

总承包模式下的BIM正向深化设计管理研究

晏浩

上海建工集团股份有限公司, 上海

收稿日期: 2022年7月21日; 录用日期: 2022年8月1日; 发布日期: 2022年8月12日

摘要

深化设计管理是总承包项目管理的重要内容。随着软硬件技术的发展和数字化管理需要,“正向深化设计”开始进入工程实践,对总承包管理提出了新的课题。本文通过介绍一个管理实例,探讨了正向深化设计本身以及设计、施工、材料、运营维护等因素的影响。希望能为迈向“数字建造”时代的深化设计管理乃至总承包管理提供一定借鉴。

关键词

总承包管理, BIM, 正向设计, 深化设计

Research on Forward Deepening Design Management under General Contracting Mode

Hao Yan

Shanghai Construction Group Co., Ltd., Shanghai

Received: Jul. 21st, 2022; accepted: Aug. 1st, 2022; published: Aug. 12th, 2022

Abstract

Deepening design management is an important part of general contracting project management. With the development of hardware and software technology and the needs of digital management, “forward deepening design” began to enter the engineering practice, and put forward a new topic for general contract management. By introducing a management example, this paper discusses the influence of forward deepening design itself, design, construction, materials, operation and maintenance factors. It is hoped that it can provide some reference for deepening design management and

even general contracting management in the era of “digital construction”.

Keywords

General Contracting Management, BIM, Forward Design, Deepening Design

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

深化设计管理是总承包项目管理的重要内容，是衔接设计和施工的关键环节。根据住建部《建筑工程设计文件编制深度规定》[1]的定义，施工图设计文件“应满足设备材料采购、非标准设备制作和施工的需要。”同时，该规定也根据不同专业的特点，对深化设计(专项设计)等工作提出了指导性意见，指出“深化设计阶段应在招标工作完成后进行”，以及“深化设计文件应符合施工图阶段设计文件的要求”等等，对于体量较大或者施工工艺复杂的项目，由于专业细分度很高，各方面的协调配合内容大大增加，在施工图设计阶段的图纸表达深度、各专业之间的整合程度上往往无法满足实际需要，招标阶段的施工图设计仍然必须经过不同程度的深化，才能真正达到其定义的设计深度。对于这类项目，深化设计相当于施工图设计的下半场，本质上仍是设计工作的组成部分，但在实际操作中一般不是由设计院完成，而是放在招标后改由承包商或深化/专项设计单位负责实施。

杨荣华等人[2]认为，“正向设计”是各式 BIM 应用中最高阶的一类，它构成了 BIM 技术水准的一道分水岭，区分了 BIM 应用进程的初级阶段和高级阶段。达到何种标准才能称为“正向设计”呢？《建筑信息模型施工应用标准》[3]将模型细度分成 LOD300 到 LOD500，其中施工图设计模型的模型细度应达到 LOD300，深化设计模型细度至少要达到 LOD350，才能视为达到正向设计/正向深化设计的基本要求。近年来基于精细化、数字化全过程管理的需要，一些要求较高的工程项目已经不满足于传统的二维设计，开始提出 BIM 正向设计乃至正向深化设计的需求，在这类项目中，深化设计除了提供施工图功能外，还承担了实体施工前的数字化模拟功能，为项目管理提供更完善的技术手段。不过从行业信息和工程技术文献检索情况看，现阶段能真正实施并达到上述标准的正向深化设计项目还不多见，也缺少对其经验得失的系统总结。“正向深化设计”及其管理，对大多数工程人员来说还是一个新事物，如果在缺少参考经验的情况下参与类似项目，可能会走不少弯路。

作者参与的某主题乐园总承包项目，其深化设计模型细度整体要求达到 LOD400，是一个完成度较好的正向深化设计管理实例。本文通过详细分析其正向深化设计管理经验得失，以及设计、施工、材料、运营维护等因素对深化设计的影响。希望能够推动相关各方在实际工程中客观务实地运用 BIM 技术，更好地服务于项目本身，为迈向“数字建造”时代的深化设计管理乃至总承包管理提供一定借鉴。

2. 背景工程正向深化设计管理概况

2.1. 背景工程介绍

背景工程为某著名主题乐园内的新建项目，总用地面积约 23,100 m²，建筑面积 10,080 m²，主单体为游艺设施，其余单体包括后勤和设备用房，采用 PHC 管桩、预制方桩和灌注桩等桩基础，主要结构形

