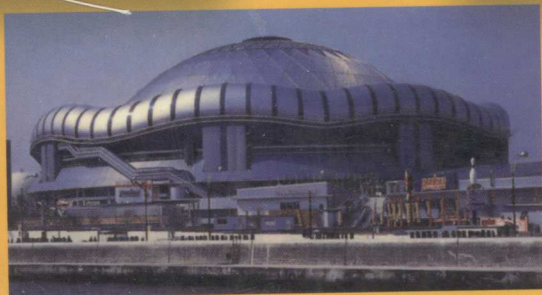
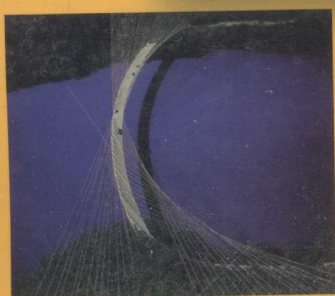


现代土木工程的新发展

New Developments in Modern Civil Engineering

吕志涛 主编
孙宝俊 汪庆玲 副主编



东南大学出版社

现代土木工程的新发展

吕志涛 主 编
孙宝俊 汪庆玲 副主编

东南大学出版社

内 容 简 介

本书主要介绍当今国内外土木工程领域在材料、结构、设计、工程应用等方面的研究成果、实践经验和发展趋势,很有参考价值。全书分主题报告和专题论文两部分,主要内容有结构机理、大跨与高层建筑、结构抗震、地基与基础工程、建筑物鉴定、加固与改造、桥梁与道路、特种技术与结构、材料与工艺、计算机应用等。本书主题报告部分由我国知名专家、学者撰写,既集中反映了土木工程界的最高学术水平,又突出了各专业的发展方向,具有指导性意义。

本书可供土木工程各专业领域的广大科技人员和大专院校有关专业的师生参考。

现代土木工程的新发展

吕志涛 主 编

孙宝俊 汪庆玲 副主编

*

东南大学出版社出版发行

(南京四牌楼2号 邮编 210018)

江苏省新华书店经销 华东有色地研所印刷厂印刷

*

开本 787×1092毫米 1/16 印张 38.75 字数 967千

1998年12月第1版 1998年12月第1次印刷

ISBN 7-81050-433-9/TU·47

定价: 88.00元

(凡因印装质量问题,可直接向承印厂调换)

编 委 会

顾 问 T.Y.Lin 丁大钧 王光远 赵国藩 项海帆

主 任 吕志涛

副 主 任 蒋永生 赵西安 江见鲸 沈蒲生 汪庆玲

委 员 (按姓氏笔划为序)

马耀庭 车惠民 包世华 刘西拉 刘锡良

沈世钊 沈祖炎 邵卓民 宋启根 孙宝俊

李爱群 张 誉 赵志缙 范立础 周福霖

钟善桐 宰金珉 黄安永 程文灏 蓝 天

主 编 吕志涛

副 主 编 孙宝俊 汪庆玲

责任编辑 徐步政

目 录

Beauty via Technology	T. Y. Lin (1)
-----------------------------	---------------

第一部分 主题报告

混凝土结构的现状和发展预测	丁大钧 (7)
工程软设计理论的基本概念	王光远 (27)
土木工程过去、现在和未来	项海帆 (34)
钢筋混凝土结构发展现状及展望	赵国藩 (40)
我国高层建筑的最近发展	赵西安 (50)
我国土木工程标准的体系和发展	邵卓民 (64)
试论结构工程设计规范的发展	陈绍蕃 (75)
结构工程的耐久性研究	刘西拉 宋晓冰 (82)
结构耐久性研究的展望	张 誉 (88)
土木工程知识创新及其产业化初探	蒋永生 (97)
21 世纪我国土木工程的机遇与挑战	沈蒲生 (104)
土建结构中的现代数值方法	江见鲸 王海龙 (110)
现代土建工程的软科学方法及其应用	侯 昶 (117)
近十年(圆)钢管混凝土结构的发展和应用	钟善桐 (122)
大跨空间结构的发展——回顾与展望	沈世钊 (129)
现代空间结构的新发展	刘锡良 (139)
从现代空间结构的成就看中国的发展前景	蓝 天 (149)
现代钢结构的发展与最新成就	陆赐麟 (157)
土木工程结构减震控制	周福霖 (167)
土体 - 结构体系地震性能研究进展	宰金珉 (177)
建筑结构基础隔震研究与应用	李爱群 程文灏 (185)
多层和高层建筑结构控制研究和应用综述及展望	蓝宗建 (191)
结构主动减震控制研究进展	陈国兴 (199)
考虑土 - 结构相互作用的结构控震研究方法综述	黄金枝 吴文志 (207)
结构分析方法的进展	宋启根 周志华 (215)
高层建筑结构解析、半解析常微分方程求解器方法系列	包世华 (222)

