

(1) 机械连接件的混凝土保护层厚度 $\geq 20\text{mm}$; 连接件之间或连接件与钢筋之间的横向净距 $\geq 25\text{mm}$ 。

(8) 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。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。**【2016 多 II、2015 单 I】**

配置在接头长度区段内的受力钢筋，其接头的截面面积占总截面面积的百分率应符合表的规定。

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

(9) 钢筋骨架

(1) 骨架焊接时，不同直径钢筋的中心线应在同一平面上，较小直径钢筋下面宜垫钢板。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。**【2023 单 II】**

(10) 钢筋安设、支承及固定要求

(1) 钢筋与模板之间应设置垫块，混凝土垫块应 \geq 结构混凝土强度。垫块的制作厚度不应出现负误差，正误差应 $\leq 1\text{mm}$ 。垫块不应横贯混凝土保护层的全部截面进行设置。垫块在结构侧面和底面布设数量应 $\geq 4\text{ 个}/\text{m}^2$ 。

(11) 灌注桩钢筋骨架

(1) 主筋接头应错开布置。

(2) 骨架外侧垫块间距在竖向 $\leq 2\text{m}$ ，在圆周 ≥ 4 处。

3. 预应力筋

(1) 预应力筋进场时应分批验收，除对其质量证明书、包装、标志、规格等进行检查外，尚须检查：**【2022 单 I、2012 单 I、2011 案 I】**

预应力筋	检验批	检查与试验项目	
钢丝	$\leq 60\text{t}$	表面质量	抗拉强度、弯曲、伸长率
钢绞线			直径偏差、力学性能
螺纹钢筋			拉伸

(2) 用作拉伸试验的试件，不允许进行任何形式的加工。

(3) 预应力筋下料规定：

(1) 预应力筋的下料长度应通过计算并考虑结构的孔道长度(后张)或台座长度(先张)、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。**【2016 单 II、2015 多 II】**

(2) 钢丝束采用镦头锚具时，宜采用等长下料法。

(3) 预应力筋可采用切断机、砂轮锯切断，严禁采用电弧切割。**【2021 单 I、2006 案 I】**

3.3.2 混凝土工程施工 ★★★

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%。【2015 案 I】

试件以同龄期者三块为一组，以同等条件制作和养护。

①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；

②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；

③如有两个测值与中间值的差值均超过 15%，则该组试件无效。

【2015 案 I】背景资料节选：试件以同龄期者三块为一组，并以同等条件制作和养护，经试验测定

第一组三块试件强度分别为：51.5MPa、50.5MPa、61.2MPa；

第二组三块试件强度分别为：54.7MPa、50.5MPa、57.1MPa；

第三组三块试件强度分别为：59.3MPa、50.1MPa、68.7MPa。

分别计算或评定三组试件的混凝土强度测定值。

【答案】第一组：51.5MPa；第二组：54.1MPa；第三组：试件无效。

【解析】(1) 第一组：中间值 51.5 的 ±15% 范围：43.775~59.225；一个测值与中间值的差值超中间值 15%，测定值取中间值 51.5MPa。

(2) 第二组：中间值 54.7 的 ±15% 范围：46.495~62.905；以三个试件测值的算术平均值为测定值，取平均值 54.1MPa。

(3) 第三组：中间值 59.3 的 ±15% 范围：50.405~68.195；有两个测值与中间值的差值均超过 15%，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±2℃ 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。【2015 案 I、2014 多 I】

【补充】同条件养护：指试块和构件在现场同样环境下进行养护，作为构件拆模、吊装、张拉、放张的依据。

标准养护：指试块在实验室标准条件下养护，用来评定混凝土强度。

2. 配合比

(1) 混凝土配合比应以质量比计量。

(2) 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，均不得掺用氯盐（氯化钙、氯化钠）。

②减水剂宜采用聚羧酸系减水剂。

(3) 混凝土的总碱含量，对一般桥梁宜 ≤ 3.0kg/m³，对特大桥、大桥和重要桥梁宜 ≤ 2.1kg/m³。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。

(4) 泵送混凝土【2019 单 II、2017 单 I、2014 多 I】

①胶凝材料用量宜 $\geq 300\text{kg}/\text{m}^3$ 。水泥宜选用**硅酸盐水泥**、**普通硅酸盐水泥**、**矿渣硅酸盐水泥**、**粉煤灰硅酸盐水泥**（**不宜火山灰质硅酸盐水泥**）。

②应掺用适量泵送剂或减水剂，且宜掺用**矿物掺合料**。

③试配时应考虑**坍落度的经时损失**。

【补充】坍落度是混凝土和易性（流动性）的测定方法与指标。

（5）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混凝土结构试验室配合比**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 $2400\text{kg}/\text{m}^3$, 则混凝土的试验室配合比转换成**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。（**理解, 会算。**）

【补充】混凝土配合比两种表示方法:

①**单位用量表示法**: 以每 1m^3 混凝土中各种材料的用量表示（例如 水泥: 水: 细集料: 粗集料=375kg: 195kg: 731kg: 1099kg）。

②**相对用量表示法**, 以水泥的质量为1, 并按“水泥: 细集料: 粗集料, 水灰比”的顺序排列表示（例如1: 1.95: 2.93, W/C=0.52）。也即 水泥: 水: 细集料: 粗集料, =1: 0.52: 1.95: 2.93。

【补充】砂石的含水率=（烘干前的重量-烘干后的重量）/烘干后的重量×100%

3. 拌制与运输

（1）混凝土的配料宜采用自动计量装置。计量器具应**定期**标定, 迁移后应**重新**标定。

（2）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 $\leq 15\text{min}$ 时, 其坍落度可仅在搅拌地点取样检测。**【2014多I】**

（4）泵送混凝土的泵送间歇时间宜 $\leq 15\text{min}$ 。

（5）混凝土运至浇筑地点后发生**离析**、**严重泌水**、**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。**【2023多II、2012单I】**

【补充】胶凝材料=水泥+掺合料

4. 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。

③**对混凝土的均匀性和坍落度等性能**进行检测。

老船长经典秒杀口诀：猎豹惧顺丰

(2) 自高处向模板内倾卸混凝土时，应防止混凝土离析。【2020 单 I、2017 多 II】

倾卸方式	要求
①直接倾卸	自由倾落高度宜≤2m
②倾落高度>2m	应通过串筒、溜管（槽）、振动溜管（槽）下落
③倾落高度>10m	应设置减速装置

【2020 单 I】自高处向模板内倾卸混凝土时，为防止混凝土离析，混凝土自由倾落高度不宜超过（ ）m。

- A. 2 B. 3 C. 4 D. 7

【答案】A

(3) 混凝土应按一定厚度、顺序和方向分层浇筑，应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。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（用插入式或附着式振动器）：≤300mm。

(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≤振动器作用半径的 1.5 倍。

②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。

老船长经典秒杀口诀：姜子牙晨跑

(5) 混凝土的浇筑应连续进行，如因故必须间断时，其间断时间应<前层混凝土的初凝时间或能重塑的时间。超出时应按浇筑中断处理，须留置施工缝并作好记录。【2020 案 I】

(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。对施工缝的处理应符合下列规定：

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≥8mm。施工缝处混凝土的强度：

凿毛方式	施工缝处混凝土的强度要求 (MPa)
水冲洗	0.5
人工	2.5
风动机	10

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；有抗渗要求的混凝土，其施工缝宜做成凹、凸形状，并设置止水带；施工缝为斜面时宜浇筑或凿成台阶状。

(7) 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. 养护

(1) 混凝土养护严禁采用海水。洒水保湿养护时间应 $\geq 7d$ 。当气温 $<5^{\circ}\text{C}$ 时，应采取保温养护措施，不得向混凝土表面洒水。

(2) 混凝土强度未达到设计强度等级的 80% 前不得受冻。

6. 大体积混凝土【2006 多 I、2004 单 I】

(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。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) 大体积混凝土的浇筑、养护和温度控制应符合下列规定：

①应使其内部最高温度 $\leq 75^{\circ}\text{C}$ 、内表温差 $\leq 25^{\circ}\text{C}$ ，混凝土表面与大气温差 $\leq 20^{\circ}\text{C}$ 。

②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°C ，并将各层间的浇筑间歇期控制在 7d 以内。

③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。

④大体积混凝土的浇筑宜在气温较低时进行，但混凝土入模温度应 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ ；热天施工时，宜采取措施将混凝土入模温度控制在 28°C 以下。

⑤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。水温与内部混凝土温差宜 $\leq 20^{\circ}\text{C}$ 。【2021 单 II】

⑥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。

【2021 单 II】桥梁大体积混凝土施工中，在混凝土内部设置冷却水管，并进行循环水冷却养护时，水温与内部混凝土的温差宜（）。

- A. $\leq 20^{\circ}\text{C}$ B. $\leq 25^{\circ}\text{C}$ C. $\leq 30^{\circ}\text{C}$ D. $\leq 35^{\circ}\text{C}$

【答案】A

7. 高强度混凝土、高性能混凝土【2019 单 I】

(1) 高强度混凝土

①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。

②高强度混凝土的水泥用量宜 $\leq 500\text{kg}/\text{m}^3$, 胶凝材料总量宜 $\leq 600\text{kg}/\text{m}^3$ 。

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 ≥ 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，且宜制成溶液后再加入，如为粉剂则应扣除溶液用水量。

【补充】外加剂掺入方法

①先掺法：外加剂先与水泥混合，再加集料、水搅拌。

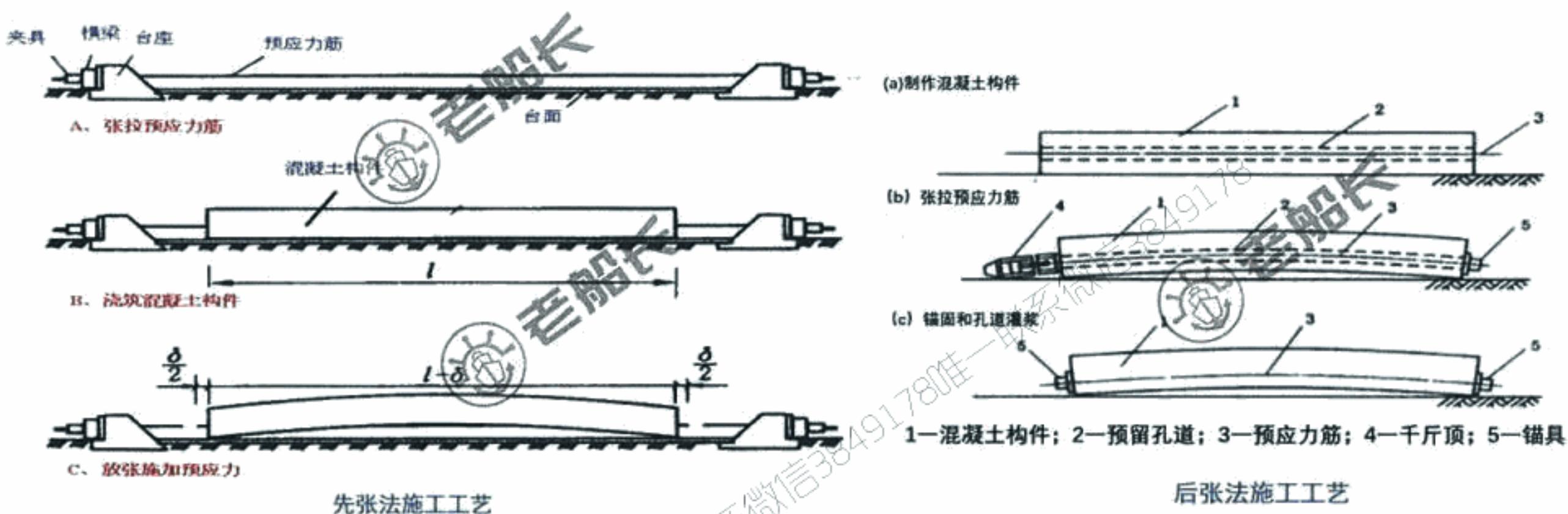
②后掺法：水泥、集料、水先搅拌一段时间后，再加入外加剂进一步搅拌。

(2) 高性能混凝土【2019 多 I、2018 单 II】

①高性能混凝土的水泥宜选用强度等级 ≥ 42.5 级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。

②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。

3.3.3 预应力混凝土工程施工 ★★★



【补充】A. 先张法——施工流程

【补充】先张法材料设备——夹具

【补充】先张法材料设备——连接器

【补充】B. 后张法——施工流程

【补充】后张法材料设备——锚具（锚板、锚垫板、夹片、局部加强筋）、限位板、压浆孔

【补充】后张法材料设备——夹具（锚板、夹片）

【补充】后张法设备安装顺序：预应力管道→局部加强筋→锚垫板→锚板→限位板→千斤顶→夹具。

【补充】后张法材料设备——连接器

【补充】锚具和夹具的区别

锚具是在预应力筋张拉完毕后将预应力筋永远锚固在构件端部，防止预应力筋回缩（造成应力损失），与构件共同受力，不能卸下重复使用。又叫工作锚，可认为一次性、仅用于后张法。

