



高等职业技术教育“十三五”规划教材——铁道工程技术
GAODENG ZHIYE JISHU JIAOYU “SHISANWU” GUIHUA JIAOCAI — TIEDAO GONGCHENG JISHU

隧道施工养护 实训指导书

SUIDAO SHIGONG YANGHU
SHIXUN ZHIDAOSHU

主 编 ● 孙洪硕 卞家胜 刘 阳
副主编 ● 孙丽娟 冯宝才 马志芳
主 审 ● 王为林 张超平

内容简介

本实训指导书是按照教学要求及最新的相关国家标准和行业标准编写而成的，系统介绍了隧道施工与养护的基本理论与方法。全书内容包括：隧道施工作业实训，隧道施工质量检查与验收实训，隧道施工、运营质量监控实训，隧道养护维修与病害整治实训，隧道工程安全管理实训。

本实训指导书适用于高职高专铁道工程类专业、城市轨道交通工程类专业、桥隧工程类专业及其他土建类专业学生进行实训时使用，同时也可以作为铁路职工培训及工程类人员参考用书。

图书在版编目（C I P）数据

隧道施工养护实训指导书 / 孙洪硕，卞家胜，刘阳

主编. —成都：西南交通大学出版社，2019.1

ISBN 978-7-5643-6722-0

I. ①隧... II. ①孙... ②卞... ③刘... III. ①隧道施工 - 高等职业教育 - 教学参考资料②隧道 - 养护 - 高等职业教育 - 教学参考资料 IV. ①U455②U457

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2019）第 015234 号

隧道施工养护实训指导书

主 编 / 孙洪硕 卞家胜 刘 阳

责任编辑 / 姜锡伟

封面设计 / 何东琳设计工作室

西南交通大学出版社出版发行

（四川省成都市二环路北一段 111 号西南交通大学创新大厦 21 楼 610031）

发行部电话：028-87600564 028-87600533

网址：<http://www.xnjdcbs.com>

印刷：四川煤田地质制图印刷厂

成品尺寸 185 mm× 260 mm

印张 10.75 字数 229 千

版次 2019 年 1 月第 1 版 印次 2019 年 1 月第 1 次

书号 ISBN 978-7-5643-6722-0

定价 28.80 元

课件咨询电话：028-87600533

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话：028-87600562

前 言

随着我国基础设施建设的迅猛发展，我国公路隧道、铁路隧道建设速度也得到了空前提高。目前，我国的隧道数量已经占据世界第一位。同时，21世纪更是隧道及地下空间资源开发的新时代。在这样的背景下，编写一本立足一线施工、监测、检测、养护维修、安全管理技术岗位，按照知识够用、技术先进、内容实用、形式新颖的原则，涵盖新技术、新工艺、新知识的最新成果，嵌入相关职业标准、规范及规程的隧道实训指导书就显得尤为重要。

本实训指导书按照教学要求及最新的相关国家标准和行业标准编写而成，内容以项目为导向，融“教、学、做”于一体，涵盖隧道施工、监测、检测、养护维修、安全管理知识，力求学生全面掌握基本理论与实践，培养学生的职业能力与素养。本实训指导书适用于高职高专铁道工程专业、城市轨道交通工程类专业、桥隧工程类专业及其他土建类专业学生进行实训时使用，同时，也可以作为铁路职工培训及工程类人员参考用书。

本实训指导书分为五部分，由孙洪硕、卞家胜、刘阳担任主编，孙丽娟、冯宝才、马志芳担任副主编。具体分工如下：第一部分由郑州铁路职业技术学院卞家胜、江苏建筑职业技术学院王庆磊编写；第二部分由郑州铁路职业技术学院刘阳、山东城市建设职业学院周云超编写；第三部分由郑州铁路职业技术学院孙洪硕、中铁上海设计院集团有限公司桥隧处冯宝才编写；第四部分由郑州铁路职业技术学院马志芳编写；第五部分由郑州铁路职业技术学院孙丽娟编写。

