

团 体 标 准

T/CCTAS XX—2024

边坡柔性防护网工程应用技术规程

Technical code for flexible protection net engineering application of slope

征求意见稿

(本草案完成时间：2024年7月)

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

中国交通运输协会 发布

目 次

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	3
5 危岩落石勘察	4
6 工程方案设计	5
6.1 一般规定	5
6.2 工程安全防护等级	6
6.3 工程安全防护等级	8
6.4 主动防护系统工程	8
6.5 被动防护网工程	8
6.6 引导防护系统	10
6.7 锚固点	10
7 施工	11
7.1 一般规定	11
7.2 施工组织设计	11
7.3 二次设计	12
7.4 产品质量检验	12
7.5 结构安装	13
7.6 锚固点施工	15
8 工程验收	15
9 运营养护	17
9.1 巡检要求	17
9.2 维修要求	19
9.3 养护资料要求	19
附 录 A	20

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。

本文件由中国交通运输协会新技术促进分会提出。

本文件由中国交通运输协会标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：中交第一公路勘察设计研究院有限公司、四川奥思特边坡防护工程有限公司、四川省公路规划勘察设计研究院有限公司、四川省交通建设集团股份有限公司、北京市首发高速公路建设管理有限责任公司、广西交通设计集团有限公司、广西北投交通养护科技集团有限公司、吉林省交通规划设计院、中铁六局集团北京铁路建设有限公司、中交基础设施养护集团有限公司、北京市勘察设计研究院有限公司。

本文件主要起草人：刘卫民、夏旺民、吕汉川、彭 李、向 波、吴思桐、叶琼瑶、骆俊晖、胡雪峰、王 元、刘奉良、王 萌、蒋 荣、范铁强。

柔性防护网工程应用技术规程

1 范围

本文件规定了危岩落石柔性防护网工程的基本规定、危岩落石勘察、工程方案设计、施工、工程验收、运营养护等的技术要求。

本文件适用于公路边坡的危岩落石柔性防护网工程。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 滑坡防治工程勘察规范

GB 50021 岩土工程勘察规范

GB 50086 岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范

JT/T 1328 边坡柔性防护网系统

JTG/T 3610 公路路基施工技术规范

JTG 5110 公路养护技术标准；

JTG 5150 公路路基养护技术规范；

JTG C20 公路工程地质勘察规范

JTG D30 公路路基设计规范；

TB 10414 铁路路基工程施工质量验收标准

TB 10751 高速铁路路基工程施工质量验收标准；

TB/T 3449 铁路边坡柔性被动防护产品落石冲击试验方法与评价

3 术语和定义

JT/T 1328-2020界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

危岩 dangerous rock

被多组结构面切割分离，稳定性差，可能以倾倒、坠落、滑移等形式发生崩塌的地质体。

3.2

危岩落石灾害调查 investigation of rockfall hazard

为确定危岩落石发生源的规模、稳定性、危害性等级和危岩落石的运动路径、弹跳高度、运动能量等危险性所进行的综合性地质调查。

3.3 危险源危岩性等级 risk grade of rockfall source

发生危岩落石可能性等级。

3.4 危害性分级 hazard grade

发生危岩落石后可能造成的破坏程度等级。

3.5 危岩落石运动 movement of rockfall

落石在坡面上滑动、滚动、弹跳的运动过程。

3.6 危岩落石路径 trajectory of rockfall

岩体失稳脱离母岩在坡面上运动后留下的痕迹。

3.7 落石弹跳高度 bounce height of rockfall

落石沿坡面向下运动至静止状态过程中，落石与其在坡面投影点之间的距离。

3.8 落石运动轨迹 movement path of rockfall

沿坡面向下运动至静止状态过程中，用来表征落石空间位移路径的连续曲线。

3.9 落石冲击能量 impact energy of rockfall

沿坡面向下运动至静止状态过程中，用来表征落石所具有的能量。

3.10 柔性防护网系统 flexible protection net system

以柔性金属网为主要构件，通过固定、拦截、引导等基本作用形式来防治危岩落石等灾害的防护结构及构件组合体，简称防护网。

3.11 防护能级 protective energy level

柔性防护网的标称防护能力等级。

3.12 有效防护高度 effective protective height

沿垂直于坡面的方向进行测量，被动防护网中上支撑绳与基座底板连线之间的最小距离。

3.13 防护等级 protection grade

根据柔性防护网工程保护的工程设施的重要性而确定的柔性防护网工程的重要性级别。

3.14

边坡柔性防护网工程 flexible protection net engineering of slope

采用主动防护系统、被动防护系统、引导防护系统等防护措施进行坡面危岩落石防治的工程。

3.15

锚固点 Anchor position

柔性防护网工程中用于将钢柱基座、支撑绳、拉锚绳、锚垫板等构件与边坡岩土体连接的构筑物。

3.16

运营养护 maintain

柔性防护网工程建成后，公路建设、运营期间对柔性防护网工程的巡检、维修等工作。

4 基本规定

4.1 柔性防护网工程应严格按照本文件进行勘察、设计、施工、监理、产品质量检验和工程验收，以及后期运行维护等工作。

4.2 柔性防护网工程一般宜按照图1的技术流程进行实施：

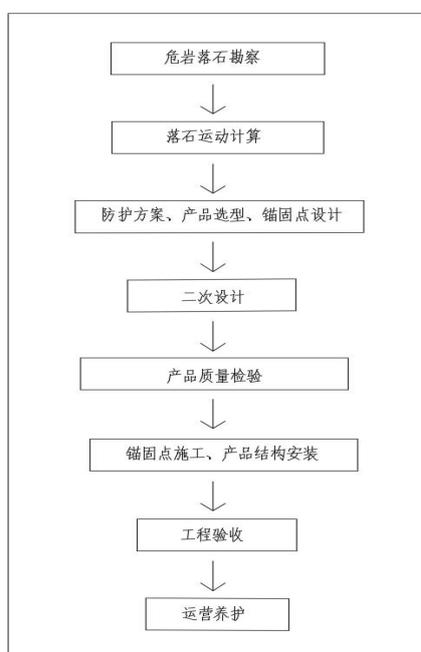


图1 柔性防护网工程技术实施流程

4.3 柔性防护网工程应保障安全、技术可靠、经济合理为原则，合理选择和优化配置柔性防护网的类型和产品，宜和其他边坡防护措施结合使用。

- 4.4 柔性防护网工程应与环境相协调，保护和改善环境。
- 4.5 柔性防护网工程应做好施工前的产品检验、施工中的隐蔽工程验收、施工完后的资料存档。
- 4.6 为保证工程施工和运营期安全，应建立健全科学可靠的险情监管预警和应急处置机制。
- 4.7 柔性防护网工程的设计、招投标、施工、质量检验及工程验收过程中应贯彻柔性防护网系统产品标准。
- 4.8 柔性防护网工程在运营期间应定期进行养护。