夹具是在预应力构件制作中夹住预应力筋进行张拉，构件制作完成后可以卸下重复使用的一种张拉工具。又叫工具锚，可多次重复使用，先张法和后张法中都会用到。

锚具和夹具外观非常像，作用原理一致，但是所用材料有所区别，故不能互相代替使用。

1. 预应力材料及预应力管道

(1) 预应力材料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。【2021 单 II】

【2021 单 II】关于预应力钢筋和金属管道存放的说法，正确的是（）。

- A. 进场后如需长时间存放，必须安排定期的外观检查
- B. 室外存放时，时间不宜超过 12 个月
- C. 如直接堆放在地面上，地面应先进行硬化
- D. 存放的仓库内若有腐蚀性气体，应设挡板隔离

【答案】A

(3) 锚具、夹具和连接器均应专人保管。

(4) 锚具应满足分级张拉、补张拉、放松预应力要求。

(5) 夹具应具有良好的自锚、松锚和安全重复使用性能，可重复使用的次数应不少于 300 次。

(6) 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。

(7) 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。

(8) 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：【2015 案 I】

① 外观检查。应从每批产品中抽取 2% 且 ≥ 10 套样品，检查其外形尺寸、表面裂纹及锈蚀情况。

② 尺寸检验。应从每批产品中抽取 2% 且 ≥ 10 套样品，检验其外形尺寸。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。（单双全）

③ 硬度检验。应从每批产品中抽取 3% 且 ≥ 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。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。（单双全）

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。（单双全 X）

【补充】静载锚固性能试验：在预应力试件上加置静荷载（不随时间变化的荷载），检测其锚固器具的稳定性。

老船长经典秒杀口诀：家猫连吃带拿管经营

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。

（9）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。

（10）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。

（11）管道的进场检验应符合下列规定：

①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。

②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。

（12）波纹管在搬运时应采用非金属绳捆扎。波纹管在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，在室外存放时不得直接堆于地面，应支垫并遮盖。

2. 混凝土的浇筑

（1）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。**【2016案I、2015案I】**

3. 施加预应力

1) 机具及设备要求

（1）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。

（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。当处于下列情况之一时，应重新进行标定。**【2018单I、2015案II、2011多II、2010案II】**

- ①使用时间>6个月；
- ②张拉次数>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。

老船长经典秒杀口诀：刘三检疫

（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) 张拉应力控制

（1）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。

【2015 案 II、2012 案 I、2006 案 I】

(3) 预应力筋的理论伸长值 ΔL_t (mm) 可按式计算:

式中 P_p —预应力筋的平均张拉力 (N)；

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)。

$$\Delta L_L = \frac{P_p L}{A_p E_p}$$

老船长经典秒杀口诀：李姐吹拉弹唱

(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。【2011 多 II】

预应力筋张拉的实际伸长值 ΔL_s (mm)，可按下式计算：

$$\Delta L_s = \Delta L_1 + \Delta L_2$$

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。【2014 单 II】

【补充了解】最初张拉时各根预应力筋的松紧、弯曲程度不一致，所以初应力时的伸长值不能采用量测方法，而需要采用推算的方法。推算时，通常采用相邻级的伸长值，例如初应力 σ_0 为 10% σ_{con} 时，其伸长值采用由 10% σ_{con} 张拉到 20% σ_{con} 的伸长值。

(5) 预应力筋张拉控制应力的精度宜为 $\pm 1.5\%$ 。

(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 $\pm 5\%$ ，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 $\pm 2\%$ 。

(7) 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。

4. 先张法

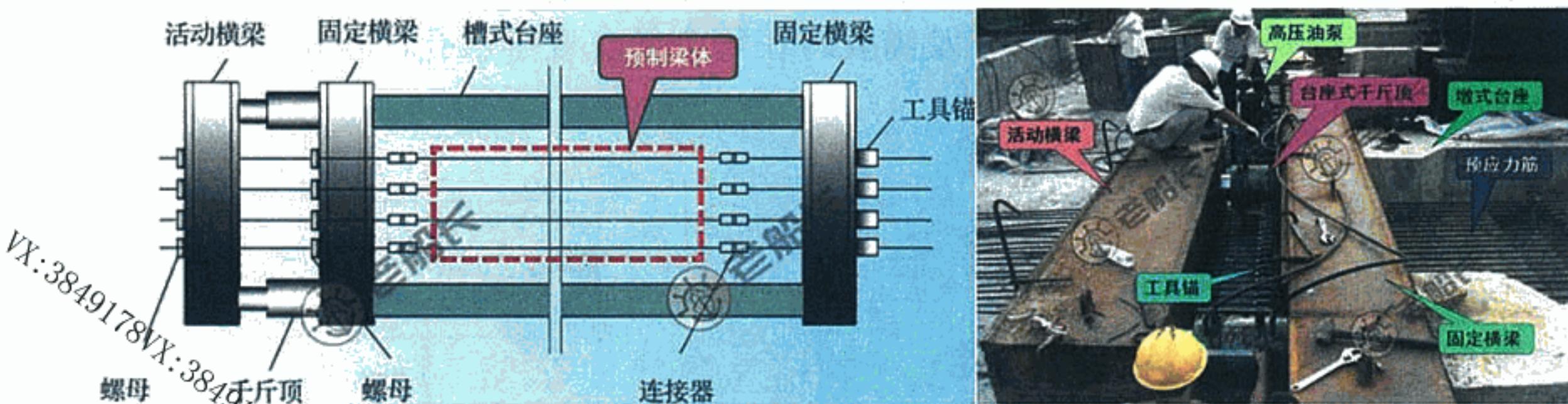
(1) 墩式台座结构应符合下列规定：

① 承力台座应具有足够的强度、刚度和稳定性，其抗倾覆安全系数应 ≥ 1.5 ，抗滑移系数应 ≥ 1.3 。

老船长经典秒杀口诀：清华邀我一生

② 锚固横梁受力后挠度应 $\leq 2\text{mm}$ 。【2019 单 I、2008 多 II、2006 单 II】

(2) 预应力筋的安装宜自下而上进行。预应力筋与锚固横梁间的连接，宜采用张拉螺杆。



(3) 先张法预应力筋张拉应符合下列规定：

① 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，并应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%。

②预应力筋的张拉程序可按下表规定进行。【2020 单 II】

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: $0 \rightarrow \text{初应力} \rightarrow \sigma_{\text{con}}$ (持荷 5min 锚固)
螺纹钢筋		$0 \rightarrow \text{初应力} \rightarrow 1.05 \sigma_{\text{con}}$ (持荷 5min) $\rightarrow 0.9 \sigma_{\text{con}} \rightarrow \sigma_{\text{con}}$ (锚固)

③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的 1%，张拉螺纹钢筋不容许断筋。【2019 单 I】

④预应力筋张拉完毕后，其与设计位置的偏差应 $\leq 5\text{mm}$ 且 \leq 构件最短边长的 4%，宜在 4h 内浇筑混凝土。【2019 单 I】

(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 \geq 设计强度等级值的 80%，弹性模量应 \geq 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 $\geq 5\text{d}$ 。

②预应力筋的放张顺序应分阶段、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 $\leq 1.0\text{mm}$ 。

③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数次完成；单根钢筋采用拧松螺母的方法放张宜先两侧后中间，并不得一次将一根预应力筋松完。

④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。【2019 单 I】

⑤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孔道时，应符合下列规定：

①管道内横截面面积应 \geq 预应力筋净截面面积的 2 倍。

②用定位钢筋固定管道。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，定位钢筋间距，波纹管宜 $\leq 0.8\text{m}$ 。

③管道接头处的连接宜采用大一级直径的同类管道。

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。【2017 单 II】

⑤后张预应力管道安装的允许偏差：

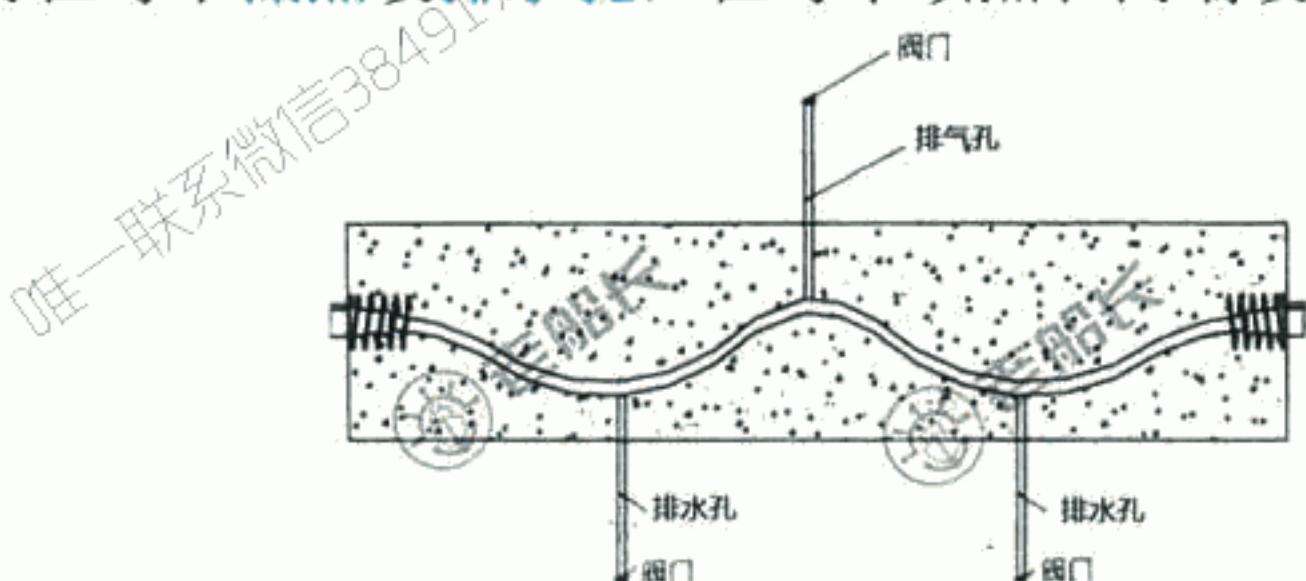
- A. 梁长方向 $\pm 30\text{mm}$ ；
- B. 其他均为 $\pm 10\text{mm}$ 。

(2) 预应力筋的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。

②采用蒸汽养护混凝土时，养护完成前不应安装预应力筋。（后穿筋）

(3) 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**。

②张拉时，混凝土的**强度**应 \geq 设计强度等级值的 80%，**弹性模量**应 \geq 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 $\geq 5d$ 。**【2021 案 I、2019 案 I】**

③预应力筋的张拉可采取分批、分阶段的方式**对称张拉**。

④预应力筋张拉端的设置应符合下列规定：

A. 钢束长度 $<20m$ 的直线预应力筋可在一端张拉；曲线预应力筋或钢束长度 $\geq 20m$ 的直线预应力筋，应采用**两端张拉**。

B. 同一截面中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。

⑤两端张拉时，各千斤顶**同步张拉力**的允许误差宜为 **$\pm 2\%$** 。

⑥张拉程序可按表规定进行。**【2022 单 II、2020 案 I、2019 案 I】**

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： $0 \rightarrow$ 初应力 $\rightarrow \sigma_{con}$ （持荷 5min 锚固）
螺母锚固锚具	螺纹钢筋	$0 \rightarrow$ 初应力 $\rightarrow \sigma_{con}$ （持荷 5min） $\rightarrow 0 \rightarrow \sigma_{con}$ （锚固）

