

地基处理及基础防护

输电线路工程经过的地区比较广泛，地形地貌、地层结构、地质条件和周围环境情况也是多种多样的，不同的区域有各自的特点，所以在工程设计中，需要针对其具体的地质特点采取不同的处理措施。

一、特殊地基的处理

1.1 软土地基的处理

1.1.1 软土的特征

软土包括淤泥及淤泥质土，泥炭、呈软塑与流塑状态的粉土和分支粘土、松散的粉细砂等天然土层、以及初始回填时未经夯实的、或者已含有大量腐殖质土料回填的杂填土、土质软弱和龄期较短的充填土等人工填土在内。

软土一般有以下基本特征：①由细粒土组成；②天然含水量大；③孔隙比大；④压缩性高；⑤强度低；⑥具有灵敏结构。

1.1.2 软土地基的处理方法

由于地基基础和上部结构是共同工作的一个整体，因此，在软土地基的处理上要从基础和地基两方面入手。

对于软土地基处理的方法很多，主要有排水固结法、砂桩法、石灰桩法、换土垫层法、高压喷射法、深层搅拌法等。

对于基础来讲，应尽量减少结构对软弱地基的附加应力，减小基础埋深，降低地基变形，因此宜选用底板较大的基础（如柔性大板基础）或采用灌注桩基础穿越软弱层。

对于软弱层较浅，特别是在相对大板基础软弱层太深、而相对于桩基础软弱层又太浅的情况，需要进行地基处理。对铁塔基础而言，一般的处理方法常采用换土垫层法，具体设计时，可根据基础埋深和软弱层厚度进行经济比较，选择合理的处理方式。

1.2 红粘土地基的处理

1.2.1 红粘土的特征

红粘土是热带、亚热带湿热特定气候条件下，岩石经历了不同程度的红化作用而形成的一种含较多黏粒，富含铁铝氧化物胶结的红色黏性土、粉土，虽然空隙比较大、含水较多，但却常有偏低的压缩性和较高的强度，是一种区域性

特殊土。

红粘土一般有以下基本特征：①液限较大、含水较多，饱和度常大于 80%，土常处于硬塑至可塑状态；②空隙率变化范围大；③强度变化范围大，一般较高，C 值一般 10~60kPa， ϕ 值 10~30°或更高；④膨胀性极弱；⑤浸水后强度降低，湿化崩解明显。

1.2.2 红粘土地基的处理方法

红粘土地基具有强度低压缩性大和明显的触变性等不良特性，对结构危害很大，因此在设计和施工中都应该给以充分的重视，并根据实际情况因地制宜地处理，以提高其强度，减少其压缩性，改善其稳定性。

红粘土由于具有“上硬下软”的地质特性，据已有的工程经验，地基处理方法一般采用换土垫层法，基础一般采用大板基础和桩基础，若采用大板基础尚应验算下卧层。

1.3 岩溶地基处理

对于岩溶地基需要注意以下几个方面：

(1)在工程设计的各个阶段中应采用工程地质测绘和调查、物探、钻探等多种手段相结合的方法进行岩溶勘探，为工程选线和基础设计提供依据和参数，让线路塔基尽可能避开岩溶发育区。

(2)对于岩溶区塔基，应综合采用定性分析和定量分析相结合的方法对岩溶塔基进行稳定性分析和评价。根据洞穴形态及顶板完整程度，可将顶板岩体视作梁、板、拱、壳等自承重结构进行结构力学分析和验算。

(3)岩溶区基础设计时应根据岩溶形态、岩溶大小及围岩性质选择合适的基礎型式，并对岩溶区地基承载力进行验算，以保证岩溶区基础的稳定和安全。

(4)岩溶地基基础施工时，应根据岩溶形态、岩溶大小和地下水情况采取小范围移位、挖填、灌填、梁板跨越、洞内支撑柱（墙）、疏导地表和地下水等处理措施，对小型溶洞、溶槽进行处理。

(5)对于岩溶输电塔基应按“动态设计、信息化施工”进行设计，对洞室地基和杆塔基础在施工过程中设点实时监测、及时反馈，设置常驻工代积极配合施工单位做好岩溶地基的现场处理和基础方案调整。

1.4 湿陷性黄土

1.4.1 湿陷性黄土的特征

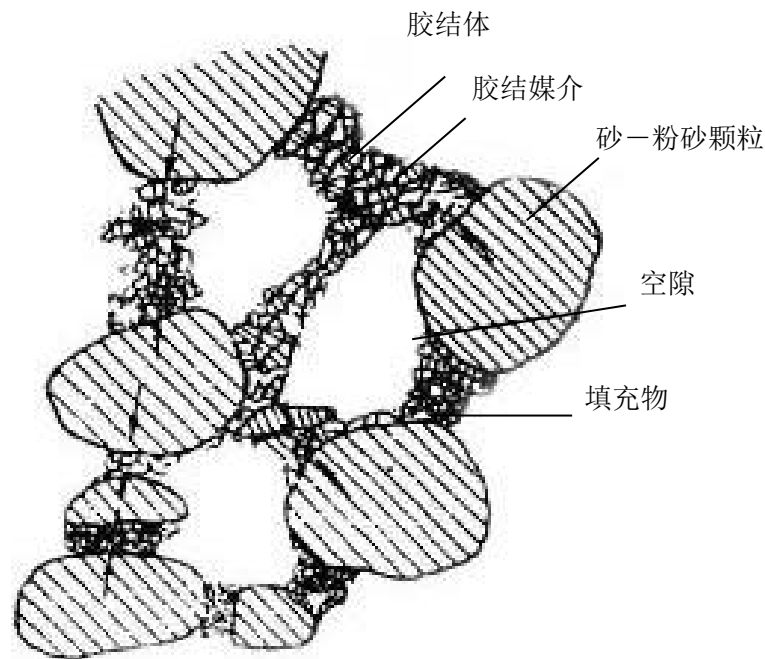


图 1.4-1 黄土微观结构示意图

黄土是第四纪以来，在干旱和半干旱地区，由于不同的动力作用所沉积的以粉土颗粒为主、多孔隙、多含钙质土。中国是世界黄土分布面积最广的国家，面积约 64 万平方公里，约占我国陆地总面积的 7%。西北黄土高原的黄土堆积更是由于其地层连续完整、分布广泛、深度大而在世界上所独有。它连续分布在甘肃中部和东部、宁夏南部、陕西北部和中南部、山西和河南的西部以及其他北纬 $33^{\circ} \sim 47^{\circ}$ ，东经 $75^{\circ} \sim 127^{\circ}$ 之间的黄河中游一带地区。覆盖整个地球陆地面积约 9.3%，其中具有湿陷性的黄土面积达 45 万平方公里，西北黄土高原湿陷性黄土面积达 35 万平方公里。