现代桥梁工程展望	范立础 (237)
我国海湾大桥桥型方案设计中的几个问题	程翔云 (244)
在桥梁建设中发展预应力钢-混凝土组合结构	车惠民 (250)
桥梁工程的发展与几点看法	邵容光 (255)
我国水底交通隧道工程的进展	严益民 孙宝俊 (260)
深基坑工程的现状与展望	赵志缙 (265)
建筑物的损坏与挽救	唐业清 (272)
论房屋加层与改造	张孝培 (280)
软土地基技术处理若干问题探讨	汪庆玲 姚 胜 (284)
我国建筑工程技术的新进展	王文新 (291)
工程项目管理的优化决策与动态控制研究	黄金枝 (297)
城市现代化与物业管理	黄安永 (305)
智能材料-结构系统在土木工程结构中的应用	瞿伟廉 项海帆 李卓球 (310)
玻璃幕墙的应用现状与研究方向	吕子华 吕令毅 (318)
预应力砌体结构的若干问题	骆万康 (325)
混凝土徐变理论与应用	孙宝俊 (332)
结构损伤诊断与神经网络的应用	易伟建 郭国会 (343)
路面结构无损检测与模量反分析	王复明 (348)

第二部分 专题论文

基于状态空间理论的结构抗震设计方法	陈荣毅 沈祖炎 沈鹏程 (356)
超限高层建筑结构振动台模型试验与分析	吕西林 卢文胜 (360)
延伸型结构的地震输入及结构反应研究	屈铁军 彭克中 (368)
40m 跨预应力混凝土拱架设计	马耀庭 (377)
江苏省会议中心预应力梁式转换层设计研究	刘 文 (383)
高层板柱-钢支撑结构体系设计	侯善民 (390)
高层住宅建筑中短肢剪力墙、异形柱的设计	褚国栋 (394)
北京昆泰大厦基础工程设计与施工	陈安昌 吴邦发 (399)
建筑物增层改建分析与探讨	刘殿华 汪庆玲 (406)
软土地基中爆扩短桩的工程应用研究	汪庆玲 胡风庆 (413)
高层建筑柱下桩-筏基础优化设计	张 晖 周开富 (420)
扬州金业大厦桩基工程设计与分析	陆建堂 (424)
高层建筑桩基逆作法初探	施明征 许福良 龚维明 (428)
软岩上嵌岩灌注桩承载力的确定	周洪涛 龚维明 (432)
钻孔灌注桩在垂直荷载作用下的性状	俞宗卫 (438)

基于动载试验的桩基质量评估时域分析方法综述	查利权	(444)
TBSA 与 PMPK 系列程序的应用比较	陆建堂 严益民	(449)
混凝土结构的实用徐变分析	殷惠光 魏全林	(454)
计算预应力超静定结构极限荷载的逐步加载法	王友权 曹一钧	(459)
对一种新型悬索屋盖结构的分析计算——扉状梯形悬索屋盖结构设计	罗小青 刘福华	(464)
考虑砖填充墙作用时框架结构内力变化分析	樊 江 陶 燕	(469)
钢筋混凝土框架结构—基础—地基共同作用的弹塑性静、动力有限元分析计算	罗小青 谌拥军	(474)
新老混凝土的粘结机理和测试方法研究	熊光晶 谢慧才	(480)
粉煤灰掺合料对钢筋混凝土结构护筋性的影响	嵇亚俊 刘萍华 严文群	(486)
钢纤维高强混凝土配合比设计方法的研究	秦鸿根 孙 伟 卢康道	(490)
低合金盘圆变形钢筋的研究开发与应用	王然良	(497)
冷拔螺旋钢筋的开发及应用	裴 智 王友权	(530)
冬季大面积混凝土工程设计与施工实践	周开富 季 非	(507)
预应力多孔板楼盖的加固设计探讨	黄建元 王 兵	(512)
某教育活动中心井式楼盖裂缝分析与处理方法	许光有	(515)
青岛市区高层建筑深基坑施工中的变形监测	郭宗河 张大林	(520)
现浇箱梁的地基处理及支架设计与施工	陈 远 罗建平	(524)
粉砂土地区挡土墙的倾覆问题	王永大	(529)
无粘结预应力技术在圆形水处理池中的推广和应用	何德湛	(533)
新型预应力闸墩的试验研究	孙志恒 刘致彬 聂林妹	(537)
锯齿排架抗震设计中的若干问题	侯月明 张松林 李传泽	(541)
半刚性基层沥青路面的开裂机理分析	彭妙娟 程玉民	(547)
交通流中交通荷载的数学模型探讨	张土乔 程 朴	(552)
加权残数和有限元耦合法及其在结构工程中的应用	程玉民 彭妙娟	(556)
基于结构振动分析的计算机可视化与多媒体仿真	倪 强 唐家祥	(562)
主动式 CAD 操作系统	钱敬平	(569)
利用 Internet 辅助土木工程项目建设管理	陈 震	(573)
变频调速给水技术分析	刘 焱	(579)
建筑工程项目的造价控制	麻建锁	(585)
基本建设物料管理初探	方少骅	(589)
关于建设项目工程造价的控制	陶 叶	(593)
地下室通风和防排烟设计	郭树群	(596)
高等院校清理不合理用房探讨	王文宁 蔡永林	(599)

