



T/CECS G XXXX: 2025

中国工程建设协会标准

Standard of China Association for Engineering Construction Standardization

# 公路桥梁预制拼装桥墩通用图

General Drawing of Prefabricated Bridge Piers for Highway Bridges

跨 径 : 30m

桥 宽 : 2×13m

斜 交 角 : 0°

抗震设防烈度 : VII度(0.1g)

环 境 类 别 : II类-冻融环境

中国工程建设标准化协会 发布

Issued by China Association for Engineering Construction Standardization

## 前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2022 年第一批协会标准制订、修订计划〉的通知》(建标协字[2018]13 号)的要求,由中交第二公路勘察设计研究院有限公司承担《公路桥梁装配式桥墩通用图》(以下简称“本通用图”)的制订工作。

装配式桥梁因较现浇桥梁有诸多优势已成为桥梁建设的主要发展方向,桥梁建造方式也逐渐由上部结构主梁装配式向包含下部结构桥墩的全装配式迈进。编写组在多年技术研发和总结公路、城市装配式桥墩近年来的工程经验以及借鉴国内外有关标准的基础上,完成了本通用图的制订工作。

本通用图指导思想:通过“标准化设计、工业化生产、装配化施工、信息化管理”,推动先进可靠的桥梁结构装配技术研发应用,提高中小跨径桥梁的安全性、耐久性,提升桥梁品质,实现绿色低碳、高质量发展。

本通用图编制方法:公路桥梁装配式桥墩与公路等级、桥梁宽度、单孔跨径、上部结构类型、斜交角、环境类别、抗震设防烈度、墩柱高度、基础类型、连接方式等诸多变量相关,组合后种类繁多。编写组结合装配式桥墩“构件是基础、连接是关键”的设计理念,采用“设计总说明”、“典型设计示例”和“计算示例”的编制方法。

本通用图典型设计:公路等级高速公路;桥梁宽度 $2\times 13\text{m}$ ;单孔跨径 $30\text{m}$ ;上部结构类型预制小箱梁;斜交角正交;环境类别 II 类;基本地震动峰值加速度 $0.1\text{g}$ ;墩柱高度小于 $15\text{m}$ ;灌注桩基础或管桩基础;连接方式分别为钢筋灌浆套筒、钢筋灌浆波纹管 and 构件承插式连接。

请注意本通用图的某些内容可能直接或间接涉及专利,本通用图的发布机构不承担识别这些专利的责任。

通用图使用者应依据法律法规,在充分理解通用图的基础上,根据工程项目的建设条件、荷载条件、施工方案与施工设备等参考本通用图“设计总说明”、“典型设计图”和“计算示例”进行施工图设计,具体结构设计、连接方式由使用者自行确定,确保工程项目的质量、安全和耐久,并对通用图在工程项目中的应用负责。

本通用图由中国工程建设标准化协会公路分会负责归口管理,由中交第二公路勘察设计研究院有限公司负责具体技术内容的解释,在执行过程中如有意见或建议,请函告本标准日常管理组,中国工程建设标准化协会公路分会(地址:北京市海淀区西土城路 8 号;邮编:100088;

电话:010-62079839;传真:010-62079983;电子邮箱:shc@rioh.cn),或王志刚(地址:湖北省武汉市经济技术开发区创业路 18 号;邮编:430056;电子邮箱:wangzhigang1@ccccltd.cn),以便修订时研用。

主 编 单 位:中交第二公路勘察设计研究院有限公司

参 编 单 位:中交新疆交通投资发展有限公司

上海市城市建设设计研究总院(集团)有限公司

同济大学

重庆交通大学

主 编:

主要参编人员:

主 审:

参与审查人员:

参 加 人 员:

# 目 录

征求意见稿

# 设计总说明

## 1 设计规范

- (1) 《公路工程技术标准》(JTG B01—2014)
- (2) 《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2015)
- (3) 《公路装配式混凝土桥梁设计规范》(JTG/T 3365-05—2022)
- (4) 《公路装配式混凝土桥梁施工技术规范》(JTG/T 3654—2022)
- (5) 《公路工程抗震规范》(JTG B02—2013)
- (6) 《公路桥梁抗震设计规范》(JTG/T 2231-01—2020)
- (7) 《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》(JTG/T 3310—2019)
- (8) 《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362—2018)
- (9) 《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG 3363—2019)
- (10) 《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T 3650—2020)
- (11) 《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》(JTG F80/1—2017)
- (12) 《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)
- (13) 《水泥基灌浆材料应用技术规范》(GB/T 50488—2015)
- (14) 《先张法预应力混凝土管桩》(GB/T 13476—2023)
- (15) 《公路桥梁预应力混凝土管桩基础技术规程》(T/CECS G:D67-03—2021)

## 2 总体设计

- (1) 公路桥梁装配式桥墩的外形、尺寸宜与常规设计的现浇桥墩保持一致。
- (2) 公路桥梁装配式桥墩主要构件钢筋配置宜与常规设计的现浇桥墩保持一致，受到连接方式制约时应进行必要的调整。
- (3) 公路桥梁装配式桥墩主要的连接方式及其适用范围见现行《公路装配式混凝土桥梁设计规范》(JTG/T 3365-05)，设计比选时尚应对比分析接缝耐久性、抗震设防需求、制造运输难度、拼装精度要求、现场施工周期和方案的经济性。
- (4) 采用抗震体系类型 I 且 E2 地震作用满足现行公路桥涵设计规范强度验算相关规定的公路桥梁装配式桥墩，和采用抗震体系类型 II 且满足现行公路桥梁抗震设计规范减隔震设计相关规定的公路桥梁装配式桥墩，连接方式可不进行抗震设防需求比选。
- (5) 构件承插式连接的连接节点强度不应低于墩柱构件强度，接缝及预留承插孔周边在 E2

地震作用下基本不发生损伤。

(6) 构件承插式等新型连接方式宜采用有限元模型计算或通过试验验证确定，模型试验比例尺宜大于 1:3，并进行专项技术论证。

(7) 新型连接方式宜通过施工工艺试验确定施工工艺、控制标准等相关指标和参数。

(8) 连接处宜通过三维空间模型校核钢筋干扰情况。

## 3 典型连接方式

### (1) 钢筋灌浆套筒连接

钢筋灌浆套筒连接是在灌浆连接套筒的端部插入钢筋并压注水泥基灌浆料的钢筋连接方式。公路桥梁装配式桥墩中主要用于墩柱与盖梁、墩柱与承台的连接。

#### ① 墩柱与盖梁

钢筋灌浆套筒连接用于墩柱与盖梁连接时，灌浆连接套筒通常布置于盖梁内部，其典型构造示意如下图所示。

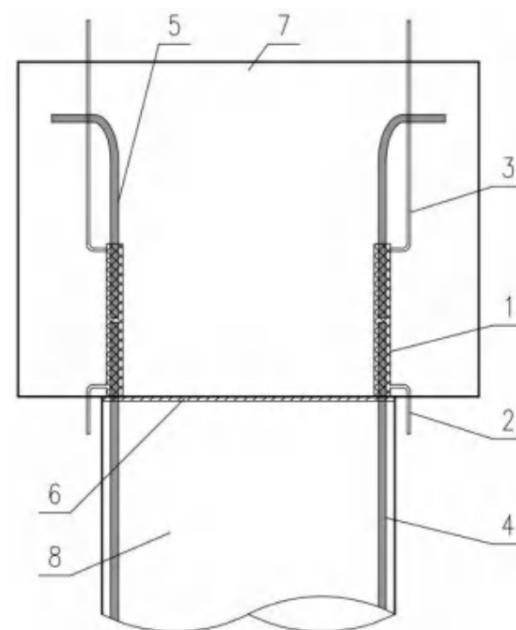


图 3-1 墩柱与盖梁钢筋灌浆套筒连接典型构造示意图

- 1-灌浆连接套筒；2-灌浆管；3-出浆管；4-墩柱伸出钢筋；  
5-套筒锚固钢筋；6-砂浆填充层；7-预制盖梁；8-预制墩柱

建设条件受限时，灌浆连接套筒可布置于墩柱内部，其典型构造可参照墩柱与承台连接。

## ② 墩柱与承台

钢筋灌浆套筒连接用于墩柱与承台连接时，灌浆连接套筒通常布置于墩柱内部，其典型构造示意如下图所示。

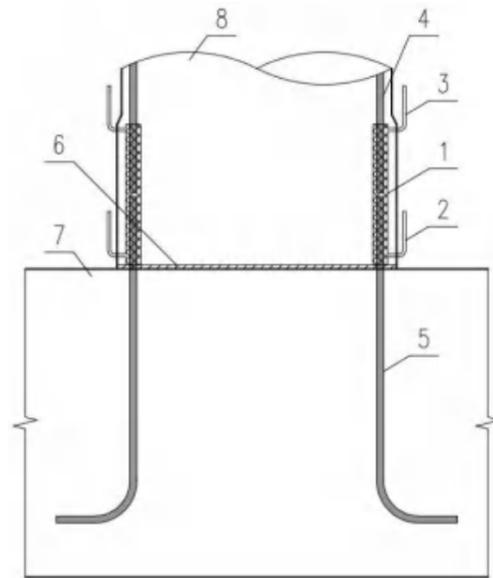


图 3-2 墩柱与承台钢筋灌浆套筒连接典型构造示意图  
1-灌浆连接套筒；2-灌浆管；3-出浆管；4-墩柱纵向钢筋；  
5-承台伸出钢筋；6-砂浆填充层；7-承台；8-预制墩柱

建设条件受限时，灌浆连接套筒可布置于承台内部，其典型构造可参照墩柱与盖梁连接。

## (2) 钢筋灌浆波纹管连接

钢筋灌浆波纹管连接是将构件的伸出钢筋插入另一构件的预埋波纹管并压注水泥基灌浆料的钢筋锚固方式。公路桥梁装配式桥墩中主要用于墩柱与盖梁、墩柱与承台的连接，预埋波纹管宜布置于盖梁或承台内部，墩柱与承台连接的典型构造示意如下图所示。

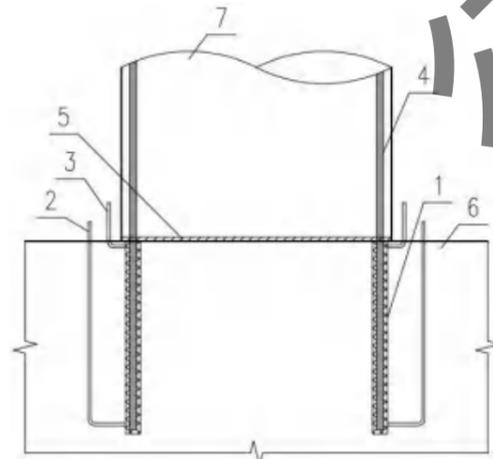


图 3-3 墩柱与承台钢筋灌浆波纹管连接典型构造示意图  
1-预埋波纹管；2-灌浆管；3-出浆管；4-墩柱纵向钢筋；5-砂浆填充层；6-承台；7-预制墩柱

墩柱与盖梁连接的典型构造可参照墩柱与承台连接的典型构造，预埋波纹管可贯通盖梁。

## (3) 构件承插式连接

构件承插式连接是将预制构件的承插段插入另一构件的预留承插孔内，通过浇筑混凝土或压注、灌注水泥基灌浆料，使构件连接成整体的连接方式。中交二公院等单位联合研发的新型构件承插式连接，可用于墩柱与盖梁、墩柱与承台、墩柱与桩帽的连接。

### ① 墩柱与盖梁新型承插式连接

新型构件承插式连接用于墩柱与盖梁连接时，盖梁作为目标连接构件，其典型构造示意如下图所示。

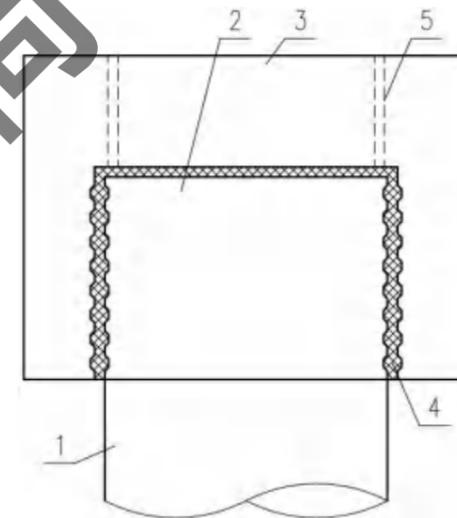


图 3-4 墩柱与盖梁新型构件承插式连接典型构造示意图  
1-预制墩柱；2-墩柱承插段；3-预制盖梁；4-水泥基灌浆料；5-注浆/出气孔

### ② 墩柱与承台新型承插式连接

新型构件承插式连接用于墩柱与承台连接时，承台作为目标连接构件，其典型构造可参照墩柱与盖梁连接，可不设置注浆/出气孔。

## (4) 钢筋插槽式连接

钢筋插槽式连接是将构件的伸出钢筋整体插入另一构件的预留孔内部，预留孔内浇筑混凝土使两者连接成整体的连接方式。钢筋插槽式连接施工周期较长，构件的伸出钢筋制造、运输和吊装不便，预留孔模板和弯起钢筋存在干扰，后浇混凝土无上浇筑面时质量较难控制，国内应用案例较少，本通用图暂不纳入。

钢筋插槽式连接示意图见现行《公路装配式混凝土桥梁设计规范》(JTG/T 3365-05)。

## (5) 湿接缝式连接

湿接缝式连接是将构件的钢筋与另一构件的钢筋机械/焊接连接或搭接后，通过后浇湿接缝

混凝土使两者连接成整体的连接方式。现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362)规定受压区和装配式构件间的连接钢筋不做接头百分数限制,但是现浇结构限制普通钢筋在受拉区接头百分数不宜超过 50%;现行《公路桥梁抗震设计规范》(JTG/T 2231-01)规定不应在塑性铰区域进行纵向钢筋连接。湿接缝式连接施工周期较长,受拉或塑性铰区域进行了钢筋机械/焊接连接或搭接,后浇混凝土无上浇筑面时质量较难控制,国内主要应用于预制盖梁之间的连接,墩柱与其他构件连接的应用案例较少,部分工程案例采用钢筋搭接并后浇 UHPC 的改进方案,本通用图暂不纳入。

湿接缝式连接示意图见现行《公路装配式混凝土桥梁设计规范》(JTG/T 3365-05)。

#### (6) 预应力钢筋连接

预应力钢筋连接是将预制构件搭接并张拉预应力钢筋使构件连接成整体的连接方式,分为有粘结预应力钢筋连接和无粘结预应力钢筋连接。预应力钢筋连接适用于大悬臂的预应力盖梁节段间的连接。当预应力钢筋连接用于墩柱时,墩柱由普通钢筋混凝土构件变为预应力钢筋混凝土构件,延性耗能能力差,预加力增加了墩柱的轴压比。有粘结预应力钢筋连接,可应用于墩柱仅做强度验算的公路桥梁或采用减隔震设计的桥梁;无粘结预应力钢筋连接应纳入特殊桥梁设计。预应力钢筋连接国内应用案例较少,本通用图暂不纳入。

预应力钢筋连接示意图见现行《公路装配式混凝土桥梁设计规范》(JTG/T 3365-05)。

## 4 设计基本规定

(1)本通用图“典型设计图”选取高速公路桥梁装配式混凝土桥墩,对应上部结构为单幅桥宽 13m、正交、30m 跨径小箱梁,连接方式分别采用钢筋灌浆套筒、钢筋灌浆波纹钢管和构件承插式,适用于基本地震动峰值加速度为 0.1g 地区,环境类别 II 类。

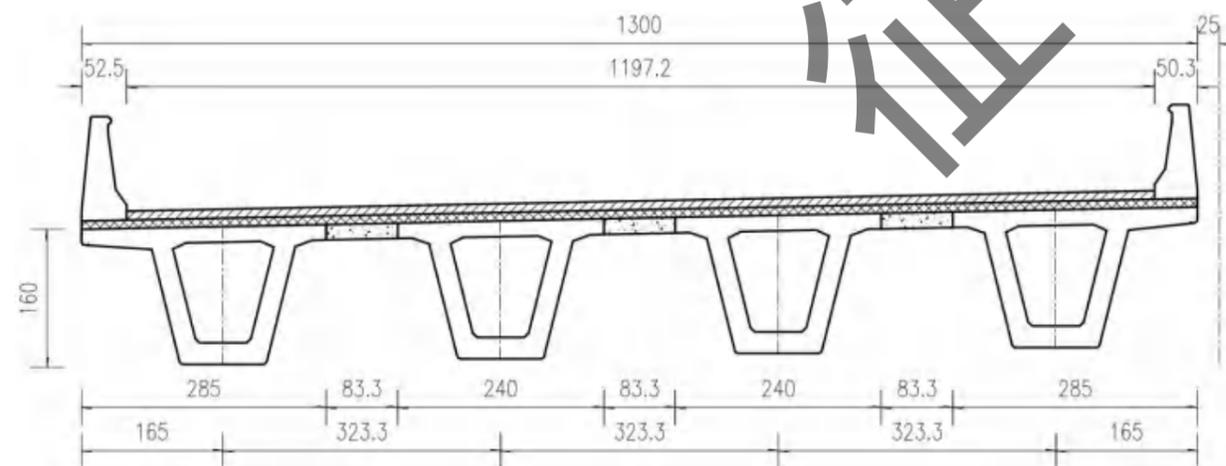


图 4-1 上部结构典型横断面图

(2)其它公路等级、上构类型、基本地震动峰值加速度、环境类别、桥宽、斜交角、跨径的公路桥梁装配式混凝土桥墩可参考本通用图及其计算示例进行施工图设计。

(3)公路桥梁装配式桥墩设计、施工及验收等尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

## 5 典型设计技术指标

(1)公路等级:高速公路;

(2)桥面宽度:  $2 \times 13\text{m}$ ;

(3)汽车荷载等级:公路— I 级;

(4)单孔跨径: 30m;

(5)桥梁交角: 正交  $90^\circ$ ;

(6)墩柱高度: 小于 15m (无墩系梁、单节墩柱);

(7)设计基准期: 100 年;

(8)设计使用年限: 100 年;

(9)设计安全等级: 一级;

(10)基本地震动峰值加速度: 0.1g 地区;

(11)环境类别: II 类。

## 6 材料及制品

### 6.1 混凝土

(1)预制盖梁、预制实心墩柱采用 C40 混凝土,离心预制管墩采用 C70 混凝土,现浇承台和灌注桩基础采用 C35 混凝土;其技术要求应符合现行《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T 3650)和《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》(JTG/T 3310)的规定。

(2)混凝土的材料性能指标按现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362)规定采用。

### 6.2 钢筋

(1)普通钢筋采用 HRB500 钢筋,其技术要求应符合现行《钢筋混凝土用钢 第 2 部分:热轧带肋钢筋》(GB/T 1499.2)的规定。

(2)普通钢筋的材料性能指标按现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362)规定采用。

### 6.3 连接材料

连接材料与连接方式相关,详见“典型设计示例”的典型设计说明。

## 6.4 预应力混凝土管桩

(1) 预应力混凝土管桩宜采用 PHC 管桩或 PRC 管桩，其技术要求应符合现行《先张法预应力混凝土管桩》(GB 13476)的规定，其设计详图见现行国家建筑标准设计图集《预应力混凝土管桩》(10G409)。

(2) 预应力混凝土管桩的材料性能指标应按现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362)规定采用，可参考现行中国工程建设标准化协会标准《公路桥梁预应力混凝土管桩基础技术规程》(T/CECS G:D67-03)的有关规定。

## 7 质量控制要求

(1) 公路桥梁装配式桥墩在设计中应遵循标准化和模数化原则。

(2) 施工图设计应注重细部构造设计，确保预制节段之间拼装时的精度匹配和连接可靠。

(3) 灌浆连接套筒、预埋波纹钢管和水泥基灌浆料应严格控制产品质量。

(4) 施工前应深化施工工艺并编制专项施工方案。

(5) 施工中涉及新技术、新材料、新工艺、新设备的，应进行施工工艺试验。

(6) 预制构件经验收合格方可出厂，出厂前应在明显位置进行标识。

(7) 拼装时应严格细致监控施工过程。

(8) 公路桥梁装配式桥墩宜采用信息辅助手段加强质量管控。

## 8 工程安全

施工前应根据现行《公路工程施工安全技术规范》(JTG F90)及现场具体情况制定安全技术措施，并应符合国家和行业现行有关标准以及安全管理机构的有关规定。

本通用图补充工程安全要求：

(1) 制构件现场堆放

① 施工场地应划出专用堆放场，用铁制围栏圈好堆放场。此种堆放场，一般设在靠近预制构件的生产线及起重机起重性能所能达到的范围内。

② 预制构件堆场的选址应综合考虑垂直运输设备起吊半径、施工便道布置及卸货车辆停靠位置等因素，便于运输和吊装，避免交叉作业。

③ 构件存放时应设计临时支撑，用来保证结构稳定。

(2) 构件运输安全准备工作

① 制定运输方案：根据运输构件实际情况需要，装卸车现场及运输道路的情况，施工单位要根据起重机械、运输车辆的条件等因素综合考虑，最终选定运输方法、选择起重机械（装卸

构件用）和运输车辆。

② 设计制作运输架：根据构件的重量和外形尺寸进行设计制作，且尽量考虑运输架的通用性。

③ 验算构件强度：对预制盖梁、墩柱等构件，根据运输方案所确定的条件，验算构件在最不利截面处的抗裂度，避免在运输中出现裂缝。如有出现裂缝的可能，应进行加固处理。④ 设置可靠的临时支撑措施，严防构件整体倾覆滑落等意外事故。

(3) 构件运输安全工作

① 清查构件：清查构件的型号、质量和数量，有无加盖合格印和出厂合格证书等。

② 察看运输路线：组织有司机参加的有关人员察看道路情况，沿途上空有无障碍物，公路桥的允许负重量，通过的涵洞净空尺寸等。如不能满足车辆顺利通行，应及时采取措施。此外，应注意沿途是否横穿铁道，如有应查清火车通过道口的时间，以免发生交通事故。

③ 和交通部门沟通：询问交管部门的道路状况，获取通行线路、时间段等重要信息。

(4) 施工方与运输方安全生产协议应包括的主要内容

① 依据安全生产法律、法规，落实各自的安全职责。

② 出厂运输的构件检测、合格出厂按图编号、构件装车有方案。

③ 根据装配式桥梁施工特点，结合预制构件运输特性，编制专项运输方案，经论证审批实施。

④ 运输安全生产协议中明确预制构件运输、车辆设备等安全职责，协调督促各单位相互配合。

⑤ 制定意外、坏损责任认定范围。

(5) 装车安全

预制构件运输及安装时应注意必须设置可靠的临时支撑措施并上报监理，严防主梁整体倾覆。

# 装配式桥墩典型方案(一)

(钢筋灌浆套筒连接)

# 典型方案(一)补充设计说明

## 1 连接材料

### 1.1 灌浆连接套筒

(1) 本通用图典型方案(一)中灌浆连接套筒位于墩柱潜在塑性铰区域和盖梁内部,采用机械加工优质碳素结构钢全灌浆连接套筒。

(2) 机械加工钢灌浆连接套筒的材料性能应符合现行《公路装配式混凝土桥梁设计规范》(JTG/T 3365-05)的规定,其他尚应符合现行《钢筋连接用灌浆套筒》(JG/T 398)的规定。

(3) 机械加工优质碳素结构钢全灌浆套筒的尺寸宜满足表 1-1 的要求。

表 1-1 机械加工全灌浆套筒尺寸规格表

主筋直径 (mm)	套筒尺寸(mm)			
	最小内径	外径	灌(出)浆口内径	长度
25	48	60	20	510
28	51	64	20	570
32	55	70	20	650
36	60	78	20	730
40	65	89	20	810

注:表内尺寸为 HRB400 钢筋连接时的推荐值。

(4) 灌浆连接套筒应包括相关的合格附属配件,包括注浆管、出浆管、密封环、端盖、止浆塞、密封柱塞等。端盖应能防止安装过程中垫层砂浆进入灌浆连接套筒。

### 1.2 水泥基灌浆料

(1) 水泥基灌浆料的技术指标应满足表 1-2 的要求,其他尚应符合现行《钢筋连接用套筒灌浆料》(JG/T 408)的规定。

表 1-2 钢筋灌浆套筒连接用水泥基灌浆料技术指标

检测项目	性能指标	
流动度(mm)	初始	≥320
	30 min	≥260
抗压强度(MPa)	1d	≥35
	3d	≥60
	28d	≥100
竖向膨胀率(%)	3h	0.02~2
	24h 与 3h 差值	0.02~0.4
	28d 与 24h 差值	≥0.00
氯离子含量(%)	≤0.03	
泌水率(%)	0	

(2) 用于钢筋灌浆套筒连接的水泥基灌浆料宜与灌浆连接套筒为同一厂家产品。

### 1.3 垫层砂浆

(1) 垫层砂浆应采用微膨胀水泥基砂浆,1d 抗压强度应不小于 30MPa,28d 抗压强度应不小于 60MPa,且应大于被连接构件抗压强度一个强度等级,28d 竖向膨胀率应不大于 0.1%。

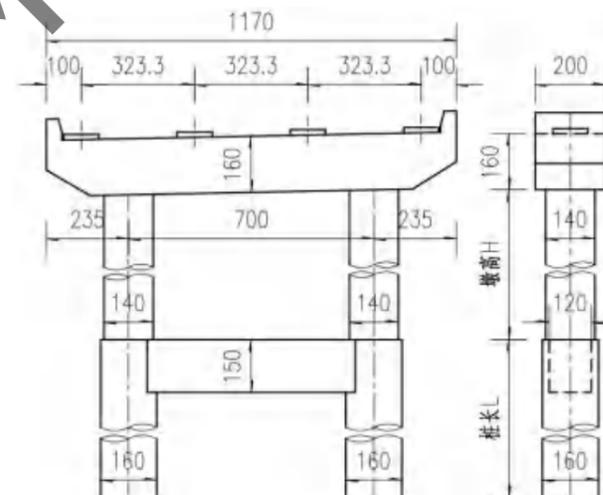
(2) 垫层砂浆宜选用质地坚硬、级配良好的中砂,细度模数应不小于 2.6,含泥量应不大于 1%,且不应有泥块存在。

(3) 垫层砂浆初凝时间宜大于 2h。

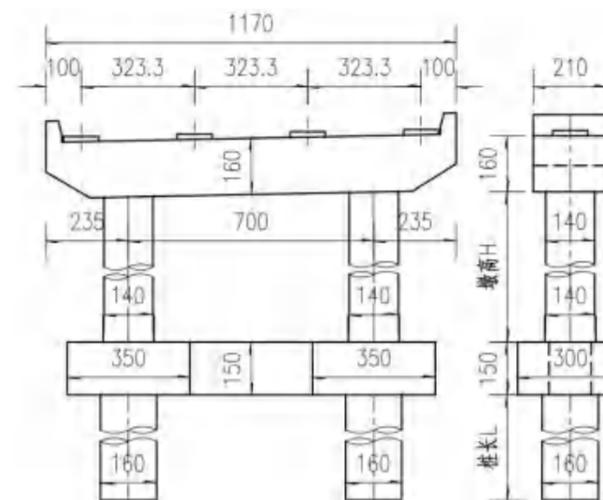
## 2 设计要点

### 2.1 桥墩整体结构设计

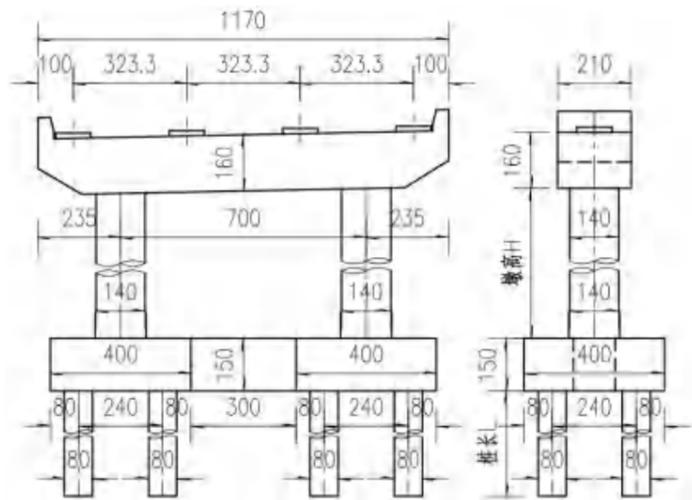
常规设计的现浇桥墩及其对应的钢筋灌浆套筒连接的装配式桥墩整体结构形式如下图所示。



a) 现浇桥墩



b) 采用灌注桩基础的装配式桥墩



c) 采用管桩基础的装配式桥墩

图 2-1 现浇桥墩及其对应的装配式桥墩整体结构示意图 (尺寸单位: cm)

管桩基础为定型产品预制混凝土构件, 灌注桩和承台现浇施工, 墩柱、盖梁为钢筋混凝土预制构件, 支座垫石可现浇施工; 整体结构方案匹配墩梁一体式架桥机的施工工艺。构件类型、控制重量及匹配的施工方法见下表, 具体项目应根据项目建设条件进行分析和设计。

表 2-1 装配式桥墩主要构件一览表

构件部位	构件类别	理论吊装重量	施工工艺
盖梁	预制盖梁	<102t	墩梁一体架设
墩柱	预制墩柱	<62t	
承台	现浇承台	—	常规现浇
基础	灌注桩	—	常规现浇
	预制管桩	—	锤击、静压等

## 2.2 预制盖梁设计

(1) 预制盖梁的混凝土强度等级不宜低于 C40。

(2) 预制盖梁的钢筋骨架宜与常规设计的现浇盖梁保持一致, 钢筋骨架横向布置应根据灌浆连接套筒的位置进行调整, 必要时可适当增加盖梁的宽度。

(3) 预制盖梁中两片钢筋骨架的横向净距可适当减小, 与相邻其它钢筋骨架的间距应满足横向净距的设计和施工要求。

(4) 预制盖梁中的箍筋与灌浆连接套筒发生干扰时, 施工时适当调整箍筋位置。

## 2.3 预制墩柱设计

(1) 预制墩柱的混凝土强度等级不宜低于 C40。

(2) 预制墩柱的长度应扣除上下两端接缝砂浆填充层的厚度, 墩柱顶面应根据预制、安装角度及盖梁横坡设置倾斜面。

(3) 预制墩柱的纵向钢筋配筋率应与现浇墩柱基本相同, 纵向钢筋可采用大直径钢筋减少纵向钢筋和灌浆连接套筒的数量, 降低灌浆连接套筒与盖梁钢筋骨架之间的相互干扰。

(4) 预制墩柱的箍筋直径、间距等布置方案宜与现浇墩柱保持不变。

(5) 预制墩柱灌浆连接套筒段宜适当加大截面尺寸, 段内的箍筋可采用焊接环式间接钢筋。

## 2.4 现浇承台设计

(1) 设计阶段拟定施工工艺可采用墩梁一体式架桥机时, 承台尺寸应校核能否满足施工机械前支腿的设置要求。

(2) 承台钢筋骨架间距应根据预埋连接钢筋的位置进行局部调整。

(3) 预制墩柱与承台接缝处正常使用极限状态出现拉应力时, 接缝处应进行耐久性设计。

## 2.5 基础设计

(1) 基础设计时宜对灌注桩基础和管桩基础进行综合比选。

(2) 管桩基础可选用 PHC 管桩、PRC 管桩等制品, 管桩外径等指标应根据荷载大小、地质条件、施工工艺等因素综合确定。

(3) 管桩基础结构验算应符合现行中国工程建设标准化协会标准《公路桥梁预应力混凝土管桩基础技术规程》(T/CECS G:D67-03) 的有关规定。

## 2.6 抗震设计

(1) 采用钢筋灌浆套筒连接的装配式桥墩在 E1 和 E2 地震作用下, 桥梁抗震设防目标应符合现行《公路桥梁抗震设计规范》(JTG/T 2231-01) 的规定。

(2) 采用钢筋灌浆套筒连接的装配式桥墩在 E1 和 E2 地震作用下的抗震分析, 应按现行《公路桥梁抗震设计规范》(JTG/T 2231-01) 的规定建立桥梁结构的动力计算模型。

(3) 采用钢筋灌浆套筒连接的装配式桥墩强度和变形验算, 应按现行《公路装配式混凝土桥梁设计规范》(JTG/T 3365-05) 的规定计入接缝对受力性能的影响。

## 2.7 节点设计

(1) 采用钢筋灌浆套筒连接的接缝砂浆填充层厚度可采用 20mm。

(2) 采用钢筋灌浆套筒连接的接缝位置承载力计算应符合现行《公路装配式混凝土桥梁设计规范》(JTG/T 3365-05) 的有关规定。

## 2.8 抗震措施

采用钢筋灌浆套筒连接的装配式桥墩抗震措施应符合现行《公路装配式混凝土桥梁设计规范》(JTG/T 3365-05) 的有关规定。

### 3 施工要点

采用钢筋灌浆套筒连接的装配式桥墩施工除应符合现行《公路装配式混凝土桥梁施工技术规范》(JTG/T 3654)、《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T 3650)和《公路工程质量检验评定标准(第一册 土建工程)》的有关规定外,还应注意以下事项:

#### 3.1 方案要点

钢筋灌浆套筒连接的装配式桥墩预制构件包含盖梁、墩柱和管桩,现浇构件包含承台和灌注桩,其中墩柱与盖梁、墩柱与承台之间均采用钢筋灌浆套筒连接。

#### 3.2 施工特别注意事项

(1)承台施工特别注意事项:施工设备采用墩梁一体式架桥机时,应根据墩梁一体式架桥机前支腿临时支撑的要求预埋相关构件,并在施工完成后进行防腐等后处理。

(2)墩柱预制特别注意事项:墩柱纵向主筋长度及墩顶混凝土倾斜角应根据具体墩柱所对应盖梁的设计横坡进行局部调整,并严格控制构件的预制精度;宜采用信息化技术模拟预拼装。

(3)盖梁预制特别注意事项:盖梁根据设计横坡进行预制,预埋灌浆连接套筒保持竖直。

(4)墩柱安装特别注意事项:墩柱安装前应进行试拼装,严禁切割承台伸出钢筋,安装精度控制应以墩顶伸出的连接钢筋为主。

(5)盖梁安装特别注意事项:盖梁安装前应进行试拼装,严禁切割墩顶伸出钢筋。

(6)接缝砂浆和灌浆料施工特别注意事项:接缝砂浆及灌浆料强度不低于 35MPa 后,方可进行后续工序的施工;当施工气温低于 5℃时,应采取有效的保温措施进行保温。

#### 3.3 构件预制

(1)构件预制所用的钢筋笼胎架、钢筋笼定位板、预制台座、模板、吊具等设备应根据具体预制工艺和精度要求编制专项施工方案。

(2)构件模具宜采用专门设计的钢模具,且应具有足够的强度、刚度和稳定性。

(3)混凝土浇筑前,灌浆连接套筒定位、模板、台座平面高差的允许偏差应满足表 3-1 的要求,其他应符合现行《公路装配式混凝土桥梁施工技术规范》(JTG/T 3654)的有关要求。

表 3-1 混凝土浇筑前预埋件安装允许偏差

项 目		允许偏差
灌浆套筒定位(mm)		1
模板尺寸(mm)	直径	±2
	高度	±3
台座平面高差(mm)		±2

(4)预制构件出厂前应现行《公路装配式混凝土桥梁施工技术规范》(JTG/T 3654)的有关要

求进行质量验收。

#### 3.4 构件存放

(1)构件存放场地应坚实平整,应有相应的设施不积水。

(2)预制墩柱竖直存放时应验算最不利状态下构件的稳定性;水平存放时支点处应采用垫木或其他适宜的材料进行支撑,并验算最不利状态下构件的裂缝宽度。

(3)预制盖梁应水平存放,存放时不得倒置、翻转。

(4)预制构件堆叠时不宜超过 3 层,层间应设置垫木或其他适宜的材料。

#### 3.5 构件吊装及运输

(1)构件吊装及运输应编制专项施工方案。

(2)起吊前应进行试吊装。

(3)吊装应平缓匀速、轻起轻放,严禁抛掷、碰撞、滚落等。

(4)构件吊装运输时混凝土强度不宜小于设计强度的 90%,运输时应采取必要的固定和缓冲措施,不得使构件产生损伤及变形。

#### 3.6 现场安装

(1)现场安装应编制专项施工方案,可通过施工工艺试验总结工艺工法和施工注意事项。

(2)现场安装应校核预制构件的倾斜面方向是否与桥面横坡保持一致。

(3)构件预制和安装导致施工允许偏差的累积,试拼装时宜校核后续构件安装的精度匹配。

(4)构件安装验收标准应符合现行《公路装配式混凝土桥梁施工技术规范》(JTG/T 3654)的有关要求。

### 4 施工工艺试验

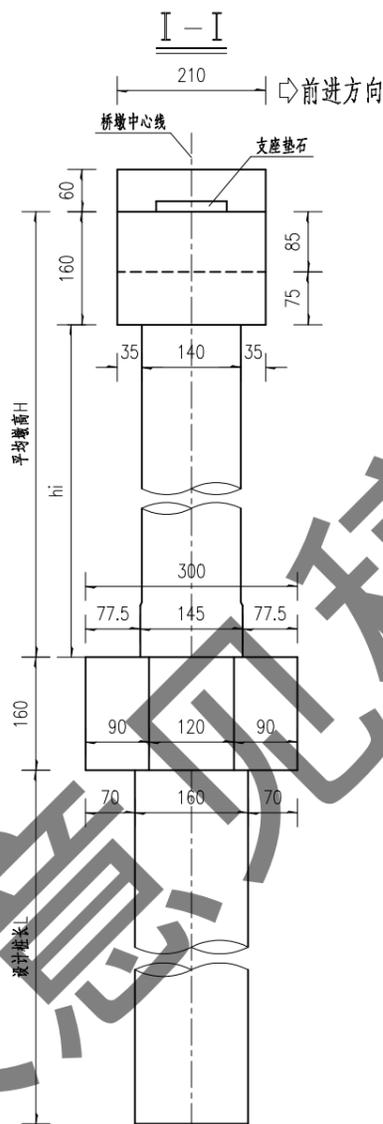
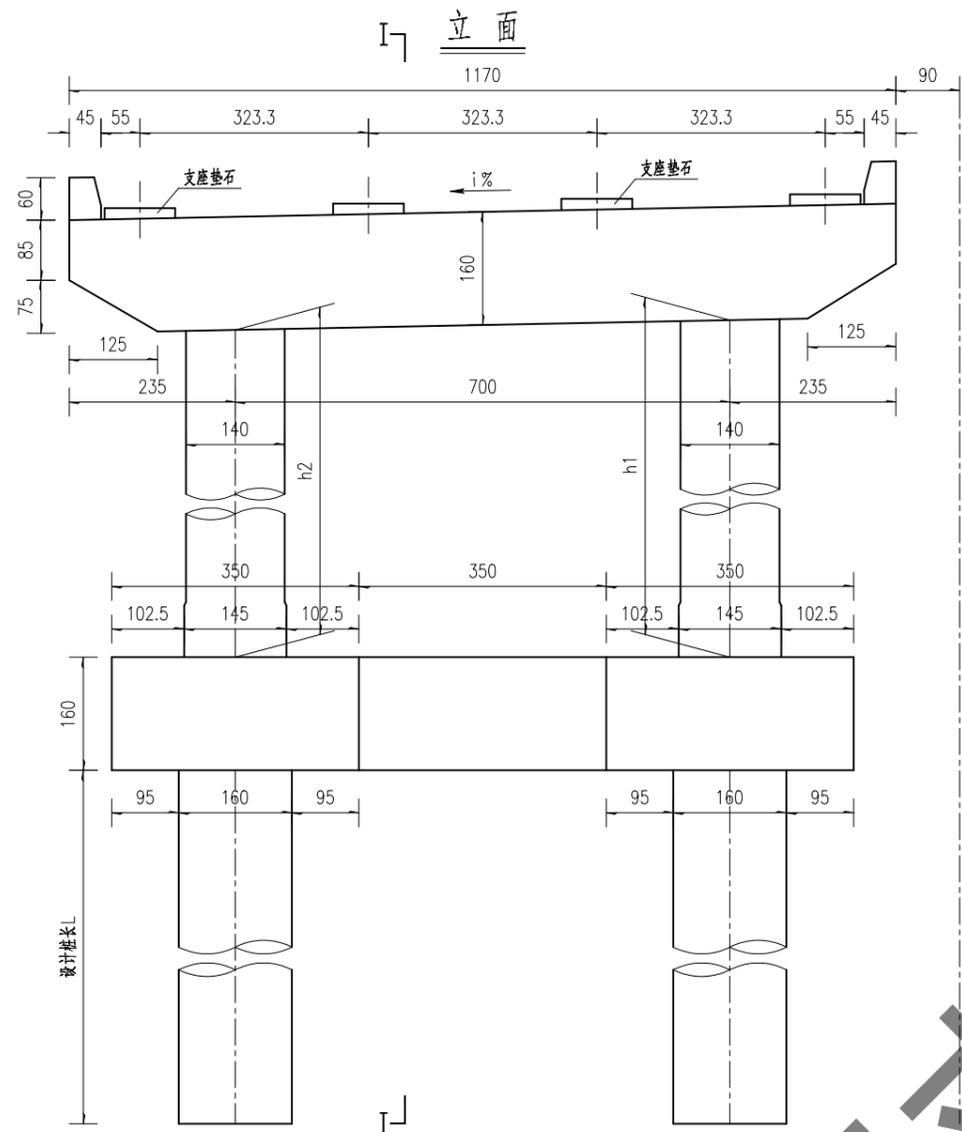
施工企业首次采用钢筋灌浆套筒连接的装配式桥墩时,该分项工程施工前宜开展 1:1 构件预制和拼装的施工工艺试验,并对施工工艺试验结果进行总结和验收。

### 5 耐久性设计要求

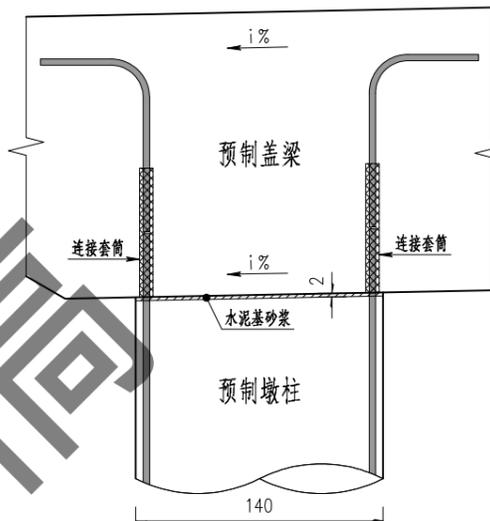
(1)预制构件耐久性设计应符合现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362)和现行《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》(JTG/T 3310)的有关规定。

(2)接缝处连接材料应满足材料耐久性性能指标要求。

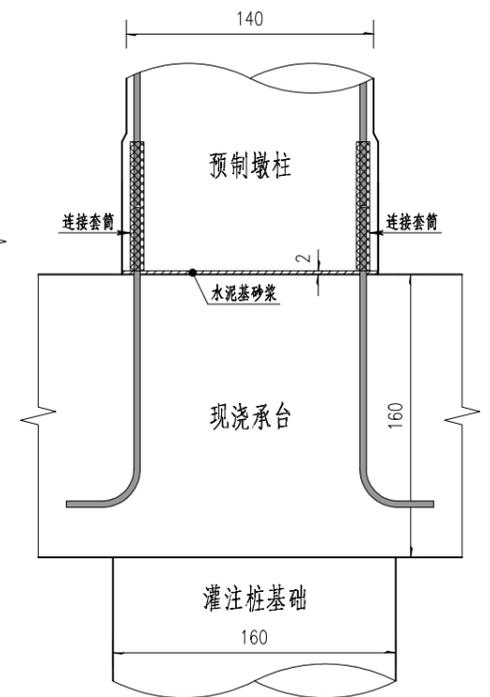
(3)接缝处正常使用极限状态出现拉应力时,可采取延性密封材料或构造等措施增强接缝处的耐久性;所采用的材料和构造等措施尚应满足变形、强度、刚度、耐久性等性能要求;使用防水卷材时,其应符合现行《道桥用改性沥青防水卷材》(JC/T 974)的有关规定。



盖梁与墩柱连接示意图

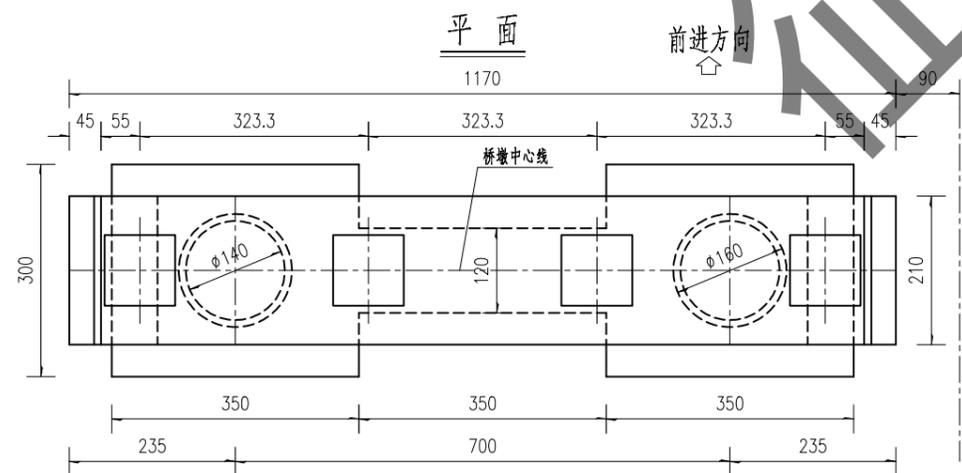


墩柱与承台连接示意图



装配式桥墩构件的混凝土标号

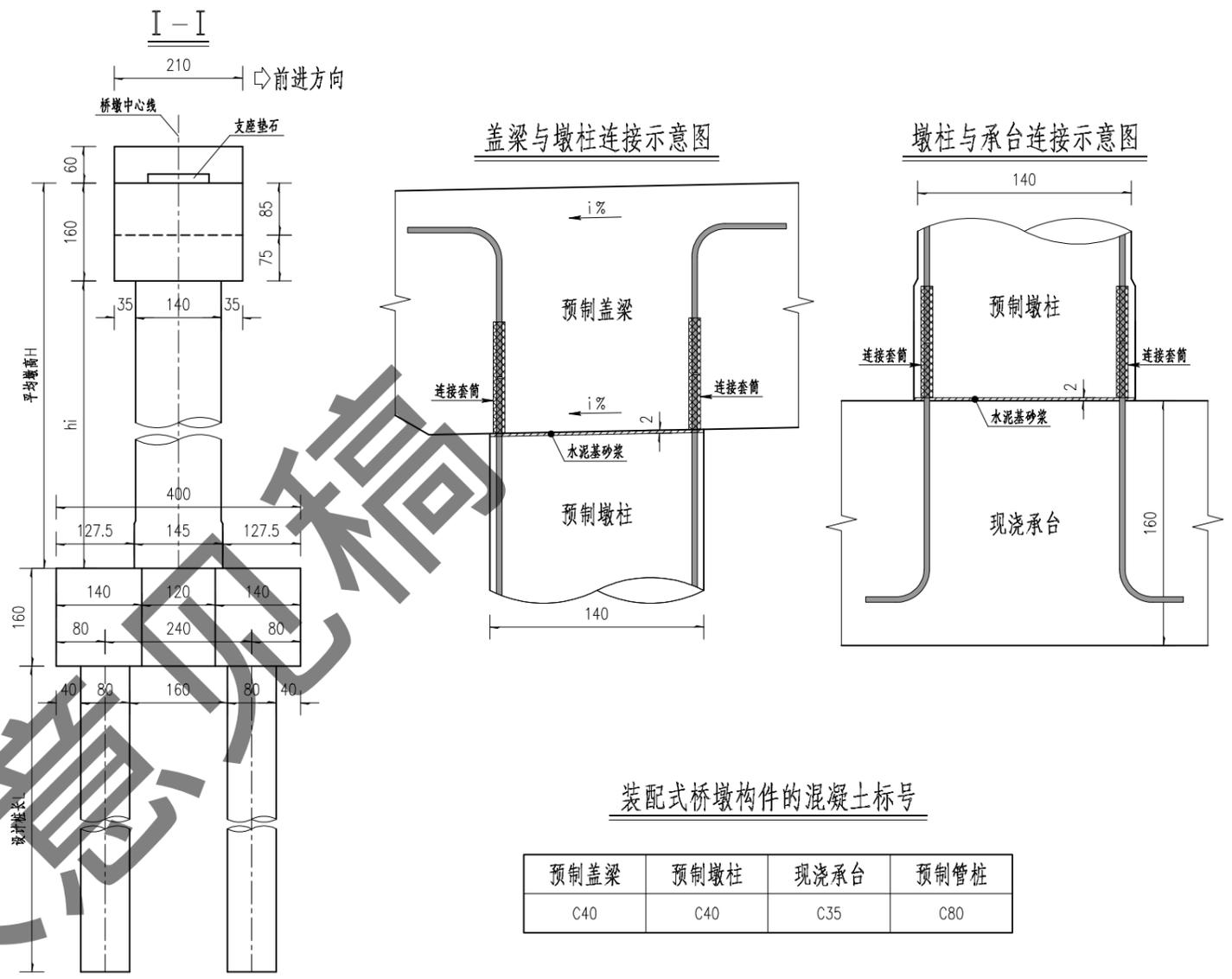
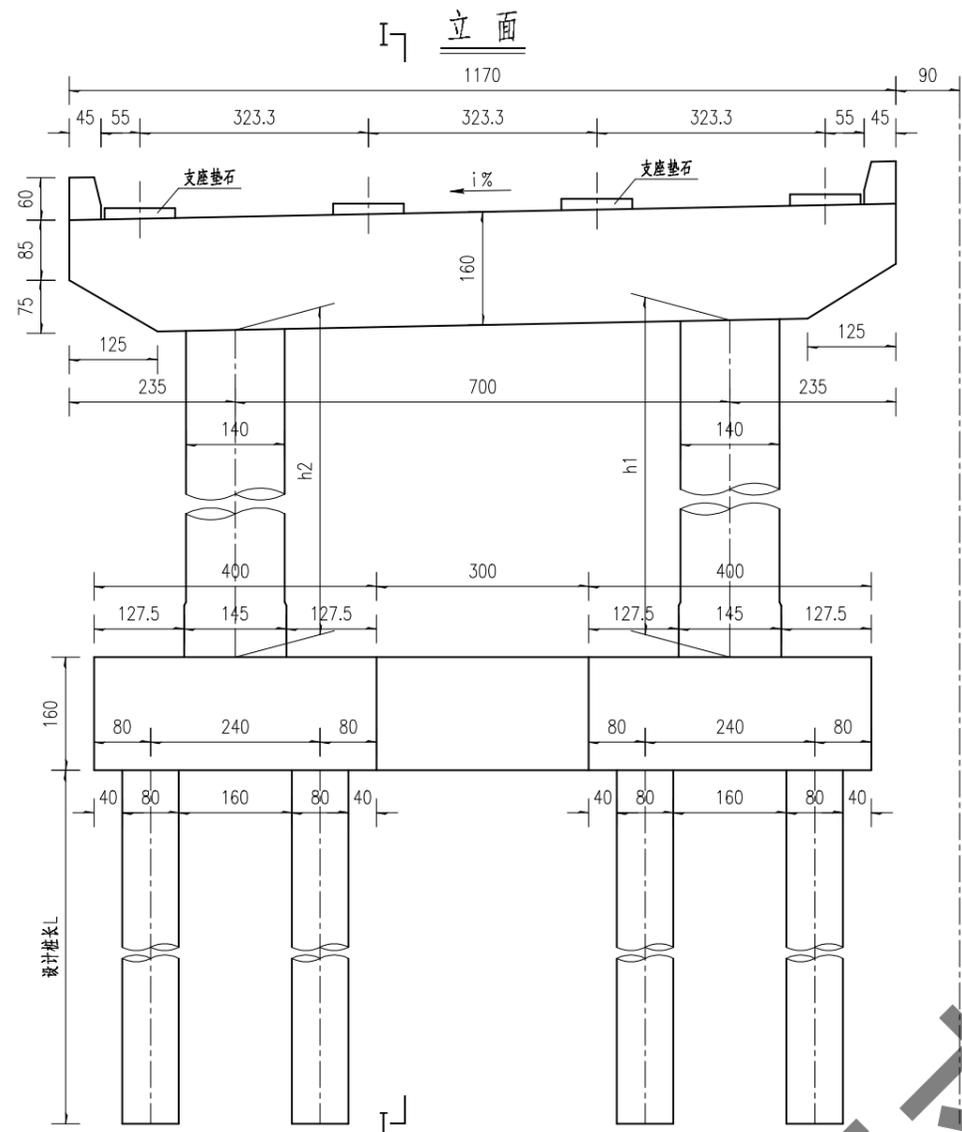
预制盖梁	预制墩柱	现浇承台	灌注桩
C40	C40	C35	C35



注:

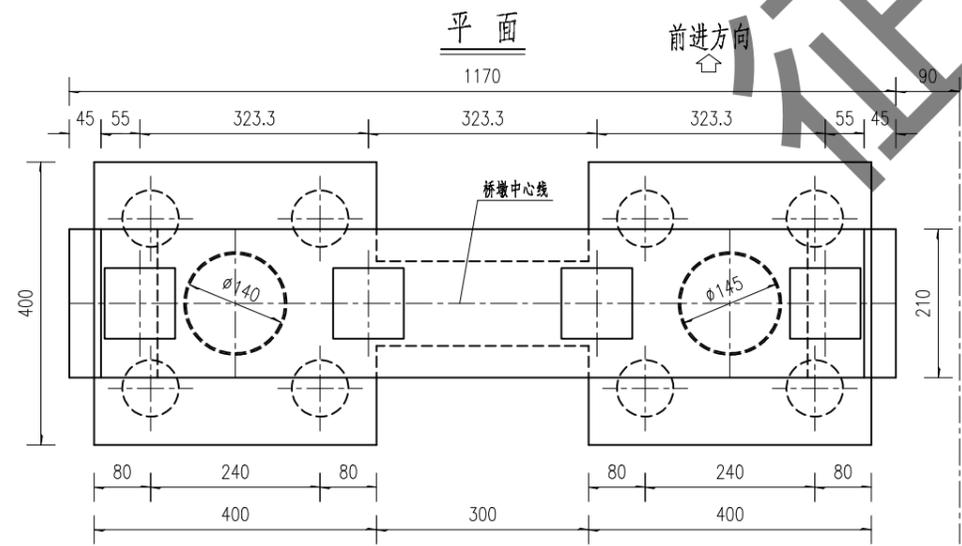
1. 本图尺寸均以cm为单位。
2. 盖梁和墩柱为预制拼装构件，可通过施工工艺试验进一步明确施工工艺、控制标准等相关指标和参数。
3. 本图支座垫石仅为示意，使用时应根据具体工程项目的“上部结构通用图”、“桥型布置图”等进行细化设计。
4. 本图未示意纵向限位措施，使用时应根据工程项目进行细化设计。
5. 本方案按灌注桩基础，并预留墩梁一体架桥机前支腿支撑平台进行典型方案设计。
6. 本方案预制盖梁与预制墩柱间、预制墩柱与灌注桩基础间均采用钢筋灌浆套筒连接。
7. 本图适用于上部结构为预制小箱梁、标准跨径30m、路基宽度26.5m，墩高 $H < 10$ m的装配式桥墩。当上部结构与本通用图不一致时，可参考本通用图进行设计。

