

中图分类号:TM 614 文献标志码:A 文章编号:1000-7229(2010)05-0074-07

利用短期测风资料推算风电场设计风速的方法探讨

丘海珊,曹秋会,孔 静

(河北省电力勘测设计研究院,石家庄市,050031)

Method for Determining the Design Wind Speed of Wind Farm Based on Short-term Measurement Data

QIU Hai-shan, CAO Qiu-hui, KONG Jing

(Hebei Electric Power Design & Research Institute, Shijiazhuang 050031, China)

ABSTRACT: One of the biggest challenges for identifying the wind zone of wind farm is to determine the average maximum wind speed of 10 minutes occurring once in 50 years. A mathematical statistics method is introduced in this paper for determining the average maximum wind speed by use of short-term measurement data. Case studies were conducted in ten areas with three different landforms, including the flatland in Hebei Province, the mountainous and piedmont area of Taihang Mt, and the coastal area of Bohai sea, where short-term wind measurement data are available, and the calculated results were compared with the conventional method, which verifies the rationality of the proposed method.

KEYWORDS: wind farm; short-term measurement data of wind power; design wind speed; cumulative frequency; mathematical statistics; wind speed classification

摘要: 在确定风电场风区的过程中,分析风电场处50年一遇10 min平均最大风速是难点之一。介绍了利用短期测风资料推算风电场50年一遇10 min平均最大风速的数理统计方法,并以河北坝上地区、太行山山区及山前区、环渤海滨海区3种不同地貌的10个具有短期测风资料的地方进行了实例推算,并与常规风速推算方法进行了对比,验证了短期资料推算方法的合理性。

关键词: 风电场;短期测风资料;设计风速;累积频率;数理统计;风速分级

doi:10.3969/j.issn.1000-7229.2010.05.017

0 引言

目前,风力发电已成为当今世界开发、利用风能的主要形式之一^[1]。目前建设的风电场大多位于偏远地区,缺少长期测风资料,仅以附近具有长期测风资料的气象站历年实测最大风速分析风电场50年一遇10 min平均最大风速,其结果必然偏小。本文尝试利用风

电场实测短期(1年以上)10 min平均最大风速系列资料,采用数理统计方法^[2]分析风电场50年一遇10 min平均最大风速。

1 推算原理

只有短期实测资料,按照P-III型频率曲线或Gumbel型频率曲线直接推算风电场50年一遇10 min平均最大风速有一定困难。按照概率学原理,当用短期测风资料推算设计风速时,多年一遇风速的累积频率考虑如下:如有 a 年观测风速 n 次,则 a 年风速最大值的累积频率 $P_a=1/n$,可以推断 b 年中期望出现的风速次数将为 $b \times n/a$,则 b 年中最大值的累积频率 $P_b=a/(b \times n)=aP_a/b$ 。具体做法是根据纵、横坐标来表示风速及累积频率。

本文选取了河北坝上地区、太行山山区及山前区、环渤海滨海区3种不同地貌的10个具有短期测风资料的地方推算该处50年一遇10 m高10 min平均最大风速,并对比常规风速推求方法,检验短期资料系列推算方法的合理性。

2 短期测风数据推算50年一遇10 min平均最大风速实例分析

2.1 各测站风速分级统计

采用康保、沽源、崇礼、怀安、围场、蔚县、沙河、天津、海兴及莱州10个测风塔的实测风速资料,按照0.5 m/s等级统计实测10 min平均最大风速系列,统计结果见表1~10,表中 n 为该区间风速出现次数。

2.2 50年一遇10 min平均最大风速的计算

绘制风速与累积频率 P 的相关曲线,如图1~10所示,图中 R 为相关系数。为反映当地实际风速的一般性规律,适当删除风速等级中的首几项及末几项,直至

表1 河北坝上地区沽源测风塔测风统计

Tab.1 Statistical data of wind speed in Bashang area of Hebei Province (Guyuan)

