



T/CECS 824-2021

---

中国工程建设标准化协会标准

# 被动柔性防护网结构工程 技 术 规 程

Technical specification for passive flexible  
protection barrier structure engineering

中国计划出版社

中国工程建设标准化协会标准

被动柔性防护网结构工程  
技术规程

Technical specification for passive flexible  
protection barrier structure engineering

**T/CECS 824-2021**

主编单位：西南交通大学  
中冶建筑研究总院有限公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：2021年7月1日

中国计划出版社

2021 北 京

中国工程建设标准化协会标准  
**被动柔性防护网结构工程**  
**技 术 规 程**

T/CECS 824-2021



中国计划出版社出版发行

网址: [www.jhpress.com](http://www.jhpress.com)

地址:北京市西城区木樨地北里甲 11 号国宏大厦 C 座 3 层

邮政编码:100038 电话:(010)63906433(发行部)

廊坊市海涛印刷有限公司印刷

---

850mm×1168mm 1/32 2.625 印张 65 千字

2021 年 8 月第 1 版 2021 年 8 月第 1 次印刷

印数 1—1530 册



统一书号:155182·0878

定价:37.00 元

**版权所有 侵权必究**

侵权举报电话:(010)63906404

如有印装质量问题,请寄本社出版部调换

# 中国工程建设标准化协会公告

第 798 号

## 关于发布《被动柔性防护网结构工程技术规程》的公告

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2016 年第二批工程建设协会标准制订、修订计划〉的通知》(建标协字〔2016〕084 号)的要求,由西南交通大学、中冶建筑研究总院有限公司等单位编制的《被动柔性防护网结构工程技术规程》,经协会结构焊接专业委员会组织审查,现批准发布,编号为 T/CECS 824-2021,自 2021 年 7 月 1 日起施行。

中国工程建设标准化协会  
二〇二一年二月二十六日

# 前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2016 年第二批工程建设协会标准制订、修订计划〉的通知》(建标协字〔2016〕084 号)的要求,经广泛调查研究,认真总结实践经验,参考有关国际标准和国内外先进标准,并在广泛征求意见的基础上,制定本规程。

本规程共分为 8 章和 4 个附录。主要技术内容包括:总则、术语和符号、基本规定、勘察与评估、工程设计、质量检验、施工及验收、保养和维修等。

请注意本规程的某些内容可能直接或间接涉及专利,本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程由中国工程建设标准化协会结构焊接专业委员会归口管理,由西南交通大学负责具体技术内容的解释。在执行过程中,如发现需要修改和补充之处,请将意见和建议寄至解释单位(地址:四川省成都市二环路北一段 111 号,邮政编码:610031, E-mail:xuhu@swjtu.edu.cn)。

**主 编 单 位:**西南交通大学

中冶建筑研究总院有限公司

**参 编 单 位:**四川省公路规划勘察设计研究院有限公司

香港理工大学

成都西南交通大学设计研究院有限公司

中铁第一勘察设计院集团有限公司

中铁二院工程集团有限责任公司

中铁第四勘察设计院集团有限公司

中铁西北科学研究院有限公司

中国电建集团北京勘测设计研究院有限公司

贵州省交通规划勘察设计研究院股份有限公司  
广西交通规划勘察设计研究院有限公司  
中国水利水电第七工程局有限公司  
四川能盛建设工程有限公司  
北京市机械施工有限公司  
山东省交通规划设计院  
中国建筑设计研究院有限公司  
北京市建筑设计研究院有限公司  
中国京冶工程技术有限公司  
四川藏区高速公路有限责任公司  
四川省交通运输厅公路局  
四川省交通运输厅质监局  
四川奥思特边坡防护工程有限公司

**主要起草人：**余志祥 赵世春 许 浒 程 强 傅彦青  
吕汉川 陈绍礼 齐 欣 秦中平 赵 雷  
刘耀鹏 周志华 王 桢 叶琼瑶 龙万学  
余建华 李彤梅 刘天翔 秦 凯 胡鸿志  
张悦栖 王 磊 马计平 李 鲲 杨少军  
巩江峰 姚裕春 曾长贤 李正兵 惠龙伟  
王胜运 李永林 李 铮 陈 广 张 东  
高艳龙 李 明 左雅娅 张一帆 李 洁  
**主要审查人：**段 斌 常好诵 裴向军 何思明 赵仕兴  
孟祥武 陈代秉

# 目 次

|      |                  |        |
|------|------------------|--------|
| 1    | 总 则 .....        | ( 1 )  |
| 2    | 术语和符号 .....      | ( 2 )  |
| 2.1  | 术语 .....         | ( 2 )  |
| 2.2  | 符号 .....         | ( 4 )  |
| 3    | 基本规定 .....       | ( 7 )  |
| 4    | 勘察与评估 .....      | ( 9 )  |
| 4.1  | 勘察 .....         | ( 9 )  |
| 4.2  | 评估 .....         | ( 10 ) |
| 4.3  | 报告编制 .....       | ( 10 ) |
| 5    | 工程设计 .....       | ( 12 ) |
| 5.1  | 一般规定 .....       | ( 12 ) |
| 5.2  | 总体设计 .....       | ( 13 ) |
| 5.3  | 结构设计 .....       | ( 14 ) |
| 5.4  | 基础设计 .....       | ( 23 ) |
| 6    | 质量检验 .....       | ( 26 ) |
| 7    | 施工及验收 .....      | ( 27 ) |
| 7.1  | 安装 .....         | ( 27 ) |
| 7.2  | 工程验收 .....       | ( 28 ) |
| 8    | 保养和维修 .....      | ( 31 ) |
| 附录 A | 防腐蚀措施与使用年限 ..... | ( 32 ) |
| 附录 B | 整体性能检验 .....     | ( 34 ) |
| 附录 C | 部件性能检验 .....     | ( 41 ) |
| 附录 D | 材料性能检验 .....     | ( 53 ) |

|               |        |
|---------------|--------|
| 本规程用词说明 ..... | ( 55 ) |
| 引用标准名录 .....  | ( 56 ) |
| 附：条文说明 .....  | ( 57 ) |

# Contents

|            |                                                         |        |
|------------|---------------------------------------------------------|--------|
| 1          | General provisions .....                                | ( 1 )  |
| 2          | Terms and symbols .....                                 | ( 2 )  |
| 2.1        | Terms .....                                             | ( 2 )  |
| 2.2        | Symbols .....                                           | ( 4 )  |
| 3          | General requirements .....                              | ( 7 )  |
| 4          | Prospecting and assessments .....                       | ( 9 )  |
| 4.1        | Prospecting .....                                       | ( 9 )  |
| 4.2        | Assessments .....                                       | ( 10 ) |
| 4.3        | Report preparation .....                                | ( 10 ) |
| 5          | Engineering design .....                                | ( 12 ) |
| 5.1        | General requirements .....                              | ( 12 ) |
| 5.2        | General design .....                                    | ( 13 ) |
| 5.3        | Structural design .....                                 | ( 14 ) |
| 5.4        | Foundation design .....                                 | ( 23 ) |
| 6          | Quality inspection .....                                | ( 26 ) |
| 7          | Construction and acceptance .....                       | ( 27 ) |
| 7.1        | Installation .....                                      | ( 27 ) |
| 7.2        | Acceptance of construction quality .....                | ( 28 ) |
| 8          | Maintenance .....                                       | ( 31 ) |
| Appendix A | Corrosion prevention measures and<br>service life ..... | ( 32 ) |
| Appendix B | Overall performance tests .....                         | ( 34 ) |
| Appendix C | Component property tests .....                          | ( 41 ) |
| Appendix D | Material performance tests .....                        | ( 53 ) |

|                                                    |        |
|----------------------------------------------------|--------|
| Explanation of wording in this specification ..... | ( 55 ) |
| List of quoted standards .....                     | ( 56 ) |
| Addition: Explanation of provisions .....          | ( 57 ) |

