

基于 CATMOS 仿真的时速 400+铁路导线张力选型方案研究

杨洋 杨佳 刘涛 邵岩

中铁二院工程集团有限公司 成都 610031

DOI:10.32629/ems.v8i5.20123

[摘要] 时速 400+铁路拟采用时速 400km/h 及以上技术标准, 是国内未来高速铁路发展的重要方向。在接触网-受电弓系统方面, 弓网动态耦合系统是时速 400 公里列车的唯一动力来源, 其高速动态受流稳定性时刻影响着高速列车的运行质量。本文严格依据现有技术条件对时速 400+铁路一般区段的导线张力选型进行计算研究, 得出基本的导线张力范围后, 对可行范围内的导线张力进行 CATMOS 仿真, 最终遴选出合适的导线张力选型方案。

[关键词] 时速 400+铁路; 导线张力; CATMOS 仿真

一、概述

时速 400+高速铁路是未来轨道交通发展的重要方向之一, 对构建现代综合交通运输体系、实现区域经济协调发展具有重大意义^[1]。在接触网-受电弓系统方面, 弓网动态耦合系统是高速列车的唯一动力来源, 其高速动态受流稳定性直接决定了高速列车的运行安全与受流质量^[2]。随着列车运行速度向 400km/h 及以上跨越, 接触网系统的波动传播速度、多普勒系数等动态特性参数面临更加严苛的挑战^[3]。

目前, 国内外针对时速 350 公里及以下等级的接触网导线张力及弓网动态特性研究已取得丰硕的理论与实践成果。然而, 面对时速 400 公里及以上的全新跨越, 国内外尚无成熟可直接借鉴的接触网工程技术标准及实车应用案例。在既有理论中, 增大接触网张力是提高波动传播速度、改善受流平顺性的核心手段^[4]。但受限于现有线材材质的机械强度与拉断力, 张力无法无限制提升^[5]。因此, 在缺乏现成标准参考的情况下, 如何突破材料的物理极限, 合理匹配接触线与承力索的张力及截面积, 并优化跨距、吊弦等参数以控制弹性不均匀系数, 成为了时速 400+铁路设计的首要难点^[6]。

为解决上述工程技术瓶颈, 传统的经验外推已无法满足要求, 必须引入基于有限元或多体动力学的弓网仿真技术(如 CATMOS 等)进行方案比选与深度优化^{[7][8]}。基于此, 本文立足于现有接触网线材的技术参数, 首先通过动力学边界条件理论计算, 推导出时速 400+铁路基本的导线张力容许范围;

随后, 利用 CATMOS 仿真软件对可行范围内的候选方案进行超高速动态受流特性评估, 最终科学遴选出最合适的导线张力选型与布置方案。

二、导线张力计算

1. 确定接触线和承力索截面组合:

由于目前尚缺少时速 400 公里动车组相关信息, 无法准确计算接触网的载流量, 暂定承力索与接触线的截面组合有: 120 mm²+150 mm²; 120 mm²+120 mm²。

2. 通过波动传播速度, 确定接触线(或接触线和承力索)最小工作张力:

$$v_{max} < 0.7C_p, C_p = \sqrt{\frac{\sum z}{\sum m}}$$

根据公式可知, 设计速度为 400km/h 的接触线(或接触线和承力索)波动传播速度至少需达到 572km/h。

(1) 若接触线采用 120 mm², 接触线最小工作张力为 27000N。

若按照接触线和承力索复合波动传播速度不少于 572km/h, 承力索采用 120 mm², 承力索最小工作张力为 27000N。

(2) 若接触线采用 150 mm², 接触线最小工作张力为 34000N。

若按照接触线和承力索复合波动传播速度不少于 572km/h, 承力索采用 120 mm², 承力索最小工作张力为 27000N。

接触网截面组合/mm ²	120+150	120+120
接触线最小工作张力(接触线波动传播速度)/N	34000	27000
承力索最小工作张力(接触线和承力索复合波动传播速度)/N	27000	27000

