

建筑设备与系统调适

Commissioning of Buildings and Systems

逢秀锋 刘 珊 曹 勇 吕石磊 主编



中国建筑工业出版社

建筑设备与系统调适

逢秀锋 刘 珊 曹 勇 吕石磊 主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑设备与系统调适/逢秀锋等主编. — 北京: 中国建筑工业出版社, 2015.5

ISBN 978-7-112-17947-3

I. ①建… II. ①逢… III. ①房屋建筑设备-调试方法-高等学校-教材 IV. ①TU8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 057550 号

本书从理论到实践, 从国际到国内, 从历史到现代, 从制度到指标, 从作业到技术, 全方位的著书、立论, 全面且详尽地阐述了建筑调适的全过程以及涉及的相关技术。在借鉴了国外的理论与实践的基础上, 根据笔者的科研成果与工程实践经验, 侧重于将调适的核心理念与我国的工程实际情况相结合, 以适应我国的国情。

本书可作为建筑行业工程技术人员了解并实践建筑调适的工程参考书, 也可作为房地产开发商以及政府主管部门了解建筑调适的科普类书籍以及为高等院校相关专业高年级本科生以及研究生教学, 提供一本选修课教材。

责任编辑: 张文胜 田启铭

责任设计: 张 虹

责任校对: 张 颖 刘梦然

建筑设备与系统调适

逢秀锋 刘 珊 曹 勇 吕石磊 主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京君升印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 17¼ 字数: 414 千字

2015 年 5 月第一版 2015 年 5 月第一次印刷

定价: 49.00 元

ISBN 978-7-112-17947-3

(27182)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本书编委会

主 编：逢秀锋 刘 珊 曹 勇 吕石磊

编 写 组：郝 斌 林波荣 罗 多 廖 滢

曲世琳 高 岩 孙鹏程 余国保

王晓涛 于 丹 朱伟峰 叶 倩

主编单位：住房和城乡建设部科技发展促进中心

美国劳伦斯伯克利国家实验室

参编单位：中国建筑科学研究院

天津大学

清华大学

珠海兴业绿色建筑科技有限公司

北京科技大学

北京建筑大学

中国建筑股份有限公司技术中心

中国质量认证中心

上海建科建筑节能技术股份有限公司

序

世界科技的进步造就了“机电专业”的出现和发展。达到产业化之后，逐渐引入到建筑业，至今约有一百年历史。为建筑业服务，作为配角为土建专业作了重要的支持。“暖通空调”专业就是以室内环境营造的手段，大大促进了建筑业的发展，已经为一万年历史的土建业立了两次巨大功勋。

第一次是建筑业在气候恶劣之处，无法建设适用的建筑物，而且建筑业也已无法满足人类不断增加规模和人数众多的社会活动建设建筑物。例如中国最高贵的紫禁城在“暖通空调”专业出现前，也只靠另建避暑山庄，冬夏交替使用，勉强解决。

暖通空调专业使建筑业突破了室内自然环境的局限，而获得了大发展的新通途。

第二次是暖通空调专业为建筑业的贡献使其倍受欢迎，大量应用，却使建筑业在能源不足，环境危机的方面遭遇了新瓶颈，又是暖通空调专业站在了节能环保、可再生能源应用方面，阵前化解危机，再次立功。

暖通空调专业在建筑行业中是立过大功、大有前途的“小弟弟”，却因其稚嫩，话语权很小，个性又与年龄大 100 倍的土建专业“大哥们”有很多不同，所以“暖通空调”专业至今仍未能完美施展能力，而且深表委屈。

土建专业主要营造的是建筑的支持体系和围护结构。暖通空调专业营造的是“系统”，更具“生命特征”。是在运行中工作，并与环境和需求的不同而变化着控制别的，这种特质决定系统建成后必须调适；使用中要始终陪伴着运行人员；全寿命期中，总有能源、资源的投入；设备要有维护，不但是维修，而且要有析测，提前防止故障的出现；适时更换效果不达标的零部件；正常使用中，还要按时按部位作很多必要的维护作业等等。总之，很多方面与土建“大哥哥”特质不同，也因此长期未被深刻理解，不够重视。

