

ICS 号

CCS 号

# 团体标准

T/CHTS XXXXX-XXXX

## 高速公路边坡光伏发电系统 运维指南

Guide of operation and maintenance for highway slope  
photovoltaic power station

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国公路学会 发布

团体标准

## 高速公路边坡光伏发电系统运维指南

Guide of operation and maintenance for highway slope photovoltaic  
power station

T/CHTS XXXXX-202X

主编单位：葛洲坝集团交通投资有限公司

发布单位：中国公路学会

实施日期：××××年××月××日

××××××(出版单位)

## 前 言

本指南是在系统总结我国高速公路边坡光伏发电系统运行维护研究成果和工程实践经验的基础上编制而成。

本指南按照 T/CHTS 10001《中国公路学会标准编写规则》编写，共分 11 个章节，主要包括：项目介绍、规范性引用、术语和符号、基本规定、状态监测、故障诊断与评估、运行维护、运维信息化管理、安全管理、人员管理等。

本指南由葛洲坝集团交通投资有限公司提出，受中国公路学会委托，负责具体解释工作。请有关单位将实施中发现的问题与建议，反馈至葛洲坝集团交通投资有限公司（主编单位）（地址：武汉市硚口区硚口路 162 号葛洲坝国际中心，联系方式：15377592216，电子邮箱：qyang1857@ceec.net.cn），供修订时参考。

**主编单位：**葛洲坝集团交通投资有限公司

**参编单位：**华中科技大学、交通运输部规划研究院、中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司、电力规划设计总院、葛洲坝（武汉）新能源发展有限公司

**主要起草人：**×××、×××、×××

**主要审查人：**×××、×××、×××

# 目 次

|     |                  |    |
|-----|------------------|----|
| 1   | 总则.....          | 1  |
| 2   | 术语.....          | 2  |
| 3   | 基本规定.....        | 4  |
| 4   | 状态监测.....        | 5  |
| 4.1 | 光伏边坡监测.....      | 5  |
| 4.2 | 光伏边坡植被监测.....    | 7  |
| 4.3 | 光伏发电系统监测.....    | 8  |
| 5   | 故障诊断与评估.....     | 10 |
| 5.1 | 光伏边坡故障诊断与评估..... | 10 |
| 5.2 | 边坡植被生长评估.....    | 11 |
| 5.3 | 光伏发电系统故障诊断.....  | 11 |
| 6   | 运行维护.....        | 13 |
| 6.1 | 光伏边坡运行维护.....    | 13 |
| 6.2 | 边坡植被养护.....      | 15 |
| 6.3 | 光伏发电系统运行维护.....  | 17 |
| 7   | 运维信息化管理.....     | 19 |
| 7.1 | 基本规定.....        | 19 |
| 7.2 | 运维监测平台规定.....    | 19 |
| 8   | 安全管理.....        | 21 |
| 8.1 | 基本规定.....        | 21 |
| 8.2 | 边坡安全管理.....      | 21 |

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 8.3 光伏发电系统安全管理.....       | 21 |
| 9 人员管理.....               | 22 |
| 9.1 一般要求.....             | 22 |
| 9.2 边坡光伏发电系统运维人员岗位职责..... | 22 |
| 附录 A 巡检记录及巡检周期表.....      | 23 |
| 附录 B 运行维护/维修记录表.....      | 24 |
| 附录 C 设备缺陷通知单.....         | 25 |
| 附录 D 工作票登记表.....          | 26 |
| 附录 E 工作日志.....            | 27 |
| 附录 F 规范性引用文件.....         | 28 |
| 用词说明.....                 | 28 |

中国公路学会标准征求意见稿

# 高速公路边坡光伏发电系统运维指南

## 1 总则

1.0.1 为高速公路边坡光伏发电系统运维制定本指南。

1.0.2 本指南适用于高速公路边坡光伏发电系统中边坡坡面、边坡绿植、光伏发电系统设备的状态监测、故障诊断与评估、运行维护以及运维信息化管理、安全管理、人员管理、等方面。

1.0.3 高速公路边坡光伏发电系统运维除应符合本指南的规定外，应符合有关法律法規及国家、行业现行有关标准的规定。

## 2 术语

术语应符合《光伏电站设计规范》(GB 50797)和《光伏组件检修规程》(GB/T 36567)的有关规定和下列定义。

### 2.0.1 高速公路边坡 highway slope

由高速公路开挖或填方施工,在路基横断面两侧与地面形成的坡面,包括路堑边坡和路堤边坡。

### 2.0.2 光伏边坡 photovoltaic slope

在坡体上设置了光伏电站系统的公路边坡。

### 2.0.3 边坡光伏发电系统 slope photovoltaic power station

在高速公路(路堤)边坡上敷设光伏组件构成的发电系统,边坡光伏发电系统包括光伏组件、辅助光伏组件电力并网的其他电气设备、敷设光伏组件的边坡等。

### 2.0.4 变形监测 deformation monitoring

对地表和地下一定深度范围内的边坡岩土体及其上层建(构)筑物的位移、沉降、倾斜、挠度、裂缝等微观、宏观现象,在一定时间内进行周期性或实时性监测,并进行变形分析的工作。

### 2.0.5 裂缝监测 crack monitoring

对边坡体及影响范围内出现的裂缝宽度、长度、走向及其变化等进行的监测工作。

### 2.0.6 应力监测 stress monitoring

在边坡的支挡、加固结构内埋设传感器,获取其应力变化的监测工作。

### 2.0.7 位移监测 deep displacement monitoring

应用测斜仪对边坡内部不同深度的水平位移大小和方向进行监测的工作。

### 2.0.8 边坡病害 slope diseases

边坡自身或防护结构表现出不同程度的破坏形式。常见的边坡病害有滑坡、崩塌、溜塌、掉块落石、冻融破坏、防护结构断裂变形等。

### 2.0.9 边坡维护 slope maintenance

为保持边坡及其设施正常使用而进行的检查、评估、保养、维修、专项整治、监测等工作。

#### 2.0.10 排水设施 drainage facility

用于拦截、汇集输送排放地表水或下的各种设施。

#### 2.0.11 滑坡 landslide

在重力作用下，沿地质弱面向下向外滑动的地质体和堆积体。

#### 2.0.12 信息化管理 information management

应用计算机、通信和传感等信息技术进行的光伏边坡养护管理。

中国公路学会标准征求意见稿

### 3 基本规定

3.0.1 应结合相关设备技术文件、同类型设备经验，制定边坡光伏发电系统监测、评估及检修计划和方案。

3.0.2 光伏发电系统作业应符合《电力安全工作规程发电厂和变电站电气部分》（GB 26860）、《光伏电站安全规程》（GB/T 35694）、《光伏组件检修规程》（GB/T 36567）、《光伏方阵检修规程》（GB/T 36568）的有关规定。

