

**T/CHCA XXX—202X**

**中国公路建设行业协会标准**

钢管混凝土拱桥吊杆更换技术规程

**Technical Specification for Replacement of Boom**

**of Concrete-filled Steel tubular Arch Bridge**

（征求意见稿）

**中国XX出版社**

中国公路建设行业协会标准

**钢管混凝土拱桥吊杆更换技术程**

**Technical Specification for Replacement of Boom**

**of Concrete-filled Steel tubular Arch Bridge**

**T/CHCA XXX—202X**

主编单位：中交第三公路工程局有限公司

批准部门：中国公路建设行业协会

实施日期：20××　年　×　月　1　日

**中国XX出版社**

20××　北　　京

前　　言

根据中国公路建设行业协会《关于公布2023年第二批中国公路建设行业协会标准立项评审结果的通知》（中路建协技发〔2024〕14号），由中交第三公路工程局有限公司承担《钢管混凝土拱桥吊杆更换技术规程》（以下简称“本规程”）的编制工作。

本规程的编制指导思想：总结提升成熟实践经验，贯彻落实国家新发展理念和新发展要求，坚持继承与弘扬，适应当地建设需要，推动钢管混凝土拱桥吊杆更换技术规范化规程化，因地制宜，群策群力，促进高质量，高水平建设。

本规程包括8章，分别为：1总则、2术语与符号、3吊杆更换前的检测与评定、4吊杆更换方案设计、5吊杆更换结构设计、6吊杆更换施工、7吊杆更换施工监控、8吊杆更换竣工测试与交工验收。

本规程由张晓东负责起草第1章，由佟涛、阳森负责起草第2章，由崔登云、王永利、郝大为、叶健飞负责起草第3章，由李准华负责起草第4章，由徐志民负责起草第5章，由杨贵佳、柯善鑫、宋茂辉、王志良负责起草第6章，由杨晓军、王书涛、江政律、金亚龙、卢超负责起草第7章，由周南、黄威然、张龙龙负责起草第8章。

请各有关单位在执行过程中，将发现的问题和意见函告本规程日常管理组，联系人：佟涛（地址：北京市顺义区鑫桥中路3号院3号楼，邮编：101304，电话：13240362088电子邮箱：1573209586@qq.com），以便修订时参考。

**主编单位：**中交第三公路工程局有限公司

**参编单位：**中交三公局工程设计研究院

中交三公局第六工程（河北）有限公司

中交公路规划设计院有限公司

浙江公科固桥工程有限公司

**主 编：**张晓东

**主要参编人员：**崔登云 王永利 王书涛 杨晓军 李准华 徐志民

杨贵佳 柯善鑫 宋茂辉 王志良 江政律 金亚龙

郝大为 叶健飞 佟 涛 阳 森 卢 超 周 南

黄威然 张龙龙

**主 审：**

**参与审查人员：**

1 总则 1

2 规范性引用文件 2

3 术语与符号 3

3.1 术语 3

3.2 符号 3

4 基本规定 4

5 吊杆更换设计 5

5.1 一般规定 5

5.2 设计内容 5

5.3 设计计算 6

6 吊杆更换施工 8

6.1 更换前的准备 8

6.2 吊杆更换施工组织设计 9

6.3 吊杆更换 10

6.4 吊杆更换施工质量控制 12

7 监测与控制 14

7.1 监控目的 14

7.2 监控目标 14

7.3 控制计算 14

7.4 监控内容 15

7.5 监控要求 16

7.6 吊杆内力调整监控 18

8 检验与验收 19

8.1 竣工测试目的 19

8.2 竣工测试主要内容 19

8.3 交工验收 19

9 安全与保护 21

9.1安全施工 21

9.2 环境保护 21

规程用词用语说明 22

# 1 总则

**1.0.1**  为规范和指导钢管混凝土拱桥吊杆更换的设计与施工，提升钢管混凝土拱桥吊杆更换工程的质量和安全性、技术先进性、经济合理性，制定本规程。

【条文说明】

钢管混凝土拱桥结构美观，适应性和跨越能力强，经济性能好，近20多年来在全国各地大规模建造。吊杆是该类拱桥的主要承重构件，受早期施工工艺、设计条件等因素的制约，部分桥梁存在吊杆防腐性能低、防腐工艺落后，吊杆内部锈蚀成为影响结构使用寿命和运营安全的重要因素之一，吊杆一旦出现断裂，后果极其严重。

