

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.24.010

# 消防给水系统中高位消防水池兼作阻尼器的问题与对策

杨琦<sup>1,2</sup>, 周建龙<sup>1,2</sup>, 虞利强<sup>3</sup>, 闫霁<sup>3</sup>, 滕犇<sup>1</sup>

(1. 华东建筑设计研究总院, 上海 200002; 2. 上海超高层建筑设计工程技术研究中心, 上海 200002; 3. 上海市虹口区消防救援支队, 上海 200082)

**摘要:** 针对超高层建筑消防给水系统的高位消防水池兼作结构阻尼器,从结构阻尼器和高位消防水池的功能需求出发,分析了这种兼用所带来的新问题。由于消防水池水日常处于运动的状态,带来了水位的变化、连接固定和贮水容积的可靠性、消防用水防冻、消防水池本体强度和内部构造变化等情况,设计需要同时满足消防水池和超高层建筑结构阻尼器的功能要求。通过问题的分析,从高位消防水池的有效容积保障、管道的柔性连接、有效水位的确定、水池结构的强度等方面,提出了高位消防水池兼作阻尼器需要采取的技术加强措施。

**关键词:** 高位消防水池; 消防给水系统; 结构阻尼器

**中图分类号:** TU998.1 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)24-0061-04

## Problem and Countermeasure of High Level Fire Pool as Damper in Fire Water Supply System

YANG Qi<sup>1,2</sup>, ZHOU Jian-long<sup>1,2</sup>, YU Li-qiang<sup>3</sup>, YAN Ji<sup>3</sup>, TENG Ben<sup>1</sup>

(1. East China Architectural Design & Research Institute, Shanghai 200002, China; 2. Shanghai Engineering Research Center of Super High-Rise Building Design, Shanghai 200002, China; 3. Shanghai Hongkou District Fire and Rescue Department, Shanghai 200082, China)

**Abstract:** Aiming at the high level fire pool as damper in fire water supply system of super high-rise building, new problems caused by the combination of structural damper and high level fire pool were analyzed based on functional requirements of structural damper and high level fire pool. Because the fire pool water was in the state of daily movement, it brought about the water level change, reliability of the connection and storage volume, fire water anti-freezing, strength of the fire pool and change of its internal structure. The design needed to meet the functional requirements of fire pool and damper of a super high-rise building. The problems were analyzed, and it was proposed that technical measures should be taken to strengthen high level fire pool as damper from the aspects of effective volume guarantee, flexible connection of pipes and determination of effective water level and strength of pool structure.

**Key words:** high level fire pool; fire water supply system; structural damper

在超高层建筑中,为提高消防给水的可靠性,往往采用常高压消防给水系统的形式,在建筑的最高

部位设置高位消防水池,贮存全部室内消防用水量。在建筑高度大于一定高度的情况下,超高层建筑为

基金项目:“上海超高层建筑设计工程技术研究中心”建设项目(14DZ2252800)

减小建筑受到风力、地震力引起顶部的大幅度摆动,在建筑顶部设置阻尼器,以抵抗建筑的横向荷载。这种阻尼器的质量与高位消防水池的质量相当,将高位消防水池兼作阻尼器既可解决两者的功能需求,也可降低建筑结构的垂直荷载、提高建筑的经济性。但对于高位消防水池兼作阻尼器,现行标准没有相关规定,需进行相关分析以保证两者的可靠性。

## 1 功能要求

### 1.1 结构阻尼器的功能

在高层建筑设计中,特别是在易受空气旋影响、地震活跃等地区,超高层结构设计往往会跳出采用增强梁、柱、墙来提高抗震能力的传统观念,改为利用结构的动力性能在高层建筑屋顶上设置质量共振阻尼系统和主动控制减震体系,从而避免或减少地震、风力的破坏,保证建筑的结构安全和建筑上部使用的舒适性。