5 危岩落石勘察

5.1 地质环境调查应包括内容：

- a) 危岩、落石历史事件与宏观变形破坏迹象；
- b) 工作区地貌单元、地层、区域断裂，核实主要活动断裂的分布特征，及其与危岩发育的关系；
- c) 分析各种结构面与边坡空间关系及其对危岩稳定性的影响；
- d) 危岩区及周边地区社会经济、人类工程活动及植被特征，分析其与危岩灾害的关系；
- e) 充分收集水文、气象等资料。

5.2 工程地质勘探与测试应包括以下内容：

- a) 查明危岩结构及控制性结构面的位置，了解地下水水文特征；
- b) 勘探可采用主—辅勘探线（剖面）法，针对单个危岩不少于一条主纵剖面 and 一条主横剖面；
- c) 勘探线（剖面）应由钻探、井探、槽探及物探等勘探点构成；
- d) 勘探方法主要采用井探、槽探相结合，必要时可采用钻探或物探沿勘探线进行补充勘测验证；
- e) 勘探深度应以查明控制性结构面分布为原则进行；
- f) 采取岩土水试样，测试其物理力学性质指标；
- g) 崩塌落石地质测绘与调查比例尺应满足：平面测绘比例尺宜为 1:500~1:200，剖面测绘比例尺宜为 1:500~1:100。

5.3 危岩落石勘察应查明以下内容：

- a) 山体稳定性；
- b) 边坡的坡度、坡向；
- c) 边坡岩土结构（土质/岩质等类型）；
- d) 危岩落石的分布；
- e) 危岩落石与保护对象的空间位置关系；

- f) 危岩落石的规模;
 - g) 危岩落石块径大小、粒径特征;
 - h) 危岩落石运动轨迹、冲击能量、弹跳高度、危岩落点在坡面切面图中垂直及水平方向的相对位置关系,宜通过二维、三维落石运动计算软件获得,也可参照附录 A 进行计算;
 - i) 危岩发生坠落后落点位置与保护对象间的位置关系;
 - j) 边坡植被发育情况。
- 5.4 危岩落石勘察的范围在水平方向上应大于潜在灾害位置边界 500m,下部应至坡脚、上部应至坡顶。
- 5.5 应结合试验、已有工程经验合理确定岩土体物理力学指标,分析落石运动力学参数,提出防治工程方案建议。
- 5.6 施工条件调查应包括以下内容:
- a) 结合拟实施的防治工程方案,有针对性的开展施工场地条件调查;
 - b) 对施工所需建筑材料及来源、施工运输条件、施工所需能源进行调查;
 - c) 施工用水和生活用水调查、评价施工及生活用水的水量及质量。
- 5.7 勘察成果应包括勘察报告、原始测试报告、现场照片、影像资料、平面图、剖面图等附件及供方案设计使用的工程地质图册。

6 工程方案设计

6.1 一般规定

- 6.1.1 本文件规定的设计方法适用于整体稳定或治理后整体稳定的边坡上的危岩落石柔性防护网工程的设计。
- 6.1.2 柔性防护网系统分为主动防护系统、被动防护系统、引导防护系统三类。
- 6.1.3 柔性防护网设计时,应依据勘察报告提供的环境和地质资料、防护措施建议以及防护工程安全等级、技术经济条件、后期维护条件、各类柔性防护网技术特点等因素综合考虑,选取适宜的柔性防护网类型。
- 6.1.4 地形复杂的边坡,尤其是高陡边坡,宜根据边坡地质、地形条件及危岩分布特征,横向分区、纵向分段进行柔性防护网工程设计。
- 6.1.5 柔性防护网工程宜与其他坡面防护措施结合使用。
- 6.1.6 超过柔性防护网工程承受极限的危岩应进行清理或加固处理。

6.1.7 柔性防护网工程设计文件应包括下列方面的内容：

- a) 危岩落石勘察；
- b) 平面布置图、纵横向剖面图；
- c) 图中应明确柔性防护网设置高程、范围，防护能力等级、设计使用年限及防腐年限；
- d) 系统结构示意图；
- e) 基础设计图；
- f) 柔性防护网系统在系统、构件、材料上的要求；
- g) 施工安装要求；
- h) 材料及工程验收要求；
- i) 环境保护及其他要求。

6.1.8 设计中所采用的柔性防护网材料、元件、构件应符合 JT/T 1328 的相关要求。

6.1.9 被动防护网、张口式引导防护系统拦截部分应明确易维修性等级要求。

6.1.10 对于非临时性工程，柔性防护网的所有外露材料和构件都应根据柔性防护网工程保护对象的使用年限提出防腐要求。

6.1.11 对于防护工程为 I 级、II 级或重要工程宜对危岩落石及防护措施进行监测。

6.2 工程安全防护等级

6.2.1 崩塌落石易发性评价

6.2.1.1 崩塌落石区域易发性评价可采用 GIS 平台开展，评价单元可采用栅格单元或斜坡单元。栅格分辨率应优于 30m×30m。边坡单元可采用汇水盆地与河网沟谷结合的方法剖分，单元尺寸宜根据地形切割和边坡地质灾害发育程度确定。

6.2.1.2 评价方法可采用定量、半定量法，也可采用极限平衡法，如确定性系数法、频率比法、逻辑回归法、信息量法、多元统计法、层次分析法、证据权法等统计驱动模型，也可采用极限平衡法等物理驱动模型。

6.2.1.3 在 GIS 平台下，制作评价区域地形地貌(高程、坡度、坡向)、地层岩性、地质构造、水系、植被、人类活动等因子的图层文件。

6.2.1.4 运用 GIS 平台的空间分析模块对各因子图层进行叠加分析，得到评价区域各单元易发性评价量值 $P(S)$ 。各单元易发性评价量值 $P(S)$ 需归一化处理，取值范围 $[0, 1]$ 。