比如，我们有“调适”环节的规定，却误定为“调试”，这就是源自土建专业安装门高等活动部品的调试概念，所以多年来调试环节的“整定”含义不到位。

“隔年验收”也是为“暖通空调”专业专立的规则，为历经春夏秋冬运行考验。但实施很不认真，有些甚至因“隔年”与土建验收不同步而被“省略”掉了验收环节。这些现象已发展成了建筑业的软肋，常年的缺点已扩展至运行人员的培养体制，建筑物的管理体制，运行开支计划的立项，建筑物合理运行中能耗的评估，建筑系统合理寿命期的追求等。

习主席提出的中华民族伟大复兴的目标使我们兴奋。各行各业都在努力科学地、积极地解决自己行业的主要、重要、长久、困难的问题。暖通空调专业的同仁们正在努力克服

上述种种问题，虽然有些问题涉及面宽，不能一行、一业解决，但我们已经“从我做起”努力贡献力量。本书的作者们准确地抓住了专业的软肋，从理论到实践，从国际到国内，从历史到现代，从制度到指标，从作业到技术，全方位的著书、立论，这是对建筑设备行业的新贡献，也是对建筑业提升水平，重要的具有时代性的贡献。

工业化从实践积累经验，积淀成文化，再指导实践的哲学规律非常清晰，由于中国真正工业化的文化积淀时日尚短，所以建筑业中出现“暖通空调”专业的缺憾根本原因与“工业化的文化”薄弱有直接关系。

本书是暖通空调专业工作者和专业教学的优秀专业参考书和教材，必是专业进步的重大正能量。

本书还将在工业化的文化推进中从高层面上起到更深远作用。

感谢本书作者们的智慧和勤奋！

北京市建筑设计研究院有限公司
顾问总工程师 吴德绳
2015 年春

前 言

20 世纪 70 年代的两次“能源危机”，对于西方发达国家的经济造成了严重的冲击。然而也让人们首次对能源使用效率重视起来，能效提升技术得以快速的发展，在建筑行业，一系列革命性的技术也在此期间产生。在这一大环境下，原本应用于造船业的生产环节的 Commissioning (Cx)，被引入到了建筑行业中，旨在提高暖通空调系统的可靠性与经济性。从 1977 年 Cx 的概念首次运用到建筑工程中算起，已经走过了将近 40 年的发展历程。在欧美发达国家，Cx 作为独立的技术管理体系，已经成为工程建设中的一个重要环节，有完整的技术导则与规范、完善的资质与认证体制以及专门的技术协会组织培训与交流。无数的工程实例也充分证实了 Cx 的价值。美国最新的一项根据西北四个州的调研显示，Cx 在新建项目中的普及率已经超过了 50%。

Cx 我国的引入始于 20 世纪 90 年代，在既有建筑空调系统改造中尝试了 Cx 的思想与方法。然而，由于当时我国建筑机电系统的现代化程度较低，暖通空调系统相对简单，Cx 并没有引起业界的重视，其发展也因此处于停滞状态。近年来，随着我国建筑现代化水平的不断提高，绿色建筑的飞速发展，各种先进技术不断应用到建筑当中。工程技术人员逐渐认识到低能耗的建筑，不是简单的各种先进的技术的堆积就能实现的。实现这些技术恰到好处的融合，从而发挥其最大的技术潜能才是实现建筑能效的关键。因此，近年来，Cx 逐渐重新回到人们的视线中。暖通空调领域的专家学者首次创造性地将 Cx 翻译成“调适”，很好地诠释了 Cx 的精髓即建筑适应实际使用需求。与传统暖通空调系统的“调试”，有了本质的区别。为了避免繁冗，全书将对建筑涉及各类设备及系统的调适简称为“建筑调适”。建筑调适包含新建建筑调适和既有建筑调适两大类，虽然在方法和技术运用上有差异，但两者的宗旨是一致的，即最大限度地发掘建筑系统的技术潜能，实现运行的优化。