BEAUTY VIA TECHNOLOGY

T. Y. LIN

Technology has always been used by engineers simply to help achieve purposes and serve functions with little regard for beauty. But modern technology has now developed to a point whereby it can create beautiful structures for bridges and buildings undreamed of once upon a time. Centuries ago, Architect-Engineers did build monumental churches and lofty pagodas without modern technology. Many were great works of art done without science or engineering. Recently, engineers began to realize the tremendous esthetic potential which technology has brought to the construction of long span structures with various forms attaining new beauty and glory, while heavy live loads, and resisting undetermined forces of nature.

This paper is intended to show the beginning and the future reaches of modern technology, emphasizing its ability to create new space and forms unfounded in structures of the old days. Such technology essentially consists of the employment of new materials, new equipment, methods of construction, and of analysis. It is now possible to conceive new forms and dimensions previously impossible, because we do have high strength steel and concrete, methods of prefabrication and the ability to transport heavy pieces up to several thousand tons. But, may I emphasize, particularly, the use of computer programs to analyze highly-complicated and indeterminate assemblies, subjected to unexpected stresses and strains. To prove this point, some examples of creative arch designs by the author and his colleagues are presented herewith, to illustrate the structural esthetics made possible by technology.



Figure 1 Three 20 m concrete arch spans, Cheng-Yu Railroad Bridge, China, 1938

An example of ancient arch construction with the trusts resisted by abutments at the two ends and heavy piers in-between is shown in Figure 1. This bridge was designed by the author and built in 1938 for the Cheng-Yu Railroad in the interior of China. It was limited by the shortage of materials resisting tension and no ties were employed.

Figure 3 shows two arches meeting over a pier of a three-span continuous steel arch bridge, with a center span of 180 m, which employed ties along the roadway level, located at the mid-depth of the arches. These ties also served to resist the major portion of bending moments produced by the highway loading, so the arch itself was made very thin. Note that there are no cross-bracing connecting the two parallel archribs, again accentuating the arch form.



Figure 2 Moscone Convention Center, San Francisco, CA, USA, 1980



Figure 3 Kwang-Du Highway Bridge, Taipei, Taiwan, 1982

The resistance to unbalanced live loading is an interesting problem, with the structure being statically indeterminate to the hundreds of degrees. The entire bridge, consisting of three center spans plus two short spans, was welded in three segments, with each segment 150 m to 230 m long mounted on barges and floated to sit on top of the piers.

The steel arch High Bridge over the Mississippi River, shown in Figure 4, joins Minneapolis with St. Paul, Minnesota. Here the ties are placed along the top deck. Thus the 150 m center arch span is flanked with two half-spans. This gives a smooth force flow to the assembly, since the flanking half arches join naturally into the straight approach spans. The ties are made of post-tensioned cables which were also utilized during erection to handle segments of the arches.



Figure 4 High Bridge over the Mississippi River, Minneapolis - St. Paul, USA, 1983

The Bi-Tan Bridge in Taiwan was designed after the High Bridge, also with post-tensioned ties along the top deck (Figure 5). It went a step further by omitting all the spandrel columns between the arch ribs and the deck, achieving a neat arch layout. Draping the cables within the deck enables it to span the distance without any spandrel columns. This bridge has two parallel structures, each carrying four lanes of expressway traffic.

