

TA

全面水力平衡 暖通空调水力系统设计与应用手册

Total Hydronic Balancing

A handbook for design and troubleshooting
of hydronic HVAC systems

【瑞典】罗伯特·珀蒂琼 (ROBERT PETITJEAN) 著
T A - Tour & Andersson AB

杨国荣 胡仰耆 魏 炜 方 伟 译
胡仰耆 校

中国建筑工业出版社

著作权登记图字: 01-2007-2782 号

图书在版编目 (CIP) 数据

全面水力平衡: 暖通空调水力系统设计与应用手册 /
(瑞典) 珀蒂琼著; 杨国荣等译. —北京: 中国建筑工
业出版社, 2007

ISBN 978-7-112-09239-0

I. 全… II. ①珀…②杨… III. ①采暖设备—给排
水系统—手册②通风设备—给排水系统—手册③空气
调节设备—给排水系统—手册 IV. TU83-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 052752 号

"Copyright @2007 by Tour & Andersson AB, a subsidiary of IMI Indoor Climate

All rights reserved. Apart from any fair dealing for the purposes of private study, research, criticism or review as permitted under the Copyright Act, no part of this publication may be reproduced, stored in retrieval system or transmitted in any form by any means, electronic, photocopying, recording or otherwise, without the written permission of the publisher.

责任编辑: 姚荣华

责任设计: 董建平

责任校对: 安 东 刘 钰

TA

全面水力平衡

暖通空调水力系统设计与应用手册

Total Hydronic Balancing

A handbook for design and troubleshooting of hydronic HVAC systems

[瑞典] 罗伯特·珀蒂琼 (ROBERT PETITJEAN) 著

TA - Tour & Andersson AB

杨国荣 胡仰著 魏 炜 方 伟 译

胡仰著 校

*

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

北京华艺排版公司排版

北京云浩印刷有限责任公司印刷

*

开本: 787 × 1092 毫米 1/16 印张: 25 1/4 字数: 561 千字

2007 年 9 月第一版 2007 年 9 月第一次印刷

定价: 89.00 元

ISBN 978-7-112-09239-0

(15903)

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)

全面水力平衡

暖通空调水力系统设计与应用手册

Total Hydronic Balancing

A handbook for design and troubleshooting
of hydronic HVAC systems

[瑞典] 罗伯特·珀蒂琼 (ROBERT PETITJEAN)

著

TA - Tour & Andersson AB

杨国荣 胡仰耆 魏 炜 方 伟 译

胡仰耆 校

中国建筑工程工业出版社

译者序

众所周知,供热与空调为人们的生活和生产活动提供了舒适的室内环境,对人们的身心健康、产品质量以及提高劳动生产率作出了巨大贡献。改革开放以来,尤其是近十余年,我国的暖通空调工程师获得了史无前例的机遇,承担了大量、复杂的工程设计任务,有机会实践本专业众多技术内容,包括冷热源、系统形式与末端装置等,使我们的设计视野更加广阔,设计经验更加丰富,整体设计水平有了很大提高。

然而,在回顾这些得益的同时,也应梳理不足之处。根据我们自身数十年的设计经历以及同行之间的交流,深感供热、空调水系统的平衡似乎是一个薄弱环节。“水力平衡”这个名词对系统设计者来说虽不陌生,但在以往系统设计时,仅依靠管径选择、同程布置等一些手段来取得有限、局部、静态的系统平衡。至于系统的全面、精确、动态的平衡,在概念上并不清晰,在措施上并不得力,例如对设置何种平衡阀,设置在何处时有争论,将平衡阀设置到哪一级:总管、干管、支管、末端装置也难以把握。我们在工程中遇到过二次泵系统中的供水温度达不到设计要求;末端装置的容量虽大,但换热不足量;水路调节阀不能正常地工作等现象。究其原因,与系统中的流量不平衡、末端装置欠流量以及调节阀的压差过大均有关系。

另一方面,在我们企求寻找许多水系统问题的答案时,总感到国内有关资料甚少。数量不多的应用性论文不足以让设计者建立起完整的理论概念,教科书中的内容也不能涵盖实际工程中众多的系统形式。前些时,译者有幸从瑞典 TA 公司获得了这本关于水力平衡的专著《全面水力平衡——暖通空调水力系统设计与应用手册》(Total Hydronic Balancing—A handbook for design and troubleshooting of hydronic HVAC systems)。作者罗伯特·珀蒂琼(Robert Petitjean)为 TA 公司的前技术总监,也曾是比利时 Charleroi 技术大学的水力控制理论讲师,他成功地举办过 300 余场有关水力系统设计的研讨会,向来自 17 个国家约 14000 余人传授水力平衡知识。在该书中,作者从系统部件、控制环路、输配平衡、平衡方法等几方面对供热、空调水系统的平衡原理与平衡方法进行了深入探讨与分析,并对散热器输配回路、锅炉与冷水机组产出回路的设计与平衡作了系统而详细的介绍。译者深感此专著对我国暖通专业人员进行系统设计、调试与运行管理时有很好的参考价值。书中列举了大量详实的供热水系统及少量空调水系统的平衡示例,贴近工程实际,有助于理解水力平衡基本概念。我们相信,随着平衡技术的不断发展和被掌握,供热、空调水系统可以确保每个末端装置获得的设计流量,系统的产出流量与输配流量能相匹配,控制阀工作也能稳定。

