

# 重大基础设施品质工程实现机制研究 ——以黄茅海跨海通道项目为例\*

何俊贤<sup>1</sup> 朱超<sup>2</sup> 欧阳鹭霞<sup>1,3</sup> 郭英<sup>1</sup> 李永奎<sup>1</sup>

(1. 同济大学经济与管理学院, 上海 200092;

2. 广东省公路建设有限公司, 广州 510623;

3. 井冈山大学建筑工程学院, 江西 吉安 343009)

**摘要:** 品质工程是推动工程行业高质量发展的重要举措。从理论上分析实现重大基础设施品质工程所面临的挑战, 并应用复杂系统理论和协同管理理论, 构建基于管理理念、管理目标、组织体系及支撑保障体系的品质工程实现机制。通过黄茅海跨海通道项目的品质工程实践案例, 具体阐述品质工程在重大基础设施建设中的应用措施, 旨在为推动我国重大项目品质工程建设提供理论支撑和实践参考。

**关键词:** 重大基础设施; 品质工程; 实现机制; 黄茅海跨海通道

## 0 引言

在当前社会经济高速发展的背景下, 重大基础设施建设项目, 尤其是重大交通基础设施建设项目, 在国家发展过程中占据着举足轻重的地位<sup>[1]</sup>。这些项目不仅承担着推动区域经济协调发展的重任, 还肩负着提高社会效益的核心使命<sup>[2]</sup>。自2015年“品质工程”首次被提出以来<sup>[3]</sup>, 它已成为公路交通领域的研究热点和关键议题。《加快建设交通强国五年行动计划(2023—2027年)》中明确指出, 将在交通领域建设一批高质量的工程示范项目<sup>[4]</sup>。随着工程建设的关注点逐渐从单一的技术质量扩展到项目的社会、经济及环境效益, 品质工程的理念已成为推动行业转型升级的重要驱动力。交通运输部对品质工程的定义是“践行现代工程管理发展的新要求, 追求工程内在质量和外在品位的有机统一, 以优质耐久、安全舒适、经济环保、社会认可为建设目标的公路水运工程建设成果”<sup>[5]</sup>。

相较于传统的质量管理<sup>[6]</sup>, 品质工程建设涵盖设计、施工、安全、质量、成本等多个维度,

构成了一个复杂的系统<sup>[7]</sup>。尽管传统的质量控制、全面质量管理、精益建造等理论为品质工程建设奠定了一定的理论基础, 但在实践中, 这些理论往往难以直接有效地指导重大基础设施的品质工程实践。实践为孕育管理理论发展的源泉, 成功的实践案例为管理理论研究提供了丰富、深刻且直接的实证支持<sup>[8]</sup>。黄茅海跨海通道项目作为我国交通运输部首批公布的“平安百年品质工程创建示范项目”之一, 在品质工程创建方面取得了显著成效。本文旨在分析品质工程实现过程中所面临的挑战, 并基于复杂系统理论和协同理论, 构建重大基础设施品质工程实现机制。同时, 结合黄茅海通道项目的具体实践, 详细阐述品质工程实现机制的实施措施, 以期进一步丰富重大基础设施品质工程的管理理论, 并为同类工程的品质提升提供具有参考价值的实践经验。

## 1 品质工程实现的挑战性

重大基础设施作为一类投资规模大、社会影

\* 基金项目: 交通运输行业重点科技项目(2020-MSI-004); 教育部人文社会科学研究规划基金项目(23YJA790025); 江西省高校人文社会科学研究项目(GL21237)。

响广的工程项目，涉及社会、经济、技术、自然环境等多重因素<sup>[9]</sup>，具有高度的复杂性和动态性<sup>[10]</sup>。而重大交通基础设施往往跨越不同的自然地理环境、不同的经济社会文化发展水平区域，甚至跨越具有不同管理体制的区域，具有明显的跨区域特征<sup>[11]</sup>。而品质工程追求质量和品位的融合，不仅关注工程的功能性和可靠性，还强调人文建筑的美学价值<sup>[12]</sup>。因此，品质工程对重大基础设施提出了更高的要求和价值追求。在此背景下，实现重大基础设施品质工程主要面临以下几个方面的挑战。

