申请代码	A0906
接收部门	
收件日期	
接收编号	U203110153

U203110153

国家自然科学基金

申 请 书

（2 0 2 0 版）

NSFC 2020

资助类别： 联合基金项目

亚类说明： 培育项目

附注说明： 天文联合基金

项目名称： 极端台址望远镜圆顶的可靠性评估方法及设计创新

申 请 人： 郭永卫 电 话： 13611210779

依托单位： 中国科学院国家天文台

通讯地址： 北京市朝阳区大屯路甲20号

邮政编码： 单位电话： 010-64875793

电子邮箱： gyw@bao.ac.cn

申报日期： 2020年01月20日

国家自然科学基金委员会

基本信息

申请人信息	姓名	郭永卫	性别	男	出生年月	1971年05月	民族	汉族
	学位	博士	职称	高级工程师		每年工作时间（月）		9
	是否在站博士后	否		电子邮箱		gyw@bao.ac.cn		
	电话	13611210779		国别或地区		中国		
	个人通讯地址	北京市朝阳区大屯路甲20号						
	工作单位	中国科学院国家天文台/中智天文联合研究中心						
	主要研究领域	天文技术与方法						

依托单位信息	名称	中国科学院国家天文台		
	联系人	李会贤	电子邮箱	lhx@nao.cas.cn
	电话	010-64875793	网站地址	http://www.bao.ac.cn/

合作研究单位信息	单位名称

项目基本信息	项目名称	极端台址望远镜圆顶的可靠性评估方法及设计创新		
	英文名称	Reliability Evaluation Methods and Concept Innovation for Telescospe Enclosures in Extreme Sites		
	资助类别	联合基金项目	亚类说明	培育项目
	附注说明	天文联合基金		
	申请代码	A0906.围绕拟建大型天文设备开展的预研究	A030802.射电、毫米波和亚毫米波天文技术与方法	
	基地类别			
	研究期限	2021年01月01日 -- 2023年12月31日		
	申请直接费用	65.0000万元		

中文关键词	极端台址；可靠性；圆顶；设计方法；亚毫米波望远镜
英文关键词	extreme site; reliability; enclosure; design methodology; submillimeter telescope

NSFC 2020

中文摘要	研究极端台址望远镜圆顶方案的可靠性评估方法，并以之科学指导圆顶方案的决策与创新，在保证可靠性前提下控制成本。圆顶可靠性是望远镜安全运行的关键，尤其是必须建在极端台址的亚毫米波望远镜的圆顶，更须可靠，却易出问题。在方案阶段准确评估圆顶方案的可靠性，减少过去圆顶设计的盲目性，产生更可靠更理想的新方案，从设计源头保障望远镜运行。 拟从功能单元关系着手，通过建立可靠性数学模型，探明圆顶方案定量评估方法，重点突破圆顶在方案阶段的可靠性精确评估瓶颈。同时对包含故障、危害、成本等要素的可靠性、安全度、成本等数学模型进行分析，明确敏感环节，展开创新方案研究，面向LCT需求，重点解决大口径如10m和极端风速如65m/s带来的防护困难，获得高可靠低成本方案，并建立缩比模型进行验证。 本研究将为极端台址望远镜圆顶方案提供可靠性评定方法与参考方案，直接解决LCT急需的圆顶方案评价与决策问题，也可被其它项目参考。
英文摘要	We apply to study reliability evaluation methods for telescope’s enclosure schemes in extreme sites. We will also develop new schemes with the methods. Reliability of enclosures is so important for telescopes to maintain safety and work smoothly, especially for submillimeter telescopes which must be built in extreme sites, because the environment there is so harsh for not only telescopes, but also enclosures, that makes them apt to fail. It is valuable to evaluate an enclosure’s scheme reliability at its design phase, not only for comparing among alternatives, but also for making design procedure more purposeful and generating more reliable schemes, which will confirm the safety of the telescope at its very beginning. We will start from relationship analysis among function units, with mathematical reliability models to make clear quantitative evaluations. Meanwhile, we will also build the failure, hazard, cost models to aid concept innovations. By mathematical analysis of these models, we will realize how to improve reliability efficiently and will develop novel concepts on enclosures which may be more reliable and less cost. Towards the demands of telescopes in extreme sites, such as LCT (Leighton Chajnantor Telescope) project, we will mainly break through the challenge of extreme winds such as 65m/s and large apertures such as 10m. We will make a reduced ratio model to verify its reliability and feasibility. The application will generate new reliability evaluation methods and novel enclosure concepts for telescopes especially for submillimeter ones in extreme sites. It is urgent desired by upcoming LCT project for providing schemes and decision methods directly, and may be referenced by other projects soon after.

NSFC 2020

项目组主要参与者（注：项目组主要参与者不包括项目申请人）

编号	姓名	出生年月	性别	职 称	学 位	单位名称	电话	电子邮箱	证件号码	每年工作时间（月）
1	赵保庆	1982-03-04	男	工程师	博士	中国科学院国家天文台	13488680575	bqzhao@nao.cas.cn	3**********9	3
2	马晓耘	1986-03-30	男	工程师	学士	中国科学院国家天文台	15652194344	xyma@nao.cas.cn	1**********6	3

总人数	高级	中级	初级	博士后	博士生	硕士生
3	1	2				

NSFC 2020

国家自然科学基金项目资金预算表（定额补助）

项目申请号：U203110153　　项目负责人：郭永卫　　金额单位：万元

序号	科目名称	金额
	(1)	(2)
1	**项目直接费用合计**	65.0000
2	1、 设备费	5.0000
3	(1)设备购置费	5.00
4	(2)设备试制费	0.0000
5	(3)设备升级改造与租赁费	0.0000
6	2、 材料费	9.00
7	3、 测试化验加工费	9.00
8	4、 燃料动力费	1.00
9	5、 差旅/会议/国际合作与交流费	18.00
10	6、 出版/文献/信息传播/知识产权事务费	5.00
11	7、 劳务费	16.00
12	8、 专家咨询费	2.00
13	9、 其他支出	0.0000

NSFC 2020

预算说明书（定额补助）

（请按照《国家自然科学基金项目预算表编制说明》等的有关要求，对各项支出的主要用途和测算理由，以及合作研究外拨资金、单价≥10万元的设备费等内容进行必要说明。）

1设备购置：预算5万元

拟购置模拟计算用工作站两台，2.5万/台，共计5万元

2材料费：

研制缩比实验样机所需材料与器材，其中包括控制计算机、电机、传感器等，预算9万元

3测试化验加工费：预算9万元

样机加工费用，样机测试实验费用，风环境测试，软件租赁费用，场地租赁费用等，预算9万元

4燃料动力费用：预算1万元

5差旅/会议/国际合作与交流：预算18万元

差旅费：出差、科考、调研、交流、参加会议等发生的外埠差旅费，还包括市内交通费。

差旅费测算标准参照中国科学院国家天文台差旅费管理办法（国天发字〔2016〕147 号文）。

请说明与研究任务的关系和必要性，以及出差次数、出差标准的预算依据。

为开展圆顶现场考察研究，预计去智利国阿塔卡马现场考察 3 人次，顺访境内其它著名台站，预计花费（机票往返1.3 万 + 补助 300 美元/天 * 6 天 * 汇率 7）* 3 人次 = 7.65 万元

参加国际会议，或调研国际台站，如亚利桑那的SMT台址，夏威夷莫纳凯亚台址，每年 1 人次，预计每人次2.3 万元（包括交通1 万、住宿和补助300美元 *6 天 * 汇率7），3 年共计约 7 万元

国内差旅，含厂家咨询及国内台址调研，每年2 人次，预计每次0.5 万元 （包括交通 0.2 万、住宿和补助 600 元/天 * 5 天），3 年共计 3 万元

拟办国际咨询评审会一次，含中国、美国、智利三方专家进行咨询与评审，拟于智利进行（费用最低），会期一天。三方专家各两名。含差旅。预算：路费中方1.5 万*2 +美方0.8 万*2 + 智方 0.1 万*2 + 补助0.2 万*6 + 专家咨询费用0.1 万*6 = 6.6 万元

共计约 24.3 万元 拟节约使用 因此预算 18 万元

6出版/文献/信息传播/知识产权事务费：预算 5万元

SCI论文版面费/open access费用 1万/篇 *2 = 2万元

专利代理费用：1.5万/项*2 = 3万元

7劳务费：预算16万元

项目需聘用 1 名硕士生，开展数字样机实验与缩比实验工作，测算依据：平均支付2100 元/月/人 x 36 月 = 7.46万元；

项目需聘用 1 名博士生，开展设计与计算分析工作，测算依据：平均支付4300 元/月/人 x 36 月 = 15.48 万元

共计23万，节约使用 预算 16 万元

8专家咨询费：预算2万元

就方案设计进行评估进行会议咨询，以保证课题的顺利开展，预计咨询10 人次，平均每人次 2 天，咨询费按1000 元/人/天支付，共计 2 万元

报告正文

（一）立项依据与研究内容（建议 8000 字以内）：

1．项目的立项依据（研究意义、国内外研究现状及发展动态分析，需结合科学研究发展趋势来论述科学意义；或结合国民经济和社会发展中迫切需要解决的关键科技问题来论述其应用前景。附主要参考文献目录）；

本申请拟探究在方案阶段进行的圆顶可靠性定量评估方法，通过准确预测可靠性，进行高可靠性、低总成本的圆顶方案创新，用于望远镜特别是极端台址[1]的亚毫米波望远镜建设。

（1）研究意义

1.1）圆顶可靠性是望远镜安全运行的保障

圆顶旨在保护精密易损的望远镜安全可靠工作。如果圆顶可靠性不足，该打开时打不开，望远镜就无法观测，该合上时合不上，望远镜就失去防护，有些故障甚至危害望远镜的安全甚至造成致命损害，如圆顶限位故障导致撞击望远镜。圆顶可靠性决定望远镜安全性。

1.2）圆顶可靠性是远程操控望远镜的前提

信息时代，科学家希望对望远镜进行远程控制与操作，作为天文技术发展的大趋势，对极端台址望远镜的意义尤其重大，实现无人值守是台址可及性差问题的积极应对。但如果圆顶的可靠性不足，望远镜的远程操作也将难以完成，特别是在无法及时维护的极端台址。

1.3）极端台址更要求圆顶的可靠性

在极端台址，由于自然条件极端恶劣，极端的风沙尘雪等有害因素，让望远镜更需要防护，但由于可及性差，运行维护难度大，其防护更需要高可靠性，尤其是无人值守的圆顶。低温低气压等恶劣因素会造成工业品特别是电器元件的可靠性降低[2]，**极端台址的圆顶更容易出现故障**。在极端台址照搬现有一般地区的圆顶技术充满了风险。

