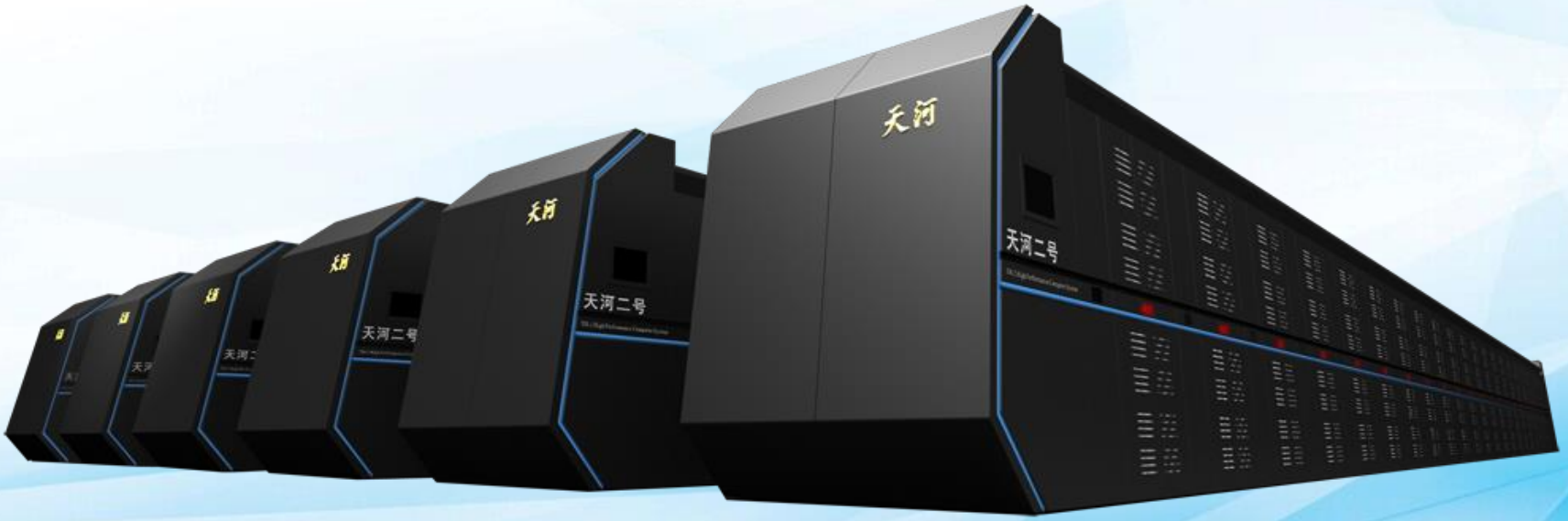
国家超级计算广州中心
NATIONAL SUPERCOMPUTER CENTER IN GUANGZHOU

SLURM资源管理系统使用入门

国家超级计算广州中心
NATIONAL SUPERCOMPUTER CENTER IN GUANGZHOU

主要内容

- **1. 资源管理系统概述**
  - **系统组成**
  - **系统实体**
- 2. 资源管理系统使用
  - 资源状态查看
  - 作业与资源分配
  - 作业查看与控制



国家超级计算广州中心
NATIONAL SUPERCOMPUTER CENTER IN GUANGZHOU

资源管理系统概述

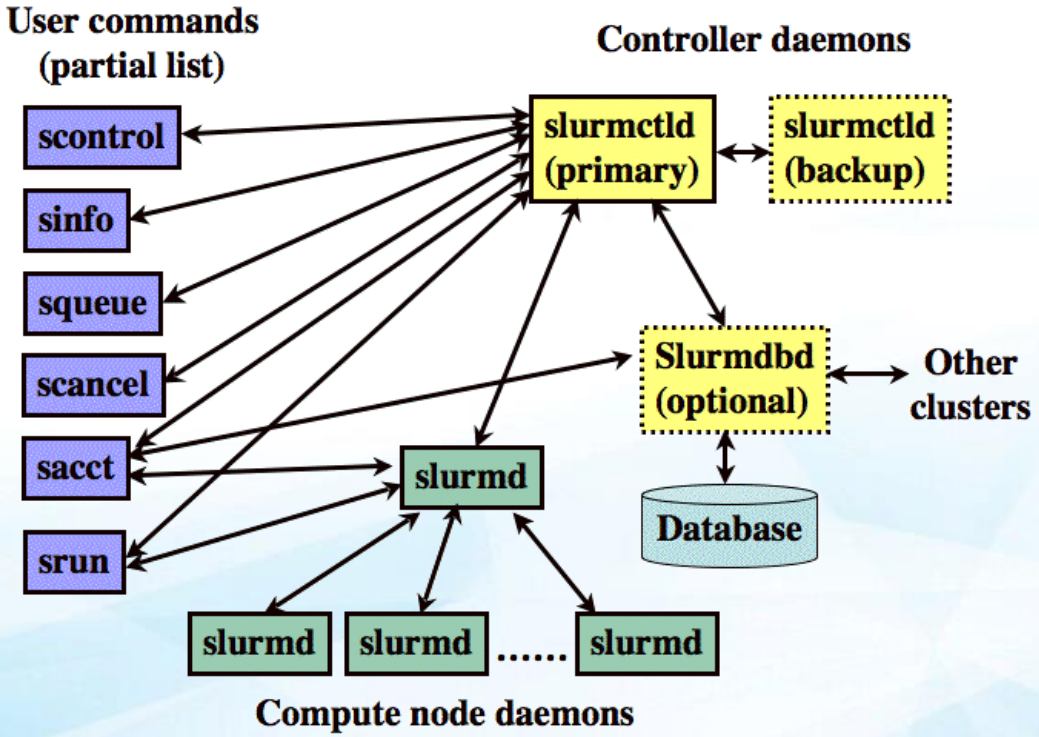
- 开源软件 SLURM
  - 全称 Simple Linux Utility for Resource Management
  - 2015年 TOP500 榜单前 10 名的 HPC 系统中有 6 套系统使用

