

# 第一章

## 概 论

改革开放以来,我国公路事业,特别是高等级公路建设取得了举世瞩目的成果,尤其是1998年以来加快公路建设为重点的交通基础设施建设,使公路建设事业翻开了新的篇章。公路桥梁建设技术水平迈进了世界先进行列,高速公路里程迅猛增长,路网水平不断提高,公路运输对推动国民经济发展的服务功能、拉动能力不断增强。公路发展已成为国家经济发展中重要的组成部分。

交通运输不论是过去、现在和将来,都是人类进步的重要物质基础。交通运输业的发展对社会经济发展具有非常重要的作用和影响。交通运输业的快速发展促进了国民经济持续、快速发展。它是经济结构战略性调整的重要内容和有力支撑条件。整个国民经济的快速发展,城乡居民物质文化生活水平的不断提高,全社会奔向小康,这都对交通运输事业提出了更高的要求。

随着我国高等级公路的大规模建设和快速客运的兴起,同时也带动了交通科技的蓬勃发展。在积极引进、利用国外先进技术的同时,通过对重大技术和装备开展科技攻关,开发了一大批高水平的科技成果,交通科技总体水平与世界发达国家的差距逐渐缩小,个别技术已经接近或达到世界先进水平。

我国大跨径桥梁的建设进入了一个辉煌的时期,在中华大地上建设了

一大批结构新颖、技术复杂、设计和施工难度大、现代化品位和科技含量高的大跨径斜拉桥、悬索桥、拱桥、PC 连续刚构桥，积累了丰富的桥梁设计和施工经验，我国公路桥梁的建设水平已跻身于国际先进行列。

普通结构的大中型预应力混凝土桥梁已经在全国范围普及，为了适应高速公路平面线性的高标准要求，斜桥、弯桥、坡桥或同时皆有斜弯坡的桥梁比例普遍增多。预应力混凝土桥梁的施工技术得到了广泛的推广，更普遍地采用先进技术、先进设备，新工艺新技术新材料，使我国桥梁建设水平普遍提高一个新的台阶。我国地大物博，人口众多，矿产资源丰富，随着我国加入世贸组织，与国际经济市场接轨，必将对交通运输事业提出更高的要求，公路桥梁建设也必将会有更加广阔的前景。

## 第一节 预应力混凝土桥梁发展简介

预应力混凝土结构由于其具有能充分利用材料的高强度性能，有效防止混凝土裂缝 减轻结构自重 增大桥梁跨径 刚度大行车舒适等优点 在公路桥梁上得到普遍的应用。尤其对于大跨度和重荷载结构以及不允许开裂的结构中被广泛的应用。

### 一、预应力混凝土桥梁发展简介

我国从解放后不久，就开始研究预应力混凝土在桥梁上的应用。1955年我国铁路部门顺利完成了跨度为 12m 的预应力混凝土梁的试制与试验工作。1956年 在东陇海线跨越新沂河时 成功地修建了一座 28 孔 跨径为 23.8m 的预应力混凝土铁路桥。1957年 在京周公路上 又修建了第一座跨径为 20m 的简支 T形梁预应力混凝土桥。从此以后，预应力混凝土结构在我国桥梁建筑中的应用，得到了迅速的发展。以预应力混凝土公路桥梁为例，就有预应力混凝土空心板、槽形梁、T形梁、T形刚构、连续梁桥、斜拉桥、吊桥等采用预应力混凝土结构。

1968年建成的南京长江大桥，是一座我国自行设计、制造、施工并使用国产钢材的桥梁。正桥 10 孔 共长 1 577m，包括两端引桥，总长：铁路 6 772m 公路 4 589m。南京长江大桥的建成标志着我国桥梁建筑在规模上和技术上达到了一个新的水平。

1980年建成的重庆长江大桥，是主跨径为 174m 的三向预应力混凝土箱梁结构。1988年在浙江飞云江修建的预应力混凝土 T形梁桥 最大距径达 62m。1990年建成的云南六库怒江桥，采用预应力混凝土连续梁，最大跨径达 154m。

1988年建成的广东洛溪大桥(主跨 180m)开创了我国修建大跨径 PC 连续刚构桥的先例,10 多年来,PC 梁桥在全国范围内建成跨径大于 120m 的有 74 座。世界已建成 17 座跨度大于 240m 的 PC 梁桥,中国占 7 座。1997 年建成的虎门大桥辅航道桥(主跨 270m)为当时 PC 连续刚构世界第一。近几年相继建成了泸州长江二桥(主跨 252m)、重庆黄花园大桥(主跨 250 m)、黄石长江大桥(主跨 245 m)、重庆高家花园桥(主跨 240 m) 贵州六广河大桥(主跨 240 m) 近期还将建成一大批大跨径的 PC 连续刚构桥。我国大跨径 PC 连续刚构桥形和 PC 梁桥形的建桥技术已居世界领先水平。

