

Research Progress on Rapid Repair Materials of Magnesium Phosphate Cement

Jianan Liu¹, Zimeng Ye¹, Bowen Guan¹, Jianhong Fang²

¹School of Materials Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an Shaanxi

²Qinghai Research Institute of Transportation, Xining Qinghai

Email: liujn1996@163.com, 596212667@qq.com, guanbowen2001@163.com

Received: Jun. 14th, 2018; accepted: Jun. 28th, 2018; published: Jul. 5th, 2018

Abstract

The rapid repair materials of magnesium phosphate cement have many advantages over other pavement repair materials. However, their shortcomings such as excessively fast setting speed and poor water resistance are also prominent. In order to make a better application of magnesium phosphate cement, the hydration mechanism, modification and application progress of magnesium phosphate cement are summarized and analyzed. The problems in the development process of magnesium phosphate cement are reviewed and the guidance for the following study of magnesium phosphate cement is provided.

Keywords

Magnesium Phosphate, Modification, Repair Materials, Hydration, Application Progress

磷酸镁水泥快速修补材料的研究进展

刘佳楠¹, 叶梓萌¹, 关博文¹, 房建宏²

¹长安大学材料科学与工程学院, 陕西 西安

²青海省交通科学研究院, 青海 西宁

Email: liujn1996@163.com, 596212667@qq.com, guanbowen2001@163.com

收稿日期: 2018年6月14日; 录用日期: 2018年6月28日; 发布日期: 2018年7月5日

摘要

磷酸镁水泥快速修补材料有很多优于其他路面修补材料的性能, 但其凝结速率过快、耐水性差等缺点也

很突出。为了使磷酸镁水泥快速修补材料得到更好的应用, 总结和分析了磷酸镁水泥快速修补材料的水化机理, 改性以及应用进展等方面。评述了磷酸镁水泥快速修补材料在发展进程中的问题, 为后续磷酸镁水泥快速修补材料的研究提供参考。

关键词

磷酸镁, 改性, 修补材料, 水化反应, 应用进展

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

1. 引言

随着我国公路、航空、水运等交通行业在前几十年的快速建设, 目前交通行业逐步进入到养护的阶段, 同时我国很多城乡间的低等级道路多是水泥混凝土路面, 由于其模量高, 接缝多减震性差, 易在接缝处产生唧泥、错台等造成路面行车颠簸[1]。水泥混凝土路面破坏类型中有裂缝, 路表损坏, 板块损坏等。因此研制早强快硬、相容性好、耐久性高的水泥混凝土路面修补材料从而延长水泥混凝土路面寿命是未来需要重点解决的问题。

目前的水泥混凝土修补材料按性质可分为无机和有机两类, 无机材料以水泥基材料为主体, 水化速度快、成本低, 但易脱落失效。有机材料有聚合物材料、环氧树脂等, 粘结性强, 但易老化脱落。常用的水泥混凝土修补材料有水泥基修补材料、聚合物水泥基复合修补材料、纤维增强复合材料、灌浆修补材料等[2]。较其他几类修补材料水泥基修补材料因其价格低廉, 适用性高等优点在道面及其他混凝土工程中运用最为广泛。传统的水泥基修补材料通常要加入减水剂、膨胀剂、早强剂等, 而磷酸镁水泥快速修补材料具有早强快硬、耐久性好、结合性好、环境适应性强等明显优势, 在道面或其他工程中的修补等方面呈现出广阔的应用前景, 成为了众多学者关注的研究热点[3]。