通过反射系数和放大系数, 确定承力索最大工作张力;

按照 UIC799 规定, 接触网波动传播速度大于 152

(400/3.6+40) m/s, 多普勒系数大于 0.17 (波动传播速度需大于 157m/s), 反射系数小于 0.4, 放大系数小于 2.3, 弹性不均匀系数小于 10%。

按照反射系数计算:

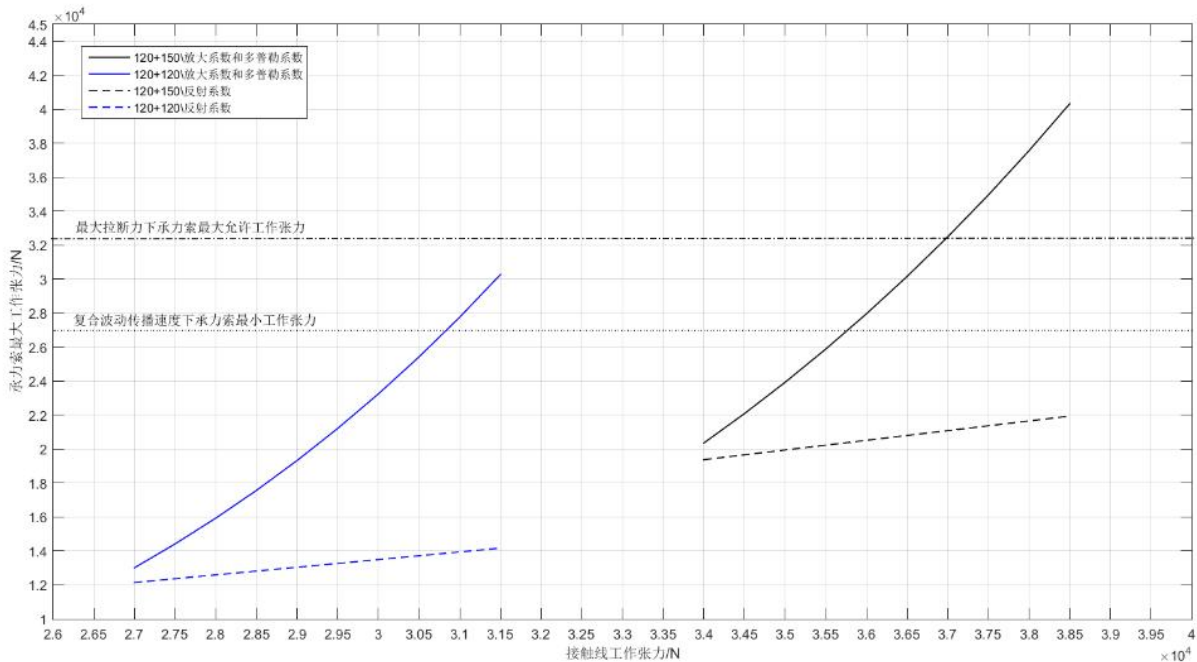
$$\frac{\sqrt{T_c m_c}}{\sqrt{T_c m_c} + \sqrt{T_j m_j}} = r < 0.4$$

接触网截面组合/mm ²	120+150	120+120
接触线最小工作张力 (接触线波动传播速度) /N	34000	27000
承力索最大工作张力 (反射系数) /N	Tj*0.57 (若 Tj=34000, 则 Tc=20000)	Tj*0.45 (若 Tj=27000, 则 Tc=12500)

按照放大系数和多普勒系数计算:

$$\frac{\sqrt{T_c m_c}}{\sqrt{T_c m_c} + \sqrt{T_j m_j}} = r < 2.3 \times \frac{\sqrt{\frac{T_j}{m_j}} - 111}{\sqrt{\frac{T_j}{m_j}} + 111}$$

接触网截面组合/mm ²	120+150	120+120
接触线最小工作张力 (接触线波动传播速度) /N	34000	27000
承力索最大工作张力 (放大系数和多普勒系数) /N	若 Tj=34000, 则 Tc=20000	若 Tj=27000, 则 Tc=13000



