

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2024.05.019

超高层建筑雨水立管消能措施对87斗系统的影响

李学良, 归谈纯, 李丽萍

(同济大学建筑设计研究院<集团>有限公司, 上海 200092)

摘要: 工程上,超高层建筑塔楼屋面一般采用87型雨水斗系统,并会对雨水立管设置 π 型弯、横管折转、立管扩径等常规消能措施,以期达到减压、消能的目的。运用数值模拟技术,针对采用常规消能措施的立管系统,以水气比、流速、动水压、速度水头等作为考察指标,分析其实际消能效果及可能存在的问题。100 m高平台模拟试验结果表明,与无消能措施系统相比,采用 π 型弯和横管折转措施不但不能减压和消能,反而会增加系统的流速和压力波动峰值;而采用立管扩径措施时,在流速峰值指标方面略有降低,但在动水压指标方面其效果不如无消能措施系统。

关键词: 超高层建筑; 87型雨水斗系统; 消能措施; 水力工况; 数值模拟

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2024)05-0116-06

Impact of Rainwater Riser Energy Dissipation Solutions on 87-type Roof Outlet Rainwater System in Super High-rise Building

LI Xue-liang, GUI Tan-chun, LI Li-ping

(Tongji Architectural Design <Group> Co. Ltd., Shanghai 200092, China)

Abstract: In super high-rise buildings, the 87-type roof outlet rainwater system is generally adopted on the roof, and conventional energy dissipation measures such as π -shaped bend, horizontal pipe turning and riser diameter expansion are set for the rainwater riser to achieve decompression and energy dissipation. This paper investigated the changes of indexes such as water-air ratio, flow rate, hydrodynamic pressure and velocity head of the riser system with conventional energy dissipation measures through numerical simulation technology, so as to analyze its actual energy dissipation performance and possible problems. The simulation results of the platform with height of 100 meters showed that compared with the system without energy dissipation measures, the system with π -shaped bend and horizontal pipe turning could not reduce pressure and energy dissipation, but increased the flow rate and pressure fluctuation peak. In the system with riser diameter expansion, the peak velocity decreased slightly, but its performance in terms of dynamic water pressure was not as good as that of the system without energy dissipation measures.

Key words: super high-rise building; 87-type roof outlet rainwater system; energy dissipation measure; hydraulic regime; numerical simulation

工程上,超高层建筑的塔楼屋面一般采用87型雨水斗系统(以下简称87斗系统),当塔楼屋面较高时,一般会在设备层位置对雨水立管设置 π 型弯、横管折转^[1]等常规消能措施(近年来也见工程上采取

立管扩径的消能方式),以期达到减压、消能的目的。实际上,当降雨量增大时,尤其是超高层建筑屋面应对超重现期降雨量时,立管是否会产生局部满管的水柱(水塞), π 型弯、横管折转或立管扩径形成的减

压和消能效果到底如何,更确切地说, π 型弯、横管折转等对水流的动能消减程度如何,又是否会激发水跃反而造成局部满管流的发生^[2],受限于现有的传统水力试验平台条件,暂无100 m屋面排水测试塔或超高层建筑实际工程运行工况的数据报道,无法进行相关验证。

为解决上述工程实际问题,笔者借力于成熟的计算机模拟技术,引入计算流体力学(CFD)数值模拟技术中的VOF模型,以水气比、流速、动水压(即流体力学概念中的静压,本研究按给水排水专业概念统一为动水压)、速度水头(即流体力学概念中的动压,本研究按给水排水专业概念统一为速度水头)等作为考察指标,结合可视化的流态进行数值模拟,对比分析常规消能措施(π 型弯、横管折转、立管扩径等)的实际消能效果,以期能为工程实践提供参考。

1 超高层建筑87斗系统数值模型的建立

为全面分析各类型87斗系统的水力工况,分两批次进行建模试验:①搭建10 m高的87斗雨水立管系统试验平台,控制模型构建的网格数量,降低模型的运算量,进行初步模拟研究;②在第1批次水力模型运行平稳、顺利的基础上,搭建100 m高的全尺寸雨水立管系统进行全面模拟研究。

