

# LHAASO 进展报告

曹臻，高能所

LHAASO 合作组大会，南开大学，2016-8

# 报告内容

- **项目进展**
  - 项目的立项
  - TDR准备工作
- **实施计划**
  - 基建工程进度与计划
  - 探测器生产、安装进度计划
  - 物理分析软件准备计划
- **科学观测及研究计划**
  - 科学产出预期物理分析、科学产出准备工作
  - 科学研究计划
- **合作组**
- **经费状况及其预期**

# 国家发展和改革委员会文件

发改高技〔2015〕3184号

## 国家发展改革委关于高海拔宇宙线观测站 国家重大科技基础设施项目建议书的批复

中国科学院、四川省发展改革委：

报来《关于报送高海拔宇宙线观测站项目建议书的函》（科发条财字〔2015〕19号）及《关于报送高海拔宇宙线观测站项目建议书评估调整版的函》（科发函字〔2015〕456号）均悉。经研究，原则同意所报项目建议书，现批复如下：

一、根据《国家重大科技基础设施建设中长期规划（2012-2030年）》，鉴于宇宙线携带着宇宙起源、天体演化、太阳活动及地球空间环境等重要科学信息，研究宇宙线以及它们的起源是人类探索宇宙及其演化的重要途径，因此，原则同意建设高海拔宇宙线

二、  
三、  
四、  
五、

六、项目由中国科学院成都分院作为法人单位，中国科学院高能物理研究所作为项目共建单位。项目建成后，按照“开放合作、资源共享”的原则，面向多用户、多领域开放，开展科学研究和国内外交流。

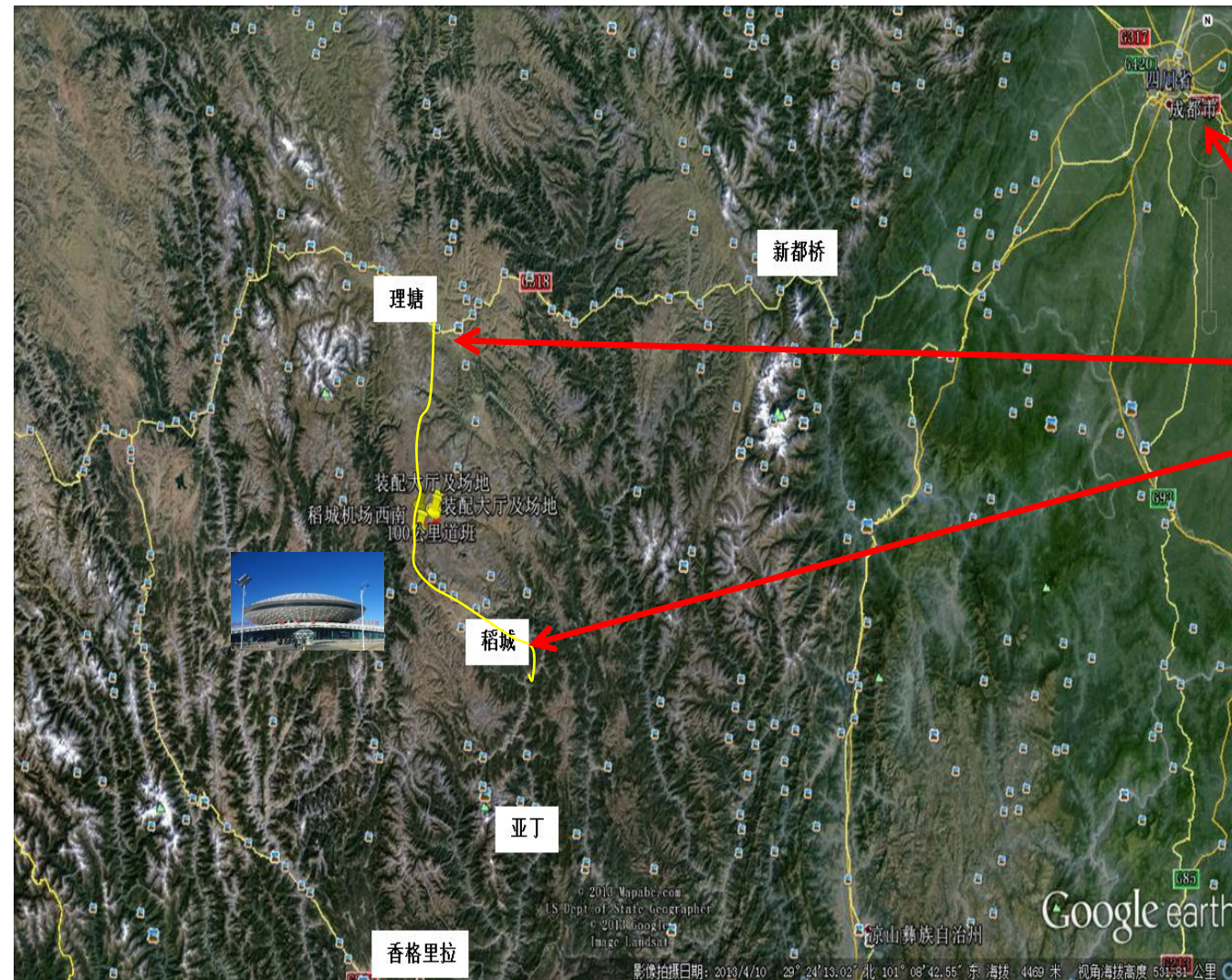
请你们据此组织有关单位抓紧开展可行性研究工作，充分利用国内现有资源和条件，加强国际合作，做好项目管理的顶层设计与组织协调，完善开放共享方案，落实相关建设条件，在条件具备后将可行性研究报告报我委审批。



2015年12月31日

抄送：四川省人民政府，财政部、国土资源部、环境保护部

Geo Location: Near S217, in the Haizishan Reservation  
N29°21'30.7", E100°08'14.65"  
4400 A.S.L.



Chengdu: 708km

Litang: 98km

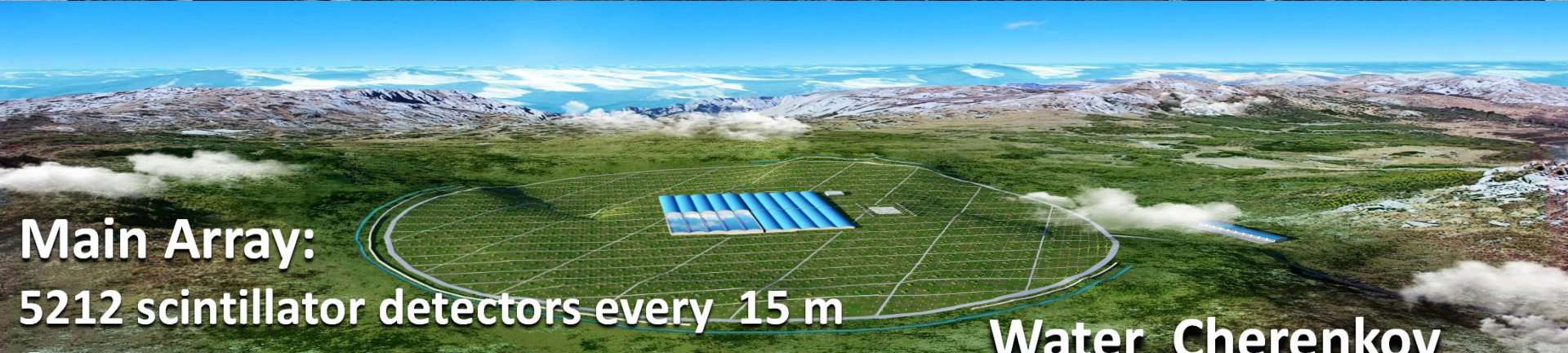
Daocheng: 50km  
(living base at 3700m)

# 国家项目的立项

- 国家项目建议书批复：2015年12月31日
  - 5195个ED：覆盖1.2平方公里
  - 1171个MD：覆盖整个阵列
  - 3000 WCD单元：7.8万平方米连续灵敏探测阵列
  - 12台WFCT：用于30TeV到0.3EeV的宇宙线能谱和成份的测量
- 可研报告审批：
  - 5月院级内评、6月上报国家发改委
  - 环境评估：预计9月上报环保部（关键路径）
  - 土地证：预计9月获得
- TDR上报准备工作
  - 按系统组织内部评审，计划10-11份前完成

