

# 压模式电缆接头防爆盒结构设计及功能分析

刘惠姣<sup>1</sup> 张国兴<sup>2</sup> 王建国<sup>2</sup>

(1. 保定亚惠电力科技有限公司 2. 北京赛瑞斯国际工程咨询有限公司)

**摘要：**在电缆敷设施工中，延续电缆的长度需要用电缆中间接头连接，中间接头施工后，需采用电缆防爆盒对其进行保护，以避免外部潮气和机械应力的伤害。传统的电缆防爆盒因结构所致，难以有效防护接头，容易造成中间接头受潮短路。一种压模成型的电缆防爆盒，采用拉伸冷压成型技术，结合扣合对称式安装工艺，配合密封橡胶圈和封堵组件，确保了电缆中间接头的密封和稳固。这种新型防爆盒具有高防护和固定功能，且安装拆卸简单，便于维护，满足了电缆中间接头施工的安全防护和运维要求。

**关键词：**扣合；压模；密封；中间接头；防爆盒；保护

## 0 引言

电力电缆是传输和分配电能的主要连接导体，随着电力线路架空入地，电缆工程不断扩大，电力电缆在工程中的应用日益突出。截面积较大的高压电缆因为存在制造、运输和安装困难，以及电缆的柔韧性相对较差，可能导致安装和维护过程中的操作不便的问题，所以单根电缆的长度相对较短，因此在一定长度的电缆敷设施工中，需要多根电缆相互连接，才能满足工程敷设长度的需要。一定的敷设长度时，电缆截面积越大，所需要相连接的电缆根数越多，施工中的电缆中间接头就越多，而这些电缆中间接头都需要用电缆防爆进行保护，避免其受到环境伤害和机械应力伤害引发击穿事故。

目前常用的中间接头施工工艺有热缩工艺和冷缩

工艺，两种工艺都是用金属导管将两根电缆进行接触式压接连接，之后再做好外部绝缘层和屏蔽层及外表皮的防潮防水密封措施。但是中间接头施工质量常常受施工环境、施工人员素质、施工材料等因素影响，导致接头施工质量不符合要求，以致后期运行中发生击穿事故，引发电气火灾。由于电缆敷设空间有限，特别在电缆井或隧道内电缆敷设密集的地方，当某一处中间接头出现击穿或短路事故引发电气火灾时，往往波及周围其他电缆，严重影响电力系统安全运行。为了避免上述情况的发生，电缆中间接头施工后需加装电缆防爆盒，对中间接头进行保护。

## 1 现有产品缺陷及技术问题

电缆中间接头一般在电缆井或者电缆隧道中，运

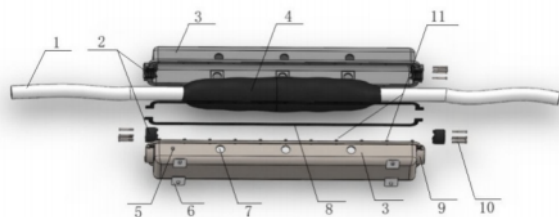
行环境较差，为保护电缆中间接头的运行安全，施工工艺要求采用具有防火、防机械应力、防爆作用的电缆防爆盒对电缆中间接头进行防护。目前常用的电缆防爆盒一般为金属制造或玻璃钢制造，产品外观呈长条柱状，安装方式为扣合式安装。其做法是将高压电缆中间接头封闭在防爆盒壳体里面，在内部填充石英砂或灌胶固封，之后随电缆的敷设路径进行放置。这种防爆盒在某些极端的温度、压力环境中，无法提供足够的保护或适应能力，导致电缆中间接头自身的密封性能遭到破坏，使电缆中间接头受潮或进水，水气或水分慢慢从外向内渗透，其间经过外铠装保护层、钢甲接地层、密封防水层、铜屏蔽层、半导电屏蔽层、电缆主绝缘层进入线芯，水气或水分在电缆主绝缘层累积，使得绝缘性能下降，水气或水分将高电位电压和接地层及大地连接起来，高电位电压引发水气或水分的电离，形成导电通道，从而发生短路事故。

