

健康监测系统施工图设计说明

深圳市简测科技有限公司

二〇一四年九月

健康监测与安全预警系统施工图设计内容包括钢箱拱、承台、桥面、吊杆、系杆等结构健康监测系统的设计。其中，钢箱拱健康监测内容设计包括钢箱拱拱内的应变、温度、湿度监测，三角刚构的应变、温度监测以及混凝土拱座的裂缝与温度监测；承台监测包括裂缝、温度监测；桥面监测包括振动、环境状况监测；吊杆监测内容即为索力监测；系杆监测内容包括应变、应力监测。

一、设计规范和主要设备

1.1 设计规范

- (1) 《公路工程技术标准》JTG B01-2003
- (2) 《公路桥涵设计通用规范》JTG D60-2004
- (3) 《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62-2004
- (4) 《公路桥涵钢结构及木结构设计规范》JTJ 025-86
- (5) 《公路工程抗震设计规范》JTJ 004-89
- (6) 《公路桥涵施工技术规范》JTJ 041-2000；
- (7) 《公路工程质量检验评定标准》JTGF80/2-2004；
- (8) 《工程振动测量仪器和测试技术标准》中国计量出版社，1999
- (9) 《电气装置安装工程电缆线路施工及验收规范》GB50168-2006
- (10) 《电子设备雷击保护导则》GB/T 7450-1987
- (11) 《民用闭路电视系统工程技术规范》GB 50198-94
- (12) 《建筑与建筑群综合布线系统工程设计及验收规范》GB/T50311-2000

- (13) 《建筑电气安装工程的质量检验评定标准》 GBJ 303-88
- (14) 《光缆线路对地绝缘指标及测试方法》 YD5012-2003
- (15) 《光缆通信工程无人值守电源设备安装设计暂行规定》
YD5046-97
- (16) 《电信网光纤数字传输系统工程及验收暂行技术规定》 YDJ44-
89
- (17) 《光纤传输衰减变化的监测方法 传输功率监测法》 YD/T
629.1-93
- (18) 《光纤传输衰减变化的检测方法 后向散射监测法》 YD/T
629.2-93
- (19) 《光纤配线架技术要求及试验方法》 YD/T 778-95
- (20) 《大芯径大数值孔径多模光纤光缆》 YD/T 816-2003
- (21) 《光缆拉伸—应变性能测试方法》 YD/T 825-1996
- (22) 《光纤固定衰减器技术条件》 YD/T 894-1997 等相关标准
和规范。

1.2 主要传感器类型

1.2.1 应变和温度监测传感器 (1) 光纤光栅应变传感器 (2) 光纤
光栅温度传感器 (3) 长标距光纤光栅应变传感器

1.2.2 加速度传感器 超低频加速度传感器

1.2.3 空气湿度监测传感器 空气湿度传感器

1.2.4 风速风向监测传感器 高精度风速风向传感器

二、监测系统设计要点

2.1 设计原则

- (1) 实用性
- (2) 可靠性
- (3) 国际先进性
- (4) 可操作性和易维护性
- (5) 完整性和可扩容性

2.2 钢箱拱监测系统设计

钢箱拱监测主要包括应变监测，裂缝监测，温度监测和空气湿度监测。

为监测钢箱拱在荷载下的变形，在主跨跨中、主跨 1/4 跨、支座截面、牛腿位置等应力较大处共安装 44 个光栅光纤应变传感器。另外，在相应截面布设了 22 个光栅光纤温度传感器，以监测温度和为应变传感器作温度补偿。

为监测混凝土拱肋的裂缝和温度，在易出现裂缝的位置共布设了 64 个长标距光纤光栅应变传感器和 32 个光纤光栅温度传感器。

为监测钢箱拱内空气的湿度，在主跨跨中、支座截面 S2-5-11 边跨跨中等位置共安装了 18 个空气湿度传感器。

2.3 桥面监测系统设计

桥面监测包括桥面振动监测和环境状况监测。

在桥面的主跨跨中截面、1/4 截面各布置 2 个加速度传感器，测量桥面的振动特性。为监测桥址处环境状况，在跨中截面附近布设风速仪一台。

2.4 吊杆索力监测

吊杆作为重要的传力构件，将纵横梁等永久作用和汽车等可变作用传递到拱肋上，监测吊杆的受力状况对于判断拱桥是否处于正常工作状态至关重要。吊杆索力监测一般采用频率法测得。

