

参考答案

1. 请结合第4章内容,分析重力式墩台混凝土浇筑有哪些技术要点和注意事项。

1) 技术要点

(1) 模板工程: 模板及支架必须具有足够的强度、刚度和稳定性,重力式墩台以侧模为主,需要能承受新浇筑混凝土的侧压力、倾倒混凝土产生的水平荷载,支架系统(对拉螺栓、斜撑、脚手架等)应牢固可靠,基础坚实,对拉螺栓的布置间距、直径需计算根据侧压力计算确定;模板要确保结构尺寸和形状准确,不发生胀模、跑模或变形。

(2) 钢筋工程: 钢筋的规格、数量、间距、形状、接头位置及质量必须符合设计要求;使用高强塑料垫块、混凝土垫块或专用定位卡具,严格控制钢筋保护层厚度,防止露筋;高大的墩台钢筋骨架应有足够的临时支撑,防止在混凝土浇筑过程中发生倾斜或变形。

(3) 混凝土材料与配合比: 水泥、骨料(砂、石)、水、外加剂、掺合料(粉煤灰、矿粉)等混凝土原材料必须符合规范要求,并进行进场检验;按大体积混凝土要求设计混凝土配比,优先选用中热或低热硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥,掺加优质粉煤灰或矿粉替代部分水泥,降低水化热总量和温升峰值,要优化骨料级配,控制砂率,掺加缓凝高效减水剂降低用水量,必要时掺加抗裂纤维;混凝土需要良好工作性,具有适当的坍落度和良好的粘聚性、保水性,防止离析泌水。

(4) 混凝土浇筑: 按照大体积混凝土浇筑技术要点,采用分层浇筑方法,由低到高推进;应尽可能连续进行浇筑,如必须设置施工缝,其位置应预先设计(通常在基础顶面、截面突变处上方),并按规范要求进行凿毛、清理、湿润和铺设水泥砂浆接浆处理;混凝土浇筑要使用串筒、溜槽、布料机等辅助下料与布料,防止混凝土自由落差过大导致离析;要加强振捣,特别注意边角、预埋件周围的振捣密实;大体积混凝土浇筑过程要加强温度监测和控制,控制混凝土内外温差 $\leq 25^{\circ}\text{C}$,可通过原材料降温(需热工计算)、埋设冷却水管、保温保湿养护等方式控制内外温差。

(5) 混凝土养护: 混凝土初凝后(表面收光抹压完成后)立即开始养护;采用土工布、麻袋、草帘、无纺布等保水性好的材料覆盖,并持续洒水保持表面湿润(相对湿度 $\geq 95\%$)。也可使用养护剂(需保证成膜质量和覆盖率),但保湿效果通常不如覆盖洒水,养护水温度应与混凝土表面温度接近,避免骤冷骤热;在降温阶段(尤其是气温骤降或冬季),覆盖保温材料(如棉被、塑料薄膜+草帘/岩棉被)减少表面热量散失,控制内外温差;保温层需覆盖严密,搭接牢固;养护应持续到混凝土内部温度趋于稳定并与环境温差小于 20°C 。

2) 注意事项

(1) 加强降温措施(原材料降温、选择早晚浇筑)、加快浇筑速度、加强养护防止塑性收缩裂缝,防止混凝土表面过快失水。

(2) 冬期施工时应采取保温加热措施,保证混凝土入模温度 $\geq 5^{\circ}\text{C}$,加强保温养护,防止冻害和早期受冻,特别注意拆模时机和拆模后的保温。

(3) 关注天气预报,避免大雨天浇筑。

(4)严格按设计要求或施工方案留置施工缝,避免设置在剪力或弯矩最大处。

(5)加强质量检查与监测,全程监控模板、钢筋、浇筑、振捣、养护等各环节是否符合要求,加强温度监测,根据数据动态调整温控措施。

(6)按规定在浇筑地点随机取样制作标准养护和同条件养护试块。

(7)拆模后仔细检查混凝土表面是否有蜂窝、麻面、孔洞、露筋、裂缝。

2. 请分析高桥墩采用滑升模板、爬升模板和翻升模板施工各有哪些特点。

高桥墩施工需根据墩身高度、截面形式及工期要求选择适配的模板体系:

(1)滑动模板施工

采用液压千斤顶同步提升模板系统,可实现 24 h 连续作业,单日施工进度可达 5~6 m。其核心特点是模板随混凝土浇筑同步滑升,混凝土脱模强度需控制在 0.2~0.4 MPa,适用于直坡或渐变截面空心墩(如 120 m 以上高墩)。施工时需通过辐射梁与顶架组成的操作平台进行钢筋绑扎与混凝土浇筑,液压系统同步性偏差需 ≤ 20 mm,以确保墩身垂直度。该方法的优势在于减少模板周转次数,但对混凝土配合比与养护要求严格,需配备高精度监测设备控制滑升速率。

(2)爬升模板施工

利用液压自爬升系统逐节提升模板,每层施工高度 2~3 m,架体悬臂长度不得超过高度的 2/3(稳定系数 ≥ 1.5)。爬模无须塔吊配合即可完成模板提升,尤其适用于 70~104 m 变截面高墩。其工艺特点是通过预埋爬锥实现架体与已浇混凝土的可靠连接,施工过程中可同步完成钢筋安装与预应力张拉,高空作业安全性显著提升。

(3)翻升模板施工

采用三层模板循环翻升工艺,每层高度 1.5~3 m,接缝需凿毛处理(深度 ≥ 5 mm)。该方法设备投入成本低,但需大量模板周转,适合中等高度(<80 m)实心墩或变截面墩施工。翻升模板施工时需通过塔吊或提升架进行模板吊装,每层施工周期为 3~5 d,混凝土外观质量易控制,但需注意模板拼接精度与支架稳定性,避免出现错台或漏浆。

3. 简述混凝土桥墩节段装配的连接方式。

预制桥墩节段连接需兼顾强度与施工效率,主要有三种方式:

(1)湿接缝连接

在节段间预留 80~100 cm 现浇段,采用钢筋锥套或插槽连接后浇筑 C40 微膨胀混凝土。该方法整体性强,如杭州湾跨海大桥桥墩节段通过锥套连接后,湿接缝混凝土 28 d 抗压强度达 55 MPa。施工时需控制接缝宽度偏差 ≤ 3 mm,混凝土浇筑前需对结合面进行凿毛与湿润处理。

(2)灌浆套筒连接

将钢筋插入金属套筒,注入流动度 ≥ 300 mm 的高强灌浆料(28 d 强度 ≥ 80 MPa)。该方式施工便捷,港珠澳大桥桥墩采用半灌浆套筒,现场安装偏差 ≤ 2 mm,超声波检测饱满度抽检率达 20%。但需注意套筒定位精度与灌浆压力控制(0.6~0.8 MPa)。

(3)预应力连接

通过贯穿节段的钢绞线张拉实现连接,张拉控制应力 $\sigma_{\text{con}} = 0.75 f_{\text{ptk}}$,超张拉 5% 持荷 5 min 后压浆(强度 ≥ 50 MPa)。该方法适用于大跨墩柱快速合龙,如苏通大桥主墩节段采用 $\phi 15.2$ mm 钢绞线,单束张拉力达 2600 kN。

4. 钢筋锥套-现浇连接方式的特点是什么？为什么它适用于预制构件的连接，而不是锥螺纹或直螺纹钢筋接头？

钢筋锥套-现浇连接通过液压挤压锥形套筒咬合钢筋横肋，无须螺纹加工即可实现可靠连接。其核心优势在于：

①预制高效。构件钢筋免加工，现场仅需轴向挤压（无须旋转钢筋），某预制厂应用该技术后，单根钢筋连接时间从 15 min 缩短至 3 min。

②力学性能优异。闭合套筒约束灌浆料，黏结强度比直螺纹接头高 15%，某试验表明，该连接方式在循环荷载下的疲劳寿命达 200 万次。

③适应性强。对中精度要求低（偏差 ≤ 3 mm），可适应 $\pm 10^\circ$ 的钢筋倾斜角度，特别适合复杂节点连接。

5. 简述钢筋灌浆套筒连接方式的优缺点。

（1）优点

①施工高效。预制节段直接对接，无须临时支撑，某项目采用该技术后，桥墩安装效率提升 40%。

②标准化程度高。套筒与灌浆料参数标准化，如《公路装配式混凝土桥梁施工技术规范》（JTG/T 3654—2022）明确规定套筒长度与灌浆料性能指标。

③耐久性好。灌浆料密实后形成密封界面，氯离子扩散系数 $\leq 1 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ ，适用于沿海高腐蚀环境。

