

Research on Interface Management and Optimization in Subway Construction

Guowei Yang¹, Jie Cao², Xiaoning Zhang²

¹Shanghai Rail Transit Line Thirteen Development Co., Ltd., Shanghai

²School of Economic and Management, Tongji University, Shanghai

Email: 1631070@tongji.edu.cn

Received: Nov. 25th, 2016; accepted: Dec. 9th, 2016; published: Dec. 15th, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

Abstract

The interface problems in the management of metro construction commonly exist. This paper uses the house of quality model to find out the key measures of interface management and the PBS to introduce the specific work and apply the milestone management philosophy to optimize the interface management, which ensures the functions realized and the engineering completed on schedule and reduce the overall risk of the project. And at the end of the article, it takes the construction of Metro Line 13 in Shanghai as an example to verify the effectiveness of the above measures.

Keywords

Subway, HoQ, Interface Management, Milestone Management

地铁建设中的接口管理与优化研究

杨国伟¹, 曹杰², 张小宁²

¹上海轨道交通十三号线发展有限公司, 上海

²同济大学经济与管理学院, 上海

Email: 1631070@tongji.edu.cn

收稿日期: 2016年11月25日; 录用日期: 2016年12月9日; 发布日期: 2016年12月15日

摘要

地铁建设管理中接口问题普遍存在, 本文利用质量屋模型找出地铁建设过程中接口管理的关键措施, 用PBS分解规划接口管理的具体工作, 并应用里程碑管理的理念去优化管理接口, 确保工程的功能实现和按期完成, 降低项目的整体风险, 并以上海在建的地铁13号线为例, 验证上述措施的有效性。

关键词

地铁, 质量屋, 接口管理, 里程碑管理

1. 引言

近年来, 随着我国经济建设水平的发展, “地铁引导城市发展”的口号常常被提起, 各大一、二线城市都在竞相修建地铁, 以缓解公共交通压力, 为居民出行提供便利。

以上海为代表的一线城市, 市区基本已做到地铁线路全覆盖, 轨道交通的客运量占了整个公共交通客运总量的一半还多[1], 地铁运输已经在公共交通中占据了举足轻重的地位。而全国的公共交通客运总量构成情况[2]却与上海市大相径庭, 从全国范围来看, 地铁运输的人数总量占公共交通运输总人数的五分之一不到, 地铁运输发展水平还相对滞后, 许多省份甚至还没有一条运营中的地铁, 两者客运量对比情况如图1所示。随着城市化进程的推进, 我们可以预见, 我国的地铁建设还有很大的市场和前景, 在不久的将来将会有更大数量的地铁在中国大陆上建成并运营, 这对加强地铁建设项目的管理研究有着迫切的需要。

地铁建设是一个复杂的工程, 所涉及的专业众多, 相互之间的关系错综复杂, 因此接口问题在地铁建设中普遍存在。接口管理占用了建设参与各方大量的资源, 对于工程的质量保证、按期完成、安全以及投资都有深远的影响。如何全面、清晰地表示技术接口及其要求, 是地铁工程接口管理的一项重要内容。

通常我们将地铁建设项目的接口设计大致分为四阶段, 即需求分析阶段、设计阶段、工程策划阶段和施工阶段, 针对不同阶段容易出现的问题已有学者提出了针对性的解决方案, 例如运营提前介入、分析设计法, 设置移交条件、建立会议制度、交底制度等。这些方法使得接口管理工作更加合理和高效, 但在实施过程中仍然存在分部工程拖延工期, 无法按时完成自己的核心工作的问题。针对这一问题, 本文试图通过质量屋模型识别接口管理关键措施, 并将里程碑管理的理念引入接口管理工作, 以期有所改善。

本文大致可以分为四个部分。第一部分明确接口管理的对象; 第二部分利用质量屋模型找出接口管理的关键措施; 第三部分阐述上述关键措施的实施过程; 第四部分利用上海地铁13号线的建设实例来验证上述理论的可行性。通过上述四个部分的分析, 我们可以得出结论, 工程技术接口分解和里程碑管理是接口管理中的关键措施, 对于工程的按期完工、质量保证有着积极的意义。

