

# 基于全寿命周期的城市电力管沟规划建设模式研究

杨江<sup>1</sup>, 宣伟锡<sup>2</sup>, 姜念<sup>2</sup>

(1. 天地电研(北京)科技有限公司, 北京 102206; 2. 无锡供电公司, 江苏 无锡 214101)

**摘要:**以城市电力管沟规划建设为研究对象,探索电力企业作为出资主体的电力管沟规划建设模式,分析其优缺点。改进传统项目决策方式,以最大化资产经济效益为目标,项目技术性能满足电网要求为约束条件,提出基于全寿命周期的城市电力管沟规划建设决策方法和全寿命工程实用化计算方法,寻求项目资产全寿命周期的最佳方案,以提高电力管沟工程项目规划决策水平。

**关键词:**城市电力管沟;规划建设模式;全寿命周期;决策方法

**中图分类号:**TM715

**文献标志码:**A

**文章编号:**1009-0665(2016)03-0034-05

随着城市电网电缆应用的增加,电力管沟作为地下电力管线的载体,其作用越来越重要。对电力公司而言,目前电力管沟规划建设项目投资决策仍基本停留在经验决策阶段,决策方式多注重项目的技术管理,以满足项目的特定功能为目的;评价的重心一般在经济性评价上,尤其是项目的前期投入资本上,忽视了项目实施后的运行、维修、翻新以及报废等诸多后续环节,没有考虑工程项目长期、完整的经济效益;缺乏足够科学论证和有效的项目投资决策方法,难以最优化资金使用效率,离科学决策和管理精益化要求还有很大差距<sup>[1-3]</sup>。

国外在全寿命周期成本(Life Cycle Cost, LCC)管理理论方面的研究已经很成熟,成果应用也遍布各行各业。国内LCC理论的应用尚处于起步阶段,目前主要应用的行业有电力、城市交通和建筑等<sup>[1,2]</sup>。LCC理论在电力管沟方面的应用,国内尚属空白,国外也无现成的成果。基于LCC的工程决策方式注重项目的技术管理和财务管理在内的综合管理,在项目技术性能满足要求的前提下,以优化资产的经济效益为目的;评价的重心是以资产总体效益为出发点,将项目管理从规划、立项、设计到报废的资产全寿命各个阶段的业务统筹考虑,寻求资产全寿命周期的最佳方案,避免决策局限于某个时间段或某个节点,实现贯穿各个阶段的整体优化<sup>[3]</sup>。

为此,文中在传统决策方式基础上引进LCC理念,采用敏感性分析方法,分析各种不确定因素(负荷增速、建设年限、贷款利差)变化对项目的影响程度,为电力管沟建设项目的决策提供了定量分析方法。

## 1 城市电力管沟规划建设模式

城市电力管沟的规划主体为政府和电力公司,建设主体为政府、电力公司和用户,运维主体主要是电

力公司。除了由政府投资建设电力基础设施外,电力公司投资的电力管沟规划建设模式主要有3类,即同步模式、政府垫资模式和传统模式。

(1) 同步模式(模式I):指同步政府道路规划实施电力管沟建设模式。以政府进行道路设计建设为契机,电力公司承担电力管沟投资,同步道路建设进行电力管沟施工。

优点:项目实施难度小,可最大限度满足用电需求;一次投入成本较小,仅管沟本体建设费用,不需要支付绿化赔偿、市政管理、交通拥堵等额外费用;减少道路反复开挖对交通的影响和给人们日常出行带来的不便,减少了道路两侧架空线和杆柱等对城市景观的影响。缺点:超前电网规划时间节点,提前若干年一次性建成电力管沟,管沟建设时间与负荷增长难以同步;投资闲置时间较长、虚高电网供电能力、容载比指标,增加投资回收期,无法规避经济社会发展调整的风险。

(2) 政府垫资模式(模式II):指先期由政府垫资,同步政府道路规划实施电力管沟建设模式。以政府进行道路设计建设为契机,先期由政府垫资,项目成立后由电力公司回购,同步道路建设进行电力管沟施工。

优点:项目实施难度小,可最大限度满足用电需求;一次投入成本由政府垫资,电力公司后期偿还,一次投入成本最小,操作得当,可有效降低整体投资成本。缺点:超前电网规划时间节点,提前若干年一次性建成电力管沟,管沟建设时间与负荷增长难以同步;虚高电网供电能力、容载比指标,无法规避经济社会发展调整的风险。

