运营铁路自动化监测方案选型建议

成都天佑智测工程安全技术有限公司

二〇二〇年五月

目　录

1 静力水准仪实时自动化沉降监测系统.....1
1.1 自动化监测系统架构.....1
1.2 静力水准仪布设（以桥墩沉降监测为例）.....3
1.3 自动化监测平台.....3
2 测量机器人自动化监测（沉降+水平位移监测）.....6
2.1 测量机器人实时监测系统构成.....6
2.2 测量机器人布设.....6
2.3 监测数据管理平台.....7
3 实时位移监测（以倾斜仪为例）.....10
3.1 倾斜仪布设.....10
3.2 自动化采集系统.....11
3.3 监测数据管理平台.....11

临近运营铁路施工作业，土方开挖、机械振动等施工影响使得区域结构应力重新分配，可能致使运营铁路线路结构（桥墩、框架涵、框架桥、隧道、路基段等）产生不可逆性变形，危及运营铁路区段安全平稳运营。对施工影响的铁路区段进行变形监测是保证铁路安全性和平顺性的必要手段。变形监测预警充分体现了“安全第一，预防为主”的生产原则。预警机制，本义上是指预先发布警告的制度，通过构建科学、系统、及时、高效的监测预警系统，实现信息的超前反馈，为及时布置、防风险于未然奠定基础。邻近运营铁路施工，针对铁路下部结构受施工影响变形的重点部位制定对应的变形监测方案。

1 静力水准仪实时自动化沉降监测系统

实时沉降监测系统可以实现完全无人职守的全自动化沉降变形监测。该系统在智能化计算机软件的支持之下，通过无线的方式控制数据采集器（液体静力水准仪）或测量机器人全站仪对监测主体沉降变形情况进行连续、实时数据采集，在 24 小时无人职守的情况下，以亚毫米级的精度全天候监测变形目标。

1.1 自动化监测系统架构

自动化监测系统由网络测量系统由计算机、数据采集仪智能式仪器（可独立作为网络节点的仪器）、数据采集软件等组成，可完成各类工程安全监测仪器的自动测量、数据处理、图表制作、异常测值报警等工作。软件界面友好，操作简单，使用人员在短时间内即可迅速掌握并使用该软件。配合 GPRS 模块，可实现现场监测传感器远程配置（采样率，工作状态等）。

自动化数据采集系统核心为自动化采集仪，其利用优化电子测量技术实时采集现场各监测传感器上传的多路数据，并可实时向各监测单元下发指令实时控制。数据采集仪内置先进的混合式智能测量模块，可测量振弦式、差阻式、标准信号、电位计、电阻应变片等几乎所有主流类型的传感器。模块本身具有 8 个或 16 个基本的测量通道，每个通道均可接入一支完整的传感器，仪器类型只需通过软件进行设定。每台数据采集仪最多可实现 40 个通道的测量。各通道均装有防雷器件，可有效消除或减少因雷击对设备造成的损坏。

每台数据采集仪均内置有后备电源（UPS），在外部电源停电时，设备可持续工作最多达 14 天。设备标配采用 220V 交流供电，也可选装如太阳能电池组等外接直流电源为设备供电。

