

开封市 S213 线开封黄河公路大桥改造工程

# 一 阶 段 施 工 图 设 计

(修改版)

第三册 共四册

(监控)

中交第二公路勘察设计研究院有限公司

二 〇 一 九 年 四 月

# 开封市 S213 线开封黄河公路大桥改造工程

# 一 阶 段 施 工 图 设 计

(修改版)

第三册 共四册

(监控)

分 项 负 责 人	黄 存
项 目 总 负 责 人	张 博
项 目 单 位 负 责 人	李 清
华 中 事 业 部	张 华
总 工 办 主 任	张 斌
总 工 程 师	张 斌
总 经 理	张 斌

中交第二公路勘察设计研究院有限公司

二 〇 一 九 年 四 月



# 设计说明目录

1	项目概况 .....	1	4.7	运营期结构安全监测 .....	9
1.1	桥梁概况 .....	1	4.7.1	监测目的 .....	9
1.2	桥梁病害 .....	1	4.7.2	系统构成 .....	9
1.3	系统功能及目标 .....	2	5	模块功能及组成 .....	10
2	桥梁危险性分析 .....	3	5.1	监测项目 .....	10
2.1	结构安全信息的定义 .....	3	5.1.1	加固施工期监测项目 .....	10
2.2	桥梁风险分析 .....	3	5.1.2	运营期监测项目 .....	11
2.2.1	运营环境风险 .....	4	5.2	传感器模块 .....	12
2.2.2	桥梁结构服役风险 .....	4	5.2.1	雨量监测 .....	12
2.2.3	人为事故风险 .....	4	5.2.2	环境温湿度监测 .....	12
3	建立运营期桥梁结构监测系统的必要性与迫切性 .....	5	5.2.3	主梁挠度 .....	13
3.1	必要性 .....	5	5.2.4	结构应力 .....	13
3.2	迫切性 .....	5	5.2.5	结构裂缝 .....	13
3.3	河南省相关指导性文件 .....	6	5.2.6	体外索预应力 .....	13
4	系统构建总体方案 .....	6	5.2.7	动力特性及响应 .....	14
4.1	系统构建的依据 .....	6	5.2.8	交通监测（接入） .....	14
4.2	系统构建的目标 .....	7	5.2.9	桥面视频监控 .....	14
4.3	系统设计思路 .....	7	5.3	数据采集与传输模块 .....	15
4.3.1	系统性原则 .....	7	5.3.1	数据采集方案 .....	15
4.3.2	经济合理原则 .....	7	5.3.2	数据采集制式及采样频率 .....	15
4.3.3	施工监控与健康监测相结合原则 .....	8	5.3.3	数据传输网络方案 .....	15
4.4	系统功能架构 .....	8	5.4	数据处理与控制模块 .....	16
4.5	桥梁构件离散化及构件编码 .....	8	5.5	中心数据库模块 .....	16
4.6	加固施工监控 .....	8	5.5.1	基础数据库管理商业工具的选择 .....	16
4.6.1	监测目的 .....	8	5.5.2	数据库的实施 .....	16
4.6.2	监测内容 .....	9	5.5.3	数据库运行和与维护 .....	17
4.6.3	组织计划 .....	9	5.5.4	数据备份和灾难恢复策略 .....	17

5.5.5 数据库构成.....	17	8 其它说明 .....	31
5.6 数据分析与安全预警及评估模块 .....	17	9 材料数量 .....	31
5.6.1 安全预警.....	18		
5.6.2 结构安全评估.....	19		
5.6.3 报告报表.....	21		
5.7 用户界面模块 .....	21		
5.7.1 系统构成.....	21		
5.7.2 监控系统主界面.....	22		
5.7.3 实时数据与预警展示.....	22		
5.7.4 历史数据报告.....	22		
5.7.5 配套软件方案.....	23		
5.8 电子化巡检子系统 .....	23		
5.8.1 电子化巡检子系统的目的.....	23		
5.8.2 子系统构成及实现功能.....	23		
5.8.3 系统登录.....	23		
5.8.4 移动终端.....	26		
5.9 交通监测子系统 .....	27		
5.9.1 基本原则.....	27		
5.9.2 布置方案.....	28		
5.10 桥梁综合评估 .....	28		
5.11 预留预埋说明 .....	28		
6 监控管理中心设计 .....	28		
6.1 基础设施建设 .....	29		
6.2 计算机与存储系统建设 .....	30		
6.3 网络与安全系统建设 .....	30		
7 系统安全运营保障 .....	30		
7.1 供电 .....	30		
7.2 网络层安全 .....	30		
7.3 系统层安全 .....	31		
7.4 系统自诊断 .....	31		

# 设计说明

## 1 项目概况

本系统需要有机集成各桥施工监控以及运营安全监测两阶段工作任务，分级建立桥梁全寿命期电子档案，目标服务于桥梁的现代化、信息化、专业化、数字化、标准化建设与管养，减少或降低桥梁灾难性事故发生的概率，保障桥梁的建设和运营结构安全，实现 S213 开封黄河大桥综合交通运输的集约化、网络化运营管理。

### 1.1 桥梁概况

开封黄河大桥总长 4475.09m，跨径组合由北向南为：21×20m+77×50m+10×20m，共 108 跨，其中 20m 跨径为 31 跨，50m 跨径为 77 跨。桥面总宽为 18.5m，原设计机动车道 12.3m，两侧各 3.1m 非机动车道和人行车道，后全改为行车道。设计荷载按汽—超 20 级、挂—120 级，人群 3.5kN/m<sup>2</sup>。上部构造采用预应力混凝土 T 型截面简支梁，每跨横向 7 片梁，桥面连续，后改为 20m 跨每 2 跨设 1 道伸缩缝，50m 跨每 1 跨设 1 道伸缩缝，下部采用单排柱式桥墩，南岸采用单排桩式桥台，北岸采用柱式桥台，盖梁采用预应力混凝土 T 型截面。桥梁全景如图 1.1 所示。



图 1.1 桥梁全景图

### 1.2 桥梁病害

#### 1) 主梁

20mT 梁粘贴钢板表面面漆起皮脱落，翼缘板底混凝土破损露筋。



图 1.2 加固钢板表面面漆起皮脱落



图 1.3 翼缘板底混凝土破损露筋

50mT 梁腹板普遍存在竖向裂缝及斜向裂缝，同时部分 T 梁翼缘板板底混凝土破损露筋。

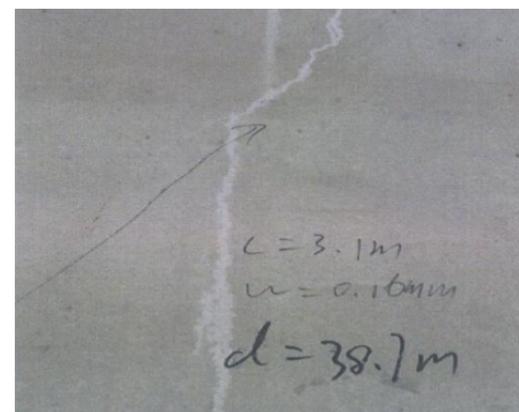


图 1.4 腹板斜向裂缝



图 1.5 T 梁翼缘板板底混凝土破损露筋

其中，第 25#跨、第 35#跨、第 42#跨、第 54#跨、第 72#跨、第 75#跨病害较为严重，需进行重点监测，具体如下图。



图 1.6 25-1#梁裂缝



图 1.7 35-1#梁裂缝



图 1.8 42-1#马蹄碎裂



图 1.9 54-1#梁裂缝



图 1.10 72-1#梁裂缝

图 1.11 75-2#梁裂缝

2) 支座

根据《2016 年开封黄河大桥外观检查报告》，发现部分支座存在钢板锈蚀，局部脱空、老化开裂现象。



图 1.12 支座局部脱空



图 1.13 支座老化开裂现象

3) 伸缩缝

根据《2016 年开封黄河大桥外观检查报告》，发现伸缩缝普遍存在泥土杂物填充，部分止

水带破损、锚固区混凝土纵向开裂，个别钢条变形、断裂现象。



图 1.14 伸缩缝杂物填充



图 1.15 伸缩缝钢条断裂

4) 基础

个别立柱存在竖向裂缝、局部破损、麻面现象，同时河道内的部分桩基桩头存在冲刷现象，个别出现缩颈。

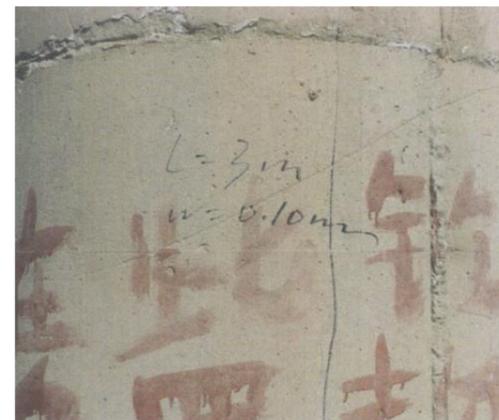


图 1.16 立柱竖向裂缝



图 1.17 桩基暴露冲刷、缩颈

1.3 系统功能及目标

针对桥梁施工监控和健康监测系统在硬件、软件、传输方式及数据处理方面的共性，基于耐久性、适用性原则集中在硬件设备共享、模型传递及数据延续方面，将桥梁施工期的监控延伸到运营期的结构监测系统，设计“开封黄河公路大桥监测系统”，该系统的主要功能是：

(1) 能够实时进行施工参数的监测，能够大大提高施工监控的响应速度及质量控制，同时，能够降低监控人员的工作强度；

(2) 强调在施工监控过程中对施工安全参数的收集及记录，扩展了原来施工监控的内容，这些施工期间结构安全参数的收集记录对大桥加固后的结构安全评估具有非常重要的意义；

(3) 从桥梁的施工阶段对桥梁进行监测，可与监控系统融合，从前期对健康监测系统进

行调试及数据收集；

(4) 强调施工监控不仅仅是结构综合管理系统在桥梁施工期间的一个应用，它不再是单独的一个系统，这样拓展了施工监控的内涵和外延；

(5) 对结构的调整、养护、维护、维修等行为进行辅助决策；

(6) 科学地记录并管理桥梁结构的安全信息及结构安全措施。

加固与运营期的安全监测将实现以下目标：

(1) 能够实时进行施工参数的监测，能够大大提高施工监控的响应速度及质量控制，同时，能够降低监控人员的工作强度；

(2) 强调在施工监控过程中对施工安全参数的收集及记录，扩展了原来施工监控的内容，这些施工期间结构安全参数的收集记录对大桥加固后的结构安全评估具有非常重要的意义；

(3) 从桥梁的施工阶段对桥梁进行监测，可与监控系统融合，从前期对健康监测系统进行调试及数据收集；

(4) 强调施工监控不仅仅是结构综合管理系统在桥梁施工期间的一个应用，它不再是单独的一个系统，这样拓展了施工监控的内涵和外延。

## 2 桥梁危险性分析

### 2.1 结构安全信息的定义

结构安全信息本质上是一个宽泛的概念，狭义上是指所有包含结构安全状态的各种信息，包括结构响应信息、通过人工巡检所直接获取的结构损伤信息以及通过对结构响应监测信息进行深入分析所获取的结构安全状态评估结果等等；广义上讲还包括所有影响结构响应、结构损伤和安全状态评估结果的信息。

具体而言，S213 开封黄河公路大桥的结构安全特征信息包括：

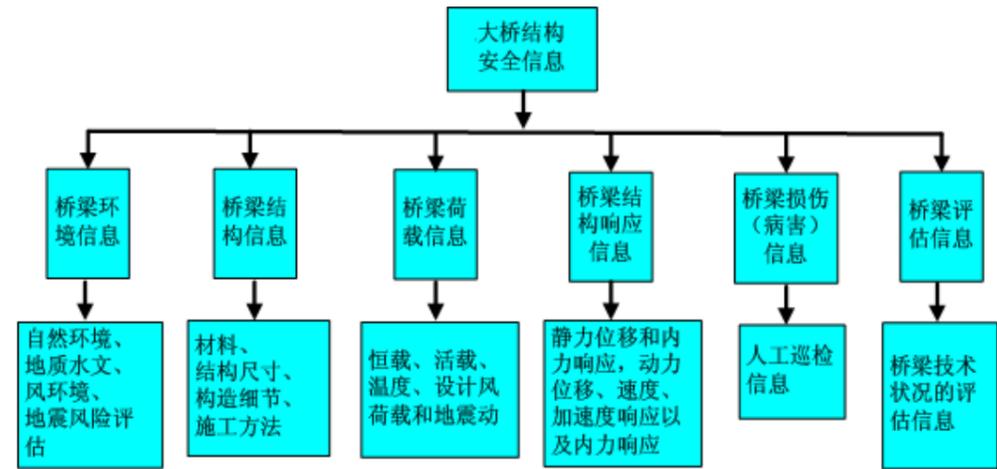


图 2.1 结构安全特征信息

桥梁环境、桥梁结构和桥梁荷载是导致结构安全变异的内外因素；桥梁结构响应信息和桥梁损伤（病害）信息是外因通过内因发生作用的直接结果，判别桥梁安全状态改变的信息都包含在这两类信息中，但它们是局部的、离散的或者隐含的；通过桥梁安全状态的评估才能从损伤和响应信息中抽取桥梁评估信息，才能综合判断结构安全状态的变异与否。

开封黄河公路大桥结构安全信息来源于如下几个主要途径：

(1) 利用数据采集系统获得的力学指标的监测结果；

(2) 利用人工巡检获得的结构损伤的直接检测结果；

对于损伤信息，系统可以直接进行记录与简单分析；对于力学监测指标则通过状态识别、损伤识别及无模型报警可以获得结构状态、损伤等与结构安全直接相关的信息。最后通过评估分析对以上损伤及状态信息进行综合评估从而获得直观、简洁、对结构养护管理具有现实指导意义的桥梁结构综合评估报告。

为了获得最为具有代表性的结构安全状态信息，施工监控及运营安全监测系统建立时应该从结构的力学特性和所面临危险的特点出发，系统分析结构全寿命过程中所面临的风险以及危险所导致后果。

### 2.2 桥梁风险分析

开封黄河公路大桥面临的风险主要分为三类：运营环境风险、结构服役风险以及人为事故风险，不同程度上威胁着桥梁的使用性能。

## 2.2.1 运营环境风险

### 2.2.1.1 船撞

桥梁运行期间，可能遭受桥下船只及漂流物的撞击，严重影响桥梁的安全运营，还常常带来巨大的生命和财产损失。

### 2.2.1.2 雷电

桥梁遭受雷击，不仅会导致桥梁电子设备损毁，更可能导致人员伤亡。防雷安全是保障大桥正常运营的关键措施之一，开展对雷击风险的评估也是十分必要的。

### 2.2.1.3 超载

车辆荷载是大桥运营阶段承受的主要活载，车辆荷载的长期作用将对大桥安全运营的耐久性产生巨大影响，大桥建成后将不可避免承担较大的交通量，大桥长期超负荷承载，可能导致桥梁受到疲劳损伤。因此通过车辆荷载的监测可以对大桥的交通荷载进行统计，对超载车辆给出报警，并与设计荷载进行对比，评估大桥的实际承载状况。

开封黄河公路大桥车流量较大（六轴大货车居多），且车辆超载较为严重。



图 2.2 通行车辆

## 2.2.2 桥梁结构服役风险

### 2.2.2.1 材料老化

桥梁上所使用的各类材料，如混凝土、钢材、橡胶等都存在材料老化的问题，具体表现为混凝土脱落，钢材锈蚀，支座损坏等。

### 2.2.2.2 主梁线形明显变化

大跨结构在长期的使用过程中，主梁线形会发生变化。主梁线形的变化不仅会影响行车的

舒适性和安全性，还常常伴随着内力的变化，造成桥梁性能劣化的潜在风险。

### 2.2.2.3 体外预应力失效风险

对于第 6 跨，采用腹板水泥基灌浆材料加厚，同时在 T 梁底板张拉体外预应力索的方法加固。

在运营使用中，体外预应力体系可能面临以下失效风险：

- (1) 体外预应力钢束可能出现防护层老化开裂；
- (2) 体外预应力钢束锈蚀、断丝；
- (3) 锚具锈蚀破损，锚垫板异常变形，危及体外束锚固效果；
- (4) 预应力钢束定位装置松动、失效，导致体外索出现异常振动；
- (5) 转向器和转向块出现严重变形、开裂或破损，表现为局部失效的特征；
- (6) 体外预应力束锚固齿块因为预应力而发生应力集中现象，导致出现开裂、破损等情况；
- (7) 体外预应力损失；
- (8) 人为破坏，作为无混凝土保护的外露结构，可能面临无关人员进行破坏的风险。

### 2.2.2.4 桥面铺装破损

桥面铺装损坏是桥梁在运营中普遍存在的病害，我国部分公路桥梁桥面铺装通车后不久即出现高温车辙、横向推挤、开裂等病害。从目前国内桥梁运营情况看，一般混凝土桥面铺装寿命为 10 年左右。造成桥面铺装破坏损坏的原因是多方面的，既有施工、材料等方面的原因，也存在桥梁运营状态下结构受力及周围环境影响等方面的原因。

## 2.2.3 人为事故风险

### 2.2.3.1 危险品运输

危险品运输一旦发生事故，会在短时间内在桥面上产生相当大的毒性和腐蚀性，根据以往历次桥梁危险品爆炸或泄漏事件的调查结果，其在一定时间内对环境和人民的生命财产造成的损失以及造成的恶劣社会影响是巨大的。



图 2.3 危险品运输事故现场

危险品运输事故对大桥造成的危害如下，可以为开封黄河公路大桥通车管理借鉴。

a) 运输易燃易爆品的车辆发生交通事故，引起火灾或爆炸，将导致部分有毒气体污染环境空气，造成人员伤亡或损坏大桥结构。

b) 运送剧烈腐蚀物（如盐酸，浓硫酸等）的车辆发生危险品泄露事故，会使得桥面或桥梁结构的严重腐蚀，造成桥面或桥梁钢结构的损坏。

c) 运送有毒物品的车辆发生危险品泄露事故，会污染周围的环境。有毒气体泄漏会污染大气环境；有毒的液体流入江水中污染江水环境；运载危险品的车辆或车辆上的危险品翻入江水中则会影响江水环境。

d) 危险品运输事故会造成大桥交通的中断。事故造成桥梁结构损坏而不得不进行维修或更换，污染现场需要进行清理，这都将使得大桥的交通中断，影响到大桥的正常运营。特别是遭到放射性物质的污染时，可能需要更长的时间封闭桥梁来清理污染区域。

### 2.2.3.2 火灾与爆炸

引起火灾的燃烧并不是随时随地都可以发生的，根据所调查的桥梁火灾事故资料，桥梁火灾多源于桥梁附近的堆积物、车祸等。存在于桥梁结构附近的可燃堆积物，如含有燃料或危险物质的装置、设备、场所，一旦燃烧并失控可以造成巨大能量的释放，严重威胁桥梁的安全。交通事故引起的火灾，其发生原因或是由于遭到撞击时油箱或油路受损汽油外溢，或是由于汽车本身内部原因所引起的。公路交通事故造成的火灾事故频繁，不胜枚举，就发生在桥梁上的交通事故导致的火灾而言，发生相对较少，但并不罕见。

桥梁上发生爆炸事故的主要原因是运送可燃物质的车辆发生交通事故，引起火灾，进而引起爆炸。该类事故发生的概率较小，但危害巨大（如 2013 年 2 月 1 日上午 8 点 52 分，连霍高速洛三段南半幅 741+900m 处义昌大桥由于运输烟花爆竹的车辆爆炸引起桥面垮塌事故）。

## 3 建立运营期桥梁结构监测系统的必要性与迫切性

### 3.1 必要性

近几十年来世界范围内频发由于设计、建设、监管、养护技术手段不足或由于多种因素的耦合作用等原因导致发生的桥梁灾难性事故，这些投入运营的桥梁是在没有任何被探知征兆的前提下垮塌的，这些灾难性事故给世界范围内不同的国家和人民造成了巨大的人员伤亡和财产损失。

伴随着改革开放 40 年来我国交通建设跨越式的发展，我国目前已成为世界上名符其实的桥梁结构建设大国，中国桥梁的设计和建设水平取得了令世界桥梁强国都为之惊叹的技术进步，目前我国正处于一个桥梁设计、建造技术的创新、验证、积累、再沉淀的历史时期。但相对大桥的设计、建设 30 多年的技术沉淀而言，国内大型桥梁信息化、数字化监管技术只能归为新兴的桥梁技术研究延伸探索领域，刚处于一种萌芽发展状态，经验严重不足。加之国内绝大多数桥梁采用的是建设和管养分家的特殊模式，养护技术人员和资金严重缺乏，而国内原有桥梁常规的养护管理方式和手段已被这些年来频发的桥梁灾难性事故证明是落后的，不满足现代化大型桥梁管养的实际需求。处于我国经济腾飞时期建设的桥梁，非常多的桥梁是处于“只建不养或养护管理不到位、不得法或根本不知道要做什么”或“无人值守”现状，导致出现了四川小南门桥、重庆綦江彩虹桥、辽宁盘锦大桥、江苏武进桥等桥的坍塌，海印大桥、济南黄河桥、珠海淇澳大桥等桥的拉索锈蚀突发断裂等一系列桥梁灾害，目前国内桥梁监控养护基本还处于“头痛医头、脚痛医脚”，出了问题甚至是大问题才被动检测维修加固的局面，造成了严重伤亡事故，对人民生命财产安全构成威胁。

### 3.2 迫切性

近二十年，随着国内大批结构新颖、技术难度高的大跨桥梁陆续建成或开工建设，中国桥梁的设计建造水平正以惊人的速度和规模快步由桥梁大国迈向桥梁强国，但因各种技术及认知水平的限制，设计、施工、材料的先天缺陷、超载交通及结构安全监管缺失等耦合因素的综合作用，加之现代化、信息化桥梁监管养护技术手段及养护资金的匮乏，桥梁灾害性事故频现，加强桥梁的科学管理与养护已成为一个突出的问题，如何提高对桥梁的管理和养护水平，真正落实“建养并重、强化管理”的方针，成了各级政府和有关部门的当务之急。

随着经济的发展及各国对工程防灾减灾的日益重视，20 世纪 80-90 年代，欧、美及亚洲日本、韩国、中国香港特区明确提出了“主动预防式”的结构健康监测理念，并先后在一些重要

的桥梁安装了健康监测系统开始研究桥梁结构健康安全监测养护技术，此后其迅速成为国内外研究热点，2003 年桥梁健康监测理念和技术进入中国内地，时至今日国内大陆区域已有 10 多年的系统研究设计和实施经验。

进入 21 世纪前十年以来，国内外对“智慧交通”的认识还是一个逐步渐进的过程，对“智慧交通”概念及内涵理解逐步加深，发展“智慧交通”关键在于以下三个方面，一是发展已无线传感等新型传感技术，二是发展更加稳定、覆盖面更广的网络通讯技术，三是发展基于云平台 and 大数据互联网+技术，最终实现以人为本和可持续创新的智慧交通，保障优质的交通出行。“智慧交通”通过物联网、云计算等新一代信息技术以及综合集成法等工具和方法的应用，目标实现全面透彻的“感知”、宽带泛在的互联、智能融合的应用以及以用户创新、开放创新、大众创新、协同创新为特征的可持续创新。伴随 21 世纪互联网+技术的崛起、移动技术的融合发展以及创新的民主化进程，知识社会环境下的“智慧交通”是继数字交通之后信息化交通发展的最新目标高级形态。

单从技术发展的视角理解，“智慧交通”建设要求通过以移动技术为代表的物联网、云计算等新一代信息技术应用实现全面“感知”、泛在互联、普适计算与融合应用。针对“交通路网监控领域”而言，基于桥梁管理中心桥梁综合安全监管、巡检养护平台项目的建设。通过本项目的前期研究和设计建设，桥梁监测管理中心的建成并可实现对所有桥梁的信息化、数字化监管以及电子化巡检养护管理，就意味着基于“物联网”技术的“智慧交通”在公路桥梁运营管理领域获得重大的技术突破和成为了示范工程应用。

开封黄河公路大桥构件众多，且经过多次维修加固，对桥梁安全运营及管理工作提出了极大的技术要求。为确保桥梁安全运行，在遵循交通部 2015 年 8 月 1 日起实施的《公路工程特殊结构桥梁项目设计文件编制办法》，参照《建筑与桥梁结构监测技术规范》(GB/T50982-2014)、《公路桥梁结构安全监测系统技术规程》(JT/T1037-2016) (2016 年 4 月 10 日实施)、《城市桥梁养护技术规范》(CJJ 99-2003)、《公路桥涵养护规范》(JTG H11-2004)、《公路桥梁技术状况评定标准》(JTGT H21-2011) 及《公路桥梁养护管理工作制度》的相关规定，辅助建立适宜的基于最新技术的传感测试、自动监测、感知桥梁各种环境、荷载以及结构动力和静力特性响应的桥梁健康监测系统，为避免重复建设和资金浪费，让所有桥梁均能按各自运营环境及结构受力特点需求进行针对性的监管养护，努力避免或减少灾难性事故发生的概率，亟需整合资源，统一桥梁监管、巡检养护体系规模及标准。建立统一的桥梁监测巡检养护管理中心，开展集中化、专业化、标准化、规范化、技术手段先进的桥梁管养方式是极其必要的和迫切的。

### 3.3 河南省相关指导性文件

1) 《河南省“互联网+”行动实施方案》——河南省人民政府

为贯彻落实《国务院关于积极推进“互联网+”行动的指导意见》(国发〔2015〕40 号)，2015 年 10 月 8 日，河南省人民政府制定了《河南省“互联网+”行动实施方案》。

《河南省“互联网+”行动实施方案》明确指出，要加强公路、水路、铁路、民航和客货运枢纽等交通网络设施运行状态和通行信息采集，完善信息感知基础数据库。应用推广车联网等智能技术，提高基础设施、运载工具、运行信息等要素资源的在线化水平。推动跨地域、跨类型交通信息互联互通，构建全省统一、对接全国的网络体系。要推动交通运输大数据应用，为**优化交通设施规划建设、安全运行控制、运输管理决策提供支撑**。推进车联网和新一代交通控制网技术在拥堵预防、节能减排、通行能力提升等方面的应用，开展交通信息服务、交通诱导、主动安全预警等领域智能系统研发与推广，强对交通运输违章违规行为的智能化监管。

2) 《关于推进云计算大数据开放合作的指导意见》——河南省人民政府

为加快推进我省云计算大数据产业发展，促进开放合作，培育竞争新优势，现结合我省实际，提出如下指导意见（豫政〔2015〕64 号）。

指导意见指出，开放合作重点为采取部门主导、服务外包、公开招标的方式，**重点推进交通视频监控、环境数据采集、气象监测、农情监测信息采集等领域的开放合作**，鼓励专业企业参与建设、运行和维护。支持合作建设北斗导航地基增强系统、北斗导航位置综合服务平台，鼓励在信息感知系统采用北斗导航技术及产品。

开封黄河公路大桥运营期结构监测系统项目的建设，就是利用信息感知技术，实施监测桥梁运营状态，采集桥梁通行信息，为桥梁结构管养决策提供依据。

## 4 系统构建总体方案

### 4.1 系统构建的依据

随着经济的发展及各国对工程防灾减灾的日益重视，20 世纪 80-90 年代，欧、美及亚洲日本、韩国、中国香港特区明确提出了“主动预防式”的结构安全监测理念，并先后在一些重要的桥梁安装了结构安全监测系统开始研究桥梁结构安全监测及养护技术，此后其迅速成为国内外研究热点，2003 年桥梁结构安全监测理念和技术进入中国内地，时至今日国内大陆区域已有 10 多年的系统研究设计和实施经验。

2007 年可谓世界桥梁灾害年，在世界范围内频发了很多灾难性事故后，我国交通运输部发

布《公路桥梁养护管理工作制度》(交公路发〔2007〕336号)的“第四章 桥梁检查与评定”中第二十四条已经明确提出了需要对桥梁进行运营期的安全监测的要求：“特大桥、特殊结构桥梁和单孔跨径 60 米及以上大桥的检测评定工作应符合以下规定：(三) 对特别重要的特大桥，应建立符合自身特点的养护管理系统和安全监测系统。”；2013 年交通运输部发布《交通运输部关于进一步加强公路桥梁养护管理的若干意见》中“三、认真落实桥梁安全运行十项制度”中(七)“技术档案管理制度”中规定“特大、特殊结构和特别重要桥梁的养管单位，要利用现代信息技术，建立符合自身特点的养护管理系统和结构安全监测系统”。

2015 年 8 月 1 日交通运输部发布《公路工程特殊结构桥梁项目设计文件编制办法》(2015 年 8 月 1 日实施)，在特殊结构桥梁设计阶段需对桥梁运营期结构安全监测系统的相关设计，已保证桥梁运营期桥梁结构及行车双重安全。2015 年 8 月 1 日由住建部颁布实施的《建筑与桥梁结构监测技术规范》(GB/T50982-2014)，对建筑与桥梁结构施工期和使用期安全监测技术要求做出了相关规定和指导；2016 年 2 月 16 日交通运输部发布《公路桥梁结构安全监测系统技术规程》(JT/T1037-2016)(2016 年 4 月 10 日实施)，规定了公路大桥安全监测系统总体设计、监测内容与测点选择、传感器模块、数据采集与传输模块、数据处理与管理模块、数据分析与安全预警及评估模块、系统集成与用户界面交互的技术要求等。

## 4.2 系统构建的目标

为确保桥梁的安全运行，保障交通顺畅，更好地服务区域发展，进一步提升公路特大桥梁的科学化管理水平，通过整合资源、合理规划，将自动化健康监测技术与人工巡检技术相结合，以构建一个集约高效、技术先进、易于管理、开放兼容、实用经济、符合公路桥梁管理需求的现代化、信息化的桥梁管理平台。

设计实施的桥梁安全监测及巡检养护管理系统应具备以下几点功能：

- 1) 坚持以“全生命周期内的监管养护”为目标，通过有桥梁构件的精细离散化，建立桥梁全生命周期的数字化、信息化档案，实现桥梁精细化养护与管理，保证桥梁结构安全与行车安全；
- 2) 对大桥运营环境及关键部位结构响应进行监测并实现安全预警，结合自动化监测与检测的结果，对桥梁技术状况、宏观受力、耐久性、承载力等进行综合评估，为大桥运营安全以及管养决策提供科学依据及建议，力求进行主动管养，辅助大桥管养者制定预防性、高效、经济、合理的养护措施，延长桥梁的安全使用寿命，努力达到 100 年的设计使用寿命；
- 3) 及时“感知桥梁”，尽早发现桥梁结构自身及行车所面临的危险状况，在桥梁结构危险萌芽阶段发出预警；有效地监管运营期桥梁的结构使用状态及预测其发展趋势，及时对桥梁的