为预防上述情况的发生，需要确保电缆中间接头的干燥和稳定，故施工应采取相应的措施，选择一种具有防水功能和固定电缆中间接头的设备，来对电缆中间接头进行施工后的防护。

## 2 压模式电缆接头防爆盒工作原理

一种压模式电缆接头防爆盒如图 1 所示，应用于电缆中间接头施工后的防护措施，作为电缆中间接头施工后的防护防爆壳体，安装方式采用对称扣合式安装工艺。壳体的上部单元和下部单元完全一致，相同的两块壳体扣合后形成一个闭合的空间，构成电缆中间接头的防护空间和进出线空间。壳体上部单元和下部单元中间设置橡胶密封条，扣合后用螺栓固定，通过紧固固定螺栓，可压紧橡胶密封条，密封上下壳体结构。壳体两端设有电缆进出线半筒，上下壳体扣合后组成电缆进出线筒。进出线筒内安装两个电缆密封半环，两个电缆密封半环组成一个闭合圆环，作用

于电缆进出线的密封和抱紧固定。当上下壳体扣合密封后，能够将电缆的中间接头密封在闭合空间内，电缆中间接头电缆由壳体两端的电缆进出线筒进出，通过紧固壳体两侧的壳体紧固螺栓和防爆盒两端的电缆密封半环紧固螺栓，可将电缆中间接头密封在内部空间。两端的进出线电缆，经电缆密封半环挤压密封后，实现了电缆的固定，较好地解决了高压电缆在运行中因机械移动或应力对防爆箱内电缆中间接头的影响从而影响中间接头性能的问题。电缆安装时应尽可能使电缆、电缆密封橡胶半环，电缆出线筒同心，且电缆密封半环和电缆出线筒配合一致，保证扣合后紧固电缆密封半环挤紧之后，形成密封半环对电缆和电缆出线筒的抱紧密封和填充密封。该压模式防爆盒应用于 6~110kV 电缆的中间接头的防护防爆使用，防爆盒安装以后，对内部电缆中间接头的防护等级可达 IP68，较大程度地保护了电缆中间接头的运行环境。壳体内部可放置灭弧石英砂和干燥剂等辅材。电缆防爆盒侧边设置透明观察窗，便于平时运行观察，通过查看观察窗的内部变化，判定内部电缆中间接头是否出现故障，当内部的电缆中间接头出现异常时，运维人员能够方便地从观察窗了解运行状况并采取一定的措施。



- 1—电缆 2—电缆密封半环 3—防爆盒壳体
- 4—电缆中间接头 5—接地螺栓 6—安装支架
- 7—观察窗 8—橡胶密封条 9—电缆进出线半筒
- 10—电缆密封半环紧固螺栓 11—壳体紧固螺栓

图 1 压模式电缆接头防爆盒结构

### 3 压模式电缆接头防爆盒构成及优势

#### 3.1 压模式电缆接头防爆盒主要构成

##### 3.1.1 压模式电缆接头防爆盒壳体

防爆盒壳体由厚度为 1.5~2mm 的不锈钢板或冷板材料，裁剪成一定尺寸板材，利用模具对板材施加压力，产生变形后获得成型的防护壳体。在模具上冲压而成的壳体可作为防爆盒的上部单元或下部单元。壳体上、下部单元两侧设有密封紧固用的冲模边筋，边筋可增强扣合后壳体的机械强度，边筋上设有多个用于紧固密封的螺栓孔，作用于上下壳体的扣合固定和密封条的压接密封。壳体两端有电缆进出线筒，电缆进出线筒为半圆筒形结构，壳体上、下部单元扣合后组成电缆进出线筒，其功能是形成电缆进出防爆盒的通道，配合电缆密封橡胶半环实现电缆的密封和固定。电缆进出线口为半圆筒形结构，外侧设置护边，护边能够有效地防止内部出现爆炸故障时，电缆密封橡胶半环冲出电缆进出线口。压模式电缆接头防爆盒壳体上设接地螺丝，接地螺丝设置在壳体上，用于壳体接地。压模式电缆接头防爆盒上下盒体上可设置运行观察孔和安装支架，观察孔由 5~8mm 厚的防爆玻璃密封构成，可设置于壳体顶部或两侧，从观察孔可以方便观察到壳体内部电缆中间接头运行状况，运维人员可随时观察电缆接头的运行状况；观察窗的防爆玻璃采用密封胶固化在壳体上，观察窗便于后期运行维护。防爆盒可设置 4 个或 6 个安装支架，安装支架位于壳体底部，使防爆盒可以侧装在电缆井的墙壁上，也可以吊装在电缆井顶部或平装固定在支架上。

