

# 中国锦屏地下实验室建设进展 和 开展的物理研究

岳骞  
清华大学  
2013年8月21日



中国锦屏地下实验室  
China Jinping Underground Laboratory

基于地下实验室的和天体物理前沿研讨会  
西昌邛海宾馆

# 内容：

- 建设极深地下实验室的重要科学意义
- 国际上地下实验室的发展现状
- 中国锦屏地下实验室建设进展CJPL
- CJPL正在开展的CDEX实验
- 总结

# 建设极深地下实验室的重要意义

必须利用极深地下实验室开展暗物质以及  
相关科学领域的研究工作：

- 物理学方面：
  - 暗物质探测；
  - 双贝塔衰变；
  - 质子衰变等.....

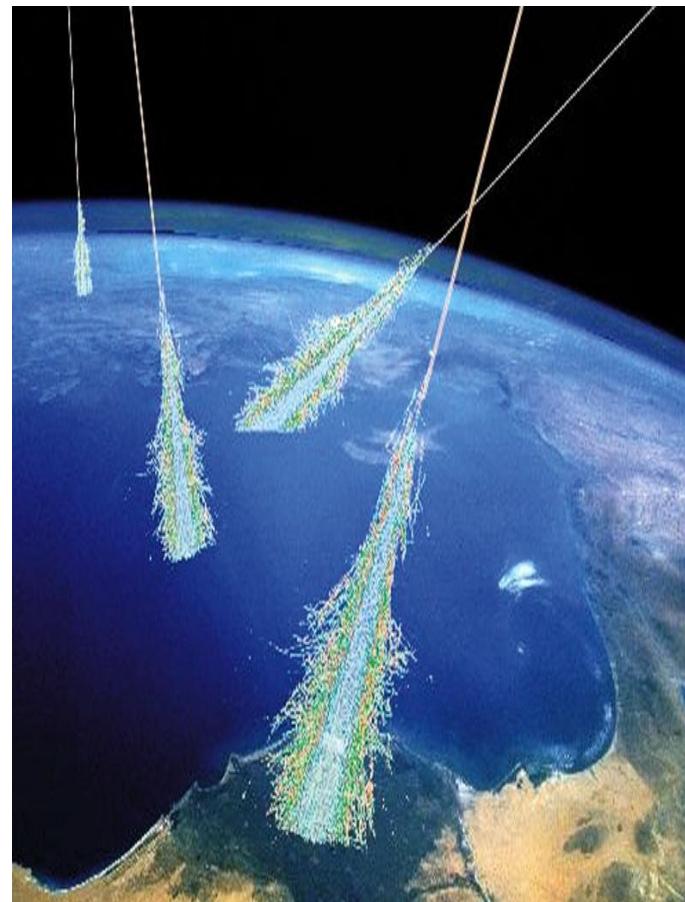
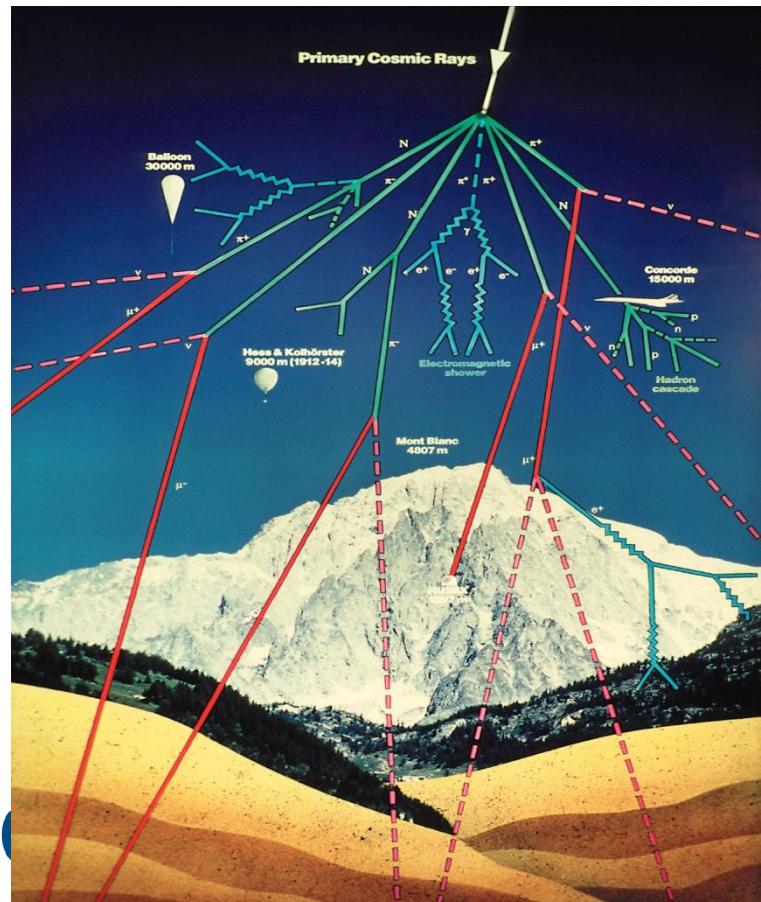
- 材料科学方面：
  - 超纯材料制备；
  - 材料宇生特性；
  - 同位素分离。

- 工程技术方面：
  - 岩土力学；
  - 地球结构演化；

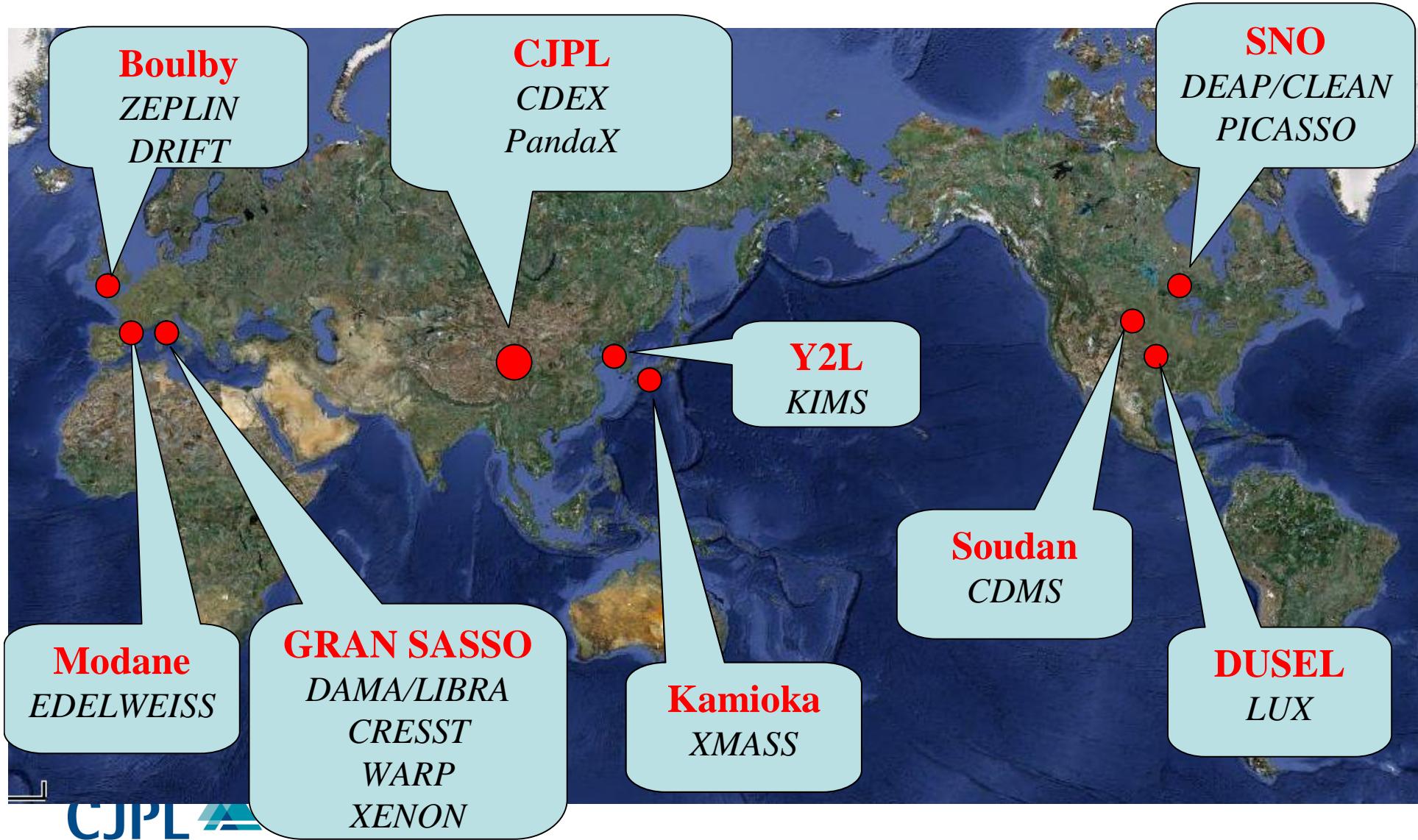
- 生物学方面：
  - 地下微生物进化；
  - 未知地下生物研究。

# 建设极深地下实验室的重要科学意义

- 空间中存在高能宇宙线粒子，可以穿透几百米厚的岩石；
- 对暗物质这类重要基础前沿课题研究产生严重干扰；
- 需要超过1km以上的岩石才可以有效屏蔽，而且越深越好；



# 国际地下实验室建设现状





# 法国Modane

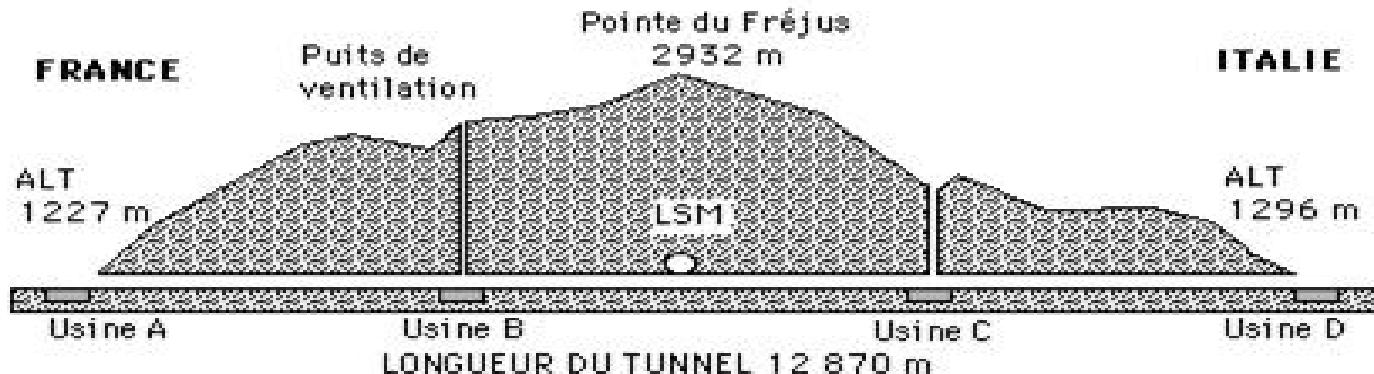
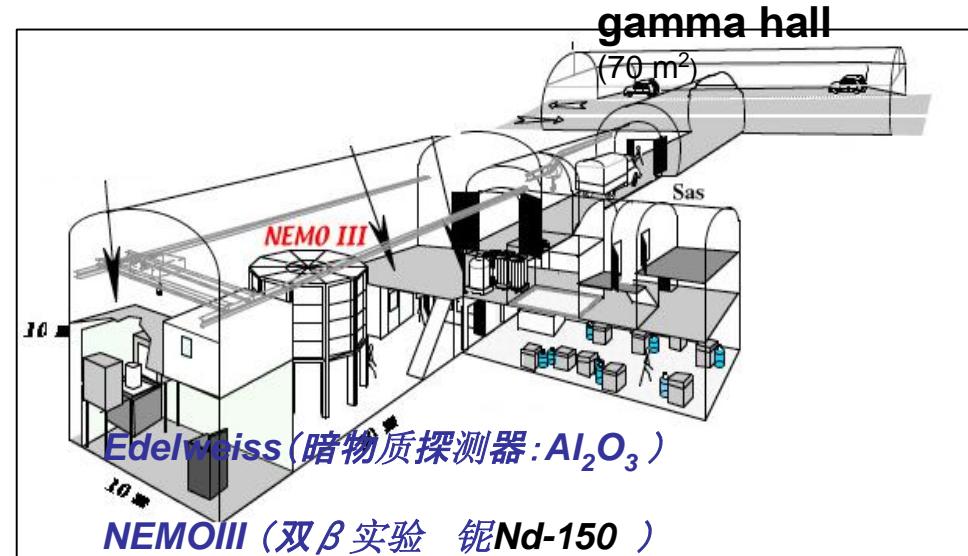
深度: 1700m

体积 : 3500 m<sup>3</sup>

宇宙线:  $4.7 \cdot 10^{-5} \mu\text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$

中子:  $1.6 \cdot 10^{-2} \text{n.m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$

氡气: 15 Bq/m<sup>3</sup>





# Boulby

深度: 1100m

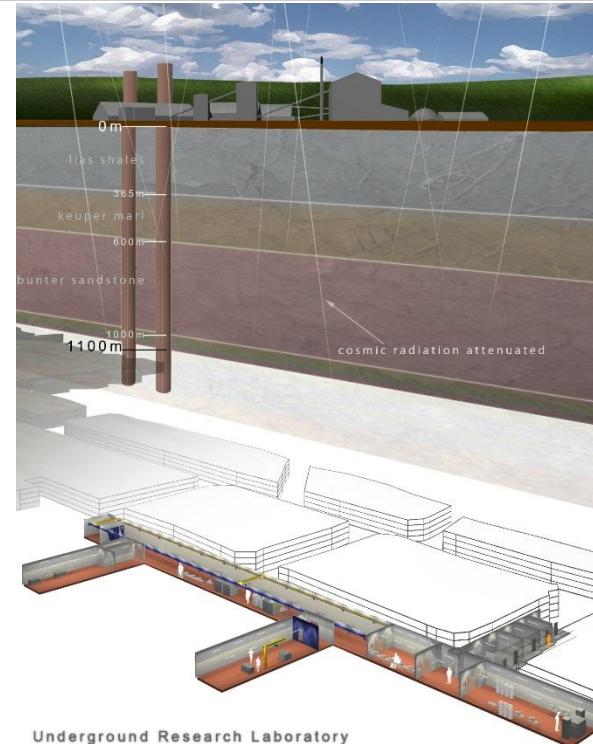
面积: 1500m<sup>2</sup>

容积: 5000m<sup>3</sup>

宇宙线:  $4 \cdot 10^{-4} \mu\text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$

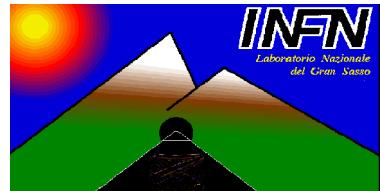
中子:  $1.7 \cdot 10^{-2} \text{n.m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$

氡气: 5 Bq/m<sup>3</sup>



CJI





# 意大利Gran Sasso地下实验室

深度: 1400m

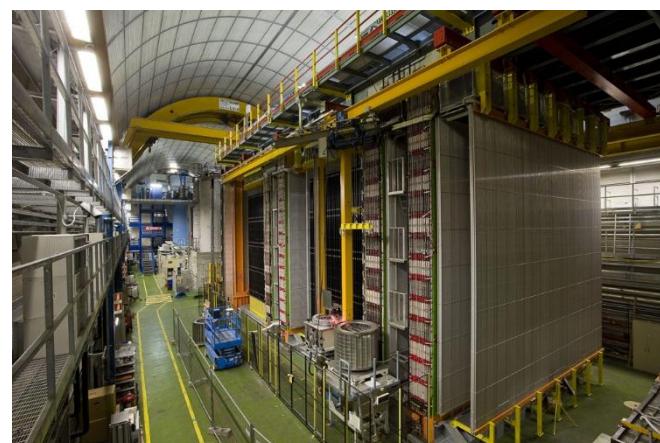
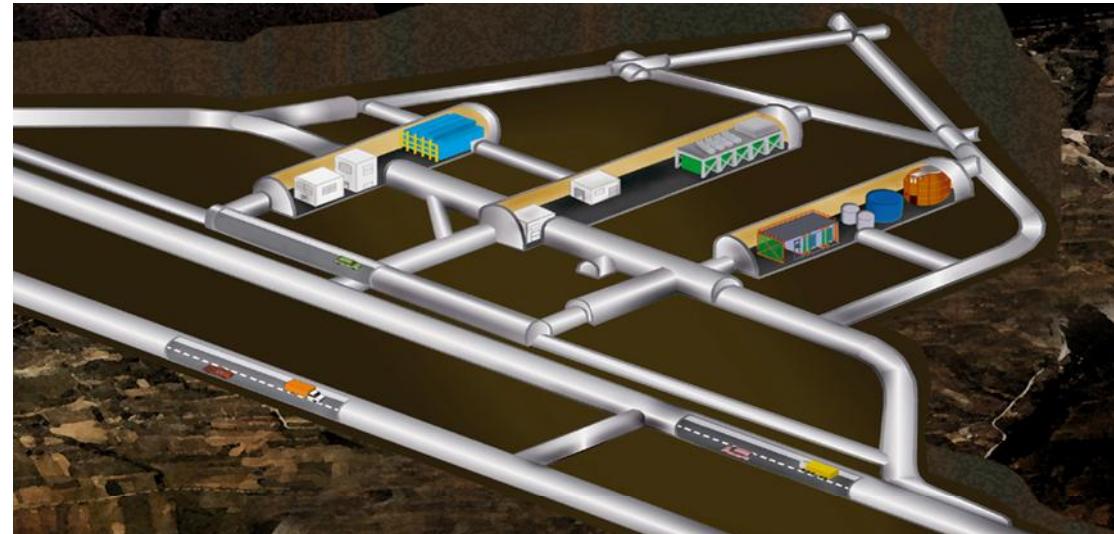
面积: 17 300m<sup>2</sup>

体积 : 180000 m<sup>3</sup>

宇宙线:  $3 \cdot 10^{-4} \mu\text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$

中子:  $3.8 \cdot 10^{-2} \text{n.m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$

