

可转动连接器配合结构的核心设计与应用性能研究

谢森荣

安费诺科技（珠海）有限公司，广东 珠海 519000

DOI:10.61369/EPTSM.2025090016

摘 要： 文章围绕可转动连接器配合结构展开研究，聚焦其核心设计与应用性能优化。针对现有可转动插头结构在通电时弹性接触部位易失效的问题，结合快速锁紧设计思路，提出优化方案。通过简化零件组成、改进组装工艺，在保证连接器使用便利性与连接稳定性的同时，降低材料及组装成本，提升其在电力传输系统中的可靠性，为电连接器领域相关产品的研发与应用提供参考。

关 键 词： 可转动连接器；配合结构；核心设计；应用

Research on The Core Design and Application Performance of Rotatable Connector Mating Structures

Xie Senrong

Amphenol Technology (Zhuhai) Co., Ltd., Zhuhai, Guangdong 519000

Abstract： This article focuses on the research of the mating structure of rotatable connectors, with an emphasis on optimizing their core design and application performance. Addressing the issue of the easily failing elastic contact part in existing rotatable plug structures when powered on, an optimization solution is proposed by integrating the concept of rapid locking design. By simplifying the component composition and improving the assembly process, the solution ensures the convenience of use and connection stability of the connector while reducing material and assembly costs. It also enhances the reliability of the connector in power transmission systems, providing a reference for the research and application of related products in the field of electrical connectors.

Keywords： rotatable connector; mating structure; core design; application

引言

在现代生产生活中，电力传输系统对电连接器的要求日益严苛，既需保障连接稳定性以确保电流传输可靠，避免插接后松动掉落，又须具备良好的使用便利性，适应多角度插接场景。当前市场上的可转动插头结构，虽能实现插头相对插座自由旋转，但完全插入后仍可随意转动，通电过程中弹性接触部位易出现失效风险，严重影响使用可靠性。在此背景下，深入研究可转动连接器配合结构的核心设计，解决其应用难题，对提升电连接器性能、降低生产成本具有重要意义，也能更好地满足电力传输系统不断发展的需求。

一、工程概况

文章针对可转动连接器配合结构的工程应用需求，以解决现有产品可靠性与经济性矛盾为目标展开设计与分析。该连接器主要应用于各类电力传输场景，涵盖工业设备供电、电子仪器连接等领域，需在不同安装角度下实现稳定的电流传输，同时满足IP67以上防水标准，适应复杂的工作环境。从工程实践来看，传统可转动连接器在使用中常出现插接到位后仍可转动导致的接触失效问题，且部分产品的锁紧结构组装流程烦琐，增加了生产周期与成本。文章通过优化结构设计，如采用同轴端子布局、多组导向与锁定部件配合，以及简化快速锁紧机构零件组成，旨在提升连接器的工程适用性。

二、可转动连接器配合结构的核心设计

（一）整体结构布局设计

可转动连接器的配合结构，其核心在于插头与插座两组件的协同设计。二者通过内部多部件的精准衔接与互动，共同实现连接与锁定的核心功能^[1]。

1. 插座部分

插座部分由第一本体、第一导向件与第一端子构成，如图1所示。其中，第一本体作为整个结构的基础承载部件，其上部设置有第一锁定部，为后续的机械锁定提供结构性支撑。第一导向件则与第一本体形成转动连接；它采用空心圆柱结构，直接套设在第一本体的圆筒部外部，以此保证其在工作时能实现顺畅的转动

灵活性。第一端子被固定于第一本体圆筒部的中心轴线位置，并与第一导向件保持同轴关系，此举从根本上确保了电流传输路径的稳定性。

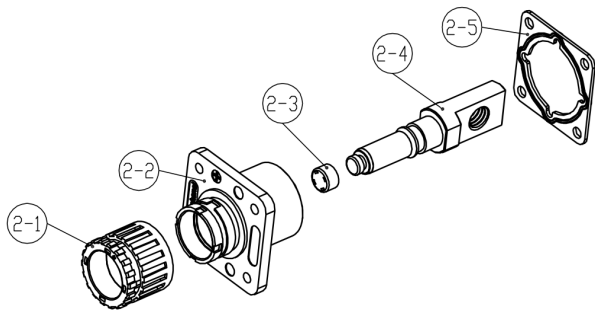


图1 插座部分零件明细

2. 插头部分

插头部分则由第二本体与第二端子组成，如图2所示。第二本体的设计集成了第二锁定部与第一配合部两大关键特征：第一配合部的主要职能，在于与插座侧的第一导向件进行精确对接与引导；而第二端子则与插座内部的第一端子在空间位置上严格对应，以此构成完整且高效的电流传导通道。

