

50~100mm 宽度的重叠。

(6) 推铺过程中随时检查高程、推铺厚度、推铺质量，并及时通知操作手，出现离析、边角缺料等现象时人工及时补撒料，换补料。

(7) 推铺机无法作业的地方，经监理工程师同意后采取人工摊铺施工。

6. 混合料的压实

(1) 压实设备由2~3台双轮双振压路机及2~3台重量不小于16t的胶轮压路机组成。

(2) 初压：采用双轮双振压路机静压1~2遍，正常情况下，温度应不低于110℃并紧跟摊铺机进行；复压：采用胶轮压路机和双轮双振压路机振压等综合碾压4~6遍，碾压温度多控制在80~100℃；终压：采用双轮双振压路机静压1~2遍，碾压温度应不低于65℃。边角部分压路机碾压不到的位置，使用小型振动压路机碾压。

(3) 碾压顺纵向由低向高按规定要求的碾压速度均匀进行，碾压重叠宽度大于300mm。

(4) 采用雾状喷水法，以保证沥青混合料碾压过程中不粘轮。

(5) 不在新铺筑的路面上进行停机、加水、加油，以防止各种油料、杂质污染路面。压路机不准停留在已完成但温度尚未冷却至自然气温以下的路面上。

(6) 碾压进行中压路机不得中途停留、转向或制动，压路机每次由两端折回的位置呈阶梯形随摊铺机向前推进，使折回处不在同一横断面上，振动压路机在已成型的路面上行驶时应关闭振动。

7. 接缝处理

(1) 梯队作业采用热接缝，施工时将已铺混合料部分留下200~300mm 宽暂不碾压，作为后摊铺部分的高程基准面，后摊铺部分完成立即骑缝碾压，以消除缝迹。

(2) 半幅施工不能采用热接缝时，采用人工顺直刨缝或切缝。铺另半幅前必须将边缘清扫干净，并涂洒少量粘层沥青。摊铺时应重叠在已铺层上50~100mm，摊铺后将混合料人工清走。碾压时先在已压实路面行走，然后压实新铺部分，再伸过已压实路面100~150mm，充分将接缝压实紧密。

(3) 横接缝的处理方法：清理端部并涂粘层沥青，摊铺时调整好预留高度，接缝处摊铺层施工结束后再用3m直尺检查平整度。横向接缝的碾压先用双轮双振压路机进行横压，碾压时压路机位于已压实的混合料层上伸入新铺层的宽为150mm；然后每压一遍向新铺混合料方向移动150~200mm，直至全部在新铺层上为止，再改为纵向碾压。

(4) 纵向冷接缝上、下层的缝错开150mm以上，横向接缝错开1m以上。

8. 检查试验

(1) 认真做好各种原材料、施工温度、矿料级配、马歇尔试验、压实度等试验工作。

(2) 在施工过程中随时检查铺筑厚度、平整度、宽度、横坡度、高程。

2.2.5 沥青路面透层、粘层、封层施工

1. 透层施工技术

1) 作用与适用条件

(1) 透层的作用：为使沥青面层与基层结合良好，在基层上浇洒乳化沥青、煤沥青

青或液体沥青而形成的透入基层表面的薄层。

(2) 适用条件

沥青路面各类基层都必须喷洒透层油，沥青层必须在透层油完全渗透入基层后方可铺筑。

2) 一般要求

(1) 根据基层类型选择渗透性好的液体沥青、乳化沥青、煤沥青作透层油，喷洒后通过钻孔或挖掘确认透层油渗透入基层的深度宜不小于 5 (无结合料稳定集料基层) ~ 10mm (无结合料基层)，并能与基层连接成为一体。

(2) 透层油黏度通过调节稀释剂的用量或乳化沥青的浓度来实现，基质沥青的针入度宜不小于 100。透层用乳化沥青的蒸发残留物含量允许根据渗透情况适当调整，当使用成品乳化沥青时可通过稀释得到要求的黏度。透层用液体沥青的黏度通过调节煤油或轻柴油等稀释剂的品种和掺量经试验确定。

(3) 透层油的用量通过试洒确定，不宜超出表 2.2-8 要求的范围。

表 2.2-8 沥青路面透层材料的规格和用量表

用途	液体沥青		乳化沥青		煤沥青	
	规格	用量 (L/m ²)	规格	用量 (L/m ²)	规格	用量 (L/m ²)
无结合料粒料基层	AL (M) -1.2 或 3 AL (S) -1.2 或 3	1.0~2.3	PC-2 PA-2	1.0~2.0	T-1 T-2	1.0~1.5
半刚性基层	AL (M) -1 或 2 AL (S) -1 或 2	0.6~1.5	PC-2 PA-2	0.7~1.5	T-1 T-2	0.7~1.0

注：表中用量是指包括稀释剂和水分等在内的液体沥青、乳化沥青的总量。乳化沥青中的残留物含量以 50% 为基准。

(4) 半刚性基层的透层油宜在基层碾压成型后表面稍变干燥、尚未硬化的情况下喷洒。

(5) 在无结合料粒料基层上洒布透层油时，宜在铺筑沥青层前 1~2d 洒布。

(6) 透层油宜采用沥青洒布车一次喷洒均匀，否则改用手工沥青洒布机喷洒。

(7) 喷洒透层油前应清扫路面，遮挡防护路缘石及人工构造物避免污染，透层油必须洒布均匀，有花白遗漏应人工补洒，喷洒过量的立即撒布石屑或砂吸油，必要时作适当碾压。透层油洒布后不得在表面形成能被运料车和摊铺机粘起的油皮，透层油达不到渗透深度要求时，应更换透层油稠度或品种。

(8) 透层油洒布后的养护时间需结合品种和气候条件经试验确定，确保液体沥青中的稀释剂全部挥发，乳化沥青渗透且水分蒸发，并尽早铺筑沥青面层，防止工程车辆损坏透层。

3) 注意事项

(1) 透层油布洒后应不致流淌并渗入基层一定深度，不得在表面形成油膜。

(2) 气温低于 10℃ 或大风、即将降雨时不得喷洒透层油。

(3) 按设计喷油量一次均匀洒布。当有漏洒时，应人工补洒。

(4) 喷洒透层油后，严格禁止人和车辆通行。

(5) 摊铺沥青前应将局部尚有多余的未渗入基层的沥青清除。

(6) 透层油洒布后应待充分渗透，一般不少于24h后才能摊铺上层，但也不能在透层油喷洒后很久不做上层施工，应尽早施工。

(7) 无机结合料稳定的半刚性基层喷洒透层油后，如果不能及时铺筑面层又需开放交通，应铺撒适量的石屑或粗砂，此时宜将透层油增加10%的用量。用6~8t钢筒式压路机控制车速稳压一遍。

2. 粘层施工技术

1) 作用与适用条件

(1) 粘层的作用：使上下层沥青结构层或沥青结构层与结构物（或水泥混凝土路面）完全粘结成一个整体。

(2) 符合下列情况，必须喷洒粘层沥青：

- ① 双层式或三层式热拌热铺沥青混合料路面的沥青层之间。
- ② 水泥混凝土路面、沥青稳定碎石基层或旧沥青路面层上加铺沥青层。
- ③ 路缘石、雨水进水口、检查井等构造物与新铺沥青混合料接触的侧面。

2) 一般要求

(1) 粘层沥青的技术要求

粘层油宜采用快裂或中裂乳化沥青、改性乳化沥青，也可采用快、中凝液体石油沥青。其规格和质量应符合规范的要求，所使用的基质沥青标号宜与主层沥青混合料相同。

(2) 粘层沥青的用量、品种选择

粘层油品种和用量，应根据下卧层的类型通过试洒确定，并符合表2.2-9的要求。

表2.2-9 沥青路面粘层材料的规格和用量表

下卧层类型	液体沥青		乳化沥青	
	规格	用量(L/m ²)	规格	用量(L/m ²)
新建沥青层或旧沥青路面	AL(R)-3~AL(R)-6 AL(M)-3~AL(M)-6	0.3~0.5	PC-3 PA-3	0.3~0.6
水泥混凝土	AL(M)-3~AL(M)-6 AL(S)-3~AL(S)-6	0.2~0.4	PC-3 PA-3	0.3~0.5

注：表中用量是指包括稀释剂和水分等在内的液体沥青、乳化沥青的总量。乳化沥青中的残留物含量以50%为基准。

当粘层油上铺筑薄层大空隙排水路面时，粘层油的用量宜增加到0.6~1.0L/m²。在沥青层之间兼作封层而喷洒的粘层油宜采用改性沥青或改性乳化沥青，其用量宜不少于1.0L/m²。

3) 注意事项

(1) 喷洒表面一定清扫干净且保持干燥。用水洗刷后需待表面干燥后喷洒。

(2) 气温低于10℃时不得喷洒粘层油，寒冷季节施工不得不喷洒时可以分成两次喷洒。路面潮湿时不得喷洒粘层油。

(3) 粘层油宜采用沥青洒布车喷洒，并选择适宜的喷嘴，洒布速度和喷洒量保持

稳定。当采用机动或手摇的手工沥青洒布机喷洒时，必须由熟练的技术工人操作，均匀洒布。

(4) 喷洒的粘层油必须呈雾状，在路面全宽度内均匀分布成一薄层，不得有洒花漏空或呈条状，也不得有堆积。喷洒不足的要补洒，喷洒过量处应予刮除。

(5) 粘层油宜在当天洒布，待乳化沥青破乳、水分蒸发完成，或稀释沥青中的稀释剂基本挥发完成后，紧跟着铺筑沥青层，确保粘层不受污染。

(6) 喷洒粘层油后，严禁运料车外的其他车辆和行人通过。

3. 封层的施工技术

1) 作用与适用条件

(1) 封层的作用：一是封闭某一层起保水防水作用；二是便于基层与沥青表面层之间的过渡和有效连接；三是对某一层表面破坏离析松散处的加固补强；四是防止基层因天气或车辆作用出现水毁。封层可分为上封层和下封层。就施工类型来分，可采用拌和法或层铺法的单层式表面处治，也可以采用乳化沥青稀浆封层。

(2) 适用条件

封层适用于加铺薄层罩面、磨耗层、水泥混凝土路面上的应力缓冲层、各种防水和密水层、预防性养护罩面层。

上封层可选择乳化沥青稀浆、微表处、改性沥青集料、薄层磨耗层或其他适宜的材料。

① 裂缝较细、较密的可采用涂洒类密封剂、软化再生剂等涂刷罩面。

② 高速公路、一级公路有轻微损坏的宜铺筑微表处。

③ 用于改善抗滑性能的上封层可采用稀浆封层、微表处或改性沥青集料封层。

下封层宜采用层铺法表面处治或稀浆封层法施工。稀浆封层可采用乳化沥青或改性乳化沥青作结合料。下封层的厚度不宜小于6mm，且做到完全泌水。多雨潮湿地区的高速公路、一级公路的沥青面层空隙率较大，有严重渗水可能，或铺筑基层不能及时铺筑沥青面层而需通行车辆时，宜在喷洒透层油后铺筑下封层。

2) 一般要求

(1) 使用层铺法沥青表面处治铺筑封层时，按层铺法表面处治工艺施工。

(2) 封层宜在干燥和较热的季节施工，并在最高温度低于15℃到来以前半个月及雨期前结束。

(3) 使用乳化沥青稀浆封层施工上、下封层。

① 稀浆封层必须使用专用的摊铺机进行摊铺。

② 稀浆封层的矿料类型应根据封层的目的、道路等级进行选择；矿料级配应根据铺筑厚度、集料尺寸及摊铺用量等因素选用。

③ 稀浆封层可采用普通乳化沥青或改性乳化沥青，其品种和质量应符合规范的要求。

④ 稀浆封层和微表处混合料中乳化沥青及改性乳化沥青的用量应通过配合比设计确定。

⑤ 混合料的湿轮磨耗试验的磨耗损失不宜大于 $800\text{g}/\text{m}^2$ ；轮荷压砂试验的砂吸收量不宜大于 $600\text{g}/\text{m}^2$ 。

⑥ 稀浆封层混合料的加水量应根据施工摊铺和易性由稠度试验确定，要求的稠度应为20~30mm。

⑦ 稀浆封层两幅纵缝搭接宽度不宜超过80mm，横向接缝宜做成对接缝。分两层摊铺时，第一层摊铺后至少应开放交通24h后方可进行第二层摊铺。

2.2.6 路面改（扩）建施工

1. 水泥路面改造加铺沥青面层

1) 直接加铺法

一般通过人工调查对旧水泥路的病害按段落桩号进行统计，采用探地雷达、弯沉仪对混凝土板的脱空和其结构层的均匀情况、路面承载能力进行检测评价。

(1) 对边角破碎损坏较深和较宽的路面，先用切割机切除损坏部分，然后浇筑同强度等级混凝土；对破损较浅、较窄的，可凿除50mm以上，然后用细石拌制的混凝土填平。

(2) 对发生错台或板块网状开裂的部位，首先考虑是路基质量问题，必须将整板全部凿除，重新夯实路基及基层。对换板部位基层顶面进行清理维护，换板部分基层调平均由新浇筑的水泥混凝土面板一次进行。

(3) 对板块脱空、桥头沉陷、不均匀沉陷及弯沉较大的部位，应钻穿板块，然后用水泥浆高压灌注处理。

(4) 接缝处理：先清除缝内原有的填充物和杂物，再用手持式注射枪进行沥青灌缝，然后用改性沥青油毡等材料贴缝，有必要时再加铺一层特殊沥青材料的过渡层，吸收或抵抗纵横缝向上扩展的能量，防止产生反射裂缝。

2) 碎石化法

(1) 路面碎石化前的处理

路面碎石化清除缝内填充物和杂质，应清除水泥混凝土路面上的沥青修复材料，同时对全线排水系统进行设置和修复，并将路两侧的路肩挖除至混凝土路面基层同一高度，以便水能从路面区域及时排出。

(2) 特殊路段的处理

在路面破碎前对该工程全线可能存在的严重病害的软弱路段进行修复处理，首先清除混凝土路面并开挖至稳定层，然后换填监理工程师认可的材料。

(3) 构造物的标记和保护

路面破碎前，针对调查的结构物资料在现场作出明确的标记，以确保这些构造物不会因施工造成损坏。对不同埋深的构筑物、地下管线、房屋等，采取不同的红色油漆标注清楚，以区别破碎，保证安全。

(4) 路面碎石施工

选择有代表性的路段作为试验段，获取破碎参数。路面破碎时，先破碎路面侧边的车道，然后破碎中部的行车道。两幅破碎一般要保证10cm左右的搭接破碎宽度。机械施工过程中要灵活调整行进速度、落锤高度、频率等，尽量达到破碎均匀。路面碎石后应清除路面中所有松散的填缝料、胀缝料、切割移除暴露的加强钢筋等。表面凹处在100mm×100mm以内，压实前可以用密级配碎石回填；100mm×100mm以上的，利

用沥青混合料找平。

(5) 破碎后的压实

主要作用是将破碎路面表面的扁平颗粒进一步破碎，同时稳固下层块料，为新铺沥青面层提供一个平整的表面。破碎后的路面采用Z型压路机振动压实2~3遍，测标高进行级配碎石调平，检测平整度，光轮压路机振动压实3~4遍。压实速度不超过5km/h。

(6) 乳化沥青透层的洒布

为使表面较松散的粒径有一定的结合力，使用慢裂乳化沥青做透层，用智能洒布车保证用量均匀地控制在 $2.5\sim3.0\text{kg}/\text{m}^2$ 。乳化沥青透层表面再撒布适量石屑后进行光轮静压，石屑用量以不粘轮为标准。

2. 旧沥青路面再生

1) 现场冷再生法

现场冷再生法是用大功率路面铣刨拌合机将路面混合料在原路面上就地铣刨、翻挖、破碎，再加入稳定剂、水泥、水（或加入乳化沥青）和集料同时就地拌和，用路拌机原地拌和，最后碾压成型。现场冷再生工艺一般适用于病害严重的一级以下公路沥青路面的翻修、重建，冷再生后的路面一般需要加铺一定厚度的沥青罩面。目前应用类型已从最初的单纯水泥冷再生，逐步丰富形成泡沫沥青、乳化沥青冷再生。

现场冷再生工艺的优点有：原路面材料就地实现再生利用，节省了材料转运费用；施工过程能耗低、污染小；适用范围广。缺点是：施工质量较难控制；一般需要加铺沥青面层，再生利用的经济性不太明显。

现场冷再生关键技术是添加的胶粘剂（如乳化沥青、泡沫沥青、水泥）与旧混合料的均匀拌和技术，其余如旧沥青混合料的铣刨、破碎技术，胶粘剂配比的性能也很关键。

2) 现场热再生法

现场热再生是一种就地修复破损路面的过程，它通过加热软化路面，铲起路面废料，再和沥青胶粘剂混合，有时可能还需要添加一些新的集料，然后将再生料重新铺在原来的路面上。现场热再生法，可以一次性实现就地旧沥青路面再生，把原材料和需翻修的路面重新结合；或者是通过两阶段完成，即先将再生料重新压实，然后在上面再铺一层磨耗层。这种工艺方法简单方便，多用于基层承载能力良好、面层因疲劳而龟裂的路段，特别适用于老化不太严重，但平整度较差的高等级公路沥青路面上面层病害的修复，可恢复沥青上面层物理力学性能，修复沥青路面的车辙。

现场热再生法施工简单方便，多用于基层承载能力良好、面层因疲劳而龟裂的路段，特别适用于老化不太严重，但平整度较差的路面。

现场热再生工艺的优点是施工速度快，而且原路面材料就地实现再生利用，节省了材料转运费用。但这种工艺的缺点是再生深度通常在 $25\sim60\text{mm}$ ，难以深入；对原路面材料级配调整幅度有限，也难以去除不适合再生的旧料；再生后路面的质量稳定性和耐久性有所减弱。

现场热再生中旧沥青混合料的加热重熔技术，新加沥青、再生剂与旧混合料的均匀复拌技术是关键问题，在施工工艺中应充分考虑加热设备和拌和摊铺设备的作业性能。

根据路面破损情况的不同和对修复后路面质量等级的不同要求，就地热再生技术应用的施工工艺主要有三种。

（1）整形再生法

整形再生法适合 20~30mm 表面层的再生，是由加热机对旧沥青路面加热至 60~180℃ 后，由再生主机将路面翻松并将翻松材料收集到再生主机的搅拌锅中，同时在搅拌锅中加入适量的沥青再生剂，将拌和均匀的再生混合料重新摊铺到路面上，用压路机碾压成型。这种方法适合维修路面出现微型裂纹、磨耗层损坏及破损面积较小的路面，修复后可消除原路面的轻度车辙、龟裂等病害，恢复路面的平整度，改善路面性能。

（2）重铺再生法

重铺再生法适合 40~60mm 面层的再生，用 2 台加热机分次对旧沥青路面进行加热。第一次加热的表面温度可达 160~180℃，第二次加热的表面温度将达到 180~250℃。通过 2 次加热，将旧路面沥青材料软化，再由再生机主机翻松，将翻松材料收集到再生主机的搅拌锅中，加入适量的沥青再生剂搅拌，将拌和均匀的再生混合料摊铺到路面上作为路面下面层，其上再铺设一层新的沥青混合料作为磨耗层，形成全新材料的路面，最后用压路机碾压成型。再生机工作速度一般为 1~3m/min。这种方法适用于破损较严重路面（如出现大面积坑槽）的维修翻新和旧路升级改造施工，修复后形成与新建道路性能完全相同的全新路面。重铺再生法一般有两种工艺方法。

方法一：加热→旧料再生（翻松、添加再生剂、搅拌等）→摊铺整形→压入碎石工艺。

方法二：加热→旧料再生（翻松、添加再生剂、搅拌等）→摊铺整形→罩新面工艺。

这两种工艺方法的基本工艺流程如下：

① 加热软化路面

利用 2 台加热机内的红外线加热器或热空气等加热路面，使之软化，根据气温、风速、风向、路表的湿度以及混合料的含水量，调整机器的工作状态，保证路面的加热温度。一般情况下，通过 2 台加热机的加热，在面层下 150mm 深处的温度可达 150~200℃，加热深度可达 40~60mm。尽管加热温度很高，但时间短，旧路面内的沥青不会因温度太高而老化。目前的加热方式有火焰加热、红外线加热、热气加热、微波加热。其中红外线加热和热气加热为常用的加热方法，微波加热是一项有发展前景的新技术。

② 铣刨翻松路面

路面再生机上安装有铣刨装置。当面层经加热软化后，机器在行走过程中通过铣刨装置将路面翻松。由于路面被加热，因而路面内集料不会产生破碎。翻松的路面材料由收料装置收集到路面中间或搅拌锅中。

③ 拌和整形

翻松的路面材料集中到路中间或搅拌锅后，在其上洒布一定的沥青再生剂进行拌和，通过输送装置送到再生摊铺装置的前面进行摊铺，形成再生路面层。

④ 罩新面

再生机前面装有 1 只集料斗，新拌制的沥青混合料由自卸汽车卸入集料斗内，由输

送机将新混合料运送到后面的摊铺装置，根据所需要的路拱、摊铺宽度和摊铺厚度（考虑松铺系数），把新混合料摊铺到经过再生的路面上，然后进行碾压，即形成平整、密实的路面。

（3）复拌再生法

复拌再生法适合 40~60mm 面层的再生，其方法是用 2 台加热机分次对旧沥青路面进行加热，加热方式与重铺再生法基本相同。

综上所述，无论哪种现场热再生工艺方法，都必须事先对破损的路面进行取样检测分析；再选择相应的施工工艺方法，制定具体的施工方案，并确定应添加材料的性质和比例。不论是复拌再生、重铺再生还是整形再生，其现场热再生的基本工艺流程如图 2.2-2 所示。

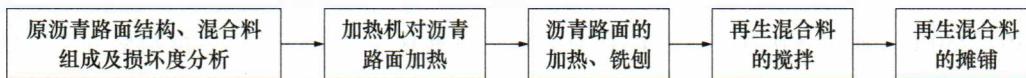


图 2.2-2 现场热再生的基本工艺流程图

3) 厂拌热再生法

厂拌热再生法就是将旧沥青路面经过翻挖后运回拌合厂，再集中破碎，根据路面不同层次的质量要求，进行配比设计，确定旧沥青混合料的添加比例，再生剂、新沥青材料、新集料等在拌合机中按一定比例重新拌和成新的混合料，从而获得优良的再生沥青混凝土，筑成再生沥青路面。厂拌热再生技术利用旧沥青回收料一般不超过 50%，通常为 10%~30%，新集料和新沥青掺入量较大，因此，采用厂拌热再生工艺能够修复沥青路面面层病害，恢复甚至改善原沥青混合料的性能，所以这种工艺适用范围较广，各等级沥青路面铣刨料都可用来再生利用。再生后的沥青混合料可用来铺筑各种等级的沥青路面，或者用来维修养护旧路。

利用这种方法，可以方便对已被翻挖的基层甚至路基的一些地段进行有效的补强，沥青层的重铺则可以像新路施工一样，分别按下面层、中面层、上面层（磨耗层）的不同技术要求进行配合比设计，确定旧沥青回收料的添加比例。

厂拌热再生工艺的优点是再生工艺易于控制，再生后的沥青混合料性能也比较理想。若采用适当的配合比设计和严格的质量控制措施，再生路面具有与普通沥青路面相同或相近的路用性能和耐久性。但其缺点是再生成本较高。

厂拌热再生中的关键技术是必须解决旧沥青混合料中沥青的加热重熔问题与旧沥青混合料的精确计量问题。

3. 局部加宽

（1）局部加宽路面结构层应与原路面相应的结构层一致；局部加宽与原路面功能性罩面或结构性补强同步实施时，其结构层宜一致，并同步施工。

（2）局部加宽路面结构层与原路面纵向搭接应与路中线平行，横向搭接应采取台阶式搭接、土工合成材料加筋等措施，上、下结构层搭接错开距离为 300mm，保证搭接处不出现纵向裂缝。

（3）新旧沥青面层横向搭接宜采用立茬毛缝方法，并应符合下列规定：

- ① 在基层加宽的基础上将原路面边缘整齐切割，使其露出坚硬的垂直边缘，原路

面面层和新铺基层的粒料不可松动，并将加宽的基层表面清扫干净。

② 在接茬处应均匀涂覆粘结乳化沥青，以保证新铺混合料与原沥青面层更好地粘结。

③ 单层沥青面层接茬，混合料摊铺应与原路面平齐对接，压实后的高度与原路面层平齐。

④ 双层或双层以上沥青面层接茬，上、下面层不宜接在同一垂直面上，应错开300mm以上，做成台阶式。

(4) 新旧沥青面层搭接施工应符合下列规定：

① 接茬部位沥青混合料的摊铺可视加宽宽度选择人工摊铺或机械摊铺。采用人工摊铺时，按松铺厚度摊平，并沿边缘用沥青混合料覆盖于原路面边缘预热，及时用小型振动板沿纵向接茬部位朝向接茬处压实，新铺沥青面层可比原面层略高，再用重型压路机后轮对新铺沥青面层进行充分碾压，成型的高度应与原面层平齐；采用机械摊铺法施工时，可直接沿纵向接茬部位摊铺，并朝向接茬处压实，及时对接茬部位进行整平或补料。

② 加宽部位原路面不需要调拱时，新铺沥青混合料的碾压应朝向接茬处压实，保证满足设计要求的路拱；原路面需要调拱时，压实方法同新建沥青路面的有关规定，保证接缝位置平顺和满足设计要求的路拱，以及压实度满足设计要求。

2.3 水泥混凝土路面施工

2.3.1 水泥混凝土路面施工准备

1. 一般规定

(1) 基层、封层或夹层应验收合格，并测量校核平面和高程控制桩，恢复路面中心、边缘等全部基本标桩，测量精度应满足相应规范的规定。

(2) 进场时，每批量原材料应有产品合格证。应建立能对原材料、配合比和施工质量进行检测和控制、符合相应资质要求的工地试验室。

2. 施工组织

(1) 施工组织设计应包括下列内容：

① 施工机械设备种类与数量组合、进场计划、操作人员与设备调配方案。

② 路面的施工工艺流程、质量检验计划、关键工序质量控制要求。

③ 配合比的试验、检验与控制程序，计划和质检人员安排。

④ 工程计划进度网络图及直方图。

⑤ 原材料进场计划，水资源、油料与电力获取方式、供应计划与备用方案。

⑥ 劳动力进场计划。

⑦ 拌合站、钢筋加工场、项目部与生活区建设方案。

⑧ 施工便道及临时导改方案，原材料与混凝土运输道路的建设计划与施工交通管制。

⑨ 安全生产措施等。

(2) 施工过程中，应结合工程进度及变化情况，及时调整施工组织设计，使工程

质量及进度始终处于可控状态。

(3) 摊铺现场和拌合站之间应建立快速有效的通信联络，及时进行生产调度、指挥和应急处置。

(4) 交通繁忙的路口应设立标志，疏导交通。夜间施工时，应保证施工照明，模板或基准线桩附近应设置警示灯或反光标志。

3. 拌合站

(1) 拌合站的选址应防止噪声扰民和粉尘污染，距摊铺路段的最长运输距离不宜大于20km。

(2) 拌合站应布置粗、细集料储存区，水泥或掺合料罐仓，蓄水池，搅拌生产区，工地试验室，钢筋储备库和加工场。使用袋装水泥时应设置水泥库。

(3) 水泥和掺合料的储存和供应符合下列规定：

① 散装水泥和粉煤灰应使用罐仓储存，罐仓顶部应有过滤、防潮措施。不同厂家的水泥应分罐存放，更换水泥品种或厂家时应清仓再灌。粉煤灰不得与水泥混罐。

② 罐仓中宜储备满足不少于3d生产需要的水泥掺合料。水泥库应防水防潮。

(4) 纤维混凝土的拌合楼应配备专用纤维均匀分散装置，并储备1个月的纤维用量。

(5) 外加剂应设置储液罐或稀释池。储液罐、稀释池应与拌合楼外加剂计量容器的管路及沉淀池上下接通，并便于清理沉淀。

(6) 集料储备应符合下列规定：

① 施工前，宜储备不少于正常施工10d用量的粗、细集料。

② 料场宜建在排水通畅的位置，底部应作硬化处理。不同规格的集料之间应设置隔离设施，并设置明显标志牌，避免混杂。

③ 应控制粗、细集料中粉尘与含泥量，并应架设顶棚，保证其含水率稳定。

4. 原材料与设备检查

(1) 对各种原材料，应将相同料源、规格、品种原材料作为一个批次，按现行《公路水泥混凝土路面施工技术细则》JTG/T F30—2014的相关规定进行检测，检测合格并经配合比试验确认满足要求后，方可使用。不合格原材料不得进场。

(2) 施工前应对机械设备、测量仪器、基准线或模板、机具工具及各种试验仪器等进行全面检查、调试、校核、标定，并适量储备主要施工机械易损零部件。

5. 路基沉降观测与基层检查修复

(1) 施工前应对桥头、软基、高填方、填挖交界等处的路基段进行连续沉降观测，当发现局部路基段沉降尚未稳定时，不得进行该段面层施工。

(2) 面层施工前，应提供足够连续施工7d以上的合格基层。

(3) 局部破损的基层应按下列规定进行修复：

① 存在破碎、隆起、空鼓等病害的基层，应清除病害部位，并使用相同的基层料重新铺筑。

② 当基层产生非扩展性温缩、干缩裂缝时，可先采用灌沥青密封防水后，再采用土工合成材料进行防裂处理。

③ 局部开裂、破碎的部位，应局部全厚度挖除，并采用贫混凝土修复。

6. 夹层与封层施工

(1) 沥青混凝土夹层、热沥青表面处治封层与乳化改性沥青稀浆封层的施工及质量标准应符合现行《公路沥青路面施工技术规范》JTG F40—2004 的相关规定。

(2) 土工布封层的施工应符合现行《公路土工合成材料应用技术规范》JTG/T D32—2012 的相关规定。

(3) 薄膜封层的铺筑施工应符合现行《公路水泥混凝土路面施工技术细则》JTG/T F30—2014 的相关规定。

7. 试验路段铺筑

(1) 二级及以上公路水泥混凝土面层施工前，应制定试验路段的施工方案和质量检测计划，并应铺筑试验路段。试验路段长度不应短于 100m。

(2) 试验路段铺筑应达到下述目的：

- ① 确定拌合楼的相关参数、实际生产能力和配料精度。
- ② 检验混凝土的施工性能、技术参数和实测强度。
- ③ 检验铺筑机械、工艺参数及与拌和能力匹配情况。
- ④ 检验施工组织方式、质量控制水平和人员配备。

(3) 拌合楼应通过动、静态标定检验合格后方可试拌。用于试验段的拌合楼（机）试拌合格后，方可进行试验路段铺筑。

2.3.2 水泥混凝土路面用料要求

1. 水泥

(1) 极重、特重、重交通荷载等级公路面层水泥混凝土应采用旋窑生产的道路硅酸盐水泥、硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥，中、轻交通荷载等级公路面层水泥混凝土可采用矿渣硅酸盐水泥。高温期施工宜采用普通型水泥，低温期施工宜采用早强型水泥。面层水泥混凝土所用的水泥各龄期的实测抗折强度、抗压强度应符合表 2.3-1 的规定。

(2) 选用水泥时应对拟采用厂家水泥进行混凝土配合比对比试验，根据所配制的混凝土弯拉强度、耐久性和工作性，选择适宜的水泥品种、强度等级。

(3) 采用滑模摊铺机铺筑时，宜选用散装水泥。高温期施工时，散装水泥的入罐最高温度不宜高于 60℃；低温期施工时，水泥进入搅拌缸前的温度不宜低于 10℃。

表 2.3-1 面层水泥混凝土所用的水泥各龄期的实测抗折强度、抗压强度值

混凝土设计弯拉强度标准值 (MPa)	5.5		5.0		4.5		4.0	
龄期 (d)	3	28	3	28	3	28	3	28
水泥实测抗折强度 (MPa), ≥	5.0	8.0	4.5	7.5	4.0	7.0	3.0	6.5
水泥实测抗压强度 (MPa), ≥	23.0	52.5	17.0	42.5	17.0	42.5	10.0	32.5

2. 掺合料

(1) 使用道路硅酸盐水泥或硅酸盐水泥时，可在混凝土中掺入适量粉煤灰；使用其他水泥时，不应掺入粉煤灰。

(2) 面层水泥混凝土可单独或复配掺用符合规定的粉状低钙粉煤灰、矿渣粉或硅

灰等掺合料，不得掺用结块或潮湿的粉煤灰、矿渣粉或硅灰。不得掺用高钙粉煤灰或Ⅲ级及Ⅲ级以下的低钙粉煤灰。粉煤灰进货应有等级检验报告。

(3)掺加于面层水泥混凝土中的矿渣粉、硅灰，其质量应满足相关规定。使用矿渣硅酸盐水泥时不得再掺加矿渣粉。高温期施工时不宜掺用硅灰。

(4)各种掺合料在使用前，应进行混凝土配合比试配检验与掺量优化试验，确认面层水泥混凝土弯拉强度、工作性、抗磨性、抗冰冻性、抗盐冻性等指标满足设计要求。

3. 粗集料与再生粗集料

(1)粗集料应使用质地坚硬、耐久、干净的碎石、破碎卵石或卵石。极重、特重、重交通荷载等级公路面层混凝土用的粗集料质量不应低于Ⅱ级，中、轻交通荷载等级公路面层混凝土可使用Ⅲ级粗集料。

(2)中、轻交通荷载等级公路面层水泥混凝土可使用再生粗集料，其质量应符合相关规定。再生粗集料可单独或掺配新集料后使用，但应通过配合比试验验证，确定混凝土性能满足设计要求，并符合下列规定：

①有抗冰冻、抗盐冻要求时，再生粗集料不应低于Ⅱ级，否则可使用Ⅲ级再生粗集料。再生粗集料不得用于裸露粗集料的水泥混凝土抗滑表层。

②不得使用出现碱活性反应的混凝土为原料破碎生产的再生粗集料。

(3)粗集料与再生粗集料应根据混凝土配合比的公称最大粒径分为2~4个单粒级的集料，并掺配使用。粗集料与再生粗集料的合成级配及单粒级级配范围宜符合相关要求。不得使用不分级的统料。

