

摘要

架空输电线路作为电力系统中重要的能量传输通道，其建设和维护对于电力行业的发展至关重要。由于架空输电线路工程施工环境复杂、项目周期长、投资成本高等特点，其工程成本管控易受自然条件、技术水平等多重因素影响，电力工程成本控制成为众多电力施工单位关注的首要问题。在过去的研究中，人们通过使用成本控制方法和工具来解决这个问题，例如传统的成本估算方法、敏感性分析和回归模型等。然而，这些方法往往过于简化或不够准确，无法充分考虑到各种复杂因素对项目成本的影响，从而导致成本控制的效果不佳。

本文立足于对江西省架空输电线路案例的深入分析，建立了一个架空输电线路工程成本影响因素体系，根据输电线路的安装清单得出了涵盖了 17 个指标的成本控制指标体系。此外，通过使用主成分分析法对指标进行降维，提取工程耐张塔、工程耐张比两个主成分作为成本控制的关键指标，建立各因素指标与项目成本之间的回归方程，探究各因素指标与项目成本之间的关系。

通过前文研究发现：本文选取的十七个指标可以被“工程耐张塔”、“工程耐张比”这两个主成分完美表达。在主成分的九个重要指标中，双回直线塔和路径长度对工程项目的成本影响最大，在制定工程成本政策时，本文从降低双回直线塔和路径长度两个因素的消耗上进行主要对策建议，可以有效降低工程项目成本。主成分二“工程耐张比”的两个构成因素与项目成本成负相关关系，这说明在工程项目中采取合理的耐张塔及耐张比配比将会使工程项目成本得到一定幅度的优化。

最后，本文基于前文的研究结果，结合多项指标对项目成本的作用效果梯度，从项目具体实施措施及企业和政策角度对优化架空输电线路项目成本进行对策建议。本文研究结果表明，通过主成分回归可以有效探究架空输电线路工程项目的成本影响因素，为工程项目管理提供了一种新的思路和方法。

关键词：成本管理；主成分分析；线路工程；影响因素

ABSTRACT

As an important energy transmission channel in power system, the construction and maintenance of overhead transmission lines are very important for the development of power industry. Due to the characteristics of complex construction environment, long project cycle and high investment cost of overhead transmission line project, the project cost control is easily affected by multiple factors such as natural conditions and technical level, and the cost control of electric power project has become the primary issue concerned by many electric power construction units. In the past, people have solved this problem by using cost control methods and tools, such as traditional cost estimation methods, sensitivity analysis and regression models. However, these methods are often too simplified or not accurate enough to fully take into account the impact of various complex factors on project costs, resulting in poor cost control.

Based on the in-depth analysis of the case of overhead transmission lines in Jiangxi Province, this paper establishes a cost influencing factor system of overhead transmission lines, and obtains a cost control index system covering 17 indicators according to the installation list of transmission lines. In addition, the principal component analysis method is used to reduce the dimension of the index, extract the two principal components of project tensioning tower and project tensioning ratio as the key indicators of cost control, establish the regression equation between each factor index and the project cost, and explore the relationship between each factor index and the project cost.

Through the previous research, it is found that the seventeen indicators selected in this paper can be perfectly expressed by the two main components of "engineering tensioning tower" and "engineering tensioning ratio". Among the nine important indexes of the principal component, the double-loop linear tower and the path length have the greatest impact on the cost of the project. When formulating the project cost policy, we make the main countermeasures and suggestions from reducing the consumption of the two factors of the double-loop linear tower and the

path length, which can effectively reduce the cost of the project. The two components of principal component two, "project tensile ratio", are negatively correlated with the project cost, which indicates that reasonable tensioning tower and tensioning ratio ratio in engineering projects will optimize the project cost to a certain extent.

Finally, based on the previous research results, combined with the effect gradient of a number of indicators on project cost, this paper proposes countermeasures and suggestions for optimizing the project cost of overhead transmission lines from the perspective of specific project implementation measures, enterprises and policies. The results of this paper show that principal component regression can effectively explore the cost factors of overhead transmission line engineering projects, and provide a new idea and method for project management.

Key Words: Cost management; Principal component regression; Line engineering; Influence facto

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景及选题意义	1
1.2 国内外研究现状	3
1.2.1 国外研究现状	3
1.2.2 国内研究现状	5
1.3 研究内容	8
1.4 研究方法	9
1.5 研究创新之处和重点以及难点	10
1.5.1 研究的创新之处	10
1.5.2 研究的重点和难点	10
1.6 技术路线图	11
第 2 章 相关理论及方法分析	12
2.1 架空输电线路相关概念	12
2.1.1 架空输电线路工程构成	12
2.1.2 架空输电线路工程费用构成	13
2.1.3 架空输电线路成本管理特点	14
2.2 成本管理相关概述	15
2.3 主成分回归模型	17
2.4 本章小结	19
第 3 章 架空输电线路工程成本影响因素识别与筛选	20
3.1 架空输电线路工程成本影响因素构成分析	20
3.1.1 自然因素	20
3.1.2 技术因素	21
3.2 架空输电线路工程项目成本影响因素识别和筛选流程	22
3.3 架空输电线路工程项目成本影响因素整合	24

目录

3.4 架空输电线路工程项目成本影响因素筛选	26
3.4.1 目标专家选定及访谈形式	27
3.4.2 专家访谈问卷的设计	27
3.4.3 专家访谈数据采集及处理	28
3.5 本章小结	30
第 4 章 基于主成分回归的架空输电线路项目成本模型构建及结果分析	32
4.1 数据来源与案例概述	32
4.2 基于主成分回归的架空输电线路项目成本模型构建	34
4.2.1 指标选取	34
4.2.2 描述统计及相关性分析	35
4.2.3 主成分提取	37
4.2.4 回归模型建立	41
4.2.5 模型回归结果及分析	44
4.3 本章小结	44
第 5 章 架空输电线路成本优化控制措施	46
5.1 基于项目具体实施输电项目成本优化措施	46
5.1.1 基于杆塔工程的成本优化措施	46
5.1.2 基于工程耐张比的成本优化措施	49
5.1.3 基于电力企业整体的项目成本优化措施	49
5.2 基于企业及政策的全国输电项目成本优化措施	50
5.2.1 电力企业决策执行方面	50
5.2.2 政府政策推行方面	51
5.3 本章小结	52
第 6 章 结论与展望	54
6.1 结论	54
6.2 展望	54
致 谢	56
参考文献	57
附 录 线路工程成本影响因素专家访谈问卷	61

第1章 绪论

1.1 研究背景及选题意义

风电行业已经有着超过四十余年的发展历程，其最先起源于欧洲的丹麦，之后其风电技术与风电产业在欧洲不断地发展。在风电的早期发展中，欧洲风机的制造、运营企业依据其手中的核心技术在风电行业的市场中占据主导地位。随着风电产业的大力发展，对架空输电线路的应用需求也随之不断增加，架空输电线路作为我国电网的基础行业主要运输载体，我国的架空输电线路运输业有了巨大的进步和发展。虽然我国架空输电线路基础设施的总规模已经非常庞大，但我国作为一个人口大国，当下输电线路的运输能力还远远达不到满足我国经济社会对电力运输不断发展的需求。风电行业是我国能源产业发展的重要组成部分，也是社会公用事业的重要组成部分，更是我国实施经济持续发展战略的重要领域，其发展必须优先考虑。从中国电力企业联合会所提供的数据可以获悉，近年来，随着国内经济的高速不间断发展，风电行业也随着经济发展高歌猛进，在发电量及用电量的指数增长上都呈现出迅猛的增长态势。根据国家能源局官网发布的数据，2022年国内全社会用电量达到86372亿千瓦时。结合目前我国电力行业的发展态势来看，未来我国电力行业发展将仍然保持稳定较快的增长势头。

