基于 DIRAC 的高能物理分布式计算系统在 CEPC 实验上的应用

颜 田

中科院高能所计算中心

主要内容

❖ **CEPC 实验**
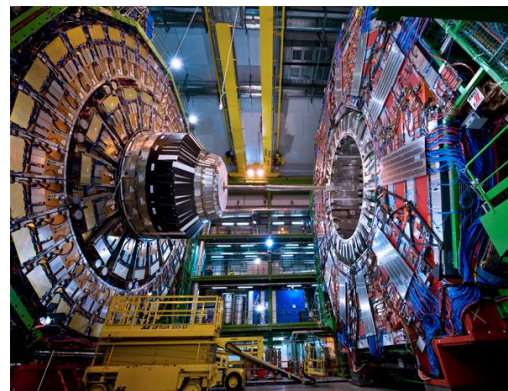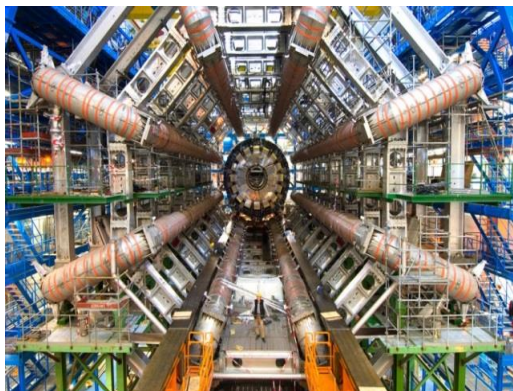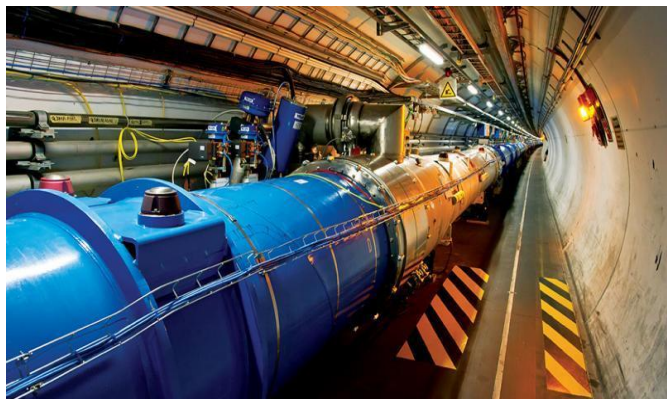
❖ **DIRAC 分布式计算中间件**

❖ **DIRAC 系统在 CEPC 实验上的应用**

主要内容

❖ **CEPC 实验介绍**

- 大型强子对撞机（LHC）与希格斯（Higgs）粒子的发现

- CEPC 实验介绍

- CEPC 实验的计算需求

- CEPC 实验使用分布式计算的情况

大型强子对撞机（**LHC**）

❖ 大型强子对撞机（LHC）

- 目前世界上规模最大的对撞机

- 周长 27 公里，对撞能量 14TeV

- 四个探测器：ATLAS, CMS, ALICE, LHCb

希格斯（**Higgs**）粒子的发现

The Nobel Prize in Physics 2013
François Englert, Peter Higgs

Share this: f 8+ y + 1.9K ✉

The Nobel Prize in Physics 2013
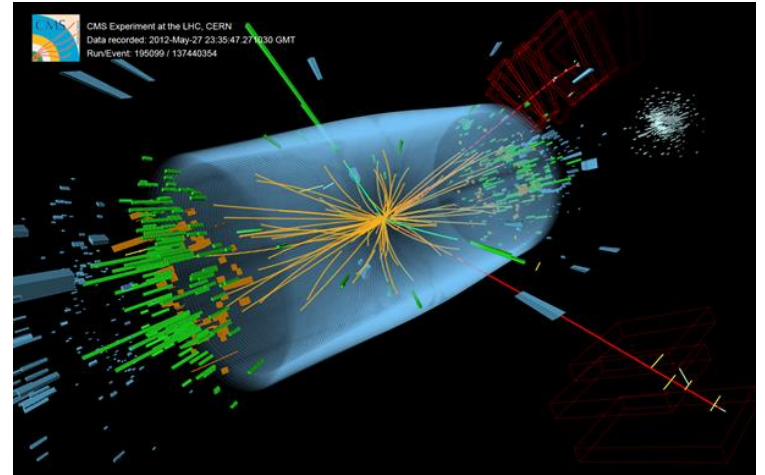
Photo: A. Mahmoud
François Englert
Prize share: 1/2