2. 接口管理的对象

地铁工程建设中所涉及的专业领域众多, 主要可以分为三类: 规划管理类、土建结构类和机电设备类[3], 其下又各自细分为不同的小专业, 大致情况如表1所示。

这三大学科领域之间, 以及同一学科内部的细分专业之间, 均有唯一对应的接口, 负责输入输出资料的交付。接口管理的核心任务就是建立适当的接口文件, 制定接口计划, 理顺城市地铁工程建设中各

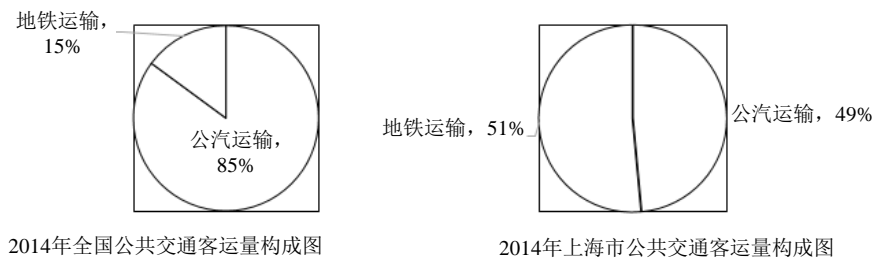


Figure 1. Comparison of public transport trips between China and Shanghai in 2014
图 1. 2014 年全国和上海市公共交通运输人次对比

Table 1. The profession of subway project
表 1. 地铁工程建设涉及专业细分情况

规划管理类	土建结构类	机电设备类
行车组织	建筑	供电系统
线路	结构	通信系统
限界	通风空调	信号系统
区间结构	给排水及消防	通风空调系统
	动力照明	给排水
	人防	FAS
	工艺	EMCS
	建筑	ACS
	结构	SIOS
	给排水及消防	AFC
	通风空调	自动扶梯和电梯
	动力照明	屏蔽门系统
		防淹门

参与方的接口关系，采取有效的控制措施，避免或解决可能出现的接口问题。其目标是使各个系统有效的连接起来，保质保量，安全如期地实现系统功能[4]。

3. 基于质量屋模型的关键措施识别

本文根据接口管理的目标和具体的实施措施，构造了接口管理质量屋模型，将原始模型中的“顾客需求(CR)”变为“接口管理的要求”，将原始模型中的“产品技术属性(EC)”变为“接口管理的措施”，如表 2、表 3 所示。

CR_i ——第 i 个接口管理要求，($i=1,2,\dots,5$);

EC_j ——第 j 个接口管理措施，($j=1,2,\dots,5$);

W, w_i ——接口管理要求向量和第 i 个要求的相对权重;

R, r_{ij} ——接口管理要求和措施之间的关联矩阵，以及 CR_i 与 EC_j 之间的关联系数。

通过专家意见法，得出每个 CR_i 的权重 w_i ，以 0.1, 0.2, ..., 0.9 来表示，权重之和为 1，从而确定 CR 的权重矩阵 W 。接着评估第 CR_i 与第 EC_j 之间的相关关系值 r_{ij} ，也以 0.1, 0.2, ..., 0.9 来表示，如 0 表示不相关，0.5 表示中等相关，1 表示强相关，得出 CR 与 EC 之间的关系矩阵 R 。

Table 2. Requirements of interface management

表 2. 接口管理的要求

要求 (CR)	含义
CR ₁	协调各部门的权利与义务, 力求权责对等, 接口界面清晰
CR ₂	连接项目内各个系统, 使其联动运行
CR ₃	安排工序, 设置节点, 按期完工
CR ₄	交付内容符合一系列质量标准
CR ₅	控制项目投资在既定的总投资额范围内

