

中国国家话剧院剧场空调设计

中国航空规划建设发展有限公司 孟凡兵[☆] 朱晓山

摘要 介绍了冷热源、风系统、防火及排烟系统、消声和减振、水系统的设计。对观众厅区域的空调送、回风系统及排烟系统,舞台区的排热、排烟系统等进行了详细论述。对在设计过程中应注意的问题,如消声减振、防火排烟、风量控制、排热、除湿等问题进行了总结。

关键词 中国国家话剧院 剧场 观众厅 空调 消声 排烟

Air conditioning design for theatre of Chinese National Drama House

By Meng Fanbing[★] and Zhu Xiaoshan

Abstract Presents design of the cold and heat sources, air system, fire protection and smoke extraction systems, noise reduction and vibration isolation, and water system. Describes the air supply and return systems and smoke extraction system in the auditorium, the heat exhaust system and smoke extraction systems in the stage in detail. Summarizes the problems such as noise reduction and vibration isolation, fire protection and smoke extraction, air volume control, heat exhaust and dehumidification, which should be given more considerations in the designing process.

Keywords Chinese National Drama House, theatre, auditorium, air conditioning, noise reduction, smoke extraction

★ China Aviation Planning and Construction Development Co., Ltd., Beijing, China

①

1 概况

中国国家话剧院(如图 1 所示)位于北京市宣武区(原)广安门外大街,占地面积 10 166 m²,总建筑面积 21 000 m²,其中地上 13 417 m²,地下 7 583 m²,地上 6 层,地下 2 层,地下局部为设备夹层,建筑主体高度 22.7 m。



图 1 中国国家话剧院

本建筑主要由两部分组成:剧场和剧场办公楼。剧场为甲等剧场,观众厅总座位数为 913 席,

建筑面积 15 000 m²;办公楼位于东侧,毗邻剧场建造,建筑面积 6 000 m²。地下部分为汽车库、餐厅、剧场后台、设备用房,战时人防物资库及二等人员掩蔽部。

该工程于 2008 年年初动工,2011 年年中全面竣工,现已投入使用,整个剧场的声学 and 空调效果良好。

本文主要介绍剧场区域的空调通风设计。

2 室内主要设计参数(见表 1)

3 空调冷热源设计

3.1 空调负荷

最大设计冷负荷为 3 100 kW,单位建筑面积冷指标为 147 W/m²。

最大设计热负荷为 2 000 kW,单位建筑面积热指标为 95 W/m²。

①☆ 孟凡兵,男,1971 年 11 月生,硕士研究生,高级工程师
100120 北京市德外大街 12 号一院
(010) 62037838
E-mail:13621108163@163.com

收稿日期:2012-06-26

一次修回:2012-09-14

二次修回:2012-10-10

表 1 室内主要设计参数

	夏季参数		冬季参数		新风量/(m³/(人·h))	A 声级允许噪声/dB
	温度/℃	相对湿度/%	温度/℃	相对湿度/%		
观众厅	26~28	≤65	16~18	≥30	≥15	≤35
舞台	25~27	≤65	16~20	≥35	总风量的 15%	
排练厅	25~27	≤65	16~20	≥35	≥20	≤40
演员化妆室	25~27	≤60	18~22	≥35	40	
演员休息室	26~28	≤65	16~18	≥35	40	
办公室	26~28	≤65	18~20	≥40	40	≤45

3.2 空调冷热源

冷源采用螺杆式水冷冷水机组,共 2 台,供水温度为 7℃/12℃。主机置于地下 1 层的制冷换热站内,制冷机是建筑物的主要噪声源之一,因此站房远离剧场区域布置,之间由车库隔开,避免噪声和振动对剧场产生影响。冷却塔置于办公区的室外屋面上,亦远离剧场区布置。平面布置图见图 2。

