

无碴道床板下充填层材料—ZH砂浆的应用研究

周红梅¹ 张庆² 朱万旭¹ 王日艺¹ 张胜¹

(1.柳州欧维姆机械股份有限公司 柳州 545005 2.中铁工程设计咨询集团有限公司 北京 100020)

摘要: 文章介绍了ZH砂浆的研发、试验、生产情况及其施工工艺和注意事项,以及在广州地铁四号线等工程的应用情况。

关键词: 地铁 无碴轨道 板式道床 充填层 ZH砂浆

1. 引言

直线电机运载系统是一种较新的轨道交通系统,依靠直线电机进行牵引,适用于中等运量的城市轨道交通,具有列车轴重轻、转弯半径小、爬坡能力强及需要的隧道断面小等特点,能更好地适应线路的地形条件,方便线路选择,有效地降低工程造价。在国外已建成的直线电机运载系统中,大多采用预制混凝土道床板式轨道系统,如马来西亚吉隆坡的PUTRA线。

这种板式轨道道床结构由钢轨、扣件、预制混凝土道床板、基础底座和板下砂浆填充层等五部分构成,见图1。预制板与基础表面的缝隙,采用特制砂浆以自重状态灌浆方式进行封堵。调整因基础的施工误差或底面不平整等因素而造成的、与理论计算有所出入的偏差值,并使道床板与下部基础底形成刚性的连结体,共同承担列车荷载并传递给下部基础。由此可见,道床板与基础底座刚性连接的这种特制砂浆,是道床板式轨道的关键技术之一。其功能是调平标高使行车轨道平顺,是确保机车运行稳定所不可或缺的结构



图1 无碴板式轨道结构

组成。因此,对这种砂浆的性能要求很高,它必须能做到:

(1) 高强度且早强,在1~3天之内达到设计所需强度,与基层粘接性好。

(2) 流动性要非常好,边灌注边流淌,能在自重作用下自流平、自密实,以确保道床板与基础底面间的缝隙被完全填满。

(3) 必须能保证可工作时间在30分钟以上。

(4) 体积变化率要很小,泌水率、分离度都应为零。

(5) 要具有必要的抗拉、抗折强度和抗冲击韧性。

(6) 要严格限制碱含量和氯离子含量以确保其耐久性。

(7) 具有优异的抗疲劳及抗冻性能。

(8) 施工方便,质量易于控制。

只有具备以上性能条件的砂浆填充材料才能很好地完成施工作业,并且在形成结构后一劳永逸。显然,完成这种高性能的板下砂浆填充料的研制,并形成大批量生产能力,是无碴板式轨道道床结构能够大规模的付之工程实用的技术关键。

我们在相关科研院校的配合、指导下,率先成功研究出适合城市轨道交通(轻轨、地铁等)无碴轨道板充填层材料—ZH砂浆。ZH砂浆由ZH干粉砂浆料在施工现场按比例加水搅拌而成。其中,ZH砂浆料是由低碱硅酸盐水泥、石英砂、

高效减水剂、膨胀剂等十多种原材料按一定比例,通过计算机控制的生产线充分混合均匀而成的干粉砂浆料。

2. 浆体配合比设计

2.1 设计原则

鉴于我国目前尚无出台此类材料的相关技术标准,根据设计要求,在参考有关国家技术规范和国外同类产品的基础上,制订了企业标准,《Q/OVM026-2006 高强度无收缩自流平ZH砂浆料》以指导ZH型砂浆料的生产、检验和验收。具体性能指标如表1所示。

ZH砂浆性能指标 表1

项次	技术性能	单位	指标要求
1	抗压强度(1d)	MPa	25~40
	抗压强度(3d)	MPa	45~65
	抗压强度(7d)	MPa	50~65
	抗压强度(28d)	MPa	≥60
2	劈裂抗拉强度(28d)	MPa	≥5
3	抗折强度(28d)	MPa	≥8
4	弹性模量	GPa	30~33
5	流动度	s	20~40
6	可工作时间	min	≥30
7	泌水率	%	0
8	分离度	%	0
9	竖向膨胀率	%	0.0~0.3
10	与圆钢粘结强度	MPa	≥6
11	长期耐久性	MPa	300次冻融循环试验后,相对动弹模量不得小于试验前的60%。
12	构件疲劳试验	200万次	表观无裂纹及错动现象

