±800kV直流架空输电线路设计规范

GB 50790-2013

局部修订条文

# 2 术语和符号

# 2.1 术 语

2.1.17 对地距离 ground clearance distance to ground

在规定条件下，任何带电部分导线（分裂导线指分裂中心）与地面之间的最小距离。

2.1.21 垂直距离 vertical distance

分裂导线中心与线路下方建筑物或其它设施垂直方向的投影距离。

2.1.22 水平距离 horizontal distance

分裂导线中心（或杆塔外缘、或塔位）与线路侧方建筑物或其它设施水平方向的投影距离。

2.1.23 净空距离 space distance

分裂导线中心与线路侧方建筑物或其它设施的空间最小距离。

# 5 导线和地线

5.0.4 当晴天时，直流线路下地面合成电场强度和离子流密度限值不应超过应符合表5.0.4的规定。

表5.0.4 地面合成电场强度和离子流密度限值

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 区 域 | 合成电场强度（kV/m） | 离子流密度（nA/m2） |
| 居民区 | 25 | 80 |
| 一般非居民区 | 30 | 100 |

# 6 绝缘子和金具

6.0.2 绝缘子承受的各种荷载应按下式计算：

 T ≤TR/KI （6.0.2）

式中：TR——绝缘子的额定机械破坏负荷（kN）；

T——分别取绝缘子承受的最大使用荷载、验算荷载、断线荷载、断联荷载或常年荷载（kN）；

KI——绝缘子机械强度的安全系数。

# 13 对地距离及交叉跨越

13.0.2 导线与地面的最小~~距离~~垂直距离，以及与山坡、峭壁、岩石之间的最小净空距离应符合下列规定：

1 当导线绝缘子串按水平V串布置时，在最大计算弧垂情况下，导线与地面的最小~~距离~~垂直距离应符合表13.0.2-1规定的数值。

表13.0.2-1 导线与地面的最小垂直距离（m）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 导线地区 | 极导线型式 | 备注 |
| 6×630/45 | 6×720/50 | 6×800/55 | 6×900/40 | 6×1000/45 | 6×1125/50 | 6×1250/70 | 8×900/40 | 8×1250/70 |
| 居民区 | 21.0 | 21.0 | 20.5 | 20.0 | 19.5 | 19.0 | 18.5 | 18.0 | 16.0 | - |
| 非居民区 | 18.0 | 18.0 | 18.0 | 17.5 | 17.0 | 17.0 | 16.0 | 16.0 | 14.5 | 农业耕作区 |
| 16.0 | 16.0 | 16.0 | 15.5 | 15.5 | 15.0 | 14.5 | 14.5 | 13.0 | 人烟稀少的非农业耕作区 |
| 交通困难区 | 15.0 | 15.0 | 15.0 | 14.5 | 14.5 | 14.0 | 13.5 | 13.5 | 13.0 | - |

注：海拔高度按小于等于1000m。当海拔高度大于1000m，每增加1000m海拔高度，导线与地面的最小垂直距离应增加6%的距离。

13.0.4 线路不应跨越经常有人居住的建筑物以及屋顶为燃烧材料危及线路安全的建筑物。导线与建筑物之间的距离应符合下列规定：

2 在最大计算风偏情况下，线路边导线与建筑物之间的最小净空距离应符合表13.0.4-2的规定。

表13.0.4-2 导线与建筑物之间的最小净空距离

|  |  |
| --- | --- |
| 标称电压（kV） | ±800 |
| 净空距离（m） | 15.5 |

3 在无风时，线路边导线与建筑物之间的最小水平距离应符合表13.0.4-3的规定。

表13.0.4-3 边导线与建筑物之间的最小水平距离

|  |  |
| --- | --- |
| 标称电压（kV） | ±800 |
| 水平距离（m） | 7 |

13.0.5 线路经过经济作物和集中林区时，宜采用加高杆塔跨越林木不砍通道的方案，并应符合下列规定：

2 线路通过公园、绿化区或防护林带，在最大计算风偏情况下，导线与树木之间的最小净空距离应符合表13.0.5-2的规定。

表13.0.5-2 导线与树木之间的最小净空距离

|  |  |
| --- | --- |
| 标称电压（kV） | ±800 |
| 净空距离（m） | 10.5 |

3 当砍伐通道时，通道净宽度不应小于线路宽度加林区主要树种自然生长高度的2倍。通道附近超过主要树种自然生长高度的非主要树种树木应砍伐。需要砍伐树木时，砍伐范围应按表13.0.5-1和表13.0.5-2要求确定。对砍伐范围外的树木应按表7.0.7规定的最小工作电压间隙校核其倾倒过程对导线的距离。

13.0.9 ±800kV线路与铁路、道路公路、河流、管道、索道及各种架空线路交叉或接近的要求，应符合下列规定：

1当导线绝缘子串按水平V串布置时，±800kV线路与铁路、道路公路、河流、管道、索道及各种架空线路交叉最小垂直距离应符合表13.0.9-1的规定。

表13.0.9-1 ±800kV线路与铁路、公路、河流、管道、索道及各种架空线路交叉最小垂直距离（m）

|  |  |
| --- | --- |
| 导线 海拔 高度 项目 | 极导线型式 |
| 6×630/45 | 6×720/50 | 6×800/55 | 6×900/40 | 6×1000/45 | 6×1125/50 | 6×1250/70 | 8×900/40 | 8×1250/70 |
| 1000m | 2000m | 3000m | 1000m | 2000m | 3000m | 1000m | 2000m | 3000m | 1000m | 2000m | 3000m | 1000m | 2000m | 3000m | 1000m | 2000m | 3000m | 1000m | 2000m | 3000m | 1000m | 2000m | 3000m | 1000m | 2000m | 3000m |
| 铁路 | 至轨顶 | 21.0 | 22.5 | 23.0 | 21.0 | 22.0 | 23.0 | 20.5 | 21.5 | 22.5 | 20.0 | 21.0 | 22.0 | 19.5 | 20.5 | 21.5 | 19.0 | 20.0 | 21.0 | 18.5 | 19.5 | 20.5 | 18.0 | 19.5 | 20.5 | 16.0 | 17.5 | 19.0 |
| 至承力索或接触线 | 15.0 | 15.5 | 16.0 | 14.5 | 15.0 | 15.5 | 14.0 | 14.5 | 15.0 | 14.0 | 14.5 | 15.0 | 13.5 | 14.0 | 15.0 | 13.5 | 14.0 | 14.5 | 13.0 | 13.5 | 14.5 | 13.0 | 13.5 | 14.5 | 12.5 | 12.5 | 13.5 |
| 公路 | 至路面 | 21.0 | 22.5 | 23.0 | 21.0 | 22.0 | 23.0 | 20.5 | 21.5 | 22.5 | 20.0 | 21.0 | 22.0 | 19.5 | 20.5 | 21.5 | 19.0 | 20.0 | 21.0 | 18.5 | 19.5 | 20.5 | 18.0 | 19.5 | 20.5 | 16.0 | 17.5 | 19.0 |
| 通航河流 | 至最高航行水位船舶人员活动面 | 15.0 | 15.5 | 16.0 | 14.5 | 15.0 | 15.5 | 14.0 | 14.5 | 15.0 | 14.0 | 14.5 | 15.0 | 14.0 | 14.0 | 15.0 | 14.0 | 14.0 | 15.0 | 14.0 | 14.0 | 14.5 | 14.0 | 14.0 | 14.5 | 14.0 | 14.0 | 14.0 |
| 至最高航行水位桅顶 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 |
| 不通航河流 | 百年一遇洪水位 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 | 12.5 |
| 冬季至冰面 | 18.0 | 19.0 | 19.5 | 18.0 | 19.0 | 19.5 | 18.0 | 18.5 | 19.5 | 17.5 | 18.5 | 19.0 | 17.0 | 18.0 | 19.0 | 17.0 | 17.5 | 18.5 | 16.0 | 17.0 | 18.0 | 16.0 | 17.0 | 18.0 | 14.5 | 15.5 | 17.0 |
| 弱电线 | 至被跨越物 | 16.0 | 17.0 | 17.5 | 16.0 | 17.0 | 17.5 | 16.0 | 16.5 | 17.5 | 15.5 | 16.5 | 17.0 | 15.5 | 16.0 | 17.0 | 15.0 | 16.0 | 16.5 | 14.5 | 15.5 | 16.0 | 14.5 | 15.5 | 16.0 | 13.0 | 14.0 | 15.0 |
| 电力线 | 至被跨越物 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 |
| 至杆顶 | 15.0 | 15.5 | 16.0 | 14.5 | 15.0 | 15.5 | 14.0 | 14.5 | 15.0 | 14.0 | 14.5 | 15.0 | 13.5 | 14.0 | 15.0 | 13.5 | 14.0 | 15.0 | 13.0 | 13.5 | 14.5 | 13.0 | 13.5 | 14.5 | 12.5 | 12.5 | 13.5 |
| 特殊管道、索道 | 至管道 | 16.0 | 17.0 | 17.5 | 16.0 | 17.0 | 17.5 | 16.0 | 16.5 | 17.5 | 15.5 | 16.5 | 17.0 | 15.5 | 16.0 | 17.0 | 15.0 | 16.0 | 16.5 | 14.5 | 15.5 | 16.0 | 14.5 | 15.5 | 16.0 | 13.0 | 14.0 | 15.0 |
| 至索道 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 |

2 ±800kV线路与铁路、道路公路、河流、管道、索道及各种架空线路水平接近距离不应小于表13.0.9-2的规定。

表13.0.9-2 ±800kV线路与铁路、道路公路、河流、管道、索道及各种架空线路水平接近距离的要求

|  |  |
| --- | --- |
| 项 目 | 最小水平距离（m） |
| 铁路 | 杆塔外缘至轨道中心 | 交叉：塔高加3.1m，无法满足要求时可适当减小，但不得小于40平行：最高塔高加3.1m，困难时双方协商确定 |
| 公路 | 交叉 | 杆塔外缘至路基边缘 | 15或按协议取值 |
| 平行 | 边导线至路基边缘 | 开阔地区 | 最高塔高 |
| 路径受限制地区 | 15或按协议取值 |
| 通航河流 | 边导线至斜坡上缘（线路与拉纤小路平行）塔位至河堤 | 最高塔高河堤保护范围之外或按协议取值 |
| 不通航河流 |
| 弱电线 | 与边导线间（平行） | 开阔地区 | 最高塔高 |
| 路径受限制地区（最大风偏情况下） | 13 |
| 电力线 | 与边导线间（平行） | 开阔地区 | 最高塔高 |
| 路径受限制地区 | 杆塔同步排列取20，杆塔交错排列导线最大风偏时取13 |
| 特殊管道、索道 | 平行 | 边导线至管、索道 | 开阔地区 | 天然气、石油（非埋地管道）：最高塔高+3m最高塔高 |
| 路径受限制地区（最大风偏情况下） | 风偏时15 |
| 交叉 | 杆塔外缘至管、索道 | 开阔地区 | 最高塔高 |
| 路径受限制地区 | 15 |

注： 当平行接近低压用电线路和通信线路，在路径受限制地区，与低压用电线路和通信线路的平行长度不宜大于1500m，与边导线的水平距离宜大于50m。当不满足要求时，需按照相关要求进行分析，并采取相应防护措施。

中华人民共和国国家标准

±800kV直流架空输电线路设计规范

**GB 50790-2013**

（2019年版）

条文说明

5.0.3 本条为强制性条文，必须严格执行。分以下五点进行说明。

（1）根据国外超高压和特高压线路的研究经验，随着电压的升高和导线分裂根数的增加，输电线路的电晕可听噪声问题越显突出，对于±500kV以上线路，电晕可听噪声干扰已超越无线电干扰成为选择导线的控制条件。由于直流线路的特点是好天气条件下，其所产生的可听噪声较雨、雾天高，因此，好天气条件下的可听噪声水平是衡量直流线路整体噪声水平的一个特征量，其限制标准将对导线截面和分裂方式的选取产生较大影响。

（2）对国外情况的调查。针对输电线路的可听噪声，各国的情况各不相同。以下是一些国家的电晕噪声标准，因电晕可听噪声的投诉或抱怨、相对解决措施等几方面的情况。

意大利电力公司（ENEL）目前的最高电压等级为400kV输电线路，多年运行下来无电晕噪声问题的投诉或抱怨。公司建设有20km长的1050kV交流试验线路，导线为8×φ31.5mm，在该线路上测量的电晕可听噪声L50为52 dB（A）～53dB（A）。

法国电力公司（EDF）输电线路建设之前进行的噪声预测认为没有问题，但是实际运行的线路中，有因导线存在防锈油脂而产生噪声引起的投诉，在此情况下采取处理掉油脂，并对此进行说明和解释。

英国中央电力局（CEGB）400kV线路采用2分裂导线，在下雨时存在因电晕噪声引起的投诉，处理对策是将2分裂导线更换为4分裂导线以降低噪声。由此可见，增加分裂导线数是降低噪声的有效方法。

瑞典电力局（SSPB）运行有9000km左右的400kV交流线路，无投诉或抱怨。规划建设交流800kV输电线路，计划采用4×φ40mm的导线，将可听噪声限制到56dB（A）。

美国纽约州电力局（PASNY）对于765kV输电线路的电晕噪声，距离线路中心38m外噪声的设计控制值：L5＝56dB（A）；L50＝53dB（A）。噪声的投诉情况是：345kV线路完全无投诉，765kV线路曾经有36起投诉，根据居民的要求，给予搬迁或赔偿。

美国邦维尔电管局（BPA）1978年开始制定噪声限制标准。该地区俄亥俄州规定，在路权边上噪声标准：L50＝（53±2）dB（A），早期的500kV线路采用φ63.5mm的单导线，有噪声的投诉。处理的措施是将φ63.5mm的单导线更换为3×φ30.5mm的3分裂导线（民房多的地区），或者在档距中将单导线上套上φ101.6mm的管（档内有个别民房时）。

图2 是国外研究中心随机抽样的统计反应，对交流线路具有代表性，对直流线路尚缺乏统计数据。



图2 噪声水平与人们投诉的情况

（3）世界各国特高压交流输电线路的电晕噪声情况。到目前为止，世界各国均未正式制订直流特高压线路可听噪声的限制标准，而只是在各自交流特高压线路设计规范中提出了一个限值，见表8。

