

[分流装置]

接触网绝缘锚段关节分流装置研究与应用

文/李泽宇 顾正隆
上海地铁维护保障有限公司

介绍上海轨道交通11号线接触网事故经过，通过分析计算确定绝缘锚段关节区域接触线熔断的主要原因。针对绝缘锚段关节区域停车情况提出应对措施，详细介绍绝缘锚段关节分流装置的组成与应用，并验证绝缘锚段关节分流装置解决接触网绝缘锚段关节区域处停车问题的有效性，提高行车安全。

随着科学技术的快速发展，城市轨道交通在我国全面发展。目前国内城市轨道交通工程大多采用直流牵引供电系统，直流电通过接触网或接触轨传送到牵引机车，牵引机车拖动列车前进，并通过走行轨将牵引电流返回至变电所。接触网将牵引变电所输出的电能通过受电弓传送给电客列车，在柔性接触网系统中为满足供电和机械方面的要求，将接触网分成若干独立的分段，这些独立分段称为锚段。两个相邻锚段衔接部分是锚段关节，使受电弓从一个锚段平滑地过渡到另一个锚段。根据锚段所起的作用分为绝缘锚段关节和非绝缘锚段关节，绝缘锚段关节可起到电分段作用。

在一般情况下不允许电客车在绝缘锚段关节区域停车，常规的预防措施是刷涂降弓指示标志引导电客车司机进行降弓操作。虽然标出禁停范围，但不能完全避免在绝缘锚段关节区域停车的情况出现。近年来，由于电客车在接触网绝缘锚段关节位置停车而造成的事故在部分城市地铁运营过程中已有发生。因此有必要研究分析该类事故的发生原因，并避免类似事故的发生。

研究背景

2022年11月11日，上海11号线嘉定新城上行

214、216直流开关跳闸，马陆上行212、上海赛车场214直流开关跳闸，自动重合闸不成功，造成嘉定新城至马陆上行、支线上海赛车场至嘉定新城上行接触网失电。事发时，跳闸区段内1120号车迫停于嘉定新城上行进站处、1110、1164号车停于嘉定新城至马陆上行区间。马陆至白银路下行区间有1174号车和1138号车。

供电和车辆抢修人员随后赶到现场，经现场确认嘉定新城上行进站100 m处工作支和非工作支4根接触线断裂。供电分公司即刻组织对故障点进行抢修对故障锚段关节两支（共计4根）接触线进行局部更换，共计更换接触线520 m、受损下锚补偿绳1组、吊弦4组，并对该位置定位点进行检查，接触网设备无异常。恢复嘉定新城-马陆、上海赛车场-嘉定新城上行接触网正常供电。

原因分析

1. 事故调查

事故发生后上海申通地铁集团立即组织人员展开事故原因调查。经调阅列车弓网车载视频查看发现，11号线1120号车在降弓区静停18 s后，第一次启动时，同区段1110号车、1164号车都处于牵引取流过程中，大电流叠加导致接触网热量累积引发

接触线软化，最终导致嘉定新城至马陆上行区间接触线熔断，嘉定新城至马陆上行区间失电。43 s后1120号车再次启动，由于接触线断线晃动，发生短路情况，列车停车。期间嘉定新城216直流开关和上海赛车场214直流开关多次保护动作并自检合闸送电，最终三根接触线继续发热软化，受张力影响导致断裂。

后期上海申通地铁集团组织召开了“11.11”11号线上海赛车场至嘉定新城上行区间事故扩大分析会，经分析，本次触网事故与2017年上海9号线4.14触网断线事故原因一致，即列车停在了接触网绝缘锚段关节所处的禁停区，并且没有降下受电弓，因此导致了该区间另外两列客车的牵引电流从故障处的绝缘关节、受电弓上穿越，引发前、后弓与触网之间的短路放炮。

2. 事故分析

当电客车因为行车组织要求或突发应急情况，在接触网绝缘锚段关节处停车，若电客车受电弓此时搭接在绝缘锚段关节内的接触线非工作支与工作支的过渡区域，受电弓碳板与某一锚段的接触线出现非良好接触的现象，过渡电阻较大。当有工作电流通过时，此处会出现局部过热、起弧烧线的情况，严重时熔断接触线的非工作支，危害行车安全。事故原因分析如图1所示。

