

混凝土结构发展

丁大钧 编著



中国建筑工业出版社

混凝土结构发展

丁大钧 编著

中国建筑工业出版社

(京)新登字035号

本书除对通用的混凝土材料与施工作简介外,特别注意介绍国内外新的内容。对房屋建筑、交通、水利工程及特种结构都分章描述;其中房屋建筑包括多、高层和大跨结构,交通工程中重点介绍桥梁工程,水利工程则以坝为主,特种结构包括高耸结构和各类容器。在书中特别收集了国内外的创纪录工程资料(坚持剪报或抄录工程信息),对我国工程项目则作较详细介绍。近十多年我国对有关混凝土基本构件和各类结构进行了大量的科学研究,范围相当广泛,因此另立一章进行了必要的报导。对混凝土结构的未来,编者总结为四点,即向高空延伸、向地下发展、向海洋拓宽和向太空迈进。

本书可供土建、交通和水利有关专业师生和工程技术人员的参考,有关专业领导似也可阅读。

混凝土结构发展

丁大钧 编著

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

北京市密云县印刷厂印刷

开本:787×1092毫米 1/16印张: 18 字数: 433千字

1994年1月第一版 1994年1月第一次印刷

印数: 1—2,600册 定价: 9.55元

ISBN7-112-02170-7/TU·1666

(7190)

前 言

早在古罗马时代已经用水硬性火山灰拌制混凝土来建造大跨度拱、水渠和下水道，甚至在其中加设铜棒增强。据1986年11月24日《人民日报》载，我国在甘肃秦安县大地湾新石器时期文化遗址里，发现5000年前、面积约100多 m^2 的混凝土地面。经化学分析，与现代硅酸盐水泥基本相同，且含有轻骨料，混凝土强度约为C10、这也许是采用与类似火山灰类有水硬性的天然物质制成的。

人造硅酸盐水泥的发明距今仅约170年的历史，钢筋混凝土的制成仅约140多年，但发展迅速，迄今已几乎在各种工程领域中应用，而且不断扩大。特别在我国，混凝土的应用远超过钢、木材料。因此研究和介绍其发展将具有十分重要的意义。

近20年来编者在全国40多个大中城市讲课，每涉及国内外工程建设情况。1990年2月接受日本混凝土学会（JCI）学报邀请，撰写“中国混凝土应用与研究现状”一文，同年8月在该学报第8期刊出日译，后经精简又于1991年5月在前苏联《混凝土与钢筋混凝土》杂志上刊出。由于篇幅限制，二文均无插图。1991年秋末将精简的英文稿投寄Concrete International，被要求再将文字精简些但增加插图，于1991年12月刊出，而德、法译文则系根据原稿并增加部分内容分别于1992年4月在《混凝土与钢筋混凝土结构》（德国）和1993年1月在《建筑技术与公共工程研究所纪事》（法国）上刊出，插图则分别增至15和19个。1991年10～11月在合肥、黄山市和重庆讲课时，根据上文结合以往有关讲稿，写成《混凝土结构的发展》详细提纲，得3.5万字（不包括插图，因插图另用幻灯片放映），内容为介绍国内外材料与施工、房屋建筑、交通和水利工程与特种结构，以及（国内）科学研究与展望未来，连绪论计8章。初步估计，就上述内容将文字写详细些，再增加国内外工程照片，特别是重要工程照片，将达20万字。经与中国建筑工业出版社联系，获得大力支持，并建议对国内工程介绍详细些。这一要求是非常正确的，尽管个人因专业限制，虽过去对广大工程领域亦曾有所涉猎，但浮光掠影，很难完全符合要求，然而编者深愿为宣传我国建设的伟大成就全力以赴，边学习，边撰写，尽管辛苦备尝，特别在暑期中工作，挥汗如雨，且资料浩繁，接近交稿前两室内桌、椅、沙发、乃至地上摊满书刊、印刷品和各类照片。然终于1992年9月能按期完稿，至以为慰。因为个人条件限制，又承多人抄写，稿件虽完成，但颇杂乱，给编辑工作带来很大困难，烦出版社同志为热情细致加工，谨致以衷心感谢。

本书在编写过程中，得到国内外同行大力支持，寄赠资料和工程照片。有的反复通讯联系，了解落实。例如，马来西亚朋友寄赠吉隆坡58层国家银行大楼照片，从中部起向下斜坡扩大，造型端重，给人以稳固感，但从附给的多页详细建筑资料中，看不出是否为混凝土结构，不得不再次求援；又承寄来施工照片，明确为装配现浇混凝土结构。又如访问丹麦COWIconsult时，承介绍大海带桥东桥（主桥为1624m悬索桥）混凝土桥塔及引桥采用阴极保护，隔日参观西桥工地，拍摄了预应力混凝土连续箱梁桥钢筋骨架，其上绑扎有

热电偶用以测量浇混凝土后内外温差变化,当时虽问清,后来忘怀了,与东桥介绍相混,致疑为阴极保护装置,多次通讯联系始弄清(西桥仅预制混凝土沉井在滑模时被拉裂而采取阴极保护),如此等等。因此,在编写过程中与国内外联系的信函超过300封,邮传远及亚、欧、澳和南北美。为了感谢国内外同行的热情帮助,将在下面列出感谢名单以志编者的衷心感谢。

在书中尽量指明,当前国内和国际上的纪录工程(高度、跨度或容量等的纪录)并尽可能附以实际工程照片,少数在建的重要工程则附以模型照片或建筑师渲染图照片。对我国在各类工程中所处的地位,编者个人认为,这不能单纯从高度、跨度等进行评价,而应从各种综合数据来判定我国在这类工程中,以及在设计和施工方面所达到的水平;例如,我国公路斜拉桥和高耸结构都已达到国际先进水平等。也指出不足处,如预应力混凝土铁路斜拉桥我国相对地处于后进地位。至于悬索桥在江阴桥(钢)未建成前也是这样,因为国际上主跨500m以上(达1410m)的悬索桥已建成50座以上,而我国最大的西藏达孜桥(钢)主跨仅达500m。