序号	风速/(m·s ⁻¹)	n	Σn	P%	lgP	序号	风速/(m·s ⁻¹)	n	Σn	P%	lgP
1	≥24.0	1	1	0.011 4	-3.944	26	12.0~11.5	135	741	8.435 8	-1.074
2	24.0~23.5	0	1	0.011 4	-3.944	27	11.5~11.0	152	893	10.166 2	-0.993
3	23.5~23.0	2	3	0.034 2	-3.467	28	11.0~10.5	151	1 044	11.885 2	-0.925
4	23.0~22.5	0	3	0.034 2	-3.467	29	10.5~10.0	157	1 201	13.672 6	-0.864
5	22.5~22.0	1	4	0.045 5	-3.342	30	10.0~9.5	198	1 399	15.926 7	-0.798
6	22.0~21.5	2	6	0.068 3	-3.166	31	9.5~9.0	219	1 618	18.419 9	-0.735
7	21.5~21.0	4	10	0.113 8	-2.944	32	9.0~8.5	227	1 845	21.004 1	-0.678
8	21.0~20.5	1	11	0.125 2	-2.902	33	8.5~8.0	257	2 102	23.929 9	-0.621
9	20.5~20.0	6	17	0.193 5	-2.713	34	8.0~7.5	304	2 406	27.390 7	-0.562
10	20.0~19.5	7	24	0.273 2	-2.563	35	7.5~7.0	309	2 715	30.908 5	-0.510
11	19.5~19.0	5	29	0.330 1	-2.481	36	7.0~6.5	353	3 068	34.927 1	-0.457
12	19.0~18.5	12	41	0.466 8	-2.331	37	6.5~6.0	397	3 465	39.446 7	-0.404
13	18.5~18.0	12	53	0.603 4	-2.219	38	6.0~5.5	445	3 910	44.512 8	-0.352
14	18.0~17.5	14	67	0.762 8	-2.118	39	5.5~5.0	479	4 389	49.965 8	-0.301
15	17.5~17.0	16	83	0.944 9	-2.025	40	5.0~4.5	588	4 977	56.659 8	-0.247
16	17.0~16.5	23	106	1.206 7	-1.918	41	4.5~4.0	674	5 651	64.332 9	-0.192
17	16.5~16.0	31	137	1.559 7	-1.807	42	4.0~3.5	739	6 390	72.745 9	-0.138
18	16.0~15.5	29	166	1.889 8	-1.724	43	3.5~3.0	689	7 079	80.589 7	-0.094
19	15.5~15.0	32	198	2.254 1	-1.647	44	3.0~2.5	555	7 634	86.908 0	-0.061
20	15.0~14.5	46	244	2.777 8	-1.556	45	2.5~2.0	474	8 108	92.304 2	-0.035
21	14.5~14.0	58	302	3.438 1	-1.464	46	2.0~1.5	318	8 426	95.924 4	-0.018
22	14.0~13.5	54	356	4.052 8	-1.392	47	1.5~1.0	203	8 629	98.235 4	-0.008
23	13.5~13.0	83	439	4.997 7	-1.301	48	1.0~0.5	133	8 762	99.749 5	-0.001
24	13.0~12.5	73	512	5.828 8	-1.234	49	0.5~0.0	22	8 784	100	0
25	12.5~12.0	94	606	6.898 9	-1.161						

表2 河北坝上地区围场测风塔测风统计

Tab.2 Statistical data of wind speed in Bashang area of Hebei Province (Paddock)

序号	风速/(m·s ⁻¹)	n	Σn	P%	lgP	序号	风速/(m·s ⁻¹)	n	Σn	P%	lgP
1	≥20.0	1	1	0.011 5	-3.941	22	10.0~9.5	302	1 796	20.575 1	-0.687
2	20.0~19.5	2	3	0.034 4	-3.464	23	9.5~9.0	347	2 143	24.550 3	-0.610
3	19.5~19.0	4	7	0.080 2	-3.096	24	9.0~8.5	383	2 526	28.938 0	-0.539
4	19.0~18.5	1	8	0.091 6	-3.038	25	8.5~8.0	366	2 892	33.130 9	-0.480
5	18.5~18.0	6	14	0.160 4	-2.795	26	8.0~7.5	413	3 305	37.862 3	-0.422
6	18.0~17.5	11	25	0.286 4	-2.543	27	7.5~7.0	400	3 705	42.444 7	-0.372
7	17.5~17.0	7	32	0.366 6	-2.436	28	7.0~6.5	430	4 135	47.370 8	-0.324
8	17.0~16.5	19	51	0.584 3	-2.233	29	6.5~6.0	461	4 596	52.652 1	-0.279
9	16.5~16.0	24	75	0.859 2	-2.066	30	6.0~5.5	457	5 053	57.887 5	-0.237
10	16.0~15.5	28	103	1.180 0	-1.928	31	5.5~5.0	477	5 530	63.352 0	-0.198
11	15.5~15.0	47	150	1.718 4	-1.765	32	5.0~4.5	515	6 045	69.251 9	-0.160
12	15.0~14.5	47	197	2.256 8	-1.646	33	4.5~4.0	502	6 547	75.002 9	-0.125
13	14.5~14.0	67	264	3.024 4	-1.519	34	4.0~3.5	461	7 008	80.284 1	-0.095
14	14.0~13.5	83	347	3.975 3	-1.401	35	3.5~3.0	412	7 420	85.004 0	-0.071
15	13.5~13.0	85	432	4.949 0	-1.305	36	3.0~2.5	362	7 782	89.151 1	-0.050
16	13.0~12.5	102	534	6.117 5	-1.213	37	2.5~2.0	295	8 077	92.530 6	-0.034
17	12.5~12.0	132	666	7.629 7	-1.117	38	2.0~1.5	194	8 271	94.753 1	-0.023
18	12.0~11.5	157	823	9.428 3	-1.026	39	1.5~1.0	129	8 400	96.231 0	-0.017
19	11.5~11.0	174	997	11.421 7	-0.942	40	1.0~0.5	93	8 493	97.296 4	-0.012
20	11.0~10.5	226	1 223	14.010 8	-0.854	41	0.5~0.0	236	8 729	100	0
21	10.5~10.0	271	1 494	17.115 4	-0.767						