1.4）准确评估圆顶可靠性，才能明确望远镜安全性，才敢降低成本

圆顶本身不能提高观测性能，一味地提高投入并不可取，更不情愿。同时，极端台址下工程建设更困难，控制成本更关键。如冒然采用低价方案，而不明确方案的可靠性，将置望远镜于危险中。只有准确预测方案的可靠性，才能明确望远镜是否安全。在保证圆顶能可靠地对望远镜实施防护的前提下，才能进行旨在降低成本的优化。

1.5）方案阶段进行可靠性预测是从研发源头保证最终产品可靠性

作为订制产品，对圆顶事先预测可靠性的意义远大于事后统计可靠性。产品的可靠性是通过设计、生产和管理而实现的，首先是产品的设计。设计方案的可靠性，是该产品的固有可靠性 [3]-[5]。设计是决定产品可靠性的根本和前提。研究在方案设计阶段预测圆顶可靠性的方法，不仅可以使方案决策具有科学性，还可以使设计师明确设计方向，指导方案的创新。

对设计方案进行可靠性评估是从研发源头积极保证产品可靠性的实用科学方法，如何准确评估是进行高质量工程建设的重要科学问题。

（2）国内外研究现状

2.1）圆顶可靠性研究现状

2.1.1）可靠性工程应用广泛，已应用于望远镜建设，但未见应用于圆顶防护

可靠性工程作为保证产品可靠性的科学、技术与管理手段，在包括航空航天、电子、汽

车等众多领域已获得重要发展。产品可靠性不仅可定性描述，也能用定量指标准确表达。

设计失效模式影响分析 DFMEA（Design Failure Mode and Effects Analysis）[6][7]，起源于 NASA，作为推荐执行的国家标准，最早于 1987 年出版，于 2012 年更新为现行版本。作为管理方法，具有成熟度。DFMEA 等可靠性管理手段，可以帮助设计团队不遗漏相应的工作，然而其中涉及的科学层面，各行业需要各自的数据积累。由于在天文技术领域研究与应用较少，文献仅见国际上较新的望远镜工程如 ELT、TMT、SALT 中的应用[8]-[10]，国内天文望远镜项目如 FAST 在立项后才启动 FMEA，未见 LAMOST 应用 DFMEA 的报道。

故障树分析（Fault Tree Analysis, FTA）是通过对可能造成设备故障的环境、硬件、软件和人为等因素进行分析，建立相应的故障树，然后求出造成系统故障原因的所有可能组合和概率。FTA 是目前国际上公认的一种简单、有效的故障分析和可靠性分析方法，被广泛应用。南极天文望远镜的主轴系统[11]和除霜系统 [12]就使用了故障树分析。

安全评估是可靠性工程的重要应用，航空航天领域常用功能危险评估法（FHA，Functional Hazard Assessment）进行。在 SOFIA 望远镜中有过应用[13]。一般的机电产品[14] 也可以应用该方法。

而在天文圆顶领域，未见关于可靠性方法在圆顶设计中应用的报道，未见关于圆顶可靠性对望远镜的安全评估的报道。

2.1.2）对方案进行的可靠性研究有待展开研究

针对产品的可靠性预估方法有数学模型法，布尔真值表法，以及蒙特卡洛模拟等[15]，而针对方案的可靠性预估还待展开，同时需要对机构可靠性[4]的研究基础作支持。虽然文献不多，但 2018 年发表的一项针对起吊机构方案进行的可靠性估计[16]实现了不同方案间的可靠性对比。针对圆顶方案的可靠性估计，虽未见前例，但至少可以同样开展研究。

2.2）国内外亚毫米波望远镜及其防护方法

2.2.1）亚毫米波波段重要但望远镜稀缺

亚毫米波（0.1mm-1mm）可以直接示踪冷气体含量，恒星形成率，大质量恒星紫外辐射对应的光子电离区，尘埃再辐射，金属丰度等与恒星形成有密切关系的关键信息，对于研究银河系内恒星形成区的物理过程，河外星系的恒星形成率，恒星质量增长，气体外流，活动星系核反馈，以及高红移星系形成和演化等一系列前沿的天文学问题至关重要[17]- [19]。

亚毫米波段在红外与射电波段之间，波长较光学波段长，相应望远镜口径也较大，一般为 10m~15m，即使干涉阵，一般也在 6m 以上；波长较射电波段短，相应望远镜主镜面形精度高。口径大、精度高，加工困难成本高，采用主动光学时需布置大量精密促动器，故一般需要防护。表 1 可见国内外的亚毫米波望远镜并不多，资源稀缺，观测竞争激烈。

表 1 国内外主要亚毫米波望远镜一览

名称	台址	海拔	口径	观测波段/频率	防护形式
CCOSMA	中国羊八井	4300m	3m	0.87mm/345GHz	圆顶
SMT	美国亚利桑那	3180m	10m	0.3 mm/1000GHz	圆顶
KP12m	美国亚利桑那	2100m	12m	0.6 mm/500GHz	圆顶
CSO	美国夏威夷	4200m	10.4m	0.3 mm/1000GHz	圆顶
JCMT	美国夏威夷	4200m	15m	0.3 mm/1000GHz	圆顶
APEX	智利查南托	5100m	12m	0.31mm/950GHz	无圆顶
ALMA	智利查南托	5040m	54x12m+16x7m	0.32mm/950GHz	无圆顶
SMA	美国夏威夷	4200m	8x6m	0.71mm/420GHz	无圆顶
SEST	智利拉西拉	2400m	15m	0.8mm/375GHz	无圆顶
ASTE	智利拉波拉	4860m	10m	0.6mm/498GHz	无圆顶

2.2.2）亚毫米波望远镜必须放在极端台址

亚毫米波波段的大气窗口非常敏感于大气的水汽含量(PWV，Precipitable Water Vapor)，这使得地球上适合做亚毫米波观测的台址并不多，都在气候极端的地区，如智利，南极。这些地区气候干旱，可以进行亚毫米波观测，但偶尔出现的极端天气条件，比如强风，日晒，降雪等，不利于亚毫米波望远镜的正常工作。

以智利阿塔卡马的查南托（Chajnantor）为例，其可降水汽含量 PWV 可以达到 0.5mm（25%以上时间，典型值 1.0mm[20] [21]）以下，是非常难得的亚毫米波观测台址，其海拔为 5040 米，含氧量、气温和气压较低，不仅不适合人类工作，也使设备故障率升高，偶尔还会有降雪和强风。虽然平时的查南托风并不大，如图 1 所示[22]，但偶尔突发的大风，风速曾经观测到 62.2m/s[23]，相当于 18 级，或每平米 240kgf，设备如何生存？**海拔超过 5000 米，意味着平常的电子设备不再保证能用**，其环境已经超出了国家标准 GB4943.1-2011 所规定信息技术设备适用的最高海拔，更超出国际标准 IEC60950.1 所规定的 1.5 倍以上。

图 1 智利查南托的风速（a）和风向（b）分布图

查南托是目前综合条件最好的亚毫米波台址。南极风更大可及性更差，阿里更不适宜人类生活。羊八井的 PWV 相对较高，大气透明度下降[24]，观测条件不好。即便是风光胜地夏威夷也偶尔有五级飓风[25]（70m/s@2018 年）。这些极端台址海拔高，强日晒还会降低望远镜主面精度。除了自然条件差，人员生活、工程机械、能源动力、运输保障等等都是困难。

2.2.3）现有亚毫米波望远镜的防护

资源稀缺、结构精密，又必须建在极端台址，这使得亚毫米波望远镜不得不做好防护。兼具光学望远镜的精密和射电望远镜口径大的特征，其防护虽有借鉴，但仍充满挑战。

2.2.3.1）仿照射电望远镜的局部防护不用圆顶——投入大仍有风险

ALMA 及其先导 APEX 望远镜工作波段到 0.3mm，面板精度 5μrms。主反射面采用碳纤维材料，一方面结实防风，另一方面镜体轻量化自重变形小，采用保形设计能够达到精度要求，规避了主动光学技术。面板背面只是精调机构，而不是促动器，故可采用封闭背架结构进行防护[26][27]。接收机等电子器件设计到焦点附近的设备舱室里集中防护，见图 2。

ALMA（54x12m+16x7m） APEX(12m)

图 2 采用无圆顶设计的 ALMA 及其先导 APEX

这种局部防护虽不用圆顶，但需要提高所有外露器件的防护等级，还要对望远镜结构进行整体加强，采用了碳纤维、铟钢等昂贵材料，投入并不少，对已建成的望远镜几乎无法采用。极端台址防护项目较多，除防雨雪外，还要防晒、防紫外线、防尘等，每项都要花费，疏忽会成为隐患，防护失效会造成损失。BBC 曾报道过题为“ALMA telescope in Chile battles

extreme weather”的新闻[28]，表达担忧。每当极端天气到来，望远镜仍要承受考验。

其它不用圆顶采用局部防护的亚毫米波望远镜精度相对较低：SMA 工作波段为 0.7mm，SEST 为 0.8mm，ASTE 为 0.6mm。

2.2.3.2）仿照光学望远镜的圆顶防护——还需要更可靠

图 3 所示，西藏羊八井 CCOSMA[29]是目前国内唯一的亚毫米波望远镜，口径 3m，它是从德国搬来的二手设备。中国虽然在努力发展自己的亚毫米波技术[30]，但在研制亚毫米波望远镜上还未成功。CCOSMA 采购国产传统式随动圆顶进行防护，据介绍曾发生过圆顶关闭失灵故障，当时眼看要下雨，可就是关不上天窗，所幸并未造成严重事故。国外的 CSO、SMT、KP12m、JCMT 采用开启式随动圆顶。据访问调研，CSO 圆顶也发生过如“失灵”这样的故障。

CCOSMA（3m） SMT（10m） KP12m（12m） CSO（10.4m） JCMT（15m）

图 3 现有亚毫米波望远镜圆顶均为随动型

现有随动圆顶需要跟随望远镜指向变化，由于电子器件在低气压下的可靠性降低，或高原上其它未知原因，造成其控制系统有时工作不稳定，让人直呼“见鬼”。本申请示例的完全开放圆顶，由于取消了随动，从原理上消除了观测过程中圆顶工作不可靠对观测的影响，如能实现对亚毫米波望远镜的防护，将是一项创新。

2.2.3.3）透明罩子防护——亚毫米波段还不能用

微波透明罩子，或天线罩，由于没有活动部件，是安全可靠的防护手段。例如德令哈 13.7 米毫米波望远镜圆顶订购了美国 ESSCO 公司的微波透明天线罩[31]。瑞典 Onsala 的 OSO 20m 和韩国的 TRAO 14m 也采用了透明天线罩。OSO 20m 的工作频率最高到 116GHz，而德令哈 13.7 米和 TRAO 14m 的工作频率到 115GHz，波长为 2.6mm，都没有能覆盖到 1mm 以下。透明罩子存在能量损失和像差，其材料技术，还不能在每个波段都能做得那么透明，目前在亚毫米波望远镜上还不能用。

