**T/CECSXXXX-202X**

中国工程建设标准化协会标准

高速铁路无砟轨道大跨度斜拉桥技术规程

Technical Specification for Long-span Cable-stayed Bridge with

Ballastless Track for High Speed Railway

（征求意见稿）

XXXX出版社

中国工程建设标准化协会标准

高速铁路无砟轨道大跨度斜拉桥技术规程Technical Specification for Long-span Cable-stayed Bridge with

Ballastless Track for High Speed Railway

**T/CECS XXX—202X**

（征求意见稿）

主编单位： 中铁第四勘察设计院集团有限公司

批准单位： 中国工程建设标准化协会

执行日期： 20XX年XX月XX日

××××出版社

20×× 北京

前言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2021年第一批协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字〔2021〕11号）的要求，标准编制组在深入调查研究，认真总结实践经验，参考有关国内外现行标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本文件。

本文件共分为9章，主要技术内容包括：总则、术语和符号、材料、基本规定、桥梁结构、轨道结构、无砟轨道铺设、施工监控、运营维护等。

本文件由中国工程建设标准化协会铁道分会归口管理，由中铁第四勘察设计院集团有限公司负责具体技术内容的解释。本文件在使用过程中如有需要修改或补充之处，请将有关资料和建议寄往解释单位（地址：湖北省武汉市武昌杨园和平大道745号，邮政编码：430063），以供修订时参考。

|  |  |
| --- | --- |
| **主编单位：** | 中铁第四勘察设计院集团有限公司 |
| **参编单位：** | 中国铁道科学研究院集团有限公司中国铁路经济规划研究院有限公司中南大学中铁十六局集团有限公司 |
| **主要起草人：** |  |
| **主要审查人：** |  |

# 目 次

目 次 I

1 总则 1

2 术语和符号 2

2.1 术语 2

2.2 符号 4

3 材料 5

3.1 钢材 5

3.2 混凝土 5

3.3 斜拉索 5

3.4 无砟轨道 6

4 基本规定 7

4.1 一般规定 7

4.2 结构计算 9

5 桥梁结构 11

5.1 一般规定 11

5.2 主梁 12

5.3 索塔 14

5.4 斜拉索 15

5.5 结构刚度及变形 16

6 轨道结构 22

6.1 一般规定 22

6.2 构造设计 23

6.3 钢轨伸缩调节器 25

7 无砟轨道铺设 28

7.1 一般规定 28

7.2 精密测量 29

7.3 无砟轨道铺设过程控制 32

7.4 静态验收标准 36

8 施工监控 38

8.1 一般规定 38

8.2 施工监控要求 39

8.3 施工控制精度 40

9 运营维护 42

9.1 一般规定 42

9.2 健康监测 44

9.3 线路线形维护 47

本文件用词说明 52

引用标准名录 53

**Contents**

1 General 1

2 Termsand symbols 2

2.1 Terminology 2

2.2 Symbol 4

3 Material 5

3.1 Steel 5

3.2 Concrete 5

3.3 Cable-stayed cable 5

3.4 Ballastless orbit 6

4 BasicRequirements 7

4.1 General Requirements 7

4.2 Structural calculations 9

5 Bridge structure 11

5.1 General Requirements 11

5.2 Girder 12

5.3 Tower 14

5.4Stay Cable 15

5.5 Structural Stiffness andDeformation 16

5.6 Pre-arch and Compression 20

6 Track structure 22

6.1 General Requirements 22

6.2Structural Design 23

6.3Rail Expansion Controller 25

7 Ballastless track construction 28

7.1 General Requirements 28

7.2 Precisionmeasurement 29

7.3Construction process control 32

7.4 Static Acceptance Criteria 36

8 Construction monitoring 38

8.1 General Requirements 38

8.2 Construction MonitoringRequirements 39

8.3 Construction control accuracy 40

9 Operationand maintenance 42

9.1 General Requirements 42

9.2 Health Monitoring 45

9.3Bridge AlignmentMaintenance 47

Explanation of Wordingin this Specification 52

List of Quoted Standards 53

# 总则

### **1.01**为规范和指导高速铁路无砟轨道大跨度斜拉桥及桥上线路的设计、施工、验收以及运营维护，遵循安全可靠、适用耐久、技术先进、经济合理、环境协调的原则，制定本文件。

### **1.0.2**本文件适用于主跨600m及以下、设计速度250km/h及以上的高速铁路无砟轨道大跨度斜拉桥的设计、施工、验收与养护，其他类型无砟轨道大跨度桥梁可参考使用本文件。

条文说明

1根据国内外已有的工程实践，当列车时速超过300km/h以上时，铁路道砟容易发生粉化，不仅严重影响铁路的平顺性，使铁路维修频繁，且因道砟飞溅危及行车安全。无砟轨道具有高平顺、高稳定、高耐久性、少维修等优点，是我国高速铁路主要采用的轨道类型，但对施工精度要求高，对桥梁变形要求严格。

2 该技术标准是在总结国内外高速铁路无砟轨道大跨度斜拉桥建设经验的基础上编制而成。截至2021年底，国外最大跨度的高速铁路斜拉桥为日本北陆新干线第二千曲川桥，孔跨布置为2×135m单塔双孔斜拉桥，设计行车速度260km/h，采用板式整体无砟轨道。国内首座高速铁路无砟轨道大跨度斜拉桥为主跨300m的昌赣客专赣州赣江特大桥，运营速度350km/h，于2019年12月26日开通运营；第二座高速铁路无砟轨道大跨度斜拉桥为主跨324m的商合杭铁路裕溪河大桥，运营速度350km/h，于2020年6月28日开通运营。另外，主跨630m的铜陵公铁两用长江大桥也开展了铺设无砟轨道可行性研究，初步研究结果表明方案可行。东平水道桥350m、津潍高铁黄河特大桥主跨600m公铁合建斜拉桥也开展了无砟轨道设计及测控关键技术研究。综合考虑各方面的技术成熟性，确定本技术标准适用范围为600m及以下跨径高速铁路无砟轨道大跨度斜拉桥。

说明表1.0.2 部分国内已建或在建的大跨度无砟轨道斜拉桥

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **线路名称** | **桥梁名称** | **主跨****跨径/m** | **线路数目/荷载/设计时速** | **索塔****类型** | **主梁****类型** |
| 1 | 昌赣客专 | 赣州赣江特大桥 | 300 | 双线/ZK/350 | 人字形塔 | 结合梁，混合梁 |
| 2 | 商合杭铁路 | 裕溪河特大桥 | 324 | 双线/ZK/350 | H型塔 | 钢箱桁梁 |
| 3 | 沪苏湖铁路 | 斜塘特大桥 | 260 | 四线/ZK/350 | H型塔 | 结合梁，混合梁 |
| 4 | 湖杭铁路 | 富春江特大桥 | 300 | 四线/ZK/350 | H型塔 | 结合梁，混合梁 |
| 5 | 广湛高铁 | 跨东平水道桥 | 350 | 双线/ZK/350 | 人字形塔 | 结合梁，混合梁 |
| 6 | 通甬高铁 | 望虞河大桥 | 340 | 双线/ZK/350 | 钻石型塔 | 结合梁 |
| 7 | 福厦高铁 | 安海湾特大桥 | 300 | 双线/ZK/350 | H型塔 | 结合梁 |
| 8 | 巢马铁路 | 马鞍山公铁两用长江大桥副汊桥 | 392 | 四线/ZK/250 | A型塔 | 钢桁梁 |
| 9 | 南玉铁路 | 百合郁江特大桥 | 330 | 双线/ZK/350 | H型塔 | 混合梁 |
| 10 | 通甬铁路 | 杭州湾特大桥北航道桥 | 450 | 双线/ZK/350 | H型塔 | 钢箱桁梁 |
| 11 | 京港高铁 | 鳊鱼洲长江大桥北汊航道桥 | 2×145 | 双线/ZK/350 | H型塔 | 混凝土梁 |

### **1.03**高速铁路无砟轨道大跨度斜拉桥应统筹考虑梁轨协调变形、施工及运营养护的需求，并加强运营期间健康监测。

条文说明

高速铁路无砟轨道大跨度斜拉桥应采用桥梁与轨道协同设计的理念，并注重桥梁-轨道协调变形。设计需要考虑施工的便利性，还要注重运营养护的便利性，以实现桥梁-轨道系统“可视、可达、可检、可修”；也包括设计对施工及监控、运营期安全监测等要求。

### **1.0.4**高速铁路无砟轨道大跨度斜拉桥的设计、施工、验收与维护除应符合本文件的规定外，尚应符合《铁路桥涵设计规范》TB 10002、《铁路斜拉桥设计规范》TB 10095等国家和行业现行有关标准的规定。

# 术语和符号

## 术语

### 结合桥面板 composite deck

在钢桥面板上设置剪力连接件，浇筑一定厚度的混凝土形成的桥面板结构。

### 弹性垫层 elastic cushion

在底座板凹槽侧面设置的弹性橡胶垫层，用以缓冲传递上部轨道结构纵横向载荷。

条文说明

根据6.1条，桥上轨道结构宜采用CRTSIII型板式无砟轨道，可采用CRTS双块式无砟轨道。无砟轨道底座板设置凹槽，灌注自密实混凝土或现浇道床板后形成凸台，为缓冲作用在凸台和凹槽的纵、横向力，降低温度荷收缩产生的束缚力，在凹槽侧面四周粘贴弹性垫层。

### 隔振层vibration isolation layer

隔离缓冲层在底座板凹槽底部、底座板与上部结构层间设置隔振层，起隔离、缓冲、协调变形作用。

条文说明

大跨度斜拉桥梁体变形较为复杂，轨道结构在桥面荷载作用下，易在层间出现离缝，在底座板与上部结构之间以及底座板凹槽底部设置隔振层，可起隔离、缓冲和协调变形作用，有效避免层间病害发生。

### 弹性约束装置 elastic restraint

用于顺桥向连接主梁与索塔的弹性装置，能够减小梁端位移，并改善斜拉桥抗风、抗震性能。

条文说明

弹性约束装置可采用小变形、大刚度、缓冲减震性能优的碟簧或环形弹簧结构。可与支座一体化设计，实现主梁和索塔的弹性约束。地震作用下，与塔梁固定（固结）体系相比，弹性约束装置延长了斜拉桥自振周期，减小地震响应；风荷载作用下，弹性约束装置提高了斜拉桥纵向刚度，主梁上的风荷载大部分通过弹性约束装置直接传递至索塔，大大降低了风荷载在索塔上的作用高度，有效降低塔底弯矩，进而减小梁端顺桥向位移。

### 竖向变形曲率半径 radius of curvature of vertical deformation

用于描述主梁竖向变形曲线弯曲变化的程度，变形曲线应根据实际位移拟合成光滑的曲线。

条文说明

基于桥梁竖向变形与车体加速度及未平衡加速度关系，通过控制桥梁竖向变形最小曲率半径来限制高速列车通过时产生的离心加速度，以满足高速行车安全性和乘坐舒适性的要求。

### 中点弦测法 midpoint chord method

利用直线测弦测量高低和轨向不平顺的一种方法，测点位于测弦中点对应位置，测点到测弦的垂距（偏移量）即为中点弦测值。

### 矢距差法vector distance difference method

在特定基线长范围内（30m或300m基长）以特定间隔（5m或150m）计算间隔两点的实测矢距差与设计矢距差的差来评价高低和轨向不平顺。测点位于特定间隔的小里程处。

### 轨道质量指数track quality index

轨道质量指数（简称“TQI”）是指轨道在200m长度范围内，各项不平顺的标准差之和。

条文说明

TQI是高低、轨向、轨距、水平和三角坑的动态检测数据的统计结果，该值的大小与轨道状态平顺性密切相关，表示200m区段轨道状态离散程度，即数值越大表明轨道的平顺程度越差、波动性也越大。各单项轨道不平顺的统计值同样也反映出该区段轨道状态的平顺程度。

TQI是一种采用数学统计方法描述区段轨道整体质量状态的综合指标和评价方法。运用TQI评价和管理轨道状态，是对单一幅值扣分评判轨道质量方法的补充，提高监测数据综合应用水平，为科学制定线路维修计划，保证轨道状态的均衡发展提供科学依据。