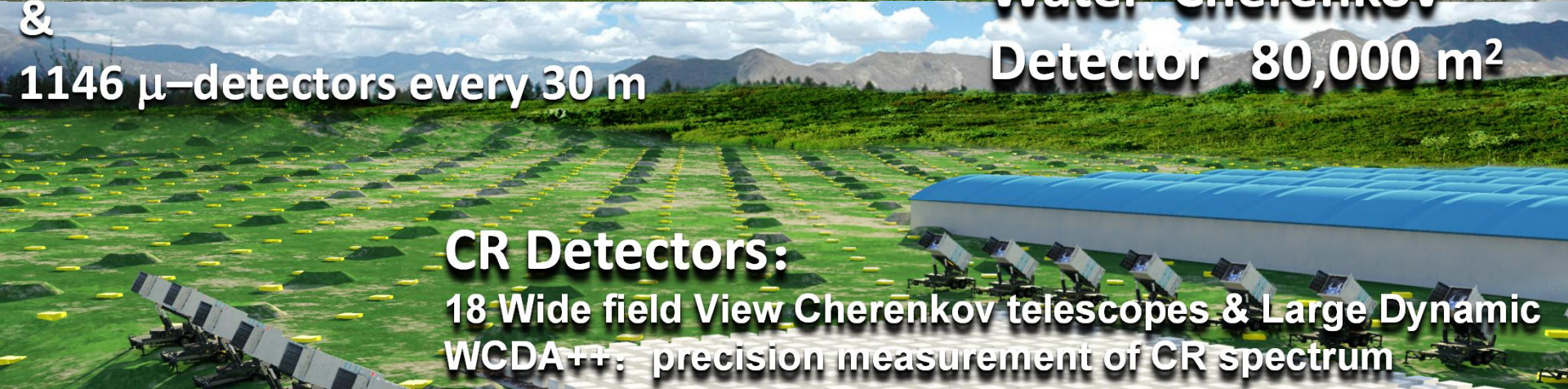


# 海拔4400 m 稻城海子山站址



**Main Array:**  
5212 scintillator detectors every 15 m  
&  
1146  $\mu$ -detectors every 30 m

**Water Cherenkov  
Detector 80,000 m<sup>2</sup>**



**CR Detectors:**  
18 Wide field View Cherenkov telescopes & Large Dynamic  
WCDA++: precision measurement of CR spectrum








# 道路和场地布局

- 连接S217 & 大门

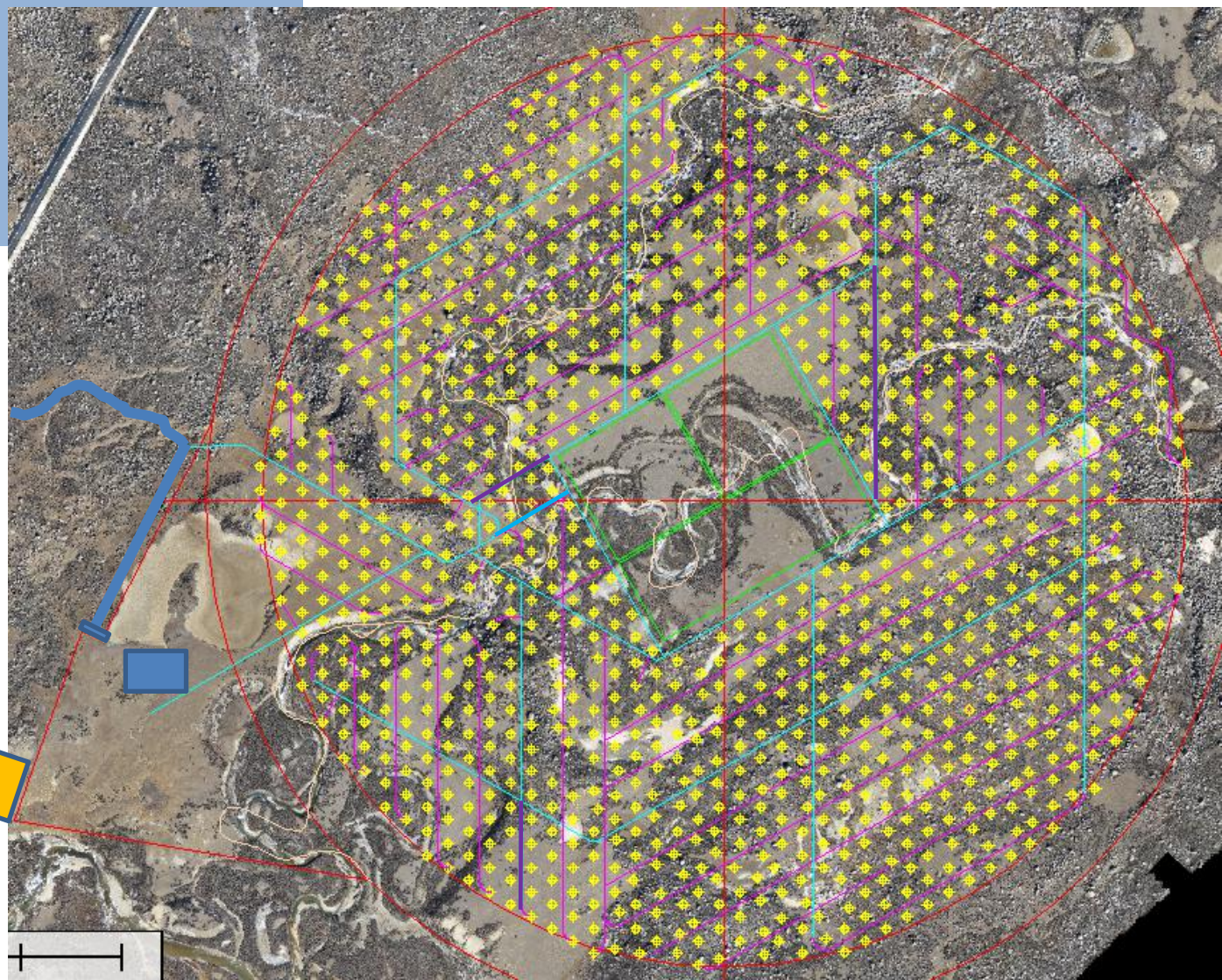
- 连接每个大型探测装置

图例:

MD水池:   
WCDA:   
场内主干道:   
场内小路:   
边界及中心线: 

变  
电  
站

1171 MD 站点踏勘结果



# 初设报告：分册方式

- 共7册：
  1. 总论
  2. 平方公里阵列（ED+MD）
  3. 中心阵列（WCDA+WFCTA）
  4. 共用工艺技术设施
  5. 建安工程
  6. 公用技术设施
  7. 初步设计概算书



# 初设报告（TDR）：进展与计划

- 2013/11——2015/04：
  - 初设报告工艺系统部分初稿
- 2015/04/10：
  - 启动可研报告的编写，其中工艺系统部分基于初设报告初稿
- 2015/09——**2016/04/15**
  - 可研报告的内部评审和修订，完成可研报告最终版
  - 初设阶段关键技术专项的评审
  - 启动初设报告的修订和其它内容（1、5-7册）的编写
- **2016/08/15:**
  - 完成初设报告全部内容的编写
  - 启动初设报告的所内专家评审和进一步修订
- **2016/10:**
  - 完成初步设计报告的编写。

