

# 生态混凝土的研究现状与展望

李庆刚

(南京水利科学研究所, 南京 210024)

**摘要** 生态混凝土是一种新型的生态建筑材料, 具有广阔的应用前景。介绍了生态混凝土的概念、分类以及国内外研究、应用现状, 并指出了生态混凝土的意义及其发展趋势。

**关键词** 生态混凝土 研究现状 发展趋势

## Research Advance and Prospect of Eco-concrete

LI Qinggang

(Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210024)

**Abstract** Eco-concrete is a kind of new ecological constructive material which has a great potential in application. The concept and classification of eco-concrete and current advancements at home and abroad are reviewed in this article. The significance and intending trend of research are also pointed out.

**Key words** eco-concrete, current advancement, development directions

自20世纪90年代, 吴中伟院士提出的绿色高性能混凝土因具有良好的环境协调性能<sup>[1]</sup>, 其相关的绿色建材在美国、西欧和日本等国家已经被广泛应用。随着环境保护、保持生态多样性及维持社会可持续发展的呼声日益高涨, 生态混凝土便应运而生。它是一种具有特殊的连续孔隙结构的混凝土, 有着良好的透水与透气性, 并能使植物在其表面上生长。生态混凝土以其优异的生态效应得到了世界各国材料与环境学者的普遍重视, 是近年来国际上迅速发展起来的一个新的研究领域。

## 1 生态混凝土的概念及分类

### 1.1 生态混凝土的概念

“生态”混凝土与“绿色”混凝土概念类似, 但是“绿色”的涵义可理解为: 节约资源、能源; 不破坏环境, 更有利于环境; 可持续发展, 既满足当代人的需求, 又不危害子孙后代, 且能满足其需要。而“生态”更强调的是直接“有益于生态环境”<sup>[2]</sup>。生态混凝土是一类特殊的混凝土, 是通过材料研选、采用特殊工艺、制造出来的具有特殊的结构与表面特性的混凝土, 能减少环境负荷, 并能与生态环境相协调, 从而为环保做出贡献。生态混凝土的提出, 标志着人类在处理混凝土材料与环境的关系过程中采取了更加积极、主动的态度。

### 1.2 生态混凝土的分类

生态混凝土可分为环境友好型(减轻环境负荷型)生态混凝土和生物相容型(环境协调型)生态混凝土两大类<sup>[3]</sup>。

#### (1) 环境友好型生态混凝土

所谓环境友好型生态混凝土, 是指在混凝土的生产、使用直至解体全过程中, 能够降低环境负荷的混凝土。目前, 相关的技术途径主要有以下3条:

① 降低混凝土生产过程中的环境负担。这种技术途径主要通过固体废弃物的再生利用来实现, 这种混凝土有利于解决废弃物处理、石灰石资源和有效利用能源的问题, 成品

为废弃物再生混凝土。

② 降低混凝土在使用过程中的环境负荷。这种途径主要通过提高混凝土的耐久性, 或者通过加强设计、搞好管理来提高建筑物的寿命。延长了混凝土建筑物的使用寿命, 就相当于节省了资源和能源, 减少了CO<sub>2</sub>的排放量。

③ 通过提高性能来改善混凝土的环境影响。这种技术途径是通过改善混凝土的性能来降低其环境负担。目前研究较多的是多孔混凝土, 这种混凝土内部有大量连续的空隙, 具有良好的透水性、吸音性、蓄热性、吸附气体的性能。利用混凝土的这些新的特性, 开发了许多新产品, 例如, 具有排水性铺装用制品, 具有吸音性、能够吸收有害气体、具有调温功能以及能储蓄热量的混凝土制品。

#### (2) 生物相容型生态混凝土

生物相容型生态混凝土是指能与动、植物等生物和谐共存、对调解生态平衡、美化环境景观、实现人类与自然协调具有积极作用的混凝土。根据用途, 这类混凝土可分为植物相容型生态混凝土、海洋生物相容型生态混凝土、淡水生物相容型生态混凝土以及净化水质型生态混凝土等。

