

重防腐混凝土涂料的发展特点

李敏风

(中国涂料工业协会专家委员会,北京 100079)

摘要:介绍了重防腐混凝土涂料发展特点、配套类型、环保发展方向、涂装设备、涂装工艺流程和相应关键技术以及其五大应用领域的未来发展趋势。

关键词:重防腐 混凝土涂料 环保 节能

中图分类号:TQ637

文献标识码:C

文章编号:1006-2556(2013)10-0012-07

Development Analysis of Heavy-duty Anti-corrosion Concrete Coatings

LI Min-feng

(Expert Committee of China National Coatings Industry Association, Beijing 100079, China)

Abstract: In this article, the technology development of heavy-duty anti-corrosion concrete coatings is introduced. The major types of heavy-duty anti-corrosion concrete coatings and environmentally friendly direction are stated. Coating equipment and process are discussed as well. The development trend is estimated.

Key words: heavy-duty anti-corrosion, concrete coatings, environmentally friendly, energy saving

1 重防腐混凝土涂料发展特点

近年来,在国家政策的正确引导下,我国的重防腐涂料每年以大于8%的增速向前发展。至2012年底我国重防腐涂料产量达到163万t,数量上虽落后建筑涂料位于第2,但由于附加值高,产值位居第1。

混凝土涂料归属于重防腐涂料,广泛应用于桥梁、码头、铁道、石化、电力等行业。我国混凝土涂料

的发展具有以下特点:

1.1 产量呈现平稳递升的势态

同其他重防腐涂料一样,混凝土涂料产量亦以大于8%的增速发展。根据不完整统计,2012年全国共使用混凝土涂料27.3万t,占重防腐涂料总量的17%。其中桥梁混凝土涂料数量增加最快,份额最高,约占混凝土总量的28%。各行业使用混凝土涂料情况见表1。

表1 2012年各行业使用混凝土涂料情况
Table 1 Concrete Coatings Consumption in 2012 in Different Industries in China

序号	行业	重防腐涂料/万t	其中混凝土涂料/万t	比2011年增幅/%
1	船舶	34	-	-
2	集装箱	30	-	-
3	石化	28	7.1	12
4	桥梁码头	24	8.0	9
5	电力	19	4.7	5
6	铁道设施	15	4.9	-6
7	建筑钢构	13	2.6	0

其中石化行业和桥梁码头行业混凝土涂料的增幅最高,而铁道行业因经济体制的改变等原因,混凝土

涂料出现了减产。

1.2 防腐技术的先进性日益提高

2000年前,我国不重视混凝土涂料的使用和发展,大多使用环氧沥青涂料和耐碱性较好的氯化橡胶涂料。近年来,随着国家基本建设的蓬勃开展,杭州湾大桥、青岛海湾大桥、芦潮港码头等大型混凝土工程开工建设,它们的设计寿命都要求达到100 a,因此对钢筋混凝土的耐久性以及防腐防护技术提出了更高的要求。具体体现在以下方面:

1.2.1 采用混合型的措施,加强耐久性设计

近几年来,国内各研究院(所)、高等院校加强了对混凝土防腐蚀技术的基础研究,各涂料厂研究开发了高性能的防腐蚀涂料,使混凝土结构耐久性设计形成了系列的技术线路(见图1)。

