



中国工程建设标准化协会标准

Standard of China Association for Engineering Construction
Standardization

公路边坡光伏发电工程技术规程

Technical specifications for photovoltaic power generation
engineering on highway slopes

(征求意见稿)

中国工程建设标准化协会 发布

Issued by China Association for Engineering Construction
Standardization

中国工程建设标准化协会标准

Standard of China Association for Engineering Construction

Standardization

公路边坡光伏发电工程技术规程

Technical specifications for photovoltaic power generation

engineering on highway slopes

主编单位：山西交通控股集团有限公司

发布机构：中国工程建设标准化协会

施行日期：xx 年 xx 月 xx 日

人民交通出版社股份有限公司

XX 北 京

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于开展 2022 年第二批中国工程建设标准化协会标准（CECS G）制修订项目编制工作的通知》（建标协字[2022]289 号）的要求，由山西交通控股集团有限公司承担《公路边坡光伏发电工程技术规程》（以下简称“本规程”）的制定工作。

编制组在广泛调查研究，吸收国内外边坡光伏建设的最新研究成果，充分总结国内公路边坡光伏工程的技术设计、施工、工程实践经验，参考国内外相关标准规范，并广泛征求意见基础上，编制本规程。

本规程的主要内容包括：1 总则；2 术语；3 基本规定；4 选址要求；5 设计技术要求；6 施工技术要求；7 监控要求；8 运营管理；附录 A 公路边坡光伏发电工程建设的组织结构及建设流程；附录 B 全国不同地区标准日照时长对照表；附录 C 全国主要城市光伏支架推荐倾角；附录 D 边坡防护工程评价内容；附录 E 全国光照资源区划分；附录 F 选址指标与权重分配；附录 G 选址指标评分赋值参考。

本规程由中国工程建设标准化协会公路分会归口管理，由山西交通控股集团有限公司负责具体技术内容的解释，在执行过程中如有意见或建议，请函告本规程日常管理组，中国工程建设标准化协会公路分会（地址：北京市海淀区西土城路 8 号；邮编：100088；电话：010-62079839；传真：010-62079983；电子邮箱：shc@rioh.cn），或山西交通控股集团有限公司（地址：山西省示范区太原学府区南中环 529 号 B 座，邮政编码：030032，电子邮箱：sxjkt@yeah.net），以便修订时参考。

主编单位：山西交通控股集团有限公司

参编单位：山西交通科学研究院集团有限公司

山西交控新能源发展有限公司

山西省公路集团有限责任公司

上海华测导航技术股份有限公司

山西大学

主 编：谢鹏远

主要参编人员：

主 审：史玲娜

参与审查人员：

目 录

目 录.....	1
1 总则.....	1
2 术语.....	2
3 基本规定.....	4
4 选址要求.....	6
4.1 光照条件.....	6
4.2 并网条件.....	6
4.3 地形条件.....	6
4.4 工程条件.....	6
4.5 植物覆盖条件.....	7
4.6 建设难度.....	7
4.7 安全防护条件.....	7
4.8 气候条件.....	7
4.9 经济条件.....	7
4.10 适宜性分区定量计算.....	8
5 设计技术要求.....	9
5.1 一般规定.....	9
5.2 光伏系统设计要求.....	9
5.3 支架结构设计要求.....	10
5.4 基础设计要求.....	13
5.5 不良地基处理.....	18
5.6 边坡防排水设计.....	18
5.7 边坡光伏阵列设计.....	19
5.8 边坡整体稳定性计算.....	20
6 施工技术要求.....	22
6.1 一般规定.....	22
6.2 光伏系统施工要求.....	22
6.3 支架结构施工要求.....	23

6.4 基础施工要求	23
6.5 不良地基处理施工要求	24
6.6 边坡防排水施工	24
7 监控要求	25
8. 运营管理	26
附录 A	27
附录 B	28
附录 C	29
附录 D	30
附录 E	31
附录 F	32
附录 G	33
本规程用词说明	34

1 总则

1.0.1 本文件规定了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、运营管理的要求。

1.0.2 本文件适用于新建、改扩建、既有公路边坡光伏发电工程建设。

征求意见稿

2 术语

2.1 标准日照小时数 Standard sunshine hours

太阳能组件在标准条件下(大气质量 AM1.5, 温度 25°, 辐照强度 1000W/m²)的工作小时数。

2.2 独立系统 Independent system

自发自用的光伏发电系统。

2.3 并网系统 Grid-connected system

接入国家电网的光伏发电系统。

2.4 勒克斯 Lux

照度的国际单位, 反映光照强度的一种物理量, 指照射到单位面积上的光通量。

2.5 年发电量 Annual energy output

光伏发电系统中所有组件全年实际发出的电能的总和。

2.6 电站补贴 Power plant subsidies

根据电站需求自主补贴费用。

2.7 电价补贴 Feed-in tariff

由政府公布的取决于发电设施的造价及安装费用补贴金额。

2.8 组件安装容量 Component installation capacity

在特定区域内安装的所有光伏组件的最大直流输出功率总和。

2.9 系统综合效率系数 System comprehensive efficiency coefficient

衡量太阳能电池转化效率的重要指标。它表示太阳能电池将太阳光转化为电能的能力,是一个 0 到 1 之间的数值,值越高,说明太阳能电池的转化效率越高,能够将更多的太阳能转化为电能。