(3) 传统模式(模式III):指根据电网规划要求按部就班实施电力管沟建设模式。

优点:紧密结合电网规划,电力公司根据负荷需求建设电力管沟,规避经济社会发展调整的风险。缺点:由于各市政管线未能和道路同步施工,城市道路二次开挖现象非常严重,不但影响人们的日常生活,也造成

了人力、物力的浪费;存在项目不能落地风险,在项目实施上难度最大,一次性投资成本最高。

## 2 城市电力管沟规划建设优选决策模型

### 2.1 优选决策方法选择

决策方式以项目技术经济分析为主,包括最小费用法、收益/成本比法和收益增量/成本增量法等。任一决策对项目进行评估时,都要分析待评估项目的运行情况(供电分析)、明确各种费用组成(投资成本、建设费用、运行费用和维修费用等)。而在确定项目的优势以前,必须考虑备选方案涉及的所有因素。

在效益难以计算的情况下,可假设方案效益相同或基本相同,采用最小费用法作为城市电力管沟规划方案优选方法,该方法既可确保电力企业履行其供电业务,又能确保所有资金都投资在合理的方案上,使得电力企业从中获得最优的投资方式。

### 2.2 优选决策模型框架

城市电力管沟优选决策模式是以 LCC 算法为核心,运用最小费用法,完成对电力管沟决策的综合评价。文中从理论研究、LCC 算法构建两方面构建决策模型框架,如图 1 所示。

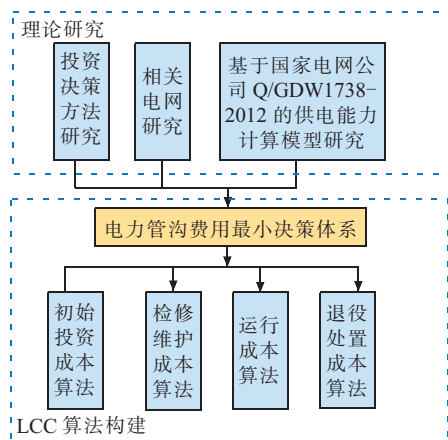


图 1 优选决策模型框架

#### 2.2.1 投资评估决策方法研究

投资是电网建设的基本保障,投资决策方法研究思路为:明晰各种投资决策方法,给出术语定义;并根据各类优选决策方案的应用条件,为项目后续研究做好基础准备工作。

#### 2.2.2 相关电网研究

电网需要瞬时平衡,潮流变化具有全局性的特点,电网建设项目对局部或全局电网产生一定影响。相关电网研究思路:识别电网建设项目效益,界定项目相关影响范围,分配相关电网元件负荷,明确电网建设项目评价的评价范围。

#### 2.2.3 供电能力计算模型研究

传统供电能力计算以容载比指标为计算因子,即

供电能力等于变电站容量与导则要求最低容载比之比,这种方法不能反映网架结构改善而提高的供电能力,且由于容载比为宏观指标不能反映具体微观电网存在的薄弱环节。

Q/GDW 1738 — 2012<sup>[4]</sup>以及 DL/T 256 — 2012<sup>[5]</sup>标准明确规定了下级电网为上级电网提供支撑、二次电网为一次电网提供服务的范围和指标,全面体现变电、网架对供电能力的综合作用效果。

#### 2.2.4 LCC 计算模型研究

研究关于电力管沟 LCC 模型和费用分解问题,单纯体现电网建设项目在整个全寿命周期的成本情况,建立初始投资计算模型、检修成本计算模型、运行成本计算模型、退役处置成本计算模型。

### 2.3 电力管沟规划建设方案决策流程

电力管沟建设模式决策的目标是从全寿命周期管理角度出发,运用项目决策的理论和方法,考虑资金的时间价值,对规划方案进行技术经济、敏感性分析,对参选方案分别计算项目全寿命周期内投资费用、运行费用、检修维护费用等,优选 LCC 综合评价最优的规划方案,为项目立项提供决策支持。方案决策流程详见图 2。具体步骤如下:

- (1) 进行方案识别,分析规划方案,确定方案的项目建设内容,界定规划方案相关电网;
- (2) 对相关电网进行负荷预测得到现状、近期、中期和远景的负荷预测;
- (3) 据负荷预测结果,基于国网标准供电能力计算模式,分析相关电网供电缺口。根据电力缺口情况,针对各种建设模式,不能提前建设电力管沟情况下,考虑制定替代供电方案以达到满足电力需求的目的;
- (4) 计算各个方案 LCC,包括初始费用、检修费用、运行费用、退役处置费用;
- (5) 评估以上 3 种方案年费用,确定年费用最小方案为优选方案,并发至有关单位征求意见;
- (6) 确定最终方案,结束。

## 3 案例应用及分析

以无锡市北大街街道区块为例,2015 年该区块最大负荷为 10 MW,相关电网范围内中压线路供电能力为 12 MW,现状电网电力供需平衡。根据负荷预测,结果见表 1。

根据《无锡十三·五配电网规划》,为满足该区域供电增长需求,2021 年新建 10 kV 电力管沟,规格 35 孔,管沟长度 3 km,近期负荷由现状电网临时供电。根据政府市政规划,2016 年将对北大街进行道路扩容建设。

针对上述电网情况,从全寿命周期理念出发,分析 3 种不同电力管沟建设模式下的全寿命年费用,并从

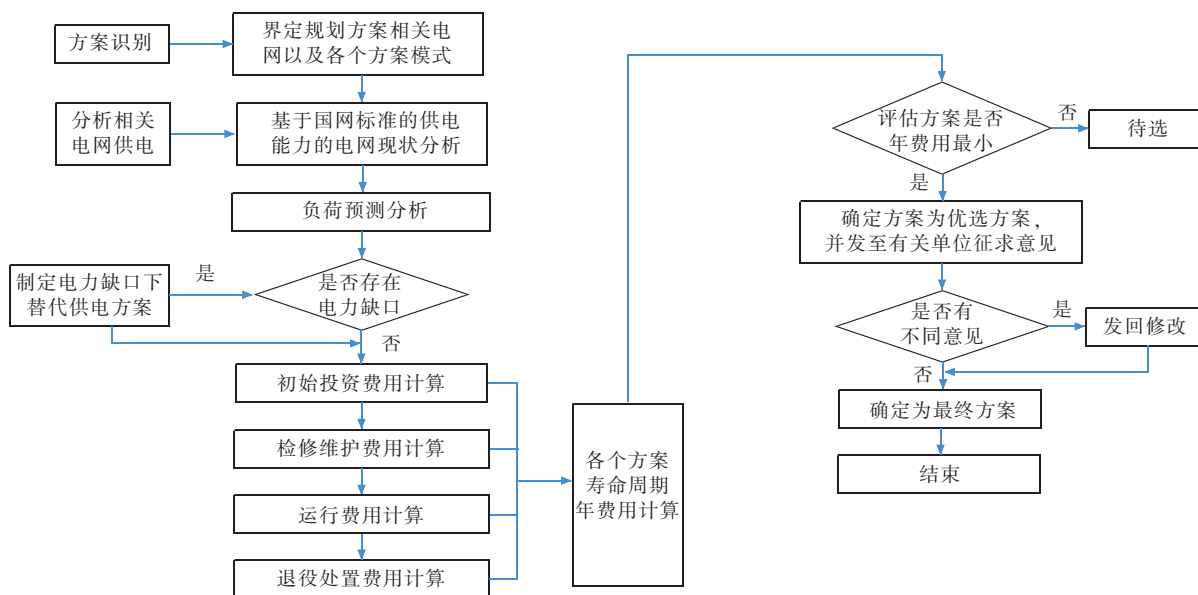


图2 城市电力管沟规划建设工程方案优选决策流程

表1 相关电网负荷预测结果汇总 MW

年份	负荷	增供负荷	需供负荷
2016	11.2	1.20	-0.80
2017	12.544	2.54	0.54
2018	14.0	4.05	2.05
2019	15.7	5.74	3.74
2020	17.6	7.62	5.62
2021	19.4	9.39	7.39
2025	28.4	18.38	16.3
2030	41.7	31.70	29.70
2035	55	45.81	43.81