对各类结构的可能发展方向只是根据个人意见尽可能大胆地提出的,在每章前用粗黑体字排出,供读者参考。这也许是有局限性的,甚至是错误的,欢迎批评指正。

混凝土结构随建设的前进而迅速发展,对交稿后取得的新成就,不得不作局部更正和补充;例如,上海杨浦斜拉桥1992年12月建成两座桥塔,4月份主跨结构即已合拢,必须增加这方面的照片和对施工速度的评价。在排印期间也将有新的重要内容出现,这在书稿中将不得不有所反映。因此,本书也将随结构的发展而需不断更新。所以诚恳地希望国内外同行寄赠新的资料及工程照片以便不断更新内容,一般再印刷时当作局部修改,必要时将再次重新排版。谨预致谢意。

本书内容广泛,个人知识有限,可能挂一漏万,有的也许因信息原因而成“明日黄花”,有的判断失误,甚至误将其他材料结构属入(除注明者外)。尽管编者已作了上述努力,由于经验和水平,书中错舛必多,敬祈读者指出,以便再次印刷时更正,幸甚。

兹列出感谢在编写本书时热情给编者提供资料的国外和国内同行名单。首先感谢国际上著名的老专家:林同炎教授(T. Y. Lin),徐芝纶教授, Fritz Leonhardt 教授, Franco Levi教授,还有编者老师徐百川教授。感谢国外同行(按姓的英文字母次序): Senior Res. Eng. H. H. Bache, Dr. L. S. Beedle, Prof. C. Bosco, Dr. M. W. Braestrup, Dr. J. Brakel, Prof. T. W. Bremner, Prof. W. F. Chen, Dr. Tony Chi, Dr. Philip Y. Chow, Dr. T. A. Chua, Prof. M. P. Collins, Dr. A. M. H. Cruz, Prof. G. Fagerlund, Prof. R. Favre, Prof. P. Gamborova, Dr. M. D. Gantier, Prof. N. J. Gimsing, Dr. A. Golay, Dr. E. Hognestad, Dr. T. Javor, Prof. B. C. Jensen, Prof. N. I. Karpenko, Dr. M. Kavyrchine, Dr. J-F Klein, Prof. F. K. Kong, Assoc. Prof. K. C. S. Kwok, Dr. Shigeyuki Matsui, Eng. F. Meyer, Dr. Pablo M. Micheli, Dr. M. M. Miehlabrad, Prof. E. G. Nawy, Prof. M. P. Nielsen, Dr. Takeji Okada, Dr. Austin D. Pan, Prof. V. Panttala, Mr. F. Pedersen, Prof. Sandro Dei Poli, Prof. B. J. Rambøll, Prof. H. Reiffenstuh, Dr. S. Rostam, Prof. A. Ryzynski, Prof. R. L. Serykh, Dr. F. Simons, Dr. K. Stiglat, Prof. G. Tassi, Dr. R. Tep-

fers, Prof. E. Thorenfeldt, Dr. V. P. Trambovetskiy, Prof. L. Vegh, Dr. H. R. Viswanath, Prof. R. Walther, Dr. M. Wieland. 国外单位和刊物有: Aalborg Portland Cement and Concrete Laboratory, AECconsult, Aus Unseren Forschungsarbeiten, Concrete Parket, Concrete Reinforcing Steel Institute, COWI-consult, Darmstadt Concrete, Dorman Long Overseas Limited, Freyssinet Magazine, Heron, 鹿岛建设(Kajima Corperation)、川琦重工业株式会社(Kawasaki), 熊谷组株式会社(Kumagai), LNEC, Otto Graf Journal, Rambøll, Hanne-mann & Hojlund A/S, Rijkswaterstaat Dosbouw, Sepakat Setia Purunding Berhad Consulting Engineers, 清水建设(Shimizu Corperation), Studi e Recherche of Milan TU, Thyssen Draht AG, T. Y. International. 感谢国内同行(按姓的笔划次序): 王光远教授、王安生教授、王贵良教授、王崇昌教授、车惠民教授、牛铁汉高工(教授级)、田淦泉高工、史尔毅高工(教授级)、成文山教授、过达教授、吕志涛教授、刘西拉教授、刘国葵高工、刘季教授、刘效尧高工(教授级)、朱伯龙教授、任旭初高工、江建平博士(现在加拿大)、孙光初高工、孙伟教授、孙芳垂高工(教授级)、孙钧教授、杜拱辰高工(教授级)、杨宗放教授、李士恩教授、李厚豪工程师、李镇强高工、严洪良高工、吴佳雄副教授、吴琦瑛高工、余坪高工、汪长风高工(教授级)、汪祖培高工(教授级)、汪基伟博士、沙镇平教授、沈重明工程师、沈聚敏教授、宋金辉高工(教授级)、宋绍铭高工(教授级)、张子明副教授、张连德教授、张建东博士(现在日本)、张杰民高工、张继尧高工(教授级)、陈文钦教授、陈国荣教授、陈振川教授、陈祥福高工、陈淦伟博士(现在丹麦)、陈惠玲高工(教授级)、陈新高工(教授级)、陈肇元教授、邵容光教授、林元培教授、范立础教授、范志良博士后、范锡盛主编、金耀良高工、周氏教授、周世忠高工、周炳章高工(教授级)、周起敬高工(教授级)、孟吉复教授、项海帆教授、胡秋谷高工(教授级)、赵西安高工(教授级)、赵国藩教授、赵梦梅编辑、钟善桐教授、俞茂铨教授、施继忠摄影师、洪定海研究员、姚思廉高工(教授级)、袁近贤高工、夏颂佑教授、夏淦硕士、徐植工程师、殷芝霖高工(教授级)、郭辉琴高工、唐九如教授、唐明述教授、唐家祥教授、唐德熊高工、容柏生高工(教授级)、梅万春高工、黄云天主编、黄文机教授、黄成若高工、黄伟康教授、黄自新副教授、曹居易高工(教授级)、章春梅教授、梁书亭博士、梁启智教授、韩云乔高工(教授级)、舒传谦教授、鲁宗愬高工(教授级)、童保全教授、蔡坚高工、黎钟编审、鞠建英主编、魏珪高工(教授级)、瞿伟廉副教授、还有丁汉山博士生、刘伟庆博士生。国内刊物和单位有:《工业建筑》、《土木工程学报》、上海市政工程设计院、上海基础工程公司、广东省第四建筑工程公司、中国建筑工程总公司江苏分公司、北京市政设计院、《建筑结构学报》、华东预应力混凝土技术开发中心、重庆特殊钢厂、《特种结构》、《预应力技术简讯》、《预应力混凝土信息》。