⑦后张预应力筋断丝及滑移不得超过表中规定的控制数。

后张预应力筋断丝、滑移限制

类别	检查项目	控制数
钢丝束、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

⑧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。**【2015 案 II】**

⑨切割后预应力筋的外露长度应 $\geq 30mm$ 且 ≥ 1.5 倍预应力筋直径。**【2020 单 I】**

(4) 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。

②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 ≥ 42.5 的**低碱**硅酸盐或**低碱**普通硅酸盐水泥，外加剂**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。减水剂的减水率应 $\geq 20\%$ 。

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。

③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。**【2023 多 I、2020 案 I】**

④浆液自拌制完成至压入孔道的延续时间宜≤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。

⑤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≥0.5MPa的稳压期。

⑥压浆每一工作班应制作留取不少于3组尺寸为40mm×40mm×160mm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。

⑦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。

⑧封锚应采用与结构或构件同强度的混凝土。

⑨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。
精准填报微信3849178

⑩孔道压浆填写以下施工记录：压浆材料、压浆日期、压浆量、稳压压力及时间、浆液温度、环境温度、配合比、出机初始流动度、搅拌时间。采用真空辅助压浆工艺时尚应包括真空度。

老船长经典秒杀口诀 四压二温配流拌

3.3.4 钢结构与钢混组合结构工程施工 ★★★

1. 钢结构施工

1) 一般规定

(1) 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。

(2) 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。

2) 焊接与钢构件矫正

(1) 焊接施工应符合下列规定：

①焊接工作宜在室内进行，焊接环境的相对湿度应<80%。主要钢构件应在组装后24h内焊接。

②露天焊接时，主要钢构件应在组装后12h内焊接。

③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。

④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。

3) 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。
唯一联系微信3849178

(2) 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。

4) 工地连接

(1) 高强度螺栓连接规定

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。

②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。
题微信3849178VX:3849178

③高强度螺栓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≥8套。

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。**【2018案I】**

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扭矩检查应在螺栓终拧1h以后、24h之前完成。

(2) 工地焊接规定

①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。

②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。**【2018案I】**

③工地焊接应在除锈后的12h内进行。**【2018案I】**

④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为：风力应<5级；温度应>5℃；相对湿度应<80%。**【2018案I】**

2. 钢混组合结构

1) 钢构件安装

(1) 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。

(2) 支架上安装钢梁应符合下列规定：

①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。

2) 混凝土桥面板施工

(1) 预制混凝土桥面板的场内搬运和存放：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、搬运。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。
3849178VX:3849178

(2) 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不得因桥面板就位困难而随意切断钢筋或破坏剪切连接装置。

(3) 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。

(4) 对桥面板施加预应力的方法，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。

3) 组合节段制作与拼装

(1) 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。

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承。组合节段的存放时间宜不少于 90d。

4) 钢 - 混凝土接头

(1) 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。

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预应力钢束张拉应对称、均衡地进行。接头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。

④接头混凝土在未达到设计强度之前，不得承受荷载。

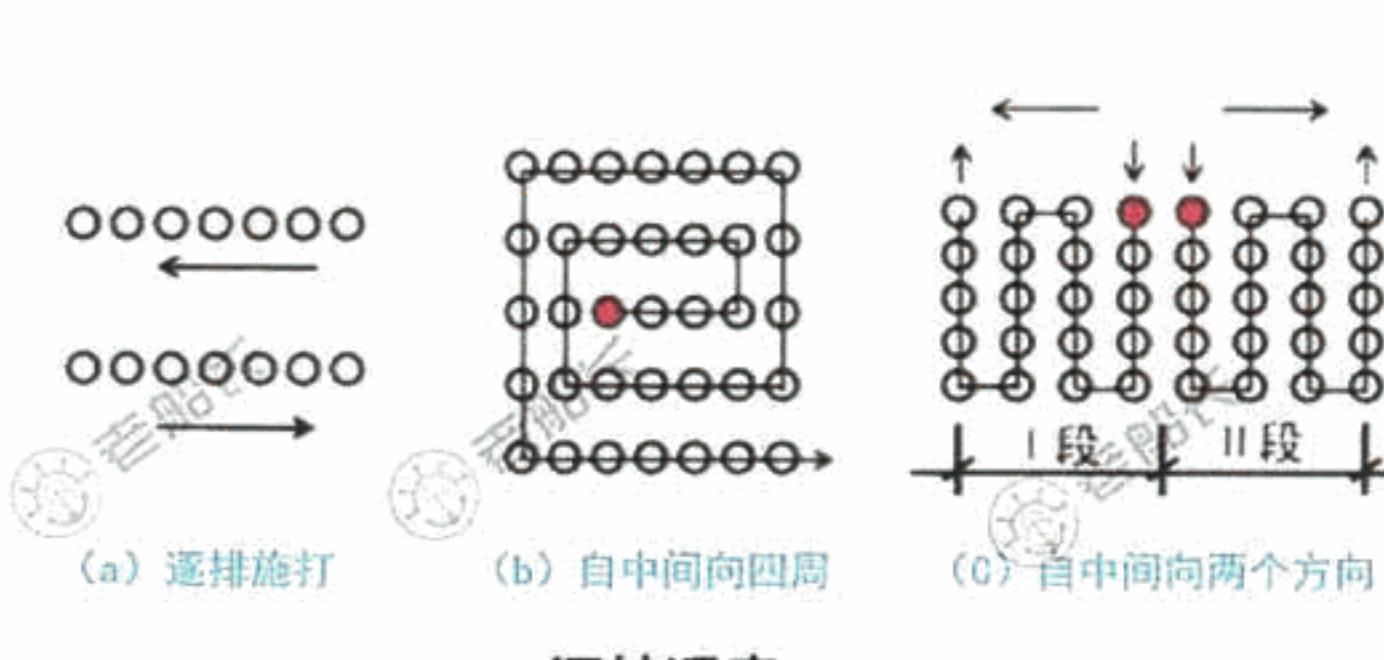
3.4 桥梁下部结构施工

3.4.1 桩基础施工 ★★★

1. 沉入桩

沉入桩的施工方法主要有：锤击沉桩、振动沉桩、射水沉桩等。

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；如桩布置有深浅，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。



1) 锤击沉桩

(1) 宜采用较低落距，且桩锤、送桩与桩宜保持在同一轴线上。（即：重锤低击）

(2) 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 $<5\text{MPa}$ 时，距结构物30m范围内，不得进行沉桩。

(3) 锤击沉桩控制

设计桩尖土层的地质	控制标准
①一般黏性土	以高程控制
②硬塑状黏性土或粉细砂	应以高程控制为主，贯入度作为校核
③砾石、密实砂土或风化岩	以贯入度控制

【补充】贯入度一般是指锤击桩每10击进入的深度mm，用($\text{mm}/10\text{击}$)表示，如在强风化花岗岩中最后贯入度(6吨的锤)一般为20~50($\text{mm}/10\text{击}$)。进行贯入测试的目的，是通过贯入度判断地基土的软硬程度，从而确定桩基或地基土的承载能力。

(4) 发生“假极限”“吸入”“上浮”现象的桩，应进行复打。

2) 振动沉桩

(1) 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。

(2) 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，以最终贯入度作为校核。

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。

(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。当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。

2. 钻孔灌注桩施工

1) 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、灌注水下混凝土等。**【2015单I】**

(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。**【2020单II、2019单II、2011案II】**

老船长经典秒杀口诀：胡同文哥保孤岛

- ①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**。
 ②护筒的埋置深度在旱地或筑岛处宜为 **2~4m**。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**。

(2) 制备泥浆【2009 多 I】

钻孔泥浆由**水**、**黏土**（或**膨润土**）、**添加剂**按适当配合比配制而成。

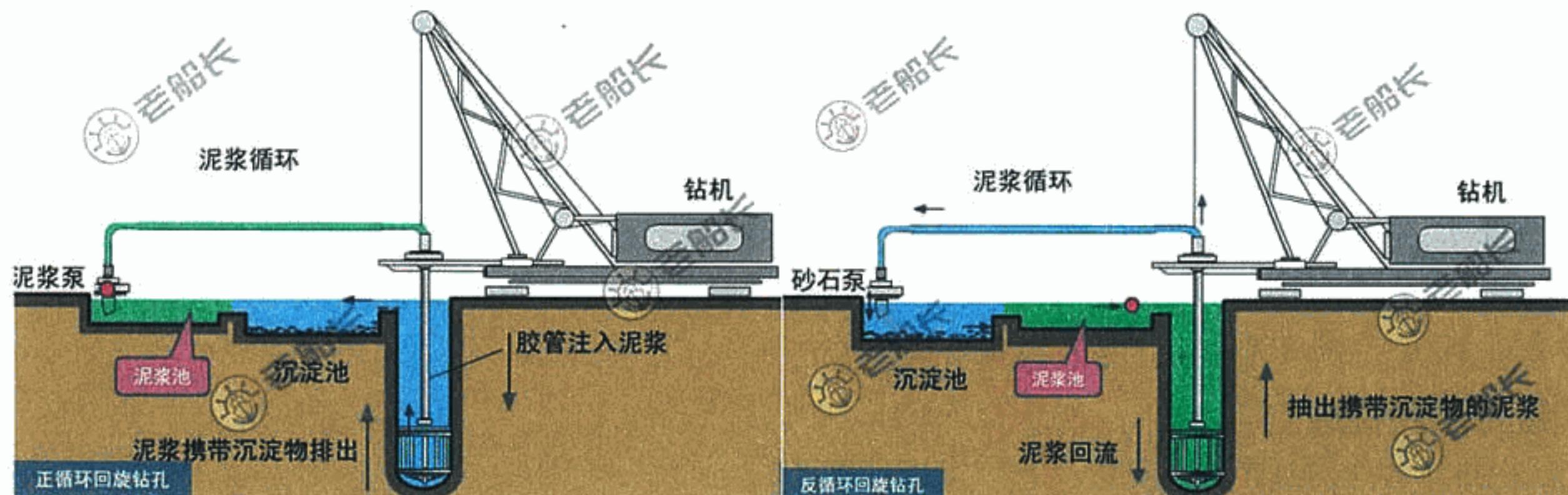
钻孔泥浆具有**浮悬钻渣**、**冷却钻头**、**润滑钻具**，**增大静水压力**，并在**孔壁形成泥皮**，隔断孔内外渗流，**防止塌孔**的作用。

老船长经典秒杀口诀：你将放花无缺打服哥

(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**。

①**正循环回旋钻孔**：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。【2017 案 I、2016 单 II、2010 单 II】



②**反循环回旋钻孔**：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大**，为此需用**较高质量的泥浆**。【2009 单 II】

老船长经典秒杀口诀：正喷稀饭

③**冲击钻成孔**：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（万能）。

【2024 单 II】特别适合在有孤石的砂砾石层、漂石层、硬土层中使用的钻机是（）。

A. 回旋钻机 B. 冲击钻机 C. 旋挖钻机 D. 潜水钻机

【答案】B

④**旋挖钻机钻孔**

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。【2023】

单 I 、2017 案 I 、2012 单 II】

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**。

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。

(4) 清孔与成孔检查

钻孔达到设计深度后，应进行**成孔检查**，符合要求后，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**、**倾斜度**进行检验；清孔后，应对**孔底的沉淀厚度**进行检验。