损伤及病害进行有针对性的养护维修。

4) 收集桥梁自然环境和结构响应参数，为类似结构设计、建设、养护、加固技术的可持续发展提供技术支撑。

5) 为提供桥梁管养工作效率，实现统一平台管理，用户界面子系统除具备桥梁运营安全监测及电子化人工巡检结果的管理之外，还应预留标准数据接口及界面，便于后期将桥梁检查检测、桥梁综合评估、桥梁养护维修等纳入同平台管理，实现自动化监测与桥梁检测评估的有效结合，真正实现桥梁全覆盖全寿命管养，保证桥梁结构与行车安全，延长桥梁寿命。

## 4.3 系统设计思路

### 4.3.1 系统性原则

大桥的结构较复杂，施工中的误差将对桥梁产生一定影响，桥梁整体线形的流畅性、使用安全性、桥梁耐久性对这些影响相当敏感，单独了解某一项测试内容是不全面也是意义不大的，只有全面了解桥梁线形、内力、应力等信息后，才能从总体上把握结构的状态。因此施工监控布设测点和确定监测频率时必须遵循系统性的原则，具体体现为：

(1) 测试的数据可以互相验证

如在主梁线形的测试时，由于测点在施工时有可能被施工机具破坏而导致数据异常，因此在布点时应该考虑在每个测试断面对称布置，一方面可以发现结构是否会出现扭转，另一方面还可以有效的验证实测的数据的正确性，若对称位置的测试数据出现较大的偏差，应立即进行修正；监测系统采集的位移数据、应力数据也存在相关性，布置测点时应该考虑利用这种相关性来校核测试数据。

(2) 测试的数据要保持连续性

该大桥施工周期较长，因此对测试仪器的稳定性和安装技术有很高要求，特别是在应力测试中一定要选用稳定性好的测试仪器并在测点布置时考虑一定的冗余度。

(3) 测试数据尽可能实时显示

在较长的施工周期内有很多不确定因素会导致施工风险，当出现设计计算以外的特殊工况时，施工监控系统应该能迅速的给出测试数据供决策。

### 4.3.2 经济合理原则

(1) 监测方法的选择，在确保测试精度前提下结合工程经验尽可能采用直观、简单、有效的方法。

(2) 监测元件的选择，在确保可靠的基础上尽可能使用技术成熟的仪器。

(3) 监测点的数量，在确保全面、安全的前提下，合理利用监测点之间联系和结构的对称性，减少测点数量，提高工作效率。

### 4.3.3 施工监控与健康监测相结合原则

(1) 为保证数据延续性，并有效节省硬件设备资源，应对桥梁施工监控与桥梁运营期结构安全监测进行统一规划，统一设计，并预留终端管理数据接口。

(2) 施工监控各阶段成果应作为桥梁档案过程的一部分静态资料全部电子录入运营期结构安全监测的数据库中，便于数据分析时随时调用。

## 4.4 系统功能架构

运营期结构监测管理系统将桥梁运营安全监测、桥梁检测、综合评估及桥梁养护维修各功能集中于同一平台进行管理，贯穿桥梁加固及运营的全寿命养护管理，保证桥梁较好的服务水平。

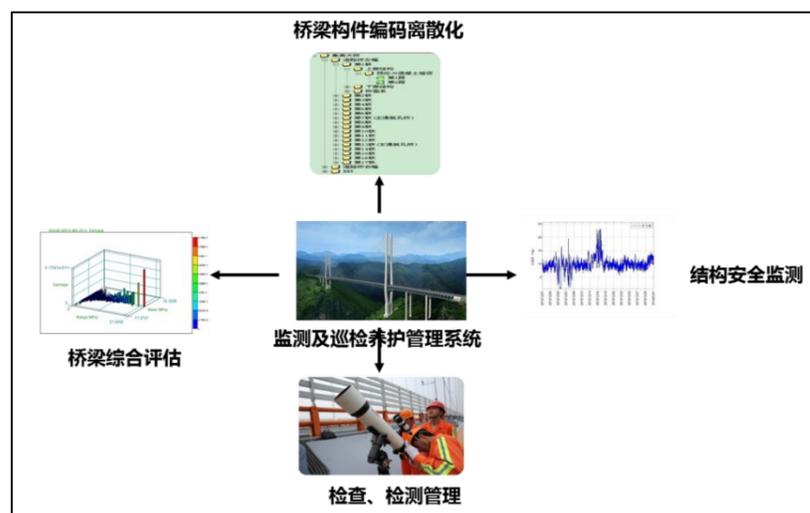


图 4.1 系统功能架构

### (1) 桥梁构件编码离散化

基于桥梁构件特性、风险分析等原则对其进行单元化解析，建立单元终身 ID 编码体系，并将单元静态属性与 ID 编码进行唯一性关联；风险库、检查检测措施库、病害库、维护维修措施库等知识库。

### (2) 结构安全监测

运营环境监测及桥梁响应监测，并依据监测数据进行桥梁安全预警，辅助桥梁管养单位进行科学决策，保证桥梁结构与行车双重安全。

### (3) 电子化人工巡检

开封黄河公路大桥工程构件众多，传统的基于纸张的巡检养护手段并不能满足这类特殊桥梁的养护管理需要。构筑标准化、规范化巡检养护管理系统的实施宗旨是为这类桥梁建立风险管理过程、制定科学的以预防性养护管理为主的桥梁巡检养护策略，从而实现管养工作制度化、管养技术现代化、管养决策科学化。涵盖桥梁日常巡检、经常检查、定期检查和专项检查，包括结构病害记录、结构单元评分、结构整体状况评定，人工巡检终端数据上传下载，合理制定的预防性养护措施及计划。

### (4) 桥梁综合评估

结合运营期监测与桥梁检测结果，对桥梁技术状况、宏观受力、耐久性、承载力等进行综合评估。

**注：桥梁检查检测、桥梁综合评估、桥梁养护维修工作需要由桥梁管养单位另行委托具有相关资质完成，桥梁检查检测、桥梁综合评估、桥梁养护维修的结果可纳入桥梁运营安全监测系统同平台统一管理。**

## 4.5 桥梁构件离散化及构件编码

结构运营期安全监测巡检管理系统的基础是根据结构分析、危险源分析和维护更换要求，对已有结构重新进行单元化离散，建立基于唯一 ID 的构件电子编码，并将相应属性赋予每个单元体，通过对电子化单元的数据管理实现桥梁精细化管理，同时为实现桥梁运营期电子化人工巡检奠定基础。

## 4.6 加固施工监控

在整个加固施工过程中，结构的几何形态、材料特性、载荷作用会发生明显变化，使得结构效应（位移、内力、应力、反力等）在施工过程中具有时空演变特征。整个施工过程是一个线形、应力不断变化的过程。

### 4.6.1 监测目的

对黄河公路大桥加固施工期监测的目的为：

- (1) 实时监测结构的几何、温度、应力、裂缝，提供安全预警。
- (2) 协助各方对工程建设提出合理建议。
- (3) 监测成果可为桥梁运营期监测提供重要依据，是后期结构管理、维护、评估的重要“指纹”。

(4) 验证桥梁结构加固施工分析理论，积累一线科学数据。

#### 4.6.2 监测内容

加固施工期监测系统是为施工期间提供必要的反映施工实际情况的数据和技术信息，包括挠度监测、应力监测、温度监测、预应力监测、裂缝监测等。

- 1) 主梁挠度监测采用自动安平精密水准仪和水准尺，按照三等水准测量的要求施测；
- 2) 应力监测采用表面振弦式应变计和电阻应变计；
- 3) 温度监测采用红外测温仪进行监测；
- 4) 体外索预应力监测采用压力环进行监测；
- 4) 典型裂缝采用裂缝计进行监测。

#### 4.6.3 组织计划

##### 1) 前期监控准备工作

(1) 根据设计文件及初步施工方案，对黄河公路大桥做复核性检算。在复核计算的基础上，结合现场的反馈（线形和应力）数据，综合考虑分析多种因素，制订各施工阶段线形控制的目标，确保施工的安全和线性的精确。

(2) 结合该项目的实际情况，制定相应的监控实施细则和相关表格，形成一套较完整的监控技术文件。

##### 2) 实施期间监控工作

(1) 以前期监控计算文件为基础，结合现场情况，开展各项监控日常工作，包括：

① 根据实际施工工序，以及现场获取的参数和数据，对桥跨结构进行实时理论分析和结构验算；对每一施工阶段，根据分析验算结果给出其主梁跨中挠度，应力等。

② 在控制断面埋设应变或应力测试元件，实时监测结构应力变化情况，建立并严格运行了施工阶段结构安全预警机制。

③ 根据施工进度，分阶段对监控数据分析整理，并及时提交施工监控阶段报告。

##### 3) 组织体系

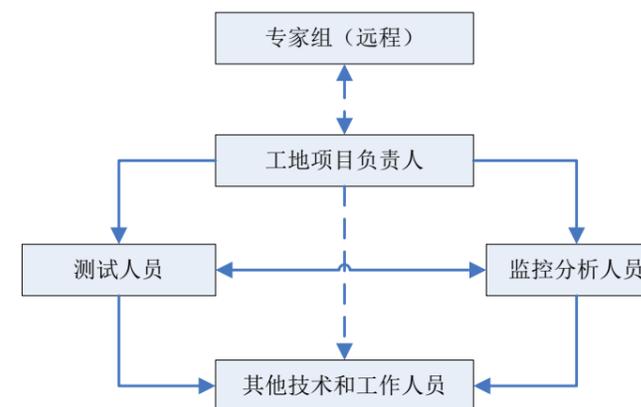


图 4.2 施工监控量测工作组的组织体系

施工监控量测领导小组负责在每月的工地例会中组织施工监控量测工作专题内容讨论，听取施工监控量测工作组对施工监控量测工作情况的通报。有重大问题时，组织召集进行临时技术讨论。

在施工监控量测工作组的日常工作中，信息传递的时效性、准确性、可靠性和通畅性是保证施工监控量测工作顺利进行的基本前提。

## 4.7 运营期结构安全监测

### 4.7.1 监测目的

依照《建筑与桥梁结构监测技术规范》及《公路桥梁结构安全监测系统技术规程》的相关要求对开封黄河公路大桥施工监控及运营安全监测系统进行研究设计。

自动化在线监测的主要目的是：

(1) 通过在线监测获得大桥在线的、实时的环境情况、结构响应情况，对大桥的运营状态进行实时的监控，对发生的突发事件如强风、地震、超载、突发性损伤等进行监控及安全预警；

(2) 通过在线监测，获得大桥的历史环境及响应数据电子化档案，为大桥进行定期的分析内力状态评估、耐久性评估提供数据分析基础。

### 4.7.2 系统构成

开封黄河公路大桥施工监控及运营安全监测系统是一个系统工程，其核心任务是获得环境荷载以及结构的响应、局部损伤等信息，在对监（检）测信息进行综合评估的基础上获得行车和结构的双重安全状态信息，为结构高质量的安全、高效、经济运营提供成套技术支持。为了更好地完成上述任务，根据功能要求本系统应该包括以下模块：

#### (1) 传感器模块

通过传感器将各类监测信号转换为电（光）信号，主要包括应变计、温度计、裂缝计、动挠度传感器、加速度计、摄像仪等。

(2) 数据采集与传输模块

将传感器采集到的信号转换为数字信号并完成远程传输。

(3) 数据处理与管理模块

将传感器采集到的信号进行预处理以及二次处理以向其它子系统提供有效的信息源或力学指标，根据需要设定程序控制监测参数的采集。

(4) 中心数据库模块

所有数据的支撑系统，完成数据的归档、查询、存储等工作。

(5) 数据分析与安全预警及评估模块

根据监测数据进行结构状态安全预警和评估。

(6) 电子化人工巡检模块

(7) 交通监测子系统

(8) 用户界面模块

将各种数据向用户展示，并且接受用户对系统的控制与输入。

## 5 模块功能及组成

### 5.1 监测项目

#### 5.1.1 加固施工期监测项目

为实时掌握加固施工期内结构受力变化特征，建议的监测项目以结构受力为主，主要包括：

- (1) 主梁控制截面的应力；
- (2) 主梁挠度；
- (3) 温度场监测；
- (4) 预应力监测；
- (5) 结构裂缝。

表 5.1 大桥加固施工期结构监测设备一览表

监测项目	监测设备	单位	数量
结构应变	振弦式应变计	个	100
	电阻应变计	个	200

支座变形	百分表	个	8
结构裂缝	裂缝计	个	10
主梁挠度	自动安平精密水准仪	台	2
温度场	红外测温仪	台	2
预应力	压力环	个	4

#### 1) 试验跨

对于施工开始阶段选取的试验跨，需测量的内容包含锚固块和转向块附近腹板应力、主梁挠度、体外索预应力等。测点位置示意如下。

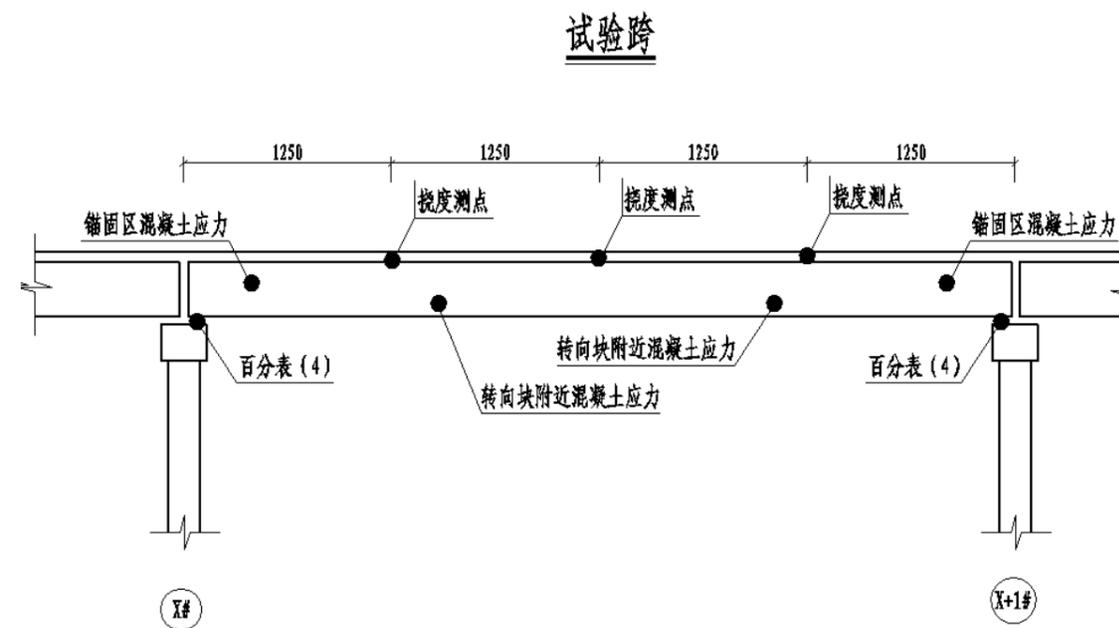


图 5.1 加固施工期试验跨测点布置

试验跨在体外预应力张拉过程中体外索锚固区腹板应力进行监测。测点布置如下：

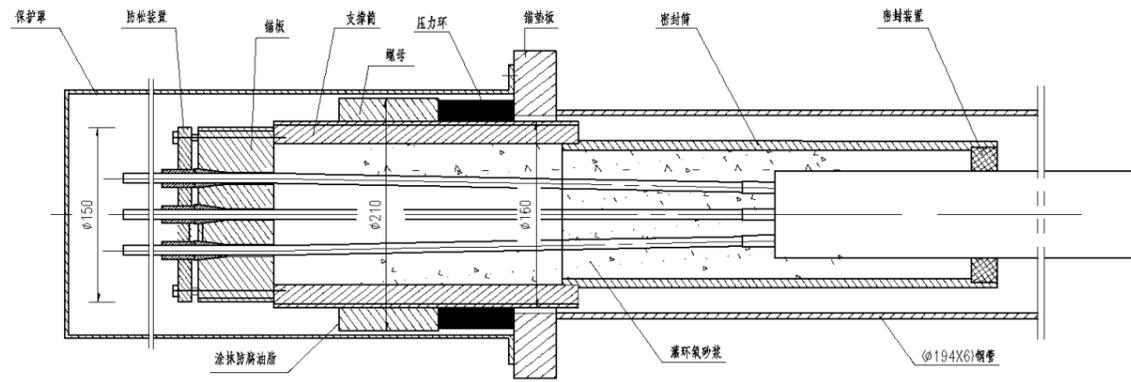


图 5.2 试验跨压力环布置安装

试验跨锚固区混凝土应力测点布置如下：

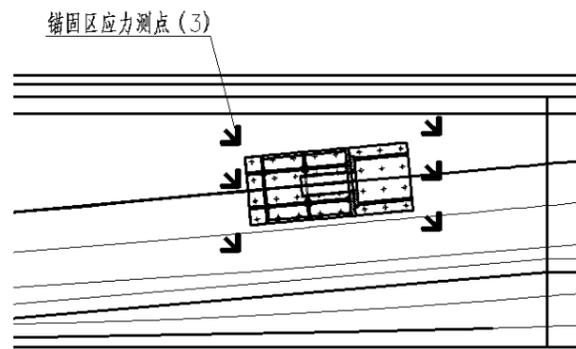


图 5.3 锚固区混凝土应力测点布置

试验跨转向块附近混凝土应力测点布置如下：

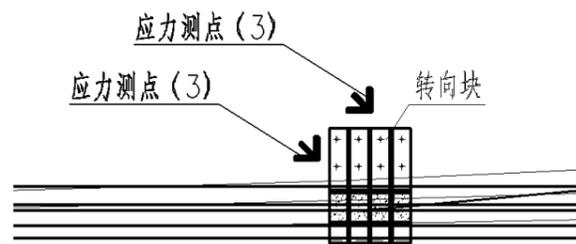


图 5.4 转向块附近混凝土应力测点布置

2) 一般梁跨

对于一般梁跨，施工监控期以跨中应力、主梁挠度监测为主，部分典型裂缝处同时监测裂缝宽度变化。测点位置示意如下。

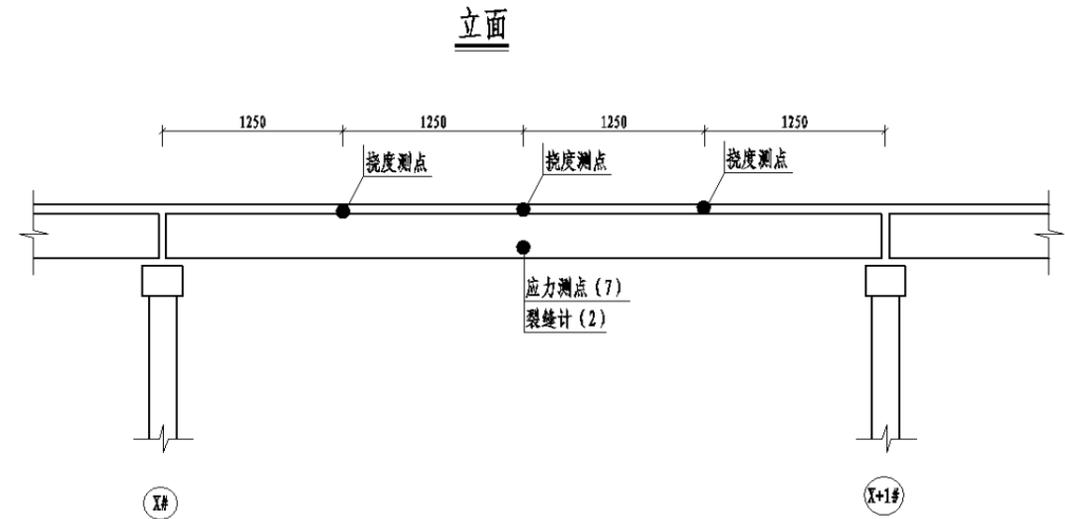


图 5.5 一般梁跨加固施工期测点布置

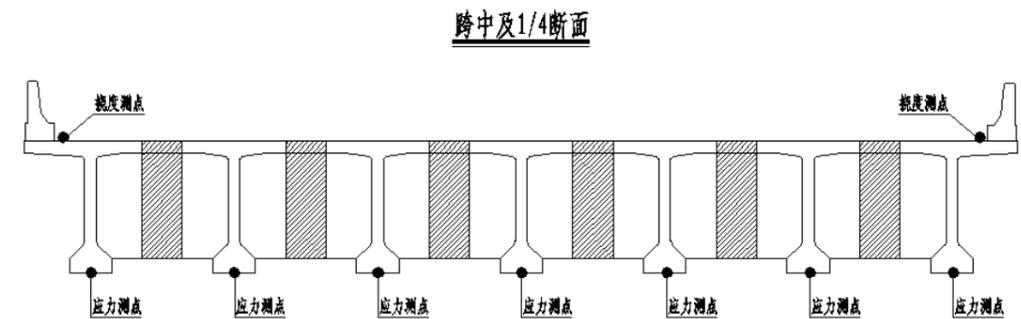


图 5.6 施工期应力测点布置

5.1.2 运营期监测项目

根据开封黄河公路大桥的桥址环境、行车环境、结构形式等特点，建议的监测项目可划分为荷载源监测、结构响应监测两大类。

(1) 荷载源监测

a) 重要的环境荷载（温度、湿度、雨量）；

(2) 结构响应监测

a) 主梁控制截面的变形状况；

b) 关键控制截面的应变监测；

c) 典型裂缝宽度；

d) 体外索索力监测；

e) 动力及振动特性监测（桥梁固有动力特性监测）。

根据开封黄河公路大桥结构危险性分析结果，建议的监测项目与传感器数量见下表，测点

布置图见下图。

表 5.2 大桥运营期结构安全监测系统传感器一览表

序号	监测项目	传感器类型	单位	数量	备注
1	雨量	雨量计	个	1	
2	环境温湿度	温湿度仪	台	1	
3	结构应力/温度	振弦式应变（温度）计	个	55	
4	主梁挠度	挠度标靶	个	5	
5		动挠度传感器	个	2	
6	结构振动	加速度传感器	个	8	
7	结构裂缝	裂缝计	个	8	
8	体外索索力	磁通量传感器	个	14	
9	桥面状况	高清摄像头	个	3	
总计				97	
10	交通量	交通量监测数据	套	1	接入

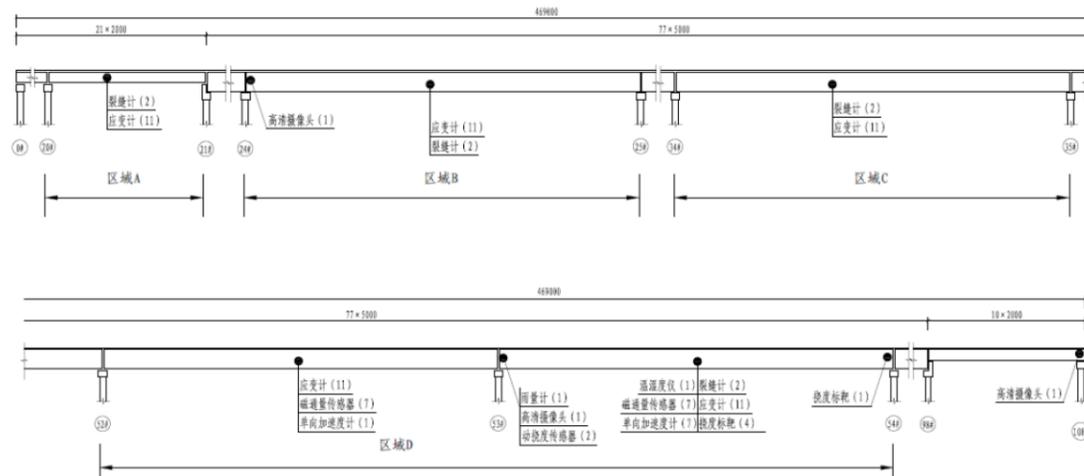


图 5.7 测点总体布置图

## 5.2 传感器模块

在传感器选型时，会优先选择桥梁监测方面有成功应用的厂家、成熟稳定的型号，并考虑技术先进、可靠实用、经济合理以及与自动化系统相适应等方面进行综合分析确定，同时在现场安装时，加装传感器保护盒，提高设备耐久性，尽量减少运营期设备的维护费用。

### 5.2.1 雨量监测

#### 1) 功能目的

为获取桥址处降雨状况，为行车安全管理提供依据，需对雨量进行监测。

#### 2) 技术参数

表 5.3 雨量计技术参数

项目	技术标准
分辨率	0.1mm/滴
精度	2%
工作温度	0℃~50℃

#### 3) 布设位置

在第 53#墩墩顶附近。

### 5.2.2 环境温湿度监测

#### 1) 功能目的

开封黄河公路大桥桥址处温暖湿润，该环境将使支座、护栏、加固钢板、体外预应力束等钢构件可能发生腐蚀作用，为保证钢构件的耐久性，进行温湿度监测，以达到如下主要目的：空气温湿度状况，辅助指导养护维修工作。

#### 2) 技术参数

表 5.4 温湿度仪技术参数

项目	技术要求
空气相对湿度测量	
测量范围	0-100%RH
精度	±1.5%（对于 0—90%相对湿度和 23℃范围）
稳定性	小于 1 %rh /年
操作温度	-40℃至 60℃
空气温度测量	
输出信号	4-20mA，需与采集设备匹配
测量范围	-30℃至 70℃或-40℃至 60℃
精度	±0.3℃

#### 3) 布设位置

可在第 54 跨主梁横隔板位置处安装温湿度仪。

### 5.2.3 主梁挠度

桥梁结构空间位置的变化与结构内力变化是一个协调统一体，以桥梁建成通车时其各主要构件的空间位置为初状态，通过运营期监测数据与初状态的对比，可分析计算出结构内力的变化及其发展趋势，为运营期结构承载能力的判断及维护调整提供科学依据。此外，在特殊荷载作用下，结构的变位响应与荷载的对应关系也是判断结构状态的主要依据。因此，桥梁结构空间状态的监测和对比分析是评估结构安全使用状态的重要组成部分。

挠度监测目前主要采用如下几种方法：精密水准测量仪、百分表测量、GNSS 定位系统、静力水准仪等。综合考虑在线实时监测、测量精度以及成本等因素，并考虑到本桥桥型特点，本方案建议测量桥梁动态挠度，用以分析桥梁的线形状况以及各片梁间横向联系的工作状况。

#### 1) 功能目的

主梁的空间几何变形，包括梁体的下挠是识别大桥内力状态的重要参数。主梁的线形是反映当前大桥内力状态的重要指标，是进行梁桥内力状态识别最重要的输入参数，也是分析各片主梁横向联系的重要数据来源；同时，主梁挠度的变化也是反映行车舒适性和进行桥梁适用性评价的直接指标。

#### 2) 技术参数

表 5.5 动挠度传感器技术参数

项目	技术标准
量程上限	1m 或可调
测量精度	0.2mm
采样频率	20Hz 或以上
工作温度	-30℃~+50℃

#### 3) 布设位置

在第 54 跨跨中位置布设动挠度监测设备。

### 5.2.4 结构应力

根据测试原理的不同，可将应变传感器分为电阻式、振弦式、光纤式等。为满足稳定可靠、寿命等要求，根据实际需要，在本方案中采用振弦式应变计，对于施工期部分桥跨，采用结构胶粘贴的安装方式，运营期监测桥跨，采用膨胀螺栓固定。

#### 1) 功能目的

根据本桥的受力特点，通过对桥跨主梁进行应力监测，了解桥梁在交通荷载、自然荷载（包

括温度荷载等）作用下代表性控制截面的受力情况，分析其应力变化幅值，对构件进行应力监测，为结构安全评估提供技术支持，为大桥采取相应的维修、管养措施的制定提供依据。

#### 2) 技术参数

表 5.6 振弦式应变计技术参数

项目	技术要求
应变量程	3000 $\mu \epsilon$
精度	$\pm 0.5\%$ F.S.
工作温度范围	-20℃~+80℃
采集频率	1/600

#### 3) 布设位置

对于运营期，在主梁跨中梁底等位置布置应变计。

### 5.2.5 结构裂缝

T 梁腹板普遍存在竖向裂缝及斜向裂缝，结构裂缝监测目的为：

- ① 作为运营期间桥梁安全性预警的重要信息，也是结构状态分析的参考信息；
- ② 对 T 梁典型裂缝进行跟踪监测，推断边跨混凝土 T 梁裂缝的发展趋势。

#### (2) 设备及主要性能指标

采用裂缝计对 T 梁裂缝进行监测，技术指标如下：

表 5.7 裂缝计技术指标

项目	技术要求
灵敏度	0.01mm
工作温度范围	-20℃~+80℃
采集频率	1/600

#### 3) 布设位置

T 梁腹板裂缝位置处。

### 5.2.6 体外索预应力

#### 1) 功能目的

50mT 梁采取体外预应力加固，以提高其抗弯、抗剪承载能力。体外索监测值可作为运营期间桥梁安全性预警的重要信息，也是结构状态分析的参考信息；

#### 2) 技术参数

表 5.8 磁通量传感器技术参数

项目	技术要求
量程	0~1500kN
接线长度	≤300m
工作温度范围	-40℃~80℃
测量误差	≤5%FS
测量分辨率	0.2FS
采集频率	1/600

3) 布设位置

加固施工期选取试验跨进行索体预应力监测；

运营期监测选取第 53 跨、第 54 跨体外索进行预应力监测。

5.2.7 动力特性及响应

1) 功能目的

桥梁动力特性的参数（自振频率、振型、阻尼系数）是桥梁构件质量退化的标志。桥梁的振动水平（振动幅值）反映桥梁的安全运营状态。桥梁自振频率的降低、桥梁局部振型的改变可能预示着结构的刚度降低和局部破坏，或约束条件的改变，所以进行结构动力及振动特性监测的目的为：

- (1) 从整体使用状态上把握结构的安全使用状况；
- (2) 是进行结构损伤评估重要依据；
- (3) 检验和修正用于桥梁状态分析预测的有限元模型。
- (4) 作为影响行车舒适度的报警指标。

2) 加速度传感器技术指标

表 5.9 加速度传感器技术指标

项目	技术要求
量程	加速度：20m/s <sup>2</sup> ；小速度：0.125m/s；中速度：0.3m/s；大速度：0.6m/s
灵敏度 ( $\frac{v \cdot s^2}{m}$ 或 $v \cdot s/m$ )	加速度：0.3；小速度：23；中速度：2.4；大速度 0.8
通频带 (Hz, $\pm 1dB$ )	加速度：0.25~80；小速度：1~100；中速度：0.25~100；大速度：0.17~100

输出负荷电阻 (kΩ)	1000
工作温度范围	-20℃~+80℃

3) 布设位置

振动加速度传感器布设于第 53 跨、第 54 跨跨中位置。

5.2.8 交通监测（接入）

1) 功能目的

开封黄河公路大桥交通荷载为大桥运营期承担的主要活荷载，且超载车辆是造成未来主桥桥面铺装及附属设施伸缩装置等破坏和影响构件寿命的主要因素，进行动态不停车交通荷载监测的主要目的为：

- ① 对所有通过主桥的车载进行统计，对过桥的车辆信息（轴重、轴距、车速、车长、总重等）进行实时监测和管理，提示协助管养机构关注过桥的各类超重超载车；
- ② 定期提供每月、每季、每年的过桥车辆荷载报告。
- ③ 为结构内力状态识别提供荷载依据；