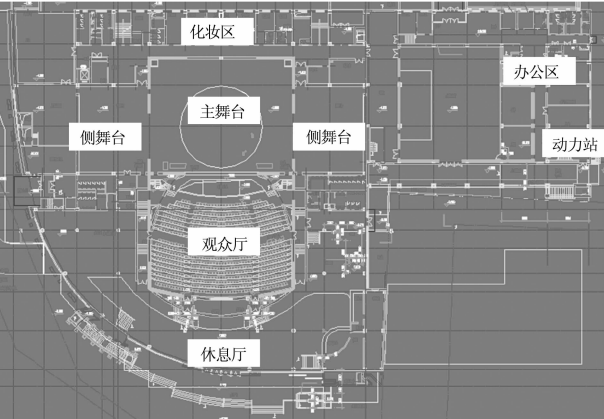


图 2 平面布置图

热源引自市政供热管网,经板式换热机组换热后,供空调使用,二次供回水温度为 60℃/50℃。制冷换热站的站房面积约为 350 m²,约占总建筑面积的 1.7%。

4 空调通风系统设计

4.1 观众厅

剧场中的观众厅采用低速风道全空气系统,设计为双风机系统,座椅下送风,一部分回风回到空气处理机,另一部分通过观众厅上部灯光密集处与闷顶相通的空隙,在闷顶内设置排风口,将含有余热的空气以机械排风排至室外。每个座椅的送风量为 50 m³/h,最大送风温差为 4℃,也就是夏季送风温度不低于 20℃,送风器出风速度不高于 0.4 m/s,至人体脚踝处风速不高于 0.25 m/s,送风来自座椅下的静压箱。这种气流组织既可以满足人

体舒适度要求,也较节能。

由于观众厅送风温差较小,从节能角度出发,空调机组采用了二次回风的形式。为防止个别季节或时段室内空气湿度过大,机组配备了电再热段,以便切换使用。

观众厅的噪声标准较高,所有空调、通风机房尽量远离观众厅。空调系统的消声、隔声处理非常关键,主风管风速取值均小于 4 m/s,支风管风速取值均小于 2 m/s,系统消声器数量经计算后确定,本工程观众厅总送风量为 50 000 m³/h,设置了 6 级阻抗复合型消声器,消声效果良好。

池座和楼座送风静压箱,除地面外,内壁均作保温和消声处理,要求消声量(A 声级噪声)不小于 5 dB。所有穿过观众厅的风管水管的孔洞处,均作密闭隔声处理。为观众厅服务的排风系统设置了相应的消声器,排烟系统虽然平时不用,但其与室外相通,室外环境噪声会通过排烟管道传递,因此排烟管道也设置了相应的消声器。

乐池与观众厅相连,乐池空调送风通过乐池与池座静压箱相邻的侧壁开洞送风。观众厅空调通风原理图见图 3。

4.2 主舞台

剧场的主舞台采用低速风道全空气系统,设计为双风机系统,由于灯光、设备多,散热量大,为保证演职人员的工作条件,从主舞台两侧距地面 8、11 m 处分两层采用消声射流喷口向舞台中央对吹,下部设置回风口,并于侧台和后台分设空气处理机组,可根据需要间歇供冷和供热,或在演出时减小送风量或关闭送风喷口,以降低出风口风速,避免出现幕布被吹晃动的现象。

舞台区域的噪声标准要求较观众厅略低,但对空调通风系统仍采取了相应的消声措施,除设置相应的消声器外,与送风口连接的送风管采用了消声型送风管。支风管风速控制在 3 m/s 以内。