1975 年在四川云阳建成第一座主跨为 76m 的斜拉桥。1982 年建成通车的济南黄河公路斜拉桥,其主梁采用预应力箱梁结构,它的主跨径达到 220m。至今已建成各种类型斜拉桥 100 多座 其中有 52 座跨径大于 200m。多年来,我国在斜拉桥设计、施工技术、施工控制、斜拉索的防风、雨振等方面积累了丰富的经验。1991 年建成了上海南浦大桥(主跨为 423 m 的结合梁斜拉桥)开创了我国修建 400m 以上大跨度斜拉桥的先河,之后大跨径斜拉桥如雨后春笋般地发展起来。我国已成为拥有斜拉桥最多的国家,在世界 10 大著名斜拉桥排名榜上 中国有 6 座 跨度在 600m 以上的斜拉桥世界仅有 6 座 中国占了 4 座。

2001 年建成的名列世界第三位的南京长江二桥南汊桥钢箱梁斜拉桥(主跨 628 m 和名列世界第五位的福建青州闽江结合梁斜拉桥 主跨 605 m)均处于世界斜拉桥领先地位。整体来说,我国斜拉桥设计施工水平已迈入国际先进行列 部分成果达到国际领先水平。目前 我国正在筹建的香港昂船洲大桥、江苏苏通大桥 其主跨均在 1 000 m 以上 而且建设技术将会有新的突破。

我国在悬索桥建设方面异军突起 1995 年在国内率先建成了汕头海湾大桥(主跨 452 m) 在近 5 年内 相继建成西陵长江大桥(主跨 900 m)、虎门大桥(主跨 888 m)、宜昌长江大桥(主跨 960 m)、名列世界第四位的江阴长江大桥(主跨 1 385 m)、名列世界第五位的香港青马大桥(主跨 1 377 m) 筹 10 座大跨度悬索桥。多年来 积累了丰富的悬索桥设计与施工经验 主跨为 1 490 m 的润扬长江大桥正在紧张的建设中; 现正在规划建设青岛海湾大桥(主跨 1 652 m)、琼州海峡大桥(主跨 1 600 m)和香港青龙大桥(主跨 1 418 m) 筹大跨径悬索桥。我国悬索桥的设计和施工水平已迈入国际先进行列。

综观大跨径桥梁的发展趋势,桥梁建设必将迎来更大规模的建设高潮。就中国而言 国道主干线同江—— 三亚就有 5 个跨海工程: 渤海湾跨海工程、长江口跨海工程、杭州湾跨海工程、珠江口伶仃洋跨海工程及琼州海峡工程。其中难度最大的是渤海湾跨海工程,海峡宽 57 km 建成后将是世界

上最长的桥梁；琼州海峡跨海工程，海峡宽 20km 水深 40m 海床以下 130m 深未见基岩 常年受台风、海浪频繁袭击。此外 还有芦洋跨海大桥、舟山大陆连岛工程、青岛—黄岛以及长江、珠江、黄河等众多的桥梁工程。

在世界上，正在建设的著名大桥有：土耳其伊兹米特海湾大桥（悬索桥，主跨 1 668m）希腊里海安蒂雷翁桥 多跨斜拉桥 主跨 286m + 3 × 560m + 286m）已获批准修建的意大利与西西里岛之间的墨西拿海峡大桥，主跨为 3 300m 的悬索桥，其使用寿命均按 200 年标准设计 主塔高 376m 桥面宽 60m 主缆直径 1.24m 估计造价 45 亿美元 在西班牙与摩洛哥之间 跨直布罗陀海峡桥也提出修建一座大跨度悬索桥，其中一个方案为 2 个 5 000m 的连续中跨及 2 个 2 000m 的边跨，基础深约 300m，另一个方案是修建 3 跨 3 100m + 8 400m + 4 700m 的巨型斜拉桥，基础深约 300m 较高的一个塔高达 1 250m 较低的一个塔高达 850m，这个方案需要高级复合材料才能修建，而不是现在所用的钢和混凝土。

目前各国修建的桥梁大多数是预应力混凝土结构。预应力还作为施工方法被广泛的应用。如悬臂拼装法、悬臂浇注法、顶推法施工中，甚至旧桥加固中，预应力既作为结构本身的组成部分又作为一种施工方法被广泛地应用。随着我国桥梁建设事业的迅猛发展，预应力混凝土结构必将更加被普遍的应用到各种形式的结构中，如公路、铁路桥梁，房屋建筑，塔桅结构，飞机跑道，蓄液池，压力管道，以及原子能反应堆容器和海洋工程等结构。

### 服 桥梁建设的发展趋势

当今世界各国桥梁建筑的发展趋势有以下几个特点：

#### 1. 大跨度桥梁向更长、更大、更柔的方向发展

(1) 研究大跨度桥梁在气动、地震和行车动力作用下，结构的安全和稳定性，将截面做成适应气动要求的各种流线形加劲梁，增大特大跨度桥梁的刚度。

(2) 采用以斜缆为主的空间网状承重体系。

(3) 采用悬索加斜拉的混合体系。

(4) 采用轻型而刚度大的复合材料做加劲梁，采用自重轻、强度高的碳纤维材料做主缆。

#### 2. 新材料的开发和应用

新材料应具有高强、高弹模、轻质的特点，研究超高强硅粉和聚合物混凝土、高强双相钢丝钢纤维增强混凝土、纤维塑料等材料取代目前桥梁用的钢和混凝土。

#### 3. 大型深水基础工程

目前世界桥梁基础尚未有超过 100m 的深海基础工程，下一步需进行 100~300m 深海基础的实践。

#### 4. 先进技术的应用

在设计阶段采用高度发展的计算机辅助手段，进行有效的快速优化和仿真分析；运用智能化制造系统在工厂生产部件；利用 GPS 和遥控技术控制桥梁施工。从设计计算制图到施工的技术管理、内业资料整理、竣工图纸的绘制、科学研究的试验资料分析等均借助于电子计算机进行。