表 3 河北坝上地区康保测风塔测风统计

Tab.3 Statistical data of wind speed in Bashang area of Hebei Province (Kangbao)

序号	风速/(m·s ⁻¹)	n	Σn	P%	lgP	序号	风速/(m·s ⁻¹)	n	Σn	P%	lgP
1	≥22.0	2	2	0.022 9	-3.641	24	11.0~10.5	208	1 330	15.198 3	-0.818
2	22.0~21.5	4	6	0.068 6	-3.164	25	10.5~10.0	181	1 511	17.266 6	-0.763
3	21.5~21.0	4	10	0.114 3	-2.942	26	10.0~9.5	229	1 740	19.883 4	-0.702
4	21.0~20.5	2	12	0.137 1	-2.863	27	9.5~9.0	303	2 043	23.345 9	-0.632
5	20.5~20.0	5	17	0.194 3	-2.712	28	9.0~8.5	326	2 369	27.071 2	-0.567
6	20.0~19.5	5	22	0.251 4	-2.600	29	8.5~8.0	376	2 745	31.367 8	-0.504
7	19.5~19.0	5	27	0.308 5	-2.511	30	8.0~7.5	430	3 175	36.281 6	-0.440
8	19.0~18.5	14	41	0.468 5	-2.329	31	7.5~7.0	513	3 688	42.143 8	-0.375
9	18.5~18.0	22	63	0.719 9	-2.143	32	7.0~6.5	560	4 248	48.543 0	-0.314
10	18.0~17.5	25	88	1.005 6	-1.998	33	6.5~6.0	602	4 850	55.422 2	-0.256
11	17.5~17.0	32	120	1.371 3	-1.863	34	6.0~5.5	587	5 437	62.130 0	-0.207
12	17.0~16.5	40	160	1.828 4	-1.738	35	5.5~5.0	617	6 054	69.180 7	-0.160
13	16.5~16.0	36	196	2.239 7	-1.650	36	5.0~4.5	572	6 626	75.717 1	-0.121
14	16.0~15.5	51	247	2.822 5	-1.549	37	4.5~4.0	536	7 162	81.842 1	-0.087
15	15.5~15.0	43	290	3.313 9	-1.480	38	4.0~3.5	513	7 675	87.704 3	-0.057
16	15.0~14.5	51	341	3.896 7	-1.409	39	3.5~3.0	367	8 042	91.898 1	-0.037
17	14.5~14.0	58	399	4.559 5	-1.341	40	3.0~2.5	249	8 291	94.743 5	-0.023
18	14.0~13.5	83	482	5.507 9	-1.259	41	2.5~2.0	206	8 497	97.097 5	-0.013
19	13.5~13.0	104	586	6.696 4	-1.174	42	2.0~1.5	113	8 610	98.388 8	-0.007
20	13.0~12.5	113	699	7.987 7	-1.098	43	1.5~1.0	86	8 696	99.371 5	-0.003
21	12.5~12.0	115	814	9.301 8	-1.031	44	1.0~0.5	41	8 737	99.840 0	-0.001
22	12.0~11.5	163	977	11.164 4	-0.952	45	0.5~0.0	14	8 751	100	0
23	11.5~11.0	145	1 122	12.821 4	-0.892						

表 4 河北坝上地区蔚县测风塔测风统计

Tab.4 Statistical data of wind speed in Bashang area of Hebei Province(Weixian)

