

设计经验

## “只有红楼梦”戏剧公园剧场消防系统设计

李安达<sup>1</sup>, 郭 壮<sup>2</sup>, 王官胜<sup>1</sup>, 张尚义<sup>3</sup>, 何晓微<sup>1</sup>, 师前进<sup>1</sup>

(1. 中国建筑标准设计研究院有限公司, 北京 100048; 2. 中国建筑建筑设计研究院有限公司, 北京 100044; 3. 浙江天和建筑设计有限公司, 浙江 湖州 313000)

**摘 要:** “只有红楼梦”戏剧公园核心剧场项目位于廊坊市高新技术园区文化中心地块内, 由5座大型乙等剧场组成, 总建筑面积为73 566 m<sup>2</sup>, 各剧场具有“空间复杂, 人员密集”的特点, 新颖的行走式观演形式更是决定了本项目消防系统的复杂性。以A5建筑“十二钗剧场”为例, 对室内外消火栓系统、自动喷水灭火系统、雨淋系统、灭火器设置、消防排水的设计进行了介绍。针对观演区雨淋系统设计流量过大的问题, 通过合理划分雨淋阀的作用面积、设置止回阀等技术手段加以解决, 并详细描述了雨淋系统的分区布置、水力计算、系统控制等技术要点。实践表明, 通过合理设计, 既能满足消防设计要求, 又能有效控制投资成本。

**关键词:** 剧场; 消防给水系统; 雨淋系统; 消防排水

**中图分类号:** TU998.1 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2020)02-0043-06

## Fire Fighting System Design of “Dream of Red Mansions” Theater Park

LI An-da<sup>1</sup>, GUO Zhuang<sup>2</sup>, WANG Guan-sheng<sup>1</sup>, ZHANG Shang-yi<sup>3</sup>, HE Xiao-wei<sup>1</sup>,  
SHI Qian-jin<sup>1</sup>

(1. China Institute of Building Standard Design & Research Co. Ltd., Beijing 100048, China;

2. China Architecture Design & Research Group, Beijing 100044, China; 3. Zhejiang Tianhe Architectural Design Co. Ltd., Huzhou 313000, China)

**Abstract:** “Dream of Red Mansions” Theater Park with the floorage of 73 566 m<sup>2</sup> is composed of five large-scale B-class theaters, which locates in the culture central position of high technical district in Langfang City. The theaters have characteristics of “space complexity and crowded population”, the novel viewing forms of moving type determined the complexity of the fire fighting system. This paper took “Twelve Hairpin Theater” as an example, introduced the design of indoor-outdoor hydrant system, the sprinkler system, the deluge sprinkler system, extinguisher distribution, and fire protection drainage. In view of the problem that the design flow of the deluge system in the viewing area was too large, methods were taken by reasonably dividing the function area of deluge valve and setting check valve, and described in detail the technical points of the partition arrangement, hydraulic calculation and system control of the deluge sprinkler system. The practice showed that reasonable design could not only meet the requirements of fire protection design, but also effectively control the investment cost.

**Key words:** theater; fire protection water supply system; deluge sprinkler system; fire protection drainage

## 1 工程概况

“只有红楼梦”戏剧公园核心剧场区项目基地位于廊坊市高新科技园区文化中心地块内。总用地面积为 151 682 m<sup>2</sup>,总建筑面积为 73 566 m<sup>2</sup>(含地下 6 885 m<sup>2</sup>)。本项目分为 A、B 两个区,A 区包括 A1、A2、A3、A4、A5 五座剧场建筑,B 区为管理办公用房。其中 A5 楼“十二钗剧场”建筑造型及功能分区最为复杂,十二钗剧场地上 2 层,地下 2 层,建筑面积为 15 438 m<sup>2</sup>(地上 12 570 m<sup>2</sup>,地下 2 868 m<sup>2</sup>),建筑高度为 23.55 m,为多层乙等剧场建筑<sup>[1]</sup>,主要由观演厅、化妆间、道具间、办公以及机房等功能区组成。本楼观众人数为 1 464 人,观众席与舞台为交互式,采用新颖的行走式观演、沉浸式设计,便于观众深入剧情,近距离接触演员。笔者以 A5 楼“十二钗剧场”为例进行消防系统的设计研究。“十二钗剧场”平面、剖面图见图 1。