2) 布设位置

交通荷载监测信息从交通量自动化观测站信息平台接入。

5.2.9 桥面视频监控

(1) 目的

通过视频监控，与交通荷载监测数据联动，及时发现超载及违规车辆，同时辅助处置车辆相撞、车辆堵塞、车辆撞桥及桥梁火灾等桥面突发事故。

(2) 技术要求

表 5.10 高清摄像头技术指标

项目	技术要求
像素	≥200 万
聚焦模式	自动 / 半自动 / 手动
水平范围	360°
垂直范围	-15°~90°
红外照射距离	150 米

(3) 安装位置

桥梁视频监控设备宜布置在两侧桥头及中部附近。

### 5.3 数据采集与传输模块

大桥结构施工监控及运营安全监测系统数据采集与传输模块是整个自动化监测子系统的中枢，负责完成对传感器获得桥梁信息数据的信号调理、模数转换及网络传输，是连接大桥外场和监控中心（内场）的枢纽。数据采集与传输模块主要由数据采集设备、数据传输设备、数据采集软件以及其它附属设备等构成。

#### 5.3.1 数据采集方案

针对大桥自动化在线监测系统的监测项目及传感器类型，根据传感器输出信号以及各类采集软件的开发需求，将其划分为 4 类，分别进行相应的数据采集方案设计。

动态同步采集时各传感器同步精度不应大于 10ms；静态采集时各传感器同步精度不应大于 30s。

表 5.11 数据采集方案

序号	采集设备	传感器类型	通讯接口和协议
1	振动信号调理器	振动传感器	TCP/IP, UDP, MODBUS
2	信号调理器	温湿度、裂缝计	TCP/IP, UDP, MODBUS, RS232/485 信号
3	振弦信号采集仪	应变（温度）计	以太网信号和 RS232/485 信号
4	磁通量传感器	磁弹仪	/
5	动挠度采集仪	动挠度传感器	/

#### 5.3.2 数据采集制式及采样频率

系统根据传感器和数据采集设备不同，所支持的采样频率满足本系统的数据采集要求。系统软件设计已考虑灵活性和可配置性，可以支持通过配置程序修改采样制式和频率，系统的采集制式支持人工干预、环境触发采集、按定制模式采集，三种制式未来选择可选可调。系统运行期采用的采集频率如下：

表 5.12 数据采集频率配置表

监测项目	传感器类型	采样频率 (Hz)
雨量	雨量计	1/600
环境温湿度	温湿度计	1/600
裂缝宽度	裂缝计	1/60

主梁挠度	动挠度传感器	10
结构应力	应变计	1/600
体外预应力	磁通量传感器	1/600
动力特性及响应	加速度传感器	50

#### 5.3.3 数据传输网络方案

由于本桥与监控中心之间未预留光缆及电缆设备，由监测方提出供电需求及通讯，由设计单位设计并由施工单位负责测区位置的供电及光缆施工。若无光缆，则通讯采用无线通讯的方式进行传输，无线传输系统架构如图所示。

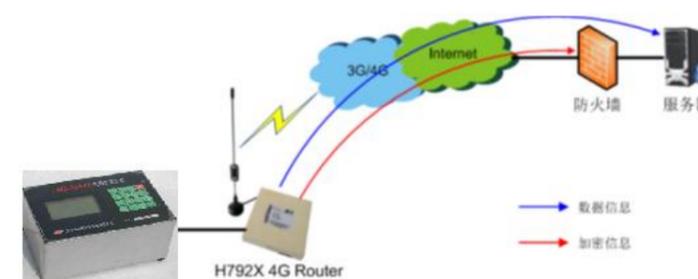


图 5.8 传输方案

数据传输使用无线收发仪，无线收发仪可与电脑连接组成无线监测的主机，从而实现电脑和信号采集仪之间的无线通讯及数据管理；此外无线收发仪还可与电脑脱机操作，单独下载各采集仪的监测数据。在实时传输时可以利用无线数据收发软件为数据工作站提供识别代码，使得安装在现场的无线模块能自动寻找到该工作站，并建立两者之间的数据联系，实现数据交换。

为保证数据采集与传输系统的稳定性、可靠性和耐久性，方案设计要求：

- (1) 系统应具有与其安装位置、功能和预期寿命相适应的质量和标准。通信协议，电气、机械、安装规范应采用相应国家标准或兼容规范；
- (2) 系统应能在无人职守条件下连续运行，采集得到的数据可供远程传输和共享，采样参数可远程操作来进行在线设置；
- (3) 满足数据采集子站 24 小时连续采样数据传输的要求，并能在报警状态下(强风、地震等)能够进行特殊采样和人工干预采样控制；
- (4) 能远程控制系统启动及关闭，人工控制系统运行时间；
- (5) 系统管理员可以在数据服务器上通过远程操作实现对模拟、数字和视频等所有信号的采样频率、触发阈值、时间间隔等参数进行调整；

(6) 系统具有实时自诊断功能, 当数据传输系统出现故障时, 系统应能立即自动地将故障信息上传至数据服务器, 并激活警报信息;

(7) 为了与其它基于 TCP/IP 的设备和网络相协调, 综合数据采集站信号传输网络应基于 TCP/IP 标准。

## 5.4 数据处理与控制模块

数据处理与控制的主要功能是将监测信号进行预处理以及二次处理以向其它子系统提供有效的信息源或力学指标, 根据需要设定程序及参数, 对监测数据进行处理控制。

## 5.5 中心数据库模块

中心数据库子系统要求能够保障数据存储安全, 系统能够长期不间断稳定工作, 能够同时处理结构化及非结构化数据, 能够完成数据的高速查询及视图的快速生成, 支持网络分布式数据管理, 支持 WEB 数据访问, 满足开放式数据库协议等。

中心数据库子系统的主要设计内容包括: 基础数据库管理语言工具的选择、数据库设计、数据库备份与灾难恢复策略等。

### 5.5.1 基础数据库管理商业工具的选择

Microsoft SQL Server 是基于 Windows Advanced Server 服务器的, Microsoft SQL Server 的性能已经稳居数据库应用的前几位, 可以满足系统的稳定性和大数据量的要求。

数据库的稳定是建立在操作系统稳定的基础上。Windows Advanced Server 经过了最严格的安全认证, 获得了最高的 C2 级别的安全认证标准。由此可以证明 Windows Advanced Server 的系统稳定性是极高的, 代码经过检验, 证明是稳定的。

数据库良好稳定的运行需要管理员的辛勤工作, 管理员的经验直接关系到数据库的安全稳定, MS SQL SERVER 在中国的企业和政府得到了广泛的应用, 有大量经验丰富的管理员。MS SQL SERVER 数据库的管理和操作是最简单的, 整个系统的安全性和稳定性也较好, 而且性能价格比最高, 完全满足桥梁结构安全监测巡检管理系统的稳定安全的要求, 同时节约资金, 降低成本, 是理想的选择。

常规小型企业或者中小型的应用中, 采用 MS SQL Server 作为数据平台, 既可以节约资金, 又便于维护管理。小型应用主要考虑的是资金问题, SQL Server 的资金投入最小, 是中小型应用的最佳选择。

系统需要完成原始数据的处理并入库的功能, 保存到数据库中的数据包含了某段时间监测

数据的特征值, 保存特征值可以方便我们对长期存储数据的统计与分析。统计报表需要对保存下的数据进行进一步的处理, 剔除异常点并将处理后的数据保存到数据库中。

传感器系统的监测数据。这类数据经预处理、二次预处理和后处理后进行数据压缩、信息提取和融合, 可得到结构特性及荷载响应特性等实时结果, 并可在此基础上建立结构“安全”状态数据库(包括基准值、界限值和参数相关性模型)。随结构年龄的增加, 其“安全”状况标准需作调整更新, 如维修工程可改善结构的“健康”状况。根据不同阶段的状态值, 可了解结构的退化信息;

长期监测系统数据的特点:(1) 数据量庞大, 长时间的连续监测将形成海量数据;(2) 类型多, 既有监测的数据, 又有设计的图表信息及某些非数字的描述信息。

数据库管理系统安装在控制中心的结构安全评估服务器上, 主要包括综合数据库和查询显示系统两部分。要求系统能快速及时地通过计算机网络以图文并茂、友好自主的方式显示数据库中的桥梁状态信息。

根据系统存储和管理海量数据和不同形式数据的需求, 选择采用 Microsoft SQL Server 作为数据库管理系统, 实现对桥梁几何数据、监测时间序列数据、图像监测信息和文本信息的统一存储。

由于数据来源多样、形式复杂、格式不一, 因此数据的收集和整理入库须统一规划、分步实施。传感器的监测数据及预处理结果直接加入到动态数据库; 图像监测信息经删选后以图幅方式存入动态数据库; 现场监测和检查收集的数据经整理后存入状态检测数据库; 事件(损伤、维修记录等)信息存入状态检测库。入库数据信息录入数据库中的索引系统上。数据库按层按列形成网状结构, 如根据传感器类别将监测数据分成相应的列, 而以测量数据导出量作为层。以加速度数据为例, 计算得到的功率谱信息为第一层, 进一步识别得到的频率、模态阻尼等值作为第二层。

### 5.5.2 数据库的实施

数据库实施阶段, 设计人员要用 RDBMS 提供的数据库定义语言和其他使用程序将数据库逻辑设计和物理设计结果严格描述出来, 合成为 DBMS 可以接受的源代码, 再经过调试产生目标模式, 之后就可用组织数据入库。大桥桥梁结构安全监测系统数据库使用的 RDBMS 是微软公司的 SQL Server, 其提供的数据库定义语言为 SQL 语言, 结合 C、C++、C#等编程语言形成了数据库管理系统软件。

数据库实施阶段包括两项重要的工作, 一项是数据的载入, 另一项是应用程序的编码和调试。

### 5.5.3 数据库运行和与维护

在数据库运行阶段，对数据库经常性的维护工作主要是由管理员完成的，它包括：

- (1) 数据库的转储和恢复；
- (2) 数据库的安全性、完整性控制；
- (3) 数据库性能的监督、分析和改造；
- (4) 数据库的重组织与重构造。

### 5.5.4 数据备份和灾难恢复策略

监测系统需要长期稳定的保存各种数据，数据库管理员需要制定合理的备份数据库、恢复数据库、收缩数据日志、转移数据库的策略，以保证数据的完整及安全。

完整和及时的数据备份是当遇有事故发生后拯救数据的最关键手段，因此也是保证数据安全的重要环节。对数据备份重视不够，数据备份设备不完好，不经常检查和定期更新数据备份介质，都可能产出无效的数据备份。

从制度措施上来说，对数据库数据备份没有健全的规章制度，数据备份策略制定的不合理，没有对数据备份介质进行可靠的存放，也会给数据安全带来隐患。

大桥桥梁结构安全监测系统数据库的数据备份设计为每天凌晨 1 点进行一次差异备份，在每个月的 1 号凌晨 2 点进行一次完全备份。我们不要求管理员每天守到晚上 1 点去备份数据库。所以要实现数据库的定时自动备份。

数据库管理员要经常对数据库进行异地备份以保证可以实现灾难恢复。具体方式就是通过刻录光盘异地保存和通过大容量移动存储设备来异地保存。一旦监控中心服务器发生灾难性事故，便可以通过异地的数据库备份来恢复数据，减小损失。

### 5.5.5 数据库构成

系统由数据库服务器、数据库管理系统软件、实例数据库等部分组成。

数据库管理系统平台采用 SQL Server 商业关系型数据库管理系统软件，实例数据库针对本系统的特点进行研发设计。数据库服务器选用高性能数据库服务器计算机，性能指标如下：

产品类型	机架式
处理器	Intel Xeon 系列
处理器主频(MHz)	至少 3000MHz
处理器二级缓存(KB)	1024KB
标配 CPU 数目	标配 2 个双核
前端总线(MHz)	400MHz FSB

内存类型	4×1024M DDR3
标配内存	8GB
内存插槽数	大于 8 个内存插槽
磁盘控制器	SAS/SATA
硬盘用量	1T
网卡	双 1000M 网卡

中心数据库是系统数据交换、存储、查询、分析、评估、处理的核心。包括实时监测数据库、动态称重数据数据库(数据引入)、报告报表数据数据库、结构分析数据库、静态信息数据数据库。

## 5.6 数据分析与安全预警及评估模块

安全预警与评估子系统作为桥梁运营期结构监测管理系统的核心部分之一，它通过监测结构的运营状态，通过荷载输入和结构响应数据对桥梁整体及关键部件的安全状况进行评估，判断结构是否处于正常使用极限状态内，是否即将达到或超越服役极限状态（Serviceability Limit State）。对结构安全状态的重要变化及桥梁出现不安全征兆时进行报警，提供报警信号，提醒管养人员关注结构运营安全状况，及时进行维修养护，保障结构健康正常运行。具体为：对监测及识别的结果进行统计、对比分析，趋势分析和相关性分析；对结构形等监测参数建立明确的报警指标，对监测结果进行分级报警；综合各种监测数据、内力状态信息对结构进行综合评估。传感器模块所采集的监测数据是为安全报警与状态评估子系统服务的，依据上述两者信息进行结构的综合报警及安全评估。

根据《公路桥梁结构安全监测系统技术规程》（JT/T 1037-2016）中 8.1 规定，每年不应少于一次数据分析，且数据分析结果可运用于安全预警、安全以及评估、安全二级评估和专项评估。

### 5.6.1 安全预警

#### 5.6.1.1 预警工作流程

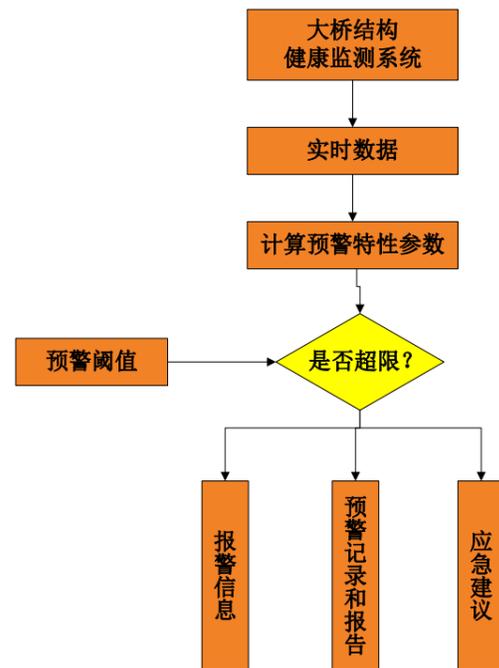


图 5.9 结构预警子模块流程图

#### 5.6.1.2 预警参数的确定

结构施工监控及运营安全监测系统报警监测项目的报警参数如下：

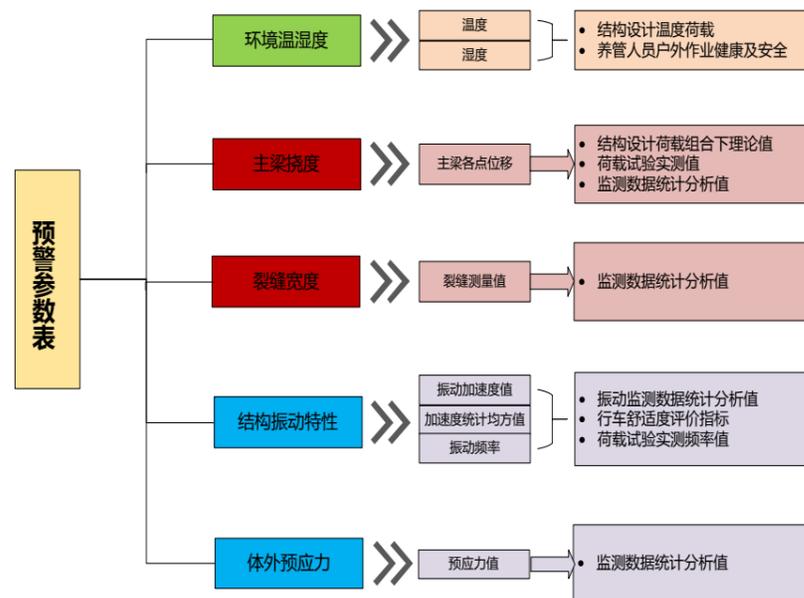


图 5.10 监测系统报警参数

#### 5.6.1.3 报警等级划分

结构报警等级划分及对应描述见下表。

表 5.13 报警级别划分及对应的桥梁状态

报警等级	对应的结构状态描述
1 级黄色报警	结构已明显偏离通常运营状态，已有明显趋向极限状态的趋势，建议关注。
2 级红色报警	结构已严重偏离通常运营状态，已接近设计极限状态，结构安全富裕量已不足，建议密切关注，必要时建议进行交通管制。

#### 5.6.1.4 预警方式

报警方式根据需要可以有三种方式：

- (1) 在计算机终端软件界面上以醒目的图形方式（数字颜色改变、多级报警线、状态灯）表示报警状态；
- (2) 通过鸣叫等声音方式通知监控中心管理人员；
- (3) 通过发短信的方式通知管理人员。

#### 5.6.1.5 预警指标阈值的配置

##### 1) 阈值配置的原则

报警指标阈值的确定将遵循以下原则：

- (1) 相应结构设计规范中规定的限值，按极限状态理论设计时承载能力极限状态、正常使用极限状态规定的限值以及按容许应力法设计时规定的设计容许值等；
- (2) 桥梁管理常用的管理措施，如一定风速下对车辆通行的相关规定；
- (3) 考虑结构安全可靠度采取不同的安全系数进行阈值的分级；
- (4) 建立在监测数据统计分析的基础上，对阈值进行的调整。

##### 2) 报警指标阈值配置的内容

配置的过程是首先确定需要进行报警的监测项目和逐一对应的传感器编号，然后确定每个测点信号的二级报警值，每级报警可能包括上限和下限，因此每个测点信号最多的阈值为 4 个，从大到小依次为红色报警上限、黄色报警上限、黄色报警下限、红色报警下限。报警体系主要作用是在结构实时监测过程中对发生的可能威胁到桥梁结构运营安全的可变荷载（如超重车等）以及结构对其的响应指标（主梁变形等）进行报警，提供桥梁在特殊气候、交通条件下或桥梁营运状况异常时所触发的报警信号，提醒桥梁管理养护人员关注结构的运营与安全状况，并根据需要临时启动识别和评估机制以确定结构是否处于安全状态。

### 5.6.2 结构安全评估

结构安全评估是监测系统的最终成果体现，也是健康监测中技术难度最大的部分。既需要熟悉对大桥结构特性，也需要对传感器测试数据有深刻的认识。要求系统能够针对结构的损伤识别、异常状态识别、性能发展趋势预测和整体结构安全性进行分析。应在对本桥进行充分的危险性分析和运营状态受力分析的基础上并采用较成熟的方法对本桥安全状态进行评估，报告大桥主要构件的承载能力，评估大桥整体及各主要构件的使用性能。

桥梁运营期结构监测管理系统安全评估包括：桥梁动力特性评估、中性轴高度等专项评估分析，以上各专项评估分析均由专业技术人员进行离线分析完成，形成各专项评估分析报告。

#### (1) 桥梁动力特性

结构的模态参数，包括频率、振型、模态阻尼，是结构质量、刚度、阻尼等物理参数的函数，结构发生损伤必然会在结构的模态参数中有所体现；同样结构发生损伤后，在相同的条件下结构的振动响应必然也是有所区别的，利用结构物理参数、模态参数或者动力响应的变化就可以识别出结构存在的损伤。同时，利用各片主梁的振动一致性，初步判断主梁的横向连接性能。

结构监测的目的是实时获得结构服役性能，对结构状态实时进行评估并做出决策，因此，对结构模态参数进行连续、实时在线分析是结构动力监测的基本需求，也是健康监测的基本需求。

实时在线模态识别分析系统需集成多种识别算法，不同算法间对识别结果进行相互校核以保证识别的准确性。识别系统具有完善的前后处理模块，将数据预处理、模态识别和结果图形化输出完全集成，一体化的分析系统助力监测系统实时在线结构评估。模态识别算法至少应包含以下算法：

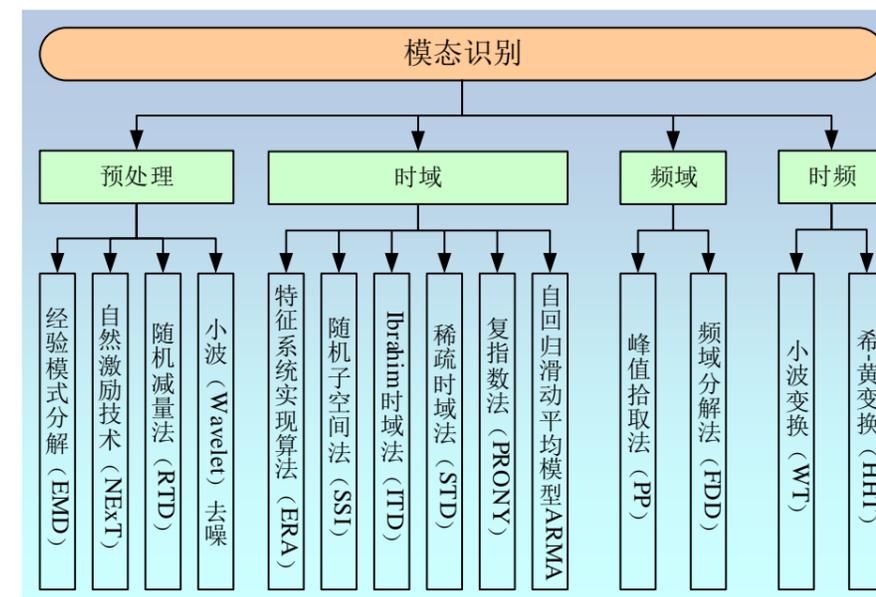


图 5.11 桥梁模态识别算法

#### (2) 中性轴高度

直线的截距是一个常量，即在活载作用下，中性轴高度保持不变。根据定义，中性轴是梁截面的自身固有特性，与外界荷载无关，所以可以作为衡量结构健康状态的指标。在一次测量过程中可以通过两个应力点计算出中性轴的高度，为了使结果计算的更好更准确，可沿梁高度方向布置三个应变传感器，然后通过直线拟合，求出中性轴高度。在衡量安全性时，要同时考虑结构本身特性和外荷载的大小，所以拟合直线的斜率，即截面的曲率可以作为衡量结构安全性的指标。

#### (3) 基于应变监测数据的承载能力实时评估

开封黄河公路大桥承载力实时评定系统用于监测该桥在各种荷载作用下的结构响应，并对桥梁结构加固及服役期间的承载力状况进行评估。对结构的承载力实时评定分为四步：数据采集与处理、裂缝高度反算、承载能力检算系数的获取和承载力实时评定，基于监测数据的混凝土梁桥承载力评估体系如图。

### 基于监测数据的混凝土梁桥承载力评估体系

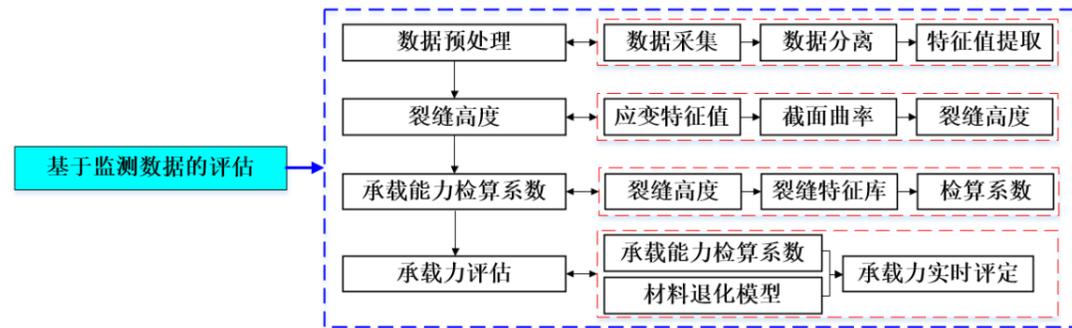


图 5.12 基于监测数据的混凝土梁桥承载力评估体系

#### (4) 基于动挠度数据的横向连接状态评估

从梁底挠度响应测量信息中提取反映结构特性变化的方法，即通过定义相邻梁底动挠度相关系数作为装配式梁桥横向协同工作性能指标，以反映各片梁间横向连接强弱联系。该指标定义为同一横截面上各梁底中点纵向挠度的相关系数：

$$\rho_{ij} = \frac{Cov(\omega_i, \omega_j)}{\sqrt{D(\omega_i) \cdot D(\omega_j)}} \quad (1)$$

式中： $Cov$ 表示协方差； $\omega_i$ 、 $\omega_j$ 为监测得到的第*i*、*j*片梁梁底纵向挠度时间序列，*i*, *j*=1, 2, ..., *n*；*n*为预制梁总数； $D$ 表示方差。

由于挠度，简化表达式：

$$\omega = B\omega_p \quad (2)$$

式中： $B$ 为 $n \times (2n-1)$ 维常数矩阵，与外荷载无关，反映装配式梁桥的固有特性参量， $B=[B_1; B_2; \dots; B_n]$ ； $\omega_p = \{I_1; I_2\} \omega_0$ ，长度为 $2n-1$ 的列向量，反映外荷载作用下对各片梁的挠度响应情况， $I_1$ 和 $I_2$ 反映荷载 $P$ 的作用位置，是常数定位矩阵； $\omega_0$ 为标量函数，表示外荷载 $P$ 全部由一片梁负担（作用于 $y$ 处）时，该片梁在监测截面处的挠度：

$$\omega_0 = \frac{P\eta_y(y)}{EW} \quad (3)$$

式(2)是在一次测量时的表达式。连续测量*m*次时， $\omega$ 增广为 $n \times m$ 挠度测量矩阵，记为 $\omega$ ； $\omega$ 的每一个元素 $\omega_i$ 均是时间序列，记为 $\omega_i = [\omega_{i1}; \omega_{i2}; \dots; \omega_{im}]$ ，表示第*i*片梁测量得到挠度时

间的序列，为 $1 \times m$ 维行向量；则有 $\omega = [\omega_1; \omega_2; \dots; \omega_n]$ 。与之相对应，式(2)等号右边的 $\omega_p$ 也增广为 $(2n-1) \times m$ 维矩阵，记为 $\omega_p$ ，式(2)推导出式(4)。

$$\omega_i = B_i \omega_p \quad (4)$$

将式(4)代入式(1)，得

$$\rho_{ij} = \frac{Cov(\omega_i, \omega_j)}{\sqrt{D(\omega_i) \cdot D(\omega_j)}} = \frac{B_i \Gamma_p B_j^T}{\sqrt{B_i \Gamma_p B_i^T B_j \Gamma_p B_j^T}} \quad (5)$$

式中： $\Gamma_p = E(\omega_p \omega_p^T) - E(\omega_p)E(\omega_p^T)$ ，反映交通流外荷载挠度效应的统计特征参量，完全由外荷载确定。

装配式梁桥各预制梁同一截面梁底挠度的相关系数的大小值与结构特性参量 $B$ 和外荷载效应的统计参量 $\Gamma_p$ 有关。长期来看，位于交通网络中的路面或桥面上的交通流荷载统计模型是稳定不变的。因此，交通流外荷载挠度效应的统计特征参量 $\Gamma_p$ 也是基本不变的。这意味着，指标 $\rho_{ij}$ 具有统计稳定性，不会受短期外荷载的改变而改变。只要时间足够长，在任意随机类型的桥面交通流荷载模型作用下，该指标确实统计收敛于指定值，该值与桥面任何单个移动车辆的大小和位置无关，但与桥面交通流荷载的统计稳定模型有关。

另一方面，梁宽边缘变形与竖向变形之比 $\zeta$ 和横向连接相对刚度 $\lambda$ 是影响结构特性参量 $B$ 的2个因素。在整个装配式梁桥的生命周期内，铰缝都是薄弱部位，不仅因现场施工质量不易控制而产生初始损伤，而且也易于在服役期间产生性能退化。与预制梁本身相比，横向连接更易于破坏，是装配式梁桥结构特性退化的控制因素。在服役期内， $\zeta$ 基本保持不变， $\lambda$ 则损失降低。

从理论上讲， $\lambda$ 是唯一可能导致指标 $\rho_{ij}$ 变化的原因，得出 $\rho_{ij}$ 具备表征装配式梁桥各片预制梁横向协同工作性能的能力。

#### (5) 汽车荷载模型评估

公路超载运输现象愈演愈烈，大量的超过设计标准的车辆在公路桥梁上行驶，这种超载超限运输对桥梁结构的局部乃至整体均造成极大的损伤，不少桥梁在使用后不久便因为超载严重而不得不采取加固措施，桥梁的寿命大大缩短，未达到设计年限便亟需大修，养护费用急剧增加，服务水平和运输安全受到严重威胁。

对车辆荷载的研究是桥梁承载能力计算、桥梁结构安全可靠评估及寿命预测等的重要基

基础，关乎桥梁的设计、运营及管养维护等各个阶段。由于现行桥梁设计荷载标准与实际桥上荷载之间存在较大的差异，有必要根据特定地点的车辆荷载的实际情况，得到桥梁实际承受的车辆荷载。根据实测的车辆荷载数据，分析车辆交通流参数，并确定其分布参数，得到该桥实际运用中承受的车辆荷载类型。