序号	风速/(m·s ⁻¹)	n	Σn	P%	lgP	序号	风速/(m·s ⁻¹)	n	Σn	P%	lgP
1	≥21.5	1	1	0.011 4	-3.943	23	11.0~10.5	188	1 621	18.504 6	-0.733
2	21.5~21.0	1	2	0.022 8	-3.641	24	10.5~10.0	213	1 834	20.936 1	-0.679
3	21.0~20.5	2	4	0.045 7	-3.340	25	10.0~9.5	241	2 075	23.687 2	-0.625
4	20.5~20.0	5	9	0.102 7	-2.988	26	9.5~9.0	223	2 298	26.232 9	-0.581
5	20.0~19.5	4	13	0.148 4	-2.829	27	9.0~8.5	282	2 580	29.452 1	-0.531
6	19.5~19.0	10	23	0.262 6	-2.581	28	8.5~8.0	322	2 902	33.127 9	-0.480
7	19.0~18.5	14	37	0.422 4	-2.374	29	8.0~7.5	366	3 268	37.305 9	-0.428
8	18.5~18.0	18	55	0.627 9	-2.202	30	7.5~7.0	403	3 671	41.906 4	-0.378
9	18.0~17.5	24	79	0.901 8	-2.045	31	7.0~6.5	455	4 126	47.100 5	-0.327
10	17.5~17.0	42	121	1.381 3	-1.860	32	6.5~6.0	513	4 639	52.956 6	-0.276
11	17.0~16.5	25	146	1.666 7	-1.778	33	6.0~5.5	513	5 152	58.812 8	-0.231
12	16.5~16.0	42	188	2.146 1	-1.668	34	5.5~5.0	575	5 727	65.376 7	-0.185
13	16.0~15.5	37	225	2.568 5	-1.590	35	5.0~4.5	566	6 293	71.837 9	-0.144
14	15.5~15.0	62	287	3.276 3	-1.485	36	4.5~4.0	540	6 833	78.002 3	-0.108
15	15.0~14.5	74	361	4.121 0	-1.385	37	4.0~3.5	512	7 345	83.847 0	-0.077
16	14.5~14.0	86	447	5.102 7	-1.292	38	3.5~3.0	451	7 796	88.995 4	-0.051
17	14.0~13.5	93	540	6.164 4	-1.210	39	3.0~2.5	300	8 096	92.420 1	-0.034
18	13.5~13.0	139	679	7.751 1	-1.111	40	2.5~2.0	269	8 365	95.490 9	-0.020
19	13.0~12.5	186	865	9.874 4	-1.005	41	2.0~1.5	153	8 518	97.237 4	-0.012
20	12.5~12.0	202	1 067	12.180 4	-0.914	42	1.5~1.0	109	8 627	98.481 7	-0.007
21	12.0~11.5	175	1 242	14.178 1	-0.848	43	1.0~0.5	59	8 686	99.155 3	-0.004
22	11.5~11.0	191	1 433	16.358 4	-0.786	44	0.5~0.0	74	8 760	100	0

表5 河北坝上地区崇礼测风塔测风统计

Tab.5 Statistical data of wind speed in Bashang area of Hebei Province(Congli)

序号	风速/(m·s ⁻¹)	n	Σn	P%	lgP	序号	风速/(m·s ⁻¹)	n	Σn	P%	lgP
1	≥15.5	2	2	0.022 8	-3.641	17	8.0~7.5	348	2 147	24.509 1	-0.611
2	15.5~15.0	1	3	0.034 2	-3.465	18	7.5~7.0	401	2 548	29.086 8	-0.536
3	15.0~14.5	5	8	0.091 3	-3.039	19	7.0~6.5	423	2 971	33.915 5	-0.470
4	14.5~14.0	17	25	0.285 4	-2.545	20	6.5~6.0	467	3 438	39.246 6	-0.406
5	14.0~13.5	21	46	0.525 1	-2.280	21	6.0~5.5	471	3 909	44.623 3	-0.350
6	13.5~13.0	35	81	0.924 7	-2.034	22	5.5~5.0	499	4 408	50.319 6	-0.298
7	13.0~12.5	57	138	1.575 3	-1.803	23	5.0~4.5	540	4 948	56.484 0	-0.248
8	12.5~12.0	62	200	2.283 1	-1.641	24	4.5~4.0	562	5 510	62.899 5	-0.201
9	12.0~11.5	73	273	3.116 4	-1.506	25	4.0~3.5	532	6 042	68.972 6	-0.161
10	11.5~11.0	112	385	4.395 0	-1.357	26	3.5~3.0	525	6 567	74.965 8	-0.125
11	11.0~10.5	127	512	5.844 7	-1.233	27	3.0~2.5	549	7 116	81.232 9	-0.090
12	10.5~10.0	169	681	7.774 0	-1.109	28	2.5~2.0	440	7 556	86.255 7	-0.064
13	10.0~9.5	240	921	10.513 7	-0.978	29	2.0~1.5	435	7 991	91.221 5	-0.040
14	9.5~9.0	272	1 193	13.618 7	-0.866	30	1.5~1.0	349	8 340	95.205 5	-0.021
15	9.0~8.5	272	1 465	16.723 7	-0.777	31	1.0~0.5	333	8 673	99.006 8	-0.004
16	8.5~8.0	334	1 799	20.536 5	-0.687	32	0.5~0.0	87	8 760	100	0

表6 太行山区及山前区怀安测风塔测风统计

Tab.6 Statistical data of wind speed in Taihang mountainous and piedmont areas (Huainan)