图 1.1-1　自动化监测系统架构

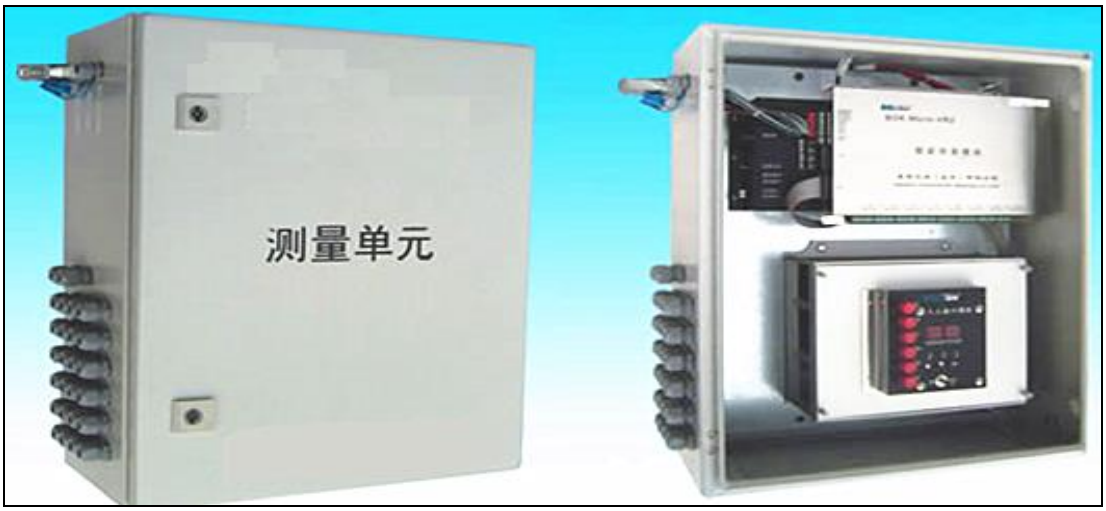

图 1.1-2　自动化数据采集仪

1.2 静力水准仪布设（以桥墩沉降监测为例）

实时沉降监测系统主要由现场监测设备（液体静力水准仪）、无线数据传输链路、监测数据处理中心三部分构成。将监测点液体静力水准仪分别布设在铁路桥墩墩顶左右侧，基准点布设在施工影响范围外的稳定的结构物上（例如：施工影响范围为的桥墩上），如 1.2-1、1.2-2 所示。

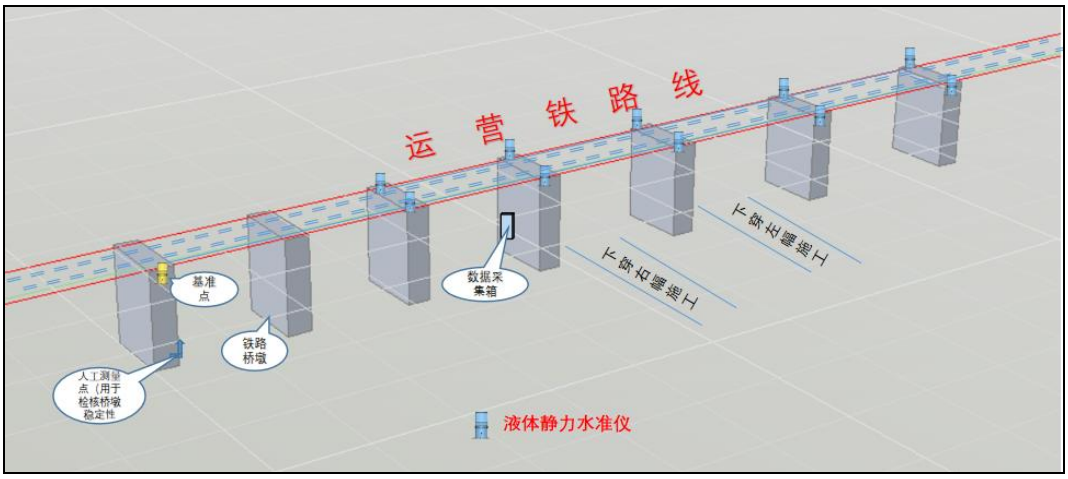

图 1.2-1　静力水准仪布设示意图

图 1.2-2　静力水准仪现场布设示意图

1.3 自动化监测平台

天佑智测SCP（Sensor Cloud Platform）是一个传感器（物联网）云平台，它是智慧化工程测量的象征，平台中包括了水准仪、测斜仪、测距仪器、全站仪等常用测量仪器。相比传统人工测量的方式，有诸多优势，无论是测量成本，还是