### 车辆动力学指标 Vehicle dynamics index

列车在桥上行驶的动力学指标，主要包括脱轨系数、轮重减载率、轮轴横向力和垂向力。

## 符号

*L*——主跨跨度

*H*——桥面以上索塔的有效高度

*R*sH——主梁竖向变形曲率半径

*R*sL——主梁横向变形曲率半径

*δ*H——主跨跨中竖向变形

*δ*L——主跨跨中横向变形

*v*——设计行车速度

# 材料

## 钢材

### 用于各部分构件的钢板、型材等的技术要求、物理性能指标及耐久性设计要求，应符合《铁路桥梁钢结构设计规范》TB 10091及其他国家、行业标准的有关规定。剪力钉的技术要求应符合《电弧螺柱焊用圆柱头焊钉》GB/T 10433的有关规定。

“用于各部分构件混凝土的极限强度、容许应力、弹性模量和耐久性设计要求等”

条文说明

本条规定了剪力钉材料的技术要求。剪力钉在无砟轨道大跨度斜拉桥中有着较广泛的应用，昌赣客专赣州赣江特大桥、湖杭铁路富春江特大桥、沪苏湖铁路斜塘特大桥等主梁钢-混截面均采用剪力钉作为连接件，商合杭铁路裕溪河特大桥正交异性组合桥面也采用了剪力钉作为连接件。

### 钢筋混凝土及预应力混凝土构件所采用的普通钢筋与预应力钢筋的类别、抗拉强度标准值、计算强度、容许应力、容许疲劳应力幅和弹性模量等，应符合《铁路桥涵混凝土结构设计规范》TB 10092的有关规定。

## 混凝土

### 用于各部分构件混凝土的强度、弹性模量和耐久性设计要求等，应符合《铁路桥涵混凝土结构设计规范》TB 10092的有关规定。

### 主梁、索塔预应力混凝土构件的混凝土强度等级不应低于C50，钢筋混凝土索塔的混凝土强度等级不应低于C40。

### 钢-混结合梁现浇桥面板、湿接缝宜采用补偿收缩纤维混凝土，应符合《纤维混凝土应用技术规程》JGJ/T 221、《补偿收缩混凝土应用技术规程》JGJ/T178的有关规定。

## 斜拉索

### 斜拉索用高强钢丝宜采用******7mm钢丝，标准强度不宜低于1670MPa，其性能应满足现行《桥梁缆索用热镀锌或锌铝合金钢丝》GB/T 17101的要求。

### 斜拉索用高强度低松弛预应力钢绞线，其性能应满足现行《斜拉桥钢绞线拉索技术条件》GB/T 30826的要求。

### 斜拉索用锚具材料应符合《优质碳素结构钢》GB/T 699或《合金结构钢》GB/T 3077的有关规定。

## 无砟轨道

### 自密实混凝土

CRTSIII型板式无砟轨道的自密实混凝土技术指标应符合《高速铁路CRTSⅢ型板式无砟轨道自密实混凝土》Q/CR 596的相关规定。

### 弹性垫层

限位凹槽周围弹性垫层技术指标应符合《高速铁路CRTSⅢ型板式无砟轨道橡胶弹性缓冲垫层》Q/CR 785的相关规定。

### 隔离缓冲层

隔离缓冲层分为橡胶和骨架材料，隔振垫成品性能应符合表3.4.3的规定。

表3.4.3成品性能

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **项目** | **单位** | **技术要求** |
| 1 | 静力地基模量 | N/mm3 | 设计值±10% |
| 2 | 动静模量比 | — | ＜1.3 |
| 3 | 吸水率 | % | ＜5 |
| 4 | 疲劳后厚度变化 | mm | ＜3 |
| 5 | 疲劳后静刚度变化率 | % | ≤15 |

# 基本规定

## 一般规定

### 总体设计应根据使用功能、技术标准、建设条件等要求，对结构体系、主梁、斜拉索、索塔、桥墩及基础等进行综合比选。

条文说明

建设条件一般包括地形、地质、地震、气象、水文、通航、防洪等。总体设计是指在充分考虑建设条件的基础上，提高结构静、动力性能以及技术经济性。有条件时，宜优先考虑公铁合建方案，可有效提高结构刚度。

### 斜拉桥线路平面应为直线，纵断面宜设为人字坡。

条文说明

将线路纵断面设计成人字坡曲线，可避免桥上行车、收缩徐变引起的凹形纵面。对于小跨度斜拉桥，线路纵断面也可设为平坡。如设钢轨伸缩调节器，平、纵断面设计还应满足设钢轨伸缩调节器的相关要求。

### 桥上设有纵坡时，梁端支座滑动面顺桥向坡度宜与线路坡度一致。

条文说明

大跨度斜拉桥梁端顺桥向位移较大，支座水平时会引起梁端轨道竖向变形，易引起轨道结构损害。故本条要求梁端支座滑动面顺桥向坡度宜与线路坡度一致。比如：位于6‰纵坡上大跨度斜拉桥，梁端顺桥向水平位移300mm，则产生梁端轨道竖向变形1.8mm，不满足无砟轨道桥梁相邻梁梁端两侧的钢轨支点竖向相对位移不应大于1mm的要求。

### 总体设计应考虑车桥耦合动力响应、抗风、抗震、防撞及耐久性等要求，并根据需要进行专项研究。

条文说明

斜拉桥是柔性结构，在列车、风、地震、撞击等作用下容易发生振动和损伤，严重时可能导致桥梁出现安全问题。高速铁路斜拉桥对行车安全性和舒适性要求高，根据需要进行车桥耦合动力仿真分析；对于风速较大、风环境复杂地区的斜拉桥，根据需要进行桥址区风环境研究以及桥梁抗风性能研究；对于桥址区地震烈度高、场地条件复杂的斜拉桥，根据需要进行地震动参数研究以及桥梁抗震性能研究；对于通航环境复杂、船舶撞击力大的斜拉桥，根据需要进行船撞力设防标准研究以及防船撞措施研究。

### 主跨300m及以上的高速铁路无砟轨道斜拉桥宜设置健康监测系统。健康监测系统设计宜统筹考虑桥梁和轨道的运营、养护，实现自动化、智能化监测和多层次安全预警。

条文说明

目前已发布的国家和行业标准主要有《建筑与桥梁结构监测技术规范》GB 50982、《公路桥梁结构安全监测系统技术规程》JT/T 1037。《建筑与桥梁结构监测技术规范》GB 50982的7.1.2条规定：“对特别重要的特大桥，应进行使用期间监测。除 7.1.2 条规定，设计文件要求或其他规定应进行使用期间监测的桥梁结构外，满足下列条件之一时，桥梁结构宜进行使用期间监测：

1 主跨跨径大于 150m 的梁桥；

2 主跨跨径大于 300m 的斜拉桥；

3 主跨跨径大于 500m 的悬索桥；

4 主跨跨径大于 200m 的拱桥；

5 处于复杂环境或结构特殊的其他桥梁结构”。

《公路桥梁结构安全监测系统技术规程》JT/T 1037沿用了该条文，即针对不同桥型按跨度进行监测系统建设。

大跨度铁路桥梁近20年迅速发展，据不完全统计，截至2021年底主跨大于200m的铁路桥梁超过189座，其中200m～400m跨度是目前的应用主体，占比达到76%，同时，无砟轨道在200m～400m跨度范围内应用逐步提升，目前已有19座桥梁。随着昌赣铁路赣州赣江特大桥、商合杭铁路裕溪河特大桥、福厦铁路泉州湾跨海大桥等一大批高速铁路无砟轨道斜拉桥的建成，300m以上的高速铁路无砟轨道斜拉桥得到了成功的应用，大跨度桥梁结构受力、变形较复杂，加强运营期间服役状态监测非常有必要。

### 高速铁路无砟轨道大跨度斜拉桥主要结构尺寸及构造应符合《铁路斜拉桥设计规范》TB 10095、《铁路桥涵设计规范》TB 10002、《铁路桥涵混凝土结构设计规范》TB 10092及《铁路桥梁钢结构设计规范》TB 10091的有关规定。

## 结构计算

### 结构计算时，除进行静力分析外，还应进行动力分析、稳定分析，确保结构的强度、刚度和稳定性满足要求。

### 轨道结构计算时，应考虑桥梁结构变形对轨道结构受力和变形的影响。桥梁结构变形宜考虑列车荷载、温度、混凝土收缩徐变、风荷载及沉降等的影响。

### 车桥耦合动力响应分析应符合下列规定：

**1**车桥耦合动力分析宜分三级评估动力学指标。

**2**应开展风-列车-轨道-桥梁耦合动力响应分析，确定不同风速下桥上列车行车速度阈值，保障行车安全。

**3**轨道不平顺应考虑初始不平顺和桥梁附加变形的叠加，桥梁附加变形应考虑温度、风荷载、沉降、徐变等因素的影响。

条文说明

1大跨度桥梁除应进行正常条件下的车桥动力响应计算，尚应将除列车活载外各种荷载作用下的变形值进行包络计算，叠加到初始轨道不平顺时程曲线进行车桥耦合动力响应分析，车辆响应和桥梁响应满足相关规定。

2我国《铁路桥涵设计规范》TB 10002其主要适用于较小跨度桥梁，结构一般由活载控制，温度和风效应较小，结构的变形也主要由活载引起。大跨桥梁的结构变形由活载、温度和风共同作用，宜采用分级评估模式。根据发生概率、作用时间、桥梁变形为周期性变化还是单调变化，根据工程特点进行合理的荷载组合，可参考下表所给出的各级荷载组合下的车辆动力响应限值。

说明表4.2.3动力响应限值分级评估表

| 荷载或作用 | 一级评估 | 二级评估 | 三级评估 |
| --- | --- | --- | --- |
| 实际列车 | △ | △ | △ |
| 温度 | △ | △ | △ |
| 横风 | — | △ | △ |
| 多线行车 | — | △ | △ |
| 沉降、徐变等 | — | — | △ |
| 车体竖向加速度(m/s2) | 1.3 | 1.6 | 1.8 |
| 车体横向加速度(m/s2) | 1.0 | 1.2 | — |
| 竖向斯佩林指标 | 良 | 合格 | — |
| 横向斯佩林评价等级 | 良 | 合格 | — |
| 轮重减载率 | 0.6 | 0.6 | 0.65 |
| 脱轨系数 | 0.8 | 0.8 | 0.8 |

注：“△”代表考虑或计入该项内容，“—”代表不考虑或计入该项内容。

# 桥梁结构

## 一般规定

### 边中跨比例宜取0.35~0.55。边跨辅助墩应根据建设条件、结构受力、工程造价以及行车条件等因素进行设置。

条文说明

对于常用的双塔三跨斜拉桥，边中跨比例宜取0.35~0.55。斜拉桥边孔跨径的确定需要考虑多方面的影响，包括边孔是否有通航要求、桥址地形和地质特点、结构整体受力性能与使用性能、边跨辅助墩负反力及抵抗措施、边跨尾索的抗疲劳性能以及桥梁景观等，无论采用何种布置方式，都要充分考虑工程的经济性和高速行车平顺性。如辅助墩或边墩出现负反力，可采用压重或其它抗拉措施应对。建设条件允许的情况下，建议适当增加辅助墩个数，增加边跨锚固效果，提高结构刚度。

### 塔梁纵向约束应考虑结构受力性能、行车性能、抗震性能等，可采用纵向弹性约束、阻尼限位约束、单端固定约束等体系。

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| **a）纵向阻尼限位约束体系** | **b）纵向弹性约束体系** |
|  |  |
| **c）单端固定约束体系** |  |

图5.1.2塔梁纵向约束体系示意

条文说明

1纵向阻尼限位约束体系是最常用的约束体系，常在塔梁间设阻尼装置或速度锁定装置，满足铁路行车和结构抗震要求。

2弹性约束通常宜采用弹性约束装置来实现，可根据结构受力和行车性能确定合理的纵向约束刚度。

3 单塔固定约束体系与连续约束类似，可以释放主梁在温度和混凝土收缩徐变作用下的结构内力，固定侧梁端结构位移小，活动侧梁端结构位移大。如固定侧梁端位移满足桥上轨道结构受力要求，可减少设置钢轨伸缩调节器，具有一定的经济性。

### 根据建设条件宜优先选用混合梁斜拉桥体系，边跨或部分边跨采用混凝土梁。

条文说明

中跨主梁采用重量轻的钢梁，边跨主梁采用刚度大的混凝土梁，在实现压重的同时参与结构受力，具有跨越能力强、结构性能优和经济性好等综合优点。国内已建或在建的大跨度无砟轨道斜拉桥中5座采用了混合梁结构，比如昌赣客专赣州赣江特大桥、湖杭铁路富春江特大桥、沪苏湖铁路斜塘特大桥等。

