

高速公路边坡光伏发电工程技术规范

Technical code for photovoltaic engineering construction of Expressway Sloper

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

目 次

前言 II

引言 III

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 项目选址 2

6 技术要求 2

7 施工交通组织 5

8 监控测量 5

9 环境保护与水土保持 5

附录 A（资料性） 高速公路边坡光伏发电工程建设流程 7

附录 B（资料性） 施工作业控制区布置 8

附录 C（资料性） 施工现场安全标志及安全警示设施 9

参考文献 10

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。

本文件由山东省交通运输厅、山东省公安厅提出并组织实施。

本文件由山东省交通运输标准化技术委员会归口。

引 言

为贯彻落实国家“碳达峰、碳中和”重大战略决策，促进可再生能源、清洁能源利用，推进交通基础设施网与运输服务网、信息网、能源网融合发展，助力绿色低碳交通发展，推动高速公路边坡光伏工程规模化建设，编制本文件。

高速公路边坡光伏发电工程技术规范

1 范围

本文件规定了高速公路边坡光伏发电工程的基本规定、项目选址、技术要求、施工交通组织、监控测量、环境保护与水土保持的要求。

本文件适用于既有高速公路边坡光伏发电工程建设。新建、改扩建高速公路参照执行。

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 38335 光伏电站运行规程
GB 50009 建筑结构荷载规范
GB 50217 电力工程电缆设计标准
GB 50794 光伏电站施工规范
GB 50797 光伏电站设计规范
GB 51101 太阳能发电站支架基础技术规范
JTG/T D33 公路排水设计规范
JTG D81 公路交通安全设施设计规范
JTG H30 公路养护安全作业规程
DB37/T 3366 山东省涉路工程技术规范

3 术语和定义

GB 50794、GB 50797和GB 51101界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

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。

注：与公路平行方向为边坡纵向，简称纵向；与公路垂直方向为边坡横向，简称横向。

3.2

路堤边坡 embankment slope

高于原地面的填方路基的边坡。

3.3

光伏组件 PV module

具有封装及内部联结的、能单独提供直流电输出的、最小不可分割的太阳电池组合装置，又称太阳电池组件(solar cell module)。

[来源：GB 50797—2012，2.1.1]

3.4

螺旋桩 helical pile

桩杆上连接一个或多个螺旋状叶片,并通过在桩顶施加扭矩旋拧钻入土中形成的一种可承受竖向和水平向荷载作用的桩。

[来源: GB 51101—2016, 2.1.8]

3.5

光伏支架 PV supporting bracket

光伏发电系统中为了摆放、安装、固定光伏组件而设计的专用支架,简称支架。

[来源: GB 50794—2012, 2.0.3]

3.6

逆变器 inverter

光伏发电站内将直流电变换成交流电的设备。

[来源: GB 50794—2012, 2.0.7]

3.7

箱式变电站 box-type substation

将电力变压器、高压和低压开关及控制设备等集成到箱体内的整体式变配电设备。

4 基本规定

4.1 高速公路边坡光伏发电工程设计及施工应考虑交通事故及二次事故影响,识别安全应急风险,并制订应急预案。

4.2 应结合环境保护和水土保持要求,从高速公路边坡光伏发电工程全生命周期角度,考虑其建设及运行对环境的影响。

4.3 光伏电站设计在满足安全性和可靠性的同时,宜采用绿色、环保、节能、低碳的材料与设施。

4.4 高速公路边坡光伏发电工程主要流程包括设计、施工与验收,应加强流程实施相关方之间的信息沟通与协调,建设流程参照附录 A。

5 项目选址

5.1 应对项目建设路段工程地质情况进行勘探和调查,根据地形地貌特征、水文特征、结构和主要地层的分布及物理力学性质等选取项目建设路段。

5.2 应充分考虑光资源利用率和眩光安全性,宜选择东西走向直线路段向阳侧边坡和不产生眩光影响的曲线路段向阳侧边坡进行工程建设。

5.3 应充分考虑施工、运营安全性及施工难度,宜选择路堤边坡进行项目建设。

5.4 应充分考虑路基边坡地质条件,宜选取填土路基及混填路基进行项目建设。

5.5 应充分结合边坡本身植被情况,宜选择少树木或无树木的边坡进行项目建设,并应建模确认 9:00—15:00 时段内边坡内外构筑物 and 树木等对光伏组件无阴影遮挡。

5.6 应充分考虑路段交通流量和交通事故情况,宜选择流量小、交通事故少的路段进行项目建设。

5.7 应考虑边坡排水及耐冲刷需求,宜选择具备集中排水系统或易于进行排水改造的边坡进行项目建设。

5.8 建设自发自用、余电上网的边坡光伏发电工程,宜选择高速公路服务区、隧道、收费站等大用电量场景的临近路段边坡;建设全额上网的边坡光伏发电工程,宜选择并网条件便利的路段边坡。

6 技术要求

6.1 一般要求

- 6.1.1 应按照 DB37/T 3366 要求,对边坡光伏发电工程设计方案进行涉路评价,并按涉路评价结果进行高速公路护栏、边坡排水系统等设计。护栏防护等级应满足 JTG D81 的规定,边坡排水系统设计应满足 JTG/T D33 的规定。
- 6.1.2 宜采用安全性高的新工艺、新材料对暴露于组件方阵以外的支架、支架基础、钢结构棱角等实施安全防护措施。
- 6.1.3 项目施工不应破坏高速公路边坡原有设施的基本功能。
- 6.1.4 应减少土石方挖填施工,降低对地表植被和表层土的破坏;应减少开挖施工对边坡及道路基础的影响,保证公路路基稳定。
- 6.1.5 应按照 GB 50797 要求,对边坡光伏发电工程进行过电压保护、防雷接地和消防设计。
- 6.1.6 工程使用启动前,应进行系统调试,并对植被及施工表面恢复补救情况、交通安全设施、排水设施功能、结构稳定性、设备布置及运行、电气和线路安全性等进行必要检查。

6.2 支架基础

- 6.2.1 应根据所选路段的岩土工程勘察结果,进行支架基础设计。
- 6.2.2 应减少支架基础施工对边坡稳定性产生的不良影响,宜采用螺旋桩等破坏性小的支架基础型式。
- 6.2.3 螺旋桩支架基础型式相关技术要求,包括但不限于:
 - a) 为设计提供依据的试验应在设计前进行,基桩载荷试验、锚杆的抗拔试验及平板载荷试验等应加载至破坏或设计要求值。支架基础竖向拉力值应根据 GB 50009 中 50 年一遇的风荷载数值取值,结构建模计算确定;
 - b) 通常采用便携式旋紧机进行打桩作业,如遇钻进困难可预成小孔后再旋拧,预成孔孔径不应超过桩杆直径;
 - c) 螺旋桩施工完毕后,应测量螺旋桩位置,当桩位偏差大于 30 mm 或大于桩直径的 10 %时,应进行纠偏,并用素土或砂浆等填充材料回填螺旋桩与边坡之间的缝隙。

6.3 支架

- 6.3.1 高速公路边坡光伏可选用刚性支架、柔性支架或一体化安装等形式,宜采用刚性材料较少的柔性支架等安装方式。
- 6.3.2 支架的风荷载、雪荷载和温度应力应按 GB 50009 中 50 年一遇的荷载数值取值。
- 6.3.3 应根据不同地区的实际环境确定支架的防腐处理要求,可采用热浸镀锌或镀镁铝锌等方式进行表面处理。
- 6.3.4 支架安装施工宜采用螺栓连接方式,组件与支架之间螺栓的螺杆朝向地面。
- 6.3.5 应保证支架立柱与支架基础连接牢固,纵横两向排布于同一直线上,且同一阵列内立柱顶点位于与边坡平行的同一倾斜面内。以倾斜面为基准,支架的高度偏差应不大于 5 mm。
- 6.3.6 采用刚性支架时,应确保同一光伏方阵内各横梁相互平行,连接点不应位于两块光伏板空隙之间。
- 6.3.7 采用柔性支架时,结合边坡地形进行结构设计,支架柱间跨度不小于 5 m。组件安装前使用专用锚具对钢绞线进行预张拉,确保钢索不会出现明显下沉与偏移,单根拉锁长度不宜超过 120 m。

6.4 组件

- 6.4.1 组件的选择应满足高效、防火的基本功能,宜采用低眩光的无边框或无玻璃光伏组件。
- 6.4.2 应结合边坡利用率、光伏建设容量、电缆用量等确定组件安装方向。
- 6.4.3 光伏方阵上缘与高速公路土路肩外边缘沿坡面的直线距离不小于 1.5 m;光伏组件与坡面垂直距

离应为 $0.5\text{ m} \pm 0.1\text{ m}$ ，确保边坡草皮与组件无接触；边坡纵向相邻组件阵列间应设置宽度不小于 1 m 的检修通道；边坡横向每隔两排组件设置一条维护通道，通道宽度应不小于 0.5 m 。

6.4.4 将光伏组件与光伏支架牢固组装，并确保组件不会对电缆产生挤压。

6.4.5 采用横向自下而上，纵向自方阵一侧向另一侧的方式安装光伏组件。

6.4.6 同一光伏方阵内，组件间的间隔距离不小于 20 mm 。

6.4.7 同一光伏方阵内的光伏组件应在与边坡平行的同一倾斜面内，光伏组件倾斜角度偏差允许范围为 $\pm 1^\circ$ ，相邻光伏组件间的边缘高差不大于 2 mm ，同组光伏组件间的边缘高差不大于 5 mm 。

