

GDJT

广东省交通运输标准化指导性技术文件

GDJT xxx-xx-20xx

广东省城际铁路工程常规跨径连续刚构桥 标准化设计指南

Standardized design guide for conventional-span continuous rigid frame bridges
for Guangdong Province intercity railway engineering

20xx-xx-xx 发布

20xx-xx-xx 实施

广东省交通运输厅发布

目 次

前言II

1 范围..... 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义..... 2

4 基本规定..... 3

5 材料..... 4

6 设计荷载..... 5

7 结构计算..... 5

 7.1 一般规定..... 5

 7.2 结构刚度与变形..... 6

 7.3 结构强度与应力..... 9

8 结构构造..... 13

 8.1 一般规定..... 13

 8.2 主梁..... 13

 8.3 桥墩及基础..... 16

 8.4 附属设施..... 18

9 接口设计..... 19

10 耐久性设计..... 19

11 施工要求..... 20

 11.1 一般规定..... 20

 11.2 支架现浇法施工..... 20

 11.3 节段预制拼装法施工..... 20

12 养护要求..... 21

附录 A（资料性） 连续刚构整联纵向抗推刚度计算 23

附录 B（资料性） 连续刚构桥梁端计算 25

 B.1 限位装置刚度组成 25

 B.2 梁端相对水平位移与相对扭转 25

 B.3 边墩最小横向线刚度 27

 B.4 限位装置受力 27

附录 C（规范性） 主要控制指标表 28

前言

为贯彻落实交通强国战略，推进粤港澳大湾区轨道交通高质量发展，提升广东省铁路工程建设的标准化、工业化与智能化水平，统一和规范省内城际铁路连续刚构桥的设计原则与技术标准，依据《广东省交通运输高质量发展三年行动方案（2025—2027年）》等相关政策，以及《铁路工程结构可靠性设计统一标准》（GB 50216）、《铁路桥涵设计规范》（TB 10002）、《城际铁路设计规范》（TB 10623）等现行标准，结合广东省地域环境特点与工程实践经验，在《广东省交通运输厅关于标准化工作管理的办法》（粤交〔2023〕10号）等文件指导下，省交通运输厅组织编制了《广东省城际铁路工程常规跨径连续刚构桥标准化设计指南》。

请各有关单位在执行过程中，将发现的问题和意见，函告 xxxx（地址：xxx；联系人：xxx，电话 xxx；邮箱：xxx），以便下次修订时参考。

本文件由广东省交通运输厅提出并组织实施。

本文件由广东省交通运输标准化技术委员会 xx 分技术委员会归口。

本文件参照 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》的规则起草。

主编单位：

参编单位：

主 编：

参编人员：

主 审：

参与审查人员：

广东省城际铁路工程常规跨径连续刚构桥标准化设计指南

1 范围

本文件规定了广东省城际铁路工程常规跨径连续刚构桥标准化设计的基本规定、材料、设计荷载、结构计算、结构构造、接口设计、耐久性设计、施工要求与维保要求等内容。

本文件适用于广东省新建城际铁路，设计速度为 120km/h~350km/h、主梁采用支架现浇法或节段预制拼装法施工的连续刚构桥。其它类似连续刚构桥梁设计可参照使用。

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。

- 1) GB 175 通用硅酸盐水泥
- 2) GB 1499.1 钢筋混凝土用钢第 1 部分：热轧光圆钢筋
- 3) GB 1499.2 钢筋混凝土用钢第 2 部分：热轧带肋钢筋
- 4) GB 46039 混凝土外加剂安全技术规范
- 5) GB 50017 钢结构设计标准
- 6) GB 50111 铁路工程抗震设计规范
- 7) GB 50216 铁路工程结构可靠性设计统一标准
- 8) GB/T 5224 预应力混凝土用钢绞线
- 9) GB/T 41054 高性能混凝土技术条件
- 10) GB/T 44543 预制混凝土节段拼装用环氧胶粘剂
- 11) GB/T 51234 城市轨道交通桥梁设计规范
- 12) TB 10002 铁路桥涵设计规范
- 13) TB 10005 铁路混凝土结构耐久性设计规范
- 14) TB 10015 铁路无缝线路设计规范
- 15) TB 10092 铁路桥涵混凝土结构设计规范
- 16) TB 10093 铁路桥涵地基和基础设计规范
- 17) TB 10621 高速铁路设计规范
- 18) TB 10623 城际铁路设计规范
- 19) TB/T 2965 铁路桥梁混凝土桥面防水层
- 20) TB/T 3193 铁路工程预应力筋用夹片式锚具、夹具和连接器

- 21) TB/T 3275 铁路混凝土
- 22) JG/T 225 预应力混凝土用金属波纹管
- 23) Q/CR 409 铁路后张法预应力混凝土梁管道压浆技术条件
- 24) Q/CR 749.3 铁路桥梁钢结构及构件保护涂装与涂料 第 3 部分：附属钢结构
- 25) Q/CR 9207 铁路混凝土工程施工技术规程
- 26) Q/CR 9603 高速铁路桥涵工程施工技术规程
- 27) DBJ/T 15-253 海洋环境混凝土结构耐久性技术规程
- 28) T/CCTAS 127 大湾区城际铁路节段预制拼装连续刚构桥梁技术规程
- 29) 通桥（2024）8388A-I 高速铁路常用跨度梁桥面附属设施（一）通用参考图

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

常规跨径连续刚构桥 conventional-span continuous rigid frame bridge

主梁与同一联内全部桥墩固结，采用单孔跨径 30m~50m 布置的预应力混凝土连续梁桥。

3.2

节段预制拼装 segmental precast and assembly

一种将桥梁构件划分为若干预制节段，在施工现场通过专用架桥设备逐段拼装并施加预应力，形成完整结构的施工方法。

3.3

湿接缝 wet joint

在节段预制拼装桥梁中，将相邻混凝土节段通过现场浇筑混凝土方式连接成整体的接缝形式。

3.4

胶接缝 epoxy joint

在节段预制拼装桥梁中，将相邻混凝土预制节段的匹配面涂覆环氧树脂等胶粘剂后，通过施加临时预应力使其压紧并在固化后形成整体的接缝形式。

3.5

横向相对位移 lateral relative displacement

在列车活载、横向摇摆力、离心力、温度作用下无砟轨道桥梁相邻梁端两侧的钢轨支点处横向位移差。

3.6

竖向相对位移 vertical relative displacement

在列车活载、横向摇摆力、离心力、温度作用下无砟轨道桥梁相邻梁端两侧的钢轨支点处的竖向位移差。

注：本条增设梁端竖向相对位移限值要求，主要针对常规跨径连续刚构桥联间双肢薄壁交接墩受力特点。由于此类结构墩梁固结、联间相互独立，在列车偏载、离心力、摇摆力、风荷载、温度作用等荷载作用下，交接墩双肢墩身易产生横向挠曲，带动相邻梁端发生相对扭转与竖向错位。该竖向错位无法通过常规梁端转角、3m 弦测竖向相对位移等指标实现有效控制，若不加以限制，将直接影响梁缝处轨道平顺性及行车安全性。对相邻梁端钢轨支点处竖向相对位移进行控制，以弥补现行规范对特殊结构体系控制指标的不足，保障桥上轨道结构长期稳定与高速行车舒适安全。

3.7

横向限位装置 restrainer

为限制相邻梁端相对位移而设置的约束装置。

3.8

整联纵向抗推刚度 longitudinal thrust stiffness of the whole unit

一联连续刚构桥各桥墩墩顶纵向水平线刚度之和。

注：墩顶纵向水平线刚度包含墩身、基础及桩土共同作用的效应。

4 基本规定

4.1 连续刚构桥设计应遵循安全可靠、技术先进、经济合理、耐久适用、智能环保的原则。

4.2 连续刚构桥孔径设计、桥下净空、设计洪水频率等总体布置要求应符合《铁路桥涵设计规范》（TB 10002）的规定。铺设无缝道岔的连续刚构桥应符合《铁路无缝线路设计规范》（TB 10015）的规定。

4.3 连续刚构桥应满足运营、检查、维护和应急抢修要求，并具有良好的耐久性。结构应简洁美观，力求标准化，便于制造和机械化施工。

4.4 连续刚构桥主体结构的设计工作年限应为 100 年。

4.5 连续刚构桥的基础、墩身、主梁应刚度匹配，协同工作。在建造及运营过程中应具有规定的强度、刚度和稳定性，并满足列车运行安全性、旅客乘坐舒适性、结构耐久性及全寿命经济合理性的要求。

4.6 连续刚构桥的结构刚度应以项目设计速度为依据确定，其各项指标应符合本文件的规定。必要时可通过车桥耦合动力分析、梁轨共同作用分析确定。

注：结构的刚度应综合考虑竖向、纵向与横向三个方向，确保在设计荷载及列车以设计速度运行条件下，结构变形、振动响应及行车动力性能均能满足安全性与乘坐舒适性的要求，确保墩梁刚度协调。

4.7 连续刚构桥的联长应综合考虑桥位地形地质、梁轨相互作用、温度效应及施工条件等因素。

注：经分析研究，并结合省内铁路连续刚构桥实践成果，一般情况下，当 $13\text{m} \leq \text{墩高} \leq 25\text{m}$ 时，联长不宜大于 120m， $25\text{m} < \text{墩高} \leq 35\text{m}$ 时，联长不宜大于 160m；对矮墩连续刚构桥，因边墩承受较大温度及收缩徐变应力，可通过减短联长释放应力，宜选用 2 孔一联布置；复杂地形或特殊情况可根据需要调整联长或跨径以满足受力要求。

4.8 连续刚构桥的孔径布置应协调墩跨比例、控制墩高差异，并基于结构受力特点对联长、跨径与桥墩、基础设计进行协同优化，同时综合考虑经济性、施工工法及环境协调的要求。

注 1：跨径的合理选择对控制工程投资、保障施工质量及适应环境至关重要。对于陆地段桥梁，可采用 30m~40m 的标准跨径；对于水中段桥梁，可采用 40m~50m 的标准跨径。

注 2：连续刚构桥的桥墩不仅是支撑构件，更是参与主梁受力的关键组成部分。其纵向刚度直接影响主梁的弯矩分布、墩底内力以及结构对温度变化、混凝土收缩徐变的响应；横向刚度则关系到行车安全性与舒适度。设计应将主梁与桥墩作为一个整体受力体系进行协同分析，寻求最优的墩梁刚度匹配。

注 3：墩高与跨径的协调是保证桥梁结构受力合理和视觉比例均衡的重要因素。根据工程实践与力学分析，当桥墩高度与相邻主跨跨径的比值处于 0.4~0.7 范围内时，通常能在结构效率、工程经济性和桥梁整体景观协调性之间取得较好平衡，此比值适用于常规地质与地形条件，对于特殊超高墩、深谷或软基地区，应进行专项研究。

