

# 水工混凝土建筑物表面修护新型材料

吴燕华 李兴贵

( 河海大学材料科学与工程系, 江苏 南京 210098 )

**摘要** 针对混凝土结构因受到碳化、冻害、火灾、机械冲击、碱集料反应和钢筋锈蚀等引起的表面及断面损坏,介绍了目前用于水工混凝土结构表面修护新型材料的特点,并提出修护材料的选择应考虑环境条件、建筑物结构功能等,充分发挥材料的使用寿命,以取得优越的总体经济效果。

**关键词** 水工混凝土 表面修护 新型修护材料 混凝土结构

中图分类号 :TV49 文献标识码 :B 文章编号 :1006-7647(2005)S1-0095-03

混凝土结构施工几乎不可能在理想条件下进行,而且即使结构设计合理、施工质量较好,由于受到各种环境条件,如大气、水等物理或化学的侵蚀作用,混凝土结构往往发生不同程度的损伤,影响其使用寿命。此外,20世纪50年代建设的各种建筑物经过几十年的运行多数已不同程度地受损,需要进行维护和修补,近现代设计的钢筋混凝土结构也因老化、病害而进入维修改造期。因此,混凝土老化、病害的评估,混凝土病害的防护以及修补材料、修补技术的研究等已形成新的学科领域。

由于水工混凝土结构所占比例最大,而且水工混凝土结构所处的环境也最复杂,因此本文主要介绍用于水工混凝土结构表面修护的新型材料的特点及应用。

## 1 表面修护材料基本性能

钢筋混凝土因氯化物侵蚀和碳化引起钢筋锈蚀、冻融破坏、硫酸盐侵蚀、碱集料反应等而导致性能劣化。这些侵蚀破坏过程可归纳为两种形式:一是混凝土材料组分与侵蚀介质直接发生化学反应引起破坏;另一种是侵蚀介质或腐蚀产物渗透到材料内部,由于发生了物理或化学变化,从而引起材料体积变化使之破坏。这两种破坏形式往往同时存在,互相促进,形成恶性循环。因此,采用耐久性好的表面修护材料,提高混凝土结构的密实性,是保证并提高混凝土结构耐久性的重要措施。

从环境侵蚀机理与混凝土结构劣化原因来看,尽管不同的环境条件对表面修护材料的要求不同,

但一般来说,表面修护材料必须具有以下基本性能<sup>[2]</sup> ①高抗化学侵蚀性、高耐磨性、高耐久性,良好的黏结、变形适应性,且能改善混凝土的表面强度与微观结构;②高水密性、高抗渗防水性;③高抗钢筋锈蚀性,即高抗二氧化碳渗透性;④良好的水汽渗透性。

## 2 新型表面修护材料

目前国内外所采用的表面修护材料有:涂料类修护材料、树脂类修护材料、聚合物水泥砂浆修护材料、水玻璃类修护材料、高强度纤维/环氧树脂复合修护材料等。

### 2.1 涂料类修护材料

涂料与涂装过程本身已经成为门类繁多、品种齐全、装备复杂的专门技术,新产品、新技术、新工艺不断出现,同时一些陈旧的涂料产品因生产工艺、施工技术日渐落后而被淘汰。这里介绍几种较新产品的开发和特点。

聚合物乳液型防碳化涂料和 HS 型系列环氧厚浆涂料<sup>[3]</sup>是水工混凝土建筑物钢筋锈蚀修补中常用的防护涂层材料。聚合物乳液型防碳化涂料有 EVA 树脂乳液涂料、氯丁胶乳涂料、氯磺化聚乙烯涂料、丁苯胶乳涂料、共聚丙烯酸酯乳液涂料等。实践证明,这种防护涂层的封闭效果相当显著,效果良好。HS 系列涂料具有长期稳定性好、物理机械性能好、施工方便(刷涂和喷涂)、适用范围广、使用寿命长(10~20a)等优点。HS 系列涂料作为防腐、防氯离子渗透、防碳化涂料,已在我国许多省市的水工钢结构、水工钢筋混凝土结构上推广应用。

作者简介:吴燕华(1980—),女,福建龙岩人,硕士研究生,从事工程材料研究。

已经开发成功的水分散型自乳化环氧树脂体系,达到了美国壳牌公司同类产品的水平。用该体系环氧树脂生产的涂料产品,除具有硬度高、附着力好、耐水性佳、耐腐蚀性优良等特点外,其 VOC 含量小于 50 g/L,可达到溶剂型环氧涂料的水平,是一种真正的水性、环保型绿色高性能产品。

