

两种典型山地地形的输电塔受力分析

王振华, 章东鸿, 何运祥

引用本文:

王振华, 章东鸿, 何运祥. 两种典型山地地形的输电塔受力分析[J]. 南方能源建设, 2021, 8(S1): 1-9.

WANG Zhenhua, ZHANG Donghong, HE Yunxiang. Force Analysis of Transmission Tower Under Two Typical Mountain Topography[J]. *Southern Energy Construction*, 2021, 8(S1): 1-9.

相似文章推荐 (请使用火狐或IE浏览器查看文章)

Similar articles recommended (Please use Firefox or IE to view the article)

广东沿海输电线路台风倒塔事故的分析探讨

Analysis of Collapse Accident of Transmission Line Tower Causing by Typhoon Attacking in the Coastal District of Guangdong Province
南方能源建设. 2016, 3(z1): 82-87 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2016.S1.018>

中国输电线路规范的风荷载计算比较

Comparison of Wind Load Calculation for China Transmission Codes
南方能源建设. 2018, 5(3): 89-93 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2018.03.014>

基于机载LIDAR技术的输电线路优化设计研究

Research on Optimal Design of Transmission Line Based on Airborne LiDAR Technology
南方能源建设. 2017, 4(3): 103-106 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2017.03.019>

跳线风偏闪络原因分析及预防措施研究

Research on Flashover Factors of Jumper Wires Caused by Windage Yaw and Its Preventive Measures
南方能源建设. 2016, 3(2): 77-81,87 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2016.02.015>

特高压同塔双回输电线路自然功率研究

Research on the Surge Impedance Load of UHV Double Circuit Transmission Lines on the Same Tower
南方能源建设. 2016, 3(2): 53-57 <https://doi.org/10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2016.02.010>

两种典型山地地形的输电塔受力分析

王振华[✉], 章东鸿, 何运祥

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

摘要: [目的] 受典型微地形影响, 架空输电线路遭受的风速会增大, 因此需要研究微地形对输电塔受力的影响。[方法] 比较了中国规范、美国规范和澳洲规范的山峰和山坡两种典型山地地形的地形系数, 对地形系数进行了参数计算, 分析了地形系数的分布规律。计算了不同规范、不同路径方向和不同位置的输电塔塔身主材内力。[结果] 结果表明: 中美澳规范的地形系数的分布规律基本一致, 受坡度、水平距离和竖向高度影响的程度有差异; 线路沿山顶走线时, 塔身主材受力最大; 地形系数比风速增大 10% 对铁塔受力影响更大。[结论] 建议输电线路尽量垂直跨越山顶, 两种典型山地地形处的输电塔需考虑地形系数的影响。

关键词: 输电塔; 山峰地形; 山坡地形; 规范对比; 路径方向

中图分类号: TM7; TM75

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2021)S1-0001-09

开放科学(资源服务)二维码:



Force Analysis of Transmission Tower Under Two Typical Mountain Topography

WANG Zhenhua[✉], ZHANG Donghong, HE Yunxiang

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract: [Introduction] Affected by typical micro-topography, the wind speed of overhead transmission lines will increase. This paper aims to study the influence of micro-topography on the force of transmission tower. [Method] To investigate the parameters and the distribution law of topographic factors, we compared topographic factors of two typical mountain topographies for the crest and the escarpment among China, America and Australia codes. The force analysis of transmission towers were carried out with different codes, different route directions and different locations. [Result] The results we obtained demonstrate that the distribution law of topographic factor of the three codes is basically the same, and the degree of influence by slope, horizontal distance and height is different, the force of main member of tower body is the maximum when the transmission line runs along the top of the mountain, the influence of topographic factor on the force of tower is greater than wind speed increased by 10%. [Conclusion] It is suggested that the transmission line should cross the top of the mountain perpendicularly as much as possible, and the influence of topographic factor should be considered for transmission towers located in two typical mountain topographies.

Key words: transmission tower; crest topography; escarpment topography; code comparison; route direction

2095-8676 © 2021 Energy China GEDI. Publishing services by Energy Observer Magazine Co., Ltd. on behalf of Energy China GEDI. This is an open access article under the CC BY-NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

风荷载是架空输电线路设计的主要控制荷载, 在强风恶劣自然环境条件下, 架空输电线路的风灾事故时有发生^[1-2]。文献[3]通过推导导地线风振系数计算公式, 并与国外规范进行比较, 发现中国

线路规范导地线风荷载计算未考虑脉动风影响, 导致其计算结果偏不安全。文献[4]通过比较不同历史时期的中国输电线路规范的风荷载计算方法, 发现早期中国规范的铁塔或导地线风荷载调整系数偏小或欠考虑, 导致输电铁塔抗风能力较差。

除了强风直接引起的风灾事故外, 微地形引起的风灾事故也不可忽视^[5]。架空输电线路经过的区

收稿日期: 2020-02-24

修回日期: 2020-07-23

基金项目: 中国能建广东院科技项目“输电铁塔结构加固关键技术研究”(ER05871W)