序号	风速/(m·s ⁻¹)	n	Σn	P%	lgP	序号	风速/(m·s ⁻¹)	n	Σn	P%	lgP
1	≥11.0	4	4	0.045 8	-3.339	13	5.5~5.0	216	889	10.183 3	-0.992
2	11.0~10.5	3	7	0.080 2	-3.096	14	5.0~4.5	267	1 156	13.241 7	-0.878
3	10.5~10.0	5	12	0.137 5	-2.862	15	4.5~4.0	333	1 489	17.056 1	-0.768
4	10.0~9.5	10	22	0.252 0	-2.599	16	4.0~3.5	402	1 891	21.660 9	-0.664
5	9.5~9.0	19	41	0.469 6	-2.328	17	3.5~3.0	445	2 336	26.758 3	-0.573
6	9.0~8.5	45	86	0.985 1	-2.007	18	3.0~2.5	614	2 950	33.791 5	-0.471
7	8.5~8.0	46	132	1.512 0	-1.820	19	2.5~2.0	722	3 672	42.061 9	-0.376
8	8.0~7.5	66	198	2.268 0	-1.644	20	2.0~1.5	963	4 635	53.092 8	-0.275
9	7.5~7.0	86	284	3.253 2	-1.488	21	1.5~1.0	1323	5 958	68.247 4	-0.166
10	7.0~6.5	95	379	4.341 4	-1.362	22	1.0~0.5	1928	7 886	90.332 2	-0.044
11	6.5~6.0	134	513	5.876 3	-1.231	23	0.5~0.0	844	8 730	100	0
12	6.0~5.5	160	673	7.709 0	-1.113						

表7 太行山区及山前区沙河测风塔测风统计

Tab.7 Statistical data of wind speed in Taihang mountainous and piedmont areas (Shahe)

序号	风速/(m·s ⁻¹)	n	Σn	P%	lgP	序号	风速/(m·s ⁻¹)	n	Σn	P%	lgP
1	≥12.0	1	1	0.012	-3.93	14	6.0~5.5	172	672	7.843	-1.11
2	12.0~11.5	4	5	0.058	-3.23	15	5.5~5.0	248	920	10.738	-0.97
3	11.5~11.0	3	8	0.093	-3.03	16	5.0~4.5	268	1 188	13.866	-0.86
4	11.0~10.5	7	15	0.175	-2.76	17	4.5~4.0	363	1 551	18.102	-0.74
5	10.5~10.0	6	21	0.245	-2.61	18	4.0~3.5	459	2 010	23.459	-0.63
6	10.0~9.5	12	33	0.385	-2.41	19	3.5~3.0	573	2 583	30.147	-0.52
7	9.5~9.0	20	53	0.619	-2.21	20	3.0~2.5	643	3 226	37.652	-0.42
8	9.0~8.5	25	78	0.910	-2.04	21	2.5~2.0	841	4 067	47.467	-0.32
9	8.5~8.0	37	115	1.342	-1.87	22	2.0~1.5	959	5 026	58.660	-0.23
10	8.0~7.5	51	166	1.937	-1.71	23	1.5~1.0	1 181	6 207	72.444	-0.14
11	7.5~7.0	71	237	2.766	-1.56	24	1.0~0.5	1 591	7 798	91.013	-0.04
12	7.0~6.5	114	351	4.097	-1.39	25	0.5~0.0	770	8 568	100	0
13	6.5~6.0	149	500	5.836	-1.23						

表8 环渤海滨海区天津测风塔测风统计

Tab.8 Statistical data of wind speed in Bohai sea coastal area (Tianjin)

序号	风速/(m·s ⁻¹)	n	Σn	P%	lgP	序号	风速/(m·s ⁻¹)	n	Σn	P%	lgP
1	≥16.5	1	1	0.011 2	-3.952	18	8.5~8.0	157	562	6.277 9	-1.202
2	16.5~16.0	0	1	0.011 2	-3.952	19	8.0~7.5	173	735	8.210 5	-1.086
3	16.0~15.5	1	2	0.022 3	-3.651	20	7.5~7.0	250	985	11.003 1	-0.958
4	15.5~15.0	2	4	0.044 7	-3.350	21	7.0~6.5	326	1 311	14.644 8	-0.834
5	15.0~14.5	0	4	0.044 7	-3.350	22	6.5~6.0	443	1 754	19.593 4	-0.708
6	14.5~14.0	3	7	0.078 2	-3.107	23	6.0~5.5	532	2 286	25.536 2	-0.593
7	14.0~13.5	2	9	0.100 5	-2.998	24	5.5~5.0	722	3 008	33.601 4	-0.474
8	13.5~13.0	10	19	0.212 2	-2.673	25	5.0~4.5	771	3 779	42.214 0	-0.375
9	13.0~12.5	8	27	0.301 6	-2.521	26	4.5~4.0	832	4 611	51.508 0	-0.288
10	12.5~12.0	8	35	0.391 0	-2.408	27	4.0~3.5	838	5 449	60.869 1	-0.216
11	12.0~11.5	14	49	0.547 4	-2.262	28	3.5~3.0	834	6 283	70.185 4	-0.154
12	11.5~11.0	27	76	0.849 0	-2.071	29	3.0~2.5	776	7 059	78.853 9	-0.103
13	11.0~10.5	41	117	1.307 0	-1.884	30	2.5~2.0	724	7 783	86.941 5	-0.061
14	10.5~10.0	46	163	1.820 8	-1.740	31	2.0~1.5	517	8 300	92.716 7	-0.033
15	10.0~9.5	54	217	2.424 0	-1.615	32	1.5~1.0	356	8 656	96.693 5	-0.015
16	9.5~9.0	83	300	3.351 2	-1.475	33	1.0~0.5	250	8 906	99.486 1	-0.002
17	9.0~8.5	105	405	4.524 1	-1.344	34	0.5~0.0	46	8 952	100	0

