

发挥首钢优势 全方位综合利用工业废渣

徐鹏寿(北京首钢设计院)

(摘要)

绿色高性能砼 (GHPG) 已成为世界砼行业发展的方向, 其特点与传统意义的砼含义有很大的区别:

砼中加入掺合料(矿渣粉、粉煤灰等)性能大大改善, 可用于很多特殊工程。磨细矿渣的生产工艺方法很多, 但都不够理想, 应加大研制、开发力度。

首钢集团具有得天独厚的综合优势, 为达到 21 世纪工业生产“零污染、绿色工业、无废生产”的要求, 应尽快加大工业废渣的综合利用的力度。

1、国内外发展现状:

(1) 绿色高性能混凝土已成为世界各国混凝土行业发展的方向:

从新石器时代的泥结卵石、草筋泥砂浆、经历石灰、(石膏)、三合土、火山灰石灰砼、牛马血、糯米汁等外加剂砼, 到近代水泥砼、钢筋砼、预应力砼、纤维或聚合物增强砼, 直到近几年发展起来的高强度/高性能砼。其发展主要遵循“复合化、高强度、高性能化”的技术路线。

“复合化”是各种增强砼, 掺加混合材(矿渣粉、粉煤灰等)和各种化学外加剂, 达到增强、耐久、经济的目的。经复合化带来的超叠效应, 是高性能砼, 获得高性能的主因。

“高强度”在 1850 年出现钢筋砼以来, 一直被认为是优质砼的特征。50 年代以前, 各国砼强度 < C30, C30 以上为高强砼; 60 年代提高到 C40-C50。80 年代以来, C50-C60 砼已大量用于高层建筑与桥梁工程。专家预测, 21 世纪砼平均强度将超过 C50-C60、C100 以上的超高强砼将大量用于结构工程。

“高性能化”是近十年才提出的。除强度外, 砼的耐久性、工作性以及体积稳定性、变形、疲劳、抗冲耐磨、耐化学腐蚀等性能也引起重视。1990 年美国首先提出高性能砼 (HPC) 这个概念, 近年又提出绿色 HPC (GHPG) 的观点。其定义为: “一种在大幅度提高普通砼性能的基础上, 采用现代砼技术, 选用优质原材料(除了水泥、水、集料以外, 必须掺加足够数量的细掺合料(磨细矿渣粉、粉煤灰、硅灰等)与高效化学外加剂, 在严格的质量管理下制造成的新型高技术砼。”重点保证下列诸性能: 耐久性、工作性、各种力学性能、

适用性、体积稳定性及经济合理性。HPC 不仅在性能上对传统砼有了革命性突破。而在节约能源、资源、改善劳动条件、环境保护、经济合理等方面有十分重大的意义。是一种“可持续发展的绿色材料”其主要特征是：

①可节约大量的水泥，减少环境污染：HPC 可大量利用磨细掺合料等量代替水泥，最多可达 60-70%，这是一条主要出路。

②可以更多地掺加工业废渣为主的细掺料，这样可“变废为宝”，减少二次污染。我国水淬矿渣年产量为 8000 万吨，现大多用作水泥混合材，但因细度粗，活性远未发挥出来，但经过细磨（ $4000-5000\text{cm}^2/\text{g}$ ）或超细磨（ $6000-8000\text{cm}^2/\text{g}$ ）等量加入 20-40% 矿渣粉，就可变成 C40-C50，及 C60-C80 高强砼的主要胶凝成分。粉煤灰产量 >1 亿吨/年，利用率也不高。经过加工磨细的粉煤灰，（化学成份，细度有要求），要求加入总量的 55-65%，再加入适量超塑化剂，可得到性能非常理想的 GHPC。如果矿渣粉、粉煤灰或硅灰等复合掺加，效果更好。

③可大量节约砼的用量，因强度高了，可减小结构截面积，减轻自重，大大降低成本。

④可扩大砼使用范围，适用于大体积砼，水工建筑，以及要求抗冻融，低温升（水坝），抗腐蚀抗核辐射的工程中。取得更大的环境与经济效益。

可以预计，不久的将来科学技术的任务将从过去的“最大限度地向自然界索取财富”变为“合理应用资源，保护环境、保持生态平衡”的良性循环，经济效益和社会效益都十分明显。

（2）国外工业废渣（矿渣、粉煤灰、煤干石等）综合利用，大体上分为四个阶段：

第一阶段：从 30 年代开始～50 年代经过研制主要用于生产水泥时的混合材，加入量 10-20%；

第二阶段：从 60～70 年代，进一步用工业废渣做为生产水泥的配料组份，可加入 40-50%，同时一些国家开始研制成功利用矿渣做为主体，加入少量的水泥熟料，石膏生产新品种水泥；