2.2.4）**围绕可靠性的圆顶方案研究很有必要**

总览现有亚毫米波望远镜的防护案例都各有各自的不如意，当我们在极端台址上准备安放望远镜时，却处在“没有哪家圆顶没出过故障”的传言里，焦虑地面对着这三个问题：①采用什么防护方案（是否有更好的方案？）②防护的可靠性够不够？（望远镜安全性够不够？）③成本能否再降低？尤其是资源稀缺的亚毫米波望远镜，不仅精度高需要防护，还口径大不容易防护。我们申请通过建立可靠性数学模型，在方案阶段准确定量地预测圆顶防护的可靠性，不仅用于圆顶方案决策，还能获得圆顶各设计要素与可靠性之间的关系，指导圆顶方案的创新设计与优化。利用可靠性数学模型，结合成本模型，保证圆顶防护方案在高可靠性前提下实现低成本，从源头上保障望远镜的安全与可靠运行。

（3）研究背景

中国在智利拥有天文台址，布置望远镜，对中国天文事业的发展具有战略意义。世界公认最好的光学天文台址在智利。智利的阿塔卡马沙漠号称旱极，是除南极之外最好的亚毫米波天文台址。智利，是发展天文研究事业的绝佳前沿阵地。美国、欧洲、日本等天文列强都在智利有自己的望远镜。中科院南美天文研究中心[32]，作为中国科学院实施国际科教合作拓展工程的第一个海外项目，旨在充分利用南美绝佳的地理位置和优质的天文观测资源，实施

我国天文科技融入全球化创新网络，促进国际化跨越发展的大战略。该中心不仅已争取到文特峰光学台址，还牵头启动中、智、美三方合作的 CSO 搬迁项目，将原位于夏威夷的 10m 口径亚毫米波望远镜 CSO 搬迁至查南托，更名为 LCT（Leigton Chajnantor Telescope）运行，以开启中国在智利的望远镜部署。

LCT 项目将使中国获得世界一流亚毫米波望远镜的设备与技术，这非常有助于提高中国天文的研究实力及相关国际竞争力，更难得的是可直接获得竞争异常强烈的观测时间。CSO 在夏威夷进行的北天观测已有很多成果[33][34]，搬到智利后对南天的观测条件将更好，必将产生大量重要的科学发现，由中国科学家做出的发现。

除负责搬迁，中方还将建设新圆顶。LCT 台址海拔超过 5000m，偶尔发生的大风具有极强的破坏力。已建的 ALMA 及其先导 APEX 望远镜由于根据当地条件设计，采用碳纤维[26]主反射面结构，增大投入提高防护等级，故可不用圆顶，而 CSO 已然完成制造并运行多年，原结构抗风及防护等级较低，难以像 ALMA，APEX 那样不用圆顶。CSO 主镜采用铝合金蜂窝结构，采用温控型主动光学使观测波段高达 0.3mm，日晒引起变形影响观测，需要圆顶。CSO 原随动圆顶可靠性不足故障频出，结构不具可拆性不能搬迁，新科学目标需要快速扫描观测模式，原圆顶随动速度跟不上。因此必须建设新设计的防护圆顶。

LCT 新圆顶必须保证可靠性。查南托虽然观测条件较夏威夷更好，但海拔更高，环境更严酷，保证圆顶可靠性是一个挑战。该处 6.5m 光学望远镜[35] 圆顶所大量研究的风载问题，提醒着 10m 的 LCT 必须重视极端风速下防护的可靠性。新圆顶要实现无人值守，更要保证运行的可靠性。作为中国在智利建设的第一个具有开拓性意义的天文项目，新圆顶是否可靠不仅关系 LCT 防护以至整个项目成败，更关系中国制造的声誉及中国天文在智利的发展。

如何在科学上准确评估圆顶方案可靠性？如何围绕可靠性对圆顶方案进行有效的优化与创新？到底采用何种圆顶方案来保证望远镜的可靠防护？**这系列问题关系圆顶规划的科学性与决策的正确性，急需解决，如结合 LCT 项目进行研究，将更加具有现实意义，鉴于 LCT 项目已在逐步展开，使得本申请研究更具急迫性。**

（4）应用前景

圆顶技术是天文技术的重要领域，圆顶是天文望远镜的极重要附属设施，提高圆顶的可靠性，无论是普通地区还是极端台址，都是投资者、设计师、承接企业、用户等各方的强烈追求与期望，对必须建在极端台址的亚毫米波望远镜更是重要。

本申请拟研究的圆顶方案可靠性定量评估方法，直接解决 LCT 项目所面临的圆顶方案选择问题；该方法及其衍生的圆顶优化与创新方法不仅对圆顶企业在 LCT 圆顶的研发工作提供参考，也能为其它圆顶的决策、优化、创新提供参考。

本申请拟研究的高可靠性圆顶方案，将对 LCT 望远镜防护具有直接应用价值或重要参考价值；可对阿塔卡马地区进行的其它望远镜项目提供参考；可对其它台址，特别是地处阿里、慕士塔格、稻城等高原地区的国内优良台址进行的圆顶建设提供参考。

本申请针对阿塔卡马台址进行的相关研究，有助于继续在智利发展天文设备。智利具有得天独厚的观测条件，我国拟建的 12 米光学望远镜 LOT[36]，筹划中的 60m 亚毫米波望远镜，如果安放于智利，可从本申请研究中借鉴防护经验；

我国昆仑站地处南极最高点，由于水汽含量极低，是目前已知地球上最好的太赫兹观测台址，拟建的太赫兹射电望远镜[37]口径达 5 米，极具科学价值。该台址自然条件更恶劣、交通更受限、望远镜运行更须安全可靠，本申请研究的防护和可靠性相关问题对其意义更大。

参考文献

[1] 自然科学基金委，“极端台址环境下的天文望远镜关键技术方法研究”重大项目指南，

2011，http://www.nsfc.gov.cn/Portal0/InfoModule_396/34547.htm
[2] 黄璐. 低气压环境下的电子元器件可靠性. 电子世界. 2013(15):98
[3] 刘惟信. 机械可靠性设计. 清华大学出版社，北京：1996.8
[4] 赵竹青. 机构运动精度可靠性分析与设计. 硕士学位论文, 西安电子科技大学, 2002.10
[5] 孙致礼. 机构可靠性设计与分析技术. 国防工业出版社，北京：2015.08
[6] GB/T 7826-2012 系统可靠性分析技术 失效模式与影响分析（FMEA）程序
[7] NASA Systems Engineering Handbook, NASA/SP-2007-6105, National Aeronautics and Space Administration, NASA Headquarters Washington, D.C. 20546, 2007.12
[8] Gianluca Verzichelli. European Extremely Large Telescope (E-ELT) availability stochastic model: integrating failure mode and effect analysis (FMEA), influence diagram, and Bayesian network together. Proc. SPIE 9911, 2016.8, 99110V
[9] Sco2 Roberts. Systems Engineering of TMT. https://conference.ipac.caltech.edu/tmtsf2014/system/media_files/binaries/119/original/18_06_Roberts__SE_Instrumentation_Workshop_Tucson_final.pdf
[10] SYSTEM FMEA of SOUTHERN AFRICAN LARGE TELESCOPE ROBERT STOBIE SPECTROGRAPH NEAR INFRARED INSTRUMENT. https://www.ssec.wisc.edu/nir/mtr09/hazard_analysis.pdf
[11] 李运, 杨世海. 基于故障树的南极赤道式天文望远镜主轴控制系统可靠性分析. 天文学报. 58(3). 2017.5. 24-1-11
[12] 冯晴晨, 李晓燕. 基于故障树的南极天文光学望远镜镜面除霜系统的可靠性分析. 天文研究与技术. 15(1), 2018.1, 111-118
[13] Koushik Datta. The Application of NASA Risk Management to the SOFIA Program. 2007 Annual Reliability and Maintainability Symposium. 2007, 410-413
[14] 牛明伟, 杨黎明, 等. 功能危险评估在机电产品安全性评价中的应用. 机电产品开发与创新. 25(6), 2012.11, 32-34
[15] GB/T 37981-2019 可信性分析技术 可靠性框图法和布尔代数法
[16] Eva Faltinova, Martin Mantic, et. al.. Reliability Analysis of Crane Lifting Mechanism. Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport. 2018, 98, 15-26.
[17] Blain, A.; Smail, I. et al.. Submillimeter Galaxies. Physics Reports 369, 2002, 111–176
[18] Galliano, Frédéric; Galametz, Maud; Jones, Anthony P. The Interstellar Dust Properties of Nearby Galaxies. Annual Review of Astronomy and Astrophysics. V56, 2018, 673-713.
[19] Hashimoto, T., Laporte, N., Mawatari, K., et al.. The onset of star formation 250 million years after the Big Bang. Nature, v557, 2018.5, 392-395
[20] http://www.apex-telescope.org/sites/chajnantor/atmosphere/
[21] Cortés, F., R. Reeves, and R. Bustos, Analysis of the distribution of precipitable water vapor in the Chajnantor area, Radio Sci., v51, 2016, 1166–1175
[22] Juan Pablo Perezaupuits, Angel Otarola, et.al.. ANALYSIS of WIND DATA GATHERED at CHAJNANTOR. https://library.nrao.edu/public/memos/alma/memo497.pdf
[23] Masahiro Konishi, Shigeyuki Sako, et. al.. The University of Tokyo Atacama Observatory 6.5m Telescope: enclosure design and wind analysis. Proc. SPIE 9145, 91454p. 2017.7.
[24] 周明峰, 姚骑均, 等. 羊八井 460GHz 大气透明度的测量. 天文学报. 52(1), 2011.1:61-72
[25] 23 年最强飓风将登陆夏威夷：一度达到 5 级，全州严阵以待_凤凰资讯 http://news.ifeng.com/a/20180823/59949528_0.shtml
[26] Nobuharu Ukita, Masao Saito, et. al.. Design and performance of the ALMA-J prototype antenna, https://www.cv.nrao.edu/~awootten/mmaimcal/SPIE_5489-73c.pdf
[27] P. Laperyre, F. Rampini, et. al.. The European ALMA prototype: high-precision dish from

