

简支梁桥伸缩缝防水构造的改进思路

朱佳俊, 胡晓雯

南通理工学院土木工程学院, 江苏 南通

收稿日期: 2025年9月10日; 录用日期: 2025年9月30日; 发布日期: 2025年10月15日

摘要

随着交通事业的蓬勃发展, 简支梁桥因结构简单、施工便捷在桥梁工程中广泛应用, 但其伸缩缝防水构造的可靠性直接影响桥梁使用寿命与运营安全。本文针对现有简支梁桥伸缩缝常见的漏水、变形失效等病害, 深入剖析材料性能不足、设计构造缺陷、施工工艺不规范及养护管理缺失等原因。基于此, 从材料创新和施工工艺改进两方面提出防水构造改进思路, 如采用高性能密封胶、增设排水槽、制定精细化施工流程等。研究成果为简支梁桥伸缩缝防水构造的设计、施工与维护提供了参考依据, 对提升桥梁工程质量具有重要现实意义。

关键词

简支桥, 伸缩缝

Improvement Ideas for the Waterproof Structure of Expansion Joints in Simply Supported Beam Bridge

Jiajun Zhu, Xiaowen Hu

School of Civil Engineering, Nantong Institute of Technology, Nantong Jiangsu

Received: September 10, 2025; accepted: September 30, 2025; published: October 15, 2025

Abstract

With the vigorous development of the transportation industry, simply supported beam bridges are widely used in bridge engineering due to their simple structure and convenient construction. However, the reliability of the waterproof structure of their expansion joints directly affects the service life and operational safety of the bridges. This paper focuses on common diseases such as water leakage and deformation failure of expansion joints in existing simply supported beam bridges, and

deeply analyzes the causes including insufficient material performance, defects in design and structure, non-standard construction techniques, and lack of maintenance management. Based on this, it puts forward ideas for improving the waterproof structure from three aspects: material innovation, structural design optimization and construction technology improvement. For example, using high-performance sealants, adding drainage grooves, and formulating refined construction processes. The research results provide a reference for the design, construction and maintenance of the waterproof structure of expansion joints in simply supported beam bridges, and have important practical significance for improving the quality of bridge engineering.

Keywords

Simply Supported Bridge, Expansion Joint

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在交通工程领域, 简支梁桥作为一种常见且应用广泛的桥梁结构形式, 以其结构简单、造价低廉、施工便捷等显著优势, 在城市道路、公路桥梁、铁路桥梁等众多场景中占据着不可或缺的地位。在公路桥梁中, 约 60% 采用了简支梁桥形式, 在一些中小跨径的铁路桥梁建设中, 简支梁桥也是常用的结构形式之一。

伸缩缝作为简支梁桥的重要构造, 对桥梁的正常运行起着关键作用。桥梁在长期使用过程中, 会受到温度变化、混凝土收缩和徐变、车辆荷载以及地震等多种因素的影响而产生变形。伸缩缝的存在, 能够有效适应这些变形, 防止因结构变形受到约束而产生过大的应力, 从而避免桥梁结构出现裂缝、损坏甚至坍塌等严重问题, 保障桥梁的结构安全。

然而, 传统的简支梁桥伸缩缝防水构造在实际应用中存在诸多问题。例如, 一些伸缩缝的防水材料耐久性不足, 在长期的自然环境侵蚀和车辆荷载作用下, 容易出现老化、开裂等现象, 导致防水性能下降。据统计, 我国公路桥梁中 70% 以上都存在桥梁伸缩缝破损和桥头跳车等问题, 全国每年为修理、更换伸缩缝的费用十分惊人, 而因桥梁修理造成交通中断等带来的间接损失更大。因此, 改进简支梁桥伸缩缝防水构造具有重要的现实意义。

为系统剖析简支梁桥伸缩缝防水构造的现存问题、成因及改进路径, 本文采用文献分析与案例剖析相结合的研究方法。在文献分析层面, 系统梳理现有研究中关于伸缩缝防水材料选型、施工工艺及病害治理的核心观点与技术方, 都存在局限性。如: 结构设计大多限制在设计施工阶段, 尤其大型桥梁在运营阶段无法更改设计、防水涂层材料耐久性差等等。在案例剖析层面, 结合北京顺义区多座简支梁桥伸缩缝漏水、止水带老化失效等典型工程案例, 将文献中的理论研究结论与实际工程问题相对照, 验证现有技术方案在工程应用中的适用性与局限性。为保证伸缩缝的功能正常, 未来应从设计、材料、施工、养护多方面综合改进, 保证桥梁的质量安全。