黄土不同于粘性土，其容重小，无层理，主要颗粒成分为粉土，大孔构造发育，孔隙度高。黄土的结构特性是较粒度、密度、湿度等描述土的常规物理性质中更为重要的一个方面，它是指黄土的骨架颗粒成份、形态、排列方式、孔隙特征、胶结物种类以及胶结程度等因素，这些因素对黄土的工程性质有较大的影响。黄土的结构是在形成黄土的整个历史过程中造成的，干旱和半干旱气候是黄土形成的必要条件。原状黄土颗粒间一般是点接触，但也有少数的面胶结方式。黄土

中的孔隙包括根洞、虫孔、裂隙之类的大孔隙，骨架颗粒相互支架构成的中孔隙，以及粘粒间的孔隙和存在于土体内起骨架作用的集粒内的孔隙所构成的微孔隙。按照上面的定义，黄土的结构可视为一个由单粒、集粒或凝块等骨架单元共同形成的空间结构体系，它的单元形态确定了力的传递性能和土的变形性质；它的连接方式确定了土的结构强度；它的排列方式确定了土的稳定性。单粒点接触、架空空隙占优势的结构湿陷性大；集粒或凝块面接触，粒间间隙占优势的结构湿陷性小。

湿陷性黄土的主要特征，可归纳如下：

- 黄色是基本色调，通常为黄褐、褐黄、灰黄、棕黄等颜色；
- 含盐量较大，特别是碳酸盐含量尤为突出，另外硫酸盐、氯化物等含量也都比较高；
- 矿物组成主要为石英、粘土矿物等。粘土矿物以伊利石为主。化学成分中出 SiO_2 ， Al_2O_3 ，碱土金属钙镁含量都较高；
- 粉土颗粒含量较多，我国湿陷性黄土粉土颗粒(0.05~0.005mm)一般占 55%~60%；
- 一般具有大孔性，大孔隙常常肉眼可见。孔隙比常在 1.0 左右，呈松散结构状态；
- 在天然剖面上，具有垂直节理；
- 具有湿陷性。

本地区湿陷性黄土的物理力学指标详见《湿陷性黄土地区建筑规范》（GB 50025—2004）中表 A “湿陷性黄土的物理力学指标”。

1.4.2 湿陷性黄土的分类

黄土的湿陷性是指：黄土在一定的压力作用下受水浸湿，土结构迅速破坏而发生显著附加下沉的性质。根据受力条件的不同，湿陷性黄土地基或场地分为自重湿陷与非自重湿陷两种类型。

（1）自重湿陷。当湿陷性黄土地基或场地浸水后，没有任何外部的附加荷载，仅在地基土的自重压力作用下发生湿陷的，称为自重湿陷性黄土地基或场地；

（2）非自重湿陷。黄土地基或场地需要有一定的附加荷载作用，浸水才能发生湿陷的，叫非自重湿陷性黄土地基或场地。

另外，可根据自重湿陷量与湿陷量的不同，对湿陷性黄土进行等级划分,详见下表：

表 1.4-1 湿陷性黄土地基的湿陷等级

湿陷类型	非自重湿陷性等级	自重湿陷性等级	
$\Delta z_s(\text{mm})$ $\Delta s(\text{mm})$	$\Delta z_s \leq 70$	$70 < \Delta z_s \leq 350$	$\Delta z_s > 350$
$\Delta s \leq 300$	I (轻微)	II (中等)	—
$300 < \Delta s \leq 700$	II (中等)	* II (中等) III (严重)	III (严重)
$\Delta s > 700$	II (中等)	III (严重)	IV (很严重)
* 注：当湿陷量的计算值 $\Delta s > 600\text{mm}$ 、自重湿陷量的计算值 $\Delta z_s > 300$ 时，可判为III级，其他情况可判为II级。			

其中： Δz_s ：自重湿陷量的计算值，即采用室内压缩试验，根据不同深度的湿陷性黄土试样的自重湿陷系数，考虑现场条件计算而得的自重湿陷量的累计值。

Δs ：湿陷量的计算值，即采用室内压缩试验，根据不同深度的湿陷性黄土试样的湿陷系数，考虑现场条件计算而得的湿陷量的累计值。

1.4.3 湿陷性黄土对线路影响

- 地基的压缩变形和湿陷变形，引起地基的不均匀沉降；
- 对基础抗拔和抗倾覆稳定性的影响；
- 在斜坡立塔时，黄土的崩塌、滑塌会危及塔基的稳定。

1.4.4 湿陷性黄土地基的处理

湿陷性黄土地基的处治包括地基处理、防水措施和结构措施共三个方面。通过防水处理和选择合适的基础型式，降低基底的附加应力，保证基础底部地基土不产生湿陷。

目前湿陷性黄土地基处理方法主要有五种：①土垫层法；②夯实（强夯）法；③土（灰土）桩挤密法；④化学处理法；⑤桩基础法。

根据送电线路施工的特点，由于线路工程具有距离长、跨区域广、铁塔分散、交通不便的特点，大型机具的运输困难，因此，结合送电线路设计、施工的经验，主要推荐灰土垫层法进行地基处理。

- 灰土垫层的配置

• 灰土垫层是在土中混合一定比例的石灰后，再分层铺土并（夯）压实，处理后的土层作为地基的受力垫层。灰土掺和比一般为 2：8，在本工程基础负荷大、自重性湿陷强烈、地表水或渗水丰富的塔位，推荐灰土掺和比 3：7。要求夯实后的干容重不小于 15kN/m³。

- 灰土垫层的厚度

由于送电线路基础负荷同建筑、道路等不同，建筑和道路主要产生的是下压荷载，并且荷载非常大，而杆塔结构的基础既承受下压荷载，又承受上拔荷载和水平荷载，但铁塔产生的下压力比起建筑荷载来说小得多。根据以往工程设计经验，基础底板以下 3.0m 处的地基应力经扩散后已衰减得很小了。由于送电线路没有专门的湿陷性黄土地基处理规范，参照《湿陷性黄土地区建筑规范》（GB 50025-2004），结合工程的实践经验确定垫层厚度。灰土垫层厚度达到底板宽度的 0.7-1.0 时，就可以消除 95% 以上的湿陷量，足以满足工程需要。一般直线塔垫层厚度取 1.5-2.0m，转角塔取 2.0-2.5m。