### 梁缝设计时，应考虑温度作用、牵引力或制动力、风荷载及活载等引起的梁端顺桥向位移。此外，还应考虑罕遇地震作用产生的纵向位移，避免地震时相邻梁体之间发生碰撞，荷载组合可取“收缩徐变+基础沉降+罕遇地震”。

（设计梁缝只采用常规工况，包括活载、较常见的温度荷载和风荷载，避免预留较大缝隙，降低伸缩装置的稳定性。伸缩装置检算荷载可考虑罕遇荷载并考虑可更换性。此建议可采纳，从几座桥的运营情况看，梁缝过大温调器影响行车）

条文说明

梁缝设计不仅要满足正常使用状态下结构自由伸缩变形，还应避免罕遇地震时相邻梁体之间发生碰撞，地震工况荷载组合可取“收缩徐变+基础沉降+罕遇地震”。

## 主梁

### 主梁的截面形式应根据跨径、桥宽、、抗风稳定和施工方法等因素综合选定。常用的主梁截面形式有钢-混凝土结合梁、钢箱梁、钢箱桁梁或钢桁梁等结构。

条文说明

本条文的制定充分考虑了混凝土梁、钢主梁、钢-混凝土结合梁三种主梁结构的重量、刚度等因素，调研了国内外已建或在建的无砟轨道斜拉桥主梁结构形式。结合梁具有刚度大、承载力高、疲劳性能优等特点，且能够较好的适应桥上无砟轨道铺设，故在无砟轨道大跨度斜拉桥上得到了较广泛的应用。具有如说明图5.2.1所示，昌赣客专赣州赣江特大桥、福厦高铁安海湾特大桥和广湛高铁跨东平水道桥等均采用了结合梁，结构形式有单箱多室结合梁、双边箱结合梁、全封闭箱结合梁，商合杭高铁裕溪河特大桥采用了箱桁结合梁。

不同的主梁结构形式可根据受力及变形的需要沿顺桥向相互组合形成混合梁，常用的组合形式有：中跨采用钢主梁、边跨采用预应力混凝土梁；中跨采用钢主梁、边跨采用钢-混凝土结合梁；中跨采用钢-混凝土结合梁，边跨采用预应力混凝土梁。



（a）昌赣客专赣州赣江特大桥（双线）（b）福厦高铁泉州湾跨海大桥（双线）



（c）沪苏湖铁路斜塘特大桥（四线）（d）湖杭铁路富春江特大桥（四线）



（e）商合杭高铁裕溪河特大桥（双线）（f）巢马铁路鞍山公铁两用长江大桥（公铁合建）

说明图5.2.1典型横断面示意

### 钢-混凝土结合梁、钢箱梁宜采用板式横隔板，间距不宜大于4.0m，钢板厚度不宜小于12 mm。

### 钢梁宜采用组合桥面板，混凝土板厚应考虑受力、耐久性、调平等相关需求确定，且沿顺桥向可设置横向断缝。

条文说明

根据工程实践，为提升钢桥面板与无砟轨道的适应性，常设置10～20cm混凝土板，通过剪力钉与钢桥面形成正交异性组合桥面板。为避免混凝土板开裂，沿顺桥向可设置横向断缝，断缝间距应与轨道板尺寸相协调。

## 索塔

### 索塔的结构设计除应满足结构受力外，尚应考虑经济合理、施工方便、造型美观及养护方便等要求。

### 索塔宜采用钢筋混凝土索塔或钢-混凝土组合索塔，冬季结冰地区的桥塔结构宜考虑冰凌坠落的影响。

条文说明

桥塔应考虑结构受力、美观性等因素，冬季结冰地区的桥塔结构宜考虑冰凌坠落的影响，可采用H型塔，避免斜拉索或索塔上冰凌坠落铁路限界内。

钢塔在温度作用下变形较大，增加无砟轨道线形控制难度。对于沿海等风速较大地区的斜拉桥，如塔柱采用钢结构，其质量和阻尼均较小，易发生涡激共振。因此，本文件建议在条件允许的情况下，优先采用混凝土或钢-混凝土组合式索塔。

### 双塔、多塔斜拉桥下桥面以上索塔的有效高度*H*与主跨跨径*L*之比宜为1/3～1/4，拉索的水平倾角不宜小于28°。

条文说明

索塔在高度范围可以分为两部分，桥面以下部分的高度由通航和地形地貌等条件决定，桥面以上部分的高度需要做出合理选择。桥面的以上高度是斜拉桥整体刚度的控制因素。塔高太小会降低斜拉索的倾角，影响斜拉索的使用效率；塔高太大则会增加索塔的材料用量，同时增加施工难度。因此，合理的索塔高度应该由力学及经济比较确定。

本条对于塔高的规定适用于对称布置双塔斜拉桥，高低塔斜拉桥可按拉索倾角确定。

部分已建和在建高速铁路大跨度无砟轨道斜拉桥桥面以上索塔高度和塔跨比见下表所示：

说明表5.3.4国内已建或在建的大跨度无砟轨道斜拉桥

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 线路名称 | 桥梁名称 | 主跨跨度（m） | 有效塔高（最上一根锚索至桥面的距离）（m） | 塔高跨比 | 索塔类型 |
| 1 | 昌赣客专 | 赣州赣江特大桥 | 300 | 85.5 | 1/3.51 | 人字形混凝土塔 |
| 2 | 商合杭铁路 | 裕溪河特大桥 | 324 | 97.9 | 1/3.31 | H型混凝土塔 |
| 3 | 湖杭铁路 | 富春江特大桥 | 300 | 高塔103.2m,低塔63.1m | 1/3.61 | H型钢混组合塔 |
| 4 | 沪苏湖铁路 | 青浦特大桥跨斜塘航道主桥 | 260 | 72.5 | 1/3.59 | H型混凝土塔 |
| 5 | 福厦高铁 | 安海湾特大桥 | 300 | 81.51 | 1/3.68 | H型混凝土塔 |

## 斜拉索

### 斜拉索布置宜采用以下形式：

**1**斜拉索索面布置可采用空间索面或平面索面。

**2**斜拉索在顺桥向宜采用扇形、竖琴形。

**3**斜拉索在主梁上的标准间距对于钢主梁或结合梁宜为8～16m；对于混凝土主梁宜为6～12m。

条文说明

斜拉索顺桥向布置形式如说明图5.4.1所示。



a）扇形b）竖琴形

说明图5.4.1斜拉索顺桥向布置形式

### 斜拉索可选用平行钢丝斜拉索或钢绞线斜拉索。

条文说明

平行钢丝拉索所有制造过程全部在工厂进行，制成成品索后运输到现场安装张拉。

钢绞线拉索主要由若干钢绞线和双层同步挤压成型的高密度聚乙烯（HDPE）防护套管组成，两端配有单根夹片式张拉端锚具和锚固端锚具。此拉索为半成品，需要运输到施工现场逐根穿索并进行张拉。

在运输、安装方面，平行钢丝拉索由于索盘直径大，运输方式受限，需大型起吊设备；而钢绞线拉索的索盘直径相对较小，装卸、运输及安装较容易。在受力性能方面，平行钢丝拉索受力均匀性较好，而钢绞线拉索的均匀性稍差；在相同设计荷载条件下，平行钢丝拉索的外径较小，较钢绞线拉索小约30%～40%。在拉索更换方面，平行钢丝需进行整体更换，而钢绞线拉索具备单根钢绞线更换的条件。

### 斜拉索和锚具的安全系数，应符合《铁路斜拉桥设计规范》TB 10095的有关规定。

### 索端与锚具的结合部应釆取可靠的密封防护和排水措施。

条文说明

斜拉索整个构件中防护最复杂、最薄弱的索体与锚具的连接处，也是防护最容易出问题的地方。在设计制造时，需要釆取可靠的索端密封防护措施，在安装尤其是长期运营状况下，特别注意保护索端的密封结构不受破坏，提高斜拉索的安全性和耐久性。

### 斜拉索索端宜根据需要设置内置式减振装置或外置式阻尼器。

条文说明

铁路斜拉桥列车荷载、风荷载以及雨荷载可引起斜拉索振动，易导致斜拉索的疲劳和防护结构的破坏，影响其安全使用寿命。一般桥梁预埋管内设内置式减振器就可以起到减振效果。在大型斜拉桥或在多风多雨特殊地区，通常设内置式减振器和外置式阻尼器。

## 结构刚度及变形

### 在ZK竖向静活载作用下，主梁竖向变形的限值应符合下列规定：

**1**梁体的竖向挠度宜小于*L*/700。

**2**梁端竖向转角不应大于1‰。

**3**梁端线路中心处竖向变形不应大于1mm。

条文说明

铁路斜拉桥的竖向静活载挠度在《铁路斜拉桥设计规范》TB10092已有规定，从定性上分析，无砟轨道大跨度斜拉桥容许最大挠跨比应有所减小。根据我国目前已建或在建高速铁路无砟轨道斜拉桥的工程实践，统计了部分桥梁的刚度指标，如说明表5.5.1 所示。

说明表5.5.1 国内已建或在建高速铁路无砟轨道斜拉桥刚度指标

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 线路名称 | 桥梁名称 | 主跨跨径/m | 中跨跨中竖向挠度 | 中跨跨中横向挠度 | 梁端竖向转角/rad |
| 1 | 昌赣客专 | 赣州赣江特大桥 | 300 | *L*/880 | *L*/8547 | 0.127‰ |
| 2 | 商合杭铁路 | 裕溪河特大桥 | 324 | *L*/1094 | *L*/9000 | 0.54‰ |
| 3 | 沪苏湖铁路 | 斜塘特大桥 | 260 | *L*/817 | *L*/65000 | 0.23‰ |
| 4 | 湖杭铁路 | 富春江特大桥 | 300 | *L*/852 | *L*/23077 | 0.6‰ |
| 5 | 广湛高铁 | 跨东平水道桥 | 350 | *L*/832 | *L*/6275 | 0.73‰ |
| 6 | 通甬高铁 | 杭州湾北航道桥 | 432 | *L*/708 | *L*/1947 | 0.782‰ |
| 7 | 福厦高铁 | 安海湾特大桥 | 300 | *L*/860 | *L*/8772 | 0.256‰ |
| 8 | 巢马铁路 | 马鞍山公铁两用长江大桥副汊主桥 | 392 | *L*/1150 | *L*/8500 | 0.60‰ |

从上表可看出，所列桥梁挠度均小于*L*/700。主跨400m的福厦高铁泉州湾跨海大桥实际设计挠度L/791，设计同时开展了相关车桥耦合及轨道形位科研专题研究，研究结果表明满足铺设无砟轨道的高速行车要求。昌赣客专赣州赣江特大桥实际设计挠度*L*/880，设计时开展了合理刚度限值专题研究，建议设计挠跨度不低于*L*/800。因此，本文件设计控制挠度暂按列车静活载作用下梁体的竖向挠度不应大于*L*/700。

在列车竖向静活载作用下，桥梁梁端竖向转角限值与《铁路桥涵设计规范》TB 1002第5.2.6条保持一致。

列车静活载作用下梁端轨下竖向变形限值参照欧洲标准EN 1991-2第6.5.4.5条之规定。具体要求如下：

由于可变作用产生的，桥面板上顶面相对于附近建筑（桥台或其他桥面板）的竖向位移*δ*V不应超过以下数值：

——最大直线速度不超过160km/h时为3mm，

——最大直线速度超过160km/h时为2mm。

从定性分析，高速铁路无砟轨道大跨度斜拉桥限值不宜低于上述规定，本文件暂定列车静活载作用下，梁端轨下竖向变形不应大于1mm。如不满足该要求，可在主梁的轨道正下方设置竖向支承支座，沪通长江大桥、常泰长江大桥均采用该技术措施解决梁端轨下竖向变形过大的问题。