4. 细集料

(1)细集料应采用质地坚硬、耐久、洁净的天然砂或机制砂，不宜使用再生细集料。使用天然砂或机制砂时，应符合各自对应的质量标准。极重、特重、重交通荷载等级公路面层水泥混凝土用的天然砂质量不应低于Ⅱ级，中、轻交通荷载等级公路面层混凝土可使用Ⅲ级天然砂。

(2)天然砂的级配范围宜符合相关规定。面层水泥混凝土使用的天然砂细度模数宜为2.0~3.7。

(3)机制砂宜采用碎石作为原料，并用专用设备生产。极重、特重、重交通荷载等级公路面层水泥混凝土用机制砂的质量标准不应低于Ⅱ级，中、轻交通荷载等级公路面层水泥混凝土可使用Ⅲ级机制砂。

(4)机制砂的级配范围宜符合相关规定。面层水泥混凝土使用的机制砂细度模数宜为2.3~3.1。

(5)细集料的使用尚应满足下列规定：配筋混凝土路面及钢纤维混凝土路面中不得使用海砂；细度模数差值超过0.3的砂应分别堆放，分别进行配合比设计；采用机制砂时，外加剂宜采用引气高效减水剂或聚羧酸系高性能减水剂。

5. 水

符合现行《生活饮用水卫生标准》GB 5749—2022的饮用水可直接作为混凝土搅拌和养护用水。非饮用水应进行水质检验，并符合相关规定。还应与蒸馏水进行水泥凝结时间与水泥胶砂强度的对比试验；对比试验的水泥初凝与终凝时间差均不应大于30min，水泥胶砂3d和28d强度不应低于蒸馏水配制的水泥胶砂3d和28d强度的

90%。养护用水可不检验不溶物质含量和其他杂质，其他指标应符合规范规定。

6. 外加剂

(1) 外加剂品种主要有：普通减水剂、高效减水剂、早强减水剂、缓凝高效减水剂、缓凝减水剂、引气减水剂、引气高效减水剂、引气缓凝高效减水剂、早强高效减水剂、引气早强高效减水剂、早强剂、缓凝剂、引气剂、阻锈剂等。其产品质量应符合相应技术指标。外加剂产品出厂报告中应标明其主要化学成分和使用注意事项。面层水泥混凝土的各种外加剂应经有相应资质的检测机构检验合格，并提供检验报告后方可使用。

(2) 外加剂产品应使用工程实际采用的水泥、集料和拌和用水进行试配，检验其性能，确定合理掺量。外加剂复配使用时，不得有絮凝现象，应使用工程实际采用的水泥、集料和拌和用水进行试配，确定其性能满足要求后方可使用。

(3) 各种可溶外加剂均应充分溶解为均匀水溶液，按配合比计算的剂量加入。采用非水溶的粉状外加剂时，应保证其分散均匀、搅拌充分、不得结块。

(4) 滑模摊铺施工的水泥混凝土面层宜采用引气高效减水剂；高温施工混凝土拌合物的初凝时间短于3h时，宜采用缓凝引气高效减水剂；低温施工混凝土拌合物终凝时间长于10h时，宜采用早强引气高效减水剂。

(5) 有抗冰冻、抗盐冻要求时，各级公路水泥混凝土面层及暴露结构物混凝土应掺入引气剂；无抗冻要求地区的二级及以上公路水泥混凝土面层宜掺入引气剂。

(6) 处在海水、海风、氯离子环境或冬季撒除冰盐的路面或桥面钢筋混凝土、钢纤维混凝土中可掺用或复配阻锈剂，阻锈剂产品的质量标准、检验方法及应用技术应符合相关规定。

7. 钢筋

(1) 水泥混凝土、钢筋混凝土及连续配筋混凝土面层所用钢筋、钢筋网、传力杆、拉杆等应符合国家和行业现行相关标准的规定。

(2) 钢筋不得有裂纹、断伤、刻痕、表面油污和锈蚀；配筋混凝土路面与桥面用钢筋宜采用环氧树脂涂层或防锈漆涂层等保护措施。传力杆应无毛刺，两端应加工成圆锥形或半径为2~3mm的圆倒角。

(3) 胀缝传力杆应在一端设置镀锌钢管帽或塑料套帽，套帽厚度不应小于2mm，并应密封不透水，套帽长度宜为100mm，套帽内活动空隙长度宜为30mm。

(4) 传力杆钢筋应采取喷塑、镀锌、电镀或涂防锈漆等防锈措施，防锈层不得局部缺失。拉杆钢筋应在中部不小于100mm范围内采取涂防锈漆等防锈措施。

8. 纤维

(1) 用于公路混凝土路面和桥面水泥混凝土的钢纤维除应满足《纤维混凝土应用技术规程》JGJ/T 221—2010要求外，尚应符合下列规定：

① 钢纤维抗拉强度不宜低于600级。

② 钢纤维应进行有效的防锈蚀处理。

③ 钢纤维的几何参数及形状精度应满足相关规定。钢丝切斷型钢纤维或波形、带倒钩的钢纤维不应使用。

(2) 钢纤维表面不应沾染油污及妨碍水泥粘结及凝结硬化的物质，结团、粘结连片的钢纤维不得使用。

(3) 用于面层水泥混凝土的玄武岩短切纤维的外观应为金褐色,匀质,表面无污染,二氧化硅含量应在48%~60%。其表面浸润剂应为亲水型。玄武岩纤维、玄武岩短切纤维的规格、尺寸及其精度应符合相关规定。

(4) 用于面层水泥混凝土的合成纤维可采用聚丙烯腈(PANF)、聚丙烯(PPF)、聚酰胺(PAF)和聚乙烯醇(PVAF)等材料制成的单丝纤维或粗纤维,其质量应符合相关规定,且实测单丝抗拉强度最小值不得小于450MPa。

9. 接缝材料

(1) 高速公路、一级公路胀缝板宜采用塑胶板、橡胶(泡沫)板或沥青纤维板;其他等级公路也可采用浸油木板。聚氨酯类常温施工式填缝料质量应符合相关规定。聚氨酯类填缝料中不得掺入碳黑等无机充填料。

(2) 硅酮类、聚氨酯类常温施工式填缝料可用于各等级公路水泥混凝土面层;橡胶沥青、改性沥青类填缝料可用于二级及二级以下公路,不宜用于高速公路和一级公路;道路石油沥青类填缝料可用于三、四级公路,不宜用于二级公路,不得用于高速公路和一级公路。

(3) 严寒及寒冷地区宜采用低模量型填缝料,其他地区宜采用高模量型填缝料。橡胶沥青应根据当地所处的气候区划选用四类中适宜的一类。严寒、寒冷地区宜使用70号石油沥青或SBS类I-C;炎热、温暖地区宜使用50号石油沥青或SBS类I-D。

(4) 填缝背衬垫条应具有弹性良好、柔韧性好、不吸水、耐酸碱腐蚀及高温不软化等性能。背衬垫条可采用橡胶条、发泡聚氨酯、微孔泡沫塑料等制成,其形状宜为可压缩圆柱形,直径宜比接缝宽度大2~5mm。

10. 夹层与封层材料

(1) 沥青混凝土夹层用材料、热沥青表处与改性乳化沥青稀浆封层用材料应符合现行《公路沥青路面施工技术规范》JTG F40—2004的规定。

(2) 封层用薄膜材料的质量、规格与外观应符合相关规定。

11. 养护材料

(1) 水泥混凝土面层用养护剂应采用石蜡、适宜高分子聚合物与适量稳定剂等、增白剂等经胶体磨制成水乳液,不得采用以水玻璃为主要成分的养护剂。养护剂宜用白色胶体乳液,不宜用无色透明的乳液。养护剂的质量应符合相关规定。

(2) 高速公路、一级公路水泥混凝土面层应使用满足一级品要求的养护剂,其他等级公路可使用满足合格品要求的养护剂。

(3) 水泥混凝土面层用节水保湿养护膜应由高分子吸水保水树脂和不透水塑料面膜制成,其质量应符合相关规定。

(4) 高温期施工时,宜选用白色反光面膜的节水保湿养护膜;低温期施工时,宜选用黑色或蓝色吸热面膜的产品。

2.3.3 水泥混凝土路面施工

1. 水泥混凝土路面的分类与特点

1) 水泥混凝土路面的分类

水泥混凝土路面,是指除接缝区和局部范围(边缘和角隅)外不配置钢筋的混凝

土路面。包括普通混凝土（素混凝土）、钢筋混凝土、连续配筋混凝土、预应力混凝土、装配式混凝土、钢纤维混凝土和混凝土小块铺砌等面层板和基（垫）层所组成的路面。目前采用最广泛的是就地浇筑的普通混凝土路面，简称混凝土路面。

水泥混凝土路面适用于四级及以上公路、高速公路。

2) 水泥混凝土路面的优点

相对于沥青混凝土路面而言，水泥混凝土路面使用寿命长、强度高、稳定性好、耐久性好、养护费用少、经济效益高；有利于夜间行车；有利于带动当地建材业的发展。

3) 水泥混凝土路面的缺点

相对于沥青混凝土路面而言，水泥混凝土路面对水泥和水的需要量大、有接缝、开放交通较迟、修复困难。

2. 施工方法

目前水泥混凝土面层铺筑的常用方法有小型机具铺筑、滑模摊铺机施工、三辊轴机组铺筑和碾压混凝土四种方法。

1) 小型机具铺筑

小型机具施工工艺是水泥混凝土路面施工的传统方式，技术简单成熟、施工便捷、不需要大型设备、主要靠人工，所以一般用在县乡公路、三、四级公路，等外公路，旅游公路，村镇内道路与广场建设中。

2) 滑模摊铺机施工

滑模摊铺是采用滑模摊铺机铺筑水泥混凝土面层的施工工艺。其特征是不架设边缘固定模板，布料、摊铺、振捣密实、挤压成型、抹面装饰等施工流程在摊铺机行进过程中连续完成。滑模摊铺技术在我国自1991年开始推广应用，已经成为我国在高等级公路水泥混凝土路面施工中广泛采用的工程质量最高、施工速度最快、装备最现代化的高新成熟技术。

3) 三辊轴机组铺筑

三辊轴机组施工工艺的机械化程度适中，设备投入少，技术容易掌握。三辊轴机组比较适用于二、三、四级公路及县乡公路水泥混凝土路面的施工。

4) 碾压混凝土

碾压混凝土是采用沥青路面的主要施工机械将单位用水量较少的干硬性混凝土摊铺、碾压成型的一种路面。碾压混凝土采用的是沥青摊铺机或灰土摊铺机，碾压密实成型工艺是将干硬性混凝土技术和沥青路面摊铺技术结合起来的复合技术。目前该技术尚存在一些没有彻底解决的问题，如：裂缝、离析与局部早期损坏成坑，板底密实度不佳和动态平整度不高，因此碾压混凝土仅适用于二级以下水泥混凝土路面或复合式路面下面层。

3. 水泥混凝土路面施工技术

1) 模板及其架设与拆除

(1) 施工模板应采用刚度足够的槽钢、轨模或钢制边侧模板，不应使用木材、塑料等易变形模板。

(2) 支模前在基层上应进行安装及摊铺位置的测量放样，核对路面标高、面板分板、胀缝和构造物位置。

- (3) 纵横曲线路段应采用短模板，每块横板中点应安装在曲线切点上。
- (4) 模板安装应稳固、平顺、无扭曲，应能承受摊铺、振实、整平设备的负载行进，冲击和振动时不发生位移。
- (5) 模板与混凝土拌合物接触表面应涂隔离剂。
- (6) 模板拆除应在混凝土抗压强度不小于 8.0MPa 方可进行。

2) 混凝土拌合物搅拌

- (1) 搅拌楼的配备，应优先选配间歇式搅拌楼，也可使用连续搅拌楼。
- (2) 每台搅拌楼在投入生产前，必须进行标定和试拌。在标定有效期满或搅拌楼搬迁安装后，均应重新标定。施工中应每 15d 校验一次搅拌楼计量精确度。搅拌机配料计量偏差不得超过规定。采用计算机自动控制系统的搅拌机时，应使用自动配料生产，并按需要打印每天（周、旬、月）对应路面摊铺桩号的混凝土配料统计数据及偏差。
- (3) 应根据拌合物的黏聚性、均质性及强度稳定性试拌确定最佳拌和时间。
- (4) 外加剂应以稀释溶液加入，其稀释用水和原液中的水量，应从拌和加水量中扣除。
- (5) 拌和引气混凝土时，搅拌机一次拌和量不应大于其额定搅拌量的 90%。纯拌和时间应控制在含气量最大或较大时。

3) 混凝土拌合物的运输

- (1) 应根据施工进度、运量、运距及路况，选配车型和车辆总数。总运力应比总拌和能力略有富余。确保新拌混凝土在规定时间内运到摊铺现场。
- (2) 运输到现场的拌合物必须具有适宜摊铺的工作性。不同摊铺工艺的混凝土拌合物从搅拌机出料到运输、铺筑完毕的允许最长时间应符合时间控制的规定。不满足时应通过试验、加大缓凝剂或保塑剂的剂量。
- (3) 混凝土运输过程中应防止漏浆、漏料和污染路面，途中不得随意耽搁。自卸车运输应减小颠簸，防止拌合物离析。车辆起步和停车应平稳。

4) 采用滑模摊铺机进行混凝土面层铺筑

- (1) 一般规定
 - ① 滑模摊铺工艺宜用于高速、一级、二级公路普通水泥混凝土面层、配筋混凝土面层、纤维混凝土面层、钢筋混凝土桥面、隧道混凝土面层、混凝土路缘石、路肩石及护栏等的滑模施工。
 - ② 采用滑模摊铺机在基层上行走的铺筑方案时，基层侧边缘到滑模摊铺面层边缘的宽度不宜小于 650mm。
 - ③ 传力杆和胀缝拉杆钢筋宜采用前置支架法施工，也可采用滑模摊铺机配备的自动插入装置（DBI）施工。
 - ④ 上坡纵坡大于 5%、下坡纵坡大于 6%、平面半径小于 50m 或超高横坡超过 7% 的路段，不宜采用滑模摊铺机进行摊铺。
 - ⑤ 摊铺机应配备自动抹平板装置。
 - ⑥ 生产设备的数量和生产能力应满足铺筑进度要求，滑模摊铺机械系统可按下列要求进行配备：
 - A. 滑模铺筑无传力杆水泥混凝土路面时，布料可使用轻型挖掘机或推土机。

B. 滑模铺筑连续配筋混凝土路面、钢筋混凝土路面、桥面和桥头搭板，路面中设传力杆钢筋支架、胀缝钢筋支架时，布料应采用侧向上料的布料机或供料机。

C. 应采用刻槽机制作宏观抗滑构造。

D. 面层切缝可使用软锯缝机、支架式硬锯缝机或普通锯缝机。

(2) 水泥混凝土面层滑模摊铺机铺筑

① 滑模摊铺机的施工参数设定及校准应符合下列规定：

A. 振捣棒应均匀排列，间距宜为300~450mm；混凝土摊铺厚度较大时，应采用较小间距。两侧最边缘振捣棒与摊铺边缘距离不宜大于200mm。振捣棒下缘位置应位于挤压底板最低点以上。

B. 挤压底板的前倾角宜设置为3°。提浆夯板位置宜在挤压底板前缘以下5~10mm。

C. 边缘超铺高度应根据拌合物稠度确定，宜为3~8mm；板厚较厚、坍落度较小时，边缘超铺高度宜采用较小值。

D. 搓平梁前沿宜调整到与挤压底板后沿高程相同的位置；搓平梁的后沿应比挤压底板后沿低1~2mm，并与路面高程相同。

E. 符合铺筑精度要求的摊铺机设置应加以固定和保护。当基底高程等摊铺条件发生变化，铺筑精度超出范围时，可由操作手在行进中通过缓慢微调加以调整。

② 滑模摊铺机前布料，应采用机械完成，布料高度应均匀一致，不得采用翻斗车直接卸料的方式。布料尚应符合下列规定：

A. 卸料、布料速度与摊铺速度协调一致，不得局部或全断面缺料。发生缺料时应立即停止摊铺。

B. 采用布料机布料时，布料机和滑模摊铺机之间的施工距离宜为5~10m；现场蒸发率较大时，宜采用较少值。

C. 当坍落度在10~30mm时，布料松铺系数宜在1.08~1.15。

D. 应保证滑模摊铺机前的料位高度位于螺旋布料器叶片最高点以下，最高料位高度不得高于松方控制板上缘。使用布料犁布料时，应按松方高度严格控制料位高度。

E. 当面层传力杆、胀缝与隔离缝钢筋采用前置支架法施工时，不得在支架顶面直接卸料。传力杆以下的混凝土宜在摊铺前采用手持振捣棒振实。

③ 滑模摊铺机起步时，应先开启振捣棒，在2~3min内调整振捣到适宜振捣频率，使进入挤压底板前缘拌合物振捣密实，无大气泡冒出破灭，方可开动滑模机平稳推进摊铺。当天摊铺施工结束，摊铺机脱离拌合物后，应立即关闭振捣棒组。

④ 滑模摊铺应缓慢、匀速、连续不间断地作业。滑模摊铺速度应根据板厚、混凝土工作性、布料能力、振捣排气效果等确定，可在0.75~2.5m/min选择，宜采用1m/min。

⑤ 滑模摊铺水泥混凝土面层时，严禁快速推进、随意停机与间歇摊铺。

⑥ 滑模摊铺振捣频率应根据板厚、摊铺速度和混凝土工作性能确定，以保证拌合物不发生过振、欠振或漏振。振捣频率可在100~183Hz调整，宜为150Hz。

⑦ 可根据拌合物的稠度大小，采取调整摊铺的振捣频率或速度等措施，保证摊铺质量稳定。当拌合物稠度发生变化时，宜先采取调振捣频率的措施，后采取改变摊铺速度的措施。

⑧ 抗滑纹理做毕，应立即开始保湿养护。养护龄期不应少于5d，且混凝土强度满

我们只做自己高分通过的考试，需要考试资料和指导请找卡哥团队！认准VX：kagezhukao666

足要求后，方可连接摊铺相邻车道面板。履带在新铺面层上行走时，钢履带底部应铺橡胶垫或使用有橡胶垫履带的摊铺机。纵缝横向连接高差不应大于2mm。

⑨ 摊铺中应经常检查振捣棒的工作情况和位置。面层出现条带状麻面现象时，应停机检查振捣棒是否损坏；振捣棒损坏时，应更换振捣棒。摊铺面上出现发亮的砂浆条带时，应检查振捣棒位置是否异常；振捣棒位置异常时，应将振捣棒调整到正常位置。

5) 混凝土振捣（小型机具施工）

(1) 在待振横断面上，每车道路面应使用2根振捣棒，组成横向振捣棒组，沿横断面连续振捣密实，并应注意路面板底、内部和边角处不得欠振或漏振。

(2) 振捣棒在每一处的持续时间，应以拌合物全面振动液化，表面不再冒气泡和泛水泥浆为限，不宜过振，也不宜少于30s。振捣棒的移动间距不宜大于500mm，至模板边缘的距离不宜大于200mm。应避免碰撞模板、钢筋、传力杆和拉杆。

(3) 在振捣棒已完成振实的部位，可开始振动板纵横交错两遍全面提浆振实，每车道路面应配备1块振动板。

(4) 振动板移位时，应重叠100~200mm，振动板在一个位置的持续振捣时间不应少于15s。振动板须由两人提拉振捣和移位，不得自由放置或长时持续振动。移位控制以振动板底部和边缘泛浆厚度 3 ± 1 mm为限。

(5) 缺料的部位，应辅以人工补料找平。

(6) 振动梁振实，每车道路面宜使用1根振动梁。振动梁应具有足够的刚度和质量。振动梁应垂直路面中线沿纵向施行，往返2~3遍，使表面泛浆均匀平整。

6) 整平饰面

(1) 每车道路面应配备1根滚杠（双车道两根）。振动梁振实后，应拖动滚杠往返2~3遍提浆整平。

(2) 拖滚后的表面宜采用3m刮尺，纵横各1遍整平饰面，或采用叶片式或圆盘式抹面机往返2~3遍压实整平饰面。

(3) 在抹面机完成作业后，应进行清边整缝，清除粘浆，修补缺边、掉角。精平饰面后的面板表面应无抹面印痕，致密均匀，无露骨，平整度应达到规定要求。

(4) 小型机具施工三、四级公路混凝土路面应优先采用在拌合物中掺外加剂；否则应使用真空脱水工艺，该工艺适用于面板厚度不大于240mm混凝土面板施工。

(5) 使用真空脱水工艺时，混凝土拌合物的最大单位用水量可比不采用外加剂时增大 $3\sim12\text{kg}/\text{m}^3$ 。拌合物适宜坍落度：高温天 $30\sim50\text{mm}$ ，低温天 $20\sim30\text{mm}$ 。

7) 纵缝设置

普通水泥混凝土、钢筋混凝土、碾压混凝土和钢纤维混凝土面板均应设置接缝。按平面位置分类，接缝可分为纵向接缝（简称纵缝）和横向接缝（简称横缝）。面板的平面布局宜采用矩形分块，其纵向接缝和横向接缝应垂直相交，纵缝两侧的横缝不得相互错位。纵缝从功能上分为纵向施工缝和纵向缩缝两类；从构造上分为设拉杆平缝型和设拉杆假缝型。

(1) 当一次铺筑宽度小于路面宽度时，应设置纵向施工缝，位置应避开轮迹，并重合或靠近车道线，构造可采用设拉杆平缝型。上部应锯切槽口，深度为 $30\sim40\text{mm}$ ，宽

度为3~8mm，槽内灌塞填缝料。采用滑模施工时，纵向施工缝的拉杆可用摊铺机的侧向拉杆装置插入。采用固定模板施工方式时，应在振实过程中，从侧模预留孔中手工插入拉杆。

(2) 当一次铺筑宽度大于4.5m时，应设置纵向缩缝，构造可采用设拉杆假缝型，锯切的槽口深度应大于纵向施工缝的槽口深度。纵缝位置应按车道宽度设置，并在摊铺过程中用专用的拉杆插入装置插入拉杆。

(3) 钢筋混凝土路面、桥面和搭板的纵缝拉杆可由横向钢筋延伸穿过接缝代替。钢纤维混凝土路面切开的纵向缩缝可不设拉杆，纵向施工缝应设拉杆。

(4) 插入的侧向拉杆应牢固，不得松动、碰撞或拔出。若发生拉杆松脱或漏插，应在横向相邻路面摊铺前，钻孔重新植入。当发现拉杆可能被拔出时，宜进行拉杆拔出力(握裹力)检验。

(5) 纵缝应与路线中线平行。纵缝拉杆应采用热轧带肋钢筋，设在板厚中央，并应对拉杆中部100mm进行防锈处理。

8) 横缝设置与施工

横缝从功能上分为横向施工缝、横向缩缝和横向胀缝。横向施工缝从构造上分为设传力杆平缝型和设拉杆企口缝型；横向缩缝从构造上分为设传力杆假缝型和不设传力杆假缝型。

(1) 每日施工结束或临时中断时，应设置横向施工缝，其位置应尽可能选在胀缝或缩缝处。横向施工缝设在缩缝处应采用设传力杆平缝型，如图2.3-1所示。施工缝设在胀缝处其构造与胀缝相同。确有困难需设置在缩缝之间时，横向施工缝应采用设拉杆企口缝型。

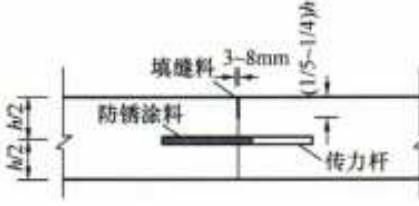


图 2.3-1 横向施工缝构造示意图

(2) 普通混凝土路面横向缩缝宜等间距布置，不宜采用斜缝。不得不调整板长时，最大板长不宜大于6.0m；最小板长不宜小于板宽。

(3) 在特重和重交通公路、收费广场、邻近胀缝或路面自由端的3条缩缝应采用设传力杆假缝型。其他情况下可采用不设传力杆假缝型。

(4) 缩缝传力杆的施工方法可采用前置钢筋支架法或传力杆插入装置(DBI)法。传力杆应采用光圆钢筋。

(5) 横向缩缝的切缝方式有全部硬切缝、软硬结合切缝和全部软切缝三种。切缝方式的选用，应由施工期间该地区路面摊铺完毕到切缝时的昼夜温差确定。

(6) 邻近桥梁或其他固定构造物处或与其他道路相交处，应设置横向胀缝(简称胀缝)。普通混凝土路面、钢筋混凝土路面和钢纤维混凝土路面视集料的温度膨胀性大小、当地年温差和施工季节酌情设置胀缝；高温施工，可不设胀缝；常温施工，集料温

缩系数和年温差较小时，可不设胀缝；集料温缩系数或年温差较大，路面两端构造物间距不小500m时，宜设一道中间胀缝；低温施工，路面两端构造物间距不小于350m时，宜设一道胀缝。

(7) 普通混凝土路面的胀缝应包括补强钢筋支架、胀缝板和传力杆，胀缝构造如图2.3-2所示。钢筋混凝土和钢纤维混凝土路面可不设钢筋支架。胀缝宽20~25mm，使用沥青或塑料薄膜滑动封闭层时，胀缝板及填缝宽度宜加宽到25~30mm。传力杆一半以上长度的表面应涂防粘涂层，端部应戴活动套帽，套帽材料与尺寸应符合有关规定的要求。胀缝板应与路中心线垂直，缝壁垂直；缝隙宽度一致；缝中完全不连浆。

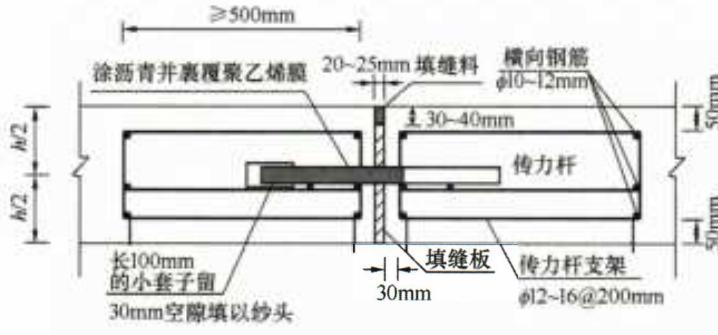


图2.3-2 胀缝构造示意图

(8) 胀缝应采用前置钢筋支架法施工，也可采用预留一块面板，高温时再铺封。前置法施工，应预先加工、安装和固定胀缝钢筋支架，并在使用手持振捣棒振实胀缝板两侧的混凝土后再摊铺。宜在混凝土未硬化时，剔除胀缝板上部的混凝土，嵌入(20~25)mm×20mm的木条，整平表面。胀缝板应连续贯通整个路面板宽度。

9) 抗滑构造施工

(1) 摊铺完毕或整平表面后，宜使用钢支架拖挂1~3层叠合麻布、帆布或棉布，洒水湿润后作拉毛处理。人工修整表面时，宜使用木抹。用钢抹修整过的光面，必须再拉毛处理，以恢复细观抗滑构造。

(2) 当日施工进度超过500m时，抗滑沟槽制作宜选用拉毛机械施工，没有拉毛机时，可采用人工拉槽方式。

(3) 特重和重交通混凝土路面宜采用硬刻槽，凡使用圆盘、叶片式抹面机精平后的混凝土路面、钢纤维混凝土路面必须采用硬刻槽方式制作抗滑沟槽。

10) 混凝土路面养护

(1) 混凝土路面摊铺完成或软作抗滑构造完毕后立即开始养护。机械摊铺的各种混凝土路面、桥面及搭板宜采用喷洒养护剂同时保湿覆盖的方式养护。雨天或养护用水充足的情况下，也可采用覆盖保湿膜、土工毡、土工布、麻袋、草袋、草帘等洒水养护方式，不宜使用围水养护方式。

(2) 养护时间根据混凝土弯拉强度增长情况而定，不宜小于设计弯拉强度的80%，应特别注重前7d的保湿(温)养护。一般养护天数宜为14~21d，高温天不宜小于14d，低温天不宜小于21d。掺粉煤灰的混凝土路面，最短养护时间不宜少于28d，低温天应适当延长。

(3) 混凝土板养护初期，严禁人、畜、车辆通行，在达到设计强度的40%后，行人方可通行。路面养护期间，平交道口应搭建临时便桥。面板达到设计弯拉强度后，方可开放交通。

11) 灌缝

(1) 应先采用切缝机清除接缝中夹杂的砂石、凝结的泥浆等，再使用压力大于等于0.5MPa的压力水和压缩空气彻底清除接缝中的尘土及其他污染物，确保缝壁及内部清洁、干燥。缝壁检验以擦不出灰尘为灌缝标准。

(2) 常温施工式填缝料的养护期，低温天宜为24h，高温天宜为12h。加热施工时填缝料的养护期，低温天宜为12h，高温天宜为6h。在灌缝料养护期间应封闭交通。

(3) 路面胀缝和桥台隔离缝等应在填缝前，凿去接缝板顶部嵌入的木条，涂胶粘剂后，嵌入胀缝专用多孔橡胶条或灌进适宜的填缝料，当胀缝的宽度不一致或有啃边、掉角等现象时，必须灌缝。

2.4 中央分隔带及路肩施工

2.4.1 中央分隔带施工

1. 中央分隔带的开挖

路面基层施工完毕即可进行中央分隔带的开挖，先挖集水槽后挖纵向盲沟，多采用人工开挖。开挖的土料不得堆置在已铺好的基层上，以防止污染。沟槽的断面尺寸、结构层端部边坡、沟底纵坡应符合设计要求，沟底须平整、密实。沟底不得有杂物。

2. 防水层施工

沟槽开挖完毕并经验收合格后，即进行防水层施工，可喷涂双层防渗沥青。防渗层沥青要求涂布均匀，厚薄一致，无漏涂现象，涂布范围应是中央分隔带范围内的路基及路面结构层。防水层也可铺设PVC防水板等，PVC防水板铺设时两端应拉紧，不应有褶皱，PVC板材纵横向应搭接，铺完后用铁钉固定。

3. 纵向碎石盲沟的铺设

(1) 碎石盲沟应做到填筑充实、表面平整。

(2) 反滤层可用筛选过的中砂、粗砂、砾石等渗水性材料分层填筑，目前高等级公路多采用土工布作为反滤层。

(3) 碎石盲沟上铺设土工布与回填土隔离，较砂石料作反滤层，施工方便，有利于排水并可保持盲沟长期利用。

4. 埋设横向塑料排水管

(1) 路基施工完毕即可进行埋设横向塑料排水管的施工。

(2) 基槽开挖。按图纸所示桩号，定出埋设位置。采用人工开挖，或用开沟机挖槽，沟槽应保持直线并垂直于路中心线。沟槽开挖深度及宽度应符合设计要求。沟底坡度应和路面横坡一致。

(3) 铺设垫层。垫层采用粒径小的石料，如石屑、瓜子片等，铺设厚度应保持均匀一致，保证垫层顶面具有规定的横坡。

(4) 埋设塑料排水管。

埋设要求：一端应插入中央分隔带范围内的纵向排水盲沟位置，另一端应伸出路基边坡外。横向塑料排水管的进口须用土工布包裹，防止碎石堵塞。

接头处理：当塑料管不足一次埋设的长度时，需套接。套接时，管口要对齐并靠紧，接头处用一短套管套紧相邻两根塑料排水管，套管两端需用不透水材料扎紧。

(5) 沟槽回填。横向排水管理设完毕并经验收合格后，方可进行沟槽回填。

5. 缘石安装

(1) 路缘石的预制安装或现场浇筑应符合图纸所示的线形和坡度。

(2) 路缘石应在路面铺设前完成。

(3) 预制缘石应铺筑在厚度不小于2cm的砂垫层上，砌筑砂浆的水泥与砂的体积比应为1:2。

(4) 路缘石应安砌稳固，顶面平整，缝宽均匀，勾缝密实，线条直顺，曲线圆滑美观。

(5) 槽底基础和后背填料必须夯实密实。

2.4.2 路肩施工

1. 土路肩施工

培土路肩施工方案：

1) 准备下承层

底基层表面应平整、坚实，规定的宽度、纵坡、路拱、平整度和压实度，标高应满足规范要求，且没有任何松散的材料和软弱反弹现象。

2) 施工流程

备料→推平→平整→静压→切边→再平整→碾压。

3) 施工方法

(1) 备料：选择可以用作底基层的取土场，挖掘机挖装合格的底基层料，自卸运输并卸至路肩区域；堆卸时按自卸汽车的装容量、路肩的松铺方量确定堆卸距离。

(2) 推平：推土机（或平地机）沿路肩区域根据松铺厚度均匀推平料堆，使材料摊铺在路肩区域。

(3) 平整：平地机按需要的宽度、高度进行平整、翻刮，使材料基本平顺。

(4) 静压：压路机沿路肩区域往返静压。

(5) 切边：技术人员根据路基中心确定路肩内边缘，人工沿内边缘拉线并撒白灰，平地机根据白灰线切除并翻材料至路肩上。

(6) 再平整：用平地机按设计横坡、宽度、标高、平整度进行精确平整，使路肩材料达到设计的松铺要求。

(7) 碾压：按最佳含水量的要求，用洒水车洒水，待可以碾压时用18t压路机沿路肩区域进行初压、复压、终压使压实度达到规定要求。

路堑段的路肩是开挖出来的，当开挖到设计标高时，路肩部分宜停止开挖，路面部分继续开挖直至路床顶面。开挖路床时，路床两侧与路肩连接处应开挖整齐并尽量使路槽的侧壁为垂直面，既保证路面宽度又不多挖。

2. 硬路肩施工

硬路肩有两种情况：一种是硬路肩与车行道连接处标高一致，横坡与沥青混合料的种类也相同时，可将硬路肩视为行车道的展宽，摊铺混合料时可与行车道一起铺筑，硬路肩的质量要求同相同的路面结构；另一种是硬路肩的顶面标高低于相连的行车道，这种情况应先摊铺硬路肩部分，宽度应比要求的宽50mm左右，保证与行车道路面有一定的搭接，以免搭不上需人工找补。摊铺行车道表面层时，摊铺机靠硬路肩一侧的端部应使用45°的斜挡板，以减少碾压时边缘坍塌或发生较大的侧移，并尽量使边缘顺直、平齐。

