

新一代

绿色数据中心的 规划与设计

钟景华 朱利伟 曹 播 丁麒钢 等著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

新一代绿色数据中心的 规划与设计

钟景华 朱利伟 曹 播 丁麒钢 等著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书基于第四次工业革命前夜的变革背景，总结最新的数据中心设计/应用理论、方法和实践经验，基于国内、国际最新的数据中心建设标准，为中国数据中心规划设计提供全新的理论架构、设计逻辑和方法、评估模型与实践。

本书秉承技术中立，尊重国标及行业通用规范，强调标准与规范在建设中的指导作用，注重理论与实践相结合，不仅创建合理的理论体系，也提出在实践中可操作的评估方法与具体实践步骤。

本书供数据中心建设运营方（包括金融、通信、政府、企业、军队、公共设施、社会机构等）、各设计院工程技术人员、系统集成/智能建筑/IT 等行业技术人员参考。也可作为高校与科研院所的参考用书。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有，侵权必究。

图书在版编目（CIP）数据

新一代绿色数据中心的规划与设计/钟景华等著. —北京：电子工业出版社，2010.8
ISBN 978-7-121-11467-0

I. ① 新… II. ① 钟… III. ① 数据库系统—规划 ② 数据库系统—系统设计 IV. ① TP311.13

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2010）第 146017 号

策划编辑：刘宪兰

责任编辑：徐云鹏 特约编辑：张燕虹

印 刷：北京东光印刷厂

装 订：三河市皇庄路通装订厂

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本：787×1092 1/16 印张：30 字数：768 千字

印 次：2010 年 8 月第 1 次印刷

印 数：3000 册 定价：62.00 元

凡所购买电子工业出版社的图书，如有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：（010）88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：（010）88258888。

序

随着电子信息技术的快速发展，信息网络已成为人们日常工作和生活中不可缺少的元素。电子信息系统机房作为信息网络的支撑点，承担着电子信息的传输、运算、存储等功能。电子信息系统机房的建设包含了规划、机房工艺、建筑、结构、供配电、通信信息、制冷空调、给排水、消防等众多专业，是各项技术的综合体现。

电子信息系统机房是各类机房的总称，数据中心是电子信息系统机房中的一种重要类型，通常为建筑面积在数千到数万平方米的大型机房。本书重点介绍了数据中心的建设原则、可靠性模型、相关标准、技术指标、供配电、防雷接地、空调、机房布线、机房监控、评估和管理等内容，本着安全、可靠、节能、环保的原则，为读者提供比较全面的数据中心建设知识。

数据中心是电子信息技术所需的基础设施，从现有的互联网、电信网、广电网等到即将组建的物联网，电子信息的传输、运算和存储都离不开数据中心的支持。远观全球电子信息技术的发展，我们可以感知，我们正处于信息大爆炸的年代，各行各业将依赖于电子信息的发展而发展，世界在信息网络的互联下，成为一个地球村，在人们未来的工作和生活中，信息网络就像水和电一样，成为不可缺少的元素。与目前不同的是，现在人们使用个人计算机处理的事情，将越来越多地由处在世界各地的数据中心来完成。就像发电厂为电网提供源源不断的电力支持一样，数据中心为信息网络提供源源不断的信息支持。

数据中心行业是朝阳行业。从事数据中心规划、设计、施工和运行维护的工作者，肩负着保证数据中心安全运行的重任。随着电子信息技术的发展，数据中心的建设技术也在不断发展。我们希望此书能为大家提供一次学习和增长知识的机会。



2010年2月于北京

前 言

世界经济的发展到了一个十字路口，前三次工业革命引发的世界经济的增长达到了极限，以新能源革命驱动的第四次工业革命将逐渐地拉开序幕。2009年12月8日，联合国在挪威首都哥本哈根召开的世界环境大会是启动这个序幕的标志。