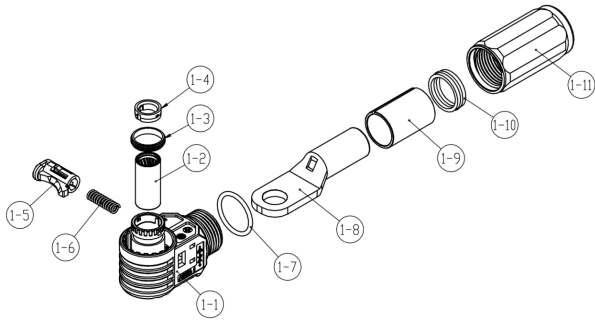


图2 插头部分零件明细

整体布局严格遵循“先转动调节，后到位锁定”的逻辑顺序进行工作。在插头与插座未达成完全配合状态时，插头可借助其第一配合部与插座第一导向件之间的引导关系，相对于插座进行自由转动，从而充分满足多样化的安装角度需求。一旦插头被推入至最终位置，使第一端子与第二端子实现电性配合到位后，设置于第一本体与第二本体上的第一锁定部与第二锁定部便会立即产生机械相互作用，从而严格限制二者的相对转动。这一最终锁定机制，为整个连接器在通电使用状态下的长期稳定性与可靠性提供了根本保障。

（二）导向与防错设计

为提升插头与插座对接的精准性和灵活性，结构中融入了多组导向部件，并兼具防错功能。第一导向件的外壁开设有沿上下方向延伸的导向槽，导向槽沿第一导向件周向均布，数量根据实际需求设定；对应的，插头第一配合部包含可插入导向槽的第一配合凸筋，且多个第一配合凸筋沿第二端子周向均布。这种设计使得插头在与插座对接时，第一配合凸筋可沿导向槽滑动，引导插头精准插接，同时，在未完全锁定前，插头可随第一导向件的转动而调整角度，提升安装便利性。此外，导向槽与第一配合凸筋的分布角度、宽度需严格匹配，若二者尺寸或布局不契合，插头

将无法插入插座，形成有效的防插错机制，避免因误插导致的部件损坏或电流传输故障，进一步保障连接安全性与可靠性。

（三）锁定与解锁机构设计

锁定机构是确保连接器配合到位后稳定运行的关键，结构中采用多组锁定部件协同作用。第一导向件外壁开设有环形锁定槽，插头的第二本体上可移动设置锁定件，当第一端子与第二端子插接到位时，锁定件插入锁定槽，限制插头与插座的轴向运动，防止松动。同时，第一锁定部与第二锁定部形成辅助锁定，第二锁定部为设置在第二本体下端的第二配合凹槽，第一锁定部则是圆筒部内壁底部的第一导向凸筋，且二者均沿圆筒部周向均布，配合到位后第一导向凸筋插入第二配合凹槽，限制二者相对转动。为便于后续拆卸，插头还设计有解锁按钮，解锁按钮与锁定件联动（可一体成型），当需要分离插头与插座时，按压解锁按钮可带动锁定件退出锁定槽，解除轴向锁定，同时第一导向凸筋与第二配合凹槽分离，实现快速解锁，兼顾锁定可靠性与操作便捷性。

三、可转动连接器配合结构的核心设计应用难题

（一）转动与锁定的协同控制难度较大

若第一导向件与第一本体的转动连接稳定性不足，易出现转动卡顿或过度松动，影响角度调节精度；同时，锁定部件（如锁定件与锁定槽、第一导向凸筋与第二配合凹槽）的配合公差若控制不当，可能导致锁定不到位或解锁困难，甚至在通电运行中出現意外解锁，引发接触失效风险^[2]。

（二）防水性能与结构兼容性存在矛盾

该连接器需适应多环境应用，尤其在潮湿或粉尘场景中须具备良好的防水防尘能力，虽可通过设置防水胶圈（如插头第二配合部外壁的防水胶圈、插座的O型密封圈）提升密封效果，但胶圈的安装位置与结构设计可能影响部件的转动灵活性，如何在保障防水性能的同时不干扰核心功能，成为应用难点。

（三）成本与性能平衡难度高

传统快速锁紧结构常由4个零件组成（本体、按钮、弹簧、封盖），零件数量多导致材料成本上升，且组装工艺复杂（如烘烤固化需较长时间、超声波焊接对设备与公差要求高），若为简化结构减少零件，可能影响锁紧可靠性，如何在精简结构、降低成本的同时保障性能，是工程应用中的关键挑战。此外，大电流传输场景下的散热问题也不容忽视，连接器长期传输大电流易产生热量，若结构设计中未充分考虑散热路径，热量积聚可能导致端子接触电阻增大，影响传输效率，甚至引发部件老化失效^[3]。