老船长经典秒杀口诀：警卫身型斜

B. 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**、**砂浆置换法**。清孔应符合下列要求：

A. 在清孔排渣时必须**保持孔内水头**，防止塌孔。

B. 清孔后，孔底沉淀厚度：对桩径≤1.5m 的摩擦桩宜≤200mm

对桩径>1.5m 或桩长>40m 以及土质较差的摩擦桩宜≤300mm；

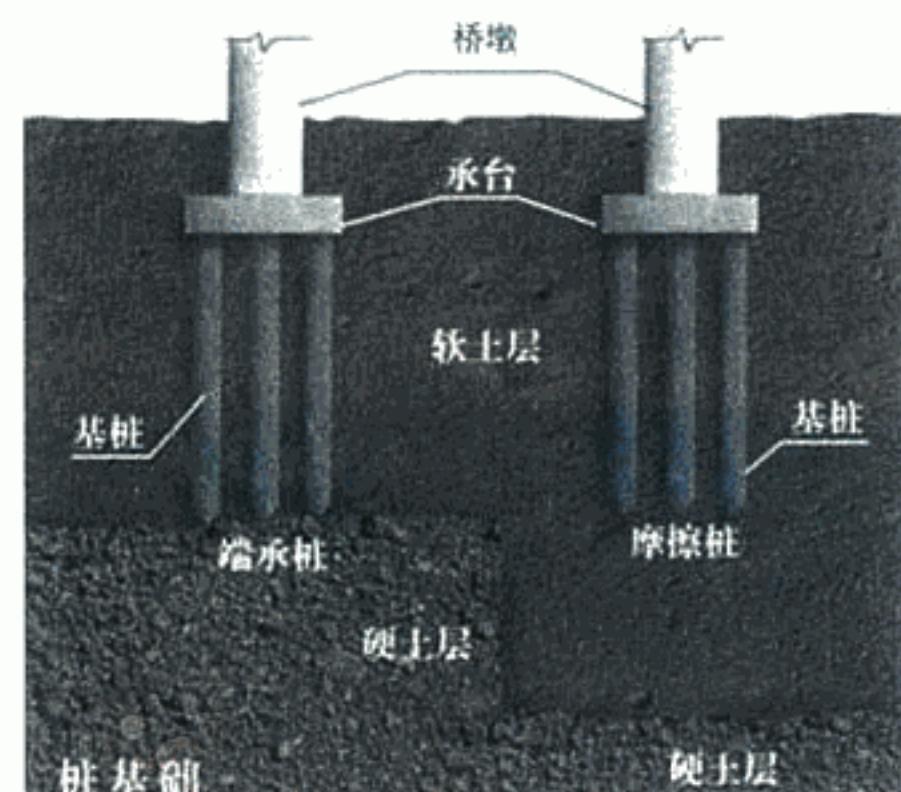
对支承桩宜≤50mm。

C. 在吊入钢筋骨架后，灌注水下混凝土之前，应再次检查**孔内泥浆的性能指标**和**孔底沉淀厚度**，如超过规定，应进行**第二次清孔**，符合要求后方可灌注水下混凝土。

D. 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

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。



(6) 灌注水下混凝土

①灌注水下混凝土前的准备工作

A. 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**的1.3倍。【2022 案 I】

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**；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1/8~1/6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 160~220mm。

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，应检查均匀性、坍落度，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下式和下图计算。

$$V = \frac{\pi D^2}{4} (H_1 + H_2) + \frac{\pi d^2}{4} h_1$$

式中 V——灌注首批混凝土所需数量 (m³)；

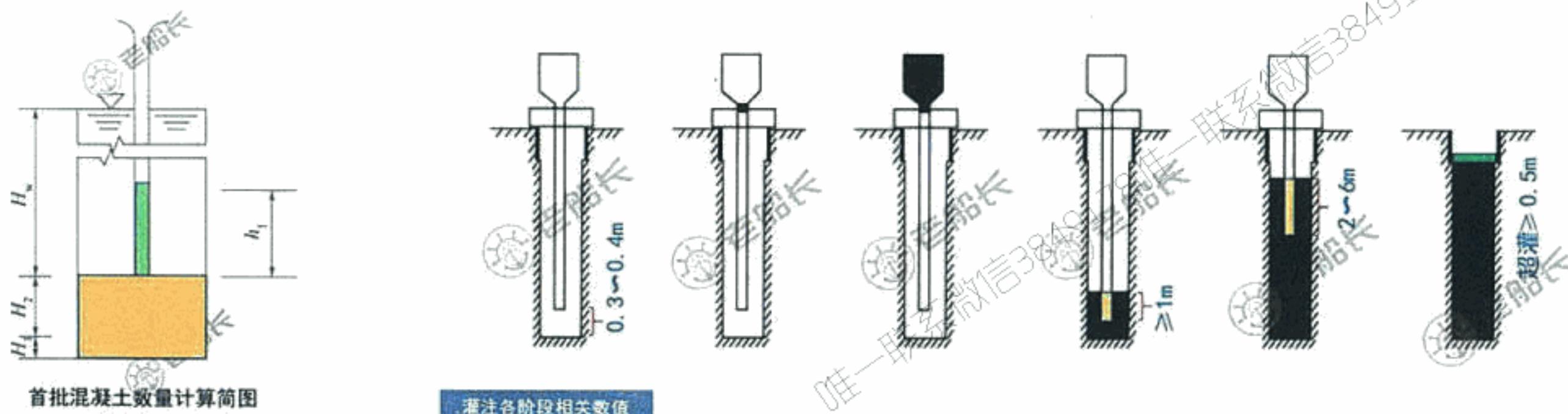
D——桩孔直径 (m)；

H₁——桩孔底至导管底端间距 (m)，一般为 0.3~0.4m；

H₂——导管初次埋置深度 (m)；

d——导管内径 (m)；

h₁——桩孔内混凝土达到埋置深度 H₂ 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 h₁=H_w γ_w / γ_c。



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，导管的埋置深度宜控制在 2~6m，最大埋深应≤9m。

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. 灌注桩桩顶高程应比设计高程高出不小于 0.5m。

2) 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。

(1) 当桩内有声测管时，可利用其兼作压浆管。

(2) 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桩底后压浆时，对直径小于 1200mm 的桩，宜布置 2 根压浆管；直径≥1200mm、小于 2500mm 的桩，宜布置 3 根压浆管；直径≥2500mm 的桩，宜布置 4 根压浆管。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。

（3）灌注桩后压浆的施工应符合下列规定：

①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。

②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。

③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。

④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。

⑤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，搅拌好的浆液应具有良好的流动性，不离析、不沉淀。

⑥压浆时，宜遵循“细流慢注”的原则。

⑦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。

⑧对多根桩进行压浆时，各桩压浆的间隔时间宜不少于 2h。

⑨压浆作业时，实际的压浆压力应小于控制压力。

⑩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。

（4）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。*精准押题微信3849178*

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 ≥ 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。

3) 灌注桩的混凝土质量检验要求

(1) 桩身完整性检验：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。【2018】

案 I】

4) 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) 柱身混凝土质量差

指柱身出现蜂窝、空洞、夹泥层或级配不均的现象。

①原因分析

A. 灌注混凝土时或上部放钢筋笼时，孔壁土坍落在混凝土中，造成柱身夹泥。

B. 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，造成柱身级配和强度不均匀。

C. 孔内无水干浇混凝土时未边灌边振捣，导致柱身混凝土不密实。

②防治措施

A. 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。

B. 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。

C. 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。

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三级标准浓度限值且无通风措施、桩径或最小边宽度<1200mm 时，不得采用人工挖孔施工。

【2020 多 I】



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：

(1) 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。【2015 多 II】

(2) 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 $\leq 1.5\text{m}$ 时应 $\geq \text{C}25$ ，桩径 $> 1.5\text{m}$ 时应 $\geq \text{C}30$ 。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。【2021 单 II、2019 案 II、2018 多 II】

(3) 孔口处应设置高出地面 $\geq 300\text{mm}$ 的护圈，并应设置临时排水沟，防止地表水流入孔内。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。【2021 单 II、2019 案 II、2017 单 I、2015 多 II】

(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。【2018 多 II、2017 单 I、2015 多 II、2013 单 II】

(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。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。【2020 多 I、2019 案 II、2013 单 II】

(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。【2020 多 I】

(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。【2019 案 II】

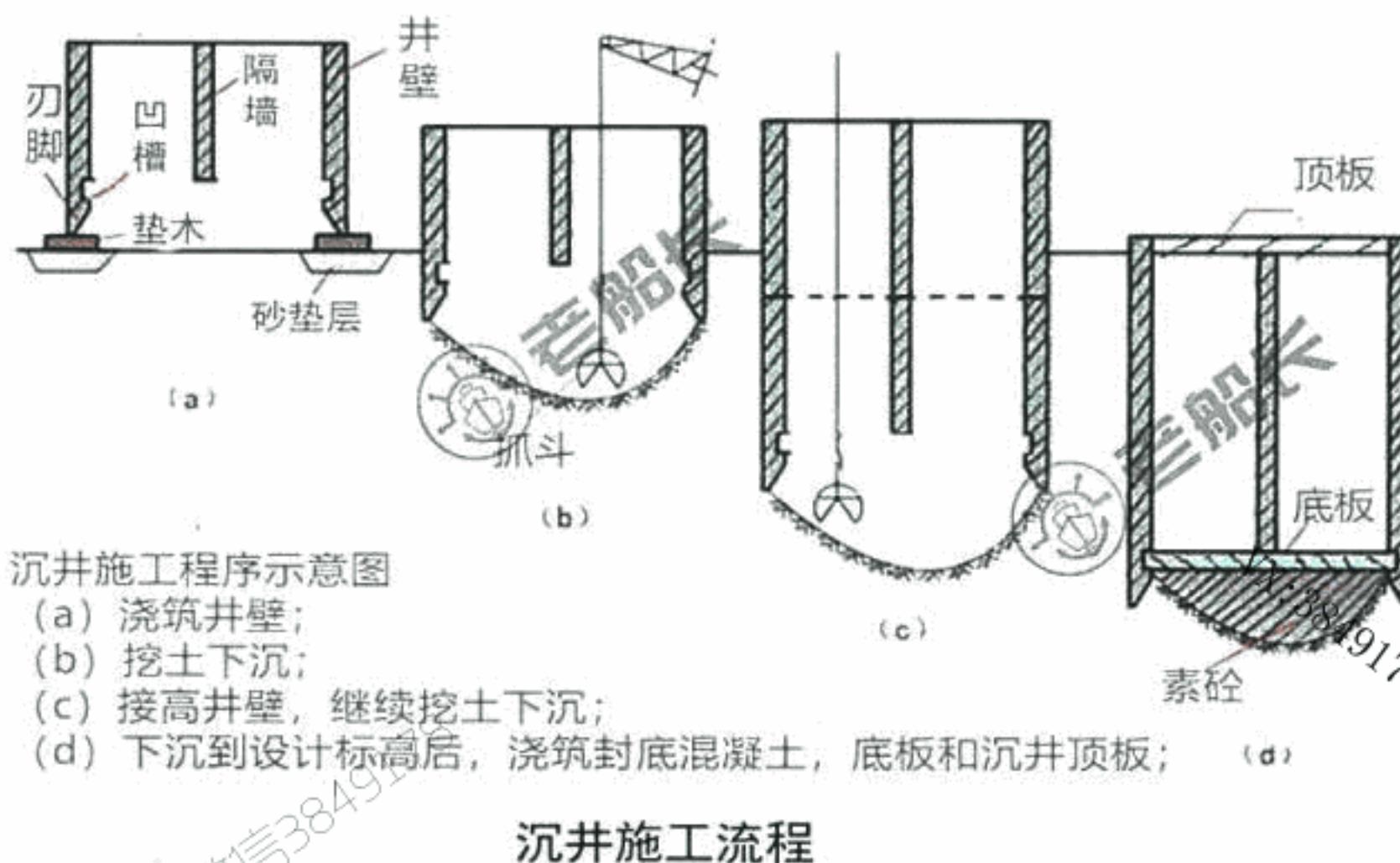
(8) 桩孔内遇岩层需爆破作业时，应进行爆破的专门设计，宜采用浅眼松动爆破法，并严格控制炸药用量，在炮眼附近应对孔壁加强防护或支护。孔深大于 5m 时，必须采用导爆索或电雷管引爆。桩孔内爆破后应通风排烟 15min ，经检查确认无有害气体后，施工人员方可进入孔内继续作业。【2017 单 I、2016 单 II、2013 单 II】

(9) 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。

【深度总结】

相关深度 (m)	内容
5	孔深大于 5m 时，必须采用导爆索或电雷管引爆
10	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
15	孔深不宜超过 15m ，超过 15m 的桩孔内应配备有效的通信器材
30	孔深超过 30m 的应配备作业人员升降设备

3.4.2 沉井施工 ★★



沉井施工流程



1. 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。

位于深水中的沉井，宜采用浮式沉井。

2. 沉井浮运、定位

1) 沉井浮运准备

(1) 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) 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

(1) 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。

3. 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) 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。

