

寒区装配式钢桥梁设计及建造技术规范

（征求意见稿）

联系单位：哈尔滨理工大学

联系人：王圣保

联系电话：18686776800

联系邮箱：18686776800@163.com

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

2026 - XX - XX 发布

2026 - XX - XX 实施

目 次

前 言	3
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 材料及设计指标	3
5.1 一般规定	3
5.2 钢材	3
5.3 焊接材料	3
5.4 连接副及螺柱	4
5.5 设计指标	4
6 荷载作用	5
6.1 作用分类、代表值和作用组合	5
6.2 雪荷载	5
7 构造及计算	5
7.1 一般规定	5
7.2 钢桥梁构造	5
7.3 钢桥梁计算	6
8 节段预制与涂装	6
8.1 一般规定	6
8.2 下料与加工	6
8.3 钢桥节段组装	6
8.4 钢桥节段焊接	7
8.5 应力处理及矫正	8
8.6 试拼装及预拼装	9
8.7 钢桥节段检验	9
8.8 防腐涂装及防护	9
9 节段运输及安全	10
9.1 一般规定	10
9.2 钢桥节段运输防护	10
9.3 运输路线及安全措施	11
10 节段安装与检验验收	11
10.1 一般规定	11
10.2 平面位置、高程及线形控制	11
10.3 钢桥节段连接及低温作业	11
10.4 钢桥节段连接区涂装	12

10.5	成桥检验与验收	12
附录 A	(资料性) 相关计算	13
附录 B	(规范性) 焊接材料检验	14
附录 C	(规范性) 焊缝超声冲击工艺及检验	15
附录 D	(规范性) 锈层致密性测试和锈层颜色均匀性检测	18

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。

本文件由黑龙江省交通运输厅提出并归口。

本文件起草单位：哈尔滨理工大学、龙建科工（黑龙江）有限公司、黑龙江省交通规划设计研究院集团有限公司、中铁山桥集团有限公司、龙建路桥股份有限公司、哈尔滨工业大学、东南大学、长安大学、山东建筑大学、黑龙江省公路建设中心、黑龙江省公路事业发展中心、黑龙江省交通运输信息和科学研究中心、中国地震局工程力学研究所、中铁第五勘察设计院集团有限公司、黑龙江省寒地建筑科学研究院、黑龙江省林业设计研究院有限公司。

本文件主要起草人：王圣保、刘立军、胡广瑞、靳冰冰、高建忠、康宇环、毛思骁、杨明、李忠龙、曾明鸣、牛鸿敏、叶阳、牟忠浩、韩文帅、吴碧野、宋红飞、刘洪武、刘永良、刘立刚、袁俊杰、李绪森、王心智、逯彦秋、张红菊、刘珈辰、任凤军、史伟鉴、刘成庆、许广鹏、刁万民、王一宁、栗萍，刘佳伟、陈建华、谭洪涛、盖洪涛、刘春良、林莉、王晓东、卢书楠、周德斌、何东勇、肖继臣、陆博远、毕文勇。

寒区装配式钢桥梁设计及建造技术规范

1 范围

本文件规定了寒区装配式钢桥梁设计及建造技术的规范性引用文件、术语和定义、基本规定、材料及设计指标、荷载作用、构造及计算、钢桥节段预制与涂装、运输及安全措施、钢桥节段装配安装与检验验收等内容。

本文件适用于寒区公路新建、改扩建及养护装配式钢桥梁设计及建造。

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 714 桥梁用结构钢
- GB/T 985.1 气焊、焊条电弧焊、气体保护焊和高能束焊的推荐坡口
- GB/T 985.2 埋弧焊的推荐坡口
- GB/T 1231 钢结构用高强度大六角头螺栓连接副
- GB/T 1591 低合金高强度结构钢
- GB/T 5117 非合金钢及细晶粒钢焊条
- GB/T 5118 热强钢焊条
- GB/T 5293 埋弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝-焊剂组合分类要求
- GB/T 5313 厚度方向性能钢板
- GB/T 8110 熔化极气体保护电弧焊用非合金钢及细晶粒钢实心焊丝
- GB/T 10045 非合金钢及细晶粒钢药芯焊丝
- GB/T 10433 紧固件 电弧螺柱焊用螺柱和瓷环
- GB/T 11345 焊缝无损检测 超声检测 技术、检测等级和评定
- GB/T 12470 埋弧焊用热强钢实心焊丝、药芯焊丝和焊丝-焊剂组合分类要求
- GB/T 14957 熔化焊用钢丝
- GB/T 17493 热强钢药芯焊丝
- GB 50205 钢结构工程施工质量验收标准
- GB 50661 钢结构焊接规范
- GB 50755 钢结构工程施工规范
- CB/T 3715 陶质焊接衬垫
- CJ/T 206 城市供水水质标准
- JGJ 82 钢结构高强度螺栓连接技术规程
- JTG D60 公路桥涵设计通用规范
- JTG D64 公路钢结构桥梁设计规范
- JTG/T D65-06 公路钢管混凝土拱桥设计规范
- JT/T 722 公路桥梁钢结构防腐涂装技术条件

