

绪 论

本章主要讲述混凝土结构的一般概念,重点阐述性质不同的两种材料(钢筋和混凝土)能够结合在一起共同工作的可能性和有效性,分析混凝土结构的特点;简要介绍混凝土结构的发展与应用概况。最后指出本课程的主要内容和特点,并对混凝土结构课程的学习方法提出建议。

1.1 混凝土结构的基本概念

将水泥、砂、石子、水以及必要的添加剂按一定的比例和工序进行混合,经搅拌、养护即成为混凝土。混凝土结构主要包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构和其他形式的加筋混凝土结构等。

素混凝土结构是指无筋或不配置受力钢筋的混凝土结构,在建筑工程中一般用作基础的垫层或室内外地坪,很少将其做成受力构件。钢筋混凝土结构是配置普通受力钢筋的混凝土结构。预应力混凝土是配置预应力钢筋,通过张拉或其他方法建立预应力的混凝土结构。

钢筋和混凝土都是土木工程中重要的建筑材料,混凝土有较好的抗压强度,但其抗拉强度很低,只有其抗压强度的 $1/17 \sim 1/8$;若将其用于梁构件,则起不到承担荷载的作用。钢材抗拉、抗压强度均很高,但细长条的钢筋受压易压屈,几乎不能形成实际承重结构。钢筋和混凝土两者经适当组合,则可充分发挥混凝土抗压性能好、钢筋受拉强度高的优点。

如图 1-1(a)、(b)所示两根简支梁,跨度为 3m,截面尺寸 $b \times h = 150\text{mm} \times 300\text{mm}$,混凝土强度等级为 C20,一根为素混凝土梁,另一根梁的受拉区配置了两根直径为 16mm 的钢筋(HRB335 级,记作 2B16)。混凝土的抗拉强度较低,在荷载作用下,素混凝土梁受拉区边缘混凝土一旦开裂,裂缝便迅速发展,梁瞬时脆断而破坏(见图 1-1(a)),此时受压区混凝土的抗压强度还远远没有充分利用,梁的承载力只有 2.5kN 左右。对于在受拉区配置钢筋的梁,当受拉区混凝土开裂后,裂缝截面处混凝土的拉力转由钢筋来承担,裂缝不会迅速发展,裂缝截面处混凝土的拉力转由钢筋来承担,故荷载还可以进一步增加,直到加荷到 27kN 时,受拉钢筋的应力达到屈服强度,随后截面受压区混凝土被压碎,梁始告破坏。试件破坏前,裂缝充分发展,梁的变形幅度较大,有明显的破坏预兆(见图 1-1(b))。由素混凝土梁与钢筋混凝土梁的对比实验可知,在混凝土中配置一定形式和数量的钢筋形成钢筋混凝土构件后,构件的承载能力可得到很大提高,受力性能也得到明显改善。

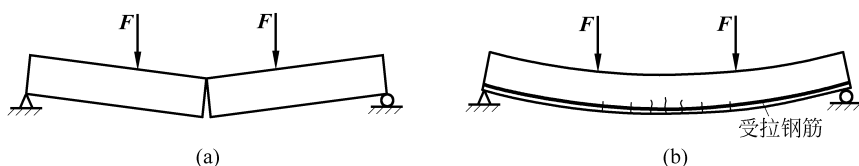


图 1-1 素混凝土梁与钢筋混凝土梁的破坏情况对比

(a) 素混凝土梁; (b) 钢筋混凝土梁

钢筋和混凝土是两种物理、力学性能完全不同的材料,之所以能有效地结合在一起共同发挥作用,首先是由于混凝土硬化后,钢筋(尤其是带肋钢筋)与混凝土之间有很好的粘结力,在外荷载作用下能协调变形、共同工作。其次,钢筋与混凝土两种材料的温度线膨胀系数颇为接近:钢为 $1.2 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$,混凝土为 $(1.0 \sim 1.5) \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ 。当温度变化时,不会产生过大的相对变形而破坏两者之间的粘结。再次,混凝土可为钢筋提供保护作用。

