

中压地下系统

解决影响中压地下配电质量和可靠性的问题



Solutions

Safety. Science. Transformation.™

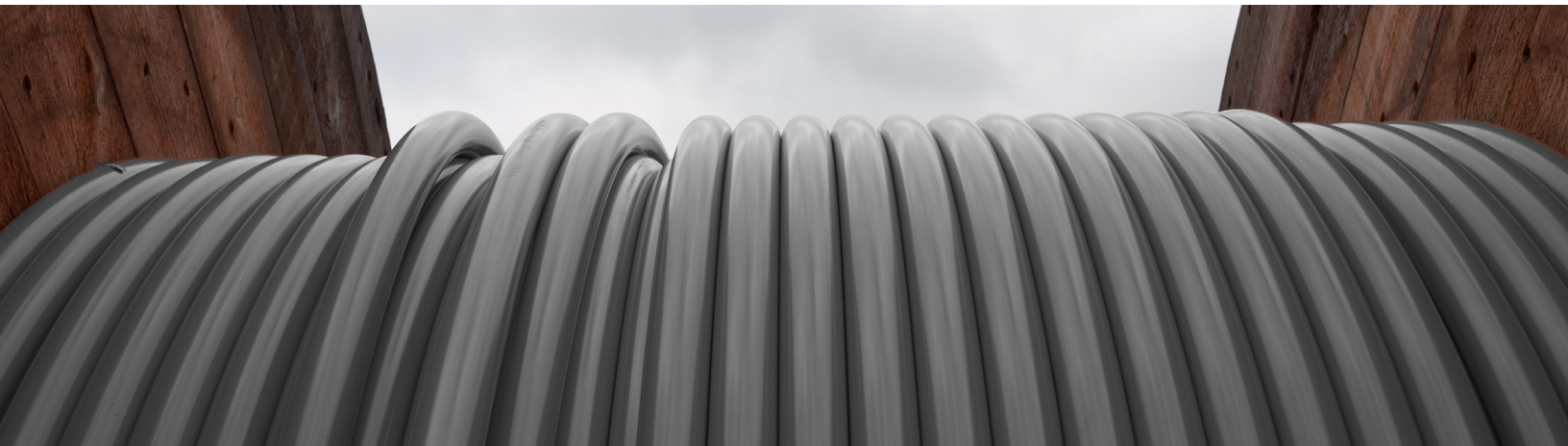
执行摘要

中压地下系统质量对确保配电安全可靠至关重要。在日常生活中的方方面面，我们都需要可靠的电力，同时供电来源和地点也越来越多。包括电缆、连接器、接头和端子在内的多种因素都可能对电缆系统质量造成影响，进而导致预期使用寿命缩短和可靠性下降。由此产生的停机时间会造成收入损失和成本高昂的维修。

本白皮书由 UL Solutions 专家编写，讨论与中压配电组件故障相关的因素，包括生产规范和程序所涉及的方面。本白皮书还说明电力公司和中压配电产品的其他工业用户为了在整个采购流程中监控质量而可以采取的措施，有助于减少事故和预防故障。在本白皮书的结尾，我们介绍有助于解决这些问题的 UL Solutions 中压配电相关计划。

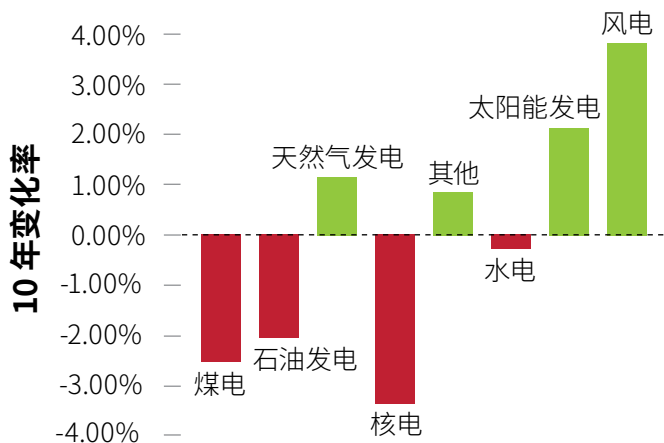
在基础设施项目中使用中压配电电缆系统

中压地下电缆系统（包括电缆、连接器、接头和端子）是保持和扩展全球能源基础设施能力的关键元素。中压系统的工作电压范围是 2,000 至 46,000 伏特，广泛应用于共用事业、海上、制造、互联和可再生能源等诸多领域。由于电力需求增长，预计未来对输电和配电系统的投资也会增加。



