

# 工程项目设计的可建造性对项目绩效的影响研究<sup>\*</sup>

刘莉莎 陈勇强 王明皓

(天津大学管理与经济学部, 天津 300072)

**摘要:** 工程项目设计的可建造性对提高工程绩效有重要影响, 这不仅体现在有利于施工资源的有效使用, 提高现场施工的方便和安全, 还能够满足客户的要求。基于中国情境提出了衡量工程项目设计可建造性的评价模型, 根据调查中国 300 名工程行业管理人员获得的 110 份有效数据, 研究了设计的可建造性对工程项目工期绩效和成本绩效的影响。通过对问卷采用独立样本 t 检验和相关分析等统计手段进行分析, 结果表明, 设计的可建造性对项目的工期绩效有显著的正向影响, 而对成本绩效的影响程度不明显。同时, DB 方式下工程项目的设计可建造性显著高于 DBB 项目。

**关键词:** 可建造性; 工期绩效; 成本绩效; 工程项目

## 0 引言

随着工程技术的发展, 对知识和技能的分类越来越细, 专业化程度越来越高。工程项目的建设过程也被逐步分为决策、设计、采购、施工四个阶段, 各阶段的精细化和所需技能不同使得项目需要不同专业知识的人员完成<sup>[1]</sup>。这种分工在传统的设计 - 招标 - 建造 (Design-Bid-Build, DBB) 交易方式中尤为突出, 工程的承包商只能在设计完成以后才被允许加入到工程项目中, 设计主体专业知识的局限导致工程施工过程中会出现设计方案实施困难甚至难以施工的问题, 最终影响工程项目的绩效<sup>[2-3]</sup>。英国于 1983 年提出工程项目设计的可建造性 (Buildability) 概念, 着眼于工程项目的设计阶段和设计成果, 使得工程项目的设计便于施工资源的有效使用, 提高现场施工的方便和安全, 并满足客户要求的能力<sup>[4]</sup>。简单而言, 设计的可建造性是指从工程的整体出发, 进行有利于项目施工的设计。

自设计可建造性概念提出以来, 以英国、美国等发达国家为首的西方国家开始进行广泛研究。研究表明, 在设计时考虑设计的可建造性, 可以很大程度上减少资源浪费, 从而降低工程造价<sup>[5]</sup>, 即提高设计的可建造性将对工程项目绩效产生有利影响。通过文献分析可以发现, 对设计

的可建造性的研究多集中在英国和美国等发达国家, 而在亚洲国家的研究还稍显薄弱。Saghatforoush 通过向马来西亚的承包商发放问卷, 结果显示由于所执行工程项目的类型不同, 不同的承包商对于设计可建造性的概念认识不尽相同<sup>[6]</sup>。Trigunarsyah 则研究了在印度尼西亚的承包商对于设计的可建造性对于项目绩效的提升作用<sup>[7]</sup>。我国对设计可建造性的研究相对较少, 孙继德等对可建造性做了综述, 指出国内的设计方案缺乏可建造性的问题比国外严重, 更需要采取措施来加强设计与施工的交流<sup>[8]</sup>。沈昕等提出, 将发达国家成功的施工知识转移到发展中国家进行实施具有重要意义<sup>[9]</sup>。由于各国工程界所处发展阶段和政策环境等情况各有不同, 因此, 有必要研究中国情境下设计的可建造性对工程项目绩效的影响。广义来说, 项目绩效包括工期绩效、成本绩效和质量绩效三个方面, 本文的研究主要针对工期绩效和成本绩效。

综上所述, 本文将主要研究中国情境下设计的可建造性对工程项目的工期绩效和成本绩效的影响。本文的研究结果不仅可以丰富我国对于工程项目设计的可建造性研究, 而且可以有利于项目管理者从可建造性的角度加强对工程项目的管理和控制; 设计可建造性概念的推广还有利于促进设计方和承包商的沟通, 提高工程项目的设计

