

T/CCUA

中国计算机用户协会团体标准

T/XXX XXXX—XXXX

油气勘探 高性能计算集群性能 测试方法

Oil and gas exploration-Performance of high-performance computing clusters-Test
methods

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国计算机用户协会 发布

目 次

前言	II
引言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义、缩略语	1
3.1 术语和定义	1
3.2 缩略语	1
4 测试分类	1
4.1 测试内容分类	2
4.2 测试规模分类	2
5 总体原则	2
6 系统性能测试	2
6.1 测试项目	2
6.2 单项测试	2
6.3 整体计算性能测试	3
6.4 测试结果处理	3
7 应用性能测试	3
7.1 测试项目及数据	3
7.2 常规处理	4
7.3 偏移成像	5
7.4 测试结果处理	6
8 测试报告编制	6
8.1 报告内容	6
8.2 编制原则	6
8.3 测试报告模板	6
附录 A（资料性） 节点硬盘 IO 性能测试	7
附录 B（资料性） 节点内存性能测试	9
附录 C（资料性） 网络性能测试	10
附录 D（资料性） 存储性能测试	12
附录 E（资料性） 整体计算性能测试	13
附录 F（规范性） 应用测试数据	14
附录 G（资料性） 测试报告模板	16

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国计算机用户协会提出并归口。

本文件起草单位：中石化石油物探技术研究院有限公司、中国计算机用户协会石油和化工信息技术应用分会、中国石油集团东方地球物理勘探有限责任公司、中海油田服务股份有限公司。

本文件主要起草人：包红林、庞凯元、李博、胡光辉、袁刚、吴伟、徐雷、徐文才、居兴国、武永山、伦小燕、杨子兴、杨广新、王豆豆、李敏、葛鑫。

引 言

随着油气勘探项目地震数据量的剧增, 数据处理对高性能计算集群需求快速增长。高性能集群由处理器、内存、网络 and 存储等技术构建, 技术性能各不相同, 不同高性能应用软件对集群构建技术的性能需求不尽相同, 实测集群计算性能差异较大。因此不同应用领域面临高性能集群性能测试方法无法统一的难题, 从而使得集群建设方案论证评估工作缺少规范性和精准性, 极易造成集群建设投资的浪费。本文件依据油气勘探领域高性能应用对集群技术性能的需求, 采用通用基准测试软件构建集群系统性能测试方法, 选用典型资源需求应用软件构建应用性能测试方法, 编制性能测试报告模板, 为高性能集群建设与验收阶段性能测试工作提供规范性与精准性指导, 也为高效与高性价比的集群建设提供指导依据。

油气勘探 高性能计算集群性能 测试方法

1 范围

本文件描述了油气勘探高性能计算集群性能测试中利用基准测试软件开展系统性能测试方法和利用典型资源需求应用软件开展应用性能测试方法。

本文件适用于油气勘探行业高性能计算集群性能测试，其他行业可参照使用。

2 规范性引用文件

本文件没有规范性引用文件。

3 术语和定义、缩略语

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

高性能计算集群 high performance computing cluster

具有高计算性能、主要为高性能计算应用服务的集群系统。

[来源：计算机科学技术名词]

3.1.2

系统性能测试 system performance test

通过基准测试软件对高性能计算集群的计算和高性能组件等性能指标进行测试。

[来源：计算机科学技术名词-性能测试，有修改]

3.1.3

应用性能测试 application performance test

通过应用软件对高性能计算集群应用计算性能指标进行测试。

[来源：计算机科学技术名词-性能测试，有修改]

3.1.4

峰值性能 peak performance

在理想情况下计算机系统可获得的最高理论性能值。

[来源：计算机科学技术名词]

3.1.5

测试结果数据库 test results database

存储高性能计算集群性能测试结果的数据库。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

HPL——高性能Linpack测试软件包 (High Performance Linpack)

OMB——俄亥俄州立大学MPI基准测试 (Ohio State University MPI Benchmarks)