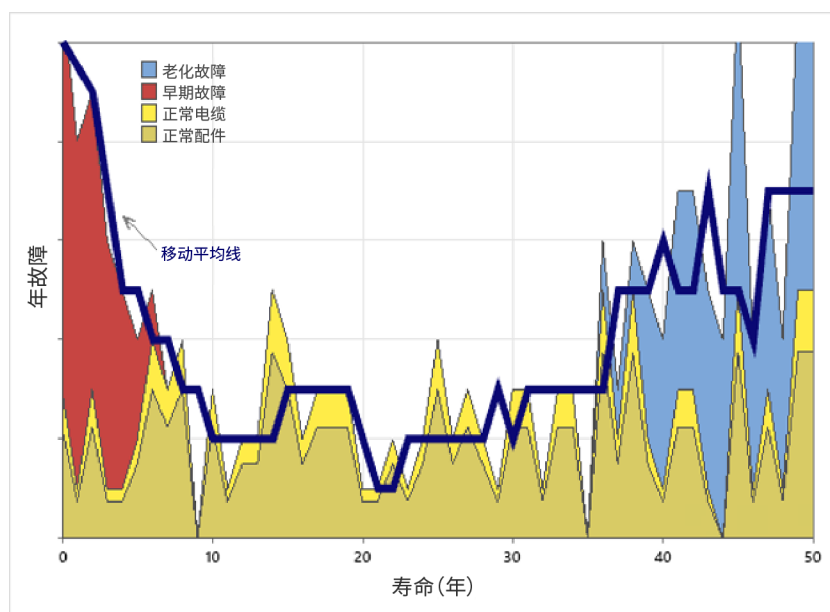
这一涨幅很可能会超越过去 10 年内达到的 6% 增长率（图中绿色条形超过红色条形）。¹ 在增长的驱动下，未来中压领域内需求也会加大。这种需求会拉动已经建成但陈旧老化的现有电网扩展、新能源发电并网以及从架空转向地下配电以提高可靠性。最近一项调查显示，² 老旧电网、可再生能源和升级目前是电力工程师的第一、第二和第四大忧虑。

与此同时，因对使用中压系统的依赖性增强而面临与电缆系统故障相关的诸多挑战。在早期电网中，地下系统的平均使用年限是 30 至 35 年，³ 而用户社区的预期寿命通常是 30 至 40 年不等。由于对太阳能和风能等分布式能源 (DER) 不可或缺的地下设施新装以及电网可靠性提升，电缆系统会发生工作模式变化，同时面临未知挑战。这些新装 DER 设施的一个结果就是早期发电厂淘汰（请参见图中左侧红色条形所示 10 年燃煤发电降幅）。这意味着，现有基础设施很可能不会与新资源共用相同的不动产，进而推动不同地点的配电网扩展。实际上，大部分 DER 都会与配电网直接并网。



此外，电缆系统组件的供应链基础也会随着现有和新加入的供应商范围扩大而发生变化，而负荷曲线、安装条件和初始质量等诸多问题仍然会对已安装系统的实际使用寿命和鉴定方法产生重大影响。

无论原因为何，故障都会导致电力公司的维护费用显著增加。这笔费用不仅消耗电力公司的运营资金，而且占用宝贵的工程人力资源。美国能源信息署 (EIA) 报告称，目前美国电力行业每年运营和维护费用超过 130 亿美元，20 年来增长将近 400%。⁴ 然而，故障所导致的问题不只是让电力公司花费高昂的成本和很长的时间去修复，以及对客户造成暂时不便。一旦导致持续停电，故障可对安全造成广泛影响，并对受影响的社区造成重大的经济和社会代价。