# 1 总 则

**1.0.1** 为规范被动柔性防护网结构的工程应用,做到技术先进、经济合理、安全适用节能环保,制定本规程。

**1.0.2** 本规程适用于城镇建设、铁路、公路、水利、水电、国土资源、矿山等领域边坡落石、崩塌体、碎屑流等地质灾害防护中采用的被动柔性防护网结构的勘察、设计、施工及维护。

**1.0.3** 被动柔性防护网结构工程勘察、设计、施工及维护除应符合本规程外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

## 2 术语和符号

### 2.1 术 语

**2.1.1 被动柔性防护网结构** passive flexible protection barrier structure

采用锚杆、立柱、支撑绳、拉锚绳和金属网等部件组成的柔性结构系统,以一定角度安装于坡面上,实现落石的被动拦截。

**2.1.2 正常服役防护能量** service protective energy (SEL)

根据勘察、评估结果,基于被动柔性防护网结构防护区域潜在落石灾害的最大冲击能量,考虑重要性系数后得到的防护能量。

**2.1.3 极限防护能量** maximum protective energy (MEL)

被动柔性防护网结构能够成功拦截的落石最大冲击能量。

**2.1.4 落石弹跳高度** bounce height of rockfall

根据落石运动轨迹分析确定的弹跳落石距坡面的最大垂直高度。

**2.1.5 参考坡面** reference slope

沿柔性防护网结构的金属网最大变形量方向的下坡坡面,其坡面角度 $\beta$ 应与落石撞击网片前1m位置处的落石轨迹线方向平行,且允许 $\pm 20^\circ$ 的偏差。

**2.1.6 有效防护高度** effective protective height

沿垂直于参考坡面的方向进行测量,被动柔性防护网结构中上支撑绳与基座底板连线之间的最小距离。

**2.1.7 剩余防护高度** residual protective height

落石被截停后,被动柔性防护网结构中上支撑绳与下支撑绳之间的最短直线距离在下坡面法线上的投影长度。

**2.1.8 重要性等级** protection grade

根据被动柔性防护网结构在防护工程中的作用、保护对象的重要性、结构破坏的危害程度、维护的难易程度以及经济性等因素,所确定的防护设防等级。

#### **2.1.9 落石      rockfall**

在重力或其他外力作用下突然从斜坡上向下坠落或滚落的岩石块体。

#### **2.1.10 崩塌体      avalanche mass**

较陡斜坡上,在重力作用下突然脱离母体崩落、滚动的岩土体。

#### **2.1.11 碎屑流      debris flow**

一种由破碎岩、土体形成的具有塑性流变性质和层流流动状态的沉积物重力流。

#### **2.1.12 落石运动轨迹      rockfall trajectory**

落石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。

#### **2.1.13 连接部件      connection component**

用以连接柔性网,将柔性网所受作用力传递至支撑部件或基础,常见形式有支撑绳、缝合绳、拉锚绳等。

#### **2.1.14 耗能部件      energy dissipating component**

配置于支撑绳和拉锚绳等连接部件上的用于吸收冲击能量的装置。

#### **2.1.15 拦截部件      interception component**

由金属丝网或其他材料编织而成的柔性网,用于拦截落石、崩塌体和碎屑流,并将作用力传递至连接部件、支撑部件和基础,常见形式有钢丝绳网、环形网等。

#### **2.1.16 支撑部件      support component**

由钢材或其他材料制成的构件或结构,用于支撑接连部件或拦截部件,并固定于基础,常见形式有实腹式钢柱、支撑桁架等。

## 2.2 符 号

### 2.2.1 作用和作用效应

- $E_s$ ——被动柔性防护网结构正常服役防护能量；  
 $E_u$ ——被动柔性防护网结构极限防护能量；  
 $E_k$ ——极限防护能量所对应的最大冲击能量；  
 $M_x, M_y$ ——同一截面处绕  $x$  轴和  $y$  轴的弯矩设计值；  
 $N$ ——同一截面处立柱轴心压力设计值；  
 $T_{n, \max}$ ——拦截部件中受力单元最大计算内力；  
 $T_{r, \max}$ ——钢丝绳最大拉力。

### 2.2.2 计算指标

- $E$ ——材料的弹性模量；  
 $F_0$ ——耗能部件的工作内力；  
 $F_{dt}$ ——耗能部件动态启动力；  
 $F_{st}$ ——耗能部件静态启动力；  
 $f$ ——钢材的抗拉、抗压和抗弯强度设计值；  
 $k$ ——重要性系数；  
 $n$ ——耗能部件数量；  
 $N_E, N'_{Ex}, N'_{Ey}$ ——钢构件稳定设计计算参数；  
 $[T_n]$ ——拦截部件受力单元的试验破断拉力最小值；  
 $[T_r]$ ——钢丝绳破断拉力值；  
 $W$ ——毛截面模量；  
 $W_{ly}$ ——在弯矩作用平面内较大受压纤维的毛截面模量；  
 $W_n$ ——构件的净截面模量；  
 $W_{nx}, W_{ny}$ ——对  $x$  轴和  $y$  轴的净截面模量；  
 $M$ ——计算双向压弯圆管构件整体稳定时采用的弯矩值；  
 $M_{xA}, M_{yA}$ ——为构件  $A$  端关于  $x$ 、 $y$  轴的弯矩；

$M_{xB}$ 、 $M_{yB}$ ——为构件  $B$  端关于  $x$ 、 $y$  轴的弯矩；  
 $M_{1x}$ 、 $M_{2x}$ ——为  $x$  轴端弯矩；构件无反弯点时取同号，构件有反弯点时取异号； $|M_{1x}| \geq |M_{2x}|$ ；  
 $M_{1y}$ 、 $M_{2y}$ ——为  $y$  轴端弯矩；构件无反弯点时取同号，构件有反弯点时取异号； $|M_{1y}| \geq |M_{2y}|$ ；  
 $N_E$ ——根据构件最大长细比计算的欧拉力；  
 $\alpha_m$ ——构件承载力储备系数；  
 $\alpha_{m,r}$ ——钢丝绳承载力储备系数；  
 $\beta$ ——计算双向压弯整体稳定时采用的等效弯矩系数；  
 $\beta_b$ ——考虑耗能部件未完全工作的调整系数；  
 $\beta_m, \beta_t$ ——压弯构件稳定的等效弯矩系数；  
 $\gamma_d$ ——被动柔性防护网结构缓冲位移分项系数；  
 $\gamma_m$ ——圆形构件的截面塑性发展系数；  
 $\gamma_x, \gamma_y$ ——截面塑性发展系数；  
 $\eta$ ——耗能比例系数；  
 $\lambda$ ——构件长细比；  
 $\lambda_y$ ——构件截面对  $y$  轴的长细比；  
 $\varphi$ ——轴心受压构件的整体稳定系数；  
 $\varphi_b$ ——受弯构件整体稳定系数。

### 2.2.3 几何参数

$A$ ——立柱的毛截面面积；  
 $A_n$ ——构件的净截面面积；  
 $D$ ——落石最大长边尺寸；  
 $d_B$ ——网片在遭受其极限防护能量相应的落石冲击时的最大缓冲位移标准值；  
 $d_s$ ——被动柔性防护网结构与其所保护区域或建筑物间的顺坡面安全距离；  
 $d_r$ ——钢丝绳公称直径；

$h_b$ ——落石弹跳高度;  
 $h_p$ ——被动柔性防护网有效防护高度;  
 $h_r$ ——剩余防护高度;  
 $i$ ——跨度;  
 $\Delta_d$ ——单个耗能部件最大变形量;