2.5 路面工程质量通病及防治措施

2.5.1 无机结合料稳定类基层裂缝防治

1. 原因分析

- (1) 混合料中石灰、水泥、粉煤灰等比例偏大；集料级配中细料偏多，或石粉中性指数偏大。
- (2) 碾压时含水量偏大。
- (3) 成型温度较高，强度形成较快。
- (4) 碎石中含泥量偏高。
- (5) 路基沉降尚未稳定或路基发生不均匀沉降。
- (6) 养护不及时、缺水或养护时洒水量过大。
- (7) 拌和不均匀。

2. 预防措施

1) 石灰稳定土基层裂缝

- (1) 改善施工用土的土质，采用塑性指数较低的土或适量掺加粉煤灰。
- (2) 掺加粗粒料，在石灰土中适量掺加砂、碎石、碎砖、煤渣及矿渣等。
- (3) 保证拌和遍数。控制压实含水量，需要根据土的性质采用最佳含水量。
- (4) 在石灰土基层与路面间铺筑一层碎石过渡层，可有效避免裂缝。
- (5) 分层铺筑时，在石灰土强度形成期，任其产生收缩裂缝后，再铺筑上一层，可有效减少新铺筑层的裂缝。
- (6) 设置伸缩缝，在石灰土层中，每隔5~10m设一道伸缩缝。

2) 水泥稳定土基层裂缝

- (1) 改善施工用土的土质，采用塑性指数较低的土或适量掺加粉煤灰或掺砂。
- (2) 控制压实含水量，需要根据土的性质采用最佳含水量。
- (3) 在能保证水泥稳定土强度的前提下，尽可能采用低水泥用量。
- (4) 一次成型，尽可能采用慢凝水泥，加强对水泥稳定土的养护，避免水分挥发过大。养护结束后应及时铺筑下封层。
- (5) 合理设计水泥稳定土配合比，加强拌和，避免出现粗细料离析和拌和不均匀现象。

3. 治理措施

- (1) 可采用聚合物加特种水泥压力注入法修补水泥稳定粒料的裂缝。

(2) 加铺高抗拉强度的聚合物网。

(3) 破损严重的基层，应将原破损基层整幅开挖维修，不应横向局部或一个单向车道开挖，以避免板边受力产生的不利后果，最小维修长度一般为6m。维修半刚性基层所用材料也应是同类半刚性材料。

(4) 石灰土被用于底基层时，应根据其干缩特性，重视初期养护，保证基层表面处于潮湿状态，防止干晒。石灰稳定土施工结束后尽早铺筑面层，使基层含水量不发生大的变化，以减轻干缩裂隙。

2.5.2 沥青路面接缝病害防治

1. 原因分析

1) 横向接缝

(1) 采用平接缝，边缘未处理成垂直面。采用斜接缝时，施工方法不当。

(2) 新旧混合料的粘结不紧密。

(3) 摊铺、碾压不当。

2) 纵向接缝

(1) 施工方法不当。

(2) 摊铺、碾压不当。

2. 预防措施

1) 横向接缝

(1) 尽量采用平接缝。将已摊铺路面尽头边缘在冷却但尚未结硬时锯成垂直面，并与纵向边缘成直角，趁未冷透时用凿岩机或人工垂直刨除端部层厚不足的部分。采用斜接缝时，注意搭接长度，一般为0.4~0.8m。

(2) 预热软化已压实部分路面，加强新旧混合料的粘结。

(3) 摊铺机起步速度要慢，调整好预留高度，摊铺结束后立即碾压，压路机先进行横向碾压（从先铺路面上跨缝开始，逐渐移向新铺面层），再纵向碾压成为一体，碾压速度不宜过快。同时注意碾压的温度要符合要求。

2) 纵向接缝

(1) 尽量采用热接缝施工，采用两台或两台以上摊铺机梯队作业。当半幅路施工或因特殊原因而产生纵向冷接槎时，宜加设挡板或加设切刀切齐，也可在混合料尚未冷却前用镐刨除边缘留下毛槎的方式。铺另半幅前必须将缝边缘清扫干净，并涂洒少量粘层沥青。

(2) 将已摊铺混合料留100~200mm暂不碾压，作为后摊铺部分的高程基准面，待后摊铺部分完成后一起碾压。纵缝如为热接缝时，应以1/2轮宽进行跨缝碾压；纵缝如为冷接缝，应先在已压实路上行走，只压新铺层的100~150mm，随后将压实轮每次再向新铺面移动100~150mm。

(3) 碾压完成后，用3m直尺检查，用钢轮压路机处理棱角。

3. 治理措施

接缝处理不好，易产生接缝处下凹或凸起，或者由于接缝压实度不够和结合强度不足而产生裂纹甚至松散。施工时应边压边以3m直尺测量，并配以人工细料找平。对

横向接缝，摊铺层施工结束后再用3m直尺检查端部平整度，如不符合要求应趁混合料尚未冷却就立即处理，以摊铺层面直尺脱离点为界限，用切割机切缝挖除。

2.5.3 水泥混凝土路面裂缝防治

1. 原因分析

1) 横向裂缝

- (1) 混凝土路面切缝不及时，由于温缩和干缩发生断裂。混凝土连续浇筑长度越长，浇筑时气温越高，基层表面越粗糙越易断裂。
- (2) 切缝深度过浅，由于横断面没有明显削弱，应力没有释放，因而在邻近缩缝处产生新的收缩缝。
- (3) 混凝土路面基础发生不均匀沉陷（如穿越河道、沟槽，拓宽路段处），导致板底脱空而断裂。
- (4) 混凝土路面板厚度与强度不足，在行车荷载和温度作用下产生强度裂缝。
- (5) 水泥干缩性大；混凝土配合比不合理，水胶比大；材料计量不准确；养护不及时。
- (6) 混凝土施工时，振捣不均匀。

2) 纵向裂缝

- (1) 路基发生不均匀沉陷，如由于纵向沟槽下沉、路基拓宽部分沉陷、路堤一侧积水、排灌等导致路基基础下沉，板块脱空而产生裂缝。
- (2) 由于基础不稳定，在行车荷载和水、温度的作用下，产生塑性变形或者由于基层材料水稳定性不良，产生湿软膨胀变形，导致各种形式的开裂。纵缝也是其中一种破坏形式。
- (3) 混凝土板厚度与基础强度不足产生的荷载型裂缝。

3) 龟裂

- (1) 混凝土浇筑后，表面没有及时覆盖，在炎热或大风天气，表面游离水分蒸发过快，体积急剧收缩，导致开裂。
- (2) 混凝土拌制时水胶比过大；模板与垫层过于干燥，吸水大。
- (3) 混凝土配合比不合理，水泥用量和砂率过大。
- (4) 混凝土表面过度振捣或抹平，使水泥和细集料上浮至表面过多，导致缩裂。

2. 预防措施

1) 横向裂缝

- (1) 严格掌握混凝土路面的切缝时间。
- (2) 当连续浇筑长度很长，切缝设备不足时，可在1/2长度处先锯，之后再分段锯；可间隔几十米设一条压缝，以减少收缩应力的积聚。
- (3) 保证基础稳定、无沉陷。在沟槽、河道回填处必须按规范要求，做到密实、均匀。
- (4) 混凝土路面的结构组合与厚度设计应满足交通需要，特别是重车、超重车的路段。
- (5) 选用干缩性较小的硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥。严格控制材料用量，保证

计量准确，并及时养护。

(6) 混凝土施工时，振捣要适度、均匀。

2) 纵向裂缝

(1) 填方路基应分层填筑、碾压，保证均匀、密实。

(2) 新旧路基界面处的施工应设置台阶或格栅处理，保证路基衔接部位的严格压实，防止相对滑移。

(3) 河道地段，淤泥必须彻底清除；沟槽地段，应采取措施保证回填材料有良好的水稳定性和压实度，以减少沉降。

(4) 在上述地段应采用半刚性基层，并适当增加基层厚度；在拓宽路段应加强土基，使其具有略高于旧路的强度，并尽可能保证有一定厚度的基层能全幅铺筑；在容易发生沉陷地段，混凝土路面板应铺设钢筋网或改用沥青路面。

(5) 混凝土路面板厚度与基层结构应按现行规范设计，以保证应有的强度和使用寿命。基层必须稳定。宜优先采用水泥、石灰稳定类基层。

3) 龟裂

(1) 混凝土路面浇筑后，及时用潮湿材料覆盖，认真浇水养护，防止强风和暴晒。炎热季节，必要时应搭棚施工。

(2) 配制混凝土时严格控制水胶比和水泥用量，选择合适的粗骨料级配和砂率。

(3) 浇筑混凝土路面前，将基层和模板浇水湿透，避免吸收混凝土中的水分。

(4) 干硬性混凝土采用平板振捣器时，应防止过度振捣而使砂浆积聚表面。砂浆层厚度应控制在2~5mm范围内。抹面时不必过度抹平。

3. 治理措施

1) 横向裂缝

(1) 当板块裂缝较大，咬合能力严重削弱时，应局部翻挖修补，先沿裂缝两侧一定范围画出标线，最小宽度不宜小于1m，标线应与中线垂直，然后沿缝锯齐，凿去标线间的混凝土，浇捣新混凝土。

(2) 整块板更换。

(3) 用聚合物灌浆法封缝，沿裂缝开槽嵌入弹性或刚性粘合修补材料，达到封缝防水。

2) 纵向裂缝

(1) 如属于土基沉陷等原因引起的，则宜先从稳定土基着手或者等待自然稳定后，再着手修复。在过渡期可采取一些临时措施，如封缝防水；严重影响交通的板块，挖除后可用沥青混合料修复。

(2) 裂缝的修复，如采用一般性的扩缝嵌填或浇筑专用修补剂有一定效果，但耐久性不易保证；采用扩缝加筋的方法修补具有较好的增强效果。

(3) 常用且有效的措施是翻挖重铺，但基层必须稳定可靠；否则必须先加强、稳定基层，再修复面层。

3) 龟裂

(1) 混凝土在初凝前出现龟裂，可采用镘刀反复压抹或重新振捣的方法来消除，再加强湿润覆盖养护。

- (2) 如对结构强度影响不大，可不予处理。
- (3) 必要时应用注浆进行表面涂层处理，封闭裂缝。

2.5.4 水泥混凝土路面断板防治

1. 原因分析

- (1) 混凝土板的切缝深度不够、不及时，以及压缝距离过大。
- (2) 车辆过早通行。
- (3) 原材料不合格。
- (4) 基层材料的强度不足，水稳定性不良、受力不均，出现应力集中而导致断板。
- (5) 基层标高控制不严和不平整。
- (6) 混凝土配合比不当。
- (7) 施工工艺不当。

2. 预防措施

- (1) 做好压缝并及时切缝。
- (2) 加强施工工艺的过程控制。
- (3) 控制开放交通时间。

3. 治理措施

1) 裂缝的修补

裂缝的修补方法有直接灌浆法、压注灌浆法、扩缝灌注法、条带罩面法、全深度补块法。

2) 局部修补

(1) 对轻微断裂，裂缝有轻微剥落的，先画线放样，按画线范围凿开成深50~70mm的长方形凹槽。刷洗干净后，用快凝细石混凝土填补。

(2) 对轻微断裂、裂缝较宽且有轻微剥落的断板，应按裂缝两侧至少各200mm的宽度放样，按画线范围开凿成深至板厚一半的凹槽，此凹槽底部裂缝应与中线垂直，刷洗干净凹槽，在凹槽底部裂缝的两侧用冲击钻离中线沿平行方向，间距为300~400mm，打眼贯通至板厚达基层表面，然后再清洗凹槽和孔眼，在孔眼安设Π形钢筋，冲击钻钻头采用 $\phi 30$ 规格，Π形钢筋采用 $\phi 22$ 热轧带肋钢筋制作，安设钢筋完成后，用高等级砂浆填塞孔眼至密实，最后用与原路面相同等级的快凝混凝土浇筑至路面齐平。

(3) 较为彻底的办法是将凹槽凿至贯通板厚，在凹槽边缘两侧板厚中央打洞，深100mm，直径为40mm，水平间距为300~400mm。每个洞应先将其周围润湿，插入一根直径为18~20mm、长约20mm的钢筋，然后用快凝砂浆填塞捣实，待砂浆凝硬后浇筑快凝混凝土捣实齐平路面即可。

3) 整块板更换

对于严重断裂、裂缝处有严重剥落、板被分割成3块以上、有错台或裂块并且已经开始活动的断板，应采用整块板更换的措施。

由于基层强度不足或渗水软化，以及路基不均匀沉降，造成混凝土板断裂成破碎板或严重错台时，应将整块板凿除。处治好基层及路基后，重新浇筑新的混凝土板，或

采用混凝土预制块或条块石换补。对于路基稳定性差、沉降没有完全结束的段落，建议采用预制块换补断板。对基层也要求采用水泥稳定层。修补块的缝隙宜用水泥砂浆或沥青橡胶填满，以防渗水破坏。

采用重新浇筑新的混凝土板时，若采用常规材料修复或更换，则养护期长，影响交通，最好采用快凝材料。

第3章 桥梁工程

3.1 桥梁构造与施工准备

3.1.1 桥梁构造



第3章
看本章精讲课
配套章节自测

1. 桥梁构造

桥梁一般由上部结构、下部结构、支座和附属设施四个基本部分组成。

上部结构通常又称为桥跨结构，是线路跨越障碍的主要承重结构。

下部结构包括桥墩、桥台和基础。其中桥墩与桥台又分为重力式桥墩（台）、轻型桥墩（台）；基础通常可分为浅基础、桩基础、沉井、地下连续墙等。

支座是设在墩（台）顶，用于支承上部结构的传力装置，它不仅要传递很大的荷载，并满足上部结构设计要求的变位。

桥梁附属设施包括桥面系、伸缩缝、桥头搭板和锥形护坡等。其中桥面系包括桥面铺装、防水与排水系统、护栏、照明、标志标牌等。

2. 相关尺寸术语

（1）梁式桥净跨径是设计洪水位上相邻两个桥墩（或桥台）之间的净距，用 l_0 表示；拱式桥净跨径是每孔拱跨两个拱脚截面最低点之间的水平距离。

（2）总跨径是多孔桥梁中各孔净跨径的总和，也称桥梁孔径（ $\sum l_0$ ），它反映了桥下宣泄洪水的能力。

（3）计算跨径对于具有支座的桥梁，是指桥跨结构相邻两个支座中心之间的距离，用 l 表示。拱圈（或拱肋）各截面形心点的连线称为拱轴线，计算跨径为拱轴线两端点之间的水平距离。

（4）桥梁全长简称桥长，是桥梁纵向两个桥台的侧墙或八字墙后端点之间的距离，以 L 表示。对于无桥台的桥梁为桥面系行车道的全长。

（5）桥梁高度简称桥高，是指桥面与低水位（或地面）之间的高差，或为桥面与桥下线路路面之间的距离。桥高在某种程度上反映了桥梁施工的难易性。

（6）桥下净空高度是设计洪水位或计算通航水位至桥跨结构最下缘之间的距离，以 H 表示，它应保证能安全排洪，并不得小于对该河流通航所规定的净空高度。

（7）建筑高度是桥上行车路面（或轨顶）标高至桥跨结构最下缘之间的距离，它不仅与桥梁结构的体系和跨径的大小有关，而且还随行车部分在桥上布置的高度位置而异。公路（或铁路）定线中所确定的桥面（或轨顶）标高，对通航净空顶部标高之差，又称为容许建筑高度。桥梁的建筑高度不得大于其容许建筑高度。

（8）净矢高是从拱顶截面下缘至相邻两拱脚起拱线之连线的垂直距离，以 f_0 表示；计算矢高是从拱顶截面形心至相邻两拱脚截面形心之连线的垂直距离，以 f 表示。

（9）矢跨比是拱桥中拱圈（或拱肋）的计算矢高 f 与计算跨径 l 之比 $(\frac{f}{l})$ ，也称拱矢度。它是反映拱桥受力特性的一个重要指标。

（10）涵洞是用来宣泄路堤下水流的构造物，通常在建造涵洞处路堤不中断。为了

我们只做自己高分通过的考试，需要考试资料和指导请找卡哥团队！认准VX：kagezhukao666

区别于桥梁，凡是单孔跨径不到5m和多孔跨径的全长不到8m的泄水结构物，均称为涵洞；且圆管涵和箱涵不论孔径、跨径多少都称为涵洞。

3. 桥梁分类

1) 按桥梁的结构受力体系分类

按受力体系分类，桥梁有梁式桥、拱式桥、悬索桥三大基本体系。其中梁式桥以受弯为主，拱式桥以受压为主，悬索桥以受拉为主。另外，由上述三大基本体系相互组合，派生出在受力上也具有组合特征的多种桥型，如刚构桥、斜拉桥等组合体系桥梁。

(1) 梁式桥

梁式桥是一种在竖向荷载作用下无水平反力的结构，梁作为主要承重结构是以它的抗弯能力来承受荷载的。梁分为简支梁、悬臂梁、连续梁等。悬臂梁、连续梁都是利用墩柱或支座位置处的卸载弯矩去减少跨中弯矩，使梁跨的内力分配更合理，以同等抗弯能力的构件断面可建成更大跨径的桥梁。梁桥通常用抗弯、抗拉能力强的材料（钢、钢筋混凝土、钢-混凝土组合结构）来建造。

(2) 拱式桥

拱式桥的主要承重结构是拱圈或拱肋。拱结构在竖直荷载作用下，拱端支撑处（桥墩和桥台）不仅有竖向反力，还有水平推力，这样拱的弯矩比相同跨径的梁的弯矩小得多，而使整个拱主要承受压力。拱桥通常采用抗压能力强的材料（砖石、混凝土、钢筋混凝土或钢管）来修建。拱是有推力的结构，对地基要求较高，一般常建于地基良好的地区。

(3) 悬索桥

悬索桥是用悬挂在塔架上的强大缆索作为主要承重结构。在竖直荷载作用下，通过吊杆使缆索承受很大的拉力，缆索锚于悬索桥两端的锚碇结构中。为了承担巨大的缆索拉力，需要很大的锚碇结构（重力式锚碇），或者将缆索锚固于天然完整的岩体或其他合理的结构中。缆索传至锚碇的拉力可分解为垂直和水平两个分力，悬索桥是具有水平反力（拉力）的结构。悬索桥的承载系统包括缆索、塔柱和锚碇三部分，上部结构自重较轻，能够达到其他任何桥型无法达到的特大跨度，是大跨桥梁的主要形式。

(4) 刚构桥

刚构桥的主要承重结构是梁（或板）与立柱（或竖墙）整体结合在一起的刚性结构，可以承担负弯矩的作用。梁因柱的抗弯刚度得到卸载作用，跨中正弯矩比一般的梁桥小。在竖直荷载作用下，梁部主要受弯，柱脚具有水平反力，其受力状态介于梁桥与拱桥之间。刚架桥的建筑高度通常较小，桥下净空较大。

(5) 斜拉桥

斜拉桥是由承压的塔、受拉的索与承弯的梁体组合起来的一种结构体系。梁体用拉索多点拉住，类似多跨弹性支承连续梁，使梁体内弯矩减小，降低了建筑高度；栓焊连接与正交异性板的箱形断面构造的应用，使结构充分利用材料的受力特性，节省了材料，减小了结构自重。

2) 桥梁的其他分类

(1) 按用途划分，有公路桥、铁路桥、公路铁路两用桥、农桥、人行桥、运水桥

(渡槽)及其他专用桥梁(如通过管路、电缆等)。

- (2) 按桥梁全长和跨径的不同,分为特大桥、大桥、中桥和小桥。
- (3) 按主要承重结构所用的材料划分,有圬工桥(包括砖、石、混凝土桥)、钢筋混凝土桥、预应力混凝土桥、钢桥、钢-混凝土组合桥、木桥等。
- (4) 按跨越障碍的性质,可分为跨河(海)桥、跨线(立体交叉)桥、高架桥和栈桥。
- (5) 按上部结构的行车道位置,分为上承式桥、下承式桥和中承式桥。

3.1.2 桥梁计算荷载

1. 桥梁设计作用分类

作用是公路桥涵设计专业术语,其定义为:施加在结构上的一组集中力或分布力,或引起结构外加变形或约束变形的原因,前者称为直接作用,亦称荷载,后者称为间接作用。公路桥涵设计采用的作用分为永久作用、可变作用、偶然作用和地震作用四类,规定见表 3.1-1。

表 3.1-1 作用分类

编号	作用分类	作用名称
1	永久作用	结构重力(包括结构附加重力)
2		预加力
3		土的重力
4		土侧压力
5		混凝土收缩、徐变作用
6		水的浮力
7		基础变位作用
8	可变作用	汽车荷载
9		汽车冲击力
10		汽车离心力
11		汽车引起的土侧压力
12		汽车制动力
13		人群荷载
14		疲劳荷载
15		风荷载
16		流水压力
17		冰压力
18		波浪力
19		温度(均匀温度和梯度温度)作用
20		支座摩阻力

续表

编号	作用分类	作用名称
21	偶然作用	船舶的撞击作用
22		漂流物的撞击作用
23		汽车撞击作用
24	地震作用	地震作用

2. 桥梁工程作用取值方法

1) 公路桥涵设计时，对不同的作用应采用不同的代表值

(1) 永久作用的代表值为其标准值。永久作用标准值可根据统计、计算，并结合工程经验综合分析确定。

(2) 可变作用的代表值包括标准值、组合值、频遇值和准永久值。组合值、频遇值和准永久值可通过可变作用的标准值分别乘以组合值系数 γ_c 、频遇值系数 γ_f 和准永久值系数 γ_q 来确定。

(3) 偶然作用取其设计值作为代表值。可根据历史记载、现场观测和试验，并结合工程经验综合分析确定，也可根据有关标准的专门规定确定。

(4) 地震作用的代表值为其标准值。地震作用的标准值应根据现行《公路工程抗震规范》JTG B02—2013 的规定确定。

2) 作用的设计值应为作用的标准值或组合值乘以相应的作用分项系数

3) 作用的代表值取用的规定

(1) 永久作用的标准值。结构重力包括结构自重及桥面铺装、附属等附加重力，可按结构构件的设计尺寸与材料的重力密度计算确定。

(2) 可变作用的标准值

① 汽车荷载分为公路-I 级和公路-II 级；汽车荷载由车道荷载和车辆荷载组成。车道荷载由均布荷载和集中荷载组成。桥梁结构的整体计算采用车道荷载；桥梁结构的局部加载、涵洞、桥台和挡土墙土压力等的计算采用车辆荷载。车辆荷载与车道荷载的作用不重叠。

② 车道荷载的计算图如图 3.1-1 所示。

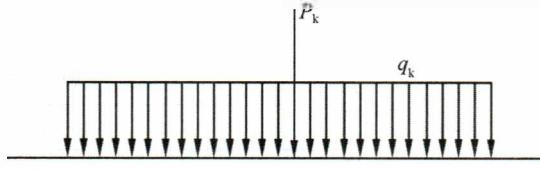


图 3.1-1 车道荷载

③ 公路-I 级车道荷载的均布荷载标准值为 $q_k = 10.5 \text{ kN/m}$ 。集中荷载标准值按以下规定选取：桥梁计算跨径小于或等于 5m 时， $P_k = 270 \text{ kN}$ ；桥梁计算跨径等于或大于 50m 时， $P_k = 360 \text{ kN}$ ；桥梁计算跨径在 5~50m 时， P_k 值采用直线内插求得。计算剪力效应时，上述集中荷载标准值 P_k 应乘以 1.2 的系数。

④ 公路-II 级车道荷载的均布荷载标准值 q_k 和集中荷载标准值 P_k 按公路-I 级车

道荷载的 0.75 倍采用。

⑤ 车道荷载的均布荷载标准值应满布于使结构产生最不利效应的同号影响线上；集中荷载标准值只作用于相应影响中一个最大影响线峰值处。

⑥ 人群荷载标准值按下列规定采用：

当桥梁计算跨径小于或等于 50m 时，人群荷载标准值为 3.0kN/m^2 ；当桥梁计算跨径等于或大于 150m 时，人群荷载标准值为 2.5kN/m^2 ；当桥梁计算跨径在 50~150m 时，可由线性内插得到人群荷载标准值。对跨径不等的连续结构，以最大计算跨径为准。

非机动车、行人密集的公路桥梁，人群荷载标准值取上述规定值的 1.15 倍。专用人行桥梁，人群荷载标准值为 3.5kN/m^2 。

⑦ 可变作用频遇值为可变作用标准值乘以频遇值系数 ψ_f 。可变作用准永久值为可变作用标准值乘以准永久值系数 ψ_q 。

(3) 偶然作用应根据调查、试验资料，结合工程经验确定其标准值。

(4) 公路桥涵地震作用应符合现行《公路工程抗震规范》JTG B02—2013 和《公路桥梁抗震设计规范》JTG/T 2231—01—2020 的规定。

3. 作用组合

(1) 公路桥涵结构设计应考虑结构上可能同时出现的作用，按承载能力极限状态和正常使用极限状态进行作用效应组合，取其最不利组合效应进行设计：

① 在结构上可能同时出现的作用，才进行其效应的组合。当结构或结构构件须做不同受力方向的验算时，则应以不同方向的最不利的作用效应进行组合。

② 可变作用的出现对结构或结构构件产生有利影响时，该作用不应参与组合。实际不可能同时出现的作用或同时参与组合概率很小的作用，按表 3.1-2 规定不考虑其作用效应的组合。

表 3.1-2 可变作用不同时组合表

作用名称	不与该作用同时参与组合的作用
汽车制动力	流水压力、冰压力、波浪力、支座摩阻力
流水压力	汽车制动力、冰压力、波浪力
波浪力	汽车制动力、流水压力、冰压力
冰压力	汽车制动力、流水压力、波浪力
支座摩阻力	汽车制动力

③ 施工阶段作用效应的组合，应按计算需要及结构所处条件而定。结构上的施工人员和施工机具设备均应作为临时荷载加以考虑。组合式桥梁，当把底梁作为施工支撑时，作用效应宜分两个阶段组合，底梁受荷为第一个阶段，组合梁受荷为第二个阶段。

④ 多个偶然作用不同时参与组合。

⑤ 地震作用不与偶然作用同时参与组合。

(2) 公路桥涵结构按承载能力极限状态设计时，应采用以下两种作用效应组合：

① 基本组合。永久作用的设计值与可变作用设计值相结合。

② 偶然组合。永久作用标准值与可变作用某种代表值、一种偶然作用标准值相

组合。与偶然作用同时出现的可变作用可根据观测资料和工程经验取用频遇值或准永久值。

作用地震组合的效应设计值应按现行《公路工程抗震规范》JTG B02—2013 的有关规定计算。

永久作用效应的分项系数见表 3.1-3。

表 3.1-3 永久作用效应的分项系数

编号	作用类别	永久作用效应分项系数	
		对结构的承载能力不利时	对结构的承载能力有利时
1	混凝土和圬工结构重力（包括结构附加重力）	1.2	1.0
	钢结构重力（包括结构附加重力）	1.1 或 1.2	1.0
2	预加力	1.2	1.0
3	土的重力	1.2	1.0
4	混凝土的收缩及徐变作用	1.0	1.0
5	土侧压力	1.4	1.0
6	水的浮力	1.0	1.0
7	基础变位作用	0.5	0.5
		1.0	1.0

注：本表编号 1 中，当钢桥采用钢桥面板时，永久作用效应分项系数取 1.1；当采用混凝土桥面板时，取 1.2。

(3) 公路桥涵结构按正常使用极限状态设计时，应根据不同的设计要求，采用作用的频遇组合或准永久组合，并符合下列规定：

- ① 频遇组合。永久作用标准值与汽车荷载频遇值、其他可变作用准永久值相组合。
- ② 准永久组合。永久作用标准值与可变作用准永久值相组合。

3.1.3 桥梁施工准备

桥梁工程施工前，本着安全第一、科学组织、强化管理、高度重视环境保护、加强文明施工、确保工程质量与工期等原则，做好如下施工准备：

(1) 熟悉设计文件，对桥梁结构尺寸和关键施工参数进行核对，设计单位应进行设计交底。

(2) 施工调查及现场核对完成后，结合设计要求、合同条件及现场情况等，编制实施性施工组织设计。

(3) 对技术复杂或危险性较大的分部分项工程，应制定安全可靠、技术可行、经济合理的专项施工方案。

(4) 对工程所需临时受力结构和大型临时设施，应进行专项设计与验算，明确质量和安全的验收标准，并应编制安装、使用、维护和拆除的专项方案。

(5) 建立健全质量保证体系和质量管理体系，明确质量方针、质量目标和质量责任；同时制定质量管理制度和质量检测流程，提出质量保证措施。

(6) 建立健全安全生产管理体系，落实全员安全责任，提出安全技术组织措施。识别工程风险源并进行分析、评估，提出防范对策，制定必要的突发事件应急预案，确保工程安全进行。

(7) 建立健全环保管理体系，制定保护环境、节能减排和文明施工的实施方案，减少工程施工过程中对环境的污染。

(8) 建立健全施工组织机构，配备足量、合格的施工人员，并在进场时对所有人员岗前培训和技术、安全交底。

(9) 根据工程规模和有关规定，建立工地试验室，配备满足工程施工需要的试验人员和试验仪器，且试验仪器应通过国家法定计量机构的定期检验、标定。

(10) 水泥、砂、石、外加剂等施工原材料的选择应通过试验确定。材料进场后，应根据不同的品种、规格及用途分别妥善存放，合理配备防雨、防潮或防锈的措施。

(11) 根据工程施工的需要，配备足够的机械设备和生产工具，并在施工前对施工机具进行安装调试。

(12) 对拟采用新技术、新工艺、新材料和新设备的工程项目，应提前做好试验研究和论证等工作。

3.1.4 桥梁施工测量

1. 桥梁工程施工测量一般要求

(1) 桥梁工程施工前应根据其结构形式、跨径及精度要求等编制施工测量方案，选定控制测量等级，确定测量方法。

(2) 施工前应由勘测设计单位对控制性桩点进行现场交桩，施工单位在复测原控制网的基础上，根据需要适当加密、优化，建立施工测量控制网。

(3) 对测量控制点，应编号绘于施工总平面图上，现场应采取有效措施妥善保护。施工过程中，应对控制网（点）进行不定期的检测和定期复测，定期复测周期应不超过6个月。当对控制点的稳定性有疑问时，应及时进行局部或全面复测。

(4) 施工测量所用的仪器、设备等应经法定计量机构检定和校验，合格后方可使用。测量平差计算时宜采用通过科技鉴定认证的专业软件。

(5) 放样测量时，应对桥梁各墩台的控制性里程桩号、基础坐标、设计高程等数据进行复核计算，确认无误后再施测。

(6) 施工放样测量需设置临时控制点时，其精度应符合相应等级的精度要求，并应与相邻控制点闭合。

2. 桥梁工程施工的平面控制测量要求

(1) 各等级平面控制测量，其最弱点点位中误差为 $\pm 50\text{mm}$ ，最弱相邻点间相对点位中误差为 $\pm 30\text{mm}$ ，最弱相邻点边长相对中误差应不大于表3.1-4的规定。

表3.1-4 平面控制测量精度要求

测量等级	最弱相邻点边长相对中误差	测量等级	最弱相邻点边长相对中误差
二等	1/100000	四等	1/35000
三等	1/70000	一级	1/20000

(2) 桥梁工程的平面控制测量等级应不低于表 3.1-5 的规定, 桥梁轴线精度尚应符合表 3.1-6 的规定。对特大跨径及特殊结构桥梁, 应根据其施工允许误差, 确定控制测量的精度和等级。

表 3.1-5 平面控制测量等级

多跨桥梁总长 L (m)	单跨桥梁跨径 L_k (m)	其他构造物	测量等级
$L \geq 3000$	$L_k \geq 500$	—	二等
$2000 \leq L < 3000$	$300 \leq L_k < 500$	—	三等
$1000 \leq L < 2000$	$150 \leq L_k < 300$	高架桥	四等
$L < 1000$	$L_k < 150$	—	一等

表 3.1-6 桥梁轴线相对中误差

测量等级	桥梁轴线相对中误差	测量等级	桥梁轴线相对中误差
二等	$\leq 1/150000$	四等	$\leq 1/60000$
三等	$\leq 1/100000$	一级	$\leq 1/40000$

(3) 大桥、特大桥以及特殊结构桥梁的平面控制测量坐标系, 其投影长度变形值应不大于 $10\text{mm}/\text{km}$, 投影分带位置不得选在桥址处。

(4) 当采用独立坐标系、抵偿坐标系时, 应确认与国家坐标系的转换关系。

(5) 在布设平面控制点时, 四等及以上平面控制网中相邻点之间的距离不得小于 500m ; 一级平面控制网中相邻点之间的距离在平原、微丘区不得小于 200m , 重丘、山岭区不得小于 100m ; 最大距离应不大于平均边长的 2 倍。特大桥及特殊结构桥梁的每一端应至少埋设 3 个平面控制点。

(6) 平面控制测量应采用卫星定位测量、导线测量、三角测量或三边测量等方法进行。各平面控制测量方法的技术要求应符合《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650—2020 的规定。

3. 桥梁工程施工的高程控制测量要求

(1) 同一工程项目应采用同一高程系统, 并与相邻工程项目的高程系统相衔接。桥位水准点的高程应与路线控制高程联测。

(2) 用于跨越水域和深谷的大桥、特大桥的高程控制网最弱点高程中误差为 $\pm 10\text{mm}$ 。

(3) 高程控制网每千米观测高差中误差应符合表 3.1-7 的规定, 附合(或环线)水准路线长度应小于表 3.1-7 的规定。

表 3.1-7 高程控制测量的技术要求

测量等级	每千米高差中数中误差 (mm)		附合或环线水准路线长度 (km)
	偶然中误差 M_{Δ}	全中误差 M_W	
二等	± 1	± 2	100
三等	± 3	± 6	10
四等	± 5	± 10	4

注: 控制网节点间的长度应不大于表中长度的 0.7 倍。

(4) 桥梁工程的高程控制测量等级不得低于表 3.1-8 的规定。

表 3.1-8 高程控制测量等级

多跨桥梁总长 L (m)	单跨桥梁跨径 L_k (m)	其他构造物	测量等级
$L \geq 3000$	$L_k \geq 500$	—	二等
$1000 \leq L < 3000$	$150 \leq L_k < 500$	—	三等
$L < 1000$	$L_k < 150$	高架桥	四等

