

电网工程部送电电气专业技术培训专题

专题之三 气象条件选择

2011 年 12 月

批准：

审核：

校核：

编写：罗明源

气象选择是输电线路设计中最基本的一项内容，它关系到线路投资的经济性和运行的安全性。本文以设计规程和设计手册为基准，介绍了输电线路的气象资料的收集、选定原则、统计方法，计算范例，并简要介绍了微地形微气象影响。为初学者对输电线路的气象选择计算提供学习参考。

目录

- 一、 气象资料的收集
- 二、 气象台的选择及气象分段
- 三、 设计气象条件的选定原则
- 四、 最大设计风速的统计方法
- 五、 线路风速及风压高度变化系数
- 六、 温度、雷暴日数及覆冰厚度的选择
- 七、 计算用气象条件的组合
- 八、 气象统计选择示例
- 九、 微地形微气象
- 十、 典型气象区附表

一、气象资料的收集

合理的选择气象条件，对于输电线路的经济效益和安全运行是十分必要的。为使送电线路的结构强度和电气性能能够很好的适应自然界的气象变化，以保证送电线路的安全运行，在设计过程中，必须对沿线的气象情况进行全面的了解、详细搜集设计所需的气象资料。搜集资料的内容及其主要用途参见下表 1-1。

表 1-1 气象资料及用途

项目	收集内容	用途
1	最大风速	风荷载是考虑杆塔和电线强度的基本条件
2	最高气温	计算电线最大弧垂，使电线对地面或对其它构筑物保持一定的安全距离
3	最低气温	在最低气温时，电线可能产生最大张力，检查绝缘子串上扬或电线上拔及电线防震计算等
4	年平均气温	防震设计一般用平均气温时电线的张力作为计算控制条件
5	电线覆冰	杆塔及电线强度设计依据，验算不均匀覆冰时电线纵向不平衡张力及垂直布置导线接近距离，可能出现最大弧垂时的安全距离
6	雷爆日数	防雷计算用

二、气象台的选择及气象分段

- 1) 为反映线路经过地区的实际气象情况，应搜集尽量靠近沿线路周围各气象台（站）的气象资料。所选气象台（站）距线路一般应不大于 100km。
- 2) 若沿线几个台（站）的记录值相差悬殊，或者地形变化较大（有山区和平原）可考虑将全线划为若干个不同的气象区段。

三、设计气象条件的选定原则

依据《110-750kV 架空输电线路设计规范》及《1000kV 交流架空输电设计暂行技术规定》，设计气象条件应根据沿线的气象资料和附近已有线路的运行经验确定，当沿线的气象与《设计规范附录 A 典型气象区接近时，宜采用典型气象区所列数值。基本风速、设计冰厚重现期应符合下列规定：

- 1) 110kV-330kV 输电线路及其大跨越重现期应取 30 年。
- 2) 500kV、750kV 输电线路及其大跨越重现期应取 50 年。
- 3) 1000kV 输电线路及其大跨越重现期应取 100 年。

各级电压输电线路统计风速应采用离地面 10m 高，10min 时距平均的年最大风速。

各级电压大跨越统计风速应采用离历年大风季节平均最低水位 10m 高，10min 时距平均的年最大风速。

四、最大设计风速的统计方法

计算线路最大风速统计值时，应将当地气象台（站）连续自计 10min 时距平均的历年最大风速作统计样本，以极值 I 型分布函数作为概率统计模型，求出《设计规程》规定的重现期和基准高度下的风速值即为线路最大风速统计值。由于历史的变迁等原因，气象台（站）以往风速感应器的安装高度、风仪形式、风速观测次数、取值时距等多随年代不同而异。将这些搜集到的历年最大风速资料进行高度、时距、次数等影响的换算，变成某一相同观测高度下的连续自计 10min 平均历年最大风速，作为统计样本进行线路最大设计风速的统计计算。

- 1) 风速观测高度影响的换算：

$$V_{10} = V_m \left(\frac{10}{Z_m} \right)^\alpha \dots\dots\dots (1)$$

式 中：

V_{10} 及 V_m 分别为 10m 及 Z_m 高度处的风速 (m/s)