4.9 连续刚构桥的桥面布置应符合铁路线路、轨道及行车安全的要求，并应满足桥面排水、设施布置及各专业接口的需要。

4.10 连续刚构桥的各项关键技术指标与性能要求，应以项目的设计速度为基准进行确定、计算和验算。

4.11 连续刚构桥宜采用节段预制拼装法施工；在建设环境复杂或结构特殊的区段，经技术经济论证，同一项目中支架现浇法可配合使用。

注：下列情况宜采用支架现浇法施工：

- a) 不具备预制梁场建设和大型构件及设备运输条件的山区、丘陵等地形条件复杂的地区；
- b) 工点分散，受拆迁等因素影响需灵活多点作业，且现场浇筑对地面交通、行洪或周边环境影响可控的区域；
- c) 结构特殊（如线形复杂、构造异形或节段划分困难）、工程规模有限且结构类型多样的项目。

4.12 连续刚构桥设计除应符合本文件规定外，尚应符合国家、行业及广东省现行有关强制性标准的规定。

5 材料

5.1 混凝土

5.1.1 混凝土的强度等级、极限强度、容许应力、弹性模量、剪切模量等设计指标应符合《铁路桥涵混凝土结构设计规范》（TB 10092）的规定。混凝土的材料及配合比应符合《铁路混凝土》（TB/T 3275）的规定。

5.1.2 主梁混凝土强度等级不应低于 C50，桥墩混凝土强度等级不应低于 C40。

注：连续刚构桥的结构尺寸较小，应力水平较高，宜采用较高的强度等级。

5.1.3 高性能混凝土应符合《高性能混凝土技术条件》（GB/T 41054）的有关规定。

5.2 钢筋

普通钢筋及预应力钢筋类别、抗拉强度标准值、计算强度、弹性模量等指标应符合《铁路桥涵混凝土结构设计规范》（TB 10092）的规定。

5.3 锚具

锚具及相关张拉设备应符合《铁路工程预应力筋用夹片式锚具、夹具和连接器》（TB/T 3193）的各项技术要求。

5.4 预应力管道

5.4.1 预应力管道宜采用金属波纹管，应符合《预应力混凝土用金属波纹管》（JG/T 225）的规定。

5.4.2 预应力管道应满足真空辅助压浆工艺要求。预应力管道压浆材料及拌制出的浆体应符合现行《铁

路后张法预应力混凝土梁管道压浆技术条件》(Q/CR 409)的规定。浆体强度不宜低于结构本体强度。

5.5 接缝材料

预制梁体接缝处选用的结构性胶粘剂,其物理力学性能及耐久性要求应符合《预制混凝土节段拼装用环氧胶粘剂》(GB/T 44543)的规定。

6 设计荷载

6.1 荷载分类和组合应符合《铁路桥涵设计规范》(TB 10002)的规定。

6.2 恒载应符合《铁路桥涵设计规范》(TB 10002)的规定。

6.3 活载应符合以下规定:

a) $120\text{km/h} \leq \text{设计速度} \leq 200\text{km/h}$ 的连续刚构桥梁采用的活载应符合《城际铁路设计规范》(TB 10623)的规定。

b) $250\text{km/h} \leq \text{设计速度} \leq 350\text{km/h}$ 的连续刚构桥梁采用的活载应符合《高速铁路设计规范》(TB 10621)的规定。

6.4 温度荷载应符合《铁路桥涵设计规范》(TB 10002)和《铁路桥涵混凝土结构设计规范》(TB 10092)的规定。结构温度无现场实测数据的情况下,可按下列规定办理:

- a) 整体升降温按 $\pm 15^\circ$ 计算;
- b) 箱梁温差荷载按《铁路桥涵混凝土结构设计规范》(TB 10092)附录 B 执行。铺设无砟轨道板后或铺砟后,箱梁梁高方向日照温差可按 10°C 计算;
- c) 桥墩纵桥向温差:两侧面相对温差 $\pm 5^\circ\text{C}$;
- d) 桥墩横桥向温差:横桥向两侧面相对温差 $\pm 5^\circ\text{C}$ (仅在计算横向变形时考虑);
- e) 箱梁横框计算时,箱梁内外温差采用线形变化,内外温差值见图 1。

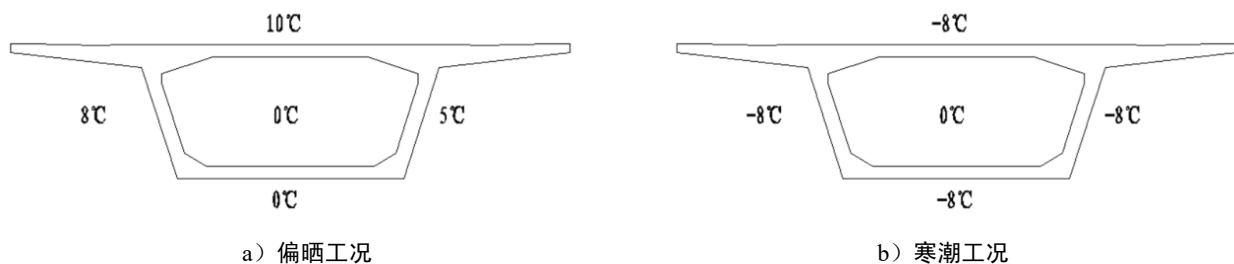


图 1 温度梯度

6.5 其他荷载应符合《铁路桥涵设计规范》(TB 10002)的规定。

7 结构计算

7.1 一般规定

7.1.1 连续刚构桥的主梁应按不允许出现纵向拉应力的预应力混凝土结构设计。

7.1.2 连续刚构桥应考虑地基及基础刚度对结构受力的影响,计算分析时应建立全桥模型,并考虑桩土

共同作用。对于相邻联的共用墩，尚应考虑相邻联间结构的空间关联效应。

注 1：地基及基础刚度对连续刚构桥桥墩受力影响较大，应根据桥位处地质条件确定地基及基础刚度的上限值、下限值，并对结构进行包络设计和检算。

注 2：通过分析研究，在墩高 10~25m 时，桥墩刚度对主梁内力影响幅度为 5%左右，方案设计时，为简化计算可不考虑桥墩及基础刚度对主梁的影响。

7.1.3 连续刚构桥的主梁横向位移计算应计入墩台身和基础的弹性变形，以及地基土弹性变形的影响。

7.1.4 有砟轨道的连续刚构桥恒载及静活载引起的竖向挠度大于 15mm 或跨度的 1/1600、无砟轨道的连续刚构桥恒载及静活载引起的竖向挠度大于 5mm 时，连续刚构桥主梁应设置预拱度，其曲线与恒载所产生的挠度曲线基本相同，但方向相反。

注：常规跨径连续刚构桥因主梁活载挠度小，轨道结构按线路设计纵断面标高铺设及验收，轨面高程未考虑主梁活载的影响。主梁预拱度不考虑活载不仅能满足列车运营安全与舒适性要求，还可避免跨中道砟或底座板过薄的问题。连续刚构桥由于墩梁固结的结构特性，墩身高度需考虑恒载弹性压缩的补偿。

7.1.5 连续刚构桥主梁、桥墩的结构计算应符合《铁路桥涵混凝土结构设计规范》(TB 10092) 及本文件第 7.3 节的规定，其主要控制指标的具体限值见附录 C。连续刚构桥基础的结构计算应符合《铁路桥涵地基和基础设计规范》(TB 10093) 的规定。

7.1.6 铺设无缝线路的连续刚构桥梁轨共同作用分析应符合《铁路无缝线路设计规范》(TB 10015) 的规定。其梁轨共同作用分析应建立轨道-主梁-桥墩-基础一体化空间耦合全桥模型，考虑墩高对结构动力特性、横向位移及各项梁轨纵向力分布的影响。

7.1.7 桥梁的抗震计算应符合《铁路工程抗震设计规范》(GB 50111) 的规定，车桥耦合动力分析应符合《铁路桥涵设计规范》(TB 10002) 的规定。

7.2 结构刚度与变形

7.2.1 梁体竖向变形

7.2.1.1 连续刚构桥竖向挠度应考虑温度的影响，梁体竖向挠度值应符合《铁路桥涵设计规范》(TB 10002) 的规定。竖向挠度按下列最不利情况取值：

a) 列车竖向静活载作用下产生的挠度值与 0.5 倍温度引起的挠度值之和；

b) 0.63 倍列车竖向静活载作用下产生的挠度值与全部温度引起的挠度值之和。

7.2.1.2 在列车活载、横向摇摆力、离心力和温度力作用下，无砟轨道桥梁相邻梁端两侧的钢轨支点处竖向相对位移不应大于 1mm。

7.2.1.3 设计速度 200km/h 及以上的无砟轨道连续刚构桥，轨道铺设完成后，竖向残余徐变变形不应大于 10mm。

注：设计速度 200km/h 以下的无砟轨道连续刚构桥，梁体竖向残余徐变变形可参照执行。

7.2.1.4 设计速度 250km/h 及以上有砟轨道连续刚构桥，轨道铺设完成后，竖向残余徐变变形不应大于 20mm。

7.2.2 梁体横向变形

a)在列车活载、横向摇摆力、离心力、风力和温度力作用下，桥跨结构梁体水平挠度不应大于计算跨度的 1/4000；

b)在列车活载、横向摇摆力、离心力和温度力作用下，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。

注：梁体水平挠度是指跨中梁体挠度值与墩顶梁体挠度值的相对差值。

7.2.3 梁端竖向转角

在列车竖向静活载作用下，桥梁梁端转角应符合《铁路桥涵设计规范》（TB 10002）的规定。

7.2.4 连续刚构桥梁端相对位移宜建立全桥有限元模型进行计算，也可按附录 B 的简化计算方法进行分析。

7.2.5 墩顶纵向水平线刚度

位于无缝线路固定区的连续刚构桥，整联纵向抗推刚度应由梁-轨共同作用分析确定，并应均匀过渡。当不做梁-轨共同作用分析时，连续刚构桥的整联纵向抗推刚度可采取有限元模型进行计算或按附录 A 进行计算，其值不宜小于表 1 限值。

表 1 连续刚构桥整联纵向抗推刚度限值

单位为 kN/cm

跨度布置(m)	120 km/h≤设计速度≤200 km/h		250 km/h≤设计速度≤350 km/h	
	双线	单线	双线	单线
2×40	600	375	790	495
3×30	670	420	890	560
3×40	895	560	1180	745
4×30	895	560	1180	745
3×50	1120	700	1480	930
4×40	1195	745	1575	990

注：根据《铁路桥涵设计规范》（TB 10002）第 5.4.3 条对应 32m 跨简支梁的刚度值，按联长换算的基础上，结合省内连续刚构桥研究成果和广东省地域条件，经综合分析确定。当列车长度小于上表联长时，可对上表限制予以适当折减。