5. 弯、斜坡桥越来越多为了适应高标准的线形要求，斜桥、坡桥和弯桥所占比例会越来越多。

6. 重视设计理论的研究，对重要结构的桥梁，进行模型试验；在建成的桥梁上进行实测，取得基础技术资料，为理论研究积累科学数据。

#### 7. 自动监测和管理系统

桥梁建成交付使用后，将通过自动监测和管理系统保证桥梁的安全和正常运行，一旦发生故障或损伤，将自动报告损伤部位和养护对策。

#### 8. 施工机具先进性增强

施工机具齐全配套，起吊能力、生产能力、工艺精度进一步提高。机械化、质量控制系统化程度进一步提高。

#### 9. 重视桥梁美学及环境保护

桥梁结构必将更加重视建筑艺术造型，重视桥梁美学和景观设计，重视环境保护，达到人文景观同环境景观的完美结合。如闻名遐尔的美国旧金山金门大桥、澳大利亚悉尼港桥、英国伦敦桥、日本明石海峡大桥、中国上海杨浦大桥、南京长江二桥、香港青马大桥，这些著名大桥都是一件件宝贵的空间艺术品，成为陆地、江河、海洋和天空的景观，以及城市标志性建筑。宏伟壮观的澳大利亚悉尼港桥与现代化别具一格的悉尼歌剧院融为一体，成为今日悉尼的象征。

## 第二节 预应力混凝土结构的特点

### 一、预应力混凝土结构的基本原理

预应力混凝土结构就是构件在使用荷载作用之前，利用高强钢筋预先对混凝土受拉区施加压应力的结构。也就是说，它是预先对混凝土或钢筋混凝土构件施加压应力，使之建立一种人为的应力状态，这种应力的分布规律，能有利于抵消使用荷载作用下产生的拉应力，因而使混凝土构件在使用荷载作用下不致开裂，或推迟开裂，或者减小裂缝开展的宽度。这种

预先给混凝土引入应力的结构，就称为预应力混凝土结构。

普通钢筋混凝土结构主要弱点是，混凝土与钢筋相比抗拉强度低，受拉极限应变小。构件在正常使用荷载作用下，钢筋的应变大大地超过了混凝土的受拉极限应变值，这就是普通钢筋混凝土构件在使用阶段易出现裂缝的原因。在钢筋混凝土结构中，混凝土受拉的极限应变为  $0.1 \sim 0.15\text{mm/m}$ ，超过这个极限，混凝土就会出现裂缝。而钢筋在最大使用应力时其相应的应变可达  $0.6 \sim 0.8\text{mm/m}$  是混凝土极限应变的  $4 \sim 8$  倍 若使用高强钢材，其极限强度可达  $1\,000 \sim 2\,000\text{MPa}$ 。当高强钢材应力达到  $0.7 \sim 0.8$  倍极限强度时，其应变可达  $2\text{mm}$  左右。因此在钢筋混凝土结构中，当钢筋内的应力还很小(约  $30\text{MPa}$ ) 时，混凝土就可能出现裂缝。为了限制构件裂缝和变形的发展，如果采用增加构件截面尺寸或加大配筋率的方法，会使构件自重增加，经济性指标下降，如果采用高强度混凝土和高强度钢筋，则因为提高混凝土的强度等级（即提高混凝土的抗压强度）并不能有效提高其抗拉强度（其抗拉强度提高极慢）。如果我们在不影响构件正常使用及保证构件耐久性的前提下，把裂缝限制在  $0.2 \sim 0.5\text{mm}$  以内，与此相应的钢筋应力最高也只能达到  $20 \sim 30\text{MPa}$ ，钢筋潜力得不到发挥。因此在普通钢筋混凝土结构中采用高强度混凝土和高强度钢筋，也并不是十分有效的。