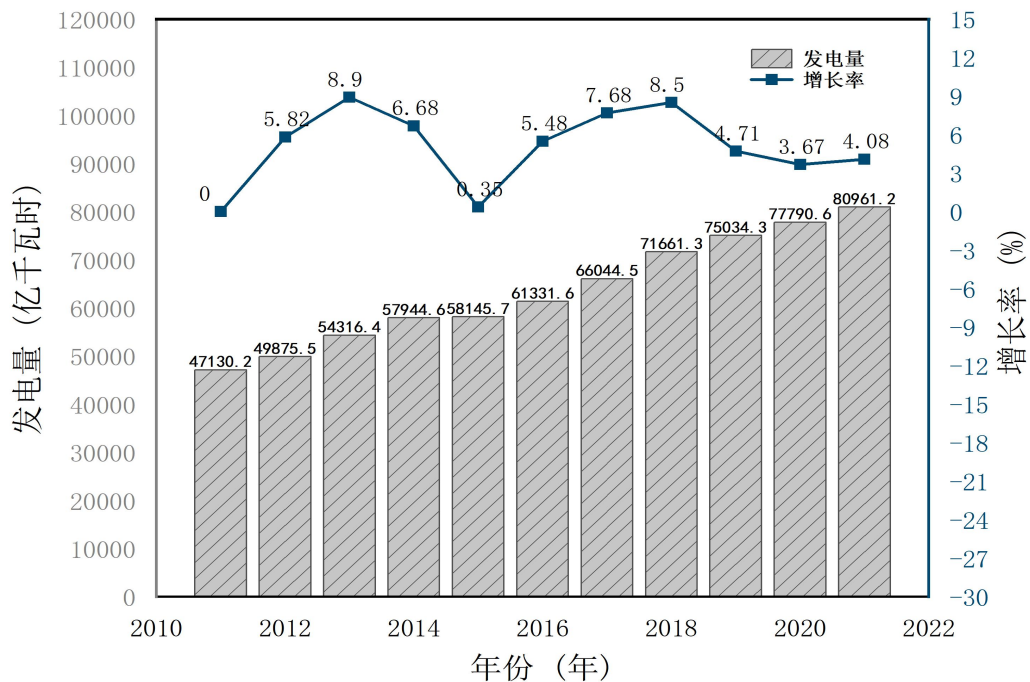


图 1.1 2010-2022 十三年我国发电量变化态势

根据中国电力行业整体发展态势，我国输电线路项目建设需求也将会不断增

加。2021年中国内江苏、四川、河北、山东、内蒙古这五个省份的输电线路的长度已经超过十万公里，相对其他项目来说，输电线路工程与其他工程相比具有项目周期短、周遭环境复杂等特点。输电线路工程施工过程中的风险及成本控制对比其他项目将会更加的复杂。

在我国，35kV及以上电压等级主要采用角钢塔或钢管杆，在10kV及以下通常采用混凝土电线杆。输电线路杆塔是采用角钢塔，以降低恶劣天气，极端环境或地面人、动物等活动时对输电线路的影响，为保证输电线路的稳定性安全性，通过杆塔将输电线路的导线与大地维持一定的高度。以确保电力能高效稳定又安全地从起始站点输送至终端，架空线路相对于埋地电缆，在成本上有着很大的优势，因此在电力输送中，架空输电线路在电力行业起着至关重要的角色，是电力输送的重要基础设施。研究如何有效地控制架空输电线路的成本，将为推动中国电力行业的长期稳定增长提供强大的支撑。

成本控制是整个施工项目的重要组成部分，若要保证电力企业良性发展就必须加强对于成本控制和项目造价管理的重视。针对架空输电线路进行成本控制能够帮助企业节约生产成本、稳固发展水平以及提升项目的施工质量，这使得成本控制在电力施工项目中的重要性不言而喻。随着经济的高速发展和社会的不断进步，在电力施工企业中新能源项目所占到的比重逐渐增多，伴随而来的是越来越多的架空输电线路，这对于输电线路项目来说既是挑战也是机遇。由于我国区域幅员辽阔，且地形复杂，许多地方的气候条件也不相同，输电线路存在点多面广的特点，地形地貌地质条件也有所不同。这让架空输电线路工程的施工存在着很多问题，加上其路线变更频繁，施工周期短，施工技术要求高，施工工艺种类较多，项目成本难以控制，当前架空输电线路建设市场竞争的日趋激烈，项目成本的控制就变得更加重要。成本管控工作的好坏直接决定企业的经济效益水平，已经成为企业的核心竞争力之一，探索创新的、适用于架空输电线路工程的成本管理方法显得尤为迫切。

本文重点针对输电线路工程的项目成本影响因素进行分析，通过筛选影响因素，重点分析输电线路工程的项目成本因素的分布特点，找出影响项目成本的主要因素，并针对所得数据提出相应的管理措施。

(1) 理论意义

主成分回归模型是一种有效预测项目成本的方法，其效果就是为了更好地实行项目建设预先控制，在项目造价预算过程中占据主导地位，把预算造价差值控制在可控范围内。主成分分析法能够提高回归模型的仿真效果，识别影响因素中贡献率更高的成分，从而更好识别架空输电线路工程成本的影响因素。传统的多元回归模型较为简单而且不够准确，使用主成分分析可以改进这一缺陷。目前有

很多基于多种方法建立模型的工程造价预算方法,但是在工程造价预算过程中极少出现在实践领域,本文是对项目造价预算领域利用该方法实践的尝试,对于未来的项目造价预算过程中影响因素的识别有一定的借鉴意义。通过实际的验证能够表明,在架空输电线路工程的成本管理中,运用主成分分析构建回归模型能够精准识别影响因素并为施工企业提供较大的使用价值,并且对于未来电力企业发展的形势更具有针对性。随着国内电力企业的不断发展以及科技的不断进步,今后主成分分析方法也有机会应用到施工企业的其他方面,能够帮助建筑行业从业人员更好地进行成本控制。

(2) 实践意义

构建回归模型,能够更加科学准确地分析出架空输电线路成本的影响因素,是成本管理的重要基础。主成分分析法有利于了解各项成本的消耗比重,分析项目进行成本产生偏差的原因进而提出改进措施。能够灵活地把握项目成本的情况,科学地分析出项目成本的控制重点,进而为资金的合理使用提供依据。如若决定投入资金进行输电线路工程的建设,在项目建设初期就要制定资金的使用计划为项目建设提供依据。在项目建设各阶段资金支出本就容易受施工方案、自然因素等影响而随之发生变化,对工程成本的精准把握显得尤为重要。尤其对于对项目成本影响较大的因素更要提早识别,把它作为控制项目成本的参考依据。对于建筑行业而言,精确控制成本可以有效提升企业的经济效益。而利用主成分回归分析能够帮助建筑企业更好识别影响因素,解决过往建筑项目存在的成本浪费的问题。

1.2 国内外研究现状

架空输电线路工程是建筑行业中一项重要的工程,它具有线路长度较大、成本难以估算、环境复杂等特点,因此在实施时需要格外谨慎。在架空输电线路建设项目过程中,其自身成本控制极易受到诸多因素影响,所以对于其相关理论方法的研究对于输电线路的成本控制有着重要意义。

1.2.1 国外研究现状

自 20 世纪 80 年代以来,国外学者开始深入探索项目成本控制的理论,其中包括 ABC 成本法、标准成本理论、战略成本管理理论等,但是,在输电线路项目成本控制方面,研究仍然相对较少。学者们在成本控制这一领域通过对全球各国项目的工料测量、工程造价、项目控制等专业协会的了解考察,并且针对项目

工程成本领域缺乏全球标准的情况,针对全球各个国家和地区的特殊情况进行了专业标准的考察, Peter Smith 认为,针对项目工程造价管理领域应该建立统一的全球性专业标准^[1]。R. Jayaraman 提出由于大型项目的实际施工时间经常超过预算,因此必须重新设计成本控制模型,以达到动态监控的目的,从而实时反馈问题并采取解决方案,同时对项目施工过程中各环节的造价成本进行相应的实时调整^[2]。Hai Pham 等人通过收集越南地区施工项目的结算数据,并使用因子分析法识别到风险、资源、政策、各方交流不畅、零部件、运输及机械成本等项目过程中成本超支影响因素。最后通过建立回归模型针对各种因素对成本超支的影响程度进行了评价分析^[3]。根据 Duran 的研究,项目造价的估算对于项目的实际进度有着至关重要的影响。为此,作者利用多元回归理论、神经网络算法和实际项目案例的推理,构建了一个有效的工程成本预测模型,从而有效地控制和减少项目的费用^[4]。

在项目成本预测方面, Dogan 等人建立了一个基于项目工程案例的工程成本预测模型,并利用评价中的各种优化算法对不同预测结果进行了对比分析。研究发现,使用遗传算法针对项目工程案例进行成本预测优化结果非常喜人,该研究结果为项目成本预算的优化提供了一种新方法^[5]。Ji 等人提出,在项目过程中的初始阶段准确估计建筑成本是至关重要的,为此,在成本预测中使用了基于项目案例数据的推理(CBR)模型。然而,研究表明,如果项目案例数据库中沒有足够的信息,那么基于 CBR 的成本预测模型将无法提供可靠的预测结果。因此,作者针对这一缺陷进行优化并改进了 CBR 模型。运用该模型针对 9 个住房项目的案例进行实证分析,该模型预测误差率从 97.44%降至 22.58%。结果表明,即使是案例库中的案例数据不足,该模型仍然有效可行^[6]。根据 Ibrahim Mahamid 的观点,在项目开发过程的早期以较高的精度预测建筑项目成本,对项目规划发展及后续融资至关重要。作者研究侧重点是项目开发过程中的初始阶段,这不仅是成本管理的一个重要方面,还是成本管理时间线上尤为重要的一个时间节点^[7]。Daria Zimana、Glenn Ballard 以及 Christine Pasquire 指出,要想取得早期的优势,就必须采取有效的措施,而非仅仅依靠在项目实施期间尝试降低成本。使用目标成本法在建筑领域是一种有效的方法,可以帮助我们实现目标。目标成本法近些年来一直被广泛应用于制造业,针对制造业新产品迭代较快的特点,产品开发过程中成本可预测性就显得尤为重要。采用该技术将有利于建筑业,在项目前期实现项目成本的事前控制^[8]。Amirhosein Jafari 和 Suhansa Rodchua 的研究考察了有助于成功实施成本效益型建筑计划的内外因素。该研究方法运用相对重要性指标对影响项目施工造价实施的优先因素排列顺序。这样可以使项目成本控制更有针对性,项目成本造价预测更为精确^[9]。V.K. Jain 指出由于建筑施工项目的某些共