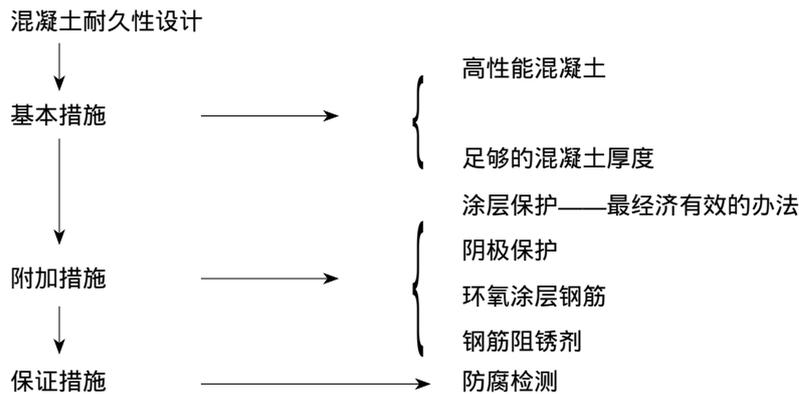


图1 混凝土结构耐久性设计技术线路
Fig.1 Concrete Structure Durability Design

特别是近年来在海洋混凝土系列防腐蚀措施上,经过试验的验证和实践的考验,海洋混凝土结构中不同部位应采用不同防腐措施,见表2。

表2 海洋混凝土系列防腐蚀措施

Table 2 Marine Concrete Anti-corrosion Measures

序号	部位	防腐措施			
1	大气混凝土	涂层保护措施			
2	浪溅区和部分潮差区	<table border="0"> <tr> <td>涂层保护</td> <td rowspan="2">} 联合</td> </tr> <tr> <td>阴极保护</td> </tr> </table>	涂层保护	} 联合	阴极保护
涂层保护	} 联合				
阴极保护					
3	部分潮差区和水下区域	阴极保护			

这些措施使混凝土防腐技术真正做到了原材料的可及性,施工工艺的可行性,经济上的合理性。

1.2.2 混凝土配套涂料的先进性提高

根据我国混凝土结构工程的特点,混凝土涂料

必须具备下列技术特性:耐碱性强,pH值范围为8~13;具有一定渗透性;为适应混凝土热胀冷缩特性,涂层柔韧性和延展性良好;涂层与混凝土的附着力能达到规定的要求;涂料的施工性能良好,一次无气喷涂可获得较高的膜厚;对涂层具有装饰性能。

2 混凝土防腐涂料配套类型

目前我国混凝土防腐涂料大致可分为3种类型:

2.1 硅烷渗透剂

它是一种无机类的渗透剂,渗透深度可达2~4 mm,具有与重防腐涂料不同的防腐机理。20世纪90年代,国外德固赛(现为赢创)、瓦克等硅烷渗透剂在香港南丫岛码头、黄河大桥混凝土工程上应用,2000年后,国内三航科研所、四航科研所均成功研发了硅烷渗透剂,在上海东海大桥的30万m²混凝土和深圳

大铲湾集装箱码头表面成功应用。它们均是单独作为混凝土的防腐涂层,施工方便,但耐久性不足,造价也偏高。

近几年来,在许多工程上将硅烷渗透剂替代混凝土环氧封闭涂料,配套以环氧中层漆、高性能面漆。重点工程有两个:一是三峡混凝土大坝的涂装,设计单位确定的配套为:硅烷渗透剂+透明水性氟碳面漆,共涂装施工了10万 m^2 ;另一个目前正在涂装施工的工程是嘉绍杭州湾大桥的索塔下部区,主航道桥索塔下塔柱及塔座(X型托架顶面以下部分)约10万 m^2 ,具体配套见表3。

嘉绍杭州湾大桥设计人员推荐的硅烷渗透剂材料供应商有:道康宁(中国)投资有限公司(单组分)、宁波盛宏交通工程技术有限公司(双组分)、泉州市思康新材料发展有限公司(单组分)。

对类似防腐体系,学术上颇有争议,主要是怀疑涂层的配套性能受到影响,附着力不好。目前,青岛

表3 表湿区硅烷渗透+湿固化涂料防腐配套体系
Table 3 Anti-corrosion System: Wet Surface Silane + Wet Curing Coatings

涂层	配套涂料名称	涂层干膜平均厚度/ μm
底漆	硅烷渗透剂 (用量600 mL/ m^2)	渗透性,浸渍深度 达到2 mm
底漆	湿固化环氧树脂封闭漆	50
中层漆	湿固化环氧树脂漆	310
面漆	聚氨酯面漆	90