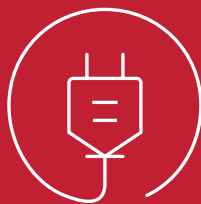
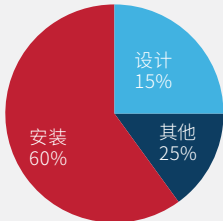
出于这些原因，陈旧设备（老化故障）和新装设备（早期故障）的质量和可靠性都是用户需要考虑的关键因素。作为此项工作的一部分，中压业界越来越广泛地帮助管理和更新老旧系统，降低早期故障率和提高中期可靠性。这意味着，解决形似“浴缸”的老化曲线两端问题，即减少新组件故障（图中红色区域）并延长早期电网使用寿命（蓝色区域）。随着行业发展演变，这两项活动都要开展。

地下系统组件故障存在一定的概率性，而且每年各不相同。因此，确定组件何时开始老化以及何时达到使用寿命终期可能极具挑战性。



地下故障的一些原因

中压地下系统使用中故障有多种原因。在报告的故障中，弯头、接头和端子等配件占大多数，⁵ 总数几乎是电缆故障次数的两倍。一般来说，地下故障原因可归为以下三类：

										
与构造和设计相关的问题	安装问题	老化								
与之前的型号相比，目前可用的新款中压组件有很多明显更先进的技术。在设计方面，充分体现技术进步的示例包括经过工厂测试的配件、电缆和接头护套以及导体阻水。 与此同时，目前安装的电缆、接头和端子只占完整电网的一小部分，而早期电网占到最大，也是最陈旧的一部分。要知道，这种复合电网涉及到各种材料、组件和制造商之间复杂的相互作用。因此，只测试新组件并不能确保性能始终如一。 某些情况下，依照历史范式进行新设计或材料组合的型式试验可能并不足以确定在工业部署中显现出来的挑战。最终，这些潜在挑战可能导致过早故障，使得用户不得不采取其他补救措施，才能恢复所需性能。	在技术要求方面，中压配电应用存在很大差异。但它们都要求在现场根据多种不同的地形条件，通过精心设计的组件（例如配件和电缆）组装系统。无论是对新装还是陈旧设备来说，组装问题都是最大挑战。 <table><tr><th>故障原因</th><th>占比</th></tr><tr><td>安装</td><td>60%</td></tr><tr><td>设计</td><td>15%</td></tr><tr><td>其他</td><td>25%</td></tr></table> 通常，产品选型和采购协议本身并不足以确保可靠运行。需要强调的是安装简易性和组件互通性。与此同时，还需要成熟可靠的测试和诊断技术以确定现场问题，并提供反馈以减少未来问题发生。否则可能导致新装电缆发生电气过热或老化，进而造成过早故障。	故障原因	占比	安装	60%	设计	15%	其他	25%	地下电缆系统的一大优势在于，相对来说更不易受暴风雨及其他极端天气事件等环境因素影响。但地下安装意味着，可能很难观察到系统老化迹象。鉴于组件使用寿命很长，其实更难发现老化问题，于是故障积少成多，而基本没有任何警告。 有些 DER 技术也会导致电网工作模式异常，由此产生加剧老化的不利影响。以太阳能发电为例，在夜间产生的电网负荷和温度剧烈波动就会导致现有系统异常。 深究原因的流程可以解决很多已知问题，包括将已知的多因素老化测试方案与在现场观察到的已知问题建立联系的活动。工程业内经验和使用中故障跟进是加强实验室与现场经验之间关系的有效方法。
故障原因	占比									
安装	60%									
设计	15%									
其他	25%									