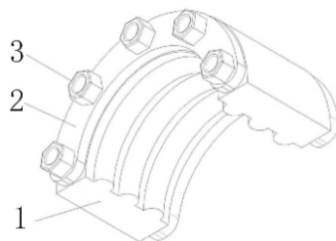
##### 3.1.2 半环形密封橡胶条

半环形密封橡胶条位于上下压模壳体侧边，两侧分别一条，其形状为吻合防爆盒扣合路径的扁平橡胶条。当上下壳体扣合后，紧固螺栓，通过挤压半环形密封橡胶条，实现两块本体间的密封。多颗紧固螺栓紧固后形成一个闭环，压紧环形的密封条和橡胶密封

半环，从而保证防爆盒结合处内部的密封性。

##### 3.1.3 电缆密封半环

图 2 所示为电缆密封半环由软橡胶材料、金属压片、紧固螺栓组成，在半圆环形软橡胶材料两侧设有金属挤压片，在金属挤压片上设置有紧固螺栓，紧固螺栓贯穿两片金属挤压片和软橡胶半环，通过紧固螺栓，金属挤压片挤压中间的软橡胶材料，受到挤压的软橡胶材料向四周膨胀，完成间隙内部的填充。两个电缆密封橡胶半环，配合电缆进出线筒，实现电缆出线筒和电缆外表皮的密封，同时稳固出线筒的电缆，保护电缆中间接头不受外部机械应力影响。



1—软橡胶材料 2—金属压片 3—紧固螺栓

图 2 电缆密封橡胶半环

#### 3.2 压模式电缆接头防爆盒结构优势

##### 3.2.1 对称制造工艺

压模式电缆接头防爆盒安装组件均采用对称制造工艺，在加工制造上只需对组件的其中一个组件进行详细设计、加工和组装，两个组件即可完成安装功能。这种制造工艺大大减少了生产成本和时间，同时还有利于保证产品的一致性和质量。压模式电缆接头防爆盒上下本体组件采用冷冲压工艺在模具上冲压而成，组件加工简单，产品尺寸误差小，质量稳定，这样的结构形式设计简单，同时又降低了模具开发设计的费用，便于机械化和自动化生产。

##### 3.2.2 对称安装工艺

压模式电缆接头防爆盒采用对称安装工艺，通过在结构的对称位置上安装相同的部件完成安装，

这种安装方式具有减少装配误差、简化施工过程、方便维修等优点。设备体积小，外形为长方体，宽200~400mm，深200~400mm，长1200~1800mm，最大限度地优化了设备的设计尺寸比例。产品型号适用范围大，施工工艺简单，安装方式灵活，可挂墙安装，也可支架安装；采用专用的防爆玻璃作为观察窗，既不影响防护等级，又便于连接端头的运行维护工作。

### 3.2.3 IP 防护等级高

压模式电缆接头防爆盒IP防护等级高。上下壳体扣合密封后，将电缆中间接头密封防护在壳体内，两组电缆密封半环经挤压后将电缆包裹并填充电缆进出线筒与电缆密封半环的间隙，又实现了电缆的定位固定，较好地解决了高压电缆因运行中的机械移动或应力对防爆箱内电缆中间接头的影响问题。电缆进出线采用挤压密封橡胶材料膨胀填充的密封方式，提高电缆进出线孔的密封性的同时，简化了施工工艺。施工完成后，压模式电缆接头防爆盒IP防护等级可达IP68，可有效保护电缆中间接头的运行环境，并攻克了运行环境受潮气水气侵害的技术难题。

### 3.2.4 防爆防护功能

压模式电缆接头防爆盒具有良好的防爆防护功能。电缆密封橡胶半环上带有多道凸筋，在橡胶材料受到螺栓拉力造成的挤压力时往周边膨胀，凸筋首先与电缆外绝缘护层形成密封，并增加了摩擦力，有效地保证了电缆进出线孔的密封性。当电缆中间接头在防爆箱内部发生运行故障的情况，防爆箱能够将故障范围密闭在壳体内部，避免了对外部线路及设备的伤害。在电缆防爆盒内出现超大爆炸压力时，内部压力将两端的电缆密封半环冲开，实现泄压功能，内部的石英砂等灭弧材料经随气压流动，可加速灭弧。

## 4 结构强度模拟验证

在进行电缆中间接头短路时的结构强度模拟验证时，主要关注的是弧光爆炸冲击波对防爆盒壳体的影响。为了评估防爆盒是否能够在这种极端条件下保持其结构完整性，需要进行详细的模拟分析。

### 4.1 建立模型

模拟的第一步是建立一个详细的防爆盒三维模型。这个模型必须包含防爆盒的所有关键结构特征、连接方式以及所使用的材料属性。特别是，对于不锈钢等金属材料的防爆盒，需要确保模型中包含其精确的弹性模量、泊松比和密度等参数。