6.5 逆变器

6.5.1 应选用具备频率异常耐受能力、高低电压穿越能力、系统异常电压耐受能力、防孤岛保护能力等功能的逆变器，必要时选用具备组串智能分断功能的逆变器。

6.5.2 应结合光伏方阵排布、电缆用量、线损、箱式变电站布置方案、外线接入方案等确定逆变器安装位置，且不应对应光伏组件形成光线遮挡。

6.5.3 宜采用壁挂方式将逆变器安装于坡脚位置，逆变器与地面的垂直距离不小于 1 m ，壁挂支架基础外沿与排水沟净距不小于 0.5 m ，逆变器安装不应破坏原排水系统。

6.5.4 电缆与逆变器连接前，应检查电缆绝缘性，并校对电缆相序和/或极性。

6.5.5 采用套管将逆变器直流进线缆与交流出线缆接入地面，对直流电缆进行组串标号，对交流电缆编号并挂标识牌。

6.5.6 应在逆变器明显位置设置防触电警示标识。

6.6 箱式变电站

6.6.1 箱式变电站建设应考虑环境保护及安全防护需求，宜选择干式变压器。

6.6.2 应结合边坡高度、高速公路隔离栅外土地性质等因素，确定箱式变电站的安装位置，宜安装在高速公路隔离栅以外。

6.6.3 确需将箱式变电站安装于隔离栅以内时，相关技术要求包括但不限于：

- a) 应结合光伏方阵排布、接入方案、线缆用量、走线便利性等，确定箱式变电站安装位置，宜放置于电网接入点附近，箱式变电站不应对应光伏方阵造成光线遮挡；
- b) 应结合基础承载力、边坡抗雨水冲刷能力及水土保持需求，预留边坡导水通道，设计箱式变电站基础；
- c) 箱式变电站应安装于坡底位置，安装完成后的箱体最高点宜低于高速公路路面，箱体最低点与地面的间距应不小于 0.4 m ，且保证箱体水平；
- d) 应围绕箱式变电站搭建检修平台，检修平台应设置防护围栏，围栏高度不低于 1 m ，应设置检修扶梯与检修平台连接，并在高速公路隔离栅处预留维修通道。

6.6.4 应加强箱式变电站安装区域的安全防护，必要时提升公路护栏等级，并在箱式变电站的明显位置设置防触电警示标识。

6.7 电缆

6.7.1 电缆选择与敷设满足 GB 50217 的规定，宜采取穿管埋地敷设方式，应在边坡下沿敷设电缆，埋地深度应不小于 0.8 m ，直埋电缆与排水沟净距不小于 0.5 m ；遇不易开挖的边坡路段可采取桥架敷设方式，桥架宜布置于坡脚位置，应预制桥架基础架空桥架，桥架与地面的距离不小于 0.1 m 。

6.7.2 敷设前应复核电缆型号、规格、电压等级等，并检查电缆外观及盘上电缆端头密封性。

6.7.3 电缆敷设前，沿电缆敷设路径检查电缆桥架、支架、电缆保护管等，并确认各单元区域的设备位号和平面位置符合设计要求。

6.7.4 电缆与公路交叉时，应采用非开挖方式敷设，并设置保护套管。高速公路、一级公路套管顶覆土深度不小于 2 m，二级及以下公路套管顶覆土深度不小于 1.8 m。

6.7.5 不应出现电缆外露情形，应对垂落的线缆进行捆扎固定，捆扎间距不大于 0.3 m，防止直接垂落于坡面。

6.7.6 应沿电缆敷设路径的直线间隔 100 m、转弯处和接头部位，竖立明显的方位标识或标桩。

6.8 接入系统

6.8.1 光伏发电工程接入电网应满足 GB/T 38335 的有关规定。

6.8.2 光伏发电工程接入电网的电压等级应根据光伏电站的容量及电网的具体情况，经技术经济比较后确定，宜采用 10 kV 及以下电网等级接入。

6.8.3 光伏发电工程应具备与电力调度部门进行数据通信的能力，并网双方的通信系统应符合电网安全经济运行对电力通信的要求。

6.8.4 应充分考虑周边电网接入条件及要求，确定光伏发电工程接入点位，宜按就近并网原则将边坡光伏发电工程与边坡外并网点建立快速通道。

6.8.5 配电柜、计量柜等带电设施放置于边坡以外，应架高安装并采取隔离措施，并在明显位置设置警示标识。

7 施工交通组织

7.1 应编制施工交通组织方案及应急管理预案，并有效实施，确保施工和行车安全，减少封闭时间及施工对交通的影响，不宜对周边路网造成交通压力。

7.2 应按照 JTG H30 的要求，采用封闭硬路肩交通组织方式布设交通控制设施，施工作业控制区布置参照附录 B。施工作业前，应顺交通流方向布设交通控制设施；作业完成后，应逆交通流方向撤除相关安全设施，恢复正常交通。

7.3 施工期间应加强安全管控，落实施工安全和交通保障措施，重要位置设置安全提示，施工现场安全标志及安全警示设施参照附录 C。

7.4 夜间及雨雪天气不应进行施工作业，需实施夜间应急管理时，应使用带有反光功能的安全设施。

8 监控测量

8.1 应配备高速公路边坡光伏发电能效监测系统，对系统运行情况、发电量（年、月、日）、逆变器组串电压和电流等能效指标进行监控与统计。

8.2 应配备远程实时视频监控系统，对光伏发电工程、工程建设路段道路状况等场景进行在线监控，传输的图像质量不宜低于 4CIF(704×576)，视频图像信息存储时间不应少于 30 d。

8.3 采用现场巡检、仪器监测等方法 and 手段，获取监测对象的安全状态、变化特征及发展趋势等信息，加强数据分析与利用。

8.4 按照电网公司的调度管理要求，配备光伏发电工程监测系统。

9 环境保护与水土保持

9.1 应结合道路景观需求，统筹光伏发电工程的整体布置与规划。

9.2 应确保因项目施工所导致的土方开挖、路面破坏等临时性破坏情形得到有效恢复。

- 9.3 施工中应尽量减少对边坡植被的破坏，并应充分评估植被破坏对边坡抗冲刷能力的影响，施工结束后及时修复植被，并对边坡植被生长情况进行跟踪观测。
- 9.4 施工完毕后，应及时拆除临时设施，恢复既有地貌。
- 9.5 应减少施工污水、废油、废气等污染物的排放，对废弃物进行有效处理。

附录 A
(资料性)

高速公路边坡光伏发电工程建设流程

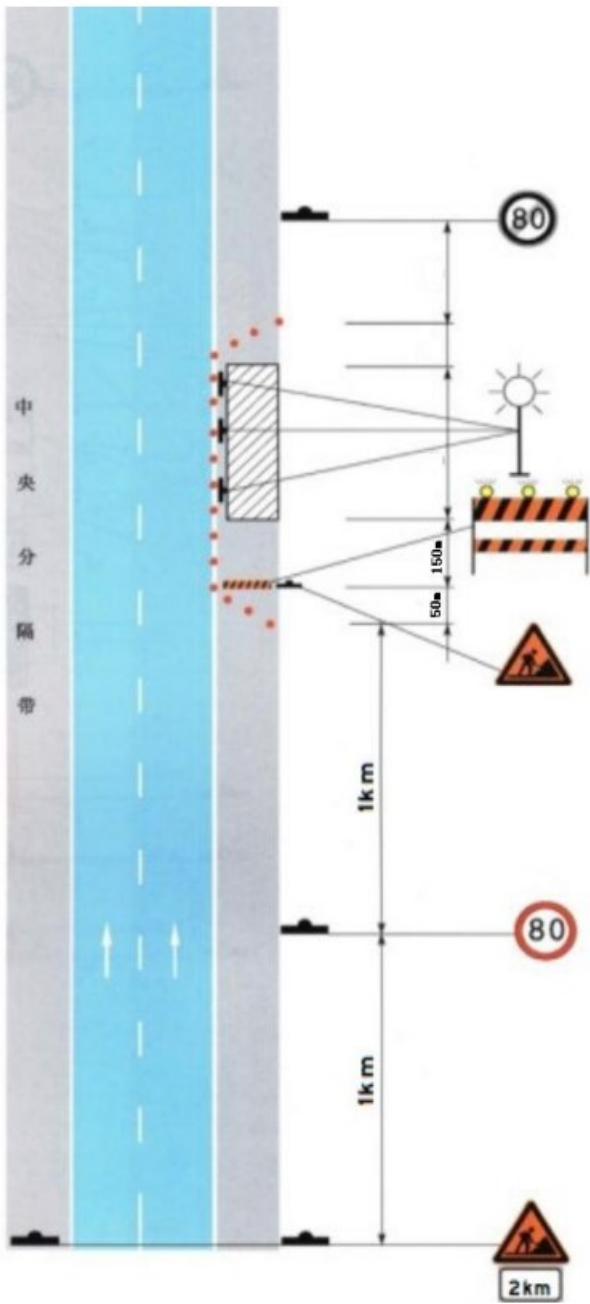
表A. 1给出了高速公路边坡光伏发电工程建设的主要流程及相关说明。

表A. 1 高速公路边坡光伏发电工程建设流程

阶段	流程	其他说明
设计	项目选址 ↓ 地勘测绘 ↓ 技术设计 ↓ 评价	1、设计主要包括光伏系统设计、涉路工程设计、涉路工程交通组织设计等。 2、评价主要包括涉路工程设计评价、施工安全评价、交通组织设计评价等。
施工	支架基础 ↓ 支架安装 ↓ 组件安装 ↓ 逆变器安装 ↓ 高压设备安装 ↓ 接入并网 线缆敷设	施工过程还涉及交通组织及部署、边坡表面处理与修复、防（排）水处理和修复、建立交通安全设施、能效监控系统安装等支持性流程。
验收	验收	验收包括单位工程验收、工程启动验收、工程试运和移交生产验收、工程竣工验收等。

