



侃暖通

Niubility of HVAC NO.19



主编推荐

- 瞿燕：美女所长，绿色建筑就是精细化设计
- 张锡虎：供暖和空调水系统的压力分区
- 黄翔：《蒸发冷却通风空调系统设计与安装》

(15K515) 宣贯

19

2016.05



牛侃暖通

(不定时刊)

Niability of HVAC

2016年05月

第19期

创刊年份：2013年

主办单位：暖通空调在线

主 编：林星春

顾问指导：董丽萍

本期编委：马琳琳

发 布：暖通空调在线
中国绿色建筑排行榜

投稿邮箱：nkntzz@163.com

订阅信箱：nkntzz@163.com

在线观看：<http://w.ehvacr.com/>

郑重声明：

- 1、本微杂志不定页数不限内容
不限期数不定发布时间
- 2、本微杂志对所有内容和言论
概不负责。至于你信不信，反
正我是信了！
- 3、本微杂志无刊号无版面费无
纸质版，要评职称之类的一律
退散

目 录

封面人物

瞿燕：美女所长，绿色建筑就是精细化设计 01

牛侃暖通

张锡虎：供暖和空调水系统的压力分区(1)? 06

张锡虎：供暖和空调水系统的压力分区(2)? 07

行业茶聊

设计师的小船，说翻就翻 09

民间论文

刘猛，等：基于联合模拟方式进行建筑能耗敏感性分析的方法研究 12

暖儿暖女

孟路迪：和妈妈一起注考的暖儿 18

郭子涵：父子肩肘倒立 18

我学暖通

黄翔：《蒸发冷却通风空调系统设计与安装》(15K515)宣贯 19

林星春：大连某数据中心暖通动力设计案例 20

合作支持



瞿燕：美女所长，绿色建筑就是精细化设计

来源/建筑畅言网

导读：从研究生至今，上海现代建筑设计集团科创中心绿色建筑设计及技术咨询研究所所长瞿燕始终走在绿色节能建筑研究领域的前沿，参与了多个国家科技支撑计划科研项目与地标性绿建项目，参与制定了多个行业标准。对于业内业外认为“绿色建筑就是靠多使用新技术新材料堆砌”的观点非常不认同，她认为，绿色建筑一切是以人为核心，真正的出发点是“精细化设计”，设计师要站在使用者的角度考虑如何让人在建筑里更健康、舒适。



建筑畅言网：请介绍一下您自己在绿色建筑、节能建筑方面的从业经历？

瞿燕：2004年到2007年，我在同济大学攻读研究生，选的方向就是节能和绿色。2007年，从同济大学研究生毕业后直接进入现代集团。2007年节能还没有提高到现在的高度，现代集团已经非常有前瞻性，于2007年在9月18日成立节能学科中心，从那时起到现在，我就一直在做绿色建筑的相关工作。绿色是一个很宽的范畴，目前行业热议的建筑工业化、预制装配式也可以包含其中。这么多年，我也见证了行业发展的过程。

建筑畅言网：您是自己选择的节能专业还是被安排进这个专业？

瞿燕：当时也很巧，在选研究生专业的时候，我的导师研究的课题就是节能方向的，我就带着试一试的心态去学，当时完全没有想到绿色节能会有现在这样的发展状态。

很多人都会问“为什么做节能的都是暖通出身？”这主要跟学校的学科设置有关，同济大学和清华大学这一方面走的就比较早。当时的建筑专业没有节能课程，而暖通有，因此第一批做节能的多数是学暖通出身。

建筑畅言网：您所在的绿色建筑设计及技术咨询研究所，主要的研究方向是什么？开展了哪些关于节能建筑方面的设计和研究工作？具备哪些关键的技术优势？

瞿燕：2007 年现代集团成立绿色建筑设计及技术咨询研究所，就是为了让科研与项目相结合，用科研引领项目。当时绿建还是一个很新的课题，现成的经验非常少，我们从研究的角度去带动项目，项目中碰到的问题再反馈到科研中去解决，两者相互协同。

我们团队从成立到现在获得了很多荣誉，在业内得到了很多肯定。作为国家级技术中心，我们已经走出集团，承接了国家很多有重量级的科研课题，通过这些千万级课题的支持，我们迅速的发展和壮大。比如“十二五”我们其中一个课题研究的是《村镇建筑的节能的关键技术与深化》，专门针对农村建筑的节能，兼顾气候、资源特征和经济承受能力，开发造价低廉、适于推广的节能技术体系并通过示范验证。提出适用于村镇建筑低成本的成套节能集成技术，并进行工程示范及验证。示范效果总体节能率超过 35%，达到国内领先水平。在国家科技部和住建部打响了现代集团的科研品牌，为后面可持续性的。同时，我们也申请了很多专利、软件著作权，参编的标准、发表的论文、出书以及翻译的国外著作等，在绿建领域做了很多积累。

做科研不可能脱离项目，因此，我们通过大量项目的锻炼互相促进，归纳起来看，我们走的是科技创新的道路，这是我们的核心竞争力，把我们的好东西消化到项目中，带动集团在绿建节能领域往更高的水平发展。

人才最重要，集团愿意给年轻人创造舞台和机会，让大家保持与业内一线专家的紧密交流；我们也非常注重培训，为此花费了大量的时间、精力和财力。绿建总是一直持续出现新的技术和产品，必须不停地学习更新。

我们依托大型工程，解决其中的难点问题，开展专项研究，做得最成功的是机场板块。2011 年的南京机场项目，在业内的绿色机场项目中非常有名。当时接到南京机场项目时我们不是为了做绿色机场，而是为了节能。我们的团队配合设计团队对机场的自然通风和采光进行了优化，在技术应用和造价之间寻找平衡点，最后发现项目达到了申请绿色建筑三星的标准。其实我们的本意不是为了做绿色建筑，而是为了节能优化。一个 34 万平米的大型机场做到绿色三星，不管是在当时还是现在都非常少见，南京机场建成后投资方也在自发地做绿色运维。这个项目还获得了 2015 年全国绿色建筑创新奖一等奖。

从南京机场开始，我们又陆续做了温州永强机场、烟台机场、浦东机场 T1 航站楼改造、虹桥 T2 卫星厅改造等项目，机场变成了我们的核心技术，在市场竞争中找到一个强有力的切入点。浦东 T3 航站楼卫星厅，是两条地铁与航站楼接驳，不可避免地会产生活塞风，影响人员等候区域的舒适度，这个问题在我们做上海迪士尼项目时遇到过，正好把成果拿到机场项目里应用。通过解决项目的难点，形成科研的亮点。随着我们做的项目越来越多，我们又能够把最新的科研成果应用到新的项目里，形成良性循环。

建筑畅言网：据了解，您的团队承担或参与了多项国家和上海市的规范编制工作、重大课题、集团内科研课题的研究，请您简要介绍一下？

瞿燕：我们每年要做的课题量非常饱满，仅今年在做的就有17个，有几个是今年要结束的。其中有一个很有意思的课题，叫《以能耗目标为导向的设计方法研究》，我们在方案阶段研发了一个软件平台，可以根据业主要求设计相应的建筑造型，结合窗墙比等因素快速计算出哪个方案更节能，据此告诉业主能耗最优的匹配方案。设计师还可以利用这个平台设计遮阳板的面积和位置。现在我们还在开发太阳能辅助设计软件，消息一经发布后也是受到多方关注。

