 治理设计鼓励采用新技术、新方法、新结构、新材料，以提高水库塌岸、滑坡与变形体治理技术水平，但需要对其适用性进行分析研究。

4 勘察技术要求

4.1 一般规定

4.1.2 水库岸坡勘探剖面需结合地质条件，水库塌岸、水库滑坡、变形体分区，沿主滑方向布置，且尽可能与稳定性分析计算剖面一致。水库塌岸、水库滑坡、变形体的分区根据变形破坏机制、失稳模式及稳定性划分。

4.2 水库塌岸

4.2.1 水库塌岸模式是在水库蓄水运行期间，不同类型、不同结构的岸坡以某种特定的变形破坏方式完成岸坡再造演化的过程，不同的塌岸模式具有不同的机理和预测方法。

根据已经发生的塌岸调查结果，山区河流水库主要以滑移型和坍塌型为主，分别占 37.8%和 38.5%，冲蚀磨蚀型和流土型共占 23.7%。

4.2.3 塌岸规模根据最终塌岸体积按表 4-1 确定。塌岸的强烈程度根据最终塌岸宽度、长度或高度，符合其中之一者采取就高原则，按表 4-2 确定。

表 4-1 塌岸规模划分表

规模分级	体积 V (m^3)	塌岸模式
小型	<1000	流土型、冲蚀磨蚀、坍塌型
中型	$1000 \leq V < 10000$	坍塌型、滑移型
大型	$10000 \leq V < 50000$	滑移型
巨型	$V \geq 50000$	滑移型

表 4-2 塌岸强烈程度

塌岸强烈程度	长度 L (m)	宽度 B (m)	高度 H (m)
轻微	$L < 100$	$B < 20$	$H < 10$
中等	$100 \leq L < 300$	$20 \leq B < 40$	$10 \leq H < 20$
较强烈	$300 \leq L < 1000$	$40 \leq B < 100$	$20 \leq H < 50$
强烈	$L \geq 1000$	$B \geq 100$	$H \geq 50$

对搜集的已建成水库近 400 个塌岸预测成果按塌岸长度、塌岸宽度、塌岸高度和塌岸体积分别进行统计分析如下：

(1) 按塌岸长度统计的 256 个样本中，长度小于 100m 的有 61 个，占 23.8%；长度 100 m~300 m 的共 105 个，占 41.0%；长度 300 m~1000 m 的共 65 个，占 25.4%；长度大于 1000 m 的共 25 个，占 9.8%。

(2) 按塌岸宽度统计的 356 个样本中, 宽度小于 20 m 的有 71 个, 占 19.9%; 宽度 20 m~40 m 的共 146 个, 占 41.0%; 宽度 40 m~100 m 的共 81 个, 占 22.8%; 宽度大于 100 m 的共 58 个, 占 16.3%。

(3) 按塌岸高度统计的 188 个样本中, 高度小于 10m 的有 22 个, 占 11.7%; 高度 10 m~20 m 的共 49 个, 占 26.1%; 高度 20 m~50 m 的共 64 个, 占 34%; 高度大于 50 m 的共 53 个, 占 28.2%。

(4) 按塌岸方量统计的 126 个样本中, 方量小于 1000 m³ 的共 26 个, 占 20.6%; 方量 1000 m³~10000 m³ 的共 37 个, 占 29.4%; 方量 10000 m³~50000 m³ 的共 33 个, 占 26.2%; 方量大于 50000m³ 的共 30 个, 占 23.8%。

4.3 水库滑坡

4.3.2 滑带土抗剪强度参数取值时, 根据水库蓄水按天然状态、饱和状态和暴雨状态等工况考虑; 饱和状态下抗剪强度参数按饱和度 100%给出, 暴雨状态滑带土的参数在天然状态和饱和状态之间按照一定的系数折减给出。通过滑带室内重塑试验, 获得滑带土含水量与抗剪强度参数之间的相关关系, 进而得到滑带不同部位、不同含水量时的抗剪强度参数, 用于滑坡稳定分析计算。

参数的反演基于滑坡处于稳定临界状态或变形破坏阶段, 对于开始发生变形但尚未整体滑动的滑坡, 界定为蠕滑和挤压阶段, 假定其稳定系数介于 1.05~1.00 之间; 对于滑动阶段, 假定稳定系数介于 0.95~0.99; 剧滑阶段, 强度降低到残余值强度, 稳定系数小于 1.0。并以此反演滑带力学参数。

反演时先假定 C 值不变, 分别计算 ϕ 值变化时的稳定性系数; 而后假定 ϕ 值不变, 计算 C 值变化时的稳定性系数, 进行参数敏感度分析, 确定最优的参数组合。

4.4 变形体

4.4.2 变形体的变形破坏模式包括滑动、倾倒、溃屈、拉裂、崩塌等。

5 水库岸坡治理分级与设计安全系数

5.1 水库岸坡治理分级

5.1.1~5.1.3 本规程治理工程等级划分主要考虑水库岸坡失稳后对城市、集镇、居民点、企业、设施和重要专项工程等的危害程度作为依据。

当水库岸坡失稳产生的涌浪可能危及枢纽区水工建筑物安全时，按现行行业规范《水电工程边坡设计规范》NB/T 10512-2021 中 B 类水库区边坡等级进行划分。

当水库岸坡失稳直接影响库区移民安置区的布置规划及实施时，按现行行业规范《水电工程移民安置区工程地质勘察规程》NB/ T 35085-2016 中水库移民安置点重要性（表 5-1）、移民安置工程规模等级（表 5-2）进行划分。

表 5-1 《水电工程移民安置区工程地质勘察规程》（NB/ T 35085-2016）重要性等级划分

重要性等级	类型
一级	各类城市 特大型集镇 规划设计有特殊抗震设防类、重点设防类建筑
二级	大、中、小型集镇 特大型农村安置区 规划设计无特殊抗震设防类、重点设防类建筑
三级	大、中、小型农村安置区 除一级、二级的其他小规模安置区