四、可转动连接器配合结构的核心设计应用的解决措施

（一）优化转动与锁定部件的配合精度

为解决转动与锁定协同控制难题，需从部件加工与装配工艺

两方面入手。首先，严格控制第一导向件与第一本体圆筒部的配合公差，采用高精度加工设备确保圆筒部外圆与第一导向件内孔的同轴度，减少转动卡顿；同时，在第一本体圆筒部开设第一环形凹槽与第二环形凹槽，第一导向件内壁对应设置第一限位扣与第二限位扣，限位扣插入环形凹槽后，既能限制第一导向件的轴向运动，又能通过凹槽与限位扣的滑动配合提升转动稳定性。其次，对锁定部件进行公差优化，锁定槽的深度、宽度与锁定件的尺寸需精准匹配，采用精密冲压工艺加工锁定件，确保其插入锁定槽后紧密贴合；第一导向凸筋与第二配合凹槽的截面形状设计为梯形，提升配合导向性，同时通过工装夹具保证二者在装配过程中的周向位置精度，避免因错位导致锁定不到位。此外，在锁定件与第二本体的连接部位设置导向结构，确保锁定件移动顺畅，减少解锁阻力，实现转动与锁定功能的精准协同。

（二）改进防水结构设计以兼容核心功能

针对防水性能与结构兼容性的矛盾，采用分层密封与灵活密封件布局的方案。在插头第二配合部外壁设置防水胶圈，胶圈采用耐老化、弹性好的橡胶材料，其内径与第二配合部外壁过盈配合，外径则与插座第一本体的圆筒部内壁紧密接触，形成径向密封；同时，在插座第一本体与安装面板的连接部位设置密封胶垫，通过螺钉紧固实现端面密封，保障整体防水效果。为避免防水胶圈影响转动功能，将防水胶圈设置在非转动接触区域，如插头第二配合部的固定段，与第一导向件的转动区域错开，减少胶圈与转动部件的摩擦；此外，在第一导向件与第一本体的配合间隙处设置防尘唇，既能防止粉尘进入影响转动，又不会对转动灵活性造成明显阻碍。通过这种分区密封设计，在保障 IP67 以上防水标准的同时，确保转动与锁定功能的正常实现。

（三）精简快速锁紧机构以平衡成本与性能

借鉴新型快速锁紧结构设计思路，将传统 4 零件结构（本体、按钮、弹簧、封盖）精简为 3 零件结构（本体、按钮、弹簧），取消封盖零件，降低材料成本。具体而言，将按钮设计为一体式结构，按钮上集成弹臂与凸台，弹簧装入按钮槽内后，二者一同装入本体槽内；当按钮完全组装到位时，弹臂受挤压后落入本体的

孔槽内，形成扣合定位，同时在弹簧弹力作用下，按钮弹臂端面与本体止挡面贴合，实现稳定定位。这种组装工艺无需额外的封盖固定步骤，通过按钮弹臂与本体孔槽的扣合即可完成装配，简化了流程（如无需粘合剂或超声波焊接），降低了组装成本。为保障锁紧可靠性，对按钮弹臂的弹性系数进行优化，通过材料力学计算确定弹臂的厚度、长度，确保其在长期使用中不易疲劳失效；同时，在按钮凸台与插座本体凸台的配合面设置防滑纹路，提升扣合后的摩擦力，避免意外解锁，实现成本降低与性能保障的平衡^[4]。

（四）设计高效 散热路径以适应大电流传输

为解决大电流传输下的散热问题，从端子结构与整体散热布局两方面优化。采用高性能端子设计，插头的第二端子选用 Amphenol 专利的 RADSOK 端子，该端子通过特殊的栅格结构增大接触面积，降低接触电阻，减少热量产生；插座的第一端子采用高导电率的铜合金材料，并进行表面镀银处理，提升导电性能，进一步降低电阻损耗。其次，在第一本体与第二本体的结构设计中预留散热通道，第一本体的圆筒部开设散热孔（沿周向均布），插头第二本体采用镂空设计，便于空气流通；同时，在端子与本体的接触部位涂抹导热硅脂，提升热量从端子向本体的传导效率，本体选用导热性能较好的工程塑料（如增强尼龙），加速热量散发^[5]。

五、结束语

文章聚焦可转动连接器配合结构的设计与应用性能，分析现有产品不足后提出针对性方案。核心设计上，优化结构实现插头插座转动调节与锁定，借导向防错提升对接精准安全，通过锁定解锁协同设计兼顾稳定与便捷。针对转动锁定、防水等应用难题，从精度优化、防水改进等方面解决，提升性能与适用性。该结构精简零件、优化工艺，降本同时保障便利可靠，适用于多角度安装、大电流传输等场景。后续可探索新型材料应用与智能化设计，助力电连接器升级。

参考文献

[1] 陈庭威. 新型装配式结构梁柱连接器的性能及应用研究 [D]. 重庆: 重庆交通大学, 2018.
[2] 孙丽君, 闫涛, 刘波, 等. 用户能耗监测的智能插座原型设计 [J]. 机械设计与制造, 2025(5): 125-130.
[3] 翟艳. 智能时代下插头插座的安全性设计与研究 [J]. 当代农机, 2025(7): 101-102.
[4] 姜成. 冠簧连接器电连接性能退化分析 [J]. 铁道车辆, 2025, 63(3): 196-203.
[5] 柴兴, 马飞, 时春东, 等. 大电流集成测温型连接器的设计 [J]. 机电元件, 2024, 44(5): 3-6, 12.