式为混凝土剪力墙/钢框架结构等。建筑物体量不大，但不仅包括常规建筑的建筑、结构、机电、装饰等几大专业系统，还涉及到若干主题乐园特有系统，如演出布景系统、游艺设备系统、室外主题系统等，需要跨专业协调的系统数量比一般建筑多很多，从图 1 罗列的背景工程正向深化设计主要内容中可见一斑。此外，主题乐园类型建筑中演出、游艺功能相当复杂多样，又受到原设计既定空间布局限制，其机电专业的平面/竖向管线分布密度、装饰专业的细部复杂程度等也高于普通建筑。加之正向深化先模型后图纸的工作方式，其深化设计工作量与复杂性远大于常规项目。

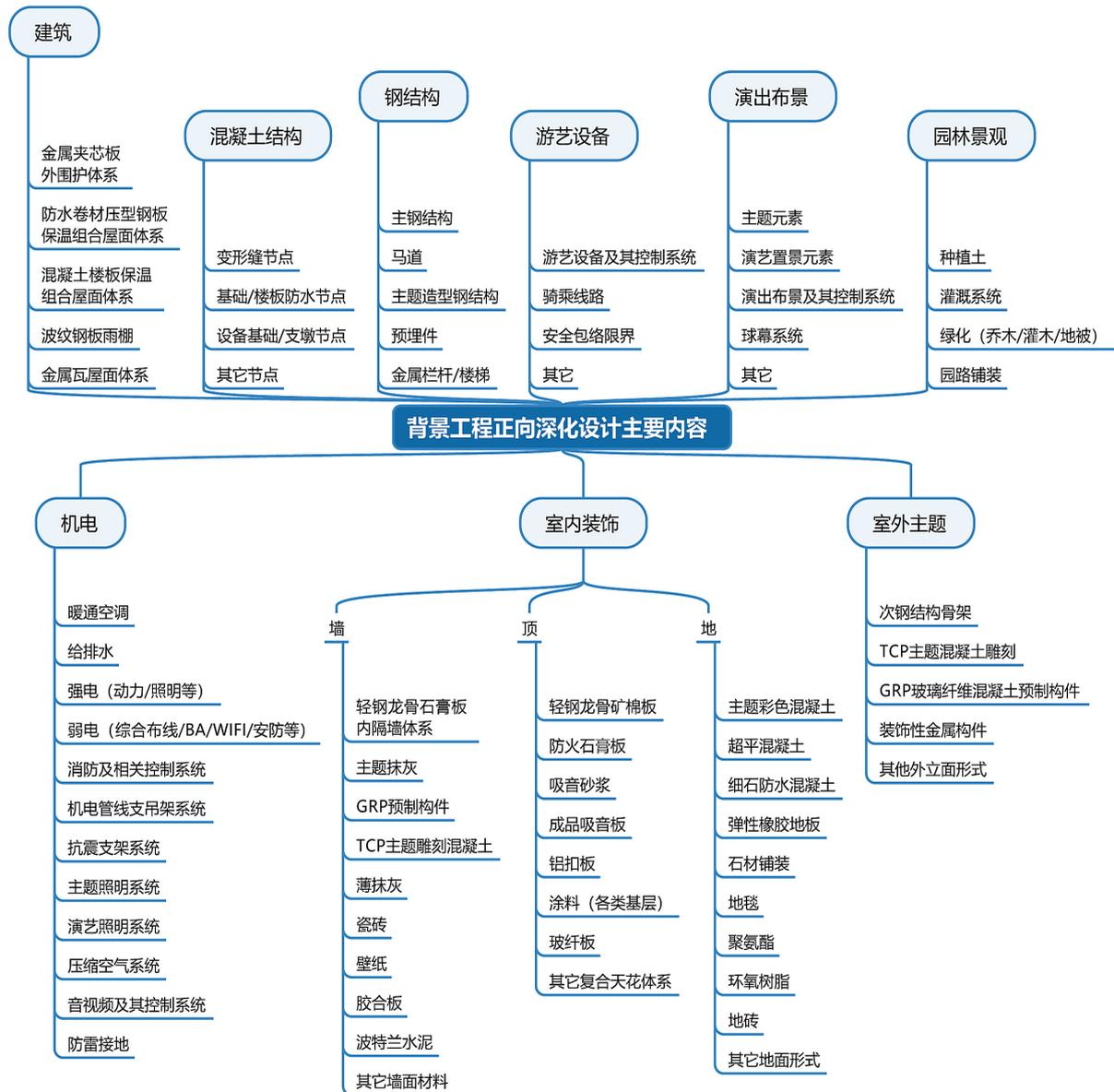


Figure 1. Main content of forward deepening design in background engineering
图 1. 背景工程正向深化设计主要内容