**1.0.2** 本规程适用于各等级公路钢管混凝土拱桥吊杆更换工程。

**1.0.3** 钢管混凝土拱桥吊杆更换工程应积极稳妥推广应用可靠的新技术、新工艺、新材料、新设备。

**1.0.4** 钢管混凝土拱桥吊杆更换工程除应符合本规程的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

# 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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。

JTG/T H21 公路桥梁技术状况评定标准

JTG/T J21 公路桥梁承载能力检测评定规程

JTG/T J21-01 公路桥梁荷载试验规程

JTG/T J23 公路桥梁加固施工技术规范

JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准

JTG/T 3650 公路桥涵施工技术规范

JTG 5120 公路桥涵养护规范

JTG 5220 公路养护工程质量检验评定标准

JT/T 6 吊杆热挤聚乙烯拉索技术条件

CJ/T 297 桥梁缆索用高密度聚乙烯护套料

JT/T 449 公路悬索桥吊索

CJ/T 504 高密度聚乙烯护套钢丝拉索

JT/T 771 无粘结钢绞线吊杆技术条件

JT/T 850 挤压锚固钢绞线拉索

GB/T 699 优质碳素结构钢

GB/T 4237 不锈钢热轧钢板和钢带

GB/T 14370 预应力筋用锚具、夹具和连接器

GB/T 18365 斜拉桥用热挤聚乙烯高强钢丝拉索

GB/T 30826 斜拉桥钢绞线拉索技术条件

CJJ 2 城市桥梁工程施工与质量验收规范

CJJ 99 城市桥梁养护技术标准

# 3 术语与符号

## 3.1 术语

**3.1.1 钢管混凝土拱桥 concrete-filled steel tube（CFST） arch bridge**

以圆形钢管混凝土为基本单元所形成的拱肋为主要承重结构的桥梁。

**3.1.2 吊杆 suspender**

拱桥中连接主拱与桥面系的构件，一般可用钢丝索、钢绞线或钢丝绳制作。

**3.1.3 锚具 anchorage**

将索体的拉力传递到桥梁其他构件上所采用的永久性锚固装置。

**3.1.4 桥梁检测 bridge inspection**

对桥梁结构及其附属设施进行的现场检查、测试与记录描述并做出合格性评价。

**3.1.5 几何状态 geometry state**

桥梁结构或构件的高程、位置、线形、构形等。

**3.1.6 合理成桥状态 reasonable bridge state after completion**

桥梁成桥时结构受力合理的初始状态。

**3.1.7 施工监控 construction monitoring and control**

为控制桥梁结构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计算、施工监测、数据分析与反馈控制等工作的总称。

## 3.2 符号

[σ]—吊杆的应力（N/mm2）

ftpk—吊杆的抗拉强度标准值（N/mm2）

# 4 基本规定

**4.0.1** 钢管混凝土拱桥吊杆更换前应对桥梁各部件及相关构件进行检测，并对吊杆更换的必要性做出评定。

**4.0.2** 钢管混凝土拱桥吊杆更换时，除吊杆外相关构件如需加固补强，应同步进行加固设计，并应在吊杆更换施工前完成加固补强。

【条文说明】

钢管混凝土拱桥在多年运营后，除吊杆外其他构件同样可能存在大量的病害，其加固补强应同步设计并应在吊杆更换施工前完成相应的施工工作，避免病害严重的钢管混凝土拱桥在未加固的情况下进行吊杆更换施工而出现安全隐患或事故。

**4.0.3** 钢管混凝土拱桥吊杆更换工程的主要工作流程包括检测、设计、施工、监测、检验与验收等阶段。

**4.0.4** 新吊杆及构配件在进场时，应对其质量证明文件、包装、标志和规格进行检验，不符合要求，严禁入场。

**4.0.5** 吊杆更换施工过程中应采取必要的措施避免对既有结构造成损伤。

**4.0.6** 应对吊杆更换施工全过程进行监测。

**4.0.7** 吊杆更换工程宜遵循动态设计和施工的原则。

**4.0.8** 吊杆更换施工结束后宜进行荷载试验，检验桥梁承载力是否满足要求。

# 5 吊杆更换设计

## 5.1 一般规定

**5.1.1** 吊杆更换以提高承载能力、增强安全和耐久性为目标。条件允许时，可对原桥的内力及线形进行调整，使结构受力和桥面线形更趋合理。

**5.1.2** 吊杆更换设计宜根据技术复杂程度，采用初步（技术）设计和施工图设计两阶段设计。应急养护工程可按照经评审论证的技术方案组织实施。

【条文说明】

根据《公路养护工程管理办法》交公路发〔2018〕33号的第二十七条的相关规定“第二十七条　养护工程一般采用一阶段施工图设计。技术特别复杂的，可以采用技术设计和施工图设计两阶段设计。应急养护和技术简单的养护工程可以按照技术方案组织实施。”

钢管混凝土吊杆拱桥属于超静定结构，吊杆更换过程对拱肋等关键受力构件受力产生影响，属于技术复杂程度较高的养护工程，建议采取两阶段设计方式。

**5.1.3** 吊杆更换设计前，应收集桥梁设计、施工及运营期的资料。

1 原设计资料。包括原设计图纸、变更设计图纸及相关计算书等内容。

2 原施工及监理资料。包括材料试验报告、施工记录、监理资料等内容。

3 原施工监控资料。包括监控过程记录、监控总结报告等内容。

4 交竣工验收资料。包括成桥检测报告、竣工图纸及其说明、交竣工验收资料等内容。

5 桥梁运营期资料。包括运营检测报告（定期、专项检测报告等）、监测系统数据及分析报告、历史养护维修记录资料等内容。

**5.1.4** 更换设计应遵循“安全、经济、适用、耐久”的总体原则。

1、安全：确保更换施工过程中及更换后结构的整体稳定性和安全性满足要求，同时更换过程中不得损伤其他结构。宜同步考虑对无纵梁体系等进行安全冗余度提升加固。

2、经济：设计应进行多方案比选，控制工程成本，降低对交通的影响。

3、适用：设计方案应结合现场条件（如交通限制、空间限制等）合理制定，考虑施工的可行性。新吊杆的设计应满足吊杆抗疲劳、抗风稳定性的要求，并加强振动控制。

4、耐久：综合考虑吊杆的耐久性及后期维护需求，宜选择耐久性良好的吊杆材料和防护体系，根据桥梁所处环境条件（如干湿交替、海洋环境、工业污染区等），合理确定防腐等措施，保证吊杆在设计使用年限内性能可靠。

