

# 大桥钢结构复合长效防腐工程

## 施工方案

### 一、工程简介与技术要求

该桥采用中承式钢管混凝土拱桥，桥跨组合为（22+28+22）米（连续梁引桥）+284 米（中承拱主桥桥面长）+（6\*22）米（连续梁引桥），桥梁全长 501 米，主孔为净跨 260 米。

桥梁主拱采用斜拉扣挂悬臂拼装方法施工，全桥共分 26 个拱肋节段，分 26 段吊装，每段吊重约 57 吨，全部节段加工重量 1455 吨。待钢管桁架拼装合拢后，对主拱圈主肋钢管内灌注砼，形成钢管砼桁架。每个节段有主拱上下弦管、平板、盖板、竖斜腹杆、肋间横撑主管和连接管等主要构件焊接而成。其中，拱脚段上、下 5 个节间范围为外包砼段。

该桥梁采用工厂制作、现场安装拼焊与防腐施工的方式进行制造，所以长效防腐工程集中在工厂内完成。

由于该桥地处宜宾地区，横跨金沙江，因此该桥将长年处于较强的酸雨腐蚀环境与潮湿环境中。为了保证该桥梁的设计使用寿命，必须对其进行长效防腐处理。

根据该桥的工作环境以及钢结构的结构形式，本工程采用热喷涂稀土铝或铝镁合金涂层与涂装的复合长效防腐技术对桥梁钢结构进行综合处理，要求在三十年内，桥梁钢结构不产生明显腐蚀，不至因腐蚀而导致桥梁钢结构失效。

通过几年来和近几个月的腐蚀性研究，总结出戎州大桥钢结构的长效防腐工程拟采用以下的成套技术方案与施工组织进行该长效防腐工程。

### 二、复合长效防腐体系

为了保证大桥钢结构的使用寿命在三十年内，该钢结构不产生明显腐蚀，不至因腐蚀而导致桥梁钢结构失效，拟采用表 1、2、3、4 所列的复合长效防腐体系对桥梁钢结构进行防腐处理。

表 1 所有桥梁钢结构外露表面（包括检修道梯步条）复合长效防腐体系

序号	工 序	名 称	工艺方法	施工场所	涂（装）层厚度
1	基材表面处理	工厂喷砂，等级 Sa3，粗糙度 $R_z=40\sim 80\mu m$			
2	金属防护涂层	稀土铝或铝镁合金涂层	热喷涂	工厂	$200\pm 50\mu m$
3	封闭底漆	两道环氧云铁漆 封闭涂层 Intergard 400	无气喷涂	工厂	$\geq 50\mu m$
4	面 漆	两道可覆涂聚氨酯面漆 Interthane 990	无气喷涂	工厂	$\geq 80\mu m$
5	现场补喷	喷砂、喷涂与涂装		工地现场	$\geq 300\pm 50\mu m$

注：此处所有桥梁钢结构外露表面，不包括拱脚段上下 5 节间，为外包砼段。

表 2 钢结构内部复合长效防腐体系

序号	工序	名称	工艺方法	施工场所	涂（装）层厚度
1	基 材 表 面处理	工厂喷砂，等级 Sa2.5，粗糙度 Rz40~80 μ m			
2	底漆	两道环氧富锌底漆 Interzinc 52	无气喷涂	工厂	≥70 μ m

注：此处钢结构内部主要包括主拱上下盖板单面、平板、部分主管和缀板之间；不包括肋间横撑连接管、主拱腹管和肋间横梁内表面。

表 3 与混凝土直接接触的钢结构外表面复合长效防腐体系

序号	工序	名称	工艺方法	施工场所	涂（装）层厚度
1	基 材 表 面 处理	工厂内喷砂除锈，等级 Sa3，粗糙度 Rz=40~80 μ m			
2	金 属 防 护 涂层	稀土铝或铝镁涂层	热喷涂	工厂	200±50 μ m
3	现场补喷	喷砂、喷涂		工地现场	≥ 200 ± 50 μ m