测量难度，或是安全性及可靠性上来说，都是传统人工无法比拟的。平台以远端的采集设备传感器为客户端，实时将的数据传回至服务器，用于监控、分析、预警等。本系统建立的初衷是为解决工程测量中沉降、倾斜等一系列变形监测与评估的问题。本着为用户服务的宗旨，在系统功能设计、软件操作及其它方面均以用户为中心。本系统具有良好的开放性，符合相关的行业标准，以充分保证与其它应用系统的无缝衔接、集成。系统的数据处理和系统集成遵循国家各部委的相应规范和标准，使得开发出的软件系统满足国家标准和一定的通用性，满足不同行业的实际需求。系统的图形界面简单友好、学习成本较低、操作直观自然，有比较强的容错性，用户对监测项目有一定的控制权。

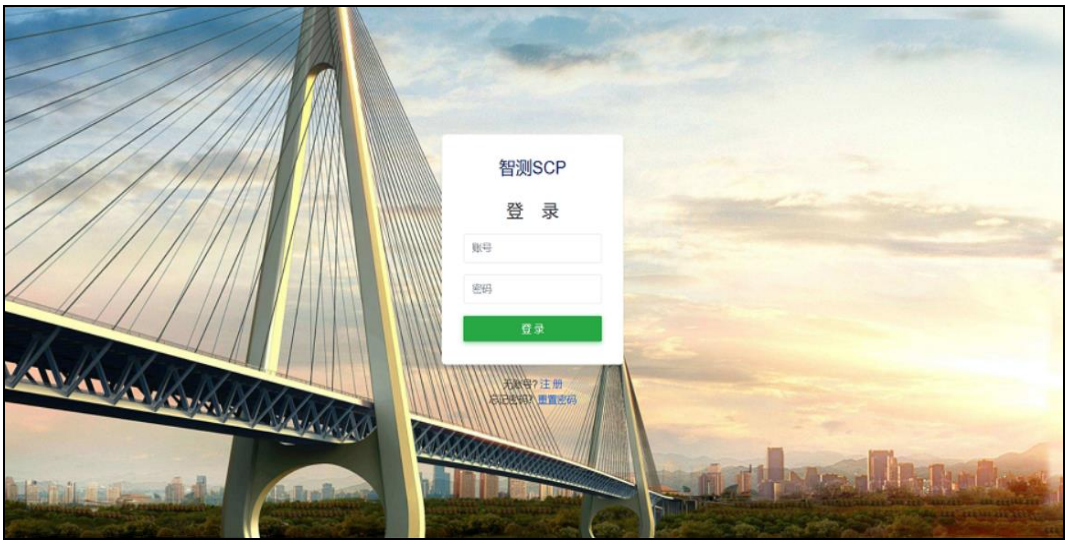

图 1.3-1　智测 SCP 登录界面

1.智测 SCP 的特点

（1）　支持多项目同时进行测量；

（2）　可在任何有网情况下进行远程数据监测；

（3）　根据采集的数据自动计算数据；

（4）　提供符合工程测量、统计学的数据报表和曲线图两种数据成果；

（5）　数据自动筛选功能；

（6）　对原始数据、图表等提供多格式导出；

（7）　严密的数据处理算法和高精度的数据解算；

（8）　定制化报表输出。

2.数据采集与展示

智测SCP对于数据采集方面，做了校多数据校验，从一定程度上保证了数据的完整性和安全性，实时数据和周期数据集成入库管理，统一分析处理，可全面把控监测对象变形情况，以便将监测状况反馈给监测方。

基于传感器指令库、TCP/IP协议、网络编程、面向对象编程等技术，SCP可在远程进行监测任务，设备也是通过远程连接控制现场传感器，具备断线重连功能，用户可实时获取监测数据，全局把握工程信息，做到实时性、安全性、可靠性。

3.数据分析

有了数据之后就可以对数据进行加工处理，数据处理的方式很多，本处主要用于对原始观测数据进行预处理、去除噪声数据，防止测量中对数据分析产生影响。

4.数据可视化

本系统为每个工程项目提供了一个综合数据库，工程项目的所有监测数据都通过这个数据库进行统一管理，这在根本上保证了监测数据的完整性和安全性。各类传感器实时监测数据可实现自动实时入库，精准无误。