钢筋混凝土结构在土木工程结构中的应用非常广泛。目前我国,90%的在役建筑和在建的工业与民用建筑采用钢筋混凝土结构,这是因为它有如下优点:

(1) 就地取材。在钢筋混凝土结构中,所占比例较大的砂和石易于就地取材,在工业废料(例如矿渣、粉煤灰等)较多的地方,还可将其部分替代水泥或加工成人造骨料用于钢筋混凝土结构中。

(2) 节约钢材。钢筋混凝土结构合理地发挥了材料的性能,达到节约钢材、降低造价的目的。

(3) 耐久性好。在钢筋混凝土结构中,混凝土的强度随时间而增长,与此同时,钢筋受混凝土的保护而不易锈蚀,所以钢筋混凝土结构的耐久性很好,不像钢结构那样需要定期保养和维修。处于侵蚀性气体或受海水浸泡的钢筋混凝土结构,经过合理的设计及采取特殊的措施,一般也可满足工程需要。

(4) 耐火性好。混凝土包裹在钢筋的外面,起着保护作用。一定的保护层厚度,可避免钢材在火灾中很快达到软化温度而造成结构整体破坏。与钢结构和木结构相比,钢筋混凝土结构的耐火性相对较好。

(5) 可模性好。可根据需要将钢筋混凝土结构浇筑成各种形状和尺寸,以适用于形状复杂的结构,如箱形结构、空间薄壳等。

(6) 整体性好。整体浇筑的钢筋混凝土结构整体性好,对结构抗震、抗爆有利。

但是,钢筋混凝土结构也存在一些缺点,主要有以下几点:

(1) 自重较大。钢筋混凝土的密度约 2.5 t/m^3 ,对大跨度结构、高层结构、高耸结构的抗震性能不利。

(2) 抗裂性差。混凝土的抗拉强度很低,混凝土受拉时极易产生裂缝。因此,在正常使用荷载作用下,普通钢筋混凝土结构往往带裂缝工作,从而限制了钢筋混凝土结构在防渗、防漏要求严格的容器、管道结构中的应用。

(3) 施工较复杂。现浇结构模板需耗用较多的木材,且施工受季节环境影响较大,补强修复工作比较困难。

(4) 承载力较低。与钢材相比,混凝土的强度很低,因此,钢筋混凝土构件的截面尺寸相对较大,占据较多的使用空间。

(5) 结构的循环再利用率较低。在钢筋混凝土结构的原材料中,水泥、钢材都属于高耗能材料,大量使用混凝土结构将对资源、生态产生不利影响,拆除、报废的混凝土结构又会污染环境。

随着科学技术的发展,上述一些缺点已经或正在逐步加以改善。例如:

(1) 针对自重大的问题,研制了轻骨料混凝土,轻质高强混凝土可达 LC60 级,密度约为 1800kg/m^3 ,约为普通混凝土的 70%。

(2) 采用预应力混凝土可有效提高结构构件的抗裂能力。

(3) 采用滑模施工,利用泵送混凝土、早强混凝土、自密实混凝土可大大提高施工效率。

(4) 针对钢筋混凝土承载力受限的问题,近年发展了钢骨混凝土、钢管混凝土等新型结构形式,减小了构件的截面尺寸,改善了受力性能。

(5) 出于对资源、能源的保护,近年发展了绿色混凝土、再生混凝土。

1.2 混凝土结构的应用与发展概况

1.2.1 混凝土结构的发展概况

现代混凝土结构是随着水泥和钢铁工业的进步而发展起来的。1824 年,英国人 J. 阿斯顿(J. Asptin)发明了波特兰水泥并取得专利。1850 年,法国人朗波(L. Lambot)制造了世界上第一支钢筋混凝土小船。此后,混凝土结构逐步用于结构工程。

尽管混凝土结构的历史比砖石结构和钢结构都短,但其发展非常迅速。混凝土结构的发展大体分为三个阶段。

第一阶段是从钢筋混凝土发明到 20 世纪初。这一阶段所采用的钢筋和混凝土的强度都比较低,主要用来建造中小型楼板、梁、拱和基础等构件。计算套用弹性理论,采用容许应力法设计。