- 灰土垫层的宽度

土垫层的宽度公式计算：

$$B = b + 2 \times (h \times \text{tg}\theta + C)$$

B—处理土垫层宽度

b—基础底板宽度

h—基础土垫层深度

θ —垫层的压力扩散角。一般为 22-30°，素土垫层取低值；灰土垫层取高值

C—考虑施工因素影响的增加宽度，一般取 0.2m

根据上述公式计算出垫层宽度 B，并保证 $h \times \text{tg}\theta + C > \frac{h}{2}$ 且不小于 0.5m。

垫层伸出宽度直线塔取 0.8-1.2m，转角塔取 1.5-2.0m。转角塔的内角侧垫层的厚度和宽度适当加大。

表 1.4-2 各型基础基底综合应力表

基础埋深 (m)	4.2	4.6	4.7	6.4	6.7	7.0
底板宽 (m)	2.4	2.6	2.7	3.6	3.8	4.0
垫层宽 (m)	4.0	4.6	4.7	6.6	6.8	7.5
垫层厚 (m)	1.5	1.8	2.0	2.5	2.5	2.5
混凝土 (m³)	3.8	5.0	5.6	12.1	13.9	16.4
垫层体积 (m³)	24.0	38.1	44.2	108.9	115.6	140.6
附加应力 P_z (kN/m²)	43.8	41.5	40.6	39.7	41.0	44.2
土及垫层应力 P_{cz} (kN/m²)	110.7	124.9	127.5	182.2	186.3	200.8
综合应力 (P_z+P_{cz}) (kN/m²)	154.5	166.4	168.1	221.9	227.4	245.0
修正应力特征值 f_{az} (kN/m²)	224.0	238.7	245.0	295.4	303.1	310.8

表 1.4-2 为某工程各塔型标准呼高下基础和灰土垫层材料量，从表中计算得出，垫层底面的综合应力远小于修正应力特征值，即：

$$P_z + P_{cz} < f_{az}$$

P_z+P_{cz} —垫层底面综合应力

f_{az} —垫层底面地基修正应力特征值

上式满足《湿陷性黄土地区建筑规范》(GB50025-2004)地基处理后应力要求，说明本工程推荐的垫层宽和厚是合理的。

• 防水层的设置

黄土湿陷的外因是水，水分为自然降水、黄河灌溉水和渗水，尽管该地区干旱少雨，自然降水影响深度有限，一般正常塔位的地方，自然降水的浸湿深度不超过 1.0m，远小于铁塔基础的埋深，但当塔位附近有水利设施如水渠、机井时就要考虑生活、生产用水，因此在处理地基土的同时，在这些塔位应设置防水层。防水层一般设置在地面以下 0.5m 处，采用 2：8 的灰土回填夯实，回填厚度取 0.5m。

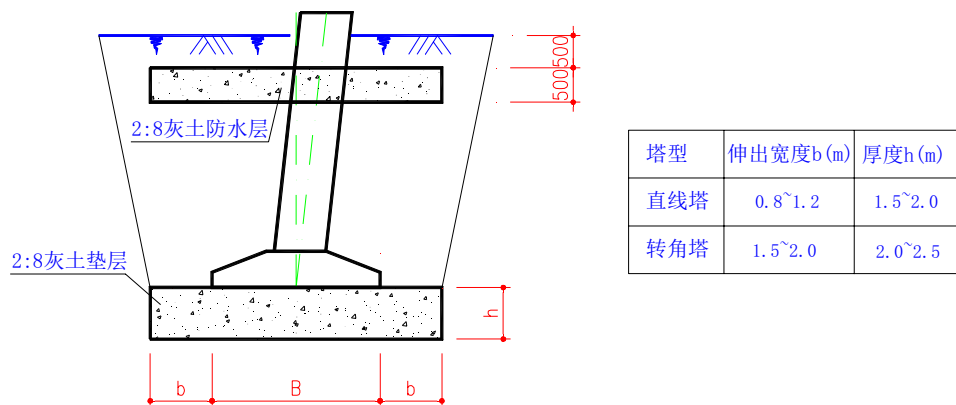


图 1.4-2 灰土垫层及防水层示意图

• 基面处理

基坑回填应分层夯实，基面平整。对平地塔位，地基表明做成龟背形；在斜坡的塔位，基面应向下坡方向倾斜，利于基面散水外流，保证塔基排水畅通。

1.4.5 湿陷性黄土基础型式

在湿陷性黄土地区推荐的主要基础型式柔性斜柱基础、掏挖基础、阶梯基础、大板基础和桩基础。

• 柔性斜柱基础

通过以往的计算比较采用柔性斜柱基础的混凝土方量最小，综合造价最低，且基底应力可通过调节底板尺寸很容易满足湿陷起始压力；通过在基础底板下作灰土垫层，不仅起到隔水作用，而且降低了湿陷压缩变形。

• 原状土掏挖基础

该基础型式由于不采用大开挖，对地基土基本不破坏。从有关工程实验数据得出，原状土比回填土浸湿深度小。在降水量少、无灌溉水的III级及以下湿陷性黄土地区使用，减少了灰土垫层工程量，对抵抗黄土湿陷非常有效。基础表面应做好防渗措施。

在一些地下水位高、地形条件较差或湿陷型剧烈的塔位，将因地制宜采用阶梯基础、大板基础和桩基础。

1.5 膨胀土地基处理

膨胀土是指粘粒成分主要由强亲水性矿物组成，并具有显著胀缩性的粘性土。实践证明，这种土有吸水膨胀、失水收缩并往复变形的性质，对建筑物尤其是轻型建筑、路基等都有破坏作用，并且不易修复。

经过多年对膨胀土研究成果并结合我国实际的运用,总结出了几种比较经济的膨胀土地基处理方法。

1) 增大基础埋深

在季节分明的湿润区和亚湿润区,地基胀缩属中等或中等偏弱的平坦地区,可用增大基础埋深作为主要的防治措施。经过多年对膨胀土地区的实验观测得出,在这些地区的大气影响急剧层深度(有效埋深)一般均在 1.5m 左右,基础埋深在大于 1.5m 的土层上,这时,因土层含水量变化不大或趋于稳定,所以地基胀缩变形通常在允许的范围内。因地形地貌条件的差异以及土层胀缩性能的差异等因素,其大气影响急剧层的深度也稍有不同,所以在确定具体埋深时应参考具体情况。

