

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

数据通信设备 中心液体冷却指南

Liquid Cooling Guidelines for Datacom
Equipment Centers

[美] ASHRAE TC 9.9 主编
杨国荣 胡仰耆 沈添鸿 翻译

4



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

数据通信设备中心液体冷却指南

Liquid Cooling Guidelines for Datacom Equipment Centers

【美】ASHRAE TC 9.9 主编

杨国荣 胡仰耆 沈添鸿 翻译

中国建筑工业出版社

著作权合同登记图字：01-2009-6037 号

图书在版编目(CIP)数据

数据通信设备中心液体冷却指南/美国采暖制冷空调工程师学会主编；杨国荣等翻译。—北京：中国建筑工业出版社，2009

(美国采暖制冷空调工程师学会数据中心系列丛书)

ISBN 978-7-112-11559-4

I. 数… II. ①美…②杨… III. 电子计算机-机房-空气调节设备-设计 IV. TP308 TU831.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 205585 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学会所有，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

数据通信设备中心液体冷却指南

Liquid Cooling Guidelines for Datacom Equipment Centers

【美】ASHRAE TC 9.9 主编

杨国荣 胡仰耆 沈添鸿 翻译

*

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

北京天成排版公司制版

北京云浩印刷有限责任公司印刷

*

开本：787×960 毫米 1/16 印张：5½ 字数：150 千字

2010 年 1 月第一版 2010 年 1 月第一次印刷

定价：22.00 元

ISBN 978-7-112-11559-4

(18813)

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)

本书是该系列丛书的第4册，共6章，分别从数据中心设施冷却装置、管路系统、数据通信设备液体冷却方法、冷水系统基本要求及冷液基础设施对工艺冷却系统要求等几个方面对高密度数据中心液冷系统设计方法及要求进行了详细地叙述，其内容深入浅出，对从事数据中心设施液冷设计的暖通设计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：郑秋菊

责任校对：袁艳玲 赵 颖

ASHRAE 数据中心系统丛书中文版 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。数据中心的热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机架式服务器和刀片式服务器的热密度已达 $20\sim 30\text{kW}/\text{机柜}$,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,该小组早期的名称为“TG9HDEC”。2003 年后小组改名为技术委员会 9.9(简称 TC9.9)。TC9.9 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与政府机构、咨询机构、研究机构和实验室测试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 TC9.9 数据中心系列丛书。2009 年,ASHRAE 对其中的三本书进行了修订,出版了第 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，以期对我国暖通设计人员和数据中心运行管理人员有所帮助。

《数据通信设备中心液体冷却指南》(Liquid Cooling Guidelines for Datacom Equipment Centers)是该系列丛书的第4册。该书共6章，分别从数据中心设施冷却装置、管路系统、数据通信设备液冷方法、冷水系统基本要求及冷液基础设施对工艺冷却系统的要求等几个方面对高密度数据中心液冷系统设计方法及要求进行了详细地叙述，其内容深入浅出，对从事数据中心设施液冷设计的暖通设计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，以期让该著作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成。

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

2009年9月

致谢

以下公司的代表参与了本书的编写工作：

APC	Mallory & Evans, Inc.
Aavid	NCR
Cray Inc.	Department of Defense
Dell Computers	Panduit
DLB Associates Consulting Engineers	Rittal
EYPMCF	Sanmina
Hewlett Packard	SGI
IBM	Spraycool
Intel Corporation	Syska & Hennessy Group, Inc.
Lawrence Berkeley National Labs	Sun Microsystems
Liebert Corporation	Trane
Lytron	

ASHRAE TC 9.9 尤其应向以下人员致谢。

参与本书编写并最后不断进行修改的人员：

• Don Beaty, John Bean, Christian Belady, Tahir Cader, David Copeland, Rhonda Johnson, Tim McCann, David Moss, Shlomo Novotny, Greg Pautsch, Terry Rodgers, Jeff Rutt, Tony Sharp, David Wang, Kathryn Whitenack.

• Don beaty—DLB 联合咨询工程公司；Jeff Rut—国防部；Kathryn Whitenack—Lytron 公司。感谢他们在推进本书各章的工作中所给予的合作与领导。

- **Dr. Roger Schmidt.** 他积极地参与了领导本书编写的所有推进工作。

此外, ASHRAE TC 9.9 还应衷心感谢给予本书评价和反馈意见的以下人员: William Angel, Cullen Bash, Neil Chauhan, Brian Donabedian, Jack Glass, Chris Malone, Vance Murakami, Larry Rushing, Prajbit Singh, Wilian Tschudi, Randy Zoodsma.