### 4.2 设置载荷和边界条件

在模型建立完成后，需要设置适当的载荷和边界条件。考虑到弧光爆炸产生的冲击波是一种动态载荷，将这种载荷应用于模型上。此外，根据实际情况，可能还需要设置固定的边界条件，例如将防爆盒的底部固定或限制其某些方向的移动。

### 4.3 运行模拟分析

完成上述步骤后，将使用有限元分析（FEA）软件来运行模拟。通过模拟弧光爆炸冲击波对防爆盒壳体的影响，可以分析防爆盒的应力分布、变形情况以及潜在的失效模式。这将提供关于防爆盒结构强度和稳定性的重要信息。

### 4.4 分析模拟结果

模拟运行完成后，将对模拟结果进行详细的分析。通过比较模拟结果与实际工程要求或标准，可以判断防爆盒是否能够在弧光爆炸冲击波的作用下保持其结构完整性。如果模拟结果显示防爆盒壳体可能会发生变形或失效，那么需要对防爆盒的设计进行进一步的优化或改进。

总之，通过结构强度模拟验证，可以更准确地评估防爆盒在极端条件下的稳定性和可靠性，从而确保电缆中间接头在短路时的安全性能。通过上述步骤，使用有限元分析可以相对准确地预测弧光爆炸对防爆盒

的影响，通过 FEA 模拟发现，弧光爆炸产生的冲击波力度相对较大，但不足以导致壳体严重变形，从而证明在大多数情况下，防爆盒的结构足以抵抗这种程度的冲击，因此弧光爆炸冲击波力度不会导致壳体严重变形，从而失去保护电缆中接头功能。

### 5 结束语

压模式电缆接头防爆盒结构简单，仅包括上下壳体、电缆密封半环和密封垫，将电缆中接头扣合在上下壳体内部后固定壳体，并将两端的电缆密封半环紧固密封即完成安装，实现了将电缆中接头密封防护在密闭的防爆盒内。防爆盒内部可放置灭弧石英砂和干燥剂等辅材，以增加灭弧和干燥效果，施工完成后电缆防爆盒防护等级可达 IP68，最大限度地保护了电缆中接头的运行环境。防爆盒适用于 6~110kV 电缆工程的电缆中接头防护，能有效地避免外机械应力和环境对中接头的伤害，更避免中接头击穿事故引发的次生灾害，产品可安装在需要保护的电缆部位，以防其他伤害的发生。

压模式电缆接头防爆盒上下壳体采用压模拉伸成型，壳体内部边角均为圆角，外壳接地，所以壳体内部的电场分布比较均衡，使电缆中接头运行在一个电场分布均匀的空间，运行更加安全可靠。采用压模拉伸成型的壳体，机械强度高，电缆中接头在出现内部击穿短路的时候，能更好地将内部弧光限制在壳体内。壳体周边圆角结构可最大限度地满足施工后的电缆中接头因变形对结构空间的需求。出线筒端头有压模拉伸的端口护口，可以阻挡电缆密封橡胶半

环往外窜出并定位。电缆中接头在防爆盒内部出现击穿短路时，击穿爆炸会导致内部的压力骤升。当内部短路爆炸压力小时，电缆密封橡胶半环能够有效阻挡内部压力，保证了内部弧光的外溢；当压力超出某一数值时，电缆出线筒处的电缆密封橡胶半环在内部压力的推动下向两端发力，并作为泄压导向孔释放内部压力，此时内部的灭弧介质能刚好流动，加速灭弧，提升灭弧效果。综合以上特点性能，压模式电缆接头防爆盒能够对复杂环境的电缆中接头进行保护，达到安全运行的目的。

### 参考文献

- [1] GB 50168—2018 电气装置安装工程电缆线路施工及验收规范[S]. 2019.
- [2] 保定亚惠电力科技有限公司. 一种压模成型的高压电缆中接头防爆盒: 中国, 2019213535900[P]. 2020-07-17.
- [3] 邵赫华. 挂装式高防护电缆分接设备的研发设计[J]. 电器工业, 2020(4): 70-74.
- [4] 张承信, 李强, 韩夏清. 一种新型电缆防火防爆盒的研制[J]. 华东电力, 2013, 41(7): 1526-1528.
- [5] 袁秋萍. 新时期变电站电缆防火措施探讨[J]. 光源与照明, 2022(4): 210-212.

(收稿日期: 2024-04-08)