

关于学校被动式建筑暖通设计常见问题的探究

曹丽蕊

北京石油化工工程有限公司 北京 100000

摘要: 本文以北京某学校被动式建筑为例,探究暖通空调专业在学校被动式建筑设计中经常遇到而且容易被忽视的问题,针对这些常见问题给出解决方案或合理化建议,对今后被动式建筑暖通空调设计具有一定的指导意义。

关键词: 学校;被动式建筑;暖通设计;节能

1 学校采用被动式建筑的意义

被动式建筑是将自然通风、自然采光、太阳能辐射和室内非供暖热源得热等各种被动式节能手段与建筑围护结构高效节能技术相结合建造而成的低能耗房屋建筑。而被动式建筑在学校建设中的应用在节能环保,身体健康,成本节约等方面也有着深远意义:

1) 被动房节能技术在学校的普及能让学生切身体会到环保建筑所带来的诸多好处,让学生直观地理解什么是“环保”,采用这种无痕式的教育比传统的开讲座做科普宣传的效果显然更为显著和持久。

2) 冬季学校寒假期间,普通建筑冬季需要低温运行,防止水管及消火栓管道、喷淋管道冻结的可能。被动房的出现解决了这个问题,被动式建筑白天通过门窗吸收太阳辐射能,由于被动式建筑有良好的保温隔热性能,整个建筑物的夜间温降速率非常慢,这样冬季被动式建筑不采暖的情况下通常能保证房间温度不低于5度^[1],保证这些消防管道不冻结,这样学校寒假期间可以节约一部分能耗。

3) 随着近年来冬季雾霾天的出现,少年儿童呼吸健康也受到极大的影响。冬季给学生提供足量的经PM2.5过滤器过滤后的新风显得很有必要。同时在学校被动房建筑中每个教室内安装二氧化碳传感器,保证教室内二氧化碳气体不超标,更有利于孩子的健康成长,提高学习效率。

4) 教学楼采用室内送新风,改善了室内空气质量。对于学校这类高度集中的场所,在流行病爆发期间,极大降低了传染源扩散的可能性。

学校采用被动式建筑虽然有很多好处,但由于被动式建筑在我国属于发展初期,在暖通设计中也存在许多

个人简介: 曹丽蕊,女,汉族,生于1984年12月,籍贯:河北省石家庄市高邑县万城乡南蒲底村,职称:中级,学历:本科,学位:学士,主要研究方向:暖通空调设计,邮箱:1297029501qq.com。

问题。现就以北京市某中学被动式建筑的暖通空调设计中遇到的一些问题进行总结思考及解决方法的探究,希望对以后的设计有所帮助和提高。

2 工程概况

该学校建筑高度16.6m,地下一层,为非被动式设计;地上四层,层高为3.9m,为被动式设计。学校总建筑面积为23088.82平方米,其中地上建筑面积13865.72平方米,地下建筑面积9223.1平方米。使用功能划分:地下为设备房,厨房,车库;地上为教学楼、学生公寓、门卫室。教学楼南北均为教室,中间部位为中庭,四周设回廊。下面重点以教学楼单体为例进行设计分析及问题探讨。



图1 某学校教学楼效果图

3 设计参数及状态确定

表1 室外计算参数:(北京)

工况	参数类型	数值
冬季工况	供暖室外计算温度	-7.6℃
	冬季通风室外计算温度	-3.6℃
	冬季空气调节室外计算温度	-9.9℃
	冬季室外平均风速	2.6m/s
夏季工况	夏季通风室外计算温度	29.7℃
	夏季空气调节室外计算干球温度	33.5℃
	夏季空气调节室外计算湿球温度	26.4℃
	夏季通风室外计算相对湿度	61%

续表:

工况	参数类型	数值
夏季工况	夏季空气调节室外计算日平均温度	29.6℃
	夏季室外平均风速	2.1m/s

表2 室内设计参数

房间名称	夏季		冬季	
	温度	湿度	温度	湿度
教室、教师办公室	26° C	≤60	20	≥30
走廊、中庭、楼梯间	26° C	≤60	20	≥30

本工程冬、夏季均采用风机盘管加新风系统。冷热源均来自市政管网,经换热站换热后,冬季供回水温度为60/50℃,夏季供回水温度为7/12℃。

教学楼每层设带热回收装置的新风处理机组一台,供应每层教室的新风,新风机组全热回收效率:70%,显热回收效率:75%。

4 项目实施过程中出现的问题

该项目在前期方案设计时暖通设计师未深入研究相关规范要求且忽视了学校被动式建筑设计中与常规建筑设计不同,造成设备选型过大能源浪费,气流组织不合理,走廊净高、气密性、智能控制等方面不满足规范要求。下面结合典型具体问题,进行阐述本人在后期方案调整中具体修改方案及针对典型问题的思考。

4.1 学校教室及走廊净高不满足规范要求

该项目前期方案设计时,教室及走廊净高不能满足《中小学校设计规范》,中学规范要求教室内净高

3.05m。该建筑为装配式建筑,结构形式为钢框架结构,层高为3.9米,主梁高度为550mm,结构板厚为120mm,风管厚度为250mm,进入教室支管厚度为160mm。考虑内走廊管线综合及教室内净高均未能满足规范要求。在施工图后期设计修改中结合相关设计规范对方案进行调整,具体如下:

1) 在每个教室贴内走廊墙上设送排风井,通过竖井向每个教室送风和排风,送风口设于外窗处,排风口设于教室入口处(具体位置见图3),排风量按新风量的80%计算,多余风量通过门窗缝隙溢流到走廊。考虑到每个教室新风量大,仅采用靠门缝排风会产生噪音,故需在教室内设排风口将污风排出,风井位置配合墙上壁橱设计。将带热回收装置的新风机组放置在屋顶上,机组新风口和排风口水平距离为10米,防止送风口、排风口短路。对屋顶风机做减震降噪措施,风机采用减震器基础,并在风机总送回风管处设消声器。

2) 在采取措施满足净高要求的同时,又对整个建筑的气流组织进行了优化设计。在未设新风的功能房间增加新风,且以教学楼中庭空间为媒介进行风的循环,走廊1~3层不设置新风热回收机组的排风口,每个热回收新风机组只在4层吊顶处设置排风口(具体见图3)。整栋建筑形成类似置换通风的通风方式,形成自建筑物底层至顶层的全面空气流动,携带污染物和热量的排风从建筑物高处的排风口排出,这种通风效率较高,可有效改善室内空气品质,减少能量消耗^[2]。调整前后方案对比见图2~图4。