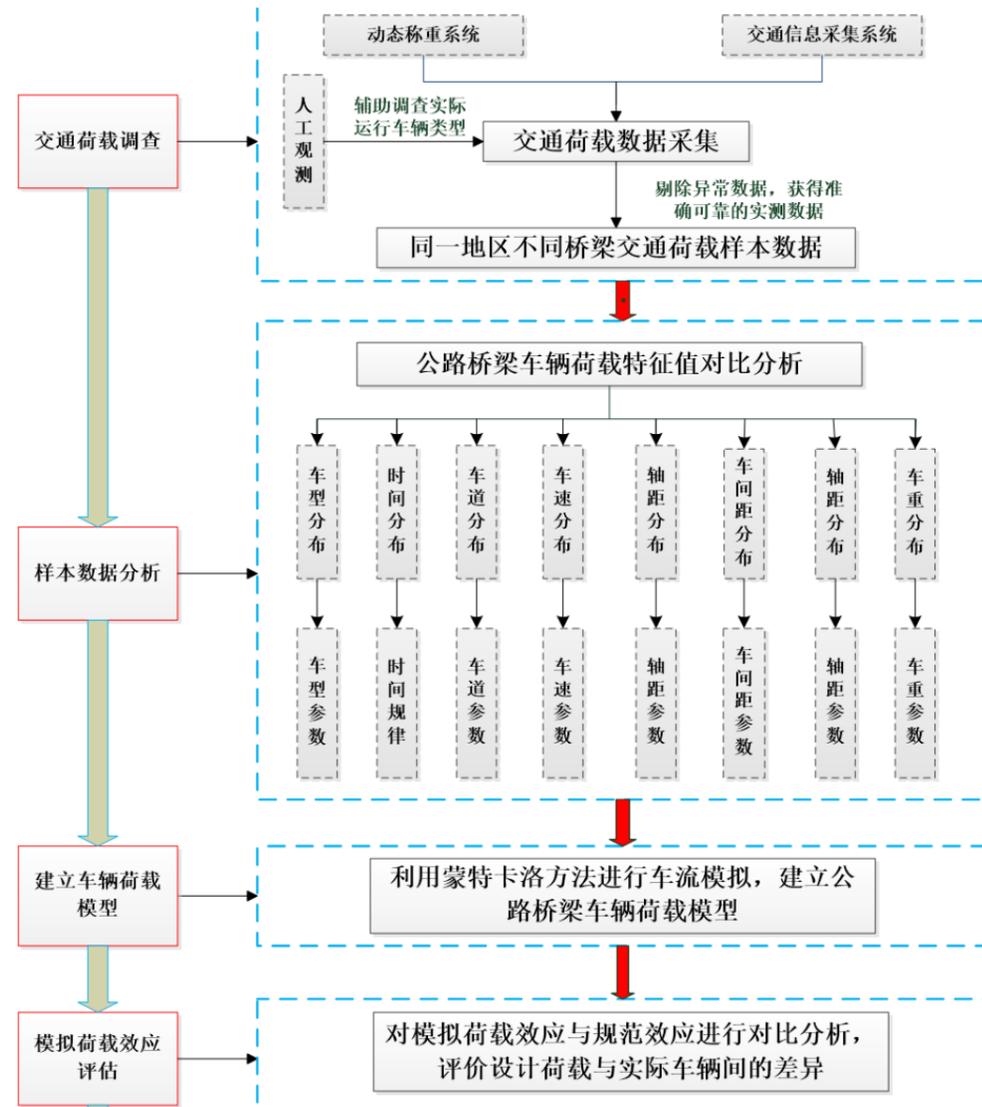


图 5.13 汽车荷载模型评估

### 5.6.3 报告报表

运营期结构监测管理系统报告报表功能计划主要设置以下子模块,包括:各桥监测项目的监测数据查询、监测数据报告报表和交通荷载统计报表实现。

#### 监测数据查询

针对不同桥梁每一个监测项,用户应根据不同的时间段(天、月、季度、年、自定义

时间段)实现查询历史数据的功能。

#### 监测数据报告报表

用户可以实现按单桥、单个监测项或监测单元,按不同的时间段统计,生成报表的功能。报表支持多种格式(excel、word、pdf)导出功能。

#### 交通荷载统计报表

交通荷载统计报表应可以实现不同桥梁、不同车道统计车辆数、累计当量轴次、车速以及按照上下行统计车辆总数等的功能。并实现从时间上可以按照按年、按月、按天来归口统计。

#### 1) 历史数据查询模块

历史数据查询模块用于历史统计数据的查看功能。

(1) 历史数据自定义查询,可按照监测项对历史数据进行自定义查询。

(2) 曲线数据显示,可对最大值、最小值、平均值在曲线上进行显示,并且支持曲线的图上操作,例如放大、缩小、还原、选定点在图上删除等功能。

(3) 列表数据显示,可以对最大值、最小值、平均值、方差、均方根值数据进行显示。

#### 2) 报告报表编辑模块

报告报表编辑模块用于报告报表历史数据的查询及历史数据的处理等功能。

(1) 历史数据自定义查询,可按照监测项对历史数据进行自定义查询,以作为报告报表的数据源。

(2) 历史数据处理,可对统计值和差值数据进行处理,包括去除异常点、恢复异常点、去除全零值等。

(3) 报告报表生成,可选择相应的报告报表模板进行报告报表的自动生成。

(4) 历史数据曲线自定义查看,可对历史数据曲线进行放大查看。

(5) 历史数据异常点剔除,可对历史数据曲线中的异常点进行手动剔除操作,以删除那些异常突变的数据点。

## 5.7 用户界面模块

### 5.7.1 系统构成

用户界面软件采用 B/S 架构,及浏览器/服务器,通过输入网址即可进行进入监测系统软件进行查看。

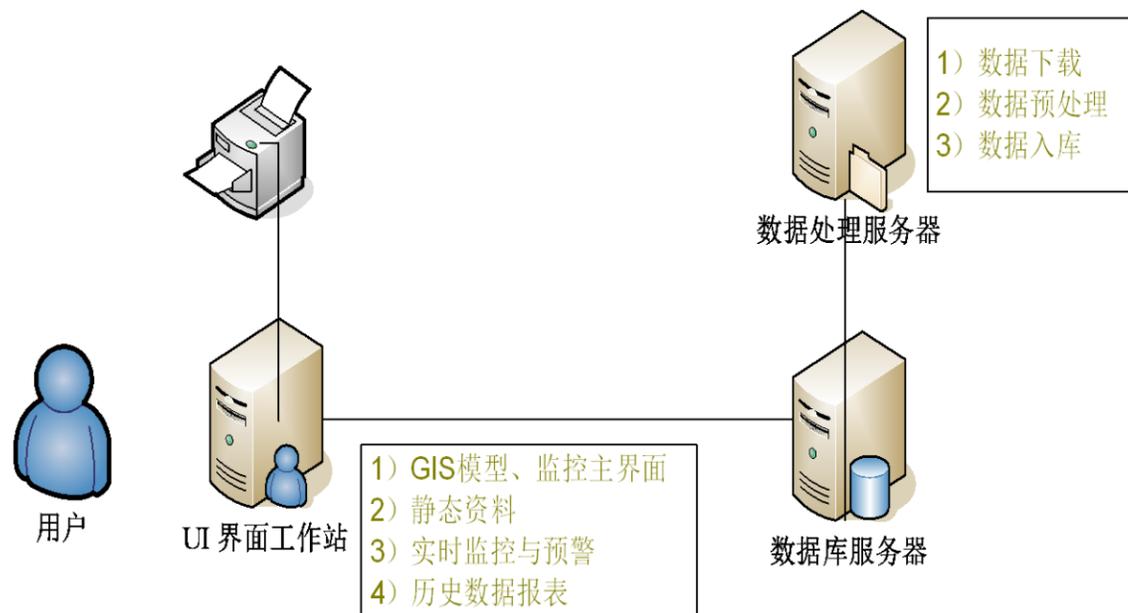


图 5.14 系统构成图

### 5.7.2 监控系统主界面

本模块用于系统而形象的展示区域内所涉及管理的桥梁、相应地形以及相应桥梁的各自信息（文字、图片）。



图 5.15 用户主界面示意（示意）

### 5.7.3 实时数据与预警展示

实时数据展示模块用来展示系统中各监测项的监测数据，并为各数据点的设定预警值。是系统的重要功能模块，本模块对各传感器上传数据进行处理后以数据值和曲线等多种形式形象的进行展现与预警。

本模块以监测项为单位，将监测项所用传感器类型、监测点所处位置、监测值进行整合，

为用户的使用提供了很大的便捷性和直观性。用户可以根据本模块所提供的多种类型的桥梁结构相应数据对桥梁状况进行判定，以做到对桥梁的结构状况做到实时监控。提供实时数据报警。

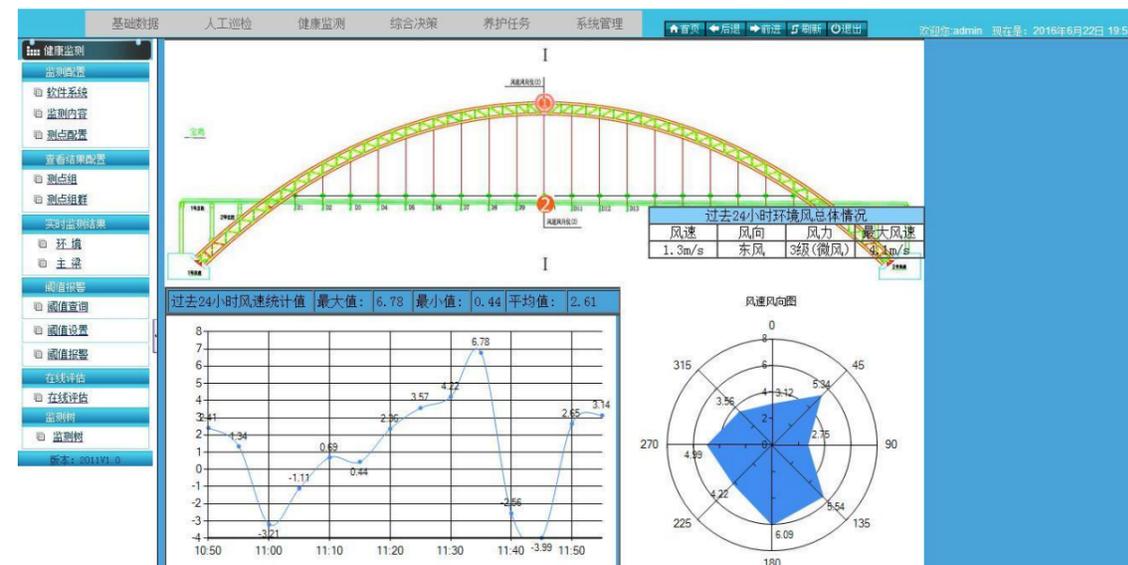


图 5.16 实时数据展示（示意）

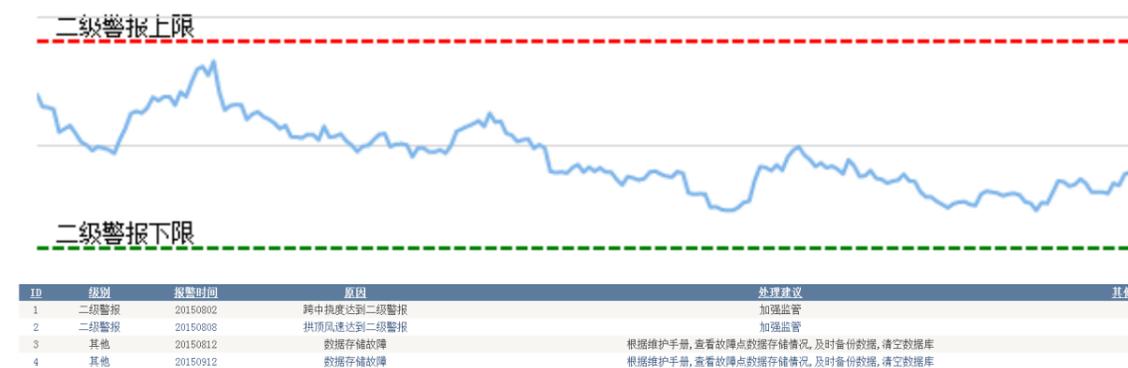


图 5.17 数据预警

### 5.7.4 历史数据报告

大桥运营期结构安全监测巡检管理系统涉及项监测类型包括：温湿度、结构应力、体外预应力、裂缝宽度、挠度、结构动力及振动特性等，数据报表需要根据不同监测类型的特点进行分类，分别制作报表的模板。

大桥监测点有数百个，在很高的采样频率下每天都会产生大量的数据，如何从海量的数据中获取有效的、关键的数据形成数据报告是非常重要的，数据报告的制作是一项复杂而繁琐的工作，它的作用是提供给管理人员与数据分析人员查看历史数据的渠道，掌握监测点的变化趋势，从而更好的了解桥梁结构的运行状态。历史数据报告软件模块具有数据处理、统计分析、生成报表、报表编辑、报表数据导出、报表打印等功能。

为方便用户统计不同时间范围内的数据报表，系统需要提供监测点的日报表、月报表、季度报表、年报表和用户自定义时间段的报表等多种报表模式。



**1.1 监测系统自检评估**

表 1-1 监测情况基本表

编号	子系统	监测项目	传感器类型	数量	数据量	有效率	监测情况
1	环境	环境风	风速风向传感器	4	0%	100%	较好
		温湿度	温湿度传感器	4	0%	100%	较好
		雨量	雨量计	0	0%	100%	较好
2	结构温度	温度	数字温度传感器	40	0%	100%	较好
3	荷载	车辆	车速车轴仪	1	0%	100%	较好
		地震动及船舶撞击	三向加速度传感器	0	0%	100%	较好
4	结构几何状态	主梁线形	挠度传感器	84	0%	100%	较好
		支座位移	位移计	28	0%	100%	较好
		拱肋变形	倾角器	12	0%	100%	较好
5	内力	吊杆力	锚索计	19	0%	100%	较好
6	动测	振动	加速度传感器	12	0%	100%	较好

监测性能小结：  
☆ 石门大桥 2016 年 12 月 05 日运行情况较好

图 5.18 报告报表

**5.7.5 配套软件方案**

业务处理系统配套软件主要包括：操作系统软件、数据库软件、应用服务器软件、备份软件、基础技术平台软件、防病毒软件。

服务器采用 Windows Server 企业版或更高版本。

**5.8 电子化巡检子系统**

**5.8.1 电子化巡检子系统的目的**

开封黄河公路大桥结构单元种类和数量多，传统的基于纸张、不规范、不标准、技术不先进可靠的巡检养护手段并不能满足大桥全寿命期数字化和信息化的养护管理需要。为了辅助管养人员对开封黄河公路大桥各个构件进行检查及评估工作，基于人工巡检的电子化养护系统的主要目的如下：

(1) 实现对混凝土裂缝、劣化以及附属构件（伸缩缝、支座等）病害损伤的人工巡检及无损检测；

(2) 材料退化、材料损伤、结构变形（变位）等结构病害的记录；

(3) 建立损伤管理机制，追踪其演变过程，制定相应的养护维修对策；

(4) 制定合理的预防性养护措施，降低桥梁维修（护）成本；

(5) 为用户提供准确的结构巡检报告，包括结构病害记录、结构单元评分、结构整体状况评分；

(6) 为用户提供结构养护、维修的规划和建议。

**5.8.2 子系统构成及实现功能**

基于《公路桥涵养护规范》（JTG H11-2004）和《公路桥梁技术状况评定标准》（JTG/T H21-2011），并参考《城市桥梁养护技术规范》（CJJ 99-2003）的要求，借助“互联网+桥梁”、无线通讯等技术实现桥梁监测与巡检同平台管理，实现人工巡检的规范化、标准化、电子化、信息化。子系统包含以下模块：

- (1) 基础数据
- (2) 人工巡检
- (3) 养护任务
- (4) 系统管理



图 5.19 人工巡检养护子系统功能框图

**5.8.3 系统登录**

Web 主系统登陆界面如图，用户需要选择登陆单位名称。用户名分配原则：根节点的子节点单位的所有用户，不能有重复用户名。



图 5.20 Web 主系统登陆界面

### 5.8.3.1 基础数据

输入桥梁的一些基本的辨识信息，快速完成该条桥梁记录添加。

*****桥梁管理-->快速添加桥梁*****	
桥梁名称	<input type="text"/>
桥梁编号	<input type="text"/>
桥类	特大桥 ▾
桥型	混凝土梁式桥 ▾
行政等级	国道 ▾
跨越地物类型	河流(运河、湖泊) ▾
道路等级	高速公路 ▾
桥梁用途	公路桥 ▾
设计荷载	公路Ⅰ级 ▾
确定	<input type="button" value="确定"/>

图 5.21 桥梁基本数据

### 5.8.3.2 人工巡检

#### 1) 结构解析



图 5.22 层次结构



图 5.23 结构解析

2) 人工巡检

按照巡检的作用和时间周期，要求巡检按现行规范的定义和要求分为三种类型：经常检查、定期检查、特殊检查。

分类\要求	频 度			方法、目的、要求
	条款	时间驱动	事件驱动	
初始巡检	自定义	<input type="checkbox"/>	交工前	*1
日常巡检	自定义	1次/天	事故、台风等	桥面巡视
经常检查	3.2.1条	不少于1次/月	汛期加强	3.2.2~4条
定期检查	3.3.1条	1. 一、二类桥不少于1次/3年，三类桥每年至少一次，四、五类桥每季度至少一次。 2. 临时桥梁不少于1次/1年。	1. 交工后1年。 2. 重要部（构）件达到三、四、五类。 3. 特殊情况时应加大观测密度	3.3.2~14条 《公路桥梁养护管理工作制度》第二十四条
特殊检查	专门检查	3.4.2条	1. 定期检查中难以判明的桥梁。 2. 四、五类桥。 3. 拟加固提载的桥。	3.4.1、3.4.3~10条 《公路桥梁养护管理工作制度》第二十四条
			<input type="checkbox"/>	

图 5.24 巡检制度

巡检计划的制定及管理根据巡检类型的不同，制定相应巡检计划。特殊巡检的巡检任务制定是在特殊事件发生后由管理人员进行激活。专项巡检的制定是桥梁技术人员根据经常、定期和特殊巡检的巡检成果予以激活。巡检计划安排可以指定循环周期，自动安排巡检任务。巡检任务安排包括巡检任务编辑、巡检任务审批、巡检任务安排三项步骤，任务安排后可在检查日历中查阅，可以同时查看该计划中各个子任务的执行状态与进度控制。



图 5.25 巡检日历

3) 技术状况评定

点击“进入”按钮进入《JTG/T H21—2011[S]》评定界面如图，系统可“一键式”完成技术状况评定。



图 5.26 技术状况评定

#### 4) 报告输出

系统可“一键式”生成检测评定报告，如图。



图 5.27 “一键式”生成检测评定报告

#### 5.8.3.3 养护任务

要求用户可以通过各种条件（如桥梁、病害类型、维修的紧迫性等）来查找所关心的病害。查出的病害都被罗列在病害列表中。病害列表具有排序、归类等功能。要求用户可以利用这些功能选择确实需要维修的病害，并在该病害右侧的复选框中做标记。要求用户可以根据系统给出相应病害所对应需要采取的措施来选择合适的维修方式指定养护计划、实施养护工作。

要求在历次维修工作结束后，技术人员可以在相应的模块中填写本次维修任务的编号、维修开始和结束以及持续时间、维修的病害名称、所采取的手段等维修具体细节，做到使维修工作有据可查。在维修人员完成维修工作后，管理人员可以通过本模块完成对维修人员工作的评估，验收其工作质量。

#### 5.8.3.4

为规范业务流程和用户权限，在系统管理中设置数据字典、权限管理、账号管理等功能。

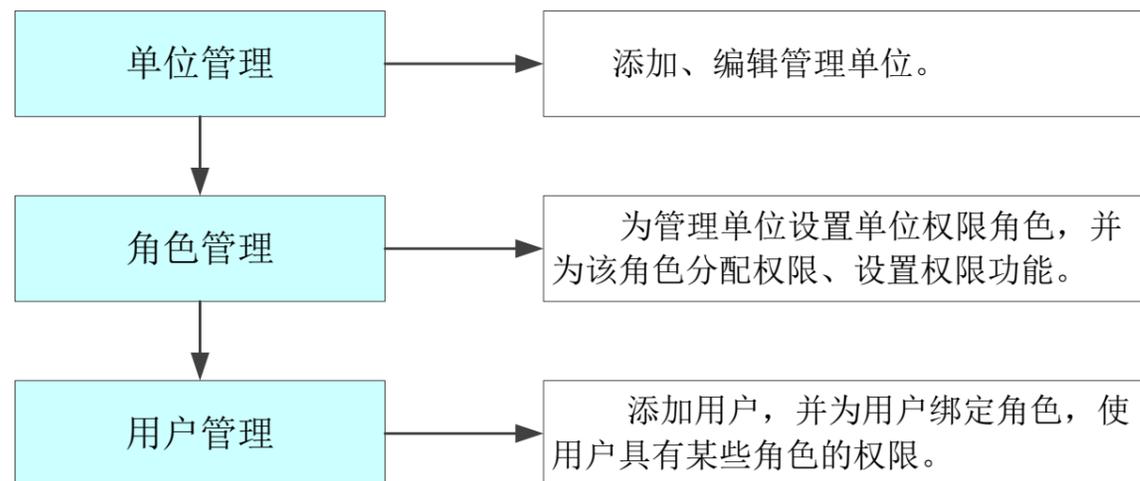


图 5.28 权限管理

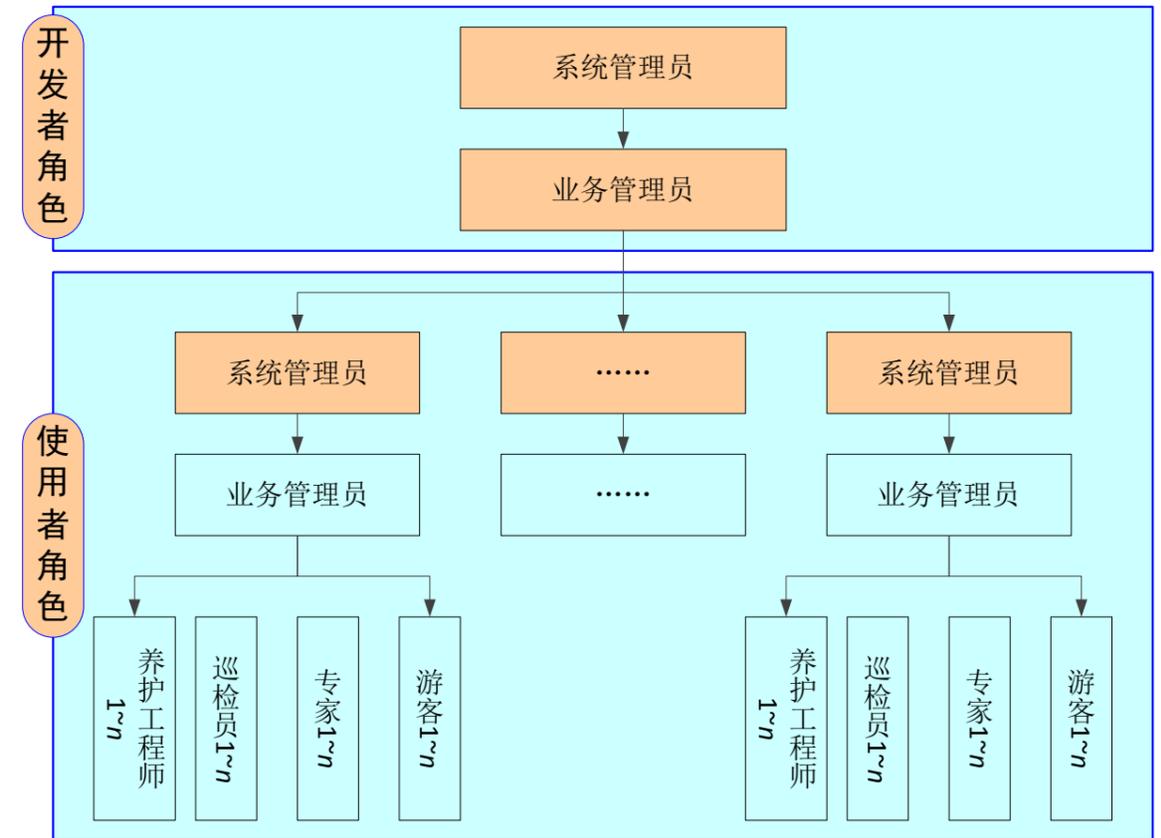


图 5.29 角色分类体系

#### 5.8.4 移动终端

如果采用传统的巡检现场手写笔录方式，准备工作十分烦琐，现场记录容易遗漏和描述不准确，事后回忆二次录入电脑的工作量大且进一步增加不确定性。基于手写笔录的纸质化的桥梁现场巡检已经远远不能够满足工作需要。为了实现桥梁巡检过程中标准化地数据录入，规范化的病害数据采集格式，保证桥梁巡检的效率与质量，开发了桥梁巡检养护移动终端，在巡检现场用电子化记录代替纸质记录、用自动评定代替手算评定。实现网络化、移动化协同办公。

Android 手机版桥梁巡检终端（BIMS Andriod）主要界面。



图 5.30 巡检养护移动终端

主系统和巡检养护移动终端通过 XML 文件来进行交互的流程。

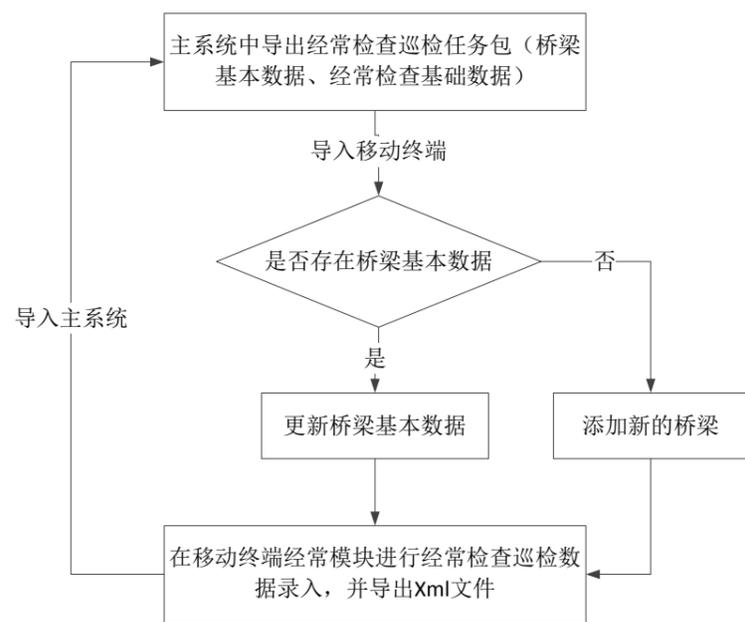


图 5.31 交互流程

## 5.9 交通监测子系统

### 5.9.1 基本原则

根据用户现状及需求，结合数字视频监控平台的发展趋势，本项目方案遵循技术先进、功

能齐全、性能稳定、节约成本的原则，同时综合考虑施工、维护及操作因素，并将为今后的发展、扩建、改造等因素留有扩充的余地。本系统设计内容要求系统、完整、全面；设计方案具有科学性、合理性、可操作性。其具有以下原则：

#### 1) 先进性与适用性

采用目前最先进的软、硬件及网络技术，出错率低，兼容性强，升级容易，采用模块式结构，扩容方便，没有重复建设投资，系统的技术性能和质量指标应达到国际领先水平；同时，系统的安装调试、软件编程和操作使用应简便易行，容易掌握，适合中国国情和本项目的特点。同时系统是面向各种管理层次使用的系统，其功能的配置以能给用户提供舒适、安全、方便、快捷为准则，其操作应简便易学。

#### 2) 系统硬件的稳定性

在视频硬件系统设计上，考虑到用户对系统安全性与稳定性的高要求，系统将采用多种技术手段保证系统的稳定性。如：机架式服务器硬件结构，设备可自由上下电，支持 7×24 的工作能力。系统在意外重启后始终保持文件系统的一致性，不会造成系统启动失败。磁盘存储系统采用冗余控制技术，磁盘支持热插拔。

#### 3) 系统维护的管理性

系统提供全网一致的维护管理软件，采用图形化界面实现设备管理。在图像诊断方面，系统提供全网视频源的视频诊断系统，对系统中所有视频设备进行定时定期诊断并提供报警提示和日志文件，可实现镜头遮挡、黑帧检测、过饱和度检测、弱电平、雪花检测、颜色失真、画面抖动诊断功能。

#### 4) 系统维护的高效性

为支持系统的维护更加高效，在系统维护管理上，本平台提供了的系统配置管理功能，完成全网图像资源、视频存储系统的配置和管理，功能包括系统初始化、批量数据导入、配置数据的调整和复杂权限设置。系统采用图形化界面，基于网络管理协议或私有协议，对平台中的管理控制服务器、存储服务器等进行管理，支持设备巡检、远程设置时钟、远程重启、视频源状态查询、设备录像状态查询、设备性能参数查询等功能。

#### 5) 系统对外的兼容性

本系统在视频存储、显示和管理硬件软件和协议配置上选择兼容性好的产品格式，直接兼容目前主流的前端产品，系统平台软件实现和多个厂家、不同型号和编码格式的视频编码器、硬盘录像机、矩阵进行互通。

#### 6) 系统的开放扩展性

方案的设计既能满足管理及监控的现实需求，又利于系统的未来升级和拓展。在设备的选型上，尽可能采用先进的技术，力求操作灵活、功能齐全，整个系统达到行业先进水平；同时留有足够的扩展余地，以适应系统未来升级和扩展的需要。

### 5.9.2 布置方案

在充分考虑了监控需求的基础上，确定采用实时监控方案如下。

若现场无光缆，则总体采用 4G 网络视频监控系统，将被监控点的图像信息准确、清晰、快速地传送到监控中心。监控中心通过监控软件，能够了解和掌握各个被监控点的情况，并及时对发生的情况做出反应和处理。

①现场采集设备：高清红外摄像机。

新建交通实时监控选用 IP 网络红外摄像机方案，前端采用 IP 网络摄像机，可直接接入交换机进行传输。

②传输设备：4G 通讯模块

③处理与显示设备：视频处理服务器、视频存储服务器、控制工作站、视频综合管理软件、大屏幕、拼接控制器（视频综合平台硬件）。

④接入交通观测站交通量监测数据，以便进行交通流特性分析。

其系统构架如 0 所示。

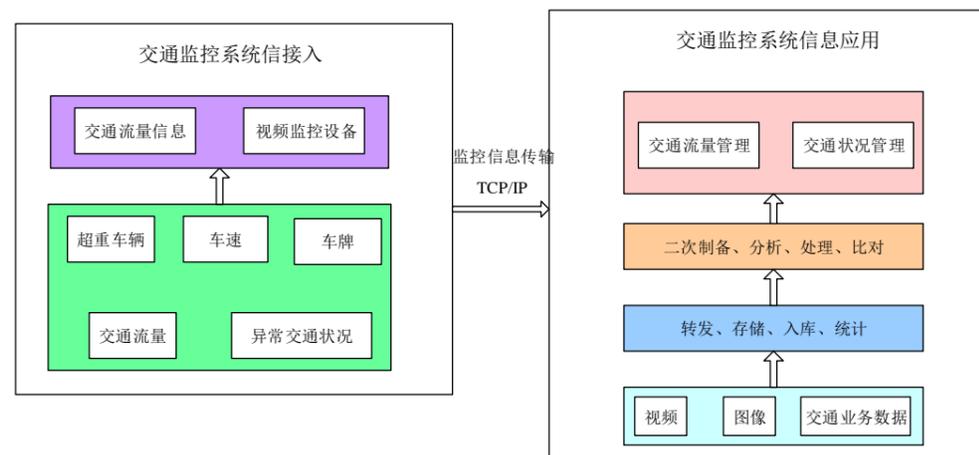


图 5.32 交通监测子系统架构图

系统功能组成按照从下到上的层次分为三层：数据采集传输层、数据处理层和显示层。

数据采集层包括前端数据采集设备和用于各个模块通信的数据传输模块。数据采集模块主要是位于外场的设备组成，其体现形式为数据采集站。外场数据采集站通过 4G 网络传输到监控中心，这部分称为数据传输模块。前端数据流的统一化至关重要，按照标准的视频流进行数

