

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.18.015

# 超限高层建筑重力消防供水系统设计探讨

孙 武

(华东建筑设计研究院有限公司, 上海 200002)

**摘 要:** 通过介绍在建的南京416项目的消防供水系统,对超限高层建筑的重力消防供水系统的设计要点及规范争议点进行了探讨,并提出了一种逻辑简单、运行安全有效且易于试验的重力消防供水系统:中间水箱采用转输、减压合设的形式提高系统韧性;重力出水管上设置减压孔板使出流量与系统设计流量匹配,避免阀组频繁启闭;当消防供水系统开始动作时,所有转输泵同时启动,并将溢流管道系统纳入消防供水系统以形成循环。此系统在不同工况下高位和低位的消防水源均可得到有效利用,而且可长时间试验系统的可靠性。

**关键词:** 超限高层建筑; 消防加强措施; 重力消防供水系统

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2024)18-0085-05

## Discussion Regarding the Design of Gravity Fire Water Supply System for Over-limit High-rise Building

SUN Wu

(East China Architectural Design & Research Institute, Shanghai 200002, China)

**Abstract:** By introducing the fire water supply system of the 416 project under construction in Nanjing, the design key points and regulatory disputes of the gravity fire water supply system for the over-limit high-rise building were discussed, and a gravity fire water supply system featuring simple logic, safe and effective operation, and easy testing was proposed. The intermediate water tank adopted the form of transfer and decompression to enhance the system's resilience. The pressure reducing orifice plate on the gravity outlet pipe was configured to align with the discharge flow of the system's design flow to prevent the valve group from frequently opening and closing. When the fire water supply system commenced operation, all transfer pumps initiated simultaneously, and the overflow piping system was integrated into the fire water supply system to establish a cycle flow. The system could be effectively utilized with both high and low fire water sources under diverse working conditions, and was capable of testing the reliability of the system over an extended period of time.

**Key words:** over-limit high-rise building; enhanced fire protection measures; gravity fire water supply system

高层建筑的火灾具有火势蔓延快、疏散困难、扑灭难度大等特点。高层建筑的设计,在防火上应立足于自防自救,高度超过250 m的建筑(超限高层)更是如此<sup>[1]</sup>,其在满足现有规范的基础上,尚需配备更严格的防火措施并通过消防评审。

近年来,我国高度超过250 m的建筑越来越多,在此背景下《建筑高度大于250米民用建筑防火设计加强性技术要求(试行)》(以下简称《技术要求》)应运而生。《技术要求》对超限高层的消防供水系统形式提出了明确要求,即采用重力供水系统。此

外,亦对高位、低位消防水池的有效容积做出了明确规定,即高位消防水池、地面(地下)消防水池的有效容积分别满足火灾延续时间内的全部消防用水量。另外,从控制系统压力的角度出发,《技术要求》规定“高位消防水池与减压水箱之间及减压水箱之间的高差不应大于200 m”,但是未对中间的转输/减压水箱(以下简称“中间水箱”)的设置原则做出明确要求。

现有消防设计存在减压水箱与转输水箱分开和合用两种设置形式,两者在实际工程中的使用比例相当。中间水箱是连通高位消防水池与低位消防水池的枢纽,如何设置中间水箱将直接影响高位消防水池和低位消防水池的水是否能被有效用于灭火。此外,现有规范对系统控制及试验的要求主要针对临时高压系统。重力消防供水系统通常由多级转输系统及减压系统串联组成,涉及的水泵和阀组众多,难以通过短期试水验证系统在灭火周期中的有效性。为此,以南京416项目中的消防供水系统设计为例,对其中的设计要点以及规范争论点进行了探讨,并提出一种控制简单、运行可靠且可灵活切换的重力消防供水系统。

## 1 工程概况及消防供水系统

在建的南京416项目是融甲级写字楼、五星级酒店、酒店式公寓、配套商业于一体的综合体项目。地下共5层,建筑面积约 $13 \times 10^4 \text{ m}^2$ ;地上由C1塔楼(88层)、C3塔楼(50层)及4栋多层商业楼(C2、C4~C6)组成,其中,C1塔楼高约416 m、建筑面积约 $21 \times 10^4 \text{ m}^2$ ,C3塔楼高约196 m、建筑面积约 $8 \times 10^4 \text{ m}^2$ ,C2和C4~C6商业楼高约21 m、建筑面积约 $1 \times 10^4 \text{ m}^2$ 。