建筑畅言网：您在从事绿色咨询设计时，如何根据契合项目特点制定合理的绿色设计策略？如何利用项目环境条件更好地发挥建筑本体节能的特点？可以举一些成功案例说明。

瞿燕：2009年，一个青岛的地产项目请我们做第三方分析。项目靠近海边，风特别大，建筑设计如果采用点式方案，冬天会很冷，采用围合式方案，夏天会很热，风变成了项目的短板。我们对方案做了很多改进，最终使项目的风环境由短板变成优势，成为项目的一大卖点。从这个项目开始，我们又陆续做了很多风环境的专项。

绿建技术发展到今天，风环境改善已经不是什么难度，但我们依然有保留有这个领域的核心优势。我觉得当建筑技术和建筑设计结合得好，就会取得成功，科研不是打一枪换一个地方，而是持续深入的研究。

再举个例子，我们曾经对上海浦东游泳馆进行改造，根据使用功能建议业主使用地源热泵。有的人说地源热泵不好，其实是没有使地源热泵与项目的功能特性相结合。地源热泵的取热放热量要平衡才能有效，不能超过土壤的出力。我们做过分析，上海夏热冬冷，地下80-100米的土壤几乎是恒温的，大概在19.5°-20°C之间，从全年角度看，夏天的负荷超过冬天，如果不停地取热放热，就会使土壤不能维持原有温度，地源热泵就失效了。通过长期的检测，2013年我们编制了上海市地源热泵规程，指出地源热泵系统不可以作为单独的系统，而应该与冷却塔或空气源热泵配合使用，建立复合式能源系统。而现在这一观点已经成为业内共识。

建筑畅言网：有业内人士认为，如今绿色建筑已经成为一条产业链，建筑设计者是这条全产业链中非常关键的一环。对于这个观点，您怎么看？

瞿燕：在绿色建筑领域一直有一个“金字塔理念”，大意是讲，一个好的项目，越早纳入绿色理念，节能效果越显著，可以花最少的钱实现最大的价值。设计要走在最前端，如果底子没打好，后期再怎么改效果都不理想。

但也不是说项目设计好了就一定会有好结果，还要受施工和后期运维的影响。目前行业内很多产品都还没有达到非常理想的状态，对项目质量存在直接的影响，此其一；其二，如果施工单位没有按照设计标准施工，偷工减料，项目也不会好。施工好了，房子就好了吗？

也不见得。现在大家都普遍关注绿建的运营问题，国外绿色建筑建好后会经过专门的调试工作，现在流行讲“调适”，帮助业主按照设计的要求把系统运行好。国内对这方面重视不足，项目竣工验收只是走个过程，看看灯是否亮了，机组是否转了，能亮能动就结束了。因此，好的设计+好的选材+好的施工，缺了其中的任何一环都不能成就一个好建筑。

此外，项目运营也很关键。一个有经验的运营公司与常规的物业公司不同，大部分的物业公司都是按照常规的套路进行管理。而合同能源管理和能源审计公司，则会通过对账单、数据的分析，发现节能潜力点，从而帮助业主节省能源。

从这些方面来看，我国的绿建还有很长的路要走，从设计到材料产品，到施工、到运营，缺了哪一个都不行。从全寿命周期来看，运营占的时间最长，要根据用户的实际使用情况随时变化，并通过对这些变化的数据进行分析及时变更运营管理模式，这个更重要。当所有的这些都互相发生反馈和互动的时候，这个闭环建立就完成了！

建筑畅言网：有些新材料存在着一定的风险，北方建筑普遍做了外墙保温，但也经常看到外保温层脱落的现象，您认为是什么原因造成的？

瞿燕：保温材料行业发展了这么多年，已经趋于成熟，各种标准规范很多，以上海为例，保温材料要想进入上海市场，必须有“红皮本”，这些硬性的指标要求材料商都往高品质方向努力。你说的外保温脱落现象确实存在，前段时间我去看了两个项目，一个是外保温脱落，一个是瓷砖脱落，经过调研，发现大部分是施工的问题。

不过对保温行业来说，技术革新非常重要，目前还没出现一种产品能够解决所有的问题，比如，岩棉吸湿，很多地方不能用；泡沫玻璃很脆，容易被损坏；无机保温喷涂，喷厚会有脱落的风险；真空绝热板性能确实很好，一旦打孔破坏了真空，也会失去效用。完美的产品还真的很少，因此，技术要不停地创新。

建筑畅言网：近年来，业内围绕“绿色建筑”有着不少的争议，比如“绿色建筑就意味着高投入，绿色建筑新材料的使用存在着各种风险”等。您是怎么看待这几个问题？

瞿燕：其实绿色建筑只是在传统建筑的基础上多想一点，多走一步，也就是我前面一直提到的精细化设计，通过精益之道而非技术产品叠加去实现绿色建筑。有的设计师会觉得“业主想要什么我就给他设计什么”。但是好的设计师更应该用专业的知识去引导业主。国外的建筑师权力很大，他们负责告诉业主什么是好的，怎么做才能更好，国内刚好相反，国内的建筑师决定权很小，往往说了不算，给钱的才是老大。因此，一个好的设计师，不光业务能力要强，沟通和协调能力也一定要非常棒。

建筑畅言网：您认为我国对于节能建筑的研究主要存在的问题是什么？阻碍节能建筑发展的主要因素有哪些？

瞿燕：一二线城市的政府力推建筑节能和绿色建筑，那些有实力的开发商也会主动参与绿色建筑。但大部分地区，如果政府不主导，没有人会自愿做，往往是能一星的绝不二星。这种现场其实也很正常，大家的意识还没有达到一定的高度。反过来说，绿色建筑并没有让市场觉得这样的投入和产出是值得的。

上海和北京等一线城市政府强制推行绿建，一方面是通过政策引导市场行为，另一方面也是在提升民众的意识。但是光强制没有意义，还需要整个市场机制的配合。

建筑畅言网：有些人会习惯性地认为绿色建筑就是上新材料新技术，您对此怎么看？什么才是真正的绿色建筑？

瞿燕：绿色建筑不是由技术堆砌起来的，而是把设计做好，因此绿建出发点是“精细化设计”，这也是我一直在强调的，设计师开出的每一扇窗都应该有道理，必须站在使用者的角度考虑如何更方便、更舒适。我参与的大部分项目，都没有采用高大上的技术，我们也很少给业主推荐时髦但没什么实际用途的产品技术。绿色的最初意思，就是让人在建筑里生活的健康和舒适，绿色技术要实现“易用、易管、易换”。

我们这里谈到的舒适不是像美国那样的过度消费的生活方式。国内有一些很典型的楼盘，追求高舒适度的生活，要 24 小时恒温恒湿恒氧，一旦这种模式成为主流，对能源的消耗量将非常惊人，我们不可能引导这种消费方式。

