

高速铁路牵引变电所常见设计、施工问题研究

李 斌¹ 王乐平² 黄志娟³

1.嘉兴市恒光电力建设有限责任公司工程服务分公司 浙江 嘉兴 314000

2.嘉兴市恒光电力建设有限责任公司工程服务分公司 浙江 嘉兴 314000

3.嘉兴市长三角人力资源开发中心经开分中心 浙江 嘉兴 314000

【摘要】：随着我国高速铁路的快速发展，牵引变电所作为高速铁路供电系统的核心部分，其设计与施工质量直接关系到高速铁路的安全稳定运行。然而，在实际工程中，高速铁路牵引变电所的设计与施工常常面临诸多问题，这些问题不仅影响变电所的正常运行，还可能对高速铁路的整体运营造成潜在威胁。本文旨在系统研究高速铁路牵引变电所常见的设计与施工问题，深入分析其产生的原因，并提出相应的解决措施，以期为高速铁路牵引变电所的设计与施工提供有益的参考。

【关键词】：高速铁路牵引；变电所；设计；施工；问题

DOI:10.12417/2705-0998.25.23.041

引言

随着我国高速铁路事业的蓬勃发展，牵引变电所作为高速铁路供电系统的关键环节，其设计与施工的重要性日益凸显。牵引变电所不仅承担着为高速铁路提供稳定可靠电能的重任，更是保障列车安全、高速运行的基础设施。然而，在实际的设计与施工过程中，由于各种因素的影响，常常会出现一系列问题，这些问题不仅可能影响变电所的正常运行，甚至可能对整个高速铁路系统的运营安全构成威胁。因此，对高速铁路牵引变电所常见的设计与施工问题进行深入研究，并提出有效的解决措施，具有十分重要的现实意义。

1 常见设计问题

1.1 电气主接线设计问题

1.1.1 设计冗余度不足

在高速铁路牵引变电所电气主接线设计中，常出现冗余度考虑不充分的问题。部分设计方案为控制初期投资，采用单母线分段接线时未预留足够的备用间隔，或在关键设备（如主变压器、断路器）选型时未考虑冗余配置。当某一设备突发故障时，需中断供电进行检修，严重影响高速铁路的正常运营。例如，某枢纽牵引变电所因主接线未设置备用电源自动投入装置，在一路电源失电后，导致下行线接触网停电2小时，造成多趟列车晚点。

1.1.2 短路电流计算偏差

短路电流计算是电气主接线设计的关键环节，但实际设计中易出现计算偏差。一方面，设计人员可能未充分考虑系统未来扩展规划，如相邻牵引变电所的接入、地方电网的并网等因素，导致短路电流计算值偏小，所选断路器、隔离开关等设备的额定短路开断电流不足，存在严重安全隐患。另一方面，短路电流计算模型简化不当，忽略了牵引负荷的波动性和三相不平衡特性，导致计算结果与实际运行工况不符，影响设备选型

的准确性。

1.2 设备选型与布置设计问题

1.2.1 设备选型与环境适应性不足

高速铁路牵引变电所通常分布在不同地理区域，环境条件差异较大，如高温、高湿、高海拔、强风沙等。部分设计方案在设备选型时未充分考虑当地环境特点，导致设备运行可靠性降低。例如，在高海拔地区选用普通平原型变压器，因海拔升高导致绝缘强度下降，易发生绝缘击穿事故；在沿海地区未选用防盐雾型断路器，导致设备外绝缘腐蚀加速，缩短使用寿命。

1.2.2 设备布置不合理

设备布置设计需兼顾安全性、经济性和运维便利性。常见问题包括：设备间距不满足安全净距要求，如高压开关柜与墙体距离过小，检修人员操作空间不足；二次设备室与高压设备区距离过近，电磁干扰严重，影响保护装置正常工作；电缆沟、电缆夹层设计不合理，存在积水、通风不良等问题，导致电缆老化加速。此外，部分设计未考虑设备吊装、运输通道，给后期安装和检修带来极大不便。

1.3 保护与自动化系统设计问题

1.3.1 保护配置不完整或整定不合理

牵引变电所保护系统设计中，易出现保护配置不完整的情况，如对并联电容补偿装置、所用变等次要设备未配置完善的保护，导致设备故障时无法及时切除，扩大事故范围。同时，保护定值整定不合理也是常见问题，如电流速断保护定值过大，不能快速切除近处短路故障；过负荷保护整定时间过长，导致设备长期过负荷运行。此外，不同保护装置之间的配合不协调，易发生保护误动或拒动。