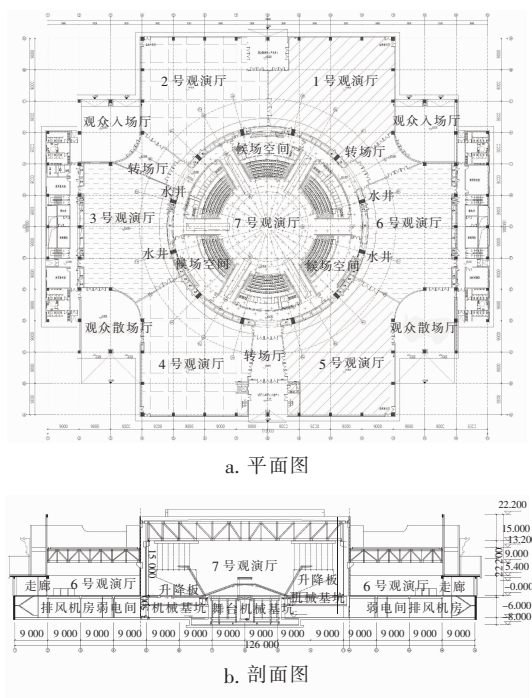


图 1 A5 楼“十二钗剧场”示意

Fig.1 Schematic diagram of “Twelve Hairpin Theater”

## 2 消防系统设计

“十二钗剧场”设置有室外消火栓系统、室内消火栓系统、自动喷水灭火系统、雨淋系统、移动灭火设备以及消防排水系统。

### 2.1 消防水源、消防泵房、消防水池以及高位水箱

按 1 次火灾同时发生考虑,各消防系统用水量见表 1。本项目只有一路市政供水管道引入,在 A1

楼一层设置消防水池及消防水泵房,消防水池有效容积为 1 044 m<sup>3</sup>,消防水池分为两座,储存全部消防用水量;消防泵房内设有室内消火栓系统加压泵、自动喷水灭火系统加压泵、室外消火栓系统加压泵各 2 台(1 用 1 备);雨淋系统加压泵 3 台(2 用 1 备);各系统加压泵设置自动巡检功能,每周定时运行。

表 1 消防系统用水量

Tab.1 Water consumption of fire fighting system

消防系统	用水量标准/ (L · s <sup>-1</sup> )	火灾延续 时间/h	一次灭火用 水量/m <sup>3</sup>
室外消火栓系统	40	2	288
室内消火栓系统	15	2	108
自动喷水灭火系统	30	1	108
雨淋系统	150	1	540
消防储水量			1 044

注: 消防储水量为需水量最大的同一着火区域同时作用的系统用水量之和<sup>[2]</sup>。

在本项目最高建筑 A4 楼屋顶设置高位消防专用水箱,最低水位标高为 23.7 m。经与当地消防部门沟通,屋顶设置有效容积为 36 m<sup>3</sup> 的高位消防专用水箱,提供火灾初期消防用水。

### 2.2 室外消火栓系统

室外消火栓系统为临时高压系统,室外消防用水全部储存于消防水池中,专设一组室外消防水泵,经室外专用消防环管供本工程室外消防用水,管网平时压力由稳压设备保持。高位水箱稳压管上的流量开关直接启动室外消火栓加压泵。室外消火栓保护半径为 150 m,间距不大于 120 m,供消防车取水,对各建筑全方位保护。