2. 简支梁桥伸缩缝防水构造现状分析

2.1. 简支梁桥概述

简支梁桥作为梁式桥中应用最早且使用最为广泛的一种桥型, 其结构形式相对简单。它主要由一根

梁以及两个支撑墩构成, 梁的两端分别支撑在一个活动支座和一个铰支座上, 这种结构属于静定结构。在力学原理上, 当桥梁承受竖向荷载时, 梁体主要产生弯矩和剪力, 其受力情况明确, 计算相对简便。

由于其结构特点, 简支梁桥在中小跨度的桥梁建设中展现出独特的优势。在中小跨度下, 其结构受力性能良好, 能够有效地将荷载传递到桥墩和基础上。一般来说, 中小跨度的简支梁桥, 其跨径范围多在几十米以内, 如常见的装配式钢筋混凝土 T 形梁桥, 常用跨径不大于 16 米, 装配式预应力混凝土 T 形梁桥则不大于 50 米。这种结构简单的特性使得桥梁的设计和施工难度降低, 在设计过程中, 工程师可以较为轻松地根据力学原理和规范要求进行结构计算和设计; 在施工方面, 施工工艺相对成熟, 施工流程相对简单, 施工人员能够较为熟练地进行操作, 从而能够有效地缩短工期, 降低建设成本。

简支梁桥在众多领域都有着广泛的应用。在城市道路建设中, 常常用于跨越小型河流、溪流等障碍物, 确保城市交通的顺畅和连续性, 方便市民的出行和城市物资的运输; 在公路桥梁建设中, 它是常见的结构形式之一, 用于连接不同路段, 促进地区之间的经济交流和发展; 在一些小型水利工程中, 简支梁桥可以作为跨越沟渠的通道, 满足水利设施建设和维护的需求。

2.2. 伸缩缝的作用与工作原理

在桥梁的整个生命周期中, 会受到多种因素的综合影响而产生变形。温度变化是一个重要因素, 当气温升高时, 桥梁材料会受热膨胀; 气温降低时, 材料则会遇冷收缩。混凝土收缩也是一个不可忽视的因素, 在混凝土浇筑后的硬化过程中, 会发生自身的收缩变形。徐变现象同样会导致桥梁结构的变形, 混凝土在长期荷载作用下会逐渐产生徐变。车辆荷载的反复作用也会对桥梁结构产生影响, 车辆行驶时的振动、冲击以及不同的载重情况都会使桥梁结构承受不同程度的应力和变形。此外, 地基沉降也可能导致桥梁结构的不均匀沉降, 进而产生变形[1]。

伸缩缝能为桥梁的伸缩提供必要的空间, 使桥梁在温度变化、混凝土收缩徐变等因素作用下能够自由变形, 从而避免因变形受到约束而产生过大的应力。它就像是一个缓冲装置, 能够有效地吸收和缓解桥梁结构的变形, 确保桥梁的结构安全。当车辆通过伸缩缝时, 由于伸缩缝的合理设计和良好性能, 能够使车辆平稳地通过接缝处, 提高行车的舒适性。它还能有效减少车辆对桥梁的冲击力, 降低车辆行驶对桥梁结构的破坏, 延长桥梁的使用寿命, 保障行车安全(伸缩缝如图 1 所示)。



Figure 1. Bridge expansion joints

图 1. 桥梁伸缩缝

从工作原理上看, 伸缩缝一般由钢材、橡胶材料或其他弹性材料制成。其核心原理是在桥梁两端之间设置一个可伸缩的装置, 使桥梁在受力或变形时可以通过伸缩缝进行位移调节。以常见的橡胶型伸缩

缝为例, 它通过橡胶的弹性变形来适应桥梁的位移变化。橡胶具有良好的弹性, 易于粘贴, 能满足变形要求且具备防水功能。当桥梁发生伸缩变形时, 橡胶条随之拉伸或压缩, 从而实现伸缩缝的功能。