表8 世界各国特高压交流线路的可听噪声的设计限值

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 国家 | 日本 | 前苏联 | 美 国 | 意大利 | 韩国 | 加拿大 |
| 公司（机构）名称 | 东京电力 | 动力电气化部 | BPA | AEP | AEP | NENL | — | 魁北克水电局 |
| 电压 | 额定值（kV） | 1000 | 1150 | 1100 | 1500 | 765 | 1000 | 765 | 735 |
| 最高值（kV） | 1100 | 1200 | 1200 | 1600 | 775 | 1050 | — | 750 |
| 导线分裂方式 | 分裂数 | 8 | 8 | 8 | 8 | 4 | 8 | 6 | 4 |
| 子导线直径（cm） | 3.84 | 2.41 | 4.1 | 3.3 | 2.96 | 3.15 | 3.04 | 3.50 |
| 子导线间距（cm） | 40 | 40 | 41 | 38 | 45.7 | 45 | 48.3 | 45.7 |
| 可听噪声 | 雨天50％的预 测 值[dB（A）] | 50 | 55 | 50\* | 55 | 57.5 | 56 | 50 | 50.4 |
| 测量地点(m) | 边线下 | 边线下 | 距边线15 | 距边线30 | 运行线路距边线15.2 | 距边线15 | 距边线15 | 运行线路距边线15.2 |

注：BPA公司电晕噪声设计值，由于测量仪器（麦克风）规格不同，会有约3dB（A）的差别。

我国对输电线路的可听噪声也未制定有相关标准，在500kV交、直流线路设计时由于采用4分裂导线，可听噪声水平很低，一般在40dB（A）以下，不起控制作用。

日本在进行1000kV特高压交流线路设计时，对世界上一些国家已经架设的输电线路的电晕噪声的实际情况进行了调查，其调查结果见表9。

表 9 已经架设的输电线路的电晕可听噪声的调查

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 电力公司 | 线路电压（kV） | 导体方式（cm） | 噪声电平dB（A） | 有 无抱 怨 |
| BPA | 500 | 1×6.4 | 58 | 有 |
| PASNY | 765 | 4×3.5 | 53 |
| AEP | 765 | 4×3.0 | 56 | 无 |
| AEP | 765 | 4×3.5 | 53 |
| HQ | 735 | 4×3.0 | 52 |
| 东京电力（中东京干线） | 275 | 1×3.4 | 53 |
| 东京电力（双叶线） | 500 | 4×2.9 | 50 |

 由上述资料看，特高压交流线路的可听噪声设计目标值，基本上在50 dB（A）～58dB（A）之间。

（4）有关环境噪声标准。虽然世界上很多国家（包括中国）对输电线路的可听噪声没有限制标准，但各国政府环保部门均制订有环境噪声的限制标准，输电线路属于整个环境中的一部分，其可听噪声的限值按当地的环境噪声限制标准，表10是日本的环境噪声标准。

表10 日本环境噪声标准

|  |  |
| --- | --- |
| 地域类型 | 时 间 段 |
| 昼 间 | 朝 夕 | 夜 间 |
| AA | 45dB（A）以下 | 40dB（A）以下 | 35dB（A）以下 |
| A | 50dB（A）以下 | 45dB（A）以下 | 40dB（A）以下 |
| B | 60dB（A）以下 | 55dB（A）以下 | 50dB（A）以下 |

注：1 AA地域为特别需要安静的地方，如疗养院。

 2 A地域为一般的安静地方，如居住环境。

 3 B地域为一般性地区，为居住、商业和少量工业混合区。

在我国，相应的环境噪声标准有：《声环境质量标准》GB 3096，《工业企业厂界噪声标准》GB 12348，《建筑施工场界噪声限值》GB 12523，城市区域环境噪声和工业企业厂界噪声这两个标准，都划分了不同标准以适用于不同的区域，见表11。

表11 中国噪声标准[dB（A）]

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 类 别 | 昼 间 | 夜 间 |
| 0 | 50 | 40 |
| 1 | 55 | 45 |
| 2 | 60 | 50 |
| 3 | 65 | 55 |
| 4 | 70 | 55 |

注：1 0类适用于疗养区、高级别墅区、高级宾馆区等特别需要安静的区域（工业企业厂界噪声无此类标准）。

 2 1类适用于以居住、文教机关为主的区域。乡村居住环境可参照执行该类标准。

 3 2类适用于居住、商业、工业混杂区。

 4 3类适用于工业区。

 5 4类适用于城市中的道路交通干线道路两侧区域，穿越城区的内河航道两侧区域。

由表10、表11可以看出，我国环境噪声标准的划分与日本基本类似，但日本的标准稍严。美国直流线路的可听噪音的设计标准为45dB（A）。

（5）推荐的可听噪声限值。我国特高压输电线路的建设，其路径主要通过荒山、林地或农业耕作地区等非居住环境地区，参考我国环境噪声的限制标准为2类地区。特高压交流输电线路的可听噪声L5不宜超过55dB（A），已被国家环保总局认可。

按国家环保总局批文[2006]199号，云南至广东±800kV特高压直流输电工程的可听噪声控制指标为：按当地功能区划的声环境标准执行，无功能区划的地区按《声环境质量标准》GB3096－2008的相关规定评价。

采用美国BPA公司推荐的的电晕可听噪声计算公式，对多种导线组合的无线电干扰水平值进行估算，各导线组合方案和不同海拔下的电晕可听噪声值见表12。

表12 电晕可听噪声计算结果[dB（A）]

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 导线型号 | 导线表面最大场强（kV/cm） | 电晕可听噪声 |
| 海拔0m | 海拔1000m | 海拔2000m | 海拔3000m | 海拔3650m |
| 1 | 4×JL/G1A-1120/90 | 24.100  | 43.60  | 46.94  | 50.27  | 53.60  | 55.77  |
| 2 | 4×JL/G3A-1000/45 | 25.529  | 45.91  | 49.25  | 52.58  | 55.91  | 58.08  |
| 3 | 5×JL/G1A-1120/90 | 20.861  | 37.58  | 40.91  | 44.24  | 47.58  | 49.74  |
| 4 | 5×JL/G3A-1000/45 | 22.089  | 39.86  | 43.20  | 46.53  | 49.86  | 52.03  |
| 5 | 5×JL/G3A-900/40 | 23.046  | 41.56  | 44.90  | 48.23  | 51.56  | 53.73  |
| 6 | 6×JL/G3A-1000/45 | 19.547  | 34.70  | 38.04  | 41.37  | 44.70  | 46.87  |
| 7 | 6×JL/G3A-900/40 | 20.375  | 36.36  | 39.69  | 43.02  | 46.36  | 48.52  |
| 8 | 6×LGJ-900/75 | 20.102 | 35.82  | 39.15  | 42.48  | 45.78 | 47.94 |
| 9 | 6×LGJ-800/55 | 20.993  | 37.55  | 40.88  | 44.22  | 47.55  | 49.72  |
| 10 | 6×ACSR-720/50 | 21.991  | 39.41  | 42.74  | 46.07  | 49.41  | 51.57  |
| 11 | 6×LGJ-630/45 | 23.710 | 39.65 | 42.95 | 46.25 | 49.55 | 51.73 |
| 12 | 7×LGJ-800/55 | 18.956  | 33.26  | 36.59  | 39.92  | 43.26  | 45.42  |
| 13 | 7×ACSR-720/50 | 19.855  | 35.11  | 38.45  | 41.78  | 45.11  | 47.28  |
| 14 | 7×LGJ-630/45 | 21.067  | 37.49  | 40.83  | 44.16  | 47.49  | 49.66  |
| 15 | 8×ACSR-720/50 | 18.076  | 31.10  | 34.43  | 37.77  | 41.10  | 43.27  |
| 16 | 8×LGJ-630/45 | 19.155  | 33.41  | 36.75  | 40.08  | 43.41  | 45.58  |
| 17 | 8×JL/G1A-560/40 | 20.004  | 35.15  | 38.48  | 41.82  | 45.15  | 47.32  |
| 18 | 8×JL/G2A-500/35 | 20.898  | 36.91  | 40.24  | 43.57  | 46.91  | 49.07  |

注：导线平均高度23m，极间距22m。

以表13的计算结果，各导线组合方案在45dB（A）和50dB（A）限值下的海拔高程见表13。

表13 各导线组合方案在不同噪声限值下的海拔高程（m）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 导线型号 | 45dB控制的海拔 | 50dB控制的海拔 |
| 1 | 4×JL/G1A-1120/90 | 415  | 1917  |
| 2 | 4×JL/G3A-1000/45 | -278  | 1224  |
| 3 | 5×JL/G1A-1120/90 | 2225  | 3727  |
| 4 | 5×JL/G3A-1000/45 | 1539  | 3040  |
| 5 | 5×JL/G3A-900/40 | 1028  | 2530  |
| 6 | 6×JL/G3A-1000/45 | 3088  | 4589  |
| 7 | 6×JL/G3A-900/40 | 2592  | 4094  |
| 8 | 6×LGJ-900/75 | 2755  | 4257  |
| 9 | 6×LGJ-800/55 | 2234  | 3735  |
| 10 | 6×ACSR-720/50 | 1675  | 3177  |
| 11 | 6×LGJ-630/45 | 1600 | 3015 |
| 12 | 7×LGJ-800/55 | 3522  | 5024  |
| 13 | 7×ACSR-720/50 | 2965  | 4467  |
| 14 | 7×LGJ-630/45 | 2250  | 3752  |
| 15 | 8×ACSR-720/50 | 4170  | 5671  |
| 16 | 8×LGJ-630/45 | 3476  | 4977  |
| 17 | 8×JL/G1A-560/40 | 2954  | 4455  |
| 18 | 8×JL/G2A-500/35 | 2426  | 3927  |

由表13可见，我国±800kV特高压直流输电工程的导线组合均能满足45 dB（A）～50 dB（A）的限值要求。

交流的55dB（A）是指在小雨、潮湿导线情况下，年出现概率值为5％的可听噪声值，若换算到好天气50％概率的可听噪声值要减去7 dB（A）～10dB（A）。因此建议特高压直流线路可听噪声限值（好天气50％概率的可听噪声值）参照交流线路可听噪声限值选取，即为45 dB（A）～50dB（A）。换算到年出现概率值为5％的可听噪声值为51 dB（A）～56dB（A）

（L5＝L50＋6），低于交流线路。故一般线路地区可听噪声限值取50 dB（A），在人口稠密地区按45 dB（A）校核。

经计算分析，可听噪声随极间距离的增大逐渐减小，平均变化陡度约－0.3dB/m。可听噪声随导线平均高度增加而降低，平均变化陡度约－0.2dB/m。因此，为降低可听噪声，可采取加大极间距离、提高导线平均高度等措施。

据此，推荐±800kV特高压直流输电线路的电晕可听噪声限值为45 dB（A）～50 dB（A）。

对人口稠密地区，要满足45dB（A）的可听噪声限值要求，因此线路需远离1类居住区，要采用加高塔等措施进行校验，要求不大于45dB（A）。对于海拔高度大于1000m且人烟稀少的高海拔地区，其噪声限值要进行高海拔修正可适当放宽，满足50dB（A）的可听噪声限值要求。

对于海拔超过1000m的线路，其噪声限值要进行高海拔修正。修正因数为：以1000m为基准，海拔高度每增加300m，噪声限值增加1dB。

导线选择还要符合环境保护部门提出的限值及计量标准要求，±800kV特高压直流输电工程的导线组合均能满足环境保护部门提出的限值标准要求。

5.0.4 规定了±800kV直流输电线路线下的地面合成场强和离子流密度限值以及对应的天气条件。制定合理的场强标准地面合成场强和离子流密度限值标准，可使线路既满足生物效应环境保护的要求，同时避免不必要的增加线路建设的投资建设费用增加，使输电线路的造价控制在合理的水平。

直流输电线路的电场强度的限值通常用两种方式表示：在一定数量空间电荷下合成场强的限值；标称场强和离子流密度的限值。目前．对直流输电线路下电场强度的限值一般根据人体感受试验确定。

（1）各国电场和离子流密度的限值

（1）直流输电线路电场强度限值体系。

直流输电线路正常工作时允许存在电晕放电，导线上的电荷产生的电场（称为标称电场）与空间离子产生的电场叠加形成合成电场。直流线路电场和离子对人的影响主要体现在：1）人体截获离子的感受；2）线下人体表面感应电荷在皮肤上产生的刺激感，即直接感受；3）对地绝缘的人接触接地金属体或接地的人接触对地绝缘体时，释放电荷产生的暂态电击。为将这些生物效应控制在合理程度，需对直流线路电场强度和离子流密度加以限制。通常采用两种限值体系：1）标称电场强度和离子流密度限值；2）在一定数量空间电荷下的合成场强限值。在国际上，两种限值体系各有应用，但大多采用第2）种。

我国已成为直流输电大国，电压等级和导线型式多样化，采用第2）种限值体系更合理。第一，对于采用不同导线型式的直流输电线路，采用标称电场限值控制电场明显不合适。第二，作用于人体的是合成电场，而非标称电场。第三，由于离子流电场的存在，只有合成电场可测，而标称电场不可测。

（2）±800kV直流线路电场限值。

为避免人在直流输电线路下对电场有明显感觉，一些国家对直流输电线路下的地面电场和离子流密度限值作出了规定，其中合成电场限值在10kV/m～40kV/m之间，离子流密度限值≤100nA/m2。

美国：在直流输电线路下可能有人员活动的地方，地面合成场强限值为30kV/m。美国政府工业协会1995年推荐，直流电场强度职业暴露限值为25kV/m；在电场强度超过15kV/m的场合工作，需要接触不接地的物体时，要求采取防护措施，如戴绝缘手套等。能源部：地面合成场强限值为30kV/m，直流线路线下最大标称电场强度限值取15kV/m；North Dakota 州：地面合成场强限制值为33kV/m；Minnesota州：直流线路无电晕时线下的电场强度限制值为12kV/m；工业卫生协会：直流电场强度的职业暴露限值为25kV/m，在电场强度不超过15kV/m的场合工作，不需要考虑暂态电击。

加拿大：规定直流输电线路下最大合成场强为25kV/m；走廊边沿的标称电场强度不超过2kV/m；线下离子流密度限值为100nA/m2。

巴西：伊泰普工程输电线路地面最大合成场强取40kV/m。

前苏联：在设计±750kV输电线路时规定了不同情况下的地面最大合成场强，无人居住时取25kV/m，有人居住时取10kV/m。

中国：现行行业标准《高压直流架空送电线路技术导则》DL/T 436-2005规定：±500kV直流输电线路下地面的合成场强限值取30kV/m；线下离子流密度限值为100nA/m2。

