

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.14.006

地下式污水处理厂电气设备除湿方式比较研究

徐 进

(中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津 300381)

摘 要: 针对地下污水厂箱体内相对湿度较高而影响电气设备安全运行的问题,首先分析了湿度对电气设备的影响及产生原因,其次对电气设备外部环境除湿和内部除湿进行了比较,并进一步从原理、实验分析、实际应用效果等方面,对电气设备内部采取的加热和半导体冷凝两种除湿方式做了分析比较,提出地下污水处理厂电气设备宜采用半导体冷凝除湿方式,应用案例证明了该除湿方法的可行性和有效性。

关键词: 地下污水处理厂; 湿度; 加热除湿; 半导体冷凝除湿

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2022)14-0038-04

Comparative Study on Dehumidification Methods of Electrical Equipment in Underground Sewage Treatment Plant

XU Jin

(North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300381, China)

Abstract: The high relative humidity in the underground sewage treatment plant will affect the safe operation of electrical equipment. The influence and causes of humidity on electrical equipment were analyzed, and the external environmental dehumidification and internal dehumidification of electrical equipment were compared. Furthermore, the two dehumidification methods of heating and semiconductor condensation adopted in the electrical equipment were analyzed and compared from principle, experimental analysis and practical application effect. The semiconductor condensation dehumidification method was proposed for the electrical equipment of underground sewage treatment plants, and its feasibility and effectiveness were proved.

Key words: underground sewage treatment plant; humidity; heating dehumidification; semiconductor condensation dehumidification

地下污水处理厂由于污水处理设施集中在地下箱体内,池体中大量的水汽蒸发到空气中,即使池顶加装盖板,箱体内湿度偏高的问题依然普遍存在。过高的湿度将破坏电气设备的绝缘性能、产生锈蚀,造成工艺设备误动、拒动等,严重影响电气设备的安全性、可靠性,进而影响生产安全,甚至危及人身安全。因此,选择合适的除湿方式,降低湿度对电气设备的不利影响,具有非常重要的现实意义。

1 湿度对电气设备的影响

通常所说的湿度是指相对湿度,即绝对湿度(空气中实际水汽含量)与同温度下的饱和湿度(空气中水汽含量极限值)的比值。图1给出了露点温度、环境温度与相对湿度的关系^[1]。

相对湿度越高,露点温度与环境温度的差值越小,环境温度降低时越容易形成凝露^[2]。气温剧烈变化时,温差越大引起凝露的相对湿度越低^[3]。因此,当地下污水厂箱体处于下列情况时,电气设备

极易出现凝露:①高温高湿的空气经通风系统进入箱体;②季节变换;③昼夜温度变化;④元器件停止运行。凝露可以造成爬电、闪络、控制回路逻辑错误等,危害极为严重,需引起高度重视。

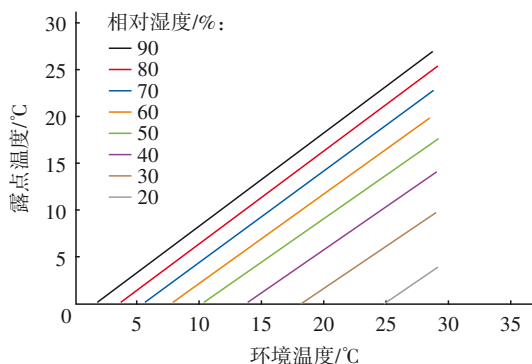


图1 露点温度、环境温度与相对湿度的关系

Fig.1 Relationship between dew point temperature, ambient temperature and relative humidity

此外,湿度过高对电气设备的影响主要表现在:①空气绝缘电阻降低,破坏电气设备的绝缘强度;②造成霉菌繁殖,腐蚀电路,破坏绝缘材料性能;③当湿度超过电气设备中金属的临界相对湿度时,发生金属腐蚀。因此湿度过高会造成电气设备性能降低、设备运行寿命缩短、产生安全隐患等。

目前,这一问题已受到关注,如《城镇地下式污水处理厂技术规程》(T/CECS 729—2020)9.4.5条文解释所述:“由于全地下式污水处理厂湿度高、夏季温度较地面气温低,极易在电气设备内部产生冷凝水,对电气设备,尤其是备用设备的损害大。”