第二阶段是从 20 世纪初到第二次世界大战前后。这一阶段混凝土和钢筋强度有所提高,预应力混凝土的发明和应用使钢筋混凝土用于建造大跨的空间结构。在计算理论方面,能够考虑材料的塑性,如板的塑性铰线理论,并开始按破坏阶段计算钢筋混凝土构件的承载力。

第三阶段是第二次世界大战以后到现在。这一阶段的主要成就是高强混凝土和高强钢筋的出现及其广泛应用;装配式混凝土结构、泵送商品混凝土技术以及各种新的施工技术应用到各类土木工程,如超高层建筑、大跨度桥梁、特长的跨海隧道、高耸结构等。在计算理论方面,已过渡到充分考虑混凝土和钢筋塑性的极限状态设计理论,采用以概率论为基础的多系数表达的设计公式。

1.2.2 混凝土结构的工程应用

混凝土结构的应用范围日益扩大,无论从地上或地下,乃至海洋及工程构筑物,很多都用混凝土建造。下面从几个方面加以说明。

1. 高层建筑与大跨度结构

在房屋建筑中,工厂、住宅、办公楼等单层、多层建筑广泛采用混凝土结构。在 7 层以下

的多层房屋中,部分采用砌体结构作为竖向承重构件,但楼板几乎全都采用预制混凝土板或现浇钢筋混凝土楼盖。7层以上的大量高层建筑,采用了混凝土结构或钢与混凝土组合结构。目前,混凝土结构的高层建筑代表有朝鲜平壤市柳京饭店,105层,高334.2m,于1990年4月完工,主体结构采用钢筋混凝土剪力墙结构。广州天河中信广场(见图1-2),83层,主楼高达391m,是国内标志性的混凝土建筑。台湾国际金融中心大厦(101大楼)采用钢筋混凝土巨型结构,1998年1月动工,2003年10月主体工程完工,楼高508m,地上101层,地下5层。深圳平安金融中心屋顶高度为597m,基础底板厚4.5m,混凝土强度等级C40,混凝土总量为 $3.02 \times 10^6 \text{ m}^3$ 。举世瞩目的摩天大楼迪拜塔(见图1-3),高818m,162层,主体结构为混凝土结构。



图 1-2 广州天河中信广场



图 1-3 迪拜塔

混凝土结构还用于建造民用建筑中的大跨度影剧院、体育馆、展览馆、大会堂、航空港候机大厅及其他大型公共建筑,以及工业建筑中的大跨度厂房、飞机装配车间和大型仓库等。林同炎设计的旧金山地下展览厅,采用16片钢筋混凝土拱,跨度为83.8m,拱的推力达 $4.8 \times 10^4 \text{ kN}$ 。意大利都灵展览馆拱顶由装配式构件组成,跨度达95m,非常宏伟、壮丽。钢筋混凝土薄壳组成的屋盖更是风格多样,如美国西雅图金群体育馆采用圆球壳,跨度达202m。前南斯拉夫贝尔格莱德展览馆,采用带肋的圆球顶,直径约110m。

2. 桥梁工程

一般中小跨径的桥梁,大部分采用钢筋混凝土建造,有梁式桥、拱桥、刚架桥和桁架桥等结构形式。有些大跨度桥梁虽然采用了钢悬索和钢制斜拉索,但其桥面结构也大部分采用混凝土结构。预应力混凝土简支梁桥在20世纪20~50年代得到广泛应用。基于拱桥的力学特性,采用钢筋混凝土建造具有更大的优势。目前,世界上跨度较大的混凝土拱桥有我国万县长江大桥(见图1-4),跨度达到420m。前南斯拉夫克尔克岛的克尔克1号桥(见图1-5),跨度390m。日本的别府明磐桥,跨度为30m+351m+30m。我国1989年建成的四川涪陵乌江桥,全长351.83m,主跨200m,为拱结构,矢跨比为1/4。