氡气: 50 - 120 Bq/m<sup>3</sup>





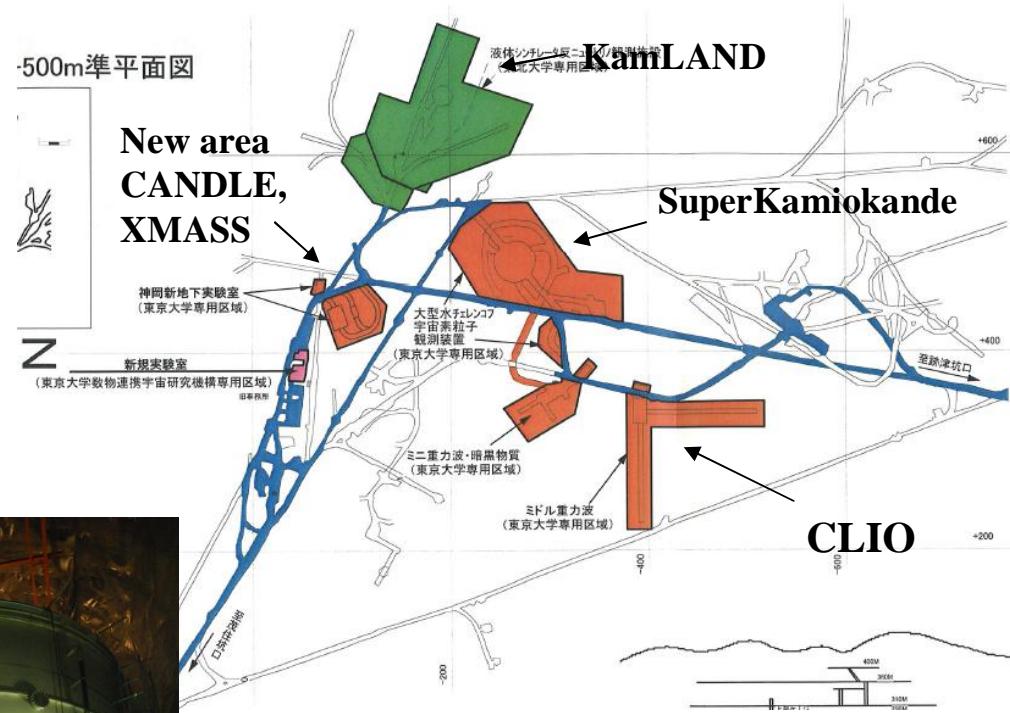
# 日本神冈(Kamioka)

深度: 1000m

宇宙线:  $3 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$

中子:  $8.25 \cdot 10^{-2} \text{n.m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$

氡气:  $40 - 1000 \text{ Bq/m}^3$



中微子: Atmospheric, long baseline,  
reactor,solar SK, KamLAND

双 $\beta$ 衰变: CANDLE

质子衰变: SK

暗物质: XMASS, NEWAGE

引力波实验: CLIO

# 加拿大SNOLAB

深度: 2000 m

体积 : 30000 m<sup>3</sup>

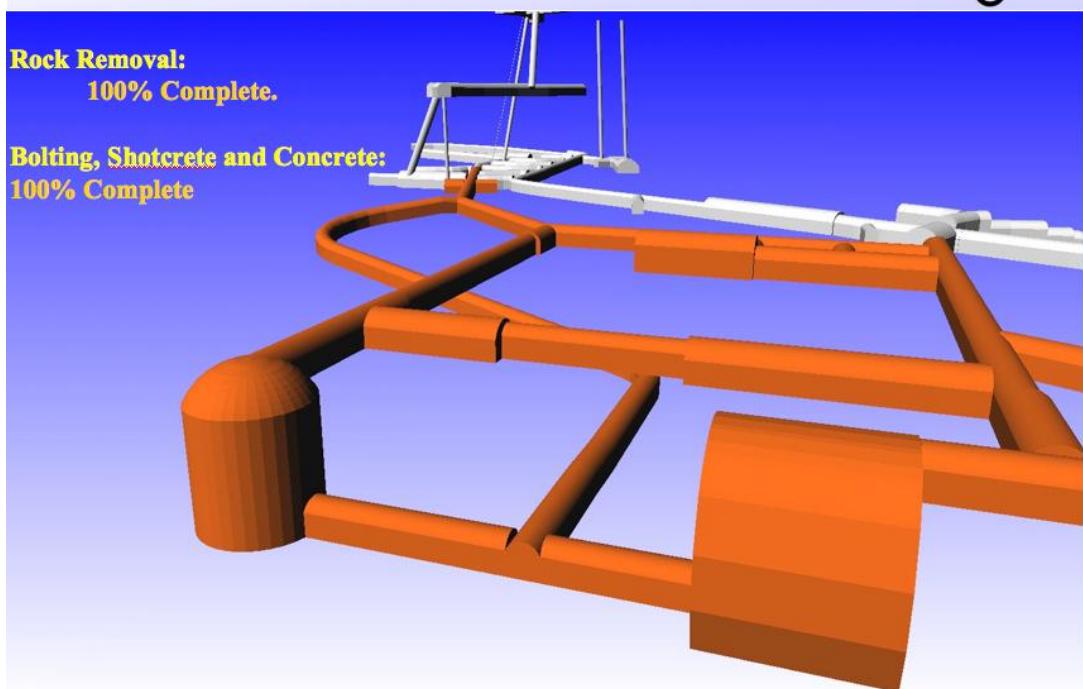
宇宙线通量:  $3 \times 10^{-6} \mu\text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$

SNO中微子实验

## Excavation Status

**Rock Removal:**  
100% Complete.

**Bolting, Shotcrete and Concrete:**  
100% Complete



SNOLAB @ ILIAS 2009

Dresden Feb 18<sup>th</sup>, 2009





# 美国DUSEL

## DUSEL

Deep Underground Science  
and Engineering Laboratory

### at Homestake, SD



6 ½ Empire State  
Buildings  
for scale

Shallow  
Lab

Open cut

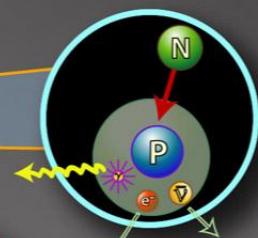
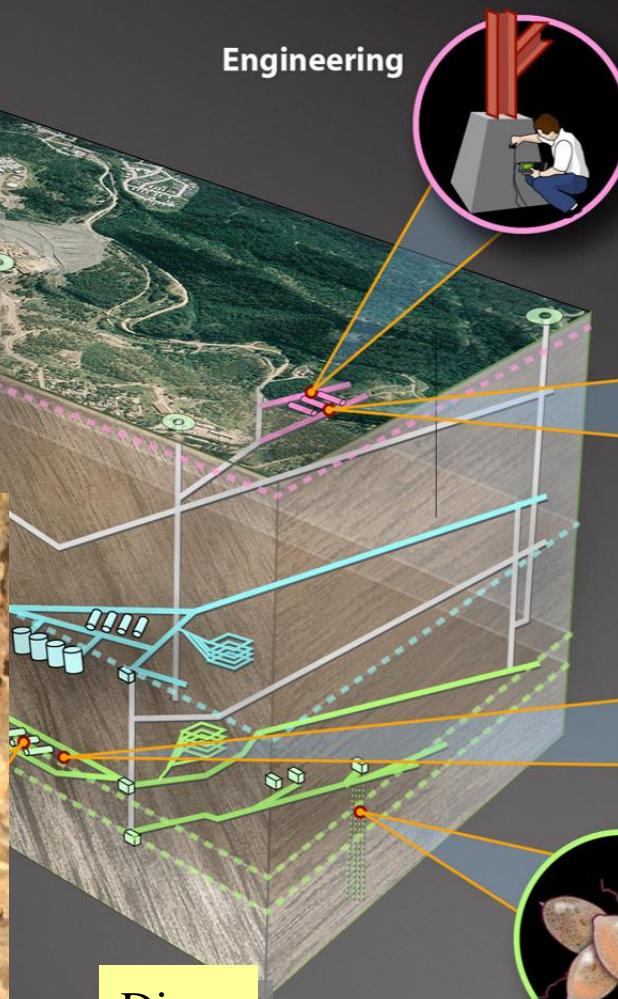
Engineering

Geoscience

Physics

Diana

Biology



# 国际地下实验室现状总结

- ◆ 已经建立起几十个空间大小不同的地下实验室。
- ◆ 在这些实验室中开展了各种低本底实验，包括暗物质、双 $\beta$ 衰变、中微子实验等，并且都建设了低本底放射性核素测量装置。
- ◆ 地下实验室建设的新方向：极深地下实验室。国际上地下实验室空间充足，有的实验室甚至还没有开展实验研究工作。但国际上极深地下实验室的空间不足，各国正在加紧建设极深地下实验室。

# 中国锦屏地下实验室建设进展

# 缘起



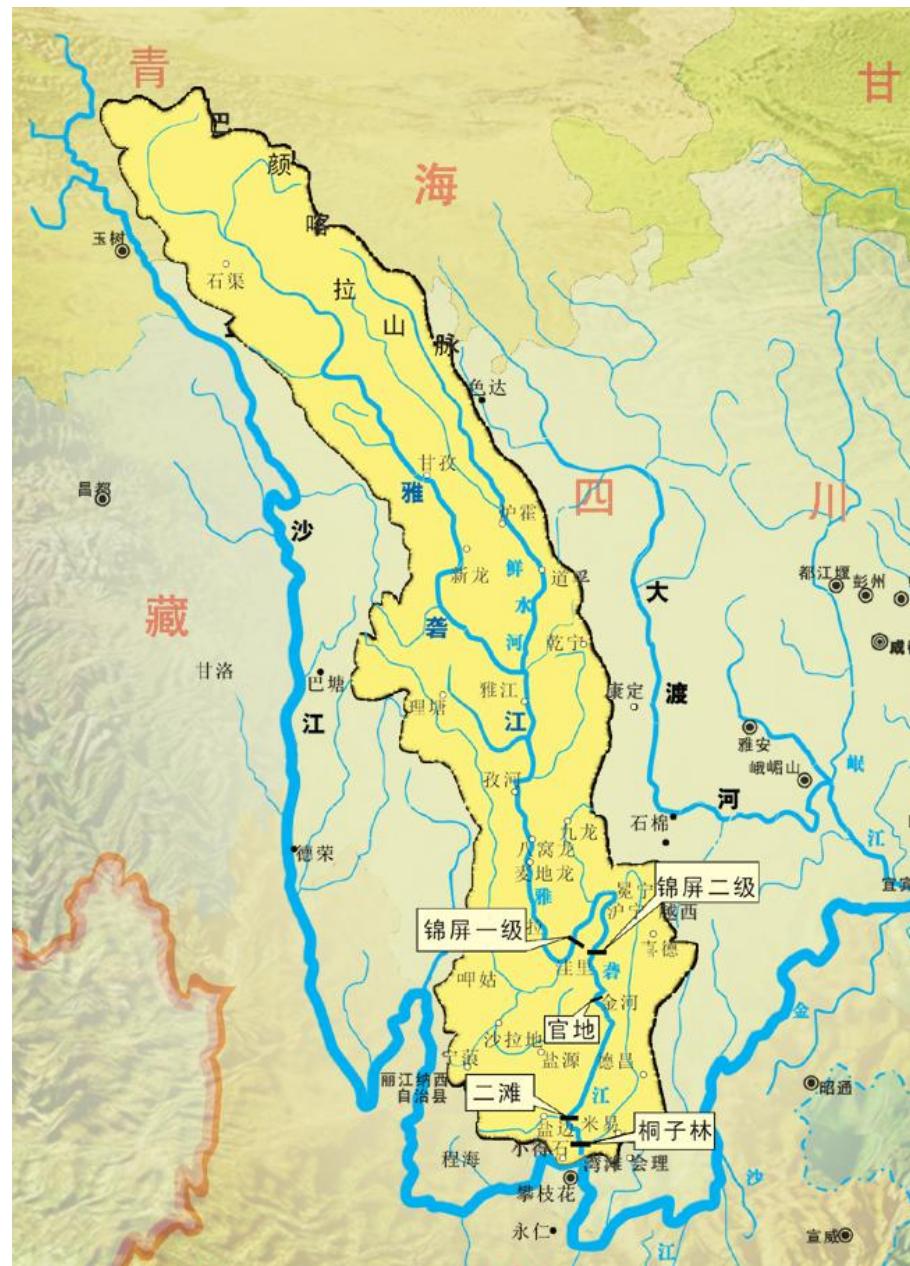
2008年8月，历时四年多建设的锦屏辅助洞贯通，在满足电站对外交通和运行管理需要，以及为锦屏二级水电站长引水隧洞地质勘探、科研试验和开挖施工支洞提供条件的同时，也为中国锦屏地下实验室建设提供了条件。

# 中国锦屏地下实验室(CJPL)



# 雅砻江流域概况

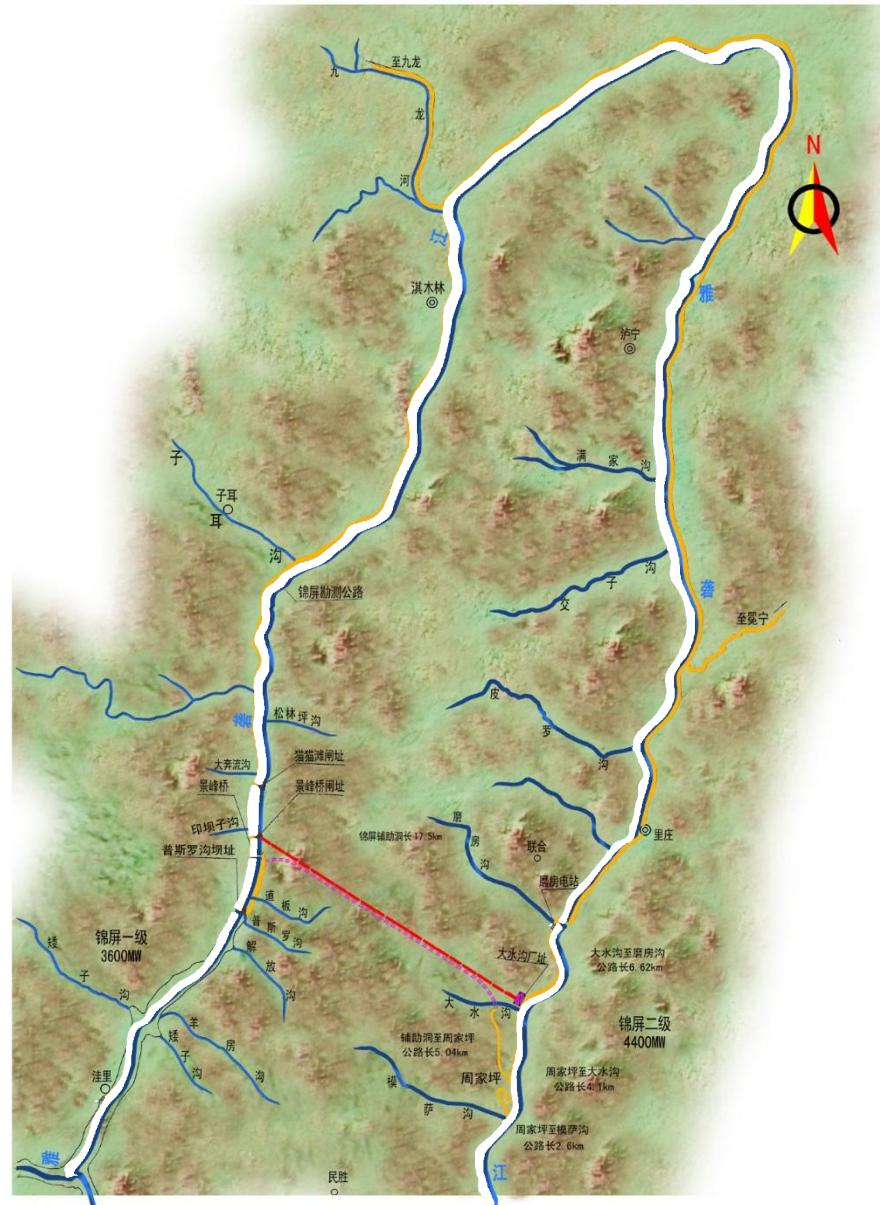
雅砻江位于四川西部，系金沙江第一大支流，河流全长1570km，流域面积13.6万km<sup>2</sup>，干流天然落差4420m，江口多年平均流量2020m<sup>3</sup>/s，技术可开发容量3547万kW，是我国能源发展规划的十三大水电基地之一。



# 雅砻江锦屏大河湾

雅砻江下游河段有一个大河弯，长约150 km，河流环绕 锦屏山，形成一南北向长条形天然弯道。

从河湾西端的棉沙沟至东端的大水沟，直线距离约16.5 km，天然落差310m，是落差最为集中的河段，通常把这一段称锦屏大河湾段。

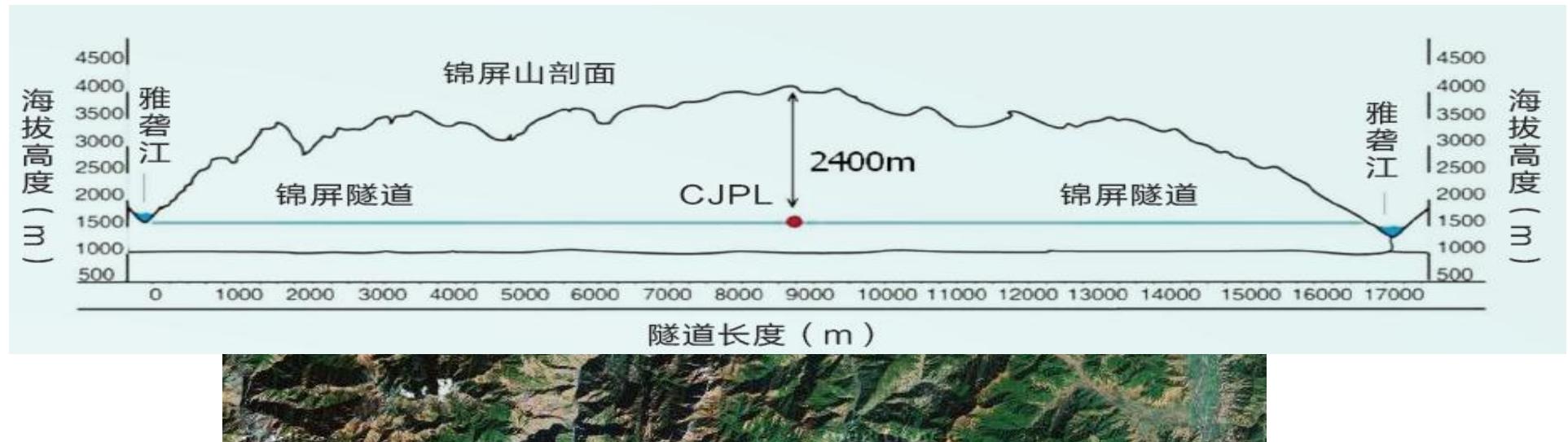


# 锦屏二级水电站工程 概况

锦屏二级水电站位于四川省凉山彝族自治州三县交界境内，它利用雅砻江大河湾天然落差，裁弯取直，开挖隧洞引水发电。闸址多年平均流量 $1220\text{m}^3/\text{s}$ 。装机规模480万kW。多年平均发电量242.3亿kW·h。



