

文章编号:1006—2106(2005)05—0075—04

我国铁路高强混凝土五十年回顾与展望

石人俊* 钟美秦

(铁道科学研究院,北京 100081)

摘要:本文介绍了我国铁路高强混凝土(HSC)50年的发展,可归纳为3个阶段。第一阶段:采用普通HSC和掺塑化剂(减水剂)HSC,并配合台振、侧模振、底模振振实工艺配制得到C40—C55干硬性和低塑性HSC。批量生产应用于预应力混凝土(PC)轨枕、管桩、接触网支柱、桥梁等。第二阶段:以开发应用基萘磺酸盐系(NSF)高效减水剂配制塑性HSC为代表,结合铁路运输高速、重载、动载、安全的特点,对掺NSF-HSC的物理力学和结构性能进行了系统的研究试验。NSF-HSC在全路得到大面积的推广应用。第三阶段:研究开发应用氨基磺酸盐系(ASF)、高效减水剂和聚羧酸盐系(PCE)高性能减水剂。本文确认PCE高性能减水剂能较好的满足铁路工程的特点,是当前铁路高强、高性能混凝土优选的主剂,建议加速研究并推广应用。

关键词:高效减水剂;高性能减水剂;高性能AE减水剂;高强混凝土;高性能混凝土

中图分类号: U214.1*8 **文献标识码:** A

1 概述

新中国成立前我国铁路桥梁方面,在东北地区有少量小跨钢筋混凝土(简称RC)梁桥,极大多数使用钢(材)桥;轨枕、电杆和桩方面,除胶济线,广九线有少量钢枕,绝又部分使用木枕木电杆和木桩。

新中国成立后最初几年(1949—1953年),铁路使用混凝土最高等级为300 kgf/cm²级(相当于当前的C28,为简化下文用CXX代表)应用于跨度小于20 m的RC梁。我国开展大规模经济建设,既有铁路的修复和新建铁路工程,工程材料(钢材、木材)耗用量剧增,处于供不应求的局面。国家指令铁道部门研究寻求铁路工程建设的替代木材、钢材的高强、耐久的新材料。铁道科学研究院首先开展C40和C50高强混凝土(简称HSC)预应力混凝土(简单PC)轨枕和梁桥的研究,于1953年试制成功我国第一根C50(干硬性)HSC PC轨枕,次年试制成功我国第一孔C40(低塑性)HSC后张12 m跨PC简支T梁。继后于1955年修建武汉长江大桥时批量使用C45(低塑性)HSC离心法制作RC管桩。1956年C40(低塑性)HSC后张24 m跨PC简支T梁批量生产并架设于陇海线新沂河大桥。此后一、二十年C40—C50(低塑性)HSC普通推广应用于厂制PC

轨枕(板)、梁桥、电气化接触网支柱、管桩、电杆制品,部分应用于现场预制和现场浇注。使用C50 HSC代表性制品工程有:PC轨枕,南京长江大桥引桥32 m跨后张PC简支T梁、新疆昌吉河大桥56 m跨RC系杆拱,丰沙线150 m跨7*RC拱桥和32+62+32 m跨PC连续梁桥。

60年代中期日本和德国相继研发β-萘磺酸甲酯高缩合物(简称NSF)和三聚氰胺甲醛缩合物(简称MSF)超塑化剂(又称高效减水剂,简称SP剂),使混凝土材料科学得到飞跃进展,70年代后期把掺SP剂和流动性(高塑性)HSC新技术移植到铁路混凝土工程,依据铁路运输重载、高速、动载的特点对掺SP剂塑性HSC(C50和C60的物理力学—结构性能作了系统试验研究,以查明掺SP剂HSC与常规不掺SP剂HSC的差异性和现行设计规范参数的适用性。试验项目包括:掺SP剂塑性HSC配合比,新拌混凝土性能、硬化混凝土抗压、劈拉、棱柱体抗压强度,试件尺寸效应,静、动弹性模量,应力—应变曲线、收缩、自缩、静压徐变,动载疲劳强度极限等。研究表明掺SP剂塑性HSC的基本物理力学—结构性能不亚于不掺SP剂的传统HSC,其基本参数符合现行设计规范的规定值和施工技术条件,于1979年开始C60(塑性)HSC相继应用于现场悬

