

重载铁路供电系统中电缆故障类型及原因分析

杨步平

国能朔黄铁路公司原平分公司 山西 忻州 036100

摘要: 重载铁路供电系统是保障铁路运输安全、稳定、高效运行的关键基础设施。其中, 10kV电缆作为供电系统的重要组成部分, 其运行状态直接关系到铁路供电的可靠性和安全性。本文旨在探讨重载铁路供电系统中10kV电缆的常见故障类型, 并深入分析故障产生的原因, 以期为相关从业人员提供参考。

关键词: 重载铁路; 供电系统; 10kV电缆; 故障类型; 原因分析

引言

随着铁路运输的快速发展, 重载铁路在国民经济中的地位日益凸显。为了确保重载铁路的正常运营, 供电系统的稳定性和可靠性至关重要。10kV电缆作为供电系统的重要组成部分, 其故障问题不容忽视。因此, 对10kV电缆故障类型及原因进行深入分析, 对于提高供电系统的可靠性和安全性具有重要意义。

1 重载铁路供电系统中 10kV 电缆故障类型

重载铁路作为现代铁路运输的骨干力量, 其供电系统的稳定性和可靠性对于保障铁路运营的安全和高效至关重要。10kV电缆作为供电系统的重要组成部分, 承载着大量的电能传输任务。然而, 在实际运行中, 电缆可能会遭遇各种故障, 这些故障的表现形式和影响各不相同, 对铁路运营造成不同程度的干扰和威胁。重载铁路供电系统中10kV电缆的故障类型, 包括接地故障、短路故障、断线故障, 并对每种故障的表现及影响进行具体化分析。

1.1 接地故障

接地故障是10kV电缆中常见的故障类型, 根据故障电阻的大小, 可分为高电阻接地故障和低电阻接地故障, 它们的表现和影响各有特点。

1.1.1 高电阻接地故障

高电阻接地故障在发生时, 通常不会立即导致电缆跳闸或明显的供电异常。然而, 通过绝缘摇表测试, 可以发现电缆的某一芯或两芯导体与地之间存在不连续现象, 且芯与芯之间的绝缘电阻值明显低于正常值, 但仍高于1000欧姆。这种故障可能表现为电缆终端或接头处的轻微放电声, 或者在特定条件下(如潮湿、高温等)出现间歇性的供电波动。虽然高电阻接地故障不会立即造成严重的供电中断, 但长期存在会加速电缆绝缘层的老化和劣化^[1]。随着绝缘电阻的逐渐下降, 故障可能演化为低电阻接地故障, 甚至引发更严重的短路故障。此

外, 高电阻接地故障还可能导致电缆终端或接头处的局部过热, 增加火灾风险。

1.1.2 低电阻接地故障

低电阻接地故障是10kV电缆中一种常见的故障类型。当电缆的某一芯或两芯导体与地之间的绝缘电阻低于1000欧姆时, 即发生此类故障。这种故障通常会导致电缆跳闸或供电系统的保护装置迅速动作, 以切断故障电路, 防止事故扩大。在故障点处, 往往会出现明显的放电声、火花或烟雾, 这些都是短路电流过大所引发的现象。严重时, 这种故障甚至可能引发火灾, 对人员和设备造成极大威胁。低电阻接地故障会直接导致供电中断, 进而影响铁路的正常运营。在重载铁路中, 这种故障可能导致列车晚点、停运或调度混乱, 严重降低铁路运输的效率和安全性。

1.2 短路故障

短路故障是10kV电缆中另一种极为严重的故障类型, 其对供电系统的稳定性和安全性构成了重大威胁。根据短路电阻的大小, 我们可以将短路故障细分为低阻短路故障和高阻短路故障两种。

1.2.1 低阻短路故障

当电缆的三相芯线之间形成低电阻通路时, 即发生低阻短路故障。这种故障通常会导致电缆跳闸或供电系统的保护装置立即动作, 以切断故障电路, 防止事态进一步恶化。在故障点处, 可能会出现强烈的放电声、火花和烟雾, 这些都是短路电流过大所引发的现象。严重时, 这种强烈的放电和过热甚至可能引发火灾或爆炸, 对人员和设备造成极大的危害。此外, 故障点处的强烈放电和过热还可能直接损坏电缆、开关设备或变压器等关键设备, 造成巨大的经济损失。^[2]

1.2.2 高阻短路故障

相较于低阻短路故障, 高阻短路故障的表现可能相对温和一些。当电缆的三相芯线之间虽然形成短路, 但

短路电阻较高时，可能不会立即导致电缆跳闸或供电系统保护装置动作。然而，这并不意味着高阻短路故障可以忽视。随着故障的发展，电缆可能会出现过热现象，绝缘层也会因长时间承受过高电压而老化加速。严重时，高阻短路故障仍可能导致供电中断，对供电系统的稳定性和安全性构成严重威胁。

