

轨道交通地下车站空调冷凝水回收利用探究

汪 瑛

上海市隧道工程轨道交通设计研究院, 上海 200235

[摘要]针对轨道交通地下车站内废水直接排入市政排水管网,水资源未得到充分循环利用的现状,通过对不同车站水质、水量的调研和分析,聚焦车站废水水质较好的空调冷凝水,选择合适的回收利用技术方案,为轨道交通领域水资源回收利用的推广提供参考。

[关键词]地下车站; 冷凝水; 废水; 中水; 回收利用

DOI: 10.33142/sca.v8i7.17145

中图分类号: X7

文献标识码: A

Exploration into the Recycling and Utilization of Air Conditioning Condensed Water in Underground Rail Transit Stations

WANG Ying

Shanghai Tunnel Engineering & Rail Transit Design and Research Institute, Shanghai, 200235, China

Abstract: In response to the current situation of direct discharge of wastewater from underground railway stations into municipal drainage networks and insufficient recycling of water resources, through research and analysis of water quality and quantity in different stations, this study focuses on the air conditioning condensate water with good wastewater quality in stations, selects appropriate recycling technology solutions, and provides reference for the promotion of water resource recycling in the field of rail transit.

Keywords: underground stations; condensate water; wastewater; recycled water; recycling and utilization

引言

水是人类赖以生存和发展的基础,随着社会的发展,水资源短缺和污染问题也成为了制约社会发展的关键性因素。为了进一步提升水资源利用效率,国家及各地先后发布了相关政策文件,以达到实现水资源循环利用、促进社会可持续发展的目的。在轨道交通行业中,随着城市地铁运营规模的不断扩大,所消耗的水资源也与日俱增,与此同时水资源的回收利用就成为轨道交通领域需要研究的重要课题。中国城市轨道交通协会于2019年发布的《绿色城市轨道交通车站评价标准》中,提出车站应制定水资源利用方案,统筹利用各种水资源。本文就轨道交通地下车站内水资源如何回收利用的问题,通过对中水水源和回收系统等分析,探究合理可行的利用方案,为地下车站水资源回用提供参考和借鉴。

1 中水水源分析与选取

在轨道交通地下车站中,可供回收利用的水资源主要是各类排水,有生活污水、雨水和废水。其中生活污水为车站工作人员和乘客产生的污水,主要是卫生间内污水,该类排水的污染程度高,处理工艺复杂,工程造价及后期运维费用等都很高,不宜作为中水水源。地下车站雨水主要来自敞口风亭和出入口等处,虽然雨水水质较为洁净,处理工艺相对简单,但雨水量受天气影响存在很大随机性,不利于保证中水水源的稳定性。同时现在地下车站的敞口面积一般较小,通常仅车站的低风井为敞口,总的敞口面积约

100m²,能收集的雨水量较少。综上所述,地下车站内的生活污水和雨水均不适用于作为中水系统的原水。

除去上述生活污水和雨水,地下车站可供回收利用的水资源还有废水。地下车站的废水主要有冲洗废水、生产废水、结构渗漏水、消防废水等。冲洗废水主要是车站公共区域等定期进行冲洗工作产生的废水,水质受车站客流量、冲洗频率及清洗方式等影响有较大差异;生产废水主要是空调冷凝水等,一般从环控机房的空调机组内排出至边上排水沟,水质较单一;结构渗漏水是通过结构外壁渗入车站,不同的土质情况和施工技术,渗漏水的水质、水量偏差较大;消防废水是在发生火灾的特殊情况下消防灭火产生的废水,有其偶发性,且会掺杂灭火剂,水质也较为复杂。除了空调冷凝水先用排水沟汇集,其他排水均通过就近地漏、排水管等排除。

对比上述几种废水的水质、水量及收集难易程度等因素,空调冷凝水相对其他废水而言在水质、水量上较为稳定,更具有可实施性和可操作性。

地下车站空调系统并非一直使用,其使用情况具有季节性。鉴于此因素,空调冷凝水收集后可以用做循环冷却水系统补水,即空调系统的排水用作自身补水在时间上是适配的。同时空调系统补水点集中,不会造成中水供水管网在车站分散布置,也不会导致与生活用水混接而产生用水安全隐患的风险。

