

子午工程矩阵式管理模式探析

张晓曦¹, 王赤¹, 曾钢², 刘丽³

1. 中国科学院国家空间科学中心, 北京 100190

2. 中国科学院条件保障与财务局, 北京 100864

3. 航天建筑设计研究院有限公司, 北京 100071

摘要 东半球空间环境地基综合监测子午链项目(简称“子午工程”)是中国空间天气领域首个国家重大科技基础设施建设项目。子午工程具有多部门共建共管、地域跨度广、监测手段多、设备种类多等特点,由此带来工程建设组织管理方面的一系列挑战。在充分借鉴和融合科研管理与工程管理思想和方法的基础上,探索性地形成一套符合子午工程特点的三维一体“矩阵式”管理模式,有效地应对工程建设管理所面临的各种挑战。

关键词 子午工程;大科学装置项目;矩阵式管理

大科学装置项目建设中,须通过核心技术突破和资源集成,在明确的科学目标和工程目标牵引下,将科学技术研究、验证、试制等活动贯穿于工程建设的全过程^[1]。与一般工程项目比较,大科学装置项目投入规模大,建设时间长,涉及范围、领域、系统多,具有鲜明的工程和科研双重属性,不仅要承担大量科研性尖端科学试验,而且对工程项目管理的要求也越来越高,其组织管理实施极具挑战性^[2-3]。大科学工程因属性特有差异,所用管理模式也不同,有以“人类基因组计划”为代表的集散联合项目管理模式,以“政府为主导、企业为主体”的官产学研联合研究模式,以“两弹一星”研创为代表的“两总系统”管理模式,以及“两总系统”下的柔性项目管理模式^[4]。国内外重大科技基础设施建设的成功经验表明,大科学装置项目的工程管理难度普

遍高于其工程技术难度,在项目实施过程中,大科学装置项目的工程管理直接关乎项目成败^[5-7]。

子午工程是中国空间天气领域内首个国家重大科技基础设施建设项目^[8]。子午工程于2008年1月5日正式开工建设,工程总投资1.672亿元,建设工期3年,整体科学寿命预计超过11年,已于2012年10月23日通过国家验收。子午工程具有涉及专业技术领域广、参建单位众多、空间覆盖范围大、沟通协调复杂等特点,其核心特征属于工程项目,但在建设过程中又伴随着科学研究的性质,属于典型的、复杂的大科学装置项目。

基于子午工程建设项目管理实践,通过对从事子午工程组织管理与研究的专家进行访谈,并借鉴美国、欧洲大科学工程项目先进管理思想和成功经验,探讨了子午工程建设项目的组织管理模式。

收稿日期:2019-05-22;修回日期:2019-08-22

作者简介:张晓曦,高级工程师,研究方向为工程组织与管理,电子信箱: xiaoxi@nssc.ac.cn

引用格式:张晓曦,王赤,曾钢,等. 子午工程矩阵式管理模式探析[J]. 科技导报, 2020, 38(7): 12-19; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2020.

07.002

1 子午工程建设特点及管理挑战

作为中国空间天气和空间环境领域的首个国家重大科技基础设施项目,子午工程是一个多参数的综合观测体系,多参数耦合、综合地解决科学问题是子午的科学目标之一。除具有大科学装置通用特性外,还具有其他一些“子午特点”^[9],主要表现在以下4个方面。

1) 管建部门多。子午工程由中国科学院、教育部、信息产业部、中国地震局、国家海洋局、中国气象局等7部门下属的12家单位联合共建。子午工程以中国科学院国家空间科学中心为项目法人单位,牵头开展项目管理工作,共建的12家单位各自隶属于不同层级的部门,并分属于不同的行政体系,各自又拥有不同方式和程度的内部管理体系及工程经验,工程建设过程中的管理组织、制度、机制、流程、方法和标准等均存在不同程度的差异,参与工程建设人员的工程管理意识、能力和水平也参差不齐,整个项目的调度与管理错综复杂,导致项目管理工作难度较大,协调沟通等工作无法顺利开展。