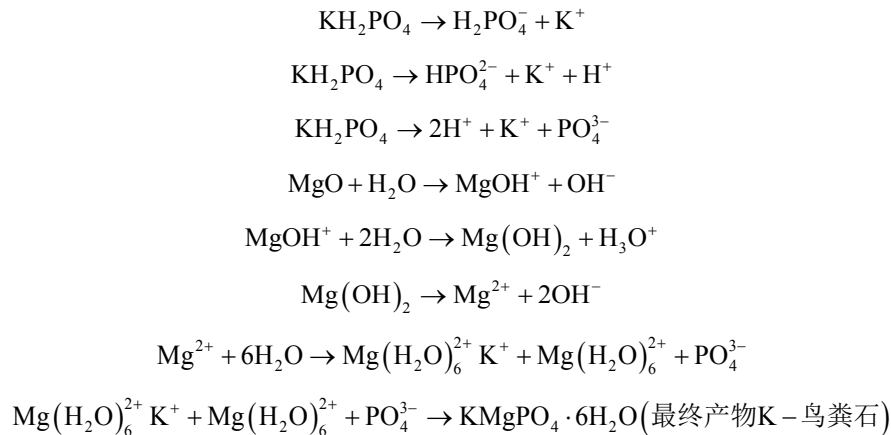
据统计中国镁质资源丰富, 矿物储量排名世界第一, 随着近年来镁质胶凝材料的研究, 氯氧镁水泥、磷酸镁水泥及其他复合镁质胶凝材料将会迅速发展[4]。很多学者对磷酸镁水泥进行了一系列研究, 取得了部分成果, 并逐步将磷酸镁水泥修补材料应用在许多工程领域。基于此, 本文总结了国内外近年来关于磷酸镁水泥快速修补材料的研究成果和应用进展, 包括磷酸镁水泥在水化行为、产物, 改性的方法以及磷酸镁水泥快速修补材料在工程实际中的应用, 针对存在的部分问题, 为今后的研究提供参考。

2. 水化机理及产物

关于磷酸镁水泥水化行为的研究已有很长一段时间, 主要集中在水化机理和水化反应产物的研究, 针对磷酸铵镁水泥(MAPC)和磷酸钾镁水泥(MKPC)两种水化体系形成了相当多的理论成果。

磷酸镁水泥(Magnesium phosphate cement, MPC)主要分为磷酸铵镁水泥(MAPC)和磷酸钾镁水泥(MKPC)两种。MPC 通常由高温煅烧的氧化镁(MgO)、磷酸盐和部分缓凝剂配比而成。用磷酸二氢铵($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$)和 MgO 为原料制备 MAPC [3], 用磷酸二氢钾(KH_2PO_4)和 MgO 及硼砂为原料制备 MKPC。因 MAPC 制备使用过程中可能会释放有毒的氨气, 所以工业中利用无铵类型的磷酸二氢钾镁质胶凝材料进行替代[5], 并在近 20 年中大规模运用, 取得了显著的效果, 故关于磷酸镁水泥水化机理的研究主要集中在 MKPC 上。

大多数学者认为 MPC 水化反应是酸碱中和反应, 并分为三个阶段, 首先 MPC 与水混合后溶解, 产生: K^+ 、 PO_4^{3-} 、 H^+ 、 $H_2PO_4^-$, 随后 MgO 颗粒表面溶解产生 Mg^{2+} , 最后离子间相互作用, 形成无定型的凝胶状络合物[6] [7]。MAPC 主要的水化产物是 $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$ (俗称鸟粪石)。而 MKPC 的主要水化产物为 $KMgPO_4 \cdot 6H_2O$ (俗称 K-鸟粪石)。根据有关学者的研究[8], MKPC 水化反应方程式如下:



王中良等人认为 MPC 水化是以中和反应放热为基础, 并通过扫描电镜进行微观研究发现 $MgKPO_4 \cdot 6H_2O$ 是其水化产物, 同时水化过程中产生中间相 $K_2Mg(HPO_4)_2 \cdot 4H_2O$, 其伴随 pH 值提升而溶解, 且浆体 pH 值是贯穿整个水化过程的关键因素[9]。Ding 等通过分析 MKPC 水化产物的微观构造, 发现随着水化时间的逐步延长其主要水化产物 $KMgPO_4 \cdot 6H_2O$ 也趋于完整[8]。冯春花等通过试验对 MKPC 水化过程研究, 表明 MKPC 主要水化产物以磷酸镁钾晶体($MgKPO_4 \cdot nH_2O$)和未反应剩余的 MgO 为主, 产生的无定形水化产物和凝胶物使 MKPC 浆体具有更好的物理和力学性能[10]。吕子龙等人利用偏高岭土(MK)作为 MKPC 的活性矿物掺和料, 并研究了 MKPC 水化过程, 认为 MKPC 水化分为四部分: 溶解期、诱导期、加速期和减速期[11]。戴丰乐等人通过实验发现 MKPC 水化应分为 6 个阶段, 分别为 KH_2PO_4 水解期、 MgO 溶解期、 $Mg(H_2O)_6^{2+}$ 增长期、 $MgKPO_4 \cdot 6H_2O$ 增长加速期、 $MgKPO_4 \cdot 6H_2O$ 增长减速期以及水化稳定期[12]。张涛通过建立磷酸镁水泥(MPC)的热力学数据库, 对 MAPC 体系、MKPC 体系进行热力学计算, 发现在 MAPC 体系中, 根据 M/P 比例水化产物在 $(NH_4)_2Mg(HPO_4)_2 \cdot 4H_2O$ 、 $MgHPO_4 \cdot 3H_2O$ 、 $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$ 之间进行转换, 当 M/P 比例超过 1 时产生过量 MgO , 同时整个水化过程伴随 PH 值的不断改变, 水化产物的转变也与其有关。而 MKPC 体系水化产物有 $MgHPO_4 \cdot 3H_2O$ 、 $Mg_2KH(PO_4)_2 \cdot 15H_2O$ 、 $KMgPO_4 \cdot 6H_2O$ 和过量 MgO , 并认可整个水化产物与 PH 值密切相关[5]。