表14列出了各国对于直流线路电场强度的限值情况。

表14 各国直流线路电场强度限值情况

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 规范及标准 | 限值内容 | 备注 |
| 美国规范 | 线下最大允许合成场强Es为30kV/m | — |
| 日本环境部规范 | 线下最大允许标称场强Ee为9kV/m | — |
| 加拿大规范 | 线下最大Es=25kV/m；J=100nA/m2，走廊边缘标称Ee=2kV/m | — |
| 巴西 | 地面最大合成场强Es=40kV/m | 伊泰普 |
| 前苏联规范 | 线下Es=15kV/m，J=20nA/m2 | 8h |
| 线下Es=15～20kV/m，J=25nA/m2 | 5h |
| 线下Em=60kV/m | 1h |
| 无人居住Es=25kV/m；有人居住Es=10kV/m | ±750kV |
| 泰西蒙咨询葛上线标准 | 线下5％概率的合成电场Es为30kV/m | — |
| 《高压直流架空送电线路技术导则》DL/T 436-1991 | 线下Es=30kV/m J=100nA/m2，民房Ee=3kV/m | — |
| 龙政、三广线标准 | 线下Es=30kV/m J=100nA/m2，民房Ee=5kV/m | — |

注：Es为合成场强；Ee为标称场强。

表15列出了国内外已建直流线路的电场强度情况。

表15 国内外已建直流线路的电场强度

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 工程名称 | 国家 | 电压(kV) | 导线结构(n×mm) | 表面场强(kV/cm) | 地面场强(kV/m) | 合成场强(kV/m) | 离子流密度(nA/m2) |
| 太平洋联络线 | 美国 | ±400 | 2×45.8 | 20.56 | 11.57 | 20.82 | 72.14 |
| 太平洋联络线 | 美国 | ±500 | 2×45.8 | 25.97 | 14.46 | 26.02 | 90.17 |
| CU工程 | 美国 | ±400 | 2×38.2 | 24.14 | 5.10 | 17.00\* | 26.00\* |
| 纳尔逊河 | 加拿大 | ±450 | 2×40.7 | 25.87 | 9.00 | 20.00\* | 55.00\* |
| 伏尔加格勒一顿巴斯 | 俄罗斯 | ±400 | 2×33.O | 28.96 | — | — | — |
| 天广线 | 中国 | ±500 | 4×26.8 | 25.89 | 12.36 | 27.11 | 62.08 |
| 三常线 | 中国 | ±500 | 4×36.2 | 20.35 | 15.00 | 23.66 | 71.99 |
| 三广线 | 中国 | ±500 | 4×36.2 | 19.20 | 15.12 | 22.23 | 61.77 |

注：1 表面场强、地面场强、合成场强及离子流密度均表示最大值。

2 带\*的项目为实测值。

（2）±800kV直流线路电场限值。直流线路线下雨天时的合成电场比晴天时的大，在确定导线对地最小高度时，要考虑雨天情况。泰西蒙在对葛上直流工程咨询时即按此原则给出的建议，按雨天时导线的起晕场强分析，提出导线对地最小高度为14m。当时我国研究人员以晴天时导线的起晕场强计算，确定导线对地最小距离为12.5m。对于葛上±500kV直流输电线路，若将晴天时的地面最大合成电场控制在30kV/m，雨天时也只有不到35kV/m，实际运行经验表明，这是可以接受的。

据此，推荐直流输电线路下方地面最大合成电场强度为30kV/m，邻近民房的地面最大合成场强为25kV/m（晴天），同时满足80%测量值不超过15kV/m为控制指标。最大离子流密度限值晴天不超过80nA／m2，雨天不超过100nA／m2。这与我国士500kV直流输电线路基本相同，在世界上处于中等水平。

根据人体感受试验成果并参考国内外直流输电线路地面合成场强和离子流密度控制值，本条文推荐我国±800kV直流输电线路经过非居民区和居民区时，线下地面合成场强限值分别取30kV/m和25kV/m，地面离子流密度限值分别取100nA/m2和80nA/m2。这与我国±500kV直流输电线路的基本相同，在世界上处于中等水平。

需要指出，直流输电线路电晕放电具有随机性，电场强度和离子流密度均为随机量。因此，利用统计量衡量这种随机量是否满足限值要求时，时间上应采用统计平均值（即50%值），空间上取最大值。

（3）天气条件

直流输电线路电晕、地面合成场强和离子流密度会随天气条件的变化而变化，本条文规定地面合成场强和离子流密度限值对应的天气条件为晴天。条文中的“晴天”指无雨、无雪、无风、无雾、空气质量良好的好天气。直流输电线路电磁环境试验结果表明，湿度对地面合成电场和离子流密度影响很大，空中颗粒物对地面合成电场影响也非常明显。本条文给出了晴天时的地面合成场强和离子流密度限值，在设计时对湿度和颗粒物的影响也应关注。

在空气清洁条件下，直流线路湿导线时的合成电场比干导线时的大。在确定导线对地最小高度时，要考虑湿导线的情况。在设计时，需对湿导线下的地面最大合成场强进行校核，将其控制在居民区不超过30kV/m，一般非居民区不超过36kV/m。在空气中存在悬浮颗粒物时，尤其是我国北方地区冬季干燥、空气质量较差情况下，直流线路地面合成电场会显著增大。严重空气污染时可达到空气清洁条件时的2～3倍。

13.0.2本条为强制性条文，必须严格执行。说明如下：

（1）电场和离子流密度的限值选择。控制高压直流线路的电场和离子流密度关系到线路附近居民的人身安全问题。同时也为了减小其生物效应，即对输电线下人体和牲畜的静电感应影响，以及可能出现的稳态电击和暂态电击现象。对于特高压直流线路，其电场效应问题更加突出。

按照第5.0.4条规定±800kV直流输电线路地面合成电场在晴天时不超过30kV/m，雨天时不超过36kV/m。最大离子流密度限值晴天不超过100nA/m2，雨天不超过150nA/m2。

根据国内外直流超高压、特高压输电线路下电场限制值的研究成果，确定直流特高压架空输电线下地面处电场强度、离子流密度控制值取值如下：

1）对于一般非居民地区（如跨越农田），合成场强限定在雨天36kV/m，晴天30kV/m，离子流密度限定在雨天150nA/m2，晴天100nA/m2。

2）对于居民区，合成场强限定在雨天30kV/m，晴天25kV/m，离子流密度限定在雨天100nA/m2，晴天80nA/m2。

3）对于人烟稀少的非农业耕作地区，合成场强限定在雨天42kV/m，晴天35kV/m，离子流密度限定在雨天180nA/m2，晴天150nA/m2。

（2）邻近民房的地面场强。

对人的影响实质上是合成场强，标称场强只是其中的一部分，因此，直流线路电场对人的影响应该以合成场强衡量。从前苏联和我国直流线路的运行经验看，地面合成场强没有必要小于10kV/m，从美国和前苏联的规定看，不应大于15kV/m。我国在原行业标准《高压直流架空送电线路技术导则》DL/T 436－1991（以下简称“原导则”）中规定“邻近民房的地面标称场强限值为3kV/m”，而在新出版的《高压直流架空送电线路技术导则》DL/T 436－2005中已改为要求“民房所在地面未畸变合成场强应不超过15kV/m（对应于湿导线）”。

原导则是在建设葛上直流工程时确定的，当时中国电力科学研究院对直流合成电场对人的影响进行过大量的试验研究，在晴天，当地面合成电场到达11kV/m时，人在该电场下打伞，手触摸金属柄，会感受到明显但比较轻微的暂态电击；在雨天，同一地点的地面合成电场达到约15kV/m，暂态电击更强烈，具有刺痛感。随着电场增加，暂态电击程度也增加。为了防止人在民房所在地打伞时出现较强的暂态电击，民房所在地面的合成电场应不超过15kV/m（对应于湿导线）。由于合成电场不好计算，而以合成电场对应的标称电场作为限值，便于设计，所以对应葛上直流线路采用的导线为4×300mm2，取导线对地最小距离为12.5m，晴天11kV/m（或雨天15kV/m）地面合成电场对应的标称电场约为3kV/m。所以原导则对应当时的设计条件，取邻近民房的地面标称场强限值为3kV/m是合适的。

直流输电线路的合成电场与标称电场之间的量值关系与所采用的导线有关。如果导线电压、导线分裂数、分裂间距和导线对地距离一样，子导线直径越大，导线表面电场越小，空间电荷产生的电场在合成场强中占有的比例就较小，地面的合成电场也越小。当在以后的直流工程中，导线为4×720mm2，导线对地距离为12.5m时，地面标称电场为3kV/m时，对应的合成电场只有4.5 kV/m～7kV/m，比葛上直流的合成场11kV/m（或雨天15kV/m）小很多。所以，对采用不同导线的直流线路，都采用同一量值的标称电场作为限值，并不能反映实际合成场的情况。对人的影响实际上是合成场强，标称场强只是合成场强的一部分，因此，直流输电线路的电场对人的影响原则要以合成电场衡量。

从前苏联的规定和我国直流线路运行经验看，直流线路临近民房时，地面合成场强不小于10 kV/m。在2005年7月，中国电力科学研究院会同湖北超高压局武汉分局，组织了老中青男女人员，在直流输电线路下进行了感受试验。试验中人处在的地面合成场强的范围为6.1～15.1kV/m。人体试验方式为：人触摸接地金属、人打伞触摸金属柄和人触摸架设在空中对地绝缘的13m长金属线时的感受。感受结果为：①穿普通鞋的人触摸接地金属体时无感觉；穿电工绝缘鞋的人触摸接地金属体时，在15kV/m的场强下时有明显但轻微的暂态电击感觉，在小于12kV/m的场强下无感觉。②人触摸架设在空中对地绝缘的13m长金属线时无感觉。③人打伞触摸金属柄，在地面合成电场小于9.6kV/m时无感觉；在地面合成电场为11kV/m～13kV/m时，有明显但轻微的暂态电击感觉；在地面合成电场为14.6kV/m～15.1kV/m时，放电很明显，放电声较大，有明显刺痛感，与人在干燥的地板上走动后再触摸水龙头的感觉类似。同时这与葛上直流工程时所做的感受试验一致。

目前在国家环保总局组织的专家评审中，经过多方分析讨论，专家认为要充分考虑减少电击对人造成的不适或不快感，按80％测量值不超过15kV/m考虑，这样符合一般合格评定的规则，与无线电干扰限值的意义也一致。本研究接受了专家的意见，修改合成场强为以25kV/m（晴天）作为邻近民房的最大合成场强，同时满足80％测量值不超过15kV/m为控制指标。最大离子流密度限值晴天不超过100nA/m2，雨天不超过150nA/m2。

关于80％值和50％值，假设测量数据为100组，将测量结果按照由小到大的顺序排列，第81（或51）个数值，即80％（或50％）测量值，此时小于或等于15kV/m为满足要求。对于因80％和50％的差距可能带来的问题，建议在监测方法中以规定风向和更小的风速来解决。

（3）对地最小距离。

±800kV直流输电线路导线对地面的距离除要考虑正常的绝缘水平外，还应考虑静电场强、合成场强的影响。线路设计中采用的各种对地及交叉跨越间隙值，按其取值原则，可分为三大类：①由电场强度决定的距离；②由电气绝缘强度决定的距离；③由其他因素决定的距离 。

第三类距离主要是为避免输电线路与其他部门设施之间的影响，如车辆行驶时电力线杆塔对司机视线的阻挡、电力线倒塔时对其他设施造成危害等，在现行国家标准《110kV～750kV架空输电线路设计规范》GB 50545中，其取值大多与电压等级无关，相关部门亦已认可，故基本上沿用该规范的值。个别与电压等级相关的距离，按各电压等级取值的级差递增取值。

1) 居民区、非居民区最小对地距离取值。

±800kV直流输电线路导线对地面的距离主要由电场效应决定，按公众及交通工具可能到达的频繁程度分类的。在不同的分类场所，有不同的场强要求和标准，还应注意到人们在线路走廊内从事农业劳动时，在各个地方停留的机会是均等的，不可能全部集中在高场强的地方。在考虑输电线下最大场强限值时应综合考虑最大地面场强出现的概率、设计时对地距离的裕度等因素。

根据国内外直流超高压、特高压输电线路下电场限制值的研究成果，确定直流特高压架空输电线下地面处电场强度、离子流密度控制值取值如下：

对于一般非居民地区（如跨越农田），合成场强限定在雨天36kV/m，晴天30kV/m，离子流密度限定在雨天150nA/m2，晴天100nA/m2。

对于居民区，合成场强限定在雨天30kV/m，晴天25kV/m，离子流密度限定在雨天100nA/m2，晴天80nA/m2。

对于人烟稀少的非农业耕作地区，合成场强限定在雨天42kV/m，晴天35kV/m，离子流密度限定在雨天180nA/m2，晴天150nA/m2。

根据上述原则，对云南—广东±800kV直流线路导线最大表面电位梯度、静电场强、合成场强及离子流密度计算结果见表57，对±800kV直流线路采用其它导线的计算结果见表58。

综合考虑以上各种因素，结合最小对地距离计算结果，确定的不同导线最小对地距离如表58。表59，各导线方案基于工程应用的最小导线直径给出。

当海拔高度超过1000m，每增加1000m海拔高度，线路对地距离增加6%的距离。目前已建和在建工程均位于南方雨水充沛地区，如线路经过北方的灰尘严重地区时，线路对地距离还需至少增加1m以上，经过干燥地区时，线路对地距离还需适当增加。

表57 云南—广东±800kV直流线路导线最大表面电位梯度、静电场强、合成场强及离子流密度计算结果（V串）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 极间距（m） | 分裂间距（cm） | 离地高（m） | 电压(kV) | 起晕梯度(kV/cm) | 子导线直径（cm） | 分裂数 | 分裂导线直径（cm） | 等效直径（cm） | 最大表面电位梯度Gmax（kV/cm） | 静电场强Ee（kV/m） | 合成场强E（X）（kV/m） | 离子流密度J（X）（nA/m2） | 备注 | 导线型号 |
| 22 | 45.0 | 21.0 | 800.0 | 14.00 | 3.36 | 6.0 | 90.0 | 70.1375 | 24.1789 | －10.81 | －29.217 | －72.59 | 雨天 | 630/45 |
| 22 | 45.0 | 18.0 | 800.0 | 14.00 | 3.36 | 6.0 | 90.0 | 70.1375 | 24.4063 | －14.104 | －35.48 | －116.68 | 雨天 | 630/45 |
| 22 | 45.0 | 16.0 | 800.0 | 14.00 | 3.36 | 6.0 | 90.0 | 70.1375 | 24.622 | －17.16 | －41.357 | －171.06 | 雨天 | 630/45 |
| 22 | 45.0 | 15.0 | 800.0 | 14.00 | 3.36 | 6.0 | 90.0 | 70.1375 | 24.6871 | -19.07 | -44.91 | -213.43 | 雨天 | 630/45 |
| 22 | 45.0 | 21.0 | 800.0 | 18.00 | 3.36 | 6.0 | 90.0 | 70.1375 | 24.1789 | －10.81 | －22.883 | －50.13 | 晴天 | 630/45 |
| 22 | 45.0 | 18.0 | 800.0 | 18.00 | 3.36 | 6.0 | 90.0 | 70.1375 | 24.4603 | －14.104 | －28.33 | －81.84 | 晴天 | 630/45 |
| 22 | 45.0 | 16.0 | 800.0 | 18.00 | 3.36 | 6.0 | 90.0 | 70.1375 | 24.622 | －17.16 | －33.482 | －121.14 | 晴天 | 630/45 |
| 22 | 45.0 | 15.0 | 800.0 | 18.00 | 3.36 | 6.0 | 90.0 | 70.1375 | 24.6871 | -19.07 | -36.64 | -152.20 | 晴天 | 630/45 |

