高速铁路预制梁场的沉降观测与控制

陈 换 宁，　张 达 志，　任 小 强，　刘 明 辰
（中国水利水电第五工程局有限公司，四川 成都　610066）

摘　要：沉降观测在高速铁路预制梁场的整个建设、生产过程中至关重要。结合雄商高铁临清制梁场的建设，通过对观测点和水准点的设置、观测方法的选择、数据整理的分析及控制的阐述，旨在为预制梁场的建设提供稳定、安全可靠的数据支持，以保证工程的施工质量。

关键词：大型临时设施；沉降观测；数据分析；精度；雄商高铁；临清制梁场
中图分类号：U215；U215.1；U215.7　　**文献标志码**：B　　**文章编号**：1001-2184(2024)增 2-0009-04

Settlement Observation and Control of the High-speed Railway Precast Beam Yard

CHEN Huanning, ZHANG Dazhi, REN Xiaoqiang, LIU Mingchen
(Sinohydro Bureau 5 Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610066)

Abstract: Settlement observation is crucial in the entire construction and production process of the high-speed railway precast beam construction yard. Combined with the construction of the Linqing precast beam yard of the Xiongshang High-speed Railway, this paper provides stable, safe and reliable data support for the construction of the precast beam yard through the observation point and level point setting, observation method, data analysis and control, so as to ensure the construction quality of the project.

Key words: Large temporary facilities; Settlement observation; Data analysis; Accuracy; Xiongshang High-speed Railway; Linqing precast beam yard

1　概　述

雄商高铁 XSZQ－08 标段途经山东省聊城市东昌府区，全长 33.461 km。其中桥梁长度为 31.658 km，共设桥梁 2 座，路基 1.807 km，站场路基 1 座，其简支梁施工采用梁场集中预制、铁路专用架桥机架设的方式，标段共设梁场 1 座，位于临清市刘垓子镇境内，占地面积达 13.78 hm^2，承担着雄商铁路 908 榀箱梁的预制与架设施工任务。梁场设制梁区、存梁区、辅助生产区、装梁区及办公生活区五大部分，其中包括制梁台座 16 个，双层存梁台座 112 个，900 t 搬梁机 2 台、900 t 架桥机 1 台、900 t 运梁车 1 台，80 t 龙门吊 4 台、HZS180 拌和站 2 座。其梁型为双线简支梁，设计使用年限为 100 a，采用 C50 混凝土，梁长主要以 32.6 m 为主，部分 24.6 m 的梁长用于调跨，箱梁截面高度为 3.032 m，桥面宽度为 12.6 m，箱梁的最大自重约为 790 t。

笔者依托雄商高铁 XSZQ－08 标临清制梁场沉降的研究，通过对关键部位进行沉降全过程分析、研究和预测，了解沉降的变化趋势，确定沉降的控制措施，指导预制梁场的建设。其主要监测项目包括制梁台座的沉降、存梁台座的沉降、拌和站基础的沉降、门式起重机基础的沉降、提梁机基础的沉降等。

收稿日期：2024-06-12

2　观测实施技术的研究

2.1　建立水准控制网

高程控制网采用国家二等水准测量。根据国家二等水准测量的精度要求，其高程控制网使用控制网分级观测、逐级控制的方法布设。根据梁场施工的需要，依托首级控制网 CPⅠ、CPⅡ进行加密的原则，在梁场布设加密点作为补充。加密后的水准点（含工作基点）间距不大于 200 m。一般情况下，控制网的整体复测周期为 6 个月一次；观测过程中发现水准点（含工作基点）不稳定时首先应查明原因，再立即进行全网或局部复测，最后明确判定水准点（含工作基点）的沉降情况。

2.2　设置水准基点

对于水准基点，若梁场靠近线路，则可直接使

用线路交桩后的水准基点 CPⅠ、CPⅡ等；若梁场远离线路，则需要在梁场稳定且宜保存的地点设置水准基点。

2.3　观测点的布设及基本要求

(1)制梁台座。每个制梁台座由三条钢筋混凝土条基浇筑而成，其条基端头位置对称布设 L 型观测标，标头距离条基地面 300 mm 并漏出条基面 200 mm，每个台座共设置 6 个观测点。