在超高层建筑中阻尼器的选择多为调谐质量阻尼器(TMD)、黏滞阻尼器(VD)和调谐液体阻尼器(TLD)。调谐质量阻尼器通常通过弹簧和阻尼装置连接于建筑的质量(M)上,阻尼装置一般为黏性阻尼设备。设计需要关注质量比和质量位移的参数。中国在超高层建筑中最早采用阻尼器的为台北市101大厦380 m处的660 t的单摆钢球阻尼器,利用摆动来减缓建筑物的晃幅;采用调谐液体阻尼器的有迪拜的公主塔(Princess Tower,413 m),阻尼器安装高度363 m;广州电视塔采用高位消防水池作为主动阻尼器,与下层的被动调谐质量阻尼器结合;苏州国金中心塔楼顶层采用590 t高位消防水箱作为TLD。高位消防水池既可以作为质量块摆动TMD的质量(见图1),又可以利用其水在容器内晃动的特点起到相应的阻尼作用(见图2、3)。调谐液体的一种方式是利用消防水运动与内部浆柱的平衡(TLD),另一种方式是利用消防水在柱状空间内的水位高低形成的质量变化来调谐阻尼(TLCD)。其节省了专用质量和空间,且经济性较好。由于液体在运动中相对滞后于其他形式的阻尼,液体的调谐阻尼对低幅高频或高幅低频的震动不能有效地控制。因此,在结构阻尼器的选择上,没有绝对最优的方案,只有最适合的方案。高位消防水池兼作质量块阻尼器还可以通过其非常大的惯性来抵消地震作用产生的不利水平荷载,减轻大厦主体结构在地震作用下的震动反应,同时,还体现在其经济性上。

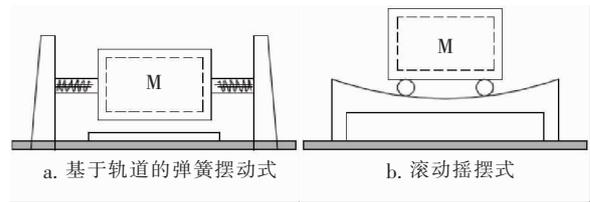


图1 高位消防水池兼作质量块的摆式(TMD)布局

Fig.1 Pendulum type TMD layout with high level fire pool as mass block

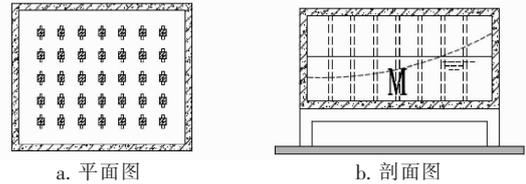


图2 高位消防水池兼作调谐液体阻尼器(TLD)布局

Fig.2 Layout of high level fire pool used as tuned liquid damper (TLD)

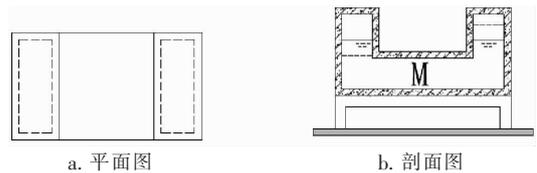


图3 高位消防水池兼作液柱阻尼器(TLCD)布局

Fig.3 Layout of high level fire pool used as liquid column damper (TLCD)

此外,现有的最新技术使用电磁力来代替重力产生阻尼效应,这样可减轻设备的自重,还可将其反力的作用反馈到主体结构上。这种情况就不一定采用高位消防水池作为质量块,但其经济性相对不如高位消防水池兼用的方式。

### 1.2 高位消防水池的功能

高位消防水池系指设置在高处直接向水灭火设施重力供水的贮水设施,也称高位消防水箱、重力水箱。其设计功能需满足消防水池的要求。

根据《消防给水及消火栓系统技术规范》(GB 50974—2014),对高位消防水池有相应的技术规定。高位消防水池的最低有效水位应能满足其所服务的水灭火设施所需的工作压力和流量,且其有效容积应满足火灾延续时间内所需消防用水量。消防用水与其他用水共用的水池,应采取确保消防用水量不作他用的技术措施。当高压消防给水系统的高位消防水池总有效容积大于 $200\text{ m}^3$ 时,宜设置蓄水有效容积相等且可独立使用的两格;当建筑高度大于100 m时应设置独立的两座。每格或每座应有一条

独立的出水管向消防给水系统供水。高位消防水池设置在建筑物内时,应采用耐火极限不低于2.00 h的隔墙和1.50 h的楼板与其他部位隔开,并应设甲级防火门;且消防水池及其支承框架与建筑构件应连接牢固。严寒、寒冷等冬季结冰地区的高位消防水池应采取防冻措施。此外,高位消防水池的有效容积计算方法、补水时间、进水管管径、连续补水计算以及分隔、连接的各类管道和水位等应符合规定。

