

文章编号:1007-130X(2020)12-2103-06

2020 年中国高性能计算机发展现状分析^{*}

袁国兴¹, 张云泉², 袁 良²

(1. 北京应用物理与计算数学研究所, 北京 100088;
2. 中国科学院计算技术研究所计算机体系结构国家重点实验室, 北京 100191)

摘要:根据 2020 年 11 月发布的中国高性能计算机性能 TOP100 排行榜的数据,对国内高性能计算机的发展现状从总体性能、制造商、行业领域、部署机构等方面进行了讨论分析,同时对未来发展进行了展望。

关键词:高性能计算机; 性能; 排行榜; 测评技术

中图分类号: TP393

文献标志码:A

doi:10.3969/j.issn.1007-130X.2020.12.001

State of the art analysis of China HPC 2020

YUAN Guo-xing¹, ZHANG Yun-quan², YUAN Liang²

(1. Institute of Applied Physics and Computational Mathematics, Beijing 100088;
2. State Key Laboratory of Computer Architecture, Institute of Computing Technology,
Chinese Academy of Sciences, Beijing 100191, China)

Abstract: In this paper, according to the latest China HPC TOP100 rank list released by CCF TCH-PC in the late November, the total performance trends of China HPC TOP100 and TOP10 of 2020 are presented. Followed with this, characteristics of the performance, manufacturer, and application area are analyzed separately in detail.

Key words: high performance computer; performance; rank list; system benchmarking technology

1 引言

在国际上,自 1993 年起每年都会按 Linpack 的测试性能公布在世界范围内已安装的前 500 套高性能计算机排行^[1],这已成为高性能计算机研制生产、市场发展、应用交流和趋势分析预测的重要参考。2002 年,中国软件行业协会数学软件分会首次发布中国高性能计算机性能排行榜,并在随后每一年的 10 月末或 11 月初公布当年度中国高性能计算机性能 TOP100 排行榜^[2-11]。在过去的十余年间,已由中国软件行业协会数学软件分会联合中国计算机学会高性能计算专业委员会与国家 863 高性能计算机评测中心发布的中国 HPC TOP100 排行榜为我国高性能计算机的研制及在众多领域的应用推广作出了显著的贡献。2018 年

TOP100 排行榜发布单位变更为中国计算机学会高性能计算专业委员会与中国工业与应用数学学会高性能计算与数学软件专业委员会,发布单位于 2018 年 8 月修定了“中国高性能计算机性能 TOP100 排行榜工作条例”,进一步细化明确了排行榜规则等细节。

2020 年 11 月 15 日,最新一期中国 HPC TOP100 排行榜在北京召开的第二届中国超级算力大会上发布。本文基于最新排行榜数据,对我国高性能计算机的性能、制造厂商、体系结构、应用领域和部署机构等进行了讨论分析。

2 性能分析

与去年类似,本年度中国 HPC TOP100 排行榜对同一用户、同一厂商、同一地区安装的相似结

* 收稿日期:2020-11-17;修回日期:2020-12-15

通信地址:100088 北京市北京应用物理与计算数学研究所

Address: Institute of Applied Physics and Computational Mathematics, Beijing 100088, P. R. China

构的计算机,在榜单中列出 Linpack 较高的一套。改进的规则使得更多的系统或高性能计算用户得以进入榜单,能更好地反映我国高性能计算现状。2020 年联想、浪潮、联泰集群、同方和 DELL 集团分别提交了 32,38,1,1 和 1 套新系统。联想提交的 32 套系统合并了 10 套,合并后是 22 套,其中上榜 21 套;浪潮提交的 38 套系统合并了 14 套,合并后是 24 套,其中上榜 23 套;联泰集群、同方和 DELL 集团提交的 3 套系统均上榜。合计新增 73 套,排除并列后新增 49 套,其中上榜 47 套。去年榜单留存系统 53 套。今年全部榜单中 100 个性能位置共有 154 套高性能计算系统。

