

ICS 号
CCS 号

T/QHHS

青海省公路学会团体标准

T/QHHS XXXX-2025

大跨径钢管混凝土拱桥智能建造 施工规范

(送审稿)

2025-xx-xx 发布

2025-xx-xx 实施

青海省公路学会 发布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语与定义 1

4 一般要求 2

5 系统构成与功能 3

6 结构智能监测系统 4

7 环境智能监测系统 7

8 智能安全管理系统 8

9 系统验收 9

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》给出的规定起草。

本文件由青海省公路学会提出及归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

大跨钢管混凝土拱桥智能建造施工规范

1 范围

本文件界定了钢管混凝土拱桥施工技术的术语和定义，给出了对应的材料说明，并规定了缆索吊装与斜拉扣挂系统、拱肋节段制作与安装、管内混凝土灌注、其它构件施工及施工监控的技术要求。

本文件适用于青海省区域内公路钢管混凝土拱桥采用缆索吊装斜拉扣挂法的施工，市政相同类型桥梁参照执行。

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 175 通用硅酸盐水泥
GB/T 700 碳素结构钢
GB/T 1228 钢结构用高强度大六角头螺栓
GB/T 1229 钢结构用高强度大六角螺母
GB/T 1230 钢结构用高强度垫圈
GB/T 1231 钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件
GB/T 1591 低合金高强度结构钢
GB/T 1596 用于水泥和混凝土中的粉煤灰
GB/T 2970—2016 厚钢板超声检测方法
GB/T 3811 起重机设计规范
GB/T 5117 非合金钢及细晶粒钢焊条
GB/T 5118 热强钢焊条
GB/T 5780 六角头螺栓 C级
GB/T 5782 六角头螺栓
GB/T 6946 钢丝绳铝合金压制接头
GB/T 8110 熔化极气体保护电弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝
GB/T 9286—2021 色漆和清漆 划格试验
GB/T 9793 热喷涂 金属和其他无机覆盖层 锌、铝及其合金
GB/T 10045 非合金钢及细晶粒钢药芯焊丝
GB/T 10051.1 起重吊钩 第1部分：力学性能、起重量、应力及材料
GB/T 10433 电弧螺柱焊用圆柱头焊钉
GB/T 12470 埋弧焊用热强钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝—焊剂组合分类要求
GB/T 14370 预应力筋用锚具、夹具和连接器
GB/T 14684 建设用砂 GB/T 14685 建设用卵石、碎石
GB/T 14957 熔化焊用钢丝
GB/T 16762 一般用途钢丝绳吊索特性和技术条件
GB/T 17493 热强钢药芯焊丝
GB/T 18046 用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉
GB/T 20067 粗直径钢丝绳
GB/T 20118 钢丝绳通用技术条件
GB/T 27690 砂浆和混凝土用硅灰
GB/T 28264 起重机械 安全监控管理系统
GB/T 28756 缆索起重机

T/QHHS XXXX—2025

GB/T 30826 斜拉桥钢绞线拉索技术条件
GB/T 31052.6 起重机械 检查与维护规程 第6部分：缆索起重机
GB/T 37400.12 重型机械通用技术条件 第12部分：涂装
GB 50026 工程测量标准
GB/T 50081 混凝土物理力学性能试验方法标准
GB 50119 混凝土外加剂应用技术规范
GB 50205 钢结构工程施工质量验收标准
GB 50923 钢管混凝土拱桥技术规范
JGJ 63 混凝土用水标准
JT/T 523 公路工程水泥混凝土外加剂
JT/T 722 公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件
JT/T 819 公路工程 水泥混凝土用机制砂
JTG 3363 公路桥涵地基与基础设计规范
JTG/T 3650 公路桥涵施工技术规范
JTG/T 3650-01 公路桥梁施工监控技术规程
JTG/T 3650-02 特大跨径公路桥梁施工测量规范
JTG/T 3651 公路钢结构桥梁制造和安装施工规范
JTG/T D64-01 公路钢混组合桥梁设计与施工规范
JTG/T D65-06 公路钢管混凝土拱桥设计规范
JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程
JTG F90 公路工程施工安全技术规范
YB/T 5295 密封钢丝绳
DB45/T 2280 公路桥梁施工监控技术规程
DB45/T 2522 桥梁缆索吊装系统技术规程

3 术语与定义

下列术语与定义适用于本文件。

3.1

施工监控

控制钢管混凝土拱桥施工过程的结构状态,实现成桥结构内力状态与几何状态目标而进行的控制分析计算、施工监测、数据分析与反馈控制等工作的总称。

3.2

控制分析计算

为获得钢管混凝土拱桥施工过程结构内力状态和几何状态,对钢管混凝土拱桥进行的设计符合性计算、施工模拟计算和施工跟踪计算等。

3.3

智能建造

指在工程建设全过程中,融合建筑信息建模(BIM)、物联网(IoT)、大数据、人工智能(AI)、云计算、数字孪生等新一代信息技术,实现项目设计、施工、运维等阶段的数字化、网络化和智能化的集成建造方式。