目录

第 1 章 概论	1
1.1 定义	2
1.2 液冷系统	4
第 2 章 设施冷却系统	7
2.1 概述	7
2.2 设备	11
2.3 排热设备	14
2.4 水泵	16
2.5 能量回收设备	17
第 3 章 设施管路设计	19
3.1 概述	19
3.2 空间考虑	20
3.3 管路的基本构架	20
3.4 冷水站房管路布置	29
3.5 水处理问题	30
3.6 地震防护	30
第 4 章 数据通信设备液体冷却方法	31
4.1 液体冷却机架和机柜概述	31
4.2 风冷与液冷数据通信设备概述	35
4.3 冷液分配装置(CDU)概述	39
第 5 章 冷水系统冷却基本要求	45

5.1 建筑设施冷水系统(CHWS) 45

5.2 非冷水设施系统 58

第 6 章 液冷基础设施对工艺冷却系统的要求 61

6.1 基于水的工艺冷却系统 61

6.2 非基于水的工艺冷却系统 65

参考文献..... 67

术语汇总..... 69

附录..... 75

第 1 章

概论

以全面的观点看, 安装有信息技术(Information Technology—IT)设备的信息中心采用了几个冷却层次。首先得有一个公用机房, 它为数据中心全面供冷。此公用机房可以是专用于数据中心的独立建筑物; 在大多数情况下是一幢大建筑物中的一部分, 它也向建筑物内的其他部位供冷, 数据中心在此建筑物内。向建筑物/数据中心供冷的公用机房一般采用大型冷水机组。冷水可用于向数据中心内的计算机房空调机组(Computer Room Air-Conditioner—CRAC)供冷, 或向安装在数据中心外(甚至在建筑物外)的大型空调器供冷。数据中心空调也可由制冷机组(如直接膨胀机组或膨胀型装置)提供, 而冷凝机组一般置于建筑物围护结构之外。在这种情况下, 便没有水被输送到数据中心楼层。

如今, 数据中心内的 IT 设备一般采用风冷方法来冷却。随着机架热负荷在逐渐上升, 为许多数据中心提供足够风量或足够冷风的能力正趋于极限。在此情况下, 就需要实施液体冷却(后称“液冷”)来解决。液冷的总体目标是作为补充, 尽可能多地将废热传递给设施提供的水, 以减少机架所需的总风量。此外, 采用液冷也可通过冷却微处理器, 降低其温度, 使数据通信设备获得更好的性能。

本书由美国采暖制冷空调工程师学会技术委员会 9.9(ASHRAE Technical Committee 9.9)编著, 可为设备制造商和设备运行人员提供一份液冷指南。它并未包括所有形式的液冷源(如吸收式冷水机组), 但代表了被普遍接受的液冷系统。本书的内容涵盖了液冷、液冷的各种配置和液冷要求, 特别是为以下内容提供了指南:

- 冷水系统运行要求(5.1.1.1 节)
- 冷水流量推荐值与污垢系数(5.1.1.2 节)
- 冷水流速考虑(5.1.1.3 节)
- 冷水质量/成分(5.1.1.4 节)

- 冷水湿润材料要求(5.1.1.5 节)
- 制冷剂配管(5.2.2 节)
- 机架水运行要求(6.1.1 节)
- 机架水流量(6.1.2 节)
- 机架水流速考虑(6.1.3 节)
- 机架水质量/成分(6.1.4 节)
- 机架非基于水冷却的运行要求(6.2.1 节)

书中还有如下内容:

- 冷水配管
- 电源与连接
- 监控
- 可靠性与可利用性
- 调试

以下各章是介绍数据中心内可能有的各种液冷系统,更重要的是介绍它们怎样进行结合,将热量从一个液体系统传给另一个系统。第2章、第3章为读者介绍冷水与冷却水系统(见图1.1)。随后,第4章是叙述数据通信设备冷却方案(工艺冷却系统与数据通信设备冷却系统,如图1.1所示)。在第5章中,通过为冷水系统与工艺冷却系统之间的结合要求提供指南,将液冷系统融入其中。第6章概述了依附数据通信电子设备机架,将重点放在工艺冷却系统,用于帮助数据中心进行热控制的液冷系统的要求。第7章有扩展的参考资料和书目,让读者可找到更多相关内容。第8章提供了本书中一些有用的共用术语。此外,附录中还有用户水质测定结果。

1.1 定义

本书中将采用以下术语:

- **液体冷却(液冷)**——为了运行,必须提供冷却液体给一个实体的过程。
- **液冷机架**——为了运行,必须提供冷却液体进、出其内的机架或机柜。
- **液冷数据通信设备**——为了运行,冷却液体必须进、出其内进行循环的数据通信设备。
- **液冷电子设备**——被直接提供用于冷却的冷却液体、且无其他传热