# 基建工程进展与计划

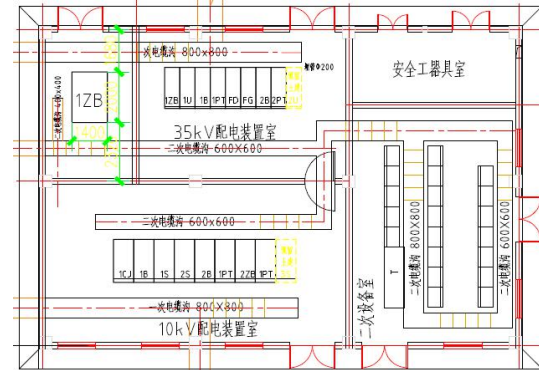
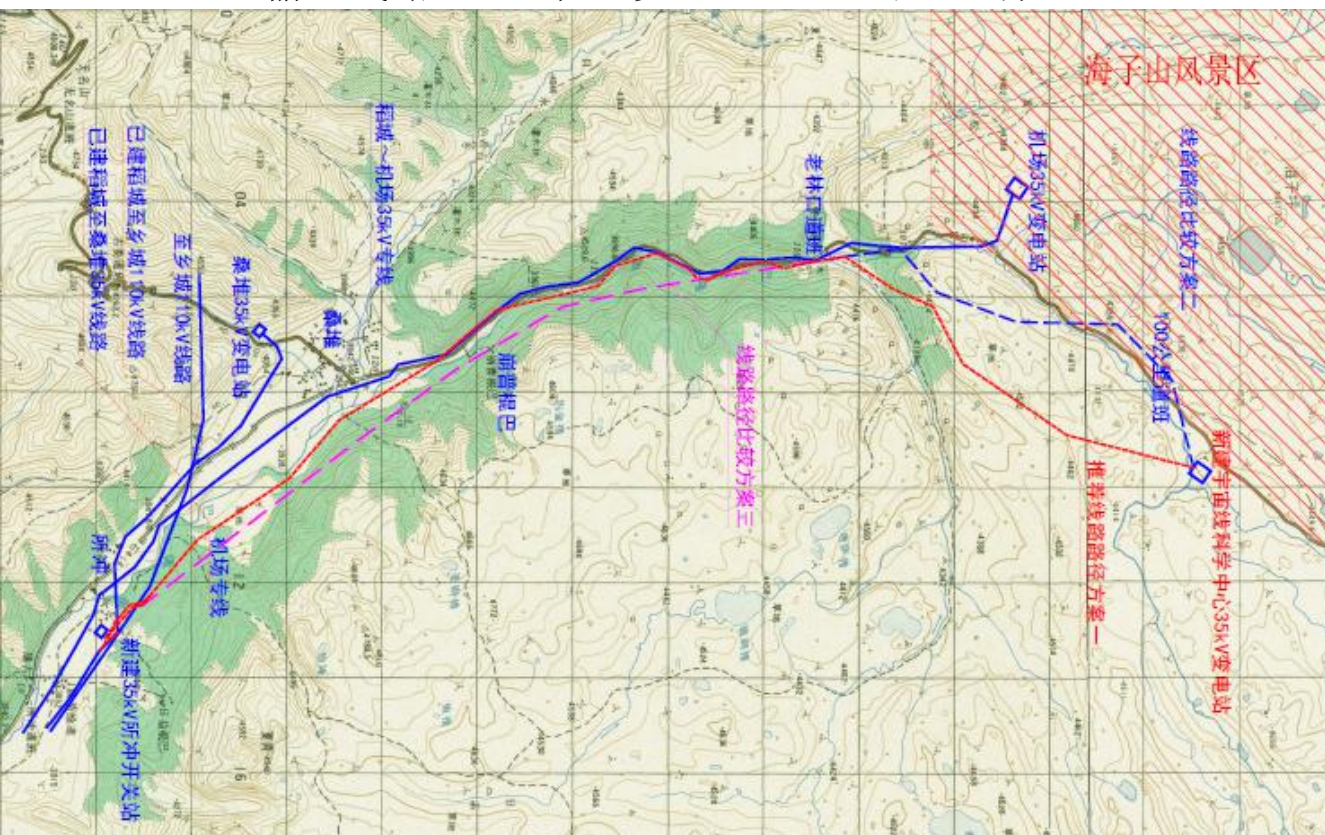
- 29公里35千伏输电工程启动
- 配套工程土建工程已经启动
  - 观测基地20道路工程
  - 防洪水渠工程
  - 测控基地建设
- 预计年底完成40%，2017年5月验收、交付



# 29公里输变电线路工程

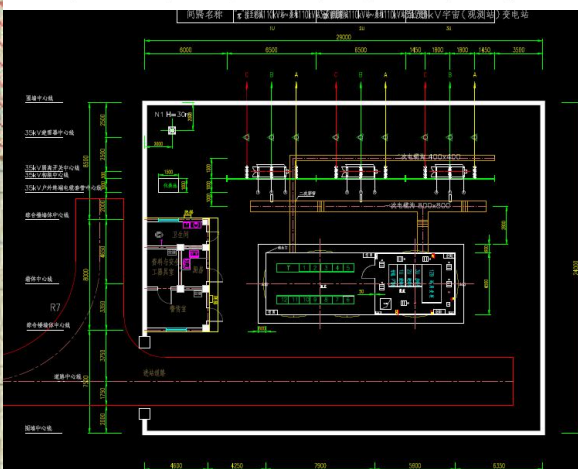
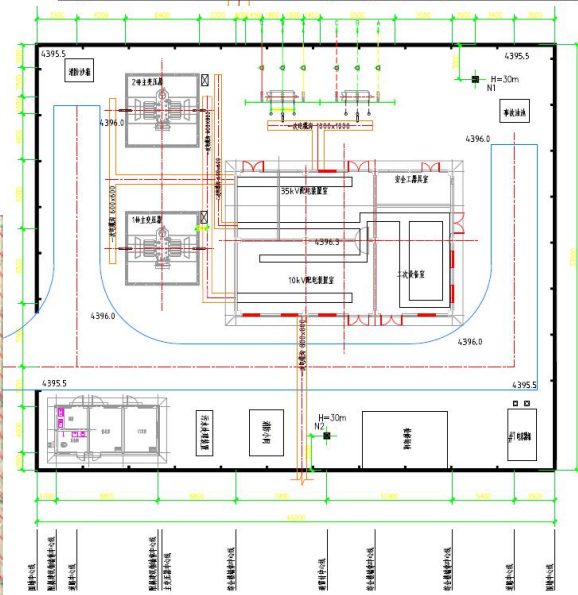
## 工程建设内容

- 35kV开关站（海拔3800m）
- 35kV输电线路：29km
- 35->10kV变电站（4410m）
- 10kV输电线路：500米地缆（4410m）和3km架空（3750m）



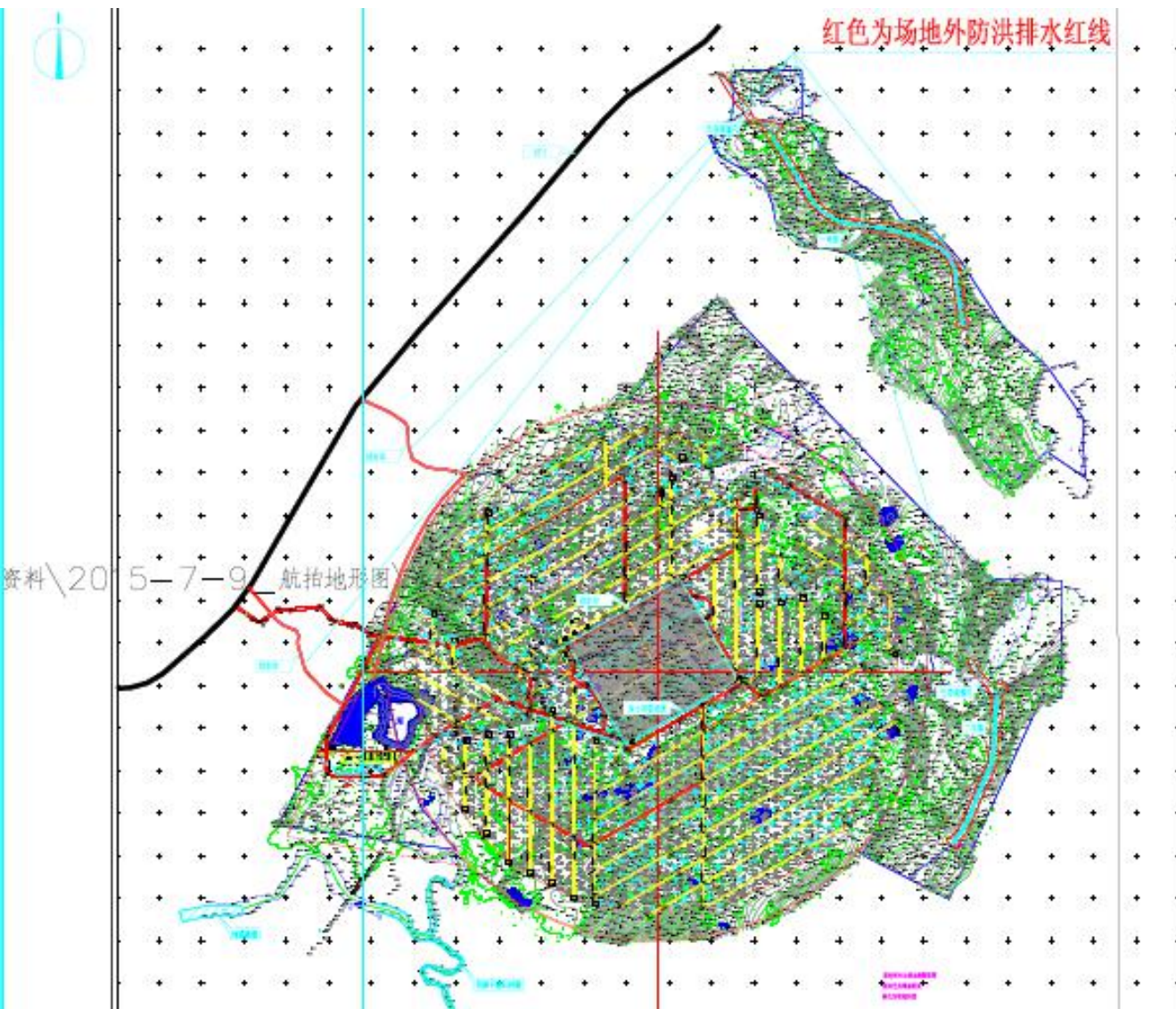
35kV配电室中心线  
35kV母线装置中心线  
10kV母线装置中心线  
35kV户外母线装置中心线

