



平衡建筑系列丛书

HVAC SYSTEMS DESIGN  
FOR CDC

余俊祥 高克文 孙丽娟◎著

# 疾病预防控制中心 暖通空调设计



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

疾病预防控制中心暖通空调设计 / 余俊祥, 高克文, 孙丽娟著. — 杭州 : 浙江大学出版社, 2020. 6  
ISBN 978-7-308-19345-0

I. ①疾… II. ①余… ②高… ③孙… III. ①疾病预防控制中心—采暖设备—建筑设计②疾病预防控制中心—通风设备—建筑设计③疾病预防控制中心—空气调节设备—建筑设计 IV. ①TU83

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2020)第 066765 号

## 疾病预防控制中心暖通空调设计

余俊祥 高克文 孙丽娟 著

---

责任编辑 樊晓燕  
责任校对 汪淑芳 蔡晓欢  
封面设计 雷建军  
封面设计 浙江时代出版服务有限公司  
出版发行 浙江大学出版社  
(杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310007)  
(网址: <http://www.zjupress.com>)  
排 版 浙江时代出版服务有限公司  
印 刷 杭州良诸印刷有限公司  
开 本 710mm×1000mm 1/16  
印 张 17.5  
字 数 287 千  
版 印 次 2020 年 6 月第 1 版 2020 年 6 月第 1 次印刷  
书 号 ISBN 978-7-308-19345-0  
定 价 69.00 元

---

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社市场运营中心联系方式 (0571)88925591; <http://zjdxcs.tmall.com>

# 序

没有全民健康就没有全面小康,健康是人民群众最具普遍意义的美好生活需要。党的十九大报告将“实施健康中国战略”作为国家发展基本方略中的重要内容,对健康保障和服务体系的建设提出了更高的要求。国际和国内的研究和实践均表明,公共卫生是整个健康保障和服务体系的基石。作为公共卫生体系的主力军,各级疾病预防控制中心(简称疾控中心)承担着疾病预防与控制、突发公共卫生事件应急处置、疫情报告及健康相关因素信息管理、健康危害因素监测与干预、实验室检测分析与评价、健康教育与健康促进、技术管理与应用研究指导等重要职责,对创造健康环境、维护社会稳定、保障国家安全、促进人民健康具有重要意义。

疾控中心建筑是典型的科研实验建筑,其实验室种类繁多,功能复杂,特别是其中的生物安全实验室对实验室环境的控制要求非常高。暖通空调系统是疾控中心实验室环境控制中最重要硬件系统,其除了实现一般的人员舒适性问题,解决常规的室内温度、湿度、洁净度等环境要素以外,更重要的是要保障实验人员和环境的安全,严防病原生物和有毒有害物质的泄漏。因此,要求设计人员提供非常精细化的设计。只有通过有经验的暖通设计人员和科研人员共同深入研究探讨,才能设计出满足疾控中心实验环境功能要求的实验室。

2004年,我负责筹建浙江省疾控中心一期迁建工程。当时,疾控中心建设还没有相关的国家规范,大家基本上在“摸着石头过河”。当时,浙江大学建筑设计研究院团队和相关实验室工艺设计机构一起,认真调查环境,精心规划设计,给我留下了深刻的印象。现在在承担二期应急指挥中心设计时,浙江大学建筑设计研究院团队已经能够比较自如地承担工艺设计任务了。他们深入疾控中心各部门,和实验科研人员一起,认真探讨,完成了实验工艺

及全部施工图设计。浙江大学建筑设计研究院暖通团队认真总结了前后两期工程设计中的经验教训,在多年的“摸索—积累—总结”过程中对疾控中心各类型实验室的工艺需求有了较为清晰的认识,特别是在暖通空调技术如何呼应实验室的工艺需求方面有了较深的理解,并在此基础上编写了本书。本书内容深入浅出,涉及多学科实验室的暖通空调系统设计要点,既从设计角度介绍了基础理论,又结合了第一手的工程实践资料,对省市级疾控中心的建设设计具有非常好的参考价值。

目前在疾控领域还没有看到类似的比较全面、系统地介绍疾控中心暖通空调系统设计的专著。作为一名长期从事疾控体系建设和管理工作的“老兵”,我非常欣喜地看到浙江大学建筑设计研究院能在具体的工程设计中提炼总结,编纂成书,与同行分享。当然,疾控中心实验室环境复杂,且相关学科和仪器设备的发展变化也非常快,书中难免有不够完善和全面的地方,望作者所在团队能在今后的工作中进一步研究总结,不断提高疾控中心建设的设计水平,为我国的疾控事业发展添砖加瓦,做出更大贡献!