域广且地形复杂,受微地形影响,局部位置的风速将有所增大。中国规范《架空输电线路荷载规范》^[6]规定:通过山区线路的设计风速按附近平地风速资料增大10%,至于山区微地形影响,除个别大跨越为提高其安全度可考虑增大风速以外,在一般地区不予增加。输电线路设计规范中没有对受微地形影响的地形系数进行规定,但中国规范《建筑结构荷载规范》^[7]中给出了山峰和山坡等典型地形的风压高度系数的修正系数。美国规范《输电线路结构荷载指南》(ASCE 74—2010)^[8]中架空输电线路的荷载计算公式中有地形系数,地形系数的计算方法参考《建筑和其它结构的最小设计载荷》(ASCE/SEI 7—05)^[9],并给出了二维山峰、二维山坡和三维山丘的地形系数计算公式。澳洲规范《架空线路设计》(AS/NZS 7000: 2016)^[10]中架空输电线路的风速需考虑地形系数,地形系数的计算方法参考《结构设计荷载第二部分风荷载》(AS/NZS 1170.2: 2011)^[11],规范中给出了二维山峰和二维山坡的地形系数计算公式。日本规范《送电用铁塔设计标准》(JEC-TR-00007: 2015)^[12]给出了单一斜面和复合斜面两种微地形的风速增大系数,通过斜坡坡度、相对水平距离比和相对竖向高度比参数查风速增速图。欧洲规范《1 kV以上架空输电线路》(BS EN 50341: 2012)^[13]和IEC规范《架空输电线路设计标准》(IEC 60826—2016)^[14]中没有考虑地形影响的规定。

国内不少学者在微地形对架空输电线路影响方面进行了一些研究:文献[15]通过比较各国规范并对特高压大跨越输电塔进行了动力响应计算,结果表明中国规范偏于保守,考虑地形系数的总响应增23.0%~59.6%;文献[16]基于输电线路微地形概念,推导了作用在杆塔结构上的线条风荷载的计算方法,比较了典型杆塔在平地 and 不同微地形的风荷载,结果表明我国输电线路设计规范得到的结果对于山丘和垭口明显偏小;文献[17]通过引入地形对风速剖面的修正,计算了输电塔的风振响应和风振系数,结果表明经过地形修正后的位移风振响应均值较修正前增大;文献[18]针对三维山体进行CFD模拟计算并与各国规范进行比较,给出输电塔在三维山体中抗风区域的划分建议;文献[19]采用CFD数值模拟与风洞试验相结合的方法研究了

典型单山脉地形和双山脉峡谷型地形的三维平均风场和脉动风场特征,给出了绝缘子串风偏角风振系数建议值;文献[20]采用数值模拟的方法计算了某受灾铁塔山地区域的风场,分析了地形对风速的影响,结果表明最大风速比达1.45。以上研究主要采用风洞试验或数值模拟的方法研究典型地形的风场特性,较少对不同路径方向以及不同位置的铁塔进行主材内力分析。

比较研究了美国规范、澳洲规范和中国规范的山峰和山坡两种典型山地地形的地形系数,分析了坡度、水平距离和高度三种参数对地形系数的分布规律的影响。计算了不同规范、不同路径方向和不同位置的输电塔的塔身主材内力,并给出了相关设计建议。

1 规范对地形影响的规定

1.1 中国规范

《架空输电线路荷载规范》中没有典型地形对输电线路影响的规定,只对山区线路的设计风速统一增大10%考虑。《建筑结构荷载规范》针对较简单的山峰和山坡地形,给出了风压高度变化系数的修正系数,如图1所示。

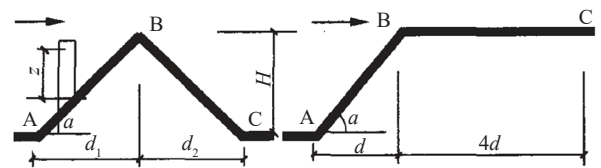


图1 山峰和山坡示意图

Fig. 1 Diagram of the crest and the escarpment

对山峰和山坡地形,修正系数的计算公式为:

$$\eta_B = \left[1 + \kappa \tan \alpha \left(1 - \frac{z}{2.5H} \right) \right]^2 \quad (1)$$

式中: $\tan \alpha$ 为山峰或山坡在上风侧的坡度,当 $\tan \alpha > 0.3$ 时,取 $\tan \alpha = 0.3$; κ 系数,对山峰取2.2,对山坡取1.4; H 为山顶或山坡高度(m); z 为建筑物计算位置离建筑物地面的高度(m),当 $z > 2.5H$ 时,取 $z = 2.5H$ 。

其他部位的修正系数,可按图1所示,取A、C处的修正系数 η_A 、 η_C 为1,AB间和BC间的修正系数按 η 的线性插值确定。

1.2 美国规范

ASCE 74—2010的输电线路风荷载计算公式通过调整风压的方法考虑地形系数, 地形系数计算公式采用ASCE/SEI 7—05的规定, 给出了山峰和山坡两种典型地形的地形系数, 如图2所示, H 为山峰和山坡的高度, L_h 为上风向从山顶到半山高度处的水平距离。当该位置上风区域 $100H$ 或 $3\ 219\text{ m}$ (两者取小值) 空旷时, 可在设计中考虑地形影响。但以下情况不考虑风速增大的影响: 当 $H/L_h < 0.2$, 或C和D类地貌 $H < 4.5\text{ m}$, 或B类地貌 $H < 18\text{ m}$ 。