双向四车道公路桥梁装配式桥墩	标准跨径: 30m
	桥梁宽度: 2×13m
装配式桥墩一般构造图	图号: SG-1-2



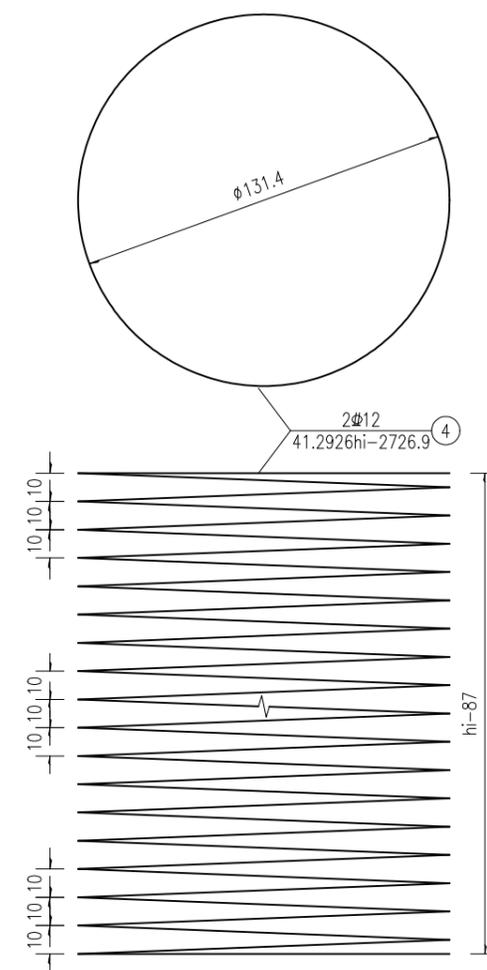
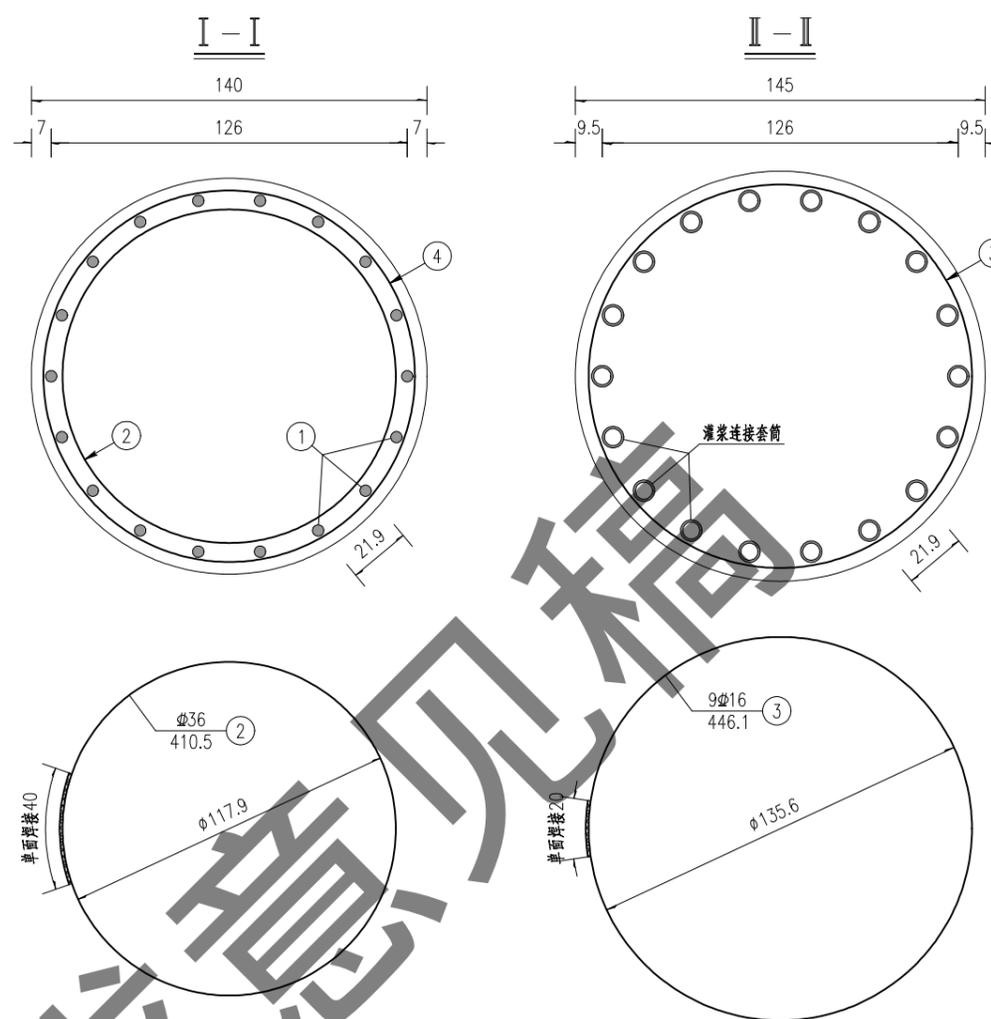
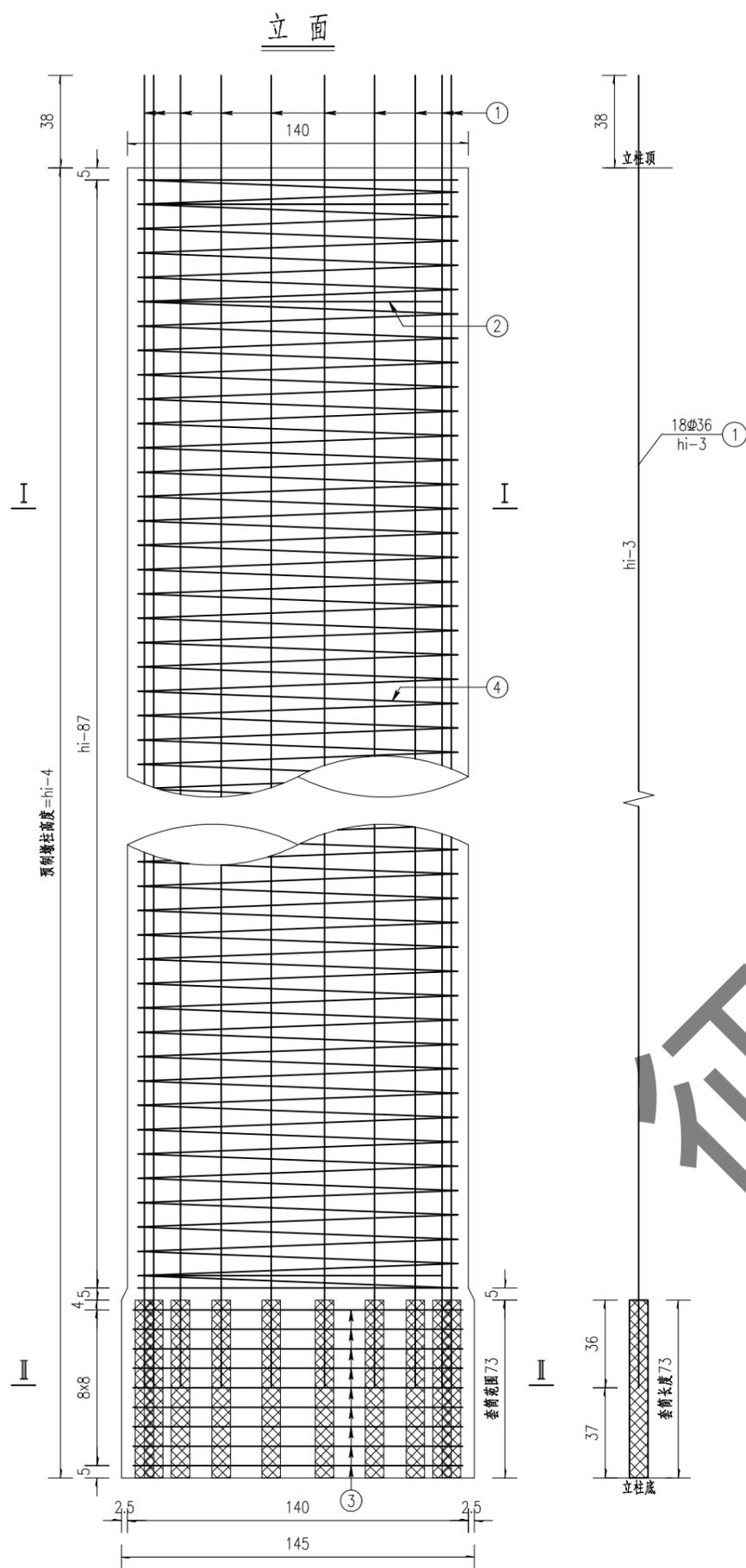
装配式桥墩构件的混凝土标号

预制盖梁	预制墩柱	现浇承台	预制管桩
C40	C40	C35	C80



- 注：
1. 本图尺寸均以cm为单位。
  2. 盖梁和墩柱为预制拼装构件，可通过施工工艺试验进一步明确施工工艺、控制标准等相关指标和参数。
  3. 本图支座垫石仅为示意，使用时应根据具体工程项目的“上部结构通用图”、“桥型布置图”等进行细化设计。
  4. 本图未示意纵向限位措施，使用时应根据工程项目进行细化设计。
  5. 本方案按管桩基础进行典型方案设计；管桩基础施工工艺应满足工程项目条件，必要时应通过施工工艺试验确定其可实施性。
  6. 预制管桩除应满足现行《先张法预应力混凝土管桩》(GB 13476)和《预应力混凝土管桩》(国家建筑标准设计图集10G409)的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。
  7. 该方案不宜设计为高桩承台，承台顶面最小埋深不宜小于50cm。
  8. 本方案预制盖梁与预制墩柱间、预制墩柱与现浇承台间均采用钢筋灌浆套筒连接。
  9. 本图适用于上部结构为预制小箱梁、标准跨径30m、路基宽度26.5m、墩高H<10m的装配式桥墩。当上部结构与本通用图不一致时，可参考本通用图进行设计。

双向四车道公路桥梁装配式桥墩	标准跨径：30m
	桥梁宽度：2×13m
装配式桥墩一般构造图	图号：SG-1-2



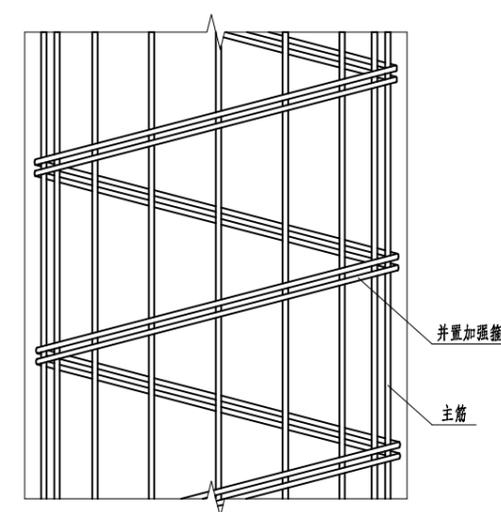
预制实心墩柱材料数量表

钢筋编号	直径 (mm)	单根长度 (cm)	根数	共长 (m)	共重 (kg)	总重 (kg)
1	Φ36	hi-3	18	XXXX	XXXX	XXXX
2	Φ36	410.5	n	XXXX	XXXX	
3	Φ16	446.1	9	40.15	63.4	63.4
4	Φ12	41.2926hi-2726.9	2	XXXX	XXXX	XXXX
灌浆连接套筒GTQ4J-36 (个)					18	
C40混凝土 (m³)					XXXX	

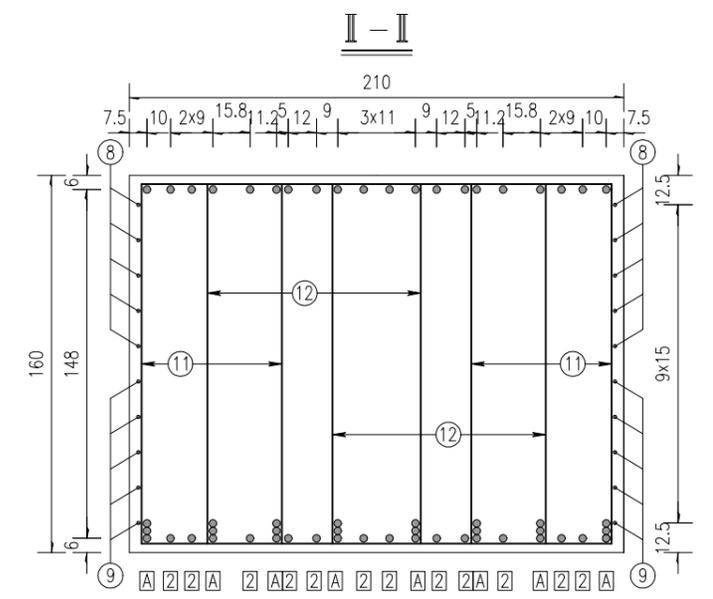
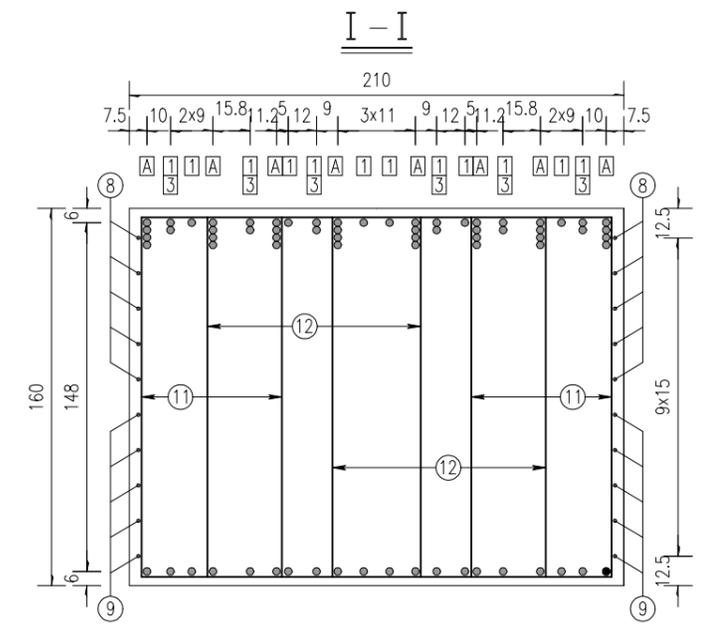
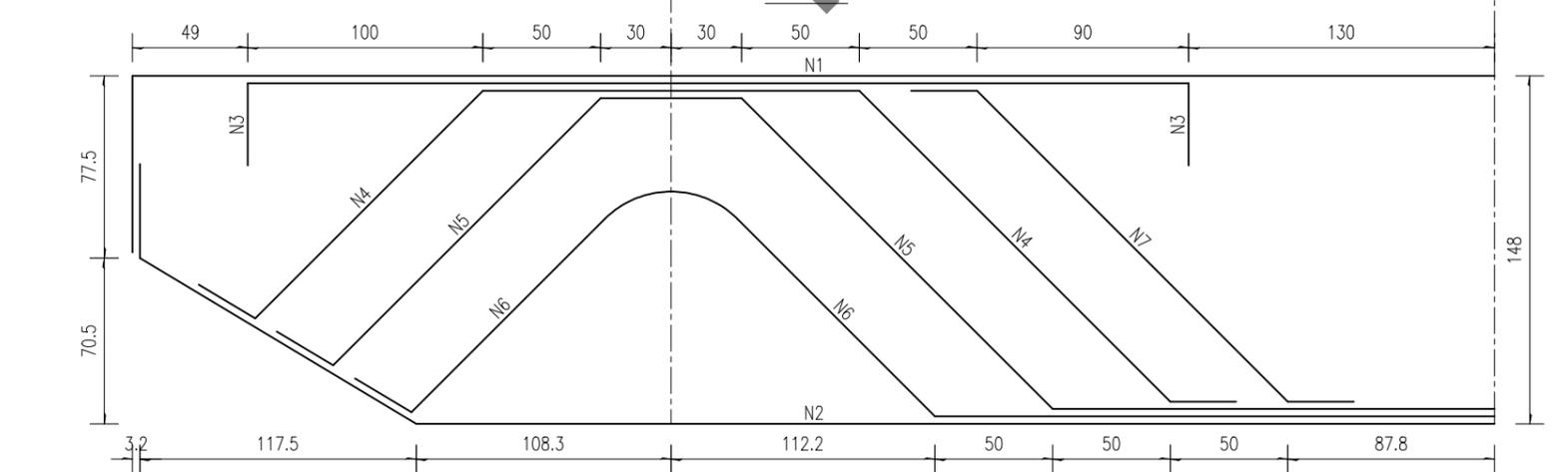
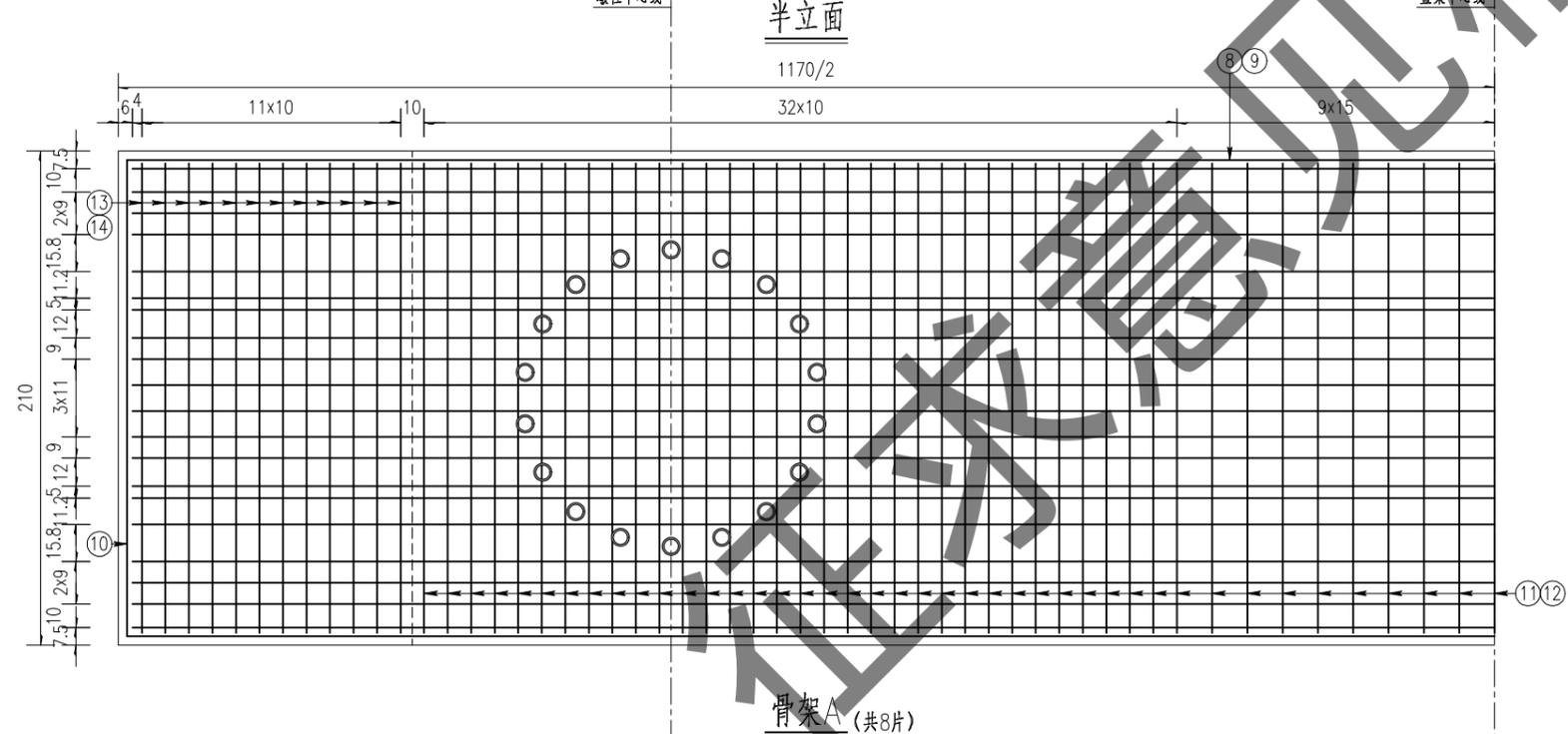
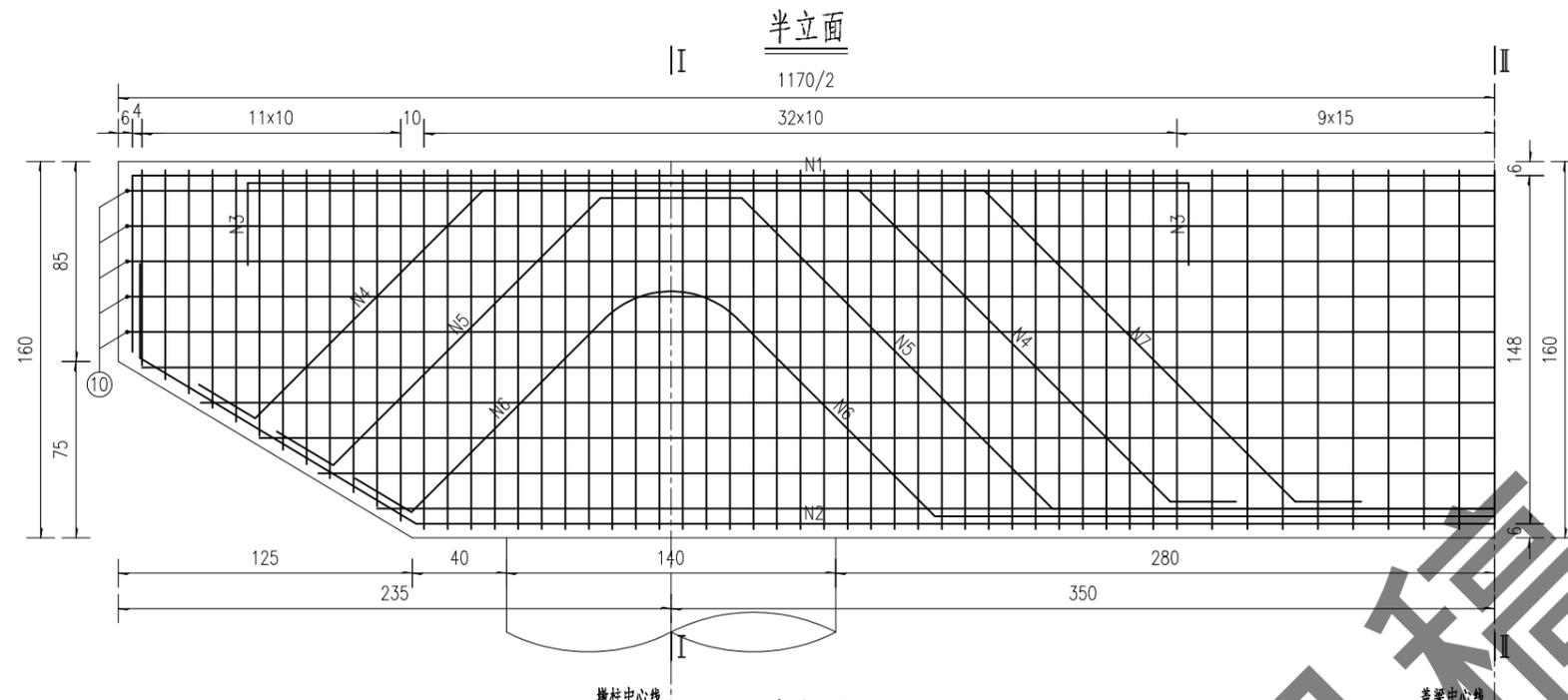
注:

1. 本图尺寸除钢筋直径以mm计外,其余均以cm计。
2. 纵向钢筋和箍筋均采用HRB400钢筋, N4箍筋采用双排并置全段加密。
3. N3箍筋单面焊接成环; N4箍筋端部应弯折并深入核心区混凝土长度不小于20cm。
4. 墩柱顶面应根据盖梁设计横坡预制为倾斜面。
5. 本图采用的灌浆连接套筒长度730mm、外径78mm、内径60mm。
6. 本图适用于环境类别: II类(冻融环境); 基本地震动峰值加速度: 0.1g; 采用本通用图时, 预制墩柱除应满足承载力极限状态设计验算要求外, 尚应满足抗震验算要求。

墩柱并排绕箍大样图



双向四车道公路桥梁装配式桥墩	标准跨径: 30m
	桥梁宽度: 2x13m
预制墩柱钢筋布置图	图号: SG-1-3

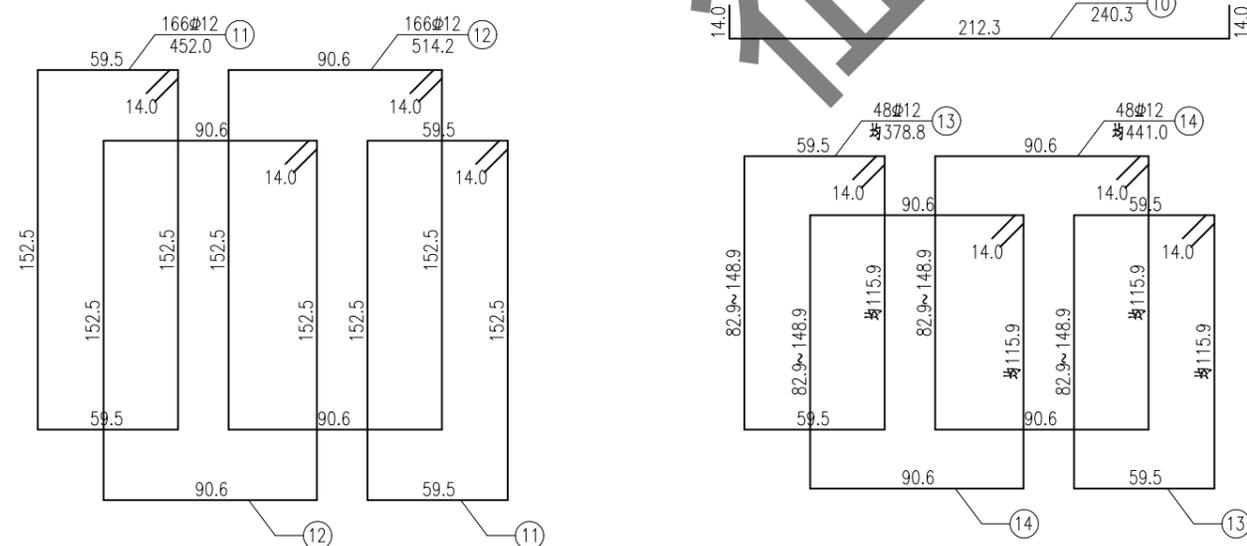
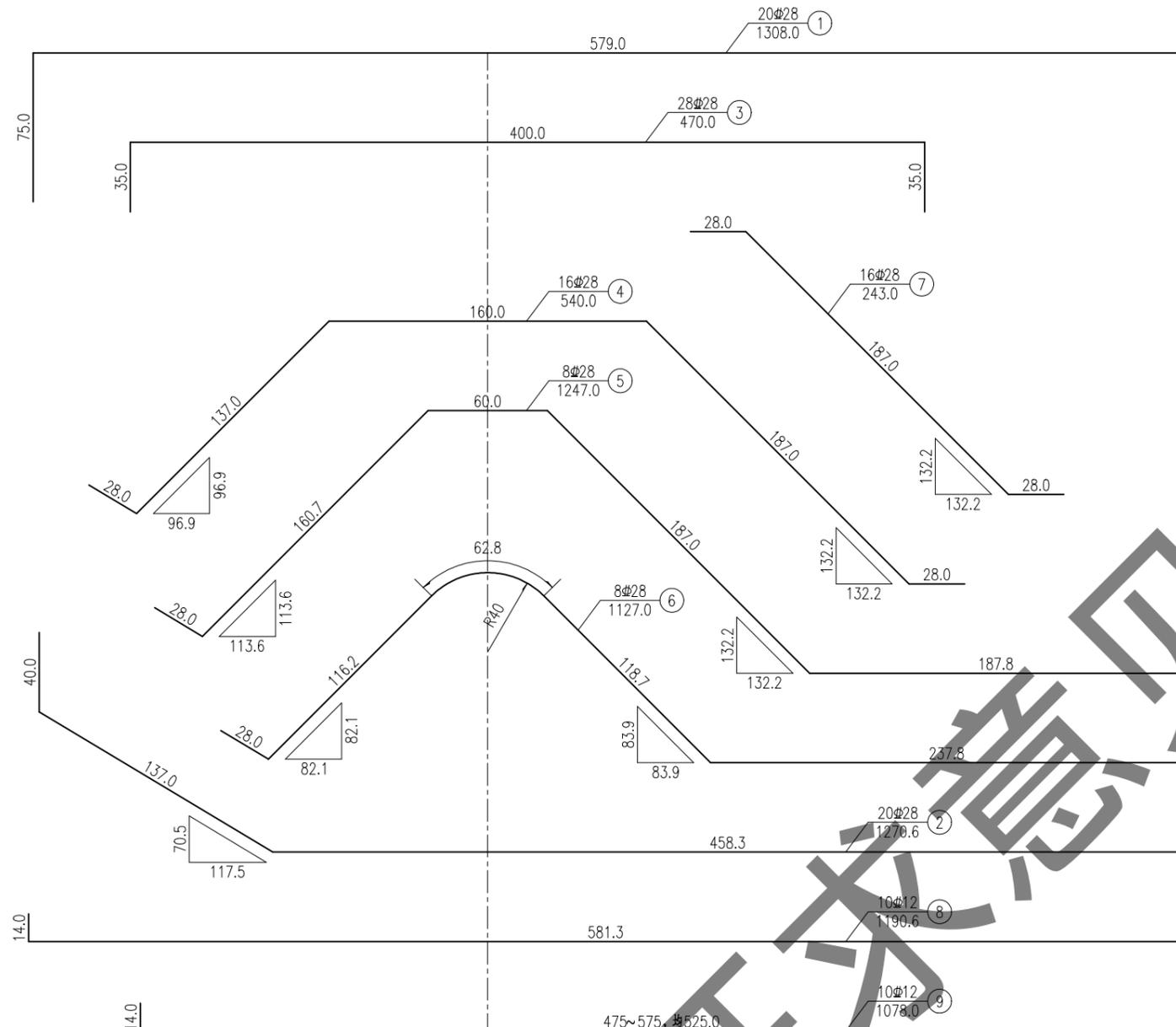


注：  
1. 本图尺寸除钢筋直径以mm计外，其余均以cm计。

双向四车道公路桥梁装配式桥墩	标准跨径：30m
	桥梁宽度：2x13m
预制盖梁钢筋布置图	图号：SG-1-4

预制盖梁材料数量表

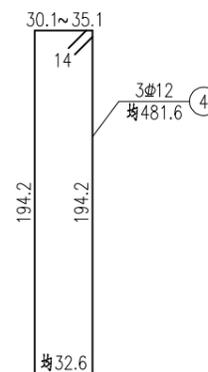
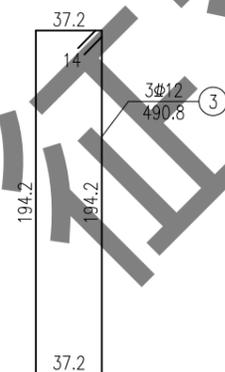
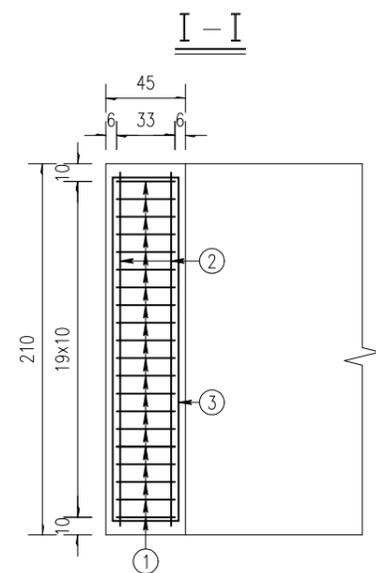
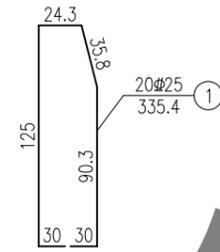
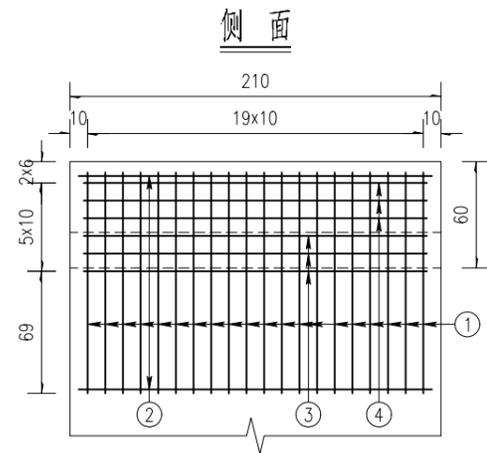
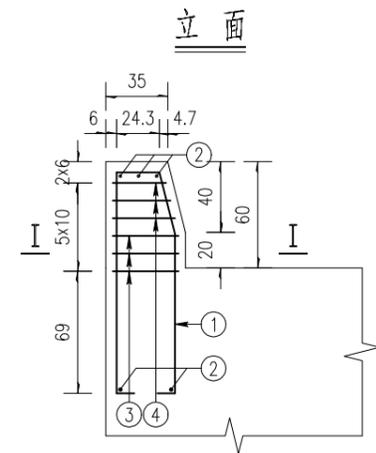
钢筋编号	直径 (mm)	单根长 (cm)	根数	总长 (m)	总重 (kg)	合计 (kg)
1	Φ28	1308.0	20	261.60	1263.5	4648.90
2	Φ28	1270.6	20	254.12	1227.4	
3	Φ28	470.0	28	131.60	635.6	
4	Φ28	540.0	16	86.40	417.3	
5	Φ28	1247.0	8	99.76	481.8	
6	Φ28	1127.0	8	90.16	435.5	
7	Φ28	243.0	16	38.88	187.8	
8	Φ12	1190.6	10	119.06	105.7	1996.5
9	Φ12	1078.0	10	107.80	95.7	
10	Φ12	240.3	10	24.03	21.3	
11	Φ12	452.0	166	750.32	666.3	
12	Φ12	514.2	166	853.57	758.0	
13	Φ12	均378.8	48	181.82	161.5	
14	Φ12	均441.0	48	211.68	188.0	
C40混凝土 (m³)					37.34	



注:

1. 本图尺寸除钢筋直径以mm计外,其余均以cm计。
2. 骨架钢筋均采用双面焊接,焊缝长度不小于5d。骨架焊缝在两根钢筋相重叠段增加,其焊缝间距不大于100cm,焊缝长度为2.5d。
3. 本图采用的灌浆连接套筒长度730mm、外径78mm、内径60mm,盖梁预制时注意预埋钢筋连接套筒及其配套锚固钢筋,数量见《盖梁墩柱连接构造图》。
4. 灌浆连接套筒定位精度要求高。当与箍筋干扰时,可适当挪动箍筋的位置。当采用其他型号灌浆连接套筒时,应校核盖梁主筋与灌浆连接套筒的干扰情况。
5. 盖梁预制时应注意预埋防震挡块及支座垫石钢筋,钢筋发生干扰时,可适当挪动其中一种。
6. 盖梁预制时应考虑该盖梁的设计横坡。

双向四车道公路桥梁装配式桥墩	标准跨径: 30m
	桥梁宽度: 2×13m
预制盖梁钢筋布置图	图号: SG-1-4

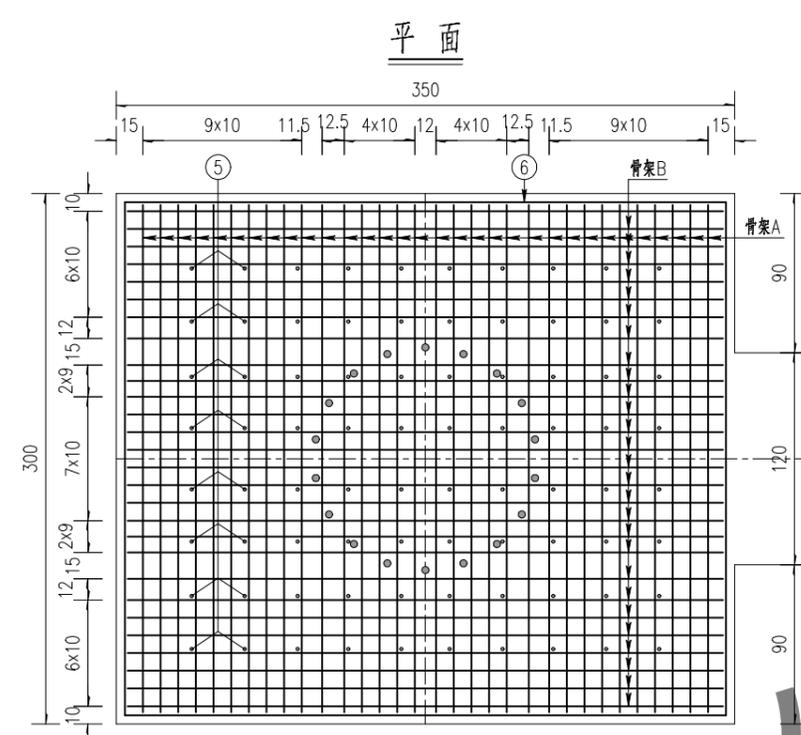
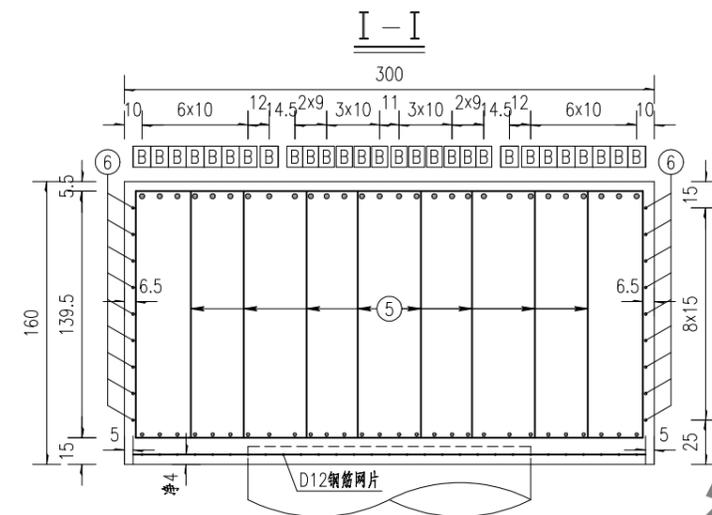
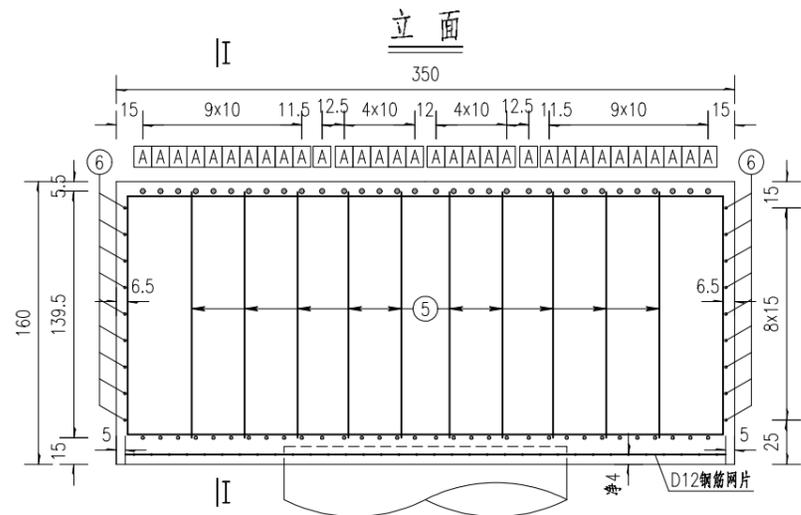


单个桥墩防震挡块材料数量表 (两个挡块)

钢筋编号	直径 (mm)	单根长 (cm)	根数	总长 (m)	总重 (kg)	合计 (Kg)
1	φ25	335.4	40	134.16	516.5	516.5
2	φ12	230.0	10	23.00	20.4	72.2
3	φ12	490.8	6	29.45	26.1	
4	φ12	均481.6	6	28.90	25.7	
C40混凝土 (m³)					1.05	

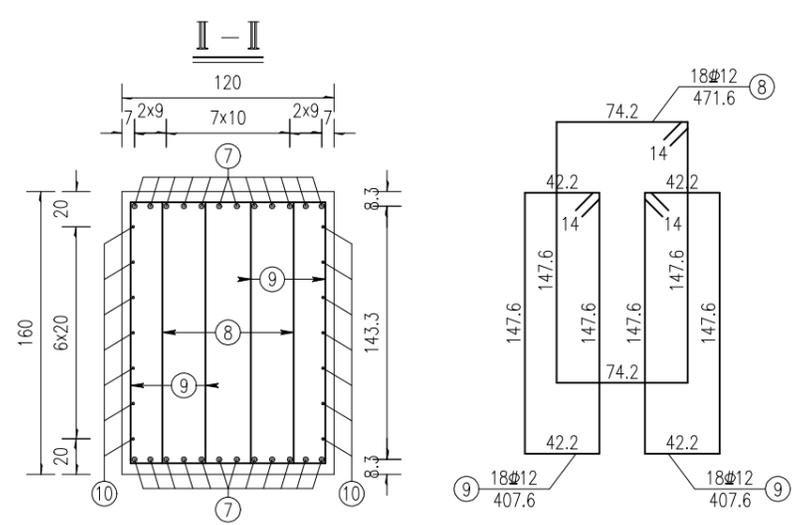
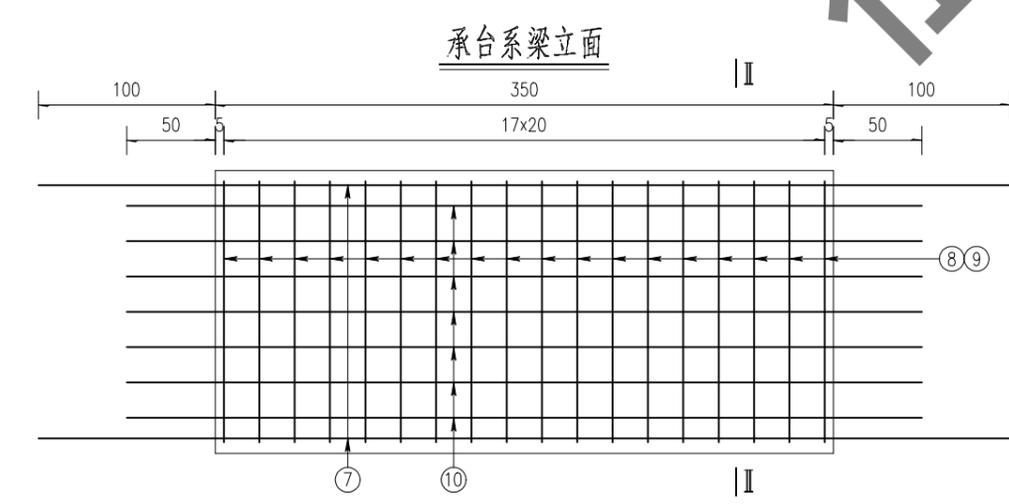
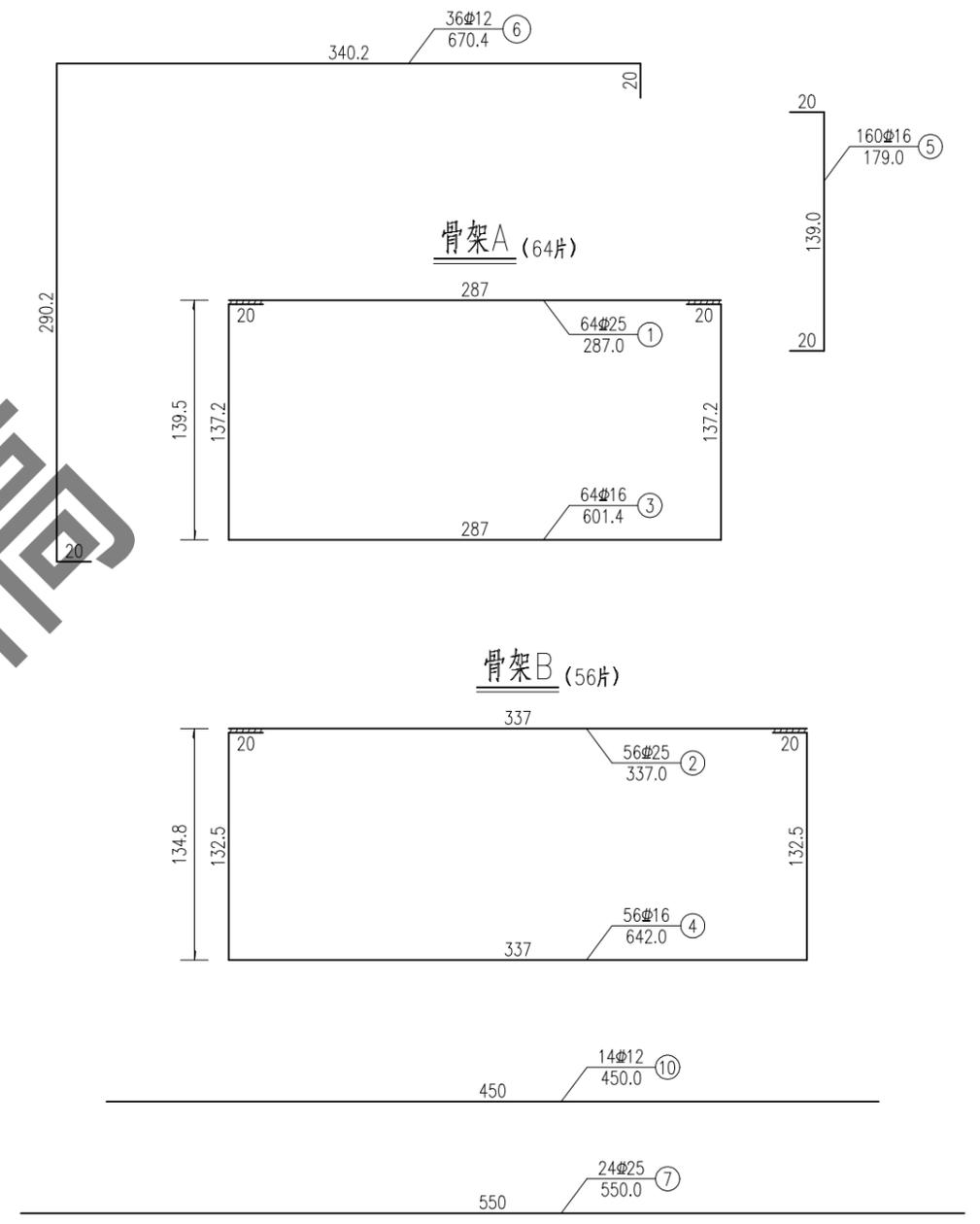
注：  
 1. 本图尺寸除钢筋直径以mm计外，其余均以cm计。  
 2. 当挡块构造尺寸与本通用图不一致时，可参考本通用图进行设计。

双向四车道公路桥梁装配式桥墩	标准跨径：30m
	桥梁宽度：2x13m
盖梁挡块钢筋布置图	图号：SG-1-5



桥墩承台材料数量表

钢筋编号	直径 (mm)	单根长 (cm)	根数	总长 (m)	总重 (kg)	合计 (Kg)
1	Φ25	287.0	64	183.68	707.2	1942.0
2	Φ25	337.0	56	188.72	726.6	
7	Φ25	550.0	24	132.00	508.2	
3	Φ16	601.4	84	384.90	608.1	1628.6
4	Φ16	642.0	56	359.52	568.0	
5	Φ16	179.0	160	286.40	452.5	
6	Φ12	670.4	36	241.34	214.3	475.9
8	Φ12	471.6	18	84.89	75.4	
9	Φ12	407.6	36	146.74	130.3	
10	Φ12	450.0	14	63.00	55.9	
D12绑扎钢筋网		面积: 19.72m <sup>2</sup>		重量: 350.0kg		
C35混凝土		40.32m <sup>3</sup>		C20垫层混凝土		5.04m <sup>3</sup>



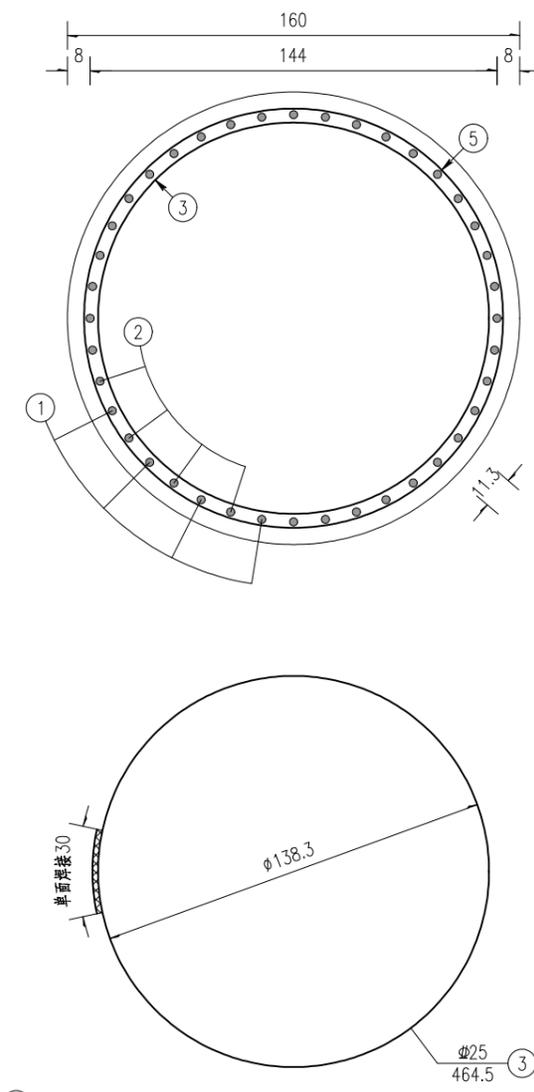
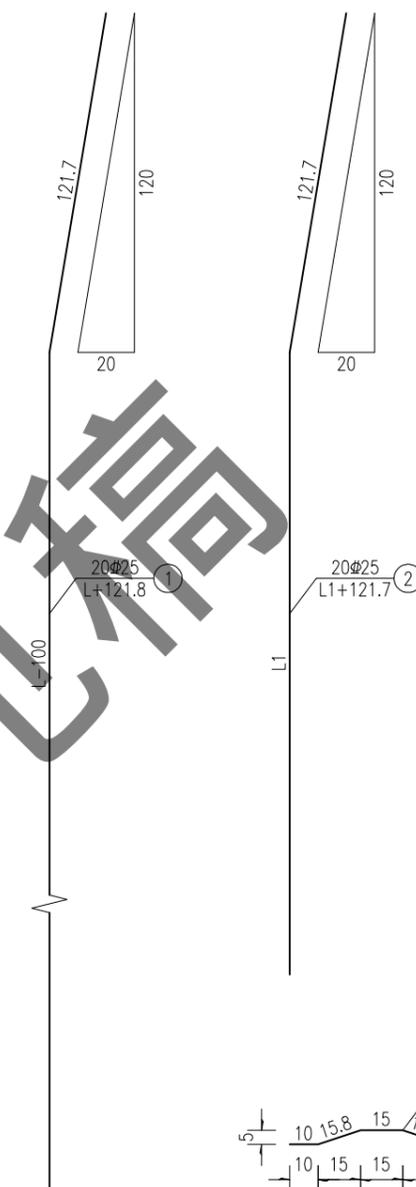
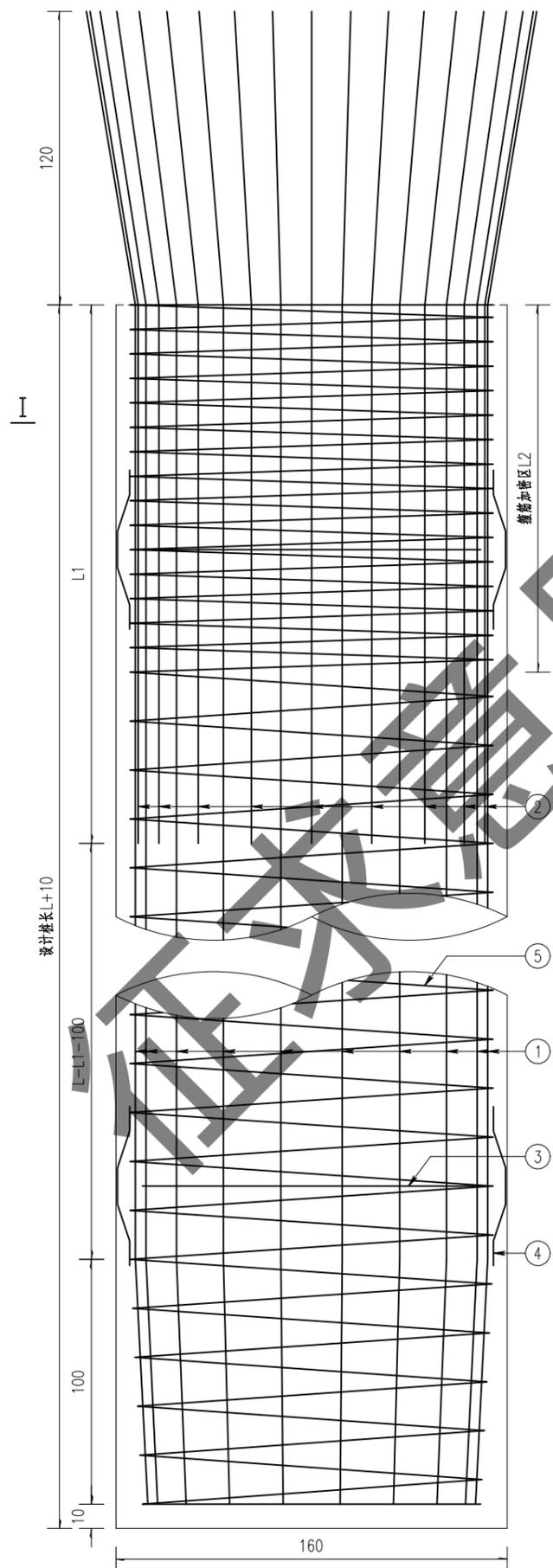
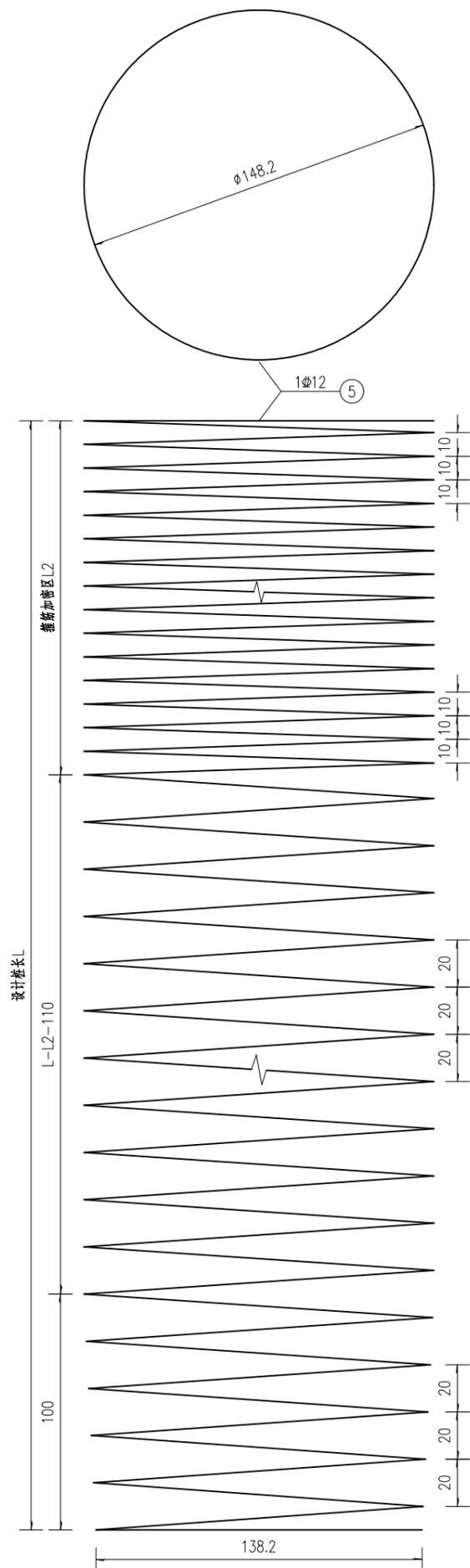
- 注:
1. 本图尺寸除注明以及钢筋直径以mm计外,其余均以cm计。
  2. 骨架A、B、C钢筋均采用双面焊接,焊缝长度不小于5d。
  3. 承台系梁钢筋与承台其他钢筋发生干扰时,可适当挪动承台系梁钢筋。
  4. 承台施工注意预埋套筒连接钢筋,数量见《墩柱承台连接构造图》。
  5. 承台底铺设20cm厚C20混凝土垫层。
  6. 本图为灌注桩基础方案所对应的现浇承台。

双向四车道公路桥梁装配式桥墩	标准跨径: 30m
	桥梁宽度: 2x13m
现浇承台钢筋布置图	图号: SG-1-6



立面

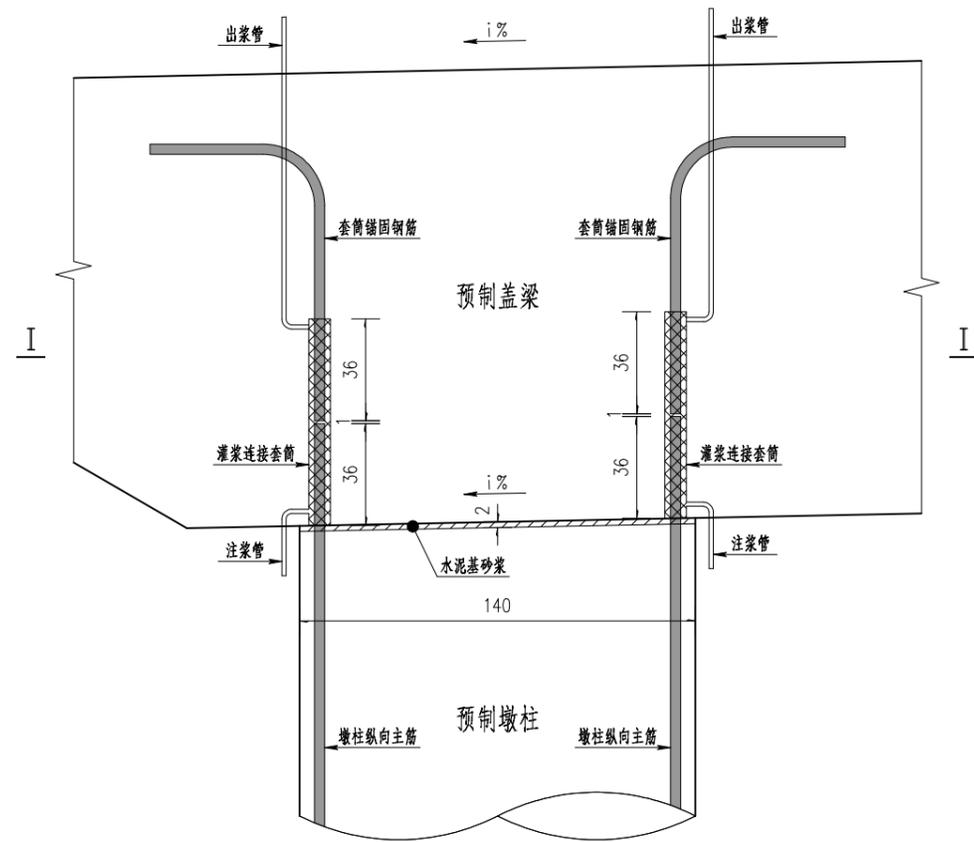
I-I



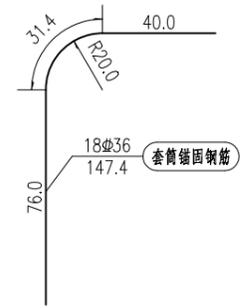
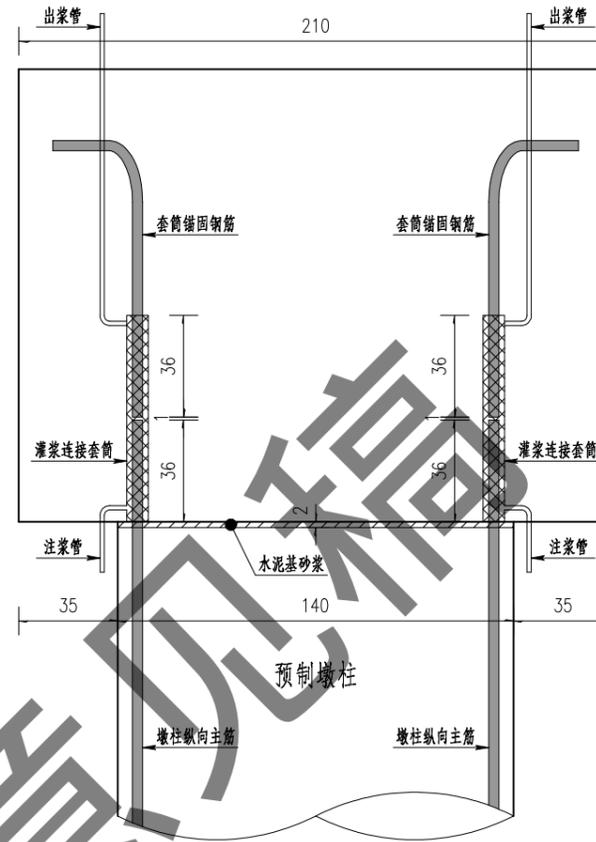
- 注：
1. 本图尺寸除钢筋直径以mm计外，其余均以cm计。
  2. 桩基纵向主筋、箍筋均采用HRB400钢筋。
  3. 加强筋N3采用单面焊，每隔2m设置一根；桩定位钢筋N4每隔2m沿圆周等距离焊接4根。
  4. 桩基施工应注意检测管的预埋；桩底清孔应满足设计和有关规范的要求。
  5. 本图由桩基础承载性状、桩长、桩身受力情况等确定L1和L2的数值。
  6. 实桥中基桩验算不满足抗震设计要求时，应采取技术措施增加灌注桩极限承载能力。

