

长大桥梁养护指南 第7部分：监测控制网 布设及观测技术

Guide for maintenance of long and large bridges—Part 7: Layout and observation
technology of control network for monitoring

2024 - 04 - 15 发布

2024 - 05 - 15 实施

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 控制网布设 2

 4.1 一般规定 2

 4.2 平面控制网 2

 4.3 高程控制网 3

 4.4 控制网数据处理 3

5 永久观测点布设 4

 5.1 一般规定 4

 5.2 永久观测点布置 4

 5.3 永久观测点埋设 5

6 观测精度 5

 6.1 观测准备 5

 6.2 技术要求 5

7 观测方法 6

 7.1 观测条件 6

 7.2 测量方法 6

8 数据处理 7

 8.1 数据整理 7

 8.2 变形分析 7

9 观测成果 7

 9.1 检查验收 7

 9.2 成果报告 7

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是 DB34/T 3703《长大桥梁养护指南》的第7部分。DB34/T 3703 已经发布了以下部分：

- 第1部分：结构安全监测系统布设指南；
- 第2部分：机电系统维护管理指南；
- 第3部分：定期检查工作验收；
- 第4部分：健康监测系统数据库架构设计标准；
- 第5部分：健康监测报警阈值设定；
- 第6部分：大跨径索承桥养护技术；
- 第7部分：监测控制网布设及观测技术。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由安徽省交通控股集团有限公司提出。

本文件由安徽省交通运输厅归口。

本文件起草单位：安徽省交通控股集团有限公司、安徽皖通高速公路股份有限公司、安徽交控道路养护有限公司、安徽省交通勘察设计院有限公司、安徽省交通规划设计研究总院股份有限公司。

本文件主要起草人：王卫彬、赵先民、汪族仁、连俊峰、杨洋、孙晓伟、王阔昌、崔珊珊、许杰、黄荣军、许小金、袁晗、蒋家君、黄贺洪、陈亮、倪巍、郑倩雯。

长大桥梁养护指南 第7部分：监测控制网布设及观测技术

1 范围

本文件规定了运营期长大桥梁监测控制网布设、观测点布设、观测精度、观测方法、数据处理及观测成果等内容。

本文件适用于运营期长大桥梁监测控制网布设及观测，其它桥梁控制网布设及观测亦可参照使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 12897 国家一、二等水准测量规范
GB/T 18314 全球定位系统 (GPS) 测量规范
GB/T 24356 测绘成果质量检查与验收
GB 50026 工程测量标准
JGJ 8 建筑变形测量规范
JTG/T 3650-02 特大跨径公路桥梁施工测量规范
JTG 5120 公路桥涵养护规范
JTG/T 5122 公路缆索结构体系桥梁养护技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

变形监测 deformation observation

在桥梁运营期内，对桥梁构筑物的水平位移、垂直位移、倾斜等变形量进行的周期性测量。

3.2

永久控制点 permanent control point

满足桥梁运营养护而埋设的能够长期保存并使用的测量标志，包括平面控制点和高程控制点。

3.3

工作基点 operating control point

在桥梁运营期观测点测量时，作为能够直接测定观测点的稳定控制点。

3.4

永久观测点 permanent observation point

设置在桥梁上，其变化值能反映其变形特征并且能够长期保存和观测的测量标志，包括水平位移观测点和垂直位移观测点。

3.5

重要观测点 key observation point

在桥梁永久观测点中，能反映桥梁运行状态的点，包含变形最大点、材质突变、截面尺寸突变处点等。

3.6

一般观测点 normal observation point

在桥梁永久观测点中，除重要观测点外的永久观测点。

4 控制网布设

4.1 一般规定

4.1.1 长大桥梁在运营期应建立监测控制网，控制网包括平面控制网和高程控制网。

4.1.2 桥梁运营期监测控制网等级应符合表 1 的规定，其精度要求还应满足 GB 50026 中变形监测中的相关规定。

表1 桥梁控制网等级的选择

桥梁规模		控制网等级	
桥梁结构	单孔跨径 D (m)	平面控制网等级	高程控制网等级
悬索桥、斜拉桥	≥300	二等	二等
梁式桥、拱桥	≥150		
悬索桥、斜拉桥	<300	三等	三等
梁式桥、拱桥	<150		