钢筋混凝土刚架桥在铁路、公路中也广为应用。如广东洛溪跨越珠江的洛溪大桥,采用刚架结构,桥面与桥墩整体刚接,主跨达180m。清水河大桥主桥三跨为72m+128m+

72m,为预应力连续刚架结构,桥梁主跨 128m,其中 4 号桥墩高 100m,是世界闻名的铁路桥墩。超过 500m 跨度的大桥往往采用悬索桥或斜拉桥,但也常与混凝土结构混合使用。如香港青马大桥,跨度 1377m,桥体为悬索结构,其中支承悬索的两端立塔高 203m,是混凝土结构;又如上海杨浦大桥,主跨 602m,为斜拉桥,其桥塔及桥面均为混凝土结构。



图 1-4 万县长江大桥

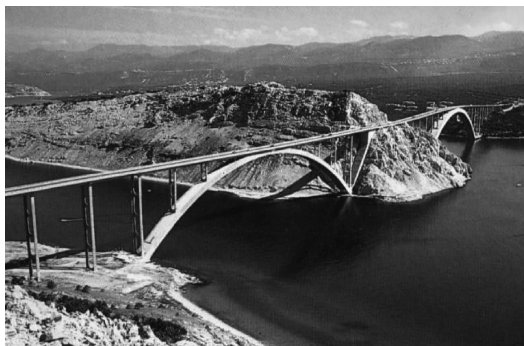


图 1-5 克尔克 1 号桥

3. 特殊结构与高耸结构

混凝土结构在道路、港口工程以及特种结构中也有大量应用。码头、道路、储水池、仓储构筑物、电线杆、下水管道、烟囱等均可见到混凝土结构的应用。由于滑模施工方法的发展,许多高耸建筑也可采用混凝土结构。广州电视台新塔(见图 1-6),塔身主体 454m,天线桅杆 156m,总高度 610m,建于广州市海珠区,距离珠江南岸 125m,是一座以观光旅游为主,具有广播电视发射、文化娱乐和城市窗口功能的大型城市基础设施,为 2010 年的第十六届亚洲运动会提供了转播服务。加拿大多伦多电视塔(见图 1-7),塔高 553.3m(包括天线部分),1975 年建成。其截面主体中间为圆筒,在塔楼以下有 Y 形肢翼相连,塔楼建于 335m 处,人们可以乘电梯到塔楼观光。莫斯科奥斯坦金电视塔,高 533.3m,1967 年建成。我国混凝土电视塔中高度超过 400m 的还有上海东方明珠电视塔,高 468m;天津电视塔,高 415.2m;北京中央电视塔,高 405m。



图 1-6 广州电视台新塔



图 1-7 多伦多电视塔

4. 水利及其他工程

混凝土自重重大,所用材料易于就地取材,所以在水利工程中,常用混凝土来修建大坝。如瑞士狄克桑斯坝,坝高 285m,坝顶宽 15.0m,坝底宽 225m,坝长 695m,库容量 $4 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。美国胡佛坝为 1936 年建成的混凝土重力坝(见图 1-8),高 221m,坝顶长 379m,顶宽 14m,底宽 202m。此坝被认为是混凝土建坝史上的一个里程碑,在兴建该坝时,采用分块浇筑法,解决了大体积混凝土的收缩和温度应力问题,为以后修建大坝提供了成功经验。巴西和巴拉圭共有的伊泰普水电站,装机容量为 $1.26 \times 10^7 \text{ kW}$,主坝高 196m,长 1060m,为混凝土坝。我国长江三峡水利枢纽工程,装机容量为 $1.82 \times 10^7 \text{ kW}$,总库容 $3.93 \times 10^{10} \text{ m}^3$,其中防洪库容 $2.215 \times 10^{10} \text{ m}^3$ 。龙羊峡水电站(见图 1-9)是青海省内黄河上游的一座水电站,拦河大坝为混凝土重力坝,坝高 178m,坝长 393.34m,顶宽 15m,底宽 80m,于 1989 年全部竣工。该坝是在高寒地区建成的重力坝,技术难度极大。



图 1-8 美国胡佛坝



图 1-9 龙羊峡水电站

混凝土结构在其他特殊的结构中也有广泛的应用,如地下铁道的支护和站台工程、核电站的安全壳、机场的跑道、填海造地工程、海上采油平台等。

1.2.3 我国混凝土结构设计规范发展概况

我国在百废待兴的第一个“五年计划”期间(1953—1957 年),大规模的基本建设蓬勃开展,当时应用的是 20 世纪 50 年代发布的《钢筋混凝土结构设计规范》(规结 6—1955),实际这仅仅是一本苏联规范的“中译本”。