7.2.6 墩顶横向水平刚度

墩台横向水平刚度应满足列车运行安全性和旅客乘车舒适度要求，并应对最不利荷载组合作用下墩台顶横向弹性水平位移进行计算。在列车竖向静活载、横向摇摆力、离心力、风力和温度的作用下，相邻联共边墩的连续刚构桥边墩顶横向水平位移引起的桥面处梁端水平折角（见图 2），应符合下列规定：

a) 设计速度 200km/h 及以上的铁路，梁端水平折角不应大于 1.0‰rad。

b) 设计速度 160km/h 及以下的铁路，跨径小于 40 m 的梁端水平折角不应大于 1.5‰rad，跨径大于或等于 40m 的梁端水平折角不应大于 1.0‰rad。

c) 梁端水平折角计算应考虑以下荷载作用：竖向静荷载；曲线上列车的离心力；列车的横向摇摆力；列车、梁及墩身风荷载或 0.4 倍风荷载与 0.5 倍桥墩温差组合作用，取较大者；水中墩的水流压力作用；地基基础弹性变形引起的墩顶水平位移。

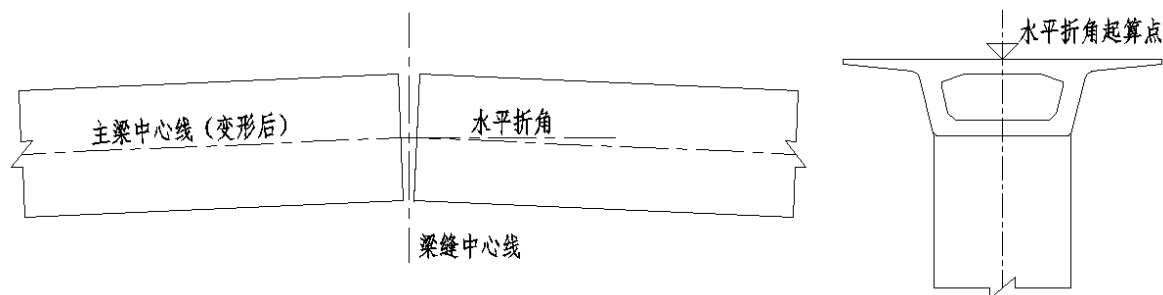


图 2 由墩台横向水平位移差引起的相邻结构物轴线间的水平折角

7.2.7 墩顶顺桥向水平位移

连续刚构桥墩顶顺桥向水平位移应满足下式要求：

$$\Delta_s \leq 5\sqrt{L} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

Δ_s ——铺轨完成后墩顶顺桥向水平位移（mm），包括墩身和基础的弹性变形及地基弹性变形的影响。

L ——桥梁跨度（m），当为不等跨时采用相邻跨中的较小跨度；

7.2.8 轨面平顺性

列车竖向静荷载作用下梁体扭转引起的轨面不平顺限值，在 3m 长的线路范围一线两根钢轨的竖向相对变形量限值应符合下列规定：

- 当 200 km/h<设计速度≤350km/h 时，竖向相对变形量不应大于 1.5mm；
- 当 160 km/h<设计速度≤200 km/h 时，竖向相对变形量不应大于 3.0mm；
- 当 120 km/h<设计速度≤160 km/h 时，竖向相对变形量不应大于 3.7mm；
- 当设计速度≤120 km/h 时，竖向相对变形量不应大于 4.5mm。

7.2.9 基础沉降

a) 墩台基础的沉降应按恒载计算；

b) 时速 250km/h 及以上时，墩台基础工后均匀沉降量不应大于 20mm，相邻墩台基础工后沉降差不应大于 5mm；

c) 时速 200km/h 及以下时，墩台基础工后均匀沉降量不应大于 20mm，相邻墩台基础工后沉降差不应大于 10mm；

d) 连续刚构桥相邻墩台基础工后沉降差除应满足上述规定外，尚应根据沉降差对结构产生的附加应力的影响确定。

7.2.10 连续刚构桥的结构刚度与变形除符合本文件规定外，尚应符合国家、行业及广东省现行有关强制性标准的规定。

7.3 结构强度与应力

7.3.1 连续刚构桥主梁的强度、抗裂性、应力、裂缝宽度及变形验算等应符合《铁路桥涵混凝土结构设计规范》(TB 10092) 的规定。

注：节段预制拼装梁的非接缝截面及现浇混凝土湿接缝截面的结构计算应符合《铁路桥涵混凝土结构设计规范》(TB 10092) 的规定。

7.3.2 在运营荷载作用下，扣除全部应力损失后的正截面混凝土最大压应力应满足下列公式的要求：

主力组合：

$$\sigma_c \leq 0.5f_c \cdots \cdots (2)$$

主力+附加力组合：

$$\sigma_c \leq 0.55f_c \cdots \cdots (3)$$

式中：

σ_c ——运营荷载及预应力钢筋有效预应力产生的正截面混凝土最大压应力(MPa)。

f_c ——混凝土轴心抗压极限强度(MPa)。

7.3.3 在预加应力过程中，预应力钢筋锚下控制应力应满足下式要求：

$$\sigma_{con} \leq 0.75f_{pk} \cdots \cdots (4)$$

式中：

σ_{con} ——预应力钢筋在锚下的控制应力 (MPa)；

f_{pk} ——预应力钢筋抗拉强度标准值 (MPa)

7.3.4 在预加应力传力锚固时，预应力钢筋的应力 σ_p 应满足下式要求：

$$\sigma_p = \sigma_{con} - (\sigma_{L1} + \sigma_{L2} + \sigma_{L4}) \leq 0.65f_{pk} \cdots \cdots (5)$$

式中：

σ_{L1} ——预应力钢筋由于摩擦引起的应力损失 (MPa)；

σ_{L2} ——预应力钢筋由于锚头变形、钢筋回缩和接缝压缩引起的应力损失 (MPa)；

σ_{L4} ——预应力钢筋由于混凝土弹性压缩引起的应力损失 (MPa)；

f_{pk} ——预应力钢筋抗拉强度标准值 (MPa)。

7.3.5 在预加应力传力锚固时，计入构件自重作用后，混凝土压应力应满足下式要求：

$$\sigma_c \leq \alpha f'_c \cdots \cdots (6)$$

式中：

α ——系数，C50～C60 混凝土取 0.75；

f'_c ——预加应力传力锚固阶段混凝土的轴心抗压极限强度 (MPa)。

7.3.6 节段预制拼装梁胶接缝的正截面抗弯、斜截面抗弯和斜截面抗剪强度计算应计入强度折减，强度

折减系数按表 2 规定取值，并满足下列公式的要求：

$KM \leq \phi_f M_R \cdots \cdots \cdots (7)$

$KV \leq \phi_v V_R \cdots \cdots \cdots (8)$

式中：

K ——强度安全系数；

M ——计算弯矩(kN·m)；

V ——计算剪力(kN)；

M_R ——抗弯计算强度(kN·m)；

V_R ——抗剪计算强度(kN)；

ϕ_f ——抗弯强度折减系数；

ϕ_v ——抗剪强度折减系数。

表 2 强度折减系数

类型	符号	胶接缝折减系数
抗弯折减系数	ϕ_f	0.95
抗剪折减系数	ϕ_v	0.90

7.3.7 节段预制拼装梁胶接缝的正截面抗裂性能应满足下列公式的要求：

$K_f \sigma \leq \sigma_{pc} \cdots \cdots \cdots (9)$

式中：

σ ——计算荷载在接缝截面受拉边缘产生的正应力(MPa)；

σ_{pc} ——扣除相应节段预应力损失后受拉边缘混凝土的预压应力(MPa)；

K_f ——抗裂安全系数， $K_f = 1.15$ 。

7.3.8 节段预制拼装梁斜截面抗裂性能应满足下列公式的要求：

$\sigma_{tp} \leq k_{tp} f_{ct} \cdots \cdots \cdots (10)$

主力组合：

$\sigma_{cp} \leq 0.6 f_c \cdots \cdots \cdots (11)$

主力+附加力组合：

$\sigma_{cp} \leq 0.66 f_c \cdots \cdots \cdots (12)$

式中：

σ_{tp} ——按抗裂性计算主拉应力(MPa)；

σ_{cp} ——按抗裂性计算主压应力(MPa)；

f_{ct} ——混凝土抗拉极限强度(MPa)；

f_c ——混凝土抗压极限强度(MPa)；

k_{tp} ——斜截面允许主拉应力修正系数，胶接缝截面取 0.7 或者根据试验确定，非胶接缝截面取 1.0。

7.3.9 在设计荷载作用下，节段预制拼装梁接缝截面混凝土的剪应力应满足下列公式的要求：

$$\tau_c = \tau - \tau_p \leq 0.17k_\tau f_c \cdots \cdots (13)$$

式中：

τ_c ——混凝土的最大剪应力(MPa)；

τ ——设计荷载在接缝截面产生的剪应力(MPa)；

τ_p ——预加应力在接缝截面产生的预剪力(MPa)；

k_τ ——接缝截面混凝土抗压强度的折减系数，取 0.7；

f_c ——混凝土轴心抗压极限强度(MPa)。

注：由于节段端面存在薄弱的环氧胶层，接缝处混凝土剪应力的限值需进行折减。

7.3.10 在运营荷载作用下，扣除全部应力损失后的环氧树脂胶接处正截面混凝土最小压应力应满足下列公式的要求：

主力组合：

$$\sigma_c \geq 1.0\text{MPa} \cdots \cdots (14)$$

主+附组合：

$$\sigma_c \geq 0.5\text{MPa} \cdots \cdots (15)$$

式中：

σ_c ——运营荷载及预应力钢筋有效预应力在混凝土截面产生的最小压应力 (MPa)。

7.3.11 预制节段在运送及安装阶段检算其强度及抗裂性时，构件自重计算应乘以动力系数，动力系数宜取 1.2。

7.3.12 施工阶段节段预制桥梁结构混凝土不应出现拉应力。当进行节段拼装时，接缝处混凝土最小压应力不得小于 0.3MPa。

注：节段拼装阶段接缝处混凝土的应力控制若考虑临时预应力筋的作用，临时预应力筋应在结构永久预应力施工完成后拆除，具体拆除时机应根据现场情况确定。

7.3.13 预制节段临时支承点、吊点等应按《铁路桥涵混凝土结构设计规范》(TB 10092)的规定进行局部受力验算。

7.3.14 桥梁结构变形计算时，节段预制拼装梁截面抗弯刚度按下式计算：

$$B_0 = 0.95E_c I_0 \cdots \cdots (16)$$

式中：

B_0 ——全截面抗弯刚度；

E_c ——混凝土弹性模量 (MPa)；

I_0 ——全部截面换算截面惯性矩 (m^4)。

注：预制节段胶接缝拼装式预应力混凝土箱梁，由于节段之间胶接缝存在，会使运营状况弹性阶段的结构变形增大。因此在结构变形计算时，截面抗弯刚度取值应考虑该影响。

7.3.15 连续刚构桥主梁应力计算应考虑预加力产生的二次力，在构件截面强度计算时，可不考虑预加力

产生的二次力的影响。连续刚构桥桥墩及基础应力计算应考虑预加力产生的二次力。

注：预加力产生的二次力对桥墩、基础有利时，桥墩、基础计算可不考虑该二次力效应。

7.3.16 连续刚构桥受弯构件正截面强度计算时，混凝土受压区高度计算可仅计入按强度计算要求配置的纵向受拉钢筋。

7.3.17 桥墩结构应按《铁路桥涵混凝土结构设计规范》（TB 10092）相关规定进行强度、裂缝、稳定性验算，计算长度系数依据欧拉公式按一端固定、一端有水平弹性和转动约束的构件进行计算。当群桩刚度与桥墩刚度之比小于 10 时，可按有侧移框架计算。

