

深惠城际西丽站——深圳北站区间矿山法隧道主体结构设计变更优化研究

张立梅

中国水利水电第七工程局有限公司南方分公司，广东深圳，518110；

摘要：深惠城际铁路是粤港澳大湾区城际铁路网的重要组成部分，本文以深惠城际西丽站～深圳北站区间矿山法隧道主体结构设计变更为研究对象，分析了设计变更的必要性、变更流程、变更后的施工工艺与方法，并对变更后的技术经济指标及社会经济效益进行了综合评估。研究结果表明，将原设计的双洞单线小断面隧道优化为单洞双线大断面隧道，能够有效提升施工效率，显著降低施工成本，缩短工期，增强施工安全与质量控制水平，并减少对周边环境的影响，具有显著的经济效益与社会效益。

关键词：深惠城际铁路；矿山法隧道；设计变更；单洞双线；经济效益；社会效益；成本优化；工期压缩；风险管理

DOI：10.64216/3080-1508.26.02.004

引言

随着我国城市化进程的加快和粤港澳大湾区战略的深入推进，城际铁路作为重要的交通基础设施，在促进区域协同发展方面具有不可替代的作用。深惠城际铁路连接深圳、东莞与惠州，是区域交通网络中的关键一环。

矿山法隧道因其适应复杂地质条件能力强、线路布置灵活等特点，广泛应用于山岭及城市地下工程。然而，在深惠城际西丽站～深圳北站区间的实际建设中，原设计的双洞单线小断面隧道面临施工空间狭小、多工序交叉干扰大、安全风险高、资源投入重复等问题。为此，有必要对原设计方案进行优化调整。

本文结合工程实际，研究将双洞单线小断面隧道变更为单洞双线大断面隧道的可行性，从技术、经济、管理等多维度分析变更效益，以期为类似工程提供借鉴。

1 工程概况及设计变更的必要性

1.1 工程概况

深惠城际铁路西丽站～深圳北站区间全长 10.6 公里，其中矿山法施工段长约 7.8 公里，隧道最大埋深约 321 米，洞身主要穿越微风化花岗岩地层，地质条件复杂，IV、V 级围岩占比近 50%。原设计采用双洞单线隧道方案，隧道标准断面尺寸为 5.77m×6.7m（宽×高），断面面积约 50.3 m²。

1.2 设计变更的必要性分析

1.2.1 施工空间狭小，工序干扰严重

原设计方案中，隧道断面净空狭小，导致隧道内部施工空间极为有限。根据设计要求，必须在距离开挖面一定距离处同步进行仰拱及二次衬砌等工序的施工。然而，由于隧道断面净空小，仰拱浇筑、填充后通行宽度仅剩 3.7m，只能勉强满足单向通行，使得隧道内施工车辆通行无法错车、调头，严重制约了施工效率。特别是进行二次衬砌施工时，施工车辆只能通过平均间距 500m 处的联络通道绕行，无法保证开挖作业的连续性。掌子面开挖与仰拱施工，二次衬砌的防水板铺设、钢筋绑扎、混凝土浇筑等工序相互干扰极大，导致施工效率大幅降低，严重影响了工期和施工成本。这种小断面隧道内的多工序交叉作业问题，是导致施工效率低下的主要原因之一。

1.2.2 作业面众多，安全风险高

双洞单线隧道由斜井转入正线施工时，高峰期 3 个斜井（辅助通道）共产生 11 个作业面同时施工。长距离、小间距隧洞多工作面同时爆破作业相互干扰影响大，作业环境恶劣，风险点数量众多，安全管理难度巨大。多工作面同时施工，对通风、排水、供电等系统提出了更高的要求，也进一步增加了安全隐患。大量的作业面也增加了协调和沟通的复杂性，提升了安全事故发生的概率。

1.2.3 资源投入大，施工成本高

按照合同约定，隧道施工需要采用机械化配套，以

提高施工效率。但在原设计方案下，考虑到高峰期需要多个作业面同时进行，每个工作面都需要配置装载机、挖掘机、湿喷机械手、仰拱栈桥、二衬台车、风水（含供水排水）电系统等设备。多作业面需要同时投入大量的人员与设备等资源，导致成本急剧升高，管理难度也大幅增加。重复配置设备和人员，不仅造成了资源浪费，也增加了管理成本，降低了整体的经济效益。

1.2.4 措施费用高，潜在亏损大

原设计正线隧道受小断面影响，因多工序、多作业面同步交叉施工干扰严重，不可避免地会出现施工降效。与此同时，该区间隧道采用全国铁路定额组价，造价指标远低于深圳市域内市政行业标准，导致主要分包单价均出现倒挂现象。为了确保施工进度，项目部需要增加临时横通道，以改善洞内交通组织。根据测算，全线需要增设 10 个施工横通道，按照每个横通道 150 万元的