对我而言，业主和建筑师是我要去说服的两类人，让他们与我共同关注相同的点，引导他们形成与我一样的绿色建筑的概念，才能共同做好绿色建筑。

编者注：本文转载自建筑畅言网并经瞿燕授权刊登，本期封面封底照片及个人简介由瞿燕另行提供。

瞿燕：

- 高级工程师，国家注册咨询工程师、美国 LEED AP、德国 DGNB Consultant，全国绿委会青委会委员、全国暖通空调学会青委会委员、上海市绿色建筑评审专家、上海市科学技术奖评审专家。
- 作为主要完成人共参与科研课题 21 项，主持绿色节能相关的工程项目近百余项。
- 主编了《村镇建筑节能关键技术集成设计手册》等 2 本著作，参编了《被动式建筑设计技术与应用》等 3 本专著，参与了《建筑零能耗技术》等 3 本译著。
- 参编了《地源热泵系统工程技术规程》、《上海市工程建设标准体系表》等 3 本规范。获得了《正反烧结合秸秆炉和供热系统》等实用新型专利 4 项，软件著作权 3 项。发表论文 24 篇，其中核心期刊 11 篇。
- 获得 2015 年度上海市科技进步奖三等奖 1 项，2015 上海现代设计集团科技进步一等奖 1 项、二等奖 2 项、三等奖 1 项，2015 年度上海市优秀工程咨询成果奖 5 项，2012 华夏建设科学技术奖三等奖 1 项，2011 上海现代设计集团科技进步奖二等奖 1 项。
- 负责的多个项目获得国家及市级奖项，如南京禄口国际机场获得 2015 年度全国绿色建筑创新一等奖，崇明陈家镇荣获 2015 年度上海市绿色建筑贡献奖。
- 荣获第五届上海市五一巾帼奖、2011-2013 年集团“杰出青年”、2011-2012 年度集团

工程设计问答

北京市建筑设计研究院有限公司 张锡虎 (教授级高级工程师)

问题: 如果一个小区既有高层建筑, 也有低层建筑, 建筑高度有 80 多 m 的, 还有 50 多 m、40 多 m、30 多 m 的, 供暖系统应该如何分区?

来源/《暖通空调》杂志官方微信

供暖水系统压力分区, 自 GBJ 19—87《采暖通风与空气调节设计规范》开始就有规定, 其第 3.3.11 条规定: “建筑物高度超过 50 m 时, 宜竖向分区供热。” GB 50019—2003《采暖通风与空气调节设计规范》第 4.3.9 条规定: “建筑物的热水采暖系统高度超过 50 m 时, 宜竖向分区设置。”在其条文说明中指出: “是基于国内的实践经验并参考有关资料制定的, 主要目的是为了减小散热器及配件所承受的压力, 保证系统安全运行。”

GB 50736—2012《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》第 5.1.10 条规定: “建筑物的热水供暖系统应按设备、管道及部件所能承受的最低工作压力和水力平衡要求进行竖向分区设置。”在其条文说明中指出: “设置竖向分区主要目的是: 减小设备、管道及部件所承受的压力, 保证系统安全运行, 避免立管出现垂直失调等现象。通常, 考虑散热器的承压能力, 高层建筑内的散热器供暖系统宜按照 50 m 进行分区设置。”

可见, 对于供暖水系统压力分区, 3 个版本的暖通设计规范都不是强制性规定, 即使提出了系统高度超过 50 m 作为分区设置的界限, 但用语均为“宜”, 即表示允许稍有选择, 在条件许可时首先应这样做。暖通设计规范的出发点都是为了减小散热器及其配件、设备、管道及部件所承受的压力, 保证系统安全运行。而且在 GB 50736—2012 中将系统高度 50 m 的分区设置界限, 从规范条文中移至条文说明中, 应该理解为一种淡化。

对供暖水系统压力分区不作强制性规定, 是因为系统高度设置界限的设定具有两面性: 设定得低可提高运行的安全度, 设定得高则可使系统简化。在工程设计时, 应根据工程实际条件, 从多角度权衡确定。同时, 对于供暖水系统压力分区, 还应根据供暖系统的性质确定, 例如要区分散热器供暖或地面辐射供暖。

对于散热器供暖系统, 将系统高度 50 m 或系统最大工作压力 0.6 MPa 作为分区设置的界限是比较合适的。DBJ 01-605—2000《北京市新建集中供暖住宅分户热计量设计技术规程》的附录 F 曾提出以 18 层作为竖向压力分区的界限, 基本上与上述说法一致; 也是为了与 GB 50016—2006《建筑设计防火规范》和 GB 50045—95《高层民用建筑设计防火规范》中划分一、二类高层居住建筑的界限一致, 以便于记忆。

对于地面辐射供暖系统, GB 50736—2012《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》第 5.4.5 条规定:

“热水地面辐射供暖系统的工作压力不宜大于 0.8 MPa, 毛细管网辐射系统的工作压力不应大于 0.6 MPa。当超过上述压力时, 应采取相应的措施。”但是应该注意: 1) 热水地面辐射供暖系统的工作压力不宜大于 0.8 MPa 的规定, 是从系统的总体安全角度提出的, 还应从埋设的塑料加热管材的强度计算方面考虑, 当采用 PP-R、PE-RT 等价格和设计许用应力较低的管材, 工作压力为 0.6 MPa 时, 会需要较大的壁厚, 而壁厚大于 2.5 mm 就没有卷盘供应的管材, 只有一定长度的直管, 不能满足 GB 50242—2002《建筑给水排水及采暖工程施工质量验收规范》第 8.5.1 条 (强制性条文) “地面下敷设的盘管埋地部分不应有接头”的要求。2) 对于毛细管网辐射系统, 规范中的规定是“不应大于 0.6 MPa”。



工程设计问答

北京市建筑设计研究院有限公司 张锡虎 (教授级高级工程师)

问题：当供暖系统的高度超过 50 m、或工作压力大于 0.6 MPa、或建筑物超过 18 层时，会出现哪些问题？如何处理？如何进行压力分区？

来源 / 《暖通空调》杂志官方微信

将系统高度不超过 50 m、工作压力不大于 0.6 MPa 或建筑物不超过 18 层作为竖向压力分区的界限，只是一个原则性的约定。例如，某小区的最高建筑为 19 层，是否一定需要特殊设置一个压力分区系统呢？这就需要根据工程实际条件，从多角度权衡确定。

一般情况下允许有所突破，但不可大幅度突破。当略有超过时或者系统静压已经接近竖向压力分区的界限时，应采用降低系统工作压力的措施，例如：

1) 采用开式高位膨胀水箱定压而不采用气压罐等密闭定压补水装置定压。气压罐等定压装置由于形成有效调节容积的需要，会提高系统的工作压力，当条件所限必须采用气压罐等定压装置时，应尽量减小上下限绝对压力比，当然这样会降低气压罐的有效调节容积系数。

2) 即使采用高位膨胀水箱，也要注意其他细节问题的处理。例如，大约在 20 世纪 80 年代，北京方庄某住宅设计中没有进行压力分区，而且采用了铸铁散热器，运行后楼内有些散热器发生爆裂，开发建设单位提出质疑。设计单位在最低散热器上装设压力表，测定压力为 0.79 MPa，而 TZ4-6-8 铸铁散热器的最大工作压力应为 0.80 MPa。也就是说，系统的实际工作压力并未超过散热器的最大工作压力。但是，压力表读数后又上升为 0.81 MPa，系统实际工作压力就超过了散热器的最大工作压力。查找其原因，该工程虽然采用了膨胀水箱定压，但由于膨胀水箱与锅炉房距离较远，系统补水管没有接到膨胀水箱，而是就近接在循环水泵的吸入管处。这种做法在补水阶段会使系统压力上升。由于发生爆裂的散热器并不全在

