

氯氧镁水泥混凝土路面力学性能研究

肖学英¹, 常成功¹, 郑卫新¹, 房建宏², 黄世静²,
文 静¹, 董金美¹, 安生霞^{1,3}

(1. 中国科学院青海盐湖研究所, 青海 西宁 810008;

2. 青海省交通科学研究院, 青海 西宁 810008; 3. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘 要:氯氧镁水泥混凝土是用氯氧镁水泥作为胶凝材料, 砂、石作集料, 再加入一定比例改性剂, 经搅拌而得的混凝土。利用镁水泥混凝土修筑示范路面, 通过回弹仪、X-Ray 衍射仪(XRD)、扫描电子显微镜(SEM)检测路面的抗压强度、相组成和微观结构进行其力学性能研究。结果表明, 修筑示范路面早期抗压强度增加很快, 3 d 就能通车, 后期基本保持稳定。修筑路面的主要相组成为 $5 \cdot 1 \cdot 8$ 相, 不随路面使用时间的延长而变化, 且其具有针状结构。

关键词:氯氧镁水泥; 混凝土; 强度; 微观机理

中图分类号: TQ172.12

文献标识码: A

文章编号: 1008-858X(2016)03-0050-05

1 引 言

氯氧镁水泥 (Magnesium Oxychloride Cement), 简称镁水泥 (Magnesia Cement), 又称 Sorel 水泥, 是由瑞典学者 Sorel 于 1867 年发明的气硬性胶凝材料。它是以一定浓度氯化镁溶液拌合轻烧氧化镁粉而形成的气硬性胶凝材料, 主要水化产物是 $3\text{MgO} \cdot 1\text{MgCl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ (结晶相简称 3 相)、 $5\text{MgO} \cdot 1\text{MgCl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ (结晶相简称 5 相)、 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ [1-5]。镁水泥胶凝材料具有耐火性能高、强度高、耐磨性好、和易性好、抗盐碱性能好、快速固化和养护容易等优点, 在建筑建材等许多领域有着广泛的应用 [6-8]。目前, 利用氯氧镁水泥作为胶凝材料制成混凝土, 以此来修筑氯氧镁水泥混凝土路面, 国内外未见研究和报道。

我国青海盐湖地区由于提钾产生大量的副产物水氯镁石 (其主要组成为 $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), 造成“镁害”, 严重影响周边环境和一些企业生产, 如何处理大量水氯镁石是现在面临的急需解决的问题。为了大量利用氯化镁, 使“镁害”变成镁资源, 本文利用氯化镁溶液、轻烧氧化镁和一部分砂石等制成公路用混凝土修筑路面, 并通过回弹仪测其施工路面的力学性能, 同时研究了镁水泥混凝土路面力学性能发展趋势, 分析了镁水泥混凝土试样内部微观结构及水化机理。

2 施 工

2.1 施工原材料及分析

1) 镁水泥混凝土专用改性剂, 自制, 型号为 PW-II。

收稿日期: 2015-10-14; 修回日期: 2015-11-27

基金项目: 青海省科技支撑计划 (2013-J-109); 青海省重大科技专项 (2014-GX-A2A); 青海省盐湖资源综合利用重点实验室开放基金 (Q-SYS-2014-KF-02)