注：与混凝土直接接触的钢结构外表面，包括预埋件，拱脚段上下 5 节间外包砼段，要求进行运输过程中的成品保护，不能破损或被水浸湿；不包括主管内表面。

在上述长效防腐体系中，不包括对需要进行内部灌 C50 砼的肋间横撑主管、肋间横梁中段下弦管、主拱上下弦管内部和主拱竖斜腹管、肋间横撑连接管内表面的长效防腐，在桥梁钢结构个部件焊接时，必须保证这些部位的密封性，可以对其不进行长效防腐工艺。

表 4 检修道扶手（柱）复合长效防腐体系

序号	工序	名称	工艺方法	施工场所	涂（装）层厚度
1	基 材 表 面 处理	酸洗处理，除去钢管表面全部氧化膜			
2	金 属 防 护 涂层	热浸锌涂层	热 浸	浸 锌 厂 家	$150 \pm 30 \mu\text{m}$
3	打毛	粗化浸锌涂层表面	手 工	工 厂	
4	封闭底漆	一道环氧云铁漆封闭涂层 Interseal 670HS	手工喷涂	工 厂	$\geq 30 \mu\text{m}$
5	面 漆	两道可覆涂聚氨脂面漆 Interthane 990	手工喷涂	工 厂	$\geq 80 \mu\text{m}$
6	现场补喷	局部喷砂、热喷涂与涂装		工地现场	$\geq 260 \pm 50 \mu\text{m}$

### 三、 生产方式及过程

根据本工程工期紧，要求高的特点，钢结构防腐工程施工必须与桥梁钢结构制造厂家——铁道部大桥局桥机厂（武汉））密切合作，相互协调，制定切实可行的施工部署，以满足总体工程的质量和进度要求。施工过程中必须严格执行国家标准《铁路钢桥制造规范》（TB10212-98），《公路桥涵施工技术规范》（JTJ041-2000）和关于钢结构热喷涂和涂装等长效防腐技术方面的国家标准，例如：《金属和其它无机覆盖层 热喷涂锌、铝及其合金》（GB/T9793——1997）标准，《金属覆盖层 钢铁制品热镀锌层 技术要求》（GB/T 13912——1992），《高压无气喷涂典型工艺》（JB/T9188——1999）等。

为保证本工程复合长效防腐体系的高质量与生产的高效率，满足施工要求，设计采用多台套电弧喷涂和丝材火焰喷涂设备与高压无气喷涂设备多点并行施工，紧跟整个钢结构生产的节拍，施工中应该投入本工程的设备清单详见附录一。

并且，对于规则的各类圆管外表面，盖板外侧，肋间横梁的下弦钢管、腹板、顶板和水平加劲肋板大表面的喷涂和涂装工艺防腐施工，尽可能采用自动方法进行，提高涂层厚度的均匀性和喷涂效率，保证喷涂的质量。

半自动电弧喷涂和火焰喷涂方法（手工控制喷枪、自动送丝）用于不易实现自动喷涂的部分构件，例如，工厂和现场钢结构局部焊缝补喷等。

金属喷涂或涂装涂层制作达到技术要求后，立即采用无气喷涂设备进行两道底漆封闭处理与第一道面漆。

工厂内要求进行检修道的除第二道面漆外的所有长效防腐施工工艺过程。

工厂防腐施工时应该按照长效防腐体系中对桥梁各构件的具体工艺要求进行科学的顺序施工，保证对每一构件均达到设计要求。

对于所有在工厂内制作好的桥梁单元构件，必须要求进行严格的成品保护，尽可能防止运输过程中的撞伤和人为敲击破损，以及对预埋件和部分拱脚段进行防水保护。

针对由于在整个桥梁主拱焊接质量合格后，所有外露的吊装接头定位钢板和定位角钢均被切除，所以在工厂内对其周边 20mm 距离区域只进行喷砂处理，不做喷涂和防腐工序施工，待现场补喷。