NSFC 2020

design up to onsite alignment. Proc SPIE 7018, 2008.7, 7018M
[28] Alma telescope in Chile battles extreme weather - BBC News https://www.bbc.com/news/science-environment-17599722
[29] CCOSMA 亚毫米波望远镜在西藏羊八井成功“开光”----国家天文台 http://www.bao.ac.cn/xwzx/zyxw/201411/t20141105_4247517.html
[30] “大口径主动光学亚毫米波/毫米波望远镜方案及关键技术研究”通过验收----中国科学院 http://www.cas.cn/ky/kyjz/201303/t20130304_3786060.shtml
[31] 13.7 米毫米波射电望远镜新天线罩安装成功----中国科学院南京分院 http://www.njb.cas.cn/kygl/kydt/201108/t20110815_3322419.html
[32] 南美天文中心 – 中国科学院南美天文中心 http://www.cassaca.org/zh/
[33] http://cso.caltech.edu/wiki/cso/publications/publications
[34] Bing-Ru Wang, Lei Qian, Di Li, and Zhi-Chen Pan. Water abundance in four of the brightest water sources in the southern sky. Res. Astron. Astrophys. v16(3), 2016.3.
[35] S. Sako, U. Yoshii, et. al.. Design of enclosure and support facilities for the University of Tokyo Atacama Observatory 6.5-m Telescope. Proc. SPIE 9145, 91454p. 2017.7.
[36] Xiangqun Cui, Yongtian Zhu, et. al.. Introduction on Chinese 12m optical/infrared telescope (LOT). Proc. SPIE 10700, 107001P, 2018.7
[37] Pre-HEAT，FTS 到 DATE5，南极高原的亚毫米波天文学 http://www.ccaa.pmo.cas.cn/njtwt/FTS/201710/t20171014_384809.html
[38] 陶家渠. 系统工程原理与实践. 中国宇航出版社, 北京：2013.6
[39] 李虎. 膜结构建筑形态研究. 中国建筑工业出版社, 北京：2014.7
[40] 徐彦, 关富玲. 可展开薄膜结构折叠方式和展开过程研究. 工程力学. 2008.5, 176-181
[41] Decommissioning of 2 Maunakea telescopes expected to be complete by 2023 | University of Hawai‘i System News. https://www.hawaii.edu/news/2020/02/20/decommissioning-2-maunakea-telescopes/
[42] 姚正秋, 周放. 近代天文圆顶发展概况. 天文学进展, 2003, 21(3): 206-218.
[43] Lorenxzo ZAGO. Enclosure and Buildings for the ESO Large Telescope. VLT Report, No 46, Garching: ESO, 1986.5
[44] David Leverington. Observatiories and Telescopes of Modern Times. Cambridge university press. London. 2017
[45] 徐江海, 宫雪非. 利用数值风洞实验进行四种天文圆顶的风载研究. 光学学报, v35(5), 2015.5

文中没有标注的部分圆顶和望远镜的照片来自互联网

2. 项目的研究内容、研究目标，以及拟解决的关键科学问题（此部分为重点阐述内容）；

研究内容：

（1）在方案阶段定量评估圆顶可靠性的方法

研究圆顶方案的可靠性数学模型的建立方法；摸索方案阶段圆顶整体和功能单元的可靠性参数的估算方法，尤其摸清在查南托具体极端环境下哪些因素影响可靠性参数怎样变化以及影响的物理机理；探明圆顶方案的可靠性及其置信区间的计算方法。

（2）探明高可靠性圆顶方案的创新方法，实践寻究创新方案

研究如何利用可靠性定量评估方法进行圆顶方案创新；重点研究如何利用可靠性数学模型，通过明确提高可靠性降低成本的敏感要素，指引圆顶方案创新的方法；

实施上述创新方法，权衡可靠性、成本，台址因素等参数，寻究创新方案；以 LCT 项目需求为依托，以查南托极端环境为考量，进行可靠性建模与模型分析，研究适合的圆顶方案；建立缩比样机并进行试验研究；依托 LCT 圆顶进行的可靠性验证研究。

上述两项研究内容，可靠性定量评估方法是进行高可靠性方案创新的理论基础，寻究高可靠性圆顶方案是所研评估方法的积极运用，两者相互牵引并促进研究的深入，通过样机试验，形成理论联系实践的研究闭环。

研究目标：

面向以 LCT 为代表的极端台址大望远镜建设需求，通过圆顶方案可靠性定量评估方法研究，建立高可靠性圆顶方案的决策与创新方法，科学产出可靠性受控的低成本圆顶方案。

拟解决的关键科学问题

（1）考虑极端台址影响，如何在方案阶段准确评估圆顶的可靠性？

（2）以解决极端风速（如 65m/s）和大口径（如 10 米）这两大约束造成的流体力学、结构力学与机构学等科学困难为重点，探明满足极端台址大望远镜（如 LCT）项目需求且可靠性受控的低成本圆顶方案。

3. 拟采取的研究方案及可行性分析（包括研究方法、技术路线、实验手段、关键技术等说明）；

研究方法：

以系统工程[38]理论为指导，借鉴其它行业经验，在功能树故障树分析基础上，针对圆顶方案，摸索建立可靠性数学模型，尝试解决可靠性定量评估方法。

依据 LCT 实际参数和查南托台址具体条件，进行可靠性参数定量评估，在调研、参照、实验基础上，积累实际工况下所需器件可靠性参数，优化出贴合实际准确的可靠性数学模型。

依据实际准确的可靠性数学模型，通过参数敏感度分析，找出圆顶方案可靠性的提升空间及成本压缩空间，探明圆顶方案的创新方法，以之进行圆顶方案的优化与创新。

通过理论分析、数字样机与缩比样机试验，结合企业咨询，验证新方案的可行性、可靠性；同时搜集分类研究现存各式圆顶的可靠性，有重点实地考察其可靠性；进行对比研究。

技术路线

拟采用如图 4 所示的技术路线。以圆顶方案研究为主线，以可靠性数学模型为研究的突破点。可靠性数学模型是保证设计方案具备可靠性的关键，利用可靠性数学模型，通过进行

NSFC 2020

模型参数的敏感性分析，确定可显著改进可靠性的关键环节，明确如何修改圆顶的技术方案提高其可靠性，且同时兼顾望远镜安全性、成本等其它性能。

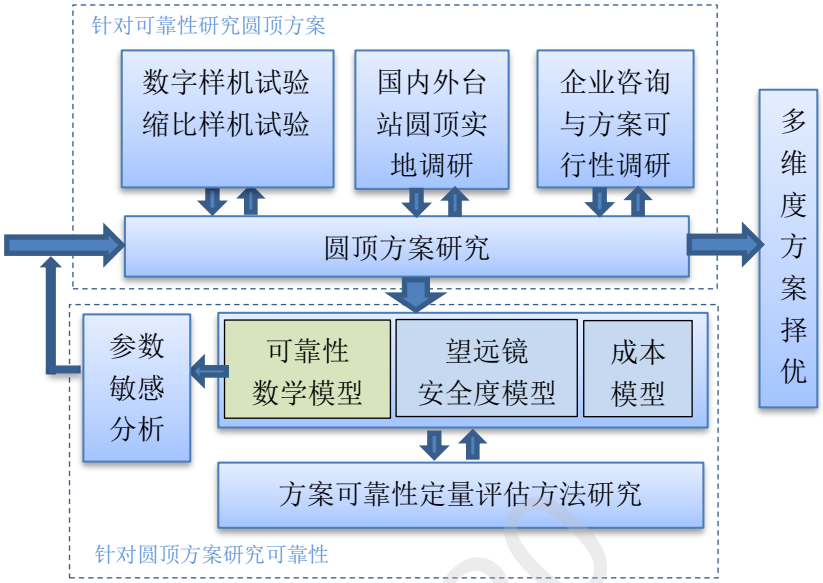


图 4 技术路线

（1）针对圆顶方案研究可靠性——可靠性数学模型

将系统划分为功能单元；通过分析各功能单元在可靠性上的串联、并联的关系，获得可靠性关系图；根据可靠性关系图，结合可靠性串并联公式，可以计算系统整体的可靠性。系统整体可靠性是各功能单元可靠性的多元函数，通过对其进行函数分析，可获得功能单元可靠性对整体可靠性的敏感性。

建立与可靠性相关的其它优化目标模型。根据可靠性数学模型，考虑各种失效对望远镜威胁的程度，通过加权，建立望远镜安全度数学模型；同理建立与可靠性相关的成本模型。这些模型可以用于相应目标的方案优化，或将圆顶可靠性、望远镜安全性、成本等综合进行优化。通过函数分析可以明确各参数环节对所关注优化目标的敏感程度。

在方案阶段，大部分功能单元的可靠性参数未知，或因为尚未实际加工无法测试，或没有相应低温低压下的测试结果。拟建立可靠性参数库来应对：①功能单元如果有商业化产品，通过咨询、考察、和实验的方法获得可靠性参数；②功能单元如果没有商业化产品，则通过估计的方法（例如专家评估法）赋予可靠性参数；③估计功能单元可靠性参数的范围，通过数值方法获得系统可靠性的置信区间；④研究其它可靠性参数的估计方法。

极端环境下，构成圆顶系统的工业品元件的可靠性可能下降；通过确定适合查南托台址的包括低温低压试验的规范，将可靠性参数统一到该规范下进行修正；设计电控安全措施后，圆顶可靠性与望远镜安全性随之变化。拟从多个学科角度对可靠性模型进一步修正与细化。

（2）围绕可靠性研究圆顶方案——圆顶技术方案示例

明确圆顶方案的可靠性与经济性要求，根据“可靠性串联环节降低系统可靠性，可靠性并联环节提高系统可靠性”，提出能平地开合的经济型圆顶方案示例，见图 5，在望远镜工作时完全打开，防护风吹日晒时闭合。该方案采用膜结构[39]降低结构重量，采用轻型桁架为结构骨架，通过卷扬机构实现圆顶开合。圆顶闭合时，由固定在地锚上的绳索进行辅助支撑，既保持结构膜的防风造型，又增强抗风能力。圆顶打开时，膜结构与绳索平摊在地面上。防锁死立柱用于避免钢绳的牵拉方向经过转轴产生自锁，限制最大牵拉力。

平地开合，就是能够在地面展平，打开时对望远镜无遮挡，适合不用放在高台的望远镜。

成本方面，膜结构较轻，可用轻型桁架做结构骨架，降低材料用量，减少了材料费；结

构安装可不用起重设备，减少安装费；重量轻和紧凑包装可降低海运与山地运输的费用；采用卷扬驱动可靠价格低；故有望降低成本。望远镜安全方面，部件运动受转轴约束，路径与望远镜不重叠，控制故障不会导致撞击望远镜这类严重事故，故有望提高望远镜安全性。