据传输，该数据流具有校验功能，可保证系统传输的可靠性。

数据处理层位于监控中心内，主要由相应的服务器和软件组成，包括视频存储服务器、视频处理服务器。

本子系统主要是在两侧桥头附近以及桥梁中部布设 3 个高清红外摄像头，布点如图所示。

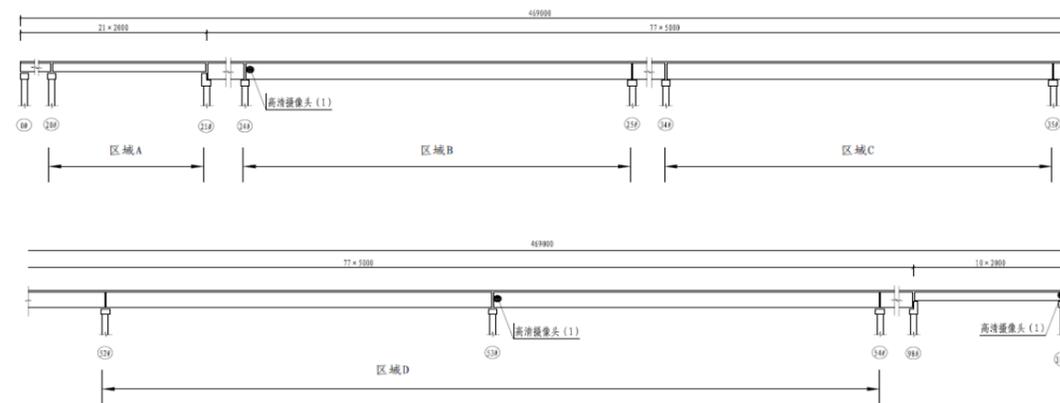


图 5.33 交通测点布置图

另外，需将交通量自动观测站的交通流量数据接入本系统。

### 5.10 桥梁综合评估

桥梁综合评估定期（特殊桥梁通常为一年）进行一次，是综合利用监测数据、专项检测及定期检测的数据对桥梁运营荷载、结构响应、结构状态进行分析，评估内容包括桥梁技术状况评定、专项评估分析及承载能力评定，并根据综合评估结果，向桥梁管养人员提出养护维修建议及病害处置措施，实现桥梁全寿命全方位管养。

### 5.11 预留预埋说明

施工监控及运营期监测系统中，为方便设备维护，大部分设备为表面附着式安装，需预埋的设备包含：

- (1) 第 53 跨、54 跨磁通量传感器需在索体穿出锚固块之前套入，并暂时固定；
- (2) 施工监控压力环在套入锚具前，安装于锚垫板之后；
- (3) 施工期及运营期裂缝计在裂缝封闭后通过膨胀螺栓安装；
- (4) 摄像头立柱需通过法兰盘固定于防撞护栏上，亦可安装于附近位置路灯杆上。

## 6 监控管理中心设计

本项目管理中心地理位置为 S213 开封黄河大桥南侧桥头附近，本次设计监控中心面积为

5.5\*13=71.5 m<sup>2</sup>， 机房供电为市电供电。监控室和机房均采用静电地板下走线方式，地板净高为 100mm。

## 6.1 基础设施建设

管理中心机房及监控室平面布置见下图。

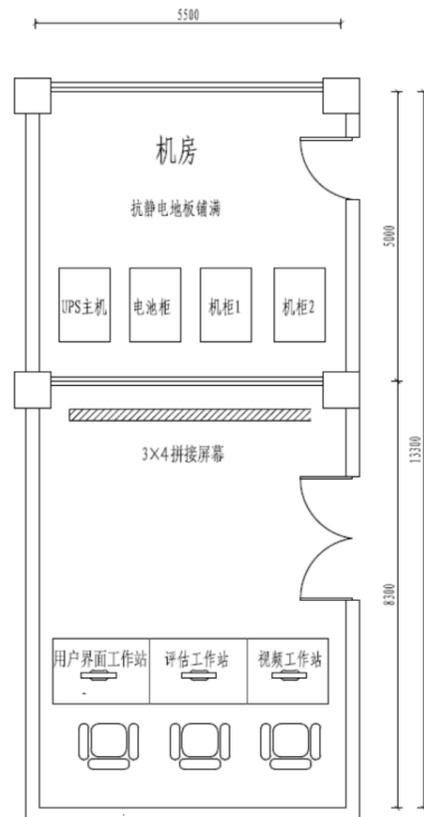


图 6.1 监控中心平面布置图

机房工程建设包括机柜及操作台设计、综合布线系统设计、供配电设计、显示大屏幕设计和防雷接地设计。

### (1) 机房建设

机房总体平面、立面设计，装修，主供电，通风空调，照明，通信管道，走线桥架，消防，安全防护，防静电底板，建筑物防雷等。

### (2) 机柜及操作台

机柜及操作台子系统为网络系统、主机系统、存储系统、硬件平台等设备需要提供统一的安装、固定、提供稳定可靠的存放和运行条件。本系统设计 2 套服务器柜和网络柜、3 个操作台。

### (3) 综合布线系统

综合布线系统连接服务器、工作站和网络设备，起到桥梁和纽带的作用。设计的综合布线系统是开放式结构，支持高速 100M/1000M 计算机网络系统的需要。采用星型拓扑结构，该结构下的每个分支子系统都是相对独立的单元，对每个分支单元系统改动都不影响其它子系统。

### (4) 供电

供电为计算机机房的建设建立一个高质量、高安全可靠的供、配电系统。在这个系统中不仅要解决服务器设备的供电问题，同时应能够提供市电断开情况下的后备电源供应。

非计算机等设备负荷包括机房内空调、照明等所有除计算机设备外的用电负荷，这部分负荷对供电的要求较低，由市电电源直接供电。

机房内所有设备的电源线缆均采用符合国标的优质铜芯电线穿管敷设，以防止外界的电磁干扰，保证机房设备供电源的电能质量。墙面插座、地面弹起等均采用 BV 导线穿镀铬管敷设的方式。

### (5) 显示大屏幕

显示大屏幕包括拼接屏、综合视频平台设备、大屏幕支架、连接线缆等。

大屏幕显示采用拼接形式实现，将 DLP 显示器进行拼接显示，组成一个大的显示单元。推荐采用 55 英寸 DLP 拼接单元 3\*4 组成大屏幕（宽 4853.6mm\*高 2055.9mm）。采用综合监控视频平台设备实现网络矩阵、视频解码、大屏幕切换功能，配套拼接控制软件在视频工作站进行显示操作，同时综合监控视频平台设备搭配网络矩阵键盘，进行手动控制。

屏幕墙支架采用镀锌钢支座，与屏幕显示器匹配，具有足够的称重能力和美观性能。



图 6.2 拼接效果

### (6) 防雷接地子系统

子系统包括前端防雷器、接地装置等，在计算机机房中，特别对计算机设备和精密度较高的电子设备，如何采取有效的保护措施，防止雷电干扰、保障其安全，已受到普遍的关注。本系统设计用于解决机房内电源、设备、线路等防雷防浪涌保护及措施。

## 6.2 计算机与存储系统建设

计算机与存储设备主要包括服务器、工作站。

### 1) 服务器

管理中心服务器按照用途划分为三个主要部分，应用域、数据处理域和交通视频监控管理域。

应用域服务器包含 1 台平台 web 服务器、1 台数据服务器、1 台视频服务器。

### 2) 工作站

监控中心预留 3 个工作位置，系统用户界面工作站 1 台、桥梁评估工作站 1 台、视频工作站 1 台。

### 3) 巡检终端

为了满足现场巡检录入数据的需求，需要给现场检查人员配置能够移动办公、录入数据的终端设备及软件系统，即巡检终端设备。

本项目配备两台巡检终端设备，要求软件运行速度快，接收网络信号能力强，续航能力强，能够稳定运行在各种不同的自然环境下，具有不低于 IP67 级别的防水能力，终端屏幕尺寸不低于 4.7 英寸，能够拍摄超清图片，存储空间不小于 64GB。

推荐智能手机设备，可满足现场人员的使用，便携性更强。智能平板屏幕尺寸更大，更易于操作，可满足内业人员的使用。

## 6.3 网络与安全系统建设

管理中心网络与安全系统负责提供数据中心内部的核心业务数据交换，以及数据中心与外部桥梁监测系统之间的数据交换及安全防护。管理中心设计由 1 台核心交换机和 4 台接入交换机以及网络安全设备组成。

核心层交换机采用核心多业务路由交换机 1 台，作为核心交换，为网络提供双机双通道高速数据传输的冗余链路，保障网络的安全运行。

核心交换机连接 3 台接入交换机，1 台接入交换机用于外场设备接入，1 台接入交换机用于

交通视频监控设备，1 台用于工作站计算机，1 台用于 Internet 连接。

安全设备由防火墙、入侵检测设备、VPN 网关、网页防篡改设备和漏洞扫描设备组成，保障管理中心网络安全。

## 7 系统安全运营保障

### 7.1 供电

根据开封黄河公路大桥现场条件，提供市电供电方式。由监测方提出供电需求及通讯，由设计单位设计并由施工单位负责测区位置的电缆施工。

市电供电系统应充分利用桥梁所在区域已经完善的市电供电系统。为保障结构响应实时监测系统的正常运行，需要满足以下要求：

- (1) 能够提供稳定的电压电流，以减少电压电流失稳对监测系统的影响和破坏；
- (2) 对供电系统及上游供电产生的谐波具有过滤功能，以降低监测系统数据采集过程中供电系统的干扰；
- (3) 对不同设备的电力进行合理分配，确保监测系统各个子系统电力合理分配；
- (4) 独立的漏电保护系统以保障局部出现故障后系统尚能正常运行；
- (5) 可靠地接地，以保障监测系统的设备安全；
- (6) 可靠地防雷措施，以保障雷电天气下市电供电能够正常运行。

### 7.2 网络层安全

为确保系统网络访问安全，采用以下安全手段：利用（VLAN）划分子网、利用防火墙技术界定网络边界、利用传输加密技术实现安全的数据信息传递，具体设计如下：

#### 1) 访问控制

为了实现不同的业务组织访问不同的网络资源，可以采用 VLAN 和域控制器的方法，限制用户访问服务器的权限。通过 ACL 设置不同的访问权限。用户可以通过网络访问到 WEB 服务器，不能直接访问应用服务器和数据库服务器。

#### 2) 防火墙

为了实现监测中心的网络边界安全，确保整个内部网络中设备和应用的安全，对于企业与 Internet 互联的安全设计上，采用硬件防火墙提供安全保障。

在防火墙上设置服务映射，如开放的 web 服务 80 端口映射到系统内部 web 服务器的 80 端

口。

在防火墙上关闭与 web 无关的服务，如 telnet、ftp 等。

### 3) 传输加密

应用软件平台部分采用的是 B/S 架构，客户端通过 IE 浏览器实现对应用系统的访问。为了避免明文传输带来的安全隐患，应用软件平台提供 SSL 机制对在网络上传输的数据进行加密，提供数据流的认证、机密性和完整性，以防敏感数据在传输过程中被泄露及篡改。使用 SSL，可进行客户端与服务端的双向认证。SSL 使用公钥加密算法来对通信双方进行认证；使用对称加密算法对传输的数据进行成批的加密；使用加密散列函数加入完整性检查方式来保护每个数据报。

## 7.3 系统层安全

系统层安全建设包括防病毒系统建设、入侵检测系统建设、漏洞扫描、安全审计和监控：

### 1) 防病毒系统

为了对桥梁结构健康监测系统所有关键服务器和用户工作站进行病毒监测，建立统一的病毒监测系统，监控和防范病毒在网络中的传播，需要建立严密的网络防病毒系统。实现通过磁盘、可移动磁盘、光盘、网络所收发文件的病毒防护，并实现客户端与服务器端相配合的网络病毒防护构架。采用网络版杀毒软件完成对整个网络的病毒防护工作，为网络系统提供 100% 的安全解决方案。

### 2) 数据权限安全

在桥梁结构健康监测系统整个网络用户管理中，采用域管理模式对用户进行集中管理。

用户须首先通过域控制安全系统认证获得授权后，才能访问网络系统。

应用系统安全是基于 RBAC 模型(Role-Based Access Control，基于角色的访问控制)，不同的角色赋予不同的访问权限，对用户进行身份验证，不同等级用户赋予的查看、检索、修改、增加和删除等操作的权限不同，控制不用用户对数据的操作权限。

## 7.4 系统自诊断

为保障系统的正常运行，系统加入设备的自诊断功能，对系统不能进行正常数据采集的传感器或者数据采集模块进行标示，并显示在系统界面上，提醒用户进行检查或维修，确保系统的稳定运行。

## 8 其它说明

本册施工监控及运营安全监测系统设计仅供参考，具体监控内容及细节以中标的施工单位编制的施工监控及运营期监测方案为准。

## 9 材料数量

施工监控及运营安全监测系统材料数量如下：

表 9.1 材料数量表

序号	内容	单位	数量
一	施工期监控		
1	传感器设备	振弦式应变计	个 100
2		电阻式应变计	个 200
3		红外测温仪	个 2
4		自动安平精密水准仪（使用）	台 2
5		压力环	台 4
6		裂缝计	个 10
7		百分表	个 8
8	采集设备	便携式振弦信号读数仪（使用）	台 1
9		电阻应变采集仪（使用）	台 1
10		压力环信号读数仪（使用）	台 1
11		裂缝计读数仪（使用）	台 1
12	传输设备	集成信号无线传输系统	项 1
13	现场办公用品（电脑、打印机）折旧		项 1
14	现场办公耗材		项 1
15	技术服务		项 1
16	人员工资（6 人*12 月）		人*月 72
17	食宿（6 人*12 月）		人*月 72
18	往返交通		人*次 144
19	保险		项 1
二	运营期安全监测系统		

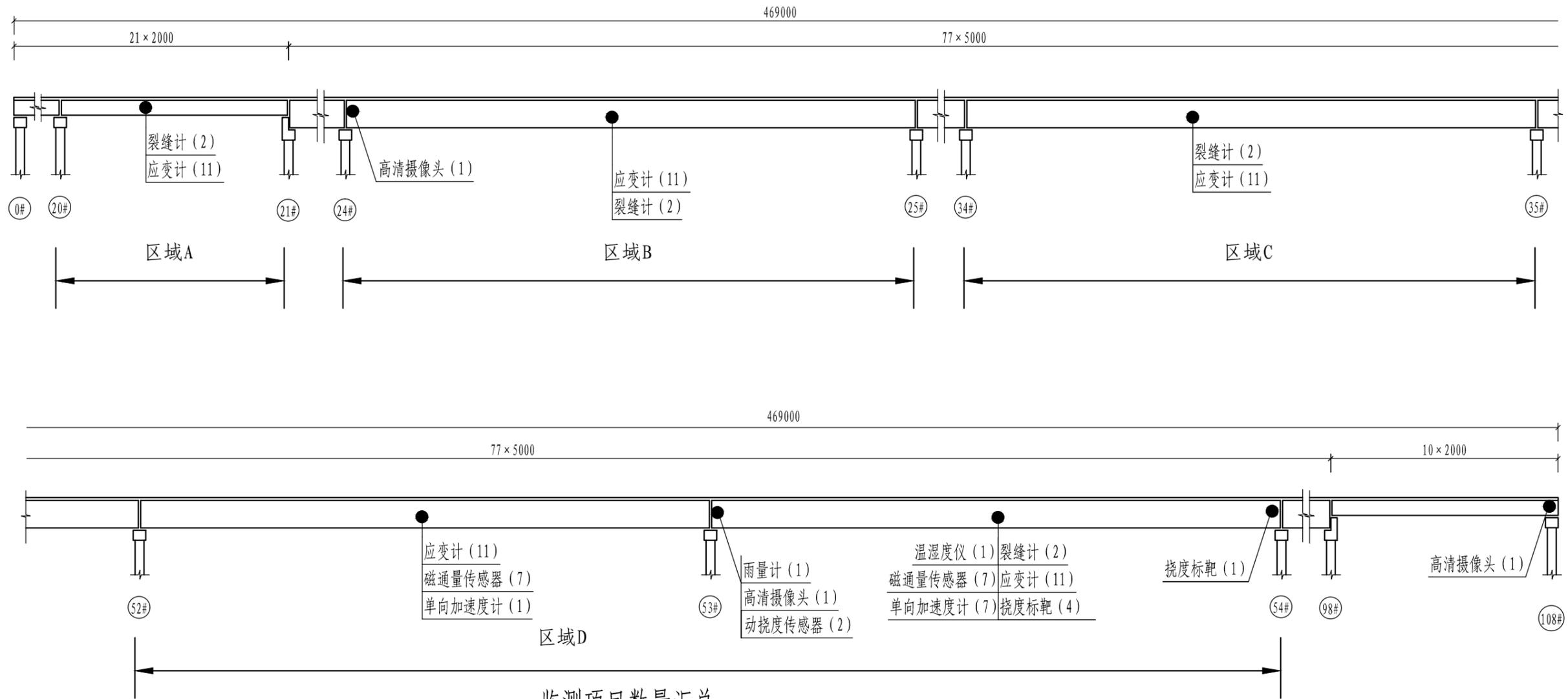
1 运营期系统设备、材料费				
1.1	传感器子系统	雨量计	个	1
1.2		环境温度湿度计	个	1
1.3		应变计	个	55
1.4		挠度标靶	套	5
1.5		动挠度传感器	个	2
1.6		高清红外摄像头	个	3
1.7		加速度传感器	台	8
1.8		裂缝计	台	8
1.9		磁通量传感器	台	14
1.10	数据采集与传输子系统	通用信号调理器	台	1
1.11		弦式信号调理器	通道	63
1.12		加速度信号调理器	通道	8
1.13		动挠度信号采集仪	台	1
1.14		磁弹仪（16 通道）	台	1
1.15		外场机柜	台	4
1.16		硬盘录像机	台	3
1.17		电源等	套	4
1.18		信号线缆	米	10000
1.19		工控机	台	2
1.20		通讯模块	台	4
2 安装、调试费用				
2.1	传感器子系统	雨量计	个	1
2.2		环境温度湿度计	个	1
2.3		应变计	个	55
2.4		挠度标靶	套	5
2.5		动挠度传感器	个	2
2.6		高清红外摄像头	个	3
2.7		加速度传感器	台	8

2.8	数据采集与传输子系统	裂缝计	台	8	
2.9		磁通量传感器	台	14	
2.10		通用信号调理器	台	1	
2.11		弦式信号调理器	通道	63	
2.12		加速度信号调理器	通道	8	
2.13		动挠度信号采集仪	台	1	
2.14		磁弹仪（16 通道）	台	1	
2.15		外场机柜	台	4	
2.16		硬盘录像机	台	3	
2.17		机柜支架	套	4	
2.18		电源等	套	4	
2.19		高清摄像头支架及通讯	套	4	
2.20		信号线缆	米	10000	
2.21		工控机	台	2	
2.22		通讯模块	台	4	
2.23		内外场联合调试	项	1	
2.24		磁通量传感器标定试验费	项	1	
2.25		防护设备	防雷器	批	1
2.26			传感器保护	批	1
3 安全监测系统开发部署费用					
3.1	数据采集与传输软件	通用信号采集模块开发	套	1	
3.2		加速度信号采集模块开发	套	1	
3.3		线式信号采集模块开发	套	1	
3.4		动挠度信号采集模块开发	套	1	
3.5		数据传输模块开发	套	1	
3.6		数据预处理模块开发	套	1	
3.7		数据存储模块开发	套	1	
3.8	数据展示与评估	桥梁显示开发	套	1	
3.9		桥梁信息展示模块	套	1	

3.10		监测数据展示模块	套	1
3.11		WEB 端安全预警模块	套	1
3.12		微信预警模块	套	1
3.13		相关性分析模块	套	1
3.14		超载预警模块	套	1
3.15		数据统计查询模块	套	1
3.16		监测数据库设计	套	1
3.17		监测数据自动备份设计	套	1
3.18	系统配置与部署		项	1
3.19	交通量数据接入软件开发		项	1
<b>4</b>	<b>巡检养护系统开发部署费用</b>			
4.1	桥梁信息	基本信息模块	套	1
4.2		结构解析模块	套	1
4.3	巡检制度	任务制定模块	套	1
4.4		巡检日历模块	套	1
4.5	人工巡检	检查评定模块	套	1
4.6		报告输出模块	套	1
4.7	统计报表模块		套	1
4.8	系统管理模块		套	1
4.9	移动终端软件模块		套	1
4.10	系统配置与部署		项	1
<b>5</b>	<b>监控中心设备费（监测与巡检）</b>			
5.1	数据存储与管理服务器		台	2
5.2	交通监控服务器		台	1
5.3	桥梁数据监测工作站		台	2
5.4	视频监控工作站		台	1
5.5	机柜		台	1
5.6	UPS		套	1
5.7	电信级交换机		台	2

5.8	公网 IP 服务	台	1
5.9	安装调试	项	1
5.10	巡检终端	台	2
5.11	SQL Server 2012	套	1
5.12	微软正版 office 软件 2016	套	3
5.13	Midas Civil 使用	项	1
5.14	视频监控管理软件	套	1
5.15	拼接大屏	套	1
5.16	网络接入	年	1
5.17	音响设备	套	1
5.18	辅材	项	1

立面



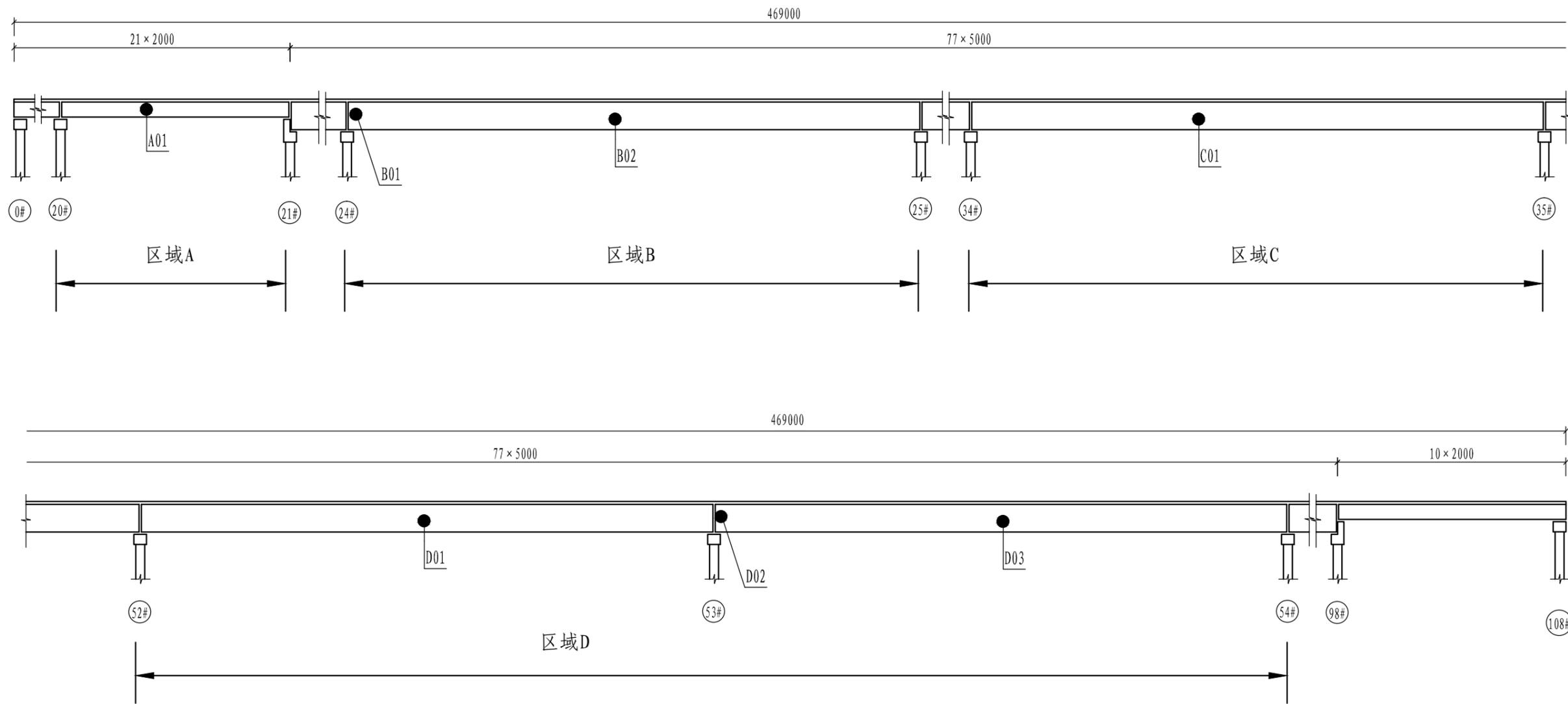
监测项目数量汇总

序号	监测项目	传感器类型	单位	数量	备注
1	雨量	雨量计	个	1	
2	环境温湿度	温湿度仪	台	1	
3	结构应力/温度	振弦式应变(温度)计	个	55	
4	主梁挠度	挠度标靶	个	5	
5		动挠度传感器	个	2	
6	结构振动	加速度传感器	个	8	
7	结构裂缝	裂缝计	个	8	
8	体外索索力	磁通量传感器	个	14	
9	桥面状况	高清摄像头	个	3	
总计				97	
10	交通量	交通量监测数据	套	1	接入

注

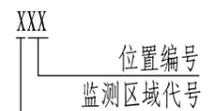
1. 本图尺寸以厘米为单位。
2. 本图示意区域为运营期监测区域，加固施工监测以加固桥跨位置为准。
3. 监测区域为第21、25、35、53~54跨，分别定义为区域A、B、C、D。
4. “●”表示传感器，括弧中数字表示传感器数量。
5. 交通量监测数据需接入本系统。

立面



注

1. 本图尺寸以厘米为单位。
2. “●”表示截面位置。
3. 截面位置编号规则如下所示:



监测点传感器编号汇总表

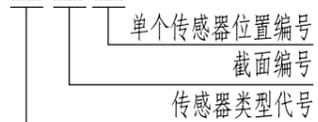
监测项目	传感器类型	截面位置	数量	传感器编号
雨量	雨量计	D02	1	RAG-D02-01
环境温湿度	温湿度仪	D03	1	HYG-D03-01
结构应力/温度	应变计(温度计)	A01	11	STR-A01-01 ~ 11
		B02	11	STR-B02-01 ~ 11
		C01	11	STR-C01-01 ~ 11
		D01	11	STR-D01-01 ~ 11
		D03	11	STR-D03-01 ~ 11
主梁挠度	挠度标靶	D03	4	DEF-D03-01 ~ 04
结构振动	加速度传感器	D01	1	ACC-D01-01
		D03	7	ACC-D03-01 ~ 07
结构裂缝	裂缝计	A01	2	CRA-A01-01 ~ 02
		B02	2	CRA-B02-01 ~ 02
		C01	2	CRA-C01-01 ~ 02
		D03	2	CRA-D03-01 ~ 02
体外索索力	磁通量传感器	D01	7	CCT-D01-01 ~ 07
		D03	7	CCT-D03-01 ~ 07