海洋研究所正在研究硅烷渗透剂的专用配套涂料,以增加涂层的附着力。

2.2 钢筋混凝土的防腐涂料配套

随着涂料技术的发展和重点工程的实践,我国已形成了以环氧封闭漆、环氧中层漆、氟碳、聚氨酯、聚硅氧烷高性能面漆组成的复合涂层,显示了强大的生命力,经济、方便、有效,性能价格比较高,见表4。

表4 大桥混凝土结构表干区配套及举例

Table 4 Coating System on Bridge Concrete Surface Structure Surface-dry Area and Some Examples

序号	大桥名	混凝土涂装面积/ $10^4 m^2$	环氧涂层配套封闭漆/ μm	环氧中层漆/ μm	高性能面漆/ μm
1	西堠门大桥	10.4	15	80	70 ~ 100
2	杭州湾大桥	60.0	< 50	< 260	70
3	嘉绍杭州湾大桥	20.0	< 50	< 260	70 ~ 90
4	曹妃甸一号桥	10.0	40 ~ 50	200	70 ~ 100

根据不完全统计,上述配套应用在全国60%以上的桥梁混凝土结构上。

近年来我国海港、桥梁行业等均制订各项标准(见表5),规范混凝土涂料、涂装市场,使混凝土涂料的发展纳入正规的轨道。

表5 桥梁混凝土涂料等技术规范表

Table 5 Bridge Concrete Coatings Technical Requirements

序号	标准号	名称
1	JTG/T B07-01—2006	公路工程混凝土结构防腐技术规范
2	JT/T 695—2007	混凝土桥梁结构表面用防腐涂料
3	JT/J 275—2008	海港工程混凝土结构防腐技术规范
4	JT/T 821—2011	混凝土桥梁结构表面用防腐涂料

对列入规范的混凝土防腐涂料,我国绝大部分重防腐涂料生产厂家均能生产。除国外AKZONOBEL、JOTUN、PPG、SW等公司有此类产品外,北京百慕航材、南京长江、浙江飞鲸、上海大通、

宁波大达、厦门双瑞等均开发了湿固化的环氧封闭、环氧中层漆,率先应用在青岛海湾大桥、杭州湾大桥,还可配套高性能的聚氨酯、氟碳、聚硅氧烷面漆(见表6),效果十分理想,提高了混凝土涂料的先进性。

2.3 聚脲弹性体涂料

聚脲弹性体涂料是为适应环境保护而研发的一种无溶剂、无污染的新型涂料。这种高厚膜弹性涂料一次喷涂可达2 mm以上的涂层,且能在5 ~ 20 s固化,物理力学性能及耐化学性能优异。

我国从1995年后发展聚脲,2006年批量生产,涌现了大量的工程业绩(见表7)。特别在京津、京沪高速铁路上,全部使用聚脲作为混凝土桥梁防水层,而且在路基、隧道结构要害部位作增强材料。

近两年来,美国SWD公司研发了单组分手涂厚膜型聚脲,它可以刷涂、滚涂,广泛用于混凝土池,特别是京沪高速铁路聚脲工程中的修补。该公司专业生产单组分潮气固化聚氨酯底面漆也是混凝土涂料的优秀品种。

从表7可见,京沪高铁聚脲的用量为21 000 t。是

表6 杭州湾大桥混凝土表面涂层配套方案
Table 6 Hangzhou Bay Bridge Concrete Surface Coating System

涂料名称	涂层厚度/ μm									
	表湿区涂层(17万 m^2)			表干区涂层(60万 m^2)			索塔区涂层(3万 m^2)			
	底	中	面	底	中	面	底	中	面	
湿固化环氧树脂封闭漆	50									
湿固化环氧树脂涂料		< 310								
聚氨酯面漆	90					90				
环氧树脂封闭漆				50			50			
环氧树脂涂料				< 260				280		
氟碳面漆							70			
涂层总干膜平均厚度		400			350			350		