### 3 基本规定

**3.0.1** 被动柔性防护网结构应包括拦截部件、支撑部件、连接部件、连接节点、耗能部件和基础(图 3.0.1)。

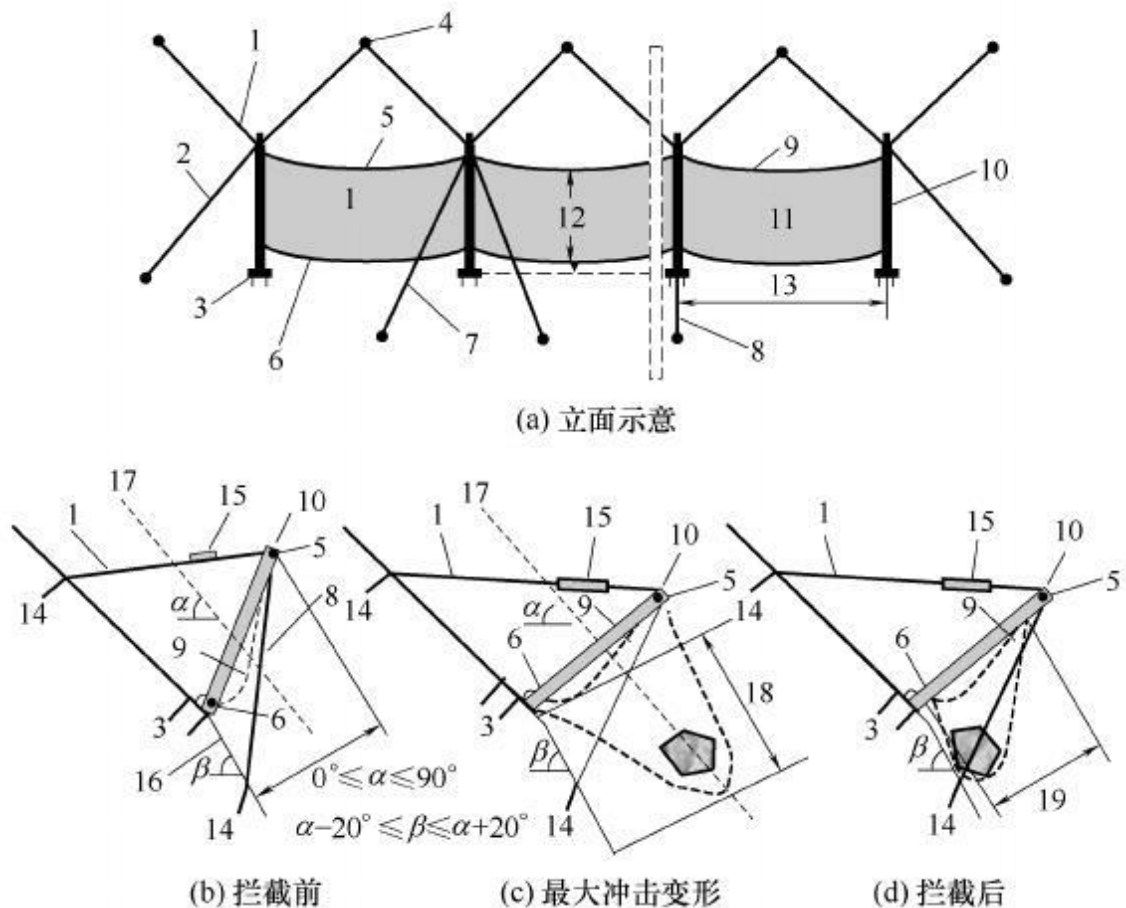


图 3.0.1 常见被动柔性防护网结构组成

1—上拉锚绳;2—侧拉锚绳;3—基础;4—基座、锚固体;5—上支撑绳(含耗能部件);  
6—下支撑绳(含耗能部件);7—中间加固拉锚绳;8—下拉锚绳;9—网片;10—立柱;  
11—端跨;12—有效防护高度;13—跨度;14—锚杆;15—耗能部件;16—参考坡面;  
17—落石轨迹;18—最大变形量;19—剩余防护高度

**3.0.2** 被动柔性防护网结构重要性等级划分应符合表 3.0.2 的规定。

**表 3.0.2 被动柔性防护网结构重要性等级**

| 重要性等级 | 危害程度 | 对象                                            | 危害                                   | 性能目标                                            |
|-------|------|-----------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 一级    | 高    | 轨道交通工程,高速公路和一级公路,二级及二级以下公路中的桥、隧构筑物,重要建筑物和活动场所 | 列车倾覆,桥梁、隧道洞口等构造物及重要建筑物受损,路基受损,人员伤亡严重 | 能够实现预期防护要求,除耗能部件外其余系统无损坏,无须处理或仅需替换耗能部件后即可继续正常工作 |
| 二级    | 中    | 干线交通工程中的路基工程,二级及二级以下公路,一般建筑物和活动场所             | 路基或一般建筑物受损,人员伤亡少                     | 能够实现预期防护要求,且系统有损坏,需经修复或替换局部部件后可继续正常工作           |
| 三级    | 低    | 非干线交通工程中的路基工程,人流稀少的建筑物和活动场所,临时工程              | 临时工程受损,路基或一般建筑物轻微受损,几乎无人员伤亡          | 基本能够实现预期防护要求,系统修复困难                             |

**3.0.3** 被动柔性防护网结构设计应包括总体设计、结构设计、基础设计。

**3.0.4** 被动柔性防护网结构应根据其防护要求、力学性能、自然条件及耐久性要求进行材料选用。

**3.0.5** 被动柔性防护网结构的设计应考虑防护要求、支承条件、制作加工、施工条件及其他特殊情况。

**3.0.6** 被动柔性防护网结构设计时,应设置相应通道以保证维修、保养的可实施性。

## 4 勘察与评估

### 4.1 勘 察

#### 4.1.1 边坡资料收集、调查和测绘应包括下列内容：

- 1 保护物的位置和性质；
- 2 灾害点气象、水文及地震动参数；
- 3 坡面冲沟的位置，地表水在坡面汇集、径流及排泄状况等地形地貌特征及边坡区的植被发育情况；
- 4 边坡岩性及岩性组合、风化卸荷程度等边坡岩体结构特征，岩体中岩体密度、强度，结构面与临空面的空间组合关系等主要结构面发育情况及特征；
- 5 地下水的出露位置、与潜在失稳岩体间的关系；
- 6 发生时间及频率、单次失稳规模、落石运动路径、危害范围、落石粒径大小等灾害点灾害发育历史；
- 7 潜在失稳岩土体分布的位置、规模；
- 8 典型边坡地质剖面，上部超出崩塌源位置，下部超过崩塌落石最远危害范围；
- 9 被动柔性防护网结构设计位置剖面图，反映地形起伏和基础地质条件，以合理布置立柱位置。

#### 4.1.2 边坡地质勘察应符合下列规定：

- 1 对拟设被动柔性防护网结构位置区域应进行工程地质勘察，查明立柱基础及拉锚杆区工程地质条件，评估地基稳定性和锚固段岩土体稳定性，获取地基岩土承载力和锚固段岩土体与锚固体摩阻力等参数；
- 2 立柱基础及锚杆工程地质勘察应采用工程地质调查和坑槽探，可采用地质钻探。

## 4.2 评 估

**4.2.1** 边坡岩土体稳定性分析评估应明确地质剖面构成,并应确定不良地质或地质构造的位置及潜在破坏模式。

**4.2.2** 分析评估边坡岩土体失稳风险、单次失稳岩体规模、岩块块体尺寸,分析预测失稳岩土体沿坡面运动路径、弹跳高度、危害范围等,分析评估被动柔性防护网结构的适用性。

**4.2.3** 被动柔性防护网结构的防护能级应根据勘察结果,通过试验、计算分析等方法确定。

**4.2.4** 被动柔性防护网结构的重要性等级应根据防护对象、危害程度、预期性能目标按表 3.0.2 确定。

## 4.3 报 告 编 制

**4.3.1** 勘察与评估后应编制勘察评估报告。

**4.3.2** 勘察评估报告应由文字报告、图件和图表组成,并应符合下列规定。

1 文字报告应包括下列内容:

- 1) 项目概况:主要包括拟治理灾害点的工程概况、任务依据、执行标准、勘察评估方法及完成的工作量、勘察评估过程等;
- 2) 工程地质条件:主要包括地形地貌、地层岩性、地质构造、边坡地质结构及岩土性质、水文地质条件、主要不良地质现象等;
- 3) 工程地质评估及建议:主要包括边坡稳定性分析评价、潜在失稳破坏模式、潜在失稳岩土体的稳定性及失稳规模、失稳岩土体运动特征及危害范围、冲击能量预测,被动柔性防护网的重要性等级建议、适宜性评价、布置位置建议、地基持力层选择及岩土参数建议等。

2 图件和图表应包括下列内容:

- 1) 工程地质平面图;
- 2) 纵剖面图;
- 3) 横剖面图;
- 4) 相应的试验测试资料。

**4.3.3** 针对被动柔性防护网结构的勘察报告,可与其他边坡防治工程报告合并编制,当无独立勘察报告时,设计文件中应包括本规程规定勘察评估报告的相关内容。

## 5 工 程 设 计

### 5.1 一 般 规 定

**5.1.1** 被动柔性防护网结构的工程设计应包括总体设计、结构设计、基础设计。

**5.1.2** 被动柔性防护结构设计应包括下列内容：

- 1 场地工程地质概况，基础工程地质条件，坡面滚石运动轨迹，冲击能量预测结果；
- 2 被动柔性防护网结构坡面布置范围和位置；
- 3 基础工程设计；
- 4 结构构成与几何尺寸；
- 5 材料、构件及结构整体技术要求及其检验方法；
- 6 环境保护；
- 7 保养和维护要求；
- 8 施工安装方法及特别要求。

**5.1.3** 被动柔性防护网结构设计选用的材料或构件应满足结构承载力相关技术要求，对于尚无现行标准规定试验方法的，设计还宜指定专用试验方法。

**5.1.4** 被动柔性防护网结构所用材料或构件的防腐蚀设计应满足现行国家标准《金属和合金的腐蚀 大气腐蚀性 第1部分：分类、测定和评估》GB/T 19292.1-2018 中 C2 类大气环境中无外力损伤和正常维护条件下的使用年限要求，当重要性等级为一级、二级和三级时，耐久性不应少于 30 年、20 年和 5 年。常用金属镀层的防腐蚀预期使用年限可按本规程附录 A 的规定进行估算。

**5.1.5** 被动柔性防护网结构的结构设计应满足加工制造要求，结构设计报告应提供拉锚绳设计拉力、立柱基础承载力，供锚杆和基

础设计使用。

**5.1.6** 被动柔性防护网结构的结构设计,可在已有经验基础上进行定型设计,应按本规程附录 B 进行整体性能检验。

## 5.2 总体设计

**5.2.1** 在勘察及评估工作基础上,被动柔性防护网结构工程总体设计应包括确定布设位置和范围、正常服役防护能量、极限防护能量、重要性等级、跨度、有效防护高度,提出材料选用、耐久性要求,提出制作、安装和维护要求。

**5.2.2** 在分析预测坡面滚石运动轨迹基础上,结合被保护对象位置和特点,被动柔性防护网结构的布置应符合下列规定:

1 被动柔性防护网结构宜沿同一高程附近直线延伸布置,其走向两端应向所在高程落石威胁区域两侧边界外延伸 5m~10m。

2 当沿高程延伸线分段平行布置多道被动柔性防护网结构时,相邻两道防护网结构重叠区域不应小于一跨长度。

3 支撑部件应避开坡面冲沟等区域。

4 被动柔性防护网结构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的要求:

$$d_s \geq d_B \gamma_d \quad (5.2.2)$$

式中: $d_s$ ——被动柔性防护网结构与其所保护区或建筑物间的顺坡面安全距离(m);

$d_B$ ——网片在遭受其极限防护能量相应的落石冲击时的最大缓冲位移标准值(m);

$\gamma_d$ ——被动柔性防护网结构缓冲位移分项系数,宜取 1.3。

**5.2.3** 结构设计时,应分别计算正常服役防护能量和极限防护能量两种设计状态。在正常服役防护能量作用下,除耗能部件外,结构各构件应处于弹性工作状态;在极限防护能量作用下,宜采用弹性塑性分析设计。

**5.2.4** 被动柔性防护网结构的正常服役防护能级和极限防护能

量应根据重要性等级按下式确定：

$$E_s = kE_k \quad (5.2.4-1)$$

$$E_u = 3E_s \quad (5.2.4-2)$$

式中： $E_s$ ——被动柔性防护网结构正常服役防护能量(kJ)；

$E_u$ ——被动柔性防护网结构极限防护能量(kJ)；

$E_k$ ——落石最大冲击能量(kJ)；

$k$ ——重要性系数，重要性等级为一级、二级、三级时，分别取 1.2、1.1 和 1.0。

**5.2.5** 被动柔性防护网结构的跨度宜为 8m~12m。

**5.2.6** 根据勘察与评估结果，有效防护高度  $h_p$  应按下式确定：

$$h_p \geq h_b + D \quad (5.2.6)$$

式中： $h_p$ ——被动柔性防护网结构有效防护高度(m)；

$h_b$ ——落石弹跳高度(m)；

$D$ ——落石最大长边尺寸，设计时取整数，当  $D$  小于 1m 时，取 1m。

**5.2.7** 材料耐久性要求，制作、安装、维护要求，质量检验要求应根据重要性等级确定。

## 5.3 结构设计

### I 结构体系

**5.3.1** 被动柔性防护网结构应依据设计要求的极限防护能量确定其结构体系。

**5.3.2** 被动柔性防护网结构在长度方向上应分段设置，每一段的连续布置跨数不宜超过五跨。

**5.3.3** 耗能部件的布置应符合下列规定：

1 拦截部件运动过程中不应阻碍耗能部件的变形；

2 支撑部件与连接部件的连接节点不应阻碍耗能部件的变形和支撑绳的滑移，支撑绳上的耗能部件距离立柱支撑点应有足够距离。

## II 结构分析

**5.3.4** 被动柔性防护网结构的结构体系应采用有限元方法进行分析,各部件和连接节点应满足承载力及构造要求。

**5.3.5** 结构计算分析所采用的计算模型应包含不少于三跨拦截部件。

**5.3.6** 对于极限防护能量不大于 5000kJ 且需要设置耗能部件的被动柔性防护网结构,部件耗能比例宜符合表 5.3.6 的要求。

**表 5.3.6 各部件的耗能比例系数**

| 耗能部件 | 拉锚绳耗能部件 $\eta_{a,d}$ | 支撑绳耗能部件 $\eta_{s,d}$ | 其他 $\eta$  |
|------|----------------------|----------------------|------------|
| 比例系数 | $\geq 0.2$           | $\geq 0.6$           | $\leq 0.2$ |

**5.3.7** 设计时,应根据重要性等级按照表 5.3.7 的规定确定落石冲击工况、加载顺序和冲击能量。

**表 5.3.7 落石冲击加载工况及顺序**

| 重要性等级 | 加载顺序 | 冲击工况             | 冲击能量     |
|-------|------|------------------|----------|
| 一级    | 1    | 中间跨及边跨拦截部件连续两次冲击 | 正常服役防护能量 |
|       | 2    | 中间跨及边跨拦截部件单次冲击   | 极限防护能量   |
|       | 3    | 中间跨及边跨支撑分别单次结构   | 正常服役防护能量 |
| 二级、三级 | 1    | 中间跨拦截部件连续两次冲击    | 正常服役防护能量 |
|       | 2    | 中间跨拦截部件单次冲击      | 极限防护能量   |