本书全面且详尽地阐述了建筑调适的全过程以及涉及的相关技术，在借鉴了国外理论与实践的基础上，根据笔者的科研与工程经验，更侧重于将调适的核心理念与我国的工程实际情况相结合，进行改进，以适应我国的国情。希望本书的出版，推动建筑调适在我国的发展与应用。本书可作为建筑行业工程技术人员了解并实践建筑调适的工程参考书，也可作为房地产开发商以及政府主管部门了解建筑调适的科普类书籍。本书的另一个重要目标，是为高等院校相关专业高年级本科生以及研究生教学，提供一本选修课教材。

本书各章节的编著者分别是：第 1 章，刘珊、郝斌 (1.1)；第 2 章，吕石磊；第 3 章，逢秀锋、孙鹏程 (3.7)；第 4 章，逢秀锋、曲世琳 (4.2)；第 5 章，曹勇、廖滢

(5.2)、于丹；第6章，罗多(6.1、6.3)、吕石磊(6.2)、高岩(6.2)、余国保(6.4)；第7章，刘珊、郝斌、王晓涛；第8章，曹勇(8.1)、林波荣(8.3)、逢秀锋(8.2)。感谢北京建筑大学周霞老师对于第4.3节的校对；感谢华南理工大学张钰老师对附录英文翻译的校对。

全书由逢秀锋和刘珊统稿，曹勇对各章节作了详尽的校阅。全书由同济大学龙惟定教授终审。

本书的出版得到了中美清洁能源联合研究中心建筑节能项目中美两国有关专家的大力支持与帮助。感谢清华大学朱颖心教授在书籍的定位上给予的指引。最后要感谢吴德绳教授在百忙中为本书作序。

作为对一个新领域的探索，书中难免存在不足以及有争议之处，诚挚期盼读者们能将意见反馈给我们，共同探讨，一起推动建筑调适的发展。

编写组
2015 年春

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 建筑调适的历史与发展	1
1.2 建筑调适在中国的应用现状	3
1.2.1 我国应用与发展现状	3
1.2.2 国内建筑调适的必要性	4
1.3 建筑调适的定义与形式	5
1.3.1 与传统“调试”及 TAB 的区别	5
1.3.2 建筑调适与工程监理的区别	6
1.3.3 建筑调适的定义	6
1.3.4 建筑调适的形式与分类	8
第 2 章 新建建筑调适	10
2.1 新建建筑调适的成本效益	10
2.1.1 收益	11
2.1.2 调适费用	12
2.2 调适范围	12
2.3 新建建筑调适团队构成	12
2.3.1 调适团队成员及其职责	12
2.3.2 如何选择调适顾问	14
2.4 新建建筑调适过程	15
2.4.1 规划阶段	16
2.4.2 设计阶段	17
2.4.3 施工阶段	19
2.4.4 运营阶段	20
2.4.5 调适过程的文档	21
第 3 章 既有建筑调适	23
3.1 规划阶段	23
3.1.1 确定调适建筑	24
3.1.2 选定调适顾问	25
3.1.3 制定业主项目需求书	25
3.1.4 实施初步审计	26
3.2 调查阶段	27
3.2.1 审阅建筑文档	27
3.2.2 实施全面能源审计	27

3.2.3 确定是否进入实施阶段	27
3.3 实施阶段	28
3.3.1 制定实施计划	29
3.3.2 前期维修	29
3.3.3 确定调适团队	29
3.3.4 实施既建调适节能措施	30
3.3.5 功能测试与结果验证	30
3.4 交付与质保阶段	30
3.5 既建调适过程的文档	31
3.6 既建调适持续性	31
3.6.1 建筑文档的完善	31
3.6.2 运行管理人员的培训	32
3.6.3 主动式运行管理策略	33
3.6.4 建筑运行监测	33
3.7 商业模式	33
3.7.1 既建调适咨询服务合同	33
3.7.2 合同能源管理	34
第4章 节能潜力评估与经济分析	35
4.1 节能潜力评估	35
4.1.1 有限信息下的节能潜力估算	35
4.1.2 详尽信息下的节能计算	44
4.2 能耗模拟软件节能计算	49
4.2.1 DeST	50
4.2.2 eQUEST	52
4.2.3 EnergyPlus	53
4.3 技术经济分析	56
4.3.1 基本概念	56
4.3.2 投资回收期	58
4.3.3 净现值 (NPV)	60
4.3.4 内部收益率 (IRR)	61
4.3.5 效费法 (BCR)	61
4.3.6 生命周期成本分析方法 (Life-Cycle Cost Analysis Method, LCC)	62
第5章 建筑调适技术	64
5.1 常规建筑调适技术	64
5.1.1 变风量空调系统	65
5.1.2 单机调适	65
5.1.3 联合调适	86
5.1.4 既有建筑调适技术	97
5.2 发展中的建筑调适技术	97