① 植物相容型生态混凝土利用多孔混凝土空隙部位的透气、透水等性能, 渗透植物所需营养, 生长植物根系这一特点来种植小草、低灌木等植物, 用于河川护堤的绿化, 美化环境。

② 海洋生物、淡水生物相容型混凝土是将多孔混凝土设置在河、湖和海滨等水域, 让陆生和水生小动物附着栖息在其凹凸不平的表面或连续空隙内, 通过相互作用或共生作用, 形成食物链, 为海洋生物和淡水生物生长提供良好条件, 保护生态环境。

③ 净化水质用生态混凝土是利用多孔混凝土外表面对各种微生物的吸附, 通过生物层的作用产生间接净化功能, 将其制成浮体结构或浮岛设置在富营养化的湖河内净化水质, 使草类、藻类生长更加繁茂, 通过定期采割, 利用生物循环过程消耗污水的富营养成分, 从而保护生态环境。

## 2 生态混凝土的研究及应用现状

直到20世纪90年代,美国、日本、欧洲等才开发使用生态混凝土这种新型材料,尤其是日本在这方面做了深入细致的研究。日本从90年代开始研究能改善水质富营养化状况的混凝土材料,提出了“亲水”的概念。大成建设技术研究所进行了连续4年的探索性研究,1993年提出了环境理念材料(environment conscious materials)的概念,1995年日本コンソサト工学协会提出了环境友好混凝土/生态混凝土(environmentally friendly concrete/eco-concrete)的概念<sup>[4]</sup>。目前国外研究应用较多的生态混凝土主要是多孔混凝土(porous concrete),其产品品种主要有以下几种:

### (1) 透水性混凝土

与普通的水泥混凝土路面相比,透水性道路能够使雨水迅速地渗入地表,还原成地下水,使地下水资源得到及时补充,保持土壤湿度,改善城市地表植物和土壤微生物的生存条件;同时透水性路面具有较大的孔隙率,与土壤相通,能蓄积较多的热量,有利于调节城市空间的温度和湿度,消除热岛现象;当集中降雨时,能够减轻排水设施的负担,防止路面积水和夜间反光,提高车辆、行人的通行舒适性与安全性;大量的孔隙能够吸收车辆行驶时产生的噪声,创造安静舒适的交通环境。由于透水性路面有诸多优点,欧美和日本等发达国家已经广泛使用这种路面材料,将其用于公园、人行道、轻量级车道、停车场以及各种体育场地。如日本1998年渗水路面的施工量达到了719万平方米,占当年人行道和广场使用铺设材料的80%以上。

### (2) 绿化混凝土

绿化混凝土是指能够适应绿色植物生长、进行绿色植被的混凝土及其制品。绿化混凝土用于城市的道路两侧及中央隔离带,水边护坡、楼顶、停车场等部位,可以增加城市绿色空间,调节人们的生活情绪,同时能够吸收噪音和粉尘,对城市的生态平衡也起到了积极作用,与自然协调、具有环保意义的混同材料。20世纪90年代初期,日本最早开始研究绿化混凝土,从混凝土结构的绿化施工方法、评价指标等多方面进行了系统的研究和开发。目前绿化混凝土在日本已得到了广泛的应用,从城市建筑物的局部绿化、沿岸、护坡工程到道路、机场建设等大型土木工程,均考虑了此种绿化措施。

### (3) 吸音混凝土

吸音混凝土是针对所产生的噪音采取的隔音、吸音措施。吸音混凝土具有连续、多孔的内部结构,具有较大的内表面积,与普通的、密实混凝土组成复合构造。多孔的吸音混凝土直接暴露面对噪音源,入射的声波一部分被反射,大部分则通过连通孔隙被吸收到混凝土内部,其中有一小部分声波由于混凝土内部的摩擦作用转换成热能,而大部分声波透过多孔混凝土层,到达多孔混凝土背后的空气层和密实混凝土板表面再被反射,而这部分被反射的声波从反方向再次通过多孔混凝土向外部发散。吸音混凝土就是为了减少交通噪音而开发得,适用于机场、高速公路、高速铁路两侧、地铁等产生恒定噪音得场所,能明显地减低交通噪音,改善出

