中小学校剧场建筑消防系统设计探讨

尚家佳
（同济大学建筑设计研究院＜集团＞有限公司，上海 200092）

摘　要： 分析介绍了两所中学剧场建筑消防系统的设计，包括消防水源、室内外消火栓系统、自动灭火系统、消防排水。其中自动灭火系统包括舞台栅顶下部的雨淋系统、舞台台口防火幕的防护冷却水幕系统、剧场 A 观众厅区域的固定消防炮灭火系统、其余部位的闭式自动喷水灭火系统。同时，对设计过程中的难点进行了分析和探讨，如消防用水量为消火栓用水、自动灭火系统用水、水幕或冷却分隔用水之和，闭式自动喷水灭火系统洒水喷头根据保护场所的净空高度选型，消防排水量宜按保护场所内同时作用的所有消防给水水量的 80% 计算等。

关键词： 中小学校剧场；消火栓系统；闭式自动喷水灭火系统；雨淋及水幕系统；固定消防炮灭火系统

中图分类号： TU998.1　　**文献标识码：** B　　**文章编号：** 1000－4602(2019)10－0048－06

Discussion on Design of Fire Protection System for Theatres in School

SHANG Jia-jia
(*Tongji Architectural Design ＜Group＞ Co. Ltd.*, *Shanghai* 200092, *China*)

Abstract: The fire protection water supply systems of two theatres in middle schools were introduced, including fire source water, indoor and outdoor hydrant system, automatic fire extinguishing systems and fire protection water drainage. The automatic fire extinguishing systems included the rain sprinkler system under the stage top, cooling protection drencher sprinkler system for the fire curtain, fixed fire monitor extinguishing system in the auditorium area of theatre A, closed automatic sprinkler systems for the rest of the region. Meanwhile, the difficulties and main problems throughout the design process were analyzed and discussed, such as the fire protection water demand was the sum of hydrant system, automatic fire extinguishing system, fire compartment or cooling protection drencher sprinkler system; the closed automatic sprinkler was selected on basis of the height of the protected site; fire protection water drainage capacity should be calculated according to 80% of fire protection water demand.

Key words: school theatre; hydrant system; close-type sprinkler system; deluge system and drencher system; fixed fire monitor extinguishing system

近年来，全国各地新建了大批中小学校，其中不少学校都配建了具有剧院功能的建筑，在丰富了广大师生日常生活的同时，该类建筑的消防安全也受到广泛重视。

1　工程概况

A 校位于江西省景德镇市，为一所市级重点高中，总用地面积为 75 856.92 m^2，总建筑面积为 61 301.36 m^2，其中剧场 A 建筑面积为 6 725.97 m^2，建筑高度 23.65 m，地上二层（局部四层），地下一层，耐火等级为地上二级，地下一级。观众座席数量为 1 001 座，无楼座和包厢，舞台设栅顶，地下一层设置台仓和升降乐池。

B校位于海南省三亚市,为一所初中、高中一体化学校,总用地面积为135 437.44 m^2,总建筑面积为104 818.47 m^2,其中剧场B的建筑面积为13 916.59 m^2,建筑高度为23.90 m,地上四层(局部五层),耐火等级为二级。观众座席数量为860座,无楼座和包厢,舞台设栅顶,无台仓和升降乐池。

2 消防水源

2.1 消防用水量

根据《建筑设计防火规范》(GB 50016—2014,2018年版)(以下简称《建规》)、《消防给水及消火栓系统技术规范》(GB 50974—2014,以下简称《消水规》)、《自动喷水灭火系统设计规范》(GB 50084—2017,以下简称《喷规》),剧场内设置消火栓系统、闭式自动喷水灭火系统、雨淋系统、防护冷却水幕系统、固定消防炮灭火系统,各消防系统用水量见表1。

表1　消防系统用水量

Tab.1　Water consumption of fire protection system　m^3

序号	类　型	一次灭火用水量	
		剧场A	剧场B
1	室外消火栓系统	216	216
2	室内消火栓系统	72	72
3	闭式自动喷水灭火系统(净空高度 $h \leqslant 8$ m)	75.6	75.6
4	闭式自动喷水灭火系统(净空高度 8 m $< h \leqslant 12$ m)	187.2	187.2
5	闭式自动喷水灭火系统(净空高度 12 m $< h \leqslant 18$ m)	—	250.2
6	雨淋系统	324	324
7	防护冷却水幕系统	216	162
8	固定消防炮灭火系统	144	—
9	合计	1 234.8	1 287
10	消防水池储水量(2+6+7)	612	558