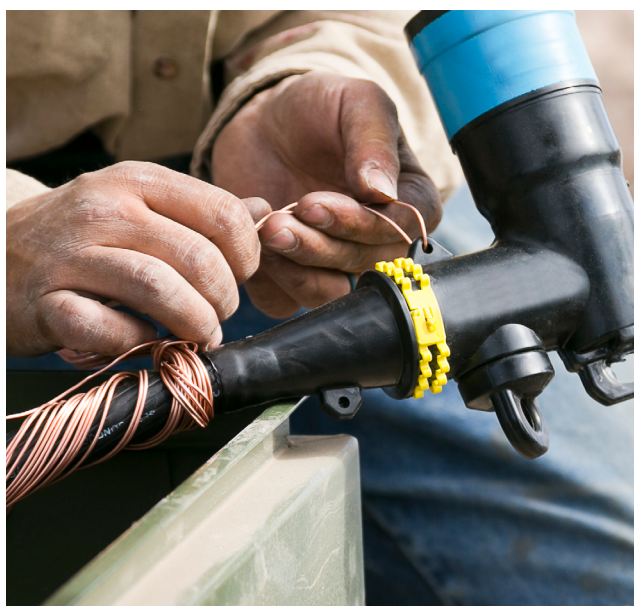
许多情况下, 均可通过提升意识、实施更强有力的流程控制措施和确保系统组件规格最新且适当, 降低这些原因所致故障风险。然而, 即使是最完善的方案, 也可能并不足以确定供应商生产流程中实际存在的各种差别和异常情况。因此, 由于组件一致性是主要的最终用户要求, 现行方案很可能需要增补内容, 将对用户需求更充分的了解包括在内。最近, 在注重一致性的爱迪生照明公司联合会 (AEIC) 电缆规格完善工作中, 这种趋势很明显。



对中压地下组件可靠性产生影响的生产因素

中压配电组件与大多数用于基础设施运营的设备、产品和材料都不相同。虽然系统本身是在现场组装, 但电缆、连接器、接头和端子等组件是在连续制作流程中生产, 而不是由许多单独元件组装而成。电缆配件通常是注塑成型, 而电缆则以很长的长度挤出, 分别集成基本的导体、屏蔽和绝缘元件做出成品。这种方法通常在一家工厂内的多条生产线上重复执行, 使制造商能够高效生产符合规格以及用户对一致性的要求的产品。

挑战在于, 在连续工艺流程中达到一致的产出质量需要成熟可靠的技术、持续监控和修正过程变量, 例如速度和压力以及温度、损耗、调节和污染等生产相关因素。如果控制不严, 此类变量一旦发生偏差, 就更容易导致影响成品使用寿命的缺陷, 而在正常生产测试和调试期间可能察觉不到这种缺陷。除了连续生产设备潜在问题之外, 人机交互也可能导致问题复杂化。在电缆生产方面经验不足或未经适当培训的生产工人可能使扩产增产努力付诸东流。看似微不足道的人为失误 (例如未能清洁工具, 沿着粗糙表面拉动挤出的电缆, 在叉车活动

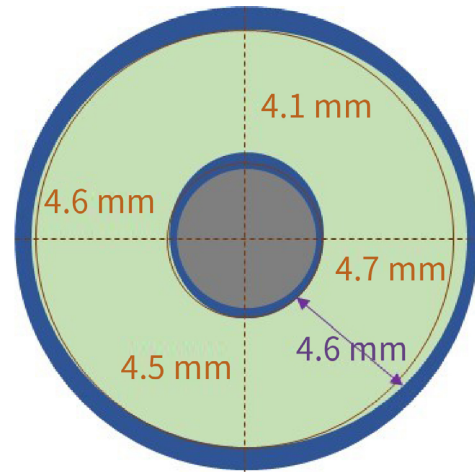


白皮书

期间未加注意或不小心的划痕) 都可能导致检测不到瑕疵或缺陷。

此外, 测试设施和设备不足, 以及未充分理解用户目标就制定的流程也可能漏检明显的电缆缺陷, 甚至造成新的缺陷。某些情况下, 制造设备故障问题一直没有引起注意, 而且在交付许多订单之后仍未解决, 因为在测试中并未发现问题。

