



灌注桩：水下混凝土的灌注时间不得超过首批混凝土的初凝时间。

灌注桩：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。

36. 钻孔灌注桩：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。

37. 钻孔灌注桩：首批混凝土入孔后，应连续灌注。

38. 钻孔灌注桩：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。

39. 钻孔灌注桩：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。

40. 灌注桩桩顶高程应比设计高程高出不小于 0.5m。

41. 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。

42. 灌注桩后压浆：当桩内有声测管时，可利用其兼作压浆管。

43. 灌注桩后压浆：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

压浆时，对直径小于1200mm的桩，宜布置2根压浆管；直径 $\geq 1200\text{mm}$ 、小于2500mm的桩，宜布置3根压浆管；直径 $\geq 2500\text{mm}$ 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。

44. 灌注桩后压浆：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。

45. 灌注桩后压浆：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。

46. 灌注桩后压浆：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。

47. 灌注桩后压浆：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。

48. 灌注桩后压浆：拌制浆液时，应先加水，然后加入外添加剂，混合均匀后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



析、不沉淀。

49. 灌注桩后压浆：压浆时，宜遵循“细流慢注”的原则。

50. 灌注桩后压浆：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。

51. 灌注桩后压浆：对多根桩进行压浆时，各桩压浆的间隔时间宜不少于2h。

52. 灌注桩后压浆：压浆作业时，实际的压浆压力应小于控制压力。

53. 灌注桩后压浆：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。

54. 灌注桩后压浆：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。

55. 灌注桩后压浆：符合下列条件之一时，可终止压浆：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。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 $\geq 0.8$ 倍设计要求终止压力的情况下，增加压浆量至120%后。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。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。



注后压浆：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。

57. 灌注桩：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；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。

58. 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。

59. 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。

60. 挖孔桩施工：施工前应编制专项施工方案，并应对作业人员进行全技术交底安。

61. 挖孔桩施工：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  $\leq 1.5m$  时应  $\geq C25$ ，桩径  $> 1.5m$  时应  $\geq C30$ 。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



62. 挖孔桩施工：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。

63. 挖孔桩施工：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。

64. 挖孔桩施工：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。

65. 挖孔桩施工：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。

66. 挖孔桩施工：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。



桩施工：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。

### 3.4.2 沉井施工 ★★

1. 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。
2. 位于深水中的沉井，宜采用浮式沉井。
3. 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。
4. 沉井在浮运、定位的任何时间内，沉井露出水面的高度应不小于 1.5m。
5. 沉井下沉：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。
6. 沉井下沉：下沉困难时，可采用空气幕、泥浆润滑套、井外高压射水、压重



方法助沉。

7. 沉井下沉：正常下沉时，应自井孔中间向刃脚处均匀对称除土。

8. 沉井下沉：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。9. 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。10. 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。11. 沉井基底检验合格及沉降稳定后，应及时封底。12. 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 ★

1. 地下连续墙施工：导墙混凝土强度等级宜不低于 C20。导墙底端埋入土内的

m；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。

2. 地下连续墙槽孔施工：可采用的槽孔施工方法有钻劈法、钻抓法、抓取法、铣削法。
3. 地下连续墙施工：采用两钻一抓法时，主孔的中心距宜不大于抓斗的开度。
4. 地下连续墙施工：槽孔的清底工作应在吊放接头装置之前进行。
5. 地下连续墙施工：接头待混凝土初凝后拔出。
6. 地下连续墙施工：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。
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。



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. 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。
6. 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。
7. 集水坑：排水设备的能力宜为总渗水量的 1.5~2.0 倍。
8. 井点降水法：井点降水曲线应低于基底设计高程或开挖高程至少 0.5m。
9. 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。
10. 基坑施工：地基处理的范围应宽出基础之外  $\geq 0.5m$ 。

### 3.4.5 浅基础与承台施工 ★★

1. 承台按构造方式可分为高桩承台和低桩承台。
2. 当承台位于水中时，常采用围堰法进行施工。
3. 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。



围堰内侧距承台边缘的净距宜 $\geq 1m$ 。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） $0.5\sim 0.7m$ 。

5. 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。

6. 钢板桩施打顺序宜从上游开始分两头向下游方向合龙。

7. 接长的钢板桩，其相邻桩的接头位置应上下错开。

8. 拔桩应从下游侧开始逐步向上游侧进行。

9. 双壁钢围堰制作完成后应进行焊接质量检验，并应进行水密性试验。

10. 双壁钢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。

### 3.4.6 桥墩与桥台施工 ★

1. 桥墩高度 $>10m$ 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 $2.5MPa$ 。各节段之间浇筑混凝土的间歇期宜控制在 $7d$ 以内。