在项目方案设计阶段,《技术要求》尚未颁布实施,不过超限高层采用重力消防供水系统已基本成为行业主流。考虑到分期验收的需求,该项目共设置两套室内消防供水系统,具体见图1。其中,消防系统Ⅰ为重力高压消防供水系统(顶部为临时高压),供水范围为C1塔楼及地下室C1主体投影范围的防火分区;消防系统Ⅱ为临时高压消防供水系统,供水范围为C2~C6楼及地下室消防系统Ⅰ负责外的其他区域。消防系统Ⅰ与Ⅱ合用地下室消防水池及泵房。室内消防水池设于地下一层,储存一次室内消防用水量,有效容积为 $680 \text{ m}^3$ 。C1屋顶消

防水池另储存一次室内消防用水量,有效容积亦为 $680 \text{ m}^3$ 。在28F、61F避难设备层设置转输和减压合用水箱,有效容积均为 $60 \text{ m}^3$ 。由于在消防评审会上有专家提出宜设置独立的减压水箱以进一步提高安全性,而18F、39F避难设备层恰有机房空余,故在18F、39F避难设备层增设减压水箱,有效容积均为 $36 \text{ m}^3$ 。

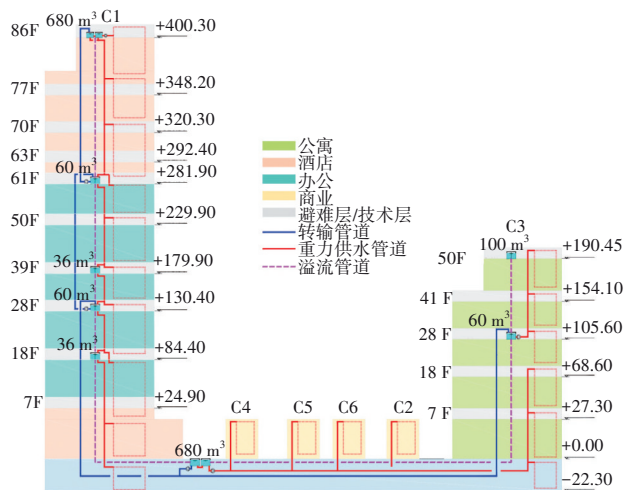


图1 南京416项目的消防供水系统示意

Fig.1 Fire water supply system of 416 project in Nanjing

## 2 中间水箱及其接管设计要点

在南京416项目中,屋顶和地下室的消防水池均储存有一次室内消防灭火的用水量,屋顶消防水池内的水具有更高的位能,通过重力作用即可到达着火点而不需要额外增压提升,为第一消防水源;地下室消防水池作为屋顶消防水池的补充和备用,为第二消防水源。

水箱重力出水管作为第一水源的输配水管道,其设计的合理性直接影响到整套消防供水系统的可靠性。416项目在28F、61F设置转输和减压合用水箱,合用水箱接管情况如图2所示。重力进水管依次设置电动阀(常开,消控室可在紧急情况下远程关闭)、减压孔板及水力式液位控制阀。

根据《消防给水及消火栓系统技术规范》(GB 50974—2014),消防给水管道的的设计流速不宜大于 $2.5 \text{ m/s}$ ,且任何消防管道的流速不应大于 $7 \text{ m/s}$ 。416项目的室内消防设计流量为 $100 \text{ L/s}$ ,考虑一根备用,设置2根DN250的转输管,流速约为 $2.0 \text{ m/s}$ 。绘制同一高差的转输系统与重力供水系统的工作曲线,详见图3。