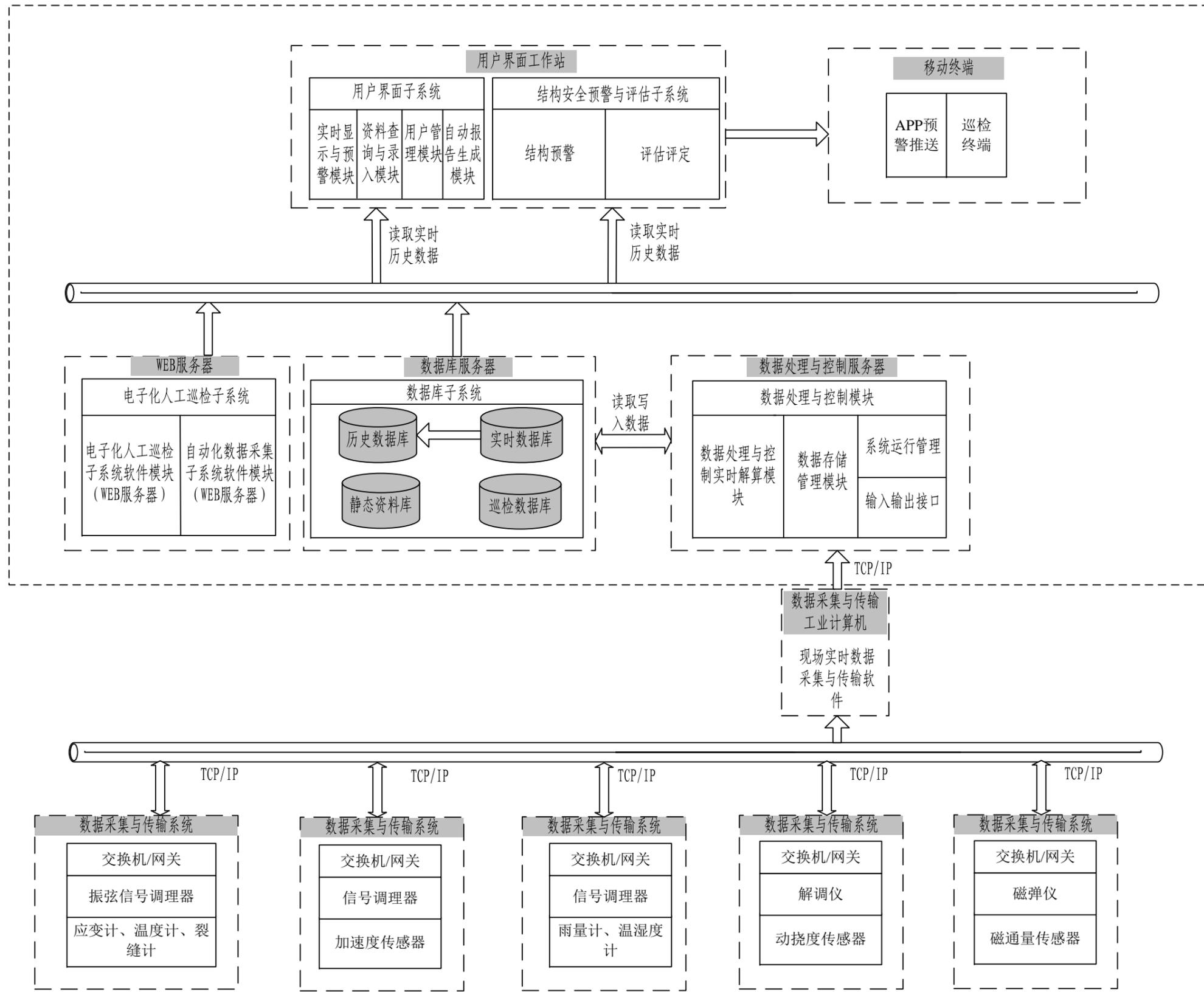
注

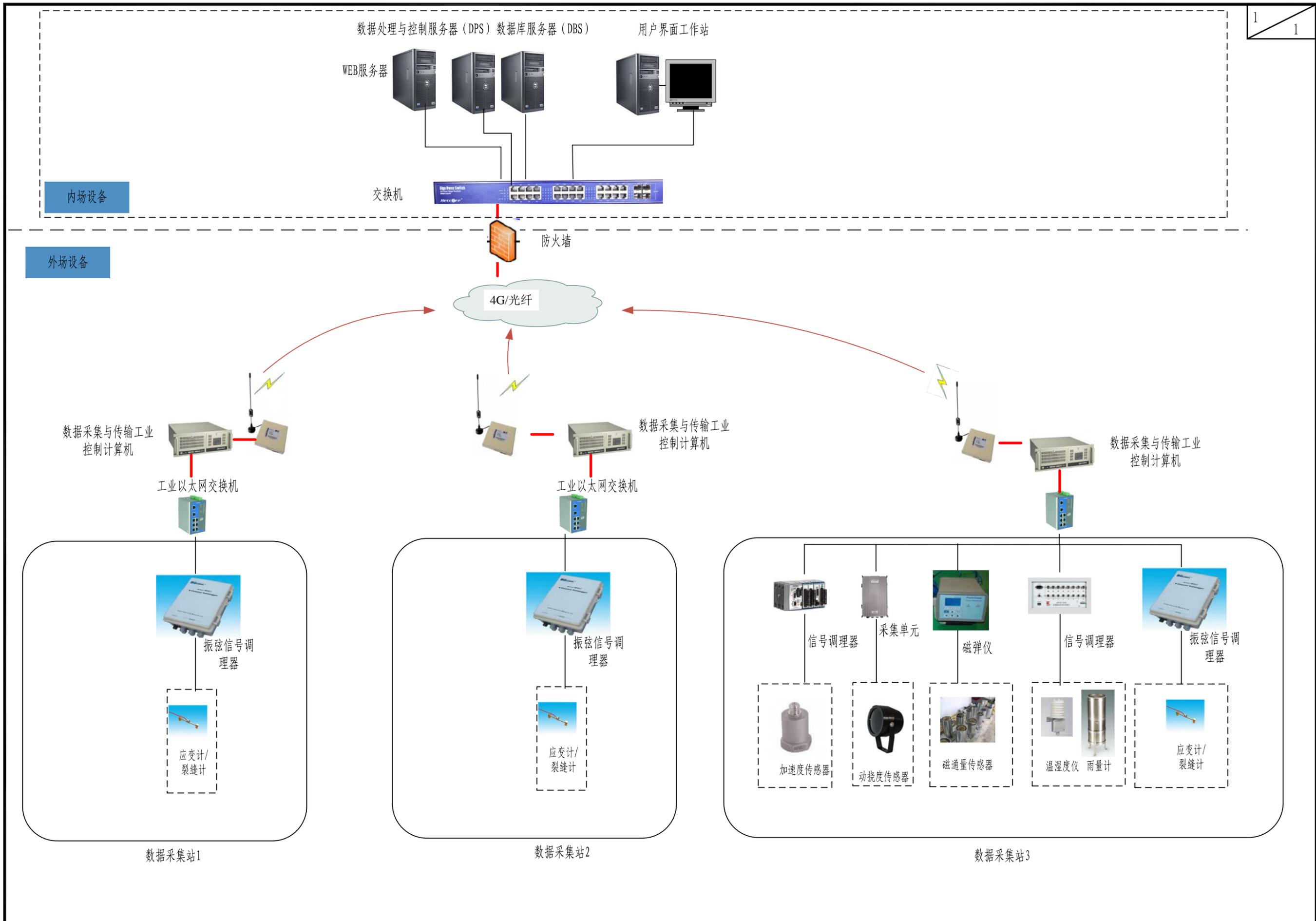
1. 截面位置编号规则如下所示: XXX



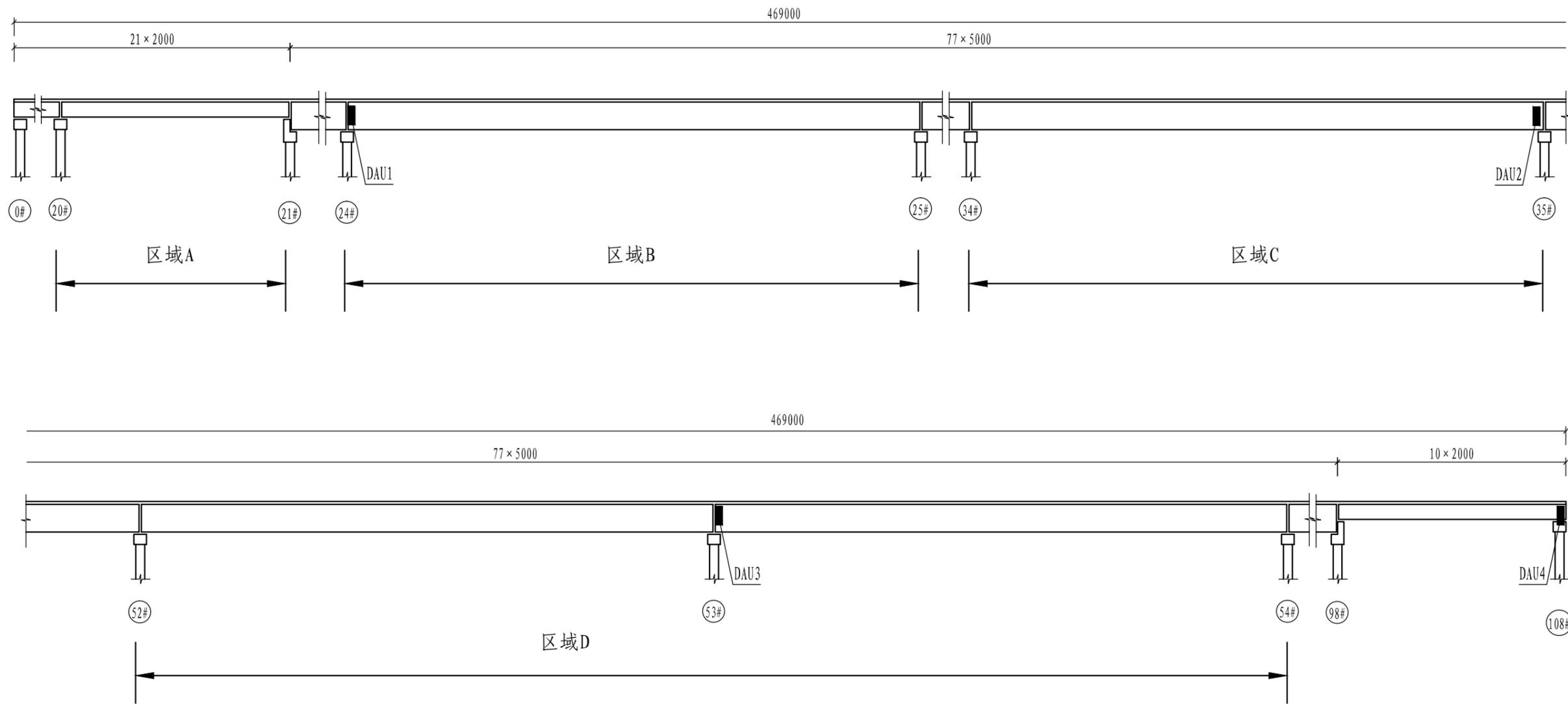
2. 监测点传感器编号规则如下所示: XXX-XXX-XXX







### 立面



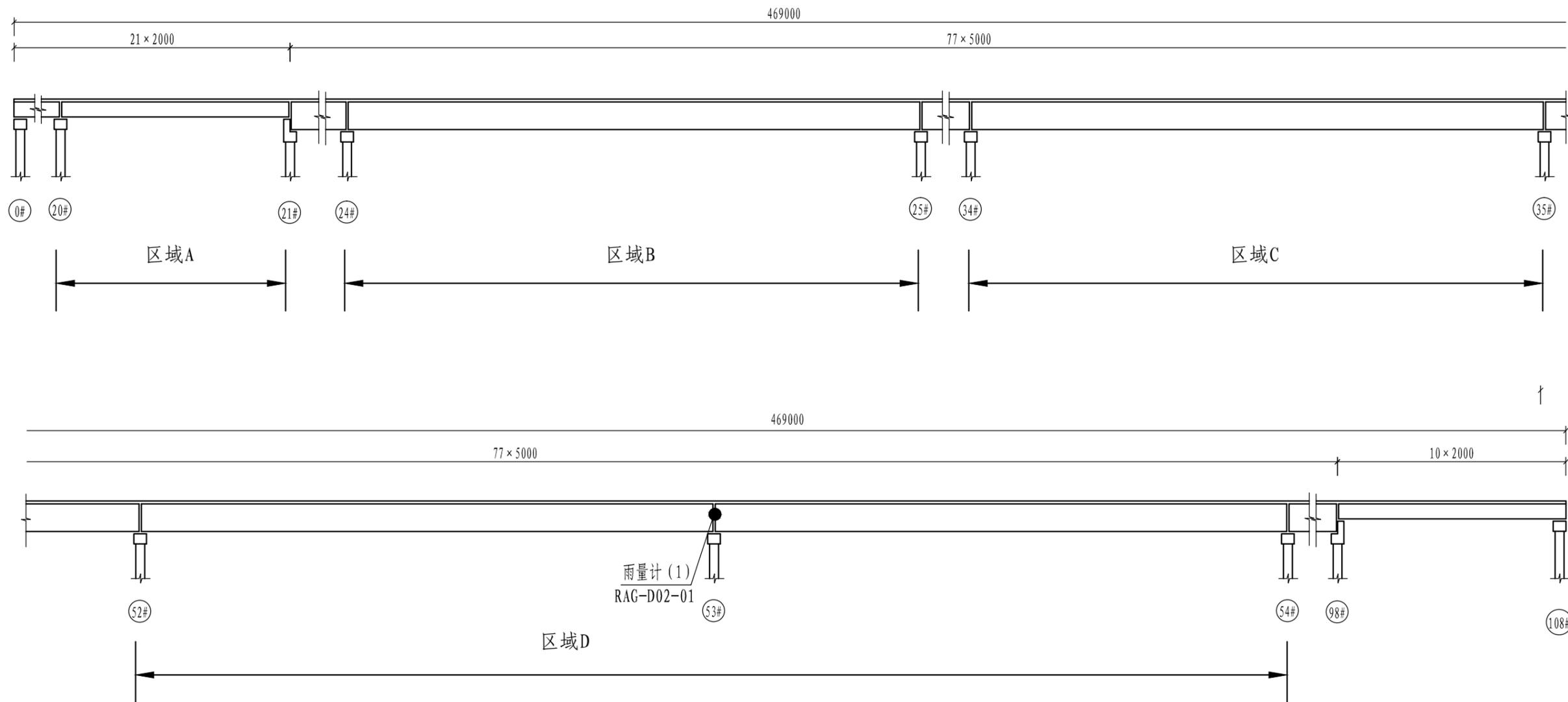
### 数据采集站汇总

采集站编号	采集站位置	采集区域
DAU1	24#墩位置处	区域A、区域B
DAU2	35#墩位置处	区域C
DAU3	53#墩位置处	区域D
DAU4	108#墩位置处	桥头摄像头

注

1. 本图尺寸以厘米为单位。
2. “■”表示采集站布设位置。

立面



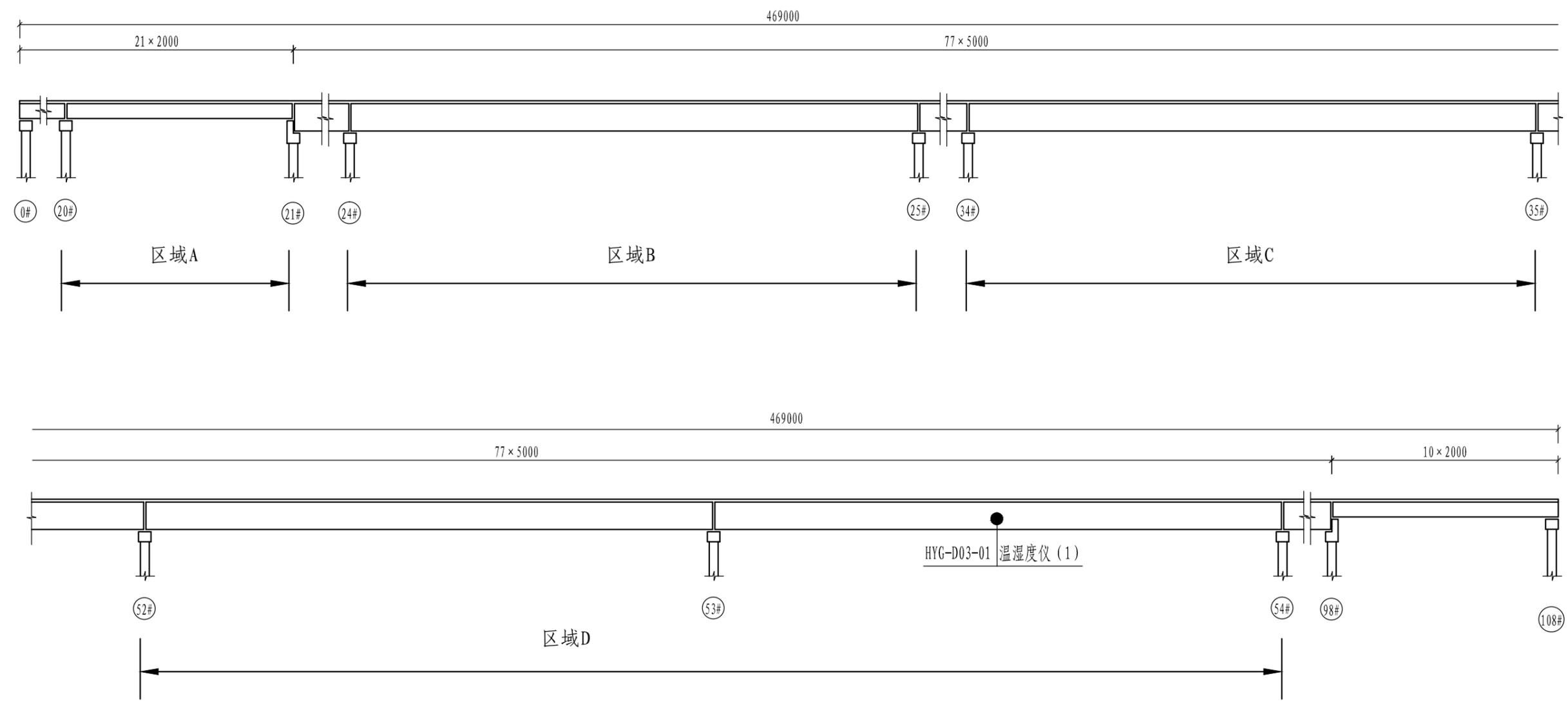
雨量计测点布设位置

序号	传感器类型	传感器编号	布设位置	截面编号	数量
1	雨量计	RAG-D02-01	53#墩墩顶立柱	D02	1
2	总计				1

注

1. 本图尺寸以厘米为单位。
2. “●”表示传感器，括弧中数字表示传感器数量。
3. 雨量计与抓拍摄像头均安装于35#墩顶立柱上。

立面



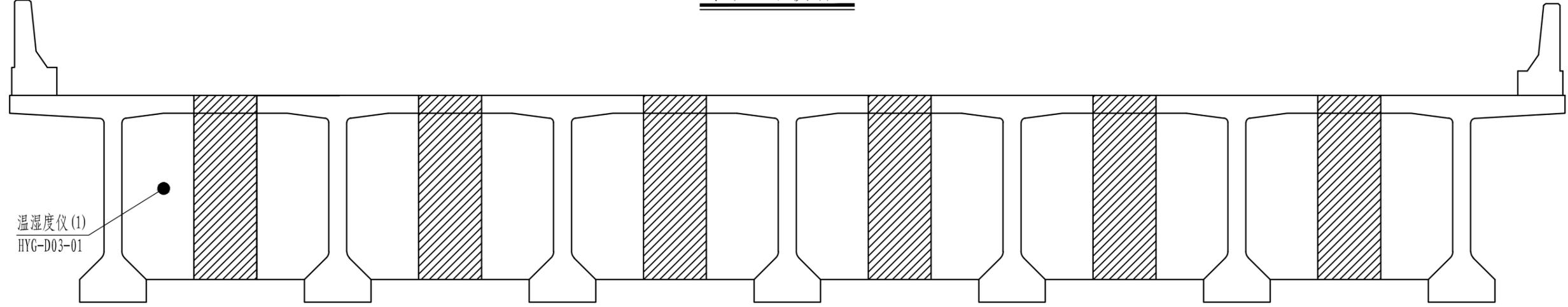
温湿度仪测点布设位置

序号	传感器类型	传感器编号	布设位置	截面编号	数量
1	温湿度仪	HYG-D03-01	第54跨跨中主梁	D03	1
2	总计				1

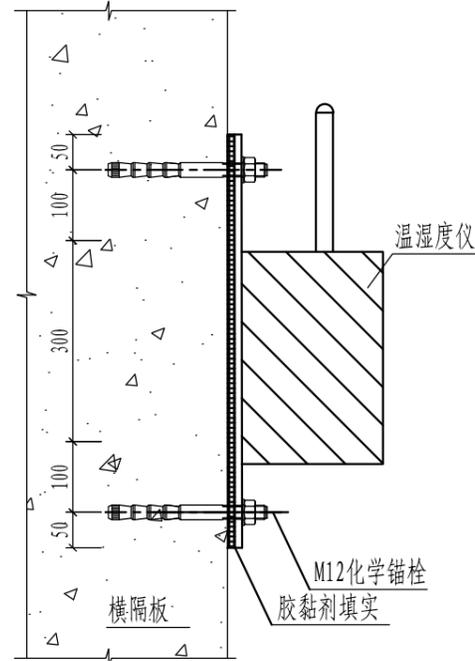
注

1. 本图尺寸以厘米为单位。
2. “●”表示传感器，括弧中数字表示传感器数量。
3. 温湿度仪安装见图JC-1-09。

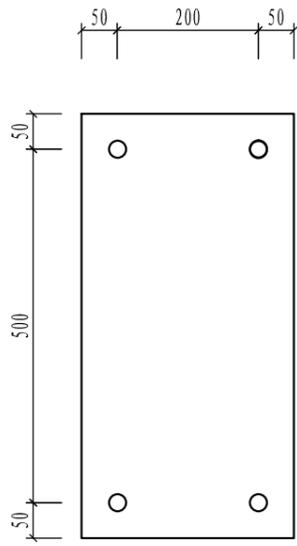
### 跨中主梁横断面



### 安装大样

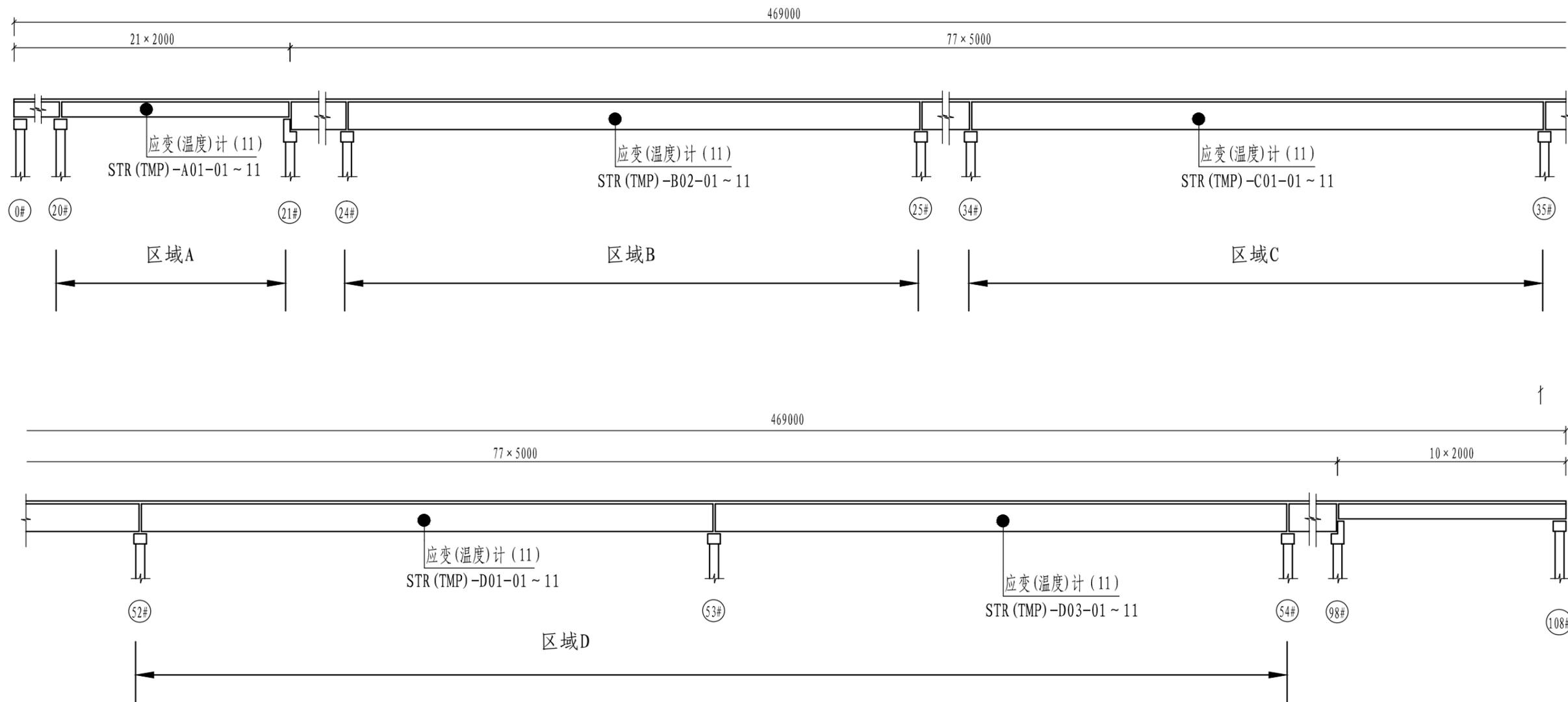


### 钢板大样



- 注
1. 温湿度仪支架共计1个。
  2. 所有钢构件需进行防腐涂装。

### 立面



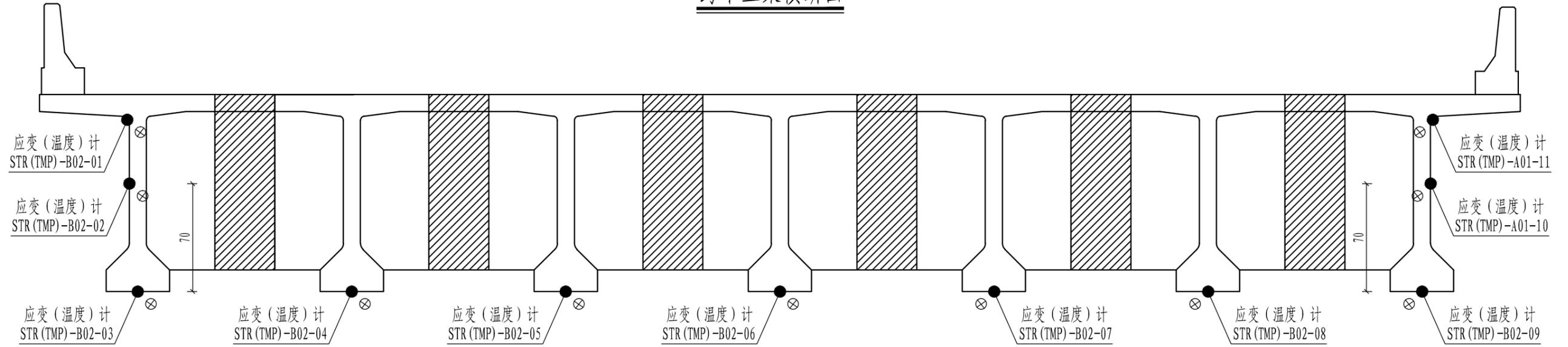
应变计（温度计）测点布设位置

序号	传感器类型	传感器编号	布设位置	截面编号	数量
1	应变（温度）计	STR(TMP)-A01-01~11	第21跨跨中主梁	A01	11
2		STR(TMP)-B02-01~11	第25跨跨中主梁	B02	11
3		STR(TMP)-C01-01~11	第35跨跨中主梁	C01	11
4		STR(TMP)-D01-01~11	第53跨跨中主梁	D01	11
5		STR(TMP)-D03-01~11	第54跨跨中主梁	D03	11
6	总计				55

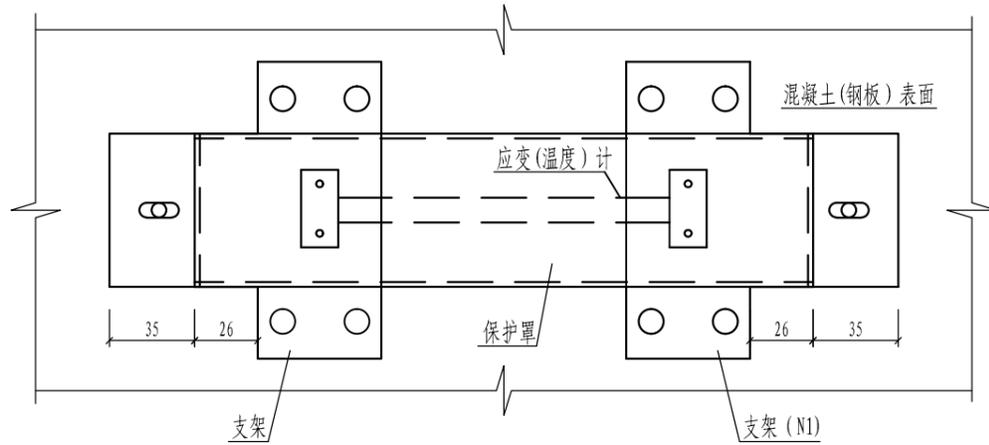
注

1. 本图尺寸以厘米为单位。
2. “●”表示传感器，括弧中数字表示传感器数量。
3. 同一位置处应变计和温度计为同一传感器，温度计可为应变计提供温度补偿。
4. 应变计（温度计）安装见图JC-1-11。

### 跨中主梁横断面



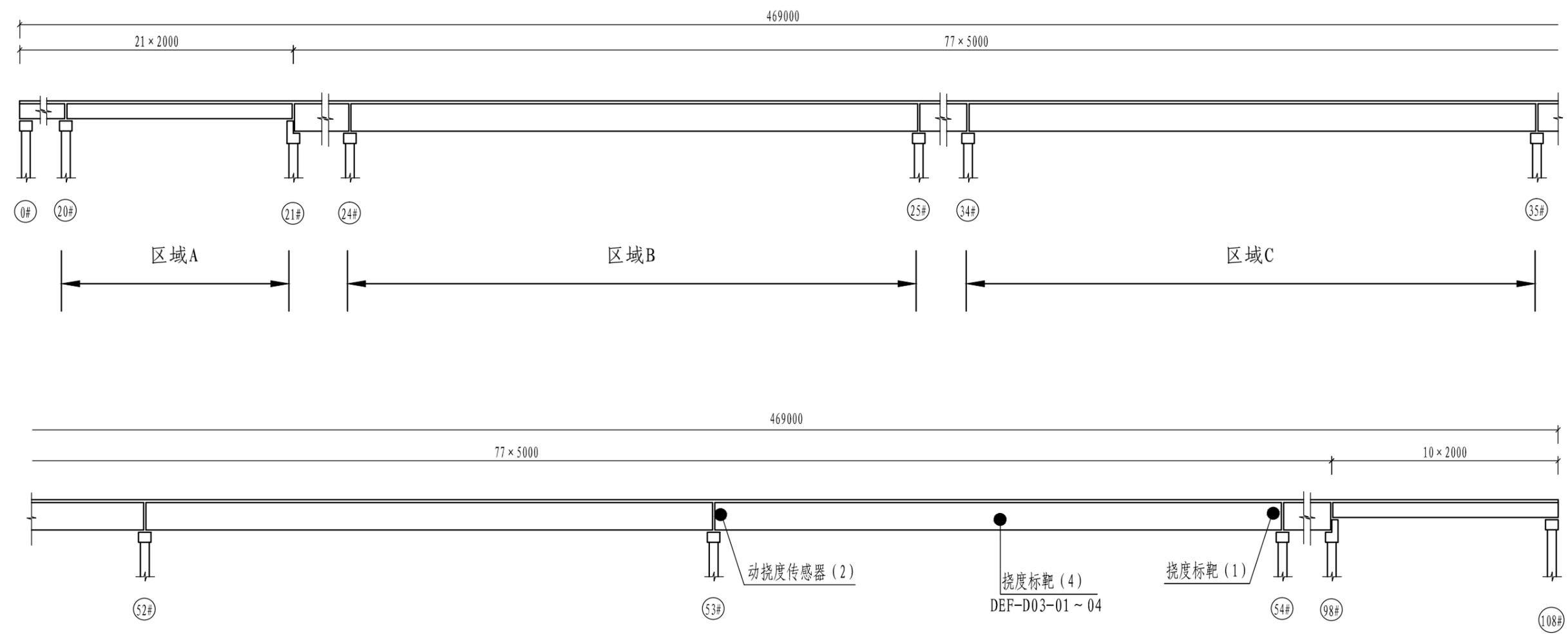
### 安装大样



#### 注

1. 本图尺寸以厘米为单位。
2. 应变(温度)计安装后, 可视情况安装保护盒, 保护盒固定后, 需用防水胶进行防水。
3. “⊗”表示垂直于平面方向。
4. 安装时可采用膨胀螺栓固定, 亦可采用胶粘的方式。

立面



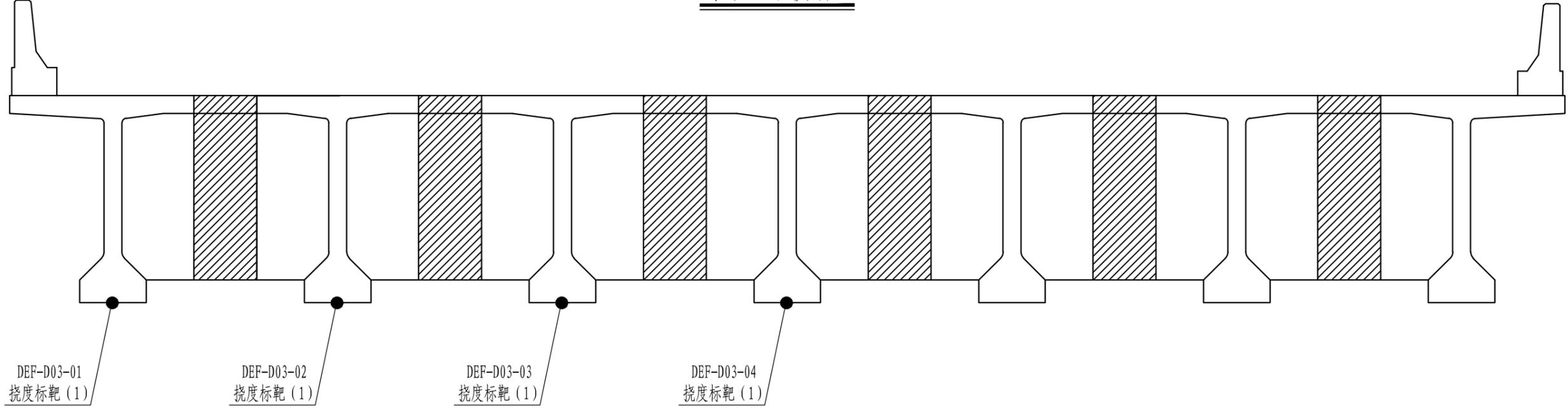
动挠度传感器测点布设位置

序号	传感器类型	传感器编号	布设位置	截面编号	数量	备注
1	动挠度传感器	DEF-D03-01 ~ 04	第54跨跨中主梁	D03	4	
2		总计			4	