**5.1.65** 吊杆的更换时机应符合下列规定：

1 吊杆钢丝严重锈蚀或出现断丝，经评估无法继续使用。

2 拉索护套损伤严重且无法修复。

3 锚具破损、松动、锚固区存在结构性开裂且无法修复。

4 荷载增加或其他因素导致索力超出安全限值，且通过调索无法解决。

5 使用年限超过设计使用寿命，经评估后需要进行更换。

6 突发事件造成吊杆严重损伤的，如桥面火灾、车撞、地震等。

7 吊杆存在其他严重损伤且无法修复。

【条文说明】

对于损坏严重或超出安全限值的吊杆进行更换，吊杆常见的病害问题包括护套等防护层失效、钢丝腐蚀甚至断裂、锚头等锚固失效。对于更换时机的判别设计的因素很多，难以有统一的量化标准，目前较为合理的方法是通过专项检测结合评估计算进行确定。

## 5.2 设计内容

**5.2.1** 更换设计应以专项检测和检算评估为依据，对桥梁外观结构性缺陷、桥面及拱轴线形、拱座变位、吊杆（索）内力等进行综合评估。

【条文说明】

吊杆更换养护决策下达和设计开展应是以论证结论为依据，为了提高养护工作实施效率，可以合并在初步（技术）设计中开展。

**5.2.2** 吊杆更换设计应包括下列内容：

1 确定更换吊杆的数量和分布；

2 确定新吊杆的材料、规格等；

3 吊杆更换过程中所需的临时设施（临时支架、临时索、临时兜吊方案等）；

4 吊杆更换的顺序；

5 旧吊杆拆卸、新吊杆安装及张拉方案；

6 施工监控方案；

7 质量验收标准；

8 交通组织方案；

9 安全环保措施；

10 其他（动态调整要求等）。

【条文说明】

根据结构专项检测评估结果，确定更换吊杆的数量和分布。

病害严重（如严重锈蚀、断丝）、影响结构安全的吊杆必须更换；对于虽病害较轻，但考虑结构整体性和耐久性，也可综合评估后确定是否更换。

由于检测评估的局限性，当无法提供足够更换依据时，可考虑挑选部分吊杆进行试更换。对更换的吊杆进行试验，对其腐蚀状况、强度、抗疲劳性能等力学指标进行详细判定。

**5.2.3** 新吊杆的设计应符合现行桥梁设计规范和产品技术标准的要求。

**5.2.4** 新吊杆的规格、索力等应经过严格计算和设计，确保满足桥梁使用荷载的要求，原则上以原规格、索力为基准，必要时可根据线形和内力需求进行调整。

**5.2.5** 新吊杆的材料应选择耐腐蚀、高强度、低松弛的优质钢材，并考虑其长期抗疲劳性能。

【条文说明】

为了降低全寿命周期成本、提高桥梁的智慧化管养水平，鼓励试点应用碳纤维等新材料的吊杆或加装光纤传感器等新技术的吊杆。

**5.2.6** 新吊杆的设计使用年限应满足《公路桥涵设计通用规范》（JTG D60）的相关规定，不应低于20年。

**5.2.7** 桥面以上的吊杆应设置有效防护，其竖向防护高度应不小于2.5m。

【条文说明】

为了防止吊杆受到人为或车撞损坏，在桥面以上一定范围内对吊杆设置有效的防护措施。关键受力部位注意对火灾等灾害状况的防护。

**5.2.8** 吊杆更换设计应结合现场施工条件、施工技术水平、桥梁结构形式和交通条件，选择合适的吊杆更换施工方法，需综合考虑施工难度、施工安全、结构安全以及对交通的影响等因素进行综合比选。临时替代系统设计应满足以下要求：

1 在吊杆更换过程中，临时替代系统应能够承担原有吊杆的荷载。

2 临时替代系统的设置、数量、规格、承载力等应经过详细计算，确保其安全可靠。

**5.2.9** 更换设计应根据模拟计算结果确定合理的更换顺序。原则上应采用对称、均衡的方式进行更换，避免因吊杆更换顺序不当导致结构内力和变形突变。可根据计算分析结果和施工工艺特点，将吊杆更换过程划分为多个阶段。

**5.2.10** 吊杆更换设计应明确在施工过程中对桥面标高、拱肋应力等关键参数的监控措施，以及根据监控结果对吊索索力、桥面标高等进行调整的方法。

**5.2.11** 吊杆更换宜在中断交通下进行，当确需在不中断交通情况下进行吊杆更换的，施工时应对桥上交通实行三限(限速、限量、限载），实际通行方案应根据结构验算确定。

**5.2.12** 吊杆更换设计需要根据现场施工和监控反馈，满足动态调整的原则，考虑预留必要的调整空间。

## 5.3 结构计算

**5.3.1** 按照拟定的合理成桥状态，参考原设计内力、竣工运营期间的实测内力以及吊杆更换前实测内力，确定吊杆更换过程中各新吊杆的张拉力。

**5.3.2** 应以原设计采用的截面几何特征、结构材料特性、边界条件及荷载标准等进行吊杆更换前的结构检算，尽可能使其与现有桥梁的实际状态相接近，为后续吊杆设计和施工控制指标提供依据。

**5.3.3** 对拟定的不同换索顺序进行模拟计算：

（1）吊杆更换前状态；

（2）吊杆拆卸施工过程；

（3）新吊杆安装及张拉后状态。

**5.3.4** 各施工阶段及吊杆更换后的结构内力、变形、应力等应满足《公路钢管混凝土拱桥设计规范》（JTG/T D65）、《公路钢结构桥梁设计规范》（JTG D64）等现行规范的要求。

**5.3.5** 结构计算主要检算下列内容：

1 吊杆更换前后及各施工阶段的结构内力及应力；

2 吊杆更换前后及各施工阶段拱肋、主梁变形；

3 吊杆更换后及各施工阶段的局部构件应力分析；