从上图看, 仅根据反射系数计算的承力索最大工作张力随接触线工作张力的变化较小, 而根据放大系数和多普勒系数计算的承力索最大工作张力随接触线工作张力的变化较大。结合目前国内外高速铁路典型接触网动态特性参数, 根据放大系数和多普勒系数计算承力索张力有一定的工程应用经验。因此, 本方案采用此方法选取承力索张力。

3. 导线型号选取:

(1) 接触线

- 1) CTCZ150 接触线最小拉断力为 82.9kN;
- 2) CTMH150 接触线最小拉断力为 78.4kN;
- 3) CTCZ120 接触线最小拉断力为 67.7kN。
- 4) CTMH120 接触线最小拉断力为 64.1kN;

考虑安全系数 0.65、容许磨耗系数 0.8、风和冰荷载系数 0.95, 补偿装置效率系数 0.97, 接触线的最大允许工作张力见下表:

导线截面积	39.7kN~37.6kN	37.6kN~32.4kN	32.4kN ~30.7kN	30.7kN 及以下
150mm ²	CTCZ150	CTCZ150	CTCZ150	CTCZ150
	---	CTMH150	CTMH150	CTMH150
120mm ²	---	---	CTCZ120	CTCZ120
	---	---	---	CTMH120

(2) 承力索

考虑安全系数 0.65, 风载荷系数 0.95, 补偿装置效率系

1) JTMH120 承力索最小拉断力为 68.9kN;

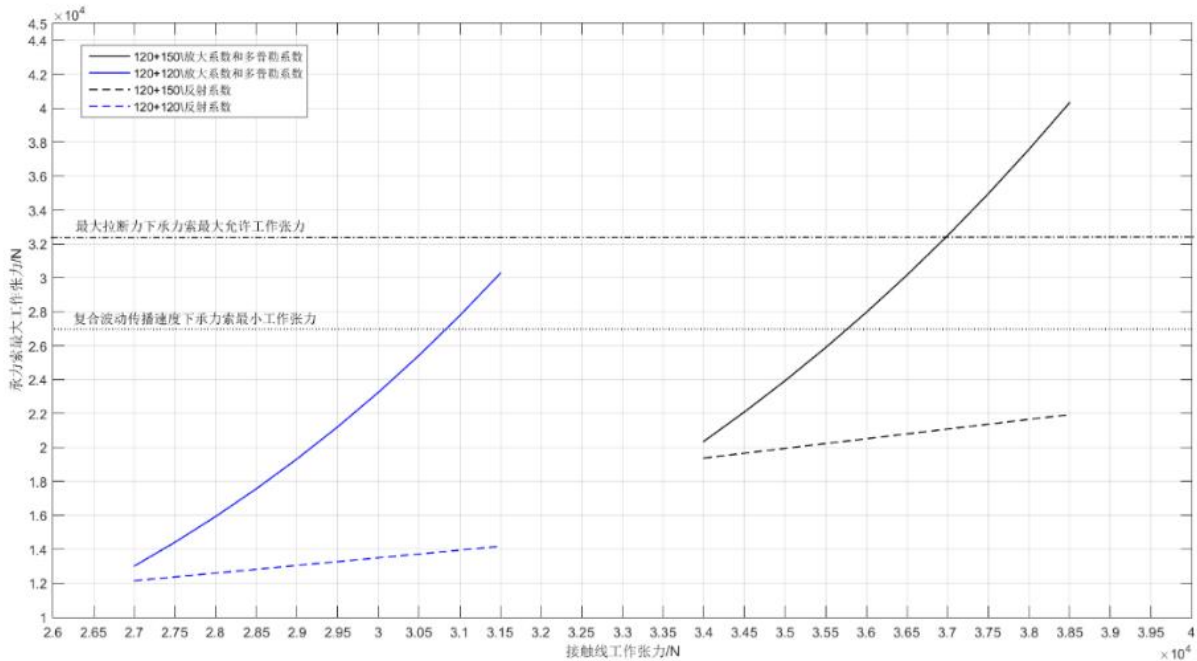
数 0.97, 绞线垂直荷载系数 0.8, 承力索的最大允许工作张

2) JTCZ120 承力索最小拉断力为 59.2kN。

力如下表所示:

导线截面积	33.0kN ~28.4kN	28.4kN 及以下
120mm ²	JTMH120	JTMH120
	---	CTCZ120

4. 线材与张力组合:



由上图, 选取满足接触线波动传播速度、放大系数和多普勒系数的接触网张力组合:

接触网截面组/mm ²	120+150				120+120			
	接触线额定工作张力/kN	34	35	36	37	27	28.5	30
接触线工作张力范围/kN	32.3~	33.3~	34.2~	35.2~	25.6~	27.1~	28.5~	30~
	35.7	36.8	37.8	38.9	28.4	30	31.5	33
承力索额定张力/kN	≤20	≤24	≤28	≤32	≤13	≤17.5	≤23	≤30
承力索工作张力/kN	21	25.2	29.4	33.6	13.7	18	24	31.5

满足复合波动传播速度、放大系数和多普勒系数的接触网张力组合:

接触网截面组合/mm ²	120+150	120+120
接触线工作张力/kN	36, 37	31.5
承力索工作张力/kN	28 (最小至 27), 32 (最小至 27)	30 (最小至 27)

三、接触网候选方案选取

满足接触线波动传播速度、放大系数和多普勒系数的接

触网张力组合有八种方案,其中方案三、四和八还满足复合波

动传播速度的要求:

方案	一	二	三	四	五	六	七	八
承力索截面 (mm ²)	120	120	120	120	120	120	120	120
接触线截面 (mm ²)	150	150	150	150	120	120	120	120
承力索张力 (kN)	20	24	28	32	13	17.5	23	30
接触线张力 (kN)	34	35	36	37	27	28.5	30	31.5
波动传播速度 (接触线)	571	580	588	596	572	588	603	618
波动传播速度 接触线+承力索	539	563	587	609	494	529	568	612
多普勒系数 (接触线)	0.176	0.183	0.190	0.197	0.177	0.190	0.203	0.214
反射系数	0.405	0.423	0.439	0.452	0.409	0.438	0.466	0.493
放大系数	2.294	2.308	2.307	2.296	2.305	2.303	2.299	2.300

通过弹性不均匀系数,确定跨距、弹性吊索参数和吊弦间距(均匀、非均匀);UIC 799、IEC60913 和 TB10621 中规定,当速度大于 300km/h 时,弹性链型悬挂的弹性不均匀系数要求小于 10%。

分析跨距为 65m、60m、55m 和 50m 的接触网弹性不均匀系数;其中弹性吊索参数、第 1 吊弦至定位点水平距离、拉出值均不变;另外,根据承力索最大弛度计算,得到方案五的最短吊弦小于 600mm,因此以下不作比较。

(1) 满足接触线波动传播速度、放大系数和多普勒系数

65m:

的接触网张力组合

方案	一	二	三	四	五	六	七	八
承力索截面 (mm ²)	120	120	120	120	120	120	120	120
接触线截面 (mm ²)	150	150	150	150	120	120	120	120
承力索张力 (kN)	20	24	28	32	13	17.5	23	30
接触线张力 (kN)	34	35	36	37	27	28.5	30	31.5
跨距 (N)	65	65	65	65	65	65	65	65
弹性吊索长度 (m)	18	18	18	18	18	18	18	18
弹性吊索张力 (kN)	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
第 1 吊弦距离 (m)	5	5	5	5	5	5	5	5
吊弦间距 (m)	11	11	11	11	11	11	11	11
拉出值 (mm)	200	200	200	200	200	200	200	200
弹性不均匀系数	12.2	13.1	14.1	15.0		12.7	14.0	15.9

60m:

方案	一	二	三	四	五	六	七	八
承力索截面 (mm ²)	120	120	120	120	120	120	120	120
接触线截面 (mm ²)	150	150	150	150	120	120	120	120
承力索张力 (kN)	20	24	28	32	13	17.5	23	30
接触线张力 (kN)	34	35	36	37	27	28.5	30	31.5
跨距 (N)	60	60	60	60	65	60	60	60
弹性吊索长度 (m)	18	18	18	18	18	18	18	18

弹性吊索张力 (kN)	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
第1吊弦距离 (m)	5	5	5	5	5	5	5	5
吊弦间距 (m)	10	10	10	10	10	10	10	10
拉出值 (mm)	200	200	200	200	200	200	200	200
弹性不均匀系数	11.7	12.6	13.6	14.4		12.1	13.3	13.2

55m:

方案	一	二	三	四	五	六	七	八
承力索截面 (mm ²)	120	120	120	120	120	120	120	120
接触线截面 (mm ²)	150	150	150	150	120	120	120	120
承力索张力 (kN)	20	24	28	32	13	17.5	23	30
接触线张力 (kN)	34	35	36	37	27	28.5	30	31.5
跨距 (N)	55	55	55	55	55	55	55	55
弹性吊索长度 (m)	18	18	18	18	18	18	18	18
弹性吊索张力 (kN)	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
第1吊弦距离 (m)	5	5	5	5	5	5	5	5
吊弦间距 (m)	9	9	9	9	9	9	9	9
拉出值 (mm)	200	200	200	200	200	200	200	200
弹性不均匀系数	11.1	12.0	13.0	13.8		10.8	10.6	10.2

50m:

方案	一	二	三	四	五	六	七	八
承力索截面 (mm ²)	120	120	120	120	120	120	120	120
接触线截面 (mm ²)	150	150	150	150	120	120	120	120
承力索张力 (kN)	20	24	28	32	13	17.5	23	30
接触线张力 (kN)	34	35	36	37	27	28.5	30	31.5
跨距 (N)	50	50	50	50	65	50	50	50
弹性吊索长度 (m)	18	18	18	18	18	18	18	18
弹性吊索张力 (kN)	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
第1吊弦距离 (m)	5	5	5	5	5	5	5	5
吊弦间距 (m)	10	10	10	10	10	10	10	10
拉出值 (mm)	200	200	200	200	200	200	200	200
弹性不均匀系数	7.9	8.9	9.8	10.7		8.3	9.7	10.1

弹性不均匀系数:

跨距 (N)	一	二	三	四	五	六	七	八
65	12.2	13.1	14.1	15.0		12.7	14.0	15.9
60	11.7	12.6	13.6	14.4		12.1	13.3	13.2
55	11.1	12.0	13.0	13.8		10.8	10.6	10.2
50	7.9	8.9	9.8	10.7		8.3	9.7	10.1

通过以上分析,随着跨距的减小,弹性不均匀系数也减小,跨距为50m,方案一、二、三、六、七的弹性不均匀系

数小于 10%，满足标准要求：

首先分析承力索张力下调对弹性不均匀系数的影响^[7]，均大于 10%；

然后在承力索下调的基础上，缩小跨距，分析对弹性不均匀系数的影响；均大于 10%；

接着在承力索下调和缩小跨距基础上，调整弹性吊索参数，分析对弹性不均匀系数的影响。弹性吊索张力增大，弹

性不均匀系数变大。弹性吊索长度增加，变化不大；

最后在承力索下调、缩小跨距、确定弹性吊索参数基础上，调整吊弦分布，分析对弹性不均匀系数的影响。将跨距为 60m 的第一吊弦至定位点距离调整为 6m，吊弦间距调整整 12m，弹性不均匀系数有明显减小。

通过以上分析，减小承力索张力和调整吊弦分布可有效减小弹性不均匀系数。

方案	一	二	三	六	七
承力索截面 (mm ²)	120	120	120	120	120
接触线截面 (mm ²)	150	150	150	120	120
承力索张力 (kN)	20	24	28	17.5	23
接触线张力 (kN)	34	35	36	28.5	30
跨距 (N)	65	65	65	65	65
弹性不均匀系数	12.2	13.1	14.1	12.7	14.0
承力索张力下调至 (kN)	15	18	21	12	15
弹性不均匀系数	11.0	11.5	12.1	12.1	11.7
跨距减小至 (m)	60	60	60		60
弹性不均匀系数	10.5	10.9	11.5		11.1