表 5-2 《水电工程移民安置区工程地质勘察规程》（NB/ T 35085-2016）工程规模等级划分（人）

规模等级	集镇安置区	农村安置区
特大型	>50000	>1000
大型	30001~50000	601~1000
中型	10001~30000	201~600
小型	≤10000	≤200

现行国家标准《滑坡防治工程勘查规范》GB/T 32864-2016（表 5-3）、《滑坡防治设计规范》GB/T 38509-2020（表 5-4 和表 5-5）等规范按危害对象、威胁人数、受灾程度、施工难度等划分防护工程等级。现行国家标准《建筑工程边坡工程技术规范》（GB 50330-2013）按边坡类型、岩体结构、坡高等、边坡损坏后造成的后果的严重性进行了分级。

表 5-3 《滑坡防治工程勘查规范》(GB/T 32864-2016) 滑坡防治工程等级划分

滑坡防治工程等级		一级	二级	三级
潜在经济损失/万元		≥ 5000	$5000 >$ 且 ≥ 500	< 500
威胁对象	威胁人数/人	≥ 500	$500 >$ 且 ≥ 100	< 100
	工矿交通设施等	重要	较重要	一般
注：满足潜在经济损失或威胁对象中的其中之一条，即划分为相对应的防治工程等级				

表 5-4 《滑坡防治设计规范》(GB/T 38509-2020) 滑坡防治工程等级

滑坡防治工程等级		特级	I 级	II 级	III 级
威胁对象	威胁人数/人	≥ 5000	≥ 500 且 < 5000	≥ 100 且 < 500	< 100
	威胁设施	非常重要	重要	较重要	一般

表 5-5 《滑坡防治设计规范》(GB/T 38509-2020) 受滑坡威胁设施重要性分类表

重要性	设施类别
非常重要	放射性设施、核电站，大型地面油库，危险品生产仓储，重要政治设施，重要军事设施等
重要	城市和城镇重要建筑（含 30 层以上的高程建筑），国家级风景名胜区、著名寺庙、高等级公路，铁路、机场、学校、大型水利水电工程、电力工程、大型港口码头、矿山，油（气）管道和储油（气）库等
较重要	城市和城镇一般建筑、居民聚居区，省级风景名胜区、知名寺庙、边境口岸、普通二级（含）以下公路，中型水利水电工程、电力工程、通讯工程、港口码头、矿山，城市集中供水水源地等
一般	居民点、小型水利水电工程、电力工程、通讯工程、港口码头、矿山，乡镇集中供水水源地、村道等
注：表中未列项目可根据有关技术标准和规定按大、中、小型分别确定其重要性。大型为重要、中型为较重要、小型为一般。	

表 5-6 《建筑工程边坡工程技术规范》(GB 50330-2013) 建筑工程边坡工程等级划分

边坡类型		边坡高度 H (m)	破坏后果	安全等级
岩质边坡	岩体类型为 I 类或 II 类	$H \leq 30$	很严重	一级
			严重	二级
			不严重	三级
	岩体类型为 III 类或 IV 类	$15 < H \leq 30$	很严重	一级
			严重	二级
			不严重	三级
土质边坡	$H \leq 15$	很严重	一级	
		严重	二级	
		不严重	三级	
	$10 < H \leq 15$	很严重	一级	
		严重	二级	
		不严重	三级	
$H \leq 10$	很严重	一级		
	严重	二级		
	不严重	三级		

注： 1 一个边坡工程的各段，可根据实际情况采用不同的安全等级；
2 对危害性极严重、环境和地质条件复杂的边坡工程，其安全等级应根据工程情况适当提高；
3 很严重：造成重大人员伤亡或财产损失；严重：可能造成人员伤亡或财产损失；不严重：可能造成财产损失。

目前大多数现行规范考虑岸坡自然属性，以及岸坡失稳后造成的后果，包括人的生命、经济损失、产生的不良社会影响、施工难度等进行了分级，也是目前国内所实行规范中相对成熟的一种分类分级方法。现代社会更加注重和尊重人的生命，岸坡失稳后产生的人员伤亡情况，往往会直接体现在社会影响各个方面。

本规程涉及到库区城市、集镇、居民点、企业、设施和重要专项工程等，因此本规程直接根据水库塌岸、滑坡及变形体的危害程度及威胁人数进行分级，主要考虑水库岸坡失稳对人员生命安全的影响，要更加体现“以人为本”，危害人数参考《滑坡防治设计规范》(GB/T 38509-2020)规定。

5.1.4 水库库岸可能还涉及到库区的交通道路，电力工程，水利工程等，这些行业内均有相应规范。比如《公路路基设计规范》(JTGD 030-2015)中路堑边坡根据公路的等级确定边坡安全系数要求；电力工程边坡需符合《110kV~750kV 架空输电线路设计规范》(GB 50545-2010)的规定；水利行业标准《水利水电工程边坡设计规范》(SL386-2007)直接根据边坡所影响建筑物级别、边坡对建筑物的危害程度等因素，对边坡的级别进行了五级划分。

5.2 治理设计安全标准

5.2.1 根据调研和工程经验成果，现有水电工程水库滑坡治理设计安全标准大多采用《水电工程边坡设计规范》NB/T 10512 中 B 类水库边坡的安全系数，但该规范主要针对影响水工建筑物安全的岸坡。本规程主要针对影响库区城市、集镇、居民点、企业、设施和重要专项工程等安全的岸坡，参考已完成治理的工程实例及各行业规范中滑坡治理设计安全系数(表 5-7~表 5-19)，考虑到水库滑坡的特点及“以人为本”的治理理念，经充分论证后给出了本规范的设计安全标准。

(1) 水库滑坡治理工程实例

表 5-7 为调查收集的水库滑坡治理设计安全标准实例。已有水库滑坡治理采用的设计安全系数 I 级：持久工况 1.2~1.25，短暂工况 1.15，偶然工况 1.15~1.05；II 级：持久工况 1.2~1.15，短暂工况 1.2~1.05，偶然工况 1.05；III 级：持久工况 1.15~1.10，

