

DB61

陕 西 省 地 方 标 准

DB 61/ TXXXXX—2025

黄土滑坡韧性防控技术规范

Technical regulations for toughness prevention and control of loess landslide

（征求意见稿）

2025 - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

陕西省市场监督管理局 发布

目 次

前 言	3
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 基本规定	2
5 勘查与评价	3
6 韧性工程设计	5
7 监测与预警	11
8 应急处置与社区参与	14
9 韧性运维与调控	16
附录 A （资料性附录） 黄土滑坡分类方式	18
附录 B （规范性附录） 黄土滑坡风险等级、韧性等级及防控措施	19
附录 C （资料性附录） 地质环境条件复杂程度	21
参 考 文 献	22

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由陕西省自然资源厅提出并归口。

本文件起草单位：机械工业勘察设计研究院有限公司、长安大学、西北大学、中煤西安设计工程有限责任公司、中国有色金属工业西安勘察设计研究院有限公司、西北综合勘察设计研究院、信电综合勘察设计研究院有限公司、陕西工程勘察研究院有限公司

本文件主要起草人：张继文 黄强兵 刘红卫 张海峰 谷天峰 高继章 杜明 刘魁 姜海波 康孝森 马驰 陈能远 谭柳琴 王新刚 魏小勇 朱武 钱春宇 毕银强

本文件由陕西省自然资源标准化技术委员会负责解释。

本文件首次发布。

联系信息如下：

单位：机械工业勘察设计研究院有限公司

电话：029-83498900

地址：西安市未央区御井路3995号国机集团西部研发中心

邮编：710000

黄土滑坡韧性防控技术规范

1 范围

- 1.1 为规范和指导黄土滑坡的韧性防控工作，提高灾害的勘查与设计、监测与预警、应急与运维能力，构建黄土滑坡灾害风险韧性防控技术体系，减少人员伤亡和经济损失，制定本规范。
- 1.2 本规范适用于陕西省境内黄土滑坡韧性防控的勘查、设计、监测、应急、运维及调控。
- 1.3 黄土滑坡韧性防控，应根据滑坡区地质环境条件、滑坡特征、承灾体等因素，开展勘查、测试，确定风险等级与韧性防控等级，因地制宜，选择适宜的韧性设计方法和监测预警防控措施。
- 1.4 黄土滑坡韧性防控除应符合本规范的规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 32864 滑坡防治工程勘查规范
- GB/T 38509 滑坡防治设计规范
- GB/T 40112 地质灾害危险性评估规范
- GB 50025 湿陷性黄土地区建筑标准
- GB 50021 岩土工程勘察规范
- GB 50330 建筑边坡工程技术规范
- GB/T 50421 滑坡防治工程设计与施工规范
- GB/T 41695 安全与韧性 应急管理 滑坡灾害社区预警体系实施指南
- GB/T 50123 土工试验方法标准
- DZ/T 0221 崩塌、滑坡、泥石流监测规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

黄土滑坡 loess landslide
黄土地段边坡土体在重力作用下沿地质弱面向下向外滑动的现象。

3.2

滑坡韧性防控 resilience prevention and control of landslide
通过滑坡发生前坡体变形监测、风险评价和发生后防护工程的韧性设计及其安全运维与调控等手段，促进多元主体参与共治，提升全生命周期载体适应、恢复和可持续应对滑坡灾害的能力。

3.3

滑坡韧性评价 resilience evaluation of landslide

承灾体在遭受滑坡威胁时，对其抵抗变形破坏、吸收冲击能、适应变化并快速恢复的能力进行系统性分析和量化评估的过程。

3.4

韧性运维 resilience operation and maintenance

滑坡防治工程竣工验收后，定期检查坡体稳定性、排水系统有效性、防护结构完整性，及时消除安全隐患，确保防治工程持续稳定运行。

3.5

韧性调控 resilience regulation

通过系统性增强滑坡防治体系的适应能力、恢复能力和可持续性，在动态变化的环境荷载（如降雨、地震、人类活动等）作用下，维持或快速恢复工程防护功能的技术与管理措施。

4 基本规定

4.1 分类与分级

4.1.1 据滑坡厚度、滑坡体积、成因特征、滑面位置、运动特征、滑动模式等因素，黄土滑坡分类可按附录 A 执行。

4.1.2 黄土滑坡的稳定性划分为稳定、基本稳定、欠稳定和不稳定四级，应按附录 B 表 B.1 要求执行。

4.1.3 黄土滑坡的危害对象划分为城镇、交通、水利、矿山等，危害性等级划分为极高危害性、高危害性、中危害性、低危害性四级，应按附录 B 表 B.2 要求执行。

4.1.4 根据滑坡规模、威胁对象、潜在经济损失及社会影响，黄土滑坡风险等级划分为高风险、高风险、中风险、低风险四个等级，可按附录 B 表 B.3 要求执行。

4.1.5 根据黄土滑坡的风险等级，韧性防控等级可划分为高韧性、中韧性、低韧性三级，各级治理目标可按附录 B 表 B.4 要求执行。

4.1.6 黄土滑坡韧性防控应根据韧性防控等级，制定对应的韧性防控措施，具体可按附录 B 表 B.5 要求执行。

4.2 工作要求

4.2.1 黄土滑坡韧性防控工程应遵循“多层次防御、水文调控优先、结构-材料韧性化、协同自然过程”的方针，兼顾生态保护和经济社会效益，并积极推进社会多部门参与共治。

4.2.2 黄土滑坡韧性防控工程设计应满足全生命周期管理要求，涵盖勘查、设计、施工、运维及灾后恢复等环节，同时使用韧性防控技术，确保工程在灾害发生后具备快速恢复功能的能力。

4.2.3 黄土滑坡韧性防控工程设计应有充分的工程地质依据，包括可行性研究报告、灾害评估报告、勘查报告等，随着防治工程的实施，不断提高勘查精度，并进行反馈设计和信息化施工。

4.2.4 黄土滑坡韧性防控工程应根据黄土滑坡变形状态，工程结构类型与特征施工条件，制订合理的施工顺序，选择适当的施工方法，减少对滑坡体的扰动。

4.2.5 防控工程完成后应建立地表监测、地下水平位移监测等长期监测系统，反馈在运营过程中的黄土边坡动态信息。

4.2.6 若坡体出现变形异常，需根据变形量，分析变形原因，由原设计单位提出处理方案，经论证后组织实施。

5 勘查与评价

5.1 一般规定

5.1.1 黄土滑坡勘查内容、工作量及工作方法应根据勘查阶段以及地质环境条件复杂程度确定。地质环境条件复杂程度可按附录 C 划分为复杂、中等和简单三类。

5.1.2 黄土滑坡勘查宜分阶段进行，可选用工程地质调绘及勘查手段初步确定滑坡特征和风险等级，按风险等级确定勘查工作方法和步骤。对于高风险及以上的黄土滑坡宜直接进行详细勘查，对滑坡规模小、地质条件简单或需要应急治理的滑坡可合并勘查阶段。

5.1.3 黄土滑坡勘查应在工程地质测绘和调查基础上，充分利用已有资料，及时分析掌握信息，根据勘查阶段开展相应的工作。

5.1.4 黄土滑坡勘探应满足滑坡稳定性分析评价及治理设计和施工的要求；勘探宜采用钻探、井探、硐探、槽探和工程物探相结合的方法。

5.1.5 黄土滑坡勘查测试宜采用原位测试与室内相结合手段，应重视黄土的水敏性对滑坡特征的影响。

5.2 调查与测绘

5.2.1 黄土滑坡调绘宜以人工现场调查为主，结合无人机航测、InSAR、LiDAR 等新技术新方法，成果宜由实际材料图、野外地质草图、实测地质剖面图、各类观测点的记录卡片、立面图、地质照片集等组成。

