

数据中心气流管理基本点： 封闭系统的 经济效益

编辑者：David Knapp
产品营销经理

2017 年 1 月发布

美国和加拿大
+1-800-834-4969
加拿大，安大略省，多伦多
+905-850-7770

techsupport@chatsworth.com

拉丁美洲
+52-55-5203-7525
墨西哥境内免费
01-800-01-7592
chatsworth.com.co

欧洲
+44-1628-524-834
chatsworthproducts.co.uk

中东和非洲
阿拉伯联合酋长
国，迪拜
+971-4-2602125
chatsworth.ae

亚太地区
+86 21 6880-0266
chatsworth.com.cn



CHATSWORTH
PRODUCTS

数据中心气流管理基本点：封闭系统的经济效益

简介

根据 2016 年 6 月《美国数据中心能源使用报告》¹ 推断的数据，单个装满服务器的机架的平均机架密度在 2020 年将达到 4kW 到 11kW 之间。当机架密度超过 4kW，传统热通道/冷通道配置将不再那么有效，了解到这一点非常重要。热空气在机柜顶部和内部流通形成热点，这种情况通常会导致高昂成本以大量补充冷空气。

通过利用封闭系统，有效地将热空气与冷空气隔离，并引导热排气流离开设备、返回精密空调，您就可以切实、稳定地驱散此类机架内的热量。更重要的是，使用封闭系统谨慎管理气流能同时实现多个冷却系统调节，从而降低任何机架密度的制冷能源成本。

由 Chatsworth Products (CPI) 发布的本白皮书将探讨部署完整的封闭系统将如何降低数据中心的整体冷却系统能源成本，为您所在场所预期的机架密度提升做好准备。

简讯

如需与三种基本类型封闭系统相关的更多详细信息，包括每种系统架构和设计考量因素对比，请阅读本文的姊妹篇—[数据中心气流管理基本点：封闭系统对比](#)。

气流封闭装置的能源效率

有效隔离热空气和冷空气的封闭系统能够严格控制入口温度，最优化调节气流量和回程空气温度升高，从而实现机房温度的稳定提升。反过来，冷却系统的效率得以提高，节能器被用于“自由冷却”的天数也会增加。气流量最优化意味着需操作的空气处理器数量减少，冷却水的温度将升高，进而提高冷却效率，电力使用效率（PUE）也将因为用于冷却设备的整体能源的减少而降低。

所有这一切都归功于部署完整封闭系统的数据中心内（机架和机房内）热空气和冷空气的严格隔离。

完整封闭系统让您可以：

- 保持对入口温度的严格控制
- 减少供给的空气量
- 提高供给空气的温度
- 提高冷却水的温度

这些调节的结果是：

- 改善冷却装置的效率
- 改善冷却器的效率
- 增加使用节能器进行自由冷却的时数
- 降低 PUE

简讯

“自由冷却”时间指的是能够使用节能器取代冷却器的时数。“自由冷却”并非免费，但节能器运行的成本通常比冷却器低。当室外温度低于冷水回路的温度时，节能器会将热量排到室外。所以，如果冷水回路的温度升高，一般情况下使用节能器取代冷却器的时数也会增加。除此以外，较高的冷却水温度通常还能改善冷却器效率。

保持对入口温度的严格控制

在部署完整的封闭系统后，第一个可观察到的效果就是室内温度的变化。通过防止空气流通，阻隔供气和排气混合，控制热排气能减少或消除热点。由此达成的结果是，机架前的温度差异会缩小，如下 [图 1] 所示。