2.2 方案设计

设计关键点就是选择合适的材料,从中寻找一组或几组符合上述性能要求的砂浆配合比。寻找这种配合比有相当的难度,因为上述性能要求是相互矛盾、相互制约的,如高强度与流动性的矛盾、高强度与冲击韧性的矛盾、高流动度与要求体积变化率小的矛盾等等,还有诸如抗疲劳性、耐候性、抗冻性、耐久性等都不是很容易做到的。这首先要对准备使用的各种材料组分的作用及机理有深入的认识,并对其质量和掺量进行严格控制然后反复的试配,从无数次的失败中寻找结果。

(1) 水泥的选择

采用普通硅酸盐水泥,强度等级不低于425级,要求其:

a. 流动性好,需水量低。

b. 碱含量要尽可能低,以防止引起碱-集料反应。

c. 具有良好的熟料成分的匹配,以避免流动度损失严重和假凝现象的产生。

d. 适当的颗粒级配组成。颗粒太大影响强度,颗粒太细需水量增加,水化放热集中,影响流动性。

e. 与外加剂的相容性要好。

(2) 石英砂

选用坚硬不含杂质的硅质砂粒,最大粒径不超过2毫米,而且粒度的范围和分布有一定的要求,且由于其要求抗渗、抗冻性好,则含泥量必须极少,砂粒经过水洗、整圆、烘干、颗粒圆润、粒度分布均匀。由砂制备的试件无裂纹、酥裂、胶体外溢等现象。

(3) 膨胀剂

用以补偿砂浆的收缩,防止开裂。

(4) 掺合料

选用需水量低的符合标准的粉煤灰。通过粉煤灰调整材料的微级配,改善流动性和提高稳定性,还可以调节材料的表观密度,降低碱-集料反应,增加后期抗拉强度、弹性模量及耐久性(抗渗能力提高)。

(5) 高效减水剂(超塑化剂)

高效减水剂是一种表面活性剂,它对新拌砂浆和易性有很大的影响。在实际使用中,必须对水泥、减水剂做出合理的选择,使其相互适合、匹配。原因在于水泥品种、矿物组成、掺合料、水泥细度、碱含量的不同,都会导致减水剂最佳掺量,掺加效果的显著区别,严重甚至导致减水剂完全失去作用。掺加量过大不能增加减水率,反而造成离析、泌水和损失流动度,过小不能很好的发挥作用,因此要进行试验选择,其掺量为胶凝材料的1%~2%。

(6) 其它

适当添加消泡剂、聚丙烯纤维、促进剂、增稠剂等等，目的是提高材料混合物的稳定性、密实度，并有效地提高材料的抗渗性、抗裂性、抗冲击韧性，增加延性。

通过对以上组分的合理选择，我们从2001年底开始工作，先后反复试配了无数次，历时3年，至2004年8月才找到各项性能指标均达到要求的ZH砂浆配合比，取得了满意的结果。只需将ZH砂浆料与17%~22%（根据环境温度、湿度进行调节）的水充分混合，就可配成满足流动度等性能要求的ZH砂浆。

3. 性能试验

在砂浆配合比确定后，对批量生产的砂浆料进行了大量的性能试验。

3.1 流动度和可工作时间

采用特制的漏斗（容积为640ml，上口径为 $\phi 70\text{mm}$ ，下口径为 $\phi 10\text{mm}$ ，高度为420+30mm）进行量测。流动度一般为22~28S，半小时内流动度增加不到10S。ZH砂浆搅拌之后，流动度随时间的变化曲线见图2。从图中可看出，ZH砂浆在搅拌10分钟后流动度最优，流动度随着时间的延长而增大，但能保持可工作时间不小于30分钟，满足施工技术要求。