5.2.2 黄土滑坡调查应包括以下工作内容：

- 1 滑坡的地理位置、地形地貌、地层岩性、地质构造、水文地质条件、地表水以及植被。
- 2 滑坡体的形态与规模、表部特征、内部结构特征、变形活动等特征。
- 3 形成滑坡的自然因素和人为因素特征。
- 4 滑坡形成、发展、发生历史，人员伤亡、经济损失、环境破坏和潜在威胁等现状。
- 5 滑坡的已有灾害勘查、监测、工程治理措施等防治现状及效果。
- 6 对于极高和高风险滑坡，应注重雨季前后水文地质条件变化，灌溉、道路开挖等人为活动诱发因素调查。

5.2.3 工程地质测绘与调查的比例尺及精度应符合下列要求：

- 1 初步勘查阶段比例尺宜取1：500～1：1000，详细勘查阶段宜取1：200～1：500，其中极高风险、高风险及复杂场地勘查宜取较大比例尺。滑坡的剖面测绘比例尺不宜小于1：200。
- 2 图上调查点，初步勘查阶段10cm×10cm范围不少于1个，详细勘查阶段10cm×10cm范围不少于3个。
- 3 图上不小于2mm的滑坡标志、威胁对象或有关地质界线应进行标绘，小于2mm的特殊迹象可采用符号标注，并进行详细描述。

5.2.4 对于高风险及以上的黄土滑坡，根据地质环境条件的复杂程度，应采用“空天地一体化”手段。

5.3 勘探

5.3.1 黄土滑坡勘查区应包括滑坡区及其可能影响的范围，周边应至滑坡外围稳定区域。

5.3.2 初步勘查阶段应符合以下要求：

- 1 应初步查明滑坡的边界、坡体结构及滑动面的位置等特征。
- 2 应初步了解水文地质条件，明确降水入渗、地表水（河流、灌溉）下渗、侧向径流等补给方式等，追踪地下水在黄土裂隙、孔洞或古土壤层中的优势流通道，查明泉水、渗流点位置及流量。
- 3 勘探线应平行于滑动方向布置，且不应少于3条；当滑坡分区段勘查时，各区段勘探线不应少于3条。
- 4 勘探线（剖面）宜由钻探、井探、槽探及物探等勘探点构成，勘探深度应穿透滑面深度不小于5m。
- 5 应在滑坡后壁、滑体、滑带、滑床和滑坡前缘采取岩土试样，且不同地层单元采取岩土试样的数量不少于6组。

5.3.3 详细勘查阶段应符合以下要求：

- 1 应详细查明滑坡的边界条件、滑床滑体特征、水文地质特征，评价滑坡的稳定性，对滑坡未来发展趋势作出预测，并对滑坡的灾害风险作出评估，为防治措施的综合选择和韧性防控提供依据。
- 2 勘探深度应满足滑坡评价及韧性防控的要求。勘探应进入滑面下深度应不小于滑体厚度的1/2，且应进入滑坡防治工程结构底面下不少于5m。
- 3 应在加密勘探点和拟设防治工程地段的勘探点采取岩土试样，且不同地层单元采取试样的数量不少于6组。
- 4 对于水文地质条件复杂的黄土滑坡，应进行专门的水文地质勘查与评价。

5.4 测试

5.4.1 采用井探、硐探、槽探揭露的滑带应取不扰动土样进行试验，不扰动土样尺寸不小于200mm（长）×200mm（宽）×200mm（高），土样数量不应少于6件。

5.4.2 钻探孔中采集土样应使用薄壁取土器，采用静力压入法；土样直径不应小于110mm，高度不应小于200mm，样品采取后应及时密封。当通过勘探无法采取滑体和滑带不扰动土样时，应采取保持天然含水量的扰动土样作重塑土样试验。

5.4.3 勘探采取的岩土试样宜按GB/T50123测试物理力学性质指标，测试项目应包括岩土体的常规土工试验、湿陷性试验、天然及饱和状态的抗剪强度试验；当滑带土以黏性土为主时，宜作亲水矿物的含量分析。

5.4.4 黄土滑坡岩土试样抗剪强度试验方法的选择应符合下列规定：

- 1 根据岩土试样所处滑坡部位的含水状态选择天然或饱和状态下的抗剪强度试验方法。
- 2 用于黄土滑坡，在计算下滑力、土压力和抗倾覆计算时，对黏土、粉质黏土宜选择直剪、固结快剪、残剪或三轴固结不排水剪，对粉土、砂土宜选择有效应力强度指标。
- 3 用于黄土滑坡稳定性时，一般黏性土、砂土，按第2款相同的试验方法，但对饱和软黏性土，宜选择直剪快剪、三轴不固结不排水试验。

5.4.5 当无法准确判定勘察区地表水和地下水的腐蚀性时，应采集不少于 3 件水样，进行腐蚀性指标测试。

5.5 稳定性评价

5.5.1 黄土滑坡应在分类分级、变形迹象、形成机制分析的基础上，采用地质类比法、工程地质分析法、迹象综合判别法等方法进行定性评价。

5.5.2 滑坡稳定性评价应根据滑动面类型和物质组成进行，并可参考数值模拟方法结果。

5.5.3 地下水位以下范围内水压力应按下列方法计算：

- 1 当滑坡体渗透系数大于 $1\times10^{-7}\text{m/s}$ 时，应计算渗透压力。
- 2 当滑坡体渗透系数小于或等于 $1\times10^{-7}\text{m/s}$ 时，可不计渗透压力。

5.5.4 圆弧形滑动面宜用毕肖普法（Bishop 法）进行稳定性计算、折线形滑动面宜采用传递系数法进行稳定性计算，可根据滑面形态按附录 A 选择具体计算方法。

5.5.5 滑坡稳定状态宜按滑坡稳定系数进行划分，见表 1。

表 1 滑坡稳定状态划分

滑坡稳定系数 F_s	$F_s\leq1$	$1<F_s\leq1.05$	$1.05<F_s\leq1.15$	$F_s>1.15$
滑坡稳定状态	不稳定	欠稳定	基本稳定	稳定

6 韧性工程设计

6.1 一般规定

6.1.1 黄土滑坡的韧性设计应遵循“多层次防御、水文调控优先、结构-材料韧性化、协同自然过程”的原则。

6.1.2 极高风险滑坡宜采取“前缘刚性支挡+后缘减载+立体排水系统+实时监测预警”的高韧性工程治理措施；中、高风险滑坡宜采取“坡脚加固+水文调控+生态工程+定期巡查维护”的中韧性工程治理措施；低风险滑坡宜采取“地表水管理+自然恢复+人工巡查+风险管控”的中韧性工程治理措施。

6.1.3 工程设计应考虑被保护对象对滑坡变形的敏感程度，对变形敏感时，应采用能控制滑坡变形的主动加固措施。

6.1.4 工程设计应减少对环境的破坏，宜采取岩土工程措施与植被防护措施相结合的方案；应重视土地的保护和利用，宜采取滑坡防治与土地保护利用相结合的方案；应考虑施工的便利性，宜优先采用就地取材的工程措施。

