

铁路大型站房结构健康监测经济研究

孙劲松

长江沿岸铁路集团股份有限公司, 湖北 武汉 430000

[摘要]随着城市化进程的加速,铁路大型站房作为城市交通的重要组成部分,一般具有大体量、大空间的特点,其结构健康监测对于确保运营安全至关重要。本篇文章对国内铁路大型站房结构特点进行分析,在其基础上对结构健康监测提出需求,以某铁路大型站房为例,提出了结构健康监测系统设计方案,监测对象包括结构应力、应变、振动等参数,探讨了监测系统的设计与实施,分析了监测数据的处理与分析方法,实现了对结构的安全预警和状态评估,计算了健康监测费用,在经济性方面提出了优化监测方案的建议。

[关键词]铁路大型站房;结构健康监测;监测系统设计;数据处理与分析

DOI: 10.33142/ec.v7i11.14217

中图分类号: U293.2

文献标识码: A

Economic Research on Structural Health Monitoring of Large Railway Station Buildings

SUN Jinsong

Yangtze River Coastal Railway Group Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430000, China

Abstract: With the acceleration of urbanization, large railway station buildings, as an important component of urban transportation, generally have the characteristics of large volume and large space. Structural health monitoring is crucial to ensure operational safety. This article analyzes the structural characteristics of large railway station buildings in China, and based on this, puts forward the demand for structural health monitoring. Taking a large railway station building as an example, a design scheme for a structural health monitoring system is proposed. The monitoring objects include structural stress, strain, vibration and other parameters. The design and implementation of the monitoring system are discussed, and the processing and analysis methods of monitoring data are analyzed. The safety warning and status assessment of the structure are realized, and the health monitoring cost is calculated. In terms of economy, suggestions for optimizing the monitoring scheme are proposed.

Keywords: large railway station buildings; structural health monitoring; design of monitoring system; data processing and analysis

引言

随着我国铁路建设的飞速发展,以铁路站房为主体的大型综合交通枢纽迅速增加^[1],这种大型综合交通枢纽作为铁路运输的重要节点,不仅承担着旅客直接参与铁路运输的重要任务,同时还是连接城市内外交通的重要枢纽,综合交通枢纽的综合站房一般具有大体量、大空间的特点^[2],结构健康监测技术经过长期发展,已成为预防重要结构发生安全事故的有效手段^[3],因此有必要建立完整的结构健康监测系统来保障这类大型交通枢纽在前期施工以及后期运营过程中的安全性和稳定性,在结构出现异常受力状态或处于危险时及时发出报警,以便采取相应的应急措施降低人员和财产损失。

目前,学界已有许多学者对铁路客站结构健康监测开展了相关研究。罗尧治^[4]等利用自主开发的无线应力传感监测系统,对杭州铁路东站大面积站房钢结构施工阶段的应力进行监测;赵中伟^[5]等利用 ANSYS 有限元分析软件对于家堡交通枢纽站房的施工过程进行了数值模拟,并对施工过程进行了监测,确保了整个施工过程的安全和顺利进行;车珮瑶^[6]等针对重庆西站的结构特点进行了健康监测

方案的设计,方案包括为屋盖内力、振型、变形、风速、高架层的竖向舒适度、承轨层的梁振动参数和东站房重点区域内力和振动等,通过此健康监测系统提高了服役后车站结构的可靠度;范伟^[7]针对徐州东站采用自动化数据采集系统和人工断点采集相结合的方式建立一套集三维可视化动态监测与预警服务软件系统为一体的健康监测系统,同时基于监测数据对徐州东站建筑结构安全性进行了分析;李凌峰^[8]通过 MIDAS 软件,利用生死单元法模拟得到了最适合太原南站的分段分块吊装施工方法;汪永平^[9]利用 ANSYS 软件对芜湖市高铁站房屋盖的半结构进行了施工过程模拟,得到了钢桁架屋盖系统在 6 种工况下的位移和应力情况,得出在施工过程中,屋盖系统在卸载工况下出现最大压应力和最大竖向变形,并对该站的施工过程进行了监测;此外,还有诸多学者^[10-12]对站房损伤识别做了相关研究,同时也提出了高铁站房监测传感器优化布置建议^[13-14]。

