

美国采暖制冷空调工程师学会数据中心系列丛书
ASHRAE Datacom Series

高密度数据中心 案例研究与最佳实践

High Density Data Centers Case
Studies and Best Practices

[美] ASHRAE TC 9.9 主编
沈添鸿 杨国荣 陈亮 陈巍 翻译
胡仰耆 译审



中国建筑工业出版社
CHINA ARCHITECTURE & BUILDING PRESS

美国采暖制冷空调工程师学会数据中心系列丛书

ASHRAE Datacom Series

高密度数据中心案例研究 与最佳实践

**High Density Data Centers Case Studies
and Best Practices**

【美】ASHRAE TC 9.9 主编

沈添鸿 杨国荣 陈亮 陈巍 翻译

中国建筑工业出版社

著作权合同登记图字：01-2009-6041 号

图书在版编目 (CIP) 数据

高密度数据中心案例研究与最佳实践/[美] ASHRAE TC 9.9 主编;
沈添鸿等翻译. —北京: 中国建筑工业出版社, 2010

(美国采暖制冷空调工程师学会数据中心系列丛书)

ISBN 978-7-112-12024-6

I. 高... II. ①A...②沈... III. 电子计算机—机房—空
气调节设备—设计—研究 IV. TP308 TU831.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 067814 号

© 1995 American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Translated by permission from **ASHRAE TC 9.9 Datacom Series**. All rights reserved. Translated by IBM Global Services China. ASHRAE assumes no responsibility for the accuracy of the translation. To obtain the English language edition, contact ASHRAE, 1791 Tullie Circle, NE, Atlanta, GA 30329-2305 USA, Telephone: 404-636-8400, Fax: 404-321-5478, or www.ashrae.org.

本书著作权归美国采暖制冷空调工程师协会所有, ASHRAE 数据中心技术委员会授权翻译, 保留所有权利。本书由 IBM 全球服务中心 (中国) 组织翻译。ASHRAE 声明对本书的翻译版本不负责任。若购买原版书, 与 ASHRAE 联系, 1791 Tullie Circle, NE, Atlanta, GA 30329-2305 USA, Telephone: 404-636-8400, Fax: 404-321-5478, or www.ashrae.org.

美国采暖制冷空调工程师学会数据中心系列丛书

ASHRAE Datacom Series

高密度数据中心案例研究与最佳实践

High Density Data Centers Case Studies and Best Practices

【美】ASHRAE TC 9.9 主编

沈添鸿 杨国荣 陈 亮 陈 巍 翻译

胡仰者 译审

*

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

北京千辰公司制版

北京建筑工业出版社印刷

*

开本: 787×960 毫米 1/16 印张: 11 字数: 264 千字

2010 年 6 月第一版 2010 年 6 月第一次印刷

定价: **30.00 元**

ISBN 978-7-112-12024-6

(19292)

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)

高密度数据中心案例研究 与最佳实践

**High Density Data Centers Case Studies
and Best Practices**

本书是与负责“重要设施、工艺房间与电子设备”的 ASHRAE TC9.9
(技术委员会 9.9) 合作完成的。

原版书的任何更新或勘误将在 ASHRAE 网站 www.ashrae.org
或其出版物修订信息上告示。

本书是该系列丛书的第7册。本书共4章，它们分别为概论、架空可检视地板案例研究、非架空可检视地板案例研究、最佳实践。本书通过对9个采用架空可检视地板与2个非架空可检视地板高密度数据中心的案例研究，详细论述了数据中心布局、数据中心内设备功率、风量、温度测试、数据中心架空可检视地板静压箱及吊平顶高度要求及架空可检视地板布置与配置。本书内容全面且深入浅出，对从事数据中心设施空调设计及运行管理的人员具有较大的参考价值和指导作用。

* * *

责任编辑：张文胜 姚荣华

责任设计：张 虹

责任校对：王金珠 兰曼利

ASHRAE 数据中心系列丛书中文版 翻译小组成员名单

杨国荣	华东建筑设计研究院有限公司
胡仰耆	华东建筑设计研究院有限公司
沈添鸿	美国国际商业机器(IBM)全球(中国)有限公司
任 兵	华东建筑设计研究院有限公司
陈 亮	美国国际商业机器(IBM)全球(中国)有限公司
陈 巍	美国国际商业机器(IBM)全球(中国)有限公司
王振华	美国国际商业机器(IBM)全球(中国)有限公司
盛安风	华东建筑设计研究院有限公司
曹雷鸣	上海市工业设备安装有限公司

