

地铁车站侧墙混凝土抗裂防水施工技术研究

聂鹏

(中铁十八局集团市政工程有限公司 天津 300222)

摘要: 地铁车站侧墙混凝土抗裂防水施工技术是地铁施工的重要环节,与地铁工程项目的整体稳定性有直接关系。基于杭州地铁9号线一期工程,研究防水涂料结合耐根穿刺防水卷材组合防水施工工艺,并通过墙体抗渗性能测试来验证所提施工技术的可行性。结果表明,墙体各监测点位的最大渗水高度均在控制标准范围内,说明所提施工技术能够有效提升墙体的抗渗性能,证明了此施工技术的应用有效性。

关键词: 地铁车站;侧墙混凝土;抗裂防水;抗渗性能

中图分类号: TU761.11

文献标识码: A

Research on Concrete Anti-cracking and Waterproofing Construction Technology for Side Walls of Subway Stations

NIE Peng

(China Railway 18th Bureau Group Municipal Engineering Co., Ltd., Tianjin 300222, China)

Abstract: The anti-crack and waterproof construction technology of subway station side wall concrete is an important link in subway construction, which has a direct relationship with the overall stability of subway project. This research is based on the first phase of Hangzhou Metro Line 9 Project, in which the waterproof coating combined with root puncture resistant waterproof roll material combination waterproof construction process was adopted, and the water seepage height of walls and wall joint structures were monitored to test the construction effect. The results showed that the maximum seepage height of each monitoring point on the wall was within the control standard range, indicating that the proposed construction technology can effectively improve the impermeability performance of the wall, proving the effectiveness of this construction technology application.

Key words: subway stations; side wall concrete; anti-crack and waterproof; anti-permeability performance

随着城市化进程的加速,地铁作为城市交通的重要组成部分,其建设质量和安全性能日益受到广泛关注。地铁站侧墙作为主体结构之一,其防水性能直接影响到车站的使用寿命和运营安全。地铁站侧墙长期暴露在地下水、雨水等复杂环境条件下,混凝土结构容易出现侵蚀、开裂等问题。在传统的地铁站侧墙混凝土抗裂防水施工中,通常采用优化混凝土配合比和裂缝控制方法来提高混凝土墙体的抗渗性能。这些方法可以在一定程度上提高地铁站侧墙混凝土的抗裂性和防水性能,但在实际应用中仍存在一些问

题。如,裂缝控制方法虽然能够减少混凝土的开裂风险,但在高应力、高湿度等极端条件下,混凝土仍可能出现裂缝,从而影响其防水性能。因此,有必要进一步研究和探索地铁站侧墙混凝土抗裂防水施工新技术。

本研究依托杭州地铁9号线一期工程,针对工程概况与实际的施工环境,对地铁车站侧墙混凝土的抗裂防水施工工艺展开研究,以提高其抗渗性能,保证其稳定性,进而为城市地铁建设的可持续发展提供有力支撑。

收稿日期: 2024-01-15

作者简介: 聂鹏,工程师,本科,研究方向为工程技术管理

1 工程概况

杭州地铁 9 号线一期工程项目的主体结构为地下二层的现浇钢筋混凝土框架结构。地下一层为四柱五跨结构，而地下二层则为双柱三跨结构，这种结构设计不仅保证了其结构的稳定性，还为乘客提供了宽敞的空间。施工过程中，工程主体结构的屋面覆盖的土壤厚度约为 3.0 m。这一设计是基于规划地面标高（85 标高 8.500 m）来确定的。场地标高为 6.000 m，可有效保护场地周边环境，避免施工对环境造成破坏。

根据场地平整需求和主体结构的设计要求，确定基坑开挖深度约为 15.86 m。从地面到负层的部分采用多级边坡形式（深度约 9 m，三级边坡 1：1.3），可有效防止因开挖深度过大导致基坑坍塌；负二层采用地墙 + 内支撑体系（厚度 0.8 m，1 个混凝土支撑 + 1 个钢支撑）。另外，为了保证基坑底部的稳定，在基坑内采取了降水措施。拟建场地地势较为平坦，局部存在较小幅度的起伏。根据国家系统与相应数值转换，拟建场地的自然地面标高在 5.66~6.95 m 范围内，可不进行工程地质分区处理。