业主基于建设运营全过程数字化管理的需要，希望将 BIM 技术从设计阶段开始贯穿始终，将工程实体连同数字化模型同步向运营维护单位移交，因此对正向深化设计的管理标准和质量要求非常高。这也促使总承包单位积极提升 BIM 正向深化设计管理水平。

2.2. 正向深化设计具体管理

1) 总承包模式下的深化设计合同关系

在背景工程中，深化设计管理纳入总承包管理服务内容，是总承包管理的重要组成部分。相应的，专业深化设计作为各专业分包商合同的服务内容。总承包以合同形式委托集团内的设计单位，派遣以建筑、结构专业设计师为主的团队，组建深化设计管理部门，并承担部分深化设计工作；各专业单位通过自有设计人员或外聘第三方专业深化设计的方式，组建专业深化设计团队，深化设计合同关系隶属于各专业单位，其具体深化设计工作接受总包深化设计部门的管理和协调。

2) 正向深化设计管理架构

总承包管理下的正向深化设计管理组织架构(包括与业主对接的模式)如图 2 所示。

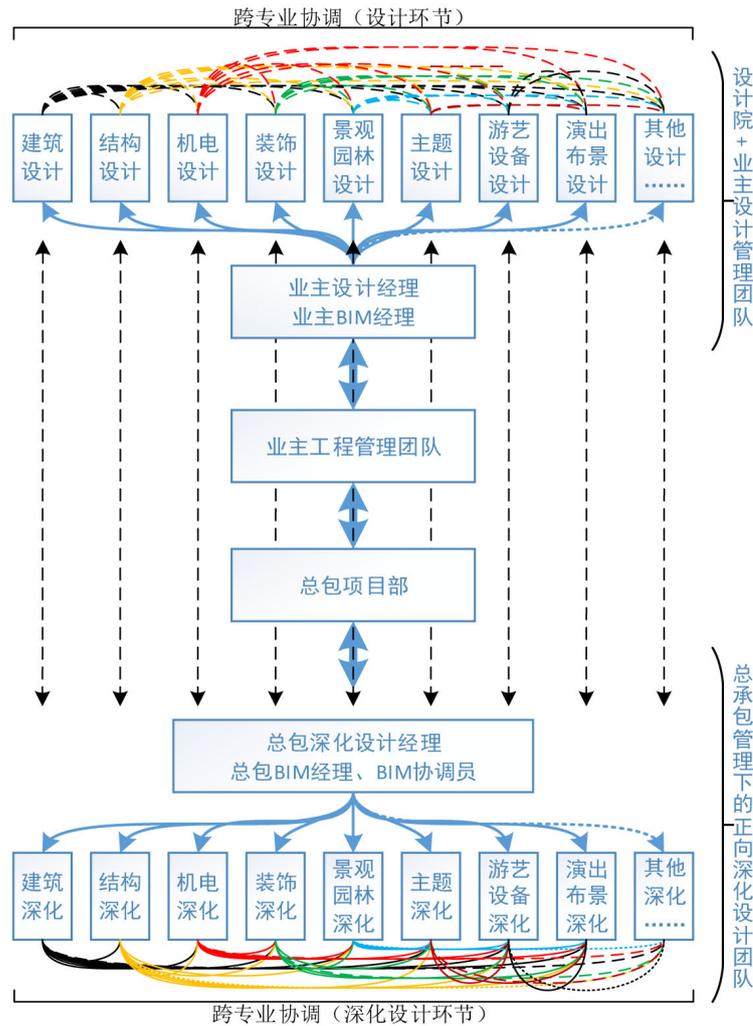


Figure 2. Forward deepening design management architecture under the general contracting management

