

基于关键路径法的市政工程项目工期优化

王欣竹 曾强

河南理工大学工商管理学院, 中国·河南 焦作 454000

摘要: 提出一种基于关键路径法的市政工程项目工期优化方法。依据市政工程项目施工特点绘制单代号网络计划图, 推算最早与最晚时间参数, 识别影响总体进度的关键工序。围绕关键路径, 对施工组织、资源配置和工序安排提出优化措施并调整进度计划。将提出的方法在X市政管网改造工程项目中进行应用。应用结果表明, 关键路径法可有效揭示市政工程施工流程的进度控制重点, 为项目工期优化提供可靠依据。

关键词: 市政工程; 管网改造; 关键路径法; 工期优化; 项目管理

Municipal Engineering Project Schedule Optimization Based on the Critical Path Method

Wang Xinzhu, Zeng Qiang

School of Business Administration, Henan University of Technology, China Henan Jiaozuo 454000

Abstract: This study proposes a schedule optimization method for municipal engineering projects based on the Critical Path Method. A single-node network planning diagram is developed according to the construction characteristics of municipal projects to calculate early and late time parameters and identify critical activities that determine the overall duration. Optimization measures focusing on construction organization, resource allocation, and process sequencing are then applied along the critical path to adjust the schedule. The proposed method is implemented in the X municipal pipeline rehabilitation project. Results demonstrate that CPM can effectively identify key control points in the construction process and provide a reliable basis for project duration optimization.

Keywords: Municipal engineering; Pipeline network renovation; Critical path method; Construction period optimization; Project management

0 引言

市政工程作为支撑城市发展与保障民生福祉的重要基础设施载体, 伴随建设规模的不断扩大与工期要求的持续压缩, 其施工管理的精细化与科学化需求日益突出^[1-3]。然而, 在实际建设过程中, 进度控制失衡、资源配置非最优等管理问题仍较为普遍, 进一步导致工期延误与成本偏差等不良后果^[4-6]。

关键路径法 (Critical Path Method, CPM) 在城市基础设施建设中, 尤其是市政工程项目管理领域, 因其全局统筹、高效协同与风险预控优势而被广泛应用^[7]。关键路径法能够对项目执行过程中的问题进行深入分析, 优化工序衔接与资源配置, 特别适用于多专业、多界面交叉施工场景, 在识别最小总时差与实现资源最优配置方面具有显著成效^[8]。

通过对人力、物力、时间及现场交通协调等关键资源的合理安排, 关键路径法可有效缩短建设周期, 减少对城市交通与居民生活的干扰, 并在保障经济效益的同时最大化社会效益, 已成为市政工程交付与风险控制的重要管理

工具, 其应用普及度持续提升^[9-10]。尽管关键路径法在国内市政工程管理中的使用不断增加, 但总体起步较晚, 在体制机制、本土化经验积累以及适应复杂城市环境的动态优化能力等方面, 仍与国际先进水平存在差距^[11]。

1 基于关键路径法的市政工程项目施工优化措施

(1) 在时间维度上, 关键路径法通过基于活动持续时间构建逻辑严密的网络图, 系统展现从地下管线迁改到路面恢复的全过程作业及其依赖关系。通过对各分项工程工期的精准估算与叠加, 可形成项目整体工期的基准参照。

(2) 在关键工序的识别与管控方面, 处于关键路径上的活动决定项目总工期, 其延误将直接影响城市道路、综合管廊或桥隧等市政设施的按期投用, 并造成显著的社会与经济损失。因此, 项目管理需对关键工序实施全过程动态监测, 并优先配置资源以确保其按时完成。

(3) 在最短工期目标上, 关键路径所对应的是项目可实现的最短理论工期。在高度依赖城市功能恢复的市政工

程中, 缩短关键路径不仅意味着成本优化, 更能加速解除占道施工状态、减少交通干扰、提升公共服务恢复速度; 相反, 其延长将导致整体工期被迫延后, 并引发更高的社会误工成本与公众不满。

2 基于关键路径法的市政工程项目施工优化步骤

关键路径法作为工程进度控制的核心方法, 在市政工程复杂、多约束的施工环境中具有显著优势。由于市政工程普遍存在工序链条长、专业交叉多及外部条件限制强等特点, 关键路径法的有效应用不仅依赖理论模型, 还需形成系统化、结构化的实施策略。