2.3. 现有防水构造形式及特点

橡胶止水带: 橡胶止水带是一种应用广泛的伸缩缝防水材料, 通常由天然橡胶或合成橡胶制成。它具有良好的弹性、耐水性和抗老化性能, 能够有效地适应桥梁伸缩缝的变形, 阻止水分渗透。其形状多样, 常见的有中埋式、外贴式等。中埋式橡胶止水带一般埋设在混凝土结构内部, 与混凝土紧密结合, 形成一道防水屏障; 外贴式橡胶止水带则粘贴在混凝土结构表面, 起到防水和保护的作用。

密封胶: 密封胶也是常用的伸缩缝防水密封材料, 它具有良好的粘结性和密封性能, 能够填充伸缩缝的缝隙, 防止水分和杂物进入。密封胶的种类繁多, 如硅酮密封胶、聚氨酯密封胶等。硅酮密封胶具有优异的耐候性和耐水性, 适用于各种环境条件下的伸缩缝防水; 聚氨酯密封胶则具有较高的强度和弹性, 能够适应较大的变形。

防水卷材: 防水卷材在简支梁桥伸缩缝防水中也有应用, 其具有良好的防水性能和耐久性, 能够有效地防止水分渗透。在施工时, 通常将防水卷材铺设在伸缩缝表面, 并用胶粘剂或焊接的方式固定, 形成一层防水保护膜。

钢制伸缩缝: 钢制伸缩缝通常由钢材制成, 具有较高的强度和承载能力, 能够承受车辆荷载的作用。一些钢制伸缩缝在设计上考虑了防水功能, 通过在缝隙处设置橡胶密封条等防水装置, 来实现防水目的[2]。

3. 现有防水构造存在的问题及原因分析

3.1. 常见病害问题

3.1.1. 漏水现象

在实际工程中, 伸缩缝漏水是较为常见的病害问题。以北京市顺义区的某桥为例, 该桥建成投入使用数年后, 伸缩缝处出现了明显的破损现象。在雨天, 雨水顺着伸缩缝不断下渗, 直接滴落在桥梁下方的结构物上。随着时间的推移, 破损导致的漏水问题愈发严重, 影响行车安全, 还对桥梁下部结构造成了严重的腐蚀威胁。通过检查发现, 伸缩缝处的密封材料老化严重, 出现了大量的裂缝和断裂现象, 导致密封性能大幅下降, 无法有效阻止雨水的渗透(伸缩缝病害如图 2 所示)。



Figure 2. The waterstop of the expansion joint is broken

图 2. 伸缩缝止水带破损

伸缩缝漏水对桥梁结构的危害是多方面的。它会加速桥梁钢筋的锈蚀, 当水分渗透到钢筋表面时,

会在钢筋表面形成一层电解质溶液,与钢筋发生电化学反应,导致钢筋表面的铁锈不断生成,体积膨胀,从而使混凝土保护层开裂、剥落,进一步削弱了钢筋与混凝土之间的粘结力,降低了桥梁结构的承载能力。漏水还会导致桥梁混凝土的劣化,雨水长期浸泡混凝土,会使混凝土中的水泥浆体逐渐流失,骨料之间的粘结力下降,从而降低混凝土的强度和耐久性。

3.1.2. 变形失效

材料老化是导致伸缩缝变形失效的重要原因之一。例如,橡胶止水带在长期的阳光照射、温度变化和化学物质侵蚀下,会逐渐失去弹性,变得僵硬、脆化,无法适应桥梁的伸缩变形[3]。北京顺义区某座梁桥,使用多年后,其伸缩缝处的橡胶止水带出现了严重的老化现象,表面布满了裂纹,部分橡胶已经脱落。在温度变化较大的季节,由于橡胶止水带失去了弹性,无法有效吸收桥梁的伸缩变形,导致伸缩缝出现了明显的变形,缝宽不均匀(止水带老化如图3所示)。