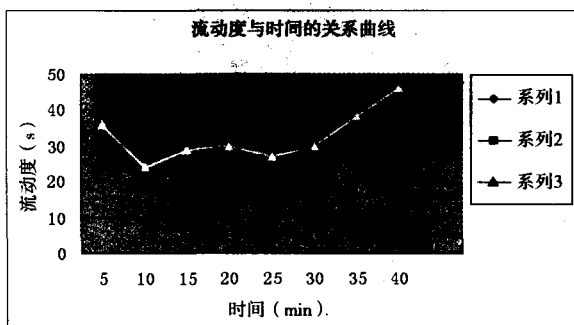


图2 流动度随时间变化关系图

3.2 竖向膨胀率

ZH砂浆的竖向膨胀率，经过一天之后基本上保持平稳，每天随时间的变化在 $\pm 0.1\%$ ，满足变化范围在0~0.3%的技术要求，见图3曲线。

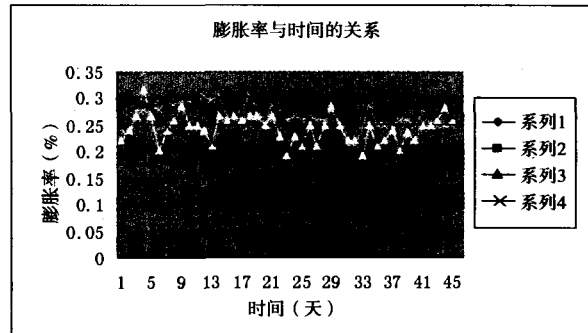


图3 膨胀率变化关系图

3.3 抗压强度

实际轨道板充填层对砂浆的抗压强度要求并不高，比较容易得到满足。主要是针对南方夏天过高的气温，试验在不同的高温环境下，温度对ZH砂浆的抗压强度影响有多大。在高温下，1d抗压强度与常温下相差5MPa左右，而28d之后的抗压强度与常温温度下差别并不十分明显，最终并未因为温度过高而导致抗压强度特高。将新拌ZH砂浆制模后放入60℃的环境下进行养护，3天之后试块表面没有裂纹，没有破坏，抗压强度满足技术要求。

3.4 长期耐久性

ZH砂浆的长期耐久性技术指标通过冻融试验的快冻法来实现，300次冻融循环试验后，要求相对动弹模量不得小于试验前的60%，质量损失率小于5%。ZH砂浆经过抗冻试验的快冻法，经过300次冻融循环试验后，相对动弹模量不小于试验前的99%，质量损失率小于1%，大大优于技术要求，抗冻性能优异。试验后的试件图片见图4。



图4 经过300次冻融试验后的ZH砂浆试件

3.5 疲劳性能

ZH砂浆的构件疲劳性能试验是指模拟道床板结构受力方式,在20Hz频率,0~155kN的应力幅下,进行200万次的冲击试验,试验完成后砂浆填充层必须无裂纹及错动现象。这是一项重要的指标,直接关系到能否保证道床结构的耐久性、可靠性。试验件及加载装置见图5、图6。图7为试验后的试件,由图可见,试验后的砂浆填充层无裂纹及错动现象。

其他各项性能指标比较容易满足,本文不再介绍。

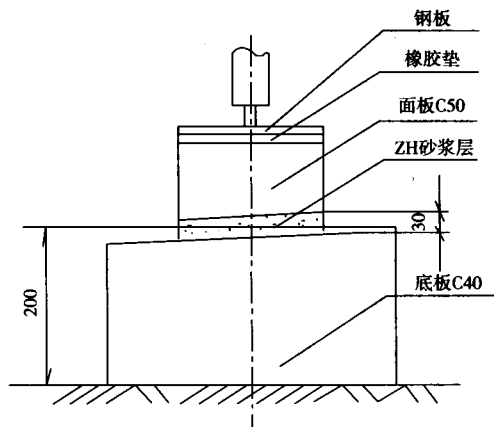


图5 疲劳试验加载示意图

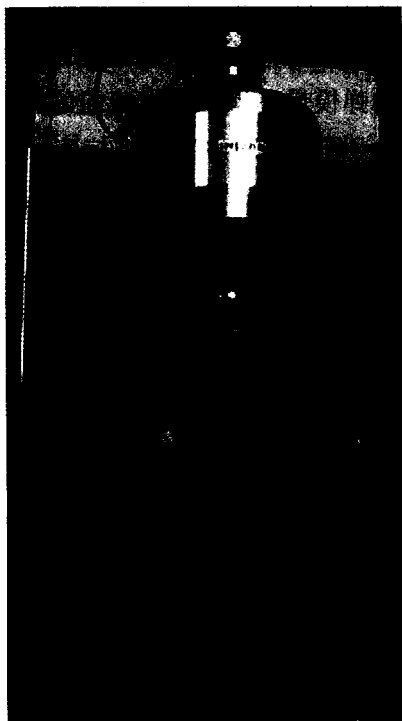


图6 试验件及加载装置



图7 疲劳试验后的试件

4. 生产组织

4.1 生产设备

在确定试验室配方并进行小批量生产试制完成之后,产品经过第三方检验,各项技术指标均达到ZH砂浆的技术要求。2005年,投资一条由电脑自动化控制的生产线,现已投产使用,生产能力达50000吨/年。生产设备外观见图8。