(5) 施工水准网中的各水准点，对于大桥和特大桥应构成连续闭合水准环。大桥和特大桥的每端应至少设置 2 个水准点，作为水准网的控制点。

(6) 高程控制测量应采用水准测量或三角高程测量的方法进行。高程控制测量的技术要求应符合《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650—2020 的规定。

4. 宽阔水域和海上桥梁施工测量

(1) 宽阔水域和海上桥梁的基础工程施工测量宜采用卫星定位测量，并在水域和海上建立专门的测量平台。

(2) 宽阔水域和海上桥梁工程的卫星定位测量平面控制网宜分为首级网、首级加密网、一级加密网和二级加密网 4 个等级，一级和二级加密网的布设和使用应符合下列规定：

① 加密网应采用与全桥统一的坐标系统，且宜由三角形或大地四边形组成，并应一次完成网形设计、施测与平差。加密网应保证至少与最近的 2 个高级网点为起算点进行联测，任一加密网点应至少与另外 2 个控制点通视。加密网应按一级卫星定位测量精度施测，其精度应保证最弱相邻点点位中误差为 $\pm 10\text{mm}$ 。

② 控制网点应安全、稳定，在使用过程中应进行定期或不定期检测。当对控制点的稳定性有疑问时，应及时进行局部或全面复测。加密网两次复测的间隔时间应不超过 3 个月。

③ 宜每隔 1.5km 左右选择一个桥墩先行施工其基础，并应在该基础上设立稳固可靠且带有强制对中观测装置的测量控制点，作为桥梁其他墩台施工放样的基准点。

(3) 宽阔水域和海上桥梁工程的高程控制网应采用全桥统一的高程基准。对首级网点、首级加密网点和全桥高程贯通测量，应采用不低于国家二等水准测量的精度进行联测；对一级和二级加密网点，应采用不低于国家三等水准测量的精度进行联测。先行施工桥墩的高程控制宜采用卫星定位测量，其间的其他桥墩、桥塔及上部结构可根据跨海和跨宽阔水域贯通测量的成果，采用常规的高程测量方法进行测量。采用卫星定位进行高程测量时，应符合下列规定：

① 宜选用与桥位区大地水准面较密合的重力场模型，根据高程联测结果，采用曲面拟合法，求取先行施工桥墩或海中和宽阔水域中暂时无法进行水准测量的卫星定位测量点的高程异常值和正常高。当跨海水准贯通测量完成后，应根据贯通测量成果对正在施工桥墩的卫星定位测量高程值进行修正。

② 采用拟合法求得的卫星定位测量点的正常高，在其精度情况得到确认后可代替四等以下精度的水准测量或三角高程测量。

3.2 常用模板、支架和拱架设计与施工

3.2.1 常用模板、支架设计与施工

1. 一般规定

(1) 模板宜采用钢材、胶合板或其他适宜的材料制作；支架宜采用钢材或常备式定型钢构件等材料制作。

(2) 模板和支架应具有足够的强度、刚度和稳定性，应能承受施工过程中所产生的各种荷载。

(3) 模板应能与混凝土结构或构件的特征、施工条件和浇筑方法相适应，应保证结构物各部位形状尺寸和相互位置的准确。

(4) 模板的板面应平整，接缝处应严密且不漏浆；模板与混凝土的接触面应涂刷隔离剂，不得采用废机油等油料，且不得污染钢筋及混凝土施工缝。

(5) 模板上设置吊环应采用 HPB300 钢筋，严禁采用冷加工钢筋制作。每个吊环应按两肢截面计算，在模板自重标准值作用下，吊环拉应力应不大于 65MPa 。

(6) 支架应稳定、坚固、能抵抗施工过程中可能发生的振动和偶然撞击。支架不得与应急安全通道相连接。

2. 模板、支架的设计与验算

(1) 模板和支架均应进行施工图设计，经批准后方可用于施工，施工图设计应包括：

- ① 工程概况和工程结构简图；
- ② 结构设计的依据和设计计算书；
- ③ 总装图和细部构造图；
- ④ 制作、安装的质量及精度要求；
- ⑤ 安装、拆除时的安全技术措施及注意事项；
- ⑥ 材料的性能质量要求及材料数量表；
- ⑦ 设计说明书和使用说明书。

(2) 模板、支架的设计应结合工程结构形式、荷载情况、地基土类别、施工设备和材料性能等条件进行，并符合相关规范要求。宜优先采用标准化、定型化的构件。

(3) 模板背面应设置主肋和次肋作为其支承系统，主肋和次肋的布置应根据模板的荷载和刚度要求进行。次肋的配置方向应与模板的长度方向相垂直，应能直接承受模板传递的荷载，其间距应按荷载数值和模板的力学性能计算确定；主肋应承受次肋传递的荷载，且应能起到加强模板结构的整体刚度和调整平直度的作用，支架或支撑的着力点应设置在主肋上。

(4) 支架的构造形式宜结合材料类别、所支承的结构及其荷载、地形及环境条件、地基情况等因素确定。支架立杆之间应根据其受力要求和结构特点，设置水平和斜向等支撑连接杆件，增强支架的整体刚度和稳定性。托架结构宜设置成三角形，并与预埋件可靠连接。

(5) 模板、支架的设计应考虑下列各项荷载，并按表 3.2-1 的规定进行荷载组合：

表 3.2-1 模板、支架和拱架设计计算的荷载组合

模板、支架结构类别	荷载组合	
	计算强度	验算刚度
梁、板和拱的底模板以及支承板、支架及拱等	①+②+③+④+⑦+⑧	①+②+⑦+⑧
缘石、人行道、栏杆、柱、梁、板、拱等的侧模板	④+⑤	⑤
基础、墩台等厚大建筑物的侧模板	⑤+⑥	⑤

- ① 模板、支架自重；
- ② 新浇筑混凝土、钢筋、预应力筋或其他圬工结构物的重力；
- ③ 施工人员及施工设备、施工材料等荷载；
- ④ 振捣混凝土时产生的振动荷载；
- ⑤ 新浇筑混凝土对模板侧面的压力；
- ⑥ 混凝土入模时产生的水平方向冲击荷载；
- ⑦ 水中支架须考虑水流压力、波浪力、流冰压力、船只及其他漂浮物的撞击力；
- ⑧ 其他可能产生的荷载，如风荷载、雪荷载、冬季保温设施荷载、温度应力等。

(6) 普通模板荷载计算

① 振捣混凝土产生的荷载，对水平面模板可采用 2.0kN/m^2 ，对垂直面模板可采用 4.0kN/m^2 ，且作用范围在新浇筑混凝土侧压力的有效压头高度之内。

② 当采用内部振捣器时，新浇筑混凝土作用于模板的侧压力，可按式(3.2-1)和式(3.2-2)计算，并取其中的较小值：

$$F = 0.22\gamma_c t_0 \beta_1 \beta_2 v^{\frac{1}{2}} \quad (3.2-1)$$

$$F = \gamma_c H \quad (3.2-2)$$

式中 F ——新浇筑混凝土对模板的侧压力 (kN/m^2)；

γ_c ——混凝土的重力密度 (kN/m^3)；

v ——混凝土的浇筑速度 (m/h)；

t_0 ——新浇筑混凝土的初凝时间，可按试验确定；当缺乏试验资料时，可采用

$$t_0 = 200 / (T + 15) \quad [T \text{ 为混凝土的温度 } (\text{°C})]$$

β_1 ——外加剂影响修正系数；不掺外加剂时取 1.0，掺具有缓凝作用的外加剂时取 1.2；

β_2 ——混凝土坍落度影响修正系数；当坍落度小于 30mm 时，取 0.85；坍落度为 50~90mm 时，取 1.00；坍落度为 110~150mm 时，取 1.15；

H ——混凝土侧压力计算位置处至新浇混凝土顶面的总高度 (m)。

(7) 验算模板、支架的刚度时，其变形值不得超过下列允许值：

- ① 结构表面外露的模板，挠度为模板构件跨度的 $1/400$ ；
- ② 结构表面隐蔽的模板，挠度为模板构件跨度的 $1/250$ ；
- ③ 支架受载后挠曲的杆件（盖梁、纵梁），其弹性挠度为相应结构跨度的 $1/400$ ；
- ④ 钢模板的面板变形为 1.5mm ；
- ⑤ 钢模板的钢棱和柱箍变形分别为 $L/500$ 和 $B/500$ （其中 L 为计算跨径， B 为柱宽）。

(8) 验算模板、支架在自重和风荷载等作用下的抗倾覆稳定性时，其抗倾覆稳定

系数应不小于 1.3。

3. 模板、支架制作及安装

浇筑混凝土前，应对支架和模板进行全面、严格的检查，核对设计尺寸、位置，检查支架接头位置是否准确、可靠，卸落设备是否符合要求；检查模板制作是否密贴，螺栓、拉杆、撑木是否牢固，是否涂抹模板油及其他隔离剂等。

1) 模板制作及安装

模板制作与安装施工工艺流程如下：选择模板及支撑材料→模板设计与绘图→构件基础平整及支撑系统施工→模板加工制作与安装→模板表面及接缝处理→模板安装质量检验→钢筋安装及质量检验→混凝土浇筑→混凝土养护→拆除模板。模板安装完成经验收合格后，方可进入下一工序。

(1) 钢模板应按批准的加工图进行制作，成品经检验合格后方可使用。组装前应对零部件几何尺寸和焊缝进行全面检查，合格后方可组装。面板变形及整体刚度应符合上述第 2 点第(7)条的相关规定。

(2) 制作钢木组合模板时，钢与木之间的接触面应贴紧。面板采用防水胶合板的模板，除使胶合板与背楞之间密贴外，对制作过程中裁切过的防水胶合板茬口，应按要求及时涂刷防水涂料。

(3) 木模板与混凝土接触的表面应刨光并保持平整。木模板接缝可制作成平缝、搭接缝或企口缝。当采用平缝时，应有防止漏浆的措施；转角处应加嵌条或做成斜角。

(4) 采用其他材料（如高分子合成材料面板、硬塑料或玻璃钢）制作模板时，其接缝应严密，边肋及加强肋应安装牢固，并应与面板成一整体。

(5) 模板的安装应符合下列规定：

- ① 应按设计要求准确就位，且不宜与脚手架连接。
- ② 侧模板安装时，支撑应牢固并防止模板在浇筑混凝土时产生移位。
- ③ 安装过程中，必须设置防倾覆的临时固定设施。
- ④ 模板安装完成的尺寸、平面位置和顶部高程等应符合设计要求，节点连系应牢固。
- ⑤ 梁、板等结构的底模板宜根据需要设置预拱度。
- ⑥ 固定在模板上的预埋件和预留孔洞均不得遗漏，安装应牢固，位置应准确。

(6) 采用提升模板施工时，应设置脚手平台、接料平台、挂吊脚手及安全网等辅助设施。

(7) 采用翻转模板和爬升模板施工时，其结构应满足强度、刚度及稳定性要求。液压爬模应由专业单位设计和制造，且应有检验合格证明及操作说明书并符合下列规定：

① 混凝土强度应达到规定数值后方可拆模并进行模板的翻转或爬架爬升。作用于爬模上接料平台、脚手平台和拆模吊篮的荷载应均衡，不得超载，严禁混凝土吊斗碰撞爬模系统。

② 模板沿墩身周边方向应始终保持顺向搭接。施工过程中应随时检查爬模的中线、水平位置和高程等，发现问题及时纠正。

(8) 采用滑升模板时，除符合现行《滑动模板工程技术标准》GB/T 50113—2019 的规定外，尚应符合下列规定：

- ① 模板高度宜根据结构物的实际情况确定；模板结构应具有足够的强度、刚度和

稳定性；支承杆及提升设备应能保证模板竖直均衡上升。组装时应使各部尺寸的精度符合设计要求，组装完毕应经全面检查试验合格后，方可正式投入使用。

② 模板滑升速度宜不大于250mm/h，滑升时应检测并控制其位置。滑升模板宜连续进行，因故中断时，宜在中断前将混凝土浇筑齐平，中断期间模板仍应继续缓慢地滑升，直到混凝土与模板不致粘住时为止。

2) 支架制作及安装

(1) 支架制作应符合下列规定：

① 宜采用标准化、系列化、通用化的钢构件制作拼装。

② 木支架的两相邻立柱连接接头宜分设在不同水平面上，并应减少长杆件接头。主要压力杆的接长连接，宜使用对接法，并采用木夹板或铁夹板夹紧；次要构件的连接可采用搭接法。

(2) 支架安装应符合下列规定：

① 按施工图设计要求进行安装。立柱应垂直，节点连接应可靠。

② 高支架应设置足够的斜向连接、扣件或缆风绳，横向稳定应有保证措施。

③ 支架安装完成后，应对其平面位置、顶部高程、节点连接及纵、横向稳定性进行全面检查，符合要求后，方可进行下一工序。

(3) 支架宜根据其结构形式、所用材料和地基情况的不同，在施工前确定是否对其进行预压，并符合下列规定：

① 对位于刚性地基上的刚度较大且非弹性变形可确定控制在一定范围内的支架，经计算并通过一定审核程序，确认其满足强度、刚度和稳定性等要求的前提下，可不预压；但施工过程中应对支架的材料和安装施工质量采取严格的管控措施。

② 对位于软土地基或软硬不均地基上的支架，宜通过预压的方式，消除地基不均匀沉降和支架的非弹性变形。

③ 对支架进行预压时，预压荷载宜为支架所承受荷载的1.05~1.10倍，预压荷载的分布宜模拟需承受的结构荷载及施工荷载。

(4) 支架应结合模板安装并考虑设置预拱度和卸落装置，并符合下列规定：

① 设置的预拱度值，应包括结构本身需要的预拱度和施工需要的预拱度两部分。

② 施工预拱度应考虑下列因素：模板、支架承受施工荷载引起的弹性变形；受载后由于杆件接头挤压和卸落装置压缩而产生的非弹性变形；支架地基受载后的沉降变形。

③ 专用支架应按产品要求进行模板卸落；自行设计的普通支架应在适当部位设置相应的木楔、木马、砂筒或千斤顶等卸落模板装置，并结合结构形式、承受荷载大小确定卸落量。

4. 模板、支架的拆除

(1) 模板、支架的拆除期限和拆除程序等应根据结构物特点、模板部位和混凝土所应达到的强度要求确定，并严格按施工图设计的要求进行。

(2) 非承重侧模板应在混凝土抗压强度达到2.5MPa，且能保证其表面及棱角不致因拆模而受损坏时方可拆除。

(3) 芯模和预留孔道的内模，应在混凝土强度能保证其表面不发生塌陷或裂缝现

象时，方可拆除。

(4) 钢筋混凝土结构的承重模板、支架，应在混凝土强度能承受其自重荷载及其他可能的叠加荷载时，方可拆除。

(5) 预应力混凝土结构的侧模应在预应力钢束张拉前拆除；底模及支架应在结构建立预应力后方可拆除。

(6) 模板、支架的拆除应遵循后支先拆、先支后拆的原则顺序进行。墩、台模板宜在其上部结构施工前拆除。

(7) 拆除梁、板等结构承重模板时，横向应同时、纵向应对称均衡卸落。简支梁、连续梁结构模板宜从跨中向支座方向依次循环卸落；悬臂梁结构模板宜从悬臂端开始顺序卸落。

(8) 模板、支架拆除时，不得损伤混凝土结构。

3.2.2 常用拱架设计与施工

1. 拱架的设计要求

(1) 应遵循安全可靠、结构简单、受力明确、制作及安拆方便的原则。所采用材料的性能和质量应符合相应国家或行业标准的规定；常备式构件用作拱架时，其设计与计算应依据该构件的技术要求进行。

(2) 设计荷载应根据拱架结构特点和施工荷载特性分析取用，拱圈的自重荷载宜乘以1.2倍的系数。计算荷载作用下，应按可能产生的最不利荷载组合验算拱架的强度、刚度和稳定性。

(3) 验算拱架各截面的强度时，应根据拱架结构形式和所承受的荷载大小，按分环分段浇筑或砌筑施工的工况，分别验算其拱顶、拱脚和1/4跨等特征截面的应力，并对特征拱架节点进行受力分析。

(4) 严格控制拱架的刚度。拱架受载后，落地式拱架的弹性挠度应不大于相应结构跨度的1/2000；拱式拱架的弹性挠度应不大于相应结构跨度的1/1000。

(5) 稳定性验算应包括拱架的整体稳定和局部稳定，抗倾覆稳定系数应不小于1.5。

(6) 拱架的地基与基础设计应符合现行《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG 3363—2019的规定，并应对地基承载力进行验算。

2. 拱架的制作及安装

(1) 制作拱架所采用材料的规格和质量应符合施工设计要求。钢拱架宜采用标准化、通用化的常备式构件或型钢、钢管等材料；特殊情况下采用木拱架时，应选择材质坚硬、无损伤且湿度较小的材料。拱架的制作应保证杆件或构件的尺寸准确，连接节点处的螺栓孔或焊接质量应满足施工设计要求。

(2) 拱架安装前，应对桥轴线、拱轴线、跨径和高程等进行校核，确认无误后方可进行拼装。拼装应根据拱架的构造确定适宜的方法进行，分片或分段拼装时应有保证拱架稳定的临时措施，必要时应设置缆风绳固定；拱架拼装时尚应设置足够的平联、斜撑和剪刀撑，保证其横向稳定。

(3) 拱架应设置施工预拱度和卸落装置，除应符合前述支架相关规定外，拱式拱架尚应考虑其受载后产生水平位移所引起的拱圈挠度。各类拱架的顶部高程应符合拱圈

下缘加预拱度后的几何线形，允许偏差宜为±10mm；拱架纵轴的平面位置偏差应不大于跨度的1/1000，且不大于30mm。

(4) 拱架安装完成应按设计荷载进行预压；并对其平面位置、顶部高程、节点连接及纵横向的稳定性进行全面检查，符合要求后，方可进行下一工序。

3. 拱架的拆卸

(1) 现浇混凝土拱圈的拱架拆除期限应符合设计规定；设计未规定时，应在拱圈混凝土强度达到设计强度的85%后，方可卸落拆除。

(2) 卸落拱架应按提前拟定的卸落程序进行，且宜分步卸落；纵向应对称均衡卸落，横向应同时一起卸落。满布式落地拱架卸落时，可从拱顶向拱脚依次循环卸落；拱式拱架可在两支座处同时均匀卸落；多孔拱桥卸架时，若桥墩允许承受单孔施工荷载，可单孔卸落，否则应多孔同时卸落，或各连续孔分阶段卸落。卸落拱架时，应设专人对拱圈挠度和墩台位移等情况进行监测。当有异常时，应暂停卸落，查明原因并采取相应措施后方可继续进行。

(3) 石拱桥拱架卸落时间应符合下列要求：

① 砌石拱桥，应待砂浆强度达到设计强度的85%后方可卸落；设计另有规定时，应从其规定。

② 跨径小于10m的小拱桥，宜在拱上建筑全部完成后卸架；中等跨径的实腹式拱，宜在护拱砌完后卸架；跨径较大的空腹式拱，宜在拱上小拱横墙砌好但未砌小拱圈时卸架。

③ 当需要进行裸拱卸架时，应对裸拱进行截面强度及稳定性验算，并采取必要的辅助稳定措施。

3.3 钢筋、混凝土和钢结构施工

3.3.1 钢筋工程施工

1. 一般规定

桥涵工程中采用的普通钢筋应符合现行《钢筋混凝土用钢 第1部分：热轧光圆钢筋》GB/T 1499.1—2017、《钢筋混凝土用钢 第2部分：热轧带肋钢筋》GB/T 1499.2—2018、《钢筋混凝土用余热处理钢筋》GB/T 13014—2013、《冷轧带肋钢筋》GB/T 13788—2017的规定。钢筋应具有出厂质量证明书和试验报告单，进场时除应检查其外观和标志外，尚应按不同的钢种、等级、牌号、规格及生产厂家分批抽取试样进行力学性能检验，检验方法应符合现行国家标准的规定。钢筋经进场检验合格后方可使用。钢筋在运输过程中应避免锈蚀、污染或被压弯；在工地存放时，应按不同品种、规格，分批分别堆置整齐，不得混杂，并应设立识别标志，存放时间宜不超过6个月。

钢筋的级别、种类和直径应按设计规定采用，需要代换时，应得到设计认可。预制构件的吊环，必须采用未经冷拉的热轧光圆钢筋制作，且使用时的计算拉应力应不大于65MPa。

2. 普通钢筋的加工制作

(1) 钢筋表面应洁净，使用前应将表面油渍、漆皮、鳞锈等清除干净，钢筋外表

有严重锈蚀、麻坑、裂纹夹砂和夹层等缺陷时应予剔除，不得使用。钢筋应平直，无局部弯折，成盘钢筋和弯曲钢筋均应调直才能使用。

(2) 钢筋弯制和末端的弯钩应符合设计要求。设计无规定时，应符合现行《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650—2020 的规定。

(3) 箍筋末端应做弯钩，弯钩弯曲直径应大于被箍受力主钢筋的直径，且 HPB300 级钢筋应不小于箍筋直径的 2.5 倍，HRB400 级钢筋应不小于箍筋直径的 5 倍。弯钩平直部分的长度，一般结构应不小于箍筋直径的 5 倍；有抗震要求的结构，应不小于箍筋直径的 10 倍。

(4) 钢筋连接宜采用焊接接头或机械连接接头。绑扎接头仅当钢筋构造复杂、施工困难时方可采用，绑扎接头钢筋直径宜不大于 28mm，对轴心受压和偏心受压构件中的受压钢筋可不大于 32mm；轴心受拉和小偏心受拉构件不应采用绑扎接头。

(5) 钢筋焊接接头宜采用闪光对焊，或采用电弧焊、电渣压力焊或气压焊，但电渣压力焊仅可用于竖向钢筋连接，不得用作水平钢筋和斜筋连接。

(6) 每批钢筋焊接前，应先选定焊接工艺和焊接参数，按实际条件进行试焊，检验接头外观质量及规定的力学性能，试焊质量经检验合格后方可正式施焊。焊接时，对施焊场地应有适当的防风、雨、雪、严寒的设施。

(7) 电弧焊宜采用双面焊缝，仅在双面焊无法施焊时方可采用单面焊缝。采用搭接电弧焊时，两钢筋搭接端部应预先折向一侧，两接合钢筋的轴线应保持一致；采用帮条电弧焊时，帮条应采用与主筋相同的钢筋，其总截面面积应不小于被焊接钢筋的截面面积。电弧焊接头的焊缝长度，对双面焊缝应不小于 $5d$ ，单面焊缝应不小于 $10d$ (d 为钢筋直径)。电弧焊接与钢筋弯曲处的距离应不小于 $10d$ ，且不宜位于构件的最大弯矩处。

(8) 钢筋机械连接宜采用镦粗直螺纹、滚压直螺纹或套筒挤压连接接头，且适用于 HRB400、HRBF400、HRB500 和 RRB400 级热轧带肋钢筋；各类接头的性能均应符合现行行业标准《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107—2016 的规定，并应符合下列规定：

① 钢筋机械连接接头的等级应选用 I 级或 II 级。

② 钢筋机械连接件的混凝土最小保护层厚度，应符合设计受力主筋混凝土保护层厚度的规定，且不得小于 20mm；连接件之间或连接件与钢筋之间的横向净距应不小于 25mm。

③ 连接套筒、锁母、丝头在运输和储存过程中应采取防护措施，防止雨淋、粘污和损伤。

(9) 受力钢筋焊接或绑扎接头应设置在内力较小处，并错开布置，对于绑扎接头，两接头间距离不小于 1.3 倍搭接长度。对于焊接接头和机械接头，在接头长度区段内，同一根钢筋不得有两个接头。配置在接头长度区段内的受力钢筋，其接头截面面积占总截面面积的百分率应符合表 3.3-1 的规定。

(10) 钢筋骨架的焊接拼装应在坚固的工作台上进行，操作时应符合下列要求：

① 拼装前应按设计图纸放大样并考虑焊接变形的预留拱度。拼装时，在焊接位置宜采用楔形卡卡紧，防止焊接时局部变形。

表 3.3-1 接头长度区段内受力钢筋接头截面面积的最大百分率

接头形式	接头截面面积最大百分率 (%)	
	受拉区	受压区
主钢筋绑扎接头	25	50
主钢筋焊接接头	50	不限制

② 骨架焊接时，不同直径钢筋的中心线应在同一平面上，较小直径的钢筋在焊接时，下面宜垫以厚度适当的钢板。施焊顺序宜由中到边对称地向两端进行，先焊骨架下部，后焊骨架上部。相邻焊缝应采用分区对称跳焊，不得顺方向一次焊成。

(11) 钢筋安设、支承及固定要求：

① 安装钢筋时钢筋的级别、直径、根数、间距等应符合设计规定。对多层多排钢筋，宜根据安装需要在其间隔处设立一定数量的架立钢筋或短钢筋，但架立钢筋或短钢筋的端头不得伸入混凝土保护层内。半成品钢筋和钢筋骨架采用整体方式安装时，宜设置专用胎架或卡具等进行辅助定位，安装过程中应采取保证整体刚度及防止变形的措施。当钢筋过密影响到混凝土浇筑质量时，应及时与设计协商解决。

② 钢筋与模板之间应设置垫块，混凝土垫块应具有不低于结构本体混凝土的强度，并有足够的密实性；采用其他材料制作垫块时，除应满足使用强度的要求外，其材料中不应含有对混凝土产生不利影响的成分。垫块的制作厚度不应出现负误差，正误差应不大于1mm。垫块应相互错开、分散设置在钢筋与模板之间，但不应横贯混凝土保护层的全部截面进行设置。垫块在结构物侧面和底面所布设的数量应不少于4个/m²，重要部位宜适当加密。

(12) 灌注桩钢筋骨架的制作、运输与安装应符合下列规定：

① 采取必要措施保证骨架刚度，主筋接头应错开布置。大直径长桩钢筋骨架宜在胎架上分段制作并编号，安装时按编号顺序连接。

② 在骨架外侧设置控制混凝土保护层厚度的垫块，垫块间距在竖向应不大于2m，在横向圆周应不少于4处。

③ 钢筋骨架在运输过程中，应采取适当措施防止其变形。骨架顶端应设置吊环。

3. 预应力钢筋的加工制作

(1) 预应力混凝土结构所采用的钢丝、钢绞线、螺纹钢筋等材料的性能和质量，应符合现行国家标准的规定。钢丝应符合现行《预应力混凝土用钢丝》GB/T 5223—2014的规定；钢绞线应符合现行《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224—2014的规定；螺纹钢筋应符合现行《预应力混凝土用螺纹钢筋》GB/T 20065—2016的规定。

(2) 预应力筋进场时应分批验收，除对其质量证明书、包装、标志和规格等进行检查外，尚须按下列规定进行检查：

① 钢丝：分批检验时每批质量应不大于60t，检验应先从每批中抽查5%且不少于5盘，进行表面质量检查；如检查不合格，则应对该批钢丝逐盘检查。在表面质量检查合格的钢丝中抽取5%，但不少于3盘，在每盘钢丝的两端取样进行抗拉强度、弯曲和伸长率试验，试验结果如有一项不合格，则不合格盘报废，并从同批未试验过的钢丝盘中取双倍数量的试样进行该不合格项的复验；如仍有一项不合格，则该批钢丝为不合格。

② 钢绞线：分批检验时每批质量应不大于 60t，检验应从每批钢绞线中任取 3 盘，从每盘所选的钢绞线端部正常部位截取一组试样进行表面质量、直径偏差和力学性能试验。如每批少于 3 盘，则应逐盘取样进行上述试验。试验结果如有一项不合格时，则不合格盘报废，再从该批未试验过的钢绞线中取双倍数量的试样进行该不合格项的复验；如仍有一项不合格，则该批钢绞线为不合格。

③ 螺纹钢筋：分批检验时每批质量应不大于 100t，对表面质量应逐根目视检查，外观检查合格后在每批中任选 2 根钢筋截取试件进行拉伸试验。试验结果如有一项不合格时，则另取双倍数量的试件重做全部各项试验；如仍有一根试件不合格，则该批钢筋为不合格。

（3）预应力筋实际强度不得低于现行国家标准的规定。预应力筋试验应按现行国家标准的规定执行。用作拉伸试验的试件，不允许进行任何形式的加工。对预应力筋进行拉伸试验时应同时测定其弹性模量。

（4）预应力筋下料应符合下列规定：

① 下料长度应通过计算确定并考虑结构的孔道长度或台座长度、锚夹具厚度、千斤顶长度、镦头预留量、冷拉伸长值、弹性回缩值、张拉伸长值和张拉工作长度等因素。

② 钢丝束两端采用镦头锚具时，宜采用等长下料法对钢丝进行下料。

③ 预应力筋可采用切断机或砂轮锯切断，严禁采用电弧切割。

（5）高强度钢丝的镦头宜采用液压冷镦，镦头前应确认钢丝的可镦性，钢丝镦头的强度不得低于钢丝强度标准值的 98%。

（6）制作挤压锚时，应符合下列规定：

① 模具与挤压锚应配套使用，挤压锚具的外表面应涂润滑介质，挤压压力和挤压操作应符合产品使用说明书的规定。

② 挤压后的预应力筋外端应露出挤压套筒 2~5mm。

③ 应从每一工作班制作的成型挤压锚中抽取至少 3 个试件，进行握裹力试验。

④ 钢绞线压花锚挤压成型时，表面应清洁、无油污，梨形头的尺寸和直线段长度应不小于设计值。

⑤ 环氧涂层钢绞线不得用于制作压花锚。

（7）预应力筋由多根钢丝或钢绞线组成且当采取整束穿入孔道内时应预先编束，编束时应将钢丝或钢绞线逐根理顺，防止缠绕，并每隔 1~1.5m 捆绑一次，使其绑扎牢固、顺直。

3.3.2 混凝土施工

1. 一般规定

（1）进行混凝土强度试配和质量检测时，混凝土抗压强度应以边长为 150mm 的立方体尺寸标准试件测定，且应取其保证率为 95%。试件以同龄期者三块为一组，以同等条件制作和养护，每组试件的抗压强度应以三个试件测值的算术平均值为测定值，如有一个测值与中间值的差值超过中间值的 15%，则取中间值为测定值；如有两个测值与中间值的差值均超过 15%，则该组试件无效。

(2) 混凝土抗压强度应为标准方式成型的试件，置于标准养护条件下（温度为 $20\pm2^{\circ}\text{C}$ 及相对湿度不低于95%）养护28d所测得的抗压强度值(MPa)进行评定。采用蒸汽养护的混凝土抗压强度，试件应先随构件同条件蒸汽养护，再转入标准条件下养护，累计养护时间应为28d。当混凝土中掺用粉煤灰等矿物掺合料时，确定混凝土抗压强度时的龄期应符合设计规定。

2. 混凝土配合比

(1) 混凝土配合比应以质量比计量，并通过设计和试配选定。试配时使用施工实际采用的材料，配制的混凝土拌合物应满足和易性、凝结时间等施工技术条件；制成的混凝土应满足配制强度、力学性能和耐久性能的设计要求。

(2) 不同强度等级混凝土的最大水胶比、胶凝材料用量宜符合表3.3-2的规定。

表3.3-2 混凝土的最大水胶比和胶凝材料用量

混凝土强度等级	最大水胶比	最小水泥用量(kg/m ³)	最大胶凝材料用量(kg/m ³)
C25	0.55	275	400
C30	0.55	280	
C35	0.50	300	
C40	0.45	320	450
C45	0.40	340	
C50	0.36	360	480
C55	0.32	380	500
C60	0.30	400	530

注：1. 表中数据适用于最大粗集料粒径为20mm的情况，粒径较大时可适当降低胶凝材料用量，粒径较小时可适当增加胶凝材料用量。

2. 大掺量矿物掺合料混凝土的水胶比应不大于0.42。
3. 引气混凝土的胶凝材料用量与非引气混凝土要求相同。
4. 封底、垫层及其他临时工程的混凝土，可不受本表的限制。

(3) 公路桥涵工程使用的外加剂，与水泥、矿物掺合料之间应具有良好的相容性，且应是经过具备相关资质的检测机构检验并附有检验合格证明的产品，混凝土中掺入外加剂应符合下列规定：

① 在钢筋混凝土和预应力混凝土中，均不得掺用氯化钙、氯化钠等氯盐。

② 减水剂宜采用聚羧酸系减水剂。

③ 各种外加剂中的氯离子总含量宜不大于混凝土中胶凝材料总质量的0.02%，硫酸钠含量宜不大于减水剂干重的15%。

④ 各种组成材料引入的氯离子总含量(折合氯盐含量)应不超过现行《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650—2020规定的限值。

⑤ 掺入引气剂的混凝土，其含气量应按不同环境类别和作用等级确定。

(4) 混凝土膨胀剂的品种和掺量应通过试验确定。掺入膨胀剂的混凝土宜采取有效的持续保湿养护措施，并按不同结构和温度适当延长养护时间。掺合料应保证其产品

品质稳定、来料均匀。掺合料应由生产单位专门加工，进行产品检验并出具产品合格证书。混凝土中需要掺用粉煤灰、粒化高炉矿渣粉、硅灰等掺合料时，其掺入量应在使用前通过试验确定。掺合料在运输与储存中，应有明显标识，严禁与水泥等其他粉状材料混淆。

(5) 除控制各组成材料带入混凝土中的碱含量外，尚应控制混凝土的总碱含量。混凝土的总碱含量，对一般桥涵宜不大于 3.0kg/m^3 ，对特大桥、大桥和重要桥梁宜不大于 2.1kg/m^3 。混凝土结构处于受严重侵蚀的环境时不得使用有碱活性反应的集料。

(6) 泵送混凝土的配合比宜符合下列规定：

① 胶凝材料用量宜不小于 300kg/m^3 。水泥宜选用硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥或粉煤灰硅酸盐水泥；细集料宜采用中砂，且其通过 $300\mu\text{m}$ 筛孔的颗粒含量宜不少于15%，砂率宜为35%~45%；粗集料宜采用连续级配，针片状颗粒含量宜不大于10%，粗集料的最大公称粒径与输送管径之比宜符合现行《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650—2020的规定。