本书编者在编写过程中，参考引用了本书所列参考文献的一些内容，在此向文献的作者深表谢意。

由于编者水平有限，书中疏漏和不足之处恳请专家和读者批评指正。

编 者

2018年10月

目 录

第一部分 施工作业	1
实训一 二次衬砌钢筋施工	1
实训二 二次衬砌混凝土浇筑	4
实训三 锚杆的安装	7
实训四 钢筋网挂置	9
实训五 防水板的施工	11
实训六 中埋式橡胶止水带施工	14
实训七 排水盲管施工	17
实训八 喷射混凝土施工	19
实训九 钢架施工	22
实训十 超前小导管施工	25
第二部分 施工质量检查与验收	28
实训一 模板台车就位	28
实训二 止水带安装质量检查	30
实训三 土工布铺设质量检查	32
实训四 防水板安装质量检查	34
实训五 仰拱断面检查	38
实训六 仰拱基底检查	40
实训七 仰拱钢筋检查	42
实训八 喷射混凝土质量检查	44
实训九 锚杆安装质量检查	46
实训十 钢筋网挂网质量检查	48
实训十一 钢拱架安装质量检查	50
第三部分 施工、运营质量监控	52
实训一 隧道施工监测基本知识	52
实训二 洞内、外状态观察	57
实训三 拱顶下沉监测	59

实训四	净空变化监测	62
实训五	地表沉降监测	66
实训六	混凝土应力监测	69
实训七	围岩压力及两层支护间压力量测	71
实训八	围岩内部位移监测	73
实训九	锚杆拉拔力监控量测	77
实训十	隧道超欠挖监测	80
实训十一	隧道衬砌检测	85
实训十二	混凝土碳化深度检查	89
实训十三	钢筋位置及保护层厚度检查	91
实训十四	钢筋锈蚀检查	97
实训十五	混凝土中氯离子含量的测定与评定	99
实训十六	混凝土电阻率的检测与评定	103
实训十七	回弹法检测混凝土抗压强度	105
实训十八	混凝土裂缝检查	109
实训十九	混凝土外观质量检查	114
实训二十	混凝土耐久性评定	122
第四部分	养护维修与病害整治	124
实训一	运营隧道养护维修	124
实训二	隧道水害及其防治	128
实训三	隧道衬砌裂损与其防治	132
实训四	隧道冻害与其防治	136
第五部分	安全管理	139
参考文献		165

第一部分 施工作业

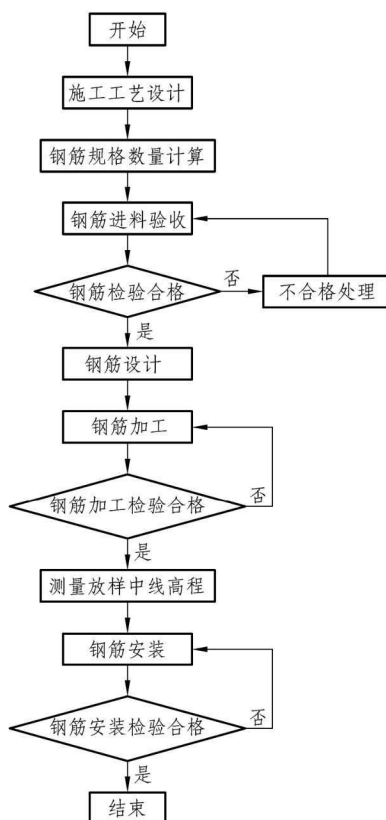
实训一 二次衬砌钢筋施工

一、实训目的

1. 掌握隧道二次衬砌钢筋施工的工艺流程，熟悉二次衬砌钢筋施工的基本步骤。
2. 掌握隧道二次衬砌钢筋施工的关键技术，理解二次衬砌钢筋施工注意要点。

二、工艺流程

二次衬砌钢筋绑扎工艺流程见下图。



二次衬砌钢筋绑扎流程图

三、作业步骤

1. 施工前准备。

- (1) 检查钢筋的规格、型号是否满足设计要求。
- (2) 钢筋进场时，抽取试件做力学性能和工艺性能试验，质量符合规范设计要求。
- (3) 将隧底虚渣、杂物、泥浆、积水等清除干净，并用高压风将隧底吹洗干净。
- (4) 根据设计施工图对钢筋进行放样，计算每种型号钢筋的下料长度、确定加工形式，制作钢筋下料表。

2. 定位钢筋施工。

(1) 二衬土工布及防水板安装完毕后，在该环二衬中部位置及端头位置的防水板上测出 2 条法线，以红色油漆标识一个环向。

(2) 根据已测出的法线每 2 m 一环先安装好外层环向定位主筋，主筋型号根据设计图纸选择。

(3) 在端头环向主筋上焊接法向定位钢筋，这样做主要是为了控制层间距及保护层厚度。法向定位钢筋一般采用 L 形，焊接时注意用竹胶板外贴，防止烧坏防水板。

(4) 在环向定位钢筋及法向定位钢筋安装好之后，根据保护层控制厚度进行纵向定位钢筋的测量放样，从该环二衬两端进行测量放样，根据放样点，通过细线拉直确定纵向定位钢筋位置，以保证纵向定位钢筋顺直。