Z_m 为风速记录仪器架设高度 (m)

α 是粗糙系数，与气象台（站）地面粗糙度有关的系数。

A 类区系指近海面、海岛、海岸、湖岸及沙漠等， $\alpha_A=0.12$ ；

B 类区系指空旷田野、乡村、丛林、丘陵、房屋比较稀疏的中、小城镇和大城市郊区，取 $\alpha_B=0.16$ ；

C 类区系指有多层和高层建筑且房屋比较密集的大城市市区，取 $\alpha_C=0.2$ 。

2) 风速次时换算

我国许多气象台(站)以往多采用一天定时观测 4 次的 2min 平均风速,显然会漏掉不少大风风速。因此对于定时观测风速,必须经过观测时距和次数的两重订正,即次时换算,才能将定时 2min 平均风速换算为连续自计 10min 平均风速。这种换算是根据具有定时和连续自计的平行观测资料,通过相关分析建立回归方程进行的。由于目前气象台(站)大多已采用连续自计 10min 平均风速观测,所以风速次时换算仅作为了解,不再繁述。

3) 最大风速统计值的计算(极值 I 型分布函数法)

$$V_M = \bar{V}(\phi C_V + 1) \dots\dots\dots (2)$$

式中:

V_M — 需求最大风速统计值, m/s;

\bar{V} — 历年大风速平均值, $\bar{V} = \sum V_i \div n$, m/s;

$$C_V = \sqrt{\frac{\sum (K_i - 1)^2}{n - 1}} \dots\dots\dots (3)$$

C_V — 离差系数

$$K_i = \frac{V_i}{\bar{V}} \dots\dots\dots (4)$$

V_i — 每年最大设计风速, m/s;

$$\phi = -\frac{\sqrt{6}}{\pi} \{0.57722 + \ln[-\ln(1 - 1/T)]\} \dots\dots\dots (5)$$

ϕ — 离均系数;

T — 重现期, 年;

n — 统计风速的总次数。

4) 最大风速统计值的比选(根据《建筑结构荷载规范》风压图计算)

由于目前各地许多气象台站周围地形已被各种建筑所包围,所统计的风速不能完全代表线路大范围的情况,因此需要根据《建筑结构荷载规范》风压图基本风压值进行比选。

基本风压与风速可按下式确定:

$$W_0 = 0.5 \times \rho \times V_0^2 \dots\dots\dots (6)$$

式中： ρ ——空气密度， kg/m³；

V_0 ——基本风速， m/s。

国内的风速记录仪大多数根据风压板的观测结果，刻度所反映的风速，实际上是统一根据标准的空气密度 $\rho = 1.25 \text{ kg/m}^3$ 按公式（6）反算而得，因此在按该风速 V_0 确定风压时，可统一按公式 $W_0 = V_0^2 / 1600$ （kN/m）计算。

同样，根据风压 W_0 算出基本风速 V_0 ：

$$V_0 = (1600 \times W_0)^{0.5} \dots\dots\dots (7)$$

《建筑结构荷载规范》附录 D.4 表中，分列出重现期 10 年、50 年、100 年各城市的风压值，可依次推算出 10m 高的基本风速值。

不同重现期 R 的值可按下式确定：

$$X_R = X_{10} + (X_{100} - X_{10}) \times [\ln (R / (R - 1))] \dots\dots\dots (8)$$

式中 X 为不同重现期的基本风速或风压值。

输电线路的基本风速比选后还要满足设计规程如下要求：

- （1）110kV～330kV 不宜低于 23.5m/s；
- （2）500kV～1000kV 不宜低于 27m/s
- （3）山区输电线路基本风速应结合实际运行经验确定，当无可靠资料时，宜将附近平原地区的统计值提高 10%。
- （4）大跨越基本风速，当无可靠资料时，将附近陆上输电线路的风速值换算到历年大风季节平均最低水位以上 10m 处，并在增加 10%，考虑水面影响再增加 10%后选用。大跨越基本风速不应低于相连的陆上的输电线路的基本风速。