② 应通过试验掺用适量的泵送剂或减水剂，且宜掺用矿物掺合料。

③ 试配时应考虑坍落度的经时损失。

(7) 设计和试配确定的配合比应填写试配报告单，提交施工监理工程师或有关方面批准。混凝土配合比使用过程中，应根据混凝土质量的动态信息，及时调整、报批。混凝土拌制前应将理论配合比换算为施工配合比。例如某C30混凝土结构实验室配合比相对用量表示法为 $1:1.95:2.93$, $W/C=0.52$ ，如混凝土表观密度为 2400kg/m^3 ，则混凝土的实验室配合比转换成单位用量表示法为水泥：水：砂：碎石=375:195:731:1099。如施工现场砂的含水率为3%，碎石的含水率为1%，则混凝土施工配合比单位用量表示法为水泥：水：砂：碎石=375:162:753:1110，相对用量表示法为 $1:2.01:2.96$, $W/C=0.43$ 。

3. 混凝土拌制与运输

(1) 混凝土的配料宜采用自动计量装置，各种衡器的精度应符合要求，计量应准确。计量器具应定期标定，迁移后应重新标定。

(2) 混凝土拌合物应搅拌均匀、颜色一致，不得有离析和泌水现象。在施工现场集中拌制的混凝土，应检测其拌合物的均匀性。

(3) 混凝土搅拌完毕后，应检测坍落度及其损失，一般在搅拌地点和浇筑地点分别取样检测，每一工作班或每一单元结构物应不少于两次，评定时以浇筑地点的测值为准。当混凝土从搅拌机出料起至浇筑入模的时间不超过15min时，其坍落度可仅在搅拌地点取样检测。

(4) 混凝土的运输能力应与其凝结速度和浇筑速度相匹配，确保浇筑工作不间断且入模前仍能保持其均匀性及合格的坍落度。

(5) 泵送混凝土应符合下列规定：

① 泵送间歇时间宜不超过15min。泵送过程中，受料斗内应具有足够的混凝土，泵管应防止吸入空气产生阻塞。

② 输送管应顺直，转弯处应圆缓，接头应严密、不漏气。

③ 向低处泵送混凝土时，应采取必要措施，防止混凝土离析或堵塞输送管。

(6) 用搅拌运输车运输混凝土时，途中应以 $2\sim4r/min$ 的慢速进行搅动，卸料前应采用快挡旋转搅拌罐不少于20s。

(7) 混凝土运至浇筑地点后发生离析、严重泌水或坍落度不符合要求时，应进行二次搅拌。二次搅拌时不得任意加水。确有必要时，可同时加水、相应的胶凝材料和外加剂并保持其原水胶比不变；二次搅拌仍不符合要求时，则不得使用。

4. 混凝土浇筑

(1) 浇筑混凝土前的准备工作：

① 根据待浇筑结构物的情况、环境条件及浇筑量等制定合理的浇筑方案，对施工缝设置、浇筑顺序、浇筑工具、防裂措施、保护层控制等作出明确规定。

② 对支架、模板、钢筋和预埋件等进行检查，清理模板内的杂物、积水及钢筋上的污物。模板如有缝隙或孔洞时，应堵塞严密且不漏浆。

③ 对混凝土的均匀性和坍落度等性能进行检测。

(2) 自高处向模板内倾卸混凝土时，应防止混凝土离析。直接倾卸时，其自由倾落高度宜不超过2m；超过2m时，应通过串筒、溜管（槽）或振动溜管（槽）等设施下落；倾落高度超过10m时，应设置减速装置。

(3) 混凝土应按一定厚度、顺序和方向分层浇筑，在下层混凝土初凝或能重塑前浇筑完成上层混凝土。上下层同时浇筑时，上、下层前后浇筑距离应保持1.5m以上。在倾斜面上浇筑混凝土时，应从低处开始逐层扩展升高，保持水平分层。混凝土分层浇筑厚度宜不超过表3.3-3的规定。

表3.3-3 混凝土分层浇筑厚度

捣实方法		浇筑层厚度（mm）
用插入式振动器		300
用附着式振动器		300
用表面振动器	无筋或配筋稀疏时	250
	配筋较密时	150

(4) 振动器振捣混凝土应符合下列规定：

① 插入式振动器的移位间距应不超过振动器作用半径的1.5倍，与侧模应保持50~100mm的距离，且插入下层混凝土中的深度宜为50~100mm。

② 表面振动器的移位间距应使振动器平板能覆盖已振实部分不小于100mm。

③ 附着式振动器的布置距离，应根据结构物形状和振动器的性能通过试验确定。

④ 每一振点的振捣延续时间宜为20~30s，以混凝土停止下沉、不出现气泡、表面呈现浮浆为度。

(5) 混凝土的浇筑应连续进行，因故必须中断时，其间断时间应小于前层混凝土的初凝时间或能重塑的时间。混凝土的运输、浇筑及间歇的全部时间宜不超过表3.3-4的规定；超出时应按浇筑中断处理，须留置施工缝并作好记录。

(6) 施工缝的位置应在混凝土浇筑前确定，宜设置在结构受剪力和弯矩较小且便于施工的部位，施工缝的处理应符合下列规定：

表 3.3-4 混凝土的运输、浇筑及间歇的全部允许时间 (min)

混凝土强度等级	气温不高于 25℃	气温高于 25℃
≤ C30	210	180
> C30	180	150

注：当混凝土中掺有促凝或缓凝剂时，其允许时间应根据试验结果确定。

① 施工缝处混凝土表面的光滑表层、松弱层应予凿除，凿毛深度应不小于 8mm。采用水冲洗凿毛时，施工缝处混凝土的强度应达到 0.5MPa，人工凿除则应达到 2.5MPa；采用风动机凿毛则应达到 10MPa。

② 新混凝土浇筑前，应采用洁净水冲洗经凿毛处理后的混凝土面。

③ 重要部位、有抗震要求或钢筋稀疏的钢筋混凝土结构，宜在施工缝处补插适量的锚固钢筋，补插的锚固钢筋直径可比结构主筋小一个规格，间距宜不小于 150mm，插入和外露长度均不宜小于 300mm；有抗渗要求的混凝土，其施工缝宜做成凹、凸形状或设置止水带；施工缝为斜面时宜浇筑或凿成台阶状。

(7) 环境相对湿度较小、风速较大的条件下浇筑混凝土时，应采取适当措施防止混凝土表面过快失水。浇筑期间应随时检查支架、模板、钢筋、预应力管道和预埋件等的稳固情况，及时填写混凝土施工记录。新浇筑混凝土的强度达到 2.5MPa 之前，不得使其承受行人、运输工具、模板、支架及脚手架等荷载。

5. 混凝土养护

(1) 应根据施工对象、环境条件、水泥品种、外加剂或掺合料及混凝土性能等因素，制定具体的新浇筑混凝土养护方案，并严格实施。

(2) 应在混凝土浇筑完成、收浆后尽快予以覆盖和洒水养护。对于硬性混凝土、高强度和高性能混凝土、炎热天气浇筑的混凝土以及桥面等大面积裸露混凝土，应加强初始保湿养护，具备条件的可在浇筑完成后立即加设棚罩，待收浆后再予以覆盖和洒水养护。覆盖时不得损伤或污染混凝土表面。

(3) 混凝土养护严禁采用海水，洒水保湿养护时间应不少于 7d。对重要工程或有特殊要求的混凝土，应根据环境湿度、温度、水泥品种以及掺用外加剂和掺合料等情况，酌情延长养护时间，并使混凝土表面始终保持湿润状态。当气温低于 5℃时，应采取保温养护措施，不得向混凝土表面洒水。采用喷洒养护剂对混凝土进行养护时，所使用养护剂不应与混凝土产生不利影响，且通过试验验证其养护效果。

(4) 新浇筑混凝土与流动的地表水或地下水接触时，应采取临时防护措施，保证混凝土在 7d 以内且强度达到设计强度的 50% 以前，不受水的冲刷侵袭；当环境水具有侵蚀作用时，应保证混凝土在 10d 以内且强度达到设计强度的 70% 以前，不受水的侵袭。混凝土处于冻融循环作用的环境时，宜在结冰期到来 4 周前完成浇筑施工，且混凝土强度未达到设计强度等级的 80% 前不得受冻，否则应采取技术措施，防止发生冻害。

6. 大体积混凝土施工

(1) 大体积混凝土在选用原材料和进行配合比设计时，应按照降低水化热温升的原则进行并符合下列规定：

① 宜选用低水化热和凝结时间长的水泥品种。粗集料宜采用连续级配，细集料宜

采用中砂。宜掺用可降低混凝土早期水化热的外加剂和掺合料，外加剂宜采用缓凝剂、减水剂；掺合料宜采用粉煤灰、粒化高炉矿渣粉等。

② 配合比设计时，在保证混凝土强度、和易性及坍落度要求的前提下，宜采取改善粗集料级配、提高掺合料和粗集料的含量、降低水胶比等措施，减少单方混凝土的水泥用量。

③ 大体积混凝土配合比设计及质量评定时，可按 60d 龄期的抗压强度控制。

(2) 应提前制定专项施工方案。大体积混凝土浇筑、养护和温度控制应符合下列规定：

① 施工前应根据原材料、配合比、环境条件、施工方案和施工工艺等因素，进行温控设计，浇筑后按该设计要求对混凝土内部和表面的温度实施监测和控制，应使其内部最高温度不大于 75℃、内表温差不大于 25℃，混凝土表面与大气温差不大于 20℃。

② 大体积混凝土分层、分块浇筑的尺寸宜根据温控设计要求及浇筑能力合理确定；当结构尺寸相对较小或能满足温控要求时，可全断面一次浇筑。

③ 分层浇筑时，在上层混凝土浇筑前应对下层混凝土的顶面作凿毛处理，且新浇混凝土与下层已浇筑混凝土的温差宜小于 20℃，并将各层间的浇筑间歇期控制在 7d 以内。

④ 分块浇筑时，块与块之间的竖向接缝面应平行于结构物的短边，并在浇筑完成拆模后按施工缝的要求进行凿毛处理。分块施工所形成的后浇段，应对大体积混凝土实施温度控制且其温度场趋于稳定后方可浇筑；后浇段宜采用微膨胀混凝土并一次浇筑完成。

⑤ 大体积混凝土浇筑宜在气温较低时进行，混凝土入模温度应不低于 5℃；热天施工时，宜采取措施将混凝土入模温度控制在 28℃以下。

⑥ 大体积混凝土温度控制宜按照“内降外保”的原则，混凝土内部设置冷却水管循环通水、混凝土外部采取覆盖蓄热或蓄水保温等措施进行。混凝土内部通水降温时，进出口水的温差宜不大于 10℃，且水温与内部混凝土温差宜不大于 20℃，降温速率宜不大于 2℃/d；利用冷却水管中排出的降温用水在混凝土顶面蓄水保温养护时，养护水温度与混凝土表面温度的差值应不大于 15℃。

⑦ 大体积混凝土采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥时，浇筑后养护时间不宜少于 14d，采用其他品种水泥时不宜少于 21d。寒冷天气或遇气温骤降天气时浇筑的混凝土，除应对其外部加强覆盖保温外，宜适当延长养护时间。

7. 高强度混凝土、高性能混凝土

1) 高强度混凝土

(1) 高强度混凝土的施工技术要求应符合前述普通混凝土的规定；高强度混凝土的水泥宜选用硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥，掺合料可选用粉煤灰、粒化高炉矿渣粉和硅灰等，粉煤灰等级应不低于Ⅱ级。

(2) 高强度混凝土的配合比应有利于减少温度收缩、干燥收缩和自身收缩引起的体积变形，避免早期开裂，高强度混凝土的水泥用量宜不大于 $500\text{kg}/\text{m}^3$ ，胶凝材料总量宜不大于 $600\text{kg}/\text{m}^3$ 。

(3) 高强度混凝土的设计配合比确定后，尚应采用该配合比进行不少于 6 次的重

复试验进行验证，其平均值应不低于配制强度。

(4) 高强度混凝土应采用强制式搅拌机拌制，不得采用自落式搅拌机搅拌。搅拌混凝土时高效减水剂宜采用后掺法，且宜制成溶液加入，如为粉剂则应扣除溶液用水量。加入减水剂后，混合料在搅拌机中继续搅拌的时间宜不少于30s。

2) 高性能混凝土

(1) 高性能混凝土的水泥宜选用品质稳定、标准稠度需水量低、强度等级不低于42.5的硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥，不宜采用矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥或复合硅酸盐水泥，亦不宜采用早强水泥；细集料宜选用级配良好、质地均匀坚固、吸水率低、空隙小、细度模数2.6~3.2的洁净天然中粗河砂，或符合要求的机制砂，不得使用山砂和海砂；粗集料宜选用质地均匀坚硬、粒形良好、级配合理、线胀系数小的洁净碎石或卵石，不宜采用砂岩加工成的碎石，且应采用连续两级配或连续多级配；外加剂应选用高性能减水剂、高效减水剂或复合减水剂，并应选择减水率高、坍落度损失小、适量引气、与水泥之间具有良好的相容性、能明显改善或提高混凝土耐久性能且质量稳定的产品；引气剂或引气型外加剂应有良好的气泡稳定性，用于提高混凝土抗冻性的引气剂、减水剂和复合外加剂中均不得掺有木质硫酸盐组分，并不得采用含有氯盐的防冻剂。

(2) 高性能混凝土的配合比应根据原材料品质、设计强度等级、耐久性以及施工工艺对工作性能的要求，通过计算、试配和调整等步骤确定。配合比设计应符合下列规定：

① 对不同强度等级混凝土的胶凝材料总量应进行控制，C40以下宜不大于400kg/m³；C40~C50宜不大于450kg/m³；C60及以上的非泵送混凝土宜不大于500kg/m³，泵送混凝土宜不大于530kg/m³；且胶凝材料浆体体积宜不大于混凝土体积的35%。

② 水胶比应根据混凝土的配制强度、抗氯离子渗透性能、抗渗性能和抗冻性能等要求确定。在满足混凝土工作性能的前提下，宜降低用水量，并控制在130~160kg/m³。

③ 混凝土中宜适量掺加优质的粉煤灰、粒化高炉矿渣粉或硅灰等矿物掺合料，以提高其耐久性，改善其施工性能和抗裂性能，掺量宜根据混凝土的性能要求通过试验确定，且不小于胶凝材料总量的20%。当混凝土中粉煤灰掺量大于30%时，混凝土的水胶比不得大于0.45；预应力混凝土及处于冻融环境的混凝土，粉煤灰的掺量宜不大于30%，且粉煤灰的含碳量宜不大于2%。对暴露于空气中的一般构件混凝土，粉煤灰的掺量宜不大于20%，且混凝土胶凝材料中的硅酸盐水泥用量宜不小于240kg/m³。

④ 对耐久性有较高要求的混凝土结构，试配时应进行混凝土和胶凝材料抗裂性能的对比试验，从中优选抗裂性能良好的混凝土原材料和配合比。

(3) 高性能混凝土应采用搅拌效率高且均质性好的卧轴式、行星式或逆流式强制式搅拌机。搅拌时，宜先投入细集料和掺合料干拌均匀，再加水泥和部分拌和用水搅拌，最后加入粗集料、外加剂溶液及余额拌和用水，搅拌至均匀为止。上述每一阶段的搅拌时间均应不少于30s，总搅拌时间应比常规混凝土延长40s以上。混凝土中掺加钢筋阻锈剂溶液时，拌合物的搅拌时间应延长1min，采用粉剂时应延长3min。

(4) 新浇筑混凝土应及时养护并减少暴露时间，防止表面水分的蒸发；终凝后，应立即开始对混凝土进行持续潮湿养护。养护期内不应间断且不得形成干湿循环，常温下养护应不少于14d，气温较低时应适当延长潮湿养护的时间。

3.3.3 预应力混凝土工程施工

1. 预应力材料及预应力管道

(1) 预应力材料必须保持清洁，在存放和搬运过程中应避免机械损伤和有害的锈蚀。如进场后需长时间存放，必须安排定期的外观检查。

(2) 保管预应力钢筋和金属管道的仓库应干燥、防潮、通风良好、无腐蚀气体和介质；室外存放时间宜不超过6个月，不得直接堆放在地面上，必须采取垫以枕木并用苫布覆盖等有效措施，防止雨露和各种腐蚀性气体、介质的影响。

(3) 锚具、夹具和连接器均应专人保管。存放、搬运时均应妥善保护，避免锈蚀、沾污、遭受机械损伤或散失。临时性防护措施应不影响安装操作的效果和永久性防锈措施的实施。

(4) 预应力筋锚具、夹具和连接器应具有可靠的锚固性能、足够的承载能力和良好的使用性，能保证充分发挥预应力筋的强度，安全地实现预应力张拉作业，并应符合现行国家标准《预应力筋锚具、夹具和连接器》GB/T 14370—2015的要求。

(5) 预应力筋锚具应按设计要求采用并满足分级张拉、补张拉以及放松预应力的要求。

(6) 夹具应具有良好的自锚、松锚和安全重复使用性能，主要锚固零件应具有良好的防锈性能，可重复使用的次数应不少于300次。需敲击才能松开的夹具，必须保证其对预应力筋的锚固没有影响，且对操作人员的安全不造成危险。

(7) 混凝土结构或构件中的永久性预应力筋连接器，应符合锚具的性能要求；用于先张法施工且在张拉后还需进行放张和拆卸的连接器，应符合夹具的性能要求。

(8) 锚垫板应具有足够的强度和刚度，且宜设置锚具对中止口以及压浆孔或排气孔，压浆孔的内径宜不小于20mm。与后张预应力筋用锚具或连接器配套的锚垫板和局部加强钢筋，在规定的局部承压试件尺寸及混凝土强度下，应满足传力性能要求。

(9) 锚具、夹具和连接器进场时，除应按出厂合格证和质量证明书核查锚固性能类别、型号、规格及数量外，还应按下列规定进行验收：

① 外观检查。应从每批产品中抽取2%且不少于10套样品，检查其外形尺寸、表面裂纹及锈蚀情况。外形尺寸应符合产品质保书所示的尺寸范围，且表面不得有裂纹及锈蚀。

② 尺寸检验。应从每批产品中抽取2%且不少于10套样品，检验其外形尺寸。外形尺寸应符合产品质保书所示的尺寸范围。当有1个零件不符合规定时，应另取双倍数量的零件重新检验；如仍有1个零件不符合要求，则本批全部产品应逐件检验，符合要求者判定该零件尺寸合格。

③ 硬度检验。应从每批产品中抽取3%且不少于5套样品（对多孔夹片式锚具的夹片，每套抽取6片），对其中有硬度要求的零件进行硬度检验，每个零件测试3点，其硬度应符合产品质保书的规定。当有1个零件不合格时，则应另取双倍数量的零件重做检验；如仍有1个零件不合格，应对本批产品逐个检验，合格者方可使用或进入后续检验。

④ 静载锚固性能试验。应在外观检查和硬度检验均合格的同批产品中抽取样品，

与相应规格和强度等级的预应力筋组成 3 个预应力筋—锚具组合件，进行静载锚固性能试验。如有 1 个试件不符合要求时，则应另取双倍数量的样品重做试验；仍有 1 个试件不符合要求，则该批锚具为不合格。

⑤ 对特大桥、大桥和重要桥梁工程中使用的锚具产品，应进行上述 4 项检查和检验；对锚具用量较小的一般中、小桥梁工程，如生产厂能提供有效的静载锚固性能试验合格的证明文件，则可仅进行外观检查和硬度检验。

⑥ 进场检验时，同种材料、同一生产工艺条件下、同批进场的产品可视为同一验收批。锚具的每个验收批宜不超过 2000 套；夹具、连接器的每个验收批宜不超过 500 套；获得第三方独立认证的产品其验收批可扩大 1 倍。检验合格的产品，在现场的存放期超过 1 年时，再用时应进行外观检查。

⑦ 预应力筋用锚具产品应配套使用，同一结构或构件中应采用同一生产厂的产品，工作锚不得作为工具锚使用。夹片式锚具的限位板和工具锚宜采用与工作锚同一生产厂的配套产品。

⑧ 在后张有粘结预应力混凝土结构或构件中，预应力筋的孔道宜由浇筑在混凝土中的刚性或半刚性管道构成，或采取钢管抽芯、胶管抽芯及金属伸缩套管抽芯等方法进行预留。设置于混凝土中的刚性或半刚性管道不应有漏浆现象，且应具有足够的强度和刚度，应能在浇筑混凝土重力的作用下保持原有的形状，并能按要求传递粘结应力。

⑨ 刚性管道应是壁厚不小于 2mm 的平滑钢管，且应具有光滑的内壁并可被弯曲成适当的形状而不出现卷曲或被压扁；半刚性管道应是波纹状的金属管或高密度聚乙烯塑料管，且金属波纹管宜采用镀锌钢带制作，壁厚宜不小于 0.3mm。

⑩ 管道的进场检验应符合下列规定：

⑪ 进场时除应按合同检查出厂合格证和质量保证书，核对其类别、型号、规格及数量外，尚应对其外观、尺寸、集中荷载下的径向刚度、荷载作用后的抗渗漏及抗弯曲渗漏等进行检验。

⑫ 管道应按批进行检验。金属波纹管每批应由同一钢带生产厂生产的同一批钢带所制造的产品组成。

⑬ 检验时应先进行外观质量的检验，合格后再进行其他指标的检验。当其他指标中有不合格项时，应取双倍数量的试件对该不合格项进行复验；复验仍不合格时，则该批产品为不合格。

⑭ 波纹管在搬运时应采用非金属绳捆扎，或采用专用框架装载，不得抛摔或在地面上拖拉。波纹管存放时应远离热源及可能遭受各种腐蚀性气体、介质影响的地方，存放时间宜不超过 6 个月。室外存放时不得直接堆于地面，应支垫并遮盖。

2. 混凝土浇筑

⑮ 浇筑混凝土前，应对预埋于混凝土中的锚具、管道和钢筋等进行全面检查验收，符合要求后方可开始浇筑。

⑯ 浇筑混凝土时，宜根据结构或构件的不同形式选用插入式、附着式或平板式等振动器进行振捣。箱梁腹板、底板及顶板连接处的承托、预应力筋锚固区及其他预应力钢束与钢筋密集的部位，应采取有效措施加强振捣；先张构件应避免振动器碰撞预应力筋；后张结构应避免振动器碰撞预应力筋的管道、预埋件等。浇筑过程中应随时检查

模板、管道、锚固端垫板等的稳固性，保证其位置及尺寸符合设计要求。

(3) 用于判断现场预应力混凝土结构或构件强度的混凝土试件，应置于现场与结构或构件同环境、同条件养护。

3. 施加预应力

1) 机具及设备要求

(1) 预应力筋张拉宜采用穿心式双作用千斤顶。整体张拉或放张宜采用具有自锚功能的千斤顶；千斤顶的额定张拉力宜为所需张拉力的1.5倍，且不得小于1.2倍。与千斤顶配套使用的压力表应选用防振型产品，其最大读数应为张拉力的1.5~2.0倍，标定精度应不低于1.0级。

(2) 张拉用千斤顶与压力表应配套标定、配套使用，标定应在经国家授权的法定计量技术机构定期进行，标定时千斤顶活塞的运行方向应与实际张拉工作状态一致。当处于下列情况之一时，应重新进行标定：

- ① 使用时间超过6个月；
- ② 张拉次数超过300次；
- ③ 使用过程中千斤顶或压力表出现异常情况；
- ④ 千斤顶检修或更换配件后。

(3) 用作测量张拉力的测力传感器应按相关国家标准的规定每年送检一次。

2) 施加预应力的准备工作

(1) 施工现场应具备经批准的张拉顺序、张拉程序和施工作业指导书。

(2) 经培训掌握预应力施工知识和正确操作的施工人员，以及能保证操作人员和设备安全的防护措施。

- (3) 锚具安装正确，结构或构件混凝土已达到要求的强度和弹性模量（或龄期）。
- (4) 实施张拉前，应使千斤顶的张拉力作用线与预应力筋的轴线重合一致。

3) 张拉应力控制

(1) 预应力筋张拉控制应力应符合设计要求。当施工中需要超张拉或计入锚圈口预应力损失时，可比设计要求提高5%，但任何情况下不得超过设计规定的最大张拉控制应力。

(2) 预应力筋采用应力控制方法张拉时，应以伸长值进行校核，实际伸长值与理论伸长值的差值应符合设计要求，设计无规定时，实际伸长值与理论伸长值的差值应控制在±6%以内，否则应暂停张拉，待查明原因并采取措施予以调整后，方可继续张拉。

(3) 预应力筋的理论伸长值 ΔL_L (mm) 可按式(3.3-1)计算：

$$\Delta L_L = \frac{P_p L}{A_p E_p} \quad (3.3-1)$$

式中 P_p ——预应力筋的平均张拉力(N)，直线筋取张拉端的拉力，两端张拉的曲线筋，计算方法见现行《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650—2020附录有关规定；

L ——预应力筋的长度(mm)；

A_p ——预应力筋的截面面积(mm^2)；

E_p ——预应力筋的弹性模量(N/mm^2)。

(4) 预应力筋张拉时,应先调整到初应力,该初应力宜为张拉控制应力 σ_{con} 的10%~25%,伸长值应从初应力时开始量测。预应力筋的实际伸长值除量测的伸长值外,尚应加上初应力以下的推算伸长值。

预应力筋张拉的实际伸长值 ΔL_s (mm),可按式(3.3-2)计算:

$$\Delta L_s = \Delta L_1 + \Delta L_2 \quad (3.3-2)$$

式中 ΔL_1 ——从初应力至最大张拉应力间的实测伸长值(mm);

ΔL_2 ——初应力以下的推算伸长值(mm),可采用相邻级的伸长值。

(5) 预应力筋张拉控制应力的精度宜为±1.5%,预应力筋的锚固,应在张拉控制应力处于稳定状态下进行。锚固阶段张拉端锚具变形、预应力筋的回缩量和接缝压缩值,应不大于设计规定或不大于表3.3-5所列容许值。

表3.3-5 锚具变形、预应力筋回缩和接缝压缩容许值(mm)

锚具、接缝类型		变形形式	容许 ΔL_n 值
夹片式锚具	钢制锥形锚具	预应力筋回缩、锚具变形	6
	有顶压时	预应力筋回缩、锚具变形	4
	无顶压时	预应力筋回缩、锚具变形	6
镦头锚具		缝隙压密	1
带螺帽锚具的螺帽缝隙		缝隙压密	1~3
每块后加垫板的缝隙		缝隙压密	2
水泥砂浆接缝		缝隙压密	1
环氧树脂砂浆接缝		缝隙压密	1

注:带螺帽锚具采用一次张拉锚固时, ΔL_n 宜取2~3mm;采用二次张拉锚固时, ΔL_n 可取1mm。

(6) 张拉锚固后,建立在锚下的实际有效预应力与设计张拉控制应力的相对偏差应不超过±5%,且同一断面中预应力束的有效预应力的不均匀度应不超过±2%。

(7) 预应力筋张拉、锚固过程中及锚固完成后,均不得大力敲击或振动锚具。预应力筋锚固后需要放松时,对夹片式锚具宜采用专门的放松装置松开;对支撑式锚具可采用张拉设备缓慢地松开。

(8) 预应力筋在实施张拉或放张作业时,应采取有效的安全防护措施,预应力筋两端的正面严禁站人和穿越。

(9) 预应力筋张拉、锚固及放松时,均应填写施工记录。

(10) 施加预应力时宜采用信息化数据处理系统对各项张拉参数进行采集。

4. 先张法

(1) 墩式台座结构应符合下列规定:

① 承力台座应进行专门设计,并应具有足够的强度、刚度和稳定性,其抗倾覆安全系数应不小于1.5,抗滑移系数应不小于1.3。

② 锚固横梁应有足够的刚度,受力后挠度应不大于2mm。

(2) 预应力筋的安装宜自下而上进行,并应采取措施防止其被台座上涂刷的隔离剂污染。预应力筋与锚固横梁间的连接,宜采用张拉螺杆。

(3) 先张法预应力筋的张拉除应符合上述第3点的相关规定外，尚应符合下列规定：

① 张拉前应对台座、锚固横梁及各项张拉设备进行详细检查。

② 同时张拉多根预应力筋时，应预先调整其初应力，使相互之间的应力一致，再整体张拉；张拉过程中，应使活动横梁与固定横梁始终保持平行，并抽查预应力筋的预应力值，其偏差的绝对值不得超过按一个构件全部预应力筋预应力总值的5%。

③ 预应力筋的张拉应符合设计要求，设计无规定时，其张拉程序可按表3.3-6的规定进行。

表3.3-6 先张法预应力筋张拉程序

预应力筋种类		张拉程序
钢丝、钢绞线	夹片式等具有自锚性能的锚具	低松弛预应力筋：0→初应力→ σ_{con} （持荷5min锚固）
	其他锚具	0→初应力→1.05 σ_{con} （持荷5min）→0→ σ_{con} （锚固）
螺纹钢筋		0→初应力→1.05 σ_{con} （持荷5min）→0.9 σ_{con} → σ_{con} （锚固）

注：1. 表中 σ_{con} 为张拉时的控制应力值，包括预应力损失值；

2. 超张拉数值超过设计或《公路桥涵施工技术规范》JTGT 3650—2020规定的最大超张拉应力限值时，应按设计或规范规定的限制张拉应力进行张拉；

3. 张拉螺纹钢筋时，为保证施工安全，应在超张拉并持荷5min后放张至0.9 σ_{con} 时安装模板、普通钢筋及预埋件等。

④ 张拉时，同一构件内预应力钢丝、钢绞线的断丝数量不得超过总数1%，张拉螺纹钢筋不容许断筋。

⑤ 预应力筋张拉完毕后，其与设计位置的偏差应不大于5mm且不大于构件最短边长的4%，宜在4h内浇筑混凝土。

(4) 先张法预应力筋的放张应符合下列规定：

① 预应力筋放张时构件混凝土的强度和弹性模量（或龄期）应符合设计规定；设计未规定时，混凝土的强度应不低于设计强度等级值的80%，弹性模量应不低于混凝土28d弹性模量的80%。当采用混凝土龄期代替弹性模量控制时应不少于5d。

② 预应力筋放张前，应将限制位移的侧模、翼缘模板或内模拆除。

③ 预应力筋的放张顺序应符合设计规定；设计未规定时，应分阶段、均匀、对称、相互交错地放张。放张后，预应力筋在构件端部的内缩值宜不大于1mm。

④ 多根整批预应力筋采用砂箱放张时，放砂速度应均匀一致；采用千斤顶放张宜分次完成；单根钢筋采用拧松螺母的方法放张宜先两侧后中间，不得一次将一根预应力筋松完。

⑤ 预应力筋放张后，应采用机械切割的方式切断钢丝和钢绞线；螺纹钢筋可采用乙炔-氧气切割，但应采取必要措施防止高温对其产生不利影响。

⑥ 长线台座上预应力筋的切断顺序，应由放张端开始，依次向另一端切断。

(5) 先张法预制梁板施工工艺流程：张拉台座准备→穿预应力筋、调整初应力→张拉预应力筋→钢筋骨架制作→立模→浇筑混凝土→混凝土养护→拆模→放松预应力筋→成品存放、运输。

5. 后张法

(1) 采用金属或塑料管道构成后张预应力混凝土结构或构件的孔道时，应符合下列规定：

① 管道的规格、尺寸应符合设计规定，其内横截面面积应不小于预应力筋净截面面积的2倍；对长度大于60m的管道，宜通过试验确定其面积比是否可以进行正常的压浆作业。

② 应按设计规定的坐标位置安装并用定位钢筋固定管道，防止其在混凝土浇筑期间产生位移。管道与普通钢筋重叠时应移动普通钢筋，不得改变管道的设计坐标。固定各种成孔管道用的定位钢筋间距，钢管宜不大于1.0m；波纹管宜不大于0.8m；位于曲线上的管道和扁平波纹管道应适当加密。定位后的管道应平顺且端部中心线应与锚垫板相垂直。

③ 管道接头处的连接宜采用大一级直径的同类管道，其长度宜为被连接管道内径的5~7倍。连接时不应使接头处产生角度变化及在混凝土浇筑期间发生管道转动或移位，并应缠裹紧密，防止水泥浆的渗入。塑料波纹管应采用专用焊接机进行热熔焊接或采用具有密封性能的塑料结构连接器连接。采用真空辅助压浆工艺进行孔道压浆时，管道的所有接头应具有可靠的密封性能，并满足真空度要求。

④ 所有管道均应在每个顶点设排气孔及需要时在每个低点设排水孔，在每个顶点和两端设检查孔。压浆管、排气管和排水管应是最小内径为20mm的标准管或适宜的塑性管，管道之间的连接应采用金属或塑料结构扣件，长度应足以从管道引出结构物以外。

⑤ 管道安装完毕后，其端口应采取可靠措施临时封堵，防止水或其他杂物进入。

⑥ 后张预应力管道安装的允许偏差应符合表3.3-7的规定。

表3.3-7 后张预应力管道安装允许偏差

项目		允许偏差（mm）
管道坐标	梁长方向	±30
	梁宽方向	±10
	梁高方向	±10
管道间距	同排	±10
	上下层	±10

(2) 采用胶管抽芯法制孔时，胶管内应插入芯棒或充以压力水增加刚度；采用钢管抽芯法制孔时，钢管表面应光滑，焊接接头应平顺。抽芯时间应通过试验确定，以混凝土抗压强度达到0.4~0.8MPa时为宜，抽拔时不得损伤结构混凝土。抽芯后，应采用通孔器或压气、压水等方法对孔道进行检查，如发现孔道堵塞或有残留物或与邻孔有串通，应及时处理。

(3) 预应力筋安装应符合下列规定：

① 预应力筋可在浇筑混凝土前或后穿入孔道，穿束前应检查锚垫板和孔道，锚垫板位置应准确；孔道内应畅通，无水和其他杂物。

② 宜将一根钢束中的全部预应力筋编束后整体穿入孔道中，整体穿束时，束的前端宜设置穿束网套或特制的牵引头，应保持预应力筋顺直，且只能前后拖动，不得扭转。对钢绞线，可采用穿束机逐根将其穿入孔道内，但应保证其在孔道内不发生相互缠绕。