从上可见,如果不是获得上述巨大的支持和帮助,编者要完成这部著作是无法想像的。

以上名单和职称有可能漏和错列,敬乞国内外朋友鉴谅并祈赐告以便补入和更正,谢谢。

此外李猗秭同志为描绘线条图,王瑞云副教授、田玮和杨栋博士生、李爱群博士、邵扣霞同志为誊清稿件,还有系图书室徐元明、周安平同志为热情提供资料,编者在此一并致以衷心感谢。

目 录

第一章 绪论	1
第二章 材料、施工和养护	6
第一节 材料	6
第二节 施工	31
第三节 养护	38
第四节 结构就位	40
第五节 防腐蚀	40
第六节 混凝土结构鉴定	46
第七节 混凝土结构的拆除	48
第三章 建筑工程	54
第一节 通用构件	54
第二节 单、多层建筑	62
第三节 高层和超高层建筑	71
第四节 单层大跨建筑	94
第四章 交通工程	115
第一节 路	115
第二节 桥梁	117
第三节 隧洞	168
第五章 水利工程	176
第一节 坝	176
第二节 拦海闸墩	189
第三节 渡槽	190
第四节 船闸	191
第五节 船坞	192
第六节 港口与码头	193
第六章 其他工程结构	197
第一节 高耸结构	197
第二节 料仓	207
第三节 贮水结构	210
第四节 污水处理	216
第五节 冷却塔	219
第六节 水输送	220
第七节 海洋工程	221
第八节 核安全壳	222
第九节 地下工程	223
第十节 人工岛机场	224
第十一节 其他工程	224

第七章 科学研究..... 229

第一节 材性 229

第二节 基本构件 234

第三节 结构模型试验 251

第四节 结构“改性”研究 253

第五节 减震隔震研究 255

第六节 工程检验和调查 257

第七节 计算方法 259

第八节 规范 260

第九节 混凝土结构发展阶段 261

第八章 着眼现在，瞻望未来..... 273

第一节 拟议中的洲际大桥和跨国海峡桥 273

第二节 环球地铁设想 275

第三节 新的运河计划 275

第四节 未来世界 275

第一章 绪 论

人类为了生存,进行了各项斗争。纵观人类文明史,工程建设在和自然的斗争中不断地前进和发展。为了遮蔽风雨和休憩,以便更好地生活和生产,首先必须安顿下来,因此发展了房屋建筑。为了扩大生产和交往,必须修筑道路和桥梁。发展农业生产,又不得不兴修水利,等等。

下面谨就以上提到的几个方面大致归纳如下。

房屋结构的发展是:从穴居到简易居室,进而从版筑墙单层房屋到木构架或砌体承重墙单层房屋,然后分为两个方向发展,即多层和大跨建筑;多层又发展为高层乃至超高层。而基本结构又分两支,一支是平面结构,由拱券到桁架,另一支是空间结构,由厚重的穹窿到球顶到各类薄壳,以至网壳。

道路的发展首先是有由人们经常行走而踏成的乡间和山间小径;城镇的兴起,才会有较宽的道路。我国战国时已兴建有邮驿,为驿马通行的驿道,以加强陆路交通。

桥梁结构的发展大致是先有独木桥,然后有天然石板梁桥,进而有石拱桥;而后有绳索桥,再后有链索桥,再由木桁架桥到钢桁架桥,而后有混凝土梁桥和刚构桥,乃至现代化大跨钢索桥,而索桥的加劲梁为由钢梁到钢桁架到流线型钢箱形截面到预应力混凝土箱形梁(多在斜拉桥中)。

早期的简单水利工程是从开挖竖井以提供生活和灌溉用水,发展成开凿深井(汉武帝时已深达40余丈),继而由小型沟渠发展为大型沟渠(我国新疆坎儿井则为暗渠);大禹疏通江河更是我国古代伟大的水利工程;而后乃至开凿运河,发展水上交通。由筑堰发展成修建现代化的各类大坝。

火山灰是具有一定活性的天然水硬性材料^{●[1]},在古罗马时代即用以在罗马修建了很多下水道并配置铜棒加强,这应是世界上最早的加筋混凝土^[2]。

人造水硬性水泥是1824年发明的。因为用它制成的混凝土颜色和英国波特兰(Portland)岛上浅青灰色岩石颜色相似,因此称之为波特兰水泥,而按其组成则应称之为硅酸盐水泥。1850年法国J.L.Lambot第一次做成水泥船在1855年巴黎世界博览会上展出。法国J.Monier是于1867年获得用金属框制作花园作物混凝土容器配筋的专利权。随后在德国和奥国获得较大的发展。箍筋和弯筋是在法国首先采用的。1884~1892年在美国建造了一些混凝土建筑,其中有些很好地抵御了1906年地震^[3]。1894年又建造了较大跨度的配筋拱桥,两年后建成大跨度钢筋混凝土桥,1906年建成无梁楼板。