将工程沿线地下水范围孔隙水与裂隙水两大类。其中，孔隙水主要由孔隙潜水与孔隙承压水构成，平均水位为 5.08 m，高程为 1.22 m。通过大气降水以及地表水体的侧向渗入进行补给，水位年变化幅度范围为 1.0~2.0 m；裂隙水主要分布于各风化基岩的裂隙中，集水性较差，以上层孔隙承压水为主要的补给来源，其次为风化基岩的侧向径流水补给，水位季节性变化幅度为 1.0~2.0 m，水位埋深为 6 m，相应高程为 1.10 m。

根据对该地铁建设工程项目的基本概况与地质水文条件的勘探情况，建设标段在明挖区间的地下水水位埋藏较浅，且地表水属于Ⅱ类水质环境类型，对地铁车站侧墙混凝土具有显著腐蚀作用，使得混凝土墙体在长期浸水以及干湿交替环境下结构易出现倾斜、开裂以及下沉等情况。因此，为有效防止地铁车站侧墙混凝土劈裂，应针对此工程采取一个合理、科学的防水施工技术，以确保工程项目的整体稳定性。

2 施工前准备

2.1 施工方案确定

根据上述对工程的具体分析，结合施工环境与具体施工条件，基于地铁车站侧墙防水设计等

级，最终确定选用防水涂料结合耐根穿刺防水卷材组合防水施工工艺，如图 1 所示。

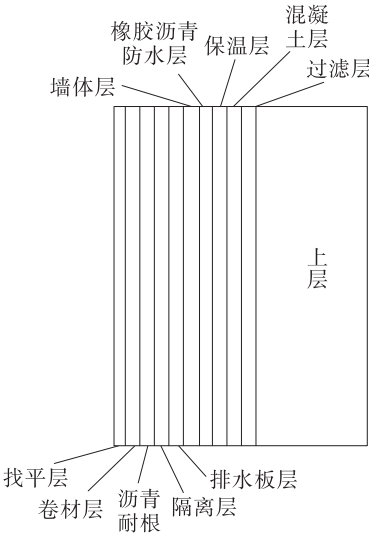


图 1 防水施工示意图

在确定施工方案时，重点考虑了防水涂料与耐根穿刺防水卷材的组合防水技术。该技术通过防水涂料在混凝土表面形成致密的防水膜，而耐根穿刺防水卷材则可提供额外的物理阻隔层，两者结合能够显著提升墙体的抗裂防水性能。防水涂料采用高分子聚合物材料，具有良好的粘结性和耐久性；耐根穿刺防水卷材则具有优异的拉伸强度和抗穿刺能力，能有效防止水分渗透。

2.2 施工设备选择

为保证该地铁车站侧墙混凝土抗裂防水施工工艺顺利进行，施工单位要在施工前做好施工机械设备的准备工作^[1]。根据上述设计的防水施工方案，研究中需要用到的施工设备主要包括防水涂料搅拌机、防水卷材摊铺机、手持压辊、加热机、钢丝刷、台秤、混凝土墙面找平机以及试验压力机，具体如表 2 所示。

表 2 工程侧墙混凝土抗裂防水施工设备

设备名称	数量	单位	作用
涂料搅拌机	1	台	胶料搅拌
卷材摊铺机	2	台	混合料摊铺
手持压辊	3	个	卷材处理
加热机	1	台	胶料预热
钢丝刷	4	把	管边清理
台秤	2	台	称取胶料集料
墙面找平机	1	台	墙体找平压实
试验压力机	1	台	抗渗性能测试

防水涂料搅拌机用于按预定比例搅拌防水涂料，通过搅拌，确保防水涂料的成分完全一体

化,达到均匀一致,从而保证涂料的涂刷效果和防水性能^[2];防水卷材摊铺机用于在混凝土墙上铺设防水卷材;混凝土墙面找平机可对混凝土墙面进行找平压实,促进其干燥和硬化,从而确保墙壁的质量和稳定性^[3]。