图8 自动生产线外观

4.2 生产工艺流程

生产工艺流程图见图9。整个生产过程简述如下:(1)准备材料;(2)称量材料;(3)混合搅拌;(4)包装成品;(5)贮存运输。以上每道工序都包括了检验步骤,检验合格之后才能继续下一步的生产。

4.3 产品检验流程

为了保证出厂的都是优质产品,生产过程的每道工序,必须严格按技术要求进行检验工作,

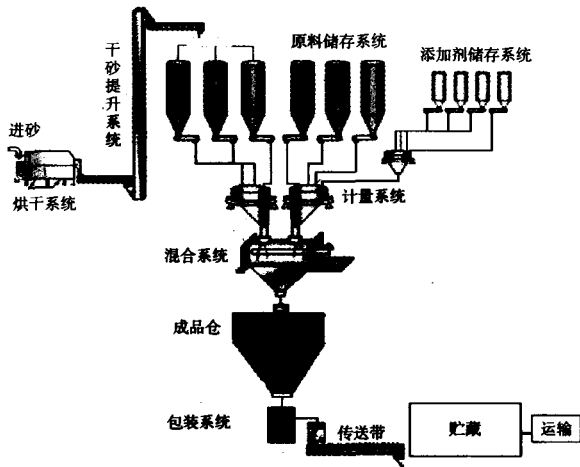


图9 生产工艺流程图

生产检验流程见图10。检验生产简述如下：

- (1) 原材料进场检验；
- (2) 试验室配合比检验；
- (3) 搅拌机混合产品检验；
- (4) 成品包装检验；
- (5) 产品出厂检验。

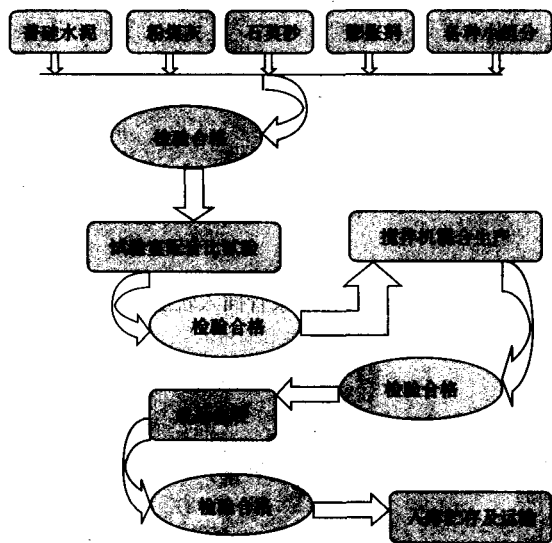


图10 产品检验流程图

5. 施工工艺

5.1 基础处理

(1) 构件就位调整完后，用压缩空气（或吸尘器）将已处理的混凝土表面上的粉尘、杂物等再清扫一遍。浮锈和油污要擦掉。

(2) 灌浆前24小时，基底表面应充分湿润，灌浆前1小时，不得有积水。

5.2 支模方法

构件就位调整、基础处理完成之后，在构件

底板周围支上模板或用水硬砂浆封堵。模板装配应牢固，底部所有的缝隙要进行密封以避免砂浆料漏出。

5.3 灌注前准备

- a. 材料的准备：ZH砂浆材料
- b. 设备的准备：BJ500搅拌机
- c. 模板及排气孔的检查：模板是否牢靠，排气孔是否畅通。

5.4 灌注过程

(1) ZH砂浆的搅拌：

ZH砂浆的推荐配合比为ZH砂浆料：水=100：19，根据设计所需的流动度可适当调节用水量，配合比范围为ZH砂浆料：水=100：17~23。搅拌时间为5~10分钟。

(2) ZH型砂浆料的灌注

将输浆管接到道床板的灌浆孔上，直接进行灌注。并观察模板上的排气孔，当有浆体稠度与注入的稠度相同时，即可将排气孔堵住，完成灌注。

(3) 清洗

清洗：每班浇注完毕后，清洗搅拌机、输浆管以及粘附有砂浆的工具。

5.5 拆模和养护

按一般的方法即可。

6. 施工质量控制要点及注意事项

6.1 质量控制要点

- (1) 模板要牢固，防止漏浆。
- (2) 新拌的ZH型砂浆料必须做流动度试验，控制浆体的流动度在技术性能要求范围之内，同时浇注制作抗压强度试块，每班抽测3组试验试块。