五、线路风速及风压高度变化系数

空气在地球表面流动时，由于与地面摩擦而产生摩擦力，这种摩擦力引起与地面相接近的气流方向和速度有很大变化。随着高度的增加摩擦对风速的影响逐渐减小，因此，风速随高度的增加而增加，在低气层中增加很快，而当高度很高时则增长逐渐减慢。从理论上讲，风速沿高度的增大与地面的摩擦力（粗糙程度）、

地表基本风速、高度等主要因素有关。当线路杆塔高度或导、地线的平均高度不同于线路规定的基准高度时，其不同高处的风速或风压应乘风速或风压高度变化系数。

1) 风速高度变化系数，仿式（1）可写为：

$$K_h = (h/h_B)^a \dots\dots\dots (9)$$

式中 h 、 K_h ——风速距地面或水面的高度（m）以及该高度处的风速高度变化系数；

h_B ——线路的风速基准高度（m）；

a 是粗糙系数，一般陆地线路按 B 类区 0.16；宽水面跨越线路上空按 A 类取 0.12。

2) 风压高度变化系数 μ_h 为式（6）风速高度变化系数的平方数，可写为下式：

$$\mu_h = (h/h_B)^{2a} \dots\dots\dots (10)$$

六、 温度、雷暴日数及覆冰厚度的选择

架空输电线路最高气温、最低气温统计宜采用概率统计法确定线路设计冰厚，其概率模型宜采用极值 I 型分布，其重现期与风速统计相同。

架空输电线路年平均气温和雷暴日数统计则宜采用平均值法计算。

架空输电线路基本冰厚按照规程要求，在距地面 10m 高时，其重现期与最大风统计相同。在有足够的覆冰观测资料，并确认资料有效的情况下，宜采用概率统计法确定线路设计冰厚，其概率模型宜采用极值 I 型分布；甚少或无覆冰观测资料可用时，应通过对附近已有线路的覆冰调查分析确定设计冰厚，但不与重现期挂钩。

覆冰形成的气象条件多在 0～-10℃，风速 5～15m/s，湿度约 80%以上。覆冰和地理条件也很有关系，地形条件能促使“过冷却”雨下降外，其它如平原中的突出高地，暴露的丘陵顶峰及高海拔地区、迎风山坡、垭口、风道水面上空等覆冰相对比较严重。

电线覆冰厚度系指覆冰成圆形的厚度，然而实际覆冰断面可能成各种不规则

形状，测量方法有很多种。一般常用方法有侧记“长径”及“短径”，然后以其平均直径作为覆冰成圆形的直径，或以“长、短径”作为椭圆，计算面积，再以此面积作为圆形面积折算出圆形直径（覆冰的比重为 0.9g/cm^3 ）。

七、计算用气象条件的组合

1) 线路正常运行情况下的气象组合

输电线路设计需要对气象条件进行组合，以便对杆塔荷载、电气绝缘、施工架线等进行计算。线路在正常运行中使电线及杆塔产生较大受力的气象条件主要大风、覆冰和最低温度。但根据气象规律不应把这三个因素的极值都组合在一起，而是分别考虑三种气象组合。一般考虑最大风时不覆冰，气温取该地区发生大风月的平均气温或稍低一些。考虑电线覆冰时，根据雨淞形成规律，一般取相应风速 10m/s ，当有可靠资料表明需加大风速时可取为 15m/s ，覆冰时气温取 -5°C 。考虑最低气温时不出现冰、风。

2) 线路安装和检修情况下的气象组合

线路要考虑一年四季中有安装、检修的可能，但在严重气象条件时，则应暂停。规程规定：“遇有六级以上大风，禁止高空作业”。因此，安装情况下的气象条件风速为 10m/s 、无冰、气温为最低气温月的平均气温，基本上能概括全年的安装检修时的气象情况。但对其它特殊情况，如冰、风事故中的抢修或安装中途出现大风，只能靠安装时用辅助加强措施来解决。