同特点使得传统的成本控制方法在项目的初始阶段无法精确分析成本造价从而实现事前控制。他认为,随着建筑施工项目的不断发展,应该编制出一套新的适用于建筑领域的预算方法^[10]。

国外学者对建筑企业施工成本的影响因素识别和成本控制管理进行了广泛研究。Tiong 通过对建设项目内部因素的梳理,采用分析性核心特征分析法将各因素分为三个模块:项目内部风险因素、项目建设外部风险因素、项目自身因素^[11]。Liu 等人使用决策与评价实验室—网络分析过程 (DEMATEL-ANP) 的主观权重算法来模拟不同系统的影响因素^[12]。同样, Trivedi 等人使用决策与评价实验室—解释结构模型分析 (DEMATEL-ISM) 的方法研究了系统的影响因素,并绘制了层次结构图,以说明各因素的内在联系^[13]。Yongming 等人采用了主观和客观相结合的权重技术来分配标准的权重。这种方法整合了主观经验和客观数据分析,并通过加权平均法得出综合权重,这在一定程度上弥补了单一分配方法的缺点^[14]。Rong 等为了增加评估结果的客观性,采用 Grey-DEMATEL 方法来分析影响企业创新绩效的因素的相关性,以确定关键因素^[15]。Xinzheng Wang 提出一种基于模糊数学进行项目造价预算的估算方法。从项目成本造价进行分析入手,归纳出项目成本造价的影响因素,再构建基于模糊数学的方法模型,并通过与传统工程造价预算方法的比较,估算出项目成本造价与实际项目成本造价的相似度^[16]。

1.2.2 国内研究现状

在总结了国外的成本管理研究后,可以看出,迄今为止,国内的成本管理主要是依靠自身发展的经验教训以及借鉴国际成本管理方法。随着国内电网建设的迅猛发展,为输电线路工程的成本控制提供了充足的研究实例,而国外近几十年的高速发展也为先进的成本管理理论提供了良好的理论基础。目前我国的输电项目成本管理控制还处在理论与实践相结合,逐渐形成系统理论体系的阶段。

国内在项目成本控制方面的研究,有许多通过利用多元回归分析,搭建多元回归模型,对比拟合度,以达到预估项目成本的效果。通过多元回归模型的建构和对比模拟,吴倩发现,在线路工程中,可以快速估算出单价,并以房建类建筑为例,构建多个单价指标,以此来更好地评估工程的经济效益。研究结果表明,使用多元回归构建的模型的拟合效果非常出色,数据误差都在可接受范围内^[17]。张海峰通过研究发现,航空制造业成本预测估计因其存在项目规模庞大、建设技术复杂等特点,单纯利用多元回归法无法达到想要的预测效果,为此,他提出了一种基于参数法的航空飞机研制项目的成本估算模型^[18]。在深入研究建筑施工造价预算和统计分析方法的基础上,张辉通过构建回归模型来估算项目成本^[19]。鲁

铁定等人提出了一元线性回归的理论概念,并采用条件平价解法来处理数据误差的回归问题,因为条件平衡法可以同时考虑自变量和因变量数据处理过程中可能存在的缺陷。通过进行更深入的研究发现,当忽略自变量误差时,回归参数的值与预期结果相符。当建立回归模型时,为了确保自变量的显著性,应该采用逐步回归模型,以便有效地解释大量变量,不包含影响不明显的解释变量^[20]。刘明等人研究发现,在逐步回归步骤中,可以用 t 统计量和 F 统计量来建立纳入或拒绝变量的检验^[21]。目前,统计学的跨学科性正在开辟新的应用领域,它被广泛运用于科学、人文和社会科学,以及政府和工农业、商业领域。多元线性回归是多元统计分析中的一种有用方法,在各种行业的科学研究中都有利用^[22-25]。

在输电线路项目成本的研究上,查阅了近几年来关于输电线路工程造价管理的研究文献。李玲论述了如何从设计阶段开始优化施工设计,加强施工图预算审核,控制工程项目的成本^[26]。郭锦在全面预算管理的基础上,通过建立动态成本控制优化模型,并通过网络规划技术进行偏差分析,对输变电工程成本的动态控制进行了研究^[27];龚淼、张毅、胡海宁对人工成本、材料成本、机械成本等关键成本进行分析,并从具体成本构成上进行控制^[28]。曾晓通过对输电线路工程的工期和成本进行统计分析,发现了压缩工期与成本费用之间的函数关系^[29];林玉明研究了工程项目过程中各阶段的成本控制,从投资决策到设计、招标和施工,他针对工程过程中项目各阶段的成本控制进行详细的分析,以期达到最佳的成本效益^[30];巨鹏飞在针对企业转型模式的研究中,以大项目部管理模式的可行性作为出发点,结合其在成本控制领域的优越性,提出了一系列有效的解决方案^[31]。侯春燕和闵强指出,精细化管理已经成为建筑企业发展的必要条件,它不仅可以提高企业的效率,而且还可以为企业带来更多的竞争优势,从而实现良性发展。企业的精细化管理将会成为建筑企业能够生存和良性发展的重要影响因素^[32-33]。查干夫提出,做好建筑企业的成本管理必须建立财务责任制度,明确企业内部各项岗位职责,并在企业内部各岗位明确第一责任人^[34]。为了确定项目成本控制中的最佳控制平衡点,余凌聪研究了项目过程中施工质量、安全、进度和成本之间的联系^[35]。

一些研究者对深化电力市场化改革背景下的电力建设企业成本控制进行了研究,对各电力建设企业的现有状况和成本控制难点进行评估,从多个角度提出了相应的补救措施。

市场角度:孙素苗等认为完善电力市场体系及其价格机制是我国电力体制改革的关键,应当构建有机统一的中国特色的新型电力市场体系^[36]。陈飞等基于中国国情,构建了评价电力市场建设的指标体系,以期在平衡好约束条件的基础上,解决多重目标下的政策选择问题^[37]。夏清等分析了我国当前以省为实体的电力市

场体系在市场力、交易壁垒、新能源消纳难等方面存在的主要问题，提出了推进跨区跨省电力市场建设的主要途径与方法，从市场交易组织、交易区域、合约交割、市场监管、信用体系等方面，提出了推进跨区跨省电力市场建设的政策建议^[38]。

施工企业角度：刘祥龙提出实施标准化建设是施工企业提质增效的重要手段，将精益理念贯穿于整个业务流程，针对工程项目管控关键点，整合资源，创新提出建立大会计模型与标准成本机制，破解“三流合一”难题，实现项目挖潜增效^[39]。胡其通等基于价值链理论，创建多项目成本价值链分析模型，以施工项目流程为主线，分解施工流程上关键价值活动，抓取价值链上关键成本动因，通过分析多项目之间的关联与差异，对多个项目进行成本管控^[40]。许献国从当前企业的预算管理现状出发，研究了产生企业工程施工成本与预算差异问题的原因，进而提出相关对策建议^[41]。柯志伟在系统分析电力施工单位供应链成本构成的基础上，构建一体化的供应链成本管控体系，并借助绩效、预算以及信息系统等管理工具进一步固化供应链内部不同利益主体之间的协同关系^[42]。在建筑企业的在施过程中，项目成本的控制过程不仅是关注显性成本，更要去关注隐性成本，包括优化项目设计考核方案等技术手段，从而达到针对建筑企业精准实现成本控制的应用效果^[43-48]。

上述学者的研究都可以作为输电线路项目成本因素分析的参考，考虑到影响成本因素的线性，通过线性变换，可以让原本的多个指标组合成能够精确反映整体信息的几个独立指标，使得分析过程中能够在不丢失重要信息的前提下同时能够有效避免各变量之间所存在的共线性问题。经过进一步分析可以发现，主成分分析过程中所提取的各个主成分是为了选择和优化项目成本控制过程中需要关注的影响要素，主成分分析中提取的每个主成分都是众多影响指标的线性组合。

还有一部分学者通过具体的输电工程项目案例，针对输变电工程整个项目的准备阶段、进行过程、竣工结算各个环节的成本控制展开分析，提出切实可行的具体改进措施，系统性描述了如何将新的成本管理方案运用到输电线路成本控制领域，例如成本比较法、因素分析法以及挣值分析法等等^[49-55]。王利坤将全寿命周期成本管理理论用于输电线路成本管理，对影响整个生命周期的要素进行分析，并将适用的理论和计算模型用于输电线路项目工程的实例分析中，提出合适的成本管理控制方案^[56]。姚普及、王晟杰、刘磊、薛磊在文献综述和专家咨询的基础上，建立影响因素体系，使用 DEMATEL-ISM 方法阐述了各因素的因果属性和内在层次关系，直观地显示出电力行业投资成本过程中存在的关键影响因素及其作用路径，在分析各因素之间的相关影响因素和逻辑关系之后，以宏观角度、采购策略和设备结构等多方面给出了最终的成本控制建议^[57]。在建筑施工及输电线