2) 地域跨度广。子午工程建设一个以链为主、链网结合的空间环境地基监测系统,站点分布

沿东经120°子午线附近,北起漠河,经北京、武汉,南至海南并延伸到南极中山站,以及沿北纬30°纬度线附近,东起上海,经武汉、成都,西至拉萨,跨越了多种气候条件和多种地域环境。复杂气候条件和地域环境工程项目的实施,一方面工程经理部要开展远距离工作指导,尤其是应急处理协调工作,需要投入大量的人员时间成本;另一方面,由于各地域均需进行多次重复性、周期性检查、验收工作,且实施现场地理和气候复杂,将会耗费更多的人力物力资源,工程整体管理效率亟待提高,工程整体的管理成本大幅增长。

3) 监测手段多。子午工程监测信息包括地面电磁场、无线电与光学遥感、火箭实地采集等各种信息,监测对象包括中高层大气、电离层、磁层、行星际等不同空间环境圈层,监测高度范围覆盖距地面20~1000 km,以及十几个地球半径以外的区域,监测参量包括地磁场、地电场、中性大气和等离子体的密度、温度和成分等(图1)。应用在本项目上的很多技术在全国属于首创,需要在工程建设过程中同步进行技术创新和研究攻关。如此复杂的一个国家重大科技基础设施项目中,如何汇集不同监测手段的各种监测信息和参量、并组织对不同空间环境圈层的科研是一大难题。



图1 子午工程监测手段

4) 设备种类多。子午工程设备由分布在北京、海南、漠河、南极中山站等15个台站、38个站点的87台(套)监测设备组成,设备分成23大门类,大到外罩直径近50 m的非相干散射雷达,小至体积超过一个普通的家用路由器。大广角、不同类的设备布局,不仅带来了设备验收标准制定难度大,管理接口、数据接口、技术接口多而复杂的问题,更为重要的是,需要考虑如何保证监测台上的地磁设

备、地电设备、光学设备、无线电波设备等多种监测设备,能够像长城上的瞭望台一般相互配合、互为依托,实现对不同维度进行链条式的观测效果,是体现子午工程管理难度的地方(图2)。

子午工程的特点使得子午工程建设呈现松耦合性,具体表现为工程各系统、各分系统、各设备不仅可独立建设、独立运行、独立提供基础数据,能够满足系统自身的科学目标实现,而且各系统之间又

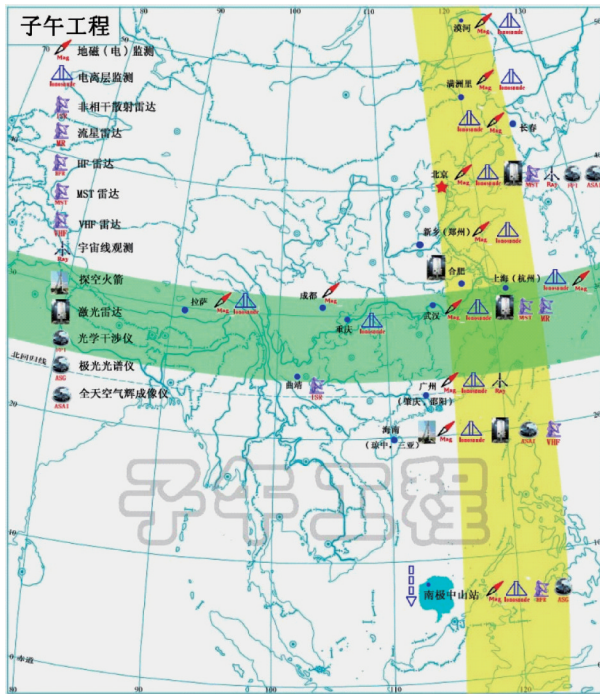


图2 子午工程台站布局

需要紧密相联,共同实现工程建设总目标。各参建单位的建设成果既可以独立支撑其各自领域的科学研究工作,又需要互为依托,交叉共享,共同完成空间科学综合领域科研总体工作。这就要求子午工程建设项目经理部站在工程整体层面开展综合性、总体性和全局性的项目管理工作,实现工程各专项管理的协调与统一,这给工程建设管理工作带来挑战^[10]。

2 三维一体的矩阵式项目管理模式

实现项目的整体管理,使得呈现松耦合状态的子项目群发挥出整体建设效应,是子午工程建设管理工作的重要目标。传统大型科研项目主要采取“直线职能制”的管理模式,强调专业分工和等级分工,形成工程流程等级指挥链,上级领导下级,各级严格按照程序执行任务,是金字塔形的管理体系。这种管理模式基本做到了职权明晰、责任分明、秩序井然,能够取得很高的工作效率。但同时,传统大型科研项目缺少以科研流程和科研质量、科研任务与科研人员相结合的精细化管理体系,“直