附录 B
(资料性)
施工作业控制区布置

图B. 1给出了高速公路边坡光伏发电工程施工过程交通组织布置方式（以设计时速100 km/h计）。



图B. 1 施工作业控制区布置

附录 C
(资料性)

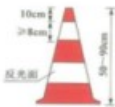
施工现场安全标志及安全警示设施

表C. 1给出了高速公路边坡光伏发电工程施工过程涉及的主要安全标志标识。
表C. 2给出了高速公路边坡光伏发电工程施工过程涉及的常用警示设施。

表C. 1 施工现场主要安全标志

标志	名称	规格
	施工距离标志 施工长度标志	三角形边长 1.3 m
	限速标志	外径 1.2 m
	解除限速标志	外径 1.2 m

表C. 2 施工现场常用安全警示设施

标志	名称	规格
	摇旗机器人	高 2 m
	警示频闪灯	黄色、蓝色相间闪光，可视距离 ≥150 m
	回转灯	红蓝闪光可视距离≥150 m
	附设警示灯的路栏	长方形：长×宽=1.9 m×1.4 m
	交通锥	高度≥0.9 m

参 考 文 献

- [1] GB/T 12325 电能质量 供电电压偏差
- [2] GB/T 12326 电能质量 电压波动和闪变
- [3] GB/T 14549 电能质量 公用电网谐波
- [4] GB/T 15543 电能质量 三项电压不平衡
- [5] GB/T 17467 高压/低压预装式变电站
- [6] GB/T 18226 公路交通工程钢构件防腐技术条件
- [7] GB/T 19964 光伏电站接入电力系统技术规定
- [8] GB/T 32512 光伏电站防雷技术要求
- [9] GB/T 33593 分布式电源并网技术要求
- [10] GB/T 35694 光伏电站安全规程
- [11] GB/T 37408 光伏发电并网逆变器技术要求
- [12] GB 50153 工程结构可靠性设计统一标准
- [13] GB 50168 电气装置安装工程电缆线路施工及验收标准
- [14] GB 50169 电气装置安装工程接地装置施工及验收规范
- [15] GB 50172 电气装置安装工程蓄电池施工及验收规范
- [16] GB 50227 并联电容器装置设计规范
- [17] GB/T 50796 光伏发电工程验收规范
- [18] DL/T 448 电能计量装置技术管理规程
- [19] DL/T 621 交流电气装置的接地
- [20] DL/T 5044 电力工程直流电源系统设计技术规程
- [21] DL/T 5137 电测量及电能计量装置设计技术规程
- [22] DL/T 5222 导体和电器选择设计技术规定
- [23] JG/T 490 太阳能光伏系统支架通用技术要求
- [24] JTG B01 公路工程技术标准
- [25] JTG D03 公路路基设计规范
- [26] NB/T 42073 光伏发电系统用电缆

《高速公路边坡光伏发电工程技术规范》 山东省地方标准编制说明

一、工作简况

（一）任务来源

根据《山东省市场监督管理局关于印发 2021 年第二批地方标准制修订计划项目的通知》（鲁市监标函〔2021〕305 号），《高速公路边坡光伏发电工程技术规范》列入 2021 年第二批山东省地方标准制修订计划（计划编号 2021-T-237）。

本文件由山东省交通运输厅、山东省公安厅提出并组织实施，由山东省交通运输标准化技术委员会归口。

（二）起草单位、主要起草人及任务分工

1. 主要起草单位

山东高速集团有限公司、山东高速能源发展有限公司、山东省质量技术审查评价中心有限公司、交通运输部科学研究院、中国铁建投资集团有限公司、山东省交通规划设计院集团有限公司、山东省交通科学研究院、山东高速新能源开发有限公司、一道新能源科技(衢州)有限公司。

2. 主要起草人

王其峰、嵇可成、姜晓庆、李鹏、丁爱辉、隋华杰、郭宝峰、陈建、李涛、陆由付、张文武、徐宁、马川义、王福海、毕玉琦、方海、张晓峰、陆旭东、王晓燕、牛之印、范鲁涛、包西勇、赵庆云、刘勇、宫海波、宋雪、耿国营、周慧龙、徐小卓

3. 任务分工

王其峰、嵇可成：标准起草负责人，组织标准起草工作，把握标准制定技术方向，组织协调标准制定所需资源。

姜晓庆、李鹏：标准起草负责人，组织确定标准制定方案，组织推进标准制定程序和进度，组织协调标准制定所需资源。

丁爱辉、隋华杰：组织讨论确定标准框架、编写思路，组织起草组人员讨论确定标准化对象需要规范的技术要素。

郭宝峰：组织实施标准制定方案，调度起草组成员推进标准制定程序和进度，组织标准审查、报批等工作。

陈建、李涛、陆由付、张文武、徐宁、马川义、王福海：协助组织讨论确定标准框架、编写思路，协助组织起草组人员讨论确定标准化对象需要规范的技术要素。

毕玉琦：组织起草组人员进行调研、收集素材，组织起草人员编写标准，参与标准编写，整理标准相关技术文档，组织召开标准研讨会，组织征求意见等。

方海、张晓峰、陆旭东、王晓燕：参与标准调研、对编写思路、技术路线、标准框架进行技术指导，协助征求意见等。

牛之印、范鲁涛、包西勇、赵庆云、刘勇：参与标准调研、标准编写、标准讨论，协助整理标准相关技术文档，参与办理征求意见。

宫海波、宋雪、耿国营、周慧龙、徐小卓：提供标准编写所需的资料、素材，参与标准编写，协助征求意见，办理标准研讨会、标准专家审查会等具体事务。

（三）起草过程

1. 标准立项

为贯彻落实国家“碳达峰、碳中和”战略决策，加强高速沿线光伏资源利用，山东高速集团于 2021 年 10 月组织交通运输部科学研究院、省交通运输厅、省公安厅交管局等单位开展了山东高速边坡光伏项目建设方案专家论证会。项目论证通过后，山东高速集团起草了《关于开展高速公路边坡光伏试验项目的请示》报请凌文、范华平副省长批示，批示要求“加快审批进度，加大相关部门对标准规范制定的指导和支持，尽快形成地方标准”。

2021 年 12 月 21 日，《高速公路边坡光伏发电工程技术规范》由省市场监督管理局批准，列入地方标准制定计划。在山东省交通运输厅、山东省公安厅的指导下，山东高速集团有限公司、交通运输部科学研究院、山东省交通规划设计院集团有限公司等单位共同承担标准起草工作。

2. 项目实施及经验积累

2021 年 11 月，山东高速集团针对边坡光伏试验的可行性组织召开多次专家论证会，全面论证边坡光伏项目实施方案、交通组织方案的可行性，收集边坡光伏项目建设相关资料。期间技术团队查阅并搜集了光伏发电工程相关的国家、省级、行业、地方政策和标准。针对国内外高速公路边坡光伏建设情况，山东高速集团先后与云南高速、江西高速、湖北高速等单位进行对接，对高速公路边坡光伏发电工程的发展现状、政策支持及技术要求有了较为全面的了解和认识。

2021 年 11 月，山东高速集团完成高速公路边坡光伏试验项目科研正式立项，并启动项目建设。选取荣乌高速（威海）荣成至文登段的 4 段边坡，共计约 2290 米，作为高速公路边坡光伏试验区，建设光伏发电项目，建设装机容量 2.01 兆瓦。2021 年 12 月底项目

完工，实现并网发电，此后通过边坡光伏工程的实际运行进行了大量试验探索，并完成了在全省进行应用技术推广的经验积累。试验项目的建设实践为标准制定，提供了实际经验与数据支撑。

3. 标准编制

2021 年 12 月，山东高速集团充分调动多方力量，吸纳来自光伏项目建设、高速公路设计、道路施工、能源综合利用、标准理论等专业技术领域的多名专家组建了标准起草工作组，并确定标准的编制思路、起草方案及时间安排。

2022 年 1 月至 3 月，为保证边坡标准制定的准确性、规范性与实用性，标准起草组全面研究了荣威试点项目的全部技术资料，对试验数据进行了系统论证，对关键性措施进行了合规性评价，进而提炼出交光伏技术在高速公路边坡进这一特定场景进行应用的共性技术要求及关键性。标准司起草组召开了 10 余次内部讨论会，最终以现行公路及光伏领域的法规及技术标准为基础，形成了标准草案。此后，起草组又多次组织光伏、公路、环保等领域的行业专家对草稿进提出意见。

2022 年 3 月 1 日，标准草稿报山东高速集团领导审阅通过后，在集团内部征求了意见。起草组针结合意见将草稿进行了补充、修改与完善，形成了《高速公路边坡光伏发电工程技术规范》（初稿）。同时完成了《高速公路边坡光伏发电工程技术规范》编制说明（初稿）

4. 征求意见

2021 年 3 月初，山东高速集团通过山东省市场监督管理局向山东省自然资源厅、山东省生态环境厅、山东省水利厅、山东省应急厅 4 个相关厅局对《高速公路边坡光伏发电工程技术规范》（初稿）征求了意见，各厅局反馈无意见。

2021 年 4 月 4 日，起草组将修改后的标准初稿报送省交通厅，并由山东省交通运输标准化技术委员会提出了初审审核意见。意见修改结束后，交通运输标准化委员会于 2021 年 4 月 18 日组织了对

初稿的专家审查会，会上合并整理了 38 条专家意见（详见山东省地方标准《高速公路边坡光伏发电工程技术规范》（初稿）专家审查会议纪要及意见处理表），起草组对意见修改处理后，形成《高速公路边坡光伏发电工程技术规范》（征求意见稿）。