在由高强钢筋和高强混凝土组成的结构中施加预应力是克服普通钢筋混凝土缺点的有效方法，使得构件能很好的控制裂缝出现、提高承载能力、增加整体刚度。

预应力在预应力混凝土结构中的作用，可用图 1-1 所示的梁来说明。

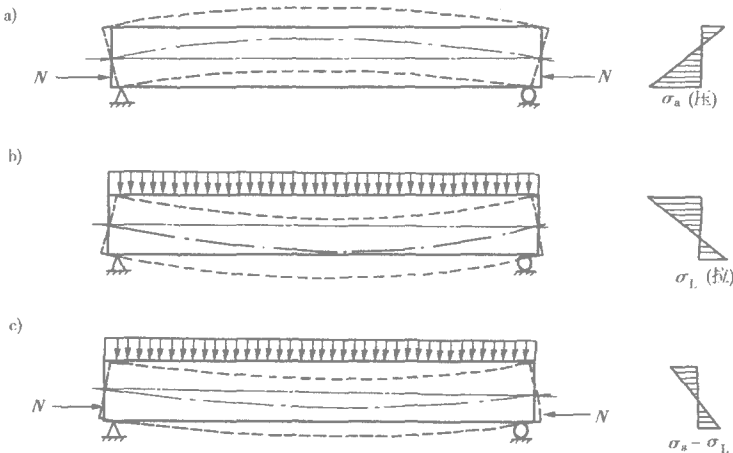


图 1-1 预应力梁的受力情况

a) 预应力作用下 ; b) 荷载作用下 ; c) 预应力与荷载共同作用下

该梁在尚未施加预应力之前,由于外荷载的作用,梁下缘产生拉应力 $\sigma_L$ 。在外荷载作用之前,梁的重心轴以下部位预先施加一偏心压力 $N$ 使得梁的下缘产生预压应力 $\sigma_a$ 。在外荷载和预压应力共同作用下,梁横截面的最后应力分布将是上述二者的叠加,即 $(\sigma_a - \sigma_L)$ 。此时梁的下缘可为压应力(即 $\sigma_a - \sigma_L > 0$ )或为数值很小的拉应力(即 $\sigma_a - \sigma_L < 0$ )。这也就是说,由于预压应力 $\sigma_a$ 的作用,可部分抵消或全部抵消外荷载所引起的拉应力 $\sigma_L$ 从而使裂缝延迟发生或不致发生。

在预应力混凝土结构中施加预应力,一般是采用机械张拉高强钢筋来实现,并将被张拉的高强钢筋锚固在混凝土构件内,造成混凝土偏心受压,从而在混凝土中产生预压应力。在正常荷载作用下,构件受压区主要由混凝土承受压应力而在受拉区主要由高强预应力钢筋承受拉应力而该处混凝土未出现拉应力或者是很小的拉应力。这样,在预应力混凝土结构中使两种高强材料都充分发挥了各自的力学性能,又使得整个结构不出现裂缝,相对普通钢筋混凝土而言增大了刚度提高了结构的耐久性。所以预应力混凝土结构是高强混凝土和高强钢筋这两种材料的理想结合形式。

## 二、预应力混凝土结构的特点

与普通钢筋混凝土结构比较预应力混凝土结构具有以下优点。

### 1. 提高了结构的抗裂性和耐久性

在预应力混凝土结构中由于预应力的作用可以使构件不会出现或不会过早出现裂缝从而提高了构件的抗裂性能。构件内的钢筋不易锈蚀这就增强了构件的耐久性,或者说延长了结构物的使用年限。

### 2. 增大了构件的刚度

一般来讲普通钢筋混凝土结构在正常使用阶段混凝土在受拉区都已经产生拉裂缝也即所谓带裂缝工作(在设计上控制这些裂缝的宽度以免钢筋锈蚀或挠度过大)这样对于整体钢筋混凝土构件来讲其刚度就减弱了许多。而预应力混凝土构件在正常工作阶段,由于混凝土中存在预压应力梁在使用期间不产生拉应力混凝土就不出现裂缝所以其整体刚度大大增加。

### 3. 节省材料

由于预应力混凝土构件充分利用高强度混凝土和高强度钢材的高强性能从而大大地提高了构件的承载能力。在荷载一定的条件下可以充分发挥高强钢筋与高强混凝土良好的抗拉、抗压性能减少构件截面尺寸,节省了材料。

### 4. 减轻结构自重和增加跨越能力

由于采用了高强度材料 构件的截面尺寸可以相应地减小 从而减轻了结构物的自重 或者说在相同截面的情况下 相应地增加了构件的跨越能力。

5. 预应力结构还可以作为一种构件拼装的施工手段,使大型建筑物的施工难度大大减小,又保持良好的整体性。

当然,预应力混凝土结构需要精度较高的张拉机具和锚固装置,以及检验这些机具的各种仪器设备;施工工艺要求较高,技术难度也要比普通钢筋混凝土结构较为复杂,需要有一支技术熟练的专业队伍进行施工。

### 三、预应力混凝土结构的分类

预应力混凝土结构可以按很多方式分类,这取决于设计和施工特征。

#### 1. 先张法和后张法预应力混凝土结构

根据张拉钢筋与浇筑混凝土次序的先后,可分为先张法和后张法两种。

先张法系指先张拉预应力钢筋,再浇筑混凝土的预加力方法。这种方法,须先设立张拉台座。将制作好的预应力钢筋穿入两端台座,一般在一端用夹具夹牢,在另一端用张拉机具对预应力筋进行张拉并临时锚固于张拉台座上。然后浇筑混凝土,待混凝土硬结达到一定强度后再放松锚固设备或切断钢筋。这时,混凝土已能紧紧地握裹住预应力钢筋,预应力钢筋的回弹力通过钢筋与混凝土之间的粘结传递至混凝土,于是构件就受到预压应力。先张法生产工艺简单,工序少,效率高。所以多用于在有永久性或半永久性张拉台座的预制构件(场内)用长线法成批生产定型的中、小型预应力构件。但由于不能曲线配筋,这就限制了先张法不能用于大型结构。

