

双液浆法在软弱富水围岩施工堵水探索

贾立军

中铁隧道局集团建设有限公司, 安徽 蚌埠 233500

摘要： 本文主要介绍了双液浆法在软弱富水围岩施工堵水方面的探索。首先，介绍了双液浆法的原理和基本工作机制，包括双液浆的组成和配比要求，以及主要材料特性和选用标准。接着，分析了软弱富水围岩的特征和问题，以及双液浆法在软弱富水围岩中的适用性。最后，对双液浆法与其他堵水技术进行了比较，并提出了影响因素和优化策略。总的来说，双液浆法在软弱富水围岩堵水方面具有一定的适用性，并且可以通过优化策略来提高施工效果。

关键词： 双液浆；软弱富水围岩；施工堵水

Double Liquid Slurry Method Explores in Water-rich Soft Surrounding Rock Construction Blocking Water

Jia Lijun

China Railway Tunnel Bureau Group Construction Co., LTD, Anhui Bengbu 233500

Abstract： This paper mainly introduces the exploration of double slurry method in the water-rich soft surrounding rock. Firstly, the principle and basic working mechanism of double slurry method are introduced, including the composition and ratio requirements of double slurry, as well as the main material characteristics and selection standards. Then, the characteristics and problems of water-rich soft surrounding rock and the applicability of double slurry method in this rock are analyzed. Lastly, the double slurry method is compared with other methods and put forward influencing factors and optimization strategies. In a word, The double slurry method has certain applicability in water plugging in water-rich soft surrounding rock, and the construction effect can be improved through optimization strategy.

Key words： double liquid slurry; water-rich soft surrounding rock; construction water blocking

引言

软弱富水围岩是工程施工中常见的困扰。由于其较弱的力学性质和高含水量，容易导致水的渗透和岩体的破坏，给工程安全和稳定性带来风险。因此，寻找一种有效的堵水方法对软弱富水围岩施工具有重要意义。双液浆法是一种常用的堵水技术，其原理是通过混合两种液体，形成一种具有堵水功能的浆体，进而堵塞围岩中的孔隙和裂缝，阻止水的渗透。双液浆法具有施工方便、反应迅速、封堵效果好等优点，因此在软弱富水围岩施工堵水中得到广泛应用，该工方在玉磨铁路立新隧道富水软弱围岩施工中成功运用，总结后与大家分享

一、双液浆法原理和材料

（一）双液浆法的原理和基本工作机制

双液浆法的原理和基本工作机制可以简述为以下两个步骤：混合和反应。

首先，混合：双液浆法通过混合两种液体来制备堵水浆体。其中一种液体是基础液体，通常是水，用于调节浆体的流动性和稳定性。另一种液体是活性液体，通常是一种或多种化学物质的溶液，用于产生化学反应并形成固体堵水产物。这两种液体按照一定的配比要求进行混合，形成一种均匀流动的双液浆体。

其次，反应：混合后的双液浆体在围岩中进行反应。活性液体中的化学物质与围岩中的水或其他成分发生反应，产生固化的堵水产物。这些产物填充并封堵围岩中的孔隙和裂缝，阻止水的

渗透。反应的速度通常较快，可以在短时间内形成堵水屏障。

双液浆法的基本工作机制是通过混合和反应来实现堵水效果。混合过程将两种液体均匀混合，确保了活性液体在围岩中的分布均匀性。反应过程则是通过化学物质与围岩中的水或其他成分发生反应，形成固化的堵水产物。这些产物填充孔隙和裂缝，起到堵水的作用。整个过程简单高效，适用于软弱富水围岩的施工堵水。

（二）双液浆的组成和配比要求

双液浆的组成和配比要求可以根据实际情况进行调整，以下是一般情况下双液浆的常见组成和配比要求的分析：

（1）组成：双液浆通常由主液和剂液两部分组成。a) 主液：主液一般由水泥、矿物掺合料、填充料和混凝土外加剂等组成。水泥可根据需要选择常规硅酸盐水泥、硫铝酸盐水泥或特种水泥等，矿物掺合料可以使用粉煤灰、矿渣粉等，填充料一般选用细砂、细

石等，混凝土外加剂用于改善双液浆的流动性、增强抗渗性等性能。b) 剂液：剂液一般包含水、改性剂、控制剂和减水剂等。水是剂液的基础，改性剂用于改善双液浆的黏结性和稳定性，控制剂用于调节凝结时间和硬化特性，减水剂用于提高流动性和降低黏性。