4.1.3 控制网宜利用前期布设的控制点，当已有控制点不能满足运营期桥梁监测要求时，应新设或补设永久控制点，并与已有控制点或国家控制点进行联测。

4.1.4 永久控制点标石四周应设置隔离等保护措施，并进行外观整饰和编号。

4.1.5 控制网的平面坐标系统和高程系统宜分别采用 2000 国家大地坐标系和 1985 国家高程基准，其投影长度变形值应不大于 10 mm/km。当与已有控制网采用的坐标系不一致时，应建立与国家坐标系的转换关系。

4.1.6 控制网应在建成后 3 个月进行首次观测，待其稳定后每隔 2 年进行一次全面复测，在每期桥梁结构定期检查前需进行局部复测。当观测成果出现异常时，或当控制点受到地震、洪水、施工爆破等外界因素影响时，应及时进行局部或全面复测。

4.1.7 控制网复测应保持位置基准、方向基准、尺度基准和高程基准不变，宜采用相同类型相同精度的仪器设备。控制网复测精度和等级应与原控制网相同，复测方法及技术要求应与原控制测量保持一致。

4.2 平面控制网

4.2.1 运营期长大桥梁平面控制网的布设应首先考虑满足桥梁变形观测的使用及精度要求，控制网宜建立以一点一方位为基准的自由网。

4.2.2 长大桥梁主跨两端应分别设置不少于 3 个平面控制点，其中靠近轴线每岸宜布设相互通视 2 点，相邻控制点距离应大于控制点到最近桥梁主墩距离。当平面控制点不能完全满足桥梁观测需求时，可根据观测需要布设工作基点。

4.2.3 平面控制点布设应因地制宜，选择在地层稳定、便于保护的位置，同时要满足桥梁永久观测点测量要求。卫星定位控制点还应满足 GB/T 18314 中卫星接收机对卫星信号的要求。

4.2.4 平面控制点和工作基点均应设置强制归心观测墩，其对中误差不应大于 1 mm。标石形状及尺寸参见 GB 50026 中变形监测观测墩制作规格。

4.2.5 平面控制网的建立，宜采用卫星定位测量方法，或采用三角形网测量法，亦可采用上述方法中

的两种方法的组合方法。各等级控制网测量精度应满足表 2 的要求。

表2 平面控制网等级及主要技术指标

平面控制等级	相邻基准点的点位中误差	边长相对中误差	最弱边相对中误差	卫星定位测量		三角网测量	
				固定误差 a (mm)	比例误差系数 b (mm/km)	测角中误差 (")	测边相对中误差 (")
二等	±3.0mm	≤1/250000	≤1/120000	≤5	≤1	≤1.0	1/250000
三等	±6.0mm	≤1/150000	≤1/70000	≤5	≤2	≤1.8	1/250000

4.2.6 平面控制网观测方法及要求应满足 GB 50026 和 GB/T 18314 中相关要求。

4.3 高程控制网

4.3.1 高程控制网宜采用几何水准测量；跨越江河、峡谷等地区几何水准测量有困难时，可采用测距三角高程测量、GNSS 水准测量等方法施测。高程控制网应布设成附和路线或环形网。

4.3.2 长大桥梁主跨两端宜分别设置不少于 2 个高程控制点。桥轴线两侧宜分别设置高程控制点，相邻高程控制点距离宜在 100 m～300 m。当高程控制点不能完全满足桥梁观测需要时，可根据观测需要布设工作基点。

4.3.3 高程控制点应设在桥墩基础影响范围之外，距离桥墩离应大于 2 倍桥墩宽度，且应有利于长期保护和联测，同时还应考虑有利于 GNSS 水准测量。

4.3.4 高程控制点应埋设至稳固的基岩上，当覆盖层较厚时，可采用深埋水准标。高程工作基点可设在平面观测墩上。标石的规格及埋设方式应符合 GB 50026 规定。

4.3.5 高程控制网的等级，依次划分为二等、三等。其精度指标应符合表 3 的规定。

表3 高程控制网等级及主要精度指标

高程控制等级	相邻基准点高差中误差 (mm)	每高差中误差 (mm)	往返较差、附和或环线闭合差 (mm)	检查已测高差较差 (mm)
二等	≤0.5	≤0.15	$0.30\sqrt{N}$	$0.4\sqrt{N}$
三等	≤1.0	≤0.30	$0.60\sqrt{N}$	$0.8\sqrt{N}$

4.3.6 跨河水准测量可采用光学测微法、倾斜螺旋法、光电测距三角高程法或 GNSS 水准测量法，观测方法选择参照表 4 中相关规定执行，测量方法及要求应符合 GB/T 12897 中跨河水准测量的相关规定。