2 传统除湿方式

2.1 电气设备外部环境除湿

地下污水厂箱体内的电气箱(柜)等均为相对封闭的结构,箱体内的正常通风设计对电气设备的除湿作用不大。达到电气设备所需环境效果的工程造价和运行成本过高,用户接受度低。

采用空调和工业除湿机相结合的方式在变电站等室内进行除湿,可达到较好的除湿效果,但设备投资和运行成本较高,不适于整个箱体的电气设备除湿。因此从运行效果和工程投资出发,应重点考虑电气设备内部除湿措施。

2.2 电气设备内部环境除湿

长期以来电气设备内部除湿方式以干燥剂除湿、通风除湿、加热除湿为主。

① 干燥剂除湿:即在柜内悬挂干燥剂袋,吸

附湿气。但干燥剂易饱和,需经常补充更换,效果不明显,还会产生二次污染。

② 通风除湿:通过强制空气对流使柜内的潮湿空气与柜外的干燥空气进行交换。但在环境相对湿度较高时不能发挥作用,还会使环境中的灰尘进入柜内。

③ 加热除湿:柜内装设电加热器,通过加热提高柜内温度,抑制凝露的产生。加热除湿不存在二次污染,不会使外部灰尘进入设备内部,便于维护,是应用较普遍的除湿方式。T/CECS 729—2020中9.4.5亦规定“全地下式污水处理厂地下箱体内的电气设备宜装设自动加热器”。

3 半导体冷凝除湿方式

在实践中发现某些情况下使用加热除湿装置存在电气设备局部过热、某些工况下效率较低等弊端,改用半导体冷凝除湿装置后,问题得到解决。

半导体冷凝除湿是采用半导体制冷技术制造凝露形成的条件,使潮湿的空气冷凝,形成水滴,经管道排出的新型除湿方式,近些年开始应用于电气设备除湿。

4 半导体冷凝除湿与加热除湿比较

4.1 原理与构成比较

加热除湿装置采用分体式结构,由温湿度控制器和电加热器组成。通过加热使柜内饱和湿度升高,相对湿度降低,达到破坏凝露形成条件的目的。但当环境湿度较高时,加热不能进一步提高饱和湿度,形成的高温高湿环境反而对电气设备造成损害。

半导体冷凝除湿装置为一体化结构,由温湿度控制器、电源模块、制冷芯片、翅片(冷凝片、散热片)、风扇、集水器等组成。其原理是制冷芯片在施加直流电源之后产生帕尔贴效应,即半导体一侧温度降低(冷端),从外界吸收热量;另一侧温度升高(热端)向外界释放热量^[4]。风扇形成强制对流将电气设备内部潮湿的空气吸入除湿风道,经过芯片冷端后在冷凝片上凝结出水滴,经集水器收集后排出。经过除湿的空气经芯片热端加热后回到设备内部,使设备内部的空气变得干燥,相对湿度降低。

加热除湿方式与半导体冷凝除湿方式最根本的区别:前者不能有效去除空气中的水汽,仅降低相对湿度;后者则主动形成凝露条件去除空气中的

水汽,降低绝对湿度。

4.2 实验比较

4.2.1 实验一

① 实验材料:防护等级为IP55、体积为 0.5 m^3 的不锈钢箱体,1个;MTS-8060半导体冷凝除湿器(220 V,60 W)1台;监控主机1台;200 mL烧杯1个;温湿度计1支。

② 实验方法:将半导体冷凝除湿器固定于不锈钢箱体内部,与监控主机连接,除湿器排水管插入烧杯。在相对湿度为90%、环境温度为 $16.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下,开启除湿器。

③ 实验结果:运行4 h后,箱体内湿度从90%降至60%,温度从 $16.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 升至 $21.2\text{ }^{\circ}\text{C}$,共排出冷凝水60 mL。

4.2.2 实验二

① 实验材料:防护等级为IP55、体积为 0.54 m^3 的不锈钢箱体,2个;MTS-8060半导体冷凝除湿器(220 V,60 W)1台;加热除湿器(220 V,175 W)1台,监控主机1台,温湿度计1支。