2) 桩基础

在大气影响深度较深、基础埋深较大、普通大开挖基础施工有困难或不经济时,可选用桩基础。但在膨胀土中的桩基础设计除满足有关规范、规定外,还应符合有关膨胀土中的要求。

3) 换 土

在较强或强膨胀土层出露较浅或对不均匀变形有严格要求时,可采用非膨胀性的粘性土、砂、碎石、灰土或砂渣石灰等置换膨胀土,以减少地基的胀缩变形量。垫层厚度宜采用基础宽度的 1~1.2 倍,一般不小于 0.3m,垫层宽度宜采用 1.8~2.2 倍基础宽度,一般两边宽出基础外缘 0.2m,并做好防水处理,使雨水不灌进砂石层内。

4) 宽散水

宽散水不仅其宽度比一般散水大,且有保温隔热层及不透水层的垫层,因此它具有防水保湿及隔热的作用。适用于弱或中等胀缩性地基。宽散水与基础的有效埋深可综合采用。

在晋东南-南阳 1000kV 交流输电线路工程中经勘察南阳地区和襄樊地区为 III 级膨胀土,在平坦场地上,大于大气影响急剧层深度 1.61m,可用增大基础埋深作为主要的防治措施。由于 1000kV 输电线路荷载较大,基础埋深均远超过大气影响急剧层深度 1.61m,因此在基础设计时可不考虑膨胀土的影响,按正常基础设计就可以。若在终勘定位时发现大气影响急剧层深度大于 1.61m,一般也不会

超出很大，只要基础埋深大于实际大气影响急剧层深度即可。

1.6 沙漠化地基

1.6.1 沙漠化地基的分布和特征

风沙活动对输电线路工程的危害主要有：

（1）沿线风沙危害主要集中在塔基附近，表现为风沙堆积和风蚀，风沙活动对塔基的掏蚀是最大危害。

（2）沿线为低风能活动区，风蚀对杆塔构件和导、地线的磨损较弱。

（3）风沙电只有在极端的强沙尘暴事件中才会出现，取决于大区域的天气过程，与其他路径方案区别不大。

1.6.2 基础设计

1.6.2.1 基础下压稳定计算

基础下压稳定计算按现行《送电线路基础设计技术规定》相关规定和公式计算，但必须注意以下几点：

（1）基础底面正上方土的重力 G_0 应考虑风沙活动或沙丘移动所引起的土体重力的变化。

（2）当底板宽度大于 3.0m 或基础埋深大于 1.5m 时，根据现行《送电线路基础设计技术规定》的规定并结合以往沙地线路工程的设计经验，粉细沙基础宽度修正系数 m_B 取 2.0,埋深修正系数 m_h 取 2.5,地基基本容许承载力[R]一般取 120—150kPa。

1.6.2.2 基础上拔稳定计算

根据相关工程研究结果，基础上拔稳定计算采用“土重法”。计算容重 γ_0 按现行规定取 15—16kN/m³，根据专题分析，本工程沙丘地带基础的计算上拔角 α 可以按 15°取值，基础临界埋深 h_c 取底板宽度的 1.5 倍。

1.6.2.3 基础型式

沙地地质条件决定了采用原状土掏挖基础比较困难，，因此推荐采用混凝土耗量少的斜柱式基础，在局部地下水较浅的地段可以采用混凝土台阶基础。

1.6.2.4 塔基固沙措施

目前，常用的固沙方法主要有三种：植物固沙；工程固沙；化学固沙；根据工程沙丘段沿线的具体情况，对沙漠化严重的塔基可采取植物固沙和工程固沙相

结合，处理措施可采用以下几种途径：

- (1) 改变地基土性质，即采用大粒径材料或黏性土改变地基性质等；
- (2) 降低风速，即采取草方格等进行风蚀、风积防护；
- (3) 覆盖地基隔绝风沙活动，即使用不易风蚀材料如砾石、草皮等将地基完全覆盖。

- 黏土防护

在基面整个保护范围内，将黏土平铺于地基上，厚度 500—600mm，埋入沙丘一部分，加水夯拍密实。在有条件的情况下，也可以在覆土内植草。

- 草方格防护

草方格防护工程应用已非常成功，在立塔和架线完工后，将地基完全采用麦草或芦苇方格固定，其规格为 $1\text{m} \times 1\text{m}$ ，草头出露高度为 200—300mm。