路等项目的成本控制研究过程中,许多学者都提出了针对施工企业等项目全生命周期进行成本控制,可以更加精确地识别项目成本,从而实现更好地进行企业成本控制的目的^[58-64]。

在近几年,利用主成分回归到针对建筑行业造价成本的研究中。王丽华提出建筑项目的成本预测虽然属于虚拟预测,但是可以为拟建工程的决策过程提供重要的参考依据。在确保成本预测安全和可靠的前提下,可以避免非必要的成本消耗和资源浪费。她通过构建主成分回归模型,确定了主成分回归应用于建筑工程项目成本预测的可行性^[65]。赵晔选取了2018至2020年河北省部分施工企业40个完工项目的结算数据,运用主成分回归分析法建立预测模型进行研究。通过建立的成本预测模型运行发现,所得的预测结果精度符合行业标准,证明了在招投标过程中运行此模型的可行性。主成分回归的分析方法可以为承包商招投标过程中成本控制提供测算依据^[66]。索宁、郭兴磊通过整理文献综述针对具体项目切身实地实践研究。总结出了施工项目进行过程中影响造价的11个因素。并且利用主成分分析和回归分析相结合的方法,通过定量分析整理出了11个因素对造价的影响程度。据分析得出的研究表面,对项目造价影响最大的3个因素是施工技术人员自身水平、项目方案的变更以及施工组织设计不完善。根据这个结果他们提出了相应的建议和改进措施^[67]。近几年的研究中,许多学者都将主成分回归的方法应用到针对建筑企业的成本控制研究当中,上述研究都证明了主成分回归分析在建筑项目造价预算领域使用的可行性^[68-71]。

综上所述,总结整理国内相关学者对于输变电工程及成本控制相关文献以后发现,我国对于工程项目成本管理、分析方法及影响因素识别研究在逐渐成熟形成理论框架。但是架空输电线路相比传统房建、路桥等建筑项目存在着工程量庞大、施工条件复杂的特点,影响输变电线路成本控制的因素也会更为复杂。而利用主成分回归可以更精确识别影响成本控制的因素,对于架空输电线路成本控制的研究有很高的借鉴意义。本文正是根据作者实习经历收集真实数据,结合国内外学者的文献成果,对架空输电线路成本影响因素进行研究并提出相应的控制措施。

1.3 研究内容

本文的研究内容主要为架空输电线路工程的项目成本控制管理。通过对已有的研究理论成果进行分析总结,结合当前的国情及架空输电线路工程的特点,对架空输电线路工程施工过程中的项目成本做进一步研究,针对工程建立主成分回归模型进行项目成本评价,对项目成本进行影响因素分析,进而根据结果对项目

提出相应的控制措施。本文的具体研究内容共分为六个部分，如下所示：

(1) 绪论。介绍了本论文的研究背景、研究现状等。首先通过对成本控制管理研究背景的分析，提出对架空输电线路工程施工进度进行研究的的意义；接着，通过对架空输电线路工程项目成本控制的国内外研究文献进行整理归纳，为本文的进一步研究提供思路；最后，介绍本文所使用到的研究方法、内容以及技术路线图。

(2) 相关理论及方法分析。通过对架空输电线路工程项目成本控制等相关理论进行概述；对主成分回归分析法概念等进行介绍。

(3) 架空输电线路工程成本影响因素识别与甄选。通过对架空输电线路工程项目构成分析，建立影响因素识别和筛选流程。基于文献研究、案例研究和成本影响因素的体系整合识别出影响因素。经过专家访谈问卷和关键因素分析，筛选出影响因素。

(4) 基于主成分回归的架空输电线路项目成本模型构建。对架空输电线路项目成本影响因素进行主成分分析，提取主成分，并分析主成分的构成，建立架空输电线路工程项目主成分回归模型，对模型进行检验及诊断优化。

(5) 架空输电线路成本影响因素结果和控制措施。根据第四章建立的回归模型所得结果进行项目结果分析和项目影响因素分析。对分析结果提出相应的项目成本优化的控制措施。

(6) 结论与展望。总结概况本文的主要研究成果并提出结论与展望。

1.4 研究方法

(1) 文献检索研究法

经过系统的文献搜索、深入的研究，结合国内外有关输变电线路、成本控制、回归分析法的书籍、期刊、学位论文等，以及借鉴其他优秀成果和科学方法，对所研究的内容有了全面的认识，为接下来的论文撰写奠定了良好的基础。

(2) 定性与定量相结合的研究方法

本文决定选用回归分析的方法进行架空输电线路工程成本费用的影响因素分析。运用多元回归分析的方法需要借助统计学，系统工程学，工程造价等学科的综合知识。通过全面地研究和学习，寻找适用的理论框架来支撑本文的研究内容。

(3) 实证分析法

本文将对影响架空输电线路工程成本的影响指标量化，并建立一个统计模型来进行实证分析研究，以确保该模型的实际操作性及可靠性。

(4) 主成分回归分析

影响输电线路成本的因素之间存在多重相关性。“多重共线性”通常被称为“线性相关性”，它表明了不同变量之间的线性联系。

(5) 案例分析法

通过成功探究影响架空输电线路工程的因素，本文针对这几个因素进行相关分析建议，结合以往的数据和案例，以期能探究出优化项目成本的措施。

1.5 研究创新之处和重点以及难点

1.5.1 研究的创新之处

本文在研究时通过使用主成分分析法提取，能够很好地识别出对于架空输电工程成本产生影响的因素。并且对提取出的主成分进行回归分析，探究出影响输电线路工程的具体因素，对这些因素排序，从梯度上来为项目成本优化提出建议。所提出的模型能较好地满足模型检验的步骤，并能在实际建筑施工工程中广泛运用，极大地提升架空输电线路工程成本的估算效率。

1.5.2 研究的重点和难点

本文的研究内容主要为基于主成分回归的架空输电线路工程的项目成本控制研究。通过对已有的研究理论成果进行分析总结，结合当前的国情及架空输电线路工程的特点，对架空输电线路工程施工项目过程中的成本影响因素做进一步研究，针对工程造价建立主成分回归模型进行项目成本分析，对项目成本控制进行评价分析，进而根据结果对项目提出相应的控制措施。

本文的研究难点一是由于架空输电线路工程数据较多，定性定量指标并存，存在样本的复杂性；二是由于架空输电线路工程的指标经常存在共线性，指标选取后的样本数据组的线性相关性检验就显得非常重要。

