

复杂枢纽互通立交工程与天然气管道交织的处理方案探讨

王绥霖

海南省交通工程建设局

DOI:10.32629/etd.v7i2.18979

[摘要] 以G9812高速公路延长线项目为研究对象,针对项目博鳌机场枢纽互通与高压天然气管道交织存在的安全冲突问题,开展互通方案变更优化研究。通过现场勘测与资料梳理,明确原方案存在道路侵占管线、桥梁桩基安全净距不足、保护涵设计不合理等核心冲突。结合项目实际条件,针对平行路段、交叉路段分别提出多套优化备选方案,从技术可行性、安全可靠、经济合理性等维度进行对比分析,确定最优变更方案。严格遵循相关规范要求,确保变更方案既满足天然气管道保护核心需求,又保障互通立交通行功能与建设质量,为同类涉及重要管线的交通基础设施项目提供参考。

[关键词] 高速公路; 互通立交; 天然气管道; 交织; 方案优化

中图分类号: TV331 **文献标识码:** A

Discussion on Treatment Schemes for Intertwining of Complex Hub Interchange Projects and Natural Gas Pipelines

Suilin Wang

Hainan Provincial Transportation Engineering Construction Bureau

[Abstract] Taking the G9812 Expressway Extension Project as the research object, this paper conducts a study on the modification and optimization of interchange schemes in response to the safety conflicts arising from the intertwining of the Boao Airport Hub Interchange and high-pressure natural gas pipelines. Through on-site surveys and data collation, the core conflicts existing in the original scheme are identified, including road encroachment on pipelines, insufficient safe clearance for bridge pile foundations, and unreasonable design of protective culverts. Based on the actual conditions of the project, multiple sets of optimized alternative schemes are proposed respectively for parallel road sections and intersecting road sections. A comparative analysis is carried out from the dimensions of technical feasibility, safety and reliability, and economic rationality, so as to determine the optimal modification scheme. In strict compliance with the requirements of relevant specifications, the modified scheme is ensured to not only meet the core demand of natural gas pipeline protection, but also guarantee the traffic function and construction quality of the interchange. This research provides a reference for similar transportation infrastructure projects involving important pipelines.

[Key words] expressway; Interchange; Natural gas pipelines; interweave; solution optimization

引言

随着交通基础设施建设以及天然气民生工程建设的提速,高速公路枢纽互通工程与高压天然气管线之间的交织冲突问题愈发显著,保障管线安全并推动工程建设协同推进,已成为行业的关键课题。G9812高速公路延长线项目作为省级重大示范工程,在博鳌机场枢纽互通建设中发现原设计与沿线高压天然气管道存在多处冲突。因管道迁改周期长、成本高,本文以该项目为研究对象,开展互通方案变更优化研究,通过多方案对比确定最优处理方案,为同类项目提供实践参考。

1 概述

1.1 高速公路基本情况

G9812高速公路延长线项目位于海南省琼海市,是海南省“丰”字型高速公路网的重要组成部分。项目主线起点位于博鳌机场西侧,终点接G9813万宁至洋浦高速公路,主线路线全长24.624km,设计速度100km/h,路基宽度26m。博鳌机场枢纽互通是项目的核心工程,也是海南省最大的枢纽互通工程,连接G9812文昌至琼海高速公路、G9813万宁至洋浦高速公路、博鳌机场连接线等。



图1 枢纽互通与天然气管道交织图

1.2 天然气管道路线情况

本项目涉及的高压天然气管道为海南省环岛天然气干线管道的重要组成部分,位于琼海市中原镇路段,设计压力7.0MPa,管径DN610,承担琼海市、万宁市、陵水县等地区的居民用气、工业用气供应,是海南省南部地区能源供应的“生命线”。管道采用埋地敷设方式,平均埋深约1.2-2.5m,沿线地形以平原为主,局部为丘陵地带,土壤类型主要为粉质黏土与砂质黏土。管道周边环境复杂,涉及基本农田、村镇居民点、工业厂区等。