3.0.3 边坡检修作业应符合《建筑边坡工程技术规范》（GB 50330）、《滑坡防治工程勘查规范》（GB 32864）、《非煤露天矿边坡工程技术规范》（GB 51016）的有关规定。

3.0.4 监测和维修人员应熟悉边坡光伏发电系统，包括光伏发电系统的原理、结构、性能、检修工艺、工序、质量标准、安全工作规程，并具备相关专业技能和资质。

3.0.5 边坡光伏发电系统监测及检修所用的工器具、仪器仪表应定期校准合格，并在有效期内。

3.0.6 边坡光伏发电系统监测、评估及检修宜采用可靠的先进工艺、新技术、新方法，提高效率及系统安全性。

3.0.7 检修工作结束后应进行测试和验收。

## 4 状态监测

### 4.1 光伏边坡监测

#### 4.1.1 光伏边坡监测应满足以下规定：

1 应对边坡光伏发电系统进行设计方案进行风险评估，风险评估应符合《建筑边坡工程技术规范》（GB 50330）的有关规定。

2 应根据风险评估结果，进行高速公路护栏设计、光伏边坡排水设计、光伏边坡防护设计、光伏边坡监测设计等。

3 高速公路护栏等级应符合《公路交通安全设施设计规范》（JTG D81）的有关规定，光伏边坡排水设施应符合《公路排水设计规范》（JTG/T D33）的有关规定，光伏边坡防护应符合《滑坡防治工程勘察规范》（GB 32864）的有关规定。

4.1.2 监测方案应根据光伏样式、边坡地质特征、公路光伏边坡风险类别、施工方案等因素确定：

1 光伏样式监测内容应包含光伏组件、光伏桩基、光伏支架、光伏阵列。

2 边坡地质特征的勘察应符合《滑坡防治工程勘察规范》（GB 32864）和《岩土工程勘探规范》（GB 50021）的有关规定。

3 公路光伏边坡风险类别应包含边坡稳定性评估、光伏稳定性评估、受威胁对象等因素进行确定。

4 边坡稳定性评估应符合《地质灾害危险性评估规范》（GB/T 40112）的有关规定，光伏支架稳定性评估应满足《光伏电站安全规程》GB/T 35694 的相关规定。

5 施工方案应根据当地道路情况进行灵活调整，如施工时间、施工设备、施工位置、施工方法等，避免出现施工困难、堵塞交通等问题。

#### 4.1.3 光伏边坡监测方案内容见表 4.1.3。

表 4.1.3 监测方案内容

| 监测目的      | 监测项目     | 监测频率                 | 控制标准                           | 测点布置      | 信息反馈机制                                          |
|-----------|----------|----------------------|--------------------------------|-----------|-------------------------------------------------|
| 监测光伏风荷载分布 | 光伏组件表面压力 | 日常监测建议1次/天，建议1次/6小时。 | 应满足《光伏组件检修规程》（GB/T 36567）的有关规定 | 光伏组件上、下表面 | 应满足《光伏电站设计规范》（GB 50797）和《建筑结构荷载规范》（GB 50009）的规定 |

|           |                |                              |                                |                                                                                                    |                                                      |
|-----------|----------------|------------------------------|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 监测边坡稳定性   | 坡面变形、裂缝、滑坡、坍塌  | 日常监测建议<br>1次/天，建议<br>1次/6小时。 | 应满足《建筑边坡工程技术规范》（GB 50330）的有关规定 | 测点布设应符合《建筑边坡工程鉴定与加固技术规范》（GB 50843）、《建筑地基基础工程施工质量验收规范》（GB 5002）和《全球定位系统（GPS）测量规范》（GB/T 18314）的有关规定。 | 应满足《滑坡防治工程勘察规范》（GB 32864）的规定                         |
| 监测光伏桩基稳定性 | 应力、加速度、位移      | 日常监测建议<br>1次/天，建议<br>1次/6小时。 | 应满足《光伏方阵检修规程》（GB/T 36568）的有关规定 | 光伏桩基                                                                                               | 应满足《建筑桩基技术规范》（JGJ 94）的规定                             |
| 监测光伏支架稳定性 | 应力、加速度、倾斜位移    | 日常监测建议<br>1次/天，建议<br>1次/6小时。 | 应满足《光伏方阵检修规程》（GB/T 36568）的有关规定 | 光伏支架斜撑、露土段支撑、两立柱间                                                                                  | 应满足《光伏支架结构设计规程》（NB/T 10115）和《光伏发电站设计规范》（GB 50797）的规定 |
| 监测气象环境条件  | 风速、风向、气温、湿度、降雨 | 1次/天                         | 应满足《建筑边坡工程技术规范》（GB 50330）的有关规定 | 测点布设应符合《建筑边坡工程鉴定与加固技术规范》（GB 50843）、《建筑地基基础工程施工质量验收规范》（GB 5002）和《全球定位系统（GPS）测量规范》（GB/T 18314）的有关规定。 | 出现暴雨、台风、大雪等恶劣天气时进行预警反馈                               |

#### 条文说明

监测频率、控制标准和测点布置需根据具体工程情况确定。信息反馈机制包括定期报告监测数据和实时反馈监测数据，旨在及时了解边坡和光伏桩基的状态，以便采取必要的措施，保障光伏边坡系统的安全稳定运行。表中监测频率数据来源于工程经验和现场实验，当环境恶劣时可根据实际情况增加监测频率。

4.1.4 光伏边坡监测方法的选择应根据监测项目的特点、精度要求、变形速率以及监测体的安全性等指标，应符合《工程测量标准》（GB 50026）、《光伏系统性能监测、测量、