1.1 雨水立管系统测试平台的建立

测试平台尺寸如下:试验水池平面尺寸为2 m×2 m,雨水斗设于水池正中央;池深0.5 m,在水池四周均匀设置4个进水口,进水口中心与雨水斗排水管中心的距离为0.8 m,排水管高度分为10 m和100 m两种类型。

为适当简化模型,减少运算量,对进水平台进行简化,进水口管径增大为DN150,减小进水流速,可降低进水对测试水池的扰动,近似模拟实测中的进水条件。87斗系统参考雨水斗国标图集并适当简化建模。

1.2 雨水立管系统几何模型的建立

针对10 m和100 m两种雨水立管高度,分别建立4种试验平台: π 型弯消能立管系统、横管折转消能立管系统、无消能措施立管系统、立管扩径消能立管系统,分别记作系统1~4(10 m)、系统5~8(100 m),几何模型尺寸详见图1(在系统1~4中, $A=B=5$ m;在系统5~8中, $A=B=50$ m)。雨水立管系统的平

均入口流速为0.558 m/s、入口流量为10 L/s、总流量为40 L/s,均在消能部件处设置监测点(系统3和7无消能措施以作对照),用于监测系统运行时段内的水气比、流速、动水压、速度水头等参数。

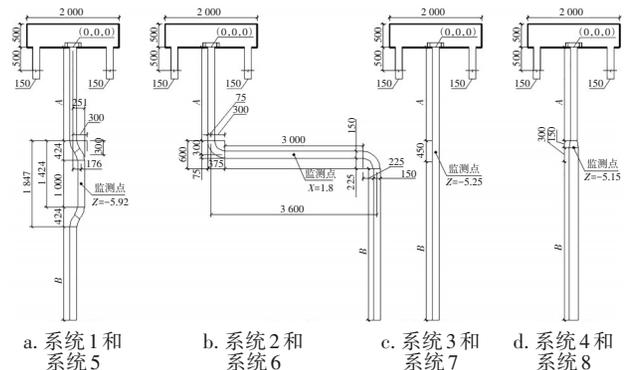


图1 4种雨水立管系统的几何模型

Fig.1 Geometric model of four types of rainwater riser system

由于雨水立管为圆形管道,而且设有 π 型弯等消能措施管段的断面几何形状较为复杂,为了简化模型以及方便计算考虑,几何模型采取非结构网格,在进水口、出水口以及 π 型弯管局部管段进行网格加密,面网格使用三角形网格,体网格使用四面体网格。

1.3 模型边界条件和参数设置原则

三维几何模型构建好后,采用VOF两相流模型对雨水立管系统进行数值模拟,主要边界条件和参数设置如下:进口条件设为速度入口;系统测试总流量 $Q=40$ L/s;出口条件采用压力出口;立管管径均为DN150(采用立管扩径消能的系统,扩径后管径为DN200)。其他无特别设置的边界均默认为壁面条件。

2 10 m高雨水立管系统的模拟结果分析

2.1 水气比的变化

对系统1~4的模拟试验数据分析可知,自0 s测试平台开始进水,运行至第7秒左右时,雨水流经消能管段;运行至第13秒左右时,雨水流经立管底部出水端口。为全面分析采取消能措施对雨水立管系统运行工况的影响,本研究重点分析系统在5~15 s时段内的水力工况。

系统1~4消能段的水气比变化如图2所示。可知,各系统消能段的水气混掺均较为强烈,无稳定的自由液面,各系统呈现两个较为明显的阶段:在

7~9 s时段内,系统1~4的水气比均主要集中分布在0.20~0.40内;在10~15 s时段内,各系统的水气比差异较大,分布在0.20~0.80内,其中在14~15 s时段内各系统的水气比呈现相对明显的差异:系统2>系统1>系统3>系统4。