**5.3.8** 设计时,应计算正常服役防护能量落石直接冲击立柱的工况,在该工况下被动柔性防护网结构不应出现体系崩溃。

**5.3.9** 被动柔性防护网结构的计算分析应符合下列规定:

- 1 被动柔性防护网结构的计算分析应在初始外形与初始应力分布的基础上进行;
- 2 应按照实际连接构造,定义拦截部件、支撑部件、连接部件的空间协同工作边界条件;
- 3 计算时应采用动力理论反映落石冲击荷载的动力放大效应;

4 被动柔性防护网结构的非线性分析可采用基于连续化和离散化的理论,应包含几何非线性和材料非线性,宜在计算模型中建立结构和构件的初始缺陷进行直接分析;

5 支撑部件分析计算时应采用具有压弯特性的空间梁单元;

6 拦截部件可采用索单元、梁单元或桁架单元,基于网片单元的力-位移试验结果,拦截部件可简化为正交索网或斜交索网;

7 耗能部件应根据其力-位移特性采用相应的分析单元;

8 应建立连接部件与支撑部件及连接部件与拦截部件间的接触滑动边界,并选用合适单元反映其实际工作特性;

9 整体结构计算应采用完整再现整个冲击过程的程序,其技术条件应符合本规程和国家现行有关标准的规定。

### III 构件与连接

5.3.10 拦截部件中的受力单元内力应满足下式的要求:

$$T_{n, \max} \leq [T_n] / \alpha_m \quad (5.3.10)$$

式中:  $T_{n, \max}$ ——拦截部件中受力单元最大计算内力;

$[T_n]$ ——拦截部件受力单元的试验破断拉力最小值,环形网可按本规程附录C中表C.2.3确定;

$\alpha_m$ ——构件承载力储备系数,不宜小于1.2。

5.3.11 钢构件应按以下要求进行承载力和稳定性验算:

1 除圆管截面外,弯矩作用在两个主平面内的拉弯构件和压弯构件,其截面强度应按公式(5.3.11-1)计算;弯矩作用在两个主平面内的圆形截面拉弯构件和压弯构件,其截面强度应按公式(5.3.11-2)计算。

$$\frac{N}{A_n} \pm \frac{M_x}{\gamma_x W_{nx}} \pm \frac{M_y}{\gamma_y W_{ny}} \leq f \quad (5.3.11-1)$$

$$\frac{N}{A_n} + \frac{\sqrt{M_x^2 + M_y^2}}{\gamma_m W_n} \leq f \quad (5.3.11-2)$$

式中:  $f$ ——钢材的抗拉、抗压和抗弯强度设计值( $\text{N}/\text{mm}^2$ );

$N$ ——同一截面处轴心压力设计值( $\text{N}$ );

$M_x, M_y$ ——同一截面处绕  $x$  轴和  $y$  轴的弯矩设计值( $N \cdot mm$ );

$\gamma_x, \gamma_y$ ——截面塑性发展系数,按现行国家标准《钢结构设计标准》GB50017 的有关规定取值;

$\gamma_m$ ——圆形构件的截面塑性发展系数,按现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定取值;

$A_n$ ——构件的净截面面积( $mm^2$ );

$W_n$ ——构件的净截面模量( $mm^3$ );

$W_{nx}, W_{ny}$ ——对  $x$  轴和  $y$  轴的净截面模量( $mm^3$ )。

2 当钢构件未按本规程第 5.3.9 条考虑初始缺陷时,应按下列规定进行整体稳定验算:

1)对于双向压弯圆管,当柱段中没有很大横向力或集中弯矩时其整体稳定按下列公式计算:

$$\frac{N}{\varphi A f} + \frac{\beta M}{\gamma_m W \left(1 - 0.8 \frac{N}{N'_{Ex}}\right) f} \leq 1.0 \quad (5.3.11-3)$$

$$M = \max(\sqrt{M_{xA}^2 + M_{yA}^2}, \sqrt{M_{xB}^2 + M_{yB}^2}) \quad (5.3.11-4)$$

$$\beta = \beta_x \beta_y \quad (5.3.11-5)$$

$$\beta_x = 1 - 0.35 \sqrt{N/N_E} + 0.35 \sqrt{N/N_E} (M_{2x}/M_{1x}) \quad (5.3.11-6)$$

$$\beta_y = 1 - 0.35 \sqrt{N/N_E} + 0.35 \sqrt{N/N_E} (M_{2y}/M_{1y}) \quad (5.3.11-7)$$

$$N'_{Ex} = \frac{\pi^2 EA}{1.1 \lambda_x^2} \quad (5.3.11-8)$$

$$N_E = \frac{\pi^2 EA}{\lambda^2} \quad (5.3.11-9)$$

式中:  $\varphi$ ——轴心受压构件的整体稳定系数,应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定,此时构件的计算长度系数取 1.0;

$M$ ——计算双向压弯圆管构件整体稳定时采用的弯矩值,

按公式(5.3.11-4)计算( $N \cdot mm$ );

$M_{xA}$ 、 $M_{yA}$ ——为构件 A 端关于  $x$ 、 $y$  轴的弯矩( $N \cdot mm$ );

$M_{xB}$ 、 $M_{yB}$ ——为构件 B 端关于  $x$ 、 $y$  轴的弯矩( $N \cdot mm$ );

$\beta$ ——计算双向压弯整体稳定时采用的等效弯矩系数;

$M_{1x}$ 、 $M_{2x}$ ——为  $x$  轴端弯矩( $N \cdot mm$ );构件无反弯点时取同号,构件有反弯点时取异号; $|M_{1x}| \geq |M_{2x}|$ ;

$M_{1y}$ 、 $M_{2y}$ ——为  $y$  轴端弯矩( $N \cdot mm$ );构件无反弯点时取同号,构件有反弯点时取异号; $|M_{1y}| \geq |M_{2y}|$ ;

$N'_{Ex}$ ——钢结构稳定设计计算参数;

$E$ ——材料的弹性模量( $N/mm^2$ );

$A$ ——构件的毛截面面积( $mm^2$ );

$\lambda$ ——构件长细比;

$N_E$ ——根据构件最大长细比计算的欧拉力,按公式(5.3.11-9)计算。

2)对于双轴对称实腹式工字形和箱形截面的压弯构件,其稳定性应按下列公式计算:

$$\frac{N}{\varphi_x A f} + \frac{\beta_{mx} M_x}{\gamma_x W_x \left(1 - 0.8 \frac{N}{N'_{Ex}}\right) f} + \eta \frac{\beta_{tx} M_y}{\varphi_{by} W_y f} \leq 1.0 \quad (5.3.11-10)$$

$$\frac{N}{\varphi_y A f} + \eta \frac{\beta_{ty} M_x}{\varphi_{bx} W_x f} + \frac{\beta_{my} M_y}{\gamma_y W_y \left(1 - 0.8 \frac{N}{N'_{Ey}}\right) f} \leq 1.0 \quad (5.3.11-11)$$

$$N'_{Ey} = \pi^2 EA / (1.1 \lambda_y^2) \quad (5.3.11-12)$$

式中: $\varphi_x$ 、 $\varphi_y$ ——对强轴  $x-x$  和弱轴  $y-y$  的轴心受压构件整体稳定系数,应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定,此时构件的计算长度系数取 1.0;

$\varphi_{bx}$ 、 $\varphi_{by}$ ——均匀弯曲的受弯构件整体稳定性系数,应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定;

$M_x$ 、 $M_y$ ——所计算构件段范围内对强轴和弱轴的最大弯矩设计值(N·mm);

$N'_{Ey}$ ——钢结构稳定设计计算参数;

$W_x$ 、 $W_y$ ——对强轴和弱轴的毛截面模量(mm<sup>3</sup>);

$\beta_{mx}$ 、 $\beta_{my}$ ——等效弯矩系数,应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定;

$\beta_{tx}$ 、 $\beta_{ty}$ ——等效弯矩系数,应符合现行国家标准《钢结构设计标准》GB 50017 的有关规定;

$\lambda_y$ ——构件截面对  $y$  轴的长细比。

**3** 当钢构件考虑初始缺陷时,应按下列规定进行截面强度验算:

1)除圆管截面外,应按下列公式进行截面强度验算:

$$\text{有足够侧向支撑: } \frac{N}{Af} \pm \frac{M_x}{\gamma_x W_x f} \pm \frac{M_y}{\gamma_y W_y f} \leq 1 \quad (5.3.11-13)$$

$$\text{无足够侧向支撑: } \frac{N}{Af} \pm \frac{M_x}{\varphi_b \gamma_x W_x f} \pm \frac{M_y}{\gamma_y W_y f} \leq 1 \quad (5.3.11-14)$$

2)对于圆管截面,应按下列公式进行截面强度验算:

$$\frac{N}{Af} + \frac{\sqrt{M_x^2 + M_y^2}}{\gamma_m W f} \leq 1 \quad (5.3.11-15)$$

式中: $\varphi_b$ ——梁的整体稳定系数;

$W$ ——圆管的毛截面模量(mm<sup>3</sup>).