译者的话

经过 30 多年改革开放，我国的国民经济得到了快速发展，涌现出大批国际级骨干企业。随着数据处理业务需求的爆炸式增长和计算机、网络技术的飞跃发展，银行、保险、证券等金融行业、交通运输、医疗卫生等大型企业及政府机构相继建立起许多数据中心。在数据处理业务需求和 IT 技术的共同推动下，我国的数据中心建设现已进入了高速发展时期。数据中心的熱密度每年呈上升趋势，且这种趋势还在继续。目前，数据中心内大量采用的新型服务器的熱密度已达 $20\sim 30\text{kW/机柜}$ ，常用的空调系统已难以满足这类高密度机房的冷却要求。进入 21 世纪后，我国政府提出了节能减排是基本国策，在逐步加大节能减排的力度，这对耗能大户数据中心的节能设计提出了挑战，建立一个新型数据中心的任务摆在数据通信设备制造商、数据中心设计者和运行管理者面前。新型数据中心应具有“高效、节能、可管理”的优势，在解决降低用户直接成本和管理问题的同时，有助于建设节约型社会。

美国采暖制冷与空调工程师学会（ASHRAE）在 2001 年成立了关于数据中心的技术小组，该小组早期名称为“TG9HDEC”。2003 年后小组改名为技术委员会 9.9（简称 TC 9.9）。TC 9.9 是一个由数据通信设备生产商、数据设备终端用户的业主与管理人员以及政府机构、咨询机构、研究机构和测试实验室专家组成的专业研究团队。该团队对数据中心的重要设施、技术要求、电子设备及系统进行了细致地研究和总结，其研究成果编入了 ASHRAE 手册，并出版了 ASHRAE TC 9.9 数据中心系列丛书。2009 年 ASHRAE 对其中三本书进行了修订，出了第 2 版。本翻译组有幸通过美国“国际商业机器（IBM）全球（中国）有限公司”的帮助，向 ASHRAE 购买了该系列丛书中文版的版权，将这套丛书翻译出版，以期对我国数据中心设计和运行管理人员有所帮助。

《高密度数据中心案例研究与最佳实践》(High Density Data Centers Case Studies and Best Practices)是该系列丛书的第7册。该书有4章,它们分别为概论、架空可检视地板案例研究、非架空可检视地板案例研究、最佳实践。该书通过对9个采用架空可检视地板与2个非架空可检视地板高密度数据中心的案例研究,详细论述了数据中心布局、数据中心内设备功率、风量、温度测试、数据中心架空可检视地板静压箱及吊平顶高度要求及架空可检视地板布置与配置。该书内容全面且深入浅出,对从事数据中心设施空调设计及运行管理的人员具有较大的参考价值和指导作用。

译者对此系列丛书进行了精心的翻译,以期让该丛书尽快与广大读者见面。本书的翻译得到了美国“国际商业机器(IBM)全球(中国)有限公司”的大力赞助,在此表示诚挚的感谢。此外,我们还应对本书的责任编辑张文胜先生和姚荣华主任所作出的辛勤劳动表示敬意和感谢。同时也感谢华东建筑设计研究院有限公司的同仁,是他们的关心和期望使本书的翻译工作得以顺利地完

本书的译、校者虽已尽力,但是由于全书是在工程设计的业余时间内完成的,也由于译者的学识水平和英语能力有限,译文中难免会出现错误和不确切的地方,或者不能准确表达原著的学术内涵之处,热忱地欢迎广大读者、专家、同仁批评指正。

杨国荣 胡仰耆 沈添鸿
2010年3月20日

致谢

本书中的信息得到了以下公司、高等院校和一些组织的帮助和支持：

American Power Conversion	JDA Consulting Engineers
Bellsouth	Lawrence Berkeley National Lab
Cedar Sinai Medical Center	Microsoft
Citigroup	Minick Engineering
Cushman and Wakefield	Opengate Data Systems
DLB Associates Consulting Engineers	Oracle
Emerson	Panduit
Georgia Institute of Technology	Rumsey Engineers
Hewlett Packard	San Diego Supercomputer Center
IBM	Ted Jacob Engineering Group