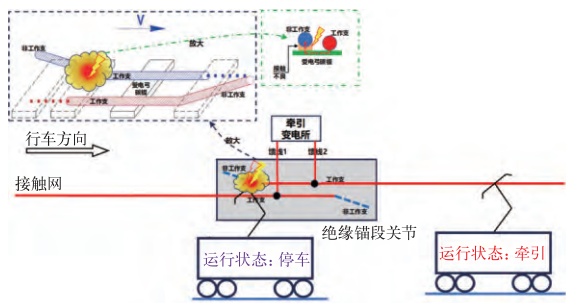


图1 事故原因分析

结合现场情况可知，1120号车在降弓区停车，

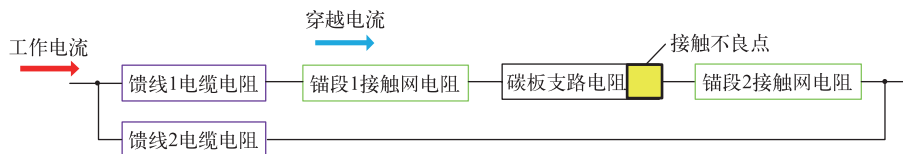


图4 现场工况等效电路图

根据现场条件设置测算条件，工作电流持续时间为10 s，导线初始温度为20 ℃，导线温升校验段

即出现在绝缘锚段关节处停车情况，此时同区段1110号车、1164号车都处于牵引取流过程中，该区间另外两列客车的牵引电流通过“接触线+碳板+接触线”的路由，形成穿越电流。现场电流流向如图2所示。

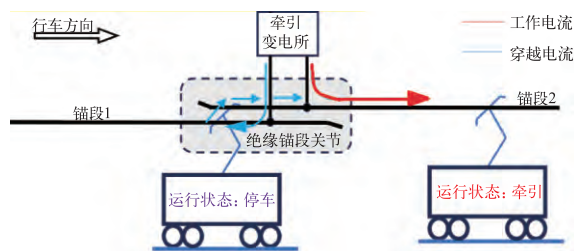


图2 现场电流流向

依据接触线铜合金材质特性可知，当接触线温度达到155 ℃左右时，接触线的抗拉强度达到极限，随着温度提升有断线的风险。当温度超过300 ℃时接触线的抗拉强度急剧下降，断裂风险增大。接触线抗拉强度曲线如图3所示。

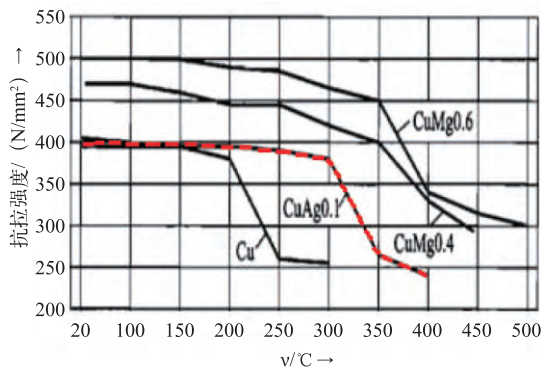


图3 接触线抗拉强度曲线

根据工作电流的潮流方向和受电弓在绝缘锚段关节中的位置关系，绘制等效电路图，进行分析，现场工况等效电路图如图4所示。通过搭建物理模型，采用节点电压法进行解算。假定电压源模拟输出工作电流，计算出穿越电流支路的电流，进而完成导线线温测算。