2.10 晶体硅光伏组件 Crystal silicon photovoltaic modules

基于硅的光电效应产生电子和空穴对,并在电场作用下分离成电流的光伏面板。

2.11 薄膜光伏组件 Thin film photovoltaic modules

利用薄膜材料制成的太阳能电池组件。

2.12 聚光光伏组件 Concentrated photovoltaic modules

将汇聚后的太阳光通过高转化效率的光伏电池直接转换为电能的设备。

2.13 直射分量 Direct radiation

未改变照射方向,以平行光形式到达地球表面的太阳辐射量。

2.14 散射分量 Diffuse solar radiation

太阳辐射通过大气时,受到大气中气体、尘埃、气溶胶等的散射作用,从天空的各个角度到达地表的一部分太阳辐射量。

2.15 集中式逆变器 Centralized inverter

将光伏组件产生的直流电汇总成较大直流功率后再进行逆变的设备。

2.16 组串式逆变器 String inverter

将几组光伏组串进行单独的最大功率峰值跟踪,再经过逆变后并入交流电网的设备。

2.17 微型逆变器 Micro inverter

对每块光伏组件进行单独的最大功率峰值跟踪,再经新能源发电过逆变后并入交流电网的设备。

2.18 双支柱支架结构 Double pillar support structure

具有两根支柱的光伏支架结构形式。

2.19 单管桩支架结构 Single pipe pile support structure

具备独立管桩的光伏支架结构形式。

2.20 锚板基础 Anchor plate foundation

深部锚杆与表面混凝土结构共同组成的提供拉力和抗拔力的基础结构形式。

2.21 H 型钢桩基础 H-shaped steel pile foundation

以 H 型钢为主要结构的基础形式。

2.22 螺旋钢桩基础 Spiral steel pile foundation

带有螺纹的钢桩基础,自上而下桩身直径收缩。

3 基本规定

3.1 边坡光伏发电工程设计与施工应符合现行国家标准《光伏电站设计规范》GB50797、《光伏电站施工规范》GB50794 的相关规定。

3.2 边坡光伏发电工程建设前应对边坡稳定性进行充分论证，不宜在不稳定或欠稳定边坡上建设光伏工程。

3.3 在满足安全性和可靠性的同时，宜优先采用新技术、新工艺、新设备、新材料。

3.4 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。

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

3.6 建设前后应做好消防工作及应急预案。

3.7 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 选址要求

4.1 光照条件

4.1.1 选择站址时，应以当地标准日照小时数为标准，标准日照时长宜为 4 小时以上，标准时长参照附录 B。

4.2 并网条件

4.2.1 根据需求条件，公路边坡光伏发电工程应具备自用发电和并网发电功能，对于并网发电功能的工程项目，应当充分调研项目所在地附近的接入消纳点，根据光伏电站的容量及电网的具体情况，通过技术经济比较后确定。

4.3 地形条件

4.3.1 公路边坡光伏发电工程应建设在适宜的坡度和坡向，公路坡度一般为 53° （路堑边坡）、 37° （路堤边坡），公路坡度过高会影响光照强度，因此在路堑边坡上建设光伏工程时，应当适当调整支架形式，使光伏组件角度满足发电要求。全国主要城市的支架倾角参照附录 C。

4.3.2 应充分考虑光伏组件对车辆驾驶员带来的眩光，拟建场地的光伏组件太阳光反射照度应在 $10\sim 20\text{lx}$ （勒克斯）之间。为了防止夜间行车照明引起眩光，路堑边坡光伏组件应距地面至少 3m。

4.4 工程条件

4.4.1 在选址时应对拟建地区的历史灾害和工程地质条件进行充分分析，应避开危岩、泥石流、岩溶发育、滑坡发育的地段和发震断裂地带等地质灾害易发区。

4.4.2 在既有公路边坡选择站址时，宜建设在无锚杆，无抗滑桩，坡面平整，排水设施完善的边坡工程上，应对现有的防护设施进行重新评价，具体评价内容参照附录 D。

4.4.3 在新建公路边坡选择站址时，应结合边坡防护设计方案，宜建设在坡面防

护工程上，选择科学合理的建设场地。

4.5 植物覆盖条件

4.5.1 选择站址时应考虑植被覆盖条件，植被高度不宜高于光伏支架设计高度。

4.6 建设难度

4.6.1 选择站址时应考虑场地的建设难度，拟建场地应具备充足的施工空间，并且满足基本施工器械进场。

4.7 安全防护条件

4.7.1 应充分评价拟建场地的交通情况，考虑交通安全组织措施。

4.8 气候条件

4.8.1 选择站址时应考虑当地气候特征，包括温度变化、风力特征、降雨降雪情况，在北方沙尘易发地区宜建设在背风坡。

4.9 经济条件

4.9.1 宜根据拟建场地的有效利用面积确定建设规模，计算投入与产出情况是否合理。

表 1 光伏电站规模分类

安装容量	≤1 MWp	1 MWp~30 MWp	≥30 MWp
系统类型	小型光伏电站	中型光伏电站	大型光伏电站

4.9.2 光伏发电项目投入产出成本计算：

无补贴：
$$\text{年回报率} = \text{年发电量} \times \text{电价} \div \text{投资成本} \times 100\% \tag{4.1}$$

有电站补贴：
$$\text{年回报率} = \text{年发电量} \times \text{电价} \div (\text{投资成本} - \text{补贴总额}) \times 100\% \tag{4.2}$$

有电价补贴及电站补贴：
$$\text{年回报率} = \text{年发电量} \times (\text{电价} + \text{补贴电价}) \div (\text{投资成本} - \text{补贴总额}) \times 100\% \tag{4.3}$$