1.3.2 自动化系统兼容性与可靠性问题

随着高速铁路自动化水平的提高，保护与自动化系统的兼容性和可靠性日益重要。部分设计方案中，不同厂家的保护装

置、监控系统、远动装置之间通信协议不兼容，导致数据传输不畅；自动化系统冗余配置不足，如主备监控主机切换逻辑设计不合理，在主机故障时无法实现无缝切换；远动通道设计单一，未采用双通道冗余，存在通信中断风险，影响调度中心对变电所的实时监控。

2 常见施工问题研究

2.1 基础施工问题

2.1.1 地基处理不当

牵引变电所地基处理是确保设备基础稳定的关键。常见问题包括：未对地基土进行详细勘察，采用不适合的地基处理方法，如在软土地基上直接采用天然地基，导致基础沉降过大；地基处理施工质量控制不严，如强夯法施工时夯击能量不足、夯点间距不均匀，导致地基承载力不均。基础沉降过大易造成设备倾斜、母线断裂、电缆损坏等严重后果。

2.1.2 混凝土基础施工质量问题

混凝土基础施工中，常见的质量问题有：混凝土配合比设计不合理，水泥、砂石、水等原材料计量不准确，导致混凝土强度不足；混凝土浇筑过程中振捣不密实，存在蜂窝、麻面、空洞等缺陷；养护措施不到位，如养护时间不足、养护温度湿度不适宜，导致混凝土表面开裂。此外，预埋件位置偏差过大、固定不牢固，也是常见问题，影响设备安装精度。

2.2 设备安装施工问题

2.2.1 高压设备安装质量问题

高压设备安装工艺要求较高，常见问题包括：变压器安装时未进行严格的器身检查，内部存在异物；套管安装时密封不良，导致渗漏油；断路器安装时灭弧室气体压力不足或 SF₆ 气体含水量超标；隔离开关安装调整不当，触头接触不良，分合闸角度不符合要求。这些问题会导致设备运行时发热、异响，甚至发生短路故障。

2.2.2 二次设备安装与接线问题

二次设备安装与接线是施工中的薄弱环节，常见问题有：端子排接线混乱，标签不清或缺失，导致后期维护困难；电缆头制作工艺不良，存在绝缘层损伤、屏蔽层接地不可靠等问题；保护装置、测控装置安装不牢固，接线松动，导致装置误动或拒动。此外，二次回路接地不规范，如多点接地、接地电阻过大，易引入干扰信号，影响自动化系统正常工作。

2.3 电缆施工问题

2.3.1 电缆敷设不规范

电缆敷设施工中，常见问题包括：电缆弯曲半径过小，导致绝缘层损伤；电缆在电缆沟、桥架内排列混乱，交叉缠绕，散热不良；电缆中间接头、终端头位置选择不当，如在积水处设置接头，导致接头进水受潮。此外，部分施工单位未严格按

照设计路径敷设电缆，随意更改敷设路径，导致电缆长度不足或过长，增加故障隐患。电缆敷设时未做好防护措施，在穿越道路、建筑物等区域时未加装保护套管，电缆易受到外力破坏。而且，电缆敷设过程中未按照要求进行固定，在电缆沟、桥架内随意拖放，使电缆承受额外的拉力和摩擦力，加速电缆绝缘层的老化和破损。

2.3.2 电缆防火防爆措施不到位

牵引变电所电缆密集，火灾风险较高，电缆施工中防火防爆措施不到位是常见问题。如电缆沟、电缆夹层未采用防火分隔，防火墙、防火隔板施工质量差；电缆竖井未封堵严密，存在烟火蔓延通道；未在重要电缆区段涂刷防火涂料或安装防火槽盒。一旦发生电缆火灾，火势极易蔓延，造成严重损失。部分电缆选型未充分考虑防火防爆要求，使用了非阻燃或阻燃性能不达标的电缆，增加了火灾风险；电缆接头制作工艺存在缺陷，如压接不紧、密封不良，在高温或短路情况下易引发爆炸；电缆施工区域未配备足够的消防器材，且未设置明显的防火警示标识，一旦发生火情，无法及时进行有效扑救，导致火势失控。

2.4 施工安全与质量管理问题

2.4.1 安全管理不到位

施工安全管理中存在的问题包括：未严格执行“两票三制”，违章作业现象时有发生，如无票操作、高处作业不系安全带；安全防护设施不完善，如施工现场未设置明显的安全警示标志，临时用电线路敷设不规范；施工人员安全意识淡薄，未经过专业安全培训上岗。这些问题易导致人身伤亡和设备损坏事故。同时，对现场的安全监督检查力度也不够，未能及时发现和纠正违章行为，使得安全隐患长期存在。部分安全管理制度在执行过程中流于形式，没有真正落实到实际施工中，无法有效发挥其约束和规范作用。

