

DB42

湖 北 省 地 方 标 准

DB42/T 1745—2021

桥梁高强度螺栓连接安装技术指南

Technical guidance for installation of high strength bolt connections
of bridge

2021 - 08 - 30 发布

2021 - 11 - 01 实施

湖北省市场监督管理局 发布

目 次

前言.....	III
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 基本规定.....	3
4.1 一般规定.....	3
4.2 订货、包装.....	3
4.3 进场复验.....	3
4.4 储运管理.....	4
5 构件的拼装要求.....	5
6 高强度螺栓连接副的安装.....	6
7 高强度螺栓连接副施拧工艺.....	7
7.1 一般规定.....	7
7.2 施拧工具.....	8
7.3 扭矩法施拧.....	8
7.4 转角法施拧.....	9
7.5 栓焊混用连接接头高强度螺栓连接副施拧.....	10
8 质量检查.....	10
8.1 一般规定.....	10
8.2 初拧与初拧检查.....	10
8.3 终拧与终拧检查.....	10
9 高强度螺栓连接接头的涂装.....	11
附录 A（资料性）高强度螺栓进货验收记录表.....	13
附录 B（资料性）高强度螺栓连接副检验报告.....	14
附录 C（资料性）电动扳手标定记录表.....	15
附录 D（资料性）高强度螺栓施拧记录表.....	16
附录 E（资料性）高强度螺栓终拧扭矩检查表.....	17
附录 F（资料性）板面抗滑移系数试验报告.....	18
条文说明.....	19

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。

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。

本文件由中铁大桥科学研究院有限公司提出。

本文件由湖北省交通运输厅归口。

本文件起草单位：中铁大桥科学研究院有限公司、中铁大桥局集团有限公司、桥梁结构健康与安全国家重点实验室、湖北省标准化与质量研究院。

本文件主要起草人：周尚猛、钟继卫、彭旭民、郝聪龙、郭福宽、肖昌量、王伟、蔡欣、王朝、周琰、张耿、齐舒、崔冰、王岩、李鹏程、贺超、熊杰、李云、罗志雄、古宇鹏、韩阳昱、陈磊。

本文件为首次发布。

本文件实施应用中的疑问，可咨询湖北省交通运输厅，联系电话：027-83460670，邮箱：hbzjjglc@163.com。对本文件的有关修改意见和建议请反馈至中铁大桥科学研究院有限公司，电话：027-83556197，邮箱：qky6197@163.com。

桥梁高强度螺栓连接安装技术指南

1 范围

本文件规定了桥梁高强度螺栓连接安装技术的基本规定、构件的拼装要求、高强度螺栓连接副的安装、高强度螺栓连接副施拧工艺、质量检查和高强度螺栓连接接头的涂装方面的内容。

本文件适用于桥梁高强度螺栓摩擦型连接的施工。

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 90.1 紧固件验收检查
- GB/T 228.1 金属材料拉伸试验 第1部分：室温试验方法
- 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 5779.1 紧固件表面缺陷螺栓、螺钉和螺柱 一般要求
- GB/T 5779.2 紧固件表面缺陷螺母
- GB 50205 钢结构工程施工质量验收标准
- JGJ 82 钢结构高强度螺栓连接技术规程
- JT/T 722 公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件
- TB/T 2137 铁路钢桥栓接板面抗滑移系数试验方法
- TB 10415 铁路桥涵工程施工质量验收标准
- TB 10752 高速铁路桥涵工程施工质量验收标准

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

高强度大六角头螺栓连接副 heavy-hex high strength bolt connect set

一个高强度大六角头螺栓、一个高强度大六角螺母和两个平垫圈组成一副的连接紧固件。

3.2

摩擦型连接 friction-type joint

通过紧固高强度螺栓连接副，使被连接件间产生摩擦阻力以传递荷载的连接方式。

3.3

摩擦面 friction surface

高强度螺栓摩擦型连接中，被连接件板层之间经过特殊处理的接触面，又称栓接板面。

3.4

抗滑移系数 anti-slip coefficient

高强度螺栓摩擦型连接中，使连接件摩擦面产生滑动时的外力与高强度螺栓预拉力之和的比值。

3.5

扭矩系数 torque-pretension coefficient

高强度螺栓连接副施拧过程中，施加于螺母上的紧固扭矩与其在螺栓导入的轴向预拉力（紧固轴力）之间的比例系数。

3.6

冲钉 nail punching

在钢结构安装中用来对孔及临时固定构件相对位置的工具，亦称稳钉。

3.7

工具螺栓 tool bolt

又称安装螺栓，是指在钢结构安装过程中临时固定用的，安装完成后可以拆除的螺栓，应为普通螺栓。

3.8

扭矩法 calibrated wrench method

通过控制施拧扭矩值使被紧固高强度螺栓连接副的终拧预拉力达到（施工）要求的施拧方法。

3.9

扭角法 torsional angle method

初拧采用扭矩法使板束密贴并能承受部分荷载；终拧通过控制螺栓与螺母的相对转角值使被紧固高强度螺栓连接副的终拧预拉力达到（施工）要求的施拧方法。

3.10

设计预拉力 design pretension

高强度螺栓连接副施拧时，所确定的单个螺栓施工轴向拉力。

3.11

施工预拉力 construction pretension

高强度螺栓连接副施拧时，计入其预拉力损失后所确定的单个螺栓施工轴向拉力。施工预拉力损失按设计预拉力的10%取值。

3.12

初拧 initial tightening

使拼接节点处板束密贴并能承受部分荷载的一道施拧工序。

3.13

复拧 re-tightening

拼接节点高强度螺栓初拧完成后，对部分高强度螺栓用原初拧电动扳手重复施拧一道施拧工序，复拧扭矩等于初拧扭矩。

3.14

终拧 final tightening

使拼接节点高强度螺栓预拉力达到施工预拉力的一道施拧工序。

3.15

栓焊混用连接 joint with combined bolts and welds

同一受力接头中，部分构件采用焊接、部分构件采用高强度螺栓连接的一种连接方式。

3.16

合格判定数 acceptance number

在任一给定的样本中，同一特性所允许的最大缺陷数。

4 基本规定

4.1 一般规定

4.1.1 桥梁使用的高强度大六角头螺栓连接副，由一个高强度大六角头螺栓、一个高强度大六角螺母、两个高强度垫圈组成，并应分属同批制造。

4.1.2 高强度大六角头螺栓连接副的型式尺寸、形位公差与技术条件应符合 GB/T 1228、GB/T 1229、GB/T 1230、GB/T 1231 的规定。

4.1.3 大直径高强度大六角头螺栓连接副（规格大于 M30）的机械性能与技术条件应符合 GB/T 1231 的相关要求。

4.2 订货、包装

4.2.1 高强度螺栓连接副订货前应对拟选择的生产企业进行考察和评估，考察和评估的要点应包括企业生产能力、原材料及其供应渠道、产品质量保证体系、高强度螺栓生产工艺等，宜选择产品性能优良、质量稳定、有同类型工程供货业绩的生产企业。

4.2.2 高强度螺栓连接副应由生产厂家按批配套供货，生产厂家供货时应提供相应的产品质量检验报告书、合格证和所用原材料的检测报告，其产品质量检验报告书的内容应符合 GB/T 228.1、GB/T 1231 的规定。

4.2.3 高强度螺栓连接副的包装应符合：

- a) 包装箱应牢固、防潮，箱内螺栓、螺母、垫圈应用塑料袋分别包装，螺栓丝扣应有螺纹防护小套，不同批号的连接副不得混装；
- b) 包装箱外应标有生产厂家、产品名称、标准编号、批号、规格、数量、毛重等明显标记。

4.2.4 同一工程项目的高强度螺栓连接副，其表面处理应采用同一种工艺。根据现场环境条件，选择合适的表面处理工艺，同时在订货合同中予以明确。当施工条件特殊或设计文件有要求时，可选择耐候钢高强度螺栓连接副。

4.3 进场复验

4.3.1 高强度螺栓连接副工地复验常规检验项目主要包括：

- a) 连接副扭矩系数试验：主要是检验施加于螺母上的紧固扭矩除以其导入螺栓的轴向预拉力与螺栓公称直径两者之积的值是否满足要求；
- b) 螺栓楔负载试验：主要是检验螺杆轴线与螺母支承面不垂直(夹角 10°)情况下螺栓的承载能力；
- c) 螺母保证荷载试验：主要是检验在规定荷载作用下螺母是否脱扣或断裂，以及卸载后，能否用手将螺母自由旋出(检验变形情况)；
- d) 螺母硬度试验：主要是检验螺母的硬度是否符合要求；
- e) 垫圈硬度试验：主要是检验垫圈的硬度是否符合要求。