3. 外层钢筋安装。

(1) 依据法向定位筋上的测量点位及层间距，焊接外层钢筋纵向定位钢筋，再根据设计要求安装外层钢筋，即靠近防水板一侧钢筋，其间距、连接方式等应符合设计及规范要求，可通过钢筋卡具或在水平定位筋上画好钢筋位置来确保主筋间距均匀。

(2) 在外层钢筋与防水板之间安装保护层垫块，每平方米 4 个，呈梅花形布置，防止钢筋与防水板紧贴，损坏防水板。

(3) 安装好的外层钢筋应绑扎稳定牢固，不得出现晃动现象。

4. 内层钢筋安装。

(1) 准确定位。在外层钢筋安装完成并验收合格后，再进行内层钢筋的安装。内层钢筋安装前，依据测量放样点，采用拉线形式焊接纵向定位钢筋，确保纵向定位钢筋顺直。

(2) 确定纵向定位钢筋的放样点。其依据是钢筋型号和保护层厚度。以某 IV 级围岩 $\phi 20$ 钢筋为例计算如下：测量放样净保护层控制在 60 mm，拱顶位置考虑钢筋下沉影响，保护层控制在 80 mm。主筋直径 20 mm，勾筋直径 8 mm，纵向定位钢筋位置应在测量保护层控制点往外 $20 + 8 = 28$ mm 的位置。

(3) 纵向定位钢筋固定好之后，利用钢筋卡具或事先在纵向定位筋上画好的钢筋位置点施工内层主筋，在环向主筋与纵向定位钢筋搭接位置处绑扎牢固，确保环向主筋的稳定性。

5. 混凝土垫块安装控制措施。

(1) 在衬砌钢筋安装完成后，每平方米绑扎 4 个垫块，垫块的尺寸根据保护层厚度确定，梅花形布置，用于防止混凝土浇筑过程中衬砌钢筋受混凝土挤压或自重产生位移变化，影响保护层厚度。

(2) 二衬钢筋绑扎完成后，选取 4 组断面对保护层进行复测，对保护层厚度不合格的位置进行适当的调整。

6. 焊接支撑钢筋。

由于二衬拱顶部位的衬砌钢筋保护层厚度不易控制，在浇筑混凝土时，拱顶的钢筋容易出现下沉现象，因此，拱顶部位应焊接支撑定位钢筋，钢筋预伸长度为净保护层厚度，每平方米 1 根，防止混凝土浇筑过程中拱顶衬砌钢筋受力下沉影响保护层厚度。

四、注意事项与要求

1. 钢筋绑扎严格按照“先外圈，后内圈，先主筋，后分布筋与勾筋”的顺序施作。
2. 在钢筋绑扎过程中，严禁损伤防水板。
3. 钢筋连接通常采用绑扎或焊接，绑扎和焊接长度符合验标要求，焊接的焊缝必须饱满、平实，不能有蜂窝。
4. 钢筋接头应设在承载力较小处，并分散布置。
5. 钢筋安装施工前，应对其质量、外观等进行检查，确保钢筋平直、无损伤，表面无裂纹、油污或锈蚀等。
6. 钢筋的加工应符合设计要求，当设计未提出要求时应按照《铁路隧道工程施工质量验收标准》(TB 10417—2003)的要求进行加工。