短暂工况 1.05~1.02，偶然工况 1.02。

表 5-7 水库滑坡治理工程设计安全标准实例统计表

治理等级	工程名称	安全系数		
		持久工况	短暂工况	偶然工况
I	山西 TH 水库滑坡	1.2	1.15	1.05
	SX 库区万州和平广场滑坡	1.20	1.15	
	SX 库区万州区关塘口滑坡	1.25	1.15	1.15
	SX 库区奉节县向家淌滑坡	1.25	1.15	1.05
II	SX 库区白衣庵滑坡群	1.2	1.15~1.2	
	鹅公带古滑坡体防治	1.15	1.10	
	SX 库区丰都县某滑坡	1.15	1.05	1.05
III	PBG 电站库区鹞子岩 2 号边坡	1.10	1.02	1.02
	四川德阳 LF 水库西岸滑坡	1.15	1.05	1.02

(2) 水电边坡设计规范

水电边坡设计规范，持久工况的安全系数取值：19 个水库边坡中，设计安全系数为 1.1~1.25 的 17 个占 90%，小于 1.1 的 1 个占 5%，大于 1.25 的 1 个占 5%；17 个河道及其他边坡中，设计安全系数为 1.05~1.20 的 13 个占 76%，小于 1.05 的 1 个占 6%，大于 1.20 的 3 个占 18%。《水电工程边坡设计规范》NB/T 10512-2021 中关于抗滑稳定安全设计系数的标准见表 5-8。但该规范主要以危及水电工程枢纽建筑物安全为对象，与本规程涉及对象不同。

表 5-8 水电工程边坡设计规范边坡抗滑稳定设计安全系数

级别	B 类水库边坡			C 类河道边坡		
	持久工况	短暂工况	偶然工况	持久工况	短暂工况	偶然工况
I	1.25~1.15	1.15~1.05	1.05	1.20~1.10	1.10~1.05	1.05
II	1.15~1.05	1.10~1.05	1.05~1.00	1.10~1.05	1.05~1.02	1.02
III	1.10~1.05	1.05~1.00	1.00	1.05~1.02	1.02~1.00	1.00

(3) 水利水电工程边坡设计规范

《水利水电工程边坡设计规范》SL 386-2007 中关于边坡抗滑稳定安全设计系数的标准见表 5-9。

表 5-9 水利水电工程边坡设计规范抗滑稳定安全系数标准

运用条件	边坡级别				
	1	2	3	4	5
正常运用条件	1.30~1.25	1.25~1.20	1.20~1.15	1.15~1.10	1.10~1.05
非常运用条件 I	1.25~1.20	1.20~1.15	1.15~1.10	1.10~1.05	
非常运用条件 II	1.15~1.10	1.10~1.05		1.05~1.00	

表中正常运用条件为水库水位处于正常蓄水位和设计洪水位与死水位之间的各种水位及其经常性降落；

非常运用条件 I 包括水位的非常降落、校核洪水位及其水位降落、降雨和其他原因引起的边坡体饱和及相应的地下水位变化、正常运用条件下边坡体排水失效等；

非常运用条件 II 为正常运用条件下遭遇地震。

水库滑坡和塌岸按对水工建筑物的影响，可以类比为表中3级、4级、5级边坡。

(4) SX库区三期地质灾害防治工程设计技术要求

SX 库区三期地质灾害防治工程设计技术要求中滑坡抗滑稳定安全系数取值见表 5-10。

表 5-10 SX 库区滑坡防治工程设计荷载组合及抗滑稳定安全系数

工程	水库运行水位	荷载组合	荷载组合内容	最小安全系数			涉水滑坡点位处水位线
				I	II	III	
涉水工程	静止水位	荷载组合 (1)	自重+地表荷载+水库特征水位+ N 年一遇暴雨	1.25	1.20	1.15	坝前水位接 11 月份 20 年一遇洪水水面线
		荷载组合 (2)	自重+地表荷载+水库特征水位+ N 年一遇暴雨	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 汛期 20 年一遇洪水水面线
	水位降落	荷载组合 (3)	自重+地表荷载+水库水位从 175.0m 降至 145.0m+N 年一遇暴雨	1.20	1.15	1.10	坝前水位接 11 月份 20 年一遇洪水水面线
		荷载组合 (4)	自重+地表荷载+水库水位从 162.0m 降至 145.0m+N 年一遇暴雨	1.20	1.15	1.10	坝前水位接汛期 50 年一遇洪水水面线
非涉水工程		荷载组合 (5)	自重+地表荷载+N 年一遇暴雨	1.20	1.15	1.10	

注：上表源自《SX库区三期地质灾害防治工程设计技术要求》。

(5) 《滑坡防治设计与施工技术规范》DZT0219-2006

国土部门《滑坡防治设计与施工技术规范》中滑坡抗滑稳定设计安全系数取值见表 5-11。

表 5-11 滑坡抗滑稳定设计安全系数取值表

防治等级	设计		校核	
	工况 I	工况 II (持久)	工况 III (短暂)	工况 IV (偶然)
I 级	1.30~1.40	1.20~1.30	1.10~1.15	1.10~1.15
II 级	1.25~1.30	1.15~1.30	1.05~1.10	1.05~1.10
III 级	1.15~1.20	1.10~1.20	1.05~1.02	1.05~1.02

工况 I—自重；工况 II—自重+地下水；工况 III—自重+暴雨+地下水；工况 IV—自重+地震+地下水。

(6) 《滑坡防治设计规范》GB/T 38509-2020

《滑坡防治设计规范》中滑坡抗滑稳定设计安全系数取值见表 5-12。

表 5-12 滑坡抗滑稳定设计安全系数取值表

防治等级	设计	校核		
	工况 I (持久)	工况 II (短暂)	工况 III (偶然)	工况 IV
I 级	1.30	1.25	1.15	1.05
II 级	1.25	1.20	1.10	1.02
III 级	1.20	1.15	1.05	不考虑