6.1.5 工程设计宜采用新技术、新方法，以提高滑坡防治的技术水平。在可行性论证时，应提供新技术、新方法的鉴定或验收报告或者提供成功应用的工程案例材料。

6.1.6 防控工程完工后，受益单位或地方政府应对韧性防控措施进行管护。

6.2 削方减载

6.2.1 削方减载设计应符合以下原则：

- 1 削方减载宜用于牵引式或推移式黄土滑坡，且后缘滑壁明显的浅层和中层滑坡，坡体具备分级开挖条件，无重要设施（如建筑、管线）影响。
- 2 削方减载应根据滑坡的分类、滑面位置、滑动机制及稳定性分析结果确定削坡方式和范围。
- 3 削方减载对于滑坡抗滑稳定安全系数的提高值应作为设计依据。

6.2.2 削方减载韧性设计应符合以下规定：

- 1 削方减载包括滑坡后缘减载、表层滑体或变形体的清除、削坡降低坡度及设置马道等。
- 2 削坡后的坡度应满足黄土边坡的稳定性要求，不宜陡于1:1.5，各级之间设置马道。
- 3 马道宽度不宜小于2.0m，具体宽度应根据滑坡规模和稳定性要求确定。马道应与排水系统相结合，防止积水影响边坡稳定性。
- 4 在削坡边坡上设置纵向排水沟，排水沟间距不宜大于30m。排水沟应与已有排水设施或自然排水系统相衔接，防止地表水渗入滑坡体。
- 5 削坡应自上而下逐层进行，避免一次性大面积开挖。分级削坡时，每级削坡完成后应及时进行稳定性分析。

6.2.3 削方减载施工应按“清表与放线→自上而下分级开挖→台阶整形与压实→排水设施同步施工→坡面即时防护→验收监测”的顺序进行。

6.3 坡脚反压

6.3.1 坡脚反压设计应符合以下原则：

- 1 反压材料宜就地利用削方土体或就近取土，但应满足抗剪强度要求。
- 2 回填体应经过专门设计，其对于滑坡抗滑安全系数的提高值可作为工程设计依据。未经专门设计的回填体，其对于安全系数的提高值不宜作为设计依据，但可作为安全储备加以考虑。
- 3 反压宜在黄土滑坡体坡脚或潜在滑动面剪出口区域，且反压不应引发次生灾害。

6.3.2 坡脚反压韧性设计应符合以下规定：

- 1 应根据滑坡稳定性和推力计算确定填土量、反压体宽度、高度及坡度。
- 2 反压堆积前应清除坡脚表层松散堆积物，必要时对基底进行压实或加固，基底若为软弱土层应挖除或换填。
- 3 坡脚反压施工应自下而上分层进行，压实系数不应小于0.95，堆载顺序应由坡脚向坡外扩展，单级坡高不宜大于10m，单级坡率不宜大于1:1.25。
- 4 反压体内部宜设置纵向盲沟或排水管，坡面设置截水沟，顶部宜设置排水层。
- 5 反压过程中应进行质量检测，压实度每1000m²不少于3点；反压体几何尺寸误差不大于设计值的5%。

6.3.3 坡脚反压施工应按“清表与基底验收→分层填筑碾压→排水设施同步施工→坡面防护→竣工验收监测”的顺序进行。

6.3.4 坡脚反压治理时应加强监测，顶部埋设沉降观测桩，坡脚处安装测斜管，在极端工况下应提高监测频率。

6.3.5 施工完成后可采用极限平衡法或数值模拟进行滑坡整体稳定性复核。

6.4 抗滑桩

6.4.1 抗滑桩韧性设计应符合以下原则：

- 1 抗滑桩在滑坡推力作用下应具有足够的承载力和稳定性，避免因滑坡变形或破坏导致结构失稳。
- 2 在满足安全性和功能性的前提下，应合理选择适宜的桩型、尺寸和材料，优化桩的布置，降低工程造价。
- 3 应充分考虑滑坡类型、滑面位置、岩土性质等地质条件和地震、降雨等环境因素，确保抗滑桩能够适应多种工况。
- 4 应考虑抗滑桩的抗腐蚀性、抗疲劳性能等，确保在长期使用中的耐久性。

6.4.2 抗滑桩材料应符合以下规定：

- 1 宜采用强度不小于HRB400的钢筋，确保抗拉强度满足设计要求。
- 2 应采用强度等级不低于C30的混凝土，对于腐蚀性环境，可采用抗腐蚀混凝土。
- 3 在滑动面附近或受力较大的区域，可设置加劲箍以提高抗剪能力。

6.4.3 抗滑桩布置及选型应符合以下规定：

- 1 对滑坡进行分段阻滑时，每段宜单排布置，若弯矩过大，应采用预应力错拉桩。
- 2 抗滑桩桩长不宜超过35m，当滑动面深度 $>25\text{m}$ 时，桩长需专项论证；桩长超过35m时，应结合地质勘查数据优化设计，可采用多排桩或复合支挡结构。
- 3 抗滑桩间距宜为2~6m。抗滑桩嵌固段须嵌入滑床中，如果滑动面位于大气影响急剧层深度范围内，有效嵌固段长度从大气影响急剧层深度算起，大气影响急剧层深度从桩前坡面点计。
- 4 应在桩间设钢筋混凝土挡板等，防止滑体从桩间挤出。

6.4.4 抗滑桩结构设计应符合以下规定：

- 1 根据滑坡特点和施工条件，可选择矩形抗滑桩、圆形抗滑桩、锚索抗滑桩、箱型抗滑桩、埋入式抗滑桩、小口径组合抗滑桩等。
- 2 抗滑桩所受推力可根据滑坡的物质结构和变形滑移特性，分别按三角形、矩形、梯形等分布计算。
- 3 抗滑桩的锚固深度及桩身内力应根据滑坡推力、桩前滑体阻力和桩侧弹性抗力计算，可按GB/T 38509-2020第10章内容执行。
- 4 应对抗滑桩桩身的抗弯、抗剪承载力进行验算。

6.4.5 抗滑桩韧性设计应符合以下规定：

- 1 在设计中考虑抗滑桩与滑坡体的变形协调，确保桩体在滑坡作用下能够适应一定的变形而不发生脆性破坏。
- 2 宜适当增加结构的冗余度，如增加桩的嵌固深度或减小桩间距，以提高抗滑桩在极端情况下的韧性。
- 3 合理设计锚索的拉力和布置，确保锚索与桩体的协同工作。
- 4 宜采用功能梯度混凝土、HRB400钢筋等高韧性材料。

6.4.6 抗滑桩施工与检测应符合以下规定：

- 1 桩位放样应严格按照设计文件进行，完成后应进行复核。
- 2 抗滑桩的桩长、桩径、垂直度和混凝土强度符合设计要求。

3 钢筋表面应光滑无锈蚀，钢筋笼应与孔壁接触良好，其长度、直径、箍筋间距等应符合设计要求。

4 混凝土浇筑前应进行配合比试验，施工应连续浇筑且振捣均匀密实，防止产生施工缝或蜂窝、孔洞等缺陷。

5 施工前应对钢筋的材质、规格、数量和混凝土的配合比、强度等应进行检测。

6 施工中应对桩孔深度、垂直度、孔径、钢筋笼的尺寸、钢筋规格、焊接质量和桩体完整性进行监测。

6.5 锚固工程

6.5.1 锚固工程韧性设计应符合以下原则：

- 1 锚固工程在极端荷载作用下不发生破坏或失效。
- 2 韧性设计（如冗余构件、关键部位强化）应能保障局部失效时整体仍稳定，提高结构的抗灾能力。
- 3 设计时应考虑结构在灾害后的修复和恢复能力，可预先规划灾后修复方案，采用模块化结构或易更换材料。
- 4 在满足安全与韧性需求的前提下优化成本，平衡初期投入与长期维护费用。
- 5 根据岩土体类别、地下水条件等地质条件选择合适的锚固形式和支护参数。
- 6 采用监控量测和信息反馈机制，根据岩土体变形情况调整锚固参数。
- 7 锚固工程设计时应考虑黄土的水敏感性对锚固工程的不利影响。

