

输电线路工程运输方式经济性分析

肖宇,王劲

(中国电力工程顾问集团西南电力设计院有限公司,四川成都 610021)

摘要: 输电线路工程建设中常见的运输方式有人力运输、汽车运输和索道运输。通过对3种运输方式费用的计算比较,汽车运输费用最省,人力运输在平地、丘陵等地形情况下比索道运输费用要省,但在山地、高山、峻岭等地形情况下,要根据具体的运输距离和运输重量来确定较经济的运输方式。此外,运输方式的选择还应结合工程实际情况、对环境的影响程度、施工工期、修路费用以及赔偿费用等来综合选定。

关键词: 输电线路; 运输方式; 造价分析; 人力运输; 汽车运输; 索道运输

Abstract: Manpower transportation, vehicle transportation and aerial ropeway transportation are common transportation modes of transmission line engineering. By calculating and comparing the costs of those three transportation modes, the cost of vehicle transportation is the lowest, the cost of manpower transportation is lower than aerial ropeway transportation under flat terrain and hilly terrain, and it is necessary to determine more economical transportation mode under mountainous terrain according to transportation distance and transportation weight. In addition, the choice of transportation modes should be combined with the actual situation of the project, the damage extent to the environment, the construction period, the cost of building roads and the expenses of compensation etc.

Key words: transmission line; transportation mode; cost analysis; manpower transportation; vehicle transportation; aerial ropeway transportation

中图分类号: F406 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2017)05-0063-06

DOI: 10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2017.05.016

0 引言

目前,在输电线路工程建设中常用的运输方式是汽车运输和人力运输。材料从材料仓库运到公路沿线的卸货点,一般都是采用汽车运输,汽车运输具有运输量大、适应性强、运输速度快等特点。将材料由公路沿线的卸货点运送到各塔位点,一般采用人力或畜力运输,人力或畜力运输是一种较灵活、广泛适用于各种地形的运输方式,但其易受到地形地势的限制。随着国家对环境保护的重视以及人们环保意识的增强,输电线路工程走廊的选择越来越困难,在地形地势复杂的山区和人力畜力难以到达的地区,越来越多地采用索道运输技术。

采用现行的电力建设工程计算规定和定额^[1-2],从造价角度对上述3种运输方式的经济性进行分析,为输电线路工程运输费用的估算提供参考,同时为运输方式的选择提出建议。据统计,输电线路工程中,除导线材料外(张力架线时,导线

材料不考虑人力运输和索道运输),运输量较大的材料是铁塔材料和混凝土材料,达到了总运输量的90%以上。为便于分析,下面选取这两种材料进行计算。

1 运输费用

1.1 人力运输费用

人力运输费用中包含了运输的费用以及人工、材料、机械调整费用等。经过计算,人力运输费用见表1至表3,表中的步距增加是指人力运距每增加或减少0.2 km时,运输费用的增加或减少值,其他运距下的费用可利用插值法或步距增加(减少)值计算得到。

铁塔材料(角钢塔,重量1 t)在不同地形情况下的运输费用见表1。

从表1至表3可知:铁塔材料和混凝土材料在各种地形下的人力运输费用比例关系几乎一致;各种地形下的运输费用增加系数并不是定额中的地形

增加系数,比定额的地形增加系数略小。这是由于定额对人力运输的地形调整只是对人工费用进行调整,不包括对机械费用的调整;铁塔材料的人力运输费用是混凝土材料人力运输费用的1.39倍左右。

表1 铁塔材料(1 t)的人力运输费用 单位:元

地形	人力运距			步距增加费用
	0.6 km	0.8 km	1.0 km	
平地	164.78	219.71	274.64	54.93
丘陵	196.18	261.57	326.97	65.39
山地	321.77	429.03	536.28	107.26
高山	400.26	533.69	667.11	133.42
峻岭	478.76	638.34	797.93	159.59
泥沼	227.58	303.44	379.30	75.86
河网	164.78	219.71	274.64	54.93
沙漠	219.73	292.97	366.21	73.24