每一次新的工业革命，都会推动人类社会的巨大进步与变革，第四次工业革命——新能源革命，将突破人类社会的化石能源应用方面的限制，并将继续促进与推动第三次工业革命——信息革命的发展。其中，IT应用技术特别是数据中心应用技术的成熟发展实际上才刚刚开始，以虚拟运算和云计算为核心概念的新一代数据中心应用技术也才刚刚登上殿堂，追求能效和IT资产使用效率的现代运营理念与云计算/虚拟化技术的结合将推动数据大集中处理的建设，而光通信和宽带技术使得数据中心可以和庞大的终端应用群拉开巨大空间距离去追求最经济的地理和能源地点，于是，建设越来越多、越来越庞大的数据中心成为可能。因此，新一代数据中心的规划建设已经不再是传统意义上的规划建设，而是基于新一代计算技术、通信技术和能源技术的全新数据中心建设。

本书基于第四次工业革命前夜的变革背景，总结最新的数据中心设计/应用理论、方法和实践经验；基于国内、国外最新的数据中心建设标准，为中国数据中心规划设计提供全新的理论架构、设计逻辑和方法、评估模型与实践，希望能为中国数据中心建设添砖加瓦。

本书由钟景华、朱利伟、曹播、丁麒钢等著，黄坤振、张兴、陈延钧、农志斐、齐放等参加写作。

孙兰、谭杰夫、杨晓伟、厉建宇、朱华、张敬、陈炎通等对本书进行了认真审阅。

因为编者的时间和水平有限，疏漏在所难免，请读者批评指正，相关意见与建议可发至 jetwayzhu@gmail.com 邮箱，以便于再版时修正与补充。

作 者

2010年1月于深圳

目 录

第 1 章 数据中心概述	1
1.1 数据中心起源与定义	2
1.1.1 电报与电话的发明	2
1.1.2 计算机的发明	3
1.1.3 互联网的发明	4
1.1.4 数据中心的兴起	5
1.2 数据中心的功能演进	6
1.3 数据中心建设基本内容	8
1.4 数据中心建设原则与目标	9
1.5 数据中心基本现状	12
1.5.1 困局之一：信息爆炸	12
1.5.2 困局之二：绿色与节能	13
1.5.3 困局之三：业务挑战	14
1.6 新一代绿色数据中心发展趋势及其关注要点	15
1.7 本书重点研究内容	16
第 2 章 数据中心的网络及物理模型	17
2.1 网络的融合及其网络模型	18
2.2 数据中心的物理模型	19
第 3 章 数据中心的可靠性/可用度模型	23
3.1 可靠性研究的发展	24
3.2 可靠性参数	25
3.3 可靠性和可用性分析	26
3.3.1 可靠性特性	26
3.3.2 可靠性和可用性分析方法	27
3.4 可用性参数计算	29
3.4.1 平均无故障时间 MTBF 计算	30
3.4.2 平均维修时间 MTTR 和修复率 μ 计算	30
3.4.3 可用性 $A(t)$ 与故障率 λ 和修复率 μ 关系	30
3.5 系统可靠性模型	30
3.5.1 可靠性基本模型	31
3.5.2 串联系统的可靠性模型	31
3.5.3 并联系统的可靠性模型	31
3.5.4 混合系统的可靠性模型	32