- 提供高效的资源与作业管理
  - 状态监控
  - 资源管理
  - 作业调度
  - 用量记账

- 是用户使用计算资源的接口
  - 作业提交 / 运行
  - 任务加载
  - 作业控制
  - 状态查看

资源管理系统组成

- 主要组成部分
  - 控制进程
  - 记账存储进程
  - 节点监控进程
  - 作业管理进程
  - 命令工具



资源管理系统组成

- 控制进程：Slurmctld
  - 运行在管理节点
  - 是资源管理系统的控制中枢
  - 记录节点状态
  - 进行分区管理
  - 进行作业管理、作业调度、资源分配

- 记账存储进程：Slurmdbd
  - 运行在管理节点
  - 将作业信息保存到数据库
  - 记录用户、帐号、资源限制、 QOS 等信息
  - 用户认证和安全隔离

资源管理系统组成

- 节点监控进程：Slurmd
  - 运行在每个计算节点
  - 监控节点状态，并向控制进程注册
  - 接收来自控制进程与用户的请求并进行处理

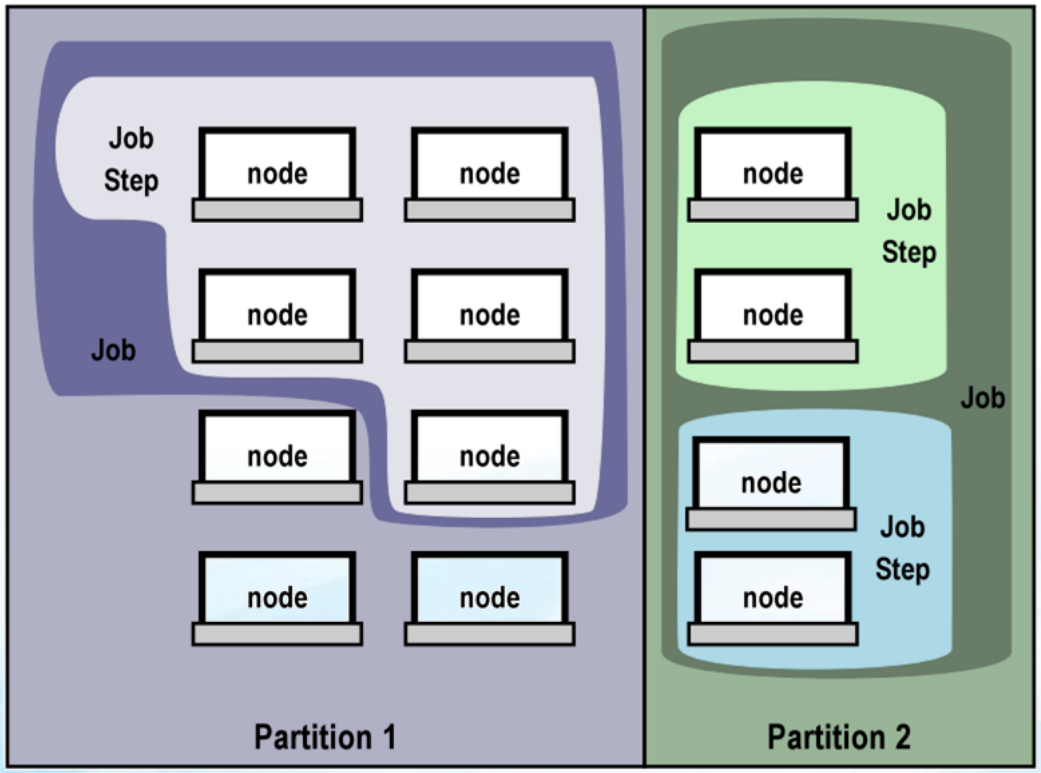
- 作业管理进程：Slurmstepd
  - 加载计算任务时由节点监控进程启动
  - 管理一个作业步的所有任务
    - 启动计算任务进程
    - 标准 I/O 转发
    - 信号传递
    - 任务控制
    - 资源使用信息收集

资源管理系统组成

- 命令工具
  - yhacct：查看历史作业信息
  - yhalloc：资源分配
  - yhbatch：提交批处理作业
  - yhcancel：取消作业
  - yhcontrol：系统控制
  - yhinfo：节点与分区状态查看
  - yhqueue：队列状态查看
  - yhrun：任务加载

资源管理系统实体

- 实体：管理对象
  - 节点
  - 分区
  - 作业
  - 作业步



资源管理系统实体

- 节点：Node
  - 即指计算节点
  - 包含处理器、内存、磁盘空间等资源
  - 具有空闲、分配、故障等状态
  - 使用节点名字标识，如 cn9217

- 分区：Partition
  - 节点的逻辑分组
  - 提供一种管理机制，可设置资源限制、访问权限、优先级等
  - 分区可重叠，提供类似于队列的功能
  - 使用分区名字标识，如 MIC
  - 系统有一个默认分区，带*标记 - work*

资源管理系统实体

- 作业：Job
  - 一次资源分配
  - 位于一个分区中，作业不能跨分区
  - 排队调度后分配资源运行
  - 通过作业 ID 标识，如 123

- 作业步：Jobstep
  - 通过 yhrun 进行的任务加载
  - 作业步可只使用作业中的部分节点
  - 一个作业可包含多个作业步，可并发运行
  - 在作业内通过作业步 ID 标识，如 123.0