工况 I—基本荷载；工况 II—基本荷载+暴雨荷载；工况 III—基本荷载+地震荷载；工况 IV—基本荷载+暴雨荷载+地震荷载。

对于 III 级滑坡防治工程，不考虑工况 IV，即基本荷载和暴雨、地震组合荷载

(7) 《建筑边坡工程技术规范》GB 50330-2013

《建筑边坡工程技术规范》中边坡稳定安全系数见表 5-13。

表 5-13 边坡稳定安全系数取值表

		一级	二级	三级
		永久边坡	一般工况	1.35
	地震工况	1.15	1.10	1.05

(8) 《重庆地质灾害防治工程设计规范》DB 50/5029-2004

《重庆地质灾害防治工程设计规范》中滑坡抗滑稳定设计安全系数取值见表 5-14。

表 5-14 水库滑坡治理工程设计安全系数

治理等级	安全系数		
	持久工况	短暂工况	偶然工况
I	1.25		1.20
II	1.15		1.10
III	1.05		1.00

(9) SX 水库塌岸

根据收集的 SX 水库区塌岸防护采用的设计安全系数见表 5-15。

表 5-15 SX 水库塌岸治理工程设计安全系数

治理等级	安全系数		
	持久工况	短暂工况	偶然工况
I	1.25		1.05
II	1.15		1.05
III	1.05		1.05

(10)《水电工程移民安置区工程地质勘察规程》NB/T 35085-2016

移民安置区场地内及场地外围边坡抗滑稳定安全系数见表 5-16 和表 5-17。

表 5-16 场地内边坡稳定安全系数

重要性等级	持久工况	短暂工况	偶然工况
一级	1.35	1.25	1.15
二级	1.30	1.20	1.10
三级	1.25	1.15	1.05

表 5-17 场地外围边坡稳定安全系数

重要性等级	持久工况	短暂工况	偶然工况
一级	1.25	1.15	1.10
二级	1.20	1.10	1.05
三级	1.15	1.05	1.02

表 5-18 滑（边）坡治理工程设计安全系数汇总

治理等级	规范名称	安全系数		
		持久工况	短暂工况	偶然工况
I	工程实例统计	1.25~1.20	1.15	1.05
	水电工程边坡设计规范 B 类边坡	1.25~1.15	1.15~1.05	1.05
	水利水电工程边坡设计规范	1.20~1.15	1.15~1.10	1.10~1.05
	SX 库区滑坡防治工程技术要求	1.25		
	滑坡防治设计与施工技术规范	1.30~1.20	1.15~1.10	1.15~1.10
	滑坡防治设计规范	1.30	1.25	1.20
	建筑边坡工程技术规范		1.35	1.20
	重庆地质灾害防治工程设计规范		1.25	1.10
	SX 水库塌岸防治工程		1.25	1.05
	水电工程移民安置区工程地质勘察规程	1.35	1.25	1.15
	最大值	1.35	1.35	1.20
	最小值	1.15	1.05	1.05
	本规程采用	1.30~1.20	1.20~1.15	1.10~1.05
II	工程实例统计	1.20~1.15	1.20~1.05	1.05
	水电工程边坡设计规范 B 类边坡	1.15~1.05	1.10~1.05	1.05~1.00
	水利水电工程边坡设计规范	1.15~1.10	1.10~1.05	1.05~1.00
	SX 库区滑坡防治工程技术要求	1.20		
	滑坡防治设计与施工技术规范	1.30~1.15	1.10~1.05	1.10~1.05
	滑坡防治设计规范	1.25	1.20	1.15
	建筑边坡工程技术规范		1.30	1.10
	重庆地质灾害防治工程设计规范		1.15	1.10
	SX 水库塌岸防治工程		1.15	1.05
	水电工程移民安置区工程地质勘察规程	1.30	1.20	1.15
	最大值	1.30	1.30	1.15
	最小值	1.05	1.05	1.05

	本规程采用	1.20~1.15	1.15~1.10	1.05
III	工程实例统计	1.15~1.10	1.05~1.02	1.02
	水电工程边坡设计规范 B 类边坡	1.10~1.05	1.05~1.00	1.00
	水利水电工程边坡设计规范	1.10~1.00	1.10~1.05	1.05~1.00
	SX 库区滑坡防治工程技术要求	1.15		
	滑坡防治设计与施工技术规范	1.20~1.10	1.05~1.02	1.05~1.02
	滑坡防治设计规范	1.20	1.15	1.05
	建筑边坡工程技术规范		1.25	1.05
	重庆地质灾害防治工程设计规范		1.05	
	SX 水库塌岸防治工程		1.05	1.05
	水电工程移民安置区工程地质勘察规程	1.25	1.15	1.05
	最大值	1.25	1.10	1.05
	最小值	1.05	1.00	1.00
	本规程采用	1.15~1.10	1.10~1.05	1.02

本规程对 I 级治理工程的设计安全系数的大值主要考虑场地岸坡以及城市、集镇、居民点等建筑物岸坡，综合考虑其他行业标准后，取 1.30。

5.2.3 水库库岸可能还涉及到库区的交通道路，电力工程，水利工程等，其安全系数参考相关规范。比如《公路路基设计规范》(JTGD030-2015)路堑边坡根据公路的等级确定边坡安全系数要求；水利行业标准《水利水电工程边坡设计规范》(SL386-2007)根据边坡所影响建筑物级别、边坡对建筑物的危害程度等因素确定边坡安全系数；铁路边坡设计主要依据建筑边坡规范。

6 治理工程设计

6.1 一般规定

6.1.2 水库水位消落变动带的存在，使得岸坡水文地质条件大大改变，部分岩土体含水量由不饱和转为饱和，这将导致岩土体的物理和化学特性发生变化，抗剪强度大幅度下降，进而导致岸坡稳定性降低，主要表现在四个方面：第一，将导致岸坡中的地下水静、动水压力发生巨大变化；第二，岸坡内的地下水在快速渗入渗出时产生的渗透压力将进一步破坏岩土结构，使岸坡的稳定性下降；第三，由于地表水和地下水潜蚀、溶滤、软化作用，使岸坡出现软化变形，形成滑坡或塌岸；第四，岸坡的节理裂隙、层面及软弱夹层形成的软弱结构面在地下水浸泡及动、静水压力下，抗剪强度将大幅度下降。