双向四车道公路桥梁装配式桥墩	标准跨径：30m
	桥梁宽度：2×13m
灌注桩钢筋布置图	图号：SG-1-7

盖梁与墩柱连接立面



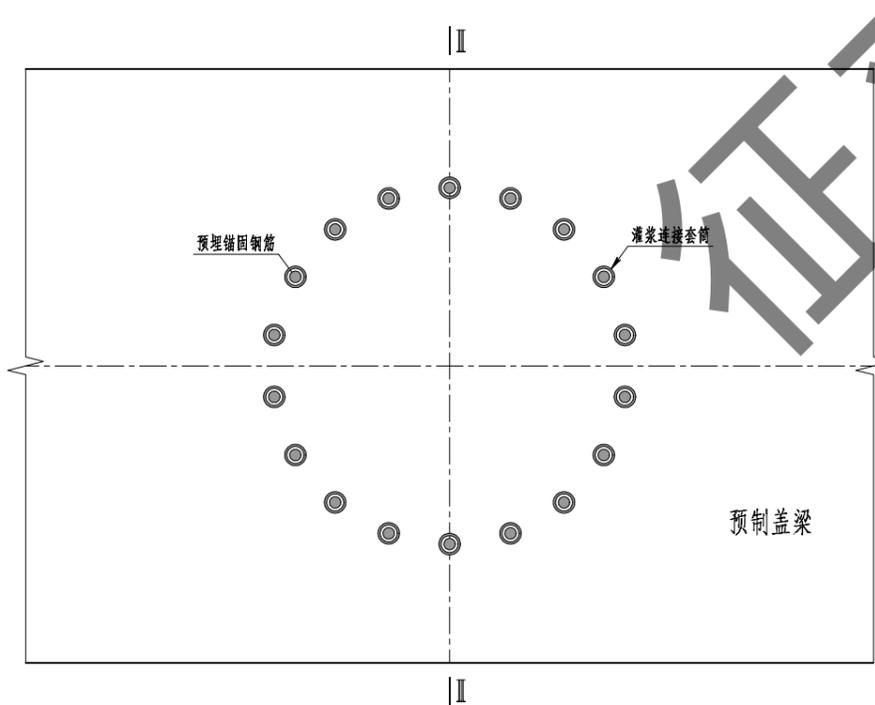
II-II



接缝材料数量表

材料	单位	用量
灌浆连接套筒	(套)	18
套筒锚固钢筋	kg	212.0
水泥基砂浆	(m³)	0.031

I-I

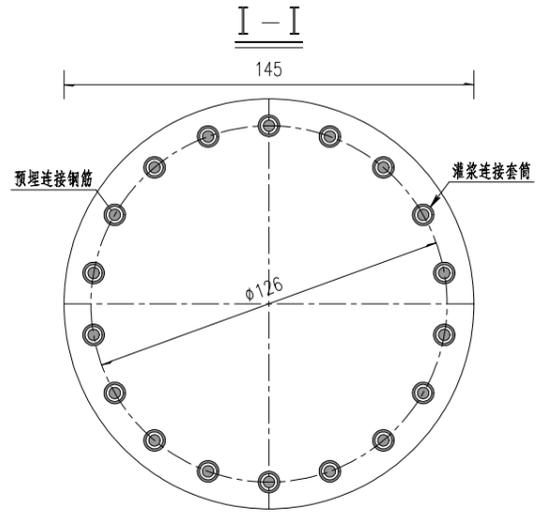
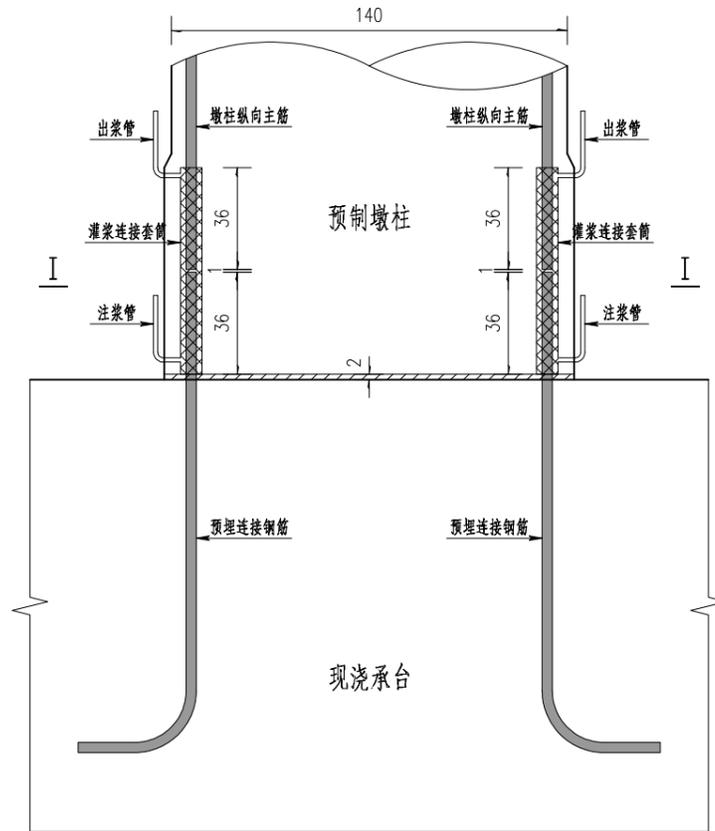


注:

1. 本图尺寸除钢筋直径以mm计外,其余均以cm计。
2. 本图灌浆连接套筒规格参照GTQ4J-36型;数量中每套除套筒外,还包含密封圈、注浆管、出浆管及连接用水泥基灌浆料等相关材料。
3. 当预埋锚固钢筋平弯段位于核心混凝土外或与盖梁纵向主筋相互干扰时,可在套筒内通过转动调整平弯段在盖梁中的位置。

双向四车道公路桥梁装配式桥墩	标准跨径: 30m
	桥梁宽度: 2x13m
盖梁墩柱连接构造图	图号: SG-1-8

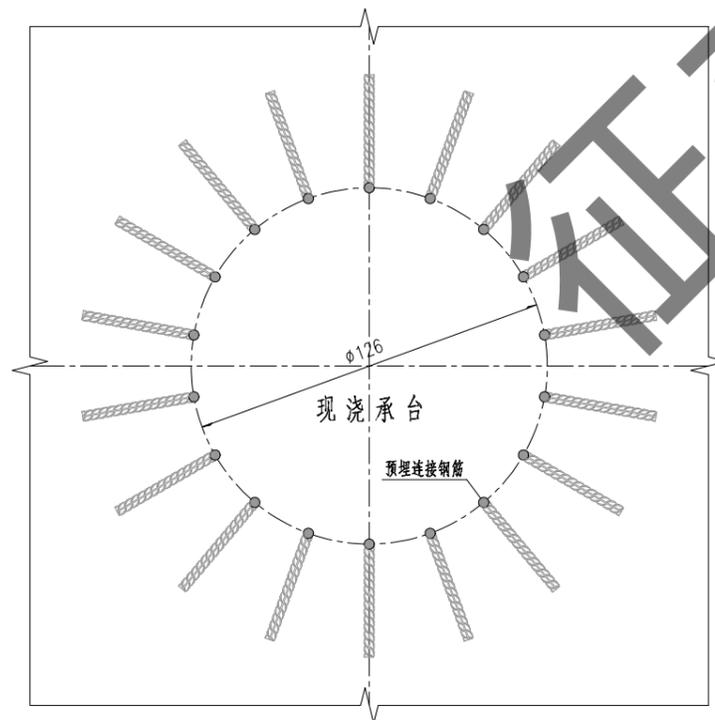
墩柱与承台连接立面



接缝材料数量表

材料	单位	用量
灌浆连接套筒	(套)	18
预埋连接钢筋	kg	286.8
水泥基砂浆	(m <sup>3</sup> )	0.033

承台内预埋连接钢筋平面



注:

1. 本图尺寸除钢筋直径以mm计外,其余均以cm计。
2. 本图灌浆连接套筒规格参照GTQ4J-36型;数量中每套除套筒外,还包含密封圈、注浆管、出浆管及连接用水泥基灌浆料等相关材料。
3. 接缝处可粘贴防水卷材增强连接部位的耐久性,防水卷材应符合现行《道桥用改性沥青防水卷材》(JC/T 974)的有关规定。

双向四车道公路桥梁装配式桥墩	标准跨径: 30m
	桥梁宽度: 2x13m
墩柱承台连接构造图	图号: SG-1-9



# 装配式桥墩典型方案(二)

(钢筋灌浆波纹管连接)

## 典型方案(二)补充设计说明

### 1 连接材料

#### 1.1 预埋波纹管

(1) 本通用图典型方案(二)中预埋波纹管位于承台或盖梁内部,采用直缝电焊钢管或无缝钢管制作。

(2) 预埋波纹管的尺寸宜满足表 1-1 的要求。

表 1-1 预埋波纹管尺寸规格表

波纹管外径 $D$ (mm)	76	89
钢筋直径(mm)	16~25	28~40
壁厚 $t$ (mm)	$\geq 2$	
波高 $a$ (mm)	$\geq 3$	
波谷处外径 $d$ (mm)	$d = D - 2 \times a$	
波谷处内径 $d_1$ (mm)	$d_1 = d - 2 \times t$	
封口板直径 $d_2$ (mm)	$d_2 = d + 10$	
封口板厚度 $t_2$ (mm)	3	

(3) 预埋波纹管应根据构造方案和施工工艺设置压浆口和出浆口;灌浆口下缘与预埋波纹管端部净距宜为 30mm~50mm。

(4) 预埋波纹管应包括相关的合格附属配件,包括注浆管、出浆管、钢筋伸入段封盖、封口板等。封盖、封口板应能防止预制和安装过程中混凝土或垫层砂浆进入预埋波纹管。

#### 1.2 水泥基灌浆料

(1) 水泥基灌浆料的技术指标应满足表 1-2 的要求,其他尚应符合现行《钢筋连接用套筒灌浆料》(JG/T 408)的规定。

表 1-2 钢筋灌浆波纹管连接用水泥基灌浆料技术指标

检测项目	性能指标	
流动度(mm)	初始	$\geq 200$
	30 min	$\geq 150$
抗压强度(MPa)	1d	$\geq 35$
	3d	$\geq 55$
	28d	$\geq 80$
竖向膨胀率(%)	3h	$\geq 0.02$
	24h 与 3h 差值	0.02~0.5
	28d 与 24h 差值	$\geq 0.00$
氯离子含量(%)	$\leq 0.06$	
泌水率(%)	0	

(2) 用于钢筋灌浆波纹管连接的水泥基灌浆料宜与预埋波纹管为同一厂家产品。

#### 1.3 垫层砂浆

(1) 垫层砂浆应采用微膨胀水泥基砂浆,1d 抗压强度应不小于 30MPa,28d 抗压强度应不小于 60MPa,且应大于被连接构件抗压强度一个强度等级,28d 竖向膨胀率应不大于 0.1%。

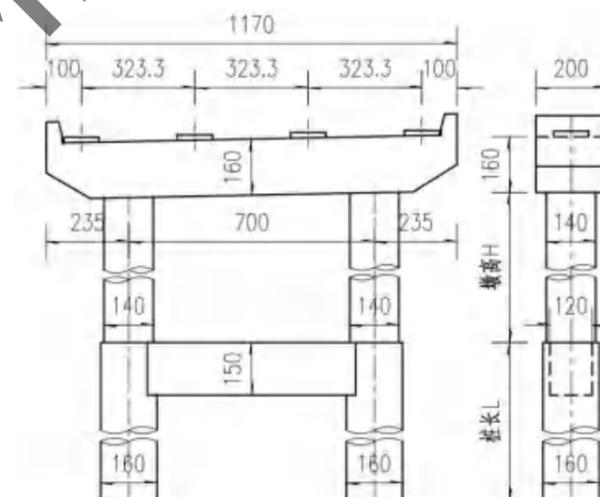
(2) 垫层砂浆宜选用质地坚硬、级配良好的中砂,细度模数应不小于 2.6,含泥量应不大于 1%,且不应有泥块存在。

(3) 垫层砂浆初凝时间宜大于 2h。

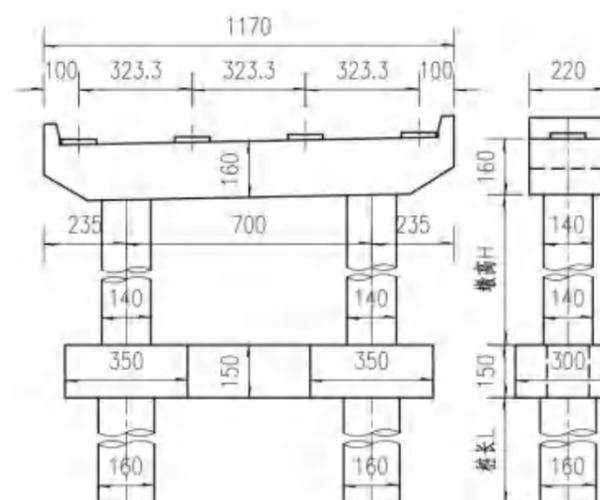
### 2 设计要点

#### 2.1 桥墩整体结构设计

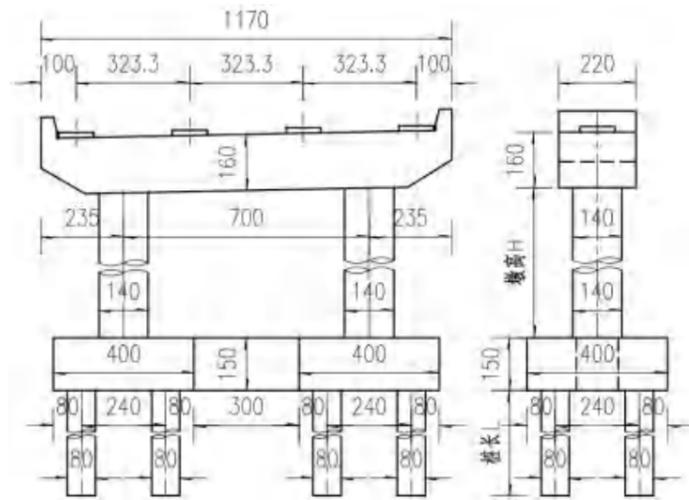
常规设计的现浇桥墩及其对应的装配式桥墩整体结构形式如下图所示。



a) 现浇桥墩



b) 采用灌注桩基础的装配式桥墩



c) 采用管桩基础的装配式桥墩

图 2-1 现浇桥墩及其对应的装配式桥墩整体结构示意图（尺寸单位：cm）

管桩基础为定型产品预制混凝土构件，灌注桩和承台现浇施工，墩柱、盖梁为钢筋混凝土预制构件，支座垫石可现浇施工；整体结构方案匹配墩梁一体式架桥机的施工工艺。构件类型、控制重量及匹配的施工方法见下表，具体项目应根据项目建设条件进行分析和设计。

表 2-1 装配式桥墩主要构件一览表

构件部位	构件类别	理论吊装重量	施工工艺
盖梁	预制盖梁	<107t	墩梁一体架设
墩柱	预制墩柱	<62t	
承台	现浇承台	—	常规现浇
基础	灌注桩	—	常规现浇
	预制管桩	—	锤击、静压等

## 2.2 预制盖梁设计

(1) 预制盖梁的混凝土强度等级不宜低于 C40。

(2) 预制盖梁的钢筋骨架宜与常规设计的现浇盖梁保持一致，钢筋骨架横向布置应根据预埋波纹管的位置进行调整，必要时可适当增加盖梁的宽度。

(3) 预制盖梁中两片钢筋骨架的横向净距可适当减小，与相邻其它钢筋骨架的间距应满足横向净距的设计和施工要求。

(4) 预制盖梁中的箍筋与预埋波纹管发生干扰时，施工时适当调整箍筋位置。

(5) 预制盖梁中的预埋波纹管宜贯穿预制盖梁，上端直接由端部出浆。

## 2.3 预制墩柱设计

(1) 预制墩柱的混凝土强度等级不宜低于 C40。

(2) 预制墩柱的长度应扣除上下两端接缝砂浆填充层的厚度，墩柱顶面应根据预制、安装角

度及盖梁横坡设置倾斜面。

(3) 预制墩柱的纵向钢筋配筋率应与现浇墩柱基本相同，纵向钢筋可采用大直径钢筋减少纵向钢筋和预埋波纹管的数量，降低预埋波纹管与盖梁钢筋骨架之间的相互干扰。

(4) 预制墩柱的箍筋直径、间距等布置方案宜与现浇墩柱保持不变。

## 2.4 现浇承台设计

(1) 设计阶段拟定施工工艺可采用墩梁一体式架桥机时，现浇承台尺寸应校核能否满足施工机械前支腿的设置要求。

(2) 现场承台钢筋骨架间距应根据预埋波纹管的位置进行局部调整。

(3) 现浇承台与预制墩柱接缝处正常使用极限状态出现拉应力时，接缝处应进行耐久性设计。

(4) 现浇承台中的预埋波纹管应设置灌浆口、灌浆管和出浆口、出浆管；钢筋锚固长度应在现行《公路装配式混凝土桥梁设计规范》(JTG/T 3365-05)要求的基础上，增加出浆口中心与预埋波纹管顶部的净距。

## 2.5 基础设计

(1) 基础设计时宜对灌注桩基础和管桩基础进行综合比选。

(2) 管桩基础可选用 PHC 管桩、PRC 管桩等制品，管桩外径等指标应根据荷载大小、地质条件、施工工艺等因素综合确定。

(3) 管桩基础结构验算应符合现行中国工程建设标准化协会标准《公路桥梁预应力混凝土管桩基础技术规程》(T/CECS G:D67-03)的有关规定。

## 2.6 抗震设计

(1) 采用钢筋灌浆波纹管连接的装配式桥墩在 E1 和 E2 地震作用下，桥梁抗震设防目标应符合现行《公路桥梁抗震设计规范》(JTG/T 2231-01)的规定。

(2) 采用钢筋灌浆波纹管连接的装配式桥墩在 E1 和 E2 地震作用下的抗震分析，应按现行《公路桥梁抗震设计规范》(JTG/T 2231-01)的规定建立桥梁结构的空间动力计算模型。

(3) 采用钢筋灌浆波纹管连接的装配式桥墩强度和变形验算，应按现行《公路装配式混凝土桥梁设计规范》(JTG/T 3365-05)的规定计入接缝对受力性能的影响。

## 2.7 节点设计

(1) 采用钢筋灌浆波纹管连接的接缝砂浆填充层厚度可采用 20mm。

(2) 采用钢筋灌浆波纹管连接的接缝位置承载力计算应符合现行《公路装配式混凝土桥梁设计规范》(JTG/T 3365-05)的有关规定。

## 2.8 抗震措施

采用钢筋灌浆波纹管连接的装配式桥墩抗震措施应符合现行《公路装配式混凝土桥梁设计规范》(JTG/T 3365-05)的有关规定。

## 3 施工要点

采用钢筋灌浆波纹管连接的装配式桥墩施工除应符合现行《公路装配式混凝土桥梁施工技术规范》(JTG/T 3654)、《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T 3650)和《公路工程质量检验评定标准(第一册 土建工程)》的有关规定外,还应注意以下事项:

### 3.1 方案要点

钢筋灌浆波纹管连接的装配式桥墩预制构件包含盖梁、墩柱和管桩,现浇构件包含承台和灌注桩,其中墩柱与盖梁、墩柱与承台之间均采用钢筋灌浆波纹管连接。

### 3.2 施工特别注意事项

(1)承台施工特别注意事项:施工设备采用墩梁一体式架桥机时,应根据墩梁一体式架桥机前支腿临时支撑的要求预埋相关构件,并在施工完成后进行防腐等后处理。

(2)墩柱预制特别注意事项:墩柱纵向主筋长度及墩顶混凝土倾斜角应根据具体墩柱所对应盖梁的设计横坡进行局部调整,并严格控制构件的预制精度;宜采用信息化技术模拟预拼装。

(3)盖梁预制特别注意事项:盖梁根据设计横坡进行预制,预埋波纹管保持竖直。

(4)墩柱安装特别注意事项:墩柱安装前应进行试拼装,严禁切割墩底伸出钢筋,安装精度控制应以墩顶伸出的连接钢筋为主。

(5)盖梁安装特别注意事项:盖梁安装前应进行试拼装,严禁切割墩顶伸出钢筋。

(6)接缝砂浆和灌浆料施工特别注意事项:接缝砂浆及灌浆料强度不低于 35MPa 后,方可进行后续工序的施工;当施工气温低于 5℃时,应采取有效的保温措施进行保温。

### 3.3 构件预制

(1)构件预制所用的钢筋笼胎架、钢筋笼定位板、预制台座、模板、吊具等设备应根据具体预制工艺和精度要求编制专项施工方案。

(2)构件模具宜采用专门设计的钢模具,且应具有足够的强度、刚度和稳定性。

(3)墩柱伸出钢筋、预埋波纹管应采用专用的定位板进行定位固定,定位偏差应满足表 3-1 的要求;定位板宜匹配并成套使用;墩柱两侧定位板应控制伸出钢筋的扭转变形。

(4)混凝土浇筑前,预埋波纹管定位、模板、台座平面高差的允许偏差应满足表 3-1 的要求,其他应符合现行《公路装配式混凝土桥梁施工技术规范》(JTG/T 3654)的有关要求。

表 3-1 混凝土浇筑前预埋件安装允许偏差

项 目		允许偏差
预埋波纹管定位 (mm)		1
墩柱伸出钢筋定位 (mm)		1
模板尺寸 (mm)	直径	±2
	高度	±3
台座平面高差 (mm)		±2

(5)预制构件出厂前应现行《公路装配式混凝土桥梁施工技术规范》(JTG/T 3654)的有关要求进行质量验收。

### 3.4 构件存放

(1)构件存放场地应坚实平整,应有相应的设施不积水。

(2)预制墩柱水平存放时支点处应采用垫木或其他适宜的材料进行支撑,并验算最不利状态下构件的裂缝宽度。

(3)预制墩柱存放时应两侧伸出钢筋进行保护,避免变形及锈蚀。

(4)预制盖梁应水平存放,存放时不得倒置、翻转。

(5)预制构件堆叠时不宜超过 3 层,层间应设置垫木或其他适宜的材料。

### 3.5 构件吊装及运输

(1)构件吊装及运输应编制专项施工方案。

(2)起吊前应进行试吊装。

(3)吊装应平缓匀速、轻起轻放,严禁抛掷、碰撞、滚落等。

(4)构件吊装运输时混凝土强度不宜小于设计强度的 90%,运输时应采取必要的固定和缓冲措施,不得使构件产生损伤及变形。

### 3.6 现场安装

(1)现场安装应编制专项施工方案,可通过施工工艺试验总结工艺工法和施工注意事项。

(2)现场安装应校核预制构件的倾斜面方向是否与桥面横坡保持一致。

(3)构件预制和安装导致施工允许偏差的累积,试拼装时宜校核后续构件安装的精度匹配。

(4)构件安装验收标准应符合现行《公路装配式混凝土桥梁施工技术规范》(JTG/T 3654)的有关要求。

## 4 施工工艺试验

施工企业首次采用钢筋灌浆波纹管连接的装配式桥墩时,该分项工程施工前宜开展 1:1 构件预制和拼装的施工工艺试验,并对施工工艺试验结果进行总结和验收。

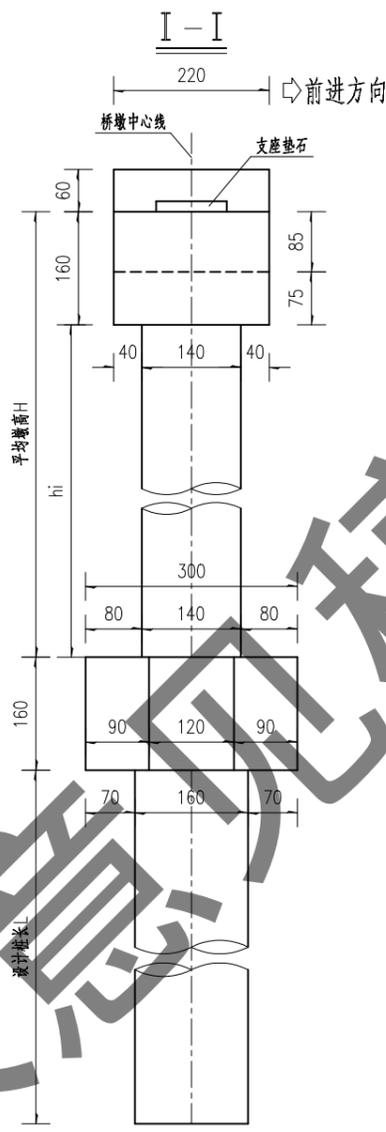
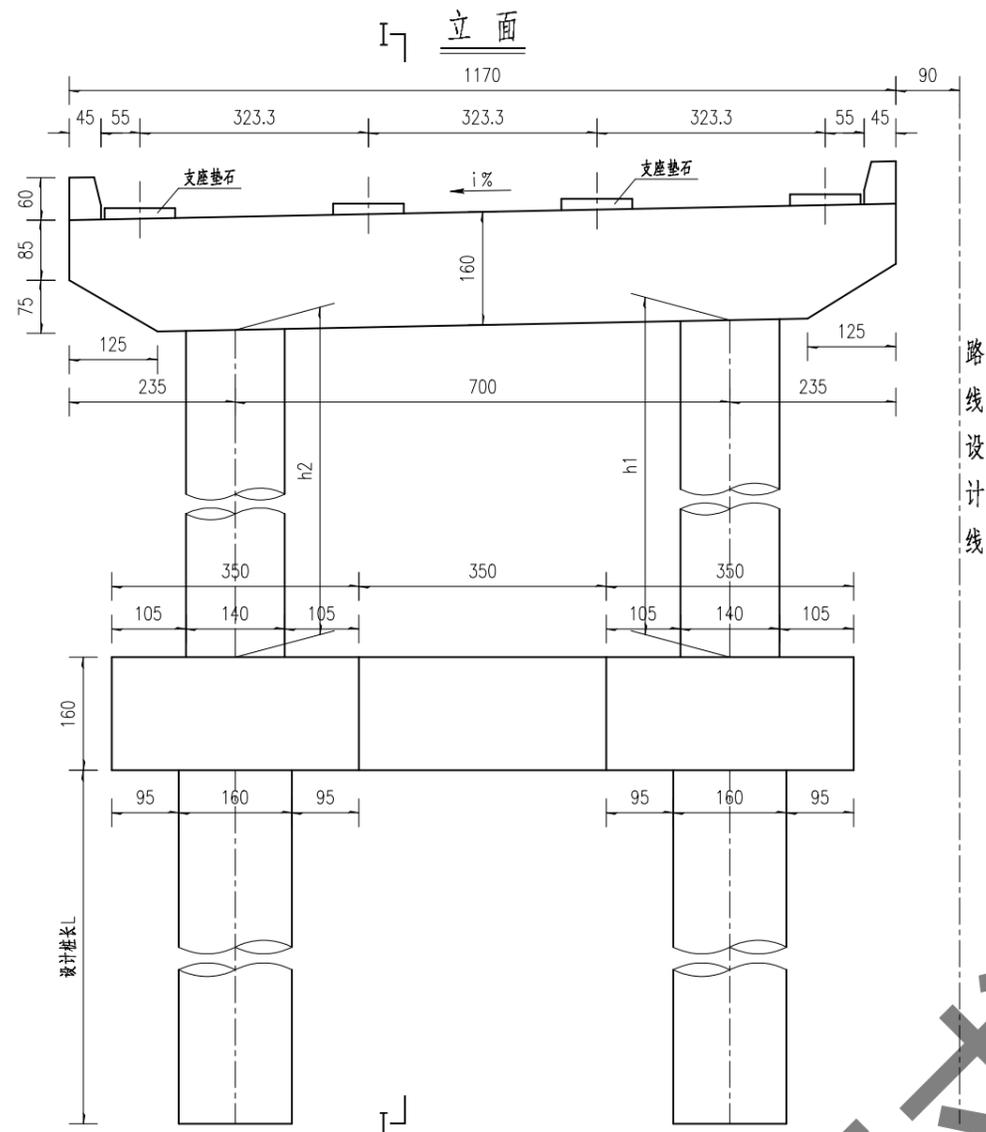
## 5 耐久性设计要求

(1) 预制构件耐久性设计应符合现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362) 和现行《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》(JTG/T 3310) 的有关规定。

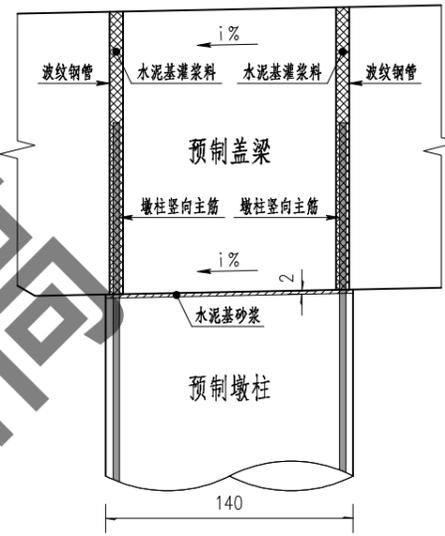
(2) 接缝处连接材料应满足材料耐久性能指标要求。

(3) 接缝处正常使用极限状态出现拉应力时, 可采取延性密封材料或构造等措施增强接缝处的耐久性; 所采用的材料和构造等措施尚应满足变形、强度、刚度、耐久性等性能要求; 使用防水卷材时, 其应符合现行《道桥用改性沥青防水卷材》(JC/T 974) 的有关规定。

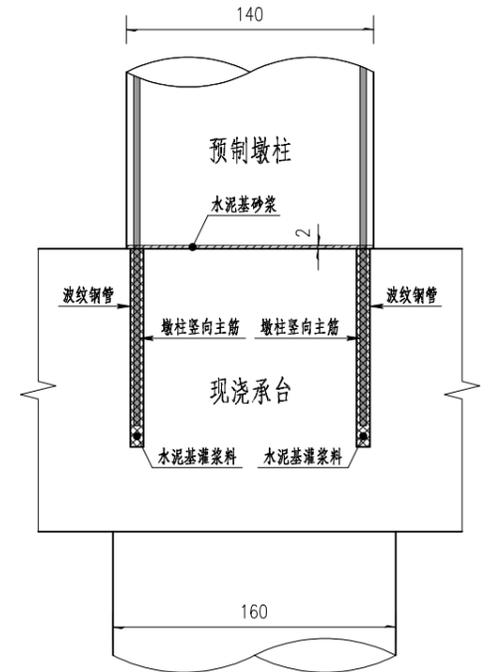
征求意见稿



盖梁与墩柱连接大样图

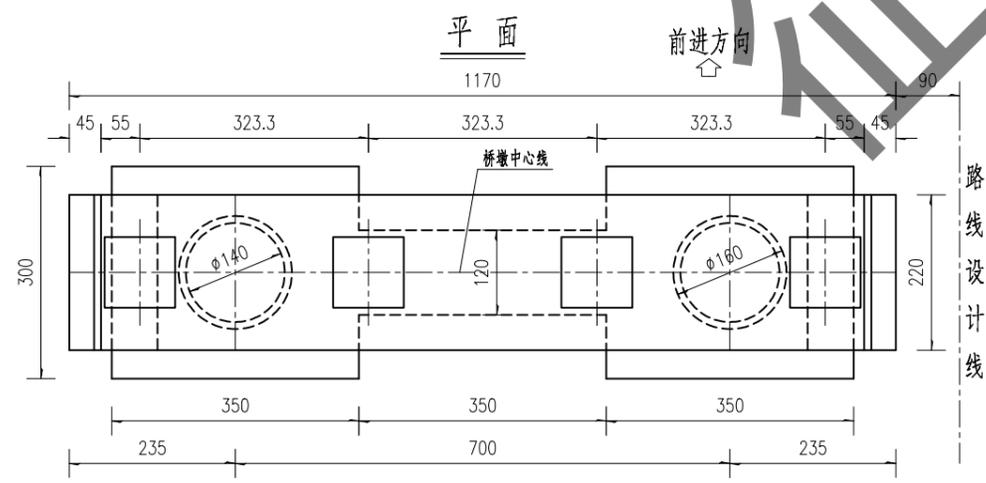


墩柱与承台连接大样图



装配式桥墩构件的混凝土标号

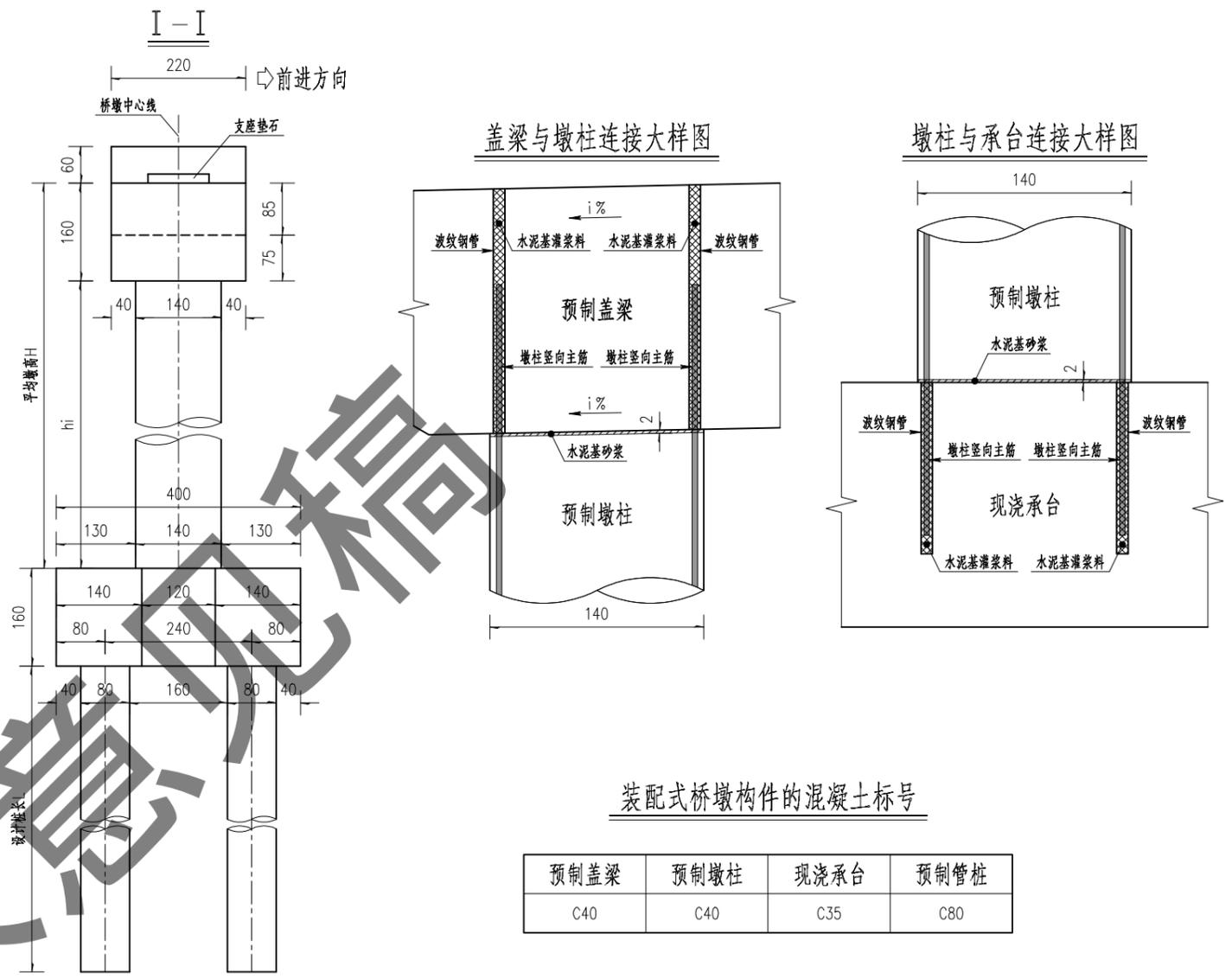
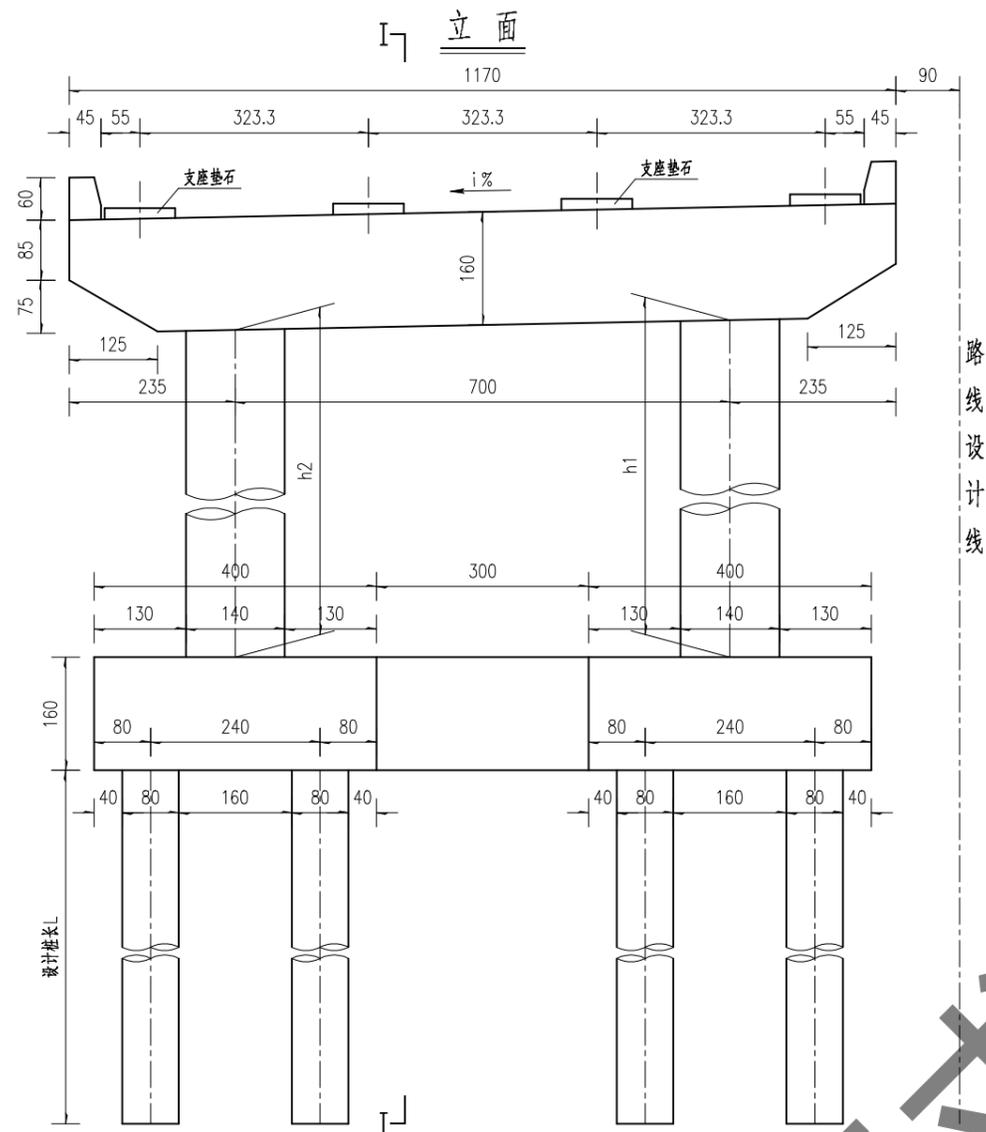
预制盖梁	预制墩柱	现浇承台	灌注桩
C40	C40	C35	C35



注:

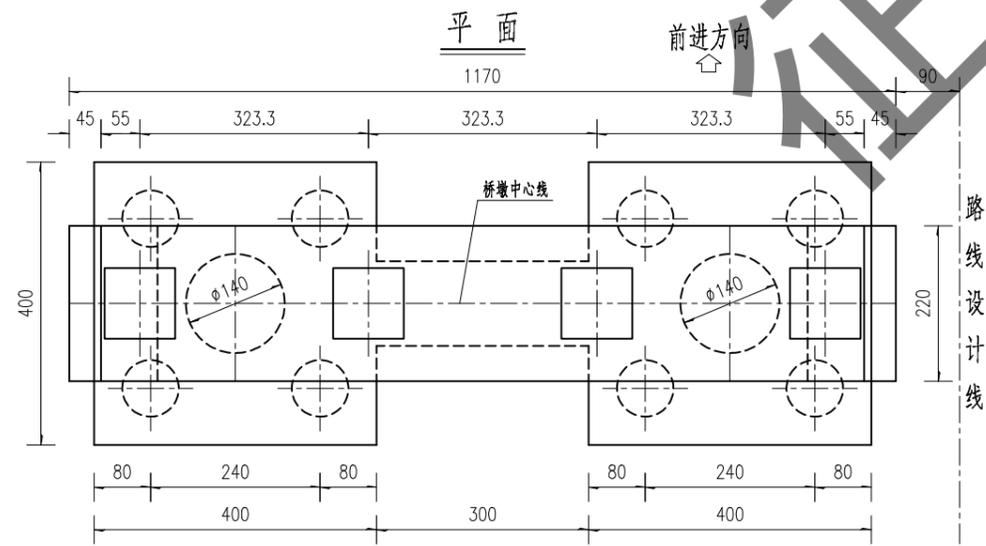
1. 本图尺寸均以cm为单位。
2. 盖梁和墩柱为预制拼装构件，可通过施工工艺试验进一步明确施工工艺、控制标准等相关指标和参数。
3. 本图支座垫石仅为示意，使用时应根据具体工程项目的“上部结构通用图”、“桥型布置图”等进行细化设计。
4. 本图未示意纵向限位措施，使用时应根据工程项目进行细化设计。
5. 本方案按灌注桩基础，并预留墩梁一体架桥机前支腿支撑平台进行典型方案设计。
6. 本方案预制盖梁与预制墩柱间、预制墩柱与灌注桩基础间均采用钢筋灌浆波纹管连接。
7. 本图适用于上部结构为预制小箱梁、标准跨径30m、路基宽度26.5m、墩高 $H < 10m$ 的装配式桥墩。当上部结构与本通用图不一致时，可参考本通用图进行设计。

双向四车道公路桥梁装配式桥墩	标准跨径: 30m
	桥梁宽度: 2x13m
装配式桥墩一般构造图	图号: SG-2-2



装配式桥墩构件的混凝土标号

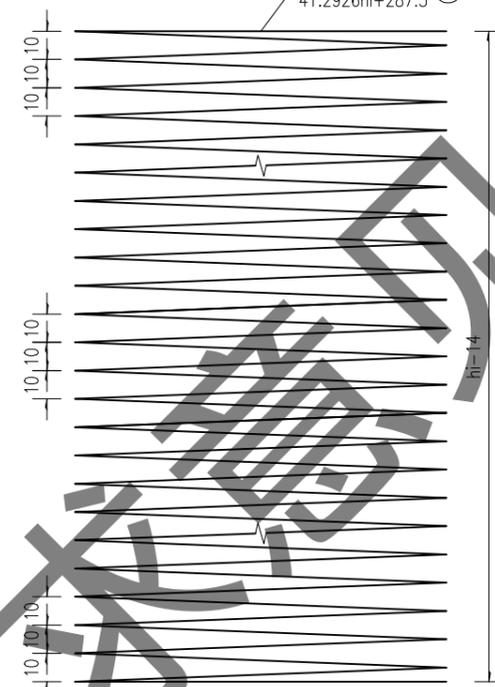
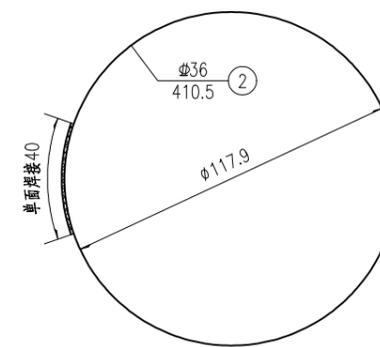
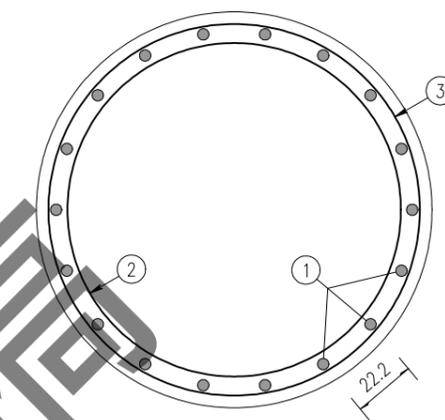
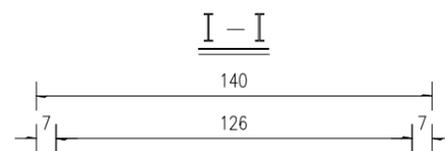
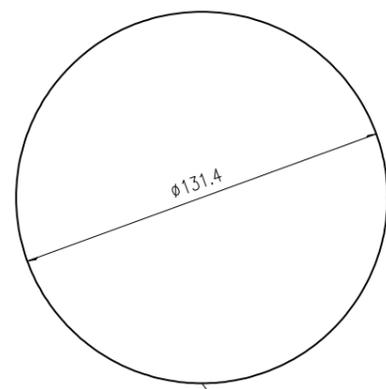
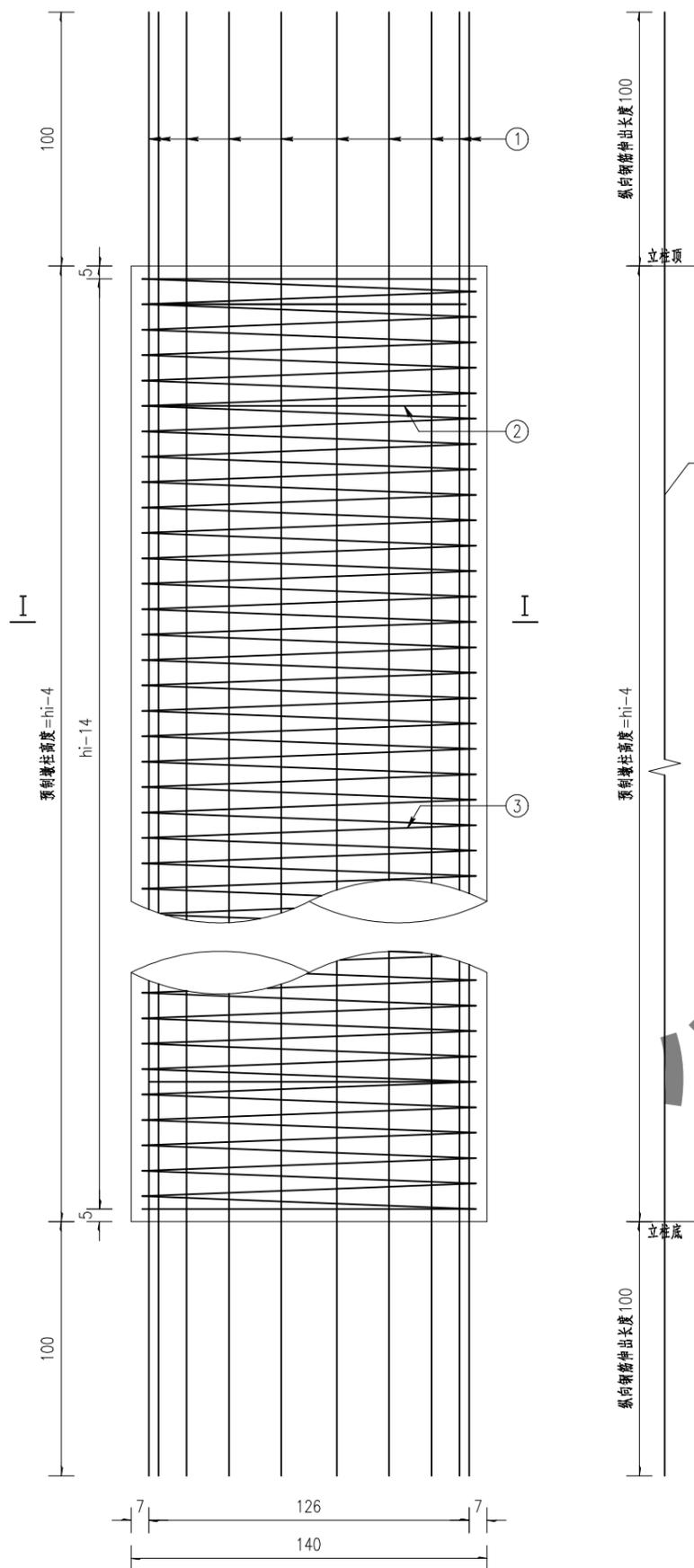
预制盖梁	预制墩柱	现浇承台	预制管桩
C40	C40	C35	C80



- 注：
1. 本图尺寸均以cm为单位。
  2. 盖梁和墩柱为预制拼装构件，可通过施工工艺试验进一步明确施工工艺、控制标准等相关指标和参数。
  3. 本图支座垫石仅为示意，使用时应根据具体工程项目的“上部结构通用图”、“桥型布置图”等进行细化设计。
  4. 本图未示意纵向限位措施，使用时应根据工程项目进行细化设计。
  5. 本方案按管桩基础进行典型方案设计；管桩基础施工工艺应满足工程项目条件，必要时应通过施工工艺试验确定其可实施性。
  6. 预制管桩除应满足现行《先张法预应力混凝土管桩》(GB 13476)和《预应力混凝土管桩》(国家建筑标准设计图集10G409)的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。
  7. 该方案不宜设计为高桩承台，承台顶面最小埋深不宜小于50cm。
  8. 本方案预制盖梁与预制墩柱间、预制墩柱与现浇承台间均采用钢筋灌浆波纹管连接。
  9. 本图适用于上部结构为预制小箱梁、标准跨径30m、路基宽度26.5m、墩高 $H < 10m$ 的装配式桥墩。当上部结构与本通用图不一致时，可参考本通用图进行设计。

双向四车道公路桥梁装配式桥墩	标准跨径：30m
	桥梁宽度：2×13m
装配式桥墩一般构造图	图号：SG-2-2

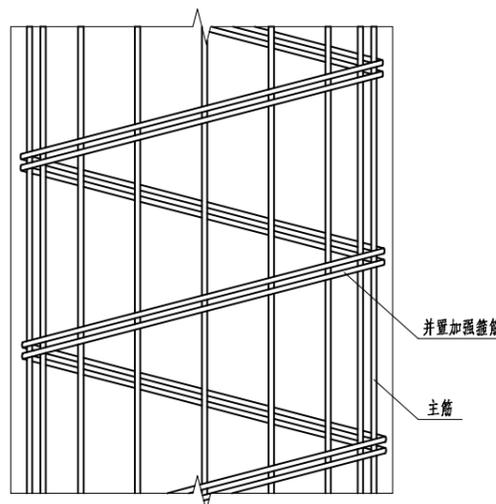
立面



预制实心墩柱材料数量表

钢筋编号	直径 (mm)	单根长度 (cm)	根数	共长 (m)	共重 (kg)	总重 (kg)
1	φ36	hi+196	18	XXXX	XXXX	XXXX
2	φ36	410.5	n	XXXX	XXXX	
3	φ12	41.2926hi+287.5	2	XXXX	XXXX	XXXX
C40混凝土 (m³)				1.5394hi-0.06		