（2）缺点

①质量控制难。需超声波检测饱满度（抽检 20%），某工程因漏检导致 1 处套筒未灌满，后期需钻孔补浆处理。

②成本较高。单根钢筋连接成本约 80 元，比直螺纹接头高 30%。

③抗震性能受限。拼接缝抗剪强度约为现浇结构的 80%，需通过增加约束箍筋来增强抗震性能。

6. 就地浇筑混凝土梁桥上部结构的常用支架有哪几种？分别适用于什么情况？

（1）支柱式支架

采用钢管满堂支架（立杆间距 0.5~1 m），适用于跨径 < 20 m、地基坚实的陆上简支梁。支架基础需铺设 10 cm 厚 C20 混凝土垫层，顶部通过可调 U 托调整标高。某乡村道路桥梁采用该支架，成功支撑 18 m 跨径梁体，施工成本降低 25%。

（2）梁式支架

以贝雷梁或工字钢作为主要承重构件，支承于墩柱托架上，适用于跨中需通航的河道桥梁。贝雷梁跨径可达 40 m，单榀承载力约 350 kN。如某跨河桥梁采用 321 型贝雷梁支架，跨径 30 m，成功解决了通航与施工的矛盾。

（3）梁-柱式支架

采用钢管立柱（如 $\phi 609$ mm）与型钢横梁组合，适用于大跨径（ > 30 m）、地基软弱的桥梁。立柱间距一般为 4~6 m，基础采用钻孔灌注桩。某城市立交桥采用该支架，跨径 45 m，沉降控制在 5 mm 以内。

7. 混凝土梁桥上部结构的预制安装方法有哪几种?

(1) 起重机架设

利用汽车吊或履带吊直接吊装梁体,适用于单跨 ≤ 50 m、墩高 < 15 m 的陆上桥梁。某高速公路项目采用 200 t 汽车吊吊装 40 mT 梁,单日架设量达 8 片。

(2) 架桥机架设

穿巷式双导梁架桥机适用于多跨等截面梁,如杭甬高速采用 JQJ50/150 型架桥机,实现 50 m 箱梁的快速架设。跨墩龙门吊则适用于墩高 < 20 m 的直线桥梁,某铁路项目采用 200 t 龙门吊,日架设量达 12 片箱梁。

(3) 浮运架设

通过浮吊与驳船配合进行水上吊装,适用于跨海桥梁。东海大桥采用 8000 t 浮吊整孔架设 50 m 箱梁,单次吊装重量达 1200 t,创国内纪录。

8. 简述悬臂施工法的分类及其各自的特点。

(1) 悬臂浇筑(挂篮法)

采用挂篮作为移动作业平台,逐段现浇 2~5 m 梁段。挂篮由承重梁(贝雷梁)、悬吊模板(刚度 $\geq L/400$)和液压行走系统组成,某连续刚构桥挂篮设计承载量 50 t,最大变形量 ≤ 10 mm。该方法整体性好,可通过实时监测调整线形,某斜拉桥施工中,通过调整挂篮预抛高,合龙精度达 ± 3 mm。

(2) 悬臂拼装

预制 1.4~6 m 梁段后吊装拼接,采用环氧树脂胶接缝或预应力连接。某跨海大桥采用该技术,节段预制精度控制在 ± 2 mm,工期缩短 30%。但需高精度测量设备(如全站仪)进行节段定位,如某工程因定位偏差导致接缝宽度超差,返工损失约 50 万元。

9. 悬臂施工连续梁桥时,为什么要设临时固结和支承措施?