目前学界针对铁路站房结构健康监测的成果已有颇多,但针对铁路站房结构健康监测经济性的研究鲜有文献报道,因此本文依托于我国某铁路大型车站结构健康监测

方案开展经济性研究,旨在分析大型交通枢纽结构健康监测投资组成,得出其经济指标,为类似铁路站房结构健康监测提供经济性参考。

1 结构健康监测方案设计

1.1 工程概况

某高铁高架车站站场总规模为16座站台30条到发线,主要办理我国西南地区客车作业。站房范围高程1920~1940m,铁路车场中心里程轨顶设计标高为1942m。该站建筑工程由客运用房、辅助生产生活用房、站台雨棚、高架落客平台等组成,车站建筑总面积为33.74万m²,主要包括站房建筑面积超过12万m²,无站台柱雨棚约7.7万m²,出站层换乘空间约7万m²。本工程抗震设防烈度为8度,相应的设计基本地震加速度值为0.20g,水平地震影响系数为0.16。

本方案主要针对站房的承台、承轨层、高架层、主站房屋盖、南雨棚和幕墙等关键部位进行监测,具体监测内容包括应力、应变、振动等参数,主要使用的传感器有温度计、钢筋应力计、振弦式裂缝计、静力水准仪、加速度拾振器与振弦式表面应变计。

1.2 承台监测

承台是一种大体积混凝土结构,应采用相应的技术措施妥善处理温度差值,合理解决温度应力并控制裂缝开展,因此采用预埋温度计的方式对承台大体积混凝土的温度随位置、时间的变化情况进行监测,温度计布置如图1所示。

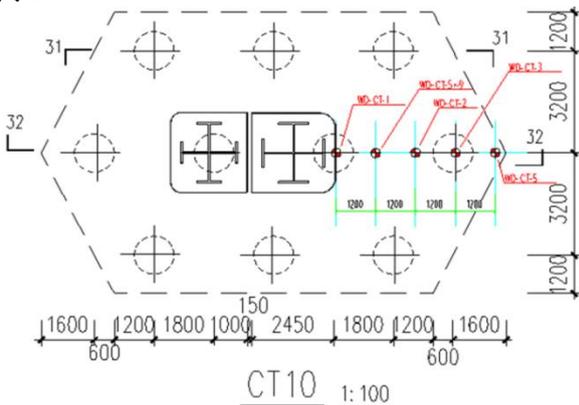


图1 桩基承台温度测点布置

由图可知,本次监测选取E轴交8轴的桩基承台(CT10)进行温度监测,温度计竖向布置5行,间距为660mm;水平布置5列,间距1200mm,WD-CT为交点。温度计安装在木制支架上,且与混凝土紧密接触,不与钢筋接触。

1.3 承轨层监测

承轨层的监测内容主要包含三个方面,分别为承轨梁的内力、振动监测及变形缝变形监测。承轨层顺轨方向承轨梁截面、跨度较大,为了监测承轨梁的内力及工作状态,选取5根承轨梁,利用钢筋应力计和振弦式裂缝计监测其

钢筋应力和裂缝开展情况;承轨梁在列车通过时会产生振动,其振动加速度大小直接影响到旅客的舒适度,故利用加速度拾振器监测其振动加速度大小;而变形缝两侧的竖向变形不能太大,否则会影响列车的运行,利用静力水准仪测定变形缝两侧柱竖向位移的大小,从而可以得到相对位移和绝对位移,各项传感器布置如图2所示。