臂浇注 48+96+48 m 跨红水河 PC 斜拉桥(桥南岸部份采用泵送施工)、新型 32 跨后张 PC 简支 T 梁、东明黄河大桥、40 m 跨后张 PC 简支 T 梁、C65(塑性)HSC 应用于 16~24 m 跨先张超低高 PC 简支梁及 C80(塑性)硅灰 HSC 40 m 跨后张 PC 简支梁。到 1985 年末我国铁路 HSC 制品和工程几乎 100% 应用 SP 剂新技术(据统计应用 SP 剂 HSC 达到总量的 98%)。

80 年代中后期学习国外应用粉煤灰(FA)、矿渣粉(SG)、硅灰(SF)与 SP 剂或高性能 AE 减水剂(简称 HPAE 剂)配制 HS-HPC 的经验,铁道科学研究院开展了优质 FA+NSF 或 FA+氨基磺酸盐(简称 ASF)双掺流动性 HS-HPC 研究工作,于 1992 年和 1994 年高掺量(20%)FA+NSF C60 HPC 首次成功地应用于北京立交 23 m 跨 PC 盖梁和深圳超高层 RC 顶天大柱,1994 年承担了国家自然科学基金重点项目《高强和高性能混凝土材料的结构与力学性态研究》(出清华大学土木系主持)完成了 80~90 MPa 粉煤灰高性能混凝土及其性能研究,为铁路的掺 FA-SP 剂流动性 HS-HPC 建立了新的平台。

应当指出,铁路工程 HSC 的研究应用,不仅适应当前重载、高速、安全的需要,而且在满足桥跨结构强度和刚度前提下,减轻梁体自重,节省混凝土量和钢材,混凝土材料比钢材、木材具有较高的耐大气性,由此 HSC 结构比钢或木结构可大量减少维修养护费用。迄今铁路 PC 轨枕(板)生产累计总量已超过 2 亿根,PC 梁桥已近 4 万孔,此外还有一定数量的 PC 电气化接触网支柱、电杆、管桩,累计 HSC 生产总量已达 3 000 余万 m³,其中 C60HSC 以上占总量的 2/3 以上。

注:铁路工程 PC 构件生产和现浇施工为加速台座或模型周转要求混凝土在较短的时间内达到张拉(后张法)或放张(先张法)强度——设计强度的 80% 和相应的弹性模量(双控指标),因此通常生产(施工)配合比配制强度比原设计强度提高 1~2 级(厂制品)或 2~3 级(现浇大跨度桥梁),即设计等级 C50,生产或施工配合比按 Cb0-Cb5 等级。

2 铁路高强混凝土发展回顾 (1953—2003 年)

2.1 铁路高强混凝土发展大事记

1953 年 C50(干硬性)混凝土 PC 轨枕研制成功;

1954 年 C40(低塑性)混凝土 12 m 跨后张 PC 简支 T 梁研制成功;

1955 年 C45(低塑性)混凝土离心 RC 管桩批量生产应用于武汉长江大桥基础;

1956 年 C40(低塑性)混凝土 24 m 跨后张 PC 简支 T 梁批量投产,架设于陇海线新沂河大桥;

1958 年 C50(干硬性)混凝土先张 PC 轨枕投产;

C50(低塑性)混凝土 32 m 跨后 PC 简支 T 梁研制成功;C40(低塑性)混凝土电气化铁路 PC 接触网 I 型支柱研制成功并建厂投产;

1959 年 C50(低塑性)混凝土新型 32 m 跨后张 PC 简支 T 梁南京长江大桥引桥现场预制场投产;

1961 年 C50(低塑性)混凝土应用于 56 m 跨 RC 系杆拱现场施工新疆昌吉河大桥;

1965 年 C50(低塑性)混凝土应用于现场施工砂沙线 7 号 150 m 跨 RC 拱桥;

1966 年 C50(低塑性)混凝土应用于现场预制悬臂拼装 24+48+24 m PC 箱型简支梁成昆线大旧庄大桥;

1967 年 C45(低塑性)混凝土应用于现场悬臂灌注 32+64+32 m PC 连续梁,成昆线孙小河大桥;

1971 年 C50(低塑性)混凝土厂制 12 m、16 m 跨先张 PC 简支 T 梁研制成功;