I类、II类、III类资源区标杆上网电价分别调整为每千瓦时 0.55 元、0.65 元、

0.75 元（含税），电价补贴标准为每千瓦时 0.42 元（含税），补贴期限原则上为 20 年。不同资源区划分参照附录 E。

4.9.3 公路边坡光伏发电工程发电量计算：

$$E_p = H \times P \times K_1 \tag{4.4}$$

式中： H ——当地标准日照小时数（h）；光伏组件在标准条件下的工作小时数。

E_p ——光伏组件发电量（kW·h）；

P ——组件安装容量（kW），不同规格组件的安装容量有差异，应按照购买厂家提供的技术参数确定；

K_1 ——系统综合效率系数，取值范围 0.75~0.85。

4.10 适宜性分区定量计算

综合选址方法宜按照下式进行计算：综合选址指标和权重分配参照附录 F，选址指标评分赋值参考附录 G。

$$S = X_1 \times w_1 + X_2 \times w_2 + \dots + X_{10} \times w_{10} \tag{4.5}$$

表 2 选址适宜性分区结果

得分	25（含）~50	50（含）~75（含）
适宜性	不适宜	适宜

5 设计技术要求

5.1 一般规定

5.1.1 边坡光伏发电工程应包括光伏组件、逆变器、汇流箱、变压器、接入系统、光伏支架、基础以及电缆。

5.1.2 边坡光伏发电系统中，同一个逆变器接入的光伏组件串的电压、方阵朝向和安装倾角宜一致。

5.1.3 边坡光伏发电系统的安装容量应根据负载所需电能和当地日照条件来确定。

5.1.4 光伏方阵设计应便于表面清洗，当建设场地大气环境较差时，应设置清洗系统或配备清洗设备。

5.1.5 对于接入电网的光伏发电系统，电压等级在技术经济比较后确定。

5.1.6 新建边坡应根据规划留有安装光伏系统的空间。

5.1.7 光伏结构内力和变形以及应力传递可按结构静力学方法进行弹性或弹塑性分析，对于复杂结构可采取数值模拟方法，具体计算方法参照现行国家标准《钢结构设计标准》GB50017 中的相关内容。

5.2 光伏系统设计要求

5.2.1 边坡光伏系统宜采用固定式布设，最佳倾角应结合当地太阳辐射度，宜使光伏方阵的倾斜面上受到的全年辐照量最大。

5.2.2 应配置恰当容量的储能装置，并满足向负载提供持续、稳定电力的要求。储能电池的容量按照下式计算：

$$C_c = DFP_0 / (UK_a) \quad (5.1)$$

式中： C_c ——储能电池容量（kW·h）；

D ——最长无日照期间的用电时数（h）；

F ——储能电池放电效率的修正系数（通常取 1.05）；
 P_0 ——平均负荷容量（kW）；
 U ——储能电池的放电深度（0.5~0.8）；
 K_a ——包括逆变器等交流回路的损耗率（通常取 0.7~0.8）。

5.2.3 光伏组件分为晶体硅光伏组件、薄膜光伏组件和聚光光伏组件，应根据相关技术条件选择组件，光伏组件的尺寸根据实际地形条件确定，宜选择 1580×808×35mm，1960×990×35mm，1650×990×40mm，2356×1135×40mm 等。

1. 太阳辐射量较高、直射分量较大的地区宜选用晶体硅光伏组件；
2. 太阳辐射量较低、散射分量较大、环境温度较高的地区宜选用薄膜光伏组件；
3. 公路边坡上不建议使用聚光光伏组件。

5.2.4 逆变器分为集中式逆变器、组串式逆变器和微型逆变器，公路边坡上建议使用组串式逆变器。应根据建设场地所处地区环境条件选择和校验。海拔高度超过 2000m 的地区应选用高原型产品或采取降容使用措施。

5.2.5 公路边坡光伏系统变压器应符合现行国家标准《光伏电站设计规范》GB 50797-2012 的规定。

5.2.6 对于具备并网条件的公路边坡光伏系统，可根据接入点电网要求合理调整功率与电压。

5.2.7 公路边坡光伏方阵应根据地形、设备特点和施工条件等因素合理布置，安装方位角宜采用正南方向，方阵间距应保证每天 9:00~15:00 时段内前后左右互不遮挡。并且最低点距离地面的距离不宜低于 300mm。

5.3 支架结构设计要求

5.3.1 边坡光伏支架结构宜采用钢材，材料应符合现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 的规定。

5.3.2 支架应按照承载能力极限状态计算结构和构件的强度、稳定性以及连接强度，按正常使用极限状态计算结构和构件的变形。

5.3.3 支架结构设计应满足地形需求和承载能力，在既有边坡上，不宜扰动原有防护结构，可根据边坡实际情况选择合理的支架结构。对于新建边坡，宜采用双支柱支架结构或单管桩支架结构。

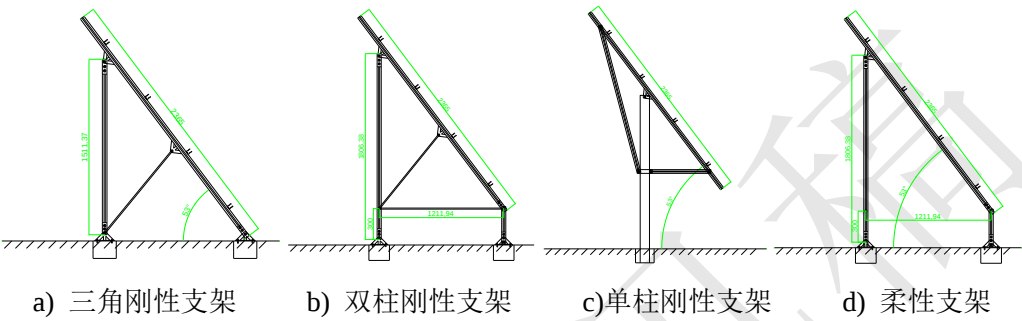


图 5.1 支架结构形式

表 5.1 4 种支架结构材料参数

结构形式	斜梁尺寸 (Q235-B)	支撑尺寸 (Q345-B)	檩条尺寸 (Q235-B)	钢支柱尺寸 (QB345-B)
a) 三角刚性支架	C100×40×15×2.5	C90×40×15×2.5	Φ10.5mm	/
b) 双柱刚性支架	C100×40×15×2.5	C90×40×15×2.5	Φ10.5mm	□120×60×3
c) 单柱刚性支架	C100×40×15×2.5	C90×40×15×2.5	Φ10.5mm	□120×60×3
d) 柔性支架	φ20mm	□120×60×3	Φ10.5mm	□120×60×3

5.3.4 新建边坡的支架结构安装倾角应依边坡坡率确定，公路边坡坡率依据现行行业标准《公路路基设计规范》JTGD30，支柱倾角宜大于±10°。

5.3.5 采用承载能力极限状态设计结构构件时，应采用荷载效应的基本组合或偶然组合。荷载效应组合的设计值应按式计算：

$$\gamma_0 S \leq R \tag{5.2}$$

式中：
 γ_0 ——重要性系数。不小于 0.95；
 S ——荷载效应组合的设计值；
 R ——结构构件承载力的设计值。

5.3.6 采用正常使用极限状态设计结构构件时，应采用荷载效应的标准组合。荷

载效应组合的设计值应按照下式计算：

$$S \leq C \quad (5.3)$$

式中：S ——荷载效应组合的设计值；

C ——结构构件达到正常使用要求所规定的变形限值。

5.3.7 风荷载、雪荷载和温度荷载应按照现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 中 25 年一遇的荷载数值取值。边坡表面安装支架风荷载的确定应符合现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的要求。