3 防水施工工艺流程

3.1 防水胶料制备

防水胶料采用高分子聚合物材料,按照一定比例混合搅拌而成。制备过程中严格控制材料的配比和搅拌时间,确保胶料的质量和性能达到要求^[4]。制备好的防水胶料应具有良好的流动性和粘结性,便于涂刷和形成均匀的防水膜。为制备防水胶料,精确称取1.5 kg 胶料集料,并在搅拌机中按顺序投入聚合物乳液、水泥、沙子和添加剂^[5]。经5~10 min 高速搅拌后,分次加入适量水,全程搅拌控制在15 min 内,避免因超时导致离析。搅拌完成后,采用垂直振动法对胶料进行振捣,插入深度约35 cm,每点振动10~20 s,并在初凝前再次振动,以消除泌水间隙^[6]。制备完成后,预热胶料,同时取出不固化橡胶沥青防水涂料加入加热机中,通过温度控制器确保加热温度超过120℃,确保涂料在刮涂时保持适当黏度,均匀涂覆于基材上^[7]。

3.2 胶料涂刷

采用冷粘法将混合胶料均匀涂抹在分列卷材基面表面,在施工防水卷材时,需要根据PE膜向上的原理将其展开,并将其准确放置在施工位置。根据设计标准参数对防水膜进行加工和切割^[8];先从两端开始,将线圈逐渐卷向中间,再对隔离膜进行切割操作,最后将线圈从卷起的部位中取出。在展开过程中,需要注意使用手持压辊进行压实处理,以确保胶料与基层紧密结合。使用高压无气喷涂机将制备好的防水胶料均匀涂刷在混凝土侧墙上。涂刷时应确保涂层厚度均匀一致,无漏刷、无气泡。涂刷完成后,应等待涂层干燥固化,形成致密的防水膜。完工后,利用卷材摊铺机按照同样的工艺铺设一层高于墙体表面3.5 mm 厚的沥青基聚氯乙烯预铺自开防水膜^[9]。在铺设过程中,应将沥青防水卷材的边缘加工成不小于60 mm 的重叠边缘,并且易于重叠和闭合,以确保胶料与卷材之间的紧密连接,并提高防水的可靠性。防水卷材摊铺平面示意图如图2所示。在进行胶料涂刷卷材施工时,如果出现火花现象,应采取保护措施,如在施工区域设

置防护屏障或警告标志等,防止损坏防水卷材。

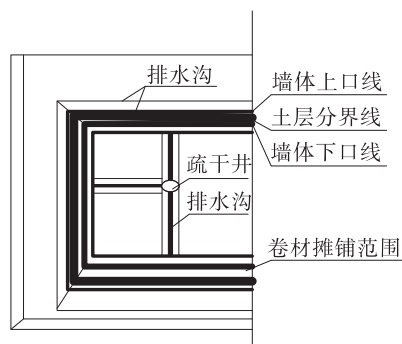


图2 胶料涂刷平面示意图

3.3 防水加强层加装

防水膜形成后,加装防水加强层。该加强层采用耐根穿刺防水卷材,通过热熔焊机将其铺设在防水膜上。卷材之间的连接采用热熔焊接,确保连接处牢固可靠。加强层的加装能够进一步提高墙体的抗裂防水性能。

卷材摊铺施工结束后,应在施工缝两侧宽300 mm 范围内增设一层具有高强度的防水层,进一步提高墙体的防水性能。施工前,对基层进行清理,确保表面无灰尘、泥土和杂物^[10];对阴阳角、管根等细部进行加固,防止涂料堆积;利用滚筒刷或刮刀均匀涂刷第一层防水涂料,保证涂层均匀且覆盖完整无遗漏,完全干燥后再以垂直方向涂刷第二层防水涂料,以此增强防水效果。防水涂料施工完毕后进行质量检查与验收,重点检查防水涂层是否均匀、有无漏涂,并核实涂层厚度是否符合设定要求。如果验收结果显示厚度低于标准设计要求,则需要进行第三层防水涂料的涂刷。