长度为40 mm，受电弓进入锚段关节区域，但与上网点有一定距离。导线线温测算结果见表1。

表1 导线线温测算结果

序号	导线截面, mm ²	温度, °C																									
		0.0010	0.0020	0.0030	0.0040	0.0050	0.0060	0.0070	0.0080	0.0090	0.0100	0.0110	0.0120	0.0130	0.0140	0.0150	0.0160	0.0170	0.0180	0.0190	0.0200	0.0210	0.0220	0.0230	0.0240	0.0250	
1	200	20.6	21.1	21.4	21.6	21.7	21.8	21.9	21.9	21.9	21.9	21.9	21.9	21.9	21.9	21.9	21.8	21.8	21.8	21.7	21.7	21.7	21.6	21.6	21.6	21.6	21.6
2	160	23.5	24.2	24.6	25.2	25.6	27.2	27.4	27.6	27.7	27.7	27.7	27.5	27.5	27.5	27.4	27.3	27.2	27.1	26.9	26.8	26.5	26.5	26.4	26.3	26.3	26.3
3	120	25.5	25.9	26.2	26.8	27.3	28.7	29.1	29.3	29.4	29.4	29.3	29.1	29.0	28.9	28.8	28.6	28.5	28.4	28.2	28.0	27.7	27.5	27.3	27.1	27.0	26.9
4	800	30.1	30.3	30.7	31.3	31.7	32.7	33.1	33.3	33.3	33.3	33.2	33.1	33.0	32.9	32.8	32.6	32.5	32.4	32.2	32.0	31.7	31.5	31.3	31.1	31.0	30.9
5	1000	32.6	32.6	33.0	33.6	34.0	35.1	35.5	35.7	35.8	35.8	35.7	35.5	35.4	35.3	35.2	35.0	34.9	34.7	34.5	34.3	34.0	33.7	33.5	33.3	33.1	33.0
6	1200	35.7	35.6	36.0	36.6	37.0	38.2	38.6	38.8	38.9	38.9	38.8	38.6	38.5	38.4	38.3	38.1	38.0	37.8	37.6	37.4	37.1	36.8	36.6	36.4	36.2	36.1
7	1400	38.8	38.7	39.1	39.7	40.1	41.4	41.8	42.0	42.1	42.1	42.0	41.8	41.7	41.6	41.5	41.3	41.2	41.0	40.8	40.6	40.3	40.0	39.7	39.5	39.3	39.2
8	1600	40.2	40.1	40.5	41.1	41.5	42.9	43.3	43.5	43.6	43.6	43.5	43.3	43.2	43.1	43.0	42.8	42.7	42.5	42.3	42.1	41.8	41.5	41.3	41.1	40.9	40.8
9	1800	41.6	41.5	41.9	42.5	42.9	44.4	44.8	45.0	45.1	45.1	45.0	44.8	44.7	44.6	44.5	44.3	44.2	44.0	43.8	43.6	43.3	43.0	42.7	42.5	42.3	42.2
10	2000	42.9	42.9	43.3	43.9	44.3	45.9	46.3	46.5	46.6	46.6	46.5	46.3	46.2	46.1	46.0	45.8	45.7	45.5	45.3	45.1	44.8	44.5	44.3	44.1	43.9	43.8
11	2200	44.1	44.1	44.5	45.1	45.5	47.2	47.6	47.8	47.9	47.9	47.8	47.6	47.5	47.4	47.3	47.1	47.0	46.8	46.6	46.4	46.1	45.8	45.5	45.3	45.1	45.0
12	2400	45.3	45.3	45.7	46.3	46.7	48.5	48.9	49.1	49.2	49.2	49.1	48.9	48.8	48.7	48.6	48.4	48.3	48.1	47.9	47.7	47.4	47.1	46.8	46.5	46.3	46.2
13	2600	46.5	46.5	46.9	47.5	47.9	50.0	50.4	50.6	50.7	50.7	50.6	50.4	50.3	50.2	50.1	49.9	49.8	49.6	49.4	49.2	48.9	48.6	48.3	48.1	47.9	47.8
14	2800	47.7	47.7	48.1	48.7	49.1	51.3	51.7	51.9	52.0	52.0	51.9	51.7	51.6	51.5	51.4	51.2	51.1	50.9	50.7	50.5	50.2	49.9	49.6	49.3	49.1	49.0
15	3000	48.9	48.9	49.3	49.9	50.3	52.7	53.1	53.3	53.4	53.4	53.3	53.1	53.0	52.9	52.8	52.6	52.5	52.3	52.1	51.9	51.6	51.3	51.0	50.8	50.6	50.5