是为序!

浙江省医学科学院党委书记



# 前 言

疾病预防控制中心一词来自美国,英文为 Center for Disease Control and Prevention,简称 CDC 或 CDCP。目前,我国已建立了中国疾病预防控制中心(China CDC),并且在各省、自治区、直辖市设立了相应的分支机构。这些机构通过预防控制各类传染病、管理疫苗与接种、处理突发公共卫生事件以及开展食品安全、职业安全、健康相关产品安全、放射卫生、环境卫生、妇女儿童保健等各项公共卫生业务管理工作,对创造健康环境、维护社会稳定、保障国家安全、促进人民健康发挥了极大的作用。

在我国历史上,传染病曾经严重威胁人民健康和生命安全。20 世纪 50 年代,因传染病和寄生虫病死亡的人数居我国人口死亡人数的第 1 位。而据 2017 年的相关数据统计,我国因传染病和寄生虫病死亡的人数已经下降到第 10 位之后(前 10 位死因的死亡人数合计占死亡总数的 93.5%),并在发展中国家中率先消灭了天花和脊髓灰质炎等重大传染病。2003 年,我国战胜了来势凶猛的“非典”疫情,后来又成功地控制了禽流感,这其中疾控中心起到了至关重要的作用。

疾控中心实验室暖通空调系统的设计是重中之重,是保障实验人员安全、严防微生物气溶胶泄漏的屏障。虽然进入 21 世纪以来我国疾控中心的发展建设非常快速,并编制了相关国家标准或规范,如《疾病预防控制中心建筑技术规范》(GB 50881—2013)、《生物安全实验室建筑技术规范》(GB 50346—2011)、《实验动物设施建筑技术规范》(GB 50447—2008)等,但因为疾控中心内实验室种类繁多,各类实验室对室内空气环境的要求不同,还缺少一本系统介绍疾控中心各类实验室暖通空调系统设计的书。

笔者所在团队在 2005 年承接浙江省疾控中心一期迁建工程设计时,深感资料的欠缺,那时相关的国家标准或规范也还不够全面具体。我们和相关工

艺设计单位一起摸索前进,完成了当时国内首批省级疾控中心的迁建工程设计。浙江省疾控中心建有 2 套独立的 BSL-3 实验室、23 个 BSL-2 实验室和 6 套标准 PCR 实验室,还建有 3 个省级重点实验室、4 个厅级重点学科(实验室)和 1 个厅级重点学科群。2016 年,我们继续承接了浙江省疾控中心二期应急指挥大楼的设计工作。此时国家规范已完善出台,一期实验室也已经过 10 年的运行,积累了很多经验和教训。

本书就是笔者所在团队在认真总结浙江省疾控中心一、二期建设的经验教训的基础上完成的有关暖通空调系统设计的专著,希望对省市级疾控中心、医疗建筑、高等院校以及其他生命科学领域相关科研机构的实验室的暖通空调系统的设计提供参考与借鉴。

在本书的编写过程中,我们总结了实际工程建设中遇到的重点和难点,请教了众多业内专家,查阅了大量的文献,书中部分内容引用了他们的研究成果,已将其列在参考文献中,在此表示郑重感谢。

感谢施培武先生,他作为疾控中心建设与管理领域的资深专家为本书提供了重要的指导意见,并执笔为本书作序。感谢浙江省疾病预防控制中心的领导,特别是后勤处的王赞信先生,他为设计人员与实验室使用人员搭建了有效沟通的桥梁,这为本书的编写奠定了坚实的基础。

感谢疾控中心项目组的各位同仁,在浙江大学建筑设计研究院提供的良好平台下,项目组成员始终坚持“平衡建筑”的思考与“研究式设计”的工作理念,不畏艰难,敢于创新。在此还要特别感谢暖通团队中的李浩军和曹志刚为本书提供的工程图纸及相关资料,感谢吴美娴工程师为本书绘制图片。