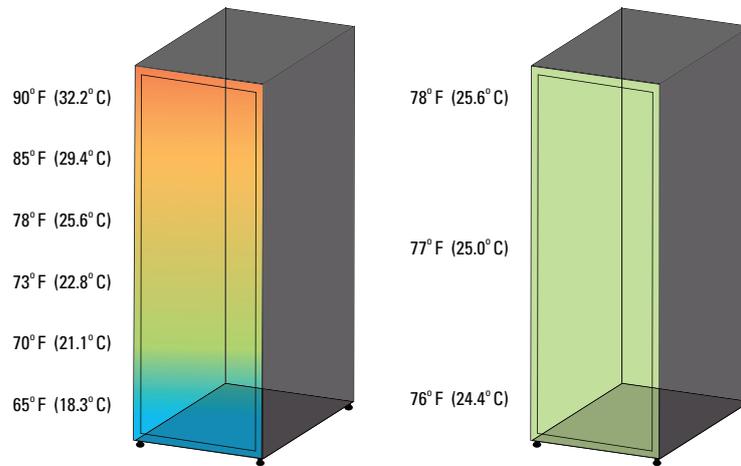


图 1: 传统热通道/冷通道应用 (左侧) 和典型封闭系统 (右侧) 中入口空气温度的差异。注: 热通道/冷通道应用中的温度差异要大得多。

减少供给的空气量

完整封闭装置通常还能减少输送到设备的空气量。传统热通道/冷通道系统经常会过量供气，以尝试克服机柜顶部与周围的旁路气流问题。部署封闭装置后，气流量通常就会减少。

针对空气处理器未安装变速风扇的现有场所，这就意味着关掉部分装置，从而降低能耗，节约成本。而对于装置已安装变速风扇的场所，风扇速度可根据风扇定律被调小。由于流动的空气较少，风扇转动的速度也较小（部分负荷运转），消耗的整体能源也会减少。它的实际原理是，所有装置都以较低的部分负荷运转，而不是让几台装置满负荷运转。如果需要，在持续降低能源成本的同时，此配置依然能提供 N+1 或更高冗余系统的承载能力。

在开放和封闭空间之间保持充足压差，让废气排到空气处理器中，这一点很重要。借助自动化技术，此压差还能细微精确调节，以进一步降低能源成本。

提高供给空气的温度

由于封闭装置导致供给空气的温差减小，操作员能稳定地升高室内温度，以使其尽可能接近所需的设备入口温度。ASHRAE 数据通信系列 1，数据处理环境散热指南，第四版 (RP-1499)² 定义了数据中心计算机房内空气冷却的推荐与允许范围内的设备环境规范，如下 [表 1]。

空气冷却、工作条件的设备环境规范，2015 年				
分级	低 °F (°C)	高 °F (°C)	湿度范围	最高露点 °F (°C)
推荐 (A1-A4)	64.4 (18)	80.6 (27)	露点为 15.8°F (-9°C) 至 59°F (15°C) 且相对湿度为 60%	
允许范围 A1	59 (15)	89.6 (32)	露点为 15.8°F (-9°C) 且相对湿度为 8% 至露点为 80.6°F (27°C) 且相对湿度为 80%	62.6 (17)
允许范围 A2	50 (10)	95 (35)	露点为 10.4°F (-12°C) 且相对湿度为 8% 至露点为 80.6°F (27°C) 且相对湿度为 80%	69.8 (21)
允许范围 A3	41 (5)	104 (40)	露点为 10.4°F (-12°C) 且相对湿度为 8% 至露点为 80.6°F (27°C) 且相对湿度为 85%	75.2 (24)
允许范围 A4	41 (5)	113 (45)	露点为 10.4°F (-12°C) 且相对湿度为 8% 至露点为 80.6°F (27°C) 且相对湿度为 90%	75.2 (24)

注: 最高海拔为海平面上 10,000 英尺 (3050 米)，最大的变动率为 36 小时内 9° F (20 小时内 5° C)。

表 1: 2015 年 ASHRAE 数据通信系列 1 散热指南摘要，数据处理环境散热指南，第四版 (RP-1499)²。参阅指南，以了解完整的环境建议。

目前的指南建议冷却供给空气应被输送至推荐温度范围为 64.4° F 至 80.6° F (18° C 至 27° C) 的数据中心环境，露点为 15.8° F 至 59° F (-9° C 至 15° C)，相对湿度为 60% 以确保进行正确冷却。