提供了各期变形数据进行汇总统计分析，绘制曲线图，提供变形统计分析数据。

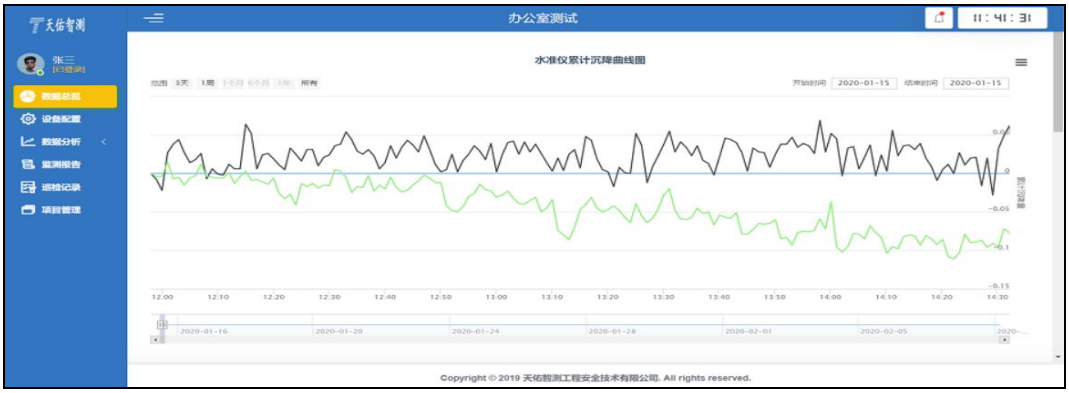

图 1.3-2　SCP 水准仪数据报表

5.监测成果浏览

本系统实现了变形监测预警系统的网络化，用户通过互联网可远程访问监测成果，及时了解监测对象变形发展动态。另外系统支持对监测成果以不同数据格式导出，如图片、以 txt、以 Excel 等方式的导出，方便用户的选择、浏览。

2 测量机器人自动化监测（沉降+水平位移监测）

2.1 测量机器人实时监测系统构成

测量机器人实时沉降监测系统主要由 4 部分组成：

（1） 观测传感器——测量机器人（数据采集）；

（2） 变形点——监测点棱镜；

（3） 通讯及供电——现场供电及数据传输系统；

（4） 监测机房——配置全自动监测系统（数据分析，处理，预警）。

测量机器人实时沉降监测系统运作模式如下：整个观测现场建立由 1 台（或多台）测量机器人全站仪和参考控制点组成的坐标基准，在关键的变形点上布设监测点棱镜；由测量机器人自动全站仪对监测点棱镜按照设定周期进行观测，实时的把变形点的三维坐标通过无线网络（无线/光纤）传到后台监测数据管理分析软件平台。

考虑到外界环境温度气压变化对测量机器人测量精度的影响，需配置一体化温度气压计，实时测量全站仪周围环境的温度和气压值，并在后台监测数据管理分析软件平台上对测量数据进行实时气象改正。温度气压计通过支架固定于全站仪附近即可，并安装在百叶箱内。

2.2 测量机器人布设

全站仪观测站、基准控制点是整个系统的原始基准，点位一定要布设在稳定可靠的地方，以防止点位变形；点位周围没有大的遮挡或干扰。测站是自动化监测的工作基点，其安装的稳定性也至关重要。若监测区域外有稳定的建构筑物可以将测量机器人安设在这些稳定的结构物上，也可通过修建强制观测墩安设测量机器人。除了选择稳定的位置布设测量机器人外，也可通过定期联测基准点对测量机器人站点坐标进行检核。基准点的稳定性可通过联测高等级基准点进行检核，也可通过自由网、秩亏自由网、拟稳自由网等检核算法判断基准点相对稳定性。