### 主梁竖向变形曲率半径限值要求应符合下列规定：

**1**在收缩徐变、列车运营荷载、风荷载和温度的作用下，竖向变形曲率半径应满足下式要求：



式中：*R*sH——主梁竖向变形曲率半径（m）；

*L*——主跨跨径（m）；

*δ*H——主跨跨中竖向变形（m）；

*v*——设计行车速度（km/h）。

**2** 竖向变形曲率半径宜按单线列车运营荷载计，风荷载（有车）与温度荷载组合时，可按0.75倍的风荷载与0.6倍的温度荷载进行组合。

条文说明

桥梁竖向变形对应的曲率半径反映了正常运营状态下梁面的整体平顺性，曲率半径越大，轨道平顺性越好，列车的舒适性越好。

我国《高速铁路设计规范》TB10621对新线设计时规定了最小竖曲线半径，其值是依据车辆的竖向加速度*a*等于0.4m/s2制定的（不考虑轨道不平顺、列车阻尼和刚度的影响），即Rmin=*v*2/（3.62*a*）=0.1929*v*2。

借鉴德国经验和我国《高速铁路设计规范》TB10621对无砟轨道路基局部工后沉降后采用拟合曲线的处理方法，大跨度桥梁主跨竖向变形按照线路纵断面竖曲线处理，换算半径*R*≥0.4 *v*2。

从轨道平顺性和舒适性考虑，当设计行车速度*v*=350 km/h时，竖曲线半径为49000m。当满足该条件时，列车通过竖曲线时旅客舒适度较好，未被平衡垂向离心加速度为0.2 m/s2。

我国现行规范中ZK荷载是综合考虑高速列车、机车牵引旅客列车、机车牵引轻型货车以及养路机械车辆等制定，荷载集度主要由施工时的机械车辆控制，因此ZK荷载集度大于运营动车组的实际荷载集度，约为后者的2倍。如缺乏相关资料时，列车运营荷载可取ZK荷载的1 / 2。

### 主梁横向变形的限值应符合下列规定：

**1**主梁的横向变形宜小于*L*/1200。

**2**梁端水平折角不应大于1.0‰ rad。

**3**无砟轨道桥梁相邻梁端两侧的钢轨支点处横向相对位移不应大于1mm。

**4**横向变形荷载组合应考虑列车偏载、横向摇摆力、风荷载和温度作用的最不利荷载组合。

条文说明

主跨300m的昌赣客专赣州赣江特大桥主梁水平挠跨比1/9677，主跨324m的商合杭铁路裕溪河大桥主梁水平挠跨比1/9000。结合我国无砟轨道大跨度斜拉桥工程实践，本文件按主梁横向挠跨比按1/1200控制，与《铁路斜拉桥设计规范》TB 10095相关规定一致。

第2、3款规定与《铁路桥涵设计规范》TB 1002第5.2.3条保持一致。

### 主梁横向变形曲率半径限值要求应符合下列规定：

**1**在列车运营荷载、横向摇摆力、风荷载和温度的作用下，主梁横向变形曲率半径应满足下式要求：



式中：*R*sL——主梁竖向变形曲率半径（m）；

*L*——主跨跨径（m）；

*δ*L——主跨跨中竖向变形（m）；

*v*——设计行车速度（km/h）。

**2** 横向变形曲率半径宜按单线列车运营荷载计，风荷载（有车）与温度荷载组合时，可按0.75倍的风荷载与0.6倍的温度荷载进行组合。

条文说明

《高速铁路设计规范》TB10621中关于欠（过）超高值的规定如下表：

说明表5.5.4-1欠（过）超高值容许值

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 舒适度条件 | 优秀 | 良好 | 一般 |
| 欠超高（过超高）容许值 | 40mm | 60mm | 90mm |

设置超高后，列车未被超高平衡的横向加速度为：



式中：*L*—轨道内侧中心距，取1.5m；g—重力加速度；[*a*]—车辆的未被平衡的横向加速度；—“过超高”或“欠超高”容许值。

由上式不难计算出，车体未被平衡的横向加速度为：

说明表5.5.4-2设置超高后车体未被平衡的容许横向加速度

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 舒适度条件 | 优秀 | 良好 | 一般 |
| 过、欠超高容许值$ [h']$ | 40mm | 60mm | 90mm |
| 未被平衡的容许横向加速度[*a*] | 0.027g | 0.04g | 0.06g |

按照车辆横向加速度等于设置超高后车体未被平衡的容许横向加速度，可得主梁横向变形曲线的最小曲线半径：



式中：*R*min—桥梁横向挠曲线的容许最小半径；*v*—设计行车速度（km/h）；

考虑到该分析的近似性，参照进行车桥耦合动力仿真时检算速度取1.2倍设计行车速度的做法，未被平衡的容许横向加速度取0.027g，可得主梁横向变形曲线的最小曲线半径限值为：



主梁横向变形曲率与乘客乘坐舒适性强相关，结合工程实践，并考虑预留一定的安全冗余量，本文件主梁横向变形曲率半径限值为：



对于主跨600m无砟轨道斜拉桥，设计速度350km/h的大跨度斜拉桥，按本条规定控制横向变形曲率后，横向挠跨比1/1307。

### 列车静活载作用下，在3m长的线路范围一线两根钢轨的竖向相对变形量（如图5.5.5所示）不应大于1.5mm。



图5.5.5桥面扭曲示意

条文说明

本条规定参照欧洲标准BSEN 1990附录A2.4.4.2.2 之规定，且与《铁路桥涵设计规范》TB 10002第5.2.4条保持一致。

### 无砟轨道铺设完成后，主梁的竖向残余徐变变形不应大于*L*/5000。

条文说明

行车舒适性是控制桥梁残余徐变变形限值的主要因素，为保证高速行车的舒适性，建议高速铁路大跨度桥梁将徐变变形计入初始轨道不平顺，开展车桥耦合动力仿真分析。在德国规范中，对于采用无砟轨道的桥梁其徐变形不大*L*/5000。在研究并结合我国工程实践基础上，结合和国铁集团科研课题《高速铁路200～450m跨度混凝土桥设计关键技术研究》（2016G002-I）研究成果，本课题认为无砟轨道桥梁在轨道铺设完成后，竖向残余徐变变形限值不应大于*L*/5000的控制标准是较合理的。

### 设计预拱度宜考虑恒载、混凝土收缩徐变产生的竖向挠度。（应考虑活载预拱度，预拱度不影响验收，活载预拱度按1/2单线运营活载计，考虑冲击系数）

条文说明

成桥预拱度是指主梁合龙标高与主梁设计标高之差，即合龙后高程的预留值，主要是补偿二期恒载、混凝土收缩徐变引起主梁的下挠。为满足无砟轨道线形静态验收要求，高速铁路无砟轨道大跨度斜拉桥一般不宜设活载预拱度。根据已建的一些结合梁斜拉桥的经验，混凝士收缩徐变对桥梁挠度有一定影响，因此本条文规定应计入此项影响，不应漏计。

### 索塔及主梁应考虑恒载压缩补偿。

# 轨道结构

## 一般规定

### 桥上轨道结构宜采用CRTSIII型板式无砟轨道或CRTS双块式无砟轨道。



图6.1.1-1CRTSIII型板式无砟轨道横断面示意图



图6.1.1-2CRTS双块式无砟轨道横断面示意图

条文说明

大跨度斜拉桥上铺设的无砟轨道一般分CRTS双块式无砟轨道和CRTSIII型板式无砟轨道两种。CRTSIII型板式无砟轨道由底座板、自密实混凝土层、轨道板、扣件、钢轨、弹性垫层、隔离缓冲层 等部分组成。CRTS双块式无砟轨道由底座板、道床板、双块式轨枕、扣件、钢轨、弹性垫层、隔离缓冲层等部分组成。

考虑CRTSIII型板式无砟轨道现场施工时混凝土浇筑量相对较小，现浇混凝土施工时间相对较短，施工时对桥上荷载扰动较小，各结构层施工时对桥梁线型影响相对可控，同时结合昌赣铁路赣江特大桥、商合杭铁路裕溪河特大桥无砟轨道铺设经验，优先采用CRTSIII型板式无砟轨道。

### 斜拉桥地段梁面宜采用线外两列排水方式。

### 高速铁路大跨度斜拉桥无砟轨道主要组成部分的尺寸及构造应满足《铁路轨道设计规范》TB 10082、《高速铁路设计规范》TB 10621等规范要求。

### 轨道结构设计除应符合本文件的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定。

## 构造设计

### 桥上轨道单元分块长度宜为4~6m，桥上轨道单元不宜（宜不）跨索布置。

条文说明

道床板/轨道板长度对轨道结构的动力传递特性具有较为显著的影响，对车轨动力相互作用有一定影响。根据《大跨度桥梁铺设无砟轨道技术深化研究》2015G001-G的研究成果，板长为4.375m、5m、5.625m时的轨道结构频响相对较小；当板长较小时，轨道结构尤其是钢轨的高频频响成分偏大，而板长较大时，10Hz以内的钢轨与道床板频响均较大，从轨道结构振动传递特性的角度，建议避开较小与较大的板长，选取4m~6m范围内的长度作为板长方案。

大跨度斜拉桥轨道和桥梁结构相互作用机理复杂，根据《大跨度桥梁铺设无砟轨道技术深化研究》2015G001-G的研究成果，在结构自重和二期恒载作用下，桥梁拉索位置的轨道扣件压缩量以及弹性垫层压缩量出现突变，突变间隔等于拉索节点间距，可见拉索的作用会对桥梁变形产生影响，而该影响会传递到轨道结构从而使轨道发生变形。因此为优化轨道结构的受力，轨道板按照不跨越斜拉桥钢索的原则进行布置。当大跨度桥梁混凝土桥面板采用湿接缝连接时，对轨道结构受力变形基本不影响，布板时可跨越桥面板接缝布置。

### 底座板与上部结构层间、底座板凹槽底部宜设置隔振层，且凹槽底部的隔振层刚度宜小于底座板与上部结构层间的隔振层刚度。

条文说明

根据《大跨度桥梁铺设无砟轨道技术深化研究》2015G001-G的研究成果，在轨道结构层间（底座板与上部结构之间）设置橡胶隔振垫层，能够起到良好的变形协调作用，在桥梁挠曲变形作用下，铺设橡胶垫层，可以降低道床板的应力，在梁端转角作用下，铺设橡胶垫层，可以有效降低轨道结构的纵向应力。根据轨道结构的受力特性，凹槽底部橡胶隔振垫刚度小于无砟轨道结构层间（底座板与上部结构之间）设置的橡胶隔振垫刚度时，能一定程度改善无砟轨道道床板（轨道板+自密实混凝土复合板）受力。

根据《大跨度桥梁铺设无砟轨道技术深化研究》2015G001-G的研究成果，对无砟轨道的垫层刚度进行谐响应分析，得知垫层刚度能够影响钢轨与道床板位移频响的主频，尤其是对较低阶主频（小于100Hz的主频）尤其显著，而对于大于100Hz的主频，也会产生一定的影响，但是影响较小。针对小于100Hz的轨道结构频响，刚度为0.1N/mm3时轨道的频响相对于其它刚度的频响较小。同时通过车辆-轨道动力学分析，提取不同垫层刚度下系统动力学响应。响应类型包括车辆运行的安全平稳性指标、道床板振动指标以及道床板的动应力幅值，并对动力学指标的进行“归一化”处理，得到0.07~0.11N/mm3为垫层刚度的较优取值范围，综合谐响应分析和动力学分析，垫层刚度取0.1N/mm3。在昌赣高铁赣江特大桥上无砟轨道层间铺设厚度14mm、刚度0.1N/mm³的橡胶隔振垫，凹槽底部铺设厚度14mm、刚度0.05N/mm³的橡胶隔振垫，现场情况反应良好。

### 桥面结构与底座板连接钢筋布置应根据轨道结构受力检算结果确定。

条文说明

大跨度斜拉桥轨道和桥梁结构相互作用机理复杂，在桥梁挠曲变形、复杂温度荷载作用下，对轨道结构的稳定性和层间协调变形能力提出更高的要求，合理加密大跨度斜拉桥梁面与无砟轨道底座连接钢筋数量，可提高轨道结构的稳定性。此外，大跨度斜拉桥梁端位置相对较为不利，进一步加密底座板与桥面的连接钢筋数量，增强底座与梁面连接，可进一步提高轨道结构的稳定性。

### 铺设CRTSIII型板式无砟轨道时，底座板沿纵向前后均应长于轨道板；铺设CRTS双块式无砟轨道时，底座板沿纵向应与道床板等长。

### 底座板之间的缝隙宜作为横向过水通道。

条文说明

昌赣高铁赣江特大桥铺设CRTSIII型板式无砟轨道时，为方便自密实混凝土立模密贴灌注，防止漏浆，底座板前、后相比轨道板各长15mm；底座板之间不采用填缝材料进行填充，底座板缝作为横向过水通道，以便于线间向线外两侧排水，同时改善底座板端和伸缩缝嵌缝材料在大跨度桥梁大挠曲变形下的受力性能。