水库塌岸、滑坡及变形体的消落带内的植物护坡，当坡度平缓的地段可以种植池杉、落雨杉、垂柳等挺水植物，以提高土地利用率，增加库岸抗浪蚀能力，并形成“水上森林”、“水中树”的独特旅游景观。水库消落带按库水涨落深度分为微淹型(<5m)、浅水型(5 m~1 0m)，中度水深型(10 m~20 m)、深水型(20 m~30 m)和超深型(>30 m)。消落带内也可以种植疏花水柏枝、中华蚊母、芦苇、芭茅草、丁香蓼、狗牙根草、芦荻、五节芒等生命力顽强的湿生植物，以绿化水库两岸夏季低水位运行时裸露的消落带，使库区消落带的环境更加优美。浅水型可以考虑种植既适应陆生环境，又适应短暂水生环境生长的植物。

6.2 稳定性计算分析

6.2.2 水库蓄水过程中，库水向库岸内渗流并引起地下水位壅高，改变岸坡内地下水渗流状态，岩土体物理力学特性也将变化，并影响岸坡稳定性。水库放空时，库水位在短期内有大幅度的降落，汛期洪水也有暴涨暴落的情况，可能引起地下水作用的强烈变化，导致岸坡失稳或诱发老滑坡复活。稳定性分析时需要充分考虑水库水位消落骤降对岸坡内地下水渗流的影响，水库水位骤降时地下水排出速度较慢，地下水位下降速度小于库水位下降速度，一般按非稳定流进行渗流计算。最极端的是假定库水位已降到死水位而原库水位以下岸坡完全饱和，其次是假设地下水位线明显偏高的情况，可以根据岸坡岩

土体的渗透系数大致估算或凭经验确定。

库水位变化时岸坡地下水位非稳定流计算：

(1) 库区地下水水位上升时，地下水位浸润线按下式计算（图6 -1）：

$$y_{x,t} = y_{0,t} \sqrt{F(\lambda)}$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{x^2}{4\alpha t}}$$

$$\alpha = Kh_m / \mu$$

$$h_m = y_{0,t} / 2$$

式中： $y_{0,t}$ —上升后的库水位（从隔水层顶面起算）(m)；

$y_{x,t}$ —库水位上升后计算点的地下水位（从隔水层顶面起算）(m)；

$F(\lambda)$ —库水位对地下水的影响系数，按表6-1取值；

t —库水位上升所经历的时间 (s)；

α —导水系数 (m²/s)；

K —渗透系数 (m/s)；

h_m —含水层厚度(m)；

μ —给水度，无试验资料时按表6-2 取值；

x —水位上升后计算点到库岸距离 (m)。

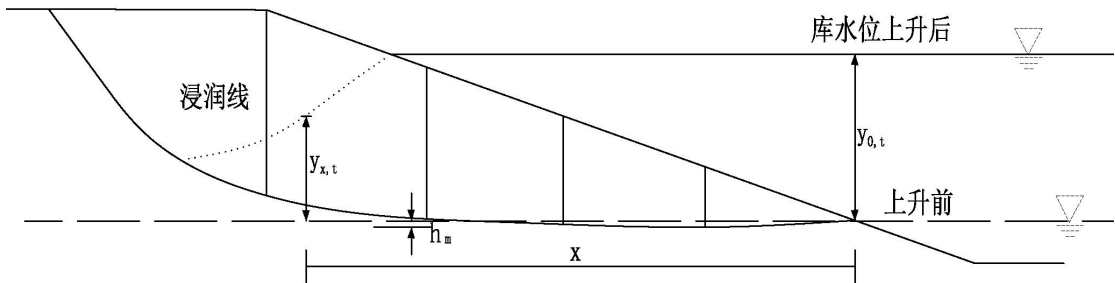


图6-1 库区地下水上升与岸坡地下水位浸润线变化示意图

(2) 库区地下水水位下降时，如库区地下水水位下降前水位与地下水位相同，地下水位浸润线按下式计算（图6-2）：

$$y_{x,t} = y_{0,0} [1 - F(\lambda)]$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{x^2}{4at}}$$

$$\alpha = Kh_m / \mu$$

$$h_m = y_{0,0} / 2$$

式中： $y_{0,0}$ —下降前的库水位（从隔水层顶面起算）(m)；

$y_{x,t}$ —库水位下降后计算点的地下水位（从隔水层顶面起算）(m)；

t —库水位下降所经历的时间 (s)；

x —水位下降后计算点到库岸距离 (m)

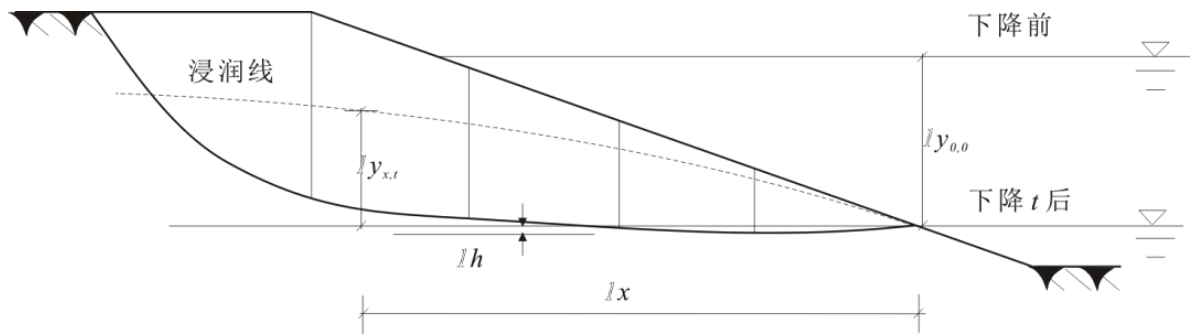


图6-2 库区地下水水位下降与岸坡地下水水位浸润线变化示意图

表6-1 库水位对地下水水位的影响系数 $F(\lambda)$

λ	$F(\lambda)$	λ	$F(\lambda)$	λ	$F(\lambda)$
0.03162	0.9643	0.2000	0.7731	1.0000	0.1573
0.0400	0.9549	0.2449	0.7291	1.1400	0.1069
0.0500	0.9436	0.2828	0.6892	1.265	0.0736
0.06325	0.9287	0.3162	0.6548	1.378	0.0513
0.07746	0.9128	0.4000	0.5716	1.483	0.0359
0.08944	0.8994	0.5000	0.4795	1.581	0.0254
0.10000	0.8875	0.6325	0.3711	1.643	0.0202
0.1265	0.8580	0.7746	0.2733	1.732	0.0143
0.1581	0.8231	0.8944	0.2059	1.789	0.0114