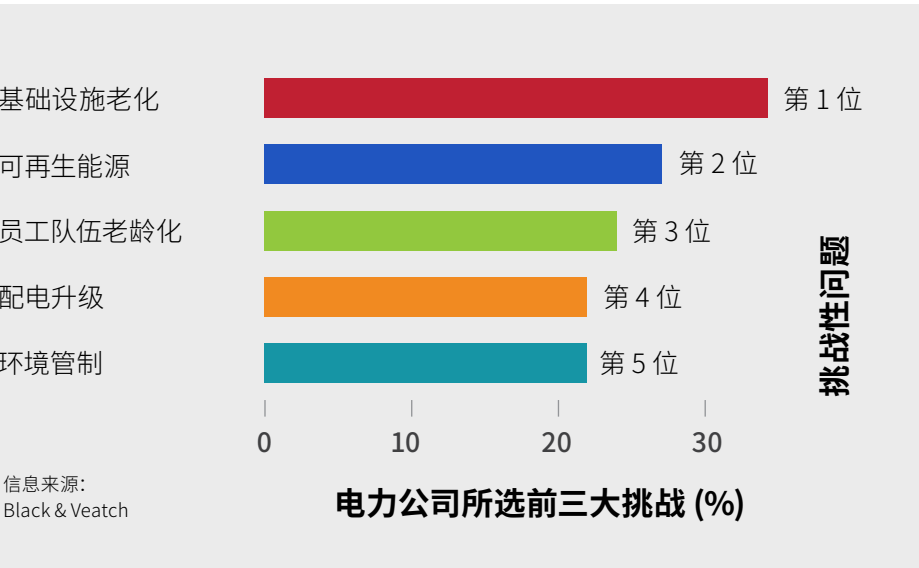
由于生产领域内存在这些不足之处, 可能会导致安装更多含有应力增强和寿命限制缺陷的中压配电组件。这些缺陷可能存在多年而未被发现, 在系统远未达到预期使用寿命的情况下过早发生故障, 于是不得不提前实施基础设施升级计划, 修理或更换有缺陷的系统, 而用户必须承担费用。



其他问题

最后，与设计和生产无关的一些问题也可能影响中压配电电缆的质量和长期可靠性。

就方法和范围而言，各地市场的技术标准有所不同。因此，在工业领域内制定的文件很可能不包括公用事业领域重视的许多元素。此外，北美和欧洲市场还要提出旨在延长使用寿命的要求（例如长期湿试验和防水）以及与配件的兼容性（包括规定尺寸）。在这些市场中，还要求开展在发货前确定并解决成品缺陷问题的活动。看似相当的标准要求也可能有微妙但显著的差别，最终要由购买者确定某一项标准要求能否解决具体质量和可靠性问题。



另一个问题涉及到全球化程度越来越高的供应链所面临的挑战。为满足配电网的持续扩展需求，要从制造业运营和分包商遍及全球的生产厂商采购中压配电组件。虽然全球供应链有诸多优势，但制造性能标准也可能截然不同。因此，即使看似相同的产品也可能有巨大差异。这可能导致对最终用户最重要的一致性目标无法实现。

严格的供应商质量计划与审核方案有助于解决这一问题，但此类计划的实施可能很难，而且非常耗时，特别是在人力资源已经非常紧张的情况下。

最后一个问题是，掌握与电缆配件、电缆和一般安装技术相关的必备技术知识和专长的人员越来越少。在能源行业内，关键技能缺口越来越大。² 入行的新员工人数少于转行的员工人数。有经验的员工离职使得老旧电网问题加剧。

此外，可再生能源升级与整合也带来许多新的挑战。因此，掌握深厚的技术知识并有能力支持配电网扩展的电力行业专业人士越来越少。最终，由于这一缺口问题，不合格或有缺陷的中压配电组件可能造成更严重的影响，超出我们依据最近经验得出的推断。

确保中压地下系统质量和可靠性

在此背景下，如何解决与中压配电电缆质量和可靠性相关的设计、安装、老化及其他问题，对电力行业及其他工业用户而言是一大挑战。与此同时，中压电缆购买者也可采取措施确保电缆整体质量，并降低电缆过早故障发生率。这些措施包括：

供应商资质评估

用户可实施供应商质量评估计划，以确保配件和电缆制造商和生产商始终经过充分认定，可以提供符合适用要求和规格的一致产品。这种计划包括资质测试审核和定期现场评估用于供应组件的设施和技术。