1.3 断线故障

断线故障在10kV电缆故障中占据着重要且严重的地位，它不仅影响了电缆的正常传输功能，还可能对依赖该电缆供电的系统造成重大损害。根据断线芯线的数量不同，可以将其细分为一相芯线断线和多相断线两种类型。

1.3.1 一相芯线断线

当电缆的某一相导体发生断裂时，我们称之为单相芯线断线。这种故障会导致该相导体无法继续传输电能，从而在供电系统中产生一系列异常现象。最直观的表现就是该相的电压会降低，甚至可能完全消失。同时，由于三相电压之间的平衡被打破，整个供电系统会出现三相电压不平衡的情况。单相芯线断线对供电系统的影响不容小觑。它可能导致供电系统处于不平衡运行状态，进而影响铁路信号设备的正常工作。铁路信号设备对电压的稳定性和平衡性要求极高，一旦受到干扰，就可能产生误动或拒动，对铁路运营安全构成威胁。此外，单相芯线断线还可能引发更严重的故障，如设备损坏或系统崩溃等。

1.3.2 多相断线

相较于单相芯线断线，多相断线的故障情况更为严重。当电缆的两相或三相导体同时断裂时，我们称之为多相断线。这种故障会导致这些相无法传输电能，供电系统因此受到极大破坏。在供电系统中，多相断线会表现为多相电压降低或消失，甚至可能导致供电系统完全中断。对于铁路运营来说，这意味着整个铁路系统可能会瞬间瘫痪，无法正常运行。因此，多相断线故障是供电系统中必须高度重视并及时处理的严重故障类型。^[3]

2 重载铁路供电系统中10kV电缆故障原因分析

在重载铁路供电系统中，10kV电缆扮演着至关重要的角色，它们如同铁路的“血脉”，负责将电能安全、高效地输送到各个需要的地方。然而，电缆在运行过程中并非一帆风顺，各种故障时有发生，给铁路运营带来不小的挑战。10kV电缆故障的原因多种多样，包括外力损坏、绝缘受潮、长期过负荷运行以及电缆及电缆附件质量问题等。为了确保电缆的稳定运行和铁路运营的安全顺畅，必须加强对电缆的维护和管理，定期进行检测和试验，及时发现并处理潜在的故障隐患。同时，还需

要提高电缆及附件的质量水平，为重载铁路的安全运营提供有力保障。

2.1 外力损坏

外力损坏是10kV电缆故障中最为常见且破坏力极大的原因之一。在城市化进程不断加快的今天，地下管线密布，电缆作为电力传输的重要通道，其安全性至关重要。然而，在城市和铁路沿线，电缆常常因为施工机械的操作不当而遭受损坏。挖掘机、钻机等重型机械在作业时，如果操作员对地下电缆的位置不清楚或忽视警示标志，就很容易挖断或拉伤电缆。特别是在交叉路口、建筑工地等复杂环境，电缆遭受外力破坏的风险更是成倍增加。这种机械损伤往往直接导致电缆断裂或绝缘层破损，引发供电中断。除了机械损伤，电缆在敷设过程中也可能因为弯曲半径过小或过度弯曲而损坏。电缆的绝缘层和屏蔽层都有其承受的弯曲极限，一旦超过这个极限，就会导致层间开裂或破损。这种损坏可能初期并不明显，但在电缆长期运行中，由于温度变化、振动等因素的作用，逐渐暴露出来，最终引发故障。此外，电缆切剥过程中的操作不当也是外力损坏的一种形式。切剥过度或刀痕太深都会直接损伤电缆的导体和绝缘层。切剥后的电缆端头如果没有及时密封或保护，也容易受到外界环境的侵蚀和损坏，进一步加剧故障的发生。

2.2 绝缘受潮

绝缘受潮是10kV电缆故障中另一个常见且难以察觉的原因，它对电缆的安全运行构成了潜在威胁。在电缆的制造过程中，如果生产工艺不够精细或质量控制不严格，电缆保护层就可能出现裂缝或破损。这些裂缝和破损往往非常微小，肉眼难以直接察觉，但在电缆的长期运行过程中，它们却成为了水分侵入的通道，使得电缆绝缘层逐渐受潮。电缆终端接头作为电缆连接的重要部件，其密封性对电缆的绝缘性能至关重要。然而，如果终端接头的密封材料选择不当或施工工艺不佳，就会导致密封性不足，水分和潮气便会趁机通过缝隙侵入电缆内部。此外，电缆保护套在使用过程中也可能被尖锐物体刺穿或遭受腐蚀，从而失去保护作用，使电缆绝缘层直接暴露在潮湿的环境中。绝缘受潮后，电缆的绝缘电阻会显著下降，电流增大，产生热量并加速绝缘层的老化。当绝缘层老化到一定程度时，就会失去绝缘作用，引发短路、接地等故障。这些故障不仅影响电缆的正常运行，还可能对铁路供电系统造成更大的损害，甚至危及行车安全。