本专著在翻译之前以及在翻译过程中,得到了中国建筑西北设计研究院陆耀庆总工程师和瑞典 TA 公司闵捷、陈鸿两位先生的支持,在此表示诚挚的感谢。在此还要感谢华东建筑设计研究院有限公司的吴玲红、宋宁曙两位同志,她们为部分章节

译稿的整理付出了很多精力。此外，我们还应对本书的责任编辑姚荣华女士作出的辛勤劳动表示敬意与感谢。同时也感谢华东建筑设计研究院有限公司同仁，是他们的关心和期望使本书的翻译工作得以顺利地完成。

本书翻译是在紧张、繁忙的工程设计之外的业余时间内完成的。由于译者的学识水平与英语能力有限，译稿中难免会出现错误或不确切的地方，热忱地欢迎广大读者、专家、同仁批评指正。

杨国荣 胡仰耆
2006年12月20日

目 录

译者序	3
序言	13
引论	15
符号	18
图例	21
第 1 章 系统部件	23
1.1 水——传热媒介	24
1.1.1 概述	24
1.1.2 乙二醇水溶液	24
1.1.3 水中的空气	25
1.2 管道	25
1.2.1 线性压力降	25
1.2.2 水管选择	28
1.2.3 其他压力损失	34
1.2.4 热对流循环效应	36
1.3 末端装置	36
1.3.1 变流量供水	37
1.3.2 定流量供水	41
1.3.3 变流量与定流量供水比较	43
1.4 水泵	45
1.4.1 概述	45
1.4.2 NPSH 系数	46
1.4.3 水泵向多台生产装置供水	48
1.4.4 并联水泵耦合	49
1.4.5 串联水泵组合	53
1.4.6 备用水泵	56
1.4.7 变速水泵	56
1.4.8 水泵运行费用	59

1.5 系统加压	62
1.5.1 水的膨胀	62
1.5.2 膨胀水箱的作用	62
1.5.3 开式膨胀水箱	63
1.5.4 闭式膨胀水箱	64
1.5.5 带压缩机的自动化膨胀装置	67
1.5.6 带备用或不间断运行泵的自动化膨胀装置	67
1.5.7 水泵与控制阀的位置	67
 第2章 通用性设计	 75
2.1 水力干扰	76
2.1.1 末端装置之间的干扰	76
2.1.2 回路之间的干扰	77
2.2 流量之间的兼容性	88
2.2.1 概述	88
2.2.2 供热示例	90
2.2.3 供冷示例	94
2.3 水力-控制兼容性	95
2.4 结论	100
 第3章 控制环路	 105
3.1 控制环路的组件	106
3.2 控制动作	107
3.2.1 开/关控制	107
3.2.2 比例控制“P”	107
3.2.3 比例积分控制“PI”	110
3.2.4 时间比例PI控制	111
3.2.5 串级控制	111
3.3 二通控制阀	112
3.3.1 控制阀特性	112
3.3.2 控制阀的阀权度	113
3.3.3 控制阀的可调比	119
3.3.4 二通控制阀顺序工作	121
3.3.5 阀门与系统匹配	123

3.3.6 控制阀选择	126
3.3.7 结论	132
3.3.8 二通控制阀回路示例	133
3.4 三通控制阀	148
3.4.1 混合功能	148
3.4.2 分流功能	159
3.4.3 回路示例	163
3.5 二通阀和三通阀的应用	170
3.5.1 回路比较	170
3.5.2 主动式一次网路	170
3.5.3 被动式输配网路	175
3.5.4 计算示例	176
第4章 输配平衡.....	185
4.1 要进行输配平衡的原因	186
4.1.1 概述	186
4.1.2 水流量对室温的影响	187
4.1.3 如何补偿水力不平衡	189
4.2 输配网路	189
4.2.1 定流量输配	189
4.2.2 变流量输配	193
4.2.3 结论	207
4.3 流量获得准确性	209
4.4 平衡阀的选择与安装	212
4.4.1 受控流量	213
4.4.2 平衡阀的规格	214
4.4.3 平衡阀的安装位置	218
第5章 平衡方法.....	229
5.1 平衡之前的准备	230
5.1.1 系统设计	230
5.1.2 检查	232
5.1.3 平衡前初步准备	233

