

# 论述干线电气化铁道 接触网发展方向

刘润田

(电气系)

---

## 摘 要

本文就干线电气化铁道接触网为户外装置、无备用以及投资大等特点,结合我国具体情况,对接触网的结构型式、计算方法和施工运营等方面带有方向性的问题提出了某些看法。

---

## 前 言

接触网是电气化铁道的主要设备之一,通过它与集电弓的直接接触而将电能传送给电力机车。最早是用走行轨兼作接触网供电功能。目前的地下铁道一般采用第三轨供电,城郊和干线电气化铁道采用架空式的接触网,工矿区除局部狭小处有用第三轨者外,也都采用架空式的。

接触网是一种分布十分广阔的室外装置。其工作条件恶劣,投资大而且没有备用,所以认真对待接触网的建设和研究工作将具有十分重要的意义。判断接触悬挂好坏的指标有三个,即弹性是否均匀、接触导线高度是否一致和集电弓通过时是否稳定。

我国第一条干线电气化铁道宝鸡—凤州段于1961年8月15日正式通车,经过二十多年的发展历史,我国在这个科学技术领域中的设计、施工、运营、教学和科研等部门已经拥有一支较高技术水平的专业人员,这对进一步发展铁道电气化事业是十分有利的。如下就干线电气化铁道接触网发展中的几个问题作一浅谈。

### 一、采用简单轻型悬挂结构和新材料

目前各国干线电气化铁道和近郊区段接触悬挂型式虽有十几种变形,但基本上可归纳为

---

本文于1987年9月28日收到

三种，即简单接触悬挂、单链形接触悬挂和多链形接触悬挂。至于吊弦变形、线索变位和张力补偿等只是一些改进措施而已。我国已建成的干线电气化区段采用的悬挂型式为半补偿单链形悬挂和全补偿单链形悬挂。英国在一个试验区段观测的结果，认为当车速大于每小时97公里时采用双链形接触悬挂为宜。

接触悬挂的三个技术指标为：

1. 高度一致。从悬挂本身的结构可以很明显的看出，接触导线固定点间的距离以简单悬挂最长、单链形悬挂次之、双链形悬挂最短。故从高度一致的角度来看后者最佳。

2. 弹性均匀。对于一般简单悬挂来说，支点弹性  $\eta_{支} = 0$ ，跨距中心弹性  $\eta_{中} = \frac{1}{4T_j}$ ；

对于链形悬挂的  $\eta_{支} \neq 0$ ， $\eta_{中} = \frac{1}{4(T_c + \varphi T_j)}$ ；由于  $\frac{1}{4(T_c + \varphi T_j)} < \frac{1}{4T_j}$ ，可知链形接触悬挂的弹性较简单悬挂的弹性均匀。

3. 稳定性。由简单悬挂和链形悬挂在跨距内任一点的弹性公式

$$\eta_{简} = \frac{x(1-x)}{4T_j} \quad (1)$$

$$\eta_{链} = \frac{x(1-x)}{4(T_c + \varphi T_j)} \quad (2)$$

可以知道

$$\eta_{简} > \eta_{链} \quad (3)$$

所以在跨距当中，链形悬挂受集电弓作用时的稳定性比简单悬挂要好些。

对于加张力自动补偿装置的接触悬挂，如负载  $q$  不变、温度  $t$  变化且在同一温度下两种悬挂承力索的张力相同，则接触导线正弛度的比值为

$$\frac{f_{未}}{f_{半}} = \frac{1 - \frac{\Delta T_{co}}{T_c + \varphi T_{jx}}}{1 - \frac{\Delta T_{co}}{T_c + \varphi T_j}} \quad (4)$$

式中

$f_{未}$ ——未补偿链形接触悬挂接触导线的弛度；

$f_{半}$ ——半补偿链形接触悬挂接触导线的弛度；

$T_c$ ——承力索的张力；

$T_{jx}$ ——未补偿链形悬挂接触导线的张力；

$T_j$ ——半补偿链形悬挂接触导线的张力；

$\Delta T_{co}$ ——承力索在相应温度下的张力与接触导线无弛度时张力之差。

全补偿悬挂接触导线的安装弛度一般是很小的。故比值  $\frac{f_{半}}{f_{全}} > 1$ 。

如考虑负载  $q$  的变化，则  $f_{未} > f_{半} > f_{全}$  的关系可能不成立。例如全补偿悬挂接触导线的弛度为

$$f_{全} = \varphi \left[ \frac{\left( q + g \frac{\varphi T_j}{T_c} \right)^2}{8(T_c + \varphi T_j)} - \frac{g l^2}{8 T_c} \right] \quad (5)$$