上海市《民用建筑水灭火系统设计规程》(DGJ 08—94—2007)中提出,在重力消防给水系统中,高位消防水池承担利用重力直接向消防水管网供水的作用,并能满足消防给水系统水压和流量。此外,在建筑高度大于250 m的超高层建筑消防给水设计中,建议优先考虑采用高位重力水箱给水系统<sup>[1]</sup>。

## 2 问题分析

高位消防水池与阻尼器在设置高度上的功能需求是一致的,且高位消防水池贮水量至少在540 m<sup>3</sup>(室内消火栓用水量40 L/s,火灾延续时间3 h;自动喷水灭火系统用水量30 L/s,持续喷水时间1 h),与阻尼器的质量接近,但高位消防水池兼作高层建筑结构阻尼器也带来了新的问题。

不论是高位消防水池作为质量块,还是消防水量直接参与阻尼作用,都使消防用水在水池内发生运动,形成水位的持续变化,当高位消防水池作为质量块时还产生高位消防水池日常的相对位移。因此,高位消防水池由常规设计的静态转为动态,同时,液体阻尼器与其他形式阻尼器要求也有所不同。

### 2.1 高位消防水池

#### 2.1.1 有效容积的保障

高位消防水池设计必须满足其有效容积。兼作结构阻尼器的特点是水池本体和贮水的摇晃,在摆动中高位消防水池的水位不断发生变化,常规的水位标高加水位波动设计不能符合现状的情况。所采用的溢流标高需确保贮水有效容积,需高于水池内可能的最高摆动水位,特别是在作为调谐液体阻尼器(TLD)和调谐液柱阻尼器(TLCD)的布局中。

在调谐液体阻尼器中,设有带叶片或挡板的浆柱以提高阻尼效果。作为消防水池有效容积的计算中,应该扣除这部分体积。

除了高位消防水池自身的有效容积保证外,其补水也涉及有效容积的保障。运动中的高位消防水池,需要相对准确地判断其贮水量。水池补水需及

时且补充足够的水量,即补水的最高水位和最低水位应适应水池的动态变化。

#### 2.1.2 管道的连接

在调谐液体阻尼器和液柱阻尼器形式中,高位消防水池与结构体直接接触,相对稳定。而调谐质量阻尼器形式中,高位消防水池类似于摆锤,它与结构发生相对的位移。高位消防水池的进水管、出水管与管网相连,必须保证其连接的可靠。此外,其他还有溢流管、放空管、通气管、水池(箱)之间的连接管,需要考虑与水池的固定,防止在运动中的脱离。

液体作为阻尼作用时,针对水位的波动,需要关注最大可能形成的波动最低水位。连接管需满足最低有效水位,且其管径应能满足设计流量的要求。

#### 2.1.3 防冻

作为阻尼器的高位消防水池往往设置在室内,当其空间不密闭时,位于建筑最高部位的极端气温较低,即使在室内也要考虑管道、水池的防冻问题。

#### 2.1.4 水池结构的强度

高位消防水池无论是作为质量块还是阻尼液体,阻尼实质上是一种能量的转换,其结构除了考虑自身的强度以外,还要考虑反复运动带来的疲劳问题和承受内部水量波动冲击水池的强度问题。设计需要保证高位消防水池在使用周期内的强度可靠。

### 2.2 阻尼器

高位消防水池还需满足阻尼器的功能要求。需考虑到高位消防水池在放空情况下的问题,一是应急使用消防用水,该情况下建筑结构的顶部晃动幅度增加,并不影响其安全性,是可以接受的;二是高位消防水池的日常维护管理的放空,设置两座独立的高位消防水池是较好的处理方式。

阻尼器采用高位消防水池的方式中,对其布置的场所要求也发生变化。其设置场所需要满足高位消防水池设置的建筑防火规定,设置在室内时还有耐火极限的分隔要求。

## 3 技术措施及对策

### 3.1 高位消防水池的设置与限位

在高位消防水池的设置上,当兼用阻尼器时应将其设置成独立的两座,以确保高位消防水池的安全可靠。例如,广州塔设计中,高位消防水池兼作调谐质量阻尼器(TMD)和主动质量阻尼器(AMD)的一部分,采用了两座高位消防水池,每座贮水量270 m<sup>3</sup>,设置在443.6 m层<sup>[2]</sup>。当高位消防水池作为质