16	3200	50.1	50.0	50.4	51.0	51.4	53.9	54.3	54.5	54.6	54.6	54.5	54.3	54.2	54.1	54.0	53.8	53.7	53.5	53.3	53.1	52.8	52.5	52.3	52.1	51.9	51.8
17	3400	51.3	51.3	51.7	52.3	52.7	55.3	55.7	55.9	56.0	56.0	55.9	55.7	55.6	55.5	55.4	55.2	55.1	54.9	54.7	54.5	54.2	53.9	53.6	53.4	53.2	53.1
18	3600	52.5	52.5	52.9	53.5	53.9	56.5	56.9	57.1	57.2	57.2	57.1	56.9	56.8	56.7	56.6	56.4	56.3	56.1	55.9	55.7	55.4	55.1	54.8	54.6	54.4	54.3
19	3800	53.7	53.7	54.1	54.7	55.1	57.7	58.1	58.3	58.4	58.4	58.3	58.1	58.0	57.9	57.8	57.6	57.5	57.3	57.1	56.9	56.6	56.3	56.0	55.8	55.6	55.5
20	4000	54.9	54.9	55.3	55.9	56.3	58.9	59.3	59.5	59.6	59.6	59.5	59.3	59.2	59.1	59.0	58.8	58.7	58.5	58.3	58.1	57.8	57.5	57.2	57.0	56.8	56.7
21	4200	56.1	56.1	56.5	57.1	57.5	60.1	60.5	60.7	60.8	60.8	60.7	60.5	60.4	60.3	60.2	60.0	59.9	59.7	59.5	59.3	59.0	58.7	58.4	58.2	58.0	57.9
22	4400	57.3	57.3	57.7	58.3	58.7	61.3	61.7	61.9	62.0	62.0	61.9	61.7	61.6	61.5	61.4	61.2	61.1	60.9	60.7	60.5	60.2	59.9	59.6	59.4	59.2	59.1
23	4600	58.5	58.5	58.9	59.5	59.9	62.5	62.9	63.1	63.2	63.2	63.1	62.9	62.8	62.7	62.6	62.4	62.3	62.1	61.9	61.7	61.4	61.1	60.8	60.6	60.4	60.3
24	4800	59.7	59.7	60.1	60.7	61.1	63.7	64.1	64.3	64.4	64.4	64.3	64.1	64.0	63.9	63.8	63.6	63.5	63.3	63.1	62.9	62.6	62.3	62.0	61.8	61.6	61.5
25	5000	60.9	60.9	61.3	61.9	62.3	64.9	65.3	65.5	65.6	65.6	65.5	65.3	65.2	65.1	65.0	64.8	64.7	64.5	64.3	64.1	63.8	63.5	63.2	63.0	62.8	62.7
26	5200	62.1	62.1	62.5	63.1	63.5	66.1	66.5	66.7	66.8	66.8	66.7	66.5	66.4	66.3	66.2	66.0	65.9	65.7	65.5	65.3	65.0	64.7	64.4	64.2	64.0	63.9
27	5400	63.3	63.3	63.7	64.3	64.7	67.3	67.7	67.9	68.0	68.0	67.9	67.7	67.6	67.5	67.4	67.2	67.1	66.9	66.7	66.5	66.2	65.9	65.6	65.4	65.2	65.1
28	5600	64.5	64.5	64.9	65.5	65.9	68.5	68.9	69.1	69.2	69.2	69.1	68.9	68.8	68.7	68.6	68.4	68.3	68.1	67.9	67.7	67.4	67.1	66.8	66.6	66.4	66.3
29	5800	65.7	65.7	66.1	66.7	67.1	69.7	70.1	70.3	70.4	70.4	70.3	70.1	70.0	69.9	69.8	69.6	69.5	69.3	69.1	68.9	68.6	68.3	68.0	67.8	67.6	67.5
30	6000	66.9	66.9	67.3	67.9	68.3	70.9	71.3	71.5	71.6	71.6	71.5	71.3	71.2	71.1	71.0	70.8	70.7	70.5	70.3	70.1	69.8	69.5	69.2	69.0	68.8	68.7
31	6200	68.1	68.1	68.5	69.1	69.5	72.1	72.5	72.7	72.8	72.8	72.7	72.5	72.4	72.3	72.2	72.0	71.9	71.7	71.5	71.3	71.0	70.7	70.4	70.2	70.0	69.9