在传统开放热通道/冷通道配置中，冷却空气可能会以更低的温度输送，例如，55° F (12.8° C) 以克服供给和返程空气混合的问题。不过，当热通道和冷通道实现彻底隔离，热返程空气循环就会消除。克服空气混合的问题不再需要温度更低的空气，将供给空气的温度安全地提高到推荐的 64.4° F 至 80.6° F (18° C 至 27° C) 范围也成为可能。

一般来说，服务器设备现在也能在较高的温度中高效运作。典型服务器规格³ 现已列出 50° F 至 95° F (10° C 至 35° C) 范围内连续的工作温度，高于 ASHRAE 指南中给出的推荐范围。部分服务器制造商甚至列明在标准服务器规格范围以上环境中运行的性能信息，即 >95° F (>35° C)。另外，指南还规定了四个允许范围和设备分级，高温阈值跨度可达 80.6° F (27° C) 至 113° F (45° C)。如果设备有规定的工作允许温度范围（级别 A1、A2、A3、A4），部分操作员也会选择至少在每年的一段时间内将环境设定到允许范围内，以实现更多的能源节省。

提高供给空气温度的好处是，由于相应的返程空气温度更高及在使用节能器时有更多“自由冷却”时数，冷却装置的效率也得以改善。

提高冷却水的温度

在冷却水系统中，流体被用于传送精密空调器和冷却器及/或节能器之间的热量。根据所需的条件和系统设计，升高冷水（流体）的温度可能也有好处。

提高冷水温度的好处是，改善机械冷却时的冷却器效率，并在在使用节能器时获得更多“自由冷却”时数。

改善冷却装置的效率

借助于冷水冷却装置，提高返程空气温度通常会导致显热冷却效果加强。如下 [表 2]。封闭系统会将热排气隔离、引导回冷却装置，这样通常也会提高返程空气的温度。

		不同返程空气温度的净显热冷却（以 MBH 为单位） 针对下流式装置，包括额定 CFM 和 ESP 的电机热量 50° F EWT, 0% 乙二醇溶液, 14° F ΔTw		
容量 kW	Stulz 型号	75° FDB/62.5° FWB 50%RH, 55° FDP	80° FDB/64.2° FWB 42%RH, 55° FDP	85° FDB/65.9° FWB 36%RH, 55° FDP
60	CFD-060-C1	124	185	242
90	CFD-090-C1	141	208	270
120	CFD-120-C1	167	254	332
150	CFD-150-C1	171	251	327
180	CFD-180-C1	223	324	416

注：数值的单位是 MBH (千 BTU/hr)，所以 124 MBH 即 124,000 BTU/hr。单位换算：12 MBH (或 12,000 BTU/hr) = 3.5 kW (或 3516 W) = 1 吨 (制冷)。

表 2: 表格对比当返程空气温度升高时不同冷水冷却装置的制冷能力（从左至右）。资料来源：STULZ CyberAir CW 工程手册⁴。

在现有设施中，一旦封闭装置更有效地隔离空气与控制温度，这样的关系通常允许数据中心有更高的密度。在新的设施中，这层关系能被用于依据预期的热负荷优化装置的尺寸，降低首次成本和项目的资本开支。

改善冷却器的效率

由于提高供给空气温度引起返程空气温度随之上升，相应冷水回路中的冷却水温度也会因此上升。在进行机械冷却时，更高的冷水回路温度会优化冷却器的效率。结果是，冷却冷水的相对能源成本降低，如下 [图 2]。