表6-2 不同岩土体的渗透系数、孔隙率和给水度

土 类	渗透系数 (cm/s)	孔隙率	给水度
-----	-------------	-----	-----

砾	240	0.371	0.354
粗砂	160	0.431	0.338
砂砾	7.6×10^{-1}	0.327	0.251
砂砾	1.7×10^{-1}	0.265	0.182
砂砾	7.2×10^{-2}	0.335	0.161
中粗砂	4.8×10^{-2}	0.394	0.180
砂砾	2.4×10^{-3}	0.302	0.078
中细砂 (d ₅₀ =0.2mm)	$1.1 \times 10^{-3} \sim 6.1 \times 10^{-3}$	0.438~0.392	0.074~0.039

暴雨入渗深度主要受降雨量大小及强度、气候条件、地形地貌、地表植被、岩土体渗透性及初始含水率等因素影响，一般很难准确得出。一般根据设计暴雨强度，按照稳定渗流进行初步估算，并结合坡面裂隙分布情况，按照最大可能入渗深度考虑。对于 I 级、II 级治理工程，应该进行原位降雨渗入试验来确定。

6.2.3 《水电工程边坡设计规范》NB/T 10512-2021 编制时，调研了国内近年设计的 61 个水电工程边坡，25 个 A 类 I 级边坡中 19 个采用了 50 年超越概率 5% 以上的抗震设防水准，占比达 76%；36 个 A 类 II 级及以下、B 类 I 级及以下的边坡中，29 例采用了 50 年超越概率 10% 的设防标准，占比 80.6%。对于 11 个 B 类 I 级边坡，有 8 例采用了 50 年超越概率 10% 的设防标准，占比 72.7%。

《水电工程边坡设计规范》NB/T 10512-2021 危及对象为水工建筑物安全及运行，而本规程考虑水库库岸失稳直接影响库区城市、集镇、居民点、企业、设施和重要专项工程等，将危害人民的生命财产安全，因此本规程 I 级治理工程采用 50 年超越概率 5% 的设防标准，II 级、III 级治理工程与《水电工程边坡设计规范》NB/T 10512-2021 相同，仍采用 50 年超越概率 10% 的设防标准。

6.2.4 基本组合的水库水位是指处于正常蓄水位和设计洪水位与死水位之间的各种水位及其经常性降落。

水库初次蓄水时，原有岸坡的水文地质条件发生变化，引起浅表层饱水滑动或局部岩土体的蠕滑。由于滑面形状、滑体物质组成和结构的不同，滑体内渗流场随水位升高的变化和岩土特性的恶化等因素，导致岸坡在某一水位时，稳定系数降到最低点，这一水位就成为控制性工况，因此对于水库滑坡要验证不同水位的稳定系数。

例如，黄河上游 LJX 水库 1996 年 12 月 26 日初期蓄水，在水位从 2056m 上升到 2145m

的过程中，监测表明：坝前 I 号滑坡在水位为 2102m 时主裂缝拉张，在 2128m 时位移速率最大；II 号滑坡在 2080m 时开始明显变形，2128m~2130m 时位移速率最大。与此比较，蓄水前稳定分析预测 I、II 号滑坡稳定系数最低时的库水位分别为 2100m 和 2127.5m，与实际监测成果是很接近的。

根据《水利水电工程结构可靠度设计统一标准》规定，考虑校核水位的概率水准，将校核水位条件下相应的荷载组合作为偶然组合 II。

6.2.5 三种设计工况与《水利水电工程结构可靠度设计统一标准》规定的三种设计状态一致。短暂状况包括非正常年的雨季与汛期带来的非常荷载作用，可以根据治理工程等级选择暴雨强度重现期以及同样概率的地下水位作为短暂状况的作用；或者以最大泄量放空调节库容时的水库水位骤降情况。偶然状况指水文气象正常年遭遇地震的情况以及校核洪水位情况。地震不与短暂状况组合。

6.2.6 岸坡稳定分析经验证明：下限解中摩根斯坦—普莱斯法以及与其假设条件相同的通用极限平衡法（GLE）、陈—摩根斯坦法等，既考虑力矩平衡又考虑力平衡，属于严格解法，本规程推荐使用。传递系数法在西方（除前苏联外）工程界未见使用，但在我国铁路、建筑等行业均广泛使用，积累了较丰富的经验，该方法在滑坡后缘滑面较陡时可能发生误差，但是对岩质岸坡影响较小，本规程允许使用这两种方法。

6.3 水库岸坡治理方案选择

I 塌岸

6.3.1 水库塌岸表面防护高程上限至塌岸治理工程设计高水位，即坝前水库运行高水位的回水位+风浪爬高+安全超高；表面防护高程下限至塌岸防治工程设计低水位，即坝前水库运行低水位的回水位-风浪影响深度，并与常年枯水位相比较，选取其中较小值。

6.3.2 水库塌岸受库水冲刷时，要根据河流特性、水流性质、河道地貌、地质等因素，按表 6-3 经技术经济比较后，选用适宜的防护工程措施。

表 6-3 水库塌岸防护工程类型及适用条件

防护类型	适用条件
植物防护	用于允许流速为 1.2m/s~1.8m/s，水库经常浸水或长期浸水的岸坡不建议采用
砌石或混凝土护坡	用于允许流速为 2~8m/s 的塌岸防护