(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。

4. 沉井接高

(1) 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。

5. 沉井着床

(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) 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，嵌入深度最小处不宜少于0.5m。

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。

6. 基底检验与沉井封底

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 6mm/min 时，可按普通混凝土的浇筑方法进行封底；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。

3.4.3 地下连续墙施工 ★



地下连续墙施工一般包括挖槽、下放钢筋笼、浇筑混凝土、槽段间的连接四个主要工序。

【补充】地下连续墙施工流程：开挖导沟→修筑导墙→开挖沟槽→清除槽底淤泥和残渣→吊放接头管→吊放钢筋笼→下导管→灌注水下混凝土→拔出接头管。

1. 施工平台与导墙

(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。

(2) 导墙底端埋入土内的深度宜大于 1m；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的地下水位 1.5m 以上。

2. 地下连续墙施工

1) 槽孔施工

可采用的槽孔施工方法有钻劈法、钻抓法、抓取法、铣削法。

老船长经典秒杀口诀：喜抓两钻石

(1) 采用钻劈法施工槽孔时，宜在主孔终孔后再劈打副孔。

(2) 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。

(3) 槽孔的清底工作应在吊放接头装置之前进行。清底工序应包括清除槽底沉淀的泥渣和置换槽中的泥浆。

2) 槽段间接头（缝）施工

(1) 管式接头：待混凝土初凝后将接头管拔出。

(2) 箱式和隔板式接头：混凝土初凝后，应逐步吊出接头箱管。

3) 混凝土灌注

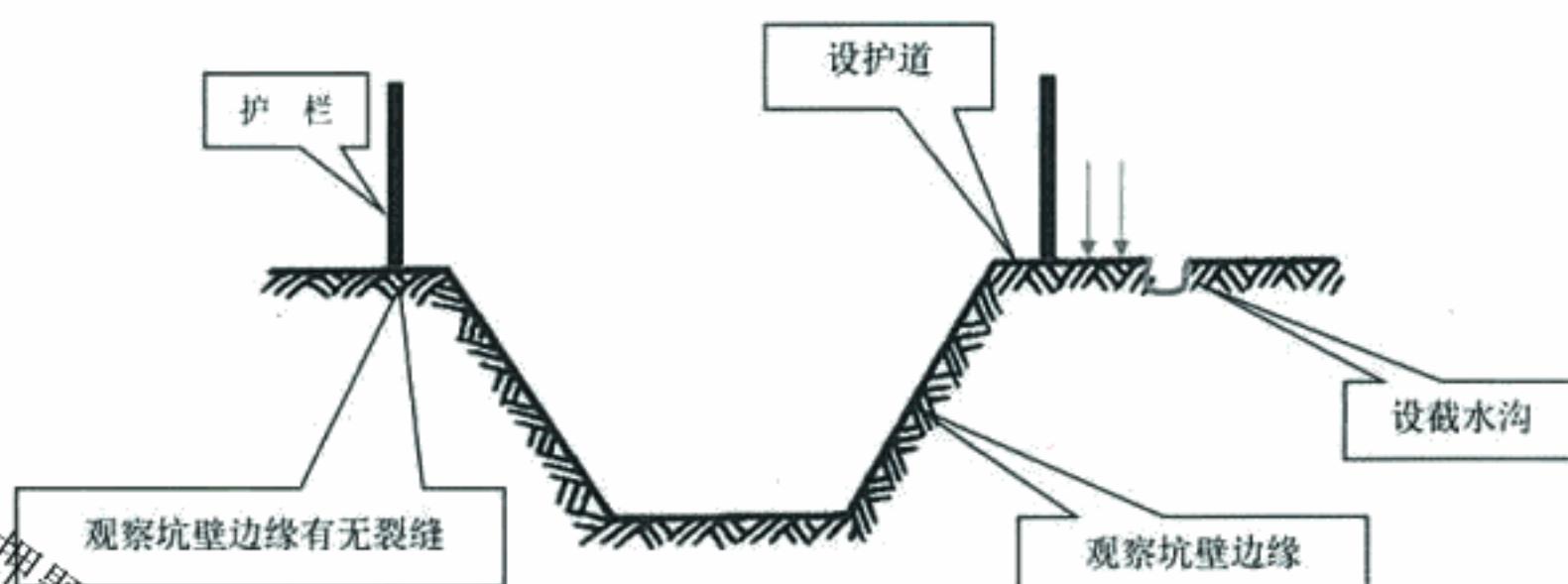
水下混凝土应采用导管法灌注。单元槽段长度≤4m时，可采用1根导管灌注；单元槽段长度>4m时，宜采用2或3根导管同时灌注。采用多根导管灌注时，导管间净距宜≤3m，导管距节段端部宜≤1.5m。

3.4.4 基坑施工 ★★

1. 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) 在基坑边缘与荷载之间设置护道。基坑深度≤4m时护道的宽度应≥1m。【2022单I】



(3) 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。

(4) 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。

(5) 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。

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。

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。

2. 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

(1) 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 【2015单II】

(1) 无砂的黏质土中不宜采用。

(2) 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. 基底处理

1) 基底处理方法

一般软弱地基土层加固处理方法可归纳为四种类型：**换填土法**、**挤密土法**、**胶结土法**、**土工聚合物法**。**老船长经典秒杀口诀：****土鸡换脚**

2) 基底处理要求

地基处理的范围应宽出基础之外 $\geq 0.5\text{m}$ 。

4. 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

- (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。

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**、基础结构物的**浇筑**（砌筑）。

老船长经典秒杀口诀：钱放开水里煮

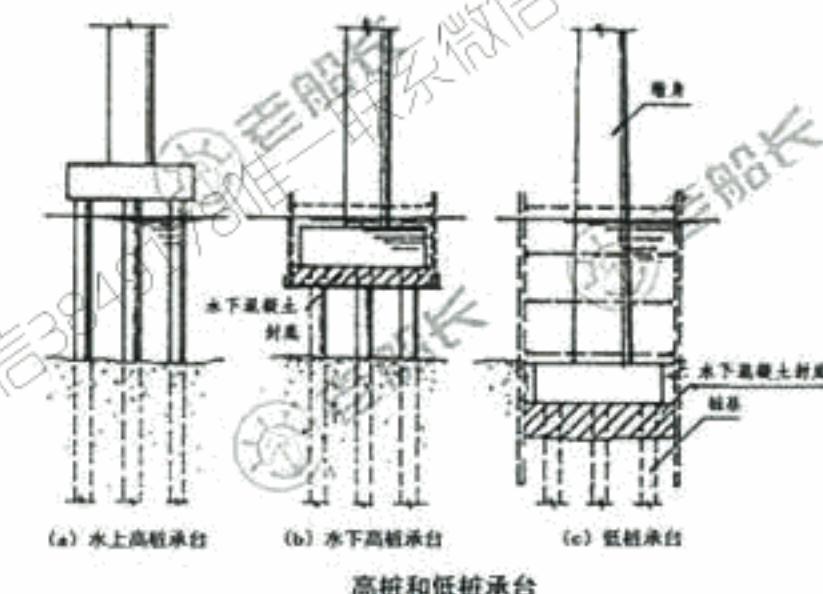
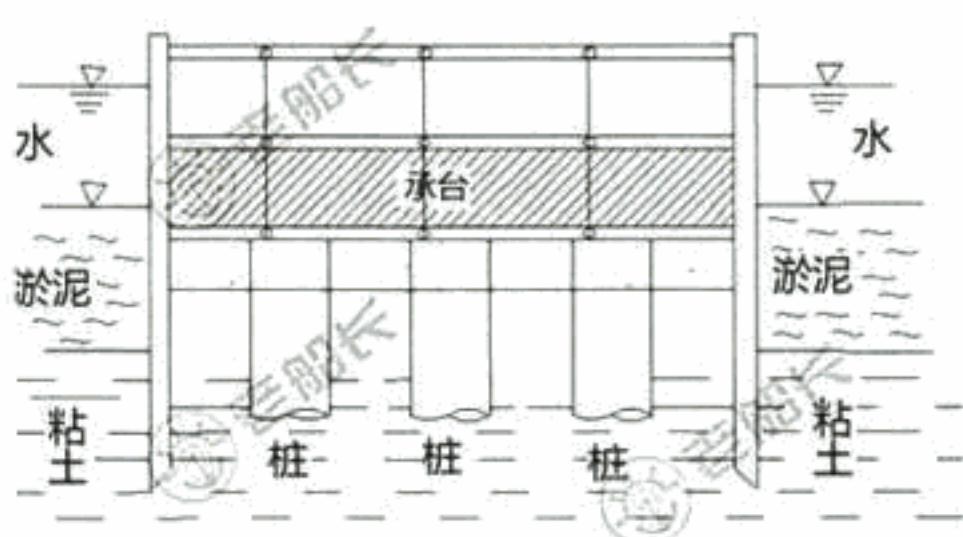
基础的定位放样应先根据**桥梁中心线**、**墩台的纵横轴线**，推出**基础边线**的定位点，再放线画出**基坑的开挖范围**。

开挖基坑前，应做好基坑**中心线、方向、高程**的复核。

浅基础的基底为**非黏性土**或**干土**时，施工前应将其**润湿**，浇筑混凝土垫层，垫层顶面不得高于基础底面设计高程。

基底为**岩石**时，应采用**水冲洗干净**，且在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**。

2. 承台施工



1) 承台施工方式的选择【2006 多 II】

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；按位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，在其上安装模板，浇筑承台混凝土。

当承台位于水中时，常采用围堰法进行施工，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。（简记：围堰→封底→抽水→立模→浇筑）

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

(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 $\geq 1m$ （围堰内侧兼作模板时除外）。围堰的顶面高程应高出施工期间可能出现的最高水位（包括浪高） $0.5\sim 0.7m$ 。【2022 案 I】