OVT——共炮检距矢量片 (Offset Vector Tile)

VTI——水平横向各向同性 (Vertical Transverse Isotropy)

4 测试分类

4.1 测试内容分类

测试内容包括系统性能测试和应用性能测试。

4.2 测试规模分类

分为1个计算节点、集群部分计算节点和集群全部计算节点。

5 总体原则

5.1 测试对象为依据建设方案构建的64个计算节点模拟集群或已建成的待投产集群；

5.2 测试集群安装的操作系统及版本宜与集群投产后的系统及版本一致；

5.3 每项性能测试次数不少于5次，从第3次测试开始取测试结果进行均值计算作为最终测试结果。

6 系统性能测试

6.1 测试项目

包括节点硬盘IO与内存、网络、存储等单项测试和整体计算性能测试。

6.2 单项测试

6.2.1 节点硬盘 IO 性能测试

6.2.1.1 测试方法

使用操作系统主流IO性能基准测试软件，使用1个计算节点，测试节点内置数据硬盘在文件顺序读写模式下硬盘读写带宽和IOPS性能。

6.2.1.2 测试参数

测试参数宜设置为：

- a) direct=1，不使用内存 buffer；
- b) bs=128K，单次 io 的块文件大小为 128k；
- c) rw=read 或 write，顺序读或写，默认顺序读；
- d) numjobs=16，测试线程数为 16；
- e) size=100G，测试文件大小为 100GB，也可选择更大的文件；
- f) ioengine=psync，使用 psync IO 引擎，也可选择操作系统支持的其他 IO 引擎。

6.2.1.3 测试过程及结果

软件使用及测试结果见附录A。

6.2.2 节点内存性能测试

6.2.2.1 测试方法

使用内存性能基准测试软件，使用1个节点，测试节点持续运行内存带宽最大值。

6.2.2.2 测试参数

测试数据量参数N大于0.5×CPU三级缓存总容量，以消除CPU缓存对测试结果的影响。

6.2.2.3 测试过程及结果

软件使用及测试结果见附录B。

6.2.3 网络性能测试

6.2.3.1 测试方法

使用网络性能基准测试软件,使用2个计算节点,测试节点间MPI点对点通信MPI的网络带宽和延时。

6.2.3.2 测试过程及结果

软件使用及测试结果见附录C。

6.2.4 存储性能测试

6.2.4.1 测试方法

使用I0500性能基准测试软件,使用10个计算节点,测试大文件读写场景下存储系统读和写的带宽。

6.2.4.2 测试过程

软件使用及测试结果见附录D。

6.3 整体计算性能测试

6.3.1 测试方法

使用TOP500性能基准测试软件,使用全部计算节点,测试集群双精度浮点计算最大峰值速度。软件的CPU与GPU版本分别用于测试CPU集群与GPU集群测试。

6.3.2 测试参数

通过调整以下参数对比测试得到最大峰值计算速度:

- a) 矩阵大小 N;
- b) 矩阵分块值;
- c) 选用按列排列的处理器阵列排列方式;
- d) 网格尺寸等。

6.3.3 测试过程及结果

软件使用及测试结果见附录E。

6.4 测试结果处理

6.4.1 单项测试结果处理

采用以下方法进行结果对比:

- a) 将节点硬盘 I/O、内存和网络性能测试结果分别与系统测试结果数据库中相同测试项目测试结果进行对比,获得测试结果所处位次,分析系统性能的先进性;
- b) 将存储性能测试结果与近3年国际权威 I0500 10节点榜单性能数据进行对比,获得测试结果所处位次,分析系统性能的先进性。

6.4.2 整体计算性能测试结果处理

采用以下方法进行结果对比:

- a) 将整体性能测试结果与系统测试结果数据库中整体性能数据进行对比,获得测试结果所处位次,分析系统性能的先进性;
- b) 将整体性能测试结果与集群理论峰值性能相除得到集群计算效率,与系统测试结果数据库中的集群计算效率进行对比,获得测试结果所处位次,分析系统性能的先进性。