2. 高度 $\geq 40m$ 的高墩施工：混凝土的垂直输送宜采用泵送方式，泵管可沿已施



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。

3. 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。

4. 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 坊工结构施工 ★

1. 墩、台身坊工砌体施工：各砌层应先砌外圈定位行列，再砌筑里层。

2. 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。

3. 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50m<sup>2</sup>检验一点，不足50m<sup>2</sup>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%。

4. 后背回填顺序：拱桥的台背填土宜在主拱圈安装或砌筑以前完成；梁式桥轻



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 ★★

1. 装配式桥的构件在脱底模、移运、存放、安装时，混凝土的强度应 $\geq$ 设计强度的80%。（无预应力、先张法预应力。）
2. 预制台座在 2m 长度上平整度的允许偏差应 $\leq$ 2mm，底座或底模的挠度应 $\leq$ 2mm。  
(一起记)
3. 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。
4. 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。
5. 后张预应力混凝土梁、板：从预制台座上移出梁、板仅限二次，不得在孔道压浆前多次倒运。吊移范围必须限制在预制场内的存放区域，不得移往他处。不得



位后再进行预应力孔道压浆。

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

7. 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。

8. 放台座宜高出地面 200mm 以上。

9. 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。

10. 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）

11. 简支梁、板的安装应符合下列规定：采用架桥机进行安装时，其抗倾覆稳定系数应  $\geq 1.3$ ；架桥机过孔时，抗倾覆稳定系数应  $\geq 1.5$ ；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。

12. 简支梁、板的安装应符合下列规定：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



移至下一跨，直至完成整桥安装。

13. 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。

14. 简支梁、板的安装应符合下列规定：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。

15. 施工先简支后连续的梁应符合下列规定：永久支座应在设置湿接头底模前安装。

16. 施工先简支后连续的梁应符合下列规定：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。

17. 箱梁的预制宜采用定型钢模板。

18. 箱梁整孔预制安装：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。

19. 箱梁整孔预制安装：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°C 的要求；当气温急剧变化时，不宜进行拆模作业。

整孔预制安装：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。

21. 箱梁整孔预制安装：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。

22. 箱梁混凝土养护规定：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 4h后方可升温。

23. 箱梁混凝土养护规定：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≥60%时，宜不少于 14d。

24. 箱梁混凝土养护规定：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。

### 3.5.1.2 支架现浇施工 ★



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

2. 支架现浇施工：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。

### 3.5.1.3 移动模架逐孔现浇施工 ★★★

1. 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。

2. 移动模架结构按行走方式分为自行式和非自行式；按导梁的形式分为前一跨式导梁、前半跨式导梁、前后结合导梁等；按底模的安拆方式分为平开合式、翻转式等；按与箱梁的位置和过孔方式分为上行式（上承式）、下行式（下承式）等形式。

3. 上行式：主梁在待制梁体上方，借助已成梁体和桥墩移位。



式：主梁在待制梁体下方，完全借助桥墩移位。

5. 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。）

6. 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。

7. 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。

8. 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。

9. 移动模架施工：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应对称浇筑。连续梁逐孔现浇的纵向分段接缝位置宜设在  $1/5$  跨的弯矩零点附近。