表7 我国聚脲技术的主要工程
Table 7 Projects Using Polyurea Technology

时间	聚脲工程名称	面积/万 m^2
2006-09-10	北京丰台体育中心灰色看台	1.2
2007-01-15	北京国家大剧院景观水池	6
2007-11-20	京津城际铁路灰色路基	100
2008-01-22	上海洋山深水港灰色钢柱	100
2004-04-24	2008年北京奥运会主体育馆灰色看台	30
2009-05-04	2009年济南城运会主体育馆灰色看台	15
2009-11-18	全国各大电厂循环水池、除盐水箱	35
2010-11-28	京沪高速铁路灰色路基	1 200

自聚脲技术诞生以来,世界上最大的混凝土防护工程,引起国际学术界和工程界的高度注意。

3 混凝土涂料的环保发展方向

3.1 环保型涂料的推广

20世纪我国对混凝土涂料不很重视,大部分混凝土不涂装涂料。环氧沥青和氯化橡胶是混凝土的主要涂料。随着国内外环保法规的进一步落实,出于环保和影响人体健康等原因,环氧沥青涂料将退出历史舞台,取而代之的是高性能的环氧底漆和高耐候性的氟碳、聚氨酯面漆等。

为指导混凝土重防腐涂料的发展,由中冶建筑研究总院、国家工业建筑诊断与改造工程技术研究中心负责起草,青岛理工大学、中科院海洋所、巴斯夫、宁波大达等企业参与起草的JG/T 335—2011《混凝土结构防护用成膜型涂料》新标准于2011年11月25日颁布,2012年5月1日起正式实施。混凝土涂料主要由环氧类、丙烯酸类、聚氨酯类、氯化橡胶等组成,较为符合我国的实际状况。

3.2 提高固体分含量,推广无溶剂涂料

为适应日益严格的环境保护要求,在溶剂型混凝土涂料配套中提高固体分含量,降低VOC值是混

凝土涂料环保工作的主攻方向。以环氧云铁中层漆为例说明(见表8),固体分含量高,VOC值则低。

表8 各种环氧云铁中间漆固含量及VOC值
Table 8 Solid Content and VOC of Various Epoxy Micaceous Iron Dioxide Surfacer

种类	固含量/%	VOC/($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)
M101	54	420
M102	65	380
M103	80	175

在混凝土配套涂料中广泛推广的无溶剂涂料综合性能更为优异:一次成膜厚度可达450 μm 以上,减少了施工道数,缩短工期,提高了工效;适用于无气喷涂;常温固化,边缘覆盖性好;无溶剂涂料在施工中无溶剂挥发,改善了施工条件,提高了安全性和施工效率。

3.3 水性涂料在混凝土结构上的应用

近年我国不少重防腐涂料厂开发了水性混凝土涂料。前几年,国家建立重点工程项目,三峡混凝土大坝重新涂装涂料,就采用水性氟碳涂料作为高性能面漆,共计10万 m^2 ,开创了水性混凝土涂料应用先例。

最近在香港青马大桥混凝土结构维修上全部采

用了水性丙烯酸弹性涂料RUS-TOLEUN NOXED, 它的VOC为 $5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, 防水防腐性能优异。在膜厚1 mm时, 其延展性为200%, 可填补水泥上裂纹, 底面两用, 可直接涂覆在旧涂层的表面。单组分的水性丙烯酸涂料涂层在弯曲处的覆盖率可达到95%~100%。它还可用于钢结构桥梁的维修, 带锈、带潮湿效果十分理想。

另外, 大连振邦涂料公司在哈尔滨松浦大桥和文昌高架桥的水泥柱梁及钢质扶栏上用上了水性氟碳面漆, 不仅增强了涂层防腐性能, 美观装饰效果突出, 更主要的是起到了环保的示范作用。