6.2.1.5 叠加分析得到的易发性评价量值 P(S) 可按等间距分类的分类方法进行易发性评价, 以 [0.75, 1.0], [0.50, 0.75), [0.25, 0.50), [0, 0.25) 将评价结果图分为极高易发区、高易发区、中易发区、低易发区 4 级, 得到斜坡地质灾害易发性区划图。

6.2.1.6 评价结果可选取受试者工作特征曲线 (Receiver Operating Characteristic Curve, ROC) 的曲线下面积值 (Area Under Curve, AUC) 进行验证。

6.2.2 崩塌落石危险性评估

崩塌落石危险性 H 宜采用多指标打分求和法确定, 指标包括地形、公路、地质、气象水文、崩塌历史等因子, 将各打分项相加后乘以与防护措施相关的加权因子, 按得分 ≥ 400 、[250, 400)、[100, 250)、 < 100 可将崩塌危险性划分为极高危险性、高危险性、中危险性、低危险性。崩塌危险性分级标准见表 1。各单元危险性 H 需归一化处理, 取值范围 [0, 1]。

表1 崩塌危险性分级标准

指标	类别	分级标准和打分			
		3分	9分	27分	81分
地形因子 (I)	坡高 (I_1) /m	[5, 15]	(15, 25]	(25, 35]	> 35
	坡度 (I_2) /°	[15, 25]	(25, 35]	(35, 50]	> 50
	坡长 (评估段) (I_3) /m	≤ 70	(70, 150]	(150, 230]	> 230
公路因子 (II)	公路等级 (II1)	一般公路	省道	国道	高速公路
	公路构筑物特征 (II2)	一般路基	特殊路基 (深挖高填, 斜坡路基)	隧道洞口	桥梁
地质因子 (III)	岩体结构 (III1)	岩体块状结构、巨厚层状结构、厚层状结构	中厚层状结构、互层状结构 (近水平或倾内)	中厚层状结构、互层状结构 (倾外)、薄层状结构	破碎结构、散体结构
	结构面状态 (III2)	粗糙不规则	波状起伏光滑	平直光滑	黏土充填或见擦痕
	危岩落石体积 (III3)	落石尺寸/m	≤ 0.3	(0.3, 0.6]	(0.6, 0.9]
危岩体积/ m^2		≤ 2	(2, 6]	(6, 10]	> 10
气象水文因子 (IV)	三日累积降雨量和斜坡中水的赋存 (IV)	≤ 30 mm 降雨, 无冰冻期, 斜坡干燥	(30, 60]mm 降雨或冰冻期短或斜坡间断有水	(60, 180]	> 180 mm 降雨和长冰冻期或斜坡一直有水 and 较长冰冻期
崩塌史因子 (V)	崩塌历史 (V)	很少岩崩	偶尔岩崩	较多岩崩	经常岩崩
防护措施加权 (VI)	加权因子项防护措施成效 (VI)	0.7 有两项防护措施, 且防护效果良好	0.8 有一项防护措施, 且防护效果好	0.9 有一项防护措施, 且防护效果不好	1.0 无防护措施
注1: 不包含加权因子项, 打分项共有10项, 满分为810分。					
注2: 崩塌历史因子指评估路段过去5年内曾发生的崩塌事件次数和发生评率, 可分为4个等级: 很少岩崩, 近5年发生崩塌1次一下; 偶尔岩崩, 近5年发生崩塌2次; 较多岩崩, 近5年发生崩塌3次; 经常岩崩, 近5年发生崩塌3次以上。					

6.3 工程安全防护等级

柔性防护网工程安全防护等级应按危岩落石的易发性和危险性确定，分级应满足表2的要求。

表2 柔性防护网工程安全防护等级

危险性 \ 等级 \ 易发性	极高易发区	高易发区	中易发区	低易发区
	极高危险性	I	I	II
高危险性	I	II	III	IV
中危险性	II	III	IV	V
低危险性	III	IV	V	V

6.4 主动防护系统工程

6.4.1 主动防护系统适用于整体稳定、岩体节理裂隙较发育的边坡坡面危岩加固。

6.4.2 主动防护系统布置范围应有效覆盖勘察报告确定的危岩或潜在危岩落石分布区域，并向四周稳定区域外延不小于 2m。

6.4.3 根据危岩崩落时或崩落后的堆积体与防护网间的相互作用方式，柔性防护网网片的承载力应符合下式要求：

$$kP \leq R \quad (\text{式1})$$

式中： P ——荷载标准值，荷载标准值 P 可根据可能失稳的岩块对网片产生的静载确定。

R ——承载力设计值。

k ——安全系数，安全防护等级为 I 取 1.8，II 取 1.5，III 取 1.3，IV 取 1.1，V 取 1。

6.4.4 坡面凹凸较大处，应结合坡面起伏特征设置锚杆，使柔性金属网尽可能贴紧坡面。

6.5 被动防护网工程

6.5.1 被动防护网适用于坡面危岩较发育，具备拦截条件且有清理维护条件的整体稳定的边坡。

6.5.2 被动防护网的设置位置应根据潜在危岩落石特征、坡面条件和落石运动轨迹、冲击能量、弹跳高度等因素综合确定。

6.5.3 被动防护网宜布置在危岩落石冲击动能和弹跳高度均较小、易于施工安装和维护，且对生态环境影响较小的高程附近。

6.5.4 对于防护工程安全等级为 I 级和 II 级的被动防护网，宜根据勘察报告建议的危岩落石威胁区域，或者采用三维危岩落石模拟方法确定的危岩落石威胁区域进行设计，并按下列原则布置被动防护网：

a) 除主要用于将危岩落石导入邻近的沟谷或者是需要跨越局部陡坎或沟槽外,单道被动防护网宜沿同一高程线延伸布置;

b) 除危岩落石威胁区域两侧边界为陡壁或沟谷外,被动防护网的走向两端应向所在高程危岩落石威胁区域两侧边界外再延伸至少5m;

c) 被动防护网工程可根据防护需要,沿高程方向设置一道或多道。原则上同一高程处防护网应连续设置,当受地形限制难以设于同一高程(或需要)时,可分段设置在不同高程处,但相邻两道防护网间交错长度不应小于5m。