主舞台距地面 11 m 以上部分为非空调区域,

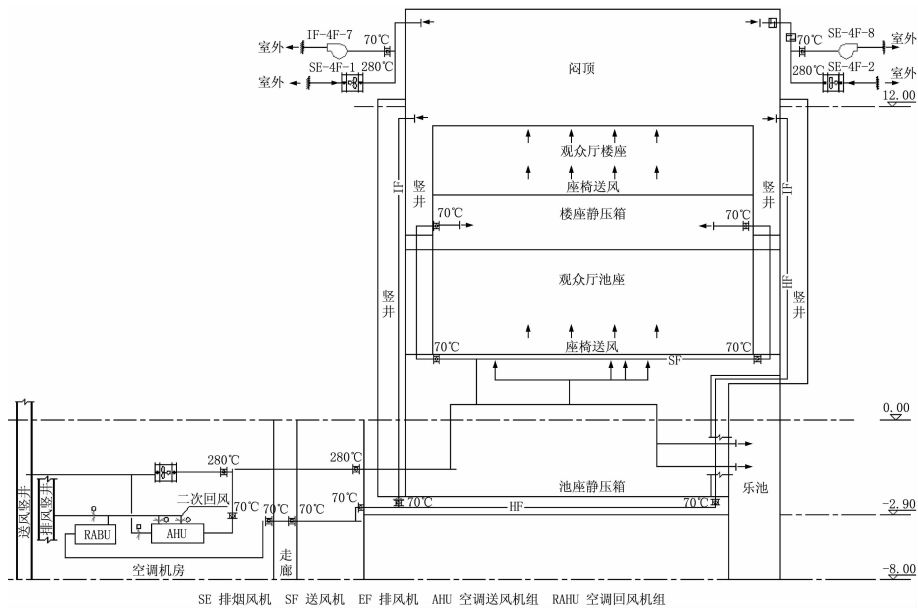
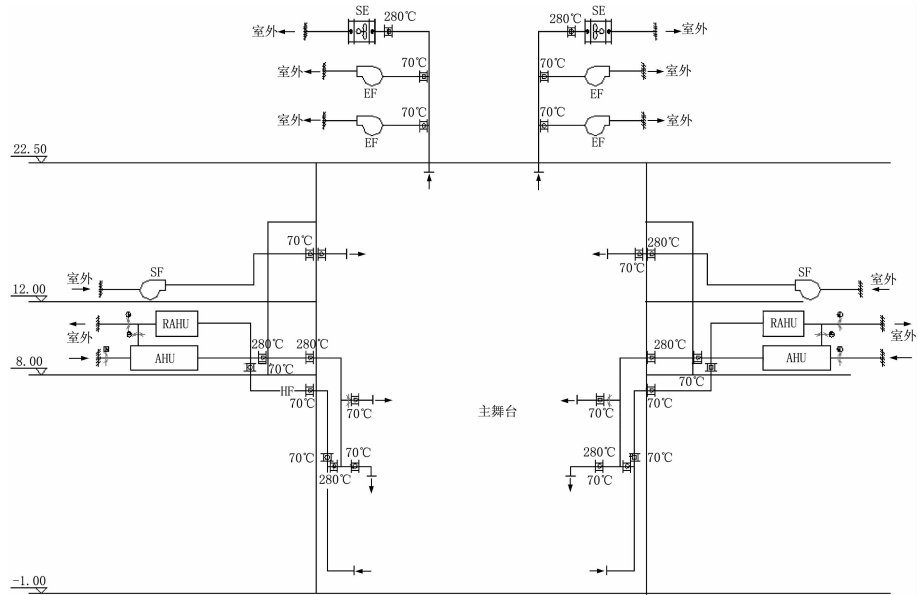


图 3 观众厅空调通风原理图

经验表明,舞台机械设备的散热和下部工作区域在上部积聚的热量,使葡萄藤架空非常热,因此在上空设置了独立的通风系统。通过机械通风的方式排除余热。通风系统设置了相应的消声器。

为观众厅及主、侧舞台服务的空调机组的送、

回风机均设置了变频控制器,可以调节风量和控制噪声,以及控制风箱内的零压点。由于剧场区大部分为内区,过渡季和冬季仍需供冷,通过新回风阀的调节,双风机系统可实现从最小新风到 100%新风节能运行,避免启动制冷机或减少制冷机运行时间。主舞台空调通风原理图见图 4。