Table 3. Measures of interface management

表 3. 接口管理措施

实施措施 (EC)	含义
EC ₁ PBS 分解	对项目进行分解, 明确各单位的权利义务以及时间限制
EC ₂ 里程碑管理	按照既定的计划进度, 设立里程碑, 对工期和投资进行管控
EC ₃ 信息系统	利用信息化技术进行全程管理, 高效连接项目各子系统
EC ₄ 设置监理	全程监督, 保证交付内容符合一系列质量标准
EC ₅ 关键路径	找寻整个接口管理中的关键路径, 进行重点把控

通过 W 与 R , 依据下式对各实施措施的重要程度进行计算, 从而得到表 4 所示的质量屋:

$$V_j = \sum_{i=1}^5 w_i r_{ij}, j = 1, 2, \dots, 5 \tag{1}$$

通过(1)中的给出的目标函数分别对 5 个实施措施进行计算, 得出:

$$V_1 = 0.55; V_2 = 0.72; V_3 = 0.23; V_4 = 0.29; V_5 = 0.33。$$

经过计算表明, V_1 与 V_2 分值较高, 说明 PBS 分解和里程碑管理是在接口管理中相对关键的实施措施, 对实现其整体功能有着积极的作用, 文章将结合上海地铁 13 号线的具体情况对以上两种措施做进一步研究。

4. 接口管理的实施过程

如前文所述, 接口管理需要连接的专业错综复杂, 实施过程中容易出现遗漏和疏忽, 对后续工作造成不良影响。为了使接口管理工作合理有序地进行, 需以工程技术接口分解为基础[5]。

工程技术接口分解采用项目分解结构(Project Breakdown Structure, PBS)的方法, 对地铁建设过程中涉及到的各个专业的输入输出资料、交付的时间节点进行分解, 按照专业建立资料包, 保证一个专业对应一个资料包。工程技术接口分解是在大型复杂群体项目中进行项目管理工作的基础, 其分解的结果是构成项目最终实体目标的项目单元[6]。整个过程可拆分为以下四个步骤。

1) 收集资料

整理地铁工程项目建设中所涉及专业的互提资料, 即各专业的输入输出内容, 以及所有内容的时间节点。

2) 数据分类

对收集到的互提资料按专业进行分类, 每一个专业独有一个资料库。所有数据依据十八个专业划分, 分别是行车组织专业; 线路专业; 限界专业; 轨道专业; 车站各专业; 区间结构专业; 供电系统; 通信

Table 4. QFD of interface management
表 4. 接口管理质量屋

		EC_1	EC_2	EC_3	EC_4	EC_5
W		R				
CR_1	0.2	0.9	0.8	0	0	0.7
CR_2	0.1	0.9	0.7	0.8	0.3	0.6
CR_3	0.3	0.8	0.9	0.5	0	0.3
CR_4	0.2	0	0.2	0	0.9	0
CR_5	0.2	0.2	0.9	0	0.4	0.2

系统；信号系统；通风空调系统；给排水及消防系统；FAS 专业(FAS: Fire Alarm System 火灾报警系统)；EMCS 专业(EMCS: Electrical and Mechanical Control System 机电设备监控系统)；ACS 专业(ACS: Access Control System 门禁系统)；SIOS 专业(SIOS: Station Integrated Operating System 车站控制室集成操作系统)；AFC 专业(AFC: Automatic Fare Collection 自动售检票系统)；车站设备专业；停车场各专业。其中车站各专业、供电系统、给排水及消防系统、车站设备系统、停车场各专业将继续细分成几个小专业，每个小专业也独立成库，从属于其上级专业的资料库内。

3) 数据处理

将分类好的数据进行分解处理，分解过程分为四层。第一层为所属专业，第二层为专业细分，第三层为输入资料，第四层为输出资料。第三、四层按提、受资专业，提、受资内容，时间周期排列。再依次对照互提资料填写。