可见全补偿悬挂接触导线的 $f_{全}$ 随 $q$ 的增加而增大，故在严重的冰风地区，全补偿悬挂是不能令人满意的。

由于接触网的设计、施工和运营工作量比较大，所以如何简化结构，节约材料特别是贵重材料，具有十分重要的意义。

英国从1952年建设工频单相交流电气化铁道对采用简单轻型的悬挂结构特别是在改进绝缘子和零件方面进行了系统的试制和标准化工作。波兰在有色金属的代用材料方面提出过可行的方案，此外像法国、日本、苏联和瑞士等国对此均作了大量的研究工作。

为了提高列车速度和通过能力，应对区分绝缘器、电分段锚段关节、电分相绝缘器以及交、直流电化区段的衔接进行必要的研究和改进。如将瓷绝缘子区分绝缘器改为玻璃钢的区分绝缘器等项工作，在英、法、德和苏联等国取得了成功的结果。我国已试制成功并投入运行的电分相分段绝缘器，代替了原来采用的八跨式分相锚段关节。苏联和我国早期采用的八跨式关节，法国采用的五跨式关节和英国的六跨式关节，由于存在一个要求机车断电通过的中性区，致使锚段关节的结构加长，直接影响了行车速度。日本还利用开关转换的方法使机车通过分相装置不断电，这对提高行车速度也是一个有效措施。至于交、直流电气化区段的衔接方法基本上分为转换式、中嵌式和并架式三种。

我国的电气化铁道有相当多的部分通过山区，必然会遇到很多的桥梁和隧道，因而对大型建筑物上悬挂型式的研究也是一个迫切的问题。我国在这方面取得了一定成绩，但由于隧道净空高度特别是1960年前所开挖的隧道，尺寸差异较大，这就增加了结构类型，给工作带来较多不便。

在下锚处普遍采用的张力自动调整装置为荷重补偿器。应当指出，这是一种比较笨重的办法。今后必将为简便的轻型装置所代替。

## 二、完善接触悬挂的计算方法

接触悬挂的计算内容有两方面，即反映气象因素的机械计算和反映集电弓作用的动力计算。前者苏联进行的工作比较全面而系统，后者以日、法、英、德等国进行的试验规模比较大。现就计算方法中的几个问题提出点看法。

1. 当量跨距。目前采用一种直观的估算法，即按曲线半径的大小而取值。计算资料表明，当量跨距的变化对张力曲线的影响不大。工程设计中可以这样作，但在理论上不够严格，会出现一定误差。锚段长度的最后确定不是一次计算成功的，需反复进行。故可以把锚段的划分看作一种随机事件，统计出锚段内各种曲线半径出现的概率，找出最佳方案。

2. 吊弦数目无穷多的概念。认为悬挂负载沿跨距均匀作用于承力索的假设也即利用了吊弦数目无穷多的概念。它没有考虑吊弦间的局部弛度，但当吊弦间距较大时将产生误差。例如对只在跨距中心装一个吊弦，在支柱点不设吊弦的悬挂，分别按集中负载和均布负载进行计算，所得弛度往往相差30%~60%。如把吊弦看作集中负载作用点所导出的公式可适用于任何悬挂。

3. 起始情况。为了充分利用线索的最大许可张力并防止超过它, 乃引入了临界跨距和临界负载的概念, 通过比较, 确定起始情况。一般是把临界负载当作一个假想的复冰负载, 令此值和实际的最大冰负载比较, 但有些地区根本不结冰或风负载最大。故正确的办法应当是把最大复冰、最大风负载和最低温度三种严重情况进行比较, 从中找出最严重者作为起始情况。

4. 承力索和接触导线相互作用的当量水平力。在求最大跨距时要用到此力, 但其求解十分复杂, 而且具有很大的近似性。目前根据经验用一个系数来考虑这个分量。另外也可以把悬挂受风作用后的布置当作一个曲面, 求其下缘的最大偏移, 上述水平力以内的力的形式出现。

5. 锚段长度的确定方法。原先确定锚段长度的方法系根据运营条件的要求而直接选定的。其后H·B福拉索夫提出了一种计算锚段长度的方法, 先导出由于吊弦和定位器使中心锚结处所产生的最大张力增量与半个锚段长度的关系, 然后绘出曲线, 根据所规定的最大许可张力增量求锚段长度。此法比较麻烦而且有许多假设条件, 对整个电气化区段的全局性考虑不够。