5.2 预设设定法	233
5.2.1 概述	233
5.2.2 散热器回路	234
5.3 迭代法	234
5.4 比例法	235
5.4.1 基本原理	235
5.4.2 选择最大流量比的立管	235
5.4.3 选择最大流量比的支管	235
5.4.4 平衡支管上的末端装置	236
5.4.5 在立管上平衡支管	237
5.4.6 平衡干管上的各立管	238
5.5 补偿法	239
5.5.1 准备	240
5.5.2 参照阀和合作阀	240
5.5.3 参照阀设定	241
5.5.4 平衡支管上的末端装置	242
5.5.5 平衡立管上的支管	243
5.5.6 平衡干管上的立管	244
5.5.7 末端装置之间的压力降差异很大时的参照阀设定	245
5.5.8 补偿法的衍生	247
5.6 其他间接流量测量	251
5.6.1 温度法	251
5.6.2 盘管侧的压力降测量	251
5.6.3 控制阀的压力降测量	252
5.6.4 水泵压差测量	252
5.7 用给定参差系数设计的系统的平衡	253
5.8 采用固定孔板的补偿法	255
5.8.1 准备	255
5.8.2 参照末端装置与合作阀	256
5.8.3 平衡支管上的末端装置	257
5.8.4 平衡立管上的支管	258
5.8.5 平衡干管道上的立管	259
5.8.6 当末端装置之间的压力降相差很大时参照阀的设定	259

5.9 采用压差控制阀平衡系统	261
5.9.1 压差控制阀的用途	261
5.9.2 压差控制阀如何工作	262
5.9.3 在供热和空调系统中应用	263
5.9.4 压差控制阀简化了平衡、调试和维护	268
 第6章 散热器回路	 275
6.1 要平衡的原因	276
6.1.1 过流量导致欠流量	276
6.1.2 输配时过流量	278
6.2 散热器阀门	279
6.2.1 概述	279
6.2.2 温控阀	280
6.2.3 温控阀与供水温度	281
6.2.4 用流量来补偿干扰	282
6.2.5 温控阀是不是一个比例控制器	283
6.2.6 每个末端装置配一个平衡装置是否足够	286
6.2.7 系统是否应在温控阀全开时进行水力平衡	287
6.3 散热器	288
6.3.1 名义工况与设计工况	288
6.3.2 不在名义工况下工作的散热器选择	288
6.3.3 散热器的散热量随流量而变化	292
6.3.4 流量可达的精确度	293
6.3.5 设计水温差选择	294
6.3.6 现有系统	295
6.4 双管系统输配	296
6.4.1 根据恒定的 Δp 平衡散热器	296
6.4.2 基于计算的 Δp 值进行预设	301
6.4.3 恒定或可变一次流量	301
6.5 单管系统输配	309
6.5.1 概述	309
6.5.2 单管系统阀门	313
6.5.3 进入散热器中的环路流量比例 (λ 系数)	314
6.5.4 环路流量	316
6.5.5 环路中的压力损失	316

第7章 锅炉	323
7.1 概述	324
7.1.1 产出装置流量	324
7.1.2 用同程环路平衡产出装置流量	325
7.1.3 备用装置水力隔离的重要性	326
7.2 系统中的一台锅炉	327
7.2.1 流量变化限制范围	327
7.2.2 锅炉中的流量有时为零	327
7.2.3 变水量输配	329
7.2.4 锅炉配以旁通泵	330
7.2.5 配再循环泵的锅炉	333
7.3 需要数台锅炉顺序工作的原因	340
7.3.1 增加平均产出效率	340
7.3.2 采用多台锅炉的安全性	341
7.3.3 模块式产热锅炉	341
7.3.4 复合供热系统	341
7.4 锅炉模块	342
7.4.1 各锅炉由公用泵供水	342
7.4.2 锅炉由各自单独的泵供水	343
7.4.3 锅炉控制	344
7.4.4 旁通管位置	345
7.5 常规锅炉防冷回水保护	347
7.5.1 单独保护 (individual protection) “PI”	347
7.5.2 用三通阀全面保护 (global protection) “PV”	348
7.5.3 通过限制回路中的三通阀开度进行全面保护 (global protection) “PL”	349
7.6 与锅炉相关的回路	351
7.6.1 主动集管与一次水定流量的二次回路	351
7.6.2 主动集管与一次水变流量的二次回路	351
7.6.3 被动集管与一次水变流量的二次回路	352
7.7 锅炉与回路之间的接合	352
第8章 冷水机组	365
8.1 产出装置中的水流量	366