表9 环渤海滨海区海兴测风塔测风统计

Tab.9 Statistical data of wind speed in Bohai sea coastal area (Haixing)

序号	风速/(m·s ⁻¹)	n	Σn	P%	lgP	序号	风速/(m·s ⁻¹)	n	Σn	P%	lgP
1	≥16.5	1	1	0.015	-3.83	18	8.5~8.0	165	801	11.835	-0.93
2	16.5~16.0	3	4	0.059	-3.23	19	8.0~7.5	162	963	14.229	-0.85
3	16.0~15.5	2	6	0.089	-3.05	20	7.5~7.0	213	1 176	17.376	-0.76
4	15.5~15.0	6	12	0.177	-2.75	21	7.0~6.5	236	1 412	20.863	-0.68
5	15.0~14.5	12	24	0.355	-2.45	22	6.5~6.0	299	1 711	25.281	-0.60
6	14.5~14.0	15	39	0.576	-2.24	23	6.0~5.5	392	2 103	31.073	-0.51
7	14.0~13.5	17	56	0.827	-2.08	24	5.5~5.0	416	2 519	37.219	-0.43
8	13.5~13.0	28	84	1.241	-1.91	25	5.0~4.5	489	3 008	44.444	-0.35
9	13.0~12.5	28	112	1.655	-1.78	26	4.5~4.0	629	3 637	53.738	-0.27
10	12.5~12.0	29	141	2.083	-1.68	27	4.0~3.5	670	4 307	63.638	-0.20
11	12.0~11.5	37	178	2.630	-1.58	28	3.5~3.0	726	5 033	74.365	-0.13
12	11.5~11.0	36	214	3.162	-1.50	29	3.0~2.5	643	5 676	83.865	-0.08
13	11.0~10.5	50	264	3.901	-1.41	30	2.5~2.0	526	6 202	91.637	-0.04
14	10.5~10.0	63	327	4.832	-1.32	31	2.0~1.5	286	6 488	95.863	-0.02
15	10.0~9.5	74	401	5.925	-1.23	32	1.5~1.0	164	6 652	98.286	-0.01
16	9.5~9.0	111	512	7.565	-1.12	33	1.0~0.5	100	6 752	99.764	0.00
17	9.0~8.5	124	636	9.397	-1.03	34	0.5~0.0	16	6 768	100	0

拟合的曲线与实测点符合较好,采用最小二乘法推求出风速V与lgP的相关方程。各测风塔风速计算结果见表11, V_{2%}为50年一遇10 min平均最大风速。

3 短期资料统计法与常规算法成果对比

常规计算方法是:收集该10个气象站历年最大风速观测资料,采用极值I型频率曲线计算50年一遇10 min平均最大风速,参照“风压图”,计算出该10个气象站50年一遇10 min平均最大风速。对于山区或滨海地区距离气象站较远的测风塔,采用DL/T 5158—2002《电力工程气象勘测技术规程》中对山区

或滨海区风速换算的关系进行换算,计算出测风塔处50年一遇10 min平均最大风速。测风塔短期资料系列统计法与气象站常规算法计算结果见表12。

由表12可以得出,该10个测风塔短期资料系列统计法与气象站常规算法计算结果误差都较小,平均误差为3.5%。怀安、海兴两地误差分别为9.2%、9.3%,误差较大,原因是由于海兴测风塔资料系列只有大半年,资料系列较短;怀安处虽然资料系列达到1年以上,但风速最大值出现4个,对应的lgP值偏小,造成了设计风速值偏小。通过多种地形地貌条件测风塔资料的推算可知,在风电场无长期风速观测资

表10 环渤海滨海区莱州测风塔测风统计

Tab.10 Statistical data of wind speed in Bohai sea coastal area (Laizhou)

