水电分离架构的 PTC 电采暖能效优化——以自限温换热与智能控制为例

段恺，周英楠，刘志军，曹晓锋，王琳辉
赤峰工业职业技术学院，内蒙古 赤峰 024000

DOI:10.61369/RSTD.2026030004

摘　　要： 相比电阻式电采暖设备，采用水电分离结构设计、具备自限温发热特性的 PTC 热敏电阻发热技术实现了物理安全隔离，解决了传统电采暖的漏电干烧、能耗较大等问题，已经成为当前主流的民用和商用清洁采暖设备。在实际应用当中由于多数产品存在换热匹配不合理、控制逻辑粗略、工况适应差等问题导致不能发挥出 PTC 元器件的自适应节电特性，系统综合能效较低。文章从自限温换热技术和智能控制系统入手介绍了水电分离式 PTC 电采暖的技术概论和应用原则，详细分析了运行当中的节能缺陷及主要问题，结合应用提出相应的节能优化措施，最大程度地挖掘设备节能潜力，实现安全稳定低耗的采暖效果，对同类电采暖装置升级换代和运维具有可借鉴意义。

关 键 词： 水电分离；PTC 电采暖；自限温换热；智能控制；能效优化

Energy Efficiency Optimization of PTC Electric Heating with Water-Electric Separation Architecture - Taking Self-Controlling Heating and Intelligent Control as an Example

Duan Kai, Zhou Yingnan, Liu Zhijun, Cao Xiaofeng, Wang Linhui
Chifeng Industrial Vocational Technology College, Chifeng, Inner Mongolia 024000

Abstract: Compared with resistive electric heating devices, the PTC thermistor heating technology with a water-electric separation structure design and self-limiting heating characteristics realizes physical safety isolation, solving problems such as leakage and dry burning of electricity and high energy consumption in traditional electric heating. It has become the mainstream clean heating equipment for both civilian and commercial use. In practical applications, due to the existence of unreasonable heat exchange matching, rough control logic, and poor adaptability to working conditions in most products, the self-adaptive power-saving characteristics of PTC components cannot be fully exerted, resulting in low system comprehensive energy efficiency. This article starts from self-limiting heating technology and intelligent control system to introduce the technical overview and application principles of water-electric separation PTC electric heating, analyzes the energy-saving defects and main problems during operation, and combines the application to propose corresponding energy-saving optimization measures, maximizing the potential for energy saving of the equipment, achieving safe, stable, and low-consumption heating effects, and providing reference for the upgrading and maintenance of similar electric heating devices.

Keywords: water-electric separation; PTC electric heating; self-controlling heating; intelligent control; energy efficiency optimization

引言

在清洁取暖政策不断深化，人们对采暖质量要求日益提升的大环境下，电采暖设备因具有零排放、安装便捷、操作简单等优势，逐步替代了传统的燃煤及燃气采暖。PTC 半导体采暖基于陶瓷发热材料正温度系数效应，具有自动调节温度，防止干烧及寿命长的优势，采用水电分离的物理结构使电路与水路之间杜绝接触，极大提高了安全性，在民用住宅、商铺、小型办公场所广泛应用。但在实际应用过程中大部分只是实现了基本采暖功能，并没有发挥出自限温换热及智能控制的特性，存在大马拉小车、温度起伏、无效功耗高等问题，本文根据实际应用场景从技术概述、应用原则、存在问题、对策措施四个方面研究水电分离结构 PTC 电采暖的节能优化路径，促进实现从用上到节能好用的转变。

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

一、水电分离 PTC 电采暖技术简介

（一）水电分开的内涵

水电分离式的结构区别于传统的直热电供暖产品，颠覆了传统电热管直接泡水加热的模式。采用了多层阻隔式的设计将 PTC 陶瓷发热元件、电路等置于水流通道外侧，由绝缘导热物质传导热量，实现了水路与电路无任何接触[1]。主流的电采暖设备均采用不锈钢外壳及氧化铝陶瓷绝缘材料复合设计，具备优良的导热性能，又有高强度的绝缘性，从根本上杜绝漏电、短路、水流腐蚀电路等现象。且由于采用独立的水流、电路区分开结构，使得 PTC 发热件以及换热水路可维护互不影响，使设备故障率低，延长使用寿命。