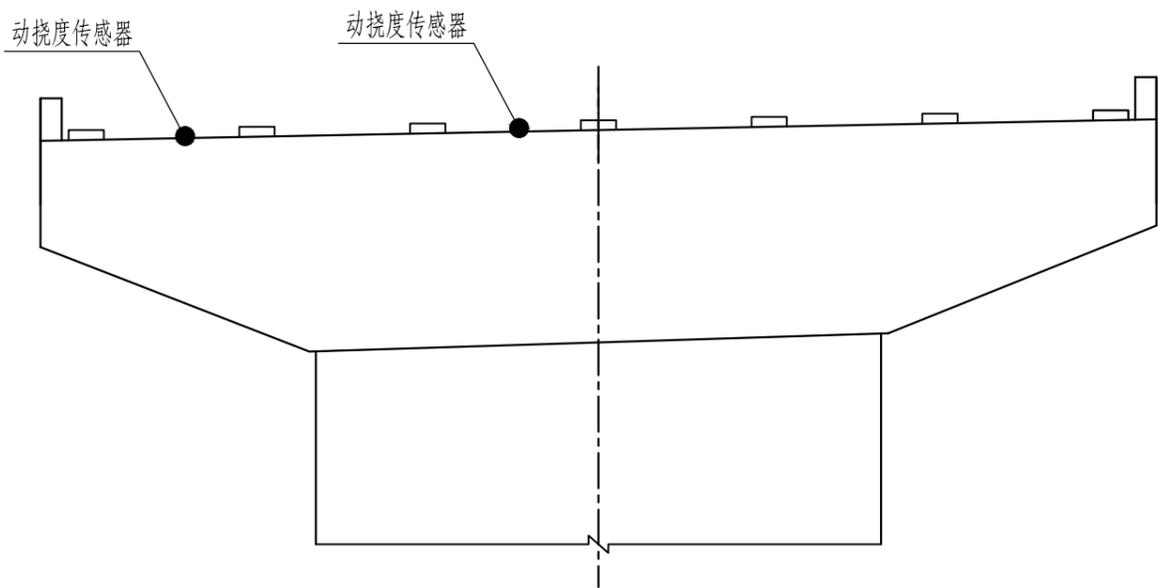
注

1. 本图尺寸以厘米为单位。
2. “●”表示传感器，括弧中数字表示传感器数量。
3. 每个动挠度传感器对应两个跨中标靶，图中传感器编号实为标靶编号，墩顶标靶为基准点。
4. 动挠度传感器安装见图JC-1-13。

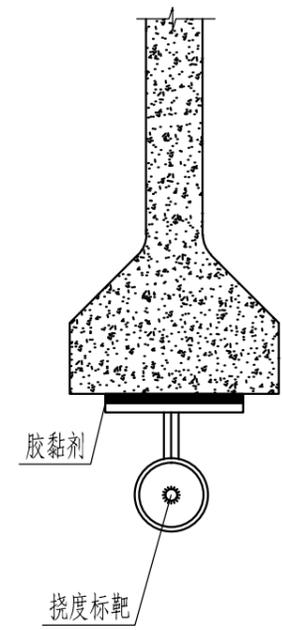
跨中主梁横断面



动挠度传感器测点位置

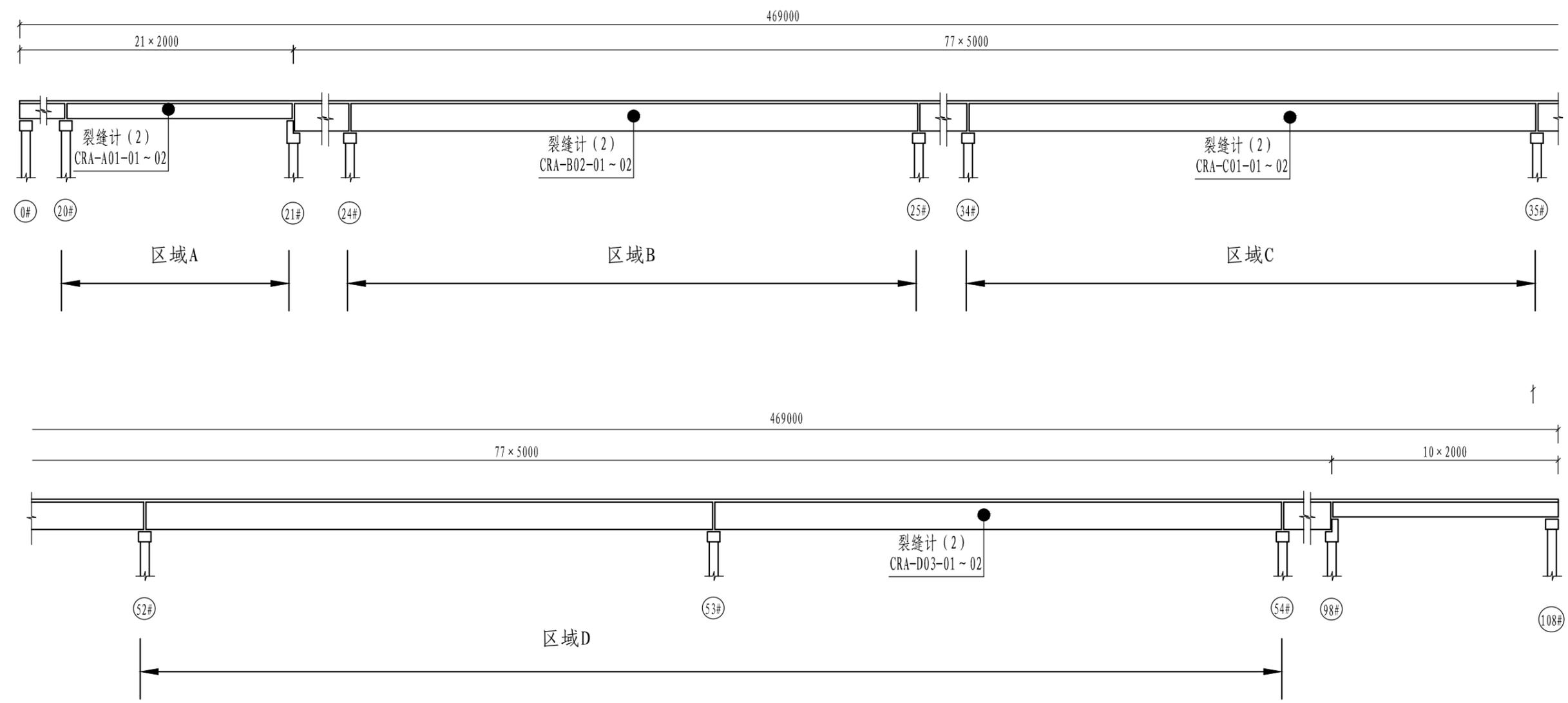


安装大样

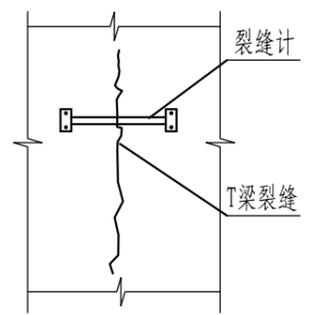


- 注
1. 本图为D03断面动挠度传感器安装示意;
  2. 未编号标靶为基准点;
  3. 动挠度传感器安装时可根据视角动态调整安装位置。

### 立面



裂缝计安装示意



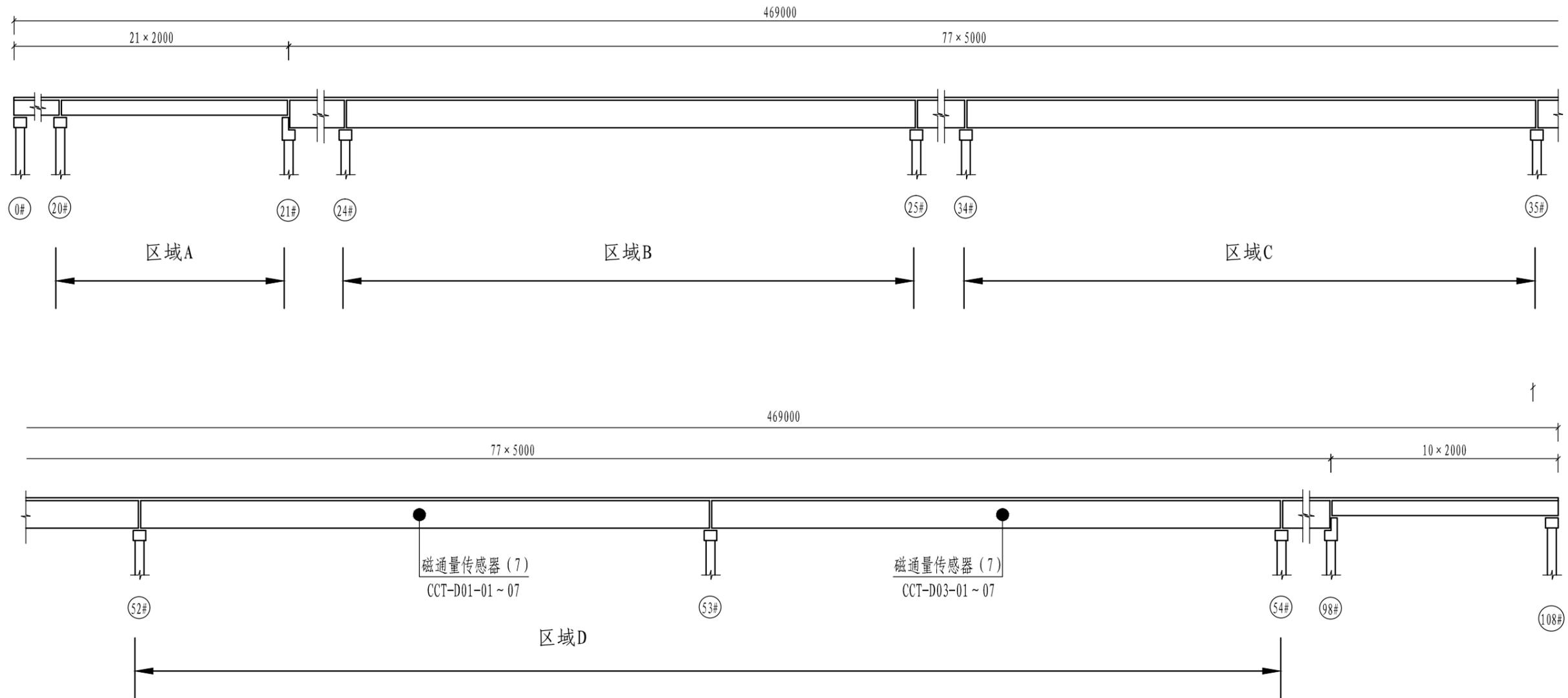
裂缝计测点布置位置

序号	传感器类型	传感器编号	布置位置	截面编号	数量
1	裂缝计	CRA-A01-01 ~ 02	第21跨跨中主梁	A01	2
2		CRA-B02-01 ~ 02	第25跨跨中主梁	B02	2
3		CRA-C01-01 ~ 02	第35跨跨中主梁	C01	2
4		CRA-D03-01 ~ 02	第54跨跨中主梁	D03	2
5		总计			8

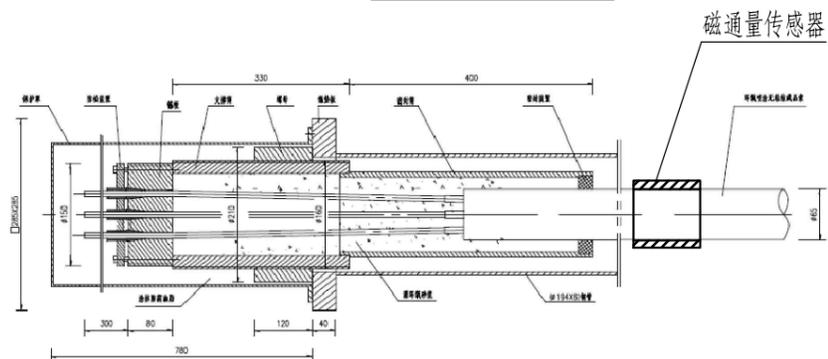
注

1. 本图尺寸以厘米为单位。
2. “●”表示传感器，括弧中数字表示传感器数量。
3. 裂缝计具体位置根据现场情况确定，安装方向与裂缝垂直。

立面



磁通量安装示意



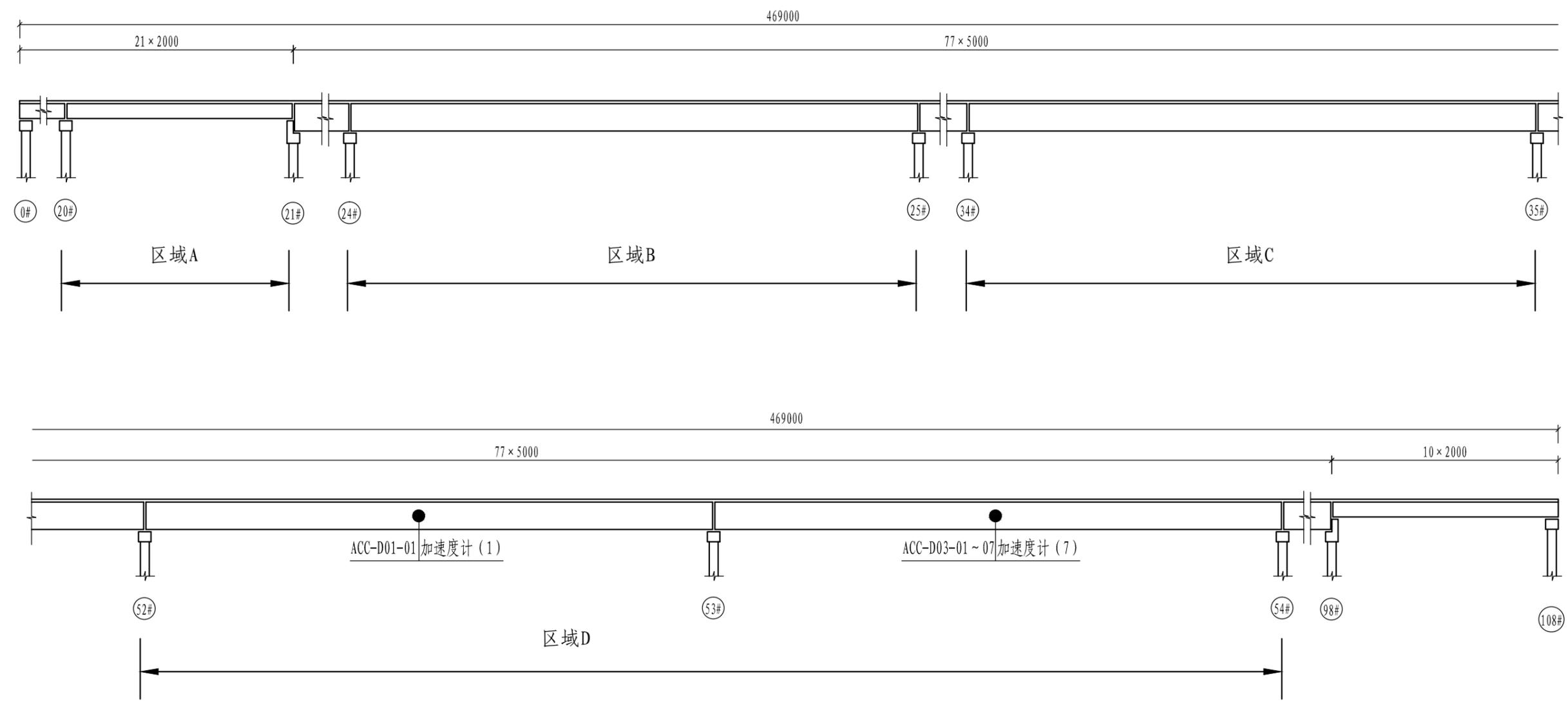
磁通量传感器测点布设位置

序号	传感器类型	传感器编号	布设位置	截面编号	数量
1	磁通量传感器	CCT-D01-01 ~ 07	第53跨主梁	D01	7
2		CCT-D03-01 ~ 07	第54跨主梁	D03	7
3		总计			14

注

1. 本图尺寸以厘米为单位。
2. “●”表示传感器，括弧中数字表示传感器数量。

立面



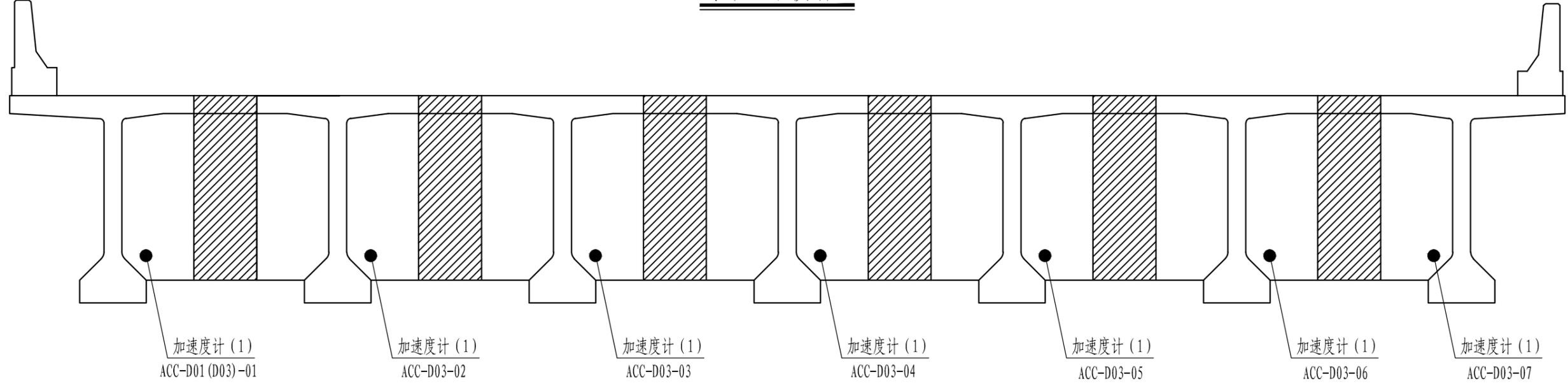
加速度计测点布设位置

序号	传感器类型	传感器编号	布设位置	截面编号	数量
1	加速度计	ACC-D01-01	第53跨跨中主梁	D01	1
2		ACC-D03-01 ~ 04	第54跨跨中主梁	D03	7
3	总计				8

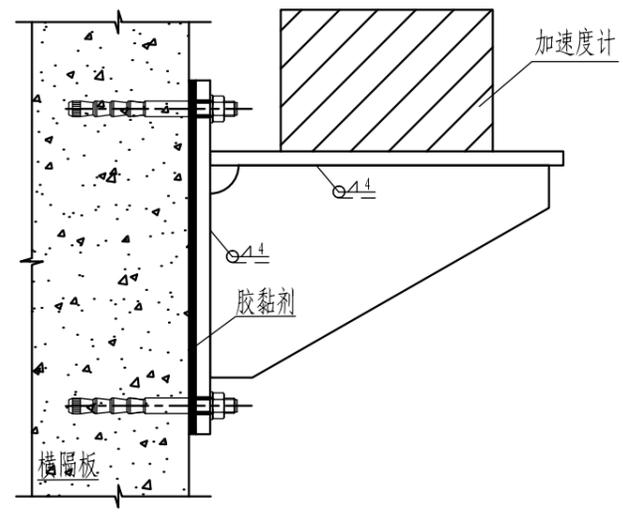
注

1. 本图尺寸以厘米为单位。
2. “●”表示传感器，括弧中数字表示传感器数量。
3. 加速度计安装见图JC-1-17。

### 跨中主梁横断面



### 安装大样



注

- 1. 第54跨 (D03) 断面安装7个加速度传感器, 第53跨 (D01) 安装1个加速度传感器。
- 2. 所有加速度传感器均为竖向安装。

### 采集站机柜柜体标识



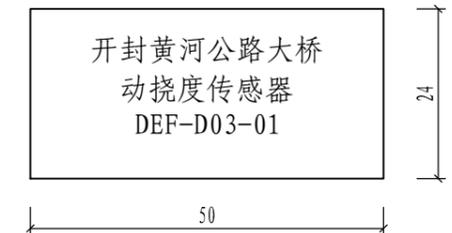
### 温湿度仪标识



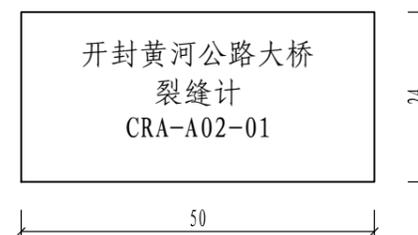
### 应变计标识



### 动挠度设备标识



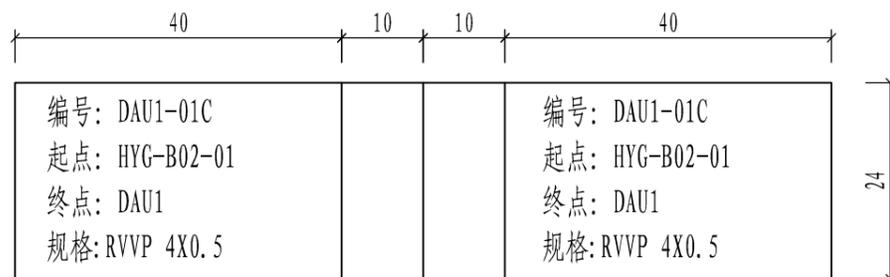
### 裂缝计标识



### 磁通量传感器标识

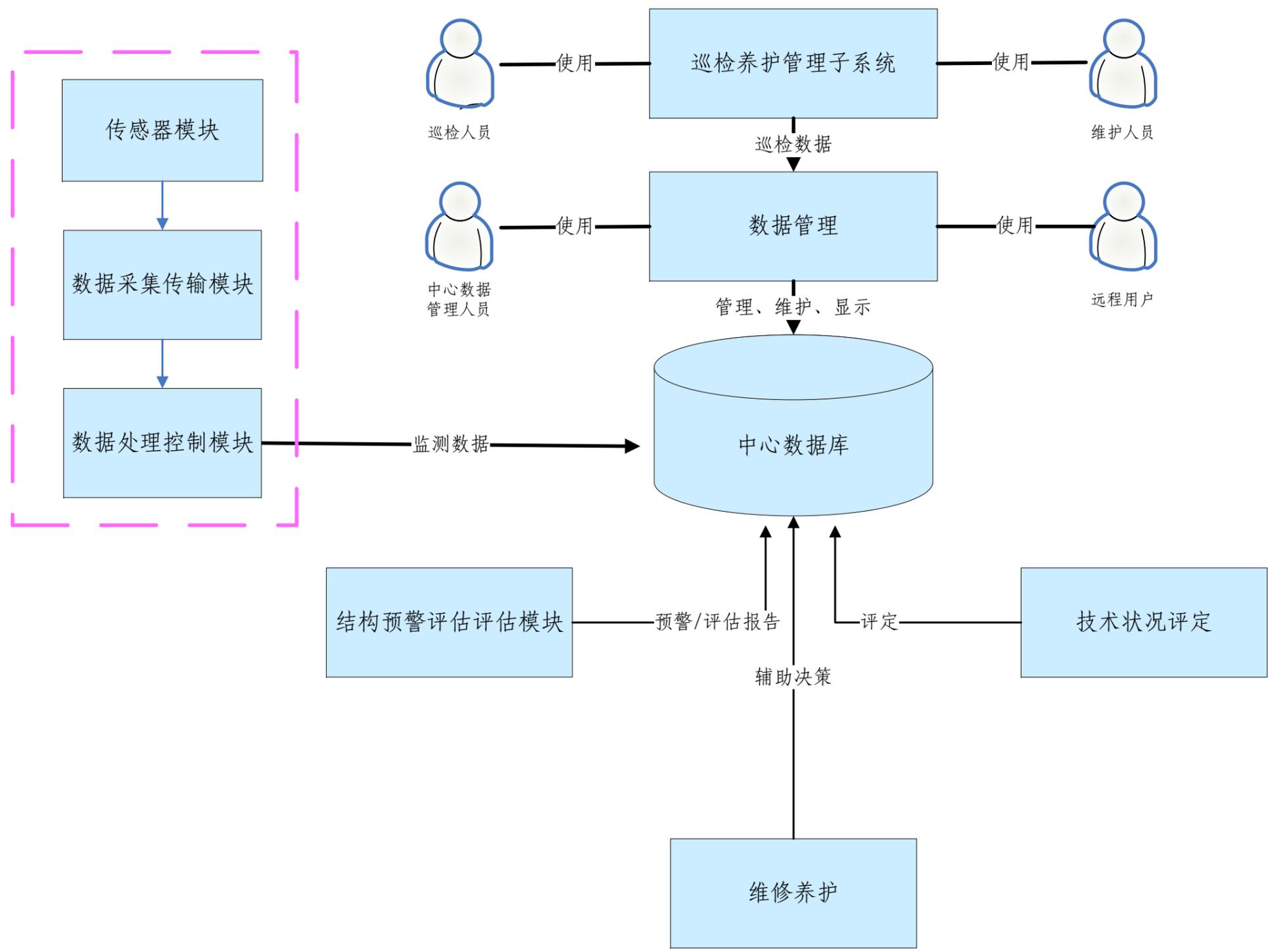


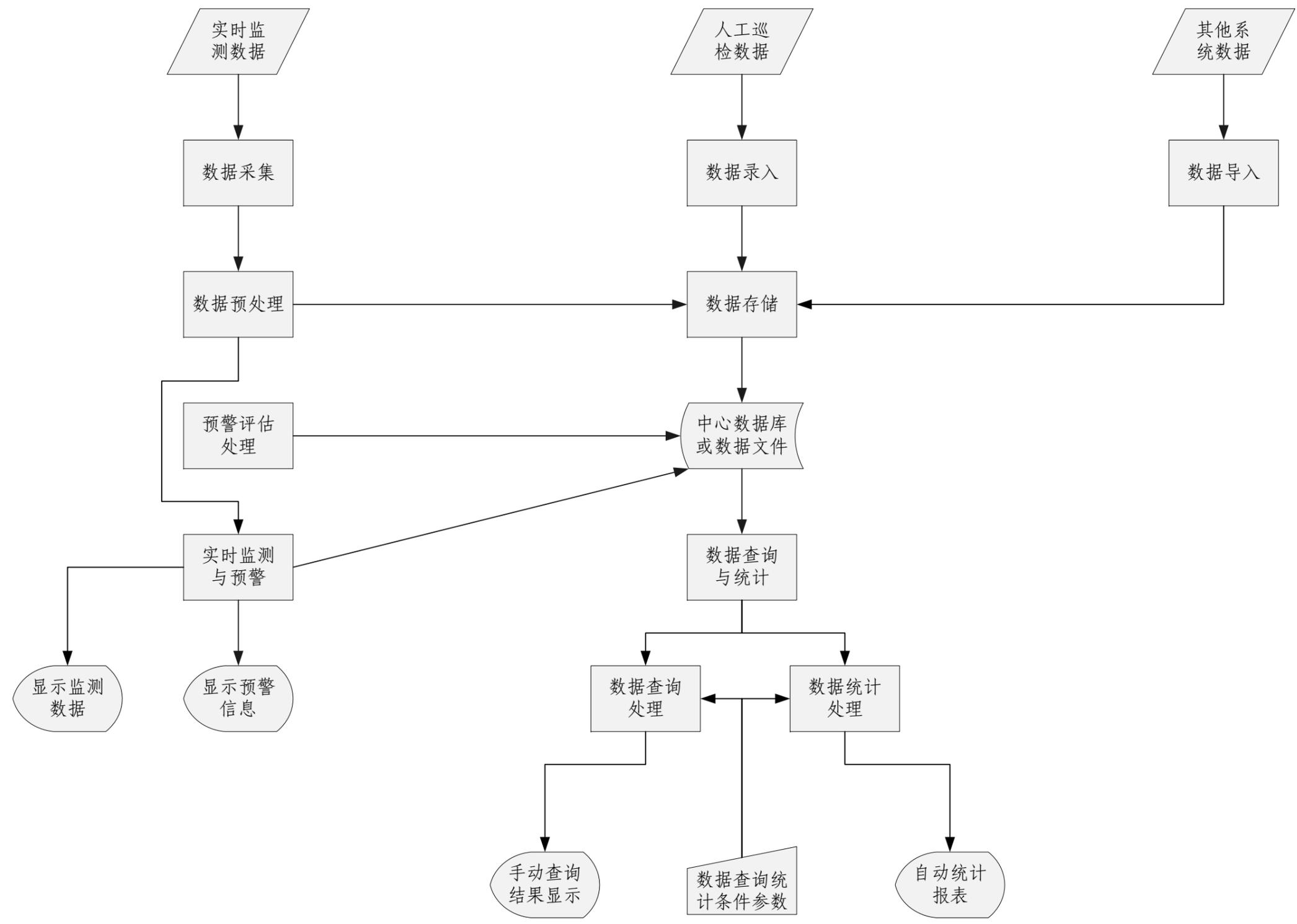
### 线缆标识



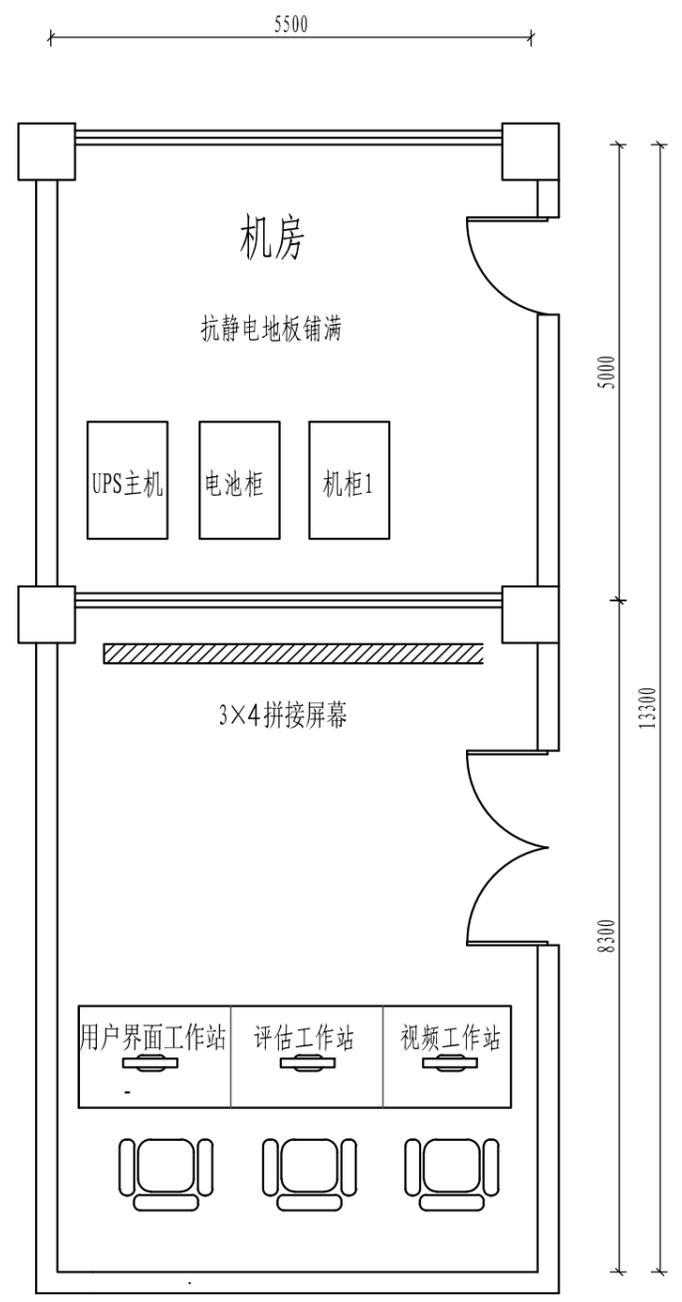
#### 注

1. 本图尺寸均以毫米为单位。
2. 线缆标签使用专用标签打印机打印,使用普通标签打印模式。
3. 同类型传感器参见标签样式打印。
4. 根据传感器现场易于粘贴和美观需求可做适量的更改。