中优选出最佳方案。

### 3.1 计算假定条件说明

#### 3.1.1 投资成本( $C_i$ )

投资成本主要包括电力管沟、线路投入的费用以及相关施工费、人工费。模式 I 下 10 kV 电力管沟(3×5 孔)单位投资为 240 万元 / km, 架空线路(JKLYJ-240)单位投资为 60 万元 / km, 道路开挖土建费用为 80 万元 / km; 模式 II 下 10 kV 电力管沟(3×5 孔)单位投资为 220 万元 / km; 电力管沟经济使用年限 20 a; 折现率取 10%。

利用年值折算系数, 将电网初始投资折算成年值的计算公式为:

$$C_f(A) = C_f(P) \times (A/P, a, n) = C_f(P) \times \frac{a(1+a)^n}{(1+a)^n - 1} \quad (1)$$

式中:  $C_f(A)$  为初始投资的年值;  $C_f(P)$  为初始投资的现值;  $n$  为经济使用寿命;  $a$  为折现率。

#### 3.1.2 检修维护成本( $C_M$ )

检修维护成本主要包括电力管沟、线路检修费及相关施工费、人工费, 此费用每年均会发生。10 kV 电

力管沟(3×5 孔)单位投资为 1.05 万元 / km。

#### 3.1.3 运行成本( $C_o$ )

运行成本主要包括替代成本及投资延缓成本。替代成本包括 10 kV 电力架空线投入、拆除费用, 计算公式为:

$$C_{OR}(A) = C_{OR}(P) \times (A/P, a, n) \quad (2)$$

$$N = n + \Delta \quad (3)$$

式中:  $C_{OR}(A)$  为替代投资的年值;  $C_{OR}(P)$  为替代投资的现值;  $n$  为经济使用寿命;  $\Delta$  为规划年限与现状年的差值;  $a$  为折现率。

投资延缓成本包括管沟(3×5 孔)以延缓付款方式取得时, 其价格中包含利息部分, 计算公式为:

$$C_{OW}(P) = C_i(P) \times \left[ \left( \frac{F}{P}, a, \Delta \right) - 1 \right] \times \left( \frac{F}{P}, a, \Delta \right) \quad (4)$$

$$C_{OW}(A) = C_{OW}(P) \times \left( \frac{A}{P}, a, N \right) \quad (5)$$

$$N = n + \Delta \quad (6)$$

基准利率取 10%, 政府垫资贷款利率取 12%。

#### 3.1.4 退役处置成本( $C_D$ )

残值回收部分较小, 假定管沟拆卸费用和环保处理费与设备残值抵消。

### 3.2 计算结果

#### 3.2.1 基于模式 I 的 LCC 计算

对于模式 I 而言, 整个过程仅包含一次投入成本及维护成本, 不产生替代成本以及投资延缓成本。因此, LCC 的计算公式为:

$$C_{LCC} = C_i(A) + C_M(A) \quad (7)$$

代入数据计算可得, 电力管沟资产全寿命周期内投资年费用为 87.72 万元。

#### 3.2.2 基于模式 II 的 LCC 计算

较模式 I 而言,由于政府垫资,模式 II 除常规的一次投入成本及维护成本外,还包括运行成本中的投资延缓成本。考虑政府贷款 12% 的利率,此模式下 LCC 的计算公式为:

$$C_{LCC} = C_I(A) + C_M(A) + C_{OW}(A) \quad (8)$$

代入数据计算可得,电力管沟资产全寿命周期内投资年费用为 87.98 万元。

### 3.2.3 基于模式 III 的 LCC 计算

(1) 一次投入成本。由于滞后道路建设,一次投入成本包括电力管沟建设投入费用和道路重新开挖土建等费用,计算得到一次投入成本年值为 99.15 万元。

(2) 维护成本由下式计算:

$$C_M(P) = \sum_{i=5}^{24} [C_M(i) \times (F/A, a, i)] \quad (9)$$

代入数据计算得,维护成本现值为 18.32 万元,再利用现值转年值公式,计算得维护年值为 2.02 万元。

(3) 运行成本。模式 III 将产生替代成本和投资延缓成本。

根据负荷预测结果,可知 2017 年北大街区块负荷缺口 0.5 MW,2019 年缺口 3.74 MW,2020 年缺口为 5.62 MW。假定架空线路导线型号为 JKLYJ-240,导线供电容量为 6 MW。则单回线路的供电能力为  $(6+2)/2=4$  MW。由于电力管沟尚未建设,为了满足用户供电要求,需要在 2017 年新建 1 回架空线路,线路长度为 3 km,2019 年新建架空线路 1 回,长度 3 km。直到 2021 年规划建设电力管沟,实施架空入地改造工程。计算得到替代成本  $C_{OR}(P)$  为 420 万元,利用现值转年值公式,可得年值  $C_{OR}(A)$  为 46.3 万元。