桥梁所有节段、肋间横梁和肋间横撑等构件均在安装现场进行第二道面漆制作。

厂内复合长效防腐工程的生产工艺流程与所在车间示意图和安装现场复合长效防腐工程的生产工艺流程如图 1 所示。

为了从根本上避免钢结构应力腐蚀的发生，钢结构工厂制作时的焊接接头和现场焊接接头的长效防腐处理工序对整个桥梁钢结构的安全使用是至关重要的，必须严格遵守施工工艺规程进行施工。

节段被运输至安装现场后，待各节段装配焊接的同时，采用焊接两个节段接头，切割相关定位单元，并检测合格后，补喷砂工序、喷涂工序和两道底漆和两道面漆工序施工；待肋间横梁的各单元件焊接和检测质量合格后，补喷砂工序、喷涂工序和两道底漆和两道面漆工序施工；修补运输过程中造成的喷涂（涂装）层破坏处。

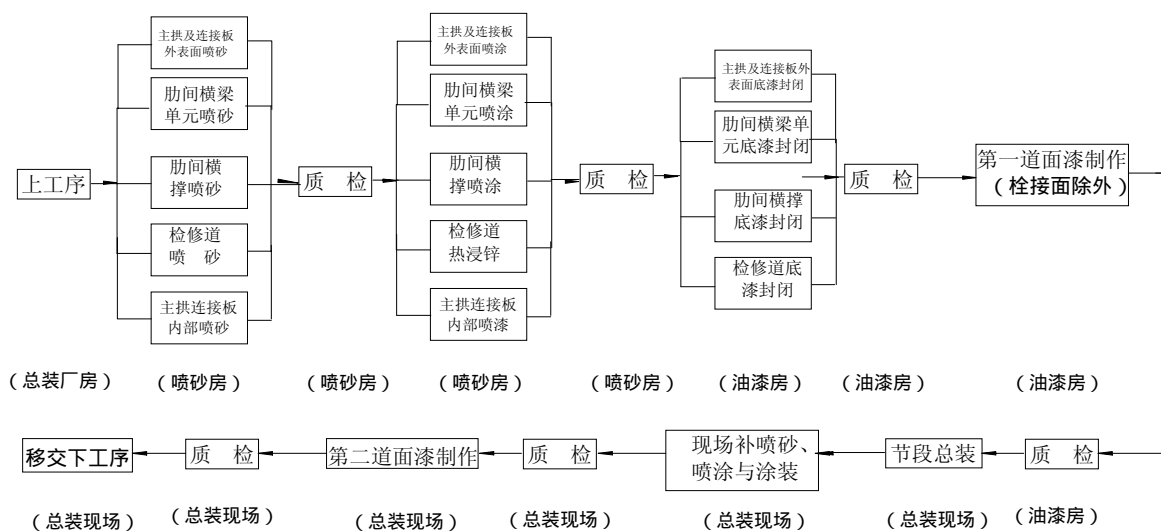


图1 戎州大桥厂内与现场制作复合长效防腐工程工艺流程图与施工区域图

桥梁整体焊接、检测、两道底漆和两道面漆工序结束后，对钢结构防腐工程进行全面的检查和评估。

#### 四、喷砂、喷涂与涂装工艺过程及质量控制

为了保证得到高质量的涂层质量，根据国家关于热喷涂技术的标准通则，现场施工时应严格按照以下过程及要求要求进行施工。

##### 高压空气的制备

为了防止涂层中产生气孔等缺陷、增大涂层孔隙率和降低涂层结合强度，必须保证喷砂和喷涂用的压缩空气干燥、清洁。

将空压机产生的压缩空气，通过高压气管，接入空气过滤系统（包括冻干式空气干燥器、初级过滤器和精密过滤器），得到干燥、清洁的压缩空气，然后通过高压橡胶管接入高效喷砂机、气动式高压无气喷涂（也可以采用电动式高压无气喷涂）和超音速电弧（或火焰）喷枪。