资源管理系统关联

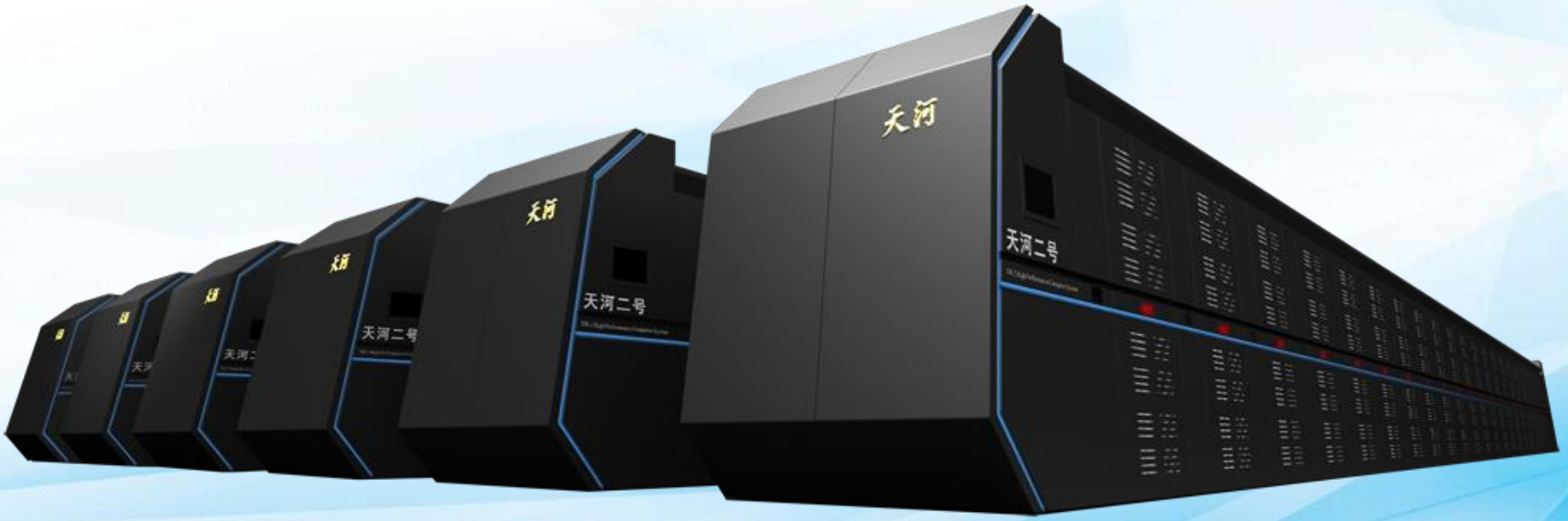
- 关联：Association
  - 关联是系统实施资源限制的一个基础概念
  - 由<cluster,account,user,partition>构成的四元组
  - 每个作业都有对应的关联，因为作业都是由用户使用某计费帐号提交到系统的一个分区中

- 帐号、用户的资源限制，在实现上最终以关联进行记录
  - 节点数量
  - 作业数量
  - 时间限制

国家超级计算广州中心
NATIONAL SUPERCOMPUTER CENTER IN GUANGZHOU

主要内容

- 1. 资源管理系统概述
  - 系统组成
  - 系统实体
- **2. 资源管理系统使用**
  - **资源状态查看**
  - **作业与资源分配**
  - **作业查看与控制**



国家超级计算广州中心
NATIONAL SUPERCOMPUTER CENTER IN GUANGZHOU

节点状态查看

- 使用yhinfo命令查看节点状态
  - 别名：yhi

```
$ yhinfo
PARTITION   AVAIL   TIMELIMIT   NODES   STATE   NODELIST
work*         up      infinite    1110 down*   cn[0-451,494-1151]
work*         up      infinite      42    idle   cn[452-493]
test          up      infinite       7 down*   cn[1178-1179,1224-1225,1244-1245,1259]
test          up      infinite     121    idle   cn[1152-1177,1180-1223,1226-1243,1246
```

- 使用yhcontrol命令查看节点详细信息

```
$ yhcontrol show node cn0
NodeName=cn0 Arch=x86_64 CoresPerSocket=12
CPUAlloc=0 CPUErr=0 CPUTot=24 Features=(null)
OS=Linux RealMemory=64000 Sockets=2
State=DOWN* ThreadsPerCore=1 TmpDisk=0 Weight=1
Reason=Not responding [slurm@2015-03-15T15:17:11]
```

节点基本状态

- 节点基本状态值
  - UNKNOWN：未知， unk
  - IDLE：空闲， idle
  - ALLOCATED：已分配， alloc
  - DOWN：故障， down
- 状态标识
  - DRAIN：不再分配， drng/drain
  - COMPLETING：有作业正在退出， comp
  - NO_RESPOND：无响应， *
- 指定查看特定状态的节点：
  - yhi -t 状态值

国家超级计算广州中心
NATIONAL SUPERCOMPUTER CENTER IN GUANGZHOU

分区状态查看

- 使用yhinfo命令查看分区状态
  - 与查看节点状态一致

```
$ yhinfo
PARTITION   AVAIL   TIMELIMIT   NODES   STATE   NODELIST
work*         up      infinite    1110 down*   cn[0-451,494-1151]
work*         up      infinite      42    idle   cn[452-493]
test          up      infinite       7 down*   cn[1178-1179,1224-1225,1244-1245,1259]
test          up      infinite     121    idle   cn[1152-1177,1180-1223,1226-1243,1246
```