注：当螺栓长度与直径之比 $L/d \leq 3$ 时，若不能做楔负载试验，可进行拉力载荷试验或芯部硬度试验。

4.3.2 高强度螺栓连接副进场后应及时复验，复验工作应符合 GB/T 1231 的规定和设计要求。同时检验其规格、数量、外观质量及扭矩系数实际状况，合格后方可使用。复验后，如对产品质量有异议，应在产品质量保证期内向生产厂提出，进行仲裁试验。

4.3.3 高强度螺栓连接副进场复验时其扭矩系数平均值应在 0.110~0.150 范围以内，标准差应不大于 0.0100；在扭矩系数复验时，应考虑试验室试验环境温度、相对湿度，同时也应考虑试验室与施工现场实际环境差异的幅度，综合确立扭矩系数的修正系数值，制定合适的终拧扭矩进行高强度螺栓施拧。扭矩系数试验宜在温度为 $15^\circ\text{C} \sim 25^\circ\text{C}$ 、相对湿度为 50%~70% 的环境条件下进行，试验所用装备及连接副均应放置在相同试验环境条件下 2 小时以上。

4.3.4 高强度螺栓连接副检验批划分时应符合下列规定：

- a) 同一材料(性能等级)、炉号、螺纹规格、长度(当螺栓长度 ≤ 100 mm时，长度相差 ≤ 15 mm；螺栓长度 > 100 mm时，长度相差 ≤ 20 mm，可视为同一长度)、机械加工、热处理工艺及表面处理工艺的螺栓、螺母、垫圈为同一批；
- b) 由同批螺栓、螺母、垫圈组成的连接副为同批连接副，同批高强度螺栓连接副最大数量为3000套。超过此数量后应按照新检验批进行检验，不足此数量的按一个检验批进行检验。

4.3.5 高强度螺栓连接副扭矩系数的复验应按批抽取 8 套，扭矩系数的平均值及标准差应符合 4.3.3 条的有关规定。在一般情况下，扭矩系数的平均值应满足 0.120~0.140 的要求。

4.3.6 高强度螺栓楔负载、螺母保证荷载、螺母硬度和垫圈硬度的复验按批抽取，抽检样本取 $n=8$ ，合格判定数为 $Ac=0$ 。

4.3.7 高强度螺栓、螺母和垫圈的尺寸、外观及表面缺陷的检验抽样方案应符合 GB/T 90.1、GB/T 5779.1、GB/T 5779.2 的规定。

4.4 储运管理

4.4.1 高强度螺栓连接副库房应建立在地势较高、干燥的地带，库房的大小应能满足存放要求，库房内应通风良好或配备通风设备，保持库房干燥与空气流通。

4.4.2 高强度螺栓连接副入库时应清点检查，按包装箱上注明的规格、批号进行分区、分类存放，并作好防潮、防尘工作。室内架空存放，底层应垫高通风，垫高高度至少 30 cm，离墙至少 50 cm，堆放不宜超过 5 层，防止高强度螺栓连接副表面状况改变和锈蚀。入库后要建立库存明细表和发放登记表，加强储备管理。

4.4.3 应根据高强度螺栓连接副用量、钢梁架设进度分批供货，不同供货批次的高强度螺栓连接副不得混放，并在醒目位置设立明显挂牌标识，注明高强度螺栓的规格、批号、代表数量、检验状态、生产及进场日期等信息。

4.4.4 高强度螺栓连接副应尽可能保持其原有表面工艺处理状况，保管期内不得随意开箱，防止生锈和沾染污物，若遇开箱检查者，应事后及时还原裹好。

4.4.5 高强度螺栓连接副在保管、搬运过程中，应防雨、防潮，轻装轻卸，防止冲击造成螺纹损伤。

4.4.6 高强度螺栓连接副扭矩系数保证期为 6 个月，超过 6 个月后使用时，应重新复验，检验合格后，方可使用。

5 构件的拼装要求

5.1 桥梁生产厂家在发送构件时，应提供出厂时测试的栓接板面抗滑移系数试验数据。抗滑移试件的设计、制作和试验应符合 TB/T 2137 的规定。

5.2 桥梁生产厂家在发送构件时，应提供随梁的抗滑移系数试验试件和出厂合格报告，该试件应符合下列要求：

- a) 抗滑移系数试件与钢梁应为同一材质、同批制造、同一摩擦面处理工艺，并在相同条件下运输、试验、存放；
- b) 抗滑移系数检验以钢梁制造 2000 t 为一检验批，不足 2000 t 者视为一批，每批三组；
- c) 如栓接板面采用一种以上表面处理工艺时，则每种表面处理工艺均应制作抗滑移系数试件，每种表面处理工艺均应检验；
- d) 当钢梁采用两种或两种以上钢材制作时，抗滑移系数试件均应符合设计要求。

5.3 钢梁出厂时和架设时应进行抗滑移系数试验，试验方法应符合相关规定，试验结果应满足设计要求。设计无要求时，出厂时每批试件抗滑移系数的最小值不小于 0.55，安装时不小于 0.45。

5.4 当栓接板面发生霉变、锈蚀、脱皮、涂层不完整或抗滑移系数不符合要求时，应重新处理并再次进行抗滑移系数试验，符合要求后方可使用，处理后的栓接板摩擦面应采取保护措施防止再次污染。

5.5 钢梁在运输、存放过程中要加强对摩擦面的保护，栓接板面应保持平整、无焊接飞溅物、无油污，孔边、孔内及板边应无毛刺、飞边及油漆流挂，不得在栓接板摩擦面上作任何标记。

5.6 构件使用前应除去毛刺、飞边、焊接飞溅物，并用细铜丝刷、干净棉丝除去栓接板面和栓孔内的脏物。对沾有油污处，应用丙酮或油漆稀释剂擦净。

5.7 栓接板面应保持干燥，不应在雨中作业，当栓接板面潮湿时可用压风机送风吹干。对翘曲板面应予整平，整平时不得损坏表面涂层，整平后栓接板的平整度应达到出厂时的标准。

5.8 栓接板面在露天环境中暴露时间超过六个月时，应重新检查摩擦面，对已经变质的摩擦面应根据设计要求重新处理，并应有对应的工艺试验。

5.9 构件基本尺寸的偏差、栓孔的过孔率应符合 JGJ 82 的有关规定。

5.10 采用标准圆孔连接的所有栓孔，均应采用过孔器检查，且检查结果应与工厂试装的过孔率要求一致。螺栓应无阻碍穿入栓孔，不得强行穿入。

5.11 构件拼装时，每个拼接处均应按现行有关标准的规定或根据安装时可能承受的荷载计算确定冲钉和工具螺栓的数量。栓孔重合后，先用少量工具螺栓沿周边孔做一般拧紧，夹密贴板束缝，再换用高强度螺栓施拧工艺施工。工具螺栓安装时须装配垫圈，不得用电动扳手施拧，不得损坏摩擦面。

5.12 高强度螺栓终拧完后应检查板层密贴情况，板缝应满足相关规定的要求。当拼装中出现摩擦面间隙时，应按表 1 的要求处理。

表 1 摩擦面间隙处理

单位为mm

项目	示意图	处理方法
1		$\delta < 1.0$ 时不予处理
2		$\delta = 1.0 \sim 3.0$ 时将厚板一侧磨成 1:10 的缓坡, 使间隙小于 1.0。打磨后应及时喷铝处理。
3		$\delta > 3.0$ 时加垫板, 垫板厚度不小于 3, 垫板材质和摩擦面处理方法应与构件相同。

6 高强度螺栓连接副的安装

- 6.1 高强度螺栓应对照钉栓图, 按部位、规格、当天使用数量进行领取, 并造册登记, 不得以长代短或以短代长使用。
- 6.2 领用的高强度螺栓应按规格、种类分区域堆放, 搬运过程中应轻拿轻放, 防止碰伤螺纹。领用的高强度螺栓应及时放置在施工平台处设置的临时存放库房中。根据使用数量在使用前开箱, 不得提前开箱。当日班组未用完的螺栓应进行封闭, 防止沾染雨露, 并做记录与下一班组交接。
- 6.3 高强度螺栓安装前应在节点板外侧用醒目颜色标示出不同规格的高强度螺栓的使用区域线, 并分别注明规格、数量, 标示线不宜侵入高强度螺栓垫圈的范围。
- 6.4 高强度螺栓连接副的安装应在结构位置尺寸调整到位后进行。安装时, 高强度螺栓、螺母、垫圈应按生产厂提供的批号配套使用, 且不得改变其出厂状态。
- 6.5 高强度螺栓连接副组装时, 螺栓头一侧及螺母一侧应各安置一个垫圈, 垫圈有内倒角的一侧应分别朝向螺栓头和螺母支承面。
- 6.6 高强度螺栓安装方向应符合:
- a) 高强度螺栓的安装应在结构位置调整到位后再进行, 螺栓穿入方向应以施拧及维修方便为准, 但方向应一致;
 - b) 主桁节点的高强度螺栓, 其螺母一律安装在节点板外侧;
 - c) 纵梁上翼缘的螺栓, 螺栓头一律朝上, 其余平面及斜面上的高强度螺栓, 螺母一律朝上或朝外;
 - d) 个别部位的高强度螺栓, 其螺母位置无法满足上述要求时, 可由施工单位决定, 但应全桥保持一致。
- 6.7 安装时, 不准许强行穿入螺栓, 冲钉打入、构件连接调整后, 应检查板束间错孔情况, 并做相应处理。不准许进行机械扩孔、气割扩孔。对于个别不能自由穿入螺栓的栓孔, 需要进行铰孔或扩孔时, 应通过设计单位同意, 监理单位的认可, 采用适当方法处理, 并留有施工记录备案。
- 6.8 每个拼接节点高强度螺栓应按从中部往四周辐射扩散的顺序均匀、对称安装。先对板的空栓孔安装高强度螺栓进行初拧, 并及时逐一进行初拧标记。用两次更替换的步骤进行退换冲钉