### 2.3 室内消火栓系统

室内消火栓系统采用临时高压给水系统,系统平时压力由高位水箱和稳压设备保持。系统竖向不分区,栓口工作压力不低于 0.35 MPa,栓口压力大于 0.5 MPa 处设置减压稳压消火栓,最不利消火栓充实水柱为 13 m。室内消火栓布置保证任何部位均有两股水柱同时到达,舞台上马道均设置室内消火栓保护。加压泵由其出水干管上设置的压力开关直接自动启动。加压泵启动后,稳压泵停止。高位水箱出水管上的流量开关在 3.5 L/s 的流量下发出报警信号并可直接启动加压泵。消火栓系统在室外设置 2 套地下式水泵接合器。

### 2.4 自动喷水灭火系统

本项目除不宜用水消防的场所、舞台葡萄架下

外,均设置湿式自动喷水灭火系统保护<sup>[3]</sup>。舞台顶部设置自动喷水灭火系统火灾危险等级为中危险Ⅱ级<sup>[4]</sup>,设计喷水强度为 $8\text{ L}/(\text{min}\cdot\text{m}^2)$ ,作用面积为 $160\text{ m}^2$ ,设计管网和布置喷头。自动喷水灭火系统用水量按 $30\text{ L/s}$ 计,火灾延续时间为 $1\text{ h}$ ,设计用水量为 $108\text{ m}^3$ 。其余位置按中危险Ⅰ级设计自动喷水灭火系统。系统平时压力由高位水箱及稳压设备提供。在一层报警阀间共设置3套湿式报警阀组,每个报警阀控制喷头数量不超过800个。本系统在室外设置2套地下式水泵接合器。

2.5 雨淋系统

2.5.1 雨淋系统的分析

“十二钗剧场”分为1号~6号等6个小型观演区(每个 $1\,100\text{ m}^2$ )和7号大型观演区 $1\,900\text{ m}^2$ 。本项目观演区的设置不同于传统剧场,其为沉浸式观演形式,舞台同观众区并未分开,既是人员密集区域,又是最容易发生火灾的场所,故考虑各观演区均分别设置雨淋系统保护。

7号观演区为圆形区域,面积为 $1\,900\text{ m}^2$ ,根据《自动喷水灭火系统设计规范》(GB 50084—2017),舞台葡萄架下部按照严重危险级Ⅱ级设计,喷水强度为 $16\text{ L}/(\text{min}\cdot\text{m}^2)$ ,作用面积为 $260\text{ m}^2$ 。同时规范第5.0.10条第2款规定“雨淋系统每个报警阀控制的喷水面积不宜大于本规范表5.0.1中的作用面积”。7号观演区雨淋灭火系统喷头及管道布置见图2,雨淋灭火系统分区见图3。可见,7号观演厅共设10个雨淋阀。每个雨淋阀实际控制的面积见表2。

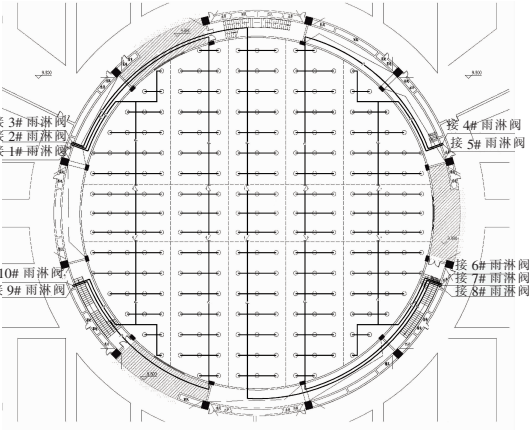


图2 7号观演厅雨淋灭火系统喷头及管道布置

Fig. 2 Sprinkler and pipes layout plan of deluge sprinkler system of No. 7 auditorium