2020 年,由国家并行计算机工程技术研究中心研制、部署于国家超级计算无锡中心的神威·太湖之光超级计算机继续占据榜首,它是当前中国最高性能的超级计算机系统,同时也是全球性能第 4 的系统。神威·太湖之光由 40 个机柜、总共 160 个超级结点组成,每个超级结点含 256 个计算结点,每个计算结点配备 1 颗 1.45 GHz、260 核的申威 26010 处理器,全系统总峰值性能为 125.435 9 PFlops,Linpack 实测性能值为 93.014 6 PFlops,是排名第 2 的天河二号系统 Linpack 测试值的 1.51 倍。

2020 年排行榜中第 2 名依旧是国防科技大学研制的部署于国家超级计算广州中心的天河二号超级计算机。2018 年天河二号系统使用国产加速卡 Matrix 2000 进行了升级,系统峰值性能达到 100 PFlops,排名前 2 名的系统峰值性能均达到了 100 PFlops。

排名第 3 的系统是 2020 年由 DELL 集团研制、部署在北京超级云计算中心的北京超级云计算中心 A 分区超级计算机,该超算系统安装在中国西北地区,包含 3 000 个计算结点共 6 000 个 AMD EPYC 7452 32C 2.350 GHz 处理器,总核数为 192 000,网络配置为 FDR。Linpack 实测性能为 3.74 PFlops,系统峰值为 7.03 PFlops,Linpack 效率为 53.20%。

排名第 4 的系统是 2020 年由同方公司研制、部署在内蒙古自治区和林格尔新区的内蒙古高性能计算公共服务平台(青城之光),包含 1 600 个计算结点,共 3 200 个 Intel Xeon Gold 6254 18C 3.1 GHz 处理器,总核数为 57 600,网络配置为 EDR。Linpack 实测性能为 3.18 PFlops,系统峰值为 5.34 PFlops,Linpack 效率为 59.60%。第 3 名和第 4 名系统的部署也增加了我国超算系统的安装

地点的多样性。

排名第 5~第 10 的是联想公司的 5 套系统,均为深腾 8800 超级计算机,其中新增系统 3 套,2019 年榜单系统 2 套。峰值性能在 5.82~6.08 PFlops,Linpack 测试性能在 2.96~3.08 PFlops。值得一提的是,根据 TOP100 规则,对联想公司提交的系统进行了合并,其中新增的第 6 名和第 10 名的系统各并列了 4 套和 3 套,这 7 套系统均部署在网络公司。

完整的前 10 名榜单如表 1 所示。

2019 年榜单中第 9 名和第 10 名由国防科技大学研制、部署于国家超级计算天津中心的天河一号 A 超级计算机和部署在国家超算济南中心的神威 E 级原型系统,今年下降到了第 29 和第 30 名。位于其上的系统中,除去第 3 名和第 4 名,新增的 18 套系统中有 16 套是联想公司的深腾 8800 超级计算机,2 套是浪潮公司的 TS10000 HPC 集群,大部分也部署于网络公司,这充分说明了互联网和视频大数据处理在我国大陆的强劲发展势头。

联泰集群新增的 4800IG 集群排名第 72,由 1 680 个 Intel Xeon 6146 12C 3.2 GHz 处理器和 560 个 NVIDIA Tesla V100 32G GPU 构成,网络配置为 FDR,部署在科技公司,其主要应用领域是人工智能,Linpack 实测性能为 2.06 PFlops,系统峰值为 4.36 PFlops,Linpack 效率为 41.6%。

2020 年上榜系统的 Linpack 性能全部超过了 1.5 PFlops,P 级系统已经基本成为高端计算的主流,其中 Linpack 性能值超过 2 PFlops 的系统达到 81 套。

2020 年,作为入榜门槛的第 100 名系统是曙光公司的 TC 6000 系统,部署于政府信息中心,其 Linpack 性能值为 1 869 TFlops,和 2019 年第 100 名的 1 556 TFlops 相比,性能提升了 1.20 倍(参见图 1)。这一入门性能值与 2019 年估计的 1.8~2.0 PFlops 相符。