本桥从主跨两端起第二、第三根吊杆相比其他吊杆更容易损坏，因此在这几根吊杆中间布置加速度传感器，监测吊杆的振动频率，进一步分析得到吊杆的索力。

2.5 系杆力监测

该桥的水平推力主要是由布置在桥面的系杆来平衡，本桥两侧各设置 6 根系杆，在每根系杆的锚固端各布设一个光纤光栅应变传感器，监测系杆应变，通过换算得到系杆力。为抵消环境温度变化的影响，适当布置了 8 个光纤光栅温度传感器。

三、施工要点

桥梁施工具有空间跨度大、时间跨度大、工况复杂、交叉施工、现场人员构成复杂、施工单位多等特点。上述众多因素加大了现场传感器布设、信号传输线路的布设、保护工作难度。传感器布设及保护施工工艺要求、质量检验标准应符合相关规定要求，对各主要工艺应制定详细的施工细则，并征得监理工程师同意后再进行施工作业。

3.1 施工阶段传感器布设

(1) 应变传感器

本项目中所使用的应变传感器布设方式分为表面式与埋入式，表面

式应变传感器的布 设方式主要有粘贴式与焊接式。粘贴式布设主要针对桥梁结构钢构件。利用优质粘结剂将 应变传感器粘贴到测点表面。首先需将测点处位置利用角磨机砂轮片进行初次打磨，将测 点表层防腐层清除掉，然后利用砂纸片进行打磨，最后用细砂纸沿某一固定方向将测点表 面细腻抛光。利用脱脂棉蘸丙酮将测点表面清洗干净。利用高性能粘结剂粘贴传感器之后， 需在传感器表面附近设置防腐层保护好传感器与附近经打磨测点表面。防腐层采用多层环 氧树脂类胶以及玻璃胶。焊接式布设的前几个步骤与粘贴式相同，只是在被测物表面处理 完成之后，采用点焊或氩弧焊初步固定传感器的位置，然后再采用点焊或氩弧焊将传感器 在标距位置处焊透。特别注意：焊接时间必须很好把握，否则将严重损害传感器。通常而 言，焊接时间低于 3 秒，迅速采用沾水脱脂棉或海绵降低温度。焊接结束的 5 小时内，根 据结构表面的颜色特征，采用油漆将传感器进行喷涂。如条件允许，可采用 “环氧树脂+ 玻璃布” 进行传感器二次固定和保护。对于混凝土结构表面，预先在混凝土表面钻孔，埋 入膨胀螺栓。然后，采用钢结构的焊接工艺方法布设传感器。

埋入式应变传感器布设工艺如下：在混凝土结构钢筋笼施工完毕后，将应变传感器应 用铁丝架准确固定在截面测点处。一般情况下将传感器固定在截面测点附近的受力钢筋上， 以确保传感器在混凝土浇注过程中保持预定位置。

(2) 加速度传感器

为保证加速度传感器能够承受恶劣的野外环境，针对测索力加速度

传感器采用如下布 设方法，具体为：首先将传感器与索的接触的表面清洁平滑，使其不平度小于 0.01mm，安 装螺孔轴线与测试方向一致，某些安装表面较粗糙需在接触面上涂些清洁的硅脂以改善耦 合；传感器安装时采用螺钉安装和胶粘剂两种手段固定传感器，安装螺钉可将加速度传感 器和准备套在索上的钢套箍固定，螺钉为 M5 安装螺钉，安 装力矩为 20Kgf.cm。另外，加 速度传感器和钢套箍之间还可以用 J-39 胶粘剂粘，粘结工艺按胶接工艺清洗胶接面，对 大加速度的测量需计算胶接强度，最后钢套箍可直接通过螺丝包裹固定在斜拉索上，所有螺丝均涂有胶粘剂以防松动和腐蚀。