我国混凝土结构设计规范的编制起步于 20 世纪 60 年代初期。当时编制工作实际是学习、消化苏联规范。由于没有自己的研究成果,规范不可能作大的改进。当时发布的《钢筋混凝土结构设计规范》(BJG 21—1966)实际只是苏联规范的“消化版”。

随着基本建设发展的需要,我国急需编写自己的规范。但由于仍缺少自己的研究成果,故 20 世纪 70 年代公布的《钢筋混凝土结构设计规范》(TJ 10—1974),虽然外表形象发生了改变,但从内涵而言,还是一本“脱胎不换骨”的苏联规范。

20 世纪 70 年代初,以中国建筑科学研究院结构所为主体,从基础研究开始,我国开展了全面、系统的混凝土结构构件的实验研究。这批科研成果为我国的混凝土结构理论和编制自己的设计规范奠定了基础。1989 年发布的《混凝土结构设计规范》(GB 10—1989)是我国自己编制并符合国情的混凝土结构设计规范。1993 年,对该规范进行了局部修订。

2002年,以大量的科研成果为基础,对1989年版规范(GBJ 10—1989)进行补齐、充实、完善、提高,发布了《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)。

2010年颁布实施的《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)中新增加了以下重要内容:①强调结构的整体稳固性,使“构件计算规范”真正过渡到“结构设计规范”;②提高结构的防灾性能,加强结构在“偶然作用”下“防倒塌”的设计概念;③丰富、完善了结构耐久性设计;④采用高强-高性能材料,强调延性的重要性。

1.3 混凝土结构发展展望

混凝土已成为现代建筑应用最多的工程材料之一,在我国更是如此。我国混凝土工程规模居世界首位,混凝土年产量约为 $20 \times 10^9 \text{ m}^3$,连续多年超过世界混凝土年产量的50%。在今后的经济社会建设中,钢筋混凝土结构仍将是一种重要的工程结构,并将在材料、结构、施工技术和计算理论等各个方面得到进一步发展。

1.3.1 材料方面

作为组成混凝土结构的主体材料,混凝土的主要发展方向是高强、轻质、耐久、提高抗裂性和易于成型。强度达到多高可称为高强混凝土,目前尚无定论。在美国,以圆柱抗压强度标准值达到或超过42MPa为高强混凝土,圆柱体抗压强度标准值42MPa相当于我国的C50级混凝土。我国通常将强度等级等于或超过C50级的混凝土称为高强混凝土,这个分类标准和西方国家标准大体是一致的。提高混凝土强度可减少断面,减轻自重,提高空间利用率。目前国内常用混凝土的强度等级为30~60MPa,国外常用的强度等级在C60以上。C60~C100区段高强混凝土的研究开发已比较成熟,目前研究的热点集中在C100~C150的强度区段,预计不久的将来,C100以上的超高强混凝土将会得到大量的推广应用。目前,高强混凝土的塑性低于普通强度混凝土塑性,塑性好的高强混凝土将是当今研究的主要问题。

为了减轻混凝土结构的自重,国内外都在大力发展轻质混凝土。欧洲和美国较多地采用中密度混凝土作为结构轻骨料混凝土,有时也称为“特定密度混凝土”或“改进普通密度混凝土(MND)”。它指以轻骨料(如浮石、凝灰岩等)、人造轻骨料(页岩陶粒、黏土陶粒、膨胀珍珠岩等)和工业废料(如炉渣、矿渣粉煤灰陶粒等)代替部分普通粗、细骨料,密度介于 $1800 \sim 2200 \text{ kg/m}^3$ 、强度介于40~80MPa的中高强度的中密度混凝土。因其自重小,有利于结构抵抗地震,吸收冲击能快,隔热、隔声性能好。