## 钢轨伸缩调节器

### 梁端设钢轨伸缩调节器时，线路坡度不宜大于6‰。

条文说明

梁端钢轨伸缩调节器是铁路线路的薄弱环节，结构较复杂，且列车速度越高对钢轨伸缩调节器的几何状态要求越严。梁端钢轨伸缩调节器受力变形与道岔尖轨类似，参考《高速铁路设计规范》（TB 10621）对道岔的要求，咽喉区线路坡度不宜大于6‰，钢轨伸缩调节器参照咽喉区的道岔要求布置。

### 梁端伸缩装置设计应遵循“结构一体化、刚度均匀化”的原则，装置宜采用上承式梁端伸缩装置与钢轨伸缩调节器一体化设计。

条文说明

大跨度斜拉桥梁端受梁端竖向转角、梁缝处钢轨支点的横向位移差、墩台基础的工后沉降和混凝土梁的残余徐变变形等影响，轨道结构受力变形较为不利，选用刚度合适的梁端伸缩装置和钢轨伸缩调节器可一定程度改善大跨度斜拉桥梁端处轨道几何形位，提高行车的安全性和舒适性。

根据既有线路钢轨伸缩调节器应用调研情况，下承式梁端伸缩装置+钢轨伸缩调节器存在调节器与伸缩装置竖向刚度突变，伸缩装置钢枕歪斜、整体呈八字形，剪刀叉连杆弯曲而折断，调节器轨下基础不稳定，伸缩装置及调节器轨道状态难以保持等问题。调节器与上承式伸缩装置能一体化铺设，刚度一致性好，较均匀，结构简单，便于维护，病害情况也相对较少。昌赣高铁赣江特大桥梁端采用BWG-CN60-600型钢轨伸缩调节器，商合杭裕溪河特大桥采用国产研线0706（18YX）-400Tps钢轨伸缩调节器，两种均为上承式梁端伸缩装置与钢轨伸缩调节器一体化设计，根据现场情况反应，服役状态良好。

根据《国铁集团工电部关于做好高铁钢轨伸缩调节器及梁端伸缩装置有关工作的通知》（工电线路函〔2019〕50号）要求，设计单位按照“结构一体化、刚度均匀化”的原则加强线桥专业设计的衔接和协调，并采用“调节器＋上承式伸缩装置”结构。

### 梁端伸缩装置伸缩量除应考虑混凝土收缩徐变、基础沉降、温度变化以及竖向荷载引起的纵向位移，尚应考虑牵引力或制动力、风荷载、设计地震荷载等产生的纵向位移。

条文说明

梁端伸缩装置伸缩量计算可取“收缩徐变+基础沉降+活载+制动+0.6温度+0.75有车风”、“收缩徐变+基础沉降+0.6温度+0.75无车风”和“收缩徐变+基础沉降+设计地震荷载”最不利工况。

参考欧洲规范，正常运营状态下温度和风荷载的组合系数宜分别取0.6、0.75。

### 根据梁端伸缩装置布置，相邻梁端的道床板或轨道板应预留足够的伸缩空间。

条文说明

大跨度斜拉桥梁端由于梁端伸缩装置的存在，易导致钢枕与道床板或轨道板位置冲突，应根据调节器铺设图在紧邻梁缝的钢轨伸缩调节器道床板/轨道板端部为伸缩装置预留足够的伸缩空间，防止钢枕与道床板或轨道板冲突。



图6.3.4国产钢轨伸缩调节器梁缝处预留伸缩空间示意图

### 根据梁端伸缩装置布置，梁端防护墙应在梁缝相应位置预留缺口，避免剪刀叉在伸缩时与防撞墙冲突。

条文说明

钢轨伸缩调节器剪刀叉尺寸较大，应根据调节器铺设图在梁缝处的防撞墙相应位置预留缺口，避免剪刀叉在伸缩时与防护墙冲突，导致梁端伸缩装置无法安装。



图6.3.5国产钢轨伸缩调节器梁缝处防撞墙预留缺口示意图

# 无砟轨道铺设

## 一般规定

### 轨道铺设前应对中线贯通测量成果进行评估，检查桥面平、纵断面是否满足轨道铺设条件。

### 铺设无砟轨道应在桥面附属结构施工完成后施工，应先铺设边跨、辅助跨，后铺设中跨。

### 轨道铺设测量方法、测量仪器设备应符合《高速铁路工程测量规范》TB 10601的相关规定。

### CPⅢ控制网测量和应用应进行专项设计，且应开展专项评审。

### 无砟轨道铺设宜采用信息化措施对无砟轨道施工进行分层控制，包括施工动态布板计算、线下基础复测、底座放样等。

条文说明

无砟轨道铺设宜建立无砟轨道施工信息化平台，实现施工关键工序数据的收集、存储、管理、查询等功能。

底座施工阶段应实现底座放样的自动化测量和数据上传、实现底座施工报验、审批、验收等环节管理信息化、实现底座施工进度和偏差管理信息化。

底座施工报验与审批信息化模块中，应包含报表的录入、上传、审批、查看、下载等功能。

底座施工报验与审批信息化报表宜包含以下内容：

（1）各工序底座模板质量验收记录表；

（2）各工序底座钢筋质量验收记录表；

（3）各工序底座混凝土质量验收记录表；

（4）伸缩缝填缝质量验收记录表；

（5）隔离层和弹性垫层质量验收记录表。

CRTSIII型轨道板粗铺时，采用轨道板粗铺放样软件，基于轨道板数字化设计成果进行边线放样，实现信息化上传。CRTSIII型轨道板精调时，采用专用的轨道板精调软件进行测量并指导精调，结果实现信息化上传。长钢轨精调阶段，应实现轨道几何形位检测数据的信息化上传。

## 精密测量

### 当大跨斜拉桥主桥总长度大于600m时，应建立主桥CPII控制网。索塔内侧应采用CPⅢ控制点强制对中标志成对埋设CPII控制点，并与CPⅢ控制点共点。

### 主桥CPII控制网测量应采用自由测站和导线测量结合的方法测量，相关技术要求应满足现行《高速铁路工程测量规范》TB 10601的规定。

### CPⅢ控制网应在线下工程竣工和工后沉降满足要求后施测，CPⅢ控制网测量前应对全线CPⅠ、CPⅡ和线路水准基点控制网进行复测，并基于复测后合格的CPⅠ、CPⅡ和线路水准基点控制网进行CPⅢ控制网测设。

### CPⅢ控制点布设应满足下列要求：

**1**控制点应设置强制对中标志，标志连接件的相关要求应满足现行《高速铁路工程测量规范》TB 10601的规定，并采用所在线路统一规格的CPⅢ棱镜组件。

**2**索塔内侧、主梁跨中应布设控制点，主桥沿线路两侧在防护墙上应每隔50～80m成对布设控制点。

条文说明

根据大跨斜拉桥整体结构特点，合理调整CPIII控制点纵向间距，尽量使主梁上各CPIII控制点布设在横向、纵向或竖向相对稳定的位置（边墩及辅助墩顶部的主梁），不稳定位置的选择在能更好反应主梁结构变形规律的位置（跨中）。

### 各CPⅢ控制点应在轨道工程各施工阶段建立其基于外界环境因素变化量的实时平面坐标和高程预测模型，经评估和验证主梁上各CPⅢ控制点使用预测模型计算的实时平面坐标和高程，进行自由设站的精度满足表7.2.5的要求后方可使用。

表7.2.5自由设站测量精度要求

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目 | X坐标中误差 | Y坐标中误差 | 高程中误差 | 定向角中误差 |
| 中误差 | ≤0.7mm | ≤0.7mm | ≤0.7mm | ≤2″ |

条文说明

大跨度斜拉桥结构复杂，各构件力学传递机理复杂，主梁始终处于动态变化之中，导致主梁上的轨道控制网（CPIII）平面坐标和高程产生多值性，无法满足无砟轨道施工自由设站的精度要求，因此大跨斜拉桥主梁上的轨道控制网（CPⅢ）应分别在轨道工程施工的各个阶段建立基于外界环境因素变化量的实时平面坐标和高程预测模型，验证时采用一台全站仪在大跨斜拉桥主梁上的多个位置直接使用预测模型计算的CPⅢ实时平面坐标和高程进行自由设站测量实验。

### CPⅢ控制网测量和建模应满足下列要求：

**1**CPⅢ控制网外业测量时间应选择在荷载稳定、索力稳定、温度相对稳定、风速低于5m/s的夜间进行，避免雨雾天气和其它工序的施工对测量的干扰。

**2**CPⅢ控制网外业测量和建模时机宜选择底座板施工前、轨道板粗铺后精调前、长轨精调前，并应将恒载预压到位、索力调整到位。

**3**在外业测量期间以及建模完成后，应保证荷载无明显变化、索力无调整等外部因素变化。

### CPIII控制网实时平面坐标和高程预测模型建模应满足下列要求：

**1**根据结构变形特点，设计主梁变形、气温和湿度自动化监测系统，获取主梁变形和外界环境因素实时变化数据。主要传感器技术指标应满足表7.2.7的要求。

表7.2.7位移、温度传感器的技术指标

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 指标类型 | 位移传感器 | 温度传感器 |
| 量程 | ±50cm | -30℃~100℃ |
| 测量精度 | ±1mm | ±0.2℃ |
| 采样频率 | 1次/分钟 | 1次/分钟 |

**2** 开展主梁上CPIII控制点平面坐标和高程变形监测实验（36~48小时静态监测实验），研究主梁上CPIII控制点平面坐标和高程随外界环境因素变化的变形规律。

**3** 结合自动化监测系统，研究和分析各项外界环境因素变化对主梁上各CPIII点平面坐标和高程变化的影响程度，提取主要影响因子，计算相关系数。

**4**采用数学方法分别建立大跨斜拉桥主梁上各CPIII控制点的实时平面坐标和高程预测模型。

条文说明

预测模型是基于一段时间内大跨斜拉桥主梁结构变形数据和外界环境因素变化数据建立的，外界环境因素变化对斜拉桥结构变形的影响不是恒定的，具有多时间多尺度的特点，会造成不同时期预测模型的系数估值发生变化，进而影响预测精度。因此须特别注意预测模型的时效性，当桥址区出现季节交替和温度变化幅度较大时，应检查预测模型精度，必要时重新建模，以保证预测模型精度。

CPIII控制网实时平面坐标和高程预测模型使用方法及注意事项：

**1**使用轨道控制网（CPIII）实时平面坐标和高程预测模型须在荷载稳定、斜拉索拉力稳定、温度相对稳定、风速低于5m/s的晴朗夜间进行，且必须保证在使用预测模型时，主梁荷载和采集建模数据时的荷载一致，斜拉索力没有人为调整，若恒载和索力发生人为改变，需重新建模。

**2** 大跨斜拉桥主梁无砟轨道施工测量，应以轨道控制网（CPIII）预测模型实时计算的平面坐标和高程为基准，采用全站仪自由设站测量，自由设站观测的CPIII控制点不宜少于4对，更换设站点后，相邻设站重叠使用的CPIII控制点不少于2对。

**3**全站仪完成自由设站测量后，应采用极坐标法测量并记录1~2个CPIII控制点平面坐标和高程。测量完成后再次测量该CPIII控制点平面坐标和高程，较差不应大于3mm。

### CPⅢ平面网测量应满足下列要求：

**1**应采用自由测站边角交会法施测。

**2**主桥全段应整网测量，并与大小里程各相邻区段间重复观测不应少于6对稳定的CPⅢ控制点。

**3**构网、联测、观测、平差计算、与相邻段搭接等技术要求应符合《高速铁路工程测量规范》TB 10601的有关规定。

### CPⅢ控制网高程测量限差、观测主要技术、平差计算、精度指标等技术要求应符合《高速铁路工程测量规范》TB 10601的有关规定。

### 使用预测模型的过程中，须每2个小时使用预测模型更新一次CPIII控制点平面坐标和高程，并重新设站在开始相关测量工作。

## 无砟轨道铺设过程控制

### 无砟轨道铺设流程应包括三个阶段：准备工作、初始桥面线形评估及调整、无砟轨道铺设。

### 准备工作应符合下列规定：

**1**通过桥面加载并测量竖向变形，获得结构实际刚度。

**2**实测不同环境温度下主梁线形，获得结构体系温差与主梁变形之间的对应关系。

条文说明

受材料性能参数、结构尺寸实际值与设计理论值存在差异，结构的实际刚度与理论计算刚度也存在差异，主梁合龙后，可通过桥面加载并测量主梁竖向变形，得到结构实际刚度。

连续2周、在不同温度下观测主梁的桥面线形及环境温度，若观测期间温度变化不明显（最低温差小于5℃），应适当延长观测时间，宜选择每天最低温度情况下、结构温度稳定后的测量数据，得到结构体系温差与主梁变形之间的实际对应关系。