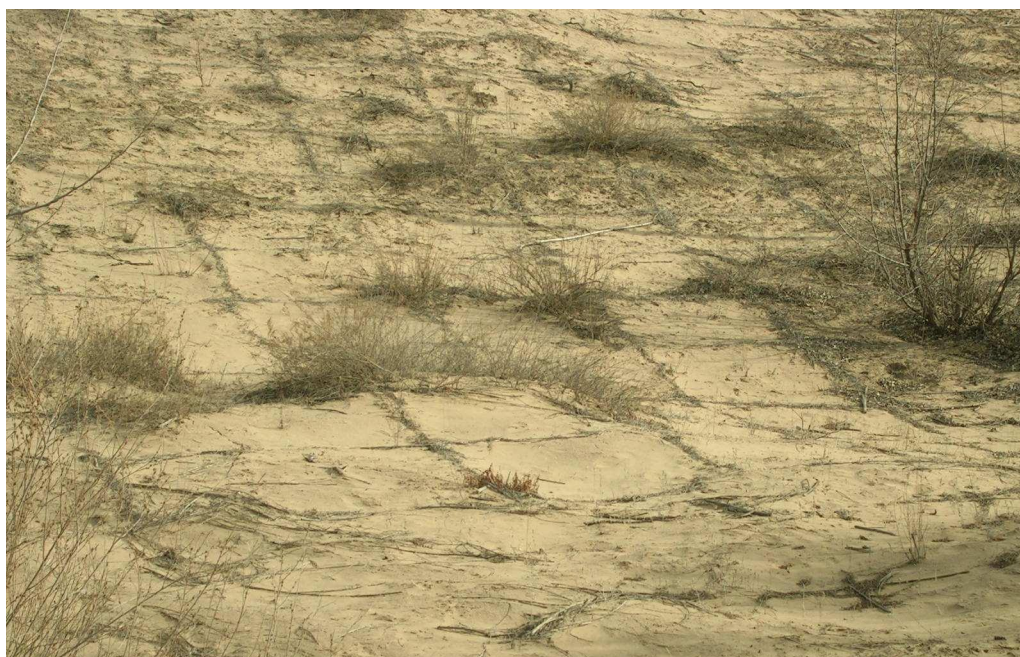


图 1.6-1 草方格治沙

- 砾石防护

将砾石平铺在塔基周围，厚度 50—150mm，覆盖面积根据铁塔根开而定，但不得小于 $35\text{m} \times 35\text{m}$ 。

1.7 盐渍土基础处理

1.7.1 盐渍土的危害

对于上部地基土为盐渍土，碎石类地基土可不考虑盐胀性和溶陷性，粉细砂地基土可不考虑盐胀性但应考虑溶陷性。地层中含有石膏和盐(NaCl)，随该段地

下水位埋藏较深，但是一旦有降水，将在水中溶解大量 SO_4^{2-} 及 Cl^- 离子，对基础造成腐蚀。

1.7.2 防治处理措施方法

1.7.2.1 防水措施

(1) 做好场地的竖向设计，避免大气降水、洪水、工业及生活用水、施工用水浸入地基；防止土中含水量的过大变化及土中盐份的有害运移，引起盐份向施工场地及土中富聚，而造成施工材料的腐蚀及盐胀；

(2) 绿化带与建筑物距离应加宽，严格控制绿化用水，严禁大水漫灌。

1.7.2.2 防腐措施

(1) 采用耐腐蚀的施工材料，并保证施工质量，一般不宜用盐渍土本身作防护层；

(2) 割断盐分与施工材料接触的途径。对基础的干湿交替区和弱、中、强盐渍土区，可视情况分别采用常规防水、沥青类防水土层、沥青或树脂防腐层作外部防护措施；

(3) 对强和超强盐渍土地区，基础防腐应在卵石垫层上浇 100mm 厚沥青混凝土，基础浇筑完后，外部先刷冷底子油一度、再刮沥青两度或贴二毡三油沥青卷材，外部回填土应用盐渍土回填分层夯实。

1.7.2.3 防盐胀措施

(1) 清除地基表层松散土层及含盐量超过规定的土层，使基础埋于盐渍土层以下，或采用含盐类型单一和含盐低的土层作为地基持力层或清除含盐多的表层盐渍土而代之以非盐渍土类的粗颗粒土层（碎石类土或砂土垫层），隔断有害毛细水的上升；

(2) 铺设隔绝层或隔离层，以防止盐分向上运移；

(3) 采用降排水措施，防止水分在土表层的聚集，以避免土层中盐分含水量的变化而引起盐胀。

1.7.2.4 地基处理措施

(1) 采用垫层、重锤击实及强夯法处理浅部土层，可消除基土的湿陷量，提高其密实度及承载力，降低透水性，阻挡水流下渗；破坏土的原有毛细结构，阻隔土中盐水的向上运移；

(2) 厚度不大或渗透性较好的盐渍土，可采用浸水预溶，水头高度不应小于 30 cm，浸水坑的平面尺寸，每边应超过拟建塔基边缘不小于 2.5m；

(3) 盐渍土边坡的坡度宜比非盐渍土的软质岩石边坡适当放缓；对软弱夹层破碎带及中、强风化带应部分或全部加以防护。

1.7.2.5 施工措施

(1) 做好现场排水、防洪等，防止施工用水、雨水流入地基或基础周围，各种用水点均应离基础保持 10m 以上距离；防止发生施工排水及突发性山洪浸入地基；

(2) 先施工埋置较深、荷重较大或需采取地基处理措施的基础。基坑挖好后应及时进行基础施工，完后及时回填，认真夯实填土；

(3) 换土地基应清除含盐的松散表层，应用不含有盐晶、岩块或含盐植物根茎的土料分层夯实，并控制夯实后的干密度不小于 1.55t/m³（对粘土、粉土、粉质粘土、粉砂和细砂）~1.65 t/m³（对中砂、粗砂、砾石、卵石）；

(4) 配制混凝土、砂浆应采用防腐蚀性较好的火山灰水泥、矿渣水泥或抗硫酸盐水泥；水应注意不使用 Ph≤4 的酸性水和硫酸盐含量按 SO₄²⁻计超过 1.0% 的水。

针对本工程的实际情况，还可采取以下措施：

- 弱、中腐蚀区段的基础加大水泥用量和混凝土的保护层厚度；
- 强腐蚀区段可考虑在非灌注桩基础表面涂刷防腐涂料 HCPE(高氯化聚乙烯)；
- 将基础露头抬高 0.5-1.0m，塔腿 1.0m 内喷涂防腐涂料的方法，使塔腿钢结构免受盐渍土影响。

1.8 季节性冻土基础处理

冻土，一般是指温度在零度或零度以下，并含有冰的各种岩土和土壤，冻土是由矿物颗粒、冰、未冻水、气体等组成的多成分和多相体系。季节冻土 — 每年冬季冻结，夏季全部融化；

季节性冻土属于不良工程地质条件，土体冻结时，引起土体体积不均匀膨胀，受约束土体就要对基础产生力的作用，这种力就称为土的冻胀力。冻胀力与基础的相互作用关系将作用在基础上的冻胀力区分为切向冻胀力、法向冻胀力与水平

冻胀力（见图 1.8-1）。

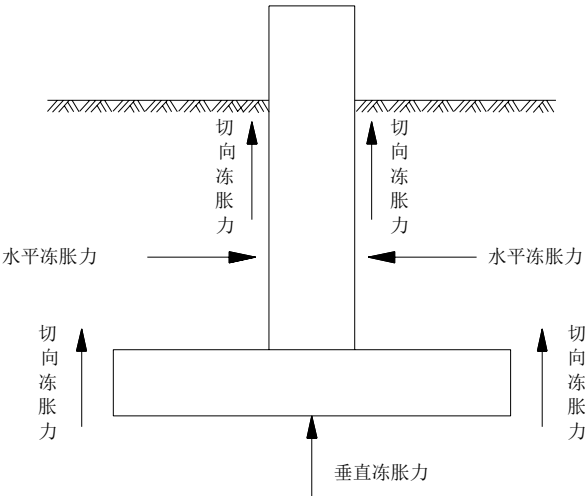


图 1.8-1 土的冻胀与基础的相互作用力

季节性冻土地基引起工程建筑物破坏的根本原因是冬季土壤冻结时所产生的冻胀作用，影响土的冻胀性因素很多，如土的颗粒组成、土的矿物成分、含水量、土体密度、土中温度及梯度等，但归纳起来主要有三个方面，即通常所说的土、水、温三大要素。