JTG/T 3651 公路钢结构桥梁制造和安装施工规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

覆冰及裹冰

水汽和天然降水在低温情况下，凝聚粘附在构件或节段表面而形成的冻结物。

3.2

严寒地区

最冷月平均温度 ≤ -10 °C，日平均温度 ≤ 5 °C的天数不少于 145 d 的地区。

3.3

冰雪冻融期

冰雪冻融期是指在寒区季节交替期间，由于气温周期性变化，导致冰雪覆盖层经历反复冻结和融化的过程所对应的时间段。

3.4

装配式钢桥梁

采用工厂预制钢桥节段、现场安装连接而成的钢桥梁，包括钢桥梁各部分钢结构节段组成受力结构及连接件等核心部件。

3.5

钢桥节段

钢桥节段是为便于钢桥制作、运输及安装划分成的钢桥结构构件组合单元。

3.6

锈蚀裕量

无涂装耐候钢桥梁因形成稳定锈层有效板厚会损失，在结构设计时，应增加考虑锈蚀影响的板厚损失量（改为“因锈蚀影响增加的板厚损失量”）。即考虑锈蚀影响的设计裕量。

3.7

全熔透焊接

全熔透焊接是焊接接头焊缝断面熔透率达 100 %，即焊接接头断面全部由焊缝组成。

3.8

消除残余应力

为了降低焊接残余应力或保持结构尺寸稳定性而采取的各种处理方法，包括热处理、锤击法、超声冲击法等。

3.9

热矫正

将钢构件局部或整体加热至 600 °C~800 °C 的塑性状态，利用其冷却时产生的收缩变形，来校正构件已有的尺寸偏差或变形。

3.10

冬期施工

根据施工所在地多年气象资料统计，当室外日平均气温连续 5 d 稳定 ≤ 5 °C时进入的施工期。

4 基本规定

- 4.1 寒区装配式钢桥梁设计，除应符合本文件外，应符合 JTG D60、JTG D64、JTG/T D65-06 的相关规定。
- 4.2 寒区装配式钢桥梁设计及建造技术应以全寿命周期安全性与耐久性为核心目标，并遵循以下原则：
——应考虑寒区极端环境下的不利荷载作用，充分考虑雪荷载等作用的不利影响；
——寒区装配式钢桥梁所使用的材料应能适应寒区韧性及耐久性要求；
——桥梁设计过程中应采取有效措施减少融雪剂等对桥梁结构的侵蚀效应。
- 4.3 寒区装配式钢桥梁结构的设计应分阶段实行严格管理和控制，明确寒区桥梁的使用条件，对特殊交通功能的桥梁，采用相应的特殊车辆荷载进行结构整体和局部验算。
- 4.4 寒区装配式钢桥梁建造、运输及安装应符合 JTG/T 3651 的相关规定。
- 4.5 焊接材料、焊接工艺参数、坡口型式及焊接工艺评定试验应符合 GB 50661、JTG/T 3651 的规定。
- 4.6 主要材料、制造施工的质量检验记录和质量证明文件等资料应齐全完整、真实有效，并应具有可追溯性。

5 材料及设计指标

5.1 一般规定

- 5.1.1 寒区装配式钢桥梁所用材料应具备足够的强度、优良的低温冲击韧性、良好的焊接性能及耐候耐久性，不应使用未通过低温冲击韧性试验验证的材料。
- 5.1.2 装配钢桥节段应采用工厂标准化制作，连接副、螺柱、焊接材料等配套材料的低温性能等级应与钢材匹配。

5.2 钢材

- 5.2.1 装配式钢桥梁所用的钢材，其牌号、技术条件和性能指标应符合 GB/T 714、GB/T 1591、GB/T 700 等相关规定。
- 5.2.2 寒区装配式钢桥梁所用钢材应结合所处环境条件、结构形式、受力状态及连接方法，合理选用钢材。
- 5.2.3 钢桥梁主梁用钢推荐选用 Q345qE 钢、Q370qE 钢、Q390qE 钢、Q420qE 钢等，有更高等级需求的钢桥工程可选用 qF 级桥梁钢，其质量应符合 GB/T 714 的规定。
- 5.2.4 钢桥梁主梁用钢可结合耐大气腐蚀特性、抗冻融侵蚀、养护条件等因素选用相应钢级耐候钢，其质量应符合 GB/T 714 的规定。
- 5.2.5 钢桥梁附属结构用钢宜选用 Q235 钢、Q355 钢、Q390 钢、Q420 钢等，其质量应符合 GB/T 700、GB/T 1591 的规定。
- 5.2.6 当钢材选用具有 Z 向性能的钢材，Z 向性能等级不应低于 Z15；受力复杂、荷载较大的重要构件，宜采用 Z25；特厚板及关键部位可采用 Z35。
- 5.2.7 有厚度方向性能要求的钢板质量应符合 GB/T 5313 规定。
- 5.2.8 其它钢材选用应符合 JTG D64 的规定。

5.3 焊接材料

5.3.1 焊接材料的型号及规格应根据焊接工艺评定确定，其质量应符合 GB/T 5118、GB/T 511、GB/T 14957、GB/T 8110、GB/T 1749、GB/T 10045、GB/T 12470、GB/T 5293 等的相关规定。

5.3.2 常用桥梁钢的焊接材料应符合表 1 的规定。

表 1 常用桥梁钢的焊接材料

序号	钢材	焊接材料			
		焊条	实心焊丝气体保护焊丝	药芯焊丝气体保护焊丝	埋弧焊焊丝和焊剂
1	Q345qE 级	GB/T 51172 E50XX	GB/T 8110	GB/T 10045	GB/T 5293 S43A2U-H08MnA
	Q370qE 级		G49A3XX	T492TX-1C1A	GB/T 5293 S49A4U-H08Mn2E
	Q390qE 级		G55A4XX	T494T1-1C1A	GB/T 5293 S49A2U-H10Mn2
2	Q420qE 级	GB/T 5117-2012 E50XX E50XX-G	GB/T 8110-2020	GB/T 10045	GB/T 5293 S49A4U-H08Mn2E
			G49A3XX	T492TX-1C1A	GB/T 5293 S55A4U-H60Q
			G55A4XX	T494T1-1C1A	

注：1 异种材质焊接时，按照强度级别较低的钢材选择焊接材料；2. F 级桥梁钢焊接时，焊接材料按设计要求选择；3. 表中焊材型号 XX 代表不同的保护气体和成分体系，根据需要与焊材厂家另行选择确定。

5.3.3 焊接材料应选用低氢型焊接材料，焊接材料熔敷金属扩散氢含量 $\leq 5\text{ml}/100\text{g}$ ，应在材质证明书中注明。

5.3.4 耐候钢焊接材料应与耐候钢材的性能和成分相匹配，焊接材料的耐大气腐蚀指数 I 不低于耐候钢材标准值。

5.3.5 CO_2 气体纯度应 $\geq 99.5\%$ ，含水量按质量比计应 $\leq 0.005\%$ ；氩气纯度应 $\geq 99.95\%$ ，混合气的混合比例应符合焊接工艺要求。

5.3.6 陶质焊接衬垫应选用 II 型衬垫，质量应符合 CB/T 3715 规定和设计文件要求。

5.4 连接副及螺柱

5.4.1 高强度螺栓连接副质量应符合 GB/T 1231 的规定。

5.4.2 高强度螺栓连接施工应符合 JGJ 82 的规定。

5.4.3 寒区装配式钢桥梁的节点连接推荐选用 10.9S 级高强度螺栓连接副。

5.4.4 耐候钢桥应选用与钢材具有相同耐候性能的高强度螺栓连接副，耐候高强螺栓、螺母和垫片均采用耐候热轧盘条，耐候高强螺栓的耐大气腐蚀指数与钢材相同，要求 $I \geq 6.0$ 。