图 2. 总承包管理下的正向深化设计管理架构

由于全过程采用 BIM 正向深化设计，总包除了设置深化设计经理岗位，还设置了 BIM 经理岗位，实行双重负责制，深化设计经理对正向深化设计负总责，BIM 经理既是深化设计经理的副手，也是总包 BIM 工作主要负责人；各专业单位按正向深化设计需求，配备兼具专业能力和 BIM 运用能力的深化设计

师；各单位深化设计师依据施工图设计要求、规范和技术规格书等，进行本专业具体深化设计工作；在跨专业模型整合、碰撞检测、相互提资等方面，接受总包深化设计部门统一协调和管理。从上图中可见，在设计和深化设计环节，跨专业协调的工作量是非常大的，为提升工作质量和效率，专门设置了若干协调员岗位，主要由建筑专业深化设计师兼任。业主也有设计经理和 BIM 经理岗位与总承包单位对接。

3) 正向深化设计的审核流程

正向深化设计成果的基本审核流程与传统二维深化设计方式类似，包括自检、跨专业互检、总包深化部门内检、业主审批等环节。但由于对图纸和模型两部分内容均需要审核，比传统二维深化方式的工作量大大增加，既要审核图纸/模型对相关规范和技术要求的符合性，还要审核模型碰撞情况、以及图模一致性。通过业主审批后的深化设计图纸方可用于现场施工，基本流程如图 3 所示。

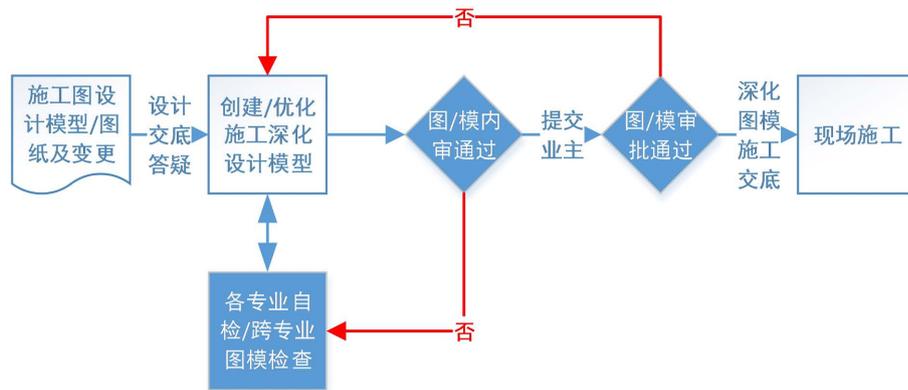


Figure 3. Review process of the forward deepening design model/drawings

图 3. 正向深化设计模型/图纸的审核流程

4) 统一正向深化设计工作环境

在确定了合同关系、管理架构、审核流程的基础上，对正向深化设计工作环境予以统一要求，包括：

① 统一的软硬件环境和交互与共享平台。

软件方面，正向深化设计采用的主要建模软件为 Autodesk Revit，版本号统一。对于涉及外立面特殊造型、主题元素等复杂曲面建模的专业，用到 Rhino；钢结构专业的深化设计软件采用 Tekla Structure。不同软件要求能正确导入 Revit，避免在交互和共享时因版本差异或格式不兼容出现问题。所有专业的深化设计结果都通过 Navisworks Manage 平台在线上整合。模型整合工作在云平台完成后，通过 Navisworks 可视化方式输出，提供给有权限的各参建方实时查看并作为工作参考依据。

硬件方面包括服务器、客户端以及工作局域网。根据满足模型并发数量要求、可 7*24 小时不间断提供中心模型服务的服务器配置；根据模型的预计数据规模，确定深化设计师能够正常工作所需的客户端基础配置；组建适应深化设计需求的局域网，特殊情况下，可实现互联网远程访问、登录和工作。

交互与共享平台采用 BIM360 GLUE、BIM360 DOC，协调记录保留在 BIM360 中，由业主和总包方共同维护，各分包专业单位可对审核意见回复。此外，采用 Synchro 软件进行 4D 仿真。