(3) ZH砂浆料施工工作宜在流动度下降前进行灌注完毕（约30~45分钟时间内）。

(4) 现场施工质量管理控制：施工操作人员必须培训，技术管理人员监测。

6.2 注意事项

(1) ZH型砂浆料施工浇注的适宜环境温度为5~35℃左右，最高温度不能超过45℃，否则将容易造成砂浆的可工作时间大幅缩短，并导致固

化后的浆体极易产生裂纹。

(2) 如在施工过程中浆体温度超过45℃, 建议暂停施工, 改为晚上施工。或者将水的温度适当调低, 以确保施工质量。

(3) 如果施工中环境湿度过低, 一定要保证基底的湿润状态, 但不得有积水, 否则将极易缩短砂浆的可工作时间。

(4) 必须保证灌注后24小时内灌浆层不受振动、碰撞。

(5) 搅拌时, 必须确保投料均匀连续, 并控制在规定的时间内。

(6) 加料过程中, 应防止浆料受潮结块和包装编织袋落入搅拌机中。

7. 工程应用情况

ZH砂浆于2005年6月在广州地铁四号线通过施工试验评审鉴定会, 获准在广州地铁四号线使用, 鉴定现场见图11。于2005年底在广州地铁四号线大学城段高架进行2公里的施工应用, 该路段已于2006年元旦开始通车。2006年底四号线施工完毕, 整条线大约使用了近1万吨ZH砂浆。施工单位为中铁二局, 经过一年来的施工应用, 证明ZH砂浆产品性能可以很好地满足要求。现场施工的情况见图12~图14。

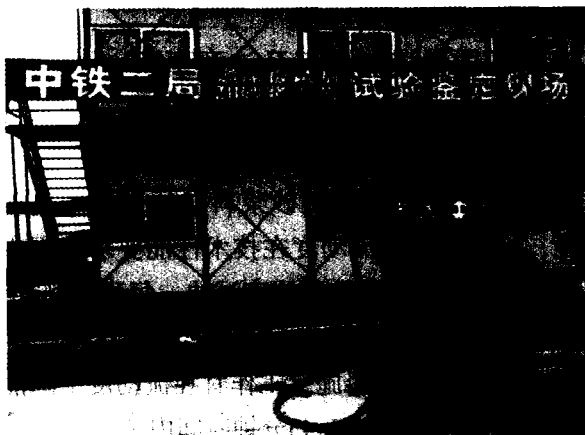


图11 ZH砂浆工艺试验鉴定现场

此外, ZH砂浆在桥梁体外索转向器中得到应用。转向器内部通常有12或19根(根数由锚具孔数大小来决定, 从2~55孔)钢管, 钢管之间的缝隙(最小间距处不到5mm)均采用ZH砂浆进行填充。经过ZH砂浆灌注的转向器, 在第三方进行



图12 施工人员正在往搅拌机中倒入干粉料

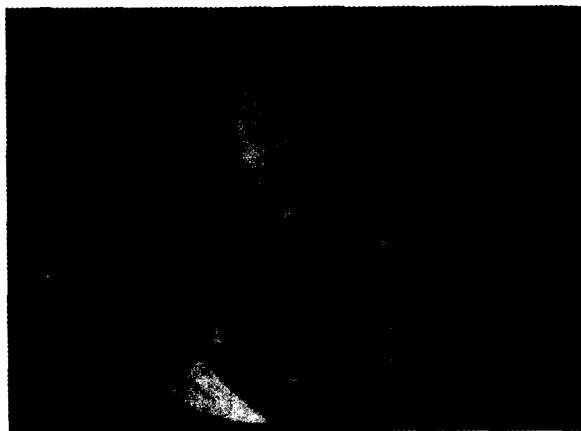


图13 直接将灌浆管插入轨道板中



图14 灌浆车在轨道上连续灌浆

受力状态下的疲劳试验, 试验结果证明该砂浆的填充效果十分理想, 可应用在体外索中。至今已

(下转第30页)