ASHRAE TC 9.9 尤其应向以下人员致谢：

• **John Bean, Christian Belady, Jack Glass, Jason Kutticherry, Oleg Levehook, Rhonda Johnson, Bret Lehman, Mukesh Khattar, Joe Prisco, Madhusudan Iyengar 和 Roger Schmidt**。感谢他们作为章节负责人参与了写作和最终的编辑工作。

• **IBM 公司的 TC 9.9 主席 Roger Schmidt 博士**。感谢他在本书形成过程中的洞察力和领导。

• **Joe Lombardo**，感谢他为本书设计封面。

此外，ASHRAE TC 9.9 还应衷心感谢 Will Dahlmeier, Mike Mangan 和 DLB Associates, Inc. 的 Don Beaty 以及对本书各案例研究作出很大贡献的以下人员。

案例 1：感谢 DLB Associates, Inc. 的 Bob Wasilewski 和 Tom Juliano

对测试的帮助；感谢 IBM 公司的 Donna Upright 和 Duane Oetjen 在数据中心完全运行时对测试工作的全面支持。

案例 2：感谢 DLB Associates, Inc. 的 Bob Wasilewski 和 Tom Juliano 对测试的帮助；感谢 IBM 公司的 Donna Upright 和 Duane Oetjen 在数据中心完全运行时对测试工作的全面支持。

案例 3：感谢 Roger Schmidt 博士、Hendrik Hamann 博士、Dane Miller 和 Haral Zettl 帮助收集和整理数据。若没有他们的贡献，性能描述和记录不可能完成。作者还感谢 SDSC 的员工，特别是 Mike Datte 和 Jeff Filliez，在同意 IBM 研究数据中心及公布成果时的全力合作。

案例 4：感谢 Donna Upright 和 Duane Oetjen 在 Poughkeepsie 在数据中心完全运行时全面支持了测试工作。

案例 5：感谢 Livermore 的 Steve Holt 帮助收集 Livermore 现场的数据。

案例 6：感谢 Cushman 的 Gerhard Haub 与 Patrick Calcagno Wakefield 以及 JDA Consulting Engineers 的 Wakefield、Ryan Meadows 与 Ed Koplin 帮助进行现场测试与分析。

案例 7：感谢乔治亚技术学院的 Bartosz Ilkowski、IBM 的 Bret Lehman、BellSouth 的 Stephen Peet 及 Minick Engineering 的 Steve Battenfeld 在高密度案例研究中的设计和文件编制方面的贡献。还感谢 Panduit 的 Sam Toas 及 Rhonda Johnson 在温度测量与成果整理方面的贡献。

案例 8：感谢 Jonathan Lomas 进行现场数据收集和 Scott Buell 进行 CFD 模拟和示图制作。

案例 9：感谢 Emerson 公司的 Lennart Stahl，项目主要的合作者；感谢给予支持的高级经理：HP 公司的 Paul Perez 和 Emerson 公司的 Thomas Bjarnemark；还感谢 Chandrakant Patel、Cullen Bash 和 Roy Zeighami，感谢他们的技术支持和贡献。

案例 10：感谢 Oracle 公司的 Mukesh Khattar 博士、Mitch Martin、Stephen Metcalf 和 Keith Ward 在机架级热通道封围方面的概念性设计和实践，使之能防止数据中心内热风与冷风混合的同时，让 CRAC 机组采用变速驱动装置；感谢 Ted Jacob Engineering Group 的 Mark Redmond 对系统的指导和技术要求的规定；以及感谢以前在 Wright Line、如今在 Opengate Data Systems 的 Mark Germagian 制作能封围热空气的服务器机架。

案例 11：感谢劳伦斯贝克利国家实验室的 Bill Tschudi 和 Rumsey Engineers 的 Peter Rumsey 为本案例研究作出的贡献，该项目是加州能源委员会中内容较广项目中的一部分。

目录

第 1 章 概论	1
第 2 章 架空可检视地板案例研究	6
2.1 周边配置模块化计算机房空调机组的架空可检视地板方案	6
2.1.1 设计案例 1——美国国家环境预报中心 (NCEP)	6
2.1.2 案例研究 2——IBM 测试设施 (Poughkeepsie, 2004)	19
2.1.3 案例研究 3——圣地亚哥超级计算机中心	34
2.1.4 案例研究 4——IBM 测试中心 (Poughkeepsie, 2005)	49
2.2 在楼板上设置空调器的架空可检视地板方案	57
案例研究 5——劳伦斯利弗莫尔国家实验室数据中心	57
2.3 架空可检视地板送风/吊平顶回风	63
案例研究 6——NYC 金融服务数据中心	63
2.4 邻近服务器机架处有换热器的架空可检视地板	74
2.4.1 案例研究 7——Georgia 理工学院数据中心	74
2.4.2 案例研究 8——惠普公司 Richardson DataCool™ 数据中心	81
2.5 架空可检视地板送风/接风管吊平顶回风案例	95
2.5.1 案例研究 9——Oracle 数据中心	95
第 3 章 非架空可检视地板案例研究	110
3.1 非架空可检视地板供冷——机架排供冷	110
3.1.1 案例研究 10——Cedars-Sinai 医疗中心数据中心	110