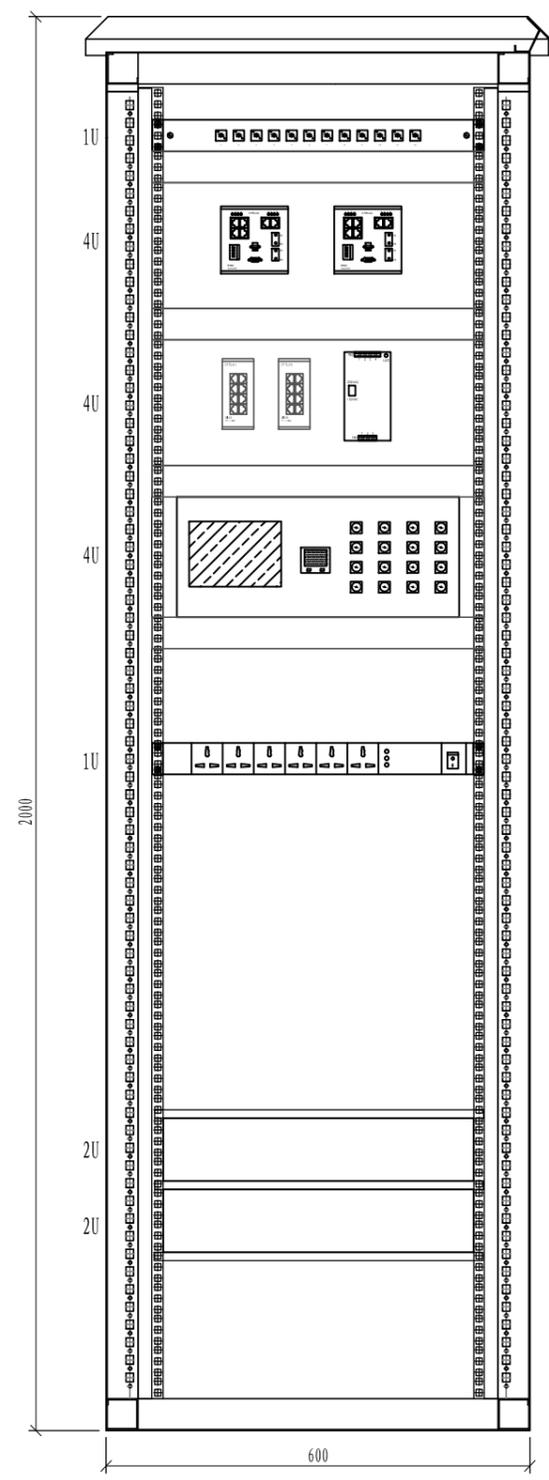




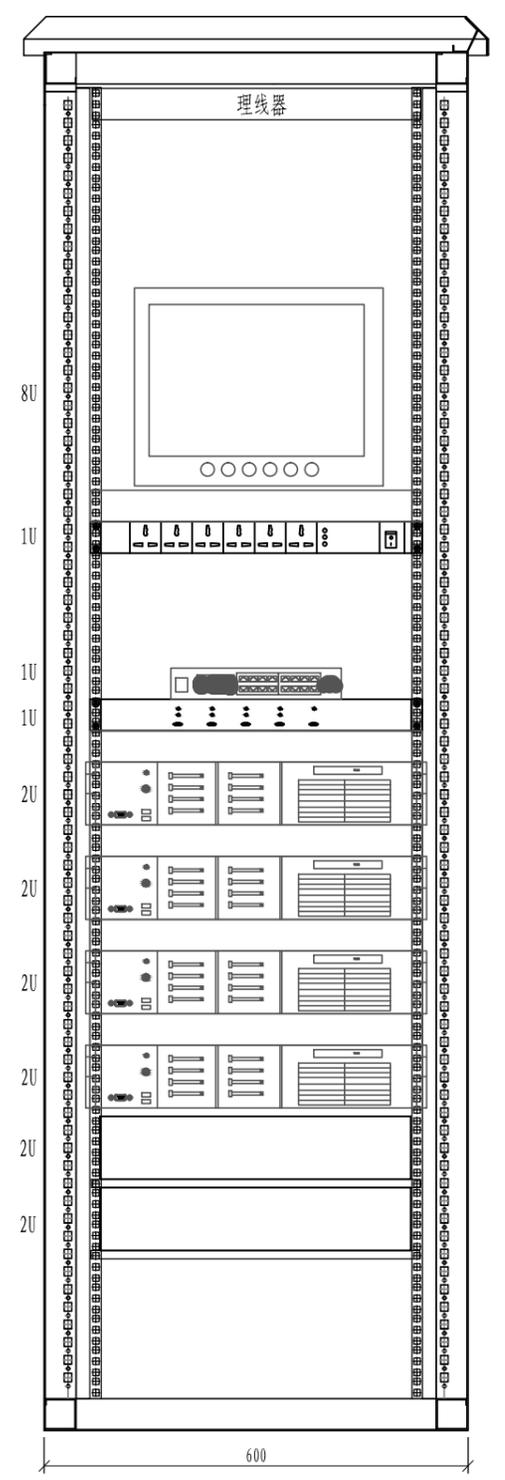
监控中心平面位置布设示意



正视图



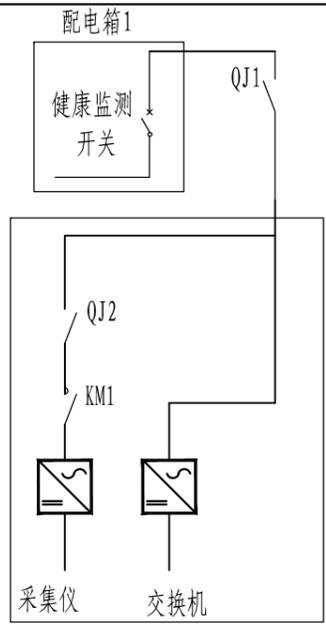
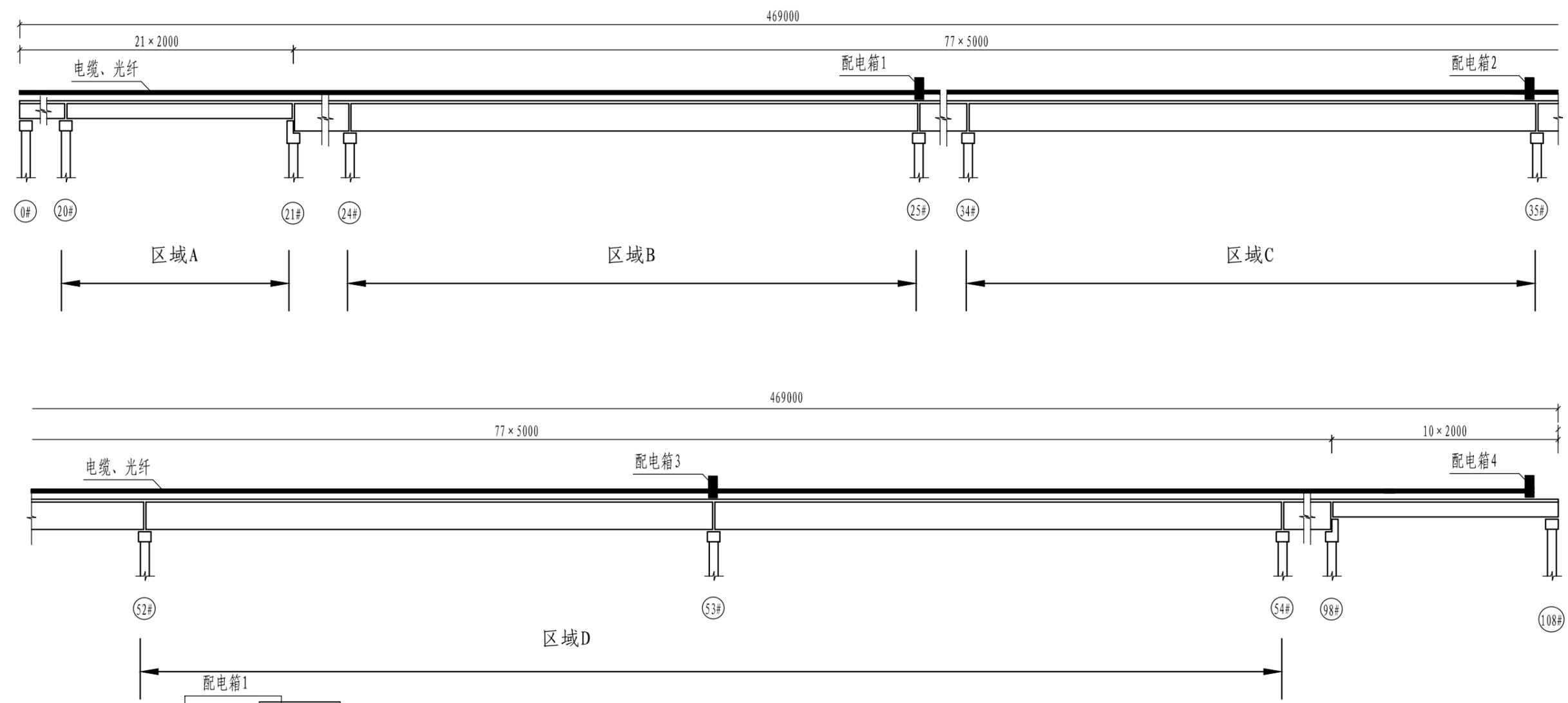
正视图



注

1. 本图尺寸均以毫米为单位。
2. 健康监测系统在监控中心需占用1个标准网络机柜空间(宽X深X高=600X1000X2000)。
3. 配电柜、稳压电源共用其他系统设备, 机柜配套3KW的UPS不间断电源。
4. 本图布设位置仅为示意, 可根据实际需要进行适当调整。

立面



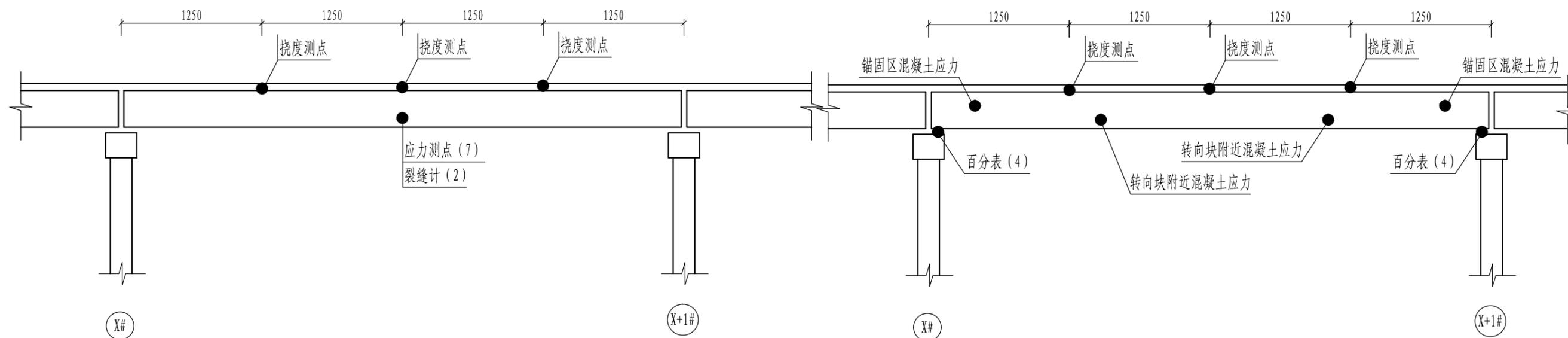
配电箱	配电箱1	配电箱2	配电箱3	配电箱4
采集站编号	DAU-01	QJ-DAU-02	QJ-DAU-03	QJ-DAU-04
容量	5KW	5KW	5KW	3KW
电缆型号	YJV 3X6	YJV 3X6	YJV 3X6	YJV 3X6

注

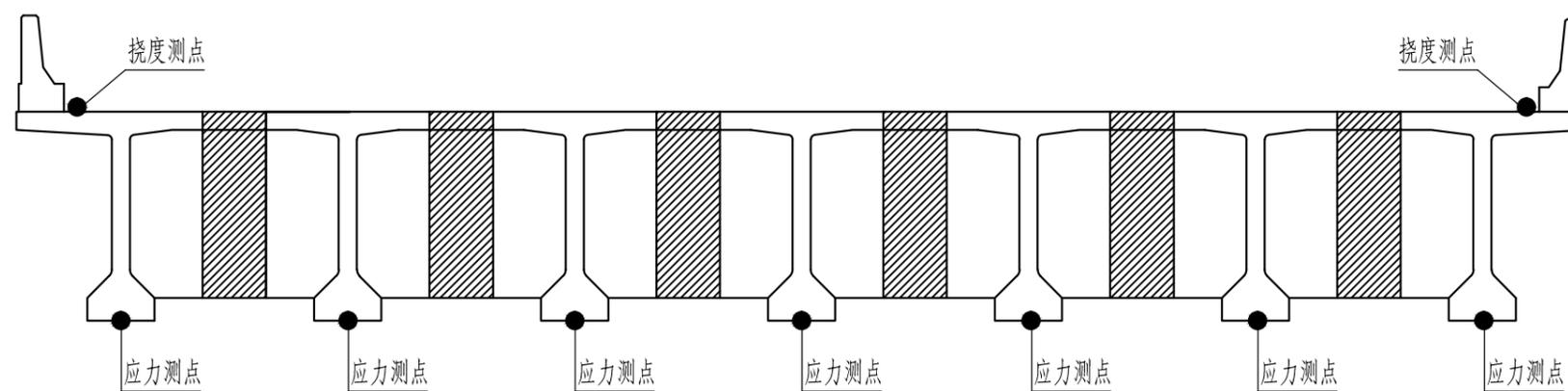
1. 本图尺寸以厘米为单位。
2. 电缆与光纤可通过防撞护栏外侧搭设桥架进行安装。
3. 全桥需至少安装4个配电箱, 分别位于25#、35#、53#、108#墩顶附近。
4. 电缆型号为最低配置, 可根据实际需要选用更高规格。

### 一般梁跨

### 试验跨



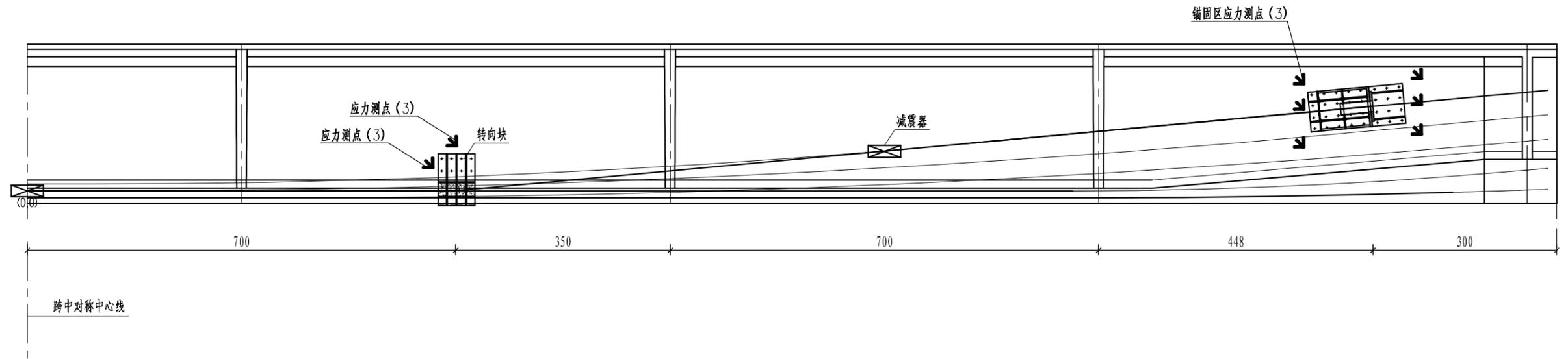
### 跨中及1/4断面



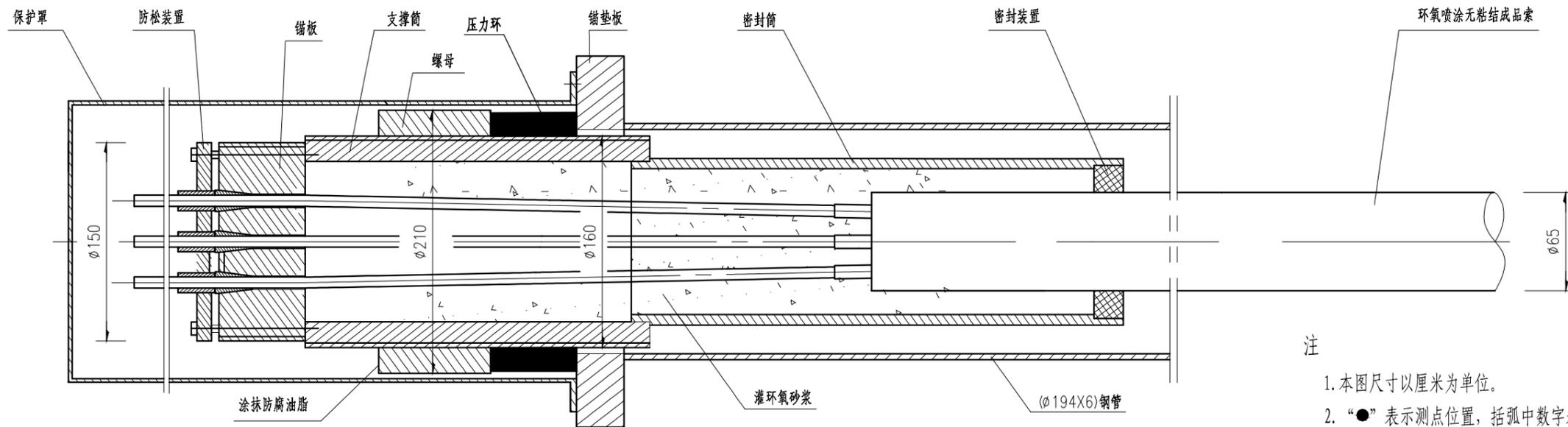
注

1. 本图尺寸以厘米为单位。
2. “●”表示测点位置，括弧中数字表示传感器数量。
3. 选取部分桥跨进行施工期施工监控。
4. 预应力监测仅为第54跨1#~4#梁梁端。
5. 选取部分桥跨进行施工期施工监控。

### 1/2T梁半立面图



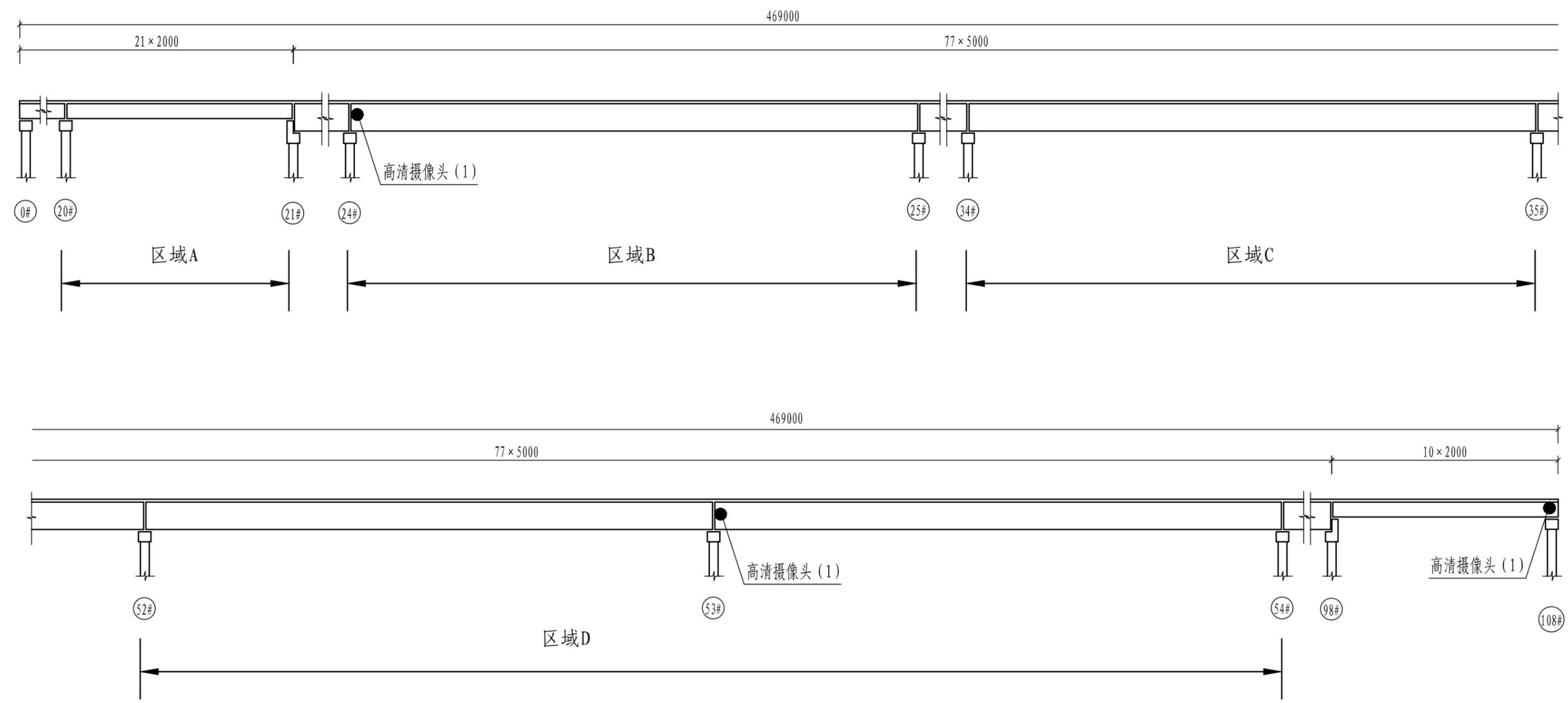
### 锚具构造图



注

1. 本图尺寸以厘米为单位。
2. “●”表示测点位置，括弧中数字表示传感器数量。
3. 应变计为竖向、纵向成对安装，仅对施工前期部分锚固区附近进行监测。
4. 预应力监测仅为第54跨1#~4#梁体外预应力。

### 立面

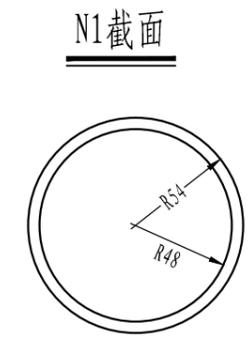
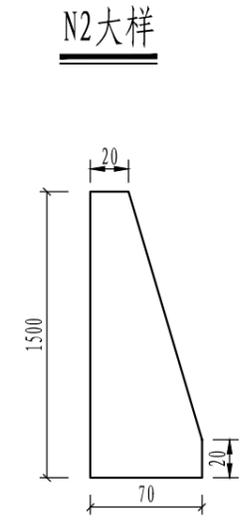
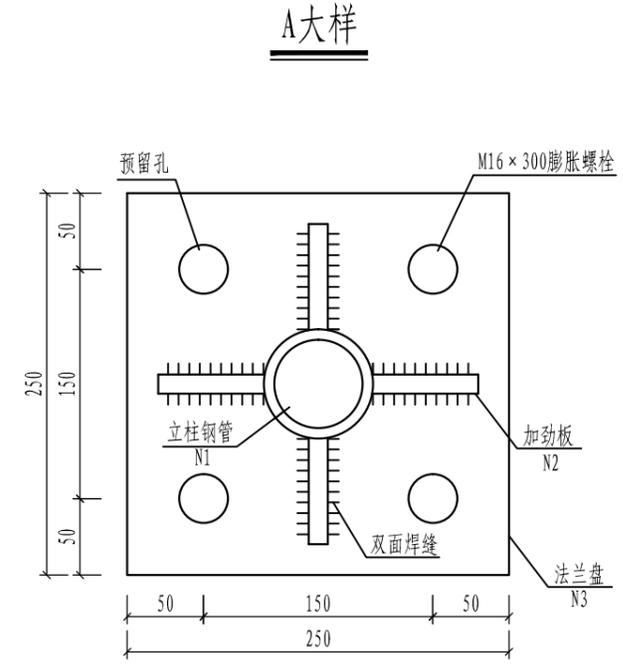
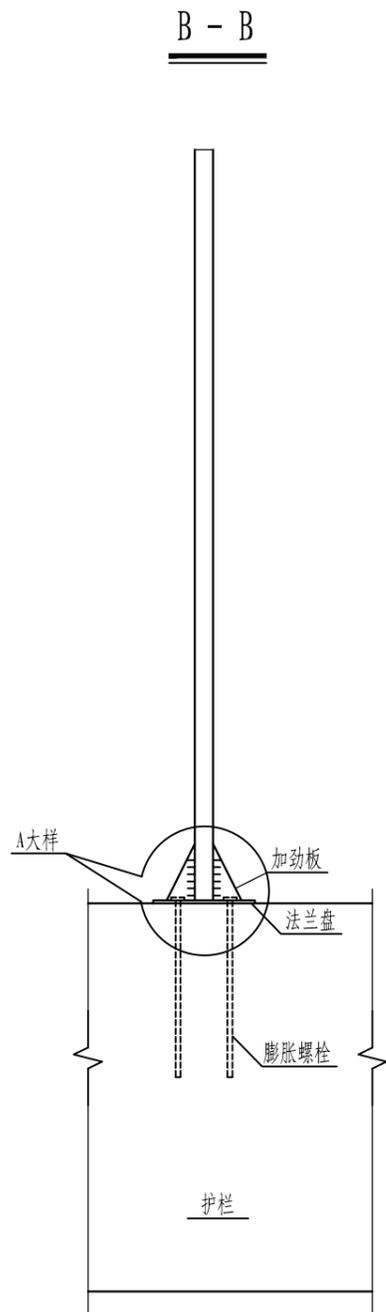
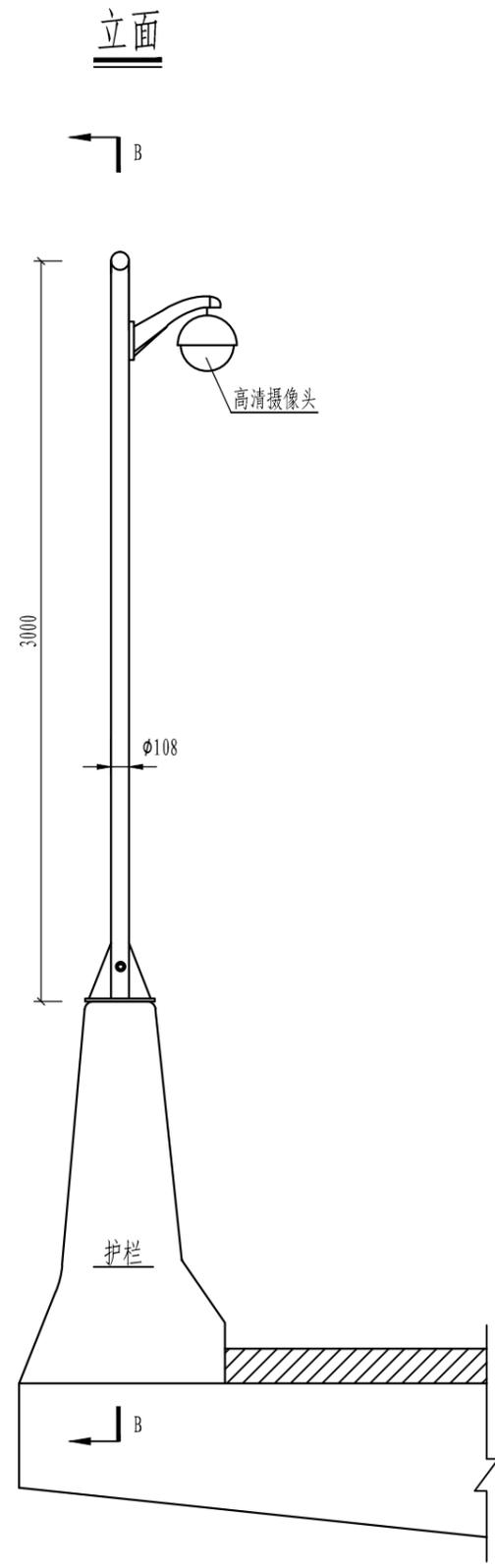


#### 交通监测点设备数量汇总

监测项目	传感器类型	单位	数量	位置
视频监测	高清摄像头	个	1	24#墩顶附近
	高清摄像头	个	1	53#墩顶附近
	高清摄像头	个	1	108#墩顶附近

#### 注

1. 本图尺寸以厘米为单位。
2. 高清摄像头需选择夜视红外高清摄像头。
3. 高清摄像头可安装于测点附近路灯杆上。
4. 视频监测可暂时保存于桥梁现场，必要时传回监控中心。
5. 交通流量监测数据需根据实际情况接入本系统。



工程材料数量表

编号	规格 (mm)	材料	数量	单重 (kg)	总重 (kg)	备注
N1	钢管 $\phi 108 \times 8 \times 3000$	20号钢	4	45.28	181.12	立柱
N2	钢板 $150 \times 10 \times 70$	Q235C	16	0.82	13.12	
N3	钢板 $250 \times 10 \times 250$	Q235C	4	4.91	19.64	
M16 x 300 膨胀螺栓			16套			

- 注
- 1、本图尺寸均以毫米为单位。
  - 2、该图用于高清摄像头安装的立柱、法兰盘及螺栓等,宜根据现场情况进行适当调整,亦可安装于附近路灯杆上。
  - 3、加劲板与立柱钢管及法兰盘间采用双面焊缝焊接。法兰盘与立柱等进行统一防腐涂装。