1.6 技术路线图

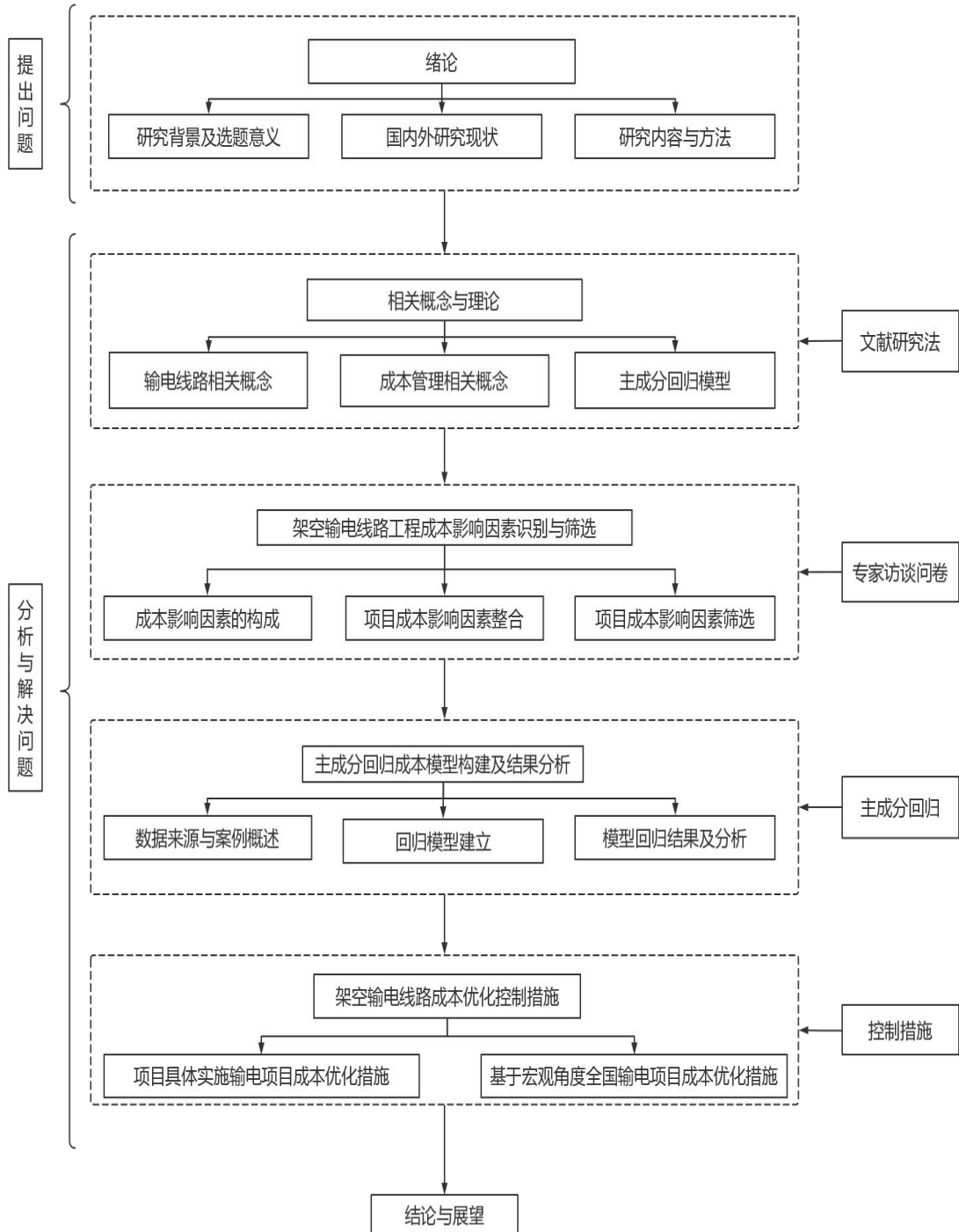


图 1.2 技术路线图

第 2 章 相关理论及方法分析

2.1 架空输电线路相关概念

2.1.1 架空输电线路工程构成

输电线路指的是发电站在生产电能之后如若需要把电传输到用户端，需要用变压器先进行升压，经过隔离开关、断路器等输出过程之后需依靠输电线路进行电力运输。按照结构形式和输送方式不同，输电线路主要分为架空输电线路与地缆输电线路两种。

架空输电线路指的是将导线架设在杆塔顶端从而实现远距离电力输送的一种常用输电方式。为使电力传输过程中最大可能地减少电力的能源损耗，通常会根据电力输送距离长度及输送电能容量来选择不同的电压等级。当前，我国的输电系统的电压等级一般介于 35kV 到 1000kV 之间，其中，35kV-330kV 的线路被统一定义为高压输电，500kV-750kV 的线路被统一定义为超高压，而超过 1000kV 的线路则被统一定义为特高压输电。

通常不同电压级别的输电线路在元件组合、成本费用等方面显现出强相似性。在架空输电线路的单位长度造价上，不同电压级别的项目工程造价会随着电压升高而升高。为了方便对架空输电线路的构成更加清晰，对其进行了图片介绍，如图 2.1 所示。



图 2.1 架空输电线路构成图

如图 2.1 所示，架空输电线路构成主体结构部件构件包括上述元件。表 2.1 是输电线路工程构件和用途的简要说明：

表 2.1 架空输电线路主要组成部分

序号	构件名称	用途解释
1	杆塔	用于支撑输电线路导、地线及其他附件，使它们保持与大地之间一定安全距离的建筑物。
2	基础	埋在杆塔结构的地下部分去除开接地装置后的部分称为基础，其作用是支撑杆塔，将杆塔荷载传至大地。杆塔基础的型式很多，应综合多种因素来保证塔身的稳定性。
3	导线	用于传导、输送电能的元件。
4	地线	地线通常悬挂在杆塔顶部，通过塔身或接地引线与接地装置连接。主要作用为防雷和传输光信号作用于光纤通信。
5	接地装置	塔身与大地直接接触的金属体称为接地体，连接于接地体和塔身中间的金属导线为接地线，它们合称为接地装置。其作用为保障塔身与地面良好连接，保证部件绝缘性和人身安全。
6	绝缘子	用于悬挂导、地线，起到导线和塔身间的绝缘作用，保障导线与其他部件结构的绝缘性。
7	金具	金具是架空输电线路工程中所用一切起保护、连接及固定作用一切金属元件的总称

2.1.2 架空输电线路工程费用构成

根据 2018 版电网针对架空输电线路工程的预规规定，整体的架空输电线路工程造价应当由动态费用和静态固定费用这两部分费用构成。而根据上一章节对架空输电线路工程的构成解析可以发现，架空输电线路的静态固定投资又可以分为本体费用和其他费用这两大费用。由于本文主要是针对本体费用的成本影响因素进行分析并提出控制措施，所以下面对本体费用的各部分费用构成进行了分析。

根据电网预规规定，架空输电线路工程本体费用由基础设施、杆塔、架线、接地、附件安装和辅助费用等相关费用组成。图 2.2 是针对架空输电线路工程本体费用做详细介绍：

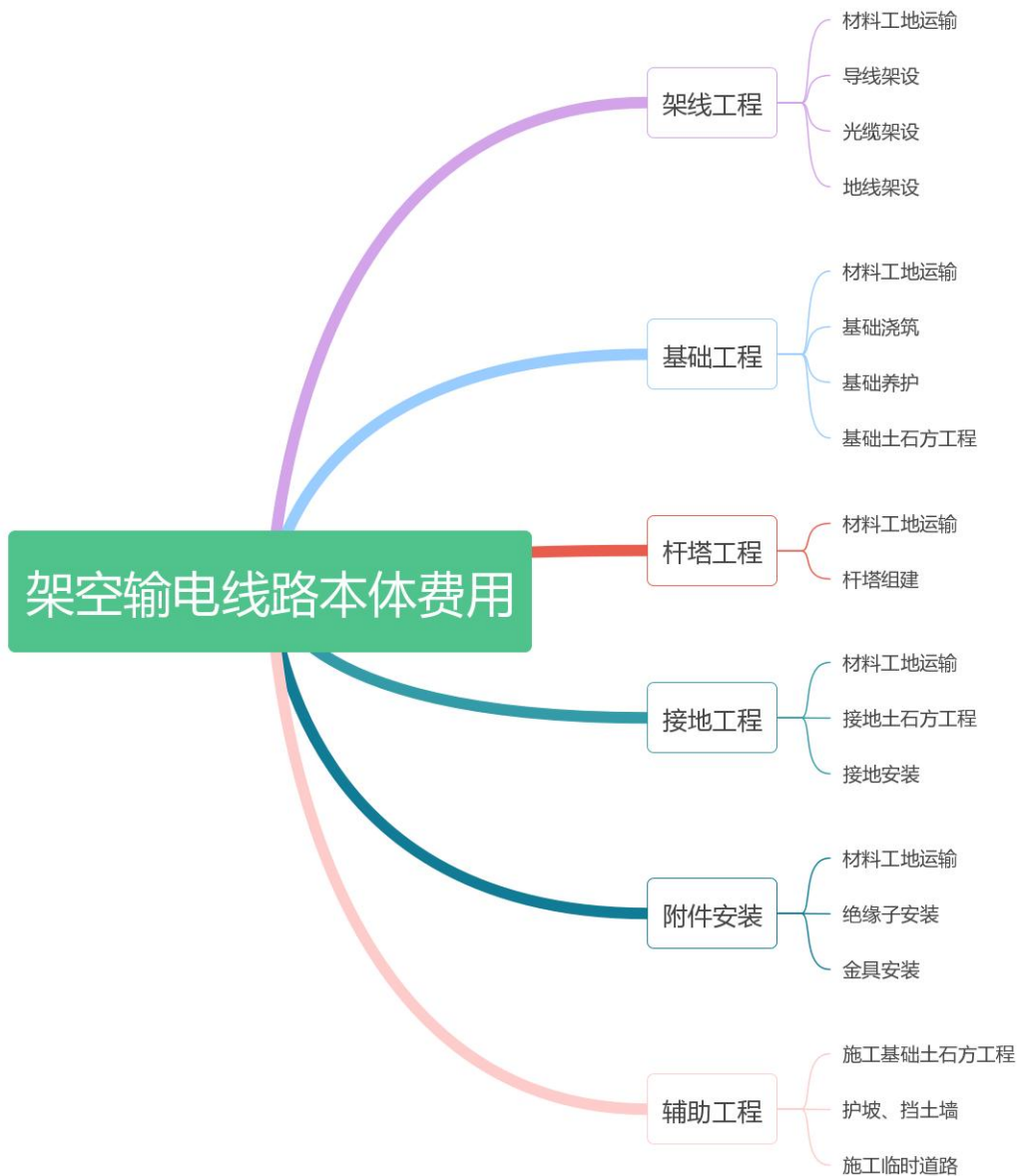


图 2.2 架空输电线路工程本体费用构成图

根据图表分析，可以看到架空输电线路工程本体费用主要构成组件，可以看到其组成相对其他小型工程项目的组成更为复杂。也进一步证实了对其本体费用进行分析的重要性，后续章节也将会针对整理出的构成部分做详细列举，分析其组件如何对本体费用进行影响，进而提出相关控制措施。

2.1.3 架空输电线路成本管理特点

针对上述对架空输电线路工程的构成和费用分析研究。发现架空输电线路项目建设过程中存在着“路线长设点多、施工环境复杂、项目周期长、投资成本高”