建筑的下层,可见并非完全是由系统压力过高所造成的。后来将补水管改接至膨胀水箱的补水浮球阀上,就使得系统实际工作压力保持不超过 0.79 MPa。该系统至今仍在正常运行中。

3) 尽量减小热源至系统最远环路的阻力,降低循环水泵工作点的扬程。

4) 系统不同部位的静压和工作压力是不相同的;分别设置高、低区的水系统,同一分区系统内的静压和工作压力也不相同。最大压力是指系统最低点和距离水泵出口较近管段的压力。系统的各个环节并不都需要按照这个压力考虑。对于系统中位置较低、距离水泵出口较近的管段,可以采取局部的补强措施。例如采用承压能力较高的连接方式或采用公称压力较高的构配件等。

压力分区时最好能从热源上就分别设置。当热源不宜分设时,一般宜采用间接换热的方法,即仅进行热能传输而将水系统完全隔断的方法。间接换热虽比较稳妥,但换热后二次水温将有所降低。

采用混水泵和混水器的混水连接方式,只能调整一、二次水两侧的水温,例如,集中热源热水温度高于末端设备允许温度时,可以采用换热器或混水连接加以调整;但不能应用于需要调整一、二次水两侧压力以及城市或区域集中热网不允许一次水直接进入用户系统的场合。

在实际工程应用中,也有采用加压和减压的方法,即按低区定压。低区的一次供水经加压成为高区系统的二次供水,高区的二次回水经可调式减压阀减压后接回低区一次回水系统。从理论上分析,高区热水循环泵的工作扬程要附加高低区系统的几何高差,成为加压兼循环泵,不利于节能,因此仅适合在局部系统中采用。例如,高区系统的规模较小时,经技术经济综合分析才可能有可取之处。采用这种方法需要在可调式减压阀前或后设置受高区加压兼循环泵出口压力直接控制的“启闭阀”或与水泵电路联锁的电磁阀,停泵时迅速关闭,将高低区系统断开,防止高区二次循环水通过减压阀进入低区而“倒空”,使高区二次水系统亏水和空气进入。考虑到间歇供暖的系统在停止运行后会因水冷却体积收缩而进入空气,最好能在高区系统中设置一个隔膜式气压罐,气压罐的有效调节容积宜按膨胀水量确定。



设计师的小船，说翻就翻

来源于网络/原作者：喃东尼

今晚出来吃饭吗？



今晚不行
我要画图

友谊的小船说翻就翻



那明晚出来吃饭吧？



明晚也不行
有个项目要
开会~

友谊的小船说翻就翻



周末总可以出来吃饭吧？



周末还不行
要出个投标
方案……

友谊的小船说翻就翻



你妹啊！下个月可以吧？



下月我得准备
一注考试
。。。

友谊的小船说翻就翻





我我我
终于有空了
!!!

哇塞
太棒了
~



顺便。。。
讨论。。
一下方案？

友谊的小船说翻就翻



我要买套万科的房，
帮我问问能不能打折



不行啊！
我们和营销
不打交道~

我的新房帮
我设计一下吧！



不行啊！
我手上项目
多，没时间~

是不是兄弟，
这点忙也不帮？！



...

是不是兄弟，
这点忙也不帮？！



...

友谊的小船说翻就翻



友谊的小船说翻就翻





友谊的小船说翻就翻



友谊的小船说翻就翻



傻蛋，因为我爱你啊！



友谊的小船说翻就翻



基于联合模拟方式进行建筑能耗敏感性分析的方法研究

刘猛, 龙惟定, 马伟骏, 毛红卫, 潘毅群

摘要: 本文详细介绍了建筑能耗敏感性分析的方法, 包括取样、生成输入文件、运行能耗模拟软件、提取结果和敏感性分析都进行了介绍。利用联合模拟的方法比传统手动的方法效率更高, 且不易出错。利用本文的敏感性分析方法, 可对任何影响因素对目标参数的影响程度进行分析, 做出量化的排序, 然后挑选影响程度较大的因素进行优化设计, 从而降低建筑的总能耗。

关键词: 建筑能耗 影响因素 敏感性分析 方法研究

0 引言

影响建筑能耗的因素很多, 如外墙传热系数、外墙吸收系数、人员密度、照明功率密度、风机单位风量功耗以及冷机 COP 等等, 这些因素对建筑能耗的影响有些表现为线性, 有些为非线性, 总体上较为复杂^[1]。众多影响因素对建筑总能耗的影响程度各不相同, 在建筑初步设计阶段, 需要对这些因素的“影响力”进行排序, 找出对建筑能耗影响较大的因素, 在后续深化设计过程中尽可能优化其性能参数, 同时找出对建筑能耗影响较小的因素“置若罔闻”, 以确保经济性。

国内外关于建筑能耗敏感性的研究已很多, Reddy、Chou、Lam^[2-4]和国内的周辉、马素珍^[5-6]等学者都开展过相关工作, 大多数研究者都采用能耗模拟软件计算建筑能耗, 算例数量很多的情况下, 在能耗模型中逐一设置每个影响因素的值、运行模型并提取结果, 工作量巨大且易出错。运用联合模拟 (Co-Simulation) 方式能够很好得解决这个问题, 本文将以为 TRNSYS 为能耗模拟工具, 给出采用联合模拟 (Co-Simulation) 方式进行建筑能耗敏感性分析的方法。

1 建筑能耗敏感性分析

建筑能耗敏感性分析的主要步骤为: (1) 确定每个影响因素的取值区间; (2) 根据每个影响因素的分布特性, 产生取样矩阵; (3) 将取样矩阵写入特定格式的输入文件, 如 eQUEST 的 *.inp 文件, EnergyPlus 的 *.idf 文件, TRNSYS 的 *.dck 文件; (4) 控制能耗模拟软件批量运行输入文件; (5) 提取结果, 进行相关敏感性分析。详细过程如图 1 所示。

1.1 取样矩阵

前已述及影响建筑能耗的因素很多, 其数学描述为:

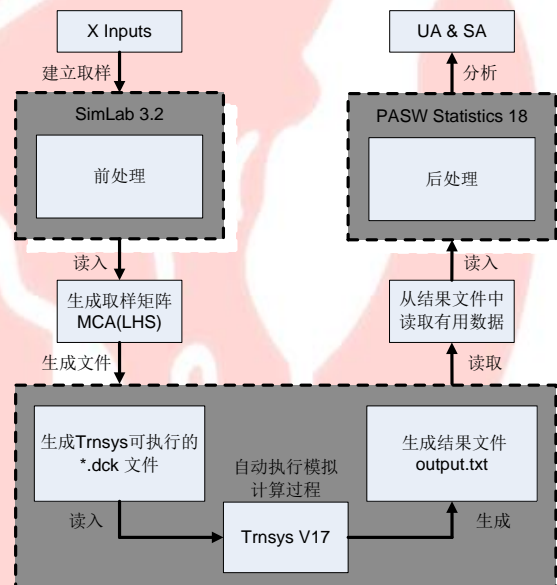


图 1 建筑能耗敏感性分析的流程

$Y=f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$ 。其中 Y 为建筑能耗, X_i 为影响因素如窗墙比。因素 X_i 有多种取值, 以窗墙比为例, 其可能的取值有 0.2、0.3、0.5、...、0.7 等等。任一影响因素以此类推, 各影响因素在其取值范围内的不同取值, 构成了取样矩阵。