随着聚氨酯(PU)加工领域又一重要成型工艺——反应喷涂成型(RSM)技术的出现,PU 高速反应喷涂涂料得到了广泛开发应用<sup>[4,5]</sup>。此种涂料发展已进入喷涂聚脲弹性体阶段,聚脲涂料与 PU 所使用的多元醇不同,主要使用端氨基聚醚,反应极快,具有以下特点:快速而稳定的反应性,不受湿度和温度变化的影响;100% 固含量,无溶剂、安全、不污染环境;一次喷涂厚度大,经多次喷涂可得到几十毫米厚的涂层;对多种基材有良好的黏接性,涂膜有优良的机械性能和在恶劣环境下的耐久性。由于我国聚氨酯原料生产能力还有一定的局限性,而需求量又在逐年增长,且目前国内尚不能生产这种特殊的喷涂设备,因此该技术目前还存在材料成本较高,设备一次性投资较大等实际问题,在水利工程中的广泛应用受到了限制。

德国汉堡技术大学和位于奥斯纳布吕克的弹性有机硅材料公司合作,开发了新型防腐弹性保护涂料,可以有效地保护堤坝,延长使用寿命。这种弹性涂料的基本原料是聚氨酯,施工人员用高压水枪将涂料喷洒在堤坝上,固化后形成密不透风的保护层,不仅能对堤坝起到整体加固作用,缓解海浪的冲击,还能有效防止海水微生物腐蚀。这一方法也可用于保护铁路路基。

## 2.2 砂浆类修补材料

### 2.2.1 树脂砂浆

近年在工程应用中,可选的树脂品种主要有环氧树脂、乙烯基酯树脂、不饱和聚酯树脂、呋喃树脂和酚醛树脂。这里主要介绍环氧砂浆的性能特点及发展。

环氧砂浆具有强度高、弹模低、极限拉伸大等优良特性,但其热膨胀系数大( $25 \times 10^{-6} \sim 30 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )。温度剧烈变化时环氧砂浆与老混凝土会脱开,另一缺点是材料易老化,适用于温度变化小、日光不易照到部位的修补。

采用柔性固化剂(室温下固化),或以聚硫橡胶为改性剂,可得弹性环氧砂浆<sup>[3]</sup>。若采用柔性固化剂,既能保持环氧树脂的优良黏结力,又表现出类似橡胶的弹性行为,固化过程中放热量低而平缓,固化后产物弹性模量低、伸长率大。若以聚硫橡胶为改性剂,弹性环氧砂浆的延伸率增大 25%~40%,但抗压强度大幅度降低,28 d 抗压强度仅为 17~19 MPa。

使用潮湿水下环氧固化剂就能将环氧树脂材料用于潮湿黏结或水下修补<sup>[3]</sup>。水下修补还碰到了低温条件,因此又研制了低温水下环氧固化剂、低温水下环氧砂浆。在低温水下条件时,低温水下环氧砂浆与混凝土的黏结强度可达 2 MPa 以上,本身抗拉强度为 16 MPa 左右,常温水下黏结强度为 3 MPa 左右,干燥条件下黏结强度为 4~4.5 MPa。

### 2.2.2 聚合物水泥砂浆

国外聚合物水泥砂浆(PCM)最早应用在 70 多年前,随着石油化学工业的发展,许多聚合物乳液相继合成,这些乳液改性水泥砂浆具有良好的黏结、防水能力、变形适应性和耐久性。聚合物的引入提高了水泥石的密实性、黏结性,又降低了水泥石的脆性,因而被广泛用于道路、桥梁、水库大坝的修补<sup>[6~10]</sup>。近年来在我国应用比较广泛的 PCM 有丙烯酸酯共聚乳液(PAE)改性水泥砂浆(简称丙乳砂浆)、乙烯-醋酸乙烯共聚乳液(EVA)水泥砂浆、丁苯胶乳(SBR)水泥砂浆和氯丁胶乳(CR)水泥砂浆等。这里介绍两种最近开发的聚合物水泥砂浆。