6.5.5 被动防护网安装位置处,危岩落石冲击平动速度标准值应符合下式要求:

$$v_k \leq v_r \quad (\text{式2})$$

式中: v_k ——危岩落石冲击平动速度标准值;

v_r ——被动防护网所用柔性金属网的容许危岩落石最大冲击平动速度,宜按被动防护网定型试验时的最大冲击速度提高5m/s确定。当缺乏试验数据时,则环形网取35m/s,其他网型取30m/s。

6.5.6 被动防护网设置位置的落石弹跳高度不应大于被动防护网的有效防护高度,被动防护网的有效防护高度应按式确定:

$$h_p \geq h_d + D \quad (\text{式3})$$

式中: h_p ——被动防护网结构有效防护高度(m);

h_d ——落石弹跳高度(m);

D ——落石最大长边尺寸,当 D 小于1m时,取1m。

6.5.7 被动防护网的防护能级应符合下式要求:

$$E_B \geq \gamma_E E_d \quad (\text{式4})$$

式中: E_B ——实际采用的被动防护网的防护能级标称值(kJ);

γ_E ——被动防护网防护能级的防护工程安全等级分项系数,安全防护等级为I取1.8,II取1.5,III取1.3,IV取1.1,V取1,单道被动防护网仅有一跨或两跨时则应取为2;

E_d ——危岩落石冲击动能设计值(m);

6.5.8 被动防护网与其所保护的区域或建筑物间的顺坡面安全距离应符合下式要求:

$$d_s \geq \gamma_d d_B \quad (\text{式5})$$

式中: d_s ——被动防护网与其所保护区域或建筑物间的顺坡面安全距离(m);

d_B ——被动防护网缓冲距离标准值(m);

γ_d ——被动防护网缓冲距离分项系数，一般宜取 1.3。

6.5.9 连续布置的单道被动防护网长度较大时，应进行支撑绳分段，并结合被动防护网的局部走向综合考虑分段位置，设置分段钢柱上的拉锚绳。各支撑绳分段长度宜为 50m，不应大于 60m。

6.6 引导防护系统

6.6.1 引导防护网工程适用于岩体节理裂隙发育、落石频发、坡面陡且长，落石清理困难的整体稳定边坡或需要限制落石运动轨迹的地段。

6.6.2 引导防护网可根据与保护对象的空间距离，在下部采用封口或开口设计，开口设计时可与拦挡工程配合使用。

6.6.3 采用张口式引导防护网时拦截部分应根据落石运动轨迹、冲击能量、弹跳高度并参照 6.5.5~6.5.8 条的规定综合确定，布置宽度应向两侧缘外延伸不小于 5m。

6.6.4 坡面危岩落石威胁区域采用覆盖式引导防护网时，布置范围宜向需防护区域的上缘外延伸不小于 3m，向两侧缘外延伸不小于 5m。锚杆应设置于稳定的岩土体。上排锚杆设置位置高于防护区域时，宜设悬吊绳将上排锚杆与上支撑绳相连。

6.6.5 张口式引导防护网覆盖部分和覆盖式引导防护网各构件所受荷载应进行设计。

6.6.6 引导防护网长度较大时，应分段设置，每段长度不宜大于 60m。

6.7 锚固点

6.7.1 根据柔性防护网类型和锚杆承载条件的不同，柔性防护网的锚杆类型宜按下列原则选择：

a) 除临时防护工程外，均采用全长粘结锚杆或混凝土基础埋置锚杆，或在上覆土层段采用混凝土基础而下覆岩石段采用钻孔注浆复合式构造锚；

b) 与支撑绳、拉锚绳等钢丝绳类构件端部相连接的锚杆，宜采用锚头有连接环套的柔性锚杆，包括由单根钢丝绳或钢绞线弯折而成的钢丝绳锚杆、由钢丝绳或钢绞线弯折而成的柔性锚头与锚固段钢筋杆体连接而成的复合式柔性锚杆；

c) 梅花形锚固网的带锚垫板锚杆和被动防护网基座锚固锚杆应采用钢筋锚杆或自钻式中空注浆锚杆。

6.7.2 柔性防护网用锚杆的设计应符合下列要求：

a) 锚杆的规格尺寸应根据各柔性防护网不同位置所需的锚固力结合工程地质条件计算确定；

b) 柔性锚杆的锚头连接环套内应嵌套套环，或应在连接环套钢丝绳或钢绞线段套装套管；

- c) 钻孔锚杆的注浆应采用强度等级不低于M30的水泥砂浆,埋置锚杆的基础混凝土强度等级应满足耐久性要求;
- d) 锚固点应根据现场情况进行二次设计;
- e) 主动防护系统和引导防护网的锚杆轴向宜垂直于坡面;
- f) 被动防护网和张口式引导防护网用柔性锚杆轴向宜沿其所受拉力方向设置;
- g) 被动防护网和张口式引导防护网钢柱基座的法向锚杆轴向与钢柱间夹角不宜超过 15° 。

6.7.3 不同类型的柔性防护网用锚杆结构的设计计算,应符合 GB 50086 的要求。

7 施工

7.1 一般规定

7.1.1 危岩落石柔性防护网工程施工前,应根据总体规划、设计文件、施工环境、施工技术条件、工程地质和水文地质条件等,制定合理、可行、有效并确保施工安全的专项施工组织设计。

7.1.2 施工前应认真检查进场原材料、构件及施工设备的技术性能是否符合设计要求,不应采用不符合设计要求的原材料或构件进行安装。施工安装时,不应改变设计规定的各类构件的安装位置及其连接关系、连接程度。

7.1.3 柔性防护网工程一般按坡面准备与施工放线、锚杆与基础施工、柔性防护网结构安装的顺序组织施工。一个连续布置的独立或一组相互关联的柔性防护网,宜在完成全部锚杆或基础放线定位后,再进行锚杆与基础的施工作业。

7.2 施工组织设计

柔性防护网工程的施工组织设计应包括以下基本内容:

- a) 工程概况:边坡环境及邻近构(筑)物的基础概况、场区地形、工程地质与水文地质特点、施工条件、柔性防护网系统结构特点、必要的图件及技术难点;
- b) 施工组织管理:组织机构图及职责分工,规章制度及落实合同工期;
- c) 施工准备:熟悉设计图、技术准备、施工所需的设备、材料进场、劳动力、清理坡表、修建施工通道等;
- d) 施工部署:平面布置,柔性防护网工程的分段分阶、施工程序;
- e) 施工方案:锚杆及基础、结构安装等的施工方案,及试验和监测;
- f) 施工进度计划:采用流水作业原理编制施工进度、网络计划及保证措施;
- g) 质量保证体系及措施;
- h) 安全管理及文明施工;

7.3 二次设计

柔性防护工程进场前应对工程地质条件进行复核，并应进行二次设计，设计内容一般包括：

- a) 防护位置，以确保被动防护系统和张口式引导防护系统拦截部分不出现落石越顶的情况；
- b) 微观地质条件下的锚固形式、孔径、深度，以满足柔性防护网抗拔力的要求。

7.4 产品质量检验

7.4.1 柔性防护网进场前应查验厂家提供的具有中国 CMA 认证的质量证明文件，检测单位应提供可追溯性服务，符合 ISO9000 的相关要求。并查明质量证明文件内容真实性和完整性。

7.4.2 柔性防护网的质量证明文件类型应满足表 3 的要求。

表3 柔性防护网质量证明文件类型要求

序号	质量证明文件类型	主动防护系统	被动防护网	张口式引导防护网	覆盖式引导防护网
1	落石冲击试验检测报告	×	√	√	×
2	柔性金属网抗动态冲击性能报告	√	√	√	√
3	柔性金属网抗拉强度报告	√	√	√	√
4	环链拉伸破断力报告 ¹	√	√	√	√
5	中性盐雾试验报告	√	√	√	√
6	消能装置动力性能报告	×	√	√	×
7	材料力学性能报告	√	√	√	√
8	紧固件抗错动拉力、抗脱落拉力报告 ²	√	×	×	×
注 1：√表示必须提供，×表示不提供 注 2：若柔性防护网中未采用环形网，则无需提供环链拉伸破断力； 注 2：若柔性防护网中未采用钢丝绳网，则无需提供紧固件抗错动拉力、抗脱落拉力报告。					

7.4.3 被动防护网产品性能应符合设计要求，应对照质量证明文件进行验收，查验系统能级、系统结构模型、构件型号、材料规格是否与检测报告中的一致。

7.4.4 查验柔性金属网的抗动态冲击性能报告、抗拉强度试验报告，核对抗动态冲击性能和抗拉强度是否符合设计要求。

7.4.5 查验材料的中性盐雾试验报告，核对材料的中性盐雾试验时间是否符合设计要求。

7.4.6 查验消能装置动力性能报告，核对动力冲击性能是否符合设计要求。

7.4.7 构件性能检验和材料性能检验应覆盖柔性防护网的所有构件和材料，抽查数量应符合工程设计要求，工程设计无具体要求时可按 GB/T 2828 标准的要求进行抽样。

7.4.8 钢柱、柔性金属网、消能装置、钢丝绳、卸扣、绳卡、基座、锚杆的规格型号、质量性能应符合设计要求。每进场批检验一次，通过观察外观、尺量、查验核对材料检测报告单进行验收。

7.4.9 查验紧固件抗错动拉力、抗脱落拉力报告，核对抗错动拉力、抗脱落拉力是否符合设计要求。

7.5 结构安装

7.5.1 格栅网或高强度钢丝网时，应将格栅网或钢丝网安装在直接面向危岩落石荷载作用一侧。

7.5.2 柔性防护网应按照设计文件或产品安装指导手册的规定进行安装。未明确规定时，可按 7.5.3～7.5.8 条规定的顺序和方法安装。

7.5.3 完成锚杆施工后，矩阵式锚固网的上部结构宜按下列顺序安装：

- a) 包含格栅网时，宜首先铺挂格栅网片并进行各网片边缘间的扎结；
- b) 支撑绳安装，宜先安装横向支撑绳。先安装纵向支撑绳再安装横向支撑绳时，宜使交叉点处的横向支撑绳从纵向支撑绳下穿过；
- c) 柔性金属网片铺挂及其与支撑绳间的缝合连接；
- d) 包含格栅网时，承载柔性金属网与格栅网间的扎结。

7.5.4 完成坡面准备后，梅花形锚固网可按下列两种顺序之一安装。

7.5.4.1 顺序一：

- a) 放线确定锚杆孔位、锚杆施工；
- b) 包含格栅网时，宜先铺挂格栅网片并进行各网片边缘间的扎结；
- c) 柔性金属网片铺挂及各网片间的连接；
- d) 边界支撑绳安装；
- e) 锚垫板安装，包含格栅网时承载柔性金属网与格栅网间的扎结。

7.5.4.2 顺序二：

- a) 放线确定顶排锚杆孔位、顶排锚杆施工；
- b) 依次进行上边缘排柔性金属网片铺挂及各网片间的连接、上边界支撑绳安装、顶排锚垫板安装，包含格栅网时，宜先铺挂上边缘排格栅网片并进行各网片边缘间的扎结；

- c) 依次进行其他格栅网（包含时）、承载柔性金属网的安装；
- d) 结合已安装柔性金属网与坡面间的贴近状态和设计要求，确定其他锚杆孔位并完成锚杆施工；
- e) 其他锚垫板和边界支撑绳安装，包含格栅网时，宜同时进行承载柔性金属网与格栅网间的扎结。

7.5.5 完成锚杆施工后，铰接钢柱式被动防护网的上部结构宜按下列顺序安装：

- a) 基座安装，采用地层钻孔锚杆固定的基座，宜用砂浆找平安装处地面；
- b) 钢柱与拉锚绳安装，带有防止钢柱朝上坡侧反向倾倒的防倾倒构件时，应同时安装；
- c) 顺端部钢柱设置用以连接端部柔性金属网外侧边缘的边垂绳安装，如其他位置的钢柱也带有这类构件，应同时安装；
- d) 上、下支撑绳安装，柔性金属网与上、下支撑绳采用穿挂方式连接时，应在安装上支撑绳的同时悬挂柔性金属网片，然后再安装下支撑绳；
- e) 若支撑绳、拉锚绳等钢丝绳类构件带有消能装置，应与钢丝绳构件同时安装；
- f) 柔性金属网安装，包括柔性金属网片间及与边垂绳和上、下支撑绳间的连接，包含中部横向约束绳时，可与柔性金属网同时或之后安装；
- g) 包含格栅网时，在承载网的上坡侧铺挂格栅网片并进行各网片边缘间以格栅网与承载网间的扎结。