3. 磷酸镁水泥的改性

MPC 的早期水化过快, 影响其施工工作性, 缓凝剂的种类和掺量是改性的关键。此外, 国内外学者还对 MPC 的耐磨性、抗干缩、抗冻、耐水等性能进行了改性。

磷酸镁水泥最常用的缓凝剂是硼砂, 但因其掺量相对较大, 因此很多研究人员对复合缓凝剂做了大量的工作以求缓凝而不影响其他性能[13]。戴丰乐等人发现增大 M/P 的比值, 会显著降低 MPC 水化时吸热峰及放热峰的峰值[12]。赵思颢等人通过实验发现在 MKPC 中掺入 15%以上粉煤灰时可加速 MKPC 水化速率, 而掺入 10%以下粉煤灰时, 影响不大, 但通过实验发现由 $Na_2B_4O_5 \cdot 10H_2O$, $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ 和 $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ 按质量比 1.5:7:1.5 配比得到复合无机盐 FH 可有效降低 MKPC 的凝结时间, 并测定其最佳掺量为 8% [14] [15]。此外有学者发现将粉煤灰掺入 MKPC 中仍有大量 $KMgPO_4 \cdot 6H_2O$, 并未改变其主要水化产物[16]。F.Qiao 等通过实验发现 MgO 的活性对 MPC 凝结速率有很大的影响, 并将高活性 MgO

与低活性 MgO 进行混合配比从而达到控制凝结时间的目的[17]。

MPC 中受 MgO 颗粒以及未发生反应 MgO 颗粒的良好耐磨性与水化产物的高粘性影响, 导致 MPC 与普通硅酸盐水泥在同等强度下, 耐磨性较高[18]。李九苏等人发现通过掺入纤维、引气剂、环氧树脂等可增加 MPC 的耐磨性[19]。欧阳德刚等人利用镁砂、三聚磷酸钠、硅微粉作为结合剂, 通过改变加入量、加入方式等对 MPC 性能进行研究, 发现硅微粉的加入可增强其抗渗透性[20]。MPC 水化 3d 时内部结构基本形成, 其中未反应的 MgO 颗粒起到的骨架支撑作用, 降低 MPC 的干缩[21]。同时认为掺入一定量的粉煤灰会使 MPC 收缩减小[22]。常远等人发现 MPC 的干缩随水胶比提高、缓凝剂掺量增加、氧化镁煅烧温度增加和比表面积增大而增大, 随粉煤灰掺量增加而降低[18]。金城等人利用粉煤灰有效降低磷酸盐砂浆的粘性, 从而提高了大面积施工的工作性, 同时增加其美观度[23]。MPC 的水化反应剧烈, 在内部形成了大量微小的气泡。且早期水化可使自由水转变成结晶水, 从而减少了可冻水量。非常适合修补气温较低地区因冻引起的道面破坏[24]。同时粉煤灰的添加对磷酸镁水泥微观结构有改善作用, 降低其孔隙率[25], 更好地在较低温度甚至负温下施工。陈兵等人发现在 MPC 中掺加大量粉煤灰可增强耐水性、耐磨性、耐水性但与混凝土结合能力有所降低[26]。毛敏等人也得出了类似结论, 且在粉煤灰掺量为 30% 时, 28 d 水中养护下强度可提高 35% [27]。也有研究表明, 壳聚糖的掺入可有效提高其耐水性, 并通过试验发现壳聚糖中氨基基团可以与游离 Mg^{2+} 反应生成较为稳定的复合物[28]。