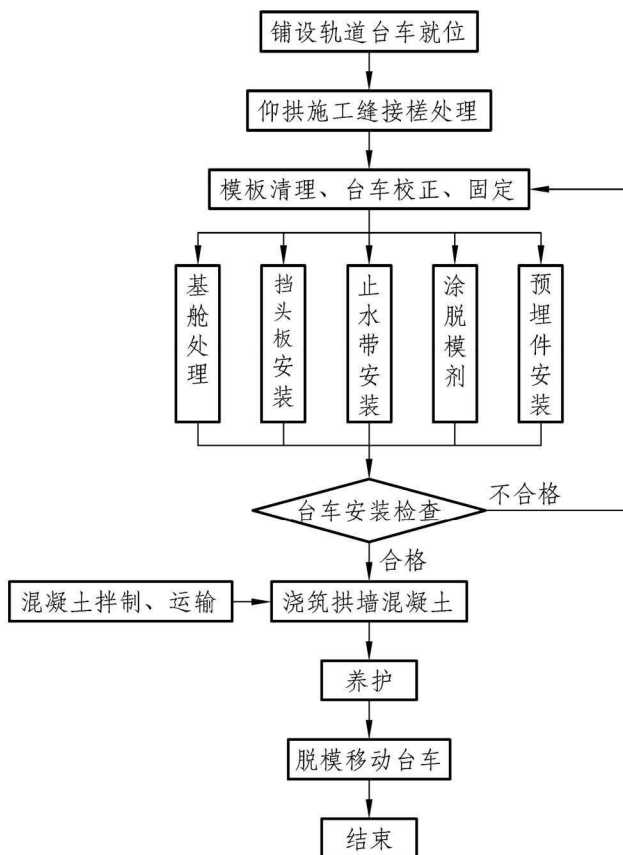
实训二 二次衬砌混凝土浇筑

一、实训目的

1. 掌握隧道二次衬砌混凝土浇筑的工艺流程,熟悉二次衬砌混凝土浇筑的基本步骤。
2. 掌握隧道二次衬砌混凝土浇筑施工的关键技术,理解二次衬砌混凝土浇筑施工注意要点。

二、工艺流程

二次衬砌混凝土浇筑工艺流程见下图。



二次衬砌混凝土浇筑工艺流程图

三、作业步骤

1. 作业准备。

(1) 二衬钢筋安装、混凝土原材料、施工机具、防水板与排水盲管的检查。

检查混凝土浇筑工作面与开挖掌子面的安全距离是否满足要求。

2. 衬砌模板台车安装。

(1) 根据设计要求和隧道断面确定台车的轮廓尺寸，其门架净空高度和宽度应能保证运输车辆通行，在台车架上部和模板之间留有空间用来安装隧道通风管道，两侧工作窗口布局应便于作业。

(2) 衬砌模板台车沿轨道通过自行设备移动至待浇舱位，与上板衬砌搭接 5~10 cm，顶模、侧模由油缸调整到位，并用千斤顶及撑杆加固。

(3) 模板台车浇筑混凝土前清除表面的杂物及灰尘，检查有无破损，及设备状况是否良好，如有破损先进行修复，然后再浇筑。

(4) 混凝土施工前，安装预埋件、止水带等，并在模板表面涂脱模剂，以便于脱模。

(5) 防溜车装置到位，液压系统锁定。

(6) 连接输送泵管道，准备施作混凝土。

3. 混凝土浇筑。

(1) 混凝土拌和。拌制混凝土时要严格按照预试验得到的施工配合比进行配料。

(2) 混凝土运输。通过混凝土罐车将混凝土从拌和站运送到混凝土浇筑点。

(3) 泵送混凝土入模。混凝土入模温度应根据洞内温度适当调整，不宜过高或过低；混凝土拌和物的入模含气量应满足设计要求；混凝土拌和物的坍落度应符合要求。

(4) 清除基岩杂物，排净积水，保持基岩洁净和湿润。

(5) 混凝土浇筑。混凝土浇筑应保持连续性，如因故中止且超过允许间歇时间，则应按施工缝处理。

(6) 混凝土振捣。混凝土振捣采用附着式和插入式振捣器振捣，每一位置的振捣时间，以混凝土不再显著下沉、不出气泡并开始泛浆为准。振捣器距模板的垂直距离，不应小于振捣器有效半径的 1/2，并不得触动钢筋及预埋件。