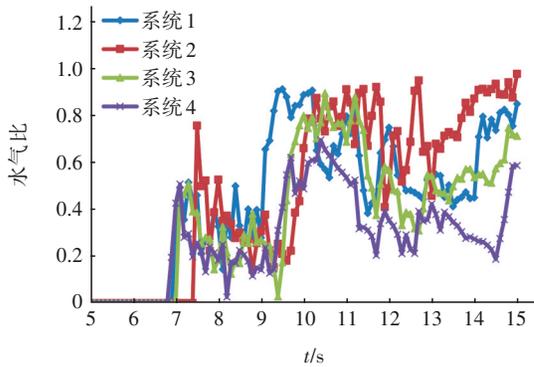
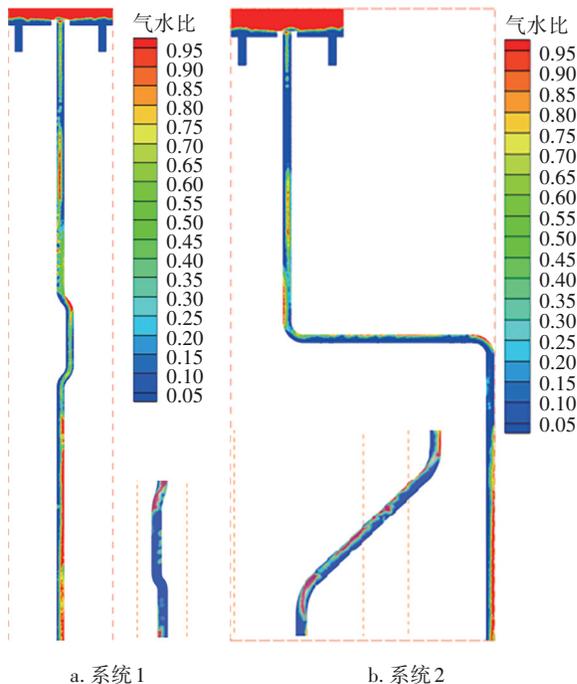


图2 系统1~4消能段的水气比变化

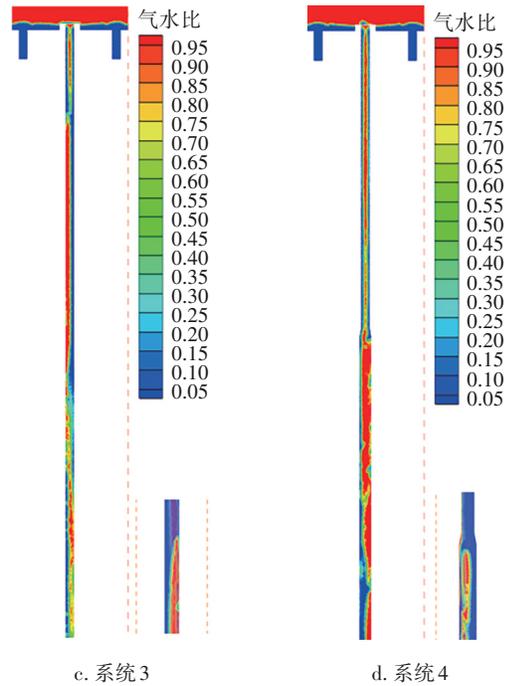
Fig.2 Variation of water-air ratio in the energy dissipation section of system 1-4

进一步截取各系统运行至第15秒时的气水比(气水比=1-水气比)剖面云图,如图3所示(为更全面反映消能部件处的水力情况,在各系统剖面图左下角或右下角附上消能管段的三维透视图)。可以看出,系统2在横管折转及其上下游处呈现明显的水跃现象,系统1在π型弯及其上下游处呈现明显的“水塞”现象,系统3在立管上部及中部、系统4在立管下部存在局部“水塞”现象。



a. 系统1

b. 系统2



c. 系统3

d. 系统4

图3 系统1~4运行至第15秒时的气水比云图

Fig.3 Contour of air-water ratio in system 1-4 at the 15th second

2.2 流速的变化

各系统消能段的流速变化见图4。结合图2可知,系统运行至3~7 s时,消能段有气流经过,且各系统的流速均呈现线性增加趋势;在7~15 s时段内,消能段为气水两相流经过,各系统的流速变化表现为上下浮动,其中系统1~3的断面平均流速均在3.5 m/s上下浮动,而系统4因立管扩径,其断面平均流速在2.5 m/s上下浮动。