4) 建立互提资料包

将整理过后的数据表归纳进各自专业的资料库，建立该专业的互提资料包。由于行文限制，在此不便将所有结果全部展示，这里仅截取了线路和车站两个大专业的关键数据分解结果，如表 5、表 6 所示。

从上表中我们可以清晰地看到地铁建设项目中接口管理所涉及的所有专业的工作内容，并且依照专业要素进行划分，数据清楚且有层次。每个专业都建立了一个资料包，清晰的显示每个专业的对接专业，交接内容，交接时间等。甚至是个别专业的细分部门，其工作流程也都有清楚的指示。

在工程技术接口分解的基础上，我们可以根据实际情况进行关键路径分析和接口子系统划分，研究接口管理的总工期和关键活动，并对整个接口管理进行分类研究[7]，在本文中不作具体阐述。

5. 基于里程碑管理的接口管理优化

里程碑是施工过程中具有重大意义的节点，是承包商必须要达到的目标。而对里程碑进行管理，是将整个项目中的里程碑通过一定的逻辑关系连接起来，从总体上进行规划，从个体上进行具体管控。通过里程碑管理，项目经理能够更加注重事前控制，对项目的建设进度、成本和质量进行统一的管理和控制，避免项目可能出现的施工延期、质量安全等问题，降低施工风险。总的来说，里程碑管理是工程建设中进行风险和进度管理的有效工具和方法。

通过 PBS 分解我们已经可以明确各个单位工程的核心业务所在，对其间交付的关键资料和交付节点进行设定，建立里程碑，并理清各个专业里程碑之间的逻辑关系，形成里程碑网络，进行统一规划和管理[8]。里程碑管理大致可以分为里程碑设定和里程碑执行两个步骤，如图 2 所示。

Table 5. PBS of line profession
表 5. 线路专业接口 PBS 分解

第二层	专业要素	输入资料			输出资料		
		提资专业	提资内容	时间周期	受资专业	受资内容	时间周期
	工程勘测	工程勘测	沿线带状地形图	2 个月	工程勘测	线路平面图	3 个月
	限界		沿线工程地质纵断面图		轨道	线路平面图	3 个月
	站场	轨道	轨道横断面, 道床道岔类型尺寸	2 个月	限界	线路平面和纵断面图	3 个月
	行车		车挡长度安装图		车辆	线路技术标准	3 个月

Table 6. PBS of station profession
表 6. 车站各专业接口 PBS 分解

第二层	专业要素	输入资料			输出资料		
		提资专业	提资内容	时间周期	受资专业	受资内容	时间周期
车站结构专业	建筑	建筑	总图、平纵横断面图	6 个月	建筑	总图、平纵横断面模板图	2 周
	线路	线路	平纵断面图、分界里程	6 个月	线路	总图、平纵横断面模板图	2 周
	限界	限界	车站建筑限界图	6 个月	限界	平纵横断面模板图	2 周
车站通风空调专业	信号	通信	设备发热量、定员, 机房内温湿度要求	3 个月	结构	设备基础尺寸	建筑准确提资后 3 周
	FAS/EMCS, SIOP	FAS/EMCSSIOP	设备发热量、定员, 机房内温湿度要求	3 个月	给排水专业	冷却循环水量	施工图开始后 4 周