<sup>\*</sup> 基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (71072156)。

和施工质量。

## 1 文献综述与研究假设

关于工程项目设计的可建造性与工期绩效的影响,国外许多学者做了很多研究,认为设计的可建造性提高可以有效减少工期。O'Connor等的研究显示了设计的可建造性提高,可以显著减少变更,缩短完成工程建设的时间<sup>[10]</sup>;Fisher等进一步研究表明,通过提高设计的可建造性,使得工程效率提高24%<sup>[11]</sup>。工程效率是决定工程工期的一项基本因素,工程效率的提高必然会减少工程工期,提高项目绩效<sup>[12]</sup>。Ugwu等在研究可建造性对项目绩效的影响时指出,设计的可建造性可以在保证工程项目安全的基础上,促使价值工程不断出现,减少建设时间<sup>[13]</sup>。此外,一批学者在研究中也表明了工程项目设计的可建造性的提高可以使施工中关键活动减少,同时减少由于承包商与设计主体之间沟通交流不当造成的返工现象,最终对项目工期绩效有显著的正向影响<sup>[7,14]</sup>。

通过上述分析,提出中国情境下工程项目设计的可建造性与工期绩效之间的关系假设:

假设1:工程项目设计的可建造性对项目的工期绩效有显著的正向影响关系。

设计的可建造性与成本绩效之间也有相关关系。Gray通过实证研究指出,可建造性的提高便于工程项目采用更多的预制结构,使得节省的开支约占整个工程项目造价的14%<sup>[15]</sup>。Atkinson等通过对英国66家公司的工程参与者进行问卷调查,提出了设计的可建造性可以减少成本<sup>[16]</sup>。Jergeas等指出设计的可建造性提高可以有效降低工程项目在实施过程中的变更,进而降低工程项目的成本<sup>[17]</sup>,许多学者通过研究也从成本控制的角度分析,得到了相似的结论<sup>[18-20]</sup>。而Tam在研究香港设计的可建造性时发现,可以采用预装配的程度作为提高设计可建造性的有效手段之一,其成本要比传统方法高2%左右,即设计的可建造性提高可能会给成本绩效带来不利影

响<sup>[21]</sup>。因此,关于设计的可建造性对成本绩效的研究出现了不一致,其对成本绩效的正向影响关系需进一步验证。

综合以上国外学者对工程项目设计的可建造性对成本绩效的影响及影响方向,提出以下假设:

假设2:工程项目设计的可建造性对项目的成本绩效有显著的正向影响关系。

## 2 样本来源及变量测量

### 2.1 问卷的样本来源

本文研究问卷采用李克特量表进行打分,调查的对象为国内工程行业管理人员,这些人员所在单位涵盖中国各层次企业。通过电子邮件的方式向300名工程行业管理人员发出了问卷调查的邀请。为保证问卷结果的准确性,问卷采用匿名回答的方式。共回收问卷152份(回收率50.67%),通过问卷完整性分析,得到有效问卷110份(有效率72.4%)。具体的问卷统计数据见表1。

表1 调查研究样本结构分析

	选项	问卷数	比例(%)
所在方	承包商	76	69.09
	业主	34	30.91
相关工作年限	5年以下	35	31.82
	5~10年	66	60.00
	10年以上	9	8.18
项目性质	国有项目	85	77.27
	私人项目	20	18.18
	公私合营项目	5	4.55
承包方式	DBB	58	52.73
	DB	42	38.18
	其他	10	9.09
项目投资额	1亿元以下	9	8.18
	1~6亿元	57	51.82
	6亿元以上	44	40.00

注:DB为设计-建造项目(Design-Build)。

### 2.2 模型构建和变量测量

在研究设计的可建造性与项目绩效的关系时,不同学者采用了不同的数学方法<sup>[13,22-24]</sup>。新加坡建设局于2005年提出了对设计可建造性进行量化的详细规则,建立了一套评价工程项目设

计可建造性的体系 (Buildable Design Appraisal System, BDAS) [25]。Liu 等在研究中提出, BDAS 模型可以根据不同的国家和地区进行相应的调整和改进, 用以进行设计的可建造性衡量 [2]。香港的研究学者 Lam 等论证了 BDAS 方法的可行性, 并基于 BDAS 模型, 提出了 BAM 模型 (Buildability Assessment Model), 用来解决香港建筑的可建造性问题 [26]。由于中国内地的建筑业和中国香港有所区别, 因此, 本文也将基于 BDAS 模型, 参考 BAM 模型, 建立适合中国情境下设计的可建造性度量模型。