4 吊杆更换后及各施工阶段的稳定性分析。

**5.3.6** 按照结构分析深度的要求，采用平面或空间结构计算程序进行结构分析，必要时对局部构件进行精细化分析。

# 6 吊杆更换施工

## 6.1 更换前的准备

**6.1.1** 根据工程施工的需要，应配备足够的机械设备和生产工具，千斤顶、油泵、卷扬机等机具和测力设备应按相关要求进行检定或校准。

【条文说明】

吊杆更换施工过程中用到的机械设备主要包括千斤顶、油泵、起重设备（吊车，卷扬机、手拉葫芦）等，生产工具主要包括手提砂轮切割机、焊机、氧割设备、柴油发电机、滑车组、钢丝绳等，在施工前应对机械设备和生产工具进行调试或测试，特种设备应进行相关培训并持证上岗。施工用千斤顶，油泵要进行配套标定，配套使用。其能力应大于吊杆更换所需要的最大张拉力，同时还要考虑施工时超张拉的需求，且在任何情况下均能满足施工安全的要求。使用的机具还要考虑到桥梁结构尺寸，确保机具有足够的操作空间。

**6.1.2** 吊杆更换施工前应择时测试全桥吊杆内力。

**6.1.3** 设置高程监测点，测量全桥高程。

【条文说明】

施工前对全桥高程及吊杆内力进行测定，期间必须中断交通。同时为了避免日照对吊杆力的影响，建议在夜间对全桥高程和吊杆内力进行测量。

**6.1.4** 对有病害的桥梁主要构件，必要时进行维修加固。

【条文说明】

为利于吊杆更换施工安全、顺利地进行，在更换吊杆前，对拱肋及纵横梁部分裂缝进行必要的加固处理，对桥面铺装的破损部位进行修复。

**6.1.5** 搭建吊杆更换施工操作平台及安全防护设施。

【条文说明】

吊杆更换施工操作平台包括两部分，一个是主拱肋上的，操作平台可以用架管搭设，采用在吊杆旁桥面上搭设临时支架的方法。主要作为新吊杆的张拉平台使用，该支架操作平台也可以作为新吊杆安装使用。支架搭设选用钢管，斜撑，剪刀撑必须在相应位置布设，支架搭设应与主桥连接，以保证支架的稳定性。二是吊杆下端的操作平台，可以利用原桥上的检修桁架车作为操作平台，但必须在下面安装防护网，供人员安装下锚梁、张拉设备及张拉用。

吊杆更换大部分工作属于高空作业，应采取有效措施，做好安全防护工作。施工过程中应落实施工监控，保障施工质量和人员安全。

**6.1.6** 施工单位应根据现场实际交通状况及施工方案编制交通组织专项方案和交通疏解应急预案，并及时通过各媒体发布交通导行方案。

【条文说明】

钢管混凝土拱桥吊杆更换施工周期根据吊杆数量和施工难易程度的不同，少则十几天多则几个月，在确保吊杆更换施工安全的前提下，需要对桥梁交通采用中断、部分中断或不中断交通的交通组织方式。特别是对于吊杆更换关键顺序，需要根据工序工艺及要求，对桥面交通进行车辆流量、车速、载重等进行交通管制。

## 6.2 吊杆更换施工组织设计

**6.2.1** 施工组织设计主要编制原则：

（1）应符合施工合同有关工期、质量、安全、环境保护及文明施工等方面的要求；

（2）优化施工方案，达到合理的技术经济指标，并具有先进性和可实施性；

（3）结合吊杆更换工程特点推广应用新技术、新工艺、新材料、新设备；

（4）推广应用绿色施工技术，实现节能、节材和环境保护；

（5）施工组织设计应由项目技术负责人主持编制，且必须经企业技术负责人批准，并加盖企业公章后方可实施，有变更时应及时办理变更审批；

（6）施工组织设计应做到科学合理、技术先进、费用经济。

【条文说明】

施工组织设计中关于工期、进度、人员、材料设备的调度，施工工艺的水平以及采用的各项技术安全措施等项的设计将直接影响吊杆更换工程的顺利实施和成本。要想保证工程施工顺利进行，工程质量达到预期目标，降低工程成本，使企业获得应有的利润，施工组织设计就必须做到科学合理、技术先进、费用经济。

**6.2.2** 施工组织设计主要编制依据：

（1）与工程建设有关的法律、法规、规章和规范性文件；

（2）国家现行标准和技术经济指标；

（3）合同文件；

（4）设计文件；

（5）地域条件和工程特点。

**6.2.3** 施工组织设计主要内容：

（1）编制依据；

（2）编制说明；

（3）工程概况；

（4）施工准备；

（5）施工技术方案；

（6）施工安全与环保措施；

（7）质量保证措施；

（8）交通组织措施；

（9）突发事件应急预案。

**6.2.4** 对技术复杂或危险性较大的分部分项工程，应根据结构特点和受力特性，制定安全可靠、技术可行、经济合理的专项施工方案。

【条文说明】

2018年3月8日住房和城乡建设部令第37号发布的《危险性较大的分部分项工程安全管理规定》，对技术复杂或危险性较大的分部分项工程，应制定安全可靠、技术可行、经济合理的专项施工方案。钢管混凝土拱桥吊杆更换施工技术复杂，安全风险大，因此应制定相应的专项施工方案。

钢管混凝土拱桥吊杆更换施工专项方案包括工作平台搭设，拱肋安全防护、旧吊杆拆除、新吊杆安装与张拉等内容。吊杆更换施工是在既有桥梁上进行旧吊杆拆除，新吊杆安装与张拉等一系列工序，旧吊杆在拆除过程中，技术难度高，安全风险大，尤其是在不中断交通的情况下进行吊杆更换施工，钢管混凝土拱桥处于缺吊杆的运营状态，需要制定详细的施工方案，确保结构安全。

