电气化铁道用菱形分段绝缘器的研究与改进

作者：郭天兴

摘要：本文通过对分段绝缘器的绝缘滑道进行分析和研究，提出了增加屏蔽环来改善绝缘滑道电场分布，从而改善绝缘滑道的放电性能，防止绝缘滑道烧毁。并通过仿真计算和定性分析，说明了屏蔽环的有效性。

关键词：电气化铁道，菱形绝缘分段器，放电性能

1. 分段绝缘器概述

分段绝缘器是接触网上实现同相电气分段、使受电弓平滑通过的重要绝缘设备。它将同一相供电单元的接触网分隔成几个独立的供电范围，为上下行电气分隔、站场供电分束、机务整备和车务装卸等提供作业条件。当接触网检修或发生故障时，可缩小停电范围，减少对运输的干扰。

但是由于分段绝缘器工作条件和工作方式比较特殊，分段绝缘器的故障较多，影响铁路系统的正常运行。目前分段绝缘器的结构种类较多，但总的来说主要可归结为三种主要的类别，分别为有断口、无绝缘滑道的分段绝缘器；无断口、有绝缘滑道的分段绝缘器以及有断口、有绝缘滑道的分段绝缘器三种主要的形式，对于有断口的分段绝缘器，会出现打弓、挂弓等问题；而无断口的分段绝缘器会出现绝缘滑道烧毁等现象。

所以，有[illegible]和分析，通过相关的分析研究，找出故障的根本原因，并解决问题。

2. 分段绝缘器故障分析

我国自 60 年代初建设和发展电气化铁路以来，引进过英国、法国、德国等国家的分段绝缘器，也自行设计、制造过各种分段绝缘器，无论是进口的分段绝缘器还是国产的分段绝缘器，均存在很多问题，事故率较高。以下就各种分段绝缘器的特点进行分析。

2.1 英国 BB 公司分段绝缘器

英国分段绝缘器的结构如图 1 所示，也称为菱形分段绝缘器，1984 年从英国 BB 公司引进用于京秦线。具有结构简单、质量轻、安装方便、过渡平滑等优点，并迅速推广使用，国内各企业纷纷仿制。

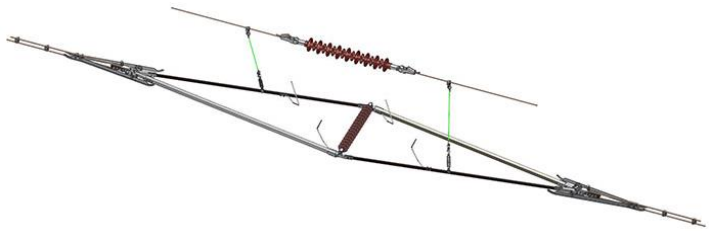


图 1-菱形分段绝缘器

在后续的使用过程中，该分段绝缘器陆续出现一些故障，主要的故障形式是绝缘滑道局部烧灼，严重时出现断裂现象，如图 2 所示，图 2 中包括上下两张图片，上一张图片为绝缘分段器端部绝缘滑道连接处烧毁部位，下一张图片是绝缘滑道与中间桥式绝缘子连接的部分，烧损位置基

本上处于绝缘滑道的两端的位置。

图 2 仿菱形分段绝缘器的绝缘滑道烧蚀点

2.2 法国 GSM 公司分段绝缘器

法国吉司玛 GSM 分段绝缘器为带断口的分段绝缘器，均为金属滑道，两侧滑道设有断口，在两侧断口对应部位的空间设置了绝缘靴，辅助受电弓滑过断口位置，结构紧凑、简单，安装调试方便，但和英国的菱形分段绝缘器相比，对于安装的要求较高。总体使用情况较好，但在货专线一侧接地时天气不良情况下因绝缘靴处空气间隙太小容易跳闸，跳闸后绝缘恢复。