安全工器具室中心线





# 观测基地总图



综合技术经济指标	
设计	1. 设计单位: 中核岩土工程
设计	2. 地质勘察设计任务书
设计	3. 国家水文地质规范
设计	4. 建设单位提供的地质勘察资料
一、	总建筑面积: 1360000m <sup>2</sup>
二、	总建筑面积: 83004.33m <sup>2</sup>
其中	A. 入口大门建筑面积: 31.04m <sup>2</sup>
	B. 附属房屋建筑面积: 442.64m <sup>2</sup> 842.69m <sup>2</sup>
	C. 消防水池建筑面积: 357.00m <sup>2</sup>
	D. 露天停车场建筑面积: 2077.38m <sup>2</sup>
	E. 地坑水池建筑面积: 371.89m <sup>2</sup>
	F. 污水处理站建筑面积: 427.54m <sup>2</sup>
	G. 污水处理站附属构筑物(3个): 443.50m <sup>2</sup>
	H. 污水处理站附属构筑物(WCDA-3个): 78708.47m <sup>2</sup>
	I. WCDA附属构筑物(3个): 103.68m <sup>2</sup>
三、	容积率: 0.06
四、	覆盖率: 83007.39m <sup>2</sup>
五、	绿化率: 6.00%
六、	机动车位: 17 个



观测基地总平面图 1:1000



# 测控基地布局 and 效果图







# 施工现场





# LHAASO主体基建工程计划

- 2016: 地方配套
- 2017: 1#水池 (150X150) 建设
- 400个muon探测器主体工程
- 2017-2019年底:
- 2#水池 (150X150) 3#水池 (110X300)
- 710个muon探测器主体工程
- 道路维护







# 探测器生产、安装进度计划

- **2017年：订货、工艺成熟**
  - 80个ED+15个MD+2 WFCT
- **2018年：1/4阵列投入科学运行**
  - 1920个ED+300个MD+一个水池+4 WFCT
- **2019年：2/3阵列投入科学运行**
  - 2000个ED+500个MD+一个水池+3 WFCT
- **2020年：全阵列投入科学运行**
  - 1635个ED+406个MD+一个水池+3 WFCT

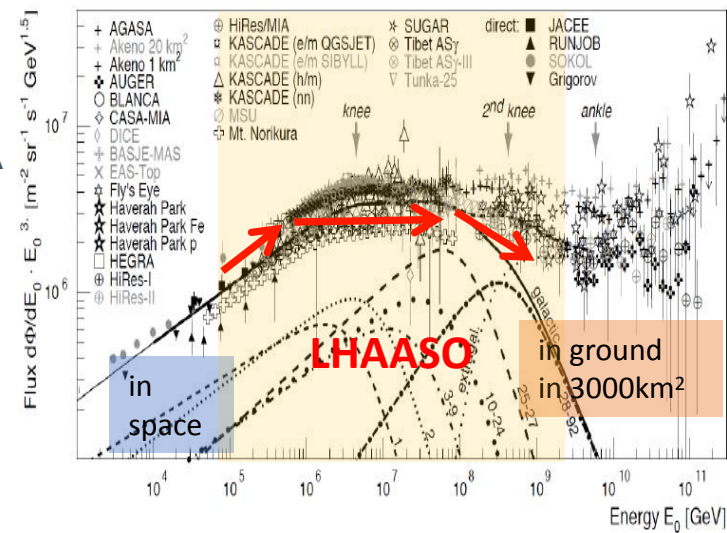
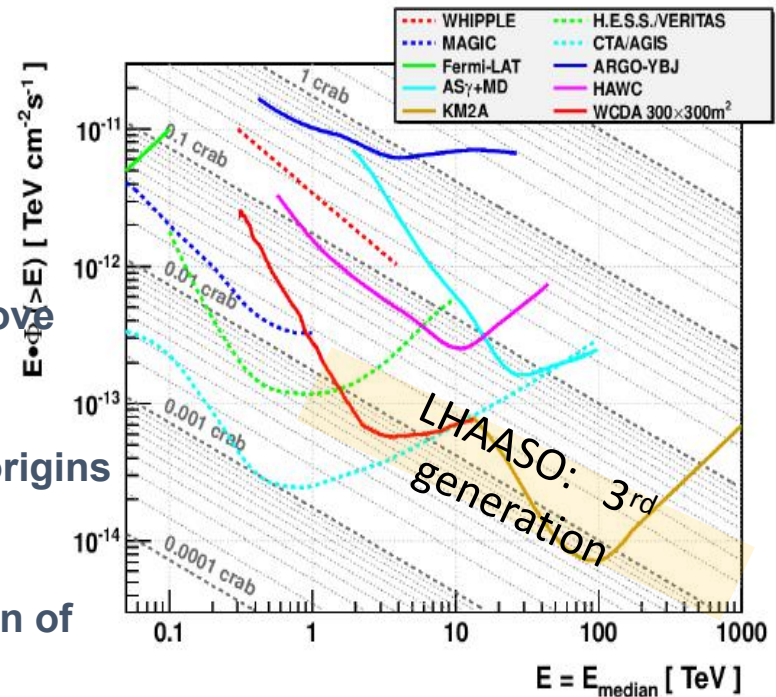


# 物理分析、软件工程的计划

- **2016年（建设）**
  - 发布第一版的软件框架，包含比较成熟的模拟和重建软件
  - 发布LHAASO科学的白皮书初版
  - 组织下年度973申请的准备工作
  - 开展物理分析黄皮书的相关工作
- **2017年（优化）**
  - 优化各部分的软件
  - 完善LHAASO科学的白皮书（扩充宇宙线物理内容）
  - 深入开展LHAASO物理分析黄皮书的工作
- **2017年（检验）**
  - 分析LHAASO工程阵列数据和羊八井实验数据
  - 开展LHAASO物理分析相关的系统误差研究

# Prospects and Status

- LHAASO observatory
  - The highest sensitivity for gamma ray sources above 10 TeV in the world
  - The unique window for discovering the hadronic origins of cosmic rays
  - Crucial CR data covering a very wide energy region of knees
    - Exploring for new physics: DM or quantum gravity
- LHAASO will be one of the major instruments in HE astroparticle physics, together with IceCube, AUGER, CTA
- LHAASO has been approved in China, one of the most important projects of CAS in 5 years
- Sichuan province provides the site & infrastructure. **The construction has been started in July 2016**

