

真空断路器固封极柱及其浇注工艺研究

宋志尚 李守业 张增祥 丰宇庭 王怡凡

摘要: 真空断路器以其优异的性能和可靠的性能, 成为 12 kV 断路器领域的主流产品。在选择断路器时, 除经济性指标外, 还应考虑其输流可靠性、抗环境干扰能力、免维护性及内建智能化方法的易用性。真空断路器由于具有良好的断路性能和较高的可靠性而被广泛采用。且近几年来, 中国真空断路器已经完全占据了市场的主导地位, 并将向小型化、高可靠、低维护的方向发展, 所以研究真空断路器固封极柱及其浇注工艺为当前相关行业的热议课题。
关键词: 真空断路器; 固封极柱; 浇注工艺

固封极柱是真空开关的核心部件, 其性能与使用寿命直接相关, 通过对浇注工艺的优化, 可有效地提高固封柱的力学、电学性能, 从而提高断路器的整体可靠性与寿命。这不仅有利于降低维修费用, 提高系统运行效率, 而且能够满足现代电网对断路器小型化、高性能化的要求。因此, 深入研究真空断路器固封极柱及浇注工艺, 不仅能促进技术进步, 而且能保证电力系统安全稳定运行。

一、真空断路器固封极柱

1. 定义和结构

真空断路器固封极柱是其核心部件之一, 固封极柱的设计要求具有优良的电绝缘性和机械强度, 同时又具有高效的灭弧性能。固封柱的关键部件是真空灭弧室, 其主要结构为陶瓷壳体, 不锈钢波纹管、动触点、静触点。动静触头采用外接操作机构来实现开关动作, 触头断开后, 在真空环境下快速熄灭电弧, 避免高温电弧对设备造成伤害^[1]。采用环氧树脂浇注成型固封柱的绝缘筒体, 环氧树脂具有优良的绝缘性能及机械强度, 能有

效地将灭弧室与外界环境隔离开来, 避免电气故障的发生, 为提高绝缘筒子的耐污闪性能和耐老化性, 必须对其内外表面进行特殊处理。作为固封柱中重要的导电部件, 导线杆一般为铜或铜合金, 导线将动静触点连接在导线上, 电流通过导线传导, 从而实现开关电路, 为了提高导体的导电性并减小接触电阻, 一般对导体的表面进行镀银处理。动、静触头是实现开关动作的核心部件, 一般采用铜钨合金, 导电率高, 耐磨性能好。动、静触头必须有较好的接触压强及接触面积, 才能保证稳定的电流传递; 在断开状态时, 需要快速分离, 以获得足够的电弧间隙(固封极柱的基本构成及材料选用如表 1)。

表 1 固封极柱的基本构成及材料选用

组成部分	材料	主要功能
真空灭弧室	陶瓷、不锈钢、铜钨合金	灭弧、开断电流
绝缘筒	环氧树脂	提供电气绝缘和机械强度
导电杆	铜、铜合金	传导电流
动静触头	铜钨合金	实现开断操作

2. 作用和优势

首先, 固封柱用高强度的绝缘材料, 例如环氧树脂或有机硅橡胶, 提供卓越的机械强度和电绝缘性^[2]。该设计既能有效保护真空开关管不受潮湿、粉尘、腐蚀等外部环境因素的影响, 又能提高整体结构的稳定性。固封柱具有良好的耐高压性能, 能够承受较大的电、热应力, 保证其在复杂工况下的可靠工作(固封极柱在不同电压等级下的主要技术参数如表 2)。

其次, 采用固封柱结构, 可有效延长断路器寿命; 真空灭弧室采用高强度绝缘材料密封, 可避免外界环境的腐蚀与损伤, 可大幅提高运行次数。另外, 固封电极

作者简介:

1. 宋志尚(1998.09——)男, 汉族, 本科学历, 助理工程师, 主要从事柱上开关及柱上台区方面的研究工作;
2. 李守业(1986.06——)男, 汉族, 本科学历, 中级工程师, 主要从事柱上开关及柱上台区方面的研究工作;
3. 张增祥(1992.04——)男, 汉族, 本科学历, 中级工程师, 主要从事柱上开关及柱上台区方面的研究工作;
4. 丰宇庭(1995.12——)女, 汉族, 本科学历, 中级工程师, 主要从事柱上开关及柱上台区方面的研究工作;
5. 王怡凡(2000.03——)女, 汉族, 本科学历, 助理工程师, 主要从事柱上开关及柱上台区方面的质量管理工作。

表2 固封极柱在不同电压等级下的主要技术参数

电压等级 (kV)	额定电流 (A)	短路电流 (kA)	绝缘水平 (kV)
12	630	25	42
24	1250	31.5	65
36	1600	40	95
40.5	2000	50	105

柱采用密封结构，减少电接触点的氧化磨损，延长设备使用寿命。固封极柱耐老化性能好，能长时间保持其力学、电学性能稳定性，为电力系统安全运行提供可靠保证。最后，固封极柱降低了对真空断路器的维修费用，传统断路器需要对灭弧室进行定期检修与更换，而固封极柱是封闭式结构，维修次数较少，维修难度较大。固封柱在极端条件下仍能保持良好的工作状态，几乎不需要经常维修，这样既节约人力物力，又缩短设备停工期，提高电网的整体运行效率。可见，固封柱具有可靠性高、可维护性好等特点，在各种电压等级配电网中得到了广泛的应用。

二、固封极柱的浇注工艺

1. 工艺流程

固封柱浇注工艺是一项复杂而精细的工序，是保证产品质量、可靠性的重要保证。其主要内容包括模具制备，预加热、搅拌、真空浇注、固化、后处理等。模具必须经过严格的清洗和预处理，以免混入杂质，模具预热也很重要，一般建议将预热温度控制在60~80℃之间，这样可以减小浇注时树脂的收缩及气泡的产生。预热时间通常是1~2个小时，保证模具温度均匀。为保证树脂均匀、稳定，应严格控制混合比例及搅拌时间，在搅拌过程中应添加适当的固化剂及促进剂。一般情况下，固化剂与树脂的比例是100:30，搅拌时间通常是5~10分钟^[3]。当树脂混合完毕后，就是真空浇铸，真空浇注的主要目的是除去树脂内部的气泡，提高制品的密度及机械强度。通常将真空度控制为-0.08~0.1 Mpa，在浇注时，要缓慢地注入树脂，避免产生气泡。浇注完毕后，模具需处于真空状态，通常需要2~3小时的时间。最后，固化后的固封柱还需进一步处理。后处理分为高温固化与机加工两部分，高温养护通常需要160~180℃，4~6小时才能完全固化，固化后，还要进行修边、磨光等加工，使之达到要求的尺寸和表面质量。

2. 材料选择

在固封极柱浇注技术中，材料（材料种类如表3）

的选用是非常重要的，主要原料有环氧树脂，固化剂，助剂，助剂等。每一种原料在生产流程中都扮演着重要的角色。该工艺以环氧树脂为基材，具有优良的绝缘性能及机械强度，环氧树脂分子结构稳定，在高温高湿度条件下仍能保持优良的绝缘性，是一种理想的绝缘材料。为了便于搅拌及浇注作业，通常选用低粘度、高反应性的环氧树脂。在环氧树脂的固化工艺中，固化剂是必不可少的，胺基、酸酐基是常用的固化剂。胺类固化剂固化速度快，但高温稳定性差；酸酐基固化剂的耐热性、力学性能均有较大提高，可根据具体工艺要求选用不同种类的固化剂。而促进剂起到加速固化反应、提高生产效率的作用，常用的促进剂有叔胺、金属化合物等，为避免因过快固化而引起的加工缺陷，在生产过程中应严格控制促进剂的用量。填料、添加剂等也是必不可少的原料，填料如石英粉、硅微粉等，均可改善树脂的力学强度及耐热性，加入防沉剂、流平剂等能改善树脂的流动性，改善其表面光洁度。