②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。【2023 案 I】

③钢围堰的混凝土封底厚度应根据桩周摩擦力、浮力、围堰结构自重、封底混凝土自身强度等因素经计算后确定。【2022 案 I】

④钢围堰在灌注封底混凝土前，应将桩身和堰壁上附着的泥浆冲洗干净，经检验合格后方可进行封底混凝土的施工。

② 钢板桩围堰

①施打钢板桩应有导向装置，以保证桩的位置准确。施打顺序宜从上游开始分两头向下游方向合龙。

②接长的钢板桩，其相邻桩的接头位置应上下错开。

③拔桩应从下游侧开始逐步向上游侧进行。

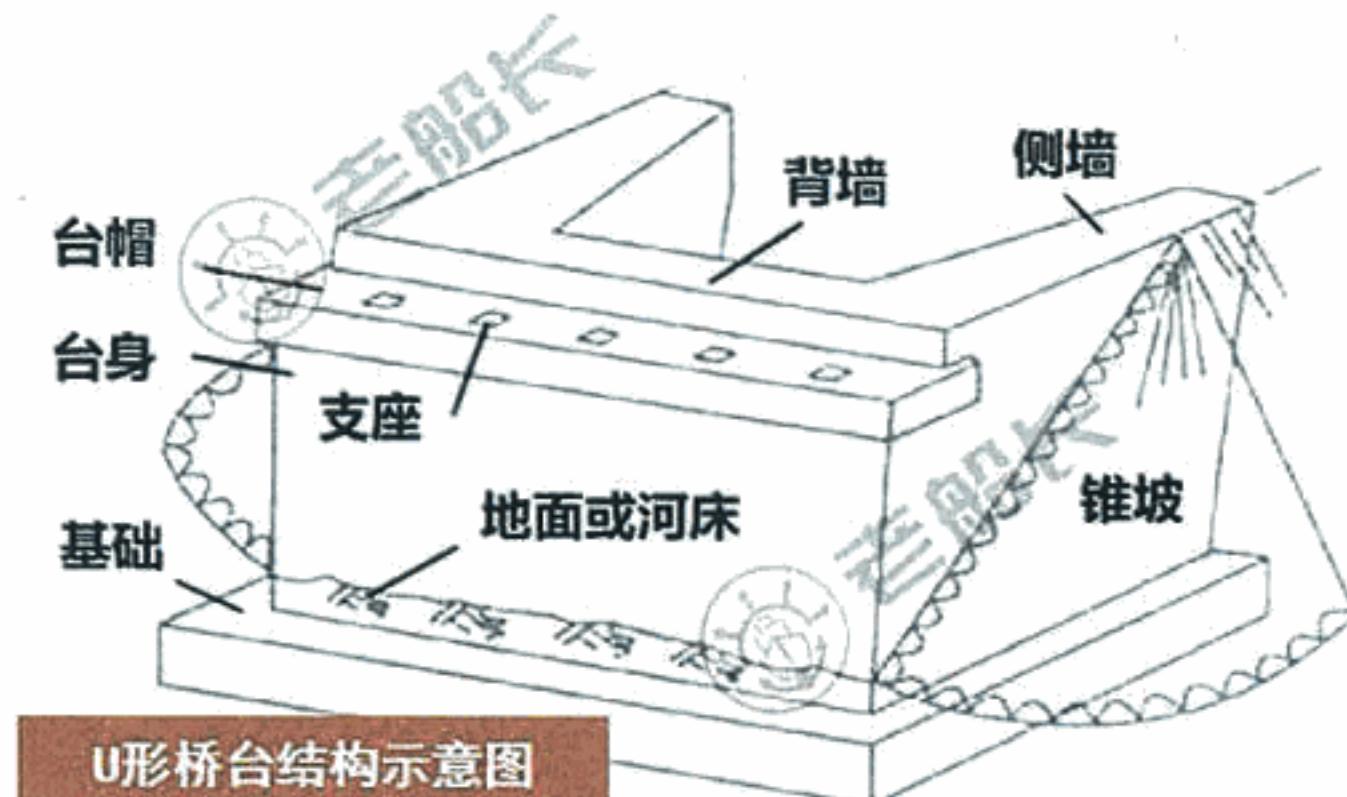
(3) 双壁钢围堰

①制作完成后应进行焊接质量检验，并应进行水密性试验。

②围堰下沉至设计高程，在灌注封底混凝土前，应对河床面进行清理和整平。基岩岩面倾角或凹凸不平时，宜将围堰底部制作成与岩面相应的异形刃脚，增加其稳定性并减少渗漏。

3.4.6 桥墩与桥台施工 ★

【补充】识图：墩帽、台帽、侧墙



1. 桥墩施工

1) 高度<40m 的桥墩施工

(1) 桥墩高度≤10m 时可整体浇筑施工；高度>10m 时，可分节段施工。上一节段施工时，已浇节段的混凝土强度应不低于 2.5 MPa 。各节段之间浇筑混凝土的间歇期宜控制在 7d 以内。

2) 首节模板安装的平面位置和垂直度应严格控制。

(1) 高度≥40m 的高墩施工

除应符合上述高度<40m 的桥墩施工要求之外，尚应符合下列规定：

①混凝土的垂直输送宜采用泵送方式，泵管可沿已施工完成的墩身或搭设专用支架进行布设，而不应布设在塔式起重机和施工电梯上。

2. 桥台施工

1) 重力式桥台

2) 加筋土桥台

3. 预制安装墩台身与盖梁

预制安装墩台身和盖梁的施工具有较高的技术难度和施工风险，因此应制订专项施工方案。

1) 预制节段的起吊、场内搬运和存放

(1) 墩台预制节段存放时间要求：自混凝土浇筑完成后起算至安装的时间应不少于 28d。



3.4.7 坎工结构施工 ★

1. 墩、台身坎工砌体施工

各砌层应先砌外圈定位行列，再砌筑里层。**【2023 单 II】**

2. 后背回填施工

(1) 后背回填应顺路线方向，自台身起，其填土的长度在顶面应不小于桥台高度加 2m，在

底面应不小于 2m。锥坡填土应与台背填土同时进行，并按设计宽度一次填足。

(2) 后背回填应严格控制土的分层厚度和压实度，应设专人负责监督检查，检查频率应每 50m² 检验一点，不足 50m² 时应至少检验一点，每点均应合格，且宜采用小型机械压实；桥涵台背填土的压实度应不小于 96%。

(3) 后背回填顺序：①拱桥的台背填土宜在主拱圈安装或砌筑以前完成；②梁式桥轻型桥台的台背填土宜在梁体安装完成以后。

3.5 桥梁上部结构施工

3.5.1 梁式桥施工

3.5.1.1 装配式梁、板桥施工 ★★

【补充】常用装配式梁板形式：板梁、箱梁、T 梁



1) 装配式梁、板预制安装（小）

(1) 一般要求

①装配式桥的构件在脱底模、搬运、存放、安装时，混凝土的强度应≥设计强度的 80%。（无预应力、先张法预应力。）

构件的预制台座应符合下列规定：

①预制台座在 2m 长度上平整度的允许偏差应≤2mm，底座或底模的挠度应≤2mm。（一起记）

②在预制台座上按梁、板构件跨度设置相应的预拱度。当预计后张预应力混凝土梁的上拱度值较大，会对桥面铺装的施工产生不利影响，宜在预制台座上设置反拱。

(3) 混凝土浇筑规定：

①腹板底部为扩大断面的 T 形梁和 I 形梁，应先浇筑扩大部分并振实后，再浇筑其上部腹板。

②U 形梁可上下一次浇筑或分两次浇筑。一次浇筑时，宜先浇筑底板至底板承托顶面，待底板混凝土振实后再浇筑腹板；分两次浇筑时，宜先浇筑底板至底板承托顶面，按施工缝处理后，再浇筑腹板混凝土。（按箱梁记）

③箱形梁宜一次浇筑完成，且先浇筑底板至底板承托顶面，待底板混凝土振实后再浇筑腹板、顶板。

(4) 构件的场内移运应符合下列规定：

①后张预应力混凝土梁、板，在施加预应力后可将其从预制台座吊移至场内的存放台座再进

行孔道压浆，但必须满足下列要求：

- A. 从预制台座上移出梁、板仅限一次，不得在孔道压浆前多次倒运。
- B. 吊移范围必须限制在预制场内的存放区域，不得移往他处。
- C. 不得将构件安装就位后再进行预应力孔道压浆。

②后张预应力混凝土梁、板在预制台座上进行孔道压浆后再移运的，移运时其压浆浆体的强度应不低于设计强度的 80%。³⁸⁴⁹¹⁷⁸

③构件的吊环必须采用未经冷拉的 HPB300 钢筋制作。吊移板式构件时，不得吊错上、下面。³⁸⁴⁹¹⁷⁸

(5) 构件的存放应符合下列规定：³⁸⁴⁹¹⁷⁸ 【2021 多 II】

①存放台座宜高出地面 200mm 以上。³⁸⁴⁹¹⁷⁸

②梁、板构件存放支点应符合设计规定的位置，支点处应采用垫木和其他适宜的材料进行支承，不得将构件直接支承在坚硬的存放台座上；存放时混凝土养护期未满的应继续养护。

③构件应按其安装的先后顺序编号存放，预应力混凝土梁、板的存放时间宜不超 3 个月，特殊情况下应不超过 5 个月。存放时间超过 3 个月时，应对梁、板的上拱度值进行检测。当上拱度值过大，将会严重影响后续桥面铺装施工或梁、板混凝土产生严重开裂时，则不得使用。³⁸⁴⁹¹⁷⁸ 【2022 单 II】

④当构件多层叠放时，层与层之间应以垫木隔开，上下层垫木应在同一条竖直线上。（同台座）

(6) 简支梁、板的安装应符合下列规定：

①采用架桥机进行安装时，其抗倾覆稳定系数应≥1.3；架桥机过孔时，抗倾覆稳定系数应≥1.5；不得采用将梁、板吊挂在架桥机后部配重的方式进行过孔作业。

双导梁架桥机施工工艺流程主要包括：①梁体预制及运输、铺设轨道→②架桥机及导梁拼装→③试吊→④架桥机前移至安装跨→⑤支顶前支架→⑥运梁、喂梁→⑦吊梁、纵移到位→⑧降梁、横移到位→⑨安放支座、落梁→⑩重复第⑤～⑨步，架设下一片梁→⑪铰缝施工，完成整跨安装→⑫架桥机前移至下一跨，直至完成整桥安装。（此处为简支：不涉及简支变连续，故梁板直接落于永久支座上，不需要临时支座，不存在湿接头连接问题。）

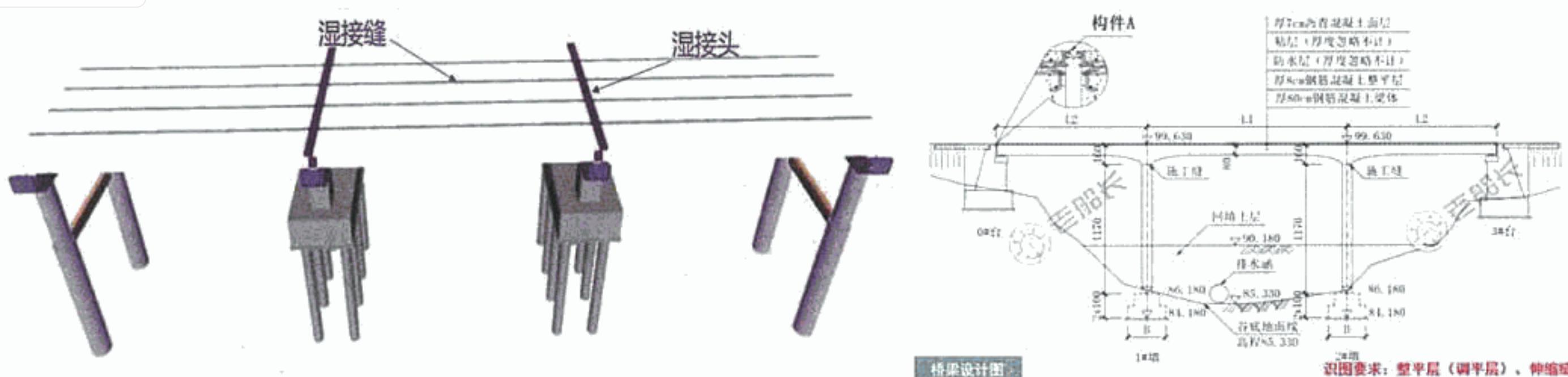
②采用起重机吊装构件时，如采用一台吊机起吊，应在吊点位置的上方设置吊架或起吊扁担；如采用两台起重机抬吊，应统一指挥，协调一致，使构件的两端同时起吊、同时就位。

③采用缆索吊机进行安装时，应事先对缆索吊机进行 1.2 倍最大设计荷载的静力试验和设计荷载下的试运行，全面验收合格后方可使用。

④安装在同一孔跨的梁、板，其预制施工的龄期差宜不超过 10d，特殊情况应不超过 30d。梁、板之间的横向湿接缝，应在一孔梁、板全部安装完成后方可施工。

(7) 施工先简支后连续的梁应符合下列规定：

【补充】先简支后连续梁的施工工序：安装永久支座、临时支座→架梁→湿接头→（二次）预应力→横隔板混凝土→湿接缝→拆除临时支座



①对湿接头处的梁端，应按施工缝的要求进行凿毛处理。永久支座应在设置湿接头底模前安装。

②湿接头混凝土宜在一天中气温相对较低的时段浇筑，且一联中的全部湿接头应尽快浇筑完成。湿接头混凝土的养护时间应 $\geq 14d$ 。

③湿接头按设计要求施加预应力、孔道压浆且浆体达到规定强度后，应立即拆除临时支座，按设计规定的顺序完成体系转换。同一片梁的临时支座应同时拆除。

2) 箱梁整孔预制安装 (大)

(1) 箱梁的预制宜采用定型钢模板，应符合下列规定：

①钢模板在加工制作时，模板的全长和跨度应考虑箱梁反拱度的影响及预留压缩量。附着式振捣器的支座应交错布置，安设牢固，并应使振动力先传向模板的骨架，再由骨架传向面板。

②对外侧模和端模的拆除期限，尚应满足箱梁混凝土的表层温度与环境温度之差 $\leq 15^{\circ}\text{C}$ 的要求；当气温急剧变化时，不宜进行拆模作业。

(2) 箱梁混凝土宜一次连续浇筑完成，且宜采取水平分层、斜向推进的方式浇筑，水平分层的厚度不得大于300mm，各层间混凝土的间隔浇筑时间不应超过其初凝时间。梁体腹板下部的底板混凝土宜采用设于底模处的附着式振捣器振动；腹板混凝土宜采用插入式振捣器及附着式振捣器辅助振捣。