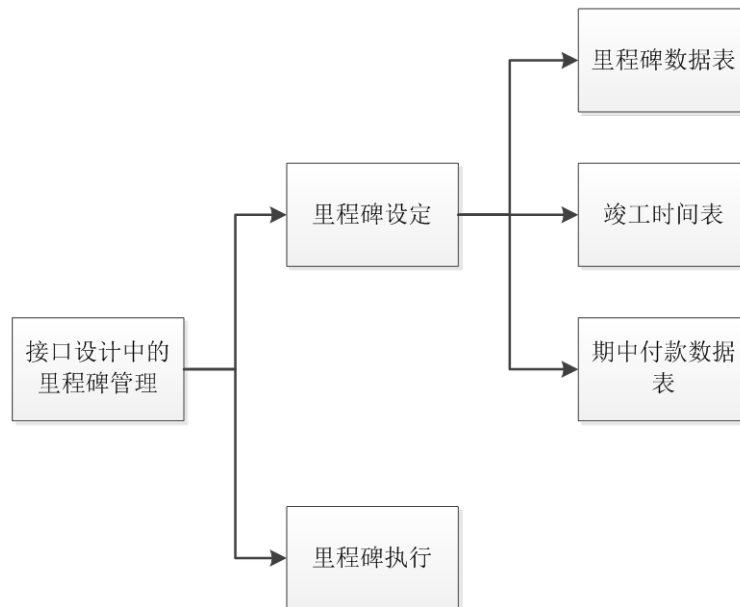


Figure 2. Milestone management in interface management
图 2. 接口管理中的里程碑管理

5.1. 里程碑设定

我们通过构建三类表格：里程碑数据表，竣工时间表和期中付款数据表[9]来实施里程碑的设定。其中，前两张表对里程碑的内容和时间进行规划安排，后一张表将里程碑与付款挂钩，对施工单位进行约束，保证里程碑工程按期完成。

1) 里程碑数据表

里程碑数据表主要显示里程碑的内容和里程碑达到日期。其主要的工作是将接口管理的总体目标分解为阶段目标，在分解阶段目标的过程中不能简单地按时间进行切割，而是在保证有交付内容的前提下进行有效的分解。

接口管理主要是针对地铁工程建设中所涉及的各专业的信息对接，那么我们可以依据专业对里程碑进行划分。表7是对里程碑数据表的简要模拟。

表格左起第一列记录整个接口管理工作的里程碑数量，从第二列起依次标明对接专业、交付内容和交付时间。如有专业细分，可在第二列后增加一列进行分类。

这样的表格所包含的内容非常的详细具体，虽然承包商需要提供大量的文字资料，并增加一些会议的联络和文件提交工作，手续较以往要稍显复杂，但便于业主了解查看整个工程的进度状况，体现了业主的控制地位。

2) 竣工时间表

竣工时间表主要显示关键工作的完成日期，这个日期要比里程碑数据表中的更为重要，是整个接口管理工作中的关键节点，我们尽量保证每个专业唯一对应一个竣工时间，如表8所示。

同里程碑数据表一样，竣工时间表也是根据地铁建设中的专业排序，在每个专业同期所有的工程任务中，选取其中跟其它专业接口关系最多的一项任务作为该专业在这一阶段的核心任务，并对其竣工时间做出限制。其中部分专业下含多个细分专业，也具有自己的关键活动和工期限制，本表由于行文所限，未表示出来。通常，管理人员需要时时跟进各个专业的作业情况，在竣工时间到达之前就做出判断该项工程是否能够准时完成。如若遇到突发情况不能按计划进行，则需要通过接口系统对其它相关专业发出通知，通告事故原因和预计延后期限，以便于其它专业修改自己的工作进度。同时业主同各个部门的项目经理需要及时开会协商，讨论解决办法，尽可能地减少由于个别专业失控而对全局施工带来的影响，保证总工期不被延误[10]。

Table 7. Demonstration of milestone data sheet

表 7. 里程碑数据表示范

里程碑	施工单位	提资专业	交付内容	交付时间
A1	M	J	a b	x
A2	N	K	c	y

Table 8. Demonstration of completion schedule

表 8. 竣工时间表示范

序号	专业	输出内容	时间限制
1	M	a b	m
2	N	c d	n

诚然，设立竣工时间表的根本目的在于督促各专业明确自己的施工任务和期限，避免部分工程延期而造成全局混乱。这样的措施仅仅依靠书面上的敦促明显不够，还需要添加一些经济上的手段来保证执行，这就是我们下面将说到的期中付款数据表的功能。