BDAS 模型基于标准化、简单化和单一综合化原则对设计的可建造性进行度量。设计的可建造性得分的计算包含三部分, 分别是结构体系的可建造性得分 (50%)、墙体体系的可建造性得分 (40%) 和其他可建造性设计得分 (10%)。在 BDAS 模型中, 通过对结构体系材料的预制程度、墙体材料所需的进一步加工 (表面是否需要抹灰或贴石饰面或瓷砖) 程度等方面进行打分, 得出设计的可建造性, 但该体系使用对象为承包商, 着重点多集中于施工过程中, 忽略了业主对设计的管理和控制。Lam 等指出, 设计中是否考虑了场地的限制对工程有重要影响, 会在一定程度上影响项目的绩效 [26]。基于 BDAS 模型, Lam 等提出了 BAM 模型。BAM 模型对 BDAS 的打分项进行详细分解, 用建筑系统准备方面、各部分完成系统、项目的建筑特点、建筑设计方面的服务、现场具体要求和创新性观点等六个方面得分来衡量设计的可建造性。在现场具体要求和创新性观点中增加了对业主方面的考虑, 充分考虑了参与工程项目的各方主体及其之间的互动关系, 但其涉及的打分项为 27 项, 操作起来具有一定的难度。因此本研究中将两个模型进行整合, 提出中国情境下设计的可建造性的计算概念模型, 见图 1。

图 1 中, 建筑材料的准备指墙体和结构主体等待施工部分所采用的材料对后续工作的影响, 整合了 BDAS 模型和 BAM 模型中有关材料的部分。因为材料的准备必须是在设计完成之后才能确定, 因此材料的准备对可建造性有重要影响,

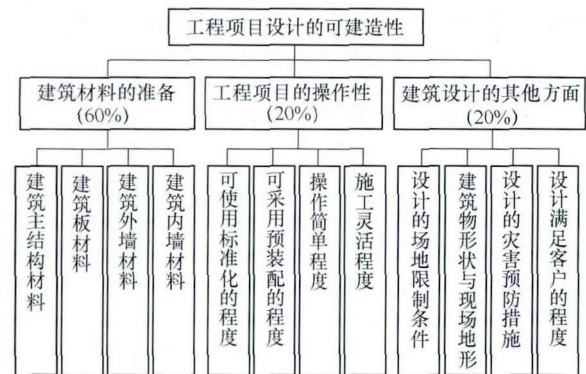


图 1 设计可建造性的计算概念模型

而且在 BDAS 和 BAM 模型中, 材料的所占比例均较重, 因此建筑材料准备在模型中的比例定位为 60%, 具体而言包括建筑主结构材料、建筑板材料、建筑外墙材料、建筑内墙材料四部分; 工程项目的操作性是指在确定所使用材料以后, 工程在施工过程中的灵活方便程度, 根据设计图样可采用的标准构件等内容, 包括工程项目可使用标准化的程度、可采用预装配的程度、操作简单程度、施工灵活程度, 约占设计总体可建造性得分的 20%; 建筑设计的其他方面的服务对应 BDAS 模型中的其他可建造性设计, 主要包括选址和所采用的创新性内容, 是衡量设计可建造性的一个重要方面, 所占比例为 20%。

在问卷调查过程中, 调查者首先对该 12 项属性, 用 5 分的李克特量表进行打分, 同时也对该属性对项目绩效的影响进行打分; 其次进行汇总分析; 最后调查者还需要对设计整体的可建造性进行打分, 用以交叉验证, 衡量所构建模型的有效性。

### 3 数据分析与假设检验

#### 3.1 数据的可靠性分析

对于回收的有效问卷, 根据前面所提出的设计的可建造性模型中的三个基本属性 (建筑材料的准备、工程项目的操作性和建筑设计其他方面), 其组成的分属性、分属性对于工期绩效的影响、分属性对于成本绩效的影响均可由 SPSS 19.0 进行内部一致性检验以测量其可靠性, 分析结果见表 2 ~ 表 5。从分析结果中可以看出,