- 分区名
- 分区状态
  - UP、DOWN、DRAIN、INACTIVE
  - DEFAULT/*
- 运行时间限制
- 查看指定分区
  - yhi -p 分区名

- 节点数量
- 节点状态
- 节点列表

分区属性查看

- 使用yhcontrol命令查看分区属性

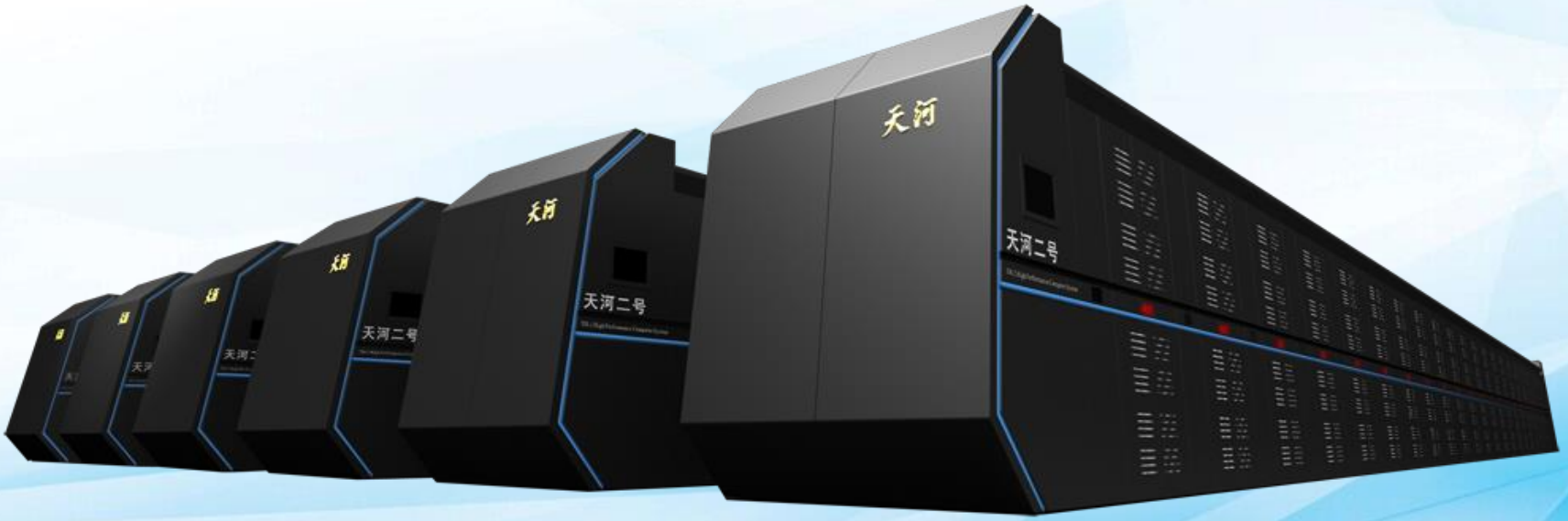
```
$ yhcontrol show partition work
PartitionName=work
AllocNodes=ALL AllowGroups=ALL Default=NO
DefaultTime=NONE DisableRootJobs=NO Hidden=NO
MaxNodes=UNLIMITED MaxTime=UNLIMITED MinNodes=1
Nodes=cn[0-1151]
Priority=1 RootOnly=NO Shared=NO
State=UP TotalCPUs=27648 TotalNodes=1152
```

- 节点列表
- 状态：UP/DOWN
- 隐藏分区
- 访问权限
- RootOnly
- AllowGroups
- 资源限制
- 节点范围
- 运行时间
- 优先级
- 共享节点
- 默认分区

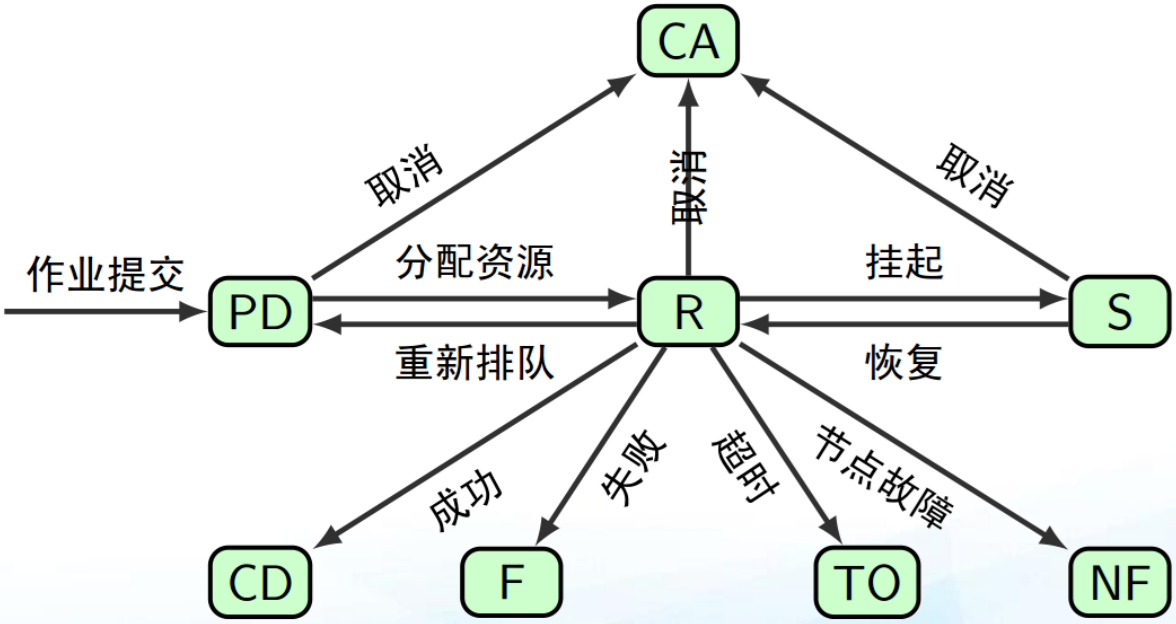
国家超级计算广州中心
NATIONAL SUPERCOMPUTER CENTER IN GUANGZHOU