10. 移动模架施工：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

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。

11. 移动模架施工：模架在移动过孔时的抗倾覆稳定系数应  $\geq 1.5$ 。

### 3.5.1.4 悬臂浇筑施工 ★★★

1. 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。

2. 悬臂浇筑施工：挂篮按抗倾覆平衡方式可分为压重式、锚固式、半压重式半锚固式。

3. 悬臂浇筑施工：挂篮按移动方式可分为滑动式、滚动式、组合式。

4. 悬臂浇筑施工：挂篮与悬浇梁段混凝土的重量比宜  $\leq 0.5$ 。

5. 悬臂浇筑施工：挂篮的最大变形（包括吊带变形的总和）应  $\leq 20\text{mm}$ 。

6. 悬臂浇筑施工：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  $\geq 2$ 。



挂篮施工：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。

8. 悬臂浇筑施工：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。

9. 悬臂浇筑施工：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。

10. 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。

11. 悬臂浇筑施工：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

7d以内。

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

12. 悬臂浇筑施工：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。

13. 悬臂浇筑施工：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。

14. 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。

15. 悬臂浇筑时，立模高程的误差应≤±5mm，立模轴线的偏位应不大于≤5mm。

16. 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。

17. 悬臂浇筑时预应力张拉应符合下列规定：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。



浇筑时预应力张拉应符合下列规定：对竖向预应力孔道，压浆时应从下端的压浆孔压入。

19. 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。

20. 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。

21. 悬臂浇筑施工：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。

22. 悬臂浇筑施工：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。

23. 悬臂浇筑施工：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 $\geq 14d$ 。

### 3.5.1.5 悬臂拼装施工 ★★★



装施工包括块件的预制、运输、拼装及合龙。

## 2. 悬臂拼装施工：梁段预制方法分为长线法及短线法。

3. 长线法梁段预制工序：预制台座建造→台座立面、平面线形调整→外模安装→刷隔离剂，堵缝→安装底腹板普通钢筋及预应力管道→内模安装→安装普通钢筋及预应力管道→混凝土浇筑及养护→拆除模板→台座立面、平面线形调整→预制下一节段。

4. 短线法：台座仅需3个梁段长。

5. 短线法：优点是场地较小，浇筑模板及设备基本不需要移机，可调的底、侧模便于平竖曲线梁段的预制；缺点是精度要求高，施工要求严，施工周期相对较长。

6. 短线法梁段预制工序：台车及模板系统加工→端模、底模及外侧模安装→匹配梁段定位→钢筋骨架吊装→内模就位→固定端模复测→混凝土浇筑及养护→拆除模板→匹配梁段转运存放→新浇筑梁段移至匹配梁位置→匹配梁段定位→下一块段施工。

7. 0号块：为了确保连续梁分段悬拼施工的平衡和稳定，常与悬浇方法相同，将构件支座临时固结，必要时在墩两侧加设临时支架，以满足悬拼的施工需要。

8. 1号块是紧邻0号块两侧的第一箱梁节段，也是悬拼构件的基准梁段，是全



的关键，一般采用湿接缝连接。

9. 湿接缝 拼装梁段施工程序包括：吊机就位→提升、起吊1号梁段→安装波纹管→中线测量→丈量湿接缝的宽度→调整波纹管→高程测量→检查中线→固定1号梁段→安装湿接缝的模板→浇筑湿接缝混凝土→湿接缝养护、拆模→张拉预应力筋→压浆→下一梁段拼装。

10. 移动式导梁架桥机施工：悬臂节段拼装工艺流程：架桥机安装及调试→运梁就位→架桥机落钩起吊箱梁至桥面→节段胶结层涂抹→临时预应力张拉→胶结层养护至固化→悬拼预应力钢束张拉→架桥机解钩，前移至下一个节段施工。

11. 悬臂拼装施工：节段预制前，应在预制场地建立精密测量的平面控制网和高程控制网，设置测量控制点、测量塔及靶标。

12. 悬臂拼装施工：节段应在混凝土强度达到设计强度的75%后方可脱模并拆除。

13. 悬臂拼装施工：节段的起吊、搬运、存放应符合下列规定：台座上叠放节段层数宜不超过两层。节段存放时间宜不少于90d。

14. 悬臂拼装施工：施工前应按施工荷载对起吊设备进行强度、刚度和稳定性验算，其安全系数应 $\geq 2$ 。节段安装前，应对起吊设备进行全面安全技术验收，并应分别进行1.25倍设计荷载的静载和1.1倍设计荷载的动载试验。

并装施工：采用胶接缝的节段，涂胶前应进行试拼。胶粘剂进场后应进行力学性能及作业性能的抽检，其各项性能应满足结构设计与节段拼装的要求。节段的匹配面应平整，尘土、油脂等污染物及松散混凝土和浮浆应清除干净，涂胶前的匹配面应进行干燥处理。

16. 悬臂拼装施工：胶粘剂宜采用机械拌和，使用过程中应连续搅拌并保持其均匀性。胶粘剂应涂抹均匀，覆盖整个匹配面，涂抹厚度宜不超过3mm。胶接缝施加临时预应力时，挤压压力宜为 $0.2\text{MPa}$ ，胶粘剂应在梁体的全断面被挤出，且胶接缝的挤压应在3h以内完成；施工时间超过明露时间的70%时，在固化前应清除被挤出的胶结料。

17. 悬臂拼装施工：采用胶接缝的节段，拼装工作结束并经检查符合要求后，应立即施加预应力对接缝进行挤压；采用湿接缝的节段，应在接缝混凝土强度达到设计强度的80%以上时方可对其施加预应力。