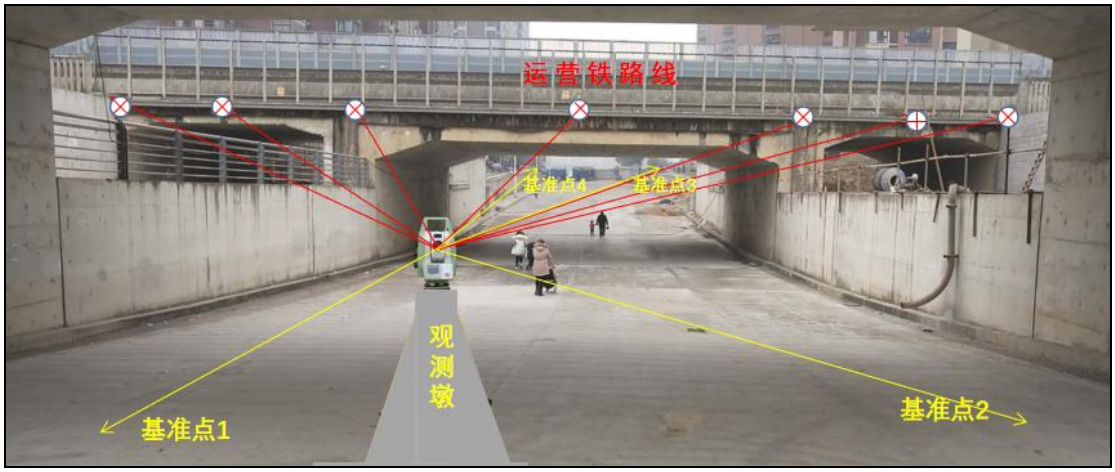

图 2.2-1　测量机器人布设示意图

2.3 监测数据管理平台

智测自动化监测平台（智测 Automatic Monitoring Platform，简称：智测 AMP）以全站仪、传感器为外部采集设备，实时采集数据传回服务器，用于监控、分析、预警等。其主要功能为：全站仪远程自动控制、实时数据采集、温度气压传感器数据自动采集、变形量计算、实时数据过程线展示等。

1.登录页面

在登录界面上，输入用户名及密码，登录自动化监控平台。用户名和密码需要注册后使用。

图 2.3-1　AMP 登录界面

2.测点管理

点击“数据采集”标签页下方的“测点管理“按钮，在弹出的对话框中，可进行监测点初始坐标值的导入、导出、新增、编辑、删除，配置结束后点击保存修改。

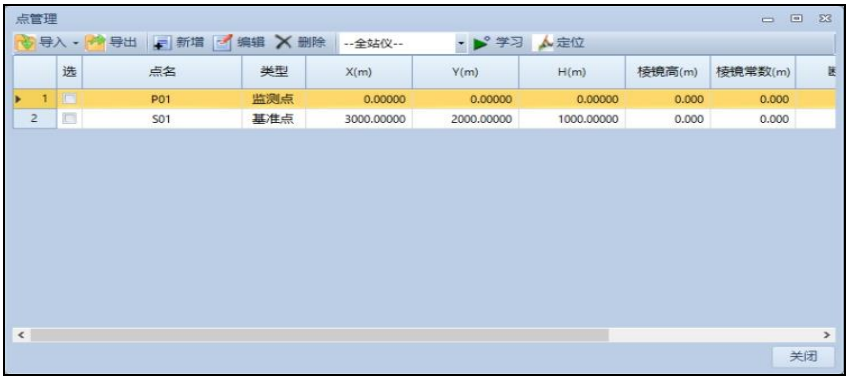

图 2.3-2　AMP 测点管理

若未知监测点的初始坐标值，还可现场进行学习。勾选点号，然后现场人工照准目标，软件界面上点击“学习”按钮，此时程序会控制全站仪进行测量，获取初始坐标值。

若已知监测点的初始坐标值，可现场进行定位查看和验证测站与监测点间关系是否正确，仪器是否旋转到指定点方向上。

3.监测周期/方式设置

点击“数据采集”标签页下方的“监测周期”按钮，在弹出的对话框中添加所需全站仪，点击对话框右上方的”…“按钮，为目标点组配置监测方法，在弹出的对话框中选择所需监测方法。包括（极坐标法、全圆测回法和前方交会法）。点击确定保存修改。