常用的取样方法有蒙特卡洛 (Monte Carlo) 取样和拉丁超立方 (Latin Hypercube) 取样^[7]。蒙特卡洛法是充分利用随机抽样的方法, 在每个变量的取值区间上进行抽样; 拉丁超立方方法是先将每个变量的取值区间均分为若干不重叠的小区间之后, 在每个小区间上随机取样, 如图 2 所示。二者对比可以看出, 蒙特卡洛法需要大量的取样才能产生有代表性的结果, 对于比较耗时的模拟过程来说是不合适的, 相对而言, 拉丁超立方取样更有优势。

拉丁超立方取样是构建一个 $n \times E$ 的取样矩阵, n 是影响因素的个数, 每个影响因素的取值空间均分为 E 个互不重叠的子空间, 在每个子空间上取值的

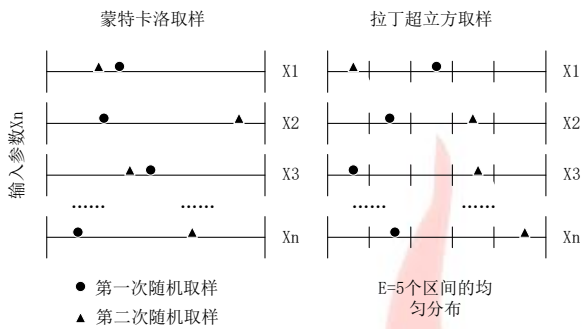


图 2 蒙特卡洛与拉丁超立方取样的区别

概率为 $1/E$ ，在每个子空间内的取值是完全随机的。该方法可以较好地在取值空间上取值，相对于蒙特卡洛方法，可以减少能耗模拟的数量。

1.2 取样矩阵的实现

取样矩阵的实现，主要有以下三种方法：

(1) 手动实现。从现有的文献来看，多数研究者根据影响因素的取值范围，选取几个常用的值，然后简单排列组合后，选择少量有代表性的排列组合形成取样矩阵。例如窗墙比取 0.2、0.3、0.4 等值，外墙吸收系数取 0.5、0.6、0.7 等值，几个影响因素排列组合后再挑选出若干组认为有代表性的组合作为取样，这种做法主观性太强，不能反映整体取样空间的真实属性。

(2) 采用 SimLab 软件实现。SimLab 是一款用于敏感性和不确定性分析的专业工具，SimLab 是在 Matlab 平台上开发出的软件，需要与 Matlab 配合使用，相当于 Matlab 功能的扩展。SimLab 可以产生用于敏感性分析的各种取样，包括蒙特卡洛取样和拉丁超立方取样，通过文件操作命令，可将取样数据直接写入输入文件，如 *.inp、*.idf、*.dck 等。

(3) 采用 modeFRONTIER 软件实现。该软件是 Airbus 开发出来的多目标优化软件，其内部提供了包括蒙特卡洛取样和拉丁超立方取样在内的多种取样方式。通过变量节点，取样矩阵的数据可以写进 *.inp、*.idf、*.dck 等输入文件，然后通过能耗模拟软件来执行输入文件即可得到结果。

1.3 运行能耗模拟软件

由于需要运行的输入文件很多，为提高执行效率节省时间，可以采取的方法有：

(1) 批处理命令。在 Windows 操作系统下，可以通过批处理命令来“指挥”能耗模拟软件来依次执行。首先将生成的输入文件存放于一个文件夹，

使用 copy 命令将一个输入文件复制到能耗模拟软件 *.exe 所在的文件夹，运行程序生成结果文件，使用 move 命令将结果文件移动到专门存放运行结果的文件夹，然后开始执行下一个输入文件。整个过程使用 for 循环语句来控制执行。下面是一个执行 100 次 TRNSYS 运算的批处理命令。

```
for /L %%i in (1,1,100)
do (
copy ...\\input\\Bestest600_%%i.dck ...\\Bestest600.dck
copy ...\\input\\Bestest600_%%i.b17 ...\\Bestest600.b17
"C:\\Trnsys17\\Exe\\TRNExe.exe" " ...\\Bestest600.dck"
/h
move ...\\power.txt ...\\result_power\\power_%%i.txt
move ...\\load.txt ...\\result_load\\load_%%i.txt
del ...\\Bestest600.dck
del ...\\Bestest600.log
del ...\\Bestest600.lst
del ...\\Bestest600.PTI
del ...\\Bestest600.b17
)
```

(2) 采用 modeFRONTIER 软件实现，使用时需要指定能耗模拟软件 *.exe 文件和输入文件如 *.dck 的绝对路径。不需要其它的参数设置，因此非常简单方便，且不易出错。

1.4 提取运行结果

运行结果文件中包含的数据很多，对有用的数据提取方法如下：

(1) 采用批处理命令。例如，为了提取结果文件夹中 100 个结果文件最后一行数据，使用的批处理命令为：

```
@echo off
setlocal enable delayexpansion
for /L %%a in (1,1,100)
do (
copy result_%%a.txt temporary.txt
"for /f "delims=" %%i in (temporary.txt)
do (
set /a b+=1
if "!a!"=="!j2!" set s2=%%i
)
echo !s2!>>result.txt"
del temporary.txt
)
```

(2) 采用 SimLab 软件。该软件对文件的操作可以定位到结果文件中的某一行/列, 可进行读取、删除等操作, 比采用批处理命令读取结果更灵活。

(3) 采用 modeFRONTIER 软件。在该软件中先设置文件节点读取结果文件, 然后设置结果变量节点读取结果文件中的一个/多个数据、字符串等, 读取方式可采用绝对路径和相对路径两种。

1.5 敏感性分析

多元线性经验回归方程的一般形式为^[6]:

$$y = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_1 + \hat{\beta}_2 x_2 + \dots + \hat{\beta}_p x_p, \text{ 其中, } p \geq 2.$$

上式中每个偏回归系数 $\hat{\beta}_i$ 表示其他自变量保持不变的情况下, x_i 每增加一个单位时因变量 y 的平均增加程度。由于各自变量的单位不同, 其偏回归系数之间无法直接比较, 需要对偏回归系数标准化, 以消除量纲的影响, 定义:

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{s_{x_j}}, \quad y_i^* = \frac{y_i - \bar{y}}{s_y}, \quad i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, p$$

经过变换, 得到标准化的回归方程:

$$y^* = \hat{\beta}_1^* x_1^* + \hat{\beta}_2^* x_2^* + \dots + \hat{\beta}_p^* x_p^*$$

标准化偏回归系数 $\hat{\beta}_i^*$ 与一般偏回归系数 $\hat{\beta}_i$ 之间的关系为:

$$\hat{\beta}_j^* = \frac{\sqrt{L_{jj}}}{\sqrt{L_{yy}}} \hat{\beta}_j$$

由于标准化后的所有变量均数为 0, 标准差为 1。因此标准化偏回归系数表示当其他自变量保持不变时, 自变量 x_j 每 1% 相对变化引起的因变量均值的相对变化百分数。标准化偏回归系数绝对值的大小, 可用来衡量自变量对因变量贡献的大小, 即各自变量在多元回归方程中的相对重要程度。

