

电气火灾

电站电气火灾危险及解决方案

要想尽量减少电气火灾对电站的影响，就要求组合运用好预防措施、分区保护、火灾检测和灭火策略。因此，电站内所有人员都需要理解这项危险。

文 | Dominique Dieken, PE, CFPS

尽管在电站内发生火灾极为少见，但也并不像大家所想的那样罕见。大多数电气火灾灾情较小并会迅速扑灭，可有些火灾还是会产生严重的后果。

2012年，加利福尼亚的 Thermalito 电厂、2007年俄勒冈州的底特律大坝以及2002年田纳西州的 Watts Bar 水电站都发生过重大电气火灾。电气火灾所导致的发电量损失经常超过了实际火灾损害。

如果无法对受损电缆进行拼接修复，那么就必须要更换大段电缆。如果火灾情况严重，那么水泥散裂也有可能导致混凝土建筑物受损。即使只经历过相对小型的火灾，在有着旁大开阔空间的发电设施当中，烟雾和烟灰清除也有可能耗资数百万美元。

危险所在

电气设备带有能量并在绝缘层内含有可燃材料。电气火灾通常在故障后发生，并会导致阴燃式缓慢发展型火灾，并有可能最终演变成自行持续燃烧型火灾，此时灾情会以指数式速度发展，燃烧产物通常包括浓黑烟雾。

与易燃/可燃液体火灾不同，电气设备火灾在典型情况下蔓延缓慢。断路器通常会突然而灾难性地发生故障。许多情况下，无法保证火灾及损害只会限制在断路器及其外壳内。但是，当附近有可燃物质（如电缆桥架），则其极高的热量有可能导致大火发生。电气危险与“特殊危险”（如涡轮机、输送机、水力发电机以及同类设备）不同，因为电气导线、电动机和断路器遍布于整个电站。可行且常用的行业惯例是在特殊危险处配备固定式消防设备，但普通危险处没有必要配备。

降低火灾风险需要付出代价，这种代价既存在于成本方面，也存在于设备可接近性方面。因此，业主必须在实施火灾预防方案之前确立自己的火灾风险容忍度。换言之，风险容忍度越低，火灾防范和防止解决方案就越加周密详尽。

阻燃电缆

最低容忍限度为几乎所有电缆绝缘层都已烧毁，因为绝缘层采用可燃热塑性塑料制造。尽管有些试验标准尝试在大规模条件下复制可能发生的现象，但绝大多数试验仅评估了单根电缆的易燃



图1 这张图片显示了对电厂典型电缆桥架装置实施全规模火灾测试的场景

性和火灾传播性。重点在于理解这些试验是在一组特定条件集合下在实验室内进行的，通常其目的是对比不同电缆之间的性能。这些试验最大的问题在于，无法预测这些电缆将来安装时的实际布置情况。

准确评估在现有发电设施环境下的电缆类型及其易燃性等级是非常困难的事情，特别是在较为老旧的电厂当中，因为电缆相关文档有可能已经散失，并且多年来电缆布置方式也已历经了修改。此外，老化也会影响绝缘层的物理特性。

火灾防范解决方案

减少电气火灾影响度的最有效策略是将火灾防范、分区隔火、火灾检测和灭火手段组合运用起来。很明显，做好火灾预防是最需要采取的手段，但是其局限性在于，将所有燃料源都清除掉是不现实的。而分区隔火的想法是利用防火隔板来限制火灾蔓延。火灾检测本身就可可在火灾形成时向人们发出警示，但并没有在抑制和扑灭火灾方面发挥主动性作用。而火灾抑制措施通过阻止火灾发展和减少火灾规模来发挥活动。而检查和灭火共同作用时，不仅能够警示人员火灾发生，还参与到采取自动减灾措施当中，通常无需人为干预。

以下介绍了一些用于应对电气火灾的火灾预防和防范技巧。这些技巧可以单独应用或合并运用，作为一种火灾预防的系统性方法来采用。

电气设备布置。在设计阶段采取防火措施的机会是最好的。不幸的是，在设计当中降低安装成本以及忽视火灾风险的驱动力造成电气火灾危险的升级，而一旦设施建成，再减轻危险时就既困难又成本高昂了。作为一项关键的设计目标，在布置电气设备的位置时应确保其不必要地暴露于其他潜在火灾危险之下。而且，集束布置电缆的几何布置方式应当确保火灾危险降至最低。火灾倾

图2 为数众多的垂直布设的宽敞而堆叠的电缆桥架代表着具有挑战性的火灾预防状况



向于沿垂直方向传播，而且火灾强度也随着燃料堆叠高度成指数比例升高。

良好的电气布局包括保持控制电缆与电力电缆良好警卫，避免在其他火灾危险区（例如液压设备）上方直接架设电缆桥架，也要避免让电缆直接暴露于潜在点火源，并且最大程度减少垂直堆叠。而且，电缆桥架不得过载。两个负载较轻的电缆桥架优于一个负载过重的桥架。

美国核管理委员会开发了一项免费计算工具，包括了一个电子表格，用于计算电缆桥架火灾在采用不同类型绝缘给定区域内的满额热量释放率。尽管这一工具不适用于堆叠布设桥架，但可能对设计者布局配置有用。更好的替代方案是在可行时在电缆桥架内布设带有金属穿线管的电缆。