行环境以及公共交通设施周围地居住环境。

### (4) 海洋及水域生物适应型混凝土

所谓海洋生物适应型混凝土,即能够营造出适合生物生长生息的空间或空隙,能够为海藻类生物提供合适的附着表面,并能在混凝土表面增殖,使混凝土周围的水质对生物生长没有不良影响。目前开发并已经实际应用的海洋生物适应型混凝土主要有人工礁石。在日本,现已有大量的人工渔礁,由于在材料上采用了生态、环保、高耐久性的混凝土材料,应用20余年的人工礁石仍完好无损。1995年,日本长崎县北松海域建成高15m、长150m的人工渔场(亦即所谓的人造海底山脉),利用多孔混凝土连通空隙中繁衍的微生物生物作为鱼类的食料;国内在这方面也作过工作。利用多孔混凝土内大量的连通空隙和良好的透水性,以及其物理、化学以及生物化学作用,也能使污水净化。我国科学家已经在辽宁省沿海进行了人工礁石的研究,研究表明,采用高性能、生态混凝土技术渔礁的耐久性是可靠的。人工礁石仅投放40天,就长满了大量的海洋生物,与海洋生物共存的性能十分优异。

国内对生态混凝土的研究起步较晚,但也取得了一定进展。如清华大学、吉林省水利科学研究所、吉林省水土保持科学研究所、同济大学等单位近几年做了较多的研究工作,已取得了一定的研究成果<sup>[4-7]</sup>。清华大学<sup>[8]</sup>提出自适应植被混凝土,是集智能混凝土和植被混凝土双重特性的新型生态混凝土。该混凝土本身具备自适应、自供给特征,能适应植物生长的植被混凝土,属于生态混凝土的一种。其结构本身具备自适应(自动适合植物生长的酸碱度和湿度)、自供给(结构内部提供植物生长所需的营养元素)特征,是一种适合于植物生长的植被混凝土,并具有工程所需强度的多孔混凝土。江苏大学<sup>[9]</sup>提出了护堤植生型生态混凝土的概念。护堤植生型生态混凝土是一种具有较大孔隙率、高强度的透水性混凝土,它的主要特点是具有过滤效果性能的同时,还具有植生改善环境等效果的性能;即既能防止因水位升降和水流冲刷、淘石作用而导致坡面土中的细颗粒流失或发生管涌现象(护堤),又具有很大孔隙率便于植物在其中生长(植生)的、pH值适中及高强度等特性的生态混凝土。吉林省水土保持科学研究所利用建筑废砖石作骨料,研制出一种在保持原有防护功能的前提下,能使植草良好生长的环保型混凝土护砌材料,并对绿化混凝土上草坪植物所需营养元素进行了研究<sup>[10-12]</sup>,盐城工学院和南京工业大学研制出用65%~70%粉煤灰制备的低碱生态混凝土<sup>[13]</sup>,中建十八局研制了铁路绿色通道喷混凝土植生技术<sup>[14]</sup>,天津市水利科学院研究了能长草的混凝土。但是到目前为止还仅限于使用孔洞型绿化混凝土块体材料,用于城市停车场。因此,继续开发、研究和应用新型绿化混凝土是将混凝土向环保型材料发展的一个重要方向。

根据目前国内外对生态混凝土的研究现状,其应用在未来几年将有可能集中在以下几个方面:

(1) 在护坡工程中的应用。伴随着水利、公路、铁路等基础工程的建设,出现了大量的施工开挖,造成了大量的裸露土坡和岩质边坡,使原有的生态系统遭到破坏,导致了

严重的水土流失和生态环境失衡问题。一些工程使边坡的生态环境完全破坏,靠自然演替恢复到原来的状态需要较长的时间。生态护坡作为一种较新的绿色环保的施工方法,在日本只有一些专业公司才能进行大面积的施工。近几年来,一些科研单位陆续开发了新型的生态混凝土对边坡的绿化技术和方法,取得了较好的绿化效果、生态效果和社会效应。

水利工程必须兼顾生态建设是一个目前发展的必然趋势,如欧美国国家提出“自然设计方法”,日、韩等国提出“与自然亲近的治河工程”等理念,我国也越来越重视生态河流的建设。生态河流建设应选择合适的生态护坡材料,使其可以满足过流防冲的要求,又能提供植物生长及鱼类繁殖的条件。此方法在广州、镇江等城市的河流整治工程中已经得到了应用,而且生态效果很好。

(2) 在治理水污染工程中的应用。生态混凝土污水处理技术是国外90年代开始研究的新技术。面对全国范围内水污染问题的日益严重的现状,研究开发生态混凝土污水处理技术无疑具有重大的现实意义。应用材料科学的方法,在生态混凝土中综合物理、化学、物理化学以及生物作用,多层次多反复地化解污染物质,确实是一种创新。这一技术开拓了混凝土材料地使用范围,也为解决水污染问题提供了一条投资少,效果好,运转费用低的治理途径。

同济大学从1997年开始研究,取得了阶段性成果,填补了国内空白。该研究组人员根据侧滤原理,研制了一种沉淀、过滤、曝气三合一的预处理装置,在沉淀的同时进行过滤和曝气,减少了污水处理占地面积,并且,根据生态混凝土的特点,设计了一种推流式生物滤池。当水通过污水泵等进入透水混凝土生物滤池的一端时,以推流的方式通过生态混凝土滤层,最后在溢流坝上溢出。依靠在生态混凝土上发生的化学、物理、物理化学逐渐形成的生物膜的生物化学作用,清除和降解污染物质,达到净水的目的。该技术已经在河北邯郸市亚太世纪花园住宅小区推广应用。

(3) 在国防工程中的应用。国防工程大部分处于山林地区背景中,由于工程建设活动对周围地形地貌造成很大的破坏,使工程设施与周围环境形成了显著的特征差别。随着军事侦察技术的发展和广泛运用,使工程类目标所面临的侦察和攻击威胁日益加剧。如何解决工程类目标的伪装防护问题,已成为工程伪装技术研究中的一项紧迫任务。美国从20世纪40年代开始研究岩石边坡植被生态保护技术,现在已经发展到第三代技术(高分子聚合物稳定材料)。将生态混凝土应用于军事工程伪装将具有良好的伪装性能和推广应用价值。一个具有借鉴意义的应用实例是“牧田川根古地护岸工程”<sup>[15]</sup>,其工程基本概要是:用生态混凝土仿照自然岩石形状制成大型护岸基坯。在使用现场进行安装、连接及土壤覆盖,然后在预留的凹孔中以及坯块结合的凹孔里植栽草木。因此,深入开展该技术在工程伪装中的应用研究,将从根本上改变人工伪装面的非自然性景观,构造出以鲜活植被组成的生态型伪装面,从而实现伪装面自然背景特征的真实仿造。鉴于生态混凝土的这些特点,其在国防工程应用中具有重要的实用价值和深远的战略意义。

### 3 生态混凝土的研究意义及发展趋势

生态混凝土具有调节生态平衡、美化环境景观、实现人类与自然的协调具有积极的作用,在解决地球环境问题、转变人类发展观念,改善人居环境、净化水污染以及废物利用等方面,比普通混凝土具有非常优越的条件,因此,研究和开发新型生态混凝土具有很大的现实意义。