7 应用性能测试

7.1 测试项目及数据

7.1.1 测试项目

包括常规处理和偏移成像测试。

7.1.2 测试数据

测试数据包括：

- a) 常规处理应用测试数据 2 套；
- b) Kirchhoff 叠前偏移测试数据 2 套；
- c) 逆时偏移成像测试数据 1 套；
- d) 全波形反演正演计算测试数据 1 套。

测试数据应符合附录 F 的规定。

7.2 常规处理

7.2.1 内存容量敏感型

7.2.1.1 测试方法

采用地表一致性反褶积处理方法，使用1个计算节点，测试数据处理时间。

7.2.1.2 测试参数

测试参数宜设置为：

- a) 分解域数量=4；
- b) 分块处理数据量根据节点内存容量确定。

7.2.1.3 测试过程及结果

进行节点分块数据处理，累加每块数据处理时间，得到测试数据处理时间。

7.2.2 内置临时盘敏感型

7.2.2.1 测试方法

采用分选处理方法，使用1个计算节点，测试数据处理时间。

7.2.2.2 测试参数

测试参数宜设置为：

- a) 全偏移距；
- b) 最大道数；
- c) 分选道头字= `cmpline, cmp, offset`；
- d) 道集最大道数。

7.2.2.3 测试过程及结果

进行节点多作业并行分块数据处理，得到测试数据处理时间。

7.2.3 计算与大内存敏感型

7.2.3.1 测试方法

采用五维插值处理方法，使用10个计算节点，测试数据处理时间。

7.2.3.2 测试参数

测试参数宜设置为：

- a) 迭代次数=400，或频率分解百分比=70%；
- b) 插值维度=5；
- c) 空间窗宽度=14；
- d) 重叠窗口（OVT 输入道集）=30%。

7.2.3.3 测试过程及结果

进行节点并行分块处理，得到测试数据处理时间。

7.3 偏移成像

7.3.1 Kirchhoff 叠前时间偏移

7.3.1.1 测试方法

采用弯曲射线方法，使用全部计算节点，测试数据处理时间。

7.3.1.2 测试参数

测试参数宜设置为：

- a) 基于覆盖次数的振幅均衡；
- b) 采样大小：4ms；
- c) 反假频参数：50m×25m；
- d) 最大孔径（半径）：4500m。

7.3.1.3 测试过程及结果

进行节点并行处理，得到测试数据处理时间。

7.3.2 Kirchhoff 叠前深度偏移

7.3.2.1 测试方法

采用VTI各向异性方法，使用全部计算节点，测试数据处理时间。

7.3.2.2 测试参数

测试参数宜设置为：

- a) 采样大小：10ms；
- b) 反假频参数：40m×20m；
- c) 最大孔径（半径）：5000m。

7.3.2.3 测试过程及结果

进行节点并行处理，得到测试数据处理时间。

7.3.3 逆时偏移成像

7.3.3.1 测试软件

按照以下原则选择测试软件：

- a) 节点内存容量满足波场数据存储需求时，选用波场数据全内存存储测试软件；
- b) 节点内存容量不能满足波场数据存储需求时，选用检查点波场数据存储测试软件。