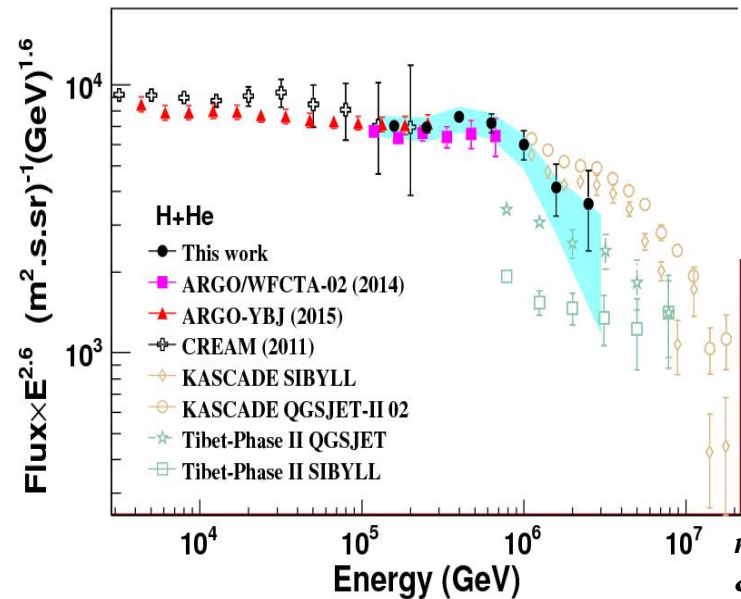




# The 1<sup>st</sup> Result with LHAASO prototype & ARGO-YBJ

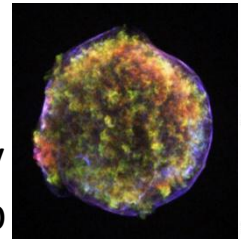
H & He (70% purity)  
spectrum has the knee at 700 TeV

Phys.Rev. D92 (2015) 9,  
092005

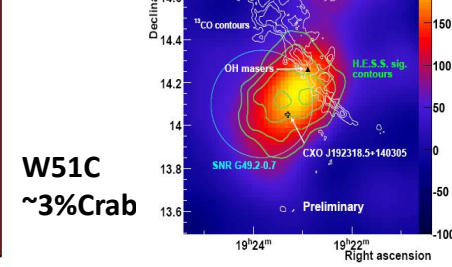
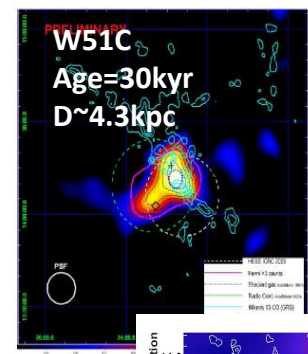


# The most wanted cosmic ray sources in LHAASO hunting list

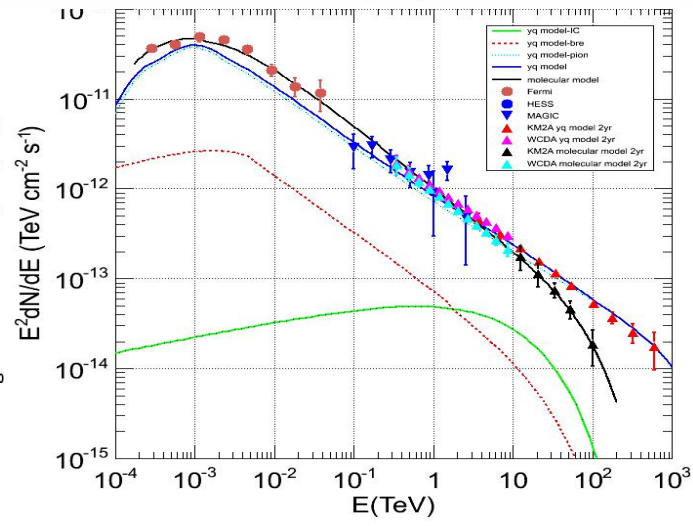
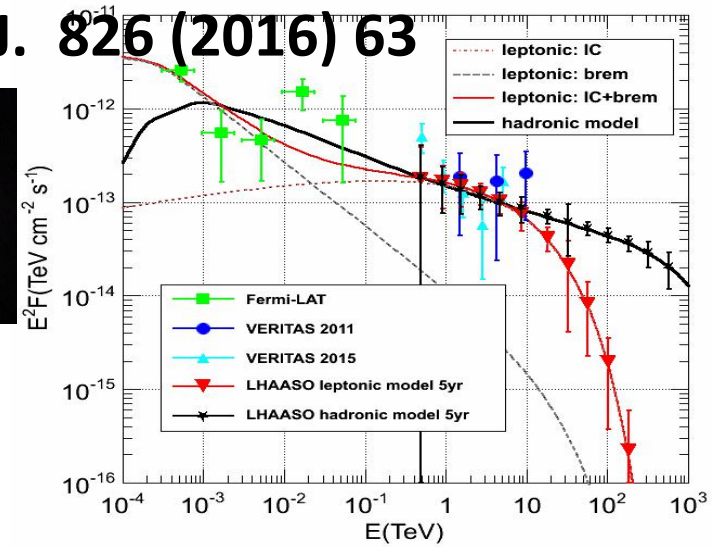
Astrophys. J. 826 (2016) 63



D ~ 2-5kpc  
Age ~ 440y  
F ~ 1% Crab



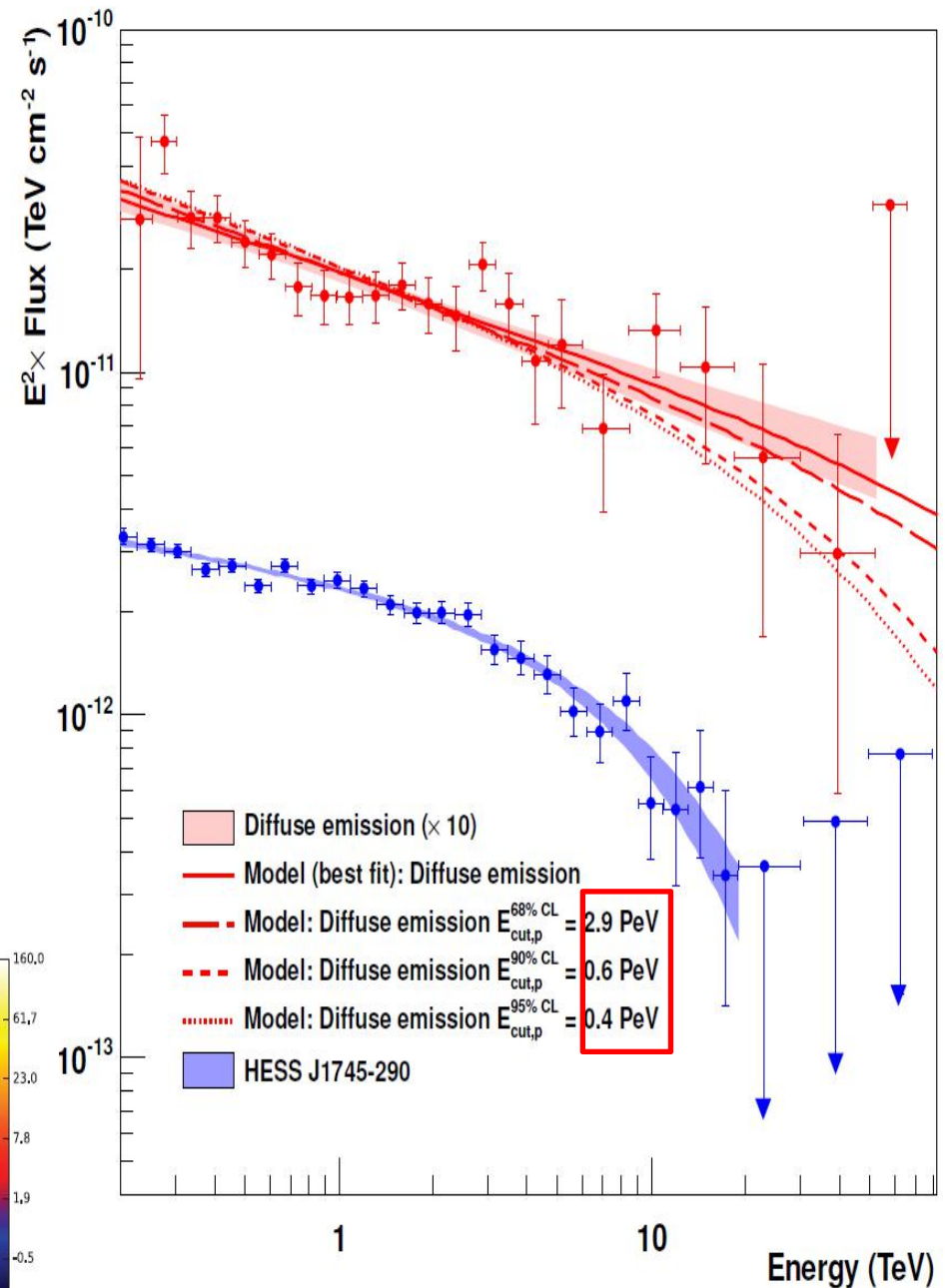
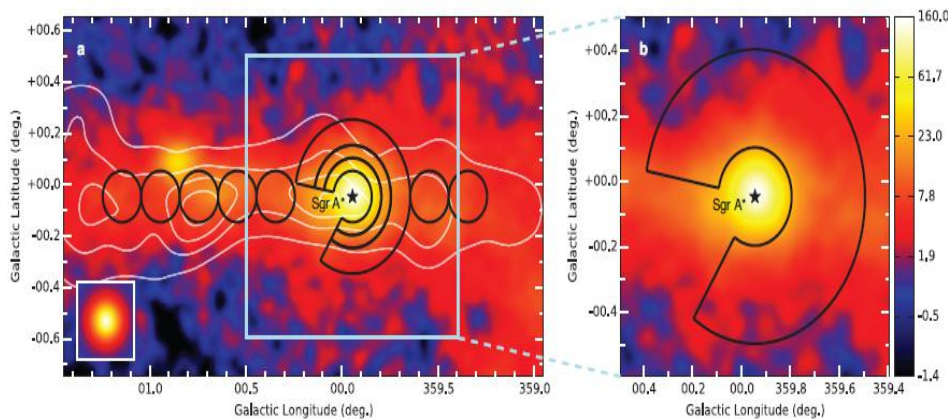
reference~ APJ, 761:133(2012)  
& Mon.Not.R.Astron.Soc,  
421,935-942(2012)