标准化偏回归系数可以借助 SPSS 等统计软件来实现, 本文采用标准化偏回归系数衡量各影响因素对年负荷量、峰值负荷等的影响程度。

综合对比来看, 采用 modeFRONTIER 产生取样最为方便, 虽然 SimLab 等工具更为专业, 但多数非专业人员使用起来较为困难, 另外使用 modeFRONTIER 可以直接控制 TRNSYS 等能耗模拟软件进行能耗分析, 然后提取结果中有用的数据,

避免了编程过程。因此采用 modeFRONTIER 与 TRNSYS 联合仿真的方式进行建筑能耗敏感性分析是最有效的方法。

2 案例研究

选取上海市典型的办公建筑为例, 研究各影响因素对建筑年负荷的影响程度。

2.1 建筑模型

选用 ASHRAE 140 的 Case600 作为建筑模型。ASHRAE 140 标准是为建筑能耗的动态模拟而专门设计的标准算例, 用来比较评价各种建筑能耗动态模拟软件的异同^[8]。每套算例严格规定了气象参数、建筑几何描述、材料性质、地表参数、通风设定、室内发热量、不透明壁体的辐射性质、外表面对流辐射综合系数、内表面对流辐射综合系数、窗户材料参数、太阳光分配比率、设备参数、系统控制策略的参数数值等。

Case600 是最基本的模型, 属于轻型建筑, 墙壁较薄。其建筑尺寸为 8.0m × 6.0 m × 2.7 m, 仅南侧外墙有两面外窗, 尺寸都是 3.0m × 2.0 m, 如图 3 所示。

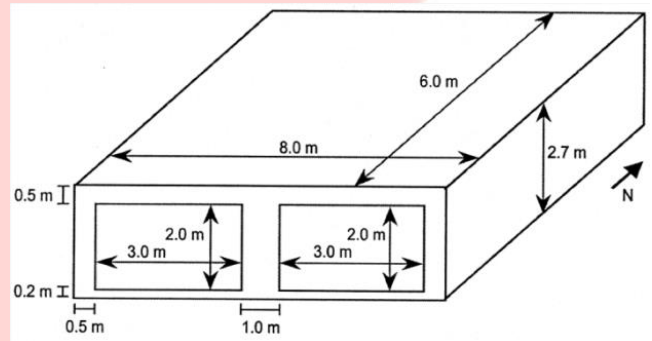


图 3 ASHRAE Case600 房间尺寸

模型中主要参数设置如下: 外墙传热系数为 0.514W/m²℃, 地板传热系数为 0.039W/m²℃, 屋顶传热系数为 0.318W/m²℃, 围护结构每层材料的物理属性可参考文献[8]。不设置内、外遮阳装置, 渗风系数为 0.5ACH, 全年 8760 小时保持不变。内外墙的吸收率都为 0.6, 长波发射系数都为 0.9。

室内人员和设备负荷参照文献[9], 地面温度为 5.28℃, 人员显热负荷为 90W, 潜热负荷为 60W, 对流换热占比为 0.8, 其余为辐射换热。照明功率为 212W, 对流换热占比为 0.2, 设备发热功率为 135W, 对流换热占比为 0.8。其余所有参数的均按照 ASHRAE Case600 进行设置。

2.2 能耗模型

目前可用的能耗模拟软件众多, TRNSYS 最大的特色在于其模块化的分析方式, 即所有热传输系统均由若干小的系统(即模块)组成, 如热水器模块, 单温度场分析模块、太阳辐射分析模块、输出模块等, 每个模块是开源代码, 可以根据实际需求修改源代码, 因此使用起来非常灵活。只要给定输入条件, 这些模块程序就可以对某种特定热、质传输现象进行模拟, 最后汇总就可对整个系统进行瞬时模拟分析。

本研究中选取多温度场的分析模块 TYPE56 作为建筑模块。由于 TRNSYS 建模功能较差, 目前可使用 TRNSYS3D 插件在 SketchUp 中建模后导入 TYPE56, 同时产生建筑描述文件*.b17, 需要注意的是在 SketchUp 中产生的*.idf 是以数据文件导入的, 数据文件详细记录了建筑各结构的坐标, 导入后建筑的所有性能参数是无法修改的, 比如外窗面积。为了能够修改这些参数, 需要删除*.b17 文件尾部的坐标值。读取气象数据采用 TYPE15-3, 气象文件采用 EnergyPlus 网站^[10]提供的上海标准气象年数据 CHN_Shanghai.Shanghai.583620_CSWD.epw。设定室内温度超过 27℃ 开启制冷, 温度低于 20℃ 开启供暖, 室内温度介于 20℃~27℃ 之间时自由浮动, 不供冷也不采暖。目标参数是年冷负荷和热负荷, 通过 TYPE24 对逐时冷热负荷积分得到, TRNSYS 模型如图 4 所示。

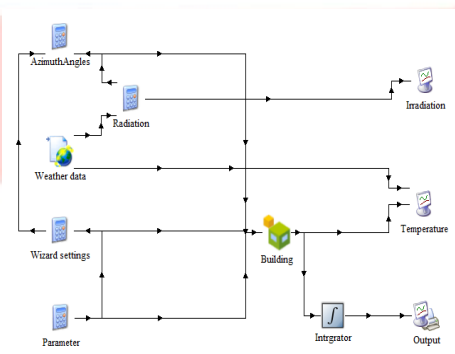


图 4 TRNSYS 建筑能耗模型

2.3 影响因素

本文确定年冷/热负荷为目标参数, 研究各影响因素对年冷/热负荷的影响程度。由于目标参数的影响因素很多, 鉴于本文重点介绍敏感性分析的方法, 所以选取较少数量的影响因素, 建筑本体的影响因素 7 个, 内扰放热影响因素 7 个, 所有影响因素的取值见表 1。

2.4 modeFRONTIER模型

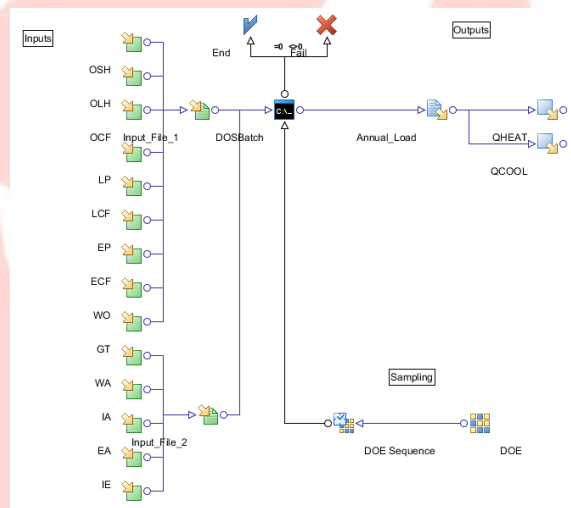


图 5 modeFRONTIER 模型

TRNSYS 模型完成之后, 产生了完整的输入文件*.dck 和建筑描述文件*.b17, 运行模型产生结果文件 output.plt, 在此基础上建立 modeFRONTIER 模型如图 5 所示。

图 5 中 Input_File_1 对应*.dck 文件, Input_File_2 对应*.b17 文件, 各影响因素的取值分别输入到 Input_File_1 和 Input_File_2 中。各影响因素的取值, 即表 1 中的数据由 DOE 模块产生。模型中设定均匀拉丁超立方取样, 取样数量为 200 个。DOSBatch 模块是“大脑”, 控制 TRNSYS 软件运行, 产生的结果存放在 Annual_Load 模块对应的 output.plt 文件中, 通过 QHEAT 和 QCOOL 模块提取 output.plt 文件中最后一行的年热负荷和年冷负荷。