表4 跨河水准观测方法选择

观测方法	技术特征	跨越距离 (m)
GNSS 水准测量法	使用 GNSS 接收机和水准仪分别测定两岸点位的大地高差和同岸. 点位的水准高差，求出两岸的高程异常和两岸高差	≥3500
测距三角高程法	使用精密测角仪器对向观测，测定偏离水平视线的标志倾角；用测距仪量测距离，求出两岸高差	≤3500
经纬仪倾角法	使用两台经纬仪对向观测，测定水平视线上、下两标志的倾角，计算水平视线位置，求出两岸高差	≤3500
倾斜螺旋法	使用两台水准仪对向观测，用倾斜螺旋或气泡移动来测定水平视线上、下两标志的倾角，计算水平视线位置，求出两岸高差	≤1500
光学测微法	使用一台水准仪，用水平视线照准规板标志，并读记测微鼓分划值，求出两岸高差	≤500

4.4 控制网数据处理

4.4.1 控制网复测后，应对所有控制点进行稳定性分析和评定，判定方法按 JTG/T 3650-02 中基准点

稳定性分析要求执行。对不稳定的控制点，应进行原因分析，若不宜作为控制点使用，应予以舍弃并布设新的控制点。当控制点的复测成果与原控制成果较差满足规定限差要求时，宜采用平均值作为复测后成果。

4.4.2 控制网平差应采用严密平差方法，并进行精度评定。平差软件应使用通过国家计量鉴定或验算测试可靠的软件系统。

4.4.3 平差起算基准点应采用稳定性检验合格的控制点，平差方法应与其所采用的起算基准相适应。

5 永久观测点布设

5.1 一般规定

5.1.1 永久观测点应按照本规定及 JTG 5120、JTG/T 5122 的规定布设，永久观测点分为重要观测点和一般观测点。

5.1.2 永久观测点宜利用建设期布设的观测点，当建设期未设置观测点或观测点不满足桥梁监测要求时，应重新进行布设。

5.1.3 桥梁永久观测点布设时应充分考虑后期养护作业、铲雪除冰、交通事故等不利因素，观测点应牢固、可靠的安装在不易被破坏，便于长期观测的地方。

5.1.4 桥梁重要观测点处，宜增设监测类相关传感器，以方便进行数据比对检校。

5.1.5 桥梁管养单位宜对永久观测点进行信息化编码，并设置二维码。

5.2 永久观测点布置

5.2.1 桥梁永久观测点与一般观测点布设位置应符合表 5 的规定。

表5 桥梁永久观测点布设位置选择

项次	检查项目		重要观测点	一般观测点
1	梁式桥	桥面高程	跨中、L/4、支点、性质发生突变的截面（尺寸、材料）等控制截面	单幅桥梁不宜少于 2 条测线，每孔不宜少于 10 个点，纵桥向相邻两点距离不宜大于 35 m；
2		墩、台身变位	桥台侧墙尾部顶面的上、下游两侧	布置于墩、台身底部（距地面或常水位 0.5 m~2 m）、桥台侧墙尾部顶面的上、下游两侧各 1 点~2 点
3		墩、台身倾斜度	墩、台身底部（距地面或常水位 0.5 m~2 m）的上、下游两侧各 1 点~2 点	/
4		裂缝观测点	主要承重构件结构性超限裂缝处	其它构件结构性超限裂缝处
5	拱桥	拱轴线	拱顶、L/8、L/4、L/2、拱脚等控制截面	每孔不宜少于 18 个点，沿拱圈上、下游两侧拱肋中心处在拱顶、拱身、拱脚等控制截面布设
6		拱座变位	不宜少于 2 个点，布设于拱座上、下游两侧	/
7	缆索承重桥	索塔的变位 索塔倾斜度	1. 每个索塔的顶部上、下游两侧 2. 每个索塔的底部四角上、下游两侧	1. 每个索塔的顶部上、下游两侧宜各布设 1 个~2 个观测点 2. 每个索塔的底部四角上、下游两侧应各布设均不少于 2 个观测点（距底面或常水位 0.5 m~2 m 内的）
8		锚碇变位	锚碇四周角点及各边中点处	每个锚碇宜布设不少于 8 个观测点
9		主缆线形	主缆最低点和最高点处	1. 每跨每缆不宜少于 10 个点，沿索夹位置布设 2. 如采用三维激光扫描，反射视板安装间距不大于 16 m