2020 年所有 100 套入榜系统的 Linpack 平均性能为 3 842 TFlops,这是 2019 年平均性能 3 471 TFlops 的 1.10 倍。平均性能增速与 2019 年的 1.13 相近,主要是因为没有增加峰值性能百 P 以上的大系统,并且新增系统的 Linpack 数值并没有太大提高,导致今年仅有 47 套新增系统,与去年的 55 套接近,而 2015 年~2017 年每年都有超过 70 套新系统,2018 年更是新增了 83 套系统达到历年最大值。

Table 1 Top 10 systems of China HPC TOP100 in 2020

表1 2020中国HPC TOP100前10名系统

排序	研制厂商/单位	系统信息	安装地点	CPU核数	Linpack值/TFlops	峰值/TFlops	效率/%
1	国家并行计算机工程技术研究中心	神威·太湖之光,40960×Sunway SW26010 260C 1.45GHz,自主网络	国家超级计算无锡中心	10 649 600	93 015	125 436	74.2
2	国防科技大学	天河二号升级系统(Tianhe-2A),TH-IVB-MTX Cluster + 35584×Intel Xeon E5-2692v2 12C 2.2GHz+35584×Matrix-2000,TH Express-2	国家超级计算广州中心	427 008	61 445	100 679	61.0
3	DELL	北京超级云计算中心A分区,6000×AMD EPYC 7452 32C 2.350 GHz,FDR	北京超级云计算中心	192 000	3 743	7 035	53.2
4	清华同方	内蒙古高性能计算公共服务平台(青城之光),3200×Intel Xeon Gold 6254 18C 3.1 GHz,EDR	内蒙古和林格尔新区	57 600	3 185	5 345	59.6
5	联想	深腾8800系列,3800×Intel Xeon Gold 6133 20C 2.5 GHz,25GbE	网络公司	76 000	3 089	6 080	50.8
6	联想	深腾8800系列,3760×Intel Xeon Gold 6133 20C 2.5 GHz,25GbE	网络公司	75 200	3 050	6 016	50.7
7	联想	深腾8800系列,4000×Intel Xeon Gold 6240 18C 2.6 GHz,10GbE	网络公司	72 000	3 019	5 990	50.4
8	联想	深腾8800系列,3680×Intel Xeon Gold 6133 20C 2.5 GHz,25GbE	网络公司	73 600	2 994	5 888	50.9
9	联想	深腾8800系列,3720×Intel Xeon Gold 6133 20C 2.5 GHz,25GbE	网络公司	74 400	2 981	5 952	50.1
10	联想	深腾8800系列,3640×Intel Xeon Gold 6133 20C 2.5 GHz,25GbE	网络公司	72 800	2 962	5 824	50.8

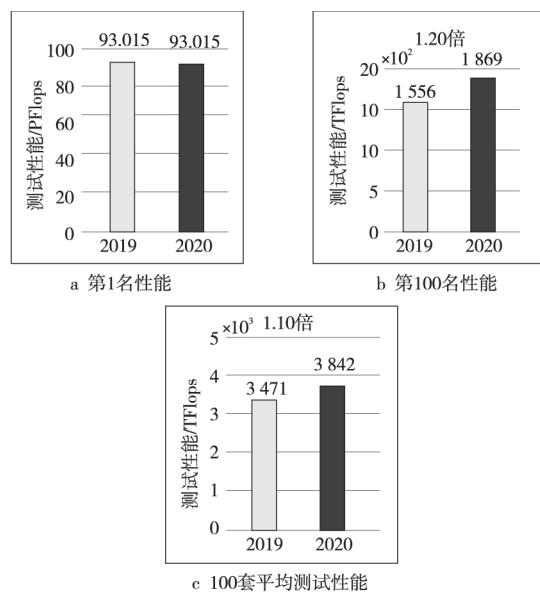


Figure 1 System performance comparison for China HPC TOP100 between 2019 and 2020