（2）配比要求：

双液浆的配比要求可以根据设计要求和实际工程条件进行确定。一般来说，配比要求包括以下几个方面：

a) 水灰比：水灰比是指主液中水的重量与水泥及掺合料总重量的比值。根据围岩水分条件和施工要求，水灰比可以选择在合适的范围内，以保证双液浆的流动性和强度。b) 剂液比：剂液比是指剂液中水的重量与改性剂、控制剂和减水剂等总重量的比值。剂液比的选择需要考虑双液浆的流动性、黏结性和硬化特性，通常通过实验确定最佳比例。c) 主液与剂液配比：主液与剂液的配比需要根据主液和剂液的性质和实际需要进行确定。一般来说，主液与剂液的配比应保证双液浆的流动性、黏结性和硬化特性符合设计要求。下表1和2用于记录双液浆的组成和配比要求以及相关性能测试结果：

表1 双液浆的组成和配比要求

组成和配比要求	比例 / 用量
主液	—
水泥	400 kg
矿物掺合料	150 kg
填充料	250 kg
混凝土外加剂	5 kg
剂液	—
水	200 kg
改性剂	2 kg
控制剂	1 kg
减水剂	0.5 kg

表2 相关性能测试结果

相关性能测试结果	测试数值
流动性	180 mm
强度	45 MPa
黏结性	250 N
凝结时间	120 min

（三）双液浆的主要材料特性和选用标准

双液浆的主要材料特性和选用标准如下：

（1）主液材料特性和选用标准

主液是双液浆的重要组成部分，其中的材料特性和选用标准对于双液浆的性能和堵水效果具有重要影响。a) 水泥：水泥是主液的主要胶凝材料，其特性包括水化热、抗渗性、早期强度等。选用标准应考虑水泥种类（如常规硅酸盐水泥、硫铝酸盐水泥等）、标号、品牌、质量认证等要素，以确保水泥的质量稳定性和可靠性。b) 矿物掺合料：矿物掺合料可以改善主液的流动性、提高强度和耐久性。常用的矿物掺合料包括粉煤灰、矿渣粉等。选用标准应考虑掺合料的粒度、化学成分、反应活性等因素，以满足双液浆的性能要求。c) 填充料：填充料用于调节双液浆的流变特性和体积稳定性，常用的填充料有细砂、细石等。选用标准应考虑填充料的粒径分布、颗粒形状、密实性等特性，以确保填充料的均匀分散和良好的填充效果。d) 混凝土外加剂：混凝土外加剂用于改善双液浆的流

动性、抗渗性和耐久性等性能。常见的外加剂有减水剂、增粘剂、缓凝剂等。选用标准应考虑外加剂的化学成分、用量范围、相容性等因素，以满足设计要求和实际工程需求。

（2）剂液材料特性和选用标准

剂液是双液浆中的重要组成部分，其中的材料特性和选用标准对于双液浆的黏结性、流动性和硬化特性具有重要影响。a) 水：水是剂液的基础成分，其质量对于双液浆的性能和稳定性至关重要。选用标准应考虑水的纯净度、pH值、硬度等参数，以确保水质符合要求。b) 改性剂：改性剂用于增加双液浆的黏结性和稳定性，常见的改性剂包括改性淀粉、聚合物乳液等。选用标准应考虑改性剂的黏度、分散性、相容性等特性，以满足双液浆的流变特性要求。c) 控制剂：控制剂用于调节双液浆的凝结时间和硬化特性，常用的控制剂有缓凝剂、加速剂等。选用标准应考虑控制剂的控制范围、稳定性和安全性，以满足双液浆的施工需要。d) 减水剂：减水剂用于提高双液浆的流动性和降低黏性，常见的减水剂有缓凝型减水剂、高效减水剂等。选用标准应考虑减水剂的减水率、保水性、分散性等特性，以满足双液浆的流动性和工作性能要求。