以延缓付 5 a 建设管沟,考虑资金的时间价值,计算可知投款方式取得时,其价格中包含的相当于利息的部分。由于延缓投资延缓成本为 341.2 万元。利用现值转年值公式计算可知,投资年值为 37.6 万元。运行成本则为:

$$C_O = C_{OR} - C_{OW} \quad (10)$$

代入上述数据计算可得,运行成本为 8.7 万元。

(4) 模式 III 下,LCC 按下试计算:

$$C_{LCC} = C_I(A) + C_M(A) + C_O(A) \quad (11)$$

代入数据计算可得,电力管沟资产全寿命周期内投资年费用为 109.87 万元。

### 3.2.4 3 种建设模式计算结果汇总

由表 2 可知,在基于现状电力供需平衡的条件下,采用模式一即同步道路建设模式为最优方案。

### 3.2.5 LCC 敏感性分析

上文仅以负荷增速为单一影响因素下,不同电力管沟建设模式下的技术经济评估。本节在假设其他条件不变的情况下,在多属性发生改变的情况下,进一步

表 2 LCC 年值计算结果汇总 万元

模式	模式 I	模式 II	模式 III
年费用	87.72	87.98	109.87
一次投入成本	84.57	77.52	99.15
维护成本	3.15	3.15	2.02
运行成本	0	7.31	8.7
退役成本	0	0	0

计算不同负荷增速、不同建设时间、不同贷款利差敏感因子,找出影响 3 种电力管沟建设模式 LCC 费用因素临界点。计算结果如表 3、表 4 所示。

表 3 负荷增速和管沟超前建设时间变化计算结果统计

负荷增速变化	道路超前电力管沟建设时间变化/a	LCC 计算结果 / 万元		
		模式 I	模式 II	模式 III
负荷增速 1%~3%	3	87.72	87.98	78.6
	5	87.72	87.98	63.6
	7	87.72	87.98	51.6
	9	87.72	87.98	65.2
负荷增速 4%~7%	3	87.72	87.98	78.6
	5	87.72	87.98	86.7
	7	87.72	87.98	97.9
	9	87.72	87.98	88.3
负荷增速 7%~9%	3	87.72	87.98	101.7
	5	87.72	87.98	86.7
	7	87.72	87.98	97.9
	9	87.72	87.98	111.5
负荷增速 9%~13%	3	87.72	87.98	101.7
	5	87.72	87.98	109.8
	7	87.72	87.98	121
	9	87.72	87.98	134.6
负荷增速 14%~16%	3	87.72	87.98	101.7
	5	87.72	87.98	109.8
	7	87.72	87.98	144.2
	9	87.72	87.98	157.8

表 4 企业贷款利率变化计算结果统计

企业贷款利率变化	道路超前电力管沟建设时间变化/a	LCC 计算结果 / 万元	
		模式 I	模式 II
贷款利率与基准收益率持平	3	87.72	80.67
	5	87.72	80.67
	7	87.72	80.67
	9	87.72	80.67
贷款利率高 2 个百分点	3	87.72	84.98
	5	87.72	87.98
	7	87.72	91.09
	9	87.72	94.32
贷款利率高 3 个百分点	3	87.72	87.19
	5	87.72	91.84
	7	87.72	96.74
	9	87.72	101.92

以现状(基准)年与规划年之间的负荷年均增速和超前建设年限为不确定因素,可以得出如图3的投资决策结论。

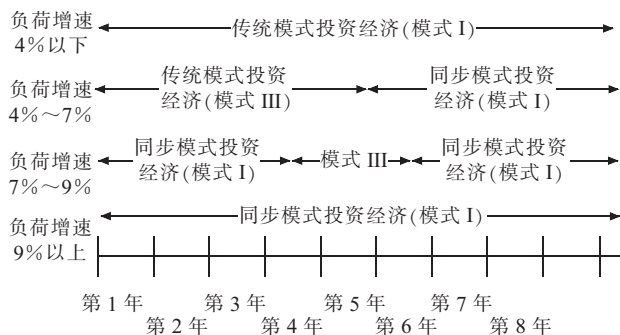


图3 投资力度决策(敏感因素:负荷增速和建设年限)