图1 2020年中国HPC TOP100系统与2019年系统性能对照

3 制造商分析

2020年,性能排名前100的共154套上榜系统由浪潮、联想、曙光等9家厂商研制,排除并列系统数后,联想以35套排名厂商份额第1,浪潮32套排名第2,曙光22套排名第3,华为、国防科技大学和国家并行计算机工程技术研究中心以2,4,2

的装机数量分列第4~6名,清华同方、联泰集群和DELL各上榜1套并列第7。图2给出了中国HPC TOP100计算机制造商的前100套系统统计。

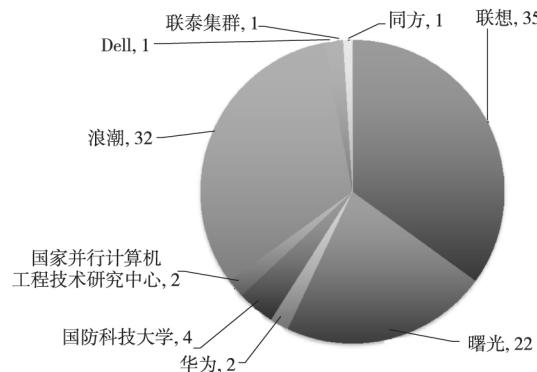


Figure 2 Vendors system share

图2 制造商系统份额(前100套系统)

以联想、曙光、浪潮为代表的国内厂商是我国HPC系统的主要研制单位,占据了绝大部分市场份额,2018年国外厂商的系统全部退出TOP100榜单,为历史首次,2019年的榜单再次为国产机器,DELL公司提交一套安装在武汉大学超算中心的异构系统,但是Linpack性能为1 403 TFlops,未能上榜。今年DELL公司新增的系统上榜,为我国超算领域的多元化发展提供了动力。2020年榜单国产系统依然达到了99套,这再次佐证了我国高性能计算机研制能力的提升和市场份额的持

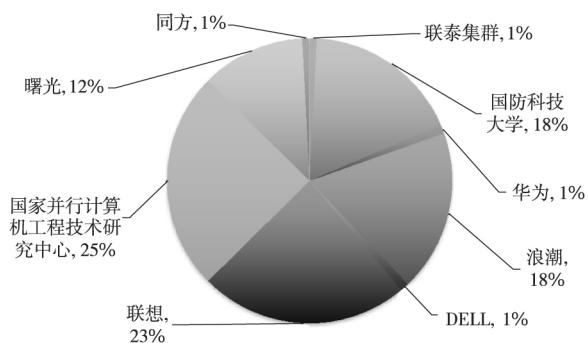


Figure 3 Performance share

图3 性能份额(前100套系统)

续扩大。

如图3所示,从系统的性能份额来看,国家并行计算机工程技术研究中心依然以25%领先,联想占据23%系统性能紧随其后,超过了浪潮公司和国防科技大学的18%。国家并行计算机工程技术研究中心和国防科技大学2家单位的6套系统占据了全部系统总性能的43%。以国防科技大学、国家并行计算机工程技术研究中心为代表的国家队专注于数量少但世界领先的超大规模计算系统,而以曙光、联想和浪潮等为代表的商业化公司致力于HPC系统的市场化和普及化,这种两条腿走路的模式已经是并将依旧是相当长一段时间内我国HPC系统研制的常态。

4 体系结构分析

共享内存(SMP)、分布式共享内存(DSM)和大规模并行处理(MPP)等多种体系架构百花争艳的时代已经过去,分布式集群计算系统(Cluster)成为当前高性能计算机的绝对主流,近6年来进入TOP100榜单的系统绝大部分都是采用集群架构。但需要注意的是,基于自主众核高性能处理器并采用专有架构的神威·太湖之光系统更接近于传统的MPP架构,结合当前世界排名前10的系统中有5套采用MPP架构的事实,可见在高端系统中,MPP仍是重要的体系架构。