重量1 t的混凝土材料在不同地形情况下的运输费用见表2。

表2 混凝土材料(1 t)的人力运输费用 单位:元

地形	人力运距			步距增加费用
	0.6 km	0.8 km	1.0 km	
平地	118.77	158.36	197.94	39.59
丘陵	141.48	188.65	235.81	47.16
山地	232.35	309.80	387.26	77.45
高山	289.15	385.53	481.91	96.38
峻岭	345.94	461.25	576.57	115.31
泥沼	164.20	218.94	273.67	54.73
河网	118.77	158.36	197.94	39.59
沙漠	158.52	211.36	264.20	52.84

取平地地形的人力运输费用为1,各种地形运输费用的比例关系见表3。

表3 各种地形人力运输费用比例关系

地形	平地	丘陵	山地	高山	峻岭	泥沼	河网	沙漠
铁塔材料	1.00	1.19	1.95	2.43	2.91	1.38	1.00	1.33
混凝土材料	1.00	1.19	1.96	2.43	2.91	1.38	1.00	1.33

表4 铁塔材料(1 t)的汽车装卸及运输费用

单位:元

地形	运输距离			步距增加费用	运输费用 (1 t · km)	装卸费用(1 t)
	15 km	20 km	25 km			
平地	33.48	44.65	55.81	11.16	2.23	66.36
丘陵	33.48	44.65	55.81	11.16	2.23	66.36
山地	40.18	53.58	66.97	13.39	2.68	66.36
高山	60.27	80.36	100.45	20.09	4.02	66.36
峻岭	60.27	80.36	100.45	20.09	4.02	66.36
泥沼	33.48	44.65	55.81	11.16	2.23	66.36
河网	33.48	44.65	55.81	11.16	2.23	66.36
沙漠	46.88	62.51	78.13	15.63	3.13	66.36

表5 混凝土材料(1 t)的汽车装卸及运输费用

单位:元

地形	运输距离			步距增加费用	运输费用 (1 t · km)	装卸费用(1 t)
	15 km	20 km	25 km			
平地	25.03	33.38	41.72	8.34	1.67	38.82
丘陵	25.03	33.38	41.72	8.34	1.67	38.82
山地	30.04	40.05	50.07	10.01	2.00	38.82
高山	45.06	60.08	75.10	15.02	3.00	38.82
峻岭	45.06	60.08	75.10	15.02	3.00	38.82
泥沼	25.03	33.38	41.72	8.34	1.67	38.82
河网	25.03	33.38	41.72	8.34	1.67	38.82
沙漠	35.05	46.73	58.41	11.68	2.34	38.82

1.2 汽车运输费用

汽车运输包含材料的装卸和运输两部分,费用中包括了装卸和运输的费用以及人工、材料、机械调整费用等。经过计算,汽车运输费用见表4-表6。表中的步距增加是指汽车运距每增加费用或减少5 km时,运输费用的增加或减少值,其他运距下的费用可利用插值法或步距增加(减少)值计算得到。在计算中丘陵不计增加系数,山地按丘陵计算增加系数,高山、峻岭按山地计算增加系数,沙漠地形按没有正式的公路考虑。

铁塔材料(角钢塔,重量1 t)在不同地形情况下的装卸及运输费用见表4。

混凝土材料(重量1 t)在不同地形情况下的装卸及运输费用见表5。

取平地地形的汽车运输费用为1.00,各种地形运输费用的比例关系见表6。

从表4-表6可知:铁塔材料和混凝土材料在各种地形下的汽车运输费用比例关系一致;各种地形情况下的运输费用增加系数与定额中的地形增加系数一致;铁塔材料的汽车运输费用是混凝土材料汽车运输费用的1.34倍左右,铁塔材料装卸费用是