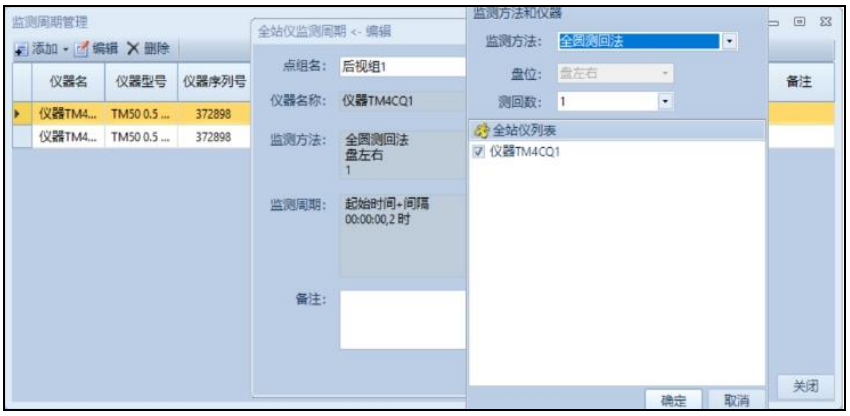

图 2.3-3　AMP 监测周期/方式设置

（1）极坐标法：全站仪使用盘左测量，得到监测点的坐标值。

（2）全圆测回法：全站仪采用全圆测回法方式，完成测量后，并依据限差检验合格后，计算监测点的坐标值。

（3）前方交会法：两个已知点上的全站仪，分别测量后，通过前方交会方式计算监测点坐标值。

4.数据分析

点击“数据分析”标签页下方的“测量成果”按钮，查看全站仪监测的成果数据（各监测点 X、Y、H 方向上的成果数据以及各方向当前变化量和累计变化量）。

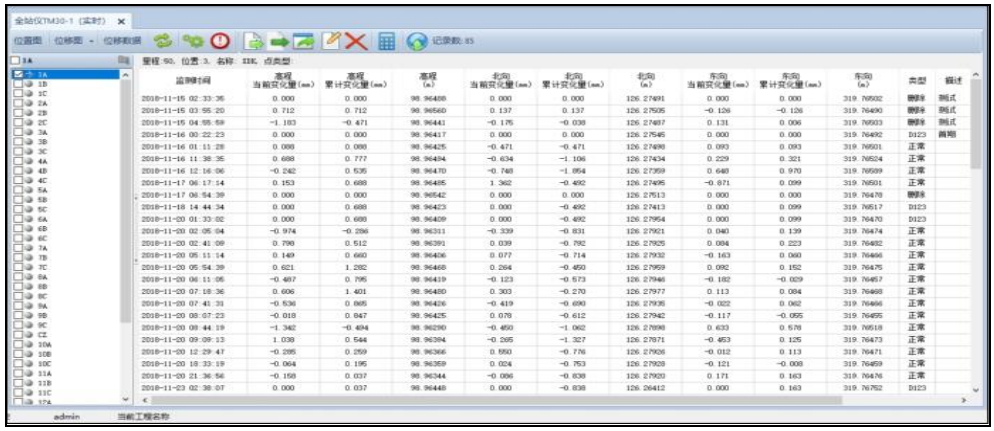

图 2.3-4　AMP 数据分析

点击“数据分析”标签页下方的“实测过程线”按钮，可以查看单个监测点或者多个监测点的位移变化曲线图。

监测点位移量图：默认显示监测点的北向（X）、东向（Y）、高程（H）的累计变形量曲线图。

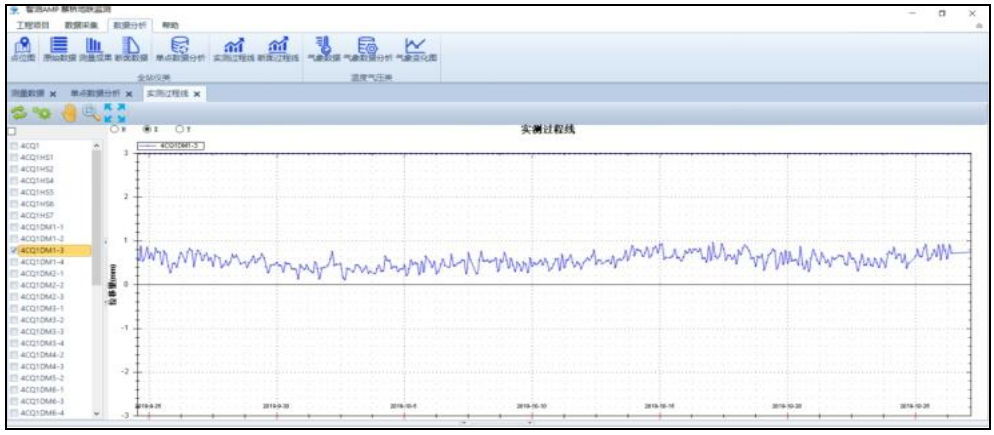

图 2.3-5　AMP 监测数据过程线

5.监测成果浏览

AMP 自动化监测平台实现了变形监测预警系统的网络化，用户通过互联网可远程访问监测成果，及时了解监测对象变形发展动态。另外系统支持对监测成果以不同数据格式（图片、txt、Excel 等）导出，方便用户的进一步研究分析。

3 实时位移监测（以倾斜仪为例）

3.1 倾斜仪布设