表58 ±800kV直流线路导线最大表面电位梯度、静电场强、合成场强及离子流密度计算结果（V串）

| 极间距（m） | 分裂间距（cm） | 离地高（m） | 电压(kV) | 起晕梯度(kV/cm) | 子导线直径（cm） | 分裂数 | 分裂导线直径（cm） | 等效直径（cm） | 最大表面电位梯度Gmax（kV/cm） | 静电场强Ee（kV/m） | 合成场强E（X）（kV/m） | 离子流密度J（X）（nA/m2） | 备注 | 导线型号 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 22 | 45.0 | 20.5 | 800.0 | 14.00 | 3.84 | 6.0 | 90.0 | 71.716 | 21.25  | -11.23  | -29.31  | -41.15  | 雨天 | 800/55 |
| 22 | 45.0 | 18.0 | 800.0 | 14.00 | 3.84 | 6.0 | 90.0 | 71.716 | 21.42  | -14.05  | -35.05  | -65.73  | 雨天 | 800/55 |
| 22 | 45.0 | 16.0 | 800.0 | 14.00 | 3.84 | 6.0 | 90.0 | 71.716 | 21.60  | -17.12  | -41.21  | -100.45  | 雨天 | 800/55 |
| 22 | 45.0 | 15.0 | 800.0 | 14.00 | 3.84 | 6.0 | 90.0 | 71.716 | 21.72  | -19.04  | -44.92  | -126.25  | 雨天 | 800/55 |
| 22 | 45.0 | 20.5 | 800.0 | 18.00 | 3.84 | 6.0 | 90.0 | 71.716 | 21.25  | -11.23  | -21.10  | -18.28  | 晴天 | 800/55 |
| 22 | 45.0 | 18.0 | 800.0 | 18.00 | 3.84 | 6.0 | 90.0 | 71.716 | 21.42  | -14.05  | -25.74  | -30.24  | 晴天 | 800/55 |
| 22 | 45.0 | 16.0 | 800.0 | 18.00 | 3.84 | 6.0 | 90.0 | 71.716 | 21.60  | -17.12  | -30.81  | -47.86  | 晴天 | 800/55 |
| 22 | 45.0 | 15.0 | 800.0 | 18.00 | 3.84 | 6.0 | 90.0 | 71.716 | 21.72  | -19.04  | -33.93  | -61.38  | 晴天 | 800/55 |
| 20 | 45.0 | 20.0 | 800.0 | 14.00 | 3.99 | 6.0 | 90.0 | 72.1754 | 21.04  | -11.18  | -29.30  | -42.20  | 雨天 | 900/40 |
| 20 | 45.0 | 17.5 | 800.0 | 14.00 | 3.99 | 6.0 | 90.0 | 72.1754 | 21.19  | -14.17  | -35.35  | -69.37  | 雨天 | 900/40 |
| 20 | 45.0 | 15.5 | 800.0 | 14.00 | 3.99 | 6.0 | 90.0 | 72.1754 | 21.37  | -17.44  | -41.85  | -108.05  | 雨天 | 900/40 |
| 20 | 45.0 | 14.5 | 800.0 | 14.00 | 3.99 | 6.0 | 90.0 | 72.1754 | 21.48  | -19.51  | -45.86  | -137.29  | 雨天 | 900/40 |
| 20 | 45.0 | 20.0 | 800.0 | 18.00 | 3.99 | 6.0 | 90.0 | 72.1754 | 21.04  | -11.18  | -20.80  | -18.06  | 晴天 | 900/40 |
| 20 | 45.0 | 17.5 | 800.0 | 18.00 | 3.99 | 6.0 | 90.0 | 72.1754 | 21.19  | -14.17  | -25.64  | -30.83  | 晴天 | 900/40 |
| 20 | 45.0 | 15.5 | 800.0 | 18.00 | 3.99 | 6.0 | 90.0 | 72.1754 | 21.37  | -17.44  | -30.95  | -49.83  | 晴天 | 900/40 |
| 20 | 45.0 | 14.5 | 800.0 | 18.00 | 3.99 | 6.0 | 90.0 | 72.1754 | 21.48  | -19.51  | -34.28  | -64.70  | 晴天 | 900/40 |
| 20 | 50.0 | 19.5 | 800.0 | 14.00 | 4.32 | 6.0 | 100.0 | 79.8496 | 20.29  | -12.01  | -29.67  | -43.94  | 雨天 | 1000/45 |
| 20 | 50.0 | 17.0 | 800.0 | 14.00 | 4.32 | 6.0 | 100.0 | 79.8496 | 20.45  | -15.26  | -36.00  | -72.50  | 雨天 | 1000/45 |
| 20 | 50.0 | 15.5 | 800.0 | 14.00 | 4.32 | 6.0 | 100.0 | 79.8496 | 20.59  | -17.89  | -41.05  | -102.41  | 雨天 | 1000/45 |
| 20 | 50.0 | 14.5 | 800.0 | 14.00 | 4.32 | 6.0 | 100.0 | 79.8496 | 20.70  | -20.01  | -45.04  | -130.62  | 雨天 | 1000/45 |
| 20 | 50.0 | 19.5 | 800.0 | 18.00 | 4.32 | 6.0 | 100.0 | 79.8496 | 20.29  | -12.01  | -20.31  | -16.37  | 晴天 | 1000/45 |
| 20 | 50.0 | 17.0 | 800.0 | 18.00 | 4.32 | 6.0 | 100.0 | 79.8496 | 20.45  | -15.26  | -25.29  | -28.38  | 晴天 | 1000/45 |
| 20 | 50.0 | 15.5 | 800.0 | 18.00 | 4.32 | 6.0 | 100.0 | 79.8496 | 20.59  | -17.89  | -29.36  | -41.67  | 晴天 | 1000/45 |
| 20 | 50.0 | 14.5 | 800.0 | 18.00 | 4.32 | 6.0 | 100.0 | 79.8496 | 20.70  | -20.01  | -32.64  | -54.64  | 晴天 | 1000/45 |
| 20 | 50.0 | 19.0 | 800.0 | 14.00 | 4.45 | 6.0 | 100.0 | 80.2451 | 19.46  | -12.59  | -29.45  | -43.42  | 雨天 | 1125/50 |
| 20 | 50.0 | 17.0 | 800.0 | 14.00 | 4.45 | 6.0 | 100.0 | 80.2451 | 19.59  | -15.29  | -34.54  | -65.61  | 雨天 | 1125/50 |
| 20 | 50.0 | 15.0 | 800.0 | 14.00 | 4.45 | 6.0 | 100.0 | 80.2451 | 19.77  | -18.91  | -41.27  | -104.20  | 雨天 | 1125/50 |
| 20 | 50.0 | 14.0 | 800.0 | 14.00 | 4.45 | 6.0 | 100.0 | 80.2451 | 19.88  | -21.21  | -45.44  | -134.04  | 雨天 | 1125/50 |
| 20 | 50.0 | 19.0 | 800.0 | 18.00 | 4.45 | 6.0 | 100.0 | 80.2451 | 19.46  | -12.59  | -18.92  | -12.54  | 晴天 | 1125/50 |
| 20 | 50.0 | 17.0 | 800.0 | 18.00 | 4.45 | 6.0 | 100.0 | 80.2451 | 19.59  | -15.29  | -22.83  | -20.14  | 晴天 | 1125/50 |
| 20 | 50.0 | 15.0 | 800.0 | 18.00 | 4.45 | 6.0 | 100.0 | 80.2451 | 19.77  | -18.91  | -28.13  | -34.41  | 晴天 | 1125/50 |
| 20 | 50.0 | 14.0 | 800.0 | 18.00 | 4.45 | 6.0 | 100.0 | 80.2451 | 19.88  | -21.21  | -31.49  | -46.15  | 晴天 | 1125/50 |
| 20 | 50.0 | 18.5 | 800.0 | 14.00 | 4.735 | 6.0 | 100.0 | 81.0797 | 18.58  | -13.25  | -29.05  | -42.33  | 雨天 | 1250/70 |
| 20 | 50.0 | 16.0 | 800.0 | 14.00 | 4.735 | 6.0 | 100.0 | 81.0797 | 18.76  | -17.00  | -35.85  | -72.65  | 雨天 | 1250/70 |
| 20 | 50.0 | 14.5 | 800.0 | 14.00 | 4.735 | 6.0 | 100.0 | 81.0797 | 18.91  | -20.12  | -41.36  | -105.75  | 雨天 | 1250/70 |
| 20 | 50.0 | 13.5 | 800.0 | 14.00 | 4.735 | 6.0 | 100.0 | 81.0797 | 19.03  | -22.62  | -45.80  | -137.84  | 雨天 | 1250/70 |
| 20 | 50.0 | 18.5 | 800.0 | 18.00 | 4.735 | 6.0 | 100.0 | 81.0797 | 18.58  | -13.25  | -16.97  | -7.34  | 晴天 | 1250/70 |
| 20 | 50.0 | 16.0 | 800.0 | 18.00 | 4.735 | 6.0 | 100.0 | 81.0797 | 18.76  | -17.00  | -22.01  | -14.71  | 晴天 | 1250/70 |
| 20 | 50.0 | 14.5 | 800.0 | 18.00 | 4.735 | 6.0 | 100.0 | 81.0797 | 18.91  | -20.12  | -26.31  | -24.02  | 晴天 | 1250/70 |
| 20 | 50.0 | 13.5 | 800.0 | 18.00 | 4.735 | 6.0 | 100.0 | 81.0797 | 19.03  | -22.62  | -29.81  | -33.87  | 晴天 | 1250/70 |
| 20 | 50.0 | 18.0 | 800.0 | 14.00 | 3.99 | 8.0 | 130.6563 | 109.5524 | 17.61  | -15.22  | -29.57  | -42.23  | 雨天 | 900/40 |
| 20 | 50.0 | 16.0 | 800.0 | 14.00 | 3.99 | 8.0 | 130.6563 | 109.5524 | 17.76  | -18.63  | -35.25  | -66.56  | 雨天 | 900/40 |
| 20 | 50.0 | 14.5 | 800.0 | 14.00 | 3.99 | 8.0 | 130.6563 | 109.5524 | 17.92 | -22.04 | -40.88 | -98.02 | 雨天 | 900/40 |
| 20 | 50.0 | 13.5 | 800.0 | 14.00 | 3.99 | 8.0 | 130.6563 | 109.5524 | 18.05 | -24.79 | -45.43 | -129.24 | 雨天 | 900/40 |
| 20 | 50.0 | 18.0 | 800.0 | 18.00 | 3.99 | 8.0 | 130.6563 | 109.5524 | 17.61  | -15.22  | -15.49  | -0.58  | 晴天 | 900/40 |
| 20 | 50.0 | 16.0 | 800.0 | 18.00 | 3.99 | 8.0 | 130.6563 | 109.5524 | 17.76  | -18.63  | -19.72  | -3.22  | 晴天 | 900/40 |
| 20 | 50.0 | 14.5 | 800.0 | 18.00 | 3.99 | 8.0 | 130.6563 | 109.5524 | 17.92 | -22.04 | -24.09 | -8.18 | 晴天 | 900/40 |
| 20 | 50.0 | 13.5 | 800.0 | 18.00 | 3.99 | 8.0 | 130.6563 | 109.5524 | 18.05 | -24.79 | -27.67 | -14.18 | 晴天 | 900/40 |
| 20 | 55.0 | 16.0 | 800.0 | 14.00 | 4.735 | 8.0 | 143.7219 | 121.6561 | 15.66  | -19.22  | -29.38  | -37.52  | 雨天 | 1250/70 |
| 20 | 55.0 | 14.5 | 800.0 | 14.00 | 4.735 | 8.0 | 143.7219 | 121.6561 | 15.80  | -22.75  | -34.58  | -57.38  | 雨天 | 1250/70 |
| 20 | 55.0 | 13.0 | 800.0 | 14.00 | 4.735 | 8.0 | 143.7219 | 121.6561 | 15.98  | -27.11  | -41.13  | -89.81  | 雨天 | 1250/70 |
| 20 | 55.0 | 12.5 | 800.0 | 14.00 | 4.735 | 8.0 | 143.7219 | 121.6561 | 16.06  | -28.98  | -43.95  | -107.89  | 雨天 | 1250/70 |
| 20 | 55.0 | 16.0 | 800.0 | 18.00 | 4.735 | 8.0 | 143.7219 | 121.6561 | 15.66  | -19.22  | -19.22  | 0.00  | 晴天 | 1250/70 |
| 20 | 55.0 | 14.5 | 800.0 | 18.00 | 4.735 | 8.0 | 143.7219 | 121.6561 | 15.80  | -22.75  | -22.75  | 0.00  | 晴天 | 1250/70 |
| 20 | 55.0 | 13.0 | 800.0 | 18.00 | 4.735 | 8.0 | 143.7219 | 121.6561 | 15.98  | -27.11  | -27.11  | 0.00  | 晴天 | 1250/70 |
| 20 | 55.0 | 12.5 | 800.0 | 18.00 | 4.735 | 8.0 | 143.7219 | 121.6561 | 16.06  | -28.98  | -28.98  | 0.00  | 晴天 | 1250/70 |