2021 年 4 月 19 日，由交通运输标委会发布了《关于征求〈高速公路边坡光伏发电工程技术规范〉（征求意见稿）地方标准意见的通知》，在行业内进行了为期一个月的意见征求。截至 2022 年 5 月 20 日，有 30 家单位反馈意见，其中 24 家单位共反馈意见 106 条，6 家单位无意见，起草组对意见进行了修改处理，具体修改情况详见山东省地方标准《高速公路边坡光伏发电工程技术规范》征求意见稿反馈表。

5. 专家审查

2022 年 5 月 28 日，山东省交通运输标准化技术委员会在济南市组织召开了地方标准专家审查会，山东省市场监督管理局对审查会议进行监督指导。来自山东省电力行业协会、山东大学、山东建筑大学、国网山东省电力公司电力科学研究院、山东公路学会、中国电建集团核电工程有限公司、济钢集团国际工程技术有限公司、山东电力工程咨询院有限公司、中国电建山东电建一公司的 9 名专家组成了审查委员会，对提交审查会的材料进行审查。

专家提出了标准技术内容等方面的意见，同时一致同意该标准通过审查。会议要求起草单位根据审查意见对标准文本等进行修改完善后，形成报批材料上报省市场监督管理局。

二、标准制定的目的和意义

1. 落实国家双碳战略的需要

各项挑战的根本途径。加快交通与能源领域的技术革命和体制革命，优化能源与交通运营管理体系，实现能源与交通领域的追赶和创新，可以为我国经济发展注入全新的驱动力。2021年2月，中共中央国务院印发的《国家综合立体交通网规划纲要》要求，要推进交通基础设施网与运输服务网、信息网、能源网融合发展。推进交通基础设施网与能源网融合发展，适应新能源发展要求。本标准的制定与实施，可促进山东省高速公路与新能源融合发展，加快构建清洁低碳、安全高效的现代化交通能源体系，构建绿色、弹性、自治和可持续发展的交通能源一体化系统。

3. 加快山东交通强省建设的需要

2019年9月，中共中央国务院印发的《交通强国建设纲要》要求，优化交通能源结构，推进可再生能源、清洁能源应用。2020年10月，山东省委、省政府印发的《山东省贯彻〈交通强国建设纲要〉实施意见》要求，建设节能环保、生态集约的绿色交通体系，强化节能减排和污染防治，推进交通能源结构优化升级，大力推广应用新能源、清洁能源。

目前，山东高速集团正加快推进高速沿线服务区、匝道圈、收费站光伏项目规模化建设，但高速公路边坡光伏发电工程缺少统一明确的技术规范，极大阻碍了高速沿线边坡这一重要光伏资源的开发利用。2021年10月，山东高速集团《关于开展高速公路边坡光伏试验项目的请示》已报请凌文、范华平副省长批示，批示要求“加快审批进度，加大相关部门对标准规范制定的指导和支持，尽快形成地方标准”。因此，亟需开展高速公路边坡光伏发电工程技术规范的研究制定工作。

装机达到 5200 万千瓦。)

(3) 2021 年 10 月,交通运输部印发《绿色交通“十四五”发展规划》。(推广应用新能源,构建低碳交通运输体系。因地制宜推进公路沿线、服务区等适宜区域合理布局光伏发电设施。)

(4) 2021 年 10 月,国务院发布《2030 年前碳达峰行动方案》。(重点实施能源绿色低碳转型行动、交通运输绿色低碳行动等“碳达峰十大行动”,提出“开展交通基础设施绿色化提升改造,统筹利用综合运输通道线位、土地、空域等资源”等系列要求,计划到 2030 年,风电、太阳能发电总装机容量将达到 12 亿千瓦以上。)

(5) 2022 年 2 月,交通运输部印发《关于积极扩大交通运输有效投资的通知》。(加快建设绿色低碳交通基础设施,因地制宜推进公路沿线、服务区等适宜区域合理布局光伏发电设施。)

2. 参考资料

- [1] GB/T 12325 电能质量 供电电压偏差
- [2] GB/T 12326 电能质量 电压波动和闪变
- [3] GB/T 14549 电能质量 公用电网谐波
- [4] GB/T 15543 电能质量 三项电压不平衡
- [5] GB/T 17467 高压/低压预装式变电站
- [6] GB/T 18226 公路交通工程钢构件防腐技术条件
- [7] GB/T 19964 光伏发电站接入电力系统技术规定
- [8] GB/T 32512 光伏发电站防雷技术要求
- [9] GB/T 33593 分布式电源并网技术要求
- [10] GB/T 35694 光伏发电站安全规程
- [11] GB/T 37408 光伏发电并网逆变器技术要求

- [12] GB 50153 工程结构可靠性设计统一标准
- [13] GB 50168 电气装置安装工程电缆线路施工及验收标准
- [14] GB 50169 电气装置安装工程接地装置施工及验收规范
- [15] GB 50172 电气装置安装工程蓄电池施工及验收规范
- [16] GB 50227 并联电容器装置设计规范
- [17] GB/T 50796 光伏发电工程验收规范
- [18] JTG B01 公路工程技术标准
- [19] JTG D03 公路路基设计规范
- [20] DL/T 448 电能计量装置技术管理规程
- [21] DL/T 621 交流电气装置的接地
- [22] DL/T 5044 电力工程直流电源系统设计技术规程
- [23] DL/T 5137 电测量及电能计量装置设计技术规程
- [24] DL/T 5222 导体和电器选择设计技术规定
- [25] JG/T 490 太阳能光伏系统支架通用技术要求
- [26] NB/T 42073 光伏发电系统用电缆

（三）主要技术内容

1. 范围

本文件规定了高速公路边坡光伏发电工程的基本规定、项目选址、技术要求、施工交通组织、监控测量、环境保护与水土保持等要求。本文件适用于指导既有高速公路边坡光伏发电工程建设。新建、改扩建高速公路可参照执行。

2. 规范性引用文件

高速公路边坡光伏发电工程建设要求应兼顾涉路工程和边坡光伏发电工程设计，并应综合考虑设计、施工、验收、使用要求。

该标准规范性引用的标准包括：GB 50009 建筑结构荷载规范、GB 50217 电力工程电缆设计标准、GB 50794 光伏发电站施工规范、GB 50797 光伏发电站设计规范、GB 51101 太阳能发电站支架基础技术规范、GB/T 38335 光伏发电站运行规程、JTG D81 公路交通安全设施设计规范、JTG H30 公路养护安全作业规程、JTG/T D33 公路排水设计规范、DB 37/T 3366 山东省涉路工程技术规范。

3. 术语和定义

明确的术语和定义，是标准使用者准确理解和实施标准的前提条件。标准对高速公路边坡光伏发电工程涉及的高速公路边坡、路堤边坡等相关概念基于本标准的标准化对象和范围进行了明确的界定，规范性引用了 GB 50794、GB 50797 和 GB 51101 界定的“光伏组件”、“螺旋桩”、“光伏支架”、“逆变器”四个术语。

明确将“高速公路边坡”定义为“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”；将“路堤边坡”定义为“高于原地面的填方路基的边坡”；将“箱式变电站”定义为“将电力变压器、高压和低压开关及控制设备等集成到箱体内的整体式变配电设备”。这些新提出的定义，有利于对标准的理解，属于创新性提出。

4. 基本规定

4.1 条款：高速公路边坡光伏发电工程属于涉路工程，应重点关注对道路安全运行的影响，边坡光伏发电工程在设计及施工阶段应重点考虑交通事故及二次事故影响，识别安全应急风险，并制订应急预案。

4.2 条款：高速公路边坡光伏发电工程建设于高速公路边坡上，属于公路附属设施，应充分考虑边坡环境保护与水土保持，应从全生命周期考虑其建设及运行对环境的影响。

4.3 条款：光伏电站设计在满足安全性和可靠性的同时，宜采用绿色、环保、节能、低碳的材料与设施，保证工程质量及安全。

4.4 条款：高速公路边坡光伏发电工程主要流程包括设计、施工与验收，同时高速公路边坡光伏发电工程属于涉路工程，应加强流程实施相关方之间的信息沟通与协调，项目建设流程及建设标准应结合涉路工程要求和光伏工程建设要求，严格按照光伏工程与涉路工程建设要求进行流程办理。设计阶段首先考虑路段选取要求进行项目地选取，而后进行地勘测绘确认边坡土质及施工可行性，并确认可建设面积，依据地勘报告及测绘面积进行光伏系统设计，同步进行涉路工程设计、涉路工程交通组织设计，设计完成后进行涉路工程设计评价，并确认施工单位，组织召开涉路工程交通组织设计评价，通过路政、交警、涉路工程审批单位审批。在施工阶段除光伏系统施工外，还应进行道路防护工程施工等。在验收阶段，根据 GB/T 50796《光伏发电工程验收规范》中“1.0.3 光伏发电工程应通过单位工程、工程启动、工程试运和移交生产、工程竣工四个阶段的全面检查验收。”“4.3.1 安装工程验收应包括对支架安装、光伏组件安装、汇流箱安装、逆变器安装、电气设备安装、防雷与接地安装、线路及电缆安装等分部工程的验收。”“4.4.2 场区绿化

和植被恢复情况应符合设计要求”等要求，边坡光伏应组织各阶段验收，工程使用启动前，即项目并网发电前，应进行相关基础验收，验收除光伏系统结构稳定性检查、设备布置及运行有效性、必要的电气和线路检查及系统调试与运行检查外，还应对边坡的植被及施工表面恢复补救情况、标志标识符合性、排水设施功能有效性进行验收检查。高速公路边坡光伏发电工程建设流程的相关要求，凝练形成标准的附录 A。