线职能制”管理模式层层繁琐冗长的综合指挥链弱化了项目人员对“流程”与“质量”两要素的协调,不同分系统之间分兵作战又削弱了资源共享,容易忽视项目质量、目标,无法很好按时间节点进行任务、指标分解,落实研究人员目标责任^[11]。

子午工程建设根据国家发改委和中国科学院的要求,由参建子午工程的7部委联合成立子午工程建设领导小组和经理部,负责子午工程的建设。工程经理部立足于子午工程特点和实际情况,在大科学装置项目管理的理论基础和实践取向指导下,充分借鉴国内外先进的项目管理方法和经验^[12-13],针对不同类型的设备和系统进行细化,在国内大科学装置项目“两总系统”柔性项目制理论上,吸取“直线职能制”的管理模式中全过程价值链管理经验,创新性地具有科学研究特征的航天工程管理模式与国际上较为成熟的工程管理模式相结合,最终开创性地提出符合子午工程特点的精细化管理模式:三维一体的“矩阵式”管理模式(图3)。三维一体“矩阵式”管理模式的“三维”即组织维(7大部委 12家共建单位)、过程维(启动阶段、规划设计阶段、实施阶段、测试阶段、试运行阶段、验收阶段)和要素维(设备级、分系统级、系统级),通过3个维度的横向联系和纵向联系的管理方式,平衡管理过程中分权化与集权化问题,使各个管理单元、业务单元之间相互协调和相互监督,更加高效地实现工程目标。

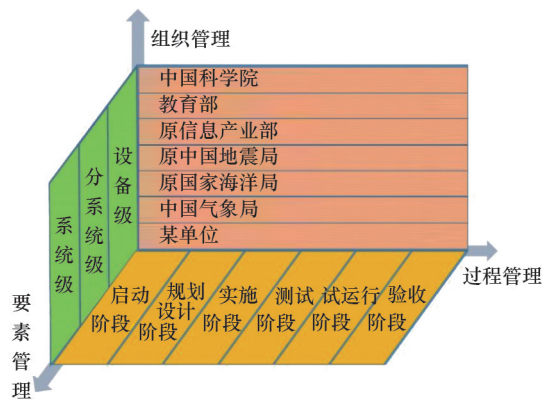


图3 子午工程三维一体“矩阵式”管理模式

矩阵式管理模式的优点是责任明确,分工清楚,调控有力,层次少,决策快。矩阵式管理模式的难点是资源配置的协调工作量大,需要协调的内容点多面广,对各共建单位项目负责人的协调平衡能力要求较高,如果某个单位或者个别项目负责人的协调平衡能力较弱,就有可能严重影响到所有工程建设计划的正常执行。子午工程经理部站在工程整体层面开展综合性、总体性和全局性的项目管理工作,实现工程各专项管理的协调与统一,进而实现项目的整体管理。

2.1 组织管理

为有效应对管建部门多、技术人员多且专业不同(设备种类多、观测手段多)、运维人员多(地域跨度广,每个台站都有运维人员)等方面的挑战,子午工程采用“项目管理依单位、技术管理依系统”子午

工程矩阵式组织管理模式(图4)。子午工程矩阵式组织管理分为纵向管理和横向管理,分别从行政总指挥和技术总指挥对项目进行统筹管理,一方面在各单位设立子午工程管理小组,从管理线调度和统筹共建单位,由行政总指挥负责;另一方面,对空间环境监测系统、数据与通信系统、研究与预报系统三大系统,以及各分系统,乃至每一台仪器设备从技术线进行协调和把关,由技术总指挥负责。

在系统、设备和各单位交点处,在技术总指挥、行政总指挥指导下,由单位管理小组、分系统总师、设备工艺师进行管理、技术综合管控,实现每个交叉点处的建设内容可高效独立建设、独立运行、独立提供数据,又可保证与其他设备联合观测,共同实现工程总目标,极大降低因管建单位多、地域跨度广所带来管理、运维成本的提升。