混凝土材料的1.71倍左右;铁塔材料和混凝土材料的装卸费用在各种地形下是相等的,实际工程中,当运距越长时,可以摊薄装卸费用,降低单位重量运距单价。

1.3 索道运输费用

通过对实际工程中索道运输方式的分析,目前输电线路工程常用的索道方式是单索循环式和单索往复式,这两类索道的共同特点是最大运输重量不超过2 t。索道运输包含材料的装卸和运输两部分,费用中包括了装卸和运输的费用、人工、材料、机械调整费用等。经过计算,索道运输费用见表7-表11。表中的步距增加是指索道运距每增加或减少0.2 km时,运输费用的增加或减少值,其他运距下的费用可根据插值法或步距增加(减少)值计算得到。表中的索道运距指上料点与下料点之间的水平投影距离。

铁塔材料(重量1 t)在不同地形情况下的装卸及运输费用见表7、表8。

混凝土材料(重量1 t)在不同地形情况下的装卸及运输费用见表9、表10。

表6 各种地形汽车运输费用比例关系

地形	平地	丘陵	山地	高山	峻岭	泥沼	河网	沙漠
铁塔材料	1.00	1.00	1.20	1.80	1.80	1.00	1.00	1.40
混凝土材料	1.00	1.00	1.20	1.80	1.80	1.00	1.00	1.40

表7 往复式索道铁塔(1 t)的装卸及运输费用

单位:元

地形	索道运距			步距增加费用	运输费用 (1 t·km)	装卸费用(1 t)
	0.6 km	0.8 km	1.0 km			
平地	128.52	171.36	214.20	42.84	214.20	203.63
丘陵	128.52	171.36	214.20	42.84	214.20	203.63
山地	149.08	198.78	248.47	49.69	248.47	203.63
高山	168.36	224.48	280.60	56.12	280.60	203.63
峻岭	200.49	267.32	334.15	66.83	334.15	203.63

表8 循环式索道铁塔(1 t)的装卸及运输费用

单位:元

地形	索道运距			步距增加费用	运输费用 (1 t·km)	装卸费用(1 t)
	0.6 km	0.8 km	1.0 km			
平地	101.55	135.41	169.26	33.85	169.26	163.29
丘陵	101.55	135.41	169.26	33.85	169.26	163.29
山地	117.80	157.07	196.34	39.27	196.34	163.29
高山	133.04	177.38	221.73	44.35	221.73	163.29
峻岭	158.43	211.23	264.04	52.81	264.04	163.29

表9 往复式索道混凝土(1 t)的装卸及运输费用

单位:元

地形	索道运距			步距增加费用	运输费用 (1 t · km)	装卸费用(1 t)
	0.6 km	0.8 km	1.0 km			
平地	173.72	231.62	289.53	57.91	289.53	242.21
丘陵	173.72	231.62	289.53	57.91	289.53	242.21
山地	201.51	268.68	335.85	67.17	335.85	242.21
高山	227.57	303.42	379.28	75.86	379.28	242.21
峻岭	271.00	361.33	451.66	90.33	451.66	242.21

表10 循环式索道混凝土(1 t)的装卸及运输费用

单位:元

地形	索道运距			步距增加费用	运输费用 (1 t · km)	装卸费用(1 t)
	0.6 km	0.8 km	1.0 km			
平地	144.19	192.26	240.32	48.06	240.32	196.31
丘陵	144.19	192.26	240.32	48.06	240.32	196.31
山地	167.27	223.02	278.78	55.76	278.78	196.31
高山	188.89	251.86	314.82	62.96	314.82	196.31
峻岭	224.94	299.92	374.90	74.98	374.90	196.31

取平地地形的汽车运输费用为1.00,各种地形运输费用的比例关系见表11。一般情况下,泥沼和河网地形较平坦,其费用与平地是一样的;沙漠地形要视地形的起伏情况来判断与哪种地形接近,从而确定其费用。