数据交换和分析导则》(GB/T 20513)、《光伏发电站安全规程》(GB/T 35694)、《光伏发电站监控系统技术要求》(GB/T 31366)的规定,单独采用一种或同时采用多种方法联合监测。

#### 4.1.5 边坡光伏监测设备应符合下列规定:

1 应根据边坡、光伏组件、光伏支架、光伏桩基的设定阈值等级要求选取监测仪器(设备),所选监测仪器的量程和精度应满足监测等级要求。

2 常用的仪器有风压传感器、位移传感器、倾角传感器、应力应变传感器、加速度传感器、气象环境检测仪等,用于监测边坡光伏发电系统的变形、倾斜和受力情况。条件允许的区域,建议引入新技术、新仪器(设备)。

3 监测仪器(设备)应能适应环境条件,抗腐蚀能力强,受温度、冻融、风、水、雷电、振动等作用影响小,支架焊接徐变变形小。

4 应能保持仪器和传输线路的长期稳定性与可靠性,故障少,便于维护和更换。

#### 4.1.6 监测数据应符合下列规定:

1 监测数据的采集应通过定时或者实时监测实现,对于规模较大的光伏边坡,宜采用自动化监测系统进行实时数据采集和传输。

2 监测数据处理方法、精度应符合《工程测量标准》(GB 50026)的有关规定。

3 宜根据监测资料类别分别建立相应的监测数据库。包括地质条件数据库、地质灾害数据库和监测数据库等。

4 准实时监测应搭建能够实时传输和管理数据的网络数据库管理系统,并应配套准实时处理和分析雷达影像数据的软件平台。

5 预警控制标准宜根据已有的同类工程成熟经验确定。无相关工程经验时,符合下列条件之一的情况,应启动报警:

1) 边坡岩土体连续三次变形加速度大于零时。

2) 地表裂缝、土压力、地下水位等监测指标表明边坡岩土体性状出现异常变化,且连续两次变形加速度大于零时。

3) 边坡防护结构及相邻构筑物出现的警报符合《建筑边坡工程鉴定与加固技术规范》(GB 50843)的有关规定时。

6 应生成监测报告对光伏边坡工程稳定工作状态进行评述和提出相关建议。

#### 4.2 光伏边坡植被监测

1 定期监测绿化植物生长状态,要求无病虫害、绿化率达标、植物长势良好。

2 未被光伏面板遮挡的边坡表面植被绿化率达到 100%，生长高度不能超过光伏面板的安装高度，植被高度宜保持在 5~15cm，整体高度一致、平整均匀、与地形相协调。

3 被光伏面板遮挡的边坡表面植被高度不能超过光伏面板的安装高度，绿化率要求在 80%以上。

4 监测方式可以采用人工巡视，通过目测的方式观察光伏边坡植被生长情况，春夏季度（植被生长旺盛期）监测周期为 1 次/10 天，其它季节 1 次/月。

5 监测方式可以采用无人机搭载可见光相机定期监测光伏边坡植被生长情况，监测周期为 1 次/3 月。

### 4.3 光伏发电系统监测

4.3.1 光伏发电系统监测完成后应形成巡检报告，报告格式参见附录 A。

4.3.2 光伏组件和支架的监测项目及要求应符合《光伏组件检修规程》（GB/T 36567）、《光伏方阵检修规程》GB/T 36568、《光伏电站安全规程》（GB/T 35694）的有关规定，其它监测项目及要求见表 4.3.2。

表 4.3.2 光伏阵列的监测项目及要求

| 序号 | 监测项目        | 监测指标 | 监测手段         | 监测周期                                   | 监测要求                                                                                                                                                                  |
|----|-------------|------|--------------|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 光伏组件表面积灰    | 积灰密度 | 目测           | 1 次/周                                  | a) 光伏组件表面应保持清洁，没有明显积灰。<br>b) 与初始状态（上一次清洗结束时）光伏组件输出功率相比，相同测试条件下的光伏组件输出功率下降大于 15%时，认为光伏组件积灰严重。                                                                          |
|    |             |      | 无人机搭载可见光相机航拍 | 1 次/3 个月                               |                                                                                                                                                                       |
|    |             |      | 光伏组串输出功率     | 在线监测                                   |                                                                                                                                                                       |
| 2  | 光伏组件表面阴影遮挡  | 外观   | 目测           | 春夏季度（植被生长旺盛期）监测周期为 1 次/10 天，其它季节 1 次/月 | 光伏组件表面不被建筑物、草木、其他异物遮挡。                                                                                                                                                |
|    |             |      | 无人机搭载可见光相机航拍 | 1 次/3 个月                               |                                                                                                                                                                       |
| 3  | 光伏组件表面外观及位置 | 外观   | 目测           | 1 次/月或大风、冰雹、大雨及雷电天气后                   | a) 组件表面颜色无异常，玻璃无破损。<br>b) 组件表面无鸟粪、树叶、杂草等异物。<br>c) 组件边缘或任何电路之间无连通通道的气泡。<br>d) 组件密封正常，隔离条无变色。<br>e) 背板无灼焦、脏污。<br>f) 组件无位移。<br>g) 组件周边无危险杂物，通风散热良好。<br>h) 组件安全警示标识完好未丢失。 |
|    |             |      | 无人机搭载可见光相机航拍 | 1 次/3 个月                               |                                                                                                                                                                       |