Photo: A. Mahmoud
Peter W. Higgs
Prize share: 1/2

CMS Experiment at the LHC, CERN
Data recorded: 2012-May-27 23:35:47.271030 GMT
Run/Event: 195099 / 137440354

The Nobel Prize in Physics 2013 was awarded jointly to François Englert and Peter W. Higgs *"for the theoretical discovery of a mechanism that contributes to our understanding of the origin of mass of subatomic particles, and which recently was confirmed through the discovery of the predicted fundamental particle, by the ATLAS and CMS experiments at CERN's Large Hadron Collider"*

The 27-kilometre Large Hadron Collider at CERN could soon be overtaken as the world's largest particle smasher by a proposed Chinese machine.

PARTICLE PHYSICS

China plans super collider

Proposals for two accelerators could see country become collider capital of the world.

BY ELIZABETH GIBNEY

For decades, Europe and the United States have led the way when it comes to high-energy particle colliders. But a proposal by China that is quietly gathering

China hopes that it would also be a stepping stone to a next-generation collider — a super proton–proton collider — in the same tunnel.

European and US teams have both shown interest in building their own super collider (see *Nature* **503**, 177; 2013), but the huge

Electron–positron colliders and hadron colliders such as the LHC complement each other. Hadron colliders are sledgehammers, smashing together protons (a kind of hadron that comprises three fundamental particles called quarks) at high energies to see what
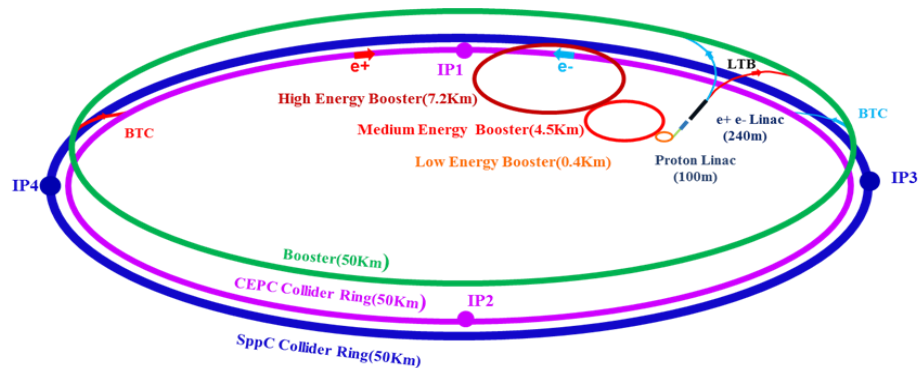
6

CEPC-SPPC 实验

- ❖ 环形正负电子对撞机（CEPC）
  - 中国高能界规划，2022年开建，2028年取数
  - 周长 50~100 km，对撞能量 250 GeV
  - 目标：精确测量 Higgs 粒子性质
- ❖ 超级质子-质子对撞机（SPPC）
  - 与 CEPC 同一隧道，2035年开建
  - 对撞能量 70~100 TeV
  - 目标：寻找新物理