表11 各种地形索道运输费用比例关系

地形	平地	丘陵	山地	高山	峻岭
铁塔材料	1.00	1.00	1.16	1.31	1.56
混凝土材料	1.00	1.00	1.16	1.31	1.56

从表7-表11可知:铁塔材料和混凝土材料在各种地形下的索道运输费用比例关系一致;各种地形下的运输费用增加系数与定额^[2]中的地形增加系数一致;采用往复式索道运输,铁塔材料的运输费用是混凝土材料的0.74倍左右,铁塔材料装卸费用是混凝土材料的0.84倍左右;采用循环式索道运输,铁塔材料的运输费用是混凝土材料的0.70倍左右,铁塔材料装卸费用是混凝土材料的0.83倍左右;铁塔材料和混凝土材料的装卸费用在各种地形下是相等的,实际工程中,当运距越长时,可以摊薄装卸费用,降低单位重量运距单价。

2 运输方式比较选择

很明显,3种运输方式中,汽车运输的费用是最低的,在有公路可以利用的地方,应采用汽车运输。

实际工程中,线路不可能沿着公路走线,常常会偏离公路,这时,要结合工程的具体情况考虑修整或拓宽公路、新修公路等方案是否经济合理。

人力或畜力运输较为灵活方便,但在实际工程中存在以下缺点:一是易受天气影响,雨季道路湿滑泥泞,冬季道路可能结冰,这都给人力运输带来不便,影响运输的效率;二是工程中若有部分材料超长超重,人力、畜力运输很困难;三是短时间内组织大量的人力、畜力困难较大;四是人力、畜力运输会破坏运输道路沿线的植被或作物,对环境有一定的影响,且会产生赔偿费用;五是施工中常常会遇到没有路况或者路况很差的情况,这时需要修整人力运输施工道路,发生费用。

与人力、畜力运输相比,索道运输方式具有载重量大、运输效率高、适应性强、受气候条件影响小、对环境的影响小等优点。其具有易操控、维修方便等特点,但采用索道运输需要架设索道产生架设费用,且施工全面铺开需要较长的时间,在索道架设和运输过程中会产生植被或作物的赔偿费用等。

实际工程中,人力运输会受到地形、地势和地面障碍物等的影响,运输的路径有弯曲。索道运距是指上、下料点之间的水平投影距离,因此,人力运距应比索道运距要大。按电力建设工程预算定额中的弯曲系数计算人力运距,人力运输费用与索道运输费用的比较见表12-表14。表中的人力运输费用为对应索道运距下的费用,索道运输费用包含了装卸费用。

表12 铁塔(1 t)的运输费用比较

单位:元

运输方式及运距	人力运输 0.6 km	往复式索道 0.6 km	循环式索道 0.6 km	人力运输 0.8 km	往复式索道 0.8 km	循环式索道 0.8 km	人力运输 1.0 km	往复式索道 1.0 km	循环式索道 1.0 km
平地	177.14	332.15	264.85	236.19	374.99	298.70	295.24	417.83	332.55
丘陵	235.71	332.15	264.85	314.27	374.99	298.70	392.85	417.83	332.55
山地	485.18	352.71	281.09	646.92	402.41	320.36	808.64	452.10	359.63
高山	820.13	371.99	296.33	1 093.52	428.11	340.67	13 66.90	484.23	385.02
峻岭	1 218.74	404.12	321.71	1 624.98	470.95	374.52	2 031.23	537.78	427.33

表13 混凝土(1 t)的运输费用比较

单位:元

运输方式及运距	人力运输 0.6 km	往复式索道 0.6 km	循环式索道 0.6 km	人力运输 0.8 km	往复式索道 0.8 km	循环式索道 0.8 km	人力运输 1.0 km	往复式索道 1.0 km	循环式索道 1.0 km
平地0	127.68	415.93	340.50	170.24	473.83	388.57	212.79	531.74	436.63
丘陵	169.99	415.93	340.50	226.66	473.83	388.57	283.32	531.74	436.63
山地	350.35	443.72	363.58	467.13	510.89	419.33	583.92	578.06	475.09
高山	592.46	469.78	385.20	789.94	545.63	448.17	987.42	621.49	511.13
峻岭	880.60	513.21	421.25	1 174.14	603.54	496.23	1 467.68	693.87	571.21