● 近期在甘肃省秦安县大地湾新石器时期文化遗址里出土了一处5千年前面积约100多m²的混凝土地面。它早于罗马时代用天然火山灰制作混凝土约3千年。经化学分析,发现所用水泥成分和现代硅酸盐水泥基本相同。混凝土强度约为10N/mm²。混凝土样块中所含的陶粒轻骨料,中空质轻,制成的混凝土有保温、隔热等特点。这一发现揭示了我国建筑史上的一大奇迹(见《人民日报》1986.1.24)。也有认为埃及金字塔也是用人造石建造的。

1891年俄国开始进行了1.0~2.0m钢筋混凝土板和4.0m拱桥以及17.08m行车拱桥等加荷试验,1893年开始建造了一些桥、水池和拱结构,1896年建成跨度45m的过道桥^[4]。

1895年在俄国首先提出混凝土强度和水灰比关系,对推广应用混凝土起了重要作用。

预应力并不是一项新的概念,日常箍盆、箍桶就是施加环向预应力,这已是很早的事。对混凝土施加预应力可追溯到1872年,当时美国工程师P. H. Jackson获得用预制混凝土块体组成梁或拱的拉杆的专利。1888年德国C. W. Doebling获得用钢丝制作预应力板的专利。但是这些早期的施加预应力企图,由于预压应力随时间而损失终于没有得到实际的成功。后来挪威J. Lund和美国G. R. Steiner在20世纪初又尝试解决这一问题,但仍无结果。因为没有可用的高强钢筋以克服预应力的损失,在很长一段时间内研究的进展很小。美国R. E. Dill认识到混凝土收缩和徐变对预应力损失的作用,终于发展了后张无粘结法预应力钢筋的概念;这样,就可在后来继续张拉以抵消因混凝土随时间收缩和徐变引起构件长度减小,而导致的预应力损失。早在1920年,美国W. H. Hewett即发展了在圆形结构上施加预应力的原则,通过采用螺丝接头来绕混凝土圆池壁进行水平钢筋的张拉,以防止由于内部液压力而引起开裂,从而获得水密性。此后,在美国圆池和管道中预应力技术发展很快^[5]。

随着直线预应力在欧洲得到发展,特别是经过Eugene Freyssinet的创造性努力,他在1926~1928年采用了以高强和高延性钢筋克服预应力损失的方法。1940年他提出现在已为大家所熟知和接受的Freyssinet体系,包括12根钢丝的锥形钢筋束楔锚等。二次世界大战后许多大桥的重建又促进了预应力的发展,比利时G. Magnel和法国Y. Guyon在西欧和中欧设计和建造了大量预应力桥。在1930~1960年之间,英国P. W. Abeles提出和发展了部分预应力的概念。林同炎教授、德国F. Leonhardt和苏联V. V. Mikhailov (В. В. Михайлов)教授等对预应力混凝土的设计技术和科学作出了大量的贡献。值得特别提出的是林同炎教授的荷载平衡法,它大大简化了设计过程,尤其是在连续结构中。这些发展使预应力混凝土在全世界各类工程结构中被广泛地应用^[5]。

目前世界上最高的混凝土房屋建筑已达296m^[6]●,跨度最大的预应力混凝土斜拉桥已达530m^{[8][9]},最大坝高达285m^[10],最高的预应力混凝土电视塔高度已达549m^[11],等等。

我国从1876年开始生产水泥^[2]。解放前钢筋混凝土理论和实践发展缓慢,应用范围不广,几乎没有较大的工程。解放后,混凝土在房屋建筑、道路、桥梁、水工结构和其他各个工程领域里的应用及相应的理论和实验研究发展很快;近十多年来的发展尤为迅速,仅葛洲坝水利枢纽工程的混凝土用量即达1115万m³^[12~15]。1952~1953年在中国开始采用装配式钢筋混凝土,1954年完成预应力混凝土轨枕研制(铁道研究院),而后完成了18m预应力大梁的研制(由当时的建筑工程部建筑研究所进行)。为了节约金属,在我国很多工程采用混凝土和预应力混凝土建造。50年代即曾试用C100混凝土制作24m预应力屋架。采用的预应力屋架最大跨度达61m,图1-1为北京民航机库采用的60m预应力混凝土屋架^[2]。9m及12m预应力吊车梁承受最大吊车吨位分别达到400t和200t。70年代以来大型公路桥几乎全部采用预应力混凝土建造^[16];在铁路方面,已能全部代替24m和32m跨

● 香港中心广场大厦(Central Plaza),其平面为角点凹进的三角形,高374m,用混凝土建造,于1992年建成^{[6][7]},巴黎拟建的La Tour Spans Fin为筒形建筑,筒的直径43m,总高度426m,骨架用 $f_c = 60\text{MPa}$ 建造^[6]。