**5.3.12** 上、下支撑绳、上拉锚绳和侧拉锚绳的承载力,应满足下式的要求:.

$$T_{r, \max} \leq [T_r] / \alpha_{m, r} \quad (5.3.12)$$

式中: $T_{r, \max}$ ——钢丝绳最大拉力;

$[T_r]$ ——钢丝绳破断拉力值,应符合现行国家标准《钢丝绳通用技术条件》GB/T 20118 的有关规定;

$\alpha_{m,r}$ ——钢丝绳承载力储备系数,不宜小于 2.0。

**5.3.13** 设置于支撑绳和拉锚绳上的耗能部件可采用串联、并联和串并结合的配置方式,若采用串联方式导致变形量过大时,可采用并联方式,并联后启动力可取各并联耗能部件启动力之和。

**5.3.14** 设置于支撑绳和拉锚绳上的耗能部件数量可按下式确定:

$$n = \frac{\eta \beta_b E_k}{F_0 \Delta_d} \quad (5.3.14)$$

式中: $n$ ——耗能部件数量,支撑绳上耗能部件数量  $n_{s,d}$ ,拉锚绳上耗能部件数量  $n_{a,d}$ ;

$E_k$ ——极限防护能量所对应的最大冲击能量;

$\eta$ ——耗能比例系数,支撑绳上耗能部件  $\eta_{s,d}$ 、拉锚绳上耗能部件  $\eta_{a,d}$  分别按表 5.3.6 取值;

$\beta_b$ ——考虑耗能部件未完全工作的调整系数,支撑绳上的耗能部件  $\beta_{b,s}$  取 1.3,拉锚绳上的耗能部件  $\beta_{b,a}$  取 1.1;

$F_0$ ——耗能部件工作内力,其取值可参考附录 C 中规定;

$\Delta_d$ ——单个耗能部件最大变形量,对于常用规格的减压环,可参考本规程附录 C 中表 C.2.4 的规定。

**5.3.15** 耗能部件应有合适的启动力以保证在结构受到冲击时能够启动工作,同时应具备足够的行程以满足最小耗能需求。耗能部件的静态启动力与动态启动力应满足下列公式的要求:

$$0.2T_{r,max} < F_{st} \leq 0.5T_{r,max} \quad (5.3.15-1)$$

$$F_{dt} \leq 0.7T_{r,max} \quad (5.3.15-2)$$

式中: $F_{st}$ ——耗能部件静态启动力;

$F_{dt}$ ——耗能部件动态启动力。

**5.3.16** 柱脚与基座应符合下列规定:

1 柱脚在垂直于冲击方向应具有不低于  $15^\circ$  的两侧自由转动能力,在冲击方向应能完全自由转动(图 5.3.16)。

2 柱脚连接件与基座板应进行承载力验算。

3 对于非定型柱脚与基座产品,当采用销轴连接时,各销孔

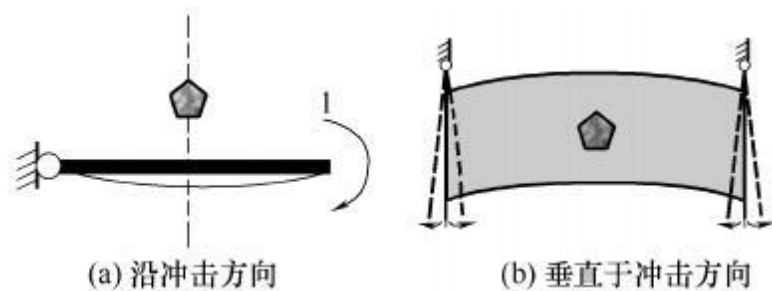


图 5.3.16 柱脚转动能力

间的同轴度误差不应大于 1.5mm,并应对销轴进行抗剪验算。柱脚耳板和基座耳板均应进行抗剪承载力验算,同时对基座耳板还应进行局部承压验算。

4 基座底部钢板厚度不宜低于 16mm。

**5.3.17** 被动柔性防护网结构的构造设计应符合下列规定:

- 1 应确保结构各部件之间具备可靠连接;
- 2 应满足支撑绳与立柱之间的相对滑移要求,同时保证耗能部件的充分启动;
- 3 应确保冲击荷载作用能够充分有效地传递至拉锚绳;
- 4 网片与支撑绳之间的连接应能满足网片沿支撑绳的滑移要求;
- 5 缝合绳的选用应按照与被缝合网片等强的原则,且不宜选用小于  $\phi 8$  的钢丝绳;

6 钢丝绳在立柱两端部位应有可靠支撑,并应保证自由滑动,钢丝绳与支撑点接触处的转弯半径不应小于钢丝绳直径的 5 倍。

**5.3.18** 钢丝绳夹应符合现行国家标准《钢丝绳夹》GB/T 5976 的有关规定,并满足下列要求:

- 1 钢丝绳夹在钢丝绳工作段上的夹持方式(图 5.3.18),U 形螺栓扣在钢丝绳的尾段上。钢丝绳夹不得在钢丝绳上正反交替布置。
- 2 钢丝绳夹间的距离  $A$  可取 6 倍~7 倍钢丝绳直径,外留长度  $S$  不得小于 6 倍钢丝绳直径。

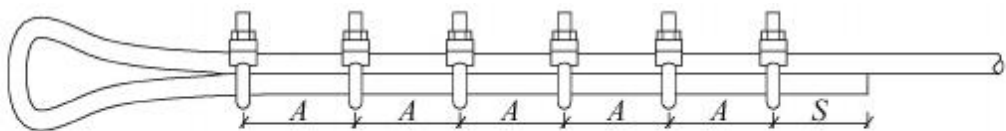


图 5.3.18 钢丝绳夹示意

3 钢丝绳夹固定处的承载力不应小于钢丝绳自身强度的 80%。绳夹在实际使用中,受载一、二次以后应作检查,螺母需要进一步拧紧。

4 每一连接处所需钢丝绳夹的最少数量应符合表 5.3.18 的要求。

表 5.3.18 钢丝绳夹的数量要求

| 钢丝绳直径 $d_r$ (mm) | $d_r \leq 18$ | $18 < d_r \leq 26$ | $26 < d_r \leq 36$ |
|------------------|---------------|--------------------|--------------------|
| 钢丝绳夹             | 3             | 4                  | 5                  |

5.3.19 钢丝绳铝合金压制接头应符合现行国家标准《钢丝绳铝合金压制接头》GB/T 6946 的有关规定,并应符合下列规定:

1 采用铝合金压制接头的直径大于 20mm 的钢丝绳公称抗拉强度不得超过 1870MPa;

2 采用套环时,包络套环的钢丝绳不得有松股现象,应贴合紧密、平整;

3 当无套环时,接头到绳套内边的距离  $L$  不应小于 3 倍的锚固件宽度  $B$  或 15 倍钢丝绳直径  $d$ ;