32	6400	69.3	69.3	69.7	70.3	70.7	73.3	73.7	73.9	74.0	74.0	73.9	73.7	73.6	73.5	73.4	73.2	73.1	72.9	72.7	72.5	72.2	71.9	71.6	71.4	71.2	71.1
33	6600	70.5	70.5	70.9	71.5	71.9	74.5	74.9	75.1	75.2	75.2	75.1	74.9	74.8	74.7	74.6	74.4	74.3	74.1	73.9	73.7	73.4	73.1	72.8	72.6	72.4	72.3
34	6800	71.7	71.7	72.1	72.7	73.1	75.7	76.1	76.3	76.4	76.4	76.3	76.1	76.0	75.9	75.8	75.6	75.5	75.3	75.1	74.9	74.6	74.3	74.0	73.8	73.6	73.5
35	7000	72.9	72.9	73.3	73.9	74.3	76.9	77.3	77.5	77.6	77.6	77.5	77.3	77.2	77.1	77.0	76.8	76.7	76.5	76.3	76.1	75.8	75.5	75.2	75.0	74.8	74.7
36	7200	74.1	74.1	74.5	75.1	75.5	78.1	78.5	78.7	78.8	78.8	78.7	78.5	78.4	78.3	78.2	78.0	77.9	77.7	77.5	77.3	77.0	76.7	76.4	76.2	76.0	75.9
37	7400	75.3	75.3	75.7	76.3	76.7	79.3	79.7	79.9	80.0	80.0	79.9	79.7	79.6	79.5	79.4	79.2	79.1	78.9	78.7	78.5	78.2	77.9	77.6	77.4	77.2	77.1
38	7600	76.5	76.5	76.9	77.5	77.9	80.5	80.9	81.1	81.2	81.2	81.1	80.9	80.8	80.7	80.6	80.4	80.3	80.1	79.9	79.7	79.4	79.1	78.8	78.6	78.4	78.3
39	7800	77.7	77.7	78.1	78.7	79.1	81.7	82.1	82.3	82.4	82.4	82.3	82.1	82.0	81.9	81.8	81.6	81.5	81.3	81.1	80.9	80.6	80.3	80.0	79.8	79.6	79.5
40	8000	78.9	78.9	79.3	79.9	80.3	82.9	83.3	83.5	83.6	83.6	83.5	83.3	83.2	83.1	83.0	82.8	82.7	82.5	82.3	82.1	81.8	81.5	81.2	81.0	80.8	80.7
41	8200	80.1	80.1	80.5	81.1	81.5	84.1	84.5	84.7	84.8	84.8	84.7	84.5	84.4	84.3	84.2	84.0	83.9	83.7	83.5	83.3	83.0	82.7	82.4	82.2	82.0	81.9
42	8400	81.3	81.3	81.7	82.3	82.7	85.3	85.7	85.9	86.0	86.0	85.9	85.7	85.6	85.5	85.4	85.2	85.1	84.9	84.7	84.5	84.2	83.9	83.6	83.4	83.2	83.1
43	8600	82.5	82.5	82.9	83.5	83.9	86.5	86.9	87.1	87.2	87.2	87.1	86.9	86.8	86.7	86.6	86.4	86.3	86.1	85.9	85.7	85.4	85.1	84.8	84.6	84.4	84.3
44	8800	83.7	83.7	84.1	84.7	85.1	87.7	88.1	88.3	88.4	88.4	88.3	88.1	88.0	87.9	87.8	87.6	87.5	87.3	87.1	86.9	86.6	86.3	86.0	85.8	85.6	85.5
45	9000	84.9	84.9	85.3	85.9	86.3	88.9	89.3	89.5	89.6	89.6	89.5	89.3	89.2	89.1	89.0	88.8	88.7	88.5	88.3	88.1	87.8	87.5	87.2	87.0	86.8	86.7
46	9200	86.1	86.1	86.5	87.1	87.5	90.1	90.5	90.7	90.8	90.8	90.7	90.5	90.4	90.3	90.2	90.0	89.9	89.7	89.5	89.3	89.0	88.7	88.4	88.2	88.0	87.9
47	9400	87.3	87.3	87.7	88.3	88.7	91.3	91.7	91.9	92.0	92.0	91.9	91.7	91.6	91.5	91.4	91.2	91.1	90.9	90.7	90.5	90.2	89.9	89.6	89.4	89.2	89.1
48	9600	88.5	88.5	88.9	89.5	89.9	92.5	92.9	93.1	93.2	93.2	93.1	92.9	92.8													