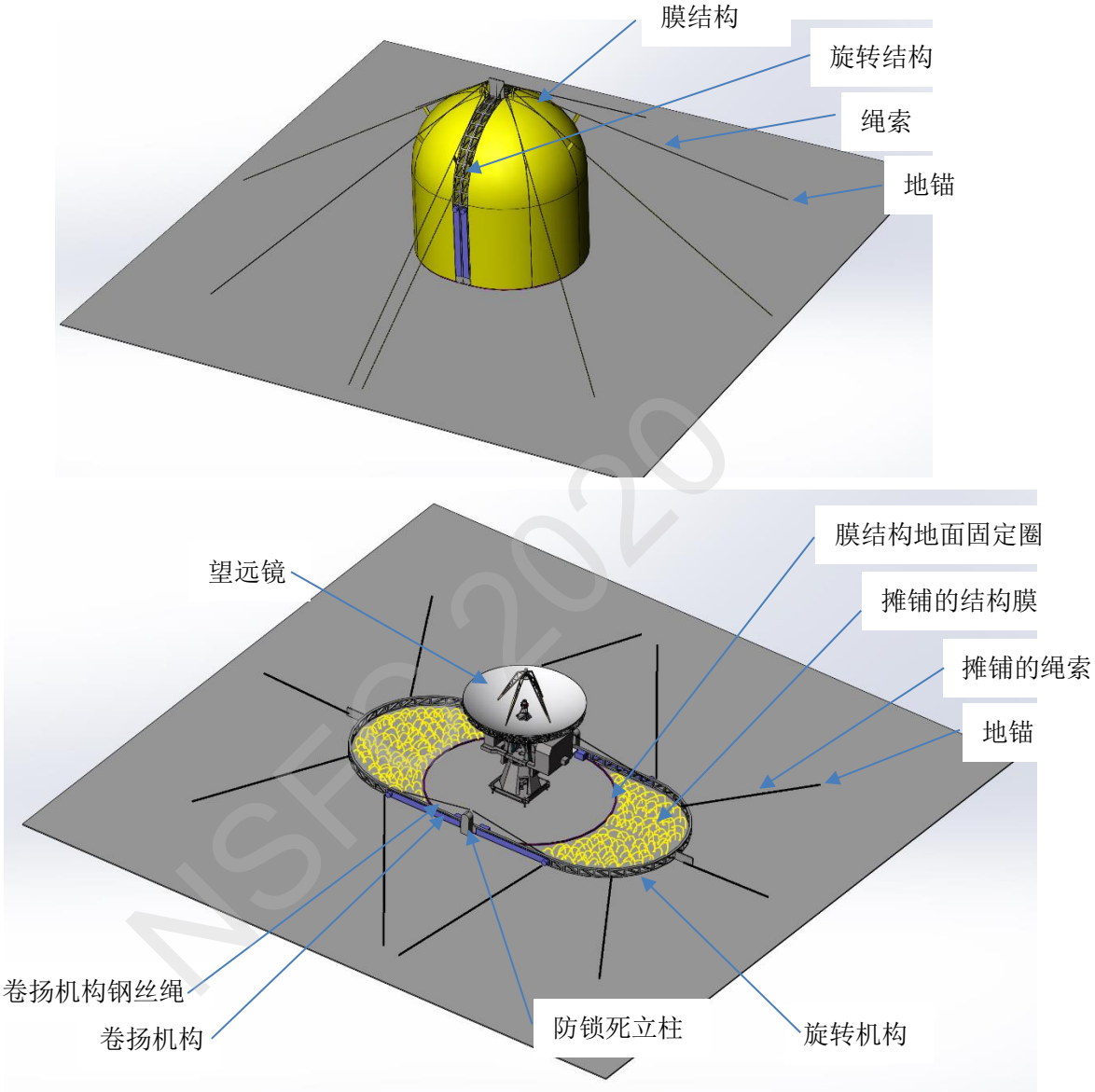


图 5 方案示例，上图为圆顶关闭，下图为圆顶打开。圆顶外壳为结构膜，质地软可折叠，关闭时形状受固定在地上的绳索约束，打开时绳索和膜都摊铺在地面。

可靠性方面，该圆顶只需开合一个运动，通过布置两组卷扬机构并联实现，每个卷扬又采用两个绞盘并联，其可靠性关系框图如图 6 示例，更多并联在定性上提高可靠性。

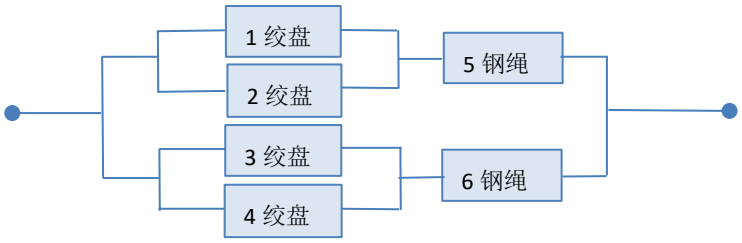


图 6 可靠性关系框图示例

根据可靠性串联与并联公式，按可靠性关系框图示出的串并关系，我们推导出整体的可

靠性函数。它可以用公式表示，即可靠性数学模型。根据绞盘、钢绳的单元可靠性的值，计算可得整体可靠性的值。初步估算表明其可靠性高于经典圆顶。我们希望展开更深入的定量研究，通过细化可靠性关系框图来细化可靠性数学模型，以得到更准确更可信的结果。

以上作为技术路线示例，我们还将提出更多的方案，绘制更详细的可靠性关系图，得出更准确的可靠性公式，借助软件技术实现关系框图与公式之间的映射，以更便利地建立和应用可靠性数学模型；分析模型改进方案，改进方案更新模型，通过模型与方案间的多轮互动，将方案进化到极致。

(3)多维度方案优化与择优

除对方案建立可靠性模型，还建立望远镜安全度模型、成本模型等，定量预估圆顶可靠性、望远镜安全度、总体与逐项成本。通过绘制如图 7 所示雷达图，进行多维度参数表述，不仅进行多维度方案优化，平衡可靠性、望远镜风险、和造价，还在多个优化方案中优中选优。

图 7 多维度参数表述示意：雷达图（左）和带置信区间的雷达图（右），具体评价指标选取及算法还待更深入的研究

实验手段

在理论分析基础上，利用数字样机仿真圆顶开合运动过程：用 ADAMS 仿真机构干涉与动力需求变化，CFD 仿真流场及圆顶风载变化，ANSYS 仿真结构内力变化等，协同预测方案可行性；在用缩比原理将参数指标换算至实际指标前提下，制作缩比圆顶样机进行实验室测试（风洞、低压实验箱）结合现场环境试验，研究实际圆顶方案的可行性与可靠性。

具体到上述示例方案，由于膜结构的展开与折叠过程、索的卷绕过程等尚不能被商业软件直接模拟，这一方面是仿真研究与论文写作的增长点，另一方面更需要用缩比样机来实际测试工作过程，验证可行性，并找出故障模式。融合机械与电控一体的缩比样机的建立与调试，不仅让我们对方案的可靠性获得感性认识，作为实验平台，可以通过反复运行、抗风测试、对控制系统低温低压运行等，实际验证功能单元划分的合理性与可靠性关系的正确性。

关键技术说明

（1）可靠性参数评估。整体的可靠性取决于功能单元可靠性参数的准确性。特别注意单元可靠性参数是采用符合相关标准器件在极端条件下的。在方案遴选中，可以不要求该参数的绝对准，而仅要求方案之间的相对准，也能获得正确决策。另一个思路是在准确预测可靠性参数的同时给出置信区间，通过图表表达方式，为设计改进与方案决策提供参考。

（2）可展开膜结构技术。可展开结构技术、膜结构技术均已获得广泛应用，虽然两者结合未发现重大问题，在小尺寸圆顶中已有一些应用，大尺度可展开膜结构毕竟未见范例，还要考虑到极端台址特别是极端大风的挑战。相比移动开合和翻转开合，能平地开合的圆顶完全没有遮挡问题，极大降低对观测限制，但闭合时重心升高会带来功率增加。本申请方案能否通过轻量化桁架与膜结构将平地开合拓展到十米级望远镜上，膜结构的折叠[40]与保形以及索支撑能否抵抗极端大风，还待通过包括 CFD 流体力学仿真、多体动力学仿真、结构

有限元等数字样机技术研究，和建立缩比样机进行的试验验证。

4. 本项目的特色与创新之处；

建立圆顶方案可靠性的定量评估方法，在方案阶段准确预估考虑了极端台址条件的圆顶方案可靠性，实现圆顶方案间可靠性量化比对。

建立围绕可靠性的圆顶方案创新与优化方法，突破极端台址的极端风速（如 65m/s）与望远镜大口径（如 10m）的条件约束，探索在阿塔卡马地区用完全开放圆顶对亚毫米波望远镜进行高可靠性防护，重点研究可展开膜结构方案来实现大型（如 10m 级）圆顶平地开合，定量协调极端台址圆顶的可靠性、望远镜安全性与成本的平衡，实现方案与应用创新。

5. 年度研究计划及预期研究结果（包括拟组织的重要学术交流活动、国际合作与交流计划等）。

年度计划

结合 LCT 望远镜圆顶建设及 CSO 搬迁计划制定本研究计划。由于 CSO 须在 2022 年[41]前完成拆除恢复台址原状，故圆顶最迟在 2023 年前应完成在海拔 5040m 的观测地点（ALMA 旁边）建设，才能不耽误 LCT 搬入。为将研究成果应用于该项目，并利用由此产生的实验条件，进行更深入的研究工作，我们制定如表 2 所示年度研究计划：

表 2 年度研究计划

年度	工作内容
2021	文献与台站台址实地调研，圆顶方案研究，数字样机研究及建立缩比样机； 同步建立圆顶可靠性模型、望远镜安全度模型和成本模型；
2022	方案改进，可靠性模型改进，缩比样机试验改进，LCT 圆顶可靠性模型分析； 计划国际咨询及评审（中、美、智三方）一次；
2023	结合 LCT 圆顶建设，进行可靠性验证与测试，LCT 安装后的使用效果跟踪与评价； 课题总结与论文发表。

预期研究成果：

（1）建立一种在方案阶段进行的圆顶可靠性定量评价方法；
（2）建立能协调可靠性与成本投入之间矛盾的圆顶方案设计方法；
（3）获得一种或几种高可靠度低成本的新概念天文圆顶设计方案；
（4）合理解决 LCT 望远镜在阿塔卡马极端台址防护问题，完成圆顶缩比样机；
（5）预期还将发表 SCI/EI 文章 1~2 篇，专利 1~2 项，培养博士/硕士研究生 1~2 名。

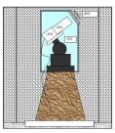
（二）研究基础与工作条件

1. 研究基础（与本项目相关的研究工作积累和已取得的研究工作成绩）；

自 2017 年初，结合 LCT 项目及其圆顶建设筹备，我们以系统工程思想为指导，开始进行圆顶研究：有哪些类型圆顶？什么才是好圆顶？怎样保证建设出好圆顶？大型圆顶是一个订制品，只有在方案阶段解决好这些问题，才能切实保证建出好的 LCT 圆顶。