（二）自限温换热性能

自限温换热作为 PTC 电采暖最大的节能亮点，主要基于其正温度系数性能而实现自适应工作。当机组在低温下运行时，由于电阻很小而达到全功率输出快速发热，迅速加热水路介质温度，当水温升高并逼近设置的值时，元件的电阻自动剧增、发出的功率自然下降，不需要人为地去调节就能维持恒温换热，从根本上避免了局部过热及持续的大功率运作问题。与电阻丝固定功率加热相比较，自限温换热根据介质温度的不同改变其出力的大小，可以减少不必要的耗电，并且不会发生水路结垢、元件高温老化问题，兼具节能和稳态优点。

（三）智能控制适应逻辑

智能控制作为自限温换热与实际采暖需求之间的纽带，主要负责建立一个“检测－分析－动作”闭环控制系统。通过对水路温度、环境室温等数据进行实时采集，并通过控制芯片内嵌程序匹配合适的 PTC 发热功率和水泵循环频率，以满足不同环境、不同时段下的供暖要求[2]。一个好的智能控制系统应具备时段编程、恒温控制、过载保护及故障自查等功能，可以很好地补偿单一式自限温换热对复杂工况适应不足的缺陷，真正实时系统节能硬件效果到整个系统的能效转化。

二、水电分离 PTC 电采暖高效的原则

（一）安全第一，兼顾能效

安全是能效优化的基础，一切节能和能效优化手段都应建立在确保设备安全的前提下。水电隔离技术的核心在于安全保护，能效优化过程中绝对不能以牺牲或减弱绝缘结构、温控保护值及过载保护参数而片面地追求节能效果。应在保证实现完全物理的水电隔离、防干烧、防漏电以及过热保护功能健全有效的前提下，结合设备硬件特点来配置合理的换热功率和工作方式，从而实现安全运行与提高能效的有机统一，避免因节能带来设备安全性问题。

（二）工况适应，适时适动原则

采暖负荷值并非恒定值，它会因昼夜温差、室外环境温度、房屋保温情况、室内人员情况等而变化。能效优化需要改变固定运行模式思想，采取动态适配原则。通过自限温换热的自适应特性与智能控制系统的可调性，使设备发热功率、水循环速度及恒温设置点随工况变化适时地作出调整，避免了因寒冷天气导致功率偏小，以及炎热天气能耗浪费的情况，实现合理供热与采暖的动态平衡[3]。

（三）硬件配合、系统最优原则

PTC 电采暖系统的能效，取决于系统中各元件（PTC 发热体、换热系统、水循环及智能控制系统）的整体表现，能效的优化，不能仅从某个环节入手改进，需要贯彻整体最优化的原则。在保证自限温换热硬件系统状态良好的基础上发挥出自限温的自适应节能的特点，在智能控制方面优化其运行逻辑关系，协调水泵、管路和末端运行参数的匹配，消除各部件间脱节导致的性能损耗。

（四）实用经济、切实可行原则

以民用和商用应用为主，避免高大上的改造方式，以接地气的方式进行低成本改造，确保可行性。方案基于主流量产设备的结构，尽可能少地改动硬件结构，而侧重于对参数、程序等软件以及运行、工况进行调整和优化，达到节电与成本之间的平衡，实现用户看得见、摸得着、用得起的效果，而不是仅在理论和技术上做些脱离现实的无谓优化。

三、水电分离 PTC 电采暖高效运行存在的主要问题

（一）自限温换热效果不理想，硬件能效有损耗

大部分用户及低档设备制造商只迷信地使用 PTC 自限温的基本特性，而忽略与换热系统完美配合来发挥出更大的硬件节能潜力。其一，某些设备换热结构粗糙、水路流道排布不合理造成水流不均、局部发热积聚导致部分 PTC 元件提前启动 PTC 自限温功能从而整体降低了换热效率、存在“局部热而整体冷”之感，造成能源浪费，降低取暖舒适度；其二，长期运行之后由于换热表面附着轻微水垢及杂物等阻碍了热量的正常导通使得各发热 PTC 器件不得不长时间处于较高功率状态以满足要求，此时 PTC 自限温自适应性节能特性完全丧失且其耗电量越来越高；另外一些设备在设计上将较大的发热组件配置于相对较小的水路流道换热面处，致使热无法及时快速地转移走、造成无效损耗。