根据测算结果可知,当工作电流达到1 800 A时,接触线温度出现超过155 ℃的情况,接触线线温有超过限值的可能,此时有断线的风险。当工作电流达到2 600 A时,接触线温度高于300 ℃,此时接触线机械强度降低断线风险急剧升高,同时受外力影响造成接触线断线,断线后的接触线搭接在车顶外壳上,进一步导致前弓、后弓形成与触网的接地短路,引发前、后弓与触网之间的短路故障。

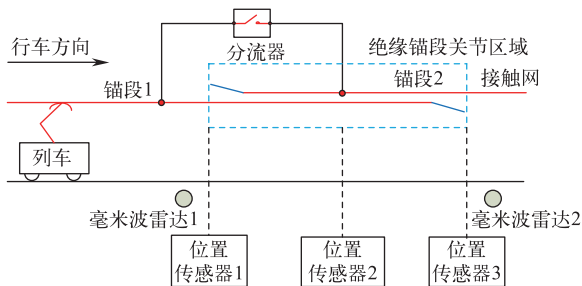


图5 绝缘锚段关节防熔断装置布置

防熔断装置研究

基于上海轨道交通11号线接触线熔断故障原因,常规的预防措施刷涂降弓指示标志引导电客车司机进行降弓操作已不能满足现场安全运行的要求,需要设计一种防熔断装置用于预防客车在绝缘锚段关节区域停车引起的接触线熔断情况的发生。

1. 装置構成

通过列车检速定位技术,自动判定电客车是否停在柔性接触网绝缘锚段关节区域,并在一定的条件下,在绝缘锚段关节两侧通过分流器连接,形成均压通流旁路,从而避免“接触线+碳板+接触线”这个电气路径上电流过大。

接触网锚段关节防熔断装置由分流器、监控装置以及列车车速采集单元组成。列车车速采集单元包括位置传感器和毫米波雷达。

在绝缘锚段关节区域设置3组位置传感器，用于定位电客车位置是否在绝缘锚段关节区域内，同时在绝缘锚段关节区域起点和终点处分别设置毫米波雷达，用于检测客车行车速度。在绝缘锚段关节两侧锚段1与锚段2之间接入分流器。监控单元通过位置传感器和毫米波雷达传回的列车位置及速度信息，判定列车是否停滞在绝缘锚段关节禁停区域。绝缘锚段关节防熔断装置布置如图5所示。

装置具备数据上传PSCADA功能，上传数据包括：主控接触器状态、装置通过电流值、压差值和接触器分合次数等数据。

2. 装置分合闸控制

列车正常运行时，绝缘锚段关节内无停滞列车（或正常通过），分流器保持分闸。当监控单元判断有列车停滞（或低速运行）在绝缘锚段关节禁停区域，监控单元控制分流器合闸，形成分流通路，避免“接触线+碳板+接触线”这个电气路径上电流过大，造成的局部过热、起弧烧线的情况。分流器合闸逻辑图如图6所示。