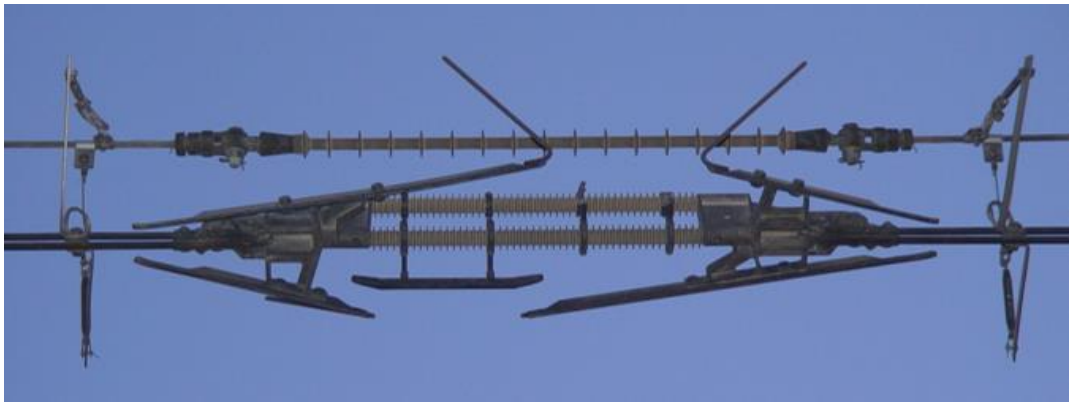


图 3 仿法国 GSM 公司分段绝缘器

滑道中间有断口，金属滑道形成悬臂，由于机车过分段绝缘器时 会产生较大的冲击力和机械振动，这样金属滑道会由于机械疲劳等产生变形，有断口的分段绝缘器会产生挂弓等问题。

2.3 瑞士 AF 公司分段绝缘器

20 世纪 90 年代初开始引进，属于即有带断口，又具有绝缘滑道的分段绝缘器，中间 2 根绝缘棒与绝缘滑道等高，对受电弓起辅助过渡作用。德国西门子公司的分段绝缘器结构相同。

目前这类分段绝缘器国内也普遍生产，使用较为普遍，打弓的现象也较普遍。法国ＡＦ公司原产品的绝缘棒长度为 1250ｍｍ，国内引进后按照铁标生产 1600mm 绝缘棒。

这类分段绝缘器从结构分析来讲，不具有技术优势。从故障类型来看，既具有不带断口的分段绝缘器容易烧蚀的缺点，也具有断口分段绝缘器挂弓的风险，下图 3 所示，为仿制的瑞士 AF 分段绝缘器挂弓后，变形的情况。

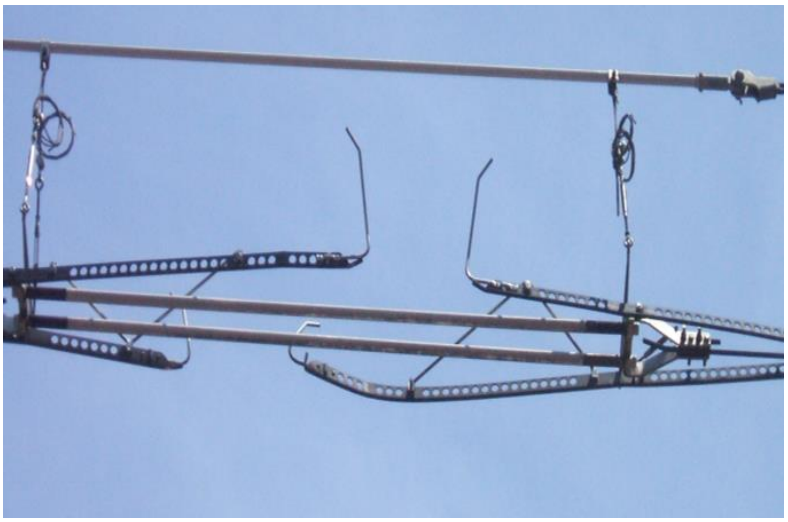


图 4 仿 AF 公司的分段绝缘器绝缘滑道变形

2.4 仿德国 Adtranz 分段绝缘器

该分段绝缘器使用 U 型结，如图 5 所示，具有结构简单、安装调试方便等优点，但也存在质量太大、硬点大、磁绝缘子易爆炸、空气绝缘不达标的缺点。国内在仿制时进行了改进，主要是使用硅橡胶绝缘子替代了磁绝缘子，克服了进口分段绝缘器重量太大的问题。