图例同图3

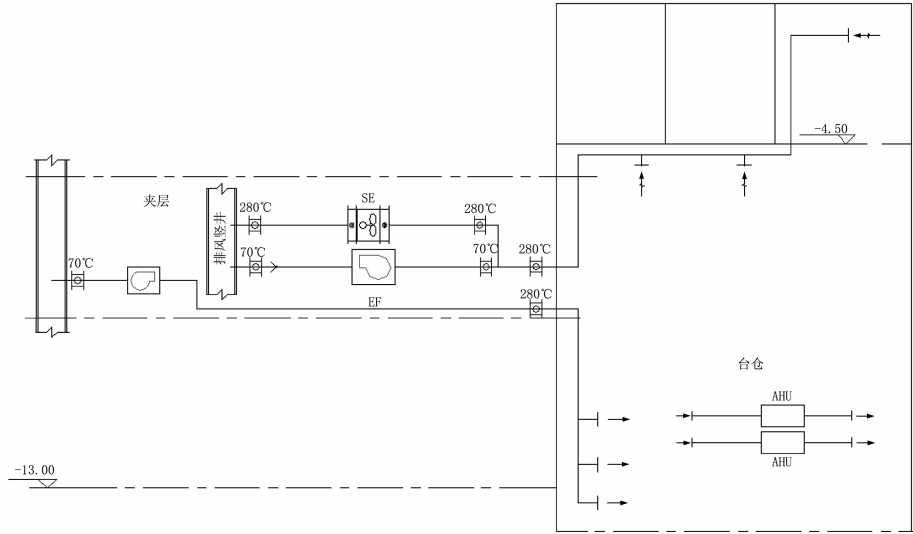
图 4 主舞台空调通风原理图

4.3 台仓及侧台

由于台仓中的机械设备存在散热,故在台仓内设置了空调系统,采用吊装大型风机盘管在台仓内两侧送风,机组直接回风的方式进行循环加热或降

温和除湿。台仓中设有相应的通风系统,空调通风系统设有消声器。台仓通风空调系统原理图见图 5。

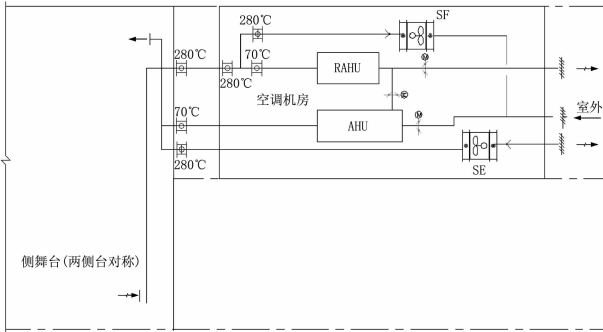
剧场的侧台空间较大,采用低速风道全空气系



图例同图3

图 5 台仓通风空调系统原理图

统,设计为双风机系统。侧台设有吊车梁机轨道,为避免风管与吊车冲突和影响使用空间高度,送风口采用了侧送喷口(空间高度允许时,亦可采用旋流风口下送风)。该区域的噪声标准要求较观众厅略低,对空调通风系统设置了相应的消声器,与送风口连接的送风管采用了消声型送风管。支风管风速控制在 3 m/s 以内。送、回风机均设置了变频控制器,以便调节风量和控制噪声。侧台通风空调系统原理图见图 6。



图例同图3

图 6 侧台通风空调系统原理图

4.4 耳光室、硅控室

耳光室内设有大功率的发光设备,设备散发余热,耳光室内设计了风机盘管和排风系统,用于降温排热,风机盘管吊装位置应避开电器设备。

硅控室内散热量较大,装有独立的末端空调机组,机组置于硅控室外,避免有压水进入硅控室内。硅控室同时设有排风系统,在过渡季节和冬季可通过通风排除余热,节能运行。

4.5 声、光控制室及放映室、功放室

运行班制不同于其他区域,要求能够实现独立运行,因此采用了多联式空调机组,同时,这些房间设有通风系统。消防控制室由于工作性质的需要单独设置了空气源热泵分体空调器,室外机就近放置于室外。

4.6 入口大厅及其他大空间

入口大厅采用低速风道全空气系统。送风口分别设置在 6 m 平台的侧面和下面。由于层高较大,平台下的区域采用旋流风口送风,高大空间区域采用消声射流喷口。回风口设在 6 m 平台的下面两侧,集中回风。大厅的玻璃幕墙冬、夏季传热量较大,尤其在夏季,太阳辐射热很大,在热压作用下,会出现上热下凉,故在大厅的顶部设置了排风系统以排除余热。在过渡季节,大厅的冷负荷以通过幕墙的太阳辐射热为主,空调停运时,通过该风机排除余热可有效节约能源。

大、中、小排练厅均采用低速风道全空气系统,采用旋流风口上送,两侧集中下回风的空调方式。上述系统均采用双风机系统,可实现过渡季节全新风节能运行。

4.7 一般办公室、各类管理室、化妆室及会议室等小空间空调区域

为便于灵活运行,采用两管制风机盘管加新风系统,满足不同末端用户对冷热独立调节的要求。新风系统均设置热回收装置。

新风通过风管送至各个房间,各房间均设置了

定风量阀,当系统风压在 30~300 Pa 之间变化时,该阀可以保证各房间新风量额定及新风系统的平衡。在每个定风量阀处均标出了新风量最大值,施工时根据标定值一次性设定完毕。