以下以跨距 60m 为例，调整吊弦间距，分析张力组合、弹性吊索参数不变情况下，弹性不均匀系数的变化情况。可以发现方案一、二、三、六、七，均小于等于 10%，满足标准要求。相同参数下，跨距 65m 比 60 的弹性不均匀系数大，

鉴于方案三和方案七弹性不均匀系数已经是 10%，跨距 65m 的方案三和方案七弹性不均匀系数必然大于 10%，因此，跨距 65m 不作比选方案。

方案	一	二	三	四	五	六	七	八
承力索截面 (mm ²)	120	120	120	120	120	120	120	120
接触线截面 (mm ²)	150	150	150	150	120	120	120	120
承力索张力 (kN)	20	24	28	32	13	17.5	23	30
接触线张力 (kN)	34	35	36	37	27	28.5	30	31.5
跨距 (N)	60	60	60	60	65	60	60	60
弹性吊索长度 (m)	18	18	18	18	18	18	18	18
弹性吊索张力 (kN)	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
第 1 吊弦距离 (m)	6	6	6	6	5	6	6	6
吊弦间距 (m)	12	12	12	12	11	12	12	12
拉出值 (mm)	200	200	200	200	200	200	200	200
弹性不均匀系数	8.3	9.2	10.0	11.0		8.7	10.0	11.8

综上，调整吊弦间距后的跨距 60m 方案一、二、三、六、七，和跨距 50m 方案一、二、三、六、七可为接触网候选方案。

(2) 满足复合波动传播速度、放大系数和多普勒系数的接触网张力组合下弹性不均匀系数只有方案一和方案二满足标准要求。

方案	一	二	三	四
承力索截面 (mm ²)	120	120	120	120

接触线截面 (mm ²)	150	150	120	120
承力索张力 (kN)	28	27	30	27
接触线张力 (kN)	36	36	31.5	31.5
跨距 (N)	60	60	60	60
弹性吊索长度 (m)	18	18	18	18
弹性吊索张力 (kN)	3.5	3.5	3.5	3.5
第1吊弦至定位点水平距离 (m)	6	6	6	6
吊弦间距 (m)	12	12	12	12
拉出值 (mm)	200	200	200	200
弹性不均匀系数	10.0	9.8	11.8	10.9

分析不同方案下的拉出值选取。按照不同的定位点最大抬升, 得到的拉出值不同。若统一按照 150mm 考虑, 计算出来的拉出值不一定满足实际弓网动态的最大抬升量。可利用

定位点的弹性值预估一个动态最大抬升, 按照该值计算拉出值, 接近实际运行工况。

120+150 截面组合的拉出值计算:

序号	承力索张力/kN	接触线张力/kN	跨距/m	结构高度/mm	定位器长度/m	最短吊弦长度/mm	计算最大拉出值/mm (300mm)	计算最大拉出值/mm (225mm)	筒简化非限位定位器拉出值 (150) /mm	矩形限位定位器拉出值 (150) /mm	定位点静态最大抬升量/mm	定位点动态最大抬升量 (定位点弹性乘以 1.9*Fm) /mm	计算最大拉出值/mm	矩形限位定位器拉出值/mm
1	20	34	65	1600	1.2	976	142	209	150	200				
2	24	35	65	1600	1.2	1080	138	203	100	200				
3	28	36	65	1600	1.2	1155	134	197	100	200				
4	32	37	65	1600	1.2	1210	131	192	100	200				
5	20	34	60	1600	1.2	1069	131	193	100	200	88	167	173	150
6	24	35	60	1600	1.2	1157	127	187	100	150	80	152	184	150
7	28	36	60	1600	1.2	1220	124	182	100	150	73	139	197	200
8	32	37	60	1600	1.2	1268	121	177	100	150				
9	20	34	55	1600	1.2	1153	120	176	100	150				
10	24	35	55	1600	1.2	1228	117	171	100	150				
11	28	36	55	1600	1.2	1281	114	167	100	150				
12	32	37	55	1600	1.2	1321	111	162	100	150				
13	20	34	50	1600	1.2	1231	109	160	100	150	76	144	169	150
14	24	35	50	1600	1.2	1292	106	156	100	150	69	131	179	150
15	28	36	50	1600	1.2	1336	103	152	100	150	63	120	191	200
16	32	37	50	1600	1.2	1369	100	147	100	150				