8.2 定流量输配	366
8.3 变流量输配	369
8.3.1 恒定压差时的接合界面	370
8.3.2 零压差时的接合界面	373
8.3.3 旁通管位置	374
附录 A	383
附录 B 平衡用基本术语	405
参考文献	410

序 言

工程咨询实践与短时期的研究、开发工作令我涉足于工程技术领域以及有关安装、管理与运行等一些课题。据本人经验明确无疑的是,优秀的设计与施工来自受到良好激励的团队成员,他们在复杂的专业和施工活动中受到了最好的培训。

为了 21 世纪国际建设市场的需要,对这项产业,尤其是作为建筑设备工程的一部分,必须在教育、技术和研究方面看到它的前景。

工程是科学的应用,工程师是利用已有的技术和拓展后的传统理论时刻满足业主的需要。真正的新理念与解决问题的新方案是很少的,但为了推进与改善对问题的解决常需要创新、开拓和技术。

现有的方法与技术对工程师克服困难、满足业主需求、解决问题至关重要,所以,制造商为三类用户——设计工程师、承包工程师与最终用户提供很好的技术和性能数据是“本”,唯此,才可能有全面的质量管理。

于是,大家期盼有一位也曾从事过制造业的学者来编写一本能解决这类需求的书。《全面水力平衡》综合涵盖了这一吸引人的技术领域,它可作为一种先进的工具和—本教科书,对于课堂教学以及已用建筑物中的实际运行都很有益。

本书全面论述水系统平衡的设计和应用,并确信在水力系统中最重要概念是,应认识到回路间的相互作用,平衡与控制回路同时设计而不是单独设计的优点。

教育是培养合适的、有复合技能的工程师和技工的重要方法,他们中的每一个人对我们的未来很重要。若没有合适的各级教师,就不能培养出全面有用的毕业生与技术员;若没有高质量的工程技术学生,就肯定不能满足我们的技术需求而进入 21 世纪。

Robert Petitjean 说过:教育始于教室,它是一种将良好的“教”和理论与实践全面培养手段密切相联的混合物。

本书所含有教学、设计与系统运行的信息对我们未来的舒适性很重要,在某种意义上对持续我们以前的自然资源又很敏感。

David Lush

建筑设备注册工程师协会主席

1994 年 3 月

引 论

关于舒适性

设计任何供热与空调系统的主要目的是为了获得舒适的室内气候，减少费用与运行中产生的问题。

我们已经了解室内气候对人们的健康与生产率的重要性，同时它也向我们提出了更为严峻的要求：应鼓励生产商开发新型、高级的控制器，包括功能优化、监控先进的设备。

从理论上说，这些新技术足以显现满足绝大多数情况需求的能力，也能为增加舒适性和节约很多能量提供机会。

然而，从实际情况看，即使是最高级的控制器也并非总能获得它的理论性能，其原因很简单：这些控制器得不到让他们正确运行而通常必须要满足的理想工况，因此对舒适性的影响不可忽略。

如果我们对 HVAC 系统进行系统分析，常会发现以下问题：

- 不能在所有房间内获得所需的温度，尤其在负荷有很大变化后；
- 在末端装置上不管采用何种高级控制器，当室温达到需要值时会不断地发生振荡。这种振荡通常出现在低负荷与中等负荷时；
- 虽然产出装置有足够的容量，但在负荷很大时，特别在系统启动阶段，此容量不能被传递出。

用户还抱怨设备产生烦恼的噪声。在空调系统中，送风温度变化很大的要求常难以得到保证。在气候炎热的国家，室内有时会过冷或有令人讨厌的吹风感，这些使人们谈论起夏季室外和冬季室内的情况。因此，由这些设备造成的不舒适性有时被认为是“不治之症”，似乎我们不能期望得到改善。最糟糕的是这样的不舒适还很费钱，较运行情况满意的系统会多消耗 40% 的能量。

这种不正常的工作情况即使使用更有效的控制系统也不能纠正，究其原因，常是水力回路自身的设计存在问题。

水力平衡

能量一般是通过热水或冷水系统来输送的。对于一个原本水循环有问题的系统而言，控制器不能有效地对其进行控制。在一些不可能达到设计工况的区域，局部控制器不能补偿短缺的流量，因为控制阀不能开得比全开还大。中央控制器也不能控制一个非同一性的系统。在供热时，热水温度与室外气温之间不存在适用于非平衡系统的通用关系。对于每一个房间，这种不同的关系是必然的。

所以，水流量必须合理地分配到整个系统中。

尽管这样的事实显而易见，但并非总是得到应有的重视。即使系统设计得很好，