18. 悬臂拼装施工：临时预应力钢束在结构永久预应力施工完成后方可拆除。

19. 悬臂拼装施工：节段拼装完成并施加预应力后方可放松起吊吊钩，再立即对预应力孔道进行压浆和封锚。

20. 悬臂拼装合龙段施工工艺流程：合龙段起吊就位→合龙段临时锁定→湿接缝



张拉预应力束→穿合龙预应力束→安装湿接缝模板→现浇湿接缝，养护，脱模→解除临时锁定。

### 3.5.1.6 顶推施工 ★★

1. 顶推施工主要临时设施及机具设备有：起重机、顶推平台（预制台座）、混凝土拌合楼、混凝土输送泵、导梁（鼻梁）、横向导向（纠偏装置）、辅助墩（临时墩）、顶推设备（顶推千斤顶）、滑动装置等。

2. 顶推施工：不适应多跨变高梁，曲率变化的曲线桥和竖向曲率大的桥梁。
3. 顶推施工分类：按顶推动力装置的多少分为单点顶推和多点顶推。
4. 顶推施工分类：按动力装置的类别可分为步距式顶推和连续顶推。
5. 顶推施工分类：按施加水平力的方法可分水平+竖向千斤顶法和拉杆千斤顶法。

6. 顶推施工分类：按支承系统可分临时滑道支承装置顶推施工和永久支承装置顶推施工。

7. 顶推施工分类：按顶推方向可分单向顶推和双向（相对）顶推。
8. 顶推法施工工序：预制场建设→制作模板与安装钢导梁→顶推设备安装→预

张拉预应力筋→顶推预制节段→管道压浆（循环第4~7工序）→顶推就位  
→放松临时预应力筋及拆除辅助设备→张拉后期预应力筋→管道压浆→落梁与更换支座→桥面工程→验收。

9. 顶推施工：导梁的长度宜为顶推跨径的0.6~0.8倍，刚度宜为主梁的1/15~1/9。

10. 钢梁顶推施工时，导梁与钢梁之间宜采用焊接连接或螺栓连接。

11. 顶推施工：对于跨径>50m的梁桥宜设置临时墩。

12. 顶推施工：临时墩一般只设置滑道而不设顶推装置，若必须加设顶推装置，应通过计算确定。

13. 顶推施工：水平-竖向千斤顶顶推方式的滑动装置，一般应由摩擦垫、滑块（支承块）、滑板、滑道组成。

14. 采用单点或多点水平千斤顶方式顶推时，实际总顶推力应≥计算顶推力的2倍。

15. 顶推施工：宜在墩台上设置导向装置，防止梁体在顶推过程中产生偏移。

16. 顶推施工：顶推时至少应在两个墩上设置保险千斤顶。如遇顶推故障需采用竖向千斤顶将梁顶高时，最大顶升高度不得超过设计规定或不得大于10mm，起顶的



王计算反力的 1.1 倍。

17. 顶推施工：永久支座应在落梁前安装。

### 3.5.1.7 钢箱梁安装 ★★

1. 按照力学体系分类，钢桥有梁、拱、索三大基本体系和组合体系桥。
2. 按照主梁结构形式，钢桥可分为钢板梁、钢箱梁、钢桁梁、结合梁。
3. 按照连接方式，钢桥可分为铆接、焊接、栓接、栓焊连接。
4. 根据钢桥基本构件结构外形和构造的不同，钢桥制造可分为杆系、板系、管系结构。
5. 钢结构当需要修改设计时，应取得原设计单位的同意，并应签署设计变更文件。
6. 安装时应对大节段钢箱梁的倾角和钢丝绳的拉力进行实时监测，如超出预定的范围，应及时调整。
7. 大节段钢箱梁的安装定位应按初定位和精确定位两个步骤进行。初定位时宜设置导向装置，使大节段钢箱梁在导向装置的引导下较为准确地就位；精确定位时宜采用三维调节装置，对大节段钢箱梁的平面位置和高程进行反复精确调整，使其



的安装精度。

### 3.5.2 拱桥施工

#### 3.5.2.1 拱（支）架上现浇混凝土拱圈 ★

1. 拱架上现浇混凝土拱圈：跨径较小的拱圈或拱肋，应按拱圈的全宽从两端拱脚向拱顶对称地连续浇筑混凝土，并应在拱脚混凝土初凝前全部完成。

2. 拱架上现浇混凝土拱圈：跨径较大的拱圈或拱肋，应沿拱跨方向分段对称浇筑，分段的位置宜设置在拱顶、L/4部位、拱脚、拱架节点等处；各分段点应预留间隔槽。

#### 3.5.2.2 缆索吊装施工 ★★

1. 缆索吊装由于具有跨越能力大等优点，在拱桥施工中被广泛采用。

2. 缆索吊装主缆宜采用钢丝绳，安全系数应≥3；抗风钢丝绳的安全系数应≥2。

3. 缆索吊装：拱肋安装时，宜从拱脚段开始，依次向拱顶分段吊装就位。