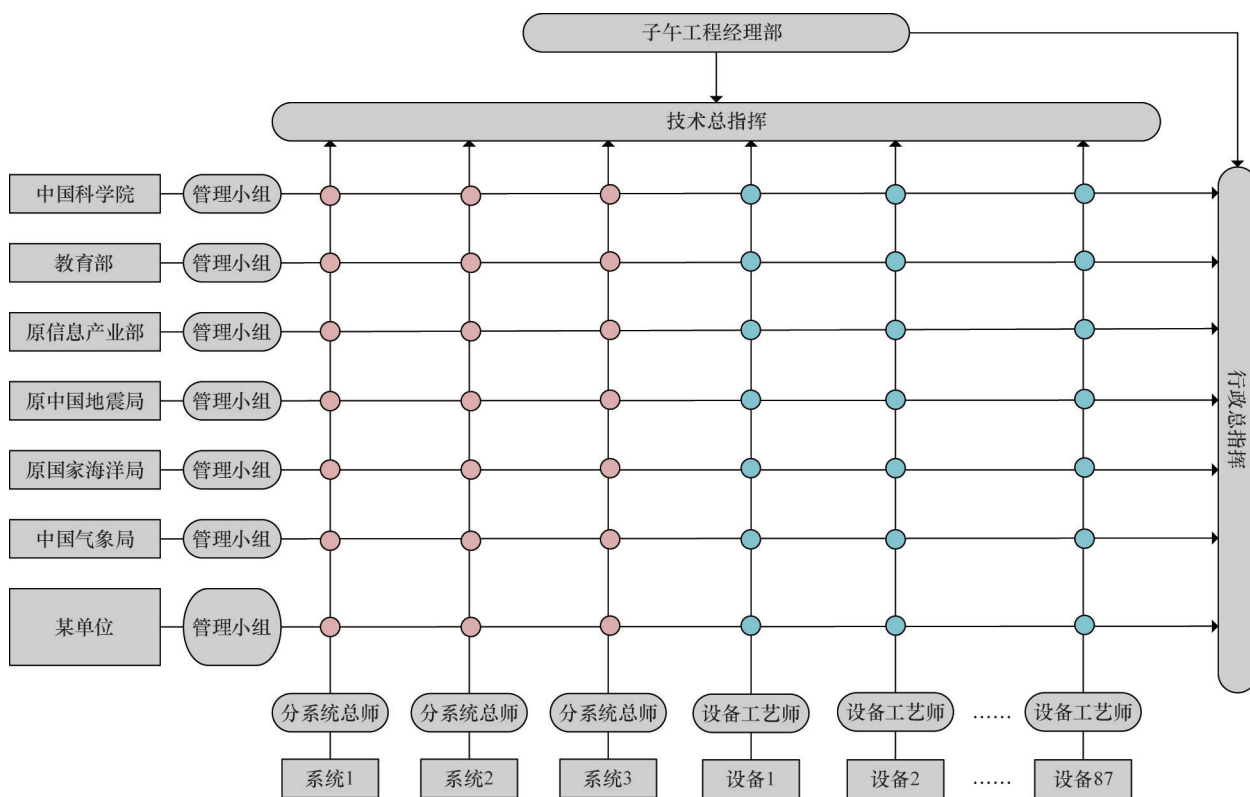


图4 子午工程“矩阵式”组织管理模式

2.2 过程管理

要建立纵横结合的矩阵式管理架构,就必须在管理体制和机制上进行调整,实现管理流程再造和

转型升级。从理念上转变传统的管理思路,在“两总”体制的领导下对管理的组织机构进行调整,对管理职能和权限进行分工、界定^[14](图5)。

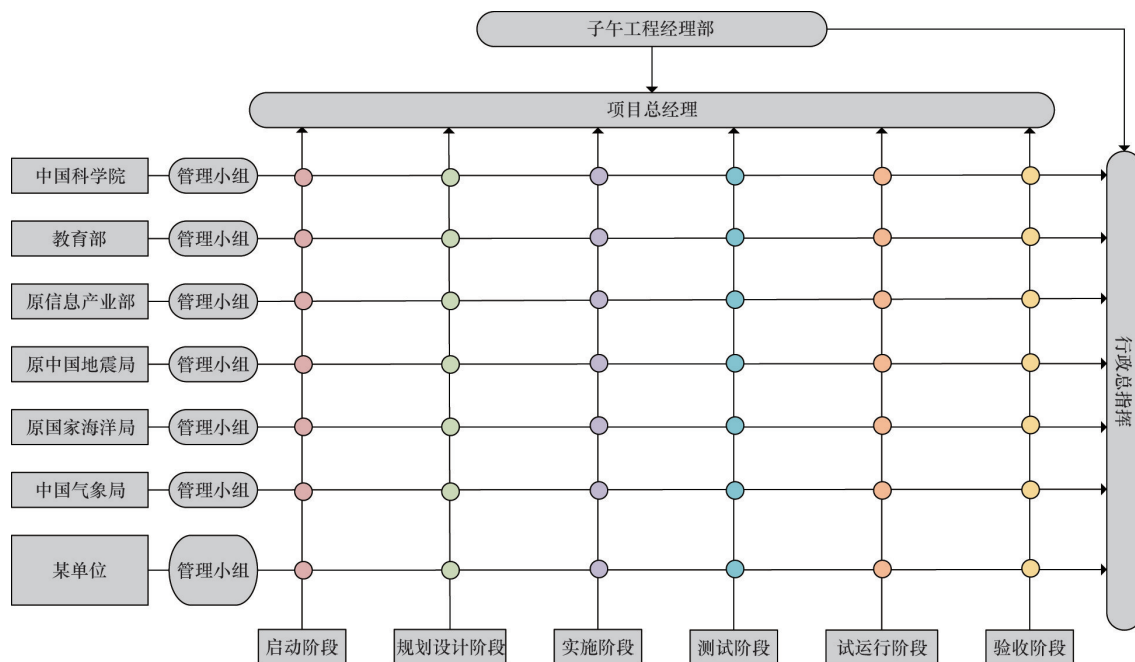


图5 子午工程“矩阵式”过程管理

为有效应对管建部门多、技术人员多等方面的挑战,子午工程经理部在项目启动后制定并发布项目章程,确定各共建单位在工程建设过程中的角色,明确职责、职能、权限与工作流程,识别并确定项目范围。工程经理部组织专家对技术方案进行预研,对工程的关键技术、关键材料和关键工艺进行研究攻关,同时制定出一系列技术规范标准,编制《子午工程实施及管理计划》,确立了一套完整的规范化管理制度,保证了子午工程能够成为一个大科学大工程,而非由各共建单位独立负责的小科学小工程。

2.3 要素管理

科研试验是子午工程建设过程中的重要工作,作为国家重大基础设施,子午工程承担着大量的大型试验验证任务。