注：由于连续刚构桥桥墩与主梁固结，导致桥墩与主梁固结处的边界条件较为复杂，主梁固结处的边界会随主梁与桥墩的尺寸变化而发生变化，将其假定为刚接或铰接均与实际情况不符，因此导致桥墩计算长度系数难以确定。通过详细的分析计算，研究桥墩受力变形的特点，同时结合国内外相关规范，得到各种方法确定的计算长度系数见下表 3。

表 3 研究结果对比表

墩位	诺莫图（1884）	英国规范（BS5400）	美国规范（AASHTO-LRFD）	公路规范（JTG3362-2018）	欧拉公式
边墩	0.523~0.651	0.7	0.65	0.508	0.514~0.552
中墩	1.039~1.232	1.3	1.2	0.705	0.721~0.819

公路规范附录 E 方法与欧拉公式反推法的计算结果相近，诺莫图方法与英国规范（BS5400）及美国规范（AASHTO-LRFD）方法的计算结果相近，这就形成了两种存在差异的 K 值：①边墩约 0.5、中墩约 0.8；②边墩约 0.65~0.7、中墩约 1.2~1.3。

连续刚构桥边墩受力较为复杂，其计算长度系数建议按 0.6~0.7 考虑，深南高铁白沙村跨新兴江桥设计时，边墩计算长度系数取值为 0.7。

7.3.18 连续刚构桥采用单联有限元模型计算分析时，宜考虑相邻联耦合作用对边墩弯矩的影响。

注：由于两联连续刚构桥的边墩共用一个基础，存在受力的耦合性，为研究相邻联对墩身内力的影响，建立了高速铁路连续刚构桥有限元模型进行对比计算分析，孔跨布置选为 3x40m，墩高取值为 15m。对比独立一联和连续三联两种情况目标联的桥墩内力变化幅度见下表 4。

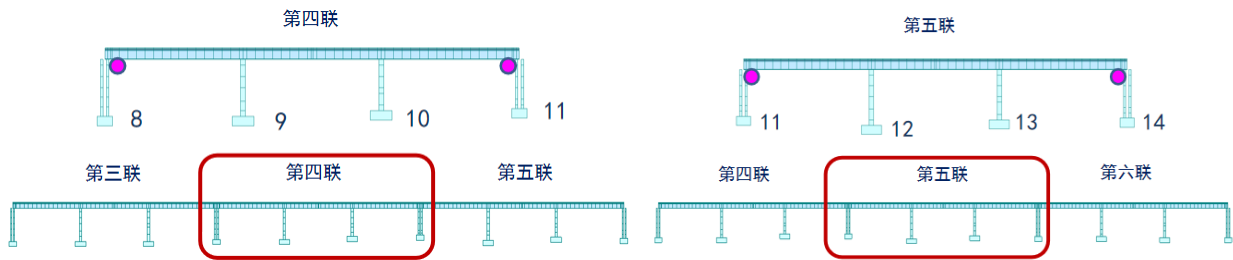


图 3 有限元模型示意图

表 4 一联墩顶纵桥向最不利组合弯矩对比分析表

单位为 kN·m

目标联	第四联				第五联			
墩号	P8	P9	P10	P11	P11	P12	P13	P14
单联	4256	15017	13265	4775	5015	14090	13836	4686
多联	4594	15099	13170	5199	5366	13749	14109	4642
差值/比值	338.3/ 7.9%	81.3/ 0.5%	95.4/ 0.7%	424.2/ 8.9%	351.1/ 7%	340.9/ 2.4%	273.4/ 2%	43.8/ 0.9%

从以上对比分析计算结果可知，前后联耦合作用时边墩组合弯矩增幅最大接近 10%，中墩组合弯矩增幅不大于 3%，对于桥墩轴力基本无影响，说明前后联耦合作用对边墩的受力影响还是比较大的。另外，南沙至珠海（中山）城际（万顷沙~中山段）项目采用的连续刚构桥跨径布置为 4x40m，墩高 16m，分别按三联和单联分析时，边墩组合弯矩计算结果也存在 5%左右的偏差。故建议在只建立单联有限元模型进行连续刚构桥分析时，考虑相邻联耦合作用对边墩顺桥向最不利组合弯矩的影响，经适当放大后进行设计配筋，中墩组合弯矩可不进行放大处理。

7.3.19 承台下面外排桩中心距墩台身边缘大于承台高度时，承台内力及强度应按悬臂梁计算；承台下外排桩外缘距墩台身边缘小于承台高度时，承台应按刚性角要求设计；否则承台应按“撑杆—系杆体系”计算。

注：“撑杆—系杆体系”计算可按《城市轨道交通桥梁设计规范》（GB/T 51234）附录 C 执行。

7.3.20 承台应进行墩柱向下冲切及角桩、边桩向上冲切强度验算。

注：承台局部冲切验算可按《城市轨道交通桥梁设计规范》（GB/T 51234）附录 C 执行。当承台桩基布置满足刚性角情况下，可不进行局部冲切验算。

8 结构构造

8.1 一般规定

8.1.1 连续刚构桥结构构造应符合《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）、《铁路桥涵地基和基础设计规范》（TB 10093）等的规定。

8.1.2 连续刚构桥结构应满足建筑限界以及桥面排水、检修通道、应急疏散通道、电缆槽、接触网支柱、防抛网、声（风）屏障、过桥管线等设施的布置要求。

8.1.3 连续刚构桥结构应具备可达、可检、可修的条件，应设置进入箱体内的检修通道、通风孔及排水孔。

8.2 主梁

8.2.1 主梁梁高与跨径比值应根据桥梁的设计速度、荷载标准、材料性能及孔跨布置，经技术经济比选后合理确定。

注：高跨比是控制结构竖向刚度、经济性及建筑景观的关键参数，基于既有的连续刚构桥工程实践与研究成果，可

优先在 1/10~1/15 的范围内进行初步比选和取值。

8.2.2 主梁宜采用箱形整体截面，其截面尺寸拟定应综合考虑结构计算、桥面布置、构造要求等因素，并兼顾景观需求。

注：主梁截面设计应统筹考虑力学合理性、构造可行性及施工便利性，实现技术、经济与可实施性的统一，标准双线铁路主梁宜采用单箱单室截面，道岔区、三线及以上铁路等可根据主梁宽度采用单箱多室截面。

- a) 箱梁顶板及底板的厚度不宜小于 25cm，底板宽度不宜小于主梁宽度的 1/3。
- b) 腹板宜采用斜腹板，其斜率宜采用 1:2.5~1:4，腹板跨中板厚不宜小于 30cm，支点处板厚不宜小于 70cm，变厚过渡段长度不宜小于 12 倍腹板厚度差。采取节段施工时腹板厚度还应考虑节段预应力张拉锚固的需要。
- c) 悬臂板长度宜采用 1.5~3.0m（单侧），悬臂板根部厚度不应小于 0.20m，根部厚度宜为 0.45~0.6m。
- d) 箱内顶板与腹板处倒角宜采用 1:3，底板与腹板处倒角宜采用 1:2，结合腹板高度采取平置或竖置方式；腹板、顶板及底板与支点横隔板的纵向倒角宜设置成一致，长度宜为 2.0~2.5m。

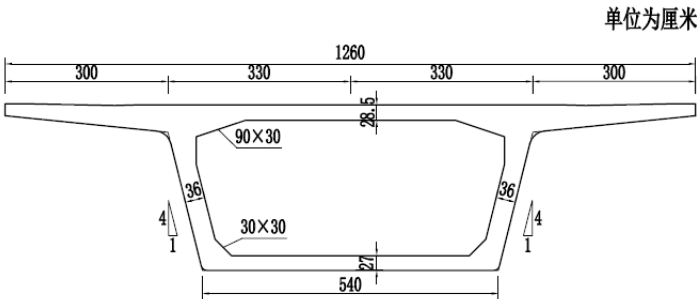


图 4 典型断面尺寸示意图

8.2.3 现浇连续刚构桥可根据边墩受力需要在边墩顶设置主梁后浇段，后浇段接缝处宜结合腹板束张拉锚固情况设计为锯齿状。

注：采用支架整联一次现浇的连续刚构桥，主梁在预加力及收缩徐变等作用下，使边墩承受较大的恒载弯矩，从而控制设计，在主梁边跨端部设置后浇段，使主梁的预加力、收缩徐变等在边墩浇筑前得以部分完成，以减小边墩墩顶的弯矩，优化边墩受力。

8.2.4 连续刚构桥墩顶主梁横隔板厚度应大于墩身纵向尺寸，每侧不宜小于 10cm，边墩外侧面距梁端的长度应综合考虑主梁纵向预应力张拉和设置检修通道的需要。

注：为保证墩梁固结处墩身钢筋不与主梁横隔板钢筋位置冲突，墩顶主梁横隔板厚度应大于墩身纵向纵向尺寸。连续刚构桥纵向预应力在梁端张拉需要预留工作空间，以满足相邻联同时施工的需要。相邻两联连续刚构桥的边墩为共基础分离式墩身，梁端与边墩边缘距离不宜小于 0.45m，既满足主梁纵向预应力张拉的需要，也可以作为检修通道。

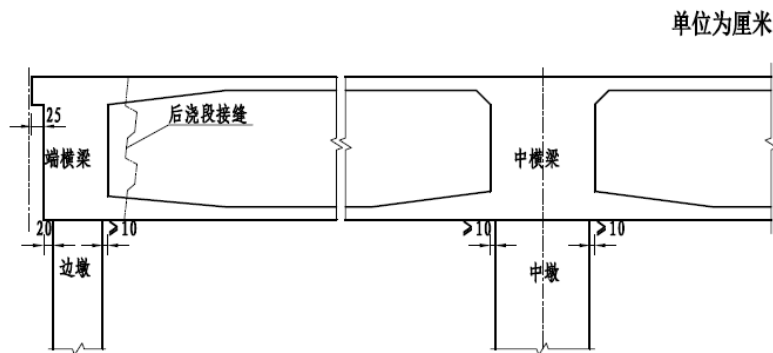


图 5 后浇段接缝示意图

8.2.5 墩梁固结处应统筹考虑主梁预应力筋、横隔墙钢筋、桥墩钢筋及预埋件的协调布置。

注：墩梁固结部位受力状态复杂，配筋密集，纵向预应力布设应同时满足受力计算与构造要求。该部位宜采用实体有限元方法进行精细化受力分析，设计过程中需重点考虑预应力管道、主梁普通钢筋、横梁钢筋、墩身钢筋及各类预埋件（如接触网立柱、横向限位装置、桥面排水设施等）的空间位置关系。