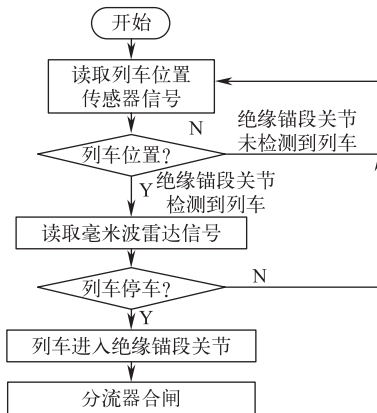


图6 分流器合闸逻辑图

当通过列车状态采集单元判断列出使出禁停区

域，且流过主控接触器的直流电流小于设定值，并经过固定延时后，断开主控接触器。

应用效果

将绝缘锚段关节防熔断装置的组成部分安装于现场，其中分流器接在绝缘锚段关节两侧。当有列车停滞在绝缘锚段关节区域且同区段内有列车取流，则将会有部分穿越电流通过分流器，减小“接触线+碳板+接触线”电气路径上的穿越电流，从而降低接触线温度，避免温度过高造成的局部过热、起弧烧线情况。接入分流器后电流流向如图7所示。

根据电流的潮流方向和受电工在绝缘锚段关节中的位置关系，绘制等效电路图，进行分析，现场工况等效电路图如图8所示。假定电压源模拟输出

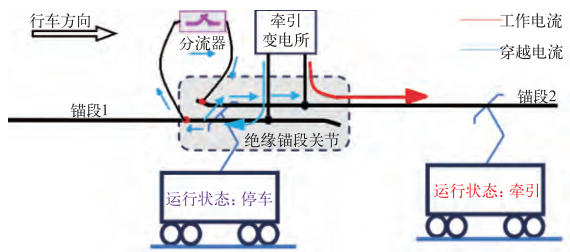


图7 接入分流器电流流向

工作电流，计算出穿越电流支路的电流，完成导线线温测算。设置测算条件，工作电流持续时间为15 s，导线初始温度为20℃，导线温升校验段长度为40 mm，受电弓进入锚段关节区域，但与上网点有一定距离。导线线温测算结果见表2。