6.5.2 锚固工程材料应符合以下规定：

- 1 高强材料：应选择高强度锚杆（索）、锚固剂等材料，提高锚固结构的抗拉、抗剪能力。
- 2 应选择耐腐蚀、耐老化材料，提高锚固结构的长期稳定性。
- 3 注浆体与岩土体粘结强度应通过现场拉拔试验验证。
- 4 锚头应采用可调节式锚具，允许一定位移以释放应力；
- 5 自由段与锚固段过渡区应设置应力扩散装置。

6.5.3 锚固工程韧性设计应符合以下规定：

- 1 关键部位宜采用双排锚杆或交叉锚索布置，单根锚杆失效后剩余锚杆仍能承担70%以上设计荷载。
- 2 锚杆自由段长度应满足岩土体变形需求，自由段长度不宜小于潜在滑动面深度的1.2倍。锚固段应避免开软弱夹层或破碎带，优先嵌入稳定岩层。
- 3 可设置耗能器（如剪切型阻尼器）于锚头部位，吸收动荷载能量。
- 4 锚杆（索）间距不宜小于2m，锚固段长度不应小于4m，且不宜大于10m。自由段深入潜在滑裂面以内不得小于1.0m，锚杆倾角宜为 $10^{\circ}\sim 35^{\circ}$ 。框架梁、地梁、锚嵌入坡体的深度不应小于0.2m。
- 5 锚杆（索）的设计计算应符合《滑坡防治设计规范》GB/T 38509的规定。

6.5.4 锚固工程验算与试验应符合以下规定：

- 1 考虑地震、风灾、洪水等极端荷载的影响，进行抗弯、抗剪和抗拉验算。
- 2 验算锚杆系统在超载工况下的变形能力，极限位移应小于岩土体允许变形值的1.5倍。
- 3 现场拉拔试验：抽检比例不少于5%，试验荷载为设计值的1.5倍；
- 4 疲劳试验：模拟地震或循环荷载作用，循环次数 ≥ 200 万次无断裂。

6.5.5 锚固工程施工与检测应符合以下规定：

- 1 钻孔位置、深度、垂直度满足设计要求。钻孔位置偏差不应超过规范要求，深度不得小于设计长度，倾斜度不应超过规范允许范围，完成后应进行清孔。
- 2 锚杆（索）材质、长度应符合设计要求。锚杆表面应光滑无锈蚀，长度应不少于设计长度，锚杆与孔壁接触良好。
- 3 注浆材料应符合设计要求，水泥浆或砂浆的配合比应经过试验确定。注浆压力应控制在合理范围内，避免过大压力导致孔壁破坏。
- 4 锚头应固定牢靠和进行防锈、防腐处理。
- 5 施工前应对锚杆的材质、直径、长度和注浆材料的配合比、强度等应进行检测。
- 6 施工中应对钻孔深度、垂直度、孔径、注浆饱满度、密实度、锚杆的拉拔力进行检测。

6.6 挡墙工程

6.6.1 挡墙工程的韧性设计应遵循以下原则：

- 1 设计应确保挡墙局部失效时，整体结构仍能保持稳定，提高挡墙的抗灾能力和韧性。
- 2 设计时应考虑结构伸缩缝和分段设计，便于灾后的修复和恢复。
- 3 设计时应充分考虑极端气候条件下的坡面排水需求，保障排水设施的安全运行，并具备破坏后修复和恢复能力。
- 4 设计应注重挡墙与边坡土体的抗侵蚀能力，采取合理措施防止脱空和侵蚀破坏。
- 5 在满足安全与韧性需求的前提下，优化成本，平衡初期投入与长期维护费用。

6.6.2 挡墙工程类型选择应符合以下规定：

- 1 根据地形地貌特征、滑坡类型、岩土体类别、坡面汇水条件、地下水条件等地质条件，选择合适的挡墙类型。
- 2 挡墙类型的选择应综合考虑使用要求、地形、地质条件和施工条件，宜优先选择重力式抗滑挡墙。
- 3 对变形有严格要求或开挖土石方可能造成坡体变形失稳，不宜采用挡墙；开挖土石方可能危及相邻建筑物安全的边坡，不应采用挡墙。

6.6.3 挡墙工程构造设计应符合以下规定：

- 1 挡墙材料可采用浆砌块石、条石、毛石混凝土或素混凝土。
- 2 挡墙基底应设计为逆坡。挡墙地基表面纵坡大于5%时，应将基底设计为台阶式。
- 3 挡墙的基础埋置深度应根据地基稳定性、地基承载力、冻结深度、水流冲刷情况以及岩石风化程度等因素确定。
- 4 对于淤积型沟道，宜考虑洪水位对挡墙稳定性的影响，对于侵蚀型沟道，应加强防冲击及抗冲刷设计。
- 5 挡墙反滤层应优先选择抗剪强度高和透水性较强的填料，填料顶部、底部应采用黏土回填。

6.6.4 挡墙工程验算应符合以下规定：

- 1 考虑地震、地下水、坡面汇流等荷载的影响，挡墙设计应进行抗滑移和抗倾覆稳定性验算。
- 2 地震工况时，挡墙的抗滑移稳定系数不应小于1.10，抗倾覆稳定性系数不应小于1.30。
- 3 挡墙的抗滑移和抗倾覆稳定性验算应符合《建筑边坡工程技术规范》GB 50330的规定。

6.6.5 挡墙工程施工与检测应符合以下规定：

1 浆砌块石、条石挡墙的施工所用砂浆宜采用机械拌合。块石、条石表面应清洗干净，砂浆填塞应饱满，严禁干砌。

2 块石、条石挡墙所用石材的上下面应尽可能平整，块石厚度不应小于200mm。挡墙应分层错缝砌筑，墙体砌筑时不应有垂直通缝；外露应用砂浆勾缝。

3 墙后填土应分层夯实，选料及其密实度均应满足设计要求。填料回填应在砌体或混凝土强度达到设计强度的75%以上后进行。

4 当填方挡墙墙后地面的横坡坡度大于1:6时，应进行地面粗糙处理后再填土。

5 挡墙在施工前应预先设置好排水系统，保持边坡和基坑坡面干燥。基坑开挖后，基坑内不应积水，并应及时进行基础施工。

6 抗滑挡墙应分段施工。

6.7 排水工程

6.7.1 排水工程的设计与施工应以降低滑坡体地下水位、控制地表径流、减少孔隙水压力、增强滑坡体稳定性、提高滑坡韧性等级为目标。

6.7.2 排水工程设计应遵循“截排结合、防渗优先、分区分级”原则，与地形、地质条件及周边生态协调，避免诱发次生灾害。

6.7.3 排水工程设计应结合地形、地质、水文条件，采用地表与地下排水相结合的综合方案。

6.7.4 地表排水应符合如下规定：

1 应对滑坡周边地面裂缝、落水洞、土洞、暗穴、窑洞等地质隐患开展专项调查，详细记录其长度、深度及连通性等参数。发育深度 $\leq 5\text{m}$ 的隐患，宜采用开挖分层夯实回填结合灌浆（注浆）处理，回填土压实系数 ≥ 0.93 ；发育深度 $> 5\text{m}$ 的隐患，推荐高压注浆，选用水泥与硅酸钠双液浆，水灰比0.5-1，水泥浆与水玻璃体积比1:0.5-1:1。对窑洞，需加固顶拱，洞内砌筑支撑墙、柱，分层回填碎石土、砂土等透水材料，回填后适量注浆填缝固化。