### 1.1 目标模糊性

目前，重大基础设施品质工程并没有统一的标准，不同项目、不同管理者对品质工程的定义和建设目标存在不同理解。例如，港珠澳大桥以“建设世界级跨海通道、为用户提供优质服务、成为地标性建筑”为建设目标，而黄茅海跨海通道以“质量耐久、安全可靠、经济环保、社会认可，建世界一流跨海大桥、创平安百年品质工程”为建设目标，这种差异性反映了品质工程的目标模糊性，以及品质工程的多维度性和多元主体之间认知、能力及信息获取的差异性，缺乏统一且明确的规范框架与衡量尺度。

### 1.2 动态复杂性

品质工程的复杂性不仅限于技术层面，还涉及多个复杂系统的相互耦合与影响，包括技术复杂性，主观感受、环境因素、利益相关方的多样性及管理系统的复杂性。同时，重大基础设施项目自身也具有显著的复杂性和不确定性<sup>[13-14]</sup>。这些不同维度的复杂性相互作用、相互影响，进一步强化了系统的集成与互动。品质工程的高标准不仅体现在技术和管理的严格规范上，还体现在参与主体多样性和专业性的高要求上。其建设与管理过程不仅超越了传统工程实践的范畴，而且体现了对技术、管理、政策和环境等多重因素的高度整合。同时，品质工程易受外部因素的深远影响，如特殊的自然条件、社会经济发展状况及工程美学要求，进一步增加了其实施过程中的动

态性和复杂性，使得品质工程在实施过程中的不确定性和复杂程度显著增加。

### 1.3 集成创新性

品质工程的核心驱动力在于全面提升工程项目的品质。对于具有高度复杂性和众多不确定性的重大基础设施项目，传统经验与技术往往较少，缺乏可直接参考和借鉴的经验和方法，因此创新成为品质工程建设中必不可少的关键。创新不仅可以有效解决项目施工管理中的实际问题，还能通过跨组织、跨部门、跨行业的协同合作，推动新工艺、新材料、新设备的开发与应用，形成一系列的创新成果，助力构建品质示范工程。具体的集成技术创新往往需要跨组织、跨领域的协同合作，通过多种技术的深度融合，以提升重大基础设施在品质、效率和安全方面的综合表现。

## 2 品质工程实现的基本体系

在现代复杂的工程项目管理领域，传统的线性思维方式已不足以应对多变且动态的环境。品质工程建设是典型的复杂系统管理问题。复杂系统理论作为一种强调系统内部各部分之间复杂互动和自组织能力的理论，被用于解释复杂系统中的动态变化与非线性作用。该理论广泛应用于社会、生态及基础设施项目的系统性管理和动态管控中<sup>[15]</sup>。品质工程的建设具有高度复杂性和多因素耦合的特性，复杂系统管理理论为品质工程管理体系的构建提供了理论依据。此外，品质工程的实现不仅依赖于项目内部的系统管理，还高度重视项目组织内及组织间的协同合作与资源整合。而协同管理理论作为一种基于协同学的管理理论体系，其核心在于通过整合并优化各种资源，促进系统内外相关活动的协同运作，从而实现整体效益的最大化。因此，基于复杂系统理论与协同管理理论，本研究从管理理念、管理目标、组织体系和支撑保障体系4个关键方面构建了品质工程实现的基本管理体系图，如图1所示。