5.3.8 无地震作用效应组合时，荷载效应组合设计值应按照下式计算：

$$S = \gamma_G S_{GK} + \gamma_w \Psi_w S_{wK} + \gamma_s \Psi_s S_{sK} + \gamma_t \Psi_t S_{tK} \quad (5.4)$$

式中：S ——荷载效应组合的设计值；

γ_G ——永久荷载分项系数；

S_{GK} ——永久荷载效应标准值；

S_{wK} ——风荷载效应标准值；

S_{sK} ——雪荷载效应标准值；

S_{tK} ——温度作用标准值效应；

γ_w 、 γ_s 、 γ_t ——风荷载、雪荷载和温度作用的分项系数，取 1.4；

Ψ_w 、 Ψ_s 、 Ψ_t ——风荷载、雪荷载和温度作用的组合值系数。

位移计算采用的各荷载分项系数应取 1.0，承载力计算荷载组合值系数应符合下表的规定：

表 5.2 荷载组合系数取值

荷载组合	Ψ_w	Ψ_s	Ψ_t
永久荷载、风荷载和温度作用	1.0	-	0.6
永久荷载、雪荷载和温度作用	-	1.0	0.6
永久荷载、温度作用和风荷载	0.6	-	1.0
永久荷载、温度作用和雪荷载	-	0.6	1.0

5.3.9 有地震作用效应组合时，荷载效应组合设计值应按照下式计算：

$$S = \gamma_G S_{GK} + \gamma_{Eh} S_{Eh} + \gamma_w \Psi_w S_{wK} + \gamma_t \Psi_t S_{tK} \quad (5.5)$$

式中：S ——荷载效应组合的设计值；

γ_{Eh} ——水平地震作用分项系数；

S_{Eh} ——水平地震作用标准值效应；

Ψ_w ——风荷载的组合值系数，取 0.6；

Ψ_t ——温度作用的组合值系数，取 0.2；

位移计算采用的各荷载分项系数应取 1.0，承载力计算荷载组合值系数应符合下表的规定：

表 5.3 地震作用计算荷载组合值系数

荷载组合	γ_G	γ_{Eh}	γ_w	γ_t
永久荷载和水平地震作用	1.2	1.3	-	-
永久荷载、水平地震作用、雪荷载和温度作用	1.2	1.3	1.4	1.4

5.3.10 风荷载取标准值或地震作用下，支架的柱顶位移不应大于柱高的 1/60。

5.3.11 受弯构件的挠度容许值不应超过下表的规定：

表 5.4 受弯构件挠度容许值

受弯构件		挠度容许值
主梁		L/250
次梁	无边框光伏组件	L/250
	其他	L/200

5.3.12 用于次梁的板厚不宜小于 1.5mm，用于主梁和柱的板厚不宜小于 2.5mm。

5.3.13 受压和受拉构件的长细比限值应符合下表的规定：

表 5.5 受压和受拉构件的长细比限值

构件类别		容许长细比
受压构件	主要承重构件	180
	其他构件、支撑等	220
受拉构件	主要构件	350
	柱间支撑	300
	其他支撑	400

5.4 基础设计要求

5.4.1 一般规定

1. 边坡光伏工程基础宜采用桩基础和锚板基础相结合的形式；
2. 桩基础主要包括钻孔灌注桩基础与钢桩基础，桩基础主要设置于边坡平

台处，用于支撑光伏支架结构。

3. 桩基础顶部应预埋螺栓用于固定支架。

5.4.2 钻孔灌注桩

1. 钻孔灌注桩基础混凝土强度等级不应低于 C25，桩身混凝土材料应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的有关规定。

2. 钻孔灌注桩的主筋配置应经计算确定，最小配筋率不宜小于 0.65%，桩顶以下 3~5 倍桩身直径范围内，箍筋宜适当加强加密。

3. 钻孔灌注桩构造钢筋的长度不宜小于桩长的 2/3，主筋混凝土保护层厚度不应小于 50mm。

4. 钻孔灌注桩的直径与埋深通过地基承载力和外部荷载确定，直径宜为 300mm~600mm，埋深应超过 3m。宜在淤泥质土、粘性土、填土、湿陷性黄土边坡中使用。

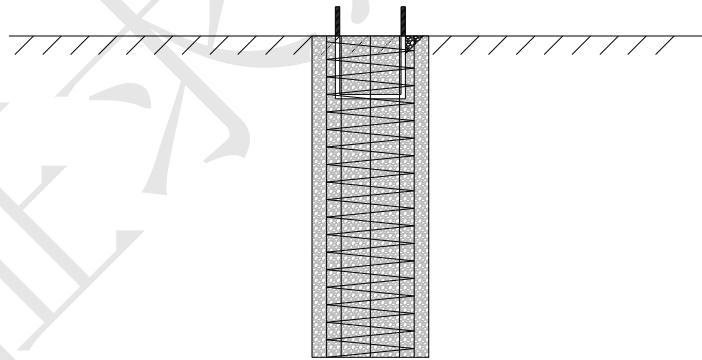


图 5.2 钻孔灌注桩基础

5.4.3 钢桩基础

1. 钢桩基础主要包括 H 型钢桩基础和螺旋钢桩基础。

2. H 型钢桩基础截面面积应满足承载力要求，宜在岩土条件较好的边坡上使用，并且埋深不小于 3m，在桩顶设置 U 型螺栓，并浇筑混凝土固定桩身。

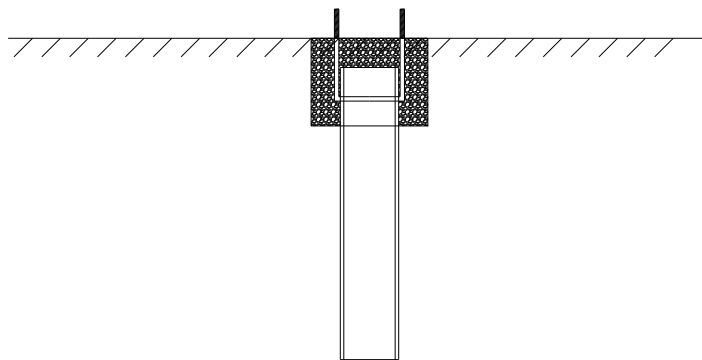


图 5.3 H 型钢桩基础

3. 螺旋钢桩基础设计应满足抗拔力的要求，土层具有一定密实度，宜在沙漠、草原、滩涂、戈壁以及冻土地区边坡使用，直径不小于 76mm，埋深不小于 3m，桩顶采用法兰盘与光伏结构形成刚性连接。