形式的电子设备。

在以上每一个定义中,当存在着两相的液体冷却时,进入机架、设备或电子设备内循环的是液体,从机架、设备或电子设备出来的是气体与/或气—液混合物。对液冷这样的定义虽然较ASHRAE的“数据通信设备电力趋势与冷却应用”中的定义显得更宽广些,但对当今数据通信行业中采用的“液冷”是很贴切的。

应该记住,以上定义并未将冷却液体局限于水是很重要的,应用时可考虑采用各种液体,包括在部分冷却回路中的液体可呈气相。

- 风冷——为了运行,只有空气必须被送到一个实体中。
- 风冷机架——为了运行,只有空气必须被送到机架或机柜内。
- 风冷数据通信设备——为了运行,只有空气被送到数据通信设备内。
- 风冷电子设备——空气被直接送到电子设备中作冷却用,且无其他传热形式。

当液体用在不与电子设备进行热交换的冷却回路时,系统便称为风冷。最明显的例子是冷水型计算机房空调机组(CRACs),目前它们通常配置在许多数据中心的周边。另一方面,在计算机内采用热管或泵送回路,液体留在服务器的封闭回路中,如果是用流经电子设备底盘的空气将热量从内部的封闭回路中带走,则它仍称风冷电子设备。

液冷有许多方案可供选择,以下是一些实例(液冷方案综述见第4章)。

- 一个方案是采用安装在数据通信设备内的风冷型制冷剂系统,将冷的制冷剂送到安装在处理器内用液冷的冷却板处。这样的装置使来自液体—空气换热器(即冷凝器)的受热后的空气被直接排到数据中心的环境内。从数据中心的角度看,机架与电子设备被认为是风冷的,因为没有液体管路穿过机架外壁。

- 另一个不同的方案是,液体—空气换热器可安装在机架的上面、下面,或侧面,或后面。在这种情况下,换热器从最终被排到数据中心内的空气中移走了大部分机架废热。这种方案并未减少电子设备所需的风量,但确实降低了随后被排回到数据中心环境内的空气温度。此例介绍的是液冷机架,因为液体管路穿过了机架的外壁,详见图4.8。

- 还有一个方案是采用液冷的冷却板。它利用被液体—液体换热器冷却的水、非电介质或其他冷却液进行冷却,而换热器将废热排到设施提供的水中。将废热排到设施提供的水中是利用了终端在冷却塔或制冷站房的一个或多个回路。这种液冷装置减少了排到设施环境中的废热量,也减少

了机架内电子设备所需的风量。从数据中心的角度看，此装置介绍的是液冷机架和电子设备，因为液体管路穿过了机架外壁，也进入服务器。系统详见图 4.10。

1.2 液冷系统

以上定义适用于数据中心内用空气与液体进行冷却，但它并不限制数据中心内可能的各种液冷回路。图 1.1 表示了有多个液冷回路的典型液冷设施。以下介绍有些变更考虑的每一种回路，所用术语将用于书中的其余部分。

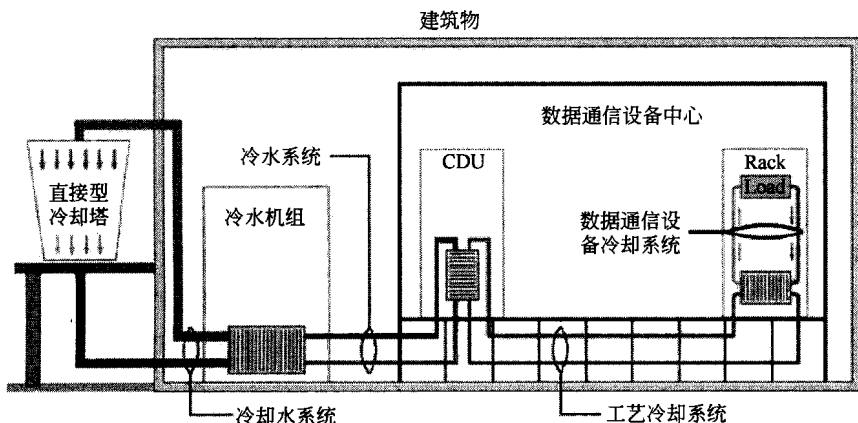


图 1.1 数据中心内的液冷系统/回路

译者注：CDU 为冷液分配装置；Rack 为机架；Load 为机架内需冷却的设备负荷，以下同

(1) 数据通信设备冷却系统 (Datacom Equipment Cooling System—DECS)：此系统并不延伸到 IT 机架之外。这是一个机架内的回路，用于将来自产热部件（中央处理器、存储器、电源等）的热量传给 IT 机架内的液冷换热器。有些配置也许无此回路，让来自冷液分配装置 (Coolant Distribution Unit—CDU) 的流体直接流向负荷。此回路也许以单相或两相换热形式进行工作，用热管、热虹吸管、泵送流体与/或蒸汽压缩循环促进换热。数据通信设备中采用的典型液体有：水、乙二醇或丙烯二醇与水的化合物、制冷剂或非导电介质。数据通信设备冷却系统至少应有集热换热器、排热换热器，另外，也会有一些能进一步强化功能的部件，如压缩机/水泵、控制阀、电子控制器等。