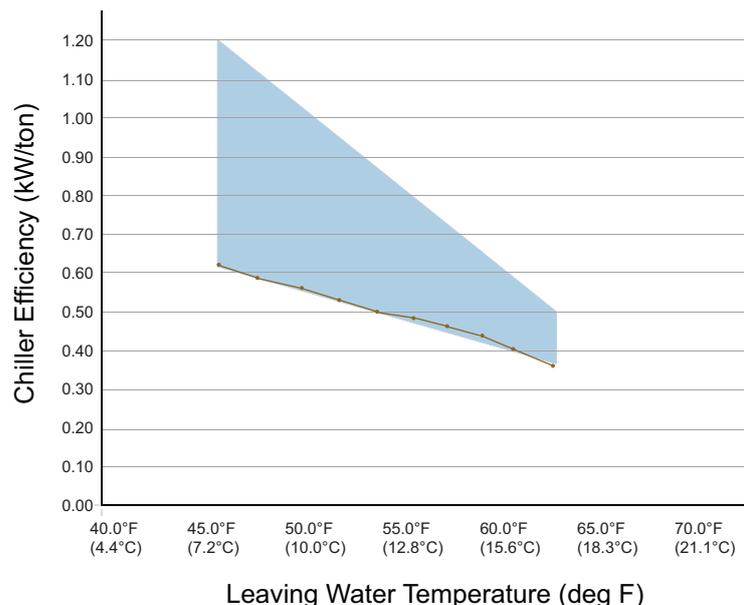


图 2: 冷却设备效率范围 (kW/吨), 作为出水温度的函数, 所有其他参数基本上拥有常量。根据 ASHRAE 数据通信系列 6, 数据通信设备能源效率的最佳做法, 第二版 (2009 年)。⁵

增加使用节能器进行自由冷却的时数

同样地, 如果通过节能器将热量排到室外, 更高的室内温度和相应更高的冷水回路温度通常也意味着更多的“自由冷却”时数。

下表 [表 3] 对比了在搭配使用不同类型的节能器时, 传统热通道/冷通道配置与封闭装置的工作条件。此情况基于 CPI 管道排气机柜: 带垂直排气管系统的 F 系列 TeraFrame® 机柜。请注意, 管道排气机柜的供给空气温度 (第二排) 比其他机柜高 20° F (11.1° C), 但依然在 ASHRAE 指南 64.4° F 至 80.6° F (18° C 至 27° C) 的推荐温度范围内。另外, 在配备与不配备封闭装置的情况中, 户外温度 (最后一排) 有显著的差异。(室外空气温度是节能器能正常使用的最高温度阈值。) 因此, 在大多数设施内, 结合使用封闭装置和节能器可以在每年创造更多“自由冷却”时数, 减少需要进行昂贵机械冷却的时数。

	不同系统的一般工作温度差异				
	热通道/冷通道配置 开放回风		管道排气机柜配置 F 系列 TeraFrame 带垂直排气管的机柜		
	大多数数据中心	TIA -942 最佳做法	装配节能器的 CRAC	Kyoto Cooling	蒸汽式 节能器
室内温度	60° F 至 85° F (16° C 至 29° C)	68° F 至 77° F (20° C 至 25° C)	77° F (25° C)	77° F (25° C)	77° F (25° C)
供给空气	52° F 至 55° F (11° C 至 13° C)	52° F 至 55° F (11° C 至 13° C)	77° F (25° C)	77° F (25° C)	77° F (25° C)
冷却水	42° F (6° C)	42° F (6° C)	65° F (18° C)	不适用	65° F (18° C)
室外温度	37° F (3° C)	37° F (3° C)	60° F (16° C)	72° F (22° C)	77° F (25° C)

注: 室内空气温度是指设备进口口的气温。供给空气温度是指 CRAC/CRAH 送风口的温度。冷水温度是指产生所需供给空气温度所需的水温。室外空气温度是指使用节能器自由冷却所需的室外空气温度。蒸汽式节能器温度是指湿球温度; 所有其他温度都是干球温度。

表 3: 在搭配使用不同类型的节能器时, 传统热通道/冷通道配置与封闭装置的预估工作条件。

根据所在位置 (一般受天气状况影响)、节能器类型和工作参数, 您所在的场所的“自由冷却”时数也会有所不同。但无论如何, 使用配备封闭系统的节能器将增加“自由冷却”时数和对应的成本节约。另外, 在更多设施内部署封闭系统能实际利用节能器, 以作为机械冷却的替代方案。

简讯

要估计“自由冷却”能为您所在的设施节约多少能源，请使用由绿色网格联盟 (TGG) (<http://cooling.thegreengrid.org/>) 所发的在线自由冷却估计节约工具⁶。