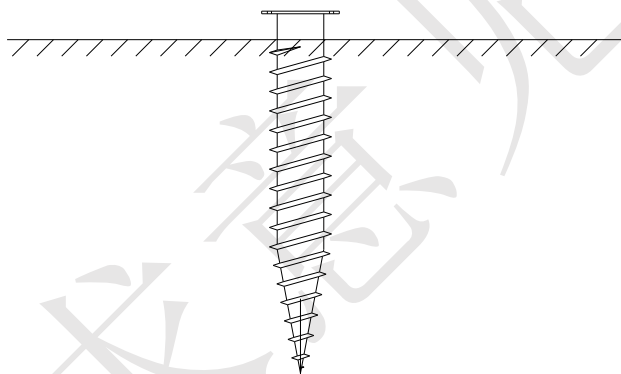


图 5.4 螺旋钢桩基础

5.4.4 单桩桩顶竖向力应按下列公式计算：

$$Q_{ik} = \frac{F_k}{n} \pm \frac{M_{xk} y_i}{\sum y_i^2} \pm \frac{M_{yk} x_i}{\sum x_i^2} \quad (5.6)$$

式中： F_k ——标准荷载组合作用在桩顶的竖向荷载（kN）；

n ——每组光伏结构的桩数量；

M_{xk}, M_{yk} ——标准荷载组合作用于光伏结构形心的 x, y 轴的力矩(kN·m)；

x_i, y_i ——第 i 跟桩至光伏结构形心的 y, x 轴线的距离（m）。

5.4.5 单桩桩顶竖向力应按下列公式计算：

$$H_{ik} = \frac{H_k}{n} \quad (5.7)$$

式中： H_k ——标准荷载组合下，作用于桩顶的水平力（kN）。

5.4.6 单桩承载力计算应符合下列规定：

1. 竖向力作用下，应满足：

$$Q_{ik\max} \leq 1.2R_a \quad (5.8)$$

2. 水平作用下力，应满足：

$$H_{ik} \leq R_{Ha} \quad (5.9)$$

式中： R_a ——单桩竖向承载力特征值（kN）；

R_{Ha} ——单桩水平承载力特征值（kN）。

5.4.7 单桩竖向承载力特征值通过单桩竖向静载荷试验确定，单桩水平承载力特征值通过现场水平载荷试验确定。具体试验方法参照现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007 的相关规定。

5.4.8 锚板基础

1. 锚板基础主要为光伏支架提供抗拔力，一端通过钢绞线连接在光伏支架上，另一端嵌固于边坡中。

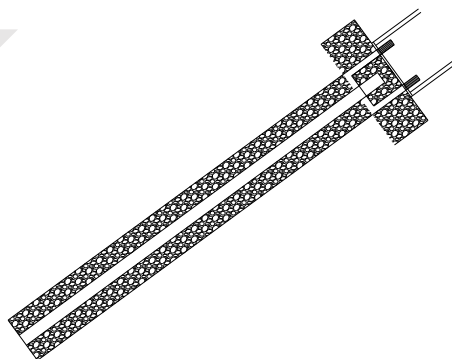


图 5.5 锚板基础

2. 锚杆杆体材料宜选用钢绞线、螺纹钢筋，当锚杆极限承载力小于 400kN 时，可采用 HRB335 钢筋。

3. 锚杆锚固体上下排间距不宜小于 2.5m，水平方向间距不宜小于 1.5m，建议每块光伏组件下安装一处锚杆，锚杆倾角宜为 15°~35°。锚杆埋设深度根据平台基础埋深和潜在滑带确定，应穿越潜在滑动带。

4. 土层锚杆钻孔直径不宜小于 120mm，锚固体宜采用水泥浆液或纯水泥浆，设计强度不宜低于 20MPa。

5. 在锚头处设置矩形混凝土面板，并预埋螺栓与光伏支架连接。

6. 锚杆杆体截面积按下式计算：

$$A_s \geq \frac{F_b \cdot N_d}{f_y} \quad (5.10)$$

式中： A_s ——横截面积（mm²）；

F_b ——锚杆锚固体抗拔安全系数，取值参见现行国家标准《滑坡防治设计规范》GB/T 38509；

N_d ——锚杆承载力设计值（N），根据现场测试结果得到。

f_y ——杆体抗拉强度设计值（MPa）。

7. 锚固段长度在初步设计时可按下式计算：

$$L_a \geq \frac{K \cdot T_k}{\pi \cdot D \cdot q_s} \quad (5.11)$$

式中： D ——锚固体直径（mm）；

K ——安全系数，可取 1.6；

q_s ——土体与锚固体之间粘结强度特征值（MPa），由当地锚杆抗拉拔试验结果统计分析得到。

8. 对于土质和松散岩质边坡，潜在滑动带为弧形，宜采用简化毕肖普法、摩根斯坦-锚杆边坡锚固力可按下式计算：

$$J = \frac{[F] \sum W_i \sin \alpha_i - \tan \varphi \sum (W_i \cos \alpha_i - U_i) - cl}{[F] \sin \delta + \cos \delta \tan \varphi} \quad (5.12)$$