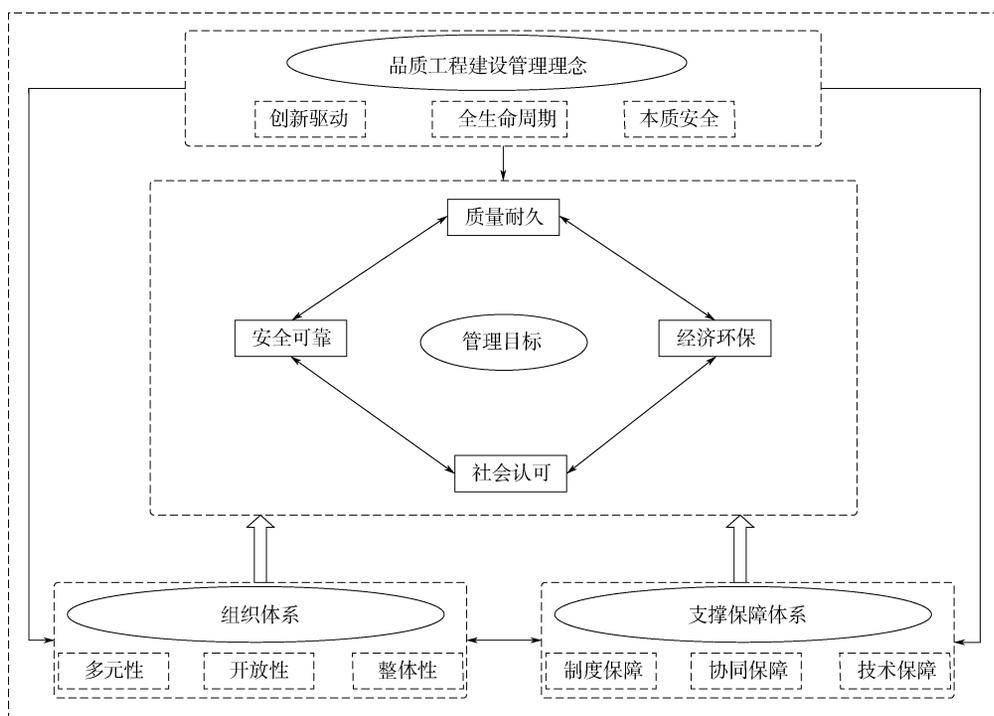


图1 品质工程实现的基本管理体系图

## 2.1 品质工程建设管理理念

与传统工程管理主要关注于成本、进度、质量不同，品质工程从项目初期就全面考虑了各阶段的系统规划，从总体方案的顶层设计开始，按照逻辑关联的有序性推进，避免各环节之间的脱节，确保工程从建设到运营的平稳过渡。品质工程不仅关注项目的综合功能与价值，还强调项目与外部环境的协同作用，不仅追求短期的工程交付，更关注其在全生命周期内的长期效益与可持续发展。因此，品质工程在管理模式上的创新性与复杂性，促使其在全生命周期内实现质量、技术与管理的多维优化，成为现代重大基础设施建设中的关键理念。

(1) 创新驱动理念。品质工程的关键在于以创新为核心驱动，结合现代数字化技术，如BIM、物联网、大数据分析和人工智能等技术的深度应用，大幅提升工程的质量、效率及管理精度。相较于传统的管理方式，创新驱动的理念确保了项目在全生命周期内以创新科技为手段，实现资源高效利用、施工工艺优化及项目整体效益的最

大化。

(2) 全生命周期管理理念。采用传统的分阶段建设思维进行工程建设的组织与管理，往往会缺乏系统性思维，导致各阶段之间的资源配置和风险控制出现脱节，影响工程的整体效率和长期效益。品质工程强调系统化管理，覆盖从项目规划、设计、施工到运营维护的全过程，通过各环节的有机衔接和协同，使项目的质量、成本和效益在全生命周期内保持一致性和连贯性。

(3) 本质安全理念。品质工程的安全管理核心在于全生命周期内的全方位安全保障，涵盖物的安全状态和人的安全。不同于传统管理仅关注施工阶段的风险控制，品质工程通过智能监控和数据反馈系统，不仅动态评估建设和运营阶段的风险，还实时保护施工与运营人员的安全，确保项目在复杂环境下的安全性和稳定性。