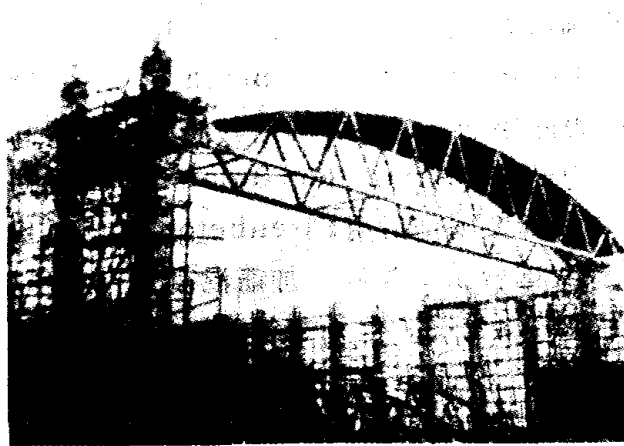


图 1-1 60 m 预应力混凝土屋架



图 1-2 钢筋混凝土井管在焊接连接

的钢桥；也采用 50 m 跨预应力简支梁铁路桥。据不完全统计，近几年在桥梁建设中由于采用预应力，节约钢材达 30~40 万 t。1986 年建成的郑州黄河公路大桥即节约混凝土 7000 t，钢材 2000 t。采用预应力混凝土轨枕 1 亿根，节约木材 1000 万 m³。在工业与民用建筑方面，1963~1985 年已施工的预应力混凝土建筑面积约 17.4 亿 m²，节约钢材 250 万 t。广州 63 层国际大厦采用无粘结预应力楼板，板厚减薄 60 mm，仅此一项即节约混凝土 4000 m³；楼高降低 18.9 m，相当 6 层。可见在我国预应力混凝土应用领域是相当广泛的，并出现了一些科研、设计、施工一体化组织。

又如 1969 年编者等首次制成钢筋混凝土深井管（图 1-2）代替铸钢管，推广应用几及全国。应用这种井管超过 500 万 m 以上，打凿最深的井已达 830 m^[17]（准确为 824 m）；从 1970 年起仅就 18 个厂生产的井管统计，节约金属约 40 万 t^[18, 19]。

目前混凝土和预应力混凝土每年用量分别约为 5 亿 m³ 和超过 1000 万 m³^[12~15]。

线性和非线性有限元在混凝土工程结构分析中得到较广泛的应用。计算机辅助设计亦在混凝土工程中推广应用，并对图形系统和配筋构造设计问题进行研究改进^[20]。对混凝土结构和施工的优化也进入实用阶段，并进而对大系统全局优化决策进行研究^[21]。对专家系统也进行了研究，如基于人工思维的高层建筑初步设计的研究^[22]。结构控制研究也在我国开展。

目前我国建成的最高混凝土建筑已超过 200 m^[23]①；建成通车的钱塘江预应力混凝土连续梁桥（钱塘第二桥）长度达 1340 m，无中间伸缩缝^[24]；在建的（三向）预应力连续刚构桥（黄石大桥）跨度达 245 m^[25]；建成通车的组合公路斜拉桥跨度达 423 m（对在跨中 100 m 范围内的桥面板施加了纵向预应力）^[26]和 602 m^[25]，在建的预应力混凝土斜拉桥跨度达 444 m^[25]；建成的坝高达 178 m^[27]，在建的达 240 m^[28]；建成的预应力电视塔高度达 415.2 m^{[15][29]}。这些都标志着我国有关的混凝土工程建设已分别达到或接近国际先进水平。

国外机械手多应用于进行繁重和危险的工作，日本利用最多。在土木工程，各工程间利用比率大致为隧道工——36%；水下工——18%；混凝土工——13%；测量工——15%；土工——6%；其余——12%。

钢筋混凝土和预应力混凝土的发明，在工程建设中引起两次飞跃，材料更进一步的改

① 原设计高度为 196.75 m，实际建成的高度为 200.18 m。

性, 使能满足更多和更高的要求, 将可能在工程领域里引起第三次飞跃。

在英文和法文中钢筋混凝土分别被称为 Reinforced Concrete 和 Béton armé, 意即加强的混凝土, 这样将不至束缚人们的思路, 因为除钢筋外, 还可利用其他抗拉强度高的和其他性能也适合用于加强混凝土的材料。德文中早先称 Armierter Beton, 本世纪初改称为 Eisenbeton, 1921 年又改称 Stahlbeton, 俄文和日文则仍沿用 Eisenbeton 而分别称之为 Железобетон 和 铁筋コンクリート^[1]。80 年代我国曾试图改称“加筋混凝土”, 如在沈阳出版的月刊《混凝土与加筋混凝土》(现已改为《混凝土》), 但并未得到普遍采用。

目前国际上已较通用地用“混凝土”来包括(素)混凝土, 钢筋混凝土及预应力混凝土, 亦即混凝土应按“广义的”内涵来理解。本书即采用这样的涵义。

参 考 资 料

1. 丁大钧主编, 南京工学院土木系编写组。混凝土结构, 上册。中国铁道出版社。北京。1987 (286 pp)
2. 丁大钧主编, 丁大钧, 黄兴棣, 程文灏。钢筋混凝土结构学, 上海科技出版社。上海, 1985 (535 pp)
3. E. G. Nawy. Reinforced Concrete, A Fundamental Approach. 2nd Ed., Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. 1990 (734 pp)
4. К. В. Сахновский 著, 路湛沁等译。钢筋混凝土结构学。建筑工程出版社。北京。1952 (374 pp)
5. E. G. Nawy. Prestressed Concrete, A Fundamental Approach, Prentice Hall, Englewood Cliffs. New Jersey. 1989 (739 pp)
6. Duncan Michael. New Structural Forms in Tall Buildings. Structural Engineering International, Journal of IABSE, Vol. 2, No. 3, Aug. 1992 (pp. 165—169)
7. Lynn S. Beedle. Tall Buildings around the World; The Roll of the Council, Proc. of 2nd International Conference on Highrise Buildings (2nd ICHB), Nanjing, March 21—23, 1992 (pp. 1—11)
8. Rene Walther. Suspension And Cable-Stayed Bridges in Concrete, Proc. of the International Symposium on Modern Applications of Prestressed Concrete (ISMAPC), Sept. 3—6, Beijing, China, 1991 (pp. 3—14)
9. 丁大钧。北欧桥梁建设。《国外桥梁》。No. 4, 1992 (8—12 pp)
10. 水利电力部《水力发电》编辑部。国外水电建设情况选编, 北京。1983 (299 pp)
11. M. P. Collins, D. Mitchell. Prestressed Concrete Basics, Canadian Prestressed Concrete Institute (CPCI), Ottawa, Canada, 1987 (614 pp)
12. 丁大钧 (松井繁之訳)。中国におけるコンクリートの応用と研究に関する現状の紹介, コンクリート工学, Concrete Journal (日文), Vol. 28, No. 8, Aug. 1990 (pp. 84—88)
13. Динг Дажун (Ding Dajun) (translated by канд. техн. наук В. П. Трамбовецкий): Развитие бетона и железобетонных конструкций в Китае 《Бетон и Железобетон》, 5, 1991 (pp. 27—28)
14. Ding Dajun. Concrete in China, State-of-the-Arts of Application and Research, Concrete International, Design and Construction, Dec. 1991 (pp. 56—60)
15. Ding Dajun. Stand der Technik bei der Anwendung und Erforschung von Beton in China, Beton und Stahlbetonbau, No. 4, 1992 (pp. 89—94)
16. 史尔毅。中国预应力混凝土公路桥, 人民交通出版社。北京。1988 (178 pp)
17. Cai Shaohui. The Reinforced Concrete Tube Well 800m Deep, Proc. of International Conference on Concrete Engineering, Nanjing, Sept. 18—20, 1991 (pp. 1869—1873)
18. 丁大钧。钢筋混凝土井管。《特种结构》。No. 1. 1991 (pp. 38—40)
19. Ding Dajun. Reinforced Concrete Well Pipes in China, Concrete International, Design and