空调冷凝水大部分自冷冻水系统中空调机组排出,拟回

用于循环冷却水系统中冷却塔处补水。地下车站循环冷却水系统主要由冷水机组、循环冷却水泵、水处理装置、冷却塔、管道阀门等组成。其主要功能是通过设在地面的冷却塔将循环冷却水降温后,再通过冷水机组的冷凝器对冷凝介质进行降温冷却,从而达到车站空调系统的要求,如图1所示。

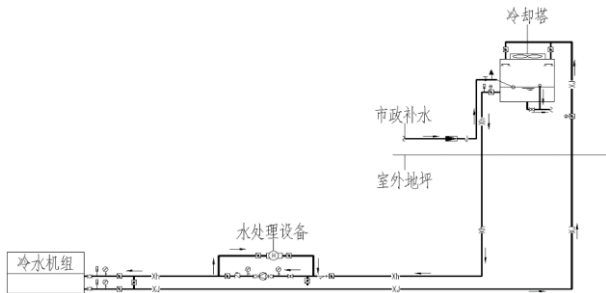


图1 循环冷却水系统示意图

2 水质与水量分析

2.1 空调冷凝水水质分析

根据国家相关规范标准,中水水质应满足杂用水水质标准才能安全使用。其水质要求虽不如生活用水高,但针对不同的服务对象,依然要达到一定标准。本文研究的中水用于空调系统补水,其水质需满足《采暖空调系统水质》(GB/T29044)中的相关要求,具体详见表1。

表1 集中空调间接供冷开式循环冷却水系统水质要求

序号	指标	单位	补充水
1	PH 值 (25℃)		6.5~8.5
2	浊度	NTU	≤10
3	电导率 (25℃)	μs/m	≤600
4	钙硬度	mg/L	≤120
5	总硬度	mg/L	≤200
6	Cl ⁻	mg/L	≤100
7	总铁	mg/L	≤0.3
8	氨氮 (NH ₃ -Na)	mg/L	≤5
9	游离氯	mg/L	0.05~0.2 (管网末梢)
10	化学耗氧量 (COD _{Cr})	mg/L	≤30

为了了解地下车站空调冷凝水的水质情况,通过在上海和重庆各选择了3座车站(共6座),对车站空调机组处的空调冷凝水进行采样检测,具体检测内容详见表2。

对比表1和表2,可知车站空调冷凝水排水水质基本满足集中空调间接供冷开式循环冷却水系统水质要求,仅个别参数超出标准:①上海车站2的电导率、氨氮略超标;②重庆车站2的氨氮有超标;③游离氯偏低。

电导率从定义上是为了衡量一个物质对电流的导通程度。水中的电导率受多种因素影响,包括溶解物质、温度、纯度等,一般可采用物理、化学或生物方法处理废水,例如采用氧化剂来氧化分解有机物,减少有机离子含量,从而降低电导率。

氨氮是指水中溶解的氨氮化合物浓度。通常水中氨氮超标是由于工业废水、农业废水中存在较多含氮废水未处理达标,或水体内部生化过程产生。因冷凝水的形成过程中不存在含氮污染物,故冷凝水中的氨氮来源主要为水体内部生化过程产生。对于此类情况可采取化学方法使用氧化剂(氯)来将氨氮转化为氮气或其他无害物质。

空调系统补水中要求存在一定量的游离氯,主要目的及作用是为了杀菌消毒、防止水质恶化、预防健康风险等。因为地下车站循环冷却水系统为开式系统,且循环冷却水的温度特别适合微生物的生存,细菌、藻类和真菌等生物在水中繁殖可能会导致管道堵塞、腐蚀和降低系统效率。可额外投加游离氯,保证其含量达到标准。

由上分析,冷凝水的水质较为清洁,基本满足回用需求,个别无法达标的指标,也可通过较为简单的化学方法处理达到标准。故空调冷凝水回用做本系统补水从水质方面分析是可行的。

2.2 水量平衡分析

根据《地铁设计规范》(GB50157)第14.2.1-2条要求,并结合项目经验,空调冷却水系统的补充水量按冷却水循环水量的1.5%取用,使用时间为18h,小时变化系数为1。以一座常规两层地下车站为例,一般设置2套循环冷却系统,单套系统对应冷却水循环水量为200m³/h,空调冷却水系统补水量如表3。