##### 工件喷砂处理

电弧喷涂涂层结合机理以机械结合为主，为了保证涂层的质量，喷涂前的预处理至关重要。必须严格执行《表面粗糙度参数及其数值》（GB1031-95）、



《热喷涂金属件表面预处理通则》（GB11731-89）与《涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级》（GB8923-88）等标准。

### 1) 净化表面处理

采用 10—20#棕刚玉打磨工件表面，喷砂除锈等级达到 Sa3 级(GB8923)，即彻底清除工件表面油污、氧化皮、锈和杂质等。

针对表 2 中的防腐体系，钢结构涂装前的喷砂除锈等级为 Sa2.5 级（GB8923），即较为彻底的喷砂除锈，要求去除表面所有氧化皮，除锈程度应达到 95%。

### 2) 毛化表面处理

采用 10-20#棕刚玉打磨经过净化处理的钢结构表面，喷砂后表面粗糙度应达到 Ra40~80  $\mu\text{m}$ ，呈现出一致的金属本色。

喷砂之前，必须保证选用的砂粒清洁，满足国家标准的要求，粒度在 0.5~1.5mm 之间。

喷砂过程中，喷砂枪操作方向为钢结构表面夹角 70~80°。

喷砂结束后，技术人员应该认真检查工件表面的喷砂质量，如果有局部漏喷或者局部未彻底清理干净，必须立即补喷或重喷。

### 超音速电弧喷涂处理

LF2 合金电弧喷涂施工应该符合 GB9795 和 YSJ411 的规定。

喷砂结束后，立刻进行超音速电弧喷涂 LF2 合金涂层。由于客观原因造成电弧喷涂过程停止，则喷砂与喷涂工艺的间隔时间在天气状况良好时不超过 6 小时；当相对湿度为 70%~80%时，最长间隔时间为 3 小时，当相对湿度为 80%~85%时，最长间隔时间为 2 小时；当相对湿度大于 85%时，不允许喷涂。否则，喷砂表面氧化或者吸附空气里的水分和灰尘，应该重新喷砂处理。

大面积喷涂和圆杆件喷涂适合于自动电弧喷涂，控制喷涂距离和喷枪移



动速度，防止工件过热而产生变形和应力。非规则平面采用手工操作半自动喷涂。

合金涂层进行两层喷涂，两次喷涂的间隔时间大于 10 分钟，不得超过 2 小时，后一层涂层与前一涂层采用 90°交叉喷涂，相邻喷涂区域要搭接 1/3 宽度。喷涂涂层总厚度为  $200 \pm 50 \mu\text{m}$ 。

喷涂过程中，技术人员应监控喷涂的整个过程，按照 GB9795 和 GB9796 等标准进行检验并达到以下标准：

100%工件作外观质量检查，如果涂层出现表面粗颗粒、起皮、裂纹等缺陷，应立即停止喷涂，找出原因，并立即进行返修。

100%工件作磁性测厚检查，对面积大于  $2\text{m}^2$  的工件，每件测 10 处，每处测 3 点取平均值记录（每点均进行实时打印记录）；对面积小于  $2\text{m}^2$  的工件，每件测 5 处，每处测 3 点取平均值记录（每点均进行实时打印记录）；厚度允许偏差应低于  $\pm 30 \mu\text{m}$ 。

100%工件作空隙率检查，每  $\text{m}^2$  检查三处，每处蓝点数不多于 3 点/ $\text{cm}^2$ 。

### 封孔处理

由于涂层中存在一定的孔隙率，如果不立即进行封闭处理，腐蚀介质将通过涂层的孔隙直接腐蚀母材，或者减少涂层的有效厚度，降低涂层的寿命。因此，喷涂结束后应立刻进行封孔处理（栓接面除外）。