Construction, Dec. 1991(pp.53—55)

20. 尚守平。工程结构CAD系统的研究(详细摘要)。湖南大学博士研究生学位论文。长沙, 1989年11月(33 pp)
21. 王光远, 谭东耀。工程系统的全局性优化技术。哈尔滨建工学院。1989年5月(51 pp)
22. 张瑾。基于神经网络的高层建筑结构初步设计的专家系统(HIDE—1)。清华大学博士研究生学位论文。1989年(110 pp)
23. 容柏生。广东国际大厦63层主塔楼结构设计分析。《建筑结构学报》。第10卷,第1期,1989(pp.46—61)
24. 陈新等。钱塘江第二桥总体设计, 中国土木工程学会桥梁及结构学会第9届年会论文集。杭州。1990年(pp.7~16)
25. 李国豪主任编委、项海帆主编。中国桥梁, 同济大学出版社、建筑与城市出版社有限公司, 上海、香港。1993(269 pp)
26. Lin Yuangpei, et al. Design of Nanpu Bridge over the Huangpu River in Shanghai, Proc. of ISMAPC, Sept. 3—6, Beijing, 1991(pp.68~77)
27. 水利电力部水利水电规划设计院。中国拱坝, 水利电力部电影图片社。北京。1987(222 pp)
28. 水利电力部成都勘测设计院。水电站图表, HEDI, 1955~1985(95 pp)
29. 天津广播电视塔简介(8 pp)

第二章 材料、施工和养护

新材料的开发和研究向适应不同要求的方向发展。总的说应是轻质高强, 加快施工速度, 保证更高性能要求。适应现浇和装配 (包括装配整浇) 并用, 现浇采用大模板, 装配式构件则向大型化方向发展。施工向快速方向发展, 加快实现机械化, 采用大吨位整体吊装。机械手在多方面的应用。

第一节 材 料

一、水泥

各国都生产普通水泥和特种水泥。例如国外生产一种特种早强 Pyrament 水泥, 可在低温 (28°F) 下浇筑, 并具有抗硫酸盐的能力。浇筑 4 小时强度即达 20 MPa; 用于修补公路, 4 小时后即可通车; 修补跑道, 6 小时后飞机可起飞降落。

我国除普遍采用强度为 325、425、525、625 号 (抗压强度按 kg/cm^2 计) 的波特兰水泥和矿渣波特兰水泥外, 还采用其他特种水泥, 如早强水泥、低温水泥、无收缩水泥、膨胀水泥、自应力水泥以及耐酸、碱水泥等等。利用工业废矿渣水泥拌制混凝土也在研究中。应该指出, 自应力水泥除膨胀率较大外, 和一般膨胀水泥不同的是, 它的膨胀主要发生在获得一定的握裹强度之后, 使能带动钢筋拉伸而在构件中产生预压应力。为了促使膨胀, 往往在热水 (70°C) 中养护。

改变普通水泥的成份以满足不同要求的研究和实践已获得巨大成就, 并将继续开发, 发挥潜力, 同时寻找其他更有效的胶凝材料。

应该指出的是, 在拌制混凝土前, 应对水泥进行检验, 只有安定性合格才准予使用^[1]。如浇制的混凝土工程一旦出现不安定性迹象再去检验水泥的安定性时, 经常发现这批水泥已用尽, 或和其他水泥混杂。再者, 有些安定性不合格的水泥, 储放一段时间后, 安定性会变不合格为合格, 这是由于水泥中的游离氧化钙吸收了潮湿空气中的水份, 消化成熟石灰所致。水泥中的游离氧化钙表面包裹一层玻璃体薄膜。拌制和浇筑混凝土时, 玻璃体未能全部破裂, 里面的氧化钙颗粒不能与水充分作用。待混凝土结硬后, 大气中水分渗入, 游离氧化钙吸收渗入的水份, 逐渐水化成熟石灰, 体积膨胀, 首先在混凝土表面出现裂缝。随时间的推移, 空气中水分进入构件内部, 内部的游离氧化钙慢慢水化使体积膨胀; 这样, 强度很高的混凝土也会胀裂、疏松。氧化镁的危害与游离氧化钙一样, 而它的水化膨胀过程更长。深圳某桥墩, 混凝土在硬化后表面出现大面积放射形裂纹; 经鉴定, 属水泥不安定出现的危害, 很难进行补强加固; 最后只得建议拆除重建^[1]。