(3) 箱梁混凝土养护规定：

①当采取蒸汽养护时，宜分为静停、升温、恒温、降温、自然养护五个阶段。混凝土浇筑完成后4h后方可升温。

②采取自然养护时，拆模后尚未达到养护时间的梁体混凝土表面，宜采用喷淋方式或养护剂喷洒养护。当环境相对湿度 $<60\%$ 时，自然养护时间宜不少于28d；相对湿度 $\geq 60\%$ 时，宜不少于14d。

(4) 梁体混凝土的抗压强度达到设计强度的1/3以上、弹性模量不低于设计值的50%时，可对部分预应力钢束进行初张拉，但其张拉应力不应超过设计张拉控制应力的1/3。对箱梁预应力钢束的终张拉，应在其混凝土抗压强度达到设计强度的80%、弹性模量不小于设计值的80%后进行。

(5) 封端应采用无收缩混凝土，并严格控制梁体长度。【2022单II】

3.5.1.2 支架现浇施工 ★

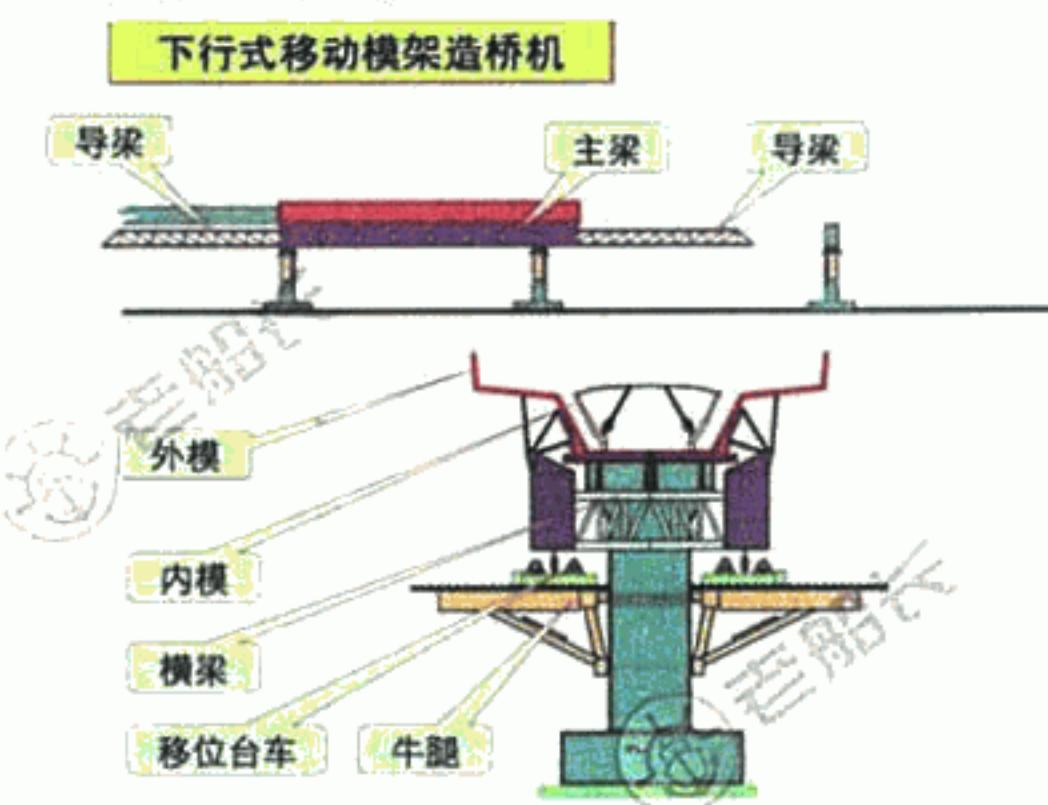
(1) 梁式桥梁、板的现场浇筑可采用满布支架或梁式支架。现浇支架规定：

(1) 支架应稳定、牢固，其地基应采取换填压实、混凝土条形基础、桩基础加混凝土横梁等处理形式，使其具有足够的承载力。

(2) 梁式桥现浇施工时，梁体混凝土在顺桥向宜从低处向高处浇筑，在横桥向宜对称浇筑。混凝土浇筑过程中，应对支架的变形、位移、节点和卸架设备的压缩及支架地基的沉降等进行监测，如发现超过预警值的变形、变位，应及时采取措施予以处理。【2004 多 I】

(3) 支架现浇施工工序（以现浇箱梁为例）

支架现浇梁单个施工单元施工工艺流程主要包括：地基处理→支架搭设→模板系统安装→支架加载预压→钢筋、预应力筋安装→内模安装→混凝土浇筑→混凝土养护→预应力张拉→预应力孔道压浆→落架、模板支架拆除。



3.5.1.3 移动模架逐孔现浇施工 ★★★

当桥墩较高，总桥跨较长或桥下净空受到约束时，可以采用非落地支承的移动模架逐孔现浇施工，称为移动模架法。移动模架法适用在多跨长桥。

移动模架是以移动式桁架为主要支承结构的整体模板支架，可一次完成中小跨径桥一跨梁体混凝土的浇筑，适用于 20~70m 跨径、梁体断面形式基本相同的多跨简支和连续梁的就地浇筑。连续施工时每孔仅在 $(0.2 \sim 0.25)L$ 附近处（L 为跨长）设一道横向工作缝，浇完一孔后，将移动模架前移到下孔位置，如此重复推进和连续施工。

移动模架主要由主梁导梁系统、吊架支撑系统、模板系统、移位调整系统、液压电气系统、辅助设施等部分组成。

老船长经典秒杀口诀：野母猪叼衣服

移动模架分类：

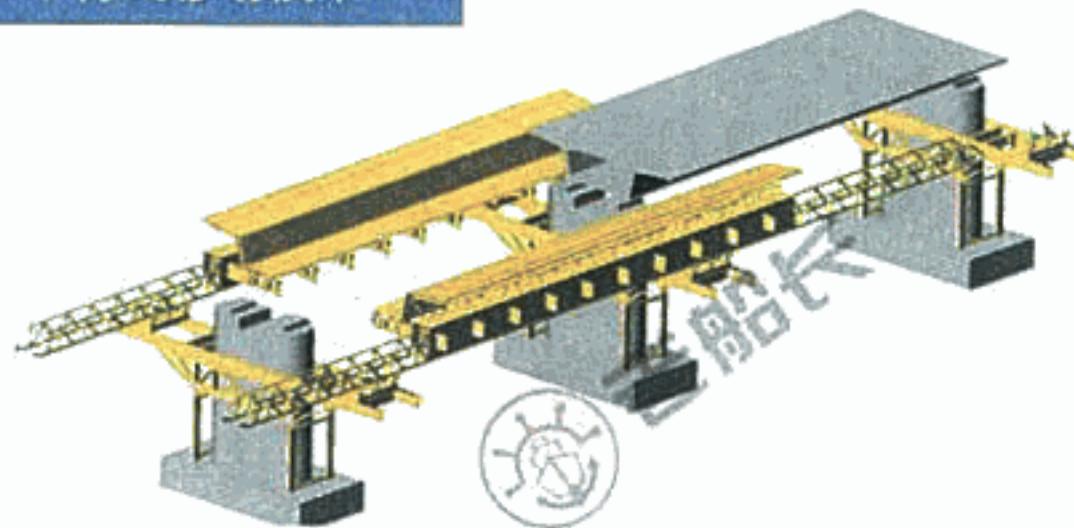
分类依据	内容
① 行走方式	自行式、非自行式
② 导梁的形式	前一跨式导梁、前半跨式导梁、前后结合导梁
③ 底模的安拆方式	平开合式、翻转式
④ 与箱梁的位置和过孔方式	上行式（上承式）、下行式（下承式）

上行式：主梁在待制梁体上方，借助已成梁体和桥墩移位。

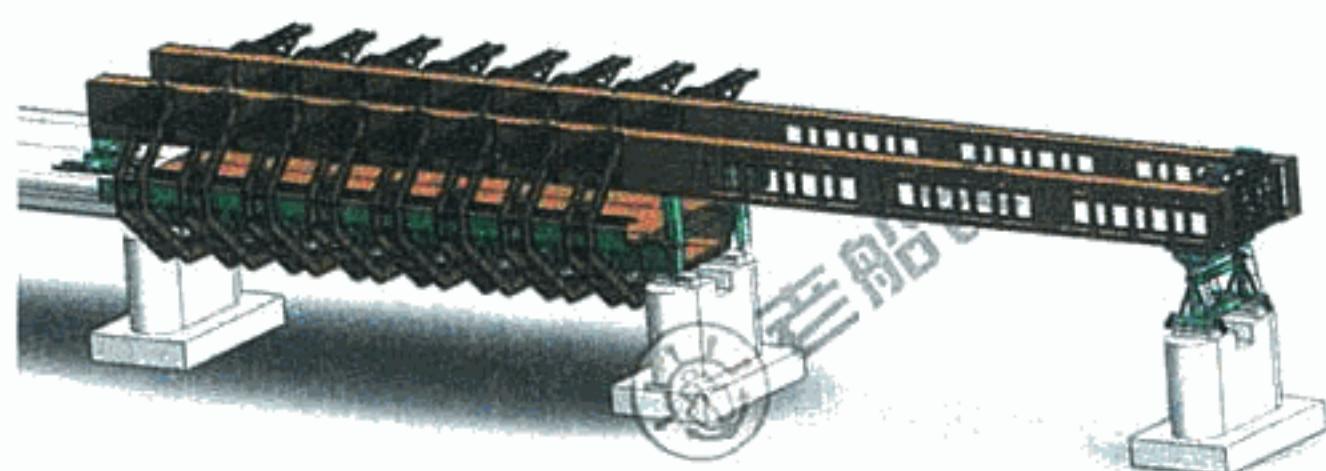
下行式：主梁在待制梁体下方，完全借助桥墩移位。

下行式移动模架特征：重心较低、过孔速度慢、制梁周期短、用钢量少（自重小）。（上行式反之，出选择题能选出即可）

下行式移动模架



上行式移动模架



1) 模架的安装

移动模架现浇施工主要包括模架的拼装、运行、拆除三个关键环节，**拼装**是施工准备阶段的重点，**运行**是施工过程中的关键，**拆除**是施工收尾阶段的难点。

移动模架拼装完成后应对其**拼装质量**进行检验，并应在**首孔梁**的浇筑位置就位后进行**荷载试压试验**，检验和试压合格后方可正式使用。

2) 主要工序

主要工序包括：**支腿或牛腿托架**安装、**主梁**安装、**导梁**安装、**模板**系统与液压电气系统及其他附属设施安装、**加载试验**、**支座**安装、预拱度设置与模板调整、**绑扎底板及腹板钢筋**、**预应力**系统安装、**内模就位**、**顶板钢筋绑扎**、**箱梁混凝土浇筑**、**内模脱模**、**施加预应力**和管道压浆、**落模拆底模**及滑模纵移。

3) 移动模架施工要点

(1) **首孔梁**的混凝土在顺桥向宜从**桥台**（或过渡墩）开始向**悬臂端**进行浇筑，**中间孔**宜从**悬臂端**开始向**已浇梁段**推进浇筑，**末孔**宜从一联中最后一个墩位处向**已浇梁段**推进浇筑，最终与**已浇梁段**接合；梁体混凝土在**横桥向**对称浇筑。连续梁逐孔现浇的纵向分段接缝位置宜设在1/8跨的**弯矩零点**附近。

老船长经典秒杀口诀：首先选中模范（首向悬，中末反）

(2) 任一孔梁的混凝土浇筑施工完成后，**内模**中的**侧向模板**应在混凝土抗压强度达到2.5MPa后，**顶面模板**应在混凝土抗压强度达到设计强度的75%后，方可拆除；**外模架**应在梁体建立**预应力**后方可卸落。