2.3 长期过负荷运行

在10kV电缆的运行维护中，长期过负荷运行是一

个极为重要且屡见不鲜的故障诱因。电力电缆作为电力传输的“大动脉”，其设计之初就充分考虑了材料特性、结构强度以及使用环境等多重因素，从而确定了一个既安全又经济的额定载流量和工作温度范围。然而，在实际运行过程中，由于种种原因，电缆往往会长时间处于超出其设计负荷的高电流工作环境中。当电缆长时间承受高电流时，就会产生大量的热量。这些热量如果无法及时有效地通过电缆的散热系统散发出去，就会逐渐在电缆内部累积。这种热量的累积，对于电缆的绝缘层来说，无疑是一个巨大的威胁。绝缘层是电缆保护的核心，它负责隔离导体与外界环境，防止电流泄漏。然而，在长期过负荷运行的条件下，绝缘层会受到持续的高温烘烤，加速其老化和变质过程。尤为值得注意的是，如果电缆绝缘层中本身就存在杂质或已经出现了老化现象，那么过负荷运行无疑是雪上加霜。它会进一步降低绝缘层的绝缘性能，使其更容易被击穿，从而引发电缆故障。此外，过负荷运行还会导致电缆导体的温度升高。根据电阻的温度特性，导体温度升高会导致其电阻增大。电阻增大又会使电缆在传输电流时产生更多的热量，形成一种恶性循环。这种恶性循环不仅会极大地加速电缆的老化和损坏过程，还可能引发一系列连锁反应，如电缆接头过热、绝缘层击穿、甚至引发火灾等严重后果。因此，在电缆的运行维护中，必须严格控制其负荷水平，避免长期过负荷运行。同时，还应加强对电缆的监测和检修工作，及时发现并处理潜在的故障隐患，确保电缆的安全可靠运行。

2.4 电缆及电缆附件质量

电缆及相关附件的质量，是10kV电缆故障中一个不可忽视且难以完全控制的关键因素。在电缆的设计、制造和安装全过程中，任何一个环节的疏漏都可能导致质量问题。如果材料选用不当，如导体材质不符合标准、绝缘材料性能不佳，或者防水性差、工艺粗糙，都会使电缆存在隐患。这些问题可能具体表现为电缆导体电阻超标、绝缘层厚度不足、屏蔽层防护效果欠佳、护套材料易腐蚀等。电缆附件，如终端接头、中间接头

等，作为电缆连接和保护的重要部件，其质量同样至关重要。若附件密封性能不佳，水分和潮气将轻易侵入电缆内部，使绝缘层受潮而降低性能。导体连接不牢固的接头，在电流通过时会产生额外热量，加速接头老化和损坏，甚至引发火灾。因此，在电缆及附件的选购、安装环节，必须严格把控质量关，确保产品符合国家和行业标准。同时，加强对电缆及附件的日常维护和定期检测，运用先进技术手段及时发现并处理潜在的质量问题。只有这样，才能确保电缆系统的长期稳定运行，有效预防故障的发生，保障电力供应的安全可靠。^[4]

结语

重载铁路供电系统中10kV电缆故障类型多样，主要包括接地、短路、断线等故障。这些故障的产生原因复杂多样，主要包括外力损坏、绝缘受潮、长期过负荷运行以及电缆及电缆附件质量等问题。为了提高供电系统的可靠性和安全性，相关从业人员应加强对电缆故障类型及原因的认识和分析能力，并采取相应的预防措施和应急处理措施。为了提高供电系统的可靠性和稳定性，需要：一是加强电缆敷设管理：在电缆敷设过程中，应严格遵守相关规范和标准，避免外力损坏和绝缘受潮等问题的发生。二是提高电缆及附件质量：选用优质的电缆和附件材料，并严格按照国家技术要求进行施工和验收。三是完善应急处理机制：建立健全的电缆故障应急处理机制，确保在发生故障时能够迅速恢复供电并减少损失。

参考文献

- [1] 贡佳琪.基于同步授时的重载铁路10kV配电网故障行波定位方法研究[D].石家庄铁道大学,2024.
- [2] 周飞帆.振动致列车电缆终端绝缘劣化机制的研究[D].西南交通大学,2022.
- [3] 龙林.重载铁路牵引供电系统雷击干扰识别方法研究[D].西南交通大学,2020.
- [4] 闫辉.重载铁路10kV电力线故障行波同步测量技术与实时定位系统研究[D].石家庄铁道大学,2023.