2 对滑坡周边低洼积水区域，应依据地质水文条件，采用土方压实回填、渗井、盲沟、排水沟等排水措施引入排水系统。土方回填须满足压实标准，渗井、盲沟及排水沟的设计施工应符合排水量计算要求。

3 截水沟应布置于滑坡后缘以上稳定区域，截流坡外径流。断面尺寸按汇水面积计算，可采用矩形或梯形，底宽不宜小于500mm，纵坡坡度宜为1%~3%，宜采用混凝土或浆砌石结构。

4 排水沟应沿滑坡体两侧及前缘布设，导流地表水至安全区域。沟底应设置防渗层，纵坡坡度不小于2%。

5 排水工程高差大于2m时应设置跌水结构，下游衔接消能池，防止冲刷。

6 自重湿陷性黄土场地的排水设施应采取严格防水措施和结构措施，宜采用钢筋混凝土结构，伸缩缝的设置应符合《混凝土结构设计规范》的要求。外侧宜设置防渗膜、复合土工合成材料、灰土垫层、水泥土垫层等防渗材料做侧向防渗处理。

7 非自重湿陷性黄土场地边坡排水沟可采用素混凝土浇筑或浆砌石排水沟，其下应设置灰土垫层或素土垫层。

6.7.5 地下排水应符合如下规定：

1 仰斜排水孔的孔径应不小于110mm，仰角不宜小于 6° ，间距宜为1.5m~3.0m，长度应深入至富水部位或潜在滑动面，进水口及渗水管段应包裹透水土工布。

2 排水隧洞或排水廊道适用于大型深层滑坡，隧洞内应设集水井、横向排水孔，洞身应支护，排水路径应避开滑坡主推力方向。

3 盲沟应垂直嵌入坡体，沟底设置在含水层以下坚实土层上，可设置成条带形、分岔形。盲沟材料宜选用砂砾、碎石、片石等透水性材料，沟壁应设置透水土工织物或中粗砂反滤层。

4 渗井宜成群布设，并与排水隧洞、盲沟等排水设施配合使用。渗井排列方向宜垂直于渗流方向，深度穿过含水层。

6.7.6 排水设施的施工与检测应符合如下规定：

- 1 施工前应对排水设施沿线进行断面测量，根据测量结果复核坡率、流向、出水口位置等。
- 2 排水管材需耐腐蚀、抗压强度不小于10MPa，反滤层材料级配应透水不透土。
- 3 排水沟基底应夯实，软弱地基应换填，防渗层接缝严密，地下排水孔施工应采用跟管钻进。
- 4 浆砌片石应采用座浆法或灌浆法砌筑，层面平整，石缝间砂浆填满捣实。
- 5 盲沟施工宜分段间隔开挖，随开挖随支撑，及时回填；渗水材料顶面不低于原地下水位，埋设深度不小于冻结深度。
- 6 渗水隧洞可采用顶管或盾构工艺施工。
- 7 雨季施工期间，应对临时截、排水设施进行检查，并应对坡体采用篷布等隔离层覆盖。
- 8 施工中宜安装流量计、水位计等监测排水设施，雨季前、后对排水沟、管道等排水设施进行淤积检查和维护。

6.8 生态工程

6.8.1 生态工程的韧性设计应考虑植被的多样性和可恢复性，保证滑坡变形破坏或治理后地表及坡面植被的快速恢复，同时改善生态环境，实现生态效益与灾害防控的有机结合。

6.8.2 生态工程为黄土滑坡韧性防控的辅助措施，应与其他治理措施（如支挡结构、排水工程等）协同作用。

6.8.3 生态工程设计应符合下列规定：

- 1 防护类型选择应综合考虑气候、土壤、坡度及植被覆盖现状等因素，可选用直植、穴植、喷播、植被网防护等，当滑坡表层土体不满足稳定性要求时，可与固土措施结合使用。
- 2 应选用根系发达、耐旱、耐贫瘠的乡土植物和低维护物种，确保长期稳定性和生态韧性。
- 3 生态设计宜与排水系统相结合，实现排出水的收集与存放再利用，进行生态养护。
- 4 应考虑浇水是否会影响滑坡的稳定性，防止灌溉水渗入滑带，加速滑坡变形速率。
- 5 生态设计应考虑1~3年的人工养护，逐渐实现生态工程的自然发展和演变，适应当地环境条件，提高景观的韧性。

6.8.4 地表植被恢复设计宜深根与浅根植物搭配，形成立体根系网络，增强土体抗剪强度。

6.8.5 养护期间应定期对生态防护工程进行检查，及时发现并处理植被死亡、防护结构损坏等问题，对于受损的植被应及时补植，对防护结构进行必要的修复和加固。

6.8.6 在施工完成后，应对施工区域进行生态修复，恢复其原有的生态功能。

7 监测与预警

7.1 一般规定

- 7.1.1 监测与预警应遵循科学性、系统性、实时性和可靠性原则，确保数据准确、传输及时、预警有效。
- 7.1.2 监测与预警工作应贯穿黄土滑坡韧性防控的全过程，从勘查、设计、施工到运维阶段，实现全生命周期的动态管理，确保及时发现隐患、准确评估风险并有效应对。
- 7.1.3 滑坡监测宜采用多源融合的方式，集成地表位移、地下水位、降雨量等多参数监测，结合遥感（InSAR）、物联网等技术提升数据可靠性。
- 7.1.4 滑坡预警应采取分级预警机制，根据风险等级划分预警阈值，并匹配差异化的应急响应措施。预警级别应结合降雨量、位移速率、土壤含水率等关键指标进行量化，确保预警的科学性和可操作性。
- 7.1.5 监测数据应实时传输并长期存档，支持历史回溯与模型优化。

7.2 滑坡监测

- 7.2.1 滑坡监测应采用自动化监测与人工观测相结合的方式进行，优先选用低功耗、高精度的智能传感设备。
- 7.2.2 滑坡监测项包括地表位移、深部变形、水文地质、支护结构、裂缝发展、环境因素及人类工程活动等，具体监测项和监测方法可按表 2 采用。

表 2 滑坡监测内容表

监测项	监测指标	监测方法	适用阶段
滑坡 外在变形	水平/垂直位移	GNSS、全站仪、沉降观测桩	治理前一治理期—运营期
	滑带位移、分层变形	测斜孔、多点位移计	治理前一治理期—运营期
滑坡内部 驱动力	地下水位、孔隙水压力	渗压计、水位观测井	治理前一治理期—运营期
	抗滑桩应力、锚索预应力	钢筋计、锚索荷载传感器	治理期—运营期
临滑前兆	裂缝宽度、延伸趋势	裂缝计、贴片法+游标卡尺	治理前一治理期—运营期
	降雨量、振动（地震/爆破）	自动雨量站、地震监测仪	治理前一治理期—运营期
人类工程活动	开挖、加载、爆破、蓄水等	人工观测	治理前一治理期

- 7.2.3 监测点应根据滑坡的变形地段和变形特征进行布设，一般布设在滑坡后缘拉裂区、滑体中部、前缘剪出口、支挡结构位置等关键区域，测斜孔需穿透滑带至少 5m，渗压计布设在滑带上下界面。
- 7.2.4 监测频率应根据阶段和风险动态调整，其监测频率可按表 3 采用。