② 统一的模型构架分解、工作集管理和命名规则。

受软件、硬件和网络环境等因素所限，因此将模型构架按专业细分为工作集，便于优化模型本身。包括基准工作集、专业工作集、链接工作集等，通过工作集的使用，对工作范围作清晰的划分。其中基准工作集包含标高、轴线、参照平面和数据目标等全局使用的所有基准数据；专业工作集是为了减少使用冲突、根据专业需求额外创建；链接工作集用于优化模型，CAD 文件应用外部参照。使用链接方式来组织和管理不同专业的 Revit 模型。有助于深化设计管理团队和深化设计师准确梳理各自职责界面，更好

地控制模型中的单元。

所有用于链接到中心模型中的文件,遵循统一的命名规则,包括单体名称(子区域)、专业、公司名称、文件格式信息等,预设明确代码,确保具有很清晰的识别度,以有效减少协同工作时的失误。模型文件可命名如:单体名称_专业_公司名称.文件格式;

对于有子区域的单体,命名规则如:单体名称(子区域)_专业_公司名称.文件格式;

对于机电专业的管道/电管、支吊架系统等,也单独创建模型进行协同,命名规则如:单体名称(子区域)_专业_CONDUIT_公司名称.文件格式;单体名称(子区域)_HANGER_公司名称.文件格式。

在建模过程中,对模型内的各项参数也需遵循一定的命名规则,包括工作集、视图、视图模板、视图过滤器、明细表/图例、线型、字体样式、尺寸标注、共享参数、族等等,不作详细展开。

位于服务器上所有与模型相关的工作文件都遵循上述统一命名规则,以便深化设计管理人员能够通过链接对文件进行自动更新,并可从命名中获取有关文件内容的足够信息。当需要新增模型时,由总包 BIM 经理及相关专业负责人共同协商和确定新文件的命名、本地及云端存储位置,将最终结果告知各自深化设计人员,并通知到所有相关人员。

3. 正向深化设计管理实践中的影响因素

综观背景项目正向深化设计管理过程,主要影响因素如下。

3.1. 深化设计管理本身影响因素

(一) 正向深化设计人员因素。

对深化设计团队,要求整体上具备合格的正向深化设计能力。各专业单位应当配备足够数量的兼具专业能力和熟练 BIM 建模能力的深化设计师,这是落实正向深化设计管理的根本保障。由于业主对 BIM 模型细度整体要求达到 LOD400,个别情况下更高,为落实足够数量的深化设计人员,总包和各专业单位花费了大量精力,通过自有人员、外聘第三方深化设计团队、以及委托具备正向深化设计能力的供应商等多种方式,综合解决人员问题。由于本节人员因素之外的多种因素,给深化设计管理带来极大压力,深化设计工作在相当长的时间段里是参建各方关注的焦点,深化设计质量控制和成果交付周期都不太令人满意。给人造成的第一印象就是设计师数量始终存在缺口。当然,这也确实是造成部分深化设计成果延误的原因之一。

实践中暴露出以下矛盾:

①各专业单位常有多个需要深化设计的项目,自有深化设计人员的工作调配问题时有发生。

②外聘第三方深化设计团队一般按照工作时间取费,因此在深化图/模获得审批后,相应合同工作就算完成,第三方设计师即可撤场。但业主选择正向深化设计的原因就是为了能全过程服务于项目,如果深化图审批完成之后深化人员撤场,此后出现新的设计变更、或现场情况变化导致需要深化修改等情况,就会面临没有深化人员跟进处理的窘境。

③选择具备正向深化设计能力的供应商,理论上可以减少协调设计师资源的压力,但实际上存在其它弊端,详见下文 3.4 节。

(二) 正向深化设计的成本控制因素。

截至目前,国内达到 LOD400 级别的已完工正向深化设计项目仍较为罕见,在背景工程投标时(2019 年)更是如此,对正向深化设计的实际资源投入缺乏足够的参考依据,只能参照传统二维深化设计加一个估计的放大系数。通过背景工程实践才体会到,实际投入远大于预期。由于设计变更、跨专业协调以及设计人员能力和团队磨合等因素,对各专业正向深化设计工作量、深化成果质量要求很难事先评定,也

难以准确预计深化设计人员所需服务时限，特别对于外聘第三方、委托有能力的供应商两种方式，无法锁定技术服务成本。即使对自有深化设计师，也存在人员成本和项目调配问题。这些都大大增加了深化设计的管理难度。