后张法系指在混凝土硬结后再张拉钢筋的一种预加力方法。在施工时须先在梁内设置能穿入预应力筋的孔道(可用波纹管、铁皮管或橡胶抽拔管)浇筑混凝土待混凝土硬结并达到一定强度后即可将制作好的预应力钢筋穿入孔道,然后在梁的两端用张拉机具进行张拉并锚固于梁端。这时预应力钢筋与梁体混凝土之间尚无粘结,需要压注水泥浆填塞孔道,使混凝土与预应力钢筋之间粘结成整体。后张法可以曲线配筋,不需要永久性的张拉台座,张拉设备简单,便于现场施工,是生产大型预应力混凝土构件的主要方法。

#### 2. 体内预应力和体外预应力混凝土结构

体内预应力混凝土结构就是将预应力筋置于混凝土体内,即常见的预应力混凝土结构。所谓体外预应力混凝土结构是指将预应力筋设置在混凝土体外,只是将预应力筋锚固于专门为之设计的钢筋混凝土锚固块上,全部预应力都是通过两端的锚固块传递给整个结构混凝土。体外预应力有三种类型 ①全部体外预应力,各跨预应力钢索连续;②全部体外预应力 各跨预

应力钢索不连续；③体外预应力与体内预应力混合体系。

大跨径桥梁预应力钢索布置复杂，根据结构受力情况和施工工艺需要，一部分钢索置于混凝土体内，另一部分钢索置于箱梁内（混凝土体外）以充分发挥预应力的作用。体内与体外的预应力混合体系，对施工采用平衡悬臂法与顶推法的桥梁更为适宜，已经逐步应用于预应力混凝土桥梁工程中。

体外预应力工艺的主要优点为：

在设计上预应力索布置简单，避免结构细节的复杂性。混凝土体内不设置或少设置预应力筋，使普通钢筋布置容易，因而使施工工艺简化，提高工作效率，工程质量容易控制。

箱梁腹板内不设预应力索管道，同时体外索预应力又能抵抗腹板的剪力，因而腹板厚度可减小，减少工程数量，降低造价。

钢管管道灌浆的事故减少或不发生问题，即使发生问题，亦容易解决。

在桥梁使用期间，可经常进行技术监测。

钢索易于更换。

体外预应力工艺的缺点：

结构易受灾祸破坏及火灾等伤害。

体外预应力钢索对抵抗破坏荷载和保证结构稳定性的功效减弱。

预应力钢索需要防护。

体外预应力钢索在动荷载作用下，常发生振动，需要在结构设计上予以考虑。

### 3. 外部和内部预应力混凝土结构

就预加力来自结构内部或外部而言，又可分为内部和外部预应力混凝土结构。

所谓预加力来自结构内部，通常是指用张拉钢筋建立预应力的方法，又称内部预加应力法；所谓预加力来自结构外部，通常是指用结构外部条件建立预应力的方法，又称外部预加应力法，如对超静定结构的支座进行位移调整，便可使结构受到预应力。

### 4. 线预加应力或环预加应力结构

线预加应力结构通常是指一般的预应力混凝土梁或板；而环预加应力结构通常是指预应力混凝土环形结构，如圆形的池罐、储仓、压力管等。

### 5. 部分预应力混凝土结构或全预应力混凝土结构

全预应力混凝土结构是指在使用荷载作用下，构件全截面均保持处于受压的状态，不出现拉应力。全预应力虽然具有抗裂性好、刚度大可节约钢材等优点，但也存在着结构延性差，对抗震不利，反拱过大等缺点。



来抵消混凝土受压区超过限值的压应力。

另外还有无粘结预应力混凝土结构，通常是指配置无粘结预应力钢筋的后张法预应力混凝土。其一般做法是将预应力钢筋沿其全长的外表面涂刷有沥青、油脂等润滑防锈材料，然后用纸带或塑料带包裹或套以塑料管。在施工时可以直接放入模板中，然后浇注混凝土，待混凝土达到强度要求后即可利用混凝土构件本身作为支撑件张拉钢筋到控制应力之后用锚具将无粘结预应力钢筋锚固于混凝土构件上形成无粘结预应力混凝土构件。

#### 四、预应力混凝土结构的施工特点及一般要求

预应力混凝土桥梁的施工相对来说技术要求较高施工难度较大操作工序较多，预应力一旦张拉锚固后无法直观地检查其张拉应力状况。所以必须要精心组织精心施工认真作好现场记录。

1. 首先要组成一支技术素质高责任心强能吃苦耐劳具有连续作业良好作风的专业施工技术队伍。项目经理、专业工程师、工班长、技术工人四个基本层次的人员均必须具有高度的质量意识，丰富的施工经验无论那个层次的施工人员技术不精责任心强都可能会导致严重的后果。

项目经理是一个工程项目的关键人物，是工程质量的第一责任人。在整个施工过程中对于各项经济开支人员组织、调配、分工、管理、各种规章制度的制定及贯彻执行各种机具设备的配备购置各种原材料的采购关键施工方案，施工进度安排等均有最后的决定权。所以项目经理首先应有高度的责任感和质量意识。

专业技术工程师包括项目总工程师以及每个分项工程技术负责人他是整个工程项目在技术上把关的直接责任人。每个项目要有一套专业技术精练责任心强质量意识强的班子主持日常的技术工作。在工程实际中，所出现的相当大一部分工程质量事故都是和这一层次人员的责任心强，专业水平低有直接的关系。