120+120 截面组合的拉出值计算表:

序	承力	接触	跨距	结构高	定位	最短	计算最大	计算最大	筒简化	矩形限位	定位点静	定位点动态	计算最大	矩形限
---	----	----	----	-----	----	----	------	------	-----	------	------	-------	------	-----

号	索张 力/kN	线张 力/kN	/m	度/mm	器长 度/m	吊弦 长度 /mm	拉出值/mm (300mm)	拉出值/mm (225mm)	非限位 定位器 拉出值 /mm	定位器拉 出值/mm	态最大抬 升量(定位 点弹性乘 以 Fm) /mm	最大抬升量 (定位点弹 性乘以 1.9*Fm) /mm	拉出值 /mm (1.5 倍动态抬 升)	位定位 器拉出 值/mm
1	13	27	65	1600	1.2	509	147	222	150	200				
2	17.5	28.5	65	1600	1.2	790	139	210	100	200				
3	23	30	65	1600	1.2	983	132	200	100	200				
4	30	31.5	65	1600	1.2	1127	126	190	100	200				
5	13	27	60	1600	1.2	671	136	205	100	200				
6	17.5	28.5	60	1600	1.2	910	128	194	100	200	102	194	148	150
7	23	30	60	1600	1.2	1075	122	185	100	150	89	169	163	150
8	30	31.5	60	1600	1.2	1197	116	176	100	150				
9	13	27	55	1600	1.2	819	124	188	100	150				
10	17.5	28.5	55	1600	1.2	1020	118	178	100	150				
11	23	30	55	1600	1.2	1159	112	169	100	150				
12	30	31.5	55	1600	1.2	1262	107	161	100	150				
13	13	27	50	1600	1.2	955	113	171	100	150				
14	17.5	28.5	50	1600	1.2	1121	107	162	100	150	88	168	144	150
15	23	30	50	1600	1.2	1235	102	154	100	150	76	144	160	150
16	30	31.5	50	1600	1.2	1320	97	146	100	150				

通过以上分析,得到十个接触网候选方案

方案	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十
承力索截面 (mm ²)	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
接触线截面 (mm ²)	150	150	150	120	120	150	150	150	120	120
承力索张力 (kN)	20	24	28	17.5	23	20	24	28	17.5	23
接触线张力 (kN)	34	35	36	28.5	30	34	35	36	28.5	30
跨距 (N)	60	60	60	60	60	50	50	50	50	50
弹性吊索长度 (m)	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
弹性吊索张力 (kN)	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
第1吊弦距离 (m)	6	6	6	6	6	5	5	5	5	5
吊弦间距 (m)	12	12	12	12	12	10	10	10	10	10
拉出值 (mm)	150	150	200	150	150	150	150	200	150	150
弹性不均匀系数	8.3	9.2	10.1	8.7	9.9	7.9	8.9	9.8	8.3	9.7

四、CATMOS仿真研究

算(模拟时速 400km/h 动态受流),得出各方案的核心受流指

运用 CATMOS 仿真软件对上述十个候选方案进行仿真计

标结果如下所示:

方案	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十
承力索截面 (mm ²)	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120