各项的克隆巴哈系数均在 0.7 左右，其中建筑材料的准备的可靠度达到了 0.824。根据 Nunnally 设定的标准，克隆巴哈系数在 0.7 以上表明数据具有高信度，因此，问卷所得数据可以用来进行进一步分析，而三项基本属性可以用其得分的平均值来代替。

表 2 建筑材料的准备性与项目绩效的相互关系

建筑材料的准备	均值和标准差	Spearman's rho 相关系数及显著性	
		对降低成本的影响	对缩短工期的影响
建筑主体结构材料	2.660 (SD = 1.119)	0.466 ( < 0.001)	0.638 (**) ( < 0.001)
建筑板材料	2.820 (SD = 1.024)	0.458 ( < 0.001)	0.569 (**) ( < 0.001)
建筑外墙材料	2.820 (SD = 1.190)	0.264 (0.005)	0.635 (**) ( < 0.001)
建筑内墙材料	2.760 (SD = 1.108)	0.462 ( < 0.001)	0.607 (**) ( < 0.001)
克隆巴哈系数	0.824	0.795	0.829

注：\*\*表示在 0.05 水平上显著。

表 3 工程项目的操作性与项目绩效的相互关系

工程项目的操作性	均值和标准差	Spearman's rho 相关系数及显著性	
		对降低成本的影响	对缩短工期的影响
可使用标准化的程度	3.100 (SD = 1.226)	0.380 ( < 0.001)	0.393 ( < 0.001)
可采用预装配的程度	2.940 (SD = 1.043)	0.529 (**) ( < 0.001)	0.623 (**) ( < 0.001)
操作简单程度	3.070 (SD = 0.936)	0.383 ( < 0.001)	0.384 ( < 0.001)
施工灵活程度	3.220 (SD = 0.902)	0.508 (**) ( < 0.001)	0.600 (**) ( < 0.001)
克隆巴哈系数	0.762	0.879	0.796

注：\*\*表示在 0.05 水平上显著。

表 4 建筑设计的其他方面与项目绩效的相互关系

建筑设计的其他方面	均值和标准差	Spearman's rho 相关系数及显著性	
		对降低成本的影响	对缩短工期的影响
设计的场地限制条件	3.350 (SD = 0.841)	0.141 (0.143)	0.507 (**) ( < 0.001)
建筑物形状与现场地形	3.530 (SD = 0.726)	0.532 (**) ( < 0.001)	0.554 (**) ( < 0.001)
设计的灾害预防措施	3.460 (SD = 0.762)	0.399 ( < 0.001)	0.578 (**) ( < 0.001)

(续)

建筑设计的其他方面	均值和标准差	Spearman's rho 相关系数及显著性	
		对降低成本的影响	对缩短工期的影响
设计满足客户的程度	3.390 (SD = 0.814)	0.365 ( < 0.001)	0.402 ( < 0.001)
克隆巴哈系数	0.645	0.796	0.733

注：\*\*表示在 0.05 水平上显著。

表 5 工程项目设计的可建造性与项目绩效的相互关系

设计的可建造性	均值和标准差	Spearman's rho 相关系数及显著性	
		对降低成本的影响	对缩短工期的影响
	3.280 (SD = 0.803)	0.413 ( < 0.001)	0.728 (**) ( < 0.001)

注：\*\*表示在 0.05 水平上显著。

### 3.2 模型的有效性检验

由本文提出的测量模型，建筑材料的准备、工程项目的操作性和建筑设计的其他方面在设计总体的可建造性得分中所占比重分别为 60%、20%、20%，为验证本模型的有效性，将 110 份有效问卷的分属性得分与可建造性得分情况进行回归分析，回归结果见表 6。由  $R^2 = 0.915$  可知，该三项属性可以在很大程度上解释可建造性的实际得分。由回归系数可知，设计的可建造性得分 =  $0.658 \times$  “建筑材料的准备” 平均得分 +  $0.223 \times$  “工程项目的操作性” 平均得分 +  $0.270 \times$  “建筑设计的其他方面” 平均得分，三属性所占比例分别为 57.17%、19.27%、23.46%，与模型提出时各部分所占比例基本相符，说明所提供的模型能够较好地表示设计的可建造性。该模型具有一定的精度，可以在实践中用来测量工程项目设计的可建造性。