表 3 滑坡监测频率表

阶段		监测频率	加密条件
治理前		地表位移：1 次/日；深部变形：1 次/3 日	暴雨立即加测
治 理 期	施工期	地表位移：1 次/日；深部变形：1 次/3 日	暴雨、爆破后立即加测
	竣工初期	地表位移：1 次/周；水文监测：1 次/周	位移突变时加密至 1 次/日
运营期		地表位移：1 次/月；深部变形：1 次/季度	连续降雨>50mm/24h 时启动应急监测

7.2.5 根据监测目标和环境条件，选择合适的监测设备，应优先选用自动化、智能化的监测设备，可采用全站仪、GPS、InSAR（合成孔径雷达干涉测量）、GNSS（全球导航卫星系统）等技术，提高监测效率。

7.2.6 滑坡监测设备安装应牢固、稳定，设备安装后需进行 30 天试运行，验证稳定性，并定期校准。

7.2.7 监测设备应能按照设定的频率自动采集数据，并通过网络传输至数据处理中心。

7.3 预警响应

7.3.1 滑坡预警级别分为红色、橙色、黄色、蓝色，分别对应灾害极高风险、高风险、中风险和低风险等不同程度，具体如下：

- 1 红色预警（警报级）：地质灾害发生的可能性很大，各种短临前兆特征显著，在数小时大规模发生的概率很大。
- 2 橙色预警（警戒级）：地质灾害发生的可能性大，有一定的宏观前兆特征，在几天内大规模发生的概率大。
- 3 黄色预警（警示级）：地质灾害发生的可能性较大，有明显的变形特征，在数周内大规模发生概率较大。
- 4 蓝色预警（注意级）：地质灾害发生的可能性较小，系统监测数据表现有一定变化。

7.3.2 滑坡预警级别以定量和定性相结合的方式确定，见表 4。

表 4 滑坡预警级别划分表

判定方式	预警级别			
	蓝色	黄色	橙色	红色
定性判定指标	可能性较小	可能性较大	可能性大	可能很大
定量判定指标（切线角 α ）	$\alpha \approx 45^\circ$	$45^\circ < \alpha < 80^\circ$	$80^\circ \leq \alpha < 85^\circ$	$\alpha \geq 85^\circ$

注1：定性判定指标依据DB61/T589表3确定；切线角指滑坡位移变形曲线（累计位移/等速变形速率—时间曲线）的切线角。

7.3.3 当达到预警指标时，系统自动触发预警，并通过短信、广播、APP 等多种渠道向相关部门和人员发布预警信息。

7.3.4 监测数据达到预警阈值后，应立即进行现场核查，根据宏观前兆迹象和监测数据分析综合研判，确定预警级别并发布报送。

7.3.5 应建立多部门协同响应机制，橙色或红色预警发出后，经现场核查确认，必要时当地交通主管部门与气象、自然资源、水利、应急管理等相关部門协调联动，做到精准预警和快速响应。

7.3.6 根据预警等级，应采取相应的处置措施：

- 1 红色预警：立即启动应急预案，组织人员撤离，封锁危险区域，开展应急抢险。
- 2 橙色预警：加强监测频率，组织专家会商，做好应急准备，必要时组织人员撤离。
- 3 黄色预警：关注滑坡动态，加强巡查，做好应急物资储备，限制坡脚施工，发布社区警示。
- 4 蓝色预警：蓝色预警发出后，应持续关注预警系统监测数据。

7.3.7 滑坡事件发生后，应及时开展灾后评估，分析预警系统的有效性，总结经验教训，完善预警机制。

7.4 信息平台

7.4.1 信息平台建设应满足如下要求：

1 信息平台设计应遵循“先进、适用、稳定、安全、经济”原则，采用模块化结构，便于扩展、维护与升级。

2 平台应满足自动、连续、实时监测需求，具备前端数据管理、动态可视化、智能预警分析及决策支持能力。

3 平台应支持多方式预警信息发布（短信、传真、无线广播等），确保预警信息精准推送至相关部门及人员，并具备应急响应流程管理功能。

7.4.2 平台架构包括数据采集层、数据处理层和应用服务层，各层应满足如下要求：

1 数据采集层：支持多源异构数据接入（GNSS、测斜仪、渗压计、雨量站等），兼容RS-485、4G/5G、北斗短报文等传输协议。具备断网缓存功能，确保网络恢复后数据自动补传。

2 数据处理层：部署边缘计算节点，实现数据清洗、异常值过滤、实时计算（如位移速率、雨量累计）。支持时序数据库（InfluxDB/TDengine）存储高频监测数据，关系型数据库（PostgreSQL）管理设备及预警规则。

3 应用服务层：提供预警分析、可视化展示、应急指挥等功能模块，支持Web端与移动端访问。

7.4.3 数据管理应满足如下要求：

1 采用统一数据标准，确保各级平台互联互通。

2 通过API接口与陕西省地质灾害监测预警平台对接，实现省-市-县-项目四级数据实时同步。支持与气象、水利部门数据共享（如降雨预报、水库水位），提升预警前瞻性。

7.4.4 扩展性要求

预留数据接口，支持系统功能扩展；支持新技术、新设备的接入。

8 应急处置与社区参与

8.1 应急处置

8.1.1 地质灾害应急包括地质灾害发生后的应急救援和临灾阶段的险情处置两种。灾后阶段调查排查、成因分析、灾情评估、救援安置、应急治理是工作的重点。临灾阶段风险评估、避险疏散和排危除险是处置重点。

8.1.2 应急处置应遵照以人为本、预防为主的原则，最大限度地减少滑坡造成的损失，把保障人民群众生命财产安全作为出发点和落脚点。

8.1.3 对滑坡区域附近的交通应进行管制，确保救援车辆和人员的通行。设置警示标志和路障，防止无关人员进入危险区域。

8.1.4 当滑坡产生较大位移或危及相关设施安全时，应及时预警，停止施工，根据险情采取应急抢险措施，控制滑坡变形，确保施工与运营安全。具体措施包括如下内容：

- 1 紧急疏散避险
- 2 及时上报反馈
- 3 后缘减载
- 4 前缘反压
- 5 临时支挡加固工程
- 6 截、排水措施
- 7 裂缝回填、封面处理
- 8 快速建立滑坡应急监测系统

8.1.5 应急抢险优先选择地表排水防渗、裂缝夯实、后缘减载、压脚等简易工程措施。必要时，采用钢管微型桩、预应力锚索、钢板桩、集排水等工程措施。

8.1.6 应急抢险工程措施应与永久性防治工程相结合，永久性防治工程设计应考虑应急工程对滑坡的作用影响。应急抢险工程应保证滑坡的稳定系数不小于 1.05。

8.1.7 应急抢险期间，监测应将位移监测和人工巡视巡查相结合，位移监测应以地表位移和裂缝监测为主，重点监控滑坡位移变化速率。

8.1.8 经应急抢险处置的滑坡达到基本稳定状态后，应及时进行滑坡的补充勘查和永久性防治工程设计。

8.2 社区参与

8.2.1 地方政府应制定具体政策，将社区参与纳入防灾规划。

8.2.2 在地质灾害风险调查评估成果指导下，确定社区隐患点、风险区域。明确预警信号、信息报告、避险场所、疏散路径，明确社区户籍人口及外来人口的联系方式、脆弱人员帮扶分工等；明确预案启动与结束标准；编制应急响应联络图，说明每个环节的负责人、联络方式和工作内容、方法。