1.3 博鳌枢纽互通立交与天然气管道路线交织情况

博鳌机场枢纽互通区域与天然气管道存在8处交叉或平行交织的复杂点位,这使得枢纽互通立交施工活动与天然气管道的安全稳定运行之间产生了显著的系统性矛盾。二者在空间布局与作业影响方面的适配性欠佳,既可能对管道的结构完整性及运行安全性造成干扰,也会制约互通工程施工的正常推进。

1.4 研究路线

围绕天然气管道保护的核心功能需求展开,在与管道权属单位充分沟通确认后,按以下三步推进研究:一是开展基础调研工作,通过现场勘察、资料收集等方式,全面掌握原互通方案的设计资料,同时厘清沿线天然气管道的分布参数、保护范围及具体技术要求,为后续研究筑牢基础。二是进行路线与管线冲突分析,结合收集到的基础资料,系统梳理原互通方案与天然气管道保护要求之间的冲突点。三是完成方案优化与比选,结合项目地形、施工条件等实际情况,提出多种互通方案变更备选方案,从技术可行性、安全保障性、经济合理性三个维度进行对比分析,最终确定最优变更方案,实现项目建设与管道保护的协同推进。

2 基本原则

2.1 安全优先原则

严格遵循天然气管道保护的相关规范要求,将管道安全放在首位,确保变更方案满足管道保护的核心功能需求,同时施工过程中不对管道产生振动、挤压、扰动等影响。

2.2 技术可行原则

方案变更需基于项目实际条件(地形、地质、用地性质),采用成熟、可靠的技术方案,确保施工难度可控、施工工艺符合规范要求。同时,方案需兼顾工程结构的长期稳定性与耐久性,满足项目“平安百年品质工程”的建设要求。

2.3 经济合理原则

在保障安全与技术可行的前提下,合理控制方案变更的投资成本,通过多方案比选,选择经济成本最低、施工难度最小的优化方案,避免因方案过度优化导致成本浪费,确保项目总投资控制在批复范围内。

2.4 协调统一原则

方案变更需与项目总体设计理念、周边环境相协调,确保互通立交的通行功能不受影响,同时兼顾天然气管道的运营、维护需求。

3 案例实践处理方案

经现场勘测,博鳌枢纽互通立交与天然气管道路线交织主要集中在三方面的问题:一是道路平行侵占管线问题;二是桥梁桩基与管道交叉,且不满足安全距离的4处;三是原设计保护涵尺寸不满足要求或未考虑保护涵的3处。以下将针对上述3个方面5类典型问题展开研究分析。

3.1 枢纽互通改路与管线平行路段

原设计枢纽互通L3改路宽度为6.5m,经现场勘测发现,该改路与管线走向平行,边沟侵占了管线范围,需对原设计方案进行优化调整。

方案一：保持原设计6.5m改路宽度，通过整体偏移路线避开天然气管线，解决边沟侵占管线问题。

方案二：现状改路的路基宽度为3.5米，拟将其调整为4.5米，并对纵断设计予以优化，尽可能贴合原地面。同时，在改路对应的左侧位置增设挡墙，以稳定改路路基，避免边沟侵占天然气管线。

表1 改路与管线平行路段优化方案对比表

处理方案	优点	缺点
方案一	一是管线避让彻底。整体偏移可实现与天然气管线的隔离，安全冗余度高。 二是功能完整性强。维持6.5m标准改路宽度，满足原设计要求。	线路整体偏移需要额外征用沿线土地。由于周边管线复杂、涉及基本农田和房屋拆迁等因素的影响，用地审批难度较大，协调工作任务繁重，新增用地面临着多重阻碍。
方案二 (推荐)	一是资源利用率高。基于既有改路进行改造，无需新增征地，规避土地征用带来的协调难题。 二是空间利用高效。通过挡墙设置，在有限红线内实现路基拓宽与管线避让的双重目标，避免路线外扩对周边用地规划的破坏。	一是通行能力满足要求，相较原方案略有降低。 二是挡墙施工成本较高。