(2)存梁台座。箱梁的存梁台座主要由桩基础、承台、存梁墩组成，其观测点分别设在台座的侧面和承台的顶面，每个台座布置有四个存梁墩，每个存梁墩侧面设一个长 20 cm 的观测标。

(3)拌和站基础。将拌和站基础观测点埋设于粉料罐基础承台侧面，每侧设 6 个沉降观测点。拌和站基础沉降观测点设置情况见图 1。

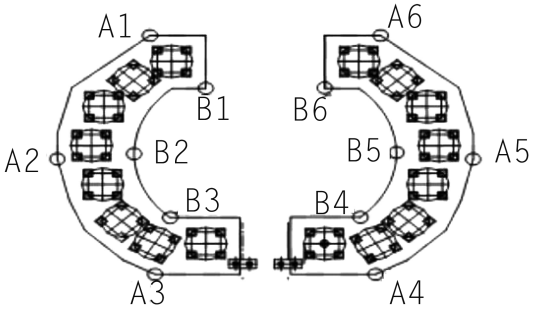

图 1　拌和站基础沉降观测点设置示意图

(4)门式起重机与提梁机基础。将门式起重机、提梁机基础的沉降观测点布设于轨道基础或轨道顶面，统一编号并作出标识；一般每隔 20 m 设一个断面。对于门式起重机基础，在其每一个断面左右侧各布设一个观测点。对于提梁机基础，在其每一个断面左右侧各布设两个观测点。

2.4　沉降观测等级及精度要求

(1)外业观测限差。水准测量计算取位情况见表 1，二等水准测量限差情况见表 2。

(2) 沉降变形测量等级及监测网主要技术要求见表 3、4。

(3)内业平差。内业平差采用三维平差，限差设置为二等水准，所有闭合环均要求在限差之内，最后输出内业平差后的高程结果以及平差值、残差；同时，采用同济大学测量平差软件 Adjustlevel 进行检核。

2.5　观测实施的基本要求

(1)沉降观测路线采用闭合水准路线或附和水准路线，观测路径中所需要的水准点数量不少于 2 个。

(2)观测时采用后-前-前-后的观测方式，采用徕卡 DNA03 电子水准仪按以下顺序进行。

往测：奇数站后-前-前-后

偶数站前-后-后-前

表 1　水准测量计算取位表

项目 等级	往(返)测 距离总和 /km	测段距离 中数 /km	各测站高差 /mm	往(返)测 高差总和 /mm	测段高差中数 /mm	水准基点高程 /mm
一等水准	0.01	0.1	0.01	0.01	0.1	0.01
二等水准	0.01	0.1	0.01	0.01	0.1	0.01

表 2　二等水准测量限差表

等级	仪器 类别	视线长度 /m		前后视距差 /m		任一测站上前后 视距差累积 /m		视线高度 /m		数字水准仪 重复测量 次数
		光学	数字	光学	数字	光学	数字	光学 (下丝读数)	数字	
二等	DSZ1、DS1	≤50	≥3 且≤50	≤1.0	≤1.5	≤3.0	≤6.0	≥0.3	≤2.80 且≥0.55	≥2 次

注：下丝为近地面的视距丝。对于几何数字水准仪，其高端视线高度限差中的一、二等允许达到 2.85 m；相位法数字水准仪重复测量次数可以为表 2 中数值减少一次，所有数字水准仪在地面震动较大时，应随时增加测量的次数。

表 3　沉降变形测量等级及监测网主要技术要求表

沉降变形测量等级	沉降位移测量	
	沉降变形点的高程中误差 /mm	相邻沉降变形点的高程中误差 /mm
三等	±1.0	±0.5

表 4　沉降监测网的主要技术要求表

等级	相邻基准点高差中误差 /mm	每站高差中误差 /mm	往返较差附合或环线闭合差/mm	检测已测高差较差 /mm	使用仪器、观测方法及要求
三等	1.0	0.3	$0.6\sqrt{n}$	$0.8\sqrt{n}$	徕卡 DNA03 电子水准仪，按《国家一、二等水准测量规范》二等水准测量的技术要求施测