国内学者在 PAE 的基础上改性开发出 SA 水泥改性剂。该产品特点在于硬单体中除了甲基丙稀甲酯之外,还引用了性能优良的苯乙烯,由于苯乙烯在共聚体系中的聚合速度较低,因此其留在颗粒表面,形成了外硬内软的胶粒,致使该乳胶脱水固化后,既有较大变形能力,又有较高的强度和黏结力。

按一定比例加入 SA 水泥改性剂的水泥砂浆,具有优异的黏结、抗冻、防氯离子渗透、耐磨、耐老化、耐化学介质腐蚀等性能,与传统的聚合物水泥砂浆相比,不仅成本低,而且施工方便,可人工涂抹,也可机械喷涂,并适合潮湿面粉刷,无毒并与基础混凝土温度适应性好,耐老化性强,与基础混凝土黏结牢固,不脱落,不开裂。

韩国 M&S 工业株式会社研制开发的混凝土修补加固用羧甲基聚糖混合树脂砂浆,对老化、受损伤的混凝土构件的部位涂抹或对正常的混凝土建筑物表面覆盖可以防止腐蚀,提高防水性能。使用氧化铝水泥,提高了耐化学腐蚀性、早强性、收缩性;使用聚糖树脂,提高了黏结力,降低了挠度;使用粉末状树脂,提高了黏结强度、柔韧性、防水性等,是具有许多优点的修补材料。

### 2.2.3 复合改性水泥砂浆

由于经济方面的原因,PCM 仅限于面积比较小的修补工程中,无论是乳液还是乳胶粉,人们在应用 PCM 时始终都面临着性能与价格的两难选择,高昂的价格已成为 PCM 应用的重要障碍。如何改善 PCM 的耐久性,采用低聚灰比的 PCM 以降低成本就

成为材料工作者的一个紧迫而有现实意义的重要课题。基于上述认识,材料工作者开始研制开发复合改性 PCM,这里将对两种复合改性方法进行介绍。

低掺量乳胶粉与矿粉复合改性水泥砂浆<sup>[12]</sup>用一定的矿物粉体填充水泥石内部孔隙,使聚合物主要用于包裹颗粒表面并形成网络结构,在一定程度上可以避免聚合物用于填充孔隙而造成材料的浪费,从而为采用低聚灰比的 PCM 创造了条件,实践证明这一方法是有效、可行的。矿物粉体在填充水泥石内部的同时,还与乳胶粉协同作用,比分别单独掺入对砂浆的抗折和抗压强度的提高都更为显著。乳胶粉与矿物粉体复合加入能显著改善 PCM 的抗渗性、耐水性、抗冻性,有微膨胀作用的矿粉对 PCM 的干缩有补偿作用。

以无机胶凝材料水玻璃为主,聚合物乳液为辅,对水泥砂浆进行复合改性可制得抗硫酸腐蚀复合改性水泥砂浆<sup>[13]</sup>。复合改性砂浆的抗硫酸侵蚀性和密实性高于水玻璃改性砂浆、PCM、普通水泥砂浆,其抗压和抗折强度也高于水玻璃改性和聚合物改性砂浆。

#### 2.2.4 无机类高性能修补砂浆

水利科学研究单位针对维修加固工程表面剥蚀破坏薄层修补特点,研究将硅粉、粉煤灰、矿渣粉、高效塑化剂、纤维等材料复合配制成高性能修补剂,掺入普通水泥砂浆中,制成高性能修补砂浆(ME-4 砂浆)。ME-4 砂浆 28 d 抗压强度大于 45 MPa,抗折强度大于 6.5 MPa,与旧砂浆黏结层抗折强度大于 6 MPa,黏结层抗拉强度大于 2.5 MPa,施工方便,价格便宜,是一种新型的水泥基修补材料,可广泛用于混凝土工程的修补<sup>[15]</sup>。

#### 2.3 高强度纤维/环氧树脂复合材料

用于建筑物修复的高强度纤维有 E 玻璃纤维、S 玻璃纤维、碳纤维、高强度芳纶纤维<sup>[14]</sup>。高强度纤维/环氧树脂复合材料能增强建筑物构件的抗剪和抗弯强度、柔韧性和垂直荷载能力,具有极好的耐水、耐油和耐腐蚀性,也有极好的高温和低温性能,性价比高,易于对各种几何形状的受损部件进行修复,且易于施工。