量阻尼器时,需要对其摆动设置限位装置,防止水池冲出导轨或摆动区域,这也是为消防水池本身的安全考虑。其分成两格设置宜沿摆动的轴向进行。

### 3.2 有效容积的保障与水位判断

高位消防水池有效容积的计算中,应按阻尼运动中可以贮存的最小用水量确定,且有效容积计算应扣除高位消防水池内阻尼柱和隔墙所占据的空间以及底部隔断(隔墙)形成的无效水容积。当设有隔墙时,应在其有效水位下开设至少不少于3个200 mm×200 mm的孔洞连接水体,保证水体分隔之间的畅通。消防用水兼作阻尼作用应采取确保消防用水量不作他用的技术措施。

为满足运行中高位消防水池的消防水量,可以采用水池的质量或水位进行判断。水池的质量判断可采用质量传感器,水位的判断需要采用多点传感器监测的物联网技术来确定其有效水位和实际贮水量,特别是需要对最低水位有可靠、有效的判断。同时,控制补水的水位变化要求。

### 3.3 管道连接与维修保障

在高位消防水池的管道连接上,应考虑兼作阻尼器的消防水池位移的要求。与高位消防水池连接的管道不得采用刚性管道,应设置金属伸缩软管。金属伸缩软管的长度应满足运动位移的要求,并经计算确定。为了便于柔性可挠管道与高位消防水池连接,可将大管径的管道分成若干根小管径的管道。进出水管在水池壁处连接的金属软管前应设置控制阀门,以避免因金属软管故障而脱落造成消防水量的过多损失和机房被淹。需注意,与高位消防水池连接的单根出水管管径也不宜太小,建议不小于DN100。此外,在金属伸缩软管设计中,还需预留一定的富余长度和相互间距,既要满足位移和安装要求,又要防止软管过长引起管道相互缠绕的破坏。

### 3.4 防冻与保温

这种高位消防水池不应采用敞开式水池。兼作阻尼作用时,高位消防水池及管道在可能结冰的场所,应采取可靠、有效的防冻措施。设置消防水池的房间应满足规范对建筑防火分隔的耐火极限规定。其保温措施应优先考虑设置环境温度,然后考虑隔热保温,尽量避免单一的电加热措施降低可靠性。

### 3.5 高位消防水池的结构本体强度

从结构角度看,兼用的高位消防水池应考虑波

浪对高位消防水池侧壁冲击强度影响,不应降低高位消防水池的使用寿命。当高位消防水池采用钢筋混凝土结构形式时,其内部的表面应有防长期冲刷、防表面脱落的处理措施。当高位消防水池采用不锈钢拼装水箱的结构形式时,其内部应加固以防止变形,拼装的密闭橡胶需要选用防老化的材质,且需考虑贮水对侧壁的冲击噪声对周边功能房间的影响。

当采用液体或液柱阻尼器形式时,兼用高位消防水池的本身与建筑结构的主体应连接可靠。当设有基础时,高位消防水池与基础应连接固定。当采用质量块阻尼器形式时,兼用高位消防水池应考虑运动的限位,以防止意外的发生。

## 4 结语

超高层建筑中高位消防水池兼作阻尼器带来了新的问题,根据高位消防水池从静止到运动状态的特点,需采取相应对策。高位消防水池兼作不同类型的阻尼器,其技术措施应区别对待。应从有效容积的保障、有效水位的确定、管道的柔性连接、防冻与保温、水池结构的强度等方面采取技术加强措施。

## 参考文献:

- [1] 黎承. 超高层建筑消防供水系统设计探析[J]. 给水排水, 2014, 40(6): 58-61.  
LI Cheng. Probe into the water supply system design for the super high-rising building[J]. Water & Wastewater Engineering, 2014, 40(6): 58-61 (in Chinese).
- [2] 赵力军, 黄频, 黄伶俐, 等. 世界第一高电视观光塔——广州塔工程给排水设计简介[J]. 给水排水, 2011, 37(6): 62-73.  
ZHAO Lijun, HUANG Pin, HUANG Lingli, et al. Brief introduction of the plumbing system of the highest television tour tower—Canton Tower [J]. Water & Wastewater Engineering, 2011, 37(6): 62-73 (in Chinese).

**作者简介:**杨琦(1963—),男,江苏苏州人,大学本科,教授级高级工程师,专业院总工程师,研究方向为建筑给排水和水灭火系统设计技术,参与了几十项工程的设计并获勘察设计奖,且参与多本国家和地方规范的编写。

**E-mail:**qi\_yang@ecadi.com

**收稿日期:**2021-01-27

**修回日期:**2021-02-18

(编辑:孔红春)