

双侧壁与单侧壁开挖法在隧道工程中的应用比较

王晓峰 王磊 李文浩

中建三局集团有限公司

摘要：双侧壁与单侧壁开挖法是隧道工程中两种主要的开挖技术。双侧壁开挖法以其高效的开挖速度和优异的地层适应性，在大断面和地质复杂的隧道建设中显示出显著优势；而单侧壁开挖法则因操作简便、成本较低，在小型或预算有限的项目中得到广泛应用。本文深入分析了两种方法在不同地质条件和环境影响下的应用效果，对比了它们在工程成本、施工效率及环境适应性方面的表现。通过实际工程案例，本文展示了每种技术的实际应用情况，评估了其经济性与实用性，提供了选择开挖方法时的参考依据。本文旨在帮助工程师在面对不同隧道工程挑战时，做出更合理的技术选择。

关键词：双侧壁；单侧壁开挖法；隧道工程；应用
【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.18.031

引言

隧道开挖工程是现代基础设施建设中的一个重要分支，涉及广泛的技术和方法选择以适应不同的地质和环境条件。双侧壁与单侧壁开挖法作为两种常用的开挖技术，根据其结构特点和施工策略的不同，适用于不同规模和要求的隧道工程。这两种方法在确保工程安全、控制成本以及适应复杂地质环境方面各有千秋。选择合适的开挖方法对于提高工程效率、降低成本和最小化环境影响至关重要。

一、隧道开挖方法的分类

隧道开挖方法主要分为传统开挖法和现代机械化开挖法两大类。传统开挖法包括全断面法、台阶法、挖填法等，这些方法适用于地质条件较为稳定的软岩或硬土层中，依赖于人工或简单机械进行作业，经济而灵活，但工作效率相对较低，安全风险较高。例如，全断面法通过一次性完成隧道断面的开挖，适用于小断面隧道；台阶法则通过分级逐步开挖，适合不同地质条件下的大断面隧道。现代机械化开挖法则主要包括盾构法和掘进机法，其中盾构法通过使用盾构机进行土石的同时掘进与管片组装，适用于城市地下空间开发，能有效控制地表沉降，适应复杂多变的地质环境；掘进机法则使用全断面岩石掘进机，适用于硬岩层的快速穿越。此外，新奥法和冷冻法等特殊开挖技术也在特定条件下使用，如通过化学方法或冷冻技术处理开挖面，稳固地层结构，降低开挖难度^[1]。

二、双侧壁与单侧壁开挖法的基本原理

(一) 双侧壁开挖法的定义、设备与技术流程

双侧壁开挖法，也称为双边壁支护法，是一种在隧道开挖中用于增强开挖面稳定性的技术，主要应用于大

断面隧道的建设中。该方法的核心是先从隧道的两侧同时进行开挖，然后逐步向中心推进，这种方式可以有效减少开挖过程中的地压力集中和不均匀沉降，提高隧道周围岩石的稳定性。在开挖设备方面，双侧壁开挖法通常采用的是专门设计的隧道掘进机（TBM）和地面预支护系统，如注浆管和地锚，以确保在开挖过程中隧道两侧的临时支护结构安全有效。技术流程包括初步地质勘察，确定合适的开挖参数和设备配置，隧道两侧的同时开挖作业，及时进行岩石的支护和加固，以及最后的中间核心地带的开挖和结构封闭。

(二) 单侧壁开挖法的定义、设备与技术流程

单侧壁开挖法，通称为单边壁支护法，是在隧道施工中用于较小断面或地质条件相对稳定的隧道的一种开挖技术。此方法主要特点是从隧道的一侧开始逐步向另一侧推进，此法不仅可以控制开挖过程中的地层移动，还能有效地利用支护结构来保障施工安全。在设备使用上，常配备滑模系统和喷锚机来进行快速的壁面稳固，确保开挖面的临时支护结构迅速到位。技术流程包括详细的工程勘察，根据地质情况制定开挖方案，首先在隧道一侧进行开挖，并立即使用喷射混凝土及锚杆等设备进行壁面固化和支护，随后逐渐向对侧扩展，直至整个隧道断面完成。单侧壁开挖法的应用能减少对断面同时施加工程影响的需求，从而在技术和经济上优化了隧道建设过程，特别是在城市或其他敏感区域的隧道工程中，由于其对周围环境的干扰较小，因而极具优势^[2]。