## 2.2 品质工程建设管理目标

交通运输部对品质工程的建设管理目标（质量耐久、安全可靠、经济环保、社会认可），为项目各个阶段提供了清晰的方向和指导，确保项目

各项工作能够协调推进并保持一致性。品质工程管理目标不同于一般工程项目管理,除了集成质量、技术、安全、经济、管理等要素,还必须应对复杂的政治、自然、社会环境要素和文化要素等,以推动全生命周期内的质量提升和价值创造<sup>[16-17]</sup>,呈现出“复杂整体性特征”。

(1) 质量耐久。品质工程的追求不限于满足设计规范,更要通过数字化技术的实时监控和智能化反馈,在全生命周期内动态调整和优化质量标准,确保项目质量达到国际一流水平,为工程项目的长期使用奠定坚实的基础。

(2) 安全可靠。传统的安全管理体系大多专注于施工阶段,而品质工程将安全性视为项目的生命线,通过物联网和智能监控技术,从设计到运营的各个阶段进行实时风险评估和控制,确保工程施工技术装备和工程实体结构严格符合安全标准,从而提升项目的整体安全性和长期稳定性。

(3) 经济环保。品质工程强调全生命周期内节能减排与经济效益的平衡,通过资源优化和生态保护等措施,实现项目的长期可持续发展。传统工程管理通常只在建设阶段考虑环境影响,品质工程则将环境保护贯穿于工程的设计、施工、运营与维护阶段,确保工程与自然环境和谐共生。

(4) 社会认可。品质工程不仅在技术层面追求卓越,还注重项目对社会的影响和其价值实现。在项目实施过程中更注重了解和满足公众需求,确保项目建设不仅在技术上获得成功,而且在社会层面取得广泛认可与支持。

### 2.3 品质工程管理组织体系

品质工程涉及多个主体和多维度的合作需求<sup>[18]</sup>,超出了传统部门独立运作的范畴,需要应对复杂项目中多方参与的挑战。因此,品质工程管理需要构建一个多元性、开放性和整体性的组织体系。

(1) 多元性体现在参与方的广泛性上,涵盖了业主、施工单位、设计单位、监理单位及政府监管部门等。

(2) 开放性通过自由的信息流动和资源共享

实现。业主方通常牵头成立领导小组,负责统筹管理、资源整合与战略执行。同时,通过制度和流程的安排,推动各主体之间的信息流通和互动,确保各阶段进度和任务的有效推进,形成有机的协同效应,实现品质工程的建设目标。

(3) 整体性则要求在项目管理中,将各个环节和参与方视为一个统一整体,确保从项目规划到运营的每个阶段可能协调一致,共同推动项目的成功实施。

### 2.4 品质工程支撑保障体系

品质工程的支撑保障体系强调制度、协同和技术的深度融合,以确保品质工程建设管理的全过程运行及管理目标的达成。尽管重大基础设施项目在管理体系方面取得了显著进展,但随着项目复杂性和规模的增加,仍需通过技术创新来优化管理模式。这包括提升工程在风险预测、动态调整和安全保障方面的能力,确保项目在安全性、可靠性和服务水平上持续提升,以满足现代基础设施建设日益复杂的要求。

(1) 制度保障。品质工程的制度设计不仅要明确界定各参与单位的责权利,还应促进各单位之间的协同合作。通过建立系统化的合同和管理制度,确保各方职责明确分工,同时推动信息共享和高效协作,避免因信息不对称而引发项目延误或管理难题。制度的灵活性允许根据项目需求进行实时调整,确保项目在品质、进度和效益上全面达标。

(2) 协同保障。品质工程涵盖桥梁工程、交通工程、房建工程等多个单位工程,每个单位工程又涉及多个专业。与传统工程中信息孤立的问题不同,品质工程通过将设计、施工、监理、运营等各个阶段有机整合,确保各阶段在时间、资源和技术上的无缝衔接。各参建单位之间的协调,尤其在资源调配、进度规划和技术方面的协同,是保障项目高效推进和确保建设品质的关键,有效减少了因信息孤立或沟通不畅导致的问题,确保了项目各环节高效运作和质量持续提升。