第三阶段：从 70～80 年代加入一些有机化学外加剂，可生产 C30-C40 砼，满足各种特殊工程砼的性能要求，逐步开拓了新的方向。

第四阶段：在工程中使用高标号混凝土从八十年代已广泛采用，现已使用 C100（1000 号）砼用于高层建筑。原材料已从过去的砼由“水泥+水+粗、细集料”构成逐步演变成“水泥+水+集料+矿物掺合料+化学外加剂”（个别特殊工程再加塑化剂或化学纤维），磨细矿渣，美、日、德等国均以“矿物外加剂”名称公开销售。生产工艺不太复杂。根据用户要求，采用细磨设备磨至一定细度，再混入一定量的化学外加剂，用散装车运至用户（或施工现场）。

十分方便,效果很好。美国把水泥与磨细矿渣混合,产品为“砼胶结构”,分几个级别,供配制不同要求的 HPC 使用,也可生产单一的磨细矿渣,供用户选择。日本把矿渣和石膏共磨,使用时按不同细度由用户自己选择,加入砼中使用;俄罗斯用熟料与矿渣共磨,生产低需水量水泥。近几年,台湾、东南亚、韩国也发展迅速。而且从原材料、生产、质量标准检验、化学反应机理研究,施工技术、设备,以及相应的标准、规范、规程均已配套,已有了丰富的经验,并还在不断改进、提高。发达国家商品砼已有 80%以上采用这种方法,苏联 50%以上使用。

(3) 国内这方面工作, 50~60 年代矿渣主要用于水泥的混合材,从 70 年代末期开始追赶世界发展水平。主要在八十年代研制出的百多种有机外加剂,用于砼生产中,满足不同工程早强、抗冻、缓凝、防水、泵送、膨胀等的要求。其优越性已逐步为人们所认识,近几年来发展很快。北京、上海、广东、重庆、苏州等地都进行了比较系统的研制,取得了不少成果,并且已在工程中使用。为了尽快从原材料、设计、生产、机理、质量检验,施工技术,到标准、规程、规范“配套成龙”。国家自然科学基金会 1994 年专门立项,组织清华大学等四个科研单位进行系统、研究配套工作。制定符合中国国情的各种标准、规范和规程,必将对我国砼高强度、高性能化开始一个新的时代。

其中原材料部分,对掺合料—磨细矿渣、粉煤灰也进行多方面的研究工作,初步得出以下结论:

① 高性能砼(HPC)由水泥+集料+掺合料+外加剂组成。其中掺合料主要是:矿渣粉、粉煤灰、硅灰。另外个别地方也加入少量钙矾石、沸石类矿物细粉。其中硅灰主要是铁合金厂,电炉炼钢收集下来的细粉(比表面积 $>10000\text{cm}^2/\text{g}$),但因数量少,价格高(97年初售价 2000 元/吨),所以主要应以矿渣、粉煤灰为主。

② 目前大量建筑工程使用 C40-C80 高强砼,都是以“低水泥用量+20-40%等量的矿渣细粉(粉煤灰粉)+外加剂,(主要是萘系系列高强减水剂)构成。

③ 掺合料细料作用主要是能填充水泥颗粒间的空隙,参加胶凝材料的水化反应,提高砼的密实度,改善砼的界面结构,提高砼的抗渗性耐久性和抗腐蚀性,广泛用于大面积地下结构砼、高层结构、水利工程(水坝)、桥梁、港口等地,被称为“绿色建材”,“新一代土建结构材料”。

④ 可大大抑制砼的碱骨料反应,提高砼的耐久性。在北京地区尤为重要。

具体到原材料中磨细矿渣生产工艺。目前有四种方法: a) 用辊压机+球磨机+选粉机闭路生产(国内未见、欧洲、韩国已有); b) 用振动磨生产、可达到比表面积 $5000-8000\text{cm}^2/\text{g}$ 的细粉; c) 气流磨: 粒径可达到 $5-6\mu\text{m}$ (相当于 $8000\text{cm}^2/\text{g}$ 以上),但目前国内设备

产量太低，每小时几百公斤，电耗也很高。d) 用改进后的球磨机，加入助磨剂，可生产出 $5000-8000 \text{ cm}^2/\text{g}$ 细粉，这种方法已有多处使用。如能改进，增加选粉和超细分级机等设备，效果是可以的。