3) 期中付款数据表

期中付款数据表一般由项目中的合同部门和财务部门编制，主要内容是对承包商的付款做一个记录。由竣工时间表我们可以得到每个具体专业在当期的主要任务和竣工时间限制，这将作为业主进行拨款的依据。在工程开始之前，施工方根据自己的里程碑数据表和竣工时间表去申请工程款，但并不能申请到全额的工程款，只能领取 15% 至 30% 的金额，具体的数额由业主根据实际情况把握。例如轨道专业的竣工期限为 3 个月，那么在前两个月该专业都只能使用 30% 以下的货款，等到 3 个月期限达到，轨道专业竣工且工程质量合格，交付过程完毕，才能领取到全额的工程款。

上述过程能够帮助业主实现对整个工程的总体控制，把一部分投资风险转移到了施工方，要求承包商具有一定的流动资金。同时也对承包商有一定的督促和激励作用，利于按期完工。

5.2. 里程碑执行

里程碑的执行主要针对于工程进度款交付的方面，主要包含申请、审核、批准和支付四个方面。首先是施工方在完成施工任务后，向业主提出支付货款的申请。然后业主对其工程完成情况进行审核，根据其工程完成的进度和期中付款数据表中的数据来批准适量的金额，之后由财务部付款，如图 3 所示。

如果确认里程碑内容已保质保量按时完成，业主根据合同约定支付全部款项，但是如果在规定期限内承包商没有完成里程碑任务，或是工程出现了质量安全问题，不能实现预期功能，那么施工方需要承担一定的责任，赔偿业主的经济损失。具体的数额由双方根据该工程的延误对总体项目建设带来的损失来商定。

对施工方来说，里程碑把庞大的工程建设任务分解成清晰具体的小目标，使各单位明确自己的工作任务，并产生一定的紧迫感，尽最大努力完成自己的工程任务，最终实现项目的总体目标；对业主来说，里程碑帮助其对总体项目进行切割、管理和控制，在项目实施过程中实时跟进，不断检测，保证进度和质量安全，降低风险。

6. 实例分析——上海地铁 13 号线

具体在上海地铁 13 号线建设工程中，按照前文所述对工程技术接口进行分解，大致步骤如图 4 所示。

经过 PBS 分解的数据处理工作，我们获取了整个上海地铁 13 号线的全部接口内容，便于设计人员细化接口管理工作，理清各个接口间的逻辑关系，便于各部门明确自己的工作任务，让整个建设工程有条不紊地展开。

在 PBS 分解之后，我们利用里程碑管理的理念来对接口管理进行优化。这里截取了上海地铁 13 号线的里程碑数据表和竣工时间表的部分信息，见表 9、表 10。

在 13 号线地铁项目中，共计 18 个专业，对应 18 个里程碑，其中个别专业对应多个交付内容，时间节点也不尽相同。各个专业里程碑虽然不尽相同，但相互之间包含一定的逻辑关系，有时间前后之分。管理人员需要依据此表，提前对各个专业的资料交付情况进行预检，以保证接口工作的顺利展开。如若发现个别单位在施工期间出现问题不能按时交付，要及时与接口中其它专业联系沟通，积极更改施工计划，避免后续工作瘫痪。

由于期中付款数据表涉及到项目中比较敏感的财务问题，本文没有具体数据来对上海地铁 13 号线的付款流程做出具体说明，不过这一阶段却至关重要，付款流程的规范化直接影响到整个里程碑管理的实