5. 项目选址

路段选取主要是从安全、经济性角度规定了项目建设对于高速公路路段、边坡类型、边坡条件的选择要求。主要说明如下：

5.1 条款：根据 GB 50797《光伏发电站设计规范》中“4.0.2 光伏发电站选址时，应结合电网结构、电力负荷、交通、运输、环境保护要求，出线走廊、地质、地震、地形、水文、气象、占地拆迁、施工以及周围工矿企业对电站的影响等条件，拟订初步方案，通过全面的技术经济比较和经济效益分析，提出论证和评价。当有多个候选站址时，应提出推荐站址的排序。”要求，本条结合边坡光伏发电工程建设在高速公路边坡这一特性，项目选址时，应对项目建设路段工程地质情况进行勘探和调查，根据地形地貌特征、水文特征、结构和主要地层的分布及物理力学性质等选取项目建设路段，不可选择存在边坡稳定性差，施工难度大等问题的路段边坡。

5.2 条款：根据 GB 50797《光伏发电站设计规范》中“4.0.4 地面光伏发电站站址宜选择在地势平坦的地区或北高南低的坡度地区。坡屋面光伏发电站的建筑主要朝向宜为南或接近南向，宜避开

周边障碍物对光伏组件的遮挡。”要求，本条规定应充分考虑光伏系统对光资源的利用率，光资源最佳利用情况为东西向高速公路南侧（向阳侧）边坡，同时考虑组件表面玻璃可能造成眩光对车辆行驶造成一定影响，当前阶段宜选取直线路段和不会产生眩光影响的曲线路段进行光伏建设。

5.3 条款：路堤边坡相较路堑边坡，不需要爬高作业，施工难度低，且不存在光伏设备坠落和边坡滑落到路面的风险，同时路堤边坡安装光伏系统不宜被车辆驾驶员观测到，减弱了对车辆驾驶员视觉的影响，故宜选择路堤边坡进行项目建设。

5.4 条款：考虑光伏系统支架基础需打入边坡进行固定，且不宜进入大型施工机械设备，以填石为主的边坡施工难度大，宜选取施工难度小的填土路基及混填路基进行项目建设。

5.5 条款：为保持边坡稳定性，应充分考虑边坡本身的植被情况，宜选择少树木（灌木）或无树木（灌木）的边坡，减少因工程移除树木对边坡水土保持和稳定性造成影响；同时，根据 GB 50797《光伏发电站设计规范》“7.2.2 光伏方阵各排、列的布置间距，无论是固定式还是跟踪式均应保证全年 9:00-15:00（当地真太阳时）时段内前、后、左、右互不遮挡，也即冬至日当天 9:00-15:00 时段内前、后、左、右互不遮挡。”要求，应建模确认 9:00-15:00 时段内边坡内外构筑物 and 树木等对光伏组件无阴影遮挡。

5.6 条款：应充分考虑路段交通流量和交通事故情况，宜选择流量小、交通事故少的路段进行项目建设，减少后期车辆事故二次伤害的机率。

5.7 条款：高速公路边坡具有排水和耐冲刷功能，光伏工程建

设宜选择具备集中排水系统或易于进行排水改造的边坡进行项目建设，不得降低或损坏边坡排水和耐冲刷能力。

5.8 条款：光伏工程并网发电是最关键环节，考虑并网便捷性与经济性，宜选择高速公路服务区、隧道、收费站等大用电量场景的临近路段边坡，建设自发自用、余额上网的边坡光伏发电工程，光伏产生电力优先供高速沿线用电设备使用，提高高速沿线绿电使用比例，减少碳排放；建设全额上网的边坡光伏发电工程，宜选择并网条件便利的路段边坡，减少线缆使用量及线损，保证系统效率，提高经济性。

6. 技术要求

6.1 一般要求

6.1.1 条款：根据 DB37/T 3366《山东省涉路工程技术规范》，“在公路用地范围内上跨、下穿、并行、接入公路的建设工程，以及在建筑控制区内对公路改扩建规划、公路安全运营有影响的建设工程”均属于涉路工程，边坡光伏属于在公路用地范围内并行于公路的建设工程，属于涉路工程范畴。在示范项目建设过程中，按照涉路工程建设需要及流程，边坡光伏发电工程设计方案应进行涉路评价，并进行涉路评价要求的高速公路护栏、边坡排水系统等设计。根据涉路工程要求，在高速公路边坡加装光伏系统提升了公路交通安全事故严重程度，需按照 JTG D81 的规定，结合事故严重程度、公路技术等级及设计速度等，相应提升护栏防护等级。边坡排水系统设计应满足 JTG/T D33 的规定。

6.1.2 条款：根据 GB 50797《光伏发电站设计规范》中“3.0.2 光伏发电站设计在满足安全性和可靠性的同时，应优先采用新技术、

新工艺、新设备、新材料。”要求，结合边坡光伏特性，减少可能产生的二次伤害，宜采用安全性高的新工艺、新材料对暴露于组件方阵以外的支架、支架基础、钢结构棱角等实施安全防护措施，荣乌高速边坡光伏试验项目对组件边框，暴露的支架用柔性材料进行了包裹。

6.1.3 条款：边坡光伏发电工程施工过程不应破坏高速公路边坡警示牌基础、排水沟、监控设备配电柜等原有设施的基本功能。

6.1.4 条款：根据 GB 50797《光伏发电站设计规范》中“4.0.10 光伏发电站站址选择应利用非可耕地和劣地，不应破坏原有水系，做好植被保护，减少土石方开挖量，并应节约用地，减少房屋拆迁和人口迁移。”要求，为保证边坡稳定性，应减少土石方挖填施工，降低对地表植被和表层土的破坏，开挖施工过程中减少对边坡及道路基础的影响，保证公路路基稳定。

6.1.5 条款：根据 GB 50797《光伏发电站设计规范》中“8.8 过电压保护及接地要求”，光伏发电站的升压站区和就地逆变升压室的过电压保护和接地和光伏方阵接地保护等应满足相关规范要求；“14 消防”规定了光伏发电站的消防要求。

6.1.6 条款：边坡光伏发电工程包含涉路工程与光伏发电工程，根据 GB/T 50796《光伏发电工程验收规范》中“1.0.3 光伏发电工程应通过单位工程、工程启动、工程试运和移交生产、工程竣工四个阶段的全面检查验收。”“4.3.1 安装工程验收应包括对支架安装、光伏组件安装、汇流箱安装、逆变器安装、电气设备安装、防雷与接地安装、线路及电缆安装等分部工程的验收。”“4.4.2 场区绿化和植被恢复情况应符合设计要求。”等要求，光伏发电工程验收执行

GB/T 50796, 验收内容包含设备布置及运行、电气和线路安全性等, 涉路工程包含施工表面恢复补救情况、标志标识、排水设施功能、结构稳定性等, 同时, 工程使用启动前, 即并网发电前, 应进行必要的实验及系统调试, 并接受电网公司验收。

6.2 支架基础

6.2.1 条款: GB 51101《太阳能发电站支架基础技术规范》中“3.0.1 支架基础设计前应获得场地的岩土工程勘察文件、阵列总平面布置图、支架结构类型、使用条件及对基础承载力和变形的要求、施工条件、施工周期等资料。”对支架基础设计进行了要求, 结合边坡光伏特性, 应根据所选路段的岩土工程勘察结果, 进行支架基础设计, 选取最优的支架基础型式。

6.2.2 条款: 根据 GB 50797《光伏发电站设计规范》“10.4.8 当场地地下水位低、稳定持力层埋深大、冬季施工、地形起伏大或对场地生态恢复要求较高时, 支架的基础可采用钢制地锚。采用钢制地锚时, 应符合本规范附录 C 的要求。”。高速公路边坡里程长, 具有一定起伏性, 且对表面的植被具有一定要求, 为避免或减少支架基础施工对边坡稳定性、边坡植被产生不良影响, 宜采用螺旋桩等破坏性小的支架基础型式。相较混凝土基础, 螺旋桩施工不用开挖边坡土石方, 可使用设备直接旋入, 同时对边坡的植被破坏小; 相较灌注桩、预制桩等支架基础, 无需大型设备入场, 可使用便携设备进行施工作业, 可减少边坡稳定性的影响。

6.2.3 条款: 在高速公路边坡使用螺旋桩支架基础, 主要包含以下要求:

a) 应在设计前在不同路段边坡进行试桩等试验作业, 为设计提

供精准数据，支架基础设计应按照 GB 50009《建筑结构荷载规范》的要求，桩基载荷试验、锚杆的抗拔试验及平板载荷试验等应加载至破坏或设计要求值，风荷载数值按照 50 年一遇的取值等要求，建模确认螺旋桩半径、打入深度、排布等，达到螺旋桩拉拔力要求；

b) 边坡因具有倾斜度，且靠近高速路面，大型设备难以进场，螺旋桩可采用便携式旋紧机进行施工，可由 3-4 人进行操作，适合边坡场景施工；在土石混填边坡，使用便携式旋紧机存在无法将螺旋桩打进设计深度的问题，可预成小孔后再旋拧，预成孔孔径不应超过桩杆直径，以免预孔半径过大影响螺旋桩旋入后拉拔力，从而影响支架基础的稳定性，不应进行人工开挖，造成大面积土石方挖填；

c) 螺旋桩施工完毕后，应测量螺旋桩位置，根据 GB 50794《光伏发电站施工规范》“桩式基础尺寸允许偏差应符合表 4.3.4-2（具体见下表 1）的规定”的要求，当桩位位置相较设计图纸偏差大于 30mm 或大于桩直径的 10%时应进行纠偏，并用素土或砂浆等填充材料回填螺旋桩与边坡之间的缝隙，填充材料应保证回填紧实，不可产生回填料被雨水冲刷等问题。