九十年代以来，国内逐步认识、重视这个问题。已有不少企业、学校和科研单位做了大量工作，取得了一定的效果。但在具体问题方面：如：砼中合理的矿粉加入量是多少？什么条件下加什么种类的矿粉？不同种类的矿粉有什么特性？同时使用两种以上的矿粉的使用比例和效果？相应的机械设备技术开发？等等还有许多工作要做。

北京市 97 年水泥用量在 800-850 万吨左右，使用砼 800-850 万 m^3 （其中商品砼 550-600 万 m^3 左右）。市场预测，2000 年需要矿渣粉 20-25 万吨；北京周边地区需要 8-10 万吨/年。另外，随着科学技术的飞速发展，不少行业（油田、港口、核设施等）的需要量也很大，年需要量也在 5-8 万吨，国外市场也在不断扩大，出口的前景也是很好的。

因此，工业废渣的综合利用是大有发展前途的。

2、首钢集团综合利用工业废渣发展前景

首钢集团经过二十多年的快速发展后，面对国内外市场，钢铁产量已稳定在年产 800 万吨的规模，在不断采用高新技术提高产品的质量、降低能耗、环保治理外，还必须深入挖潜，把公司的工业废渣综合利用起来，发挥其最大的效益，形成新的增长点，保持可持续发展的战略目标，建立起真正的现代化企业。国际上，工业生产发展的战略目标主要表现在五个方面：

- ①最大限度地综合利用自然资源和能源；
- ②不断追求最高生产率，降低能耗和各种消耗；
- ③大力保护环境，维护生态平衡，尽量减少或消除环境污染；
- ④最低限度地或消除废（渣、料、水气）的产出；
- ⑤组织无废生产，实现生态平衡工业系统。

在各工业部门基本完成“自身环保内循环”和“三废自净”的基础上，建立跨行业的区域性群体，解决区域或全社会的环保和生态平衡。因此，21 世纪工业生产发展的总趋势是：“零污染、绿色工业，无废生产”。工业生产大体分为四个阶段：I 粗放型；II 技术型；III 集约型；IV 绿色型。中国大多数企业处于 I、II 类；首钢公司处于从 II 类向 III 类集约型的发展阶段。具体表现为：在资源利用方面：基本做到综合利用，使浪费减少到较低程度；在技术装备方面，广泛采用最新技术装备，全面实现高效低耗，接近国际较高水平；在生产管理上，管理方式科学，严密，实行全面质量管理保证体系 ISO9000 等；在产品品种和质量方面，品种向多样化发展，可根据市场需求生产性能优良，质量全部合格；在环保综合利用方

面，粉尘排放达标，有害气体很少，工业废渣排出量少，基本得到综合利用；环境污染十分轻微。但与国际上达到的“环保内循环先进技术和三废自净（零污染）的“绿色型”工业生产还有较大的差距。

就钢铁企业（本身就是一个多行业的综合企业）而言，工业废渣的综合利用也必须与其它行业的发展和需要进行综合性开放利用，从技术，设备使用上与许多行业发展的需求相适应，才能取得最大的社会效益和经济效益。因此，建立跨行业的大型集团公司是今后主要的发展趋势。如钢铁厂、水泥厂、建筑公司形成集团公司，可充分利用工业废渣（矿渣、粉煤灰），节约水泥，生产高标号砼，显著改变“肥梁胖柱”的传统建筑模式，减少工程投资，首钢完全具备这方面的条件，应该有计划向这个目标前进。

首钢公司从 95 年开始，修正了发展方向。在规模上稳定在铁、钢 800 万吨/年，向高新技术要效益，加大了环保治理的力度，加大了工业废渣综合利用的力度，取得了较大效果。

焦炉、高炉、煤气回收工作已在工厂和民用方面得到利用；

钢渣利用了引进国外生产工艺得到 100% 的利用，经济效益也很好；OG 泥的利用正在实施中，矿山尾矿利用也已开始。

首钢年产矿渣 320 万吨左右，粉煤灰 22 万吨左右。因生产厂地等原因，多年来只能采取低价出售的方式处理了事。基本上供北京河北等地建材行业（水泥厂等）做混合材使用，另外，新建了一条年产 4 万 m^3 矿渣砌块生产线，规模太小，今年还要投产一条年产 1800 万 m^3 的承重砌块生产线（合资）。但使用矿渣量不多，没能发挥其潜在的效益。粉煤灰利用也很低，电厂除硫问题也没有解决，造成空气污染。

因此，必须加大综合开发、利用的力度，使其“变废为宝”，发挥其潜在的经济效益和社会效益，形成新的经济增长点。