(3) 技术保障。在品质工程创建过程中,项

目品质提升更多取决技术革新、工艺优化及设备升级。例如，利用数字化信息技术搭建集成化的数字管理平台，实现项目全生命周期内各阶段各要素信息的共享与传递，为各参与单位知识共享、工程协同提供技术支撑，实现工程结构化数据关联、自动化采集和传输，从而显著提升项目管理的效率。

### 3 黄茅海跨海通道项目品质工程案例

#### 3.1 项目概况

黄茅海跨海通道是继港珠澳大桥、深中通道之后，粤港澳大湾区的又一重大跨海通道工程，列入了广东省“十三五”重大项目和我国交通运输部发布的第一批平安百年品质工程创建示范项目，对于完善广东省高速公路网规划，推进粤港澳大湾区基础设施互联互通具有重要意义。工程项目地处南海近洋环境，面临超强台风高发、海域通航复杂的外部环境特点，是在建世界最大跨公路三塔斜拉桥，建设要求极高。项目全过程应用 BIM 技术，实现建设全过程信息共享、协同管理。项目团队与多家科研院所和专业单位联合开展了7项关键课题研究，仅6个月时间就完成了全部主墩桩基的施工，并实现100%一类桩的质量目标。

#### 3.2 建设管理理念

黄茅海跨海通道以全生命周期管理理念为指导，不仅关注当前的具体问题，更着眼于对整个项目功能和未来运维的长远影响。在初步设计阶段，项目团队便引入了国内顶尖的施工组织咨询团队，以确保各专业之间的深入互动。黄茅海跨海通道建设围绕“五个一流”的总体思路展开，即一流的管理、设计、施工、技术和团队。通过一流的管理理念，提升项目管理效率，确保项目能够在高质量和高标准下按时推进；通过一流的设计理念，确保项目不仅具有卓越的结构强度，还融入美学设计，形成独特的建筑地标；一流的施工和技术则通过创新的施工方法和数字化管理平台实现，确保施工精度和技术突破；一流团队

则通过发扬工匠精神，凝聚工程师和建设者的共同努力，致力于将黄茅海跨海通道打造成为国家级的品质工程示范项目。

#### 3.3 建设管理目标

项目根据交通运输部品质工程创建要求，专门编制项目品质工程创建的总体方案，主要涉及工作目标、品质工程的主攻方向、创建思路、技术路径、推进计划和保障措施等。项目的总体建设目标为“质量耐久、安全可靠、经济环保、社会认可，建世界一流跨海大桥、创平安百年品质工程”，体现项目的多维价值，如使用价值、经济价值、生态价值和社会价值等。管理中心将品质工程建设目标进行分解（图2），并对各项管理目标均提出更高的要求，以激发团队的积极性和创造力。例如，在质量管理目标上，项目不仅追求满足标准规范，还通过标准化设计和施工创新，确保工程质量的长久性和建设过程中毫米级别的精度。为了激发团队的积极性和创新能力，项目团队明确以国家级奖项作为建设目标的评定标准，将这些目标分解为各个阶段的具体管理目标，以进一步提升团队的创造力和执行力。

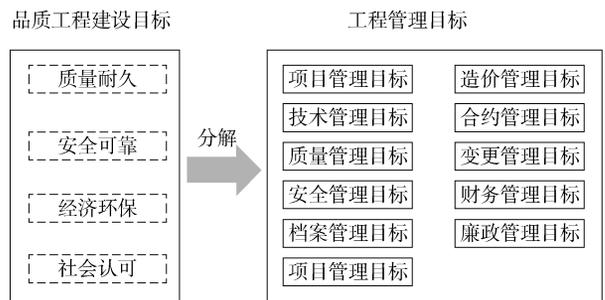


图2 品质工程建设目标分解图

#### 3.4 管理组织体系

管理中心专门成立创优领导组，组织、协调、指导项目创优工作；由领导小组成员牵头、相关项目职能部门负责人参与组建创优工作组，负责项目创优工作的具体落实；关键工作的各参建单位负责品质工程主攻方向的实施和建设，贯彻落实品质工程创建理念，共同完成项目品质工程建设目标，如设计单位遵循“以人为本、安全至上、