的特点。因其相对其他建筑工程针对架空输电线路工程的成本识别研究非常具有代表意义。而经过查阅文献整理发现正是这些特点提高了架空线路工程在成本管理方面的难度。归纳发现架空输电线路成本管理具有以下特点：

(1) 架空输电线路成本管理的阶段性

架空输电线路工程成本管理上有明显的阶段性特点。按照其工程的建设预定流程，整个工程分为可行性研究、图纸设计、物资装备招标、工程建设施工及竣工等阶段。根据其规划流程可以明显感受到其阶段性特点。而其成本管理的不同阶段虽互相独立但又互相关联，每个阶段的建设发展都可能影响到其他阶段的成本变化。因此做好架空输电线路工程的成本管理工作，需要关注到建设工程的每个阶段，而因为其阶段性的特点，那么找出不同阶段性其成本影响因素也就显得尤为重要。

(2) 架空输电线路成本管理的复杂性

架空输电线路工程成本管理上有明显的复杂性特点。架空输电线路因其“路线长度不一、土壤地形不同、组部件选用不同”的特点，对比其他类型的建筑项目存在普遍复杂性的特点。因此，在后续分析中识别出在各种不同项目情况下对其成本管理影响最强的因素更加势在必行。

(3) 架空输电线路成本管理的动态性

在架空输电线路工程的可行性研究、图纸设计、物资装备招标、建设施工及竣工等各个阶段，成本管理的内容和任务都是不断动态变化的，而且设备价格、材料价格、施工的自然条件等外部情况也是不断变化的。因此架空输电线路工程成本管理也都在动态性的变化中不断调整，针对其动态分析进行管理，找出对其影响最明显的因素，才可以针对架空线路工程更好地提升成本管理。

(4) 架空输电线路成本管理的系统性

在架空输电线路建设过程中，其管理人员可以将整个工程项目拆分，将不同组成部件分包给其他施工人员进行工程建设，其他分包也可以再针对子项目进行再拆分，这在架空输电线路工程的建设中都是普遍存在的。项目过程之间的划分不仅可以提高各子项目的建设效率，更可以系统性地提高整个工程的建设效率和成本管理。针对此特点，找出工程成本管理中的重要影响因素，就可以达到工程收益的最大化。

2.2 成本管理相关概述

工程造价指的是项目在建设期间预计或实际支出所需的资金投入费用，本质上其仍然属于价格范畴。而把工程技术及管理经济学等相关知识技能相结合，对

项目中的造价进行预测、计划、控制、核对、分析及评价的工作内容统称为工程造价管理。工程成本管理以科学管理为基础,以提升建筑企业运行管理水平和其经济效益为首要目标。实施过程中采用更加科学、先进、合理的手段,利用在项目前期的预测估算、工程概算、图纸预算及项目后期的工程结算和竣工结算,来确定工程成本的合理性,在项目全过程中针对各个环节提出相应的管理措施。

工程成本管理主要包括分析成本影响因素、合理确定工程成本、有效控制工程成本三个方面。

(1) 分析成本影响因素

由于实际项目在建过程中针对工程成本影响因素非常多,所以工程成本管理过程中存在其复杂性的特点,而识别分析其影响因素是成本管理过程中非常重要的前提。只有充分识别工程在施过程中各个环节及不同因素对成本的影响程度,才能合理地做好工程成本的管控。

(2) 合理确定工程成本

项目工程前期主要包含:投资决策及可行性研究、项目初步方案设计、项目施工图纸设计、物料采购及工程招标、项目前期准备和建设施工、项目完工及工程竣工结算等。项目在施过程中,应当按规定的流程和预算方法确定对应的工程造价价格,随着项目阶段的不断深入,同时对造价成本的预算精度不断加强。在项目投资决策及可行性研究阶段应将其误差范围控制在20%以内,项目初步设计阶段应将其误差范围控制在10%以内。物料采购与工程承发包阶段进行投标报价和物料设备合同价格的确定,根据以上流程将该阶段的工程成本基本确定下来。在项目完工和竣工结算阶段基本可以利用施工图纸成本预算对项目工程算量进行有效控制。但是项目在施过程中往往也会因为施工环境的变化、设计方案变更等原因使得工程成本发生变化,最终应当在项目完工时,对建设过程中各项费用开支进行竣工结算,继而得到项目竣工的实际价格。

(3) 有效控制工程成本

工程成本的有效控制主要是在项目各阶段过程中利用技术、管理和经济上的不同措施,将工程成本的数额控制在一定范围以内。对工程成本有效管理和控制主要包括:项目设计初期的前期控制、项目在施阶段不同环节的掌控以及技术和经济手段并用的控制措施。工程成本控制是项目全过程的动态控制,主要包含事前控制、建设过程控制、事后控制这三个阶段,将项目成本原先的目标与实际成本进行对比,及时发现问题并及时采用相应手段解决问题。当前,我国的大部分建设项目都是以事先批准的概算费用为项目的最大投资限额。在遇到特殊情况下需要做出变更,就要采用相应的技术经济手段进行分析管控,以确定是否需要初步概算费用做出相应调整更改。

2.3 主成分回归模型

主成分分析是一种将数据降维的手段。对于一组多变量数据，通过改变数据观察的角度来揭示数据的内部结构。这个过程称为主成分分析。鉴于在研究中存在多重共线性的特性，变量多的话就会增加问题的难以分析性，会因为某些因素之间相关，而导致分析出的结论不准确。针对这些问题，主成分分析法从初始变量出发，通过旋转构造一组与初始数据无联系的新数据。这些数据保留了较多的原始数据之间的差异。它们被称为原始数据的主成分，它们删除了数据上重叠的部分，从而可以更加方便地解释数据的差异性。将它们按照原始数据的方差解释性的大小排序，分别为第一第二第三主成分等。

主成分分析流程：

进行主成分分析之前，要进行因子检验。如果 KMO 的值大于 0.5，则可以进行主成分分析的步骤。如果大于 0.7，则更加满足主成分分析的要求。首先假设原始样本数据矩阵为：

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1p} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2p} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mp} \end{bmatrix} \quad (2-1)$$

在此基础上，为了消除各个指标在单位上的差异，应该要对数据进行归一化调节，调节数据的维度。表达式及计算方法如下所示：

归一化公式为：

$$\hat{X} = \left(\frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{a_j} \right)_{n \times p} \quad (2-2)$$

$$\bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij} \quad (2-3)$$

$$a_j^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 \quad (2-4)$$

$$\begin{cases} Var(x_j) = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 \\ j = 1, 2, \dots, p \end{cases} \quad (2-5)$$

式中： $i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, p$

之后在这里需要计算数据的相关系数矩阵，相关公式如下：

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1p} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2p} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mp} \end{bmatrix} \quad (2-6)$$

$$\begin{cases} r_{ij} = \frac{1}{m-1} \sum_{t=1}^m X_{it} X_{jt} \\ i, j = 1, 2, \dots, p \end{cases} \quad (2-7)$$

然后，求解相关系数矩阵 R 的特征值和特征向量，得到结果：

$$\begin{cases} a_i = (a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ip}) \\ i = 1, 2, \dots, m \end{cases} \quad (2-8)$$

之后，根据贡献率对主成分的因子进行解释，得到计算表达式。

找到第一个主成分 f_1 ，它需要满足下面的公式

$$\max : Var(f_1) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\int \beta(s) x_i(s) ds)^2 \quad (2-9)$$

$$s.t. \|\beta\|^2 = \int \beta(s) \beta(s) ds = 1 \quad (2-10)$$

从上述得到第一个主成分的权函数 $\beta^2(s)$ ，同样在这里也可以获得第 k 个主成分 f_k 。

通过用样本协差代表总体阵，算出特征根 λ_j 及与特征向量。

$$k_j = \frac{\lambda_j}{\sum_{j=1}^p \lambda_j} \quad (2-11)$$

$$K_r = \frac{\sum_{j=1}^r \lambda_j}{\sum_{j=1}^p \lambda_j} \quad (2-12)$$

式中： k_j 为主成分的贡献率； K_r 为前 r 个主成分的累积贡献率。

平均需要的累计贡献率为 85%，也即这个概率以上才能说当前选择的因子可以表达整个所需要的整体数据。

通过提取的主成分 $Z = [z_1, z_2, \dots, z_k]$ ，架空输电线路成本数据 $y = [y_1, y_2, \dots, y_n]^T$ 与各主成分进行回归估计分析。可通过散点图，初步确定回归方程模型，回归模型有线性、多项式、复合、指数等。

设多元回归模型形式为：

$$y = f(A, Z) + \varepsilon \quad (2-13)$$

ε 是随机误差的概念，服从正态分布 $N(0, \sigma)$ ，表示其他因素对 y 的影响， A 是模型的回归系数，模型残差的最小和是目标函数，采用非线性最小二乘法进行估计。