在JT/T 821.4—2011文件中, 还规定了混凝土结构表面水性氟碳配套涂层体系, 见表9。

表9 JT/T 821.4—2011规定的水性氟碳配套涂层体系
Table 9 Waterborne Fluorocarbon Coating System in JT/T 821.4—2011

涂层	涂料品种	施工道数	最小干膜厚度/ μm
底涂层	水性丙烯酸封闭底漆或水性环氧封闭底漆	1	-
中间涂层	水性丙烯酸中间漆	2	80
面涂层	水性氟碳面漆	2	60

3.4 湿固化配套涂料的应用

常规条件下在钢筋混凝土表面进行涂装施工时, 要求其表面含水率不得大于6%。而对于潮差区混凝土结构, 受周期性的潮水浸泡, 同时潮涨潮落的时间间隔较短, 很难有足够的时间使得混凝土表面含水率小于6%。研发的湿固化封闭底漆, 解决了混凝土表面的涂装问题, 涂层浸水后可继续在水下固化, 固化后涂层性能基本不受影响, 具有优异的附着力, 为上层涂膜提供良好的基础。

最近中涂化工(上海)有限公司开发了水中固化涂料PERMASTARWE和CONTECT WE系列产品, 不仅具有优异长效防腐性, 而且施工效率高, 膜厚仅为1 mm左右, 附着力高, 不溶于水, 施工损耗少, 且重涂性好, 易维护。湿固化和水中固化涂料的开发与应用是混凝土涂料先进性的表现, 是符合节能、环保原则的。除了AKZONOBEL、JOTUN、KANSAI等国际大公司湿固化环氧涂料外, 北京百慕航材、宁波大

达、南通欧姆龙、浙江鱼童、上海大通、青岛海建、厦门双瑞的湿面环氧底漆等, 都已在青岛海湾大桥、杭州湾大桥、嘉绍杭州湾大桥上经受了考验。

4 涂装设备的开发

高性能涂装设备是高性能混凝土涂料施工的必备条件, 国内外涂装设备生产厂家开发研制了各种类型的先进设备, 对提高生产效率、提高涂层质量、减少涂装工艺对环境的污染起了积极的作用。

如在对混凝土表面处理上, 京沪高铁大桥工程上普遍采用了先进的平面抛丸机, 有国外进口的也有国内开发的, 效果十分理想。杜绝了打磨时粉尘飞扬现象, 为后续喷涂聚脲等提供了理想的基础表面状态, 增强涂层的附着力。

表10所示的各种类型的无气喷漆机已适应了各类的混凝土涂料。这对提高涂层质量和生产效率, 减少喷漆工艺对环境的污染起到了积极的作用。

表10 各种专用无气喷漆机一览表
Table 10 Airless Spraying Machines List

序号	重防腐涂料类型	专用无气喷涂机类型	生产厂家	规格型号
1	聚脲、无溶剂涂料等 (适用期 < 20 min)	双组分无气喷涂机 (有涂料加热装置)	Graco	Xtreme Mix系列产品
			WIWA	混双333等
			重庆长江	Szd2
				75 1 65 1 45 1
2	高固体分、厚膜型涂料	压缩比较高的无气喷涂机	Graco	Xtreme x70
			WIWA	24071
			重庆长江	GPT7037(带两把枪)
			重庆长平	GP 7321 TF

5 涂装工艺流程和相应的技术关键

正确的涂装工艺流程是混凝土涂层质量的关键。京沪高铁的混凝土表面基材抛丸处理后,混凝土表面呈现大量蜂窝针眼,确定工艺流程,在填满大的孔穴后,先涂底漆、后喷聚脲的处理方法,保证了工程的进度和质量。工艺流程见图2所示,这个工艺流程还推广到石武、杭甬等高铁线路上。