3.2 非架空可检视地板，吊平顶送风	118
3.2.1 案例研究 11——劳伦斯贝克利国家实验室	118
第 4 章 最佳实践	135
4.1 数据中心——新建筑	135
4.1.1 通风设计	136
4.1.2 架空可检视地板静压箱高度	138
4.1.3 房间吊平顶高度	139
4.1.4 地板下障碍物	140
4.1.5 计算机房空调机组设置与配置	142
4.2 适应未来数据中心扩容	143
4.3 架空可检视地板数据中心	144
4.3.1 穿孔地板块布置与配置	144
4.3.2 机架与机架布置——相关影响	145
4.4 就地冷却	147
4.5 非架空可检视地板数据中心	148
4.6 数据中心能量管理与效率	148
参考文献	151
缩略语	161

第 1 章

概论

充分冷却容纳数据通信设备的数据中心和电信机房正变得越来越困难。这是 IT 制造商以增加散热量为代价逐年提高数据通信性能的结果。一般来说，即使通信设备性能提高的速率比功率增大速率更快，但数据通信设备所需的功率和随之的散热量已上升到成了数据中心负担的程度。然而，在改善数据中心热特性管理的斗争中，评价如今的数据中心设计有时很重要。本书的目的是提供一系列高密度数据中心案例研究和通风设计方案，说明采用不同的通风方案能冷却多大负荷。

本章介绍数据中心最常用的各种通风设计方案。本书并不详尽介绍通风设计既有方案，而是介绍行业中普遍使用的各种方案，这里仅概述 7 个主要方案。在随后的案例研究中，将以详细测定的风量、功率及温度来说明每一个案例。

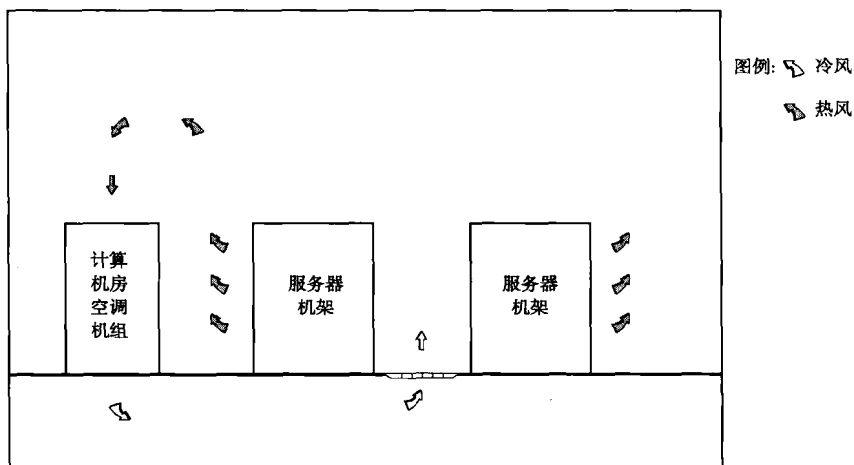


图 1.1 架空可检视地板送风

数据中心最普遍的通风设计是架空可检视地板送风，机架安置在冷通道/热通道布置方式中（见图 1.1）。冷风通过架空地板上的穿孔地板块进入机房，流入面向冷通道的机架前部。来自机架的热排风则流回到常布置在数据中心周边的计算机房空调机组（CRACs）的进风口。

另一种架空可检视地板送风形式如图 1.2 所示，空调器（AHUs）置于放 IT 设备的楼板的下面。这种布置方式的一个主要优点是所有机械设备与 IT 设备分开，易于维护。