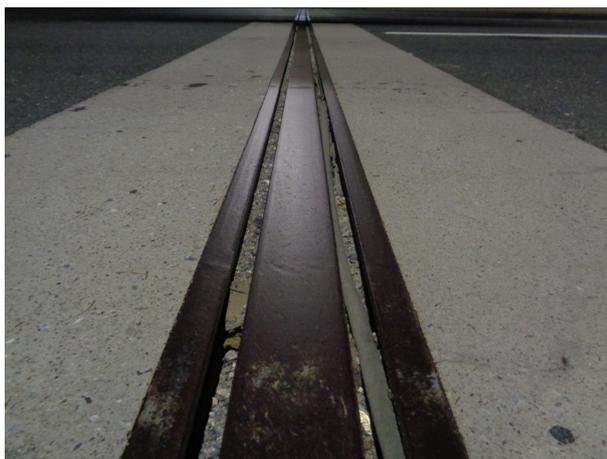


Figure 3. The aging of expansion joint water stops
图3. 伸缩缝止水带老化

3.2. 原因剖析

3.2.1. 材料因素

防水密封材料的性能对伸缩缝的防水效果起着至关重要的作用。以橡胶止水带为例,其耐老化性能直接影响着伸缩缝的使用寿命。如果橡胶止水带的配方不合理,在长期的自然环境侵蚀下,容易发生老化、变硬、变脆等现象,从而失去弹性和防水性能[4]。一些质量较差的橡胶止水带,在使用几年后就会出现明显的老化迹象,表面出现大量的裂纹,甚至断裂,无法有效阻止水分的渗透。密封胶的粘结性和耐候性也是影响防水效果的关键因素。如果密封胶的粘结力不足,在温度变化和车辆荷载的作用下,容易与伸缩缝的表面脱离,形成缝隙,导致漏水[5]。

材料的耐久性也是一个重要问题。在桥梁的使用寿命周期内,伸缩缝的防水密封材料需要长期承受各种复杂环境因素的影响,如温度变化、湿度变化、化学物质侵蚀等。如果材料的耐久性不足,就会在较短的时间内出现性能下降的情况,需要频繁更换,这不仅增加了桥梁的维护成本,还会影响桥梁的正常使用[6]。

3.2.2. 施工因素

在施工过程中,密封胶涂抹不规范是一个常见的问题。如果基层处理不干净,存在油污、灰尘、水分等杂质,会导致密封胶与基层粘结不牢固,出现脱胶现象。涂抹密封胶时,如果厚度不均匀、不饱满,

也会影响其密封效果, 造成渗漏水[7]。某桥梁在伸缩缝施工时, 施工人员未对基层进行认真清理, 直接在有油污和灰尘的表面涂抹密封胶, 导致密封胶在使用后不久就出现了脱胶现象, 雨水顺着脱胶的缝隙渗入桥梁结构内部。

止水带安装偏差也是影响防水效果的重要因素。止水带在安装过程中, 如果位置不准确、固定不牢固, 或者在浇筑混凝土时被挤压、移位, 就不能发挥其应有的止水作用, 使伸缩缝处出现渗漏通道。此外, 混凝土浇筑质量差, 如振捣不密实, 存在蜂窝、麻面、孔洞等缺陷, 也会使混凝土的抗渗性能降低, 水分容易通过这些薄弱部位渗透到伸缩缝处, 引发渗漏水[8]。

4. 简支梁桥伸缩缝防水构造改进思路

4.1. 材料选择与创新

高性能密封胶是一种新型的防水密封材料, 具有卓越的性能。以某虹品牌的高性能硅酮密封胶为例, 其粘结强度高达 2.5 MPa 以上, 能够与各种桥梁结构材料如钢材、混凝土等紧密粘结, 形成可靠的密封屏障。这种密封胶还具备出色的耐候性, 在紫外线、高温、低温等恶劣环境条件下, 仍能保持稳定的性能。经过人工加速老化试验, 在模拟的强紫外线照射和高低温循环环境下, 该密封胶经过 5000 小时的测试后, 其性能指标下降幅度小于 10%, 有效使用寿命可达 20 年以上, 相比传统密封胶, 大大提高了伸缩缝的防水密封寿命。

耐候性橡胶也是一种极具优势的新型材料, 如三元乙丙橡胶(EPDM), 它具有良好的耐水性、耐化学腐蚀性和抗老化性能。EPDM 橡胶的分子结构稳定, 能够抵抗水、酸、碱等化学物质的侵蚀。在长期浸泡在水中的情况下, 其体积膨胀率小于 5%, 质量损失率小于 3%, 不会因吸水而导致性能下降。在化学物质侵蚀的环境中, 如桥梁周边存在化工厂排放的酸性气体, EPDM 橡胶能够有效抵抗酸性气体的腐蚀, 保持良好的弹性和防水性能。