表59　±800kV线路导线与地面的最小垂直距离（m）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 导线地区 | 极导线型式 | 备注 |
| 6×630/45 | 6×720/50 | 6×800/55 | 6×900/40 | 6×1000/45 | 6×1125/50 | 6×1250/70 | 8×900/40 | 8×1250/70 |
| 居民区 | 21.0 | 21.0 | 20.5 | 20.0 | 19.5 | 19.0 | 18.5 | 18.0 | 16.0 | - |
| 非居民区 | 18.0 | 18.0 | 18.0 | 17.5 | 17.0 | 17.0 | 16.0 | 16.0 | 14.5 | 农业耕作区 |
| 16.0 | 16.0 | 16.0 | 15.5 | 15.5 | 15.0 | 14.5 | 14.5 | 13.0 | 人烟稀少的非农业耕作区 |

注：导线绝缘子串布置均按水平V串考虑。

2)　交通困难地区最小对地距离。

超高压输电线路在交通困难地区、步行可达和不可达到山坡的最小对地距离均按操作过电压的放电间隙，再根据人体的高度、物体的高度，并考虑一定的裕度而决定。

交通困难地区是指车辆不能达到的地区，该类地区的超高压线路最小对地距离的确定是取人、畜及携带物总高加上操作过电压间隙和裕度。我国现行的线路设计技术规程中，500kV和750kV线路，人、畜及携带物总高按3.5m考虑、裕度按2.0m考虑。500kV线路操作过电压间隙取3.0m，交通困难地区导线最小对地距离取8.5m；750kV线路操作过电压间隙取4.7m，该项最小对地距离为10.2m取11m（对地距离11m时，地面最大电场强度为16.5kV/m）。

1000kV特高压输电线路操作过电压间隙取6.5m，交通困难地区最小对地距离仅为12.0m，相应的地面最大电场强度将超过20kV/m，显然，该项对地距离的选取应该进行电场强度校核。

前苏联规定交通困难地区的电场强度限制值为20kV/m，我国超高压输电线路在此类地区没有规定场强限值。有资料显示，电场强度在18kV/m～20kV/m电场下时，湿润牧场放牧的奶牛并无反常行为；线路下和附近的乔木超过一定高度，树木端部会出现烧伤，引起植物端部烧伤的电场强度要在20kV/m以上，且这种现象与电压等级并没有直接关系。

1000kV特高压输电线路在交通困难地区，地面最大电场强度按18kV/m左右控制，经计算，对地距离约需14.5m，推荐取15m。

±800kV直流输电线路最大操作过电压间隙取7.5m，交通困难地区对地最小距离为13m，地面最大静电场强也超过20kV/m。±800kV直流线路在交通困难地区地面最大场强取20kV/m，地面合成场强取雨天46kV/m，晴天38kV/m，则V串情况下对地距离约为15m，I串情况下约为15.5m，推荐取15.5m。根据表57、表58，±800kV直流线路在交通困难地区最小对地距离取值见表60。当海拔高度超过1000m，每增加1000m海拔高度，线路对地距离增加6%的距离。如线路经过北方的灰尘严重地区和干燥地区时，线路对地距离还需适当增加。

表60 ±800kV线路在交通困难地区导线与地面的最小垂直距离（m）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 导线地区 | 极导线型式 | 备注 |
| 6×630/45 | 6×720/50 | 6×800/55 | 6×900/40 | 6×1000/45 | 6×1125/50 | 6×1250/70 | 8×900/40 | 8×1250/70 |
| 交通困难区 | 15.0 | 15.0 | 15.0 | 14.5 | 14.5 | 14.0 | 13.5 | 13.5 | 13.0 | 最大弧垂 |

注：导线绝缘子串布置均按水平V串考虑。

我国超高压线路在经过步行可达到的山坡时，导线的净空距离是考虑人在放牧时挥鞭对导线的接近，再留有2m的裕度，取和交通困难地区相同的数值（500kV线路取8.5m，750kV线路取11m）；对于步行不可达到的山坡、峭壁、岩石的净空距离，仅考虑操作过电压间隙加裕度，500kV线路取6.5m，750kV线路取8.5m。

1000kV特高压输电线路仍按此原则考虑，对于步行可达到的山坡，导线风偏后的净空距离推荐12m；对于步行不可达到的山坡、峭壁、岩石，导线风偏后的净空距离推荐10m。

±800kV特高压直流输电线路仍按此原则考虑，对于步行可达到的山坡，导线风偏后的净空距离推荐13m；即操作过电压间隙7.5m，加人、畜及携带物总高按3.5m考虑、加裕度2.0m；对于步行不可达到的山坡、峭壁、岩石，导线风偏后的净空距离推荐11m。

对于一般钢芯铝绞线，在基本气象条件（风速为30m/s）下，导线的风偏角约为40°，当地面坡度为30°，导线风偏后的净空距离满足11m时，导线静止时对山坡的距离将大于14m，垂直距离大于15.5m，采用V串情况下，其地面静电场小于20kV/m，地面最大合成电场强度雨天小于46kV/m，晴天小于38kV/m，采用I串情况下，其地面静电场小于20kV/m，地面最大合成电场强度雨天小于46kV/m，晴天小于38kV/m。因此，取该距离值应该是安全的，此对地距离值应用于云广工程中。具体取值见表59表61。

表61 ±800kV线路在步行可达和不可达到山坡的最小净空距离（m）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 线路经过地区 | 最小（净空）距离 | 备　注 |
| 步行可以到达的山坡 | 13.0 | 最大风偏 |
| 步行不能到达的山坡、峭壁和岩石 | 11.0 | 最大风偏 |

而在向上、锦苏特高压直流工程中，对于±800kV直流输电线路在交通困难地区，按操作过电压间隙控制的距离为13m；对其电场效应即静电场强限定在18kV/m，合成场强限定在雨天42kV/m，晴天35kV/m，则V串情况下，对地距离约需16m，I串情况下，对地距离约需17m，推荐取17m。对于向上、锦苏特高压直流工程实际应用中是按17m取值。

对于导线对交通困难地区的对地垂直距离控制值在不同工程中采用了不同值，主要是对地控制的静电场值不同，云广按20kV/m、向上锦苏按18kV/m控制。但实际过程这些值均不控制。

此次局部修订，取消了6×630/45、6×720/50导线工程中未应用I型串相关技术原则，补充了其他导线的最小对地距离技术原则要求。

13.0.4 本条说明如下：

1 导线与建筑物之间的最小垂直距离。±800kV线路不能跨越经常住人或屋顶为燃烧材料的建筑物，对于非长期住人的耐火屋顶的建筑物，在取得有关方面同意时可以跨越。导线与建筑物之问的最小垂直距离，从电场强度来看，可采用交通困难地区的标准。220kV～500kV级线路均在交通困难地区对地距离的基础上再增加0.5m，±800kV线路在交通困难地区的对地距离为15.5m，在此基础上再增加0.5m，取为16m。在向上锦苏工程中则按此原则计算，取17.5m。若所跨越的建筑物为非长期住人建筑，尚需满足房屋所在位置地面处湿导线合成场强15kV/m控制要求。±800kV线路在交通困难地区合成场强不超过雨天46kV/m，晴天38kV/m，0～3000m海拔不同导线按此合成场强要求的垂直距离见表62。

表62 导线至房屋顶部距离计算结果(m)

|  |  |
| --- | --- |
| 海拔高度极导线型式（V串） | 不同海拔合成场强雨天46kV/m、晴天38kV/m控制的最小垂直距离(m) |
| 1000m | 2000m | 3000m |
| 6×630/45 | 15.0 | 15.5 | 16.0 |
| 6×720/50 | 15.0 | 15.5 | 16.0 |
| 6×800/55 | 14.8 | 15.4 | 16.0 |
| 6×900/40 | 14.5 | 15.1 | 15.8 |
| 6×1000/45 | 14.3 | 14.9 | 15.6 |
| 6×1120/50 | 13.9 | 14.7 | 15.3 |
| 6×1250/70 | 13.5 | 14.3 | 15.0 |
| 8×900/40 | 13.4 | 14.2 | 15.0 |
| 8×1250/70 | 12.2 | 13.1 | 14.0 |

为便于工程应用，不同海拔不同导线与建筑物的最小净空距离统一取16.0m。若所跨越的建筑物为非长期住人建筑，尚应满足房屋所在位置地面处湿导线合成场强15kV/m控制要求。

2 导线在最大计算风偏时对建筑物的最小净空距离。前苏联规程规定，在导线最大风偏下，架空线路边导线至各建筑物及构筑物最近的突出部分的水平距离，750～1150kV线路取值为15m。国内500kV及750kV最大风偏时净距按跨越建筑物时的垂直距离减去0.5m。考虑导线的最大计算风偏仅是短时性的，1000kV线路按此原则执行，按跨越时的垂直距离减去0.5m，取为15m，与前苏联规程基本一致。

±800kV线路按此原则执行，按跨越时的垂直距离减去0.5m，取为15.5m。向上、锦苏工程按此原则计算则为17m。

3 ~~边~~导线与建筑物之间的水平距离。在无风情况下，~~边~~导线需对建筑物保持一定的水平间隔。参考现行国家标准《110kV～750kV架空输电线路设计规范》GB 50545的规定，500kV取值5m，750kV线路取为6.5m。1000kV线路取7m。±800kV线路按1000kV线路推荐取7m。

13.0.5 随着社会环保意识的不断加强，±800kV特高压线路在跨越林木、植被覆盖等方面，要采取高跨和砍伐相结合，更好的保护生态环境。

观察发现，植物和动物对线路下的电场有很大的适应能力。线路走廊中生长的农作物，受电场的刺激，一般生长的高大，果实数量与无电场作用地区没有差别，甚至还有所提高。8kV/m～12kV/m线路下生长的果树，受电场的作用使果实的质量提高。线路下和附近的乔木超过一定高度，树木端部会出现烧伤，测量表明，引起植物端部烧伤的电场强度在20kV/m以上，这种现象与电压等级并没有直接关系，美国、苏联等国家均在500kV、750（765）kV线路走廊内观察到类似的植物端部烧伤的现象。

1　导线与林区树木之间的垂直距离

我国500kV线路与树木的最小垂距，目前采用的数值大部分地区为7.5m，华北地区多为7m，广东地区多为6.5m。线路与树木的净空距离，大部分地区7m，华北、广东为6.5m。线路与果树、经济作物的距离，大部分地区6.5m，华北8.5m，广东6m。

加拿大安大略水电局《输电线路设计标准》规定：在导线最大弧垂或最大风偏时，导线与树木的任一部分之间的最小距离，对345kV和500kV线路为4m～6m。

前苏联规定：在公园、自然保护区、绿化区、居民点四周、贵重林区，水域、铁路和公路的防护林带的线路通道宽度要按导线最大偏斜时到树冠的距离来确定。对330kV～500kV线路，水平距离不小于5m；750kV线路，水平距离不小于6m；1150kV和±750kV线路，水平距离不小于8m。

日本《架空送电规程》规定：500kV线路与植物的最小垂直距离为7.28m。

考虑树木超高生长，若不能及时砍伐可能导致对地放电，导线与林区树木之间的垂直距离需有较大的裕度。110kV～330kV线路一般取为最大过电压间隙加上约3m的裕度，早期500kV线路最大过电压间隙为3.8m，按此计算并归整为7m，在建设过程中，各地实际取值为6.5～7.5m，现行规程统一为在导线最大弧垂或最大风偏时，导线与树木（包括果树、经济作物林、城市行道树等）的最小距离为7m。750kV线路按最大过电压间隙加上3.5m裕度，取为8.5m。

1000kV线路按最大操作过电压间隙7m加上3.5m裕度，取为10.5m时，校核电场强度大于20kV/m，容易引起树木端部烧伤，因此按场强20kV/m以下控制进行校核，1000kV线路导线对树木最小垂直距离取值14m。

±800kV线路导线对树木最小垂直距离可按操作过电压间隙7.5m加上3.5m裕度，取为11m。按合成场强雨天60kV/m，晴天52kV/m以下控制进行校核，校核电场强度见表63。

表63 导线至树顶距离计算结果（m）

|  |  |
| --- | --- |
| 海拔高度极导线型式（V串） | 不同海拔合成场强雨天60kV/m、晴天52kV/m控制的最小垂直距离 |
| 1000m | 2000m | 3000m |
| 6×630/45 | 12.8 | 13.2 | 13.6 |
| 6×720/50 | 12.6 | 13.0 | 13.4 |
| 6×800/55 | 12.1 | 12.6 | 13.1 |
| 6×900/40 | 11.9 | 12.4 | 12.9 |
| 6×1000/45 | 11.8 | 12.3 | 12.8 |
| 6×1120/50 | 11.5 | 12.1 | 12.6 |
| 6×1250/70 | 11.2 | 11.8 | 12.3 |
| 8×900/40 | 11.2 | 11.8 | 12.3 |
| 8×1250/70 | <11 | 11.0 | 11.7 |

由表60，按合成场强雨天60kV/m，晴天52kV/m取值，±800kV线路导线对树木最小垂直距离取13.5m。

为便于工程应用，0m～3000m海拔时不同导线与树木的最小垂直距离统一取13.5m，超过3000m海拔时最小垂直距离应根据合成场强校核确定。

2　导线最大风偏时与公园、绿化区、防护林带树木之间的净空距离。考虑最大风偏的短时性，110kV～330kV线路均在上述垂直距离的基础上减少0.5m。特高压线路由于原有导线与树木的垂直距离值较大±800kV线路导线与树木的垂直距离值是按合成电场控制的，考虑风偏的短时性，±800kV线路的该项距离取为10.5m导线最大风偏时与树木之间的净空距离按操作过电压间隙7.5m加上3m裕度，取为10.5m。

3 对于不满足表13.0.5-1和表13.0.5-2要求的超过主要树种自然生长高度的非主要树种树木应进行砍伐。需砍伐树木时，树木砍伐范围应按导线与树木之间的最小垂直距离及净空距离要求确定。对砍伐范围外的树木应按表7.0.7规定的最小工作电压间隙校核其倾倒过程对导线的距离。

以杨树砍伐范围确定为例，按6×1250/70导线对地距离16.0m、档距500m，档中导线最大水平偏移9.1m，导线对杨树的净空距离要求为10.5m，满足电气净空距离要求的导线最低处砍伐宽度为线路边线左右各19.6m（9.1m+10.5m），导线最低处对砍伐范围边缘地面的净空距离为25.3m($(\sqrt{19.6^{2}+16.0^{2}})$) ；杨树自然生长高度按30m，一般情况下杨树倾倒时按导线不摆动考虑，则杨树倾倒时对导线最低处的距离不满足工作电压间隙2.3m（1000m海拔）的要求，此时杨树砍伐范围应按杨树倾倒时对导线的距离确定，此时导线最低处砍伐宽度为线路边线左右各28.1m$(\sqrt{（30.0+2.3）^{2}-16.0^{2}})$。上述算例中按电气净空距离要求的砍伐宽度小于按杨树倾倒校验的砍伐宽度，但随着导线高度提升，杨树倾倒校验控制的砍伐宽度也随之减小。