LTB : Linac to Booster

BTC : Booster to Collider Ring

CEPC实验的计算需求

❖ CEPC-SPPC 实验的计算需求巨大

- SPPC 比 LHC 规模大 2~3 倍，能量高 5~7 倍
- LHC Run-II 2017 年需求：45万CPU核，850PB存储

❖ CEPC 预研期探测器模拟

- 对一种探测器模型做一次全模拟：
- 100 万 Higss 信号事例 + 5 亿 SM 本底事例
- 每个事例：1分钟CPU机时，2MB输出数据

❖ 预研期计算需求估计：

- 1~2PB 存储
- 35万CPU-days（2000CPU，6个月）

Table 4. The cross sections and number of events expected at 250 GeV for CEPC

Process	Cross section	No. of events in 5ab^{-1}
Higgs production cross section in fb		
$e^+e^- \rightarrow ZH$	212	1.06×10^6
$e^+e^- \rightarrow \nu\bar{\nu}H$	6.27	3.36×10^4
$e^+e^- \rightarrow e^+e^-H$	0.63	3.15×10^3
Total	219	1.10×10^6
Background cross sections in pb		
$e^+e^- \rightarrow e^+e^-$	25.1	1.3×10^8
$e^+e^- \rightarrow qq$	50.2	2.5×10^8
$e^+e^- \rightarrow \mu\mu(\text{or}\tau\tau)$	4.40	2.2×10^7
$e^+e^- \rightarrow WW$	15.4	7.7×10^7
$e^+e^- \rightarrow ZZ$	1.03	5.2×10^6
$e^+e^- \rightarrow eeZ$	4.73	2.4×10^7
$e^+e^- \rightarrow e\nu W$	5.14	2.6×10^7

	ATLAS	CMS	ALICE	LHCb	LHC Total
CPU	16.96	16.9	7.25	3.39	**44.5 万核**
Disk	175.1	110.2	68.44	28.2	**382 PB**
Tape	162	185	47.4	76.6	**471 PB**

Ref: LCG-TDR-002

CEPC实验对分布式计算的使用

❖ 背景：

- 预研期计算需求大，本地资源不足
- 近十个合作单位愿意贡献计算资源，但地理上分散、架构各异
- LHC 实验应用分布式计算的成功经验（WLCG）
- 分布式计算能整合分散的、异构的计算和存储资源，屏蔽不稳定性

❖ CEPC 对分布式计算的使用情况（CEPC-DIRAC 项目进展）

系统设计、开发 （2014.8-2014.12）					交付用户使用，根据反馈改进 （2015.01-今）							
2014.8	9月	10月	11月	12月	2015.1	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月

主要内容

❖ **DIRAC 分布式计算中间件**

- DIRAC 项目介绍

- DIRAC 系统架构

- 用户界面

DIRAC 项目介绍

- ❖ DIRAC = Distributed Infrastructure with Remote Agent Control
- ❖ 2003 年，为 LHCb 实验开发的分布式计算系统
- ❖ 2010 年，将 LHCb 独特部分分离为插件式模块，核心服务做成通用的平台
- ❖ 2012 年，已有 Belle2, CTA, ILC, BESIII 等实验使用 DIRAC
- ❖ 开源社区交流活跃，代码托管于 github
  - • https://github.com/DIRACGrid/DIRAC
- ❖ LHCb-DIRAC 目前能支持100+站点，40k+作业同时运行

diracgrid.org

DIRAC 系统架构
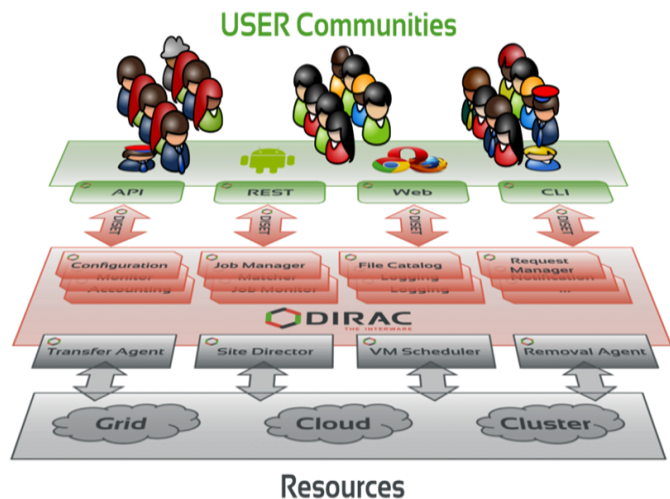
1. Interfaces
2. Services
3. Agents
4. Resources