### 初始桥面线形评估及调整应符合下列规定：

**1**根据“准备工作”所得到的成果，对结构计算模型中的刚度、温度等参数进行修正，核算后续增加的恒载重量，根据最终成桥目标线形，计算出底座板铺设前桥面目标线形。

**2**对比目标线形与实测线形差异并进行评估，计算出索力调整值。

**3**调整斜拉索索力，消除部分线形误差，获得合理的主梁线形，以满足无砟轨道铺设要求。

### 无砟轨道铺设应符合下列规定：

**1**底座板施工

1）采用修正计算模型，根据最终轨面目标线形与调索后的实测桥面线形，逐点计算底座板厚度，底座板厚度控制点沿顺桥向间距不宜大于6m。

2）利用底座板可调厚度范围，消除主梁节段间局部线形误差。

**2**对于CRTSIII型板式无砟轨道，宜按以下工序进行施工：

1）粗铺轨道板；

2）计算自密实混凝土层的重量，同时考虑钢轨、扣件、接触网等桥面剩余荷载，在桥面上采用等量均布荷载压重；

3）精调承轨台标高并进行锁定，灌注自密实混凝土。

**3**对于CRTS双块式无砟轨道，宜按以下工序进行施工：

1）粗铺轨枕；

2）计算现浇道床板的重量，同时考虑钢轨、扣件、接触网等桥面剩余荷载，在桥面上采用等量均布荷载压重；

3）精调承轨台标高并进行锁定，施工道床板。

**4**逐级卸载桥面压重，轨道精调，完成轨道板铺设。

条文说明

1 模拟恒载加载方式多样，有水箱、沙袋、预制块等，主要是模拟二期恒载对全桥成桥线形的影响，特别需要注意的是加载一定要均衡。

2 主梁合龙后，无砟轨道施工前，通过桥面加载确定荷载与主梁变形的精确对应关系。通过调整斜拉索索力，对主梁线形进行系统性和大范围的调整，使主梁线形达到比较合理的状态；充分利用轨道底座板的可调性消除主梁节段局部线形误差；再利用砂浆垫层精调轨道线形，精度可控制在毫米级；最后利用扣件对轨道线形进行精调，确保无砟轨道的铺设及成桥后的轨面线形满足要求。

3大跨度斜拉桥调整斜拉索索力可使主梁线型达到比较合理的状态，但其对调整节段间的局部线型差作用不大，当某一节段实际线型与理论线型局部存在偏差时，可充分利用轨道板可调厚度范围，消除主梁节段局部线型误差。底座板可调厚度范围为-20～+50mm，通过调整底座板厚度，使底座板顶面线型尽可能接近理论线型。

4自密实混凝土可调厚度范围为-10mm～+20mm，利用砂浆垫层的可调厚度范围，精确调整轨道线型。利用轨道结构厚度调整线形时，应考虑由于轨道结构厚度变化引起的重量变化对线型的影响，计算出相应补偿值。

5结合昌赣客专赣江特大桥、商合杭铁路裕溪河特大桥、张吉怀铁路酉水特大桥等项目工程实践经验，形成了成套无砟轨道铺设流程（如说明图7.3.4），施工完成后轨道高程实测值与设计值偏差约10mm，铺设精度较好。



说明图7.3.4无砟轨道铺设流程

### 无砟轨道铺设过程应遵循下列原则：

**1**无砟轨道铺设前宜先完成防护墙、电缆槽、护栏等附属工程施工。

**2**各阶段实测线形均应考虑测量时温度的影响，测量工作应在凌晨0:00～5:00进行，尽可能消除索、梁间温差对线形的影响。

**3**桥面压重应逐级卸载，始终保持桥面二期恒载与最终桥上静荷载基本一致。

**4**底座板、轨道板等施工时，先施工边跨、辅助跨，后施工中跨。

**5**应考虑轨道结构调整对桥面二期恒载、桥面线形的影响。

### 轨道几何形位应根据实测数据采用组合弦优化方法拟合线形。

条文说明

针对实测数据，采用拟合线形而不是设计线形进行轨道精调，拟合线形是介于设计线形与实测线形之间的一种线形，其本质是调整不允许的偏差，保留允许偏差。拟合线形采用组合优化方法，通过增加10 m、30 m和60 m中点弦及轨道可调量约束条件控制，使之符合验标中轨道平顺性指标要求。

## 静态验收标准

### 桥上轨道板精调定位允许偏差应符合表7.4.1的规定。

表7.4.1轨道板精调定位允许偏差

| 序号 | 检验项目 | 允许偏差（mm） |
| --- | --- | --- |
| 1 | 相邻轨道板接缝处承轨台顶面平面位置相对偏差 | ±0.5 | 不允许连续3块以上轨道板出现同向偏差。 |
| 2 | 相邻轨道板接缝处承轨台顶面相对高差 | ±0.5 |

注：①序号1，面向里程增加方向，相邻轨道板接缝处承轨面相对横向偏差，偏向左侧的横向偏差为正（+）、偏向右侧的横向偏差为负（—）；

②序号2，面向里程增加方向，相邻轨道板接缝处承轨面相对高差，前块轨道板承轨面高程减后块轨道板承轨面高程，按计算结果标记正负高差。

### 桥上无砟轨道静态铺设精度标度应符合表7.4.2的规定。

表7.4.2 桥上无砟轨道静态铺设精度标准

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 项目 | 允许偏差 | 备注 |
| 1 | 轨距 | ±1mm | 相对于标准轨距1435mm |
| 1/1500 | 变化率 |
| 2 | 轨向 | 2mm | 弦长10m |
| 2mm/5m(或8a)m | 基线长30m（或48a）m﹡ |
| 10mm/150m(或240a)m | 基线长300m（或480a）m﹡ |
| 3 | 高低 | 2mm | 弦长10m |
| 2mm/5m (或8a)m | 基线长30m（或48a）m﹡ |
| 250km/h≤*v*≤300km/h300km/h<*v*≤350km/h | 8mm7mm | 弦长60m※ |
| 4 | 水平 | 2mm | 不包含曲线、缓和曲线上的超高值 |
| 5 | 扭曲 | 2mm | 基长3m不含缓和曲线上由于超高顺坡所造成的扭曲量 |
| 6 | 与设计高程偏差 | 10mm | 设计基准温度 |
| 7 | 与设计中线偏差 | 10mm |

注：①表中a为扣件节点间距（m），8a、240a为矢距法检测测点间距；

②轨向偏差不含曲线；

③带﹡为采用矢距差法测量；

④带※为中点弦测法测量，采用200m高通滤波后60m弦测量的正矢值评价，替代基线长（480a）m间距（240a）m矢距差的高低偏差；

⑤高低、轨向静态不平顺应考虑桥梁温度变形和施工偏差的影响。

条文说明

《高速铁路轨道工程施工质量验收标准》TB 10754第17.2.1条规定了无砟轨道静态铺设要求，本规范暂参照执行。根据已建成通车的大跨度无砟轨道斜拉桥工程实践和理论成果，大跨度斜拉桥线形受温度影响较大，基线长（48a）m和（480a）m的高低和轨向偏差多不满足《高速铁路轨道工程施工质量验收标准》TB 10754的要求，但实际运营状态良好。因此，本文件取消基线长（48a）m和（480a）m的高低和轨向偏差要求。

考虑到轨道施工误差的影响，轨道高低不平顺理论计算时应适当留有余量，避免验收时超限。

# 施工监控

## 一般规定

### 无砟轨道斜拉桥施工中应进行施工监控，施工控制通过调整索力、安装位置消除现场误差，监测施工过程中的结构状态、环境参数，使大桥施工完成后线形、内力符合设计要求。

条文说明

无砟轨道大跨度斜拉桥对成桥线形要求高，每个施工阶段线形偏差都会对成桥线形和内力分配产生影响。为确保成桥时实现桥梁的设计状态，需要进行施工监控。斜拉桥的主梁、索塔以及拉索之间的刚度存在很大差距，线形控制会受到来自拉索垂度、天气、温度、施工的临时负载、混凝土收缩等多种因素的干扰。施工监控就是从施工、测量、数据计算、分析修正、下达监控指令，其目的就是要保障工程的安全，使主梁的线形与内力符合设计要求。

设计与施工监控结合非常重要，施工、监控、养护的具体要求执行相关国家和行业现行有关标准，在工程设计时应对施工监控提出技术要求。

### 施工监控应与主体结构协同设计，设计时应考虑预埋构件、连接构件以及检修通道布置。

条文说明

施工监控应与主体结构协同设计，宜与结构施工同步实施，工程设计和实施应统筹考虑监测系统的现场供电、数据通讯、预埋件安装、连接构件、预留孔道、检修通道等因素。

### 设计时应考虑在索塔和桥墩基础顶面等位置预埋长期变形观测点，观测点应通视，稳定可靠。

条文说明

变形观测点可用于施工阶段和建成后的运营阶段对基础沉降、倾斜、滑移进行测量，不同类型基础和不同地质基础的观测点要求可不同。

### 施工监控方案应满足设计文件的相关要求，并根据结构特点、施工方案和施工环境等因素选择确定。

## 施工监控要求

### 施工监测应包括索塔施工线形，节段安装前后主梁高程、纵向位移、索塔变位、索力、控制截面应力、基础沉降、轨道线形等主要内容。

### 应进行大气温度场、结构温度场测试，实测温度对主梁、索塔线形的影响规律，有效修正温度对线形的影响。

条文说明

随着大跨径斜拉桥的发展，环境温度、斜拉索与主梁的弹性模量、材料容重成为影响全桥线形的最明显因素。大量的实践证明，在超静定结构中环境温度对结构线形的影响不可忽略，特别是主梁截面梯度温度对线形的影响很大。由于不同材料不同截面温度场对主梁线形的影响值难以准确推算，目前偏向于现场直接测量主梁温度场对线形的影响。

### 施工监控应对线形和应力两个指标实行双控，无砟轨道铺设宜以线形控制为主。施工过程中索力、应力和线形的实测值与理论值的偏差超过允许偏差时，应及时调整。

条文说明

提出了施工控制的基本要求，包括两个主要方面：

1 斜拉桥施工完成后，桥面线形符合设计要求。

2各控制构件的应力满足设计要求。

斜拉桥是高次超静定结构，只有在实际参数与设计参数完全相同时，应力和线形能同时达到设计要求。实际施工中，应力和主梁线形很难同时达到精度要求。施工前可根据规范规定或经验确定影响斜拉桥施工状态相关参数（如结构自重、混凝土弹性模量、构件刚度等），建立模型对施工过程进行模拟分析，获得初始控制数据；施工过程中利用现场监测数据，分析确定这些相关参数的实际值，重新模拟施工过程，当理论分析和实测结果趋于一致时，该模型才能准确地控制后续施工过程，实现双控。

成桥后的线形、索力与设计线形、索力的误差均应控制在规范规定和设计要求的范围内，应力作为校验指标可及时发现施工中问题及偏差，但无砟轨道铺设线形精度要求高，因此宜优先保证线形精度。

随着大跨径斜拉桥的发展，索塔的预偏、预抬高、沉降成为影响全桥线形的明显因素。

### 主梁宜采用无应力状态法合龙。合龙口姿态调整后，应进行不少于24h合龙口主梁高程、轴线偏位、合龙口宽度及温度场的连续监测。

条文说明

大跨斜拉桥在施工时易受到环境条件的影响，为了保证该桥在成桥时结构的主梁应力状态、线形、塔偏等均符合设计要求施工，需要采取措施以实现合龙的主动性和可控性。

主梁合龙段虽然有设计制造尺寸，但其是在设计基准温下且不考虑制作误差的长度。而在实际施工中，合龙温度与设计温度存在偏差，同时施工中存在误差，使得合龙口宽度跟合龙段设计长度不符。因此，需准确计算合龙段制造长度，即合龙段的无应力制造尺寸。