式中： $[F]$ ——边坡安全系数；

W_i ——第 i 个土条自重；

α_i ——第 i 个土条与弧形滑动面的夹角；

φ ——土体内摩擦角；

U_i ——孔隙水压力；

c ——土体粘聚力；

l ——滑带长度；

δ ——锚杆与弧形滑动面的夹角；

9. 单根锚杆拉力标准值可按下式计算：

$$N_k = J - F_p \quad (5.13)$$

式中： F_p ——光伏组件提供的向坡外的拉拔力，通过监测现场风速换算得到。

10. 锚杆拉力设计值可按下式计算：

$$N_d = \gamma_b N_k \quad (5.14)$$

式中： γ_b ——锚杆拉力设计安全系数，取 1.3。

5.5 不良地基处理

5.5.1 不良地基指滑坡、崩塌、泥石流、岩溶、软土、红粘土、高液限土、膨胀土、黄土、盐渍土、冻土、采空区、滨海等地基。

5.5.2 应结合勘察资料对不良地基条件进行说明，处理不良地基时参照现行行业标准《公路路基设计规范》JTGD30 中的相关规定。

5.5.3 对于既有公路边坡，应重新进行勘察确定边坡现状，进一步评估后确定地基承载力和岩土体稳定性。

5.6 边坡防排水设计

5.6.1 既有边坡上建设光伏设施不应损坏原有防排水工程，若在工程中造成原有防排水措施损坏，应及时修补。

5.6.2 新建边坡应结合光伏设施布设方式，优化排水措施，保证地表排水系统的连贯性，避免地表径流在坡表聚集。

5.6.3 边坡地表排水工程包括边沟、截水沟、排水沟、跌水与急流槽、蒸发池、油水分离池、排水泵站等，应结合地形和天然水系进行布设，并做好进出口的位置选择和处理。地表排水措施的形式及尺寸应根据降雨强度、汇水面积、地形地质条件以及对路侧安全与环境景观的影响程度确定。具体设计方法参照现行行业标准《公路路基设计规范》JTGD30 的相关内容。

5.6.4 边坡地下排水工程包括暗沟、渗沟、排水垫层、排水孔、渗井、排水隧洞等，应结合地下水类型、埋藏深度、地层渗透性等条件进行设计，同时应与地表排水设施相协调。具体设计方法参照现行行业标准《公路路基设计规范》JTGD30 的相关内容。

5.6.5 边坡光伏组件下缘应设置排水槽，坡度不宜小于 0.3%，排水槽出口与边坡地表排水措施连接。

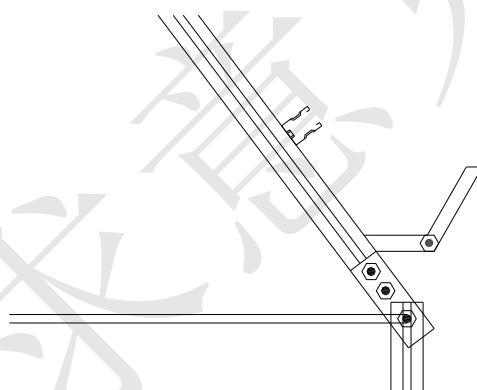


图 5.6 光伏组件排水槽

5.6.6 涉及到电力传输的设施，如逆变器、电缆、变压器等，应远离排水设施安装，同时做好自身防水措施。

5.7 边坡光伏阵列设计

5.7.1 边坡光伏阵列布置应紧凑合理，节省用地。

全系数应满足下表中的要求：

表 5.6 光伏边坡稳定性系数

工况	路堑边坡	路堤边坡
正常工况	1.30	1.35
工况 1	1.20	1.20
工况 2	1.20	1.20
工况 3	1.15	1.15

*工况 1：暴雨工况；工况 2：大风工况；工况 3：地震工况。

6 施工技术要求

6.1 一般规定

6.1.1 施工设备和材料应符合设计要求，不得在工程中使用不合格的设备材料。

6.1.2 施工过程记录及相关试验记录应齐全。

6.1.3 应做好施工过程的边坡安全防护措施。

6.1.4 应进行施工调查及现场核对，根据设计要求、合同条件及现场情况等编制施工组织设计。

6.1.5 土建施工应参照现行行业标准《公路路基施工技术规范》JTG/T3610 中的相关内容。

6.1.6 光伏结构组件施工应参照现行国家标准《光伏发电站施工规范》GB50794 中的相关内容。

6.2 光伏系统施工要求

6.2.1 光伏系统施工包括设备安装、系统调试。

6.2.2 设备安装施工要求

1. 光伏组件安装应符合设计文件要求，倾斜角度偏差 $\pm 1^\circ$ ，相邻组件的边缘高差 $\leq 2\text{mm}$ ，同组组件边缘高差 $\leq 5\text{mm}$ 。

2. 光伏组件的数量和间距应符合设计文件要求，应保证连接件牢固，连接处应搪锡。

3. 汇流箱安装位置应符合设计要求，垂直偏差小于 1.5mm 。应做好防锈措施。

4. 逆变器的安装方向和位置应符合设计规定，与基础型钢之间固定应牢固可靠。

5. 做好防雷与接地措施。

6. 电缆线路施工应符合现行国家标准《电气装置安装工程电缆线路施工及验收规范》GB 50168 的相关规定。

6.2.3 系统调试

1. 安装完成后应测试光伏组件串，测试内容包括极性正确性、开路电压、电流、电缆温度等。

2. 应检查逆变器的工作状态指示灯、人机界面屏幕显示、散热装置、以及直流侧电压值和交流侧电压值。

3. 应进行二次系统调试，主要包括计算机监控系统、继电保护系统、通信系统、电能量信息管理系统、不间断能源系统、二次安防系统等。

6.3 支架结构施工要求

6.3.1 支架结构安装和紧固应符合设计要求，安装过程不应破坏防腐层。

6.3.2 支架倾斜角度偏差不应超过 $\pm 1^\circ$ 。

6.3.3 支架安装应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 中的相关规定。

6.4 基础施工要求

6.4.1 混凝土钻孔灌注桩基础施工应按照现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的相关规定。