3.2 枢纽互通与管线交叉段

3.2.1 原设计G223国道跨线桥第一跨采用3×20m小箱梁结构，经现场勘测发现，该跨线桥桥墩桩基与既有管线净距仅为2.4m，不满足≥5.0的安全净距规范要求，需对原设计方案进行优化调整。

方案一：取消原设计3×20m小箱梁结构，调整为路基形式。同时，在路基下方增设钢筋混凝土保护性涵洞，涵洞孔径依据管线尺寸以及安全距离要求进行专项设计，实现对既有管线的隔离防护。

方案二：保留桥梁原有结构形式，把原设计的3×20m小箱梁调整为3×25m小箱梁。通过适度增加跨径，让桥墩桩基精确避开既有管线的影响范围，无需改变桥梁整体布局，使其符合管线安全净距的规范要求。

表2 G223国道跨线桥与管线交叉优化方案对比表

处理方案	优点	缺点
方案一	能够彻底消除桥梁桩基施工阶段对管线造成的安全扰动，从根源上规避结构施工带来的潜在风险隐患。且保护性涵洞能依据管线走向进行适配设计，适配程度较高。	一是巨大的填土方量增加建设成本、延长施工周期，加大了各类资源的投入规模。 二是路基贴坡放坡需额外占用空间，若涉及新增建设用地，不仅会产生征地补偿成本，还面临较大的用地协调难度；若采用挡墙收坡方案，将进一步推高工程造价。
方案二 (推荐)	一是契合项目总体设计理念，保留原桥梁结构形式，与项目整体规划保持高度一致，且可有效避免新增建设用地。 二是施工工序与原方案差异较小，工程投资无显著增加，具备突出的经济性优势。 三是技术可行性高。小箱梁跨径调整属于常规设计优化范畴，且项目已具备该跨径的预制台座，相关施工技术成熟可靠。	一是梁体跨径增大后，需对结构受力、挠度变形等指标进行专项验算，确保结构强度达标。 二是尽管桩基已避开管线安全距离范围，但因施工区域紧邻管线，仍存在潜在风险隐患，需进一步强化施工全过程管控，保障施工安全。

3.2.2 原设计F匝道桥采用1x25m小箱梁结构，经现场勘测发现，大桩号处管线与路基相互交叉。一是大桩号桥台的桩基与管线的净距未达到5.0m的要求。二是管线的埋深较浅，其顶面高程与桥梁墩柱的设计位置存在重叠情况。需对原设计方案进行优化调整。

方案一：取消原设计1x25m小箱梁结构，调整为路基形式。同时，在路基下方增设钢筋混凝土保护性涵洞，涵洞孔径依据管线尺寸以及安全距离要求进行专项设计，实现对既有管线的隔离防护。

方案二：将原设计变更为3×25m小箱梁，通过结构调整确保桩基净距≥5.0m；同步将2号桥墩形式调整设置为门架墩，利用门架墩下方形成的通透空间，实现桥梁与管线的空间兼容。