作者简介: 肖学英 (1964-), 男, 研究员, 主要从事盐湖卤水资源及氯氧镁水泥开发研究工作。Email: xiaoxy@isl.ac.cn。

通信作者: 常成功。Email: ccg168@isl.ac.cn。

表 1 水氯镁石化学成分
Table 1 The chemical composition of bischofite %

组 成	MgCl ₂	NaCl	MgSO ₄	KCl	CaCl ₂	水不溶物
含 量	44.90	0.13	0.06	0.01	0.03	0.27

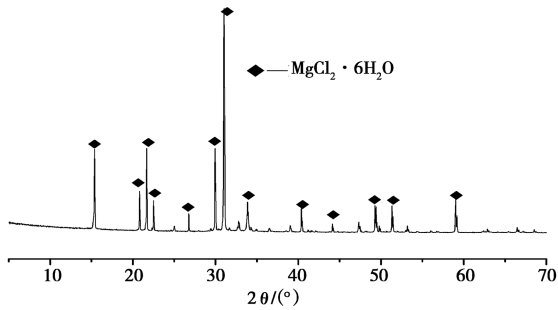


图 1 六水氯化镁 XRD 图谱
Fig.1 The XRD pattern of bischofite

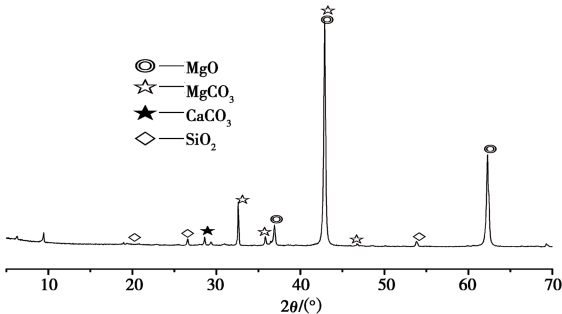


图 2 轻烧粉 XRD 图谱
Fig.2 The XRD pattern of magnesia

- 2)水氯镁石,白色晶体,化学式 $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$,产地青海格尔木。
- 3)轻烧氧化镁,主要成分为氧化镁,产地辽宁海城。

表 2 轻烧氧化镁化学成分
Table 2 The chemical composition of magnesia %

名称	f - CaO	MgCO ₃	MgO	活性 MgO	酸不溶物	烧失量
含量	0.82	20.73	64.71	50.51	13.18	10.82

- 4)砂,产地青海省德令哈,属中砂,细度模数 2.6。
- 5)石,产地青海省德令哈,粒径 5 ~ 20 mm。
- 6)镁水泥混凝土配合比,按照 C30 普通混凝土配合比配制,混凝土塌落度控制在 30 ~ 50 mm。

2.2 施工方法

镁水泥混凝土施工过程,施工前先配制好 25°Bé 浓度氯化镁溶液。按照一定比例依次将砂、石料及轻烧粉加入到搅拌机(型号 JS750 混凝土搅拌机)中,再加入镁水泥混凝土专用改性剂,进料后边搅拌边加入提前配置好的 25°Bé 浓度氯化镁溶液,混凝土每盘的搅拌时间应根据搅拌机的性能和拌和物的和易性确定,时间不宜过长也不宜太短,搅拌时间一般控制在 30 min 之内。

支立模板、混合料运输、摊铺混凝土和混凝

土振捣等施工过程,按照《公路路面基层施工规范》(JTJ034 - 2000)、《公路水泥混凝土路面施工技术规范》(JTG F30 - 2003)和《水泥混凝土路面滑模施工规范》(JTJ/T037.1 - 2000)要求进行施工。同时按照施工的配合比,做跟踪试验,在 150 mm × 150 mm × 150 mm 和 150 mm × 150 mm × 550 mm 标准模具中成型,脱模,以观察后期镁水泥混凝土性能变化。

路面施工后不需要洒水养生,施工完毕后空气中养护 3 d 即可通车,如遇下雨等恶劣天气,可在路面上覆盖塑料布等防雨雪。按照二级公路要求在青海省德令哈地区修筑镁水泥混凝土示范路面,示范路面设计标准为抗压强度大于 25 MPa。

2.3 测试方法

利用回弹仪(ZC3 - A 型)按照《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》(JGJ/T23 -

2001)测试路面强度,平均碳化深度为1 mm。

3 结果与讨论

3.1 路面早期强度

图3为早期氯氧镁水泥混凝土修筑路面抗压强度随时间的变化曲线。从图中可以看出,抗压强度在施工后前3 d呈线性增加,随后基本趋于稳定。修筑路面的第2 d就能达到设计要求的85%,第3 d抗压强度就能达到设计要求112%,后期至28 d强度一直保持不变,高于设计标准。这与氯氧镁水泥具有快速固化特点一致。