倾斜仪是测量物体随时间的倾斜变化及铅垂线随时间变化的仪器。仪器中感应倾变量的检测器是摆，有铅垂摆、水平摆、交叉摆及水准器、连通管等多种形式。它们都可分为摆基座和摆体两部分，一旦摆基座出现倾斜，或铅垂线发生变化，就会引起摆体的角位移，仪器的量测系统就将这一角位移检测和记录下来。基于倾斜仪测量的角度变化和倾斜仪安装高度（相对于工程结构物基础）便可计算出倾斜仪所在位置处沿某一方向的位移变化情况。倾斜仪可布设为一个独立的测量单元，亦可多支联接布设测出被测结构物的各段倾斜量，以此将结构物的变形曲线描述出来。若在被测物上安装双向二维倾斜仪（本方案取桥梁轴线方向和桥轴线垂直方向），可测量结构物的二维变形。倾斜仪可以回收重复使用，并且可方便实现倾斜测量的自动化。实时平面位移监测系统由现场监测设备（倾斜仪）、无线数据传输链路、监测数据处理中心三部分构成。在受下穿施工影响的高铁桥墩上，在桥墩墩顶中部位置处布设倾斜仪，实时监测桥墩平面位移量的变化情况，如图 3.1-1、3.1-2 所示。

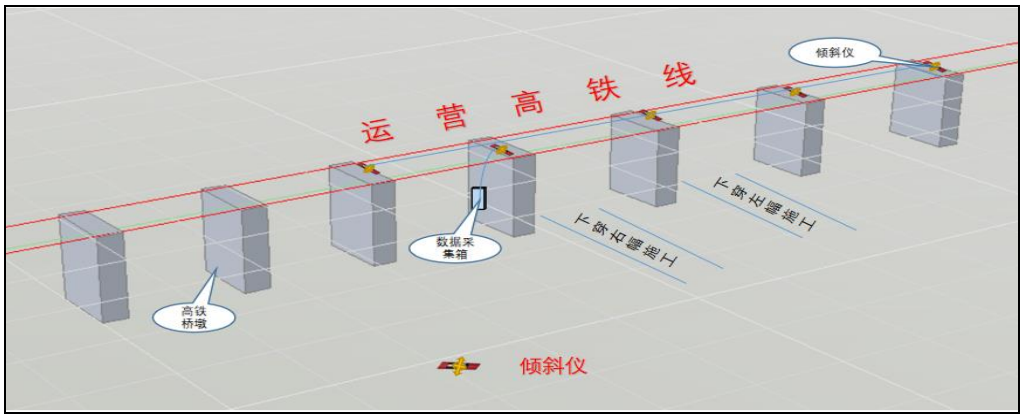

图 3.1-1　平面位移变形监测（倾斜仪）系统布设平面图

图 3.1-2　平面位移变形监测（倾斜仪）现场布设示意图

3.2 自动化采集系统

倾斜仪与液体静力水准仪共用一套自动化采集系统，该部分内容同 1.3 节。

3.3 监测数据管理平台

倾斜仪与液体静力水准仪共用一套数据管理平台，该部分内容同 1.3 节。