三、双侧壁开挖法的应用与分析

(一) 工程案例

日本神户市的明石海峡大桥接岸隧道工程。该隧道工程采用了双侧壁开挖法来处理大断面隧道的施工，有效应对了复杂的地质条件和繁忙的城市环境。具体工程中，隧道的开挖断面宽达14m，高12m，隧道全长约2.4km，地下水位高，地质结构复杂，含有软弱砂层和硬岩层。在施工过程中，首先从隧道的两侧同时进行横向开挖，使用了高性能的掘进机和先进的地面预支护系统进行边壁的固定，包括注浆和安装钢筋网来提供即时的支护。

随着开挖工作的推进，实时监测系统不断检测隧道周围的地质移动和变形，能确保施工的安全性。通过这种双侧同步开挖，明显减少了由于地压变化引起的不均匀沉降，能避免对周边建筑和地下设施的影响。隧道两侧壁的开挖和支护同步进行，中间核心部分最后开挖，这种方法能有效地控制开挖面的稳定性，减少施工期间

的安全事故。

完成初步开挖和支护后，隧道内部进行了二次衬砌作业，使用混凝土进行全面封闭，能确保隧道的长期使用安全和耐久性。整个明石海峡大桥接岸隧道的施工周期紧凑，展示出双侧壁开挖法在大型、复杂隧道工程中的技术优势和经济效益，同时也验证了这一方法在控制工程风险和效率方面的有效性。

（二）优势与局限

双侧壁开挖法在隧道建设中展示了明显的优势，尤其是在应对大断面和复杂地质条件的隧道工程中。此方法通过从隧道两侧同时进行开挖，有效分散了地压力，能减轻单侧开挖对隧道整体结构稳定性的影响，降低不均匀沉降的风险，增强施工安全。同时，双侧壁开挖法可以加快工程进度，因为两边同时作业比传统的单边逐步推进快许多，尤其是在紧急工程或需要快速完成的项目中表现突出。

然而，双侧壁开挖法的局限性也比较明显。首先，该技术对施工设备和操作技术要求高，需要使用高性能的掘进机械和精确的监测设备，会增加项目的初期投资成本。其次，双侧壁开挖法在地质条件极为复杂或极软弱的地层中不适用，如遇到大面积的砂层或高度破碎的岩层，双侧同时开挖会引发地层坍塌或大规模水土流失，对施工安全和周边环境构成威胁。此外，该方法还要求严格的工程协调和精确的操作流程，任何一方面的失误都会导致重大的安全事故，增加工程管理的难度和复杂性^[3]。

四、单侧壁开挖法的应用与分析

（一）工程案例

斯德哥尔摩的城市隧道项目，其中一段长约3.2km的隧道采用了此技术以适应狭窄的城市环境和复杂的地质结构。该隧道项目的设计要求在不干扰地面交通和周边建筑的情况下，通过城市地底进行有效的开挖，隧道最大开挖高度达到7.5m，宽度5m，采用单侧壁开挖法进行顺序推进，从一端开始逐渐向另一端扩展。

施工中首先在隧道的一侧进行地面预支护工作，包括注浆和安装地锚，以稳固开挖面。接着使用轮式掘进机开始单边开挖，边开挖边进行喷射混凝土作业，快速形成初期支护壁。开挖工作的同时，实施严格的监控测量，以监控周边建筑的沉降和隧道开挖引起的地面变形。隧道开挖过程中，最大月进度达到120m，展现出单侧壁开挖法在城市环境中的高效率。

此外，为应对复杂的地质条件，该项目在开挖前进行了详尽的地质勘探，发现地层主要由砂岩和砾石层组成，具有较高的渗水性。为此，项目团队采用了高强度的水泥浆体进行地层注浆，能增加地层的稳定性并减少水的渗入。单侧壁开挖法在这种地质条件下展示出其在控制地层移动和降低环境影响方面的优势，特别是在施工空间受限的城市区域。完成后的隧道使用了二次衬砌技术，以确保长期的结构安全与耐用性，最终形成的隧