降低 PUE

PUE 是由 TGG 发布，用于测量数据中心基础设施能源效率的度量标准，它是总设施能源与 IT 设备供电能源的比值。本报告中所描述的冷却系统调节联合作用能通过部署完整的封闭系统得以实现，降低整体设施的能源消耗值，进而降低 PUE。

很多机构，包括政府，现在都有明确的 PUE 目标。例如，在 2016 年 3 月，美国政府⁷ 宣布现有分层式联邦数据中心运转时的 PUE 必须低于 1.5，而新建设施则必须为 1.4，甚至更低。而在中国最蓬勃发展的制造中心—北京，当地政府最近发布禁令，该市内 PUE 高于 1.5 的任何数据中心都不得运转。

简讯

如需 PUE 详细说明，请见 TGG 白皮书 #49PUE：度量标准的全面性检查⁹，或参考 ASHRAE TC9.9 指南手册 ASHRAE 数据通信系列 11，PUE™：度量标准的全面性检查。（2013 年）¹⁰。

降低开支、增加容量，提升能源效率

针对现有数据中心，通过封闭系统进行有效气流管理有两大好处：

1. 它能通过减少数据中心环境冷却所需的必要电力消耗，从而降低经营费用 (OpEx)。反过来，PUE 率也会受到有利的影响。
2. 它能让数据中心的操作员提高服务器的负载能力。只要将热空气和冷空气完全隔离，并有必要的电力、冷却和气流供给，就有可能在较高温度环境中实现高密度服务器负载，同时为服务器提供充足的冷却以防止过热和关机。

对于新设施来说，建造数据中心时能节约更多资本费用 (CapEx)。制定合理的封闭装置策略可以消除添置更多冷却装置和安装高架地板的必要性。

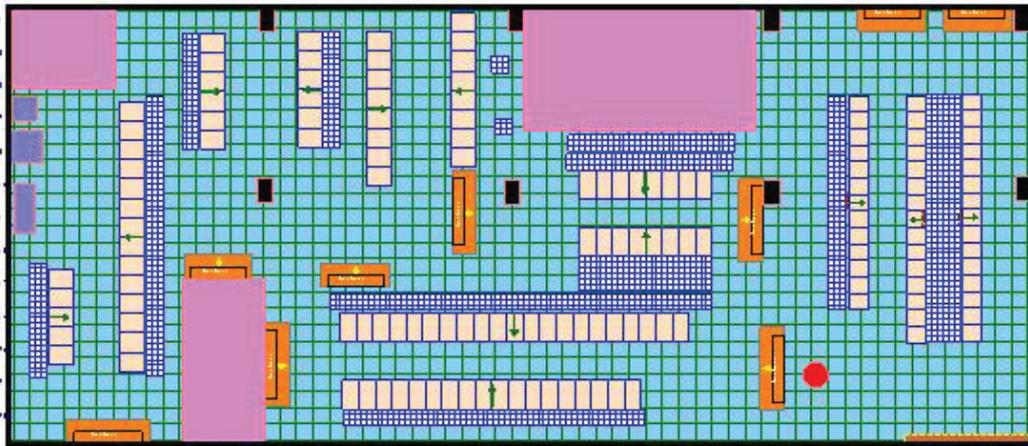


图 3：将此数据中心的横向四排高密度机柜改装成使用垂直排气管的管道排气机柜，减少了超过一半不必要的冷水冷却装置。资料来源：CPI 利用 TileFlow 设计的 CFD 模型。

上图 [图 3] 显示安装管道排气封闭装置后的数据中心布局。两排较短横向机柜的平均负载为 8kW，两排较长的横向机柜的负载更高，平均为 16 kW。纵列则是低密度机柜（每台 2 kW 至 2.5 kW），或是连接架。8 kW 和 16 kW 机柜全部接入吊顶返程空气夹层中，在低密度机柜热通道的上方加装天花格板以防止室内的空气流通。