返测：奇数站前-后-后-前

偶数站后-前-前-后

(3)使用徕卡 DNA03 电子水准仪，按照国家二等水准精度施测，其各项限差按《国家一、二等水准测量规范》GB/T 12897－2006 的要求执行。水准观测前，对水准仪的 i 角误差进行检测，要求 i 角值小于规范规定(≤15 s)，只有在满足要求的前提下才能进行正式观测。通过检查得知：相关情况良好，满足要求，可以进行观测。

(4)观测过程中，应避免阳光直射仪器；需要时应对仪器打伞，扶持人需要使标尺气泡居中。在同一条线路的往返测过程中，其仪器、水准尺、尺垫需配套使用，仪器的限差设置、观测成果必须符合现行的相关国家规范及铁路行业标准。

(5)各测站架设仪器时，应使水准仪的两个脚螺旋与线路方向平行，将第三个脚螺旋置于线路方向的左右侧。

(6)观测过程中，应选用 3 kg 以上重量的尺垫并将尺垫在地面上踩实、避免尺垫下沉，将水准尺立于尺垫上，由扶持人利用撑杆将水准尺扶稳，使水准尺的气泡居中，观测路线中的路面需硬实牢固。观测过程中，若遇到容易出现震动的地方应避免架设仪器；如果临时出现不稳定因素时，应确认该因素消失后方可进行测量。

2.6　观测时间及变形沉降要求

(1)制梁台座的沉降。制梁台座的沉降观测按周期进行，一个周期为每次混凝土浇筑之前观测一次，浇筑完后第 2 d 观测一次、梁体移出台位之后当天观测一次。当同一台座一个周期的观测期间内 6 个观测点的累计沉降量≤2 mm 时即可以判定该台座已稳定，之后每一个月观测一次并进行核对。

(2)存梁台座的沉降。存梁台座的沉降观测在台座未投入使用前观测一次，在梁体存放后观测一次。存梁期间按照存梁后第 1、3、5 d 观测一次，之后，每隔一周观测一次。如果连续 3 次观测，每个存梁墩的累计沉降量≤2 mm，即可判定该存梁墩已稳定，之后每一个月观测一次并进行核对。

(3)拌和站基础的沉降。在粉料罐存储胶凝材料前进行首次观测；存储胶凝材料后对基础进行观测，之后连续 5 d 进行观测；当连续 3 d 沉降量≤2 mm 时将其改为每周进行一次沉降观测；如果连续三周的沉降量≤2 mm，则将其改为每月进行一次沉降观测；如果在每个观测阶段其沉降量均超过 5 mm 时，则应继续按该频次进行观测。

(4)门式起重机基础的沉降。在门式起重机使用前，对其基础进行首次观测；使用时待其连续观测 3 d 沉降量≤2 mm 后，改为每月观测一次；如果在每个观测阶段其沉降量均超过 2 mm 时，继续按该频次进行观测。

(5)提梁机基础的沉降。提梁机的沉降观测在提梁机未投入使用前观测一次，在提梁机使用后观测一次，使用期间按照使用后第 1、3、5 d 观测一次，之后每隔一周观测一次。如果连续 3 次观测每个沉降观测点的累计沉降量≤2 mm，即可判定该提梁机基础已稳定，之后每一个月观测一次并进行数据核对。

2.7　观测数据的处理

(1)外业数据平差计算。首先对外业测量时输入的点号进行检查，设置已知水准点的高程和限差，搜索闭合环，计算闭合差，如有超限时应检查原因，待其全部合格后进行平差计算得到每个监测点的高程和中误差。检查中误差是否超限，合格后输出平差结果。各监测点的中误差宜控制在 0.3 mm 以下，其中 0.1 mm 以内的数据成果可评定为优，0.1～0.3 mm 的数据成果评定为合格，中误差超过 0.3 mm 时需进行返工，将评定合