|   |                |          |                     |             |                                                                                                                                                            |
|---|----------------|----------|---------------------|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4 | 光伏组件表面温度       | 温度       | 无人机搭载红外热成像仪航拍       | 1 次/3 个月    | a) 在辐照强度大于 $600\text{W}/\text{m}^2$ 且风速小于 $2\text{m}/\text{s}$ 的条件下, 相邻组件上表面温度差值 $\Delta t$ 应不超过 $20^\circ\text{C}$ 。<br>b) 组件表面无热斑现象。                     |
| 5 | 光伏组件支架外观及位置    | 外观       | 目测                  | 1 次/月       | a) 支架主体无锈蚀、变形和破损。<br>b) 所有螺栓、焊缝等和支架连接固定部件牢固可靠。<br>c) 支架稳定牢固。                                                                                               |
| 6 | 光伏组串输出电流、电压、功率 | 电流、电压、功率 | 电流传感器、电压传感器、功率输出显示器 | 在线监测        | 光伏组串输出电流 $I_n$ 、输出电压 $V_n$ 、输出功率 $P_n$ , 相邻组串输出电流均值 $I_n^*$ 、输出电压均值 $V_n^*$ 、输出功率均值 $P_n^*$ , 当 $P_n < 0.9P_n^*$ 或 $I_n < 0.9I_n^*$ , 认为光伏电池组串可能存在组串连接等故障。 |
| 7 | 绝缘测试           | 电阻       | 绝缘电阻表               | 1 次/半年 (抽查) | 正负极短路时对地、正极对地以及负极对地的绝缘电阻大于 $1\text{M}\Omega$ 。                                                                                                             |
| 8 | 支架接地           | 电阻       | 绝缘电阻表               | 1 次/一年      | 支架的接地电阻应小于 $4\Omega$ 。                                                                                                                                     |

### 条文说明

表中监测频率数据来源于工程经验和现场实验, 当环境恶劣时可根据实际情况增加监测频率。

4.3.3 逆变器的监测项目及要求应符合标准《光伏电站逆变器检修维护规程》(GB/T 38330)、《光伏发电并网逆变器检测技术规范》(GB/T 37409)、《光伏系统性能监测、测量、数据交换和分析导则》(GB/T 20513)、《固体绝缘材料 介电和电阻特性 第4部分: 电阻特性(DC 方法) 绝缘电阻规范》(GB/T 31838.4)、《工业机械电气设备 绝缘电阻试验规范》(GB/T 24343)、《并网光伏发电专用逆变器技术要求和试验方法》(GB/T 30427)、《光伏组件检修规程》(GB/T 36567) 的有关规定。

4.3.4 变压器的监测内容应包含变压器主体外观、电流电压、内部基础设备、温度计和油位计监测等, 相关监测要求应符合《电力变压器检修导则》(DL/T 573) 的有关规定。

4.3.5 交直流电缆的监测项目及要求应符合《光伏方阵检修规程》(GB/T 36568) 和《低压电气装置 第6部分: 检验》(GB/T 16895.23) 的有关规定。

4.3.6 数据采集和监控装置的监测项目及要求应符合《光伏电站监控系统技术要求》(GB/T 31366) 和《太阳能资源测量 总辐射》(GB/T 31156) 的有关规定。

4.3.7 其它设备及配套设施的监测项目及要求应符合《电力安全工作规程发电厂和变电站电气部分》(GB 26860) 和《安全标志及其使用导则》(GB 2894) 的有关规定。

## 5 故障诊断与评估

### 5.1 光伏边坡故障诊断与评估

5.1.1 边坡稳定性计算方法应符合《公路工程地质勘察规范》(JTG C20)和《公路路基设计规范》(JTG D30)的有关规定。边坡稳定安全系数规定值见表 5.1.1-1,当计算稳定安全系数小于表中的数值时,应调整边坡坡率或对边坡进行加固处理,直至满足稳定性要求。

表5.1.1-1 边坡安全系数表

| 边坡安全等级                                                                                                                                                                                                                                       |        | 安全系数      |  | 分析方法                                                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-----------|--|----------------------------------------------------------|
| 一级                                                                                                                                                                                                                                           | 正常工况   | 1.20~1.30 |  | 简化 Bishop 法（圆弧或任意形状滑面）<br>平面滑动面解析法（直线滑面）<br>不平衡推力法（任意滑面） |
|                                                                                                                                                                                                                                              | 非正常工况I | 1.10~1.20 |  |                                                          |
| 二、三级                                                                                                                                                                                                                                         | 正常工况   | 1.15~1.25 |  |                                                          |
|                                                                                                                                                                                                                                              | 非正常工况I | 1.05~1.15 |  |                                                          |
| 注：<br>1 边坡地质条件复杂或破坏后危害严重时，取大值；地质条件简单或破坏后危害较轻时，取小值。<br>2 边坡破坏后的影响区域内有重要建筑物（桥梁、隧道、高压输电塔、油气管道等）、村庄和学校时，取大值。<br>3 非正常工况II（地震作用下的边坡稳定性）下的边坡安全系数应符合《公路工程抗震规范》（JTG B02）的有关规定。<br>4 施工期的临时边坡安全系数不得小于 1.05 。<br>5 路堤的安全系数应符合《公路路基设计规范》（JTG D30）的有关规定。 |        |           |  |                                                          |

#### 1 评估结果

以边坡稳定系数、安全系数等参数来表示,根据不同参数的大小,确定边坡的稳定性等级,判断边坡是否需要采取相应的措施进行加固。

#### 2 光伏边坡稳定性评级

稳定性评级方法应符合《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330)的有关规定。根据不同边坡稳定性等级确定采取相应的加固措施(加固措施应符合《建筑边坡工程鉴定与加固技术规范》(GB 50843)的有关规定),边坡稳定性等级划分见表 5.1.1-2。

表 5.1.1-2 边坡稳定性等级

| 评价等级  | 稳定性状态       | 采取措施                    |
|-------|-------------|-------------------------|
| 稳定    | 边坡处于良好的稳定状态 | 无需采取加固措施                |
| 轻微不稳定 | 边坡存在一定的不稳定性 | 需要采取轻微的加固措施             |
| 中度不稳定 | 边坡不稳定性较大    | 需要采取较为严格的加固措施           |
| 严重不稳定 | 边坡极度不稳定     | 需要采取紧急的加固措施,甚至需要对边坡进行重构 |

## 5.2 边坡植被生长评估

5.2.1 应根据光伏边坡安全高效运行要求，明确边坡植被生长状态的评价方法，给出植被修剪、补种等评估阈值。

5.2.2 边坡植被生长状态的评价方法应符合下列规定：

- 1 当边坡绿化植物出现缺株、死株等情况，应及时补植；
- 2 当边坡绿化植物出现植株瘦弱、泛黄等状态时，应及时加强水肥管理；
- 3 当边坡绿化植物高度宜超过 15cm 或高于光伏板安装高度，应及时修剪；
- 4 当边坡绿化植物出现病虫害，应及时进行杀虫。