2.2 消防水池

A校和B校室外消防系统均由市政给水管网直接供水,从两条不同的市政给水干管上分别引入一根DN200给水管,作为消防水源,消防水池仅储存室内消防用水量。

根据《消水规》第3.6.1条及其条文解释,室内一个防护对象或防护区的消防用水量为消火栓用水、自动灭火系统用水、水幕或冷却分隔用水之和(三者同时开启)。自动灭火系统包括自动喷水灭火、水喷雾灭火、自动消防水炮灭火等系统,一个防护对象或防护区的自动灭火系统的用水量按其中用水量最大的一个系统确定[1]。

剧场A和剧场B消防用水量最大的一个防护区均为舞台部位,同时开启的消防系统包括消火栓系统、雨淋系统、防护冷却水幕系统。因此,剧场A和剧场B消防水池均贮存2 h的室内消火栓用水、1 h的雨淋系统用水、3 h的防护冷却水幕系统用水,且不考虑火灾时连续补水,其有效容积分别为612 m^3和558 m^3。

2.3 高位消防水箱和消防增压稳压设施

A校和B校内均为单、多层公共建筑,高位消防水箱设置在最高一栋宿舍楼屋顶,采用不锈钢拼装水箱,有效容积为18 m^3,满足室内消防系统火灾初期10 min的消防用水量。

应图审老师要求,在A校宿舍高位消防水箱旁配置5套消防增压稳压设施,分别用于维持室内消火栓系统、闭式自动喷水灭火系统、雨淋系统、防护冷却水幕系统、固定消防炮灭火系统最不利点处的静水压力。

在B校宿舍高位消防水箱旁配置2套消防增压稳压设施,分别用于维持室内消火栓系统、自动灭火系统(包括闭式自动喷水灭火系统、雨淋系统、防护冷却水幕系统)最不利点处的静水压力。

3 消火栓系统

3.1 室外消火栓系统

剧场A和剧场B室外消防用水量均为30 L/s,火灾延续时间为2 h。采用低压消防给水系统,由市政给水管网直接供水,市政保证供水压力分别为0.16、0.25 MPa。从两条不同的市政给水干管上分别引入一根DN200给水管,接至室外消防环状管网,在室外消防环网上设DN150三出口地上式消火栓,间距不大于120 m,保护半径不超过150 m。消火栓和自动灭火系统的水泵接合器分散设置在室外,距离室外消火栓15~40 m,用于向室内消防系统补水。

根据《消水规》第7.3.10条,由于A校的市政给水管网保证水压较低,需在室外消防给水引入管上的倒流防止器前设置一个室外消火栓,以保证消防给水的可靠性。

3.2 室内消火栓系统

剧场A和剧场B室内消防用水量均为10 L/s,火灾延续时间为2 h。采用临时高压消防给水系统,室内消火栓管网用水由消防水池、消火栓泵(2台,1

用 1 备)、设置在宿舍屋顶的消防水箱(有效容积 18 m^3)及消火栓增压稳压设施联合加压供应,系统设置 1 套 DN150 地上式消防水泵接合器。

火灾时,消火栓泵通过高位消防水箱出水管上的流量开关或消火栓泵出水干管上的低压压力开关直接自动启动。

室内消火栓管网竖向成环,环状管网上的阀门布置,应保证检修管道时关闭停用的消火栓竖管不超过 1 根,当竖管超过 4 根时,可关闭不相邻的 2 根;每根消火栓竖管与供水横干管相接处设置检修阀门。按规范设单阀单出口消火栓,以保证有 2 支水枪的充实水柱同时到达室内任何部位,消火栓栓口动压不小于 0.35 MPa,且消防水枪充实水柱按 13 m 计算。选用薄型单栓带消防软管卷盘组合式消防柜(SG18E65Z - J 型),消防箱内设旋转型消火栓一个,DN19 水枪一支,DN65 × 25 m 长衬胶水龙带一根,消防软管卷盘一套和报警按钮一个。

根据所选用的消防泵,在特定楼层的消火栓栓口设置不锈钢减压孔板,使其栓口动压不大于 0.50 MPa。

4　自动灭火系统

根据《剧场建筑设计规范》(JGJ 57—2016,以下简称《剧场规范》)第 8.3.5 条,剧场 A 和剧场 B 舞台栅顶下均需设置雨淋系统。

剧场 A 和剧场 B 的舞台台口部位均设置了需要防护冷却的防火幕,根据《建规》第 8.3.6 条第 3 款,剧场 A 和剧场 B 舞台台口的防火幕上部均需设置防护冷却水幕系统。