表 1 桩式基础尺寸允许偏差

项 目 名 称		允许偏差（mm）
桩 位		D/10 且小于等于 30
桩顶标高		0，-10
垂直度	每米	≤5
	全高	≤10

桩径(截面尺寸)	灌注桩	±10
	混凝土预制桩	±5
	钢桩	±5%D

6.3 支架技术要求

6.3.1 条款：考虑边坡的特殊场景，为减少刚性材料的使用，高速公路边坡光伏可使用钢性支架、柔性支架或一体化安装等形式，从降低事故二次伤害性角度考虑，优先采用刚性材料较少的柔性支架等安装方式。

6.3.2 条款：根据 GB 50009《建筑结构荷载规范》中“第 2.1.21 条雪荷载的基准压力,一般按当地空旷平坦地面上积雪自重的观测数据,经概率统计得出 50 年一遇最大值确定”“第 2.1.22 条风荷载的基准压力,一般按当地空旷平坦地面上 10m 高度处 10min 平均的风速观测数据,经概率统计得出 50 年一遇最大值确定的风速。”的要求,支架的风荷载、雪荷载和温度应力应符合 GB 50009 中 50 年一遇的荷载数值取值。

6.3.3 条款：根据 GB 50794《光伏发电站施工规范》中“6.8.10 当采用热镀锌防腐时，镀锌层厚度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 的规定。对于酸碱严重的地区，镀锌层厚度的确定应有可靠依据。”的要求，应根据不同地区的实际环境确定支架的防腐处理要求，可采用热浸镀锌或镀镁铝锌等方式进行表面处理，镀镁铝锌表面处理方式是新型的强耐腐蚀性镀层，具有优异的防腐性能。

6.3.4 条款：目前光伏支架的主流安装形式为螺栓连接方式，

考虑安全性及后期运维便利性，螺杆向上的安装方式会在方阵上面形成散布的金属尖锐凸起特征，存在发生次生伤害的风险，为降低次生伤害风险，螺杆朝向地面的安装方式，能有效消除安装位置上面的尖锐特征。

6.3.5 条款：根据 GB 50794《光伏发电站施工规范》中“固定及手动可调支架安装的允许偏差应符合表 5.2.2（具体见下表 2）中的规定”的要求，固定支架梁标高偏差（同组） ≤ 3 mm，在实际过程中，边坡非完全平面，存在一定起伏性，故规定以倾斜面为基准，支架的高度偏差应不大于 5 mm。这就要求应保证支架立柱与支架基础连接牢固，纵横两向排布于同一直线上，且同一阵列内立柱顶点位于与边坡平行的同一倾斜面内。

表 2 固定及手动可调支架安装的允许偏差

项 目 名 称	允许偏差（mm）
中心线偏差	≤ 2
梁标高偏差（同组）	≤ 3
立柱面偏差（同组）	≤ 3

6.3.6 条款：为方便组件与横梁之间使用螺栓进行有效连接，采用钢性支架时，应确保同一光伏方阵内各横梁相互平行；横梁连接点不得位于两块光伏板空隙之间，易造成光伏板空隙之间压块的螺丝无法与两根支架之间的檩条连接件进行有效连接与紧固。

6.3.7 条款：目前柔性支架的主要形式是用螺旋钢桩等做支架基础，使用钢绞线或钢索等代替刚性支架做横梁，与组件进行连接。在采用柔性支架时，结合边坡地形进行结构设计，威海荣乌高速试

验段支架柱间跨度为 5.5m，后期随着柔性支架技术的发展，可进一步加大支架柱间跨距，从而减少支架基础使用量，降低成本的同时，可进一步降低事故二次碰撞伤害风险，因此规定支架柱间跨度不小于 5 米。组件安装前使用专用锚具对钢绞线进行预张拉，确保钢索未出现明显下沉与偏移，保证柔性支架风荷载、雪荷载等设计参数要求。经过建模计算、工程设计和实践验证，单根拉锁长度不超过 120 m，既能兼顾拉索寿命，又有利于工程安全性。

6.4 组件技术要求

6.4.1 条款：根据 GB 50797《光伏发电站设计规范》中“6.3.4 在与建筑相结合的光伏发电系统中，当技术经济合理时，宜选用与建筑结构相协调的光伏组件。建材型的光伏组件，应符合相应建筑材料或构件的技术要求。”，应选择与建设场景相适宜的光伏组件。高速边坡靠近路面，采用无铝合金边框或无玻璃的光伏组件可减少事故二次碰撞伤害的风险，同时边坡覆有植被，秋冬季节存在火灾风险，组件应满足防火行业要求的防火功能。低眩光光伏组件对高速公路周边环境的眩光影响。

6.4.2 条款：边坡组件安装方向分为横向、竖向两种安装方式，应统筹考虑结合边坡面积及利用率、光伏电站建设容量需要、电缆用量等确定组件安装方向。

6.4.3 条款：高速边坡靠近路面，考虑发生事故护栏（一般高速公路护栏高出路面高度小于 1.5m）导杆距离及冬季路面扫雪宜将积雪堆积于土路肩处，故要求光伏阵列上缘与高速公路土路肩外边缘水平距离不小于 1 m；考虑植被遮挡、可能产生的火灾风险及后期组件背面运维需求等，光伏组件与边坡植被应保持一定间隔，以

荣乌高速试验段为例，边坡植被草皮最高处达到了约 0.4m，故要求光伏组件与坡面垂直距离为 0.5 m±0.1 m，确保边坡草皮与组件无接触；考虑后期运维的便利性，纵向相邻组件阵列间应设置宽度不小于 1 m 的检修通道，边坡横向每隔 2 排光伏板即需要设置维护通道，实现维护人员在检修通道处可接触到每一块光伏板，通道宽度应不小于 0.5 m，保证检修通道可至少容纳一人通过。

6.4.4 条款：光伏组件与光伏支架之间牢固组装，应确保组件不会对电缆产生挤压，否则易造成线缆破损，产生漏电风险。

6.4.5 条款：高速公路边坡具有一定倾斜度，组件采用横向自下而上进行安装，可有效防止组件安装过程产生滑落风险；组件纵向安装应自方阵一侧向另一侧的方式进行安装，避免组件从中间安装，造成组件歪斜，安装位置不准确等问题。

6.4.6 条款：同一光伏阵列内，常规光伏组件之间通常使用压块进行固定，压块宽度一般为 20mm，同时，组件之间保留一定间隙可一定程度避免降雨过程水流顺着光伏板全部泄流至坡底，对坡底土地造成冲刷，影响边坡稳定性。因此规定组件间的间隔距离设置为不小于 20 mm。

6.4.7 条款：GB 50794《光伏发电站施工规范》中 5.3.2（具体见下表 3）对光伏组件安装允许偏差进行了规定。同一光伏方阵内的光伏组件应在与边坡平行的同一倾斜面内，光伏组件倾斜角度偏差允许范围为±1°，相邻光伏组件间的边缘高差不大于 2 mm，同组光伏组件间的边缘高差不大于 5 mm。

表 3 光伏组件安装允许偏差

项 目	允许偏差
-----	------

倾斜角度偏差	$\pm 1^{\circ}$	
光伏组件边缘高差	相邻光伏组件间	$\leq 2\text{mm}$
	同组光伏组件间	$\leq 5\text{mm}$

6.5 逆变器技术要求

6.5.1 条款：根据 GB 50797《光伏发电站设计规范》中“6.3.5 用于并网光伏发电系统的逆变器性能应符合接入公用电网相关技术要求的规定，并具有有功功率和无功功率连续可调功能。用于大、中型光伏发电站的逆变器还应具有低电压穿越功能。”对逆变器选型做出相关要求。目前，组串式逆变器是分布式光伏电站主要使用产品，具有易安装、便于电缆走线等特点；按电网接入等要求，组串式逆变器需具的频率异常耐受能力、高低电压穿越能力、系统异常电压耐受能力、防孤岛保护能力等功能；考虑边坡安全防护需求，必要时可选用具备组串智能分断功能的逆变器，组串智能分断功能可实现光伏组串在断开、漏电等故障时自动切断电流传导，有效降低人员触电、火灾等风险。

6.5.2 条款：高速公路边坡光伏发电工程跨越里程较长，应结合光伏方阵排布、电缆用量、线损、箱式变电站布置方案、外线接入方案等确定逆变器安装位置，减少电缆使用量及线损，保证光伏电站系统效率；同时，逆变器安装不应对光伏组件形成光线遮挡，影响光伏发电能力。

6.5.3 条款：结合边坡可利用位置、电缆走线便利性、电气设备尽量远离路面、安装便利性等要求，宜采用壁挂方式将逆变器安装于坡脚位置，边坡坡脚土地较为平坦，无倾斜度，且远离路面，

后期运维较为便利。考虑逆变器接线空间以及积水、植被影响，采用壁挂方式安装逆变器应与地面保持一定垂直距离，标准内无明确规定，行业施工一般为 0.8m 左右，此处规定为不小于 1 m；边坡坡底外侧为排水沟，为避免边坡坡底外沿（与排水沟相接）土地受雨水冲刷造成壁挂支架基础倾斜，壁挂支架基础外沿与排水沟净距宜不小于 0.5 m，且逆变器支架基础的安装不应破坏原排水系统。

6.5.4 条款：GB 50794《光伏发电站施工规范》中“5.5.3 逆变器交流侧和直流侧电缆接线前应检查电缆绝缘，校对电缆相序和极性。”的要求，电缆与逆变器连接前，应检查电缆绝缘性，并校对电缆相序和极性，防止电缆接错、接反等。

