

# 隧道工程的复合型衬砌施工技术的应用探讨

郑祥乐

新疆水发建设集团有限公司 新疆乌鲁木齐 830000

**摘要:** 隧道工程在现代交通建设当中占据着举足轻重的地位,在我国基础设施建设持续发展的背景下,隧道工程规模与技术水平与日俱增。隧道施工过程中衬砌结构是隧道的关键部位,肩负着支撑围岩和确保隧道结构稳定等功能。近年来随着我国地质条件复杂程度的不断提高和隧道工程建设标准不断提高,单一型式衬砌形式已经不能完全适应复杂隧道工程需要。于是复合型衬砌施工技术便应运而生并且被广泛的应用于隧道工程。文章将对隧道工程复合型衬砌施工技术进行探究,并对技术特点、优点及施工工艺进行分析,希望为日后隧道工程施工提供借鉴与参考。

**关键词:** 隧道工程;复合型衬砌;施工技术;技术应用

## 引言

隧道工程一般位于复杂地质条件中,在建设过程中经常会遇到围岩稳定性较差,地下水丰富,断层带发育等诸多不利条件。传统单层衬砌结构面对上述复杂环境常常显得捉襟见肘,不能有效地解决隧道在长期运营过程中稳定性与耐久性难题。复合型衬砌技术实现了初期支护和二次衬砌的有机融合,既能提高隧道整体稳定性又能加强隧道抗渗性、抗变形能力等技术优势显著。随着现代隧道工程在施工质量、进度以及成本控制等方面的要求越来越高,复合型衬砌施工技术如何有效合理运用已经成为工程界广泛关注的问题。

## 一、复合型衬砌施工技术概述

### 1. 复合型衬砌的定义与分类

复合型衬砌指隧道工程采用多层结构复合运用来达到支护与稳定功能。一般由初期支护与二次衬砌组成,初期支护是为隧道掘进时提供瞬间支持与防护,常用喷射混凝土、钢拱架、锚杆等来保证施工期围岩的稳定性。二次衬砌的目的是为了在隧道的长期使用中进一步提高其稳定性和耐久性,通常会使用现浇混凝土或者预制衬砌块来完成。复合型衬砌采用初期支护和二次衬砌相结合的方式,使得隧道能较好地满足复杂多变地质条件的要求,增强了结构安全性和稳定性。复合型衬砌按隧道不同工况可划分为刚性衬砌、柔性衬砌及半柔性衬砌不同形式,其中刚性衬砌承载能力较大,对于围岩条件良好的隧道是合适的,柔性衬砌在软弱地质或者大变形隧道环境中更为合适。半柔性衬砌处于二者之间,可以在确保结构稳定前提下具有一定变形能力。通过对衬砌类

型的合理选取,复合型衬砌能有效地适应不同的地质条件及工程需求。

### 2. 复合型衬砌的技术特点

复合型衬砌在隧道工程中具有显著的技术特点,能够适应复杂多变的地质环境,确保工程的安全性与持久性。其一,复合型衬砌通过初期支护与二次衬砌的协同作用,显著提高了隧道的整体结构稳定性。在围岩应力发生变化时,初期支护能够快速起到临时支护作用,而二次衬砌则提供了长期的保护和承载功能,增强了隧道的抗变形能力。其二,复合型衬砌具有良好的抗渗性能,尤其是在富水地层中,二次衬砌可以通过密封材料和防水层的设置,有效阻止地下水渗入,保证隧道内部的干燥和结构的耐久性。其三,复合型衬砌的材料与施工工艺多样化,使其在复杂环境下具有更高的适应性,施工单位可以根据具体工况选择不同的支护方案和衬砌形式。无论是地质条件较差的软岩地层,还是需要高强度支护的硬岩隧道,复合型衬砌都能灵活应对。此外,这种衬砌形式还兼具经济性与高效性,通过优化施工流程与材料选择,能够有效控制施工成本并提高工程进度。

## 二、复合型衬砌施工工艺分析

### 1. 初期支护与二次衬砌的协调

初期支护和二次衬砌配合在隧道施工过程中非常关键,它直接关系到隧道结构安全和使用寿命。初期支护主要作用在于提供临时支撑以防止开挖时围岩失稳或垮塌。初期支护的常见方式有喷射混凝土、锚杆和钢拱架等,而喷射混凝土的厚度一般在50至150毫米范围内,这主要取决于周围岩石的质量等级和地质状况。锚杆的间隔和长度会根据围岩的稳定性进行调整,通常锚杆的长度