和施拧，方式按梅花形状替换冲钉，第一次拆替换的冲钉数量应为三分之一冲钉和工具螺栓，第二次拆替换的冲钉数量应为所有剩余冲钉。

6.9 冲钉和工具螺栓安装要求：

- a) 在支架上拼装钢桁梁时，冲钉和工具螺栓的总数量不应少于孔眼总数的1/3，其中冲钉应占2/3以上，孔眼较少部位冲钉和工具螺栓数量不应少于6个，工具螺栓宜安装于拼接板四周和拼缝位置侧；
- b) 钢梁悬臂或半悬臂散件拼装时，冲钉数量应至少占孔眼总数50%，工具螺栓数量应满足板束密贴要求。松吊钩后应尽快安装剩余栓孔的高强度螺栓，按施拧工艺的规定进行初拧并及时逐一进行初拧标记；
- c) 对于大跨度钢梁采用整桁片、整桁段架设时，松吊钩前的冲钉数量及高强度螺栓安装数量与施拧状态应根据计算确定。

6.10 高强度螺栓长度 L 应保证在终拧后，螺栓外露丝扣为 2~3 扣。其长度 L 应符合设计要求或按下式计算确定：

$$L=L' + \Delta L \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

L' ——连接板层总厚度（mm）；

ΔL ——附加长度（mm）；

$$\Delta L=m+2s+ip \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

m ——高强度螺母公称厚度（mm）；

s ——高强度垫圈公称厚度（mm）；

i ——当 $L \leq 100\text{mm}$ 时， $i=2$ ；当 $L > 100\text{mm}$ 时， $i=3$ ；

p ——螺纹的螺距（mm）。

根据公式（1）、（2）计算所得值，当 $L \leq 100\text{ mm}$ 时，可按螺栓长度以5 mm为一个规格的规定，将其个位数按2舍3入、7舍8入的原则，计算出使用长度；当 $L > 100\text{ mm}$ 时，可按螺栓长度以10 mm为一个规格的规定，将其个位数按4舍5入的原则，计算出使用长度。

7 高强度螺栓连接副施拧工艺

7.1 一般规定

7.1.1 高强度螺栓的设计预拉力、施工预拉力应符合设计文件的相关要求，设计无要求时，应满足表 2 的规定。

表 2 高强度螺栓预拉力

单位为kN

螺栓公称直径 d	M22	M24	M27	M30	M33	M36
设计预拉力 P	200	240	290	360	440	520
施工预拉力 P_c	220	264	319	396	484	572

7.1.2 高强度螺栓连接副的施拧方法分为扭矩法和扭角法。在一般情况下，应优先采用扭矩法施拧。施工前应做好施拧工艺性试验，根据选用的施拧工具进行螺栓扭矩系数试验，从试验数据求数理统计值作为施拧依据。

7.1.3 高强度螺栓连接副的施拧分为初拧和终拧。对大型栓接接头，根据有关规定要求正确安装节点板和确定施拧顺序，初拧后板缝达不到密贴要求或初拧损失较大时，应在初拧之后进行复拧。

7.1.4 高强度螺栓连接副拧紧时，应在螺母上施拧。

7.1.5 高强度螺栓连接副的施拧顺序：

- a) 对腹杆采用插入式拼装的节点，应从节点中刚度大的部位向不受约束的边缘进行；
- b) 对于四周不受约束的节点，则应从节点中央沿杆件向四周辐射的顺序进行。

7.1.6 高强度螺栓连接副的初拧、复拧和终拧宜在同一工作日内完成，雨天不准许进行高强度螺栓施拧。板面上有雾水、露水时，待散退后方可进行施拧。

7.1.7 冬季宜尽量安排白天气温较高时进行高强度螺栓施拧，夜间气温低时不宜进行高强度螺栓施拧；夏季宜尽量避开高温时段进行高强度螺栓施拧。

7.2 施拧工具

7.2.1 扭矩法施拧时，高强度螺栓连接副的初拧、复拧和终拧均应使用手动或电动定扭矩扳手。扭角法施拧时，高强度螺栓连接副的初拧、复拧使用定扭矩扳手；终拧使用的扳手应满足终拧转角的需要。

7.2.2 对受空间限制无法使用电动扳手施拧的螺栓，可使用指针式、数字式扭矩扳手或定扭矩带响扳手施拧。

7.2.3 施拧和检查高强度螺栓用的扳手均应建立台账，详细登记，并设专人检查校正：

- a) 高强度螺栓施拧用的电动扳手应采用扭矩系数试验仪标定；定扭矩带响扳手应采用扭矩系数试验仪或力臂挂重法标定；施拧扭矩检查扳手应采用挂重法或扭矩系数仪动态对比法标定；表盘扳手采用挂重法标定；
- b) 标定方法：电动扳手和采用扭矩系数试验仪标定的定扭矩带响扳手，用当天施拧用的5套同批号高强度螺栓进行标定，5套连接副逐套在扭矩系数试验仪上先初拧，再终拧，取其扭矩平均值。表盘式指针扳手分级标定3次，取其扭矩平均值。

7.2.4 定扭矩扳手使用前应在扭矩系数试验仪上进行标定，定扭矩扳手的扭矩标定误差应符合有关规定。

7.2.5 定扭矩扳手的标定，应在现场工地试验室进行，标定扭矩扳手场所不得使用任何制冷、制热设备。试验时应把门窗打开通风，尽可能使试验室内环境条件（温度、湿度）与室外环境、施拧现场环境相近。

7.2.6 高强度螺栓施拧所用电动扳手应配备专用稳压电源并使用专用电源线，稳压器输出电源线长度一般不宜过长，避免电压波动影响电动扳手输出扭矩。使用过程中不得随意改变稳压电源的输出电压，一台稳压电源上只准连接一把电动扳手。当电压过高或过低时应停止高强度螺栓施拧，待电压稳定后方可进行施拧。

7.2.7 电动扳手使用前预热 3~5 分钟，使用过程中应随时注意电动扳手的电机部分有无过热或异样的声响，同一扳手在一个工作日内施拧超过 500 套高强度螺栓后，应再次进行标定，避免引起输出扭矩变化。电动扳手变换旋转方向时应待电机停止转动后进行，不准许在电动扳手运转过程中进行更换档位、变动旋钮、拨动正反转开关等违规操作。

7.2.8 对每台电动扳手，应固定配套编号，不得混杂，使用过程中不准许随意调节控制器的旋钮，并指定专人使用。

7.3 扭矩法施拧

7.3.1 施拧前，应按生产厂提供的批号，并按每批不少于 8 套分别测定高强度螺栓连接副的扭矩系数，该批扭矩系数应满足有关规定的要求，同时应记录测试时环境温度、湿度。施拧时，应考虑环境温度、相对湿度变化对扭矩系数的影响。

7.3.2 初拧扭矩应根据试验确定，一般可取终拧扭矩值的 50%，复拧扭矩等于初拧扭矩。每批高强度螺栓连接副的终拧扭矩应由公式（3）计算确定：

$$T_e = K \times P_c \times d \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

T_e ——终拧扭矩（N·m）；

K ——高强度螺栓连接副的扭矩系数平均值；

P_c ——高强度螺栓的施工预拉力（kN）；

d ——高强度螺栓公称直径（mm）。

7.3.3 采用扭矩法施拧时，应对施拧扳手进行扭矩标定，标定次数为每天班前和班后各一次。标定由当班试验室人员负责，标定结果填入附录 C 中，并由当班技术人员签认。

