

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。

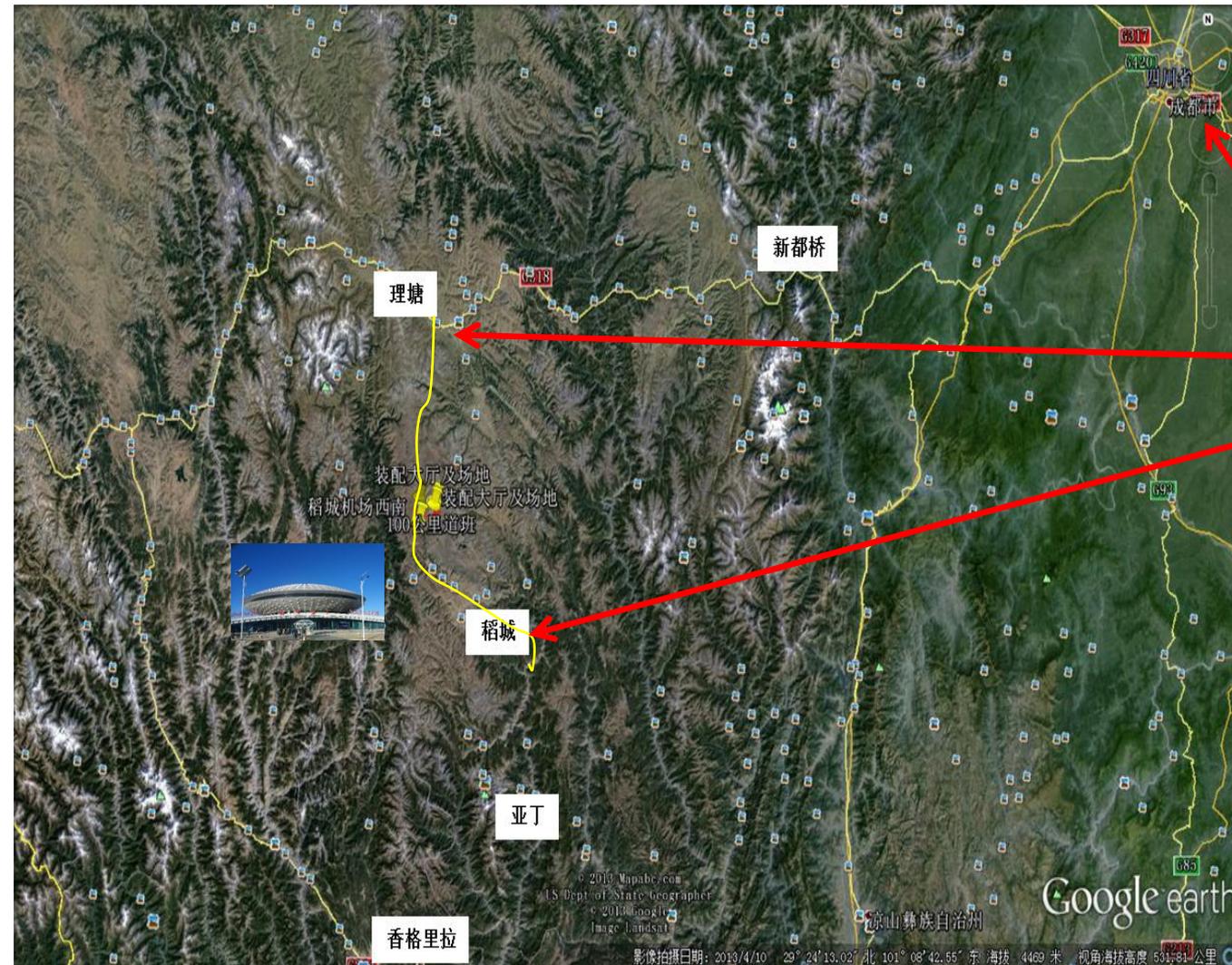
请你们据此组织有关单位抓紧开展可行性研究工作，充分利用国内现有资源和条件，加强国际合作，做好项目管理的顶层设计与组织协调，完善开放共享方案，落实相关建设条件，在条件具备后将可行性研究报告报我委审批。



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)