3.6	数据中心可靠性/可用性模型	32
3.6.1	中国国家标准 GB 50174—2008 对电子信息机房可靠性/可用性的要求	32
3.6.2	美国数据中心标准 ANSI/TIA942—2005 对可靠性/可用性的要求	34
3.6.3	数据中心基础设施可靠性模型	36
第4章	数据中心的能效模型	45
4.1	数据中心能效定量评价指标	46
4.2	数据中心能效模型及其研究	47
4.2.1	IT 设备的能耗研究	47
4.2.2	供电系统的能耗研究及其 PUE 计算	51
4.2.3	空调系统的能耗研究及其 PUE 计算	53
4.3	进一步研究数据中心能效模型	57
第5章	数据中心的经济模型	59
5.1	经济模型的基本概念	60
5.2	数据中心成本与收益项目	60
5.2.1	数据中心成本项目	60
5.2.2	数据中心收益项目	61
5.3	数据中心的经济评估方法	61
5.3.1	数据中心总拥有成本法 (TCO)	62
5.3.2	数据中心投资回报法 (ROI)	63
第6章	数据中心基础设施规划	67
6.1	新一代数据中心容量规划制约模型	68
6.1.1	IT 规划	68
6.1.2	供电	69
6.1.3	制冷	70
6.1.4	空间制约	71
6.2	新一代数据中心需求成长模型	71
6.3	新一代数据中心容量规划的关键支点	73
6.3.1	可用性支点	73
6.3.2	成本支点	74
6.3.3	绿色节能支点	74
6.3.4	功率密度支点	75
6.4	数据中心容量规划的实施细则	76
第7章	数据中心的技术要求	77
7.1	数据中心技术标准概述	78
7.2	数据中心等级划分	79
7.3	数据中心机房位置及设备布置	81
7.4	数据中心环境参量要求	81
7.5	数据中心建筑与结构	82
7.6	数据中心空气调节	83

7.7	数据中心电气技术	83
7.8	数据中心电磁屏蔽	84
7.9	数据中心机房布线	84
7.10	数据中心机房监控与安全防范	85
7.11	数据中心机房给水排水	85
7.12	数据中心机房消防	86
第8章	数据中心选址指南	87
8.1	数据中心选址基本要求	88
8.2	数据中心选址标准	88
8.3	数据中心选址的关联因素	91
8.4	数据中心选址的新思考	92
第9章	数据中心装饰装修	95
9.1	设计依据	96
9.2	装饰装修的主要功能	96
9.3	装饰装修主要内容及选材	99
9.4	工艺要求	105
第10章	数据中心供配电系统	109
10.1	数据中心供配电系统概述	110
10.1.1	内容约定	110
10.1.2	设计标准	111
10.1.3	数据中心对供配电系统的要求	112
10.1.4	数据中心供配电系统的发展历程	115
10.2	数据中心IT设备及其电源系统	119
10.2.1	服务器分类	119
10.2.2	服务器电源系统标准	122
10.2.3	服务器电源对于数据中心供配电系统设计的基本意义	124
10.3	数据中心高压变配电系统	128
10.3.1	设计标准	129
10.3.2	电压选择	129
10.3.3	高压系统中性点运行方式	130
10.3.4	高压变配电系统的主接线	133
10.3.5	高压变配电系统配电网接线	137
10.3.6	高压配电一次接线典型方案	138
10.3.7	不同规模的数据中心的高压变配电系统构成	140
10.4	数据中心柴油发电机组系统	141
10.4.1	设计标准	142
10.4.2	柴油发电机组的工作原理、组成、应用分类	142
10.4.3	数据中心柴油发电机组容量选择	144
10.4.4	柴油发电机组与其负载匹配	147

10.5	数据中心 ATSE 系统	152
10.5.1	设计标准	152
10.5.2	ATSE 产品定义及构成	153
10.5.3	ATSE 分类	154
10.5.4	ATSE 切换	155
10.5.5	ATSE 应用中产生的问题	157
10.5.6	数据中心 ATSE 的常见组网形式	161
10.6	数据中心输入低压配电系统	162
10.6.1	设计标准	163
10.6.2	低压电器概述	163
10.6.3	低压熔断器	163
10.6.4	低压隔离电器	165
10.6.5	低压断路器	166
10.6.6	低压配电方式	172
10.6.7	低压配电柜	173
10.7	数据中心 UPS 系统分类、原理及供电方案	179
10.7.1	设计标准	179
10.7.2	UPS 分类及定义	179
10.7.3	三种 UPS 的原理及特点	181
10.7.4	数据中心常用大容量 UPS 的内部拓扑	185
10.7.5	数据中心 UPS 供电方案	189
10.8	数据中心 UPS 的关键技术、关注热点及发展趋势	192
10.8.1	数据中心大容量 UPS 的关键技术	192
10.8.2	数据中心 UPS 的关注热点	195
10.8.3	数据中心 UPS 的发展趋势	206
10.9	数据中心 UPS 电池系统	211
10.9.1	设计标准	211
10.9.2	数据中心 UPS 电池系统的基础知识	211
10.9.3	数据中心 UPS 电池的技术特性	214
10.9.4	数据中心 UPS 的电池配置计算方法	219
10.10	数据中心 UPS 输出列头配电系统和机架配电系统	220
10.10.1	设计标准	221
10.10.2	UPS 输出列头配电系统	221
10.10.3	机架配电系统	225
10.11	数据中心电力电缆的选择与设计	228
10.11.1	设计标准	228
10.11.2	数据中心防火电缆综述	228
10.11.3	数据中心防火电缆选择与计算	234