4. 混凝土养护。

(1) 浇筑完成后应对混凝土进行养护，以保持混凝土表面湿润。养护水的温度与环境温度基本相同。

(2) 浇水次数应能保持混凝土处于湿润状态。

(3) 混凝土养护用水与拌和用水相同。

5. 拆模。

(1) 拆模时间，当二次衬砌混凝土强度达到设计要求时，才可拆模。承受围岩压力较大的拱、墙，封顶和封口的混凝土一般要达到设计强度的 100%，方可拆模。

(2) 拆模时，应根据锚固情况，分批拆除锚固连接件，防止大片模板坠落。拆模

应使用专门工具，以减少对混凝土及模板的损坏。

(3) 拆下的模板、支架及配件应及时清理、维修，并分类堆放。

四、注意事项与要求

1. 二次衬砌台车强度、刚度和稳定性满足施工荷载各种组合要求。
2. 衬砌台车整机走行和操作系统方便合理。
3. 模板轮廓符合衬砌断面要求，模板安装光滑平整，接缝严密，相邻模板无错台。
4. 模板安装完成后检查是否连接紧密、牢固，以防出现漏浆、跑模等现象。
5. 在混凝土浇筑过程中，设专人对模板、支架进行检查、维护，模板如有变形走样，立即采取措施或根据实际情况要求停止浇筑混凝土。
6. 混凝土的配合比要严格按照预试验确定的配比进行拌制，运输、浇筑的过程要符合要求。
7. 混凝土振捣要严格注意振捣顺序、时间、深度等，严禁振捣时碰撞防水板、钢筋和模板等。
8. 混凝土养护需要注意养护的温度、湿度以及时间等。
9. 注意拆模时混凝土强度，防止拆模过程中对混凝土造成损伤。

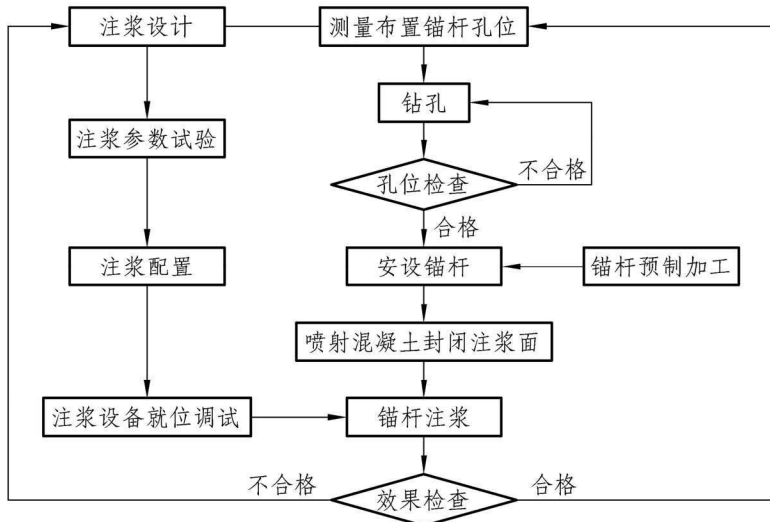
实训三 锚杆的安装

一、实训目的

1. 掌握隧道内锚杆安装的工艺流程，熟悉锚杆安装的基本步骤。
2. 掌握隧道锚杆安装施工的关键技术，理解锚杆安装施工注意要点。

二、工艺流程

锚杆安装的工艺流程如下图所示。



锚杆安装的工艺流程图

三、作业步骤

1. 锚杆孔位布置。

测量放样锚杆孔位，梅花形布置，纵横间距为 $0.75\text{ m} \times 0.75\text{ m}$ （锚杆孔位布置形式根据相关设计图纸确定），再用红铅油点标记在隧道岩壁上。

2. 钻孔。

利用锚杆机或风钻等钻孔，孔位允许偏差为 $\pm 150\text{ mm}$ ，孔径要与锚杆直径相匹配，锚杆孔径应大于设计的锚杆直径 15 mm ，孔深一般比锚杆稍长，孔向应按设计方向钻

进，尽量与所在部位的岩面垂直。钻孔完毕后，检查孔深，满足要求后再进行下一步工序。

3. 锚杆安装。

(1) 钻孔完毕，安装锚杆前，利用高压风清洗锚杆孔内石屑。

(2) 打入装好锚头的锚杆，锚杆插入深度应符合设计规定，锚杆外露 10 ~ 20 cm，以便与压浆机出浆管连接。

4. 注浆

(1) 中空锚杆注浆。

连接注浆管，采用反循环式注浆，当注浆完成后拧紧螺母。在压浆前，锚杆孔处预装锚杆专用止浆塞，压浆时，锚杆头与注浆机出浆管连接，开始压浆。当孔内水泥浆压满后，立即顶紧止浆塞，防止浆液流出。

(2) 砂浆锚杆注浆。

先在锚孔内注浆，注浆完成后，再将锚杆杆体插入孔内。

(3) 自行式注浆锚杆注浆。

压浆前先施作喷射混凝土止浆墙，然后压注水泥浆或水泥-水玻璃双液浆，浆液从锚杆末端进入，通过锚杆空腹及中空钻头，从锚杆前端溢出，返回至尾部进行注浆，可保证完全充填锚杆周围空隙。