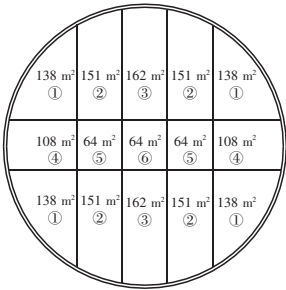


图3 7号观演厅雨淋灭火系统分区

Fig. 3 Partition arrangement of deluge sprinkler system

表2 雨淋阀实际控制面积

Tab. 2 Actual control area of deluge valves  $\text{m}^2$

项 目	实际控制面积
1#、5#、6#、10#雨淋阀	① + ④ = $138 + 108 = 246$
2#、4#、7#、9#雨淋阀	② + ⑤ = $151 + 64 = 215$
3#、8#雨淋阀	③ + ⑥ = $162 + 64 = 226$

如表2所示,各个报警阀实际控制面积均不超过规范要求的 $260\text{ m}^2$ 作用面积。

考虑到最不利情况下为四个分区交界处发生火灾时,周边四个防护区的火灾报警探测器可能会同时启动,故雨淋系统按可同时启动2个雨淋阀组计算。按图3,相邻分区组合最大面积为①、②、④、⑤四个分区之和 $(138 + 151 + 108 + 64) = 461\text{ m}^2$ 。

2.5.2 雨淋系统的计算

①④、②⑤两个灭火作用面积内雨淋系统设计流量及管道水力计算采用面积法,①④灭火作用面积内雨淋喷头布置见图4,管道水力计算见表3(压力: $1\text{ m}\approx 10\text{ kPa}$ )。

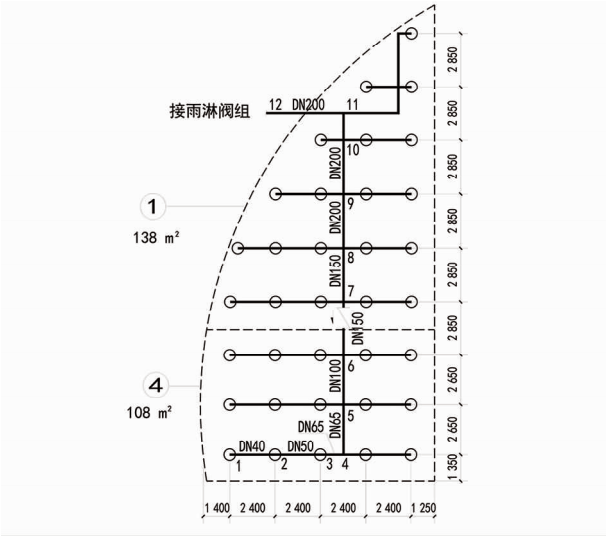


图4 ①④灭火作用面积内喷头布置

Fig. 4 Sprinkler layout of ① and ④ operation areas

表3 ①④分区管道水力计算结果

Tab.3 Hydraulic calculation results of ① and ④ operation areas

管段名称	起点压力/m	管道流量/(L·s <sup>-1</sup> )	管长/m	当量长度	管径/mm	K	水力坡降/(m·m <sup>-1</sup> )	流速/(m·s <sup>-1</sup> )	水头损失/m	终点压力/m
1-2	10.00	1.91	2.40	1.50	40	115	0.137	1.43	0.53	10.53
2-3	10.53	3.87	2.40	3.60	50	115	0.154	1.77	0.93	11.46
3-4	11.46	5.91	1.23	3.70	65	115	0.093	1.62	0.46	11.92
4-5	11.92	9.90	2.65	4.60	65	115	0.260	2.72	1.88	13.80
5-6	13.80	20.53	2.65	7.75	100	115	0.106	2.31	1.10	14.90
6-7	14.90	31.53	2.85	19.00	150	115	0.029	1.58	0.64	15.54
7-8	15.54	42.80	2.85	10.80	150	115	0.054	2.15	0.73	16.27
8-9	16.27	54.32	2.85	10.70	200	115	0.022	1.63	0.30	16.57
9-10	16.57	65.92	2.85	10.70	200	115	0.033	1.98	0.44	17.01
10-11	17.01	77.67	1.45	10.70	200	115	0.045	2.33	0.55	17.56
11-12	17.56	77.67	4.10	5.50	200	115	0.045	2.33	0.43	17.99