在本书的编写过程中,上海埃松气流控制技术有限公司、克莱门特捷联制冷设备(上海)有限公司、北京华创瑞风空调科技有限公司等厂家的朋友为本书提供了翔实的技术资料和照片,在此表示感谢。

鉴于笔者水平所限,再加上生物理化实验技术飞速发展,书中难免有不妥之处,欢迎同行批评指正,在此一并表示感谢。

余俊祥\*

2019 年 10 月

---

\* 浙江大学硕士研究生导师;浙江大学平衡建筑研究中心兼职导师;浙江大学建筑设计研究院有限公司建筑一院副院长、分院副总工程师。

# 目 录

第 1 章 绪 论 .....	1
1.1 历史沿革 .....	1
1.2 疾控中心实验室发展趋势 .....	3
1.3 疾控中心实验室分类 .....	8
1.4 疾控实验室设计依据与参考 .....	11
本章参考文献 .....	12
第 2 章 生物安全实验室的暖通空调系统设计 .....	13
2.1 生物实验室概况 .....	13
2.2 生物安全实验室的相关标准规范 .....	14
2.3 风险评估 .....	17
2.4 生物安全实验室分级分类及主要技术指标 .....	17
2.5 控制方法 .....	20
2.6 生物安全柜 .....	20
2.6.1 生安柜标准 .....	21
2.6.2 生安柜分级 .....	22
2.6.3 生安柜性能指标 .....	26
2.7 BSL-1 级生物安全实验室 .....	28
2.8 BSL-2 级生物安全实验室 .....	30
2.8.1 BSL-2 级生物安全实验室基本要求 .....	30
2.8.2 平面布局 .....	35
2.8.3 暖通空调系统 .....	36

2.9	BSL-3 生物安全实验室	41
2.9.1	高等级生物安全实验室概况	41
2.9.2	BSL-3 生物安全实验室基本要求	42
2.9.3	平面布局	44
2.9.4	暖通空调系统	45
2.9.5	高等级生物安全实验室的消防排烟	48
2.10	动物生物安全实验室	49
2.10.1	ABSL-1 生物安全实验室	49
2.10.2	ABSL-2 生物安全实验室	50
2.10.3	ABSL-3 生物安全实验室	50
	本章参考文献	52
<b>第3章</b>	<b>实验动物设施的暖通空调系统设计</b>	<b>54</b>
3.1	实验动物环境的分类及技术指标	54
3.1.1	实验动物及实验动物环境的分类	54
3.1.2	实验动物的环境指标	57
3.2	实验动物环境的常见设备	60
3.2.1	独立通风笼具	60
3.2.2	隔离器	65
3.2.3	洗笼机	66
3.2.4	灭菌器	68
3.3	实验动物设施的工艺布局	70
3.3.1	工艺布局的基本要求	70
3.3.2	工艺布局的分区及流线	70
3.4	实验动物环境的暖通空调系统	74
3.4.1	空调负荷	74
3.4.2	冷热源系统	76
3.4.3	净化空调	80
3.4.4	适用于动物房的热回收技术	82
3.4.5	空调自动控制系统	84
	本章参考文献	86

<b>第 4 章 理化实验室的暖通空调系统设计</b> .....	87
4.1 实验室设备 .....	87
4.1.1 通风柜 .....	87
4.1.2 万向排气罩、原子吸收罩 .....	95
4.1.3 超净台 .....	95
4.1.4 各类谱仪 .....	97
4.2 理化实验室暖通空调系统设计 .....	98
4.2.1 基本原则 .....	98
4.2.2 气流控制系统 .....	99
4.2.3 系统设计 .....	101
4.2.4 气流组织 .....	106
4.2.5 消防及事故通风系统 .....	108
4.3 理化实验室暖通空调自动控制系统 .....	108
4.3.1 实验室气流控制组件 .....	108
4.3.2 变风量通风柜的控制 .....	112
4.3.3 实验室的压力控制 .....	114
4.3.4 实验室控制要点分析 .....	116
本章参考文献 .....	118
<b>第 5 章 特殊实验室的暖通空调系统设计</b> .....	119
5.1 洁净实验室 .....	119
5.1.1 空气洁净度 .....	119
5.1.2 空气过滤器及净化末端装置 .....	122
5.1.3 净化空调机组 .....	128
5.1.4 气流流型与换气次数 .....	129
5.1.5 压差控制 .....	132
5.2 恒温恒湿实验室 .....	133
5.2.1 冷热源设置 .....	134
5.2.2 空气处理 .....	135
5.2.3 气流组织 .....	138