1974 年 C50(低塑性)混凝土应用于膺架支衬现浇 27+40+27 m PC 简支连续梁北京通惠河大桥;

1975 年 C50(低塑性)混凝土 40 m 跨 PC 简支鱼腹板梁试制成功,批量生产,淮河大桥引桥;

1977 年 C55(低塑性)混凝土 40 m 跨后张 PC 箱型简支梁试制成功,应用于九江长江大桥引桥;

1978 年 C50 级干硬性混凝土应用于轨枕并开始推广;

1979 年 C60 桥 SP 剂(塑性)混凝土研制成功,应用于 48+96+48 m。红水河铁路 PC 斜拉桥(南岸部分采用泵送施工);检查试件平均度:3 d=44.0 kgf/cm² 28 d=70.9 kgf/cm²;

1981 年 C50(塑性)混凝土应用于先张低高 PC 简支 T 梁,架设于亮石线;

1984 年 C50(塑性)混凝土新型 32 m 跨后张 PC 简支 T 梁,架设于东明黄河大桥;

1985 年 C80(低塑性)硅灰+SP 剂混凝土 $\phi 450$ mm PHC 接触网支柱(常压蒸养)批量生产架设于电气化铁路;

1986 年 C60(塑性)混凝土 40 m 跨后张 PC 简支 T 梁试制成功,每片梁重 134 t;C80(塑性)硅灰+SP 剂高强混凝土首次成功应用于 40 m 跨后张 PC 简支 T 梁,架设于京广复钱江村南桥;C60 硅灰+SP 剂混凝土应用于 PC 轨枕,铺设于阳泉工务段;

1987 年 C50 和 C55(塑性)混凝土位应用于钱江大桥二桥 PC 箱型简支梁主梁和连续梁;

1991 年 C60(塑性)混凝土 50 m 跨后张 PC 简支

梁,洛阳黄河大桥;

1992年C60和C65(塑性)混凝土直线和曲线16 m至32 m跨超低高先张PC简支T梁;

1995年100 MPa(低塑性)高标号水泥+SP剂混凝土 $\phi 500$ mm PHC管桩(自然养护)试制成功;

1999年C50(塑性)混凝土应用于秦沈高速铁路现场预制24 m和32 m跨整孔后张PC简支箱型梁桥,32 m每孔梁重300 t,部分梁桥掺用低掺量I级粉煤灰+NSF高效减水剂双掺技术;C60(干硬性)混凝土轨枕生产部分工厂生产应用小掺量粉煤灰+NSF(或ASF)高效减水剂双掺技术;

2001年C50(塑性)混凝土低掺量I级粉煤灰+NSF双掺技术应用于青藏铁路格拉段24 m和32 m跨后张PC简支T梁;

2003年掺ASF新型减水剂C60低塑性混凝土PC轨枕批量生产;掺ASF新型减水剂C50塑性混凝土24 m和32 m跨后张PC简支T梁批量生产。

2.2 铁路工程高强度混凝土推广应用的技术经济效益

铁路HSC的发展,满足铁路运输高速、重载、安全的要求,HSC可以提高PC构件的承载能力,减少变形和挠度,提高刚度和稳定性和减轻自重,减少混凝土用量和预应力钢材用量。如32 m PC简支T梁由原设计500 kgf/cm²级提高到600 kgf/cm²级(同配合比采用SP剂技术)梁腹板和下翼缘宽作适当调整后,每片梁减少混凝土量5 m³预应力钢丝束减少一束(210 kg),梁重降低13 t(由原111.1 t减至98.5 t),仅东明黄河大桥600片PC梁共节省500 kgf/cm²级混凝土3 000 m³和预应力钢丝束126 t。又如主跨48+96+48 m红水河PC斜拉桥原设计混凝土强度等级C50,为加速模板周转和缩短施工周期要求大桥混凝土强度自然养护4~5 d内达到设计强度的80%以上(≥ 400 kgf/cm²),通常500 kgf/cm²级混凝土要达到80%的设计强度需养护7~10 d,在同配合比条件下使用高效减水剂技术配制得到坍落度由6~8 cm增大到8~12 cm(泵送施工坍落度控制在12~15 cm);混凝土平均强度3 d达到440 kgf/cm²,28 d达到709 kgf/cm²,因此使用SP剂HSC技术既技术了大桥的施工质量,又大大缩短了施工周期,其技术经济综合效益是十分显著的。