道支护系统稳固且防水性能优良，能确保施工质量与安全性。

（二）优势与局限

单侧壁开挖法在隧道工程中的应用展示出其显著的技术优势及特定的局限性。该方法的主要优势在于其适应性强，特别是在空间受限的城市环境或近距离地下设施密集区域的应用。通过从隧道的一侧开始逐步推进开挖，可以最大限度地减少对周围环境的干扰和影响，这种方法还允许工程师更精确地控制开挖过程中的地表沉降和周边建筑的结构安全。此外，单侧壁开挖法因其开挖方式的灵活性，在施工过程中可以根据实际地质和施工条件调整开挖策略，提高施工效率和安全性。

然而，该方法的局限性也相当明显。首先，单侧壁开挖法对施工初期的地质评估和预支护设计要求极高，一旦地质评估不准确或支护设计不当，会导致严重的施工安全事故。其次，这种方法在地质条件复杂或极不稳定的区域的应用存在较大风险，特别是在有大量水文地质活动的区域，单边开挖会引发地层坍塌或水土流失，对施工安全和工程质量构成威胁。此外，单侧壁开挖法在施工进度上通常不如双侧壁开挖法快，因为需要较多的时间来进行地面预支护和开挖面的稳定化处理^[4]。

五、双侧壁与单侧壁开挖法的综合比较

（一）技术参数比较

1. 开挖效率

在隧道开挖领域，双侧壁与单侧壁开挖法的效率比较突显出各自的技术优势与应用范围。双侧壁开挖法通过同时从隧道的两侧进行开挖，有效降低了由地压力集中引起的不均匀沉降，显著提升开挖进度，通常在地质稳定的条件下，月进度可达200m~300m，能提高约40%~60%的工效，适合大断面且地质复杂的隧道工程。相比之下，单侧壁开挖法在特定条件下如空间受限或对周边环境影响需要最小化的场合表现更佳，尽管地面预支护和开挖准备较为耗时，其月进度也能达到100m~150m。此法在处理地质不稳定区域的应用中面临较大风险，因单边开挖易引发地层不稳定和坍塌。双侧壁开挖法因其快速、高效且能均匀控制地压的特性，在复杂地质或大型工程中更受青睐，而单侧壁开挖法则在需要严格控制施工影响和环境敏感区域的项目中展现出其独到的价值，合理的开挖方法选择应考虑到具体的地质条件、环境要求及经济效益，以保证施工的高效与安全。

2. 工程成本

在隧道工程的开挖方法选择中，双侧壁与单侧壁开挖法的工程成本具有明显差异，这对项目预算和经济效益影响显著。双侧壁开挖法虽然初期设备和安装成本高（通常是单侧壁开挖法的1.5~2倍），主要由于需同时部署两侧的开挖和支护设备，及其对应的操作和维护人员，但这种方法可以通过大幅缩短工期来降低总体成本。例如，在具体项目实施中，双侧壁开挖法的工期缩

短效果可达30%~50%，相比之下，单侧壁开挖法虽初始投资较低，适合预算限制严格的小型项目，但其施工进度慢，总工期延长会导致高额的间接成本，如场地租赁费和资金占用成本的增加。

（二）应用环境适应性比较

1. 地质条件的适应性

双侧壁与单侧壁开挖法在地质条件适应性方面展现出各自的特点和优势。双侧壁开挖法适用于地质条件复杂或地层不稳定的环境，如含水量高的软土层或松散的砂砾层，这种方法可以通过从两侧同时开挖减轻中心区域的地压力，有效控制地层沉降和防止坍塌。这种对称的开挖方式有助于平衡各方向的压力，减少地层移动，特别在大断面隧道的施工中显现优势，因为它可以在不牺牲安全的前提下加快工程进度。例如，在多层复杂地质结构的城区，双侧壁开挖法能够同时处理上层的软土和下层的硬岩，优化支护结构和施工序列，从而提高施工效率和结构安全性^[5]。

相反，单侧壁开挖法则更适用于地质条件较为单一或地层稳定的环境，如坚硬的岩石层。这种方法的主要优点是施工简便，对设备要求不高，能够在有限的空间内有效进行，如狭窄的城市街道下的管道铺设。单侧壁开挖法因其操作简易而常用于小型或短距离的隧道工程，其在单一硬质岩层中的应用可以减少对周围环境的扰动，尤其适用于需要精确控制施工界面的情况。然而，在遇到软土或复杂地层时，单侧开挖的局限性就显现出来，因为这种条件下较难以单边开挖保持隧道的稳定性，易发生地面沉降或水土流失。