5.2.4	系统控制 .....	138
5.2.5	案例分析 .....	139
5.3	PCR 实验室 .....	145
5.4	危险性实验室 .....	149
5.4.1	试剂间、样品间 .....	149
5.4.2	放射性同位素实验室 .....	150
5.4.3	二噁英检测实验室 .....	152
	本章参考文献 .....	157
<b>第 6 章</b>	<b>菌种保藏库房的暖通空调系统设计 .....</b>	<b>159</b>
6.1	4℃ 菌种库 .....	159
6.2	低温库及液氮库 .....	164
	本章参考文献 .....	166
<b>第 7 章</b>	<b>实验室废气的处理及排放 .....</b>	<b>167</b>
7.1	废气处理的法规标准 .....	168
7.2	化学类实验室废气处理 .....	169
7.2.1	化学类实验室废气的组成 .....	169
7.2.2	化学类实验室废气的处理方法 .....	169
7.3	生物类实验室废气处理 .....	173
	本章参考文献 .....	175
<b>第 8 章</b>	<b>疾控中心实验室的绿色节能设计 .....</b>	<b>176</b>
8.1	国内外研究现状 .....	176
8.2	主要节能技术措施 .....	178
8.2.1	源侧的节能技术措施 .....	178
8.2.2	输配侧的节能技术措施 .....	180
8.2.3	末端侧的节能技术措施 .....	181
	本章参考文献 .....	183

第 9 章 实例分析 .....	184
9.1 洁净实验室设计实例 .....	185
9.2 PCR 实验室设计实例 .....	193
9.3 BSL-2 生物安全实验室设计实例 .....	200
9.4 理化实验室设计实例 .....	209
9.5 BSL-3 实验室设计实例 .....	213
附 录 .....	222
附录 A 省、地(市)、县级疾病预防控制机构实验室主要仪器装备标准 .....	222
附录 B 人间传染的病原微生物名录 .....	230

# 第1章 绪论

疾病预防控制中心(简称“疾控中心”)的实验室种类繁多,学科跨度大,实验工艺复杂,设计人员在初次接触时往往不能较快地厘清头绪。本章的主要任务之一就是明确疾控中心实验室的基本分类,后续章节将按照此分类进行更加详细的介绍。同时,本章还将介绍新时期实验室设计的发展趋势,在后续章节中也会贯彻新的设计理念,提供适宜的技术建议。

## 1.1 历史沿革

过去 60 多年,我国的卫生防疫事业经历了从“防疫站”到“疾病预防控制中心”的发展过程。

1954 年,卫生部颁布《卫生防疫站暂行办法和各级卫生防疫站组织编制规定》,明确各级卫生防疫站的任务是预防性和经常性卫生监督与传染病管理,工作内容拓展到环境卫生、食品卫生、学校卫生、放射卫生以及传染病控制等领域。

1964 年,卫生部颁发《卫生防疫站工作试行条例》,明确规定卫生防疫站为卫生事业单位,是国家卫生组织的有机组成部分。同时还规定了流行病控制、劳动卫生、环境卫生、食品卫生、学校卫生、放射防护等专业工作内容。

1979 年,卫生部颁布《全国卫生防疫站工作条例》,明确卫生防疫站是应用预防医学理论和技术将卫生防疫工作与监测、监督、科研、培训相结合的专业机构,是当地卫生防疫业务技术的指导中心,对卫生防疫站的机构设置、任务范围、队伍建设、工作方法做了原则性的规定。