© 2013 Mapabc.com
US Dept of State Geographer
© 2013 Google
Image Landsat

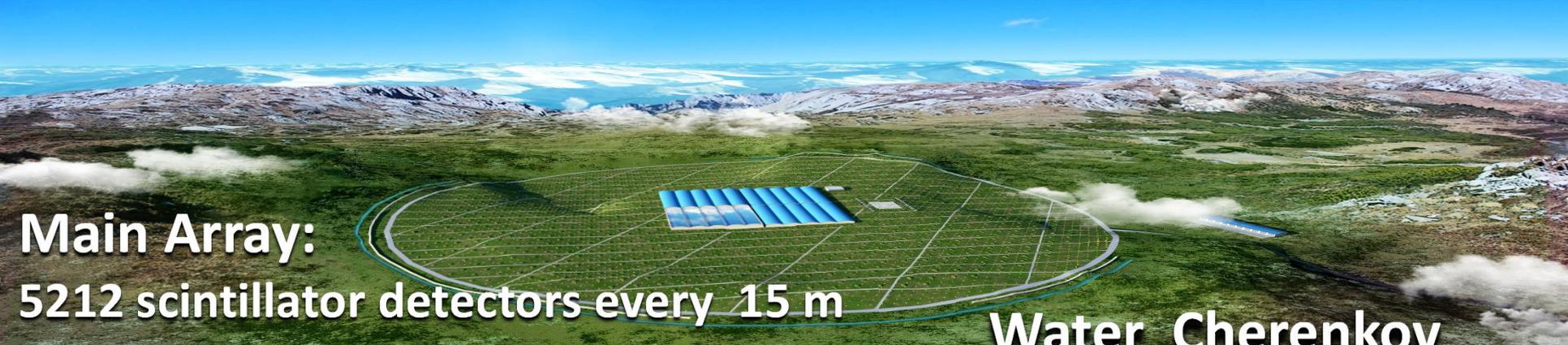
Google earth

影像拍摄日期: 2013/4/10 29°24'13.02"北 101°08'42.55"东 海拔: 4469 米 视角海拔高度: 631.81 公里

国家项目的立项

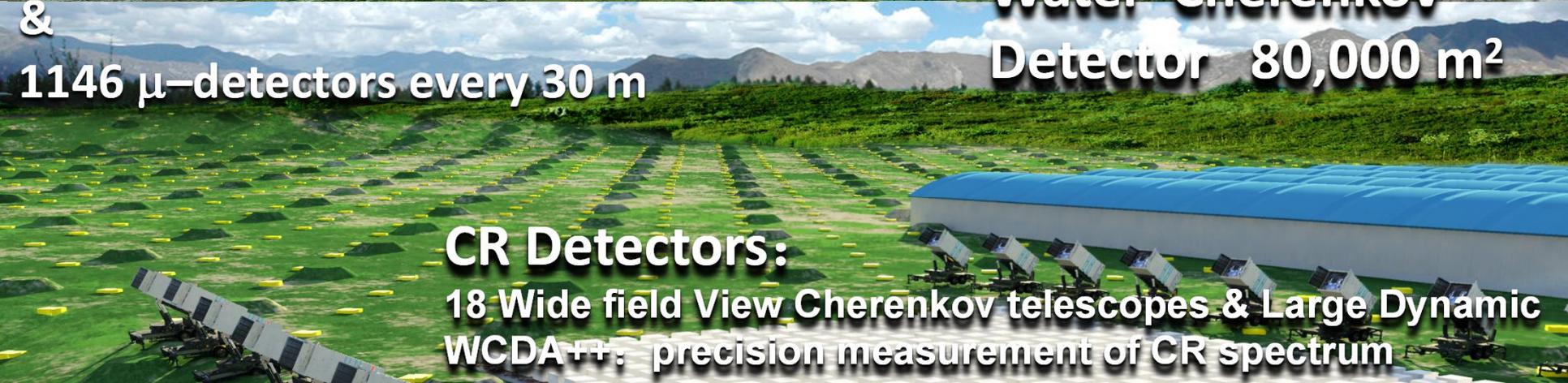
- 国家项目建议书批复：2015年12月31日
 - 5195个ED：覆盖1.2平方公里
 - 1171个MD：覆盖整个阵列
 - 3000 WCD单元：7.8万平方米连续灵敏探测阵列
 - 12台WFCT：用于30TeV到0.3EeV的宇宙线能谱和成份的测量
- 可研报告审批：
 - 5月院级内评、6月上报国家发改委
 - 环境评估：预计9月上报环保部（关键路径）
 - 土地证：预计9月获得
- TDR上报准备工作
 - 按系统组织内部评审，计划10-11份前完成

海拔4400 m 稻城海子山站址



Main Array:
5212 scintillator detectors every 15 m
&
1146 μ -detectors every 30 m