除神威·太湖之光采用国产申威处理器,国防科技大学采用国产Matrix 2000加速卡,以及今年新增的一套DELL系统使用AMD处理器外,其余系统均采用了Intel Xeon系列处理器,IBM Power处理器依然未出现在榜单中。

专用加速计算部件首次出现在TOP100榜单中是2009年,由国防科技大学研制部署于国家超级计算天津中心的天河一号系统配备了2560块

ATI Radeon 加速卡,并以此获得了563.1 TFlops的计算性能,成为该年最高性能的HPC系统。自2010年起,基于NVIDIA公司的Tesla系列GPU的HPC系统登上榜单并逐渐成为加速计算的主流。基于Intel Xeon Phi加速卡的系统出现于2013年,并在TOP100榜单中占据少量但稳定的份额。除去国防科技大学天河二号升级系统采用了Matrix 2000作为加速部件外,2020年有39套系统采用NVIDIA Tesla GPU或Intel Xeon Phi等进行性能加速,这一数据较去年的24大幅增加(如图4所示),其主要原因是今年新增的47套上榜系统中有15套系统配置了加速器。今年共有38套系统采用NVIDIA Tesla GPU,其中绝大部分用于与深度学习相关的计算。需要指出的是,Intel已宣布停产Xeon Phi。

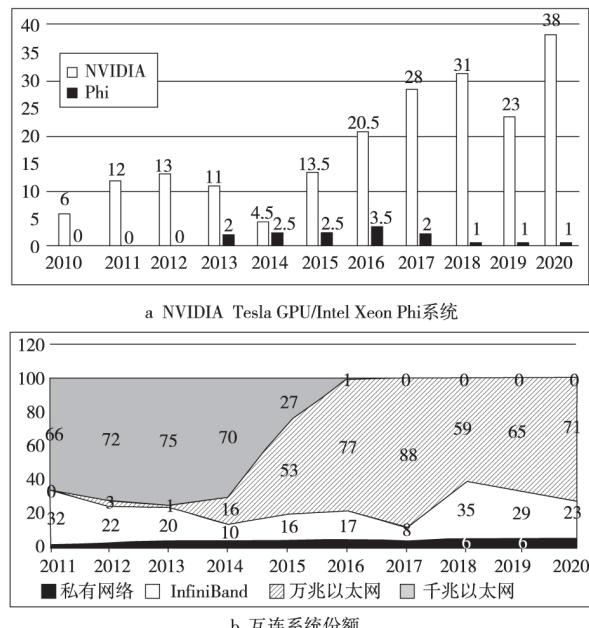


Figure 4 Variations of accelerator and network from 2010 to 2020

图4 2010~2020年加速计算部件及系统网络变化

关于专用加速计算设备的应用,特别需要指出的是,无论是NVIDIA/AMD GPU,还是Intel Xeon Phi,在上榜系统中最先都是由国防科技大学、中国科学院等科研类机构研制采用,且主要应用于基础科学研究;随后才被浪潮、曙光、联想等商业化公司采用,并在众多领域得到大规模应用。这无疑是一种良好的模式。

体系结构上变化最为明显的是系统互连网络,千兆以太网5年前占据了100套系统中的70%,而自2017年以来连续3年不再在榜单中出现,已经彻底退出历史舞台;相对应地,万兆以太网从6年前的16%到去年的65%再至今年的71%,仍然

是高性能计算系统的绝对主流互连网络。需要注意的是,这里的万兆网包括了 100 GbE, 40 GbE, 25 GbE 和最低性能的 10 GbE 共 4 类,而在今年占据主流的是 10 GbE 和 25 GbE。

InfiniBand 网络继续保持较高占比,尽管相比去年的 29%,今年降低为 23%,这一占比主要与榜单中用于科学计算的机器数目相当。从需求和用户的角度,我们期望这两者能保持良好的竞争态势,以提供性能更佳、价格更优的互连网络环境。