第 11 章 数据中心机房防雷和接地系统设计	239
11.1 数据中心机房防雷和接地系统的关系及系统设计依据、设计原则	240
11.2 雷电对电子设备的损害途径及防护措施	241
11.3 数据机房防雷在建筑物防雷中的分类等级	242
11.4 数据机房防雷的具体措施	243
11.4.1 机房位置的设置	243
11.4.2 建筑物的防雷	243
11.4.3 SPD 的选用	244
11.5 数据中心公用接地与单独接地的探讨	244
11.6 数据中心 UPS 输出端重复接地的探讨	249
11.7 如何降低数据中心机房 IT 设备的零地电压	254
第 12 章 数据中心的制冷	259
12.1 数据中心为什么需要制冷	260
12.1.1 数据中心 IT 设备的发展	260
12.1.2 数据中心 IT 设备对环境的要求	261
12.1.3 数据中心的不良环境对 IT 设备的危害	262
12.2 数据中心制冷系统的基础知识	266
12.2.1 制冷技术的发展历史及应用	266
12.2.2 基本名词术语	267
12.2.3 热力学基本定律及其制冷技术的应用	271
12.2.4 制冷原理	274
12.2.5 制冷剂、载冷剂和润滑油	278
12.2.6 数据中心制冷系统常用压缩机简介	283
12.2.7 冷凝器	289
12.2.8 蒸发器	296
12.2.9 节流机构	301
12.2.10 辅助设备	306
12.3 各类空调简介	311
12.3.1 空调分类	311
12.3.2 根据空调冷(热)源分类	311
12.3.3 根据空气处理设备的设置情况分类	312
12.3.4 按负担室内空调负荷所用的介质分类	313
12.3.5 根据集中系统处理的空气来源分类	314
12.3.6 按照使用目的分类	314
12.3.7 按送风速度分类	314
12.4 数据中心制冷空调选择	315
12.4.1 数据中心机房的负荷特点	315
12.4.2 数据中心机房的环境要求	315
12.4.3 数据中心机房的环境参数对空调的要求	317

12.4.4	数据中心机房必须采用专用的机房空调	318
12.5	数据中心制冷系统的负荷计算	322
12.5.1	数据中心冷负荷的类型	322
12.5.2	数据中心冷负荷工程的计算方法	323
12.6	数据中心制冷系统的常用方案	324
12.6.1	风冷型机房空调系统	324
12.6.2	冷冻水型机房空调系统	325
12.6.3	水冷型机房空调系统	326
12.6.4	乙二醇冷却型机房空调系统	326
12.6.5	双冷源型机房空调系统	327
12.7	数据中心空调风系统设计	328
12.7.1	送风方式	328
12.7.2	数据中心气流组织	331
12.7.3	数据中心设备布置	336
12.7.4	数据中心空调风系统设计核算	340
12.8	数据中心空调水系统设计	341
12.8.1	数据中心空调水系统的分类与选择	341
12.8.2	数据中心空调水系统的承压设计	346
12.8.3	数据中心空调水系统的设计与计算	347
12.9	数据中心高密度制冷系统简介	354
12.9.1	高热密度区域解决方式	354
12.9.2	局部热点解决方式	356
12.9.3	高热密度封闭机柜	357
12.9.4	其他高热密度制冷方式	358
12.10	数据中心制冷系统设计实例分析	358
12.10.1	中、小型数据中心空调系统设计实例	358
12.10.2	大型数据中心空调系统设计实例	359
12.10.3	高热密度数据中心空调系统设计实例	360
第13章	数据中心综合布线系统的建设	363
13.1	综合布线系统概述	364
13.1.1	综合布线系统的定义	364
13.1.2	综合布线系统的特点	364
13.1.3	综合布线系统建设的常用标准	365
13.1.4	综合布线系统的构成	365
13.2	综合布线系统通用设计	369
13.2.1	研究建筑物的功能	369
13.2.2	确定综合布线系统的类型	369
13.2.3	确定综合布线系统的等级	369
13.2.4	工作区子系统的设计	370