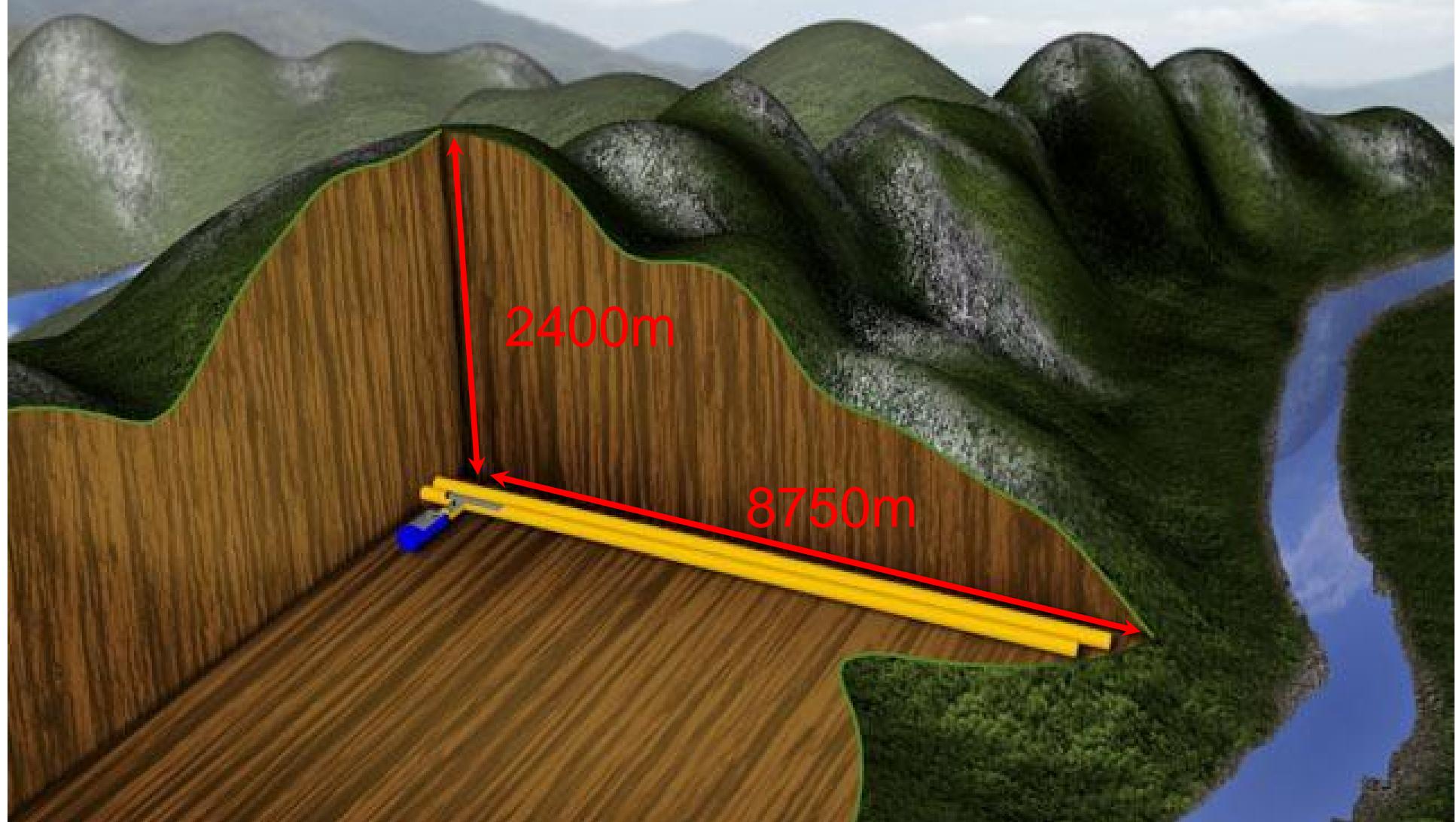
# 中国锦屏地下实验室



- 峰高: 4193m
- 隧道长度: 17.5km
- 七条隧道: 2条交通+4条通水+1条排水



# 中国锦屏地下实验室(CJPL)



# 国际著名科学杂志关注： 《Science》, 《Physics Today》



Going deep. Chinese scientists hope this tunnel will soon host a premier underground lab.

## PARTICLE PHYSICS

### Chinese Scientists Hope to Make Deepest, Darkest Dreams Come True

Particle physicist Yue Qian had his eureka moment in front of the TV set. For over a decade, Chinese scientists have longed for an underground laboratory that would enable them to join efforts across the globe to detect dark matter, observe neutrinos, and watch for exotic particle physics phenomena. Searches for suitable sites repeatedly came up empty-handed. But last August, after Yue caught a news report on the completion of two tunnels piercing Jinping Mountain in Sichuan Province, he felt that the long quest for such a lab might finally be over.

After months of negotiations, on 8 May Tsinghua University in Beijing, where Yue is an associate professor, signed an agreement with the tunnels' owner, Ertan Hydropower Development Co., to hollow out an experimental chamber. The Jinping lab would be the deepest underground science facility in the world, edging out—by 100 meters or so—the Deep Underground Science and Engineering Laboratory that the U.S. National Science Foundation may build in an abandoned mine in Lead, South Dakota. By placing sensors deep in the earth, physicists hope to reduce spurious signals from cosmic rays. China's subterranean aspirations have been circulating in Asia for months; the international community will get its first glimpse of the project at a dark-matter workshop in Shanghai on 15 June and

at an astroparticle and underground physics conference in Rome next month.

An underground lab has been a dream for several generations of Chinese scientists, says Wang Yifang, a particle physicist at the Institute of High Energy Physics of the Chinese Academy of Sciences in Beijing. Past candi-



Short cut. Tunnels between the Jinping dams on the Yalong River offer a serendipitous lab site.

date sites, inc  
museum near  
around the co  
low or imprac

Jinping, o  
Wang says. Th  
2500 meters  
it: more shie  
the world. Re  
1-hour drive  
lab's front do  
construction  
delivery of in:

Wang cau  
deal. "It's re  
says. To start  
that the rock  
out unwanted  
unexpected ra  
rock or grou  
instruments, l  
plans to have  
5-meter-wide  
will then mea  
ground radia  
they will beg  
is forming a c  
nium detector  
ponent of da  
weakly inter  
nese physici  
vations of atm  
well as experi  
double-beta  
nomenon tha  
neutrino mass

Yue doesn  
will cost, as  
"But [Tsingh  
strong suppor  
funds from th  
develops as he  
to get more u  
China and an  
push this proj

The good  
to a mammo  
350 kilomet  
capital of Sich  
River makes  
around Jinpin  
building tw  
the U-turn an  
workers and i  
tion sites, Ert

### China, others dig more and deeper underground labs

From tiny to gargantuan, experiments are in the works to exploit the shielding from cosmic rays that being deep underground offers.

Initial experimental plans are modest, but with its drive-in access and extreme depth, the new China Jinping Deep Underground Laboratory (CJPL) has the potential to become a major international player. China is plunging into the vibrant global scene of underground labs with a small dark-matter experiment set to star: collecting data this fall.

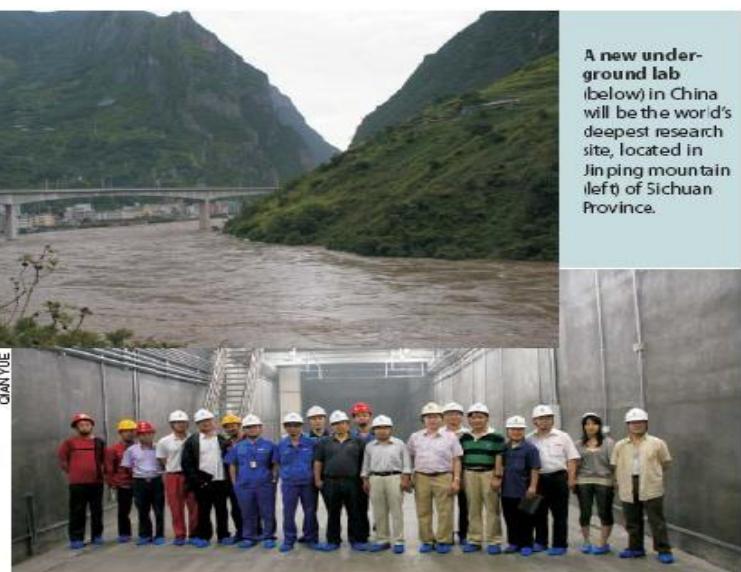
"Underground science is really booming," says André Rubbia, the ETH Zürich physicist who chairs LAGUNA, a study of European underground sites for a megaton long-baseline neutrino experiment. "With bigger and bigger accelerators more difficult to build and fi

nance, physicists realize that there is a huge amount of science to be done underground—in a low-background environment—that is complementary to the high-energy frontier," he says. Physicists go underground to block cosmic rays from experiments that look for neutrinos, dark matter, proton decay, double beta decay, and the like. Underground sites are also attracting projects in other areas, including geology, electronics, gravity waves, biology, and engineering.

#### Small but fast

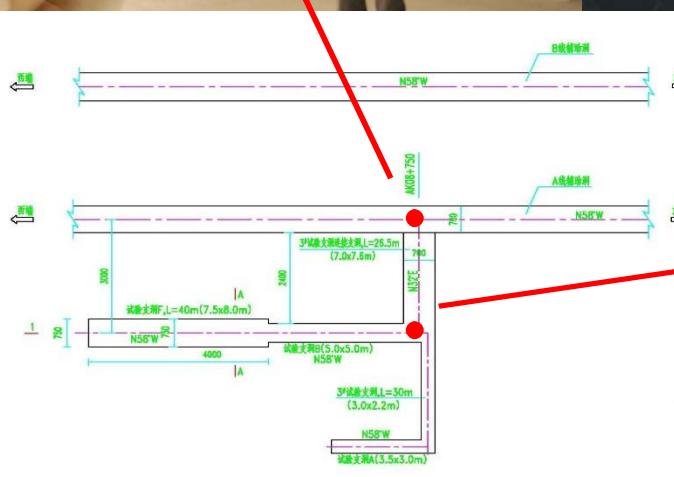
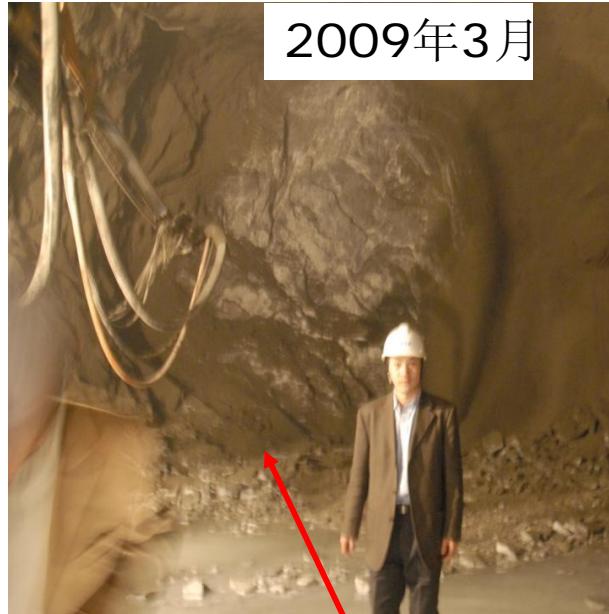
The CJPL grew rapidly from an idea to reality: In mid-2008 scientists got wind that the Ertan Hydropower Development Co.

A new under  
ground lab  
(below) in China  
will be the world's  
deepest research  
site, located in  
Jinping mountain  
(left) of Sichuan  
Province.