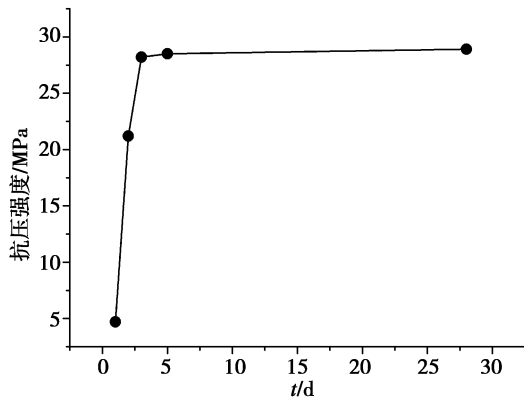


图3 早期强度变化曲线

Fig.3 The compressive strength of MOC roadway before 30 days

标准修筑普通硅酸盐路面,普通硅酸盐混凝土路面需要养护10 d左右才能通车,而镁水泥混凝土路面第2 d就能基本通车,第3 d就可以完全通车。大大缩短了施工时间,并且在养护过程不需要洒水覆膜,这样就简化了施工步骤,因此氯氧镁水泥混凝土路面早期强度高,通车时间早,工序简单,适合应用在快速修补路面上。

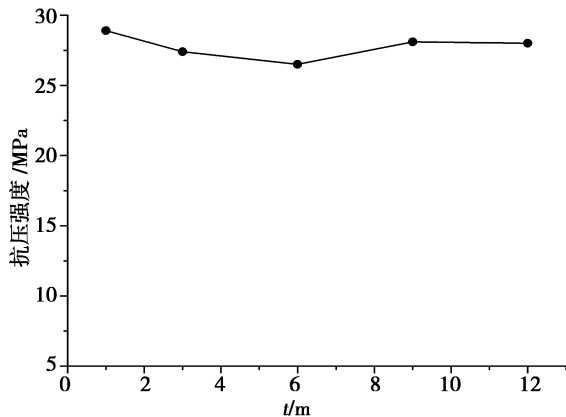


图4 后期强度变化曲线

Fig.4 The compressive strength of MOC roadway after 1 month

3.2 路面后期强度

从图4可以得出,经过一年的数据测试与观察,镁水泥混凝土路面后期抗压强度一直变化不大,没有出现大幅上升或大幅下降现象,测试数据基本稳定,高于设计标准,说明镁水泥混凝土路面力学性能稳定,耐候性较好,可以推广应用。