13.2.5	配线子系统的设计	370
13.2.6	干线子系统的设计	374
13.2.7	设备间的设计	376
13.2.8	管理子系统的设计	376
13.2.9	建筑群子系统的设计	376
13.3	数据中心综合布线系统概述	376
13.3.1	数据中心布线系统的组成、等级及分类	376
13.3.2	数据中心综合布线系统的空间构成	378
13.3.3	数据中心综合布线系统的支持空间构成	380
13.4	数据中心综合布线系统的拓扑结构与规划	381
13.4.1	数据中心综合布线系统的拓扑结构	381
13.4.2	数据中心综合布线系统的规划	385
13.5	数据中心综合布线系统的产品选择	388
13.5.1	数据中心综合布线系统各设备的具体作用	388
13.5.2	数据中心综合布线系统各设备的选择	390
13.6	数据中心综合布线系统发展趋势	392
第 14 章	数据中心消防系统建设	395
14.1	数据中心消防系统设计理念	396
14.2	数据中心消防系统	399
14.2.1	消火栓系统	399
14.2.2	水喷淋系统	399
14.2.3	细水雾系统	400
14.2.4	气体灭火系统	401
14.2.5	灭火器	402
14.3	数据中心火灾自动报警系统	402
14.4	数据中心烟气控制	403
第 15 章	数据中心的监控与管理	405
15.1	数据中心监控与管理系统概述	406
15.1.1	数据中心监控与管理系统的功能	406
15.1.2	数据中心监控与管理系统的构成	406
15.2	数据中心的 IT 资源的监控与管理	407
15.2.1	数据中心的计算/网络资源的管理	407
15.2.2	KVM 管理系统	409
15.3	数据中心的基础设施的监控与管理	412
15.3.1	数据中心动力环境监控系统	412
15.3.2	数据中心的综合安保系统	421
15.3.3	数据中心监控中心系统	428
第 16 章	数据中心的评估	441
16.1	数据中心评估模型与标准	442

16.2 采用模型方法对数据中心评估实例	442
16.2.1 采用物理模型对数据中心评估	442
16.2.2 采用能效模型对数据中心评估	443
16.2.3 采用经济模型对数据中心评估	453
16.3 采用标准/规范方法对数据中心评估实例	456
参考文献	463
后记	465