本技术方案中，采用高压无气喷涂或手工刷涂方法进行两道环氧云铁底漆（Intergard 400）施工，将电弧喷涂涂层表面进行及时的封孔处理，底漆总干膜厚度  $\geq 50 \mu\text{m}$ ，由于封孔剂具有一定的流动性和渗透性，能有效的形成复合涂层。

无气喷涂施工时，保持喷距 300~380mm；喷幅 150~400mm，较大平面以 300 mm 为宜；喷枪喷射角度为 30~80°；喷幅搭接宽度为幅宽的 1/6~1/4；喷枪运行速度约为 70cm/s。

## 面漆涂装施工

采用高压无气喷涂施工可覆涂聚氨脂面漆（Interthane 990）两道，每道涂装干膜设计厚度均 $\geq 40\mu\text{m}$ ，涂层必须均匀、平整，不允许有鼓包、裂纹、针孔、分层脱落及漏漆，否则，应返工排除缺陷。

同样，高压无气喷涂面漆施工时，保持喷距 300~380mm；喷幅 150~400mm，较大的平面以 300mm 为宜；喷枪喷射角度为 30~80°；喷幅搭接宽度为幅宽的 1/6~1/4；喷枪运行速度约为 70cm/s。

针对表 2 中的钢结构内表面，采用高压无气喷涂进行两道环氧富锌底漆（Interzinc 52）施工。焊接盖板结束后，对内部被破坏涂装难以进行喷补，但是要求焊缝必须具有密封性。

## 五、工程质量与施工工期的保障措施

### 1. 确保工程质量的措施

- 1) 为了确保工程质量，必须建立完善的质量保证体系，参考附录二所示。
- 2) 建立以项目经理为首的钢结构长效防腐工程施工的组织机构，使该工程均置于有效的组织管理之中。项目经理担任质量检查小组组长，每周至少检查两次施工质量，并进行讲评。
- 3) 各职能系统要各施其职，各尽所能，严格把关，对质量负责。
  - a. 生产部门负责施工准备，合理安排工序和劳动力，尽量做到均衡生产。不合格的坚决返工重做。
  - b. 把好材料关。各种材料、成品、半成品必须有出厂合格证，原材料购入后按照国家相应复验标准进行复验（主要针对喷涂丝材与油漆等），合格后方可使用。
  - c. 技术部门认真做好工程的技术标准，编制好工艺规程，对操作人员交

好技术底。

d. 质量系统负责交代质量标准，做好工程工序间的监督、检查、把好质量关，纠正违反工艺要求的行为，否定不合格产品。及时提出质量问题和解决方案。

4) 工程施工时，必须建立“自检、互检、专检”的三检制度，切实做到“三不放过”，即：未经自己检查的产品，不交互检；未经互检的产品不交专检；未经专检的产品，不交下工序。

5) 为了充分保证整个工程的质量，要求钢结构制造工序节段完成后，如果没有经过严格的验收和签字，防腐施工工序不能进行施工，以避免不必要的返工，造成材料、人工工时的浪费和工程进度的损失。

6) 复合长效防腐涂层质量检测手段与方法

上一道工序移交的钢结构节段部件，经过喷砂处理后，必须认真检查喷砂质量是否达到国标 Sa3 级要求，未达到要求必须返工。

每层电弧喷涂涂层施工结束后，进行外观检测，采用涂层测厚仪按照标准检测涂层厚度，采用铁试剂法检测涂层的空隙率是否达到标准。

每层涂装施工时，首先进行外观检查，保证涂层均匀、平整，不允许有鼓包、裂纹、针孔、分层脱落与漏漆；采用湿膜测厚仪测试湿膜厚度，漆膜干燥后，采用涂层测厚仪测定干膜厚度，也可以进行湿膜厚度的实时测量，未达到设计要求者立即返工排除缺陷。