③ 混凝土浇筑及养护前安装在孔道中，但设计文件或技术规范规定时限内未压浆的预应力筋，应采取防止锈蚀或其他防腐蚀措施，直至压浆。

④ 预应力筋安装后，应将管道端部开口密封防止湿气进入。采用蒸汽养护混凝土时，养护完成前不应安装预应力筋。

⑤ 在安装有预应力筋的结构或构件附近进行电焊时，均应对全部预力筋、管道和附属构件进行保护，防止溅上焊渣或造成其他损坏。

⑥ 混凝土浇筑前穿束的管道，预应力筋安装完成后应进行全面检查，查出可能被损坏的管道。修复管道上所有非有意留的孔、开口或损坏之处，浇筑混凝土过程中随时检查预应力筋能否在管道内自由移动。

（4）在安装锚具、夹具和连接器前，应擦拭干净并符合下列规定：

① 锚具和连接器的安装位置应准确，且与孔道对中。锚垫板上设置有对中止口时，应防止锚具偏出止口。安装夹片时，应使夹片的外露长度基本一致。

② 安装螺母锚固的支撑式锚具时应逐个检查螺纹的配合情况，保证在张拉和锚固过程中能顺利旋合拧紧。

（5）后张法预应力筋的张拉和锚固应符合下列规定：

① 预应力张拉前，宜对不同类型的孔道进行至少一个孔道的摩阻测试，通过测试所确定的 μ 值和 k 值宜用于对设计张拉控制应力的修正，对长度大于60m的孔道宜适当增加摩阻测试的数量。

② 张拉时，结构或构件混凝土的强度、弹性模量（或龄期）应符合设计规定；设计未规定时，混凝土的强度应不低于设计强度等级值的80%，弹性模量应不低于混凝土28d弹性模量的80%，当采用混凝土龄期代替弹性模量控制时应不少于5d。

③ 预应力筋张拉顺序应符合设计规定；否则可采取分批、分阶段的方式对称张拉。

④ 预应力筋应整束张拉锚固。对扁平管道中平行排放的预应力钢绞线束，在保证各根钢绞线不会叠压时，可采用小型千斤顶逐根张拉，但应考虑逐根张拉时预应力损失对控制应力的影响。

⑤ 预应力筋张拉端的设置应符合设计要求；当设计未要求时，应符合下列规定：

A. 钢束长度小于20m的直线预应力筋可在一端张拉；曲线预应力筋或钢束长度大于或等于20m的直线预应力筋，应采用两端张拉。

B. 同一截面有多束一端张拉的预应力筋时，张拉端宜分别交错设置在结构或构件的两端。

C. 两端张拉预应力筋时宜同时张拉；或先在一端张拉锚固后，再在另一端补足预应力值进行锚固。

⑥ 两端张拉时，各千斤顶同步张拉力的允许误差宜为±2%。

⑦ 张拉程序按设计文件或技术规范的要求进行。设计无规定时，其张拉程序可按

我们只做自己高分通过的考试，需要考试资料和指导请找卡哥团队！认准VX：kagezhukao666

表 3.3-8 的规定进行。

表 3.3-8 后张法预应力筋张拉程序

锚具和预应力筋种类		张拉程序
夹片式等具有自锚性能的锚具	钢绞线束、钢丝束	低松弛力筋：0 → 初应力 → σ_{con} （持荷 5min 锚固）
其他锚具	钢绞线束	0 → 初应力 → 1.05 σ_{con} （持荷 5min） → σ_{con} （锚固）
	钢丝束	0 → 初应力 → 1.05 σ_{con} （持荷 5min） → 0 → σ_{con} （锚固）
螺母锚固锚具	螺纹钢筋	0 → 初应力 → σ_{con} （持荷 5min） → 0 → σ_{con} （锚固）

注：1. 表中 σ_{con} 为张拉时的控制应力，包括预应力损失值；
 2. 两端同时张拉时，两端千斤顶升降压、画线、测伸长等工作应基本一致；
 3. 超张拉数值超过设计或现行《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650—2020 规定的最大超张拉应力限值时，应按设计或规范规定的限值进行张拉。

⑧ 后张预应力筋断丝及滑丝不得超过表 3.3-9 中规定的控制数。

表 3.3-9 后张预应力筋断丝、滑移限制

类别	检查项目	控制数
钢丝束和钢绞线束	每束钢丝断丝或滑丝	1 根
	每束钢绞线断丝或滑丝	1 丝
	每个断面断丝之和不超过该断面钢丝总数的百分比	1%
螺纹钢筋	断筋或滑移	不允许

注：1. 钢绞线断丝系指单根钢绞线内钢丝的断丝；
 2. 超过表列控制数时，原则上应更换。当不能更换时，在许可的条件下可采取补救措施，如提高其他束预应力值，但须满足设计上各阶段极限状态的要求。

⑨ 预应力筋在张拉控制应力达到稳定后方可锚固。对夹片式锚具，锚固后夹片顶面应平齐，其相互间的错位宜不大于 2mm，且露出锚具外的高度应不大于 4mm。锚固完毕并经检验确认合格后，方可切割端头多余的预应力筋。切割时应采用砂轮锯，严禁采用电弧进行切割并不得损伤锚具。

⑩ 切割后预应力筋的外露长度应不小于 30mm 且不小于 1.5 倍预应力筋直径。锚具应采用封端混凝土保护，当需长期外露时，应采取防止锈蚀的措施。

(6) 后张法预应力孔道压浆及封锚

① 预应力筋张拉锚固后，孔道应尽早压浆并在 48h 内完成，否则应采取避免预应力筋锈蚀的措施。压浆用水泥浆的强度应符合设计规定。

② 后张预应力孔道应采用专用压浆料或专用压浆剂配制的浆液进行压浆。所用原材料应符合下列规定：

A. 采用性能稳定、强度等级不低于 42.5 级的低碱硅酸盐或低碱普通硅酸盐水泥，外加剂应与水泥具有良好的相容性，且不得含有氯盐、亚硝酸盐或其他对预应力筋有腐蚀作用的成分。减水剂应采用高效减水剂或高性能减水剂，且满足现行国家标准《混凝土外加剂》GB 8076—2008 中高效减水剂一等品的要求，其减水率应不小于 20%。

B. 矿物掺合料的品种宜为Ⅰ级粉煤灰、粒化高炉矿渣粉或硅灰。膨胀剂宜采用钙矾石系或复合型膨胀剂，不得采用以铝粉为膨胀源的膨胀剂或总碱量0.75%以上的高碱膨胀剂。

C. 水不应含有对预应力筋或水泥有害的成分，水中不得含有350mg/L以上的氯化物离子或任何一种其他有机物，宜采用符合国家卫生标准的清洁饮用水。

D. 压浆材料中的氯离子含量应不超过胶凝材料总量的0.06%，比表面积应大于 $350\text{m}^2/\text{kg}$ ，三氧化硫含量应不超过6.0%。

③ 压浆前应在工地试验室对压浆材料加水进行试配，各种材料的称量（均以质量计）应精确到±1%。经试配的浆液性能指标均应满足设计要求或《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650—2020的有关规定后，方可用于正式压浆。

④ 压浆前应对孔道、压浆设备进行清洁处理，确保其干净、无积水。

⑤ 压浆时，曲线孔道和竖向孔道应从最低点的压浆孔压入；水平直线孔道可从任意一端的压浆孔压入；结构或构件中按上下分层的孔道，应按先下后上的顺序进行压浆。同一孔道的压浆应连续进行并一次完成。压浆应缓慢、均匀地进行，不得中断，并应将所有最高点的排气孔依次打开和关闭，使孔道内排气通畅。

⑥ 浆液自拌制完成至压入孔道的延续时间宜不超过40min，且在使用前和压注过程中应连续搅拌。对因延迟使用所致流动度降低的水泥浆，不得通过额外加水来增加其流动度。

⑦ 水平或曲线孔道的压浆压力宜为0.5~0.7MPa；超长孔道的最大压力宜不超过1MPa；竖向孔道的压浆压力宜为0.3~0.4MPa。压浆充盈度应达到孔道另一端饱满且排气孔排出与规定流动度相同的水泥浆为止。关闭出浆口后，宜有保持时间3~5min且压力不小于0.5MPa的稳压期。

⑧ 采用真空辅助压浆工艺时，压浆前应对孔道进行抽真空，真空度宜稳定在-0.06~-0.10MPa范围内。真空度稳定后，应立即开启孔道压浆端的阀门，同时启动压浆泵进行连续压浆。

⑨ 压浆每一工作班应制作留取不少于3组尺寸为 $40\text{mm}\times 40\text{mm}\times 160\text{mm}$ 的试件，标准养护28d，进行抗压强度和抗折强度试验，作为质量评定的依据。

⑩ 压浆过程中及压浆后48h内，结构或构件混凝土的温度及环境温度不得低于5℃，否则应采取保温措施，并按冬期施工的要求处理，浆液中可适量掺用引气剂，但不得掺用防冻剂。当环境温度高于35℃时，压浆宜在夜间进行。

⑪ 压浆完成后，及时对锚固端按设计要求进行封闭保护或防腐处理。需要封锚的锚具，应在压浆完成后对梁端混凝土凿毛并将其周围冲洗干净，设置钢筋网浇筑封锚混凝土；封锚应采用与结构或构件同强度的混凝土并严格控制封锚后的梁体长度。长期外露的锚具，应采取防锈措施。

⑫ 后张预制构件在孔道压浆前不得安装就位；压浆完成且浆液强度达到规定的强度后方可搬运和吊装。

⑬ 孔道压浆宜采用信息化数据处理系统对相关参数进行采集，并填写以下施工记录：压浆材料、配合比、压浆日期、搅拌时间、出机初始流动度、浆液温度、环境温度、压浆量、稳压压力及时间。采用真空辅助压浆工艺时尚应包括真空度。

3.3.4 钢结构与钢混组合工程施工

1. 钢结构施工

1) 一般规定

(1) 制造厂在制造钢结构前，应对设计图进行工艺性审查、绘制加工图、编制制造工艺；如需修改设计，应征得原设计单位的同意并签署设计变更文件。

(2) 钢结构制造应按确定的加工图和制造工艺进行。制造及验收应使用经检定合格的计量器具。

(3) 钢结构所用材料的品种、规格、性能等应符合设计文件的要求和现行国家标准的规定。进场材料除应有生产厂家的质量证明书外，制造厂还应按相关标准的规定对其进行抽样检验，检验合格后方可使用。

(4) 钢材应按同一厂家、同一材质、同一板厚、同一出厂状态，每10个炉（批）号抽验1组试件。若订货为探伤钢板，尚应抽取每种板厚的10%（至少1块）进行超声波探伤。

进口钢材产品的质量应符合设计和合同规定标准的要求，并进行进口商检及按规定标准进行抽样检验，检验不合格的钢材不得使用。

(5) 焊接材料原则上应与设计选用的钢材相匹配。焊接材料的质量及检验应符合现行国家和行业相关标准的规定。制造厂首次使用的焊接材料应按相关标准进行化学成分和熔敷金属力学性能检验；同一型号焊接材料在更换厂家后，首个批号也要进行化学成分和熔敷金属的力学性能检验。

(6) 涂装材料的质量及检验应符合现行国家标准的规定。每个品种的涂装材料应按不同生产批号各抽取一组样品进行检验。检验结果中有某项指标存在争议时，允许在该批涂装材料中再随机抽取一个样品，重新进行检验。

(7) 高强度螺栓连接副材料的质量及检验按相关标准与规范进行。高强度螺栓连接副进场后应按包装箱上注明的批号、规格分类存放保管，不得混淆；室内应架空存放，不得直接置于地面上并采取措施防止受潮生锈。高强度螺栓连接副在安装使用前不得任意开箱。

2) 组装

(1) 钢结构组装前，应熟悉图纸和工艺文件，按图纸核对零件编号、外形尺寸和坡口方向，确认无误后方可组装。

(2) 采用埋弧焊、CO₂气体保护焊及低氢型焊条手工焊等方法焊接的接头，组装前应将待焊区域的铁锈、氧化皮、污垢、水分等有害物清除干净，使其表面露出金属光泽。

(3) 钢构件的组装应在胎架或平台上完成，每次组装前均应对胎架或平台进行检查，确认合格后方可组装，组装时应将相邻焊缝错开。

(4) 采用先孔法的钢构件，组装时必须以孔定位；采用胎型组装时，每一孔群应打入的定位冲钉不得少于2个，冲钉直径应不小于设计孔径0.1mm。

(5) 大型钢箱梁梁段应在胎架上组装，胎架应具有足够的刚度和几何尺寸精度，且在横向应预设上拱度。组装前应按工艺文件要求检测胎架的几何尺寸，监控测量应避开

日照的影响。

3) 焊接与钢构件矫正

(1) 焊接施工应符合下列规定：

① 工厂或工地焊接前，对首次使用的钢材和焊接材料应进行焊接工艺评定，施焊时应严格遵守焊接工艺，不得随意改变焊接参数。

② 焊接工作宜在室内进行，焊接环境的相对湿度应小于 80%；焊接环境的温度，对低合金高强度结构钢应不低于 5℃，普通碳素结构钢应不低于 0℃。主要钢构件应在组装后 24h 内焊接。

③ 露天焊接时，必须采取防风和防雨措施；主要钢构件应在组装后 12h 内焊接，当钢构件的待焊部位结露或被雨淋后，应采取相应措施去除水分和浮锈。

④ 焊前预热温度应通过焊接性试验和焊接工艺评定确定；预热范围宜为焊缝每侧 100mm 以上，且宜在距焊缝 30~50mm 范围内测温。

⑤ 定位焊、埋弧焊、圆柱头焊钉焊接、焊缝磨修和返修焊应符合《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650—2020 的相关规定。

⑥ 焊接完毕待焊缝冷却至室温后，对所有焊缝进行外观检查，焊缝不应有裂纹、未熔合、夹渣、未填满弧坑、漏焊等缺陷。焊缝经外观检查合格后方可进行无损检测，无损检测应在焊接 24h 后进行。

⑦ 进行局部超声波探伤的焊缝，当发现裂纹或较多其他缺陷时，应扩大该条焊缝探伤范围，必要时可延至全长。进行射线探伤或磁粉探伤的焊缝，当发现超标缺陷时应加倍检验。

⑧ 采用超声波、射线、磁粉等多种方法检验的焊缝，应达到各自的质量要求，该焊缝方可认为合格。对构造复杂或厚板钢构件的焊缝，可采用相控阵或 TOFD 等作为辅助技术手段进行探伤检测。

(2) 钢构件矫正应符合下列规定：

① 冷矫的环境温度宜不低于 5℃，矫正时应缓慢加力，冷矫的总变形量应不大于变形部位原始长度的 2%。时效冲击值不满足要求的拉力钢构件，不得矫正。

② 热矫时加热温度应控制在 600~800℃，严禁过烧，且不宜在同一部位多次重复加热。

4) 试拼装

(1) 钢结构桥梁应按试装图进行厂内试拼装，未经试拼装检验合格，不得成批生产。

(2) 试拼装应在胎架上进行，胎架应有足够的刚度，其基础应有足够的承载力。胎架顶面（梁段底）纵、横向线形应与设计要求的梁底线形相吻合。试拼时钢构件应解除与胎架间的临时连接，处于自由状态。

(3) 板梁应整孔试拼装；简支桁梁的试拼装长度宜不小于半跨，且桁梁宜采用平面试拼装；连续梁试拼装应包括所有变化节点；对大跨径桥的钢梁，每批梁段制造完成后，应进行连续匹配试拼装，每批试拼装的梁段数量应不少于 3 段，试拼装检查合格后，应留下最后一个梁段并前移参与下一批次试拼装。

(4) 钢桥墩和钢索塔的塔柱、钢锚箱应采取两节段立位匹配试拼装，合格后还应

进行多节段水平位置的试拼装，每一批次的多节段水平位置试拼装应不少于 5 个节段。

(5) 试拼装时应使板层密贴，冲钉数量宜不少于螺栓孔总数的 10%，螺栓数量宜不少于螺栓孔总数的 20%；有磨光顶紧要求的构件，应有 75% 以上面积密贴。

(6) 试拼装应采用试孔器检查所有螺栓孔；试拼装检验应在无日照影响的条件下进行，并应有详细的检查记录。

5) 涂装

(1) 桥梁钢构件涂装前，应对其表面采用喷丸或抛丸的方法进行除锈处理。除锈等级应符合设计规定，设计未规定时，应达到现行《涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第 1 部分：未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级》GB/T 8923.1—2011 规定的 Sa2.5 级，表面粗糙度 R_a 应达到 $25\sim60\mu\text{m}$ ；对高强度螺栓连接面，除锈等级应达到 Sa3 级，表面粗糙度 R_a 应达到 $50\sim100\mu\text{m}$ ，且除锈后的连接面宜进行喷铝处理或涂装无机富锌防滑涂料，同时应清除高强度螺栓头部的油污及螺母、垫圈外露部分的皂化膜。涂装前，应对钢构件的自由边双侧倒弧。

(2) 涂装施工时，钢构件表面不应有雨水或结露，相对湿度应不高于 80%；环境温度对环氧类漆不得低于 10℃，对水性无机富锌防锈底漆、聚氨酯漆和氟碳面漆不得低于 5℃。风沙天、雨天和雾天不应进行涂装施工；涂装后 4h 内应采取保护措施，避免遭受雨淋。

(3) 底漆、中间漆涂层的最长暴露时间宜不超过 7d，两道面漆的涂装间隔时间宜不超过 7d；若超过，应先采用细砂纸将涂层表面打磨成细微毛面，再涂装后一道面漆。喷铝应在表面清理后 4h 内完成，涂层间隔的时间要求符合相关规定。

(4) 面漆的工地涂装宜在桥梁钢结构安装施工完成后进行。施工过程中将厂内涂装层损伤的部位，应进行表面清理并按设计涂装方案规定的涂料、层数和漆膜厚度重新补涂。

6) 工地连接

(1) 桥梁钢结构安装时的高强度螺栓连接施工应符合下列规定：

① 由制造厂处理的钢结构构件的摩擦面，安装前应复验所附试件的抗滑移系数，合格后方可安装并符合设计要求。

② 高强度螺栓连接副的安装应在钢构件中心位置调整准确后进行，高强度螺栓、螺母和垫圈应按制造厂提供的批号配套使用。安装时钢构件的摩擦面应保持清洁、干燥，并不得在雨中进行安装作业。

③ 高强度螺栓连接副组装时，应在板束外侧各设置一个垫圈，有内倒角的一侧应分别朝向螺栓头和螺母支承面。高强度螺栓的长度应与安装图一致，安装穿入方向应全桥一致，且应自由穿入孔内，不得强行敲入；不能自由穿入螺栓的孔，应采用铰刀进行铰孔修整，严禁采用气割方法扩孔。

④ 高强度螺栓不得作为临时安装螺栓使用，亦不得采用塞焊对螺栓孔进行焊接。

⑤ 高强度螺栓连接副施拧前，应按出厂批号分批测定其扭矩系数。每批号的抽验数量应不少于 8 套，其平均值和标准偏差应符合设计要求；测定数据应作为施拧的主要参数。

⑥ 施工高强度螺栓时，应按一定顺序，从板束刚度大、缝隙大之处开始，对大面积节点板应从中间部分向四周的边缘进行施拧，并在当天终拧完毕；施拧时，不得采用冲击拧紧和间断拧紧的方式作业。大六角头高强度螺栓的施拧，仅在螺母上施加扭矩。

⑦ 高强度螺栓施拧采用的扭矩扳手，作业前后均应进行校正，其扭矩误差不得超过使用扭矩值的±5%。

⑧ 采用扭矩法施拧高强度螺栓连接副时，初拧、复拧和终拧应在同一工作日内完成。初拧扭矩宜为终拧扭矩的50%，复拧扭矩等于初拧扭矩。

⑨ 高强度螺栓终拧完成后，应由专职质量检查员进行质量检查，检查用的扭矩扳手必须标定，其扭矩误差不得超过使用扭矩的±3%，且应进行扭矩抽查。扭矩检查应在螺栓终拧1h以后、24h之前完成。每个栓群或节点检查的螺栓，其不合格者宜不超过抽验总数的20%；如果超过此值，则应继续抽验，直至达到总数80%的合格率为止。对欠拧者应补拧，不符合扭矩要求的螺栓应更换后重新补拧。

（2）桥梁钢结构在工地焊接连接时应符合下列规定：

① 钢构件的工地施焊连接应按设计规定的顺序进行。

② 箱形梁梁段间的焊接连接，应按顶板、底板、纵隔板的顺序对称进行；梁段间的焊缝经检验合格后，应按先对接后角接的顺序焊接U形肋嵌补件。

③ 当桥梁钢结构为焊接与高强度螺栓合用连接时，栓接结构应在焊缝检验合格后再终拧高强度螺栓连接副。

④ 工地焊接前应做工艺评定试验，施焊应严格按照已评定的焊接工艺进行。焊接前应对接头坡口、焊缝间隙和焊接板面高低差等进行检查，并对焊缝区域进行除锈，工地焊接应在除锈后的12h内进行。

⑤ 工地焊接时应设立防风、防雨设施，遮盖全部焊接处。工地焊接的环境要求：风力应小于5级；温度应大于5℃；相对湿度应小于80%；在箱梁内焊接时应有通风防护安全措施。

2. 钢混组合结构

1) 一般规定

（1）钢混组合结构施工前应制定专项施工方案，根据结构的特点和受力特性确定施工程序和施工工艺，且应有防止桥面板混凝土和接头混凝土开裂的预防措施。

（2）大跨度钢—混凝土组合连续梁中的钢梁制造时应根据设计及施工控制的要求设置相应的预拱度。

（3）预制桥面板各单元之间的湿接缝和钢—混凝土接头宜采用微膨胀补偿收缩混凝土。浇筑钢—混凝土接头时，宜按大体积混凝土施工的要求进行温度控制，防止其产生温度应力裂缝。

2) 钢构件安装

（1）钢构件安装前，应根据跨径大小或结构构造的特点、地形地物、河流或海域情况、起重机或起重船的起吊能力、环境条件等因素，综合考虑选择安装方法和安装工艺。对钢—混凝土组合梁，在确定钢构件的安装方法时，尚应适当考虑预制混凝土桥面板安装的可行性和方便性。钢构件安装前应对各种承重支架、支承系统、吊架和吊具

等临时受力结构，以及钢构件本身在安装过程中不同受力工况下的强度、刚度及稳定性进行验算，保证安装施工的安全和结构的安全。

(2) 钢—混凝土组合梁中的钢构件安装前，应复测桥梁的墩台顶面高程、中线及各孔跨径；钢—混凝土接头中的钢构件安装前，应复测混凝土结合面的高程、纵横向轴线和表面平整度。各项误差在允许偏差内方可安装。

(3) 钢梁宜对钢构件采用预先组拼、栓合或焊接，扩大拼装单元组成节段后进行安装的方法，容易变形的钢构件应进行刚度和稳定性验算，必要时应采取临时加固措施。组拼前应清除钢构件上的附着物，摩擦面或焊接面应保持干燥、清洁。工地安装时，不得在现场对钢构件进行未经批准的临时性焊接和切割作业。

(4) 支架上安装钢梁应符合下列规定：

① 在支架顶部钢梁的支承处，宜设置具有三维调节功能的装置，该装置应能对钢梁就位后的高程、纵横向平面位置和倾斜度等进行精确调整。

② 钢梁节段宜从孔跨的一端向另一端顺序安装。吊装节段时，应待其完全固定后方可松钩卸载。安装过程中，每就位一节段应测量其纵横向平面位置、高程和预拱度，如不满足要求应及时进行调整。

③ 拼装栓接连接的钢梁时，冲钉和粗制螺栓的总数不得少于栓孔总数的1/3，其中冲钉不得多于2/3；栓孔较少的部位，冲钉和粗制螺栓的总数应不少于6个或将全部栓孔插入冲钉或粗制螺栓。拼装高强度螺栓连接的钢梁时，冲钉数量应符合上述规定，其余栓孔宜布置高强度螺栓。

④ 拼装焊接连接的钢梁时，宜将节段之间拼接错台的偏差控制在2mm以内，并严格控制钢梁的平面位置、高程和拱度。

⑤ 钢梁安装完成并连接固定，在落梁就位前，应复测支座的平面位置和顶面高程，将支座顶面清理干净，确认符合设计要求后方可进行钢梁的落梁就位；钢梁在落梁就位前后均应对其线形、拱度和平面位置尺寸等进行检查，做好施工记录。

(5) 钢梁悬臂拼装施工时，拼装栓接连接的钢梁，连接处所需冲钉的数量应按所承受荷载经计算确定，但不得少于栓孔总数的一半。其余栓孔宜布置精制螺栓，冲钉和精制螺栓应均匀布置。

钢梁的悬臂拼装应结合预制混凝土桥面板的安装进行施工过程控制，保证其内力、变形、线形及高程符合设计或施工控制的要求。预制混凝土桥面板的安装顺序、浇筑湿接缝的时机及加载程序等应符合施工控制的规定。

3) 混凝土桥面板施工

(1) 混凝土桥面板宜采用预制安装的方式施工，对跨径较小的组合梁或某些特殊部位或设计规定时，可采用现场浇筑的方式施工。

(2) 桥面板混凝土应符合设计的规定，其配合比应进行专门设计。混凝土中可适量掺加能提高抗裂性能的材料，但应得到设计的认可并通过试验确定其掺量和效果。配制混凝土时应严格控制混凝土的水胶比和水泥用量，宜采用较低坍落度的混凝土进行施工，养护时间应不少于7d。

(3) 预制混凝土桥面板的场内移运和存放：应在混凝土强度达到设计强度的85%后，方可从预制台座上起吊、移运。起吊预制混凝土桥面板时，吊点的位置应符合设计

规定，且应采用四点吊，对吊点处的局部应力应进行验算。预制混凝土桥面板的存放时间按混凝土龄期计宜不少于6个月。

(4) 预制混凝土桥面板的安装施工尚应符合下列规定：

① 遵循先预制、先安装的原则，宜采用对号入座的方式进行预制和安装。

② 桥面板安装就位过程中，应使各桥面板中的预应力管道对准、顺直，与相邻桥面板预应力管道的错位偏差宜不超过2mm。当安装桥面板的钢筋与相邻桥面板的钢筋、剪力钉或连接件等位置有冲突时，应采取适当的措施进行调整，且该调整应以弯折钢筋改变其位置为主，不得因桥面板就位困难而随意切断钢筋或破坏剪力连接装置。

(5) 混凝土湿接缝的现场浇筑施工尚应符合下列规定：

① 湿接缝混凝土的配合比应进行专门设计。

② 浇筑湿接缝混凝土前，应对安装过程中变形的连接钢筋和剪力钉予以校正和调直，对损坏的连接件和剪力钉等进行修复，并按设计要求进行连接钢筋的绑扎或焊接。

③ 浇筑湿接缝混凝土时，应振捣充分，湿接缝混凝土的顶面宜比预制安装桥面板略高出2~3mm；浇筑完成后，应对混凝土的顶面进行拉毛或采取其他增加粗糙度的处理措施。

④ 湿接缝混凝土的强度在未达到设计强度的85%前，不得在桥面上通行车辆、堆放材料或进行影响其受力的其他施工作业。

(6) 为减少混凝土桥面板中的拉应力，储备更多的压应力，使组合结构更好地发挥钢和混凝土两种材料自身的受力特点，通常应按规范和设计规定对混凝土桥面板中的钢束施加预应力。对桥面板施加预设应力的方法，除按常规对桥面板中设置的纵横向预应力钢束进行张拉外，主要还有支点位移法和反拱法等。

4) 组合节段制作与拼装

(1) 钢—混凝土组合梁的施工，有“先拼装后组合”“先组合后拼装”两种方式，前者是先安装钢梁，再安装预制混凝土桥面板；后者则先在场地的台座上放置钢梁，浇筑桥面板混凝土，组合形成一个主梁的节段，然后再运输到桥位进行节段的拼装。

(2) 钢—混凝土组合梁采用“先组合后拼装”施工应符合下列规定：

① 组合节段施工时，桥面板应采用设计要求的混凝土，且宜在混凝土中添加防止其开裂的适宜材料。桥面板混凝土应制定专门的养护方案，保湿养护的时间应不少于14d。场内搬运和存放时，桥面板混凝土的抗压强度应在达到设计强度的85%后方可对组合节段进行起吊和场内搬运作业；若设计对此有规定，应服从其规定。

② 组合节段的存放高度不宜超过两层，两层之间应采用垫木或其他适宜的物体隔开支撑。组合节段的存放时间应符合设计规定；设计未规定时，宜不少于90d。

③ 组合节段如采用悬臂拼装施工，当组合节段的桥面板之间采用胶接缝连接、钢构件之间采用焊接连接时，拼装过程中宜对焊接施工后焊缝产生的收缩进行适当补偿，即可以适当抬高节段前端的安装高程，以抵消节段前端的下挠值。

5) 钢—混凝土接头

(1) 钢—混凝土接头常用的连接件形式有焊钉连接件、开孔板连接件和型钢连接件，接头中连接件的施工应符合下列规定：

① 安装普通钢筋时，应采取有效措施防止对连接件产生碰撞或其他损伤，并避免普通钢筋与连接件的位置重叠，当普通钢筋或局部加强钢筋与连接件出现位置冲突时，不得随意切断或破坏剪力连接装置，而应适当调整钢筋的位置。穿过开孔板的钢筋应在栓孔上居中贯通布置安装，其偏差应不超过5mm，并不得与开孔板焊接。

② 连接件中的混凝土施工，宜采用有利于混凝土振捣密实的体位方式进行浇筑；且通过必要的工艺试验，验证混凝土的性能，同时验证浇筑振捣的方式和工艺能否保证混凝土填充密实并与连接件接触良好。在顶面有钢板的情况下浇筑混凝土时，应在钢板上设置适当数量的通气开孔，使混凝土浇筑时空气气泡能顺利地逸出，保证混凝土振捣的密实性。

（2）混合梁中钢—混凝土接头的施工应符合下列规定：

① 钢—混凝土接头中的混凝土应符合设计的规定，且宜采用经专门设计的高流动性、低收缩率的自密实混凝土；混凝土中可适量掺加能提高抗裂性能的材料，但应得到设计的认可并经试验确定其掺量和效果。

② 浇筑接头混凝土前，应对混凝土梁的结合面进行严格凿毛处理，凿毛的深度应不小于8mm。处理完成后应将全部结合面清理干净并充分湿润。

③ 浇筑接头混凝土宜按大体积混凝土施工的要求进行温度控制，且宜选择在夜间温度场较为稳定的时段施工；采取有效措施，使新浇筑混凝土与钢构件、混凝土梁体及模板之间的温差小于15℃。浇筑完成后，应及时覆盖进行保温、保湿养护，养护时间宜不少于14d。

④ 预应力钢束张拉应对称、均衡地进行。接头混凝土的强度、弹性模量（或龄期）应符合设计规定；设计未规定时，混凝土的强度应不低于设计强度的85%，弹性模量应不低于混凝土28d弹性模量的85%，采用混凝土龄期代替弹性模量控制时宜不少于7d。

⑤ 接头混凝土在未达到设计强度之前，不得承受荷载。

（3）拱座钢—混凝土接头的施工：对拱座中钢构件与基座的混凝土结合面，应进行严格磨平，并采取有效措施，使钢构件与基座混凝土结合面的端面接触率符合设计规定。

（4）索塔塔柱、墩身钢—混凝土接头施工应符合下列规定：

① 设置在混凝土结构中用于连接锚固钢—混凝土接头的锚杆或预应力钢束，应按设计要求的数量、位置和深度进行埋设。安装锚杆或预应力钢束管道时，宜采用型钢劲性骨架作为其定位支架。

② 索塔塔柱、墩身的钢构件直接安装在混凝土结构顶面时，应采取有效措施对钢构件的端面和混凝土顶面（或预埋钢板的端面）严格磨平，安装后两端面之间的接触率应符合设计规定。

③ 混凝土达到设计规定的强度后方可对锚杆或预应力钢束进行张拉。张拉宜分2~3次进行，首次张拉力应不小于设计控制力的50%；张拉应遵循对称、均衡的原则，且按先中间、再两边的顺序进行。

3.4 桥梁下部结构施工

3.4.1 桩基础施工

1. 沉入桩

沉入桩所用的基桩主要为预制钢筋混凝土桩、预应力混凝土桩和钢管桩。断面形式常见为实心方桩和空心管桩。施工方法主要有：锤击沉桩、振动沉桩、射水沉桩等。

沉桩前应在陆域或水域建立平面测量与高程测量的控制网点，桩基础轴线的测量定位点应设置在不受沉桩作业影响处；应根据桩的类型、地质条件、水文条件及施工环境条件等确定沉桩的方法和机具，并妥善处理地上和地下的障碍物。

沉桩顺序宜由一端向另一端进行，当基础尺寸较大时，宜由中间向两端或四周进行；如桩埋置有深浅，宜先沉深的，后沉浅的；在斜坡地带，应先沉坡顶的，后沉坡脚的。桩沉入过程中，应始终保持锤、桩帽和桩身在同一轴线上。

1) 锤击沉桩

(1) 锤击沉桩的桩身混凝土强度应达到设计要求。

(2) 桩锤的选择宜根据地质条件、桩身结构强度、单桩承载力、锤的性能并结合试桩情况确定，且宜选用液压锤和柴油锤。其他辅助装备应与所选用的桩锤相匹配。

(3) 宜采用较低落距，且桩锤、送桩与桩宜保持在同一轴线上。

(4) 沉桩过程若遇到贯入度剧变，桩身突然发生倾斜、移位或有严重回弹，桩顶出现严重裂缝、破碎、桩身开裂等情况，应暂停沉桩并查明原因，采取有效措施后方可继续沉桩。

(5) 应考虑锤击振动对其他新浇筑混凝土结构物的影响，当结构物混凝土强度未达到 5MPa 时，距结构物 30m 范围内，不得进行沉桩；锤击能量超过 280kN·m 时，应适当加大沉桩处与结构物的距离。

(6) 锤击沉桩控制应根据地质情况、设计承载力、锤型、桩型和桩长综合考虑，并符合下列规定：

① 设计桩尖土层为一般黏性土时，应以高程控制。桩沉入后，桩顶高程的允许偏差为 (+100mm, 0)。

② 设计桩尖土层为砾石、密实砂土或风化岩时，应以贯入度控制。当沉桩贯入度已达到控制贯入度，而桩端未达到设计高程时，应继续锤击贯入 100mm 或锤击 30~50 击，其平均贯入度应不大于控制贯入度，且桩端距设计高程宜不超过 1~3m（硬土层顶面高程相差不大时取小值）。超过上述规定时，应会同监理和设计单位研究处理。