5 防火及防排烟设计

1) 剧场观众厅的排烟量按换气次数 13 h^{-1} 计算,计算体积包括吸声吊顶上部空间,总排烟量为 $120\,000 \text{ m}^3/\text{h}$ 。设置了 2 台 $65\,000 \text{ m}^3/\text{h}$ 的排烟风机,在观众厅闷顶两侧高处对称设置。排烟风机的风管上设置了两级消声器和一个消声弯头,用于消除室外环境噪声对观众厅的影响。由于剧场观众厅的特殊功能需要,建筑较为密闭且在事故时人员疏散较一般建筑慢,故对其另设有机机械补风系统,补风量为排烟量的 50%。利用平时空调系统的送风管送入室内,如图 3 所示。

2) 剧场的主舞台为独立的防火分区,该区设计了机械排烟和机械补风系统。排烟量按换气次数 6 h^{-1} 设计,为 $85\,000 \text{ m}^3/\text{h}$,设置了 2 台 $50\,000 \text{ m}^3/\text{h}$ 的排烟风机,置于主舞台顶部室外屋面。利用平时的空调系统兼作火灾时的补风系统,补风量不小于排烟量的 50%。

3) 侧台和台仓均为独立的防火分区,分别设计了机械排烟系统,排烟量按换气次数 6 h^{-1} 计算,两侧台的排烟量均为 $13\,000 \text{ m}^3/\text{h}$,台仓的排烟量为 $40\,000 \text{ m}^3/\text{h}$ 。两侧台和台仓均采用机械补风系统,补风量不低于排烟量的 50%。

4) 依据 JGJ 57—2000, J 67—2001《剧场建筑设计规范》的规定,剧场的通风和空调系统的风管、消声器及其保温材料应采用不燃材料,该剧场的风管采用的是镀锌钢板,保温材料为离心玻璃棉(A 级)。

观众厅吊顶内、送风静压箱内的吸声、隔热、保温材料均采用 A 级不燃材料离心玻璃棉。

6 消声和减振

剧场内各类噪声对环境的影响是剧场设计时考虑的关键问题之一。在消声的计算和消声器的性能方面需明确、细致。

对于消声器不能像普通民用建筑一样仅以图例显示,消声器对不同频段、不同风速的消声量和阻力截然不同,本工程设计时给出的参数要求如下:

1) 阻抗复合消声器的性能, A 声级噪声,低频 $\geq 10 \text{ dB}$,中频 $\geq 18 \text{ dB}$,高频 $\geq 23 \text{ dB}$;流速为 5 m/s 时,阻力损失 $\leq 8 \text{ Pa}$ 。

2) 消声弯头的性能, A 声级噪声,低频 $\geq 5 \text{ dB}$,中频 $\geq 10 \text{ dB}$,高频 $\geq 15 \text{ dB}$;流速为 5 m/s 时,阻力损失 $\leq 12 \text{ Pa}$ 。

消声联箱或消声静压箱的消声量(A 声级噪声)在各频段不小于 5 dB 。

消声材料要求为 A 级不燃材料。

穿过观众厅(含吊顶内)、观众厅送风静压箱、主舞台、左右侧台、控制室、大中小排练厅的任何一面墙体、楼板或地板的风管、水管、电缆管(桥架)等均作了密闭隔声封堵。设计时给出管道穿板隔声的详图。风管及水管须采用减振支吊架。

转动设备的吊装均采用减振支吊架。制冷(换热)站房、空调及通风机房内的支吊架均采用减振支吊架。

7 空调水系统设计

本工程空调系统规模较小,空调冷、热水均采用了一次泵闭式循环系统,由设在站内的定压补水装置根据回水压力变化保障系统的压力稳定。为确保冷热水水质,在冷热水泵吸入口设置过滤器,以保证水系统安全运行。