7.3.3.2 测试流程

采用VTI各向异性方法按以下流程进行测试：

- a) 使用1个计算节点和测试数据中第100个炮集数据，测试数据处理时间；
- b) 使用全部计算节点和测试数据，测试数据处理时间。

7.3.3.3 测试参数

测试参数宜设置为：

- a) 最大频率=50Hz；
- b) 延拓步数=6000。

7.3.3.4 测试过程及结果

1个计算节点处理1个炮集数据，得到1个节点1个炮集数据处理时间。全部计算节点并行处理测试数据，得到测试数据处理时间。

7.3.4 全波形反演正演计算

7.3.4.1 测试流程

采用VTI各向异性方法按以下流程进行测试：

- a) 使用1个计算节点和测试数据中第100个炮集数据，测试数据处理时间；
- b) 使用全部计算节点和测试数据，测试数据处理时间。

7.3.4.2 测试参数

测试参数宜设置为：

- a) 吸收边界=20；
- b) 空间差分精度=4；
- c) 延拓步数=2000。

7.3.4.3 测试过程及结果

1个计算节点处理1个炮集数据，得到1个节点1个炮集数据处理时间。全部计算节点并行处理测试数据，得到测试数据处理时间。

7.4 测试结果处理

7.4.1 1个计算节点或10个计算节点测试结果处理

采用以下方法进行结果对比：

- a) 将测试结果与应用测试结果数据库中相同测试项目且硬件配置相同或类似的测试结果进行对比，获得测试结果所处位次，分析应用性能的先进性；
- b) 如无符合要求的测试结果供对比，则与应用测试结果数据库中相同测试项目的测试结果进行对比，获得测试结果所处位次，并结合前后位次的系统性能测试结果差异进行定量分析。

7.4.2 全部计算节点测试结果处理

将测试结果与应用测试结果数据库中相同测试项目的测试结果进行对比，获得测试结果所处位次，并结合前后位次的测试节点数和系统整体性能测试结果差异进行定量分析。

8 测试报告编制

8.1 报告内容

报告应包括引言、测试环境、系统性能测试、应用性能测试和测试结论等。

8.2 编制原则

报告的编制要求包括但不限于：

- a) 测试环境说明全面详尽；
- b) 测试过程描述科学严谨；
- c) 测试结果数据客观真实；
- d) 测试结论分析有理有据。

8.3 测试报告模板

测试报告模板见附录G。

附录 A (资料性) 节点硬盘 IO 性能测试

A.1 FIO参数

其他FIO参数:

- a) filename=/dev/sda 指定测试硬盘
- b) directory=/data 指定测试文件系统
- c) rw=rw 指定顺序混合读写模式
- d) rwmixwrite=30 混合读写模式下, 指定写占比例, 默认为50
- e) rwmixread=30 混合读写模式下, 指定读占比例, 默认为50
- f) thread 指定创建线程为POSIX线程
- g) iodepth=16 指定IO队列深度, 默认为1
- h) group_reporting 指定多线程汇总输出

A.2 FIO测试

fio -filename=/dev/nvme0n1 -direct=1 -iodepth 32 -thread -rw=write -ioengine=psync -bs=128k -size=800G -numjobs=4 -group_reporting, 汇总输出如下测试信息:

```
fio-3.26
Starting 4 threads
Jobs: 1 (f=1): [W(1),_(3)][99.9%][w=1477MiB/s][w=11.8k IOPS][eta 00m:02s]
seq_2xwrite_128k: (groupid=0, jobs=4): err= 0: pid=10091: Mon Apr 19 12:42:27 2021
write: IOPS=13.1k, BW=1641MiB/s (1721MB/s) (3200GiB/1996490msec); 0 zone resets
  clat (usec): min=42, max=31670, avg=301.64, stdev=647.32
  lat (usec): min=43, max=31672, avg=303.46, stdev=647.33
  clat percentiles (usec):
    | 1.00th=[ 65], 5.00th=[ 76], 10.00th=[ 81], 20.00th=[ 86],
    | 30.00th=[ 92], 40.00th=[ 101], 50.00th=[ 113], 60.00th=[ 126],
    | 70.00th=[ 147], 80.00th=[ 202], 90.00th=[ 437], 95.00th=[ 1713],
    | 99.00th=[ 3687], 99.50th=[ 4047], 99.90th=[ 4293], 99.95th=[ 5604],
    | 99.99th=[ 8291]
  bw ( MiB/s): min= 1337, max= 3533, per=100.00%, avg=1645.32, stdev=87.56,
samples=15928
  iops      : min=10702, max=28268, avg=13162.54, stdev=700.52, samples=15928
  lat (usec) : 50=0.07%, 100=39.16%, 250=44.55%, 500=7.48%, 750=1.23%
  lat (usec) : 1000=0.56%
  lat (msec) : 2=2.85%, 4=3.47%, 10=0.63%, 20=0.01%, 50=0.01%
  cpu       : usr=0.77%, sys=0.92%, ctx=26214460, majf=0, minf=1707
  IO depths  : 1=100.0%, 2=0.0%, 4=0.0%, 8=0.0%, 16=0.0%, 32=0.0%, >=64=0.0%
    submit   : 0=0.0%, 4=100.0%, 8=0.0%, 16=0.0%, 32=0.0%, 64=0.0%, >=64=0.0%
    complete : 0=0.0%, 4=100.0%, 8=0.0%, 16=0.0%, 32=0.0%, 64=0.0%, >=64=0.0%
    issued rwts: total=0,26214400,0,0 short=0,0,0,0 dropped=0,0,0,0
    latency   : target=0, window=0, percentile=100.00%, depth=32
Run status group 0 (all jobs):
  WRITE: bw=1641MiB/s (1721MB/s), 1641MiB/s-1641MiB/s (1721MB/s-1721MB/s), io=3200GiB
(3436GB), run=1996490-1996490msec
Disk stats (read/write):
```

```
nvme0n1: ios=194/26213375, merge=0/0, ticks=40/7808689, in_queue=3594186,  
util=100.00%
```