**Water Cherenkov
Detector 80,000 m²**



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

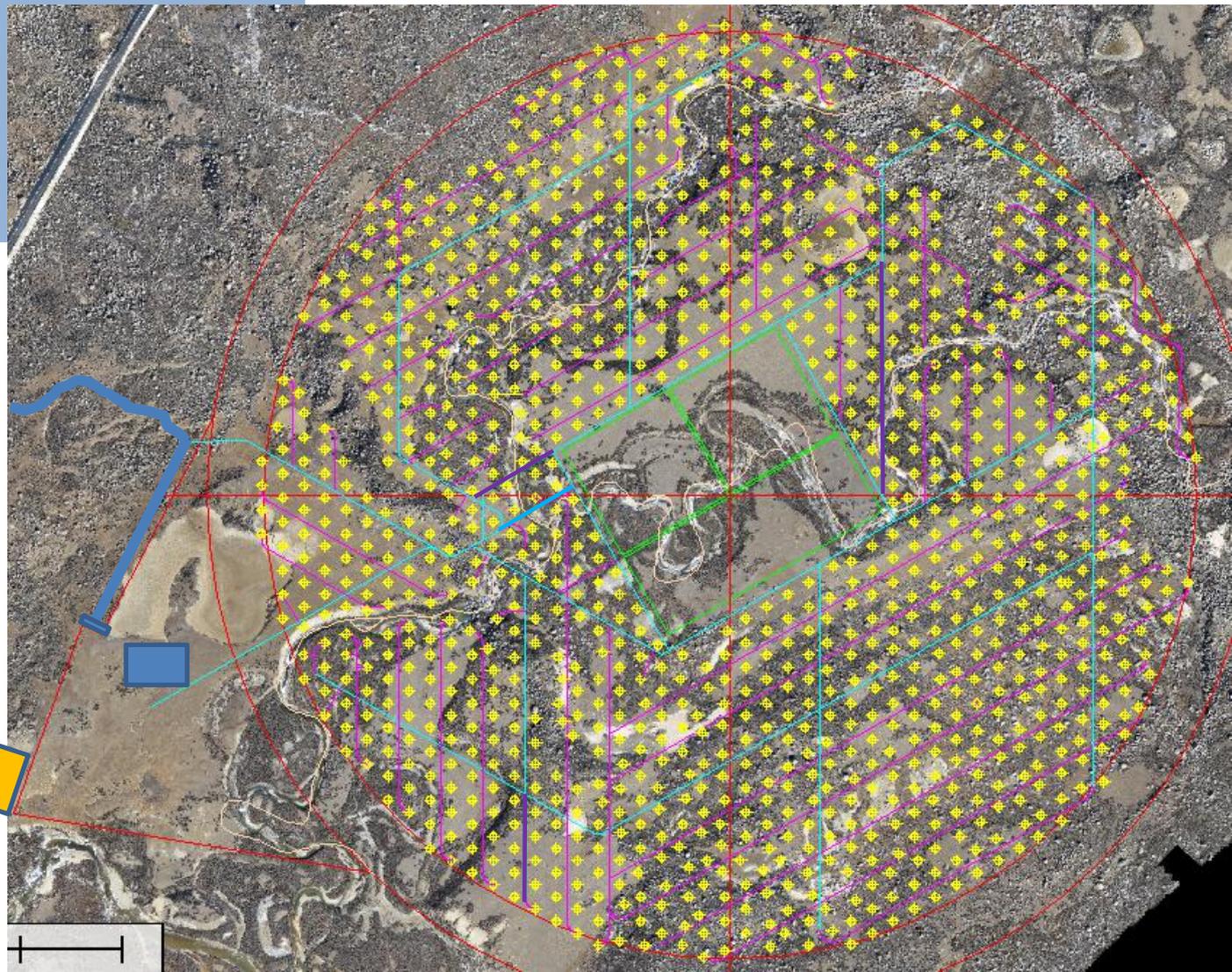
- 连接每个大型探测装置

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。

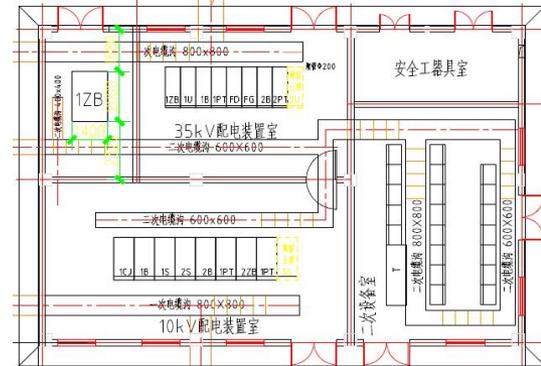
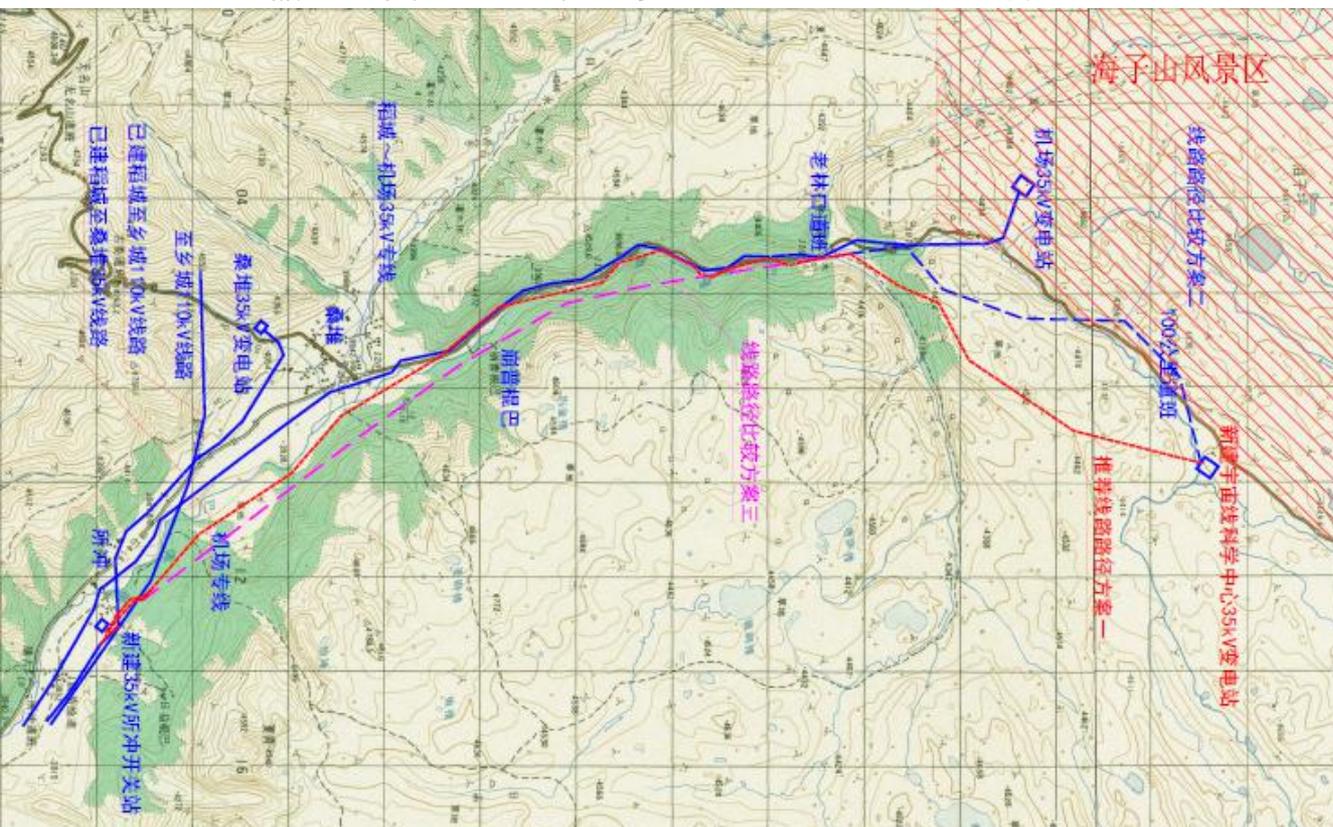
基建工程进展与计划

- 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

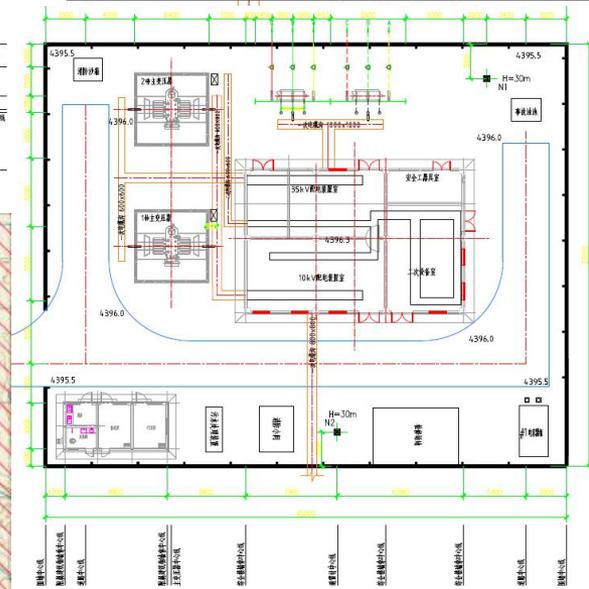
工程建设内容

- 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）

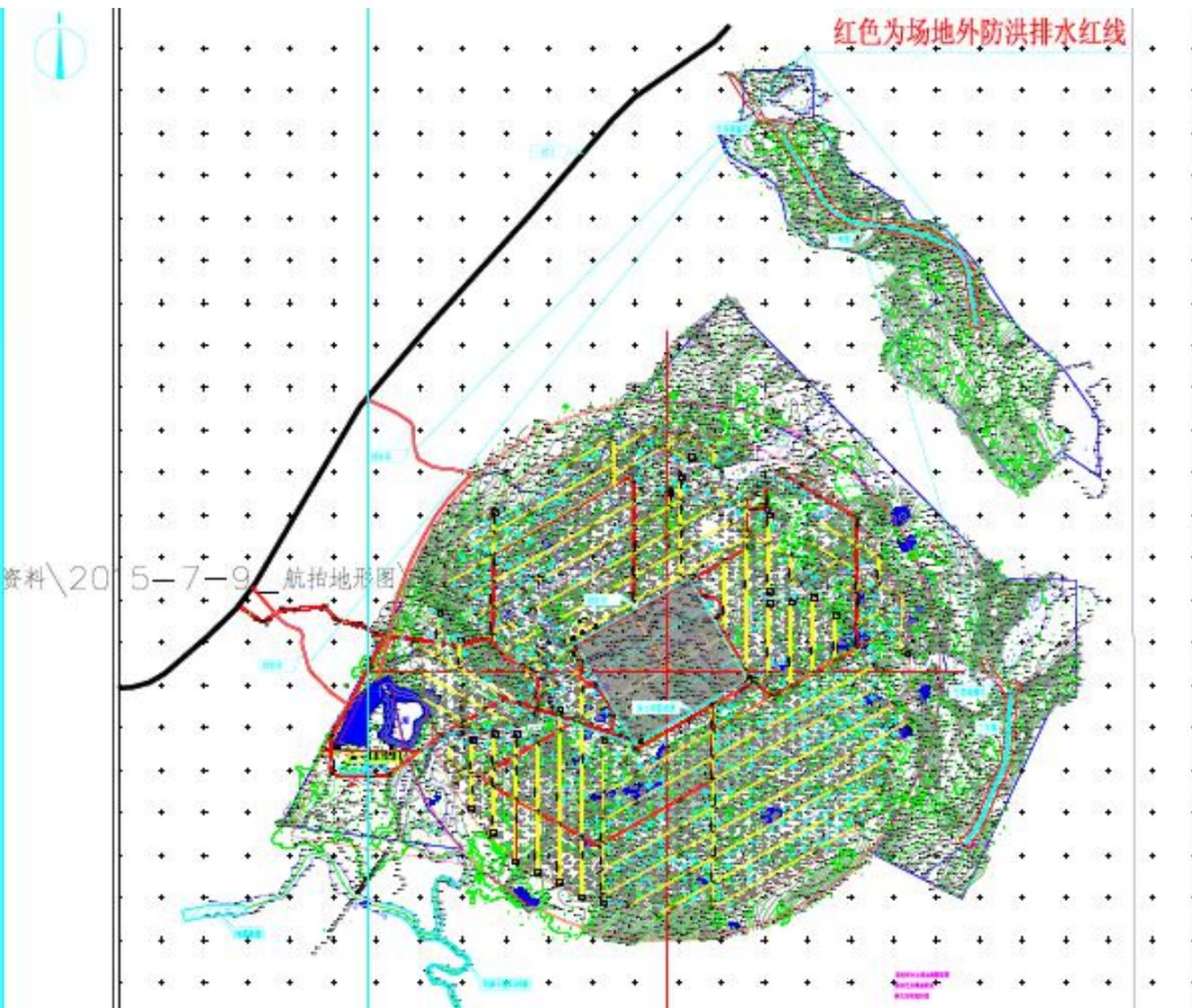


35kV主变室中心线
35kV断路器室中心线
10kV主变室中心线
35kV户外母线柜室中心线

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 ²
二、	总建筑面积: 83004.33m ²
其中	A. 入口大门建筑面积: 31.04m ²
	B. 附属房屋建筑面积: 442.64m ² 842.69m ²
	C. 消防水池建筑面积: 357.00m ²
	D. 露天停车场建筑面积: 2077.38m ²
	E. 地坑水池建筑面积: 371.89m ²
	F. 污水处理站建筑面积: 427.54m ²
	G. 污水处理站附属工程(3个): 443.50m ²
	H. 污水处理站附属工程(WCDA 3个): 78708.47m ²
	I. WCDA 附属工程(3个): 103.68m ²
三、	容积率: 0.06
四、	覆盖率: 83007.39m ²
五、	绿化率: 6.00%
六、	机动车位: 17 个