成本计算，该项措施费约为 1500 万元，且根据合同约定，增加的措施费需要由乙方（水电某局）自行承担，这无疑加剧了项目的亏损风险。

1.2.5 工期履约风险突出

由于小断面隧道施工组织管理难度大、工效低、干扰多、不可控风险多、工期压力极大，经过项目部多次的工期筹划讨论，发现即使采取大量的赶工措施，双线单洞方案的工期仍然无法满足合同工期要求，工期履约风险极高。工期延误不仅会增加项目的财务成本，还可能导致违约金的产生，严重影响企业的声誉和经济效益。

2 设计变更方案与决策

2.1 变更方案核心内容

本次设计变更并非简单的结构形式调整，而是一次系统性的工程优化，其主要内容如表 1 所示：

表 1 设计变更前后关键参数对比

对比项	原设计(双洞单线)	变更后(单洞双线)	变化与效益
结构形式	分离式双洞	单洞大断面	结构整合，取消中间岩柱
断面尺寸(宽×高)	5.77m×6.7m	12.06m~13.14m×10.21m~11.12m	断面面积增加约 140%
工作面数量	11 个	6 个	集中管理，减少干扰
洞内交通	需依赖联络通道，组织复杂	洞内可双向通行，组织高效	根本解决交通瓶颈
临时措施	需增设 10 个临时横通道	无需增设	直接节约措施费约 1500 万元

2.2 方案决策与审批关键

技术可行性验证：通过对同类已建工程（如深汕先段）的实地调研，验证了单洞双线大断面隧道在相似地质条件下的技术可靠性与实践成效。

综合效益论证：编制了详细的《设计变更建议报告》，系统论证了该方案在缩短工期、降低成本、提升安全质量控制水平等方面的综合效益（具体分析见第 5 章）。

协同审批流程：协同设计、监理单位，就变更方案的技术细节与长期价值，与业主（深圳市地铁集团）、运营单位及审批主管部门进行了多轮专题汇报与沟通，确保了各相关方对方案价值的充分理解与共识。

最终决策：方案于 2023 年 10 月 19 日经深圳市地铁集团技术委员会审议通过，完成了最终的行政决策，为后续实施提供了合法性基础。

3 变更后的施工工艺及方法

通过上述严格的设计变更流程后，深惠城际铁路西丽站~深圳北站区间的矿山法隧道主体结构正式由双洞单线变更为单洞双线。变更后，隧道长度保持不变，但隧道的主体结构发生了显著变化。标准段隧道宽度调整

为 12.06~13.14m，高度调整为 10.21m~11.12m。开挖工法仍然采用全断面法、台阶法，并继续采用爆破开挖的方式。然而，由于隧道断面尺寸的增加，变更后隧道的工作面数量大幅减少，由每个工点 4 个工作面，全线总计 11 个工作面变为每个工点 2 个工作面，全线共 6 个工作面，工作面数量减少了近一半。

为了适应新的隧道结构和施工条件，项目部对施工工艺和方法进行了相应的调整和优化，主要变化包括以下几个方面：

1.开挖工艺：由于隧道断面增大，可以采用更大型的机械设备进行开挖，例如大型挖掘机、装载机等。这些大型机械设备具有更高的开挖效率和作业能力，可以显著提高隧道的整体施工进度。

2.支护工艺：根据围岩等级和地质条件的差异，采用不同的支护方式，包括锚杆、喷射混凝土、钢拱架等。由于断面增大，支护结构的设计和施工需要更加精细，以确保隧道的稳定性和安全性。同时，对支护材料的强度和耐久性也提出了更高的要求。

3.衬砌工艺：采用模筑混凝土衬砌，可以有效提高

衬砌质量和施工速度。由于断面增大，衬砌结构的强度和稳定性需要更加严格的控制。此外，还需要优化衬砌材料的配比和施工工艺，以提高衬砌结构的抗裂性能和耐久性。

4.施工组织：工作面数量减少后，施工组织更加简化，减少了交叉干扰，提高了施工效率。可以更加集中地进行资源调配和管理，优化施工流程，提高整体的施工效率和管理水平。

4 主要技术经济指标分析

将双洞单线小断面隧道变更为单洞双线大断面隧道，不仅在施工工艺和方法上带来了显著的变化，而且在主要技术经济指标方面也产生了积极的影响。通过对净收益、工期、质量、安全、环境保护等多个关键指标进行详细分析，可以全面评估设计变更的综合效益。