为有效应对管建部门多、设备种类多、观测手段多等方面的挑战,子午工程经理部通过整合系统资源,将监测设备等资源统一集中管理、维护和使用,在工程建设各个阶段,对资源和进度统筹制定或安排科研试验,实现资源的统筹和有效调度,通过系统资源的整合优化、统一建设和统筹安排,实现子午工程全要素管理,不但可以有效化解各阶段建设资源的冲突与矛盾,而且在管理效率、经济效益、建设质量等方面都得到了提高(图6)。

另一方面,为了确保技术标准执行到位、项目质量合格,工程经理部对各系统、分系统建设及设备的阶段性管理做出了极高的要求。如要求各系统都必须分级、分阶段进行专项评审或可行性评审。以软件开发部分为例,工程经理部制订了《子午工程软件管理办法》,规定各系统软件研制各阶段任务的完成,均应以相应阶段的文档编制工作完成、通过相应评审并提交进入配置管理库为标志,并规定了评审流程、参与人员、相关评价标准以及产生的评审成果等。这种高要求的评审机制,既提高了工程建设各方的参与度,也降低了工程建设质量风险。

3 子午工程管理的借鉴意义

当前中国大科学装置项目的发展趋势已逐步向大规模地域分布与多部门协作研究方向发展,多学科、跨领域的专业性要求越来越高,多级交叉的管理层次与模式越来越复杂,这些都将成为重大科技基础设施未来面临的管理难题。子午工程顺利的通过竣工验收,也标志着国内对大科学装置项目的管理体系已趋向成熟,子午工程三维一体“矩阵式”管理模式,通过构建全要素管理体系、强矩阵式