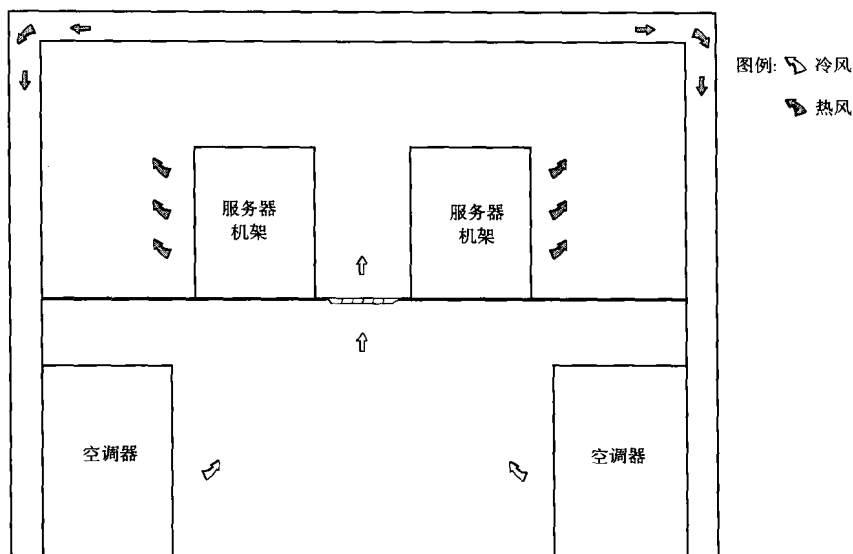


图 1.2 空调器在楼板下的架空可检视地板送风

一种略与架空可检视地板送风不同的形式是如图 1.3 所示的架空可检视地板送风、吊平顶回风。这对有热排风的高功率机架是一种有益的设计，因为热空气在可能与冷空气混合之前从热通道中排出。较高的回风温度可使计算机房空调机组在特定的较高回风温度下更高效地运行。

图 1.4 所示的是一种独特的架空可检视地板布置方案。在此布置中，模块化的计算机房空调机组布置在数据中心的热通道内。这种通风方案的优点是来自机架的热排风到计算机房空调机组回风口的路径很短，出自计算机房空调机组的冷送风到冷通道穿孔地板块的路径也短。由于冷通道与热通道短，故气流的阻力较小。计算机房空调机组的供冷量与机架的热负荷或多或少地都需要最接近得平衡。