② 实验方法:在1#箱内固定安装半导体冷凝除湿器,在2#箱内固定安装加热除湿器,均与监控主机连接。在相对湿度为84.2%、环境温度为 $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下,同时开启两台除湿器。

③ 实验结果:半导体冷凝除湿器与加热除湿器实验比较结果如图2所示。

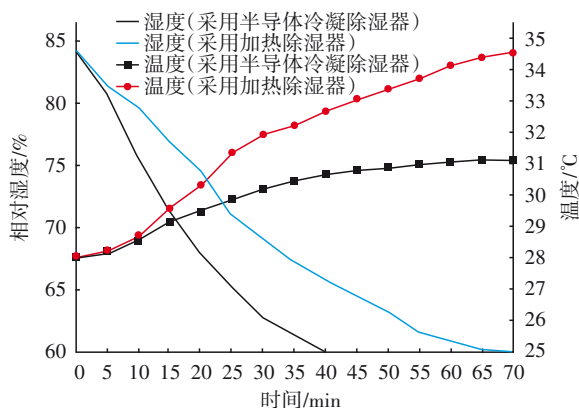


图2 半导体冷凝除湿器与加热除湿器实验比较

Fig.2 Experimental comparison between semiconductor condensation dehumidifier and heating dehumidifier

表1显示了在初始温湿度相同的条件下,采用半导体冷凝除湿和加热除湿使箱体内湿度降至60%的用时、温升、电耗。

表1 半导体冷凝除湿器与加热除湿器实验数据比较

Tab.1 Comparison of experimental results between semiconductor condensation dehumidifier and heating dehumidifier

项 目	半导体冷凝除湿装置(60 W)	加热除湿装置(175 W)
时长/min	40	70
温升/ $^{\circ}\text{C}$	3.2	6.6
耗电量/(kW·h)	0.04	0.204

4.2.3 实验三

① 实验材料:防护等级IP31的GGD型开关柜,2台;MTS-8060半导体冷凝除湿器(220 V,60 W)1台;加热除湿器(220 V,100 W)1台,监控主机1台。

② 实验方法:在1#柜内固定安装半导体冷凝除湿器,在2#柜内固定安装加热除湿器,均与监控主机连接。两台除湿器设定值均为60%。同时开启两台除湿器,24 h停机。

③ 实验结果:半导体冷凝除湿器总运行时长约2 h,其余时间处于待机状态(2 W);加热除湿器总运行时长约7 h,其余时间处于待机状态(2 W)。

4.2.4 结果分析

实验一显示,采用半导体冷凝除湿器能够通过排出冷凝水的方式降低湿度。在温度较低时,除湿效果仍然明显。

实验二显示,与加热除湿器相比,采用半导体冷凝除湿器运行时长约为前者的57%,耗电量约为前者的20%,温升不足前者一半。

实验三显示,采用加热除湿方式日耗电量为 $0.734\text{ kW}\cdot\text{h}$,采用半导体冷凝除湿方式日耗电量为 $0.164\text{ kW}\cdot\text{h}$,为前者的22.3%。以一座地下污水厂内安装100台各种开关柜计,日运行耗电量相差 $57\text{ kW}\cdot\text{h}$ 。若在相同工况下运行,年耗电量相差将高达 $2\times 10^4\text{ kW}\cdot\text{h}$ 。

实验证明,与加热除湿器相比,半导体冷凝除湿器具有除湿效率高、耗电量低、温升低的显著优势,在高温和低温状态下运行均有良好表现。

4.3 使用比较

在使用加热除湿的电气柜中曾经出现加热器电源线及周边电缆绝缘层老化甚至烤焦,元器件锈蚀;亦有反映柜内设备闪络、柜顶滴水引起短路等问题。使用半导体冷凝除湿器则未发现上述问题。