主要内容

- 1. 资源管理系统概述
  - 系统组成
  - 系统实体
- **2. 资源管理系统使用**
  - **资源状态查看**
  - **作业与资源分配**
  - **作业查看与控制**



作业 = 资源分配请求



- 提交：申请资源
- 排队：等待资源
- 运行：分配资源（无论是否执行程序）
- 挂起：暂时释放资源
- 结束：释放资源

作业运行模式

- 交互模式
  - yhrun
- 批处理模式
  - yhbatch
- 分配模式
  - yhalloc

- 只是用户使用方式区别
- 管理、调度、记账时同等对待

交互模式 – yhrun

- 交互模式作业
  1. 在终端提交资源分配请求，指定资源数量与限制
  2. 等待资源分配
  3. 获得资源后，加载计算任务
  4. 运行中，任务I/O传递到终端
  5. 可与任务进行交互：I/O，信号
  6. 任务执行结束后，资源被释放
- 一个yhrun（一次资源分配）生成一个作业步（一次任务加载）

```
$ yhrun -n 4 cpi
yhrun: job 52 queued and waiting for resources
yhrun: job 52 has been allocated resources
Enter the number of intervals: (0 quits) 3
pi is approximately 3.1508492098656031, Error is 0.0092565562758100
wall clock time = 0.000014
Enter the number of intervals: (0 quits) 0
$
```

批处理模式 – yhbatch

- 批处理模式
  1. 用户编写作业脚本
  2. 提交作业
  3. 作业排队等待资源分配
  4. 分配资源后，在首节点加载执行作业脚本
  5. 脚本执行结束，释放资源
  6. 运行结果定向到指定的文件中记录

- 脚本中可通过yhrun加载计算任务
  - 一个作业可使用多个yhrun生成多个作业步
  - 也可以不包含yhrun命令，这样脚本只会在首节点运行

批处理模式 – yhbatch

- 脚本文件：第一行应以“#!”开头，指定脚本文件的解释程序；在脚本中，如果一行以“#SBATCH”开头，则该行中的其余部分被当作命令行选项，被yhbatch处理

```
$ cat job.sh
#!/bin/sh
#SBATCH -N 16 -t 100 -n 16 -c 4
yhrun -n 16 hostname
```

- 通过yhbatch命令运行

```
$ yhbatch job.sh
Submitted batch job 53
$ yhqueue
JOBID PARTITION     NAME     USER ST       TIME  NODES NODELIST(REASON)
53          work   job.sh  test605 PD       0:00     16 (Priority)
52          work  test.sh  test605  R    7:04:01    256 cn[256-511]
```

- 运行后，生成输出文件

```
$ ls
hpl-2.0  iotest  job.sh  NPB3.3-MPI  slurm-53.out  test.sh
```

分配模式 - yhalloc

- 分配模式
  1. 提交资源分配请求
  2. 作业排队等待资源分配
  3. 执行用户指定的命令
  4. 命令执行结束，释放资源

- 交互模式作业与批处理模式作业的结合
  - 一个作业可包含多个作业步
  - 可通过yhrun加载计算任务
  - 可与任务进行交互
  - 命令在用户提交作业的节点上执行

分配模式 – yhalloc

- 通过yhalloc命令运行

```
$ yhalloc -N 2 -n 4 -c 2 -t 100 /bin/sh
yhalloc: Granted job allocation 56
sh-4.1$ yhrun -n 4 hostname
cn1
cn1
cn0
cn0
sh-4.1$ ssh cn0 ls
hpl-2.0  iotest  job.sh  NPB3.3-MPI  slurm-53.out  test.sh
sh-4.1$ yhrun -n 2 date
Fri Mar 20 15:46:05 CST 2015
Fri Mar 20 15:46:05 CST 2015
sh-4.1$ exit
exit
yhalloc: Relinquishing job allocation 56
$
```

作业的资源需求

- 节点数量：-N, --nodes min[-max]
  - 如未指定，则根据其他需求，分配足够的节点
- 处理器数量：由几个参数决定
  - 作业要加载的任务数 -n, --ntasks，默认每个节点一个
  - 每个任务需要的处理器数 -c, --cpus-per-task，默认为 1
  - 系统将根据参数计算，分配足够处理器数目的节点
- 节点与处理器数目约束

```
$ yhrun -N 4 -n 8 hostname
cn1246
cn1247
cn1248
cn1249
cn1246
cn1247
cn1248
cn1249
```

作业的资源需求

- 运行时间：-t,--time
  - 单位为分钟
  - 超出时间限制的作业将被终止
  - 应尽可能准确估计：调度时用此估计时间进行backfill判断与优先级设置

```
$ yhrun -N 4 -n 8 -t 100 a.out
```

- 分区：-p,--partition
  - 从指定分区中分配节点
  - 使用指定分区的资源限制 / 访问权限进行检查
  - 作业必须位于一个分区中，不能跨分区
- 节点：
  - -w,--nodelist ：指定分配给作业的资源中至少要包含的节点
  - -F,--nodefile ：指定分配给作业的资源中至少要包含文件中定义的节点（此选项仅对yhalloc和yhbatch可用）
  - -x,--exclude ：指定分配给作业的资源中不要包含的节点
  - --contiguous ：表示作业需要被分配连续的节点