5.2.1 利用楼宇自控软件进行建筑调适	97
5.2.2 基于模型的建筑调适技术	101
5.3 建筑调适测量工具	110
5.3.1 检测仪器性能要求	110
5.3.2 性能参数检测要求	116
5.3.3 数据采集仪检测技术	123
5.3.4 虚拟仪器检测技术	127
5.3.5 监测系统检测技术	131
第6章 围护结构、照明及太阳能系统调适	141
6.1 建筑围护结构系统调适	141
6.1.1 建筑围护结构简介	141
6.1.2 建筑围护结构调适概述	142
6.1.3 建筑围护结构调适设备及标准	142
6.1.4 建筑围护结构调适步骤	143
6.2 照明系统调适	148
6.2.1 照明与控制系统简介	148
6.2.2 照明与控制系统调适概述	149
6.2.3 照明与控制系统调适步骤	150
6.3 建筑太阳能热水系统调适	155
6.3.1 太阳能热水系统简介	155
6.3.2 太阳能热水系统调适概述	156
6.3.3 太阳能热水系统调适设备及行业标准	158
6.3.4 太阳能热水系统调适步骤	159
6.4 建筑太阳能光伏系统调适	161
6.4.1 建筑光伏系统定义、特征及分类	161
6.4.2 建筑光伏系统调适现状、背景及技术难点	161
6.4.3 建筑光伏系统调适设备及行业标准	163
6.4.4 建筑光伏系统调适步骤	165
第7章 调适结果验证	167
7.1 国内外已有的测量和验证标准规范体系	167
7.1.1 国外相关标准介绍	167
7.1.2 国内相关方法介绍	169
7.2 建筑调适成果测量与验证方法基础	172
7.2.1 评价原则	172
7.2.2 评价项目边界的确定	172
7.2.3 评价流程	173
7.2.4 能耗基准的确定	175
7.2.5 实际节能量计算原理	176
7.2.6 不确定性分析	178

7.3 节能量测量与验证方法 180

7.3.1 测量法 181

7.3.2 账单分析法 190

7.3.3 能耗模拟法 195

7.3.4 评价方法小结 198

第8章 实践与应用..... 200

8.1 新建建筑调适案例 200

8.1.1 广州某酒店机电系统调适 200

8.1.2 北京某办公楼变风量空调系统调适 208

8.2 既有建筑调适案例 212

8.2.1 工程概述 212

8.2.2 调适内容 212

8.2.3 调适结果 218

8.3 LEED 调适 219

8.3.1 建筑用能系统基本调适 219

8.3.2 基本调适和强化调适的关系 221

8.3.3 示例 224

附录1 需要调适的系统列表 226

附录2 建筑调适项目招标书模板 228

附录3 项目业主需求书模板 232

附录4 设计阶段调适计划模板 234

附录5 施工阶段调适计划模板 243

附录6 全面能源审计中常见问题 250

附录7 北京、武汉、广州 Bin 气象参数表 254

附录8 建筑能耗模拟输入参数列表 256

附录9 英文简称解释 257

参考文献..... 258

第 1 章 绪 论

1.1 建筑调适的历史与发展

调适 (Commissioning) 一词最早出现在西方的船舶制造工业中,最初是指海军舰艇建造完成后加入战备值班前所需要进行的一系列操作活动,确保舰艇投入使用后避免出现在使用和操作上的错误,包括:(1)对舰载设备的调整和测试,确保不会出现问题;(2)针对设备操作人员进行指导和培训,避免出现人为误操作等错误。