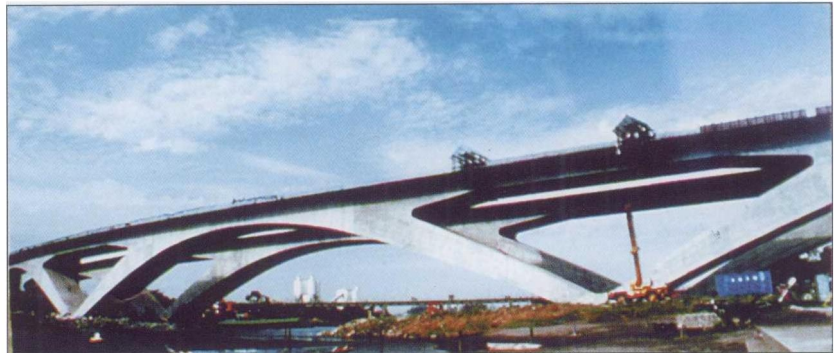


Figure 5 Bi-Tan Highway Bridge, Taiwan, 1995

Turning an entire arch plane away from its vertical position to lie on a horizontal plane changes an arch into an arc. This is achieved in the case of the Ruck-A-Chucky Bridge, Front Cover, which spans 400 m on a horizontal arc of 50° across a deep gorge so as to run along the hillside contours, thus getting rid of two curved approach tunnels otherwise require for that crossing.

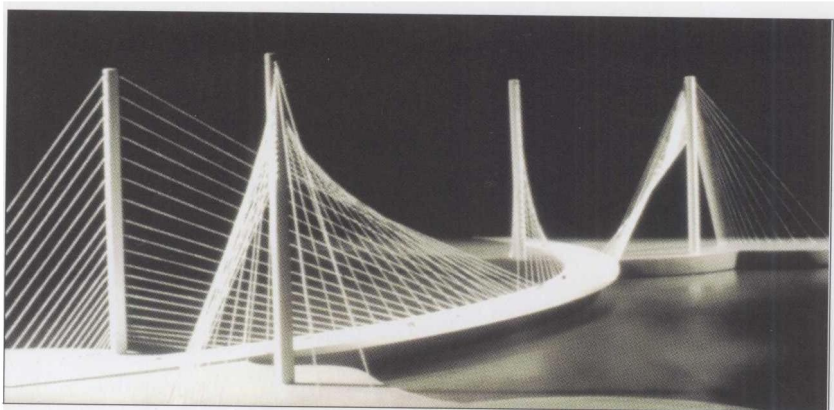


Figure 6 Arc Bridge to span 400 m on a plane, supported by 4 columns, conceived 1985

By spreading the stay-cables along the hillsides, it is possible to direct the axial force along the deck to follow its curvature, thus producing no moment or shear, right or left, up or down. Although the cable formations were determined to scientific criteria with little attention to aesthetics, the sweeping fan curvature approached that of a hyperbolic-paraboloid surface, and looks pleasing to the eye.

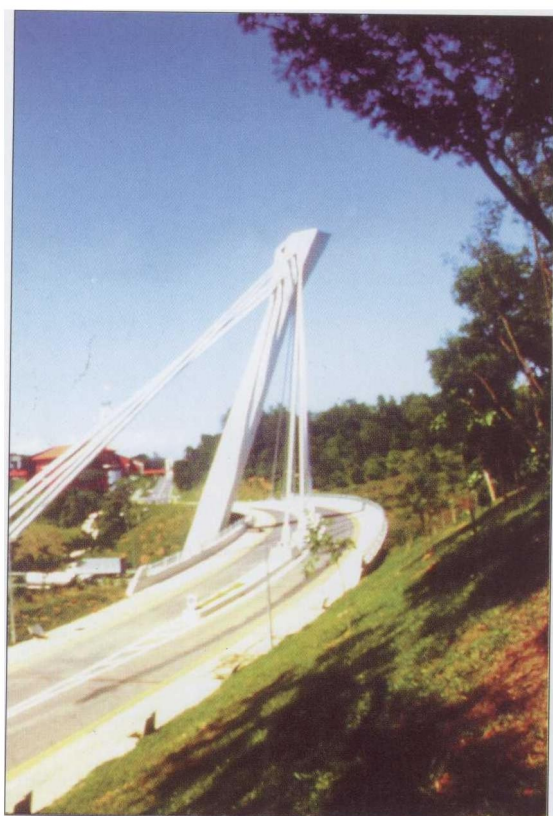


Figure 7 Safti Bridge, Singapore, 1995

As a follow-up of the above arc design, architectural consultant Myron Goldsmith raised the question of whether such a curved bridge could be designed and constructed on a plane, although there was no apparent reason to need one like that. The result was a layout using four upright piers and a beautiful cable arrangement (Figure 6). This form was later successfully adapted to the SAFTI Bridge in Singapore, as shown in Figure 7.

Having flipped the arch to 90° on its side in the above two cases, the Rio Colorado Bridge, San Jose, Costa Rica demonstrated that it can also be turned 180° , upside down, as shown in Figure 8. It was built similarly to a suspension bridge, but it acts like an arch after additional post-tensioning cables along the arch produced compression that it can carry live load moments by releasing some of the precompression between the segments.