表 1 各个影响因素的基准值及取值范围

变量	单位	最小值	中间值	最大值	参数个数	数值
围护结构参数						
外窗面积 (WA, Window Area)	m^2	11.0	12.0	13.0	11	11.2/11.4/11.6/.../13.0

外窗朝向 (WO, Window Orientation)	°	-5.0	0.0	5.0	11	-5.0/-4.0/-3.0/.../5.0
地面温度 (GT, Ground Temperature)	°C	5.28	7.28	9.28	5	5.28/6.28/7.28/.../9.28
内墙吸收率 (IA, Internal Absorptivity)	—	0.65	0.725	0.80	11	0.65/0.665/0.68/.../0.80
外墙吸收率 (EA, External Absorptivity)	—	0.55	0.725	0.90	11	0.55/0.585/0.62/.../0.90
内墙发射率 (IE, Internal Emissivity)	—	0.85	0.90	0.95	11	0.85/0.86/0.87/.../0.95
外墙发射率 (EE, External Emissivity)	—	0.85	0.90	0.95	11	0.85/0.86/0.87/.../0.95
室内得热参数						
人员显热 (OSH, Occupants Sensible Heat)	W	69.0	90.0	111.0	11	69.0/73.2/77.4/.../111.0
人员潜热 (OLH, Occupants Latent Heat)	W	46.0	60.0	74.0	11	46.0/48.8/51.6/.../74.0
人员散热对流比例 ^a (OCF, Occupants Convective Fraction)	—	0.75	0.80	0.85	11	0.75/0.76/0.77/.../0.85
照明散热 (LP, Lighting Power)	W	190.8	212.0	233.2	13	190.8/194.3/197.9/.../233.2
照明散热对流比例 ^a (LCF, Lighting Convective Fraction)	—	0.15	0.20	0.25	11	0.15/0.16/0.17/.../0.25
设备散热 (EP, Equipment Power)	W	121.5	135	148.5	21	121.5/122.85/124.2/.../148.5
设备散热对流比例 ^a (ECF, Equipment Convective Fraction)	—	0.75	0.80	0.85	11	0.75/0.76/0.77/.../0.85
备注	^a 其余部分为辐射换热					

2.5 敏感性分析

modeFRONTIER 模型产生的数据结果如表 2 所示。横坐标方向是 14 个影响因素，纵坐标是 200 个取样。由于数据量较大，只截取了部分数据。表中最后两列是年冷热负荷的总量。

将表 2 的数据在 SPSS 软件中进行多元线性回归分析，得到线性标准偏相关系数如图 6 所示。

图 6 中的柱状图可以很清晰很直观地看出不同影响因素对目标参数的影响力大小。

从结果来看，建筑外窗面积对年冷热负荷的影响最大，其次分别是人员显热和照明功率。建筑外

墙的发射率对年冷负荷的影响最小，而外墙吸收率对年热负荷的影响最小，这说明同一影响因素对不同分析目标参数的影响是不同的。建筑朝向对年冷负荷的影响排在第四位，对于年热负荷的影响排在第七位，这说明上海地区的南向外窗对冷负荷的影响大于对热负荷的影响。

表 2 modeFRONTIER 模型产生的结果

NO.	EA	ECF	...	WA	WO	QCOOL	QHEAT
0	0.900	0.84	...	6.1	4	1.4E+07	8.7E+06
1	0.655	0.84	...	6.3	-5	1.1E+07	9.1E+06

2	0.550	0.75	...	6.3	2	1.4E+07	9.3E+06
3	0.795	0.81	...	5.9	4	1.4E+07	8.7E+06
4	0.550	0.75	...	5.9	0	1.5E+07	8.1E+06
5	0.830	0.84	...	5.8	2	1.4E+07	8.7E+06
...
196	0.620	0.78	...	5.5	2	1.3E+07	8.5E+06
197	0.725	0.81	...	6.2	3	1.5E+07	8.8E+06
198	0.620	0.84	...	5.6	1	1.4E+07	8.1E+06
199	0.725	0.77	...	6.1	1	1.4E+07	9.1E+06

室内人员显热功率、照明功率等因素对年热负荷的影响成负相关性，这说明人员显热功率越大，则年热负荷总量需求越小；同样地面温度与年热负荷也成负相关性，即地面温度越高则年热负荷总量需求越少，这是实际情况是完全符合的。

年冷负荷 (Annual Cooling Demand)

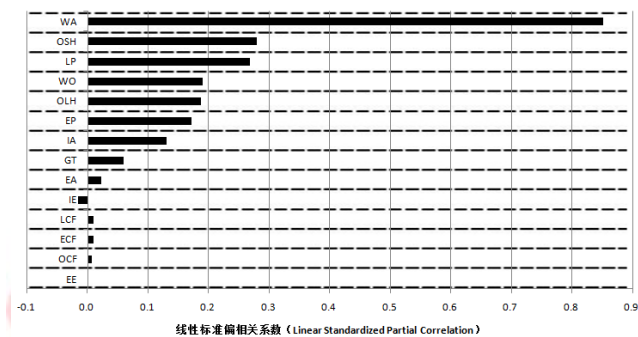


图 6.1 年冷负荷的敏感性分析

年热负荷 (Annual Heating Demand)

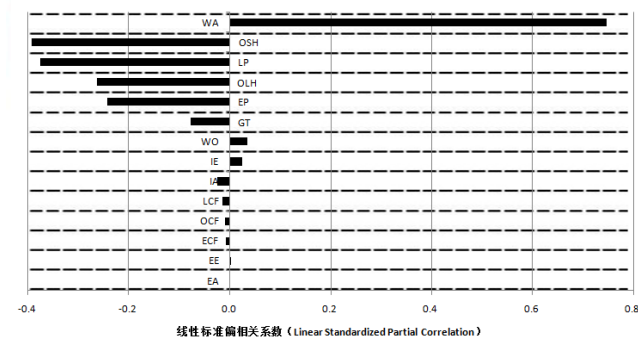


图 6.2 年热负荷的敏感性分析

3 结论

1) 本文介绍了建筑能耗敏感性分析的流程和方法，从取样、生成输入文件、运行模拟软件、提取结果和进行敏感性分析都做了详细的介绍；

2) 联合模拟的方法与传统的手动方法进行敏感性分析相比较，效率显著提高且不易出错；

3) 本文重点介绍敏感性分析的方法，所以影响因素的选取比较简单，运用同样的方法还可以分析其他影响因素对目标参数的影响；

4) 得到不同影响因素对目标参数的影响程度后，下一步的工作是挑选影响程度较大的因素进行全局优化分析，具体方法笔者另将撰文介绍。

[参考文献]