8.2.6 连续刚构桥主梁腹板弯起束布置，宜减少中跨跨中平直段长度，增加中墩顶平直段长度。

注：连续刚构桥主梁腹板弯起束引起的二次力对结构受力不利，调整平直段长度可减少腹板束产生的二次力。

8.2.7 主梁预制节段划分应考虑运输、吊装、存放等因素综合确定。预制节段宜按标准节段、过渡节段、墩顶节段进行分类。

8.2.8 主梁预制节段剪力键应采用均匀布置的多键系统，并符合下列要求：

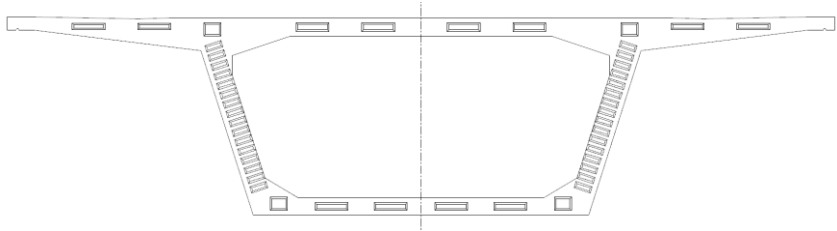


图 6 节段剪力键（键槽）布置示意

- a) 腹板内的剪力键或剪力槽的横向宽度不宜小于腹板宽度的 75%（见图 7 a）；
- b) 腹板内的剪力键应在腹板全高度范围布置，布置范围宜为梁高的 75%（见图 7 b）；
- c) 剪力键应采用梯形或圆角梯形截面，其倾角宜采用 45°，厚度不宜小于 2 倍最大骨料粒径和 32mm，且不宜大于 100mm；
- d) 顶板和底板内的剪力键，横向宽度宜为腹板内剪力键横向宽度的 2 倍；
- e) 剪力键的厚度与其高度比宜为 1:2（见图 7 c）；
- f) 剪力键布置应避开预应力管道，且单个腹板剪力键不宜小于 4 个；
- g) 腹板与顶、底板结合区如无体内预应力钢筋通过，应设置剪力键。

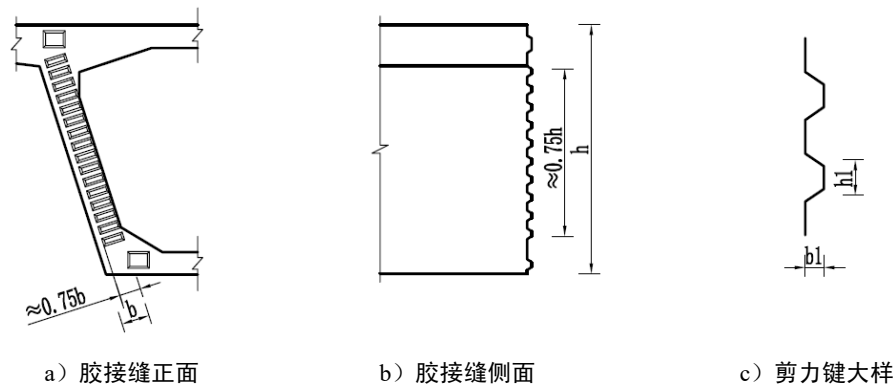


图 7 剪力键构造尺寸示意

注：其中 h 为箱梁高度， b 为箱梁腹板厚度， h_1 为剪力键的高度， b_1 为剪力键的厚度。

8.2.9 预制节段应设置吊装点和临时预应力张拉构造。预制节段的吊点可采用预埋钢筋吊环、预埋钢绞线吊环、预留吊装孔、预埋吊耳等形式。临时预应力筋应通过临时锚固设施与节段连接可靠，均匀布置在主梁截面四周。

8.2.10 预制节段端部体内预应力孔道口应设置密封构造。密封构造宜采用具备良好弹性、耐老化性及耐腐蚀性的弹性密封环。

8.2.11 预制节段拼装接缝符合下列规定：

- a) 预制节段拼装接缝应采用胶接缝。合龙接缝及非匹配预制的接缝，可采用湿接缝。
- b) 当采用胶接缝时，接缝应密闭。接缝材料应采用环氧树脂胶粘剂，胶粘剂性能指标应符合 5.6 节的规定。
- c) 采用湿接缝时，节段之间缝隙宽度不宜小于 20cm，湿接缝可采用普通混凝土或高性能混凝土，强度等级不应低于预制节段混凝土，且具有补偿收缩功能。

8.3 桥墩及基础

8.3.1 桥墩及基础布置应根据桥址地形、地质、水文、线路、上部结构、施工条件、刚度要求和经济性等因素综合选定。

8.3.2 桥墩墩顶一定范围应与主梁同步浇筑，墩底不小于 1m 高度范围宜与承台混凝土同时浇筑。

注：为研究应力分布规律，对墩梁固结处进行了实体分析（见图 8），在主梁轴力、弯矩作用下，墩身应力分布均匀；在主梁剪力作用下，墩梁交接部位角点应力为平均值的 1.5 倍，经过 1.5m 后趋于均匀，为减小墩身施工缝的不利影响，墩顶 1.5~2m 范围区段宜与主梁同时浇筑。墩底一定高度范围与承台混凝土同时浇筑可以减小或避免由于墩身和承台混凝土龄期差过大在墩底范围产生的收缩裂缝。

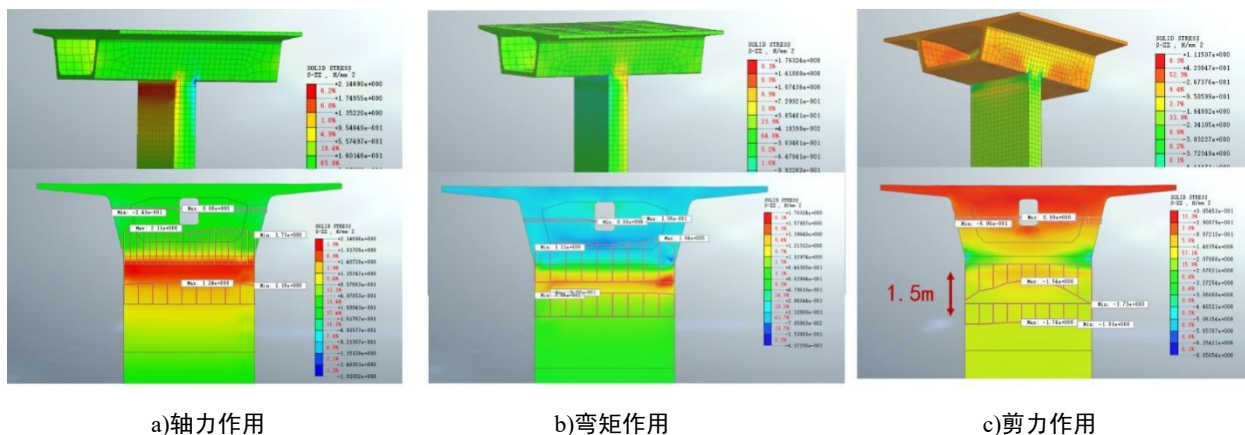


图 8 墩梁固结实体分析竖向压应力分布图

8.3.3 桥墩宜采用单肢墩形式，外形应统一，纵桥向墩身宜采用等宽布置，横桥向可采用变宽布置。

注：连续刚构桥中墩与边墩的外形应统一，为改善边墩的受力，纵桥向中、边墩壁厚比取 2:1 较为适中。根据景观及横向刚度的需求，墩身横桥向墩身外形可采用直型、放坡型、收腰型等，截面宜采用带圆角的矩形，墩身顶部宜与梁底同宽。

8.3.4 桥墩横向尺寸应考虑横向受力、横向水平刚度、梁端竖向相对位移等因素，桥墩自身应具备一定的横桥向抗转动能力。

注：桥墩的横向宽度除受横向受力、梁端水平折角等因素控制外，还受梁端竖向相对位移控制，由附录 B 可知，梁端设置限位装置后，在墩顶弯矩作用下，相对扭转角并不能完全约束，需要桥墩自身具备一定的横桥向抗转动能力。当墩高 $h \leq 20\text{m}$ ，时速 $\geq 250\text{km/h}$ 时双线桥桥墩横向宽度不宜小于 4.5m，时速 $\leq 200\text{km/h}$ 时双线桥桥墩横向宽度不宜小于 3m。

8.3.5 对抗震设防烈度为 VII 度及 VII 度以上地区的连续刚构桥桥墩，其配筋除应符合《铁路工程抗震设计规范》（GB 50111）的规定外，尚应符合下列规定：

- 纵向钢筋宜伸入承台底和主梁顶面，且伸入长度不小于《铁路桥涵混凝土结构设计规范》（TB 10092）规定的锚固长度。
- 箍筋在墩顶及墩底应进行加密，加密段长度不小于弯矩作用方向墩身尺寸，且应延续到主梁和承台内，延伸到主梁和承台的距离应按施工允许的最大距离确定。
- 纵向钢筋宜对称配筋，纵向钢筋的面积不宜小于 $0.006A_g$ ，且不应超过 $0.04A_g$ ，其中 A_g 为墩柱截面总面积。

注：连续刚构桥墩身结构均按钢筋混凝土构件设计，受力模式接近于公路桥桥墩，相关配筋构造细节参考了《公路桥梁抗震设计规范》（JTG / T 2231-01），以提高其抗震延性。

8.3.6 对可能受车辆撞击的桥墩，其撞击区及撞击点高度以上不少于 2m 范围内应加强钢筋布置，并根据需要可在桥墩受撞击侧设置防撞设施。

8.3.7 承台构造应符合下列规定：

- 承台满足刚性角要求时，承台底部应布置一层钢筋网，钢筋直径不应小于 20mm，钢筋间距宜为 100mm；
- 承台不满足刚性角要求时，承台底面受力钢筋与承台底面之间宜设一层钢筋网，每一方向的钢筋

用量宜为 1200~1500 mm²/m，钢筋直径采用 12~16mm。

c)承台的桩中距等于或大于桩直径的三倍时，宜在两桩之间，距桩中心各一倍桩直径的中间区段内设置吊筋，其直径不应小于 12mm，间距不应大于 200mm。

d)承台平面尺寸宜考虑梁部施工时设置临时支架立墩的支撑空间。

注：连续刚构桥承台受力模式更接近于公路桥桥墩，以上配筋要求以《铁路桥涵混凝土结构设计规范》(TB 10092)为基础，参考了《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG 3363)。承台的桩中距等于或大于桩直径的三倍时，设置吊筋可保证竖向力经承台有效传递至桩基。从结构受力出发，连续刚构桥桥墩的承台尺寸较普通的铁路简支梁和连续梁小，特别是边墩承台尺寸，而在施工时常常需要扩大承台才能放置边跨主梁支架的钢管柱，设计时适当增大桥墩承台的尺寸便于施工组织。