剧场 A 和剧场 B 座位数均未超过 1 500 个,是否设置闭式自动喷水灭火系统有争议,经多方沟通和讨论,剧场 A 和剧场 B 均设置了闭式自动喷水灭火系统,主要理由如下:

① 剧场 A 和剧场 B 均采用有送回风管道的集中空气调节系统,且总建筑面积大于 3 000 m^2,作为人员密集场所和重要公共建筑,其火灾危险性和危害性均高于办公建筑,根据《建规》第 8.3.4 条第 3 款,建议设置闭式自动喷水灭火系统;

② 建筑专业在综合考虑剧场使用功能和安全性后,为了便于合理划分防火分区和确定安全疏散距离,要求设置自动喷水灭火系统;

③ 根据《剧场规范》第 8.3.7 条的条文解释,剧场舞台在栅顶下侧安装开式喷头的雨淋自动喷水灭火系统,在栅顶以上至屋面板的空间和四周边廊下仍安装闭式喷头系统;

④ 根据大量工程案例,剧场建筑装修标准和费用较高,闭式自动喷水灭火系统的造价占整个剧场工程造价的比例较低,且在已经设计了雨淋系统和防护冷却水幕系统的前提下,增设闭式自动喷水灭火系统并不会增加消防水池有效容积,为了更高效地预防建筑火灾,减少火灾危害,保障人身和财产安全,建议设置闭式自动喷水灭火系统;

⑤ 作为重要的基础设施,A 校和 B 校建设项目初步设计评审阶段,受到各部门和专家的广泛关注和高度重视,有专家提出学校内的剧场需设置自动喷水灭火系统,且校方从安全角度考虑,同意在剧场内设置自动喷水灭火系统。

4.1　设计参数

除不宜用水保护或灭火的场所外,剧场内遍设自动灭火系统,各部位自动灭火系统的危险等级、喷水强度和设计流量见表 2。

表 2　自动喷水灭火系统主要设计参数

Tab. 2　Design parameters of sprinkler system

项　目	危险等级	喷水强度	作用范围	设计流量/(L · s^{-1})
闭式自动喷水灭火系统(净空高度 $h \leqslant 8$ m)	中危险 Ⅰ 级	6 L/(min · m^2)	160 m^2	21
闭式自动喷水灭火系统(净空高度 8 m < $h \leqslant 12$ m)	中危险 Ⅰ 级	15 L/(min · m^2)	160 m^2	52
闭式自动喷水灭火系统(净空高度 12 m < $h \leqslant 18$ m)	中危险 Ⅰ 级	20 L/(min · m^2)	160 m^2	69.5
雨淋系统(舞台栅顶下部)	严重危险 Ⅱ 级	16 L/(min · m^2)	260 m^2	90
防护冷却水幕系统(舞台口防火幕)	—	1.0 L/(s · m)① 0.9 L/(s · m)②	20 m① 16.6 m②	20 15
固定消防炮灭火系统(剧场 A 观众厅)	中危险 Ⅰ 级	—	—	40

注:①为剧场 A 防护冷却水幕系统的喷水强度和保护长度;②为剧场 B 防护冷却水幕系统的喷水强度和保护长度。

4.2　闭式自动喷水灭火系统

根据《喷规》,民用建筑中净空高度不超过 18 m 的场所均可以采用闭式自动喷水灭火系统,且火灾延续时间均可按不小于 1 h 确定。采用临时高压系

统,喷淋管网用水由消防水池、喷淋泵(3 台,2 用 1 备)、设置在宿舍屋顶的消防水箱(有效容积为 18 m^3)及喷淋系统增压稳压设施联合加压供应,系统设置 3 套 DN150 地上式消防水泵接合器。

火灾时,喷淋泵通过其出水干管上的压力开关或报警阀组压力开关直接自动启动。

闭式系统共设湿式报警阀 2 组,每组控制的喷头数不超过 800 个,报警阀组前的供水管道呈环状布置,报警阀组后采用枝状管网。

设置闭式自动喷水灭火系统的每个防火分区、每个楼层均设置水流指示器和信号阀,及时报告火灾发生的部位。每个报警阀组控制的最不利点洒水喷头处设末端试水装置,其他防火分区和楼层均设置 DN25 的试水阀。末端试水装置的出水间接排入排水立管,排水立管设伸顶通气管,且管径不小于 DN75。