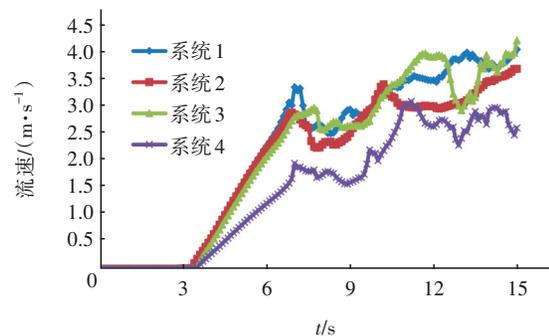


图4 系统1~4消能段的流速变化

Fig.4 Variation of flow rate in the energy dissipation section of system 1-4

2.3 压力的变化

各系统消能段的动水压和速度水头变化如图5所示。由图5(a)可知,系统1~4消能段均呈现一定

的压力波动,但波动幅度很小,主要维持在 $-6\sim 6$ kPa内。由图5(b)可知,系统1~3消能段的速度水头极限值相对较高,在 $6\sim 7$ kPa左右;而系统4的速度水头极限值相对较低,为 $3\sim 4$ kPa。

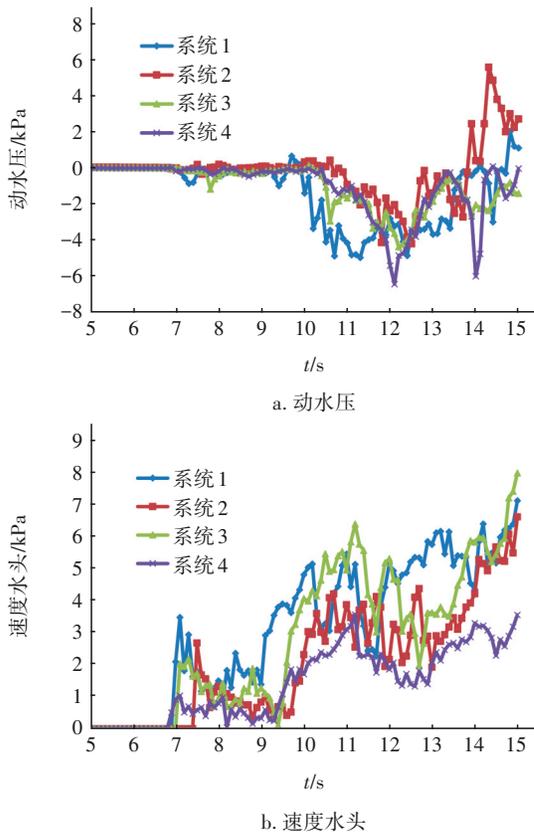


图5 系统1~4消能段的动水压和速度水头变化

Fig.5 Variation of dynamic water pressure and velocity head in the energy dissipation section of system 1-4

87斗系统为半有压流运行,系统内工况运行复杂,各水力参数持续变化,如在不同的运行时段,立管系统内部最大动水压值的位置也不同。为进一步考察当立管系统设有消能段时,整个系统内部的最大动水压是否会受到影响,利用CFD自带的遍历每个运行时间点的所有区域动水压并自动比选、输出最大动水压值的功能,绘制各系统在 $5\sim 15$ s时段内的最大动水压变化曲线,如图6所示。可知,除系统2在 $14\sim 15$ s时段内的最大动水压分布在 $10\sim 14$ kPa区间外,其他最大动水压均维持在 6 kPa左右。

综上所述,10 m高各系统的压力变化均无数量级的差异,各系统的水力工况均较为平稳。由此表明,对于10 m高的雨水立管系统测试平台,因系统高度较小,可利用势能小,无论是采用常规消能措施的系统1和2,还是近年来工程上偶见采取立管扩