图 5 仿德国 Adtranz 分段绝缘器

在机车速度较高时，这种分段绝缘器同样存在打弓及挂弓的问题，空气绝缘距离较小，在一侧停电检修、整备作业时，出现过电压击穿问题，危及人身安全，目前使用较少。

3. 菱形分段绝缘器故障过程

从各种分段绝缘器的故障现象来看，分段绝缘器的故障主要来自两个方面，其一是机械稳定性问题，其二是电气性能问题。有断口的分段绝缘器的主要问题来自机械性能，由于机车通过时，来自机车的冲击力、颠簸可能会造成有断口的分段绝缘器的导电滑道产生机械疲劳，从而造成挂弓问题，造成严重的故障。而由于菱形分段绝缘器特殊的结构，其机械稳定性较好，安装使用方便，并对现场安装的要求较低，但是菱形分段绝缘器的主要问题是绝缘滑道端部放电的问题。

总的来看，带断口的分段绝缘器很难改进，以法国吉司玛 GSM 分段绝缘器为例进行分析，断口避免了沿绝缘滑道表面放电问题，但其断口自身的问题很难再改进，虽然在其中增加了辅助的滑道，但是问题依然存在。相对来说，仿英国的菱形分段绝缘器仍有改进的空间，以下以菱形分段绝缘器的故障过程进行分析。

菱形分段绝缘器的结构示意图如图 6 所示，其中 a、d 为 2 个导电滑道， b、c 为 2 个绝缘体滑道，e、f 为接触线，g1 和 g2 为受电弓的两个工作位置。分段绝缘器工作时，有三个特殊的过程，具体如下。

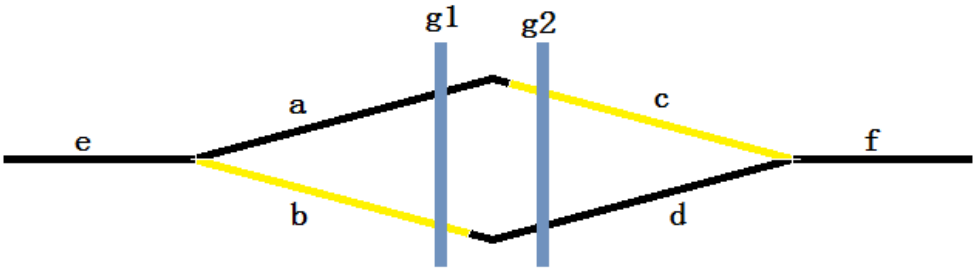


图 6 菱形分段器工作示意图

3.1 接触网检修时的状况

当接触网其中一段线路需要检修时，为了人身安全，需要检修的接触网一段需要接地。假如接触线 f 需要检修，f 就需要接地，这时，在绝缘滑

道 b 的两端就会有比较高的电位。绝缘滑道两端为夹持件，一般用紧固件夹持，两端结构并未特殊设计，对于这样一个结构，造成绝缘滑道 b 两端的电场强度比较高，在有污秽或阴雨天气时，由于绝缘距离较长，两端不会出现贯穿性的沿面放电，但是在绝缘滑道两端会出现树枝状放电现象，伤及绝缘滑道的端部，使绝缘滑道的绝缘能力下降，久而久之，会出现绝缘滑道损伤。

3.2 受电弓处于弓位 g1 的情况

假如受电弓从接触线 e 段向 f 段移动，当受电弓移动到弓位 g1 的位置上时，虽然 e 和 f 名义为同幅、同相位，但是由于机车负载的原因，其间有一定的电位差，在受电弓与导电滑道 d 接触之前，由于受电弓在移动，理论上存在间隙很小的时刻，会出现沿着绝缘滑道 b 端部出现沿面放电，但是由于受电弓很快将导电滑道 a 和 d 连接，所以，这个放电过程同样很快就结束；

3.3 受电弓处于弓位 g2 的情况

当受电弓从 a 和 d 接通的状态继续前行，移动到弓位 2 的位置时，受电弓将与滑道 a 断开，这个断开的过程同样包括了两个主要的问题，其一，对于滑道 a 连接的接触网来说，是一个甩负荷的过程，必然会产生很高的过电压。其二，在断开的瞬间，由于系统的惯性，必然要通过电弧保持续流，快速形成沿面放电，这将使周围空气由于电弧的作用发生电离，随着受电弓的继续移动，这个电弧可能被拉长，继续放电，直至自持放电条件破坏，电弧才会熄灭。