当前我国PC、RC桥梁和PC轨枕已占各自总量的90%以上,根据美国90年代对1950~1994年修建的公路桥梁耐久性调查,各种工程材料(钢材、木材、钢筋混凝土和预应力混凝土)公路梁桥的缺陷率(%):PC梁桥3.3%,RC梁桥6.6%,钢材梁桥19.4%,木材梁桥47.4%,调查表明PC和RC梁桥的耐久性远优于

万方数据

钢、木梁桥,其维修养护费用也远低于后者。

3 铁路工程应用高强高性能混凝土展望

3.1 加强新一代高效减水剂ASF(氨基磺酸盐系)和PCE(聚羧酸盐系)的应用技术研究

新一代高效减水剂ASF和PCE研发已有10余年历史,大量研究试验和工程实践表明它与NSF相比,具有掺量小、减水率高、保塑好(坍落度损失小)及硫酸钠、总碱量低不含氯的特点。使用新代高效减水剂有利于配制得到低用水量、低水泥用量、低水灰(胶)比;高流动性、高保塑性、高强、高耐久性和低收缩—徐变的高强高性能混凝土。

新一代ASF高效减水剂,国内于90年代中期已开发应用于高层建筑、市政工程、机场跑道等土建混凝土工程,铁路于90年代中期开发应用于大跨PC桥梁、PC轨枕及地铁工程等。

应当指出,PCE(聚羧酸盐系)高性能高效减水剂近20年国外发展迅速,从第一代PCE:丙烯酸/烯酸甲酯共聚物、第二代PCE:丙烯基醚共聚物、第三代PCE:酰胺/酰亚胺型PCE发展到2002年瑞士Sika公司的第四代PCE:聚酰胺—聚乙二醇支链的PCE高性能高效减水剂。我国当前的研究开发的PCE、相当于欧洲第二代,已推广应用于上海磁悬浮高速列车轨道梁,上海东海大桥箱梁、墩、柱、承台等预制构件、部分东海大桥和杭州湾大桥灌注桩、甬宁高速公路高架桥等混凝土工程。我国铁路京沪高速、京广高速的预制PC箱梁及地铁防水混凝土工程推广应用于ASF和PCE高性能高效减水剂具有广阔前景。

3.2 推广优质掺合料—高效减水剂双掺技术

高强高性能混凝土(HS-HPC)配制的核心技术是如何充分利用优质掺合料(粉煤灰、矿渣细粉和硅灰)和高效减水剂(NSF、ASF或PCE)的双掺技术。当前铁路PC桥梁、轨枕、支柱等构件和工程大部分是单掺减水剂或低掺量掺合料的双掺技术,是难以达到预期高性能目标,适度提高掺合料掺量和使用新代高效减水剂是非常重要的。

3.3 建议制定铁路工程和构件与使用高强、高性能混凝土相应的设计、施工技术规程

加强C50~C80双掺技术(掺合料+高效减水剂)高强、高性能混凝土物理力学和结构性能的研究。在修订桥、隧、地铁设计和施工规程时把双掺技术高强高性能混凝土增补进去。

参考文献

- [1] 陈肇元. 高强与高性能混凝土[R]. 北京: 国家自然科学基金会, 1997, 351-364.
- [2] 周履. 关于我国预应力混凝土中小跨度铁路桥发展的回顾与展望[J]. 桥梁建设, 1996, (3): 37-43.
- [3] 周履. 桥梁耐久性发展历史与现状[J]. 桥梁建设, 2000, (4): 58-61.
- [4] 石人俊等. 粉煤灰高强高性能混凝土研究和应用[A]. 高强混凝土及应用—第二届学术讨论会论文集[C]. 北京: 土木工程学会, 1995, 280-288.
- [5] 张璐明等. 80~90 MPa 粉煤灰高性能混凝土[R]. 北京: 国家自然科学基金会, 1997, 30-47.
- [6] 刘秀芬. 高性能混凝土在桥梁工程中的应用[J]. 桥梁建设, 1999, (4): 73-76.
- [7] 石人俊. 氨基磺酸盐高效减水剂对混凝土坍落度, 有效减水率和强度的影响[J]. 混凝土外加剂, 2002, (4): 3-8.
- [8] 吴佩刚等. 高强混凝土的研究与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 1998, 1-5.
- [9] 石人俊等. 高强度混凝土的研究及其在红水河铁路斜拉桥中的应用[J]. 土木工程学报, 1982, (2): 41-51.
- [10] Dr Johann P; ank. 当今欧洲混凝土外加剂的研究进展[A]. 混凝土外加剂及其应用技术[C]. 北京: 机械工业出版社, 2004, 13-27.
- [11] 宣怀平, 林国英. 聚羧酸高性能减水剂及应用[J]. 混凝土, 2004, (9): 18-23.