钢渣水泥系利用回转窑硅酸盐水泥熟料、钢渣、矿渣和激发剂生产而成, 拌制的混凝土后期强度高、耐磨、耐腐蚀、大气稳定性能好、抗冻、微膨胀、水化热低等, 除适用于工业与民用建筑, 以及大体积混凝土工程外, 尤其适用于水利、地下、高速公路、机场跑

道、港口、码头、坦克履道等^[2]。

二、混凝土

(一) 外加剂

国内外在混凝土中广泛使用各种外加剂以满足不同的要求。我国50年代即开始使用。目前全国年产量达6~7万t, 其中减水剂占70%, 其他有早强剂、引气剂、防冻剂、膨胀剂、阻锈剂以及复合外加剂等等。

1. 外加剂分类^[3]。

混凝土外加剂按其主要功能分为四类:

(1) 改善混凝土拌合物流变性能的外加剂, 包括各种减水剂、引气剂和泵送剂。

(2) 调节混凝土凝结时间、硬化性能的外加剂, 包括缓凝剂、早强剂和速凝剂。

(3) 改善混凝土耐久性的外加剂, 包括引气剂、防水剂和阻锈剂。

(4) 改善混凝土其他性能的外加剂, 包括加气剂、膨胀剂、防冻剂、着色剂、防水剂。

在国外, 外加剂真正成为工业产品是在1910年, 到30年代才较大规模地发展与应用。现在外加剂用途日益扩大, 品种日益增多。美国、前苏联、日本、澳大利亚及挪威等北欧国家, 几乎都采用外加剂以改进混凝土性能。认为要获得具有轻质、高强、改性、调凝和节能特点的品种, 采用外加剂是目前最佳的技术措施。

我国掺外加剂的混凝土量不到10%。外加剂的品种很多, 有的产品达国外同类产品的先进水平。在各项建设中均有外加剂的应用, 取得明显的经济效益和社会效益。上海南浦大桥基础用木钙减水剂, 桥面板混凝土用常州产的M117高效减水剂, 泵送时采用WL-1型混凝土泵送剂, 垂直高度可达154m(桥塔高度)^[4]。

目前外加剂产品质量有待稳定, 对牌号及性能说明也有待加强。在使用时, 应注意选择与所用水泥相适应的外加剂, 且不应超过规定用量, 否则混凝土强度可能严重下降, 甚至不凝结。还要注意有可能引起碱-骨料反应; 例如, 使用复合硫酸钠的早强减水剂, 一方面使混凝土中 SO_4 含量增多, 引起水泥石体积变化不稳定; 另一方面使混凝土中碱含量 R_2O 提高, 遇上活性骨料将易发生碱-骨料反应。对重大工程应检查骨料中与碱发生反应的活性矿物质是否达到有害程度, 以便采取有效措施。

对钢筋锈蚀可采用阳极极化电位测试装置, 在掺有外加剂的饱和氢氧化钙溶液中测试出电位-时间曲线, 在电位上升并在1~5分钟内达到析氧电位值, 经30分钟测试; 若电位值无明显降低, 则属钝化曲线, 表明阳极钢筋表面钝化膜完好无损, 即可认为所测外加剂对钢筋无害。当通电后阳极钢筋电位先上升, 后又逐渐下降, 则表示钢筋表面钝化膜已部分受损; 当电位值起始即为负值, 起始负值减小, 而后负值又加大, 则属活化曲线, 表明钢筋钝化膜严重破坏。由于上法未考虑保护层和水泥的缓钝作用, 凡出现上述非钝化曲线的, 则需再作硬化砂浆电极的量测, 以判别外加剂对钢筋有无锈蚀危害。

2. 减水剂和高效减水剂

本世纪30年代初, 国外已产生木质素磺酸盐为主要成分的减水剂。我国50年代初, 也开始利用纸浆废液来提高混凝土的流动性^[5]。

葛洲坝水利枢纽工程在1978~1985年总的混凝土量达1098m³; 采用集中搅拌混凝土, 掺外加剂、泵送工艺、表面喷雾降温、覆盖隔热板、搭设防晒棚、流水养护措施, 并先后

使用木钙减水剂4692t,浇筑混凝土938.4万 m^3 ,节约水泥18.77万t,保证了工程质量,创造了国家优质工程。

宝山钢铁公司基建工程,4年内共生产预拌混凝土135万 m^3 ,掺木钙减水剂1400t,节约水泥4.8万t。

1986年对水电、铁道、冶金等10个部及上海、山东等14个地区直属施工企业进行初步统计,全年完成混凝土量3587万 m^3 ,砂浆1725万 m^3 ,共掺用外加剂2.75万t,共节约水泥55万t。按全国统计,1986年节约水泥约10万t,节能达100多万t(折合标准煤),减少运输量200多万t,不但提高工程质量,减少维修保养,并提高工效,也提高了产量、产值和税利等,其综合技术经济效益在1亿元以上。

YJ-2型减水剂特别适宜在夏季施工气温较高的情况下使用;首次在京津塘高速公路工程中应用,用水量降低10%,节约水泥40 kg/m^3 ,3天和7天强度分别提高45%和18.6%,28天强度提高3%,大大加速了模板的周转。泵送混凝土充实模板性好,易于浇注和振捣;拆模后内实外光。掺YJ-9型减水剂的混凝土,在机具上很少粘结模板,减轻了机具清洗的劳动量,节约了用水和时间,也减少了泵车和管道的磨损。