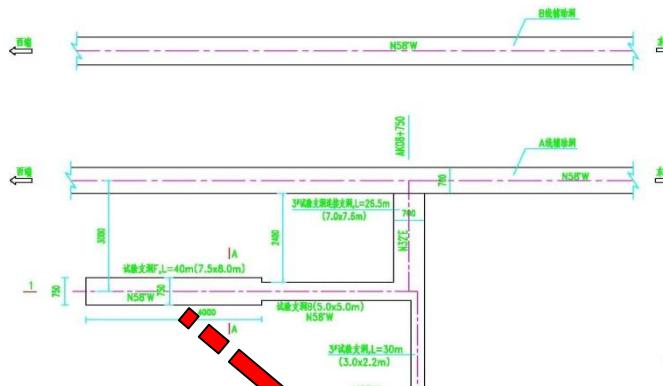


# 实验室规划和建设进展



✓ 2010年初实验室土建工程完工！





Jan.,

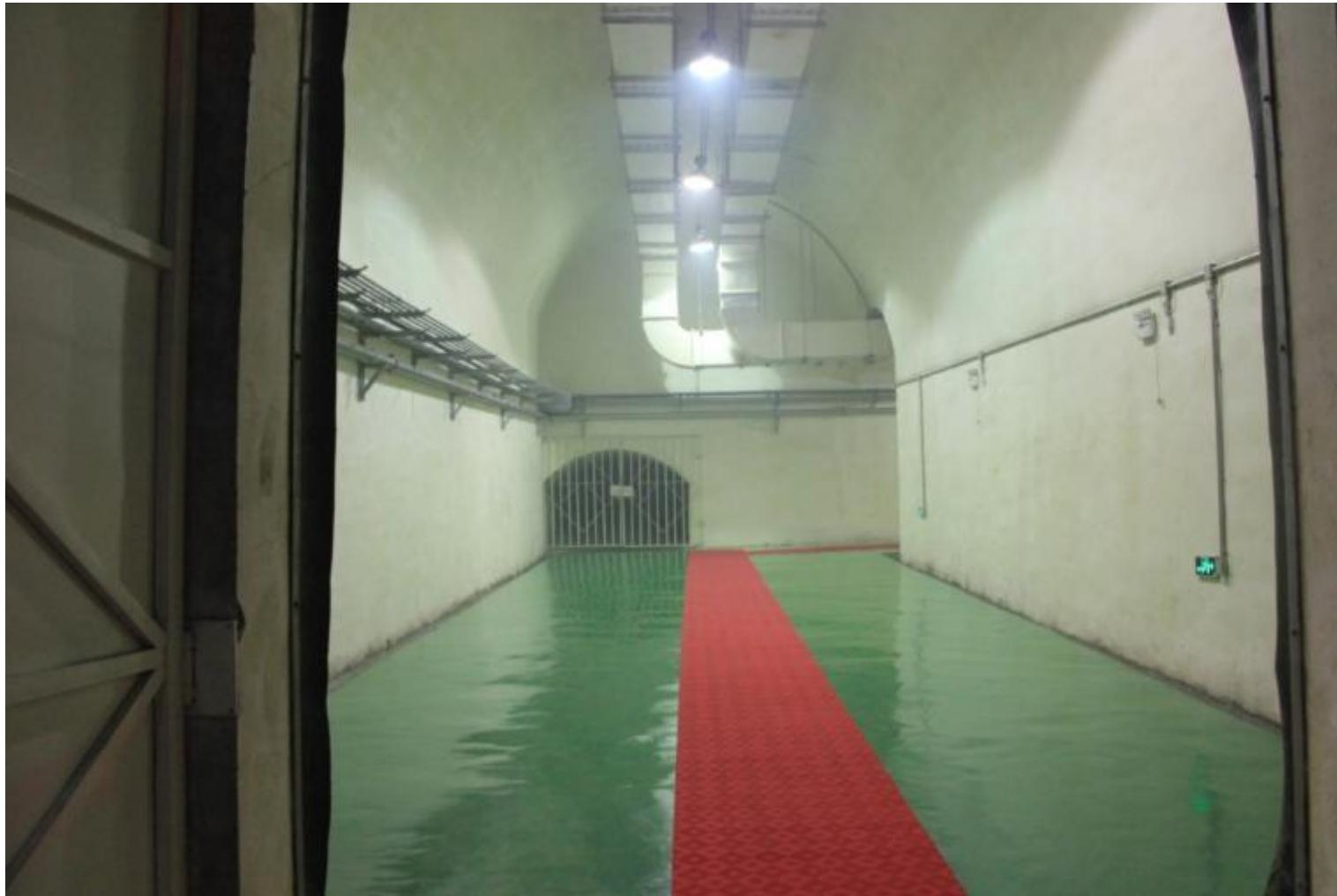




9-3



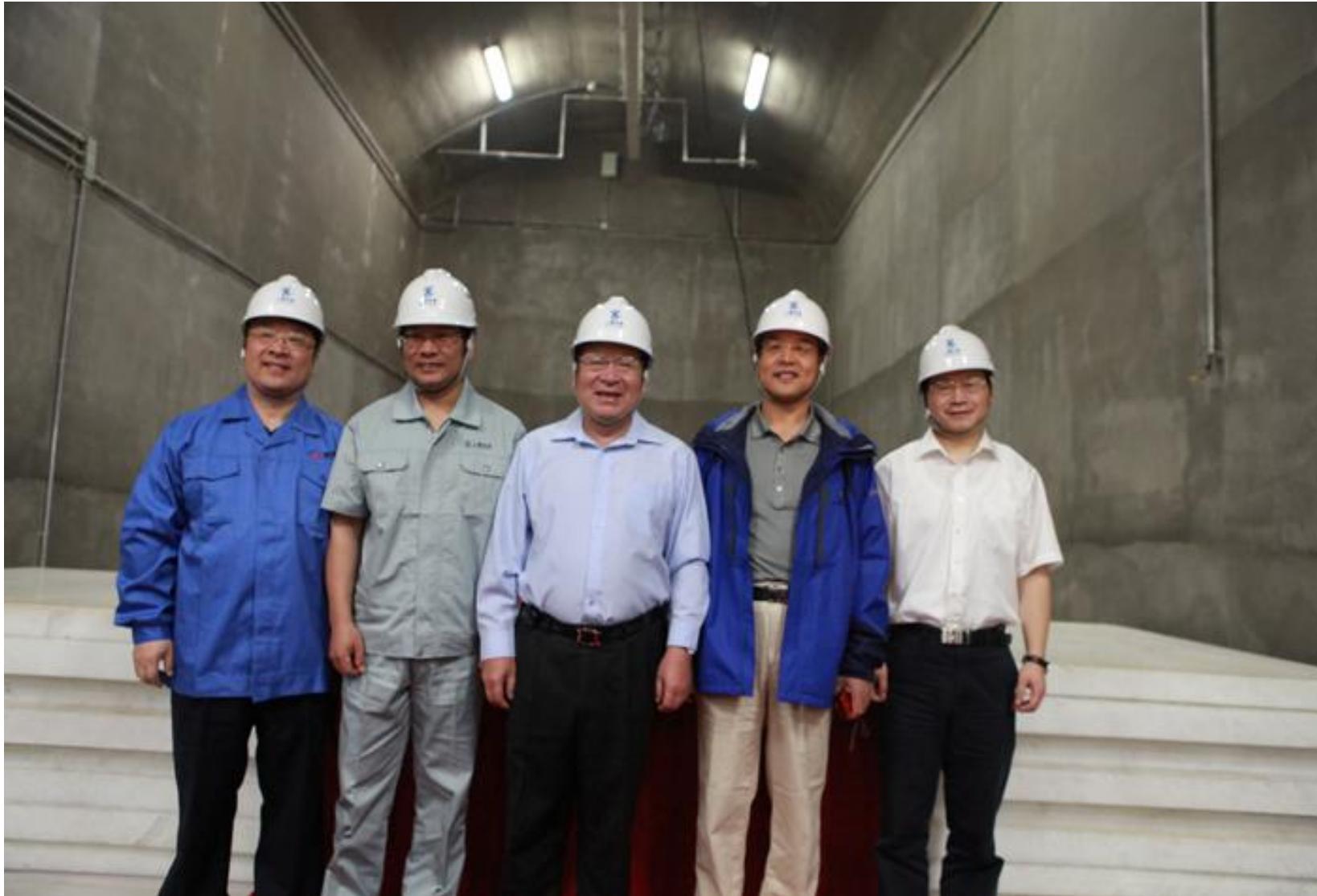
2010年6月土建工程建成并通过验收



# 2010年7月主实验厅基本完成



2010年8月顾秉林校长与陈云华总经理等领导  
在施工过程中到现场考察



# 2010年12月12日CJPL正式启用

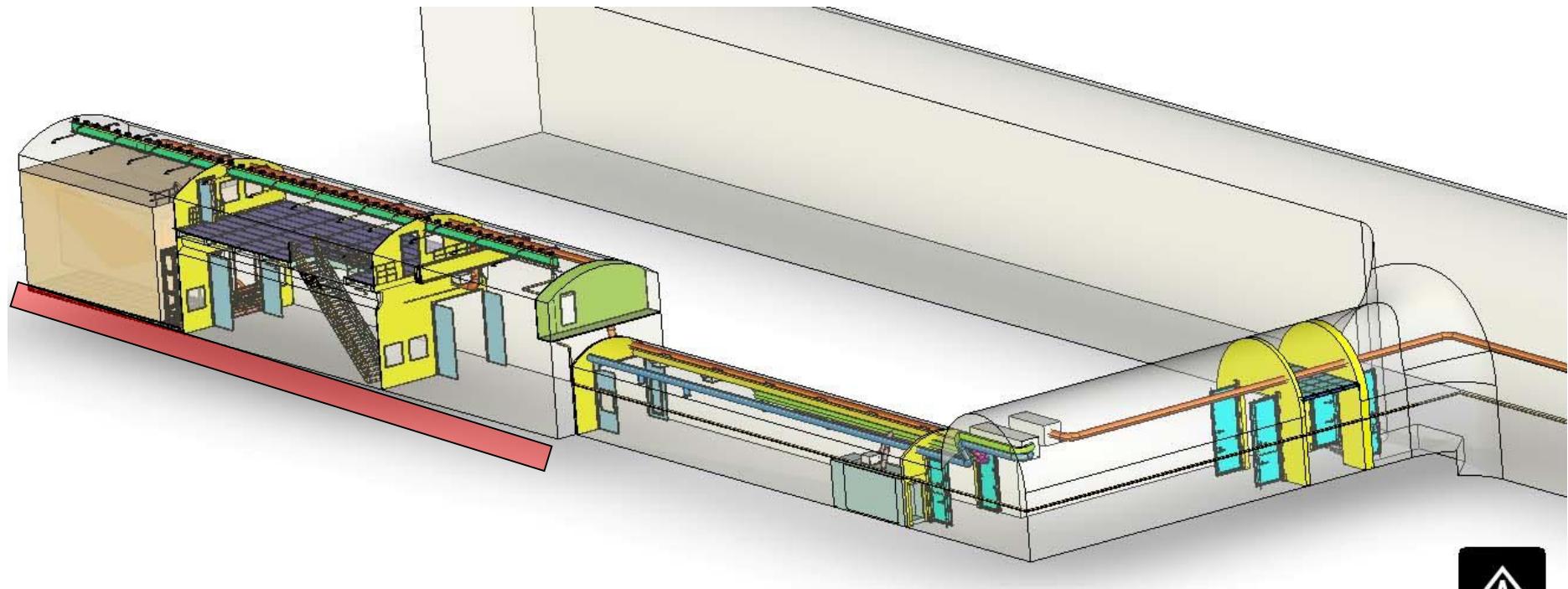




# 2011年重要建设工作——通风系统

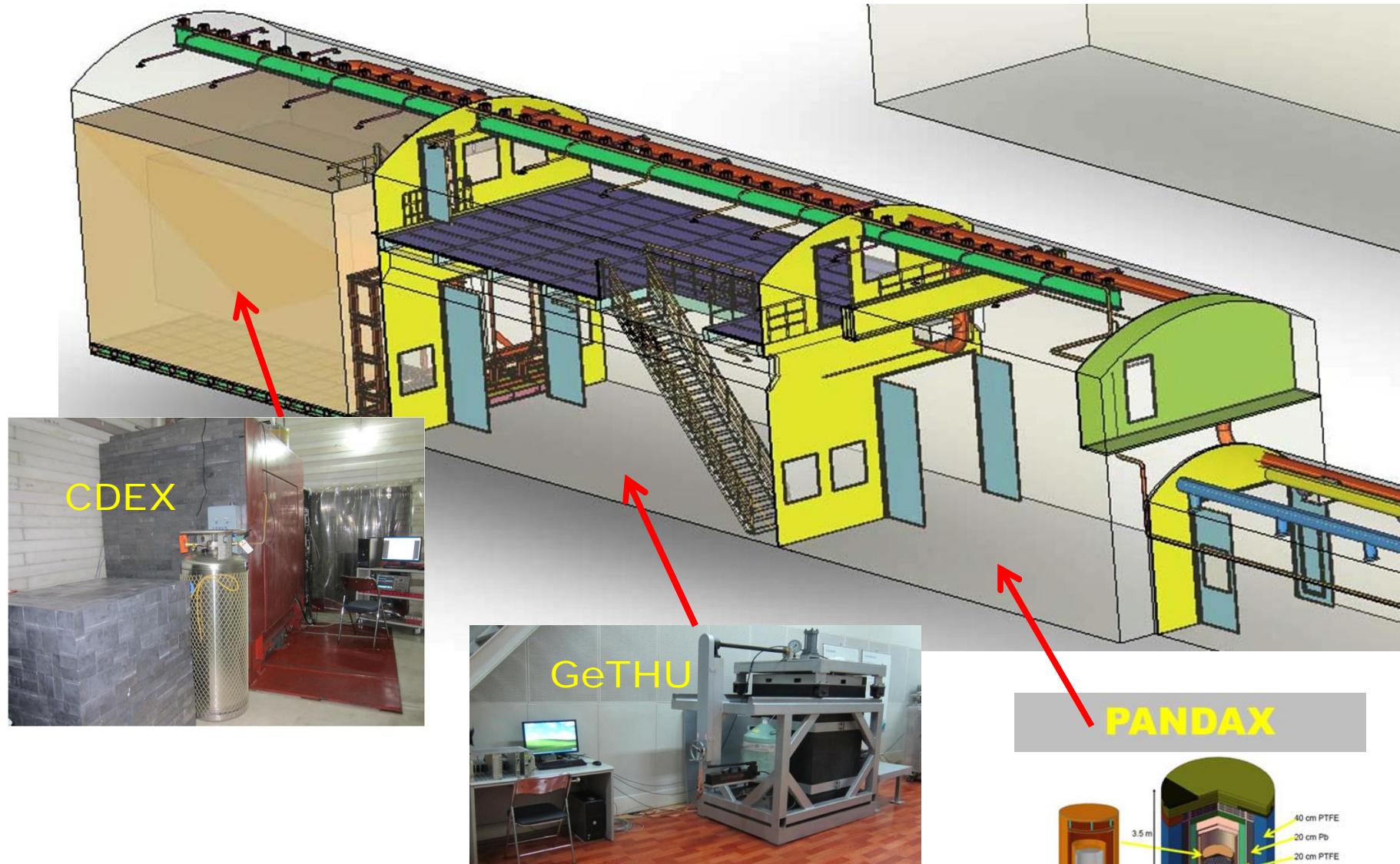


# 现阶段CJPL建设规模

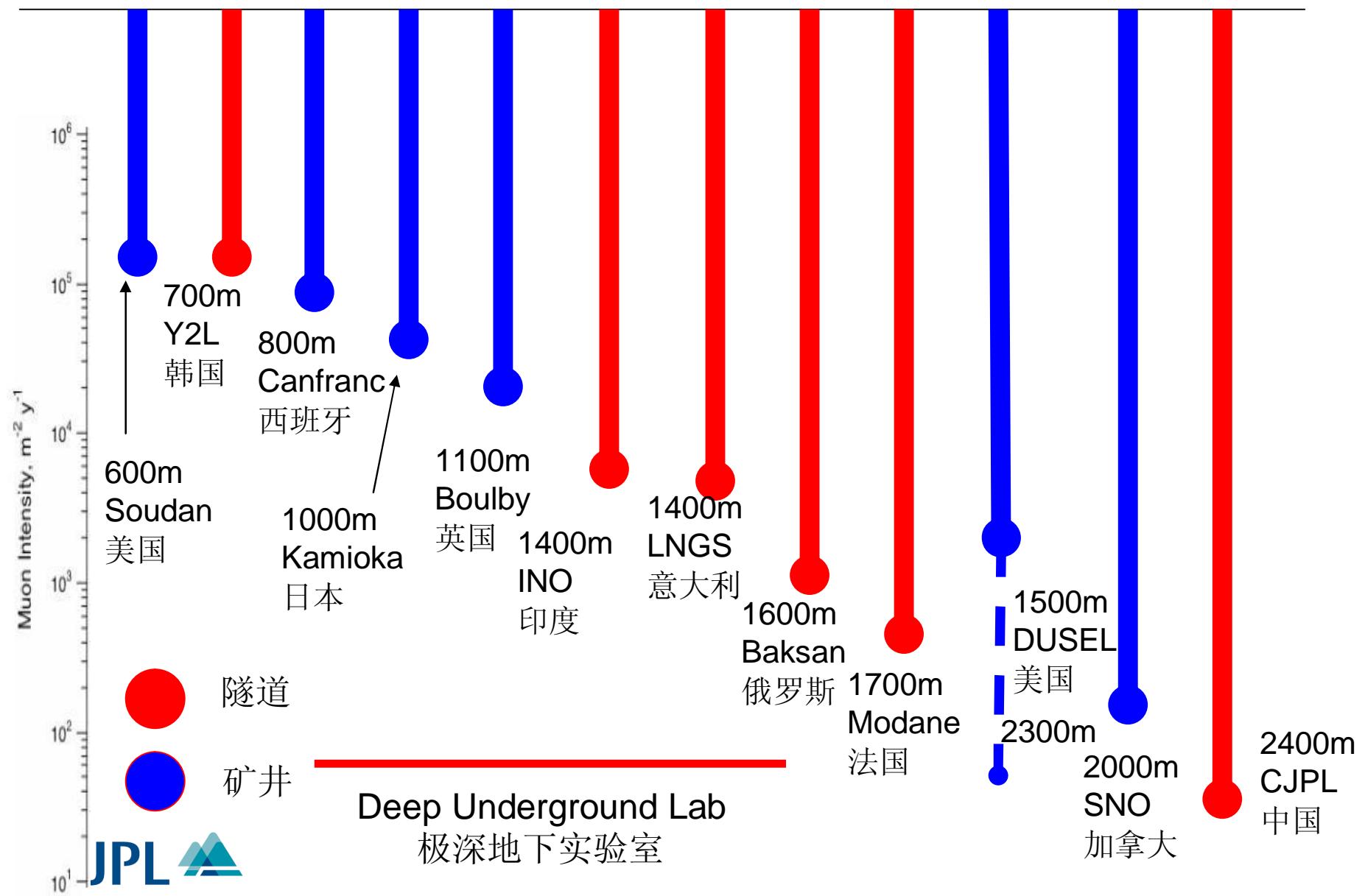


- 主实验厅:  $6.5 \times 6.5 \times 40m$
- 总容积: 约 $4000m^3$

# CJPL立体布局



# 国际上重要地下实验室比较(单位:岩石厚度)



# 中国锦屏地下实验室围岩样品测量

➤ 开挖处岩石样品天然放射性含量分析：

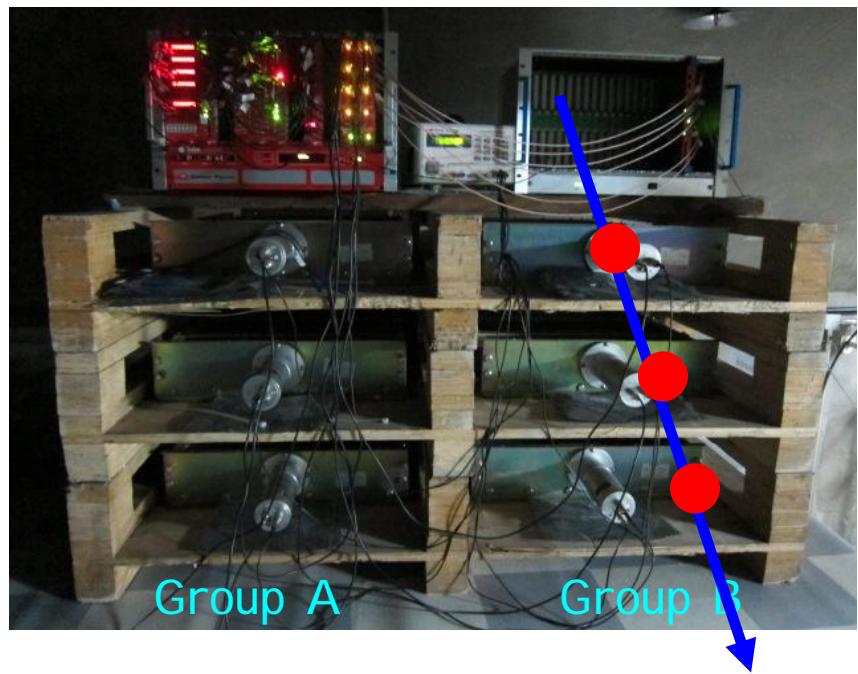
(单位： Bq/kg)	钾-40	镭-226 (609keV)	钍-232 (911keV)
开挖处岩石样品	< 1. 1	1.8±0.2	< 0.27
地表正常环境水平	600	25	50

综合条件国际一流的地下实验室：  
极低宇宙线通量+高纯度围岩

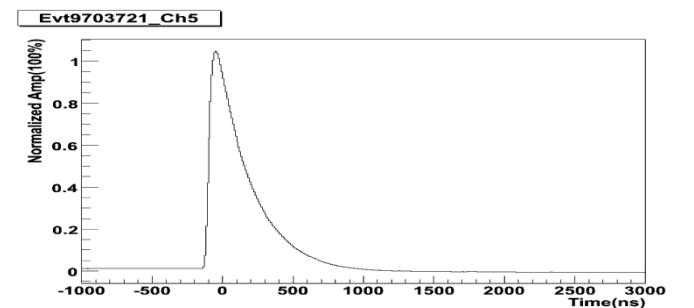
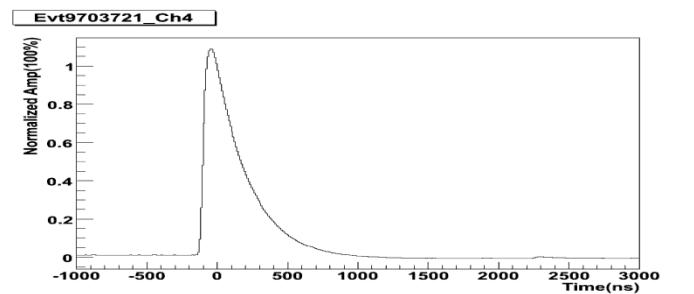
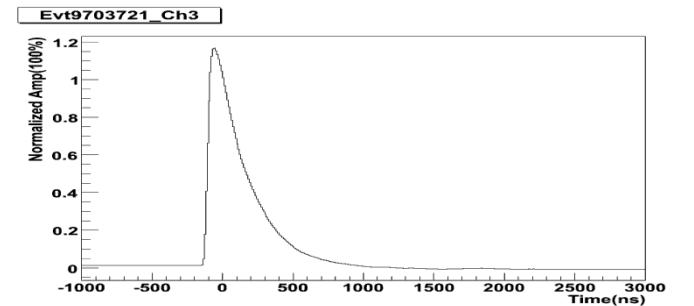
# CJPL重要实验性能参数研究