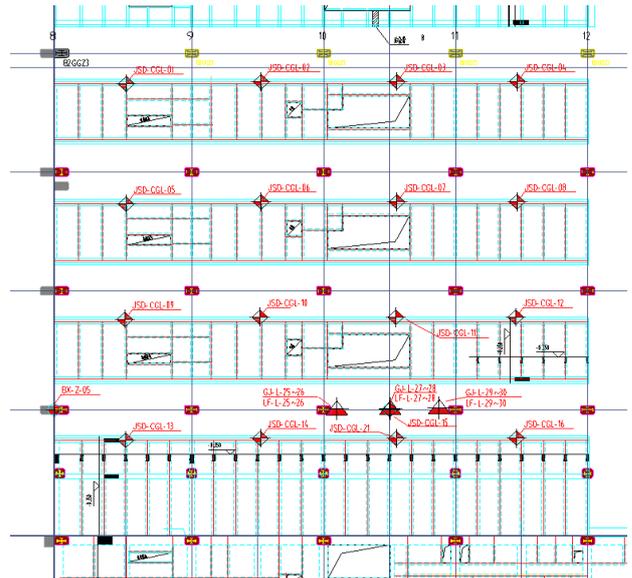


图2 承轨层部分测点安装平面图

由图可知,钢筋应力计布置在10轴~11轴交E轴、J轴、N轴、S轴、U轴的5根梁中,每根梁支座(上部)、跨中(下部)3处布置,每处布置2个,共计30个钢筋应力计;振弦式裂缝计布置与钢筋应力计相近,两类元件成对布置;加速度拾振器布置在梁的跨中,位置为8轴~12轴交E、F、G、H轴侧边承轨梁和10轴~11轴交F轴、J轴、N轴、S轴、U轴侧边承轨梁,共计布置21个加速度拾振器;静力水准仪布置在变形缝上,即8轴、15轴交B轴、E轴、K轴、P轴、T轴、X轴,每点布置2个传感器,共计24个静力水准仪。

1.4 高架层监测

高架层的监测内容也包含三个方面,分别为高架层混凝土板内力监测、高架层大梁振动加速度监测和高架层下部型钢混凝土柱内力监测;为监测高架层的混凝土板在使用阶段的受力和工作状态,选取一块板利用钢筋应力计和振弦式裂缝计监测其钢筋应力和裂缝开展情况;高架层上候车人员较多,在列车经过时大梁的加速度峰值较大,严重影响到旅客的舒适度,因此把加速度拾振器布置在大梁上监测振动加速度大小;高架层下部型钢混凝土柱承受的荷载较大,实际使用时应及时掌握柱内力大小变化情况,因此采用振弦式表面应变计测试型钢应变,进而计算出应力的变化情况,传感器布置如图3所示。

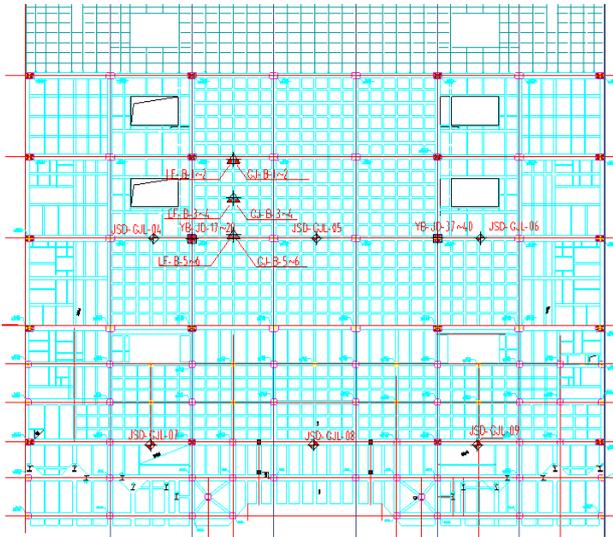


图3 高架层部分测点安装平面图

由图可知,与承轨层内力监测类似,共计布置6个钢筋应力计和振弦式裂缝计、9个加速度拾振器;而振弦式表面应变计则在10轴、13轴交E轴、J轴、M轴、Q轴、T轴的柱表面,每根柱在四边布置4个应变计,共计40个振弦式表面应变计。

1.5 主站房屋盖监测

主站房屋盖监测内容同样也分为三个部分,分为主站房钢结构屋盖桁架内力监测、屋盖振动响应监测和下部型钢柱截面变形监测。与高架层监测类似,利用静力水准仪和振弦式表面应变计监测主站房钢结构屋盖桁架内力,利用加速度拾振器监测屋盖振动响应,利用振弦式表面应变计监测下部型钢变形,传感器布置如图4所示。各项内容共计使用63个振弦式表面应变计、13个静力水准仪和18个加速度拾振器。