7) 以优良的工艺、技术方案为顺利的工程施工创造条件，技术方案要深入贯彻提高工效、保证质量的指导思想，所有的工程施工均采用先进的设备、优化的简易工装来保障。

8) 工程施工之前，抓好喷涂与喷砂工人与相关的技术人员的培训，进行工程质量交底，使其进一步树立严格的质量观念，并在施工中进行严格的监督，百分之百保证工程质量，达到优质工程要求。

## 2. 确保施工工期的措施

- 1) 钢结构防腐工程施工单位必须具有较强的大型钢结构，特别是大型钢管拱桥梁长效防腐工程施工的能力和经验，技术力量雄厚，现场施工工艺完善，施工队伍人员素质高的特点，在完整的质量保证体系的有效管理下，才可以充分保证大桥复合长效防腐工程达到优质工程标准。
- 2) 建立“大桥复合长效防腐领导小组”，全面负责该项工程施工中的一切事宜，有机协调各方的工作。
- 3) 采用先进的定置管理模式，从人力、物力和财力上充分予以保证。
- 4) 根据该桥的结构特点和建造要求，必须采用经过优化的工艺，做到科学合理、切实可行。并根据桥梁的特点，采用一定的自动喷涂设备、简易的工装，以提高施工的效率和质量。
- 5) 根据施工总计划制定出详细的月度、周、日计划，科学合理的安排生产，使每个操作人员明确自己的工作目标，并加以严格的考核。
- 6) 每周召开工程施工工序协调会，在“大桥复合长效防腐领导小组”的领导下，组织均衡生产，根据进度要求进行严格的考核，确保工程进度。

## 六、安全、消防与环保保障要求

### 1. 安全措施

- 1) 认真贯彻执行安全生产责任制和各项规章制度。施工人员应该牢记“安全为了生产，生产必须安全；安全生产，人人有责”的指导思想，做到不安全隐患不施工。
- 2) 建立健全各种安全规章制度，对违章作业者，要根据情节轻重进行处罚，防止工伤事故发生。
- 3) 施工人员在高空作业施工前，必须确认操作平台的安全架设，系好安全带，

穿戴好个人防护用具，所携带的工具、对象必须放置稳妥，绝对不允许违章作业，避免高空坠落与撞伤。

- 4) 必须保证施工人员具备良好的施工状态，严禁酒后与带病施工。
- 5) 脚手架按规范搭设，施工层要满铺木板，有防护栏，挂安全网。
- 6) 严禁高空施工人员往下扔工具与油漆桶等，一经发现，严惩不殆。
- 7) 严禁赤膊、赤脚和穿拖鞋进入施工现场。

## 2. 消防保卫措施

- 1) 施工工地成立由工程部经理兼任组长的消防保卫小组，组员应固定。建立领导值班制度和定期的消防保卫检查制度。
- 2) 备足消防器材，泡沫灭火器，沙等。
- 3) 对油漆、气瓶分类单独存放，严禁烟火，并专人负责，必须严格领、退料制度。
- 4) 施工驻地严禁外来人员住宿，所有进出工地的车辆、物质与外来人员必须登记备案。
- 5) 严禁随意使用厂内的相关设施；动用施工设施及工具时必须登记。否则如果产生相应事故，必须追究当事人的刑事责任。
- 6) 每月对职工进行一次治安防火教育。培养一支义务消防队伍。

## 3. 环保措施

- 1) 严格执行《环境保护法》及其它有关法规，争创文明施工工程。
- 2) 对于喷砂作业和电弧喷涂作业具有幅射、噪音与粉尘的缺点，加强车间内的有效除尘，并加强对施工人员的防护。
- 3) 对于喷漆作业存在有毒物质的缺点，加强对施工人员的防护。
- 4) 对于喷砂、喷涂、喷漆等作业场所，设立醒目的标志，严格禁止污染环境。