水分是土冻胀的首要条件，土中水分的多少是影响冻胀的基本因素。但并非所有含水的土体都产生冻胀，只有当土中水分达到一定界限后，才有冻胀现象的发生。

斜柱基础在季节性冻土地区，因土的冻胀，使斜柱基础在内角小于直角的基础一侧产生较大的非对称的基侧法向冻胀力，如图 1.8-2 所示。该力对基础的上拔稳定和基侧水平位移控制产生较大影响，一味采用斜柱基础，那么冻土的冻胀作用必然会给线路安全运行带来隐患。

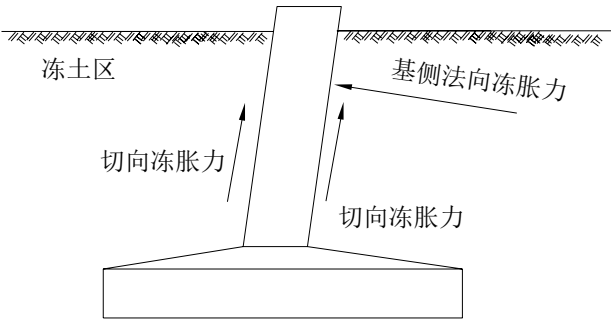


图 1.8-2 斜柱基础冻胀力示意图

对于冻土深且存在冻胀作用的地质地段，将主要采用直柱基础，对于虽有冻深，但不存在冻胀作用的地质地段，则可以采用斜柱基础。

为避免冻土给基础带来的影响，采用杆塔基础的埋深大于设计冻深的方法来消除基础底部法向冻胀力，直柱基础在不冻土中的桩土间摩擦(或冻结)阻力，平衡冻土区域内作用于杆塔基础上的切向冻胀力，此外还可以采用换填非冻胀性材料、采用梯形斜面基础来消除切向冻胀力。水平冻胀力呈对称性，因对称等值荷载的作用直柱基础效果等于零，作用于斜柱基础效果不等于零，产生不平衡力。所以对称水平冻胀力对直柱基础稳定性不产生影响。

1.9 砂土液化

根据《架空送电线路基础设计技术规定》(DL/T 5219-2005) 5.0.14 的规定，对大跨越杆塔及特殊重要的杆塔基础，当位于地震烈度为 7 度及以上的地区且场地为饱和砂土和饱和粉土时，或对 220kV 及以上的耐张型转角塔基础，当位于地震烈度 8 度以上时，均应考虑地基液化的可能性，并采取必要的稳定地基或基础的抗震措施。

终勘选定线时，对于具有砂土液化问题的地段宜尽量采用直线塔，如必须采用耐张转角塔，塔位应选在地势稍高、地下水位较深、地形平坦的地方，同时基础采用灌注桩基础，灌注桩的端部必须穿过砂土液化层。

1.10 压覆矿区地基基础方案选择

1.10.1 压覆矿区分类

压覆矿区分为探矿权区、计划开采区、现采区、老采区。

探矿权区和计划开采区在本包段压覆矿区中所占比例很大，这种情况地下矿藏没有被采动过，不会产生地质塌陷，与普通地质无异，可按正常基础设计即可。

现采区情况比较复杂，需要做大量的调查工作，包括矿层开发的范围、深度、厚度、方法、顶板管理等情况，虽然由于国家的明令要求，小型煤矿应关停，但仍未杜绝私挖乱采的现象，且调查起来难度极大，这方面是地质勘探、搜集资料的主要工作，此时线路应尽量选择地基稳定区域立塔。

老采区是一些停采时间较长的矿区，在开采活动结束后，老采区附近冒落岩块虽然承受了较大的岩层压力而产生压缩，但由于岩体结构的存在，采空区中的残留空洞和上覆岩层的离层、裂缝不可能被充分压实，一般其引起的地表移动变

形要经过初始移动期、移动活跃期、移动衰退期三个阶段，总称为地表移动期，若根据地表移动实测数据分析，连续 6 个月地表下沉累计不超过 30mm，可认为地表移动期结束，地层为稳定状态，在《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程》中有推荐估算地表移动期公式：

$$T=2.5H_0$$

H_0 为采空区平均采深(m)； T 为地表移动期(天)。线路应尽量通过已经过了地表移动期的老采区。

1.10.2 采空区对输电线路的影响

对于采空范围小、开采深度浅的压覆矿区，其地表变形剧烈，易产生较大的裂缝和陷落，破坏作用较大，但其影响范围一般较小，不会出现大面积的地表移动和变形，线路经过此地区时，可采用大档距跨越的方式避让。

对于采空范围大、开采深度大的压覆矿区，采空巷道上部的地表覆盖岩层，因失去平衡而发生大范围的移动和变形，形成地表移动盆地，根据其变形差异和特点，可分为均匀下沉区和不均匀变形区。均匀下沉区地表移动和变形呈连续和有规律状态，虽下沉值较大，但一般无明显裂缝，区内地表下沉均匀，地面平坦，在此区域架线或立塔，采取适当的结构处理措施，即可以满足线路安全运行的要求。不均匀变形区又称边缘区，位于采空区边缘，地表变形不均匀，变形种类多，其主要表现形式为：地面塌陷槽、塌陷漏斗、阶梯状塌陷盆地等，严重时要造成山体滑坡、岩壁崩塌等，线路在此区域立塔，轻则可造成基础倾斜、开裂、杆塔变形，重则造成基础沉陷、杆塔倾倒，严重影响线路的安全运行。

线路在煤矿采空区及其边缘通过时，宜采用对地基变形不敏感的基础形式。当线路通过时应采用相应的勘探方法，确定塔位处地层稳定性。另外，虽然目前线路已避开其它较大的煤矿区，但线路沿线仍可能有资料未保存的小煤窑，难以确定其开采位置及深度，在线路定位时应对可能有小煤窑的位置进行物探等工作以确定是否有地下采空区，对采空区宜避让。

1.10.3 采空区线路设计的处理措施

(1) 安全地带法

避开采空区或其中不稳定地段，选择离采空区一定距离的安全地带或采空区相对安全的地段立塔。

（2）采深采厚比法

采深采厚比法是从安全入手，除考虑采空区的顶板埋深外，还要考虑矿藏的开采厚度，并结合岩石性质、产状、完整程度、风化程度和开采条件等因素综合考虑：

当深厚比小于 40 时，采空区不宜立塔，除非塌陷已完成，地基土稳定；

当深厚比大于 200、采空区地表变形很小时，采空区可以立塔；

当深厚比在 40—200 之间时，应结合围岩强度、产状、完整程度、构造发育程度和开采条件等综合判定；

（3）预留矿柱法

对于计划开采区，当线路杆塔位置无法避让时，可与相关部门协商，采取预留矿柱法。

（4）停采或改变开采法

对于正在开采的小矿，可会同有关部门与当地政府协商停止开采。对于正在开采的大矿，若矿层埋藏较深、上部岩石较完整，预测可能发生地表变形而预留矿柱无法实现的塔位，可会同采矿部门和专业设计部门共同协商，由专业设计部门提出可靠的、确保满足塔位地基稳定的开采方法。