4. 应用进展

自 MPC 被发明以来就被应用到了许多方面, 基于其优异的化学结合陶瓷性能, MPC 材料主要应用在建筑材料方面, 如道路修补、油井水泥、牙科水泥、军事领域、核废料及 3D 打印等[29] [30] [31]。运用方式还是以修补为主, 并逐步推广到其他工程领域。

MPC 凝结速率快, 早期强度高, 作为水泥混凝土类的修补材料, 其相容性优异, 抗干缩、抗渗等性能本身就突出, 在掺入部分改性材料的基础上, 其工作性得到保证, 同时增强其耐久性, 为各类水泥混凝土的修补提供了理论上的依据。有学者发现当 MPC 水灰比为 0.2 时, 3 h 抗压强度为 28 d 抗压强度的 50% 左右, 十分有利于工程的快速抢修[32], 其他的复合型镁水泥早期强度均高于同等配比下的普通硅酸盐水泥。李中华等人利用重烧氧化镁(M), 磷酸二氢铵($NH_4H_2PO_4$, P), 硼砂(B)及部分掺合料, 研发出凝结时间在 18 至 37 min 之间, 主要成分为($MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$)的磷酸镁修补材料[33]。赵霞等人利用富镁矿物, 研制出适合于高掺量粉煤灰的新型镁质膨胀材料, 用于高掺量粉煤灰水泥混凝土由于温度应力引起的收缩[34]。周启兆等采用磷酸二氢钾(KH_2PO_4)、电工级镁砂、硼砂为原料制备出 3 d 抗压强度为 43 MPa 且粘结强度可达 6.2 MPa 的 MPC, 并用于路面修补[35]。谭永山等人采用盐湖提炼副产品制备烧结的 MgO, 降低其烧结温度, 可以用于制备低成本、低能耗的快速修补材料[36]。陈湘华等人介绍了一种桥梁混凝土缺陷修补材料, 高强快硬镁基材料(High strength and Quick hardening Magnesia based materials), 其耐候性好、免养护以及施工简单能满足桥梁混凝土缺陷或水泥混凝土路面的快速、高效修补的要求[37]。施志豪等通过掺入高弹纤维改善 MPC 其脆性, 增强 MPC 修补、加固能力[38]。Tan, YS 等人通过实验制备了一种新型的磷酸钾镁水泥化学结合陶瓷(MKPCBC), 并研究了葡萄糖对其性能的影响, 通过对其微观结构的研究, 发现 MKPCBC 的 M/P(镁/磷比)和 L/S(液/固比)的最佳比例分别为 1.5 和 0.25, 葡萄糖的最佳含量为 6%, 此时 MPCBC 的性质可以满足生物材料的要求[39]。段星泽等人在通过分析 MPC 作为新型的胶凝材料可控制骨骼的降解, 在骨骼缺陷修复等医学领域有很大的发展空间[40]。

5. 问题及思考

磷酸镁水泥修补材料水化速率快, 中断交通时间短, 可满足高速公路、机场高速及市区交通要道路

段的路面及其他工程混凝土修补要求[41]。较普通胶凝修补材料而言在低温施工、早期强度, 养护条件上有着无法比拟的优越性, 但存在耐水性差、无高效缓凝剂、工作性差等缺点。目前掌握部分关于 MPC 水化机理、过程、产物的基础理论, 并通过在其缓凝、耐久性等方面的改性研究已经取得部分成果。为后续的研究留下了理论基础和宝贵的实践经验, 但研究磷酸镁水泥修补材料的一些技术方法刚起步, 对机理体系没有系统化, 在一些问题上还未达成共识, 存在一定程度上的不足, 主要表现在以下三个方面:

1) 水化体系不稳定, 深层水化机理、水化产物的演变过程及相互作用关系没有达成统一。因为施工、安全等因素, 目前 MPC 的研究主要围绕工程中较多使用的 MKPC, 但没有开发出更高效且无副作用的缓凝剂, 磷酸镁水泥修补材料的缓凝机理是需要进一步研究的问题。