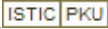
REVIEW OF HIGH STRENGTH CONCRETE OF CHINESE RAILWAY FOR 50 YEARS AND PROSPECTS

SHI Ren-jun, ZHONG Mei-qin

China Academy of Railway Sciences

Abstract: This paper gives an introduction to the development of high strength concrete of Chinese railway for 50 years. The development experience can be divided into three stages. In the first stage, C40-55 dry and low plastic high strength concrete was made from common HSC and plastics doped compound agent (dehumidifying agent) HSC by adopting the techniques of bench vibration, side form vibration and bottom die vibration, for massive production of pre-stressed concrete tie, tube pile, post of catenary and bridge. In the second stage, the plastic HSC was made with NSF high efficient dehumidifying agent. The systematic experiments were done for physical mechanics and structure performance of NSF-HSC according to the features of railway traffic, such as high speed, heavy haul, dynamic loading and safety. In the third stage, the ASF high efficient and PCE high efficient dehumidifying agents were produced and applied. This paper concludes that the PCE high efficient dehumidifying agent can meet the requirements of railway engineering and is an ideal agent for high strength and high performance concrete for railway.

Key words: high efficient dehumidifying agent; high performance dehumidifying agent; high performance AF dehumidifying agent; high strength concrete; high performance concrete

作者: 石人俊, 钟美秦, [SHI Ren-jun](#), [ZHONG Mei-qin](#)
作者单位: [铁道科学研究院, 北京, 100081](#)
刊名: [铁道工程学报](#) 
英文刊名: [JOURNAL OF RAILWAY ENGINEERING SOCIETY](#)
年, 卷(期): 2005 (5)
被引用次数: 2次

参考文献(11条)

1. [陈肇元](#) 高强与高性能混凝土 1997
2. [周履](#) 关于我国预应力混凝土中小跨度铁路桥发展的回顾与展望[期刊论文]-[桥梁建设](#) 1996 (03)
3. [周履](#) 桥梁耐久性发展历史与现状[期刊论文]-[桥梁建设](#) 2000 (04)
4. [石人俊](#) 粉煤灰高强高性能混凝土研究和应用 1995
5. [张璐明](#) 80~90 MPa粉煤灰高性能混凝土 1997
6. [刘秀芬](#) 高性能混凝土在桥梁工程中的应用[期刊论文]-[桥梁建设](#) 1999 (04)
7. [石人俊](#) 氨基磺酸盐高效减水剂对混凝土坍落度, 有效减水率和强度的影响 2002 (04)
8. [吴佩刚](#) 高强混凝土的研究与应用 1998
9. [石人俊](#) 高强度混凝土的研究及其在红水河铁路斜拉桥中的应用 1982 (02)
10. [Dr. Johann P ank](#). 当今欧洲混凝土外加剂的研究进展 2004
11. [宣怀平](#); [林国英](#) 聚羧酸高性能减水剂及应用 2004 (09)

引证文献(2条)

1. [另本春](#) 聚羧酸系减水剂在客运专线工程中的应用[期刊论文]-[安徽建筑](#) 2010 (3)
2. [孙璐](#). [王军伟](#). [石人俊](#) 铁路客运专线高性能混凝土与聚羧酸系高性能减水剂[期刊论文]-[铁道技术监督](#) 2006 (12)

引用本文格式: [石人俊](#). [钟美秦](#). [SHI Ren-jun](#). [ZHONG Mei-qin](#) [我国铁路高强混凝土五十年回顾与展望](#)[期刊论文]-[铁道工程学报](#) 2005 (5)