表 6 设计的可建造性得分与分属性关系——系数

模型	标准化系数	t	Sig.
常量		-2.699	0.008
“建筑材料的准备” 平均得分	0.658	17.792	0.000
“工程项目的操作性” 平均得分	0.223	5.821	0.000
“建筑设计的其他方面” 平均得分	0.270	8.576	0.000

### 3.3 假设检验结果分析

为了检验模型中各属性对工程项目的工期绩效和成本绩效的影响关系，由于数据不是正态分

布,因此采用 SPSS 19.0 中的 Spearman's rho 检验进行相关分析。检验结果所得的相关系数为  $-1 \sim 1$ ,用来表明研究二者关系的相关程度。其中“-1”表示设计属性对项目绩效有负影响,“1”表明设计属性对项目绩效有正影响,“0”表明二者之间不存在影响。为达到检验目的,当设计总体可建造性的 12 项分属性对项目绩效的影响系数在 0.5 以上并且影响的显著性在 0.05 以下时,表明该属性对项目绩效有显著的正影响,应在工程项目实践中多加注意。分析结果见表 2~表 5。

由表 2 可知,建筑材料的准备的四项分属性均与工期绩效有显著正相关,而建筑主体结构材料和建筑外墙材料与工期绩效的相关性达到了 0.638 和 0.635。表 3 中工程项目的可采用预装配的程度和施工灵活程度与对工期绩效有显著影响,但针对工程项目的操作性这一基本属性而言,对工期绩效的影响程度一般。表 4 结果显示建筑设计中考虑场地、地形的限制和具有现场减灾的措施与工期绩效显著正相关,表示在设计中考虑上述内容可以使工程施工更加顺利,从而减少工期,有利于工期绩效的提高。为了进一步验证设计的可建造性对工期绩效的影响程度,采取交叉检验的方法。表 5 表示了设计总体的可建造性与工期绩效的相关关系,可以看出,设计的可建造性的提高与减少工期之间有 0.728 的正相关关系,与上述分析一致,因此,“工程项目设计的可建造性对项目的工期绩效有显著的正影响”这一假设得到了验证。

而设计的可建造性与成本绩效之间的相关性较差,在 12 项分属性中,仅有可采用预装配的程度、施工灵活程度、建筑物形状与现场地形的符合程度三项可以显著减少成本。在表 5 的交叉检验中可以看出,设计的可建造性对于提高成本

绩效的影响不显著。这与 Tam 的研究相符,因此提高工程项目中采用预装配的程度会带来成本的提高,对成本绩效带来负影响<sup>[27]</sup>。因此“工程项目设计的可建造性对项目的成本绩效有显著的正向影响关系”这一假设并未得到完全证实。

### 3.4 工程项目交易方式对设计可建造性的影响

通过分析回收的问卷,得到使用 DBB 方式的 58 项工程项目和使用 DB 方式的 42 项工程项目。在数据分析过程中,以 DB 和 DBB 两种不同的工程项目交易方式作为变量,试图探究不同的工程项目交易方式对设计的可建造性是否有影响。通过 SPSS 19.0 的独立样本 t 检验,得到分析结果见表 7、表 8。从表中可以看出,与 DBB 方式相比,DB 方式下工程项目设计的可建造性的平均得分更高 ( $3.600 > 3.280$ ) 且得分的波动范围小 ( $0.665 < 0.744$ ),说明 DB 方式下,更能保证设计的可建造性。显著性方面,根据方差齐性检验的结果,设计的可建造性得分在不同交易方式下的均值方程 t 检验的显著性为 0.029。可见在不同交易方式下,DBB 项目的可建造性显著高于 DB 项目。