在2至4米之间,间隔在1至2米之间,钢拱架用于增强初期支护的承载能力,特别是在软弱的地层中效果显著。

在初步的支护工作完成之后,需要对二次衬砌的施工进行及时的跟进,而二次衬砌一般使用的是现场浇筑的混凝土,其厚度通常在300至500毫米之间。二次衬砌在加强隧道长期稳定性的同时也为隧道抗渗及耐久性提供保证。在进行二次衬砌之前,需要保证初期支护的稳定性,同时围岩变形也要保持稳定,这样才能避免结构变形对二次衬砌质量造成影响。通常,当围岩的变形速度低于0.05毫米/天时,就要控制两者之间的施工时间间隔,以确保初期的支护能够充分发挥其支撑功能,并为二次衬砌提供一个稳固的支撑基础。通过对初期支护和二次衬砌施工参数和施工流程进行严格把控,保证了隧道工程的整体稳定性和安全性。

## 2. 施工材料的选择与优化

在复合型衬砌技术条件下,施工材料选择和优化对隧道结构性能起着决定性作用。喷射混凝土常被用作初期支护主要原料,强度级别一般从C20到C30不等,需要有较快的凝固速度及高的早期强度才能保证开挖完成后能快速提供支撑作用。为了改善喷射混凝土黏附性能及抗裂性能,经常向混凝土内添加速凝剂,速凝剂的添加量可以根据工程需要在速凝剂到速凝剂范围内进行控制。除此之外,钢纤维的使用也相当普遍,其掺入量通常在每立方米20至40公斤之间,这有助于显著增强混凝土的抗拉和抗冲击特性。

锚杆是一种关键的加固材料,通常由高强度的钢材制成,其直径范围是16至32毫米,而长度可以根据周围岩石的状况在2至4米之间进行调整。对二次衬砌来说,现浇混凝土选用非常关键,一般用C30~C40级混凝土来提供充足的长期承载能力及耐久性。为了加强它的防水性能,防水剂被掺入到混凝土里,其掺量通常是水泥重的1~2倍。另外,在衬砌过程中,通常会添加防水板和止水带,防水板的厚度通常在1.5至2毫米之间,这样可以有效地阻止地下水的渗透。

通过对材料选择及配比优化,既可提高衬砌强度及耐久性,又可降低材料成本及促进施工效率。对该材料进行优化设计时,须结合隧道工程地质条件,施工环境及经济性等多方面因素进行考虑,才能保证衬砌结构长期安全稳定。

## 3. 施工设备与技术手段

就复合型衬砌施工而言,施工设备及技术手段的运用对施工效率及质量的提升起到了至关重要的作用。喷

射混凝土设备在初期支护施工中处于核心地位,常见机械设备有湿喷机、干喷机等,其中湿喷机因降低粉尘、反弹率等原因,这种设备特别适用于封闭的隧道环境,其喷射速度可以达到每小时8至12立方米,而泵的输送距离通常可以达到100米,完全能够满足大多数隧道建设项目的要求。喷射时,由自动喷头对喷射角度及距离进行控制,保证混凝土对围岩表面覆盖均匀,减小空隙及裂缝出现。

在进行二次衬砌施工时,通常会使用自动化模筑台车。这类设备能够在隧道内按照轨道自动移动,确保混凝土的浇筑既均匀又迅速。模筑台车的长度通常在10至12米之间,工作效率很高,每天能够完成20至30米的衬砌浇筑任务。为保证衬砌密实度及表面质量,在混凝土浇筑时采用高频振动棒进行振动,振动频率可达到4000~6000次分,消除气泡并保证混凝土密实。

现代隧道工程中也把BIM(建筑信息模型)技术运用到全过程管理中,通过三维建模实现衬砌结构与设备布置的准确设计,增强施工精确性与可视化。配合激光扫描及监控量测设备可对围岩变形进行实时监控,对施工参数进行调整,确保初期支护及二次衬砌施工的安全及质量。在这些先进设备与技术手段的配合下,施工效率与安全性显著提高,确保隧道工程顺利进行。

## 三、复合型衬砌在隧道工程中的具体应用

### 1. 复杂地质条件下的应用

应用复合型衬砌可有效地处理复杂地质中围岩不稳定,地下水渗漏及软弱地层压力等。对软弱地层而言,隧道在开挖之后围岩有可能产生很大的变形,这时就需要利用喷射混凝土和锚杆相结合的方式对初期支护才能及时地起到支撑作用。喷射混凝土的厚度一般被限制在100至150毫米的范围内,并与钢纤维增强混凝土的抗裂特性相结合,而锚杆之间的距离一般在1.0至1.5米之间,根据地质状况,长度应控制在3至5米的范围内,这样可以有效地管理围岩的移动,并确保初期支护结构具有足够的承载力。

富水地层大量地下水涌入给隧道施工带来了巨大的挑战。为了预防防水害的发生,复合型衬砌技术采用了设置防水层、导水管排水系统等措施解决了这一难题。防水板的厚度通常是1.5毫米,这样可以有效地阻止水的渗透,而导水管的作用是将水引导到排水通道,以防止水压对隧道结构造成损害。在复杂的地质条件下,二次衬砌需要使用高强度的混凝土,这些混凝土通常具有C40或更高的等级,并且其厚度通常在350至450毫米之间。