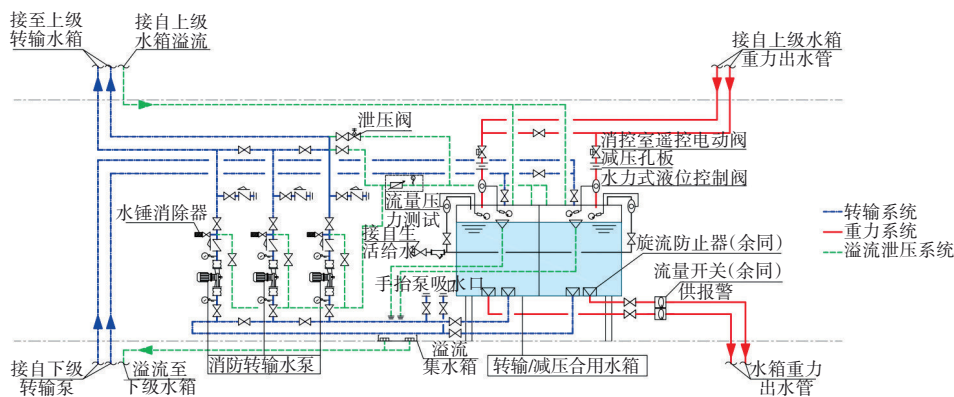


图2 中间水箱接管示意

Fig.2 Inlet and outlet pipes of the mid-tank

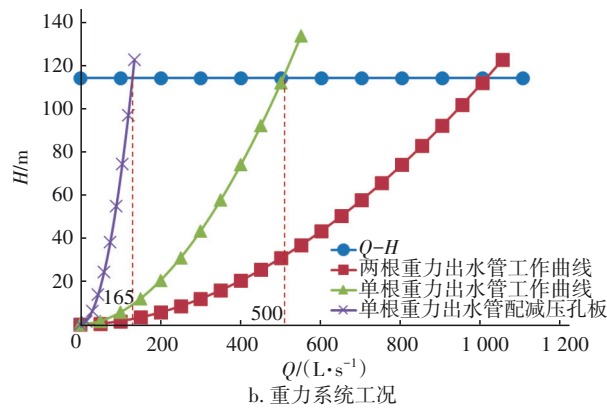
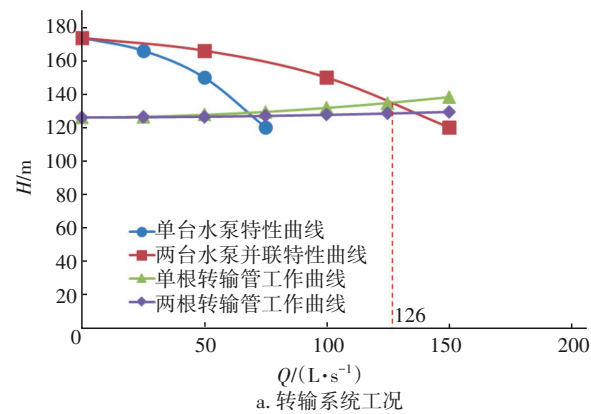


图3 转输系统和重力系统的工况分析

Fig.3 Analysis of working conditions of transfer system and gravity system

在重力出水管与转输管同径的情况下,单根重力出水管的流量约为500 L/s,流速约为10 m/s,远超规范限定值,将对下级水箱造成较大冲击。单根重力出水管的出流量约为消防设计流量的5倍,远大于消防设计流量,将造成重力进水管上的水力阀门频繁开关而引发故障。如转输管及重力出水管均不考虑一根出现故障,即两根同时动作,这种差异

将进一步增大,约为7.3倍。为解决重力出水流量与转输流量严重不匹配的问题,该项目通过在重力进水管上设置孔径为75 mm的减压孔板,将流量控制在165 L/s左右,出口流速约为3.3 m/s。

### 3 运行策略

与生活供水系统不同,节能不是消防供水的主要考量因素。本着“简单即可靠”的原则<sup>[2]</sup>,消防供水系统的运行策略应尽量减少灭火过程中水泵的频繁启停及电气阀门的频繁动作。此外,运行策略宜便于通过试验验证其可靠性。

南京416项目的控制策略为:当某一分区着火,灭火设施开始启动,优先利用第一消防水源灭火,该分区上方的减压水箱(或转输和减压合用水箱)液位下降,重力进水管上的水力式液位控制阀自动开启,由其上级水箱对其补水。当屋顶水箱水位下降到设定液位时,所有转输水泵同时开启。因灭火时消防系统可靠性的重要程度远高于经济节能,为避免水泵的频繁启停引发故障,水泵一旦启动,除地下室消防水池达到最低有效液位或有管理权限的工作人员手动停泵外,不自动停泵。

理论情况下,下级转输水泵补入中间水箱的水量等于本级转输水泵抽吸的水量,达到动态平衡,转输水箱的容积可适当缩小。在实际工程中,不同级的转输水泵流量很难完全一致,其差值可通过溢流管道系统及重力出水管系统来平衡。在实际灭火过程中,消防实际流量很难与设计流量一致,以下逐一分析不同消防流量下的运行情况:

① 当实际消防用水量小于设计值时( $Q_{\text{实际}} < Q_{\text{设计}}$ ),屋顶重力出水管的流量小于转输泵流量,屋顶消防水池内的液位逐渐上升至溢流液位,多余水



量( $Q_{\text{设计}} - Q_{\text{实际}}$ )通过溢流管道系统逐级向下传递直至地下室消防水池,地下室消防水池内的水使用完毕后,转输泵全部停泵,此时高位消防水池内仍储存有一次消防用水量,可延长系统的保护时间。

② 当实际消防用水量等于设计值时( $Q_{\text{实际}} = Q_{\text{设计}}$ ),屋顶重力出水管的流量等于转输泵流量,屋顶消防水池内液位保持不变,此工况下实际由地下室消防水池供水,直至地下室消防水池内的水使用完毕,转输泵全部停泵。此时高位消防水池内仍有大量储水,可延长系统的保护时间。

③ 当实际消防用水量大于设计值时( $Q_{\text{实际}} > Q_{\text{设计}}$ ),屋顶重力出水管的流量大于转输泵流量,屋顶消防水池内液位逐渐下降,此时实际上由地下室消防水池和高位消防水池同时供水,直至地下室及屋顶消防水池内的水均使用完毕。

由以上3种情况的分析可知,该系统的搭建及控制策略可以充分利用双水源内的水量,在消防流量和延续时间等方面进行了加强。此外,由于在中间楼层设有转输和减压合用水箱,连通转输供水系统和重力供水系统,使整个消防供水系统呈环状。当出现极端情况造成第一消防水源失效时(高位消防水箱或其出水管出现故障),仍可通过停止最上一级消防转输泵的方式使用第二消防水源灭火,保障中、低区的消防用水,而不至于让整个消防供水系统完全瘫痪。转输水箱和减压水箱合设,不仅可减小中间水箱容积,亦可有效提高重力消防供水系统的韧性。

#### 4 溢流管道系统的重要性

当转输流量超过实际消防用水量时,多余水量均通过溢流管道回流至下级水箱,溢流管道系统是平衡水箱进出流量的重要一环,其在消防供水中的作用不容忽视。在系统调试与验收阶段,应充分试验溢流管道系统的安全性,建议试验时间不小于10 min。此外,持压泄压阀排水、流量压力测试装置排水亦需回流至本级或下级消防水箱,除灭火设施出水外,其余出水均回流至消防供水系统中。

南京416项目在泵房内设置1 m×1 m×0.5 m的集水井箱,消防水箱的溢流管排至集水箱。在集水箱内设置两个DN150的虹吸雨水斗,接DN300管道排至下级消防水箱。该排水管道按满管流考虑工作压力,可保障溢流管道系统的安全。

在地下室重力出水管上设置试水阀并回流至地下室消防水池,由于系统呈环状,系统可长时间进行试水试验。转输系统、重力供水系统、溢流系统的各个环节均可通过试验验证其可靠性。

## 5 讨论

### 5.1 重力供水系统的保护范围

《技术要求》第一条规定:该加强技术要求适用于超限高层的主体,包含主体投影范围内的地下室,即主体投影范围内的地下室需纳入重力消防供水系统的保护范围。

南京416项目的地下室有5层,范围远大于C1塔楼主体的投影范围,因功能及布局的不同,每层的防火分区划分均不同,且边界均与C1塔楼主体投影范围存在较大出入。建设方有C1塔楼外的其他区域提前于C1塔楼验收的需求,如果地下室均采用重力消防供水系统保护显然无法满足上述要求。目前采取的折中方案为地下室包含主体投影区的防火分区采用重力消防供水系统(消防供水系统I),其他防火分区采用临时高压消防供水系统(消防供水系统II)。此折中方案在满足《技术要求》的前提下,可基本满足建设方的要求,但是由于一个平面由两套工作原理及系统工作压力差异较大的消防供水系统保护,可能造成系统误接及后期误操作,对施工及后期管理均提出了更高的要求。笔者认为,地下室区域处于外部救援的高度线以下,主体投影范围内的地下室是否需采用重力消防供水系统保护有待进一步讨论。