# A Pevatron?

Nature 531 (2016) 476

- At G.C. very dense gas density meaning strong absorption
- Models show that the p-spectrum should have a cut-off energy higher than 0.4 PeV





# 物理分析、科学产出准备工作

## 成立物理分析小组（高能所）

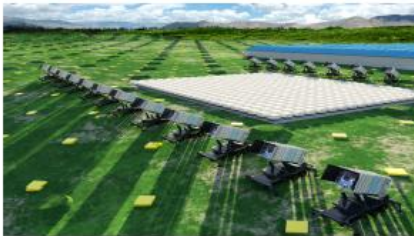
- 逐渐完善计算设备和存储系统
- 软件框架的研究和建设已经基本完成
- 模拟数据产生和管理逐渐步入正轨
- 启动了数据和物理分析的预先研究
- **物理分析及唯象理论研究**
- LHAASO科学白皮书
- 物理分析黄皮书

# White Paper

- 170多页，中国、美国、意大利、俄国、法国、加拿大、泰国等多国科学家参与，完成80%

## THE LARGE HIGH ALTITUDE AIR SHOWER OBSERVATORY

SCIENCE WHITE PAPER\*  
(v2015.0.0)



December 3, 2015

Xinhua Bai<sup>1,2,\*</sup>, B. Y. Bi<sup>3</sup>, Xiao-Jun Bi<sup>4</sup>, Z. Cao<sup>5</sup>, S. Z. Chen<sup>6</sup>, A. Chiavassa<sup>7</sup>, X. H. Cui<sup>8</sup>, Zi-Gao Dai<sup>9</sup>, Yi-Zhong Fan<sup>10</sup>, J. Giacalone<sup>11</sup>, T. Di Girolamo<sup>12</sup>, H. H. He<sup>13</sup>, T. L. He<sup>14</sup>, Daihui Huang<sup>15</sup>, Yong-Feng Huang<sup>16</sup>, Huanyu Jia<sup>17</sup>, L. T. Ksenofontov<sup>18</sup>, D. Lehar<sup>19</sup>, En-Wei Liang<sup>20</sup>, P. Lipari<sup>21</sup>, Ruo-Yu Liu<sup>22</sup>, Ye Liu<sup>23</sup>, Xinhua Ma<sup>24</sup>, D. Martraire<sup>25</sup>, David Ruffotto<sup>26</sup>, Yuri V. Sklenkin<sup>27</sup>, H. Q. Si<sup>28</sup>, Thomas Tam<sup>29</sup>, Qing-Wen Tang<sup>30</sup>, W. W. Tian<sup>31</sup>, P. Vallania<sup>32</sup>, S. Vernetto<sup>33</sup>, C. Vigorito<sup>34</sup>, L. Z. Wang<sup>35</sup>, X. Wang<sup>36</sup>, Xiang-Yu Wang<sup>37</sup>, Xinjian Wang<sup>38</sup>, Da-Ming Wei<sup>39</sup>, Jun-Jie Wei<sup>40</sup>, D. Wu<sup>41</sup>, H. R. Wu<sup>42</sup>, Xue-Feng Wu<sup>43</sup>, A. Y. Yang<sup>44</sup>, Z. G. Yao<sup>45</sup>, L. Q. Yin<sup>46</sup>, Qiang Yuan<sup>47</sup>, Bing Zhang<sup>48,49,50</sup>, Bo Zhang<sup>51</sup>, M. F. Zhang<sup>52</sup>, S. S. Zhang<sup>53</sup>, Yi Zhao<sup>54</sup>, Xun-Ju Zhou<sup>55</sup>, F. R. Zhu<sup>56</sup>, H. Zhif<sup>57</sup>

<sup>1</sup>Key Laboratory of Particle Astrophysics, Institute of High Energy Physics, CAS, P.O. Box 918, 100049 Beijing, China

<sup>2</sup>Physics Department, South Dakota School of Mines and Technology, Rapid City, SD 57701, USA

<sup>3</sup>Istituto Nazionale di Astrofisica, GATG, Torino, Italy

<sup>4</sup>Dipartimento di Fisica, Università degli Studi di Torino, Via Pietro Giuria 1, Torino, 10125, Italy

<sup>5</sup>National Astronomical Observatories, CAS, Beijing, 100012, China

<sup>6</sup>School of Astronomy and Space Science, Nanjing University, Nanjing 210093, China

<sup>7</sup>Purple Mountain Observatory, CAS, Nanjing 210008, China

<sup>8</sup>Lunar and Planetary Laboratory, University of Arizona, Tucson AZ 85721, USA

<sup>9</sup>Dipartimento di Fisica dell'Università di Napoli "Federico II", Complesso Universitario di Monte S. Angelo, via Cintia, I-80126 Napoli, Italy

<sup>10</sup>Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Sezione di Napoli, Complesso Universitario di Monte S. Angelo, via Cintia, I-80126 Napoli, Italy

<sup>11</sup>School of Physical Science and Technology, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China

<sup>12</sup>Yu. G. Shajner Institute of Cosmophysical Research and Astronomy SB RAS, 51 Lenin Ave., 677980 Yakutsk, Russia

<sup>13</sup>Department of Physics & Astronomy, University of Calgary, Calgary, Alberta T2N 1N4, Canada

<sup>14</sup>Department of Physics, Guangxi University, Nanning 530004, China

<sup>15</sup>Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Sezione Roma 1, Rome, Italy

<sup>16</sup>Department of Astronomy, Nanjing University, Nanjing 210093, China

<sup>17</sup>The School of Physics, Shandong University, Jinan 250100, China

<sup>18</sup>Department of Physics, Faculty of Science, Mahidol University, Bangkok 10400, Thailand

<sup>19</sup>National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), 115409 Moscow, Russia

<sup>20</sup>Institute for Nuclear Research, Russian Academy of Sciences, 117312 Moscow, Russia

<sup>21</sup>Institute of Astronomy and Space Science, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China

<sup>22</sup>School of Science, Nanchang University, Nanchang 330031, China

<sup>23</sup>Osservatorio Astrofisico di Torino dell'Istituto Nazionale di Astrofisica, via P. Giuria 1, I-10125 Torino, Italy

<sup>24</sup>Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Sezione di Torino, via P. Giuria 1, I-10125 Torino, Italy