(4) 垫板安装。

压浆完毕，待达到额定强度后，开始安装锚杆专用垫板，拧紧螺帽，垫板应保证与支护面岩面密贴。

四、注意事项与要求

1. 锚杆类型、长度等参数根据设计要求、围岩性质和锚固特性进行选择。
2. 杆体直径均匀，无严重锈蚀、弯折现象。
3. 锚杆安装后禁止敲击、悬挂重物。
4. 锚杆垫板与喷射混凝土面要严格密贴。
5. 杆体插入锚杆孔时，应保持位置居中，不出现角度偏差。
6. 锚杆注浆结束后要及时检查其效果，不合格者及时补浆。

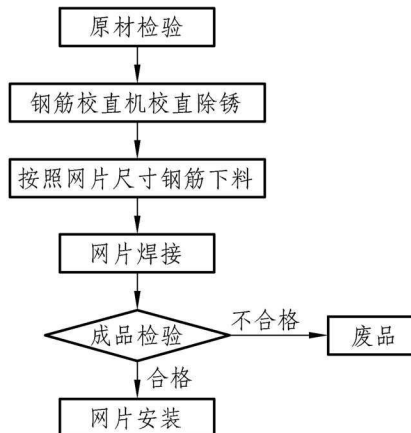
实训四 钢筋网挂置

一、实训目的

1. 掌握隧道内钢筋网挂置的工艺流程，熟悉钢筋网挂置的基本步骤。
2. 掌握隧道钢筋网布设的关键技术，理解钢筋网施工注意要点。

二、工艺流程

钢筋网片安装工艺流程如下图所示。



钢筋网片安装工艺流程图

三、作业步骤

1. 钢筋网片加工。
 - (1) 钢筋网片的加工制作在钢筋加工场内集中完成。
 - (2) 利用钢筋调直机把钢筋调直，截成钢筋条。
 - (3) 钢筋网片尺寸根据拱架间距和网片之间搭接长度综合考虑确定。
 - (4) 钢筋焊接前先将钢筋表面清理干净。
 - (5) 加工后的钢筋网片要平整，钢筋表面无削弱钢筋截面的伤痕。
2. 存放运输。
 - (1) 运输过程中钢筋网片轻抬轻放，避免摔在地上产生变形。

(2) 钢筋网片成品远离加工场地，堆放在指定的成品堆放场上。

(3) 存放和运输过程中要避免潮湿的环境，防止锈蚀、污染和变形。

3. 钢筋网片安装。

(1) 钢筋网片挂设。挂网在初次喷射混凝土及锚杆施作后进行，通过多功能作业台架，沿开挖岩面一环一环铺设。钢筋网片之间用焊接连接，施工中可以通过钻孔设备辅助固定钢筋网，使其尽量与岩面密贴。