7.3.4 从事标定工作的试验室操作人员应相对固定，且应熟悉施拧扳手和扭矩系数试验仪的操作规程并按规定操作。

7.3.5 标定应使用与当天桥上所施拧同规格、同批号的高强度螺栓连接副进行，该连接副应在标定环境中放置 2 小时以上，标定时尽可能使标定环境与施工现场一致。

7.3.6 班前标定值不得大于规定值的 $\pm 3\%$ ；班后标定不得超过规定值的 $\pm 5\%$ 。班前标定误差大于 $\pm 3\%$ 时，应调整至 $\pm 3\%$ 以内；班后标定误差大于 $\pm 5\%$ 时，应立即检查并有校验记录，并向使用该扳手的施拧工班发出“高强度螺栓终拧扭矩检查通知单”，要求该工班对该扳手当班终拧的高强度螺栓连接副全部用检查扳手按相关规定进行检查、处理。

7.3.7 应建立施拧扳手标定和领用登记制度，每把扳手标定完毕后，标定人员和领用人员应在登记簿上签字登记。每把扳手均应单独建立标定和使用档案。

7.3.8 初拧和复拧后的螺栓均应做好标记。初拧（复拧）后的高强度螺栓应逐个用标记法或敲击法检查。初拧（复拧）检查合格，作终拧转角标记线，沿板面、垫圈、螺母、延伸至栓端头划贯通直线（连线应经过螺母棱角），便于终拧检查观察有无漏拧以及垫圈或螺栓是否跟随螺母转动、螺母转动角大小等。终拧转角线统一划完成后，要有初拧到位的工序检查（初拧控制检查），初拧工序检查到位后，方可进行终拧。

7.3.9 高强度螺栓终拧应使用电动扳手，当无电动扳手的操作空间时，可使用手动数显式扭矩扳手或定扭矩带响扳手施拧。使用手动扳手施拧时，施加扭矩应连续、平稳、均匀，不得冲击施拧。终拧时，应使用卡游扳手卡住螺栓头，如果垫圈发生转动，应更换高强度螺栓连接副，按操作程序重新初拧、复拧、终拧。

7.3.10 拼接接头所有高强度螺栓初拧完成检查合格后再进行终拧。每颗螺栓终拧结束后，用不同的颜色在螺栓端部做好终拧标记。该部位终拧完成后及时做好终拧日期、终拧扭矩、扳手编号、天气情况和施拧人员等相关记录。

7.4 扭角法施拧

7.4.1 扭角法施拧的初拧、复拧应用扭矩控制，终拧用螺母转动角度控制。

7.4.2 初拧扭矩应由试验确定，复拧扭矩等于初拧扭矩。复拧后应用醒目颜色在螺栓端头上做初拧标记。

7.4.3 复拧检查合格后，即用划线器沿板面经垫圈、螺母棱角、延伸到螺栓尾部端面划一细贯穿直线。

7.4.4 终拧用扳手将划线后的螺母再转动一个角度。终拧转角应按公式（4）计算：

$$\theta = a + b(n-1) + cB \cdots \cdots (4)$$

式中：

- θ ——终拧转角（度）；
 - a ——螺栓连接副的弹性压缩对转角的影响值（度）；
 - b ——每增加一层被连接钢板所需的转角（度/层）；
 - n ——被连接钢板层数（层）；
 - c ——每毫米被连接钢板所需的转角（度/mm）；
 - B ——被连接钢板总厚度（mm）。
- a 、 b 、 c 值通过试验确定。

7.4.5 终拧完成后，应采用与初拧不同的颜色在螺栓端头上作终拧标记。

7.5 栓焊混用连接接头高强度螺栓连接副施拧

7.5.1 栓焊混用接头中高强度螺栓的施拧，应通过理论计算、试验验证，对高强度螺栓施拧、现场焊接工艺和施工顺序等提出比较明确的要求，并在架梁工艺中作具体规定。在制定高强度螺栓施拧工艺方案时应与设计单位沟通，充分了解设计意图。

7.5.2 为降低钢桥面板焊接时引发纵、横梁腹板上高强度螺栓承受的附加力，栓焊混用接头的施工顺序宜在高强度螺栓初拧后进行翼缘的焊接，然后再进行高强度螺栓终拧，各施工工序应符合相关要求。

8 质量检查

8.1 一般规定

- 8.1.1 高强度螺栓连接副施工质量的检查应由专职质量检查员进行，应符合 GB 50205 的规定。
- 8.1.2 检查所用的扭矩扳手使用前应标定，其扭矩误差不得大于使用扭矩值的 $\pm 2\%$ 。
- 8.1.3 桥梁用高强度螺栓连接均应有施工、检查记录，其内容和格式可参照附录 A～附录 F。

8.2 初拧与初拧检查

8.2.1 对初拧（复拧）后的高强度螺栓应及时并逐一进行初拧标记，初拧检查时，观察是否漏拧，或用重约 0.3 kg 的小锤敲击螺母对边的一侧，用手指紧按住螺母对边的另一侧进行检查，防止漏拧。手指感到轻微颤动即为合格，颤动较大即为欠拧或漏拧，应予再初拧。初拧检查合格后，统一划终拧转角线，转角线为：板面、垫圈、螺母、延伸至螺栓尾部端面，划一贯穿直线。以便于终拧后检查有无漏拧以及垫圈或螺栓是否随螺母转动。初拧检查，一般为通知式检查，由施拧工班自检。

8.2.2 采用扭角法施拧时，应对每个节点高强度螺栓连接副总数的 10 % 进行复拧扭矩检查，但主桁节点不少于 10 套，其余节点不少于 2 套。检查使用扭矩扳手，拧至初拧扭矩时螺母不转动即为合格。如有一套不合格，则该节点全部高强度螺栓连接副应再次进行复拧，直到检查合格为止。

8.3 终拧与终拧检查

8.3.1 桥梁高强度螺栓终拧质量检查主要有以下几个方面：

- a) 螺母、垫圈安装是否正确；
- b) 初拧、终拧过程控制（标记线）是否到位；
- c) 垫圈是否有随螺母转动；

- d) 螺栓是否有转动；
- e) 终拧扭矩检查实测范围值及合格率情况。

8.3.2 扭矩法的终拧检查应符合：

- a) 观察全部终拧后的高强度螺栓连接副，检查初拧（复拧）后用油漆标记的螺栓与螺母相对位置是否发生转动，以检查终拧是否有漏拧；
- b) 对主桁（板梁主梁）及纵、横梁连接处，每栓群高强度螺栓检查的数量不低于总数的 10%，但不少于 3 套，每个主桁节点不得少于 5 套。终拧扭矩检查可采取紧扣法或松扣、回扣法；

紧扣法检查：先在螺母与垫圈的相对位置划一细直线做出标记，然后用检查扭矩扳手施拧螺母，测得螺母与螺栓刚刚发生微小相对转角时的扭矩，应在 0.9~1.1 紧扣检查扭矩范围内。紧扣检查扭矩由试验确定，并在测定紧扣检查扭矩值时，应确认高强度螺栓的预拉力的误差在设计预拉力的±2%范围内。

松扣、回扣法检查：先在螺栓与螺母的相对位置划一细直线做出标记，然后将螺母拧松约 60°，再用检查扭矩扳手把螺母重新施拧至原来位置（使所划细直线重合），测取此时的扭矩应在 0.9~1.1 检查扭矩范围内。

检查扭矩Tch按公式（5）计算：

$$Tch=K \times P \times d \dots\dots\dots (5)$$

式中：

Tch——检查扭矩（N·m）；

K——高强度螺栓连接副的扭矩系数，按照试验确定；

P——高强度螺栓的设计预拉力；

d——高强度螺栓公称直径（mm）。

- c) 每个栓群或节点检查的螺栓，其不合格者比例不得超过抽查总数的 20%，超过则应继续抽查直至累计总数 80%的合格率为止，然后对欠拧者补拧，超拧大于 10%者更换连接副后按操作程序重新初拧（复拧）、终拧。

8.3.3 扭角法的终拧检查应符合：

- a) 观察全部终拧后的高强度螺栓连接副，检查复拧后用划线器所划的线是否发生转动，以检查终拧有否漏拧；
- b) 对全部终拧后的高强度螺栓连接副，用量角器进行转角检查。转角不足者应补拧至规定转角，转角超过者，超过度数小于或等于5°判定为合格，大于5°应予更换后重新施拧。

8.3.4 按扭矩法施拧的高强度螺栓连接副的终拧扭矩检查宜在终拧 1 小时以后、24 小时之内完成；按扭角法施拧的高强度螺栓连接副的终拧转角检查应在终拧后及时进行，可靠的终拧扭矩检查可以提高结构的安全度。

8.3.5 高强度螺栓连接分项工程验收应包含：

- a) 检验批质量验收记录；
- b) 初拧扭矩、终拧扭矩（终拧转角）、扭矩扳手检查记录和施工记录等；
- c) 不合格质量处理记录；
- d) 工程相应负责人签署的交接文件；
- e) 其它相关资料。