2.1 基础网络模型构建与施工逻辑确定

关键路径法的实施首先取决于对施工活动的系统识别及其逻辑结构的科学建模。网络模型的准确性决定了时间参数分析与关键路径识别的可靠性, 需充分考虑技术规范、组织设计及现场条件^[6]。

2.1.1 施工工序分解与持续时间设定

依据市政工程施工流程, 将整体任务分解为独立、可度量的活动, 并在工程量、资源能力及技术要求基础上合理设定工期, 使其具备可计算性与可执行性。

2.1.2 施工逻辑关系的系统化编排

按照“先准备后施工、先地下后地上、先结构后装饰”等市政工程通用规律, 识别并确定紧前与紧后关系, 构建符合技术连续性、安全性与质量控制要求的活动依赖结构。

2.1.3 并行化施工方案的技术设计

在满足技术、安全条件的前提下, 通过分析活动独立性与资源条件, 合理设计并行施工方案, 使无强制依赖的工序同步实施, 从而减少等待时间、提高资源利用率。

2.1.4 单代号网络计划图的构建

基于工序分解与逻辑建模, 采用单代号网络图(Activity-on-Arrow, AOA) 对活动关系进行可视化表达, 并确保其无循环依赖、无孤立节点, 以支持后续时间参数计算与关键路径识别。

2.2 关键路径识别与工期基准的计算建立

在完成网络模型构建后, 应基于关键路径法的时间参数体系进行顺、逆向推算, 以确定最短理论工期及关键作业链条。

2.2.1 最早时间参数的顺向推算 (ES/EF)

从网络起点沿逻辑顺序计算各活动的最早开始 (ES) 和最早结束 (EF) 时间, 为确定理论最早工期提供依据。

2.2.2 最晚时间参数的逆向推算 (LS/LF)

以计划工期或最早完工时间为终点最晚结束 (LF), 逆向推算各活动的最晚时间参数 (LS/LF), 用于确定不影响总工期的时间弹性。

2.2.3 总时差计算与关键路径识别

通过计算总时差 ($TF=LS-ES=LF-EF$), 识别总时差为零或最小的关键活动, 进而形成决定项目最短理论工期的关键路径, 为风险识别、资源优化和工期压缩提供依据。

2.3 进度目标匹配与关键路径优化策略

若初始关键路径工期与合同要求存在偏差, 则需基于关键路径开展工期优化, 实现理论工期与目标工期的匹配。

2.3.1 工期偏差识别与差距分析

通过比较关键路径工期与合同工期, 识别进度偏差并确定优化需求。

2.3.2 关键工序的工期压缩策略

遵循“关键路径优先”原则, 对关键活动采取资源强化、工艺优化及组织流程调整等压缩措施, 以提升效率、缩短工期。

2.3.3 非关键工序的资源再平衡

利用非关键活动的机动时间, 将可支配资源向关键路径倾斜, 实现全局资源最优配置, 增强工期压缩效果。

2.3.4 优化后模型的再计算与验证

在实施优化后重新计算时间参数, 验证关键路径变动及工期满足性, 并根据需要进行迭代优化, 直至形成符合目标工期的可执行计划。

综上所述, 关键路径法在市政工程中的应用包括网络模型构建、时间参数推算、关键路径识别以及工期优化等系统性步骤。通过上述策略, 可实现复杂施工流程的科学表达与可控管理, 为市政工程按期、高效实施提供坚实的理论与技术支撑^[7-8]。

3 应用分析

X 市政管网改造工程主要针对既有管线老化、排水能力不足等问题开展升级改造, 以提升城市基础设施的服务水平。但由于施工区域分散、地下管线关系复杂, 作业组织与协调难度较大, 导致项目存在工期较长、资源投入量大、成本控制困难等情况。因此, 加强进度管理与施工方案优化, 对保障工程顺利实施具有现实必要性。

3.1 确定工序关系

基于市政管网改造工程的施工技术规范、工艺流程要求及现场作业条件, 对 X 市政项目涉及到的 30 项施工工序的紧前、紧后工作进行科学合理的逻辑编排, 同时结合

项目工期优化需求设计并行施工方案，确保各工序衔接有序、作业流程顺畅且资源利用高效，遵循“先准备后施工、先地下后地上、先结构后装饰”的市政工程施工基本规律，所有工序的紧前工作均满足技术上的前置要求。