接触线截面 (mm ²)	150	150	150	120	120	150	150	150	120	120
承力索张力 (kN)	20	24	28	17.5	23	20	24	28	17.5	23
接触线张力 (kN)	34	35	36	28.5	30	34	35	36	28.5	30
跨距 (N)	60	60	60	60	60	50	50	50	50	50
弹性吊索长度 (m)	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
弹性吊索张力 (kN)	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
第 1 吊弦至定位点水平距离 (m)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
拉出值 (mm)	150	150	200	150	150	150	150	200	150	150
前弓最大接触力 (N)	345.12	356.4	303.24	381.93	368.32	324.56	303.98	313.5	356.52	347.24
前弓最小接触力 (N)	92.42	112.98	112.76	71.31	69.94	84.12	79.99	83.58	64.99	64.23
前弓标准差 (N)	37.17	39.37	34.42	44.74	44.86	33.8	29.77	32.26	43.91	37.29
前弓平均值 (N)	184.83	184.49	184.06	184.49	184.1	186.05	185.28	187.33	185.54	187.08
前弓 0.3 平均-标准	18.279	15.977	20.798	10.6	10.37	22.015	25.814	23.939	11.752	18.834
后弓最大接触力 (N)	350.84	441.96	376.6	451.82	412.84	378.49	376.02	489.72	404.83	488.11
后弓最小接触力 (N)	-17.45	37.8	51.13	-90.67	33.86	82.4	52.72	47.73	58.72	28.5
后弓标准差 (N)	69.03	60.41	54.63	86.21	63.13	47.66	49.39	52.95	53.84	58
后弓平均值 (N)	186.7	186.2	186.11	184.94	185.98	190.23	190.94	186.85	188.68	186.16
后弓 0.3 平均-标准	-13.02	-4.55	1.203	-30.728	-7.336	9.409	7.892	3.105	2.764	-2.152

仿真结果分析: 方案一、方案二、方案四、方案五及方案十均出现或濒临后弓最小接触力为负值(或过低)的情况,且其后弓接触力最大标准偏差与后弓接触力标准差之差小于零,这意味着在超高速运行状态下,后弓出现了严重的脱弓现象,不满足弓网安全受流标准。因此,通过动力学仿真剔除不良方案,最终满足时速 400+铁路接触网设计安全及受流平顺性要求的优选方案为:方案三、方案六、方案七及方案九。

五、结论

本文针对时速 400 + 铁路接触网导线张力选型开展研究,结合动力学理论计算、结构参数优化与 CATMOS 弓网仿真,完成方案比选。首先依据波动传播速度等指标,确定两种线材截面组合的张力容许范围;通过优化跨距、吊弦布置等参数,将弹性不均匀系数控制在规范限值内,筛选出 10 套候选方案。经 400km/h 工况仿真验证,剔除后弓脱弓等未达标方案,最终推荐 4 套最优选型方案。研究成果可为我国时速 400 + 高速铁路接触网工程设计提供核心技术依据。

【参考文献】

[1]李伟. 接触网[M]. 中国铁道出版社, 2006.

[2]于万聚. 高速电气化铁路接触网[M]. 西南交通大学出版社, 2001.

[3][日]真锅克士. 弓网系统的技术开发现状及课题[J]. 铁道总研报告. 1995, (9): 1-6.

[4]张卫华, 沈志云. 受电弓动力学研究[J]. 铁道学报, 1993, 15 (1): 23-30.

[5]宁, 张卫华. 基于直接积分法的受电弓耦合系统动态性能仿真分析[J]. 中国铁道科学, 2008, 29 (6): 71-76.

[6]张弘, 于正平, 吴鸿标. 受电弓空气动力学模型及风洞试验研究[J]. 中国铁道科学, 1995, 16 (1): 37-49.

[7]蔡国华. 高速列车受电弓气动力特性测量[J]. 流体力学实验与测量, 2004, 18 (1): 53-56.

[8]Collina, Andrea, Bruni. Numerical Simulation of Pantograph-Overhead Equipment Interaction[J]. Vehicle System Dynamics, 2002, 38 (4): 261-291.

作者简介: 杨洋 (1991 年 9 月), 男, 蒙古族, 内蒙古自治区呼和浩特市, 中铁二院工程集团有限责任公司, 工程师, 接触网。