3.4

智能施工管理

指通过数字平台、传感器网络和算法模型,对施工进度、质量、安全、资源和环境等要素进行动态监测、分析和优化控制的施工组织与管理方法。

3.5

建筑信息模型

指以三维数字技术为基础，集成项目生命周期各阶段信息的工程数据模型，是实现智能建造的基础工具之一。

3.6

数字孪生

指利用多源数据、物理模型和仿真算法，在数字空间中构建与实体工程设施动态一致的虚拟系统，实现对工程状态的实时映射、评估与预测分析。

3.7

结构健康监测系统

指通过布设在桥梁结构上的各类传感器采集应力、变形、温度等数据，结合数据处理与分析系统，对结构运行状态进行实时监测与预警的系统。

3.8

智能安全管理系统

指综合应用视频识别、人员定位、危险源识别与预警等技术，对施工现场的安全风险进行主动监控与干预的系统。

4 一般要求

4.1 材料

所有材料选用应符合GB 50923—2013的规定。

4.2 制造加工

制造加工工艺应符合GB 50923—2013的规定。

4.3 施工

拱桥施工要求应符合GB 50923—2013的规定。

5 系统构成与功能

智能缆索吊装系统，主要有硬件监测、监控和软件运行计算、网络传输三大部分组成，并结合4/5G技术、zigbee、WIFI、cofdm连接的无线通信技术，利用“一平台四系统”总体构架和成拱线形技术，集安全监控、视频监控和远程后台于一体，实现对缆索索力、卷扬机运行状态、环境监控、锚碇位移的智能监控和智慧监管。

5.1 硬件监测及监控

5.1.1 智能传感器：在关键部位布设索力传感器、卷扬机编码器、锚碇位移监测装置、环境监测设备等，用于实时采集索力、运行速度、位移、风速、温度等施工参数。

5.1.2 GNSS/北斗高精度定位设备：安装于吊具、拱肋构件监测点，确保空间位置监测精度达到毫米级。

5.1.3 视频监控装置：对高风险区域进行全方位实时监控，具备存储、回溯、远程调阅等功能。

5.1.4 能源保障系统：配备太阳能电源及电池管理单元，确保在复杂施工环境下设备稳定运行。

5.2 软件运行计算

5.2.1 数据采集与处理：对硬件传感器采集的原始数据进行清洗、转换和融合。

5.2.2 实时分析与计算：基于施工方案和目标值，应用最优化算法对拱肋线形、吊装轨迹进行实时计算与调整。

5.2.3 智能预警与决策支持：建立参数阈值，当监测数据异常时自动发出报警并触发连锁保护；结合大数据分析仿真模型，提供施工控制的辅助决策。

5.2.4 人机交互与可视化：在本地控制终端和远程后台，实时显示施工状态、参数曲线、三维模型及施工进度，便于操作人员直观掌握施工情况。

5.3 软件运行计算

5.3.1 通信方式：采用 5G、Wi-Fi、zigbee、COFDM 等无线通信技术，结合有线以太网，实现多通道冗余传输。

5.3.2 传输架构：构建“本地控制平台—云服务器—远程 PC 端”三级架构，保障数据实时上传、存储和多方共享。

5.3.3 数据安全与加密：传输过程中采用多层加密与权限控制机制，确保数据完整性与安全性。

5.3.4 远程监管：通过云平台实现业主、监理、施工单位及技术专家多方同时访问与协同监管，支持移动端远程查看施工状态。

6 结构智能监测系统

结构智能监测系统是大跨径钢管混凝土拱桥施工智能控制的核心组成部分，其主要目标是通过传感器、数据采集与智能分析，实现对施工过程中关键结构状态的实时监测、动态预警与精准控制。