(2) 工艺冷却系统 (Technology Cooling System—TCS)：该系统一般不延

伸到 IT 房间之外,除非在系统配置时将 CDU 置于数据中心外。它作为一个专用回路,是要将数据中心内设备冷却系统的热量传递给冷水系统。此系统尤其受到推荐,因为它需要处理数据通信设备冷却系统内换热器要求的流体的特殊质量问题——温度、纯度与压力等。用于工艺冷却回路的典型流体有水、乙二醇或丙烯二醇与水的化合物、制冷剂或非导电介质。此回路也以单相或两相换热形式进行工作,用热管、热虹吸管、泵送流体与/或蒸汽压缩循环促进换热。工艺冷却系统至少应有集热换热器(多半是数据通信设备冷却系统的集成件)、排热换热器与连接管路。该系统也会有一些能进一步强化功能的活动部件,如压缩机/水泵、控制阀、电子控制器、过滤器和水力循环附件等。

(3) 冷水系统(Chilled-Water System—CHWS): 此系统是典型的设施级系统,也可能含一个用于 IT 房间的专用系统。它主要由数据中心冷水机组与 CDU 之间的系统组成。冷水系统包括了冷水机组站房、水泵、水力循环附件和设施级所需的分布管路。冷水机组站房内一般利用蒸汽压缩循环机组,将供水温度冷却到 $43\sim 48^{\circ}\text{F}$ ($6\sim 9^{\circ}\text{C}$),大大低于室内环境温度 [一般为 75°F (24°C),最高达或超过 95°F (35°C)]。冷水系统或许应对它的重要部分如冷水机组、冷却塔与水泵提供一定程度的冗余量。

在冷水系统中,也可采用直接膨胀(DX)设备。DX 设备将热量直接散发到大气中,所以它是这类设计方法中的最后一个回路,它的局限性是分离系统的距离和运行费用。一般情况下,冷量 400RT 是大多数系统经济性的平衡点。除非在其他情况下能确保采用更大的 DX 系统是合理的,否则对于较大系统设计非 DX 系统更好。在此回路设计中,对个别或特殊情况,可引入较小的热直通(thermal ride-through)装置。

(4) 冷却水系统(Condenser-Water System—CWS): 此系统由冷却塔与数据中心之间的液体回路组成。它也是典型的设施级系统,可包括,也可不包括用于 IT 房间的专用系统。冷却塔回路一般属以下两种类别之一:基于湿球温度的系统;基于干球温度的系统。基于湿球温度的系统是以水的蒸发过程来实现其功能。由于它利用了较低的湿球温度,所以提供的冷却水温度较低。基于干球温度的系统是依靠冷却水温度与环境空气温度之差来实现其功能的。为了使基于干球温度的系统进行传热,冷却水温度从本质上必须高于环境空气干球温度,让足够的热量从冷却水传递给室外环境空气。这些回路一般有:室外排热装置(冷却塔或干式液体冷却器)、水泵、膨胀水箱、水力循环附件以及分布管路。

以下情况可以省略这些系统中的任一系统。例如,当 CDU 的流体直接

流向负荷时，数据通信设备冷却系统可被省略；或当来自冷水系统的流体流向机架内的换热器时（这是极不鼓励的），工艺冷却系统就可被省略，或工艺冷却系统与数据通信设备冷却系统可被省略（这也是极不鼓励的）。

对于每个数据中心，通常范围内的风冷设备、蒸发式水冷设备以及制冷剂种类和压缩机效率，都可以有独特的设计。对于冷却部件的选择，设计工程师必须考虑经济运行、初投资、扩展性、冗余量以及故障允许度等。由于所有系统相互联系，所以要更深入地设计很复杂。例如，一个回路小了，就会限制热量很好地散发到下一级，故在设计数据中心时，必须评估相互之间的依赖性。ASHRAE 的数据中心系列丛书，特别是：“数据通信设备中心设计研究(Design Considerations for Datacom Equipment Center)”、“数据通信设备电力趋势与冷却应用(Datacom Equipment Power Trends and Cooling Application)”、“数据处理环境热指南(Thermal Guide for Data Processing Environments)”等，为各种系统及其设计要求提供了更详细的资料。