5.4.5 高强度螺栓连接副的材料低温冲击韧性应满足 -20°C 低温冲击功 $\geq 27\text{J}$ 的要求，同一节点应采用同一厂家、同一批次的螺栓、螺母及垫圈，不应混用不同批次、不同厂家的连接副。

5.4.6 螺柱和瓷环质量应符合 GB/T 10433 的规定。

5.5 设计指标

5.5.1 材料设计指标按 JTG D64 取值。

5.5.2 焊接材料及连接副低温冲击韧性应和主材匹配。

5.5.3 钢材及焊缝强度设计值应按 JTG D64 取值。

5.5.4 高强度螺栓连接摩擦面的抗滑移系数应 ≥ 0.45 ，寒区直接承受动载的节点，抗滑移系数宜提高至 0.55。

5.5.5 高强度螺栓的预拉力应按现行标准规定的标准值取值，当施工温度低于 0°C 时，终拧扭矩应提高 5%~8%，补偿低温收缩导致的预拉力损失。

5.5.6 其它材料设计指标应符合 JTG D64 的规定。

6 荷载作用

6.1 作用分类、代表值和作用组合

6.1.1 装配式钢桥梁设计时应按现行 JTG D60 中的相关规定，将作用分为永久作用、可变作用、偶然作用及地震作用。

6.1.2 雪荷载作用代表值应按本文件取用，其余各类作用的代表值按照 JTG D60 规定取用。

6.1.3 装配式钢桥梁设计应采用极限状态设计方法，各类作用分项系数按现行 JTG D60 规定取值。设计中应考虑以下荷载组合形式：

- 承载能力极限状态基本组合、偶然组合、地震组合；
- 正常使用极限状态作用频遇组合；
- 正常使用极限状态作用准永久组合。

6.1.4 钢桥梁构件需要进行弹性阶段截面应力计算时，除特别指明外，作用应采用标准值，作用分项系数为 1.0。

6.2 雪荷载

6.2.1 雪荷载为可变作用，其荷载作用分项系数按 JTG D60 取值。

6.2.2 对于在高速公路、一级公路、二级公路上的或清雪情况良好的桥梁，雪荷载作用在桥梁外侧防撞墙或防撞护栏处，其纵向荷载集度按照 1.8kN/m 考虑。不考虑中分带处雪荷载分布。

6.2.3 对于在三级公路、四级公路上的桥梁，雪荷载分布宽度按照桥梁净宽考虑。其水平投影面上的雪荷载标准值，黑龙江省虎林地区按照 1.6kN/m²考虑，其余地区按照 1.0kN/m²考虑。

6.2.4 跨越铁路时设置双层防撞设施的桥梁应根据实际情况考虑雪荷载分布。

7 构造及计算

7.1 一般规定

7.1.1 钢桥梁的构造及计算应满足 JTG D64、JTG/T D65-06 的要求。

7.1.2 翼缘板范围内的钢板宜按照除冰盐环境确定防腐等级。

7.1.3 钢桥梁应进行防雷与接地设计，宜与桥面系及附属设施的接地系统统筹考虑。

7.1.4 钢桥梁宜采用型钢护栏。

7.1.5 钢管混凝土拱桥应采用微膨胀混凝土。

7.1.6 钢拱桥、钢桁架桥梁应制定低温防脆裂措施。

7.1.7 对无涂装耐候钢的钢桥梁在进行结构计算时，应考虑锈蚀对构件的影响。锈蚀裕量应根据构件部位及所处大气腐蚀环境等级确定：箱室内部取 0.5 mm，外露构件取 1.0mm~1.5mm。

7.2 钢桥梁构造

7.2.1 钢桥梁曲线半径 >300m 时，顶板纵向加劲肋宜采用 U 肋及 I 肋。

7.2.2 钢桥梁曲线半径 ≤300m 时，纵向加劲肋宜采用 I 肋及 T 肋。

7.2.3 U 肋板单元焊接宜采用全熔透焊接。

- 7.2.4 钢桥面板悬臂纵向侧封板与顶板边缘及悬臂梗腋底板边缘距离应控制在 3cm~5cm。
- 7.2.5 钢-混凝土组合梁应在桥面板悬臂下缘设置滴水槽。
- 7.2.6 钢桁架节点板与弦杆竖版焊缝连接处的圆弧半径不宜小于 100mm。

7.3 钢桥梁计算

- 7.3.1 钢桥梁计算时，雪荷载作为可变作用参与组合。
- 7.3.2 无涂装耐候钢桥梁在计算时，下列情况应扣除锈蚀裕量：
 - 承载能力极限状态：计算结构应力、整体稳定及局部稳定分析时，截面厚度应扣除锈蚀裕量；
 - 正常使用极限状态：计算结构刚度时，截面厚度应扣除锈蚀裕量；
 - 截面板件计算时，截面厚度应扣除锈蚀裕量；
 - 计算工程材料、结构支反力时，应计入锈蚀裕量。

8 节段预制与涂装

8.1 一般规定

- 8.1.1 装配式钢桥梁所用的钢材检验应符合 GB/T 714、GB/T 1591、GB/T 700、JTG/T 3651 等相关规定，对耐候钢还应检测与耐腐蚀指数 I 有关 Cr、Ni、Cu 元素含量，并计算 I 值，并按规定进行抽样检验，检验合格后方可使用。
- 8.1.2 装配钢桥节段焊接宜采用自动化焊接设备，在施焊过程中，应保证焊接的连续性。
- 8.1.3 焊接接头冲击功标准值应符合 JTG/T 3651，采用 F 级钢时，应结合设计要求和焊接工艺试验结果综合确定 F 级钢焊接接头的冲击功标准值。
- 8.1.4 焊接材料熔敷金属冲击功不低于焊接接头冲击功标准值，其余力学性能应不低于相应钢材标准的下限值或满足设计文件要求，焊接材料应按附录 A 的规定进行检验。
- 8.1.5 耐候钢焊接接头，耐大气腐蚀钢焊缝金属的耐腐蚀性指数 I 应符合设计要求。
- 8.1.6 装配式钢桥梁预制所涉及的其它材料和构件，其品种、规格、性能等应符合 JTG/T 3651 的规定并满足设计要求。
- 8.1.7 其它材料检验应符合 JTG/T 3651，检验合格后方可使用。