通过文献、网络与调研，我们对历史上的望远镜防护和天文圆顶样式进行了分类和梳理，见表 3。

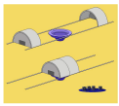
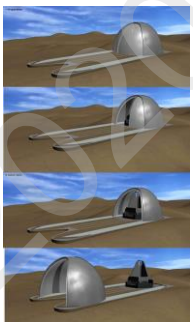
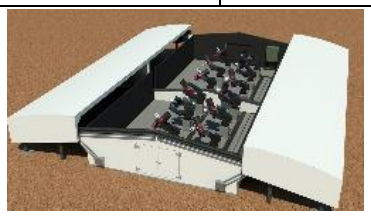
表 3 天文望远镜主要防护手段及特点

类别名称				典型案例	结构特点和优缺点	
圆顶防护	随动圆顶（越来越紧凑）	传统式圆顶	大尺寸圆顶	兴隆 2.16m	适合采用传统赤道仪的望远镜的圆顶。尺寸较大，造价高，容易有视宁度问题，目前较少采用	传统、通用、常见的方式，光学和亚毫米波望远镜防护的最主要方式
			小尺寸圆顶	SOAR	适合采用地平式机架的望远镜的圆顶。在传统圆顶上尽量减少尺寸，降低造价	
		开启式圆顶（共旋）	开启式	一般都在基础形式上有变化，如开窗或加风屏	圆顶与望远镜随动旋转。望远镜与圆顶间没有相对转动（或很小）。	
			带百叶窗的开启式圆顶	VLT Subaru	在开启式圆顶基础上加百叶窗，进一步改善视宁度。	
			固定风屏的开启式圆顶	LBT	风屏固定在望远镜结构上。转动惯量增加，但风屏可以完全关闭不再另建圆顶。	
		圆球状圆顶		LEST TMT MSE	圆球形，更紧凑，有垂直地面的旋转轴和与该轴成 45 度的旋转轴。	
	完全开放圆顶		完全开放圆顶	TTL 2m	结构简单成本低。风力较大时，望远镜或有振动。	
			带挡风罩的完全开放圆顶	SDSS	在完全开放结构上，增加与望远镜随动的挡风罩。	
透明罩子	微波透明罩子 光学透明罩子			OSO ASTEP 	采用（微波）透明材料，无活动部件，可靠稳定。有像差灵敏度降低。	毫米波望远镜 小光学望远镜
无圆顶				ALMA	结构、面板等防风防雨设计，配置防护电子设备的舱室。全面提高防护等级，局部重点防护	射电望远镜

亚毫米波望远镜具有口径大、直接落于地面的特点，通过综合分析对比，我们认识到完全开放圆顶结构简单、成本低，在打开时对望远镜的影响很小直至为零，是大望远镜圆顶的

重要发展方向，没有随动控制，即可规避相应故障，如能应用于亚毫米波望远镜，将是一项创新。因此我们进一步对完全开放式顶进行了案例收集和整理，见表 4。其中，平地开合形式最适合落在地面的亚毫米波望远镜，占地小、遮挡小、用料节省，如能应用则更为理想。

表 4 主要完全开放圆顶的实现案例

形式	案例				
平移开合				LAMOST	占地大，遮挡大，易做大
	怀柔太阳	云南台某圆顶	OWL 概念  	云台 1m 太阳翻转结合平移	
	云南 1.2 米			兴隆科普	
翻转开合	ROTSE-III	丽江 BOOTES-4		云台 1m 太阳结合平移的翻转	占地小，遮挡小，较难做大
					
平地开合	南大 ONSET		LSST’s DIMM		占地小，无遮挡，待做大
			充气膜概念		

我们调研发现：若完全开放圆顶发生故障关不上，其对望远镜的防护就是零；若圆顶存在轨迹经过望远镜的结构，故障时存在撞上望远镜的可能；这些问题实际发生过。极端台址，将加大这些风险。所谓“好”圆顶，至少是不出毛病用着省心的，即可靠性好；就算出了毛病，望远镜也不能被损坏，即望远镜安全性好；还要花钱少。在方案阶段如何评价圆顶可靠性是我们在圆顶建设实践中面临的瓶颈问题，**如不解决，就无法知道方案决策是否正确。**

为此，我们在分析可靠性功能单元串并联关系基础上，建立初步的可靠性模型，对一些方案进行了简单的计算和对比；从定性上，我们发现要提高可靠性，设计方案应该增加功能单元的并联关系，减少串联关系。我们提出的这种基于可展开膜结构的创新圆顶方案，效果究竟如何？这需要更细致地进行可靠性建模、数字样机模拟，如能制造样机或缩比样机验证，将更有把握。要科学决策设计方案，有效进行方案创新，急需更深入地开展本申请课题研究。

我们所具备相关专业背景和相近研究经验积累，直接有助于本申请的研究：

申请人**郭永卫**，博士，机械设计及制造、天文技术与方法专业，熟练掌握机械与结构的设计与分析，参与了空间太阳望远镜 SST、五百米球面射电望远镜 FAST 等重大天文仪器及紫外光谱仪、自适应光学等前沿天文技术研究，现从事亚毫米波望远镜 LCT 项目研究工作。第一作者发表学术论文 10 篇。主持完成自然科学基金面上项目 1 项，其成果皆为 SCI 索引。

在机构学研究上，进行过 FAST 索网机构研究（***郭永卫***; 王启明; 索网机构的理论建模与位置求解, 机械工程学报, 2010.1；***Guo Yongwei***; Wang Qiming; Nan Rendong, Simulation for the Active Reflector of FAST 30m Model, SPIE 7018, 2008.6），这和可展开膜结构有类似之处；指导学生研究的开合机构（高思齐,古学东,***郭永卫,赵保庆***,等. 大射电望远镜面板开合机构传动装置的设计. 机械设计. 2017.5），与圆顶的开合有类似之处；

熟悉力学、模拟、数字样机技术，参与 FAST 风环境模拟（吴明长, 王启明, ***郭永卫, 赵保庆***. 射电望远镜 FAST 风环境数值模拟研究. 天文研究与技术, 2012.2）积累的经验，可以直接应用于阿塔卡马台址风环境的分析；在美国 OVRO 天文台访问期间，与美方联合进行的 LCT 望远镜伺服模型建模与旨在提升望远镜 OTF 扫描速度的仿真研究，加深了对 LCT 圆顶工作模式的理解；

在机械方案创新方面积累有经验。已授权发明专利多已获得转化应用，见表 5，非常有利于本申请拟进行的方案创新研究；

表 5 郭永卫已授权发明专利的转化应用情况

发明专利名称	发明人	转化应用
一种促动器力学性能测试装置	**郭永卫**;王启明;南仁东	FAST 促动器实验
一种紫外光谱仪光谱分辨力的检测装置及方法	王森;**郭永卫**	紫外光谱仪检测
高精度平面镜倒置吊装机构	古学东;杨世模;**郭永卫**	SST 装调检测
一种液压式地锚疲劳特性测试装置	王启明;**郭永卫**	FAST 地锚疲劳实验
一种机械式地锚疲劳特性的测试装置	**郭永卫**;王启明;薛建兴等	FAST 地锚实验备用
一种可调矩型光阑	**郭永卫**	某自适应光学系统
一种带舱外微调机构的真空光学实验系统	**郭永卫**	待转化

积累了光机结构设计与研究经验，深刻体会到复杂光机系统的机械结构必须具备高度稳定性和可靠性，否则造成精度漂移，无法保证最终精度，并由此进行了结构稳定性研究和探索；在参与北航 WG5，M16 等飞行器型号研制中，对质量体系的作用直接体会；在参与 FAST 工程的实践中，深刻体会到可靠性研究在项目最初时就应该进行，若延到总体设计完成，只能后补文档，很可能遗留隐患和风险。

在本课题中，除总体负责外，他将主要负责机构可靠性及圆顶方案创新研究。

申请人**赵保庆**，博士，土木、结构工程、天文技术与方法专业，精通土建、钢结构工程，他将螺栓球节点结构引入到 FAST 背架结构设计中，大幅降低了 FAST 背架单位面积的重量，在提高 FAST 背架、圈梁等结构可靠性上进行的许多工作，对本申请进行的机构可靠性研究及圆顶结构研究都很有借鉴作用。在本课题中，他将主要负责结构可靠性、评估方法，以及创新方案中土建学科相关研究。

申请人**马晓耘**，学士，电子信息学专业，熟悉电子技术，是在阿根廷进行的四十米射电望远镜建设中主要参与者，并在该野外台站进行了四年运行维护，深知设备可靠性问题对后期维护带来的代价，电控系统可以影响机械设备的可靠性，但电控系统本身可靠性使得整体的可靠性变得更复杂，这些经验对本课题的研究很有帮助。在本课题中，他将主要负责电控可靠性及实验测试研究。

我们拥有圆顶研究所需的机械、电控、土建等专业背景，长期从事天文技术一线科研工作，具备本申请课题的研究能力，并已进行一些预备工作，还能借助 LCT 项目在阿塔卡马建设圆顶所带来的研究便利，我们适合本申请研究。

2. 工作条件（包括已具备的实验条件，尚缺少的实验条件和拟解决的途径，包括利用国家实验室、国家重点实验室和部门重点实验室等研究基地的计划与落实情况）；

本研究依托中国科学院南美天文研究中心\中国科学院国家天文台中智天文研究中心进行。

南美天文中心地处智利，不仅已拥有文特峰光学天文望远镜台址，在研究阿塔卡马高原亚毫米波望远镜台址上也有地利条件，与智利境内的其它台站有很好的合作关系和地利条件，他门有大量国际水准的大口径望远镜及其圆顶实例可供考察研究。中心荟萃了一大批国内外观测经验丰富的实测天文学家，他们不仅拥有丰富的学识，还亲眼见过甚至亲手使用过大量的望远镜及其圆顶，通过咨询交流与学习可以了解到世界上很多不见文献的望远镜圆顶信息。

国家天文台现有的望远镜圆顶对可靠性研究很有帮助，如羊八井站、兴隆站等。我们也将积极寻求国内其它拥有望远镜圆顶的台站支持，学习经验取得可靠性数据。

我们已具备进行软件模拟的硬件条件，有 Dell 移动工作站 5510 一台，可进行数字样机试验；样机试验采用缩比方法，降低了对场地和实验室的需求；即使需要大面积场地，也可通过租借厂房或求助于观测基地（如兴隆站、文特峰站等）来实现；对可能发生的实验室风环境试验、低温低压试验等可采用委托实验方式。

CSO 搬迁工作使我们有机会直接接触美国天文技术和智利极端台址。LCT 圆顶建成后，将成为方案验证研究平台。LCT 台址可成为天然的低压环境实验室，用于现场可靠性测试。