由于机架热负荷已很大，目前在行业中提供了几种就地空气—液体换

热器的设计方案。在这些案例中，如图 1.5 所示的就地空气—液体换热器在机架内的热负荷排到大型数据中心房间内之前，将其除去了大部分（即使不是全部）。

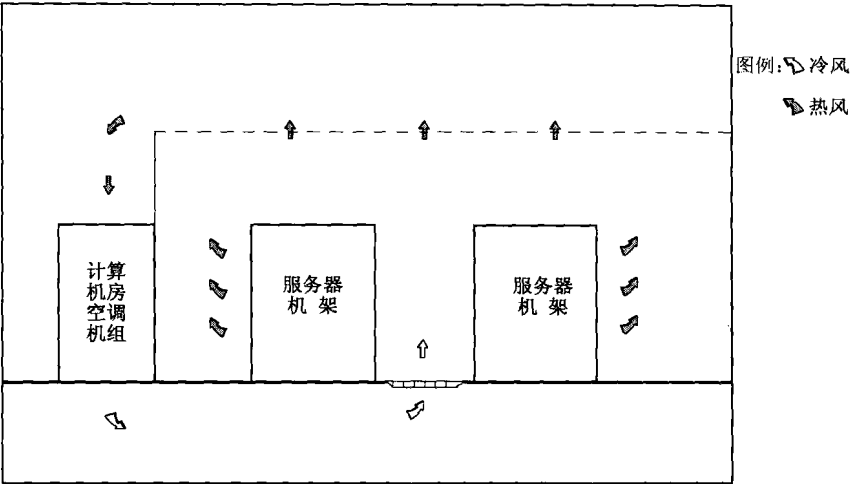


图 1.3 架空可检视地板送风/吊平顶回风

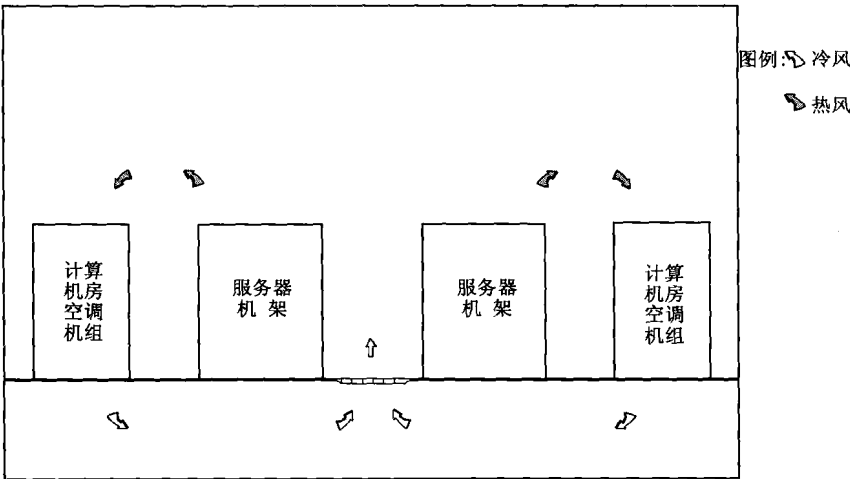


图 1.4 热通道内配置模块化计算机房空调机组的架空地板

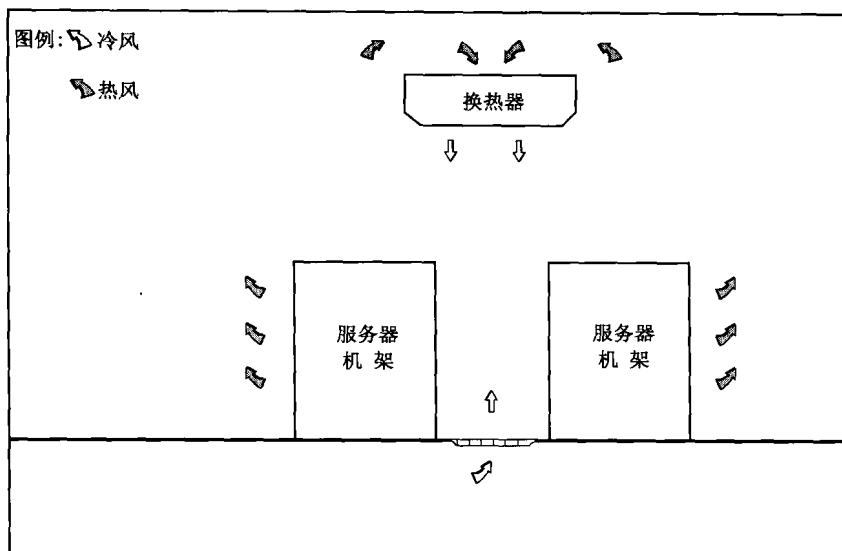


图 1.5 临近 IT 机架配置空气—液体换热器的架空可检视地板

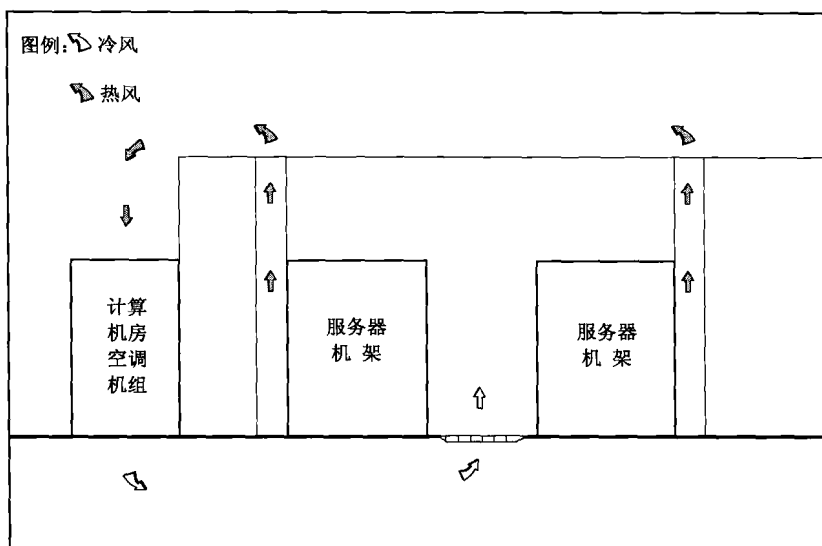


图 1.6 架空可检视地板送风/用风管的吊平顶回风

为了进一步使机架热排风与冷通道内的冷风分离，图 1.6 表示了一个利用风管让热风回到计算机房空调机组的方案。用风管是一项有效的分离