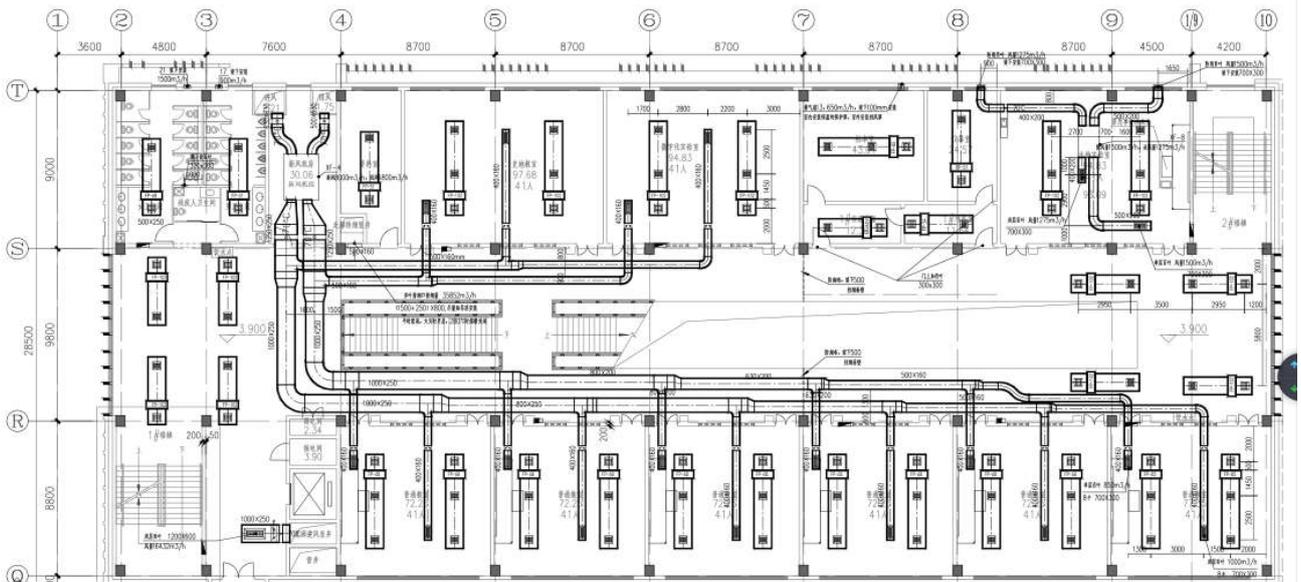


图2 教学楼原设计方案(原四层空调平面图)

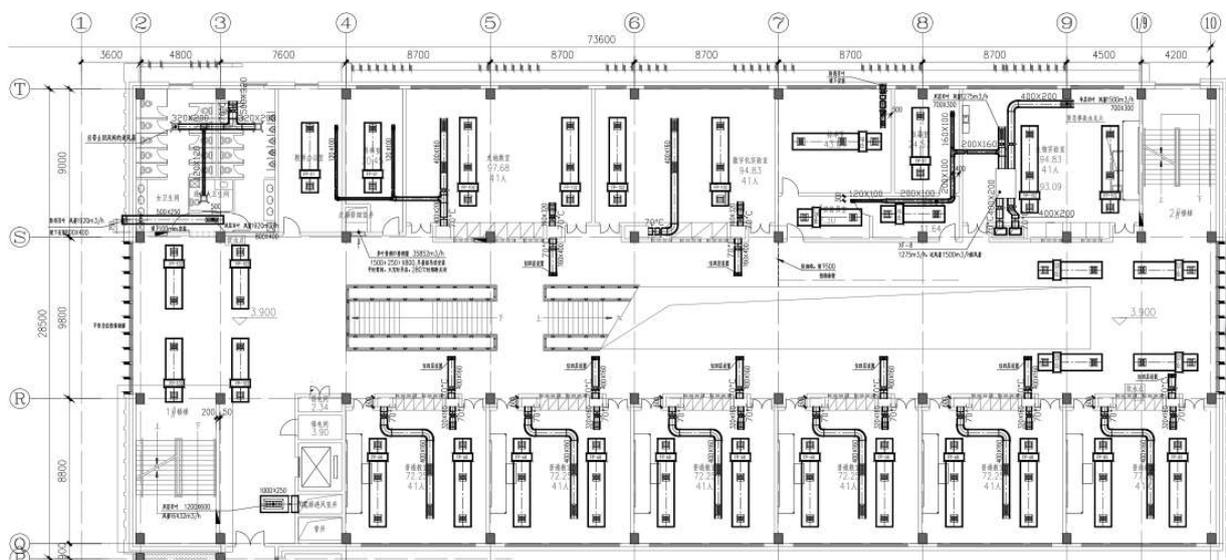


图3 调整后设计方案(四层空调平面图)

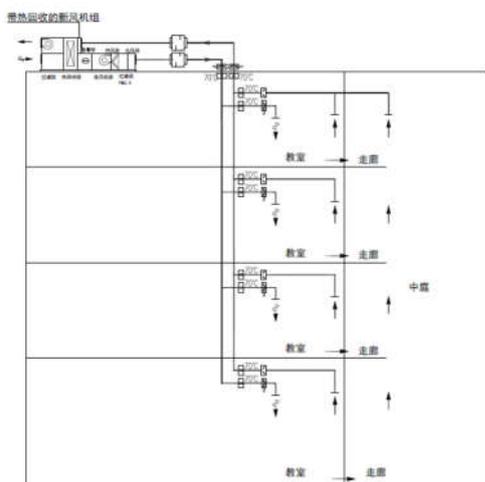


图4 方案调整后气流组织示意图

4.2 室内设备选型偏大

被动式建筑在负荷计算时较常规建筑的计算具有一定特殊性,而这些不同往往容易被设计师忽略,造成设备选型偏大,不利于节能。现结合具体设计将被动式建筑和常规建筑在冷热负荷计算及设备选型时应关注的问题进行介绍。