观测基地总平面图 1:1000

测控基地布局和效果图



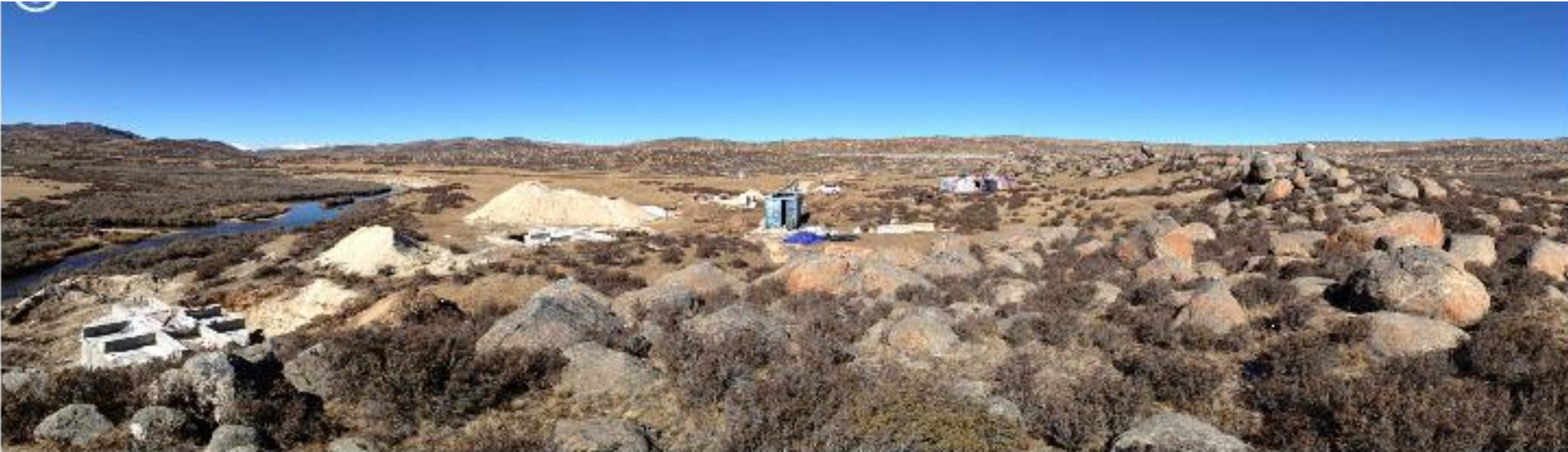


施工现场

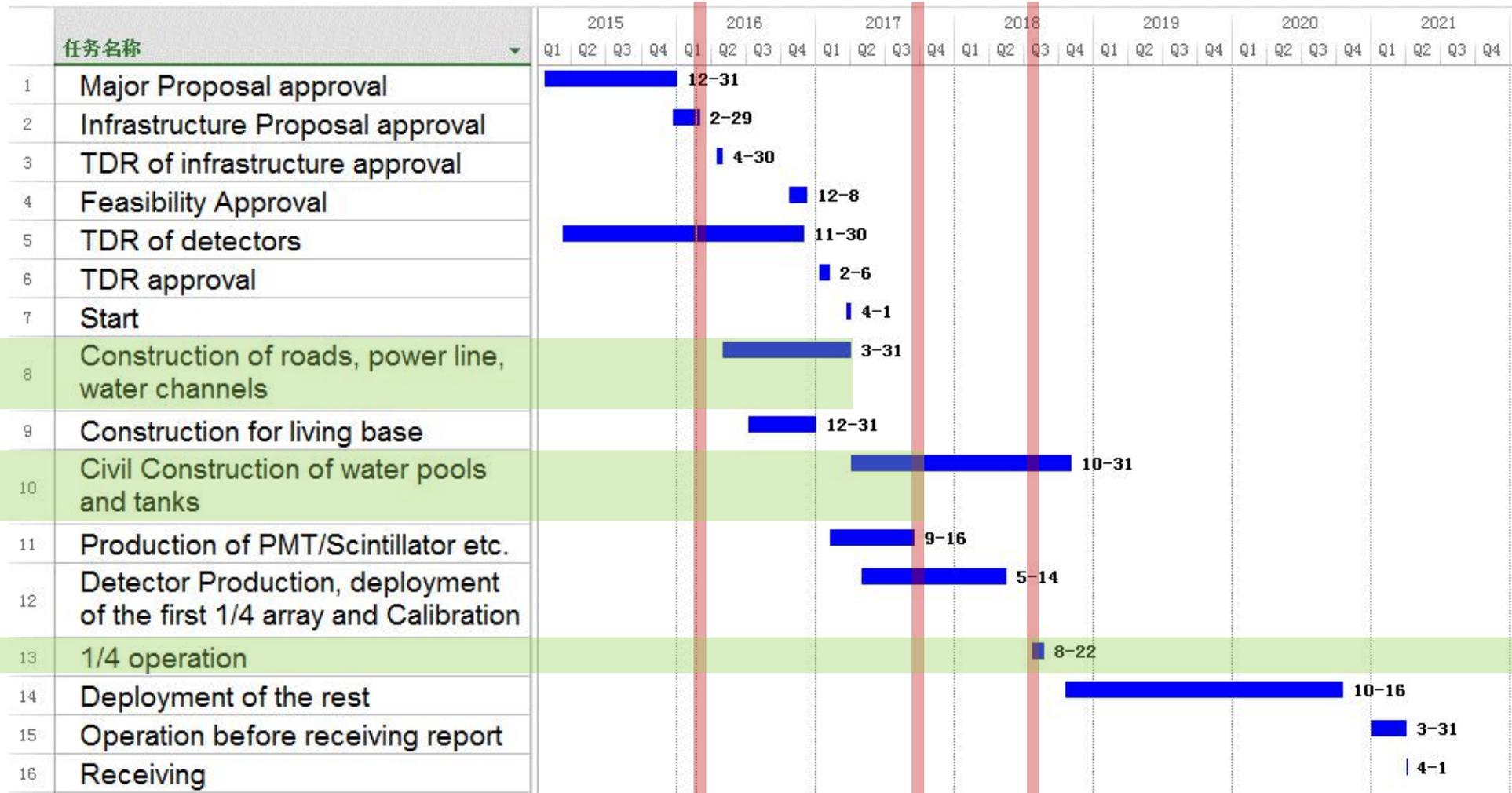


LHAASO主体基建工程计划

- 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



总体进度安排



探测器生产、安装进度计划

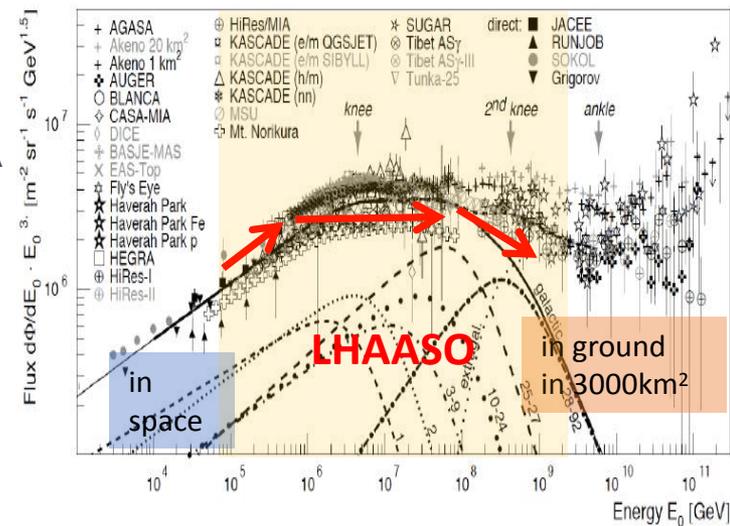
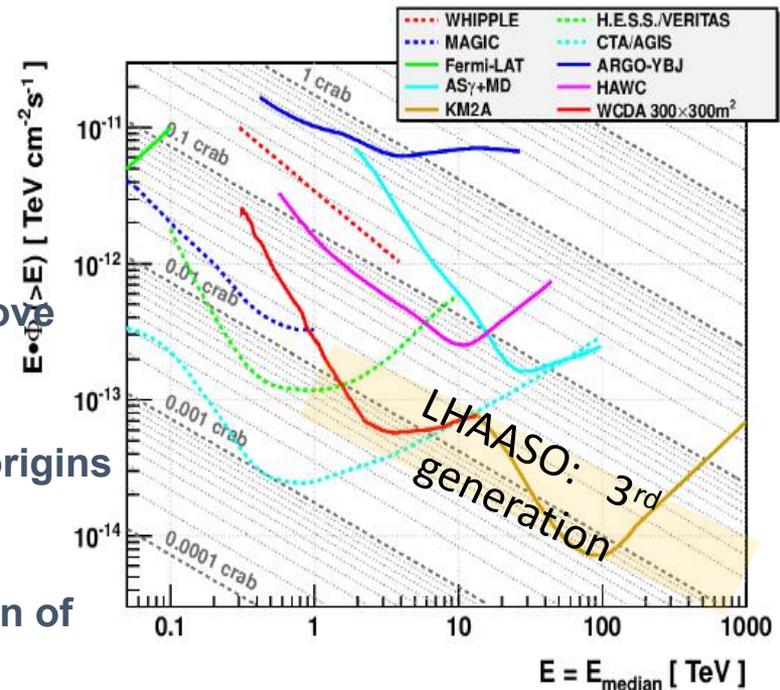
- **2017年：订货、工艺成熟**
 - 80个ED+15个MD+2 WFCT
- **2018年：1/4阵列投入科学运行**
 - 1920个ED+300个MD+一个水池+4 WFCT
- **2019年：2/3阵列投入科学运行**
 - 2000个ED+500个MD+一个水池+3 WFCT
- **2020年：全阵列投入科学运行**
 - 1635个ED+406个MD+一个水池+3 WFCT