6.5.5 条款：为加强电缆防护，防止直接接触电缆，采用套管的方式将逆变器直流进线缆与交流出线缆接入地面，对直流电缆进行组串标号，对交流电缆编号并挂标识牌，方便后期线路故障时进行检查与维护。

6.5.6 条款：应在逆变器明显位置设置防触电警示标识，加强后期光伏电站维护人员或公路养护人员警示作用。

6.6 箱式变电站技术要求

6.6.1 条款：根据 GB 50797《光伏发电站设计规范》中“8.1.3 光伏方阵内就地升压变压器的选择应符合下列要求：1 宜选用自冷式、低损耗电力变压器。2 变压器容量可按光伏方阵单元模块最大输出功率选取。3 可选用高压（低压）预装式箱式变电站或变压器、高低压电气设备等组成的装配式变电站。”对于设备选型的要求，从安全性、环保性、维护成本、安装便利性等方面考虑，目前干式变压器是分布式光伏电站主要使用的升压产品，边坡光伏发电工程宜

选择干式变压器安装于箱式变电站中，不宜选择油浸式变压器。

6.6.2 条款：箱式变电站属于高压设备，为降低事故二次伤害风险，同时便于电网公司及工程维护人员检修维护，宜安装在高速公路隔离栅以外；应结合边坡高度、高速公路隔离栅外土地性质等因素，确定箱式变电站的安装位置。

6.6.3 条款：受限于公路建设用地范围外土地多为耕地或一般农田，属于生态红线范畴，无法对土地进行征用，确需将箱式变电站安装于高速公路隔离栅以内（边坡上）时，相关技术要求包括但不限于：

a) 高速公路边坡光伏发电工程跨越里程较长，应结合光伏方阵排布、接入方案、线缆用量、走线便利性等，确定箱式变电站安装位置，宜放置于光伏方阵两侧，减少电缆使用量及线损，保证光伏电站系统效率。箱式变电站不应对光伏方阵造成光线遮挡，影响光伏发电能力。

b) 根据 GB 50797《光伏发电站设计规范》中“10.4.4 结构构件应根据承载能力极限状态及正常使用极限状态的要求，进行承载能力、稳定、变形、抗裂、抗震验算。”的要求，在高速边坡搭建箱变基础，应结合基础承载力、边坡抗雨水冲刷能力及水土保持需求，预留边坡导水通道，设计箱式变电站基础。

c) 箱式变电站属于高压设备，为降低事故二次伤害风险，应尽量远离路面，宜将箱式变电站安装于坡底位置，且宜选择坡面横向长度较大的边坡，安装完成后的箱体最高点宜低于高速公路路面，即保证了箱体与路面的距离，也减弱了箱体对车辆驾驶人员在视觉上的冲击；行业内地面箱变基础高度一般在 0.4 米左右，同时，考

考虑边坡植被生长及边坡雨水冲刷因素，本条规定箱体最低点与地面的间距应不小于 0.4 m，安装后应保证箱体水平，不存在倾斜、变形等风险。

d) 根据 GB 50797《光伏发电站设计规范》中“13.0.6 平台、走道、吊装孔等有坠落危险处，应设栏杆或盖板。需登高检查、维修及更换光伏组件处，应设操作平台或扶梯。”的要求，箱变安置于边坡上，且与边坡保持一定垂直距离，存在检修不便的问题，本条规定应围绕箱变搭建检修平台，同时检修平台应设置防护围栏，防护围栏高度不低于 1 m，应在地面设置检修扶梯与检修平台连接，方便检修人员快速到达箱变前后各检修门，并一定程度防止外部人员进入。同时，为方便从高速公路下方快速到达箱变及光伏电站，应在高速公路隔离栅处预留维修通道，并加装门锁。

6.6.4 条款：根据 JTG/T D81《公路交通安全设施设计细则》中“6.2.2 事故严重程度可分为三个等级：高、中、低，应按表 6.2.2-1 的规定设置路侧护栏并选取路侧护栏的防护等级。”箱式变电站周边公路护栏等级是否需要升级，应结合涉路评价和施工现场具体情况确定。

事故严重程度及 护栏设置原则	路侧计算净区宽度范围内有以下情况	公路技术等级和设计 速度（km/h）	防护等级 （代码）
高，必须设置	高速铁路、高速公路、高压输电线塔、危险品储罐 仓库等设施	高速公路 120	六（SS）级
		高速公路、一级公路 100、80	五（SA）级
		一级公路 60	四（SB）级
		二级公路 80、60	四（SB）级
		三级公路 40	三（A）级
中，应设置	1 二级及以上公路边坡坡度和路堤高度在图 6.2.2 的Ⅰ区、Ⅱ区阴影范围之内的路段；二、四级公路路 侧有深度 30m 以上的悬崖、深谷、深沟等的路段； 2 江河、湖、海、沼泽等水深 1.5m 以上水域； 3 Ⅰ级铁路、一级公路等； 4 高速公路、一级公路路外设有车辆不能安全越过 的照明灯、摄像机、交通标志、声屏障、上跨桥梁的 桥墩或桥台、隧道入口处的检修道或洞门等设施	高速公路、一级公路 120、100、80	四（SB）级
		一级公路 60	三（A）级
		二级公路 80、60	三（A）级
		三级公路 40	二（B）级
		三、四级公路 30、20	一（C）级
低，宜设置	1 二级及以上公路边坡坡度和路堤高度在图 6.2.2 的Ⅲ区阴影范围之内的路段；三、四级公路边坡坡度和 路堤高度在图 6.2.2 的Ⅰ区阴影范围之内的路段； 2 二级及以上等级公路路侧边沟无盖板、车辆无法 安全越过的挖方路段； 3 高出路面或开挖的边坡坡面有 30cm 以上的混凝 土砌体或大孤石等障碍物； 4 出口匝道的三角地带有障碍物	高速公路、一级公路 120、100、80	三（A）级
		一级公路 60	二（B）级
		二级公路 80、60	二（B）级
		三、四级公路 40、30、20	一（C）级

图 1 路侧护栏设置原则及防护等级选取条件

6.7 电缆技术要求

6.7.1 条款：根据 GB 50217《电力工程电缆设计标准》中“5.2.3 地下电缆通过房屋、广场的区段，以及电缆敷设在规划中作为道路的地段时，宜采用穿管。”的要求，边坡光伏发电工程所需电缆宜采取穿管埋地敷设方式；考虑线缆敷设施工便利性，应在边坡下沿敷设电缆；根据 GB 50217《电力工程电缆设计标准》中“5.3.3 直埋敷设于非冻土地区时，电缆外皮至地面深度，不得小于 0.7m，当位于行车道或耕地下时，应适当加深，且不宜小于 1m”的要求，本条规定埋地深度应不小于 0.8m；根据 GB 50797《光伏发电站设计规范》中“8.9.4 电缆敷设可采用直埋、电缆沟、电缆桥架、电缆线槽等方式。动力电缆和控制电缆宜分开排列。”的要求，从安全性及施工便利性考虑，遇不易开挖的边坡路段可采取桥架敷设方式，桥

架宜布置于坡脚位置，为防止桥架直接敷设于地面受雨水冲刷、草皮生长影响，应预制桥架基础架空桥架，桥架与地面的距离不小于 10 cm；根据 GB 50217《电力工程电缆设计标准》中直埋敷设电缆与排水沟平行时查表 5.3.5 最小允许 1.0m。鉴于高速公路护坡道宽度约 1m,出于对边坡路基坡脚的安全稳定性角度考虑，本条在《电力工程电缆设计标准》基础上将电缆与排水沟净距规定为不小于 0.5 m。

6.7.2/6.7.3 条款：根据 GB 50168《电气装置安装工程电缆线路施工及验收标准》中“6.1.1 电缆敷设前应按下列规定进行检查:1 电缆沟、电缆隧道、电缆导管、电缆井、交叉跨越管道及直埋电缆沟深度、宽度、弯曲半径等应符合设计要求，电缆通道应畅通，排水应良好，金属部分的防腐层应完整，隧道内照明、通风应符合设计要求。2 电缆额定电压、型号规格应符合设计要求;3 电缆外观应无损伤，当对电缆的外观和密封状态有怀疑时，应进行受潮判断；埋地电缆与水下电缆应试验并合格，外护套有导电层的电缆，应进行外护套绝缘电阻试验并合格;”等要求，本条规定敷设前应复核电缆型号、规格、电压等级等，并检查电缆外观及盘上电缆端头密封性。同时，沿电缆敷设路径检查电缆桥架、支架、电缆保护管等，确保全程联通，无阻挡，并确认各单元区域的设备位号和平面位置。

6.7.4 条款：电缆与高速公路或与高速公路涵洞下方公路交叉时，应采用顶管或拉管方式敷设。DB 37《山东省涉路工程技术规范》中 6.3.2(具体见下表 4)对穿越公路管线最小覆土深度规定见下表。

表 4 穿越公路管线最小覆土深度

位置	最小覆土深度（m）
----	-----------

	高速公路、一级公路	二级及以下公路
行车道下	2.0	1.8
非行车道下	1.2	1.0
排水边沟沟底	1.0	0.8

本条按照上表规定高速公路、一级公路套管顶覆土深度不小于 2 m，二级及以下公路套管顶覆土深度不小于 1.8 m。

6.7.5 条款：电缆垂落易与边坡植被接触，电缆外露易造成后期维护人员接触，故规定不应出现电缆外漏情形，应对垂落的线缆进行捆扎固定，根据荣乌高速边坡光伏试验项目，捆扎间距不大于 0.3 m 时，捆扎效果良好，直流电缆无明显下垂。