以银行贷款利率为不确定因素,可以得出如图4所示的投资决策结论。

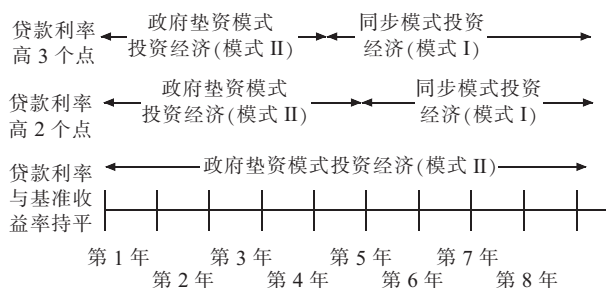


图4 投资力度决策(敏感因素:贷款利差)

## 4 结束语

基于全寿命周期理论对城市电力管沟规划建设模式进行了初步探索与实践,提出一种电力管沟规划建设模式优选、决策方法,作为现行各类方案比较、优选的依据,有利于电力管沟的规划和建设合理化、科学化。研究结论包括以下几点:改进传统的电力基础设施项目决策方式、改变项目成本控制的理念、引进并关注电力管沟建设项目全寿命周期成本决策理念;考虑了评估过程中多方影响,建立了最小费用决策模型,为电

力管沟建设问题提供新的解决方法,提出了基于全寿命周期电力管沟建设模式的内涵及评估方法,研究如何从全寿命周期成本理论出发对各类决策模式进行技术经济、敏感性分析,并从中选择综合评价最优方案;采用费用年值法进行方案比较,分析了电力管沟建设中的影响因素(负荷增速、建设年限、贷款利差),特别是对模式中涉及到各类成本费用进行了详细的建模和分解,提出工程实用化计算方法,提高了投资效益评估的科学性和项目决策水平,为基于政企合作的电力基础设施建设提供了新思路。以无锡北大街街道为典型案例,根据实际建立的体系和模型,运用最小费用决策模型和全寿命周期成本计算方法,进行基于全寿命周期的电力管沟规划建设模式优选、决策模型和方法实例计算分析。通过在项目中的费用效益分析,证明了体系和评价模型的有效性、实用性,对电力基础设施管理水平的提高具有一定的促进作用。

## 参考文献:

- [1] 柳璐,王和杰,程浩忠,等.基于全寿命周期成本的电力系统经济性评估方法[J].电力系统自动化,2012,36(15):19-21.
- [2] 陈进杰,陈峰,梁青槐,等.城市轨道交通全寿命周期成本分析[J].交通运输工程学报,2010,10(1):82-87.
- [3] 帅军庆.电力企业资产全寿命管理:理论、方法及应用[M].北京:中国电力出版社,2010:15-20.
- [4] 国家电网公司.Q/GDW1738—2012配电网规划设计技术导则[S].2012.
- [5] 国家能源局.DL/T256—2012城市电网供电安全标准[S].北京:中国电力出版社,2012.

## 作者简介:

- 杨江(1982),男,江西南昌人,工程师,从事电网规划与自动化等研究工作;
- 宣伟锡(1976),男,江苏无锡人,高级工程师,从事电网规划与建设研究工作;
- 姜念(1983),男,湖北鄂州人,工程师,从事电网规划、有序用电等研究工作。

## Research on Planning and Construction Mode for City Power Pipeline Based on Life Cycle Cost

YANG Jiang<sup>1</sup>, XUAN Weixi<sup>2</sup>, JIANG Nian<sup>2</sup>

(1. Beijing Electric Power Research World Co. Ltd., Beijing 102206, China;

2. Wuxi Power Supply Company, Wuxi 214101, China)

**Abstract:** The planning and constructing mode, as electric power enterprises are investors, for city power pipeline and their advantage and disadvantage are studied. The traditional decision method is improved, in which the optimization is set as maximize economic benefit. The improved method can satisfy the constraint. In order to improve the decision level, a life cycle based decision and computational method for pipeline planning to search the best solution is proposed.

**Key words:** city power pipeline; planning and construction mode; life cycle cost; decision method

欢迎投稿 欢迎订阅