A.3 测试结果

汇总输出中“IOPS=13.1k, BW=1641MiB/s”为测试结果:

- a) IOPS=13.1k 硬盘IOPS为13.1k
- b) BW=1641MiB/s 硬盘写带宽为1641MiB/s

附录 B (资料性) 节点内存性能测试

B.1 测试系统要求

测试时系统启动到单用户模式，关闭除了irqbalance和messagebus之外的系统服务进程，节省系统的资源。

B.2 Stream下载与编译

按如下步骤下载与编译程序：

- 1) `http://www.nersc.gov/users/computational-systems/cori/nersc-8-procurement/trinity-nersc-8-rfp/nersc-8-trinity-benchmarks/stream/` 网址下载源程序stream.tar;
- 2) 解压stream.tar，进入目录stream;
- 3) 使用多线程编译命令`gcc -mtune=native -march=native -O3 -mcmmodel=medium -fopenmp -DSTREAM_ARRAY_SIZE=200000000 -DNTIMES=30 stream.c -o stream.o`，其中DSTREAM_ARRAY_SIZE选项指定数组大小参数N，DNTIMES选项指定测试执行次数，并从这些测试结果中选最优测试值；
- 4) 生成使用程序stream_c.exe。

B.3 Stream测试

stream_c.exe，输出如下测试信息：

```
STREAM version $Revision: 5.9 $
This system uses 8 bytes per DOUBLE PRECISION word.
Array size = 20000000, Offser = 0
Total memory required = 457.MB.
Each test is run 10 times, but only
the *best* time for each is used.
Printing one line per active thread ....
Your clock granularity/precision appears to be 1 microseconds.
Each test below will take on the order of 17052 microseconds.
(= 17052 clock ticks)
Increase the size of the array if this shows that
You are not getting at least 20 clock ticks per test.
WARNING -- The above is only a rough guideline.
For best results, please bu sure you know the
precision of your system timer.
Function      Rate(MB/s)   Avg time    Min time    Max time
Copy:         12109.2511   0.0264      0.0264      0.0265
Scale:        12038.6521   0.0266      0.0266      0.0267
Add:          13539.8402   0.0355      0.0355      0.0356
Triad:        13504.4298   0.0356      0.0355      0.0357
```

B.4 测试结果

输出信息中“Function”和“Rate”列分别对应Stream的四个基本测试功能及测试结果。

附录 C

(资料性)