3.2 确定工序时间参数

依据关键路径法，项目的关键路径需通过分析各施工活动的时间参数和逻辑关系来确定，从而推算最短工期。项目计划工期为 420 天，工序持续时间为初步安排，后续可优化。

在应用关键路径法时，首先计算各工序的最早开始时间（ES）、最早结束时间（EF）、最晚开始时间（LS）和最晚结束时间（LF），并通过这些时间参数求得总时差（TF），以识别关键工序。

在计算 ES 和 EF 时，工序的 ES 为所有紧前工序 EF 的最大值，EF=ES+ 工期。例如，工序 5 的 ES 为 76，EF=116。根据此方法，从工序 1 开始推导所有工序的 ES 和 EF。

LS 和 LF 通过逆向推算得到。若工序有多个紧后活

动，LF 为紧后工序 LS 的最小值，LS=LF- 工期。例如，工序 15 的 LF 为 233，LS=213。最终，工序 30 的 LF 由计划工期确定，再逐步推算出 LS/LF。

总时差（TF=LS-ES 或 LF-EF）用于识别关键工序。TF 为零的工序构成关键路径。初步计算中出现负时差，表明初拟工期与 420 天目标存在偏差，需通过优化工序持续时间或调整逻辑关系来确保项目按期完成。

分别得出各项活动的 ES,EF,LS 和 LF 之后。接着求出各个工序活动的总时差，总时差 =LS-ES 或者 =LF-EF。最后将各个工序活动的参数计算出来并以表格的形式列出，便于后期计算取值，具体如表 1。

下面分别用“总时差最小值法”和活动工期相加最长路径法来找出市政管网改造项目的关键路径并验证其一致性。由上表可以看出总时差最小的活动项目分别为 1、2、3、4、5、6、7、10、12、14、15、16、18、19、20、21、22、23、24、25、27、28、29、30，其总时差都为 -19 天且自由时差为 0。根据网络逻辑关系图，确定活动 1、2、3、4、5、6、7、10、12、14、15、16、18、19、20、21、

表1 X工程参数表

序号	工序	紧前工作	紧后工作	工期	最早开始 ES	最早结束 EF	最晚开始 LS	最晚结束 LF	总时差
1	施工准备	—	2	15	0	15	-19	-4	-19
2	施工措施(排水+护栏)	1	3,4	15	15	30	-4	11	-19
3	路面拆除	2	4,5	31	30	61	11	42	-19
4	沟槽开挖	2、3	5,6	15	61	76	42	57	-19
5	砂砾石垫层铺设	3,4	6,7,8,9	40	76	116	57	97	-19
6	支墩混凝土基础	4,5	7	25	116	141	97	122	-19
7	球墨铸铁管安装	5,6	10,11,12	30	141	171	122	152	-19
8	不锈钢管安装	5	12,14	2	116	118	194	196	78
9	聚乙烯PE管安装	5	12	19	116	135	177	196	61
10	管件安装	7	12	44	171	215	152	196	-19
11	砖砌检查井	7	12	36	171	207	160	196	-11
12	管道试压	7,8,9,10,11	13,14,19	14	215	229	196	210	-19
13	成品防冻水表箱安装	12	20	5	229	234	247	252	18
14	不锈钢管安装	12	15	3	229	232	210	213	-19
15	新旧管连接	14	16,17	20	232	252	213	233	-19
16	管道保温及防潮层	15	18	2	252	254	233	235	-19
17	管道刷油+焊缝探伤	15	18	1	252	253	234	235	-18
18	钢塑过渡接头安装	16,17	19	14	254	268	235	249	-19
19	低压法兰焊接	12,18	20	3	268	271	249	252	-19
20	管道消毒冲洗	13,19	21	11	271	282	252	263	-19
21	消火栓安装	20	22	7	282	289	263	270	-19
22	建筑垃圾外运	21	23	40	289	329	270	310	-19
23	沟槽回填夯实	22	24	27	329	356	310	337	-19
24	现场建筑垃圾清理	23	25	6	356	362	337	343	-19
25	水泥混凝土路面修复	24	26	30	362	392	343	373	-19
26	乳化沥青喷洒	25	27	2	392	394	373	375	-19
27	沥青混凝土摊铺	26	28	30	394	424	375	405	-19
28	全管网系统调试	27	29	3	424	427	405	408	-19
29	临时设施拆除	28	30	5	427	432	408	413	-19
30	工程竣工验收	29		7	432	439	413	420	-19