## 施工控制精度

### 主梁施工控制精度应满足以下要求：

**1**混凝土主梁重量与理论计算值的误差不应大于2%，钢主梁（结合梁）节段重量与理论计算值的误差不应大于1%。（是否有依据）

**2**施工节段的挂篮空载立模高程或节段拼装高程与预设值允许误差不大于±5 mm。

**3**混凝土已浇梁段及成桥后主梁高程误差应不大于-5～+15mm（很难满足，若能满足此条，无砟轨道线形也不用怎么调了），钢梁架设高程误差应不大于±5 mm。

条文说明

桥上结构重量对斜拉桥的线形和受力产生较大影响，只有采用可靠的实测重量值并在施工整个过程中进行严格控制，特别是桥面临时荷载的堆放必须严格控制，才能实现成桥线形的精准控制。有条件时需要对预制节段称重。

索塔、辅助墩及边墩等支点处桥面标高对成桥线形影响较大，且难以调整，应加强支座垫石顶高程控制。

### 斜拉索施工控制精度应满足以下要求：

**1**斜拉桥成桥后的实测索力与理论计算索力差值应控制在±5%以内；

**2** 斜拉索锚垫板及索套管定位在三个方向允许偏差应不大于2mm；

**3** 斜拉索锚固点高程偏差应在±10mm之内，斜拉索锚具轴线偏差应在±10mm之内。

**4**斜拉索索套管定位方向角度偏差应小于0.2°。

条文说明

索塔端斜拉索锚垫板及索套管定位应考虑索塔标高预抬量和预偏量的影响，主梁端斜拉索锚垫板及索套管定位应考虑主梁线形的预拱度和主梁压缩变形的影响。斜拉索下料长度的计算，应考虑重力垂度、弹性伸长、锚具位置修正量、锚具回缩变形、镦头锚固钢丝长度、温度等影响，尺寸偏差参照《大跨度斜拉桥平行钢丝拉索》、JTT 775《斜拉桥钢绞线拉索技术条件》GBT30826执行。

### 索塔施工控制精度应满足以下要求：

**1**索塔的倾斜度应控制在承台以上塔高的1/3000以内，且不大于30mm或设计文件规定值。

**2**塔顶标高应考虑基础沉降、混凝土的收缩、徐变和弹性压缩对高程的影响进行适当的预抬高。

条文说明

采用全站仪三维坐标法监测索塔变形时，应考虑大气压、温度、风力的影响，进行气象条件影响修正。

### 无砟轨道施工控制精度应满足以下要求：

**1**设计基准温度下，无砟轨道施工时轨面高程与设计值误差应控制在±5mm以内，底座厚度与设计值误差应控制在±10%以内。

**2**桥上轨道结构实际重量与理论计算值的误差不应大于2%。

条文说明

无砟轨道施工时，应严格控制桥面荷载与设计荷载差值，保证各阶段轨道线形误差控制在容许范围以内。

# 运营维护

## 一般规定

### 运营维护宜运用现代化、信息化、数字化管理理念，主跨跨径大于300m的高速铁路无砟轨道斜拉桥宜设置健康监测系统。

条文说明

目前已发布的国家和行业标准主要有《建筑与桥梁结构监测技术规范》GB 50982、《公路桥梁结构安全监测系统技术规程》JT/T 1037。《建筑与桥梁结构监测技术规范》GB 50982的7.1.2条规定：“对特别重要的特大桥，应进行使用期间监测。除 7.1.2 条规定，设计文件要求或其他规定应进行使用期间监测的桥梁结构外，满足下列条件之一时，桥梁结构宜进行使用期间监测：

1 主跨跨径大于 150m 的梁桥；

2 主跨跨径大于 300m 的斜拉桥；

3 主跨跨径大于 500m 的悬索桥；

4 主跨跨径大于 200m 的拱桥；

5 处于复杂环境或结构特殊的其他桥梁结构。

《公路桥梁结构安全监测系统技术规程》JT/T 1037沿用了该条文，即针对不同桥型按跨度进行监测系统建设。

大跨度铁路桥梁近两年迅速发展，据不完全统计，截至2018年主跨大于200m的铁路桥梁超过105座，其中200~400m跨度是目前的应用主体，占比达到73%，同时，无砟轨道在200~400m跨度范围内应用逐步提升，目前已有19座桥梁。随着昌赣铁路赣州赣江特大桥、商合杭铁路裕溪河特大桥、福厦铁路泉州湾跨海大桥等一大批高速铁路无砟轨道斜拉桥的建成，300m以上的高速铁路无砟轨道斜拉桥得到了成功的应用，代表了我国近年来在高铁技术上的跨越式发展，随之而来的是对铁路运行安全性及舒适性要求的不断提升。

### 健康监测系统设计应进行专项设计，应与桥梁主体结构设计同步进行，宜考虑施工监测与运营监测相结合，系统安装宜与桥梁施工同步进行。

条文说明

本文件涉及的监测系统针对的是运营期长期监测系统，为桥梁及轨道后续的养护管理服务，对于临时性的短期测试系统、移动式快速监测系统、人工定期监测系统等可参考本文件内容。

系统设计可将施工监测、成桥荷载试验、运营期监测与养护管理相结合，设备及数据的连续性和长期性可参考下列建议：

1 对计划沿用的设备，应加以额外保护，确保施工结束后传感器的存活和工作状态良好。

2 对计划沿用的设备，设备参数需同时满足各监测系统的监测需求。

3 将施工监控期的监测数据和成桥荷载试验的测量数据纳入监测系统的基准数据库，作为桥梁状态评估的起点。

### 轨道结构变形可通过轨道静、动态几何尺寸指标来进行评判。养护部门应采用轨道测量仪、检查仪等对线路设备进行周期性检查，可采用扣件安装状态检查设备、无砟道床混凝土表观状态检测设备等进行辅助性检查，并作好详细记录和分析，且每月不少于1次。

### 轨道动态检查应采用综合检测列车、巡检设备、车载式线路检查仪等移动检测设备对线路进行周期性检查。

条文说明

掌握线路动态质量，指导线路养护维修工作。综合检测列车轨道几何检测原则上每半月检查1次；动车组应安装车载式线路检查仪，每天对线路检查不少于1次；工务段应使用便携式线路检查仪添乘检查线路，每周不少于1次；采用巡检设备检查线路设备状态，每季不少于1次。

### 轨道几何状态静态检测项目包括高低、轨向、轨距、水平和轨距变化率等，其中高低和轨向采用中点弦测法进行评价。

### 轨道几何状态动态检测项目包括高低、轨向、轨距、水平、三角坑(扭曲)、复合不平顺、轨距变化率、车体垂向和横向振动加速度等。

条文说明

由于桥梁变形和路基轨道变形在波长成分和曲线形状上区别较大，桥梁变形控制引用线路几何控制标准时需要增删校订，其基本思想是用线路平纵断面曲率控制桥梁长波变形，用中短波变形幅值、轨道质量指数和弦测幅值控制短波变形。

轨道静态几何尺寸中的高低和轨向测量采用中点弦测法，测量值可按下式计算：



说明图9.1.6-1中点弦测法示意

弦测法将固定弦长2*L*为测量基准，以三点弦测为例，假设轨道的真实不平顺为*x*i，弦测系统测量值为*y*i，则*y*i计算表达式为：



其中i为沿轨道方向坐标，对上式作傅里叶变换，可得：

 

 

 

式中：ω——空间角频率（rad/m）；

λ——轨道不平顺波长（m）；

*L*——1/2弦长（m）；

H(ω)——传递函数。

上式显示了分别采用10~60m弦长时轨道不平顺波长和幅值增益的关系。



说明图9.1.6-2 不同弦长控制的有效波长范围

## 健康监测

### 健康监测系统应包括传感器模块、数据采集与传输模块、数据处理和管理模块、数据分析与安全预警及评估模块，并通过系统集成技术将各模块集成为统一协调的整体。

条文说明

传感器子系统应具备对桥址环境、荷载作用、桥轨结构响应等不同参数的感知与测量的功能。

数据采集与传输子系统应具备对传感器数据的同步采集和实时传输，具备信号调理、前端存储、访问及控制、自动传输等功能。

数据处理子系统应具备对监测数据的存储、预处理、分析、预警、归档功能。

### 监测内容应根据具体桥梁所处环境、力学行为特性、状态评估需求和管理养护要求等因素综合确定。系统应监测项目应符合表9.2.2的规定。（下表和条文说明中都提到桥轨一体化，条文中最好也有一体化字眼）

表9.2.2桥轨一体化应监测项目表（监测内容核实）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 监测类型 | 序号 | 监测项 |
| 桥梁结构整体响应 | 1 | 主梁竖向挠度/主梁线形 |
| 2 | 梁端纵向位移 |
| 3 | 主梁关键截面竖、横向动态位移/振幅 |
| 4 | 主梁关键截面竖、横向加速度 |
| 5 | 墩顶横向振幅 |
| 6 | 梁端转角/梁端竖向位移 |
| 钢轨伸缩调节器及伸缩装置状态 | 7 | 基本轨伸缩位移 |
| 8 | 尖轨伸缩位移 |
| 9 | 轨枕间距 |
| 10 | 梁端伸缩装置伸缩量 |

条文说明

高速铁路桥梁不可避免地产生多种随时空变换长期存在的附加变形，进而导致轨道几何状态变化和结构动力型不平顺，并通过轮轨动力作用影响列车安全舒适运行，有必要对可能影响列车运行的主梁温度变形、梁端伸缩、徐变上拱以及轨道伸缩调节器的位移量等桥轨结构响应参数进行综合一体化监测，为综合评价列车高速行驶的安全性和舒适性提供数据基础。

对于高速铁路无砟轨道大跨度斜拉桥，应重点关注桥梁的整体响应及伸缩调节器状态。对于桥梁及轨道结构的局部响应，如应变、索力、支座位移、裂缝、腐蚀，以及环境和荷载作用，如温湿度、风速风向、列车作用、温度场等，可根据桥梁实际情况和数据分析要求，进行选择性设置。

### 监测系统应建立明确的预警指标体系，设置预警阈值，并进行实时、自动的预警。

条文说明

报警发布的形式具备多样性，除在用户端界面突出显示报警信息外，还可通过短信、微信、APP、邮件等形式发送报警信息，满足设备管理单位及时发现异常状态的需求。

发现某一指标超出阈值后，常常结合多项指标综合判断分析，提高判断准确性。对某项参数的监测数据本身，其幅值在允许范围内，但数据变化规律或数据结构特征发生了变化，同样说明结构出现了不寻常的变化和异常。

另外，应对原始监测数据进行数据质量评估，消除异常数据，减少系统误报警。

### 监测系统应定期进行桥轨一体化评价及结构状态评估。

条文说明

定期对监测及识别结果进行历史趋势对比、分析与预测，并生成在线评估报告，给出相应的养护管理建议。桥轨结构在遭受洪水、撞击、地震、强风、风致振动、火灾等突发事件时，及时对结构进行专项评估，形成专项分析报告。

### 监测系统应按规定进行定期巡查和养护维修，建立设备维护台账。运营维护内容包括日常检查、专项检查、定期保养和专项维护。

条文说明

日常检查以软件端检查为主，包括检查采集软件、传输软件、用户端软件是否正常工作，检查各级传输网络是否正常连接，检查存储设备是否损坏或异常，检查存储空间情况和数据库备份情况等。

监测设备发生故障或遭遇地震、洪水、台风、火灾及车船撞击等特殊事件后进行专项检查，包含数据完整性、性能指标、预警功能、软件可用性与安全性、系统错误日志文件等软件内容和设备安装牢固性和稳定性，设备运行状态，网络计配电状态等。

监测设备应进行定期保养，包含UPS电池放充电、连通管设备补液、摄像头清洁、采集站除尘等。

专项维护包含系统硬、软件故障维护，数据校验，设备更换等。

## 线路线形维护

### 桥上线路轨道静态几何不平顺容许偏差管理值应满足表9.3.1-1和表9.3.1-2的要求。

表9.3.1-1 200km/h≤*v*≤250km/h线路轨道静态几何不平顺容许偏差管理值

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 偏差等级 | 作业验收 | 经常保养 | 临时补修 | 限速（不大于160km/h） | 备注 |
| 轨距（mm） | +1-1 | +4-2 | +6-4 | +8-6 |  |
| 水平（mm） | 2 | 5 | 8 | 10 |  |
| 高低（mm） | 2 | 5 | 8 | 11 | 弦长10m及以下 |
| 10 | 15 | 21 | / | 弦长60m |
| 轨向（mm） | 2 | 4 | 7 | 9 | 弦长10m及以下 |
| 6 | 11 | 18 | / | 弦长60m |
| 扭曲（mm） | 2 | 4 | 6 | 8 | 基线长3m |
| 轨距变化率 | 1/1500 | 1/1000 | / | / |  |