## 6.3 吊杆更换

**6.3.1** 吊杆更换施工主要原则：

（1）更换吊杆时必须保证桥梁结构安全，不能因为更换吊杆而损坏桥梁其他构件，更换吊杆后桥梁仍能满足设计要求和运营要求；

（2）施工工序尽量少，施工方便，工期短，更换吊杆时尽量少占用桥面；

（3）新吊杆与锚具应按现行标准采用，避免出现以前病害，并有利于后期更换。

（4）方案应具有较强的可行性和较好的经济性。

**6.3.2** 吊杆更换施工方法包括直接更换法和临时替代法，应根据设计文件及现场实际情况合理选用。

【条文说明】

吊杆更换施工的主要难点是在保证其他构件安全的前提下，卸除该吊杆的内力，再将该吊杆的内力转移到新吊杆上。吊杆更换施工方法有直接更换法和临时替代法，直接更换法目前应用较少，仅适用于桥面系刚度较大的拱桥，对吊杆逐根进行更换，要求对施工工序和工艺严格控制。临时替代法相对安全、可靠，技术较成熟，可以进行多根吊杆的同步更换。临时替代法又包括临时支架法、临时吊杆法及临时兜吊法。临时支架法是指在吊杆横梁下方搭设临时支架，在支架上方靠近吊杆吊点位置设置千斤顶支撑横梁，保证吊杆更换过程中桥梁安全；临时吊杆法是指在准备更换的吊杆两边拱肋上设置三角垫块，安放临时钢导梁，通过4根高强钢筋穿过4根临时钢导梁，替代原吊杆；临时兜吊法类似于临时吊杆法，用高强度钢丝绳代替高强钢筋。

**6.3.3** 钢管混凝土拱桥单批吊杆更换施工，可按图6.3.3所示流程进行。



图6.3.3 吊杆更换施工工艺流程

**6.3.4** 临时吊杆法进行吊杆更换的主要施工过程分为旧吊杆的拆除和新吊杆的安装张拉。

【条文说明】

旧吊杆拆除的同时应进行临时吊杆的安装。先在临时吊杆对应的桥面上凿出4个圆孔，要求凿穿桥面铺装层和行车道板，将临时吊杆穿过圆孔与下吊点的工字钢固定。

搭设脚手架，清除更换吊杆处拱肋表面的涂料，清除面积需要满足三角垫块的尺寸。在安装三角垫块的拱肋处涂抹胶水，并施加一定的压力，使其与拱肋紧密连接，不致因受力而滑落，同时应保持三角垫块上部水平。使用胶水之前，建议先进行试验，确保胶水提供的摩阻系数满足设计要求。然后在三角垫块上安装吊点，上吊点的孔位应与下吊点孔位保持在同一铅垂线上，以使临时吊杆竖直受力。

凿除封锚混凝土时，事先应查看桥梁的竣工图纸，了解原有锚具的确切位置，避免破坏拱肋中的受力主筋，凿出的锚坑大小应严格按照施工图纸的规定，尽量减小因为更换吊杆对拱肋面积的削弱。

切断原有吊杆时，因为吊杆处于拉应力状态，故钢丝极容易突然崩断导致事故，因此可用软质材料绑紧吊杆起到阻尼作用。钢丝分批切断后，应尽快对临时吊杆进行加载。

在转换临时吊杆与新吊杆力的时候，应注意卸载的4根临时吊杆力的总和应等于加载的新吊杆力，4台千斤顶应同步工作，保持每根临时吊杆受力均匀。同时，在原有吊杆完全拆除和新吊杆安装完毕期间，对桥面高程的变化应进行监测，发现超出控制范围应尽快采取措施。

新吊杆安装一般有以下6个步骤：（1）拧出吊杆上端螺母，装到待穿吊杆的预留孔道槽内；（2）启动卷扬机，将牵引钢丝绳由待穿吊杆的拱上预留孔道放下；（3）将牵引绳的连接头与吊杆上端的锚杯相连接；（4）再次启动卷扬机，缓慢将吊杆牵引向上，穿出拱肋预留孔道，拧上上端螺母；（5）卸下牵引连接头；（6）在系梁下面拧上下端螺母。

新吊杆张拉一般有以下5个步骤：（1）在拱肋及支架上搭设张拉工作平台；（2）按顺序安装撑脚、减震块、张拉杆、千斤顶、张拉螺母；（3）启动油泵，缓慢加压，开始张拉，达到设计标高立即停止张拉，同时对临时吊杆逐步卸载；（4）拧紧螺母；（5）当一端螺母顶面调节至锚杯尽头，桥面仍没达到设计标高时需改在另一端锚头处调节螺母至设计要求。

**6.3.5** 完成全桥吊杆更换后，根据桥面高程监测结果，对部分吊杆进行二次调索张拉。

**6.3.6** 吊杆所有张拉工序完成后，须进行防腐及维护。

【条文说明】

新吊杆张拉到位后，及时拆除上下吊点，对露出拱肋外的吊杆锚内灌注防腐油脂，外部加装防水罩和锚头罩，防止渗水和腐蚀；对外露的锚头罩、防水罩和锚垫板应进行防腐处理，并应满足相应规范要求。对凿穿的车行道板内的钢筋在施工后应用新钢筋进行焊接补强，新吊杆更换完成后，应立即浇筑封锚混凝土。