网络性能测试

C.1 基础软件

MPI软件。

C.2 OMB下载与编译

按如下步骤下载与编译程序：

- 1) `http://mvapich.cse.ohio-state.edu/download/mvapich/` 网址下载源程序 `osu-micro-benchmarks-5.6.3.tar`文件；
- 2) `tar zxvf osu-micro-benchmarks-5.6.3.tar.gz`，解压tar文件；
- 3) `cd osu-micro-benchmarks-5.6.3`，进入文件目录；
- 4) 顺序执行`./configure`、`make -j 16`和`make install`，完成OMB的配置、编译和安装。

C.3 OMB测试

C.3.1 MPI带宽测试

`mpirun -ppn 2 --host <node1>,<node2> ./osu_bw`，输出如下测试结果：

```
# OSU MPI Bandwidth Test v5.6.3
# Size          Bandwidth(MB/s)
1                0.45
2                0.92
4                2.38
8                5.97
16               11.84
32               24.95
64               29.86
128              58.68
256              120.16
512              221.25
1024             473.30
2048             882.63
4096           1340.65
8192             1751.90
16384            1931.95
32768            2044.61
65536            2036.11
131072           2039.09
262144           2064.89
524288           1977.29
1048576          1963.61
2097152          1976.19
4194304          1927.27
```

C.3.2 MPI延时测试

`mpirun -ppn 1 --host <node1>,<node2> ./osu_latency`，输出如下测试结果：

```
# OSU MPI Latency Test v5.6.3
# Size          Latency(us)
0                13.09
1                16.78
2                17.09
```

4	17.14
8	16.93
16	16.80
32	16.77
64	16.92
128	17.05
256	17.67
512	17.42
1024	17.99
2048	19.78
<u>4096</u>	<u>22.12</u>
8192	47.44
16384	60.26
32768	59.88
65536	109.65
131072	148.70
262144	292.45
524288	433.47
1048576	682.49
2097152	1187.85
4194304	2191.51

C.4 测试结果

在命令输出信息中取数值“4096”对应行的测试数值1340.65MB/s和22.12us作为网络带宽和延迟的测试结果。

附录 D (资料性) 存储性能测试

D.1 基础软件

MPI软件。

D.2 I0500下载与编译

按如下步骤下载与编译程序：

- 1) `git clone https://github.com/I0500/io500.git -b io500-isc22`，获取源程序镜像；
- 2) `cd io500`，进入文件目录；
- 3) `./prepare.sh`，安装准备；
- 4) `make`，编译生成执行程序。

D.3 I0500测试

D.3.1 测试参数

根据测试环境修改如下参数：

- e) `-np 2`，指定客户端测试节点启动进程数
- f) `config-minimal.ini` 模板文件中[`ior-easy`] `blocksize`，指定文件块大小

D.3.2 测试

`mpiexec -np 2 ./io500 config-minimal.ini`，输出如下测试信息：

```
[RESULT] BW phase 1          ior_easy_write           6.021 GiB/s : time 35.83 seconds
[RESULT] BW phase 2          ior_hard_write       0.068 GiB/s : time 43.69 seconds
[RESULT] BW phase 3          ior_easy_read       5.144 GiB/s : time 46.86 seconds
[RESULT] BW phase 4          ior_hard_read        0.219 GiB/s : time 13.52 seconds
[RESULT] IOPS phase 1        mdtest_easy_write    10.334 kiops : time 32.09 seconds
[RESULT] IOPS phase 2        mdtest_hard_write    5.509 kiops : time 45.68 seconds
[RESULT] IOPS phase 3        find                 123.770 kiops : time 4.71 seconds
[RESULT] IOPS phase 4        mdtest_easy_stat     31.086 kiops : time 10.67 seconds
[RESULT] IOPS phase 5        mdtest_hard_stat     0.733 kiops : time 8.19 seconds
[RESULT] IOPS phase 6        mdtest_easy_delete   4.868 kiops : time 68.13 seconds
[RESULT] IOPS phase 7        mdtest_hard_read     5.734 kiops : time 43.88 seconds
[RESULT] IOPS phase 8        mdtest_hard_delete   3.443 kiops : time 75.07 seconds
[SCORE] Bandwidth 0.822726 GiB/s : IOPS 12.6286 kiops : TOTAL 3.22333
```