（5）地基处理法

洞体衬砌法，主要有：锚杆支护、洞壁衬砌和喷射混凝土支护等；

浅层地基处理法。采空区顶板埋深小或深厚比小于 40 的地区，对于已开采完毕还未发生塌陷的矿洞，可对影响塔基范围的矿洞进行填堵，保证其稳定性。对于裂缝、塌陷明显的采空已变形地段，判断其塌陷已基本稳定后，可采用压力注浆进行浅层地基加固，提高地基土的整体性，确保塔位地基不再发生过大变形；

深基础法。对于采空区埋藏深度特别浅（10-20m），已发生沉陷但尚未稳定的地段，可采用桩基础穿过塌陷层直到矿洞下部完整稳定的基岩上；

（6）结构处理措施法

对于现采区及老采区，结构措施处理法的前提是在地基处理方法难以实现或不能完全满足稳定要求，或采空区虽不受新建铁塔荷载的影响，但仍会受到其他因素如附近开采波及、采空区积水增减等的影响，致使地表出现少量的残余变形，可通过杆塔基础结构处理，保证地基少量变形后，对线路安全运行不产生较大影

响。处理方法是通过对基础结构设计，提高杆塔基础对地基变形的适应能力和发生地基沉降后杆塔基础的可调整或可修复能力。采空区自立式铁塔一般采用的措施有：

基础与塔脚需采用地脚螺栓连接，地脚螺栓外露有扣，长度加长 100～300mm，以备不均匀沉降发生后调整塔身复位；

为了抵抗由于地基沉降和基础位移给铁塔带来的附加内力，铁塔及地脚螺栓的强度要留有一定储备；

为防止 4 个基础相对不均匀沉降给铁塔带来的危害，采用第 4 节所述的筏型基础或大板基础，以便于地基沉降基础滑移后调整复位；

采用直柱柔性基础。其主要目的是为了配合底脚螺栓与铁塔连接及减轻基础自重。当塔基稍有倾斜和位移时，便于通过调整基础底板或塔脚板将塔身恢复就位；

1.11 滩地和分蓄洪区线路基础处理措施

根据以往输电线路工程的设计经验，线路在经过洪水冲刷和洪水淹没区时，应考虑由于水流对基础冲刷深度，漂流物对基础的作用的影响，基础设计时应适当加高基础主柱，加大基础埋深；对靠近溃堤口或分洪口水流速度较大的塔位，应设置防撞桩，防止漂流物对基础的冲撞。

二 基面综合治理

基面治理不仅是保证线路安全运行的重要措施，同时也是输电线路水土保持的一项重要内容。基面综合治理是针对山区线路铁塔按传统的方法确定基面所存在问题，采取相应的预防和治理措施，主要包括边坡处理和基面排水。

2.1 边坡处理

以往山区线路工程施工中，由于部分塔位基面未按相关要求处理，故在雨水冲刷、侵蚀下，易产生边坡剥落和坍方。山区铁塔基面边坡主要包括天然地形构成的自然边坡（如山坡、岸坡和斜坡等）和人工挖方形成的工程边坡。

边坡破坏主要表现为表层剥落和沟蚀、崩塌和坍塌、滑坡和滑移；不仅造成水土流失，破坏下山坡植被，而且危及塔基稳定，给电力安全运行带来隐患。

目前，山区基础边坡的主要处理措施包括**工程治理**、**生态治理**两大类。

2.1.1 工程治理措施

工程治理主要包括坡率法、浆砌块石、加筋挡土墙、抗滑桩、挂网锚喷。各种方法及与环境的适应情况如下表所列。

表 2.1-1 塔位边坡的工程治理方法

治理方法	适用范围	特点	环境适应性	线路工程应用情况
坡率法	(1) 适用于上陡下缓、坡后壁有稳定岩土边坡； (2) 常用于浅层滑坡；	施工简便、经济、安全可靠。但高度一般不超过 10m。	一般	多
浆砌块石	适用于土质或强风化岩质边坡。适用性强	施工简便，受雨水冲刷后砼易开裂；对护坡高度有限制	差	多
加筋挡土墙	适用于基岩和滑动面浅的浅层滑坡。	施工简便，破坏山体平衡少，收效快。但不适用于深层滑坡。	一般	少
抗滑桩	适用地形较缓的中深层滑坡。	可处治深层滑坡。但费用高，施工时间长。	一般	极少
挂网锚喷	(1) 适用于地形较陡、横向基岩不深的中浅层滑坡； (2) 在 15m 内应有锚固基岩。	施工较快，造价低，可处治中层滑坡。锚杆长度有限，不适用于深层滑坡。	较好	极少



坡率法



浆砌块石



挂网锚喷

图 2.1-1 治理措施的应用照片

2.1.2 生态治理措施

边坡生物处理是指利用植物，单独或与其它构件配合对边坡进行防护和绿

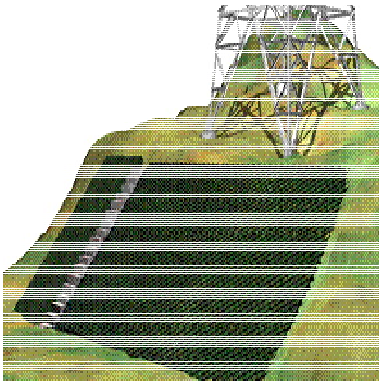
化、植被恢复的一种综合性技术。在线路工程中可采用的包括植被固坡、三维植被网和浆砌骨架植草护坡三种方式。

表 2. 1-2 护坡三种方式介绍

治理方法	适 用 范 围	特 点	环境适 应性	线路工 程应用 情况
植被固坡	开挖后风化严重的岩质边坡和坡面稳定的较高土质边坡	结合当地实际情况，采用适合当地生长的植被物种	好	较少
三维植被网	各类土质边坡强风化岩石边坡和土石混合边坡	活性植物并结合土工合成材料，形成植被网	好	较少
浆砌骨架植 草护坡	兼有浆砌块石护坡和植物护坡的优点	施工简便、经济、安全可靠。	好	较少