22、23、24、25、27、28、29、30 所对应的路径为项目的关键路径。由于部分非关键工序 (如活动 8、9、11 等) 仅为辅助施工环节, 不影响核心施工流程, 在确定关键路径时无需纳入。设 0 为项目起点 (虚拟的活动起始节点), 那么该项目的关键路径如下图 1 所示, 其中粗箭线表示市政管网改造项目的关键路径。

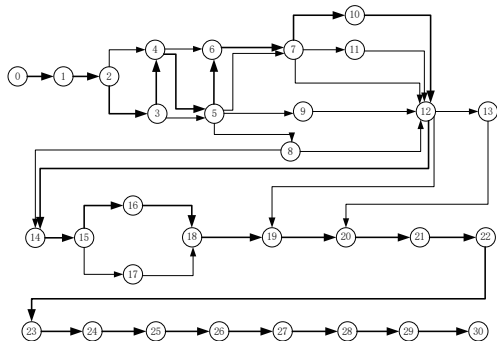


图1 x项目关键路径

由于已经寻找出项目的关键路径, 由关键路径上的活动工时相加得出 439 天大于合同工期 420 天, 估计正常情况下无法在合同工期内完成任务。

3.3 关键路径优化

关键路径分析显示, 市政管网改造项目总工期 439 天, 超出合同工期 420 天 19 天, 需要通过优化关键路径工期确保按期交付。由于关键工序决定总工期, 非关键工序有较大浮动时间 (如活动 8 时差 78 天、活动 9 时差 61 天), 本研究提出“优化关键路径、调配非关键资源”的策略, 从工期压缩、逻辑优化与资源调整三方面入手。

为满足 420 天的要求, 优化措施包括: ①工序 3 (路面拆除) 通过增设设备和夜间施工将工期缩短至 25 天; ②工序 7 (管道安装) 提前预制并并行施工, 将工期缩短至 22 天; ③工序 12 (管道试压) 采用分段试压, 将工期缩短至 10 天; ④工序 25 (水泥路面修复) 选用早强混凝土, 将工期缩短至 24 天。

将各个工序活动的参数计算出来并以表格的形式列出, 便于后期计算取值, 具体如表 2。

将各工序工期累加计算, 总工期为 15+15+25+15+40+25+22+44+10+3+20+2+14+3+11+7+32+27+6+24+2+26+3+5+7=403 天, 少于合同工期 420 天, 满足项目按期交付要求。调整后的关键路径可用黑色粗箭线在单代号网络

表2 调整后的x工程参数表

序号	工序	紧前工作	紧后工作	工期	最早开始ES	最早结束EF	最晚开始LS	最晚结束LF	总时差
1	施工准备	—	2	15	0	15	17	32	17
2	施工措施(排水+护栏)	1	3,4	15	15	30	32	47	17
3	路面拆除	2	4,5	25	30	55	47	72	17
4	沟槽开挖	2, 3	5,6	15	55	70	72	87	17
5	砂砾石垫层铺设	3,4	6,7,8,9	40	70	110	87	127	17
6	支墩混凝土基础	4,5	7	25	110	135	127	152	17
7	球墨铸铁管安装	5,6	10,11,12	22	135	157	152	174	17
8	不锈钢管安装	5	12,14	2	110	112	216	218	106
9	聚乙烯PE管安装	5	12	19	110	129	199	218	89
10	管件安装	7	12	44	157	201	174	218	17
11	砖砌检查井	7	12	36	157	193	182	218	25
12	管道试压	7,8,9,10,11	13,14,19	10	201	211	218	228	17
13	成品防冻水表箱安装	12	20	5	211	216	265	270	54
14	不锈钢管安装	12	15	3	211	214	228	231	17
15	新旧管连接	14	16,17	20	214	234	231	251	17
16	管道保温及防潮层	15	18	2	234	236	251	253	17
17	管道刷油+焊缝探伤	15	18	1	234	235	252	253	18
18	钢塑过渡接头安装	16,17	19	14	236	250	253	267	17
19	低压法兰焊接	12,18	20	3	250	253	267	270	17
20	管道消毒冲洗	13,19	21	11	253	264	270	281	17
21	消火栓安装	20	22	7	264	271	281	288	17
22	建筑垃圾外运	21	23	32	271	303	288	320	17
23	沟槽回填夯实	22	24	27	303	330	320	347	17
24	现场建筑垃圾清理	23	25	6	330	336	347	353	17
25	水泥混凝土路面修复	24	26	24	336	360	353	377	17
26	乳化沥青喷洒	25	27	2	360	362	377	379	17
27	沥青混凝土摊铺	26	28	26	362	388	379	405	17
28	全管网系统调试	27	29	3	388	391	405	408	17
29	临时设施拆除	28	30	5	391	396	408	413	17
30	工程竣工验收	29		7	396	403	413	420	17