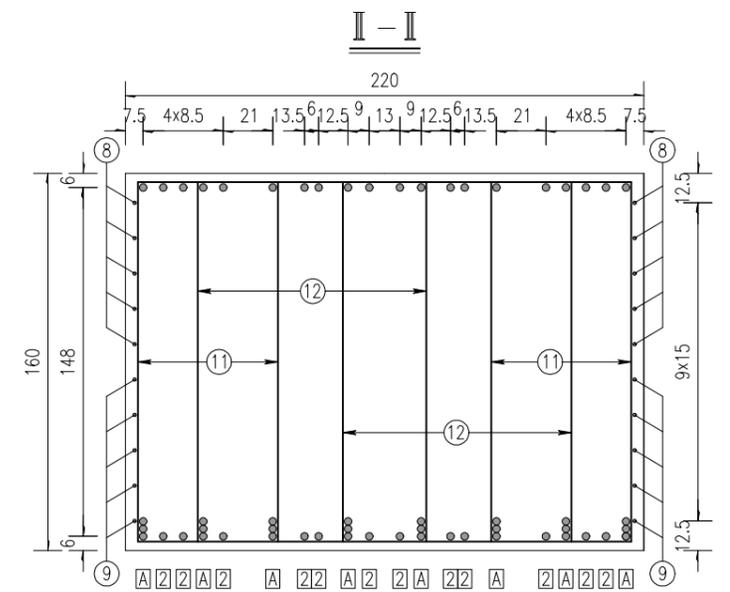
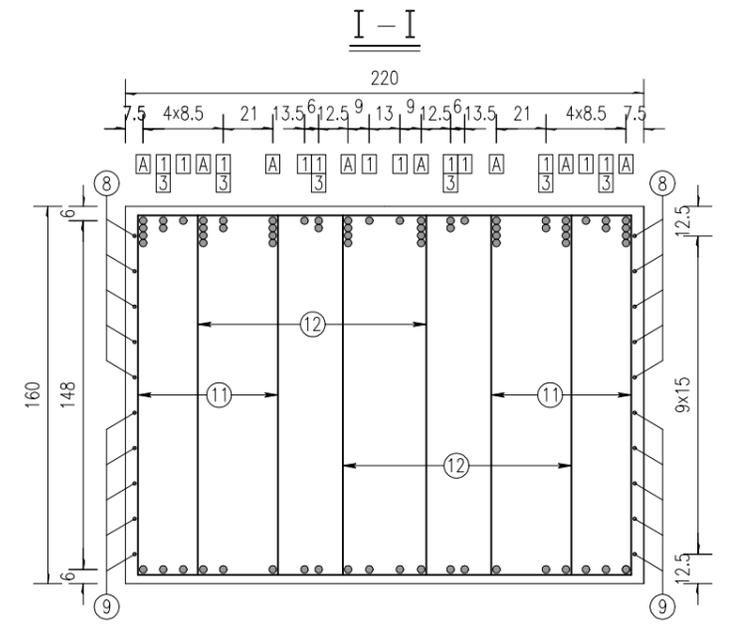
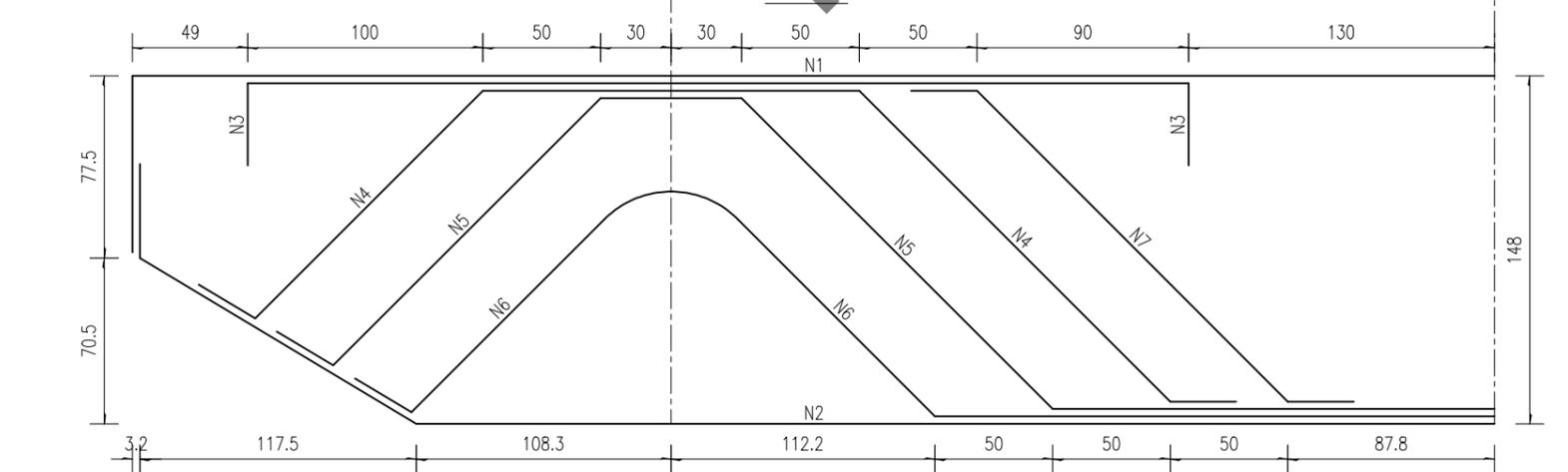
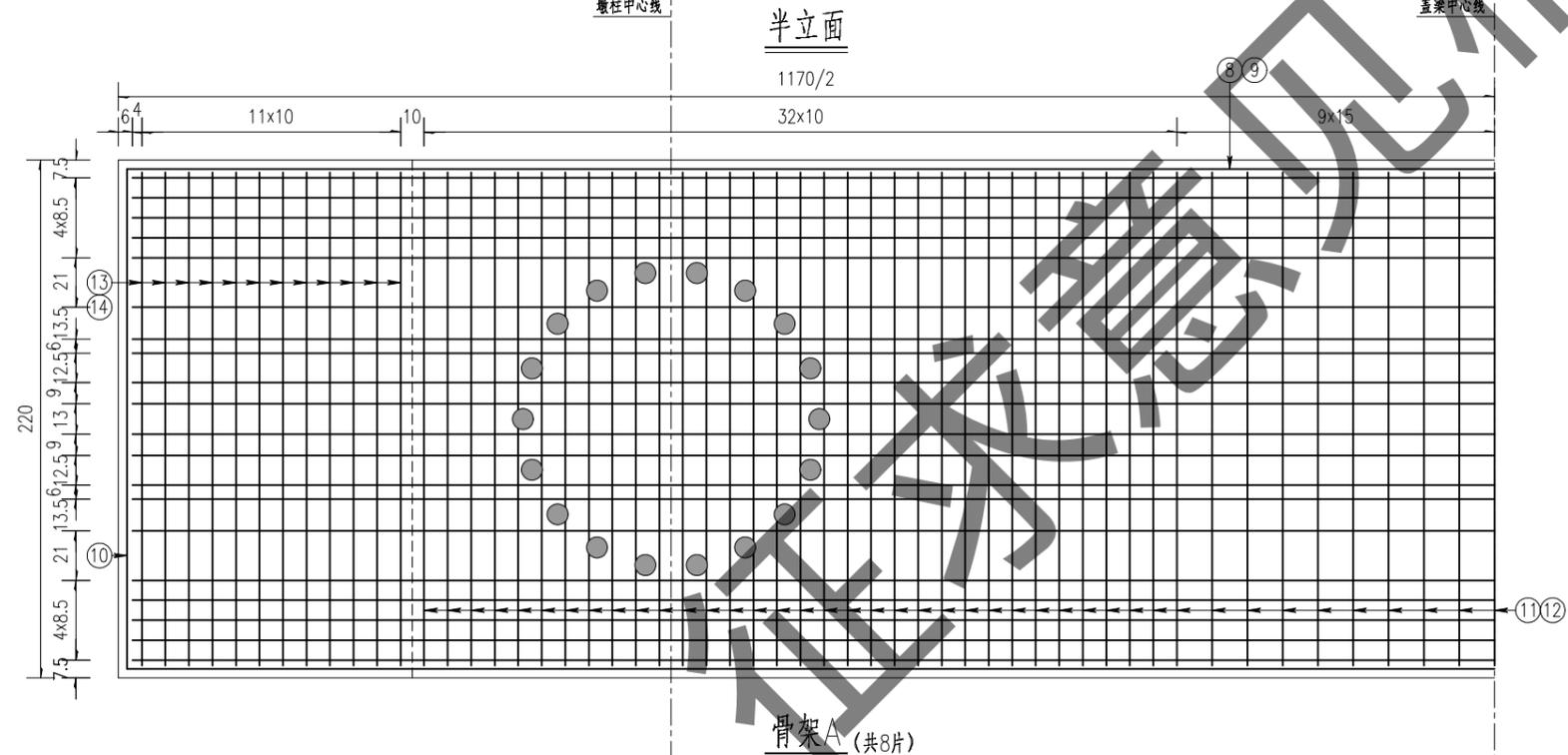
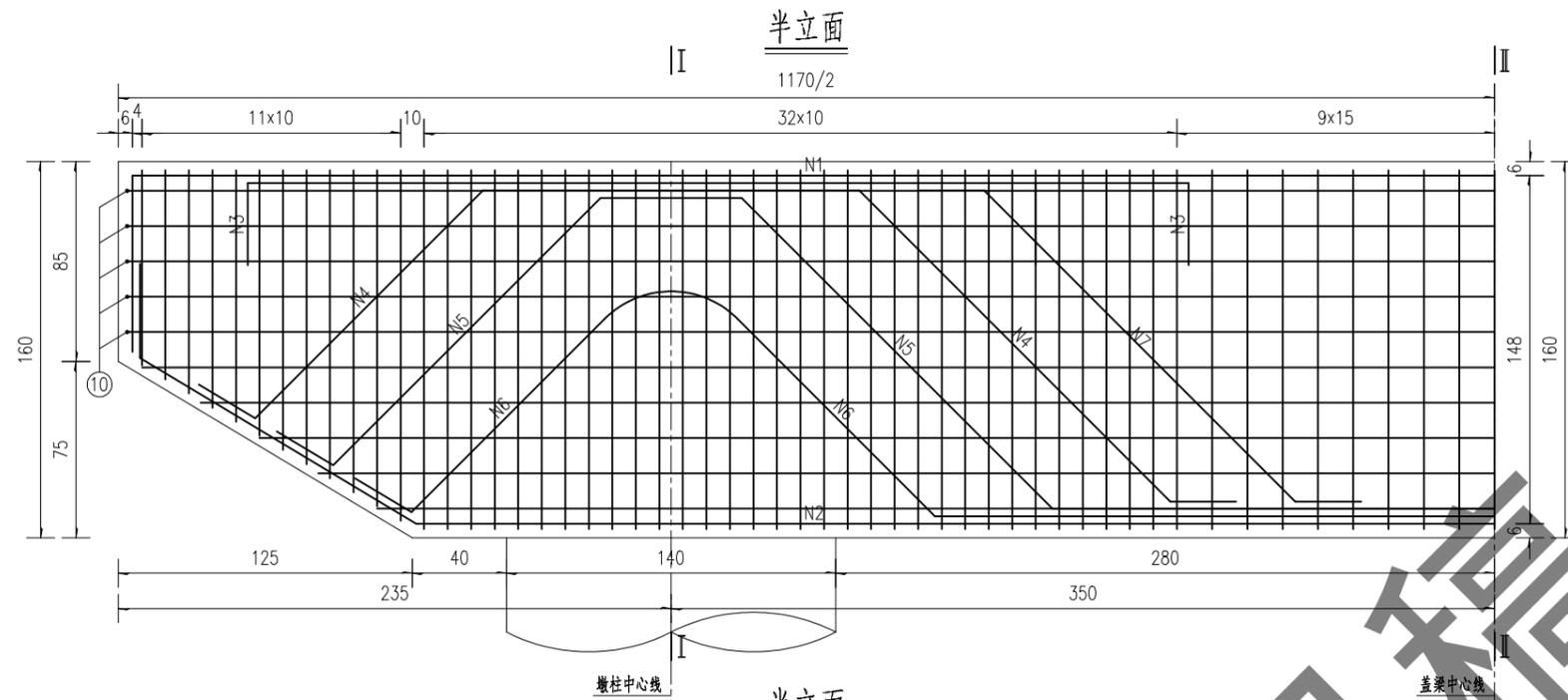
墩柱并排绕箍大样图



注:

1. 本图尺寸除钢筋直径以mm计外,其余均以cm计。
2. 纵向钢筋和箍筋均采用HRB400钢筋, N3箍筋采用双排并置全段加密。
3. N2箍筋单面焊接成环, N3箍筋端部应弯折并深入核心区混凝土区长度不小于20cm。
4. 墩柱顶面应根据盖梁设计横坡预制为倾斜面。
5. 本图适用于环境类别: II类(冻融环境); 基本地震动峰值加速度: 0.1g; 采用本通用图时, 预制墩柱除应满足承载力极限状态设计验算要求外, 尚应满足抗震验算要求。

双向四车道公路桥梁装配式桥墩	标准跨径: 30m
	桥梁宽度: 2x13m
预制墩柱钢筋布置图	图号: SG-2-3



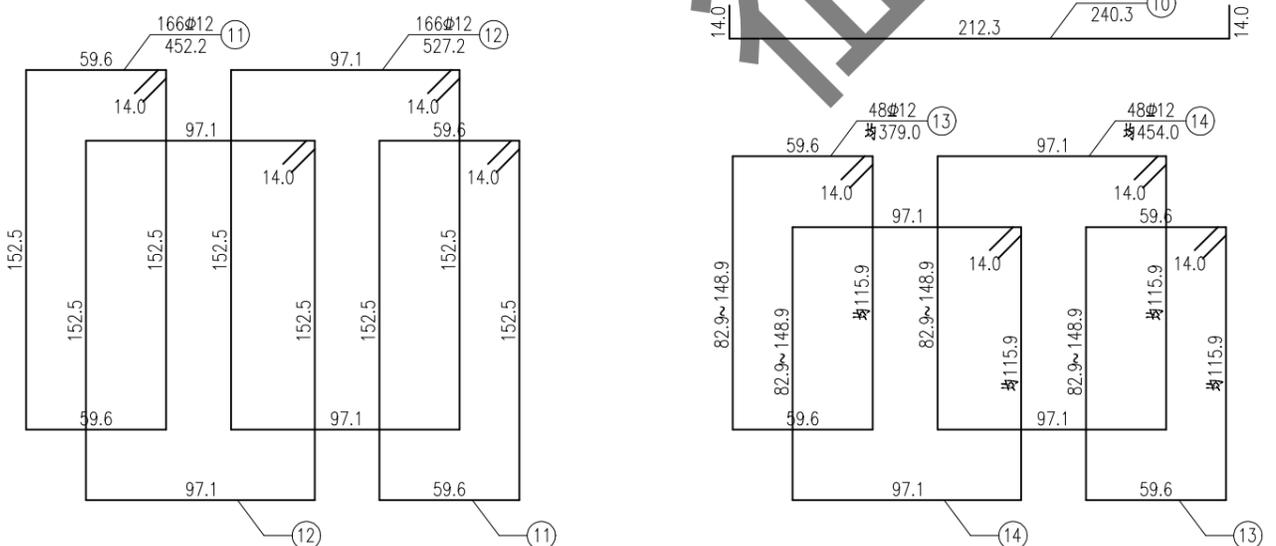
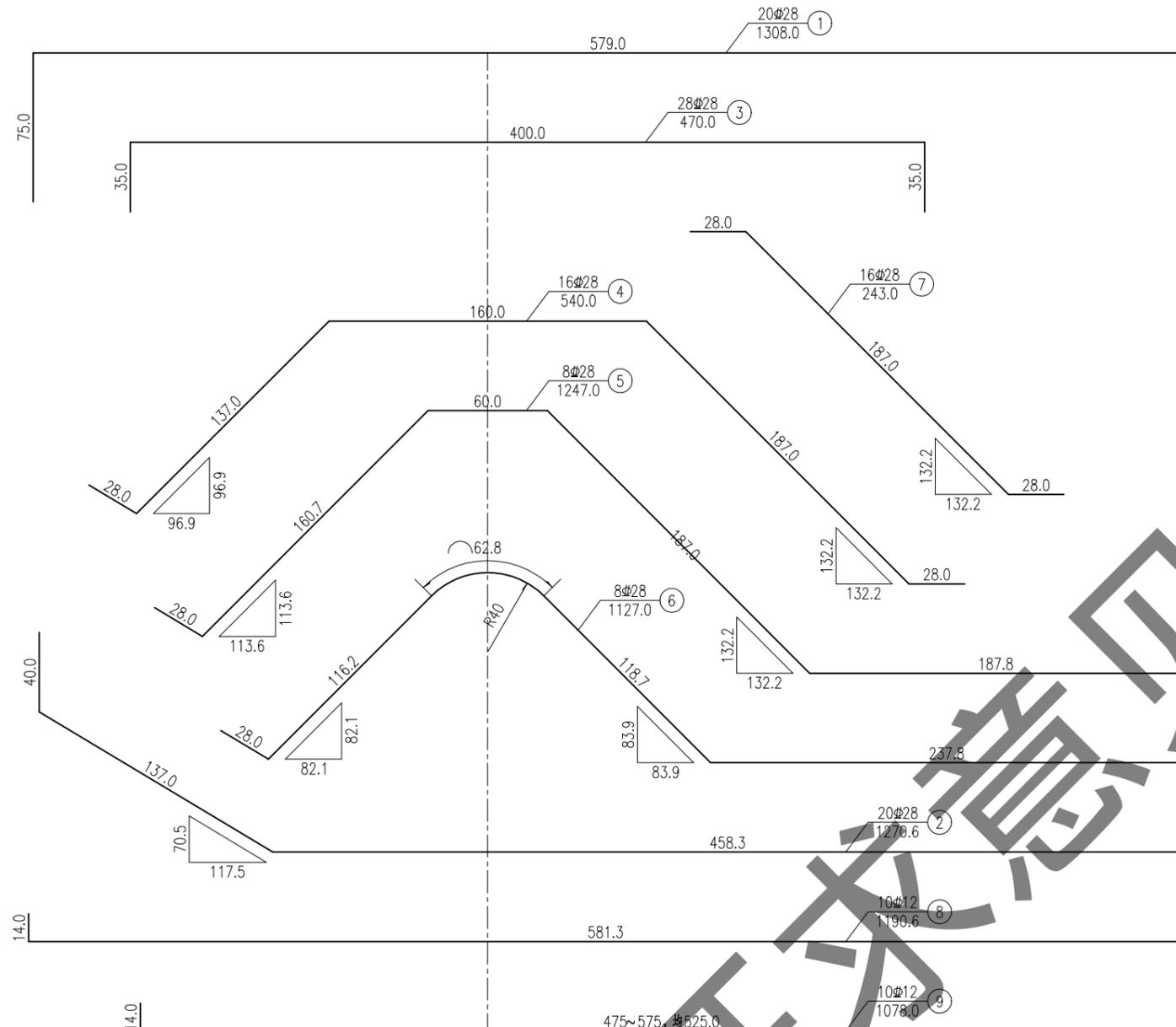
注:

1. 本图尺寸除钢筋直径以mm计外,其余均以cm计。
2. 本图与其它《预制盖梁钢筋布置图》配合使用。

双向四车道公路桥梁装配式桥墩	标准跨径: 30m
	桥梁宽度: 2x13m
预制盖梁钢筋布置图	图号: SG-2-4

预制盖梁材料数量表

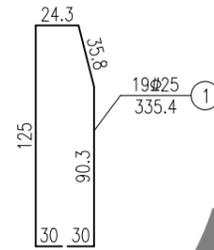
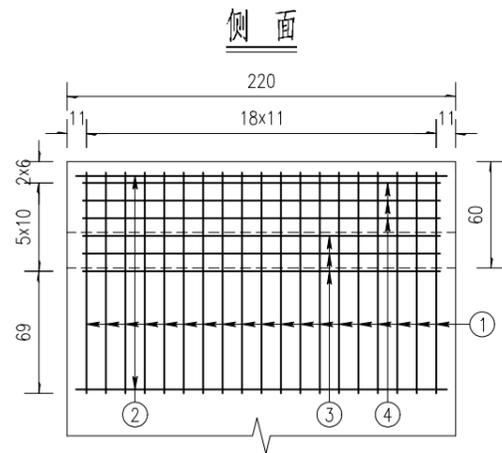
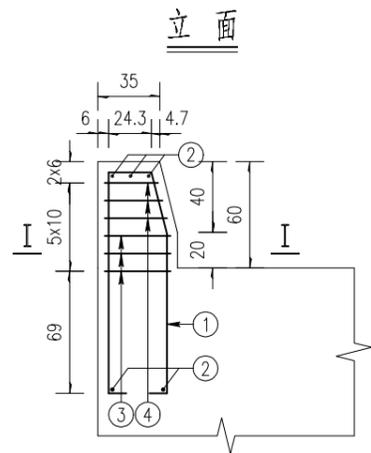
钢筋编号	直径 (mm)	单根长 (cm)	根数	总长 (m)	总重 (kg)	合计 (kg)
1	Φ28	1308.0	20	261.60	1263.5	4648.90
2	Φ28	1270.6	20	254.12	1227.4	
3	Φ28	470.0	28	131.60	635.6	
4	Φ28	540.0	16	86.40	417.3	
5	Φ28	1247.0	8	99.76	481.8	
6	Φ28	1127.0	8	90.16	435.5	
7	Φ28	243.0	16	38.88	187.8	
8	Φ12	1190.6	10	119.06	105.7	2021.4
9	Φ12	1078.0	10	107.80	95.7	
10	Φ12	240.3	10	24.03	21.3	
11	Φ12	452.2	166	750.65	666.6	
12	Φ12	527.2	166	875.15	777.1	
13	Φ12	均379.0	48	181.92	161.5	
14	Φ12	均454.0	48	217.92	193.5	
C40混凝土 (m³)					39.12	



注:

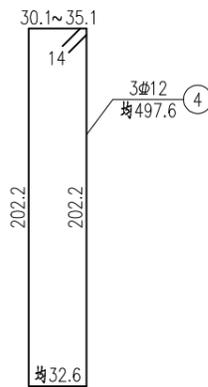
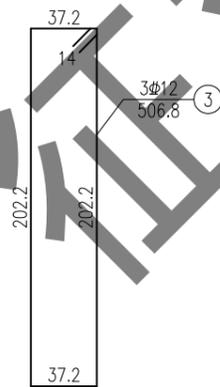
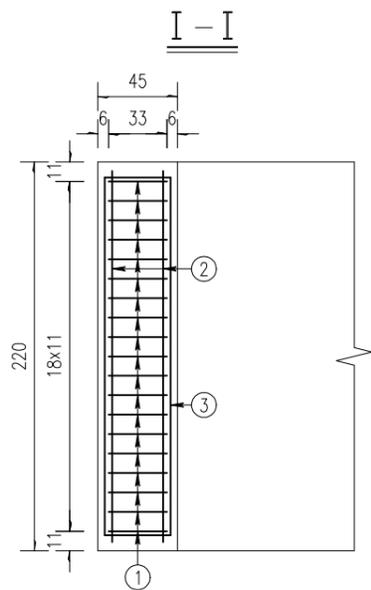
1. 本图尺寸除钢筋直径以mm计外,其余均以cm计。
2. 骨架钢筋均采用双面焊接,焊缝长度不小于5d。骨架焊缝在两根钢筋相重叠段增加,其焊缝间距不大于100cm,焊缝长度为2.5d。
3. 本图采用的预埋波纹管外径89mm,数量见《盖梁墩柱连接构造图》。
4. 预埋波纹管定位精度要求高。当与箍筋干扰时,可适当挪动箍筋的位置。当预埋波纹管外径大于89mm时,应校核盖梁主筋与预埋波纹管的干扰情况。
5. 盖梁预制时应注意预埋防震挡块及支座垫石钢筋,钢筋发生干扰时,可适当挪动其中一种。
6. 盖梁预制时应考虑该盖梁的设计横坡。

双向四车道公路桥梁装配式桥墩	标准跨径: 30m
	桥梁宽度: 2×13m
预制盖梁钢筋布置图	图号: SG-2-4



单个桥墩防震挡块材料数量表 (两个挡块)

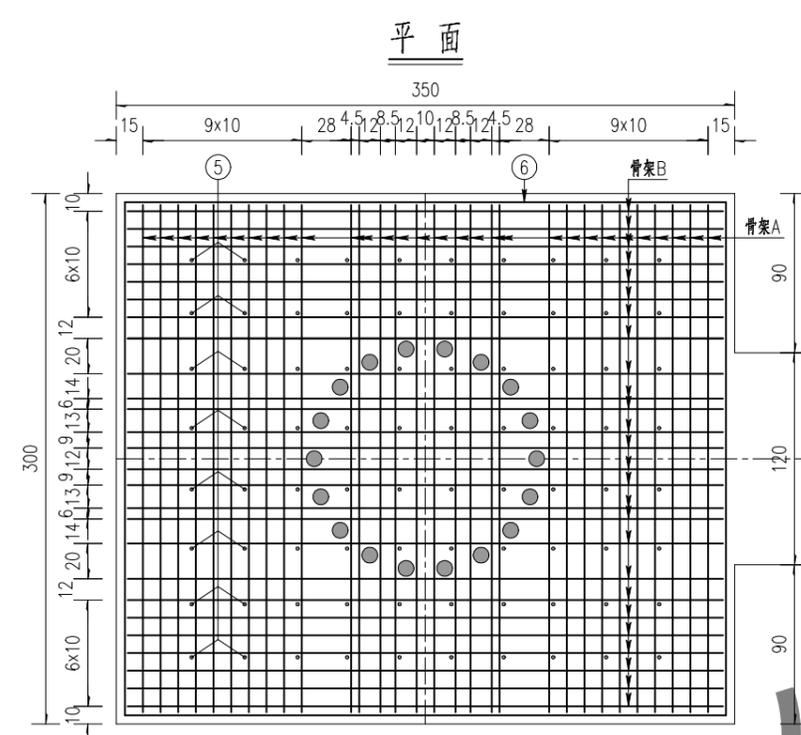
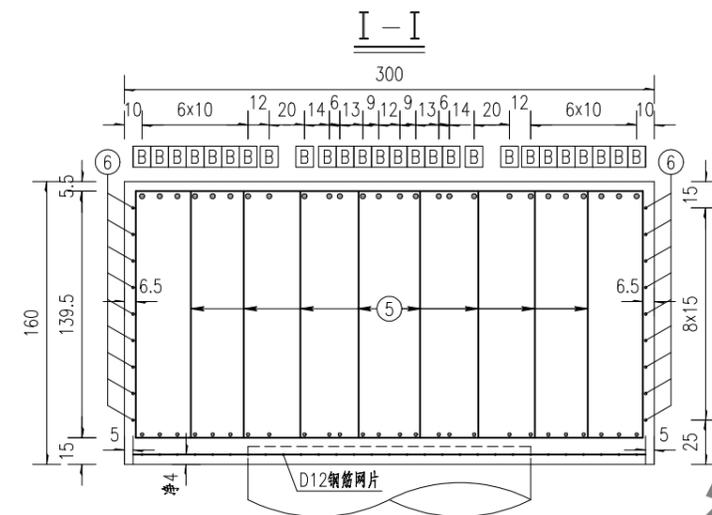
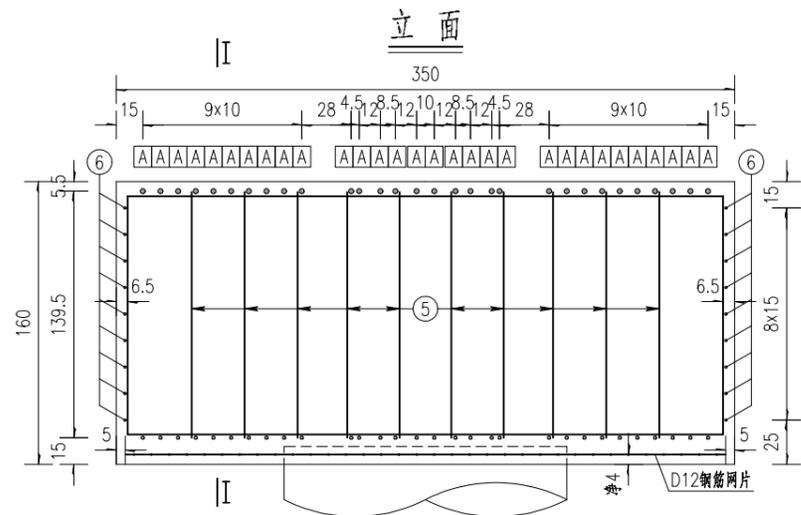
钢筋编号	直径 (mm)	单根长 (cm)	根数	总长 (m)	总重 (kg)	合计 (Kg)
1	Φ22	335.4	38	127.45	379.8	379.8
2	Φ12	240.0	10	24.00	21.3	74.8
3	Φ12	506.8	6	30.41	27.0	
4	Φ12	均497.6	6	29.86	26.5	
C40混凝土 (m³)					1.10	



注:

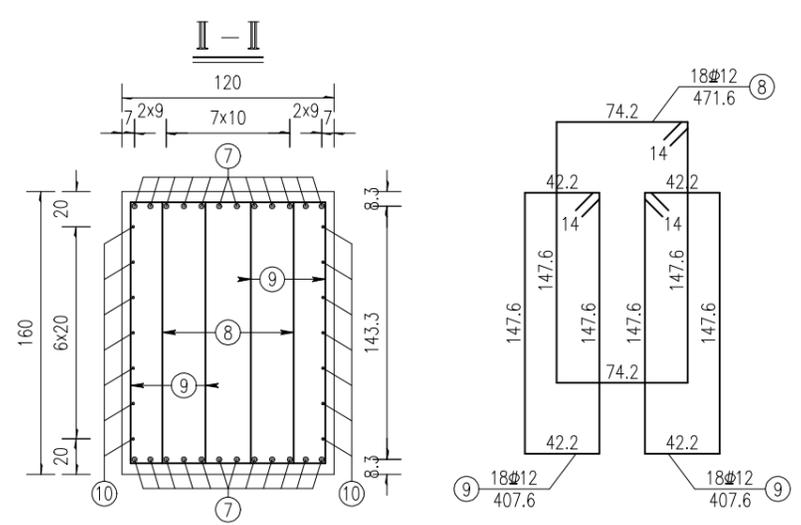
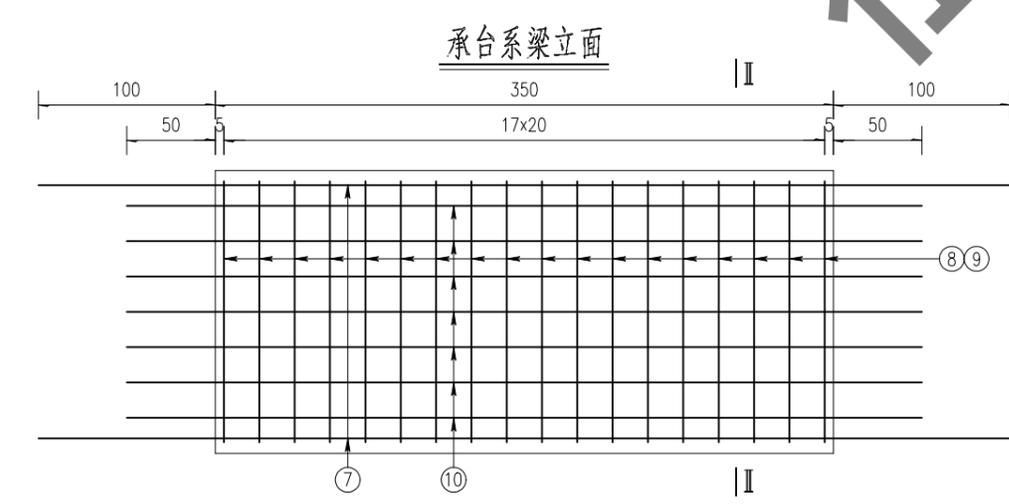
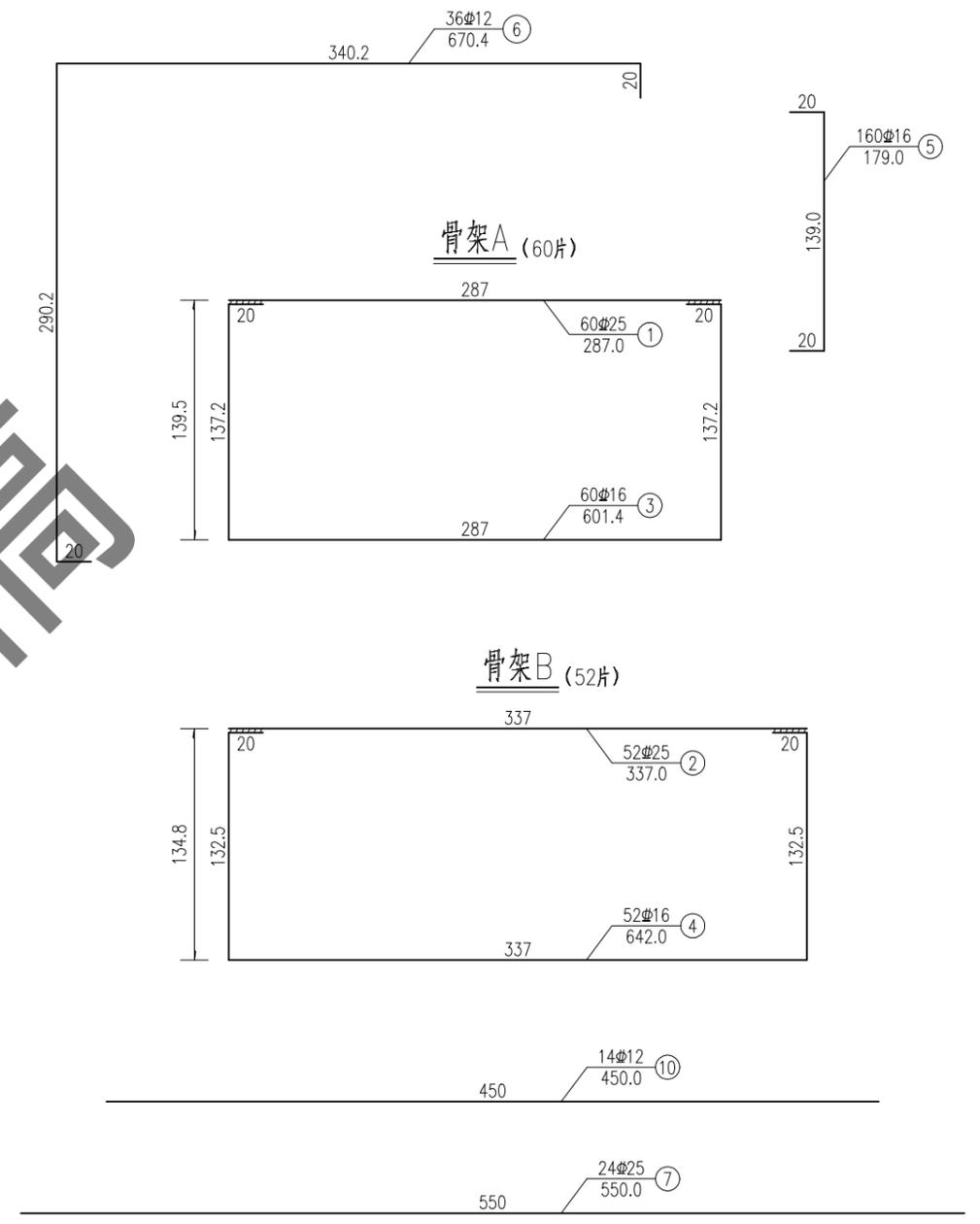
1. 本图尺寸除钢筋直径以mm计外,其余均以cm计。
2. 当挡块构造尺寸与本通用图不一致时,可参考本通用图进行设计。

双向四车道公路桥梁装配式桥墩	标准跨径: 30m
	桥梁宽度: 2x13m
盖梁挡块钢筋布置图	图号: SG-2-5



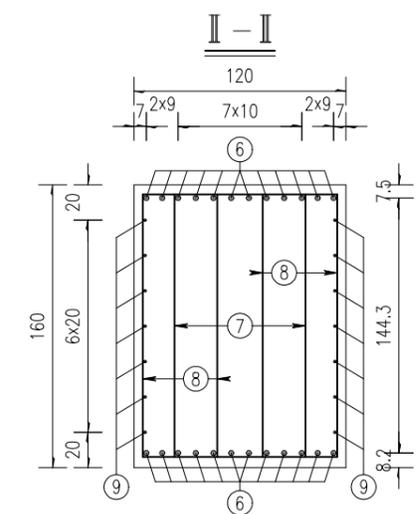
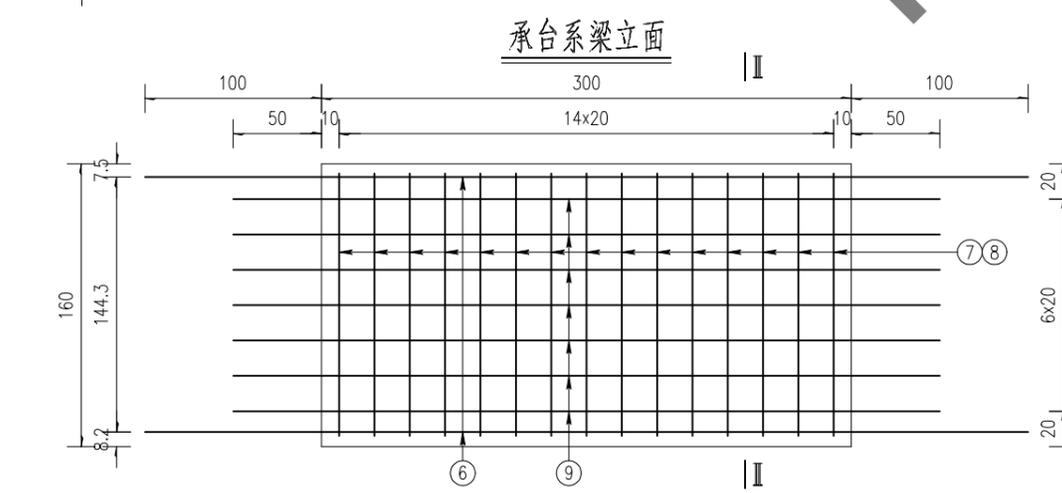
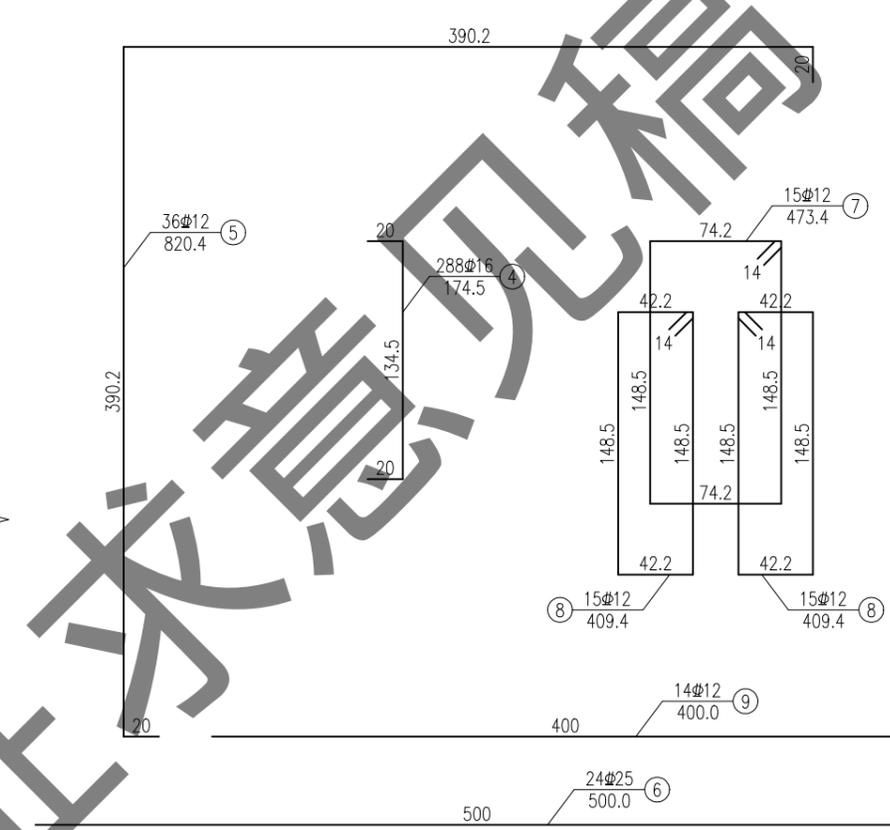
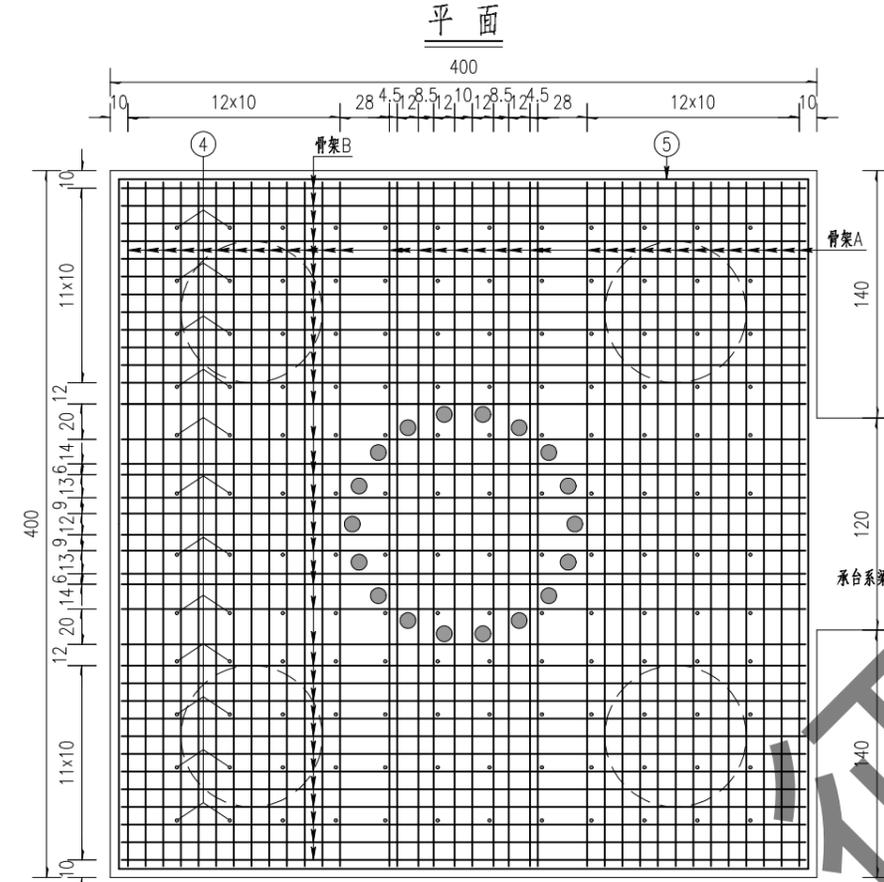
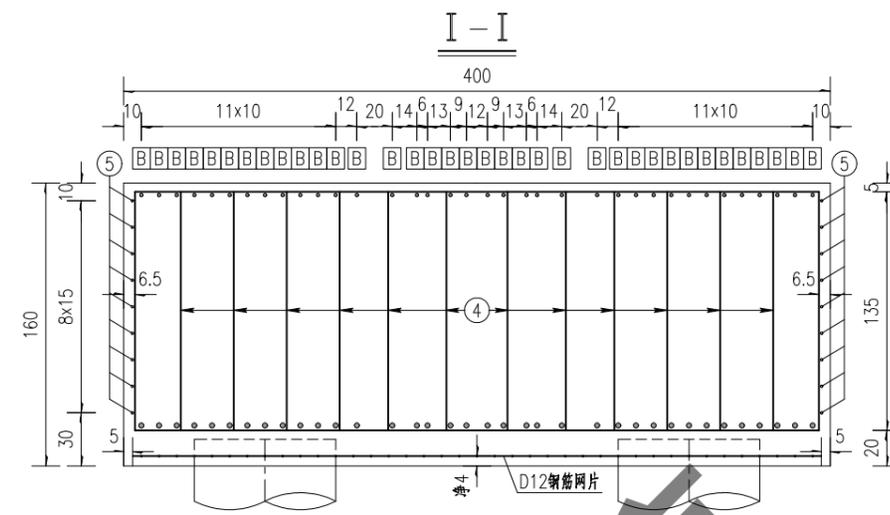
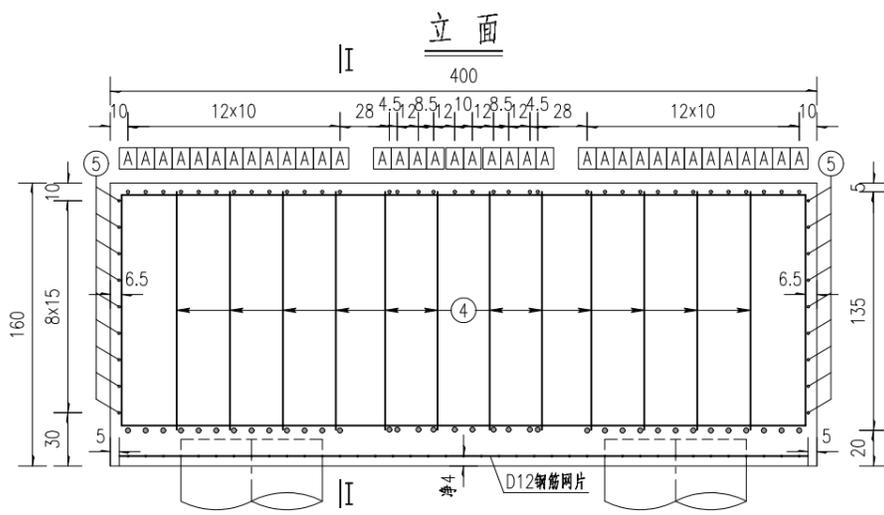
桥墩承台材料数量表

钢筋编号	直径 (mm)	单根长 (cm)	根数	总长 (m)	总重 (kg)	合计 (Kg)
1	Φ25	287.0	60	172.20	663.0	1845.9
2	Φ25	337.0	52	175.24	674.7	
7	Φ25	550.0	24	132.00	508.2	
3	Φ16	601.4	60	360.84	570.1	1558.0
4	Φ16	642.0	52	333.84	535.4	
5	Φ16	179.0	160	286.40	452.5	475.9
6	Φ12	670.4	36	241.34	214.3	
8	Φ12	471.6	18	84.89	75.4	
9	Φ12	407.6	36	146.74	130.3	
10	Φ12	450.0	14	63.00	55.9	
D12绑扎钢筋网		面积: 19.72m <sup>2</sup>		重量: 350.0kg		
C35混凝土		40.32m <sup>3</sup>		C20垫层混凝土: 5.04m <sup>3</sup>		

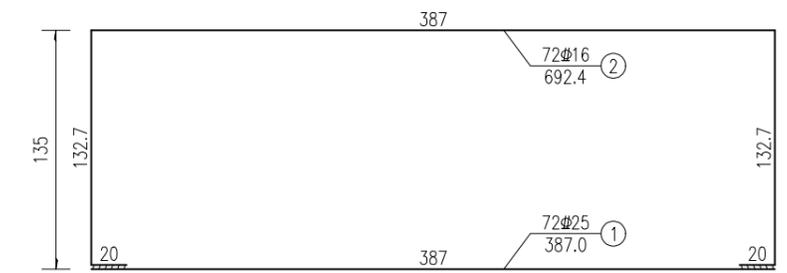


- 注:
1. 本图尺寸除注明以及钢筋直径以mm计外,其余均以cm计。
  2. 骨架A、B、C钢筋均采用双面焊接,焊缝长度不小于5d。
  3. 承台系梁钢筋与承台其他钢筋发生干扰时,可适当挪动承台系梁钢筋。
  4. 承台施工注意预埋灌浆波纹管,数量见《墩柱承台连接构造图》。
  5. 承台底铺设10cm厚C20混凝土垫层。
  6. 本图为灌注桩基础方案所对应的现浇承台。

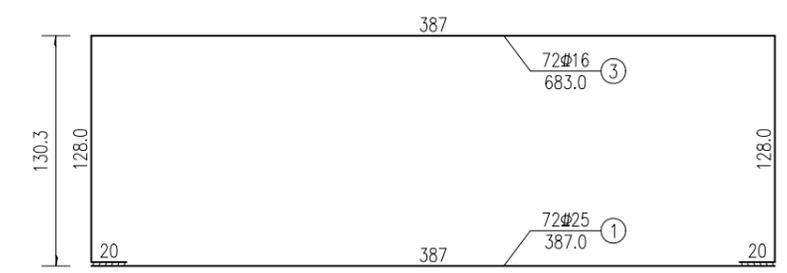
双向四车道公路桥梁装配式桥墩	标准跨径: 30m
	桥梁宽度: 2x13m
现浇承台钢筋布置图	图号: SG-2-6



骨架A (72片)



骨架B (72片)



桥墩承台材料数量表

钢筋编号	直径 (mm)	单根长 (cm)	根数	总长 (m)	总重 (kg)	合计 (Kg)
1	25	387.0	144	557.28	2145.5	2607.5
6	25	500.0	24	120.00	462.0	
2	16	692.4	72	498.53	787.7	2358.7
3	16	683.0	72	491.76	777.0	
4	16	174.5	288	502.56	794.0	
5	12	820.4	36	295.34	262.3	484.2
7	12	473.4	15	71.01	63.1	
8	12	409.4	30	122.82	109.1	
9	12	400.0	14	56.00	49.7	
D12焊接钢筋网		面积:30.42m <sup>2</sup>	重量: 540.0kg			
C35混凝土: 56.96m <sup>3</sup>		C20垫层混凝土: 7.12m <sup>3</sup>				

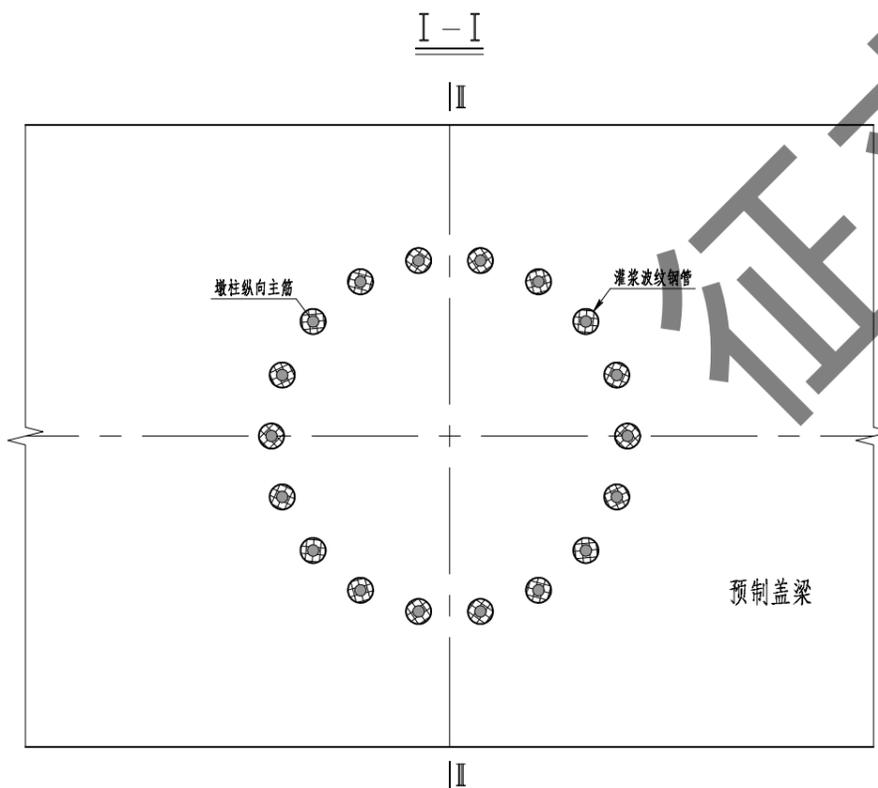
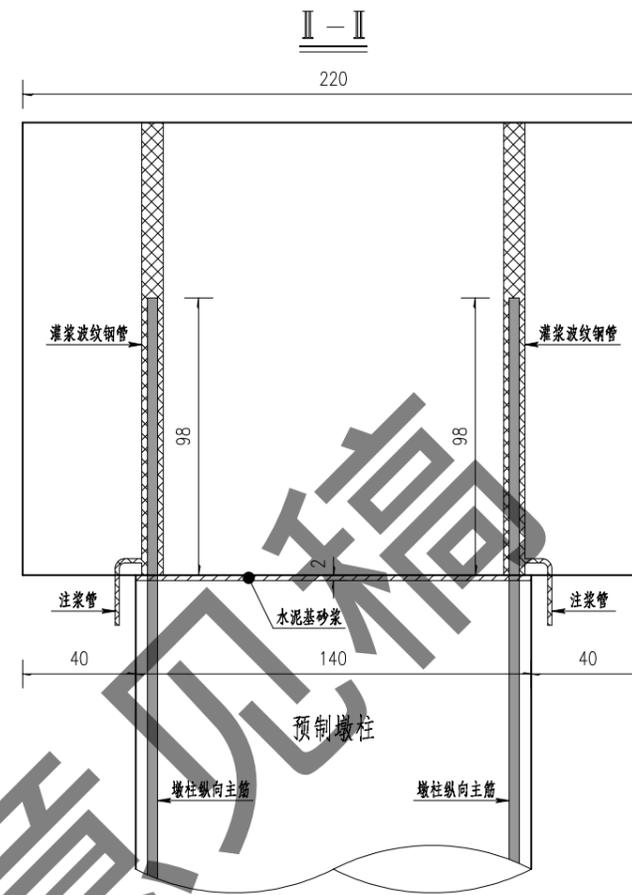
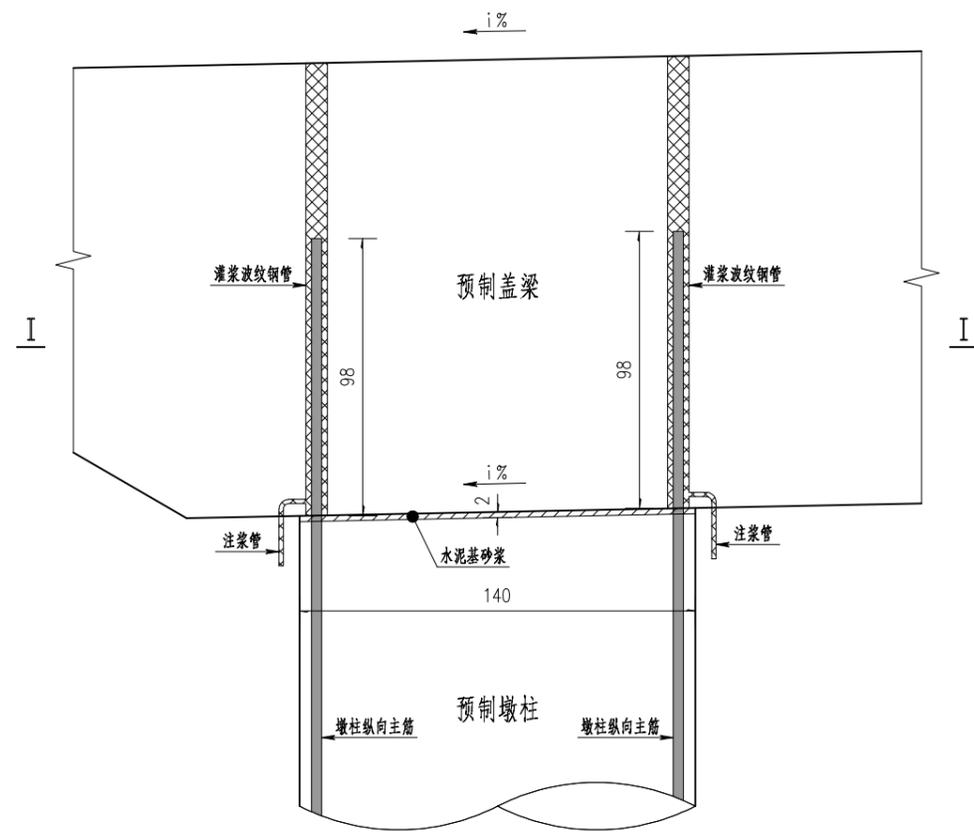
注:

1. 本图尺寸除注明以及钢筋直径以mm计外,其余均以cm计。
2. 骨架A、B钢筋均采用双面焊接,焊缝长度不小于5d。
3. 承台系梁钢筋与承台其他钢筋发生干扰时,可适当挪动承台系梁钢筋。
4. 承台施工使注意预埋灌浆波纹管,数量见《墩柱承台连接构造图》。
5. 承台底铺设10cm厚C20混凝土垫层。
6. 本图为管桩基础方案所对应的现浇承台。

双向四车道公路桥梁装配式桥墩	标准跨径: 30m
	桥梁宽度: 2x13m
现浇承台钢筋布置图	图号: SG-2-6



盖梁与墩柱连接立面



接缝材料数量表

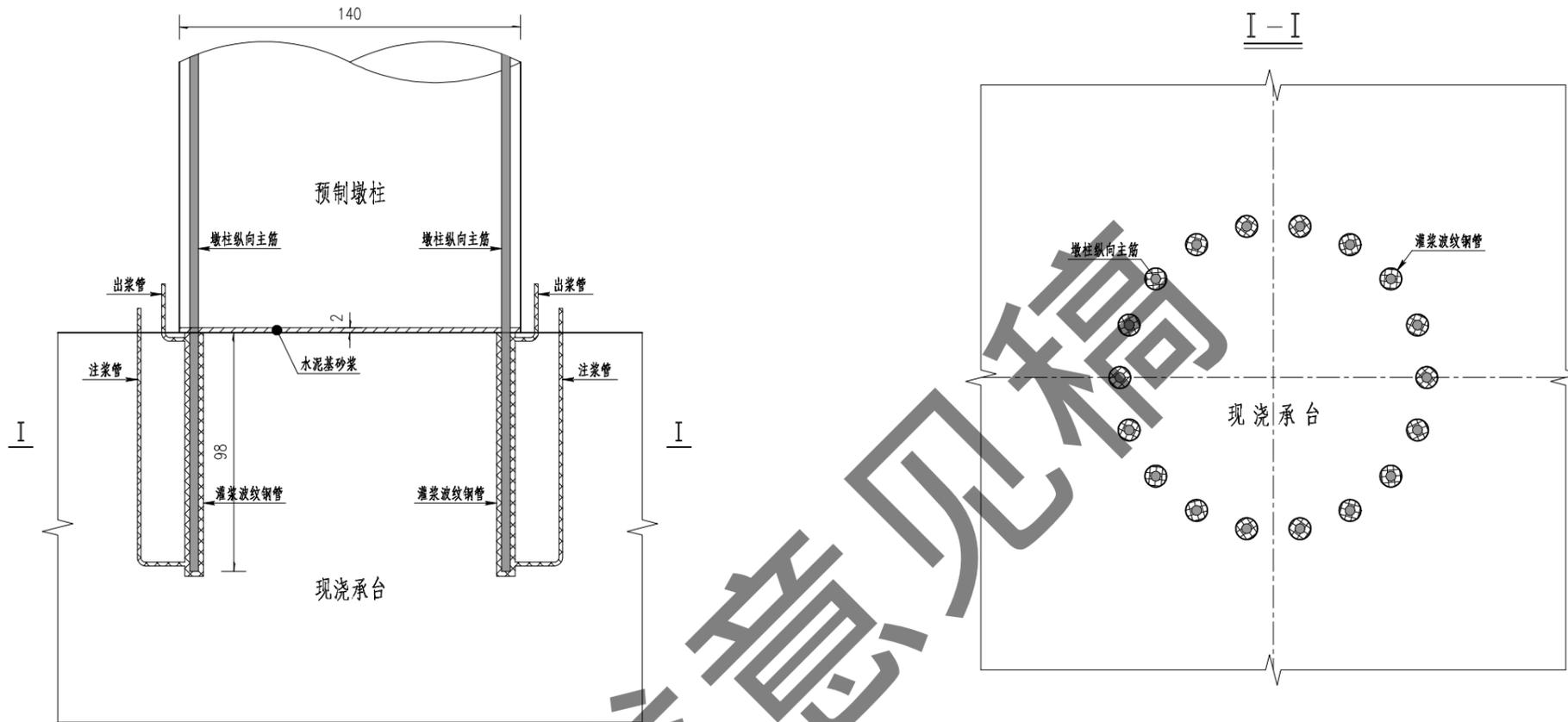
材料	单位	用量
灌注波纹管	(套)	18
水泥基砂浆	(m <sup>3</sup> )	0.031

注:

1. 本图尺寸除钢筋直径以mm计外,其余均以cm计。
2. 本图采用的波纹管外径89mm,材料及构造要求应满足现行《公路装配式混凝土桥梁设计规范》(JTG/T 3365-05)的有关规定。  
数量中每套除波纹管外,还包含注浆管、连接用水泥基灌浆料等相关材料。
3. 应通过施工工艺试验校核施工允许偏差值以及确定灌浆施工工艺。