在混凝土中加入适量纤维形成纤维混凝土,可以改善混凝土的抗裂性、耐磨性及延性,在一些有特殊要求的工程中已开始应用。目前,增强纤维主要是钢纤维,但钢纤维易锈蚀、有磁、表面凸尖、成本高,生产、加工和拌合比较麻烦,这些缺点严重影响混凝土的耐久性和使用性能。塑钢纤维是一种新型的混凝土增强材料,具有耐久性能好、质量轻、经济性好、纤维分散好、易于搅拌与泵送等优点,一定程度上可取代钢纤维,目前在国内外一些工程中已得到使用。今后随着技术进步和生产工艺的改进,纤维混凝土有望用于高层、桥梁、地下、水工、核电站等各类工程。

碾压混凝土近年得到较快发展,该种混凝土水灰比很低,坍落度极小,在未凝结前其性

能与普通混凝土大不相同,施工中不用振捣,而用大型碾压机碾压,凝固后其性能又与普通混凝土相近。因为这种混凝土不用振捣,工序简单,机械化程度高,施工条件改善,可大大缩短施工工期。碾压混凝土需分层碾压,层间结合需要进一步研究。碾压混凝土中采用钢纤维增强,可以改善碾压混凝土的抗压、抗拉强度及压缩韧性和耐磨性。这种混凝土多用于大体积(如大坝、大型设备基础等)混凝土及公路路面等。

1988年“第一届国际材料科学研究会”上首次提出了“绿色材料”的概念。目前学术界还没有统一定义绿色混凝土的概念,一般来说,绿色混凝土应具有比传统混凝土更高的强度和耐久性,可以实现非再生性资源的可循环使用和有害物质的最低排放,既能减少环境污染,又能与自然生态系统协调共生。目前,绿色混凝土有以下几种类型。

(1) 透水、排水性混凝土。传统的结构用混凝土都要求其具有不透水性,所以城市地表大约80%以上的面积被不透水、不透气的混凝土建筑物和道路覆盖。这导致在集中降雨季节加重了城市排水系统的负担;市区的地下土壤水分得不到应有的补充,使地表植物的生长受到影响;而排水性、透水性混凝土与传统的混凝土相比最大的特点是具有15%~30%的连通孔隙,具有透气性和透水性,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,改善城市地表植物和土壤微生物的生存条件。

(2) 绿化、景观混凝土。传统的混凝土色彩灰暗,表面呆滞,给人以生硬、粗糙、灰冷的视觉效果。绿化混凝土是指能够适应绿色植物生长、覆盖绿色植被的混凝土及其制品。

(3) 吸声混凝土。吸声混凝土具有连续多孔结构,入射声波通过连通孔被吸收到混凝土内部,小部分由于混凝土内部摩擦作用转换为热能,大部分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,此反射声波从反方向再次通过多孔混凝土向外发散,与入射声波有一定的相位差,因干涉部分互相抵消而降低噪声。

(4) 生态水泥混凝土。生态水泥是指用城市的垃圾灰、下水道或污水处理厂的污泥及其他工业废弃物等作为水泥的原料制造的水泥。用这种水泥制作的混凝土可以有效解决废弃物处理占地、节省资源和能源的问题。

(5) 再生混凝土。再生混凝土是发展绿色混凝土,实现建筑、资源、环境可持续发展的主要措施之一,正日益引起混凝土研究人员的关注,并越来越受到工程界的重视。将废混凝土经过特殊处理工艺制成再生骨料,用其部分或全部代替天然骨料配制成再生混凝土,这样可节省建筑原材料的消耗,保护生态环境,有利于混凝土工业的可持续发展。另外,利用工业固体废弃物如锅炉煤渣、火力发电厂的粉煤灰等工业废料作为骨料制备轻质混凝土,降低了混凝土的生产成本,是另一种形式的再生混凝土。

近年来混凝土配合比设计技术得到显著改善。大力推广较大掺量粉煤灰和掺少量磨细矿渣粉等矿物掺和料的技术,不仅节约了水泥和能源,并且有利于控制混凝土裂缝,不少超高层建筑基础底板C40混凝土水泥用量仅为 $230\text{kg}/\text{m}^3$,而粉煤灰用量达 $190\text{kg}/\text{m}^3$,后期强度(60d)可达C50以上。