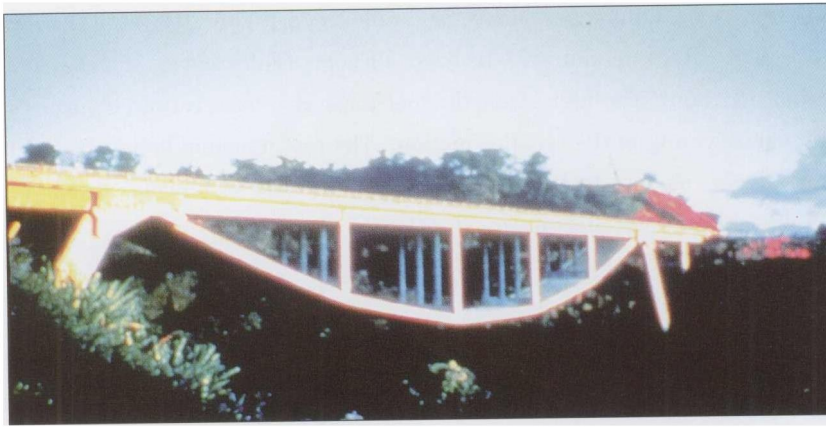


Figure 8 The 146 m span Rio Colorado Bridge, San Jose, Costa Rica, 1972

A further advance took place in extending the arch into the third dimension. Two examples are shown here, both for large stadia whose architectural layout demanded such shapes. With modern techniques, any concept that looks good and suitable for the environment can be designed, analyzed, and constructed rationally.

The Arizona State Coliseum at Phoenix (Figure 9) shows a hyperbolic-paraboloid roof covering a circular area of 120 m diameter, with the compression ring galloping up and down along the periphery. The roof cables sag along one direction and humps along the other direction, both post-tensioned to serve as ties for the circular arch. Construction problems were solved by pre-casting upside down bath tub 3 m square, having a slab thickness of only 7 cm with four edges 30 cm deep.

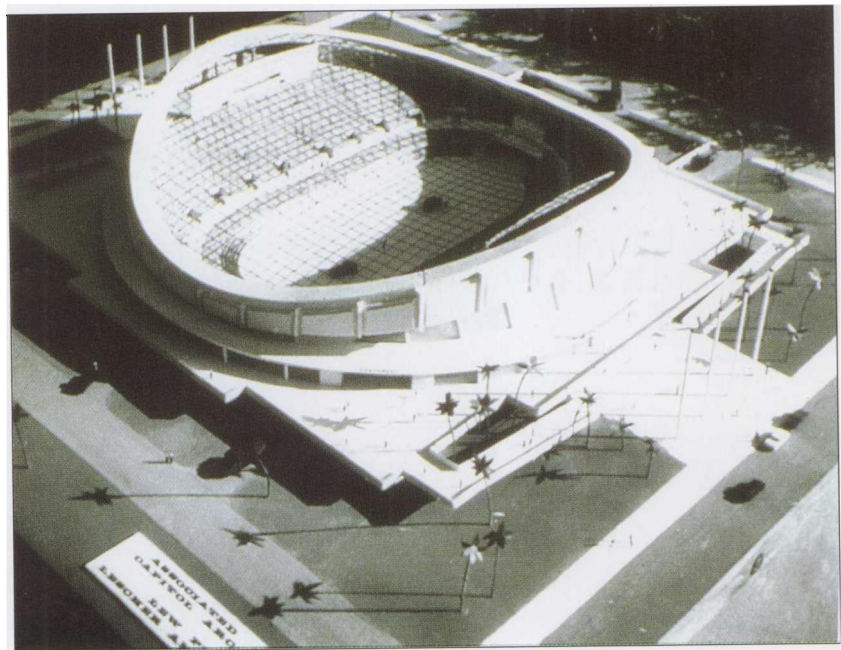


Figure 9 Model for the Arizona State Coliseum, Phoenix, AZ, USA, 1965

The Shah Alurn Stadium, Kuala Lutumpur, Malaysia as shown in Figure 10, is 300 m in diameter and seats over 80,000. The intention was to have all seats under cover, leaving the playing field exposed to wind and rain. The high-strength steel roofs also form two arch surfaces spanning almost 300 m and cantilevering in the radial direction. The roof dynamic behavior under wind was tested in a tunnel. Thus, modern technology further development of unusual structural systems to meet new environmental and architectural challenges.

Figure 10 Shah
Alurn Stadium,
Kuala Lutumpur,
Malaysia, 1995



With modern materials and techniques, engineers can develop new concepts to serve specified functions and to cover large spaces.