8.2.3 通过社会公告、宣传册、短视频等，向居民说明滑坡风险区域、预警信号及逃生路线。

8.2.4 定期组织滑坡应急演练，提高居民和应急人员的应急处置能力。演练内容应包括疏散、救援、抢险等各个环节。防灾避险演练应按如下内容执行：

- 1 应制定避险演练计划，包括演练时间、地点、类型、人员、次数等。
- 2 宜每年至少开展一次避险演练。
- 3 监测员、责任人及受威胁人员应参加防灾避险演练，熟悉预警信号、撤离路线、避险场所等。

8.2.5 社区应当根据所在地人民政府的要求，结合自身的实际情况，开展地质灾害防治知识的宣传培训活动。培训应按如下内容执行。

- 1 制定宣传培训计划，包括培训内容、对象、期次等，培训对象包括监测员、责任人及受威胁人员等。
- 2 适时开展滑坡防治知识宣传培训，内容包括滑坡类型和识别、发生原因和机理，诱发和控制因素，监测预警、防灾避险技能等。
- 3 培训社区志愿者定期巡查隐患点，使用简易设备记录（雨量计、测距仪）数据。

8.2.6 发生灾险情时，应及时上报灾险情信息，具体包括时间、地点、灾害类型、人员伤亡及损失情况、威胁对象等。在确保安全的前提下，可实施力所能及的布设雨布、填埋裂缝、压脚等排除险措施，配合应急救援。灾后积极总结并吸取经验教训。

8.2.7 预报预警应符合以下规定：

- 1 发生滑坡灾险情时，监测员和责任人应及时采用喇叭、铜锣等仪器（设备）发布预警信号。
- 2 紧急情况下，监测员或责任人应及时组织人员撤离。
- 3 建立滑坡灾害预警体系后，地方政府及社区宜负责滑坡预警体系的运营与维护。
- 4 与社区签订防灾责任书，明确居民在预警响应中的义务（如及时疏散、保护监测设施）。

9 韧性运维与调控

9.1 一般规定

9.1.1 应编制滑坡运维与调控要求，建立黄土滑坡防治设施的运维体系，明确责任主体，并接受当地自然资源部门的监督或指导。

9.1.2 黄土滑坡的韧性运维主要包括专业化监测，日常巡视巡查，各类设施的管护和资料的整理、分析反馈及管理。

9.1.3 应不定期对监测成果，运维管护成果进行分析总结和动态调整，确保治理措施的稳定性和有效性，提升生态系统的韧性，增强抗灾能力。

9.2 韧性运维

9.2.1 定期运维周期性要求应符合以下规定：

- 1 季度检查：对监测设备、排水沟渠、防护结构进行功能性检查，清理淤堵，修复损伤。
- 2 年度评估：对滑坡区域韧性水平、监测设施运行状态、工程设施的功能、应急资源储备情况等进行评估。
- 3 自动型信息采集监测站、简易型信息采集监测站、监测预警发布平台应进行定期维护，分级进行，并做好记录。
- 4 黄土地区雨季应增加临时巡查频次，防范强降雨引发的突发风险。
- 5 对于可能造成重大财产损失或人员伤亡的滑坡，应编制应急预案，并定期进行应急演练。

9.2.2 运维过程须形成台账，包括检查时间、问题清单、整改措施及验收结果，定期向上级主管部门提交报告。每月定期提交运行维护简报，包括巡查情况、抽查情况、故障率统计及处理结果。

9.2.3 构建智能化监测预警平台，实现数据实时传输、分析和预警信息自动推送，平台运维需符合系统稳定性要求。省、市、县三级每天分级巡查监测预警发布平台，确认各功能模块、基础信息是否正常，并做好记录。

9.3 韧性调控

9.3.1 韧性调控应基于物联网技术，构建“监测—预警—决策—调控”闭环系统，实现实时数据采集、分析和预警信息自动推送。监测数据实时接入预警平台，触发生态防护补强措施，利用机器学习算法分析历史滑坡数据，动态调整预警阈值，提升预警准确率至 90%以上。

9.3.2 建立多部门协同管理平台，整合自然资源、应急管理、气象、交通等部门数据，实现信息共享与联动响应，有效提升应急处置效率。

9.3.3 在风险升级阶段，通过社区广播、短信推送疏散指令。灾后通过无人机巡检和三维建模，快速评估损失，智能生成修复方案，优先恢复生命线工程。

9.4 韧性评价

9.4.1 对于黄土滑坡治理效果应进行动态评价。对于治理效果不达标的（部分或全部失效），应由专业单位对原勘察设计文件、施工资料、监测结果等进行分析评价，可结合适当的勘察、检测等手段查明原因，并及时进行补强设计、施工，其标准不得低于原设计要求。

9.4.2 对于在使用过程中遭受超标准工况或灾害（如水灾、撞击、火灾等）的治理工程，应由建设方组织设计等相关单位对治理工程进行评估，并根据评估结果提出科学合理的设计、补强措施及运维管护要求。

9.4.3 对于达到设计使用年限的工程设施，由于治理工程的特殊性，宜由多部门共同管理，组织专业单位对已有工程措施、运维管护资料等进行检测、综合分析，评价工程措施的有效性，在确保安全的前提下尽量考虑延长服务年限。

9.4.4 宜定期对评价结果进行公示，便于公众了解黄土滑坡治理工程的实际效果，增强公众对地质灾害防治工作的信任。

附 录 A
(资料性附录)
黄土滑坡分类方式

据滑坡厚度、滑坡体积、成因特征、滑面位置、运动特征、滑动模式等因素进行黄土滑坡分类。

表 A.1 黄土滑坡分类方式

划分方式	名称类别	特征说明
滑体厚度	浅层滑坡	滑坡体厚度在 10m 以内
	中层滑坡	滑坡体厚度在 10~25m 之间
	深层滑坡	滑坡体厚度在 25~50m 之间
	超深层滑坡	滑坡体厚度超过 50m
滑体体积	小型滑坡	$V < 10 \times 10^4 \text{m}^3$
	中型滑坡	$10 \times 10^4 \text{m}^3 \leq V < 100 \times 10^4 \text{m}^3$
	大型滑坡	$100 \times 10^4 \text{m}^3 \leq V < 1\,000 \times 10^4 \text{m}^3$
	特大型滑坡	$1000 \times 10^4 \text{m}^3 \leq V < 10000 \times 10^4 \text{m}^3$
	巨型滑坡	$V \geq 10000 \times 10^4 \text{m}^3$
成因特征	降雨诱发型滑坡	由持续性降雨或短时暴雨渗透引发，滑面多位于黄土-古土壤界面或钙质结核层；典型形态：后缘陡坎明显，前缘鼓胀裂缝发育
	灌溉渗透型滑坡	由农田漫灌、管道渗漏或水库渗流导致地下水位上升诱发；分布特征：集中于台塬边缘、灌区下游
	开挖卸荷型滑坡	因道路切坡、基坑开挖或采矿活动破坏坡体平衡；破坏模式：多表现为局部坍塌或渐进式后退
	地震震动型滑坡	由地震动荷载引发黄土结构液化或裂隙贯通，多表现为高速远程滑动
滑面位置	层内滑坡	滑动面位于黄土层内部，常见于厚层均质土内
	接触面滑坡	滑动面位于黄土与下伏基岩或古土壤层交界处，易因透水性差异形成软弱带
	复合型滑坡	滑动面贯穿黄土
运动特征	错落转动型	黄土体沿弧形破裂面发生旋转滑动，常见于黄土塬边或陡崖处
	崩塌推移型	短时间内的突发滑坡，黄土土体沿斜坡快速推移，堆积物呈扇形分布
	蠕动平移型	黄土体沿软弱夹层缓慢滑动
滑动模式	牵引式滑坡	坡脚先失稳，逐级向后缘牵引发展；识别标志：多级台阶状地形，后缘呈“圈椅状”
	推移式滑坡	坡顶加载或后缘裂缝充水推动整体滑动；识别标志：前缘隆起，侧翼羽状剪切裂缝
	复合式滑坡	兼具牵引与推移特征，常伴随旋转滑动；识别标志：滑体表面起伏大，主滑方向与次级滑移面交错