混凝土材料的生态化是人类对混凝土这一传统建筑材料的迫切需求,也是未来混凝土材料可持续发展的目标。为了实现人类社会可持续发展的目标,将混凝土对环境造成的负荷控制在最小限度内,并对生态环境起到相应的协调和改善作用,是新型混凝土材料的发展方向。生态混凝土是传统混凝土材料走可持续发展之路,保护生态环境与可持续发展观在建筑材料方面的具体体现和必然选择。随着人类生活水平的不断提高和环境保护意识的不断增强,生态混凝土必将具有巨大的应用前景。同时,我们在思考与规划我国混凝土发展战略时,一定要从整个国民经济的重大需求和紧迫问题出发,力求获得最大的经济、社会效益,特别要注意资源和环境的保护,达到经济、社会、环境的协调发展。因此,生态混凝土正向着智能化、规模化、理论化、体系化和集成化方向发展<sup>[8]</sup>。

(1) 生态混凝土智能化 生态混凝土智能化集生态混凝土和智能混凝土的双重特性。

(2) 生态混凝土规模化 目前,由于生态混凝土,尤其是环境友好混凝土大多还处于试验室阶段,因此,生态混凝土规模化产生的经济化是促进生态混凝土推广的有效途径。

(3) 生态混凝土理论化 生态混凝土不同于传统混凝土,传统混凝土的理论无法指导生态混凝土的研究,其理论尚待进一步研究。

(4) 生态混凝土体系化 生态型混凝土是集岩石工程力学、生物学、土壤学、肥料学、硅酸盐化学、园艺学、环境生态和水土保持学等学科于一体的综合交叉学科,体系化是生态混凝土发展的必然趋势。

(5) 生态混凝土的集成化 生态混凝土研究的趋势应以集成化和多元化来达到复合多功能的效果,如研制一种净水植被混凝土,集植被混凝土和净水混凝土双重功能,其目的是用净水混凝土所吸附的菌类或富营养元素来满足植被混凝土中植物的生长,而植被混凝土中所生长的植物是通过某种反应来增加净水混凝土的净水效果。

#### 参考文献

- 1 吴中伟.绿色高性能混凝土与科技创新[J].建筑材料学报,1998,1(1):1
- 2 Environmental Council of Concrete Organizations(1999).What's your IAQ I.Q.,ECCO,Skokie,Illinois,USA.4pp
- 3 李湘洲.走向可持续发展的生态混凝土技术[J].中国建材,2003,1:34
- 4 陈志山.用于水污染治理的生态混凝土技术[J].建筑材料学报,2001,4(1):60
- 5 王文野,王德成.城市河道生态护坡技术的探讨[J].吉林水利,2002,241(11):24

- 6 陈志山.生态混凝土净水机理和存在问题[J].给水排水, 2001, 27(3): 40
- 7 陈志山, 刘选举.生态混凝土净水处理生活污水[J].给水排水, 2003, 29(2): 10
- 8 李化建, 孙恒虎, 肖雪军.生态混凝土研究进展[J].材料导报, 2005, 19(3): 17
- 9 刘荣贵.护堤植生型生态混凝土性能及耐久性概述[J].混凝土, 2005, (2): 16
- 10 董建伟, 裴玉波, 王丽秋.环保型绿化混凝土的研究与实践[J].吉林水利, 2002, (2): 1
- 11 董建伟, 朱菊明.绿化混凝土概论[J].吉林水利, 2004, (3): 40
- 12 董建伟.绿化混凝土上草坪植物所需营养元素及供给[J].吉林水利, 2004, (2): 1
- 13 许文年, 王铁桥, 叶建军.工程边坡绿化技术处探[J].三峡大学学报, 2001, 23(6): 512
- 14 陈志山.用于水污染治理的生态混凝土技术[J].建筑材料学报, 2001, 4(1): 60
- 15 竹内慧正.植生型生态混凝土实用例[J].コンワサト工学, 1998, 36(3): 32
- 16 Donald H.Gray, Robbin B.Sotir. Biotechnical Stabilization of High Way Cut Slope[J]. J Geotechnical Eng, 1992, 118: 1395
- 17 Bogue R H. The Chemistry of Portland Cement. 2nd Edition. 1955. 571