

地铁车站真空排污系统优化

李普军

(中铁第一勘察设计院集团有限公司, 710043, 西安 // 高级工程师)

摘要 真空排污系统曾在地铁工程中获得很好的应用,但近年来却受到运营单位的排斥。针对地铁车站真空排污系统的使用现状,分析真空罐和真空泵的设备选型,考虑污水中间收集装置和真空隔膜阀存在的问题,提出了解决方案。

关键词 地铁; 车站; 真空排污系统; 优化

中图分类号 TU96⁺1; U231.4

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2021.06.029

Optimization of Vacuum Sewer System in Metro Station

LI Pujun

Abstract Vacuum sewer system was widely applied in metro engineering in the past, however it has been undergoing rejection from operation units in recent years. In view of the actual usage condition of metro vacuum sewer system, type selection of vacuum tank and pump equipment is analyzed, and problems existing in wastewater intermediate collection equipment and vacuum diaphragm valve are discussed, thus solutions are proposed.

Key words metro; station; vacuum sewer system; optimization

Author's address China Railway First Survey and Design Institute Group Co., Ltd., 710043, Xi'an, China

地铁车站设置有公共卫生间,但由于卫生间位于地下空间,气流交换相对闭塞,加之高峰期人流量大、使用频繁,导致卫生间排气不畅、臭味弥漫。打造空气清新舒适的乘车环境成为地铁设计、建设和运营关注的重点。

真空排污系统依靠气压差产生挟裹污水的高速气流^[1],并把污水从器具中取走。该系统使污水可以任意地提升,整体密闭性强,无气味,清洁度高,大大地改善了地铁的空气质量。

1 地铁车站真空排污系统的工作原理

真空排污系统是由真空机组、卫生器具、中间收集装置^[2](用来暂存洗手盆、拖布池、小便器、地

漏等传统重力洁具灰水的设备)、控制系统及真空排污管道网络组成的完全密闭的负压系统。

真空排污系统针对卫生洁具和卫生间的地漏内污水采用污水中间收集装置。中间收集装置设有1个暂存箱^[3],与真空排污管路之间采用真空隔膜阀隔离,卫生间排出的污水先靠重力流入并暂存在中间收集装置的暂存箱内,当暂存箱中的液位达到液位开关的设定液位时,控制系统控制真空隔膜阀打开,暂存箱中的污水通过真空隔膜阀及排污真空管道被抽吸至真空机组的真空罐内。

真空排水避免了传统重力向下的排水局限性,所以管道布置具有任意性。真空泵为间歇性运作,在管道内负压低于40 kPa时才由自动控制柜控制开启^[2],以维持一定的真空度。真空罐将污水进行收集,当达到一定液位后排放到市政下水道中,整个系统通过PLC(可编程逻辑控制器)系统监控泵站运行。

2 真空排污系统的使用现状

真空排水系统自20世纪70年代就开始了相关研究使用^[4]。2008年上海轨道交通1号线为改善地铁空气环境开始升级改造卫生间,首次使用真空排污系统,效果显著。此后在国内西安、武汉、长沙、广州等十几个城市的国铁和地铁项目得到推广应用。但近年来反对声音慢慢增多,甚至有部分城市地铁运营部门禁止使用真空排污系统。经了解,很多地铁运营公司普遍反映真空排污系统存在以下问题:

- 1) 污水泵房布置过于紧凑,无检修空间;
- 2) 用电负荷较大;
- 3) 收集装置故障频率高;
- 4) 操作复杂、维护量大等。

真空排污系统由于其洁净环保,可以大大改善地下车站的空气质量,这已在国内形成共识。如何

找出真空排污系统的弊端并克服其缺陷,作为设计人员有义务、有责任对其进行认真分析。

3 真空机组选型

真空机组主要包含真空泵和真空罐。真空罐的尺寸直接影响设备的大小,真空泵和排污泵则影响用电负荷。

3.1 真空罐设备选型

地铁卫生间布置分为站厅层工作人员卫生间和站台层乘客公共卫生间。站厅层卫生间污水可通过重力流排至站台层,真空罐的容积由系统的工作压力上、下限值和真空排水管道数量确定。

真空罐容积^[5]的计算公式为:

$$V = \frac{P_{1,u} n V_1 \ln(P_0/P_2)}{P_{1,u} - P_{2,d}} \quad (1)$$

式中:

V ——真空稳压罐的容积;

$P_{1,u}$ ——真空罐工作压力允许上限值,即 0.07 MPa;

$P_{2,d}$ ——真空罐工作压力允许下限值,即 0.04 MPa;

n ——真空排水管道数量,站台层 2 个,站厅层 1 个,共 3 个;

V_1 ——单个排水管的容积;

P_0 ——真空罐在抽气前的工作压力,即大气压 0.1 MPa;

P_2 ——真空罐的极限工作压力,即 0.06 MPa。

真空排污系统中由于有大便器等卫生器具,真空排水管道的管径通常为 De 80 mm (De 表示管道外径);考虑到最不利的情况,管道长度取 50 m。通过计算得到真空罐的有效容积为 0.89 L。

由此可知,真空罐的大小取决于真空管道的长度,若要减小真空罐容积,则必须合理化布置卫生间和真空泵站,尽量减小真空泵站和卫生间的距离。当卫生间和真空泵站的距离减小时,污水管道长度可缩短为 15 m,这样真空罐的有效容积就会减小至 0.3 m³。考虑到贮存污水,真空罐容积可选取 0.6~0.8 m³,但若容积过小会造成污水泵频繁启动,并不利于节能。因此,真空设备厂家基本均采用 1 m³ 真空罐。真空机组设备尺寸为 2.1 m×1.6 m (长度×宽度),考虑到管道侧、设备侧应预留 800 mm 的检修空间,因此真空泵站的面积应不小于 10 m²。关于运营单位反馈的真空泵站检修空间不足,

究其原因这是由于泵房面积偏小,鉴于此,设计者应加大与土建单位的配合。

3.2 真空泵选型

真空排污系统是一个封闭的空间。真空泵站原理如图 1 所示。

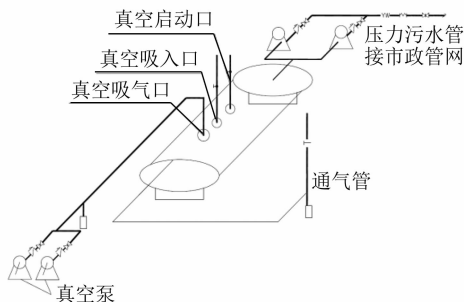


图 1 真空泵站原理图

当真空排污系统从卫生间排水时,真空泵仅补偿管路真空。当污水泵启动排放污水时,并未有空气进入真空罐,但气体体积增加,罐内真空度降低,因此还需真空泵抽取空气以使罐内压力达到设定值。污水泵抽取污水时,一般选型为 4.167 L/s (部分厂家深化设计时通常采用 2.78 L/s、5.56 L/s、6.94 L/s),即要求真空泵需在 1 s 内使容积为 4.167 L 的空间由大气压降到-0.04 MPa 的真空度。

真空罐的抽气速率^[5]为:

$$S = \frac{V}{t} \ln \frac{P_0}{P_2} \quad (2)$$

式中:

S ——真空罐的抽气速率;

t ——真空罐的抽气时间。

通过式(2),得到 $S=2.13$ L/s。

真空机组和真空罐设置于一体,真空吸气管长度为 0.8 m,管径为 DN 40 mm (DN 表示公称直径),则流导的计算公式为:

$$U = 1.88 \times 10^5 \frac{d^4}{l} \times \frac{P_0 + P_2}{2} \quad (3)$$

式中:

U ——导管的流导,cm³/s;

d ——真空泵吸气管的管径,cm;

l ——吸气管长度,cm。

通过式(3),得到 $U=31.6$ cm³/s。

真空泵的抽气速率为:

$$S_H = SU/(U - S) \quad (4)$$

式中:

S_H ——真空泵在 P_2 下的计算抽气速率。

通过式(4),得到 $S_H = 2.28 \text{ L/s}$ 。真空泵的有效抽气速率是其在满足真空室工作压力时的实际抽气速率。在一个标准大气压下运行时,真空罐内本身已处于准工作状态。根据《真空设计手册》要求,真空泵的选型应根据特性曲线选泵,当无相关资料时应按技术抽气速率的2~4倍选用^[6],因此真空泵的选型应为 $4.56 \sim 9.12 \text{ L/s}$ 。通过计算可知,真空泵的选型和污水提升泵的选型密切相关,若污水提升泵选型偏大势必造成真空泵的型号增大。通过实地考察,地铁真空泵站的污水提升泵设备选型基本均在 $5.56 \sim 6.94 \text{ L/s}$ 范围内。当真空泵选型为 $15 \sim 25 \text{ L/s}$,势必造成能源的浪费。因此,污水提升泵的设备选型应考虑卫生间布置和乘客使用人数,在满足污水排放要求的前提下根据计算确定。