We are entering a new world where engineers can lead in the development of beautiful concepts and structures. We give challenge to the Chi Epsilon members of the Civil/Structural Engineering profession to carry on.

Note: This article is based on another entitled "Arch as Architecture" appearing in IABSE's Structural Engineering International, Feb. 1996 issue, pp. 84-87.

(本文是林同炎教授应东南大学孙宝俊博士的邀请为本书作的报告, 1998年9月收到英文稿; 11月又致函, 希望以英文发表并寄来插图。)

第一部分 主题报告

混凝土结构的现状和发展预测

The state-of-art of concrete structures and the prediction of developments

东南大学 丁大钧
Southeast University Ding Dajun

提 要 本文首先阐述工程材料、建筑工程、特种结构、道桥和隧洞以及水工结构的现状。在此基础上就结构尺度的增大,新材料的开发和结构的创新以及预防和抗各种灾害时混凝土结构的应用发展等方面进行预测。最后在结束语中提出七点看法供参考。

Abstract This paper presents firstly the state-of-art of engineering materials, building engineering, special structures, roads and bridges and tunnels, as well as hydraulic structures. On understanding the recent situations, the predictions of possible developments in the near future are suggested in the enlargement of structure scales, the exploitation of new materials, the innovation of structures and the application developments of concrete structures in preventing and resisting various disasters, etc. Finally, in concluding remarks, seven personal opinions of the author are put forward, including two conceptions of structural design for reference.

一、概 述

钢筋混凝土自上个世纪中叶发明后,在建筑材料上经历了第一次飞跃。此后应用发展迅速。至 1928 年法国工程师 E. Freyssinet (1879 ~ 1962) 正式获得能实际应用的预应力混凝土,成为第二次飞跃,经历全预应力、部分预应力、无粘结预应力和体外配筋几个阶段,应用范围大为扩展。现在很多场合下应用预应力混凝土可以代替钢结构,使跨越 400m 及以上的水平空间和建造 550m 高塔以及 14 万 m^3 的地上液化天然气(LNG)储罐已成为现实。混凝土结构正不断向高、大、长方向迅速发展,这是一个重要的方面,但不是全部。

有关材料性能的改进和品种的更新、结构类型的发展,这将构成混凝土结构发展的又一方面。在开发新材料中,发展轻混凝土和超轻混凝土,乃至高强轻混凝土是很重要的一项内容。我国 10 年前已建成 15 幢 30 层全部陶粒混凝土高层住宅。国外已有用混凝土和轻混

凝土建成 200m + 400m + 200m 的斜拉桥的工程实例,其中用 C45 混凝土 4000m³, C35 轻混凝土 6400m³。

由于环境污染对结构工程带来的危害,开展混凝土结构耐久性乃至混凝土结构寿命的研究;海边水工结构裂缝和钢筋锈蚀严重,这更应主动积极予以防止和整治。这是问题的又一方面。

对地震灾害的抗御的研究和实践,近 40 年来已逐渐受到重视(1956 年在美国召开的第一届世界地震工程会议到 1977 年在印度召开的第六届会议,论文集中发表的论文逐届增多,从第一届为 38 篇至第六届增加至 619 篇)。这为当前混凝土结构发展中值得注意的动向。

由于耕地的沙漠化以及缺水的问题愈来愈突出,人类必需采取相应的措施和建造有关的各类特种结构以自救。混凝土结构正在积蓄力量为实现第三次飞跃而准备着。

二、现 状

信息科学居当代六大科技群之首,因需“知己知彼”。

(一) 材料和施工

1. 材料

国内外现在都在研究和试用高性能混凝土和高强混凝土或超高性能混凝土或超高强混凝土。高性能混凝土并不一定是高强的,但高强混凝土基本上是高性能的^[1]。

在欧美,大多是采用掺微硅粉或再加些粉煤灰^[2]以提高混凝土强度和改善其性能。

在日本从 1986 年开始研究采用加大掺量粉煤灰和矿渣粉代替大部分水泥,有时则加石粉以改善混凝土的和易性^[3]。因高流动性混凝土中粉煤灰单独含量已超过水泥,故其流动性很好。由于流动性好,可不用振捣而在自重下流动填实,故浇筑质量高,混凝土密实,因而耐久性亦好。也有未加粉煤灰而用不同含量的矿渣粉代替水泥^[4~6]来提高混凝土的抗压强度。

丹麦用超高强混凝土(圆筒强度为 181MPa)制作的密筋混凝土梁,不配箍筋承担的名义剪应力达 14.2MPa^[7]。因此在某些情况下不施加预应力而可保证在使用荷载下乃至重复(达 200 万次)荷载下的抗裂性^[8]。