双向四车道公路桥梁装配式桥墩	标准跨径: 30m
	桥梁宽度: 2×13m
盖梁墩柱连接构造图	图号: SG-2-8

墩柱与承台连接立面



接缝材料数量表

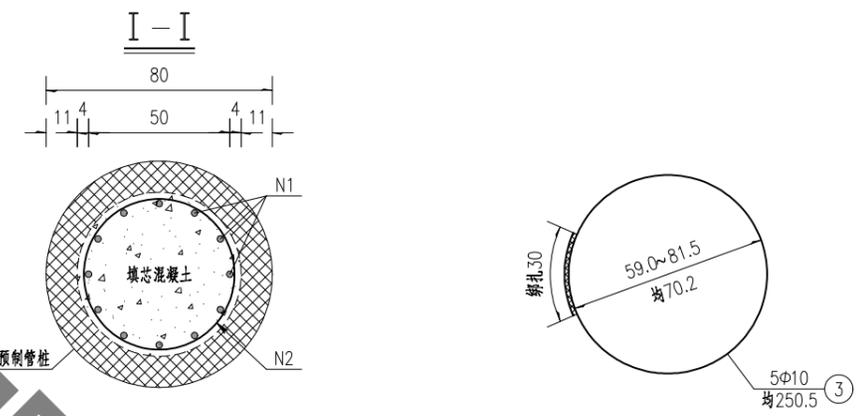
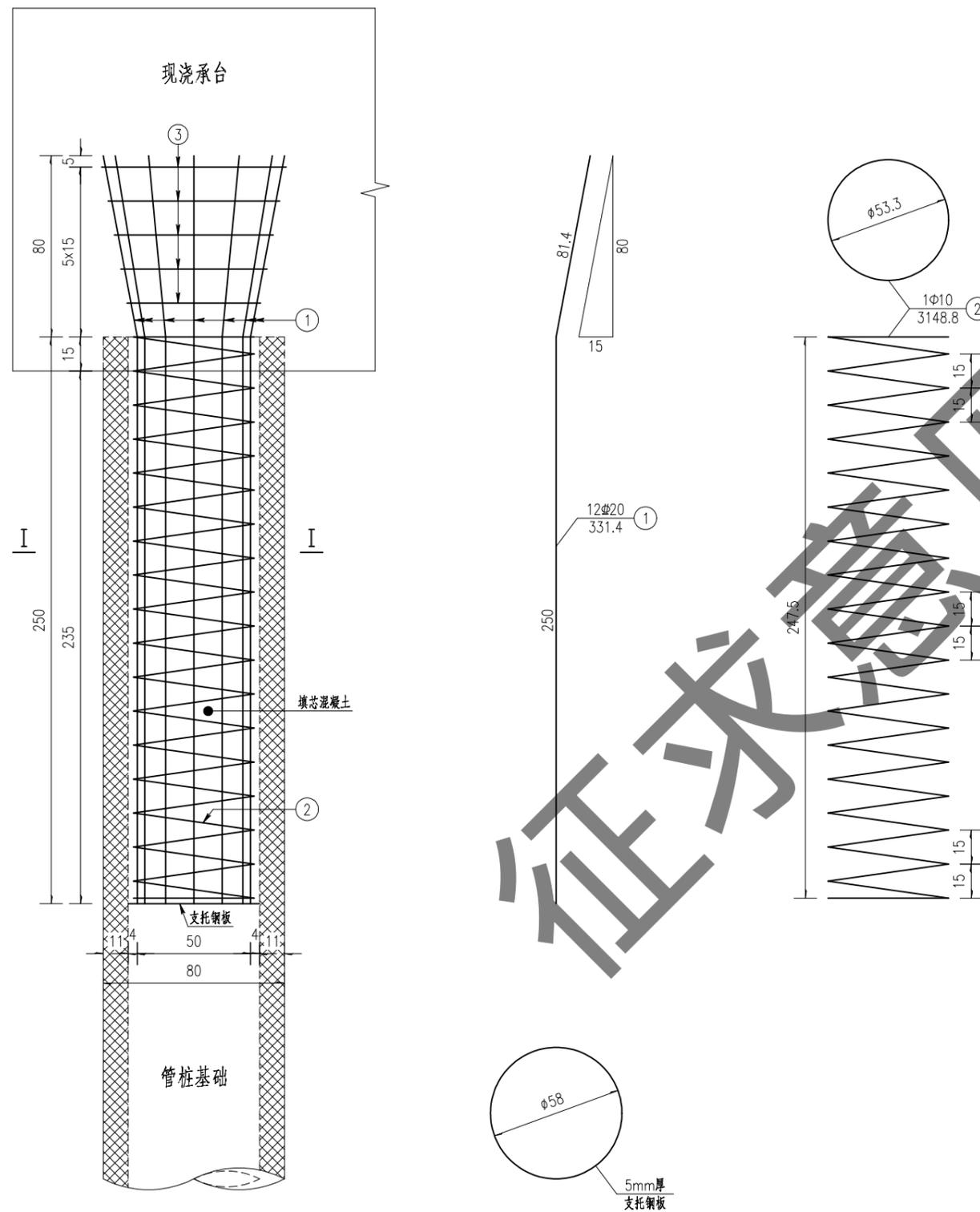
材料	单位	用量
灌浆波纹管	(套)	18
水泥基砂浆	(m³)	0.031

注：

1. 本图尺寸除钢筋直径以mm计外，其余均以cm计。
2. 本图采用的波纹管外径76mm，材料及构造要求应满足现行《公路装配式混凝土桥梁设计规范》(JTG/T 3365-05)的有关规定。  
数量中每套除波纹管外，还包含注浆管、出浆管以及连接用水泥基灌浆料等相关材料。
3. 应通过施工工艺试验校核施工允许偏差值以及确定灌浆施工工艺。

双向四车道公路桥梁装配式桥墩	标准跨径：30m
	桥梁宽度：2×13m
墩柱承台连接构造图	图号：SG-2-9

现浇承台与预制管桩连接立面图



现浇承台与预制管桩连接材料数量表 (8处连接)

钢筋编号	直径 (mm)	单根长 (cm)	根数	总长 (m)	总重 (kg)	合计 (kg)
1	Φ20	331.4	96	318.14	785.8	785.8
2	Φ10	3148.8	8	251.90	155.4	217.2
3	Φ10	均250.5	40	100.20	61.8	
5mm厚支撑钢板					10.37×8=82.96(kg)	
C40补偿收缩混凝土					0.66×8=5.28(m³)	

注:

1. 本图尺寸除钢筋直径以mm计外,其余均以cm计。
2. 浇筑填芯混凝土前,应先将管桩内壁浮浆清理干净,并采用内壁涂刷水泥净浆、混凝土界面剂等措施,以提高填芯混凝土与管桩桩身混凝土的整体性。
3. 支撑钢板尺寸根据管桩内径进行调整,尺寸宜略小于管桩内径;支撑钢板与N1钢筋焊牢。
4. 管桩顶面施工高程允许值为在设计计算高程及其下5cm范围内。
5. 当管桩基础受拉时,应根据现行《公路桥梁预应力混凝土管桩基础技术规程》(T/CECS G: D67)的有关规定对本图进行修改。
6. 当管桩型号与通用图不同时,可参考本图进行设计。

双向四车道公路桥梁装配式桥墩	标准跨径: 30m
	桥梁宽度: 2×13m
承台管桩连接构造图	图号: SG-2-10

# 装配式桥墩典型方案(三)

(构件承插式连接)

## 典型方案(三)补充设计说明

### 1 连接材料

#### 1.1 水泥基灌浆料

(1) 水泥基灌浆料的技术指标应满足表 1-1 的要求，其他尚应符合现行《钢筋连接用套筒灌浆料》(JG/T 408)的规定。

表 1-1 构件承插式连接用水泥基灌浆料技术指标

检测项目		性能指标
最大集料粒径(mm)		≤3.5
流动度(mm)	初始	≥340
	30 min	≥310
抗压强度(MPa)	1d	≥35
	3d	≥55
	28d	≥80
竖向膨胀率(%)	3h	0.02~2
	24h 与 3h 差值	0.02~0.5
	28d 与 24h 差值	≥0.00
氯离子含量(%)		≤0.06
泌水率(%)		0

(2) 施工期间环境温度小于 5℃时，尚应补充规定水泥基灌浆料的技术指标。

(3) 施工或使用期间环境温度超过 80℃时，不得使用硫铝酸盐水泥配成的水泥基灌浆料。

#### 1.2 垫层砂浆

(1) 垫层砂浆应采用微膨胀水泥基砂浆，1d 抗压强度应不小于 30MPa，28d 抗压强度应不小于 60MPa，且应大于被连接构件抗压强度一个强度等级，28d 竖向膨胀率应不大于 0.1%。

(2) 垫层砂浆宜选用质地坚硬、级配良好的中砂，细度模数应不小于 2.6，含泥量应不大于 1%，且不应有泥块存在。

(3) 垫层砂浆初凝时间宜大于 2h。

### 2 设计要点

#### 2.1 桥墩整体结构设计

常规设计的现浇桥墩及其对应的装配式桥墩整体结构形式如下图所示。



图 2-1 现浇桥墩及其对应的装配式桥墩整体结构示意图 (尺寸单位: cm)

管桩基础为定型产品预制混凝土构件，灌注桩和承台现浇施工，墩柱、盖梁为钢筋混凝土预制构件，支座垫石可现浇施工；整体结构方案匹配墩梁一体式架桥机的施工工艺。构件类型、控制重量及匹配的施工方法见下表，具体项目应根据项目建设条件进行分析和设计。

表 2-1 装配式桥墩主要构件一览表

构件部位	构件类别	理论吊装重量	施工工艺
盖梁	预制盖梁	<97t	墩梁一体架设
墩柱	预制墩柱	<62t	
承台	现浇承台	——	常规现浇
基础	灌注桩	——	常规现浇
	预制管桩	——	锤击、静压等

## 2.2 预制盖梁设计

- (1) 预制盖梁的混凝土强度等级不宜低于 C40。
- (2) 盖梁横向宽度不宜小于墩柱直径+80cm，且不宜小于墩柱直径的 1.5 倍。
- (3) 预留承插孔内径可取墩柱直径+10cm，推荐采用冷弯波纹钢管成孔并形成剪力键构造。
- (4) 盖梁横坡不小于 2%时，预留承插孔顶面应设置多个排气孔；盖梁横坡小于 2%时，预留承插孔顶面应采用锥面。
- (5) 预制盖梁的钢筋骨架宜与常规设计的现浇盖梁基本保持一致；钢筋骨架遇到预留承插孔时应沿预留承插孔周边向上弯折形成门形；预留承插孔处盖梁底部钢筋根数不应少于现浇盖梁，即不宜降低该处截面的正弯矩承载能力；斜截面抗剪钢筋宜布置于盖梁两侧。

## 2.3 预制墩柱设计

- (1) 预制墩柱的混凝土强度等级不宜低于 C40。
- (2) 预制墩柱的长度应包含上下两端承插段长度，墩柱顶面宜根据预制、安装角度及盖梁横坡设置倾斜面；墩柱顶面、底面应设置凹凸差不小于 5mm 的粗糙面。
- (3) 预制墩柱的纵向钢筋配筋方案宜与现浇墩柱相同，纵向钢筋端部应设置钢筋全锚固板或与钢端板焊接连接；承插段及墩柱塑性铰区域不应进行纵向钢筋连接。
- (4) 预制墩柱的箍筋直径、间距等布置方案宜与现浇墩柱保持不变；加密区箍筋延伸至墩柱承插段内长度不应小于 10cm。

## 2.4 现浇承台设计

- (1) 设计阶段拟定施工工艺可采用墩梁一体式架桥机时，现浇承台尺寸应校核能否满足施工机械前支腿的设置要求。
- (2) 承台最小宽度应大于盖梁宽度。

- (3) 预留承插孔内径可取墩柱直径+10cm，推荐采用冷弯波纹钢管成孔并形成剪力键构造。
- (4) 预留承插孔底部应凿毛形成凹凸差不小于 5mm 的粗糙面。
- (5) 承台钢筋骨架遇到预留承插孔时应沿承插孔周边竖向弯折成 U 形。

## 2.5 基础设计

- (1) 基础设计时宜对灌注桩基础和管桩基础进行综合比选。
- (2) 管桩基础可选用 PHC 管桩、PRC 管桩等制品，管桩外径等指标应根据荷载大小、地质条件、施工工艺等因素综合确定。
- (3) 管桩基础结构验算应符合现行中国工程建设标准化协会标准《公路桥梁预应力混凝土管桩基础技术规程》(T/CECS G:D67-03) 的有关规定。

## 2.6 抗震设计

- (1) 采用构件承插式连接的装配式桥墩在 E1 和 E2 地震作用下，桥梁抗震设防目标应符合现行《公路桥梁抗震设计规范》(JTG/T 2231-01) 的规定，且连接节点处接缝及目标连接构件应基本不发生损伤。
- (2) 采用构件承插式连接的装配式桥墩在 E1 和 E2 地震作用下的抗震分析，应按现行《公路桥梁抗震设计规范》(JTG/T 2231-01) 的规定建立桥梁结构的动力计算模型。
- (3) 采用构件承插式连接的装配式桥墩强度和变形验算，应按现行《公路装配式混凝土桥梁设计规范》(JTG/T 3365-05) 的规定进行验算。

## 2.7 节点设计

- (1) B 类、C 类桥梁接缝及目标连接构件应为能力保护构件，应根据墩柱塑性铰区域截面的超强弯矩进行设计；A 类、D 类桥梁接缝及目标连接构件宜为能力保护构件，宜根据墩柱塑性铰区域截面的超强弯矩进行设计。
- (2) 承插式连接节点作为能力保护构件设计时，墩柱极限弯矩超强系数推荐采用 1.375。
- (3) 计算墩柱极限弯矩时的最不利轴力，单柱墩塑性铰区域截面、双柱和多柱墩顺桥向塑性铰区域截面最不利轴力推荐采用恒载轴力+静力法计算的竖向地震作用；双柱和多柱墩横桥向塑性铰区域截面最不利轴力推荐采用恒载轴力+静力法计算的竖向地震作用+Pushover 动轴力。
- (4) 承插式连接的节点强度宜采用有限元模型计算或通过试验验证确定，模型试验比例尺宜大于 1:3。

## 2.8 抗震措施

- 采用构件承插式连接的装配式桥墩抗震措施应符合现行《公路装配式混凝土桥梁设计规范》(JTG/T 3365-05) 的有关规定。

### 3 施工要点

采用构件承插式连接的装配式桥墩施工除应符合现行《公路装配式混凝土桥梁施工技术规范》(JTG/T 3654)、《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T 3650)和《公路工程质量检验评定标准(第一册 土建工程)》的有关规定外,还应注意以下事项:

#### 3.1 方案要点

构件承插式连接的装配式桥墩预制构件包含盖梁、墩柱和管桩,现浇构件包含承台和灌注桩,其中墩柱与盖梁、墩柱与承台之间均采用构件承插式连接。

#### 3.2 施工特别注意事项

(1)承台施工特别注意事项:施工设备采用墩梁一体式架桥机时,应根据墩梁一体式架桥机前支腿临时支撑的要求预埋相关构件,并在施工完成后进行防腐等后处理。

(2)墩柱预制特别注意事项:墩柱纵向主筋端部必须安装钢筋全锚固板或设置钢端板进行焊接连接;严格控制墩柱承插段的预制精度。

(3)盖梁预制特别注意事项:盖梁根据设计横坡进行预制,预埋的冷弯波纹钢管保持竖直。

(4)墩柱安装特别注意事项:严格控制承插孔底部水泥基砂浆用量;墩顶倾斜面方向应与盖梁横坡方向保持一致。

(5)盖梁安装特别注意事项:盖梁下放时应避免与墩柱磕碰,破坏剪力键槽。

(6)接缝砂浆和灌浆料施工特别注意事项:接缝砂浆及灌浆料强度不低于 35MPa 后,方可拆除临时支撑;当施工气温低于 5℃时,除应采取有效的保温措施进行保温外,尚应采用低温灌浆料并补充相关技术指标。

#### 3.3 构件预制

(1)构件预制所用的钢筋笼胎架、钢筋笼定位板、预制台座、模板、吊具等设备应根据具体预制工艺和精度要求编制专项施工方案。

(2)构件模具宜采用专门设计的钢模具,且应具有足够的强度、刚度和稳定性。

(3)墩柱预制键槽的径向允许偏差 2mm,竖向允许偏差 5mm,其他应符合现行《公路装配式混凝土桥梁施工技术规范》(JTG/T 3654)的有关要求。

(4)预制构件出厂前应现行《公路装配式混凝土桥梁施工技术规范》(JTG/T 3654)的有关要求进行质量验收。

#### 3.4 构件存放

(1)构件存放场地应坚实平整,应有相应的设施不积水。

(2)预制墩柱水平存放时支点处应采用垫木或其他适宜的材料进行支撑,并验算最不利状态下构件的裂缝宽度。

(3)预制墩柱存放时应避免剪力键槽的磕碰损坏。

(4)预制盖梁应水平存放,存放时不得倒置、翻转。

(5)预制构件堆叠时不宜超过 3 层,层间应设置垫木或其他适宜的材料。

#### 3.5 构件吊装及运输

(1)构件吊装及运输应编制专项施工方案。

(2)起吊前应进行试吊装。

(3)吊装应平缓匀速、轻起轻放,严禁抛掷、碰撞、滚落等。

(4)构件吊装运输时混凝土强度不宜小于设计强度的 90%,运输时应采取必要的固定和缓冲措施,不得使构件产生损伤及变形。

#### 3.6 现场安装

(1)现场安装应编制专项施工方案,可通过施工工艺试验总结工艺工法和施工注意事项。

(2)现场安装应校核预制构件的倾斜面方向是否与桥面横坡保持一致。

(3)构件安装验收标准应符合现行《公路装配式混凝土桥梁施工技术规范》(JTG/T 3654)的有关要求。

### 4 施工工艺试验

施工企业首次采用构件承插式连接的装配式桥墩时,该分项工程施工前宜开展 1:1 的墩柱-盖梁承插式连接接缝灌注试验,验证重力式灌浆工艺接缝的饱满度和施工控制要点。

### 5 耐久性设计要求

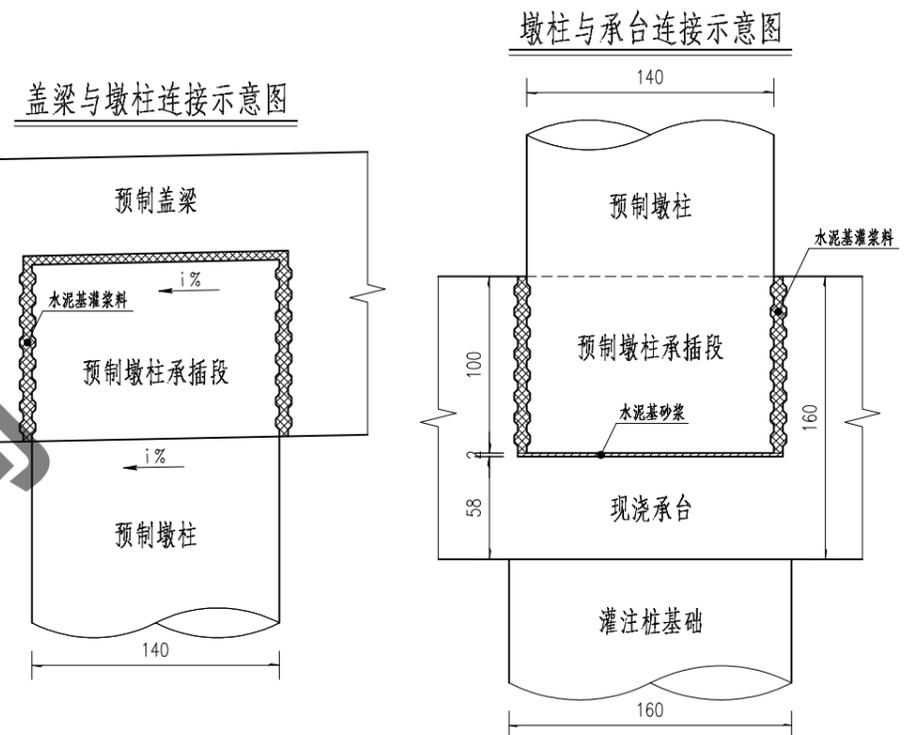
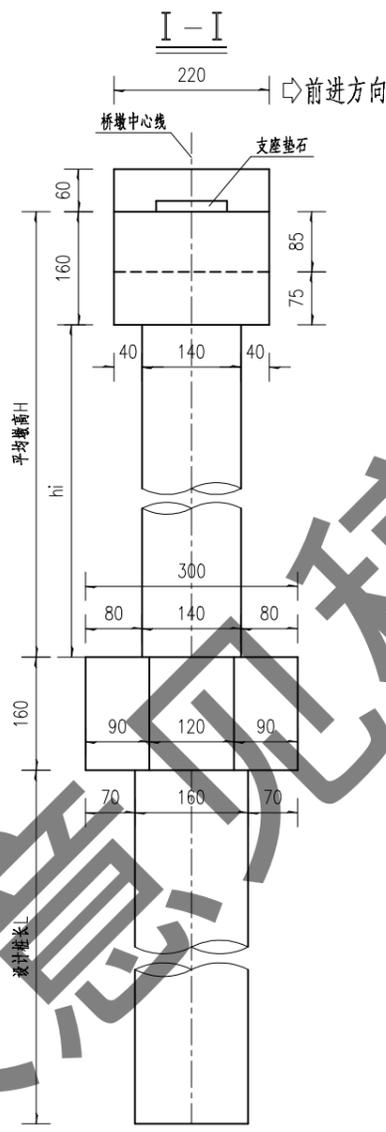
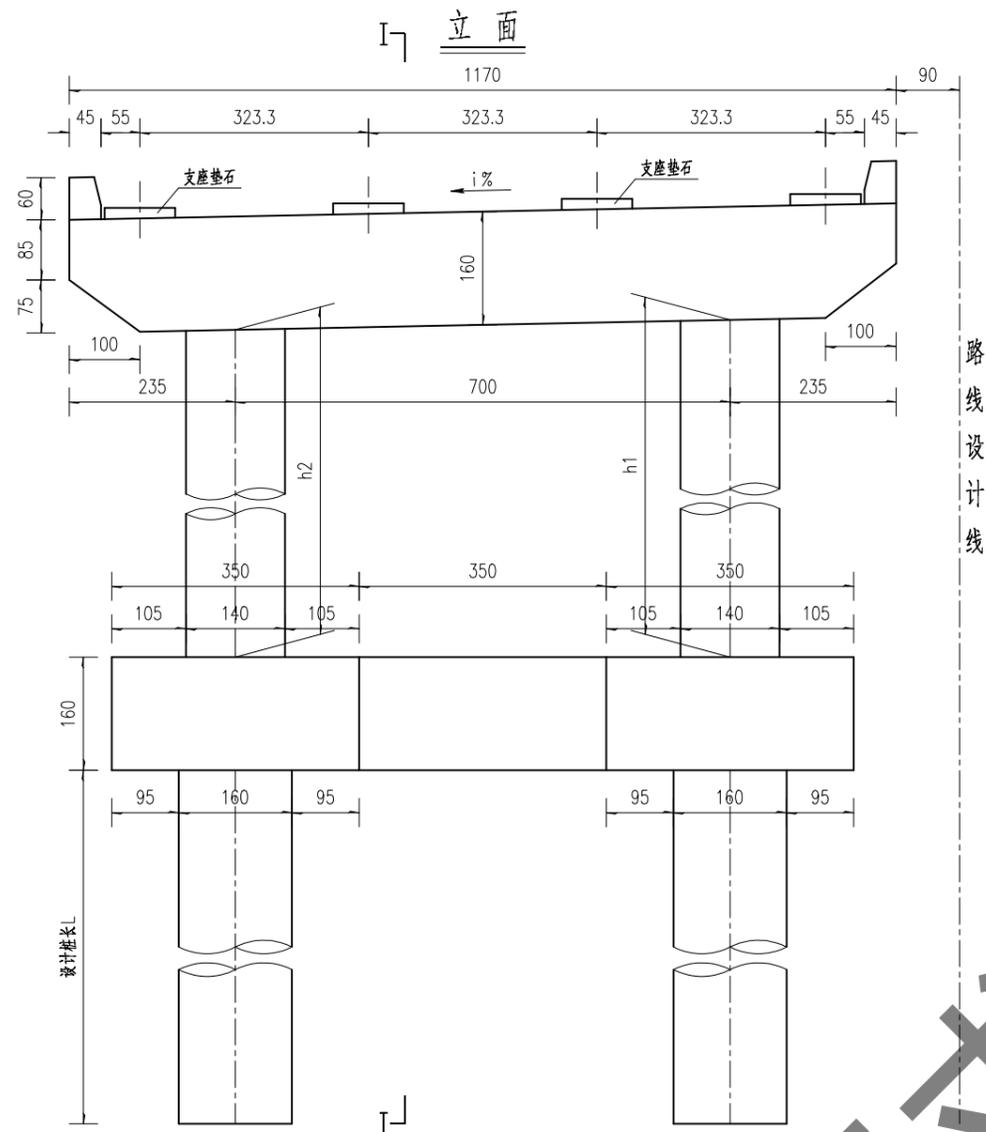
(1)预制构件耐久性设计应符合现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362)和现行《公路工程混凝土结构耐久性设计规范》(JTG/T 3310)的有关规定。

(2)接缝处连接材料应满足材料耐久性性能指标要求。

(3)接缝处可采取延性密封材料增强接缝处的耐久性;使用防水卷材时,其应符合现行《道桥用改性沥青防水卷材》(JC/T 974)的有关规定。

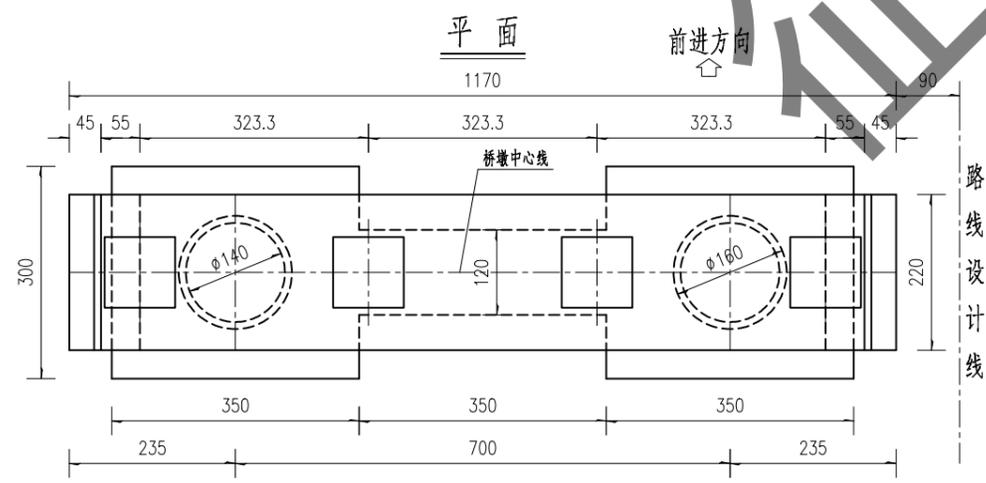
### 6 养护补充要求

运营期间应观测灌浆料以及灌浆料与相邻构件之间是否出现裂缝,观测周期宜每半年一次。



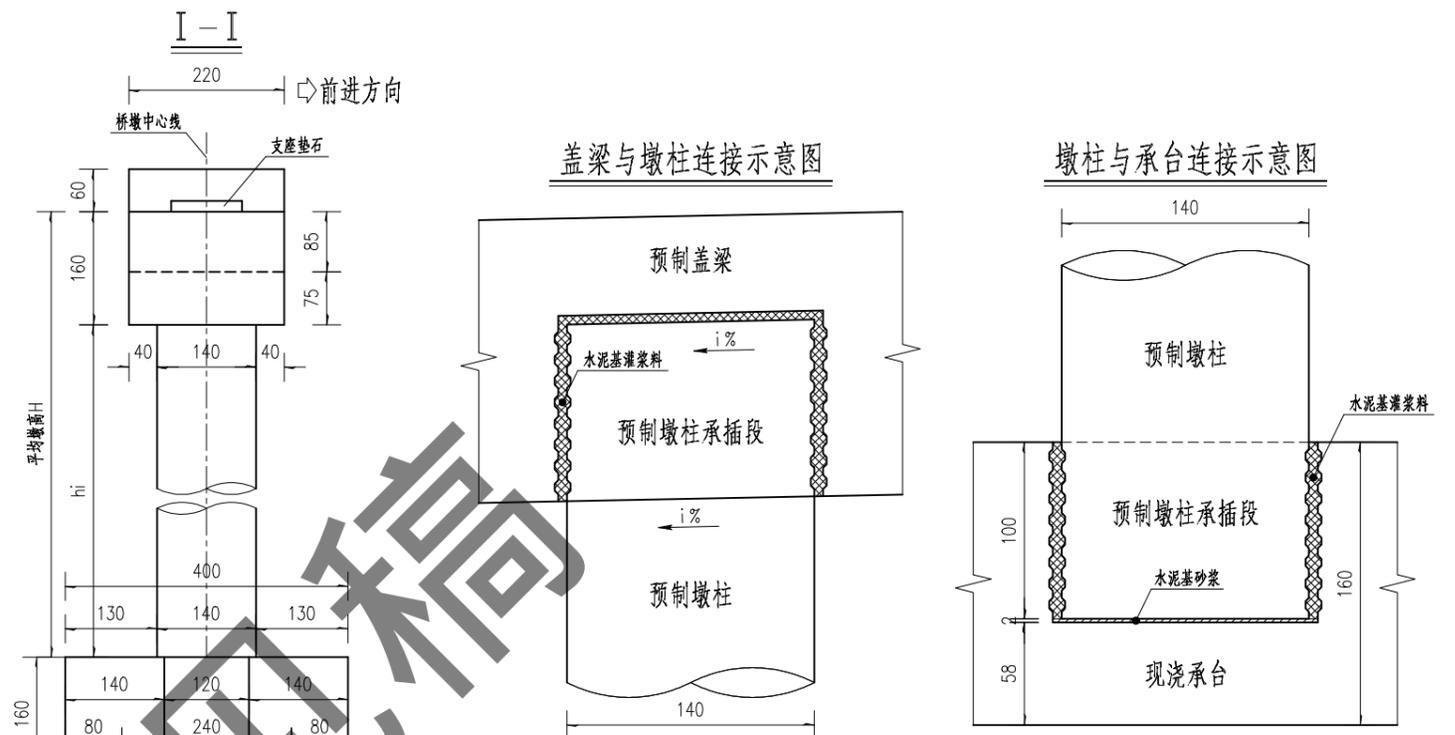
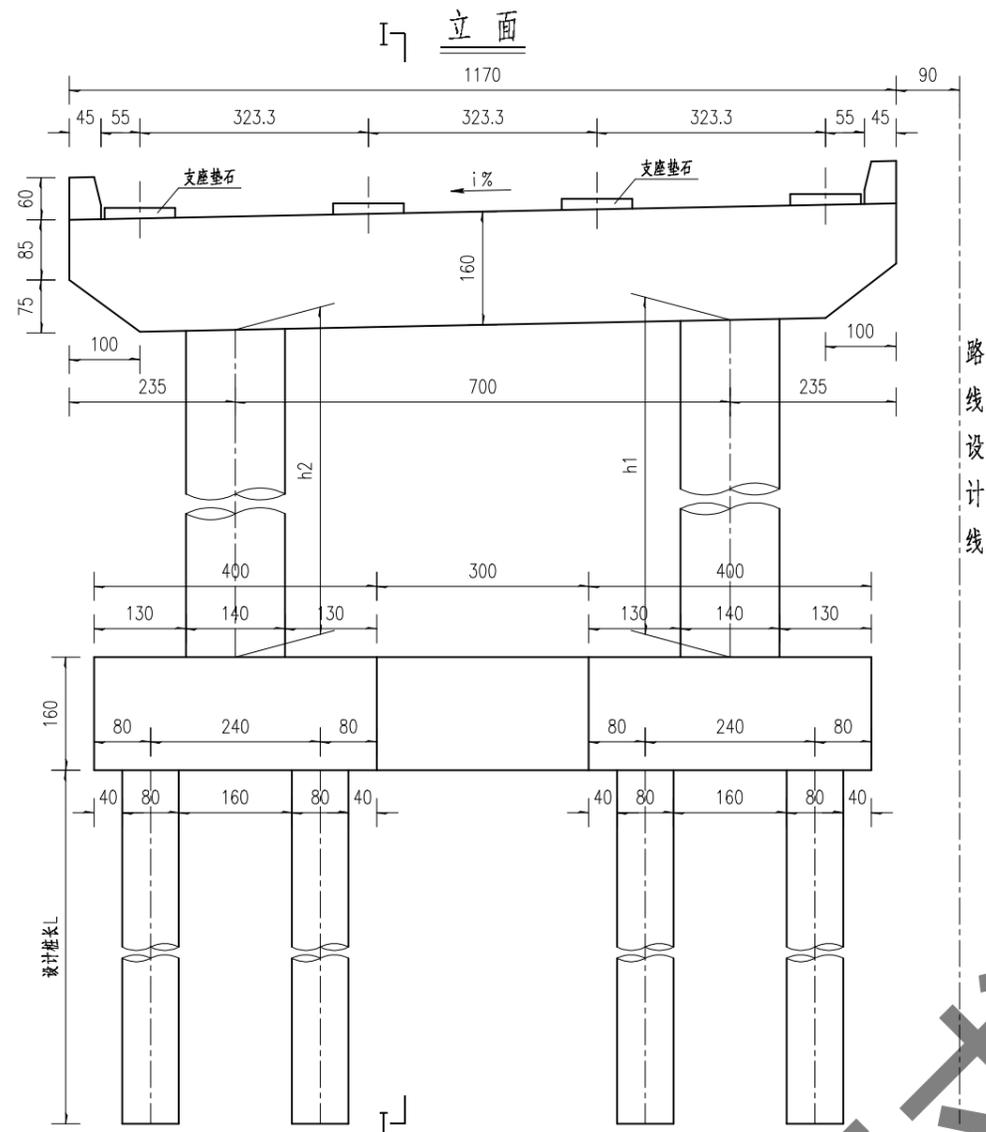
装配式桥墩构件的混凝土标号

预制盖梁	预制墩柱	现浇承台	灌注桩
C40	C40	C40	C35



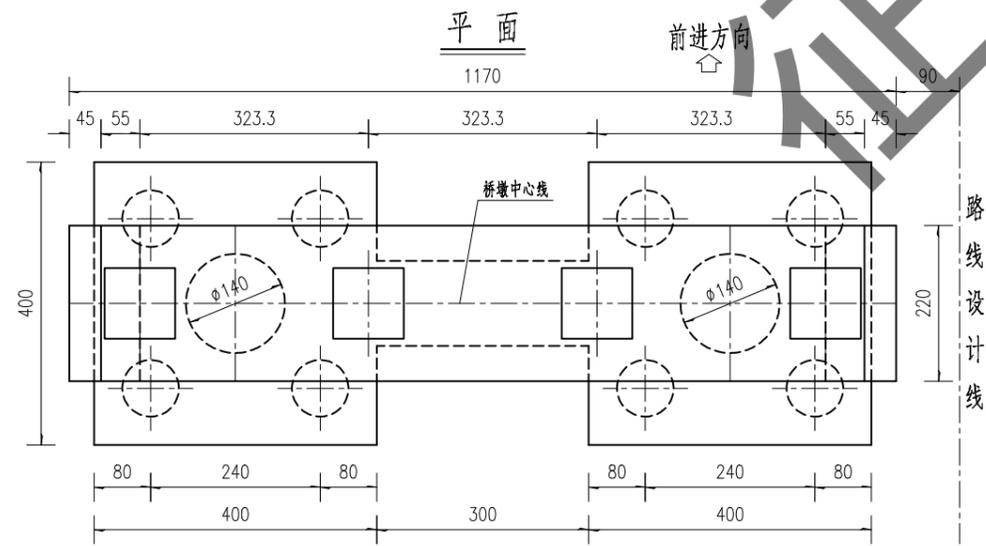
- 注：
1. 本图尺寸均以cm为单位。
  2. 盖梁和墩柱为预制拼装构件，可通过施工工艺试验进一步明确施工工艺、控制标准等相关指标和参数。
  3. 本图支座垫石仅为示意，使用时应根据具体工程项目的“上部结构通用图”、“桥型布置图”等进行细化设计。
  4. 本图未示意纵向限位措施，使用时应根据工程项目进行细化设计。
  5. 本方案按灌注桩基础，并预留墩梁一体架桥机前支腿支撑平台进行典型方案设计。
  6. 本方案预制盖梁与预制墩柱间、预制墩柱与现浇承台间均采用构件承插式连接。
  7. 本图适用于上部结构为预制小箱梁、标准跨径30m、路基宽度26.5m，墩高 $H < 10m$ 的装配式桥墩。当上部结构与本通用图不一致时，可参考本通用图进行设计。

双向四车道公路桥梁装配式桥墩	标准跨径：30m
	桥梁宽度：2×13m
装配式桥墩一般构造图	图号：SG-3-2



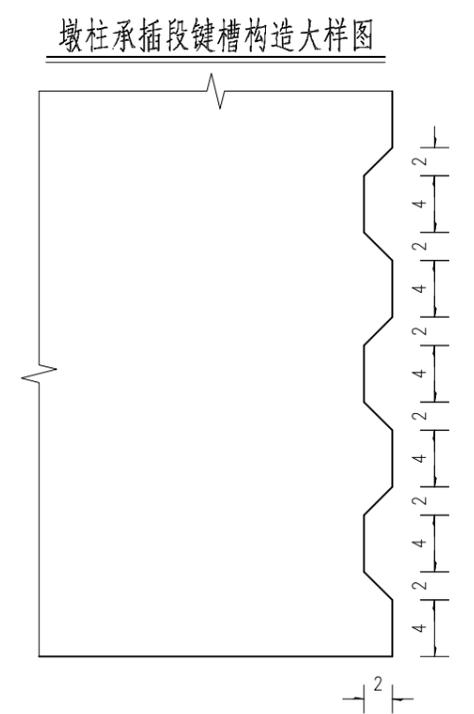
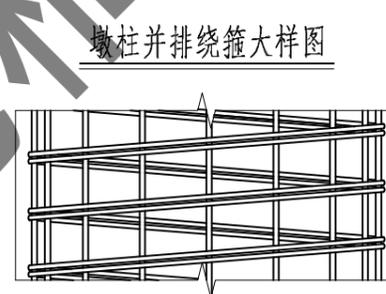
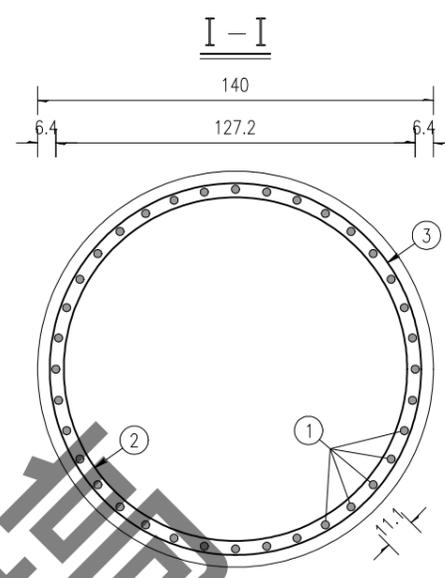
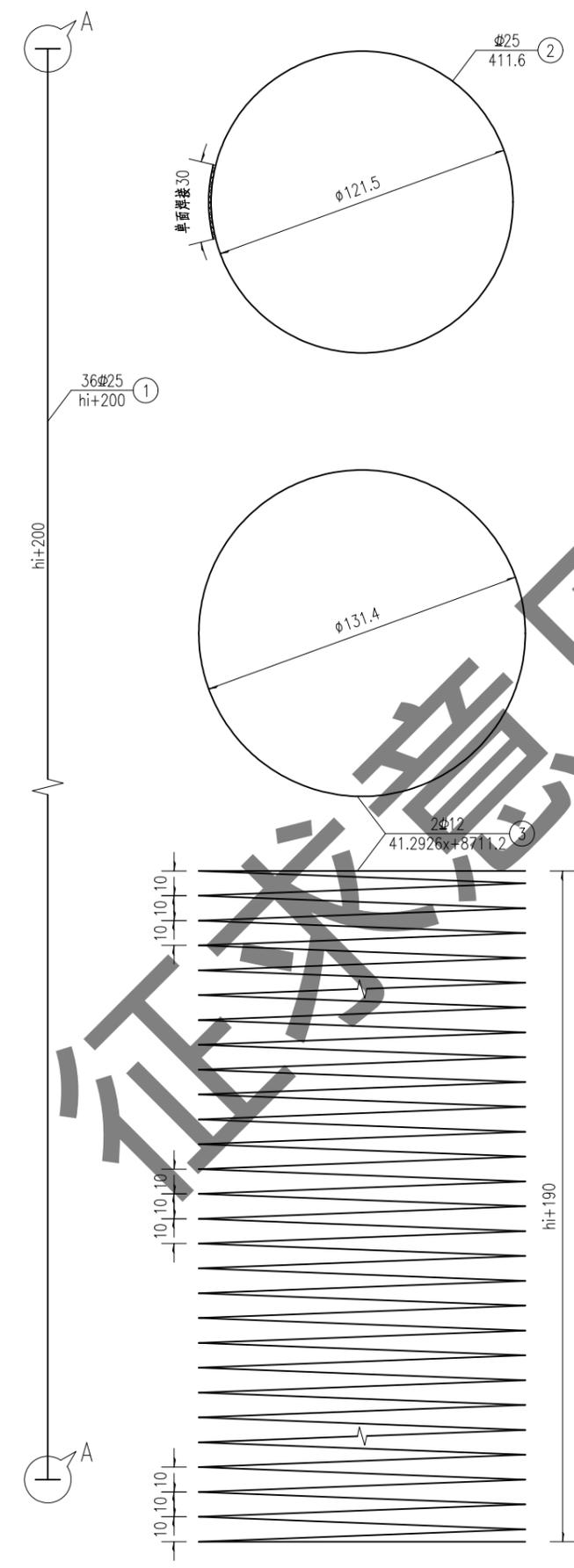
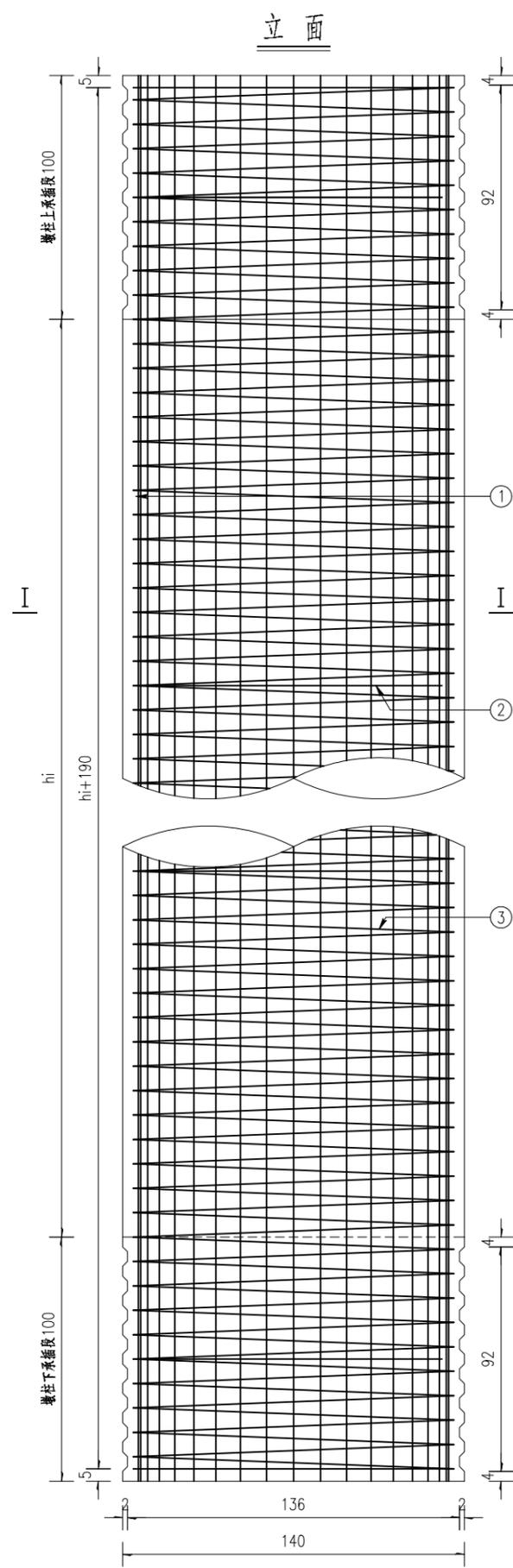
装配式桥墩构件的混凝土标号

预制盖梁	预制墩柱	现浇承台	预制管桩
C40	C40	C40	C80



- 注：
1. 本图尺寸均以cm为单位。
  2. 盖梁和墩柱为预制拼装构件，可通过施工工艺试验进一步明确施工工艺、控制标准等相关指标和参数。
  3. 本图支座垫石仅为示意，使用时应根据具体工程项目的“上部结构通用图”、“桥型布置图”等进行细化设计。
  4. 本图未示意纵向限位措施，使用时应根据工程项目进行细化设计。
  5. 本方案按管桩基础进行典型方案设计；管桩基础施工工艺应满足工程项目条件，必要时应通过施工工艺试验确定其可实施性。
  6. 预制管桩除应满足现行《先张法预应力混凝土管桩》(GB 13476)和《预应力混凝土管桩》(国家建筑标准设计图集10G409)的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。
  7. 该方案不宜设计为高桩承台，承台顶面最小埋深不宜小于50cm。
  8. 本方案预制盖梁与预制墩柱间、预制墩柱与现浇承台间均采用构件承插式连接。
  9. 本图适用于上部结构为预制小箱梁、标准跨径30m、路基宽度26.5m、墩高H<10m的装配式桥墩。当上部结构与本通用图不一致时，可参考本通用图进行设计。

双向四车道公路桥梁装配式桥墩	标准跨径：30m
	桥梁宽度：2×13m
装配式桥墩一般构造图	图号：SG-3-2

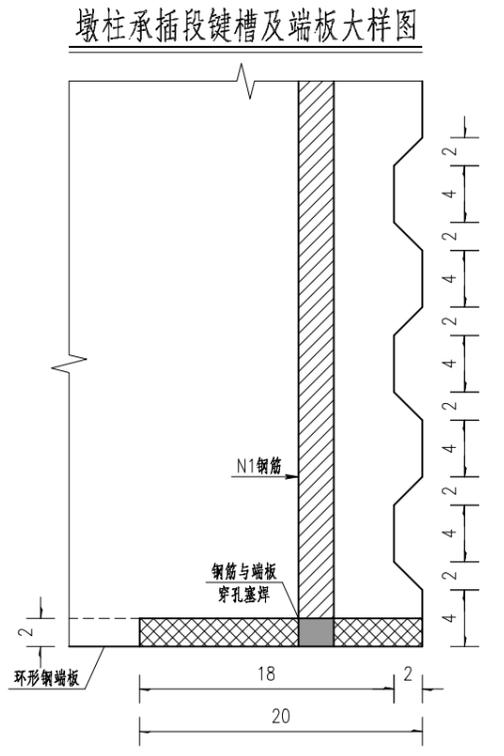
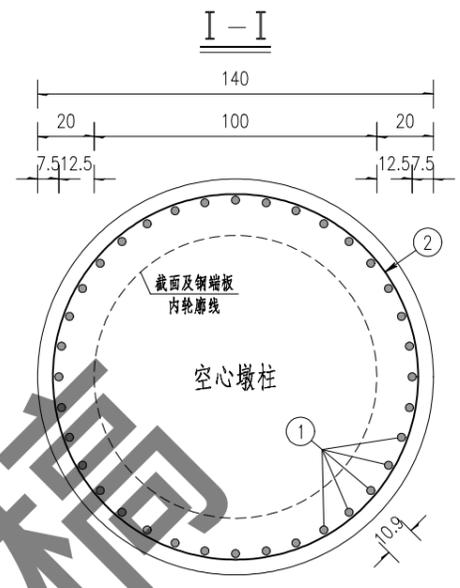
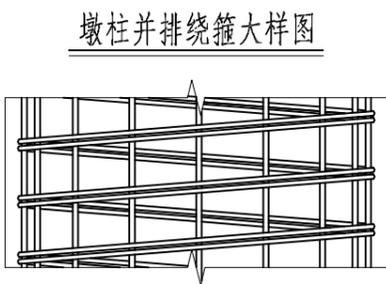
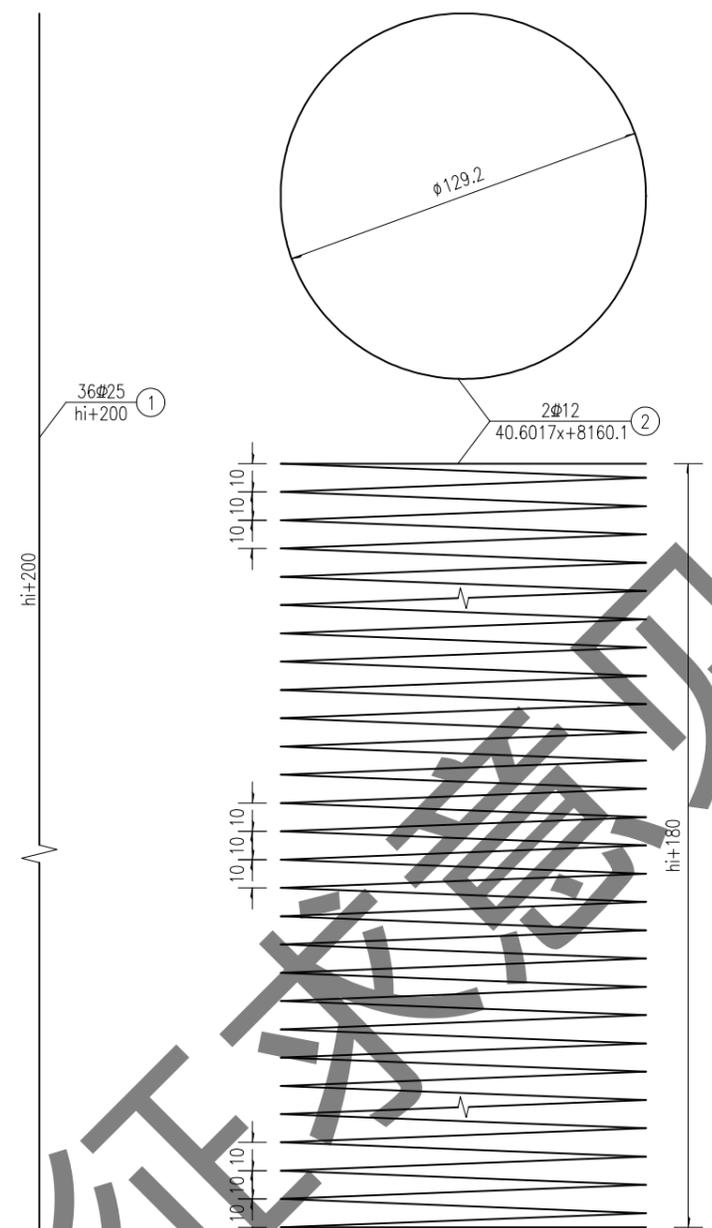
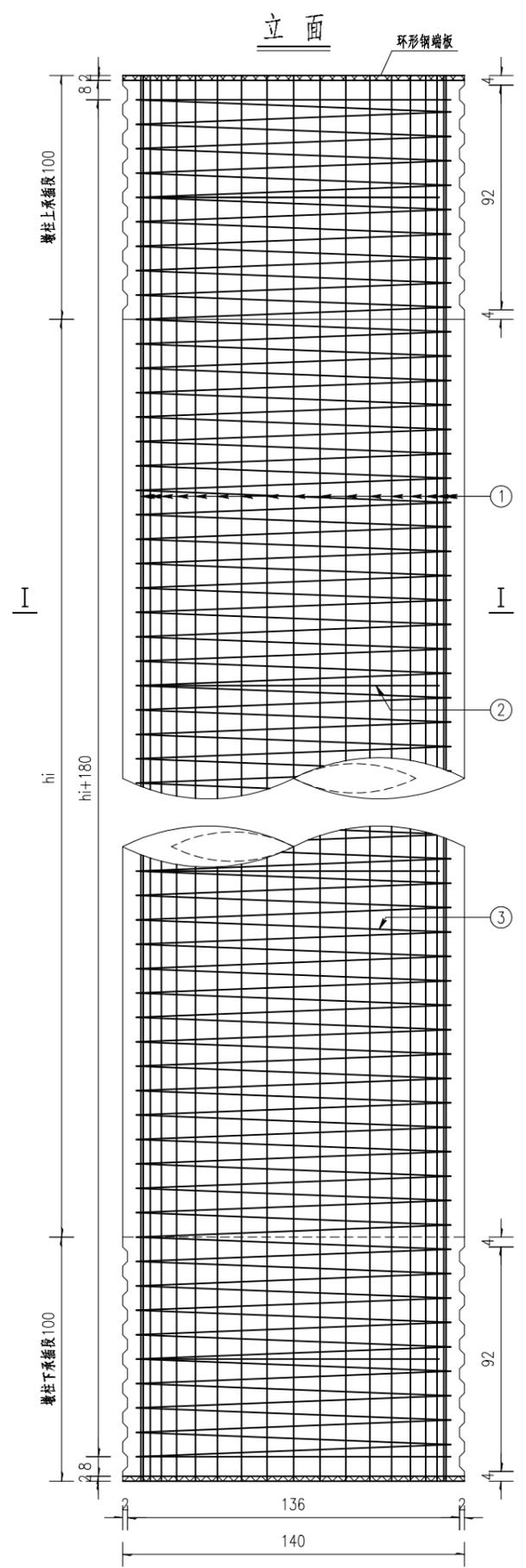


预制实心墩柱材料数量表

钢筋编号	直径 (mm)	单根长度 (cm)	根数	共长 (m)	共重 (kg)	总重 (kg)
1	φ25	hi+200	36	XXXX	XXXX	XXXX
2	φ25	411.6	n	XXXX	XXXX	
3	φ12	41.2926x+8711.2	2	XXXX	XXXX	XXXX
C40混凝土 (m³)					1.5394hi+3.08	

- 注:
1. 本图尺寸除钢筋直径以mm计外,其余均以cm计。
  2. 纵向钢筋采用HRB400钢筋;钢筋全锚固板应满足现行《钢筋锚固板应用技术规程》JGJ256的有关要求。
  3. 箍筋采用HRB400钢筋,双排并置全段加密,端部应弯折并深入核心区混凝土长度不小于20cm。
  4. 墩柱顶面及上承插段键槽环向应根据盖梁设计横坡预制为倾斜面,对应微调纵向钢筋长度。
  5. 加强筋N2采用单面焊,距离墩柱承插段顶面50cm处开始每隔2m设一根。
  6. 本图适用于环境类别:Ⅱ类(冻融环境);基本地震动峰值加速度:0.1g;采用本通用图时,预制墩柱除应满足承载力极限状态设计验算要求外,尚应满足抗震验算要求。

双向四车道公路桥梁装配式桥墩	标准跨径: 30m
	桥梁宽度: 2x13m
预制墩柱钢筋布置图	图号: SG-3-3



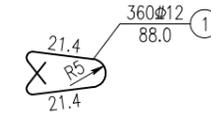
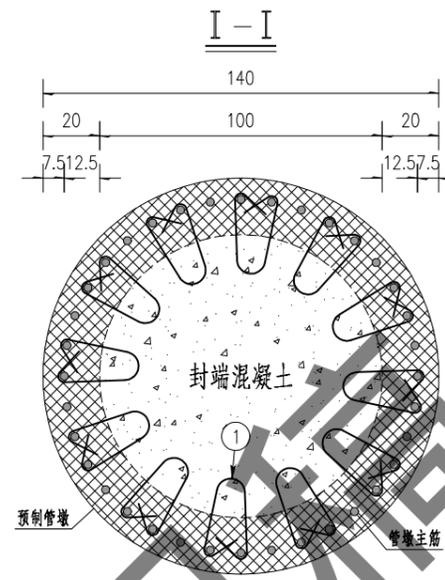
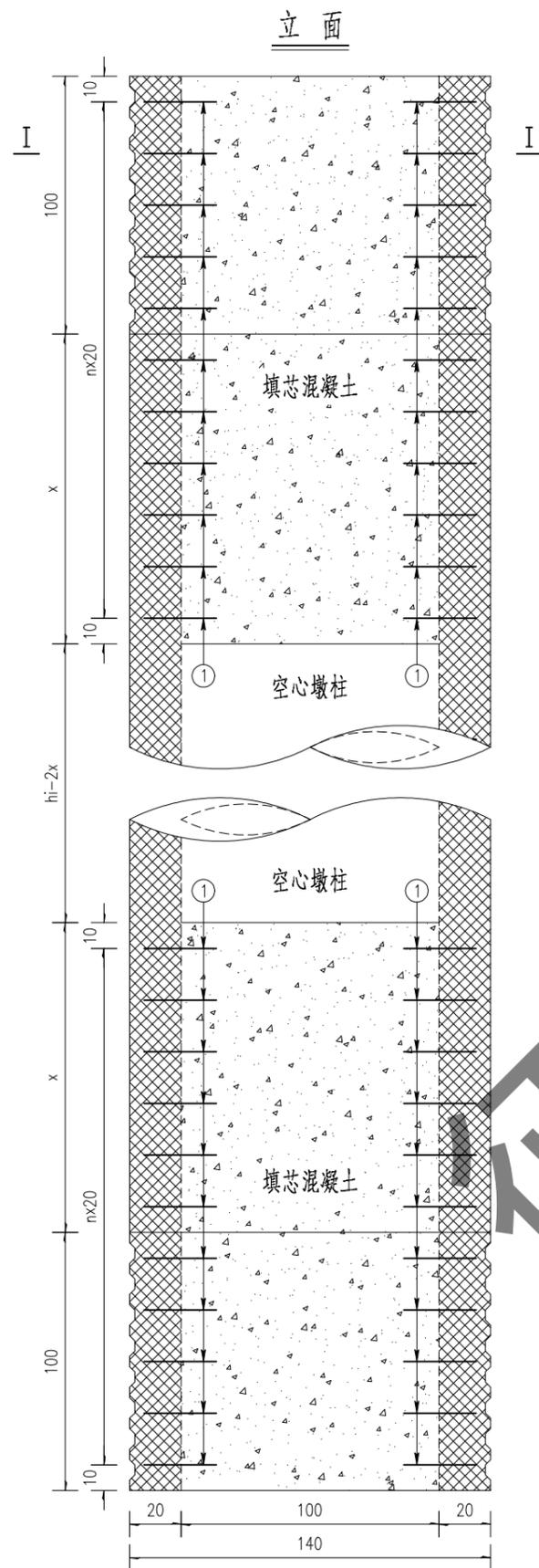
预制空心墩柱材料数量表

钢筋编号	直径 (mm)	单根长度 (cm)	根数	共长 (m)	共重 (kg)	总重 (kg)
1	25	hi+200	36	XXXX	XXXX	XXXX
2	12	40.6017hi+8160.1	2	XXXX	XXXX	XXXX
C70混凝土 (m³)		0.7540hi+1.48	Q235钢端板 (kg)		118.375x2=236.75	