关于动力计算的方法一直是大家兴趣集中的问题。其主要内容是集电弓的行迹和弓线间的接触压力以及车速与离线间的关系。研究这些问题的变化规律是为了对接触悬挂和集电弓的结构提出理论依据。

目前有关动力计算的方法各式各样, 有图解法、分析法和图解分析法。随观点不同所考虑的因素也有差别, 但共同的办法是把集电弓和接触导线的抬高部分作为一个集中的当量质量归算到车顶上, 根据牛顿第二定理来建立计算方程式。由于受力复杂, 故在动力计算方面至今尚未得出令人满意的方法。

### 三、适合高速行车的接触悬挂

所谓高速是指弓线间接触压力中动力分量不可忽略时的行车速度, 一般为每小时100公里以上。这方面研究的注意力集中在离线问题上, 即采取什么样的措施才能保证弓线接触不致破坏。日本修建有200公里/小时以上的运行区段, 法国曾创造试验性行车速度为331公里/小时。

有关离线的原因有两种说法, 一种是弓线发生共振时出现离线, 另一种是由于悬挂弹性不均匀而产生的惯性离线。至于离线条件有不同的理论, 但以弓线接触压力等于或小于零的状态作为离线条件是比较正确的。因为集电弓和接触导线是两个独立的振动体, 工作时又要求接触压力为正, 所以必须有一个两者共同遵从的追随规律。研究方向应从集电弓和接触导线两个角度统一进行。

从我国城市电车线、工砾线和干线电气化铁道接触网的运行中观测, 引起离线的主要原因是接触悬挂的弹性不均匀性。此结论和英国认为双链形悬挂较好、日本建议采用三链形悬挂解决高速行车的论点是一致的。因为双、三链形接触悬挂的主要特征是弹性比较均匀, 但这种悬挂的结构比较复杂而笨重。可利用微计算机测视和控制动力参数, 使弓线处于良好的追随状态, 从而接触悬挂的结构将不致因车速提高而愈来愈复杂, 可以采用简化结构的接触网。这是一个新的研究途径, 值得重视。

## 四、建立接触网的动力模拟仿真试验点

接触网的测试工作如完全在实际的电气化线路上进行,不但投资大时间长,而且有一定的局限性,特别是要反复进行多次检测时显得不便甚至是不可能的。据知日本的室外模拟装置和英国的大型试验模拟站均在科研工作中发挥了巨大作用。我国应当尽早建立一个接触网模拟仿真试验点。

在动态过程中涉及的参数有距离、时间、质量、受力、速度和加速度。其中最基本的为时间、距离和质量。在选定模拟比时因处于同一重力场可取原结构和模拟结构的加速度相等,即取比例系数为1,由运动学公式 $s = \frac{1}{2}at^2$ 可把三个量的比例系数减少一个,如只定距离和质量的比系数,其它各量的比例系数可用这两个基本比例系数来表示。

纵向接触悬挂的模拟方法比较困难。因为采用一般的金属丝很难同时反应出悬挂的质量和弹性。国外采取的模拟办法有两种:一种是用细金属丝上串珠,另一种是用环链形导线。

日本、法国、美国、西德和苏联等国家对接触网测试技术曾进行了很多有效的工作。研究工作可在模拟装置上、测试车上或便携式测试仪上进行。测试的主要项目有:离线情况、磨损、接触压力、弓线接触点的行迹、接触悬挂的弹性、重要损坏点的位置、“之”字值和拉出值、张力和负载以及接触悬挂的工作状态等。

## 五、结 束 语

从我国1987年底已经投入运管的4646.5公里电气化铁道区段来看,接触网耗费的人力物力最大,出现的问题也最多。今后在接触网的建设中,应当本着自力更生艰苦奋斗的精神和“改革、开放、搞活”的原则,加速落实“设计标准化、施工机械化、运营自动化、设备无维修化”的进程。

## 参 考 资 料

- [1] 铁道部教材编辑组选编 接触网 1961
- [2] 铁道部科学技术情报研究所 电气化铁道专辑(五) 1963
- [3] Устройство и эксплуатация контактной сети переменного тока  
И.А.Ъеляев,И.В.Пальлов,О.К.Тренихин 1963
- [4] Proceedings "British Railways Electrification Conference" 1960
- [5] 稻田金次郎 电气铁道(日文)
- [6] 李文毅 铁道电气化的技术现状及其发展 1984