8.2 下料与加工

- 8.2.1 钢材切割下料应按照加工图和工艺文件进行。
- 8.2.2 切割后的钢桥结构板件尺寸应符合 JTG/T 3651 的规定，当有特殊要求时按相关工艺文件执行。
- 8.2.3 钢材切割下料宜优先采用激光切割，激光切割切口预留宽度宜为 0.5mm~2mm；采用火焰切割切口预留宽度宜为 2mm~5mm；采用等离子切割切口预留宽度宜为 1mm~3mm。切割口预留宽度可根据具体试验数据再次校正切割口预留宽度。
- 8.2.4 机械加工坡口时，加工表面应平整，采用热切割方法加工的坡口表面质量应符合 GB/T 985.1、GB/T 985.2 的要求。
- 8.2.5 钢材轧制缺陷的检测应符合 GB/T 11345 规定。

8.3 钢桥节段组装

- 8.3.1 钢桥节段组装应执行 JTG/T 3651 相关规定，组装前应彻底清除待焊区的铁锈、氧化铁皮、油污、水分等有害物。

- 8.3.2 板单元组装宜在专用胎架上进行，推荐采用自动定位组装胎架。
- 8.3.3 钢桥节段组装后应采取避免钢桥节段积雪、覆冰及裹冰的保护措施。
- 8.3.4 冬期施工应采取封闭保温、局部升温或防风防冻措施，计划进行冬期施工时应提前制定冬期施工专项方案，并经专家组论证后实施。

8.4 钢桥节段焊接

- 8.4.1 焊接工艺评定试验应符合 GB 50661、GB 50755、JTG/T 3651 的规定。
- 8.4.2 采用钢衬垫的焊缝，应在坡口内进行定位焊，不应在坡口外侧的钢衬垫边缘进行定位焊。
- 8.4.3 多层多道焊接应连续施焊，每一焊道焊接完成后应及时清理焊渣及表面飞溅物，发现影响焊接质量的缺陷时，应清除后方可再焊。遇有中断施焊的情况，应采取适当的后热、保温措施；再次焊接时重新预热温度应高于初始预热温度。
- 8.4.4 U 肋板单元的全熔透焊接宜采用自动化焊接机组。
- 8.4.5 严寒地区低温焊接前宜采用模拟低温施工工艺中的环境加热、钢材预热及焊后缓冷进行焊接工艺评定试验，并根据焊接工艺评定试验结果编制冬期施工低温焊接工艺文件，工艺文件应包括但不限于以下要素：

- 钢材的规格、牌号、厚度及限制范围；
- 填充金属的规格、类别和型号；
- 焊接接头形式、坡口形状、尺寸及其允许偏差；
- 焊接位置；
- 焊接电源的种类和极性；
- 清根处理；
- 焊接工艺参数（焊接电流、焊接电压、焊接速度、焊层和焊道分布）；
- 环境加热条件及保障措施；
- 钢材预热温度及道间温度范围；
- 焊后消除应力处理工艺；
- 焊接后冷却时间控制要求；
- 其它必要的规定。

- 8.4.6 严寒地区冬期施工时，现场试板宜在现场施工当日环境温度最低时段焊接。

8.4.7 耐候钢桥节段焊接应符合下列规定：

- 免涂装耐候钢构件建造全过程中，避免构件上沾染油脂、油漆、焊接飞溅等。加工完成后的构件采用标识牌标明节段信息；
- 免涂装耐候钢节段焊接组装时，避免造成结构或焊缝余高滞水；
- 与免涂装耐候钢节段焊接连接的引、熄弧板、吊耳板及临时工艺板等附属连接件，采用与钢材同等级耐候钢板，并采用与钢材相匹配的耐候钢焊接材料焊接；
- 耐候钢与低合金结构钢焊接采用耐候钢焊接材料；
- 耐候钢与不锈钢焊接采用不锈钢焊接材料。

8.4.8 严寒地区低温焊接应符合下列规定：

- 组织施工人员开展低温焊接专项培训，考核合格持证后方可上岗，考核记录应归档；
- 焊接材料存放于温度 $\geq 5^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $\leq 60\%$ 焊接材料库中，取用后限时施焊；
- CO_2 气保焊机应配备气体加热装置，施焊前应检查加热装置的工作状态，确保流量计正常流通，严防因流量计结冰导致保护气体中断，从而产生气孔、夹渣等焊接缺陷；

- 当焊接区域环境温度、湿度超出要求，应采取相应的环境加热、钢材预热及焊后缓冷措施；
- 冬期施工时，待用的焊接材料应在焊接暖房升温前放置于暖房，避免焊接材料温度过低，从室外进入保温作业舱后表面结露影响焊缝质量；
- 冬期施工时，采用暖房配合温控风幕或其它类型防风保温措施对焊接作业区进行加热，以符合焊接工艺要求的温度环境；
- 冬期施工时，焊接作业优先采用电加热。预热温度和道间温度应根据钢材的化学成分、接头的拘束状态、热输入大小、熔敷金属含氢量水平及所采用的焊接方法等因素进行综合确定，并进行焊接工艺评定试验以确定实际工程结构施焊时的最低预热温度；
- 冬期施工时，焊缝的定位焊焊接时预热温度高于正式施焊预热温度 20~50℃；
- 冬期施工时，明确焊接顺序，确保焊工连续作业，并采用多工位轮流焊接或双人对称焊等方式，有效维持道间温度；
- 对于拘束大的焊缝，根据实际情况进行后热保温处理，制定焊后缓降温度控制技术方案，并经专家组论证后实施。

8.4.9 冬期施工低温焊接作业过程质量控制应按照表 2 的要求执行。

表 2 冬期施工低温焊接作业过程质量控制要求

检验阶段	控制要点	检验内容	检验方式	记录资料
焊前检验	组装	坡口形状，间隙，衬板材质及贴紧情况，焊接区域的清理，引入、引出板安装	目测、直尺及相关资料查阅	组装检查表
	定位焊	预热温度，焊丝规格牌号	测温仪及相关资料查阅	焊接质量检查记录
焊接过程检验	预热	预热方式，预热温度，检验方法	外观检查、测温仪	焊接质量检查记录
	打底焊	焊接材料，焊接顺序，焊接方式，焊接规范	外观检查、卡表	焊接质量检查记录
	填充焊	焊接材料，焊接方式，焊接规范，层间温度	外观检查、卡表、测温仪	焊接质量检查记录
	盖面焊	余高控制，表面成形	目测、焊缝量规	焊接质量检查记录
	后热或保温	后热温度，后热方式，持续时间，保温方式	测温仪	焊接质量检查记录
焊后检验	外观	焊缝尺寸，角变形，咬边，表面气孔，表面裂纹，表面凹坑，未熔合，引熄弧部位处理，引熄弧板处理	目测、焊缝量规、直尺、缺口尺等	焊接质量检查记录，UT 检验记录
	内部	气孔，未焊透，夹渣，裂纹等	超声波检查	UT 检验记录