表2 车站空调冷凝水水质检测表

序号	检测项目	上海车站1	上海车站2	上海车站3	重庆车站1	重庆车站2	重庆车站3
1	PH 值 (25℃)	7.1	7.1	7.2	6.7	6.7	6.6
2	浊度 (NTU) ≤	1.5	1.6	1.6	1.7	1.3	1.2
3	电导率 (25℃) (μs/m) ≤	459	617	588	417	491	520
4	钙硬度 (mg/L) ≤	2.18	3.78	4.8	1.62	1.8	1.66
5	总硬度 (mg/L) ≤	68	98	70	76	86	94
6	Cl ⁻ (mg/L) ≤	8	6	7	5	6	6
7	总铁 (mg/L) ≤	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.03
8	氨氮 (NH ₃ -Na) (mg/L) ≤	2.99	5.74	4.06	4.74	6.56	1.82
9	游离氯 (mg/L) ≤	0.03	0.02	0.02	0.02	0.04	0.03
10	化学耗氧量 (COD _{Cr}) (mg/L) ≤	13	10	16	55	60	62

表 3 车站空调冷却水系统补水量表

序号	用水名称	用水量标准	用水倍数	使用时间	小时变化系统	最大时用水量
1	空调水系统补水量	400m ³ /h	1.5%	18h	1	6 m ³ /h

根据空调设计标准,可参考用冷负荷估算空调冷凝水排水量。每 1kW 冷负荷对应的空调冷凝水量约为 0.4~0.8 kg/h, 对应上述车站的空调冷凝水排水量如表 4。

表 4 车站空调冷凝水排水量表

序号	排水名称	使用倍数	排水量标准	最大时排水量
1	空调冷凝水	1860kW	0.4~0.8 kg/h · kW	0.74~1.49m ³ /h

对比表 3 和表 4 可知,当空调冷凝水用于循环冷却水系统补水时,冷凝水补水量占总补水量的 12.3%~24.8%,故空调冷凝水用作空调水系统补水节能效果明显,具有较好经济效益。

3 回收利用系统方案研究

冷凝水回用系统主要由原水收集系统、原水处理系统和供水系统组成。

3.1 原水收集系统

车站环控机房内空调机组(组合式空调机组、非组合式空调机组等)是分散布置,冷凝水从空调机组排出后就近排入机房内排水沟,再由排水沟内最低点处的漏排至车站轨行区排放。空调机组排水点位于设备底部,距离房地坪约 300mm,无法通过重力流方式在机房内进行冷凝水收集。但若采用传统方式汇集至轨行区后收集,不仅存在影响行车限界,还会出现其他废水混入等情况,造成收集的废水水质无法控制,影响废水处理方案的选定。

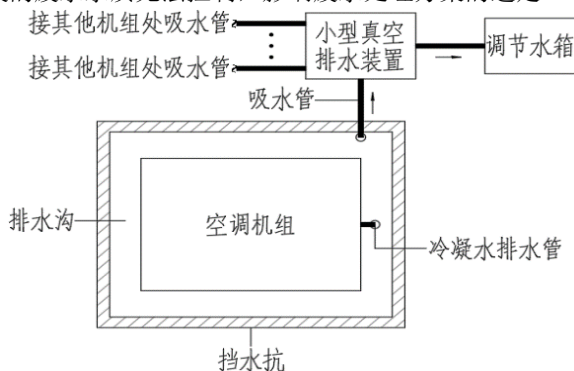


图 2 原水收集平面示意图

为了更好收集空调机组排水,需将环控机房内环通的排水沟进行局部调整,改成围绕空调机组的独立排水沟,形成逐个独立的排水区域。因现有排水沟深度较浅(约 200mm),为了便于排水沟内废水聚集,可在现有排水沟挡水坎上再增高 200mm。针对空间有限的情况,经调研可采用小型真空排水装置用于废水收集。随着冷凝水的排放,排水沟内水位逐渐升高,当升高至设定水位时,小型真空排水装置中真空泵会自动启动,将沟内废水抽至机房

内的调节水箱。因一个小型真空排水装置可以有多根吸水管,吸水距离可达 100m 以上,所以在机房内设置一套小型真空排水装置,可同时收集房间内多个排水点。

3.2 原水处理系统

由 6 座车站的空调冷凝水水质分析可知,在检测项目中主要是电导率、氨氮和游离氯三个指标无法达标,针对不达标的内容,可以通过投加氯等强氧化剂进行处理,例如采用次氯酸钠(NaClO)药剂。次氯酸钠溶液是一种常见的消毒剂,通常用于消毒和杀菌,储存在特制的塑料或玻璃容器中,需使用暗色容器,以减少光线对次氯酸钠的分解影响,并确保容器密封良好,以防止气体逸出和外部污染物进入。次氯酸钠溶液拟通过计量泵投加入调节水箱内,对原水进行处理,确保水质达到使用要求。