1998 年,上海市疾病预防控制中心挂牌,率先进行卫生防疫体制的改革。

2001年,卫生防疫站正式更名为疾病预防控制中心。经国务院批准,国家整合中国预防医学科学院、卫生部工业卫生实验所、中国健康教育研究所、中国农村改水技术中心,组建成立了中国疾病预防控制中心。同年,卫生部办公厅下发《关于疾病预防控制体制改革的指导意见》和《全国疾病预防控制机构工作规范》,明确了各级疾病预防控制机构的职能与任务,将原省、地(市)、县级卫生防疫站的卫生执法与监督功能整体划出,集中有关卫生事业单位中的疾病预防控制、公共卫生技术管理和公共服务职能,增加了预防控制慢性病等功能,以促进健康为唯一目标,在实践中从单一、分散的科研型、创收型机构向公益型、服务型机构转变。

2003年,“非典”疫情的发生和流行,暴露了我国疾病预防控制体系力量的薄弱,为此,党中央、国务院更加关注疾病预防控制体系的建设。

2004年,新修订的《中华人民共和国传染病防治法》以法律的形式对各级疾病预防控制机构在防控传染病工作中的职责做出了明确的规定。

2005年,卫生部发布了题为《关于疾病预防控制体系建设的若干规定》的第40号部长令,提出了今后一个时期疾病预防控制体系建设的重点和具体实施意见。

2016年,国家发改委印发《全民健康保障工程建设规划》。规划强调要坚持预防为主,关口前移,加强疾病预防控制机构基础设施建设,全面提升公共卫生服务能力,力争到2020年,省级疾病预防控制机构都有达到生物安全三级水平的实验室。依据统一的建设标准和规范,填平补齐,改扩建业务用房,配置必要设备,全面提高服务能力,加强省、地(市)、县三级疾病预防控制机构业务用房建设,加强现有省级职业病、传染病、地方病、结核病等防治机构建设。

目前,全国已建成国家、省、地(市)、县四级疾病预防控制中心逾3000个,形成了以国家、省、地(市)、县四级疾病预防控制中心为主体的疾病预防控制体系,大部分省级疾控中心已经具备比较完善的实验装备能力以及资质建设水平。以浙江省疾病预防控制中心(见图1-1)为例,该中心建有2套独立的BSL-3实验室、23个BSL-2实验室和6套标准PCR实验室,建成3个省级重点实验室、4个厅级重点学科(实验室)和1个厅级重点学科群。现已获得实验室认可、实验室资质认定、食品检验机构资质认定“三合一”参数共计30类1626项,是国内首批具有从事埃博拉病毒实验资质的单位之一,先后获得国

家和省级卫生计生行政部门认定的健康相关产品卫生行政许可检验机构、国家食品药品监督管理局保健食品注册检验机构、化妆品行政许可的资质,以及建设项目职业病危害评价、职业卫生技术服务、公共场所集中暖通空调系统卫生学评价机构技术评估等资质,能够在产品类、现场检测及突发公共卫生工作中发挥重要的技术支撑作用。



图 1-1 浙江省疾病预防控制中心(一期)

## 1.2 疾控中心实验室发展趋势

在 20 世纪二三十年代,早期的实验室内只有工作台,操作程序也非常简单。一次重要的变迁是在 20 世纪 60 年代,加利福尼亚州萨尔克研究所(Salk Institute)率先在实验室建设领域使用设备夹层空间,鼓励科研人员参与设计适应其研究内容的场所。

我国实验室建筑工程建设相对国外起步较晚,大规模且相对完善的疾控中心实验室的工程建设主要集中在 2000 年左右。2003 年“非典”之后,国家在实验室装修、系统工程建设、科学仪器设备采购等方面都加大了投入。在早期的建设过程中,由于经验较少且缺乏深入认知也走了一些弯路,这些问

题在实验室建筑工程建设领域比较有代表性,主要集中在规划选址、功能布局、可持续发展等几个方面。

### 1. 规划选址问题

早期实验室建筑的选址没有经过周密规划,在城市整体规划中未全面考量,导致与周围环境相互产生不良干扰。例如,一些实验室建筑周边建有住宅区、学校等,这样既对外部环境造成一定不良影响,同时外部环境若发生倾覆、火灾等意外也会影响实验室建筑,特别是一些生物安全防护等级较高的实验室,会产生更加严重的危害。

### 2. 功能布局问题

由于实验工艺复杂,涉及学科繁多,而且专业性强,在有限的设计周期内设计人员未能及时厘清各类实验复杂的工艺流程。同时,实验人员由于缺乏专业的工程知识,与工程设计人员不能进行有效的沟通,会造成实验工艺布局不甚合理,建成使用之后容易出现問題。