DIRAC 用户界面（**WEB**）

主要内容

❖ **DIRAC 在 CEPC 实验上的应用**

- CEPC 站点资源与分布

- CEPC-DIRAC 系统架构

- 系统运行情况

CEPC站点资源

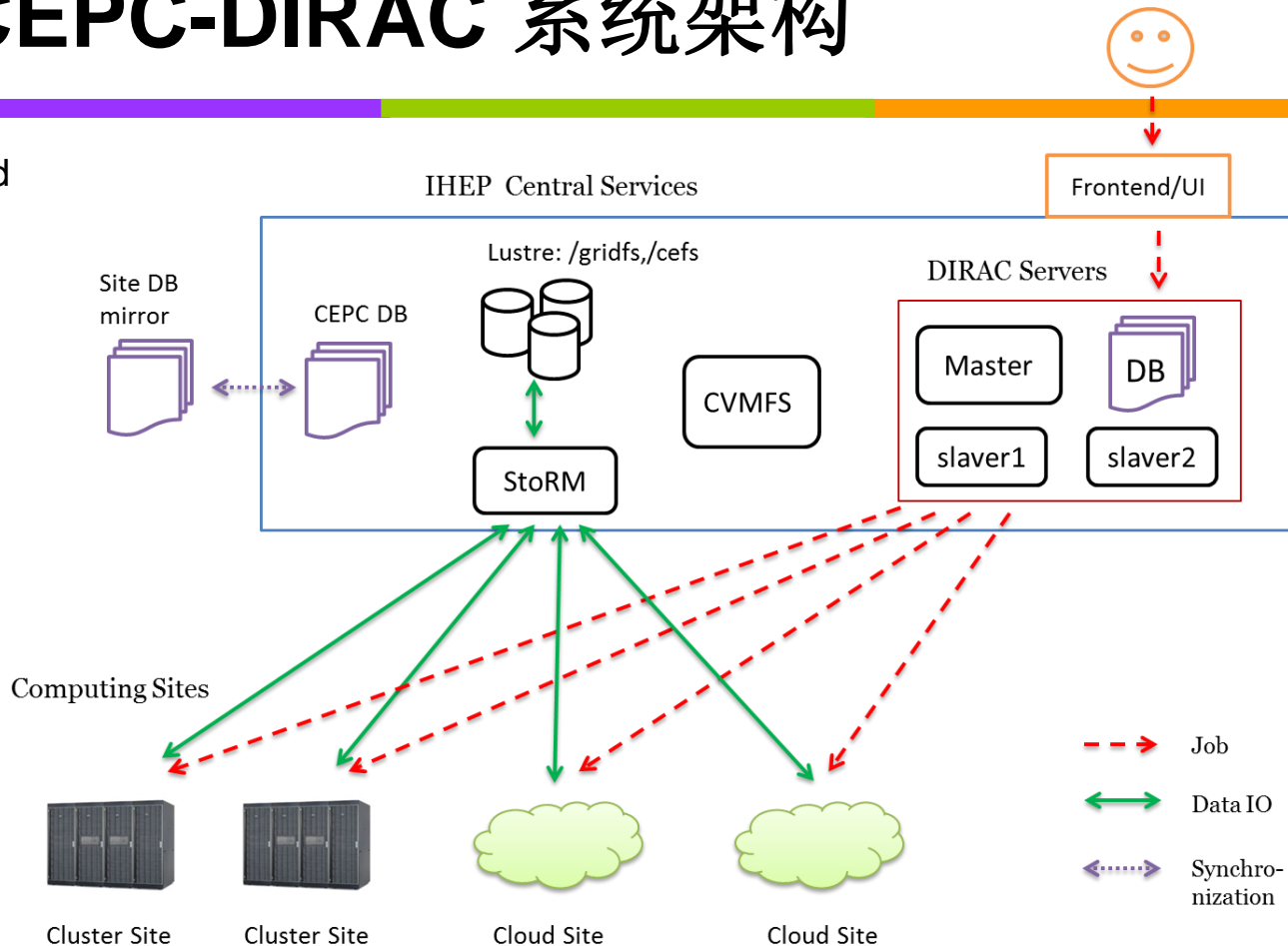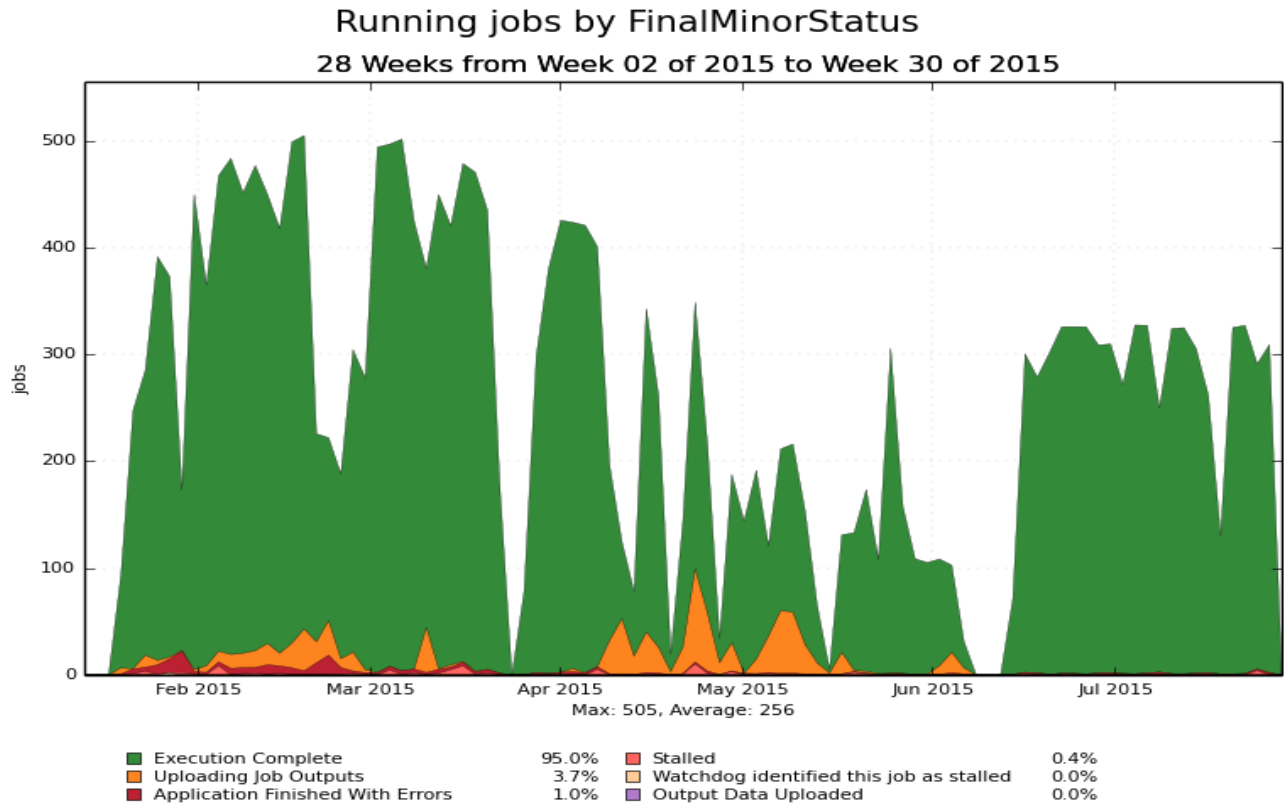| No.	Site	Type	CPU Cores	Storage
1	IHEP-OpenStack	Cloud	96	20 TB
2	IHEP-OpenNebula	Cloud	178	
3	CNIC	Cloud	50	20 TB
4	WHU	Cluster	120	20 TB
5	SJTU	Cluster	100	
6	SDU	Cluster	150	10 TB
7	PKU	Cluster	100	
8	BUAA	Cluster	50	10 TB
9	NCEPU	Cluster	60	10 TB
10	GXU	Cluster	50	
Total			**954**	**90 TB**