各工序的工班长是具体现场的指挥者，包括劳力和施工机械。工班长如果质量意识不强就不能很好的贯彻技术人员的意图，甚至背着技术管理人员耍一些小聪明图省事图省力常常造成工程质量的下降甚至造成无法挽回的质量事故。

技术工人是直接的操作者他们必须具有熟练的各种技能才能建造高质量高水平的工程。虽然机械化自动化不断提高，但仍有一些工序工艺是以劳动者操作为主的，人为因素比较大。比如混凝土表面的收浆模板的拼

装及接缝的处理，钢筋焊接加工成型的精度，桥面平整度的控制，放样精度及控制点布设等等，可以说几乎没有哪一道工序哪一项工程不存在人为的因素。

2. 要有先进的施工机械设备以及检测仪器。无论对哪一道施工工序，施工的机械设备是否先进，完好率如何往往对工程质量和施工进度都起着十分重要的作用。这也是一个企业提高市场竞争能力非常重要的一个方面。

3. 合理组织精心安排，按照合同规定要求，要根据季节结合当地气候条件以及本工程和本企业的具体情况，合理地科学地安排施工计划，包括年度计划、月计划、旬计划。作好施工组织设计。许多分项工程或施工工序有着严格的施工顺序，如果将施工顺序安排不当，往往无意中加大了工程开支或不能保证工程质量或增加了施工的难度或影响了施工进度甚至几种情况会同时发生。

4. 加强施工单位的自检管理，这是工程质量最关键的一个环节。建立健全工程质量自检体系，要有专职人员，在施工过程中严格检查每一道工序，作好记录并及时填写相应的各种检验报告单，及时向监理工程师申请报验，以便进行下一道工序的施工。工程实践中证明，施工质量差的单位往往都是对自检不重视，虽然在形式上各岗位均有人层层把关，但都是走形式走过场或马虎从事或人员配备不足或没有专职人员，内业检查资料凭空填写，导致许多低级错误经常发生。

5. 利用现代化手段加强管理，建立个人技术档案。建立健全各种岗位责任制，对每一道工序每一项工程谁施工谁带班谁检查都要有详细记载，提倡贯彻工程质量终生负责制，建立工序质量跟踪卡制度。使责任明确到人，事后有据可查，同时也可建立人才档案，对每个人都有正确的评价和历史的记载。

#### 6. 施工技术准备工作

(1) 对施工现场补充调查和复核。根据新掌握的资料，结合施工单位的经验、技术和设备条件，对设计中需要变更、改进的地方向有关单位提出建议，并通过协商进行解决。对投标时拟定的施工方案、施工计划、技术措施等作进一步地评价和研究。

(2) 进一步了解桥位处的地质、水文和气象资料。了解设计标准、构造细节以及质量要求。详细了解设计中拟采用的施工方法。

(3) 了解施工监理的有关文件以及监理程序。

(4) 调查施工现场的料源、水电、运输便道、当地劳动力、可租赁的机械设备以及生活生产物质资料等，选择预制场地。

(5) 组建工地试验室，进行地产材料的检验和料场的选择，进行各种配合比的设计、试验和报验。

(6) 修建施工临时设施 施工驻地建设 做好施工现场的“三通一平”。

(7) 试验仪器、张拉设备的检验和标定。

(8) 编制实施性的施工组织设计。

实施性的施工组织设计主要内容包括：

根据有关规范结合设计图纸及业主和监理的具体要求，将投标时的施工方案、工艺流程、机械调配、技术措施、质量控制程序等具体化。

总体施工进度计划，绘出总体施工进度控制网络图，并安排当年的年度计划。

资金流动计划表。

关键工程重要工程施工的具体技术措施。

先行施工的配合比及原材料试验检验及审批资料。

⑥ 自检体系组织机构及质量方针、质量目标、质量保证机构、质量保证程序、质量保证措施。

⑦ 文明施工、环境保护以及安全生产制度及安全职责及具体措施。

⑧ 施工机械仪器设备进场情况，包括后期进场计划，各种机械设备试验测量仪器的型号、数量、完好率等。

⑨ 进场技术和管理人员的资质、数量、项目部及各施工作业队组织机构、劳动力进场情况。

⑩ 三基复测成果及先行施工的放样测量报告。

### 第三节 混凝土的技术性能

水泥混凝土是所有建筑材料中用量最大，用途最广的材料之一。其主要的技术性能包括混凝土拌和物的工作性，硬化混凝土的强度、变形和耐久性。

水泥混凝土是以水泥为胶结材料，砂石为集料，按一定的配合比例加水搅拌、成型、养护而得到的复合材料。现代水泥混凝土中，为了调节和改善其工艺性能和力学性能，还加入各种化学外加剂和磨细矿质掺合料。

水泥混凝土抗压强度高而抗拉强度低，所以往往需要发展钢筋混凝土、预应力混凝土、各种纤维混凝土来弥补这个缺点。由于水泥混凝土具有干缩湿胀的特点，容易产生收缩裂缝，因此，需要研究补偿收缩混凝土、膨胀混凝土、自应力混凝土、纤维增强及掺用降低收缩的外加剂等，以改善它的抗裂性。混凝土的自重较大，这对于重力结构物是一个优点，对于结构混凝土