3) 平均运行张力的气象组合

线路设计中，应保证电线在长期运行中有足够的耐振性，其中电线静态张力越高，振动越显严重，因此需要将振动时的静态张力控制在一定的限度内，而这一张力在实际运行中是经常随气象变化而改变的。为了概括出经常引起振动的张力平均值，就需要归纳出平均运行张力的气象组合。

电线易在微风低温下振动，且低温时综合张力亦较大，故这一气象组合采用规程规定的年平均气温。按照现行设计规程规定，如地区年平均气温在 $3\sim 17^\circ\text{C}$ 之间，年平均计算气温宜采用与此数邻近的 5 的倍数温度值；如地区年平均气温超出 $3\sim 17^\circ\text{C}$ 范围时，可将年平均气温降低 3°C 和 5°C 后，再采用与此数邻近的 5 的倍数温度值。

4) 线路断线情况下的气象组合

按照规程规定，线路断线情况气象条件的组合为无风、有冰、气温为-5℃。

5) 绝缘配合下的气象组合

a、运行电压下气象条件与正常最大设计风速条件相同。

b、操作过电压气象为年平均气温，风速宜取基本风速折算到导线平均高度处的风速的 50%，但不宜低于 15m/s，且应无冰。

c、雷电过电压工况的气温宜采用 15℃，当基本风速折算到导线平均高度处其值小于 35m/s 时其风速一般采用 10m/s，当最大设计风速等于或大于 35m/s 时其风速一般采用 15m/s；校验导线与地线之间的距离时，应采用无风、无冰工况。

d、安装工况风速应采用 10m/s，覆冰厚度应采用无冰，同时气温应按下列规定取值：

(1) 最低气温为-40℃的地区，宜采用-15℃。

(2) 最低气温为-20℃的地区，宜采用-10℃。

(3) 最低气温为-10℃的地区，宜采用-5℃。

(4) 最低气温为-5℃的地区，宜采用 0℃。

e、带电作业工况根据规程规定可采用 10m/s，气温可采用 15℃，覆冰厚度应采用无冰。

八、气象统计选择示例

现将收集的丰润区气象台站从 1980-2002 年的最大风速、最高温度、最低温度、年平均温度及雷暴日等原始资料列表为 8-1，分别按重现期 30 年、50 年、100 年进行气象统计和选择（考虑平原及山区地形，不考虑大跨越情况）。由于该气象台站无覆冰记录，所以覆冰厚度应根据现场实际情况，调研后分析确定。

表 8-1 丰润区气象台站原始资料收集

年代	10min 时距平均 的年最大风速	风仪 高度	最高 温度	最低 温度	年平均 温度	年雷 暴日
1980	24.0	10.8	35.5	-20.1	10.5	39
1981	20.0	10.8	37.1	-19.3	11.1	23
1982	15.7	10.8	37.8	-20.3	11.6	38
1983	19.0	10.8	37.4	-24.6	11.8	37
1984	13.0	10.8	37.2	-18.4	10.7	33

1985	20.0	10.8	33.5	-20.1	10.2	52
1986	19.0	10.8	36.1	-18.6	10.8	48
1987	14.0	10.8	34.2	-21.5	10.9	44
1988	17.0	10.5	37.4	-16.0	11.2	48
1989	15.3	10.5	35.7	-15.4	11.8	44
1990	20.0	10.5	36.2	-21.1	11.5	35
1991	15.3	10.5	35.2	-14.4	11.2	29
1992	14.0	10.5	35.5	-13.6	11.4	46
1993	15.0	10.5	35.0	-16.7	14.3	43
1994	12.0	10.5	37.0	-16.0	12.3	34
1995	14.7	10.5	33.5	-12.3	11.5	35
1996	13.3	10.5	34.3	-14.2	11.1	30
1997	12.3	10.5	38.3	-19.9	11.9	28
1998	14.7	10.5	36.1	-17.4	12.4	33
1999	12.0	10.8	38.6	-14.1	12.1	31
2000	19.0	10.8	39.6	-19.9	11.8	31
2001	14.3	10.6	37.5	-20.5	11.8	40
2002	19.0	10.6	39.1	-15.4	12.1	26

