

新型防误碰端子排隔离工具的研制与应用

李鹏熙 李桃^(通讯作者) 熊国恩 李赛 张兆楠

雅砻江(四川)新能源有限公司, 四川成都, 610051;

摘要: 为提高电力系统端子排检修作业的安全性, 避免因误碰带电端子导致的短路、触电及机组跳机等事故发生, 研制新型防误碰端子排隔离工具。通过对电力系统主流端子排的结构特点与现场作业需求进行深入剖析, 结合3D打印技术与电力安全运维经验, 设计并制作出适配性强、操作便捷的专用防误碰隔离工具。对比隔离工具使用前、后防护措施的应用效果, 证明该工具使用后, 彻底杜绝了端子排误碰事件发生, 大幅缩短了安全措施实施时间, 显著提升了作业效率。新型防误碰端子排隔离工具具备优良的绝缘、耐候性能, 在现场作业中能大幅提高端子排隔离措施的安全性与实用性, 为电力系统安全高效运维提供可靠保障。

关键词: 端子排; 防误碰; 3D打印; 隔离工具; 电力安全运维

DOI: 10.69979/3060-8767.26.04.020

引言

端子排作为电力系统信号传输与电力分配的核心节点, 其运行稳定性直接关系到整个电力系统的安全可靠运行。某大型水电站站内各类端子排总量超2000组, 广泛分布于中控室、开关站、机组厂房等关键区域, 且部分区域空间狭窄、布线密集, 端子排间距仅5-10mm, 给检修作业带来极大挑战。

在设备定检、维护、故障排查等工作中, 作业人员需频繁接触端子排区域, 若隔离措施不完善, 易疏忽造成误碰非操作区域端子的情况, 进而引发短路、触电甚至机组跳机事故。统计数据显示, 该水电站2020-2024年流域内累计发生端子排误碰事件14起, 造成直接经济损失31.1万元, 其中2起导致机组跳机。

现有端子排防护措施存在适配性单一、操作复杂、成本较高、防护效果不佳等问题, 尚未同时满足“高安全性、高便捷性、低成本”三大核心需求^[1-4]。为降低作业人员误碰带电端子的概率, 结合端子排现场实际与电力安全运维要求, 本着安全有效、操作便捷、经济环保的基本原则, 研制新型防误碰端子排隔离工具。

1 工具开发思路

1.1 传统隔离措施

在电力行业端子排日常运维检修工作中, 需对非作业区域的端子排进行隔离防护, 以往采用的传统隔离措施主要有三类, 均存在明显缺陷, 难以满足现场作业的

安全与效率需求:

(1) 绝缘胶带包裹: 现场备件充足、操作速度较快, 但胶带易脱落松动, 存在严重安全隐患, 且无法重复使用, 长期大量使用会导致运维成本居高不下, 同时难以实现端子排关键部位的精准全覆盖防护;

(2) 临时挡板隔离: 需作业人员根据现场端子排实际尺寸现场切割、固定, 准备与操作耗时较长, 且挡板贴合度差, 防护漏洞多, 对带电端子的隔离效果不佳;

(3) 定制防护罩: 防护效果相对可靠, 但安装与拆卸多需一字起等辅助工具, 操作繁琐, 且单个防护罩单价高, 适配性单一, 难以满足不同规格端子排的防护需求。

1.2 新型隔离工具性能指标

针对传统隔离措施的缺陷和不足, 为研制出安全可靠、操作便捷、经济实用的新型防误碰端子排隔离工具, 结合现场作业实际需求, 制定以下性能指标:

(1) 绝缘性能强, 防护效果可靠, 对端子排金属接线柱、接线孔等关键部位覆盖度达100%, 能从根本上杜绝误碰风险, 保证作业安全性;

(2) 使用方便、操作灵活, 无需额外辅助工具, 徒手即可完成安装与拆卸, 新手也能快速上手;

(3) 隔离结构贴合端子排, 占用空间少, 不会影响作业人员的正常检修操作, 适配主流端子排规格, 满足不同作业场景需求;

(4) 制作成本低,可重复使用,材料环保无污染,长期使用性能稳定,耐候性强,易于推广和普及。

2 工具设计与制作

2.1 外观与结构设计

新型防误碰端子排隔离工具的外观与结构设计以简洁易用、安全可靠为核心,突出颜色警示作用,强调全覆盖的隔离效果,并最大程度满足所设定的各项性能指标。基于各项指标要求,以 URTK/S-分断测试端子为例,利用 3D 建模技术设计出既能牢固固定在端子排上^[5-8],又能方便拆除的隔离工具模型,设计思路如下:

(1) 防护结构:采用一体式平面覆盖设计,确保端子排金属接线柱、接线孔等关键部位 100%覆盖,避免模块拼接导致的防护漏洞;

(2) 固定方式:采用插入式孔洞固定设计,利用端子排原有接线孔洞实现精准定位,四引脚固定方式确保振动环境下无松动;

(3) 拆卸方式:顶部设置专用把手,便于徒手操作,且把手与端子排接线口保持安全距离,避免作业人员手部触碰带电部位;

(4) 视觉警示:采用醒目颜色制作模型,提升作业过程中的辨识度,发挥有效警示作用。

设计出的隔离工具模型的三视图如图 1 所示:

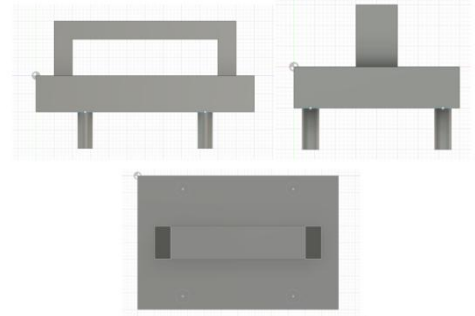


图 1 隔离工具模型设计三视图

2.2 材料选择

隔离工具本身必须具备良好的绝缘性能,同时为实现长期重复使用,还需满足成型精度高、环保性好、耐候性强等要求。由于无现成的 3D 打印定制化端子排隔离工具可借鉴,为确定最优用料,对工程中常用的 3D 打印高分子材料进行筛选,初步选定丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物 (ABS)、聚乳酸 (PLA)、环氧树脂 (ER) 三种材料。结合新型隔离工具的性能指标要求,对三种材料的各项性能进行对比分析,具体见表 1:

表 1 备选材料各项性能指标对比表

材料	单价 (元/kg)	绝缘电阻 (MΩ)	成型精度	环保性	耐候性
ABS	60-400	106-108	Ra3.2μm	燃烧释放有害气体	易老化变脆
PLA	50-200	1012-1014	Ra1.6μm	生物可降解,无污染	长期性能稳定
ER	100-300	1010-1012	Ra2.5μm	含微量 VOC, 环保性一般	脆性高

根据表 1 数据,PLA 材料绝缘电阻远超设计要求,成型精度最高,且环保无污染、耐候性强,综合性能优越,同时单价处于合理区间,兼顾安全性与经济性,最符合选材需求。因此,选定 PLA 熔融堆积材料作为新型防误碰端子排隔离工具的制作材料。

2.3 成品制作

按照设计好的 3D 模型和选定的 PLA 材料,通过 3D 打印技术完成新型防误碰端子排隔离工具的制作,制作步骤如下:

(1) 3D 打印调试:采购合格的 PLA 耗材,调试 3D 打印机核心参数,打印标准件进行精度测试,控制打印模型与设计数值的误差≤1%;

(2) 成品打印生产:基于优化后的最终模型与调

试完成的打印参数,生产 URTK/S 端子专用的隔离工具成品。

新型防误碰端子排隔离工具在端子排上的使用如图 2 所示:

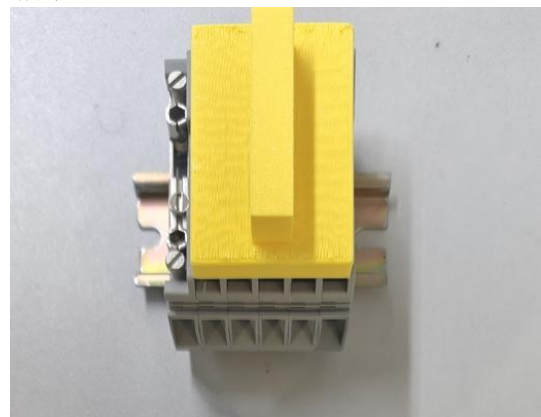


图 2 新型防误碰端子排隔离工具使用示意

2.4 性能测试

根据电力行业相关标准 IEC60947-7-1 及新型隔离工具的性能指标要求，制定专项性能测试方案，对制作

完成的 URTK/S 端子防护工具成品分别进行防护覆盖度、安装/拆卸时长、绝缘电阻、制造成本四项核心指标测试，检验其是否满足现场作业使用要求，具体测试结果见表 2:

表 2 新型隔离工具性能测试结果表

测试项目	测试标准	URTK/S 端子工具	结论
防护覆盖度	关键部位覆盖率≥100%	100%	合格
安装时长	≤90 秒/组	12.2 秒	合格
拆卸时长	≤90 秒/组	9.3 秒	合格
绝缘电阻	≥100MΩ	550MΩ	合格
制造成本	≤200 元/个	8.9 元	合格

测试结果表明，新型隔离工具各项性能指标均满足设计要求，且大幅优于预期目标。

3 效果验证

为检验新型防误碰端子排隔离工具的现场实际应用效果，在某大型水电站开展现场验证试验，试验人员随机选择多组端子排进行隔离工具的装卸测试与实际作业应用，现场使用如图 3 所示:



图 3 新型防误碰端子排隔离工具现场应用

对比新型隔离工具与传统防护措施（定制防护罩）的应用效果，具体对比数据见表 3:

表 3 新型隔离工具与传统防护措施效果对比表

对比项目	传统防护措施（定制防护罩）	新型隔离工具	提升效果
安全措施实施时间（组）	≥40 分钟	≤20 秒	缩短 99.17%
误碰次数（30 次作业）	2 次	0 次	误碰概率降为 0
单次使用成本	200 元	≤8.9 元	降低 95.55%
重复使用性	可重复使用，但易损耗	可重复使用，稳定性强	使用寿命提升 2 倍

从试验数据与现场应用情况可看出，使用新型防误碰端子排隔离工具后，端子排隔离措施变得简单、可靠，误碰线次数降为 0，安全措施实施时间大幅缩短，作业效率显著提升，同时运维成本大幅降低，工具的重复使用性与稳定性也得到有效验证。

4 结语

通过对电力系统端子排的结构特点与现场检修作业需求的深入分析，结合 3D 打印技术成功研制出新型

防误碰端子排隔离工具，经多次现场试用与性能测试，验证了该工具在现场工作中满足预期的各项性能指标。

新型防误碰端子排隔离工具有效弥补了传统防护措施的缺陷，具备绝缘性能优、防护效果可靠、操作便捷、成本低廉、适配性强等优点，使用后能彻底杜绝端子排误碰事故发生，大幅缩短安全措施实施时间，降低电力运维成本。将该工具在电力系统端子排日常检修运维工作中推广应用后，显著提高了端子排隔离措施的安全性、可靠性，为电力系统的安全、稳定、高效运行提

供了坚实保障。此外,该工具的设计思路具备良好的可复制性,通过简单调整3D模型,即可适配不同类型、不同规格的端子排防护需求,具有广泛的行业推广价值。

参考文献

- [1] 许言;童志祥;王祖顺;王俊超;孙远刚;张攀;陈松松;王龙辉.一种分断测试接线端子防误碰警示隔离工装[P].湖北省:cn218678255u,2023-03-21.
- [2] 曾一成;林嗣侃.一种防误碰高绝缘性高压隔离开关[P].浙江省:cn223347682u,2025-09-16.
- [3] 李茂友;丁维民;尹小平;陈海鹏;顾永光;孙广荣;王春财;杨慧宁;蔡显岗;徐安邦;刘烈.一种空气开关防误碰隔离装置[P].广西壮族自治区:cn220474546u,2024-02-09.
- [4] 韩晓明.一种接线端子用防护屏蔽罩[P].上海市:cn223744072u,2025-12-30.
- [5] 赵旭阳;黄国良;王舒清;胡小改;潘炎清.一种二次端子专用隔离装置的研制与应用[J].电气技术与经济,2024(03):126-128.
- [6] 刘乃齐.二次端子专用隔离工具的研制与应用[J].广西电力,2014,37(04):38-40. DOI:10.16427/j.cnki.issn1671-8380.2014.04.011.
- [7] 赵旭阳.基于失效模式与影响分析下的二次端子新型专用隔离工具研制[J].电气开关,2024,62(05):70-75.
- [8] 吴迪.3D打印三柱型多孔钽螺钉的研发及应用研究[D].南方医科大学,2025. DOI:10.27003/d.cnki.gojyu.2025.001481.