1977 年,调适的概念被首次运用到建筑工程中,加拿大公共事务局在其公共建设工程中开始使用调适。进入 20 世纪 80 年代,建筑调适在美国呈现出发展的势头。第一个调适工程项目是 1981 年位于佛罗里达州的迪士尼未来世界主题公园。在该项目的设计、施工以及试运行阶段均采用了建筑调适的概念。在这一时期,伴随着建筑技术的快速发展,传统的机电系统的运行管理手段已经无法满足需求,越来越多的业主和住户对新建筑的维护费用与舒适性表达出不满。在这样的大环境下,1984 年,美国威斯康星大学麦迪逊分校开设有关建筑调适的课程。同年,ASHRAE 成立了暖通空调系统调适指南委员会,成为建筑调适的里程碑,标志着调适的概念被正式引入到建筑行业。该委员会的任务,就是要建立一套技术管理体系,以保证交付到业主手里的新建筑是功能齐全的。1988 年,该委员会颁布了 ASHRAE 第一版的暖通空调系统调适指南。

在 ASHRAE 调适指南第一版公布以后,引起了建筑行业的广泛关注,由此开始了建筑调适的高速发展阶段。1989 年,ASHRAE 首次在其年会上专门开辟了建筑调适的讨论专题。同年,美国马里兰州蒙哥马利郡将这一调适指南整合到了政府的建设质量控制体系中。1993 年,第一届建筑调适年会 (NCBC) 在美国成功举办。同年,美国环境平衡协会 (NEBB) 建立了美国第一个建筑调适服务商的资质认证体系。从 1993 年开始,越来越多的政府及民间组织开始将建筑调适付诸实践,制定并发布了一系列的行业规范以及技术导则。1994 年,美国政府行政命令 12902 号要求所有的联邦机构必须针对所管理的建筑制定相应的建筑调适计划。美国加州洛杉矶水资源与电力局 (LADWP) 推出了建筑调适项目。美国加州萨克拉门托市公用事业电力公司 (SMUD) 对实施建筑调适的业主,给予财政上的补贴。1995 年,美国联邦政府机关事务管理局 (GSA) 根据行政命令 12902 号的要求,制定并颁布了其第一版建筑调适导则,并且基于此导则,在其设施运营部开始推广建筑调适。1996 年,ASHRAE 发布了第二版的暖通系统调适过程指南。1998 年,美国绿色建筑委员会 (USGBC) 在其绿色建筑评价体系 LEED 中,作为先决条件项加入了建筑调适,成为推动建筑调适发展的重要里程碑。同年,建筑调适协会 (BCA) 作为一个国际性的非营利组织应运而生,其宗旨是引导整个建筑调适产业的发展,推动建筑调适技术、培训、资质认证以及评价体系的整体发展,对规范整个行业起到了关键的作用。

20 世纪 90 年代中后期的另一个里程碑,是建筑调适在既有建筑中的应用。虽然早在

1988年,在美国得克萨斯州的 Loan Star 计划中就启动了既有建筑调适项目,但是,直到这一时期,既有建筑调适才得以真正的发展。1995年,美国环保署(EPA)联合能源部(DOE)启动了5个既有建筑调适的示范项目。1996年,美国能源部的联邦能源管理计划又在西雅图市启动了另一个既有建筑调适示范项目。同年,田纳西州开始在州政府所属的所有建筑中实施既有建筑调适。20世纪90年代的后期,电力公司在推广既有建筑调适中扮演了重要的角色,相继推出了既有建筑调适的激励政策,这其中包括波特兰通用电力公司(Portland General Electric)、基于芝加哥的联合爱迪生电力公司(Commonwealth Edison Company, ComEd)以及加州萨克拉门托市公用事业电力公司。