4.2.1 冷热负荷计算

(一) 热负荷计算

1) 围护结构基本耗热量的计算与常规设计相同,由于传热系数大幅减小,该部分负荷也会有明显下降。

2) 被动房气密性要求换气次数 $N_{50} \leq 0.6 \text{次/h}$ ^[3],实际使用过程中,室内外压差远低于 50Pa ,在这种情况下门窗缝隙冷风渗入需要的热负荷很小,甚至可以忽略不计。被动式建筑与常规建筑热负荷的对比见表4。

表3 被动式建筑围护结构传热系数

维护结构	传热系数 $W/(m^2 \cdot K)$
外墙	0.13
外窗、外门	1.00
地面	0.15
屋面	0.10

表4 被动式建筑与常规建筑热负荷对比

类型	教室	史地教室	教师办公室
常规建筑热负荷(W)	1182	2074	646
不考虑冷风渗透热负荷(W)	469	840	246
内部得热量(W)	-2530.8	-2532.7	-187.53
被动式建筑热负荷(W)	-2061.8	-1692.7	58.47

注:未包括通风热负荷,人均发热量按 60W ^[4],教室设备功率密度按 5W/m^2 ,设备使用率 14.9% ^[3]。

从表4可以看出,部分房间如果考虑内部发热量,理论上是可以不供暖的。但在实际设计过程中还应留有一定余量,避免诸如极端气候的出现或房间内部发热量较低,还有由于一直以来的行为习惯因素,重庆大学研究者指出“人的开窗行为不仅受到人体热舒适、室内空气品质等客观因素的影响,同时还会受到人们的心理、生理等主观感觉的影响,导致开窗行为具有相当大的随机性和不确定性”^[5],学生和老师可能会通过课间休息时间进行短暂开窗,导致室内温度偏低的现象发生。

3) 冬季空调采暖时也要计算冬季新风负荷,被动房气密性要求很高,如果冬季不供应新风,通过外窗渗入的远远不能满足最小新风量的要求。

(二) 冷负荷计算

1) 围护结构基本耗热量的计算与常规设计相同,由

于传热系数大幅减小，该部分负荷同样会有明显下降；同时学校建筑负荷计算有别与其他建筑，其夏季有暑假（7-8月份），通常最大冷负荷也发生在这两个月内，在做负荷计算的时候，也要考虑这方面影响。

2) 被动式建筑的空调冷负荷指标要求比较小，在内部发热量一定的情况下如何有效地降低围护结构形成的冷负荷成为重点。围护结构冷负荷中，外窗太阳辐射冷负荷占有相当大的比例，因而采用合适的外遮阳措施及严格控制外窗的得热系数对降低室内冷负荷可以起到事半功倍的效果。南北向各取一间教室，分别计算在采用普通外窗无外遮阳和符合被动式建筑标准的外窗加外遮阳两种工况下的冷负荷(见表6)。

表5 活动遮阳装置遮阳系数SC取值^[3]

控制方式	供暖季	供冷季
手动控制	0.8	0.4
自动控制	0.8	0.35

表6 两种工况下冷负荷对比 单位: W

朝向	被动式建筑外窗加外遮阳		普通外窗无外遮阳	
	外墙	外窗	外墙	外窗
南向	6	1029	6	2564
北向	7	354	7	906

(三) 空气处理过程

被动式建筑要求新风全热回收率不低于70%，新风机组不承担室内冷热负荷，新风系统空气处理过程如下，处理过程的焓湿图见图一、图二。新风热回收机组应具有自动提醒更换滤芯功能，避免风机在高阻力下运行，提高运行经济性。