混凝土结构中的钢材主要是向高强、防腐方向发展。目前普通钢筋的强度已达420MPa,在预应力混凝土中的高强钢丝强度已达1800MPa,今后钢筋及钢丝的强度有望进一步提高。为了增强结构的耐久性,钢筋的防锈、防腐问题日益得到重视,低成本、高抗腐蚀性能的钢筋是今后的主要研究课题。

1.3.2 结构方面

钢与混凝土组合结构是目前发展较快的方向。型钢与混凝土组合用于桥梁、房屋建筑已有一段历史。在约束混凝土概念的指导下,外包钢混凝土柱已在火电厂主厂房、石油化工企业的构筑物中得到应用。钢管混凝土在地下铁道、桥梁、高层中也得到广泛应用,目前我国已经有了这方面的设计和施工规程。钢-混凝土组合结构、钢骨混凝土(劲性钢筋混凝土)结构和钢管混凝土结构具有强度高、截面小、延性好的优点,加之施工环节简化(钢骨可代替支架,钢板、钢管可作模板使用等)、工期短,在以后必将得到更加广泛的应用。

预应力混凝土是20世纪工程结构的重大发明之一,现在已有先张法、后张法、无粘结预应力等技术。预应力技术在将来还会有大的发展。在施加预应力方面会有新技术出现,目前正研究将预应力用于组合结构,方法是将带有拱度的工字形钢梁,在加载状态下在下翼缘浇筑混凝土,当混凝土达到一定强度后卸载,这样下翼缘的混凝土即受到预压力。这种方法不需要锚夹具,具有广泛的应用前景。体外张拉预应力索的技术,开始只用于补强和加固,目前也已开始用于新结构,因体外张拉预应力筋可避免制孔、穿索、灌浆等工序,并且发现问题时易于更换预应力索。在张拉方法、形式、锚夹具的改进等方面,预应力技术都会有进一步的发展。

在工程结构的实践中,许多跨世纪的工程和大型、巨型工程都将使用混凝土结构。随着人口增长,城市将快速发展,促使土木工程向空间发展,如超高层建筑等;向地下发展,如地下交通、地下商场等;向海洋发展,如填海造田、人工岛等,这些工程的建设必将扩大混凝土的应用范围,建造出更加宏伟的建筑。美国已有人把从月球上取回的土煅烧制成水泥,设想在月球上建造房屋及人类活动中心,大部分材料可就地取材,只要带上水就可制造混凝土。至于越海、越江隧道以及环球地铁的建造均离不开混凝土结构的支护。可以展望,混凝土结构在未来的工程建设中将会发挥更大的作用。

1.3.3 施工技术

近年来,混凝土施工工艺也有了显著的变化,商品混凝土已从大城市发展到中、小城市,在一些大城市已基本消除了现场搅拌。随着混凝土集中搅拌的发展,混凝土达不到强度等事故也大幅度减少,劳动效率有所提高,工程进度大大加快。由于高层和超高层建筑的迅速发展,泵送混凝土技术大大提高,目前混凝土一次泵送高度已达400m左右,正在向500m高度进军,泵送混凝土已得到普遍推广应用,大大加快了混凝土施工进度,减轻了塔式起重机的负担,提高了劳动效率、加快了整体工程进度。泵送混凝土对现场文明施工、绿色施工都起到了较显著的作用,不少大体积混凝土基础的底板施工24h内可浇筑 $1\times 10^4\text{m}^3$ 以上。

施工技术的改进对钢筋混凝土结构的施工质量的提升和缩短工期起了很大的促进作用。预应力的发明使得混凝土结构的跨度大大增加,滑模施工法的发明使得高耸筒体结构施工进度大为加快,泵送混凝土的出现使高层建筑、大跨桥梁可以方便地整体浇筑,蒸汽养护法使预制构件的成品出厂时间大大缩短。相信不久的将来,混凝土施工技术还会有很大的进展。