注:

1. 本图尺寸除钢筋直径以mm计外,其余均以cm计。
2. 纵向钢筋采用HRB400钢筋;穿孔塞焊应满足现行《建筑钢结构焊接技术规程》JGJ81的有关要求。
3. 箍筋采用HRB400钢筋,双排并置全段加密,端部应弯折并深入核心区混凝土长度不小于20cm。
4. 墩柱顶部及上承插段键槽环向应根据盖梁设计横坡预制为倾斜面,对应微调纵向钢筋长度。
5. 管墩采用离心工艺预制,两侧设置20mm厚Q235钢端板。
6. 本图适用于环境类别: II类(冻融环境);基本地震动峰值加速度: 0.1g;采用本通用图时,预制墩柱除应满足承载力极限状态设计验算要求外,尚应满足抗震验算要求。

双向四车道公路桥梁装配式桥墩	标准跨径: 30m
	桥梁宽度: 2x13m
预制墩柱钢筋布置图	图号: SG-3-3



预制空心墩柱封端材料数量表

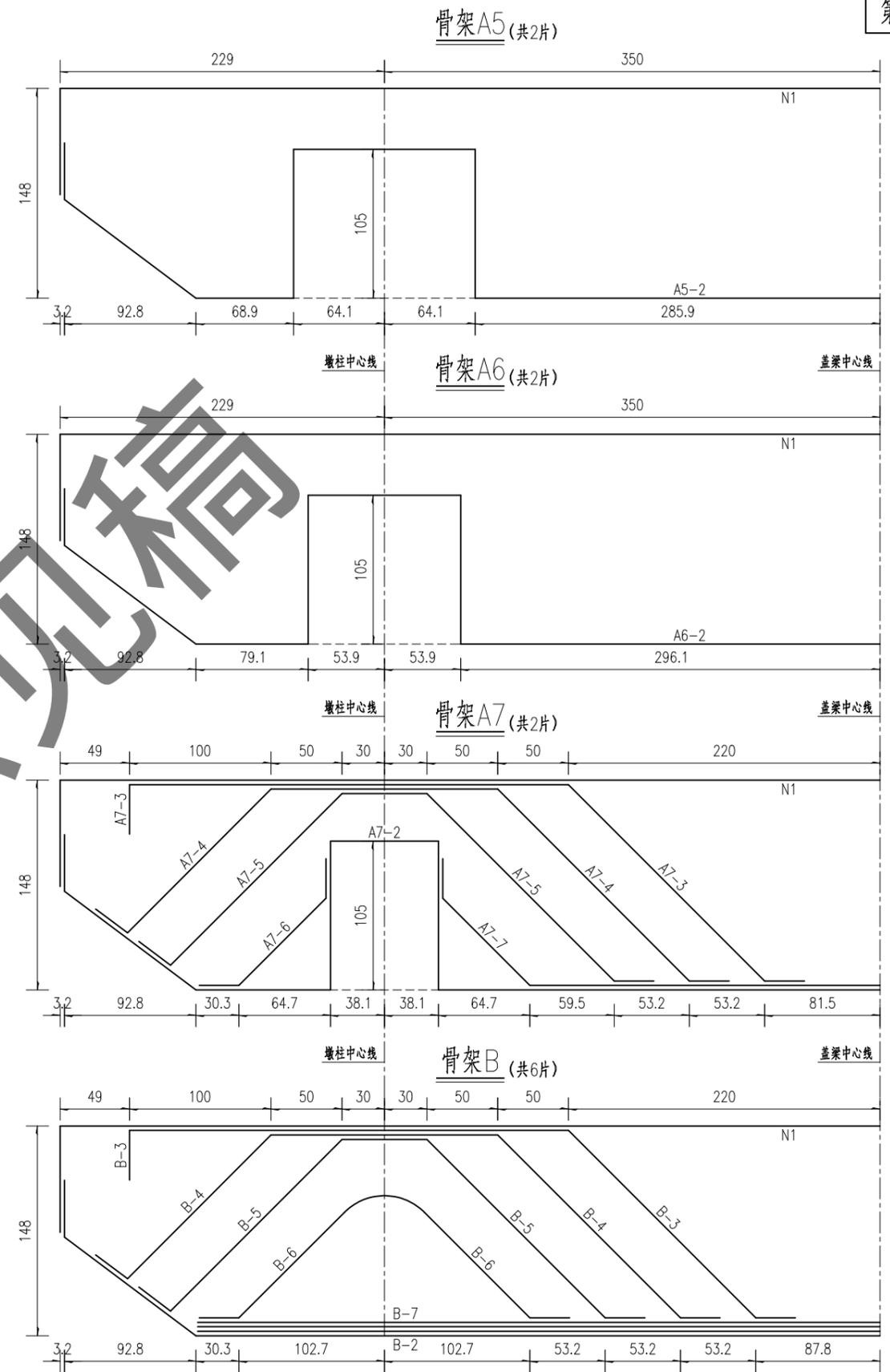
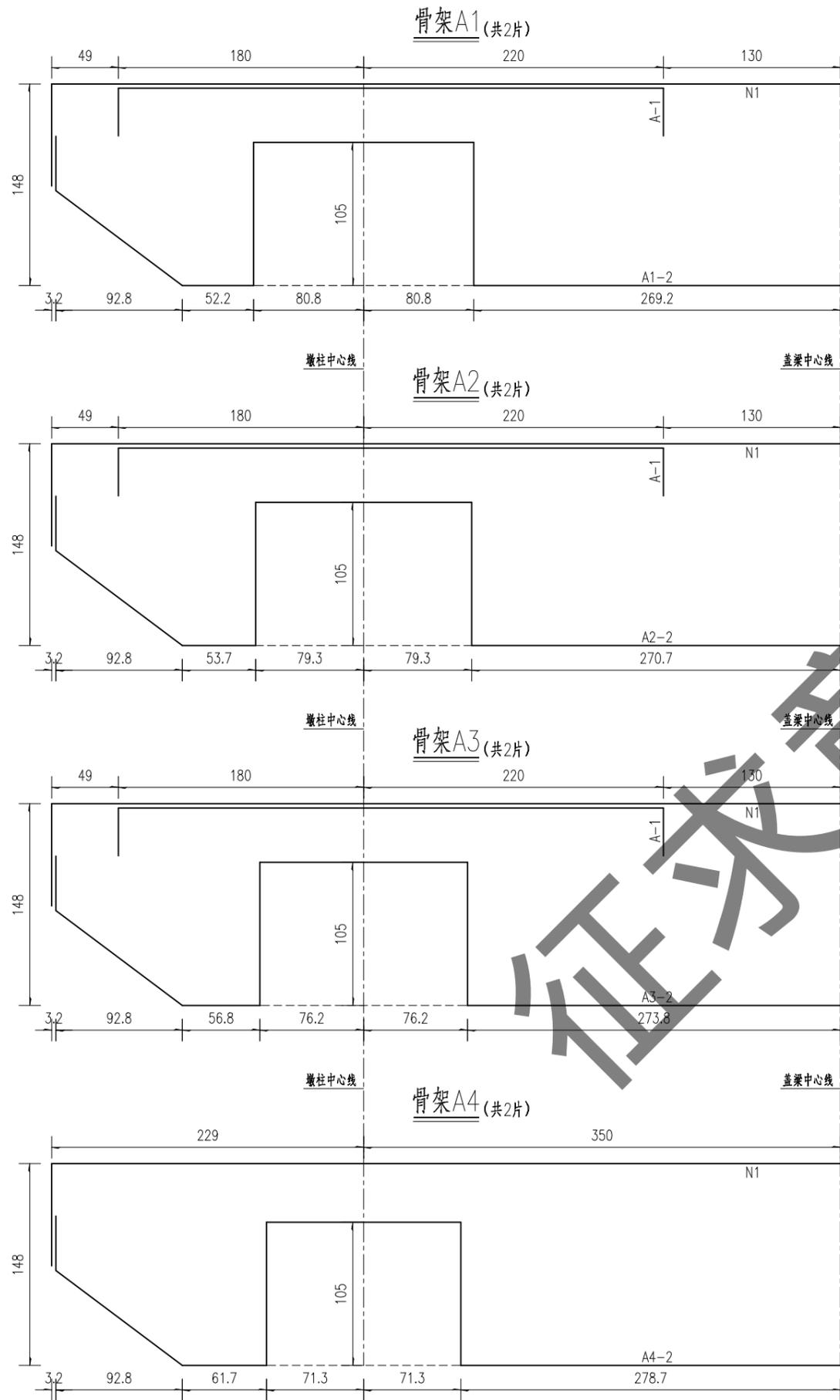
钢筋编号	直径 (mm)	单根长 (cm)	根数	总长 (m)	总重 (kg)
1	12	88.0	24n+24	—	—
C40补偿收缩混凝土			— (m³)		

注:

1. 本图尺寸除钢筋直径以mm计外,其余均以cm计。
2. 浇筑填芯混凝土前,应先将管墩内壁浮浆清理干净,并采用内壁涂刷水泥净浆、混凝土界面剂等措施,以提高填芯混凝土与离心预制管墩墩身混凝土的整体性。
3. 根据工程建设条件,设计填芯混凝土段的长度。
4. 填芯混凝土宜在预制工厂内完成浇筑,可全高度混凝土填芯并取消N1钢筋。

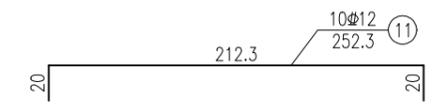
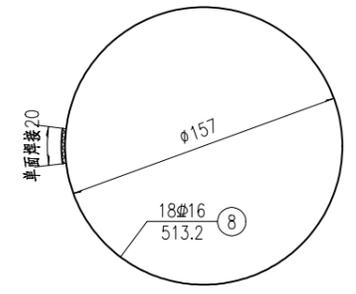
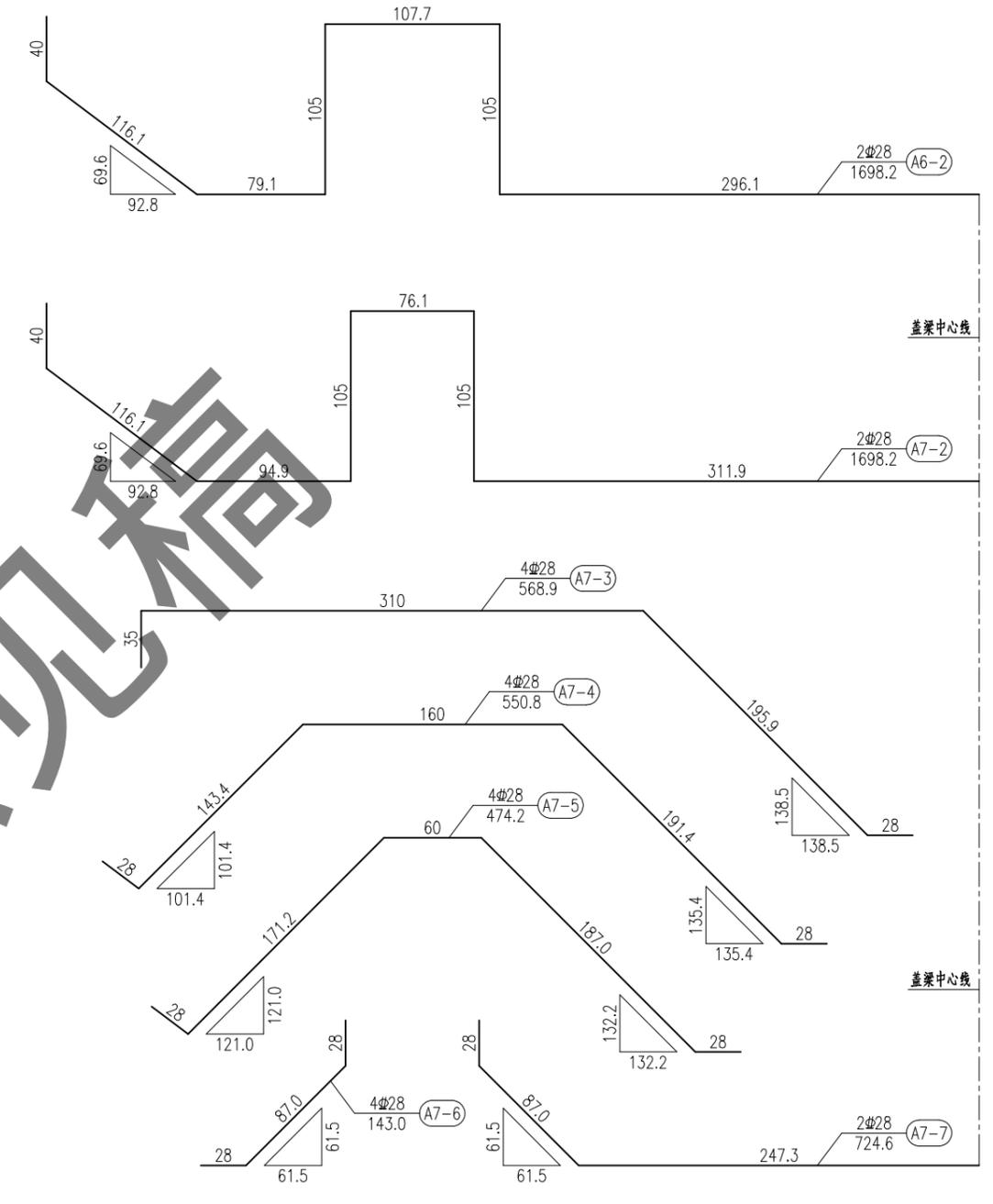
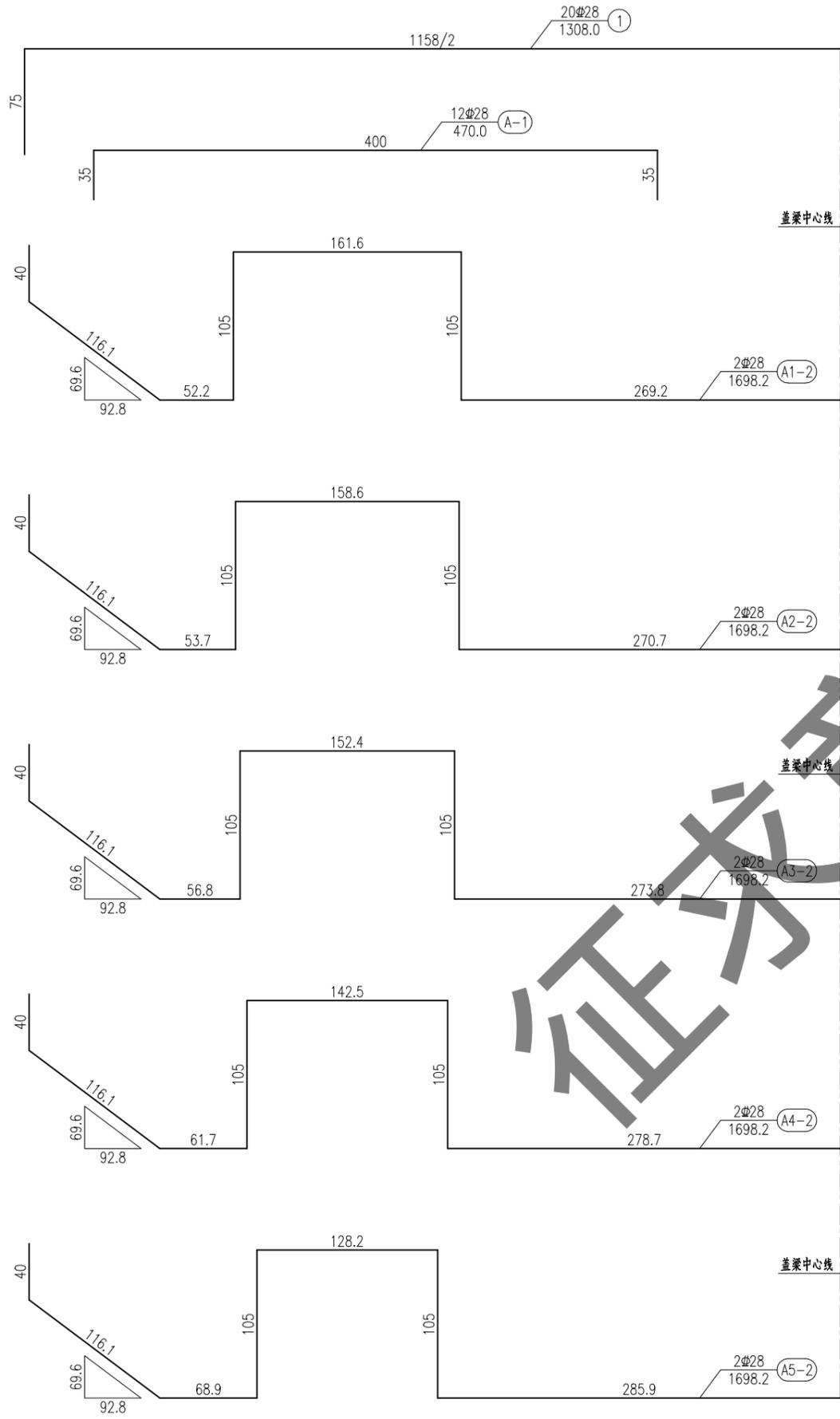
双向四车道公路桥梁装配式桥墩	标准跨径: 30m
	桥梁宽度: 2x13m
预制墩柱钢筋布置图	图号: SG-3-3





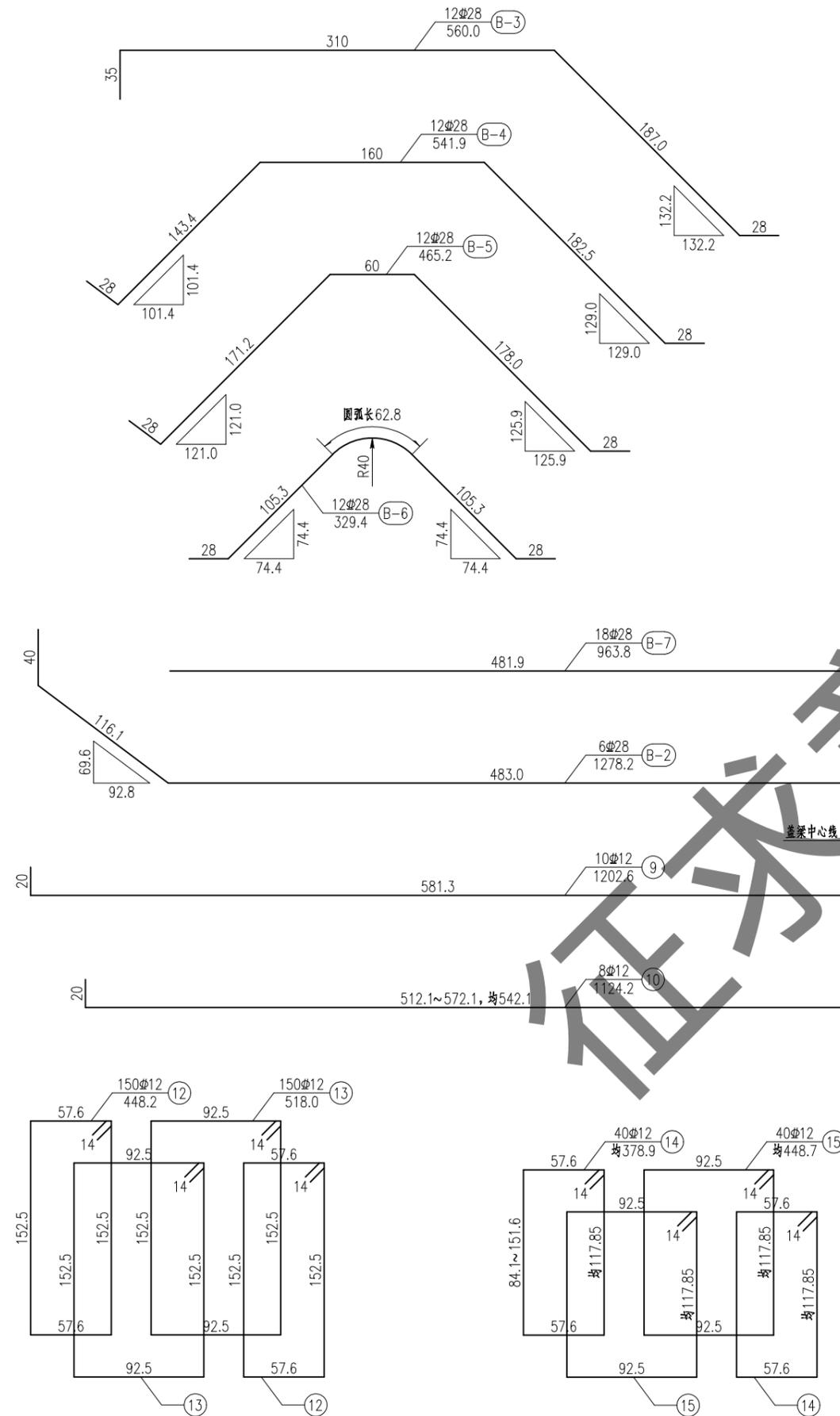
注：  
 1. 本图尺寸除钢筋直径以mm计外，其余均以cm计。  
 2. 本图与其它《预制桥墩盖梁钢筋布置图》配合使用。

双向四车道公路桥梁装配式桥墩	标准跨径: 30m
	桥梁宽度: 2×13m
预制盖梁钢筋布置图	图号: SG-3-4

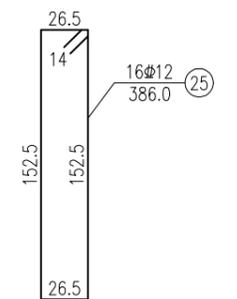
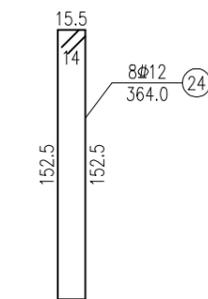
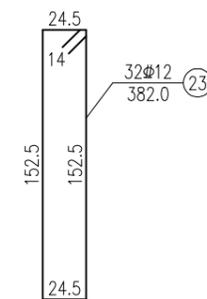
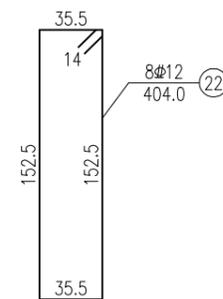
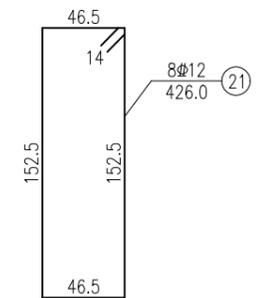
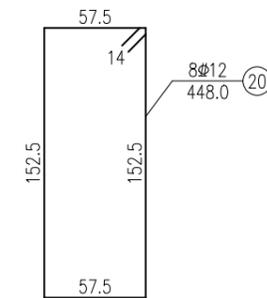
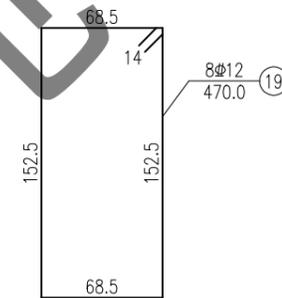
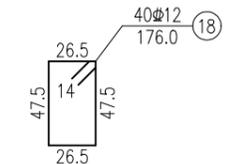
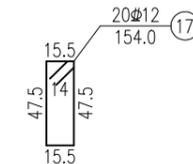
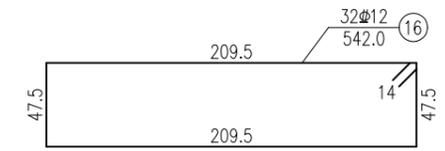
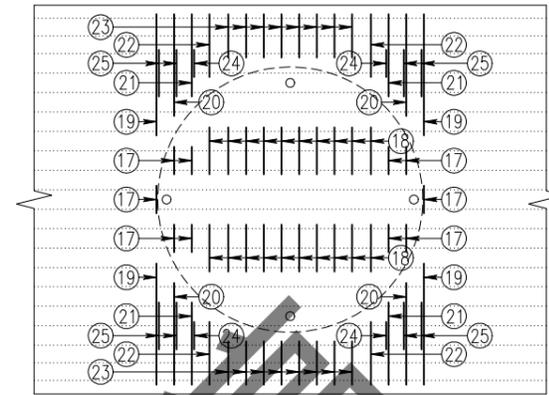


注：  
 1. 本图尺寸除钢筋直径以mm计外，其余均以cm计。  
 2. 本图与其它《预制桥墩盖梁钢筋布置图》配合使用。

双向四车道公路桥梁装配式桥墩	标准跨径：30m
	桥梁宽度：2×13m
预制盖梁钢筋布置图	图号：SG-3-4



承插孔周边17~25号箍筋位置图



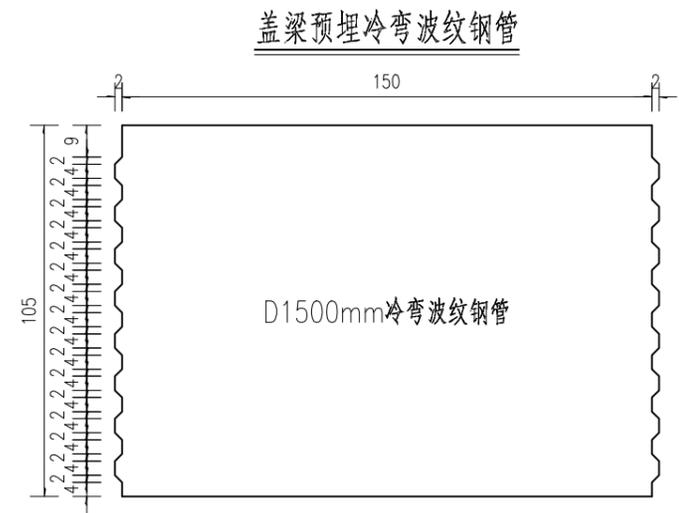
注:

1. 本图尺寸除钢筋直径以mm计外,其余均以cm计。
2. 本图与其它《预制桥墩盖梁钢筋布置图》配合使用。

双向四车道公路桥梁装配式桥墩	标准跨径: 30m
	桥梁宽度: 2x13m
预制盖梁钢筋布置图	图号: SG-3-4

预制盖梁材料数量表

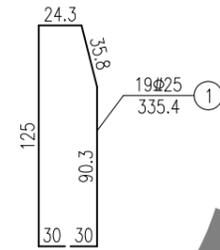
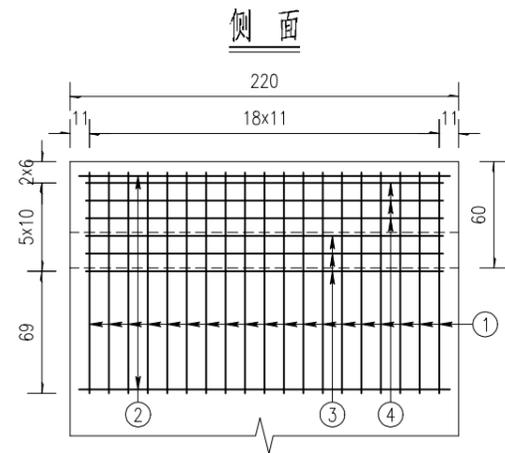
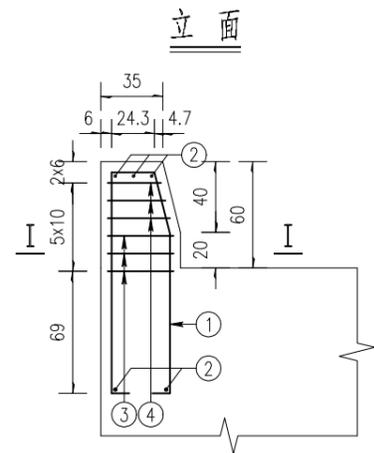
钢筋 编号	直径 (mm)	单根长 (cm)	根数	总长 (m)	总重 (kg)	合计 (kg)	钢筋 编号	直径 (mm)	单根长 (cm)	根数	总长 (m)	总重 (kg)	合计 (kg)	
1	Φ28	1308.0	20	261.60	1263.5	5396.9	8	Φ16	513.2	18	92.38	146.0	146.0	
A-1	Φ28	470.0	12	56.40	272.4		9	Φ12	1202.6	10	120.26	106.8	2347.4	
A1-2	Φ28	1698.2	2	33.96	164.0		10	Φ12	1124.2	8	89.94	79.9		
A2-2	Φ28	1698.2	2	33.96	164.0		11	Φ12	252.3	10	25.23	22.4		
A3-2	Φ28	1698.2	2	33.96	164.0		12	Φ12	448.2	150	672.30	597.0		
A4-2	Φ28	1698.2	2	33.96	164.0		13	Φ12	518.0	150	777.00	690.0		
A5-2	Φ28	1698.2	2	33.96	164.0		14	Φ12	均378.9	40	151.56	134.6		
A6-2	Φ28	1698.2	2	33.96	164.0		15	Φ12	均448.7	40	179.48	159.4		
A7-2	Φ28	1698.2	2	33.96	164.0		16	Φ12	542.0	32	173.44	154.0		
A7-3	Φ28	568.9	4	22.76	109.9		17	Φ12	154.0	20	30.80	27.4		
A7-4	Φ28	550.8	4	22.03	106.4		18	Φ12	176.0	40	70.40	62.5		
A7-5	Φ28	474.2	4	18.97	91.6		19	Φ12	470.0	8	37.60	33.4		
A7-6	Φ28	143.0	4	5.72	27.6		20	Φ12	448.0	8	35.84	31.8		
A7-7	Φ28	724.6	2	14.49	70.0		21	Φ12	426.0	8	34.08	30.3		
B-2	Φ28	1278.2	6	76.69	370.4		22	Φ12	404.0	8	32.32	28.7		
B-3	Φ28	560.0	12	67.20	324.6		23	Φ12	382.0	32	122.24	108.5		
B-4	Φ28	541.9	12	65.03	314.1		24	Φ12	364.0	8	29.12	25.9		
B-5	Φ28	465.2	12	55.82	269.6		25	Φ12	386.0	16	61.76	54.8		
B-6	Φ28	329.4	12	39.53	190.9		D1500冷弯波纹管		长度:2x1.05=2.1m	重量: 236.3kg				
B-7	Φ28	963.8	18	173.48	837.9		C40混凝土 (m³)				35.82			



注:

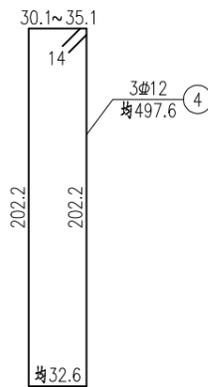
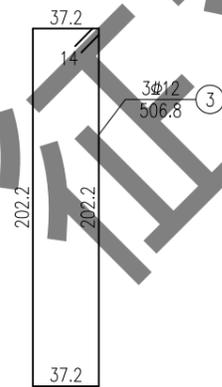
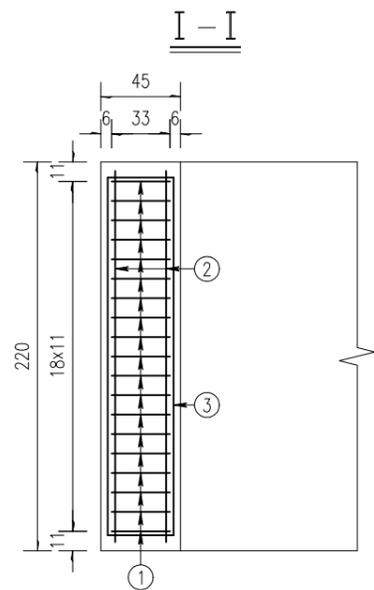
1. 本图尺寸除钢筋直径以mm计外,其余均以cm计。
2. 骨架钢筋均采用双面焊接,焊缝长度不小于5d。骨架焊缝在两根钢筋相重叠段增加,其焊缝间距不大于100cm,焊缝长度为2.5d。
3. 承台预留承插孔对钢筋精度要求较高,钢筋下料宜采用自动化设备;且施工前宜进行预拼校核下料的钢筋长度。
4. 冷弯波纹管内径1500mm,壁厚2.7mm,单个长度1050mm,波形如图所示;其他要求应满足现行《冷弯波纹管》(GB/T 34567)的有关规定。  
波纹管应按“冷弯波纹管承台顶大样图”进行下料,安装方向与承台处相反;先制造成型后镀锌防腐。
5. 盖梁预制时应注意预埋防震挡块及支座垫石钢筋;钢筋发生干扰时,可适当挪动其中一种。
6. 预制盖梁根据盖梁的设计横坡将键槽和构件预制为倾斜面。
7. N8钢筋焊接接头应错开布置,通过与骨架钢筋绑扎进行定位。
8. 本图与其它《预制桥墩盖梁钢筋布置图》配合使用。

双向四车道公路桥梁装配式桥墩	标准跨径: 30m
	桥梁宽度: 2x13m
预制盖梁钢筋布置图	图号: SG-3-4



单个桥墩防震挡块材料数量表 (两个挡块)

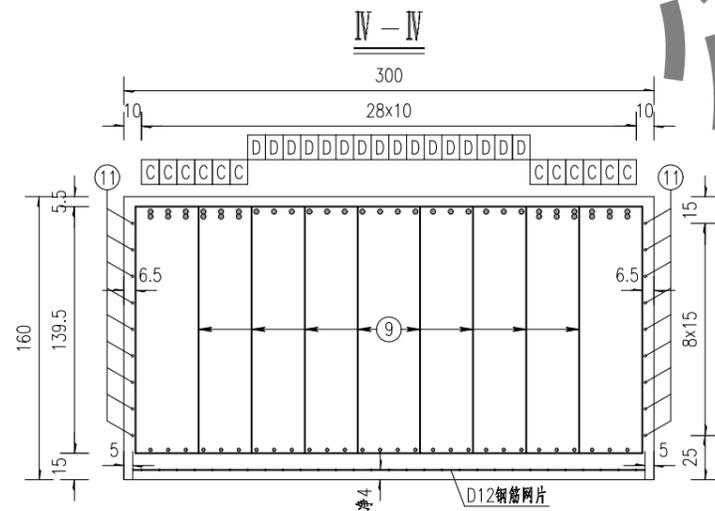
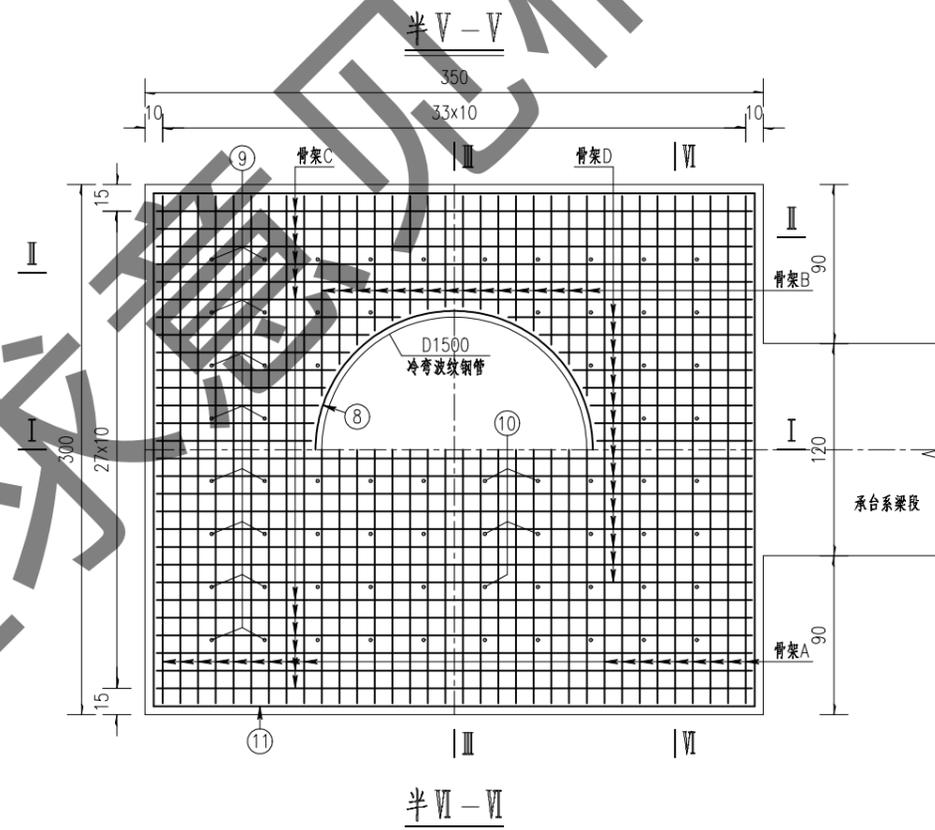
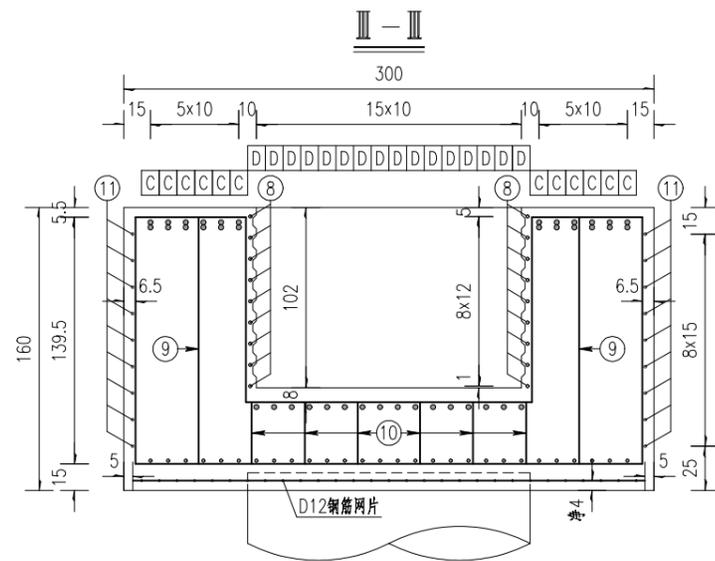
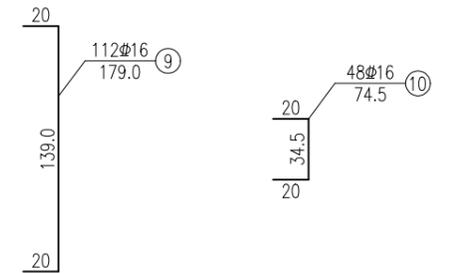
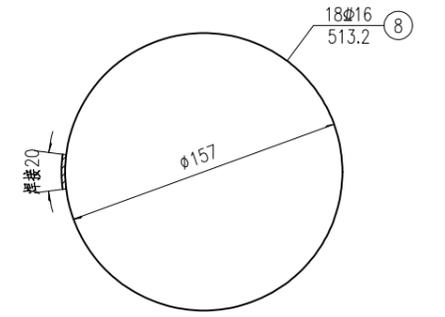
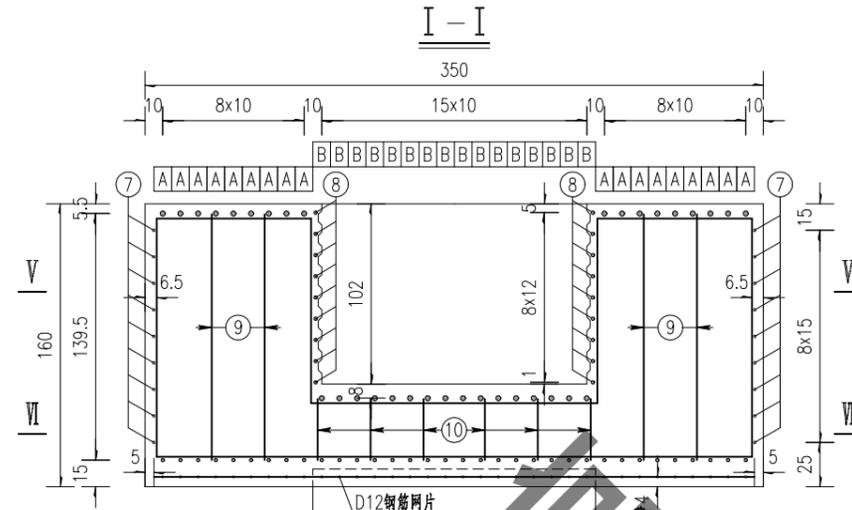
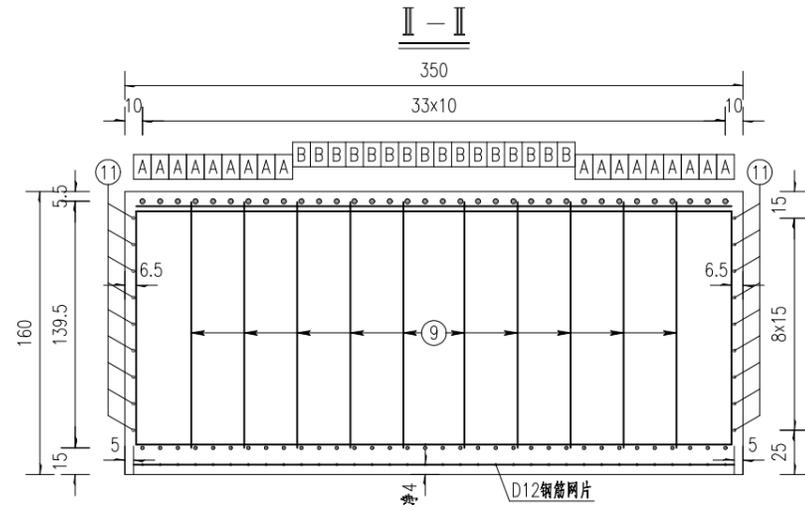
钢筋编号	直径 (mm)	单根长 (cm)	根数	总长 (m)	总重 (kg)	合计 (Kg)
1	Φ22	335.4	38	127.45	379.8	74.8
2	Φ12	240.0	10	24.00	21.3	
3	Φ12	506.8	6	30.41	27.0	
4	Φ12	均497.6	6	29.86	26.5	
C40混凝土 (m³)					1.10	



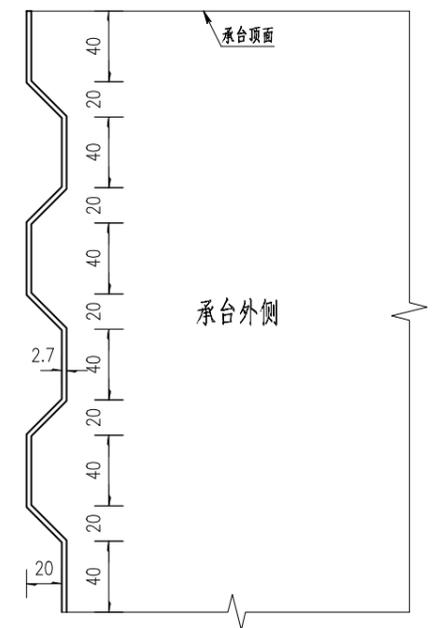
注:

1. 本图尺寸除钢筋直径以mm计外,其余均以cm计。
2. 当挡块构造尺寸与本通用图不一致时,可参考本通用图进行设计。

双向四车道公路桥梁装配式桥墩	标准跨径: 30m
	桥梁宽度: 2x13m
盖梁挡块钢筋布置图	图号: SG-3-5



冷弯波纹钢管大样图 (单位mm)

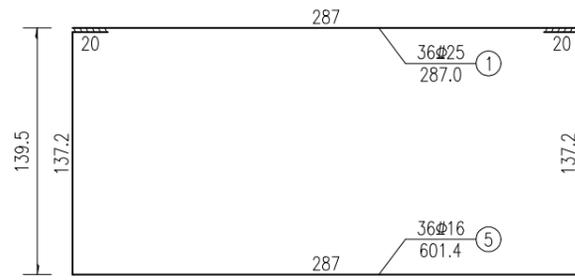


注:

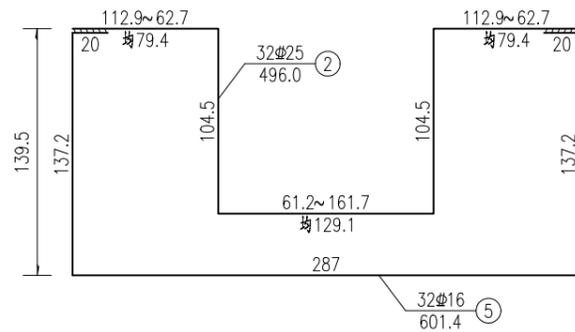
1. 本图尺寸除注明以及钢筋直径以mm计外,其余均以cm计。
2. 承台底铺设20cm厚C20混凝土垫层。

双向四车道公路桥梁装配式桥墩	标准跨径: 30m
	桥梁宽度: 2x13m
现浇承台钢筋布置图	图号: SG-3-6

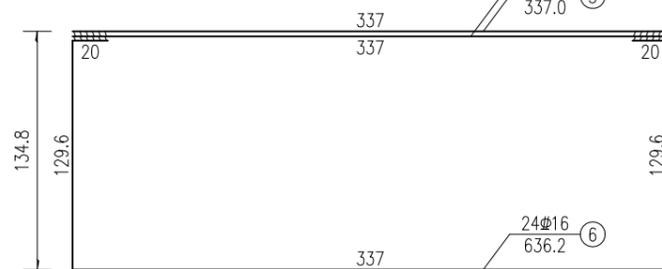
骨架A (36片)



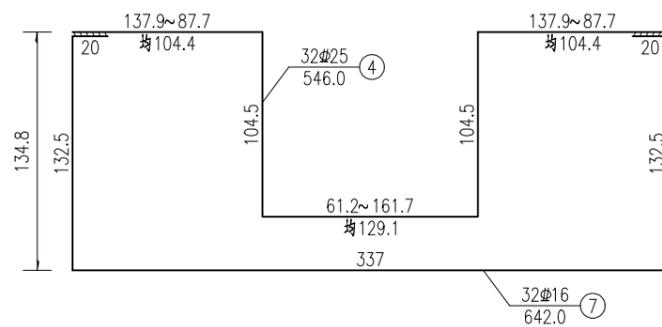
骨架B (32片)



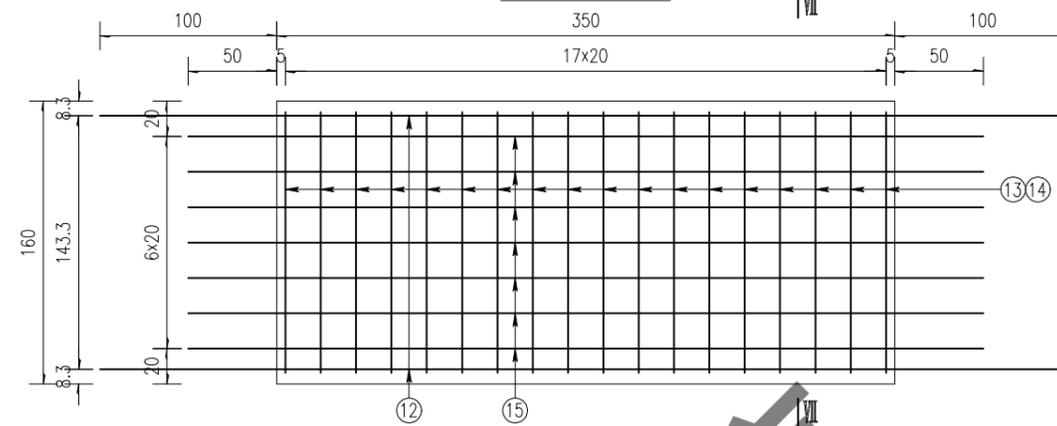
骨架C (24片)



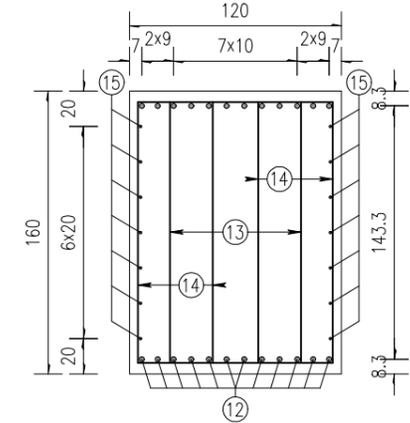
骨架D (32片)



承台系梁立面



VII-VII



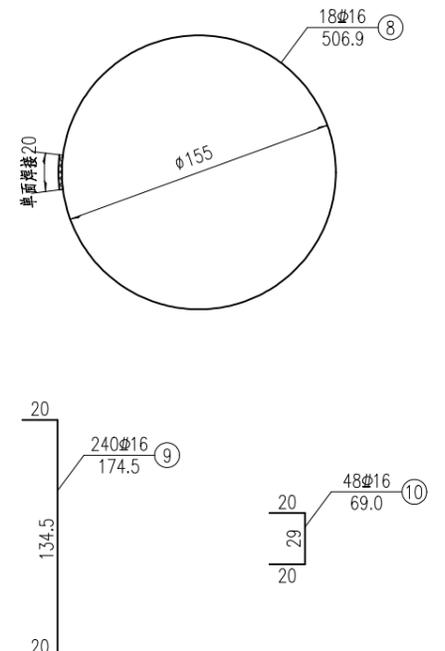
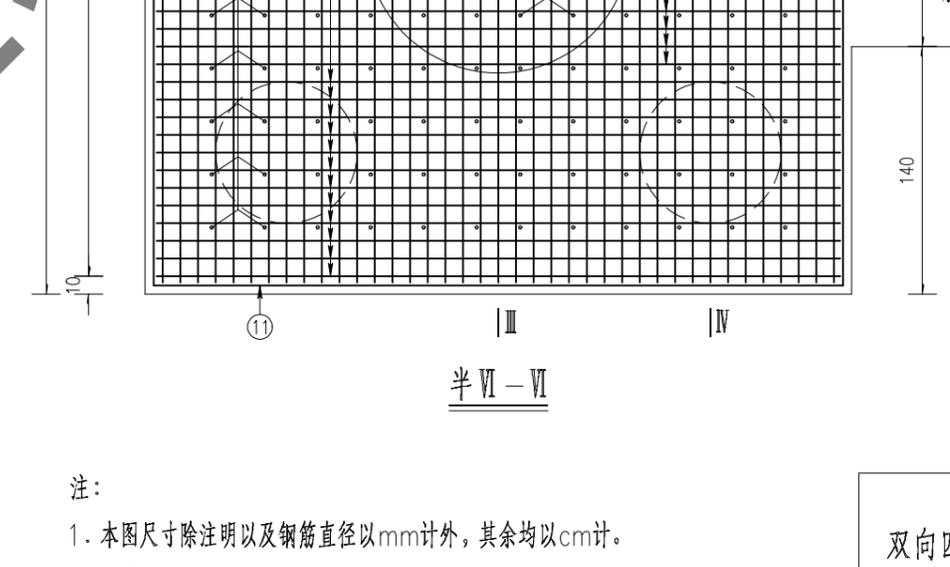
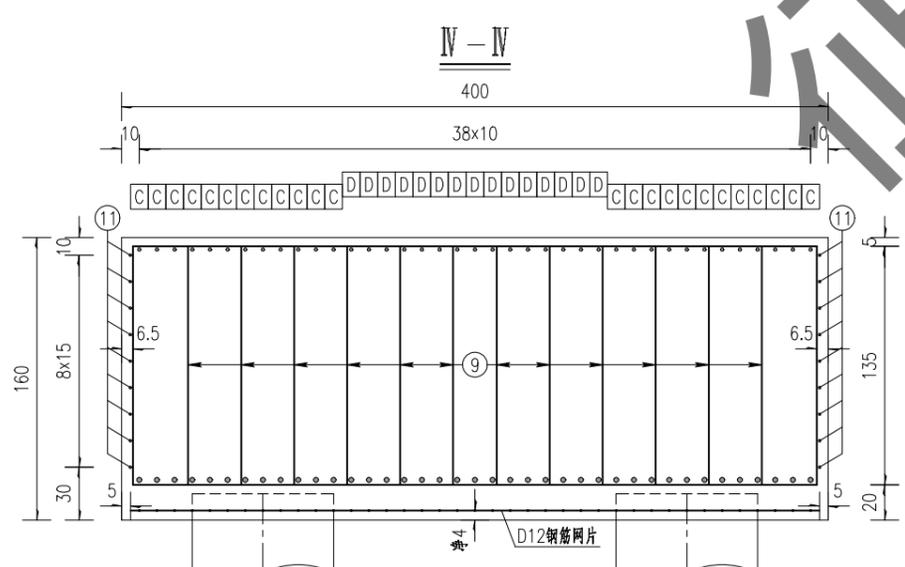
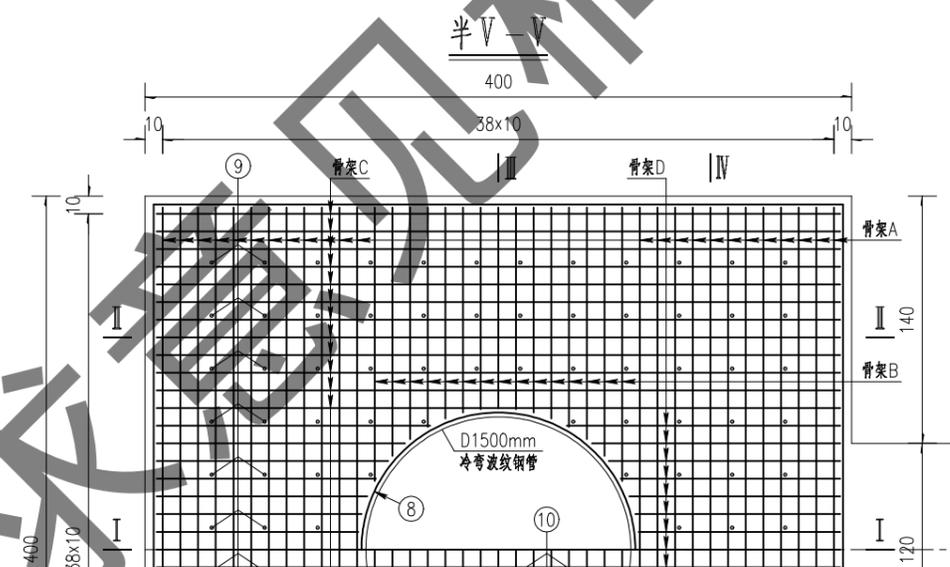
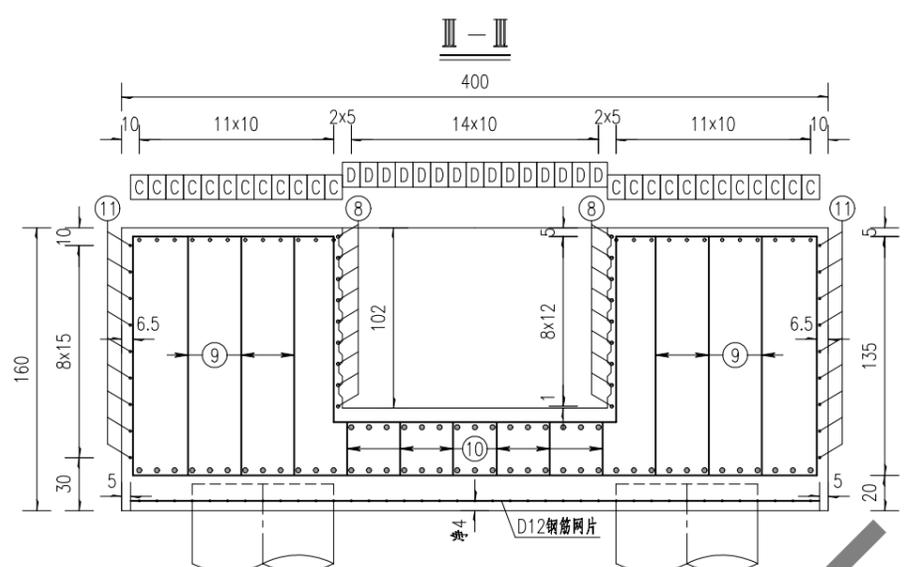
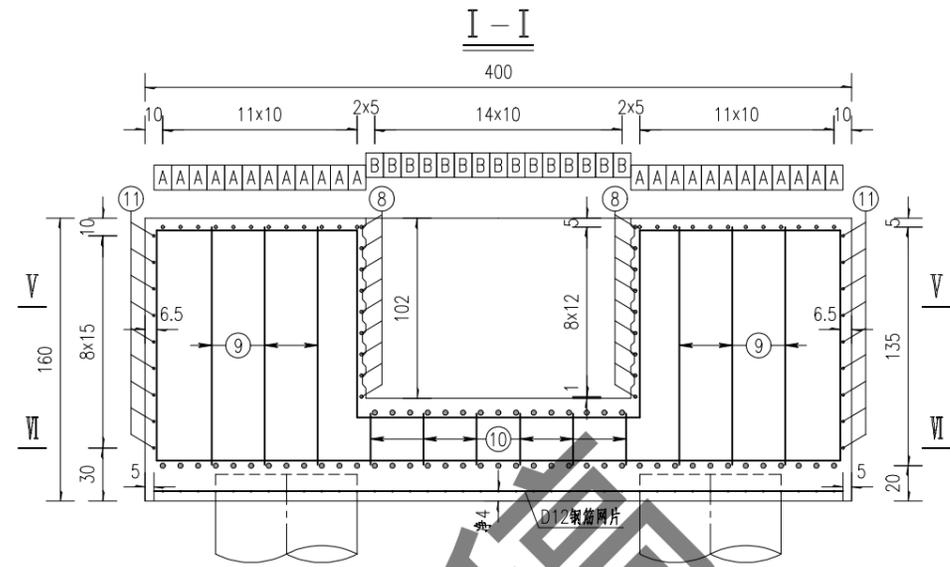
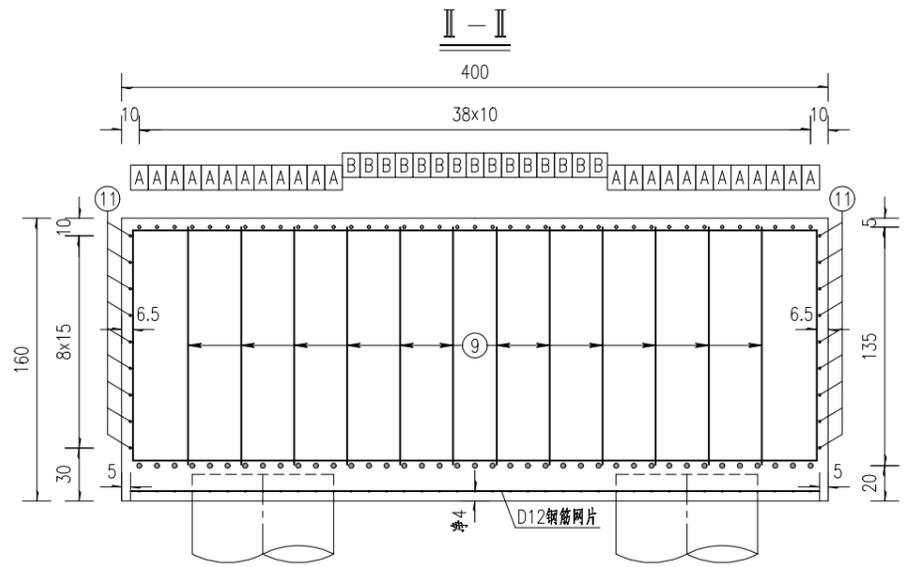
桥墩承台材料数量表