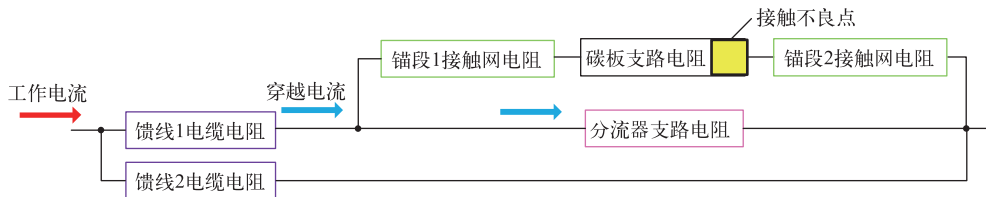


图8 接入分流器现场工况等效电路图

表2 导线线温测算结果

序号	导线温度, °C	0.0010	0.0020	0.0030	0.0040	0.0050	0.0060	0.0070	0.0080	0.0090	0.0100	0.0110	0.0120	0.0130	0.0140	0.0150	0.0160	0.0170	0.0180	0.0190	0.0200	0.0210	0.0220	0.0230	0.0240	0.0250
1	200	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
2	400	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
3	600	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.0	20.0	20.0
4	800	20.1	20.1	20.1	20.2	20.2	20.2	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1
5	1000	20.1	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.1	20.1	20.1	20.1
6	1200	20.2	20.3	20.3	20.3	20.3	20.3	20.3	20.3	20.3	20.3	20.3	20.3	20.3	20.3	20.3	20.3	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2
7	1400	20.3	20.4	20.4	20.5	20.5	20.5	20.5	20.4	20.4	20.4	20.4	20.4	20.4	20.4	20.3	20.3	20.3	20.3	20.3	20.3	20.3	20.3	20.3	20.3	20.3
8	1600	20.4	20.5	20.6	20.6	20.6	20.6	20.6	20.6	20.6	20.5	20.5	20.5	20.5	20.5	20.5	20.4	20.4	20.4	20.4	20.4	20.4	20.4	20.4	20.4	20.3
9	1800	20.5	20.7	20.7	20.8	20.8	20.8	20.8	20.7	20.7	20.7	20.7	20.7	20.6	20.6	20.6	20.6	20.6	20.5	20.5	20.5	20.5	20.5	20.4	20.4	20.4
10	2000	20.6	20.8	20.9	21.0	21.0	21.0	20.9	20.9	20.9	20.8	20.8	20.8	20.8	20.7	20.7	20.7	20.7	20.6	20.6	20.6	20.6	20.6	20.5	20.5	20.5
11	2200	20.7	21.0	21.1	21.2	21.2	21.2	21.1	21.1	21.1	21.0	21.0	20.9	20.9	20.9	20.9	20.8	20.8	20.8	20.7	20.7	20.7	20.7	20.7	20.6	20.6
12	2400	20.8	21.2	21.3	21.4	21.4	21.4	21.3	21.3	21.3	21.2	21.2	21.1	21.1	21.1	21.0	21.0	20.9	20.9	20.9	20.9	20.8	20.8	20.8	20.8	20.7
13	2600	20.9	21.4	21.6	21.6	21.6	21.6	21.5	21.5	21.4	21.4	21.3	21.3	21.2	21.2	21.1	21.1	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	20.9	20.9	20.9	20.9
14	2800	21.1	21.6	21.8	21.9	21.9	21.9	21.8	21.8	21.7	21.7	21.6	21.5	21.5	21.4	21.4	21.3	21.3	21.3	21.2	21.2	21.1	21.1	21.1	21.0	21.0
15	3000	21.3	21.8	22.1	22.2	22.2	22.1	22.1	22.0	22.0	21.9	21.8	21.7	21.6	21.6	21.5	21.5	21.4	21.4	21.3	21.3	21.2	21.2	21.1	21.1	21.0
16	3200	21.4	22.1	22.3	22.5	22.5	22.4	22.4	22.3	22.2	22.2	22.1	22.0	21.9	21.8	21.7	21.7	21.6	21.6	21.5	21.5	21.4	21.4	21.4	21.4	21.3
17	3400	21.6	22.3	22.7	22.8	22.8	22.8	22.7	22.6	22.5	22.4	22.4	22.3	22.2	22.1	22.0	21.9	21.8	21.8	21.7	21.7	21.6	21.6	21.6	21.5	21.5
18	3600	21.8	22.6	23.0	23.1	23.1	23.1	23.0	22.9	22.8	22.7	22.6	22.5	22.5	22.4	22.3	22.2	22.1	22.1	22.0	21.9	21.9	21.8	21.8	21.7	21.7
19	3800	22.0	22.9	23.3	23.5	23.5	23.4	23.4	23.3	23.2	23.0	22.9	22.8	22.7	22.6	22.5	22.5	22.4	22.3	22.2	22.2	22.1	22.0	22.0	21.9	21.9
20	4000	22.2	23.2	23.7	23.8	23.9	23.8	23.7	23.6	23.5	23.4	23.3	23.1	23.0	22.9	22.8	22.7	22.6	22.5	22.4	22.3	22.3	22.2	22.1	22.1	22.1

根据测算结果可知，当前计算条件下，投入分流器，穿越电流引起的导线温度都低于接触线线温限值155℃，流过受电弓碳板的穿越电流减少90%以上，显著下降，有效防护接触线，避免局部过热现象，保护接触线不被拉断。

结束语

通过上海11号线接触网事故描述与原因分析可知，当列车因特殊情况，在接触网绝缘锚段关节区域停车，电客车受电弓搭接在绝缘锚段关节内的接触线非工作支与工作支的过渡区域，受电弓碳板与

某一锚段的接触线出现非良好接触的现象，过渡电阻较大。当同区段有工作电流时，此处会因穿越电流持续通过，导致接触区域局部过热最终熔断接触线的非工作支。

本文针对此类问题提出应对措施，并详细介绍接触网绝缘锚段关节分流装置的构成与应用，并计算分析此类情况下穿越电流引起的导线温度，验证绝缘锚段关节分流装置解决接触网绝缘锚段关节区域处停车问题的有效性，提高行车安全。EA

(收稿日期：2024-11-21)