4　导线与果树、经济作物、城市绿化灌木及街道树之间的垂直距离。该类树木超高生长的可能性很少，但考虑该类树木人接触的机会较多，且大多采用跨越方案，故在跨越一般树木的取值基础上适当增加安全裕度。1000kV线路在跨越一般树木的取值基础14m上适当增加2m取为16m。

±800kV线路按静电场强22kV/m，合成场强雨天50kV/m，晴天42kV/m取值，导线对果树、经济作物、城市绿化灌木及街道树之间最小垂直距离取15m按此原则执行，在跨越一般树木的取值基础上增加1.5m，取15m。按合成场强雨天50kV/m，晴天42kV/m以下控制进行校核，校核电场强度见表64。

表64 导线至果树等树顶距离计算结果(m)

|  |  |
| --- | --- |
| 海拔高度极导线型式（V串） | 不同海拔合成场强雨天50kV/m、晴天42kV/m控制的最小垂直距离 |
| 1000m | 2000m | 3000m |
| 6×630/45 | 14.6 | 15.1 | 15.6 |
| 6×720/50 | 14.4 | 14.9 | 15.5 |
| 6×800/55 | 13.9 | 14.5 | 15.0 |
| 6×900/40 | 13.7 | 14.2 | 14.8 |
| 6×1000/45 | 13.5 | 14.0 | 14.7 |
| 6×1120/50 | 13.1 | 13.8 | 14.4 |
| 6×1250/70 | 12.8 | 13.4 | 14.1 |
| 8×900/40 | 12.7 | 13.4 | 14.1 |
| 8×1250/70 | 11.7 | 12.4 | 13.3 |

为便于工程应用，对于上表中所示的各导线型式中，6×800/55及更大截面导线与树木的最小垂直距离在0m～3000m海拔时统一取15m，超过3000m海拔时最小垂直距离应根据合成场强校核确定。6×630/45和6×720/50导线与树木的最小垂直距离在0m～2000m海拔时统一取15m，超过2000m海拔时最小垂直距离应根据合成场强校核确定。

13.0.9 输电线路对各种交叉跨越物的距离，其取值原则由电场强度、电气绝缘间隙以及其他因素决定。输电线路与交叉跨越物的水平距离主要是为了避免输电线路对其他部门设施产生影响，如车辆行驶时电力线杆塔对司机视线的阻挡、电力线倒塔时对其他设施造成危害等。在现行线路设计规程中，其取值大多与电压等级无关，相关部门亦已认可，个别与电压等级相关的距离，按各电压等级取值的级差递增取值。本条第1款为强制性条款，必须严格执行。

（1）导线对公路交叉跨越距离。

1. 1）导线对公路路面的最小垂直距离。我国在第一批交流500kV线路设计时，控制地面场强小于9kV/m，线下大型车辆感应的短路电流不超过5mA电流的。考虑以后车辆尺寸还可能增大，以及降低电击的影响，我国500kV线路跨越公路的场强标准控制在7kV/m。前苏联的场强限值较高，场强标准控制在10kV/m，但规定交叉公路处不允许运输车辆停留。美国则是控制人接触线下大型车辆时，通过人体的放电电流不超过5mA。考虑我国的实际情况，很难限制运输车辆不在线下附近停留，故1000kV线路仍维持7kV/m的场强限值。各国不同电压等级对公路交叉垂直距离见表61表65。

表65各国不同电压等级对公路交叉垂直距离

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 国　别 | 额定电压（kV） | 场　所 | 场强限值（kV/m） | 对地距离（m） |
| 前苏联 | 1150 | 公　路 | — | 21～22 |
| 前苏联 | 750 | 公　路 | 10 | 16 |
| 前苏联 | ±750 | 公　路 | — | 12.5 |
| 美国AEP | 765 | 一般公路 | 7 | 16.8 |
| 美国AEP | 765 | 高速公路 | 5～8 | 19.5 |
| 加拿大 | 735 | 公　路 | — | 15.4 |
| 中　国 | 500 | 公　路 | 7 | 14 |
| 中　国 | 750 | 公　路 | 7 | 19.5 |
| 中　国 | 1000 | 公　路 | 7 | 27 |

±800kV特高压直流输电线路跨越公路时导线对公路路面的距离，可按照居民区标准执行，即合成场强限定在雨天30kV/m，晴天25kV/m，离子流密度限定在雨天100nA/m2，晴天80nA/m2。水平V串导线对公路路面的距离为21米，水平I串导线对公路路面的距离为21.5m，推荐取值21.5m。校核电场强度见表66。

表66 导线至公路距离计算结果（m）

|  |  |
| --- | --- |
| 海拔高度极导线型式（V串） | 不同海拔合成场强雨天30kV/m、晴天25kV/m控制的最小垂直距离(m) |
| 1000m | 2000m | 3000m |
| 6×630/45 | 21.0 | 22.2 | 23.0 |
| 6×720/50 | 21.0 | 21.8 | 22.7 |
| 6×800/55 | 20.2 | 21.2 | 22.1 |
| 6×900/40 | 19.7 | 20.7 | 21.6 |
| 6×1000/45 | 19.4 | 20.2 | 21.4 |
| 6×1120/50 | 18.8 | 19.9 | 20.9 |
| 6×1250/70 | 18.1 | 19.3 | 20.4 |
| 8×900/40 | 17.9 | 19.1 | 20.3 |
| 8×1250/70 | 15.9 | 17.4 | 18.8 |

由表66，按合成场强雨天30kV/m、晴天25kV/m取值，对计算结果进行取整，±800kV线路不同海拔不同导线与公路交叉的最小垂直距离见表67。

表67 ±800kV线路与公路交叉的最小垂直距离（m）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 海拔高度极导线型式（V串） | 1000m | 2000m | 3000m |
| 6×630/45 | 21.0 | 22.5 | 23.0 |
| 6×720/50 | 21.0 | 22.0 | 23.0 |
| 6×800/55 | 20.5 | 21.5 | 22.5 |
| 6×900/40 | 20.0 | 21.0 | 22.0 |
| 6×1000/45 | 19.5 | 20.5 | 21.5 |
| 6×1120/50 | 19.0 | 20.0 | 21.0 |
| 6×1250/70 | 18.5 | 19.5 | 20.5 |
| 8×900/40 | 18.0 | 19.5 | 20.5 |
| 8×1250/70 | 16.0 | 17.5 | 19.0 |

1. 因为直流输电线路长期过负荷仅为额定负荷的110％，导线最大弧垂可按±70℃或按实际可能到达的温度计算。
2. 2）交叉公路的最小水平距离。线路交叉一级及以下公路时，在开阔地区，铁塔基础外缘至路基边缘的最小水平距离现规程对电压等级110kV～500kV均为8m，750kV线路取10m。1000kV特高压线路取值15m。±800kV特高压直流输电线路亦取值15m。交叉高速公路时，最新公路法要求已大为提高，如广东、湖北等地要求80m。因此，±800kV特高压直流线路铁塔基础外缘至高速公路隔离栏的最小水平距离与公路部门协商，按协议要求取值。
3. 3）与公路平行的水平距离。当线路与公路平行接近时，在开阔地区，电力线对公路的水平距离不小于最高杆塔高度。当线路位于路径受限制地区时，最小水平距离现行规程一般随电压等级升高而适当增大，1000kV特高压线路按地面电场为7kV/m，边导线至路基边缘最小水平距离取值为15m或按协议要求。

考虑到我国土地资源在经济发达地区的越发宝贵，电力线路杆塔外缘至路基边缘最小水平距离不宜太大。±800kV特高压直流输电线路，建议路径受限制地区边导线至路基边缘最小水平距离取12m，则足以确保对行人及车辆的安全，或按协议要求。

（2）导线对铁路交叉跨越距离。

1. 1）导线至铁路轨顶的垂直距离。国外及我国500kV以上线路的规定见~~表62~~表68。

表68 各国不同电压等级对铁路交叉垂直距离

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 国　别 | 电压等级（kV） | 至铁路轨顶的垂直距离（m） | 至接触网的垂直距离（m） |
| 前苏联 | 1150 | 17.5 | 14.5（网线、杆顶） |
| 前苏联 | 750 | 12 | 10（网线、杆顶） |
| 前苏联 | ±750 | 13 | 10.5（网）、12（杆顶） |
| 加拿大 | 735 | l3.7 | — |
| 中　国 | 500 | 电气轨16.0、标轨14.0、窄轨13.0 | 6（网）、8.5（杆顶） |
| 中　国 | ±500 | 16 | 7.6（网）、8.5（杆顶） |
| 中　国 | 750 | 电气轨21.5、标轨19.5、窄轨18.5 | 7（网）、10（杆顶） |
| 中　国 | 1000 | 电气轨及标轨27.0、窄轨26.0 | 16.0 |

1. 考虑我国的实际情况，±800kV线路至标准轨距铁路轨顶的最小垂直距离参照跨越公路即居民区的要求，即合成场强限定在雨天30kV/m，晴天25kV/m，离子流密度限定在雨天100nA/m2，晴天80nA/m2。水平V串导线对标准轨距铁路轨顶的距离为21m，水平I串导线对标准轨距铁路轨顶的距离为21.5m，推荐取值21.5m。校核电场强度见表69。

表69 导线至铁路轨顶距离计算结果（m）

|  |  |
| --- | --- |
| 海拔高度极导线型式（V串） | 不同海拔合成场强雨天30kV/m、晴天25kV/m控制的最小垂直距离(m) |
| 1000m | 2000m | 3000m |
| 6×630/45 | 21.0 | 22.2 | 23.0 |
| 6×720/50 | 21.0 | 21.8 | 22.7 |
| 6×800/55 | 20.2 | 21.2 | 22.1 |
| 6×900/40 | 19.7 | 20.7 | 21.6 |
| 6×1000/45 | 19.4 | 20.2 | 21.4 |
| 6×1120/50 | 18.8 | 19.9 | 20.9 |
| 6×1250/70 | 18.1 | 19.3 | 20.4 |
| 8×900/40 | 17.9 | 19.1 | 20.3 |
| 8×1250/70 | 15.9 | 17.4 | 18.8 |

导线至窄轨铁路轨顶的最小垂直距离比标准轨铁路可减少一些，我国现行线路设计规程中，一般均减少1m。1000kV特高压线路按相同取值，±800kV线路也按相同取值。

跨越电气化铁路时，考虑其等级及重要性较高，500kV线路的规定，导线至轨顶的最小垂直距离一般要求比非电气化铁路大一些，该项距离比标准轨铁路增加取2m。但±800kV特高压直流线路跨越铁路时的对地距离由地面场强控制，最大电气间隙已有足够的安全裕度，因此不另外增加安全距离。

因此±800kV特高压直流线路对标准轨距铁路及电气化铁路轨顶最小垂直距离取21.5m，对窄轨铁路轨顶的最小垂直距离取21.5m。

由表69，按合成场强雨天30kV/m、晴天25kV/m取值，对计算结果进行取整，±800kV特高压直流线路对标准轨距铁路、电气化铁路轨顶及窄轨铁路轨顶最小垂直距离取值见表70。

表70 ±800kV线路与铁路交叉对轨顶的最小垂直距离（m）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 海拔高度极导线型式（V串） | 1000m | 2000m | 3000m |
| 6×630/45 | 21.0 | 22.5 | 23.0 |
| 6×720/50 | 21.0 | 22.0 | 23.0 |
| 6×800/55 | 20.5 | 21.5 | 22.5 |
| 6×900/40 | 20.0 | 21.0 | 22.0 |
| 6×1000/45 | 19.5 | 20.5 | 21.5 |
| 6×1120/50 | 19.0 | 20.0 | 21.0 |
| 6×1250/70 | 18.5 | 19.5 | 20.5 |
| 8×900/40 | 18.0 | 19.5 | 20.5 |
| 8×1250/70 | 16.0 | 17.5 | 19.0 |

当跨越拟建铁路桥梁地段，为保证架桥机上作业人员安全，直流±800kV线路对铁路架桥机操作室的合成场强按非居民区（农业耕作区）的限值标准控制，即雨天36kV/m，晴天30kV/m。校核电场强度见表71。

表71 导线至铁路桥梁架桥机操作室距离计算结果（m）

|  |  |
| --- | --- |
| 海拔高度极导线型式（V串） | 不同海拔合成场强雨天36kV/m、晴天30kV/m控制的最小垂直距离(m) |
| 1000m | 2000m | 3000m |
| 6×630/45 | 18.0 | 18.7 | 19.4 |
| 6×720/50 | 18.0 | 18.7 | 19.4 |
| 6×800/55 | 17.7 | 18.5 | 19.3 |
| 6×900/40 | 17.3 | 18.1 | 18.9 |
| 6×1000/45 | 17.0 | 17.8 | 18.7 |
| 6×1120/50 | 16.6 | 17.5 | 18.4 |
| 6×1250/70 | 16.0 | 17.0 | 17.9 |
| 8×900/40 | 15.8 | 16.9 | 17.9 |
| 8×1250/70 | 14.2 | 15.4 | 16.6 |

经咨询相关铁路施工单位，铁路架桥机高度从6.5m～13.7m不等，操作室位于架桥机中下部，操作室距离轨顶的高度可取7m。由表71，考虑架桥机操作室距离轨顶高度7m后，直流±800kV线路对有架桥机作业的铁路桥梁轨顶最小垂直距离取值见表72。

表72 导线至有架桥机作业的铁路桥梁轨顶最小垂直距离（m）

|  |  |
| --- | --- |
| 海拔高度极导线型式（V串） | 不同海拔合成场强雨天36kV/m、晴天30kV/m控制的最小垂直距离(m) |
| 1000m | 2000m | 3000m |
| 6×630/45 | 25.0 | 25.7 | 26.4 |
| 6×720/50 | 25.0 | 25.7 | 26.4 |
| 6×800/55 | 24.7 | 25.5 | 26.3 |
| 6×900/40 | 24.3 | 25.1 | 25.9 |
| 6×1000/45 | 24.0 | 24.8 | 25.7 |
| 6×1120/50 | 23.6 | 24.5 | 25.4 |
| 6×1250/70 | 23.0 | 24.0 | 24.9 |
| 8×900/40 | 22.8 | 23.9 | 24.9 |
| 8×1250/70 | 21.2 | 22.4 | 23.6 |