生态环保、资源节约、全生命周期成本”理念，系统考虑设计，以实现工程项目的多重价值目标；另外，引入由咨询单位、勘察监理单位、设计咨询单位、监理单位和试验监测单位组成的第三方督查，补充项目组织的智库力量，为项目关键技术、重点部位质量安全监控等提供专业技术服务。组织内各部门之间通过数字管理平台打破各自职能边界，共享信息。黄茅海跨海通道项目品质工程组织架构图如图3所示。

### 3.5 支撑保障体系

#### 3.5.1 制度保障

基于品质工程创建的总体方案，管理中心编

制了品质工程创建的总体方案、实施方案、管理办法等，为品质工程的建设管理提供明确依据。品质工程的建设制度框架图如图4所示。另外，管理中心特别设置“优质优价”奖金并编制其使用管理办法，以激励各建设单位进一步提升工程质量。重要标段的参建单位根据品质工程创建的总体方案编制品质工程创建实施方案，为品质工程建设提供具体的行动指南。参建单位推行规范化、标准化施工，如制定标准化工艺作业指导书清单，形成项目级工法标准，细化主要工艺工法操作细则等，一项项明确有力的制度为项目加速建设打下了坚实基础。

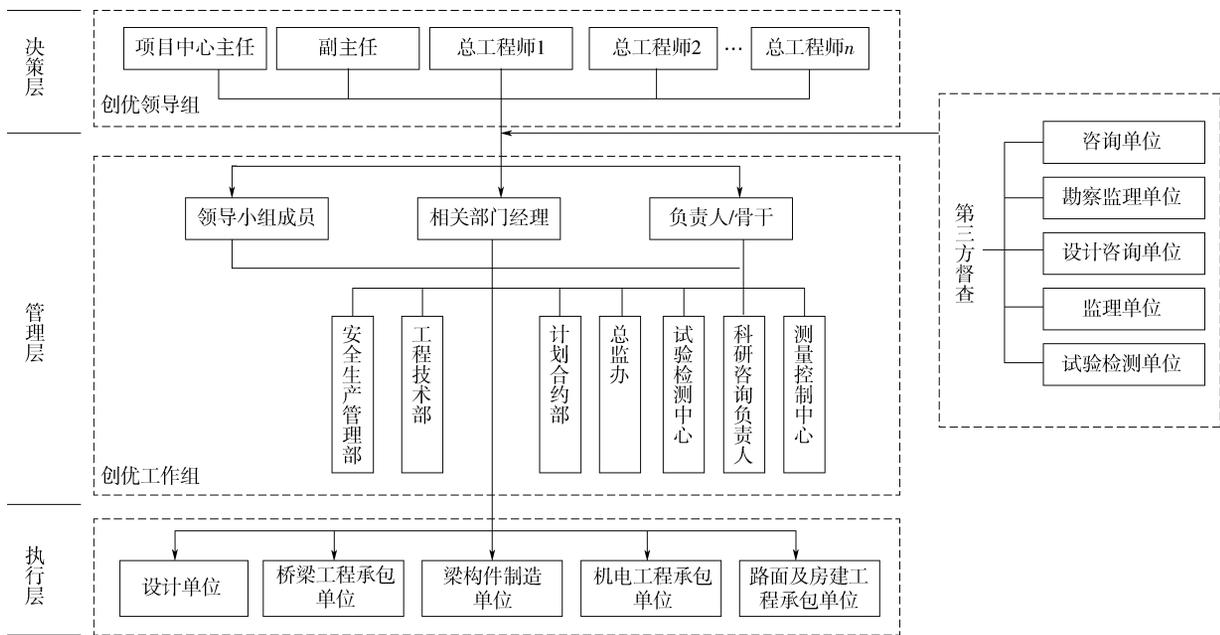


图3 品质工程组织架构图

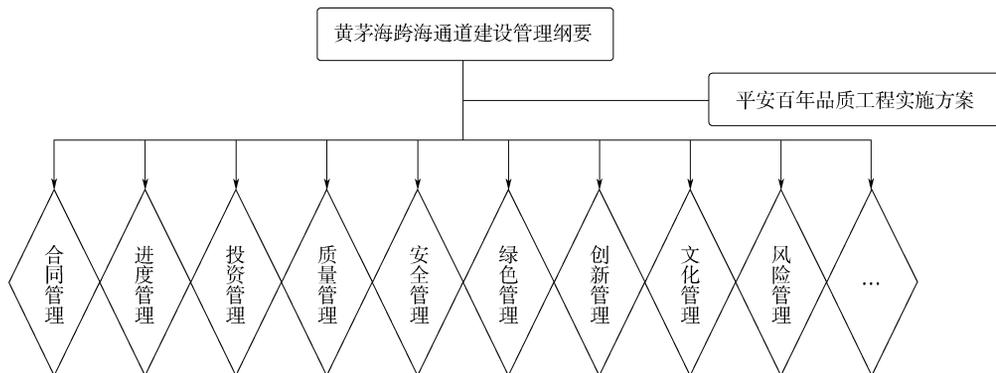


图4 品质工程的建设制度框架图

### 3.5.2 协同保障

黄茅海跨海通道打造了统一的项目协同管理平台,各系统实名认证、统一账号、单点登录,提高了系统使用便利性。通过移动 CA 技术实现全平台电子签名,支持随时随地办公审批和工程资料及时签名,极大地提升了项目管理的时效性和便捷性。

建立办公会、外部团队周例会双循环机制,设计单位在施工阶段仍需参与实现设计施工联动,协调各方的工作,保持项目整体进度的一致性。