5 应用领域分析

图 5 给出了 2020 年中国 HPC TOP100 中的行业应用领域的系统数量统计。今年细化了互联网这一大领域,包括云计算(17%)、互联网(7%)、人工智能(1%)和电子商务(1%),合计达到 54%;传统大规模科学和工程计算领域:科学计算(10%)、教育科研(2%)和工业制造(2%),其他主要包括金融(7%)和电信(5%)等。

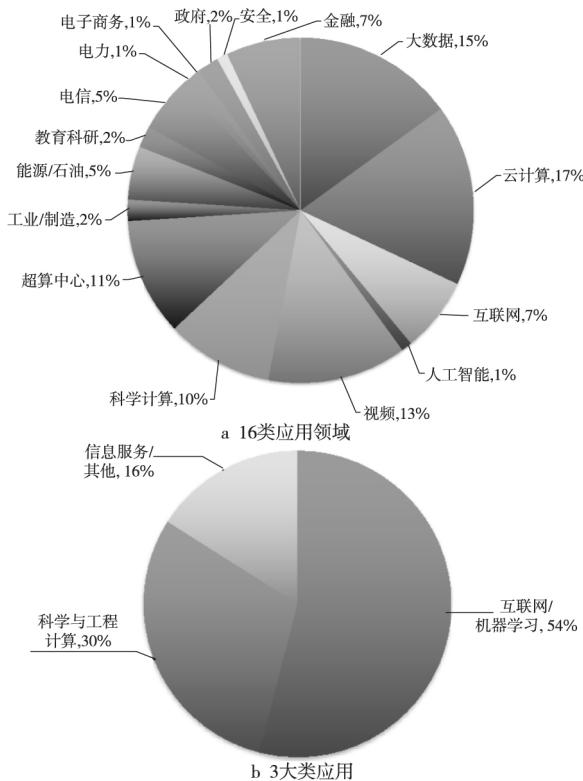


Figure 5 Application area share

图 5 TOP100 系统在不同应用领域的分布

依据应用模式的不同,上述应用可进一步大致归并为 3 大类:

- (1) 数据分析挖掘类。Map Reduce、深度学习计算模型等基于数据的(非数值类)应用。
- (2) 科学与工程计算类。主要指传统的数值计

算类应用,通常是计算密集型(也有数据密集型)。

(3) 信息服务类。频繁交互的互联网服务类应用。

2020 年度,数据分析挖掘类应用系统占据了所有系统的 54%,较 2019 年的 53%有所提升,接近 2017 年的 56%;传统的科学与工程计算系统由去年的 36%降低到 30%,与 2018 年持平,信息服务类系统比 2018 年有所增加,从 11%提升到了 15%。

6 部署机构分析

2020 年中国 HPC TOP100 系统部署机构统计如图 6 所示,互联网企业以 45% 占最大份额,相比 2019 年的 33%大幅增加,其他企业(金融、制造业等)占 17%,两者合计为 62%,这一数据与 2019 年的 65%持平。科研院所和超算中心各占 13% 和 12%,这表明科学计算的系统数量继续维持稳定,也充分说明了高性能计算机、高性能计算技术的主要应用还是在科学计算领域,并在多个领域尤其是互联网领域发挥着不可替代的作用。今年的系统中有 13% 用于视频公司,因此将其单独列出,充分反映当前以短视频为代表的多种新兴应用的蓬勃发展。