- 宇宙线通量测量；
- 本底伽马通量测量；
- 氦气含量测量；
- 热中子测量；
- 快中子测量；
- 低本底测量装置。

# 宇宙线通量测量

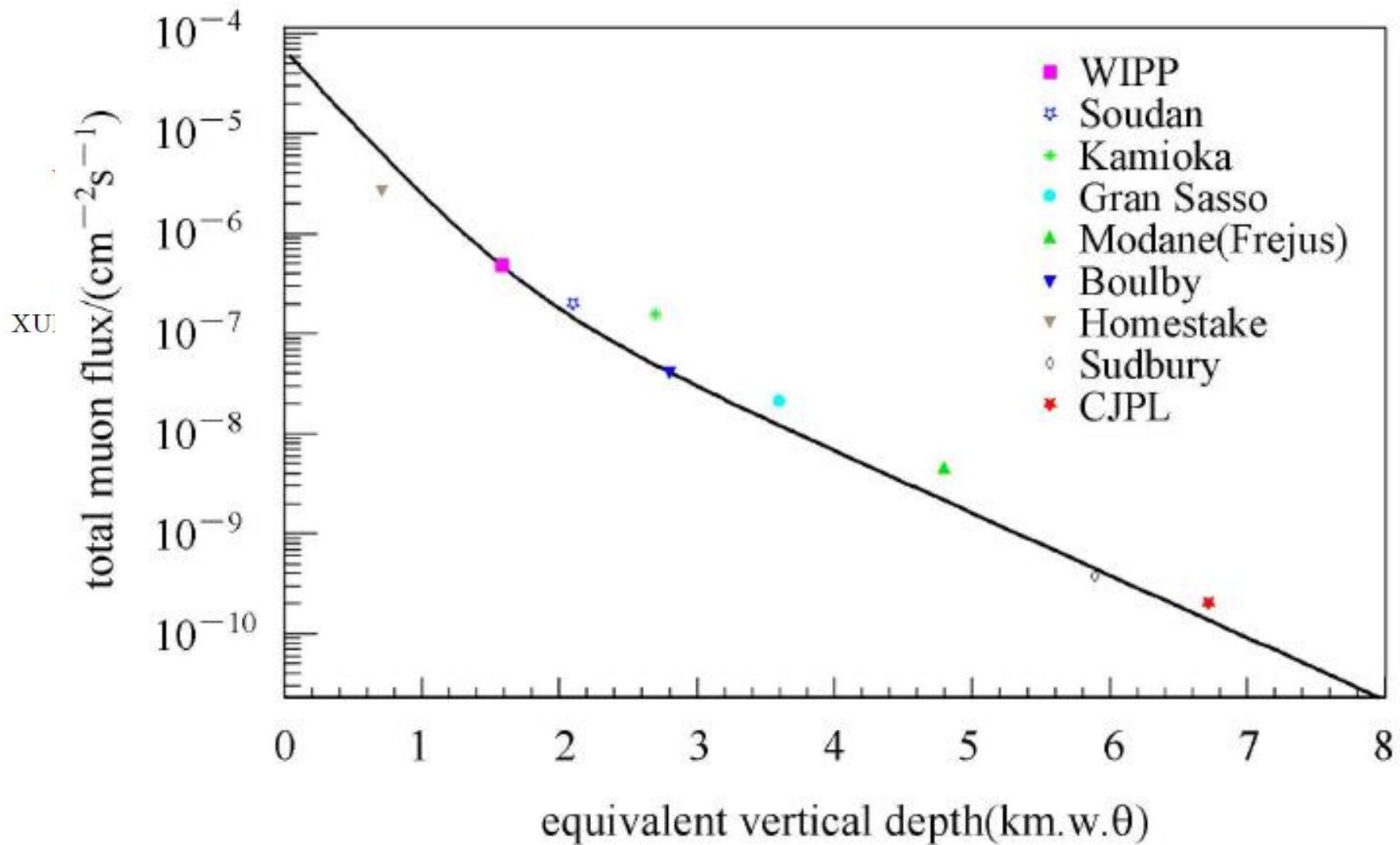


- 171天测量得到28个事例！
- 文章正在准备中！



# CJPL 宇宙线通量初步结果

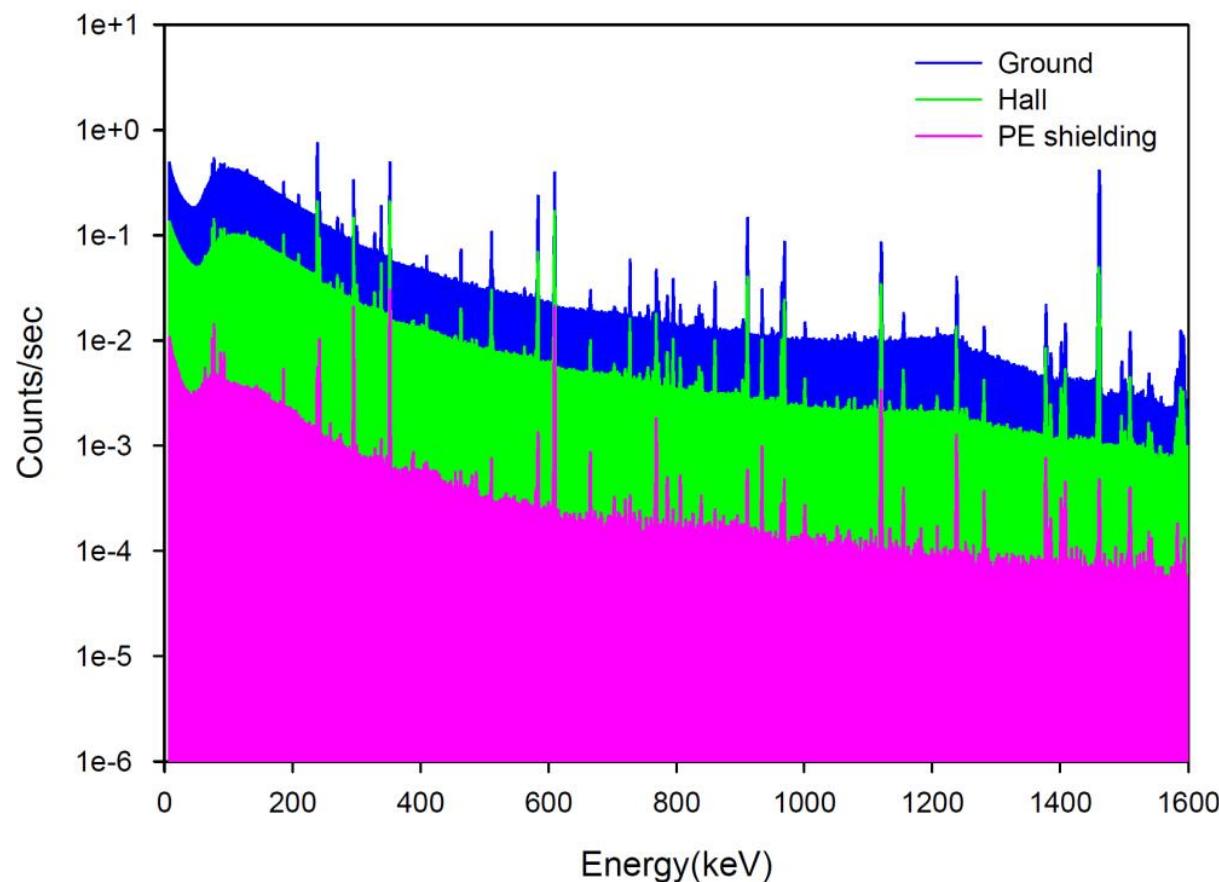
Chinese Physics C Vol. 37, No. 8 (2013) 086001



CJPL初步宇宙线测量结果:  $\sim 2 \times 10^{-10} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , 是地面通量的约亿分之一。

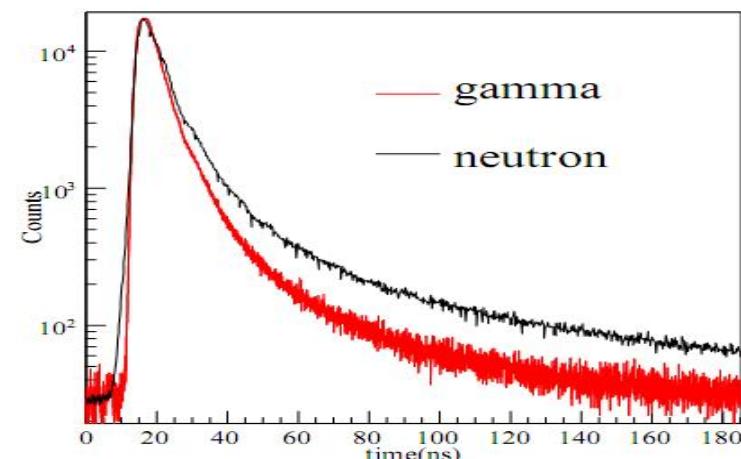
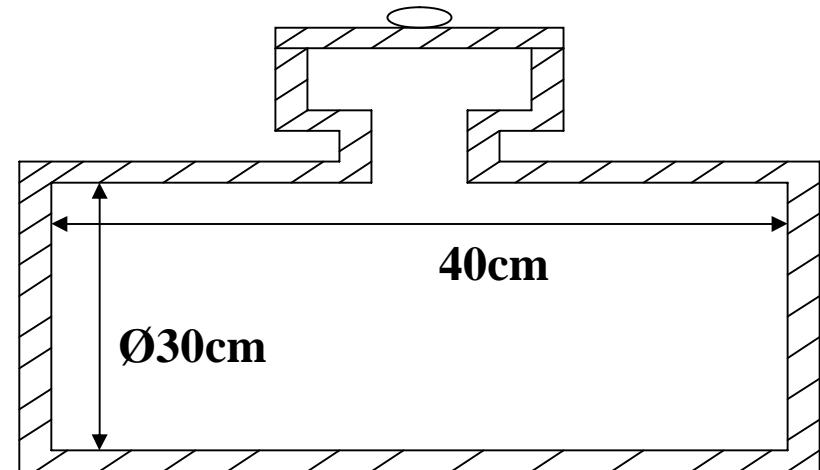
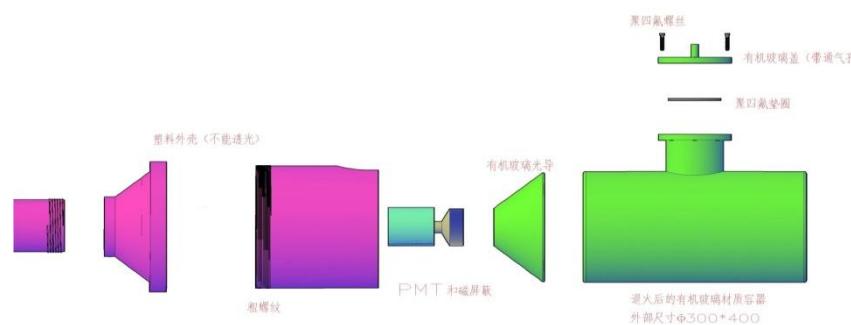
# 实验室环境伽马本底测量

- 环境伽马来自周围岩石，混凝土，钢材等实验室建设和屏蔽材料。

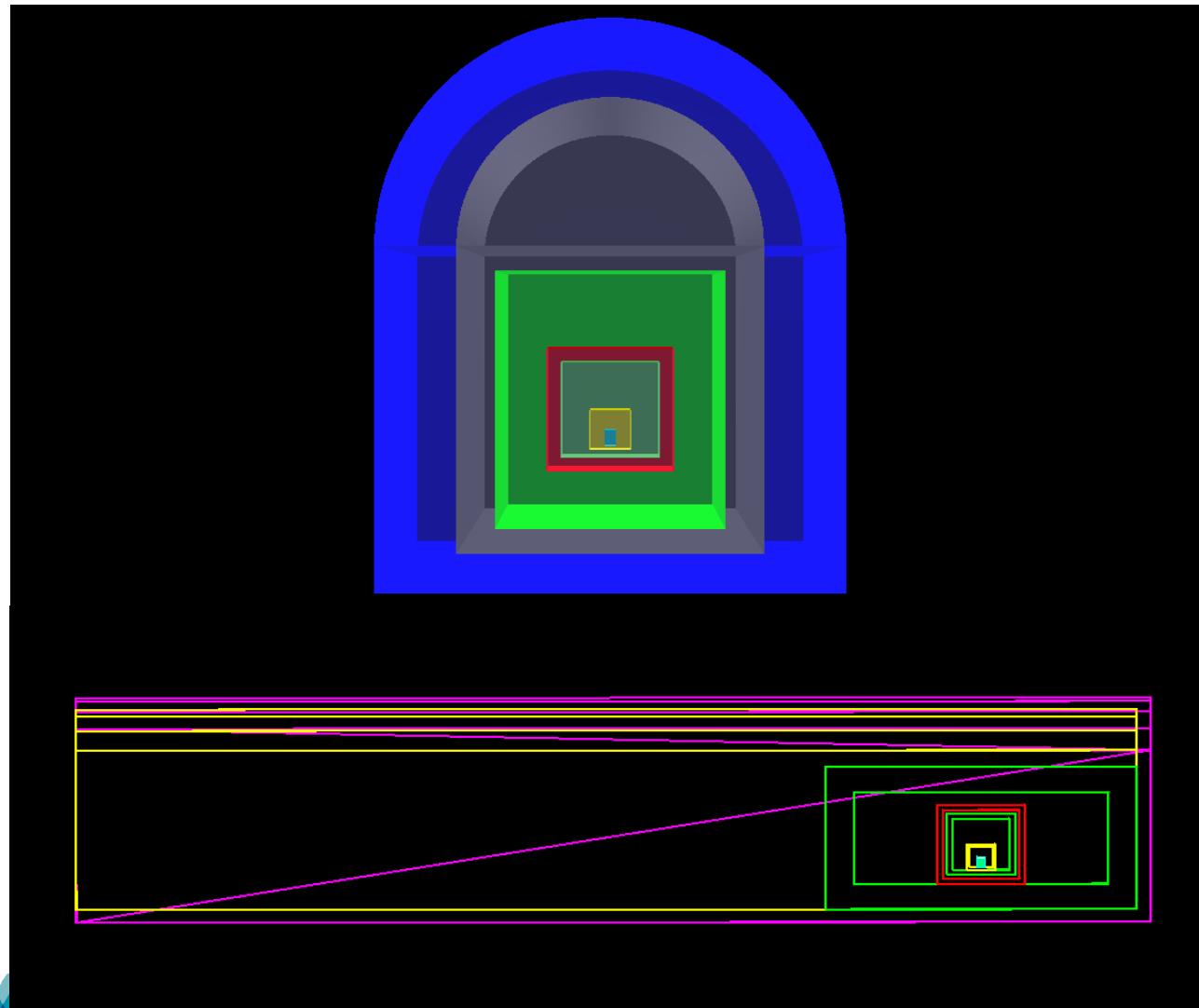


# CJPL快中子通量测量

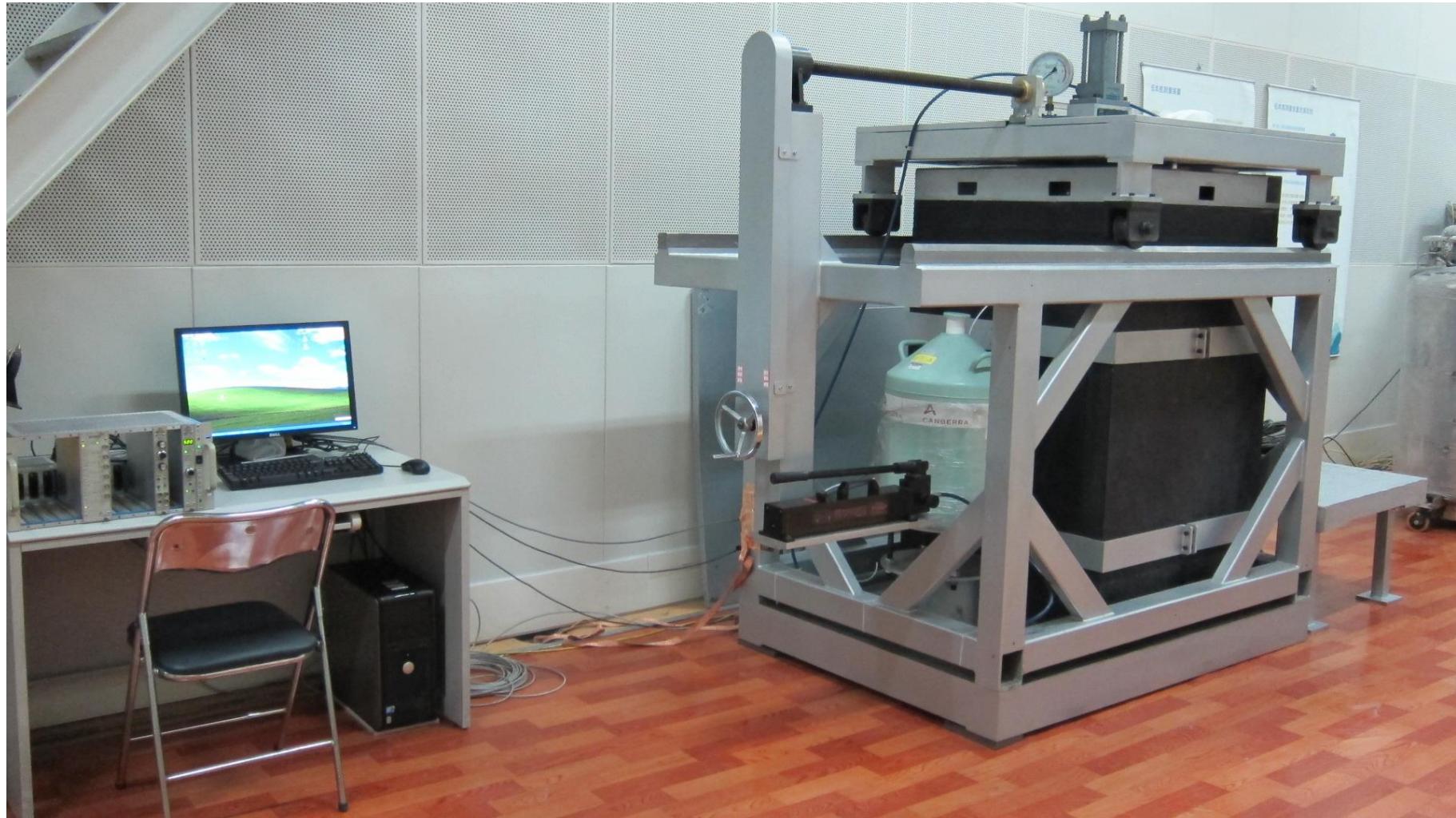
载钆液闪探测器，正在中国原子能科学研究院开展地面实验室研究和刻度，2012上半年在CJPL开展研究工作。