## 6.4 吊杆更换施工质量控制

**6.4.1** 钢管混凝土拱桥吊杆更换施工应严格遵循吊杆更换方案设计、结构设计、及相关桥梁设计与施工规范的要求。

**6.4.2** 新吊杆及构配件在进场时，应对其质量证明文件、包装、标志和规格进行检验，不符合要求，严禁入场。

**6.4.3** 吊杆产品的包装、运输和堆放贮存均应确保吊杆无损、无蚀、无变形。

**6.4.4** 吊杆在安装时，不得磕碰、敲击损坏锚具，不得损伤吊杆的保护层，不得压、弯、折索体。保护层如有损伤，应及时修补。安装过程中，应保持索体与锚具的整洁，不得附着腐蚀物质，不得扭转，并应采取防火措施。

**6.4.5** 新吊杆张拉时应按设计规定均匀缓慢分级张拉，按高程和内力双控制的原则进行调整。

**6.4.6** 吊杆更换期间应严格控制桥上荷载，严禁将施工机具，设备材料等集中堆放在桥上。

【条文说明】

桥上临时荷载对桥面线形及吊杆内力均产生直接影响，多余施工荷载随意堆放，致使吊杆内力、应力和变形测试数据失真，所以在施工过程中必须严格控制。

**6.4.7** 其他注意事项宜包括下列内容：

（1）吊杆更换施工时，拱轴线的受力状况不能因施工而改变；

（2）保证施工荷载在拱轴上受力，不能产生偏心而影响拱肋；

（3）施工过程中旧吊杆与新吊杆之间的荷载转移要平稳，解除和张拉内力应分级进行；

（4）旧吊杆拆除和新吊杆张拉过程中，应始终跟踪监测桥面高程及横梁下吊点挠度变化情况，并及时调整内力；

（5）吊杆更换张拉过程应避开日光最强时段，并对内力和挠度监测结果进行温度修正，尽可能减少温差带来的不利影响。

# 7 监测与控制

## 7.1 监控目的

**7.1.1** 对吊杆更换施工过程进行控制，通过对预先设定的评价参数进行监测，评价在施工过程中理论计算值与实际监测结果值之间的偏差，通过对比计算，分析偏差存在的原因，采取措施进行调整，保证后续施工工序顺利进行。

【条文说明】

施工监控是桥梁施工控制的基础，而在吊杆更换过程中，因其施工过程复杂，影响施工控制目标顺利实现的因素众多。因此，在施工中必须对重要结构的变形、应变、应力、温度等参数进行监测，以获取反应施工状况的数据和信息，不断根据实际监测结果修正原施工方案，使施工状态控制在合理范围内，保证结构安全。钢管混凝土拱桥因其独特的结构原因，若吊杆发生失荷，严重时将导致结构垮塌，因此对于钢管混凝土拱桥，吊杆更换施工监测尤为重要。

**7.1.2** 吊杆更换施工完成后，通过监测和调整，使桥梁结构线形及内力满足设计要求。

## 7.2 监控目标

**7.2.1** 施工监控应以监测、调整吊杆索力与主梁线形为主要目标，同时对主梁、拱肋控制截面应力和拱脚位移进行监控。

**7.2.2** 吊杆索力控制应以现行《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》JTG F80/1的规定执行。

【条文说明】

《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》JTG F80/1规定吊杆索力应满足设计要求，设计未要求时不应超过±10%，且任一吊杆索力不得有超过±20%的偏差。

## 7.3 控制计算

**7.3.1** 施工控制计算应包括设计符合性计算、施工模拟计算、施工跟踪计算和参数敏感性分析。

**7.3.2** 施工控制计算应采用计算精度较高的可靠理论方法和软件，必要时应采用不同的软件进行校核。

**7.3.3** 施工控制计算应考虑施工机械设备对桥梁结构的影响，以及施工过程中边界条件、结构参数、作用荷载等的变化。

**7.3.4** 控制计算模型应包括节点信息、单元信息、材料信息、截面信息、荷载信息、时间信息、边界条件等。在杆系模型中吊杆宜采用索杆单元，主梁、拱肋宜采用梁单元。

**7.3.5** 控制计算应包括以下内容：

（1）设计符合性计算应依据设计文件及选取的合理计算参数，考虑吊杆更换过程，进行结构主体强度和刚度计算，计算结果应与设计文件比较，以确认施工监控计算模型及参数的正确性。

（2）施工模拟计算应依据吊杆更换施工组织设计确定的更换顺序，根据相关试验成果，修正计算模型和计算参数，进行吊杆更换施工过程计算。

【条文说明】

模拟计算应依据施工组织设计确定的施工顺序和施工荷载，根据相关试验成果，不断修正计算模型和计算参数，进行施工过程计算。模拟计算的目的是为了得到吊杆更换过程中及成桥状态的结构内力和几何等控制计算目标数据。

（3）施工跟踪计算应根据现场实际吊杆更换顺序，按照监测数据分析、反馈控制更新计算参数，进行施工过程计算。

（4）参数敏感性分析宜采用单因素分析法，在施工模拟计算和施工跟踪计算的模型上进行，分析参数变化对计算结果的影响程度。常用的敏感性分析参数有温度变化、临时荷载、风荷载等。

**7.3.6** 钢管混凝土拱桥几何状态计算结果应包括下列内容：

（1）吊杆的无应力长度；

（2）成桥时拱肋拱轴线形和桥面线形；

（3）吊杆更换过程中拱肋和主梁线形。

**7.3.7** 钢管混凝土拱桥内力状态计算结果应包括下列内容：

（1）吊杆更换前、更换过程中及更换后主梁、拱肋控制截面应力；

（2）吊杆更换前、更换过程中及更换后吊杆内力。

## 7.4 监**控内容**

**7.4.1** 吊杆更换过程中应对以下参数进行监控：

（1）拱肋线形、应力；

（2）拱座位移；

（3）吊杆、系杆内力；

（4）桥面线形；

（5）结构裂缝；

（6）温度、风等环境参数。

【条文说明】

结构截面的应力监测是吊杆更换施工监测的主要内容之一，它是施工过程的安全预警系统。结构上某点的应力值会随施工的推进而不断变化。实测应力值是否与分析值一样，结构是否处于安全范围内是施工过程中关注的核心问题。一旦监测发生异常情况，应立即停止施工，查找原因并采取相应的措施。