## 5.3 光伏发电系统故障诊断

5.3.1 光伏组件故障诊断应符合《光伏方阵检修规程》（GB/T36568）、《光伏电站安全规程》（GB/T 35694）和《光伏组件检修规程》（GB/T 36567）的有关规定，其他故障诊断见表 5.3.1。

表 5.3.1 光伏组件故障诊断表

| 序号 | 故障类型   | 故障表现                                                                                                                                                                                                | 故障原因                                            | 故障后果                   |
|----|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------|
| 1  | 组件热斑故障 | a) 组件表面的红外热成像图呈现局部温度上升。<br>b) 组件表面可能出现烧坏的暗斑，表面颜色异常。<br>c) 组件表面固定异物遮挡造成的热斑，其组件输出功率比无热斑时降低，且功率下降后基本不随时间变化而变化。<br>d) 光伏板周边植被或山体等空间遮挡造成的热斑，其组件输出功率比无热斑时降低，且组件输出功率下降相对值在一天当中随着太阳高度角变化呈现波动，但日与日之间的波动规律相似。 | a) 光伏组件表面的鸟屎、尘土、落叶等遮挡物。<br>b) 山体、树木等空间障碍物导致的遮挡。 | 光伏电站发电效率降低，光伏组件使用寿命下降。 |
| 2  | 组件积灰故障 | a) 组件表面有灰尘沉积。<br>b) 积灰组件表面红外热成像图温度比清洁组件表面温度轻微下降，但温度场较均匀。<br>c) 与组件初始状态（上一次清洗结束时）相比，积灰光伏组件输出功率随时间增长而缓慢下降，遇到较大降雨天气或者光伏清洁后输出功率有较为明显上升。                                                                 | 灰尘沉积在光伏板表面。                                     | 光伏电站发电效率降低。            |

5.3.2 逆变器的故障诊断应符合《光伏电站逆变器检修维护规程》（GB/T 38330）的有关规定。

5.3.3 变压器故障诊断应包含变压器声音异常诊断、变压器油温及油位异常诊断、变压器绝缘设施异常诊断等，相关诊断要求应符合《电力变压器检修导则》（DL/T 573）的有关规定。

5.3.4 电缆故障诊断要求应符合《电力安全工作规程发电厂和变电站电气部分》(GB 26860)的有关规定

5.3.5 其它设备的数据采集系统、监控装置以及其它配套设施按照厂家提供的规程进行故障诊断。

中国公路学会标准征求意见稿

## 6 运行维护

### 6.1 光伏边坡运行维护

#### 6.1.1 光伏边坡日常维护应符合下列规定：

1 未铺设光伏边坡路段，运行维护应符合《建筑边坡工程技术规范》（GB 50330）的规定。

2 光伏边坡铺设路段，应针对光伏边坡特殊情况进行护坡结构、坡面、截排水、维护通道等日常维护，保证光伏边坡的长期稳定性与光伏发电系统的正常运行。

3 光伏边坡日常维护宜按日常巡查、定期检查和特殊检查等开展，并符合以下规定：

1) 日常巡查宜以目测为主，对边坡坡面、排水设施及防护构造物等进行一般性检查；

2) 定期检查应按规定的方法对边坡各部位进行全面检查；

3) 特殊检查应在日常巡查和定期检查的基础上，进行专门勘察、试验和检测，进一步查明病害原因或破坏程度。

4 光伏支架定期抽检要求：

1) 抽检数量

(1) 抽检数量应根据光伏边坡的规模和布局确定，以确保代表性和可靠性。

(2) 建议根据边坡的面积、支架数量或线路长度等指标来确定抽检数量，确保较全面地评估边坡的状况。

(3) 抽检数量可以根据实际情况确定，例如每个光伏边坡抽检不少于 3 个支架或每隔 100 米抽检 1 处。

2) 抽检时间间隔

(1) 应根据光伏边坡的运行情况和重要性确定，以确保边坡的稳定性和性能。

(2) 应根据光伏支架的设计寿命、环境条件、运行时间等因素来确定。

(3) 应根据实际情况确定，例如每年抽检一次或每隔 6 个月抽检一次。

3) 抽检阈值

(1) 抽检阈值是指超过该数值或达到一定程度时需要进行进一步检查和处理的指标。

(2) 抽检阈值的确定应综合考虑光伏边坡的设计要求、技术标准以及相关行业规范等。

(3) 具体的抽检阈值可以根据边坡的不同因素来制定，可参考常规的阈值：支架倾斜角度超过 2 度、支架形变超过 2 毫米。

具体的抽检内容和要求可能因不同地区、工程项目或组织而有所差异，建议在制定规范时根据实际情况进行具体规定，并确保符合相关的技术标准和行业规范。

#### 6.1.2 专项整治应符合如下要求：

1 专项整治实施对象一般为发生变形、崩塌、滑坡、损毁的边坡工程，或变形损毁的光伏结构。

2 专项整治应遵循“安全、可靠、经济、适用”的原则。

3 专项整治工程应委托具有相应资质的单位进行勘察设计。应在已有成果的基础上，补充现场检查和勘察，并对现状光伏边坡进行稳定性分析，加强施工过程中的跟踪验证，实行动态设计。

4 专项整治方案设计时，应充分考虑高速公路及其周边路网的通行条件与通行需求，应尽量减少对运营的影响。

5 专项整治作业单位应具备相应的资质和工程经验，并配备相应的设备及技术人员。

6 作业单位应依据设计方案及施工环境条件制订详细的施工组织和交通组织实施方案，确保整治工程实施和高速公路的运营安全；施工作业区、控制区的保障设施设置要求应符合《公路养护安全作用规程》（JTG H30）的有关规定。