则是一个缺点，需要采用轻集料等措施来减轻它的重力。由于混凝土需要一定的硬化时间，所以施工期较长，采用快硬、早强水泥和其它措施可以加速混凝土的硬化，加快施工进度。

## 一、水泥混凝土的分类及基本要求

水泥混凝土的品种日益增多，性能及用途差异也比较大，因此，分类方法很多，一般都根据各种特点加以分类，以胶结料及集料的品种、容重、强度、水泥用量、工作性、施工方法、施工场地和季节、用途等进行分类。

### 1. 根据胶结料的品种分类

根据胶结料的品种进行的分类通常是在混凝土前面冠以主要胶结材料的名称如水泥混凝土、硅酸盐混凝土、镁质水泥混凝土、水玻璃混凝土、碱矿渣混凝土、聚合物水泥混凝土还有树脂混凝土、聚合物浸渍混凝土、石膏混凝土、硫磺混凝土等。

### 2. 根据集料分类

可分为碎石混凝土、卵石混凝土、细粒混凝土、大孔混凝土、多孔混凝土、纤维混凝土等。

### 3. 根据容重分类

可分为重混凝土、普通混凝土、轻混凝土、特轻混凝土。

### 4. 根据强度分类

可分为早强混凝土、超早强混凝土、高强混凝土、超高强混凝土。

### 5. 根据水泥用量分类

可分为贫水泥混凝土、富水泥混凝土。

### 6. 根据工作性质分类

可分为特干硬性混凝土、干硬性混凝土、低流动性混凝土、流动性混凝土、大流动性混凝土等。

### 7. 根据施工方法分类

可分为普通浇筑混凝土、泵送混凝土、喷射混凝土、真空脱水混凝土、碾压混凝土、灌浆混凝土、预应力混凝土、离心混凝土等。

### 8. 按配筋方式分类

可分为素混凝土、钢筋混凝土、钢丝网混凝土、钢纤维混凝土、玻璃纤维增强混凝土、预应力混凝土等。

### 9. 根据施工场地和季节分类

可分为海洋混凝土、水下混凝土、寒冷季节施工混凝土、炎热季节施工混凝土。

### 10. 根据用途分类

可分为道路混凝土、桥梁混凝土、隧道混凝土、码头混凝土、房建混凝土、水工混凝土、防水混凝土、防辐射混凝土等。

水泥混凝土必须同时满足必要的强度、耐久性、工作性和经济性四个方面的基本要求。获得优质经济混凝土的基本条件是：

### 1. 选择适宜的原材料

原材料主要包括水泥、粗集料、细集料、外加剂、混合材等。选择材料时既要保证质量，又要考虑经济性。

### 2. 选择适宜的混凝土配合比

要通过试验优化设计混凝土的配合比，以达到保证工程质量，具有良好的工作性能、强度、耐久性 满足工程设计和施工的要求 又要力求良好的经济效益。

### 3. 加强施工质量控制

加强现场施工控制是保证工程质量的关键之一。优质经济的混凝土能否在工程中充分实现，在很大程度上取决于施工中原材料的质量、拌和物的生产质量、施工现场浇筑和振捣质量及施工养护等诸多方面。许多工程质量事故往往是由于施工不良造成的。因此，必须高度重视施工质量，加强施工控制与管理。

水泥混凝土的主要性能包括：混凝土拌和物的工作性、硬化后混凝土的强度、变形和耐久性。

## 二、水泥混凝土拌和物的工作性

水泥混凝土在尚未凝结硬化以前，称为混凝土拌和物或称新拌混凝土。水泥混凝土拌和物是不同粒径的矿制集料粒子分散在水泥浆体分散介质中的一种复杂分散系，它具有弹—粘—塑性质，许多研究者应用流变学的理论，假设各种模型来进行混凝土拌和物“流变特性”的研究。但这些研究至今还未达到生产应用的成熟程度。在生产实践中，对混凝土拌和物的性质，主要用工作性或称和易性来表征。

工作性(或称和易性)通常认为它包含“流动性”、“可塑性”、“稳定性”和“易密性”这四方面的含义。优质的混凝土拌和物应该具有：满足输送和浇捣要求的流动性；不为外力作用产生脆断的可塑性；不产生分层、泌水的稳定性和易于浇捣密致的易密性。

### (一) 混凝土拌和物工作性的测定

按我国国家标准《普通混凝土拌和物的试验方法》(GBJ 80—85)规定，混凝土拌和物的稠度试验方法有坍落度试验和维勃稠度试验两种方法。

#### 1. 坍落度试验是用标准坍落度圆锥筒测定。该筒为铁皮制成，高度 $H$

$= 300\text{mm}$  ,上口直径  $d = 100\text{mm}$  ,下底直径  $D = 200\text{mm}$  。试验时,将圆锥置于平板上,然后将混凝土拌和物分三层装入标准圆锥筒内(使捣实后每层高度为筒高的  $1/3$  左右)每层用弹头棒均匀地捣插 25 次。多余试样用镟刀刮平,然后垂直提起圆锥筒,将圆锥筒与混合料并排放于平板上,测量筒高与坍落后混凝土试体最高点之间的高差,即为混凝土拌和物的坍落度,以  $\text{mm}$  为单位(精确至  $5\text{mm}$ )。在进行坍落度试验时,同时应观察混凝土拌和物的粘聚性、保水性和含砂情况等,以便全面地评价混凝土拌和物的和易性。但要注意坍落度不是满意的工作性能测定指标。因为坍落度是混凝土拌和物自重引起的变形,只有对富水泥浆的混凝土拌和物才比较敏感。不同组成的混凝土拌和物,它们工作性虽有很大的差别,但却可得到相同的坍落度。