3.3 供水系统

采用空调冷凝水排水用作循环冷却水系统补水,需要对原有系统进行局部调整,主要在环控机房内设置小型真空排水装置、调节水箱、加药装置、供水泵及配套管网等。通过采用小型真空排水装置将分散在环控机房内各处的冷凝水收集汇至调节水箱,在调节水箱通过加药装置处理后,由配套供水泵提升至室外冷却塔集水盘进行补水。

为了确保上述供水系统可达到较好的回用效果,可将上述功能集成为一套由收集模块、处理模块、回用模块和智能控制模块组成的一体化设备,如图 3 所示。通过各设备的集成及控制逻辑的优化,实现减少设备的占地空间,提升安装效率,也可提升本系统的稳定性。

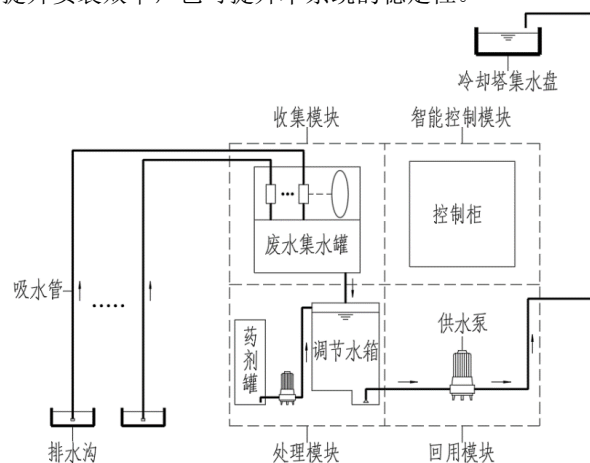


图 3 地铁车站冷凝水回收利用一体化装置示意图

(1) 收集模块: 由小型真空排水装置、若干末端收集管、若干末端液位传感器等装置组成。通过智能控制模块的逻辑判断,实现根据排水沟内液位高度,自动启动小型真空排水泵,收集各排水点冷凝水至处理模块的功能。

(2) 处理模块: 由水箱、计量泵、药剂桶,水箱液位传感器等装置组成。通过智能控制模块的逻辑判断,实现精准定量的投药消毒功能。

(3) 回用模块: 由小型供水泵、供水管、冷却塔集

水盘液位传感器等装置组成。通过智能控制模块的逻辑判断,实现自动抽取调节水箱内消毒后的水为冷却塔进水补水功能。

(4) 智能控制模块:由控制柜及其内部电控元件组成。根据收集模块、处理模块、回用模块各类传感器收集到的信息,通过严密的逻辑判断后输出启动、停止各模块内对应设备的指令,实现空调冷凝水的自动收集、自动处理、自动回用的功能。

通过一体化装置实现冷凝水回用系统的自动化操作,可减少运营人员的工作量,也提高了工作效率。

4 总结与展望

轨道交通地下车站中采用空调冷凝水回收利用系统在经济效益方面,可节省水费、降低能耗费用;在环境效益方面,可节约水资源、降低污水排放量;在社会效益方面,可提升企业形象、推广节能技术。通过“节流-降本-减排”的三重价值,实现了经济、环境和社会的协

同效益,也填补了轨道交通地下车站水资源回收利用研究的空白。

虽然车站空调冷凝水回收利用还面临一些挑战,如初期建设成本高、部分技术有待完善等,但随着技术的不断进步、政策的支持以及人们环保意识的提高,其回收利用前景十分广阔,将为轨道交通的可持续发展以及社会的节能减排目标做出重要贡献。

【参考文献】

- [1]中华人民共和国住房和城乡建设部.中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.建筑中水设计标准:GB50336-2018[S].北京:中国建筑工业出版社,2018:2-3.
- [2]中华人民共和国住房和城乡建设部.中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.地铁设计规范:GB50157-2013[S].北京:中国建筑工业出版社,2013:3.作者简介:汪瑛(1989—),女,汉族,本科,工程师,研究方向:轨道交通地下车站中水回用。