7 专项整治工程的质量检验与评定，应符合《公路工程质量检验评定标准》（JTG F80/1）的有关规定。

#### 6.1.3 其它规定：

1 边坡维护应重视资源节约、环境保护与水土保持，改善边坡生态，并与周边环境协调。

2 通车状态下，边坡维护作业应在保障安全的前提下进行，并采取措施减少对交通的干扰，确保运营安全。

3 边坡维护除应符合本规范的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

#### 6.1.4 防风检查应符合下列规定：

1 在强风天气或者台风季节，对边坡进行额外的检查和维护，防止强风天气对边坡造成影响。

2 汛期、台风、暴雨等恶劣天气期间，禁止进入光伏区。恶劣天气前后应及时进行设备检查，如有损坏应及时进行维修或更换。

3 当遭遇特大台风、暴雨等极端气候或地震影响时，事后应及时组织一次检查。

## 6.2 边坡植被养护

光伏边坡植被的养护需要综合考虑植物的特性、当地的气候和环境等多方面因素，定期进行养护，以保证植被的生长健康，防止水土流失稳固边坡的同时也可以达到光伏电站美化、环保的目的。

### 6.2.1 浇水应符合下列规定：

1 植物种子出芽期，应保持土壤湿润。

2 坡面宜采用喷灌浇水。以植物出现萎蔫为起始浇水时间，单次浇水以不出现明显径流为宜。浇水时应避免冲刷坡面造成侵蚀。

### 6.2.2 补播（栽）应符合下列规定：

1 喷播完成后 1 个月，应全面检查植草生长情况，对生长明显不均匀的位置应予以补播。

2 植物生长不良、裸地较多、植物生长基质坍塌或者未达到设计要求时，应进行人工补播或补栽。

### 6.2.3 施肥应符合下列规定：

1 喷播实施 3 个月左右进行 1 次施肥；施工后 1~2 年再进行施肥。

2 施肥宜将所需肥料溶入水中，结合浇水进行，施肥应避开雨季和高温天气。

### 6.2.4 覆盖应符合下列规定：

1 播种后的坡面应用无纺布（或稻草帘）进行覆盖。

2 植物种子生根前，应避免受雨水冲刷。

3 寒冷季节，植物种子和幼苗应避免受冻伤害。

### 6.2.5 植被修剪应符合下列规定：

#### 1 一般规定

1) 对光伏板下较高杂草、植被进行定期修剪，避免杂草、植被过高与光伏板接触，保证光伏系统的发电效率。

2) 乔灌木应适当疏剪弱枝和病枯枝，短截徒长枝；应及时剪除影响行车安全的乔灌木枝条。

3) 修剪宜在秋季落叶后或春季发芽前进行。

4) 坡高小于 16m, 宜采用人工浇水, 坡高大于 16m, 宜采用喷灌浇水; 补植边坡和补喷边坡宜采用喷灌浇水, 以植物出现萎蔫为起始浇水时间, 单次浇水以不出现明显径流为宜。

## 2 修剪工具选择

- 1) 修剪剪刀: 用于修剪小型植被和细枝。
- 2) 修枝锯: 适用于修剪较粗的树枝和灌木。
- 3) 电动修枝锯: 用于处理较大和坚硬的树枝。

## 3 除草设备

具备稳定站立地面可采用以下除草设备:

- 1) 刷除草机
- 2) 除草割草机
- 3) 热力除草机
- 4) 草皮机

不具备稳定站立地面可采用以下除草设备:

- 1) 遥控草坪修剪机
- 2) 高压喷水清洁器
- 3) 手持式修枝剪
- 4) 遥控无人机
- 5) 覆盖层或抑草布
- 6) 光伏组件下方除草剂

在选择除草设备时, 根据实际需求、边坡的大小和植被类型等因素进行综合考虑, 并选择适合的设备进行除草操作。同时, 请遵循设备使用说明和安全操作规范, 确保工作安全和环境保护。

## 4 修剪周期

根据植被生长速度和光伏边坡维护需求, 制定修剪周期。常规修剪周期为每季度一次, 但可根据实际情况进行调整。

## 5 人员安全

1) 所有从事修剪工作的人员应接受必要的培训, 了解工具的正确使用方法和安全操作规程。

2) 应配备适当的个人防护装备, 如手套、安全帽、护目镜和防护服等。

3) 在工作区域周围设置警示标志和临时交通指示牌, 确保交通得到合理控制。

4) 工作人员应站在稳定的地面上进行修剪操作, 并避免站在不稳定的地方或陡峭的边坡上。

## 6 植被废弃物处理

1) 修剪后的植被废弃物应及时清理, 避免堆积影响视线和交通安全。

2) 废弃物可进行垃圾分类处理, 如可回收物和非可回收物的分离, 并依照当地相关规定进行处理。

## 7 定期检查

1) 每季度或根据需要进行定期检查, 评估植被修剪效果和边坡的整洁程度。

2) 检查边坡的稳定性, 确保没有发生土壤侵蚀或滑坡等问题。

## 6.3 光伏发电系统运行维护

6.3.1 光伏发电系统日常运行与维护时, 应符合本标准第 6.3.1 条的有关规定。光伏电站系统运行和维护的全部过程应进行详细的报告, 对于所有记录应妥善保管, 并对每次故障记录进行分析。报告格式参见附录 B。

### 1 边坡光伏组件日常维护

光伏面板和支架日常维护项目及要求应符合《光伏方阵检修规程》(GB/T 36568)、《光伏电站安全规程》(GB/T35694) 和《光伏组件检修规程》(GB/T36567) 的有关规定。

光伏组件输出功率低于相同外界条件下的初始状态(上次清洗结束时)的 85%时, 应对光伏板表面开展清洁工作。清洁方式可采用干式清洁(用干净的抹布或刷子清洁)、湿式清洁(用高压软化水清洁)、或者干式清洁和湿式清洁相结合。

清洁用水水质应符合《生活饮用水卫生标准》(GB 5749) 和《地表水环境质量标准》(GB 3838) 的有关规定, 清洁用水硬度应不超过 200 mg/L (单位水硬度(mg/L)=钙离子浓度(mg/L)×2.5+镁离子浓度(mg/L)×4.1)。

### 2 逆变器日常维护

逆变器定期维护要求应符合《光伏电站逆变器检修维护规程》(GB/T 38330) 和《分布式光伏发电系统集中运维技术规范》(GB/T 38946) 的有关规定。

### 3 变压器日常维护

变压器日常维护要求应符合《电力变压器检修导则》(DL/T 573)的有关规定。

### 4 电缆日常维护

电缆日常维护要求应符合《光伏方阵检修规程》(GB/T36568)的有关规定。

6.3.2 故障检修完成后应形成检修报告,报告格式参见附录 C。故障检修应符合下列规定:

1 光伏组件故障检修项目及应符合《光伏方阵检修规程》(GB/T 36568)、《光伏发电站安全规程》(GB/T35694)和《光伏组件检修规程》(GB/T36567)的有关规定。

2 逆变器故障检修要求应符合《光伏发电站逆变器检修维护规程》(GB/T 38330)的有关规定。

3 变压器的故障检修要求应符合《电力变压器检修导则》(DL/T 573)的有关规定。

4 电缆故障检修项目及应符合《光伏方阵检修规程》(GB/T36568)的有关规定。

7 运维信息化管理

7.1 基本规定

1 高速公路边坡光伏发电系统的运维档案应进行信息化管理，以下文件作为长期档案归档管理、保存并备查，具体应符合《光伏发电建设项目文件归档与档案整理规范》(NB/T 32037)的有关规定。

7.2 运维监测平台规定

7.2.1 数据记录和分析应符合下列规定：

- 1 平台应具备数据记录功能，能够长期保存系统运维监测数据，以便后续查询和分析。
- 2 平台应提供数据分析功能，能够对监测数据进行趋势分析、异常检测等，帮助运维人员及时发现问题和采取相应措施。
- 3 平台应能够生成监测数据的报表，以便进行数据汇总和汇报。

7.2.2 监测数据用户权限设置应符合下列规定：

监测系统安装完毕后，需要 1 天的试运行，如果运行正常则进行数据采集。根据不同用户的需求设置不同的管理权限，见表 7.2.2。

表 7.2.2 平台用户权限设置表

| 用户  | 查看数据 | 查看报表 | 下载报表 | 报警设置 | 报警通知 |
|-----|------|------|------|------|------|
| 建设方 | √    | √    | √    | /    | √    |
| 监理方 | √    | √    | √    | /    | √    |
| 施工方 | √    | √    | √    | /    | √    |
| 监测方 | √    | √    | √    | √    | √    |

7.2.3 应建立相应监测数据分级预警报警管理制度，设定监测分级预警，不同管理等级对应不同的控制措施，各级预警值及相应控制措施详见表 7.2.3。

表 7.2.3 监测数据预警报警机制管理表

| 管理等级     | 预警值                | 控制措施          |
|----------|--------------------|---------------|
| 三级预警（黄色） | 60%设计值<监测数据<80%设计值 | 持续正常观测，上报预警信息 |

|          |                     |                                  |
|----------|---------------------|----------------------------------|
| 二级预警（橙色） | 80%设计值<监测数据<100%设计值 | 提高监测频率，上报预警信息                    |
| 一级预警（红色） | 100%设计值<监测数据        | 进一步提高监测频率建议暂停通行，疏散人群，尽快召开专业人员分析会 |

#### 7.2.4 远程监控和控制应符合下列规定：

- 1 平台应支持远程监控和控制功能，能够通过网络远程访问边坡监测设备，实时查看数据、进行参数设置和操作控制等。
- 2 平台应提供远程诊断功能，能够通过远程方式分析和诊断边坡的问题，提供相应的处理建议。

## 8 安全管理

### 8.1 基本规定

8.1.1 突出“以人为本、生命至上”的理念，遵循“统一指导、分类管理、分级负责、安全快速、联动协调”的原则。

8.1.2 应遵守国家《公路安全保护条例》，禁止从事影响高速公路边坡安全的活动。

8.1.3 边坡安全管理主要包括养护作业及突发事件发生时的交通组织和安全防护等。

8.1.4 光伏方阵、逆变器和变压器的检修与调试应满足停电、验电、接地、悬挂标示牌等有关技术要求。

8.1.5 现场电气作业应有专人监护，同一电气连接部分，检修和调试工作不能同时进行。

8.1.6 调试工作之前，应拆除全部临时接线，恢复永久接线，无关人员应撤离现场。

8.1.7 检修作业需接引工作电源时，应装设满足要求的剩余电流动作保护器，工作前应检查电缆绝缘良好，剩余电流动作保护器动作可靠。

8.1.8 检修及调试工作结束，应核对逆变器及涉网设备运行参数及保护定值，恢复正常设置。

8.1.9 相关人员应接受系统运行维护培训，了解系统常设计要求，按规定正确操作设备，能够识别系统异常或危险情况，关注可能导致仪器故障、电弧、火灾和人身伤害情况。

8.1.10 边坡光伏发电站应实行工作票制度,并在工作后形成工作日志。工作票登记表格式参见附录 D，工作日志格式参见附录 E。

### 8.2 边坡安全管理

边坡安全管理应符合《建筑边坡工程技术规范》（GB 50330）、《地质灾害危险性评估规范》（GB/T 40112）、《建筑边坡工程鉴定与加固技术规范》（GB 50843）、《公路养护安全作用规程》（JTG H30）和《公路路基养护技术规范》（JTG 5150）的有关规定。

### 8.3 光伏发电系统安全管理

光伏发电系统安全管理应符合《电力安全工作规程 电力线路部分》（GB 26859）、《光伏电站安全规程》（GB/T 35694）、《电力安全工作规程发电厂和变电站电气部分》（GB 26860）和《电力设备典型消防规程》（DL 5027）的有关规定。

## 9 人员管理

### 9.1 一般要求

9.1.1 运维人员应身体健康必须符合岗位要求，必须持证上岗，包括且不限于：高压进网作业许可证、电工特种作业证、维修电工证等相关证件。

9.1.2 运维人员应熟悉太阳能光伏发电的工作原理、基本结构，熟练掌握设备操作、断电操作、触电现场急救方法，掌握、判断一般故障的产生原因及处理方法，掌握计算机监控系统的使用方法，所有运行人员必须掌握消防器材的使用方法。