4 污水收集装置和隔膜阀故障分析

污水收集装置和隔膜阀是污水收集和排放的核心。

4.1 污水收集装置故障

污水收集装置是卫生器具和卫生间地漏排水汇集的小集水箱。由于地铁为大众服务,人员素质参差不齐,尤其大便器内乱扔污物杂质较多,造成污水收集装置堵塞现象时有发生,导致真空排污系统无法正常运行,造成地铁运营的大量维修和清掏工作。污水收集装置通常选用5 L、10 L、15 L等3种规格。综合上海、西安、长沙、武汉等城市的真空设置情况,目前常用收集装置的规格为5 L。卫生洁具采用普通洁具,冲洗水量加大。为妥善解决堵塞现象,污水收集装置应加大型号,在污水收集装置内设置细格栅,前段设置清掏口,以便于工作人员的维护和管理。

4.2 真空隔膜阀故障

真空收集装置与真空排污管路之间采用真空隔膜阀隔离。当污水收集装置中的液位达到液位开关的设定液位时,控制系统控制真空隔膜阀打开,污水通过真空隔膜阀及排污真空管道被抽吸至真空机组的真空罐内。

真空隔膜阀是一种特殊形式的截断阀,它的启闭件是一块采用软质材料制成的隔膜,隔膜阀是一个弹性的膜片。隔膜为易损件,理论寿命可达3万多次^[7],但地铁真空排污系统需往复运动,频率较大。根据调查,每个真空排污系统基本每月需更换一次,这也是地铁运营单位强烈反对使用真空排污

的一个主要原因。

常规真空排污系统的真空收集装置只设置1个真空隔膜阀^[8],系统较为单一,真空隔膜阀发生故障或更换不及时时难免导致系统瘫痪,如图2所示。为避免此类问题发生,真空收集装置应设置2个隔膜阀吸水系统(见图3),且2个系统间并联连接;或每个吸水管设置2个隔膜阀^[3],真空隔膜阀采用ABS(丙烯腈-丁=烯-苯乙烯共聚物)活结,当其中之一发生故障时应及时更换。

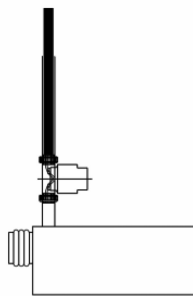


图2 普通真空隔膜阀安装示意图

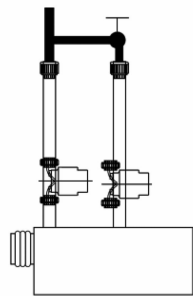


图3 改造后的真空隔膜阀安装示意图

5 真空管网系统设计与安装

5.1 真空管网系统设计

通过以上分析可知,真空罐的有效容积为 $800 \sim 1\,000 \text{ L}$ 。由于真空管路体积对真空泵选型影响有限,污水管道向上提升^[9],而由于卫生间污水收集装置设置于站厅层和站台层,当污水管道向上提升^[9]时,卫生间污水由于重力汇集至真空泵站,中间收集装置集中设置于真空泵站,大大节约了真空管路的敷设,同时又为运营检修带来方便。

5.2 真空管网系统安装

真空排污系统的核心应保证管网的密闭性,以确保系统的正常运行。管道连接处应保证管道内部光滑。目前施工不规范也是造成真空管网系统运营维护工作量较大的一个主要原因。

管道安装应按照相关规程正确施工,选用符合

国家标准的 PE 管及管件,管道连接应采用电熔;管件不得采用 90°弯头和正三通,宜采用 45°弯头和 45°斜三通,并使用 45°弯头制作水平向上方的鹅颈弯,斜三通的安装方向与水流方向一致;在所有三通对接处、鹅颈弯处、转角拐弯处等位置必须加装固定管卡以防止真空管振动破裂。