6.4.2 钢桩基础、螺旋桩基础施工应执行国家现行标准《建筑地基基础工程施工

质量验收规范》GB 50202 及就《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的相关规定。

6.4.3 施工过程中应检查压力、桩垂直度和深度,施工完成后应分区域进行抽检,桩基础的强度和承载力应满足设计要求。

6.4.4 锚板基础应满足设计要求,施工过程中应对成孔、清渣、灌浆等进行全过程检查。

6.4.5 外露的金属预埋件应进行防腐处理。

6.5 不良地基处理施工要求

6.5.1 施工前应按照勘察资料和设计文件,对不良地基进行处治。

6.5.2 应做好施工测量放线,对地表进行处理。

6.5.3 施工过程产生的废料弃渣应集中处理,禁止随意倾倒。

6.5.4 不良地基处理施工应参照现行行业标准《公路路基施工技术规范》JTG/T 3610 的相关规定。

6.6 边坡防排水施工

6.6.1 支架排水结构应按照设计要求安装,做好防锈防腐措施,连接处紧密。

6.6.2 施工时不应扰动边坡的原有排水工程,对于排水工程有损坏的,应参照现行行业标准《公路路基施工技术规范》JTG/T3610 中的相关内容,进行修复。

7 监控要求

7.1 应配备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。

7.2 应配备远程实时视频路控系统，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 30d。

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

7.4 应布设变形计、地表变形监测设备、土壤含水率监测仪以及气象站，实时监测边坡状态。采用 InSAR 技术对地表变形进行定期监测，监测频率以半年一次为宜。

8. 运营管理

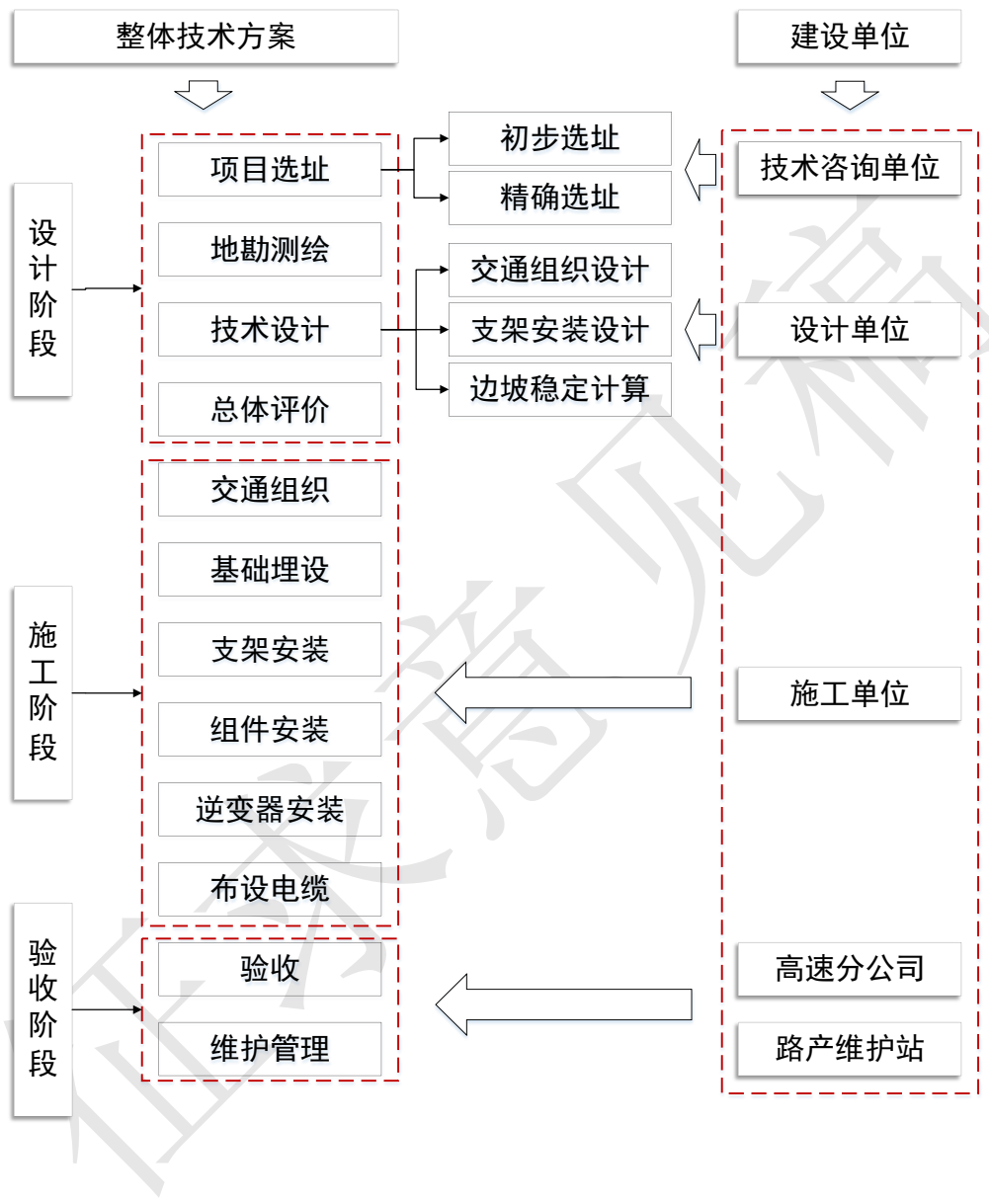
8.1 边坡光伏发电工程应有建设单位及所在路段的管理公司进行维护，采用人工巡检、视频监控方式进行定期维修养护。

8.2 日常巡检主要包含对边坡防护工程记录、光伏发电工程结构完好程度记录。

征求意见稿

附录 A

公路边坡光伏发电工程建设的组织结构计建设流程



附录 B

全国不同地区标准日照时长对照表

类别	标准日照时长/h	主要地区
1	8.7~9.0	宁夏北部、甘肃北部、新疆南部、青海西部、西藏西部
2	8.2~8.7	河北西北部、山西北部、内蒙古、宁夏南部、甘肃中部、青海东部、西藏东南部、新疆南部
3	6.0~8.2	山东、河南、河北东南部、山西南部、新疆北部、吉林、辽宁、云南、陕西北部、甘肃东南部、广东南部、福建南部、江苏北部、安徽南部、黑龙江、台湾东北部
4	3.8~6.0	湖南、湖北、广西、江西、浙江、福建北部、广东北部、陕西南部、江苏南部、安徽南部、黑龙江、台湾东北部
5	2.7~3.8	四川、贵阳