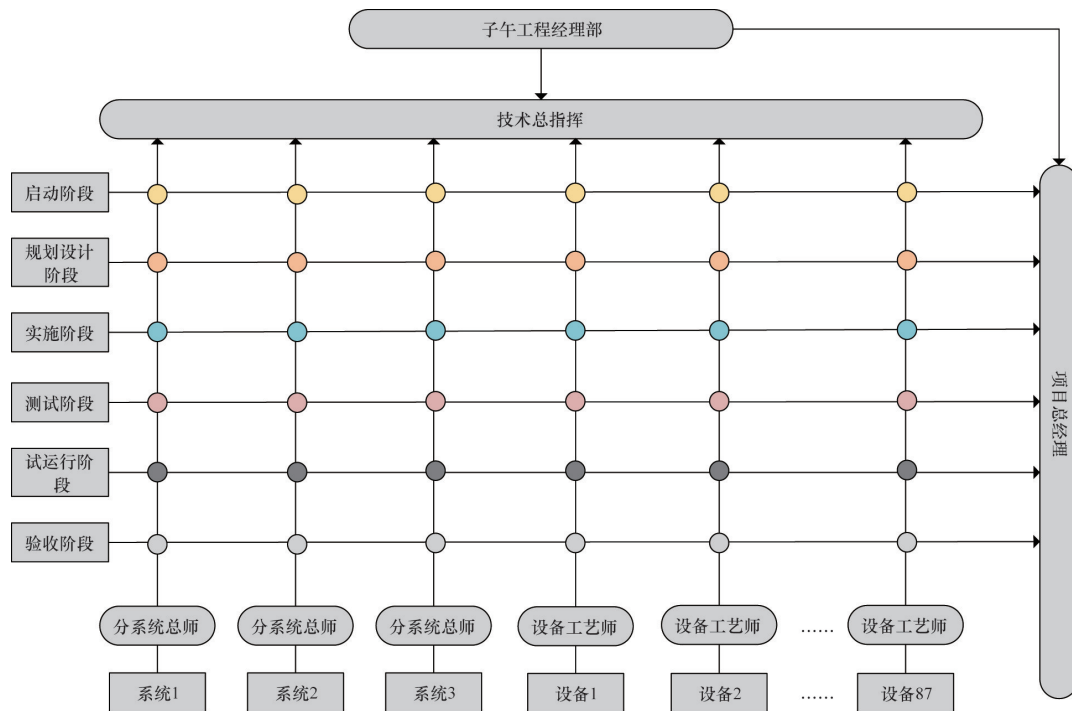


图6 子午工程“矩阵式”要素管理

管理架构、验收导向全过程管控以及弹性化的管理控制基线,有效地应对了工程建设过程中面临的各类管理挑战,为后续国内大科学装置项目的实施提供了借鉴。

3.1 上下兼容的全要素管理体系

基于子午工程科学性和工程性并存的建设特点,三维一体“矩阵式”管理模式的全要素管理既能满足国家层面上对工程性能、财务、资产、建安、档案等方面的规定,又符合科学研究和设备研制的基本规律。同时,子午工程涉及12家建设主体、多种监测手段、众多设备类型,各系统、分系统既紧密联系又相对独立,因此采用三维一体“矩阵式”管理模式中柔性管理理念能够充分尊重参建单位各自系统内的管理体系,避免在管理制度和流程上出现矛盾冲突。通过建立一系列涵盖工程各管理要素的全生命周期管理制度、流程和标准,形成了适应子午工程管理要求的完整的管理体系,并能够在工程所有参建单位中进行全面宣贯,为子午工程建设管理工作提供了保障。

3.2 矩阵式的管理组织架构

由于子午工程建设主体的多样性与组织管理

机构的开放性和松散性特点,传统工程的项目经理制或单纯科研项目的首席科学家体系都无法有效推进类似工程的建设执行。三维一体“矩阵式”管理模式将各建设主体与各系统、分系统、设备建设交叉融合,通过“项目管理依单位、技术管理依系统”方式,构建子午工程矩阵式的管理组织架构。由项目建设单位及参建单位共同组建建设工程经理部和工程办公室。工程办公室下设总体技术组和调度组,同时设有招投标设备组、经费组、档案组、基建组4个专业组,共同负责子午工程各项管理工作。通过矩阵式管理组织架构,实现对各建设主体、各管理要素、各管理过程的精细化管理。提高了沟通效率、实现了资源共享,达到了工程高效管控与建设主体机构分散性之间的平衡,从而确保了建设过程中工程组织管理和沟通协调的高效、有序和可控。