①④灭火作用面积内雨淋系统水力计算,作用面积:246.0 m<sup>2</sup>,总流量:77.67 L/s,平均喷水强度:18.95 L/(min·m<sup>2</sup>),干管入口压力:17.99 m(0.18 MPa)。

②⑤灭火作用面积内的雨淋喷头布置如图5所示。

②⑤灭火作用面积内雨淋系统水力计算,作用面积:215.0 m<sup>2</sup>,总流量:64.24 L/s,平均喷水强度:17.89 L/(min·m<sup>2</sup>),干管入口压力:17.54 m(0.175 MPa)。

②⑤作用面积内的具体管道水力计算结果如表4所示。

雨淋系统选用ZSTK下垂型开式喷头,流量系数 $K=115$ ,最不利喷头压力 $P=0.1$  MPa,最大作用面积启动的喷头数量为63个,系统计算流量为 $77.67+64.24=142.91$  L/s,系统设计流量按150 L/s计。

火灾延续时间为1 h,一次灭火设计用水量为540 m<sup>3</sup>。

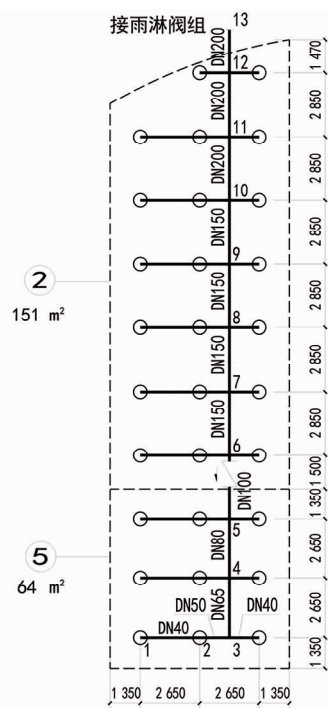


图5 ②⑤灭火作用面积内喷头布置

Fig.5 Sprinkler layout of ② and ⑤ operation areas

表4 ②⑤分区管道水力计算结果

Tab.4 Hydraulic calculation results of ② and ⑤ operation areas

管段名称	起点压力/m	管道流量/(L·s <sup>-1</sup> )	管长/m	当量长度	管径/mm	K	水力坡降/(m·m <sup>-1</sup> )	流速/(m·s <sup>-1</sup> )	水头损失/m	终点压力/m
1-2	10.00	1.91	2.65	1.50	40	115	0.137	1.43	0.57	10.57
2-3	10.57	3.87	1.32	3.60	50	115	0.155	1.78	0.76	11.33
3-4	11.33	5.87	2.65	4.30	65	115	0.091	1.61	0.63	11.96
4-5	11.96	11.88	2.65	5.40	80	115	0.150	2.31	1.21	13.17
5-6	13.17	18.19	2.85	14.45	100	115	0.083	2.05	1.43	14.61
6-7	14.61	24.84	2.85	9.20	150	115	0.018	1.25	0.22	14.83



续表 4 (Continued)

管段名称	起点压力/m	管道流量/ (L·s <sup>-1</sup> )	管长/ m	当量 长度	管径/ mm	K	水力坡降/ (m·m <sup>-1</sup> )	流速/ (m·s <sup>-1</sup> )	水头损 失/m	终点压 力/m
7-8	14.83	31.53	2.85	9.20	150	115	0.029	1.58	0.35	15.18
8-9	15.18	38.29	2.85	9.20	150	115	0.043	1.92	0.52	15.70
9-10	15.70	45.17	2.85	10.80	150	115	0.060	2.27	0.82	16.51
10-11	16.51	52.24	2.85	10.70	200	115	0.020	1.57	0.28	16.79
11-12	16.79	59.35	2.85	10.70	200	115	0.026	1.78	0.36	17.15
12-13	17.15	64.24	1.91	10.70	200	115	0.031	1.93	0.39	17.54