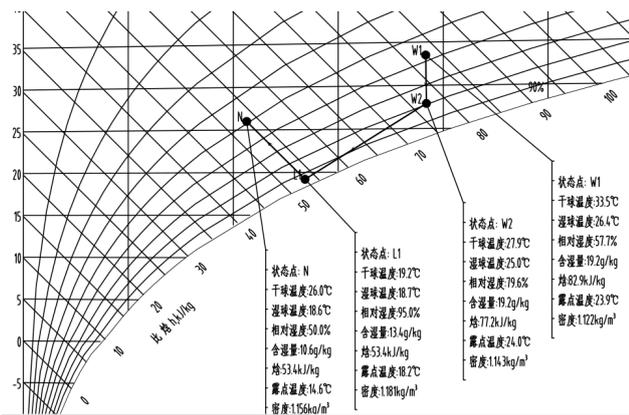


图5 夏季工况

送风：室外新风W1(33.5℃)→PM2.5过滤段→新风热回收段W2(27.9℃)→表冷段L1(19.2℃)→送入房间内N

排风：室内排风(26℃)→粗效过滤(G4)→新风热回收段(31.6℃)→排至室外。

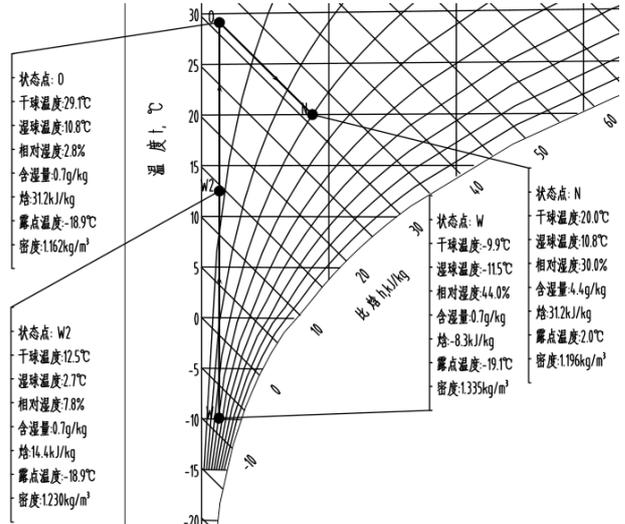


图6 冬季工况

送风：室外新风W1(-9.9℃)→PM2.5过滤段→新风热回收段W2(12.5℃)→加热盘管段L1(29.1℃)→送入房间内N

排风：室内排风(26℃)→粗效过滤(G4)→新风热回收段(3.6℃)→排至室外。

4.2.2 设备选型

被动式建筑的风机盘管设备选型应当考虑放大系数。但不能按普通建筑冷热负荷指标进行设备选型。被动式建筑在设备选型时主要考虑以下情况：

1) 考虑极端天气情况；

2) 学校一般通过课间开窗进行通风换气，这样会造成能源的浪费和风机盘管承担的负荷增大，只有让学校师生改变行为模式才能降低能耗，实现被动房真正节能的目的；

3) 被动式建筑受人员情况及室内环境影响比较大，要求通风和空调中的风机和泵选用变频调速的，通过检测室内参数，进行变频运行，同时实现节能。

经计算该学校教学楼冷指标为33.1W/m²，热指标为13.2W/m²，原设计设备选型偏大，具体详见表7。

表7 原设备选型与修改后设备选型对比表

类型	房间	风机盘管参数	新风机组参数
原设计选型	教室 (72m ²)	制冷量: 4.5KW	风量: 8000m ³ /h
		制热量: 6.75KW	制冷量: 83.9KW
改后设计选型	教室 (72m ²)	制冷量: 3.2KW	风量: 6000m ³ /h
		制热量: 4.8KW	制冷量: 43KW
			制热量: 47KW

注：原新风机组一层带8个教室，改后设计为一个新风机组竖向带4个教室。

被动式建筑在我国发展还处于初级阶段，被动式建

筑暖通设计中,需要暖通设计师后期对项目能耗监测及数据统计进行分析,通过被动式建筑的项目经验慢慢积累及人们的行为习惯逐渐改变,逐步做到被动式建筑设备选型的放大系数降低。