钢筋编号	直径 (mm)	单根长 (cm)	根数	总长 (m)	总重 (kg)	合计 (Kg)
1	Φ25	287.0	36	103.32	397.8	2812.6
2	Φ25	496.0	32	158.72	611.1	
3	Φ25	337.0	48	161.76	622.8	
4	Φ25	546.0	32	174.72	672.7	
12	Φ25	550.0	24	132.00	508.2	1693.3
5	Φ16	601.4	64	384.90	608.1	
6	Φ16	636.2	24	152.69	241.3	
7	Φ16	642.0	32	205.44	324.6	
8	Φ16	513.2	18	92.38	146.0	
9	Φ16	179.0	112	200.48	316.8	475.9
10	Φ16	74.5	48	35.76	56.5	
11	Φ12	670.4	36	241.34	214.3	
13	Φ12	471.6	18	84.89	75.4	
14	Φ12	407.6	36	146.74	130.3	
15	Φ12	450.0	14	63.00	55.9	
D1500冷弯波纹管		长度:2x1.05=2.1m			重量: 236.3kg	
D12焊接钢筋网		面积:19.72m²			重量: 350.0kg	
				C40混凝土:36.72m³	C20垫层混凝土:5.04m³	

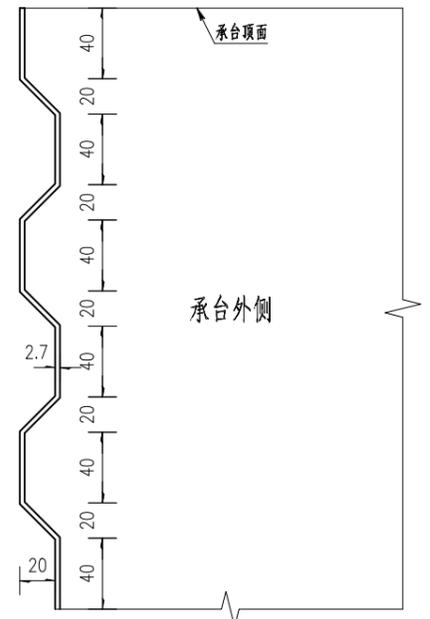
注:

1. 本图尺寸除注明以及钢筋直径以mm计外,其余均以cm计。
2. 骨架A、B、C、D钢筋均采用双面焊接,焊缝长度不小于5d。
3. 承台预留承插孔对钢筋精度要求较高,钢筋下料宜采用自动化设备;且施工前宜进行预拼校核下料的钢筋长度。
4. 冷弯波纹管管径1500mm,壁厚2.7mm,单个长度1050mm,波形如图所示;其他要求应满足现行《冷弯波纹管》(GB/T 34567)的有关规定。  
波纹管应按“冷弯波纹管承台顶大样图”进行下料和安装;先制造成型后镀锌防腐。
5. 承台系梁钢筋与承台其他钢筋发生干扰时,可适当挪动承台系梁钢筋。
6. 承台底铺设20cm厚C20混凝土垫层。
7. 本图为灌注桩基础方案所对应的现浇承台。

双向四车道公路桥梁装配式桥墩	标准跨径: 30m
	桥梁宽度: 2x13m
现浇承台钢筋布置图	图号: SG-3-6

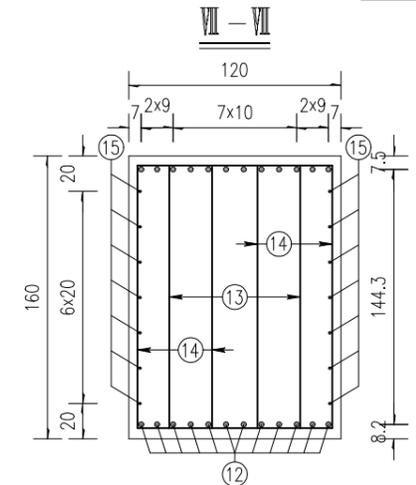
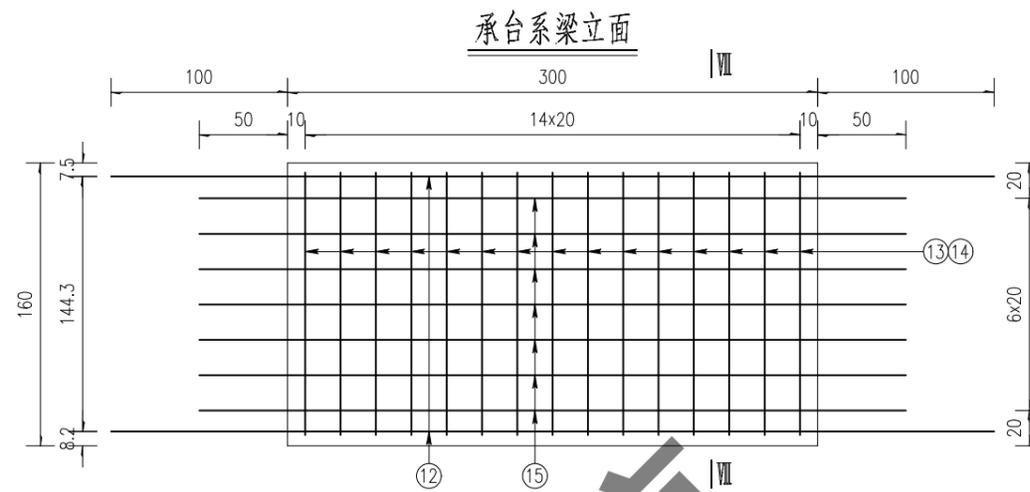
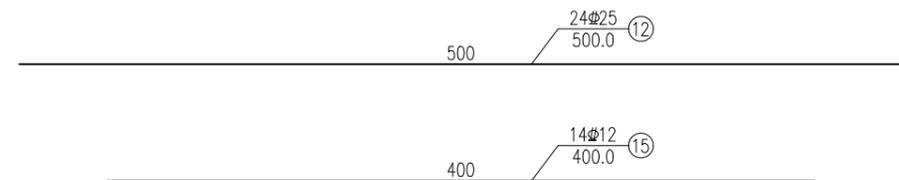
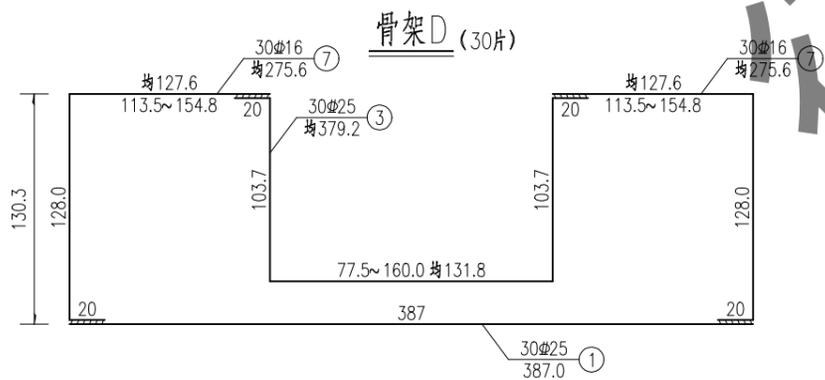
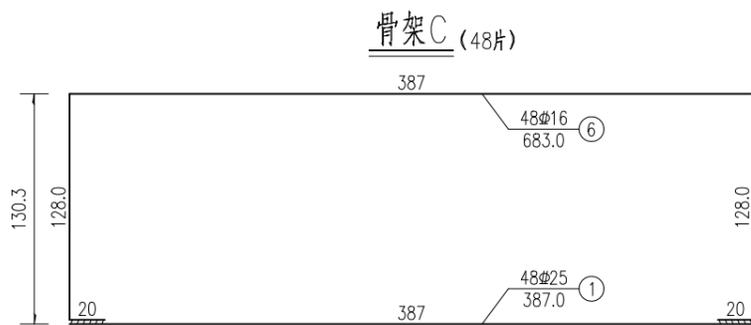
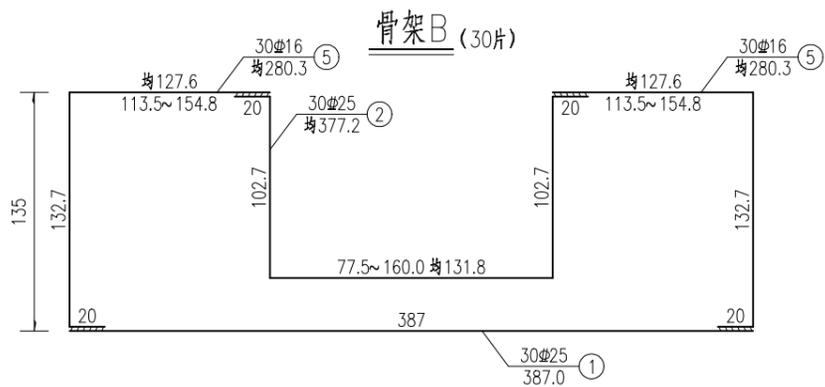
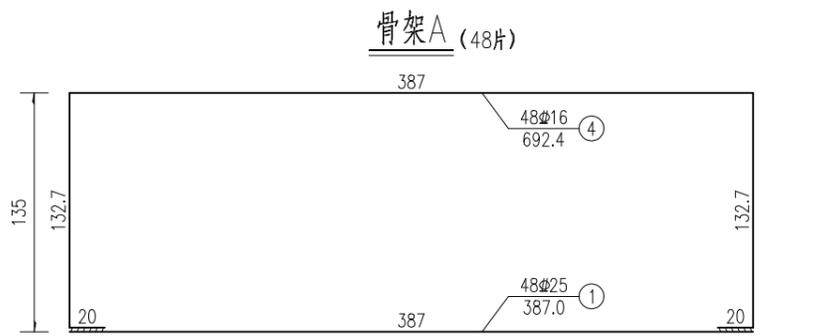


冷弯波纹钢管大样图 (单位mm)



注：  
 1. 本图尺寸除注明以及钢筋直径以mm计外，其余均以cm计。  
 2. 承台底铺设20cm厚C20混凝土垫层。

双向四车道公路桥梁装配式桥墩	标准跨径：30m
	桥梁宽度：2x13m
现浇承台钢筋布置图	图号：SG-3-6



桥墩承台材料数量表

钢筋编号	直径 (mm)	单根长 (cm)	根数	总长 (m)	总重 (kg)	合计 (Kg)
1	φ25	387.0	156	603.72	2324.3	3660.0
2	φ25	均377.2	30	113.16	435.7	
3	φ25	均379.2	30	113.76	438.0	
4	φ16	692.4	48	332.35	525.1	2428.3
5	φ16	均280.3	60	168.18	265.7	
6	φ16	683.0	48	327.84	518.0	
7	φ16	均275.6	60	165.36	261.3	
8	φ16	506.9	18	91.24	144.2	
9	φ16	174.5	240	418.80	661.7	
10	φ16	69.0	48	33.12	52.3	484.2
11	φ12	820.4	36	295.34	262.3	
13	φ12	473.4	15	71.01	63.1	
14	φ12	409.4	30	122.82	109.1	
15	φ12	400.0	14	56.00	49.7	
D1500冷弯波纹管		长度:2x1.05=2.1m	重量: 236.3kg			
D12焊接钢筋网		面积:30.42m²	重量: 540.0kg			
C40混凝土:53.36m³				C20垫层混凝土:7.12m³		

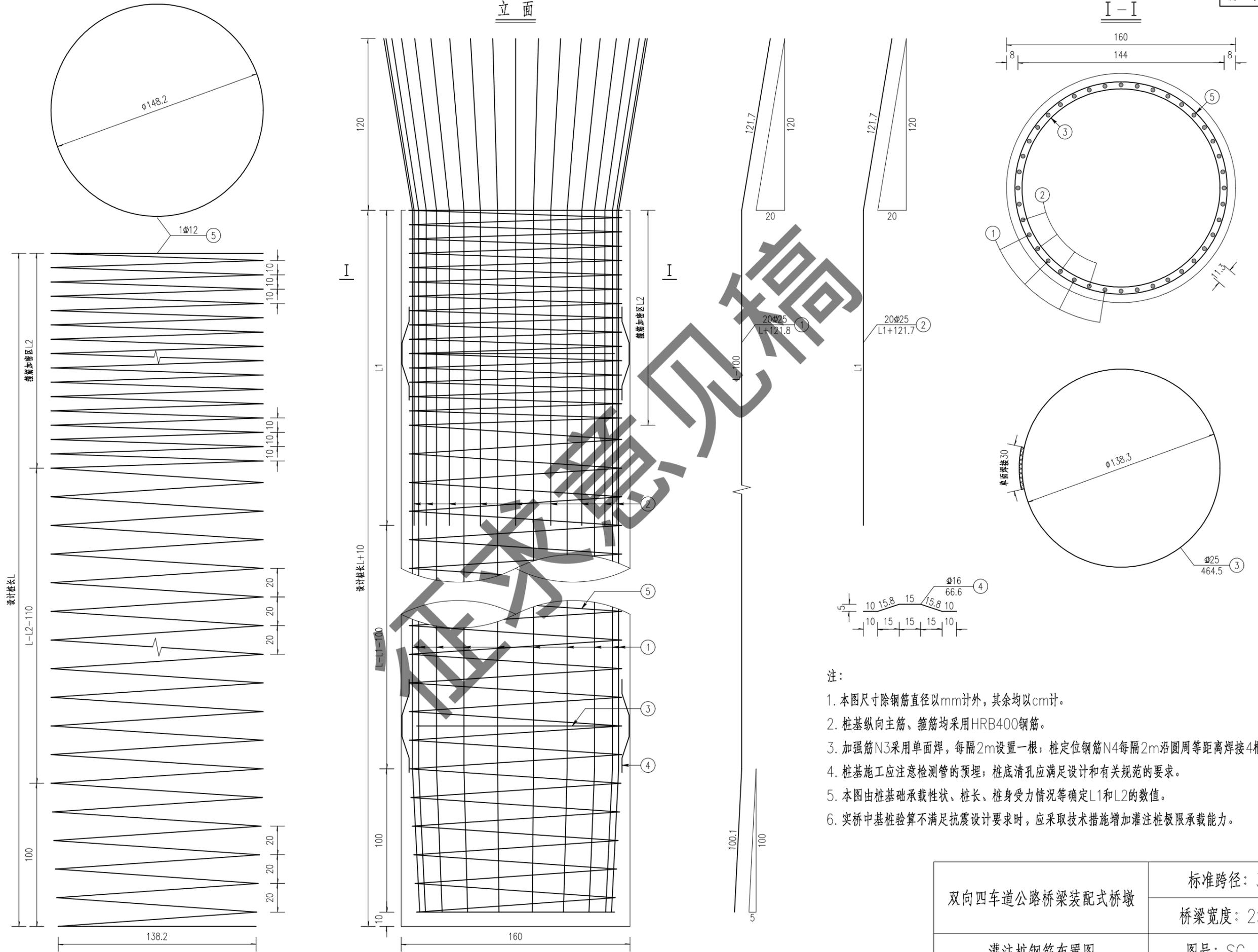
注:

1. 本图尺寸除注明以及钢筋直径以mm计外,其余均以cm计。
2. 骨架A、B、C、D钢筋均采用双面焊接,焊缝长度不小于5d。
3. 承台预留承插孔对钢筋精度要求较高,钢筋下料宜采用自动化设备;且施工前宜进行预拼校核下料的钢筋长度。
4. 冷弯波纹管管径1500mm,壁厚2.7mm,单个长度1050mm,波形如图所示;其他要求应满足现行《冷弯波纹管》(GB/T 34567)的有关规定。  
波纹管应按“冷弯波纹管承台顶大样图”进行下料和安装;先制造成型后镀锌防腐。
5. 承台系梁钢筋与承台其他钢筋发生干扰时,可适当挪动承台系梁钢筋。
6. 承台底铺设20cm厚C20混凝土垫层。
7. 本图为管桩基础方案所对应的现浇承台。

双向四车道公路桥梁装配式桥墩	标准跨径: 30m
	桥梁宽度: 2x13m
现浇承台钢筋布置图	图号: SG-3-6

立面

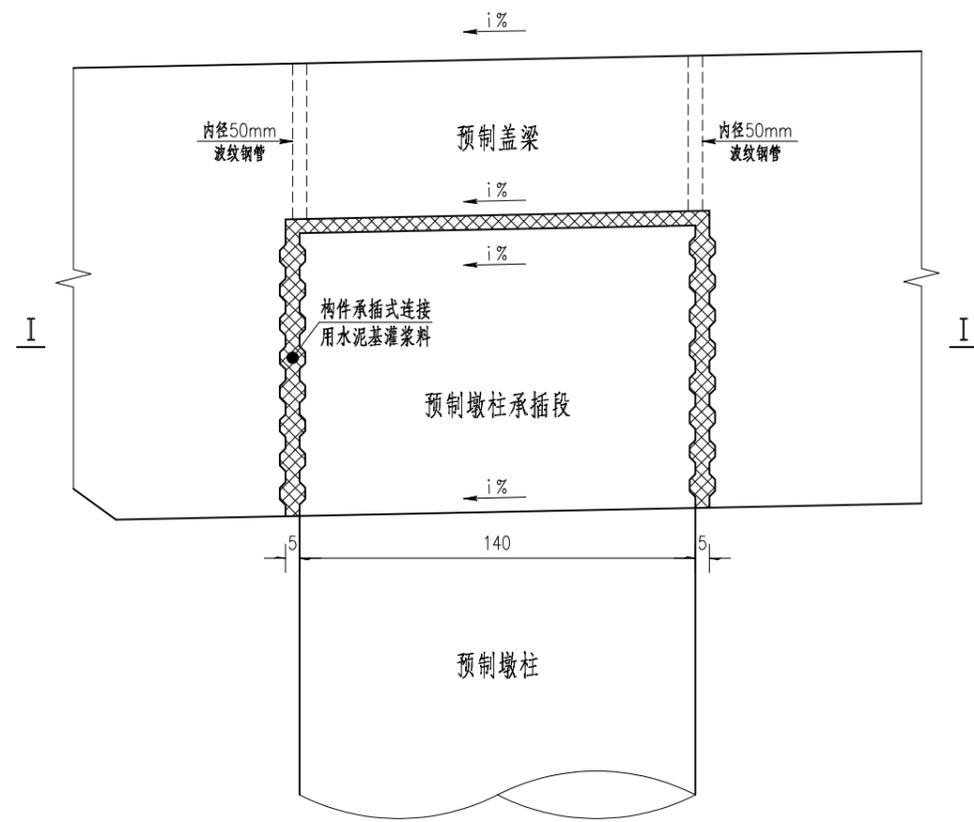
I-I



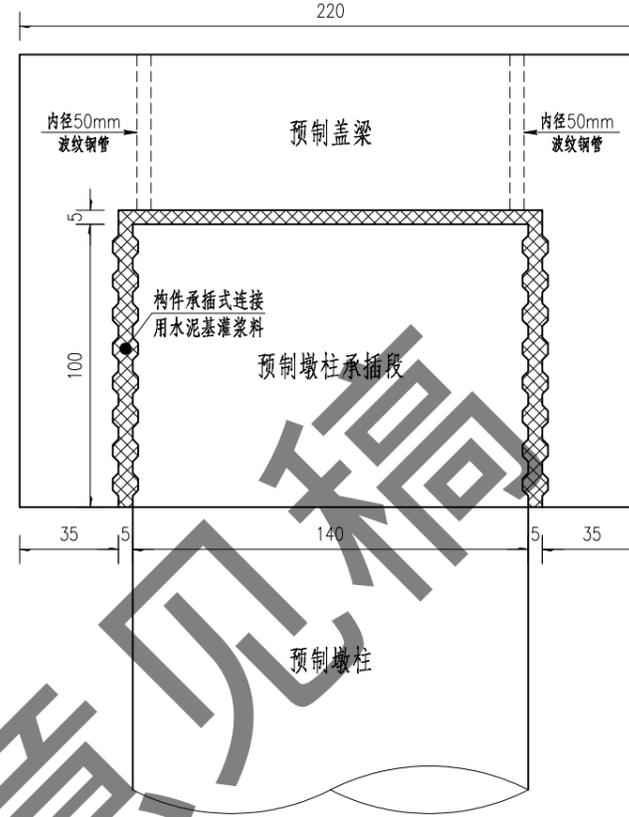
- 注：
1. 本图尺寸除钢筋直径以mm计外，其余均以cm计。
  2. 桩基纵向主筋、箍筋均采用HRB400钢筋。
  3. 加强筋N3采用单面焊，每隔2m设置一根；桩定位钢筋N4每隔2m沿圆周等距离焊接4根。
  4. 桩基施工应注意检测管的预埋；桩底清孔应满足设计和有关规范的要求。
  5. 本图由桩基础承载性状、桩长、桩身受力情况等确定L1和L2的数值。
  6. 实桥中基桩验算不满足抗震设计要求时，应采取技术措施增加灌注桩极限承载能力。

双向四车道公路桥梁装配式桥墩	标准跨径：30m
	桥梁宽度：2×13m
灌注桩钢筋布置图	图号：SG-3-7

盖梁与墩柱连接立面



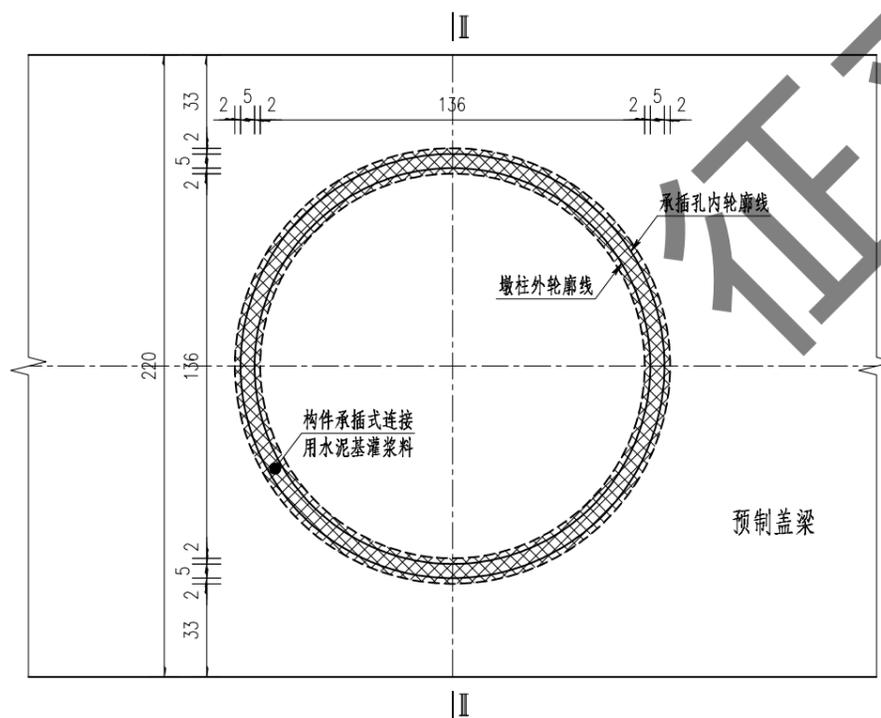
II-II



接缝材料数量表

接缝材料	水泥基灌浆料
单个连接处用量(m <sup>3</sup> )	0.4036
连接个数(个)	2
用量合计(m <sup>3</sup> )	0.8072

I-I

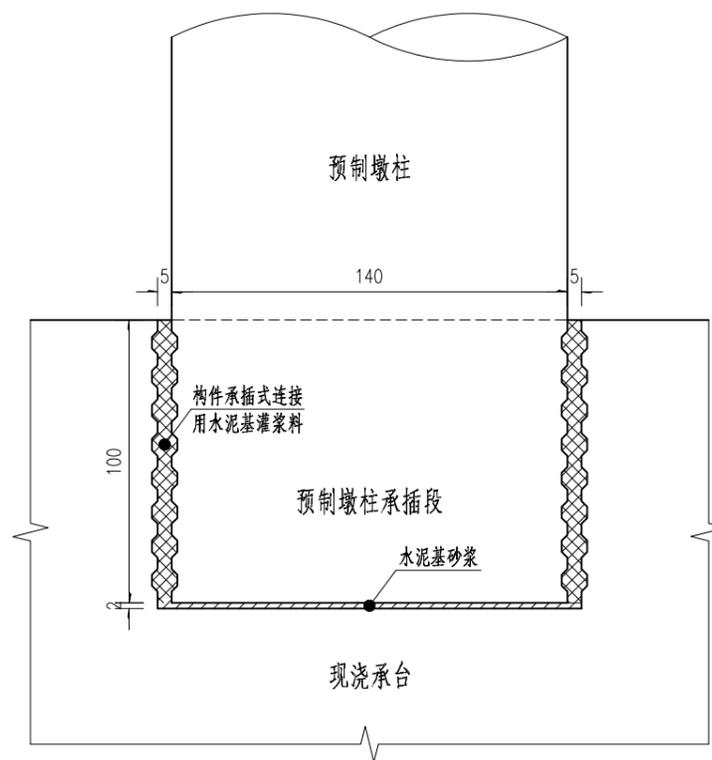


注:

1. 本图尺寸均以cm计。
2. 水泥基灌浆料的检测、施工和验收应符合现行《水泥基灌浆材料应用技术规范》的有关规定。
3. 施工前宜开展1:1的接缝灌注试验,验证重力式灌浆工艺接缝的饱满度和施工控制要点。

双向四车道公路桥梁装配式桥墩	标准跨径: 30m
	桥梁宽度: 2×13m
盖梁墩柱连接构造图	图号: SG-3-8

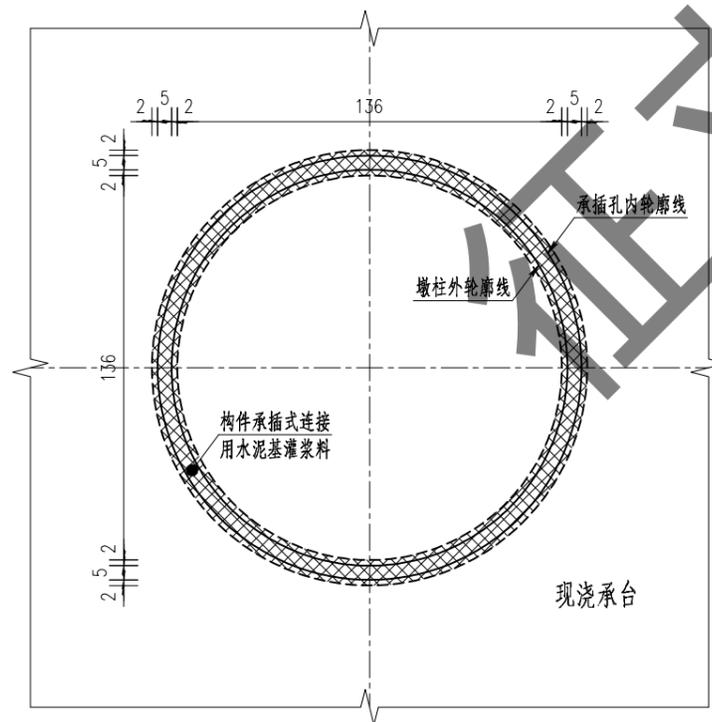
盖梁与墩柱连接立面



接缝材料数量表

接缝材料	单个连接处用量 (m <sup>3</sup> )	连接个数 (个)	用量合计 (m <sup>3</sup> )
水泥基灌浆料	0.3152	2	0.6304
水泥基砂浆	0.0353	2	0.0706

盖梁与墩柱连接平面



注:

1. 本图尺寸均以cm计。
2. 水泥基灌浆料的检测、施工和验收应符合现行《水泥基灌浆材料应用技术规范》的有关规定。
3. 墩底水泥基砂浆采用坐浆工艺施工, 应严格控制水泥基砂浆用量。

双向四车道公路桥梁装配式桥墩	标准跨径: 30m
	桥梁宽度: 2x13m
墩柱承台连接构造图	图号: SG-3-9



# 计算示例

征求意见



## 2 桥墩静力验算

### 2.1 计算模型

计算软件采用通用空间有限元分析软件 Midas Civil NX，以典型方案一采用管桩基础的装配式桥墩为例，建立单个桥墩的计算模型如下图所示。

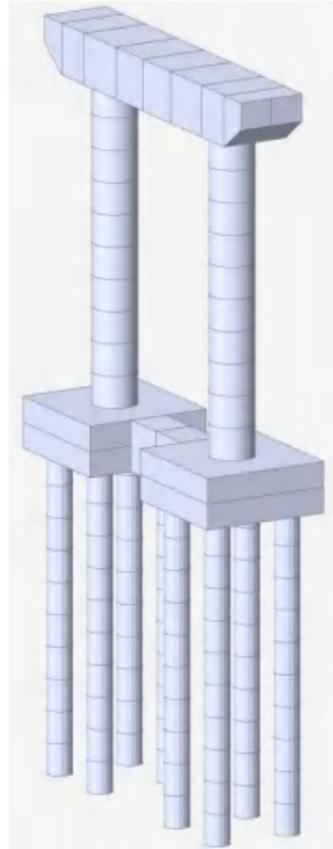


图2 单个桥墩的有限元模型

### 2.2 作用计算

- (1) 自重：钢筋混凝土或预应力混凝土重度取  $26\text{kN/m}^3$ 。
- (2) 上构恒载：取中支点梁端最大反力，边梁恒载值为  $1862\text{kN}$ ，中梁恒载值为  $1725\text{kN}$ 。
- (3) 汽车荷载：在虚拟横梁上按杠杆法进行横向移动加载；纵向将单跨的车道荷载集中于虚拟横梁位置上，横向按规范 JTG D60-2015 的图 4.3.1-3 执行。
- (4) 收缩徐变：预制构件存储期以 28 天计。
- (5) 风荷载：本计算示例横桥向作用于主梁单位长度顺风向等效静阵风荷载取  $3\text{kN/m}$ ；作用在车辆上的横向荷载增加值取  $1.5\text{kN/m}$ ；作用在墩柱和盖梁上的等效静阵风荷载取  $1\text{kN/m}^2$ 。风荷载与其他作用组合时的分项系数、组合系数按规范 JTG/T 3360-01-2018 的第 3.3.2 条中第 2 和第 3 款的规定执行。

(6) 汽车制动力：桥墩分类为采用板式橡胶支座的连续梁排架式柔性墩台，应根据支座与墩台的抗推刚度的刚度集成情况分配和传递制动力；一个设计车道上的制动力分配到单个桥墩取最不利的一联跨径组合  $3\times 30\text{m}$  为  $82.5\text{kN}$ ，设计车道数为 3，故单个桥墩上汽车荷载制动力应为一个设计车道的 2.34 倍，即  $193.05\text{kN}$ 。

(7) 整体升降温：均按  $30^\circ\text{C}$  考虑。

(8) 其他：结构上可能出现的其他作用（例如支座不均匀沉降），本计算示例尚未考虑。

### 2.3 盖梁验算

#### 2.3.1 作用的标准值

限定边界条件下，典型最不利位置处的作用标准值计算结果列表如下：

表2 盖梁最不利截面作用标准值表

序号	荷载工况	内侧正弯矩 ( $\text{kN}\cdot\text{m}$ )	内侧负弯矩 ( $\text{kN}\cdot\text{m}$ )	内侧剪力 ( $\text{kN}$ )	外侧负弯矩 ( $\text{kN}\cdot\text{m}$ )
1	自重	163.3	-257.6	305.8	-199.9
2	上构恒载	776.8	-2472.2	1725.0	-2513.7
3	汽车荷载	898.7	-974.7	738.3	-1109.4
4	收缩徐变	27.5	27.5	0	0
5	风荷载	319.3	-640.2	196.9	-50.8
6	整体升降温	275.6	-275.6	0	0

- 注：1. 盖梁进行竖向受力验算时未纳入汽车制动力；  
2. 内侧和外侧分别指盖梁的跨中部分和盖梁的悬臂部分；  
3. 本计算示例仅取典型断面进行验算。

#### 2.3.2 盖梁验算规定

盖梁的计算跨径取支承中心的距离  $7\text{m}$ ，盖梁跨中部分的跨高比  $l/h = 7/1.6 = 4.375$ ，按规范 JTG 3362-2018 的 8.4.3 条~第 8.4.5 条进行承载力验算；盖梁的悬臂部分按第 8.4.6 条进行承载力验算。

#### 2.3.3 使用阶段正截面抗弯承载力验算

##### (1) 内侧正弯矩

盖梁跨中最大弯矩设计值：

$$M_d = 1.2 \times (163.3 + 776.8) + 1.0 \times 27.5 + 1.4 \times 898.7 + 0.75 \times 1.4 \times 275.6 + 1.0 \times 1.1 \times 319.3 = 3054.4\text{kN}\cdot\text{m}$$

混凝土受压区高度：

$$x = (f_{sd}A_s - f'_{sd}A'_s)/(f_{cd}b)$$

$$= (330 \times 22168.8 - 330 \times 12316)/(18.4 \times 2100) = 84\text{mm}$$

内力臂:

$$z = \left(0.75 + 0.05 \frac{l}{h}\right)(h_0 - 0.5x)$$

$$= \left(0.75 + 0.05 \times \frac{7}{1.6}\right) \times (1519 - 0.5 \times 84) = 1431\text{mm}$$

盖梁正截面抗弯承载力设计值:

$$M_{ud} = f_{sd}A_s z = 330 \times 22168.8 \times 1431/10^6 = 10469\text{kN} \cdot \text{m}$$

$\gamma_0 M_d = 1.1 \times 3054.4 = 3360\text{kN} \cdot \text{m} < M_{ud}$ , 故正截面抗弯验算满足规范要求。

(2) 内侧负弯矩

盖梁墩顶内侧最大弯矩设计值:

$$M_d = 1.2 \times (-257.6 - 2472.2) + 1.0 \times 27.5 - 1.4 \times 974.7$$

$$- 0.75 \times 1.4 \times 275.6 - 1.0 \times 1.1 \times 640.2 = -5606.4\text{kN} \cdot \text{m}$$

混凝土受压区高度:

$$x = (f_{sd}A_s - f'_{sd}A'_s)/(f_{cd}b)$$

$$= (330 \times 20937.2 - 330 \times 12316)/(18.4 \times 2100) = 74\text{mm}$$

内力臂:

$$z = \left(0.75 + 0.05 \frac{l}{h}\right)(h_0 - 0.5x)$$

$$= \left(0.75 + 0.05 \times \frac{7}{1.6}\right) \times (1527 - 0.5 \times 74) = 1443\text{mm}$$

盖梁正截面抗弯承载力设计值:

$$M_{ud} = f_{sd}A_s z = 330 \times 20937.2 \times 1443/10^6 = 9970\text{kN} \cdot \text{m}$$

$\gamma_0 M_d = 1.1 \times 5606.4 = 6167\text{kN} \cdot \text{m} < M_{ud}$ , 故正截面抗弯验算满足规范要求。

(3) 外侧负弯矩

以支座中心作为竖向力作用点, 则竖向力作用点至柱边缘的水平距离  $x = 790\text{mm}$  小于盖梁

截面高度  $h = 1600\text{mm}$  时, 按规范 JTG 3362—2018 的第 8.4.6 条第 2 款进行承载力验算。

盖梁墩顶外侧最大弯矩设计值:

$$M_d = 1.2 \times (-199.9 - 2513.7) - 1.4 \times 1109.4 - 1.0 \times 1.1 \times 50.8 = -4865.4\text{kN} \cdot \text{m}$$

换算到竖向力作用点处盖梁悬臂部分的竖向力设计值:

$$F_d = \frac{M_d}{x + 0.4D} = \frac{4865.4}{0.79 + 0.4 \times 1.4} = 3604.0\text{kN}$$

柱的支撑宽度:

$$b_c = 0.8D = 0.8 \times 1400 = 1120\text{mm}$$

盖梁的内力臂:

$$z = 0.9h_0 = 0.9 \times 1527 = 1374.3\text{mm}$$

盖梁悬臂上缘拉杆的内力设计值:

$$T_{t,d} = \frac{x + b_c/2}{z} F_d = \frac{790 + 1120/2}{1374.3} \times 3604.0 = 3540.3\text{kN}$$

盖梁悬臂上缘拉杆的承载力设计值:

$$T_{ud} = f_{sd}A_s = 330 \times 20937.2/1000 = 6909\text{kN}$$

$\gamma_0 T_{t,d} = 1.1 \times 3540.3 = 3894\text{kN} < T_{ud}$ , 故盖梁悬臂承载力验算满足规范要求。

### 2.3.4 使用阶段斜截面抗剪承载力验算

本计算示例的斜截面抗剪承载力验算仅示例盖梁跨中部分最大剪力值的墩顶处验算, 该截面处的剪力设计值:

$$V_d = 1.2 \times (305.8 + 1725.0) + 1.4 \times 738.3 + 1.0 \times 1.1 \times 196.9 = 3687.2\text{kN}$$

(1) 抗剪截面尺寸验算

盖梁截面宽度:  $b = 2100\text{mm}$ 。盖梁截面有效高度:  $h_0 = 1527\text{mm}$ 。

$$V_{ud} = 0.33 \times 10^{-4} \left(\frac{l}{h} + 10.3\right) \sqrt{f_{cu,k}} b h_0$$

$$= 0.33 \times 10^{-4} \times \left(\frac{7}{1.6} + 10.3\right) \times \sqrt{40} \times 2100 \times 1527 = 9821\text{kN}$$

$\gamma_0 V_d = 1.1 \times 3687.2 = 4055.9\text{kN} < V_{ud}$ , 故抗剪截面尺寸验算满足规范要求。

(2) 斜截面抗剪承载力验算

连续梁异号弯矩影响系数: 中间支点梁段  $\alpha_1 = 0.9$ 。

受拉区纵向受拉钢筋的配筋百分率:

$$P = 100\rho = 100A_s/(bh_0) = 100 \times 20937.2/(2100 \times 1527) = 0.653$$

箍筋配筋率:

$$\rho_{sv} = A_{sv}/(bs_v) = 8 \times 113.1/(2100 \times 100) = 0.00431$$

斜截面抗剪承载力设计值:

$$V_{ud} = 0.5 \times 10^{-4} \alpha_1 \left(14 - \frac{l}{h}\right) b h_0 \sqrt{(2 + 0.6P) f_{cu,k} \rho_{sv} f_{sv}}$$

$$= 0.5 \times 10^{-4} \times 0.9 \times \left(14 - \frac{7}{1.6}\right) \times 2100 \times 1527 \times \sqrt{(2 + 0.6 \times 0.653) \times \sqrt{40} \times 0.00431 \times 330} = 6442\text{kN}$$

$\gamma_0 V_d = 1.1 \times 3687.2 = 4055.9\text{kN} < V_{ud}$ ，故盖梁跨中部分墩顶处截面的斜截面抗剪承载力验算满足规范要求。

### 2.3.5 使用阶段裂缝宽度验算

本计算示例的使用阶段裂缝宽度验算仅示例盖梁跨中部分最大弯矩值的墩顶处验算。

该截面作用频遇组合的弯矩设计值：

$$M_s = -257.6 - 2472.2 + 27.5 - 0.7 \times 974.7 - 0.8 \times 275.6 - 0.75 \times 640.2 = -4085.2\text{kN} \cdot \text{m}$$

该截面作用准永久组合的弯矩设计值：

$$M_l = -257.6 - 2472.2 + 27.5 - 0.4 \times 974.7 - 0.8 \times 275.6 - 0.75 \times 640.2 = -3792.8\text{kN} \cdot \text{m}$$

钢筋表面形状系数：对带肋钢筋  $C_1 = 1.00$ 。

长期效应影响系数：

$$C_2 = 1 + 0.5 \frac{M_l}{M_s} = 1 + 0.5 \times \frac{3792.8}{4085.2} = 1.464$$

与构件受力性质有关的系数：

$$C_3 = \frac{1}{3} \left( \frac{0.4l}{h} + 1 \right) = \frac{1}{3} \times \left( \frac{0.4 \times 7}{1.6} + 1 \right) = 0.917$$

钢筋应力：

$$\sigma_{ss} = \frac{M_s}{0.87A_s h_0} = \frac{4085.2 \times 10^6}{0.87 \times 20937.2 \times 1527} = 146.9\text{MPa}$$

最外排纵向受拉钢筋的混凝土保护层厚度： $c = 44.2\text{mm}$ ；纵向受拉钢筋直径  $d = 28\text{mm}$ 。

有效受拉混凝土截面面积：

$$A_{te} = 2a_s b = 2 \times 73 \times 2100 = 306600\text{mm}^2$$

纵向受拉钢筋的有效配筋率：

$$\rho_{te} = \frac{A_s}{A_{te}} = \frac{20937.2}{306600} = 0.0683$$

最大裂缝宽度：

$$W_{cr} = C_1 C_2 C_3 \frac{\sigma_{ss}}{E_s} \left( \frac{c+d}{0.36 + 1.7\rho_{te}} \right) = 1 \times 1.464 \times 0.917 \times \frac{146.9}{2 \times 10^5} \times \left( \frac{44.2 + 28}{0.36 + 1.7 \times 0.0683} \right) = 0.15\text{mm}$$

$W_{cr} = 0.15\text{mm}$  小于 II 类-冻融环境的最大裂缝宽度限值  $0.20\text{mm}$ ，使用阶段裂缝宽度验算满足规范要求。

## 2.4 墩柱验算

### 2.4.1 补充说明

(1) 本计算示例中墩柱的设计轴压比小于 0.3，结合墩柱的偏心受压  $N-M$  曲线可知弯矩值不变轴力较小对结构的承载能力不利，轴力较大对结构的承载能力有利。由此，可在此限定条件下将规范 JTG 3362—2018 的 5.3.8 条变形如下：

$$\gamma_0 \eta M_d \leq M_{ud}(N_d)$$

$$N_d = N_{ud} = \alpha f_{cd} A \left( 1 - \frac{\sin 2\pi\alpha}{2\pi\alpha} \right) + (\alpha - \alpha_t) f_{sd} A_s$$

$$M_{ud} = \frac{2}{3} f_{cd} A r \frac{\sin^3 \pi\alpha}{\pi} + f_{sd} A_s r_s \frac{\sin \pi\alpha + \sin \pi\alpha_t}{\pi}$$

式中： $M_d$ 、 $N_d$  为墩柱弯矩设计值及其对应的轴力设计值； $M_{ud}$ 、 $N_{ud}$  为墩柱截面抗弯承载力设计值及其对应的抗压承载力设计值。

(2) 本计算示例中墩柱同时受顺桥向  $X$  和横桥向  $Y$  的作用：顺桥向作用考虑汽车制动力；横桥向作用考虑结构重力、混凝土收缩徐变、汽车荷载、汽车冲击力、风荷载以及均匀温度作用。以上作用在结构上可能同时出现，应进行组合；可分别单独计算顺桥向  $X$  和横桥向  $Y$  的作用的最大效应  $S_X$  和  $S_Y$ ，则最不利方向作用的最大效应  $S = \sqrt{S_X^2 + S_Y^2}$ ，进一步可得  $\gamma_0 \eta M_d = \gamma_0 N_d \eta e_0 =$

$$\gamma_0 N_d \sqrt{(\eta_{横} e_{0横})^2 + (\eta_{顺} e_{0顺})^2}$$

(3) 本计算示例中墩柱和接缝验算均按正常墩柱截面进行计算。

(4) 本计算示例墩柱抗剪验算分别参考规范 GB 50010—2010 做斜截面抗剪验算，按规范 JTG/T 2231-01—2020 能力保护构件做斜截面抗剪强度验算，并参考规范 JTG D64—2015 做接缝截面抗剪验算。

### 2.4.2 作用的标准值

限定边界条件下，典型最不利位置处验算的作用标准值列表如下：

表 3 墩柱底部作用标准值表

序号	荷载工况	轴向力 (kN)	横桥向剪力 (kN)	顺桥向剪力 (kN)	横桥向弯矩 (kN·m)	顺桥向弯矩 (kN·m)
1	自重	890.8	-9.2	0	41.2	0
2	上构恒载	3587.0	5.5	0	-17.7	0
3	汽车荷载	-128.9/1354.3	30.9	0	104.1	0

4	收缩徐变	0	2.5	0	1.0	0
5	风荷载	-196.9	114.2	0	576.1	0
6	汽车制动力	0	0	96.5	0	1134.2
7	整体升降温	0	50.1	0	265.4	0

注：1. 墩柱受压取正；  
2. 弯矩值和剪力值的正负号仅表示方向的差异。

### 2.4.3 使用阶段偏心受压承载力验算

墩柱构件进行偏心受压承载力验算时自重及汽车荷载产生的轴向力均对其抗弯承载能力有利，根据《公路桥涵设计通用规范》（JTG D60—2015）第 4.1.4 条、第 4.1.5 条的有关规定，轴力设计值的自重分项系数取 1.0 且汽车荷载产生的拉力参与组合。

$$N_d = (890.8 + 3587.0) - 1.4 \times 128.9 - 1.0 \times 1.1 \times 196.9 = 4080.8 \text{ kN}$$

$$M_{d横} = 1.2 \times 41.2 - 1.0 \times 17.7 + 1.0 \times 1.0 + 1.0 \times 1.1 \times 576.1 + 0.75 \times (1.4 \times 104.1 + 1.4 \times 265.4) = 1054.4 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{d顺} = 1.4 \times 1134.2 = 1587.9 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$e_{0横} = M_{d横}/N_d = 1054.4/4080.8 = 0.258 \text{ m} > \max(0.02, 1.4/30) \text{ m}$$

$$e_{0顺} = M_{d顺}/N_d = 1587.9/4080.8 = 0.389 \text{ m} > \max(0.02, 1.4/30) \text{ m}$$

横桥向墩柱的计算长度  $l_{0横} = 1.2h = 12 \text{ m}$ ；顺桥向墩柱的计算长度  $l_{0顺} = 2.1h = 21 \text{ m}$ 。分

别计算偏心矩增大系数  $\eta_{横} = 1.211$ ， $\eta_{顺} = 1.586$ 。

将横桥向和顺桥向按向量进行组合可得：

$$\begin{aligned} \gamma_0 \eta M_d &= \gamma_0 N_d \eta e_0 = \gamma_0 N_d \sqrt{(\eta_{横} e_{0横})^2 + (\eta_{顺} e_{0顺})^2} \\ &= 1.1 \times 4080.8 \times \sqrt{(1.211 \times 0.258)^2 + (1.586 \times 0.389)^2} = 3104.3 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

当  $N_{ud} = N_d = 4080.8 \text{ kN}$  时，计算得  $\alpha = 0.3342377$ ，则有： $M_{ud}(N_d) = 4971.0 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$$\gamma_0 \eta M_d = 3104.3 \text{ kN} \cdot \text{m} < M_{ud}(N_d) = 4971.0 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

故墩柱的偏心受压承载力满足规范要求。

### 2.4.4 使用阶段接缝抗压弯承载力验算

由规范 JTG/T 3365-05—2022 第 6.4.5 条和本计算示例的 2.4.1 补充说明，当  $\phi_c N_{ud} = 0.95 \times 4080.8 = 3876.8 \text{ kN}$  时，计算得  $\alpha = 0.330866$ ，则有： $M_{ud}(\phi_c N_{ud}) = 4907.6 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$$\gamma_0 \eta M_d = 3104.3 \text{ kN} \cdot \text{m} < \phi_c M_{ud}(N_d) = 0.95 \times 4907.6 = 4662.2 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

故接缝的抗压弯承载力满足规范要求。

### 2.4.5 使用阶段裂缝宽度验算

作用频遇组合：

$$N_s = (890.8 + 3587.0) - 0.7 \times 128.9 - 0.75 \times 196.9 = 4239.9 \text{ kN}$$

$$M_{s横} = (41.2 - 17.7 + 1) + 0.7 \times 104.1 + 0.75 \times 576.1 + 1 \times 265.4 = 794.8 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{s顺} = 0.7 \times 1134.2 = 793.9 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_s = \sqrt{M_{s横}^2 + M_{s顺}^2} = \sqrt{794.8^2 + 793.9^2} = 1123.4 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

作用频遇组合时构件的初始偏心矩：

$$e_0 = \frac{M_s}{N_s} = \frac{1123.4}{4239.9} = 0.265 \text{ m}$$

根据规范 JTG 3362—2018 的第 6.4.3 条，圆形截面偏心受压构件满足  $e_0/r = 0.265/0.7 = 0.38 < 0.55$  时，可不进行裂缝宽度验算。

### 2.4.6 使用阶段斜截面抗剪承载力验算

$$V_{d横} = 1.0 \times (-9.2) + 1.2 \times 5.5 + 1.0 \times 2.5 + 1.0 \times 1.4 \times 114.2$$

$$+ 0.75 \times (1.4 \times 30.9 + 1.4 \times 50.1) = 210.6 \text{ kN}$$

$$V_{d顺} = 1.4 \times 96.5 = 135.1 \text{ kN}$$

$$V_d = \sqrt{V_{d横}^2 + V_{d顺}^2} = \sqrt{210.6^2 + 135.1^2} = 250.2 \text{ kN}$$

参考规范 GB 50010—2010 第 6.3.15 条规定，圆形截面钢筋混凝土偏心受压构件的截面宽度  $b$  和截面有效高度  $h_0$  应分别以  $1.76r$  和  $1.6r$  代替， $r$  为圆形截面的半径。

参考规范 GB 50010—2010 第 6.3.13 条规定验算：

$$\lambda = M/(Vh_0) = \sqrt{M_{d横}^2 + M_{d顺}^2}/(1.6V_d r) = \sqrt{1054.4^2 + 1587.9^2}/(1.6 \times 250.2 \times 0.7) = 6.8$$

因为  $\lambda = 6.8 > 3$ ，故  $\lambda$  取值为 3

$$\begin{aligned} V_{ud} &= \frac{1.75}{\lambda + 1} f_t b h_0 + 0.07N = \frac{1.75}{\lambda + 1} f_{td} 1.76r 1.6r + 0.07N_d \\ &= \frac{1.75}{3 + 1} \times 1.65 \times 1.76 \times 1.6 \times 700^2/1000 + 0.07 \times 4080.8 = 1281.7 \text{ kN} \end{aligned}$$

$\gamma_0 V_d = 1.1 \times 250.2 = 275.2 \text{ kN} < V_{ud}$ ，故墩柱可不进行斜截面受剪承载力验算，箍筋按构造要求配筋。

### 2.4.7 使用阶段接缝截面抗剪承载力验算

参考规范 JTG D64—2015 第 11.4.4 条，偏安全的仅计穿过接缝钢筋的抗剪承载力为：

$$V_{ud} = 0.7f_{sd}A_s = 0.7 \times 330 \times 18322.2 \times 10^{-3} = 4232.4\text{kN}$$

$\gamma_0 V_d = 275.2\text{kN} < V_{ud}$ ，故使用阶段接缝截面抗剪承载力验算满足设计要求。

## 2.5 承台验算

### 2.5.1 作用的标准值

计算一个墩柱对应的承台底部作用标准值计算结果列表如下：

表 4 承台底部作用标准值表

序号	荷载工况	轴向力 (kN)	横桥向弯矩 (kN·m)	顺桥向弯矩 (kN·m)
1	自重	1631.3	74.2	0
2	上构恒载	3587.0	11.6	0
3	汽车荷载	1293.9	275.8	0
4	收缩徐变	0	57.28	0
5	风荷载	382.0	110.8	0
6	汽车制动力	0	0	1288.6
7	整体升降温	0	163.1	0

注：1. 轴力和弯矩取最大值；2. 承台受压取正。

### 2.5.2 单桩作用于承台底面的竖向力设计值

由一个墩柱对应的承台底面以上的作用组合产生的竖向力设计值：

$$F_d = 1.2 \times (1631.3 + 3587.0) + 1.4 \times 1293.9 + 1.0 \times 1.1 \times 382.0 = 8493.6\text{kN}$$

由一个墩柱对应的承台底面以上的作用组合绕桩群形心的横桥向  $X$  的弯矩设计值：

$$M_{xd} = 1.2 \times (74.2 + 11.6) + 1.0 \times 57.28 + 1.4 \times 275.8 + 0.75 \times 1.4 \times 163.1 + 1.0 \times 1.1 \times 110.8 = 839.5\text{kN} \cdot \text{m}$$

由一个墩柱对应的承台底面以上的作用组合的顺桥向  $Y$  的弯矩设计值：

$$M_{yd} = 1.4 \times 1288.6 = 1804.0\text{kN} \cdot \text{m}$$

一个墩柱对应的承台下面桩的总根数： $n = 4$ 。

每排桩中心至  $y$  轴、 $x$  轴的距离： $x_1 = y_1 = 1.2\text{m}$ 。

单桩作用于承台底面的最大竖向力设计值：

$$N_{id,max} = \frac{F_d}{4} + \frac{M_{xd}}{4y_1} + \frac{M_{yd}}{4x_1} = \frac{8493.6}{4} + \frac{839.5}{4 \times 1.2} + \frac{1804.0}{4 \times 1.2} = 2674.1\text{kN}$$

### 2.5.3 承台的极限承载力验算

墩柱的圆形截面换算为边长等于其 0.8 倍直径的方形截面，则有承台下面外排桩中心与墩身边缘的距离  $x = 0.64\text{m}$  小于承台高度  $h = 1.6\text{m}$ ，承台的极限承载力计算按规范 JTG 3362—2018 第 8.5.4 条进行验算。

(1) 斜压杆承载力验算

承台有效高度： $h_0 = 1.372\text{m}$

压杆中线与承台顶面的交点至墩台边缘的距离：

$$a = 0.15h_0 = 0.15 \times 1.372 = 0.206\text{m}$$

斜压杆与拉杆之间的夹角：

$$\theta_i = \tan^{-1} \frac{h_0}{a+x} = \tan^{-1} \frac{1.372}{0.206+0.64} = 58.34^\circ$$

拉杆钢筋的顶层钢筋中心至承台底的距离： $s = 0.228\text{m}$

拉杆钢筋直径： $d = 0.025\text{m}$

管桩的支撑面计算宽度： $b = 0.8D = 0.8 \times 0.8 = 0.64\text{m}$

压杆计算高度：

$$h_a = s + 6d = 0.228 + 6 \times 0.025 = 0.378\text{m}$$

$$t = b \sin \theta + h_a \cos \theta = 0.64 \times \sin 58.34 + 0.378 \cos 58.34 = 0.743\text{m}$$

压杆的内力设计值：

$$C_d = N_d / \sin \theta = 2 \times N_{id,max} / \sin \theta = 2 \times 2674.1 / \sin 58.34 = 6283.3\text{kN}$$

拉杆的内力设计值：

$$T_d = N_d / \tan \theta = 2 \times N_{id,max} / \tan \theta = 2 \times 2674.1 / \tan 58.34 = 3298.0\text{kN}$$

与混凝土强度等级有关参数  $\beta_c$  取 1.30。

压杆的计算宽度： $b_s = 4\text{m}$

在压杆计算宽度  $b_s$ （拉杆计算宽度）范围内拉杆钢筋截面面积： $A_s = 18654.2\text{mm}^2$

混凝土压杆的等效抗压强度设计值：

$$\varepsilon_1 = \frac{T_d}{A_s E_s} + \left( \frac{T_d}{A_s E_s} + 0.002 \right) \cot^2 \theta = \frac{3298 \times 10^3}{18654.2 \times 2 \times 10^5}$$

$$+ \left( \frac{3298 \times 10^3}{18654.2 \times 2 \times 10^5} + 0.002 \right) \cot^2 58.34 = 1.981 \times 10^{-3}$$

$$f_{ce,d} = \min \left( \frac{\beta_c f_{cd}}{0.8 + 170\varepsilon_1} = \frac{1.3 \times 16.1}{0.8 + 170 \times 1.981 \times 10^{-3}} \right) = 17.79 \text{MPa}$$

斜压杆承载力:

$$t_b f_{ce,d} = 0.743 \times 4 \times 17.79 \times 10^3 = 52872 \text{kN} > \gamma_0 C_d = 1.1 \times 6283.3 = 6911.6 \text{kN}$$

故斜压杆承载力符合规范要求。

(2) 斜拉杆承载力验算

拉杆承载力:

$$f_{sd} A_s = 330 \times 18654.2 \times 10^{-3} = 6155.9 \text{kN} > \gamma_0 T_d = 1.1 \times 3298.0 = 3627.8 \text{kN}$$

故拉杆承载力符合规范要求。

## 2.5.4 承台的冲切承载力验算

(1) 墩柱向下冲切承台的冲切承载力验算

墩柱作用面积的边长:  $b_x = b_y = 1.12 \text{m}$

冲跨, 墩柱边缘到管桩边缘的水平距离:  $a_x = a_y = 0.32 \text{m} > 0.2h_0 = 0.27 \text{m}$

冲跨比:  $\lambda_x = \lambda_y = a_x/h_0 = a_y/h_0 = 0.32/1.372 = 0.233$

与冲跨比对应的冲切承载力系数:

$$\alpha_{px} = \alpha_{py} = \frac{1.2}{\lambda_x + 0.2} = \frac{1.2}{\lambda_y + 0.2} = \frac{1.2}{0.233 + 0.2} = 2.77$$