表 7 不同工程项目交易方式下可建造性对项目绩效的影响——组统计量

设计的可建造性得分	均值	标准差
DB 方式	3.600	0.665
DBB 方式下	3.280	0.744

## 4 结语

本文构建了中国情境下工程项目设计的可建造性衡量模型,通过建筑材料的准备、工程项目的操作性和建筑设计的其他方面三个基本属性(共 12 项分属性)来衡量设计的可建造性。通过分析回收的 110 份问卷可以看出,在中国情境下,

表 8 不同工程项目交易方式下可建造性对项目绩效的影响——独立样本检验

		方差方程的 Levene 检验		均值方程的 t 检验				
		F	Sig.	t	df	Sig. 双侧	均值差值	标准误差值
可建造性得分	假设方差相等	0.584	0.447	2.213	98	0.029	0.091	0.023 4
	假设方差不相等			2.254	93.695	0.027	0.091	0.022 0

设计的可建造性得分较低,说明在我国工程行业中,承包商和业主单位对可建造性的认识还不够广泛。设计的可建造性可以减少由于工程参与方之间沟通不当而造成的返工及变更现象;设计中采用的预装配和预安装等过程的存在可以明显地缩短施工时间;设计中在场地的充分考虑也可以提高项目效率,方便施工过程的进行,以上过程都可以显著地降低工期,加快项目的完工。而由于提高设计可建造性的措施,如预制和预安装等需要一定的成本,而该成本与设计的可建造性可以节省成本之间的关系不能确定;且一旦加强并保证减少现场灾害的预防措施,会带来额外的成本;因此从整体而言,工程项目设计的可建造性对成本绩效的影响不显著。

本文还分析了不同交易方式对可建造性的影响。通过对比 DBB 和 DB 方式下的工程项目设计的可建造性得分可以得出,DB 方式下,由于承包商参与设计工作,可以利用自身的施工经验和专业知识对项目进行设计,并承担设计缺陷和遗漏的风险,设计的可建造性较 DBB 方式下更高。且由于在 DB 方式下,施工过程中的变更成本一般都由承包商自身承担;承包商在设计时考虑自身资金和资质等方面的限制,能够在其预期范围内控制成本,提高成本的确定性;DB 方式下承包商的设计和施工之间可以存在一定的搭接情况。由此可以看出,采用 DB 方式在保证可建造性的基础上有助于提高绩效。因此工程项目的管理者可以考虑从项目的设计可建造性出发,选择适宜的项目交易方式。

设计的可建造性概念有利于设计主体提高设计的质量,使得设计更有利于施工;承包商企业在施工前用设计的可建造性概念对设计进行审查,与业主和设计方进行及时沟通,有利于施工的顺利进行;业主还可以运用可建造性概念加强对工程项目进行管理和控制。同时,随着我国“走出去”战略的实施,越来越多的中国企业开始在国际市场中展开工程项目建设的活动,对可建造性进行了解和研究,对提高我国企业的国际形象有着一定的现实意义。

本文尚存在不足。问卷所采用的量表是在已

有量表的基础上进行的改进与调整,虽经数据验证了量表的信度和效度,但本量表在其他文化背景下的适用性还需要未来的研究进行交叉验证;本文的问卷数量还不够充分,使得结果具有一定的局限性。在今后的研究中,还可以进一步探讨设计的可建造性对工程质量、安全等方面的影响,并分析不同的项目交易方式下工程项目设计的可建造性对工程项目绩效的影响关系及影响机理。