为保证聚脲的附着力,铁道部还规定天热用环氧闭底漆,天冷用聚氨酯封闭底漆,取得较好的效果。

对于大桥混凝土结构,JT/T 695—2007行业标准则规定了先用环氧封闭漆,再刮腻子等工艺流程,见表11。

6 混凝土涂料的发展趋势

在今后2~3年内混凝土涂料的发展速率会超过重防腐涂料的发展速率,可达到10%或者更多,可从其5个主要应用行业解析说明。

6.1 海洋工程

近年来,我国在近海与沿海钻井平台、采油平台领域进行了大量的建设投资,并形成巨大的维护保养市场。

目前,我国已建成年产5 000万t的海上采油能力,而“十二五”时期,我国计划将在近海大陆架和大陆坡上再建成年采油5 000万t的生产能力,总投资将达2 500亿~3 000亿元。随着混凝土等水中固化型海洋涂料技术的不断完善,其应用空间正在进一步发展,特别是在以上领域具有良好的市场发展潜力。

6.2 码头建设

截至2011年底,我国规模以上港口已有96个,拥有生产码头泊位32 148个,其中万吨级以上泊位1 659个,仅在2011年我国沿海港口建设投资就达到800亿元。根据交通运输部2011年底出台的《关于促

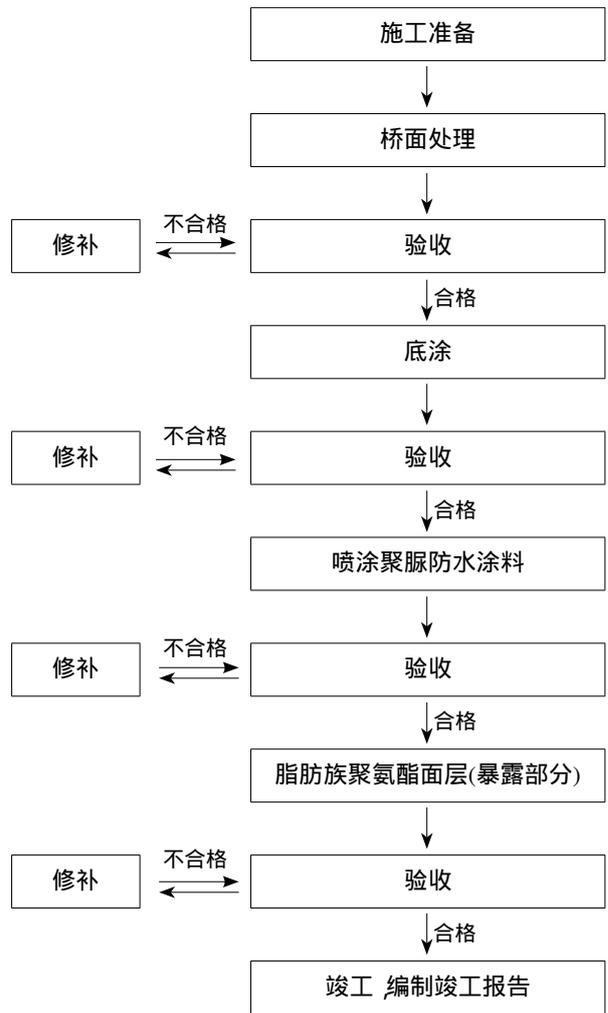


图2 京沪高铁聚脲防护涂层施工工艺流程
Fig.2 Coating Process of Polyurea Protective Coating for Beijing-Shanghai High-speed Railway

进沿海港口健康持续发展的意见》;“十二五”期间我国还将继续有序推进沿海港口基础设施建设,优化沿海港口结构与布局。

表11 桥梁混凝土涂层体系及参数
Table 11 Bridge Concrete Coating System and Its Parameters

区域	位置	涂层体系	干膜厚度/ μm	涂装道数/道
大气区	底层	环氧封闭漆	按混凝土表面灵活掌握	1
	中间层	刮涂型环氧腻子	修补蜂窝、麻面等缺陷	-
		环氧云铁厚浆涂料	200	1
	面层	氟碳面漆	100	2
水位变化段	底层	湿固化环氧封闭底漆	按混凝土表面灵活掌握	1
	中间层	刮涂型环氧腻子	修补蜂窝、麻面等缺陷	-
		湿固化环氧厚浆涂料	300	1
	面层	氟碳面漆	100	2