4 钢丝绳端部应超出接头 1.0 倍~1.5 倍钢丝绳直径  $d_r$ ;

5 钢丝绳铝合金压制接头(图 5.3.19)应能承受钢丝绳破断拉力的 90%的静力荷载以及 30%的冲击荷载。

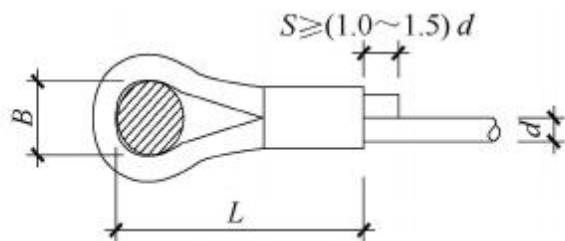


图 5.3.19 钢丝绳铝合金压制接头示意

**5.3.20** 卸扣应符合现行国家标准《一般起重用 D 形和弓形锻造卸扣》GB/T 25854 的有关规定,并满足下列要求:

- 1 卸扣应光滑平整,不允许有裂纹、锐边、过烧等缺陷。
- 2 严禁使用铸铁或铸钢的卸扣。扣体可选用镇静钢锻造,销轴可用棒料锻造后机加工。
- 3 不应在卸扣上钻孔或焊接修补。扣体和轴销永久变形后,不得进行修复。
- 4 使用时,应检查扣体和插销,不得有严重磨损、变形和疲劳裂纹。横向间距不得受拉力,销轴必须插好保险销。
- 5 销轴正确装配后,扣体内宽不得明显减少,螺纹连接良好。
- 6 卸扣的使用不得超过规定的安全负荷。

## **5.4 基础设计**

**5.4.1** 基础包括上拉锚绳、侧拉锚绳、下拉锚绳、中间加固拉锚绳的基础以及被动柔性防护网结构的立柱基础。

**5.4.2** 基础设计之前应开展工程地质调查及勘察工作,查明地基工程地质条件,确定设计参数。

**5.4.3** 立柱基础应符合下列规定:

1 立柱基础埋深应超过冻土深度且不宜小于 0.5m,并应满足稳定性和承载能力的要求。当地基为不易风化的完整基岩时,应采用钻孔锚杆基础,否则应采用混凝土基础,并应根据承载力和稳定性要求确定基础的埋深和尺寸。

2 立柱基础应采用矩形截面,基础长轴方向与该基础中心和其左右基础中心连线夹角的平分线方向一致。

3 地脚螺栓锚杆宜采用精扎螺纹钢筋,也可采用普通螺纹钢筋在一端加工不短于 150mm 的螺纹段,螺纹规格应能承受不小于 50kN 的紧固力。地脚螺栓锚杆总长不应小于 1.0m,埋入基础内的长度不应小于 0.9m。地脚螺栓锚杆直径不宜小于 28mm。

4 立柱基础混凝土的强度等级不应低于 C25。当地下水有

侵蚀性时,水泥应按有关规定选用。

**5** 立柱基础纵向受力钢筋直径不应小于 16mm,净距不宜小于 120mm。当用束筋时,每束不宜多于 3 根。混凝土必须填筑密实,钢筋保护层厚度应满足《混凝土结构耐久性设计标准》GB/T 50476 中的有关要求。

**6** 纵向受力钢筋的截断点应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定计算。

**7** 箍筋宜采用封闭式,直径不宜小于 14mm,间距不应大于 200mm。

**8** 立柱基础两侧及受压边应配置纵向构造钢筋,其间距宜为 200mm~400mm,直径不宜小于 14mm。

**9** 地脚螺栓锚杆外露段以及与其相邻的埋入地层的不小于 100mm 区段表面应采用热浸镀锌处理,镀层厚度不应小于 55 $\mu$ m。

**10** 混凝土基础开挖不宜采用爆破作业。

#### **5.4.4 钢丝绳锚杆基础应符合下列规定:**

**1** 当设置上拉锚绳、侧拉锚绳、下拉锚绳、中间加固拉锚绳锚杆位置的地基条件可以满足设计锚固力要求时,所需锚杆根数及长度应根据基础设计内力值确定;若地基条件不能满足设计锚固力要求时,可采用混凝土基础,其尺寸和埋深应满足稳定性和承载能力的要求,基础混凝土强度等级不应低于 C25。

**2** 上拉锚绳、侧拉锚绳、下拉锚绳、中间加固拉锚绳锚杆锚固段长度不宜小于 2.5m。单根钢绳锚杆不能满足要求时,应增加锚绳根数,设计计算需要时,应增加压力注浆锚杆,将钢绳锚杆固定在压力注浆锚杆上,以提高钢绳锚杆的锚固力和稳定性。

**3** 上拉锚绳、侧拉锚绳、下拉锚绳、中间加固拉锚绳锚杆孔径不应小于 42mm。

**4** 锚绳锚杆钻孔注浆材料宜采用水泥浆或水泥砂浆,其强度不宜低于 25MPa。注浆采用孔底返浆法,注浆压力宜为 0.2MPa~0.4MPa。

**5** 钢绳锚杆和压力注浆钢筋锚杆施工完成后应按总数的5%随机抽样进行抗拔力检测。

**6** 钢绳锚杆混凝土基础不宜采用爆破作业。

**5.4.5** 不同极限防护能量的柔性防护结构内的立柱、上拉锚绳、侧拉锚绳、下拉锚绳和中间加固锚杆的设计内力应在专项设计报告中提供,并应根据实验对设计值进行校核。

## 6 质量检验

**6.0.1** 质量检测包括核查厂家提供的质量证明文件,进行材料性能检验、部件性能检验和整体性能检验。

**6.0.2** 被动柔性防护网结构应按本规程附录 D 进行材料性能检验,按本规程附录 C 进行部件性能检验。重要性等级为一级时应按本规程附录 B 进行整体性能检验,重要性等级为二级时宜按本规程附录 B 进行整体性能检验。

**6.0.3** 部件性能检验和材料性能检验应覆盖防护网所有部件和材料。抽查数量应按工程设计要求,工程设计无具体要求时可按现行国家标准《计数抽样检验程序 第 1 部分:按接收质量限(AQL)检索的逐批检验抽样计划》GB/T 2828.1 的有关要求进行抽样。

**6.0.4** 质量证明文件应包括部件生产加工合格证明、出厂检验证明、原材料材质证明、盐雾试验报告、防护网网片抗顶破力第三方试验报告、被动柔性防护网结构产品定型报告。

**6.0.5** 被动柔性防护网结构产品定型报告应包括产品体系配置、结构计算及结果、产品定型落石冲击试验报告、网片抗顶破力试验报告、耗能部件启动力和耗能值试验报告等。

## 7 施工及验收

### 7.1 安 装

**7.1.1** 被动柔性防护网结构工程施工应与其他工序规划协调,精心组织,编制施工组织设计,并应符合下列规定:

1 应先实施被动柔性防护网结构工程布置高程以上的坡面清理、截排水及防护工程,再实施被动柔性防护网结构。

2 被动柔性防护网结构工程施工前应检查进场原材料、构件及施工设备的技术性能是否符合要求。

3 被动柔性防护网结构工程施工安装时,不得改变设计规定的各类构件的安装位置及其连接关系、连接要求。

4 被动柔性防护网结构工程应按坡面准备与施工放线、锚杆与基础施工、上部结构安装的顺序组织施工。一个连续布置的独立防护网或一组相互关联的防护网,宜在完成全部锚杆或基础放线定位后,再开始锚杆与基础的施工作业。

5 应合理规划和修建便于施工人员行走、材料搬运的坡面施工通道,并应根据结构工作周期内的检查维护要求设置检修通道。

**7.1.2** 被动柔性防护网结构坡面布置应符合设计要求,当需适应坡面条件对被动柔性防护网结构的布置进行适当调整时,应符合下列要求:

1 局部调整锚杆或混凝土基础位置时,不应减少设计要求的锚杆或混凝土基础数量。

2 柔性锚杆与相邻钢柱基座间的顺坡间距调整量,不应超过设计标准值的 10%,连线方位误差不应超过 5°,且设计标准位置位于与其相邻的两个钢柱基座间连线上或下坡侧的锚杆均不得设置在上坡侧。