作业的运行参数

- 作业名字
  - 默认：加载的程序 / 批处理脚本文件名 / 执行的命令
  - -J, --job-name：指定名字

```
$ yhbatch -N 4 job.sh
$ yhbatch -N 8 -J myjob job.sh
$ yhqueue
JOBID  PARTITION     NAME      USER   ST      TIME   NODES  NODELIST(REASON)
1234       work      job.sh     test   R      00:05      4   cn[0-3]
1235       work      myjob      test   R      00:03      8   cn[12-19]
$ yhcancel -J myjob
```

- 工作目录
  - -D, --chdir：指定任务/脚本/命令的工作目录
  - 默认：yhrun/yhbatch/yhalloc 的工作目录

```
$ yhbatch -N 4 -D /WORK/test/devel/bin job.sh
```

作业的运行参数

- 启动时间
  - --begin：作业在指定时间之后才能运行
- 依赖关系
  - -d,--dependency：指定作业的依赖关系
    - after:jobid：在指定作业开始之后
    - afterok:jobid：在指定作业成功结束之后
    - afternotok:jobid：在指定作业不成功结束之后
    - afterany:jobid：在指定作业结束之后
  - 满足依赖关系的作业才能运行
  - 不可能满足依赖关系的作业将被取消
- 节点故障容忍
  - 默认：节点失效时将终止作业
    - 失效指节点变为 DOWN 状态
    - 主要针对 MPI 程序的执行，及时释放资源
  - -k,--no-kill：容忍节点故障
    - 程序自身容错
    - 正在执行的作业步失败后，继续运行后续作业步

作业的环境变量

- 系统在运行计算任务/作业脚本/命令时，会为其设置一些环境变量，以反映其资源分配情况

- 在批处理和分配模式作业中，可根据环境变量获得资源分配情况
  - SLURM_NPROCS：要加载的任务数
  - SLURM_TASKS_PER_NODE：每节点要加载的任务数
  - SLURM_JOB_ID：作业的 JobID
  - SLURM_SUBMIT_DIR：提交作业时的工作目录
  - SLURM_JOB_NODELIST：作业分配的节点列表
  - SLURM_JOB_CPUS_PER_NODE：每个节点上分配给作业的 CPU 数
  - SLURM_JOB_NUM_NODES：作业分配的节点数
  - HOSTNAME：对于批处理作业，此变量被设置为批处理脚本所执行节点的节点名

多程序作业步

- 支持 MPMD 程序的运行，即不同任务号执行不同程序
  - --multi-prog 选项
  - yhrun 最后跟配置文件，而不是可执行程序命令

- 配置文件格式
  - 按行组织，每行分为若干空白分隔的字段
  - 第一字段：任务号部分
    - 逗号分隔的任务号列表
    - 可包含范围 min-max
    - “*”表示其余所有任务
  - 第二字段：要执行的程序
  - 其余字段：执行程序的参数

多程序作业步

国家超级计算广州中心
NATIONAL SUPERCOMPUTER CENTER IN GUANGZHOU

- 配置文件格式
  - 在程序和参数部分，支持变量替换
  - %t：任务号　　%o：在本行的偏移

```
$ cat mp.conf
0           a.out  abc
1           b.out  %t
2,7-9       c.out  %o
*           d.out
$ yhrun  -n  16  --multi-prog  mp.conf
```

- 任务布局

```
0：a.out abc
1：b.out 1
2：c.out 0
3-6,10-15：d.out
7：c.out 1
8：c.out 2
9：c.out 3
```

作业步任务I/O 传递

- I/O 传递：可通过 -i,--input/-o,--output/-e,--error 选项控制
  - all：默认，传递所有任务 I/O
  - none：不传递
  - taskid：仅传递指定任务的 I/O
  - filename：将任务的 I/O 写入文件
  - 支持变量替换，节点名 / 任务号 / 局部任务号等

- 将任务的标准输出（和标准错误）写入文件 result：

```
$ yhrun -n 16 -o result a.out
```

- 将每个任务的标准输出（和标准错误）写入不同文件中：

```
$ yhrun -n 16 -o result-%t a.out
```

- 任务从文件 input 读取标准输入：

```
$ yhrun -n 16 -i input a.out
```

查看任务标号

- -l,--label选项
  - 区分作业步的标准输出或标准错误由哪个任务生成

```
$ yhrun -N 4 hostname
cn0
cn1
cn2
cn3
$ yhrun -l -N 4 hostname
0: cn0
1: cn1
2: cn2
3: cn3
```