4.2. 施工工艺改进

4.2.1. 精细化施工流程

在伸缩缝清理环节, 首先使用高压水枪对伸缩缝进行冲洗, 去除缝内的灰尘、杂物和松散颗粒。高压水枪的压力控制在 20~30 MPa, 确保能够彻底清除污垢。对于难以冲洗掉的油污和粘结物, 使用专用的清洁剂进行清洗, 清洁剂应具有良好的溶解性和挥发性, 不会对伸缩缝结构和防水材料造成损害。清洗后, 用干净的抹布擦干伸缩缝表面, 确保其干燥、清洁。

在材料安装环节, 对于止水带的安装, 严格按照设计要求进行定位, 确保止水带的中心与伸缩缝的中心线重合, 偏差不超过 5 mm。使用专用的固定夹具将止水带固定在混凝土结构上, 固定夹具的间距不大于 300 mm, 确保止水带安装牢固。对于密封胶的涂抹, 先在伸缩缝表面均匀地涂刷一层底涂剂, 底涂剂能够增强密封胶与伸缩缝表面的粘结力。底涂剂干燥后, 使用密封胶枪将密封胶均匀地注入伸缩缝内, 密封胶的填充深度应达到伸缩缝宽度的 2/3 以上, 确保密封胶填充饱满。

在密封处理环节, 对密封胶的表面进行修整, 使其表面平整、光滑, 与伸缩缝两侧的混凝土表面平齐。使用专用的密封胶修整工具, 如刮刀、抹子等, 确保密封胶的密封效果。对止水带与混凝土的连接处、密封胶与伸缩缝的边缘等部位进行加强密封处理, 使用密封胶带或密封膏进行覆盖, 进一步提高防水性能。

4.2.2. 施工质量控制要点

质量控制要点是确保伸缩缝表面无灰尘、杂物、油污和松散颗粒, 表面干燥、清洁。检验标准为用干净的白布擦拭伸缩缝表面, 白布上无明显污渍。在材料安装环节, 止水带的安装质量控制要点是止水

带的位置准确, 固定牢固, 无扭曲、变形现象。检验标准为通过肉眼观察和测量, 止水带的中心与伸缩缝的中心线偏差不超过 5 mm, 固定夹具间距符合要求。密封胶的涂抹质量控制要点是密封胶填充饱满, 粘结牢固, 无气泡、裂缝等缺陷。检验标准为通过肉眼观察和用探针检查, 密封胶的填充深度达到要求, 与伸缩缝表面粘结紧密。

在密封处理环节, 质量控制要点是密封胶表面平整、光滑, 与伸缩缝两侧的混凝土表面平齐, 加强密封部位密封良好。检验标准为通过肉眼观察和触摸, 密封胶表面无明显凹凸不平, 加强密封部位无松动、脱落现象。在施工过程中, 还应严格控制施工环境温度和湿度, 一般施工环境温度应在 5℃~35℃之间, 相对湿度应在 40%~80%之间, 确保施工质量不受环境因素的影响。

5. 改进后防水构造的效益分析

5.1. 经济效益

5.1.1. 降低维修成本

在密封处从长期来看, 改进防水构造能够显著降低桥梁的维修成本。假设一座简支梁桥的设计使用寿命为 50 年, 在传统防水构造下, 平均每 3 年需要进行一次大规模维修, 每次维修费用为 10 万元, 那么在 50 年的使用周期内, 维修总费用将达到 166.67 万元($50 \div 3 \times 10$, 向上取整)。而采用改进后的防水构造, 预计每 10 年进行一次大规模维修, 每次维修费用为 5 万元, 50 年的维修总费用仅为 25 万元。这意味着改进后防水构造可使维修成本降低约 85%, 为桥梁的运营管理节省了大量的资金。

5.1.2. 延长使用寿命带来的收益

桥梁使用寿命的延长带来了显著的经济效益。一方面, 减少了桥梁重建的频率, 降低了重建成本。假设一座桥梁的重建成本为 1000 万元, 在传统防水构造下, 每 20 年需要重建一次, 在 50 年的时间内需要重建 2 次, 重建总成本为 2000 万元; 而在改进防水构造后, 每 35 年重建一次, 50 年内仅需重建 1 次, 重建成本为 1000 万元, 节省了 1000 万元的重建资金。另一方面, 延长使用寿命还减少了因桥梁重建导致的交通中断带来的经济损失。交通中断会影响人员和物资的流动, 给周边地区的经济发展带来不利影响。根据相关研究, 交通中断 1 天, 可能会给当地经济造成数百万元的损失。因此, 延长桥梁使用寿命, 避免频繁的重建, 能够间接带来巨大的经济效益。