吊杆内力的大小，不仅直接关系到吊杆的受力，同时还会影响系梁、拱肋的受力，故在施工阶段及施工结束后准确测定吊杆内力并将其调整到设计允许的误差范围内，对保证施工安全及桥梁的设计线形是非常重要的。

吊杆更换内力监测包括以下3个方面：（1）吊杆张拉阶段的内力监测：张拉应以应力控制为主，张拉应力与伸长量双控的原则。张拉应力误差和伸长量误差应由分析计算确定，应满足相关的规范要求。（2）吊杆更换过程中对临近吊杆内力影响的监测：吊杆更换时，若新吊杆与旧吊杆内力严格相等，则每换一根吊杆，临近吊杆内力不该有变化。但实际过程中由于各种因素影响，新旧吊杆内力很难达到严格相等，因此必定会对临近吊杆内力产生影响。为了掌握这种影响，就要求在换杆过程中实时监测临近吊杆内力，确保变化在可控范围内。（3）吊杆更换竣工后的内力监测：通过更换吊杆，桥梁的工作状态较之前一般都会有不同程度的改变，为了掌握桥梁结构这种变化，为日后桥梁运营安全和养护维修提供依据，因此进行竣工后内力监测。

吊杆内力监测可以按以下方法进行：（1）收敛计量测法：收敛计具有较高的精度，目前主要应用在相对位移变化较小的测量中。在吊杆更换施工过程中通过测量吊杆两端的伸缩量，由此建立与吊杆内力之间的关系，及时调整。（2）油压表量测法：千斤顶张拉力和油压表读数之间有直接的关系，因此通过油压表读数就可以求得吊杆内力。（3）振动频率量测法：通过利用吊杆内力与吊杆的振动频率之间存在的对应关系，在已知吊杆的长度、两端约束情况、分布质等参数时，通过仪器设备测量出吊杆的振动频率，从而计算出吊杆内力。（4）压力传感器量测法：预先在吊杆锚下安装压力传感器，通过仪器仪表读取吊杆内力。这种监测方法稳定性好，精度高，适用于大跨径及重要的钢管混凝土拱桥吊杆内力的长期监测。

吊杆更换的过程中还应对吊杆周围的横梁、纵梁裂缝进行连续观测，确保既有裂缝无扩展趋势，无新裂缝的产生。当出现异常情况，应立即停止施工，查找原因，待研究分析后，优化调杆方案，并采取有效措施保证结构安全。

## 7.5 监控要求

**7.5.1** 桥梁线形监测截面及测点布置应符合下列规定：

（1）拱肋监测截面应设置在拱脚、四分点、拱顶，当跨径大于100m时，宜适当增加监测截面，每个截面的测点数不应少于2个；对多拱肋，同一截面的每个肋测点数不应少于1个。