格的数据进行数据汇总。

2.8　成果分析及资料整理

(1)观测结束应及时导出观测数据，对原始数据进行平差整理，并根据数据得出每个观测点本次的沉降量和累计沉降量。

(2)依据表格整理后的观测数据建立沉降观测 T－S 曲线图。其横坐标为时间，纵坐标为累计沉降量，利用表格中的折线图将统计表中的观测数据以坐标轴的形式体现出来，即得到对应的沉降观测 T－S 曲线图。

(3)根据沉降观测 T－S 曲线可以预测沉降趋势，将沉降情况及时反馈给施工现场用于正确指导施工，并且需要在提梁机、龙门吊等沉降较大的基础上增加观测频次。根据对沉降观测成果曲线进行分析后确定出影响梁场沉降观测的主要因素，旨在为后续的沉降控制和编制施工组织设计提供依据。

3　注意事项

(1) 水准点使用前应对其进行全面检查。首先检查基准点是否被破坏；如果已被破坏应及时与设计人员进行沟通重新做点，重新复测以确保点位的稳定性，并与设计移交的基准点 CPI 和相邻标段的基准点执行联测，对数据进行复核，以确保基准点数据的准确性。

(2)测量人员应在使用精密三角测量仪器前检查该仪器是否完好，应当对所采用的设备进行校准，待校准处理工作完善后方能确保其精度真正达到高铁测量的要求。笔者经长期实践发现：精密三角高程测量设备的精度应当维持在 0.5″之上。在此之后，需要将反射棱镜摆放在重要位置，以确保实际安装工作的数据精度处于合理的区间(通常需要维持在 0.1 mm)。假如所使用的设备不能满足相关标准要求，必须对所使用的设备展开反复校准，方能确保测量精度。

(3)夏季中午温度较高时应尽量不进行测量；如果时间紧、必须观测时，其观测过程一定要对仪器打伞以避免阳光对仪器的直射，待仪器成像清晰、稳定时再读数。测量过程一定要避免望远镜直接对着太阳。

(4)观测过程中所使用的仪器设备必须一致，这样操作可以减小观测系统出现的误差，提高测量的精度。所采用的观测路线和方法必须固定，采用附合或闭合观测路线。观测过程中必须使用固定的工作基点(CPⅠ或 CPⅡ)对应水准点进行观测。实行“五固定”，即：“固定水准基点；固定人；固定测量仪器；固定观测环境条件；固定观测路线和方法”，以提高观测数据的准确性并严格执行测量双检制度。

(5)观测期间，对水准点采取有效的保护措施以防止观测点被破坏；观测标预埋时应采用混凝土浇筑，并对观测标位置作法律保护等标识牌以保证观测标的长期、有效使用。

(6)沉降观测应按照规定的时间和频次要求严格执行，定期复测。当出现异常情况时，应及时上报并查明原因。重测时应首先分析基准点的稳定性，必要时进行基准点的联测检验。

(7)电子水准仪测量完毕，由专用的储存卡进行数据下载，原始数据不可随意更改。

4　结　语

随着高速铁路建设不断发展，预制梁场的建设受到越来越多的关注。在预制梁场施工过程中，沉降观测是一项必不可少的施工步骤。笔者通过研究得出以下结论和建议：

(1) 梁场的施工过程必须对重要的监测提供一个安全、可靠的施工环境，尤其是对制、存梁台座的监测。

(2) 通过对实际工程的测量监测以及对现场测量到的数据进行分析得出结论，旨在为梁体预制提供良好的环境，彰显出高铁预制梁场中沉降测量的重要性。

(3) 在梁场施工测量时，首先应保证首级控制点和观测点的精确性，通过测量对现场情况有足够的了解和把控，同时选择适合的测量仪器和计算软件以确保测量数据的准确性。

(4)在沉降观测过程中，相关技术人员必须高度重视，选择先进的观测设备，采用科学的观测方法不断对沉降观测技术进行改进和完善，以确保沉降观测工作的顺利开展，为预制梁场施工提供可靠的数据支持，以保证工程的施工质量和使用安全。

(下转第 34 页)

后的强度及其影响因素进行了详细分析并得出以下结论:

(1)随着龄期的增大,泥浆絮凝土的含水率迅速减小直至稳定,密度逐渐增加,泥浆絮凝土的黏聚力和内摩擦角均逐渐增大,其抗剪强度有所提高,且泥浆絮凝土的抗剪强度与含水率呈负相关关系,与密度呈正相关关系。

(2)絮凝泥浆土的抗剪强度与絮凝剂种类的选择有一定的关系。不同种类的絮凝剂脱水效率不同,其中单独投加质量比为 5%的 CPAM 或组合投加质量比为 3%的 PAC 和 4%的 NPAM 获得的絮凝泥浆土的强度较高。

(3)泥浆絮凝土的抗剪强度与土工袋种类的选择有一定的关系,但不同类型的土工袋对脱水前期的泥浆土强度影响不大。笔者建议:选择强度较大的编织土工布可以增加土工袋装泥浆的整体强度。

(4)在基桩施工产生的废弃泥浆中添加絮凝剂后装入土工袋可以使其快速脱水,且其 28 d 后的絮凝泥浆土工程性质可以较好地满足进一步工程应用的要求,可在压实、稍作处理后用于路基填筑等工程。

参考文献:

[1] 曾照波,郭航燕.复合固化材料固化泥浆无侧限抗压强度研究[J].黑龙江科学,2021,12(24):56-58,62.

[2] 庞锋.高含水率泥浆絮凝脱水影响因素试验研究[J].现代交通技术,2023,20(3):1-5.

[3] 张伟. 絮凝剂提高疏浚泥浆泥水分离性能研究[D].合肥工业大学,2019.

[4] 邓晓. 模袋絮凝土在大砂袋围堰中的应用研究[D].重庆交通大学,2019.

[5] 贺佐跃,李红中,陈万里,梁立农,李钊,杨志军,黄林冲,杨飞,袁炳祥.水泥对珠三角地区泥浆抗剪强度参数的影响分析[J].中外公路,2021,41(1):237-242.

[6] 肖建勇,严伟,乔世范,等.干密度与含水率对标准砂抗剪强度的影响研究[J].铁道科学与工程学报,2023,20(10):3789-3797.

[7] 吴敏,黄英豪,尹洪斌,等.典型无机絮凝剂对疏浚泥浆絮凝效果及出水水质影响研究[J].2023,45(1):79-83.

[8] 张亚英.含水率对土体抗剪强度影响研究[J].江西建材,2023,43(9):32-33,36.

[9] HanC,XieH,Bai B ,etal. Influence of Some Key Parameters on the Efficiency of Flocculation-Solidification-Filter Press Combined Method for Sustainable Treatment of Waste Mud Slurry[J]. Sustainability, 2023, 15 (21):32-34.

[10] 孔转葵.无纺土工布在河道整治工程中的应用[J].中国水运,2023,45(12):87-88.

作者简介:

张达志(1990-),男,甘肃环县人,工程师,学士,注册安全工程师,从事高速铁路工程建设施工技术与管理工作.

(编辑:李燕辉)

(上接第 12 页)

参考文献:

[1] 张志刚.高层建筑施工中沉降观测技术[J].科技创新与应用,2016,16(30):256.

[2] 张柳.自动化监测技术在高速铁路沉降监测中的应用[J].资源导刊·信息化测绘版,2021,51(9):27-29,33.

[3] 崔建彪,陈志兰,牛志宏.高铁线下工程桥墩沉降观测与分析[J].测绘地理信息,2013,38(1):43-45,48.

[4] 谢光宇.对高速铁路桥梁沉降观测技术的应用探讨[J].科学时代,2014,22(12):235-237.

[5] 石振军.顶管施工技术在水利工程中的应用[J].科技创新导报,2018,15(8):40,42.

作者简介:

陈换宁(1991-),男,宁夏固原人,工程师,学士,从事铁路工程施工技术与管理工作;

张达志(1990-),男,甘肃环县人,工程师,学士,国家注册安全工程师,从事高速铁路工程建设施工技术与管理工作;

任小强(1982-),男,四川成都人,副高级工程师,学士,从事工程测量工作;

刘明辰(2000-),男,河南焦作人,技术员,从事铁路工程测量工作.

(编辑:李燕辉)