8.3.8 同一联内桩基础不宜同时采用摩擦型桩和端承型桩，也不宜采用直径不同、材料不同和桩端深度相差过大的桩。

注：连续刚构桥属整体式框架结构，结构受力对基础不均匀沉降较为敏感。同一联内各桥墩宜采用相同类型的桩基础，以有效减小不均匀沉降对结构的不利影响。

8.3.9 连续刚构桥桩基应根据抗推刚度要求进行布置，地基与基础提供的墩顶抗推刚度宜与桥墩本身提供的墩顶刚度相接近。

8.4 附属设施

8.4.1 横向限位装置

a)横向限位装置应具有足够横向约束刚度，控制相邻梁端两侧钢轨支点处横向相对位移不大于 1mm，并能适应梁体的纵向位移及转角。

b)横向限位装置应采用钢结构，主要由锚固组件横向限位板和滑动座板、防尘装置等组成。横向限位板和滑动座板间应设置可调装置及滑动副；

c)横向限位装置在承受最大设计水平力作用时，其结构应力应满足《铁路桥梁钢结构设计规范》(TB 10091)的要求；

d)横向限位装置宜设置在主梁顶部，其功能不得受到邻近设施干扰。

注：横向限位装置的设置应满足易检查、便维修和可更换的要求，实施前应征求铁路运维部门意见。为便于现场安装和运营期检修维护，宜设置在主梁顶部，可拆卸的防尘装置应采取反扣拉等防松脱措施。

8.4.2 桥面防排水系统

连续刚构桥桥面应设置有效的防排水设施。防排水系统由防水层、保护层、泄水管等组成。防水层应符合《铁路桥梁混凝土桥面防水层》(TB/T 2965)的规定。

无砟轨道连续刚构桥梁端应设置挡水台，并在挡水台中设置梁端防水装置。梁端防水装置的材料及安装工艺应符合《铁路混凝土桥梁梁端防水装置》(TB/T 3435)的规定。梁端防水装置的布置应与横向限位装置协调考虑。

8.4.3 其他附属设施（包括但不限于护栏、电缆槽、遮板、伸缩缝等），其设计、构造及施工安装应符合现行《高速铁路常用跨度梁桥面附属设施（一）通用参考图》（通桥〔2024〕8388A-I）及相关铁路桥梁

附属设施设计规范的要求。

9 接口设计

9.1 连续刚构桥设计应考虑轨道结构技术要求和梁轨共同作用。

9.2 连续刚构桥设计应考虑设置接地装置的条件。

9.3 连续刚构桥设计应根据需要设置电缆支架、电缆槽道、电缆上下桥设备、接触网支柱、防护屏障基础等设施的条件。

9.4 桥隧、桥路接口段应统筹考虑排水、危岩落石和边坡防护等设计。

9.5 采用直流电力牵引和走行轨回流的桥梁结构，应采取必要措施防止杂散电流腐蚀。

9.6 救援疏散通道的设置应统筹考虑桥下维修通道、声屏障安全通道及地面道路等因素。

9.7 桥墩临近车行道的连续刚构桥应设置防撞设施。

9.8 连续刚构桥应按照相关标准的规定设置结构变形及基础沉降观测装置。

9.9 连续刚构桥接口设计除应符合本文件规定外，尚应符合《铁路工程接口设计指南》(Q/CR 9160)的规定。

10 耐久性设计

10.1 连续刚构桥结构应根据设计工作年限和环境类别进行耐久性设计，主梁、桥墩及基础等混凝土结构构件的耐久性设计应符合《铁路混凝土结构耐久性设计规范》(TB 10005)的规定。处于严重腐蚀环境（如海洋氯化物环境、酸雨地区）时宜根据环境类别和作用等级开展耐久性专项研究。

注：省内不同区域环境条件变化明显，耐久性设计除符合《铁路混凝土结构耐久性设计规范》(TB 10005)的规定外，还应结合区域环境特点采取有针对性的防护措施，对滨海盐雾区（珠三角沿海、粤东粤西沿海），混凝土结构表面涂刷防盐雾涂料，预应力锚具封锚后增设防腐护套，浪溅区、水位变动区应采用环氧涂层钢筋或不锈钢钢筋；对高温高湿区（珠三角内陆、粤南），混凝土抗渗等级不应低于P8，梁体内部增设通风设施，减少水汽积聚；对内陆干燥区（粤北），应重点控制混凝土收缩裂缝，加强养护。当处于严重腐蚀环境或有特殊要求时，宜开展耐久性专项研究。

10.2 连续刚构桥的结构形式、结构构造应有利于排水、通风，避免水汽凝聚和有害物质积聚。

10.3 连续刚构桥的墩梁固结区与墩身应严格控制混凝土龄期差，在墩梁固结区混凝土浇筑前，应对墩身外露钢筋采取防护漆、保护套、保护膜等防腐保护措施。

10.4 连续刚构桥可根据需要设置后浇段，后浇段接缝区域在混凝土浇筑前，应对外露的主梁预应力筋及普通钢筋采取防护漆、保护套、保护膜等防腐保护措施。

10.5 滨海区的预制节段梁底及侧面的防护措施应符合《海洋环境混凝土结构耐久性技术规程》(DBJ/T 15-253)的规定。

10.6 浪溅区及水位变动区的桥梁宜采用环氧涂层钢筋或不锈钢钢筋（HRB400S）。

10.7 主梁预应力张拉锚固后应进行封锚处理，封锚材料宜采用补偿收缩混凝土。封锚混凝土强度不应低

于梁体本体混凝土强度，表面应涂刷厚度不小于 1.5mm 的聚氨酯防水涂料。

10.8 附属设施钢构件的防腐体系应符合《铁路桥梁钢结构及构件保护涂装与涂料 第 3 部分：附属钢结构》（Q/CR 749.3）的规定。

11 施工要求

11.1 一般规定

11.1.1 连续刚构桥施工应符合《铁路混凝土工程施工技术规程》（Q/CR 9207）等相关规范的规定。

11.1.2 节段预制拼装法施工宜满足《大湾区城际铁路节段预制拼装连续刚构桥梁技术规程》（T/CCTAS 127-2024）的相关要求。

11.1.3 连续刚构桥应根据设计文件进行施工组织设计，并应编制主梁、桥墩、基础、墩梁固结等关键结构的专项施工方案。

11.1.4 连续刚构桥施工过程中应进行线形、应力的测量与控制。

11.1.5 连续刚构桥主梁和桥墩的质量控制宜实行首件验收制。

11.1.6 连续刚构桥在墩身混凝土浇筑前，应开展边墩处墩梁固结区的混凝土浇筑工艺性试验。

注：边墩壁厚较薄且配筋率较高，墩梁固结处配筋错综密集、结构构造及预应力束布置复杂，操作空间受限，且为高空作业，混凝土的浇筑施工难度大。为保证混凝土浇筑密实、施工安全，有必要进行混凝土浇筑工艺性试验，验证混凝土配合比及浇筑工艺的合理性。

11.2 支架现浇法施工

11.2.1 现浇支架应具有足够强度、刚度及稳定性，能可靠承受施工过程中的各项荷载，保证主梁结构线形准确。

注：现浇支架应考虑施工过程中支撑点反力动态变化的影响。

11.2.2 主梁模板宜采用钢模板，应具有足够的刚度和强度，表面应平整，接缝严密不漏浆。

11.2.3 现浇支架及模板系统应具有标准化、模块化和快速转用、倒用特点。

11.2.4 连续刚构桥主梁设置后浇段时，先浇部分与后浇段间的混凝土浇筑龄期差不宜大于 30 天。

11.3 节段预制拼装法施工

11.3.1 主梁节段预制宜采用短线法施工。

11.3.2 主梁预制节段制造前应核实各预埋件类型及位置，预制时应确保各预埋件与预留孔的位置准确，并根据需要做好防护措施。

11.3.3 预制节段的制造宜采用模块化可调节式的钢模板系统。

注：通常预制节段应采用刚度较大、精度较高的多向可调节模板。模板的质量与功能会对节段的线形控制产生较大的影响，应在工程实践中予以重视。

11.3.4 拼装施工使用的起吊设备应具有足够的起吊能力和稳定性，设备使用前应进行走行及起吊试验。

11.3.5 预制节段在拼装前应进行全面检查，梁段的外形尺寸、接缝面平整度应符合设计要求，控制梁段拼装平面与高程的标线与标点数据应符合线形控制与精确测量的要求。

11.3.6 短线法节段预制应根据理论六点坐标，按精密测量要求进行三维线形控制。

注：短线法节段预制技术核心是将混凝土桥梁进行整体设计分割，在零应力状态下进行工厂化节段制造，并通过三维控制技术使工厂化、标准化的生产满足桥梁设计功能与几何多样化的要求。由于整跨桥是分段预制的，且节段拼装桥梁较少设置湿接缝、拼装施工时的调节余地较小，因此每个节段的三维尺寸控制非常重要，否则现场拼装可能出现拼装完成后的桥梁线形与设计不符或相邻桥跨不能接合的重大错误。因此，节段梁设计、预制、拼装过程中最核心的技术就是三维线形控制技术。

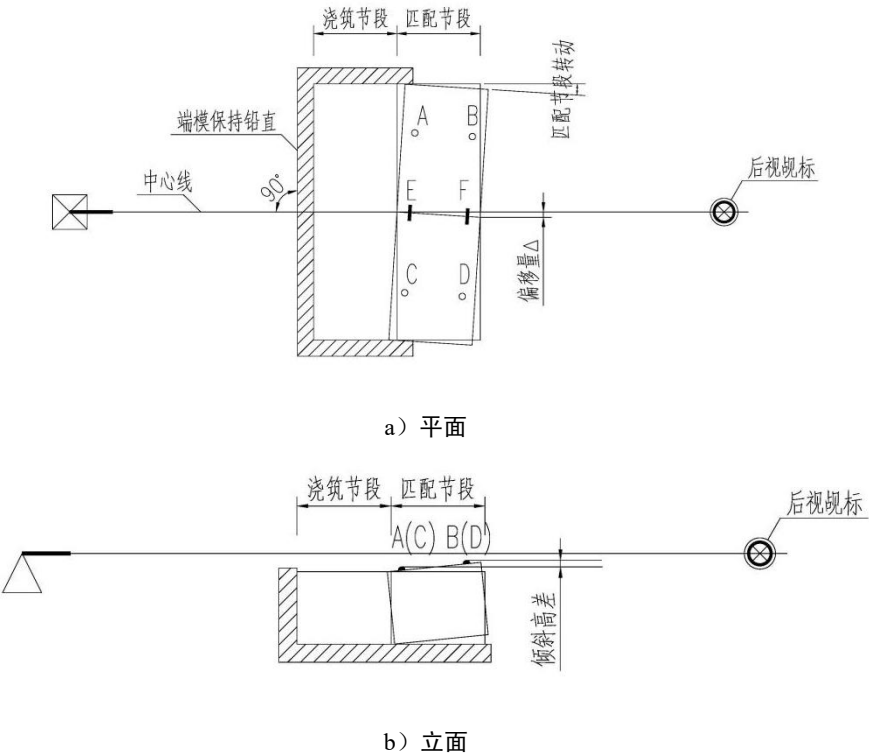


图 9 相邻节段的拼合示意图

三维线形控制分为两个方面：一是平面线形控制，即控制桥轴线在平面上的线形符合设计要求，一般在梁体顶面轴线预埋 2 个测点（见图 9a）E、F 点，通过控制该两点的水平坐标实现梁体的水平转动从而达到控制水平线形的目的；二是竖向线形控制，一般是在梁顶面上桥轴线两侧各预埋 2 个测点（见图 9A~D 点），通过控制这些点的标高来实现对竖向线形的控制，同时控制梁体扭曲。梁段顶面上 A~F 共 6 个控制测点坐标称为线形控制六点坐标。