（2）桥面线形监测截面应设置在吊杆下吊点处，每个截面的测点数不应少于1个。

**7.5.2** 结构应力或内力监测截面及测点布置应符合下列规定：

（1）拱肋应力监测点宜布置在拱脚、四分点、拱顶以及其他应力控制截面的上下缘，每个截面测点数不应少于4个。

（2）吊杆内力监测应根据测试方法确定测试位置，每根吊杆的测点数不应少于1个。

**7.5.3** 监测频度应不低于下列要求：

（1）吊杆更换施工前应进行一次全面监测；

（2）旧吊杆分级卸载、临时吊杆分级张拉，临时吊杆分级卸载、新吊杆分级张拉，每个分级过程应至少进行一次监测；

（3）全桥吊杆内力调整前、后应至少进行一次监测；

（4）吊杆更换完成后应进行一次全面监测。

**7.5.4** 根据监控系统的要求，在主梁、拱肋、及吊杆控制部位安装数据采集元件，并进行保护。施工前对各测点做醒目标志，施工过程中应对各测点加强巡视和保护。

**7.5.5** 施工监测所用测试设备及传感器的精度应满足需要，并经法定计量单位进行检定或校准，且在有效期内使用。

【条文说明】

线形监测可采用水准仪、全站仪、垂准仪，其分辨率应满足施工监测需要。

应力监测可采用振弦式传感器、光纤式传感器、电阻应变式传感器，其分辨率应不低于1με。

温度监测可采用铂式热电阻温度传感器、热电偶点温计，其分辨率应不低于0.1℃。

吊杆内力监测可采用收敛计、千斤顶油压表、压力传感器，其分辨率应满足施工监测需要。

**7.5.6** 吊杆更换过程中若出现监测数据异常，应立即停止施工，分析原因并采取相关措施，待恢复正常后在进行吊杆更换施工。

## 7.6 吊杆内力调整监控

**7.6.1** 吊杆更换过程中，吊杆内力、结构应力和变形实测值应与监控计算、设计计算进行对比。若偏差超过相关规范允许值时，应进行调整。

**7.6.2** 影响吊杆内力的主要因素：

（1）原设计误差及竣工误差；

（2）吊杆更换顺序影响；

（3）吊杆内力测量误差及仪器设备精度；

（4）吊杆更换过程中温差影响；

（5）吊杆实际长度与计算长度的差值；

（6）主梁及拱肋有无裂缝损伤等结构完整性影响。

应认真分析影响吊杆内力的主要原因，采取有针对性的调整方案。

**7.6.3** 吊杆应按高程和内力双控的原则进行调整，并应使主梁和拱肋处于基本平衡状态。

**7.6.4** 应尽量减少调整次数，避免产生内力紊乱。

# 8 检验与验收

## 8.1 竣工测试目的

**8.1.1** 为验证更换吊杆后桥梁结构的工作状态，为桥梁交（竣）工验收及以后桥梁运营、监测、养护维修提供依据，应进行成桥竣工测试。

## 8.2 竣工测试主要内容

**8.2.1** 竣工吊杆内力与设计内力差值应满足设计或相关规范的要求。

**8.2.2** 进行桥面标高测定，主梁线形应满足设计或相关规范的要求。

**8.2.3** 比较吊杆更换前后主梁控制界面的应力变化，评估吊杆更换工程对主梁应力状态的影响。

**8.2.4** 宜通过静载试验检测试验荷载作用下桥梁的变形和应力，判定吊杆更换后钢管混凝土拱桥静态工作性能状况。

**8.2.5** 宜通过动载试验测试桥梁参数，评估吊杆更换后钢管混凝土拱桥的动力性能。

## 8.3 交工验收

**8.3.1** 交工验收应具备的条件如下：

（1）合同约定的各项内容已经完成；

（2）施工单位按《公路桥梁维修加固工程施工质量检验评定标准》及相关规定的要求对工程质量自检合格；

（3）监理单位按相关要求进行抽检，且对工程质量评定合格；

（4）竣工文件已按规定的内容编制完成；

（5）施工单位、监理单位已完成本项目的工作总结。

**8.3.2** 交工验收的程序：

（1）吊杆更换工程符合交工验收条件后，经监理工程师同意，由施工单位向公路管理公司提出申请，公路管理公司应及时组织对该合同段进行交工验收。工程交工验收的主要内容有：

1）成立交工验收委员会；

2）听取设计、施工和监理单位的工作报告；

3）检查合同执行情况；

4）检查监理单位独立抽检资料、监理工作报告及质量评定资料；

5）检查施工自检报告、施工总结报告及施工资料；

6）检查工程实体，审查有关资料，包括主要产品质量的抽检报告；

7）核查吊杆更换数量是否与批准的设计文件相符合，是否与工程计量数量一致；

8）对合同是否全面执行、工程质量是否合格做出结论，并签署交工验收意见书。

（2）公路管理公司负责组织本工程设计、监理、施工单位参加交工验收。参加单位的主要职责是：

1）公路管理公司负责组织工程各参建单位完成交工验收工作的各项内容，总结合同执行过程中的经验，对工程质量是否合格作出结论；

2）设计单位负责检查已完成的工程是否与设计相符合，是否满足设计要求；

3）监理单位负责完成监理资料的汇总、整理，协助公路管理公司检查施工单位合同执行情况，核对工程数量，科学公正地对工程质量进行评定；

4）施工单位负责提交竣工资料，完成交工验收准备工作。

（3）工程质量等级评定分为合格与不合格，工程质量评分值大于等于85分的为合格，小于85分的为不合格。

（4）交工验收提出的工程质量缺陷等遗留问题，由施工单位限期完成。

# 9 安全与保护

## 9.1安全施工

**9.1.1** 吊杆更换施工应符合安全生产条件要求，应组建安全生产领导小组，并应建立健全安全生产责任制和安全生产管理制度；根据规模大小，配备具备相应资格的专职安全生产管理人员。

**9.1.2** 吊杆更换安全技术措施应在实施前进行预控，实施中进行过程控制，并应符合下列规定：

（1）安全技术措施预控应包括材料质量及检验复验、设备和设施检验、作业人员应具备的资格及技术能力、作业人员的安全教育、安全技术交底；

（2）安全技术措施过程控制应包括施工工艺和工序、安全操作规程、设备、设施、施工荷载、监测预警。

**9.1.3** 施工现场在危险作业场所应设置警戒区，在警戒区周边应设置警戒线及警戒标识，并应设置安全防护设施，作业期间应有安全警戒人员在现场值守。

**9.1.4** 特种设备进场应有许可文件和产品合格证，使用前应办理相关手续，使用单位应建立特种设备安全技术档案。

**9.1.5** 在6级以上强风、浓雾、暴雨和暴风雪等恶劣气候条件下，不应进行施工作业。台风、暴雨及暴风雪过后，应对安全防护设施进行全面检查，当有变形、损坏、松动和脱落等现象时，应进行修复。

**9.1.6** 施工单位应采取有效的安全防护措施，必须为施工人员提供必备的劳动防护用品，施工人员应正确使用劳动防护用品。劳动防护用品应符合现行行业标准《建筑施工作业劳动防护用品配备及使用标准》JGJ 184的规定。

## 9.2 环境保护

9.2.1 应建立环境保护体系，以ISO 14001环境管理体系和国家环境保护法律、法规为根本依据，切实做好施工场地及周边的环境保护。

**9.2.2** 施工现场严禁焚烧各类废弃物，应及时将工作面处的油污和各种杂物清理干净，严禁流入江河湖海。

# 规程用词用语说明

1 为了便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词用语说明如下：

1. 表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”；反面词采用“严禁”。

2）表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”；反面词采用“不应”或“不得”。

3）表示允许有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”；反面词采用“不宜”。

1. 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 规程中指定应按其他有关标准、规范执行时，写法为“应按······执行”或“应符合······要求或规定”。非必须按指定的标准、规范的规定执行时，写法为“可参照······”。