进入21世纪,建筑调适开启了全面发展的阶段,其标志是外延范畴的扩大和既有建筑调适的快速发展。政府推动力度空前,美国能源部要求所有联邦部门的新建建筑和主要改建项目必须对暖通空调系统及其控制系统进行调适;美国联邦政府机关事务管理局更是规定其管辖的所有新建建筑与改建项目必须进行全过程建筑调适。在州以及地方政府的层面,部分州和市政府将建筑调适纳入到了地方的建筑节能标准中,作为硬性要求。例如在加州和华盛顿州,纽约市政府要求4600m²以上的公共建筑必须每10年做一次既有建筑调适。在此阶段,建筑调适的技术标准与导则同时得到不断完善,原有的指南逐步开始更新版本,新的标准与导则也逐个问世。建筑调适的对象也逐渐从传统的暖通空调系统,扩展到建筑围护结构、照明及其控制系统以及可再生能源系统;从设备的单机调适,延伸到整个机电系统的联合系统调适。

2001年,国际能源组织(IEA)建筑与社区能源项目(EBC)推出了课题40(Annex 40)。该课题为期4年,旨在测试与开发一系列的既有建筑调适技术与工具,包括既有建筑调适的指南以及软件。该课题于2004年完成,并发布了结题报告。2006年,加州调适联合会(CCC)发布了分别针对新建建筑和既有建筑的两个调适指南。ASHRAE也不断完善和更新其系列既有建筑调适指南,包括ASHRAE指南0、指南1.1和指南1.5。与之相对应,美国国家建筑科学联合会(NIBS)于2012年颁布了建筑行业的第一个建筑围护结构的指南——NIBS指南3,美国照明学会(IES)于2011年颁布了第一个照明及其控制系统的调适指南。国际节能标准IECC2012版本要求对暖通空调设备、照明系统和控制系统进行调适。ASHRAE于2013年颁布了其第一个既有建筑调适标准——ASHRAE标准202-2013。

既有建筑调适的技术与规范,也有了长足的进步,更多的电力公司加入到了既有建筑调适的推广中来,激励政策不断完善,财政补贴的力度不断加大。旧金山地区的太平洋燃气与电力公司(PG&E)的节能补贴达到了0.1美元/(kW·h)。2004年,美国绿色建筑委员会设立了LEED既有建筑评价体系,既有建筑调适成为其评价的先决条件项。

建筑调适的重要性在美国等发达国家已得到充分重视,已成为建筑节能的一个重要手段,相应的研究工作已开展30多年。ASHRAE、建筑调适联合会、波特兰节能研究院(PECI)和加州调适联合会等组织都在此方面进行了大量研究和工程实践,制定了相对完善的标准与规范、调适工具与模板,建筑调适正在很大范围内迅速发展成为一种标准的方法。

1.2 建筑调适在中国的应用现状

随着 20 世纪 80 年代我国的改革开放热潮,以及国内建筑领域相关技术的发展要求,建筑调适相关概念由西方进入我国。但这几十年来,在工程实际应用方面并没有较为明显的发展,尽管调适已经引起国内建筑行业专家们的重视,但缺乏相应的系列化标准规范进行指导,相关概念还未被业主广泛接收,也未建立相应的技术规范,急需在此方面开展研究与实践应用。

1.2.1 我国应用与发展现状

我国香港在 20 世纪 80 年代,业内已经接受了调适的相关概念。2001 年建筑业评估委员会提出了修订建设程序与质量控制的建议。一些工程技术人员、高校学术机构的研究人员、承包者及供应商就建筑的一些调适问题进行了广泛的讨论,提出了适合于当地建筑的调适方法。2002 年成立了香港建筑调适中心(HKBCxC),其主要是为了建立一套更完善的建筑调适方法,更好地促进建筑调适的实际应用。目前 HKBCxC 正在继续研究实施系统调适的方法和应用。

空调系统调适的思想和方法在国内的引入始于 20 世纪 90 年代清华大学与日本的 Nakahara 的交流与合作。清华大学朱颖心、夏春海等与日本山武公司合作,以北京某高档写字楼变风量空调系统改造工程为对象,较为全面地对其实施了既有建筑空调系统改造调适过程,并以此为例,在国内详细介绍了既有建筑空调系统实施调适的步骤及实施过程中业主、咨询方、控制公司和设计单位的相互关系,从能耗状况出发分析了变风量空调系统调适的实施效果,并在实测分析的基础上提出了对该工程进行进一步调适的必要性,从中总结了对既有建筑空调改造工程开展调适的方法。