## Contents

### Introduction

<b>1</b>	<b>High energy gamma ray astronomy</b>	<b>2</b>
1.1	Exploring the gamma ray sky above 30 TeV with LHAASO . . .	2
1.1.1	Introduction . . . . .	2
1.1.2	LHAASO sensitivity to gamma rays . . . . .	5
1.1.3	LHAASO and sky survey . . . . .	9
1.1.4	Galactic gamma ray astronomy . . . . .	11
1.1.5	Attenuation of gamma rays in space . . . . .	17
1.1.6	Extragalactic gamma ray astronomy . . . . .	20
1.2	Prospects for Gamma Ray Bursts detection with LHAASO . . . . .	23
1.2.1	Introduction . . . . .	23
1.2.2	The LHAASO experiment . . . . .	25
1.2.3	The GRB model . . . . .	26
1.2.4	The detector performance for the different configurations . . . . .	29
1.2.5	The detector threshold and external trigger rate . . . . .	31
1.2.6	Discussion and conclusions . . . . .	31
1.3	Prospect of $\gamma$ -ray source spectrum measurements with the LHAASO Project . . . . .	31
1.3.1	VHE $\gamma$ -ray sources . . . . .	32
1.3.2	SNRs . . . . .	32
1.3.3	Cygnus region . . . . .	33
1.3.4	Diffuse galactic $\gamma$ -rays . . . . .	35
1.3.5	AGN flares . . . . .	35
1.4	Measuring Extragalactic Background Light with LHAASO Observations of blazars . . . . .	35
1.4.1	Introduction . . . . .	37
1.4.2	Attenuation of VHE photons . . . . .	38
1.4.3	Fitting method . . . . .	39
1.4.4	Perspective of LHAASO . . . . .	39
1.4.5	Conclusion . . . . .	41
1.5	Low multiplicity technique for GRB observation by LHAASO-WCDA . . . . .	41
1.5.1	Introduction . . . . .	41
1.5.2	WCDA experiment and trigger mode . . . . .	42
1.5.3	Low multiplicity technique . . . . .	43
1.5.4	Scientific prospect and conclusions . . . . .	47



# 科学研究近期计划

- 2016-2017:
  - 完成羊八井ARGO-YBJ + LHAASO-prototype数据分析和研究
  - 运行羊八井AS\_G实验，开展数据分析和科学研究
- 2016-2018年完成MC模拟数据的产生与重建分析软件的建设
- 2018年：1/4探测器投入科学运行之后
  - 数周的数据可以得到Crab Nebula的标定结果（标准烛光）
  - 数月的数据产生科学成果：
    - 测量Crab Nebula光子能谱
    - 确定能标
    - 测定轻成分宇宙线能谱的膝

# 科学产出总体计划

- 2019-2020年完成探测器主体阵列，继续利用1/4阵列产生大统计量数据
- 科学成果预期
  - 第一批重要科学成果是关于SNR和PWN的高能端 ( $>30\text{TeV}$ )能谱的测量
  - 第二是成份的“膝”的测量
  - 长期 (10-20年科学运行)
- 2020以后，全阵列运行，产生第一批高灵敏度高能伽马天文数据





# LHAASO合作组（国内）

# LHAASO国际合作团队

瑞士日内瓦大学  
VHE伽马天文学

俄罗斯科学院核物理所  
宇宙线物理

法国奥赛核物理所  
欧米伽微电子学组  
VHE伽马天文学, 宇宙线物理

中国高能所  
等20个研究机构

意大利国家核物理研究院  
罗马I大、罗马II大、罗马III大、都林大学  
VHE伽马天文学, 宇宙线物理

泰国马依多尔大学  
太阳宇宙线物理、  
空间天气预报

国际合作组成员单位

法国: IPNO

OMEGA

U. Montpellier

意大利: U. Rome I, II, III

U. Torino

U. Naples

俄罗斯: RAS

INPR

泰国: Mahidol U.

# 工程经费状况及其预期

- 四川省地方配套资金：3亿
- 2015：1亿    2016：0.8亿    2017：1.2亿
- 国家发改委项目资金：9亿
- 2017：3亿
- 2018：3亿
- 2019：2亿
- 2020：1亿



# 科学研究经费的考虑

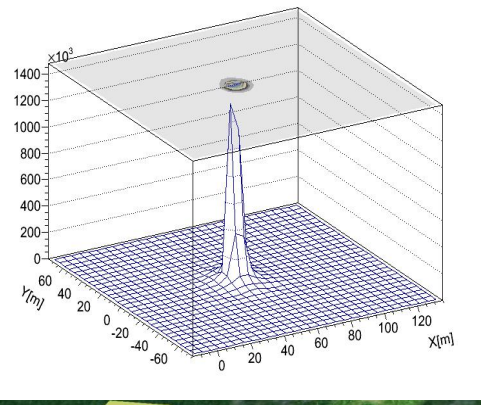
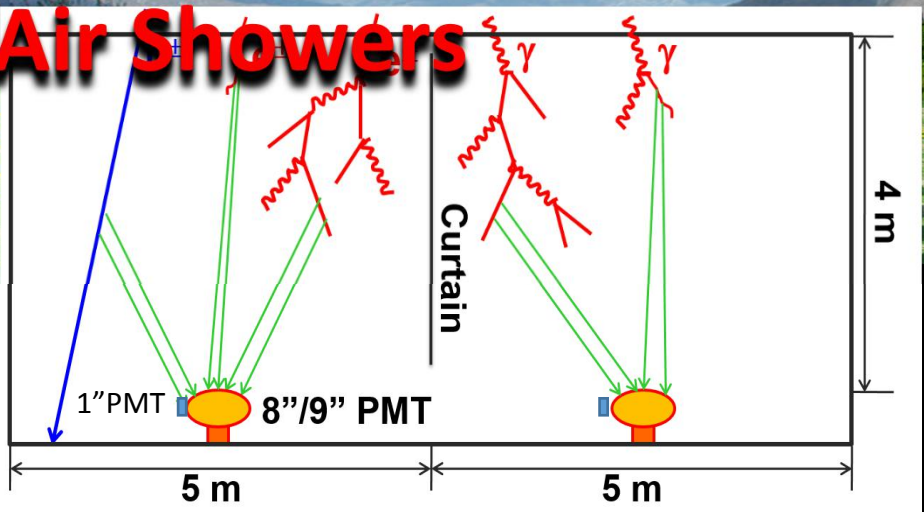
- 科技部重大科技计划子课题（原973），列入指南，2017年启动项目申请
- 基金委杨卫主任与王恩哥院长去年考察LHAASO站址，表示将LHAASO的研究纳入大装置基金管理范畴，2017年基金委与科学院将重新谈判相关协议。上月向数理学部领导汇报了LHAASO进展，希望加强向院里汇报，争取列入renew的协议

7<sup>th</sup> Workshop of High Altitude Air Shower Detection, Torino, Italy  
Nov. 30 – Dec. 2