（二）智能控制逻辑粗放，工况适配精准度不足

现有市面大多数民用 PTC 电采暖智能控制系统功能繁杂、核心逻辑薄弱，不足以应对复杂的采暖工况。一是温控方式简单化，多为单一的定值开关控制，只能对水温进行简单的恒温控制，无法根据不同环境温度以及室内升温速度调节功率大小，不能根据昼夜温度的变化来动态调节，在出现较大的昼夜温差情况下，极易造成夜晚温度过高和白天耗能过大的现象发生。二是时段控制粗糙化，没有针对居民作息规律而设计分区运行的控制逻辑，在无人时间段照常满负荷待机状态运行，造成很多无效的耗能。三是传感监测粗糙化，传感器布置单一，只是监测了水路方面的温度情况，并没有与室内环境温度联系起来，使得设备在工作的同时并不能满足实际采暖的要求，出现了水温符合标准而室

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

温不符合标准或室温达到标准继续工作的适配错误[4]。四是部分电采暖设备的控制程序固化，无法根据不同建筑保温情况及地区气候变化进行微调，通用性强，适配性差。

（三）系统缺乏协作，各个部件间运行断开带来能量损失

在 PTC 电采暖系统中，能效损耗的产生多为各个部件间协调失衡，而非单一设备故障造成。首先就是发热和水循环不能有效平衡。由于水泵转速固定，在低温启动过程中水循环速度过快，无法进行充分散热就已将水带回至主机内，使得升温较为缓慢；恒温运行过程水循环速度过慢，造成大量积热从而触发频繁的限温性启动及停止现象，形成能耗高峰。其次是终端散热与主机运行模式不匹配。地暖、暖气片等终端设备所拥有的不同阻力、不同的散热量，却没有获得主机运行上相对应的不同运行方式来进行适应。因而会出现散热量较小而滞留的余热或散得过快而不断进行补偿加热等浪费能耗的现象。另外，部分设备的保护过于保险，轻微温度波动便启动保护装置。设备的频繁开启需要消耗大量的开启功，长年累月下来损失相当可观，因此严重影响了整个系统的效率发挥。

（四）运维管理不规范，长期运行能效持续衰减

日常缺乏维护是普通用户设备能效逐年下降的最大问题，也是最易忽视的问题。大部分的用户只关心设备能否进行正常的加热，缺少定时对设备进行相关的维护工作。水路的管道、换热器等在长时间的使用后出现积垢、杂质堆积，导致导热性能下降；传感器因积累灰尘等问题而老化，失去灵敏性，导致温度检测数据不准确，影响了控制逻辑的正确实施；电路中的接线也存在老化和接触不良的现象，使发热部件功率输出不够稳定。同时用户的一些不好的使用习惯导致设备出现额外的能耗浪费，如频繁开关设备机箱、任意设置高的温度值、门窗密闭效果不好而造成热量损失等。这样不仅设备不能够有效地正常运行，而且加快设备老化的进程，造成一个高能耗低使用寿命的恶性循环。

四、实现水电分离 PTC 电采暖能效优化的具体策略

（一）改进自限温换热构造，挖掘硬件节能潜力

对于由于换热不足和积热积垢带来的损耗，通过结构优化以及日常运维手段加以落地实施。设备制造方面，水路流道设计上采用均匀分流方式使水流完全覆盖到 PTC 发热的换热区，杜绝存在积热区死角，从而使元件的自限温特性在正常温度范围内得到发挥，不至于过早地出现限温而带来低效换热现象。同时对发热组件与面积配比做了优化并按照相应设备功率匹配对应的换热流道大小从而保证热量能快速、均衡地传导以减少无效热堆积。用户侧通过定期清洁的方式，在采暖前后清理水路中加热组件及过滤器中的杂物、水垢等杂质，确保了换热效率不会因表面附着物而受到影响，使得设备中的 PTC 始终处于高效的自我适应运行状态。同时优化设备密封防腐结构来避免水路氧化结垢，源头减少换热损失。

（二）优化智能控制策略，实现对工况的准确适配

为解决智能控制粗放问题，优化控制程序和监测体系，按照实际需要供能。对温控算法进行改进，在传统仅考虑水温的控制策略基础上，增加环境温度参数共同作用的双输入控制方法，以室内环境温度的实际测量值为判断标准实时调节 PTC 发热功率和恒温值。在室外温度较低时增大 PTC 基础加热功率，并快速升温，待室温升高并达到设定值后迅速下降到低温维持状态。避免了无效加热的发生。对时间段分区控制进行细化，并结合人的日常作息习惯，设置了包括白天、夜晚和外出在内的多个可自定义的时间段运行方案，在没有人居住的时间内自动减少室内温度，降低待机能耗，当有人居住房间内自动进行精准地恒温控制。有效降低待机能耗。改进传感器布设及精度，通过加设较高精度的环境温度传感器，提高系统测量温度精度并修正测量中出现的偏差，防止由于测量不准而造成的逻辑错误。针对不同的地区和不同建筑本身的保温性能，开放参数微调设置权限。从而保证设备可以根据当地气候以及房间情况调整自身的温度曲线控制精度，并提升节电效果。