由于经济的快速发展,中国每年新建包括酒店、办公楼、医院、商场等大量公共建筑,但大部分存在运行能耗高、维护费用大、建筑寿命短的特点。但是,由于受发展同建设速度等因素的制约,我国对系统优化调试的重要性尚未引起足够重视,仅由施工单位在项目竣工时进行简单的调试。尽管调适已经引起国内建筑行业专家们的重视,但缺乏相应的标准规范进行指导。有关建筑调适的概念还未被广泛接收,也未建立相应的技术规范,急需在此方面开展研究。

自 2008 年开始,中国建筑科学研究院在建筑系统的调适方面展开了大量研究、应用和积累。2010 年以国外标准规范为指导,结合自身的研究积累,完成了国内第一个机电系统调适项目——杭州西子湖四季酒店。并同加拿大四季酒店集团展开合作,先后陆续完成了北京四季世家公寓和酒店项目、广州国际金融中心(广州西塔项目)、深圳四季酒店等项目。结合变风量空调系统机电专业耦合性强的特点,将调适技术体系成功地应用在变风量系统调试中,完成了国内第一个基于调适技术调试的变风量系统项目——国家开发银行项目。

2011 年由中国建筑科学研究院负责的中国科技部、国家能源局和美国能源部共同成立的中美清洁能源联合研究中心建筑节能合作项目——“先进建筑设备系统技术的适应性研究和示范课题”顺利开展,建筑暖通空调系统的调适是该课题的主要组成部分。

2014年,由美国劳伦斯伯克利国家实验室、住房城乡建设部科技发展促进中心及中国建筑科学研究院牵头,联合多家科研院所、高校和企业,在中美清洁能源研究中心建筑能效联盟的科研合作项目中成立了建筑调适的课题。中美双方的科研团队将在此平台上开发适应中国的建筑调适技术导则与调适技术。至此为止,标志着我国建筑调适技术体系应用示范已取得了一定的实践经验和技术支撑。

2015年实施的新版国家《绿色建筑评价标准》中,首次在其运行评价的施工管理指标的评分项中,加入了建筑调适的内容。另外,在编的《变风量空调系统工程技术规程》和《绿色建筑运行维护技术标准》中明确建筑调适的技术要求,这些规范标准的颁布和实施将对我国建筑调适发展产生巨大影响,必将大大促进建筑调适在我国的发展,成为我国建筑调适发展的里程碑。

从建筑调适的历史发展以及国外的经验我们可以看到,贯穿其中里程碑是行业委员会的成立、技术指南与标准的颁布、政策法规与激励机制的实施。因此,我们应该从中借鉴经验,脚踏实地地一步步推动建筑调适的发展。

1.2.2 国内建筑调适的必要性

当前,随着我国的经济飞快发展以及高速的城镇化进程,每年新建大量的酒店、办公楼、医院、商场等公共建筑。但目前大部分存在运行能耗高、维护费用大、建筑寿命短的问题。主要原因是:

(1) 强调结果控制,缺乏建设过程中以过程控制的技术监管体系。我国建设过程中的监管体系是建立在结果控制的技术体系,而越来越复杂的机电耦合系统,完全以结果控制的技术体系已不能适应技术的发展。常见的情况是在工程投入使用后才发现很多成为既定事实的设计缺陷和施工质量问题,必须在过程管理中进行落实,否则将不能保证建筑物整体功能和运行效果达到设计要求。

(2) 由于先期没有对设计方案和设计图纸进行调适,导致业主的项目需求在建设过程中不断更改,因而出现不断的整改和返工。一方面容易造成工期的延误;另一方面导致新建建筑在竣工不久便无法满足业主不断提高的要求。

以建筑空调系统为例,目前最缺少的是在方案设计、施工图设计、施工和运行维护各阶段进行系统性的过程管理和优化。我国目前的空调系统基本上都会采用变水温、变流量等控制方法,但是采用各种方法并不能完全保证空调系统的运行合理和稳定。如果系统出现静态失衡和动态失衡等问题,必将导致空调系统制冷、制热效果差,能耗高的现象产生。这些现象与我国建筑行业分专业、分阶段的工作思路有关。

国内建筑调适工作的必要性主要体现在以下几个方面:

(1) 业主的项目需求的制定。国内大多数的业主尚未建立自己专业的技术团队,业主的项目需求虽然是明确的,但不能落实到对具体技术细节进行把握和掌控。

(2) 业主的项目需求与国内现有水平和国家标准之间存在差距。中高端业主已经不满足于国内建筑行业现有的水平和状况,他们依据自己的需求对建筑系统提出特殊的要求。这些业主已通过正式的文件提交给咨询和设计单位。但经验表明,在实际操作过程中,咨询公司和设计单位侧重于对国家规范和标准的遵循,导致建筑系统的部分功能无法完全实现,达不到业主的期望。

(3) 监理单位职责与业主期望之间存在差距。国内监理单位的监程序侧重于建筑系统和设备安装质量符合国家的规范和标准要求,侧重于施工质量结果的保证。而调适在此基础上,更加侧重于对设备以及设备所在系统性能的关注和如何在过程中落实。因此,建筑调适可以弥补监理单位职责与业主期望之间存在的差距。

(4) 施工单位的系统调试与业主期望之间存在差距。建筑的设备与系统完成安装后,测试与调试成为系统能否达到设计的意图、满足业主的项目需求的关键。但目前国内的施工单位只能按照《通风与空调工程施工质量验收规范》GB 50243—2002、《建筑电气工程施工质量验收规范》GB 50303—2002、《建筑节能工程施工质量验收规范》GB 50411—2007、《给水排水管道工程施工及验收规范》GB 50268—2008 等进行施工质量的验收;根据其他几部规范和标准进行竣工调试。但这些标准规范只是规定了基本测试方法及达到效果的要求,缺乏具体落实的动态过程要求,缺少能够具体指导系统优化调试、保证机电系统效果和节能运行的详细内容。调适应以 TAB 为基础,能分析所测数据,解决机电系统存在的问题,优化系统运行工况,满足业主对调适工作的期望。

1.3 建筑调适的定义与形式

在建筑行业中,随着现代建筑各项功能的不断扩展,机电系统已经成为其中必不可少的重要组成部分,如建筑强弱电系统、消防安保与智能化系统、给水排水系统、供暖通风与空调系统等,它们相互依存并形成一个复杂的整体,且同时这些系统往往也是能源在建筑中的主要消耗者。在建筑机电系统设计、设备选型、安装及调试运行过程中,某一个环节的缺陷或不足都将造成整个系统的不正常运行或无法达到最佳的运行状态。因此在机电系统建造过程中,完整的调整调试过程和技术方法是非常必要的。

建筑调适,源于欧美发达国家,属于北美建筑行业成熟的管理和技术体系。通过在设计、施工、验收和运行维护阶段的全过程监督和管理,保证建筑能够按照设计和用户的要求,实现安全、高效的运行和控制,避免由于设计缺陷、施工质量和设备运行问题,保证建筑的正常运行,避免造成系统的故障。调适作为一种质量保证工具,包括调试和优化两重内涵,是保证建筑系统能够实现节能和优化运行的重要环节。

1.3.1 与传统“调试”及 TAB 的区别

传统意义上的调试过程是以业主、设备工程师、设计师、承包商和建筑工程师、操作人员和维护方对他们工作的质量完全负责为前提。调试的实施是一个质量指向型的过程,调试是为了完成、确认和记录设备、系统和配件的运行情况是否满足既定的目标和标准。

暖通系统的测试、调节与平衡(Test、Adjust and Balance)即 TAB 的主要目的是使系统达到静态的设计状态,依据设计状态进行静态水力平衡调试,采用静态平衡阀或专用调节阀,解决静态水力失调问题,为动态运行奠定良好的基础。即通过 TAB 可以在一定程度上检验设计的优劣,发现设计意图与现场实际运行效果的偏差判断。TAB 对工程项目建成后系统运行效果有着重要影响,是建筑调适工作基本的组成部分之一。但系统实际运行中的动态水力失调是无法通过 TAB 解决的。动态水力失调只能通过调适进行改善和解决。它包括两层含义:一是对目前存在的缺陷进行弥补。例如在适当的位置安装动态平