线形控制工作应采用专业三维线形控制软件，其工作内容包括：a) 浇筑节段六个控制点在匹配位置的理论坐标值计算；b) 制造误差分析和调整；c) 修正误差后浇筑节段的理论坐标计算。线形控制尚应考虑混凝土实际龄期、弹性模量、预应力摩阻等因素计算桥梁结构线形。

12 维护要求

12.1 连续刚构桥的检查、维修、大修等运维工作，应按现行《高速铁路桥隧建筑物修理规则（试行）》（铁运〔2011〕131号）及相关补充规定执行。

注：《普速铁路桥隧建筑物修理规则》（TG/GW103—2018）可作为补充性技术要求，在高速铁路修理规则未明确规定时参照执行。

12.2 连续刚构桥的养护维修设施、设备应进行专门设计，并与主体结构相协调。

12.3 连续刚构桥应建立定期检查制度，对主梁、墩身等关键部位的裂缝、沉降等进行检测。

12.4 连续刚构桥宜设置健康监测系统，并基于监测数据反映的桥梁状态异常情况及时开展针对性检查。

附录 A

(资料性)

连续刚构整联纵向抗推刚度计算

A.1 连续刚构桥整联纵向抗推刚度等于各墩的抗推刚度之和:

$$K = \mu \sum k_i \cdots \cdots \cdots (A.1)$$

式中:

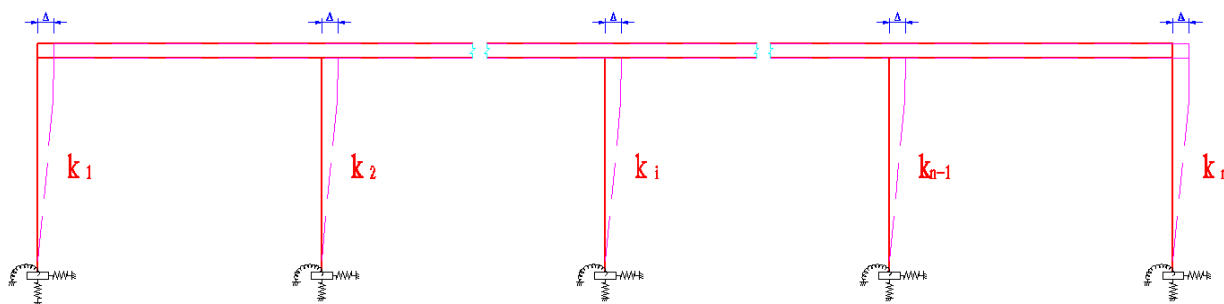
 K ——连续刚构桥整联纵向抗推刚度 (kN/cm); μ ——修正系数, 取值范围为 0.85~0.95, 与梁线刚度比有关, 梁墩线刚度比大时取大值, 梁墩线刚度比小时取小值; k_i ——连续刚构桥第 i 个桥墩墩顶纵向抗推刚度 (kN/cm), 按 A.2 条进行计算; n ——连续刚构桥一联的桥墩个数。

图 A.1 连续刚构桥整联纵向抗推刚度计算示意图

注: 连续刚构桥主梁与边墩线刚度比在 20 左右, 主梁与中墩的线刚度比在 5 左右, 梁对墩的约束较强, 近似将 3x40 连续刚构简化为墩顶固结的多跨有侧移刚架, 墩底考虑桩土共同作的基础刚度。

A.2 单墩墩顶纵向抗推刚度按下列公式计算:

$$k = 1/\Delta \cdots \cdots \cdots (A.2)$$

$$\Delta = \Delta_1 + \Delta_2 \cdots \cdots \cdots (A.3)$$

$$\Delta_1 = H^3/12EI \cdots \cdots \cdots (A.4)$$

$$\Delta_2 = \Delta_{21} + \Delta_{22} \cdots \cdots \cdots (A.5)$$

$$\Delta_{21} = \theta H/2 \cdots \cdots \cdots (A.6)$$

$$\Delta_{22} = \delta \cdots \cdots \cdots (A.7)$$

式中:

 k ——连续刚构桥单墩墩顶纵向抗推刚度 (kN/cm); Δ ——在墩顶作用单位水平力 $F=1$ kN 时, 墩顶发生的水平位移 (cm); Δ_1 ——在墩顶作用单位水平力 $F=1$ kN 时, 墩身发生弹性变形导致的墩顶水平位移 (cm); Δ_2 ——在墩顶作用单位水平力 $F=1$ kN 时, 基础发生变位导致的墩顶水平位移 (cm); Δ_{21} ——在墩顶作用单位水平力 $F=1$ kN 时, 基础发生转动导致的墩顶水平位移 (cm);

Δ_{22} ——在墩顶作用单位水平力 $F=1\text{ kN}$ 时，基础发生平动导致的墩顶水平位移（cm）；

θ ——在墩顶作用单位水平力 $F=1\text{ kN}$ 时，基础产生的转角（rad）；

δ ——在墩顶作用单位水平力 $F=1\text{ kN}$ 时，基础产生的水平位移（cm）；

EI ——刚构桥墩的纵向抗弯刚度，取 $EI=0.8E_hI$ 。 E_h 为混凝土的受压弹性模量(以 kPa 计)， I 为全截面惯性矩。

H ——刚构桥墩高度（m）。

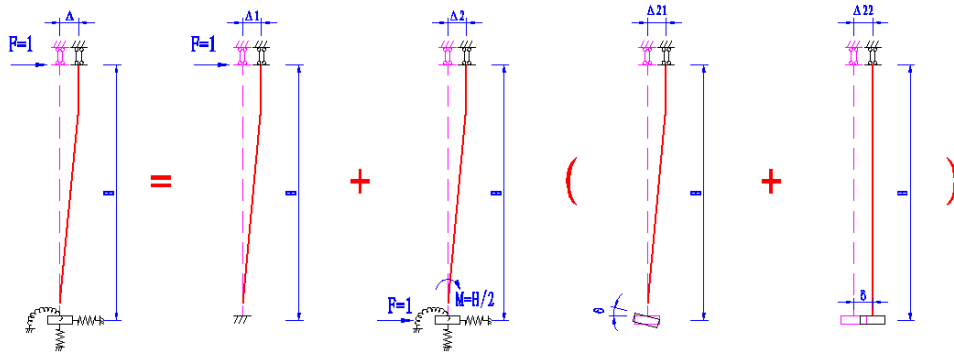
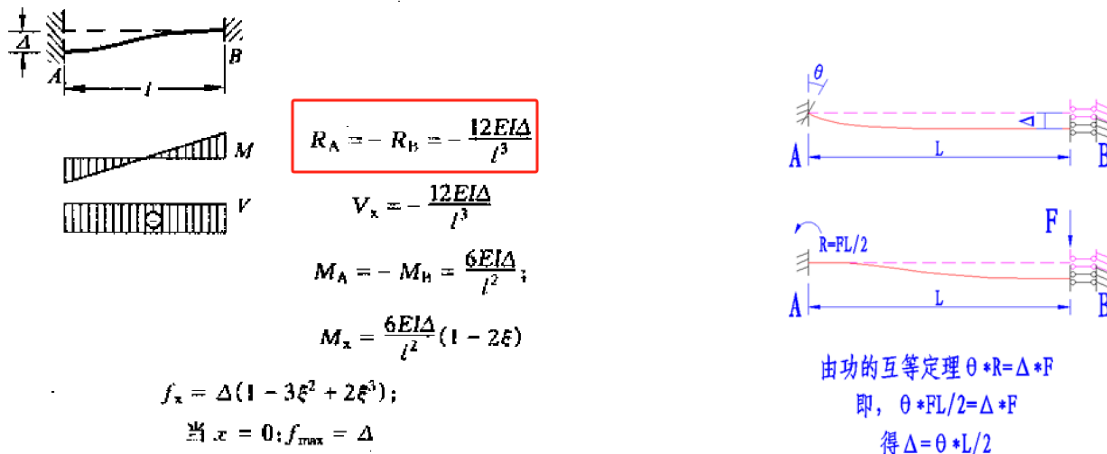


图 A.2 连续刚构桥单墩纵向抗推刚度计算图示

为求刚度先求柔度，即在单位水平力作用下墩顶发生的水平位移。墩顶位移可分解为两部分：一是桥墩变形产生的位移 Δ_1 ，二是基础变位导致桥墩产生的位移 Δ_2 。其中 Δ_2 进一步分解为基础转角 θ 产生的位移 Δ_{21} 和基础平动 δ 产生的位移 Δ_{22} 。得到墩顶位移后，单墩抗推刚度 $K=1/\Delta$ 。

根据图 A.3， $\Delta_1=H^3/12EI$ ， $\Delta_{21}=\theta H/2$ ，而 $\Delta_{22}=\delta$ 。



a) 求解桥墩变形产生的墩顶位移

b) 求解基础转动产生的墩顶位移

图 A.3 墩顶位移的计算方法示意图

附录 B

(资料性)

连续刚构桥梁端计算

B.1 限位装置刚度组成

梁端限位装置的横向抗推刚度 K_T 是决定梁端相对位移是否满足规范要求的核心参数, 图 B.1 为限位装置的力学模型示意图, 其值由三部分组成:

- a) 限位装置伸缩体的剪切刚度 K_G ;
- b) 限位装置伸缩体的横向弯曲刚度 K_M ;
- c) 锚栓的横桥向剪切刚度 K_S 。

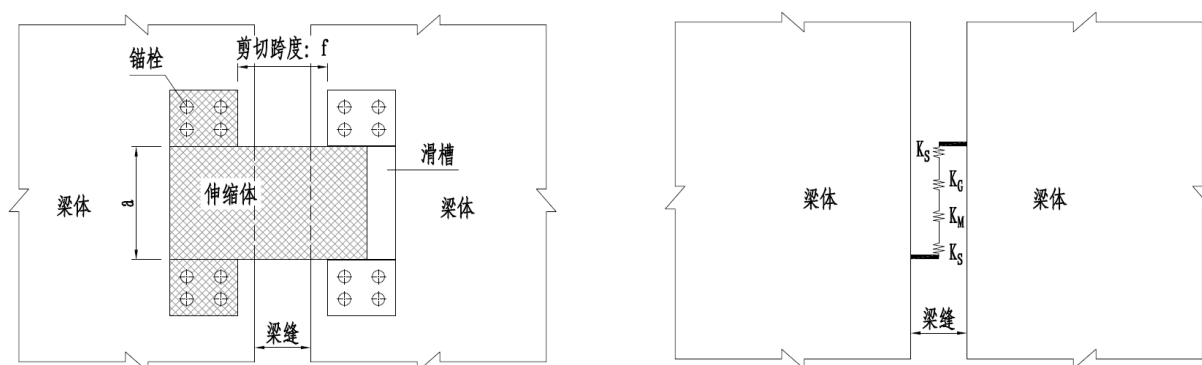


图 B.1 限位装置力学模型示意图

$$\frac{1}{K_T} = \frac{1}{K_G} + \frac{1}{K_M} + \frac{2}{K_S} \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