土工织物软体沉排	用于允许流速为 2~3m/s 的塌岸防护
石笼防护	用于允许流速为 4~5m/s 的塌岸防护
浸水挡土墙	用于允许流速为 5~8m/s 的峡谷急流和水流冲刷严重的库段
抛石防护	用于经常浸水且水深较大的滑坡、塌岸护脚以及挡土墙、护坡的基础防护
排桩防护	用于宽浅性平原水库塌岸的防护

散抛石范围从水库最低冲刷线以下0.5m至设计高水位(并考虑风浪和安全超高);设计低水位附近坡脚防冲(抛石);水位变动带及以上采取生态护坡,所选用的植物要求在水位低落时能经受日晒,在水位高涨时能经受淹没,如牛毛草、早熟禾、翦股颖、李氏禾、河柳等。

沉排结构有混凝土连锁板、格宾网垫或石笼整体沉排、土工混凝土模块、土工网或土工格栅石笼等。

垂直护岸形式有挡土墙、钢筋或铅丝石笼。坡脚防冲措施包括:水下抛石、抛枕、混凝土模袋、软体沉排、干砌石、浆砌石等,水下抛枕是先抛枕,后压石,枕石结合的一种护岸形式。

II 滑坡

6.3.4 根据滑坡治理经验,优先采取排水和提高自身稳定的措施,再考虑加固措施。降低地下水压力(地面防水地下排水等)和改变坡形(削头压脚等)。当这些措施一般施工时间短,易实施且效果明显,设计时要优先考虑。工程实践证明,加固措施效益投资比很小,因此改变对滑坡稳定不利的自然因素是治理方案的首选。

同一滑坡的不同分区变形破坏形式、稳定程度可能不同,因此不同分区可以采用相同的或不同的治理措施。治理工程设计要综合考虑滑坡类型、形成机制、稳定性、动力因素和变形破坏力学机制、水文地质和工程地质条件、场地建(构)筑物和施工影响等因素,分析其有利和不利因素、发展趋势及危害性,有针对性地采取工程措施进行综合治理。

7 治理工程措施

7.2 削坡减载及压脚

7.2.1 减载适用于滑坡后壁及两侧地层稳定，不会因削坡引起新的滑坡，恶化地质环境的推移式滑坡。对滑面为圆弧形、滑体后部厚度大于前缘且整体性较好的滑坡，削坡效果尤为显著。当滑体厚度大，锚固、抗滑桩等工程效果不佳时，考虑采用后方削坡方案或削锚、削挡结合方案。正在移动的滑坡体，应该首先采用削坡、压脚等工程使之减缓变形。

削坡减载前要充分了解变形破坏规模、破坏面分布及其强度，包括滑坡后缘减载、表层滑体或变形体的清除、削坡降低坡度。削坡的位置以清削顶部、后部岩土体为主，中部及前缘处一般禁止削坡。当前缘部分极为松散破碎时，可以适当清除，但需要在顶部、后部削坡之后进行。削坡减载对于滑坡稳定系数的提高值可以作为设计依据。

7.2.6 抛石坡脚坡度按表 7-1 确定。

表 7-1 抛石护脚坡比表

水文条件	岸坡坡比
水浅，流速较小	1:1.25~1:2
水深 2m~6m，流速较大	1:2~1:3
水深大于 6m，水流速度急	缓于 1:3

抛石护坡适宜于河水流速小于 5m/s，主要是考虑抛石的抗冲，流速太大抛石护坡会被水流冲刷破坏。抛石块径与水深、流速关系按表 7-2 确定。

表 7-2 抛石粒径与水深、流速关系表

抛石块径 (cm)	水深 (m)				
	0.4	1.0	2.0	3.0	5.0
	容许流速 (m/s)				
15	2.70	3.00	3.40	3.70	4.00
20	3.15	3.45	3.90	4.20	4.50
30	3.50	3.95	4.25	4.45	5.00
40	—	4.30	4.45	4.80	5.05
50	—	—	4.85	5.00	5.40

7.3 排水工程

7.3.1 对降雨与滑坡变形有密切关系时，优先考虑地表排水措施；当滑坡变形与久雨和

地下水活动密切相关时，考虑采用地下排水工程。但当滑体给水度很小而地下排水效果不佳时，可以不设置地下排水工程。当排水设施在地下水位以上时，为防止排水设施产生渗漏、引起地下水位上升，需采取防渗措施。

7.3.4 排水沟的布置和断面尺寸根据地形条件、降雨强度、历时、分区汇水面积、坡面径流量和坡体内渗出的水量等因素确定。排水沟的过流量按下列公式计算：

$$Q = WC\sqrt{Ri} \quad (7-1-1)$$

$$C = \frac{R^{1/6}}{n} \quad (7-1-2)$$

式中：Q——过流量（m³/s）；

W——过流断面面积（m²）；

C——谢才系数（m/s）；

R——水力半径（m）；

i——水力坡降；

n——糙率。

7.4 坡面防护

7.4.1 坡面防护根据岸坡工程地质条件、削坡整平后坡比，按表 7-1 选择相应的防护措施。

表 7-1 各类护坡适用条件表

护坡类型	适用坡体坡率	坡体特征
植草护坡	缓于 1:1.5	易于植物生长的土质岸坡，坡高小于 8m
铺草皮护坡	缓于 1:1.0	土质岸坡
三维植被网护坡	缓于 1:0.75	植物难于生长的土质岸坡
浆砌片石骨架植物护坡	缓于 1:0.75，坡面受水流冲刷时严重或潮湿时缓于 1:1	土质岸坡
方格形截水骨架植物护坡		降雨量较大且集中地区
混凝土空心块植物护坡	缓于 1:0.75	土质岸坡
干砌片石护坡	缓于 1:1.25	植物不易生长的土质岸坡
浆砌片石护坡	缓于 1:1.1	
喷射混凝土护坡	缓于 1:0.5	硬塑及坚硬状粘性土岸坡
实体护面墙	缓于 1:0.5	坡面易受冲蚀的土质岸坡
窗孔式护面墙	缓于 1:0.75	