3.3 路面混凝土试样相组成

在青海德令哈施工现场,同时按相同设计

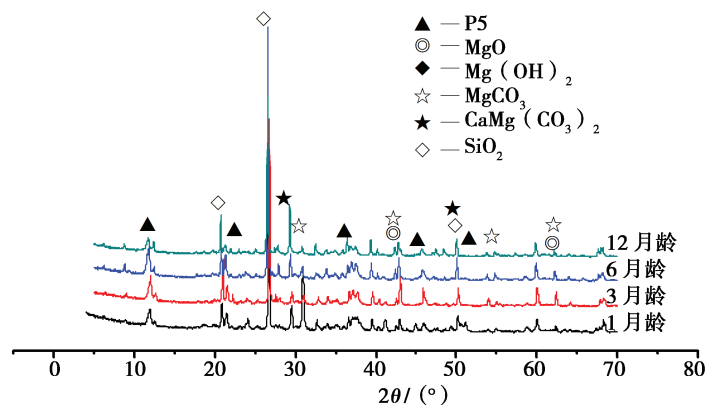


图5 镁水泥混凝土试样 XRD 谱图

Fig.5 The XRD pattern of MOC roadway

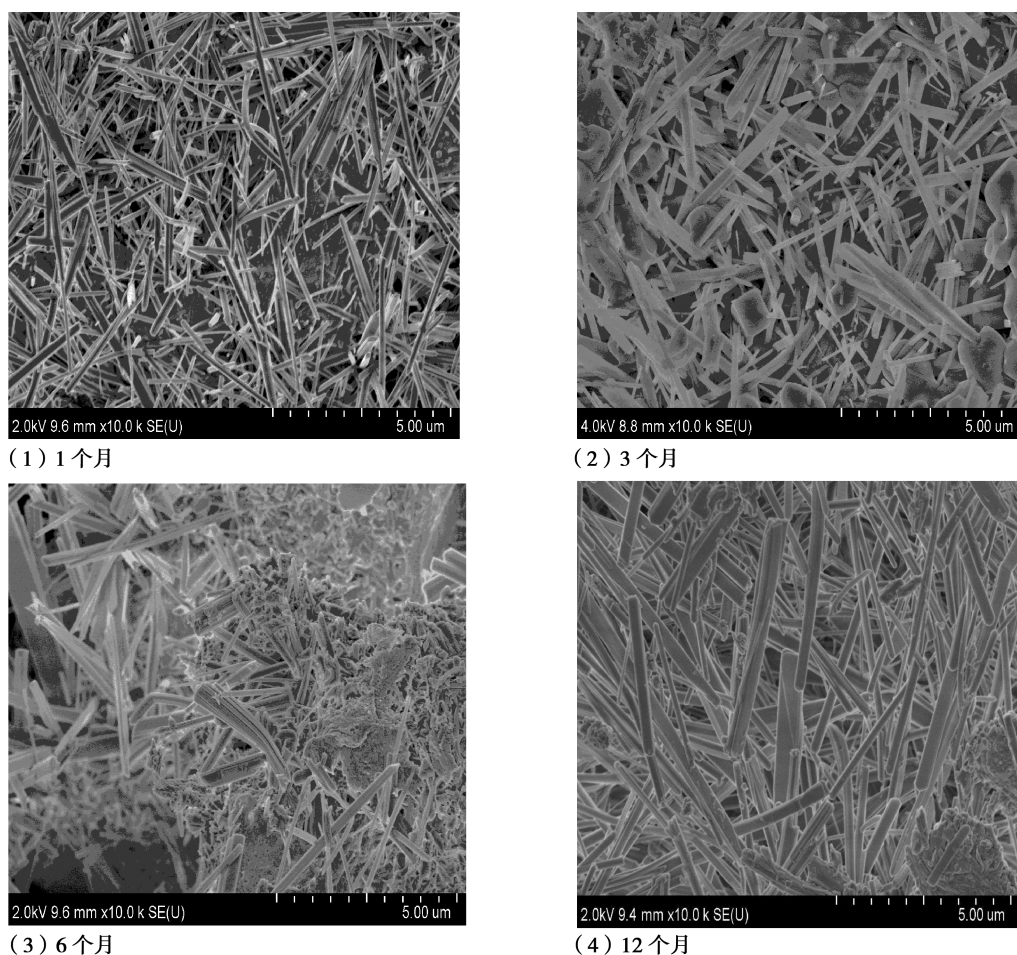


图6 镁水泥混凝土路面的微观形貌

Fig.6 The SEM of MOC roadway

由图5可知,镁水泥混凝土主要是由 $5 \cdot 1 \cdot 8$ 结晶相、白云石(主要成分为 $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$)、 SiO_2 、 MgCO_3 物相组成,其中白云石、 SiO_2 和 MgCO_3 分别来源于镁水泥混凝土中的碎石、砂以及未煅烧的菱镁矿。

从谱图中可以看出1、3、6和12月龄物相组成基本变化不大, MgO 剩余较少,可能是活性较低的 MgO 或死烧的 MgO ;经过一年期龄的分析,发现XRD谱图并没有明显变化,水化产物仍以 $5 \cdot 1 \cdot 8$ 结晶相为主,而 $5 \cdot 1 \cdot 8$ 结晶相为强度相,因此力学性能较为稳定,这与力学性能测试结果较为符合。

3.4 路面混凝土微观结构分析

图6是1、3、6和12月龄的SEM照片,可以看出,均以针杆状晶体为主,其相互结合成紧

密网状结构,此网状结构可以使镁水泥材料具有较好的力学性能、耐水性以及耐候性。一般理论^[9-11]认为,针杆状形貌为 $5 \cdot 1 \cdot 8$ 晶体相,此结晶相为稳定的强度相,可以为镁水泥混凝土材料提供稳定的力学性能。同时可见,随着时间变化,镁水泥混凝土内部主要物相并没有明显变化,仍是以针杆状晶体为主,说明经过改性后的镁水泥混凝土物相稳定,没有随着时间的变化而变化。这与所测试的力学性能、XRD分析亦较符合。