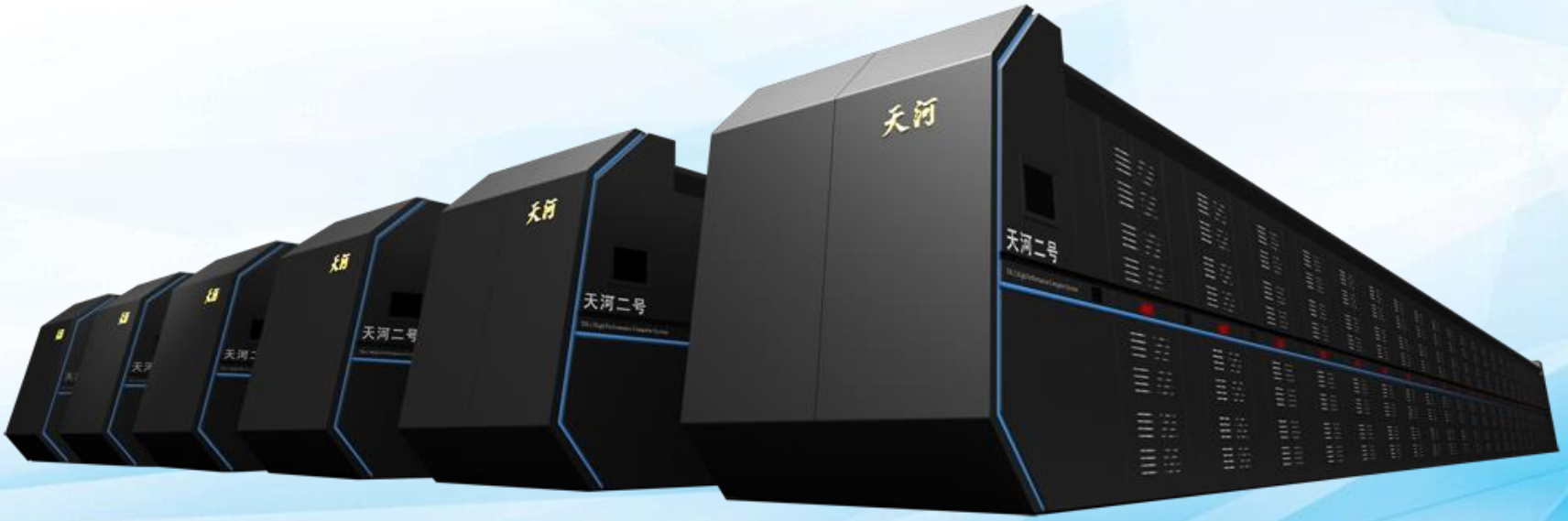
登录计算节点

- 用户分配资源后，可使用 SSH 登录所分配的节点
- 用户只能登录自己的已经有作业分配的节点
- 可用于查看节点上进程状态、运行程序等
- 用户自行运行的程序不会由资源管理系统自动进行CPU绑定
- 当用户不再有作业分配计算节点后，其在相应节点上的所有进程将被终止

国家超级计算广州中心
NATIONAL SUPERCOMPUTER CENTER IN GUANGZHOU

主要内容

- 1. 资源管理系统概述
  - 系统组成
  - 系统实体
- **2. 资源管理系统使用**
  - **资源状态查看**
  - **作业与资源分配**
  - **作业查看与控制**



作业状态查看

- 使用yhqueue命令查看作业队列状态
  - 别名：yhq

```
$ yhqueue
JOBID  PARTITION    NAME  USER  ST  TIME  NODES  NODELIST(REASON)
1463         test  sbatch  root   R  1:06     12  cn[1246-1257]
1465         work    tjob  test  PD  0:00     66  (PartitionNodeLimit)
1464         work   myjob  root   R  0:32     23  cn[452-474]
```

- 作业结束一段时间后，信息将从slurmctld中清除
- 常用查询选项
  - -p：指定分区
  - -u：指定用户
  - -t：指定状态
  - -w：指定包含的节点
  - -j：指定作业id号
  - -J：指定作业名

作业详细信息查看

- 使用yhcontrol命令查看作业详细信息

```
$ yhcontrol show job 1464
JobId=1464 Name=myjog
UserId=root(0) GroupId=root(0)
Priority=2 Account=(null) QOS=normal
JobState=RUNNING Reason=None Dependency=(null)
TimeLimit=UNLIMITED Requeue=1 Restarts=0 BatchFlag=1 ExitCode=0:0
SubmitTime=2015-03-16T08:24:34 EligibleTime=2015-03-16T08:24:34
StartTime=2015-03-16T08:24:34 EndTime=NONE
SuspendTime=None SecsPreSuspend=0
Partition=work AllocNode:Sid=ln0:8116
ReqNodeList=(null) ExcNodeList=(null)
NodeList=cn[452-474]
NumNodes=23 NumCPUs=23 CPUs/Task=1 ReqS:C:T=1:1:1
MinCPUsNode=1 MinMemoryNode=0 MinTmpDiskNode=0
Features=(null) Reservation=(null)
Shared=OK Contiguous=0 Licenses=(null) Network=(null)
Command=(null)
WorkDir=/WORK
```

作业步状态查看

- 使用yhqueue与yhcontrol命令查看作业步
  - 类似于查看作业队列

```
$ yhqueue -s
STEPID          NAME  PARTITION      USER       TIME  NODELIST
45.0             xhpl       work    test605    2:00:54  cn[0-255,512-1023]
46.0             xhpl       work    test605    1:57:49  cn[256-511]

$ yhcontrol show steps 46.0
StepId=46.0 UserId=1000 StartTime=2014-05-20T08:19:27 TimeLimit=6-22:40:00
Partition=work Nodes=cn[256-511] Tasks=256 Name=xhpl Network=(null)
ResvPorts=(null) Checkpoint=0 CheckpointDir=/WORK/home/test605/hpl/goto/256-2
```