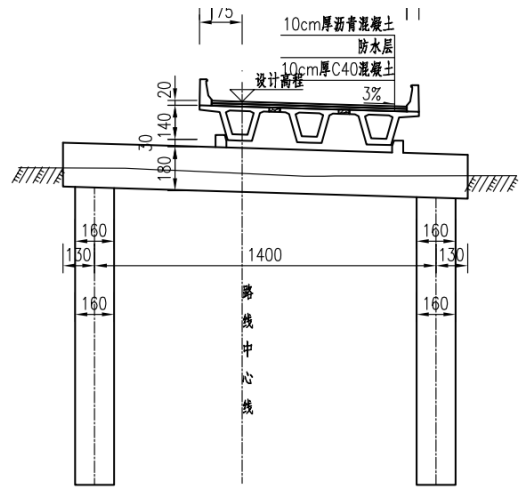


图2 门架优化布置图

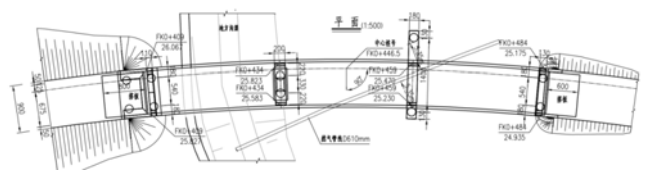


图3 管线与桩基位置图

表3 F匝道与管线交叉优化方案对比表

处理方案	优点	缺点
方案一	与3.2.1方案一一致	与3.2.1方案一一致
方案二 (推荐)	一是通过结构优化，同步解决桩基间距不足与墩柱高程冲突两大问题，既保障桩基净距符合标准，又利用门架墩通透空间实现桥梁与管线兼容。 二是整体保留桥梁核心的桥下过水功能，确保水系连通性不受影响，避免因结构调整导致水系截断。	一是结构受力分析与验算难度有所提升。 二是投资造价有所增加。 三是门架墩的设置与整体墩柱设计风格不协调，影响美观。

3.2.3原设计主线桥采用30m一跨的结构形式,桥墩采用独柱墩。经现场勘测发现,左幅34号桥梁墩柱侵占管线,右幅33号墩的桩基不满足与管线间距的要求。

方案一:在保持桥梁总长度不变的前提下,对33号至34号桥跨的跨径进行优化调整,将33-34号桥跨的原30m跨径增至42m,同时对应缩减32号墩、35号墩相邻跨径为24m。从空间布局上规避墩柱、桩基与管线的位置冲突,满足结构安全与管线运行的双重要求。

方案二:优化主线桥结构布局,取消其最后一联桥梁结构,将该段调整为路基形式。同时,在路基下方增设钢筋混凝土保护性涵洞,涵洞孔径依据管线尺寸以及安全距离要求进行专项设计,实现对既有管线的隔离防护。

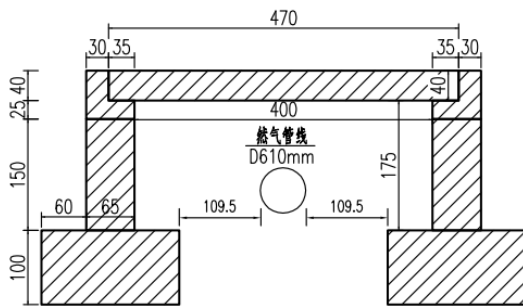


图4 保护性涵洞断面图

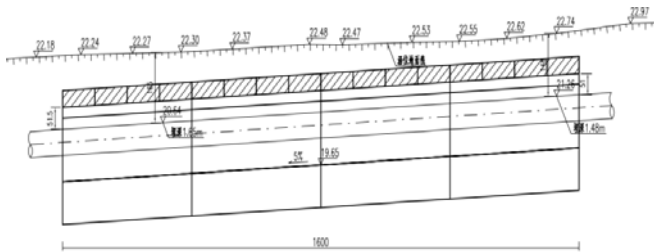


图5 保护性涵洞立面图

表4 主线桥与管线交叉优化方案对比表

处理方案	优点	缺点
方案一	一是可一次性消除桥梁左右幅与管线的双重空间冲突。 二是维持桥梁总长度不变,对项目线型规划、引桥衔接影响较小。	跨径调整后,桥梁呈现不规则跨径结构特征,其受力体系趋于复杂,对设计精度及施工质量控制提出了更高要求,且项目无42m、24m的预制台座,会产生额外的台座建设费用,建设成本较高。
方案二(推荐)	一是通过结构优化,同步解决桩基间距不足与墩柱高程冲突两大问题,既保障桩基净距符合标准,又利用门架墩通透空间实现桥梁与管线兼容。 二是整保留桥梁核心的桥下过水功能,确保水系连通性不受影响,避免因结构调整导致水系截断。	大量的填土方量提高建设成本,延长施工周期,加大各类资源的投入规模。同时,大规模土方作业对周边环境造成一定影响,需加强施工过程环境治理。