混凝土结构的模板工程,是混凝土结构构件施工的重要工具。现浇混凝土结构施工时使用模板工程的造价,约占混凝土结构工程总造价的三分之一,总用工量的二分之一。模板

已经历了现场支模到工具式模板的发展,目前有木模板、钢模板、竹模板和硬塑料模板等。模板的作用仅限于为混凝土成型,因此,采用先进的模板技术,对于提高工程质量、加快施工进度、缩短工期、提高劳动生产率、降低工程成本和实现文明施工,都具有十分重要的意义。模板今后会向多功能发展。比如,模板可作为结构的一部分,即发展薄片、美观、廉价而又与混凝土结合牢固的模板,混凝土浇筑完,模板即可作为结构一部分参与受力,而不再拆除,如外观很美,还可减少装修的工序。又如透水木模,因混凝土中的多余水分对强度和耐久性不利,已有学者采用棉布贴于木模内侧,布眼极小,可以滤去多余的水分,但水泥颗粒不能通过,可以大大改善混凝土的密实性和耐久性。在高耸筒体结构中,滑模施工是一个很大发明,但滑模施工管理、控制比较复杂,目前国外已在推广跳模(爬模),即在浇筑完一段混凝土后,模板脱开混凝土表面向上爬升,浇筑在白天,爬升在夜间,工效大大提高,管理也较简单。总之,无论在模板支护还是功能方面,模板技术均会有较大发展。

随着建筑施工技术飞速发展,现代建筑中经常涉及大体积混凝土施工,如高层楼房基础、大型设备基础、水利大坝等,其主要特点是体积大、表面小、水泥水化热释放较集中、内部温升较快。当混凝土内外温差较大时,会产生温度裂缝,影响结构安全和正常使用,因此合理选择施工材料,优化混凝土配合比的目的是使混凝土具有较大的抗裂能力。超长混凝土结构裂缝控制的方法可从“放”、“防”、“抗”三方面控制:①以“放”的理念控制混凝土裂缝,包括设置伸缩缝、设置后浇带等;②以“抗”的理念控制混凝土裂缝,包括增加结构配筋、设置混凝土加强带、采用后张拉预应力技术;③以“防”的理念控制混凝土裂缝,采取保温措施、减少混凝土收缩应力。

随着高层、超高层结构的发展,诸如钢管混凝土、钢骨混凝土结构和超高层的出现,对混凝土的性能、施工工艺都提出了许多新的要求,促进了混凝土性能和施工工艺的不断发展。近几年来钢管混凝土结构中混凝土的浇筑工艺较普遍地采用了混凝土从管底顶升浇灌的新工艺,目前这种新工艺在许多工程中成功应用,一次顶升可达21m(5层),取得了显著的经济效益。对特种混凝土,如地下工程中的喷射混凝土,大体积或路面混凝土中的碾压混凝土,除了在材料方面加以改性外,在施工工艺方面也会有很大改进。但在混凝土的施工缝处理上,为改善接缝质量,已发展了二次捣固法、清除浮浆法等。

在钢筋绑扎和成型中,应大力发展各种钢筋成型机械及绑扎机具,以减少大量的手工操作。钢筋接头,已有绑扎搭接、焊接、螺栓及挤压连接等多种方式,随着化工胶结料的发展,将来胶接会有大的发展。钢筋还有一个重要的问题是防锈、防腐。国外已有用不锈钢或特种配筋的防锈、防腐钢筋混凝土结构,但成本太高。目前国外还在发展一种阴极保护法,效果不错,但多限于重大工程。

在养护方面,有天然养护和蒸汽养护,后者大多限于预制构件厂,现场采用有很大困难,目前国外发展远红外热养护,这一技术有望在现筑混凝土施工现场推广。在工厂生产预制构件时,将蒸汽养护与远红外辐射养护结合起来,可节约能源、提高工效。在现场浇筑混凝土时也有人设想用电热钢模板来加速混凝土的养护时间,这是一种可行的施工技术,值得研究推广。还有一个动向是广泛采用养护液(养护薄膜),又称养生液,该法是将养护液喷洒于新生混凝土表面,快速干燥,形成一层极薄的封闭膜,可有效保护混凝土中的含水量,充分利用水泥水化热使混凝土早强,且后期强度也有提高。