3.4 辅助热熔封边

为确保卷材边缘的密封性,采用辅助热熔封边工艺。使用热熔焊机对卷材边缘进行加热处理,使其与混凝土表面形成紧密的结合,防止水分从边缘渗透。首先,使用火焰加热器时,加热盘管应均匀,并控制加热量,以避免因过度加热而烧坏盘管^[11]。如果防水施工使用厚度小于2 mm 的聚合物改性沥青防水卷材,可能会对卷材造成损坏,因此不应使用热熔法。其次,加热线圈后,应立即将其卷起并铺设到位,以清除线圈下方的空气,并将其卷牢,不得出现空鼓或褶皱。这一步骤是确保线圈材料能够紧密结合的关键,可有效避免未来的泄漏问题。最后,铺设的卷材应平整、平直、稳定,无任何局部凸起、扭

曲或其他质量问题^[12]，以确保防水层的整体效果和质量，为建筑提供持久的防水保护。

3.5 改性沥青耐根穿刺防水卷材施工

铺设改性沥青耐根穿刺防水卷材作为最外层的防水层，该卷材具有优异的耐候性和抗老化性能，能够长期保持防水效果。铺设时，同样采用热熔焊接工艺确保卷材之间的连接牢固。工程采用自粘聚合物改性沥青、聚酯胎基、化学阻根剂^[13]，其中自粘聚合物改性沥青选用 I 型聚酯胎自粘聚合物改性沥青，其技术指标如表 3 所示。

表 3 I 型聚酯胎自粘聚合物改性沥青的技术指标	
技术指标	参数
拉伸强度/MPa	≥1.0
断裂伸长率/%	≥120
耐热度/℃	≥80
透水性/%	0.01
抗穿孔性/mm	≤10
拉力/N	≥2000
耐根穿刺性能/MPa	≥0.8
加热伸缩率/℃	≤0.2
低温柔韧性/℃	≤-25℃
与混凝土粘接强度/MPa	≥0.6
钉拔出力/N	≥450

自粘聚合物改性沥青的掺入量可按式计算：

$$w = (E/E + C) \times 100\%$$
 (1)

其中， w 为自粘聚合物改性沥青的掺入量； E 为墙体中混凝土配比； C 为膨胀剂添加量。

混凝土防水层施工时，应将卷材放置在待铺区域，并按预先确定的弹线自然展开，以防止线圈内部出现明显的张力，影响线圈的铺设效果^[14]。然后从两端开始，逐渐向中间卷起，沥青涂层均匀地涂覆在屋顶格栅上后立即铺设防水卷材。当沥青涂层的温度下降到合适水平时，利用钢丝刷去除卷材表面的隔离膜。为了保证整个卷材层的防水效果，相邻卷材间的搭接宽度应超过 65 mm，并利用钢凿将重叠区域紧密压实在一起。最后，为了进一步稳定卷材，用压带将其固定在垂直位置^[15]，并涂上一层沥青防水涂层进行密封。