江苏省交通运输厅最近发出的《江苏省港口“十二五”发展规划》中提出江苏省港口综合能力将达到20亿t,形成连云港、苏州、南京、南通、镇江、江阴、泰州等10个亿吨大港。

又如青岛港董家口港区一期项目是我国第一个40万吨矿石码头。码头全长510 m,宽40 m,深24.5 m,总投资38亿元,设计能力2 500万t。混凝土配套涂料由常州振华油漆公司中标供应。这些范例均说明混凝土涂料的发展前景广阔。

6.3 电力行业

电力系统主要包括火电、水电、核电和风电4个方面混凝土工程,这在“十二五”规划里是重点发展的项目。如海上风电钢筋混凝土基础中,基础平台上平面、竖直表面与斜表面等规定的配套方案为:环氧封闭漆(50 μm)+环氧中层漆(450 μm)+聚氨酯面漆(80 μm),总膜厚高达530 μm以上;涂层的防护年限

可达30 a,海上风电工程上使用的混凝土涂料总量增加速率超过15%。

值得一提的是:国家在“十二五”规划内将投资25万亿元发展水力发电站。目前建设之中的有四川西路渡、向家坝水电站、西藏藏木50万kW水电站等,具有大量的混凝土结构。葛洲坝、新安江、曹娥江等水电站中包括混凝土在内的设施都进入了维修期,为混凝土涂料的发展带来商机。

6.4 桥梁行业

我国是世界第一桥梁大国,钢筋混凝土铁路桥梁在我国已有70年历史,预应力混凝土铁路桥梁在我国也有40年历史。根据不完整统计,我国铁路混凝土桥梁总数达110 000孔,占桥梁总数的90%。

此外,近几年来,新建的青岛跨海大桥、杭州湾大桥、舟山连岛跨海大桥、港珠澳大桥也有大量混凝土结构,每条桥都在几十万平方米以上,见表12。

表12 跨海大桥建设状况举例说明

Table 12 Some Cross-sea Bridge Constructions

序号	状况	桥名	长度/km
1	建成通车	杭州湾大桥	36.0
		青岛海湾大桥	35.4
2	在建	港珠澳大桥	50.0
		嘉绍杭州湾大桥	12.3
3	拟建26条	大连跨海大桥、长岛至蓬莱跨海大桥	-
		玉环至乐清大桥、福建石狮至惠安琼州海峡跨海大桥等	-

又如舟山要建跨海通道对接上海;从舟山本岛至岱山岛、岱山至大洋山要建2条跨海大桥;从大洋山要建公铁两用桥直至上海;包括所有混凝土桥梁的维修,今后几年,在桥梁上应用的混凝土涂料发展速率会超过10%。

6.5 聚脲在高铁上的应用

近年来,中国铁路加快了铁路网规划,在客运专线,继京津、郑西、武广、沪宁高铁逐步投入运行外,京沪、哈大、沪杭、京石、石武、津泰等19条客运专线在建,总里程达7 300 km,估计聚脲用量在110万t以上。根据国务院的《综合交通网中长期发展规划》,到2020年中国铁路网总里程将达到120 000 km。高铁建设为聚脲等混凝土涂料的应用和发展提供了平台,在吸取经验教训后,聚脲的应用领域会逐步扩大。

数字天下

118.51万t 814.85万t

据国家统计局最新统计数据显示,2013年8月全国涂料产量(按规模以上1 081家企业计)118.51万t,较上年同期的112.06万t同比增长了5.8%;1-8月累计产量814.85万t,较上年同期的783.84万t同比增长了4.0%。1-8月累计产量居前3位的省市是广东、上海和江苏,分别达175.71万t、96.20万t和82.87万t。

(以上由编辑部提供)

收稿日期 2013-07-08