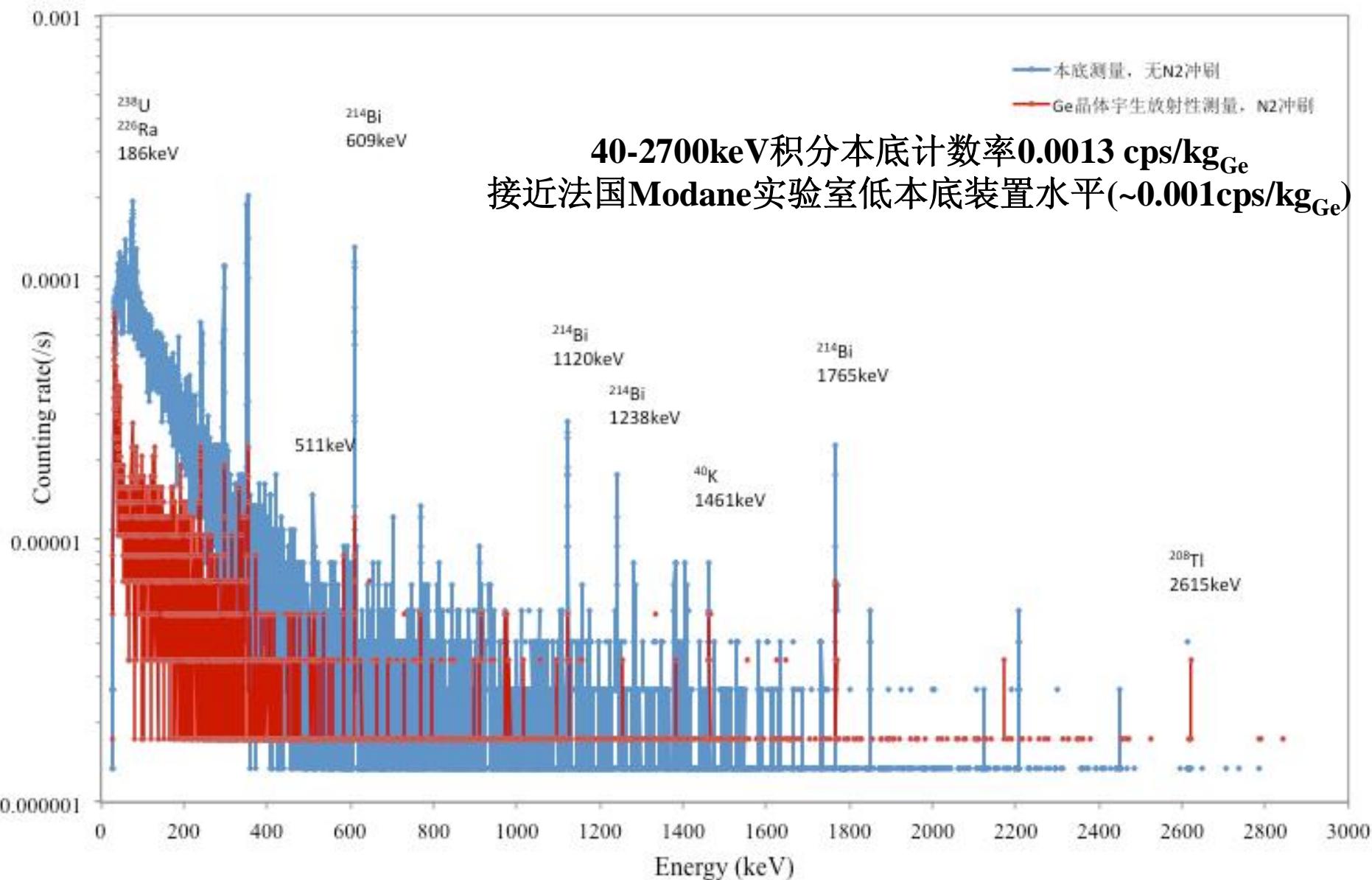
# CJPL快中子模拟研究



# GeTHU: 低本底伽玛谱仪原型机



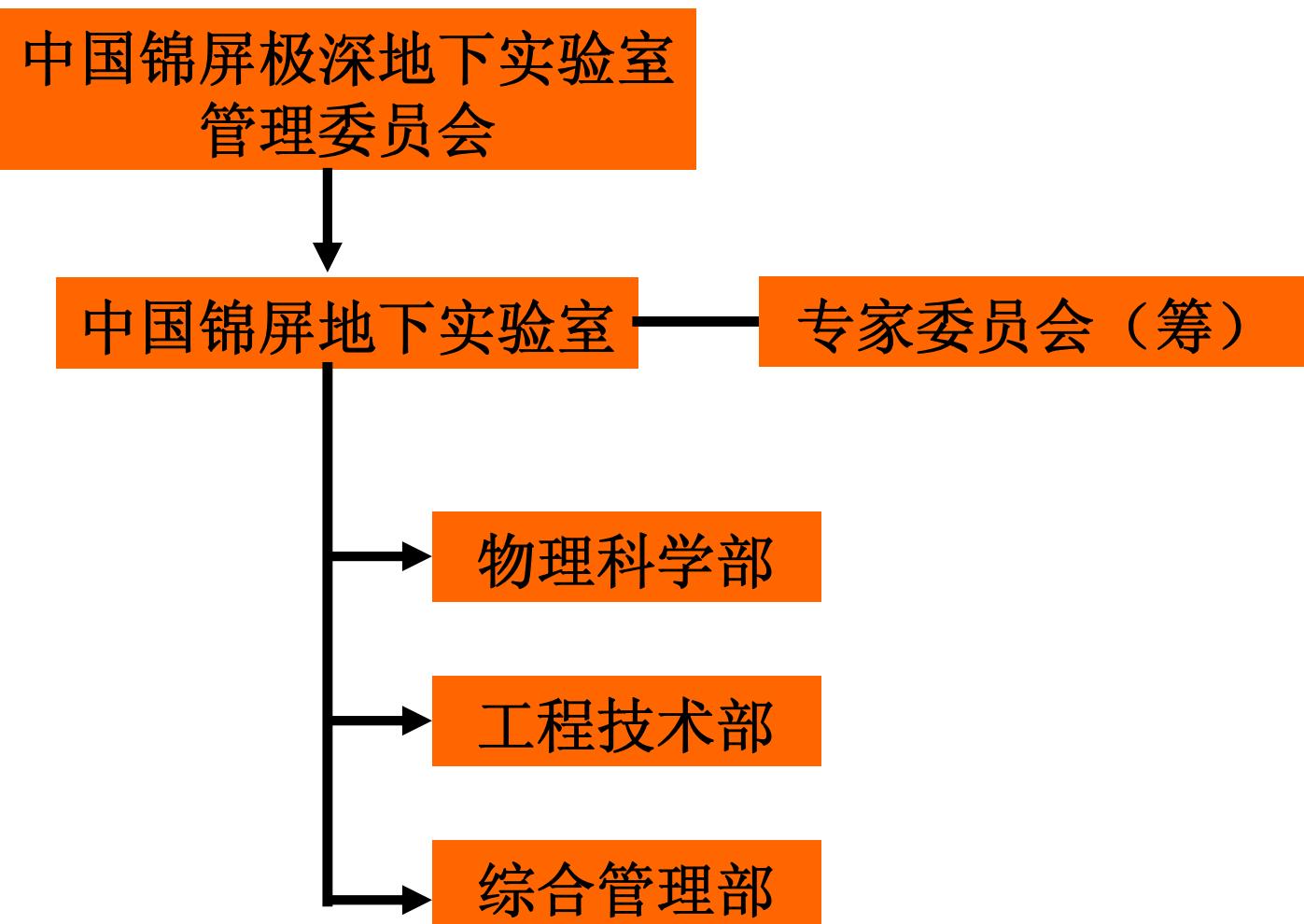
# GeTHU: 实腔本底测试谱



# 中国锦屏地下实验室LOGO



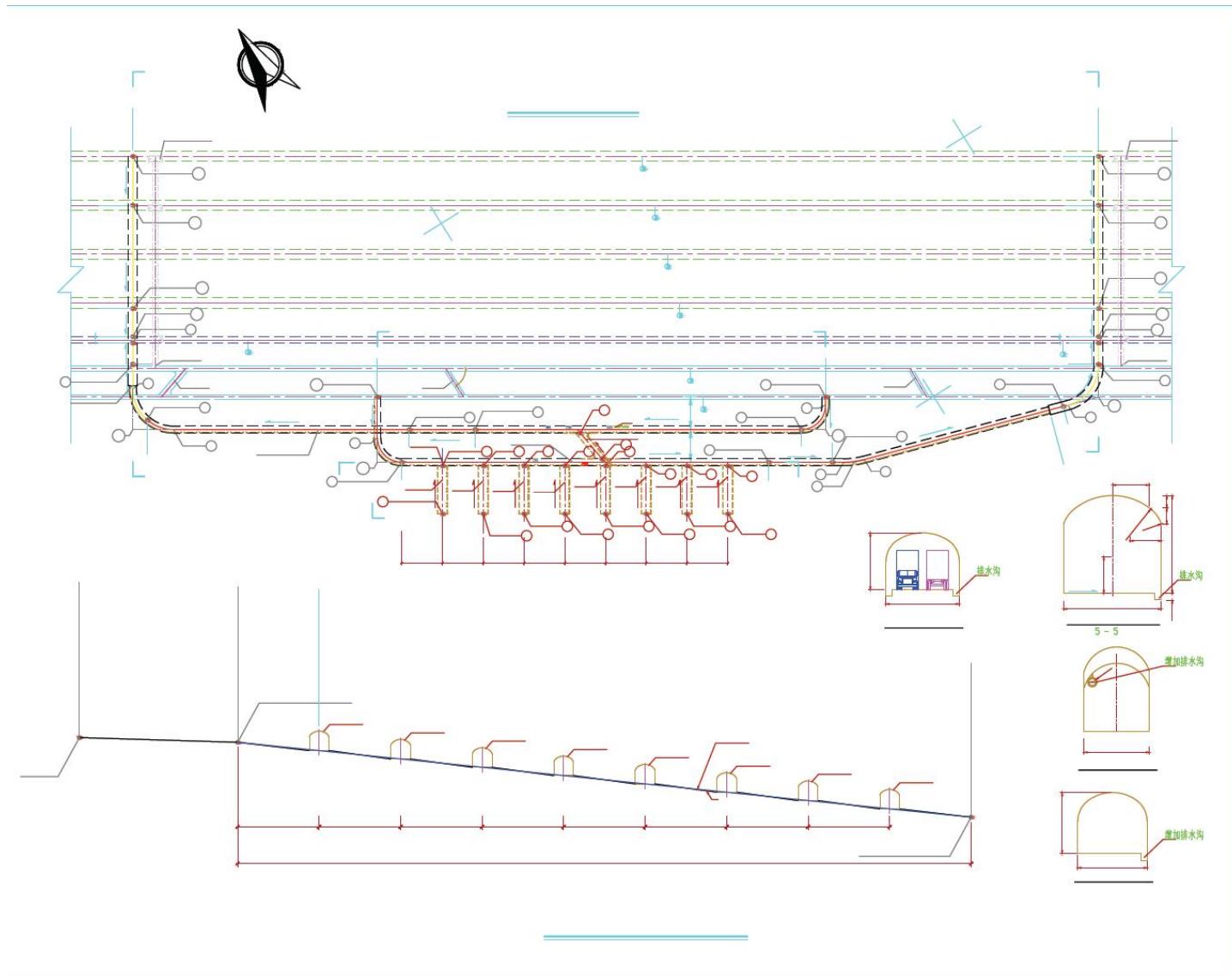
# 中国锦屏地下实验室组织结构图



# 2009年香山科学会议

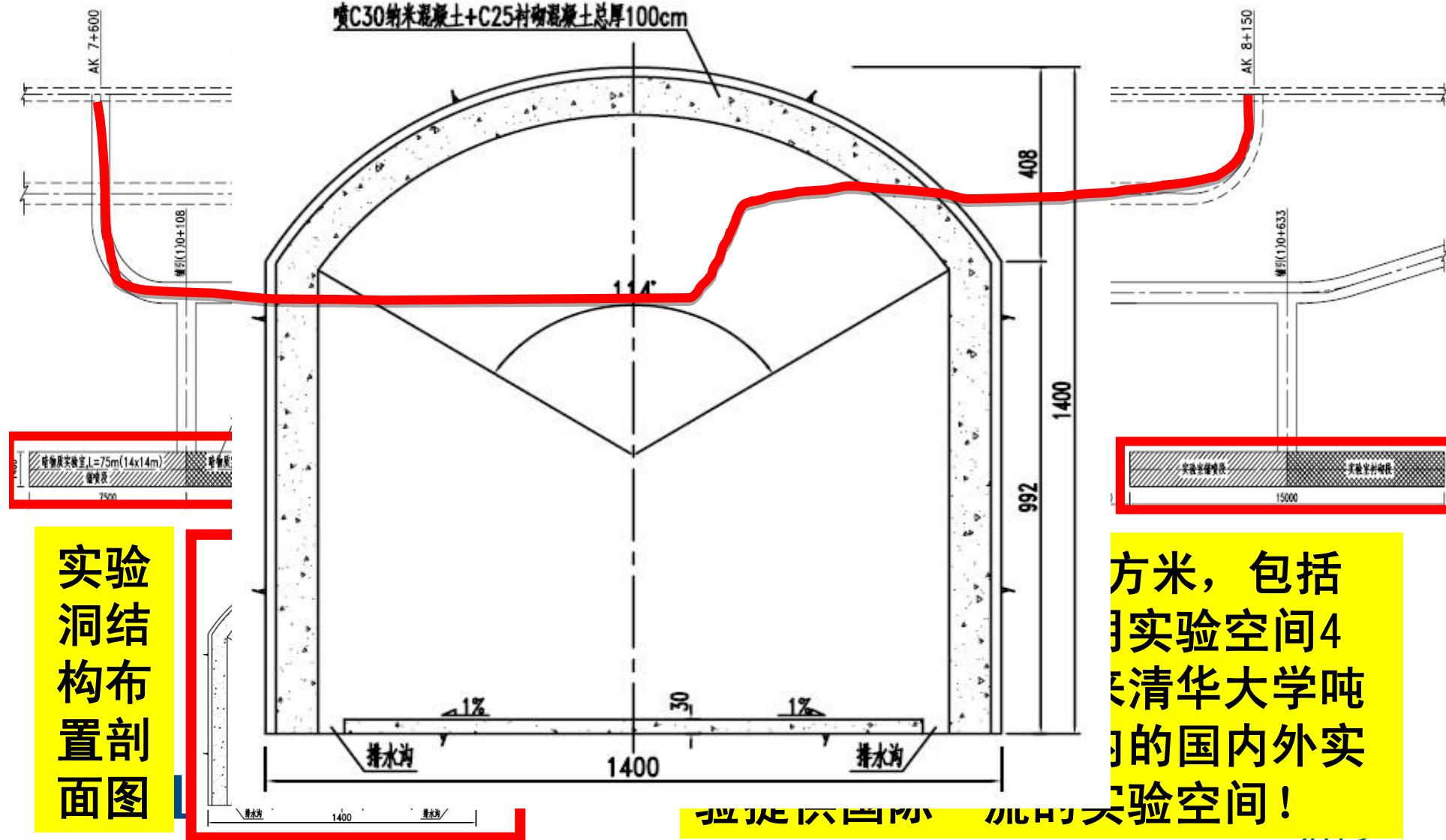
- 2009年10月25—26日S11次香山会议“深地科学重大前沿问题”在北京香山饭店举行。
- 与会专家在广泛交流和深入讨论的基础上，高度肯定了建设锦屏极深地下实验室的重大意义：
  - 建设我国自己的深地实验室，开展深地科学实验是我国国民经济发展的迫切需求，并对提升我国在国际科技相关前沿领域的地位具有重大意义。
  - 锦屏深地隧道，是世界垂直岩石覆盖最深的隧道，具有国际一流的综合条件，为我国深地实验室建设提供了理想的环境与条件。
  - 深地实验室建设符合国家中长期科技发展规划的基础研究规划，是我国相关学科发展的重要机遇。