项目基于工程 BIM 模型编制统一的工程编码,涵盖桥梁工程、交通工程、房建工程等多个专业,采用三维数字技术实现多专业协同设计,充分论证方案的可操作性,并制定详细的总体施工组织设计方案,在标准化、工厂化、装配化施工工艺的基础上,显著提升了施工效率,主桥桩基施工在仅 196 天内完成,提前近两个月,体现了工程团队的高效运作,被誉为“黄茅海速度”。

### 3.5.3 技术保障

黄茅海跨海通道项目在技术保障方面采取了多项先进措施。项目广泛应用了 BIM 技术进行全生命周期的设计、施工和管理,通过三维模型对项目的每个环节进行实时监控和动态调整,确保工程在复杂条件下保持高标准的施工精度与协调性。黄茅海跨海通道项目的标志性建筑之一是“小蛮腰”造型的独柱异形索塔,其设计和施工对技术要求极高,为此,管理中心组建了曲面塔柱造型、混凝土品质升级和塔柱养护攻坚三个技术突击队,采用了先进的 DOKA 爬模技术以适应其独特的纤腰造型设计。施工团队利用了造型木设计的模板,并通过 BIM 模型将尺寸精确输入数控雕刻机,实现了 3D 打印技术的应用。通过这些数据输入到数控机床,造型木能够被自动切割至毫米级精度,从而精准控制每块模板的形状与尺寸,完美达到异型索塔的纤腰型设计要求。主塔建造展示图如图 5 所示。项目最终成功实现索塔纤腰形设计的外形要求,并获得了业内的高度评价,封顶后的主塔已成为大湾区的地标之一。



图 5 主塔建造展示图

## 4 结语

在全球经济快速发展和基础设施需求日益增长的背景下,品质工程成为推动重大基础设施项目高质量发展的关键机制。本文分析了重大基础设施品质工程在实现过程中所面临的挑战,并结合复杂系统理论和协同管理理论,提出了重大基础设施品质工程的实现机制。通过构建管理理念、管理目标、组织体系和支撑保障体系,结合黄茅海跨海通道项目的成功实践,验证了本文提出的理论框架和实践方法的可行性和有效性,为行业内其他重大基础设施品质工程创建提供了理论指导和实践参考。