6.7.6 条款：根据 GB 50217《电力工程电缆设计标准》的 5.3.2 条款，将电缆敷设标识要求规定为“应沿电缆敷设路径的直线间隔 100 m、转弯处和接头部位，竖立明显的方位标识或标桩。”

6.8 接入系统技术要求

6.8.1 条款：边坡光伏发电工程并网后，要确保电站运行良好平稳，故要满足 GB/T 38335《光伏发电站运行规程》的相应要求。

6.8.2 条款：根据 GB 50797《光伏发电站设计规范》中“9.1.1 光伏发电站接入电网的电压等级应根据光伏发电站的容量及电网的具体情况，在接入系统设计中经技术经济比较后确定。”要求，目前边坡光伏工程容量基本属于分布式光伏范畴，宜采用 10kV 及以下电网等级接入。

6.8.3 条款：GB 50797《光伏发电站设计规范》中“9.1.4 大、中型光伏发电站应具备与电力调度部门之间进行数据通信的能力，

并网双方的通信系统应符合电网安全经济运行对电力通信的要求。”对光伏电站接受电网调度进行了要求，边坡光伏工程应满足此项要求。

6.8.4 条款：结合项目建设实际情况、经济型、运维需要、安全需求，光伏发电站接入点位置应充分考虑周边电网接入条件及要求，以就近并网为原则，边坡内光伏发电站应与边坡外并网点应建立快速通道。

6.8.5 条款：根据 GB 50797《光伏发电站设计规范》中“13.0.5 电气设备的布置应满足带电设备的安全防护距离要求，并应有必要的隔离防护措施和防止误操作措施；应设置防直击雷设施，并采取安全接地等措施。”的要求，根据工程并网需要，存在配电柜、计量柜等带电设施放置于边坡以外的情形，防止人员及动物接触，应架高安装或采取隔离措施，并安装警示标志。

7. 施工交通组织要求

7.1.1 条款：根据 DB 37《山东省涉路工程技术规范》中“9.1.1.2 施工控制区交通控制设施应按照批准的交通组织方案设置，施工期间，应对交通控制设施定期检查、更换，保证交通控制设施全天候有效。”、“9.1.1.11 在公路上封闭全幅、半幅、部分车道、硬路肩施工时，应征得交警、路政部门的同意，必要时由交警、路政部门安排专人、施工单位配合进行临时交通管制。”等要求，本条规定边坡光伏工程应编制施工交通组织方案及应急管理预案，并有效实施，确保施工和行车安全，减少封闭时间及施工对交通的影响，避免对周边路网造成交通压力。

7.1.2/7.1.3 条款：根据 DB 37/T 3366《山东省涉路工程技术

规范》中“9.1.1.5 施工作业前，应顺着交通流方向布设交通控制设施；作业完成后，应逆着交通流方向撤除相关安全设施，恢复正常交通。”要求，规定了本条。按照 JTG H30-2015《公路养护安全作业规程》的要求，采用封闭硬路肩交通组织方式布设交通控制设施。施工作业控制区布置执行附录 B（以设计时速 100km/h 计），安全标志及安全警示设施参照附录 C。

7.1.4 条款：根据 DB37/T 3366《山东省涉路工程技术规范》中“9.1.1.8 涉路工程在公路上作业时，应在警告区内设置施工标志、限制速度标志和可变标志牌或线形诱导标志等；在上游过渡区起点至下游过渡区终点之间应放置锥形交通路标；在缓冲区与施工区交界处应布设护栏。当施工区位于互通立交附近，无法按规定长度设置过渡区、缓冲区标志及安全设施时，可适当延长至相关匝道设置。用于夜间的安全设施必须具有反光性或发光性，施工期间应保持设施完好并能正常使用。”的要求，考虑施工安全性，边坡光伏工程夜间及雨雪天气不应进行施工作业，需实施夜间应急管理时，应使用带有反光功能的安全设施。

8. 监控测量技术要求

8.1/8.3/8.4 条款：根据 GB 50797《光伏发电站设计规范》中“8.7.7：1 应对发电站电气设备进行安全监控。2 应满足电网调度自动化要求，完成遥测、遥信、遥调、遥控等远动功能。3 电气参数的实时监测，也可根据需要实现其他电气设备的监控操作。”等要求，“8.7.7：1 应对发电站电气设备进行安全监控。同时满足电网调度自动化要求，完成遥测、遥信、遥调、遥控等远动功能。3 电气参数的实时监测，也可根据需要实现其他电气设备的监控操作。”

等要求，规定了 8.1 条、8.3 条、8.4 条。

8.2 条款：根据 GB 50797《光伏发电站设计规范》“7.3.32 系统设计应满足监控区域有效覆盖、布局合理、图像清晰、控制有效的要求。”，并考虑边坡工程运行及公路运行安全性，应配备远程实时视频监控系统，对光伏发电站、项目建设路段道路状况等场景进行在线监控，监控信息的保存期限应不少于 1 个月。GB 51348《民用建筑电气设计标准》的 14.3.3 条款规定“视频传输的图像质量不宜低于 4CIF(704×576)”。

9. 环境保护与水土保持技术要求

9.1 条款：根据 GB 50797《光伏发电站设计规范》中“2.0.1 光伏发电站的站址选择应根据国家可再生能源中长期发展规划、地区自然条件、太阳能资源、交通运输、接入电网、地区经济发展规划、其他设施等因素全面考虑；在选址工作中，应从全局出发，正确处理与相邻农业、林业、牧业、渔业、工矿企业、城市规划、国防设施和人民生活等各方面的关系。”的要求，应结合道路景观需求，统筹光伏发电站的整体布置与规划。

9.2/9.3/9.4 条款：根据 GB 50797《光伏发电站设计规范》中“12.3.3 施工结束后，除基础和道路外，其他地方宜恢复原有植被。对施工过程中形成的控制地貌应进行整治。”，GB 50794《光伏发电站施工规范》中“8.1.1 应根据工程实际情况和环境特点，制订环境保护及水土保持的措施和对策。”，“8.3.1 施工中的水土保持应符合下列要求：1. 临建设施的搭设应科学布局、减少用地。2. 光伏发电站的施工应减少破坏自然植被。3. 工程完工后应按设计要求恢复地貌、植被。”对环境保护与水土保持进行了要求。边坡光伏工程应

同时考虑环境保护与水土保持要求，在施工阶段，确保因项目施工所导致的土方开挖、路面破坏、草皮损坏等临时性破坏情形得到有效恢复；充分评估植被破坏对边坡抗冲刷能力的影响，尽量保留矮草，过高草植修剪后尽量保留根系，施工结束后及时做好植被修复，将项目建设对生态环境的影响降至最低；施工完毕后，及时拆除临时设施，恢复既有地貌。

9.5 条款：根据 GB 50797《光伏发电站设计规范》中“12.1.2 光伏发电站的环境保护设计应贯彻国家产业政策和循环发展及节能减排的要求，采用清洁生产工艺，对产生的各项污染物及生态环境影响应采取防治措施。”“12.1.5 各污染物的处理应选用资源利用率高、污染物排放量少的设备和工艺，对处理过程中产生的二次污染应采取相应的治理措施。”等要求，应尽量减少施工污水、费油、废气等污染物的排放，对废弃物进行有效处理。

四、与现行相关法律、行政法规和其他标准的关系

本标准的制定符合《可再生能源法》《土地管理法》等法律法规要求。目前在高速公路边坡光伏发电工程方面，尚未有相关国家、行业标准发布，本标准与相关国家、行业标准保持协调一致不冲突。

与本标准密切相关的法律及政策文件有：中共中央、国务院《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》《国务院关于印发 2030 年前碳达峰行动方案的通知》《国家综合立体交通网规划纲要》《交通强国建设纲要》，山东省委、省政府印发的《山东省贯彻〈交通强国建设纲要〉实施意见》等。

与本标准密切相关的标准包括：GB 50797《光伏发电站设计规范》、GB 50794《光伏发电站施工规范》、GB 50153《工程结构可靠

性设计统一标准》、GB 50217《电力工程电缆设计标准》、GB 50227《并联电容器装置设计规范》、GB/T 18226《公路交通工程钢构件防腐技术条件》、GB/T 32512《光伏发电站防雷技术要求》、GB/T 35694《光伏发电站安全规程》、JTG B01《公路工程技术标准》、JTG D03《公路路基设计规范》、DL/T 621《交流电气装置的接地》、JG/T 490《太阳能光伏系统支架通用技术要求》、DB 37/T 3366《山东省涉路工程技术规范》等。

五、重大分歧意见的处理过程、处理意见及其依据

无

六、对地方标准自发布日期至实施日期之间的过渡期（以下简称“过渡期”）的建议及理由

建议过渡期是1个月。

山东省内的高速公路是标准实施的主体，为确保其准确理解、掌握和执行标准，规范高速公路边坡光伏项目管理，提高高速公路边坡光伏发电项目的质量和建设效率，标准发布后将向标准实施主体进行推广和宣贯，推动标准的落地实施。预计此项工作需要1个月的时间。

七、实施效益分析

本标准率先在国内提出了高速公路边坡光伏发电工程建设技术要求，填补了标准空白，为行业进行边坡光伏建设提供了可供参考的实践经验。其实施有利于提高高速沿线闲置资源利用率，扩大高速沿线光伏可建设容量；有利于推动高速公路边坡光伏规模化建设；促进了新能源和新材料在交通领域快速应用，对推动我省绿色交通转型，助力交通领域碳达峰、碳中和有重要意义。

提出部门：山东省交通运输厅、山东省公安厅
(盖 章)

2022 年 5 月