最近,我校研究了水泥基复合材料的火山灰效应、微集料效应和堆集效应,采用硅粉和超细粉煤灰的双掺技术(各 7.5% 水泥用量),制造出钢纤维增强水泥基材料的抗压强度达 369MPa^[9]。因为超高强混凝土的脆性,必须掺钢纤维才能实际应用^[8]。在文献[9]中在细观范围内用有限元方法研究空隙率和空隙尺度等对水泥基抗压强度的影响,其结论与断裂力学一致^[10]。

已知高层建筑中采用超高强混凝土的强度最高的达 C120,这是 1989 年在美国西雅图建成的 56 层、高 226m 的双联合广场大厦中四根直径为 3.05m 钢管柱中灌注的现场混凝土,这不是为了强度而主要为了提供总刚度以使由风作用引起的加速度包括在容许限度内。很明显,目前世界最高建筑,也是最高混凝土建筑,马来西亚吉隆坡石油双塔楼从下面到第 20 层直径 2.4m 混凝土柱中也只采用 C80 混凝土^[11]。

在碾压混凝土坝中,70 年代中期国外即采用高掺量粉煤灰低水泥混凝土,既可节约水

泥,增加混凝土的密实性和产生低热量,其长期抗压、抗拉强度和弹性模量增长较多,而收缩和徐变减小。河海大学^[12]研究了高掺量粉煤灰混凝土的水化、微结构的机理。研究表明,高掺量粉煤灰混凝土能有效改善混凝土的抗冻性。此外,高掺量粉煤灰混凝土与普通混凝土在碳化方面有明显不同。

对混凝土受压应力-应变全曲线自 80 年代初清华大学附加一对千斤顶以加强压力试验机刚度在国内首次获得成功^[13]后,国内很多单位作出这种曲线,并也已发现随混凝土抗压强度的提高,相应最大应力的应变增大(大于千分之二)^[6],而下降段的反弯点的压应变变小^[14](采用外套一钢筒加强试验机刚度)。我国也进行过直接受拉和圆环受拉的应力-应变全曲线的试验^[15,16]。

对混凝土疲劳强度的试验研究,近些年来国内有关单位进行已较多。最近哈尔滨建筑大学进行了混凝土试件和不同受损混凝土试件疲劳试验^[17]。首先利用混凝土疲劳损伤(变形)发展三阶段规律,提出了通过微损测试混凝土疲劳寿命的方法,在疲劳荷载下混凝土试件上裂缝分布如图 1 所示,可见完好试件破坏时,形成一条贯通的纵向裂缝,没有明显的次裂缝散布,而受损试件破坏时则形成多条贯通性竖向裂缝,且有许多明显的次裂缝。

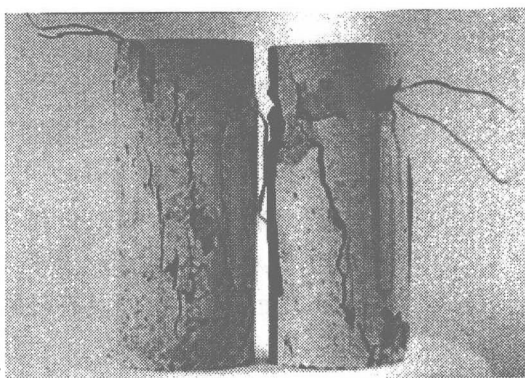


图 1 已受损和完好试件疲劳破坏时裂缝的分布

我国对复合应力下混凝土强度也进行了相应的试验研究,如双向受压拉^[18]或压扭试验研究^[19]以及对三向应力状态下的试验研究^[20]。

文献^[21]中采用三向受压的本构模式研究钢管混凝土取得较好效果。

对断裂力学和损伤力学在混凝土中的应用我国也已先后展开了研究^[22,23]并有所应用^[24]。国外在 80 年代中也展开了 70 年代中期创立起来的金属微观力学^[25]在混凝土中应用的研究^[26],清华大学对此也进行了研究。

我国亦早已生产高强度低松弛高强钢丝和精轧螺纹钢筋。高强钢丝强度已达国际水平 1860MPa,国外有达 2000MPa 的。如在主跨为 $3\text{m} \times 245\text{m}$ 的湖北黄石刚架桥(1996)中即曾采用强度为 1860MPa 的低松弛钢绞线,该桥和虎门大桥辅航道桥中都用了 $\phi 32\text{mm}$ 精轧螺纹粗钢筋^[27,28]。此外我国也已生产 $\phi 6\text{mm}$ 和 $\phi 7\text{mm}$ 高强钢丝,并试制成 $\phi 9\text{mm}$ (国外达 $\phi 10\text{mm}$) 高强钢丝,基本达到发达国家水平^[29]。