# CJPL二期规划



# CJPL二期规划设计

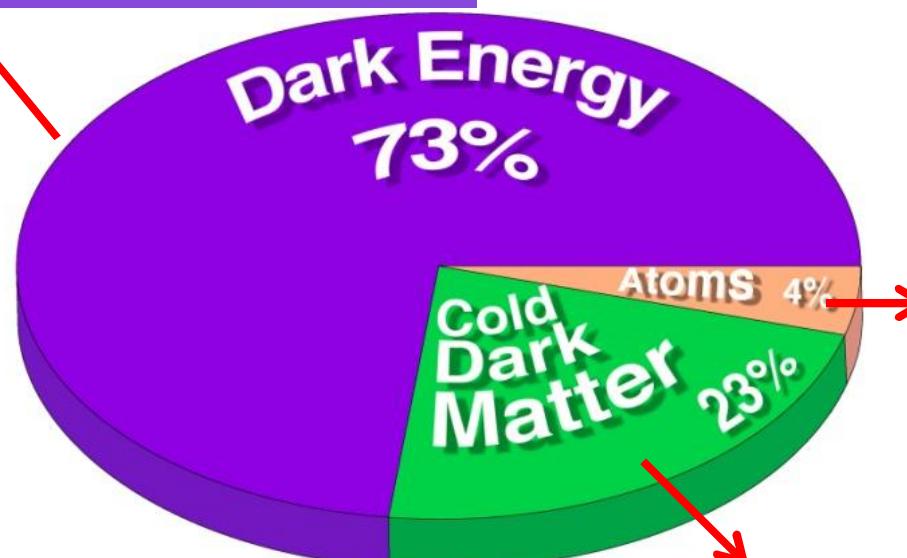
四个12m\*12m\*150m空间，2015年初开挖，约6月土建完成。



# CDEX@CJPL

# 暗物质研究的重要意义

质量约占宇宙质量的**73%**。  
人类对其几乎没有了解，而且还没有发展出较好的理论。

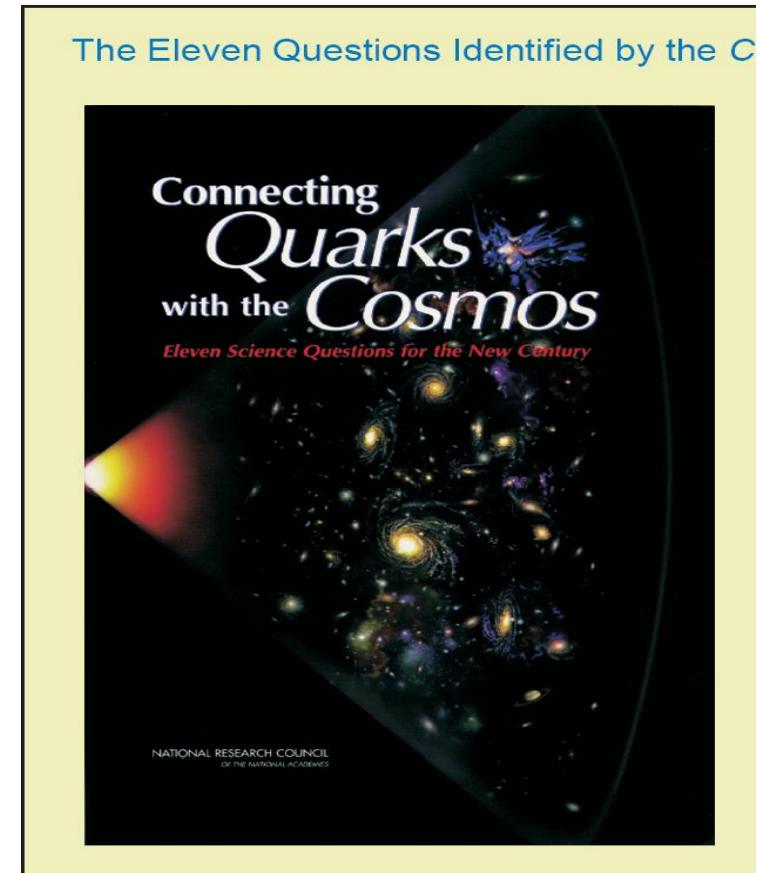


质量约占宇宙质量的**4%**的常规物质人类已经研究的很清楚——粒子物理标准模型！

暗质量约占宇宙质量的**23%**，的人类对其了解不多，但已经有一些理论和实验研究基础。研究暗物质是人类认识和了解整个宇宙的必然阶段和新的出发点。

# 暗物质研究的重要意义

- 2002年美国国家研究委员会确定的研究前沿:《连接夸克和宇宙:新世纪11个科学问题》,暗物质列第一。
- 2008年欧洲推出物理学长期发展规划,提到21世纪的六大科学难题,暗物质位列首位。
- 暗物质探测研究是非常重大的基础前沿研究课题。



# CDEX合作组



**成员单位：** 清华大学 四川大学 南开大学  
中国原子能科学研究院 二滩水电开发有限公司  
**协作单位：** 台湾中研院 韩国首尔大学 德国马普所  
**支持单位：** 科技部、基金委、教育部、北京市等

# CDEX屏蔽体建设



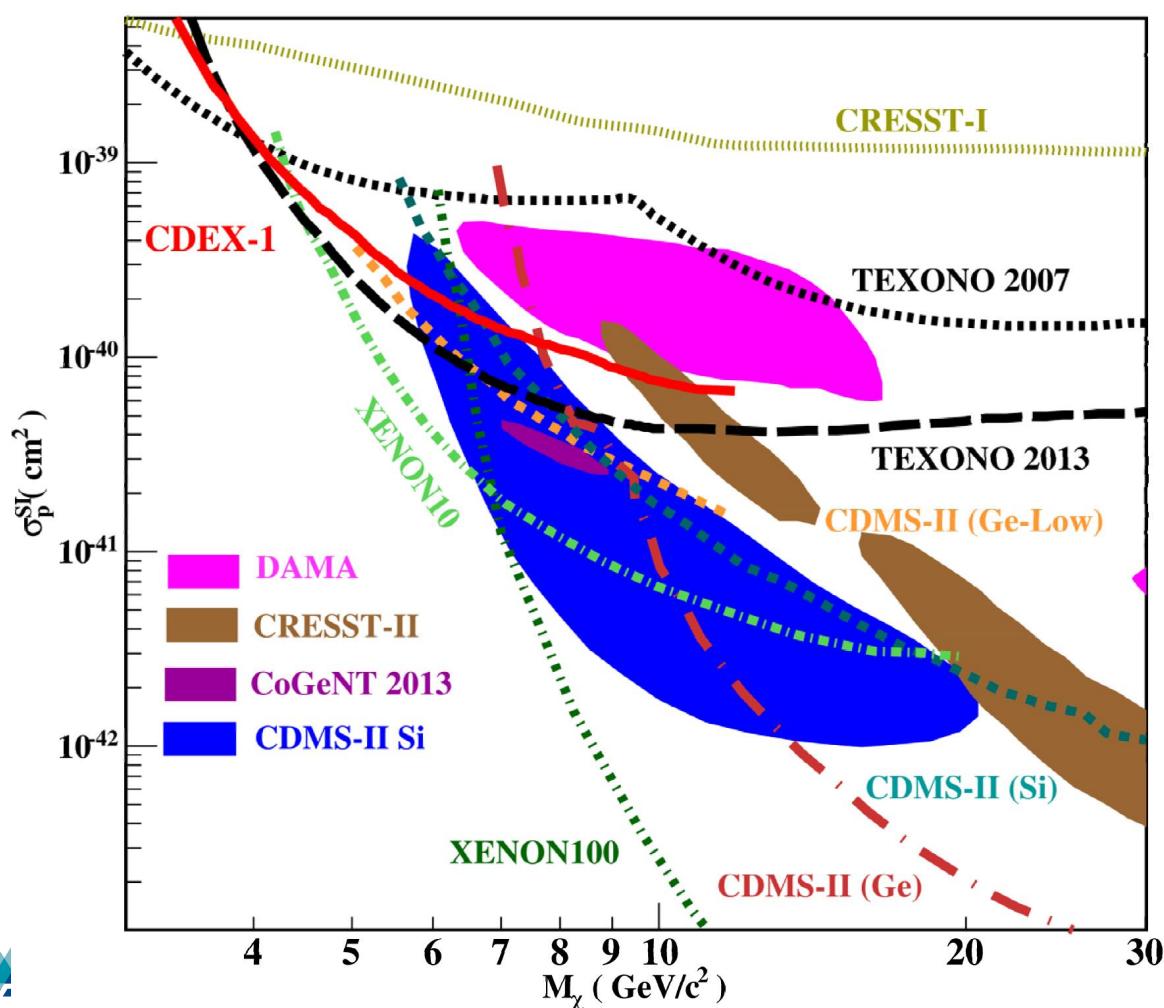
图 5 大门开启

# CDEX-1 in CJPL



# 我国首个暗物质研究结果

arXiv:1306.4135, 递交到physical review letters



# CDEX-10kg

## 建设完成

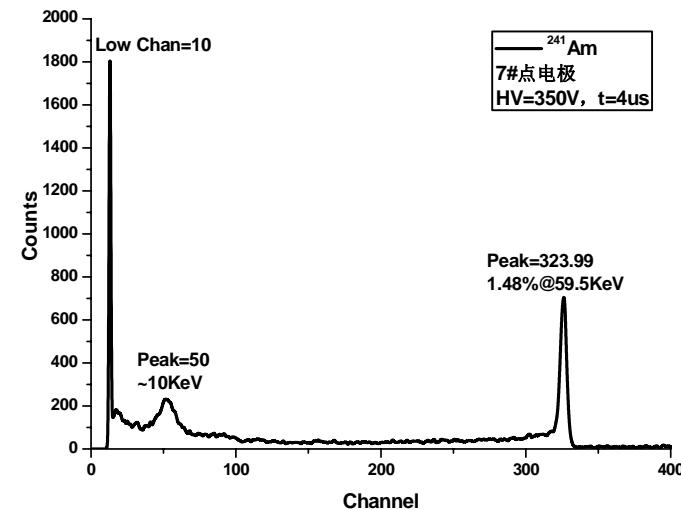
正在川大开展地面测试



# 自主高纯锗探测器研制成功



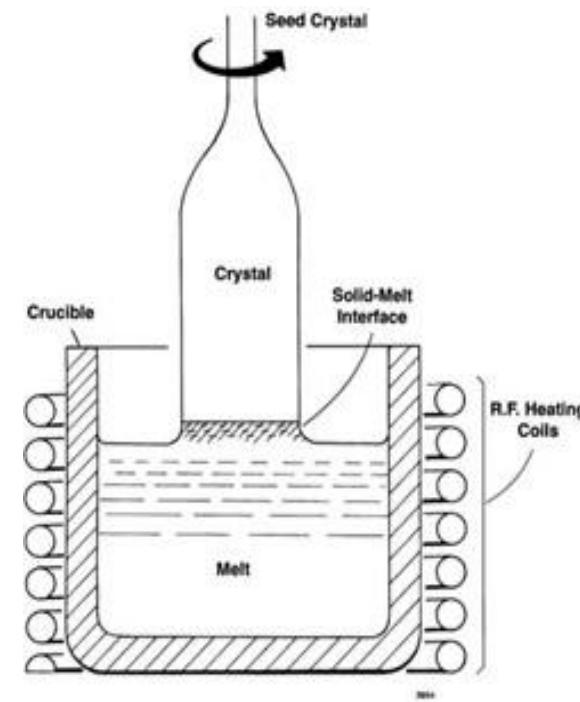
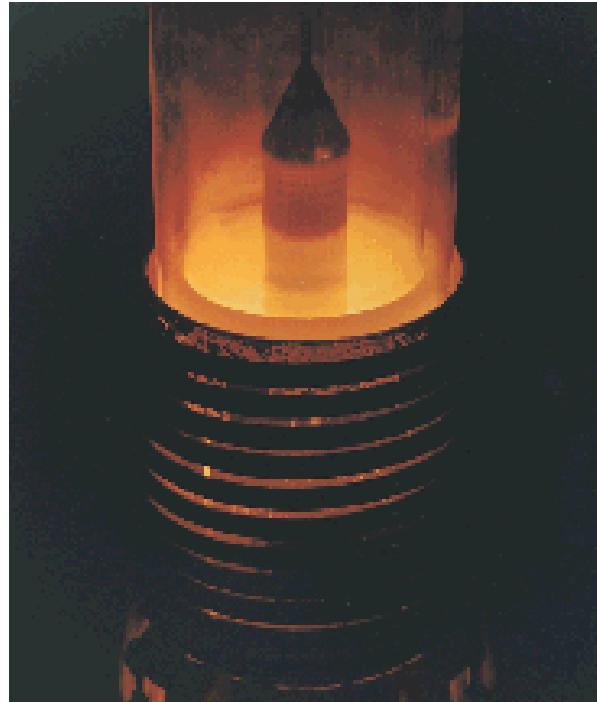
CJPL



## 成果:

- 1、建立起了高纯锗探测器研制实验室；
- 2、研制成功我国首个自主高纯锗探测器，能量分辨率达到商业探测器水平；
- 3、在地下实验室建立了小型探测器测试实验室。

# 高纯锗晶体生长



# 清华大学自主高纯锗晶体生长



2013.03.05



2013.03.07



2013.03.12



2013.04.0  
2



2013.05.08



2013.05.1  
4



2013.05.  
28



CJPL

2013.06.06

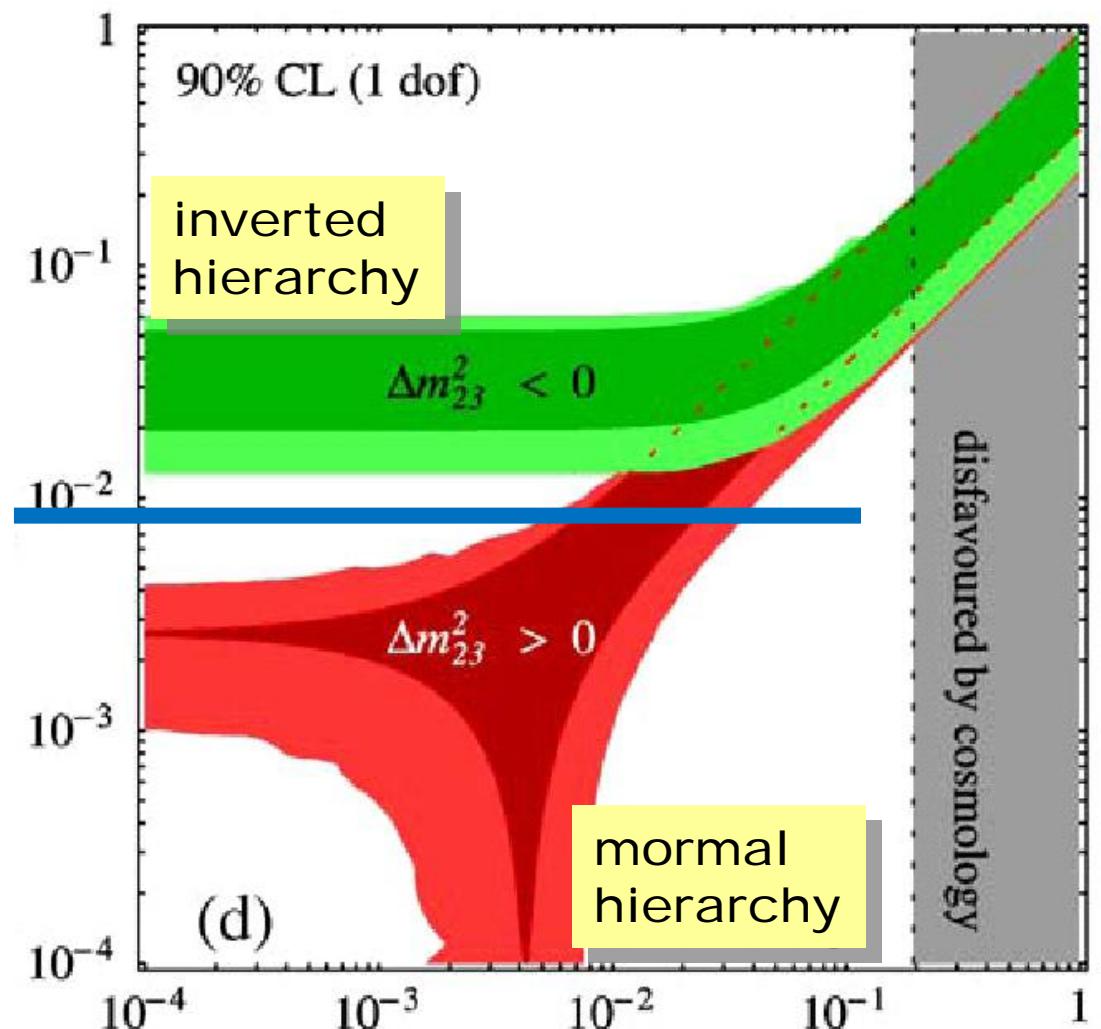
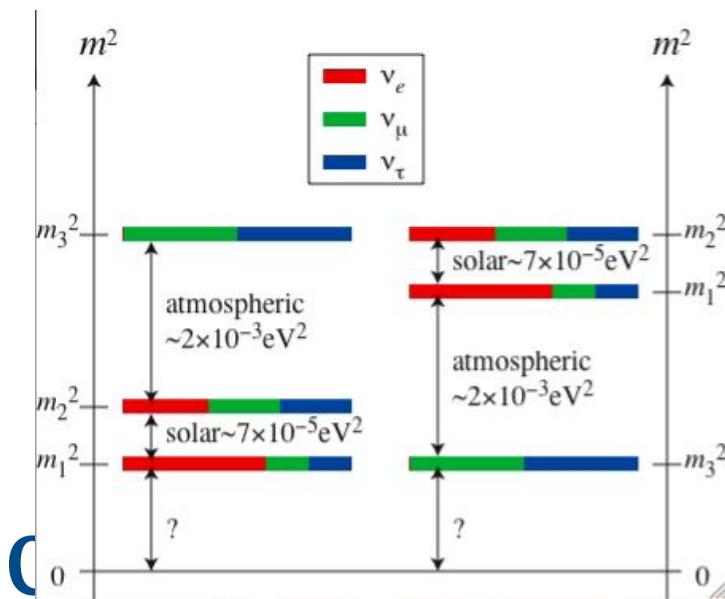
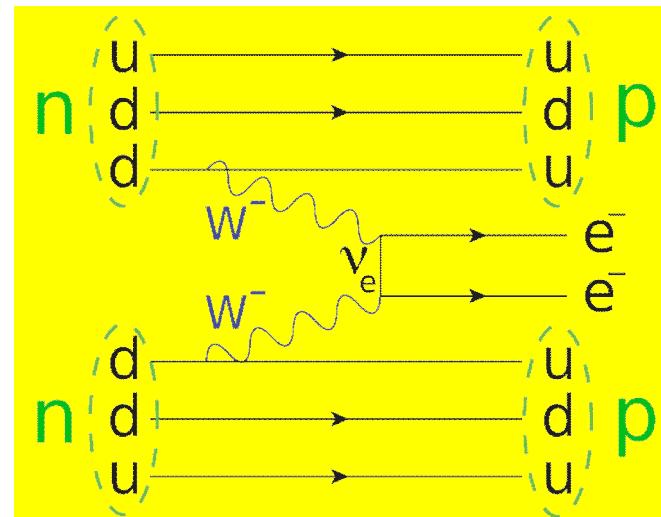