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**

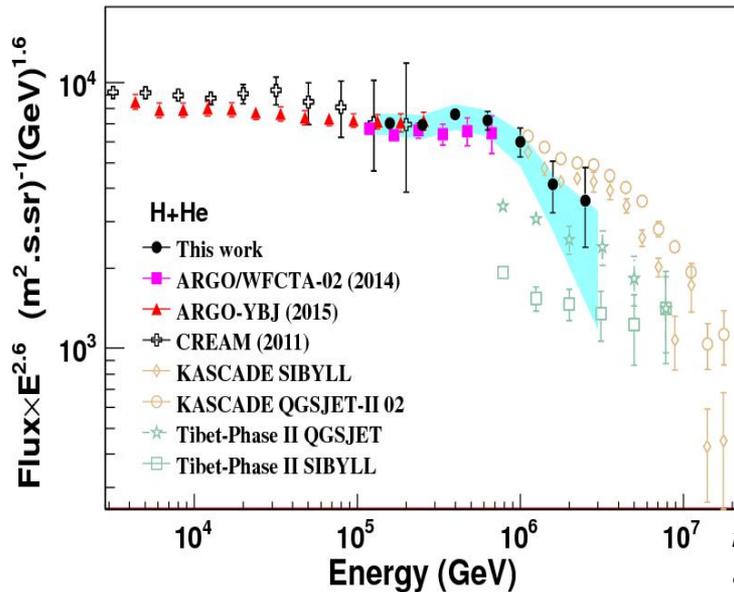


The 1st Result with LHAASO prototype & ARGO-YBJ

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

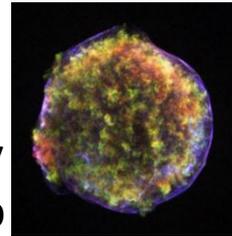
Phys.Rev. D92 (2015) 9,

092005

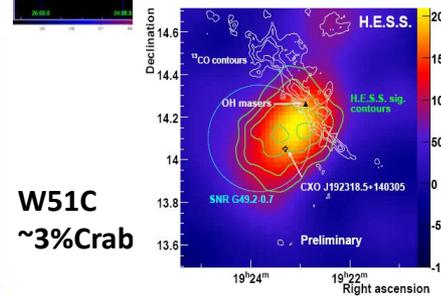
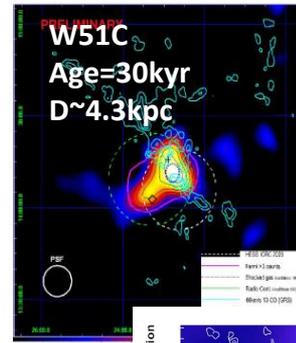


The most wanted cosmic ray sources in LHAASO hunting list

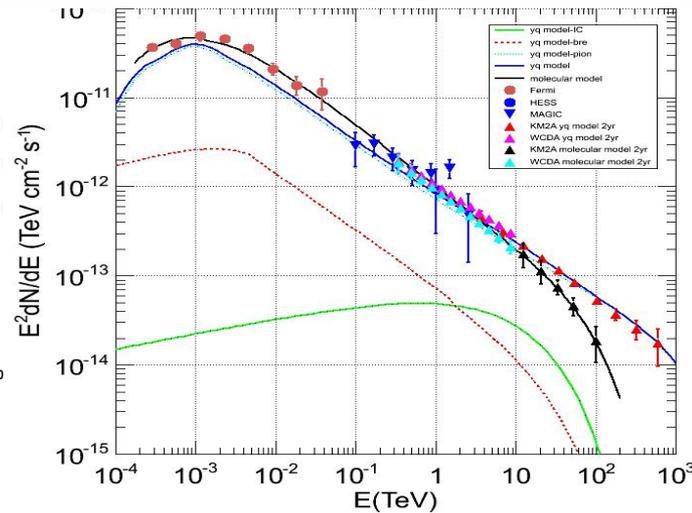
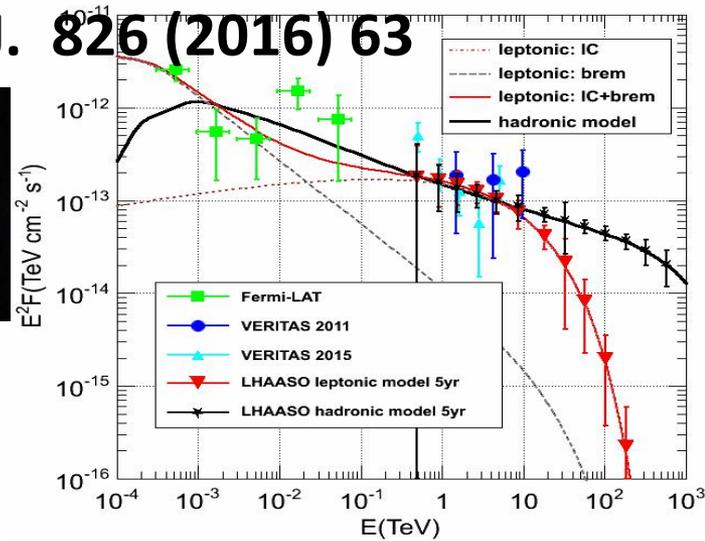
Astrophys. J. 826 (2016) 63