1963年日本研制了以 β -萘磺酸甲醛缩合物为主要成分的高效减水剂。1964年前联邦德国研制成磺化三聚氰胺类高效减水剂。70年代后对木质素类减水剂进行改性,研制出改性木质素磺酸盐高效减水剂。前苏联在这方面积累了不少经验。我国开发高效减水剂较国外约晚10年。1974年,水利电力部、交通部联合研制成以扩散剂NNO为主成分,辅以其他助剂组成的减水剂。1975年清华大学以萘为原料,经磺化、缩合而成的NF高效减水剂,1977年后经改进,先后有UNF、FDN、SN及H型产品问世。直至今日,我国常用的高效减水剂品种可分以下三类^[5]:

(1) 萘系高效减水剂,以NF,UNF,FDN为代表。它们的引气性均不大、减水和分散作用较大,适宜于配制C60以上的高强混凝土。

(2) 用煤焦油中其他组分制成的高效减水剂,以MF,建-1,JN,AF,CRS为代表,它们的减水作用也不大,但引气性较大,使用高频振捣器时可略减小。适用于配制C40及以上的高强混凝土和一般流态混凝土。

(3) 树脂类高效减水剂,以SM为代表,也可配制高强混凝土和流态混凝土。

现将使用减水剂的混凝土的性能分三个方面简述如下^[5]:

(1) 新拌混凝土:减水率达(15~30)%。当减小水灰比时泌水率有一定减少;当使用引气性较大的高效减水剂时,减少泌水作用大些;砂率比大,对泌水和离析均有改善作用。对凝结时间和含气量一般影响不大。坍落度的损失一般较大,可适当增大掺量或连续搅拌多次添加或加入缓凝剂。

(2) 硬化混凝土:抗压强度可较水泥标号高(10~20)MPa;配合比合适时,可用高标号水泥配制C80-C100强度等级的混凝土,其弹性模量和抗拉强度也有所增大。早期(2个月左右)收缩率略大些,后期则大体相同;掺高效减水剂,主要是为增大流动性,其收缩率和徐变有所增大。当掺加高效减水剂是为降低水灰比,而提高强度时,徐变系数可减小(10~20)%,收缩也将减小些。

(3) 对耐久性的影响:抗冻融性被提高,抗渗性被改善,对碳化无促进作用,对钢筋锈蚀无不利影响。

掺(10~20)%F矿粉(原料为天然沸石岩),并加10%UNF和NF高效萘系减水剂,较纯水泥混凝土强度可提高12%。因为F矿粉与水泥水化释放的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 作用生成C-S-H凝胶,促进水泥进一步水化,同时新形成的硅酸钙水化物使水泥石更加致密,从而提高了水泥石的后期强度。F矿粉能抑制界面过渡层中Ca元素的富集并抑制 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 在此处的结晶,从而改善过渡层结构,提高界面强度^[6]。

萘系高效减水剂受到原料来源和对人体和环境的危害,其发展受到一定限制。密胺树脂系原料易得,是综合性能较好的高效减水剂之一^[7]。60年代初前联邦德国一家公司首先生产这类高效能减水剂并在混凝土中应用获得成功。70年代后期,日本在引进技术基础上,进一步研制成别具特色的密胺树脂高效能减水剂系列产品NP-20。我国以此为基础开发了CH-20型高效能减水剂,主要以廉价的第三组分取代部分密胺以降低成本,同时进一步提高性能。当加0.5%CH-20,可节约水泥(15~20)%;如采用粉煤灰“双掺”技术,则可节约水泥(20~25)%。可配制早强和高强混凝土,减小截面,加快施工进度,加快模板周转和节约管理费用,经济效益显著,也可配制抗渗混凝土和大流动性混凝土。

3. 复合减水剂

近年来国内外常选用的复合外加剂配方,可概括如下^[8]:

- (1) 早强剂+减水剂;
- (2) 防冻剂+早强剂+阻锈剂;
- (3) 防冻剂+早强剂+阻锈剂+减水剂;
- (4) 防冻剂+早强剂+减水剂+引气剂;
- (5) 防冻剂+早强剂+减水剂+引气剂+阻锈剂;
- (6) 防冻剂+早强剂+减水剂+引气剂+阻锈剂+其他(如冰晶干扰剂、激发剂、氯离子干扰剂、催化剂等)。

国外石油化学工业的飞速发展提供了品种繁多的新型防冻剂,如日本在严寒中在对大跨度预应力混凝土套管内灌注砂浆时,选用乙二醇、甲基乙醇作防冻剂而无需加热。前苏联采用混凝土搅拌自动控制、密闭的运输系统和良好的防护设施,使氨水能成为良好的防冻剂。因为氨水可允许在极低负温(到 -100°C)下浇筑混凝土和砌筑砂浆,而且对钢筋有防锈作用,提高混凝土的抗冻性和抗渗性。ACI第222委员会推荐用亚硝酸钙代替亚硝酸钠,比较经济,又可避免钠盐带来强度降低,凝结时间不稳定,遭受风化和导致碱-骨料反应等副作用,国内外都在对亚硝酸钙-硝酸钙进行研究开发。

4. 载体流化剂

载体流化剂是以混凝土增强剂为载体,和高效减水剂、缓凝型外加剂等复合而成。在混凝土中加入水泥用量1%~3%的载体流化剂。流态混凝土坍落度的损失要比具有同样坍落度的普通混凝土快得多。防止坍落度损失的方法归纳起来有三种^[9]:(1)将超塑化剂(高效减水剂)与缓凝剂并用,但也没有有效地控制坍落度的损失;(2)将超塑化剂徐徐加入混凝土拌合物中;(3)采用超塑化剂与改性木质素磺酸盐并用。这些方法的共同点是将控制坍落度损失的添加剂同时加进去,通过这些添加剂缓慢地溶解到混凝土拌合物中来控制坍落度的损失。

载体流化剂是缓慢地将高效减水剂和缓凝剂释放到混凝土拌合物中,以控制坍落度的损失。试验表明,载体流化剂是控制坍落度损失的有效而方便的措施;含无机增强剂成份