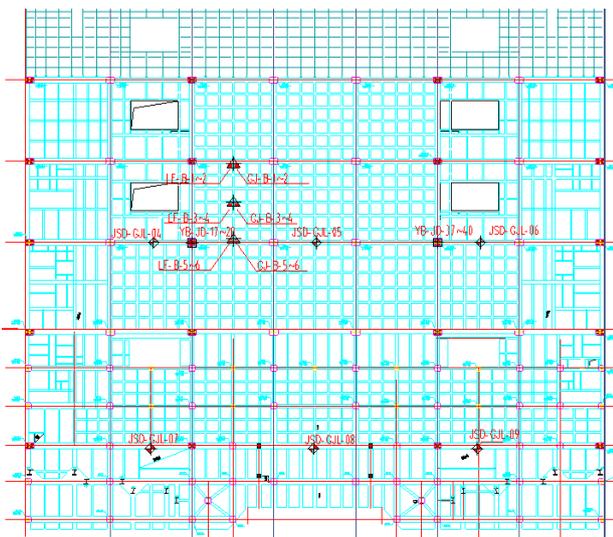


图4 主站房屋盖部分测点安装平面图

1.6 雨棚及幕墙监测

雨棚在使用时需关注雨棚柱与梁的受力及工作状态,因此在雨棚柱、雨棚支承梁上焊接表面应变计用于监测其应变变化,共使用12个振弦式表面应变计;立面幕墙暴露在阳光下,不同时间段温差较大,会产生温度变形和温度应力,故使用振弦式表面应变计监测应力,利用静力水准仪监测竖向位移的变化,两种传感器的布置均根据现场实际选取等间距的7个测点进行布置,共计使用7个振弦式表面应变计和7个静力水准仪。

2 健康监测系统经济性分析

本文所涉及的健康监测费用根据地方造价计价规则进行编制,其建筑安装工程费用汇总表如表1所示。由表可知,按照地方计价规则,采用地方工程定额编制的单项概算建筑安装工程费用由直接工程费、措施费、管理费、利润、其他项目费、规费和税金组成,其中直接工程费包括传感器、数据采集仪及线材的购置和安装调试等,主要设备费用如表2所示,主要使用设备按材料计列,编制期材料价格采用当地市场调查价计列。为确保监测数据的准确性和可靠性,监测系统采用了较多传感器,因此本项目中直接工程费用占比较高,约占总投资的83.9%。措施费主要包含通用措施费和专业措施费,本项目中仅按通用措施费中安全防护文明施工措施费计列,措施费约占总投资的3.8%;管理费与利润按照地方计价规则均人工费总和为基数计列,费率分别为25%和16%,在本项目总投资中的占比分别为3.3%和2.1%;规费由工程排污费、工程定额测定费、社会保障及住房公积金和危险作业及意外伤害保险费组成,本项目仅计列社会保障及住房公积金和危险作业及意外伤害保险费,社会保障及住房公积金的取费基数也为人工费总和,费率为26%,而危险作业及意外伤害保险费的取费基数为直接工程费、措施费、其他项目费、管理费与利润之和,费率为0.2%,规费约占项目总投资的3.6%;税金按照《某省住房和城乡建设厅关于调整建安工程造价税金计算系数的通知》规定,以直接工程费、措施费、其他项目费、管理费、利润与规费之和为基数计算,税率按3.48%计列,占项目总投资的3.4%;此外,本项目因不涉及相关内容,因此其他项目费和大型临时设施费均未计列。本次某大型站房结构健康监测深化设计预算总额为376万元。

综上所述,高铁站房健康监测系统的经济性虽受多种因素影响,但其中最主要的投资仍集中在直接工程费上,尤其是传感器的购置和传感器、采集仪的安装调试等关键环节,投资占比已超过80%,后续类似工程控制投资成本,应重点考虑监测方案的合理性,在保证精度和可靠性的前提下,优化设备选型和工程实施方案,降低直接工程费用,从而有效控制总投资。同时,针对措施费、管理费及税金等成本,通过精细化管理,实现费用的合理分配与利用,

以控制项目的投资总额。

表 1 建筑安装工程费用汇总表

序号	费用名称	费率 (%)	费用金额(元)
1	直接工程费	/	3159291
1.1	人工费	/	491082
1.2	材料费	/	2643528
1.3	机械费	/	24681
2	措施费	4.48	141536
3	其他项目费	/	/
4	管理费	25	122771
5	利润	16	78573
6	规费	/	134686
6.2	社会保障及住房公积金	26	127681
6.3	危险作业及意外伤害保险费	0.2	7004.
7	税金	3.48	126563
8	建安工程造价	/	3763420