设目标函数为:

$$\min Q = (y - f(A, Z))^T (y - f(A, Z)) \quad (2-14)$$

得到架空输电线路成本费估计值为 \hat{y} ，则有残差 A 。

2.4 本章小结

为了更好地研究架空输电线路工程的成本控制，本章通过查阅图书文献进行了相关理论基础的分析和梳理。首先梳理归纳了架空输电线路工程相关的理论基础，对架空输电线路工程的构成进行列举，整理了其工程中存在的费用概况，进而得出了架空输电线路工程成本管理的特点。针对其特点进一步列举了成本管理的相关概述，进行成本管理解释说明和管理步骤。最后通过上述研究内容的特点需要，介绍了本文即将用到的主成分回归模型，并且使用 SPSS 软件作为数据处理分析的工具，用于后续针对架空输电线路工程项目成本进行回归分析。

第3章 架空输电线路工程成本影响因素识别与筛选

上一章重点对架空输电线路相关理论及主成分分析方法等概念进行了介绍,针对架空输电线路影响因素多,作用效果复杂的情况,选择利用主成分回归的方法可以简化研究流程。在本章将对影响项目成本的相关因素构成进行介绍,为后文的研究指标选取提供理论基础。

3.1 架空输电线路工程成本影响因素构成分析

通过对相关文献的查阅发现,架空输电线路工程的结构部件选择与其建设环境关联性较强,会受较多因素的影响,其中包括气象状况、地形地势及地质情况、线路路径的选择、是否存在交叉跨域、导地线选型等,部分因素存在着相互制约互为因果的关系。在初步设计阶段,需要通过多角度全方位地考虑以上的因素。经过研究进行整理分类,对输电线路的影响因素可以总归为自然因素和技术因素,其中自然因素包括风速、覆冰、地形等。技术因素包括曲折系数、交叉跨越、输电容量、基础形式、运输距离。

3.1.1 自然因素

(1) 风速:在工程技术设计过程中风速有着重要的影响作用。在国网通用设计中,风速的变化通常在25m/秒至35m/秒之间,统计风速时一般以2m/秒-3m/秒为一档,工程设计过程中通常风速每提高一档,杆塔重量就会相应增加,这都会影响到铁塔部分所产生的工程单位造价。

(2) 覆冰:通常是在极端气象条件下,由冰、霜、雨和积雪组成的物质,它们覆盖在电线、绝缘子等部件上。因为覆冰的存在,线路的负荷将会提升,对导线及铁塔受力产生影响,在设计时还需要考虑脱冰跳跃,将直接影响到铁塔的选型,每增加5mm的覆冰,铁塔的塔重将呈指数增长,在江西地区,覆冰条件通常在10mm左右。覆冰条件对于整体的工程单位造价影响很大。

(3) 地形:线路工程架设过程中地形也是需要考虑的因素之一,国网通用典设将其划分为五类:河网泥沼、平地、丘陵、一般山地和高山大岭,每一类

都有其独特的土质特征。因为土壤类型和地形状况的差异，铁塔和基础的选择受到很大的影响，尤其是在基础工程中，这种差异更加明显，这将直接影响施工方案的实施，从而导致工程的成本增加。

3.1.2 技术因素

(1) 曲折系数: 选择正确的线路路径对于输电工程的各个环节都至关重要, 它不仅可以降低线路的弯曲度, 缩短架线距离, 还能够减少耐张塔的使用比例, 因为耐张塔的材料消耗量比直线塔更大, 通过降低耐张比, 可以减少铁塔的材料消耗, 基础的混凝土和钢筋的使用, 从而节省征地和青苗补偿的费用。但是在实际的设计过程或施工过程中, 会遇到不可避免的情况, 部分线路的路径曲折是无可避免的。

(2) 交叉跨越: 架空线路的路径设计中, 会不可避免地遇到江河、公路、铁路以及已经建成运行的线路, 若是选择避开, 便会加大线路的曲折系数, 所以在有些部位会选择交叉跨越, 近年来随着线路工程的大量增加, 线路的不断增多, 交叉跨越呈现明显的上升趋势, 同时, 为响应保护环境、保护树林, 在对于线路通道中的林木处理也逐渐从修、砍、跨的方式转向为以高跨为主的方式。因此, 在跨越设计中, 不可避免地需要增加铁塔的呼高, 从而影响了铁塔的塔材材料量。

(3) 输电容量: 线路工程最终确定的输送功率应当符合技术、经济等多方面的要求。输电容量的大小对导线的选择有着至关重要的作用, 它不仅会影响截面尺寸、每公里的重量、材料消耗量以及分裂数, 还会直接影响到铁塔的设计选型。

(4) 基础形式: 对于通常的地质条件, 所采用的基础形式有人工掏挖式基础、直柱板式基础或钻孔灌注桩基础。基础形式的选择会直接影响到基础的工程量, 也会影响人工、机械的施工成本费用。

(5) 运输距离: 通常分为汽车运距和人力运距两类, 其中人力运距对于工程成本相对昂贵, 相对于汽车运距, 对输电线路工程成本的影响要大。

整合自然因素和技术因素, 发现它们都会对项目建设过程的成本产生影响, 并体现到架空输电线路的安装清单当中, 如表 3.1 所示。

表 3.1 因素类型对工程安装清单影响表

因素类型	因素种类	受影响安装清单
自然因素	风速	铁塔塔材重量
	覆冰	铁塔塔材重量、基础砼、基础钢筋
	地形	基础砼、基础钢筋、基础主体施工、运距
	曲折系数	铁塔数量、耐张比、青苗赔偿、征地面积
技术因素	交叉跨越	铁塔组立、铁塔塔材重量
	输电容量	导线、线路回路数
	基础形式	基础砼、基础钢筋、基础主体施工
	运输距离	机械、人力、汽车运输距离

通过整理上述因素构成分析可以发现,在架空输电线路工程的成本研究中,建设过程中的自然因素和技术因素都会对工程成本产生影响。针对输电线路成本的研究可以考虑到架空输电工程的自然因素和技术因素并结合 JX 电力设计院的线路架空安装清单和线路架空土建清单来进行因素整合。最后得出相应的线路工程成本因素影响表,并且通过专家访谈问卷的形式来进行最终的数据采集和处理。

3.2 架空输电线路工程项目成本影响因素识别和筛选流程

本文首先构建了架空输电线路项目成本影响因素识别流程图 3.1,依据流程图步骤进行了深入的分析 and 筛选,以确定架空输电线路工程项目成本影响因素体系,为下一步模型的构建和分析提供了重要的参考依据。

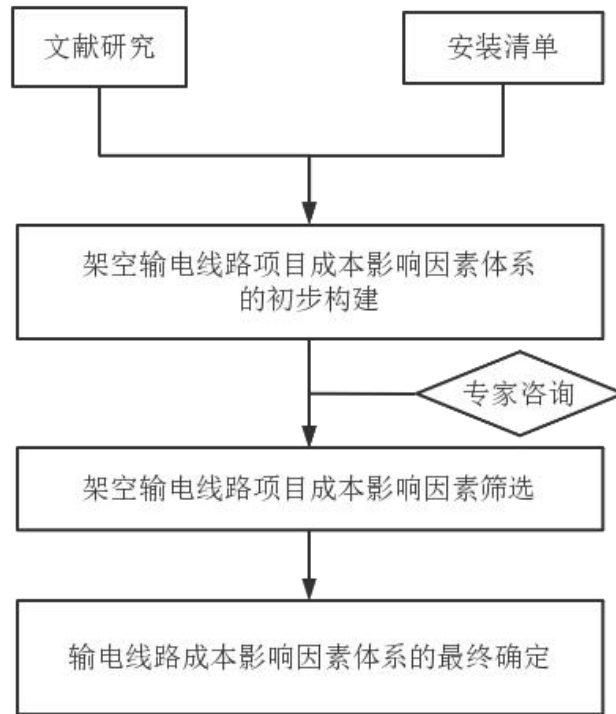


图 3.1 架空输电线路项目成本因素识别流程图

按照流程图，本文通过查阅文献、案例研究和专家咨询，针对架空输电线路项目成本影响因素进行识别筛选，并建立一个完整的影响因素体系，详细阐述了这些因素的来源并针对其进行简介说明。

第一步，通过对大量输电线路项目成本影响因素的文献研究，找出成本影响因素，并进行系统性的分析和总结。

第二步，结合作者本身实习单位，选取能够有代表性的架空输电线路项目进行案例数据分析，通过查阅其相关安装清单并且结合技术因素得到基于项目案例的成本影响因素。

第三步，针对查阅文献和案例研究得到的架空输电线路项目成本影响因素体系进行整合与分类，进而初步建立成本的影响因素识别体系。

第四步，通过访谈问卷形式，针对 JX 电力设计院不同管理层次的项目专家收集访谈问卷，筛选出关键影响因素。

通过上述步骤，确立架空输电线路成本影响因素识别选取的整个流程步骤，建立指标体系。

3.3 架空输电线路工程项目成本影响因素整合

根据上述章节内容，通过对架空输电线路项目成本影响因素的分析，发现架空输电线路的架设自然因素不同，会导致架空输电线路建设过程采用的技术也不同。根据收集到的架空输电线路工程的线路成本工程量清单，发现由于技术因素架空输电线路的构成部件会使用不同的清单来进行工程安装。在本章节通过对清单的再次整合进而得出线路工程成本影响因素表。为后续专家打分提供了选取因素。