表 5（续）

项次	检查项目		重要观测点	一般观测点
10	缆索承重桥	悬索桥索夹 滑移	桥塔侧第一对吊杆索夹处必各设 1 点	根据索夹螺杆紧固力检测情况增设观测点
11		索鞍与主塔 相对变位	主索鞍两端、散索鞍入端	/

5.3 永久观测点埋设

- 5.3.1 对既需要测定水平又要测定垂直位移的桥梁结构体，水平位移观测点和垂直位移观测点宜在同一点位布设。
- 5.3.2 水平位移观测点宜采用棱镜、反射片或标靶测量标志；垂直位移观测点宜采用棱镜、反射片或球头钢钉等测量标志。
- 5.3.3 永久观测点布设时应充分考虑后期养护作业、铲雪除冰、交通事故等不利因素，观测点应牢固嵌入桥梁结构中，还应便于长期保存和观测。

6 观测精度

6.1 观测准备

- 6.1.1 观测所需的仪器设备应按规定进行计量检定、校准或检验，其软件系统应通过测评或试验验证。当仪器设备发生异常时，应停止测量，再次检定。
- 6.1.2 观测前应进行控制网复测，控制网复测合格再进行观测点测量。变形观测应包括桥梁下部结构、上部结构及周围建（构）筑物的水平位移和垂直位移测量等。

6.2 技术要求

- 6.2.1 根据桥梁结构物测量精度要求，变形观测的精度应按照监测量的中误差小于允许变形值的 1/10~1/20 的原则进行设计。
- 6.2.2 垂直位移测量宜采用几何水准测量法观测；当测量点间距高差较大时，可采用测距三角高程法测量。测量要求满足 JGJ 8 规范要求，主要技术指标要求应符合表 6 的规定。

表6 垂直位移测量等级及主要技术要求

等级	相邻基准点 自差中误差 (mm)	每站高差 中误差 (mm)	往返较差或 环线闭合差 (mm)	检测已测 高差较差 (mm)	使用仪器、观测方法	测量对象
一等	0.3	0.07	$0.15\sqrt{n}$	$0.2\sqrt{n}$	DS05 型仪器，按国家一等水准测量技术要求	/
二等	0.5	0.15	$0.30\sqrt{n}$	$0.4\sqrt{n}$	DS05 型仪器，按国家一等水准测量技术要求	塔柱、墩台、 锚碇等沉降
三等	1.0	0.30	$0.60\sqrt{n}$	$0.8\sqrt{n}$	DS05 或 DS1 型仪器，按国家二等水准测量技术要求	拱座、主缆
四等	2.0	0.70	$1.40\sqrt{n}$	$2.0\sqrt{n}$	DS1 或 DS3 型仪器，按国家三等水准测量技术要求	桥面高程

注：表中n为测数。

- 6.2.3 水平位移测量宜采用全站仪极坐标法、GNSS 卫星定位测量法、交会法、距离差分法测量等，水平位移测量主要技术要求应符合表 7 的规定。

表7 水平位移测量等级及主要技术要求

等级	相邻基准点的点位中误差(mm)	平均边长(m)	测角中误差(″)	测边相对中误差	水平角观测测回数		适用范围
					0.5″级仪器	1″级仪器	测量对象
一等	1.5	≤300	0.7	≤1/300000	9	12	/
		≤200	1	≤1/200000	6	9	
二等	3	≤400	1	≤1/200000	6	9	塔柱、墩台、锚碇等偏位、倾斜
		≤200	1.8	≤1//100000	4	6	
三等	6	≤450	1.8	≤1/100000	4	6	/
		≤350	2.5	≤1/80000	3	4	
四等	12	≤600	2.5	≤1/80000	3	4	/

7 观测方法

7.1 观测条件

- 7.1.1 永久观测点测量可采用 GNSS 测量、极坐标法、精密测(量)距、导线测量、前方交会法、正垂线法、水准测量等方法。
- 7.1.2 长大桥梁各期的变形观测,应选择相同季节、大致相同的荷载和气象条件下观测,且应记录荷载、温度、气压、降水、风力及风向等相关气象因素。必要时应同步观测梁体和桥墩的温度、水位和流速等环境因素。
- 7.1.3 桥面线形测量时宜中断交通减小震动,塔顶偏位测量宜在风力小于 3 级的天气下测量。当观测条件难以满足时,也应选择在桥梁车辆通行量小、风力小的时段进行观测。
- 7.1.4 变形观测首期测量应至少连续进行两次独立观测,并取稳定观测结果的中数作为变形测量初始值。后每年不少于 1 次。当洪水、地震、强台风等自然灾害发生时,或遇船只碰撞等特殊情况时,应加密观测或持续观测。当桥梁有特定养护需求时,可根据需要适当增加观测次数。各期观测宜采用相同的观测网形、观测方法及相同精度指标的测量仪器,且观测人员宜相对固定。