该气象台站位于县郊区，地面粗糙系数 α 可按 B 类 0.16 选择，最大基本风速、最高温度、最低温度采用极值法，年平均温度和雷暴日采用平均法，经计算可得表 8-2：

表 8-2 丰润区气象台站气象统计

年限	10m 高 自计风速	最高 温度	最低 温度	年平均 温度	年雷 暴日
1980	23.7	35.5	-20.1	10.5	39.0
1981	19.8	37.1	-19.3	11.1	23.0
1982	15.5	37.8	-20.3	11.6	38.0
1983	18.8	37.4	-24.6	11.8	37.0
1984	12.8	37.2	-18.4	10.7	33.0
1985	19.8	33.5	-20.1	10.2	52.0
1986	18.8	36.1	-18.6	10.8	48.0
1987	13.8	34.2	-21.5	10.9	44.0
1988	16.9	37.4	-16.0	11.2	48.0
1989	15.2	35.7	-15.4	11.8	44.0
1990	19.8	36.2	-21.1	11.5	35.0
1991	15.2	35.2	-14.4	11.2	29.0
1992	13.9	35.5	-13.6	11.4	46.0
1993	14.9	35.0	-16.7	14.3	43.0
1994	11.9	37.0	-16.0	12.3	34.0

1995	14.6	33.5	-12.3	11.5	35.0
1996	13.2	34.3	-14.2	11.1	30.0
1997	12.2	38.3	-19.9	11.9	28.0
1998	14.6	36.1	-17.4	12.4	33.0
1999	11.9	38.6	-14.1	12.1	31.0
2000	18.8	39.6	-19.9	11.8	31.0
2001	14.2	37.5	-20.5	11.8	40.0
2002	18.8	39.1	-15.4	12.1	26.0
平均值	16.0	36.4	-17.8	11.6	36.8
离差系数 Cv	0.20	0.05	0.17	-	-
30 年离均系数 ϕ	2.19	2.19	2.19	-	-
50 年离均系数 ϕ	2.59	2.59	2.59	-	-
100 年离均系数 ϕ	3.14	3.14	3.14	-	-
30 年气象统计	23.0	40.4	-24.4	11.6	37
50 年气象统计	24.3	41.1	-25.6	11.6	37
100 年气象统计	26.0	42.1	-27.3	11.6	37

根据《建筑结构荷载规范》附录 D.4 表查得河北唐山市地区重现期 10 年、50 年、100 年的基本风压值分别为 0.30、0.40、0.45。根据公式 (8) 可推出重现期 30 年的风压值为:

$$W_{30}=W_{10}+(W_{100}-W_{10})\times[\ln(30/(30-1))]=0.305$$

再根据公式 (7) 可分别得出重现期 30 年、50 年、100 年的基本风速值分别为 22.3m/s、25.3m/s、26.8 m/s。

最后按照规程要求: 输电线路的基本风速 110kV~330kV (重现期 30 年) 不宜低于 23.5m/s, 500kV~1000kV (重现期 50 年、100 年) 不宜低于 27m/s; 当地区年平均气温在 3~17℃之间, 应采用与年平均气温值邻近的 5 的倍数值。最高温度和最低温度虽然规程没有规定, 按照常规做法宜按相应气温值邻近 5 的倍数取值。综上所述, 经整理后的统计结果如下表 8-3:

表 8-3 按规程要求整理统计结果

重现期	大风 m/s	高温℃	低温℃	平均温℃	雷暴日 (天/年)
30 年气象统计	23.5 (26)	40	-25	10	37
50 年气象统计	27 (30)	40	-25	10	37
100 年气象统计	27 (30)	40	-25	10	37