2) 磷酸镁水泥修补材料生产造价较高, 制备所需的 MgO 需要经过高温重烧, 耗能高, 不同种类磷酸盐溶解速率不同, 对其性能产生很大的影响, 各原材料活性对 MPC 性能的影响应作系统性的研究, 改性材料以粉煤灰为主, 其他改性剂的改性效果有待进一步检验。

3) 适用于磷酸镁水泥快速修补材料的一些施工技术、设备、施工规范、测试方法处于空白时期, 与普通硅酸盐水泥修补材料还没有系统区分。磷酸镁水泥快速修补材料主要还是应用于道面修补, 在其他混凝土工程中缺乏实践应用。应进一步建立磷酸镁水泥快速修补材料的研究体系, 扩大适用范围。

基金项目

青海省自然科学基金资助项目(2017-ZJ-764), 青海省交通科技项目(2013-04)。

参考文献

- [1] 申爱琴. 水泥混凝土路面裂缝修补材料研究[D]: [博士学位论文]. 西安: 长安大学, 2005.
- [2] 盛燕萍, 关博文, 徐鸥明. 交通功能材料[M]. 北京: 科学出版社, 2015.
- [3] Sun, D., Sun, P., Wang, A., *et al.* (2013) Research of Magnesium Phosphate Cement and Its Development Prospects. *Materials Review*.
- [4] 郭如新. 镁资源、镁质化工材料现状与前景[J]. 无机盐工业, 2012, 44(10): 1-7.
- [5] 张涛. 磷酸镁水泥水化行为及水化产物稳定性的热力学模拟[D]: [硕士学位论文]. 南京: 东南大学, 2016.
- [6] 孟芹, 廖梓珺, 李云涛. 磷酸镁水泥的研究现状及发展趋势[J]. 硅酸盐通报, 2017, 36(4): 1245-1253.
- [7] 赵思颢, 晏华, 李云涛. 磷酸镁水泥水化热研究进展[J]. 材料保护, 2016(s1): 148-152.
- [8] Ding, Z., Dong, B., Xing, F., *et al.* (2012) Cementing Mechanism of Potassium Phosphate Based Magnesium Phosphate Cement. *Ceramics International*, **38**, 6281-6288. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2012.04.083>
- [9] 王中良, 刘凯, 张超. 磷酸镁胶凝材料的水化机理研究[J]. 材料导报: 纳米与新材料专辑, 2014(S2): 323-326.
- [10] 冯春花, 陈苗苗, 李东旭. 磷酸镁水泥的水化体系[J]. 材料科学与工程学报, 2013, 31(6): 000901-906.
- [11] 吕子龙, 关博文, 王乐凡, 等. 偏高岭土对磷酸镁水泥早期水化行为的影响[J]. 科技通报, 2018, 34(4): 126-130.
- [12] 戴丰乐, 汪宏涛, 丁建华, 等. 氧化镁与磷酸盐质量比对磷酸镁水泥水化历程的影响[J]. 硅酸盐学报, 2017, 45(8): 1144-1152.
- [13] 孙佳龙, 黄煜镔, 范英儒, 等. 磷酸镁水泥用作道路的快速修补材料研究[J]. 功能材料, 2018, 49(1): 1040-1043.
- [14] 赵思颢, 晏华, 汪宏涛, 等. 粉煤灰掺量对磷酸钾镁水泥水化动力学的影响[J]. 材料研究学报, 2017, 31(11): 839-846.
- [15] 赵思颢, 晏华, 汪宏涛, 等. 复合无机水合盐对磷酸镁水泥水化及性能的影响[J]. 材料导报, 2017, 31(23): 156-162.
- [16] Vol, N. (2005) High-Early-Strength Magnesium Phosphate Cement with Fly Ash. *ACI Materials Journal*, **102**, 375-381.
- [17] Li, Z., Chau, C.K. and Qiao, F. (2009) Setting and Strength Development of Magnesium Phosphate Cement Paste. *Advances in Cement Research*, **21**, 175-180. <https://doi.org/10.1680/adcr.9.00003>
- [18] 常远, 史才军, 杨楠, 等. 磷酸镁水泥基材料耐久性研究进展[J]. 硅酸盐学报, 2014(4): 486-493.