承台的冲切承载力:

$$0.6f_{td}h_0 [2\alpha_{px}(b_y + a_y) + 2\alpha_{py}(b_x + a_x)] = 0.6 \times 1.52 \times 1.372 \\ \times [2 \times 2.77 \times (1.12 + 0.32) + 2 \times 2.77 \times (1.12 + 0.32)] \times 10^3 = 19964 \text{kN} \\ > \gamma_0 F_{ld} = 1.1 \times 8493.6 = 9343 \text{kN}$$

故墩柱向下冲切承台的冲切承载力满足规范要求。

(2) 管桩向上冲切承台的冲切承载力验算

承台边缘至桩内边缘的水平距离:  $b_x = b_y = 1.12 \text{m}$

冲跨, 管桩边缘到墩柱边缘的水平距离:  $a_x = a_y = 0.32 \text{m}$

冲跨比:  $\lambda_x = \lambda_y = a_x/h_0 = a_y/h_0 = 0.32/1.372 = 0.233$

与冲跨比对应的冲切承载力系数:

$$\alpha'_{px} = \alpha'_{py} = \frac{0.8}{\lambda_x + 0.2} = \frac{0.8}{\lambda_y + 0.2} = \frac{0.8}{0.233 + 0.2} = 1.85$$

承台的冲切承载力:

$$0.6f_{td}h_0 \left[ \alpha'_{px} \left( b_y + \frac{a_y}{2} \right) + \alpha'_{py} \left( b_x + \frac{a_x}{2} \right) \right] = 0.6 \times 1.52 \times 1.372 \\ \times [1.85 \times (1.12 + 0.32) + 1.85 \times (1.12 + 0.32)] \times 10^3 = 5926 \text{kN} \\ > \gamma_0 F_{ld} = 1.1 \times 2674.1 = 2941.5 \text{kN}$$

故管桩向上冲切承台的冲切承载力满足规范要求。

## 2.5.5 承台局部承压承载力验算

(1) 墩柱作用面处承台的局部承压承载力验算

混凝土局部受压面积:  $A_{ln} = A_l = 0.25\pi D^2$

局部受压时的计算底面积:  $A_b = 0.25\pi(3D)^2$

混凝土局部承压强度提高系数:

$$\beta = \sqrt{\frac{A_b}{A_l}} = \sqrt{\frac{0.25\pi(3D)^2}{0.25\pi D^2}} = 3$$

局部受压面积上的局部压力设计值:

$$F_{ld} = 1.2 \times (890.8 + 3587.0) + 1.4 \times 1354.3 + 1.0 \times 1.1 \times 196.9 = 7486.0 \text{kN}$$

局部受压区的截面尺寸验算:

$$1.3\eta_s \beta f_{cd} A_{ln} = 1.3 \times 1.0 \times 3 \times 16.1 \times 1539.4 = 96658.9 \text{kN} > \gamma_0 F_{ld} = 1.1 \times 7486.0 = 8234.6 \text{kN}$$

故墩柱作用于承台处局部的截面尺寸满足局部承压构件的规范要求。

未设置间接钢筋并不计间接钢筋贡献验算其局部抗压承载力为:

$$0.9\eta_s \beta f_{cd} A_{ln} = 0.9 \times 1.0 \times 3 \times 16.1 \times 1539.4 = 66917.7 \text{kN} > \gamma_0 F_{ld} = 1.1 \times 7486.0 = 8234.6 \text{kN}$$

故墩柱作用于承台处局部抗压承载力满足规范要求。

(2) 管桩作用面处承台的局部承压承载力验算

不扣除管桩填芯部分的混凝土局部受压面积:  $A_l = 0.25\pi D^2 = 0.503 \text{m}^2$

偏安全扣除管桩填芯部分的混凝土局部受压面积:  $A_{ln} = \pi(0.4^2 - 0.29^2) = 0.238 \text{m}^2$

局部受压时的计算底面积:  $A_b = 1.6 \times 1.6 = 2.56 \text{m}^2$

混凝土局部承压强度提高系数:

$$\beta = \sqrt{\frac{A_b}{A_l}} = \sqrt{\frac{2.56}{0.503}} = 2.256$$

局部受压面积上的局部压力设计值： $F_{ld} = N_{id,max} = 2674.1\text{kN}$

局部受压区的截面尺寸验算：

$$1.3\eta_s\beta f_{cd}A_{ln} = 1.3 \times 1.0 \times 2.256 \times 16.1 \times 0.238 \times 10^3 = 11238\text{kN}$$

$$> \gamma_0 F_{ld} = 1.1 \times 2674.1 = 2941.5\text{kN}$$

故管桩作用于承台处局部的截面尺寸满足局部承压构件的规范要求。

未设置间接钢筋并不计间接钢筋贡献验算其局部抗压承载力为：

$$0.9\eta_s\beta f_{cd}A_{ln} = 0.9 \times 1.0 \times 2.256 \times 16.1 \times 0.238 \times 10^3 = 7780\text{kN}$$

$$> \gamma_0 F_{ld} = 1.1 \times 2674.1 = 2941.5\text{kN}$$

故管桩作用于承台处局部抗压承载力满足规范要求。

## 2.6 管桩验算

本计算示例按承台顶部埋深 0.5m，周边土假定为坚硬、半坚硬黏性土。管桩与周边土的相互作用采用等代土弹簧进行模拟，等代土弹簧的刚度采用 m 法计算，非岩石地基抗力系数的比例系数 m 按规范 JTG 3363—2019 取值  $20000\text{kN/m}^4$ ，其他按照该规范的附录 L “按 m 法计算弹性桩水平位移及作用效应” 的有关规定执行。

### 2.6.1 作用的标准值

本计算示例管桩规格采用 PRC800B110，作用基本组合的最大弯矩位于管桩顶部，并列出该位置管桩的最大轴力和最小轴力。桩顶截面处验算的作用标准值列表如下：

表 5 管桩顶部作用标准值表

序号	荷载工况	轴向力 (kN)	横桥向弯矩 (kN·m)	顺桥向弯矩 (kN·m)	横桥向剪力 (kN)	顺桥向剪力 (kN)
1	自重	398.6	-5.2	0	-2.6	0
2	上构恒载	895.3	-0.8	0	-0.4	0
3	汽车荷载	-65.1/367.3	9.3	0	2.5	0
4	收缩徐变	-58.0	55.3	0	46.8	0
5	风荷载	-138.8/138.8	24.3	0	22.7	0
6	汽车制动力	-248.3/248.3	0	37.4	0	-13.1
7	整体升降温	-20.7/20.7	11.3	0	5.5	0

注：1. 管桩受压取正，受拉为负；弯矩值和剪力值的正负号仅表示方向的差异。  
2. 经对比外侧管桩受力较不利，表中数据为外侧管桩的作用标准值。

### 2.6.2 桩身偏心受压正截面验算

管桩桩身作用效应基本组合设计值：

$$N_{d,min} = 1.0 \times (398.6 + 895.3) - 1.0 \times 58.0 - 1.4 \times 248.3 - 1.0 \times 1.1 \times 138.8$$

$$- 0.75 \times (1.4 \times 65.1 + 1.4 \times 20.7) = 645.5\text{kN}$$

$$N_{d,max} = 1.2 \times (398.6 + 895.3) - 1.0 \times 58.0 + 1.4 \times 367.3 + 1.0 \times 1.1 \times 138.8$$

$$+ 0.75 \times (1.4 \times 248.3 + 1.4 \times 20.7) = 2444.0\text{kN}$$

$$M_{d,横} = -1.0 \times (5.2 + 0.8) + 55.3 + 1.0 \times 1.1 \times 24.3$$

$$+ 0.75 \times (1.4 \times 9.3 + 1.4 \times 11.3) = 97.7\text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{d,顺} = 1.4 \times 37.4 = 52.4\text{kN} \cdot \text{m}$$

$$\gamma_0 \eta M_d = \gamma_0 \eta \sqrt{M_{d,横}^2 + M_{d,顺}^2} = 1.1 \times 1 \times \sqrt{97.7^2 + 52.4^2}$$

$$= 122.0\text{kN} \cdot \text{m}$$

查规程 T/CECS G: D67-03—2021 的图 D.0.7 可知，点  $(\gamma_0 \eta M_d, N_{d,min})$  和点  $(\gamma_0 \eta M_d, N_{d,max})$  均位于 PRC800B110 型管桩的偏心受压  $N-M$  曲线的包络范围内，故管桩桩身偏心受压承载力满足规范要求。

### 2.6.3 桩身斜截面抗剪验算

管桩桩身作用效应基本组合设计值：

$$V_{d,横} = -1.0 \times (2.6 + 0.4) + 46.8 + 1.0 \times 1.1 \times 22.7$$

$$+ 0.75 \times (1.4 \times 2.5 + 1.4 \times 5.5) = 77.2\text{kN} \cdot \text{m}$$

$$V_{d,顺} = 1.4 \times 13.1 = 18.3\text{kN} \cdot \text{m}$$

$$\gamma_0 V_d = \gamma_0 \sqrt{V_{d,横}^2 + V_{d,顺}^2} = 1.1 \times \sqrt{77.2^2 + 18.3^2} = 87.3\text{kN} \cdot \text{m}$$

查规程 T/CECS G: D67-03—2021 的表 B.0.2 可知，桩身抗剪承载力设计值  $V = 434\text{kN} > \gamma_0 V_d = 87.3\text{kN}$ ，故管桩桩身斜截面抗剪承载力满足规范要求。

### 2.6.4 管桩与承台连接处正截面验算

由本计算示例的 2.6.2 可知： $N_{d,min} = 645.5\text{kN}$ ， $N_{d,max} = 2444.0\text{kN}$ ， $\gamma_0 \eta M_d = 122.0\text{kN} \cdot \text{m}$ 。

按规范 GB 50010-2010 第 E.0.3 条进行计算：

$$N_{ud} = \alpha \alpha_1 f_{cd} A + (\alpha - \alpha_t) f_{sd} A_s$$

$$M_{ud} = \alpha_1 f_{cd} A (r_1 + r_2) \frac{\sin \pi \alpha}{2\pi} + f_{sd} A_s r_s \frac{(\sin \pi \alpha + \sin \pi \alpha_t)}{\pi}$$

$$\alpha_t = 1 - 1.5\alpha$$

故管桩轴力最大时，管桩与承台连接处正截面验算满足规范要求。

根据规范 GB 50010-2010 第 6.2.6 条可知，当混凝土强度等级为 C80 时， $\alpha_1 = 0.94$ 。

(1) 计算管桩轴力最小为 645.5kN 时：

当  $\alpha = 0.173915$  时， $\alpha_t = 1 - 1.5\alpha = 1 - 1.5 \times 0.173915 = 0.7391275$ ：

$$N_{ud} = \alpha \alpha_1 f_{cd} A + (\alpha - \alpha_t) f_{sd} A_s$$

$$= [0.173915 \times 0.94 \times 34.6 \times \pi \times (400^2 - 290^2) + (0.173915 - 0.7391275)$$

$$\times 330 \times 3770.4] / 10^3 = 645.5 \text{ kN}$$

$$M_{ud} = \alpha_1 f_{cd} A (r_1 + r_2) \frac{\sin \pi \alpha}{2\pi} + f_{sd} A_s r_s \frac{(\sin \pi \alpha + \sin \pi \alpha_t)}{\pi}$$

$$= \left[ 0.94 \times 34.6 \times \pi \times (400^2 - 290^2) \times (400 + 290) \times \frac{\sin(180 \times 0.173915)}{2 \times \pi} + 330 \right.$$

$$\times 3770.4 \times 250 \times \left. \frac{\sin(180 \times 0.173915) + \sin(180 \times 0.7391275)}{\pi} \right] / 10^6$$

$$= 566.3 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M(N_{ud}) = 566.3 \text{ kN} \cdot \text{m} > \gamma_0 \eta M_d = 122.0 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

故管桩轴力最小时，管桩与承台连接处正截面验算满足规范要求。

(2) 计算管桩轴力最大为 2444.0kN 时：

当  $\alpha = 0.339434$  时， $\alpha_t = 1 - 1.5\alpha = 1 - 1.5 \times 0.339434 = 0.490849$ ，计算：

$$N_{ud} = \alpha \alpha_1 f_{cd} A + (\alpha - \alpha_t) f_{sd} A_s$$

$$= [0.339434 \times 0.94 \times 34.6 \times \pi \times (400^2 - 290^2) + (0.339434 - 0.490849) \times 330$$

$$\times 3770.4] / 10^3 = 2444.0 \text{ kN}$$

$$M_{ud} = \alpha_1 f_{cd} A (r_1 + r_2) \frac{\sin \pi \alpha}{2\pi} + f_{sd} A_s r_s \frac{(\sin \pi \alpha + \sin \pi \alpha_t)}{\pi}$$

$$= \left[ 0.94 \times 34.6 \times \pi \times (400^2 - 290^2) \times (400 + 290) \times \frac{\sin(180 \times 0.339434)}{2 \times \pi} + 330 \right.$$

$$\times 3770.4 \times 250 \times \left. \frac{\sin(180 \times 0.339434) + \sin(180 \times 0.490849)}{\pi} \right] / 10^6$$

$$= 931.2 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M(N_{ud}) = 931.2 \text{ kN} \cdot \text{m} > \gamma_0 \eta M_d = 122.0 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

### 3 桥墩抗震验算

#### 3.1 假定的项目建设条件

- (1) 基本地震动峰值加速度：0.10g。
- (2) 反应谱特征周期：0.4s。
- (3) 桥梁抗震设防类别：B类。
- (4) 水深：小于或等于 5m。

#### 3.2 抗震设计方法及抗震体系

根据规范 JTG/T 2231-01—2020 第 3.3.2 条，本计算示例抗震设计方法选用 1 类，即应进行 E1 和 E2 地震作用下的抗震分析和抗震验算，并应满足本规范第 3.4 节的要求以及相关构造和抗震措施的要求。

本计算示例连续墩采用 GBZJ 550×550×110 板式橡胶支座，过渡墩采用 GBZJH 300×300×76 板式橡胶支座；抗震体系为类型 I：地震作用下，桥梁的弹塑性变形、耗能部位位于桥墩。

#### 3.3 桥梁工程场地

假定桥梁工程场地范围内无发震断裂，属于桥梁抗震有利的地段。

周边土假定为可塑、硬塑黏性土， $m$ 值取 8000kN/m<sup>4</sup>，土层剪切波速  $500 \geq v_s \geq 250$ m/s，土层厚度大于 10m。根据规范 JTG/T 2231-01—2020 第 4.1.9 条，本计算示例的桥梁工程场地类别为 II 类。

#### 3.4 地震作用

根据规范 JTG/T 2231-01—2020 第 5.1.2 条，本计算示例只考虑水平向地震作用，直线桥可分别考虑顺桥向  $X$  和横桥向  $Y$  的地震作用。

抗震重要性系数：E1 地震作用  $C_i = 0.5$ ；E2 地震作用  $C_i = 1.7$ 。

场地系数： $C_s = 1$ 。

阻尼调整系数： $C_d = 1$ 。

水平向基本基本地震动峰值加速度： $A = 0.10g$ 。

设计加速度反应谱最大值：E1 地震作用  $S_{\max} = 0.125g$ ；E2 地震作用  $S_{\max} = 0.425g$ 。

#### 3.5 抗震分析

根据规范 JTG/T 2231-01—2020 第 6.1.3 条可知，桥台或过渡墩处使用滑板支座属于非规则桥梁，E1 和 E2 地震作用下桥梁的抗震分析计算方法可采用 MM（或功率谱方法）或者 TH（线性或非线性时程分析方法）。

#### 3.6 计算模型

本计算示例假定直线桥、正交、常温，上部结构 4×30m 共一联，下部结构桥梁两端为重力式桥台，桥墩为典型方案三中采用预制实心墩柱和管桩基础的装配式桥墩，墩柱高度均为 10m。计算软件采用通用空间有限元分析软件 Midas Civil NX，建立桥梁结构的空间动力计算模型如下图所示。

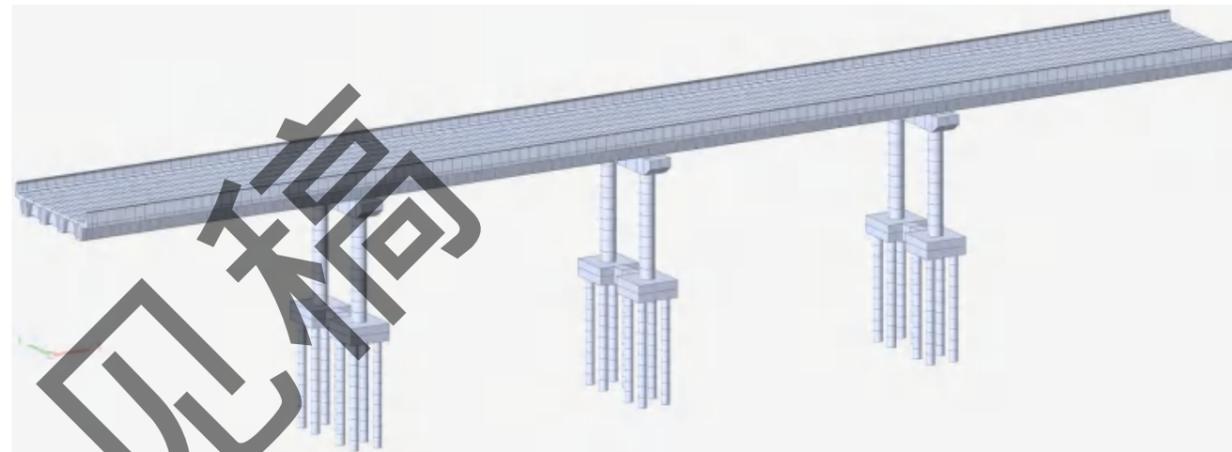


图 3 桥梁结构的空间动力计算有限元模型

GBZJ 550×550×110 板式橡胶支座剪切刚度：

$$k = \frac{G_d A_r}{\sum t} = \frac{1200 \times 0.55 \times 0.55}{0.08} = 4537.5 \text{ kN/m}$$

GBZJH 300×300×76 板式橡胶支座剪切刚度：

$$k = \frac{G_d A_r}{\sum t} = \frac{1200 \times 0.3 \times 0.3}{0.053} = 2037.7 \text{ kN/m}$$

$$F_{\max} = \mu_d R = 0.06 \times 750 = 45 \text{ kN}$$

$$x_y = \frac{F_{\max}}{nk} = \frac{45}{2 \times 2037.7} = 0.011 \text{ m}$$

本计算示例按承台顶部埋深 0.5m，承台、管桩与周边土的相互作用均采用等代土弹簧进行模拟， $m_{\text{动}}$  取 2.5 倍  $m_{\text{静}}$ ，故  $m_{\text{动}} = 2.5 \times 8000 = 20000 \text{ kN/m}^4$ 。

#### 3.7 E1 地震作用验算

##### 3.7.1 振型计算

本计算示例采用多振型反应谱法，先不考虑纵横向挡块等限位措施的影响，并按滑板支座顺桥向允许位移量 70mm 换算一片主梁下两个滑动支座的等效水平剪切刚度为 643kN/m。

E1 地震作用下，所有构件的抗弯刚度均按全截面计算，采用多重 Ritz 向量法在顺桥向和横桥向各取 10 阶后，顺桥向质量参与系数 99.98%，横桥向质量参与系数 99.99%；满足所考虑

的振型阶数在计算方向的质量参与系数在 90% 以上的要求，振型组合方法采用 CQC 方法。

### 3.7.2 支座变形

顺桥向 E1 地震作用下，桥台处滑动支座顺桥向变形 24.3mm，桥墩处板式橡胶支座顺桥向变形 11.1mm；横桥向 E1 地震作用下，桥台处滑动支座横桥向变形 19.3mm，桥墩处板式橡胶支座横桥向变形 15.1mm。位移计算结果显示支座变形值小，且小于滑板支座允许位移量，内力计算结果用于墩柱强度验算基本合理。

### 3.7.3 作用的标准值

本计算示例桥墩的水平抗推刚度相同，计算结果显示地震作用下墩柱底部的顺桥向、横桥向弯矩值非常接近，由“2.4.1 补充说明”可知墩柱最不利验算部位为墩柱底部轴力最小值处。

表 6 墩柱底部作用标准值表

序号	荷载工况	轴向力 (kN)	横桥向弯矩 (kN·m)	顺桥向弯矩 (kN·m)
1	永久作用	4090.7	0.7	0
2	地震作用	顺桥向 X	0	1341.0
3		横桥向 Y	-362.1	817.6

注：1. 墩柱受压取正；2. 弯矩值对应墩柱轴力受压最小值处。

### 3.7.4 墩柱强度验算

(1) 计算方向为顺桥向 X 时：

$$N_d = 4090.7 \text{ kN}$$

$$M_{E\text{顺}} = \sqrt{M_{\text{顺}X}^2 + M_{\text{顺}Y}^2} = \sqrt{1341.0^2 + 0^2} = 1341.0 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{d\text{顺}} = M_{\text{永顺}} + M_{E\text{顺}} = 0 + 1341.0 = 1341.0 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$e_{0\text{顺}} = M_{d\text{顺}}/N_d = 1341.0/4090.7 = 0.328 \text{ m} > \max(0.02, 1.4/30) \text{ m}$$

顺桥向墩柱的计算长度  $l_{0\text{顺}} = 2.1h = 21 \text{ m}$ ，偏心矩增大系数， $\eta_{\text{顺}} = 1.608$ 。

$$\gamma_0 \eta M_d = 1.1 \times 1.608 \times 1341.0 = 2372.0 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

当  $N_{\text{ud}} = N_d = 4090.7 \text{ kN}$  时，计算得  $\alpha = 0.333518$ ，则有： $M_{\text{ud}}(N_d) = 4899 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$$\gamma_0 \eta M_d = 2372.0 \text{ kN} \cdot \text{m} < M_{\text{ud}}(N_d) = 4899 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

故墩柱的偏心受压承载力满足规范要求。

(2) 计算方向为横桥向 Y 时：

$$N_d = 4090.7 - 362.1 = 3728.6 \text{ kN}$$

$$M_{E\text{横}} = \sqrt{M_{\text{横}X}^2 + M_{\text{横}Y}^2} = \sqrt{0^2 + 817.6^2} = 817.6 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{d\text{横}} = M_{\text{永横}} + M_{E\text{横}} = 0.7 + 817.6 = 818.3 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$e_{0\text{横}} = M_{d\text{横}}/N_d = 818.3/3728.6 = 0.220 \text{ m} > \max(0.02, 1.4/30) \text{ m}$$

横桥向墩柱的计算长度  $l_{0\text{横}} = 1.2h = 12 \text{ m}$ ，偏心矩增大系数， $\eta_{\text{横}} = 1.221$ 。

$$\gamma_0 \eta M_d = 1.1 \times 1.221 \times 818.3 = 1099.1 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

当  $N_{\text{ud}} = N_d = 3728.6 \text{ kN}$  时，计算得  $\alpha = 0.3274396$ ，则有： $M_{\text{ud}}(N_d) = 4784 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$$\gamma_0 \eta M_d = 1099.1 \text{ kN} \cdot \text{m} < M_{\text{ud}}(N_d) = 4784 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

故墩柱的偏心受压承载力满足规范要求。

## 3.8 E2 地震作用验算

### 3.8.1 振型计算

本计算示例采用多振型反应谱法，先不考虑纵横向挡块等限位措施的影响，并按滑板支座顺桥向允许位移量 70mm 换算一片主梁下两个滑动支座的等效水平剪切刚度为 643kN/m。

E2 地震作用下，所有构件的抗弯刚度先按全截面计算，采用多重 Ritz 向量法在顺桥向和横桥向各取 10 阶后，顺桥向质量参与系数 99.95%，横桥向质量参与系数 99.99%。以上均满足所考虑的振型阶数在计算方向的质量参与系数在 90% 以上的要求，振型组合方法采用 CQC 方法。

### 3.8.2 支座变形

顺桥向 E2 地震作用下，桥台处滑动支座顺桥向变形 82.5mm，桥墩处板式橡胶支座顺桥向变形 37.9mm；横桥向 E2 地震作用下，桥台处滑动支座横桥向变形 65.5mm，桥墩处板式橡胶支座横桥向变形 51.2mm。位移计算结果显示支座变形值大，甚至大于滑板支座允许位移量。

根据规范 JTG/T 2231-01-2020 第 3.1.3 条规定，本计算示例桥墩的抗震措施等级为三级；则按该规范第 11.4.3 条规定，本计算示例桥墩应采用合理的限位措施，防止结构相邻构件产生过大的相对位移。本计算示例支承系统总高度取 30cm，挡块内侧设置 2cm 厚橡胶垫块后间隙为 60mm，故横桥向支座限制位移为 60mm；桥台处设 80 型伸缩缝，桥台背墙距离梁端间隙 8cm，桥台背墙内侧设置 2cm 厚橡胶垫块后间隙为 60mm，故顺桥向支座限制位移为 60mm。

桥墩处板式橡胶支座横桥向和顺桥向变形值均小于支座限制位移值，需对支座厚度和抗滑稳定性进行抗震验算；桥台处滑动支座的横桥向和顺桥向变形值均大于支座限制位移值，需对支座等效刚度进行调整，并得到上构主梁对桥台挡块和桥台背墙的推力，用于桥台的抗震验算（本计算示例仅对桥墩进行验算）。

### 3.8.3 桥台支座刚度调整

通过试算,桥台处支座顺桥向等效刚度调整为 4150kN/m,横桥向等效刚度调整为 1460kN/m 时,桥台处支座顺桥向和横桥向变形值均为支座限制位移 60mm。

### 3.8.3 作用的标准值

墩柱最不利验算部位继续取墩柱底部轴力最小值处。

表 7 墩柱底部作用标准值表

序号	荷载工况		轴向力 (kN)	横桥向弯矩 (kN·m)	顺桥向弯矩 (kN·m)
1	永久作用		4091.1	0.5	0
2	地震作用	顺桥向 X	0	0	3492.5
3		横桥向 Y	-1186.7	2680.4	0

注: 1. 墩柱受压取正; 2. 弯矩值对应墩柱轴力受压最小值处。

### 3.8.4 墩柱强度验算

(1) 计算方向为顺桥向 X 时:

$$N_d = 4091.1 \text{ kN}$$

$$M_{E\text{顺}} = \sqrt{M_{\text{顺}X}^2 + M_{\text{顺}Y}^2} = \sqrt{3492.5^2 + 0^2} = 3492.5 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{d\text{顺}} = M_{\text{永顺}} + M_{E\text{顺}} = 0 + 3492.5 = 3492.5 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$e_{0\text{顺}} = M_{d\text{顺}}/N_d = 3492.5/4091.1 = 0.854 \text{ m} > \max(0.02, 1.4/30) \text{ m}$$

顺桥向墩柱的计算长度  $l_{0\text{顺}} = 2.1h = 21 \text{ m}$ , 偏心矩增大系数,  $\eta_{\text{顺}} = 1.271$ 。

$$\gamma_0 \eta M_d = 1.1 \times 1.271 \times 3492.5 = 4882.9 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

E2 地震作用下墩柱强度按材料标准值进行计算, 当  $N_{\text{ud}} = N_d = 4091.1 \text{ kN}$  时, 计算得  $\alpha = 0.3057074$ , 则有:  $M_{\text{ud}}(N_d) = 5842 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$$\gamma_0 \eta M_d = 4882.9 \text{ kN} \cdot \text{m} < M_{\text{ud}}(N_d) = 5842 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

故 E2 地震作用下, 墩柱仍处于弹性工作范围内。

(2) 计算方向为横桥向 Y 时:

$$N_d = 4091.1 - 1186.7 = 2904.4 \text{ kN}$$

$$M_{E\text{横}} = \sqrt{M_{\text{横}X}^2 + M_{\text{横}Y}^2} = \sqrt{0^2 + 2680.4^2} = 2680.4 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{d\text{横}} = M_{\text{永横}} + M_{E\text{横}} = 0.5 + 2680.4 = 2680.9 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$e_{0\text{横}} = M_{d\text{横}}/N_d = 2680.9/2904.4 = 0.923 \text{ m} > \max(0.02, 1.4/30) \text{ m}$$

横桥向墩柱的计算长度  $l_{0\text{横}} = 1.2h = 12 \text{ m}$ , 偏心矩增大系数,  $\eta_{\text{横}} = 1.082$ 。

$$\gamma_0 \eta M_d = 1.1 \times 1.082 \times 2680.9 = 3190.8 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

E2 地震作用下墩柱强度按材料标准值进行计算, 当  $N_{\text{ud}} = N_d = 2904.4 \text{ kN}$  时, 计算得  $\alpha = 0.289811$ , 则有:  $M_{\text{ud}}(N_d) = 5380.3 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$$\gamma_0 \eta M_d = 3190.8 \text{ kN} \cdot \text{m} < M_{\text{ud}}(N_d) = 5380.3 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

故 E2 地震作用下, 墩柱仍处于弹性工作范围内。

### 3.8.5 能力保护构件验算

根据规范 JTG/T 2231-01-2020 第 6.7.1 条可知: 在 E2 地震作用下, 墩柱尚未进入塑性工作范围内, 桥梁墩柱的剪力设计值、桥梁基础和盖梁的内力设计值可用 E2 地震作用的计算结果。

(1) 墩柱抗剪验算

E2 地震作用与永久作用效应组合后最大墩柱剪力:

$$V_{c0} = 530.2 \text{ kN}$$

墩柱塑性铰区域截面全面积:

$$A_g = \pi \times 70^2 = 15393.8 \text{ cm}^2$$

核心混凝土面积:

$$A_e = 0.8A_g = 0.8 \times 15393.8 = 12315 \text{ cm}^2$$

箍筋配筋率:

$$\rho_s = \frac{4A_{sp}}{sD'} = \frac{4 \times (4 \times 1.131)}{10 \times 131.4} = 0.0138 \leq 2.4/f_{yh} = 2.4/330 = 0.0073$$

故  $\rho_s$  取值 0.0073。

中间参数:

$$\lambda = \frac{\rho_s f_{yh}}{10} + 0.38 - 0.1\mu_{\Delta} = \frac{0.0073 \times 330}{10} + 0.38 - 0.1 \times 6.0 = 0.02 \leq 0.03$$

故:  $\lambda$  取值 0.03。

塑性铰区混凝土抗剪强度:

$$v_c = \lambda \left( 1 + \frac{P_c}{1.38A_g} \right) \sqrt{f_{cd}} = 0.03 \times \left( 1 + \frac{2904.4}{1.38 \times 15393.8} \right) \times \sqrt{18.4} = 0.146 \text{ MPa}$$

$$\leq \min \begin{cases} 0.355\sqrt{f_{cd}} = 0.355 \times \sqrt{18.4} = 1.523 \\ 1.47\lambda\sqrt{f_{cd}} = 1.47 \times 0.03 \times \sqrt{18.4} = 0.189 \end{cases} = 0.189\text{MPa}$$

故： $v_c = 0.146\text{MPa}$

塑性铰区混凝土的抗剪能力贡献：

$$V_c = 0.1v_c A_e = 0.1 \times 0.146 \times 12315 = 179.8\text{kN}$$

横向钢筋的抗剪能力贡献：

$$V_s = 0.1 \times \frac{\pi A_{sp} f_{yh} D'}{2s} = 0.1 \times \frac{\pi}{2} \times \frac{4 \times 1.131 \times 330 \times 131.4}{10} = 3081.4\text{kN}$$

塑性铰区斜截面抗剪强度：

$$\phi(V_c + V_s) = 0.85 \times (179.8 + 3081.4) = 2772.0\text{kN}$$

$$V_{c0} = 530.2\text{kN} < \phi(V_c + V_s) = 2772.0\text{kN}$$

故墩柱塑性铰区域沿顺桥向和横桥向的斜截面抗剪强度满足规范要求。

(2) 承台验算

① 承台极限承载力验算

典型方案三采用“墩柱-桩基承台新型承插式连接”，验算承台极限承载力首先按规范 JTG/T 3365-05—2022 第 C.0.5 条进行拉压杆模型修正。墩柱的圆形截面换算为边长等于其 0.8 倍直径的方形截面，则有承台下面外排桩中心与墩身边缘的距离  $x = 0.64\text{m}$  小于修正后的承台高度  $h = 1.1\text{m}$ ，承台的极限承载力计算按规范 JTG 3362—2018 第 8.5.4 条进行验算。

E2 地震作用与永久作用效应组合后单桩作用于承台底面的最大竖向力设计值：

$$N_{id,max} = 2298.9\text{kN}$$

承台有效高度： $h_0 = 0.872\text{m}$

压杆中线与承台顶面的交点至墩台边缘的距离：

$$a = 0.15h_0 = 0.15 \times 1.372 = 0.206\text{m}$$

斜压杆与拉杆之间的夹角：

$$\theta_i = \tan^{-1} \frac{h_0}{a+x} = \tan^{-1} \frac{0.872}{0.206+0.64} = 45.867^\circ$$

拉杆钢筋的顶层钢筋中心至承台底的距离： $s = 0.228\text{m}$

拉杆钢筋直径： $d = 0.025\text{m}$

管桩的支撑面计算宽度： $b = 0.8D = 0.8 \times 0.8 = 0.64\text{m}$

压杆计算高度：

$$h_a = s + 6d = 0.228 + 6 \times 0.025 = 0.378\text{m}$$

$$t = b\sin\theta + h_a\cos\theta = 0.64 \times \sin 45.867 + 0.378 \times \cos 45.867 = 0.72\text{m}$$

压杆的内力设计值：

$$C_d = N_d / \sin\theta = 2 \times N_{id,max} / \sin\theta = 2 \times 2298.9 / \sin 45.867 = 6406.1\text{kN}$$

拉杆的内力设计值：

$$T_d = N_d / \tan\theta = 2 \times N_{id,max} / \tan\theta = 2 \times 2298.9 / \tan 45.867 = 4460.7\text{kN}$$

与混凝土强度等级有关参数  $\beta_c$  取 1.30。

压杆的计算宽度： $b_s = 4\text{m}$

在压杆计算宽度  $b_s$ （拉杆计算宽度）范围内拉杆钢筋截面面积： $A_s = 19145.1\text{mm}^2$

混凝土压杆的等效抗压强度设计值：

$$\varepsilon_1 = \frac{T_d}{A_s E_s} + \left( \frac{T_d}{A_s E_s} + 0.002 \right) \cot^2 \theta = \frac{4460.7 \times 10^3}{19145.1 \times 2 \times 10^5}$$

$$+ \left( \frac{4460.7 \times 10^3}{19145.1 \times 2 \times 10^5} + 0.002 \right) \cot^2 45.867 = 4.144 \times 10^{-3}$$

$$f_{ce,d} = \min \left( \frac{\beta_c f_{cd}}{0.8 + 170\varepsilon_1} = \frac{1.3 \times 18.4}{0.8 + 170 \times 4.144 \times 10^{-3}}, \frac{0.85\beta_c f_{cd}}{0.85 \times 1.3 \times 18.4} = 20.33 \right) = 15.90\text{MPa}$$

斜压杆承载能力：

$$t b_s f_{ce,d} = 0.72 \times 4 \times 15.90 \times 10^3 = 45792\text{kN} > \gamma_0 C_d = 1.1 \times 6406.1 = 7046.7\text{kN}$$

故斜压杆承载能力符合规范规定。

拉杆承载能力：

$$f_{sd} A_s = 330 \times 19145.1 \times 10^{-3} = 6317.9\text{kN} > \gamma_0 T_d = 1.1 \times 4460.7 = 4906.8\text{kN}$$

故拉杆承载能力符合规范规定。

② 管桩向上冲切承台的冲切承载力验算

承台边缘至桩内边缘的水平距离： $b_x = b_y = 1.12\text{m}$

冲跨，管桩边缘到墩柱边缘的水平距离： $a_x = a_y = 0.32\text{m}$

冲跨比： $\lambda_x = \lambda_y = a_x / h_0 = a_y / h_0 = 0.32 / 1.372 = 0.233$

与冲跨比对应的冲切承载力系数：

$$\alpha'_{px} = \alpha'_{py} = \frac{0.8}{\lambda_x + 0.2} = \frac{0.8}{\lambda_y + 0.2} = \frac{0.8}{0.233 + 0.2} = 1.85$$

承台的冲切承载能力：

$$0.6f_{td}h_0 \left[ \alpha'_{px} \left( b_y + \frac{a_y}{2} \right) + \alpha'_{py} \left( b_x + \frac{a_x}{2} \right) \right] = 0.6 \times 1.65 \times 1.372$$

$$\times [1.85 \times (1.12 + 0.32) + 1.85 \times (1.12 + 0.32)] \times 10^3 = 7236.9\text{kN}$$

$$> \gamma_0 F_{ld} = 1.1 \times 2298.9 = 2528.8\text{kN}$$

故管桩向上冲切承台的冲切承载能力满足规范要求。

### ③承台抗冲切承载力验算

承台冲切承载力按规范 JTG/T 3365-05—2022 第 C.0.4 条进行估算。E2 地震作用与永久作用效应组合后墩柱作用于承台的最大竖向力设计值：

$$F_{ld} = 5811.5\text{kN}$$

承台底板高度 0.5m，对应承台底板高度尺寸效应系数  $\beta_h = 0.94$ 。

承台墩底破坏锥体截面面积的周长  $U_m = 6024\text{mm}$ 。

墩底距离承台底板主筋的距离： $h_0 = 386\text{mm}$ 。

预留承插孔周边 U 形抗冲切钢筋总截面面积： $A_{su} = 29454\text{mm}^2$ 。

墩柱截面周长： $U = 4398\text{mm}$ 。

双侧键槽剪应力设计值： $\tau_c = 0.08f_{cd} = 0.08 \times 18.4 = 1.47\text{MPa}$ 。

承台抗冲切承载力：

$$0.35\beta_h f_{td} U_m h_0 + 0.75f_{sd} A_{su} + 0.5U X \tau_c = 0.35 \times 0.94 \times 1.65 \times 6024 \times 386$$

$$+ 0.75 \times 330 \times 29454 + 0.5 \times 4398 \times 1000 \times 1.47 = 11785\text{kN}$$

$$> \gamma_0 F_{ld} = 1.1 \times 5811.5 = 6392.7\text{kN}$$

故墩柱向下冲切承台的冲切承载能力满足规范要求。

### ④管桩作用面处承台的局部承压承载力验算

不扣除管桩填芯部分的混凝土局部受压面积： $A_l = 0.25\pi D^2 = 0.503\text{m}^2$

偏安全扣除管桩填芯部分的混凝土局部受压面积： $A_{ln} = \pi(0.4^2 - 0.29^2) = 0.238\text{m}^2$

局部受压时的计算底面积： $A_b = 1.6 \times 1.6 = 2.56\text{m}^2$

混凝土局部承压强度提高系数：

$$\beta = \sqrt{\frac{A_b}{A_l}} = \sqrt{\frac{2.56}{0.503}} = 2.256$$

局部受压面积上的局部压力设计值： $F_{ld} = N_{id,max} = 2298.9\text{kN}$

局部受压区的截面尺寸验算：

$$1.3\eta_s \beta f_{cd} A_{ln} = 1.3 \times 1.0 \times 2.256 \times 18.4 \times 0.238 \times 10^3 = 12843.3\text{kN}$$

$$> \gamma_0 F_{ld} = 1.1 \times 2298.9 = 2528.8\text{kN}$$

故管桩作用于承台处局部的截面尺寸满足局部承压构件的规范要求。

未设置间接钢筋并不计间接钢筋贡献验算其局部抗压承载力为：

$$0.9\eta_s \beta f_{cd} A_{ln} = 0.9 \times 1.0 \times 2.256 \times 18.4 \times 0.238 \times 10^3 = 8891.5\text{kN}$$

$$> \gamma_0 F_{ld} = 1.1 \times 2298.9 = 2528.8\text{kN}$$

故管桩作用于承台处局部抗压承载力满足规范要求。

### (4)管桩验算

#### ①桩身偏心受压正截面验算

管桩规格采用 PRC800B110，作用地震组合的最大弯矩位于管桩顶部且数值较接近，分别取桩顶处最大轴力和最小轴力及对应弯矩值为：

$$(N_{\min}, M) = (215.6\text{kN}, 135.9\text{kN} \cdot \text{m})$$

$$(N_{\max}, M) = (2321.1\text{kN}, 137.3\text{kN} \cdot \text{m})$$

查规程 T/CECS G: D67-03—2021 的附录 D 的图 D.0.7 可知，点(215.6kN, 135.9kN·m)和点(2321.1kN, 137.3kN·m)均位于 PRC800B110 型管桩的偏心受压  $N - M$  曲线的包络范围内，故管桩桩身偏心受压承载力满足规范要求。

#### ②桩身斜截面抗剪验算

作用地震组合最大剪力设计值： $V_{\max} = 98.3\text{kN}$

查规程 T/CECS G: D67-03—2021 的表 B.0.2 可知，桩身抗剪承载力设计值  $V = 434\text{kN} > V_{\max} = 98.3\text{kN}$ ，故管桩桩身斜截面抗剪承载力满足规范要求。

#### ③管桩与承台连接处正截面验算

按规范 GB 50010-2010 第 E.0.3 条进行计算：

$$N_{ud} = \alpha \alpha_1 f_{cd} A + (\alpha - \alpha_t) f_{sd} A_s$$

$$M_{ud} = \alpha_1 f_{cd} A (r_1 + r_2) \frac{\sin \pi \alpha}{2\pi} + f_{sd} A_s r_s \frac{(\sin \pi \alpha + \sin \pi \alpha_t)}{\pi}$$

$$\alpha_t = 1 - 1.5\alpha$$

当  $N_{ud}$  取最小值 215.6kN 时，计算得  $\alpha = 0.134351$ ，则  $M_{ud} = 448\text{kN} \cdot \text{m} > M = 135.9\text{kN} \cdot \text{m}$ ；  
当  $N_{ud}$  取最大值 2321.1kN 时，计算得  $\alpha = 0.328123$ ，则  $M_{ud} = 914.4\text{kN} \cdot \text{m} > M = 137.3\text{kN} \cdot \text{m}$ ，  
故管桩与承台连接处正截面验算满足规范要求。

### (5) 盖梁验算

E2 地震作用与恒载作用下盖梁的弯矩和剪力组合值如下表所示。

表 8 盖梁典型断面地震组合验算

序号	荷载工况	内侧正弯矩 (kN·m)	墩顶负弯矩 (kN·m)	墩顶正弯矩 (kN·m)	内侧剪力 (kN)	墩外负弯矩 (kN·m)
1	恒载+地震	—	-6055.8	—	3057.1	-3344.4
2	恒载-地震	2147.7	—	662.1	—	—

注：1. 地震组合分别取对应位置的最大值和最小值；  
2. 本计算示例仅取典型断面进行验算；  
3. 预留承插孔的影响尚应进行有限元分析和模型试验验证。

本计算示例前文的“2.3 盖梁验算”中：内侧正弯矩 $\gamma_0 M_d = 3360 \text{ kN}\cdot\text{m}$ 、墩顶负弯矩 $\gamma_0 M_d = -6167 \text{ kN}\cdot\text{m}$ 、墩内剪力 $\gamma_0 V_d = 4055.9 \text{ kN}$ 、墩外负弯矩 $\gamma_0 M_d = -5351.9 \text{ kN}\cdot\text{m}$  均比地震组合的效应设计值大，故仅需补充墩顶正弯矩进行验算，盖梁截面抗弯强度验算可采用材料强度标准值计算，本计算示例采用材料强度设计值。

盖梁墩顶正弯矩计算时： $l/h = 7/1.6 = 4.375 > 2.5$ ，即应按钢筋混凝土一般构件计算。

混凝土受压区高度：

$$x = (f_{sd}A_s - f'_{sd}A'_s)/(f_{cd}b) = (330 \times 14779.2 - 330 \times 30790)/(18.4 \times 2200) = -130.5 \text{ mm} < 2a'_s$$

盖梁正截面抗弯承载力设计值：

$$M_{ud} = f_{sd}A_s(h - a_s - a'_s) = 330 \times 14779.2 \times (1600 - 107 - 94.2)/10^6 = 6822 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_d = 662.1 \text{ kN}\cdot\text{m} < M_{ud}$ ，故正截面抗弯验算满足规范要求。

### (6) 支座验算

#### ① 永久作用效应

本计算示例未考虑结构重力（恒载）和上部结构结构连续后张拉预应力引起的支座变形，无土压力和水压力。

#### ② 地震作用效应

E2 地震作用下规格为 GBZJ 550×550×110 的板式橡胶支座顺桥向位移 26.1mm，横桥向位移 48.1mm。

#### ③ 温度作用效应

30℃ 均匀温度作用效应：顺桥向位移 4.4mm，横桥向位移 0.0mm。

#### ④ 支座厚度验算

顺桥向橡胶支座水平位移： $X_B = X_D + X_H + 0.5X_T = 26.1 + 0 + 0.5 \times 4.4 = 28.3 \text{ mm}$

横桥向橡胶支座水平位移： $X_B = X_D + X_H + 0.5X_T = 48.1 + 0 + 0.5 \times 0.0 = 48.1 \text{ mm}$

橡胶层的总厚度 $\sum t = 80 \text{ mm} > X_{B,\max} = 48.1 \text{ mm}$ ，满足支座厚度规范要求。

#### ⑤ 支座抗滑稳定性验算

横桥向橡胶支座所受水平力：

$$E_{hzh} = E_{hze} + E_{hzd} + 0.5E_{hzt} = 118.4 + 0 + 0.5 \times 20.0 = 128.4 \text{ kN}$$

顺桥向橡胶支座所受水平力：

$$E_{hzh} = E_{hze} + E_{hzd} + 0.5E_{hzt} = 218.3 + 0 + 0 = 218.3 \text{ kN}$$

偏安全取支座所受轴力最小值： $R_b = 1457.7 \text{ kN}$

支座动摩阻力系数： $\mu_d = 0.25$

$$\mu_d R_b = 0.25 \times 1457.7 = 364.4 \text{ kN} > E_{hzh} = 218.3 \text{ kN}$$

故支座抗滑稳定性验算满足规范要求。

### 3.9 承插式连接节点验算

#### 3.9.1 墩柱-多桩承台新型承插式连接

本通用图中墩柱-多桩承台新型承插式连接构造与规范 JTG/T 3365-05-2022 第 C.0.1 条中给出的圆形管墩-承台承插式连接构造相似，采用附录 C 中相关公式进行估算并通过试验验证。根据规范 JTG/T 2231-01-2020 第 6.7.1 条可知：在 E2 地震作用下，墩柱尚未进入塑性工作范围内，桥梁墩柱的剪力设计值、桥梁基础和盖梁的内力设计值可用 E2 地震作用的计算结果；本计算示例偏安全的按墩柱截面超强弯矩和对应的剪力设计值进行验算。

#### (1) 承插深度估算

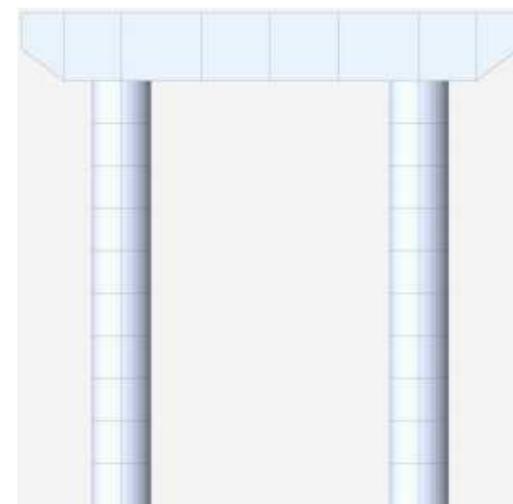


图 4 超强弯矩和剪力设计值计算有限元模型

根据规范 JTG/T 2231-01—2020 第 6.7.4 条和 6.7.5 条可知，计算桥墩塑性铰区域截面顺桥向横桥向超强弯矩和剪力设计值时采用单个桥墩进行计算，计算软件采用通用空间有限元分析软件 Midas Civil NX，建立的计算模型如下图所示。

①顺桥向超强弯矩和剪力设计值：

双柱墩塑性铰区域截面顺桥向超强弯矩和剪力设计值按规范 JTG/T 2231-01—2020 第 6.7.4 条计算，计算 $M_u$ 时最不利轴力可取为恒载轴力，本计算示例中最不利轴力取桥墩自重和“表 1”里面的中支点恒载梁端支点最大反力，即墩柱底部轴力 $P = 4477.8\text{kN}$ 。

轴力-弯矩-曲率( $P-M-\phi$ )分析采用 Midas Civil NX 的弯矩曲率计算工具，钢筋采用双折线本构模型、混凝土采用 Mander 本构模型，计算轴力 $P = 4477.8\text{kN}$ 时墩柱截面极限弯矩 $M_u = 6345.0\text{kN}\cdot\text{m}$ 。

顺桥向超强弯矩：

$$M_n = \phi^0 M_u = 1.2 \times 6345.0 = 7614.0\text{kN}\cdot\text{m}$$

等效塑性铰长度：

$$L_{p1} = 0.08H + 0.022f_y d_s = 0.08 \times 1000 + 0.022 \times 400 \times 2.5 = 102\text{cm}$$

$$L_{p2} = \frac{2}{3}b = \frac{2}{3} \times 140 = 93\text{cm}$$

$$L_p = \min(L_{p1}, L_{p2}) = \min(102, 93) = 93\text{cm}$$

墩顶都墩底塑性铰中心距离：

$$H_n = 10 + 1.6 - 0.93/2 = 11.135\text{m}$$

顺桥向剪力设计值：

$$V_{c0} = \frac{M_n}{H_n} = \frac{7614.0}{11.135} = 683.8\text{kN}$$

②横桥向超强弯矩和剪力设计值：

双柱墩塑性铰区域截面横桥向超强弯矩和剪力设计值按规范 JTG/T 2231-01—2020 第 6.7.5 条计算，恒载轴力取桥墩自重和“表 1”里面的中支点恒载梁端支点最大反力。轴力-弯矩-曲率( $P-M-\phi$ )分析采用 Midas Civil NX 的弯矩曲率计算工具，钢筋采用双折线本构模型、混凝土采用 Mander 本构模型计算墩柱各塑性铰区域截面超强弯矩。

第一次计算：恒载墩顶轴力 $P = 4117.6\text{kN}$ ，墩柱截面极限弯矩 $M_u = 6252.8\text{kN}\cdot\text{m}$ ；恒载墩底轴力 $P = 4477.8\text{kN}$ ，墩柱截面极限弯矩 $M_u = 6345.0\text{kN}\cdot\text{m}$ 。由截面超强弯矩计算合剪力：

$$Q = \sum_i^N Q_i = 2 \times 1.2 \times (6252.8 + 6345.0)/5 = 6046.9\text{kN}$$

第二次迭代：将合剪力 $Q$ 施加于盖梁质心处，并与恒载进行组合得到墩柱各塑性铰区域的轴力值分别为 8910.7kN、9270.9kN、-715.5kN 和 -355.3kN，对应墩柱截面极限弯矩值分别为 7702.3kN·m、7807.7kN·m、4843.4kN·m 和 4968.0kN·m。由截面超强弯矩计算合剪力：

$$Q = \sum_i^N Q_i = 1.2 \times (7702.3 + 7807.7 + 4843.4 + 4968.0)/5 = 6077.1\text{kN}$$

与第一次合剪力相差百分比： $(6077.1 - 6046.9)/6046.9 = 0.5\% < 10\%$ 。

墩柱超强弯矩及剪力设计值：由墩底轴力最大压力组合值 9270.9kN 及对应截面极限弯矩值 7807.7kN·m，可得墩底截面超强弯矩值为 9369.2kN·m，对应剪力设计值 $V_{c0} = 9369.2/5 = 1873.8\text{kN}$ 。

②最小承插深度估算：

墩柱塑性铰区域截面超强弯矩取顺桥向和横桥向计算结果中的最大值 $M_n = 9369.2\text{kN}\cdot\text{m}$ ，对应的剪力值 $V_{c0} = 1873.8\text{kN}$ 。

$$X_1 = \frac{2V_{c0} + \sqrt{4V_{c0}^2 + 16.2M_n f_{cd} D_k}}{2.7f_{cd} D_k} = \frac{2 \times 1873800 + \sqrt{4 \times 1873800^2 + 16.2 \times 9369200000 \times 18.4 \times 1500}}{2.7 \times 18.4 \times 1500} = 920.3\text{mm}$$

$$\tau_c = 0.148f_{cd} = 0.148 \times 18.4 = 2.72\text{MPa}$$

$$X_2 = 5.55 \times \frac{\tau_c}{f_{cd}} \left( \sqrt{1 + 0.31 \times \frac{f_{cd}}{\tau_c^2} \cdot \frac{M_n}{D_k^3}} - 1 \right) D_k = 5.55 \times 0.148 \times \left( \sqrt{1 + 0.31 \times \frac{18.4}{2.72^2} \times \frac{9369200000}{1500^3}} - 1 \right) \times 1500 = 951.3\text{mm}$$

$$X = \max(X_1, X_2) = \max(920.3, 951.3) = 951.3\text{mm} < 1000\text{mm}$$

故墩柱承插深度满足估算要求。

(2)承台抗冲切承载力估算

本计算示例第 3.8.5 计算承台抗冲切承载力：

$$0.35\beta_n f_{td} U_m h_0 + 0.75f_{sd} A_{su} + 0.5UX\tau_c = 0.35 \times 0.94 \times 1.65 \times 6024 \times 386$$

$$+0.75 \times 330 \times 29454 + 0.5 \times 4398 \times 1000 \times 1.47 = 11785\text{kN}$$

墩柱作用于承台最大竖向力设计值 $F_{ld}$ 取墩底最大轴力值 9270.9kN。

$$F_{ld} = 9270.9\text{kN} < 11785\text{kN}$$

故承台抗冲切承载力满足估算要求。

(3) 承台极限承载力验算

本计算示例取顺桥向进行验算，横桥向宜采用框架墩模型试验进行验证。

墩底最大轴力值 4477.8kN，单个承台重量 640kN，承台底面以上的作用组合产生的竖向力

设计值：

$$F_d = 4477.8 + 640 = 5117.8\text{kN}$$

绕桩群形心的弯矩设计值取最大的横桥向剪力值计算：

$$M = 683.8 \times (1.6 + 10 + 1.6) = 9026.2\text{kN} \cdot \text{m}$$

单桩作用于承台底面的最大竖向力设计值：

$$N_{id,max} = \frac{F_d}{4} + \frac{M}{4 \times 1.2} = \frac{5117.8}{4} + \frac{9026.2}{4 \times 1.2} = 3159.9\text{kN}$$

承台有效高度： $h_0 = 0.872\text{m}$

压杆中线与承台顶面的交点至墩台边缘的距离：

$$a = 0.15h_0 = 0.15 \times 1.372 = 0.206\text{m}$$

斜压杆与拉杆之间的夹角：

$$\theta_i = \tan^{-1} \frac{h_0}{a+x} = \tan^{-1} \frac{0.872}{0.206+0.64} = 45.867^\circ$$

拉杆钢筋的顶层钢筋中心至承台底的距离： $s = 0.228\text{m}$

拉杆钢筋直径： $d = 0.025\text{m}$

管桩的支撑面计算宽度： $b = 0.8D = 0.8 \times 0.8 = 0.64\text{m}$

压杆计算高度：

$$h_a = s + 6d = 0.228 + 6 \times 0.025 = 0.378\text{m}$$

$$t = b \sin \theta + h_a \cos \theta = 0.64 \times \sin 45.867 + 0.378 \times \cos 45.867 = 0.72\text{m}$$

压杆的内力设计值：

$$C_d = N_d / \sin \theta = 2 \times N_{id,max} / \sin \theta = 2 \times 3159.9 / \sin 45.867 = 8805.3\text{kN}$$

拉杆的内力设计值：

$$T_d = N_d / \tan \theta = 2 \times N_{id,max} / \tan \theta = 2 \times 3159.9 / \tan 45.867 = 6131.4\text{kN}$$

与混凝土强度等级有关参数 $\beta_c$ 取 1.30。

压杆的计算宽度： $b_s = 4\text{m}$

在压杆计算宽度 $b_s$ （拉杆计算宽度）范围内拉杆钢筋截面面积： $A_s = 19145.1\text{mm}^2$

混凝土压杆的等效抗压强度设计值（材料强度取标准值）：

$$\varepsilon_1 = \frac{T_d}{A_s E_s} + \left( \frac{T_d}{A_s E_s} + 0.002 \right) \cot^2 \theta = \frac{6131.4 \times 10^3}{19145.1 \times 2 \times 10^5}$$

$$+ \left( \frac{6131.4 \times 10^3}{19145.1 \times 2 \times 10^5} + 0.002 \right) \cot^2 45.867 = 4.991 \times 10^{-3}$$

$$f_{ce,d} = \min \left( \frac{\beta_c f_{cd}}{0.8 + 170 \varepsilon_1} = \frac{1.3 \times 26.8}{0.8 + 170 \times 4.991 \times 10^{-3}}, \frac{0.85 \beta_c f_{cd}}{0.85 \times 1.3 \times 26.8} = 29.61 \right) = 21.13\text{MPa}$$

斜压杆承载力：

$$t b_s f_{ce,d} = 0.72 \times 4 \times 21.13 \times 10^3 = 60854\text{kN} > C_d = 8805.3\text{kN}$$

故斜压杆承载力估算符合规范规定。

拉杆承载力：

$$f_{sk} A_s = 400 \times 19145.1 \times 10^{-3} = 7658.0\text{kN} > T_d = 6134.4\text{kN}$$

故拉杆承载力估算符合规范规定。

### 3.9.2 墩柱-盖梁新型承插式连接

本通用图中的墩柱-盖梁新型承插式连接采用有限元模型分析并通过试验验证确定，模型试

验比例尺约 1:2。