括号里的大风数值为山区所采用的基本风速, 如果有山区气象风速资料, 可根据其计算进行比选, 调查分析后确定。

根据规程要求，该气象台站附近输电线路所用气象区组合如下表 8-3：

表 8-3 气象区组合

重现期		30 年	50 年	100 年
大气 温度℃	最高	+40		
	最低	-25		
	覆冰	-5		
	基本风速	+10		
	安装	-10		
	雷电过电压	+15		
	操作过电压、年平均气温	+10		
风速 m/s	基本风速（10m 高）	23.5（26）	27（30）	27（30）
	覆冰	5		
	安装	10		
	雷电过电压	10		
	操作过电压	15	15（17）	15（18）
覆冰厚度（mm）		≥5		
冰的密度（g/cm ³ ）		0.9		

气象区组合说明：

（1）考虑最大风的气温应取该地区发生大风月的平均气温或稍低一些，在缺少该资料时，可参考典型气象区对应最低温在-25℃时，基本风速的气温为-5℃取值。

（2）导、地线距地平均悬挂高度：

110kV-330kV 线路，15m；

500kV-750kV 线路，20m；

1000kV 线路，30m。

表 8-4 基本风速折算到导线平均高度处的风速的 50%计算值（m/s）

	30 年一遇	50 年一遇	100 年一遇
15m 高度	11（14）		
20m 高度		12.1（16.8）	
30m 高度			11.3（17.9）
结论	15	15（17）	15（18）

(3) 如果无可靠覆冰资料，在常年最低气温零度以下的，应考虑电线覆冰，其覆冰厚度不小于 5mm，密度按 $0.9\text{g}/\text{cm}^3$ 计算，实际覆冰厚度应根据现场调研后分析确定。

(4) 山区输电线路基本风速应结合实际运行经验确定，当无可靠资料时，宜将附近平原地区的统计值提高 10%。

(5) 大跨越基本风速，当无可靠资料时，将附近陆上输电线路的风速值换算到历年大风季节平均最低水位以上 10m 处，并在增加 10%，考虑水面影响再增加 10%后选用。大跨越基本风速不应低于相连的陆上的输电线路的基本风速。

(6) 如果气象区与典型气象区接近时，应尽量采用采用典型气象区所列数值。

九、微地形微气象

在选择气象条件的同时，还要注意微地形微气象的影响。微地形是相对大地形而言，它是大地形中的一个局部的狭小的范围。例如垭口型、高山分水岭型、水气增大型、地形抬升型、峡谷风道型，这些特殊地形地段的气象对于风速和覆冰有着较大影响。微地形对风速增大的影响方面，当线路横跨陡峻的河谷，当谷口正迎主导风向时，风速较大；当气流由开阔地区进入狭窄地区时，由于狭管效应，风速增大；突出开阔的山顶，高空强劲的风速受不到周围山脉的阻挡，风速较大。在电线覆冰方面，山脉的走向与坡向不同，覆冰都会有很大的差异，一般迎风坡及开阔地区覆冰重，背风坡、及闭塞地区覆冰轻；山体部位不同，电线覆冰也会有明显差异，一般山顶、阴坡、分水岭、垭口等地覆冰重，山脚、山腰、山凹、阳坡等地覆冰较轻；线路靠近江湖水体，水气充足，覆冰较重，线路远离水体，空气干燥地区覆冰较轻。

合理选择气象的同时还要兼顾到微地形微气象的影响，这样才能在保障降低输电线路工程造价的同时，确保输电线路运行安全可靠。

十、典型气象区附表

9-1 典型气象区附表

气象区		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
大气 温度 (℃)	最高	+40								
	最低	-5	-10	-10	-20	-10	-20	-40	-20	-20
	覆冰	-5								
	基本风速	+10	+10	-5	-5	+10	-5	-5	-5	-5
	安装	0	0	-5	-10	-5	-10	-15	-10	-10
	雷电过电压	+15								
	操作过电压、 年平均气温	+20	+15	+15	+10	+15	+10	-5	+10	+10
风速 (m/s)	基本风速	31.5	27.0	23.5	23.5	27.0	23.5	27.0	27.0	27.0
	覆冰	10*							15	
	安装	10								
	雷电过电压	15	10							
	操作过电压	0.5×基本风速折算至导线平均高度处的风速（不低于 15m/s）								
覆冰厚度（mm）		0	5	5	5	10	10	10	15	20
冰的密度（g/cm ³ ）		0.9								