3 两相邻钢柱基座间距离调整量不应大于设计值的 20%，一道防护网的总长度负误差不应超过 0.2m，且不应改变钢柱基座间连线走向的变化。

4 同一钢柱基座的锚杆间距和相对方位误差应控制在能顺利安装基座的范围内。

7.1.3 锚杆施工应符合现行国家标准《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》GB 50086 的有关规定。

7.1.4 被动柔性防护网结构的安装应符合下列规定：

1 支撑绳、拉锚绳等钢丝绳类构件带有消能装置时，应与钢丝绳构件同时安装；

2 采用地层钻孔锚杆固定的基座，宜用砂浆找平安装处地面；

3 当采用防止钢柱朝上坡侧反向倾倒的防倾倒构件时，该构件应与钢柱与拉锚绳同时安装；

4 顺端部钢柱设置，用以连接端部柔性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；

5 上、下支撑绳安装，柔性网与上、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网片，然后再安装下支撑绳；

6 被动柔性网安装，包括柔性网片间及与边垂绳和上、下支撑绳间的连接，包括中部横向约束绳时，可与柔性网同时或之后安装；

7 各柔性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；

8 各类支撑绳均应采用张拉设备张紧，被动网上支撑绳的下垂度宜为跨度的 2%~4%。

## 7.2 工程验收

7.2.1 工程质量检验评定应符合下列规定：

1 被动柔性网防护工程各部件规格、数量以及各部件之间的连接方式应与整体性能检验报告或整体性能证明报告中的规定一致；

2 被动柔性网防护工程材料以及构件的物理、化学性能检验,减压环力学性能,节点卡扣力学性能,环链破断拉力等应符合本规程附录 C 的要求并经抽检合格后方可使用；

3 被动柔性防护网结构基础混凝土所用的水泥、砂、石、水和外掺剂的规格和质量必须符合有关规程的要求,按规定的配合比施工;基础结构几何尺寸,埋置深度,强度,预埋件位置深度等应符合设计和规程要求;地基强度应符合设计要求；

4 钢筋锚杆与钢丝绳锚杆插入孔内的长度不得短于设计长度的 95%,根数不得少于设计数量；

5 现场锚杆试验结果应满足钢筋锚杆与钢丝绳锚杆设计拉应力要求。

7.2.2 实测项目应符合标准表 7.2.2 的规定。

表 7.2.2 构件及基础实测项目

| 项次 | 检查项目                   | 规定值或允许偏差        | 检查方法和频率            | 权值 |
|----|------------------------|-----------------|--------------------|----|
| 1  | 减压环张力(kN)              | $\pm 5\%$       | 过程检查,室内:<br>抽检 10% | 2  |
| 2  | 防护网孔间距(mm)             | $\pm 30$        | 直尺、塞尺:抽检 1%        | 2  |
| 3  | 紧固件连接点                 | 符合设计要求          | 过程检查,抽检 10%        | 2  |
| 4  | 环网钢丝股数                 | 0               | 抽检 10%             | 2  |
| 5  | 被动柔性网设置高度(mm)          | $\pm 500$       | 尺量:抽检 10%          | 1  |
| 6  | 立柱脚中距(mm)              | $\pm 200$       | 尺量:抽检 10%          | 1  |
| 7  | 镀锌层厚度( $\mu\text{m}$ ) | 立柱 $\geq 85$    | 测厚仪:抽检 5%          | 2  |
|    |                        | 紧固件 $\geq 50$   |                    |    |
|    |                        | 镀锌钢丝 $\geq 33$  | 试验室:抽检 1%          |    |
| 8  | 系统安装角度                 | $\pm 10^\circ$  | 全检,直接测量            | 3  |
| 9  | 柱脚侧向转动能力               | $\geq 15^\circ$ | 抽检 10%,直接测量        | 2  |

续表 7.2.2

| 项次 | 检查项目             | 规定值或允许偏差         | 检查方法和频率     | 权值 |
|----|------------------|------------------|-------------|----|
| 10 | 支撑绳外延段及拉锚绳与柱头夹角  | $\pm 10^{\circ}$ | 全检,直接测量     | 2  |
| 11 | 钢丝绳与立柱支撑点接触处转弯半径 | $\geq 5$ 倍       | 抽检 10%,直接测量 | 1  |

### 7.2.3 外观检验应符合下列规定：

- 1 基础混凝土应密实平整,无裂缝、翘曲、蜂窝、麻面等缺陷；
- 2 金属构件表面不得有锈蚀、漏镀等缺陷；
- 3 防护网片应与缝合绳连接牢靠,不得漏缝空格,立柱与基础连接正确；
- 4 被动防护直线段整体上应无明显的凹凸现象,曲线段圆滑顺畅；
- 5 紧固件固定牢固,减压环、上下支撑绳、系统锚绳数量、位置正确。

**7.2.4** 被动柔性防护网结构工程项目交工验收应符合现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300 的有关规定。

## 8 保养和维修

**8.0.1** 被动柔性防护网结构保养和维修应根据维修保养手册进行。

**8.0.2** 维修管理责任方应对维修保养计划书、检修记录、检修报告书、修改记录的文档进行保管。

**8.0.3** 专业管理人员应在每年雨季前进行结构检查、清理,并在暴雨和发生地质灾害等恶劣气候条件后检查柔性防护结构。当防护网拦截落石或在网后有落石及其他堆积物时,应及时进行清理。

**8.0.4** 防护网拦截落石,部件受损无法继续正常工作时,应更换受损部件。

**8.0.5** 柔性防护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,更换前可对原柔性防护网进行有效性评估,根据评估结果,做出全部更换、局部更换或延期更换的决定。

**8.0.6** 柔性防护网腐蚀程度达到或超过 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。

## 附录 A 防腐蚀措施与使用年限

### A.1 防腐蚀措施

**A.1.1** 除临时防护工程和不锈钢、铝或铝合金等材质类构件外，柔性防护网所用金属材料与构件均应采取适当的防腐蚀措施。

**A.1.2** 柔性防护网工程防腐蚀措施主要包括热浸镀锌或锌-铝合金、电镀锌、热喷锌、粉末渗锌、防腐蚀涂料涂装等。一些常用原材料和构件的防腐蚀措施和相关规则如下：

1 钢丝、钢丝绳和钢绞线主要采用不低于 AB 级的热浸镀锌。

2 钢丝和钢绞线也常采用热浸镀锌-5% 铝混合稀土合金，其相关技术要求可参照现行国家标准《锌-5% 铝-混合稀土合金镀层钢丝、钢绞线》GB/T 20492 的有关规定执行。

3 钢柱、基座、锚垫板等大尺寸钢铁质构件主要采用热浸镀锌。当设计或技术要求未明确锌层厚度或质量时，应符合现行国家标准《金属覆盖层 钢铁制件热浸镀锌层 技术要求及试验方法》GB/T 13912 的有关规定。

4 钢筋锚杆杆体、绳夹、卸扣、钢丝绳网节点十字卡扣、螺栓和螺母等普通钢铁质连接件，主要采用热浸镀锌或电镀锌。当设计或技术要求规定为电镀锌时，不排除采用相同镀层厚度或重量的热浸镀锌或热喷锌、粉末渗锌替代。

5 设计或技术要求规定为镀锌层时，不排除采用镀层厚度或重量不低于规定镀锌层的 80% 的热浸镀锌-5% 铝混合稀土合金替代。

### A.2 防腐蚀金属镀层的预期使用年限

**A.2.1** 防腐蚀金属镀层的工程环境大气腐蚀性等级可按现行国

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/918067130120006123>