连续梁悬臂施工时,墩梁非刚性连接,单侧施工荷载会产生倾覆力矩。临时固结通过预应力筋(如 $\phi 15.2$ mm 钢绞线)与混凝土楔块将墩梁临时锁定,稳定系数需 ≥ 1.5 。某连续梁桥采用 4 束 37 $\phi 15.2$ mm 钢绞线进行临时固结,单束张拉力达 1200 kN,有效抵抗了施工过程中的不平衡弯矩。

10. 挂篮在连续梁施工中起什么作用?一般挂篮由哪些主要部分组成?

挂篮是悬臂浇筑的核心设备,主要作用包括:

承载功能:承受新浇混凝土重量(20~50 t/段),如某挂篮设计荷载为 800 kN,安全系数为 1.5。

定位功能:通过液压系统实现挂篮滑移,定位精度为 ± 2 mm。

作业平台:提供钢筋绑扎、预应力张拉等操作空间,平台面积约 30 m²。

挂篮是悬臂浇筑的主要施工设备,是可在已浇梁段上行走的脚手架。主要由承重梁、悬吊模板、锚固装置、行走系统和工作平台几部分组成。

11. 简述悬臂施工连续梁桥的工序特点及主要的结构体系转换过程。

(1) 施工工序

0 号块浇筑:采用支架现浇墩顶起始段,混凝土强度达 90% 后张拉临时预应力。

挂篮安装:在 0 号块上拼装挂篮,进行静载试验(超载 20%)。

对称悬臂浇筑:每段施工周期 5~7 d,混凝土浇筑后 7 d 张拉预应力束。

边跨合龙：搭设支架现浇边跨合龙段，张拉永久预应力。

中跨合龙：采用吊架浇筑中跨合龙段，解除临时固结完成体系转换。

(2) 体系转换

T 构阶段：墩梁临时固结，结构呈双悬臂状态。

单悬臂阶段：边跨合龙后，结构转换为单悬臂梁。

连续梁阶段：中跨合龙并张拉全部预应力后，形成连续梁体系。

12. 为什么悬臂法施工要控制悬臂挠度？如何控制？

(1) 控制原因

悬臂施工中，梁体自重、预应力、徐变、温度差等因素会导致挠度变化，若偏差超过 $\pm 20\text{ mm}$ ，将影响合龙精度与成桥线形。某连续梁桥施工中，因未考虑徐变影响，成桥后跨中挠度超设计值 15 mm ，需进行后期调索处理。

(2) 控制方法

预抛高设置：综合考虑设计挠度、支架变形、沉降、收缩、徐变等因素，某桥预抛高值为 35 mm ，实测成桥挠度与设计值偏差 $\leq 5\text{ mm}$ 。

实时监测：采用 GNSS 定位系统与倾角传感器进行三维监测，每浇筑一段调整一次挂篮标高。

动态调整：通过水箱配重法或千斤顶微调，某桥在合龙前通过调整配重，将合龙段高差从 12 mm 降至 2 mm 。

13. 悬臂施工中，如何从施工方面保证连续梁合龙段的施工质量？

温度控制：选择低温时段 ($5\sim 15\text{ }^{\circ}\text{C}$) 进行合龙，采用覆盖保温措施，某桥合龙段混凝土内部最高温升控制在 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内。

配重平衡：两端水箱配重等于合龙段混凝土重量，浇筑过程中同步卸载。某桥合龙段重量 120 t ，采用 60 t 水箱分两次卸载，确保结构平衡。

临时锁定：采用劲性骨架 (如 $H350\times 350$ 型钢) 进行刚性连接，浇筑 C50 早强混凝土 (12 h 达 80% 强度)。某桥合龙段混凝土 7 d 强度达 65 MPa ，满足设计要求。

14. 什么是顶推施工法？有哪几种类型？

顶推施工法是在台后预制梁段 ($10\sim 30\text{ m}$)，通过千斤顶逐段顶推 (摩擦系数 $0.02\sim 0.05$) 至设计位置的施工方法，适用于 $40\sim 60\text{ m}$ 多跨梁。其类型包括：