9 高强度螺栓连接接头的涂装

- 9.1 高强度螺栓连接副只有全部终拧检查合格后，才应进行腻缝和涂装。
- 9.2 栓接板束边缘的板缝应及时清洗后用油漆或腻子封闭。
- 9.3 高强度螺栓连接副及栓接板外露部位应按下列工序进行涂装前的准备工作：
 - a) 表面净化处理：对高强度螺栓连接副和板面外露部位上的油污用专用的清洗剂进行清洗。用清水清除连接副上的皂化膜；
 - b) 打磨除锈：对局部锈蚀部位用专用打磨机打磨除锈，等级达到相应要求。
- 9.4 高强度螺栓连接接头外露部位的涂装按设计文件及 JT/T 722 的要求处理。
- 9.5 高强度螺栓连接接头涂装的质量控制与检测应按 TB 10415、TB 10752 的规定办理。

附 录 A
(资料性)
高强度螺栓进货验收记录表

表A.1 给出了高强度螺栓进货验收记录表示例。

表 A.1 高强度螺栓进货验收记录表

工程名称:		编号:		
到 货 物 资 记 录 (由 采 购 员 填 写)	规格型号			
	生产厂家			
	生产批号			
	数 量			
	出厂日期			
	质量证明文件号			
	存放地点			
	经办人			
	日 期	年 月 日		
外 观 质 量 验 收 (由 保 管 员 填 写)	验收: 1 数量及规格品种是否符合要求: 是 ☐ ; 否 ☐ 2 螺栓的外包装有无破损: 有 ☐ ; 无 ☐ 3 质量证明资料是否完整: 是 ☐ ; 否 ☐ 4 其他:			
	年 月 日			
质量证 明材料	试验室签认: 年 月 日			
委 托 试 验 (由 试 验 室 填 写)	抽 样 地 点		抽样数量	
	抽 样 日 期		用 途	
	试验项目: 委托人: 年 月 日			
试 验 结 论	检验报告编号: 合格, 同意使用 ☐ 不合格, 不同意使用 ☐ 试验员: 年 月 日			

附 录 B
(资料性)
高强度螺栓连接副检验报告

表B.1 给出了高强度螺栓连接副检验报告示例。

表 B.1 高强度螺栓连接副检验报告

委托单位			工程名称			报告编号			
样品名称	高强度螺栓连接副		性能等级			试验编号			
生产厂家			试验温度	℃		试验日期			
代表批量	套		相对湿度	%		报告日期			
检验依据									
检验用主要仪器设备									
连接副规格	M ×		批号			抽样数量	8 套		
内容				实测值					结果
试验项目		规定值	单位						
扭矩系数	单 K 值	/	/						合格
	平均值	0.110~0.150	/						
	标准差	≤0.0100	/						
机械性能	螺母保载		kN	持荷 15s，螺母完好；能用手自由旋下					
	楔负载	~	kN						
		断在螺纹或螺纹交接处	/	螺 纹 处	螺 纹 处	螺 纹 处	螺 纹 处	螺 纹 处	螺 纹 处
硬度	螺母	HRB98~ HRC32	HRC						
	垫圈	35~45	HRC						
	螺杆芯部	33~39	HRC						/
备注									
检验结论									

(盖章)

试验： 计算： 复核： 技术负责人：

附 录 C
(资料性)
电动扳手标定记录表

表C.1 给出了电动扳手标定记录表示例。

表 C.1 电动扳手标定记录表

工程名称					电动扳手型号				
扳手编号					标定编号				
螺栓批号					螺栓规格				
班前标定					班后标定				
序 号	输出扭矩 (N·m)	T 平均值 (N·m)	T 规定值 (N·m)	误差 %	序 号	输出扭矩 (N·m)	T 平均值 (N·m)	T 规定值 (N·m)	误差 %
1					1				
2					2				
3					3				
4					4				
5					5				
备 注					备 注				
标定时间： 年 月 日 时 分					标定时间： 年 月 日 时 分				
标定环境温度： ℃；相对湿度 %					标定环境温度： ℃；相对湿度 %				

标定： 记录： 标定： 记录：

计算： 复核： 计算： 复核：

年 月 日

年 月 日

附 录 E
(资料性)
高强度螺栓终拧扭矩检查表

表E.1 给出了高强度螺栓终拧扭矩检查表示例。

表 E.1 高强度螺栓终拧扭矩检查表

工程名称：工程部位：

螺栓批号、规格		节点面螺栓 总套数		抽检螺栓 总套数		终拧扭矩值 T_e (N·m)		检查扭矩值 T_{ch} (N·m)		合格 范围值	
抽检螺栓 规格	抽检螺栓 编号	检栓扭矩 (N·m)		检查结果	抽检螺栓 规格	抽检螺栓 编号	检栓扭矩 (N·m)		检查结果		
附注											

终拧时间： 年 月 日 时 检查时间： 年 月 日 时

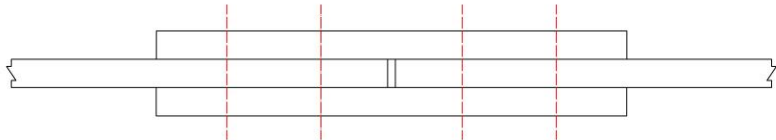
终拧环境温、湿度： ℃、 % 检查环境温、湿度： ℃、 %

检查： 复核： 质检员： 监理工程师：

附 录 F
(资料性)
板面抗滑移系数试验报告

表F.1 给出了板面抗滑移系数试验报告示例。

表 F.1 板面抗滑移系数试验报告

送检单位			使用部位		报告编号		
制造单位			连接副规格		试验编号		
试验机型号			试验温度	℃	试验日期		
轴力仪型号			相对湿度	%	报告日期		
序号	试件编号	板 厚 (mm)	试件部位	螺栓预拉力 (kN)	滑动荷载 (kN)	滑移系数	
						f1	f2
1			上端				
			下端				
2			上端				
			下端				
3			上端				
			下端				
示意图							
试验结论							
备注							

试验： 计算： 复核： 技术负责人： （单位）章

《桥梁高强度螺栓连接安装技术指南》条文说明

本条文说明系对重点条文的编制依据、存在的问题以及在执行过程中应注意的事项等予以说明，不具备与规范同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握规范规定的参考。为了减小篇幅，只列条文号，未抄录原条文。

3.1.1~3.1.14 术语的解释不一定是其理论涵义，可能与其他标准中的解释也不尽一致。列出术语及其解释的主要目的是为了工程施工质量验收工作中统一其内容、界定其范围，避免产生理解上的不同甚至歧义。

3.1.15 栓焊混用连接不同于栓焊并用连接，在正交异性钢桥面板作为桥面系结构中，栓焊混用连接通常设计为：钢桥面板间连接采用纵、横向现场焊接，而纵梁（肋）间连接和横梁（肋）与主桁弦杆间连接采用栓接或钢桥中横梁翼缘与主桁采用焊接；腹板采用高强螺栓摩擦型连接、且焊接滞后于栓接。

3.1.16 合格判定数的定义和使用应符合 GB/T 90.1《紧固件验收检查》的有关规定。

4.1.1 本条规定了桥梁使用的高强度大六角头螺栓连接副的组成，连接副各部件安装时缺一不可。

4.1.2 为确保桥梁高强度螺栓连接的安全、可靠，首先应保证所使用的高强度螺栓连接副质量符合国标的规定。因此，施工单位在订货时，要求 M12~M30 高强度螺栓连接副的组成、型式尺寸、形位公差、技术条件均应符合国标中的有关规定。

服役期间高强度螺栓的延迟断裂将严重影响结构和运营的安全，高强度螺栓连接副生产过程中应采取必要措施，减少使用过程中发生延迟断裂的敏感程度。在生产过程中对酸洗工序加强控制并及时去氢；严格按工艺执行，控制形位公差以及回火温度。

4.1.3 针对大直径高强度螺栓连接副（如 M33、M36），材料可选用 42CrMo 进行制备，成品螺栓的扭矩系数、螺母硬度、垫圈硬度等性能指标应符合相关标准的要求。可参照 GB/T 1231 中高强度螺栓楔负载和螺母保载规定的计算方法，进行大直径高强度螺栓楔负载和螺母保载的计算。

4.2.1 合适的高强度螺栓连接副产品是保证高强度螺栓施拧质量和结构安全的重要条件，因此规定了订货前应对生产企业进行综合考察、评定。

4.2.2 本条规定了高强度螺栓连接副的供货条件及产品质量检验报告书的内容。高强度螺栓连接副的质量是影响高强度螺栓连接安全性的重要因素，应达到螺栓标准中技术条件的要求，不符合技术条件的产品，不得使用。此外，由于螺栓不垂直度和螺母同轴度超标，在施拧和服役中对高强度螺栓连接副受力产生不利影响，施工单位在订货时可以考虑在产品质量检验报告书的内容中增加螺栓不垂直度和螺母同轴度的抽查数据。