3. 正在承担的与本项目相关的科研项目情况（申请人和项目组主要参与者正在承担的与本项目相关的科研项目情况，包括国家自然科学基金的项目和国家其他科技计划项目，要注明项目的名称和编号、经费来源、起止年月、与本项目的关系及负责的内容等）；

无

4. 完成国家自然科学基金项目情况（对申请人负责的前一个已结题科学基金项目（项目名称及批准号）完成情况、后续研究进展及与本申请项目的关系加以详细说明。另附该已结题项目研究工作总结摘要（限 500 字）和相关成果的详细目录）。

申请人于 2014 年 1 月始至 2017 年 12 月止，承担并完成面上基金《空间望远镜地面检测中重力影响的测试方法研究》（批准号：11373046）。

相比前课题，本申请虽是新的研究方向，仍属于以机械工程为主导的天文技术范畴。前课题中所涉及的流体力学、结构力学等研究积累，和试验系统研制时所积累的设计经验，特别是其中所涉及的光机结构稳定性问题（其本质上也属于结构可靠性范畴）的思考与研究，对进行本申请课题的研究有一些益处。申请团队以机械工程为主，结合土建与电控，长期从事天文技术研究，胜任本申请研究工作。

前课题摘要(限 500 字)：

如何在 1g 地面环境下装调空间望远镜，保证在轨失重工作时像质，事关项目成败，以前唯一能实现的 Hinode 方法在大口径下由于需要整体翻转，实现困难。

为解决该关键科学问题，我们聚焦研究在望远镜姿态不变前提下理论完备实际可行的去除重力影响的实验方法与算法。通过令检测系统上下振动，产生不同加速度下对应面形的测量结果，多次采样外插计算等精度望远镜 0g 波前。利用缩比模型，等效一米口径空间太阳望远镜 DSO 的刚度，进行实验方案验证，并与 Hinode 方法对比。

基于多种振子方案，设计建立了缩比实验模型，实际搭建实验系统，完成试验研究。借助光学检测系统的力学数学模型，建立了 0g 波前的求解算法，分析了误差产生机制和测量结果的置信度。基于试验数据，进行了波前解算与误差解算。对比试验显示的结果一致，误差小于 1/4 波长 PV 或 1/20 波长 rms，证明该方法可适用于衍射受限的光学系统，具备实用性，实现了基金研究预期目标。

在缩比模型建立中，我们采用薄平面镜替代薄抛物面镜，降低了加工难度。提出并建立了利用表面张力悬浮镜面的测量方法，基于力学模型与误差分析，实现了 φ100 δ0.7 薄镜面的 0g 面形测量，解决了缩比模型中核心部件 φ100 δ1.4 平面镜的 0g 面形测量问题，为镜面磨制提供了验收方法。

成果目录（SCI 论文）：

Yongwei Guo. “A surface shape test method for a thin flat mirror”. *OPTIK*, 2018.1.1, 152(1): 116~126.

Yongwei Guo, Zhichao Dong, Shen Wang, Sophia Dai. “Ground testing method of zero gravity wavefront for space telescopes”. *APPLIED OPTICS*, 2019.4.20, 58(12):3042~3052.

（三）其他需要说明的问题

1. 申请人同年申请不同类型的国家自然科学基金项目情况（列明同年申请的其他项目的项目类型、项目名称信息，并说明与本项目

之间的区别与联系）。

无

2. 具有高级专业技术职务（职称）的申请人或者主要参与者是否存在同年申请或者参与申请国家自然科学基金项目的单位不一致的情况；如存在上述情况，列明所涉及人员的姓名，申请或参与申请的其他项目的项目类型、项目名称、单位名称、上述人员在该项目中是申请人还是参与者，并说明单位不一致原因）。

无

3. 具有高级专业技术职务（职称）的申请人或者主要参与者是否存在与正在承担的国家自然科学基金项目的单位不一致的情况；如存在上述情况，列明所涉及人员的姓名，正在承担项目的批准号、项目类型、项目名称、单位名称、起止年月，并说明单位不一致原因。

无

4. 其他。

无

NSFC 2020

郭永卫 简历

中国科学院国家天文台，中智天文联合研究中心，高级工程师

教育经历（从大学本科开始，按时间倒序排序；请列出攻读研究生学位阶段导师姓名）：

(1) 2002-3至2006-3，中国科学院研究生院，国家天文台，天文技术与方法，博士，导师：杨世模

(2) 1989-9至1993-7，北京航空航天大学，机械设计及制造，学士

科研与学术工作经历（按时间倒序排序：如为在站博士后研究人员或曾有博士后研究经历，请列出合作导师姓名）：

(1) 2008-6至现在，中国科学院国家天文台，国家天文台，副研究员，高级工程师

(2) 1999-9至2002-2，北京凯思博宏计算机应用工程有限责任公司，开发部、销售部，工程师

(3) 1993-7至1999-9，北京航空航天大学，机械厂，工程师

(4) 2006-3至2008-6，中国科学院国家天文台云南天文台，博士后，导师：南仁东

曾使用其他证件信息（申请人应使用唯一身份证件申请项目，曾经使用其他身份证件作为申请人或主要参与者获得过项目资助的，应当在此列明）

主持或参加科研项目（课题）（按时间倒序排序）：

国家自然科学基金委员会，面上项目，11373046，空间望远镜地面检测中重力影响的测试方法研究，2014-01至2017-12，90万元，已结题，主持

国家自然科学基金委员会，青年科学基金项目，11303060，深空太阳天文台相关跟踪器集成化建模与仿真研究，2014-01至2016-12，29万元，已结题，参加；

国家自然科学基金委员会，联合基金项目重点重点支持项目，u1231204，空间太阳望远镜热光学问题研究，2013-01至2016-12，250万元，已结题，参加；

国家自然科学基金委员会，面上项目，10433020，大射电望远镜主动反射面控制策略与拟合精度研究，2007-01至2009-12，46万元，已结题，参加；

代表性研究成果和学术奖励情况

（请注意：①投稿阶段的论文不要列出；②对期刊论文：应按照论文发表时作者顺序列出全部作者姓名、论文题目、期刊名称、发表年代、卷（期）及起止页码（摘要论文请加以说明）；③对会议论文：应按照论文发表时作者顺序列出全部作者姓名、论文题目、会议名称（或会议论文集名称及起止页码）、会议地址、会议时间；④应在论文作者姓名后注明第一/通讯作者情况：所有共同第一作者均加注上标“#”字样，通讯作者及共同通讯

作者均加注上标“*”字样，唯一第一作者且非通讯作者无需加注；⑤所有代表性研究成果和学术奖励中本人姓名加粗显示。）

按照以下顺序列出：

一、代表性论著（包括论文与专著，合计5项以内）

(1) **Yongwei Guo***; Zhichao Dong; Shen Wang; Sophia Dai; Ground testing method of zero gravity wavefront for space telescopes, *APPLIED OPTICS*, 2019, 58(12): 3042-3052. **（期刊论文）**

(2) **Yongwei Guo***; A surface shape test method for a thin flat mirror, *OPTIK*, 2018, 152(1): 116-126. **（期刊论文）**

(3) **郭永卫***; 王启明; 索网机构的理论建模与位置求解, *机械工程学报*, 2010, 46(1): 18-23. **（期刊论文）**

(4) **Yongwei Guo***; Qiming Wang; Xuedong Gu; Analysis of Manufacture Errors for Space Truss With Bolted Spherical Joints Base on Monte Carlo Method, *ASME 2010 10th Biennial Conference on Engineering Systems Design and Analysis*, Istanbul, Turkey, 2010-7-12至2010-7-14. **（会议论文）**

(5) **郭永卫***; 杨世模; 王慎; 古学东; Φ1m平面镜的力学分析及实验研究, *光学技术*, 2005, 31(4): 618-621. **（期刊论文）**

二、论著之外的代表性研究成果和学术奖励（包括专利、会议特邀报告等其他成果和学术奖励，请勿在此处再列论文和专著；合计10项以内）

(1) **郭永卫***; 一种带舱外微调机构的真空光学实验系统, 2015-07-08, 中国, CN201510086774. **（专利）**

(2) **郭永卫***; 王启明; 南仁东; 一种促动器力学性能的测试装置, 2009-01-28, 中国, CN200810116587. **（专利）**

(3) **郭永卫***; 王启明; 薛建兴; 杨世模; 南仁东; 一种机械式地锚疲劳特性的测试装置, 2011-11-02, 中国, CN201110136383. **（专利）**

(4) **郭永卫***; 一种可调矩型光阑, 2015-06-10, 中国, CN201510081932. **（专利）**

(5) 王森; **郭永卫**; 一种紫外光谱仪光谱分辨力的检测装置及方法, 2015-11-18, 中国, CN201510086813. **（专利）**

(6) 古学东; 杨世模; **郭永卫**; 高精度平面镜倒置吊装机构, 2014-10-22, 中国, CN201410278181. **（专利）**

NSFC 2020

(7) 王启明；**郭永卫**；古学东；一种液压式地锚疲劳特性测试装置，2011-11-02，中国，CN201110136385. （专利）

(8) 南仁东；李建斌；王启明；朱文白；**郭永卫**；李辉；球铰保护装置，2009-05-13，中国，CN200820126828. （专利）

NSFC 2020

赵保庆 简历

中国科学院国家天文台，FAST工程，工程师

教育经历（从大学本科开始，按时间倒序排序；请列出攻读研究生学位阶段导师姓名）：

2013-09至2018-05，中国科学院大学，国家天文台，博士，导师：王启明

2005-09至2008-01,北京建筑工程学院，结构工程系，硕士，导师：苗启松，戚承志

2001-09至2005-07，山东科技大学，土木工程系

科研与学术工作经历（按时间倒序排序；如为在站博士后研究人员或曾有博士后研究经历，请列出合作导师姓名）：

2008-05至现在，中国科学院国家天文台，FAST工程，工程师

曾使用其他证件信息（应使用唯一身份证件申请项目，曾经使用其他身份证件作为申请人或主要参与者获得过项目资助的，应当在此列明）

无

主持或参加科研项目（课题）情况（按时间倒序排序）：

1.国家任务/基地和人才专项，Y923081,西部之光，2019-01至2021-12，5万，在研，参加

2.国家自然科学基金青年基金，Y811111，FAST主动反射面损伤预警及安全评估系统研究，2018-01至2022-12，28万，在研，参加

3.国家自然科学基金青年基金，Y711191N01，FAST反射面支承结构在役可靠性研究，2017/1-2021/12,30万，在研，主持

4.国家自然科学基金委员会，面上项目，11373046，空间望远镜地面检测中重力影响的测试方法研究，2014-01至2017-12，90万元，已结题，参加

5.国家自然科学基金面上项目，Y111421001，大型望远镜状态监控与故障诊断，2011-10至2016-01，58万元，已结题，参加

代表性研究成果和学术奖励情况

（请注意：①投稿阶段的论文不要列出；②对期刊论文：应按照论文发表时作者顺序列出全部作者姓名、论文题目、期刊名称、发表年代、卷（期）及起止页码（摘要论文请加以说明）；③对会议论文：应按照论文发表时作者顺序列出全部作者姓名、论文题目、会议名称（或会议论文集名称及起止页码）、会