8.5 应力处理及矫正

8.5.1 结构中承受拉应力的对接接头或焊缝密集的节点对焊后消除残余应力有要求时，宜采用电加热器局部退火进行应力处理。

8.5.2 焊后热矫正应符合 JTG/T 3651 规定。当采用电加热器对焊接构件进行局部消除残余应力热矫正时，满足以下要求：

- 使用配备温度自动控制仪的加热设备，其加热、测温、控温性能应符合使用要求；
- 构件焊缝加热板（带）的宽度 \geq 钢板厚度的 3 倍，且 $\geq 200\text{mm}$ ；
- 加热板（带）以外的构件两侧宜用保温材料适当覆盖；
- 热矫正过程应严格控制升降温速率，避免因温度梯度产生新的应力。

8.5.3 用锤击法消除中间焊层应力时，应使用圆头手锤或小型振动工具进行，不对根部焊缝、盖面焊缝或焊缝坡口边缘的钢材进行锤击。

8.5.4 焊缝超声冲击满足下列规定：

——焊缝超声冲击应在焊缝检验合格后进行，并符合设计文件要求；

——焊缝超声冲击工艺及检验标准应符合本规范附录 B 的要求。

8.5.5 对于需要进行疲劳验算的动荷载结构，应制定定位焊焊接工艺文件。

8.5.6 焊缝在强拘束状况下施焊时，应采取防止焊接裂纹产生的工艺措施；合理制定焊接次序，应首先焊接拘束度大的焊缝，后焊接拘束度小的焊缝；长焊缝应从中间向两侧对称施焊；一端有自由端的焊缝，应从固定端向自由端施焊。

8.6 试拼装及预拼装

8.6.1 散拼安装的钢桥构件应按试拼装图纸进行试拼装，试拼装应在涂装前进行，试拼装合格后方可批量生产。

8.6.2 钢桥节段安装前应按拼装图纸进行预拼装，参与预拼装的钢桥节段均应检验合格，预拼装通常与连续匹配制造同步进行。

8.6.3 试拼装、预拼装检测时，应避开日照的影响，钢桥节段各部位温差应 $\leq 2^{\circ}\text{C}$ 。

8.6.4 宜采用 BIM 技术进行数字化测量和虚拟预拼装，推动行业向数字化、智能化方向转变。

8.7 钢桥节段检验

8.7.1 钢桥节段检验应符合 JTG/T 3651 的规定。

8.7.2 钢桥节段检验时，应同步测量钢桥节段温度并进行温度修正，确保钢桥节段尺寸符合设计要求。

8.7.3 无损检测人员应具有权威机构颁发的资格证书，且仅应从事资格证书中认定范围内的工作。

8.7.4 进行出厂前焊缝外观质量检查，对有缺陷的焊缝进行人工补焊及人工打磨，并做好记录，追溯上道工序原因，并责任到人，以减少缺陷产生原因。

8.7.5 钢材板厚 $< 30\text{mm}$ 时，焊缝焊接完成 24h 后进行无损检测；当钢材板厚 $\geq 30\text{mm}$ 时，焊缝焊接完成 48h 后进行无损检测；检测标准应符合 GB/T 11345 规定。

8.7.6 钢桥节段制作和安装采用的钢尺和量具，应和该桥梁同步土建施工单位采用同一精度级别进行计量鉴定。

8.7.7 负温下超声波探伤仪用的探头与钢材接触面间应采用不冻结的油基耦合剂。

8.7.8 钢桥节段出厂前应应对防腐涂层进行质量检验，如防腐涂层有缺陷，应进行人工补漆。

8.8 防腐涂装及防护

8.8.1 钢桥节段防腐涂装施工应符合 GB 50205、GB 50755、GB 55006、JTG/T 3651、JT/T 722 和本规范的规定。

8.8.2 钢桥节段表面预处理应采用喷砂、喷丸等措施。对于尺寸较大的钢桥节段除锈，宜采用自动化设备。

8.8.3 钢桥节段完成后应及时进行防腐涂装，宜采用自动化涂装设备。涂料应满足 JT/T 722 的要求，且涂层应具备抵抗大气污染物腐蚀的性能。

8.8.4 当施工作业环境温度 $\leq 5^{\circ}\text{C}$ 时，防腐涂装施工应采用低温固化材料或保温措施；当施工作业环境温度 $\leq -5^{\circ}\text{C}$ 时，不应进行防腐涂装施工。

8.8.5 出厂前保护满足下列规定：

- 现场焊接坡口部位，宜涂刷专用可焊性防锈底漆，干膜厚度严格控制在 $15\ \mu\text{m}\sim 25\ \mu\text{m}$ ，不应超厚涂装影响焊接质量；坡口周边 50 mm 范围内的永久涂层，需加装耐高温可剥离保护膜，避免焊接烧损；坡口区域出厂前应做防潮、防锈密封防护，不应出现锈蚀、污染；
 - 高强螺栓摩擦面抗滑移专用涂层完工后，应 100% 检验抗滑移系数，合格后立即做专项封闭防护，应采用无残留、可剥离的专用保护膜进行全覆盖密封，不应涂层裸露；
 - 防护完成的摩擦面，不应踩踏、触碰、刮蹭，不应沾染油污、粉尘、水汽，出厂前应再次复检抗滑移系数；
 - 需标注明确的“安装前剥离”提示，确保防护不影响现场安装；
 - 钢桥节段之间、钢桥节段与包装固定件之间，应采用橡胶垫、EVA 泡沫等缓冲材料进行全隔离，金属与金属、涂层与硬质物体不应直接接触，避免运输过程中晃动、刮蹭损伤涂层。
- 8.8.6 免涂装的耐候钢桥梁进行锈层稳定化处理满足下列规定：**
- 耐候钢桥梁锈层稳定化处理前，应进行喷砂处理，高强螺栓摩擦面区域应达到 Sa2.5 级，其它区域 Sa2 级；
 - 免涂装的耐候钢桥梁，宜在加工厂内进行初期锈层稳定化处理，采用定期洒水或喷洒专用锈层稳定剂等方法，使其表面全面均匀地发生锈蚀，处理后色调应一致；
 - 采用洒水法时，应使用符合 CJ/T 206 要求的饮用水，每天至少 2 次湿润钢桥梁表面，确保干湿循环，不应积水和结冰；
 - 采用喷洒专用锈层稳定剂法时，应按产品说明书要求施工；
 - 耐候钢桥梁工地焊接完成后，应打磨清除焊缝及两侧标记、飞溅、火焰修整痕迹等，打磨至 St3 级，再进行锈层稳定化处理；
 - 免涂装的耐候钢桥梁出厂前应参考本文件相应钢桥节段保护措施进行成品保护。
 - 构件安装前应进行构件锈层致密性和颜色均匀性检查，构件锈层致密性和颜色均匀性检查方法及要求符合附录 D；