4.2.3 本条增加了高强度螺栓连接副的包装要求。

因高强度螺栓连接副的扭矩系数是按批测定的，使用时也是按批配套使用的，所以生产厂应按规范中的规定按批配套提供高强度螺栓连接副，同时还应按批提供产品质量保证书。

高强度螺栓连接副的包装箱除应满足规范规定外，同时宜在高强度螺栓装箱时在其多余空间内放置一些防止高强度螺栓晃动的填充物品，以免在运输倒运过程中晃动而损伤螺栓丝扣。

4.2.4 对于特大型工程项目可能会有两家或两家以上的高强度螺栓生产企业供货，施工单位应选择同一种表面处理工艺的生产企业，便于管理和施工控制。

根据经验，经皂化处理后的螺栓连接副其扭矩系数受湿度影响较大，对于工程所在地湿度较

大时，宜优先选择全磷化表面处理的生产厂家（磷化处理后浸油螺栓为全磷化表面处理）。对于地处高温、高湿等特殊环境条件时，可根据施工条件，选择与桥梁配套的耐候钢高强度螺栓的生产厂家，并可参考本技术指南制定耐候钢高强度螺栓连接施工工艺。

4.3.1 条文所列工地复验常规检验项目对确保高强度螺栓的质量是必须的，应认真执行。

4.3.2 为确保高强度螺栓连接副质量可靠，高强度螺栓连接副进场后，施工单位应按有关规定进行复验，合格后方准使用。本条对连接副的复验作了明确、具体的规定。由于生产厂对产品质量的保证期为六个月，为此，本条还提请施工单位注意，连接副进场后，应及时进行复验。

4.3.3 高强度螺栓的施拧扭矩是根据连接副扭矩系数平均值制定的，复验时进行连接副扭矩系数试验的环境条件应与施工现场尽量一致。高强度螺栓连接副扭矩系数受环境温度、湿度影响较大，我国不同地区、不同季节的温、湿度也相差很大，因此对复验时的环境条件进行了要求，扭矩系数试验温度在 $15^{\circ}\text{C}\sim 25^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度为 $50\%\sim 70\%$ 为宜。工地试验室应具备相应的检验资质与检验能力，还应满足相关的计量要求。由于螺栓扭矩系数会随着现场环境温度、湿度的变化而改变，导致所施拧高强度螺栓的终拧预拉力过大或过小。通过比对试验观测终拧预拉力变化，适时调整终拧扭矩，确保终拧预拉力满足施工规定要求。

4.3.5 国标规定的扭矩系数平均值在 $0.110\sim 0.150$ 之内，高强度螺栓施拧要求扭矩系数稳定，本条根据实际情况要求在一般情况下，扭矩系数的平均值应满足 $0.120\sim 0.140$ 的规定”。

4.4.1~5.4.2 高强度螺栓连接副的扭矩系数是保证施工时高强度螺栓预拉力的主要因素之一，为了保证连接副的扭矩系数在运输、保管过程中不致发生变化，在本条中作了具体规定。

4.4.3 由于高强度螺栓连接副扭矩系数是生产厂按每批号提供保证的，本条的有关规定是为了保证在保管存放时不混批。

4.4.6 高强度螺栓连接副扭矩系数的保证期为6个月，本条对工地库存时间超过6个月的高强度螺栓连接副如何处理作了规定。

5.1 制造厂在发送构件时，应提供出厂时测试的栓接板面抗滑移系数试验数据，以确认其板面处理是否符合要求。为了使试验数据具有真实代表性，本条对试件的设计、制作和测试方法作了规定。

5.2 制造厂在发送构件时，应提供随梁发送的抗滑移系数试件，以便施工单位在架梁前进行复验，确认抗滑移系数值是否符合设计要求。本条对随梁发送的抗滑移系数试件的加工、数量作了规定。

5.3~5.4 在架梁前施工单位应对抗滑移系数试件进行试验，确认抗滑移系数最小值应满足设计要求值 >0.45 ，以保证其连接的可靠性。如不符合要求时，本条还对其处理方法作了规定。

现有的桥做法是：现场喷砂清除脏污板面，清洁干燥后涂刷无机富锌防锈防滑涂料一道，工艺及质量要求满足 JT/T 722《公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件》规定和现场抗滑移系数试验的设计要求。

5.5 在摩擦型高强度螺栓连接中，栓接板面抗滑移系数是影响连接强度的主要因素之一。影响抗滑移系数的因素主要有构件材质、除锈工艺、表面处理工艺以及板面的平整度、洁净度等。本条文对栓接板面的平整度、洁净度作了明确规定。

5.6 本条所规定的事项，都是为了不降低栓接板面抗滑移系数值和提高栓接接头的可靠性。

5.8 钢梁杆件在施工现场通常为露天存放，当存放时间过长时，其栓接板面抗滑移系数有可能发生变化，本条对有疑问或已变质栓接板面的处理作了规定。

5.10 强行穿入螺栓会严重损伤螺纹，本条增加了改变连接副的扭矩系数的条件。因此，当个别螺栓不

能自由穿入时，应查明原因，采用经设计同意的方法进行处理。不得擅自铰孔或扩钻，更不得用气割扩孔。

5.11 采用支架法、悬臂法或半悬臂法等不同的施工方法时，需要的冲钉与工具螺栓数量不同，将拼装时冲钉、工具螺栓的数量修改为根据荷载计算确定，以更好地与施工实际吻合。随着桥梁跨度、荷载不断增加，板束也越来越厚，使用高强度螺栓连接副进行板束的压平压紧，可能会导致高强度螺栓有效预拉力损失以及损坏连接副螺栓螺纹及螺母、垫圈支承面，导致扭矩系数发生变化。构件安装时，利用少量工具螺栓提前将栓接板固定在构件上随构件吊装，对接时可能会对栓接板进行调整。如果使用高强度螺栓连接副作固定螺栓，同样存在损坏高强度螺栓螺纹的可能性，故禁止将高强度螺栓连接副用作工具螺栓。工具螺栓安装时应装配垫圈，不得用电动扳手施拧，不得损坏摩擦面。

5.12 本条规定了对板缝的检查，板缝过大时雨水浸入对接头耐久性有影响。当拼装出现摩擦面间隙时，将会影响高强度螺栓连接及摩擦面受力性能，为此应按本条规定的方法处理。

6.1 领用高强度螺栓不得以短代长或以长代短，应满足 7.10 条的规定。终拧完成后螺栓丝扣外露应为 2-3 扣，其中允许有 10% 的螺栓丝扣外露 1 扣或 4 扣。

6.2 高强度螺栓的扭矩系数易受各种因素的影响，开箱后应及时使用，如搬运中损伤螺纹或开箱后放置时间较长，其扭矩系数可能会发生变化。

6.3 标示区域线方便高强度螺栓连接副安装，避免装错螺栓；区域线标示应有序进行，不宜侵入垫圈范围。

6.4 施工单位在复验高强度螺栓连接副的扭矩系数时，也应按生产厂提供的批号配套测试。为了符合实际情况，施工单位在安装高强度螺栓连接副时，螺栓、螺母、垫圈应按生产厂提供的批号配套使用，严禁混批，且不得改变螺栓出厂的原始状态，不得进行二次加工等。

6.5 我国高强度螺栓用的垫圈在内径处设有 45° 倒角，与螺栓头下的过渡圆弧相配合以有效降低应力集中，所以在安装时不应装反。高强度螺栓连接副在测定扭矩系数时，规定了垫圈有内倒角的一侧应朝向螺母支承面安装和试验，所以在安装时，为了保持一致，也不应装反。

6.6 本条规定了螺栓安装方向是为了施工及维修方便。其中，个别部位的高强度螺栓，其螺母位置无法满足上述常规要求时，可由施工单位决定高强度螺栓的安装方向，但力求全桥一致。

6.8 增加了“先对板的空栓孔安装高强度螺栓进行初拧，并及时逐一进行初拧标记；用两次更替换的步骤进行退换冲钉和施拧，方式按梅花形状替换冲钉，第一次拆替换的冲钉数量应为三分之一冲钉和工具螺栓，第二次拆替换的冲钉数量应为所剩余冲钉”的内容。

6.9 随着起重装备和桥梁施工技术的发展，钢梁的拼装方法也不断创新，安装时所需要的冲钉、工具螺栓数量无法进行统一规定，因此施工单位在确定钢梁架设方案时应加强对钢梁拼装过程中各种工况的计算分析，制定详细的作业指导书。