- [1] Hoes P, Trcka M, Hensen JLM, Hoekstra Bonnama B (2011)(a) Investigating the potential of a novel low-energy house concept with hybrid adaptable thermal storage. *Energy Conversion and Management* 52:2442-2447
- [2] Reddy T A, Claridge D E. Using synthetic data to evaluate multiple regression and principal component analyses for statistical modeling of daily building energy consumption. *Energy and Buildings*, 1994, 21(1):35-44
- [3] Chou S K, Chang W L. Development of an energy-estimating equation for large commercial buildings. *International Journal of Energy Research*, 1993, 17(8): 759-773
- [4] Lam J C, Kevin K W, Wan K L C, et al. Principal component analysis of electricity use in office buildings. *Energy and Buildings*, 40(5): 828-836
- [5] Zhou H, Long W D. Regression analysis of high rise air-conditioned office building energy use. In Proc. of the 4th International Symposium on HVAC, 2003: 486-492
- [6] 马素贞. 上海既有办公建筑节能改造效果评估研究 [D]. 上海: 同济大学, 2009
- [7] Koteck, P., Filip, J., Kabele, K. & Hensen, J.L.M. Technique of uncertainty and sensitivity analysis for sustainable building energy systems performance calculations. Proceedings of the 10th IBPSA Building Simulation Conference, 3-5 September, Tsinghua University, Beijing, 2007: 629-636
- [8] ASHRAE Standard Project Committee 140, ANSI/ASHRAE Standard 140-2004, Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs.
- [9] Lomas, Kevin J., and Herbert Eppel. 1992. Sensitivity analysis techniques for building thermal simulation programs. *Energy and Buildings* 19, no. 1: 21-44.
- [10] http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata/2_asia_wmo_region_2/CHN_Shanghai.Shanghai.583620_CSWD.zip

和妈妈一起注考的暖儿

暖儿/孟路迪 (1 岁)

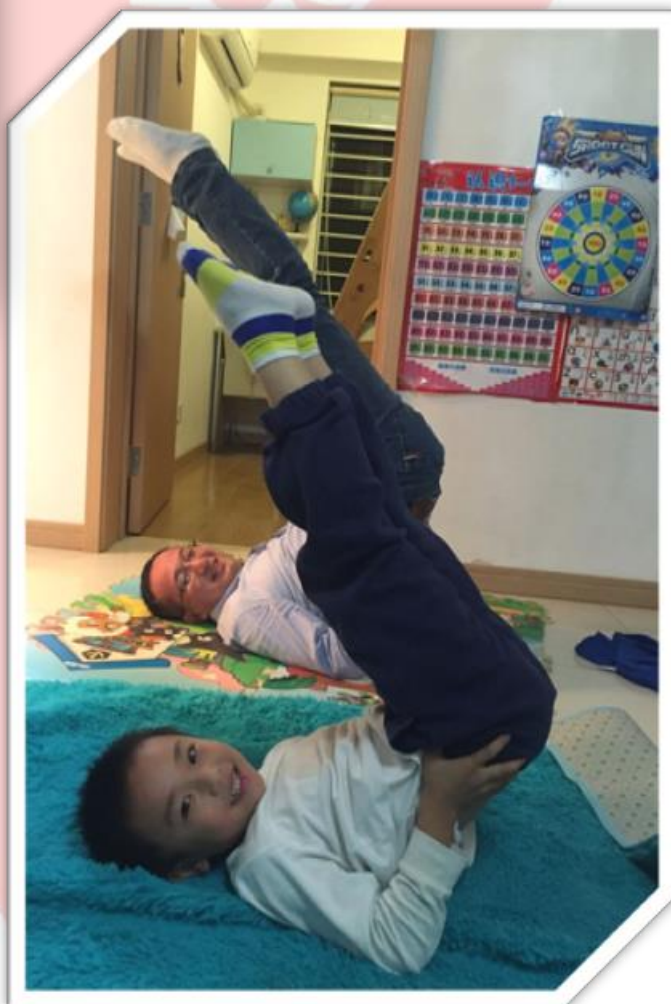
暖妈/徐晓环

暖爸/孟伟茂

父子肩肘倒立

暖儿/郭子涵 (5 岁)

暖爸/郭宏伟



编者注:

【暖儿暖女】为新开辟的栏目，可以为暖通儿女的照片、作品、合影、记录、故事和点滴等等，欢迎暖爸暖妈暖儿暖女一起来哦，投稿请发至：nkntzz@163.com

黄翔：《蒸发冷却通风空调系统设计与安装》(15K515) 宣贯



【讲师介绍】：

黄翔：西安工程大学（原西北纺织工学院）副校长，二级教授，供热、供燃气、通风及空调工程、蒸发冷却技术与建筑可再生能源理论与应用方向带头人。西安建筑科技大学兼职博士生导师。陕西省有突出贡献专家，陕西省三五人才。从事蒸发冷却空调技术研究近 20 年。

【课程纲要】：

图集适用于新建、改建和扩建的工业和民用建筑，以水作为制冷剂利用水与空气直接、间接热湿交换获取冷源，采用单元蒸发式冷气机、蒸发冷却通风空调机组、蒸发冷却新风机组、蒸发冷却冷水机组进行供冷、降温的工程设计与安装。图集主要由编制说明、图例、蒸发冷却通风空调系统原理、蒸发冷却通风空调系统设计、蒸发冷却通风空调设备、蒸发冷却通风空调系统安装、蒸发冷却通风空调系统自动控制、蒸发冷却通风空调系统设计示例及附录等部分组成。

1. 《蒸发冷却通风空调系统设计与安装》之一：编制过程介绍
2. 《蒸发冷却通风空调系统设计与安装》之二：编制说明
3. 《蒸发冷却通风空调系统设计与安装》之三：蒸发冷却通风空调系统原理
4. 《蒸发冷却通风空调系统设计与安装》之四：蒸发式冷气机通风系统
5. 《蒸发冷却通风空调系统设计与安装》之五：全空气蒸发冷却通风空调系统
6. 《蒸发冷却通风空调系统设计与安装》之六：空气-水蒸发冷却空调系统
7. 《蒸发冷却通风空调系统设计与安装》之七：蒸发冷却通风空调系统安装
8. 《蒸发冷却通风空调系统设计与安装》之八：蒸发冷却通风空调系统自动控制
9. 《蒸发冷却通风空调系统设计指南》编写说明

【观看地址】：

<http://train.ehvacr.com/show-90025.html>

林星春：大连某数据中心暖通动力设计案例



【讲师介绍】：

林星春：暖通空调在线论坛荣誉管理员；“小林陪你过注册”考试群及“小林助考”创始人；《牛侃暖通》主编；全国勘察设计注册公用设备工程师；LEED AP BD+C（美国绿色建筑认证专家）；PMP（美国项目管理师）。现为华东建筑设计研究院有限公司 华东都市建筑设计研究总院 高级工程师。

【课程纲要】：

- 1、工程概况
- 2、建设目标
- 3、等级标准
- 4、设计温度
- 5、燃油储量
- 6、专业设计内容
- 7、亮点及难点
- 8、数据机房区冷源系统
- 9、2N 容错冗余——动力机房
- 10、2N 容错冗余——冷源和水泵
- 11、2N 容错冗余——管路和末端
- 12、过渡季节免费制冷
- 13、合理分期建设
- 14、非数据机房区冷热源系统
- 15、数据机房空调末端装置
- 16、气流组织——专用冷通道
- 17、数据机房实景图
- 18、精密空调安装详图
- 19、精密空调机房实景图
- 20、节能措施应用
- 21、数据中心 PUE

【观看地址】：

<http://train.ehvacr.com/show-89997.html>

【封面人物】瞿燕：美女所长，绿色建筑就是精细化设计