附录 C

全国主要城市光伏支架推荐倾角

城市	纬度 φ (°)	独立系统推荐倾角 (°)	并网系统推荐倾角 (°)
哈尔滨	45.68	$\varphi+3$	$\varphi-3$
长春	43.9	$\varphi+1$	$\varphi-3$
沈阳	41.7	$\varphi+1$	$\varphi-8$
北京	39.8	$\varphi+4$	$\varphi-7$
天津	39.1	$\varphi+5$	$\varphi-3$
呼和浩特	40.78	$\varphi+3$	$\varphi-3$
太原	37.78	$\varphi+5$	$\varphi-6$
乌鲁木齐	43.78	$\varphi+12$	$\varphi-3$
西宁	36.75	$\varphi+1$	$\varphi-1$
兰州	36.05	$\varphi+8$	$\varphi-9$
银川	38.48	$\varphi+2$	$\varphi-2$
西安	34.3	$\varphi+14$	$\varphi-5$
上海	31.17	$\varphi+3$	$\varphi-7$
南京	32	$\varphi+5$	$\varphi-4$
合肥	31.85	$\varphi+9$	$\varphi-5$
杭州	30.23	$\varphi+3$	$\varphi-4$
南昌	28.67	$\varphi+2$	$\varphi-6$
福州	26.08	$\varphi+4$	$\varphi-7$
济南	36.68	$\varphi+6$	$\varphi-2$
郑州	34.72	$\varphi+7$	$\varphi-3$
武汉	30.63	$\varphi+7$	$\varphi-6$
长沙	28.2	$\varphi+6$	$\varphi-6$
广州	23.13	$\varphi+0$	$\varphi-1$
海口	20.03	$\varphi+12$	$\varphi-3$
南宁	22.82	$\varphi+5$	$\varphi-4$
成都	30.67	$\varphi+2$	$\varphi-8$
贵阳	26.58	$\varphi+8$	$\varphi-8$
昆明	25.02	$\varphi+0$	$\varphi-1$
拉萨	29.7	$\varphi+0$	$\varphi+2$

附录 D

边坡防护工程评价内容

评价内容	防护类型	防排水工程	坡面损坏程度	边坡稳定性系数
评价标准	宜选择坡面防护工程段落	地表和地下排水设施完好，或有局部损坏，修复后使用功能不受影响	坡面完整，无空洞，无剥落现象，或有局部损坏，修复后不影响其功能	边坡稳定性系数满足现行行业规范JTGT 3610的要求

附录 E

全国光照资源区划分

I类	宁夏，青海省海西州，甘肃嘉峪关、武威、张掖、酒泉、敦煌、金昌，新疆哈密、塔城、阿勒泰、克拉玛依，内蒙古（除赤峰、通辽、兴安盟、呼伦贝尔外）
II类	北京，天津，黑龙江，吉林，辽宁，四川，云南，内蒙古赤峰、通辽、兴安盟、呼伦贝尔，河北承德、张家口、唐山、秦皇岛，山西大同、朔州、忻州，陕西榆林、延安，青海、甘肃、新疆除I类外其他地区
III类	除I类、II类外的其他地区

附录 F

选址指标与权重分配

序号	选址指标	说明	权重 w
1	光照条件 X_1	拟建场地的光照时长、辐射量是否满足发电需求	0.122
2	并网条件 X_2	边坡所处位置是否具有良好的并网条件	0.097
3	地形条件 X_3	边坡的坡度和坡向是否满足发电需求	0.125
4	工程防护条件 X_4	现有工程防护形式是否稳定完好，可否满足光伏结构荷载要求	0.096
5	地质脆弱性 X_5	地基条件是否满足光伏结构基础安装需求，地质灾害易发区域对建设场地影响	0.102
6	植被生长条件 X_6	拟建场地的植被类型、覆盖情况，是否会对光伏板造成遮挡	0.073
7	建设难度 X_7	拟建场地是否具备充足的施工空间、满足基本施工器械进场需求	0.099
8	安全条件 X_8	拟建场地的交通量情况，施工期间安全防护是否到位，以及后期眩光影响交通情况	0.121
9	气候条件 X_9	拟建场地温度变化、风力特征、降雨降雪情况	0.075
10	经济因素 X_{10}	拟建场地的建设规模，投入与产出情况是否合理	0.090

附录 G

选址指标评分赋值参考

选址指标	评分依据		评分赋值参考
光照条件 X_1	日光照时长<4h		25
	4~8h		50
	>8h		75
并网条件	距离远		25
	距离适中		50
	距离近		75
地形条件	坡度大、朝向不好		25
	坡度适中，朝向一般		50
	坡度缓，朝向良好		75
工程防护条件	防护措施失效		25
	防护措施一般		50
	防护措施完好		75
地质脆弱性	岩土性质差，灾害易发生		25
	岩土性质一般，灾害不易发生		50
	岩土性质好，灾害难发生		75
植被生长条件	植被覆盖率高		25
	植被覆盖率一般		50
	植被覆盖率低		75
建设难度	作业面积小，施工困难		25
	有一定作业面积，可以勉强实施		50
	作业条件好，可以顺利实施		75
安全条件	车流量大，车道数量少且地形狭窄		25
	车流量一般，车道数量 ≥ 2		50
	车流量少，车道数量多		75
气候条件	南方	北方	
	降雨量大	风沙大，降雨少	25
	降雨量适中	风沙一般，降雨一般	50
	降雨量小	风沙小，降雨多	75
经济因素	利润率<0%		25
	利润率0%~20%		50
	利润率>20%		75

本规程用词说明

本细则执行严格程度的用词，采用下列写法：

- 1 表示很严格，非这样做不可的用词，正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；
- 2 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”；
- 3 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”；
- 4 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。