本工程不同净空高度场所采用的闭式洒水喷头公称动作温度均为 68 ℃,具体类型见表 3。

表 3　不同净空高度场所的闭式喷头选型

Tab. 3　Close-type sprinkler selection in specific headroom

净空高度(h)/m	一支喷头的保护面积	响应时间性能	流量系数
$h \leqslant 8$	标准覆盖面积洒水喷头	标准响应喷头	$K=80$
$8<h \leqslant 12$	标准覆盖面积洒水喷头	快速响应喷头	$K=115$
$12<h \leqslant 18$	非仓库型特殊应用喷头		

根据所选用的喷淋泵,在特定楼层的水流指示器后设置不锈钢减压孔板,控制各配水管入口的压力不大于 0.40 MPa。

4.3　雨淋系统

舞台栅顶下部采用雨淋系统进行保护,按严重危险级Ⅱ级设计,喷水强度为 16 L/(min · m^2),火灾延续时间为 1 h。系统用水由消防水池、雨淋泵(3 台,2 用 1 备)、设置在宿舍屋顶的消防水箱(有效容积为 18 m^3)及雨淋系统增压稳压设施联合加压供应,设置 4 套 DN150 地上式消防水泵接合器。

火灾时,雨淋泵由火灾自动报警系统、消防水泵出水干管上的压力开关和雨淋阀组压力开关直接自动启动。

系统共设雨淋报警阀 2 组,报警阀组前的供水管道呈环状布置,报警阀组后采用枝状管网。为保证配水均匀性,开式喷头的配水支管和配水管应尽量对称布置。

雨淋报警阀组均设置在舞台附近的报警阀间。雨淋系统的手动装置设置在舞台角落,并设有明显的标志和保护装置。剧场演出时,可将雨淋系统的自动装置切换为人工控制状态,防止演出期间的误动作;舞台部位发生火灾时,可在舞台就近控制手动装置,启动雨淋泵组,喷水灭火。演出结束后,将系统的电动联动装置调回到自动控制状态。

剧场 A 主舞台栅顶下部保护面积为 450 m^2,分 2 个区,每个区设置 1 套雨淋阀组,每套雨淋阀组保护面积为 260 m^2。2 套雨淋阀组保护的区域有部分重合[2-3],当着火点发生在重合区域时,通过火灾报警系统的消防联动控制器控制开启其中 1 个雨淋报警阀。剧场 A 舞台雨淋系统布置见图 1。

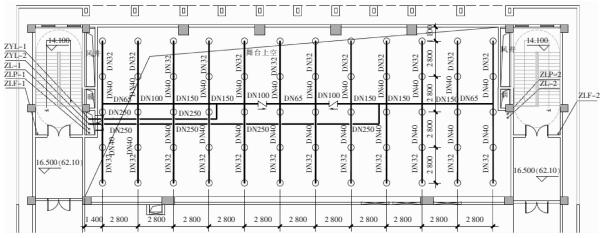

图 1　剧场 A 舞台雨淋系统布置

Fig. 1　Deluge sprinkler system plan of theatre A

剧场 B 主舞台栅顶下部保护面积为 260 m^2,分 2 个区,每个区设置 1 套雨淋阀组,每套雨淋阀组保护面积为 130 m^2。火灾发生时,2 套雨淋阀组同时开启。剧场 B 舞台雨淋系统布置见图 2。

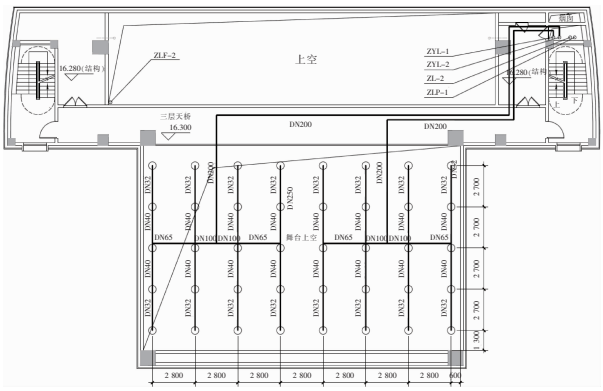

图 2　剧场 B 舞台雨淋系统布置

Fig. 2　Deluge sprinkler system plan of theatre B

雨淋系统采用开式洒水喷头,$K=115$,最不利点喷头工作压力为 0.13 MPa。

4.4　防护冷却水幕系统

剧场 A 和剧场 B 舞台和观众厅均划分为不同

的防火分区，且舞台台口均设置了防火幕，需设置防护冷却水幕进行冷却保护。剧场 A 开口部位长度为 19.4 m，喷水点高度为 9.85 m，设计喷水强度为 1.0 L/(s·m)，设计流量为 20 L/s；剧场 B 开口部位长度为 16.6 m，喷水点高度 8.00 m，设计喷水强度为 0.9 L/(s·m)，设计流量为 15 L/s。火灾延续时间均按 3 h 设计。