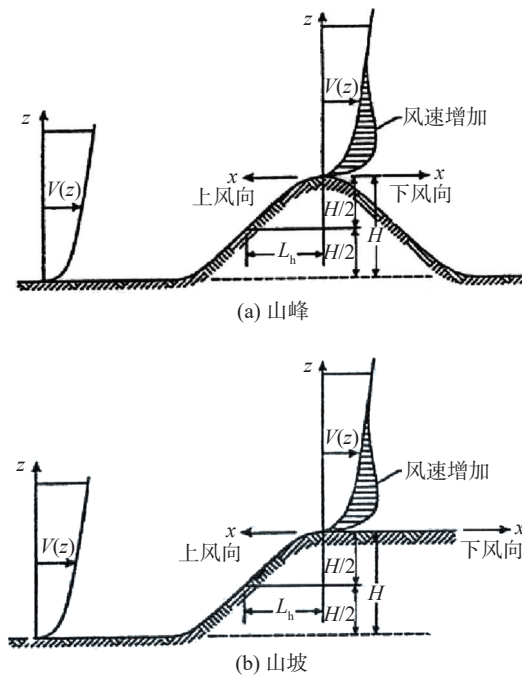


图2 山峰和山坡示意图

Fig. 2 Diagram of the crest and the escarpment

地形系数 K_{zt} 的计算公式为:

$$K_{zt} = (1 + K_1 K_2 K_3)^2 \quad (2)$$

式中: K_1 为考虑地形特征影响的系数; $K_2 = 1 - |x|/(\mu L_h)$, 为考虑上风向或下风向与山顶距离影响的系数; $K_3 = e^{-\gamma z/L_h}$, 为考虑高度影响的系数; x 为结构与山顶的距离 (m); z 为局部地面的结构高度 (m)。表1为地形系数的参数取值, 当 $H/L_h > 0.5$ 时, 假定 $H/L_h = 0.5$ 计算 K_1 并用 $2H$ 代替 L_h 计算 K_2 和 K_3 。

1.3 澳洲规范

AS/NZS 7000: 2016的输电线路风荷载计算公式通过调整风速的方法考虑地形系数, 通过山峰和

表1 地形系数的参数取值

Tab. 1 Parameters for topographic factor

山丘形状	$K_1(H/L_h)$			γ	μ	
	地貌类别				上风侧	下风侧
	B	C	D			
二维山峰	1.30	1.45	1.55	3.0	1.5	1.5
二维山坡	0.75	0.85	0.95	2.5	1.5	4.0
三维 对称山丘	0.95	1.05	1.15	4.0	1.5	1.5

山坡两种典型地形时风速需乘风速增大系数, 风速增大系数计算公式采用AS 1170.2: 2011的规定, 如图3所示。

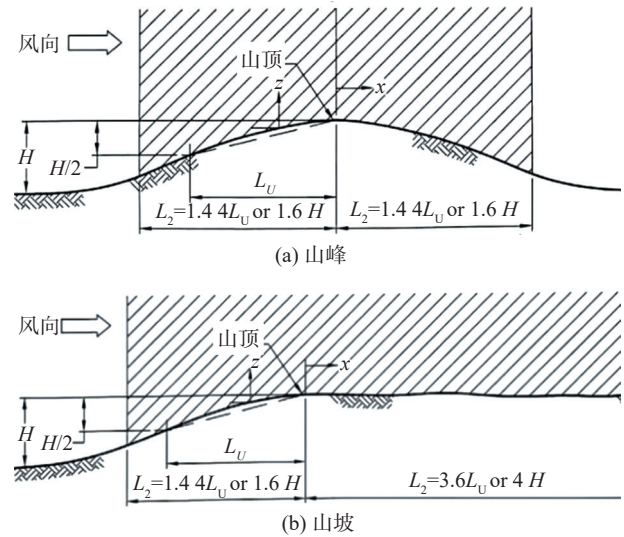


图3 山峰和山坡示意图

Fig. 3 Diagram of the crest and the escarpment

风速增大系数 M_h 计算公式为:

当 $H/(2L_u) < 0.05$ 时, $M_h = 1.0$;

当 $0.05 \leq H/(2L_u) \leq 0.45$ 时,

$$M_h = 1 + \left(\frac{H}{3.5(z + L_1)} \right) \left(1 - \frac{|x|}{L_2} \right) \quad (3)$$

当 $H/(2L_u) > 0.45$ 时, 山顶 $0.1H$ 高度和下风向 $0.25H$ 范围内:

$$M_h = 1 + 0.71 \left(1 - |x|/L_2 \right) \quad (4)$$

式中: H 为山顶或山坡高度 (m); L_u 为上风向从山顶到半山高度处的水平距离 (m); L_1 为影响垂直方向变化的长度参数, 取 $0.36L_u$ 和 $0.4H$ 的较大值; L_2 为影响水平方向变化的长度参数, 取 $10L_1$ (山坡地形下风向) 和 $4L_1$ (其他情况); x 和 z 同上。

1.4 规范对比

中国规范和美国规范考虑地形影响采用调整风压的方法，而澳洲规范考虑地形影响采用调整风速的方法，为了比较地形对风荷载的影响，将澳洲规范的风速增大系数的平方值与中国和美国规范的地形系数进行对比。

1.4.1 不同坡度的地形系数

图4为山峰和山坡地形不同坡度时山顶处高度 $z=0.3H$ 的地形系数，由图可以看出，相同计算参数时，山峰地形的地形系数大于山坡地形；随着坡度的增大，中国和美国规范在坡度分别小于0.3和0.25时，地形系数基本呈线性关系增加，随后保持不变，即不考虑地形系数增加；澳洲规范中，坡度小于0.45时，地形系数基本呈线性增加趋势。对于山峰地形，在坡度小于等于0.25时，中国规范的地形系数与美国规范比较接近；对于山坡地形，在坡度小于等于0.25时，三国规范的地形系数均比较接近。