7.5.6 柔性金属网与上缘支撑绳间采用缝合连接方式，且能借助自重附着于坡面的引导防护网，完成锚杆施工后宜按下列顺序安装：

- a) 上缘支撑绳安装；
- b) 包含格栅网时，铺挂格栅网片并进行网片间及格栅网与上缘支撑绳间的扎结；
- c) 柔性金属网安装，包括上边缘排网片与上缘支撑绳间及各网片间的缝合连接，包含格栅网时，宜同时完成承载网与格栅网间的扎结。

7.5.7 柔性金属网与上缘支撑绳间采用穿挂方式连接的引导防护网，上边缘排柔性金属网应与上缘支撑绳同时安装。如包含格栅网，宜同时安装上缘排格栅网，且宜预先将格栅网与承载网扎结后再与上缘支撑绳穿挂连接安装；包含格栅网且不能稳定附着于坡面的引导防护网，宜预先将格栅网与承载网扎结后一起安装。

7.5.8 柔性防护网上部结构的安装尚应符合下列规定：

- a) 各柔性金属网片间及其与支撑绳间的缝合连接应确保每一个边缘网孔都被连接；
- b) 矩阵式锚固网中，柔性金属网片应基本位于相邻四根锚杆所限定的防护单元中部，连接网片与支撑绳的缝合绳不应与锚杆直接连接，并应张紧缝合绳；

c) 包含格栅网时，各网片间的搭接宽度不应小于一个网孔尺寸，各格栅网网片间及其与承载网间的扎结点间距不应大于 1m；

d) 各类支撑绳均采用张拉设备张紧，被动防护网上支撑绳的下垂度不应大于柱间距的 3%；

e) 被动防护网的格栅网上边缘应翻卷到下坡侧至少 15cm 并与承载柔性金属网扎结，底部宜顺坡向上延伸铺挂至少 50cm。

7.6 锚固点施工

7.6.1 钻孔应在已确定的锚杆孔位置处按设计要求的孔径、长度和入射角施工。矩阵式锚固网工程中需要开凿锚杆孔口凹坑的，宜在钻孔时按设计尺寸开凿。

7.6.2 钻孔注浆试验和锚固力抗拔试验应根据边坡岩土体条件进行，确定合理的单孔注浆量，核定设计锚固力承载值，试验结果与设计差异较大时应反馈设计部门修改设计。

7.6.3 锚杆安装应采用先插入杆体后注浆的方法完成，锚杆上应有限位设施，确保锚杆处于钻孔中心。

7.6.4 锚杆杆体的安放应符合下列要求：

a) 安装锚杆杆体前，应对锚孔深度和锚孔直径进行查验，符合设计要求方能进行下一步工序；

b) 锚杆杆体插入孔内前，应清除孔内岩粉、土屑和积水；

c) 锚杆杆体插入孔内前，应清除杆体上的油污和锈斑；

d) 与支撑绳、拉锚绳等构件连接的柔性锚杆外露连接环套的方位，应避免拉力作用下环套两侧钢丝绳段呈上下叠置关系发生弯曲。

7.6.5 锚杆的注浆除应符合下列规定：

a) 水泥砂浆水灰比宜为 0.45~0.55，灰砂比宜为 1.0~2.0；

b) 水泥砂浆用砂的粒径不应大于 2mm；

c) 锚固段长度大于 4m 时，应采用孔底返浆法注浆；

d) 注浆时应避免浆体污染锚杆的外露锚头段。

7.6.6 采用混凝土基础埋置的锚杆宜采用预埋方式。

7.6.7 在锚杆与其他构件连接前，注浆体或基础混凝土的养护时间不应少于 3 天。

8 工程验收

8.1 柔性防护网工程的锚孔、基坑的位置、尺寸、角度应符合设计要求，施工完成后应逐个进行检查并形成验收报告。

8.2 被动防护网工程和张口式引导防护网工程的拦截部分，应按照冲击试验检测报告中冲击试验测得的对应位置力值的 80%进行拉拔力验收；主动防护系统系统工程应按照表 4 中动态性能力值的 80%进行拉拔力验收。抽检比例应各不小于 5%，且各不小于 3 个。

表4 不同型号主动防护系统柔性网片动态性能力值

序号	主动防护系统型号	对应柔性金属网抗动态冲击力值 (kN)
1	APS-025	25
2	APS-050	50
3	APS-075	75
4	APS-100	100
5	APS-150	150
6	APS-200	200
7	APS-300	300
8	APS-500	500

8.3 柔性防护网工程安装后的材料验收和一致性判定表应满足表 5 的要求。

表5 柔性防护网工程安装后材料验收要求和一致性判定表

序号	验收项目	柔性防护网类型	判别方法	抽检比例
1	钢柱型号与尺寸	被动防护网、张口式引导防护网	与落石冲击试验检测报告中配置表中的型号及尺寸是否一致	≥10%，不少于 3 件
2	消能装置形式、型号、尺寸	被动防护网、张口式引导防护网	与落石冲击试验检测报告中形式、型号和尺寸是否一致	≥5%，不少于 3 件
3	网片的网孔尺寸、盘结圈数	主动防护系统、被动防护网、引导防护网	与落石冲击试验检测报告或柔性金属网抗动态冲击性能报告、抗拉强度检测报告中的网孔尺寸、盘结圈数是否一致	≥5%，不少于 3 件
4	钢丝、钢丝绳	主动防护系	与落石冲击试验检测报	每个型号随机抽取 3 处

	直径	统、被动防护网、引导防护网	告、钢丝、钢丝绳材料检测报告中的直径是否一致	
5	卸扣规格型号	被动防护网、引导防护网	与落石冲击试验检测报告、构件的检测报告的规格型号是否一致	≥5%，不少于3件
6	绳卡规格型号	主动防护系统、被动防护网、引导防护网	与落石冲击试验检测报告、绳卡检测报告中的规格型号是否一致	≥5%，不少于3件