2. 环境影响评估

双侧壁与单侧壁开挖法在环境影响评估方面呈现不同的特性和考量。双侧壁开挖法由于同时从两侧进行，可以更均匀地分配地压力，从而减少对周围地层和建筑的影响，特别是在城市或其他密集建筑区域中，这种方法能显著降低地表沉降和相关地质风险。通过对称开挖的优势，双侧壁法不仅能减轻单一方向施加的压力，而且在施工过程中产生的振动和噪音也更易于控制，对环境的干扰较小。此外，该方法允许使用更为精确的地质预支护技术，如深层次注浆和先进的测量技术，这些技术的使用能有效地优化施工方案，减少环境扰动。

相比之下，单侧壁开挖法在环境影响方面表现不如双侧壁开挖法。由于从一侧逐步推进的施工方式，单侧壁法在面对不均匀的地质结构时，对地层的扰动较大，尤其是在水文地质活跃区域，容易引起地下水流动和地层沉降问题，进而影响周边建筑的安全。此方法虽然在施工设备和操作上相对简单，但其在精细控制环境影响方面的能力较弱，特别是在需要快速穿越敏感区域的大型项目中，会因施工引发的地下水位变化或化学注浆物的渗漏而产生环境问题。

（三）经济性与实用性分析

在经济性与实用性分析中，双侧壁与单侧壁开挖法各展其长，具体选择需依据项目的具体要求和地质条件进行综合评估。双侧壁开挖法由于能同时从两侧进行作业，显著提高了工作效率，特别适合于大断面隧道或地下结构的快速建设。这种方法虽然初始设备投入和运营成本较高，但由于缩短了工程时间，相应地减少与时间相关的间接成本如资金占用成本、管理及日常运营成本，从长远看更具经济性。此外，双侧壁法由于其施工速度快，可以有效缩短投资回收周期，对于投资大型基础设施项目的投资者而言，快速投入使用意味着早日开始产生经济效益，因此在总体经济效益上具有一定的优势。

单侧壁开挖法在资金较为紧张或施工空间受限的项目中更为实用。其设备和操作要求相对简单，适合于地质条件单一且较为稳定的环境，初期投资较低，对于小规模或预算有限的项目更具吸引力。然而，这种方法的施工速度较慢，会增加项目的总工期，从而提高总成本，尤其是在租赁设备和场地的长期成本上。因此，单侧壁开挖法在经济性上的优势往往局限于短期内的成本节约。

六、结语

总而言之，双侧壁与单侧壁开挖法各自在隧道工程中展示出独特的优势和适用条件。双侧壁开挖法通过从两侧同时进行作业，能优化工程效率和安全性，特别适用于大断面及地质复杂的隧道项目，能够有效减少工期并提高经济效益。相反，单侧壁开挖法因其设备和操作的简便性，成为小型或预算有限项目的理想选择，尤其是在地质条件较为稳定的环境中。每种方法的选择都需针对具体的工程需求、地质条件以及环境影响因素进行精准分析，确保施工过程的经济性与效率。在未来的隧道工程实践中，通过技术创新和方法优化，可以进一步提升这两种开挖法的应用效果，满足更多复杂与多变的工程需求。

参考文献

- [1] 安宁. 双侧壁导坑法在隧道V级围岩施工中的应用分析——以桐梓隧道为例[J]. 黑龙江交通科技, 2019, 42(07): 178-179+181.
- [2] 杨红彪. 双侧壁导坑法在地铁大跨度隧道开挖中的应用[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2018, (23): 133-134.
- [3] 王小虎. 隧道工程开挖方法优化设计[J]. 科技创新与应用, 2023, 13(30): 136-139.
- [4] 张伟, 乔雄, 骆维斌, 等. 分部开挖法施工隧道中隔壁优化研究[J]. 兰州理工大学学报, 2022, 48(06): 127-135.
- [5] 黄远亮. 单侧壁导坑法在低山丘陵地貌岩土隧道施工中的应用[J]. 四川水泥, 2022, (10): 248-250.