序号	风速/(m·s ⁻¹)	n	Σn	P%	lgP	序号	风速/(m·s ⁻¹)	n	Σn	P%	lgP
1	≥22.0	1	1	0.011 6	-3.935	24	11.0~10.5	120	637	7.397 5	-1.131
2	22.0~21.5	2	3	0.034 8	-3.458	25	10.5~10.0	139	776	9.011 7	-1.045
3	21.5~21.0	1	4	0.046 5	-3.333	26	10.0~9.5	174	950	11.032 4	-0.957
4	21.0~20.5	4	8	0.092 9	-3.032	27	9.5~9.0	191	1 141	13.250 5	-0.878
5	20.5~20.0	5	13	0.151 0	-2.821	28	9.0~8.5	207	1 348	15.654 4	-0.805
6	20.0~19.5	1	14	0.162 6	-2.789	29	8.5~8.0	244	1 592	18.488 0	-0.733
7	19.5~19.0	0	14	0.162 6	-2.789	30	8.0~7.5	274	1 866	21.670 0	-0.664
8	19.0~18.5	3	17	0.197 4	-2.705	31	7.5~7.0	309	2 175	25.258 4	-0.598
9	18.5~18.0	4	21	0.243 9	-2.613	32	7.0~6.5	370	2 545	29.552 2	-0.529
10	18.0~17.5	2	23	0.267 1	-2.573	33	6.5~6.0	407	2 952	34.281 7	-0.465
11	17.5~17.0	3	26	0.301 9	-2.520	34	6.0~5.5	464	3 416	39.670 2	-0.402
12	17.0~16.5	4	30	0.348 4	-2.458	35	5.5~5.0	515	3 931	45.650 9	-0.341
13	16.5~16.0	10	40	0.464 5	-2.333	36	5.0~4.5	558	4 489	52.131 0	-0.283
14	16.0~15.5	6	46	0.534 2	-2.272	37	4.5~4.0	635	5 124	59.505 3	-0.225
15	15.5~15.0	33	79	0.917 4	-2.037	38	4.0~3.5	612	5 736	66.612 5	-0.176
16	15.0~14.5	34	113	1.312 3	-1.882	39	3.5~3.0	654	6 390	74.207 4	-0.130
17	14.5~14.0	31	144	1.672 3	-1.777	40	3.0~2.5	650	7 040	81.755 9	-0.087
18	14.0~13.5	31	175	2.032 3	-1.692	41	2.5~2.0	550	7 590	88.143 1	-0.055
19	13.5~13.0	39	214	2.485 2	-1.605	42	2.0~1.5	415	8 005	92.962 5	-0.032
20	13.0~12.5	68	282	3.274 9	-1.485	43	1.5~1.0	292	8 297	96.353 5	-0.016
21	12.5~12.0	55	337	3.913 6	-1.407	44	1.0~0.5	249	8 546	99.245 2	-0.003
22	12.0~11.5	67	404	4.691 7	-1.329	45	0.5~0.0	65	8 611	100	0
23	11.5~11.0	113	517	6.003 9	-1.222						

表11 各测风塔风速计算

Tab.11 Wind calculation by each anemometer tower

站名	P/(×10 ⁴)	lgP	相关方程	V ₂ %/(m·s ⁻¹)
沽源	2.277	-5.64	y = -5.500 4x + 5.048 5	36.1
围场	2.291	-5.64	y = -5.632 9x + 4.939 9	36.7
康保	4.571	-5.34	y = -5.807 4x + 5.170 2	36.2
蔚县	2.283	-5.64	y = -5.578 8x + 5.703 7	37.2
崇礼	4.566	-5.34	y = -5.541 3x + 3.492 7	33.1
怀安	9.164	-5.04	y = -4.674 8x + 0.258 4	23.8
沙河	2.334	-5.63	y = -3.625 9x + 1.048 5	21.8
天津	2.234	-5.65	y = -3.985 1x + 2.814 3	25.3
海兴	2.955	-5.53	y = -5.073 5x + 3.094 7	31.1
莱州	2.081	-5.68	y = -5.403 6x + 3.866 0	34.6

表12 测风塔短期资料系列统计法与气象站常规计算法计算结果

Tab.12 Calculation results from anemometer tower and weather station

站名	V ₂ % (短)/(m·s ⁻¹)	V ₂ % (常)/(m·s ⁻¹)	误差/%
沽源	36.1	35.3	2.2
围场	36.7	37.2	1.4
康保	36.2	35.8	1.1
蔚县	37.2	35.1	5.6
崇礼	33.1	33.8	2.1
怀安	23.8	26.0	9.2
沙河	21.8	22.2	1.8
天津	25.3	25.8	2.0
海兴	31.1	28.2	9.3
莱州	34.6	34.4	0.6