原因主要有以下几方面:①电气设备均为相对封闭的结构,采用加热除湿方式时,设备内部的水汽只有少量逸出,遇环境温度降低,电气设备内壁迅速形成凝露。②采用加热除湿时,上升的水汽可能在离加热器较远的柜顶等处冷却形成凝露。③加热器运行时,局部温度升高,容易造成附近的元器件及绝缘材料老化。④当环境湿度高于金属临界相对湿度时,加热不能进一步提高饱和湿度,反而会加速金属材料腐蚀。⑤半导体冷凝除湿器可有效去除装置内部空间的水汽,使装置内不易形成凝露。其温升小,对元件和绝缘材料的影响小。

加热除湿器装置的体积较大,适于开关柜等空间较大的电气设备,不适于操作箱等较小的电气设备。分体式结构使控制器与加热器之间存在连线,增大了由设备安装引起的风险。

半导体冷凝除湿器体积小,易安装于地下污水厂箱体内几乎所有的电气箱(柜)内部;一体化结构,减少外部线路连接故障,可靠性高。

半导体冷凝除湿器产生的冷凝水通过绝缘软管可以很方便地排放至箱体内部的水池中,无需配置储水箱,维护工作量小。目前,该种除湿器已应用于佛山市的城北地下污水厂等工程的电气箱(柜)中,除湿效果良好,电气设备未出现因湿度高引发的相关问题。

半导体冷凝除湿器在无人值守电站、地下管廊、海岛等基础设施案例中均取得良好的运行效果,已显现出替代加热除湿器的趋势。与加热除湿器相比,半导体冷凝除湿器的价格相对较高,使其应用受到一定限制。但预计随着“双碳”背景下节能降耗意识的加强,用户对半导体冷凝除湿器的接受度将进一步提高。

5 结论

通过原理、实验对比及工程应用分析,可知半导体冷凝除湿方式作为一种新型的电气设备除湿方式,与干燥剂除湿、通风除湿、加热除湿等传统除湿方式相比,具有环保、耐用、节能、可靠性高、省人工、体积小、易安装等诸多优势,能够满足地下污水处理厂电气设备除湿需要。建议相关设计规程将半导体冷凝除湿方式纳入地下污水厂电气设备除

湿方式中。设计人员可根据工程环境条件、资金情况、业主的节能需求等综合考虑,采用最适合的电气设备除湿方式,为避免地下污水处理厂湿度高对电气设备的不利影响,保障地下污水处理厂电气设备的可靠运行发挥作用。

参考文献:

- [1] 肖隆恩,李勋. 沿海地区集中表箱凝露现象分析及防治措施研究[J]. 电气技术,2019,20(11):117-120.
XIAO Long'en, LI Xun. Analysis and prevention research on condensation phenomenon of the centralized meter box in coastal areas [J]. Electrical Technology, 2019, 20(11): 117-120 (in Chinese).
- [2] 张哲,尚惠青,严雷,等. 相对湿度对固体冷表面上液滴凝结过程规律影响的研究[J]. 低温工程,2021(4): 8-12,53.
ZHANG Zhe, SHANG Huiqing, YAN Lei, et al. Research on influence of relative humidity on condensation process of droplets on solid cold surface [J]. Cryogenics, 2021(4): 8-12, 53 (in Chinese).
- [3] 邓飞凤,裴锋,刘拥军. 空气相对湿度对室外电气柜内金属腐蚀的影响及防潮措施[J]. 华中电力,2008,21(2):57-61.
DENG Feifeng, PEI Feng, LIU Yongjun. Effect of air relative humidity on metal corrosion of outdoor electrical cabinets and the measure to control humidity [J]. Central China Electric Power, 2008, 21(2): 57-61 (in Chinese).
- [4] 黄毓玲,李贺,董召强,等. 基于半导体技术的变电站开关柜除湿技术[J]. 电气技术,2020,21(3): 141-145.
HUANG Yuling, LI He, DONG Zhaoqiang, et al. Dehumidification way of substation switchgear based on semiconductor technology [J]. Electrical Engineering, 2020, 21(3): 141-145 (in Chinese).

作者简介:徐进(1973—),女,上海人,硕士,高级工程师,注册电气工程师,从事市政工程电气设计与研究工作。

E-mail:xujin95@cemi.com.cn

收稿日期:2022-03-07

修回日期:2022-03-15

(编辑:丁彩娟)