系统用水由消防水池、水幕泵（2 台，1 用 1 备）、设置在宿舍屋顶的消防水箱（有效容积为 18 m^3）及水幕系统增压稳压设施联合加压供应，系统设置 2 套 DN100 地上式消防水泵接合器。

火灾时，水幕系统消防水泵由火灾自动报警系统、消防水泵出水干管上的压力开关和雨淋阀组压力开关直接自动启动。水幕系统的手动装置设置在舞台角落，并设有明显的标志和保护装置。火灾时可现场手动应急操作，启动雨淋泵组。

系统共设雨淋报警阀 1 组，供水管道呈枝状布置。采用水幕喷头，$K=80$，最不利点喷头工作压力为 0.20 MPa。

4.5　固定消防炮灭火系统

剧场 A 观众厅部分区域，其顶部至地下一层升降乐池地面的净空高度超过 18 m，根据《建规》第 8.3.5 条，采用固定消防炮灭火系统进行保护，系统设计流量为 40 L/s，连续供给时间为 1 h。

系统用水由消防水池、消防水泵（2 台，1 用 1 备）、设置在宿舍屋顶的消防水箱（有效容积为 18 m^3）及消防炮系统增压稳压设施联合加压供应，系统设置 3 套 DN150 地上式消防水泵接合器。

消防水炮采用智能型红外探测组件自动控制，且在消防炮位处设置消防水泵启动按钮。

系统供水管网呈环状，消防水炮设置数量为两门，其布置高度应保证消防炮的射流不受上部建筑构件的影响，并应能使两门水炮的水射流同时到达观众厅的任何部位。

水炮标准喷水流量为 20 L/s，额定工作压力为 0.8 MPa，最大额定压力为 1.0 MPa，标准圆形保护半径为 50 m，水平旋转角度为 360°，垂直旋转角度为 −90° ~ +30°。

5　消防排水[2-3]

5.1　设计依据

根据《消防给水及消火栓系统技术规范》（GB 50974—2014）实施指南第 9.2.1 条要点说明，消防排水设施的排水量宜按保护场所内同时作用的所有消防给水水量的 80% 计算（参考《人民防空工程设计防火规范》第 7.8.1 条的条文解释）。

5.2　设计参数

剧场 A 同时作用的所有消防给水流量最大为 120 L/s，在台仓和升降乐池下各设置两座集水井，尺寸均为 2 m×1.5 m×1.6 m，每个集水井内设置 2 台 50 m^3/h潜污泵，最大消防排水能力为 111 L/s，超过最大消防给水流量的 90%，基本可以保证舞台底部台仓和升降乐池内不会长时间积水。

剧场 B 同时作用的所有消防给水流量最大为 115 L/s，虽然没有台仓和乐池，但观众厅最前排的地面标高为室内最低点，低于室外地坪 1 m，为防止火灾发生后观众厅和舞台大面积、长时间积水，在观众厅最前排两侧角落各设置一座集水井，尺寸均为 2 m×1.5 m×2.0 m，每个集水井内设置 2 台 85 m^3/h潜污泵，最大消防排水能力为 94.4 L/s，为最大消防给水流量的 82%。

6　问题和讨论

①　消防系统增压稳压设施的设置

各消防系统初期消防用水量均储存在 18 m^3 高位消防水箱内，关于各系统增压稳压设施能否共用，规范并未明确提出。笔者认为，增压稳压设施的主要作用是保证各系统最不利点处的静水压力满足规范要求。闭式自动喷水灭火系统、雨淋系统、防护冷却水幕系统最不利点处的静水压力要求相近，可以共用 1 套增压稳压设施；室内消火栓系统的增压稳压设施应独立设置；固定消防炮灭火系统是否需要设置增压稳压设施，规范并未明确，如果需要，因消防炮所需供水压力较高，建议独立设置。

②　消防系统的控制方式

消防水泵控制柜在平时应使消防水泵处于自动启泵状态；开式自动灭火系统，当消防水泵设置在手动启动状态时，应确保 24 h 有人工值班；消防水泵不应设置自动停泵的控制功能，应由具有管理权限的工作人员根据火灾扑救情况确定是否手动停泵。

所有消防水泵除具有自动控制启动方式外，还应具备下列启动方式：消防控制室远程控制，消防水泵房现场应急操作。

③　开式系统的设计参数复核

（下转第 59 页）