3.3 以验收为导向的全过程管控

子午工程经理部充分利用三维一体“矩阵式”管理模式中技术指挥线在跨学科方面的专业优势,在工程设计阶段,以工艺系统为抓手,明确系统、分系统、设备的各项性能指标及测试验收方法、设备

配套要求,编制《工程配套表》《技术指标与测试验收方法》,用于指导或约束各类设备的采购、研制、部署、试运行等工作。在工程建设之初,子午工程经理部充分利用行政指挥线组织所有参建单位以及财务、档案和审计等部门共同研究制定了《子午工程验收管理办法》,明确各交付物的技术指标、经费使用、建设管理、档案管理等要求,以及相关验收标准、流程和方法,以工程验收为导向,指导各参建单位全过程管控和各系统设备的全生命周期管理,确保工程建设过程合规性和验收组织管理有序性。

3.4 弹性化的管理控制基线

为保证子午工程科学目标与工程目标的统一,增强工程总体建设任务与各子项建设任务之间的协同,实现工程全过程和全方位的管控,子午工程基于三维一体“矩阵式”管理模式中的质量要求、进度计划、费用控制3方面,分别确立了技术基线、进度基线、费用基线,针对非标监测设备和标准监测设备、大型监测设备和非大型监测设备、国产设备和进口设备,分门别类的建立起弹性化的建设管理控制基线,并引入阈值控制机制,既保证了工程建设过程中质量、进度和投资管控的严格性和纠偏及时性,同时又兼顾了由于设备采购、设备研制和设备部署安装、设备试运行等所带来的不确定性。

4 结论

子午工程创造性建立的适应“子午特点”的三维一体矩阵式项目管理模式,是中国大科学装置项目领域工程管理理论与科研管理理论的一次切实融合和积极探索,打破过往科研管理的成果主导方式,以工程管理的计划性和执行过程标准化为主线,又兼顾了因科研工程严谨性及不确定性带来的弹性化需求。子午工程三维一体的矩阵式项目管理模式,从组织维、过程维、要素维3个维度开展项目精细化管理,有效应对管建部门多、地域跨度广、监测手段多、设备种类多等“子午特点”所带来的管理挑战。

1) 子午工程建立一系列涵盖工程各管理要素的全生命周期管理制度、流程和标准,形成了适应

子午工程管理要求的完整的管理体系,既满足国家层面上对工程要求,同时满足12家建设主体以及各分系统总师、各设备工艺师既紧密联系又相对独立的建设需求。

2) 子午工程构建的切合“子午特点”的“项目管理依单位、技术管理依系统”矩阵式组织管理架构,提高了各管建单位、各分系统总师、各设备工艺师的沟通效率、实现了资源共享,达到了工程高效管控与建设主体机构分散性之间的平衡。

3) 子午工程采用以验收为导向的全过程管控,针对管建单位多、设备多、台站多等特点,以整个工程、各分系统、各设备的验收指标为抓手,管理各建设过程,保证各级建设目标的实现。

4) 子午工程弹性化管理控制基线针对不同类别设备、分系统分别建立、管理控制基线,并引入阈值控制机制,保证工程建设过程中的严格性、纠偏及时性,同时兼顾了建设过程中出现的不确定性。

子午工程从项目立项开始即采用三维一体的矩阵式项目管理模式,有效地应对了建设过程中出现管理困难,在建设期内圆满完成工程建设任务,并于2012年10月23日通过国家验收。专家组认为:“子午工程高质量的完成了全部建设内容,是多部门共建网络式大科学工程的成功典范。”^[15]子午工程获得地球物理学会科技进步奖一等奖、国家自然科学基金二等奖等国家及省部级奖9项;已发表科学论文200余篇、专著3部。

目前,子午工程二期已获国家立项批复,它将在子午工程的基础上,建设覆盖全国“两纵两横”和4个重点区域的国际先进、覆盖区域最广的综合性空间环境地基监测网。与子午工程一期相比,监测范围更广、地域跨度更大、监测物理参数更多、综合性更强,建设单位更多、参建队伍更多,如何加强建设单位联合体的密切程度、建设单位的积极性和相关科研人员的参与意识,如何确保工程按工期、按预算、高质量完成建设任务,是子午工程二期管理者面临的新挑战和新问题,需要工程管理者继续深入思考和认真研究,进一步创新子午工程管理模式,建立更完善的工程建设管理体系、制度、机制和流程,为工程建设、竣工验收保驾护航。