- 作业步仅在运行时存在，运行结束后从系统中删除，并记录到记账数据库中
- 使用yhacct 命令可查看历史作业步信息

国家超级计算广州中心
NATIONAL SUPERCOMPUTER CENTER IN GUANGZHOU

历史作业信息查看

- 使用yhacct命令查看历史作业信息

```
$ yhacct
JobID      JobName    Partition     Account    AllocCPUS      State ExitCode
---------- ---------- ---------- ---------- ---------- ---------- --------
18            xhpl       work       test          0 CANCELLED+      0:0
30            xhpl       work       test          0 CANCELLED+      0:0
32            xhpl       work       test          0 CANCELLED+      0:0
34         test.sh       work       test        256  COMPLETED      0:0
37         test.sh       work       test        256     FAILED      0:0
40         test.sh       work       test       2048  COMPLETED      0:0
40.0          xhpl                  test       2048  COMPLETED      0:0
41         test.sh       work       test       2048 CANCELLED+      0:0
41.0          xhpl                  test       2048 CANCELLED+      0:0
42         test.sh       work       test       2048 CANCELLED+      0:0
45         test.sh       work       test       2048 CANCELLED+      0:0
46         test.sh       work       test       2048    RUNNING      0:0
46.0          xhpl                  test       2048    RUNNING      0:0
48         test.sh       work       test          0    PENDING      0:0
```

排队状态原因

- Priority：优先级不够高
- Dependency：作业的依赖关系未满足
- Resources：当前可用资源不能满足作业需求
- PartitionNodeLimit：作业请求的节点数超过分区的作业节点数限制
- PartitionTimeLimit：作业请求的运行时间超过分区作业运行时间限制
- PartitionDown：作业所在的分区处于 DOWN 状态
- JobHeld：作业被阻止调度
- BeginTime：作业请求的启动时间还未到达
- AssociationJobLimit：关联的作业限制已满
- AssociationResourceLimit：关联的资源限制已满
- AssociationTimeLimit：关联的运行时间限制已满
- ReqNodeNotAvail：作业请求的节点不可用

结束状态原因

- PartitionDown：作业所在的分区被删除
- NodeDown：分配给作业的节点进入 DOWN 状态
- BadConstraints：作业的资源约束无效
- SystemFailure：系统故障
- JobLaunchFailure：作业加载故障
- NonZeroExitCode：作业的退出代码非 0
- TimeLimit：作业超出运行时间限制
- InactiveLimit：作业超出不活跃时间限制
- InvalidBankAccount：作业的计费帐号无效

取消作业

- yhcancel 命令取消作业 / 作业步
  - 排队作业：标记为 CANCELLED 状态
  - 运行 / 挂起作业：终止所有作业步；标记为 CANCELLED 状态；回收资源
  - 使用yhcancel之后，系统将定期重复发送 SIGKILL 到作业步任务，直到其退出
  - 显示为 CG 状态的作业已经结束，不用再取消

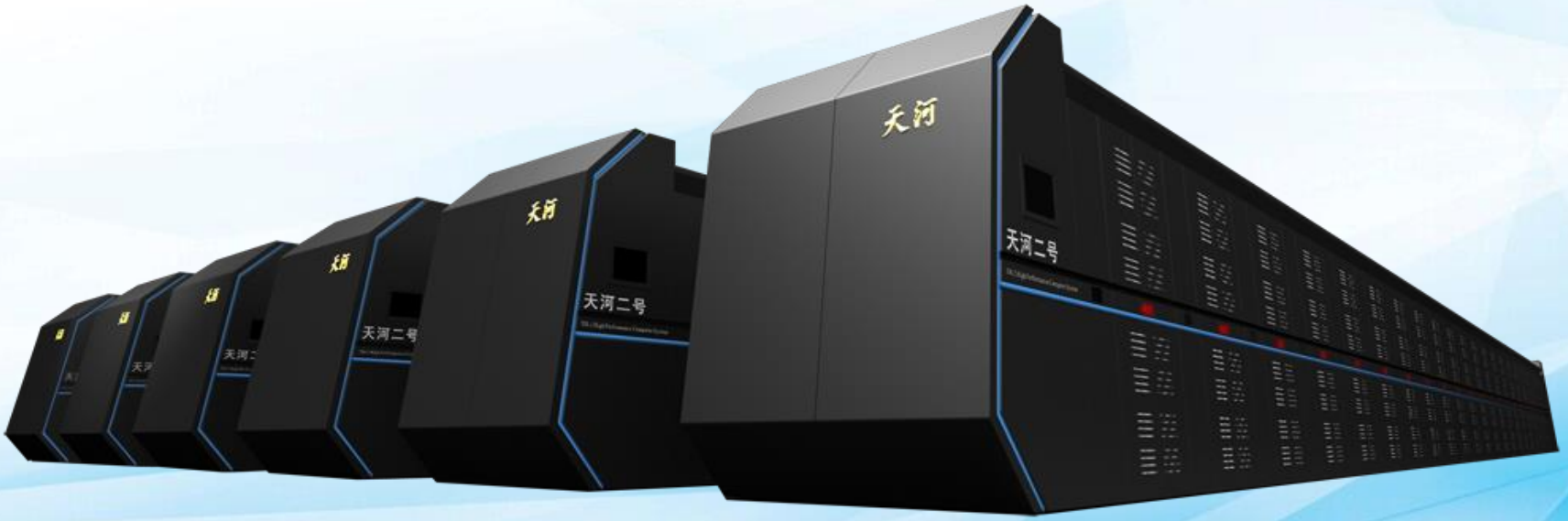
```
$ yhcancel 123 456
$ yhcancel 789.1
# yhcancel -u test
# yhcancel -p debug -t pd
```

国家超级计算广州中心
NATIONAL SUPERCOMPUTER CENTER IN GUANGZHOU

内容回顾

- 1. 资源管理系统概述
  - 系统组成
  - 系统实体
- 2. 资源管理系统使用
  - 资源状态查看
  - 作业与资源分配
  - 作业查看与控制

Q&A



国家超级计算广州中心
NATIONAL SUPERCOMPUTER CENTER IN GUANGZHOU

谢谢