2013.06.18

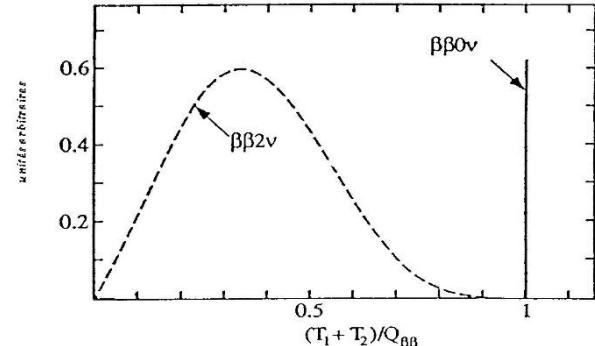
# CDEX之新方向

- 从单纯暗物质探测到暗物质与双贝塔衰变兼顾转变；

# CDEX-1新研究内容 ——双贝塔衰变预研



# 双贝塔衰变实验原理

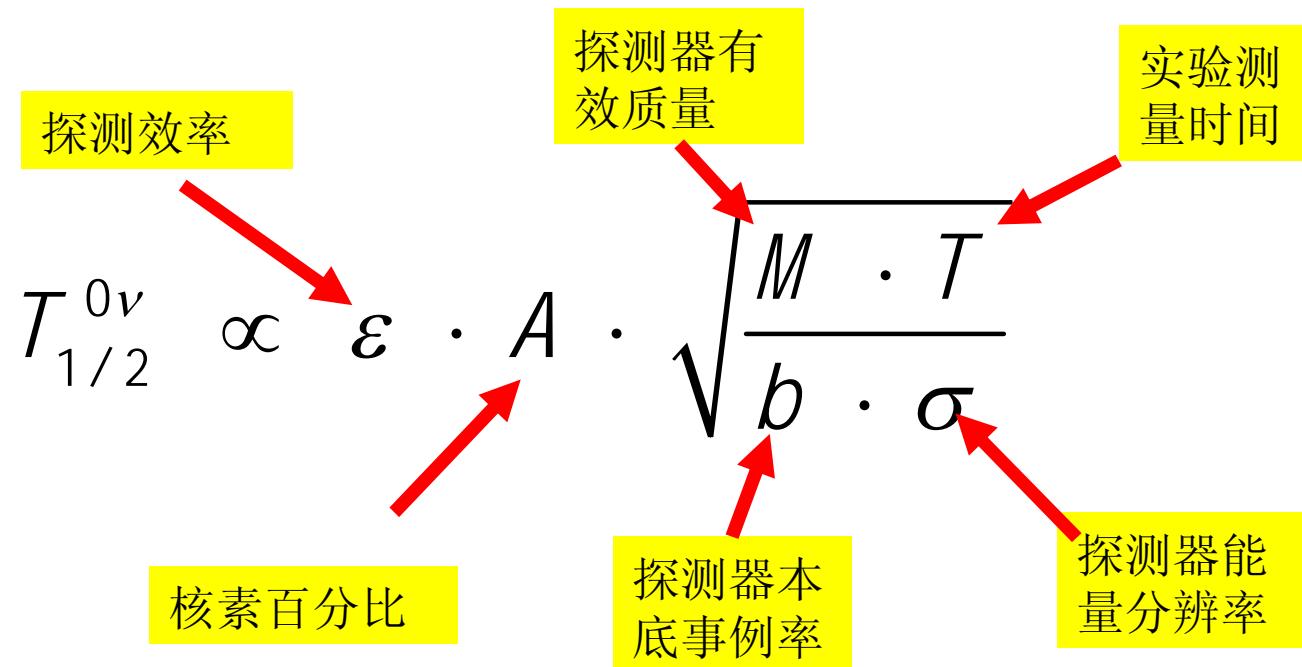


$$(T_{1/2}^{0\nu})^{-1} = G^{0\nu}(E_0, Z) |M^{0\nu}|^2 \langle m_{\beta\beta} \rangle^2$$

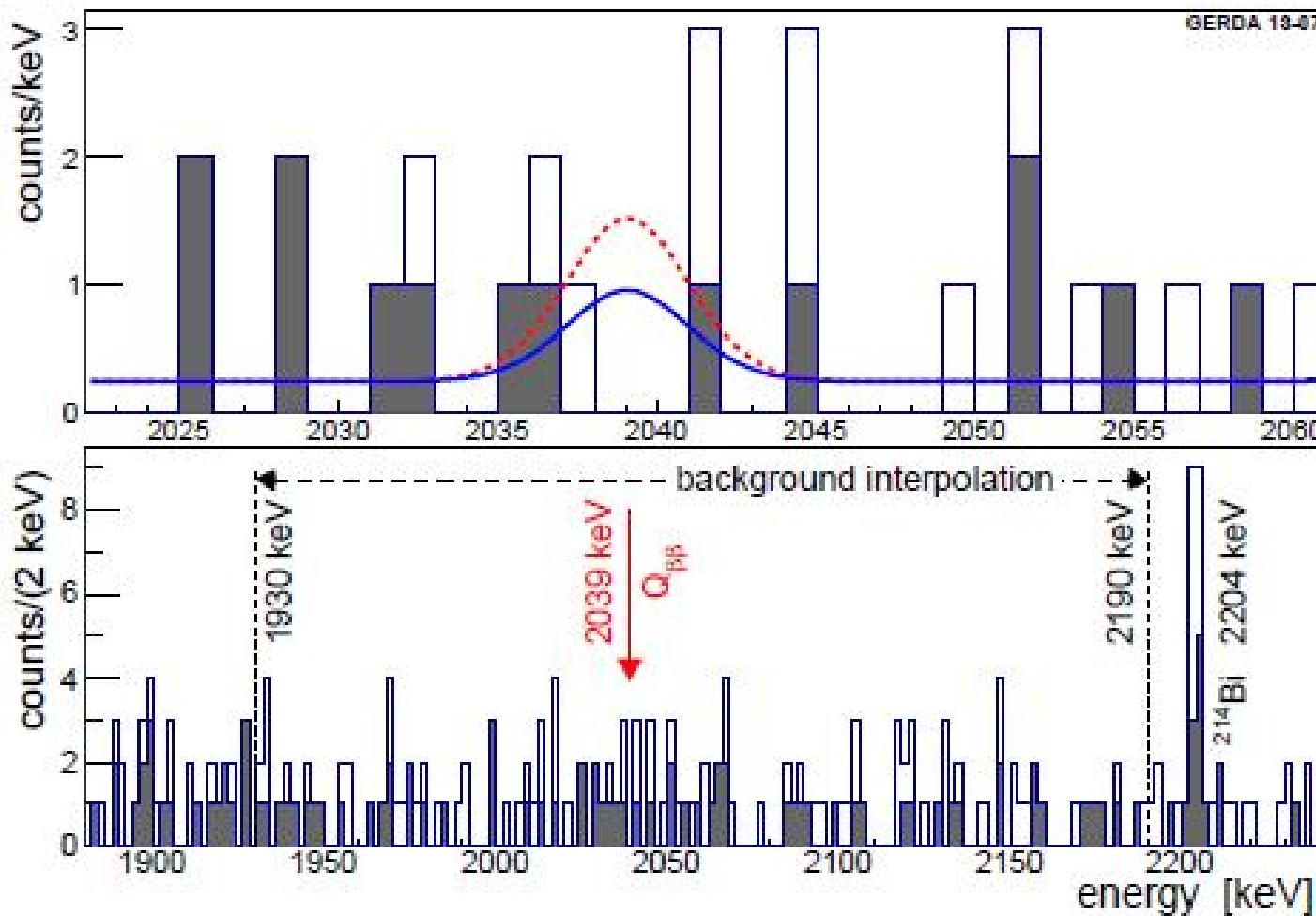
相空间积分因子

核子矩阵元

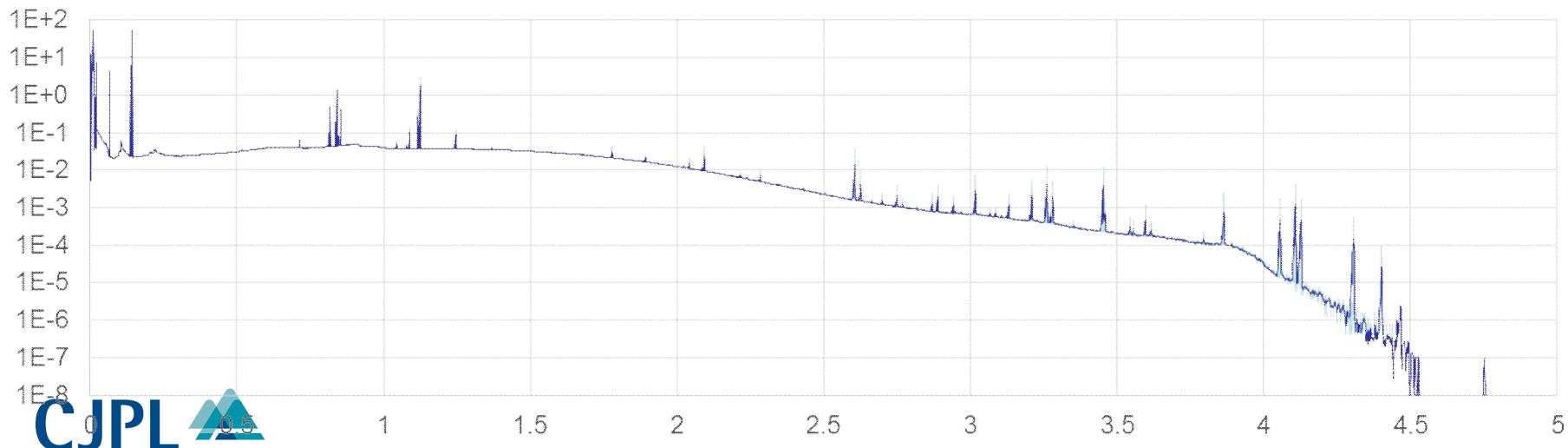
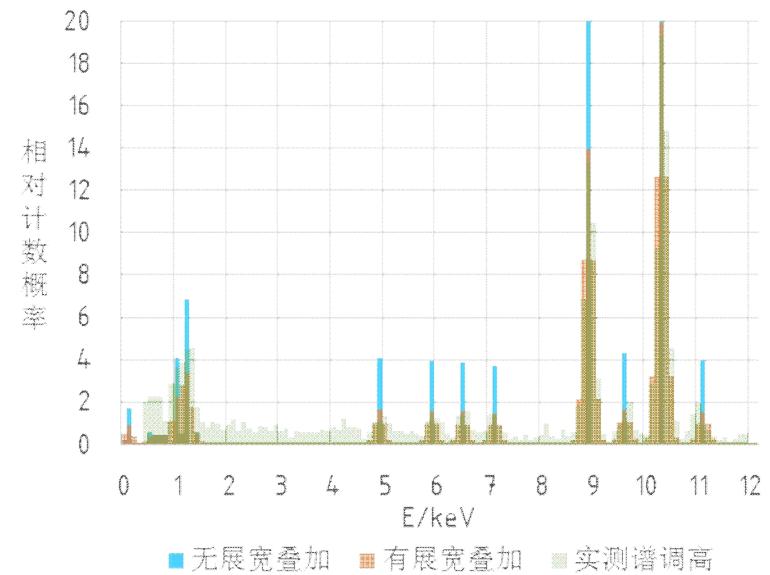
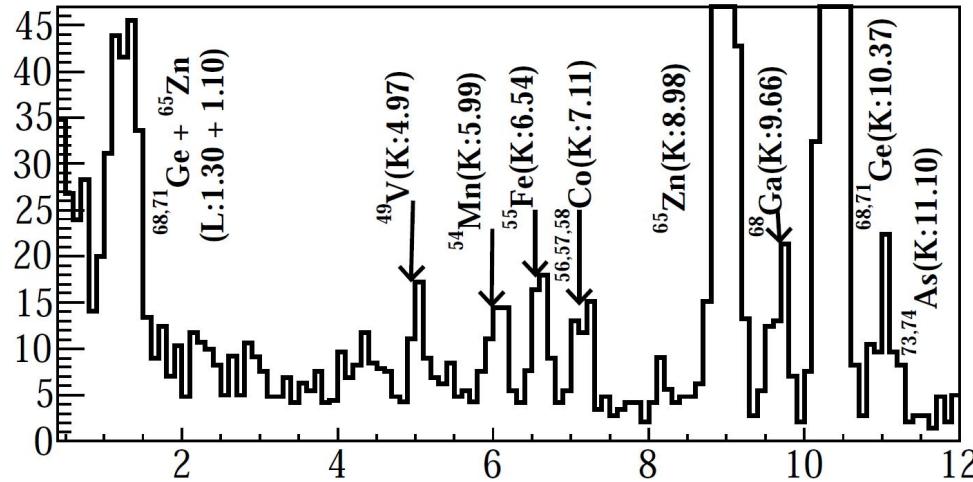
中微子有效质量



# GERDA新结果



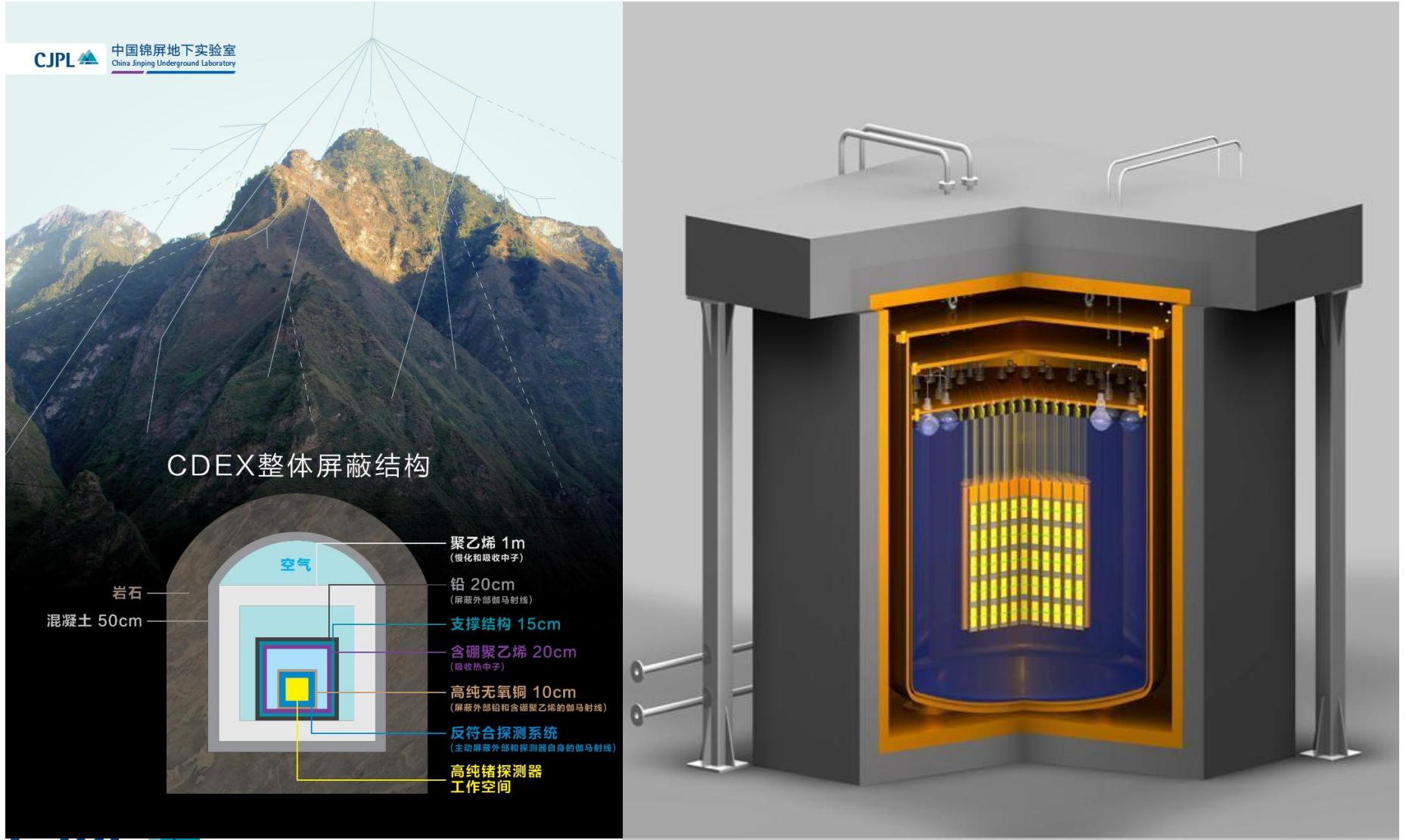
# CDEX-1新研究内容 ——双贝塔衰变预研



# 双贝塔衰变现状

同位素	端点能量 (keV)	天然丰度 (%)	半衰期	中微子质量
<b>Ca-48</b>	4271	0.187	$> 9.5 \times 10^{21}$ (76%)	< 8.3
<b>Ge-76</b>	2039	7.8	$> 1.9 \times 10^{25}$	< 0.2-0.4
<b>Se-82</b>	2995	9.2	$> 2.7 \times 10^{22}$ (68%)	< 5
<b>M0-100</b>	3034	9.6	$> 5.5 \times 10^{22}$	< 2.1
<b>Cd-116</b>	2809	7.5	$> 7 \times 10^{22}$	< 2.6
<b>Te-130</b>	2529	34.5	$> 1.4 \times 10^{23}$	< 1.1 – 2.6
<b>Xe-136</b>	2479	8.9	$> 4.4 \times 10^{23}$	< 1.1 – 5.2
<b>Nd-150</b>	3367	5.6	$> 1.2 \times 10^{21}$	< 3

# CDEX-1T 实验计划



CJPL

# 总结

- 地下实验室是开展粒子物理与核物理学、天体物理学及宇宙学等领域的一些重大基础性前沿课题的重要研究场所，是岩体力学、地球结构演化、生态学等学科开展相关实验研究的重要环境。
- 地下实验室为一个国家提供综合性的重大基础科学和应用科学研究平台,是一个国家关键性的重大基础科学研究设施。因此建设和发展地下实验室，特别是极深地下实验室具有重要科学意义和应用价值。



热烈欢迎各位领导专家莅临CJPL指导！



中国锦屏地下实验室  
China Jinping Underground Laboratory

谢谢！