表14 单位工程量运输费用比较

单位:元

运输方式及运距	人力运输 0.6 km	往复式索道 0.6 km	循环式索道 0.6 km	人力运输 0.8 km	往复式索道 0.8 km	循环式索道 0.8 km	人力运输 1.0 km	往复式索道 1.0 km	循环式索道 1.0 km
平地	543.87	1 526.83	1 242.88	725.17	1 736.00	1 414.79	906.43	1 945.16	1 586.69
丘陵	723.97	1 526.83	1 242.88	965.32	1 736.00	1 414.79	1 206.65	1 945.16	1 586.69
山地	1 524.87	1 669.48	1 360.04	2 033.16	1 918.51	1 564.77	2 541.47	2 167.54	1 769.49
高山	2 578.29	1 766.09	1 439.44	3 437.73	2 047.32	1 670.64	4 297.15	2 328.55	1 901.84
峻岭	3 832.00	1 927.10	1 571.80	5 109.31	2 261.99	1 847.12	6 386.67	2 596.89	2 122.44

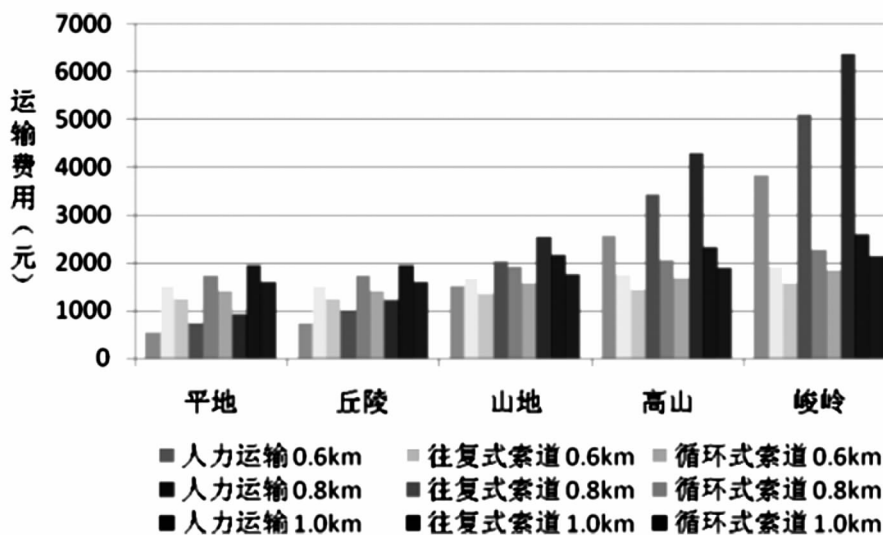


图1 单位工程量运输费用比较

混凝土工程量(单位: m^3)数值一般为铁塔重量(单位: t)数值的1~2倍,取两者之比为1倍进行计算,实际工程中单位工程量(包含 $1 m^3$ 混凝土和1 t 铁塔)的人力运输费用与索道运输费用的比较见表14和图1。

从表14和图1可知,采用人力运输方式在平地、丘陵等地形情况下比索道运输费用节省,但在山地、高山、峻岭等地形下,因索道运输会产生架设费用,因此要根据两种方式的运输距离和运输重量来确定较经济的运输方式。因混凝土采用人力运输方

式在平地、丘陵地形情况下比索道运输费用节省,因此当混凝土工程量与铁塔重量之比大于1时,规律与上述一致。此外,运输方式应结合工程实际情况、运输方式的难易程度、对环境的影响程度、施工工期、修路费用以及赔偿费用等来综合选定。在输电线路工程中,线路往往经过不同的地形区,索道运输与人力运输可以结合应用,发挥各自的优势。