### 5.2 管道工作压力的选择

《消防给水及消火栓系统技术规范》(GB 50974—2014)规定:高位消防水池、水塔供水的高压消防供水系统的系统工作压力,应为高位消防水池最大静压,且消防供水系统中采用的设备、器材、管材管件、阀门和配件等系统组件的产品工作压力等级,应大于消防供水系统的系统工作压力。但是减压阀组后系统工作压力是否需考虑减压阀组失效的情况一直存在争议。

笔者认为,减压阀组一用一备,且阀后均设置安全泄压阀,即安全泄压阀亦有备用。即使减压阀失效,亦可通过安全阀泄压,且因为系统常高压的特性,如减压阀失效,配合消防物联网系统的减压阀后压力检测功能,安全隐患在平时易于发现排

除。因此减压阀后系统压力按安全阀的动作压力选取已足够安全。因溢流管道系统在消防灭火过程中发挥重要作用,溢流管道的工作压力等级亦需大于或等于可能出现的最大压力。

### 5.3 消防转输泵零流量的压力

《消防泵》(GB 6245—2006)规定,消防泵最大工作压力不得超过额定工作压力的1.4倍。《消防给水及消火栓系统技术规范》(GB 50974—2014)规定:消防水泵零流量时的压力不应大于设计工作压力的140%,且宜大于设计工作压力的120%,同时规定了消防泵零流量时压力的上限和下限。根据其条文解释,规定零流量时的压力不宜过低的原因是消防供水系统的控制和防治超压等均通过压力来实现,如果消防水泵的性能曲线没有一定的坡度,实现压力和水力控制有一定难度。

笔者认为,规定消防泵零流量时压力的下限有待进一步商榷。首先,市面上很多具有CCCF认证的消防泵无法满足零流量时的压力大于设计工作压力120%的要求。其次,规定水泵零流量的压力下限,变相提高了系统的工作压力。如消防泵的性能曲线进一步平缓,亦可减少系统内的压力变化,对管道系统的安全有利。最后,重力消防系统的转输泵无法通过水泵出口的压力来控制,临时高压系统可通过水泵出口的压力变化来控制,但是出口处压力的变化出现在消防泵启动以前,系统压力变化主要来自稳压泵,而非消防泵零流量时的压力。

## 6 结语

《建筑高度大于250米民用建筑防火设计加强性技术要求(试行)》明确要求超限高层采用重力消防供水系统,但是现有规范主要针对临时高压系统,未对重力消防供水系统做出详细规定。为此,对南京416项目进行总结,对重力消防供水系统的设计要点归纳如下:

① 重力消防供水系统的控制逻辑不应过于繁琐,应尽量减少灭火过程中水泵的频繁启停及电气阀门的频繁动作,且易于试验系统在灭火周期内的有效性。转输泵同时启动,将溢流管道系统纳入消防供水系统,形成循环,在不同工况下,高位和低位的消防水源均可得到有效利用,且可长时间试验系统的可靠性。

② 重力出水管上宜设置减压孔板限制出流,使出流量与设计流量匹配,减压孔板的尺寸应通过计算来确定。

③ 中间水箱采用转输和减压合设的形式,既可节约机房面积,亦可提高消防供水系统的韧性:在第一消防水源失效的情况下,仍可通过消控室远程切换利用第二消防水源保护部分区域。

### 参考文献:

- [1] 住房和城乡建设部. 建筑设计防火规范: GB 50016—2014 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2018.  
Ministry of Housing and Urban-Rural Development. Code for Fire Protection Design of Buildings: GB 50016—2014 [S]. Beijing: China Planning Press, 2018 (in Chinese).
- [2] 归谈纯. 上海中心大厦给排水及消防系统设计介绍 [J]. 给水排水, 2015, 41 (1): 78-83.  
GUI Tanchun. Introduction to the design of water supply and drainage and fire protection systems in Shanghai Tower [J]. Water & Wastewater Engineering, 2015, 41 (1): 78-83 (in Chinese).

作者简介:孙武(1989—),男,湖南邵阳人,硕士,工程师,注册公用设备工程师(给水排水),研究方向为建筑给排水和水灭火系统设计技术。

E-mail:wu\_sun@ecadi.com

收稿日期:2023-04-11

修回日期:2023-06-26

(编辑:刘贵春)