3.2.4原设计县道X350、R匝道为路基形式,经现场勘测发现,该路段与管线斜交,需对原设计方案进行优化调整。

方案一:把原设计的路基变更为单跨30m简支梁,以跨越管道,避免路基施工与管线产生空间冲突。

方案二:将原设计路基变更为保护性涵洞,通过孔径计算和设置合理纵坡,使涵体贴合管线走向。既为管线预留充足安全空间,有效规避涵体与管线的位置冲突,又能保障保护涵自身结构稳定,满足路基段整体受力及使用要求。

表5 路基与管线交叉优化方案对比表

处理方案	优点	缺点
方案一	可以从根本上消除路线与管线的交叉矛盾,确保二者始终处于安全间距范围内。	一是投资造价增加。 二是匝道填土高度较低,桥梁作业空间受限,结构布置难度大。
方案二(推荐)	一是涵洞结构形式相对简单,工程造价较桥梁方案低。 二是施工适配性突出,对场地空间需求较低,可适配狭窄区域作业,且受地形条件变化的影响较小,能适应多样化的现场施工环境。	对地基承载力要求高,场地土质较差时,需通过换填或加固措施改善地基条件,否则易导致涵体沉降、开裂,进而影响管线安全。

表6 最优方案汇总

典型问题序号	位置	交织类型	建议方案	核心措施
3.1.1	L3改路	平行	方案二	内部设置挡墙进行收坡
3.2.1	G223国道跨线桥	斜交	方案二	桥梁跨径调整
3.2.2	F匝道	斜交	方案二	桥梁跨径调整+设置门架墩
3.2.3	主线桥	斜交	方案二	桥梁变更为路基
3.2.4	县道X350、R匝道等	斜交	方案二	路基变更为保护性涵洞

4 结论

本研究聚焦复杂互通立交与天然气管道交叉段处理方式,以博鳌机场互通工程为实证,验证了多种处置方案的有效性。遵循安全优先等四大原则,针对平行、交叉路段的不同冲突形态,构建多维度的备选方案体系,通过综合比选,形成具有差异化的最优方案。采用“挡墙收坡”方式优化路基方案,实施桥梁跨径调整、结构型式转换等具有针对性的措施,实现管线安全与工程功能的双重保障。

随着交通强国与能源安全战略深入实施,二者交叉冲突将更趋复杂。未来需深化智能化技术应用,探索协同决策系统,加强跨行业标准协同与技术融合,构建系统性协同技术体系,为基础设施高质量发展提供支撑。

[参考文献]

- [1]交通运输部.公路工程技术标准:JTG B01-2014[S].北京:人民交通出版社,2014.
- [2]交通运输部.公路桥涵设计通用规范:JTG D60-2015[S].北京:人民交通出版社,2015.
- [3]交通运输部,国家能源局,国家安全监管总局.关于规范公路桥梁与石油天然气管道交叉工程管理的通知:交公路发

[2015]36号[Z].2015.

[4]住房和城乡建设部,国家质量监督检验检疫总局.油气输送管道穿越工程施工规范:GB 50424-2015[S].北京:中国计划出版社,2015.

[5]宗敏,刘丙强,张伟.跨石油、天然气管线高速公路施工技术研究[J].运输经理世界,2022,(29):22-24.

[6]蔡菁,王晓飞,李新伟.高速公路与天然气管道交叉或伴行的设计思路[J].公路交通科技(应用技术版),2017,13(3):96-98.

作者简介:

王绥霖(1994—),男,汉族,海南人,本科,研究方向:公路工程。