计划图中标识，如图 3 所示，直观呈现核心施工流程与工期构成。

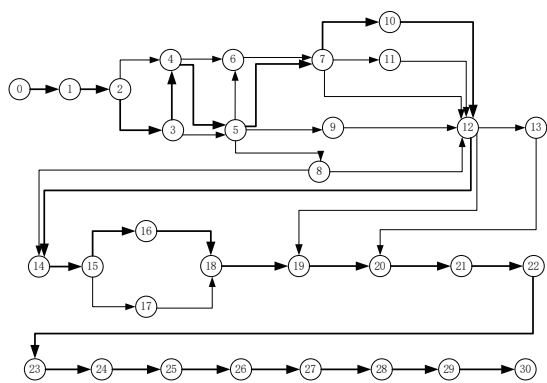


图3 调整后的X工程关键路径

3.4 优化效果

通过对 X 市政工程的关键路径中的工序，进行资源调配、增加机械与人工的方式，使得项目工期从预计 439 天优化到现在的 403 天，达到了项目要求的 420 天总工期，比规定工期提前 17 天，保证项目在规定工期内顺利完工。

4 结语

本文围绕市政管网改造工程的施工流程，运用关键路径法完成了工序逻辑梳理、网络计划编制及关键路径识别。通过时间参数推算，明确了影响工程进度的核心链条，并据此提出工序压缩与资源优化策略，对进度计划进行了系统调整与完善。结果表明，关键路径法能够与市政工程的施工特性有效匹配，在识别瓶颈环节、优化作业衔接和提升进度管理科学性方面具有显著作用。本文的分析与调整为该工程按期实施提供了可执行的进度优化路径，同时为市政工程在工期优化上提供了新的解决思路。

参考文献：

[1] 郑权. 市政工程施工现场管理难点及对策[J]. 工程建设标准化, 2025,(11):97-99.

[2] 毛源源. 市政道路工程概预算编制质量提升及审查方法[J]. 中国建筑金属结构, 2025,24(21):181-183.

[3] 吴吉良. 市政道路施工质量管控的跨越发展[J]. 中国建筑金属结构, 2025,24(20):190-192.

[4] 欧东金. 浅论市政建筑工程地基施工技术要点[J]. 四川建筑, 2025,45(05):204-205.

[5] 王礼超, 王开艳. 市政工程环保施工管理举措研究[J]. 四川建筑, 2025,45(05):275-277.

[6] 朱小龙. 市政工程施工管理现状及改进措施[J]. 四川建材, 2024,50(06):209-211.

[7] 谭泽涛. 基于关键路径法的项目进度管理研究[J]. 建筑经济, 2019,40(09):67-71.

[8] 任小娟. 关键路径法在信息系统进度管理中的应用[J]. 软件工程师, 2014,17(06):13-14.

[9] 陈学伟. 工程进度管理与优化策略研究[J]. 居业, 2025,(08):177-179.

[10] 王晖. 工程进度管理中关键路径法的应用与优化[J]. 散装水泥, 2025,(02):209-211.

[11] 李颖, 卜昊天, 孙景文. 市政工程项目成本控制的优化路径探究[J]. 建筑与预算, 2025,(04):16-18.

基金项目：河南省高校基本科研业务费专项资金资助项目 (SKJZD2023-01)，河南省高校人文社会科学研究一般项目（2026-ZDJH-053）。