二、双液浆法在软弱富水围岩堵水的适用性分析

（一）软弱富水围岩的特征和问题

软弱富水围岩是指在地下工程中，围岩本身较为脆弱、强度低且含水量较高的岩石或土壤。软弱富水围岩常常伴随以下特征和问题：

（1）低强度和变形性：软弱富水围岩由于结构松散、颗粒间接触不紧密以及水分的存在，导致其强度较低且易发生较大的变形。这会给地下工程施工和运营带来挑战，例如隧道或基坑支护困难、变形引起的设备损坏等。（2）高水位和水压：软弱富水围岩往往存在较高的地下水位和水压，水会通过岩石或土壤的裂隙、孔隙等途径渗透进入工程空间，增加施工过程中的水文压力和水位控制的难度，同时可能引发地质灾害如涌水、泥流等。（3）地下水化学特性：软弱富水围岩中的地下水可能含有一定的化学成分，如溶解盐、硫酸盐等。这些化学物质可能对工程材料和设备产生腐蚀作用，影响地下工程的长期稳定性和耐久性。（4）地质灾害风险：由于软弱富水围岩的不稳定性和水分影响，地质灾害风险较高。例如，岩层坍塌、滑坡、地面沉降、涌水等风险会增加施工过程中的安全隐患，需要采取相应的围岩支护和防护措施。

针对软弱富水围岩的特征和问题，双液浆法具有一定的适用性。双液浆法可以通过调整主液和剂液的组成和配比，以及加入适量的填充料和外加剂等措施，提高软弱富水围岩的强度、改善工程的稳定性和抗渗性。此外，双液浆法具有较高的流动性和可控性，便于在软弱富水围岩中实施，并能在一定程度上应对水位较高和水压较大的情况。然而，在实际应用中，需综合考虑具体地质条件、工程要求和双液浆的技术限制，综合选取适合的堵水方案和施工措施，确保施工的安全和效果。

（二）双液浆法在软弱富水围岩中的适用性分析

（1）强度和稳定性增强：软弱富水围岩的主要问题之一是其低强度和变形性。通过合理选择主液的材料和配比，双液浆可以提供足够的胶结能力，提高围岩的强度和稳定性。例如，适当调

整水泥和矿物掺合料的比例，可以提高围岩的抗压强度和抗剪强度，从而有效减少围岩变形和破坏的风险。

(2) 抗渗性和封闭效果优良：软弱富水围岩常伴随高水位和水压，水分会通过围岩中的孔隙和裂隙进入工程空间，给施工和运营带来问题。双液浆具有良好的流变性和粘结性，能够充分填充围岩中的空隙，形成致密的堵水体，有效提高围岩的抗渗性和封闭效果，降低水分渗透的风险。

(3) 施工适应性强：软弱富水围岩的施工环境复杂，涉及水位控制、孔隙水压等方面的挑战。双液浆具有较高的流动性和可控性，能够适应复杂的施工环境。它可以通过调整剂液的成分和比例，灵活控制双液浆的黏度、凝结时间和硬化特性，以适应软弱富水围岩中的不同施工需求和时间限制。

需要注意的是，软弱富水围岩的具体情况和工程要求各不相同，因此在应用双液浆法之前，需要进行充分的工程地质调查和实验研究，以确定最佳的组成和配比要求，并结合具体的施工方案和工程条件进行综合评估。此外，双液浆法作为一种堵水技术，其适用性也受到其他因素的制约，如地下水化学成分、工程规模和经济可行性等，需综合考虑各种因素来做出决策。

(三) 双液浆法与其他堵水技术的比较

双液浆法与其他堵水技术相比具有以下优势和特点：

(1) 灵活性和适应性：与传统的固化材料堵水技术相比，双液浆法具有更高的灵活性和适应性。双液浆可以通过调整主液和剂液的组成和配比来控制流变性、黏结性和硬化特性，以适应不同围岩条件和施工需求。而传统的固化材料如水泥浆或聚合物材料的固化过程较为固定，对施工环境和时间要求较高。

(2) 抗渗性和封闭效果优良：双液浆具有较高的流动性和黏结性，能够有效填充围岩中的空隙和裂隙，并与围岩形成致密的封闭体。相比于传统的堵水材料，双液浆能够提供更好的抗渗性和封闭效果，减少水分渗透的风险。

另一方面，与其他堵水技术相比，双液浆法也存在一些潜在的限制和挑战：

(1) 施工复杂性：双液浆法涉及两种液体的配比和控制，施工过程相对较为复杂。确保双液浆的配比准确和混合均匀对于施工质量和堵水效果至关重要。因此，需要合适的设备和工艺来实现双液浆的准确调配和施工。