D.4 测试结果

输出信息中“`ior_easy_write`”和“`ior_easy_read`”行分别对应的6.021 GiB/s和5.144 GiB/s为存储大文件顺序写与读性能的测试结果。

附录 E
(资料性)
整体计算性能测试

E.1 基础软件和数学库

MPI软件、BLAS库和基本线性代数库。

E.2 HPL下载与编译

按如下步骤下载与编译程序：

- 1) www.netlib.org/benchmark/hpl 网站下载HPL源代码包hpl.tar.gz；
- 2) `tar -xzf hpl.tar.gz`，解压tar文件；
- 3) `cd hpl`，进入文件目录；
- 4) `cp setup/Make.Linux_PII_FBLAS Make.test`，拷贝Make模板文件生成Make文件；
- 5) 根据测试环境配置，修改Make.test文件中变量；
- 6) `make arch=test`，编译在hpl/bin/test目录下生成可执行文件xhpl和配置文件HPL.dat。

E.3 HPL测试

E.3.1 测试参数

根据测试系统配置，通过优化HPL.dat文件中参数，对比获得集群系统实测浮点计算峰值。

E.3.2 并行环境配置

编辑并行节点进程配置文件nodefile。

E.3.3 测试

`mpirun -p4pg nodefile xhpl`，输出如下测试信息：

```
=====
T/V                N    NB    P    Q                Time                Gflops
-----
WC23C2C4          728480  232   32   80                31972.21             8.061e+03
=====
||Ax-b||_oo / ( eps * ||A||_1 * N ) =          0.0028792 ..... PASSED
||Ax-b||_oo / ( eps * ||A||_1 * ||x||_1 ) =      0.0015927 ..... PASSED
||Ax-b||_oo / ( eps * ||A||_oo * ||x||_oo ) =     0.0002556 ..... PASSED
=====
```

E.4 测试结果

输出信息中“Gflops”和“8.061e+03”表示测试结果为 8.061×10^3 Gflops (8.061万亿次/秒)。

附录 F
(规范性)
应用测试数据

F.1 常规处理测试数据

炮集数据应符合表F.1的规定。

表F.1 常规处理炮集测试数据

数据属性	数值	单位
炮数	5500	
道数	4349700	
采样间隔	2	ms
道长	6	s
数据大小	50	GB

CMP道集数据应符合表F.2的规定。

表F.2 常规处理 CMP 道集测试数据

数据属性	数值	单位
线数	34	
道数	2014529	
CNP个数	843	
覆盖次数	428	
采样间隔	2	ms
道长	7	s
数据大小	26.9	GB

F.2 叠前时间偏移测试数据

叠前时间偏移测试数据应符合表F.3的规定。

表F.3 叠前时间偏移测试数据

数据属性	数值	单位
线数	840	
道数	170835240	
面元网格	25×25	m
采样间隔	2	ms
道长	8	s
数据大小	2.5	TB

F.3 叠前深度偏移数据

叠前深度偏移数据应符合表F.4的规定。

表F.4 叠前深度偏移测试数据

数据属性	数值	单位
线数	1400	
道数	23104089	
采样间隔	2	ms
道长	7	s

数据大小	301	GB
------	-----	----

F.4 逆时偏移成像测试数据

逆时偏移成像测试数据应符合表F.5的规定。

表F.5 逆时偏移成像测试数据

数据属性	数值	单位
炮数	22932	
道数	114660000	
面元网格	25×25	m
模型网格	876 (X) × 1001 (Y) × 1501 (Z)	

F.5 全波形反演正演计算测试数据

全波形反演正演计算测试数据应符合表F.6的规定。

表F.6 全波形反演正演计算测试数据

数据属性	数值	单位
炮数	20000	
道数	100000000	
面元网格	25×25	m
模型网格	801 (X) × 101 (Y) × 187 (Z)	

附录 G

(资料性)