4 施工效果分析

通过上述防水施工工艺流程与具体分析，完成对杭州地铁 9 号线一期工程地铁车站侧墙混凝土抗裂防水施工技术的设计。施工效果如图 3 所示。

为测试所提施工方案在建设工程中的实际应

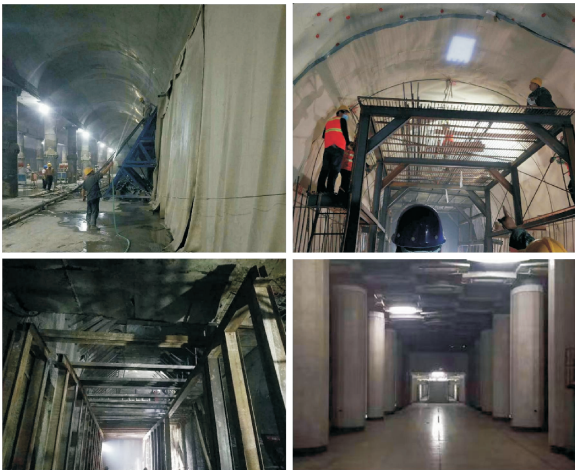


图 3 施工效果图

用性能，对工程项目进行施工效果监测，并依据监测结果，分析本文设计的施工工艺的可行性。

4.1 墙体抗渗监测

为了确保防水施工技术的有效性，本文针对杭州地铁 9 号线一期工程的车站侧墙混凝土，设计全面的抗裂防水施工效果监测方案。以车站运行记录数据为基础进行统计分析，以地铁车站侧墙混凝土抗裂防水施工技术应用后的 6~9 个月时间段为监测时间，对施工标段区域内侧墙体进行抗渗监测，监测点位布置如图 4 所示。

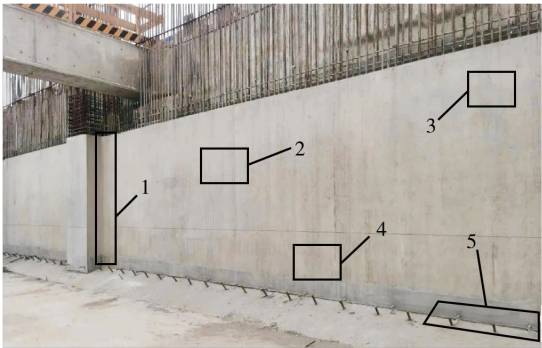


图 4 墙体防水监测点位布置示意图

考虑到墙体表面、结构缝以及预埋件位置是容易受到水分侵蚀的主要部分，也是水分渗透的主要途径之一，故本设计施工效果监测方案主要包括墙体抗渗监测和荷载压力测试两个部分。在图 4 选定的施工标段区域内，针对侧墙混凝土的不同位置（墙体表面、结构缝和预埋件位置）布置了 5 个监测点位，编号为 1~5。使用高精度防水监测仪对监测点位的混凝土表面湿度和水分含量进行连续监测。初始阶段，每 2 d 监测一次，持续 15 d 后，改为每 5 d 监测一次。这种监测频率的选择旨在捕捉墙体抗渗性能的变化趋势，同

时确保数据的充分性和可靠性。若在监测期间内,墙体的渗水高度低于25 mm,则表明墙体的抗渗性能较好,防水施工技术的应用效果较好。为了评估墙体的整体强度和抗裂性能,本文利用压力机对墙体施加递增的荷载。从0.1 MPa开始,每6 h增加0.2 MPa,直至达到预设的最大压力1.2 MPa。在加载过程中,密切关注墙体的变形和裂缝情况,并记录相关数据。

4.2 监测结果分析

根据上述分析,采用防水监测仪对不同点位进行抗渗效果分析,并利用压力机对墙体施加荷载,进行一段时间的监测。将测得结果与控制标准相比较,进而分析本文设计的施工技术的可行性,监测结果如表4所示。

表4 墙体抗渗性能监测结果

监测点位	龄期/d	最大渗水高度/mm
1	10	16.23
2	15	15.20
3	20	13.03
4	25	9.56
5	30	8.42

根据表中的数据,在不同监测时间内对5个监测点位进行抗渗性能监测,得到的墙体渗水高度最大为16.23 mm,在工程设计的预设标准25 mm范围内,表明应用设计的防水技术后,地铁车站侧墙的抗渗性能良好,证明了本文提出的防水技术在地铁车站侧墙防水施工中的有效性。

为了全面评估本文提出的防水施工技术的效果,将其与两种常见的抗裂防水方法进行对比。选取了与本研究工程条件相似的另一地铁车站侧墙,采用传统水泥砂浆防水层进行施工。在另一个相似条件的地铁车站侧墙,采用涂刷型防水涂料进行防水施工。施工完成后进行墙体抗渗监测和荷载压力测试,监测结果如表5所示。