3 结 语

对输电线路工程建设中常见的人力运输、汽车运输和索道运输费用进行了计算分析,结果可供电力工程建设参考。通过对3种运输方式的比较,汽车运输费用最省,人力运输在平地、丘陵等地形下比索道运输费用节省,但在山地、高山、峻岭等地形下,需要根据两种方式的运输距离和运输重量来确定。

(上接第29页)



图3 极间间隔棒在高耸直流的挂网情况

大小伞布置使得绝缘间隔棒极不容易积污,同时该间隔棒耐污性强,原则上不需要清扫维护。

该极间间隔棒目前已用于高耸±500 kV直流线路,见图3。对限制导线舞动与风偏摆动具有很好的效果,运行状况良好。

参考文献

[1] 程志军. 架空输电线路静动力特性及风振研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2000.

[2] 陈晓明. 大跨越输电线路舞动及其控制研究[D]. 上海: 同济大学, 2002.

[3] 徐中年, 赵作利. 气流干扰线抑制导线舞动的机理与实验[J]. 线路通讯, 2002(1): 57-59.

[4] 王黎明, 孙保强, 张楚岩, 等. 750 kV紧凑型线路相间间隔棒力学分析与计算[J]. 高电压技术, 2009, 35(10): 2551-2556.

参考文献

[1] 国家能源局. 电网工程建设预算编制与计算规定[M]. 北京: 中国电力出版社, 2013.

[2] 国家能源局. 电力建设工程预算定额[M]. 北京: 中国电力出版社, 2013.

[3] 缪谦. 我国电网建设工程施工货运索道运输方式的研究[J]. 华北电力技术, 2010(12): 12-15.

[4] 孙竹森, 缪谦, 江明. 输电线路工程货运架空索道标准化施工方案[J]. 电力建设, 2011, 32(3): 117-120.

[5] 肖宇. 输电线路工程索道运输方式费用探讨[J]. 电力勘测设计, 2015(4): 76-80.

作者简介:

肖宇(1980), 高级工程师, 主要从事输电线路工程设计及技术经济等方面的工作。

(收稿日期: 2017-06-27)

[5] 王少华, 蒋兴良, 孙才新. 输电线路导线舞动的国内外研究现状[J]. 高电压技术, 2005, 31(10): 11-14.

[6] 丁锡广, 陶文秋. 减轻送电线路导线舞动灾害的措施[J]. 高电压技术, 2004, 30(2): 54-55.

[7] 朱宽军, 刘彬, 刘超群, 等. 特高压输电线路防舞动研究[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(34): 12-20.

[8] 王黎明, 薛家麟, 范钦珊. 220 kV紧凑型输电线路相间合成绝缘间隔棒的研制[J]. 高电压技术, 1995, 21(1): 3-7.

[9] 薄学微, 王黎明, 孙保强, 等. 500 kV紧凑型线路复合相间间隔棒机电性能研究[J]. 高压电器, 2011, 47(2): 43-48.

[10] Keutgen R, Lilien J L. Benchmark Cases for Galloping with Results Obtained from Wind Tunnel Facilities Validation of A Finite Element Mode 1[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2000, 15(1): 367-374.

[11] Gupta S, Wipf T. Structural Failure Analysis of 345 kV Transmissionline [J]. IEEE Transaction on Power Delivery, 1994, 9(2): 894-903.

[12] DL/T 810-2012, ±500 kV及以上电压等级直流棒形悬式复合绝缘子技术条件[S].

[13] GB/T 775.2-2003, 绝缘子试验方法 第2部分电气试验方法[S].

[14] 及荣军. 330 kV柔性相间复合绝缘间隔棒的研制[J]. 电网技术, 2006, 30(12): 112-115.

[15] DL/T 1058-2016, 交流架空线路用复合相间间隔棒技术条件[S].

作者简介:

鄢艺(1987), 工程师, 主要从事输电线路设计工作。

(收稿日期: 2017-05-13)