注：高低和轨向偏差为10m或60m(200m高通滤波后)弦测量的最大矢度值。

表9.3.1-2 250km/h＜*v*≤350km/h线路轨道静态几何不平顺容许偏差管理值

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 偏差等级 | 作业验收 | 经常保养 | 临时补修 | 限速（不大于200km/h） | 备注 |
| 轨距（mm） | +1-1 | +4-2 | +5-3 | +6-4 |  |
| 水平（mm） | 2 | 4 | 6 | 7 |  |
| 高低（mm） | 2 | 4 | 7 | 8 | 弦长10m及以下 |
| 7 | 11 | 15 | / | 弦长60m |
| 轨向（mm） | 2 | 4 | 5 | 6 | 弦长10m及以下 |
| 6 | 9 | 12 | / | 弦长60m |
| 扭曲（mm） | 2 | 3 | 4 | 5 | 基线长3m |
| 轨距变化率 | 1/1500 | 1/1000 | / | / |  |

注：高低和轨向偏差为10m或60m(200m高通滤波后)弦测量的最大矢度值。

### 调节器和梁端伸缩装置区域线路轨道静态质量应满足表9.3.2-1和表9.3.2-2的要求。

表9.3.2-1200km/h≤*v*≤250km/h调节器静态几何不平顺容许偏差管理值

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 偏差等级 | 作业验收 | 经常保养 | 临时补修 | 限速（不大于160km/h） |
| 轨距（mm） | 尖轨尖 | +1-1 | +2-2 | +3-2 | +8-6 |
| 其他 | +1-1 | +4-2 | +5-2 |
| 水平（mm） | 2 | 5 | 7 | 10 |
| 高低（mm） | 2 | 5 | 7 | 11 |
| 轨向（mm） | 2 | 4 | 6 | 9 |
| 扭曲（mm） | 2 | 4 | 6 | 8 |
| 轨距变化率 | 1/1500 | 1/1000 | / | / |

注：①高低偏差和轨向偏差为10m弦测量的最大矢度值；

②检查三角坑时基长，采用轨道检查仪时为3m，采用轨距尺时按规定位置检查，但在延长18 m的距离内无超过表列的三角坑；

③轨距偏差不含构造轨距加宽值。

表9.3.2-2 250km/h＜*v*≤350km/h调节器静态几何不平顺容许偏差管理值

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 偏差等级 | 作业验收 | 经常保养 | 临时补修 | 限速（不大于200km/h） |
| 轨距（mm） | 尖轨尖 | +1-1 | +2-2 | +3-2 |  |
| 其他 | +1-1 | +4-2 | +5-2 |
| 水平（mm） | 2 | 4 | 6 | 7 |
| 高低（mm） | 2 | 4 | 7 | 8 |
| 轨向（mm） | 2 | 4 | 5 | 6 |
| 扭曲（基长3m）（mm） | 2 | 3 | 5 | 6 |
| 轨距变化率 | 1/1500 | 1/1000 | / | / |

注：①高低偏差和轨向偏差为10m弦测量的最大矢度值；

②检查三角坑时基长，采用轨道检查仪时为3m，采用轨距尺时按规定位置检查，但在延长18 m的距离内无超过表列的三角坑；

③轨距偏差不含构造轨距加宽值。

条文说明

本文件4.1.2条规定，无砟轨道大跨度斜拉桥应位于直线上，表中扭曲偏差不含曲线超高顺坡造成的扭曲量。

轨道静态几何尺寸容许偏差管理值中，作业验收管理值为周期检修、经常保养和临时补修作业后的质量检查标准；经常保养管理值为轨道应经常保持的质量管理标准；临时补修管理值为应及时进行轨道整修的质量控制标准；限速管理值为保证列车运行平稳性和舒适性，需进行限速的控制标准。

### 桥上线路动态质量容许偏差管理值应满足表9.3.3-1和表9.3.3-2的要求。

表9.3.3-1 200km/h≤*v*≤250km/h线路轨道动态质量容许偏差管理值

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目 | 日常保持 | 计划维修 | 临时补修 | 限速(160km/h) |
| 偏差等级 | Ⅰ 级 | Ⅱ 级 | Ⅲ 级 | Ⅳ 级 |
| 轨距（mm） | +4-3 | +6-4 | +8-6 | +12-8 |
| 水平（mm） | 5 | 8 | 10 | 13 |
| 三角坑（mm/3m） | 4 | 6 | 8 | 10 |
| 高低（mm） | 波长1.5～42m | 5 | 8 | 11 | 14 |
| 轨向（mm） | 5 | 7 | 8 | 10 |
| 高低（mm） | 波长1.5～70m | 6 | 10 | 15 | — |
| 轨向（mm） | 6 | 8 | 12 | — |
| 复合不平顺（mm） | 7 | 9 | — | — |
| 车体垂向振动加速度（m/s2） | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 2.5 |
| 车体横向振动加速度（m/s2） | 0.6 | 0.9 | 1.5 | 2.0 |
| 轨距变化率（基长3m）（‰） | 1.0 | 1.2 | — | — |

表9.3.3-2250km/h＜*v*≤350km/h线路轨道动态质量容许偏差管理值

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目 | 日常保持 | 计划维修 | 临时补修 | 限速(200km/h) |
| 偏差等级 | Ⅰ级 | Ⅱ级 | Ⅲ级 | Ⅳ级 |
| 轨距（mm） | +4-3 | +6-4 | +7-5 | +8-6 |
| 水平（mm） | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 三角坑（mm/3m） | 4 | 6 | 7 | 8 |
| 高低（mm） | 波长1.5～42m | 4 | 6 | 8 | 10 |
| 轨向（mm） | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 高低（mm） | 波长1.5～120m | 7 | 9 | 12 | 15 |
| 轨向（mm） | 6 | 8 | 10 | 12 |
| 复合不平顺（mm） | 6 | 8 | — | — |
| 车体垂向振动加速度（m/s2） | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 2.5 |
| 车体横向振动加速度（m/s2） | 0.6 | 0.9 | 1.5 | 2.0 |
| 轨距变化率（基长3m）（‰） | 1.0 | 1.2 | — | — |

条文说明

轨道动态几何不平顺是指在有载作用下轨道几何不平顺的动态反映，主要通过综合检测列车进行检测。轨道动态几何不平顺管理分为局部峰值管理和区段均值管理。

**1偏差等级划分**

桥上线路（含调节器范围）各项偏差等级划分四级：Ⅰ级为日常保持标准，Ⅱ级为计划维修标准，Ⅲ级为临时补修标准，Ⅳ级为限速标准。

**2 各项目偏差扣分标准**

各项目偏差扣分标准：Ⅰ级每处扣1分，Ⅱ级每处扣5分，Ⅲ级每处扣100分，Ⅳ级每处扣301分。

**3线路动态质量评定**

线路动态评定以千米为单位，每千米扣分总数为各级、各项偏差扣分总和。每千米线路动态评定标准：优良——总扣分在50分及以内；合格——总扣分在51～300分；失格——总扣分在300分以上。

**4 对轨道出现以下连续三波、多波及长波轨道不平顺情况应尽快处理：**

一、允许速度为250（不含）~350 km/h的线路区段，高低或轨向幅值达到4mm时；120m长波高低达到7mm且车体垂向振动加速度达到1.5 m/s2时；120m长波轨向达到6mm且车体横向振动加速度达到0.9 m/s2时。

二、允许速度为200 ~250 km/h的线路区段，高低或轨向幅值达到5mm时。70m长波高低达到6mm且车体垂向振动加速度达到1.5 m/s2时；70m长波轨向达到6mm且车体垂向振动加速度达到0.9 m/s2时。

### 桥上轨道质量指数应满足下列要求。

**1**轨道质量指数（TQI）可按下式计算：

****

式中*σi*——各项几何偏差的标准差。

**2**线路轨道质量指数（TQI）管理值应满足表9.3.4要求，线路轨道质量指数（TQI）计算的单元长度宜为200m。

表9.3.4 线路轨道质量指数管理值（mm）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 线路速度等级（km/h） | 波长（m） | TQI（mm） |
| 作业验收 | 维修警戒 | 限值 |
| 200 km/h≤*v*≤250 km/h | 1.5～42 | 4 | 6 | 7 |
| 250 km/h＜*v*≤350 km/h | 1.5～42 | 3 | 4 | 5 |

注：①作业验收管理值：为大型养路机械捣固维修、无砟轨道成段精调等作业的验收质量管理标准；

②维修警戒管理值：为安排轨道维修计划的质量管理标准；

③限值管理值：为保持线路质量稳定均衡，超过时应及时进行维修的质量管理标准。

### 对轨道出现以下连续三波、多波及长波轨道不平顺情况应尽快处理：

**1**允许速度为250 km/h＜*v* ≤350 km/h的线路区段，高低或轨向幅值达到4mm时；120m长波高低达到7mm且车体垂向振动加速度达到1.5m/s2时；120m长波轨向达到6mm且车体横向振动加速度达到0.9m/s2时。

**2**允许速度为200 km/h≤ *v* ≤250 km/h的线路区段，高低或轨向幅值达到5mm时。70m长波高低达到6mm且车体垂向振动加速度达到1.5m/s2时；70m长波轨向达到6mm且车体垂向振动加速度达到0.9m/s2时。

### 车辆动力学指标包括脱轨系数、轮重减载率、轮轴横向力，通过综合检测列车的轮轨力检测系统测量，车辆动力学指标应满足表9.3.6的要求。

表9.3.6车辆动力学指标管理值

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 项目 | 脱轨系数Q/P | 轮重减载率 | 轮轴横向力*H*（kN） |
| *v*≤160km/h | *v*＞160km/h |
| 管理值 | ≤0.8 | ≤0.65 | ≤0.8 | ≤15+P0/3 |

注：① Q为轮轨横向力；P为轮轨垂向力；为平均静轮重；△P为轮轨垂向力相对平均静轮重的减载量；P0为静轴重；

②间断式测力轮对的轮重减载率按双峰值评定。

# 本文件用词说明

**1 本文件执行严格程度的用词，采用下列写法：**

1）表示很严格，非这样做不可的词，正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2）表示很严格，在正常情况下均应这样做的词，正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3）表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的词，正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4）表示有选择，在一定条件下可以这样做的词，采用“可”。

**2 引用标准的用语采用下列写法：**

1）在标准总则中表述与相关标准的关系时，采用“除应符合本规范的规定外，尚应符合国家和行业现行有关标准的规定”；

2）在标准条文及其他规定中，当引用的标准为国家标准和行业标准时，表述为“应符合《××××××》×××的有关规定”；

3）当引用本文件中的其他规定时，表述为“应符合本规范第×章的有关规定”、“应符合本规范第×.×节的有关规定”、“应符合本规范第×.×.×条的有关规定”或“应按本规范第× . × . ×条的有关规定执行”。

# 引用标准名录

1. 《高速铁路设计规范》TB 10621
2. 《铁路桥涵设计规范》TB 10002
3. 《铁路桥涵混凝土结构设计规范》TB 10092
4. 《铁路桥梁钢结构设计规范》TB 10091
5. 《铁路斜拉桥设计规范》TB 10095
6. 《铁路无缝线路设计规范》TB 10015
7. 《高速铁路桥涵工程施工技术规程》Q/CR 9603
8. 《高速铁路桥涵工程施工质量验收标准》TB10752
9. 《铁路桥涵工程施工质量验收标准》TB 10415
10. 《桥梁用结构钢》GB/T 714
11. 《低合金高强度结构钢》GB/T 1591
12. 《桥梁缆索用高密度聚乙烯护套料》CJ/T297
13. 《桥梁缆索用热镀锌或锌-铝合金钢丝》GB/T17101
14. 《桥梁热镀锌铝合金钢丝》JT/T 1104
15. 《斜拉索用热挤聚乙烯高强钢丝拉索》GB T18365