这样不仅能提供持久的结构支持，还能通过添加防水剂来增强其抗渗透性能。

断层带及软硬不均等地质情况下复合型衬砌设计也需综合考虑围岩力学特性及变形规律等因素，并通过强化初期支护及二次衬砌共同作用来有效提升隧道整体稳定安全。该施工技术集围岩支护和排水措施于一体，对复杂地质条件表现出极强的适应性，保证了隧道施工的顺利实施和长期稳定性。

## 2. 长大隧道中的应用

长大隧道工程采用复合型衬砌技术非常关键，特别是长距离掘进及复杂地质环境下，需保证隧道长期安全稳定。因长大隧道一般都要面对大范围地应力的改变，围岩长期易产生变形，所以复合型衬砌初期支护一定要有强大的支撑能力。喷射混凝土作为早期支护的首选方法，其在长隧道中的厚度通常被限制在120至200毫米的范围内，以适应围岩的长时间负荷。锚杆与钢拱架的布局必须是紧密的，锚杆的长度通常在4至6米之间，而它们之间的距离应在1.0至1.5米范围内，以确保隧道结构在初始挖掘阶段能够保持稳定。

长大隧道通常会跨越不同的地质层位且局部会出现软弱围岩或者断层带等情况，衬砌二次支护需要根据具体情况做出相应调整。二次衬砌一般采用C40及以上强度等级的混凝土，其厚度在长大隧道中通常为400至500毫米。为了避免隧道内潜在的地下水入侵，设计复合型衬砌时必须配备完整的防水系统，其防水板的厚度一般为1.5毫米，导水管及排水系统还须与衬砌密切配合，才能保证隧道在长期运行过程中防水。

同时长大隧道具有施工周期长、地质条件变化大等特点，所以复合型衬砌技术需要对其施工期进行实时监控，并通过监测围岩位移、衬砌变形等参数的监测来适时调整施工参数以保证隧道的结构稳定性。

## 3. 城市隧道工程中的应用

城市隧道工程采用复合型衬砌技术优势显著，尤其城市密集建筑环境对施工技术提出了高效性、安全性以及对环境影响小等要求。城市隧道一般都要经过地下管线，基础复杂的建筑群和地铁，下水道等主要设施，在进行隧道施工时一定要保证对周边环境的干扰达到最小。复合型衬砌技术在初期支护和二次衬砌密切配合下，对施工期地表沉降进行了有效地控制。在初期的支护过程中，通常使用喷射混凝土，其厚度一般介于80至120毫

米，并与钢拱架和锚杆相结合，其中锚杆的长度被限制在2至3米范围内，挖掘时的间隔应在1.0至1.5米之间，以确保在挖掘过程中能够及时地为围岩提供支撑，从而最大限度地减少对附近建筑基础的损害。

城市隧道的又一难题就是地下水，复合型衬砌以防水层和排水系统的布置来避免地下水渗入危害隧道及其附近建筑物。通常情况下，防水板的厚度是1.5毫米，因此导水管和排水管道系统的布局必须是精确的，这样可以有效地疏导地下水，避免因水压过高而导致地层发生变形。二次衬砌一般使用C30至C40的现场浇筑混凝土，其厚度通常在300至400毫米范围内，以便为隧道提供持久而稳定的支撑结构和防水防护。

受城市隧道建设空间的限制，复合型衬砌技术的应用也主要依靠自动化模筑台车、喷射设备以及其他先进的施工工具来确保施工效率的前提下尽量减少对交通及居民造成的扰动。与实时监测系统相结合，施工人员可以对地表沉降、围岩变形等进行监测，并对施工方法进行及时的调整，保证了施工的安全性。

## 结束语

复合型衬砌施工技术广泛应用于隧道工程，大大增强了隧道结构安全性、耐久性及适应性。通过将初期支护和二次衬砌有机地融合在一起，该项技术可以有效地应对复杂地质条件下，长大隧道和城市隧道工程所面临的诸多挑战，保证隧道施工过程顺利，长期运行安全。优化选材，采用先进设备和科学施工技术手段为工程质量提供有力保证。随着人们对隧道工程要求的不断提高，复合型衬砌技术在技术创新，效率提升以及成本控制等领域仍将扮演重要角色，并为国内基础设施建设提供更为高效可靠的解决方案。

## 参考文献

- [1] 吴闻金. 矿山法铁路隧道拱部衬砌预制及施工技术应用探析[J]. 工程机械与维修, 2024(2): 192-194.
- [2] 王麒麟, 苏颖. 山区连拱隧道半明半暗衬砌段施工技术应用探析[J]. 安徽建筑, 2022, 29(8): 3.
- [3] 张庆雨. 隧道二次衬砌防脱空综合施工技术探讨[J]. 四川水泥, 2022.
- [4] 赵俊宇. 波纹钢板套衬加固隧道衬砌的力学性能及工程应用研究[D]. 华东交通大学, 2023.