## 参考文献

- [1] Patrick T I Lam, Edwin H W Chan, Franky W H Wong, et al. Factors affecting buildability of building designs [J]. Canadian Journal of Civil Engineering, 2006, 33 (7): 795-806.
- [2] Liu J Y, Low S P. Enhancing buildability in China's construction industry using Singapore's design appraisal system [J]. Journal of Technology Management in China, 2007, 2 (3): 264-278.
- [3] Russell J S, Swiggum K E, Shapiro J M, et al. Constructability related to TQM value engineering and cost benefits [J]. Journal of Performance of Constructed Facilities, 1994, 8 (1): 31-45.
- [4] Construction Industry Research and Information Association. Buildability: an assessment [M]. London: CIRIA, 1983.
- [5] Construction Industry Review Committee (Hong Kong). Construct for excellence: report of the construction industry review committee [R]. Hong Kong: CIRC, 2001.
- [6] Saghatforoush E, Hassim S, Jaafar M S, et al. Assessment of critical constructability activities among Malaysian building contractors [J]. American Journal of Scientific Research, 2009 (3): 15-25.
- [7] Trigunarysah B. Constructability practices among construction contractors in Indonesia [J]. Journal of Construction Engineering and Management, 2004, 130 (5): 656-669.
- [8] 孙继德, 廖前哨. 建设项目的可施工性研究 [J]. 同济大学学报: 自然科学版, 2002, 30 (8): 1001-1004.
- [9] 沈昕, 谈力. 国际 EPC 项目施工可行性研究的应用 [J]. 石油化工建设, 2005, 27 (5): 14-15, 27.
- [10] O'Connor J T, Tucker R L. Industrial project constructability improvement [J]. Journal of Construction Engineering and Management, 1986, 112 (1): 69-82.
- [11] Fisher D J, O'Connor J T. Constructability for piping automation: field operations [J]. Journal of Construction

- Engineering and Management , 1991 , 117 (3) : 468-485.
- [12] Kumaraswamy M M , Chan D W M. Contributors to construction delays [J]. Construction Management and Economics , 1998 , 16 (1) : 17-29.
- [13] Ugwu O O , Anumba C J , Thorpeb A. The development of cognitive models for constructability assessment in steel frame structures [J]. Advances in Engineering Software , 2004 , 35 (3/4) , 191-203.
- [14] Francis V E , Chen S E , Mehrtens V M , et al. Constructability strategy for improved project performance [J]. Architectural Science Review , 1999 , 42 (2) : 133-138.
- [15] Gray C. Buildability: the construction contribution [M]. Ascot : The Chartered Institute of Building , 1983.
- [16] Atkinson A , Cavilla J , Wells J. Securing the contractor's contribution to buildability in design [M]. London: Construction Industry Research & Information Association , 1997.
- [17] Jergeas G , Der Put J V. Benefits of constructability on construction projects [J]. Journal of Construction Engineering and Management , 2001 , 127 (4) : 281-290.
- [18] Boyce W J. Designing for constructability [C] //35th Annual Meeting of the 1991 Transactions of the American Association of Cost Engineers. Seattle: American Association of Cost Engineers , 1991.
- [19] Pepper H C. The Benefits of Constructability Reviews during the Design of Environmental Capital Projects [J]. Cost Engineering , 1994 , 36 (2) : 19-21.
- [20] Geile R J. Constructability, "the Stretch Version" [C] // Transactions of AACE international Annual meeting. Morgantown: AACE International , 1996.
- [21] Tam A. Structural precasting gets thumbs up in Tuen Mun [J]. Hong Kong Engineer , 2005 , 33 (8) : 7-9.
- [22] Hassan Z. Conplan: construction planning and buildability evaluation in an integrated and intelligent construction environment [D]. Salford : University of Salford , 1997.
- [23] Yu Wen-der , Skibniewski M J. Quantitative constructability analysis with a neuro-fuzzy knowledge based multi-criterion decision support system [J]. Automation in Construction , 1999 , 8 (5) : 553-565.
- [24] Yang Y Q , Wang S Q , Dulaimi M , et al. A fuzzy quality function deployment system for buildable design decision-makings [J]. Automation in Construction , 2003 , 12 (4) : 381-393.
- [25] BCA. Code of practice on buildable design [M]. Singapore : Building and Construction Authority , 2003.
- [26] Lam P T I , Wong F W H , Chan A P C , et al. Benchmarking buildability using the buildability assessment model in Hong Kong [J]. HKIE Transactions , 2008 , 15 (1) : 7-17.
- [27] Tam A. Advancing the Cause of Precast Construction in Kwai Chung [J]. Hong Kong Engineer , 2007 , 35 (11) : 9-12. **PMT**
- 收稿日期: 2013-06-21