表3 材料种类

材料种类	主要成分	功能特点
环氧树脂	树脂基体	提供绝缘性能和机械强度
固化剂	胺类、酸酐类	加速固化反应
促进剂	叔胺类、金属化合物	提高固化速度
填料	石英粉、硅微粉	增强机械强度和耐热性
添加剂	防沉剂、流平剂	改善流动性和表面光洁度

3. 技术要求

为保证产品质量及性能，应严格按照工艺要求及注意事项进行操作，对温度的控制、真空度的控制、搅拌比、浇注速度、养护条件等都有很大的影响。首先，就是温控，无论是预热还是固化，都必须严格控制。模具预热温度通常为60~80℃，固化温度为160~180℃。这几个温度参数对树脂流动性、固化速率有很大的影响，对最终产品质量有很大的影响。其次是对真空的控制，真空度通常控制在-0.08~-0.1 MPa。真空度过高会使树脂中挥发物含量过高，从而影响制品的力学性能；但如果真空度过低，则气泡难以有效去除，从而影响制品的致密度及绝缘性能。搅拌比、浇注速率也要严格控制。一般情况下，树脂与固化剂的配比为100:30，搅拌时间为5~10分钟^[4]。混合不好或配比不当，均会造成固化不彻底，进而影响产品性能，浇注要慢而均匀，以免产生气泡。另外，固化条件也是一项重要的技术要求，预硫化阶段需维持一定的真空度及温度，硫化时间通常

为2~3小时；在随后的高温养护过程中，温度控制在160~180℃之间，养护时间为4~6小时。为避免树脂内应力过大而引起制品开裂和变形，应注意温度的变化。另外，还要注意作业环境的洁净，作业人员的作业规范，在生产过程中，任何杂质的存在都可能对树脂的质量及性能产生影响，操作人员必须穿戴防护用品，严格按照工艺规程进行操作，保证每个工序符合工艺要求。

结束语

综上所述，对真空断路器固封极柱及浇注工艺进行研究，是保证电力设备安全可靠的关键。从材料选择、结构设计和浇注工艺等方面进行深入研究，不仅能提高断路器的性能，而且能延长断路器的使用寿命，降低维修费用。未来，随着科学技术的不断进步，新型材料、新技术的应用将使固封柱的性能得到进一步优化。需要更多的科研人员和技术人员加入到该领域的研究中来，共同促进电力装备的创新和发展，为实现更智能、更高效、更安全的电力系统做出贡献。

参考文献

[1] 于海波, 熊慕文, 卢为, 李响, 曾先锋, 刘

彬.ZW32真空断路器一二次融合固封极柱的设计与关键试验研究[J].高压电器, 2022, 58(05): 87-94.

[2] 彭晶, 邓云坤, 赵现平, 王科, 马仪, 谭向宇, 张恭源, 王欣, 李瑞, 林庆权, 刘继峰.40.5 kV无功投切用双断口真空断路器的研究与设计[J].高压电器, 2020, 56(11): 39-45.

[3] 苏太育.小型化带隔离开关、接地开关真空断路器的设计[J].电气时代, 2020, (11): 55-57.

[4] 刘玉春, 郎福成, 谭东现.影响固封极柱质量和成本的关键技术[J].电气开关.2016, (1).DOI: 10.3969/j.issn.1004-289X.2016.01.009.

[5] 朱建民.矿用VEG型固封式真空断路器的研究与应用[J].电子世界.2014, (18).

[6] 张润理, 阎涛, 李逸飞, 等.固封极柱用环氧树脂固化物开裂问题研究及预防措施[J].高压电器.2014, (5).

[7] 谢雷钢, 张骁萌, 闵超.替代高压电器设备用环氧树脂的热塑性材料特性研究[J].高压电器.2020, (2).DOI: 10.13296/j.1001-1609.hva.2020.02.031.

[8] 史纪平.固封极柱设计制作中应注意的相关事项[J].科技风.2019, (19).DOI: 10.19392/j.cnki.1671-7341.201919152.