6.10 过短的螺栓会影响其受力性能，过长的螺栓，会造成浪费钢料，也增加施工量。为此本条规定了螺栓长度的计算公式。对于螺栓长度的修约舍位原则，是根据我国国家标准中当螺栓长度 $L \leq 100\text{mm}$ 时，按 5mm 分档，当螺栓长度 $L > 100\text{mm}$ 时，按 10mm 分档而定的。使用时可参考表 3。

表 3 高强度螺栓附加长度参考值 ΔL

单位为mm

螺栓公称直径	M12	M16	M20	M22	M24	M27	M30
高强度螺母公称厚度	12.0	16.0	20.0	22.0	24.0	27.0	30.0
高强度垫圈公称厚度	3.0	4.0	4.0	5.0	5.0	5.0	5.0
螺纹的螺距	1.75	2.0	2.5	2.5	3.0	3.0	3.5
大六角头高强度螺栓附加长度	23.0	30.0	35.5	39.5	43.0	46.0	50.5

7.1.1 高强度螺栓连接副的设计预拉力考虑到施拧中预拉力损失约为 10%，所以高强度螺栓连接副的施工预拉力为设计预拉力的 1.1 倍。表中 M22、M24、M27、M30、M33、M36 高强度螺栓预拉力已按相应设计规范调整。

7.1.2 我国桥梁高强度螺栓的拧紧以往多采用扭角法，随着高强度螺栓连接副生产水平不断提高，目前生产厂已能按保证扭矩系数供货，定扭矩电动扳手也已批量生产，使用方法也有一定提高，所以大多数施工单位都采用扭矩法施拧。由于扭角法施拧在管理上比较繁琐，并且在现场试验工作量较大，所以，本技术指南优先推荐采用扭矩法施拧。

数理统计值是以扭矩系数平均值为基础，通过统计分析，对研究对象的客观规律性作出合理的估计和推断，为螺栓施拧提供依据和建议。

7.1.3 高强度螺栓连接副的施拧分为初拧（复拧）和终拧，初拧（复拧）是为了使摩擦面板束之间达到密贴，使板束间进入弹性状态后螺栓受力均匀。初拧是高强度螺栓施工中不可缺少的一道工序，初拧扭矩的大小对终拧预拉力大小及其终拧扭矩离散性有一定影响。板束处于弹性工作状态后就不会发生后继施拧的螺栓导致前已施拧螺栓松弛，导致预拉力减少的现象发生；而初拧扭矩过大（过小），必然会使终拧范围过小（过大），因而会使电动扳手终拧的理想工作状态受到影响，所以，初拧过程控制十分必要。再通过统一终拧，使整个节点中高强度螺栓连接副达到预拉力较为均匀的目的。从试验和实践经验看，高强度螺栓连接副施拧次数不宜过多，多次施拧影响其受力性能和扭矩系数变化规律。但对大型连接头，如螺栓排数较多、拼接板较大、板束较厚，为克服先拧与后拧的高强度螺栓拧紧预拉力差异过大，应在初拧后对最先前施拧的 20%~30% 高强度螺栓进行复拧，这样复拧之后，既能有效保证施拧螺栓的一致性，同时也提高了施拧效率。

7.1.4 由于高强度螺栓连接副在测定扭矩系数时，是在螺母拧紧时测得的，所以，在施拧时，也应在螺母上施加扭矩。对个别死角上的螺栓确实无法在螺母上施拧时，应先在试验室进行头部施拧的扭矩系数试验，根据试验结果制定专门的终拧扭矩，以保证其终拧后预拉力满足设计要求。

7.1.5 为使被连接板束密贴，螺栓受力均匀，在高强度螺栓拧紧时应按本条文规定的顺序施拧。

7.1.6 为了尽可能使高强度螺栓连接副扭矩系数不致发生变化，GB 50205《钢结构工程施工质量验收规范》中规定高强度螺栓连接副的拧紧工作应在当天完成，随着现代特大桥钢结构桥梁的发展，单个节点的高强度螺栓连接副数量越来越大，特别是栓焊混用连接方式的出现，高强度螺栓的初拧、终拧与焊缝的焊接存在先后次序的问题，现场有时很难做到在一天之内完成高强度螺栓连接副的初拧、复拧和终拧，因此本次修订改“应”为“宜”。

7.1.7 冬季低温时段和夏季高温时段高强度螺栓连接副的扭矩系数变化加剧，不宜进行高强度螺栓施

拧。

7.2.1 在扭矩法施拧时，其初拧、复拧和终拧都是用扭矩控制的。扭角法施拧时，初拧、复拧是用扭矩控制的，终拧是用转角控制的。为使施拧扭矩准确，本条规定了除扭角法施拧使用的扳手外，其余施拧扳手均应进行扭矩校正，并在第 7.3.6 条规定了扭矩扳手的精度。

高强度螺栓初拧、复拧和终拧一般可采用数显电动扳手，主要由电动扳手、扭矩测量传感器、信号处理器及数据显示器组成。由于该数显电动扳手能够自动实时显示施加扭矩值，便于操作人员对施拧质量进行控制，无需在试验室中对电动扳手做大量的试验和分析，节省了人力、物力。该扳手能够自动实时记录施拧扭矩值，便于后期分析每个螺栓的施拧质量。

7.2.2 本条对个别死角处无法使用电动扳手施拧的螺栓的施拧方法作出了规定，以方便现场操作。

7.2.3 本条对高强度螺栓施拧所用的各种扳手的标定方法作了详细规定。

定扭矩电动扳手的标定扭矩是 5 次标定的扭矩平均值，实际施拧时，每施拧一颗螺栓，其终拧扭矩会大于、等于或小于标定扭矩。目前，国内数显式电动扳手已研制成功，数显式电动扳手可逐个显示所施拧高强度螺栓的终拧扭矩并编号储存，在施工过程中就可直观的判定出超拧或欠拧的高强度螺栓，及时对超、欠拧的螺栓进行处理，当天施工结束后，可调出当天储存的终拧扭矩数据，作进一步检查，有利于提高施工精度，确保结构安全。在有条件的情况下可考虑使用数显式电动扳手进行高强度螺栓的施拧工作。

7.2.4 定扭矩扳手每次使用前应标定。扭矩系数试验仪可同时显示定扭矩扳手的输出扭矩和连接副的预拉力，采用扭矩系数试验仪标定定扭矩扳手，可方便计算出标定用高强度螺栓连接副的扭矩系数，在每天的定扭矩扳手标定过程中，当发现标定用高强度螺栓连接副的扭矩系数发生变化时，可及时根据扭矩系数的变化调整施拧扭矩，相对减少温度、湿度对扭矩系数的影响，保证所施拧高强度螺栓连接副的终拧预拉力满足设计要求。

7.2.5 高强度螺栓的扭矩系数易受环境因素影响，因此标定扳手时应尽可能在与施拧现场相同的环境中进行，以保证现场高强度螺栓施拧扭矩的准确。

7.2.6 电动定扭矩扳手其输出扭矩受电压波动的影响，因此在使用中应独立供电，并配置稳压电源。

7.3.1 在扭矩法施拧中，影响高强度螺栓拧紧预拉力的主要因素是高强度螺栓连接副的扭矩系数和施拧扭矩，为此在施拧前应测定高强度螺栓连接副的扭矩系数，确认其平均值和标准偏差是否符合要求，并以此扭矩系数平均值来确定终拧扭矩和检查扭矩。由于目前高强度螺栓连接副生产厂都是采用磷化、皂化表面处理工艺来保证连接副扭矩系数，经过这种处理工艺的高强度螺栓连接副扭矩系数受温度变化影响，因此在施时应予以注意，尽可能使测试时的环境温度与施拧温度接近。由原铁道部科学研究院主持研制的磷化、皂化表面处理工艺，其扭矩系数随温度上升而减小，温度每上升 10℃，扭矩系数减小 6.7%。施工单位在高强度螺栓连接副订货时，可向生产厂索取该厂所采用表面处理工艺时温度对扭矩系数影响的有关资料，以供施拧时参考。一般情况宜用电动扳手标定允许误差范围值 $\pm 3\%$ 来进行微量调整，能有效降低环境对螺栓扭矩系数影响程度。

7.3.3 本条规定了施拧扳手每天的标定次数和时间点，以了解扭矩系数的变化情况。

7.3.5 每天使用与当天桥上所施拧同规格、同批号的高强度螺栓连接副标定施拧扳手，可准确监控所施拧高强度螺栓连接副扭矩系数的变化情况，随时调整施拧扭矩，一般情况可合理运用班前标定时电动扳手 $\pm 3\%$ 的允许误差范围值微调整，（即采用电动扳手正、负误差值的带宽特点进行微调整轴