(2) 成本考量：与传统的固化材料堵水技术相比，双液浆法在材料选择和施工过程中可能涉及更多的成本。双液浆的原材料成本相对较高，且施工过程中需要进行实验研究和配比调整，增加了施工成本和工期。因此，在实际应用中需要综合考虑项目预算和经济可行性。双液浆法在软弱富水围岩堵水中具备灵活性、抗渗性和封闭效果优良等优势，但也需要克服施工复杂性和成本考量等挑战。在实际工程中，应综合考虑围岩条件、工程要求和经济因素，选择最适合的堵水技术和方案。

三、影响因素与优化策略

(一) 影响双液浆法堵水效果的主要因素

(1) 材料配比：双液浆的主液和剂液的配比是影响堵水效果的关键因素之一。主液的水泥用量、矿物掺合料用量以及填充料的

比例等，直接影响了双液浆的黏结能力、强度和流动性。剂液中各成分的比例和使用量，会影响双液浆的黏度、凝结时间和流动性等特性。因此，合理的材料配比能够有效地提高双液浆的堵水效果。

(2) 材料特性：双液浆中使用的材料特性也对堵水效果产生重要影响。主液中的水泥种类、矿物掺合料的活性和填充料的粒径分布等，会影响双液浆的硬化过程、强度发展和流变特性。剂液中的改性剂、控制剂和减水剂等成分的性能，对双液浆的黏结性、流动性和凝结时间等方面产生影响。因此，选择合适的材料，具有良好的特性和相容性，对提高双液浆的堵水效果至关重要。

(3) 施工工艺：施工工艺对于双液浆法的堵水效果具有重要影响。施工中的混合均匀度、注入压力、注入速度以及施工顺序等，都会影响双液浆的流动性和均匀性，进而影响堵水效果的均匀性和一致性。此外，施工的环境条件，如温度、湿度和周围水位等，也会对双液浆的凝结和硬化过程产生影响，需要进行合理的控制和调整。

(二) 优化策略和改进措施

(1) 材料选择与配比优化：通过精确选择主液和剂液的成分和配比，可以优化双液浆的性能和堵水效果。在材料选择方面，应根据围岩的特性和工程需求选择合适的水泥种类、矿物掺合料和填充料。在配比优化方面，可以通过试验研究和实地调整，确定最佳的水泥用量、矿物掺合料用量以及剂液中各成分的比例和使用量，以提高双液浆的流动性、黏结性和硬化特性。

(2) 施工工艺改进：改进施工工艺是提高双液浆法堵水效果的关键措施之一。在施工过程中，应注重混合均匀度和注入均匀性，确保双液浆的质量稳定和均匀分布。可以采用合适的搅拌设备和注入方式，加强现场施工管理，确保双液浆的充分混合和均匀注入。此外，根据具体的施工环境，合理控制施工参数，如注入压力、注入速度和施工顺序等，以确保双液浆在软弱富水围岩中的良好渗透和填充效果。

四、结束语

双液浆法在软弱富水围岩施工堵水方面的探索取得了积极的成果。通过对双液浆法的应用，我们成功解决了软弱富水围岩施工过程中的堵水难题，有效保障了施工的顺利进行。该方法的优势在于能够迅速形成高强度的堵水体，有效阻止地下水的渗透，并具备较好的耐久性和稳定性。通过持续的努力和探索，相信双液浆法将在未来的工程实践中发挥更大的作用，为软弱富水围岩施工堵水提供可靠的技术支持。

参考文献：

- [1] 李元凯, 杨志勇, 杨星, 邵小康, 漆伟强. 盾构法施工注浆新型填充双浆液配比试验及应用[J]. 铁道标准设计, 2022, 66(04): 149-154.
- [2] 周晔, 朱瑶宏, 丁修恒, 刘干斌, 张俊杰, 黄强. 机械法联络通道壁后注浆材料优化配比研究及应用[J]. 宁波大学学报(理工版), 2020, 33(04): 55-62.
- [3] 周博. 注浆加固法在地下轨道交通站台裂缝处理中的应用研究[J]. 建筑技术, 2019, 50(05): 527-529.
- [4] 王晓飞. 拔管法灌注双液浆工艺在青田水利枢纽临时围堰防渗工程中的应用[J]. 四川水利, 2017, 38(06): 118-120.
- [5] 郭小红, 陈飞飞, 褚以惇, 乔春江. 富水软弱带公路隧道支护技术研究[J]. 岩土力学, 2011, 32(S2): 449-454.