径消能措施的系统4,相比无消能措施的系统3,均无明显的差异。

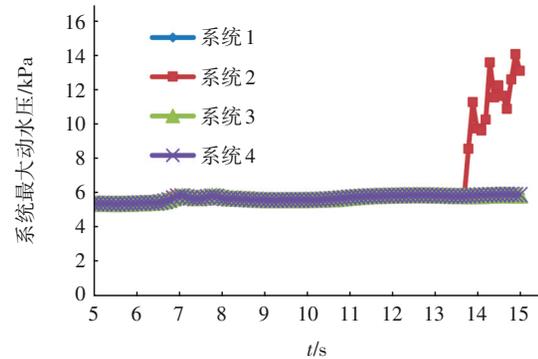


图6 系统1~4的最大动水压变化

Fig.6 Variation of maximum dynamic water pressure in system 1-4

3 100 m高雨水立管系统的模拟结果分析

3.1 水气比的变化

对系统5~8的模拟试验数据分析可知,自0 s测试平台进水开始,各系统运行至第17秒左右时,雨水流经消能管段;运行至第26秒左右时,雨水流经立管底部出水端口。为全面分析采取消能措施对雨水立管系统工况的影响,本研究重点分析了系统在 $15\sim 27$ s时段内的水力工况。

各系统消能段的水气比变化见图7。

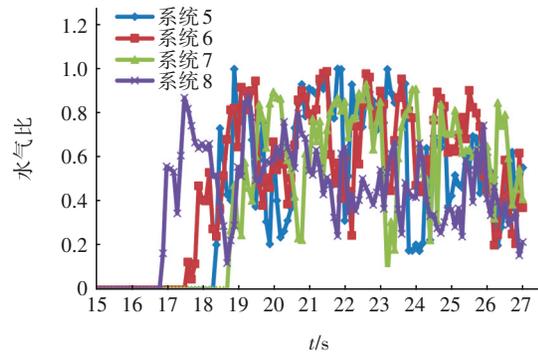


图7 系统5~8消能段的水气比变化

Fig.7 Variation of water-air ratio in the energy dissipation section of system 5-8

由图7可知,相比10 m高雨水立管系统,100 m高雨水立管系统消能段的水气混掺均更为强烈,无稳定的自由液面,各系统不再呈现明显的分段区间,水气比呈现明显的差异变化,且振荡分布在 $0.20\sim 0.80$ 区间内。进一步截取各系统运行至第27秒时的气水比剖面云图,如图8所示(各系统剖面图左下角或右下角附上消能段的三维透视图)。可