6.1 索力智能监测系统

6.1.1 传感器布置：在主索钢丝绳末端安装旁压式传感器，在牵引绳和起重绳转向滑轮处安装销轴式传感器。

6.1.2 数据采集与传输：传感器采集的索力数据通过无线或有线方式传输至本地监控主机，并实时显示在监控触摸屏上。

6.1.3 报警与保护：系统应设定索力阈值，当监测值超出预设范围时，自动触发预警和停机连锁功能，避免发生超载或断索事故。

6.1.4 监测功能：实现索力长期动态监测、数据存储及趋势分析，确保拱肋吊装过程的安全可控。

6.2 卷扬机运行监测系统

6.2.1 监测装置：在卷扬机卷筒端安装高精度编码器，输出 DP 信号至数据采集器。

6.2.2 监测参数：系统实时监控卷扬机的运行速度、出绳量、制动状态等核心参数。

6.2.3 控制与保护：当检测到卷扬机运行异常或超限时，系统应自动发出报警并采取保护措施，如紧急制动或停机。

6.2.4 数据管理：运行数据应同步存储于本地数据库，并上传至远程后台，实现全过程可追溯与多方共享。

6.3 成拱线形控制技术

6.3.1 监测布置：在拱肋构件关键点布设棱镜，由全站仪实时扫描，获取三维坐标。

6.3.2 数据比对：采集数据上传至云服务器，与施工方案中的目标值进行实时对比，分析拱肋空间姿态偏差。

6.3.3 最优调整：基于优化理论建立目标函数，对拱肋吊装姿态进行自动调整，实现松索成拱线形与目标线形的双重控制。

6.3.4 可视化反馈：在本地工控机和远程后台实时显示拱肋线形演变过程，支持施工人员直观掌握成拱精度。

6.3.5 精度保障：系统应保证拱肋吊装和合龙的毫米级精度，满足大跨径钢管混凝土拱桥施工的严苛要求。

7 环境智能监测系统

环境智能监测系统主要用于采集施工现场的外部环境参数，并将其与吊装、拱肋成型等施工过程相结合，进行实时分析和预警。该系统通过 GNSS 卫星定位、风速与风向监测、温度监测 等功能，确保施工作业在复杂自然环境条件下的安全性与可控性。系统的运行不仅能够提前发现潜在环境风险，还能施工组织提供科学的数据支持，提升施工安全管理与精细化管控水平。

7.1 GNSS 卫星定位系统

- 7.1.1 系统组成：采用高精度多模多频 GNSS 接收机，结合 5G 局域网模块和太阳能电源系统。
- 7.1.2 功能特点：实时采集吊具与构件的三维坐标，精度可达毫米级；将监测数据与设计目标值进行比对，指导吊装及定位；提供全程视频同步记录，确保定位监测无死角。
- 7.1.3 安全保障：当位移或空间姿态超出容许范围时，系统应立即触发报警。

7.2 风速、风向监测系统

- 7.2.1 监测参数：实时记录风速、风向及其变化趋势，精度应满足桥梁施工要求。
- 7.2.2 功能要求：当风速超过设定阈值时，系统应自动报警，并联动控制吊装设备暂停作业；风向突变时应实时提示，避免拱肋吊装过程中产生偏移或摆动。
- 7.2.3 数据管理：监测数据应形成曲线与报表，供施工组织和决策参考。

7.3 温度监测系统

- 7.3.1 监测布置：在施工区域布设温度传感器，对环境温度、构件表面温度进行实时监测。
- 7.3.2 监测内容：施工现场大气温度；钢管与混凝土构件表面温度；昼夜温差及其对结构线形的影响。
- 7.3.3 应用作用：为拱肋吊装、合龙温度预测提供基础数据；当温度超出施工允许范围时，系统应发出预警并提出施工调整建议；为后续拱桥长期健康监测提供环境参考数据。

8 智能安全管理系统

智能安全管理系统通过实时监测、风险预警和联动控制，实现施工全过程的安全防控。系统集成了人员定位、设备运行监控和视频识别等功能，能够在异常情况发生时及时报警并联动处置，保障施工安全。

8.1 风险监测与预警

- 8.1.1 人员安全：通过定位与视频识别，监控人员分布及安全防护状态。
- 8.1.2 设备安全：实时监控吊装、卷扬机等设备运行状态，异常时自动报警。
- 8.1.3 结构安全：结合索力与位移监测，对关键构件安全状态进行评估。

8.2 联动控制与应急响应

- 8.2.1 监测数据超限时系统应自动联动停机或限制运行。
- 8.2.2 应急情况下，系统可与现场广播、应急照明联动，保障人员快速撤离。

8.3 信息记录与追溯

- 8.3.1 所有监测和报警数据应形成完整档案；
- 8.3.2 系统应支持历史数据调取与事故溯源，为安全管理和后续改进提供依据。

9 系统验收

系统验收应在工程施工完成并经过试运行后进行，确保智能控制系统功能完善、运行稳定，满足本规范及相关标准要求。

9.1 验收依据

- 9.1.1 本规范及相关国家、行业标准；
- 9.1.2 工程设计文件及施工技术方案；
- 9.1.3 系统运行调试报告与试运行记录。

9.2 验收内容

- 9.2.1 功能验收：硬件监测、软件计算、网络传输、结构与环境监测、安全管理等子系统应运行正常，功能齐全。
- 9.2.2 性能验收：监测精度、数据传输延时、报警响应等指标应满足设计及规范要求。

9.2.3 安全性验收：系统应具备数据存储与安全防护措施，确保运行可靠。

9.2.4 可维护性验收：系统应提供操作手册、维护指南及人员培训记录。

9.3 验收程序

9.3.1 自检：施工单位完成系统安装调试后，应进行全面自检并提交报告；

9.3.2 预验收：由监理或建设单位组织预验收，提出整改意见；

9.3.3 正式验收：建设单位组织业主、设计、施工、监理及相关专家进行最终验收，形成验收结论；

9.3.4 备案：验收合格后，应形成完整档案，作为系统移交和后续运行管理的依据。