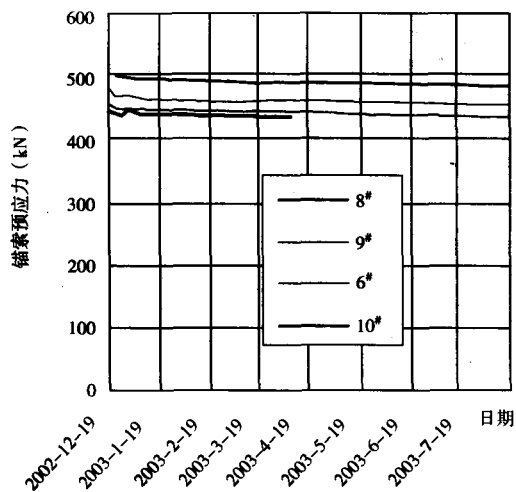


图6 一号路边坡锚索预应力-时间曲线

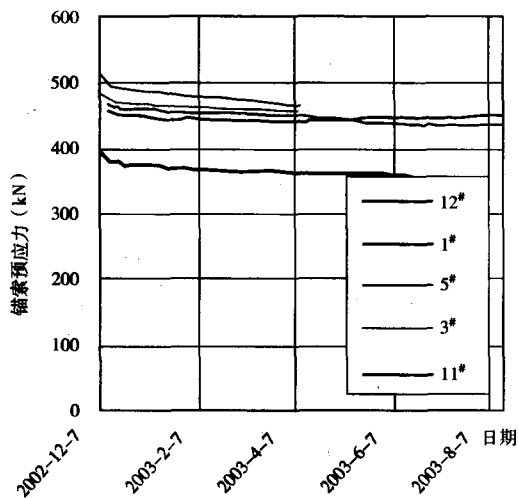


图7 吴家湾高边坡锚索预应力-时间曲线

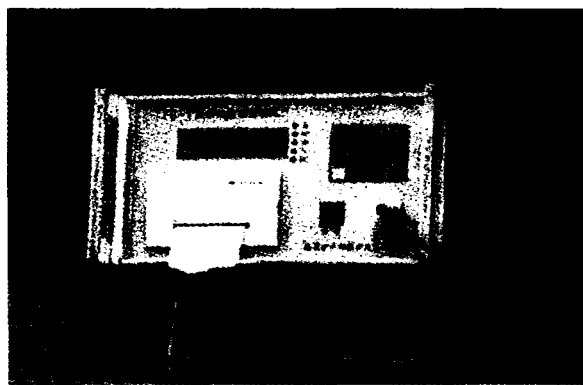


图8 FS-1型锚索腐蚀检测仪

利用单片机和高精度恒流源技术,研制成功了FS-1型锚索腐蚀检测仪(图8)。该仪器在测量出锚索电阻后,根据输入的锚索参数就可以计算出被测锚索段的腐蚀量和残余承载能力。测量结果由八位液晶显示器显示,同时可以存储和打印测量结果。

参考文献

- [1] CECS22:90, 土层锚杆设计与施工规范[S]. 北京:中国计划出版社, 1990.
- [2] GB50086-2001, 锚杆喷射混凝土支护技术规范[S]. 北京:中国计划出版社, 2001.

(上接第8页)

使用经ZH砂浆灌注的转向器的桥梁有: 苏通长江大桥转向器(1440套)、北京四丰立交桥(730套)、天津大沽桥(16套)、辽宁大石桥市南轩桥(168套), 等等, 见图15。



图15 转向器灌注ZH砂浆

8. 小结

经过长期的研究与实践应用, ZH砂浆解决了水泥砂浆大流动度与体积变化率小的矛盾、大

流动度与早强的矛盾、高强度与抗冲击韧性的矛盾, 使诸多相互制约的矛盾因素达到了较为理想的平衡, 抗疲劳性、耐候性、抗冻性、耐久性等性能均满足使用要求。实践证明, ZH砂浆及其施工工法能完全满足具体工程的要求, 并且操作简便, 有利于环保。

2006年7月27日, 由广西壮族自治区科技厅在柳州主持召开了“ZH型砂浆料”专家鉴定会, 顺利通过了专家鉴定, 认定该产品在城市轨道交通工程中应用填补了国内空白。

参考文献

- [1] 《板式轨道设计与施工》王其昌, 韩启孟编译
- [2] 《实用混凝土大全》冯乃谦主编
- [3] 《混凝土外加剂》熊大玉, 王小虹编著