见,系统6在横管折转及其上下游处呈现明显的水跃现象,系统5在 π 型弯及其上下游处呈现明显的“水塞”现象,系统7和8均在立管下部存在“水塞”现象。

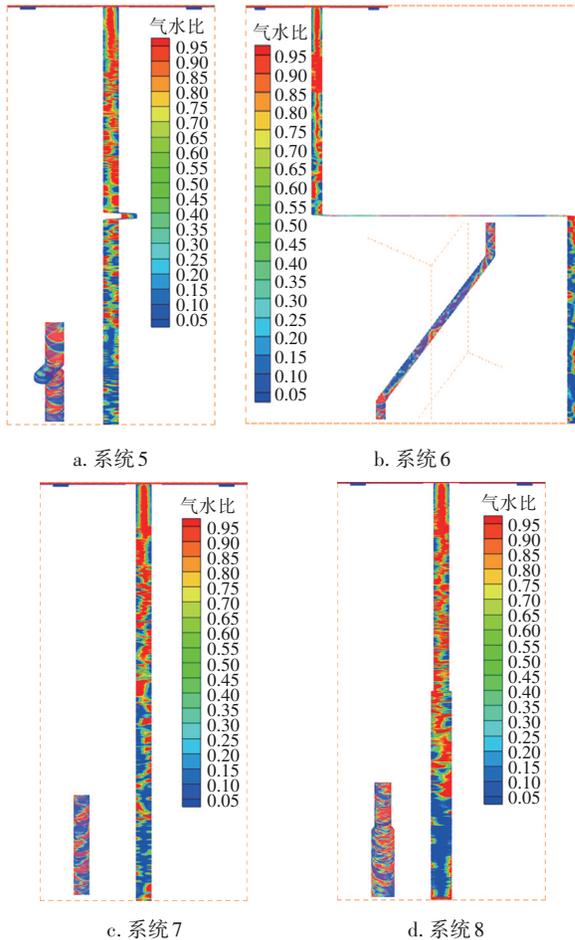


图8 系统5~8运行至第27秒时的气水比云图

Fig.8 Contour of air-water ratio in system 5~8 at the 27th second

3.2 流速的变化

各系统消能段的流速变化见图9。结合图7可知,相比10 m高雨水立管系统,100 m高雨水立管系统的流速变化差异明显。具体表现为,运行至3~18 s时,消能段先后有气流和汽水两相流经过,各系统的流速均呈现线性增加趋势(增至5~6 m/s);在18~27 s时段内,消能段均为汽水两相流经过,各系统的流速缓慢增加并趋于稳定,其中系统5的波动幅度相对最大,最高流速接近9 m/s,最终稳定在8 m/s左右,系统6和7的断面平均流速变化接近,均在6~8 m/s上下浮动,最终稳定在7~8 m/s,系统8因立管扩径,其断面平均流速在6 m/s上下浮动并趋于稳定。

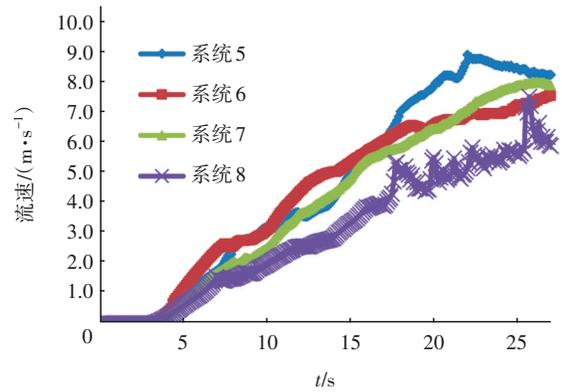


图9 系统5~8消能段的流速变化

Fig.9 Variation of flow rate in the energy dissipation section of system 5~8

3.3 压力的变化

消能段的动水压和速度水头变化见图10。

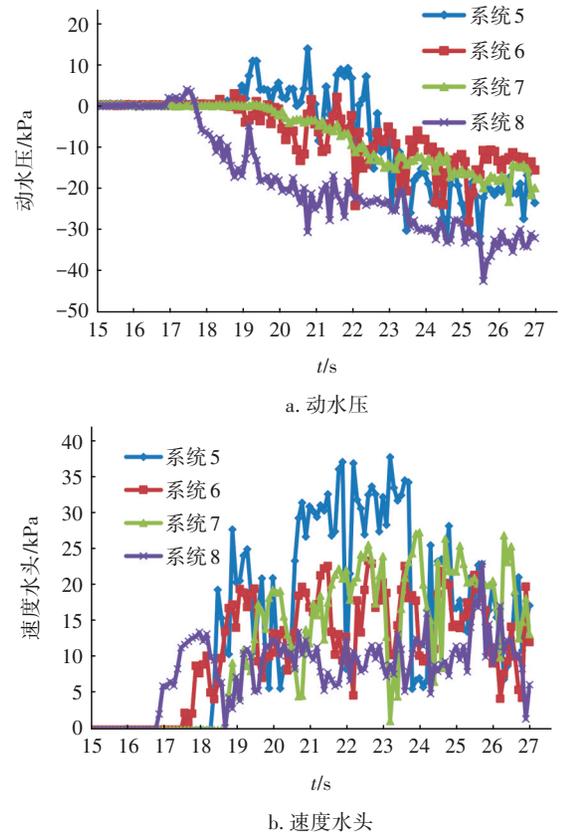


图10 系统5~8消能段的动水压和速度水头变化

Fig.10 Variation of dynamic water pressure and velocity head in the energy dissipation section of system 5~8

由图10(a)可知,系统5~8均呈现压力波动,其中系统5的动水压波动最大,在-30~15 kPa之间;系统6和8次之,基本在-30~5 kPa之间(除系统8运行至25.6 s左右时的极个别点外);系统7的动水压波动最小,在-20~5 kPa之间。由图10(b)可知,系统5