这样的布局消除了高密度机柜的严重热点问题，并使返程空气温度升到足够高以提升 CRAC 效率。结果就是，数据中心操作员可以将该环境中的 CRAC 机组数量从十二台减少到七台，如下 [表 4]。（室内两台 CRAC 机组处于休眠状态，以确保拥有冗余的冷却系统。）

部署封闭系统 以降低所需的散热能力				
冷却装置 制造商/型号	开放热通道/冷通道		管道排气机柜	
	数量	总负载	数量	总负载
Stulz CCD-600-CWE	2	40 冷吨	0	0 冷吨
Stulz CCD-900-CWE	7	210 冷吨	3	90 冷吨
Stulz CCD-1800-CWE	2	60 冷吨	3	90 冷吨
Stulz CCD-2300-CWE	1	40 冷吨	1	40 冷吨
总负载	部署前	350 冷吨	部署后	220 冷吨

表 4: 在将 [图 3] 所示的数据中心高密度机柜改装成管道排气机柜后, 几乎一半冷水冷却装置变得不再有必要。资料来源: CPI 利用 TileFlow 设计的 CFD 模型。

在部署封闭装置后, 该空间每年的 HVAC 能源要求减少了 700,000 kW, 此数字还未计入使用节能器节约的任何更多能源。此空间 (实际热负荷为 800 kW) 的年度电力节约成本超过 60,000 美元, 再加上必要 CRAC 机组减少所带来的其他成本节约 (与四排机柜的垂直排气管的额外成本相比)。

结论

有效的气流封闭通过完全隔离热通道与冷通道得以实现, 它能带来众多好处, 包括:

- 室内供给空气温度可以提升到 ASHRAE 指南 64.4 至 80.6° F (18° C 至 27° C) 的推荐范围内。
- 将更高温度的排气返回至装置, 进而改善冷水冷却装置的能源效率。此举能节省多余吨数的制冷能力, 而无需增加冷却电平。
- 当室内空气温度升高时, 冷水回路内的冷凝水温度也有可能升高, 从而将装置冷却至 65° F (18.3° C) 左右。
- 若冷凝水的温度被提升至 65° F (18.3° C), 节能器可以在外部温度降到 60° F (15.6° C) 时进行“自由冷却”。在这种情况下, 大多数设施内的数据中心“自由冷却”时数随之增加。
- 当节能器为数据中心进行“自由冷却”时, 冷却器就会关闭, 以节约电力。
- 在现有数据中心内, 封闭系统能通过减少数据中心环境冷却所需的必要电力消耗, 从而降低经营费用 (OpEx)。
- 而在全新的数据中心, 通过减小部分冷却系统组件尺寸并消除购置额外冷却装置的必要性, 封闭系统能减少资本投入 (CapEx), 包括装置操作或建造高架地板环境所需的相关能源成本等。
- 封闭系统让数据中心的操作员可以提高数据中心内的服务器负载能力, 同时提供充分的冷却。
- 通过改善冷却性能和电力使用情况, PUE 比值得以显著降低, 以符合机构目标和最新的规章要求。
- 虽然本报告主要探讨冷水解决方案, 基于冷却剂 (DX) 的冷却解决方案也能在部署封闭装置解决方案后更好地实现冷却成本节约。DX 冷却系统也可以通过节能器配置改善冷却成本节约。

封闭装置所能达成的具体结果会因每个设施场所而异。整体性能、系统初始成本 (CapEX)、估计经营成本 (OpEx), 最后的节约成果和投资回报也会有所不同。

如果您有兴趣了解更多关于封闭系统如何改善所在设施绩效的信息, 请联系 CPI。我们的现场应用工程师将帮助您确定适于您的场地的解决方案, 提出具体建议并提供关于实施封闭装置如何影响您的盈亏的分析。 