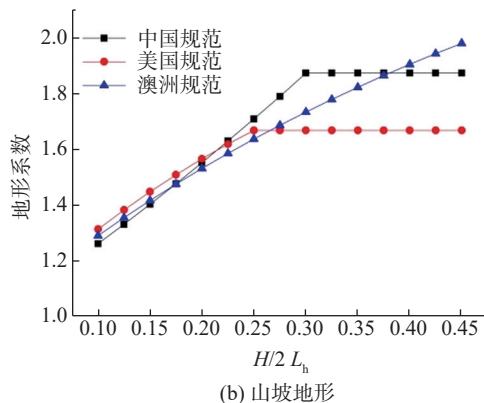
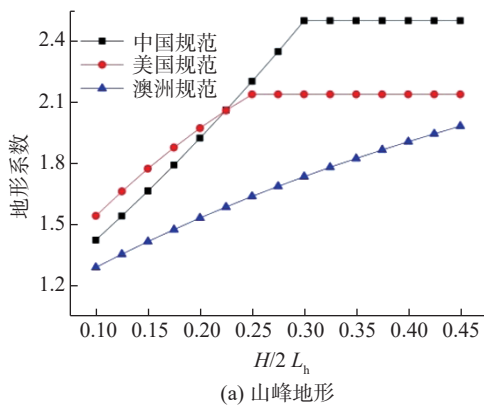


图4 不同坡度山顶处的地形系数

Fig. 4 The topographic factor at the hilltop with different slopes

1.4.2 不同位置的地形系数

图5为山峰和山坡地形不同位置处高度 $z=0.3H$ 的地形系数，地形坡度 $H/(2L_h)=0.25$ ，由图可以看出，地形系数与水平距离基本呈线性关系变化，地形系数在山顶处达最大值；对于山峰地形，除山顶处中国规范的地形系数与美国规范比较接近外，其他位置处三国规范的地形系数相差较大；对于山坡地形的上风向，三国规范的地形系数比较接近；对于山坡地形的下风向，美国规范的地形系数与澳洲规范比较接近。对于山峰地形的两侧以及山坡地形的上风侧，中国、美国和澳洲规范在距离山峰水平距离 $2L_h$ 、 $1.5L_h$ 和 $1.44L_h$ 之外，地形系数为1.0，即不考虑地形系数；对于山坡地形的下风侧，中国、美国和澳洲规范在距离山峰水平距离 $8L_h$ 、 $4L_h$ 和 $3.6L_h$ 之外，地形系数为1.0，即不考虑地形系数。中国规范考虑的水平影响范围最大。

1.4.3 不同高度的地形系数

图6为山峰和山坡地形山顶处不同高度的地形

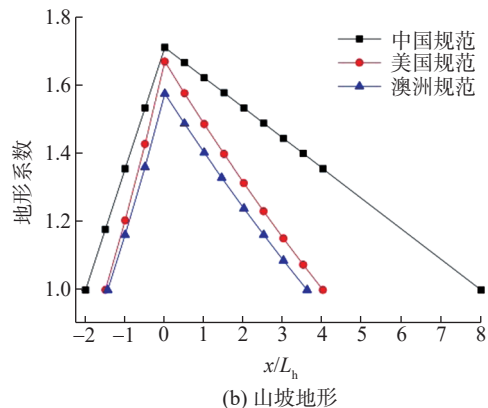
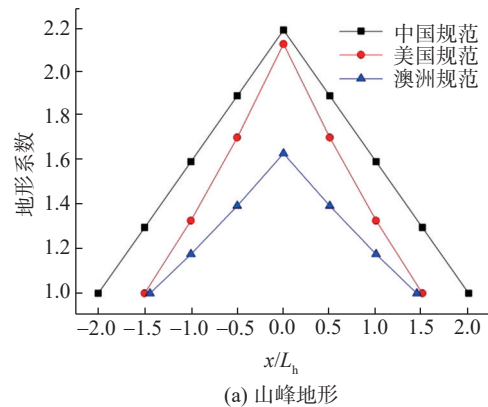


图5 不同位置的地形系数

Fig. 5 The topographic factor with different location

系数, 地形坡度 $H/(2L_h)=0.25$, 由图可以看出, 随着高度的增大, 中国规范的地形系数基本呈线性关系减小, 美国规范的地形系数呈指数关系减小, 澳洲规范的地形系数减小相对较缓。中国和美国规范分别在 $2.5H$ 和 $4H$ 高度以上时, 地形系数为 1.0, 即不考虑地形系数, 澳洲规范没有高度影响范围界限。在高度 z/H 小于 0.4 时, 山峰地形的中国规范的地形系数与美国规范比较接近, 山坡地形的三国规范的地形系数比较接近。