工程设计中，当跨越拟建铁路桥梁地段时，±800kV线路对铁路轨顶的垂直距离应根据铁路架桥机操作室距离轨顶的高度校核确定。

此外，铁道部以铁建设函[2009]327号文规定，导线至轨顶的垂直距离，非电气化铁路与电气化铁路取相同的标准，直流±800kV不小于21.5m，对于输电线路跨越拟建铁路处，有铁路架桥机作业情况发生时，直流±800kV不小于24m。

1. 2）导线至电气化铁路承力索或接触线的垂直距离。电气化铁路供电电压约30kV，铁路设计时，跨越铁路的天桥底部高度至接触线约8m。即接触网的构造高度距轨面高度不超过8m。±800kV线路导线跨越电气化铁路承力索或接触线的垂直距离按最大电气间隙控制，操作过电压间隙取7.5m，导线动态范围取2m，裕度取3m，推荐取值12.5m。

对于铁路承力索或接触线的塔顶最小垂直距离，为减少登杆维修人员受到的静电感应影响，降低杆塔顶的场强，需适当增大间距。各电场强度下计算垂直距离见表63。±800kV线路对接触网塔顶的场强按合成场强雨天50kV/m、晴天42kV/m控制，校核电场强度见表73。

表73 导线至电气化铁路承力索或接触线杆塔顶的距离计算结果（m）

|  |  |
| --- | --- |
| 海拔高度极导线型式（V串） | 不同海拔合成场强雨天50kV/m、晴天42kV/m控制的最小垂直距离(m) |
| 1000m | 2000m | 3000m |
| 6×630/45 | 14.6 | 15.1 | 15.6 |
| 6×720/50 | 14.4 | 14.9 | 15.5 |
| 6×800/55 | 13.9 | 14.5 | 15.0 |
| 6×900/40 | 13.7 | 14.2 | 14.8 |
| 6×1000/45 | 13.5 | 14.0 | 14.7 |
| 6×1120/50 | 13.1 | 13.8 | 14.4 |
| 6×1250/70 | 12.8 | 13.4 | 14.1 |
| 8×900/40 | 12.7 | 13.4 | 14.1 |
| 8×1250/70 | 11.7 | 12.4 | 13.3 |

1. 由表63确定，±800kV对接触网塔顶的场强按合成场强雨天50kV/m晴天42kV/m控制，±800kV线路导线至电气化铁路承力索或接触线杆塔顶的垂直距离暂推荐取15m。
2. 由表73，对计算结果进行取整后，±800kV线路导线至电气化铁路承力索或接触线杆塔顶的垂直距离推荐取值见表74。

表74 ±800kV线路至电气化铁路承力索或接触线杆塔顶的最小垂直距离（m）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 海拔高度极导线型式（V串） | 1000m | 2000m | 3000m |
| 6×630/45 | 15.0 | 15.5 | 16.0 |
| 6×720/50 | 14.5 | 15.0 | 15.5 |
| 6×800/55 | 14.0 | 14.5 | 15.0 |
| 6×900/40 | 14.0 | 14.5 | 15.0 |
| 6×1000/45 | 13.5 | 14.0 | 15.0 |
| 6×1120/50 | 13.5 | 14.0 | 14.5 |
| 6×1250/70 | 13.0 | 13.5 | 14.5 |
| 8×900/40 | 13.0 | 13.5 | 14.5 |
| 8×1250/70 | 12.5 | 12.5 | 13.5 |

1. 3）交叉铁路的最小水平距离。交叉铁路时，铁塔基础外缘至轨道中心的最小水平距离现规程各级电压均为30m，±800kV特高压直流线路因电压等级较高，为提高安全运行可靠性建议最小水平距离提高到40m，或按协议要求取值。

铁道部铁建设函〔2009〕327号文规定，线路交叉跨越铁路时，杆塔外缘至轨道中心水平距离不小于塔高加3.1m。当无法满足此要求时（如跨越处地形受限、大跨越杆塔较高等），可适当减小距离，但交流1000kV和直流±800kV特高压线路不得小于40m。

1. 4）与铁路平行的水平距离。铁道部铁建设函〔2009〕327号文规定，线路与铁路平行接近时，杆塔外缘至轨道中心的水平距离不小于塔高加3.1m，困难时协商确定。

在路径受限制地段，要控制±800kV特高压直流线路与铁路的平行距离和长度，并对每一交叉段和接近段进行验算，以确定对铁路通信、信号和闭锁装置的干扰和危险影响。对电气化铁路，要降低在铁路接触网的导线和承力索上所感应的电压。在导线最大风偏情况下，架空线路的边导线至接触网导线的距离大于45m，至非电气化铁路建筑物的距离大于15m。

5) 铁路其它规定。铁道部铁建设函〔2009〕327号文规定，特高压输电线路跨越铁路处采取的加强措施有：

①基本风速、基本覆冰重现期按100年一遇设计。

②杆塔结构重要性系数取1.1。

③跨越铁路时采用独立耐张段，跨越档导线、地线不得设有任何接头。

④一般情况下，不在铁路车站出站信号机以内跨越；当跨越拟建铁路桥梁地段，考虑铁路架桥机施工情况，不小于24m。

⑤跨越时，交叉角不小于45°。困难情况下双方协商确定，但不得小于30°。

⑥为提高特高压线路的抗冰能力，跨越段需因地制宜，实行差异化设计。覆冰区段，导线最大设计验算覆冰厚度要比同区域常规线路增加10mm，地线设计验算覆冰厚度增加15mm。

⑦跨越段绝缘子串采用双挂点、双联“I”串或“V”串型式。

⑧导线最大弧垂温度按照相关国家标准执行，且不小于70℃。

⑨跨越铁路的特高压线路铁塔处要设置标志牌，标明电压等级、走廊宽度、轨顶的导线最低点高度、相对轨顶的设施限高、安全绝缘距离等信息。

（3）对电车道的交叉跨越距离。

1. 1）与电车道路面及接触网的最小垂直距离。±800kV特高压直流线路至电车道路面及接触网的最小垂直距离按照跨越电气化铁路的要求取值，即导线对电车道路面取21.5m，导线对承力索或接触线杆塔顶取15m。
2. 2）交叉电车道的最小水平距离。线路交叉电车道时，在开阔地区，铁塔基础外缘至路基边缘的最小水平距离现规程对电压等级110kV～500kV均为8m，750kV线路取10m，1000kV特高压交流线路和±800kV特高压直流线路均取15m。
3. 3）平行电车道的最小水平距离。当线路与电车道平行接近时，在开阔地区，电力线对电车道的水平距离不小于最高杆塔高度。当线路位于路径受限制地区时，最小水平距离现规程一般随电压等级升高而适当增大。±800kV特高压直流输电线路，按V串，对地18m时，离线路中心30m～40m处，地面合成场强晴天为16.73kV/m～10.01kV/m，雨天为21.6kV/m～13.16kV/m，考虑±800kV特高压直流输电线路杆塔根开在10m～18m，建议杆塔外缘至路基边缘最小水平距离取30m或按边导线至路基边缘最小水平距离取20m，并在导线最大风偏情况下，导线至电车道最近构件的距离不小于15m，以确保对行人及车辆的安全。

（4）　导线对弱电线的交叉跨越距离。

1）导线对弱电线的最小垂直距离。由表13.0.9－1确定，±800kV特高压直流线路导线至弱电线的最小垂直距离可按合成场强雨天42kV/m晴天35kV/m控制，推荐取值17m，较交叉铁路接触网杆顶的标准增加2m。±800kV特高压直流线路导线至弱电线的最小垂直距离可按合成场强雨天42kV/m晴天35kV/m控制。校核电场强度见表75。

1. 表75 导线至弱电线的垂直距离计算结果（m）

|  |  |
| --- | --- |
| 海拔高度极导线型式（V串） | 不同海拔合成场强雨天42kV/m、晴天35kV/m控制的最小垂直距离(m) |
| 1000m | 2000m | 3000m |
| 6×630/45 | 16.0 | 16.6 | 17.2 |
| 6×720/50 | 16.0 | 16.6 | 17.2 |
| 6×800/55 | 15.8 | 16.5 | 17.1 |
| 6×900/40 | 15.5 | 16.2 | 16.9 |
| 6×1000/45 | 15.3 | 15.9 | 16.7 |
| 6×1120/50 | 14.9 | 15.7 | 16.4 |
| 6×1250/70 | 14.4 | 15.4 | 16.0 |
| 8×900/40 | 14.3 | 15.2 | 16.0 |
| 8×1250/70 | 12.9 | 13.9 | 15.0 |

由表75，±800kV特高压直流线路导线至弱电线的最小垂直距离见表76。

1. 表76 ±800kV线路与弱电线的最小垂直距离（m）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 海拔高度极导线型式（V串） | 1000m | 2000m | 3000m |
| 6×630/45 | 16.0 | 17.0 | 17.5 |
| 6×720/50 | 16.0 | 17.0 | 17.5 |
| 6×800/55 | 16.0 | 16.5 | 17.5 |
| 6×900/40 | 15.5 | 16.5 | 17.0 |
| 6×1000/45 | 15.5 | 16.0 | 17.0 |
| 6×1120/50 | 15.0 | 16.0 | 16.5 |
| 6×1250/70 | 14.5 | 15.5 | 16.0 |
| 8×900/40 | 14.5 | 15.5 | 16.0 |
| 8×1250/70 | 13.0 | 14.0 | 15.0 |

1. 2）对弱电线的最小水平距离。现行国家标准《110kV～750kV架空输电线路设计规范》GB 50545规定110kV～750kV线路在开阔地区，线路与弱电线平行接近时，线路边导线至弱电线的最小水平距离不小于平行地段线路的最高杆塔高度。±800kV特高压直流线路也照此执行。

国家标准《110kV～750kV架空输电线路设计规范》GB 50545规定在路径走廊受限制地区，边导线在最大风偏情况下对弱电线的水平距离，在500kV为8m，750kV取为10m。±800kV特高压直流线路取13m。

（5）导线对电力线的交叉跨越距离。

1）对电力线路导（地）线的最小垂直距离。前苏联规程规定，对环境空气温度为15℃时，1150kV、±750kV线路与电力线交叉跨越最小距离满足12m、11m要求时，被跨越档的电力线铁塔不需采用特殊防雷措施。

我国规程规定与电力线交叉跨越应根据最高气温情况或覆冰无风情况的最大弧垂进行校核，比前苏联规定更严格。

±800kV特高压直流线路跨越电力线时，对导（地）线的最小垂直距离，按操作过电压间隙7.5m，加上3m裕度，推荐取值为10.5m(实际工程校核时，需另考虑导线动态范围)。

2）导线对电力线杆塔顶的垂直距离。±800kV特高压直流线路导线对电力线杆塔顶的最小垂直距离可取交叉铁路接触网杆顶的标准及取值，推荐取15m。

3）对电力线的最小水平距离。在开阔地区，线路电力线平行接近时，线路边导线至架空线边线最小水平距离不小于平行地段线路的最高杆塔高度。前苏联规定1150kV和±750kV线路不小于100m，主要是为降低停电检修线路的导线和避雷线上的感应电压，但这一问题可采取安全措施加以解决。

在路径受限制地区边导线在最大风偏情况下对其它电力线边线之间的水平距离，500kV级为13m，750kV为16m。1000kV线路考虑相间过电压的差别，在750kV基础上增加4m，取为20m。±800kV特高压直流线路导线在最大风偏情况下对其它电力线边线之间的水平距离取为20m。

在路径受限制地区，当两回平行的输电线路杆塔同步排列时，两回输电线路临近的边极（相）导线间的最小水平距离类同于同杆双回路上，不同回路的不同极（相）导线间的水平距离。同一回路导线的水平线间距离，按档距中导线接近条件考虑，按正文中（8.0.1）公式计算。按±800kV架空输电线路V型悬垂绝缘子串长Lk=11m，路径受限制地区大都在发电厂、变电站进出线段或邻近城市的走廊拥挤地段，多为平丘地区，档距一般为400m～600m，气象条件：最大风速30m/s～35m/s，最大覆冰10mm，导线按LGJ-630/45，最大弧垂fc=30m（对应L=600m）。

D = kiLk+×U/110+0.65+A

 = 0×11 +×800/110+0.65+0 = 13.85(m)

考虑一定的裕度，取为20m。工程应用中按实际条件进行校验。

对路径狭窄地带，前苏联规定1150kV和±750kV线路平行电力线在不偏斜时边导线之间距离不小于30m，如果两线路杆塔位置交错排列，导线在最大风偏情况下，架空线路边导线至另一条平行的架空线路杆塔最近构件距离不小于15m。±800kV特高压直流线路对相邻线路杆塔在导线最大风偏情况下的最小水平距离取最大操作过电压间隙值，同时考虑杆塔在无风时上人检修，并留有适当裕度，按步行可以到达山坡考虑，取13m。

（6）对特殊管道的交叉跨越距离。

1. 1）对特殊管道的最小垂直距离。特殊管道是架设在地面上输送易燃易爆物品的管道，导线对此类管道的最小垂直距离，前苏联500kV线路取值6.5m，750kV线路取值12m，1150kV取值14.5m，±750kV取值10.5m；我国500kV线路实际采用7.5m或按协议要求取值，750kV线路取为9.5m或按协议要求取值。1000kV线路与跨越弱电线相同，取为18m。对于±800kV特高压直流线路，建议与跨越弱电线相同，取为17m或按协议要求取值。跨越索道可与跨越电力线相同，取为10.5m。
2. 2）对特殊管道的最小水平距离。前苏联的超特高压线路与地上天然气管道、石油管道、石油产品管道和载人索道交叉时的交叉角尽可能采取90°。金属管道和索道应该在同线路交叉的范围内接地，而当750kV及以上架空线路同管道和索道平行架设和接近时，在架空线路两侧距中心线各100m以内的地段也应该接地，接地电阻不超过25Ω。

前苏联的超特高压线路与地上管道、索道交叉或接近距离见表64表77，与地下管道、索道交叉或接近距离见表65表78。

表77前苏联的超特高压线路与地上管道、索道交叉或接近距离

|  |  |
| --- | --- |
| 交叉或接近特征 | 各级电压（kV）架空线路的最小距离（m） |
| 330 | 500 | 750 | 1150 | ±750 |
| 导线至管道、索道垂直距离 | 6.0 | 6.5 | 12.0 | 14.5 | 10.5 |
| 基础至管道、索道水平距离（交叉、开阔地区） | 杆塔高度 |
| 基础至管道、索道水平距离（交叉、受限地区） | 6.0 | 6.5 | 15.0 | 15.0 | 15.0 |
| 接近时不偏斜边导线至主干天然气管道水平距离 | 2倍杆高，但不能近于防护区边界 |
| 同上，至主干石油管道和石油产品管道水平距离 | 50，但不小于杆塔高度 |
| 同上，至泥浆管道 | 30 | 30 | 40 | 40 | 40 |
| 同上，在导线最大风偏时至其他管道、索道任何部分 | 15 | 15 | 25 | 25 | 15 |