表5 不同方法施工效果监测结果

方法/指标	本文所提技术	传统水泥砂浆防水层	涂刷型防水涂料
最大渗水高度/mm	16.23	35.00	22.00
达到预设标准情况	符合	不符合	符合
荷载压力测试表现	无明显裂缝或变形	出现裂缝	出现轻微裂缝

从表中可以清晰地看到,本文提出的防水技术表现最为出色,其最大渗水高度仅为16.23 mm,远低于传统水泥砂浆防水层的35.00 mm和涂刷

型防水涂料的22.00 mm,充分展示了其优异的抗渗性能。在荷载压力测试中,本文技术下的墙体表现稳定,无明显裂缝或变形;传统水泥砂浆防水层出现了裂缝,而涂刷型防水涂料也仅表现出轻微的抗裂性能。综上所述,本文提出的防水技术不仅满足了工程设计的预设标准,而且在抗渗和抗裂性能上均优于其他两种方法,这充分证明了其在地铁车站侧墙防水施工中的有效性和优越性。

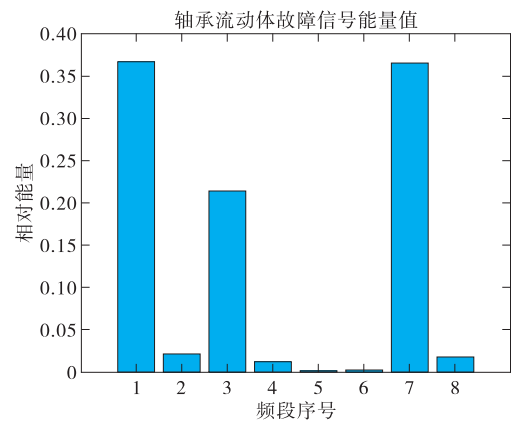
5 结束语

研究针对杭州地铁9号线一期工程地铁车站侧墙混凝土抗裂防水施工,提出了一种新型的施工工艺,并通过工程实例应用验证了本文所提施工技术的可靠性,证明采用防水涂料结合耐根穿刺防水卷材组合防水施工工艺可有效保证混凝土墙体的稳定性。未来应持续探索新的材料、工艺、技术,进一步提高地铁站侧墙混凝土的抗裂性和防水性能,同时强化施工管理和质量控制,实现地铁站侧墙混凝土抗裂防水技术的全面提升。

参考文献:

- [1]赵琛,姜小强,官林星,等.大断面分块式顶管管节UHPCC接头防水施工技术[J].隧道与轨道交通,2023(S1):84-86,90.
- [2]刘超,王祺.富水软土地区超深基坑防水施工技术[J].隧道与轨道交通,2023(S1):94-97.
- [3]侯志康,王艺超,郭威威,等.层间水丰富情况下基坑防水施工技术研究与应[J].建筑技术,2023,54(20):2474-2476.
- [4]黄品源.土建混凝土工程防水施工技术探讨[J].城市建设理论研究(电子版),2023(28):133-135.
- [5]陈滨振.永泰县医院地下室防水施工细部节点处理技术[J].中国建筑金属结构,2023,22(9):32-34.
- [6]潘祖光,刘成钢,董云.上视安置房内嵌式节点连接及防水施工技术研究[J].价值工程,2023,42(27):47-49.
- [7]郭先强,王晨光.种植屋面防水施工技术研究[J].中国建筑装饰装修,2023(18):69-71.
- [8]白亦嘉.高原地区屋面防水施工技术改进[J].工程机械与维修,2023(5):74-76.
- [9]任瑞祥.建筑工程中屋面防水施工技术及其质量控制策略[J].中国建筑装饰装修,2023(17):71-73.
- [10]陈海生.建筑工程中屋面防水施工技术分析[J].大众标准化,2023(16):36-38.