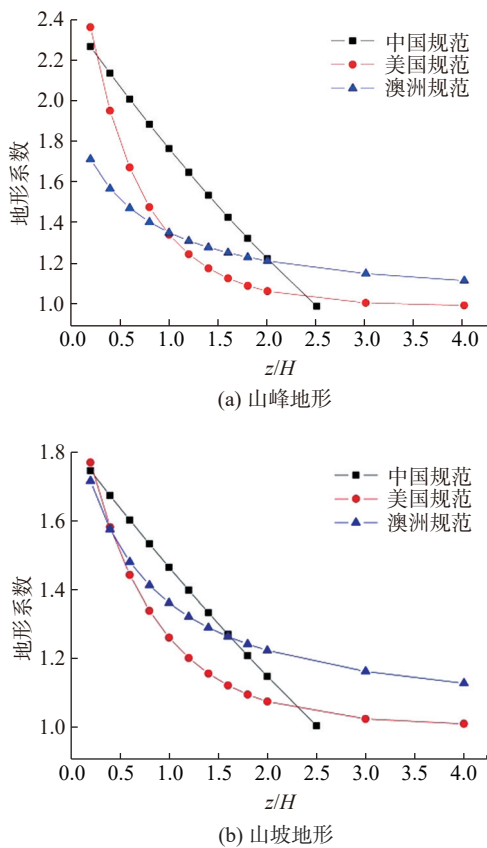


图6 不同高度山顶处的地形系数

Fig. 6 The topographic factor at the hilltop with different height

总体来看, 中国、美国和澳洲规范的地形系数受坡度、水平距离和竖向高度影响的规律基本一致, 受影响程度及范围略有差异。输电线路从平地地形跨越山地地形时, 输电塔相对山地的高度比 z/H 主要分布在 0.1~0.4 范围之间, 在坡度 ≤ 0.25 时, 中国规范山峰地形的地形系数与美国规范比较接近, 三国规范山坡地形的地形系数比较接近。

2 算例分析

2.1 计算模型

以一 500 kV 双回路直线塔为例, 全塔高 64.6 m, 铁塔呼高 36 m, 设计水平档距 467 m, 设计风速 27 m/s, 地线采用 $1 \times \text{LBGJ}-150$, 导线采用 $4 \times \text{ACSR}-720/50$ 。计算铁塔风荷载时, 塔身从上至下分为 1~10 段, 地线支架为 11 段, 上中下横担分别为 12、13 和 14 段。导地线风荷载计算时, 地线和上中下导线的计算平均高度分别为 60.2 m、47.3 m、35.4 m 和 23.4 m。塔身主材从上至下编号分别为 1~18。

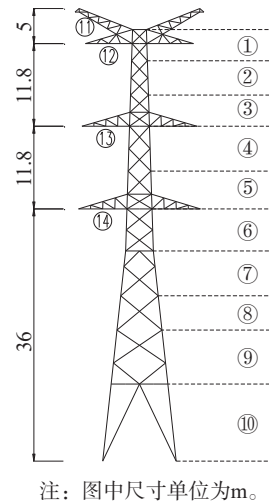


图7 铁塔计算模型示意图

Fig. 7 Diagram of the tower model

输电线路经过山峰和山坡地形时, 一般会在半坡和山顶处立塔以便于线路跨越, 如图 8 所示, 山高 H 为 233.5 m, 上风向地形坡度 $H/(2L_h)$ 为 0.25。假定半坡和山顶铁塔两侧档距相同且为水平档距, 采用前后侧导地线的地形系数平均值计算导地线风荷载。定义: 线路路径垂直跨越山顶时, 路径方向与风向夹角为 0° ; 线路路径平行半坡或山顶走线时, 路径方向与风向夹角为 90° 。

2.2 结果分析

2.2.1 不同规范

采用三国规范的地形系数对山峰和山坡地形的山顶处铁塔进行计算, 图 9 为山峰和山坡地形的塔身主材压力, 由图可以看出: 对于山峰地形, 按中国规范和美国规范的地形系数计算的塔身主材压力比较接近, 按美国规范的地形系数计算的塔身主材压力平均略大 3.5%, 按澳洲规范的地形系数计算的