7.2 测量方法

- 7.2.1 观测要求参照 JGJ 8 中要求执行,观测方法选择见表 8 的相关规定。

表8 观测方法选择

项次	观测项目	观测方法
1	桥面高程	水准测量、GNSS 测量、三维激光扫描、三角高程测量法,推荐采用水准测量法
2	墩、台身变位	水平位移:三角形网、极坐标法 垂直位移:水准测量、三角高程测量法
3	墩、台身倾斜度	经纬仪投点法、激光准直法
4	裂缝观测点	精密测距、裂缝计
5	拱轴线	三维激光扫描、三角高程测量,推荐采用三维激光扫描法
6	拱座变位	三角形网、极坐标法
7	索塔的变位	三角形网、极坐标法、GNSS 静态测量,推荐采用 GNSS 静态测量法
8	索塔倾斜度	经纬仪投点法、激光准直法

表 8（续）

项次	观测项目	观测方法
9	锚碇变位	水平位移：三角形网、极坐标法 垂直位移：水准测量、三角高程测量
10	主缆线形	GNSS 测量、三维激光扫描、三角高程测量法，推荐采用三维激光扫描法
11	悬索桥索夹滑移	精密测距
12	索鞍与主塔相对变位	精密测距

8 数据处理

8.1 数据整理

- 8.1.1 原始观测记录应及时检查、整理，对含有系统误差的观测值进行补偿改正，剔除粗差观测值。
- 8.1.2 变形观测数据的平差计算，应利用稳定的控制点作为起算点，计算所用观测数据、起算数据准确无误，应采用严密的平差方法和可靠的软件系统。
- 8.1.3 每期变形观测结束后，应依据测量误差理论和统计检验原理对获得的观测数据及时进行平差计算处理，并计算各种变形量。

8.2 变形分析

- 8.2.1 变形测量成果应和历年观测数据进行对比分析。重要观测点观测成果应与相同部位历史数据、监测数据及其它数据校验；一般观测点观测成果抽查校验。根据测量和对比成果绘制沉降曲线图和等沉降曲线图。
- 8.2.2 相邻两期监测点的变形分析可通过比较监测点相邻两期的变形量与测量极限误差来进行。当变形量小于测量极限误差时，可认为该监测点在这两期之间没有变形或变形不显著。
- 8.2.3 安装有健康监测系统桥梁，在测量完成后应与健康监测数据进行对比分析，判断数据采集的可靠性，并对健康监测数据进行必要分析，提出合理建议。
- 8.2.4 根据变形信息和荷载、地质、气象等相关影响因素的观测资料，对引起变形的原因作出分析和解释，并预报变形发展趋势。

9 观测成果

9.1 检查验收

- 9.1.1 对测量成果的质量应实行两级检查一级验收，两级检查中的一级检查和二级检查应分别由项目承担方的作业部门、质量管理部门实施，验收宜由项目委托方组织实施。
- 9.1.2 测量成果应在质量检查后编写质量检查报告。质量检查报告应包括检查工作概况、项目成果概况、检查依据、检查内容及方法、主要质量问题及处理情况、质量统计等级等内容。当质量检查中发现不符合项时，应立即提出处理意见并纠正，纠正后的成果应重新进行质量检查，直至符合要求。
- 9.1.3 测量成果验收应根据 GBT 24356 的要求，可采用抽样核查方式，测量成果质量验收应形成质量验收报告并评定质量等级。

9.2 成果报告

- 9.2.1 项目完成应及时对观测资料、成果资料进行整理、分类装订和归档。
- 9.2.2 测量成果提交应包含以下内容：
 - a) 技术设计书；

- b) 点之记及现场照片；
 - c) 仪器设备检验和检定资料；
 - d) 各项观测记录手簿；
 - e) 平差计算、成果质量评定资料及测量成果表；
 - f) 控制点稳定性分析图表；
 - g) 观测点变形分布图表；
 - h) 测量总结报告及检查验收报告。
-