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



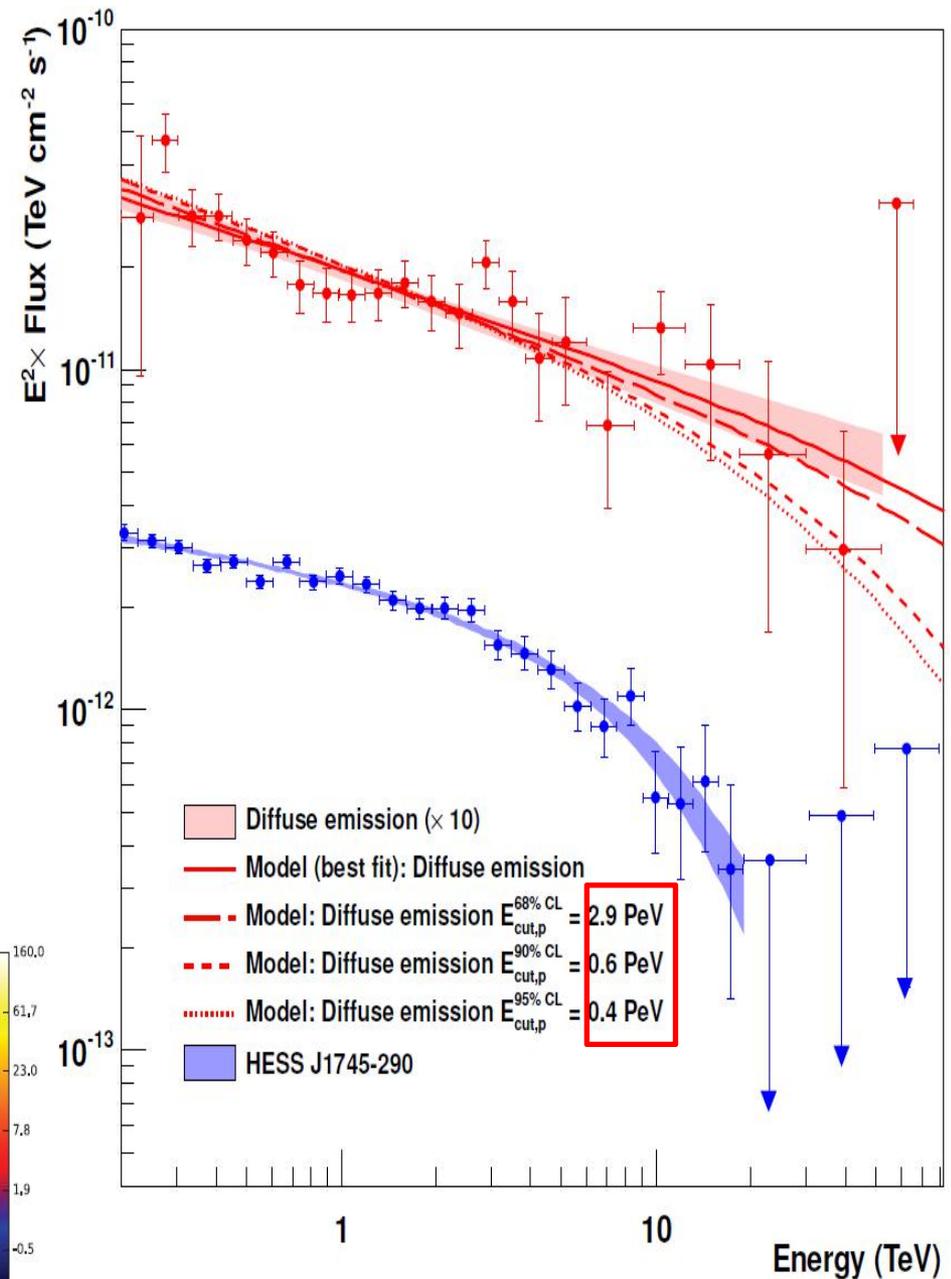
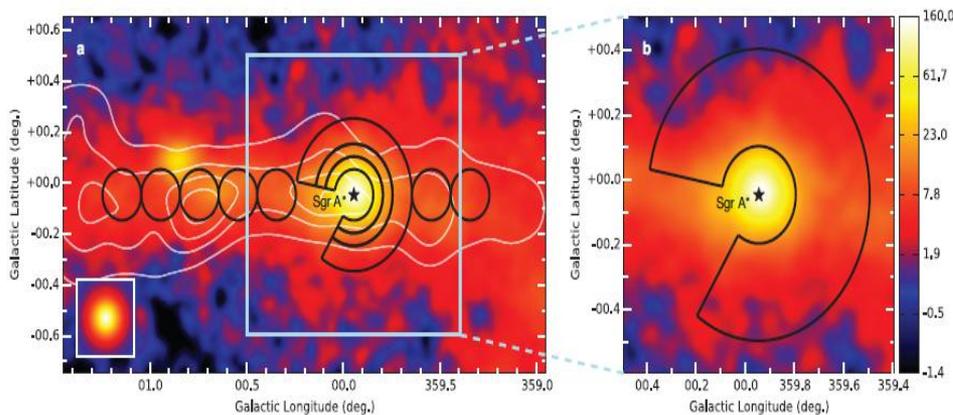
reference~ APJ, 761:133(2012)
& Mon.Not.R.Astron.Soc,
421,935-942(2012)



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）

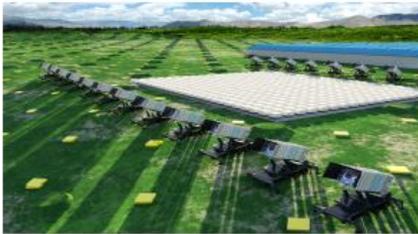
- 逐渐完善计算设备和存储系统
- 软件框架的研究和建设已经基本完成
- 模拟数据产生和管理逐渐步入正轨
- 启动了数据和物理分析的预先研究
- **物理分析及唯象理论研究**
- LHAASO科学白皮书
- 物理分析黄皮书