### 3 表面修补材料的选择与应用

建筑物表面缺陷因其深度不同而选择不同的修补方法。若是浅表损伤,可涂抹 PCM、树脂砂浆等;若损伤波及较深、面积较大时,应优先考虑采用喷射混凝土或重浇混凝土法进行修补。

混凝土结构表面修补材料的选择应考虑所应用环境、建筑物结构功能等,充分发挥材料的使用寿命,

以取得优越的总体经济效果。其中环境条件主要考虑环境潮湿度、温度、腐蚀介质种类等,环境冻融循环情况,环境中二氧化碳浓度、氯化物浓度、硫酸盐浓度等,还应考虑结构荷载情况,即荷载类型、大小以及可能的交通荷载。因此,应确定混凝土结构受到的主要环境侵蚀类型,并根据混凝土结构性能要求与各类表面防护材料的性能特征,从技术、经济与环境角度综合考虑,来选择合适的表面修补材料及技术。

一些新型表面修补材料已在实际工程中得到应用,取得了良好的工程效果<sup>[3,15]</sup>。

珠窝和落坡岭水电站是永定河上官厅水库下游的两座梯级电站,位于北京市门头沟区。两座水库的挡水建筑物均为混凝土重力坝,坝顶钢筋混凝土结构的碳化、钢筋锈蚀病害修补处理所选用的修补材料为 PCM 和 EVA 防碳化涂料。EVA 防碳化涂料采用无气高压喷涂机喷涂,其表干时间为 10~30 min,黏结强度大于 0.2 MPa,抗 -25~85℃ 冷热温度循环大于 20 次,整个修补防护处理工作于 1994 年开始,同年 10 月初完成,并顺利通过检查验收。

新洋港闸是一座沿海挡潮闸,共 17 孔,公路桥、工作桥、胸墙、闸墩等水上钢筋混凝土构件因碳化、氯离子侵蚀,钢筋锈蚀产生钢筋锈蚀裂缝及混凝土剥落等病害,2000 年用 ME-4 砂浆修补水上构件锈蚀裂缝等破坏部位的混凝土,再用 HS 环氧厚浆涂料防碳化、防氯离子侵蚀封闭处理,门槽侧止水座板用 ME-4 砂浆重新粉刷,以降低止水橡皮与接触面的摩擦阻力,经检测,砂浆 28 d 黏结层抗折强度为 5.4~6.6 MPa,黏结层抗拉强度为 3.2 MPa,与旧混凝土黏结层抗折强度为 4.1 MPa,达到设计要求。经 2 a 多运行,修补处未见裂缝、砂浆脱落现象。

### 4 结 语

几十年来,我国混凝土病害的防护修补技术有了很大发展,新型修补材料也层出不穷,但与国际先进技术相比,还有较大差距。因此在解决混凝土耐久性问题方面,还要继续努力探索、研制和开发新材料、新技术,以解决某些修补材料性能好但价格高,某些材料使用上还有许多限制等问题。

必须在正确分析环境侵蚀原因的基础上,同时考虑环境、材料与结构的兼容,施工工艺以及使用寿命,进行表面修补材料及技术的选择,并应合理设计和施工,严格控制施工质量。

参考文献:

[1] 王增品,姜安玺.腐蚀与防护工程[M].北京:高等教育出版社,1991. (下转第 101 页)

量的依据是试验条件(原材料、标准养护),其只能作为工程应用的参考,不能作为工程应用的依据.工程应用中选择最佳掺量应根据工程所用原材料(水泥、砂子、石子、水)、施工工艺(蒸养、自然养护)、施工季节(夏、冬)、建筑物工作条件等通过试验确定.

## 2.8 钢筋混凝土中氯离子含量控制问题

混凝土工程中使用最为广泛的早强抗冻剂和早强剂是氯盐,但它对钢筋锈蚀有促进作用.我国钢筋混凝土工程施工及验收规范规定,在钢筋混凝土中,氯盐(按无水状态计算)的掺量不得超过水泥质量的3%,亦不得超过 $6\text{kg}/\text{m}^3$ .对于高湿度空气环境中的混凝土结构、处于水位升降区的混凝土结构、露天或经受水淋湿的混凝土结构、预应力混凝土结构,不得在钢筋混凝土结构中掺氯化物.另外,氯化物对钢筋的影响与氯化物的含量、水泥品种、熟料矿物组成、混凝土配合比和密实性、保护层厚度、养护条件等因素有关,试验还表明含氯( $\text{Cl}^-$ )量限制在0.03%~0.04%、含氯化物量限制在0.5%~1.0%时,硬化水泥砂浆中(养护7~14d)钢筋的阳极极化电位上升,钢筋钝化膜未被破坏,超过上述含量,阳极极化电位迅速下降,钢筋钝化膜破坏,呈活化状态.