植被固坡



三维植被网



浆砌骨架植草护坡

图 2. 1-2 治理措施应用照片

2. 1. 3 护坡型式比较分析

选择输电线路常用的浆砌块石护坡与其他两种生态护坡进行比较分析，其经济技术指标表如下图所示：

表 2. 1-3 几种护坡形式经济性比较

护坡措施	厚度（mm）	单价(元/m ²)	造价比（%）	对环境的影响
------	--------	-----------------------	--------	--------

浆砌块石护坡	300	200	100%	大
块石骨架植被护坡	250	130	68%	小
三维网植被护坡	50	40	19%	小

从上表可以看出，植被护坡的经济性是十分明显的。线路工程中由于材料运输费用比例比一般工程要高的多，浆砌块石护坡的材料消耗量大，运输成本比例也会更高。所以在线路工程中应用植被护坡，经济性会更好。

尽管目前现行的设计、施工经验及生态养护技能有限，但是植被护坡是适应现代社会发展需要，并与环境保护相协调的一种有效方式，在电力线路建设中应逐步推广应用，特别是本文中介绍的植被护坡、三维网植被护坡和块石骨架植被护坡施工方法相对简单，易于学习掌握，因此在本线路工程中推荐采用植被固坡、三维植被网和浆砌骨架植草护坡进行基础边坡处理。

2.2 基面排水

通畅良好的基面排水，有利于基面挖方边坡及基础保护范围外临空面的土体稳定。塔位有坡度时，为防止上山坡侧汇水面的雨水、山洪及其他地表水对基面的冲刷影响，除塔位位于面包形山顶或山脊外，均需在塔位上坡侧（如果基面有降基挖方，距挖方坡顶水平距离 ≥ 4 米处），依山势设置环状排水沟，以拦截和排除周围山坡汇水面内的地表水。



图 2.2-1 现场排水沟成品照片

排水沟护壁问题可视塔位附近的地质情况区别对待，对土质含沙量较高、无粘性，或表层为强风化岩石、颗粒很松散、无植被或植被很稀疏地段的排水沟需

采取砌护壁的措施。需要指出的是：开挖排水沟的弃土，不得随意抛在沟边或塔位上方的坡顶；排水沟施工应与降基面、基坑开挖同步进行。

另一方面，在施工图设计时降基挖方的基面作出留有内高外低的排水坡度的规定，坡度一般为（0.5~1.0）%。基面排水坡度尽可能向基础保护范围大的缓坡方向倾斜，以便基面雨水从此方向排出，减缓雨水对塔基及下山坡山体表面的冲刷，利于水土保持。

边坡滑坡的防治

本包段山区塔位较多，需引起注意的特殊地基问题为边坡的滑坡。滑坡是一个复杂的地质作用过程，边坡失稳是输电线路边坡滑坡的主要类型，绝大多数滑坡的发生是与降雨紧密联系的。

边坡滑坡分类

线路工程边坡多为坡积、坡洪积、崩塌、滑坡等成因，形成时结构松散。在坡面堆载的条件下，引起局部坡体压缩变形或破坏后，常常导致地下水管道渗流系统的破坏，从而使边坡的地下水位提高，增加潜在滑面上的孔隙水压力，降低坡体稳定性，与堆载荷重联合作用下，最终导致滑坡的发生。这类滑坡一般发生在雨季，并经历一个较长的变形破坏发展过程。

边坡滑坡按诱发因素分为堆载诱发型、坡脚开挖诱发型和自然型滑坡三类。

边坡滑坡的特性

由于输电线路边坡滑坡问题的普遍性和严重的危害性，因此，总结该类滑坡的成因机理和发展演化过程，针对该类滑坡的特点提出合理的防治对策，对减少该类滑坡灾害发生和保证输电线路的安全运行具有重要意义。

文献《输电线路含碎石粘性土边坡滑坡特性及预防措施》对边坡滑坡成因机理和特性作了详细研究，指出：

①堆载诱发型滑坡的自然地形坡度可以小于20°。松散堆积土厚度大，主要是坡积、崩积和滑坡堆积等成因类型的含碎石亚粘土，自然边坡地下水排泄的管道系统发育，在地下水渗流和坡体重力蠕变的长期作用下，大量粘性土细颗粒和

有机质集中分布在松散坡体与基岩的接触带附近，成为斜坡破坏的潜在滑动面。斜坡堆载一方面直接使边坡沿潜在滑面的下滑力增大，另一方面又使边坡土产生压缩变形而破坏松散土中原有的地下水排泄系统，使坡体中的地下水位提高，进一步增大下滑力，从而导致滑坡的发生。

②坡脚开挖诱发型滑坡的自然地形坡度可以小于 20° 。第四系松散堆积土与基岩接触部位，由于地下水渗流和坡体重力蠕变的长期作用，有大量粘性土细颗粒和有机质集中分布，从而成为斜坡破坏的潜在滑动面。潜在滑面上陡下缓，坡脚段往往是维持边坡稳定的抗滑段，坡脚附近的开挖降低了滑坡抗滑段的抗滑力，这是引起滑坡的直接原因。同时，坡脚开挖引起的坡面裂缝和局部坍塌破坏，又导致地下水渗流管道的破坏，从而引起地下水位的抬升，造成变形破坏区的发展及整体稳定性的进一步降低。

③自然边坡的变形破坏是在内外因的共同作用下产生的，这类边坡一般具有有利于地下水汇集的地形与微地貌形态、组成坡体的岩土体物理力学性质差，加上连续降雨或暴雨，使入渗的地下水水量超过了自然边坡中原有的地下水排泄系统的排泄能力，从而使坡体严重饱水，粘聚力和抗滑强度陡减，而地下水流速增大，使动水压力亦增大，促使水的潜蚀作用增强；大量入渗水使斜坡土体重量骤增，抗滑力大大降低，最终引发坡体的变形破坏。

综上所述，对于边坡，无论是堆载诱发型、坡脚开挖诱发型还是自然型均有可能发生滑坡，水是诱发滑坡的外在因素，大多数滑坡的发生都与水有着密切的关系。

边坡滑坡的防治

针对碎石粘性土滑坡的成因机理和发展演化过程，输电线路工程设计中对边坡滑坡的预防措施应“治坡先治水”，即综合考虑加固措施对地下水位的影响，重视塔位排水措施的设计，以治水为主其它加固措施为辅的滑坡防治策略，结合环境保护和水土保持统筹考虑防治措施。