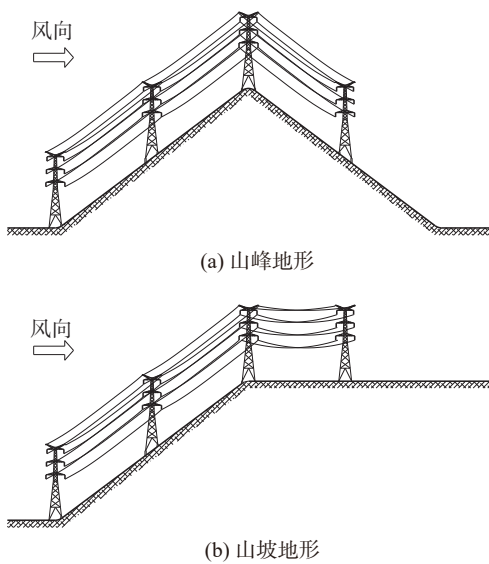


图8 线路跨越山地地形示意图

Fig. 8 Diagram of transmission line passing through mountain topography

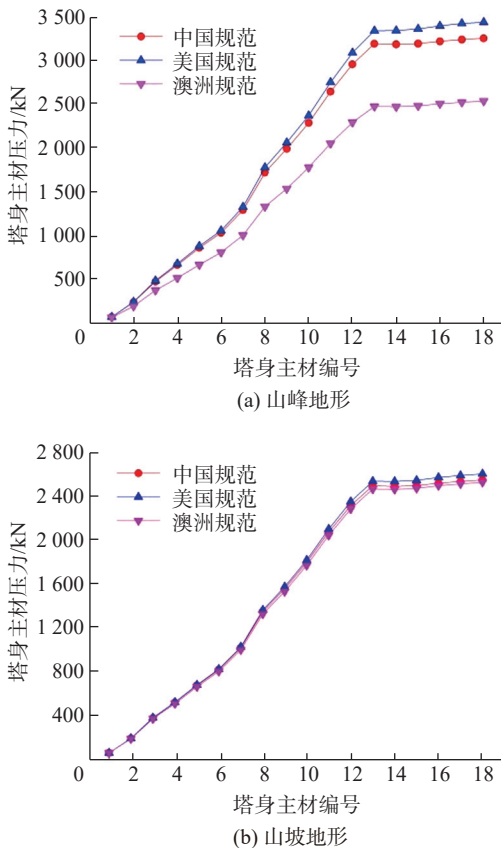


图9 不同规范的塔身主材压力

Fig. 9 The compression force of main member of tower body with different codes

塔身主材压力最小；对于山坡地形，按中国、美国和澳洲规范的地形系数计算的塔身主材压力比较接近。对于输电塔设计，按中国规范的地形系数与国外规范基本一致。

2.2.2 不同路径方向

采用中国规范的地形系数对山峰和山坡地形的不同路径方向的半坡处和山顶处铁塔进行计算，图10为山峰和山坡地形的半坡处和山顶处铁塔的塔身主材压力，由图可以看出：路径与风向成 0° 时，塔身主材内力最小；对于半坡处铁塔，路径与风向成 90° 、 60° 和 45° 夹角时，塔身主材内力比较接近， 60° 夹角时略大，其主材内力为 0° 夹角时平均1.60~1.62倍；对于山顶处铁塔，随着路径与风向夹角的减小，塔身主材内力逐渐减小， 90° 夹角时塔身主材内力最大，其主材内力为 0° 夹角时平均1.75~1.79倍。按设计经验，常规直线塔的塔身主材内力主要由 60° 大风工况控制，而山顶处铁塔的塔身主材内力由 90° 大风工况控制，其原因为此时导地线的地形系数较之大8.5%~11.3%。因此，建议线路跨越典型山地地形时尽量选择垂直跨越山顶线，减少地形对线路的影响。

2.2.3 不同位置

采用中国规范的地形系数对山峰和山坡地形的半坡处和山顶处铁塔进行计算，并与无地形影响的铁塔进行比较，图11为山峰和山坡地形的塔身主材压力，由图可以看出：山顶处铁塔的塔身主材内力最大；相比无地形影响的塔身主材内力，山峰地形的山顶处和半坡处铁塔的塔身主材内力分别增大大约98.3%和49.7%，山坡地形的山顶处和半坡处铁塔的塔身主材内力分别增大大约57.8%和29.3%。相比山区线路的设计风速统一增大10%即风荷载增大21%，两种典型山地地形对输电塔的受力影响相对更大，尤其对山顶处铁塔影响最大。因此，建议输电线路跨越两种典型山地地形时考虑地形系数影响，其它地形可适当提高输电塔安全系数。