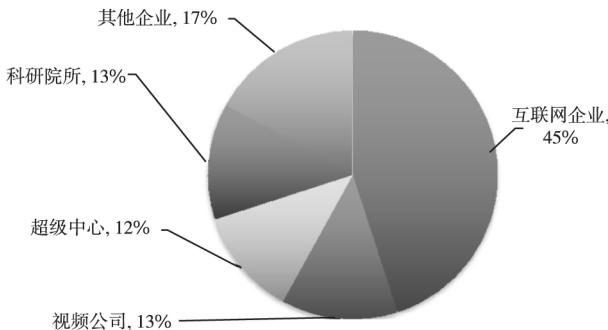


Figure 6 System sites share

图 6 TOP100 系统部署机构类别

7 小结和展望

2020 年中国高性能计算机继续呈现快速发展态势,无论是性能、应用领域还是应用规模均有着长足发展。图 7 给出了 2002~2020 年共 19 年来 TOP100 数据变化。可以看到,近十年来,第 1 名系统受国家相关科研计划影响,其性能呈跳跃式发展,在神威·太湖之光之后,下一台 E 级系统可望在 2021 年后出现;最后 1 名性能则呈规律性指数增长,但是幅度逐步减缓,2021 年入榜性能预计在 2.2~2.3 PFlops。

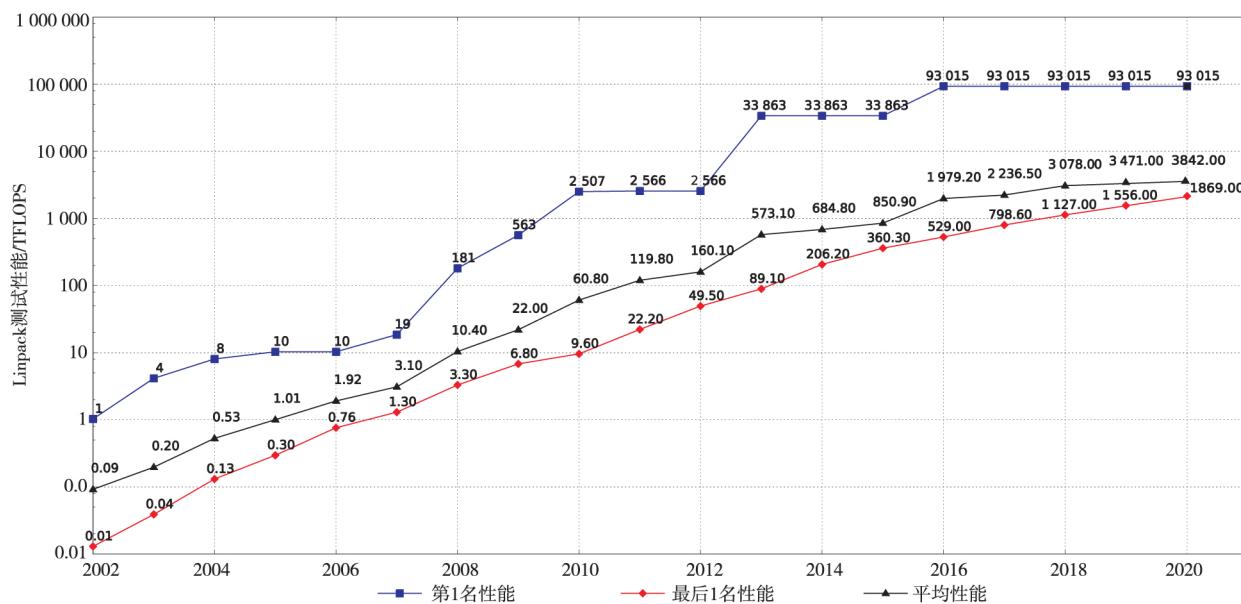


Figure 7 China HPC TOP100 from 2002 to 2020

图 7 2002~2020 年 TOP100 数据

hpc100.cn. (in Chinese)