国内外已广泛采用部分预应力混凝土^[30~32]。10 多年前无粘结预应力混凝土技术在国内研究和应用已逐步开展。体外预应力配筋在国外应用已渐多^[32],国内在桥梁(汕头海湾桥^[30])和建筑中(石家庄市东方购物中心裙房 8 层展厅 18m 大梁^[31])也已采用,它具有较无粘结预应力配筋可更方便地调整预应力的优点,同时对其锈蚀可较容易监测。

近年来国外又研究和应用高强混凝土制作预应力芯棒^[33,34]。

国外早采用大吨位锚具。图 2 示德国 Paul 机器制造 GmbH & Co. 制造的 15000kN 的预应力千斤顶^[34]。国内也已制成 10000kN 大吨位锚具。

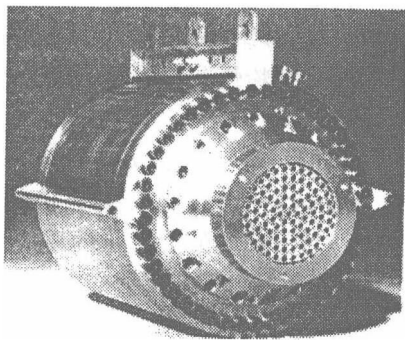


图2 国外 15000kN 预应力千斤顶

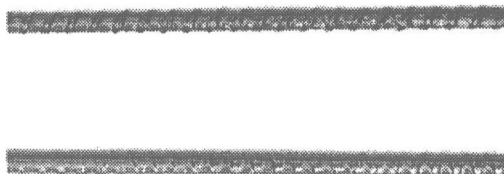


图3 碳纤维加强塑料

塑料纤维、玻璃纤维和碳纤维可乱向加于混凝土内以加强混凝土。第一次大规模使用碳纤维加强混凝土(CFRC)是在伊拉克纪念馆圆顶(有尖顶的,高 40m,底部直径 45m)中预制墙板内采用,CFRC 的比重为 1.0,用蒸压养护^[35]。但近 20 年来国外研究和试用纤维加强塑料(FRP)、碳纤维加强塑料(CFRP)、玻璃纤维加强塑料(GFRP)以及芳纶纤维加强塑料(AFRP)。这些纤维加强塑料筋强度很高,接近高强预应力筋,特别是芳纶加强塑料筋达 3000MPa(按有效的纤维截面确定的),并具有轻质、耐久和耐疲劳等优点,但弹性模量较低,因而变形较大,因此多用作预应力筋。它们与混凝土握裹强度约为钢筋的 2/3,因此锚固要求特别注意^[36]。在日本、德国等国家用这些加强塑料筋作预应力筋已建造不少桥梁,(净)跨度有达 46.5m。1996 年在日本茨城用 AFRP 作预应力筋建造了一座长度为 54.5m 的悬带桥^[37]。

1993 年在日本曾获赠碳纤维加强塑料筋(图 3)以及用长芳纶丝加强一种白色(软)塑料制作的索的样品。芳纶塑料索直径约 12mm,承载力达 150kN^[38]。有建议在拟议建造的直布罗陀海峡悬索桥(跨度可能为 3000 ~ 5000m)采用碳素索(当然需用塑料包裹的)代替钢索,重量减轻 80%^[39]。

2. 施工

发达国家采用集中拌和的商品混凝土和拌合混凝土运输车已很普遍,这大大减轻工地污染和保证质量。我国大中城市商品混凝土也已分别达 90% 和 70%。泵送混凝土采用也较多,国外垂直运输已达 432m,水平达 1520m。国内分别达 382.5m(金茂大厦)和 1000m。

在大型工程中滑模、爬模、飞模等施工方法也较早采用。国外滑模高度达 450m。

在长度大的现浇混凝土建筑中为了避免做伸缩缝,多采用后浇带。国内有长度 150m 的高层建筑即采用这种方法而收到预期效果。

国外 70 年代已采用大吨位高塔吊。近 10 年来开始采用的 K-25000 塔吊,高 140m,起重能力达 25000t^[40]。

国外对预制混凝土桥梁架设采用的“浮吊”起吊能力达 7300t、丹麦大海带桥东桥引桥原设计方案之一为跨度 124m 的预应力混凝土连续箱梁桥,每跨重 6400t^[41],后改用跨度为 193m 的连续钢箱梁^[42],自重较轻,但在 1991 ~ 1994 年架设 6 联预制连续预应力混凝土箱梁,全长 6.6km,每跨重 5700t,即采用此“浮吊”。