③ 设计桩尖土层为硬塑状黏性土或粉细砂时，应以高程控制为主，贯入度作为校核。当桩尖已达到设计高程而贯入度仍较大时，应继续锤击使其贯入度接近控制值，如继续下沉，应考虑施工水位的影响；当桩尖距离设计高程较大，而贯入度小于控制值时，可按上述第②条执行。

(7) 发生“假极限”“吸人”“上浮”现象的桩，应进行复打。

2) 振动沉桩

(1) 选锤或换锤时，应验算振动上拔力对桩身结构的影响。振动沉桩机、机座、桩

帽应连接牢固，与桩的中心轴线应保持在同一直线上。

(2) 开始沉桩时宜利用桩自重下沉或射水下沉，待桩身入土一定深度确认稳定后，再振动下沉。单根沉桩作业宜一次完成，不宜中途停顿过久，避免土的阻力恢复导致下沉困难。

(3) 振动沉桩应以设计规定或通过试桩验证的桩尖高程控制为主，以最终贯入度(mm/min)作为校核。当桩尖已达到设计高程，而与最终的贯入度相差较大时，应查明原因，会同监理和设计单位研究处理。

(4) 沉桩过程如发生类似锤击沉桩第(4)条中的情况，或振动沉桩机振幅有异常现象时，应立即暂停沉桩，查明原因，采取有效措施后再恢复施工。

3) 射水沉桩

(1) 在砂类、碎石类土层中，锤击沉桩困难时，可采用射水锤击沉桩，以射水为主，锤击配合；在黏性土、粉土中采用射水锤击沉桩时，应以锤击为主，射水配合；在湿陷性黄土中采用射水沉桩时，应按设计要求进行。

(2) 射水锤击沉桩时应根据土质情况随时调节射水压力，控制沉桩速度。桩尖接近设计高程时应停止射水，改用锤击，保证桩的承载力。停止射水的桩尖高程，可根据沉桩试验确定的数据及施工情况决定。缺乏资料时，距设计高程不得小于2m。

(3) 钢筋混凝土桩或预应力混凝土桩采用射水配合锤击沉桩时，宜采用较低落距锤击。

(4) 采用中心射水法沉桩时，应在桩垫和桩帽上留有排水通道；采用侧面射水法沉桩时，射水管应对称设置。

(5) 射水锤击沉桩就位后，应及时与邻柱或稳定结构夹紧固定，防止桩倾斜位移。

2. 钻孔灌注桩施工

1) 特点

钻孔灌注桩是基础形式的一种，是指在现场通过机械钻孔的手段在地基土中形成桩孔，并在其内放置钢筋笼、灌注混凝土而形成基础的一种工艺。钻孔灌注桩桩长可以根据持力土层的起伏面变化，并按使用期间可能出现的最不利内力组合配置钢筋；具有工艺简便、承载力大、适应性强等突出特点，在桥梁基础工程中得到广泛应用。

2) 主要工序与要求

钻孔前应先布置施工平台。桩位位于旱地时，可在原地适当平整并填土压实形成工作平台；桩位位于浅水区时，宜采用筑岛法施工；桩位位于深水区时，宜搭设钢制平台，当水位变动不大时，亦可采用浮式工作平台，但在水流湍急或潮位涨落较大的水域，不应采用浮式平台。各类施工平台的平面面积大小，应满足钻孔成桩作业的需要；其顶面高程应高于桩施工期间可能的最高水位1.0m以上，在受波浪影响的水域，尚应考虑波高的影响。

钻孔灌注桩施工的主要工序有：埋设护筒、制备泥浆、钻孔、清孔与成孔检查、钢筋笼制作与安装以及灌注水下混凝土等。

(1) 埋设护筒

护筒能稳定孔壁，防止塌孔，还有隔离地表水、保护孔口地面、固定桩孔位置和起到钻头导向作用等。护筒的设置应符合下列规定：

① 护筒宜采用钢板卷制。在陆上或浅水区筑岛处的护筒，其内径应大于桩径至少200mm，壁厚应能使护筒保持圆筒状且不变形；在水中以机械沉设的护筒，其内径和壁厚的大小，应根据护筒的平面、垂直度偏差要求及长度等因素确定，并应在护筒的顶、底口处采取适当的加强措施，保证其在沉设过程中不变形；对参与结构受力的护筒，其内径、壁厚及长度应符合设计的规定。

② 护筒在埋设定位时，除设计另有规定外，护筒中心与桩中心的平面位置偏差应不大于50mm，护筒在竖直方向的倾斜度应不大于1%；对深水基础中的护筒，在竖直方向的倾斜度宜不大于1/150，平面位置的偏差可适当放宽，但应不大于80mm。在旱地和筑岛处设置护筒时，可采用挖坑埋设法实测定位，且护筒的底部和外侧四周应采用黏质土回填并分层夯实，使护筒底口处不致漏失泥浆；在水中沉设护筒时，宜采用导向架定位，并应采取有效措施保证其平面位置、倾斜度的准确，以及护筒接长连接处的焊接质量，焊接连接处的内壁应无突出物，且应耐拉、压，不漏水。

③ 护筒顶宜高于地面0.3m或水面1.0~2.0m，同时应高于桩顶设计高程1m。在有潮汐影响的水域，护筒顶应高出施工期最高潮水位1.5~2.0m，并应在施工期间采取稳定孔内水头的措施；当桩孔内有承压水时，护筒顶应高于稳定后的承压水位2.0m以上。

④ 护筒的埋置深度在旱地或筑岛处宜为2~4m，在水中或特殊情况下应根据设计要求或桩位的水文、地质情况经计算确定。对有冲刷影响的河床，护筒宜沉入施工期局部冲刷线以下1.0~1.5m，且宜采取防止河床在施工期过度冲刷的防护措施。

⑤ 护筒连接处要求筒内无突出物，应耐拉、压，不漏水。旱地、筑岛处护筒可采用挖坑埋设法，护筒底部和四周所填黏质土必须分层夯实。水域护筒设置，应严格注意平面位置、竖向倾斜、倾斜角（指斜桩）和两节护筒的连接质量均需符合要求。沉入时可采用压重、振动、锤击并辅以筒内除土的办法。

（2）制备泥浆

钻孔泥浆由水、黏土（或膨润土）和添加剂按适当配合比配制而成，通过泥浆搅拌机或人工调和，贮存在泥浆池内，再用泥浆泵输入钻孔内。钻孔泥浆具有浮悬钻渣、冷却钻头、润滑钻具、增大静水压力，并在孔壁形成泥皮，隔断孔内外渗流，防止塌孔的作用。

泥浆的配合比和配制方法宜通过试验确定，其性能应与钻孔方法、土层情况相适应；钻孔过程中，应随时对孔内泥浆的性能进行检测；钻孔泥浆宜进行循环处理后重复使用，减小排放量。对重要工程的钻孔桩施工，宜采用泥沙分离器进行泥浆的循环；施工完成后废弃的泥浆应采取先集中沉淀再处理的措施，严禁随意排放，污染环境。

（3）钻孔

根据井孔中土（钻渣）的取出方法不同，常用的成孔方法有：正循环回旋钻孔、反循环回旋钻孔、潜水钻机钻孔、冲抓钻孔、冲击钻孔、旋挖钻机钻孔。钻机的选型宜根据孔径、孔深、桩位处的水文和地质情况、施工环境条件等因素综合确定，所选用的钻机及钻孔方法应能满足施工质量和施工安全的要求。

钻机就位前，应对钻孔的各项准备工作进行检查；钻机安装后，其底座和顶端应平稳。不论采用何种方法钻孔，开孔的孔位必须准确；开钻时应慢速钻进，待导向部位

或钻头全部进入地层后，方可正常钻进。钻机在钻进施工时不应产生位移或沉陷，否则应及时处理。分级扩孔钻进施工时应保持桩轴线一致。

在钻孔排渣、提钻头除土或因故停钻时，应保持孔内具有规定的水位及要求的泥浆相对密度和黏度。处理孔内事故或因故停钻时，必须将钻头提出孔外。

以下就几种主要的钻孔施工方法介绍如下。

① 正、反循环回旋钻机（含潜水钻机）钻孔时，宜根据成孔的不同阶段、不同地层及岩层坡面等情况，采取不同的钻进工艺。减压钻进时，钻机的主吊钩始终应承受部分钻具的重力，孔底承受的钻压应不超过钻具重力之和（扣除浮力）的 80%。

正循环回旋钻孔是利用钻具旋转切削土体钻进，泥浆泵将泥浆压进泥浆笼头，通过钻杆中心从钻头喷入钻孔内，泥浆挟带钻渣沿钻孔上升，从护筒顶部排浆孔排出至沉淀池，钻渣在此沉淀而泥浆流入泥浆池循环使用。其特点是钻进与排渣同时连续进行，在适用的土层中钻进速度较快，但需设置泥浆槽、沉淀池等，施工占地较多，且机具设备较复杂。

反循环回旋钻孔则与正循环法不同，是把泥浆输入桩孔内，然后泥浆挟带钻渣从钻头的钻杆下口吸进，通过钻杆中心排出至沉淀池内。其钻进与排渣效率较高，但接长钻杆时装卸麻烦，钻渣容易堵塞管路。另外，因泥浆是从上向下流动，孔壁坍塌的可能性较正循环法的大，为此需用较高质量的泥浆。

② 冲击钻成孔灌注桩适用于黄土、黏性土或粉质黏土和人工杂填土层，特别适合于在有孤石的砂砾石层、漂石层、硬土层、岩层中使用。采用冲击钻机冲击成孔时，应小冲程开孔，并应使初成孔的孔壁坚实、竖直、圆顺，能起到导向的作用。待钻进深度超过钻头全高加冲程后，方可进行正常的冲击。冲击钻进过程中，应采取有效措施防止塌孔；掏取钻渣和停钻时，应及时向孔内补浆，保持水头高度。

施工过程中应注意检查控制泥浆指标，不可马虎；并随时检查钻机、钢丝绳等，防止掉钻；每天根据钻渣判断地质情况，做好地质柱状图标识；钻孔过程控制应严谨，防止刃脚穿孔、塌孔、偏孔、十字孔、卡钻、埋钻、掉钻的事故发生。

③ 旋挖钻机钻孔一般适用黏土、粉土、砂土、淤泥质土、人工回填土及含有部分卵石、碎石的地层。对于具有大扭矩动力头和自动内锁式伸缩钻杆的钻机，可适用微风化岩层的钻孔施工。

旋挖钻机是一种高度集成的桩基施工机械，采用一体化设计、履带式 360° 回转底盘及桅杆式钻杆，一般为全液压系统。旋挖钻机采用桶式钻斗，钻机就位后，调整钻杆垂直度，注入调制好的泥浆，然后进行钻孔。当钻斗下降到预定深度后，旋转钻斗并施加压力，将土挤入钻斗内，仪表自动显示桶满时，钻斗底部关闭，提升钻斗将土卸于堆放地点。钻进施工过程中应保证泥浆面始终不得低于护筒底部，保证孔壁的稳定性。通过钻斗的旋转、削土、提升、卸土和泥浆撑护孔壁，反复循环直至成孔。

旋挖钻机特殊的桶型钻斗直接取土出渣，不需接长钻杆，钻孔时孔口注浆以保持孔内泥浆高度即可，因而能大大缩短成孔时间，提高施工效率。由于带有自动垂直度控制和自动回位控制，成孔垂直度和孔位等能得到保证。桶钻取土上提过程中对孔壁扰动较小，桶钻周边设有溢浆孔，溢出泥浆可起到护壁作用。

采用旋挖钻机钻孔时，应根据不同的地质条件选用相应的钻头。钻进过程中应采

取有效措施严格控制钻进速度，避免进尺过快造成坍孔埋钻事故。钻头的升降速度宜控制在0.75~0.80m/s，在粉砂层或黏质砂土层中，升降速度应更加缓慢。泥浆初次注入时，应垂直向桩孔中间进行注浆。

(4) 清孔与成孔检查

钻孔的直径、深度和孔形直接关系到成桩质量，是钻孔桩成败的关键。为此，除了钻孔过程中严谨操作、密切观测监督外，在钻孔达到设计要求深度后，应进行成孔检查。符合设计及规范要求后，方可清孔。

① 成孔检查

A. 钻孔灌注桩在终孔后，应对桩孔的孔位、孔径、孔形、孔深和倾斜度进行检验；清孔后，应对孔底的沉淀厚度进行检验。

B. 孔径、孔形、倾斜度和孔底沉淀厚度宜采用专用仪器检测，孔深可采用专用测绳检测。采用钻杆测斜法量测桩的倾斜度时，量测应从钻孔平台顶面起算至孔底。

② 清孔

清孔的方法：有抽浆法、换浆法、掏渣法、喷射法及砂浆置换法等，应根据设计要求、钻孔方法、机具设备和土质条件决定。清孔应符合下列要求：

A. 钻孔深度达到设计高程后，应对孔径、孔深和孔的倾斜度进行检验，符合要求后方可清孔。

B. 清孔方法应根据设计要求、钻孔方法、机具设备条件和地层情况决定。不论采用何种清孔方法，在清孔排渣时必须保持孔内水头，防止塌孔。

C. 清孔后，泥浆的相对密度宜控制在1.03~1.10，对冲击成孔的桩可适当提高，但宜不超过1.15，黏度宜为17~20Pa·s，含砂率宜小于2%，胶体率宜大于98%。孔底沉淀厚度应不大于设计的规定；设计未规定时，对桩径小于或等于1.5m的摩擦桩宜不大于200mm，对桩径大于1.5m或桩长大于40m以及土质较差的摩擦桩宜不大于300mm，对支承桩宜不大于50mm。

D. 在吊入钢筋骨架后，灌注水下混凝土前，应再次检查孔内泥浆的性能指标和孔底沉淀厚度。如超过上述规定，应进行第二次清孔。符合要求后方可灌注水下混凝土。

E. 不得采用加深钻孔深度的方式代替清孔。

(5) 钢筋笼制作与安装

钢筋骨架的制作、运输要求应符合规范规定。安装钢筋骨架时，不得直接将钢筋骨架支承在孔底，应将其吊挂在孔口的钢护筒上，或在孔口地面上设置扩大受力面积的装置进行吊挂，且不应采用钢丝绳或其他容易变形的材料进行吊挂。安装时应采取有效的定位措施，减小钢筋骨架中心与桩中心的偏位，使钢筋骨架的混凝土保护层满足要求。

(6) 灌注水下混凝土

① 灌注水下混凝土前的准备工作

A. 应按水下混凝土灌注数量和灌注速度的要求配齐施工机具设备，设备的能力应能满足桩孔在规定时间内灌注完毕的要求，且应保证其完好率，对主要设备应有备用。

B. 水下混凝土宜采用钢导管灌注，导管内径宜为200~350mm。导管使用前应进行水密承压和接头抗拉试验，严禁采用压气试压。进行水密试验的水压应不小于孔内水深

1.3 倍的压力，亦应不小于导管壁和焊缝可能承受灌注混凝土时最大内压力 p 的 1.3 倍， p 可按式（3.4-1）计算：

$$p = \gamma_s h_c - \gamma_w H_n \quad (3.4-1)$$

式中 p —— 导管可能受到的最大内压力（kPa）；

γ_s —— 混凝土拌合物的重度（取 24kN/m^3 ）；

h_c —— 导管内混凝土柱最大高度（m），以导管全长或预计的最大高度计；

γ_w —— 桩孔内水或泥浆的重度（ kN/m^3 ）；

H_n —— 桩孔内水或泥浆的深度（m）。

② 水下混凝土的配制要求

A. 水泥可采用火山灰质水泥、粉煤灰水泥、普通硅酸盐水泥或硅酸盐水泥，采用矿渣水泥时应采取防离析的措施；粗集料宜选用卵石，如采用碎石宜适当增加混凝土配合比中的含砂率，粗集料的最大粒径应不大于导管内径的 $1/8\sim1/6$ 和钢筋间距的 $1/4$ ，同时应不大于 37.5mm ；细集料宜采用级配良好的中砂。

B. 混凝土的配合比，在保证水下混凝土顺利灌注的条件下，应按《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650—2020 的规定计算确定。掺用外加剂、粉煤灰等材料时，其技术条件及掺用量亦应符合规范规定。混凝土的初凝时间应根据气温、运距及灌注时间长短等因素确定，并满足现场使用要求。混凝土可经试验掺配适量缓凝剂。

C. 混凝土拌合物应具有良好的和易性，灌注时应能保持足够的流动性，坍落度宜为 $160\sim220\text{mm}$ ，且应充分考虑气温、运距及施工时间的影响导致的坍落度损失。

③ 灌注水下混凝土

A. 水下混凝土的灌注时间不得超过首批混凝土的初凝时间。

B. 混凝土运至灌注地点时，应检查其均匀性和坍落度等，不符合要求时不得使用。

C. 首批灌注混凝土的数量应能满足导管首次埋置深度 1.0m 以上的需要，所需混凝土数量可按式（3.4-2）和图 3.4-1 计算。

$$V = \frac{\pi D^2}{4} (H_1 + H_2) + \frac{\pi d^2}{4} h_i \quad (3.4-2)$$

式中 V —— 灌注首批混凝土所需数量（ m^3 ）；

D —— 桩孔直径（m）；

H_1 —— 桩孔底至导管底端间距（m），一般为 $0.3\sim0.4\text{m}$ ；

H_2 —— 导管初次埋置深度（m）；

d —— 导管内径（m）；

h_i —— 桩孔内混凝土达到埋置深度 H_2 时，导管内混凝土柱平衡导管外（或泥浆）压力所需的高度（m），即 $h_i = H_2 \gamma_w / \gamma_s$ ；

H_2 、 γ_w 、 γ_s 的意义同式（3.4-1）。

D. 首批混凝土入孔后，应连续灌注，不得中断。

E. 在灌注过程中，应保持孔内的水头高度。导管的埋置深度宜控制在 $2\sim6\text{m}$ ，并应随时测探桩孔内混凝土面的位置，及时调整导管埋深；在确保能将导管顺利提升的前提下，方可根据现场的实际情况适当放宽导管的埋深，但最大埋深应不超过 9m 。应将桩孔内溢出的水或泥浆引流至适当地点处理，不得随意排放。

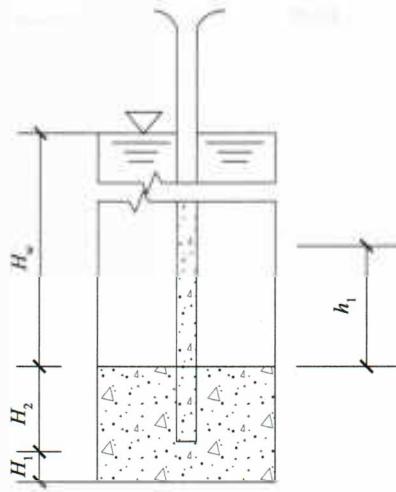


图 3.4-1 首批混凝土数量计算简图

F. 灌注时应采取措施防止钢筋骨架上浮。当灌注的混凝土顶面距钢筋骨架底部以下1m左右时，宜降低灌注速度；混凝土顶面上升到骨架底部4m以上时，宜提升导管，使其底口高于骨架底部2m以上后再恢复正常灌注速度。

- G. 对变截面桩，应在灌注过程中采取措施，保证变截面处的水下混凝土灌注密实。
- H. 采用全护筒钻机施工的桩在灌注水下混凝土时，护筒应随导管的提升逐步上拔。上拔过程中除应保证导管的埋置深度外，同时应使护筒底口始终保持在混凝土面以下。施工时应边灌注、边排水，并应保持护筒内的水位稳定。

I. 混凝土灌注至桩顶部位时，应采取措施保持导管内的混凝土压力，避免桩顶泥浆密度过大而产生泥团或桩顶混凝土不密实、松散等现象；灌注将近结束时，应核对混凝土的灌入数量，确定所测混凝土的灌注高度是否正确。灌注桩桩顶高程应比设计高程高出不小于0.5m，当遇到地质条件较差、孔内泥浆密度过大、桩径较大等情况时，应适当提高其超灌的高度；超灌的多余部分在承台施工前或接桩前应凿除，凿除后的桩头应密实、无松散层，混凝土应达到设计规定的强度等级。

J. 灌注中发生故障时，应尽快查明原因，确定合适的处置方案，及时处理。

3) 灌注桩后压浆

灌注桩成桩后，通过预设在桩身内的压浆管，向桩底、桩侧压注水泥浆的方式称为灌注桩后压浆，其目的是增加桩的承载力，减少桩的沉降。灌注桩后压浆包括对桩底和桩侧进行后压浆，具体要求包括：

- (1) 后压浆宜采用普通硅酸盐水泥；压浆材料中可掺入适量的微膨胀剂、膨润土或减水剂等外加剂；后压浆所用水泥浆的配合比应经试验确定。
- (2) 后压浆所用的压浆管应符合设计规定。设计未规定时，宜采用低压液体输送管或其他适宜的材料制作，低压液体输送管的质量应符合现行《低压流体输送用焊接钢管》GB/T 3091—2015的规定；当桩内有声测管时，可利用其兼作压浆管。压浆管的内径宜为25~38mm，壁厚宜不小于2.5mm。

压浆阀应能承受至少1MPa的静水压力并具有逆止的功能，其外部的保护层应能抵抗砂、石等或其他硬物的刮碰而不致受损。

(3) 后压浆所用的压浆设备应符合下列规定：

① 浆液搅拌机的转速宜大于 $1000\text{r}/\text{min}$ ，其容量应与额定压浆流量相匹配，并应在浆液的出口处或储浆桶的人口处设置滤网。

② 储浆桶的容量宜根据压浆流量的大小和其他施工条件综合考虑确定。

③ 压浆泵的额定压力宜为 $6\sim 12\text{MPa}$ ，且大于施工要求压浆终止压力的 1.5 倍；额定流量宜为 $30\sim 100\text{L}/\text{min}$ 。压浆泵应配备有压力表和流量计，并具有自动计量、实时显示和实时传输的功能，压力表的量程宜为额定泵压的 $1.5\sim 2.0$ 倍。

④ 压浆设备宜配备必要的备用件。

(4) 压浆管路的布设应符合设计要求，设计未要求时应符合下列规定：

① 位于地面的压浆管路输送系统应具有良好的密封性，输送管应采用能承受 2 倍以上最大压浆压力的高压胶管或无缝钢管，其长度应不大于 50m 。采用开式压浆时，输送管与桩内压浆管的连接处应设泄压阀；采用闭式压浆时，输送管与桩内压浆管的连接处应设止浆阀。

② 位于灌注桩内的压浆管及其压浆阀应沿灌注桩钢筋骨架的圆周均匀布置，其布置应能保证压浆的均匀性。

③ 桩底后压浆时，对直径小于 1200mm 的桩，宜布置 2 根压浆管；直径大于或等于 1200mm 、小于 2500mm 的桩，宜布置 3 根压浆管；直径大于或等于 2500mm 的桩，宜布置 4 根压浆管。压浆阀宜布设在压浆管的底部。压浆管底部进入桩底土层的深度宜根据不同类别土确定，对黏性土、粉土和砂土层宜不小于 100mm ；对碎石土和全风化、强风化岩层宜不小于 50mm ；桩基持力层为较软弱土层或桩底沉渣较厚时宜适当加深，持力层强度较高时可适当减小进入的深度。

④ 桩侧后压浆时，可在距离桩顶 8m 以下、桩底 $5\sim 15\text{m}$ 以上，每隔 $5\sim 12\text{m}$ 设置一处压浆阀。当桩侧有粗粒土层时，压浆阀宜位于该土层底面以下 0.5m 处；对采取干作业方式成孔的灌注桩，压浆阀宜设于粗粒土层的中部。

⑤ 桩侧后压浆时，压浆管弧形部分的外切圆直径应大于桩孔直径 200mm 。对直径小于 2500mm 的桩，压浆管与桩孔壁接触的压浆点宜不少于 4 个；对直径大于或等于 2500mm 的桩，宜随桩径的增大而适当增加压浆点的数量。

⑥ 压浆管应固定在灌注桩钢筋骨架上并随其一起下放，安装时应保证其固定牢固。

(5) 灌注桩后压浆的施工应符合下列规定：

① 桩身混凝土灌注后应及时采用高压水冲洗压浆管，打开压浆阀，疏通压浆通道。

② 压浆作业应在桩身混凝土达到设计强度等级的 75% 后、桩身经无损检测合格后方可进行。正式压浆前，宜选取至少一根桩做压浆工艺试验，获取相关经验参数后再大面积施工。

③ 对群桩基础的桩实施压浆作业时，宜按先周边、后中间的顺序，且宜按对称、间隔的原则依次进行。

④ 采取桩底和桩侧组合方式压浆时，应按先桩侧、后桩底的顺序进行。在桩的多个断面实施桩侧压浆时，应按先上、后下的顺序进行。

⑤ 在压浆施工的影响范围内，不得同时进行其他灌注桩的施工作业。压浆作业与其他灌注桩作业点的距离宜不小于 10m 或 10 倍桩径。

⑥ 拌制浆液时，应先加水，然后加入外添加剂，混合均匀后再加入水泥进行充分搅拌。浆液搅拌的时间应不少于3min，拌制好的浆液应具有良好的流动性，不离析、不沉淀。

⑦ 压浆时，宜遵循“细流慢注”的原则，最大压浆流量宜不超过100L/min。同一根桩中的全部压浆管宜同时均匀压入水泥浆，并随时监测桩顶的位移和桩周土层的变化情况。

⑧ 桩底压浆时，对同一根桩的压浆宜分3次进行，且宜依次按40%、40%、20%的压浆量循环等量压入。

⑨ 采用U形管法压浆时，每次循环压浆完成后，应立即采用清水将压浆软管清洗干净，再关闭阀门；压浆停顿时间超过30min，应对管路进行清洗。压浆完成后，应在阀门关闭40min后，方可拆卸阀门。

⑩ 对多根桩进行压浆时，各桩压浆的间隔时间宜不少于2h。

⑪ 压浆作业时，实际的压浆压力应小于控制压力。

⑫ 灌注桩后压浆的施工应记录压浆的起止时间、压浆量、压浆流量、压浆压力及桩的上抬量等参数。

(6) 灌注桩后压浆的施工控制应符合下列规定：

① 宜采用压浆量与压力双控，以压浆量控制为主，压力控制为辅。

② 压浆量和压浆压力均应按单个回路或单个管路分别控制。

③ 符合下列条件之一时，可终止压浆：

A. 压浆量满足设计要求，同时压浆的平均压力达到设计要求的终止压力并持荷5min。

B. 压浆量满足设计要求，但压浆的平均压力未达到设计要求的终止压力，在大于或等于0.8倍设计要求终止压力的情况下，增加压浆量至120%后。

C. 压浆量满足设计要求，但压浆的平均压力未达到设计要求的终止压力，在小于0.8倍设计要求终止压力的情况下，增加压浆量至150%后。

D. 压浆的平均压力大于设计要求的终止压力，当压浆总量大于设计要求的80%时。

④ 当一根桩中某一压浆管的压浆量达不到设计要求，而压力值过大无法继续正常压浆时，其不足的量可通过该桩中的其他压浆管均匀分配压入。

4) 灌注桩的混凝土质量检验要求

(1) 桩身混凝土和后压浆中水泥浆的抗压强度应符合设计规定。每桩的试件取样组数、混凝土和水泥浆的检验要求均应符合现行《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》JTG F80/1—2017的规定。

(2) 检验桩身的完整性时，检测的数量和方法应符合设计或合同的规定。宜选择有代表性的桩采用无破损法进行检测，重要工程或重要部位的桩宜逐桩进行检测；设计有规定或对无破损法检测和桩的质量有疑问时，应采用钻取芯样法对桩进行检测；当需检验柱桩的桩底沉淀与地层的结合情况时，其芯样应钻至桩底0.5m以下。

(3) 经检验桩身质量不符合要求时，应研究处理方案，报批处理。

5) 施工中易出现的问题及预防和处理方法

(1) 浇筑混凝土时钢筋笼上浮

① 原因分析

混凝土在进入钢筋笼底部时浇筑速度太快；钢筋笼未采取固定措施。

② 防治措施

混凝土上升到接近钢筋笼下端时，应放慢浇筑速度，减小混凝土面上升的动能作用，以免钢筋笼被顶托而上浮。当钢筋笼被埋入混凝土中有一定深度时，再提升导管，减少导管埋入深度，使导管下端高出钢筋笼下端有相当距离时再按正常速度浇筑。此外，浇筑混凝土前，应将钢筋笼固定在孔位护筒上，也可防止上浮。

（2）桩身混凝土质量差

指桩身出现蜂窝、空洞、夹泥层或级配不均的现象。

① 原因分析

- 灌注混凝土时或上部放钢筋笼时，孔壁土坍落在混凝土中，造成桩身夹泥。
- 混凝土配合比坍落度掌握不严，下料高度过大，混凝土产生离析，造成桩身级配和强度不均匀。
- 孔内无水干浇混凝土时未边灌边振捣，导致桩身混凝土不密实。

② 防治措施

- 浇灌混凝土时或上部放钢筋笼时，不要碰撞土壁，以免土体坍落。
- 认真控制混凝土的配合比和坍落度，浇灌时设置串筒下料，防止混凝土产生离析现象，使混凝土强度均匀。
- 干处浇灌混凝土时应边灌边振捣。

（3）断桩

成桩后经探测，桩身局部没有混凝土，存在泥夹层或截面断裂的现象，是最严重的一种成桩缺陷，直接影响结构基础的承载力。

断桩的原因分析与防治措施参见后述“3.7.1 钻孔灌注桩断桩防治”。

3. 挖孔桩施工

在无地下水或有少量地下水且较密实的土层或风化岩层中，无法采用机械成孔或机械成孔非常困难且水文、地质条件允许的地区，可采用人工挖孔施工。岩溶地区和采空区、孔内空气污染物超过现行《环境空气质量标准》GB 3095—2012 规定的三级标准浓度限值且无通风措施、桩径或最小边宽度小于 1200mm 时，不得采用人工挖孔施工。

挖孔桩施工现场应配备气体浓度检测仪器，至少备用 1 套通风设备，进入桩孔前应先通风 15min 以上，经检查确认孔内空气符合现行《环境空气质量标准》GB 3095—2012 规定的三级标准浓度限值。人工挖孔作业时应持续通风。

挖孔桩施工相关要求：

- 施工前应编制专项施工方案，并应对作业人员进行安全技术交底。
- 挖孔作业前，应详细了解地质、地下水文等情况，因地制宜选择孔壁支护方式。孔壁支护不得占用桩径尺寸，采用混凝土护壁支护的桩孔，护壁混凝土的强度等级，当桩径小于或等于 1.5m 时应不小于 C25，桩径大于 1.5m 时应不小于 C30。挖孔作业时必须挖一节浇筑一节护壁，护壁的节段高度必须按专项施工方案执行，且不得超过 1m，护壁模板应在混凝土强度达到 5MPa 以上后拆除。严禁只挖、不及时浇筑护壁的冒险作业。护壁外侧与孔壁间应填实，不密实或有空洞时，应采取措施进行处理。

(3) 桩孔直径应符合设计规定,孔口处应设置高出地面不小于300mm的护圈,并应设置临时排水沟,防止地表水流人孔内。挖孔过程中,应经常检查桩孔尺寸、平面位置和竖轴线倾斜情况,如偏差超出规定范围应随时纠正。

(4) 施工时相邻两桩孔不得同时开挖,宜间隔交错跳挖。挖孔的弃土应及时转运,孔口四周作业范围内不得堆积弃土及其他杂物。

(5) 孔深不宜超过15m,超过15m的桩孔内应配备有效的通信器材,作业人员在孔内连续作业不得超过2h;孔深超过30m的应配备作业人员升降设备。人工挖孔作业时,应始终保持孔内空气质量符合相关要求;孔深大于10m或空气质量不符合要求时,孔内作业必须采取机械强制通风措施。

(6) 桩孔内的作业人员必须戴安全帽、系安全带、穿防滑鞋,人员上下时必须系安全绳,安全绳必须系在孔口。作业人员应通过带护笼的直梯进出,人员上下不得携带工具和材料。作业人员不得利用卷扬机上下桩孔。孔口应设专人看守,孔内作业人员应检查护壁变形、裂缝、渗水等情况,并与孔口人员保持联系,发现异常应立即撤出。

(7) 桩孔内应设防水带罩灯泡照明,电压应为安全电压,电缆应为防水绝缘电缆,并应设置漏电保护器。当需要设置水泵、电钻等动力设备时,应严格接地。

(8) 桩孔内遇岩层需爆破作业时,应进行爆破的专门设计,宜采用浅眼松动爆破法,并严格控制炸药用量,在炮眼附近应对孔壁加强防护或支护。孔深大于5m时,必须采用导爆索或电雷管引爆。桩孔内爆破后应通风排烟15min,经检查确认无有害气体后,施工人员方可进入孔内继续作业。

(9) 挖孔达到设计高程并经确认后,应将孔底的松渣、杂物和沉淀泥土等清除干净。及时对桩孔孔位、孔径、孔深、倾斜度及孔底处理情况等进行检验。

(10) 孔内无积水时,可按干施工法进行混凝土灌注,用插入式振动棒振捣密实;孔内有积水且无法排净时,宜按水下混凝土灌注的要求施工。

3.4.2 沉井施工

沉井基础是一种断面和刚度均比桩要大得多的井筒状结构,是依靠在井内挖土,借助井体自重及其他辅助措施逐步下沉至预定设计标高,最终形成的一种深基础结构形式。沉井基础占地面积小,坑壁不需设临时支撑和防水围堰或板桩围护。与大开挖相比,挖土量少,对邻近建筑物的影响比较小,操作简便。

当桥梁结构上部荷载较大,表层地基土的容许承载力不足,但在一定深度下有好的持力层,扩大基础开挖工作量大,施工围堰支撑有困难,或采用桩基础受水文地质条件限制时,可以采用沉井基础。