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^{1,2,*}, B. Y. Bi³, Xiao-Jun Bi⁴, Z. Cao⁵, S. Z. Chen⁶, A. Chiavassa⁷,
X. H. Cui⁸, Zi-Gao Dai⁹, Yi-Zhong Fan¹⁰, J. Giacalone¹¹, T. Di Girolamo¹²,
H. H. He¹³, T. L. He¹⁴, Daihui Huang¹⁵, Yong-Feng Huang¹⁶, Huan Yu Jia¹⁷,
L. T. Ksenofontov¹⁸, D. Lehar¹⁹, En-Wei Liang²⁰, P. Lipari²¹, Ruo-Yu Liu²², Ye
Liu²³, Xinhua Ma²⁴, D. Martraire²⁵, David Ruffotto²⁶, Yuri V. Sklenkin²⁷, H. Q. Si²⁸,
Thomas Tam²⁹, Qing-Wen Tang³⁰, W. W. Tian³¹, P. Vallania³², S. Vernetto³³,
C. Vigorito³⁴, L. Z. Wang³⁵, X. Wang³⁶, Xiang-Yu Wang³⁷, Xinjian Wang³⁸,
Da-Ming Wei³⁹, Jun-Jie Wei⁴⁰, D. Wu⁴¹, H. R. Wu⁴², Xue-Feng Wu⁴³, A. Y. Yang⁴⁴,
Z. G. Yao⁴⁵, L. Q. Yin⁴⁶, Qiang Yuan⁴⁷, Bing Zhang^{48,49,50}, Bo Zhang⁴,
M. F. Zhang⁵¹, S. S. Zhang⁵², Yi Zhao⁵³, Xun-Ju Zhou⁵⁴, F. R. Zhu⁵⁵, H. Zhif⁵⁶

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

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

³Istituto Nazionale di Astrofisica, GATG, Torino, Italy

⁴Dipartimento di Fisica, Università degli Studi di Torino, Via Pietro Giuria 1, Torino, 10125,
Italy

⁵National Astronomical Observatories, CAS, Beijing, 100012, China

⁶School of Astronomy and Space Science, Nanjing University, Nanjing 210093, China

⁷Purple Mountain Observatory, CAS, Nanjing 210008, China

⁸Lunar and Planetary Laboratory, University of Arizona, Tucson AZ 85721, USA

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

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

¹¹School of Physical Science and Technology, Southwest Jiaotong University, Chengdu
610031, China

¹²Yu. G. Shajner Institute of Cosmophysical Research and Astronomy SB RAS, 51 Lenin Ave.,
607980 Yekaterinburg, Russia

¹³Department of Physics & Astronomy, University of Calgary, Calgary, Alberta T2N 1N4,
Canada

¹⁴Department of Physics, Guangxi University, Nanning 530004, China

¹⁵Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Sezione Roma 1, Rome, Italy

¹⁶Department of Astronomy, Nanjing University, Nanjing 210093, China

¹⁷The School of Physics, Shandong University, Jinan 250100, China

¹⁸Department of Physics, Faculty of Science, Mahidol University, Bangkok 10400, Thailand
¹⁹National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute),
115409 Moscow, Russia

²⁰Institute for Nuclear Research, Russian Academy of Sciences, 117312 Moscow, Russia

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

²²School of Science, Nanchang University, Nanchang 330031, China

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

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

Contents

Introduction

1	High energy gamma ray astronomy	2
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 γ -ray source spectrum measurements with the LHAASO Project	31
1.3.1	VHE γ -ray sources	32
1.3.2	SNRs	32
1.3.3	Cygnus region	33
1.3.4	Diffuse galactic γ -rays	35
1.3.5	AGN flares	35
1.4	Measuring Extragalactic Background Light with LHAASO Ob- servations 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
 - 第二是分成份的“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

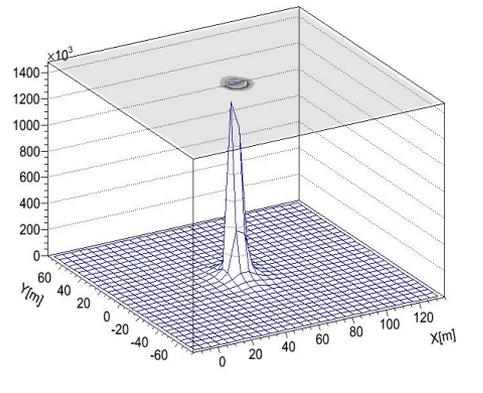
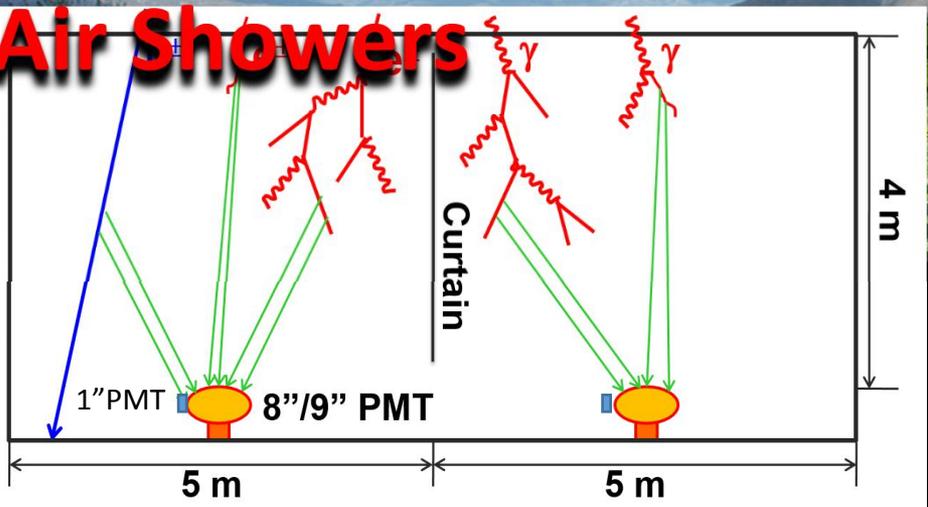
- 科技部重大科技计划子课题（原973），列入指南，2017年启动项目申请
- 基金委杨卫主任与王恩哥院长去年考察LHAASO站址，表示将LHAASO的研究纳入大装置基金管理范畴，2017年基金委与科学院将重新谈判相关协议。上月向数理学部领导汇报了LHAASO进展，希望加强向院里汇报，争取列入renew的协议