(三) 业主的深化设计图纸审批流程因素。

在背景项目的实践中，由于 BIM 正向深化设计模型出图，可以全面包含跨专业综合信息，为跨专业联合审批提供了便利条件，因此业主强化了跨专业联合审批，这对事前检查模型碰撞和施工工艺合理性是有利的。但另一方面，跨专业联合审批使得所有专业对报审的深化图都有否决权，特定专业的深化图纸常因跨专业审核意见，导致影响审批结果。在这些跨专业审核意见中，除了对特定专业确有影响需要修改的内容，也有相当一部分并无直接影响，甚至有个别业主审核人员借流程之便滥用审核权限，借故以其它意见否决深化图纸，掩盖潜在设计变更，以此拖延到设计变更定稿正式下发，以此规避业主责任以及承包商索赔。这种情况虽不频繁，但一旦发生，不仅严重干扰相关专业后续深化设计工作，也影响后续现场施工、材料设备采购计划的实施。

3.2. 设计影响因素

从设计角度对深化设计管理工作的影响主要包括以下内容：

(一) 各类设计变更导致正向深化设计工作量指数级增加。

正向深化设计采用模型出图，要求达到 LOD400 级别正向深化设计，与传统二维深化设计出图相比在同等图纸深度的情况下，每张深化设计图纸的工作量不是以加法增长，而是以乘数增长。考虑到深化设计作为技术服务，其工作量不易精确定量，以下对因设计变更给正向深化设计带来的额外工作量简单定性估算，方便直观判断：

在图纸达到同等深化程度的情况下，正向深化设计工作量 y ，二维深化设计工作量 x ，根据深化人员的实际经验，综合考虑三维建模和模型出图等情况，正向深化设计工作量平均达到二维深化设计工作量的三倍以上，即 $y = kx$ ， $k \geq 3$ ；

假设二维深化设计情况下单专业工作量 x_d ，跨专业协调时每一次专业协调平均工作量 x_k ，每项设计变更涉及需要协调的其它专业数量 $m(m = 0, 1, 2, 3 \dots)$ ，因此每项设计变更所需跨专业协调工作量为 mx_k 。

在二维深化设计的每项设计变更中，单专业深化加多专业协调产生的工作量为 $x_d + mx_k$ ；

在正向深化设计的每项设计变更中，单专业深化加多专业协调产生的工作量为 $k(x_d + mx_k)$ ；

每项设计变更引起的深化设计增加工作量 $(k-1)(x_d + mx_k)$ 。

假定设计变更数量 n ，正向深化设计额外工作总量为 $\sum_{i=1}^n (k_i - 1)(x_{di} + mx_{ki})$ 。

背景工程为主题乐园类型项目，在建设过程中，有大量设计变更产生，除了各类专业技术原因引起的设计变更，还有相当一部分因游艺、主题创意调整引起的设计变更。这些变更下发的时间，有可能发生在与其所对应的相关专业深化设计工作之前、之中、之后，不管哪一种情况，都会造成额外的正向深化设计工作量，区别只在程度大小而已，甚至还有一些设计变更发生在现场已经按深化图纸实施完成之后。当设计变更数量 n 很大时，导致的正向深化设计额外工作总量是惊人的。背景工程实际设计变更数量超过了一千五百条，由此对正向深化设计增加的工作量，以及对审批工作量、审批周期造成的连锁反应可想而知。

此外如前所述，个别业主审批人员对有潜在变更可能的深化图纸借故否决以实质性拖延审批、消极规避设计变更责任的情形也有发生。有些在设计阶段悬而未决的跨专业协调问题，也会带到深化设计阶段处理，这些都造成深化设计工作量的增加。

(二) 在深化设计过程中发现原设计需要实质性修改的情形，包括局部结构体系和节点做法的调整，

材料设备选型调整等。这种情形也会引起深化设计工作量的增加,不过相对而言,比业主发起的设计变更导致的工作量要少很多。

3.3. 施工影响因素

由于现场施工动态影响因素如其他专业施工偏差、或原本后道工序由于某种原因提前实施等,使得原设计条件发生改变,导致无法按已审批的深化设计模型和图纸实施,这种情况原则上需要重新深化设计、修改模型出图再次报审。但对于不涉及材料变更、不影响结构安全和系统功能的情况,反复修改深化设计模型和出图报审的实际意义不大,也可以通过加强与业主沟通,根据施工经验现场调整,将相关变动以终版模型/图纸的形式,在最终竣工交付运营的版本体现。