1. 一般规定

(1) 应根据设计文件提供的工程地质和水文地质资料及现场的实际情况决定是否补充地质钻探,并对洪汛、凌汛、河床冲淤变化、通航及漂流物等进行调查,制定专项施工方案。需要在施工中度汛、度凌的沉井,应制定防护措施,保证安全。对水中特大型沉井,应在施工前进行河床冲淤变化的数学模型分析计算,必要时应进行物理模型的模拟试验。

(2) 沉井下沉前,应对周边的堤防、建筑物和施工设备采取有效的防护措施。并

在下沉过程中，对其沉降及位移进行监测。

2. 沉井制作

沉井位于浅水或可能被水淹没的岸滩上时，宜就地筑岛制作。制作沉井的岛面、平台面和开挖基坑的坑底高程，应比施工期可能的最高水位（包括波浪影响）高出0.5~0.7m；有流冰时，应再适当加高。

沉井的分节制作高度，应能保证其稳定，且应具有适当重力便于顺利下沉。底节沉井的最小高度，应能抵抗拆除支垫后的竖向挠曲，土质条件许可时，可适当增加高度。混凝土浇筑前应检查沉井纵、横向中轴线位置是否符合设计要求。

钢沉井制作除应符合钢结构施工相关要求，宜在工厂内加工。钢沉井的分段、分块吊装单元应在胎架上组装、施焊。首节钢沉井应在坚固的台座上或支垫上进行整体拼装，台座表面的高度误差应小于4mm，并应有足够的承载能力，拼装过程中不得发生不均匀沉降。

位于深水中的沉井，宜采用浮式沉井。浮式沉井的制作应根据沉井规模、河岸地形、设备条件等，进行技术经济比较，确定制作场地及下水方案。在浮船上或支架平台上制作沉井时，浮船、支架平台的承载力应满足制作的要求。

3. 沉井浮运、定位

1) 沉井浮运准备

(1) 制定专项施工方案，对沉井的定位系统以及浮运、就位的稳定性进行验算；当沉井的实际重力与设计重力不符时，应对其重新进行验算。各类浮式沉井在下水、浮运前，均应进行水密性检查，对底节应根据其工作压力进行水压试验，合格后方可下水。

(2) 根据浮运沉井的具体情况确定相应的浮运设备，浮运前应对拖运、定位、导向、锚碇、潜水、起吊及排水灌水等相关设备设施进行检查。

(3) 掌握水文、气象和航运等情况，并与海事或航道管理部门取得联系、配合，必要时宜在浮运及定位施工过程中进行航道管制。

2) 沉井的浮运、定位

浮式沉井的底节可采用滑道、气囊、干坞或直接起吊等方法下水。入水后，对其悬浮接高时的初步定位位置，应根据下水方法、沉井的结构形式、环境条件等情况综合分析确定。沉井的浮运、定位应符合下列规定：

(1) 在气象和水文条件有利于施工时，以拖轮拖运或绞车牵引进行浮运。对水深和流速大的河流，可在沉井两侧设置导向船增加其稳定性。在浮运、定位的任何时间内，沉井露出水面的高度应不小于1.5m。

(2) 定位前应对所有缆绳、锚链、锚碇和导向设备进行检查调整，使定位工作能顺利进行，并考虑水位涨落时对锚碇的影响。布置锚碇体系时，应使锚绳受力均匀，并采取适当措施避免导向船和沉井产生过大摆动或折断锚绳。

4. 沉井下沉

(1) 宜采用不排水的方式除土下沉；在稳定的土层中可采用排水方式除土下沉，但应有安全措施，防止发生事故。

(2) 过程中宜对下沉状况进行信息化管理，随时掌握土层情况，进行下沉的监测和控制，及时分析和检验土的阻力与沉井重力的关系，采取最有利的下沉措施。下沉困

难时，可采用空气幕、泥浆润滑套、井外高压射水、压重或接高沉井等方法助沉。

(3) 正常下沉时，应自井孔中间向刃脚处均匀对称除土。采取排水除土下沉的底节沉井，对设计支承位置处的土，应在分层除土中最后同时挖除；由数个井室组成的沉井，应控制各井室之间除土面的高差，使下沉不发生倾斜，并应避免内隔墙底部在下沉时受到下面土层的顶托。采用吸泥吹砂等方法下沉时，必须备有向井内补水的设施，保持井内外的水位平衡或井内水位略高于井外水位；井内吸泥吹砂应均匀进行，防止局部吸吹过深导致沉井偏斜。

(4) 下沉时应随时进行纠偏，保持竖直下沉，每下沉1m至少应检查一次；当沉井出现倾斜时，应及时校正。下沉至设计高程以上2m左右时，应适当放慢下沉速度并控制井内的除土量和除土位置，使沉井能平稳下沉，准确到位。

(5) 特大型沉井在下沉时，宜对沉井井壁的中心点进行高程监测。

5. 沉井接高

(1) 接高前应将沉井的倾斜纠正到允许偏差范围内，接高各节的竖向中轴线应与前一节的中轴线相重合。

(2) 水中沉井着床前的接高应均匀、对称地进行，采取措施防止沉井在悬浮状态接高过程中发生倾斜。

(3) 水中沉井着床后的接高，应结合沉井下沉所需要的重力确定接高的适宜高度，不得提前将刃脚下部的土层掏空。

(4) 陆上沉井在地面上接高时，井顶露出地面应不小于0.5m；水中沉井在水上接高时，井顶露出水面应不小于1.5m。

6. 沉井着床

浮式沉井在水中着床时，除充分考虑风力、浮力、水流压力、波浪力、冰压力等对沉井的作用外，尚应符合下列规定：

(1) 沉井准确定位并接高后，应向井壁腔格内对称、均衡地灌水，使沉井迅速落至河（海）床着床。

(2) 随时监测由于沉井水中下沉的阻力和压缩流水断面后引起流速增大而造成的河（海）床局部冲刷及因冲淤引起的河（海）床高差，必要时可在沉井位置处采用卵石、碎石垫填整平，增强沉井着床后的稳定；或着床后利用沉井外弃土进行调整但应避免对沉井形成偏压。

(3) 沉井下沉到倾斜岩层上时，沉井刃脚的2/3以上宜嵌搁在岩层上，嵌入深度最小处宜不小于250mm，其余未到岩层的刃脚部分，可采用袋装混凝土等填塞缺口。对刃脚以内井底岩层的倾斜面，应凿成台阶或榫槽后再清渣封底。对刃脚以内井底岩层的倾斜面，应凿成台阶或榫槽后再清渣封底。如需爆破清除岩层，爆破作业应符合相关规定。

7. 基底检验与沉井封底

沉井下沉至设计高程后，应检验基底的地质情况是否与设计相符。不排水下沉的沉井基底面应整平，基底为岩层时，岩面残留物应清除干净，清理后的有效面积不得小于设计要求，岩面倾斜时的处理应符合上述“沉井着床”第(3)条的规定；排水下沉沉井的基底处理应符合“3.4.4 基坑施工”的有关规定。井壁隔墙及刃脚与封底混凝土

我们只做自己高分通过的考试，需要考试资料和指导请找卡哥团队！认准VX：kagezhukao668

接触面处的泥污亦应清除干净。下沉至设计高程后的沉井应进行沉降观测。

沉井基底检验合格及沉降稳定后，应及时封底。不排水下沉的沉井应采用水下混凝土进行封底；排水下沉的沉井，基底渗水的上升速度不大于 $6\text{mm}/\text{min}$ 时，可按普通混凝土的浇筑方法进行封底，但应设置引流排水设施，及时排除明水，且应采取可靠措施使混凝土强度在达到 5MPa 前不受到压力水的作用；渗水上升速度大于上述规定时，宜采用水下混凝土进行封底。沉井的封底设计为水下压浆混凝土时，应按设计要求施工。

沉井的水下混凝土封底宜全断面一次连续灌注完成；对特大型沉井，可划分区域进行封底，但任一区域的封底工作均应一次连续灌注完成。

采用刚性导管法进行水下混凝土封底时，应符合下列规定：

(1) 封底混凝土的原材料、配合比等可按钻孔灌注桩水下混凝土的相关规定执行。每根导管开始灌注时所用的混凝土坍落度宜采用下限，首批混凝土需要数量应通过计算确定。

(2) 灌注封底水下混凝土时，需要的导管间隔及根数，应根据导管作用半径及封底面积确定。采用多根导管灌注时的顺序应进行专门设计，并采取有效措施防止发生混凝土夹层；若同时灌注，当基底不平时，应逐步使混凝土保持大致相同的高程。

(3) 灌注过程中，导管应随混凝土面升高而逐步提升，导管的埋深宜与导管内混凝土下落深度相适应，且宜不小于表3.4-1的规定；采用多根导管灌注时，导管的埋深宜不小于表3.4-2的规定。同时应根据混凝土的堆高和扩展情况，调整坍落度和导管埋深，使每盘混凝土灌注后形成适宜的堆高和不陡于 $1:5$ 的流动坡度。抽拔导管时应防止导管进水。

表3.4-1 不同灌注深度导管的最小埋深表

灌注深度(m)	≤ 10	$11\sim 15$	$16\sim 20$	> 20
导管最小埋深(m)	0.6~0.8	1.1	1.3	1.5

表3.4-2 导管不同间距的最小埋深表

导管间距(m)	≤ 5	6	7	8
导管最小埋深(m)	0.6~0.9	0.9~1.2	1.2~1.4	1.3~1.6

(4) 水下混凝土面的最终灌注高度，应比设计值高出 150mm 以上。

3.4.3 地下连续墙施工

地下连续墙是利用挖槽机械，借助于泥浆护壁，在地下挖出一条窄而深的沟槽，并在槽内施工钢筋混凝土等合适材料，形成一道具有防渗（水）、挡土和承重功能的、连续的地下墙体。地下连续墙具有多功能性，可适用于各种用途，通常可作为基坑开挖时防渗、挡土，或挡水围堰，或邻近建筑物基础的支护，或直接作为承受上部荷载的基础结构。地下连续墙可用于除岩溶和地下承压水很高处的其他各类土层中施工。地下连续墙施工一般包括挖槽、下放钢筋笼、浇筑混凝土和槽段间的连接四个主要工序。

1. 一般规定

(1) 地下连续墙适用于公路桥梁基础和基坑临时支护结构，通常采用现浇混凝土施工。

(2) 地下连续墙工程施工前，应具备水文、地质、区域内障碍物和有关试验等资料，必要时应补充地质勘察，并制定专项施工方案。

(3) 在堤防等水利、防洪设施及其他既有构筑物周边进行地下连续墙工程的施工时，应就施工可能会导致对其不利的影响进行评估，必要时应采取有效措施进行保护。

2. 施工平台与导墙

1) 施工平台

地下连续墙施工中挖槽机和混凝土运输以及吊装所需大型机械设备所需的施工平台应坚固、平整，适合于重型设备和运输车辆行走，平面尺寸及高度应满足施工需要。

2) 导墙

采用泥浆护壁挖槽构成的地下连续墙应先构筑导墙。导墙的材料、平面位置、形式、埋置深度、墙体厚度、顶面高程应符合设计要求；设计未要求时，应符合下列规定：

(1) 导墙宜采用钢筋混凝土构筑，混凝土强度等级宜不低于C20。导墙的形式根据土质情况可采用板墙形、匚形或倒L形，墙体的厚度应满足施工需要。

(2) 导墙的平面轴线应与地下连续墙轴线平行，两导墙的内侧间距宜比地下连续墙墙体的厚度大40~60mm。导墙应每隔1~1.5m距离设置一道支撑。

(3) 导墙底端埋入土内的深度宜大于1m；基底土层应夯实，地基土较松散或较软弱时，构筑导墙前应采取加固措施；导墙顶端应高出地面，遇地下水位较高时，导墙顶端应高于稳定后的地下水位1.5m以上。

3. 地下连续墙施工

1) 地下连续墙的槽孔施工

根据水文、地质情况和施工条件选用能满足成槽要求的机具与设备，必要时可选用多种设备组合施工。可采用的槽孔施工方法有钻劈法、钻抓法、抓取法和铣削法等。

(1) 桩排式地下连续墙的施工可按钻（挖）孔灌注桩的施工要求进行；桩排间的土层如采用压力注浆法予以加固和防渗透时，可按基坑施工的相关规定进行。

(2) 槽壁式地下连续墙的槽孔开挖应符合下列规定：

① 槽孔宜分段施工，开挖前应按已划分的单元槽段，决定各段开挖的先后次序，相邻槽孔之间设留有足够的安全距离。挖槽施工开始后应连续进行，直到槽段完成。

② 成槽机械开挖一定深度后，应立即输入调制好的泥浆，并保持槽内的泥浆面不低于导墙顶面300mm。槽壁及接头处应保持竖直，倾斜率应不大于0.5%；接头处相邻两槽段的挖槽中心线在任一深度的偏差值均不得大于墙厚的1/3；槽底高程不得高于墙底的设计高程。

③ 挖槽时加强观测，如遇槽壁发生坍塌或槽孔偏斜超过允许偏差时，应查明原因，采取相应措施后，方可继续施工。槽段开挖达到槽底设计高程后，应对成槽质量进行检验，合格后方可进行下一工序。

④ 挖槽施工应做好施工记录，妥善处理废弃泥浆及钻渣，防止污染环境。

(3) 采用钻劈法施工槽孔时，钻头直径应满足设计墙厚的要求，且开孔钻头的直径应大于终孔钻头的直径。副孔长度应合理选择，且宜在主孔终孔后再劈打副孔。

(4) 采用钻抓法施工槽孔时，宜先采用钻机钻进主孔，再采用抓斗抓取副孔；采用两钻一抓法时，主孔的中心距宜不大于抓斗的开度。

(5) 采用抓取法和铣削法施工槽孔时，主孔长度宜等于抓斗开度和一次铣削长度，副孔长度宜为主孔长度的 $1/2\sim2/3$ 。采用铣削法进行Ⅱ期槽施工时，宜根据槽孔的深度、斜率要求以及先期地下连续墙混凝土的强度，确定铣削先期墙段的长度和铣削接头的施工时间，并对先期墙段混凝土铣削后的端部进行清理。施工槽孔时应随时测量接缝处端孔的孔斜率并进行控制。接缝的位置应准确并将其标记在导墙上。

(6) 槽孔的清底工作应在吊放接头装置前进行。清底工序应包括清除槽底沉淀的泥渣和置换槽中的泥浆。清底应符合下列规定：

① 清底之前应检测槽段的平面位置、横截面和竖面；当槽壁的竖向倾斜、弯曲和宽度超出允许偏差时，应进行修槽工作，使其符合要求。修槽后的槽段接头处应进行清理。

② 清底的方法宜根据槽孔的形状、尺寸、施工环境条件及设备条件等确定，施工可参照钻（挖）孔灌注桩的相关规定执行。

③ 清理槽底和置换泥浆工作结束1h后，应进行检验。槽底以上200mm处的泥浆相对密度应不大于1.15，槽底沉淀物厚度应符合设计要求。

2) 槽段间接头（缝）施工

地下连续墙分槽段（孔）施工，然后再由各墙段连接而成。其墙段连接工艺和方法是技术关键，也是质量优劣和工程成败的重要标志。

槽段接头一般采用预埋钢筋、钢板、设置剪力键等连接方式。施工接头所用的材料包括：钢管、钢板、钢筋、各种型钢和铸钢；预制混凝土结构；人造纤维布和橡胶等；其他材料（如工程塑料、玻璃钢等）。

接头的结构形式应符合设计要求，施工应符合下列规定：

(1) 对管式接头，当初期的单元槽段开挖完成并清底后，应将钢制接头管竖直吊放入槽内，紧靠单元槽段两端。接头管可分节在管内用销子连接固定；管外应平顺、无凸出物，管外径宜比墙厚小50mm。灌注水下混凝土时，应经常转动及少量提升接头管，待混凝土初凝后将接头管拔出，拔管时不得损坏接头处的混凝土。

(2) 对箱式和隔板式接头，在吊放的钢筋骨架一端应带堵头钢板，堵头钢板向外伸出的水平钢筋应插入接头箱与槽壁之间的空隙处。灌注水下混凝土时应防止流入接头箱管内；混凝土初凝后，应逐步吊出接头箱管，先灌节段骨架的外伸钢筋应伸入邻段混凝土内。

(3) 地下连续墙设计与梁、承台或墩柱连接时，结构接头的施工应在连接处按设计要求埋设连接钢筋，预埋的连接钢筋应与后浇的梁、承台或墩柱上的主钢筋可靠连接。

3) 钢筋骨架施工

(1) 钢筋骨架应根据设计图和单元槽段的划分长度制作，并宜在胎架上试装配成型；骨架主筋的接长宜采用机械连接，骨架中间应留出上下贯通的导管位置。

(2) 钢筋骨架的刚度及吊点位置设置，应在制作前进行必要的验算。

(3) 吊放钢筋骨架时，应使其中心对准单元槽段中心。钢筋骨架应竖直、不变形并能顺利地下放插入槽内，下放时不得使骨架发生摆动。

(4) 全部钢筋骨架入槽后，应固定在导墙上，并使骨架顶端高程符合设计要求。

(5) 钢筋骨架不能顺利插入槽内时，应将骨架吊起。查明原因并采取措施后重新放入，不得强行压入槽内。

4) 混凝土灌注

水下混凝土应采用导管法灌注。单元槽段长度小于或等于4m时，可采用1根导管灌注；单元槽段长度超过4m时，宜采用2根或3根导管同时灌注。采用多根导管灌注时，导管间净距宜不大于3m，导管距节段端部宜不大于1.5m；各导管灌注的混凝土表面高差宜不大于0.3m；导管内径宜不小于200mm。

3.4.4 基坑施工

1. 一般规定

(1) 基坑施工前，应全面了解水文、地质、周边构筑物和地下管线等情况，确定开挖方式，制定专项施工方案。

(2) 基坑开挖时，应根据其等级和规模，对基坑结构的受力、变形、稳定性、坑外重要构筑物和地下管线的位移变形等进行监测控制，保证施工安全以及周边重要构筑物和地下管线的安全。对危险性较大的基坑，除应按边开挖、边支护的原则进行施工外，尚应建立信息化实时监控系统，指导施工。

(3) 开挖基坑所产生的弃土应进行妥善处置，不得阻塞河道，影响泄洪，污染环境。

2. 土石围堰施工

水中开挖基坑前，应根据工程施工要求、水深与流速、对河道影响等多种因素，选择合适的土石围堰类型。

1) 土石围堰工程应符合的规定

(1) 堰顶高程应高出施工期间可能出现的最高水位（包括浪高）0.5~0.7m。

(2) 围堰外形和尺寸应考虑河流断面被压缩后流速增大导致水流对围堰本身和河床的集中冲刷以及对河道泄洪、通航和导流的影响等不利因素。堰内的平面尺寸应满足基础施工的需要。

(3) 围堰应分层填筑并达到防水严密、减少渗漏，满足堰身强度和整体稳定的要求。

2) 土围堰的填筑施工应符合的规定

(1) 水深1.5m以内、流速0.5m/s以内，河床土质渗水性较小且满足泄洪要求时，可筑土围堰。

(2) 堰顶宽度宜根据施工需要确定，边坡坡度应按围堰位置的不同、高度及基坑开挖深度等条件确定。

(3) 筑堰前，应将堰底河床的树根、石块及其他杂物清除干净。筑堰材料宜采用黏性土或砂夹黏土，填筑应自上游开始至下游合龙，超出水面后应夯实。堰外坡面有受水流冲刷的危险时，应采用合适的材料对其进行防护。

我们只做自己高分通过的考试，需要考试资料和指导请找卡哥团队！认准VX：kagezhukao666

3) 土袋围堰的填筑应符合的规定

(1) 水深3m以内、流速1.5m/s以内，河床土质渗水性较小且满足泄洪要求时，可筑土袋围堰。

(2) 袋内填土宜采用黏性土，装填量宜为60%左右；水流流速较大时，在过水面及迎水面，袋内可装填粗砂或卵石。堆码土袋的上下层和内外层应相互错缝、密实平整，搭接长度宜为1/3~1/2。

(3) 围堰中心部分可填筑黏土及黏性土芯墙。堰外边坡宜为1:1~1:0.5，堰内边坡宜为1:0.5~1:0.2。

4) 膜袋围堰的填筑应符合的规定

(1) 水深5m以内、流速3.0m/s以内，且河床较平缓时，可筑膜袋围堰。

(2) 堤床处理除应符合《公路桥涵施工技术规范》JTG/T 3650—2020的规定，并应将河床的陡坎整平。

(3) 膜袋的缝合应牢固严密，袋内可采用砂或水泥固化土材料填充，填充后应采取有效措施减少膜袋内的水分。

(4) 围堰沉降稳定后方可进行基坑的排水，排水时应控制水位降速。

3. 基坑开挖

(1) 基坑边缘的顶面应设置截水沟等防止地面水流入基坑的设施。

(2) 基坑开挖应对边缘顶面的各种荷载进行严格限制，并在基坑边缘与荷载之间设置护道。基坑深度小于或等于4m时护道的宽度应不小于1m；基坑深度大于4m时护道的宽度应按边坡稳定计算的结果进行适当加宽，水文和地质条件较差时应采取加固措施。

(3) 基坑开挖宜安排在枯水或少雨季节进行并连续施工，有支护的基坑应采取防碰撞的措施；基坑附近有其他结构物时，应有可靠的防护措施。

(4) 开挖过程中进行排水时，应不对基坑的安全产生影响；确认基坑坑壁稳定时方可进行基坑内的排水。排水困难时，宜采用水下挖基方法，但应保持基坑中的原有水位高程。

(5) 采用机械开挖时应避免超挖，宜在挖至基底前预留一定厚度，再由人工开挖至设计高程；如超挖，则应将松动部分清除，并对基底进行处理。

(6) 基坑开挖完成后不得长时间暴露、被水浸泡或被扰动，及时检验其尺寸、高程和基底承载力，检验合格后尽快进行基础工程的施工。

(7) 不支护坑壁进行基坑开挖

在干涸无水河滩、河沟中，或经改河或筑堤能排除地表水的河沟中，或地下水位低于基底、渗透量少、不影响坑壁稳定，以及基础埋置不深、施工期较短、挖基坑时不影响邻近建筑物安全的施工场所，可考虑选用坑壁不加支撑的基坑。具体要求如下：

① 基坑坑壁坡度宜按地质条件、基坑深度、施工方法等情况确定。无水基坑且土层构造均匀时，基坑坑壁坡度可按表3.4-3确定；土质较差有可能使坑壁不稳定而引起坍塌时，基坑坑壁坡度应适当缓于表3.4-3的坡度。

② 有地下水时，地下水位以上的基坑部分可放坡开挖；地下水位以下部分，若土质易坍塌或水位在基坑底以上较高时，应采用加固土体或降低地下水位等方法开挖。

表 3.4-3 基坑坑壁坡度

坑壁土类别	坑壁坡度		
	坡顶无荷载	坡顶有静荷载	坡顶有动荷载
砂类土	1:1	1:1.25	1:1.5
卵石、砾类土	1:0.75	1:1	1:1.25
粉质土、黏质土	1:0.33	1:0.5	1:0.75
极软岩	1:0.25	1:0.33	1:0.67
软质岩	1:0	1:0.1	1:0.25
硬质岩	1:0	1:0	1:0

注：1. 坑壁有不同土层时，基坑坑壁坡度可分层选用，并酌设平台。

2. 坑壁土的类别按现行《公路土工试验规程》JTG 3430—2020 划分；岩面单轴抗压强度小于 5MPa、为 5~30MPa、大于 30MPa 时，分别定为极软、软质、硬质岩。

3. 当基坑深度大于 5m 时，基坑坑壁坡度可适当放缓或加设平台。

③ 基坑为渗水性土质基底时，坑底的平面尺寸应根据排水要求（包括排水沟、集水井、排水管网等）和基础模板所需基坑大小确定。

4. 基坑降排水

桥梁施工中常用的基坑降排水方法有集水坑、井点降水法、止水帷幕法等。

1) 集水坑排水应符合的规定

(1) 基坑开挖时，宜在坑底基础范围之外设置集水坑并沿坑底周围开挖排水沟，使水流入集水坑内再排出坑外。集水坑的尺寸宜视渗水量的大小确定。

(2) 排水设备的能力宜为总渗水量的 1.5~2.0 倍。

2) 井点降水法排水应符合的规定

(1) 宜用于粉砂、细砂、地下水位较高、有承压水、挖基较深、坑壁不易稳定的土质基坑，无砂的黏质土中不宜采用。井点类别的选择，宜按土层的渗透系数、要求降低水位的深度以及工程特点确定。

(2) 井管成孔可根据土质分别采用射水成孔或冲击钻机、旋转钻机及水压钻探机成孔。井点降水曲线应低于基底设计高程或开挖高程至少 0.5m。

(3) 做好沉降及边坡位移监测，保证水位降低区域内构筑物的安全，必要时应采取防护措施。

3) 止水帷幕法防渗应符合的规定

(1) 应进行施工设计，帷幕防渗层厚度应满足基坑防渗的要求，止水帷幕的渗透系数宜小于 10×10^{-6} mm/s。

(2) 采用防水土工膜在围堰外侧铺底防渗时，应将河床面杂物清除干净并整平。土工膜应从围堰外侧的水位以上铺起，并超过堰脚不小于 3m；土工布之间的接头应搭接严密。铺底土工膜上应满压不小于 300mm 厚的砂土袋。

5. 基底处理

1) 基底处理方法

通常有换填土法、桩体挤密法、砂井法、袋装砂井法、预压法加固地基、强夯法、

电渗法、振动水冲法、深层搅拌桩法、高压喷射注浆法、化学固化剂法等。一般软弱地基土层加固处理方法可归纳为四种类型，即：

- (1) 换填土法，将基础下软弱土层全部或部分挖除，换填力学物理性质较好的土。
- (2) 挤密土法，用重锤夯实或砂桩、石灰桩、砂井、塑料排水板等方法，使软弱土层挤压密实或排水固结。
- (3) 胶结土法，用化学浆液灌入或粉体喷射搅拌等方法，使土壤颗粒胶结硬化，改善土的性质。
- (4) 土工聚合物法，用土工膜、土工织物、土工格栅与土工合成物等加筋土体，以限制土体的侧向变形，增加土的周压力，有效提高地基承载力。

2) 基底处理要求

对符合设计要求的细粒土、特殊土等基底，经修整完成后，应尽快设置混凝土垫层并进行基础的施工，不得使基底浸水或长期暴露；基坑开挖后如基底的地质情况与设计不符，则应按程序进行设计变更并应对地基进行处理。地基处理应根据地基土的种类、强度和密度，按照设计要求，结合现场情况采取相应的处理方法。地基处理的范围应宽出基础之外不小于0.5m。

对强度低、稳定性差的细粒土及特殊土地基，如饱和软弱黏土层、粉砂土层、湿陷性黄土、膨胀土、季节性冻土等，处理时应视该类土的处治深度和含水率等情况，采取固结、换填等措施，使其满足设计要求。

各类土质地基的基底处理要求如下：

- (1) 粗粒土和巨粒土地基的处理应符合下列规定：
 - ① 对于强度和稳定性满足设计要求的粗粒土及巨粒土基底，应将其承重面平整夯实。
 - ② 基底有水不能彻底排干时，应先将水引至排水沟，然后再在其上进行基础的施工。

(2) 岩层基底的处理应符合下列规定：

- ① 对风化岩层，应在挖至设计高程并满足地基承载力要求后尽快进行封闭，防止其继续风化。
- ② 在未风化的平整岩层上，基础施工前应先将淤泥、苔藓及松动的石块清除干净，并凿出新鲜岩面。
- ③ 对坚硬的倾斜岩层，宜将岩层面凿平；倾斜度较大应凿成多级台阶，台阶宽度宜不小于0.3m。

(3) 多年冻土地基的处理应符合下列规定：

- ① 基础不应置于季节性冻融土层上，并不得直接与冻土接触。
- ② 基础位于多年冻土层（即永冻土）上时，基底之上应设置隔温层或保温层材料，其铺筑宽度应在基础外缘加宽1m。
- ③ 按保持冻结原则设计的明挖基坑的地基，其多年平均地温大于或等于-3℃时，应在冬期施工；多年平均地温低于-3℃时，可在其他季节施工，但应避开高温季节，并按下列规定处理：

A. 严禁地表水流入基坑；

- B. 及时排除季节冻层内的地下水和冻土本身的融化水；
- C. 必须搭设遮阳棚和防雨棚；
- D. 施工前应做好充分准备，组织快速施工；施工完成的基础应立即回填封闭，不宜间歇；必须间歇时，应采用保温材料加以覆盖，防止热量侵入。

(4) 施工期间如有明水，应在距坑顶边缘 10m 之外设置排水沟，并将水引向远离基坑的位置排出；有融化水时应及时排除。

(4) 岩溶地基的处理应符合下列规定：

- ① 处理岩溶地基时，不得堵塞溶洞的水路。
- ② 干溶洞可采用砂砾石、碎石、干砌或浆砌片石、灰土、混凝土等回填密实；基底的干溶洞较大，回填处理有困难时，可设置桩基进行处理，桩基的设置应履行设计变更手续。

(5) 泉眼地基的处理应符合下列规定：

- ① 可采用有螺口的钢管紧密打入泉眼，盖上螺帽并拧紧，阻止泉水流出；或向泉眼内压注速凝的水泥砂浆，再打入木塞堵眼。

② 堵眼困难时，可采用管子塞入泉眼，将水引流至集水坑排出；亦可在基底下设盲沟引流至集水坑排出，待基础施工完成后，再向盲沟压注水泥浆堵塞。采用引流方式排水时，应防止砂土流失，引起基底沉陷。

- ③ 不论采用何种方法处理基底的泉眼，均不应使基底饱水。

6. 基底检验

1) 地基基底的检验应包括的内容

- (1) 平面位置、尺寸和基底高程。
- (2) 地质情况和承载力是否与设计资料相符。
- (3) 基底处理和排水情况是否符合规范要求。
- (4) 施工记录及有关试验资料等。

2) 地基基底的检验方法

特大桥或特殊结构桥梁的地基基底检验应符合设计规定，其余可按桥涵大小、地基土质复杂情况及结构对地基有无特殊要求等，采用下列方法进行地基的检验：

- (1) 小桥涵的地基检验可采用直观或触探方法，必要时可进行土质试验。
- (2) 大、中桥和地基土质复杂、结构对地基有特殊要求的地基检验，宜采用触探和钻探（钻深至少 4m）取样做土工试验，亦可按设计的特殊要求进行荷载试验。
- (3) 基底平面位置应符合设计要求且满足基础施工作业的需要。基底高程的允许偏差应符合现行《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》JTG F80/1—2017 的规定。

3.4.5 浅基础与承台施工

1. 浅基础施工

浅基础施工主要工序包括基础的定位放样、基坑开挖、基坑排水、基底处理以及基础结构物的浇筑（砌筑）等。

基础的定位放样应先根据桥梁中心线与墩台的纵、横轴线，推出基础边线的定位点，再放线画出基坑的开挖范围，基坑底部的尺寸应留有富余量，以便于支撑、排水

与立模板（如果是坑壁垂直的无水基坑坑底，可不必加宽，直接利用坑壁作基础模板亦可）。

开挖基坑前，应做好基坑中心线、方向和高程的复核，按地质水文资料，结合现场情况，决定开挖坡度、支护方案以及地面的防水、排水措施。

浅基础的基底为非黏性土或干土时，施工前应将其润湿，按设计要求浇筑混凝土垫层，垫层顶面不得高于基础底面设计高程；地基为淤泥或承载力不足时，应按设计要求处理后方可进行基础的施工；基底为岩石时，应采用水冲洗干净，且基础施工前应铺设一层不低于基础混凝土强度等级的水泥砂浆。

浅基础的施工宜采用钢模板。混凝土宜在全平截面范围内水平分层浇筑，机械设备的能力应满足混凝土浇筑施工要求。

若浅基础结构属大体积混凝土，应按有关大体积混凝土的规定组织施工。当浇筑量过大、设备能力难以满足施工要求，或大体积混凝土温控需要时，可分层或分块浇筑。

2. 承台施工

1) 承台施工方式的选择

承台是桩与柱或墩的连系部分。承台按构造方式可分为高桩承台和低桩承台；按施工方式分为现浇承台和预制式承台；按埋置方式分为陆上承台和水中承台。

当承台处于干处时，一般直接采用明挖基坑，根据基坑状况采取一定措施后，在其上安装模板，浇筑承台混凝土。基坑开挖一般采用机械开挖，辅以人工清底找平，基坑的开挖尺寸要求根据承台的尺寸、支模及操作的要求、设置排水沟及集水坑的需要等因素进行确定。基坑开挖、支护与排水施工见前述基坑施工要求。

当承台位于水中时，常采用围堰法施工，一般先设围堰将群桩围在堰内，然后在堰内河底灌注水下混凝土封底，凝结后将水抽干，使各桩处于干处，再安装承台模板，在干处灌筑承台混凝土。常用的围堰类型包括土石围堰、钢筋混凝土套箱围堰和钢围堰，常用的钢围堰主要有钢板桩围堰、锁口钢管桩围堰、钢套箱围堰、双壁钢围堰等。

2) 钢围堰施工

现场浇筑承台采用钢围堰作为挡水（土）设施时，应根据承台的结构特点、水文、地质和施工条件等因素确定适宜的围堰形式，并对围堰进行专项设计。施工期间环境条件发生较大变化时，应对围堰设计方案重新进行论证。

（1）钢围堰设计与施工的一般规定

① 围堰的平面尺寸宜根据承台的结构尺寸、安装及放样误差等确定，且满足承台施工操作空间的需要，围堰内侧距承台边缘的净距宜不小于1m（围堰内侧兼作模板时除外）。围堰顶面高程应高出施工期间可能出现的最高水位（包括浪高）0.5~0.7m；有潮汐的水域，应同时考虑最高和最低施工潮位对围堰的不利影响。

② 围堰除应满足自身的强度、刚度和稳定性要求外，尚应考虑河床断面被压缩后，流速增大导致的河床冲刷和对通航、导流等的影响。

③ 对围堰结构进行计算时，除应考虑施工荷载及结构重力、水流压力、浮力、土压力等荷载外，尚应根据现场的具体情况考虑可能出现的冲刷、风力、波浪力、流冰压力、施工船舶或漂浮物撞击力等作用。