4.1 净收益分析

矿山法隧道结构进行修改调整后，变更前收益为

表 2 设计变更前后施工工效对比

序号	围岩等级	单循环进尺 (M)	月进尺时间 (天)	原方案施工工效		变更方案施工工效		可提升工效 (M/月)
				调整前循环耗时 (循环/天)	调整前月进尺 (m/月)	调整后循环耗时 (循环/天)	调整后月进尺 (m/月)	
1	II、III	3	26	1	78	1.5	120	42
2	IV	2.4	26	1	62.4	1.3	81.1	18.7

工期缩短可以带来多方面的效益，如降低管理成本、加快资金周转、提前投入运营等。

4.3 质量分析

设计变更为隧道施工质量控制带来多方面积极影响。大断面隧道

为大型机械化作业提供充足空间，机械施工相比人工作业在参数控制和流程稳定性方面优势显著，有效减少人为误差，提升施工精度。工作面数量大幅减少降低了质量管控复杂度，管理人员可更专注于有限工作面，实施更严格的过程控制。工序精简减少了交叉衔接点，降低了工序干扰导致的质量风险，保障了混凝土衬砌等关键质量指标。

4.4 安全分析

工作面数量从 11 个减至 6 个，高风险作业区域减少近一半，显

著降低了坍塌、爆破伤害等主要风险的发生概率。原设计所需的联络通道和临时横通道全部取消，直接消除了这些高风险作业。工作面集中优化了通风、排水等

-11601.77 万元（收入 55316.83 万元，成本 66918.61 万元），变更后收益为 -5612.50 万元（收入 57422.61 万元，成本 63035.11 万元），净收益 5989.28 万元，主要效益点为变更后隧道施工对下单价整体降低，项目施工成本节约。

净收益计算的关键在于精确评估变更前后的成本和收入。成本的评估需要考虑人工、材料、机械、管理等各项费用，收入的评估需要考虑合同条款、工程量清单和市场价格等因素。通过精确的成本和收入测算，可以准确评估设计变更带来的经济效益。

4.2 工期分析

由于隧道断面变大后，可以采用大型机械配套设备代替原有人工施工，提高了施工工效，经对比，II、III 级围岩工效预计可提升 42m/月，IV 级围岩工效可提升 18m/月，隧道施工总工期预计缩短 4 个月。不同围岩等级下的具体工效提示对比如表 2 所示。

安全保障系统布置，施工组织简化降低了交通事故风险，安全管理更聚焦关键环节。

4.5 环境保护分析

双洞合并为单洞直接减少了开挖总量，降低了爆破挖掘工程量和

弃渣产生量，从源头减轻了对环境的影响。工作面和辅助通道减少缩减了临时用地规模，降低了对地表生态的扰动。建材消耗总量得到有效控制，体现了节能降耗的绿色施工理念。施工周期缩短 4 个月，减少了能源消耗和环境污染的持续时间。

5 主要社会效益

设计变更提高了施工质量，降低了施工难度，节省了资源，减少

了项目亏损。

在项目内部经济效益层面：变更直接减少了开挖方量、支护面积和衬砌工程量，取消了临时横通道，节约了工程成本和措施费用，实现近 6000 万元的净收益改善。工效提升和工作面精简使工期压缩约 4 个月，降低

了间接成本，提升了投资回报效率。

在外部社会效益层面：施工安全水平提升保障了作业人员安全；减少开挖、降低材料消耗和缩短周期减轻了环境压力。深惠城际铁路的顺利推进确保了大湾区关键交通动脉如期贯通，强化了深莞惠三地联系，对提升区域竞争力具有长远战略意义。

6 结论

本研究通过对深惠城际西丽站~深圳北站区间隧道主体结构由双洞单线变更为单洞双线的案例进行系统分析，证实该设计优化能有效提升施工效率、降低项目成本、缩短建设工期，并在安全、质量及环境保护方面产生显著效益。基于此，建议在类似工程建设中应特别重视前期勘察与设计的深度，优选隧道断面形式；在施工阶段需持续优化组织并强化安全与环境管理；同时，建立科学、高效的设计变更管理机制，从而系统性提升工程项目的综合效益与建设水平。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家铁路局. 铁路隧道设计规范: TB 10003—2016[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2016.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 城市轨道交通工程施工与验收规范: GB 50299—2018[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018.
- [3] 王建军, 李红涛. 复杂地质条件下大断面隧道施工技术研究[J]. 隧道建设, 2022, 42(5): 78–84.
- [4] 张华, 刘明. 城际铁路隧道工程设计变更管理实践与思考[J]. 铁道标准设计, 2023, 67(3): 112–117.
- [5] 陈晓峰, 王建国, 李志强. 粤港澳大湾区城际铁路隧道技术创新与实践[J]. 铁道工程学报, 2023, 40(2): 89–94.
- [6] 刘振华, 张伟, 周斌. 大断面矿山法隧道施工力学行为及控制技术研究[J]. 现代隧道技术, 2022, 59(4): 156–162.