真空排水管道与真空贮罐采用法兰连接,不得渗漏,真空管道和真空罐连接前应安装检修阀。每个提升器必须安装 1 根支管,在支管的前端必须安装检修球阀,检修球阀的出口端必须安装活接便于检修和维护。

6 结语

1) 真空罐的有效容积不宜过小,真空排污系统应适当增加真空泵站的建筑面积,以便为运营和检修提供空间;

2) 真空泵的选型和污水提升泵的选型密切相关,在满足污水排放的前提下污水提升泵选型不宜过大,避免能源浪费;

3) 污水收集装置应进行升级改造,在污水收集装置中设置细格栅和清掏口^[10],避免管路堵塞和便于清掏,在有条件的情况下应集中设置;

4) 真空隔膜阀应设置备用系统以便及时更换;

5) 真空管道安装应规范施工。

本文的研究结果可为真空排污系统的升级改

造、后期设计和设备厂家提供依据和支撑。同时建议运营部门加大运营维护,定期对真空机组巡检,以及对卫生洁具及排水点设置格栅网以防止正空排污系统堵塞。

参考文献

- [1] 齐薇. 西安北站真空卸污设施设计及应用探讨[J]. 铁道标准设计, 2014(4): 93.
- [2] 宋嵘. 真空排污系统在地铁车站中的运行分析[J]. 机电工程技术, 2011(6): 118.
- [3] 耿广晋. 浅谈地铁排污系统[J]. 科技资讯, 2015(11): 119.
- [4] 邹红. 客运专线铁路旅客列车地面卸污系统设计研究[J]. 铁道标准设计, 2008(9): 112.
- [5] 《动力管道设计手册》编写组. 动力管道设计手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [6] 达道安. 真空设计手册[M]. 北京: 国防工业出版社, 1996.
- [7] 张继杰, 黄焱歆, 俞德池. 上海火车站固定式真空卸污工程技术特点[J]. 铁道劳动安全卫生与环保, 2007(5): 246.
- [8] 郭霖, 吴国华, 齐鸣春. 北京南站动车组卸污设计[J]. 铁道标准设计, 2011(7): 105.
- [9] 邱慧, 王研. 铁路站场真空式地面卸污系统介绍[J]. 铁道劳动安全卫生与环保, 2005(1): 30.
- [10] 邹平. 浅谈半真空排污系统在地铁中的应用及安装要点[J]. 基层建设, 2019(19): 102.
- [11] 赵青松, 王艳伍. 真空排污系统在地铁中的应用[J]. 城市轨道交通研究, 2011(5): 102.

(收稿日期: 2020-07-18)

(上接第 132 页)

5 结语

本文通过集成 BIM 技术、GPS 技术和 UWB 定位技术,为地铁工程施工人员不安全行为管控提供了一个新的、强有力的技术监管手段。构建了地铁施工事故预警系统,并提出了该系统的 4 大基本功能,同时对各模块层的工作机制进行了详细分析。研究成果可为地铁工程现场施工人员不安全行为预警,以及后续相关系统的开发提供参考。

参考文献

- [1] 宋红霞. 人的不安全行为的分析和控制[J]. 建筑安全, 2011(2): 39.
- [2] 黄伟. 浅谈施工安全管理过程中人的不安全行为与物的不安全状态[J]. 企业导报, 2012(21): 63.

- [3] CHAN-SIK P, HYEYEON-JIN K. A framework for construction safety management and visualization system[J]. Automation in Construction, 2012(33): 95.
- [4] 江帆. 基于 BIM 和 RFID 技术的建设项目安全管理研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2014.
- [5] 李钰, 吕建国. 基于 BIM 和 VR/AR 技术的地铁施工信息化安全管理体系[J]. 工程管理学报, 2017(4): 111.
- [6] 邓超. ZigBee 与 BIM 技术融合的施工安全预警系统研究[D]. 武汉: 武汉科技大学, 2020.
- [7] 李英攀, 史明亮, 刘名强, 等. 基于 Cloud-BIM 和 UWB 的施工现场智能安全系统研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2018(9): 151.
- [8] 姚刚, 张希黔. GPS 技术在土木工程施工领域的应用现状与展望[J]. 施工技术, 2012(2): 48.
- [9] 张勇. 地铁施工中人员不安全行为的安全管理研究[J]. 工程建设与设计, 2020(19): 221.

(收稿日期: 2021-01-01)