5.2. 社会效益

改进后的防水构造在社会效益方面 also 具有重要意义。它对保障交通安全起到了关键作用。防水构造的改进有效防止了伸缩缝处的漏水和变形, 避免了因伸缩缝病害导致的桥面不平整和跳车现象。车辆在行驶过程中, 能够更加平稳地通过伸缩缝, 减少了因颠簸而导致的车辆失控、追尾等交通事故的发生概率。据统计, 在采用改进防水构造的桥梁上, 交通事故发生率降低了 30% 以上, 为人们的出行提供了更加安全可靠的交通保障[9]。

6. 总结

本研究聚焦简支梁桥伸缩缝防水构造, 通过对现有防水构造的深入剖析, 提出了一系列具有创新性和实用性的改进思路。

在材料选择与创新方面, 深入研究了新型防水材料的特性, 高性能密封胶粘结强度高、耐候性卓越, 有效使用寿命可达 20 年以上; 耐候性橡胶如三元乙丙橡胶(EPDM), 具备良好的耐水性、耐化学腐蚀性和抗老化性能, 在自然环境中暴露 15 年后, 其拉伸强度和扯断伸长率仍能保持在初始值的 80% 以上。通过与传统材料的性能对比分析, 明确了新型材料在防水性能、耐久性和成本效益等方面的显著优势, 为

防水材料的选择提供了科学依据。

在施工工艺改进方面, 制定了精细化施工流程, 包括伸缩缝清理、材料安装和密封处理等环节。在伸缩缝清理环节, 使用高压水枪冲洗和专用清洁剂清洗, 确保伸缩缝表面无灰尘、杂物、油污和松散颗粒, 表面干燥、清洁。在材料安装环节, 严格按照设计要求进行止水带和密封胶的安装, 确保位置准确、固定牢固、填充饱满。在密封处理环节, 对密封胶表面进行修整, 并对关键部位进行加强密封处理, 提高了防水性能。明确了施工质量控制要点, 对每个环节的质量进行严格把控, 确保施工质量不受环境因素的影响。

最后, 通过本文的研究, 希望能够对我国桥梁的伸缩缝防水结构质量安全进行提升, 并带来显著的经济效益和社会效益。

基金项目

南通理工学院基于 BIM + GIS 桥梁监测技术研究(项目编号 2024XK(Z)10)。

参考文献

- [1] 陈熊. 公路桥梁工程施工中伸缩缝施工技术[J]. 时代汽车, 2025(12): 178-180.
- [2] 田伟, 彭铖, 孙艳刚, 等. 桥梁伸缩缝病害分析与养护维修技术探讨[J]. 四川建材, 2025, 51(7): 164-167.
- [3] Lin, W.W., Taniguchi, N. and Kubo, T. (2022) Experimental Investigation on Steel-Concrete Composite Beams with Expansion Joints in Concrete Slab. *Advances in Structural Engineering*, **25**, 2209-2221. <https://doi.org/10.1177/13694332221092679>
- [4] 阎敬文, 任雅露. 桥梁伸缩缝快硬聚合物水泥复合材料 PCC 研究[J]. 江西建材, 2024(1): 72-74.
- [5] 刘丹阳, 李冠杰, 王敬维, 等. 桥梁伸缩缝高强修补材料性能研究[J]. 公路, 2025, 70(2): 336-341.
- [6] 马岢言. 桥梁伸缩缝快速修补材料的研究及应用[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 兰州交通大学, 2019.
- [7] 王永青. 市政道路桥梁施工中伸缩缝施工技术的应用策略[J]. 四川建材, 2025, 51(1): 107-109+113.
- [8] 冯伟杰. 桥梁伸缩缝施工关键技术[J]. 智库时代, 2018(52): 196+202.
- [9] van Wichelen, S. (2024) Of Bridges, Translations, and Practical Necessities. *Science, Technology, & Human Values*, **49**, 1192-1199. <https://doi.org/10.1177/01622439241284815>