2.坍落度小于  $10\text{mm}$  的混凝土拌和物,可采用维勃稠度仪测定其工作性。

维勃稠度试验方法是将坍落度筒放在直径为  $240\text{mm}$ 、高为  $200\text{mm}$  圆筒中,圆筒安装在专用的振动台上。按坍落度试验的方法将混凝土拌和物装入坍落度筒内后再拔去坍落度筒,并在混凝土拌和物顶上放置一个透明圆盘。开动振动台并记录时间,从开始振动至透明圆盘底面被水泥浆布满时为止所用时间以  $\text{s}$  计(精确至  $1\text{s}$ ),即为混凝土拌和物的维勃稠度值。

此外,国际上测定混凝土拌和物工作性能的试验方法,经常采用的还有密实因数试验、重塑性试验、球体贯入度试验等。

根据我国现行《公路工程水泥混凝土试验规程》(JTJ 053—94)规定,混凝土稠度分级如表 1-1 所示。

混凝土稠度分级表

表 1-1

级别	维勃稠度(s)	坍落度(mm)	级别	维勃稠度(s)	坍落度(mm)
特干硬	32~18	—	低塑	5~3	25~75
很干硬	18~10	—	塑性	3~0	75~125
干硬	10~5	0~25	流性	—	大于125

## (二) 影响混凝土拌和物工作性的因素

影响混凝土拌和物工作性的因素主要有:内因——组成材料的质量及其用量;外因——环境条件(如温度、湿度和风速)以及时间等两个方面。

### 1. 组成材料质量及其用量的影响

(1)水泥特性的影响 水泥的品种、细度、矿物组成以及混合材料的掺量等都会影响需水量。由于不同品种的水泥达到标准稠度的需水量不同,所以不同品种水泥配制成的混凝土拌和物具有不同的工作性。通常普通水

泥的混凝土拌和物比矿渣和火山灰水泥的工作性好。矿渣水泥拌和物的流动性虽大但粘聚性差，易泌水离析；火山灰水泥拌和物流动性小但粘聚性最好。此外，水泥细度对混凝土拌和物的工作性亦有影响，适当提高水泥的细度可改善混凝土拌和物的粘聚性和保水性、减少泌水、离析现象。

(2)集料特性的影响 集料的最大粒径、形状、表面纹理（卵石或碎石）级配和吸水性等，这些特性都不同程度地影响混凝土拌和物的工作性。级配良好的集料配制的混凝土拌和物具有较好的工作性。集料的最大粒径增大，可使集料的总表面积减少，拌和物的工作性也随之改善。

(3)集浆比的影响 单位混凝土拌和物中，集料绝对体积与水泥浆绝对体积之比成为集浆比。水泥浆在混凝土拌和物中，除了填充集料间的空隙外，还包裹集料的表面起到润滑作用，减少了集料颗粒间的摩阻力，使混凝土拌和物具有一定的流动性。如水灰比保持不变，则水泥浆的数量越多，拌和物的流动性愈大。但若水泥浆数量过多，集料的含量过少，达到一定限度时，将会出现流浆现象，除了对混凝土的强度和耐久性有一定的影响外，混凝土拌和物的粘聚性和保水性变差。如果水泥浆数量过少，不足以填满集料的空隙和包裹集料表面，则混凝土拌和物粘聚性变差，甚至产生崩塌现象。

(4)水灰比的影响 在集浆比一定时，水泥浆的稠度取决于水灰比的大小。水灰比较小，则水泥浆较稠，混凝土拌和物的流动性亦较小，当水灰比小于某一极限以下时，在一定施工方法下就不能保证密实成型；反之，水灰比较大，水泥浆较稀，混凝土拌和物的流动性较大，但粘聚性和保水性却变差。当水灰比大于某一极限以上时，将产生严重的离析、泌水现象而且影响硬化后的强度指标。增加拌和物的流动性一般可采取在保证水灰比不变的情况下，增加水泥浆，即同时增加水泥和用水量。决不能以单纯改变用水量的办法来调整混凝土拌和物的流动性。每立方混凝土的用水量不变时，水灰比在小的范围内变化，对混凝土拌和物的流动性影响并不大。

(5)砂率的影响 砂率是指混凝土中砂的质量占砂、石集料总质量的百分率。由于砂率的变化，可导致集料的空隙率和总表面积的变化，因而混凝土拌和物的工作性亦随之产生变化。

当砂率过大时集料的空隙率和总表面积增大，在水泥浆一定的条件下，混凝土拌和物就显得干稠，流动性小。当砂率过小时，虽然骨料的总表面积减少，但砂浆量不足，不能完全填充粗骨料间的空隙起不到润滑作用，因而使混凝土拌和物的流动性有所降低。同时影响混凝土拌和物的粘聚性与保水性，使拌和物显得粗涩、甚至发生离析、水泥浆流失、溃散等现象。因此，在配制混凝土时有一个合理砂率的问题