### 3. 可持续发展问题

有研究指出,实验室竣工后维持建成现状的仅占三成左右。由于科学发展迅速,实验装备更新快,大部分实验室建筑在建成后依然会持续地进行改造。早期的实验室建设往往缺少对未来改建扩建的足够重视,造成后续建设条件不充分,以致不能满足快速发展的内在需求。此外,在工程技术方面,容易忽视绿色节能的一体化设计,造成实验建筑整体能耗大,运行成本大。而且,由于过去缺乏环保意识,实验室在运行过程中对废弃物的管理不甚严格,废气废液未经有效处理就排放,对生态环境也造成了恶劣影响。

随着国家在战略层面对基础科研设施的重视,现代实验室的建设发展得很快,但是科研行为、仪器设备的快速发展对实验室的建设提出了更加严格的要求,实验室建设呈现出灵活化、人性化、智能化、绿色化、安全化的发展趋势。

#### (1) 灵活化

现代科研活动快速发展的特点使得平面布置和系统工程的灵活性成了实验室建筑的特殊性。灵活化主要指使用空间的灵活以及供应系统的灵活。对于使用空间,应选择合适的模数,包括但不限于开间、进深、层高、主要设备仪器的布置、试验台的布置,以满足未来的发展空间。实验室的供应系统指

的是水、电、供气、排气、信息等的供应系统。实验室在吊顶或侧墙等位置应设置灵活的供应系统,可以与实验设施进行方便的连接,如图 1-2 所示。同时,利用夹层、竖井等预留空间满足未来采暖、空调、通风、电气及给排水等需要。



图 1-2 灵活的供应系统

### (2) 人性化

人性化设计是指在设计过程中,根据人的行为习惯、生理结构、心理情况、思维方式等,在原设计基本功能和性能之上,对建筑进行优化。对人的心理、生理需求的尊重和满足,是设计中的人文关怀。实验建筑中的人性化设计包括融合周边环境、考虑人体尺度、重视社交空间、加强视觉美化设计等。

现代科研行为已经逐渐呈现团队协作、跨学科交流等特点,团队的概念对实验室的建设提出了新的要求。共享空间的设置可吸引并聚集研究人员,增进交流机会,舒适的环境能够提高科研人员的工作效率,明快的色彩可以放松科研人员紧张的思维活动,追求建筑空间的视觉美学也成为新时代科研实验建筑的重要特征。

### (3) 智能化

目前,物联网技术的飞速发展为疾控中心的建设带来新的局面。疾控中心实验室建设的智能化是指整合智能楼宇的控制技术与实验室的工艺要求,

全面且深层次地提升疾控实验室的智能化信息化管理。

实验室智能化系统主要包含实验室信息管理系统、建筑环境管理系统以及通信系统,其中实验室信息管理系统管理的对象是与实验室相关的人、事、物,主要包括实验图像处理、仪器设备与试剂管理、实验室人力资源管理、菌种保藏管理等;建筑环境管理系统主要对实验室环境进行实时监控及调节,保障实验室正常运行,主要包括照明监控、空调监控、火灾自动报警、运输设备监控等;通信系统包括广播电视网络控制、视频对话、公共广播管理、互联网管理等。

#### (4)绿色化

绿色化主要指的是建筑设施方面的绿色节能与实验设施方面的绿色节能。国外的科研与实验建筑早就开始关注绿色设计与可持续发展。在美国,许多公益组织相继发布了科研实验建筑的绿色设计标准或指南,如国际可持续实验室国际研究院(International Institute for Sustainable Laboratories,简称 I<sup>2</sup>SL,如图 1-3 所示)发布的实验室基准工具、美国建筑科学国立研究院(National Institute of Building Science)发布的可持续实验室设计指导意见、21 世纪实验室(Labs 21)发布的可持续策略。此外,哈佛大学、麻省理工学院、加州大学圣地亚哥分校等高校也相继开展了绿色实验室项目。



图 1-3 国际可持续实验室国际研究院网站主页面

我国近年来也在大力推广绿色节能建筑。目前,绝大多数省份明确要