表 2 主要设备费用表

材料名称	单位	数量	单价 (元)	合价 (元)
塑料软管	kg	1668	12.33	20566.44
半圆头螺钉	套	19968	0.25	4992
地脚螺栓	套	1713.6	1.33	2279.09
汽油	kg	198	9.245	1830.51
电线管	m	8240	34	280160
铜芯绝缘导线	m	32400	12	388800
保护盒	个	304	100	30400
数据采集系统	台	1	300000	300000
服务器	台	1	50000	50000
监控设备	台	1	100000	100000
295 个测试原件	套	1	25000	25000
静力水准仪	台	44	7000	308000
软件集成开发	套	1	80000	80000
振弦式测缝计	个	36	5000	180000
表面振弦式应变计	个	122	3000	366000
振弦式温度钢筋应力计	个	36	3000	108000
加速度拾振器	台	48	8000	384000
温度计	个	9	1500	13500

3 结论与展望

本文通过对国内某铁路大型车站结构健康监测系统的设计与实施过程进行详细阐述,展示了该系统在大型交通枢纽结构健康监测中的应用效果。实践证明,该系统能够准确、全面地反映车站结构的健康状况,为车站的安全

管理提供了有力的技术支撑。然而,随着技术的不断发展,结构健康监测系统仍需进一步完善和优化。未来,我们可以进一步探索新型监测技术、提高数据处理和分析能力、优化预警机制等方面,以提高系统的监测精度和效率。站房健康监测系统的经济性受多种因素影响,直接工程费占比较大,实施过程中,在保证准确可靠的前提下,不断优化监测方案、设备选型等,以达到技术经济的有机统一。

[参考文献]

- [1]杜彦良,张浩,刘伯奇.大型铁路客站结构健康监测现状与发展思考[J].铁道标准设计,2023,67(3):10.
 - [2]牛莉,吴建平.铁路大型站房结构体系对工程投资的影响研究[J].铁路工程造价管理,2012,27(1):1-3.
 - [3]韩志伟.铁路客站大型复杂结构健康监测研究与思考[Z].铁道部工程设计鉴定中心,中铁二院工程集团有限责任公司.2011 中国铁路客站技术交流会议论文集[c].北京:中国铁道出版社,2012.
 - [4]罗尧治,刘钝,沈雁彬,等.杭州铁路东站站房钢结构施工监测[J].空间结构,2013,19(3):3-8.
 - [5]赵中伟,陈志华,王小盾,等.于家堡交通枢纽站房网壳施工仿真分析与监测[J].建筑结构学报,2015,36(1):136-142.
 - [6]车珮瑶,王纲.高铁站房结构健康监测方案设计[J].铁道建筑技术,2023(3):74-76.
 - [7]范伟.徐州东站健康监测系统建立及应用研究[J].铁道建筑技术,2022(10):207-211.
 - [8]李凌峰.太原火车南站复杂大跨钢结构施工过程受力分析与监测[D].太原:太原理工大学,2012.
 - [9]汪永平.大跨度空间钢结构施工过程模拟及监测[J].中华建设,2016(11):122-125.
 - [10]赵海涛.铁路站房疲劳累积损伤评估与寿命预测[D].大连:大连理工大学,2021.
 - [11]鲍华.ANSYS 一阶优化技术在损伤识别中的应用探讨[J].建筑科学,2020,36(11):116-123.
 - [12]黄祖光,申兆武,陈艳春.铁路站房结构损伤与传感器故障识别研究[J].铁道工程学报,2017,34(5):78-82.
 - [13]鲍华.高铁站房屋盖层传感器布置及参数识别研究[J].建筑科学,2021,37(5):28-36.
 - [14]沈磊,张小福,李庆,等.高铁站房健康监测中传感器优化布置研究[J].建筑科学,2021,37(1):75-81.
- 作者简介:孙劲松(1974.11—),男,毕业院校:西南交通大学,所学专业:铁道工程,当前就职单位:长江沿岸铁路集团股份有限公司,职务:主任部员,职称级别:高级工程师。