对于现场的半永久或需要在长时间内使用的临时施工措施,根据实际情况分别处理。一是可以保留已实施的施工措施,调整深化设计。例如背景工程中塔吊基础位置原设计有一路埋地管线穿越,由于吊装范围限制,塔吊位置无法改动,这种情况通过在深化设计阶段中修改管线路径解决,工作量也并无显著增加。二是可以根据深化设计需要,对既定施工措施进行优化调整。

3.4. 材料/设备供应商影响因素

对于材料/设备供应商,无论是业主指定还是总承包单位/专业分包单位自行选择,都有可能存在以下几种情况:

①该供应商涉及的产品无须正向深化设计。

②需要正向深化设计,但不具备正向深化设计能力。这种情况往往只能由其所对应的专业单位安排设计师承担相关深化内容。

③需要正向深化设计,也有合格的正向深化设计师。一般而言这对深化设计管理有利。但在背景项目中有个别专业(如机电管线支吊架),目前缺乏统一的行业和国家标准约束,供应商既是运动员又是规则制定者,话语权过大,造成其在利益驱动下随意设计、过度设计。由于受业主技术规格书要求限制,符合要求的相关供应商几乎是唯一的,而且进入实质性施工阶段后更难半途替换,总承包单位不得已采用了两个办法:一是重新划分界面,将支吊架供应商承诺配套的相关深化设计内容中很大一部分切割出来,委托给无利益相关的第三方深化设计单位。二是选派经验丰富的结构工程师配合机电专业深化人员,对所有支吊架深化内容进行提前审核优化。然而由于支吊架供应商在其申报的产品手册中对其产品力学性能参数有意作了大幅折减,部分配件的手册申报数值只有材料理论值/试验检测值的20~30%(根据总承包单位抽取样品送检情况,理论值与检测值基本相当)。然而在无行业和国家标准约束的情况下,从合规性的角度只能采用供应商数据做结构安全性验算,以此折减后参数为依据进行的结构深化设计,显然无法从根本上改变过度设计的事实,整个项目深化设计和现场施工都因此受到很大影响。

3.5. 运营维护需求影响因素

除了上述因素之外,运营维护需求也对深化设计有一定影响,例如,屋面检修步道对通行高度、宽度都有要求,使得在进行屋面机电管线的抗震支架体系深化设计时,不得不以牺牲部分结构合理性为代价,来保证步道的通行高宽尺寸。由此也造成了深化设计包括结构验算在内的整体工作量增加。

4. 结语

从背景项目管理实例来看,总承包模式下的正向深化设计管理,其实施成效不仅受深化设计特点影响,也深受设计、施工、供应商、运营维护等因素的影响。要对这些因素有预判,尽可能提前规避不利因素,例如,具备正向深化能力的设计师资源是实现高级别正向深化设计的根本保障,应通过同类项目

积极拓展和积累合格的深化设计师资源；以及对正向深化设计工作量应充分评估和合理计价等。另外在本文起草时，了解到支吊架相关行业标准正在陆续制定，部分征求意见稿已经开始推出，个别支吊架供应商店大欺客的情况有望逐渐得到改变。

随着计算机软硬件技术日益进步，“数字建造”是必然的趋势，正向设计要求进一步延伸至深化设计是这个趋势的缩影之一，建筑行业整体的数字化应用水平亟需提升，以在技术和管理上适应“数字建造”的新要求。在此过程中，通过 BIM 正向深化设计管理可以有效提升自身数字建造能力，成为总承包单位对项目数字化管理的有力抓手。其中，总承包企业的深化设计全专业协调能力，统筹管理设计/施工乃至物料采购的能力，对超常规技术要求、设计是否过度等问题的判定能力，以及与相关方博弈的能力等等，都值得进一步探讨。

参考文献

- [1] 中南建筑设计院股份有限公司, 等. 建筑工程设计文件编制深度规定[R]. 2016 年版. 北京: 中国建材工业出版社, 2017.
- [2] 杨荣华, 张翼. 中国式 BIM 悖论——谈谈“正向设计”[J]. 建筑技艺, 2020, 26(12): 88-93.
- [3] 中国建筑股份有限公司, 中国建筑科学研究院, 等. GB/T51235-2017. 建筑信息模型施工应用标准[S]. 北京: 中国建材工业出版社, 2018.