第 1 章

数据中心 概述



人类社会的追求是什么？答案可能层出不穷。

但是有一点可以肯定的是：人类社会一直追求着体力（四肢）、智力（大脑）的无限发展。

著名经济学家、中国人民大学黄卫平教授形象地比喻：追求“时间的无穷小或无穷大”和“空间的无穷小或无穷大”，是我们人类社会的终极目标。

(1) 时间的无穷小，比如相隔几万公里的面对面的沟通、快速穿越太空的宇宙飞船等。

(2) 时间的无穷大，就是持续的追求长生不老，从2000多年前的秦始皇到今天的基因技术。

(3) 空间的无穷小，地球已经是一个村庄，大洋彼岸的事件瞬时传到全世界。

(4) 空间的无穷大，地球已经远不够人类住居，从而出现登月、火星计划、外太空探索等。

为了实现人类的终极目标，人类不断地繁衍，并不断地创造新的技术与科技，从自然中获取物质，并去征服自然。

近代自18世纪以来，已有三次工业革命（或科技革命），让人类社会获得空前的发展，帮助人类社会逐步地接近终极目标。

第一次工业革命于18世纪起源于英国，即蒸汽机革命。人们通过广泛应用蒸汽技术，极大地解放了人类的体力劳动，极大地提高了劳动生产率。

19世纪末，以电的应用为标志发展起来的电机、电信及汽车等技术，推动了人类第二次工业革命，即电力与大工业革命。

第二次世界大战后期开始启动，到20世纪70年代广泛应用，再到1995年前后的大规模互联网与信息化应用，是人类的第三次工业革命，即信息革命。

三次工业革命把人类社会从农业社会带入工业社会，又从工业社会带入信息化社会。如果说第一次工业革命（蒸汽机革命）、第二次工业革命（电力革命）是极大地提升了人类体力极限，那么第三次工业革命（信息革命）则极大地扩大了人类的脑力和智力。

信息革命作为第三次工业革命，提升并扩大人类的脑力和智力，必然将伴随人类社会持续发展。

数据中心是信息社会的大脑与中枢。

1.1 数据中心起源与定义

在开始数据中心的设计与研究之前，先了解第三次工业革命——信息革命的基石：电话、计算机、互联网等发明历程。

1.1.1 电报与电话的发明



图1-1 烽火传递信息

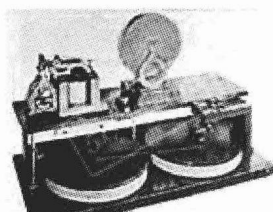
人类历史上最早的通信手段和现在一样是“无线”的，如利用以火光传递信息的烽火台（如图1-1所示），通常大家认为这是最早的传递消息方式。事实上不是，在我国和非洲古代，击鼓传信是最早、最方便的办法，非洲人用圆木特制的大鼓可传声至3~4km处，再通过“鼓声接力”和专门的“击鼓语言”，可在很短的时间内把消息准确地传到50km以外的另一个部落。

1832年,美国画家莫尔斯在旅欧学习途中,开始对这种新生的电磁感应技术发生了兴趣,他经过3年的钻研之后,在1835年使第一台电报机问世。1843年,莫尔斯获得了3万美元的资助,他用这笔款修建成了从华盛顿到巴尔的摩的电报线路,全长为64.4km。

1844年5月24日,在座无虚席的美国国会大厦里,莫尔斯用他那激动得有些颤抖的双手,操纵着他倾十余年心血研制成功的电报机,向巴尔的摩发出了人类历史上的第一份电报:“上帝创造了何等奇迹!”莫尔斯与他发出第一份电报的设备复制品如图1-2所示。



(a) 莫尔斯



(b) 莫尔斯发出第一份电报的设备复制品

图1-2 莫尔斯与他发出第一份电报的设备复制品

电报的发明,拉开了电信时代的序幕,开创了人类利用电来传递信息的历史。从此,新的信息革命开始了。

1875年6月2日,贝尔通过送话机喊道:“沃森先生,请过来!我有事找你!”在实验室里的沃森助手听到召唤,像发疯一样,冲出实验室,奔向贝尔喊话的寝室。他一路大叫着:“我听到了贝尔在叫我!我听到了贝尔在叫我!”……这样,人类有了最初的电话,揭开了一页崭新的交往史。

1877年,第一份用电话发出的新闻电讯稿被发送到波士顿《世界报》,标志着电话为公众所采用。

1878年,贝尔电话公司正式成立。

1965年5月,美国贝尔系统的1号电子交换机问世,它是世界上第一部开通使用的程控电话交换机。程控电话交换机的出现标志着电话大规模进入家庭,成为人们生活与工作必备的通信工具。