参考文献：

- [1] Meuer H, Simon H, Strohmaier E, et al. TOP500 supercomputer sites [EB/OL]. [2020-11-15]. <http://www.top500.org>.
- [2] Zhang Yun-quan, Yuan Guo-xing, Sun Jia-chang, et al. Review and perspectives of 10 years' China HPC TOP100 [J]. Computer Engineering & Science, 2012, 34(8): 11-16. (in Chinese)
- [3] Zhang Yun-quan, Sun Jia-chang, Yuan Guo-xing, et al. State-of-art analysis and perspectives of 2012 China HPC [J]. Computer Engineering & Science, 2012, 34(12): 1-8. (in Chinese)
- [4] Yuan Guo-xing, Sun Jia-chang, Zhang Lin-bo, et al. State of the art analysis of China HPC 2013 and system benchmarking technology [J]. Computer Engineering & Science, 2013, 35(11): 1-5. (in Chinese)
- [5] Yuan Guo-xing, Yao Ji-feng. State of the art analysis of China HPC in 2014 [J]. Computer Engineering & Science, 2014, 36(12): 2239-2241. (in Chinese)
- [6] Yuan Guo-xing, Yao Ji-feng. State of the art analysis of China HPC 2015 [J]. Computer Engineering & Science, 2015, 37(12): 2195-2199. (in Chinese)
- [7] Yuan Guo-xing, Yao Ji-feng. State of the art analysis of China HPC 2016 [J]. Computer Engineering & Science, 2016, 38(12): 2375-2380. (in Chinese)
- [8] Yuan Guo-xing, Yao Ji-feng. Development analysis of China HPC 2017 [J]. Computer Engineering & Science, 2017, 39(12): 2161-2166. (in Chinese)
- [9] Yuan Guo-xing, Zhang Yun-quan, Yuan Liang. Development status analysis of China HPC 2018 [J]. Computer Engineering & Science, 2018, 40(12): 2097-2102. (in Chinese)
- [10] Yuan Guo-xing, Zhang Yun-quan, Yuan Liang. State of the art analysis of China HPC 2019 [J]. Computer Engineering & Science, 2019, 41(12): 2095-2100. (in Chinese)
- [11] Sun Jia-chang, Yuan Guo-xing, Zhang Lin-bo, et al. China HPC TOP100 rank [EB/OL]. [2020-11-15]. <http://www.hpc100.cn>.

附中文参考文献：

- [2] 张云泉,袁国兴,孙家昶,等.中国高性能计算机TOP100十周年回顾与展望[J].计算机工程与科学,2012,34(8):11-16.
- [3] 张云泉,孙家昶,袁国兴,等.2012年中国高性能计算机发展现状分析与展望[J].计算机工程与科学,2012,34(12):1-8.
- [4] 袁国兴,孙家昶,张林波,等.2013年中国高性能计算机发展现状分析及系统测评技术简析[J].计算机工程与科学,2013,35(11):1-5.
- [5] 袁国兴,姚继锋.2014年中国高性能计算机发展现状分析[J].计算机工程与科学,2014,36(12):2239-2241.
- [6] 袁国兴,姚继锋.2015年中国高性能计算机发展现状分析[J].计算机工程与科学,2015,37(12):2195-2199.
- [7] 袁国兴,姚继锋.2016年中国高性能计算机发展现状分析[J].计算机工程与科学,2016,38(12):2375-2380.
- [8] 袁国兴,姚继锋.2017年中国高性能计算机发展现状分析[J].计算机工程与科学,2017,39(12):2161-2166.
- [9] 袁国兴,张云泉,袁良.2018年中国高性能计算机发展现状分析[J].计算机工程与科学,2018,40(12):2097-2102.
- [10] 袁国兴,张云泉,袁良.2019年中国高性能计算机发展现状分析[J].计算机工程与科学,2019,41(12):2095-2100.
- [11] 孙家昶,袁国兴,张林波,等.2020年中国高性能计算机TOP100排行榜 [EB/OL]. [2020-11-15]. <http://www.hpc100.cn>.

作者简介：



袁国兴(1938—),男,江苏武进人,研究员,研究方向为大规模科学与工程计算的方法与软件。E-mail: ygx@iacpm.ac.cn

YUAN Guo-xing, born in 1938, research fellow, his research interests include large scale scientific and engineering computing method and software development.