NSFC 2020

议地址、会议时间；④应在论文作者姓名后注明第一/通讯作者情况：所有共同第一作者均加注上标“#”字样，通讯作者及共同通讯作者均加注上标“*”字样，唯一第一作者且非通讯作者无需加注；⑤所有代表性研究成果和学术奖励中本人姓名加粗显示。）

按照以下顺序列出：

一、代表性论著（包括论文与专著，合计5项以内）

(1) **Baoqing Zhao**(#)(*)，Qiming Wang, Benning Song, The method to realize the performance of FAST reflector unit,SPIE, Austin，2018.08.24

(2) **赵保庆**(#)(*)，王启明，李志恒，雷政，FAST圈梁支承结构性能理论与实验研究，工程力学，2018年6月，35(S1)：200-204,211

(3) **Zhao Baoqing**(#)(*), Wang Qiming, Zhao Qing, Gu Xuedong, Hu Jinwen, A new Type aluminum alloy Backup Frame of FAST project, the 2014 4th International Conference on Materials Science and Information Technology, Tianjin, P.R.China, 2014.06.14-06.15

(4) 吴明长，王启明，郭永卫，**赵保庆**，大射电望远镜FAST风环境数值模拟研究，Astronomical Research & Technology，2012年4月，9（2）：121-128

(5) 戚承志，**赵保庆**，罗健，不同的结构层次上岩体变形破坏的能量关系，北京建筑工程学院学报，2007，第4期，1－4

二、论著之外的代表性研究成果和学术奖励（包括专利、会议特邀报告等其他成果和学术奖励，请勿在此处再列论文和专著；合计10项以内）

(1) **赵保庆**(#)(*)，王启明，周观根，严永忠，李之硕，王淞波,用于连接FAST射电望远镜四边形反射面单元和圈梁的组件,2018.12.14，中国，ZL 2016 1 0569843.2

(2) **赵保庆**(#)(*)，张琳，朱忠义，王启明，王哲，刘传佳，古学东，刘飞，梁宸宇，崔建华，一种FAST望远镜圈梁格构柱结构体系用抗拔装置，中国，2018.3.26，ZL2016 1 0056425.0

(3) **赵保庆**(#)(*)，古学东，赵清，王启明，南仁东，FAST射电望远镜反射面单元支撑调整装置，2014.11.27，中国，ZL 2014 2 0734530.4

NSFC 2020

(4)**赵保庆**（20/20），500米口径球面射电望远镜超大空间结构工程创新与实践，北京市科技进步奖，一等奖，2016

（南仁东，朱忠义，朱万旭，王启明，姜鹏，张琳，黄颖，王晓波，齐五辉，郭正兴，高继领，刘传佳，王哲，韦福堂，刘飞，刘漩，古学东，郑晓年，张升华，**赵保庆**）

(5)**赵保庆**（7/9），昆明长水国际机场网架工程，中国钢结构协会空间结构分会，设计金奖，2015

（朱忠义，束伟农，齐五辉，秦凯，李华峰，卜龙瑰，**赵保庆**，王毅，李云）

NSFC 2020

马晓耘 简历

中国科学院国家天文台，南美观测站，工程师

教育经历（从大学本科开始，按时间倒序排序；请列出攻读研究生学位阶段导师姓名）：

2004-07至2008-09, 复旦大学, 电子信息科学与技术, 学士

科研与学术工作经历（按时间倒序排序；如为在站博士后研究人员或曾有博士后研究经历，请列出合作导师姓名）：

(1) 2011-05至现在, 中国科学院国家天文台, 南美中心，工程师

曾使用其他证件信息（应使用唯一身份证件申请项目，曾经使用其他身份证件作为申请人或主要参与者获得过项目资助的，应当在此列明）

无

主持或参加科研项目（课题）情况（按时间倒序排序）：

科技部重大合作项目，2010DFA02710，国家天文台与圣胡安大学开展VLBI合作观测与研究，2011年1月1日-2018年12月31日，8819万元，已结题，参加

代表性研究成果和学术奖励情况

（请注意：①投稿阶段的论文不要列出；②对期刊论文：应按照论文发表时作者顺序列出全部作者姓名、论文题目、期刊名称、发表年代、卷（期）及起止页码（摘要论文请加以说明）；③对会议论文：应按照论文发表时作者顺序列出全部作者姓名、论文题目、会议名称（或会议论文集名称及起止页码）、会议地址、会议时间；④应在论文作者姓名后注明第一/通讯作者情况：所有共同第一作者均加注上标“#”字样，通讯作者及共同通讯作者均加注上标“*”字样，唯一第一作者且非通讯作者无需加注；⑤所有代表性研究成果和学术奖励中本人姓名加粗显示。）

按照以下顺序列出：

一、代表性论著（包括论文与专著，合计5项以内）

（1）赵卫普; 李建斌; 李金增; 孙建民; 齐力; 罗滔; **马晓耘**; 莫铠玮; 李鹏程; 夏跃兵; Mallamaci C C; Podesta R C; Pacheco A M; Actis E; Castro J I; Alivis R

H; Lopez C E; Francile C; Podesta F; Perez J, 中阿40m射电望远镜选址与电磁环境监测 , 天文学进展, 2014.8.15, (03): 395~408

（2）S. Souto; H. Alvis Rojas; **X. Ma**; R. Podesta; A. Pacheco, Banco de datos meteorologicos para aplicaciones GNSS, XXVIII Reunión Científica de la Asociación Argentina de Geodestas y Geofísicos, Facultad de Ciencias Astronomicas y Geofisicas Universidad Nacional de La Plata, 2017.4.17-2017.4.21

二、论著之外的代表性研究成果和学术奖励（包括专利、会议特邀报告等其他成果和学术奖励，请勿在此处再列论文和专著；合计10项以内）

NSFC 2020

附件信息

序号	附件名称	备注	附件类型

NSFC 2020

项目名称： 极端台址望远镜圆顶的可靠性评估方法及设计创新

资助类型： 联合基金项目/培育项目/天文联合基金

申请代码： A0906.围绕拟建大型天文设备开展的预研究

国家自然科学基金项目申请人和参与者科研诚信承诺书

本人**在此郑重承诺**：严格遵守中共中央办公厅、国务院办公厅《关于进一步加强科研诚信建设的若干意见》规定，所申报材料和相关内容真实有效，不存在违背科研诚信要求的行为；在国家自然科学基金项目申请、评审和执行全过程中，恪守职业规范和科学道德，遵守评审规则和工作纪律，杜绝以下行为：

（一）抄袭、剽窃他人科研成果或者伪造、篡改研究数据、研究结论；

（二）购买、代写、代投论文，虚构同行评议专家及评议意见；

（三）违反论文署名规范，擅自标注或虚假标注获得科技计划等资助；

（四）购买、代写申请书；弄虚作假，骗取科技计划项目、科研经费以及奖励、荣誉等；

（五）在项目申请书中以高指标通过评审，在项目计划书中故意篡改降低相应指标；

（六）以任何形式探听尚未公布的评审专家名单及其他评审过程中的保密信息；

（七）本人或委托他人通过各种方式及各种途径联系有关专家进行请托、游说，违规到评审会议驻地游说评审专家和工作人员、询问评审或尚未正式向社会公布的信息等干扰评审或可能影响评审公正性的活动；

（八）向评审工作人员、评审专家等提供任何形式的礼品、礼金、有价证券、支付凭证、商业预付卡、电子红包，或提供宴请、旅游、娱乐健身等任何可能影响评审公正性的活动；

（九）其他违反财经纪律和相关管理规定的行为。

如违背上述承诺，本人愿接受国家自然科学基金委员会和相关部门做出的各项处理决定，包括但不限于撤销科学基金资助项目，追回项目资助经费，向社会通报违规情况，取消一定期限国家自然科学基金项目申请资格，记入科研诚信严重失信行为数据库以及接受相应的党纪政纪处理等。

申请人签字：

编号	参与者姓名 / 工作单位名称（应与加盖公章一致）/ 证件号码	签字
1	**赵保庆** / 中国科学院国家天文台 / 3**********9	
2	**马晓耘** / 中国科学院国家天文台 / 1**********6	
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		

项目名称： 极端台址望远镜圆顶的可靠性评估方法及设计创新
资助类型： 联合基金项目/培育项目/天文联合基金
申请代码： A0906.围绕拟建大型天文设备开展的预研究

国家自然科学基金项目申请单位科研诚信承诺书

本单位依据国家自然科学基金项目指南的要求，严格履行法人负责制，**在此郑重承诺：**本单位已就所申请材料内容的真实性和完整性进行审核，不存在违背中共中央办公厅、国务院办公厅《关于进一步加强科研诚信建设的若干意见》规定和其他科研诚信要求的行为，申请材料符合《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规，在项目申请和评审活动全过程中，遵守有关评审规则和工作纪律，杜绝以下行为：

（一）采取贿赂或变相贿赂、造假、剽窃、故意重复申报等不正当手段获取国家自然科学基金项目申请资格；

（二）以任何形式探听未公开的项目评审信息、评审专家信息及其他评审过程中的保密信息，干扰评审专家的评审工作；

（三）组织或协助项目团队向评审工作人员、评审专家等提供任何形式的礼品、礼金、有价证券、支付凭证、商业预付卡、电子红包等；宴请评审组织者、评审专家，或向评审组织者、评审专家提供旅游、娱乐健身等任何可能影响科学基金评审公正性的活动；

（四）包庇、纵容项目团队虚假申报项目，甚至骗取国家自然科学基金项目；

（五）包庇、纵容项目团队，甚至帮助项目团队采取“打招呼”等方式，影响科学基金项目评审的公正性；

（六）在申请书中以高指标通过评审，在计划书中故意篡改降低相应指标；

（七）其他违反财经纪律和相关管理规定的行为。

如违背上述承诺，本单位愿接受国家自然科学基金委员会和相关部门做出的各项处理决定，包括但不限于停拨或核减经费，追回项目经费，取消一定期限国家自然科学基金项目申请资格，记入科研诚信严重失信行为数据库以及主要责任人接受相应党纪政纪处理等。

依托单位公章:
日期： 年 月 日

合作研究单位公章:
日期： 年 月 日

合作研究单位公章:
日期： 年 月 日