4.3 不满足被动式建筑气密性要求

原设计方案卫生间及生物实验室直接外墙设排风扇,被动式建筑外墙直接设排风扇比较难满足被动式建筑的气密性。通过设竖井及加卫生间通风器的方式来进行改进,并在竖井接口处设止回阀,通过这种方式来保证建筑良好的气密性。另外公共卫生间增设补风,每层卫生间增设补风短管直通室外,短管处设保温密闭电动风阀,电动阀与卫生间通风器联动。由于被动房气密性特别好的特点,需增设补风系统,防止造成卫生间负压过大,造成排水系统异常,地漏返味。

被动式建筑施工参考的图集较少,施工经验缺乏,暖通施工图纸应完善有特殊要求的地方,避免施工方按常规做法,造成不必要的返工。

1) 卫生间通风短管穿墙面做法:补风口穿外墙管道外包30厚保温隔音材料(挤塑聚苯板);孔洞用双组份聚氨酯发泡剂填充;保温与外墙外保温对其形成整体,设置防水百叶PVC套管。

2) 通风管道自穿透气密层墙体时,必须进行密封处理。具体做法见图7。

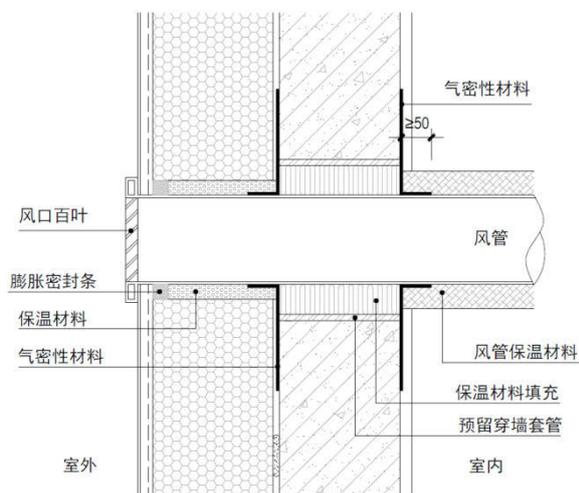


图7 通风管道穿墙面做法

3) 在设通风竖井及通风立管时应该考虑到内保温所占用的空间,防止竖井及通风管道面积不够,该学校教学楼原设计图纸中均未考虑保温层所占的空间,最终造成竖井及通风管道面积不够,后期经与建筑沟通,又进行了重新的调整。具体通风管穿屋面做法详见图8。

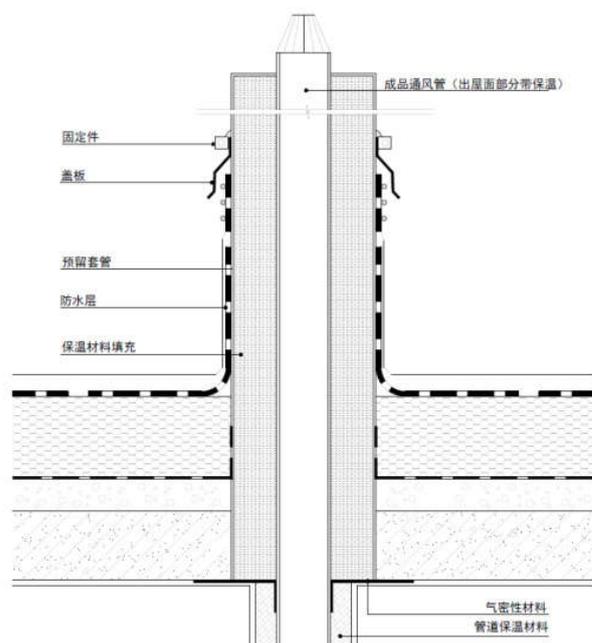


图8 通风管道穿屋面做法

4.4 不满足智能控制的要求

能耗计量是被动式超低能耗建筑运行、优化、管理、验证的依据。对重要参数进行在线监测,及时发现系统故障,掌握系统运行情况,这也体现了被动式建筑智能化管理。原设计方案对这块未做全面考虑,本人在后期方案调整中对此方面进行了相应的完善。