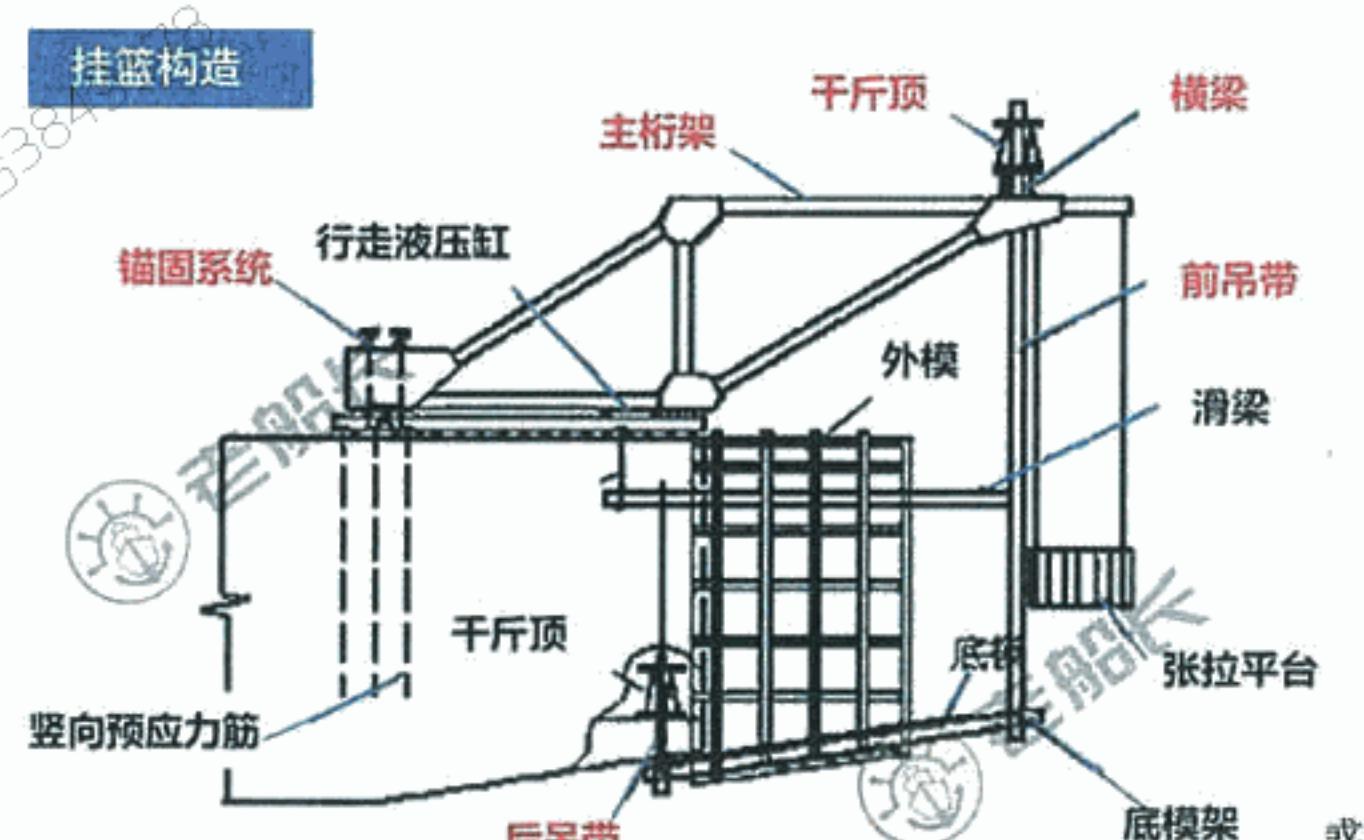
(3) 模架在移动过孔时的抗倾覆稳定系数应 ≥ 1.5 。**【2015案I】**

3.5.1.4 悬臂浇筑施工 ★★★

1) 概述

悬臂浇筑适用于大跨径的**预应力混凝土梁桥**、**连续梁桥**、**T形刚构桥**、**连续刚构桥**。其特点是无须建立落地支架和大型起重与运输机具，主要设备是一对能行走的**挂篮**。**【2021单II】**

【补充】悬臂浇筑施工时，梁体一般分为**墩顶梁段**、**对称悬浇梁段**、**边跨现浇梁段**、**合龙梁段**四大部分浇筑。



2) 施工准备

(1) 挂篮设计及加工

①挂篮是悬浇箱梁的主要设备，是利用已浇筑的箱梁段作为支撑点，通过桁架等主梁系统、底模系统等形成的一个工作平台，或者说是沿着轨道行走的活动脚手架及模板支架。

挂篮分类：【2021案I、2014案I】

分类依据	形式
主要承重结构形式	桁架式、斜拉式及钢板梁式
受力原理	垂直吊杆式、斜拉式、刚性模板式
抗倾覆平衡方式	压重式、锚固式、半压重式半锚固式
移动方式	滑动式、滚动式、组合式

对某一具体工程，应根据梁段分段情况，结合挂篮的重量、要求承受荷载及施工经验对挂篮进行认真详细的设计。除必须满足强度、刚度、稳定性要求外，还要使其行走、锚固方便可靠，重量不大于设计规定。挂篮由主桁架、锚固、平衡系统及吊杆、纵横梁等部分组成。

②挂篮与悬浇梁段混凝土的重量比宜 ≤ 0.5 。【2021案I、2021单II】

③挂篮的最大变形（包括吊带变形的总和）应 $\leq 20\text{mm}$ 。【2021单II】

④挂篮在浇筑混凝土状态和行走时的抗倾覆安全系数、锚固系统安全系数、斜拉水平限位系统的安全系数及上水平限位的安全系数均应 ≥ 2 。【2021单II】

⑤挂篮制作加工完成后应进行试拼装。挂篮在现场组拼后，应全面检查其安装质量，并进行模拟荷载试验，符合挂篮设计要求后方可正式投入使用。【2014案I】

(2) 0号块、1号块的施工：0号块、1号块一般采用落地支架或扇形托架浇筑。

(3) 临时固结：对于连续箱梁，梁与墩未固结在一起，两侧悬浇施工不能保持平衡，因此在预应力混凝土连续梁的墩顶梁段施工时，应按设计规定在墩梁间设置临时固结装置，并应进行必要的施工验算。临时固结一般采用在支座两侧临时加预应力筋，梁和墩顶之间浇筑临时混凝土垫块，将梁固结在桥墩上，使梁具有一定的抗弯能力，施工后再采用静态破碎方法，解除固结。【2017案II、2016案I、2011案I、2004多I】

3) 悬臂浇筑施工工艺流程【2016案I、2014案I】

(1) 连续刚构桥悬臂浇筑施工流程：0号块支架搭设、预压→0号块混凝土浇筑→0号块预应力钢束张拉→组拼挂篮→挂篮预压→对称悬臂浇筑1号块→1号块预应力钢束张拉→挂篮分离，前移就位→悬臂浇筑2号块及后续块段施工→边跨合龙（边跨现浇混凝土浇筑）→中跨合龙。

(2) 连续梁桥悬臂浇筑施工流程：0号块支架搭设、预压→0号块混凝土浇筑→0号块预应力钢束张拉→墩梁临时固结→组拼挂篮→挂篮预压→对称悬臂浇筑1号块→1号块预应力钢束张拉→挂篮前移就位→悬臂浇筑2号块及后续块段施工→边跨合龙（边跨现浇混凝土浇筑）→解除临时固结→中跨合龙。

4) 悬臂浇筑施工要点

(1) 墩顶梁段及桥墩顶附近梁段施工宜全断面一次浇筑完成，当梁段过高一次浇筑完成难以保证质量时，可沿高度方向分两次浇筑，但首次浇筑的高度宜超过底板承托顶面以上至少 500mm ，且宜将两次浇筑混凝土的龄期差控制在 7d 以内。

(2) 钢筋制作及安装应符合下列规定：

① 钢筋与预应力管道、预应力施工相互影响时，钢筋仅可移位但不得切断。

(3) 悬臂浇筑应符合下列规定：

① 悬臂浇筑应对称、平衡地进行，两端悬臂上荷载的实际不平衡偏差宜不超过梁段重的 $1/4$ 。悬臂梁段应全断面一次浇筑完成，并应从悬臂端开始，向已完成梁段推进分层浇筑。

② 悬臂浇筑过程控制宜遵循变形和内力双控的原则，但以变形控制为主。

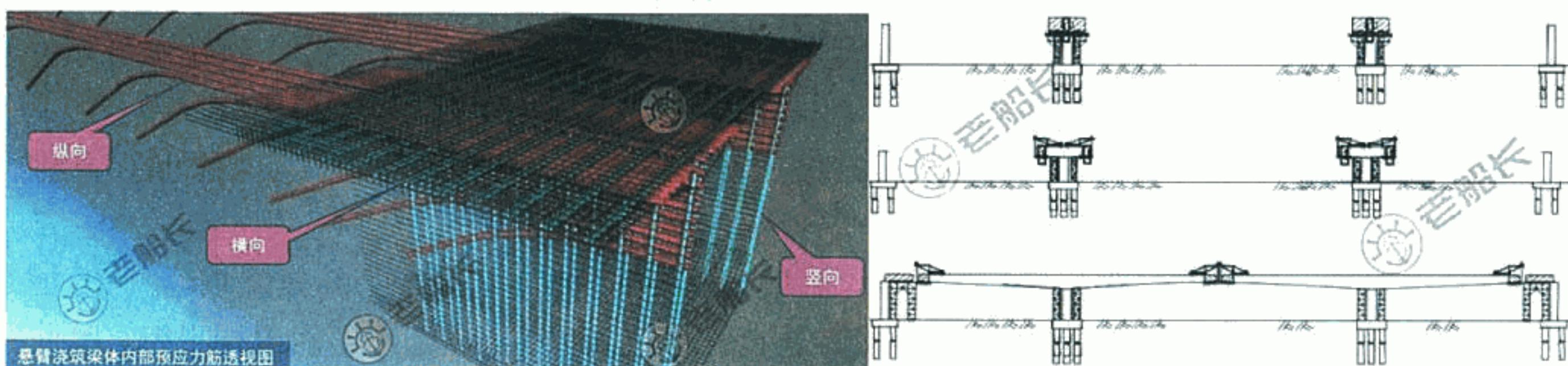
③ 悬臂浇筑时，立模高程的误差应 $\leq \pm 5\text{mm}$ ，立模轴线的偏位应不大于 $\leq 5\text{mm}$ 。

④ 每一节段悬臂浇筑施工完成后，除应进行质量检验外，尚应对预应力孔道进行检查、清理，防止杂物堵塞孔道。

(4) 悬臂浇筑时预应力张拉应符合下列规定：

① 对纵向预应力长钢束的张拉，张拉持荷时间宜增加 1 倍；当钢束的伸长值不能满足要求时，可采取补张拉或多次张拉的措施，但张拉应力不得超过设计规定的最大控制应力。横向预应力采用一端张拉时，其张拉端宜在梁两侧交错设置。竖向预应力宜采取多次张拉的方式进行，多次张拉的次数应以钢束的伸长值是否达到要求且是否可靠锚固而定。

② 对竖向预应力孔道，压浆时应从下端的压浆孔压入。



5) 混凝土梁的合龙和体系转换应符合的规定

(1) 边跨、中跨合龙段施工可参照如下流程进行：

① 悬臂浇筑边跨合龙流程：施工准备及模架安装→设置平衡重→普通钢筋及预应力管道安装→合龙锁定→浇筑合龙段混凝土→预应力施工→拆模、落架。**【2022 单 I】**

② 悬臂浇筑中跨合龙流程：吊架及模板安装→设置平衡重→普通钢筋及预应力管道安装→合龙锁定→解除连续梁墩顶临时固结，完成体系转换→浇筑合龙段混凝土→预应力施工→拆除模板及吊架。

(2) 合龙前应对两端悬臂梁段的轴线、高程和梁长受温度影响的偏移值进行观测，并根据实际观测值确定准确的合龙温度、合龙时间及合龙程序。

(3) 合龙时，宜采取措施将合龙口两侧的悬臂端予以临时刚性连接后，再浇筑合龙段混凝土。宜在合龙口两侧的梁体顶面设置等重压载水箱，并在浇筑合龙段混凝土时同步卸载。**【2023 单 II、2006 单 I、2004 多 I】**

(4) 合龙段混凝土宜在一天中气温最低且稳定的时段内浇筑，浇筑后应及时覆盖洒水养护，养护时间宜 $\geq 14\text{d}$ 。

(5) 对预应力混凝土连续梁，合龙后应在规定的时间内尽快拆除墩梁临时固结装置，按设计规定的程序完成体系转换和支座反力调整。