## 七、施工进度计划及施工进度表

1. 净施工周期为 5 个半月，为桥梁提前通车打下坚实的基础。

其中，工厂现场准备 2 周（包括长途运输、搭建临时设施、购买相关工程物质、工程协调等等），防腐施工 4 个月（包括桥梁外表面大面积喷砂、喷涂和涂装工序施工；内表面喷砂和涂装工序施工），现场防腐施工一个月（包括所有焊接接头补喷砂、喷涂和涂装工序施工）。

2. 计划 2003 年 3 月 15 日至 2003 年 9 月 1 日。

3. 喷砂施工 4 个班组，喷涂施工 4 个班组，涂装施工 2 个班组，辅助施工 1 个班组。

## 八、质量检测

1. 涂层外观检查：

在喷砂、喷涂和封孔处理后，技术人员应立刻检查并记录各过程的质量情况。

2. 涂层厚度检测：

喷涂施工结束后，及时多点测定涂层厚度，做好记录。

3. 涂层性能检验：

在现场施工条件下，喷涂一定的试样，便于检验涂层的各项性能，性能测试按照以下国家标准执行：

● 热喷涂铝及铝合金涂层	GB9795-88
● 涂层结合强度试验	GB8642-88
● 涂层孔隙率试验	JISH8663-78
● 涂层厚度试验	GB6462-86
● 涂层抗拉强度试验	GB8641-88
● 涂层切格试验	GB9796-88

## 九、质量服务跟踪要求



防腐施工单位应该具有甲级信誉，能够对钢结构长效防腐涂层寿命保证 30 年，如果在 30 年内，如果检测出大桥钢结构防腐工程出现明显的腐蚀等质量缺陷，该单位能够无偿返工或采取有效措施消除缺陷。

并且该单位能够在 30 年内每 5 年进行一次质量服务跟踪和回访，对钢结构复合长效防腐涂层质量进行监测与跟踪，并向业主提供相应的检测报告。

筑龙网 WWW.ZHULONG.COM



# 附录一：大桥钢结构复合长效防腐工程施工设备要求的清单

主要喷涂设备一览表

序号	设备名称	规格、型号	数量	单位	注 明
1	空压机	复 盛 SP 10m <sup>3</sup> /0.8MPa	2	台	
2	空压机	复 盛 SP 6m <sup>3</sup> /0.8MPa	2	台	
3	高精度空气过滤器	Q、P、S 三级 (JM)	4	套	
4	冷冻式空气干燥器	DA-100G (JM)	4	台	
5	高速喷砂机	XPBSR <sup>2</sup> -600	4	套	
6	电弧喷涂电源	CTY-AS-9730 II	6	套	
7	电弧喷涂枪	CTY-AS-HS9830	6	套	
8	火焰喷涂枪	SQP-1	6	把	
9	导电咀 (易损件)	CTY-AS-HS9830	足量	件	
10	主导轮 (易损件)	CTY-AS-HS9730 II	足量	件	
11	送丝软管 (备件)	CTY-AS-9730 II 专用	适量	件	
12	喷咀帽 (易损件)	CTY-AS-HS9830	足量	件	
13	送丝电路板 (备件)	CTY-AS-9730 II 专用	适量	件	
14	电动无气喷漆泵	SUNQ-600	2	台	
15	气动无气喷涂机	QPT6528C	1	台	

主要现场检测检测仪器

序号	设备名称	规格、型号	数量	单位	注明
1	干湿温度计		6	台	
2	温度计	0~100℃	2	台	
3	表面温度计	0~100℃	2	台	
4	粗糙度比较样片	COATEST1420	2	套	
5	粗糙度测试用压膜带、测试仪		1	套	
6	表面粗糙度测量仪	SURTRONIC10	1	套	
7	表面粗糙度测量仪	JB-3C	1	套	
8	附着力测试仪	COATEST1500	2	台	
7	涂层无损测厚仪	CTG-10	4		