单向顶推：单桥台设置千斤顶，某城市高架桥采用该方法，顶推速度为 5 m/h ，总顶推力达 8000 kN 。

双向顶推：两岸同步顶推，某跨河桥采用该方法，顶推精度控制在 $\pm 10\text{ mm}$ 。

多点顶推：墩顶设置千斤顶协同顶推，某连续梁桥采用该技术，有效减小了桥墩水平力。

15. 简述顶推施工法的工艺流程要点。

预制场建设：设置反力座与滑道，滑道平整度偏差 $\leq 2\text{ mm}$ 。

梁段预制：采用长线法预制，节段间匹配精度 $\leq 1\text{ mm}$ 。

顶推实施：采用步履式千斤顶，每次顶推行程 50 cm ，速度 5 m/h 。某桥顶推过程中，通过调整各墩顶千斤顶出力，控制梁体偏移 $\leq 5\text{ mm}$ 。

导梁辅助：导梁长度一般为顶推跨径的 $0.6\sim 0.8$ 倍，某桥导梁采用桁架结构，最大应力控制在设计值的 85% 以内。

体系转换：合龙后张拉永久预应力，拆除临时束与滑道。

16. 举例说明拱桥常用的施工方法。

(1) 有支架施工

采用满布式拱架(跨径 $<16\text{ m}$ 石拱)，分环分段砌筑。赵州桥采用该方法，拱石错缝砌筑，灰缝宽度 $\leq 20\text{ mm}$ ，拱架卸落时采用砂筒均匀下降。

(2) 劲性骨架法

钢管混凝土骨架+分环浇筑，如天峨龙滩特大桥 600 m 主拱，采用 $\phi 1000\text{ mm}$ 钢管骨架，内填 C60 微膨胀混凝土，分 3 环浇筑完成。

(3) 缆索吊装

峡谷无支架施工，如重庆万州长江大桥 420 m 拱肋吊装，采用 $2\times 2000\text{ kN}$ 缆索吊机，单肋吊装重量达 800 t ，定位精度 $\pm 5\text{ mm}$ 。

17. 简述拱桥主拱圈砌筑施工要点。

分段对称砌筑：段长 $6\sim 15\text{ m}$ ，预留 $3\sim 4\text{ cm}$ 空缝，合龙温度控制在 $10\sim 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。某石拱桥分 12 段砌筑，空缝采用 C40 微膨胀混凝土填充。

大跨径分环：分 $2\sim 3$ 环砌筑，每环合龙后再砌上环，间隔槽用 C40 早强混凝土。某混凝土拱桥分 2 环施工，环间间隔 7 d ，有效控制了收缩裂缝的产生。

拱架卸落：待拱圈混凝土强度达 90% 后，通过砂筒分级卸落拱架，卸落速率 $\leq 5\text{ mm/h}$ 。

18. 选择以下施工方法中的 1~2 个，搜集模拟施工流程(动画)，对其主要施工工艺进行概要总结：高桥墩滑动模板，桥墩及盖梁全预制装配施工，装配式 T 梁的穿巷式架桥机架设，悬臂浇筑施工，悬臂拼装施工，移动模架施工，顶推施工。

(1) 工艺概要

组装调试：安装辐射梁、顶架与内外模板(高度 1.2 m)，液压千斤顶(30 kN)同步性偏差 $\leq 5\text{ mm}$ 。

初滑试验：混凝土初次浇筑高度为 $60\sim 70\text{ cm}$ ，试升 5 cm 验证脱模强度($\geq 0.2\text{ MPa}$)。

正常滑升：每浇筑 20 cm 提升一次，速度 $15\sim 30\text{ cm/h}$ ，通过收坡丝杆调整墩身坡度。

末滑收顶：接近设计标高时，每小时提升 5 mm 防止黏模。

养护拆模：脱模 8 h 后喷淋养护，保湿 14 d 。

(2) 关键控制

同步性控制：采用 PLC 液压控制系统，千斤顶行程偏差 $\leq 20\text{ mm}$ 。

混凝土质量：坍落度控制在 $140\sim 160\text{ mm}$ ，初凝时间 $6\sim 8\text{ h}$ 。

垂直度监测：每滑升 1 m 用全站仪复核，偏差 $\leq H/1000$ 且 $\leq 20\text{ mm}$ 。

该工艺在某铁路高桥墩施工中应用，墩高 110 m ，施工周期仅 90 d ，垂直度偏差控制在 15 mm 以内，混凝土外观质量优良。