针对桥面加速度传感器布设采用如下布设方法，加速度传感器外部采用全密封钢盒结 构，可防水及其他腐蚀。该封装结构可以重新开启，以方便监测系统运营过程中的传感器检修。

(3) 其他种类传感器布设

风速仪、空气湿度传感器等传感器的施工现场布设，应根据各自监测要求与性能特点 采取防护措施。利用钢箱对传感器进行防潮、防水与防撞击保护，以确保传感器正常工作。

3.2 传感器编号

桥梁传感网络包括众多类型的传感器。需根据传感器布设方案按照一定规则为每一传 感器指定唯一编号。采用下述格式对传感器进行编号。

传感器编号=传感器类型编号+可测方向编号+监测截面编号+测点编号

应制作耐久性好，可防潮的传感器编号标签。确保在恶劣环境下，不会产生编号标签模糊的情况。通常应用碳素墨水笔书写标签，采用透明胶带制作防水即可满足要求。但是大量实践经验表明，由于大桥恶劣的施工条件会导致传感器信号线成束切断，这样会导致传感器位置信息大量丢失。为防止此极端情况发生，可以在制作传感器编号标签同时，纪录该传感器信号线的长度编号范围。该编号为信号线出厂时按每隔1米，标识在最外保护层的连续编号。这样即使信号线标签全部损坏，通过长度编号范围同样可以分辨出传感器编号，进行补救。

3.3 施工阶段传感网络保护

桥梁施工阶段需在每一监测截面设置信号线续接点。续结点布设在桥梁检修道位置处。在竣工阶段传感网络集成前，截面内传感器信号线在信号线续接点保护放置。截面布设的传感信号线长度不要过长，长度够引入信号线续接点后冗余1.5m即可。混凝土构件传感网络保护比钢构件复杂，下面只针对混凝土构件传感网络保护进行阐述，钢构件相关工作基本一致。

施工阶段传感网络保护任务是将传感器精确埋设到预定监测位置以及混凝土构件浇注完毕后，确保构件内传感器与信号线完好，将信号损耗控制在最小范围内。将引出信号线集中放置在信号线续结点进行可靠保护。该阶段信号线保护工作可以划分为两部分。

(1) 被浇注于混凝土构件中的信号线保护。采取以下保护措施：将截面内各测点信号线集束后，紧贴构造钢筋下部固定。这样可以避免人员的踩踏与浇注混凝土的冲击；在信号线容易产生锐弯曲的部分，额

外搭接辅助钩筋以达到固定效果；在信号线混凝土构件引出段，预埋 7~12cm 直径钢管。在钢管下端口处做好防漏浆处理，避免砂浆上涌致使管内信号线粘连；提高施工方现场人员的认识。

(2) 混凝土构件中引出的信号线保护。在预埋钢管附近设置预埋件，待混凝土浇注完毕后在钢管外部采取木盒保护；利用铁丝可以将木盒固定于预埋件上。1.5m 冗余信号线放置在钢管内部。钢管上端口要严格密封。这样防止万一木盒破坏，钢管内 1.5 米信号线仍然能够满足防护要求。木盒与钢管即为信号线续接点保护结构。当信号线引入续接点后，在混凝土浇注前，应利用传感器采集装置对各传感器信号进行检测，对不合格传感器进行及时补救。

3.4 竣工阶段传感网络集成

竣工阶段传感网络集成任务是在桥梁竣工阶段将各截面信号线续接点内信号经信号线集中引入位于子监测系统的监控室内。传感网络所有出现的信号线接头采用焊接方式连接，以保证信号传输质量。具体措施如下：

利用耐久性好的铁盒预埋在信号线续接点处，在该处进行信号线续接的焊接操作。确保每个焊接点质量合格。在铁盒内做好焊接点保护。预埋铁盒可以在桥梁运营阶段较为方便打开，有利于日后传感网络检修与维护。预埋铁盒与中控室之间传输段采用铠装信号线，外部用钢线桥盒进行保护。

3.5 监控室设计

为保护在大桥恶劣工作环境下工作的监测系统各数据采集与调理

仪器设备，本方案在桥北侧合适位置布设一间现场监控室。由于大桥自然环境恶劣，全年温差与湿度非常容易对采集仪器设备造成损伤。且监控室内环境封闭，计算机等设备很容易造成室内温度过高。根据实际条件可在监控室内布设仪器设备机柜、可控空调以及通风设施，保证室内环境满足仪器正常工作要求。同时应考虑设置 UPS 不间断电源，保护仪器设备。

四、其他

除本设计图提出的技术要求外，其他施工质量和精度应符合 JTJ041-2000 的要求。

其他未尽事宜应符合《公路工程质量检验评定标准》（JTG F80/1-2004）、《公路桥涵施工技术规范》（JTJ041-2000）的要求。