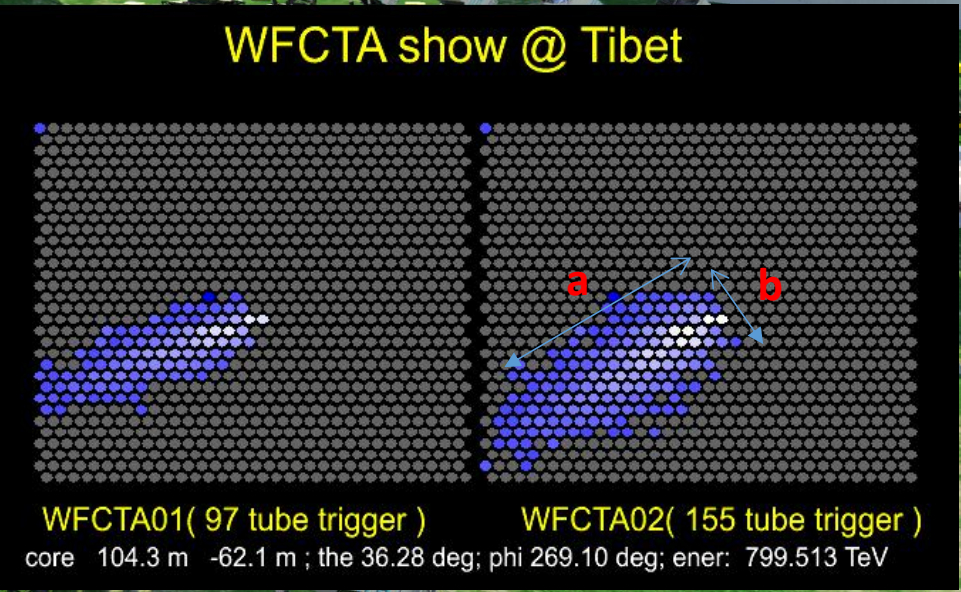
谢谢！

# Multi-parameter measurement of

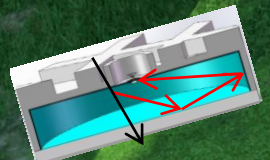
# Air Showers



Water Cherenkov  
Detector measures  
EAS cores



Shower image by Cherenkov  
Telescopes

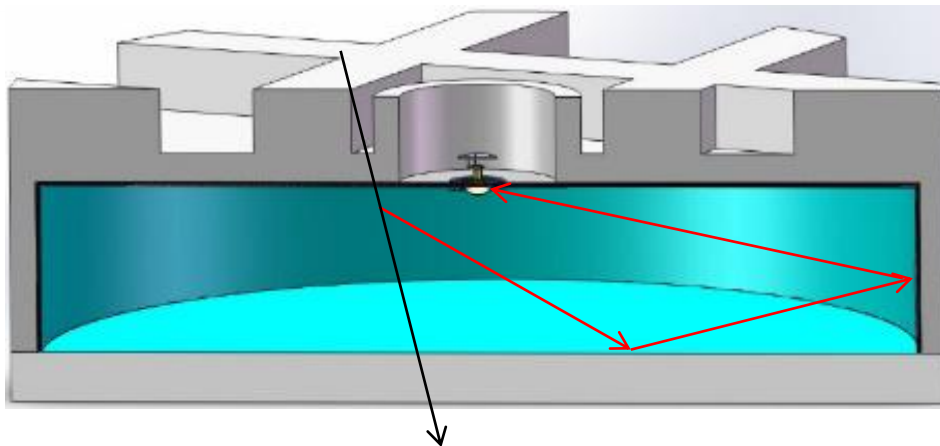
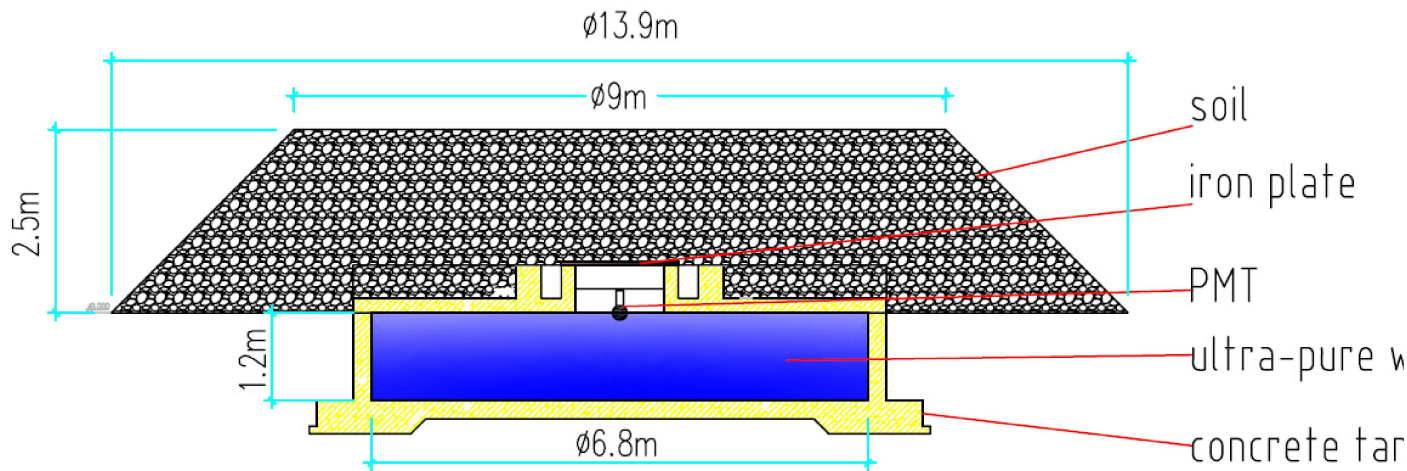


$\mu$ -detectors



# Muon Detector

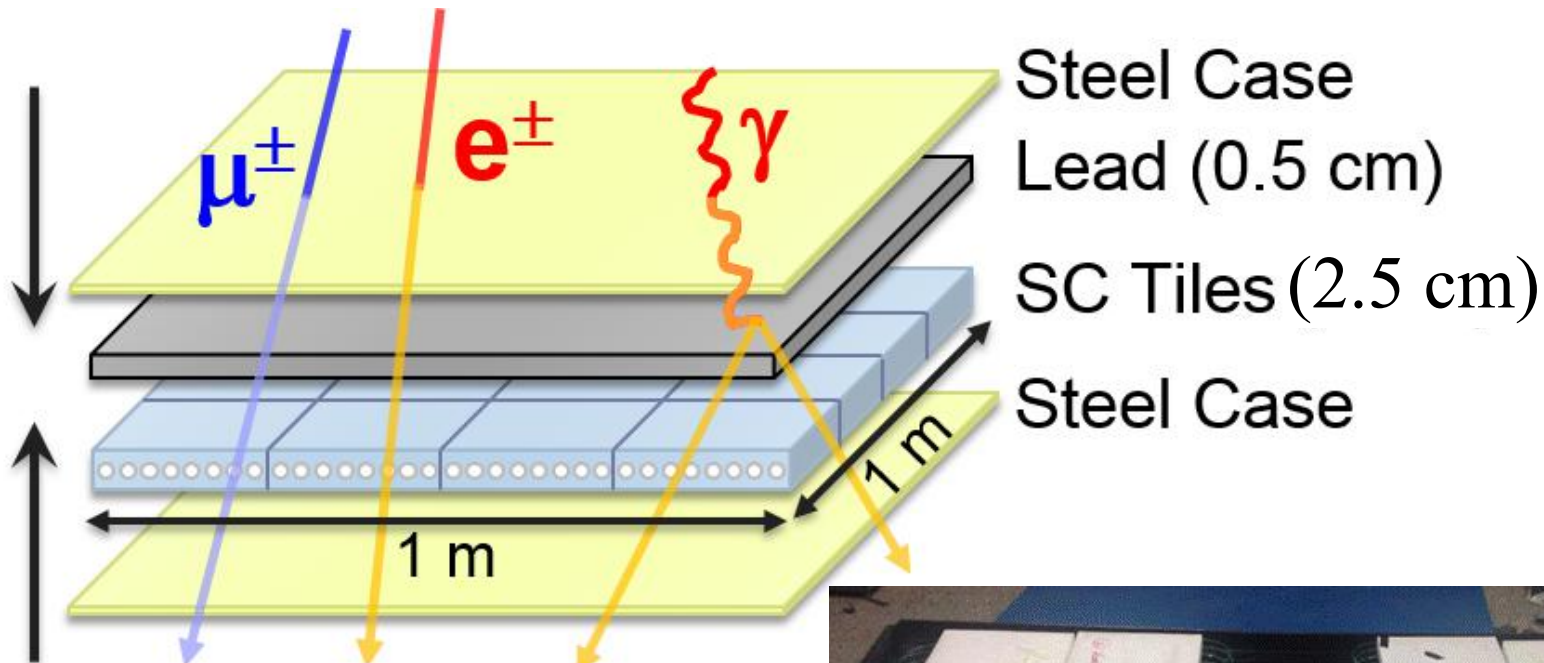
- Water Cherenkov detector underneath soil,  $E_{th} \sim 1 \text{ GeV}$



Item	Value
Area	36 m <sup>2</sup>
Detection efficiency	>95%
Purity of $N_{\mu}$	>95%
Time resolution	<10 ns
Dynamic range	1-10,000 particles
Particle counting resolution	25% @ 1 particle 5% @ 10,000 particles
Aging (<20%)	>10 years
Spacing	30 m
number	1221



# Electromagnetic Particle Detector (ED) using scintillator plat/WS fiber/PMT



- **Non-uniformity <10%**

- tiles: <5%

- fibers:  $11\%/\sqrt{32}$

- PMT gains: adjustable

HV



# 宇宙线研究规划>2020

- 完成LHAASO验收，获取科学数据，开展深入研究
- 以LHAASO-WFCTA技术为依托（如SiPM成像相机），发展大型高分辨Cherenkov望远镜探测技术，建造2-3台望远镜的阵列，增强伽马天文的定点观测能力
- 积极参与国际合作，（如CTA）以加强伽马天文在低能区的探索能力，（如AUGER）以扩展宇宙线研究的能量范围，在与LHAASO互补的临近领域，全方位寻求取得突破性进展的机会
- 利用HERD开展低能段宇宙线的测量，进一步扩展成份和能谱等方向的研究
- 探测超高能中微子