9 节段运输及安全

9.1 一般规定

- 9.1.1 钢桥节段应分配唯一出厂编号，并将编号信息与相关文件相匹配，以便在装卸、运输、安装和使用阶段进行跟踪和管理。
- 9.1.2 检查外观质量，复核节段尺寸、规格与编号、是否逐一对应，发现问题逐一整改。
- 9.1.3 钢桥节段出厂前应对防腐涂层进行质量检查，如防腐涂层有缺陷，应进行人工补漆。
- 9.1.4 钢桥节段在存储、装卸、运输、安装过程中应采取保护措施，避免污染。

9.2 钢桥节段运输防护

- 9.2.1 对检验合格后的钢桥节段进行防护，采用软质橡胶垫块、塑胶护角对吊装部位进行保护，防止在吊装过程中钢丝绳及吊具对钢桥节段造成损伤。
- 9.2.2 采用枕木、橡胶支座等抗压且表面硬度不会损伤到钢桥节段的支撑物料，将钢桥节段固定在运载工具的指定位置，并做好钢桥节段防倾覆措施。
- 9.2.3 对预留焊口、焊道及栓接口进行防护，避免因雨雪潮湿造成生锈。
- 9.2.4 运输前做好捆绑固定措施，避免在运输过程中造成对钢桥节段磨损及损伤。

9.2.5 寒区钢桥节段出厂前，应采取防雨雪、防覆冰及裹冰等包覆措施，密封及防护包覆材料应选用低温环境下不易脆断的防雨苫布等。

9.3 运输路线及安全措施

9.3.1 钢桥节段运输应综合考虑钢桥节段特性、道路条件及寒区特点，编制运输方案；超限钢桥节段运输应编制专项方案，经专家论证后报请相关管理部门审批。

9.3.2 运输路线选择满足下列规定：

- 应根据钢桥节段尺寸、重量及运输车辆参数，结合道路承载、限高、限宽、限重要求择优确定，优先选用路面平整、除冰保通条件良好、弯道及陡坡较少的路线；
- 超重钢桥节段运输，应提前核验途经桥梁、隧道、涵洞的结构安全性能；
- 钢桥节段运输前，应实地踏勘运输路线道路路况，避开积水、积雪、结冰、冰雪冻融期路基翻浆及冬季通行保障能力差的路段。

9.3.3 运输安全满足下列规定：

- 钢桥节段装载应平稳牢固，采用适用于低温环境的支撑、绑扎及限位措施；
- 运输车辆应按规定设置超限警示标志，配备警示、冰雪路面防滑及应急工具；
- 应避免交通高峰及暴雪、强风、严寒等恶劣天气，冰雪冻融期运输需采取针对性防滑措施；
- 运输过程应设专人监护，定期检查阶段固定及防护状态，发现异常及时处置；
- 途经村镇、路口等敏感区域时应减速慢行，复杂地段应采取交通引导措施。

10 节段安装与检验验收

10.1 一般规定

钢桥梁冬期安装施工前除应按常温规定要求内容进行检查外，应根据寒区低温条件的要求对钢桥节段质量进行详细复验，冬期施工安装作业应制定专项施工方案。

10.2 平面位置、高程及线形控制

10.2.1 施工准备与方案论证

钢桥节段装配施工应实施平面位置、高程及线形全过程精准控制，建立复核、监测、纠偏一体化管控体系。冬期施工应强化温度影响下的测量精度保障与线形稳定性控制，严格执行测量校核与变形监测。

10.2.2 支架安装

冬期施工时，支架材料应选择能够在低温环境下保持良好性能的材料，确保支架的稳定性和安全性；支架设计和搭设应具有足够的强度、刚度和稳定性，能够承受钢箱梁的重量和施工荷载，同时应考虑风、雪及冰雪冻融期等自然因素的影响。

10.3 钢桥节段连接及低温作业

10.3.1 钢桥节段焊接连接时满足下列规定：

- 根据施工当地气候变化进行冬期施工期限划分，应制定专项冬期施工方案。
- 焊接作业区风速、湿度应符合 JTG/T 3651 标准规定。
- 装配钢桥节段现场焊接连接应建立封闭保温作业舱，具备防风、防雪、防冻、控温功能，舱内应设置连续测温装置，实时监测环境温度与焊件表面温度。

- 低温焊接前应均匀加热焊缝及热影响区，加热宽度 \geq 坡口两侧各 1.5 倍板厚且 \geq 150mm，层间温度不应低于预热温度。
- 当环境温度 \leq -10℃时，除按规定进行焊接工艺评定外，应开展寒区低温抗裂验证试验，合格后方可施焊；定位焊预热温度应高于正式施焊温度 20℃~50℃。
- 狭小空间、低温环境焊接应配置强制通风与有害气体在线监测装置，确保作业安全。

10.3.2 钢桥节段栓接连接时满足下列规定：

- 当环境温度 \leq -10℃或摩擦面潮湿或暴露于雨雪中时，不应进行高强度螺栓连接副的安装和施拧施工作业；
- 高强度螺栓连接副受火焰作用时，应采取隔热或降温措施予以保护。

10.3.3 当环境温度 \leq -10℃或摩擦面潮湿或暴露于雨雪中时，钢桥节段铆接连接以及既有钢桥铆接维修养护时不应进行高强度环槽铆钉连接副的安装和铆接施工作业；