## 3 结 语

添加外加剂是混凝土施工工艺中的一项新技

术,由于外加剂的作用随工程使用材料及现场施工条件的不同而异,因此选用外加剂品种和掺量时应根据工程使用的材料及现场施工条件来确定.

本文根据笔者多年从事混凝土外加剂——早强剂、引气剂、减水剂、防冻剂及复合剂等方面的应用研究,对于减水剂品种与水泥品种的关系及最佳掺量、混凝土中钢筋锈蚀及氯离子含量的限值以及外加剂对混凝土性能的影响、机理、允许掺量等提出一些实用性的建议,供有关人员参考.

由于外加剂在我国尚处于推广应用阶段,一些理论上的问题还需要进一步探索,某些应用技术,特别是对掺加各种混合材料的水泥中掺加混凝土外加剂适应性等问题尚待积累更多的经验.

## 参考文献:

- [1] 中国建筑科学研究院混凝土研究所. 混凝土实用手册 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1987.
- [2] GB 50119—2003 混凝土外加剂应用技术规范 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.
- [3] 岳延文, 王玉梅. 混凝土外加剂在水利工程中应用研究报告 [R]. 甘肃省景电工程试验室, 2004.
- [4] 黄绪通. 碾压混凝土对外加剂性能的要求 [J]. 水利水电科技进展, 2000, 20(2): 31-34.

(收稿日期: 2005-02-25 编辑: 高建群)

(上接第97页)

- [2] 蒋正武. 混凝土结构的表面防护技术 [J]. 新型建筑材料, 2004(2): 12—14.
- [3] 黄国兴, 陈改新. 水工混凝土建筑物修补技术及应用 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1998.
- [4] 杨宇润, 杨万泰. 100% 固含量聚氨酯弹性体高速反应喷涂技术 [J]. 化工新型材料, 1997(9): 16—21.
- [5] 徐培林, 张淑琴. 聚氨酯材料手册 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.
- [6] OHAMA Y, DEMURA K, HAMATSU M, et al. Properties of polymer-modified mortars using styrene-butyl acetate latexes with various monomer ratios [J]. ACI Materials Journal, 1991, 88: 56—61.
- [7] OHAMA Y. Polymer-based Admixtures [J]. Cement and Concrete Composites, 1998, 20: 189—212.
- [8] LAY I, GUPTA A P, BISWAS M. Effect of latex and superplasticizer on Portland Cement mortar in the fresh state [J]. Cement and Concrete Composites, 1994, 16: 309—316.
- [9] OHAMA Y. Polymer-based materials for repair and improved durability: Japanese experience [J]. Construction and Building

Materials, 1996, 10(1): 77—82.

- [10] BASHEER P A, BASHEER L, CLELAND D J, et al. Surface treatments for concrete: assessment methods and reported performance [J]. Concrete and Building Materials, 1997, 11(7): 413.
- [11] 买淑芳. 混凝土聚合物复合材料及应用 [M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1996.
- [12] 刘志勇. 低掺量乳胶粉与矿粉复合改性聚合物水泥砂浆的性能 [J]. 新型建筑材料, 1999(3): 20—23.
- [13] 李庚英, 熊光晶, 陈晓虎, 等. 抗酸腐蚀复合改性水泥砂浆的研制及性能 [J]. 混凝土, 2000(6): 39—41.
- [14] 徐扬, 李大华. 一种新型的建筑物修复或抗震加固方法 [J]. 山西地震, 2000(3): 13—14.
- [15] 朱炳喜. 高性能修补砂浆的研制与应用 [J]. 新型建筑材料, 2004(4): 13—15.
- [16] 龚洛书, 柳春圃. 混凝土的耐久性及其防护修补 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1990.
- [17] 蒋元騄, 韩素芳. 混凝土工程病害与修补加固 [M]. 北京: 海洋出版社, 1996.

(收稿日期: 2005-05-27 编辑: 骆超)