具相关经验，由于受电弓由碳材料制成，与接触线和绝缘分段器接触摩擦的过程中，形成碳粉附着于接触线和绝缘分段器上，同时存在的一个现象是，这些碳粉也会随之燃烧，从而形成一个电弧与可燃物同时存在的过程。

4. 菱形分段绝缘器的电场分析与改进

由上节分析来看，菱形分段绝缘器的主要问题是其端部的放电问题，由于其工作过程中受电弓试移动的，无论是那种分段绝缘器，上节提到的三个过程中，放电是不可避免的。对于菱形分段绝缘器的改进，由于电压不高，绝缘距离够长，沿面贯穿性击穿的可能性很小，主要目标是防止绝缘滑道端部的放电，这就需要给绝缘滑道端部增加屏蔽措施，从而达到改善端部电场的作用。

另外，分段绝缘器一般水平安装，两端与两端接触线连接，并通过吊弦悬吊于承力索上，其电场分布也受到承力索、吊弦以及铁轨和大地的影响，在电场分析时也需要改进。

图 7 中给出了菱形分段绝缘器水平平面上的等位线分布图，从图中可以看出在绝缘滑道的两端部，电位线分布很密，电场强度较高。

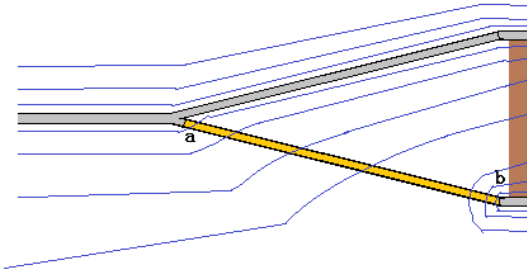
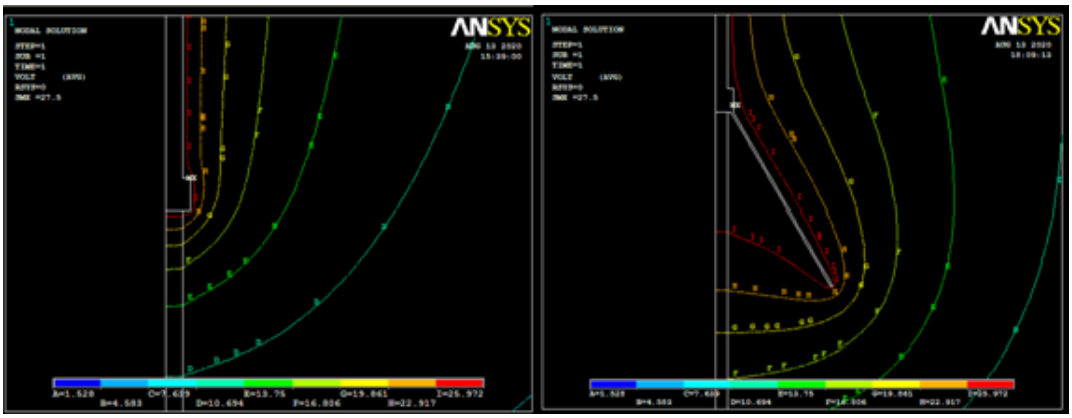


图 7 分段绝缘器水平面等位线分布图

给其端部增设一个屏蔽环后，屏蔽环的结构如图 8 所示，其电位线分布的仿真计算结果如图 8 所示，图中（a）为没有屏蔽环的等位线分布情况，（b）为增设屏蔽环后的改善作用，从图中分析来看，增设屏蔽环可大大改善绝缘滑道端部的电场。但是，由于机车的受电弓需要滑动而过，屏蔽环只能设半个，分段绝缘器下部的屏蔽效果会受到一定的影响，可适当延长屏蔽长度来改善。



（a） （b）

图 8 屏蔽结构对于分段绝缘器电场的改善作用

承力索以及轨道对绝缘滑道的包面电场都有一定的影响，但是由于距离均较远，总的影响不大。

5. 总结

分段绝缘器是电气化铁道不可缺少的电器元件，其性能影响电气化铁道系统的安全运行，通过对其运行过程的各个状况进行分析和研究，在绝缘滑道端部增加屏蔽环的措施来改善绝缘滑道的放电性能，通过技术改进和仿真计算说明，在绝缘滑道端部增加屏蔽措施，可有效地改善绝缘滑道端部的电场强度，防止其端部放电和烧伤。