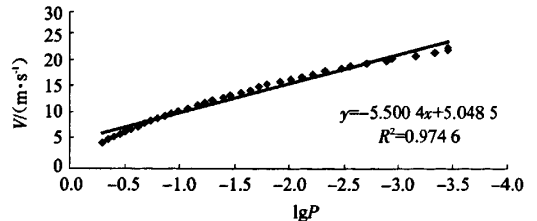


图1 沽源风速曲线

Fig.1 Curve of wind speed in Guyuan

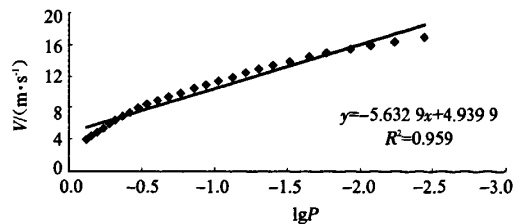


图2 围场风速曲线

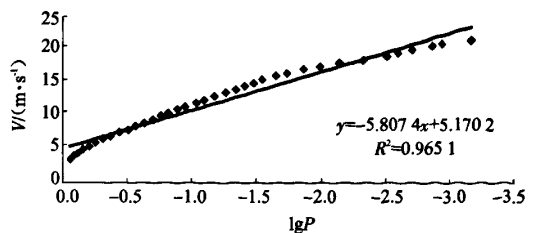


图3 康保风速曲线

Fig.3 Curve of wind speed in Kangbao

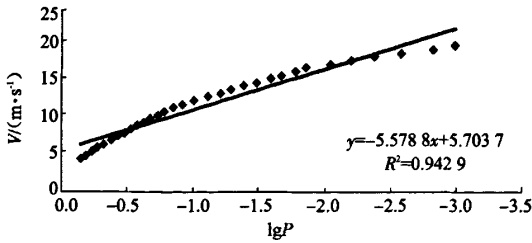


图4 蔚县风速曲线
Curve of wind speed in Weixian

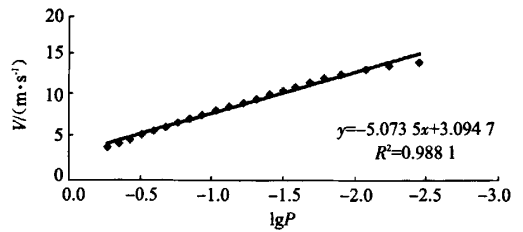


图9 海兴风速曲线
Fig.9 Curve of wind speed in Haixing

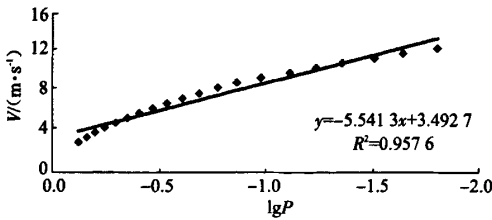


图5 崇礼风速曲线
Fig.5 Curve of wind speed in Congli

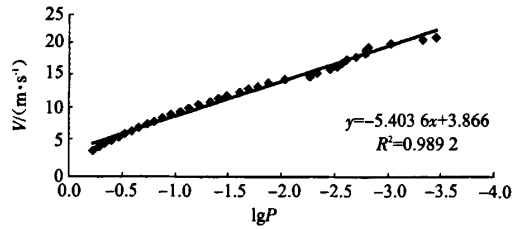


图10 莱州风速曲线
Fig.10 Curve of wind speed in Laizhou

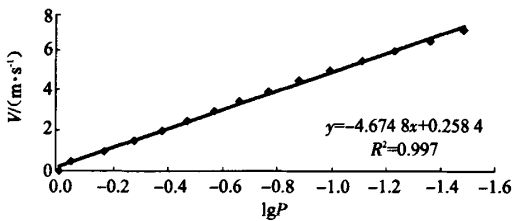


图6 怀安风速曲线
Fig.6 Curve of wind speed in Huai'an

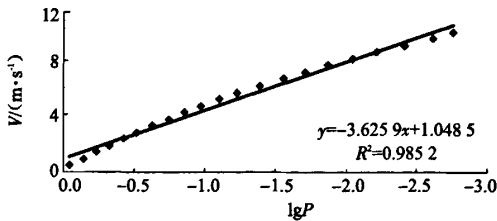


图7 沙河风速曲线
Fig.7 Curve of wind speed in Shahe

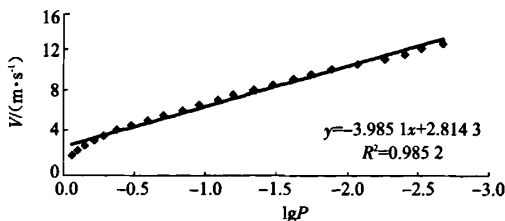


图8 天津风速曲线
Fig.8 Curve of wind speed in Tianjin

料情况下,采用短期资料系列统计方法分析风电场50年一遇10 min平均最大风速,误差均在10%以下,能满足工程设计要求,该方法是确实可行的。

4 结论

(1)在缺少长期观测资料情况下,采用该方法推算风电场50年一遇设计风速为风电场50年一遇设计风速的判定提供了一种新的方法。

(2)应收集1年以上测风资料进行风电场50年一遇设计风速推求。

(3)该方法仅推求出50年一遇10 m高10 min平均最大风速,其他高度的设计风速可以采用高度换算关系推求。

(4)本方法不仅适合推求风电场50年一遇设计风速,同样适合推求无资料地区电厂项目及输变电项目的设计风速。

5 参考文献

- [1] 谢建民,张治源.风力发电机优化选型与云南省风力发电场规划研究[J].电力建设,2001,22(5):27-31.
- [2] 盛骤,谢式千,潘承毅.概率论与数理统计[M].北京:高等教育出版社,2001.

收稿日期:2009-12-16 修回日期:2010-03-02

作者简介:

丘海珊(1982—),男,助理工程师,工科学士,主要从事电力工程水文气象勘测设计工作,E-mail:samqiuhaishan@126.com.

(责任编辑:何鹏)