- [19] 李九苏, 曹勇. 水泥混凝土路面渗透型耐磨快速修补材料研究进展[J]. 公路, 2012(10): 181-185.
- [20] 欧阳德刚, 周明石, 胡清明. 镁质修补料研究及其在中频感应炉上的应用[J]. 工业炉, 2004, 26(2): 41-44.
- [21] 戴丰乐, 齐召庆, 汪宏涛, 等. m(M)/m(P)比值对磷酸镁水泥干燥收缩的影响及机理研究[J]. 功能材料, 2016, 47(12): 12134-12138.
- [22] 林玮, 孙伟, 李宗津. 磷酸镁水泥砂浆的干燥收缩性能[J]. 工业建筑, 2011, 41(4): 75-78.
- [23] 金城, 杨全兵. 粉煤灰对磷酸盐快速修补材料性能的影响[J]. 粉煤灰综合利用, 2013(2): 36-37.
- [24] 杨俊. 磷酸镁水泥抗冻性能试验研究[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2014(4): 248-249.
- [25] 路毅. 低温下粉煤灰改性磷酸镁水泥性能研究[J]. 硅酸盐通报, 2015, 34(12): 3596-3600.
- [26] Chen, B., Yang, X.Y. and Liu, N. (2011) Experimental Research on the Properties of Modified MPC. *Advanced Materials Research*, **450-451**, 796-799.
- [27] 毛敏, 王智, 贾兴文. 磷酸镁水泥耐水性能改善的研究[J]. 非金属矿, 2012, 35(6): 1-3.
- [28] Liao, J., Lu, S., Duan, X., et al. (2017) Affecting Mechanism of Chitosan on Water Resistance of Magnesium Phosphate Cement. *International Journal of Applied Ceramic Technology*, **15**, 514-521. <https://doi.org/10.1111/ijac.12795>
- [29] 刘凯, 李东旭. 磷酸镁水泥的研究与应用进展[J]. 材料导报, 2011, 25(13): 97-100.
- [30] Klammert, U., Vorndran, E., Reuther, T., et al. (2010) Low Temperature Fabrication of Magnesium Phosphate Cement Scaffolds by 3D Powder Printing. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, **21**, 2947-2953. <https://doi.org/10.1007/s10856-010-4148-8>
- [31] Yang, J.H., Jin, M.S., Chang, H.L., et al. (2013) Stabilization of Cs/Re Trapping Filters Using Magnesium Phosphate Ceramics. *Journal of Radioanalytical & Nuclear Chemistry*, **295**, 211-219. <https://doi.org/10.1007/s10967-012-1774-2>
- [32] 高小建, 杨英姿, 邓红卫, 等. 灾后混凝土工程快速修补材料的研究[J]. 工程科学与技术, 2010, 42(2): 40-45.
- [33] 李中华, 张佳良, 蒋亚清. 磷酸盐快速修补材料性能研究[J]. 混凝土与水泥制品, 2011(8): 8-11.
- [34] 赵霞, 邓敏. 新型镁质膨胀材料的制备与性能研究[J]. 东华理工大学学报(自然科学版), 2005, 28(1): 71-75.
- [35] 周启兆, 焦宝祥, 丁胜, 等. 磷酸盐水泥基普通混凝土路面修补剂的研究[J]. 新型建筑材料, 2011, 38(2): 25-28.
- [36] 谭永山, 余红发, 姚祥, 等. 无缓凝剂磷酸镁修补砂浆的力学性能实验研究[J]. 南京航空航天大学学报, 2018(1).
- [37] 陈湘华, 杨立权. 高强快硬镁垺材料在桥梁混凝土缺陷修补中的应用[J]. 中外公路, 2018, 38(2): 231-233.
- [38] 施志豪, 支正东. 纤维增强磷酸镁水泥基复合材料在结构修补加固领域应用的展望[J]. 山东工业技术, 2013(11): 8.
- [39] Tan, Y., Dong, J., Yu, H., et al. (2017) Study on the Injectability of a Novel Glucose Modified Magnesium Potassium Phosphate Chemically Bonded Ceramic. *Materials Science & Engineering C Materials for Biological Applications*, **79**, 894. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2017.03.275>
- [40] 段星泽, 廖建国, 李艳群, 等. 磷酸镁水泥制备及生物医学应用研究进展[J]. 材料导报, 2016, 30(7): 60-67.
- [41] 蒋述兴, 彭放. 复合型镁质胶凝材料的制备原理[J]. 非金属矿, 2012, 35(2): 46-49.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2326-3458, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: hjce@hanspub.org