### 参考文献

- [1] 乐云,李永奎,胡毅,等. “政府-市场”二元作用下我国重大工程组织模式及基本演进规律 [J]. 管理世界, 2019, 35 (4): 17-27.
- [2] 王卓甫,丁继勇,曾新华,等. 重大水电工程项目治理 40 年: 演进与展望 [J]. 管理世界, 2023, 39 (2): 224-244.
- [3] 交通运输部. 交通运输部关于打造公路水运品质工程的指导意见: 交安监发 [2016] 216 号 [A/OL]. (2016-12-14) [2024-08-14]. <https://jt. ln. gov. cn/jtt/zcfw/pzgesfcjgz/gzlb/192113A9ED04409FA160045B83383DF9/index. shtml>.
- [4] 刘昕. 贯彻落实党的二十大精神谋划加快建设交通强国未来五年重点工作——《加快建设交通强国五年行动计划

- (2023—2027年)》解读 [J]. 城市道桥与防洪, 2023 (7): 322-324.
- [5] 交通运输部. 交通运输部关于做好平安百年品质工程创建示范推动交通运输基础设施建设高质量发展的指导意见 [J]. 中国水运, 2024 (3): 26-29.
- [6] 林鸣, 王青娥, 王孟钧, 等. 港珠澳大桥岛隧工程智能建造探索与实践 [J]. 科技进步与对策, 2018, 35 (24): 81-85.
- [7] 王红卫, 钟波涛, 李永奎, 等. 大型复杂工程智能建造与运维的管理理论和方法 [J]. 管理科学, 2022, 35 (1): 55-59.
- [8] 胡海波, 王怡琴, 卢海涛. “一带一路”背景下中国海外重大工程建设成就与经验总结 [J]. 江西社会科学, 2023, 43 (12): 48-58.
- [9] FLYVBJERG B. What you should know about megaprojects and why: an overview [J]. Project Management Journal, 2014, 45 (2): 6-19.
- [10] 盛昭瀚, 薛小龙, 安实. 构建中国特色重大工程管理理论体系与话语体系 [J]. 管理世界, 2019, 35 (4): 2-16, 51, 195.
- [11] TANG D, HUANG M S. The sustainable development of bridges in China: collapse cause analysis, existing management dilemmas and potential solutions [J]. Buildings, 2024, 14 (2): 419.
- [12] 林鸣. 港珠澳大桥岛隧工程项目管理系列之六品质工程的追求与提升 [J]. 施工企业管理, 2021 (7): 80-83.
- [13] 盛昭瀚, 于景元. 复杂系统管理: 一个具有中国特色的管理学新领域 [J]. 管理世界, 2021, 37 (6): 36-50.
- [14] 钱学森, 于景元, 戴汝为. 一个科学新领域——开放的复杂巨系统及其方法论 [J]. 自然杂志, 1990 (1): 3-10, 64.
- [15] 盛昭瀚. 管理: 从系统性到复杂性 [J]. 管理科学学报, 2019, 22 (3): 2-14.
- [16] 陈珂, 丁烈云. 我国智能建造关键领域技术发展的战略思考 [J]. 中国工程科学, 2021, 23 (4): 64-70.
- [17] 薛小龙, 张鸣功, 王亮, 等. 重大工程由建设转向运维的过渡机制——港珠澳大桥的实践创新 [J]. 管理世界, 2023, 39 (7): 158-180.
- [18] 王歌, 覃柳森, 曾赛星, 等. 新型举国体制下重大工程创新生态系统的资源配置模式——来自港珠澳大桥技术创新的证据 [J]. 管理世界, 2024, 40 (5): 192-216. **PMT**

收稿日期: 2024-09-01

#### 作者简介:

何俊贤 (2000—), 男, 研究方向: 重大工程管理。

朱超 (1982—), 男, 工程师, 研究方向: 大型跨海大桥。

欧阳莺霞 (通信作者) (1989—), 女, 博士, 研究方向: 重大工程管理。

郭英 (1977—), 女, 副教授, 研究方向: 宏观经济管理。

李永奎 (1979—), 男, 教授, 研究方向: 重大工程与复杂运营管理。