(下转第63页)



(d) 轴承滚动体故障信号能量谱
图4 轴承诊断结果能量图 (续)

为了进一步证明 D-S 证据理论在提高故障诊断率方面的有效性,从神经网络 net_DE 识别错误的 3 组测试样本中选取了一组记录进行详细说明。通过计算,得到了基本概率分配函数的赋值以及融合记录,见表 3。结果表明本文所提的方法能准确识别轴承的故障诊断,故障识别率达到了 97.5%,与单一传感器相比,提高了 2.5%。

表 3 基本概率分配函数赋值及信息融合记录							
模式	证据	$m(S_1)$	$m(S_2)$	$m(S_3)$	$m(S_4)$	$m(\Theta)$	识别结果
外圈故障	net_DE	0.438 8	0.036 2	0.216 2	0.130 4	0.125 4	82.2%
	net_FE	0.052 2	0.024 6	0.060 1	0.756 4	0.056 7	89.3%
	net_BA	0.038 0	0.421 2	0.129 0	0.227 5	0.073 3	95.0%
	DS	0.077 7	0.067 9	0.090 5	0.706 1	0.005 2	97.5%

本文针对单一传感器在故障诊断识别精度不高的问题,提出了一种基于神经网络和 D-S 证据理论的故障诊断方法,并通过仿真实验,验证了该算法的可行性。具体结论如下:

(1) 针对高速列车轴向轴承非平稳振动信号,采用小波包进行 3 层分解,提出各频段重构

系数幅值的平方和作为能量特征参数,构建故障特征向量。

(2) 利用 BP 神经网络识别轴承的故障特征,进而根据 D-S 证据理论融合规则对 BP 神经网络的识别结果进行最终识别。

参考文献:

[1] 段亮,宋春元,刘超,等. 基于机器学习的高速列车轴承温度状态识别[J]. 吉林大学学报(工学版),2022,52(1):53-62.

[2] 赵靖,杨绍普,李强,等. 一种残差注意力迁移学习方法及其在滚动轴承故障诊断中的应用[J]. 中国机械工程,2023,34(3):332-343.

[3] 代鸿,刘新宇. 基于神经网络的去噪模型在轴承故障诊断中的应用[J]. 轴承,2023(11):87-94.

[4] 李欢,吕勇,袁锐,等. 基于深度卷积神经网络的滚动轴承迁移故障诊断[J]. 组合机床与自动化加工技术,2023(2):90-94.

[5] 韩争杰,牛荣军,马子魁,等. 基于注意力机制改进残差神经网络的轴承故障诊断方法[J]. 振动与冲击,2023,42(16):82-91.

[6] 张玉彦,张金龙,文笑雨,等. 基于 DBI-小波包分解和改进 BP 神经网络的轴承故障诊断方法研究[J]. 河南理工大学学报(自然科学版),2023,42(1):116-123.

[7] 康涛,段蓉凯,杨磊,等. 融合多注意力机制的卷积神经网络轴承故障诊断方法[J]. 西安交通大学学报,2022,56(12):68-77.

[8] 鲁朋,宋保业,许琳. 基于一维卷积神经网络的多工况轴承故障诊断[J]. 山东科技大学学报(自然科学版),2023,42(5):88-96.

[9] 康涛,段蓉凯,杨磊,等. 融合多注意力机制的卷积神经网络轴承故障诊断方法[J]. 西安交通大学学报,2022,56(12):68-77.

[10] 王琦,邓林峰,赵荣珍. 基于改进一维卷积神经网络的滚动轴承故障识别[J]. 振动与冲击,2022,41(3):216-223.

(上接第 58 页)

[11] 何振兴. 地下室防水施工及防渗漏处理技术 [J]. 大众标准化, 2023 (16): 48-50.

[12] 赵启凯. 房建工程地下室防水施工技术难点分析 [J]. 石材, 2023 (9): 78-80.

[13] 梁祖泽. 建筑细部构造防水施工技术 [J]. 散装水泥, 2023 (4): 108-110.

[14] 涂少林. 城市地下电力管廊防水施工技术研究 [J]. 工程技术研究, 2023, 8 (15): 82-84.

[15] 郑镇填. 浅析建筑工程中的屋面防水施工技术 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2023 (22): 138-140.