9.1.3 定期对运维人员开展专业和安全培训，考试合格才能上岗。

### 9.2 边坡光伏发电系统运维人员岗位职责

9.2.1 边坡光伏发电系统运维人员岗位主要包括站长、专责工程师、值班长、值班员、安全员等，运维人员岗位技能和资格相关规定见表 9.2.1。

表 9.2.1 运维人员岗位技能和资格

| 人员岗位  | 职责要求                                                      | 岗位技能和资格                                                                                                          | 备注                                                        |
|-------|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| 站长    | 组织边坡光伏发电系统运维团队，建立电站运维规章制度，全面负责光伏电站管理运营工作，协调电站内外工作。        | 电工作业证（低压、高压、电力电缆、继电保护、电气试验、防爆电气任一种类别）；<br>生产经营单位安全生产管理人员安全培训；<br>运维值班人员持证上岗资格或其他电网认可的运维值班资格；<br>光伏电站专业知识及安全知识培训。 | 如果相关人员涉及到配合电网调度的倒闸等操作，应具备特种作业操作证（高压电工作业）。如有高处作业，应具备高处作业证。 |
| 专责工程师 | 边坡光伏发电系统技术负责人，负责现场运行规章制度、计划的制定、执行、完善，参加重大现场技术操作，组织处理技术问题。 | 电工作业证（低压、高压、电力电缆、继电保护、电气试验、防爆电气任一种类别）；<br>生产经营单位安全生产管理人员安全培训；<br>运维值班人员持证上岗资格或其他电网认可的运维值班资格；<br>光伏电站专业知识及安全知识培训。 |                                                           |
| 值班长   | 本值负责人，负责当值各项工作，完成当值设备运行与维护及管理、资料收集、相关协调工作。                | 电工作业证（低压、高压、电力电缆、继电保护、电气试验、防爆电气任一种类别）；<br>运维值班人员持证上岗资格或其他电网认可的运维值班资格；<br>光伏电站专业知识及安全知识培训。                        |                                                           |
| 值班员   | 负责电站运维检查、运行监视、日常维护、故障汇报处理等工作。                             | 电工作业证（低压、高压、电力电缆、继电保护、电气试验、防爆电气任一种类别）；<br>光伏电站专业知识及安全知识培训。                                                       |                                                           |
| 安全员   | 负责电站安全管理。                                                 | 生产经营单位安全生产管理人员安全培训；<br>光伏电站专业知识及安全知识培训。                                                                          |                                                           |

附录 A 分布式光伏发电系统巡检记录表

表 A 分布式光伏发电系统巡检记录表

巡检日期：

巡检人员及电话：

| 检查对象 | 检查项目 | 检查结果 | 处理意见 | 备注 |
|------|------|------|------|----|
|      |      |      |      |    |
|      |      |      |      |    |
|      |      |      |      |    |
|      |      |      |      |    |
|      |      |      |      |    |
|      |      |      |      |    |
|      |      |      |      |    |
|      |      |      |      |    |
|      |      |      |      |    |
|      |      |      |      |    |
|      |      |      |      |    |
|      |      |      |      |    |
|      |      |      |      |    |
|      |      |      |      |    |
|      |      |      |      |    |
|      |      |      |      |    |
|      |      |      |      |    |
|      |      |      |      |    |
|      |      |      |      |    |
|      |      |      |      |    |
|      |      |      |      |    |
|      |      |      |      |    |
|      |      |      |      |    |
|      |      |      |      |    |
|      |      |      |      |    |

附录 B 运行维护/维修记录表

表 B 运行维护/维修记录表

|                |                    |
|----------------|--------------------|
| 项目名称           |                    |
| 运行维护 /<br>维修内容 | <div>签发人：日期：</div> |
| 运行维护 /<br>维修结果 | <div>维护人：日期：</div> |
| 验收             | <div>检验员：日期：</div> |

附录 C 设备缺陷通知单

表 C 设备缺陷通知单

| 序号 | 设备显示缺陷 | 缺陷发现时间          | 实际缺陷 | 发现人 | 处理意见及验收结果 | 缺陷消除时间          | 消缺人 |
|----|--------|-----------------|------|-----|-----------|-----------------|-----|
|    |        | 年<br>月 日<br>时 分 |      |     |           | 年<br>月 日<br>时 分 |     |
|    |        | 年<br>月 日<br>时 分 |      |     |           | 年<br>月 日<br>时 分 |     |
|    |        | 年<br>月 日<br>时 分 |      |     |           | 年<br>月 日<br>时 分 |     |
|    |        | 年<br>月 日<br>时 分 |      |     |           | 年<br>月 日<br>时 分 |     |
|    |        | 年<br>月 日<br>时 分 |      |     |           | 年<br>月 日<br>时 分 |     |
|    |        | 年<br>月 日<br>时 分 |      |     |           | 年<br>月 日<br>时 分 |     |
|    |        | 年<br>月 日<br>时 分 |      |     |           | 年<br>月 日<br>时 分 |     |
|    |        | 年<br>月 日<br>时 分 |      |     |           | 年<br>月 日<br>时 分 |     |

## 附录 D 工作票登记表

表 D 工作票登记表

[illegible]

附录 E 工作日志

表 E 工作日志

|          |    |  |     |           |
|----------|----|--|-----|-----------|
| 班组负责人    |    |  | 日 期 | 年 月 日 时 分 |
| 出 勤 人    |    |  |     |           |
| 缺 勤 人    |    |  |     |           |
| 工作安排     |    |  |     |           |
|          |    |  |     |           |
|          |    |  |     |           |
| 工作<br>内容 |    |  |     |           |
|          |    |  |     |           |
|          |    |  |     |           |
|          |    |  |     |           |
|          |    |  |     |           |
|          |    |  |     |           |
|          |    |  |     |           |
|          |    |  |     |           |
|          |    |  |     |           |
|          |    |  |     |           |
|          |    |  |     |           |
|          |    |  |     |           |
|          |    |  |     |           |
|          |    |  |     |           |
|          | 其它 |  |     |           |

## 用词说明

1 本方法执行严格程度的用词，采用下列写法：

1) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词，正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。

2) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词，正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。

3) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

2 引用标准的用语采用下列写法：

1) 在标准条文及其他规定中，当引用的标准为国家标准或行业标准时，应表述为“应符合现行《×××××》(×××)的有关规定”。

2) 当引用标准中的其他规定时，应表述为“应符合本标准第×章的有关规定”“应符合本标准第×.×节的有关规定”“应按本标准第×.×.×条的有关规定执行”。