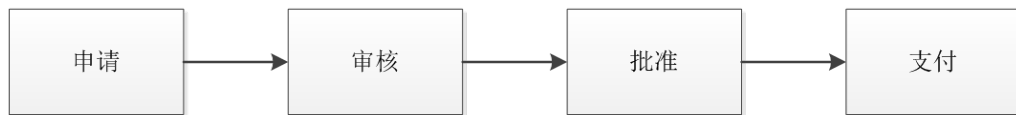


Figure 3. Milestone execution
图 3. 里程碑执行环节

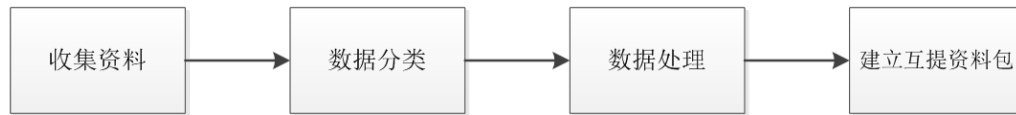


Figure 4. Decomposition of engineering technology interface
图 4. 工程技术接口分解流程图

Table 9. The milestone data sheet of Shanghai Metro Line 13
表 9. 上海地铁 13 号线里程碑数据表

里程碑	提资专业	交付内容	交付时间
A1	行车组织专业 线路专业	左右线线路平面图(含曲线要素) 左右线线路纵断面图	3 个月
A2	线路专业 工程勘测	沿线带状地形图 钻孔平面布置图	2 个月
A3	限界专业 车辆	车辆类型及要求	1 个月
A4	轨道专业 车辆	车辆相关参数	6 个月
A5	车站各专业 结构 建筑	车站结构断面形式 总图、平纵横断面图	2 周 6 个月

Table 10. The completion schedule of Shanghai Metro Line 13
表 10. 上海地铁 13 号线竣工时间表

序号	专业	输出内容	时间限制
1	行车组织专业	上下行牵引计算资料 出入场线牵引计算资料	3 个月
2	线路专业	线路平面图 线路纵断面图	3 个月
3	限界专业	限界断面图	1 周
4	轨道专业	轨道结构类型、横断面图	3 个月
5	通信系统	设备数量及安装要求	6 周

施效果。上海地铁 13 号线的修建过程中，管理人员严格执行付款程序，避免了以往工程建设中复杂的人为因素影响，保证接口信息通畅，没有出现施工延期、质量安全等问题。

7. 结论

工程技术接口分解和里程碑管理的方法简单明了，使项目各方清楚的知道自己在什么时间应该完成什么工作，容易产生紧迫感，从而避免工期延误，在完成里程碑之后，项目中各单位也能切实感受到项

目的进展, 获得一定的报酬, 提升团队的成就感和工作热情。两种方法结合, 便于管理人员掌握和控制项目进度、项目质量, 也有益于整个团队充满激情、高效有序的实现项目的总体目标。

参考文献 (References)

- [1] 上海市统计局. 上海统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2014.
- [2] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2014.
- [3] 李蒙. 数字轨道交通工程的设备接口管理[D]: [硕士学位论文]. 华中科技大学, 2006.
- [4] Chan, W.T., Chen, C., Messner, J.I., *et al.* (2005) Interface Management for China's Build-Operate-Transfer Projects. *Journal of Construction Engineering & Management*, **131**, 645-655. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2005\)131:6\(645\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2005)131:6(645))
- [5] Chua, D.K. and Godinot, M. (2006) Use of a WBS Matrix to Improve Interface Management in Projects. *Journal of Construction Engineering & Management*, **132**, 67-79. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2006\)132:1\(67\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2006)132:1(67))
- [6] 乐云, 崇丹, 蒋卫平. 大型复杂群体项目分解结构(PBS)概念与方法研究[J]. 项目管理技术, 2010(2): 39-43.
- [7] 郭杰. 城市轨道交通工程接口管理研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国铁道科学研究院, 2011.
- [8] Ju, Q.Q. and Ding, L.Y. (2015) A Web-Based System for Interface Management of Metro Equipment Engineering. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, **79**, 577-590. <https://doi.org/10.1007/s10846-014-0121-y>
- [9] 蔡荧. 浅论香港地铁的里程碑管理[J]. 现代企业文化, 2009(21): 76-77.
- [10] Alhammad, A.M. (2000) Common Interface Problems among Various Construction Parties. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, **14**, 71-74. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0887-3828\(2000\)14:2\(71\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0887-3828(2000)14:2(71))

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: mse@hanspub.org