CEPC站点分布

CEPC-DIRAC 系统架构

- ❖ 作业拆分提交：Frontend
- ❖ 作业调度：DIRAC
- ❖ 数据管理：DFC
- ❖ 存储：StoRM+Lustre
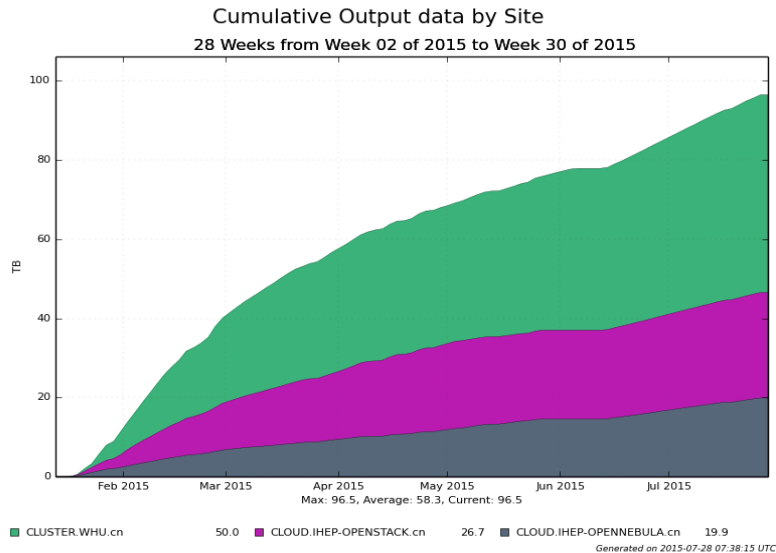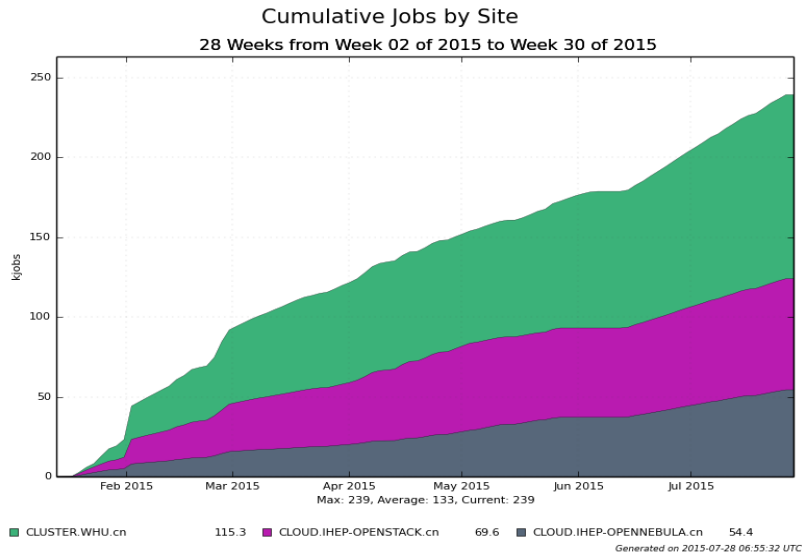- ❖ 软件发布：CVMFS
- ❖ 数据库：主从镜像
- ❖ 站点：集群和云站点
- ❖ 云调度：VMDIRAC

系统运行情况

- ❖ 系统运行稳定
- ❖ 作业成功率 95%

Running jobs by FinalMinorStatus
28 Weeks from Week 02 of 2015 to Week 30 of 2015

Max: 505, Average: 256

■ Execution Complete	95.0%	■ Stalled	0.4%
■ Uploading Job Outputs	3.7%	■ Watchdog identified this job as stalled	0.0%
■ Application Finished With Errors	1.0%	■ Output Data Uploaded	0.0%

Generated on 2015-07-28 07:41:27 UTC

系统运行情况

❖ 从 2015 年 1 月到 7 月，半年内成功完成作业 23.9 万个

❖ 产生数据 96.5 TB，并通过 StoRM SE 实时写入 Lustre /cefs

总结

❖ CEPC 是我国高能界规划的重要实验，其计算需求巨大

❖ DIRAC 是一款功能强大、设计灵活的分布式计算中间件

❖ 基于 DIRAC 的分布式计算系统成功地应用于 CEPC 预研期的探测器模拟计算

谢谢大家！