格宾石笼护坡	陡于 1:1.0	
格宾护垫护岸	1:1.1~1:1.5	

7.4.6 防护网主要包括主动防护网和被动防护网，主要用于防治坡表危岩体，避免表层岩体的逐步剥离导致局部岩体失去支撑而失稳。结合坡面裂缝封闭，能够取得更好的防护效果。

7.6 预应力锚固

7.6.3 当内锚固段完整性较差，且难以深入完成岩体内时，需要对内锚固段进行灌浆处理。

7.6.9 预应力锚索倾角主要根据施工条件确定，同时理论分析表明，预应力锚索倾角满足下式时是最经济的：

$$\theta = \alpha - (45^\circ + \frac{\varphi}{2})$$

式中 θ 为锚索倾角 (°)

α 为滑面倾角 (°)

φ 为滑面内摩擦角 (°)。设计时综合考虑其最优倾角。

7.7 抗滑桩

7.7.1 根据工程地质条件和下滑推力大小，抗滑桩选用悬臂桩、椅式桩墙、门型钢架桩、排架桩、锚杆抗滑桩、预应力锚索抗滑桩、桩洞联合体和桩板墙等型式。当滑坡体厚度大，施工技术及经济合理性达不到要求时，不建议采用。

7.8 抗剪洞与锚固洞

7.8.1~7.8.5 抗剪洞一般为水平或略向内侧倾斜，滑面以里洞身长度一般根据岩土体破碎、风化程度确定，在完整岩土体内不小于 3m。

根据 MW 水电站滑坡治理工程，得到如下经验：(1) 在受力状态方面抗剪洞不如抗滑桩，在滑体下滑力作用下前者受拉剪，材料强度将弱化，易于破坏；后者受压剪，材料强度将强化，不易破坏；(2) 在质量保证方面抗剪洞也不如抗滑桩，抗剪洞洞顶混凝土难于浇注密实，实际强度低于设计强度。因此抗剪洞尽量少用，当用于滑坡后缘滑面

较陡部位时，为避免受拉剪作用建议布置成斜洞甚至斜井状。

抗剪洞洞体在滑面上下两盘内要有一定厚度与高度，以避免剪切破坏和“滚轴”效应。要验算潜在滑体沿混凝土与岩土体接触面发生剪切的滑动稳定性。

8 治理工程施工

8.2 施工组织

8.2.2 治理工程施工组织包括下列基本内容:

- 1 施工组织管理包括组织机构图及职责分工, 规章制度及落实合同工期。
- 2 施工准备包括下列内容:
 - 1) 调查场地的自然条件, 如治理工程施工现场地上和地下障碍物分布情况、建筑物的坚固程度、交通运输与水电状况。
 - 2) 调查与治理工程实施相关的主要建筑材料、设备及特种物质在当地的生产与供应情况。
 - 3) 勘察报告以及施工现场的测量控制网。
 - 4) 与治理工程有关的国家和地方法规、规定、施工验收规范、质量标准、操作规程。
- 3 施工部署包括平面布置, 施工的分段分阶、施工程序。
- 4 施工方案包括土石方及治理措施施工方案、附属构筑物施工方案、试验与监测。
- 5 施工进度计划包括采用流水作业原理编制施工进度、网络计划及保证措施。

9 监测

9.3 监测布置

9.3.2 为保证表部位移监测的可靠性，监测工作基点需要布设在稳定区域；当监测工作基点不能布设在稳定区域时，需具备校测的条件，如采用变形控制网、倒垂线等。

地下水位对岸坡稳定性比较重要，地下水位监测孔主要监测地下水的水面高程，原始地下水位通常指原始地下水位变化最低水位，设计时一般根据地质勘探成果确定。

9.3.3 随着我国北斗系统的全面投入，全球导航卫星系统（GNSS）作为一种变形监测手段将广泛用于工程变形监测领域。雷达测量技术用于变形监测主要指差分干涉雷达技术，包括合成孔径雷达、真实雷达，雷达测量图像与数字高程模型（DEM）叠加后能够直观地显示监测成果。

9.3.5 监测精度引自现行行业标准《混凝土坝安全监测技术规范》DL/T 5178-2016。

9.4 监测资料分析

9.4.2 时间变化规律是指效应量随时间的变化历程，体现为测值变化过程线。变化趋势指现有测值变化过程线体现出的后续可能变化动向，如变化平稳、周期性、收敛、不收敛等现象。空间分布规律包括多测点在监测区域内分布（如变形等值线图、云图等）和单套测点在测量范围内的分布（如多点变位计、钻孔测斜仪测值沿钻孔的分布）。

9.5 监测预警

9.5.2 一级预警可以采取加密监测频次，加强巡视检查，或者增加监测项目等措施进行应对。

二级预警在一级预警的基础上，可以连续监测和巡视，并撤离岸坡及下部相关人员。

三级预警可以进行连续远距离监测，并撤离岸坡破坏可能影响范围内的全部人员。

9.5.3 岸坡的预警标准差异较大，而且制定比较复杂，但预警标准原则具有共性。目前国内外岸坡预警标准制定方法主要包括现象与经验判断分析、监测数据（如变形量值、变形速率、支护效应量变化）数学模型分析、地质与机理分析及变形（GMD）综合分析等方法。

9.5.4 监测预警标准的制定需要建立在大量基础工作之上（如地质结构、机理分析、监测分析、专家判断等），而且标准并不是一成不变的，而是需要根据实际的运用情况不断进行复核调整，如半年或1年复核调整1次。因此监测预警标准及体系的建立是一项长期的动态工作。预警主要包括预警级别、可能失稳的方量、产生的次生灾害及影响范围、主要建议也是建立在大量基础工作之上；当缺乏这些基础工作时，研究后可以采用最不利结果。

附录 B 水库滑坡分类与发育阶段划分

水库滑坡分类与发育阶段划分引自现行行业标准《水电工程边坡工程地质勘察规程》NB/T 10513-2021 的滑坡分类。