10.4 钢桥节段连接区涂装

10.4.1 工地现场涂装应符合 GB 50205、GB 50755、GB 55006、JTG/T 3651、JT/T 722 规定。

10.4.2 装配钢桥节段连接区应在焊接验收、无损检测合格及焊缝修整完成后，尽快开展防腐涂装作业。

10.4.3 连接区域涂装前应彻底清除雨雪、覆冰及裹冰等污染物，表面处理等级应满足设计要求现场补涂涂料品种、涂层结构与干膜厚度应与工厂涂装体系保持一致，涂层应完整覆盖所有连接界面，不应出现因低温收缩导致的开裂、针孔或漏涂。

10.4.4 摩擦面涂装应在出厂前完成抗滑移防护处理，现场施工时不应随意补涂。现场安装前，摩擦面应采用可剥离保护膜密封防护以抵御雨雪、覆冰及裹冰等污染，安装时再完整去除。

10.4.5 连接区涂装完成后应检查干膜厚度、涂层外观及附着力。低温环境下出现涂层缺陷后应及时修补并重新验收。

10.5 成桥检验与验收

10.5.1 装配式钢桥梁质量检验应符合设计要求、施工详图和 JTG/T 3651 的规定。应建立质量保证体系，并根据施工工艺与进度计划，配置充足的质检仪器和人员。对施工各工艺环节的各项质量标准应做到及时检验，并根据检验结果对施工进行动态控制，保证各项质量指标合格、稳定。

10.5.2 对寒区钢桥成桥进行验收时，应具备下列文件：

- 合格证明书；
- 钢材、焊接材料、高强度螺栓连接副、高强度环槽铆钉连接副和涂装材料的出厂质量证明书及复验资料；
- 焊接工艺评定报告；
- 低温焊接记录；
- 工厂高强度螺栓摩擦面抗滑移系数试验报告；
- 焊缝无损检验报告；
- 焊缝重大修补记录；
- 钢材试板的试验报告；
- 试拼装或预拼装检查记录；
- 涂装检测记录；
- 若进行冬期施工应具备专项方案。

附 录 A
(资料性)
相关计算

A.1 系统温度

计算桥梁结构因均匀温度作用引起的外加变形或约束变形时，应从受到约束时的结构温度开始，按当地有记录以来的实际最高温度和最低温度取值。当缺乏调查资料时，可按 JTG D60 相关规定取值。

A.2 梁截面横向温度梯度

除根据 JTG D60 考虑梁截面竖向温度梯度外，应考虑梁截面横向温度梯度，具体取值可采用实际测量结果，若无相关数据，取值可参考 JTG D60 相关规定。

A.3 离心力

离心力的作用点位置取桥面上 1.8 m 处，不做简化处理。

A.4 冲击力

弯矩冲击系数和扭矩冲击系数应分别计算，弯矩剪力的冲击系数可参照 JTG D60 规定执行，扭矩的冲击系数应不小于弯矩剪力的冲击系数，取值可参考公式 (1)：

$$I_{mp} = 0.622 - 0.670(L_0/R) + 0.254(L_0/R)^2 \quad (0.22 < I_{mp} < 0.6) \quad \dots\dots\dots (1)$$

附 录 B
(规范性)
焊接材料检验

B.1 焊接材料的检验频次应符合下列规定

B.1.1 首次使用的焊接材料应进行化学成分和熔敷金属力学性能检验。

B.1.2 连续使用的同一厂家、同一型号的焊接材料，实心气体保护焊丝应逐批进行化学成分检验，每年进行一次熔敷金属力学性能检验；实心埋弧焊丝应逐批进行化学成分检验，埋弧焊剂逐批进行化学成分和与某种焊丝匹配的熔敷金属力学性能检验；药芯焊丝和焊条应逐批进行熔敷金属化学成分和力学性能检验。

B.1.3 同一型号焊接材料在更换厂家后，首个批号应按照相关标准进行化学成分和熔敷金属力学性能检验。

B.1.4 同一原材料和配方及同一制造工艺生产的药芯焊丝、焊条、焊剂，单一检验批质量不应超过 45t，超过 45 t 时应增加检验频次。

B.1.5 耐候钢用焊接材料应逐批进行熔敷金属化学成分检验，熔敷金属力学性能检验频次应符合 C.1.2 规定。

B.2 焊接材料的检验项目应符合下列规定

B.2.1 实心焊丝、焊接材料熔敷金属化学成分检验应包括 C、Si、Mn、P、S 等元素含量。

B.2.2 埋弧焊剂化学成分检验应包括 P、S 元素含量。

B.2.3 结构钢焊接材料熔敷金属的力学性能应包括屈服强度 ReL 、抗拉强度 R_m 、伸长率 A 、冲击功 KV_2 ，不锈钢焊接材料熔敷金属的力学性能包括抗拉强度 R_m 、伸长率 A 。

B.2.4 耐大气腐蚀耐候钢用焊接材料熔敷金属化学成分检验还应包括耐腐蚀性指数 I 有关的 Cr、Ni、Cu 元素含量，并计算 I 值。耐腐蚀性指数 I 不应低于钢材标准值或设计要求。

B.3 焊接材料的检验结果

B.3.1 焊接材料以每一批的抽样试验结果为准；当抽样试验结果合格时，应评定检验批为合格；抽样检验结果不合格时，应在该批焊接材料中再加倍抽检样品，重新进行检验，检验结果全合格则应判定该批焊接材料合格，否则判定该批焊接材料不合格。

附录 C

(规范性)

焊缝超声冲击工艺及检验

C.1 一般规定

C.1.1 超声冲击设备操作者应熟悉超声冲击设备的性能，严格按照冲击设备的产品使用说明书操作。

C.1.2 超声冲击工作应在焊缝外观检查、无损检测及变形修整合格后进行。

C.1.3 超声冲击前应清除焊趾熔渣、焊接飞溅等杂物。

C.1.4 对冲击范围内的焊瘤、飞溅及不顺直的焊缝应打磨干净平顺后再进行冲击。

C.1.5 超声冲击前应在冲击范围内涂色，涂色范围为焊缝及两侧焊趾外延 10mm 宽。

C.1.6 超声冲击时宜保持冲击枪与焊趾垂直，力度达到相当于俯位冲击时枪体自重产生的力度，且冲击坑均匀覆盖焊趾和规定的冲击部位。

C.1.7 冲击部位不应出现皱叠和裂纹。

C.1.8 超声冲击后，不对被冲击部位进行修磨等影响冲击效果的任何处理。

C.2 超声冲击设备

C.2.1 超声冲击设备的基本参数应符合表 C.2.1 规定。

表 C.2.1 超声冲击设备参数

冲击频率	20000 次 / 秒	输出功率	$\geq 600W \pm 15\%$
换能方式	压电式	输入电压	AC220V $\pm 10\%$
振幅	30~55 μm	转换效率	90%