K_T ——限位装置横向抗推刚度 (kN/mm);

K_G ——限位装置伸缩体的横向剪切刚度 (kN/mm), 其中 G 为材料的剪切模量, A 为滑块块体的截面面积, f 为滑块块体两约束端之间的间距。

$$K_G = \frac{GA}{f} \dots\dots\dots (B.2)$$

K_M ——限位装置滑块块体的横向抗推刚度 (kN/mm), 其中 E 为材料的弹性模量, I 为滑块块体的横向惯性矩。

$$K_M = \frac{12EI}{f^3} \dots\dots\dots (B.3)$$

K_S ——限位装置锚栓的横向剪切刚度 (kN/mm)。

根据上式, 可以基于经济性原则灵活配置各要素抗推刚度。

注: 由于装置仅受水平剪力, 锚固结构可采用剪力栓钉或 PBL 连接件, 其刚度值可参考《公路钢混组合桥梁设计与施工规范》(JTG-D64-01-2015-T) 的规定。

B.2 梁端相对水平位移与相对扭转

梁端设置限位装置后, 其相对位移仅与分离式支墩的弹性变形有关, 而支墩的弹性变形还受主梁的

横向和扭转弹性约束,因此,梁端相对位移的力学模型如图 B.2 所示,所计算梁缝处的两边墩墩底(承台顶,或分支交汇点)固结,其余桥墩考虑基础刚度。

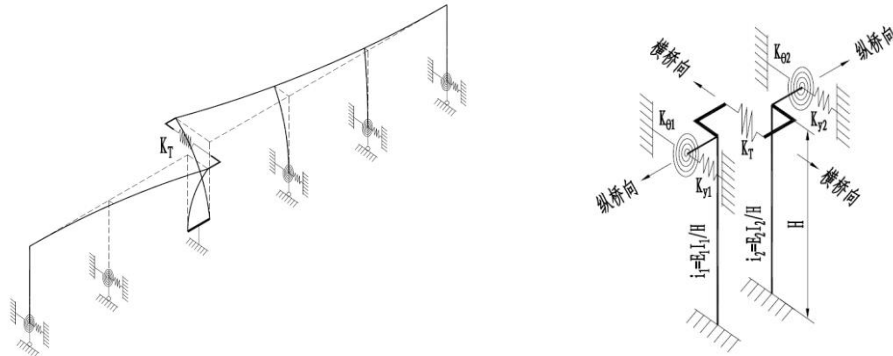


图 B.2 限位装置力学模型示意图

基于上述力学模型,梁端设置限位装置后的相对位移详见式 B.4~ B.6:

水平相对位移:

$$\Delta' = \alpha \cdot \Delta^0 \quad \text{..... (B.4)}$$

梁端相对转角:

$$\theta' = \theta^0 - \left(\frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2} \right) \cdot K_T \cdot \alpha \cdot \Delta^0 \quad \text{..... (B.5)}$$

水平相对位移折减系数:

$$\alpha = \frac{1}{1 + \frac{K_T}{R_1} + \frac{K_T}{R_2}} \quad \text{..... (B.6)}$$

限位装置横桥向内力:

$$Q = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \Delta^0 \quad \text{..... (B.7)}$$

式中:

Δ^0 ——未设置限位装置时的梁端初始相对水平位移 (mm),由列车偏载、离心力、摇摆力、横向风荷载、主梁横向温差引起;

θ^0 ——未设置限位装置时的梁端初始相对扭转角 (rad),由列车偏载、离心力、摇摆力、横向风荷载、主梁横向温差引起;

K_T ——梁端限位装置横向抗推刚度 (kN/mm);

C_1 、 R_1 ——所计算两联桥中 1#桥梁端的综合耦合刚度和综合横向抗推刚度,其中 C_1 的物理意义为 1#桥梁端发生单位转角时施加在梁端的横桥向水平力; R_1 的物理意义为 1#桥梁端发生单位水平位移时施加在梁端的横桥向水平力,水平力的施加方法如图 B.3,图中 Δ 、 θ 为任意大小水平集中力作用于梁端时所产生的水平位移和扭转角。

C_2 、 R_2 ——所计算两联桥中 2#桥梁端的综合耦合刚度和综合横向抗推刚度,其中 C_2 的物理意义为 2#桥梁端发生单位转角时施加在梁端的横桥向水平力; R_2 的物理意义为 2#桥梁端发生单位水平位移时施加在梁端的横桥向水平力,水平力的施加方法如图 B.3。

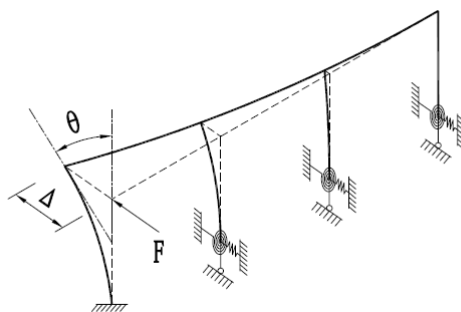


图 B.3 梁端横向综合刚度计算图示

B.3 边墩最小横向线刚度

边墩墩顶设置限位装置后，当 $K_T \rightarrow \infty$ 时，由式 B.4 可知，水平相对位移趋于 0；但由式 B.5 可知， $K_T \rightarrow \infty$ 时水平相对扭转角则趋于一个稳定值，而不是趋于 0。这说明限位装置能完全约束梁端水平相对位移，但是不能完全约束梁端相对扭转，进而不能完全约束梁端桥面的竖向相对位移。这是由于横桥向荷载施加于边墩墩顶的力矩导致，即边墩墩顶在力矩作用下，无论限位装置做得多刚，墩顶始终会存在一个残余扭转角。当该扭转角超过限值时，只能通过调整桥墩横向尺寸以满足规范要求。

桥墩横向最小尺寸应满足：

$$\theta^0 - \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right) \cdot \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \Delta^0 < \frac{2[\Delta]}{S+l} \dots\dots\dots (B.8)$$

式中：

$[\Delta]$ ——为一线轨道单股钢轨的容许竖向位移，为 1mm；

S ——双线线间距，但为单线桥时， $S=0$ ；

l ——轨距；

B.4 限位装置受力

梁端限位装置水平内力为：

$$Q = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \Delta^0 \dots\dots\dots (B.9)$$

对应地附加横向弯矩为：

$$M_F = \frac{Q \cdot f}{2} \dots\dots\dots (B.10)$$

梁端出现水平折角时，则限位装置发生强迫转动，对应弯矩见式 B.11，其中 ϕ 为梁段相对折角，可取 1‰rad。

$$M_\theta = \frac{EI\phi}{f} \dots\dots\dots (B.11)$$

限位装置既约束了梁端水平相对位移，也约束了梁端相对扭转，则其还承受了扭矩，下式为限位装置扭矩，其中 θ 为梁端相对扭转角，可由式 (B.5)、式 (B.7) 求得； I_t 为截面的扭转常数。

$$M_t = \frac{GI_t\theta}{f} \dots\dots\dots (B.12)$$

附录 C

(规范性)

主要控制指标表

连续刚构桥的主梁检算应执行《铁路桥涵混凝土结构设计规范》(TB 10092)，其主要控制指标应符合表 C.1 的规定。

表 C.1 结构设计主要安全系数及应力控制指标表

序号	项 目	检 算 条 件			预制结构	预制结构胶接缝处	现浇结构
					控制条件		
1	设计安全系数	强度安全系数	运营荷载	主力	$K \geq 2.0$		$K \geq 2.2$
				主力+附加力	$K \geq 1.8$		$K \geq 1.98$
			安装荷载下			$K \geq 1.8$	
2	抗裂安全系数		运营荷载下		$K_f \geq 1.2$	$K_f \geq 1.15$	$K_f \geq 1.2$
			安装荷载下		$K_f \geq 1.1$		
3	预应力	预加应力时锚下钢绞线控制应力			$\sigma_{con} \leq 0.75 f_{pk}$		
4	钢绞线	传力锚固时的钢绞线控制应力			$\sigma_p \leq 0.65 f_{pk}$		
5	应力	运营荷载下钢绞线应力			$\sigma_p \leq 0.60 f_{pk}$		
6	(MPa)	疲劳荷载作用下钢束应力幅			$\Delta \sigma_s \leq 140$		
7	受力钢筋应力	(HRB400 钢筋)	主力		$\sigma_s \leq 210 \text{MPa}$		
			主力+附加力		$\sigma_s \leq 270 \text{MPa}$		
			主力+特殊荷载		$\sigma_s \leq 315 \text{MPa}$		
8	(MPa)	施工临时荷载			$\sigma_s \leq 297 \text{MPa}$		
9		地震荷载 (HRB400 钢筋)	多遇地震		$\sigma_s \leq 315 \text{MPa}$		
			罕遇地震		$\sigma_s \leq 400 \text{MPa}$		
10		疲劳荷载作用下带肋钢筋母材基本应力幅			$\Delta \sigma_0 \leq 145 \text{MPa}$		
11	混凝土应力 (MPa)	传力锚固时混凝土压应力			$\sigma_c \leq 0.75 f_c'$		
12		传力锚固时混凝土拉应力			$\sigma_{ct} \leq 0.70 f_{ct}'$	$\sigma_{ct} \leq -0.3 \text{MPa}$	$\sigma_{ct} \leq 0.70 f_{ct}'$
13		运营荷载下混凝土压应力	主力		$\sigma_{c \text{ 主}} \leq 0.50 f_c$		
			主力+附加力		$\sigma_{c \text{ 主附}} \leq 0.55 f_c$		
14		运营荷载下混凝土拉应力	主力		$\sigma_{ct} \leq 0$	$\sigma_{ct} \leq -1.0 \text{MPa}$	$\sigma_{ct} \leq 0$
			主力+附加力			$\sigma_{ct} \leq -0.5 \text{MPa}$	
15		运营荷载下混凝土最大剪应力			$\tau_c \leq 0.17 f_c$	$\tau_c \leq 0.17 k_f f_c$	$\tau_c \leq 0.17 f_c$
16		抗裂荷载下混凝土主压应力	主力		$\sigma_{cp \text{ 主}} \leq 0.60 f_c$		
			主力+附加力		$\sigma_{cp \text{ 主附}} \leq 0.66 f_c$		
17			抗裂荷载下混凝土主拉应力			$\sigma_{tp} \leq f_{ct}$	$\sigma_{tp} \leq k_{tp} f_{ct}$

注： f_{pk} 为钢绞线的抗拉强度标准值； f_c' 、 f_{ct}' 分别为预加应力时混凝土轴心抗压、抗拉极限强度； f_c 、 f_{ct} 分别为混凝土轴心抗压、抗拉极限强度。