8.4 柔性防护网的安装验收应满足以下规定：

a) 检查被动防护网、张口式引导防护网拦截部分的安装结构形式是否与冲击试验检测报告中的模型安装结构一致，并满足表6的要求；

表6 被动防护网和张口式引导防护网拦截部分的安装验收要求

序号	验收项目	冲击试验检测报告中参数	实测值	判定结果
1	钢柱间距			
2	钢柱角度			
3	消能装置的形式、布置位置、个数			
4	柔性金属网与支撑绳的缝合方式			
5	柔性金属网搭接方式及重叠长度			
6	绳卡的个数、安装间距和朝向			
7	支撑绳和拉锚绳的布置形式			

- b) 检测被动防护网系统冲沟填补形式；
- c) 检查主动防护系统系统锚杆布置形式、支撑绳尺寸、柔性金属网缝合和搭接方式；
- d) 检查覆盖式引导防护网系统锚杆位置和间距、纵横向支撑绳尺寸和间距；
- e) 查用观察、尺量的方法进行检测，抽检比例不小于5%，且不低于3处。

9 运营养护

9.1 巡检要求

9.1.1 柔性防护网工程运行养护应贯穿工程施工阶段和工程使用阶段全过程，宜每季度定期进行检查，在地震、滑坡、崩塌等地质灾害或暴雨、台风等恶劣气候条件发生后应进行重点检查。

9.1.2 柔性防护网工程检查部位应包括防护网、钢柱构件、消能装置、锚杆等。

9.1.3 工程检查养护应形成养护计划书、检查记录和检修报告书进行归档。

a) 养护计划书应明确养护频次、内容和责任人；

b) 检查记录应包括柔性防护网系统有无破损，防护网的腐蚀程度，防护网系统后有无落石及其他堆积物等；

c) 检修报告书应包括检修时间、检查情况、故障分析和检修内容。

表7 柔性防护网检查记录表

项目名称：

年 月 日记录

项次	检查项目	检查方法	结论
1	使用年限	查阅资料	
2	系统是否崩溃或倒塌	观察检查	
3	系统内有无落石或堆积物	观察检查	
4	柔性金属网片是否有破损		
5	缝合绳、缝合构件破损情况	观察检查	
6	绳卡等紧固件是否松动、失效	观察检查	
7	钢丝绳是否有断裂	观察检测	
8	防护网锈蚀情况	观察检查	
9	钢柱有无弯曲、倒塌	观察检查	
10	消能装置有无损坏、启动	观察检查	
11	锚固点有无损坏、失效	观察检查	

9.1.4 钢丝绳网、格栅网、双绞六边形网检查内容包括有无锈蚀、断丝、脱丝、打结和明显扭曲等现象，网片中每个交叉节点有无破裂、损伤。

9.1.5 消能装置、连接构件检查内容包括有无机械损伤。

9.1.6 钢柱构件检查内容包括钢柱有无锈蚀、机械损伤、变形，锚固端有无变形、损伤。

9.1.7 锚杆的检查内容包括有无松动、锈蚀，必要时进行非破坏性检测，锚杆检测养护应符合 GB 50086 的有关规定执行。

9.1.8 柔性防护网工程使用一定年限后应进行适宜性评价。

9.2 维修要求

9.2.1 柔性防护网工程应在每年雨季前进行结构检查，对防护网内的落石或堆积物进行清理。

9.2.2 柔性防护网工程的维修应满足表 8 的要求。

表8 柔性防护网工程维修要求

项次	柔性防护网工程状态	维修方法
1	系统崩溃	整体更换、重新安装
3	系统内堆积落石	清除落石并更换变形或受损的构件和材料
4	柔性金属网片破损	更换
5	缝合绳、缝合构件破损	更换
6	绳卡等紧固件松动、失效	更换
7	钢丝绳断裂	更换
8	防护网锈	满足9.2.3条要求
9	钢柱弯曲、倒塌	更换
10	消能装置损坏、启动	更换
11	锚固点损坏、失效	重新锚固点

9.2.3 柔性防护网工程每 5 年应进行一次锈蚀情况检查，防护网及其构件锈蚀程度达到或超过 50%，应进行全部更换；腐蚀程度大于 10%小于 50%，应进行局部更换；腐蚀程度小于 10%可延期更换。

9.2.4 柔性防护网工程达到设计使用年限后，原则上认为柔性防护网工程已经达到使用寿命，应进行更换。

9.3 养护资料要求

9.3.1 柔性防护网养护资料应包括以下内容：

- a) 巡检记录；
- b) 柔性防护网适宜性评价；
- c) 柔性防护网修复记录；
- d) 柔性防护网修复验收资料。

附录 A

(资料性)

危岩落石运动计算分析方法

A.1 危岩落石冲击力

A.1.1 危岩落石冲击力可按下列公式计算：

a) 垂直向：

$$q_{Ymax} = \frac{\left[(1+k_n) \times 2.108 \times G^{\frac{2}{3}} \times \lambda^{\frac{2}{5}} \times H_n^{\frac{3}{5}} \times \sin \beta_n \right]}{\pi(R_n+h_n \times \tan \varepsilon)^2} \dots\dots\dots (A.1)$$

b) 水平向：

$$q_{Xmax} = \frac{\left[(1+k_t) \times 2.108 \times G^{\frac{2}{3}} \times \lambda^{\frac{2}{5}} \times H_n^{\frac{3}{5}} \times \cos \beta_n \right]}{\pi(R_n+h_n \times \tan \varepsilon)^2} \dots\dots\dots (A.2)$$

$$\varepsilon = 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \dots\dots\dots (A.3)$$

式中：

- q_{Xmax} ——为水平向最大分布荷载 (kPa) ；
- q_{Ymax} ——为垂直向最大分布荷载 (kPa) ；
- G ——危岩落石质量 (t) ；
- k_n ——法向恢复系数，具体取值详见表A.1；
- k_t ——切向恢复系数，具体取值详见表A.1；
- λ ——拉梅系数 (kN/m²)，建议取1000；
- H_n ——危岩落石至碰撞点高度 (m) ；
- h_n ——结构缓冲土层厚度 (m) ；
- ε ——冲击力缓冲土层扩散角 (°) ，按式 (A.3) 计算；
- φ ——冲击力缓冲土层内摩擦角 (°) ；
- β_n ——冲击力入射角 (°) ；
- R_n ——危岩落石等效半径高度 (m) 。