2.5.3 雨淋系统的控制

雨淋及火灾报警探测器采用相同的分区,当发生火灾时根据火灾报警探测器的报警区域,启动对应区域的雨淋系统。

在被保护区主要出入口附近设置手动报警装置,雨淋阀室设于一层;平时雨淋报警阀组前管网中的压力由屋顶消防水箱和增压稳压装置(与自动喷水系统合用)维持。

雨淋系统可自动及手动控制<sup>[4]</sup>。

现场自动控制时,由保护区内的火灾探测器检测到火灾后发出信号,打开相对应的雨淋阀处的电磁阀,雨淋阀开启,压力开关动作自动启动 2 台雨淋系统加压泵;雨淋系统加压泵出水干管上的压力开关、高位消防水箱出水管的流量开关也可启动加压泵。

远程自动控制时,消防控制中心接收到雨淋系统的综合信号反馈,消防控制中心判定确认后,开启雨淋阀上的电磁阀,同时启动 2 台雨淋系统加压泵。雨淋系统还可现场手动控制,每个雨淋阀控制的区域明示于雨淋阀上,由专门值班人员根据确认后的火灾区域,紧急开启相应的雨淋阀处的手动快开阀,则雨淋阀开启,压力开关动作,启动 2 台雨淋喷水泵。

整个雨淋系统在雨淋阀前管道上设 10 套地下式消防水泵接合器,设于室外便于取用及易于寻找的位置,在每栋楼附近分散设置 4 套。并设置永久性标志铭牌,注明供水系统、供水范围、系统设计流量和额定压力等参数。

2.6 建筑灭火器配置

本工程剧场观演厅属严重危险级 A 类火灾,变配电间按中危险级 E 类火灾设置,其他部位按中危险级 A 类火灾设置,每处设置两具磷酸铵盐手提式灭火器,设于专用灭火器箱内。

3 消防排水

观演区下方为舞台设备用房及台仓基坑,设置有多台大型舞台升降设备,发生消防火灾时,大量消防排水会进入台仓基坑及地下设备用房,如果不能及时排出,舞台设备长时间浸泡水中,会造成较大损坏。故应对消防排水引起足够重视。现行规范仅对设置消防电梯基坑排水有要求,需满足集水井容积要求和排水泵流量要求。对于其他位置的消防排水并未有具体规定。

本项目观演区消防用水量合计为 195 L/s,在舞台主基坑适当位置设置 4 个 2 m×2 m×2 m 集水坑,每个集水坑设置 2 台 50 m<sup>3</sup>/h 排水泵,8 台排水泵排水能力共计 400 m<sup>3</sup>/h。可避免舞台下部基坑发生长时间积水。

4 结语

本项目建筑设计新颖,导演形式为开创性的开放式观、演形式,演员和观众能近距离形成互动,观众厅及舞台合二为一。观演区底部有大量布景、幕布、音响等重要设备,顶部有各种灯光、造型、吸音吊顶等装饰材料,同时上千观众集中在观演厅,这些都是消防设计的重点问题。人员密集场所、大量可燃物等因素,充分说明观演区的火灾危险性很高,因此观演区是本项目消防设计的重点。

设计雨淋系统时,因开式系统的特点,如果每个雨淋阀控制面积过大,则会导致系统用水量较大。雨淋系统的设计难点就在于合理确定灭火作用面积,笔者认为采用大、小分区组合的方式,配合止回阀的设置,既能满足规范要求的作用面积和喷水强度,又能降低系统的设计用水量,减少控制雨淋阀数量。在系统安全可靠的前提下,可有效控制投资成本。

参考文献:

[1] JGJ 57—2016,剧场建筑设计规范[S]. 北京:中国建筑 (下转第 52 页)