(2) 钢筋网片在初次喷射混凝土后进行，第二层在第一层钢筋网被混凝土覆盖并终凝后挂设。

(3) 焊接。挂好网片后，将网片之间的接头以及网片钢筋和锚杆头、钢架等焊接牢固，避免网片超出喷混凝土厚度和喷混凝土时网片晃动。

四、注意事项与要求

1. 钢筋网在初喷混凝土 4 cm 以后铺挂，且保护层厚度不得小于 2 cm。

2. 喷射混凝土过程中如有脱落的石块或混凝土块被钢筋网卡住时，应及时清除后再喷射混凝土。

3. 挂网施工中密切注意观察围岩或喷射混凝土的剥落和坍塌等。

4. 钢筋网片要形成一个整体，焊接的地方要牢固。

5. 钢筋应冷拉调直后使用，钢筋表面不得有裂纹、油污、颗粒状或片状锈蚀。

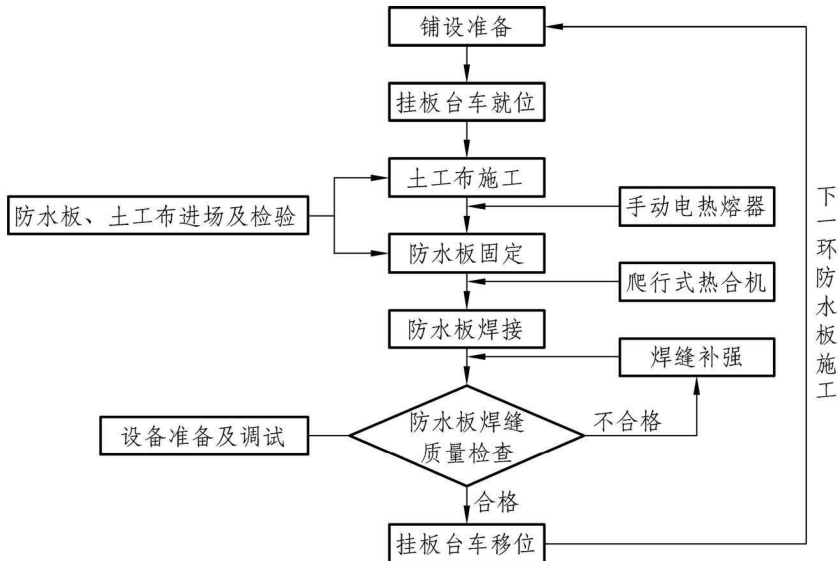
实训五 防水板的施工

一、实训目的

1. 掌握隧道内防水板施工的工艺流程，熟悉防水板施工的基本步骤。
2. 掌握隧道防水板施工的关键技术，理解防水板施工注意要点。

二、工艺流程

防水板安装工艺流程如下图所示。



防水板安装工艺流程图

三、作业步骤

1. 铺设准备。

(1) 检查初期支护净空，一旦发现初期支护断面侵入二次衬砌的情况，整改过后再进行防水板铺设。

(2) 基面处理，防水板铺设前，利用锤击声对初期支护进行检查，必要时辅以其他物探手段。针对具体问题采取如下措施：

① 局部漏水采用注浆堵水或埋设排水管。

② 钢筋网等凸出部分，先切断，后用锤铆平，再抹砂浆素灰。

③ 喷射混凝土表面凹坑处用细石混凝土填平，凹坑太大处要抹平补喷混凝土，确保喷射混凝土表面平整，无尖锐棱角。

(3) 防水板质量检查，防水板铺设之前检查是否有变色、波纹(厚薄不均)、斑点、刀痕、撕裂、小孔等缺陷，如果存在质量疑虑，应进行张拉试验、防水试验和焊缝张拉强度试验。同时，按照与洞内施工相同的方法对防水板进行试拼。

(4) 对检查合格的防水板用特种铅笔画焊接线及拱顶分中线，并按每循环设计长度截取，对称卷起备用；洞内在铺设基面标出拱顶中线，画出隧道中线第一环及垂直隧道中线的横断面线。

2. 挂板台车就位。

防水板铺设时采用简易台车进行，台车应具备足够的强度与刚度，以及较为灵活的行走装置，并应配备能达到隧道周边任一部位的作业平台。台车就位采用轮装牵引的方式进行，就位时应使台车中心尽量置于隧道中线上，并固定稳妥，以保证作业时不产生倾斜和晃动。

3. 无纺布施工。

铺设时采用简易台车将无纺布固定在预定的位置上，再采用带热塑性圆垫圈的射钉将无纺布钉牢在初支表面上，射钉按梅花形布置。无纺布铺设应自下而上进行，下部无纺布应压住上部无纺布，并预留一定的富余量，两环无纺布的搭接长度不小于 5 cm。

4. 防水板铺挂。

防水板铺挂时采用手动电热器加热热熔衬垫，再将防水板与之牢固黏结。防水板铺挂时应从下自上进行，并预留一定的富余量。环向铺设时，先拱后墙，下部防水板应压住上部防水板，两幅防水板的搭接宽度不小于 15 cm，同时应保证防水板的接缝与衬砌端头错开 1.0 m。防水板之间的搭接缝应采用双面焊缝，焊接严密，不得焊焦、焊穿、漏焊和假焊。焊接完后的卷材表面留有空气通道，用以检测焊接质量。

5. 防水板焊缝质量检查。

防水板的搭接缝焊接质量检查应按充气法检查，主要是对焊缝进行压力充气，并用肥皂水涂在焊缝上，对出现气泡处进行重新补焊，直到合格为止。

四、注意事项与要求

1. 铺设前进行精确放样，弹出标准线进行试铺后确定防水板一环的尺寸，尽量减少接头。

2. 防水板宜采用从下向上的顺序铺设，松紧应适度并留有余量，检查时要保证防水板全部面积均能抵到围岩。