测试报告模板

G.1 引言

说明测试的时间、地点、组织和目的等。

G.2 测试环境

G.2.1 集群计算节点配置

说明测试集群计算节点数，以及节点硬件配置，包括CPU个数、型号与性能参数，GPU个数、型号与性能参数，内存条数量、容量、型号与性能参数，硬盘数量、型号与性能参数，网卡数量、型号与性能参数，PCIe插槽数量与性能参数等。

G.2.2 G.2.2 集群网络配置

说明集群网络拓扑与网络协议、交换机数量，以及每台交换机型号、交换架构、总体性能、接入与上联端口数量与性能参数、背板或交换网板数量与性能参数等。

G.2.3 集群存储配置

说明存储节点型号、数量与容量，以及存储节点CPU与内存数量、型号与性能参数，硬盘数量、型号与性能参数，内部网络拓扑与网络协议、连接端口数量与性能参数，对外网络连接端口数量与网络协议，文件系统类型与部署方式等。

G.2.4 系统软件配置

说明操作系统、编译器、MPI、OPENMP、GPU编程语言、文件系统、数据库等类型与版本。

G.3 系统性能测试

G.3.1 单项测试

G.3.1.1 节点硬盘 IO 性能测试

说明测试软件及版本，测试命令、输出测试信息及测试结果等。

G.3.1.2 节点内存性能测试

说明CPU型号和三级缓存总容量，测试软件及版本，测试命令、输出测试信息及测试结果等。

G.3.1.3 网络性能测试

说明测试软件及版本，测试命令、输出测试信息及测试结果。

G.3.1.4 存储性能测试

说明测试客户端节点数，测试软件及版本，测试命令、输出测试信息及测试结果。

G.3.2 整体计算性能测试

说明测试软件及版本，测试命令、输出测试信息及测试结果。

G.3.3 测试结果处理

G.3.3.1 单项性能测试结果处理

说明测试结果处理过程及处理结果。

G.3.3.2 整体计算性能测试结果对比

说明测试结果处理过程及处理结果。

G.4 应用性能测试

G.4.1 常规处理

G.4.1.1 内存容量敏感型

说明测试软件及版本、测试数据、测试参数、作业参数及测试结果。

G.4.1.2 内置临时盘敏感型

说明测试软件及版本、测试数据、测试参数、作业参数及测试结果。

G.4.1.3 计算与大内存敏感型

说明测试软件及版本、测试数据、测试参数、并行作业参数、网络协议及测试结果。

G.4.2 偏移成像

G.4.2.1 Kirchhoff 叠前时间偏移

说明测试软件及版本、测试数据、测试参数、并行作业参数、网络协议及测试结果。

G.4.2.2 Kirchhoff 叠前深度偏移

说明测试软件及版本、测试数据、测试参数、并行作业参数、网络协议及测试结果。

G.4.2.3 逆时偏移成像

G.4.2.3.1 1个节点测试

说明测试软件及版本、测试数据、测试参数及测试结果。

G.4.2.3.2 全部节点测试

说明测试软件及版本、测试数据、测试参数，测试节点数、网络协议及测试结果。

G.4.2.4 全波形反演正演计算

G.4.2.4.1 1个节点测试

说明测试软件及版本、测试数据、测试参数及测试结果。

G.4.2.4.2 全部节点测试

说明测试软件及版本、测试数据、测试参数，测试节点数、网络协议及测试结果。

G.4.3 测试结果处理

G.4.3.1 1个计算节点或10个计算节点测试结果处理

说明测试结果处理过程及处理结果。

G.4.3.2 全部计算节点测试结果处理

说明测试结果处理过程及处理结果。

G.5 测试结论

基于各项测试结果在测试结果数据库中的位次，综合分析集群应用性能的先进性，在测试结果数据库中硬件配置没有相同或类似情况下，结合前后位次的系统性能测试结果差异进行定量分析。根据分析结果，给出集群应用计算性能结论以及可改进优化的建议。