参考资料

- ¹美国能源部，数据中心能源效率专家中心，恩内斯特奥兰多劳伦斯伯克利国家实验室。2016年6月。LBNL-1005775 美国数据中心能源使用报告。<https://datacenters.lbl.gov>; <https://datacenters.lbl.gov/sites/all/files/DataCenterEnergyReport2016.pdf>
- ²ASHRAE。2015年。ASHRAE 数据通信系列 1: 数据处理环境散热指南，第四版。技术委员会 9.9。
- ³Dell。2016年。Dell PowerEdge R630 规格示例，中型服务器。Dell PowerEdge R630 所有者手册，环境规格。于 2016 年 11 月下载。网站：http://www.dell.com/support/manuals/us/en/19/poweredge-r630/R630_OM_Pub/Environmental-specifications?guid=GUID-793BAFD0-26C6-4B75-B4BD-4BE1224591F6&lang=en-us
- ⁴STULZ。2016年。STULZ CyberAIR CW 工程手册，QECS009D，性能数据。于 2016 年 11 月下载。网站：<https://www.stulz-usa.com/en/precision-cooling-indoor/cyberair-cw-and-dx/>; Document: <http://repository.stulz.com/7A83AF13/>
- ⁵ASHRAE。2009年。ASHRAE 数据通信系列 6: 数据通信设备能源效率的最佳做法，第二版。技术委员会 9.9。
- ⁶绿色网格联盟。2009年。自由冷却估计节约工具。网站：<http://cooling.thegreengrid.org/>。
- ⁷美国联邦政府。白宫。2016年8月。备忘录 M-16-19。主题：数据中心优化计划 (DCOI) https://www.whitehouse.gov/sites/default/files/omb/memoranda/2016/m_16_19_1.pdf
- 美国联邦政府。白宫。2015年6月。第 13693 号行政命令关于下个十年联邦可持续性发展计划的实施说明
- 美国联邦政府。白宫。第 13693 号行政命令。2015年3月。下个十年联邦可持续性发展计划。<https://www.whitehouse.gov/the-press-office/2015/03/19/executive-order-planning-federal-sustainability-next-decade>
- ⁸耶鲁360度环境观察 (e360 文摘)。2016年8月。针对中国的大型数据中心，缩减能源和用水的推力。网站：http://e360.yale.edu/digest/china_data_centers_cut_energy_water_use_alibaba/4786/
- ⁹绿色网格联盟。2012年10月。白皮书 #49。PUE: 度量标准的全面性检查。网站：<http://www.thegreengrid.org/en/Global/Content/white-papers/WP49-PUEAComprehensiveExaminationoftheMetric>
- ¹⁰ASHRAE。2013年。ASHRAE 数据通信系列 11: PUE™: 度量标准的全面性检查。技术委员会 9.9。

致谢

本报告介绍了气流管理和合并的基本知识，总结并更新了前一份由退休员工 Ian Seaton 所创作 CPI 白皮书的内容。

Seaton, Ian。2008年3月。数据中心节能的最佳机遇。白皮书。

Seaton, Ian。2009年4月。CPI 被动型冷却解决方案：提升密度并降低成本的途径。白皮书。

Seaton, Ian。2009年5月。管道排气机柜—管理热通道/冷通道外的排气流。白皮书。

Seaton, Ian。2012年5月。多少封闭装置才足够？白皮书。

编著者



David Knapp - 产品营销经理

David Knapp 在电信行业拥有 18 年多的经验，作为产品应用专家和技术传播专员，在 CPI 先后担任技术支持、技术文档工程师和产品营销经理。他目前专注于数据中心、企业网络和电源管理解决方案。



CHATSWORTH PRODUCTS

尽管已采取一切措施确保所有信息的准确性，但 CPI 对任何错误或疏漏不承担责任，并且保留修改所列服务及产品的信息和描述的权利。

©2017 Chatsworth Products, Inc. 保留所有权利。Chatsworth Products, CPI, CPI Passive Cooling, eConnect, RMR, MegaFrame, Saf-T-Grip, Seismic Frame, SlimFrame, TeraFrame, GlobalFrame, CUBE-IT PLUS, Evolution, OnTrac, QuadraRack 和 Velocity 是 Chatsworth Products 的联邦注册商标。Simply Efficient, Secure Array, EuroFrame, Click-Nut 和 Motive 是 Chatsworth Products 在联邦的注册商标。2/17 MKT-60020-678.zh-CN