表78前苏联的超特高压线路与地下管道、索道交叉或接近距离

|  |  |
| --- | --- |
| 交叉或接近特征 | 各级电压架空线路的最小距离（m） |
| 330kV | 500kV | 750kV | 1150kV | ±750kV |
| 由不偏斜导线至压力在1.2MPa以上的主干天然气管道及石油管道的水平接近距离 | 30 | 30 | 40 | 55 | 55 |
| 同上，在路径受限地区，架空线路接地装置或基础至上述管道、索道的水平接近距离 | 15 | 15 | 25 | 25 | 25 |
| 架空线路接地装置或基础至压力在1.2MPa以下的主干天然气管道及主干天然气管道支线和主干石油管道及石油产品管道支线的水平距离 | 10 | 10 | 10\* | 10\* | 10\* |
| 同上，至各种不同用途管道 | 3.0 | 3.0 | 10\* | 10\* | 10\* |
| 架空线路中心线至安装在主干天然气管道上的排汽筏的距离 | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 |

注：\*只是在遇有交叉，且又同750kV及以上架空线路接近时，才要将管道敷设在防护区以外。

当直流超高压线路同地下管道接近时，要考虑对钢管道采取保护措施，以防止由于地中电流引起的腐蚀。预防地下管道腐蚀最有效的办法是采取阴极保护。

国内相关标准、规范主要内容如下：

①中华人民共和国国家标准《城镇燃气设计规范》GB 50028－93（2002年版）规定如下：

地下燃气管道与建、构筑物和相邻管道之间的水平净距大于35kV电杆（塔）的基础之间的水平净距不小于5m。

地下燃气管道与交流电力线接地体的净距（m），220kV铁塔或电杆接地体为10m。

地下液态液化石油气管道与建、构筑物和相邻管道之间的水平净距，架空电力线（中心线）1倍杆高（考虑倒杆影响），且不小于10m（考虑电力线路运行时对液化石油气管道感应电位的影响）。

门站和储备站集中放散装置的放散管与站外建、构筑物的防火间距大于 380V架空电力线2.0倍杆高。

液化石油气供应基地全压力式、全冷冻式储罐与基地外建、构筑物的防火间距，架空电力线（中心线）1.5倍杆高，但35kV以上架空电力线要大于40m。

②中华人民共和国国家标准《输油管道工程设计规范》GB 50253－2003规定如下：

当埋地输油管道与架空电力线路平行敷设时，其距离要符合现行国家标准《66kV及以下架空电力线路设计规范》GB 50061及原行业标准《110～500kV架空送电线路设计技术规程》（DL/T 5092－1999）《110kV～750kV架空输电线路设计规范》GB 50545的规定。埋地液态液化石油气管道，其距离不小于上述标准中的规定外，且不小于10m。

③中华人民共和国国家标准《石油和天然气工程设计防火规范》GB50183－2004规定如下：

石油天然气站场区域布置防火间距，35kV以上架空电力线（中心线）1.5倍杆高，且不小于30m（液化石油气和天然气凝液站场不小于40m）。

油气井与周围建（构）筑物、设施防火间距，35kV以上及以下架空电力线（中心线）1.5倍杆高。

埋地集输管道与其他地下管道、通信电缆、电力系统的各种接地装置等平行或交叉敷设时，其间距要符合现行国家标准《钢质管道及储管腐蚀控制工程设计规范》SY 0007的有关规定。

集输管道与架空输电线路平行敷设时，其安全距离要符合下列要求：

管道埋地敷设时，其安全距离不小于表66表79规定。

表79

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 名 称 | 3kV以下 | 3kV～10kV | 35kV～66kV | 110kV | 220kV |
| 开阔地区 | 最高杆（塔）高 |
| 路径受限制地区（m） | 1.5 | 2.0 | 4.0 | 4.0 | 5.0 |

 注：1 表中距离为边导线至管道任何部分的水平距离。

 2 对路径受限制地区的最小水平距离要求，需计及架空电力线路导线的最大风偏。

当管道地面敷设时，其间距不小于本段最高杆（塔）高度。

④《石油天然气管道保护条例》第313号国务院令规定如下：

第十五条　禁止任何单位和个人从事下列危及管道设施安全的活动：

（一）移动、拆除、损坏管道设施以及为保护管道设施安全而设置的标志、标识；

（二）在管道中心线两侧各5米范围内，取土、挖塘、修渠、修建养殖水场，排放腐蚀性物质，堆放大宗物资，采石、盖房、建温室、垒家畜棚圈、修筑其他建筑物、构筑物或者种植深根植物；

（三）在管道中心线两侧或者管道设施场区外各50米范围内，爆破、开山和修筑大型建筑物、构筑物工程；

（四）在埋地管道设施上方巡查便道上行驶机动车辆或者在地面管道设施、架空管道设施上行走；

（五）危害管道设施安全的其他行为。

第十六条　在管道中心线两侧各50米至500米范围内进行爆破的，应当事先征得管道企业同意，在采取安全保护措施后方可进行。

第二十三条 任何单位在管道设施安全保护范围内进行下列施工时，应当事先通知管道企业，并采取相应的保护措施：

（一）新建、改（扩）建铁路、公路、桥梁、河渠、架空电力线路；

（二）埋设地下电（光）缆；

（三）设置安全或者避雷接地体。

综合前苏联及我国相关规定，±800kV直流架空线路对管道和索道交叉和接近距离规定如下：

在开阔地区，线路与特殊管道平行接近时，线路边导线至管道任何部分的最小水平距离不小于平行地段线路的最高杆塔高度。

在路径受限制地区，边导线在最大风偏情况下对特殊管道的水平距离，按步行可以到达山坡考虑并适当增加裕度，取值为15m。

±800kV直流架空线路对管道和索道最小水平距离见表67表80。

表80 ±800kV直流架空线路对管道和索道最小水平距离

| 线路与管道和索道交叉或接近特征 | 最小（净空）距离（m） | 备 注 |
| --- | --- | --- |
| 交叉、开阔地区，基础至架空管道、索道水平距离 | 杆塔高度 |  |
| 交叉、受限地区，基础至架空管道、索道水平距离 | 15 |  |
| 平行，边导线至架空天然气主管道 | 2倍杆塔高度 | 无风时 |
| 平行，边导线至架空石油主管道 | 50，且不小于杆塔高度 | 无风时 |
| 平行，边导线至其他架空管道 | 15 | 最大风偏 |
| 平行，边导线至埋地油气主管道 | 55 | 无风时 |
| 平行或交叉，杆塔接地体或基础至埋地油气主管道 | 25 |  |
| 线路中心线至天然气主管道排气阀 | 300 |  |

（7） 对河流的交叉跨越距离。

1）跨越河流的最小垂直距离。跨越河流时，我国500kV第一代线路设计标准：距通航河流5年一遇洪水位10m；距最高船桅6m。不通航河流：距100年一遇洪水位7m；冬季至冰面12m。目前第二代设计：全国大部分地区的设计距通航河流5年一遇洪水位9.5m：距最高船桅：东北地区为5.5m，其余地区多为6m。对不通航河流距100年一遇洪水位，东北、华东地区为6.5m；其余地区仍多为7m。冬季至冰面：都按11m设计（三角排列铁塔取10.5m）。

对通航河流日本规程未明确，但指出导线距水面的高度要保证船舶航行没有危险；苏联规程为8m；加拿大规定取8.85m。

根据上述情况，在跨越通航河流时，导线至五年一遇洪水位的最小垂直距离参照我国500kV线路的要求首先考虑最大操作过电压间隙，考虑小型船只活动高度3.5m，加裕度3m，500kV线路取9.5m，750kV线路取11.5m。1000kV线路考虑最大操作过电压7m加裕度3m，取10m，此时校核洪水面场强大于20kV/m，为保证洪水面场强低于20kV/m，最小交叉垂直距离要增加到14m。

±800kV特高压直流线路考虑最大操作过电压间隙7.5m，考虑小型船只活动高度3.5m，加裕度3m，取值14m，此时校核洪水面场强静电场强－21.3kV/m，合成场强雨天－49.3kV/m晴天－40.5kV/m。

±800kV特高压直流线路导线对洪水面的场强按合成场强雨天50kV/m晴天42kV/m控制，推荐取值为15m。

导线至最高航行水位的最高船桅顶的最小垂直距离按导线最大操作过电压间隙7.5m加上3m裕度，取为10.5m。

±800kV特高压直流线路跨越通航河流应考虑船舶航行时不发生危险，应考虑导线对最高航行水位船舶桅顶高度的垂直距离满足最大操作过电压间隙要求，同时需考虑对船舶人员活动面的垂直距离满足合成场强与最大操作过电压间隙要求。

±800kV特高压直流线路导线对于最高通航水位船舶桅顶，需考虑操作过电压间隙取7.5m，裕度取3m，最小垂直距离取10.5m。

±800kV特高压直流线路导线对于最高通航水位船舶人员活动面的电场强度按合成场强不超过雨天50kV/m、晴天42kV/m控制，校核电场强度见表81。

表81 导线至最高航行水位船舶人员活动面的距离计算结果（m）

|  |  |
| --- | --- |
| 海拔高度极导线型式（V串） | 不同海拔合成场强雨天50kV/m、晴天42kV/m控制的最小垂直距离(m) |
| 1000m | 2000m | 3000m |
| 6×630/45 | 14.6 | 15.1 | 15.6 |
| 6×720/50 | 14.4 | 14.9 | 15.5 |
| 6×800/55 | 13.9 | 14.5 | 15.0 |
| 6×900/40 | 13.7 | 14.2 | 14.8 |
| 6×1000/45 | 13.5 | 14.0 | 14.7 |
| 6×1120/50 | 13.1 | 13.8 | 14.4 |
| 6×1250/70 | 12.8 | 13.4 | 14.1 |
| 8×900/40 | 12.7 | 13.4 | 14.1 |
| 8×1250/70 | 11.7 | 12.4 | 13.3 |

同时考虑小型船舶桅杆顶部至人员活动面距离3.5m，操作过电压间隙取7.5m，裕度取3m，最小垂直距离取14m。根据调查，内河300吨级、500吨级船舶桅杆顶部至人员活动面一般为5.5m，长江万吨级海轮和内河千吨级船舶桅杆顶部至人员活动面一般为7m。对此类大型船舶，满足导线对船舶桅杆顶部最小垂直距离10.5m时，导线至人员活动面距离将分别达到16m和17.5m，合成场强对最小垂直距离不起控制作用。由表81，±800kV线路导线至最高航行水位船舶人员活动面的垂直距离推荐取值见表82。

表82 ±800kV线路至最高航行水位船舶人员活动面的最小垂直距离（m）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 海拔高度极导线型式（V串） | 1000m | 2000m | 3000m |
| 6×630/45 | 15.0 | 15.5 | 16.0 |
| 6×720/50 | 14.5 | 15.0 | 15.5 |
| 6×800/55 | 14.0 | 14.5 | 15.0 |
| 6×900/40 | 14.0 | 14.5 | 15.0 |
| 6×1000/45 | 14.0 | 14.0 | 15.0 |
| 6×1120/50 | 14.0 | 14.0 | 14.5 |
| 6×1250/70 | 14.0 | 14.0 | 14.5 |
| 8×900/40 | 14.0 | 14.0 | 14.5 |
| 8×1250/70 | 14.0 | 14.0 | 14.0 |

跨越不通航河流时，导线至百年一遇洪水位的最小垂直距离750kV线路取为8m，1000kV取值10m。±800kV特高压直流线路考虑最大操作过电压间隙7.5m，考虑漂浮物高度2m，加裕度3m，取值12.5m。

冬季导线至冰面的最小垂直距离按非居民区的要求，导线水平V串排列取为18.0m，导线水平I串排列取18.5m。按合成场强雨天36kV/m，晴天30kV/m，校核电场强度见表83。

表83 导线至冰面的距离计算结果（m）

|  |  |
| --- | --- |
| 海拔高度极导线型式（V串） | 不同海拔合成场强雨天36kV/m、晴天30kV/m控制的最小垂直距离 (m) |
| 1000m | 2000m | 3000m |
| 6×630/45 | 18.0 | 18.7 | 19.4 |
| 6×720/50 | 18.0 | 18.7 | 19.4 |
| 6×800/55 | 17.7 | 18.5 | 19.3 |
| 6×900/40 | 17.3 | 18.1 | 18.9 |
| 6×1000/45 | 17.0 | 17.8 | 18.7 |
| 6×1120/50 | 16.6 | 17.5 | 18.4 |
| 6×1250/70 | 16.0 | 17.0 | 17.9 |
| 8×900/40 | 15.8 | 16.9 | 17.9 |
| 8×1250/70 | 14.2 | 15.4 | 16.6 |

由表83，±800kV线路导线至冰面的垂直距离推荐取值见表84。

表84 ±800kV线路至冰面的最小垂直距离（m）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 海拔高度极导线型式（V串） | 1000m | 2000m | 3000m |
| 6×630/45 | 18.0 | 19.0 | 19.5 |
| 6×720/50 | 18.0 | 19.0 | 19.5 |
| 6×800/55 | 18.0 | 18.5 | 19.5 |
| 6×900/40 | 17.5 | 18.5 | 19.0 |
| 6×1000/45 | 17.0 | 18.0 | 19.0 |
| 6×1120/50 | 17.0 | 17.5 | 18.5 |
| 6×1250/70 | 16.0 | 17.0 | 18.0 |
| 8×900/40 | 16.0 | 17.0 | 18.0 |
| 8×1250/70 | 14.5 | 15.5 | 17.0 |

最高洪水位时，有抢险船只航行的河流，垂直距离要通过协商确定。

2）与河流平行的水平距离。当线路与沿河流的拉纤小路平行时，边导线至斜坡上缘的最小水平距离按现规程取为最高杆塔高度。塔位至河堤的最小水平距离，按河堤保护范围之外或按协议取值。

（8）±800kV直流架空线路尽量远离低压用电线路和通信线路，必要时，通信线路要采取防护措施，受静电感应影响电压可能异常升高的入户低压线路需给予必要的处理。

（9）±800kV直流架空线路走廊内受静电感应可能带电的金属物应予以接地。