附 录 B
(规范性附录)
黄土滑坡风险等级、韧性等级及防控措施

黄土滑坡的稳定性划分为稳定、基本稳定、欠稳定和不稳定四级，见表 B. 1。

表 B.1 黄土滑坡稳定性等级划分表

稳定性等级	发育特征	稳定性系数
不稳定	陡且常处于地表径流的冲刷之下，有季节性泉水出露，岩土潮湿、饱水。坡面上有多条新发展的滑坡裂缝，贯通性强，其上建筑物、植被有新的变形迹象。后缘壁上可见擦痕或有明显位移迹象，后缘弧形裂缝和两侧羽状剪切裂缝发育。	$F_s<1.00$
欠稳定	前缘临空，有间断季节性地表径流流经，岩土较潮湿，坡面上发育有新生裂缝，具有一定贯通性，其上建筑物、植被有较明显的变形迹象。后缘一定数量裂缝发育，后缘壁上较为明显变形迹象。	$1.00\leq F_s<1.05$
基本稳定	前缘临空，有少量间断季节性地表径流流经，岩土体较干燥，坡面上局部有小的裂缝，其上建筑物、植被少量变形迹象。后缘有断续的小裂缝发育，后缘壁上有不明显变形迹象。	$1.05\leq F_s<F_{st}$
稳定	前缘斜坡较缓，临空高差小，无地表径流流经和继续变形的迹象，岩土体干燥。坡面上无裂缝发展，其上建筑物、植被未有新的变形迹象。后缘壁上无擦痕和明显位移迹象。	$F_s\geq F_{st}$
注： F_{st} 为滑坡稳定安全系数，根据滑坡防治工程等级及其对工程的影响综合确定。可参考当地经验值		

黄土滑坡的危害对象划分为城镇、交通、水利、矿山等，危害性等级划分为极高危害性、高危害性、中危害性、低危害性四级，见表 B. 2。

表 B.2 地质灾害危害性等级划分表

危害性等级		极高	高	中	低
危害对象	城镇	威胁人数 ≥ 300	$100\leq$ 威胁人数 <300	$30\leq$ 威胁人数 <100	威胁人数 <30
		潜在经济损失 ≥ 10000	$5000\leq$ 潜在经济损失 <10000	$500\leq$ 潜在经济损失 <5000	潜在经济损失 <500
	交通运输	一级铁路，高速公路	二级铁路，国道、省道	三级铁路、铁路支线，县级公路，专用公路	乡村公路
	水利工程	大型水库、重大水利水电工程	中型水库、省级重要水利水电工程	小型水库，市级重要水利水电工程	县级水利水电工程
	矿山	大型矿山	中型矿山	小型矿山	其他矿山
注：只需其一达到标准即可判定相应的级别。危害对象根据实际情况调整。					

根据滑坡规模、威胁对象、潜在经济损失及社会影响，黄土滑坡风险等级划分为高风险、高风险、中风险、低风险四个等级，见表 B. 3。

表 B.3 地质灾害风险等级划分表

危害性 稳定性等 风险等级	不稳定	欠稳定	基本稳定	稳定
	极高	极高	高	中
高	极高	高	中	中
中	高	高	中	低
低	高	中	低	低

根据黄土滑坡的风险等级，韧性防控等级可划分为高韧性、中韧性、低韧性三级，见表 B. 4。

表 B.4 黄土滑坡风险等级与韧性防控等级、目标对应表

风险等级	韧性防控等级	防控目标
极高风险	高韧性	实现“抗滑-监测-应急-恢复”全链条防控
高风险	中韧性	以工程抗滑为核心，结合监测预警与社区避险
中风险		
低风险	低韧性	以生态修复和简易监测为主，降低长期失稳风险

黄土滑坡韧性防控应根据韧性防控等级，制定对应的韧性防控措施，见表 B. 5。

表 B.5 黄土滑坡韧性防控措施建议表

韧性防 控等级 技术措施 防控 建议	削方减 载	坡脚反 压	抗滑桩	锚固工 程	挡墙工 程	排水工 程	生态工 程	监测预 警
	●	○	●	●	◎	●	○	●
高韧性	◎	○	●	◎	●	●	◎	◎
中韧性	◎	○	◎	○	●	●	●	◎
低韧性								

注：“●”表示应采用；“◎”表示宜采用；“○”表示可采用。

附 录 C
(资料性附录)
地质环境条件复杂程度

根据地形地貌、地质构造、黄土性质、人类工程活动、黄土特征等划分为复杂、中等和简单三级，见表 C.1。

表 C.1 地质环境条件复杂程度划分

等级	复杂	中等	简单
地形地貌	相对高度>500m，坡度>25°，地貌类型多样	相对高度 200~500m，坡度 15~25°，地貌类型较单一	坡度<15°，地貌类型单一
地质构造	褶皱、断裂构造发育，新构造运动强烈，地震频发，最大震级 Ms>6 级或地震加速度 a>0.20g	褶皱、断裂构造较发育，新构造运动较强烈，地震较频发，最大震级 4.5<Ms≤6 级或地震加速度 0.10~0.20g	地质构造简单，新构造运动微弱，活动断裂不发育，地震少，最大震级 Ms≤3 级或地震加速度 a<0.10g
黄土性质	具有强烈湿陷性	具有中等湿陷性	具有弱湿陷性
人类工程活动	大、中型水库，公路、铁路沿线边坡开挖量大，矿山开采活动强烈，城镇化建设速度快，城镇化率>30%	小型水库，公路、铁路沿线边坡开挖量较大，矿山开采活动较强烈，城镇化建设速度较快，城镇化率 20%~30%	无水库工程建设，公路、铁路沿线边坡开挖量小，矿山开采活动微弱，城镇化建设速度缓慢，城镇化率<20%
滑坡特征	超深层、深层滑坡，巨型、特大型滑坡，复合层滑坡，	中层滑坡，大型、中型滑坡，接触面滑坡，	浅层滑坡，小型滑坡，层内滑坡

参 考 文 献

[1]GB 50010 混凝土结构设计规范

[2]GB 50011 建筑抗震设计规范

[3]GB 50086 锚杆喷射混凝土支护技术规范

[4]DZ/T 0261 滑坡崩塌泥石流灾害调查规范

[5]DZ/T 0460 地质灾害自动化仪器监测预警规范

[6]DZ/T 0284 地质灾害排查规范

[7]T/CAGHP003 抗滑桩治理工程设计规范（试行）

[8]TCAGHP014 地质灾害地表变形监测技术规程

[9]TCAGHP050 地质灾害生物治理工程设计规范（试行）

[10]TCAGHP055 滑坡崩塌防治削方减载工程设计规范

[11]TCAGHP056 滑坡防治回填压脚治理工程设计规范

[12]DBJ61/T192 湿陷性黄土地区边坡工程勘察规范

[13]DBJ61/T181 地质灾害防治工程勘察规程

[14]DBJ61/T1433 地质灾害群测群防规范

[15]DBJ61/T1465 地质灾害应急调查规范

[16]DBJ61/T589 地质灾害预报技术规程

[17]《工程地质手册》(第五版)