3 结论

通过比较中国规范、美国规范和澳洲规范的山峰和山坡两种典型山地地形的地形系数，并对不同规范、不同路径方向和不同位置的直线塔进行计算，有以下结论：

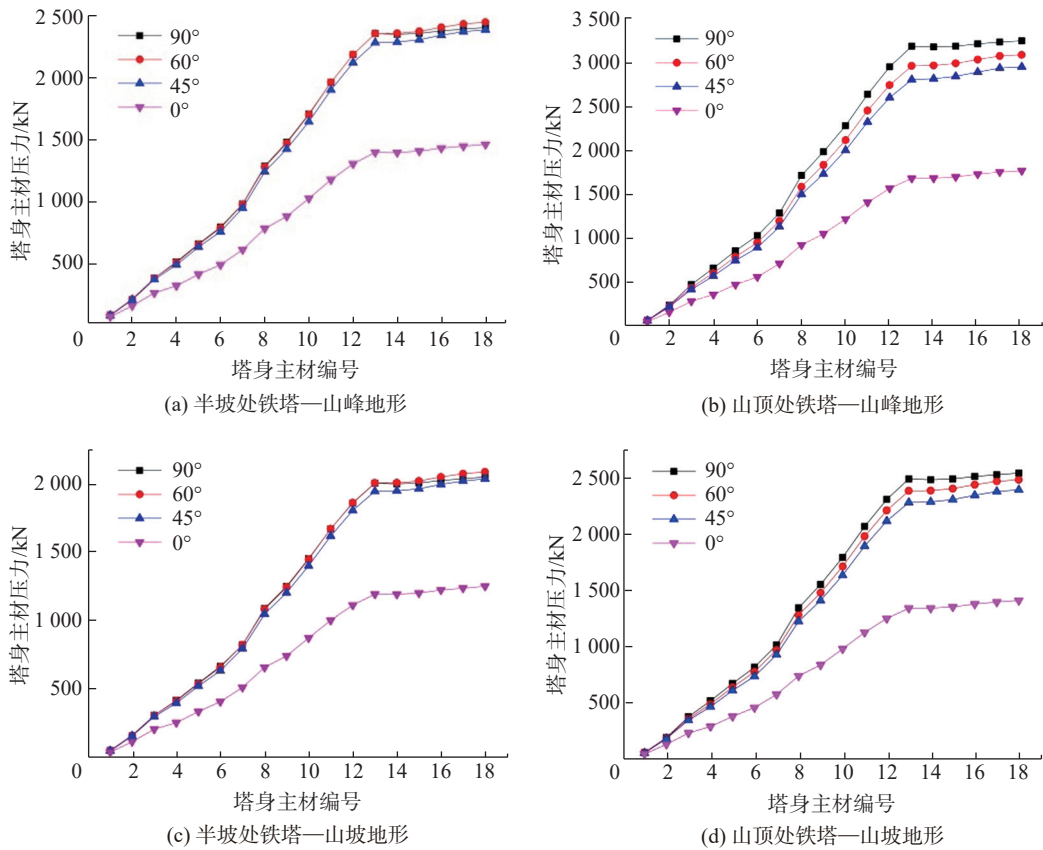


图 10 不同路径方向的塔身主材压力

Fig. 10 The compression force of main member of tower body in different route directions

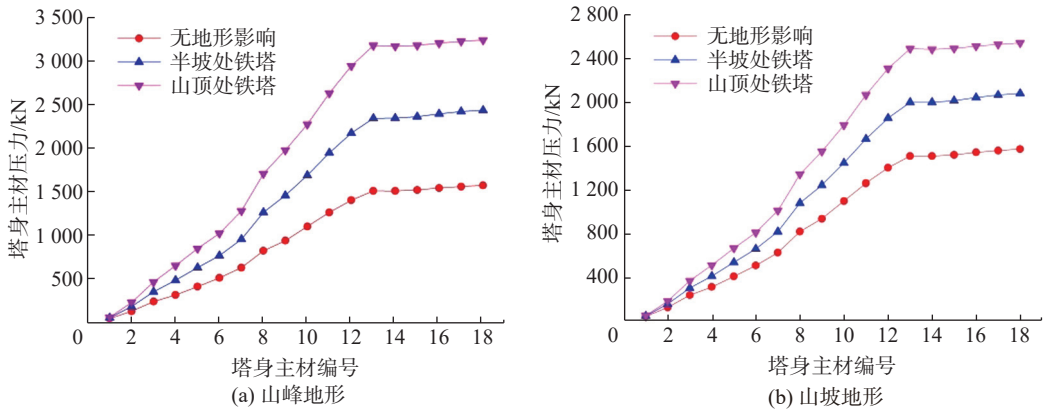


图 11 不同位置的塔身主材压力

Fig. 11 The compression force of main member of tower body at different locations

1) 随着坡度的增大, 中国、美国和澳洲规范在坡度分别小于0.3、0.25和0.45时, 地形系数基本呈线性关系增加, 随后保持不变, 即不考虑地形系数增加。

2) 地形系数与水平距离基本呈线性关系变化, 地形系数在山顶处达最大值。对于山峰地形的两侧

以及山坡地形的上风侧, 中国、美国和澳洲规范的地形系数在水平方向考虑范围为 $2L_h$ 、 $1.5L_h$ 和 $1.44L_h$; 对于山坡地形的下风侧, 中国、美国和澳洲规范的地形系数在水平方向考虑范围为 $8L_h$ 、 $4L_h$ 和 $3.6L_h$ 。中国规范考虑的水平影响范围最大。

3) 随着高度的增大, 地形系数逐渐减小。中

国和美国规范的地形系数在垂直方向考虑范围分别在 $2.5H$ 和 $4H$ 高度以内,澳洲规范没有高度影响范围界限。

4) 对山峰地形山顶处铁塔,按美国规范的地形系数计算的塔身主材压力比中国规范平均略大3.5%,按澳洲规范的地形系数计算的塔身主材压力最小;对于山坡地形山顶处铁塔,按中国、美国和澳洲规范的地形系数计算的塔身主材压力比较接近。对于输电塔设计,按中国规范的地形系数与国外规范基本一致。

5) 对于山坡和山顶处铁塔,路径与风向成 60° 和 90° 夹角时塔身主材内力是 0° 夹角时最大1.62和1.79倍,建议线路跨越两种典型山地地形时,尽量选择垂直跨越山顶,减少地形对线路的影响。

6) 山峰地形的山顶处和半坡处铁塔的塔身主材内力分别增大约98.3%和49.7%,山坡地形的山顶处和半坡处铁塔的塔身主材内力分别增大约57.8%和29.3%,相比山区线路的设计风速统一增大10%考虑即风荷载增大21%,两种典型地形的影响相对更大,建议输电线路跨越两种典型山地地形时考虑地形系数影响,其它地形可适当提高输电塔安全系数。

参考文献:

- [1] 厉天威,江巴彦,赵建华,等. 南方电网沿海地区输电线路风灾事故分析[J]. 高压电器,2016,52(6):23-28.
LI T W,JIANG S Y,ZHAO J H, et al. Wind accident analysis of transmission line in China Southern Power Grid's coastal regions [J]. High Voltage Apparatus ,2016,52(6):23-28.
- [2] 王璋奇,齐立忠,杨文刚. 龙卷风作用下500 kV输电铁塔强度分析[J]. 广东电力,2016,29(10):102-108.
WANG Z Q,QI L Z,YANG W G. Strength of 500 kV power transmission tower under tornado [J]. Guangdong Electric Power,2016,29(10):102-108.
- [3] 章东鸿,王振华. 输电线路导线阵风响应计算与比较[J]. 中国电力,2016,49(7):27-31.
ZHANG D H,WANG Z H. Computation and comparison for gust response of wires of transmission line [J]. Electric Power, 2016,49(7):27-31.
- [4] 李敏生,王振华. 中国输电线路规范的风荷载计算比较[J]. 南方能源建设,2018,5(3):89-93.
LI M S,WANG Z H. Comparison of wind load calculation for china transmission codes [J]. Southern Energy Construction, 2018,5(3):89-93.
- [5] 杜志强,徐玉华,陈泓,等. 架空输电线路微地形区风害故障分析及防治方法研究[J]. 电工电气,2017(12):42-45.
DU Z Q,XU Y H,CHEN H, et al. Study on analysis and prevention methods of wind damage fault inmicro terrain region of overhead transmission line [J]. Electrotechnics Electric, 2017 (12):42-45.
- [6] 国家能源局. 架空输电线路荷载规范: DL/T 5551—2018 [S]. 北京:中国计划出版社,2018.
National Energy Administration. Load code for the design of overhead transmission line: DL/T 5551—2018 [S]. Beijing: China Planning Press, 2018.
- [7] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑结构荷载规范: GB 50009—2012 [S]. 北京:中国建筑工业出版社,2012.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Load code for the design of building structures: GB 50009—2012 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press,2012.
- [8] American Society of Civil Engineers. Guidelines for electrical transmission line structural loading (third edition): ASCE 74—2010 [S]. Virginia:ASCE,2010.
- [9] American Society of Civil Engineers. Minimum design loads for buildings and other structures: ASCE/SEI 7-05 [S]. Virginia:ASCE,2005.
- [10] Joint Technical Committee EL-052. Overhead line design: AS/NZS 7000 [S]. Sydney: Joint Technical Committee EL-052, 2016.
- [11] Joint Technical Committee BD-006. Structural design actions part 2: windactions. AS/NZS 1170. 2 [S]. Sydney: Joint Technical Committee BD-006,2011.
- [12] Japanese Electrotechnical Committee. Design standards on structures for transmissions: JEC-TR-00007 [S]. Tokyo:JEC, 2015.
- [13] European Committee for Electrotechnical Standardization. Overhead electrical lines exceeding AC 1 kV-part 1: general requirements - common specifications: BS EN 50341 [S]. Brussels:Cenelec,2012.
- [14] International Electrotechnical Commission. Design criteria of overhead transmission lines: IEC 60826—2016 [S]. South Africa:IEC,2016.
- [15] 李正良,魏奇科,孙毅. 山地地形对输电塔风振响应的影响[J]. 电网技术,2010,34(11):214-220.
LI Z L,WEI Q K,SUN Y. Influences of mountain topography on response to wind-induced vibration of transmission tower [J]. Power System Technology, 2010,34(11):214-220.
- [16] 高雁,杨靖波. 微地形区域输电线路杆塔电线风荷载计算方法[J]. 电网技术,2012,36(8):111-115.
GAO Y,YANG J B. Calculation method of line wind load of transmission tower structure considering small-scale topographic features [J]. Power System Technology, 2012, 36 (8) : 111-115.

- [17] 刘先珊,熊卫红,肖正直. 山地环境中500 kV输电塔线体系风振响应研究[J]. 武汉大学学报(工学版),2016,49(5):668-673.

LIU X S, XIONG W H, XIAO Z Z. Research on wind vibration response of 500 kV transmission towers in complex mountain area [J]. Engineering Journal of Wuhan University, 2016, 49(5):668-673.

- [18] 姚剑锋,沈国辉,楼文娟,等. 三维山体的风场特征及对输电塔风致响应的影响[J]. 振动与冲击,2017,36(18):78-84.

YAO J F, SHEN G H, LOU W J, et al. Wind field characteristics of 3-dimensional hills and their influence on the wind-induced responses of transmission towers [J]. Journal of Vibration and Shock, 2017, 36(18):78-84.

- [19] 楼文娟,吴登国,刘萌萌,等. 山地风场特性及其对输电线路风偏响应的影响[J]. 土木工程学报,2018,51(10):46-55+77.

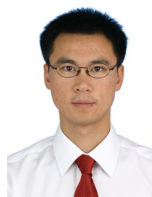
LOU W J, WU D G, LIU M M, et al. Properties of mountainous terrain wind field and their influence on wind-induced swing of transmission lines [J]. China Civil Engineering Journal, 2018, 51(10):46-55+77.

- [20] 罗啸,宇聂铭,谢文平,等. 输电线路所处复杂地形的风场数值模拟[J]. 科学技术与工程,2019,19(24):172-176.

LUO X, YU N M, XIE W P, et al. Numerical simulations of wind flow over complex terrain where transmission lines locate

[J]. Science Technology and Engineering, 2019, 19(24):172-176.

作者简介:



王振华

王振华 (通信作者)

1982-, 男, 安徽岳西人, 正高级工程师, 工学博士, 主要从事输电线路设计和研究工作 (e-mail) wangzhenhua@gedi.com.cn。

章东鸿

1972-, 男, 广东汕头人, 正高级工程师, 工学硕士, 主要从事输电线路设计和研究工作 (e-mail) zhangdonghong@gedi.com.cn。

何运祥

1982-, 男, 江西定南人, 高级工程师, 工学硕士, 主要从事输电线路设计和研究工作 (e-mail) heyunxiang@gedi.com.cn。

(责任编辑 李辉)