2.4.2 施工质量管理体系不健全

施工质量管理中，常见问题有：施工前未进行详细的技术交底，施工人员对设计图纸和规范理解不清；施工过程中质量控制不严，未严格执行三级检验制度，隐蔽工程验收不规范；施工记录不完整、不真实，无法追溯施工质量。此外，部分施工单位为追求进度，盲目压缩工期，忽视施工质量，导致工程质量隐患。同时，缺乏有效的质量监督机制，监理单位未能充分发挥监督作用，对施工过程中的质量问题未能及时发现和纠正。质量管理人员专业素质参差不齐，部分人员缺乏必要的专业知识和经验，难以胜任质量管理工作。这些因素共同作用，使得施工质量难以得到有效保障，给牵引变电所的安全稳定运行埋下了隐患。

3 高速铁路牵引变电所常见设计、施工问题的解决措施

3.1 设计问题的解决路径

针对电气主接线设计问题,应合理增加设计冗余度,充分考虑未来负荷增长和设备检修需求,确保在部分设备故障或检修时,系统仍能安全稳定运行;同时,提高短路电流计算的准确性,采用先进的计算方法和工具,结合实际运行参数,对短路电流进行精确计算,为设备选型和保护配置提供可靠依据。对于设备选型与布置设计问题,要充分考虑设备的环境适应性,根据牵引变电所所处的地理环境、气候条件等因素,选择合适的设备型号和材质,确保设备能在恶劣环境下长期稳定运行;优化设备布置方案,合理规划设备布局,确保设备之间的安全距离和操作空间,便于设备的安装、调试和维护。在保护与自动化系统设计方面,应完善保护配置,根据系统运行方式和故障类型,合理配置主保护和后备保护,确保在各种故障情况下都能迅速、准确地切除故障;同时,优化保护整定值,结合系统实际参数和运行经验,对保护整定值进行精细调整,提高保护的灵敏性和选择性;加强自动化系统的兼容性和可靠性设计,采用标准化的通信协议和接口,确保不同厂家设备之间的互联互通;选用高质量的硬件设备和软件系统,提高系统的抗干扰能力和稳定性。

3.2 常见施工问题的解决路径

针对基础施工问题,应加强地质勘察工作,详细了解地基土质情况,根据不同地质条件制定科学合理的地基处理方案,确保地基承载力满足设计要求;严格控制混凝土基础施工的各个环节,从原材料质量把控、配合比设计到浇筑养护,都要按

照规范标准执行,保证混凝土基础的强度和耐久性。对于设备安装施工问题,在高压设备安装过程中,要严格遵守安装工艺流程,加强安装过程中的质量检测和监控,确保设备安装的精度和稳定性;二次设备安装与接线时,要认真核对设备型号、规格和接线图,保证接线正确无误,同时做好防静电、防误碰等防护措施。在电缆施工方面,规范电缆敷设路径和方式,避免电缆交叉、缠绕,确保电缆排列整齐、固定牢固;严格按照防火防爆标准要求,在电缆隧道、沟道等部位设置防火隔板、防火涂料等防火防爆设施,并定期进行检查维护。施工安全与质量管理方面,建立健全安全管理制度,加强安全教育培训,增强施工人员的安全意识和操作技能,配备齐全的安全防护用品和设施,加强施工现场的安全监督检查;完善施工质量管理体系,明确各参建方的质量责任,加强施工过程的质量控制和质量验收,对关键工序和隐蔽工程实行旁站监理,确保施工质量符合设计要求。

4 结语

综上所述,高速铁路牵引变电所在设计与施工环节暴露出的问题具有多样性和复杂性,不仅涉及电气主接线、设备选型、保护与自动化系统等设计层面的不足,还涵盖基础施工、设备安装、电缆施工以及安全与质量管理等施工环节的缺陷。这些问题若得不到有效解决,将直接威胁牵引变电所的安全稳定运行,进而影响高速铁路的整体运营质量与效率。因此,必须从设计源头把控,优化设计方案,提升设计冗余度与精准度;同时,在施工阶段强化质量管控,严格遵循施工规范,确保每一环节都达到设计要求,从而全面提升高速铁路牵引变电所的建设质量与运行可靠性。

参考文献:

- [1] 杨雄.高速铁路牵引供电接触网施工关键问题研究[J].中国新技术新产品,2022,(16):98-100.
- [2] 王纯伟,侯日根,闫雪松.高速铁路牵引变电所并行智能化保护系统方案选择[J].电气化铁道,2021,32(S1):76-79.
- [3] 李涛.高速铁路牵引变电所改造技术[J].铁道建筑技术,2021,(12):149-151+174.
- [4] 智慧,林宗良,李剑,袁勇,宋梦容.高速铁路牵引供电系统适应性关键技术研究[J].高速铁路技术,2021,12(03):79-83.
- [5] 黄文勋.高速铁路典型牵引变电所回流异常分析与抑制方案研究[J].铁道标准设计,2021,65(03):143-148.