在线路成本工程量清单中，分为输电线路的架空线路安装清单和输电线路架空土建清单。见表 3.2 所示。

表 3.2 线路架空安装清单

序号	分项	备注	单位
1.1	杆塔组立		基
1.2	铁塔材料费	铁塔钢材重量, Q355、Q235	t
1.3	铁塔附件	标识牌, 相序牌, 警示牌 (三相)	套
1.4	钢芯铝绞线 JL/G1A-185/30	折成单根导线	km
1.5	钢芯铝绞线 JL/G1A-240/30	折成单根导线	km
1.6	线路架设	1.架设方式: 架空 2.JL/G1A-185/30 (单回)	km/三相
1.7	线路架设	1.架设方式: 架空 2.JL/G1A-240/30 (双回路)	km/三相
1.8	线路架设	70kN 盘形悬式(复合)绝缘子单 联 I 型悬垂串	套
1.9	线路架设	70kN 盘形悬式(复合)绝缘子双 联单挂点耐张串-Y	套
1.10	线路架设	1、FXBW-35/70-2 复合绝缘子串	套
1.11	OPGW 光缆架设	1.架设方式: 架空 2.光缆型号: OPGW-24B1 长	km
1.12	OPGW 光缆接头盒(直通 24 芯)		个
1.13	OPGW 光缆接头盒(直通 48 芯)		个
1.14	OPGW 光缆 T 型接头盒(防水, 两 进一出)		个
1.15	余缆架		套
1.16	引下线夹		个
1.17	预绞丝防振锤		套

第3章 架空输电线路工程成本影响因素识别与筛选

集电线路架空土建清单见表 3.3 所示。

表 3.3 线路架空土建清单

序号	分项	备注	单位
2.1	基础土石方开挖	土方类别：综合土类	m ³
2.2	土方回填	土方类别：综合土类	m ³
2.3	土石方外运	土方类别：综合土类	m ³
2.4	基础处理及主体施工		m ³
2.5	基础混凝土	1、基础主体采用 C25 混凝土	m ³
2.6	保护帽	1、C15	m ³
2.7	基础基础钢筋制作与安装	HPB300, HRB400	t
2.8	地脚螺栓	35#	t
2.9	接地工程		
2.10	接地土石方开挖		m ³
2.11	接地土石方回填	平均运距控制在 2km 以内	m ³
2.12	接地镀锌钢材		t
2.13	青苗		项
2.14	征地		m ²
2.15	临时道路		
2.16	运输距离		

表 3.2 中将多项归类后：清单项 1.3、1.12、1.13、1.14 可归为附件组装，清单项 1.4、1.5 归为导线长度，清单项 1.6、1.7、1.8、1.9、1.10、1.11 归为导线、OPGW 光缆架设。杆塔组立、铁塔材料费、铁塔附件、线路架设、OPGW 光缆架设，是由全线杆塔耐张比及杆塔选型所决定。表 3.3 中线路架空土建清单中的清单项 2.1、2.2、2.3、2.10、2.11 归为土石方工程，清单项 2.5、2.6 归为基础砼，清单项 2.9、2.12 归为接地铁件。在两个清单中，铁塔、基础、导地线材料的运输成本作为单独的费用项，将其归为运力运距。将表 3.2、表 3.3 清单中的因素归类对应后可归为表 3.4：

第3章 架空输电线路工程成本影响因素识别与筛选

表 3.4 线路工程成本影响因素表

序号	清单对应项	影响因素	说明
1	1.1	铁塔组立	组立费用受铁塔塔材的重量、数量影响
2	1.6、1.7、1.8、1.9、 1.10、1.11	导线架设	Q420、Q355、Q235 钢材的材料费用
3	1.3、1.12、1.13、1.14	附件组装	
4	2.4	基础施工	导线长的材料费用
5	2.1、2.2、2.3、2.10、 2.11	土石方工程	
6	2.13	青苗赔偿	钢材的材料费用
7	2.14	征地	土石方开挖、回填、外运
8	1.2	铁塔塔材	钢筋绑扎，混凝土浇筑
9	2.8	地脚螺栓	C30、C25、C20、C15 混凝土的材料费用
10	2.9、2.12	接地铁件	HPB300、HRB400 钢材的材料费用
11	2.5、2.6	基础砼	35#材料费用
12	2.7	基础钢筋	HPB300、HRB400 钢材的材料费用
13	1.4、1.5	导线	(临时便道及线路通道)
14	1.15、1.16、1.17	安装金具	施工临时施工征地及铁塔基础永久征地
15	2.15	机械运距	机械进场铺临时道路
16	2.16	汽车运距	材料的汽车运输距离
17	2.16	人工运距	材料的人工运输距离

3.4 架空输电线路工程项目成本影响因素筛选

专家访谈法的调查方式是与被访谈人单人面对面访谈收集资料，谈话结束后被访谈人需填写访谈问卷。专家访谈可以采用多种形式，包括封闭式和开放式两种，以满足不同的需求和目的。通过大量文献研究结果表明，专家访谈已成为一种有效研究手段，在收集因素和确定关键指标方面被广泛应用。

为了满足本文的研究要求，本文将采用非封闭式访谈的方式，进而深入研究影响线路工程项目成本的各种因素。同时，制定了调查问卷（详见附录）进

行深入的调查和全面的分析。

3.4.1 目标专家选定及访谈形式

在进行访谈之前，应根据访谈目的和内容专业性特征，确定访谈对象和采取的访谈方式。在确定目标专家时，必须满足一些特定的条件（其中之一）：

- (1) 五年以上的线路工程项目管理经验的项目负责人；
- (2) 五年以上的线路工程项目经验丰富的商务负责人；
- (3) 拥有十年以上的成本与生产管理经验的专家。

结合上述需求，本文采用 10 位专家作为访谈对象，他们均拥有至少五年的线路行业经验，涵盖了业主、施工、设计、监理等多个方面的专家，以进行针对线路工程研究的相关问题。采用面对面、一对一的方式进行访谈，访谈结束后，专家们需要填写完整的问卷，以便进行进一步的研究。

表 3.5 访谈人员基本情况

序号	职务	工程内容/部门	工作年限	学历
1	公司生产副总	业主方	15	本科
2	公司总经济师	业主方	22	硕士
3	公司总工程师	业主方	16	本科
4	部门经理	业主方	10	本科
5	线路专工	设计方	8	硕士
6	计经专工	设计方	10	硕士
7	经策经理	设计方	12	硕士
8	项目经理	总包方	8	本科
9	经理负责人	施工方	10	本科
10	总监理工程师	监理方	12	本科

3.4.2 专家访谈问卷的设计

通过专家访谈和问卷调查（详见附录），对表 3.4 中建立的成本影响因素体系进行评估和筛选，以便更好地构建回归模型。调查问卷的内容包括三个主要部分：

第一部分内容是问卷的概述和使用说明。本部分将包括作者个人简介、研究背景和目标以及问卷说明，以便让受访者全面了解本次调查的内容；

第二部分内容为了解访谈对象的基本工作背景情况。本部分旨在收集访谈对象的基本情况，并对访谈对象参与线路工程项目的成本管理情况进行全面反映，以便更好地评估；

第三部分内容是线路项目成本影响成本的重要程度。该部分主要根据被访谈者的工作岗位与工作经验对线路项目成本中各个影响因子的重要程度的评分。

3.4.3 专家访谈数据采集及处理

经过十份由业主、施工、设计、监理等多方专家组成的调查问卷，对其中的信息进行了全面地收集、整理和分析，最终得出的评分表如下表 3.6:

表 3.6 专家打分表

序号	影响因素	专	专	专	专	专	专	专	专	专	单项所占权重平均值 (%)	
		家 1	家 2	家 3	家 4	家 5	家 6	家 7	家 8	家 9		家 10
1	铁塔组立	3	4	4	4	3	4	3	4	5	4	9.38
2	导线架设	0	0	1	0	0	2	0	2	0	0	1.23
3	附件组装	0	0	2	2	0	2	2	0	0	0	1.98
4	基础施工	5	4	4	4	4	5	4	4	4	3	10.12
5	土石方工程	4	4	3	4	3	3	5	5	4	3	9.38
6	青苗赔偿	2	3	2	0	1	2	2	0	3	1	3.95
7	征地	2	3	2	2	1	2	2	2	2	2	4.94
8	铁塔塔材	5	4	4	5	5	5	5	4	4	5	11.36
9	地脚螺栓	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1.23
10	接地铁件	2	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1.48
11	基础砼	5	5	5	3	5	4	5	5	4	5	11.36
12	基础钢筋	4	4	4	5	4	5	4	3	3	4	9.88
13	导线	2	3	2	2	1	0	3	1	0	0	3.46
14	安装金具	2	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0.99
15	机械运距	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3	6.67
16	汽车运距	2	2	2	3	3	2	2	3	2	4	6.17
17	人工运距	4	3	3	3	4	2	2	0	2	3	6.42
	合计	46	41	41	40	39	43	42	37	37	39	

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/696223020020010044>