组合式空气处理机及新风加风机盘管系统均采用两管制。冷源侧采用定流量运行,总供回水管之间设压差控制旁通阀。负荷侧的空调机组、新风机组冷(热)水出口设置电动两通调节阀,风机盘管设电动两通阀。根据剧场和办公区的使用和运行管理的要求,空调水系统分成两个环路,系统平衡通过支路平衡阀门解决。

消防值班室、控制室、网络机房等设置独立的空调系统,自带独立冷源,满足独立使用要求。

8 结论

8.1 噪声和振动控制问题

1) 需充分考虑空调通风系统在不同频段的噪声值,设计时不宜以样本空调通风设备标定的噪声值为依据,因为该值通常为风机箱外 1 m 处的实验室测试值,应由设备商提供风机的噪声曲线,以风机出口噪声为计算依据,确定所需消声量。明确消声器的性能参数要求。

2) 计算观众厅通风空调设备末端风口处噪声,其取值(A 声级噪声)比环境要求低 5 dB 。

3) 座椅送风静压箱四壁及顶板应作吸声、保温处理。

4) 剧场周边空调机组的设备基础采用浮筑基

础,减少振动和固体传声,设计时需与建筑专业明确条件。

5) 制冷机是剧场较大的噪声源,布置动力站时需远离剧场区,避免影响剧场声学效果。

6) 服务于观众厅和舞台的排烟系统,由于其管道直通室外,室外存在环境噪声,因此,排烟系统需考虑隔声和消声措施。

7) 风管和水管穿越舞台和观众厅处,应作严格的密闭隔声处理,并需给出详细做法要求,避免施工时责任不明。

8) 对于为剧场区域服务的空调、风机设备,设置变频控制器可以有效调节风量平衡,控制噪声。

9) 剧场区的风管风速要严格控制,对于甲等剧场,主风管风速不大于 4 m/s ,支风管风速不大于 2 m/s 。

10) 通风空调设备需选用低噪高效设备,并在设备表中明确噪声限值。

11) 动力站房和空调、通风机房除地面外,顶、壁均作吸声处理,机房门除满足消防要求外,应为密闭隔声门,必要时采用双道门。

12) 布置通风空调机房位置时,尽量与建筑专业协调,选择与对振动和噪声标准要求较低的房间邻近。

8.2 防火排烟需注意的问题

1) 剧场区域,送回风管道穿越防火分区时应在防火墙两侧的管道上设置防火阀。

2) 剧场的风管、保温材料、消声器、软连接均采用不燃材料制作。

3) 观众厅的排烟极为重要,按规范计算排烟量要求不小于 13 h^{-1} ,计算观众厅排烟量应包括闷顶空间的体积。当观众厅体积非常庞大时,可通过消防性能化论证,确定合理排烟量。

8.3 风量控制

1) 在剧场设计中,有效控制舞台和观众厅的风量平衡、吹风速度非常重要。

2) 对于主舞台,存在多道幕帘,应避免吹风速度影响造成幕帘波动。

3) 对于观众厅,座椅送风速度不能太大,避免使人有吹风感。

4) 舞台和观众厅空间较高,形成烟囱效应,容易在入口处形成负压,送、回风量要根据实际运行进行匹配调节。

鉴于上述原因,为舞台和观众厅服务的空调机组均采用双风机变频机组。

8.4 排热、除湿问题

1) 主舞台上空存在大量舞台机械等电动设备,另受烟囱效应的影响,上部空间非常热,设计时需充分考虑舞台上空的通风排热。

2) 台仓位于地下室,在调试初期较为潮湿,若恰逢雨季调试,湿度太大会影响电器设备的工作。除设置合理的通风和排烟系统外,需结合项目具体情况,适当考虑必要的移动除湿设备。

硅控室、耳光室、面光桥等部位需设置通风排热设施。

8.5 管线综合与风口的选择

精装修是一个综合项目,不仅仅是建筑一个专业外观饰面问题,而是各专业综合协调一致的结果,暖通也是建筑装饰的一部分。管线的排布非常重要,直接影响吊顶高度,风口的选择既要功能上保证合理的气流组织,又要满足整体美观效果。

8.6 特殊区域空调形式

声、光控制室及放映室、功放室、消防值班室等特殊区域,运行班制不同于其他区域,要求空调系统能够实现独立运行。