现场监督和资产管理

为帮助确保安装的系统质量，用户应在系统投入使用之前要求调试。这是因为，解决安装问题最有效的时间是在安装人员仍在现场，同时任何过早故障尚未对系统平均停电持续时间指标 (SAIDI) 和系统平均停电频率指标 (SAIFI) 造成影响的时候。在现代配电网中，测试新组件还需要评估与新组件连接的旧电网。只有在所有这些部件完美配合工作的情况下，升级和新资源才能实现全部价值。





员工培训

电力公司和制造商都知道，人才缺口加大有碍于电网增长。弥补当今从业人员之间的技术信息差距是一大挑战，需要努力提供充分的教育和培训机会。更高水平的员工拥有的知识和专长，可以回馈筹办和举行此类培训的投资，他们可以更加高效地解决问题，并减少可能过早发生故障的系统部署。对员工培训的投资还可能有更大的优势，即提高总体员工敬业度和生产效率。



持续审核与测试

配电组件必须按照相关的国家和国际标准经过例行样品检验，以确保符合规格。然而，合格检验方法并不总能满足用户对其新装设备的一致性和长久性要求。质量管理团队应该跟踪并分析可用数据，主动确定潜在的不一致及其他问题。分析有助于确保在适当测试的指导下采取纠正措施。这种监督可实现密切合作，为系统提供最高可靠性和最低成本。

通过采取这些措施，电力公司和中压配电系统的其他工业用户可降低过早故障发生率，以及对安装的组件进行维修和计划外维护的需求，进而改善盈利。

UL Solutions 确保中压产品质量和可靠性的方法

一致性和质量检查不能在安装结束后再完成，而是设计和制造流程从一开始就必须将其包括在内。UL Solutions 了解这一点。

作为专业从事电线和电缆产品测试、认证和检验的全球应用安全科学专家，UL Solutions 专家制定专项计划，为电力公司及其他工业电缆客户提供有关组件质量和可靠性的风险缓解措施。

我们的中压产品审计与检验计划重点关注特定于中压配电要求的制造流程和工艺。我们由经验丰富的审计与检验人员组成的全球网络可促进供应链设施和技术的监控与评估，而无论它们位于何处。

现场测试和资产管理计划有助于确保配电网扩展和升级专用资源为利益相关方提供最优价值。为此，我们与最终用户合作验证新装设备所需性能，也了解现有电网组件的能力。

配电网不断变化和扩展。知识是这些活动所涉及的一切关键所在。在利益相关方发生人事变动的情况下，以及在应对电网基础设施发展演变时，利用 UL Solutions 的专业知识、深入见解和遍及全球的业务范围快速有效地拓展和巩固知识能力。





中压配电一致性、质量和可靠性是电力行业及其他行业实体的主要关注点，因为有缺陷的产品可导致后果严重的过早故障。然而，生产符合购买者需求的始终如一的高质量中压组件可能极具挑战性，而越来越快的电网变化速度和越来越少的知识资源使得这一目标更是难上加难。因此，为保持配电网的正常性能，购买者需要通过新计划和举措填补这一空白。

UL Solutions 专家制定资产管理、现场测试、质量与合格计划，专门满足用户和制造商的需求。我们旨在帮助利益相关方开展合作，以确保配电网在未来数十年里为社会创造更大价值。

请访问 UL.com/mvhv 了解详细信息。

尾注

1. UL analysis of data from the BP Energy Review 2021
2. Black & Veatch 2020 Strategic Report: Repowering the Power Industry
3. UL analysis with input from BP, OCEI & Roland Berger
4. Based on data from the U.S. Energy Information Administration, as reported in “Utilities Continue to Increase Spending on Transmission Infrastructure,” a posting on the website of the energy collective, Jan., 16, 2018. Web. 16 April 2018. <http://www.theenergycollective.com/todayinenergy/2423726/utilities-continue-increase-spending-transmission-infrastructure>.
5. Long Life XLPE Insulated Power Cables Edited by OCEI 2021, Chapter 5



UL.com/Solutions

© 2022 UL LLC 保留所有权利

EM22CS124733CN