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

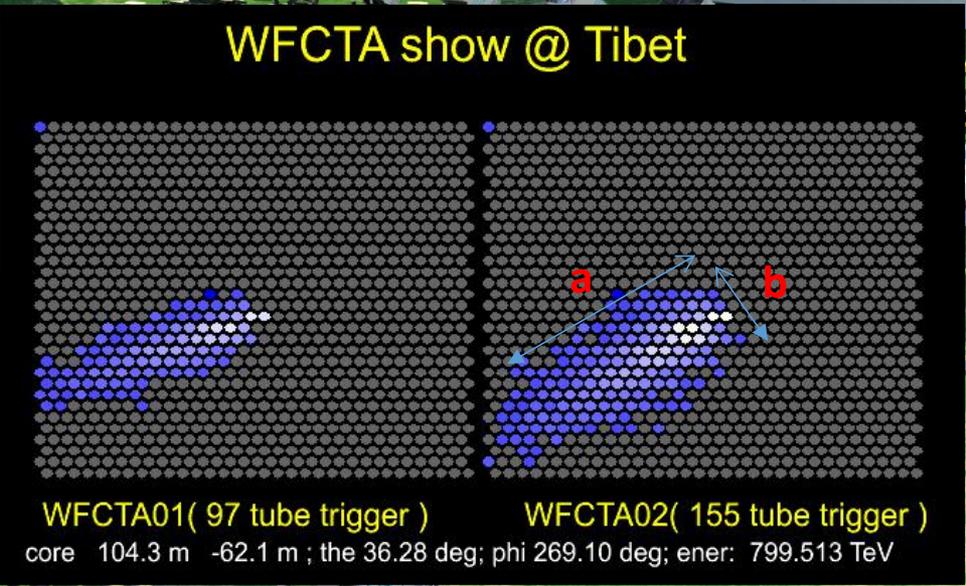
谢谢！

Multi-parameter measurement of

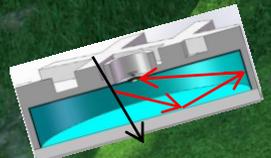
Air Showers



Water Cherenkov
Detector measures
EAS cores



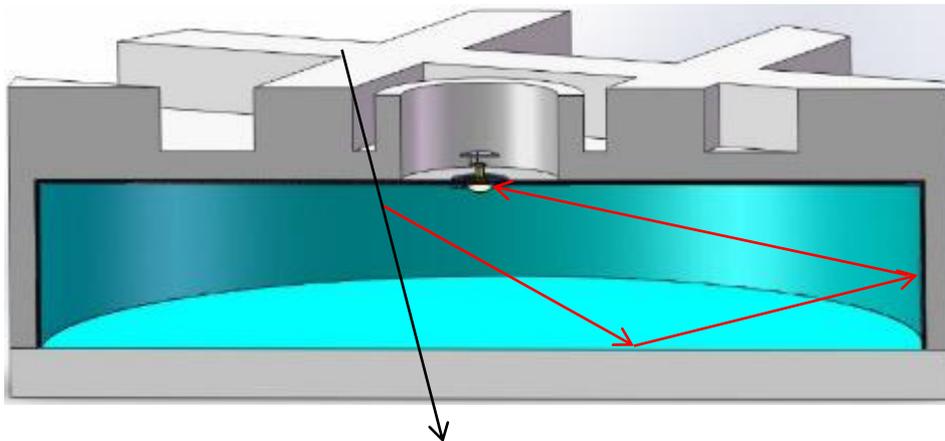
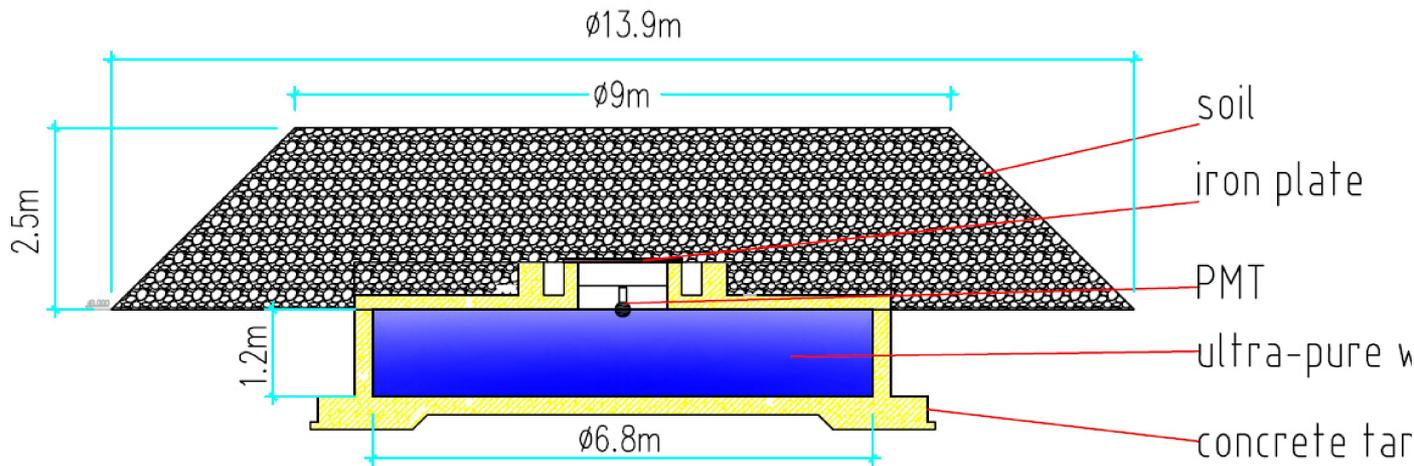
Shower image by Cherenkov
Telescopes



μ -detectors

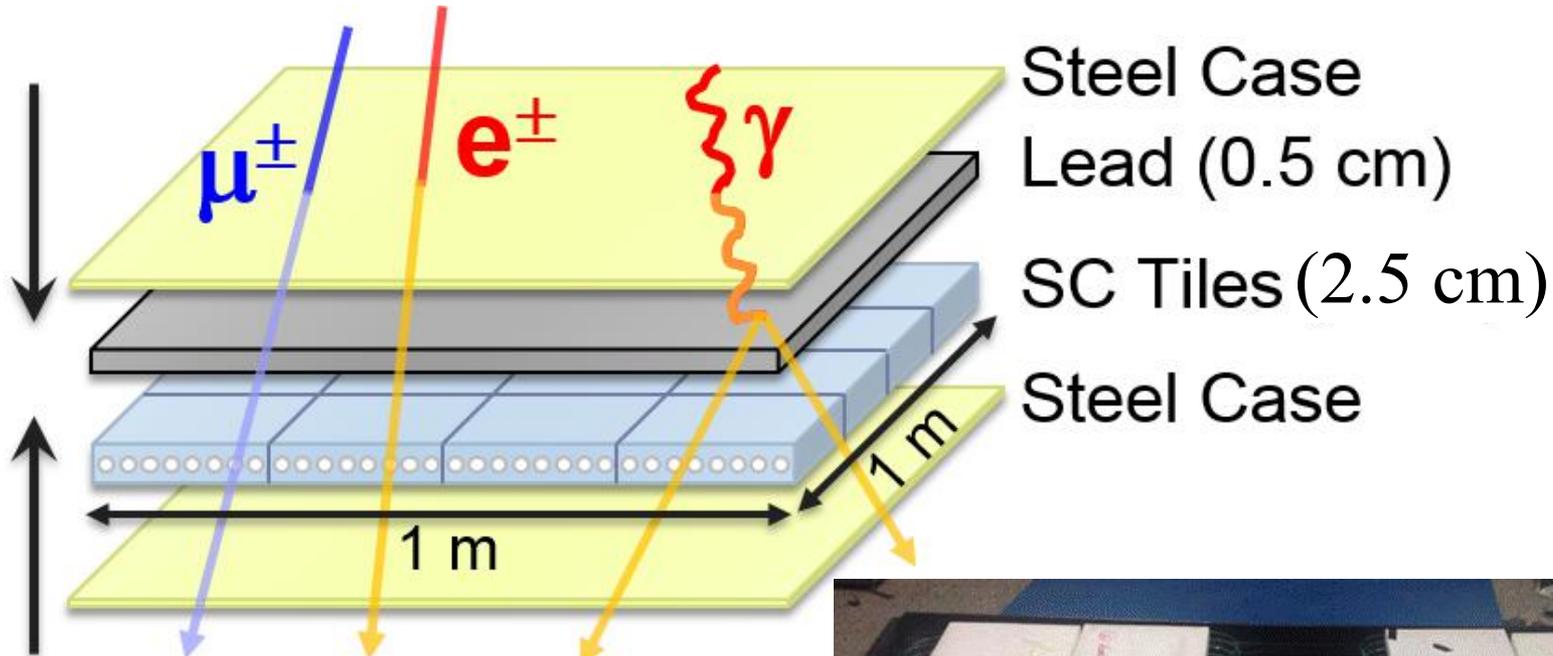
Muon Detector

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



Item	Value
Area	36 m ²
Detection efficiency	>95%
Purity of N_{μ}	>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