（三）考虑系统整体的综合优化，消除部件之间的效率差异

通过系统联动主机、水循环和散热末端的参数运行，解决各部件间各自为政造成的影响。首先使水泵的转速进行智能变频联动，并根据水温与室温温升的速度调节循环速度，在低温时低速循环保证其蓄积热量升温，恒温后匀速循环稳定室温，高温时高速散尽余热以防积压影响使用并减少设备启停次数。其次适应不同散热器优化运行程序针对地暖、暖气片及风机盘管散热特点预设不同运行程序，并设定相应的加热功率、水循环参数及恒温区避免散热不匹配问题。最后优化保护功能将温控启停区间值调整为一个区间范围，以防止微小温差引起频繁启动，从而降低启动耗能，保持系统平滑高效运行。

（四）规范运维及使用行为，降低能效衰减

构建常态化、制度化的维护流程，在使用上确保设备的高效运行。一方面定期维护制度，供暖前查看传感器状态，检查电路和水泵是否正常运行，校正温控设置，并对水路中的一些杂质进行清理；供暖过程中要对其运行工况做定期巡检并及时发现其功率异常、温控失灵、水循环不足等问题；供暖季之后将其管路中的积水放空以防产生结垢腐蚀，防止元件老化等[5]。另一方面培养合理的使用习惯，禁止频繁开启、超温设定，保证室内门窗闭合减少散热量从而降低设备负荷。同时摒弃全天候满功率运行的方式，根据智能时段控制功能实现错峰以及恒温耗能最小的运行方法，从使用环节做到节能，保持稳定的设备性能。

（五）进行适当的技术调整使之适应于民用

基于复杂工况、通用设备特点，针对民用市场开展轻资产、低成本能效微调优。不需要大的硬件投资，主要通过参数调试和逻辑优化匹配家庭、小型商铺供暖需求。在保温条件差的老旧楼宇适当降低温度震荡范围并增加低功率维持时间防止设备高频大负荷工作，在建筑保温性能优越的情况下进一步优化降额功率，最大化发挥 PTC 自限温节能特性。对智能控制进行了简化，仅保留必要的节能操作界面，实现傻瓜式操作，使得智能节能模式常态化运行，切实起到技术优化效果。

 Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.

五、结语

基于水电分离结构优化 PTC 电采暖的能效提升并非单纯地依靠技术改进，而是通过换热特性、控制逻辑、协同工作及规范运维等全面的技术适配。自限温换热技术奠定了设备节能基础，智能控制系统是能效改善的核心手段，系统协调与正确运维则是实现持续节能的重要保障。目前行业的能效损耗问题更多源于技术适配不够、运行粗放及使用不规范引发的人为耗能，而非技术本身。通过优化换热结构、精细化智能控温、统筹协同作业及正确维护等可最大程度释放 PTC 采暖装置的安全节能潜能，在有效减少供暖能耗的基础上提升了供暖舒适度。未来借助精细智能算法和轻质化结构优化，水电隔离式 PTC 采暖将会进一步实现安全与能效的有机结合，使民用清洁能源取暖应用中具有更大的应用价值。

参考文献

[1] 沈浩 . 基于模型预测的电采暖参与电网需求响应调节方法研究 [D]. 南京邮电大学 ,2024.

[2] 杨利利 , 杨开元 , 张磊 , 等 . 内蒙古东部地区某典型电采暖项目能流和 (?) 流分析 [J]. 节能 ,2025,44(6):118-121.

[3] 张振夫 , 益西措姆 , 旦增巴桑 , 等 . 电采暖技术应用综述 [J]. 智能建筑与智慧城市 ,2025,(3):12-14.

[4] 严干贵 , 吕帅帅 , 穆钢 , 等 . 考虑平均制热需求的集群电采暖负荷可靠调节能力挖掘策略 [J]. 电力系统自动化 ,2025,49(10):29-38.

[5] 浩皓 . 含分布式光伏和电采暖的配电台区优化运行研究 [D]. 天津理工大学 ,2025.

Copyright © This Work is Licensed under A Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.