安装挡火装置。穿过结实墙壁、天花板或地板上开口布设的电缆务必密封以防火灾和烟雾蔓延。密封要求采用不可燃材料以特殊方式进行。

消防标准和美国国家电气标准都要求任何穿过有等级防火板的贯穿布设进行正确的密封，所采取的密封要采用列明方法进行，此方法与所贯穿防火板/分隔板的耐火小时等级相匹配。其理念在于为了电缆贯穿开口后恢复防火挡板的完整性。即使被贯穿的防火挡板并非受标准要求的防火挡

板，但是在贯穿处使用挡火装置仍然是一种防止火灾从一个分隔区蔓延到另一个分隔区的好办法。

对于诸如电缆桥架这样大型和复杂的贯穿处来说，由于必须具备专门的知识 and 培训，所以通常由专业人员来执行。在绝大多数电厂员工可接触范围内相对简便的运用方式是陶瓷棉、挡火泡沫塑料塞和模块化的挡火枕块。在安装密封系统时应当小心谨慎，严格遵守制造商的操作说明书。

火灾检测。火灾检测的目的既在于提前警告正在形成的火灾，又可作为自动灭火系统的启动装置。在早期警告模式下，火灾检测的目标是在火灾尚处于初期阶段时通知发电设施人员，让这些人员能够通知消防部门，关停设备，并采取急救灭火措施。因此关键点不仅在于按照最低规范要求布设检测器位置，还在于以尽可能充分发挥其优势的方式运用好检测器的技术能力。

目前已有许多火灾检测方式可用，但对于绝大多数区域来说，点式烟雾检测器提供了充分的保护程度。这些检测器应当安装在所有存在电气设备和电缆的区域当中。必须遵守美国国家火警和信号标准 NFPA 72 和检测器清单以达到充分可靠的布设。这里不存在最小检测器间距，间距越小，响应越快。

对于电气火灾来说，光电式烟雾检

测器比离子化烟雾检测器更为适用，因为其对缓慢蔓延的阴燃式火灾响应速度更快。响应最快的烟雾检测是抽气式空气采样系统，其灵敏度接近于人类鼻子，但这种系统的标价甚高，并要求经常维护。对电缆桥架的一种非常有效且相对廉价的火灾检测方法是安装线型火灾检测电缆，并在桥架内电缆的上面以“之”字形方式布线。在这种布置条件下，控制器就可通过这条导线监测连续标称电流。如果控制器检测到由于温度上升而引起的电流变化，就可发出警报。

应当注意到，空气处理设备当中所配备的烟雾检测器不能替代区域火灾检测装置，因为风道检测器的唯一目标是关闭空气处理设备，避免烟雾和火灾在空气处理设备上从内或从外发生蔓延。

电缆桥架火灾预防。尽管已经发展出用于计算火灾传播速率、引燃时间以及桥架热量释放率的工具，但这些工具对于真正执行基于现场条件火灾危险分析的人士来说，实际用处极小。从非常宽广的层面上说，如果电缆负载较轻或电缆布设方式确保火灾不太容易沿着桥架传播，那么配备灭火功能通常就没有正当依据。不幸的是，“轻”载与“重”载定义之间的区别是主观的。FM Global 已经开发出一种较为用户友好的方法，可用于分析为了防止火灾沿火灾传播型电缆蔓延而有必要保持的水平垂直电



图4 这种电缆廊道采用洒水灭火装置进行保护（天花板处的红色管道）



缆桥架间距。

在考虑对于大密度集束布设电缆的灭火措施配备时，应当类似于在位于计算机室和/或控制室下方电缆分布室内以及在电缆隧道内多层堆叠布设垂直桥架的设置方式来考虑，因为这些区域内一旦发生火灾损失，其代价都高昂得让人无法接受。

如果已经决定配备灭火装置，则应当首先考虑采取自动洒水灭火装置。湿式洒水灭火装置是最为可靠且成本最低的灭火方法，并且一直表现出非常适用于电缆遭受的火灾危险。对于复杂的电缆桥架布设方式来说，应当考虑雨淋式喷水装置或气体灭火介质。

人工灭火。由于电气火灾属于蔓延缓慢的火灾，许多电气火灾都是在相关电路

断电后，由电厂员工或消防部门使用便携式灭火器，在早期阶段将其成功扑灭。

成功实施人工灭火的关键是早期检测。较受偏好的灭火剂为CO₂，因为其不导电，不会留下残留物，并且成本不贵。多用途干粉灭火剂也能产生足够的灭火效果，但是这种灭火剂具有腐蚀性并会留下残留物，而这意味着更多的损害和停运时间。

在电气设备密度较高的区域，还应当考虑审慎地配备轮式灭火器小车的情况。比起标准手持式灭火器来说，轮式单元能够供应高得多的灭火介质输送流量和流体覆盖范围，因此提供了更好的灭火效能。轮式单元可以移动，并可以由单位人员安全地使用，并符合标准适用于便携式灭火器的NFPA 10标准的便携式灭火器培训要求。轮式单元对于生产设施人员和消防部门来说都是非常有效的工具，因此不应予以忽视。

整洁良好的工作环境。这并非是最不重要的一项因素，电气设备区域经常倾向于被当作贮存区、加工车间和休息室域使用。技工们喜欢将自己的工具和用品存放在靠近自己工作场所之处，而其他人则会认为这些区域是可用于放置任何自己不想放在橱柜内东西的理想不碍事贮存位置。当然，这种习惯做法的问题在于，设计人员和标准所规定保持的引燃和燃烧界限被破坏了。MM

图3 就该这样做！这个电缆桥架在穿过墙壁布设时安上了正确的挡火装置