4 结 论

1)氯氧镁水泥混凝土修筑路面早期强度发展很快,3 d就能通车,比普通硅酸盐混凝土路面通车要缩短7 d左右的时间,路面施工后

在空气中养护,不需要洒水养生或铺膜,路面养护较为简单。

2)后期强度发展基本保持稳定,力学性能并未出现大幅下降或上升的现象,同时路面也未出现吸潮返卤现象。

参考文献:

- [1] 李颖,余红发,董金美,等. 氯氧镁水泥的水化产物、相转变规律和抗水性评价方法的研究进展[J]. 硅酸盐学报, 2013,41(11):1465-1473.
- [2] 周梅,巩玉发,齐证. 粉煤灰对氯氧镁水泥制品改性的试验研究[J]. 粉煤灰综合利用,2005,(5):29-31.
- [3] 张翠苗,杨红健,马学景. 氯氧镁水泥的研究进展[J]. 硅酸盐通报,2014,33(1):117-121.
- [4] 文静,余红发,吴成友,等. 氯氧镁水泥水化历程的影响因素及水化动力学[J]. 硅酸盐通报,2013,41(5):588-596.
- [5] 董茹,王明英,张全有,等. 白云石半焙烧物中游离氧化钙的测定[J]. 盐湖研究,2011,19(2):25-28.
- [6] 王雪,丁益民. 镁水泥的应用研究与进展[J]. 粉煤灰综合利用,2013(4):53-55.
- [7] 严育通,景燕,马军. 氯氧镁水泥的研究进展[J]. 盐湖研究,2008,16(1):60-66.
- [8] 王明英,肖学英,王继东,等. 白云石镁水泥材料的初步研究[J]. 盐湖研究,2012,20(1):44-48.
- [9] 王佩玲,余金梁,等. 水化产物的结晶形态变化对镁水泥耐水性能的影响[C]//‘七五’37-04-01 专题编委会. 镁水泥物化基础及特征论文选辑. 1990,3:84-92.
- [10] 王佩玲,王心磊,等. 镁水泥硬化浆体的显微结构和强度[C]//‘七五’37-04-01 专题编委会. 镁水泥物化基础及特征论文选辑. 1990,3:93-99.
- [11] 沈兴,马肇曾,等. 镁水泥的凝固速度、强度发展、水溶性、相组成、和显微结构的研究[C]//‘七五’37-04-01 专题编委会. 镁水泥物化基础及特征论文选辑. 1990,3:100-112.

Study on Mechanical Property of Pavement Built with Magnesium Oxychloride Cement Concrete

XIAO Xue-Ying¹, CHANG Cheng-gong¹, ZHENG Wei-xin¹, FANG Jian-hong², HUANG Shi-jing²,
WEN Jing¹, DONG Jing-mei¹, AN Sheng-xia^{1,3}

(1. Qinghai Institute of Salt Lakes, Chinese Academy of Sciences, Xining, 810008, China;

2. Transportation Research Institute of Qinghai Province, Xining 810008, China;

3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049, China)

Abstract: Magnesium Oxychloride Cement (MOC) concrete roadway has been obtained by the chemical reaction of magnesia, magnesium chloride and water incorporated with stone. The compressive strength, microstructure and phase composition of MOC pavement were examined by rebound apparatus, X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscope (SEM). The results show that MOC roadway has high compressive strength which meets the requirement of traffic in 3 days, and stays stable over time. The major hydration product is $5 \cdot 1 \cdot 8$ phase with a needlelike shape in the MOC roadway.

Key words: Magnesium oxchloride cement; Concrete; Strength; Microcosmic mechanism

《盐湖研究》合订本征订启事

《盐湖研究》是原国家科委批准的学术类自然科学期刊,由中国科学院青海盐湖研究所主办,科学出版社出版,1993年创刊并在国内外公开发行。为了便于我刊读者和文献情报服务单位系统收藏,编辑部藏有94-95年、96-97年、98-99年、2000年、2001-2002年、2003年、2004-2005年、2006-2007年、2008-2009年、2010-2011年、2012-2013年、2014-2015年合订本,每年册仅收取工本费90元。数量有限,欲购者请与《盐湖研究》编辑部联系,电话:0971-6301683