当危岩落石沿坡面滚动时，冲击力入射角 β 取坡面与缓冲层顶面相交处切线夹角；当危岩落石沿坡面弹跳时，冲击力入射角 β 取危岩落石坠入缓冲层时速度方向与缓冲层顶面的夹角。崩塌危岩落石法向恢复系数、切向恢复系数可按表A.1取值。

表 A.1 法向恢复系数 k_n 和切向恢复系数 k_t 取值

取值来源	坡面覆盖层特征及场地描述	k_n	k_t
美国联邦公路CRSP程序	极软：以拳击易被打入几厘米	0.10	0.50
	软：拇指易压入几厘米	0.10	0.55
	坚实：一般用力下拇指可压入几厘米	0.15	0.65
	坚硬：拇指易压出痕迹，但需极用力才可压入	0.15	0.70
	极坚硬：易被拇指指甲划伤	0.20	0.75

表 A.1 法向恢复系数 k_n 和切向恢复系数 k_t 取值 (续)

取值来源	坡面覆盖层特征及场地描述	k_n	k_t
美国联邦公路CRSP程序	坚固：难于被拇指指甲划伤	0.20	0.80~0.85
	极软岩：可被拇指指甲划伤	0.15	0.75
	较软岩：地质锤尖击打可破碎，易被小刀切削	0.15	0.75
	软岩：难被小刀切削，可被地质锤击打出浅坑	0.20	0.80
	中等岩：小刀不能切削，可被地质锤一下击碎	0.25	0.85
	硬岩：试件需要不止一下才可击碎	0.25~0.30	0.90

取值来源	坡面覆盖层特征及场地描述	k_n	k_t
	较硬岩：试件需要多次才能击碎	0.25~0.30	0.90~1.0
	极硬岩：试件仅能被地质镐切割	0.25~0.30	0.90~1.0
Giani, 1992	基岩裸露	0.5	0.95
	块石堆积层	0.35	0.85
	岩屑堆积层	0.30	0.70
	土层	0.25	0.55

A.2 危岩落石弹跳运动轨迹

A.2.1 危岩落石最大弹跳高度由下式确定：

$$H_{max} = s \cdot \tan \alpha_n + \frac{(v'_i \sin \beta_i)^2}{2g} \dots\dots\dots (A.4)$$

$$s = v_i' \cdot 2 \sin \beta_i \cdot \cos \beta_i \cdot g \dots\dots\dots (A.5)$$

$$v_i' = v_i \sqrt{(k_n \cos \alpha_n)^2 + (k_t \sin \alpha_n)^2} \dots\dots\dots (A.6)$$

$$v_i = \sqrt{v_{0x}^2 + (v_{0y} + gt)^2} \dots\dots\dots (A.7)$$

$$\beta_i = \theta - \alpha_n \dots\dots\dots (A.8)$$

$$\theta = \arctan k_n k_t \cot \alpha_n \dots\dots\dots (A.9)$$

式中：

H_{max} ——危岩落石最大弹跳高度（m）；

s ——危岩落石弹跳最高点距离起跳点的水平距离（m）；

v_i' ——危岩落石碰撞坡面后的反弹速度（m/s）；

v_i ——危岩落石碰撞坡面后的入射速度（m/s）；

v_{0x} ——危岩落石脱离母岩后沿x轴的初速度（m/s）；

v_{0y} ——危岩落石脱离母岩后沿y轴的初速度（m/s）；

g ——重力加速度（m/s²）；

t ——危岩落石坠落时间（s），由坠落初速度及具体地形按自由落体的公式试算得出；

k_n 、 k_t ——岩块法向恢复系数与切向恢复系数由表A.2确定；

α_n ——斜坡坡角（°）；

β_i ——危岩落石运动方向与水平面的夹角（°）；

θ ——危岩落石反弹方向与坡面的夹角（°）。

表 A.2 岩块恢复系数

恢复系数	地面岩性				
	硬岩	软岩	硬土	普通土	松土
法向恢复系数 k_n	0.40	0.35	0.30	0.26	0.22
切向恢复系数 k_t	0.86	0.84	0.81	0.75	0.65

A.2.2 危岩落石最大滚落距离由下式确定：

$$S_{max} = \frac{0.7v_{it}'^2}{g \cos \alpha (\tan \alpha - \tan \phi_d)} \dots\dots\dots (A.10)$$

$$v'_{it} = k_t v_i \sin \alpha \dots\dots\dots (A. 11)$$

式中：

$\tan \phi_d$ ——滚动阻力系数，可由表A. 3；

v'_{it} ——危岩落石碰撞坡面后沿坡面的反弹速度，即初始滚动速度（m/s）；

v_i ——危岩落石碰撞坡面的入射速度（m/s）；

k_t ——岩块切向恢复系数，由表A. 2求得；

S_{max} ——危岩落石最大滚动距离（m）。

表 A. 3 岩块滚动阻力系数

坡面特征	滚动阻力系数
光滑岩面、混凝土表面	0.30~0.60
软岩面、强风化硬岩面	0.40~0.60
堆石堆积坡面	0.55~0.70
密实碎石堆积坡面、硬土坡面、植被（灌木丛为主）发育	0.55~0.85
密实碎石堆积坡面、硬土坡面、植被不发育或少量杂草	0.50~0.75
松散碎石坡面、软土坡面、植被（灌木丛为主）发育	0.50~0.85
软土坡面、植被不发育或少量杂草	0.50~0.85

A. 2. 3 危岩落石最大冲击能量可由下式确定：

$$E = (1 + \beta_k) \left(1 - \frac{\mu}{\tan \theta_i}\right) m_R g h_R \dots\dots\dots (A. 12)$$

式中：

E ——落石的最大动能（J）；

β_k ——旋转能量系数，一般为0.1；

μ ——等价摩擦系数，由表A. 4确定；

θ_i ——斜坡坡度（°）；

m_R ——落石的质量（kg）；

g ——重力加速度（m/s²）；

h_R ——落石下落高度（m）。

表 A. 4 斜坡的种类和等价摩擦系数μ的值

落石以及斜坡的特性	等价摩擦系数μ
硬岩、圆状：凹凸小、没有树木	0.005
软岩、圆状~角状：凹凸中~大、没有树木	0.15
沙土·崖锥、圆状~角状：凹凸小~中、没有树木	0.25
崖锥·巨大石砾夹杂崖锥、角状：凹凸中~大、树木无~有	0.35