力较好，以轴力值来控制扭矩值大小）来进行微调扭矩与轴力的不合适性。

7.3.6 本条规定了标定误差及标定不合格的处理方法。

标定误差的大小决定着施拧扳手性能稳定程度和规范操作熟练程度及所施拧高强度螺栓连接副终拧预拉力的离散程度，误差越小，所施拧终拧预拉力就越集中。从多座桥梁高强度螺栓施工质量控制总结来看，初拧过程的控制十分重要，终拧电动扳手稳定性和使用精确度十分重要。标定出合格的施拧扳手所需的时间就越长，所用的标定螺栓就越多，标定成本越大；反之，标定成本越小，但所施拧高强度螺栓连接副的终拧预拉力就越离散，结构的安全系数就越低。根据多座桥梁施工的实践，本条“班前标定值不得大于规定值的 $\pm 3\%$ ”的规定在不增加标定难度的前提下，提高了施拧精度。

7.3.8 对初拧到位后的高强度螺栓统一划终拧转角线标记可起到以下作用：（1）表明已经初拧；（2）终拧后可用于检查该高强度螺栓连接副是否已经终拧；（3）在终拧检查时，可直观地检查垫圈或螺栓是否跟随螺母一起转动。增加了高强度螺栓的控制细节如：作终拧转角标记线，沿板面、垫圈、螺母、延伸至栓端头划贯通直线（连线应经过螺母棱角），便于终拧检查观察有无漏拧以及垫圈或螺栓是否跟随螺母转动、螺母转动角大小等。终拧转角线统一划完成后，要有初拧到位的工序检查（初拧控制检查），初拧工序检查到位后，方可进行终拧等内容。

7.3.9 高强度螺栓终拧应使用电动扳手。为保证施加的终拧扭矩准确，使用手动扳手施拧时应连接、平稳，不能使用冲击力。当垫圈与螺母一起转动时，此时的连接副扭矩系数与施拧试验测定的扭矩系数情况不符，因此，当垫圈与螺母一起转动时，应重新更换后施拧。增加了“终拧时，应使用卡游扳手卡住螺栓头，如果垫圈发生转动，应更换高强度螺栓连接副，按操作程序重新初拧、复拧、终拧”。

7.3.10 终拧完成后，可采用与初拧（复拧）不同颜色的油性记号笔在螺栓端头上作终拧“竖杠”标记，便于自检和终拧质量检查，提高了施拧管控能力。

7.4.1 扭角法施拧也分为初拧、复拧和终拧，其初拧、复拧用扭矩控制。由于终拧是用转角控制，因此高强度螺栓连接副的扭矩系数对终拧的拧紧预拉力没有影响，仅对初拧预拉力有影响。终拧用的扳手也无扭矩精度的要求。

7.4.2 扭角法的初拧扭矩值应通过试验确定，并应在板束层数较多、板束厚度较厚的节点上用一螺栓群（10~20套高强度螺栓连接副）试验确定。试验时，应使初拧、复拧后板束达到密贴，即在此基本上进行终拧时螺栓预拉力与螺母转角成线性关系。试验时，应在螺栓上贴应变片用电测法准确测定螺栓预拉力。在使被连接节点板束达到密贴的前提下，一般来说应尽量采用较小的初拧扭矩。

7.4.3 扭角法施拧的终拧转角是指螺栓与螺母的相对转动角度，因此划线时，也是在螺栓与螺母上划细直线。

7.4.4 当初拧扭矩确定后，应根据全桥连接节点的板束厚度和板层层数，通过大量实际试验，经数理统计确定终拧转角，即求出本条终拧转角公式中 a、b、c 系数值。试验时，应在螺栓上贴应变片用电测法准确测定螺栓预拉力。系数 a 是高强度螺栓连接副从初拧预拉力增加到终拧预拉力时，螺栓、螺母、垫圈和与垫圈接触的钢板面等产生的变形所需要的转角。当高强度螺栓直径、终拧预拉力等情况都相同时，系数 a 是一常数。系数 b 是每增加一层连接钢板所需的转角。试验时，可分别测定连接板束层数相同，板束厚度不同的终拧转角来求得系数 c。

7.5.1 目前铁路钢桥的设计中已广泛采用栓焊混用接头，在这类接头施工中，由于后焊板件的焊接变形对先行栓合的板件产生附加内力，进而影响到其上高强度螺栓的受力，因此，施工单位在制定栓焊混

用连接接头高强度螺栓施拧工艺方案时应与设计单位加强联系和沟通,听取意见,使方案合理和安全。

7.5.2 目前栓焊混用连接构造主要集中于横梁、小纵梁和正交异性钢桥面板 U 肋嵌补段的高强度螺栓混用连接部位。主要问题是终拧可能滞后,初拧应赶在焊接之前,时间可能互相交叉。但高强度螺栓施工预拉力已有 10% 的补偿,若温度变化不大,扭矩系数不会有太大变化。

根据经验,如果先焊后栓,桥面板施焊后冲钉被栓孔压紧很难退出,影响高强度螺栓施工,且桥面板与弦杆连成整体后,栓接部位的板面难以贴紧,降低摩擦板面的连接效果。

8.1.1 高强度螺栓连接副施工质量检查,目前只能在施工期间随时进行,因为经过一段时间后,由于高强度螺栓连接副扭矩系数发生变化和转角划线被油漆遮盖,很难进行准确检查。为此,高强度螺栓连接施工质量检查十分重要,应由专职质量检查员及时进行,这是确保高强度螺栓连接安全、可靠的重要措施,施工单位应按本章所提出的要求严格执行。

8.1.2 为保证施拧扭矩准确,检查扭矩扳手精度应比施工用的扳手精度高,其误差为 $\pm 2\%$ 。

8.2.1~8.2.2 无论采用扭矩法或转角法施拧,在初拧(或复拧)后都应进行 100% 初拧检查,以防漏拧。

采用初拧标记法检查或小锤敲击检查的优点是简捷有一定操作性,缺点是无法准确测定高强度螺栓的拧紧程度,本条根据现场施工经验给出了较为详细的说明,供参考。划线法检查判定方法:螺栓、螺母、垫圈之划线均未错动者为漏拧;螺栓、螺母的划线未错动者为螺栓随螺母转动;螺母、垫圈的划线未错动者为垫圈随螺母转动。

8.3.2 对于扭矩法施拧的终拧检查,先检查初拧(或复拧)状况,之后检查终拧螺栓与螺母相对位置是否发生转动,再进行终拧扭矩检查。紧扣法检查由于速度快、效率高,在现场应用较广,但应注意紧扣检查扭矩应在现场确定,在测定紧扣检查扭矩时,应确认此时高强度螺栓的预拉力误差在设计预拉力的 $\pm 2\%$ 范围内。

采用松扣、回扣法检查时,由于此时高强度螺栓预拉力损失已基本完成,所以在公式中 P 为设计预拉力。

为了提高检查精度、减少人为因素,高强度螺栓终拧扭矩检查可采用便携式扭矩测试仪。该仪器通过角度传感器自动控制施拧转角、扭矩传感器自动显示和记录检查扭矩;内置 20 倍力矩倍增器,施力均匀平稳,测量精度高;检查扭矩检测仪自动保存扭矩值,检测精度 $\leq \pm 2\%$,避免因误读、估读现象给结构带来安全隐患,优于表盘式、预置式传统扭矩检测扳手。

8.3.3 量角器转角法检查,通过试验室试验获取高强度螺栓从初拧到终拧螺母相对螺栓旋转角度值的统计参数,然后利用该角度检查施拧情况。即在施工时以转角法监控扭角法的施工,可以大幅提高高强度螺栓的施工效率和质量。

8.3.4 按扭矩法施拧的高强度螺栓连接副的终拧扭矩检查宜在终拧 1 小时以后、24 小时之内完成,其理由是高强度螺栓连接副终拧后经过 1 小时,其预拉力损失已大部分完成,高强度螺栓预拉力已接近设计预拉力。如果时间过长,高强度螺栓扭矩系数将会发生变化,影响检查的准确性。扭角法的终拧检查应及时进行,否则会因时间过长,划线不清楚,难以准确确认。

9.1 高强度螺栓连接副终拧检查合格后方可进行腻缝和涂装,这是工序和工艺的基本要求。腻缝的目的是为了防止雨水进入板层中腐蚀高强度螺栓连接副和钢板。

9.4 高强度螺栓连接副和栓接板束的外露部位可按交通部标准 JT/T 722《公路桥梁钢结构防腐涂装技

术条件》中有关条文的规定进行涂装。在对栓接板外露铝涂层进行封孔及对高强度螺栓外露处涂装底漆后，按设计文件中规定的涂装体系进行中间漆和面漆的涂装，达到栓接接头处与全桥涂装的统一，具有相同的防腐周期。