注：1. 振幅设定大小与钢材材质有关，屈服强度越高其振幅设置越大，Q500 级钢振幅 45~55 μm ；

2. 为保证设备的使用寿命，连续工作 6 小时后，应让设备停机休息 2 小时。

C.2.2 冲击头参数符合表 C.2.2 规定。

表 C.2.2 冲击头参数

直径	硬度	材料
$\Phi 5$	60HRC	硬质合金钢
$\Phi 8$	60HRC	硬质合金钢

C.2.3 冲击头套参数符合表 C.2.3 规定。

表 C.2.3 冲击头套参数

直径 (mm)	样式	材料
$\Phi 5$	三针	45 号钢
$\Phi 8$	单针	45 号钢

注：优先采用三针头套。对焊缝端头部位应采用三针头套。

C.3 超声冲击工艺流程

C.3.1 焊缝冲击工艺流程应符合图 C.3.1 规定。

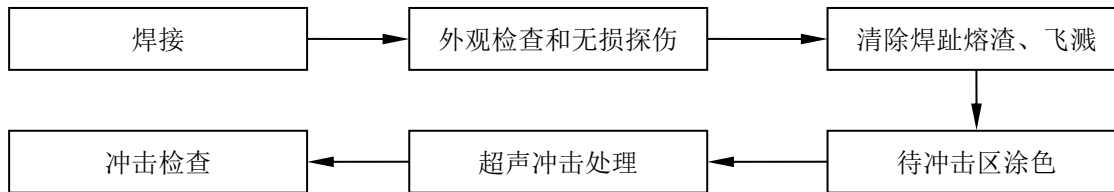


图 C. 3.1 焊缝冲击工艺流程

C. 4 冲击要求

C. 4.1 冲击焊缝的具体部位为焊缝两侧焊趾及其焊道之间内凹部位应符合图 C. 4.1 规定。

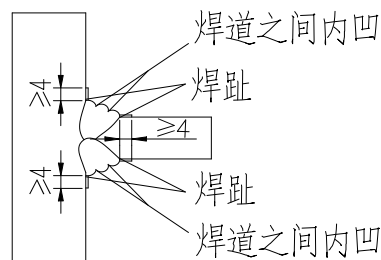


图 C. 4.1 冲击区域示意图

C. 4.2 根据冲击部位不同，分别将冲击头对准焊趾线、焊道间内凹沟槽线、端部板厚方向。冲击头与水平板面夹角为 $60^{\circ} \sim 70^{\circ}$ ，应符合图 C. 4.2 规定。

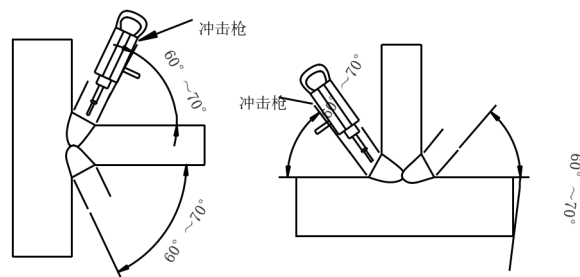


图 C. 4.2 冲击头角度示意图

C. 4.3 冲击头沿着焊趾或焊道移动线速度为 $0.5\text{m} \sim 1\text{m}/\text{min}$ ，匀速进行，每段往复处理 4~5 遍。对焊缝端头板厚方向无法沿着焊趾或焊道冲击的部位，应顺着钢板正反面焊趾起源处对侧面涂抹颜色部位进行平行往复满冲击，冲击遍数 4~5 遍。

C. 4.4 冲击后，冲击坑深度 $0.1\text{mm} \sim 0.2\text{mm}$ ，两侧焊趾和焊道间冲击坑宽度 $\geq 4\text{mm}$ ，焊趾处冲击坑应符合图 C. 4.4 规定。

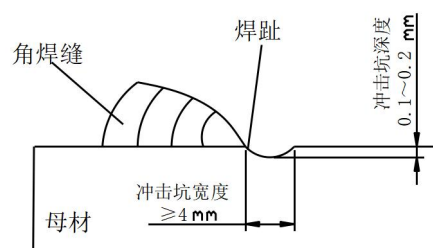


图 C. 4.4 冲击坑示意图

C.5 冲击检查

C.5.1 冲击完成后应按下列标准对冲击区域进行检查：

- 冲击过的焊趾和内凹沟槽线外观应为光亮、圆滑、匀顺的凹弧沟；
- 涂色部位应被光亮的均匀麻点覆盖；
- 重点检查钢板棱角部位，发现存在漏冲击区域时，应补充冲击。

附录 D

(规范性)

锈层致密性测试和锈层颜色均匀性检测

D.1 锈层致密性测试

D.1.1 将宽 12mm 或 24mm、长度不小于 50mm 的透明胶带均匀粘贴在待测试的试样表面。抓住透明胶带的一端头，弯曲透明胶带使其粘合面与试片约成 45° 角，向其方向急剧牵拉，从试片撕开胶带(图 D.1.1)。利用 40 倍放大镜查验被粘贴撕开的试片表面，如果试片表面无金属基体露出，表示锈层致密；若试片表面有金属基体露出，表示锈层疏松。

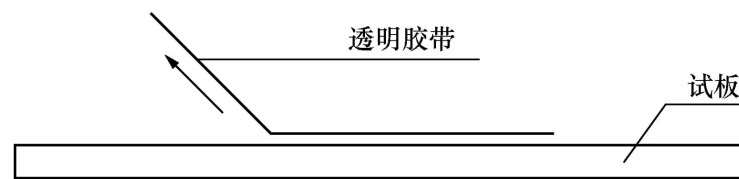


图 D.1.1 稳定化锈层致密度分析示意图

D.1.2 锈层稳定化处理后构件表面锈层致密性测试后应无金属基体露出。

D.2 锈层颜色均匀性检测

D.2.1 采用色差仪对耐候桥梁钢构件锈层颜色均匀性检测。

D.2.2 选取待检测部位某一点锈层为标准样，测量构件同一平面均匀分布的 10 个点锈层色差值 ΔE 。

D.2.3 计算 10 个检测点平均色差值 $\overline{\Delta E}$ 。

D.2.4 锈层稳定化处理后构件同一平面锈层平均色差值 $\overline{\Delta E}$ 应小于等于 20。