子午工程的顺利验收和科研成果的广泛应用,充分验证了创新的大科学装置项目管理体系在实践中的重要作用并可为后续国内大科学装置项目的实施提供了借鉴和参考意义。国家重大科技基础设施建设“十三五”规划中,将大力推动国家重大科技基础设施布局建设和发展,打造具有世界先进水平的重大科技基础设施群。子午工程的成功经验也给重大科技基础设施审批部门吃了一颗“定心丸”,多单位合作共建、跨地域建设运行、多学科交叉应用、多系统差异管理的大科学装置项目,一定能够通过复制并创新子午工程建设组织管理模式,圆满完成大科学工程建设任务。

参考文献(References)

- [1] 罗小安, 许健, 佟仁城. 大科学工程的风险管理研究[J]. 2007.
- [2] 张光军, 吕佳茵, 刘人境. 我国大科学工程项目组织管理问题与对策[J]. 科技进步与对策, 2018, 35(21): 1-6.
- [3] 沈敏圣, 张林, 王成程, 等. 基于神光-III 项目的大科学工程全生命周期管理实践[J]. 项目管理技术, 2017, 15(1): 72-77.
- [4] 胡国基. 试论大型科研工程建设的科学管理[J]. 科学研
- 究, 1985, 4(3): 94-99.
- [5] 陈娟, 周华杰, 樊潇潇, 等. 美国能源部大科学装置建设管理与启示[J]. 前沿科学, 2016(2): 63-70.
- [6] 董佳敏, 刘人境, 张光军. 大科学工程组织管理模式对比分析及对我国的启示[J]. 科技管理研究, 2016, 36(16): 183-188.
- [7] 张志会, 马连轶. “墨子号”量子科学实验卫星大科学工程的历史与管理模式探究[J]. 中国科技论坛, 2018(11): 1-8.
- [8] 范全林. 基于子午工程的国际空间天气子午圈计划[J]. 中国科学基金, 2008, 22(2): 65-69.
- [9] 王赤, 黄朝晖, 冯学尚. 子午工程: 空间天气领域 e-Science 应用的典范[J]. 科研信息化技术与应用, 2009, 2(2): 6-13.
- [10] 管东升. 科研工程项目管理探索[J]. 项目管理技术, 2015, 13(8): 79-82.
- [11] 朱新艳. 浅析直线职能制结构的功能缺陷及改良[J]. 湖北财经高等专科学校学报, 2005, 17(6): 15-18.
- [12] 弗雷蒙·E·卡斯特, 詹姆士·E·罗森. 科学、技术与管理[M]. 北京: 国防工业出版社, 1979.
- [13] 杜澄, 尚智丛. 国家大科学工程研究[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2011.
- [14] 王绍山. 矩阵式管理模式在型号项目管理中的应用[J]. 航天工业管理, 2014(3): 11-14.
- [15] 高艳蕊. “子午工程”运行管理综合评价研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2017.

Exploration of matrix management of Meridian Project

ZHANG Xiaoxi¹, WANG Chi¹, ZENG Gang², LIU Li³

1. National Space Science Center, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China
2. Bureau of Facility Support and Budget, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100864, China
3. China Aerospace Academy of Architectural Design & Research Co., Ltd., Beijing 100071, China

Abstract The Eastern Hemisphere Space Environment Integrated Monitoring Meridian Chain Project (the Meridian Project) is the first national major science and technology infrastructure project in the space weather field. The Meridian Project has the special characteristics of multi-department co-construction and co-management, wide geographical span, various monitoring methods, and a huge amount of equipment category, which give rise to a series of challenges in terms of organization and management of the engineering construction. On the basis of fully drawing on and integrating the ideas and methods in scientific research management and engineering management, we have exploratively structured a three-dimensional integrated "matrix" management mode to help deal effectively with various challenges of the project.

Keywords Meridian Project; large-scale scientific facility; matrix management ●



(责任编辑 陈广仁)