1) 该教学楼的地下部分有厨房,泵房等,需要冬季提供热源及冷源。地下厨房及泵房为非被动区,按被动房能耗监测要求,应该被动区与非被动区分别计量,且被动区还要求宜分层监测。根据这些规定将教学楼地下区域、地上的每一层分别设置冷热计量装置,热量表应有检测接口或数据通讯接口,能进行远程传输。

2) 原设计图纸中虽然在每个教室设计了二氧化碳传感器,但是每个教室设置的是带手动调节阀的普通风口,且每层的新风入口也未设置电动调节阀。后将每个教室的手动调节阀换成电动调节阀,总新风入口也增加了电动调节阀。通过电动阀与新风机组、二氧化碳检测仪联动,每个教室根据室内二氧化碳浓度变化,实现相应的设备启停、风机转速及新风阀开度调节,最终实现教室空气质量的智能控制。

4.5 其他问题

(1) 外墙风口开洞较多,一是容易破坏围护结构保温层的连续性,二是给洞口处理的气密性及热桥的产生增加难度,另一个是造成建筑外立面的不美观。改进方案是将需要送风及排风的房间通过设竖井的方式统一排

出,通过这种方式减少外墙的开洞。

(2)教学楼中部为中庭,设计时采用电动窗排烟。后期施工阶段,通过与门窗厂家咨询,电动排烟窗即使能满足被动式建筑气密性要求,但开启角度很小(角度小于 70°),这样就造成原排烟窗面积不能满足《建筑防排烟系统技术标准》规范中要求的开窗面积。鉴于这种情况对原有方案进行如下修改:将顶层教师办公室改为排烟机房对中庭进行机械排烟。

(3)被动式教学楼对噪音要求较高,在优化时除采用低噪音风机和在总风管上消声器外,还改为低速风管,干管风速为 $5-6.5\text{m/s}$,支管风速为 $3-4.5\text{m/s}$ 。

(4)学校化学实验室的有害气体通常为腐蚀性气体,故增加了风机及风管选用材质的要求,均要求采用防腐材质。

5 结论

文章结合北京某学校实际工程探究在被动式建筑设计过程中暖通空调专业可能遇到的典型问题并给出相应的解决方案,同时针对相应的具体问题提出一些设计建议及施工做法,对今后暖通空调专业设计具有一定指导意义。

1)被动式建筑是在提高自身保湿隔热性能及气密性的前提下,尽可能利用天然能源来满足自身舒适性的要求。当建筑气密性大大提高以后,暖通专业设计时必须通过机械通风方式引入新风,合理进行气流组织设计,同时考虑学校建筑的特殊性,应综合考虑优化设计。

2)被动式建筑在负荷计算及设备选型时应充分考虑

其建筑特殊性,不能按普通建筑冷热负荷指标进行设备选型,通过选用变频设备、降低设备选型参数,最终实现节能。

3)被动式建筑有良好的气密性,通风道及设备穿墙或屋面,不能按常规建筑的做法,应做密封及保温处理。

4)传统建筑暖通设计很少进行能耗数据监测和跟踪,被动式建筑应满足智能控制要求,实现暖通空调自动控制和数据监测,这些大数据为以后暖通设计提供了实践依据。也为今后做好被动房设备的选型及良好运行提供了数据支撑,有利于逐步提高被动式建筑设计水平。

被动式建筑为暖通空调设计带来了新的挑战,需要重新审视传统的线性终端设计流程,暖通工程师有必要全程参与到建筑设计过程中,辅助建筑师完成建筑设计的优化设计,以进一步完善设计方案。

参考文献

[1] 孔文焯,龚延风,于昌勇,王立华,王杰村.被动房冬季运行室温响应实测分析[J].建筑科学,第32卷第4期:71-76.

[2] 潘玉亮,于震,刘磊.中德生态园被动房技术体验中心暖通空调设计[J].暖通空调HV&AC,2017年第47卷第6期:47-50.

[3] GB/T 51350-2019,近零能耗建筑技术标准[S].

[4] DB13(J)/T177-2015,被动式低能耗居住建筑节能设计标准[S].

[5] 范瑞娟.基于蒙特卡罗方法的重庆地区过渡季节办公建筑人员开窗行为研究[D].重庆:重庆大学,2013.