1.1.2 计算机的发明

第一部真正可以称得上计算机的机器,则诞生于1946年的美国,毛琪利与爱克特发明了名为ENIAC的机器(如图1-3所示)。因为这部计算机使用真空管来处理信号,所以体积庞大(占满一个房间)、耗电量高(使用时,全镇的人都知道,因为家家户户的电灯都变暗了!),而且记忆容量又非常低(只有100多个字)。但是,它却已经是人类科技的一大进展。通常把这种使用真空管的计算机称为第一代计算机。

1950年,美国费城艾克特-莫奇里电脑公司率先大规模生产通用电子计算机。

1953年,IBM生产的第一种商用计算机(701型)正式投放市场,机体内采用的是电子管。

1960年,美国数字设备公司首次在商用计算机中用晶体管代替了电子管。

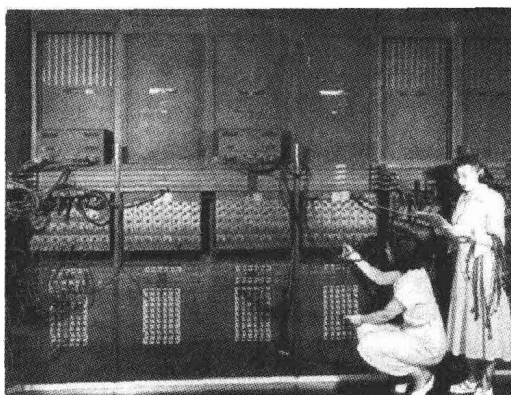


图 1-3 世界上第一台电子计算机 ENIAC

1971 年，研制了袖珍电子计算机。

1981 年，IBM 公司成功研制的 PC（个人计算机），是最早的微型计算机。从此，PC 广泛进入人们的工作和生活。

1.1.3 互联网的发明

1969 年，美国国防部国防高级研究计划署（DOD/DARPA）资助建立了一个名为阿帕网（ARPANET）的网络，这个网络把位于洛杉矶的加利福尼亚大学、位于圣巴巴拉的加利福尼亚大学、斯坦福大学，以及位于盐湖城的犹他州州立大学的计算机主机连接起来，位于各个节点的大型计算机采用分组交换技术，通过专门的通信交换机（IMP）和专门的通信线路相互连接。这个阿帕网就是 Internet 的最早雏形。网络设备联网示意图如图 1-4 所示。

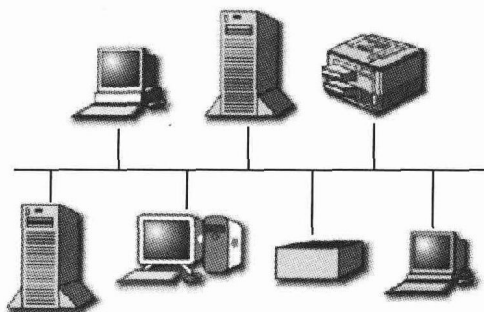


图 1-4 网络设备联网示意图

1972 年，ARPANET 上的网点数已经达到 40 个，这 40 个网点之间可以发送小文本文件（当时称这种文件为电子邮件，也就是现在的 E-mail）和利用文件传输协议发送大文本文件，包括数据文件（即现在 Internet 中的 FTP），同时也发现了通过把一台计算机模拟成另一台远程计算机的一个终端而使用远程计算机上的资源的方法，这种方法称为 Telnet。E-mail、FTP 和 Telnet 是在 Internet 上较早出现的重要工具，特别是 E-mail 仍然是目前 Internet 上的最主要应用。

1989 年，伯纳斯·李为了设计一个供同事们交换资料的线上工作空间，提出了一个称为“World Wide Web”的全球超文本项目计划，目的是能够将各自的信息通过超文本传输实现网络共享。一年以后，伯纳斯·李开发出架构起全球资讯网的三大基本技术：HTTP/