的速度水头峰值最高,为30~37 kPa;系统6和7的速度水头峰值次之,为20~25 kPa;系统8的速度水头峰值相对较低,为15~20 kPa。

为进一步考察,相比10 m高雨水立管系统,100 m高雨水立管系统的最大动水压是否会受到更显著的影响,绘制各系统的最大动水压变化曲线,见图11。系统5和6的最大动水压值均在高位波动,前者峰值区间为25~30 kPa,后者峰值区间为20~25 kPa;系统8的最大动水压值在17~20 s的短时段内也出现较小幅度峰值波动,峰值区间为10~15 kPa;相比之下,无消能措施的系统7的最大动水压值未出现明显波动,基本维持在5~6 kPa内。

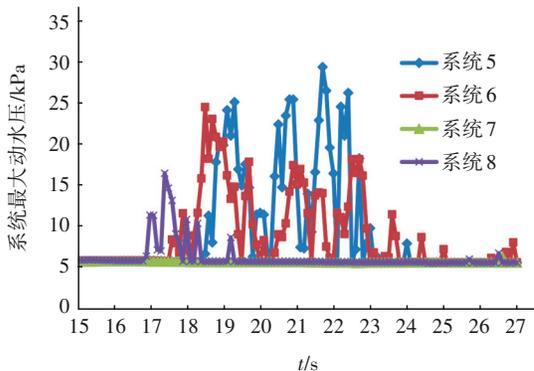


图11 系统5~8的最大动水压变化

Fig.11 Variation of maximum dynamic water pressure in system 5-8

综上所述,因100 m高雨水立管系统的可利用势能大,系统5设有 π 型弯,系统6设置横管折转,相比无消能措施的系统7,前两者的消能管段“锐弯”反而更易导致系统水力紊乱、压力波动,故在运行流速、动水压、速度水头等方面各系统呈现显著的差异。其中,系统5和6相比系统7不但未能减压、消能,反而增加了系统的流速和压力波动峰值;系统8相比系统7在运行流速峰值、速度水头峰值等方面略有降低,但在消能段的动水压、系统最大动水压方面,其效果不如系统7。考虑到立管扩径还会增加系统造价,工程上采取此类消能措施时还应结合建设成本进行综合评估。

4 结论

① 针对工程上超高层建筑对雨水立管设置 π

型弯、横管折转、立管扩径等常规消能措施,而工程上暂无100 m屋面排水测试塔或超高层建筑实际工程运行工况的数据报道,引入计算流体力学技术,成功构建了VOF数值模型,以水气比、流速、动水压、速度水头等作为考察指标,可用于分析实际消能效果和存在的问题。

② 数值模拟试验结果表明,相比10 m高的雨水立管系统,100 m高的雨水立管系统的水力工况指标如水气比、流速、动水压、速度水头等均出现较为显著的差异,尤其是采取常规消能措施(如 π 型弯、横管折转等)的雨水立管系统,相比无消能措施的系统,不但未能减压、消能,反而增加了系统的流速和压力波动峰值。

③ 工程上对于超高层建筑尤其是250 m以上的超限高层建筑,建议谨慎或者避免过多的采用 π 型弯、横管折转等常规消能措施(超限高层建筑也可以在出户层采取带通气功能的消能池或者消能井),防止因水气比、流速、动水压、速度水头等剧烈变化而导致出现雨水立管系统频繁振动、噪音等不利影响。

参考文献:

- [1] 赵世明,刘西宝,姜文源,等. 建筑排水新技术手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2020: 657-658.
ZHAO Shiming, LIU Xibao, JIANG Wenyuan, et al. Handbook of Advanced Technology for Building Drainage [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2020: 657-658 (in Chinese).
- [2] 王振华. 超高层建筑屋面雨水排水系统常见问题探讨[J]. 给水排水, 2010, 36(12): 88-90.
WANG Zhenhua. Discussion on the common problems in super high-rise building roof storm water drainage system[J]. Water & Wastewater Engineering, 2010, 36(12): 88-90 (in Chinese).

作者简介:李学良(1986-),男,湖南浏阳人,硕士,高级工程师,主要研究方向为建筑给水排水。

E-mail: 73lxl@tjad.cn

收稿日期:2022-11-25

修回日期:2023-03-17

(编辑:刘贵春)