



中国铁路职业与教育

(第1辑·第1卷 总第1卷)

武汉铁路职业技术学院 © 主 办

苏云锋 王德洪 © 主 编



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

图书在版编目(CIP)数据

中国铁路职业与教育,第1辑,第1卷:总第1卷/苏云锋,王德洪主编. —武汉:华中科技大学出版社, 2022.6

ISBN 978-7-5680-8349-2

I. ①中… II. ①苏… ②王… III. ①铁路工程-职业教育-中国-文集 IV. ①U2-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2022)第 098311 号

中国铁路职业与教育(第1辑·第1卷 总第1卷)

苏云锋 王德洪 主编

Zhongguo Tielu Zhiye yu Jiaoyu (Di 1 Ji • Di 1 Juan Zong Di 1 Juan)

策划编辑:周晓方 宋 焱

责任编辑:苏克超

封面设计:原色设计

责任校对:张汇娟

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉) 电话:(027)81321913

武汉市东湖新技术开发区华工科技园 邮编:430223

录 排:华中科技大学惠友文印中心

印 刷:湖北新华印务有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:12.5 插页:2

字 数:270千字

版 次:2022年6月第1版第1次印刷

定 价:88.00元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

目 录



-
- 3 悬挂式单轨交通车辆出库标准研究_何安琪
 - 9 地铁隧道管片连接螺栓紧固性能的控制与维护措施_陈冬梅
 - 15 基于悬挂式单轨交通的客运组织规则研究_谢淑润
 - 22 悬挂式单轨交通信号系统选型及成本控制策略_文豪 肖曼
 - 30 悬挂式单轨交通运营安全保障机制研究_赵义军
 - 35 悬挂式单轨交通通信设备运维技术研究_黄瑞
 - 43 悬挂式单轨列车转向架技术研究_黄华
 - 49 悬挂式单轨交通信号系统关键技术及运营维护标准研究_李波
 - 56 悬挂式单轨交通接触轨维修标准制定研究_罗君
 - 62 悬挂式单轨交通接触轨故障的应急处置_王旭东
 - 68 悬挂式单轨列车再生制动能量吸收及利用方案探讨_张绍静
 - 73 悬挂式单轨交通变电所运行管理和设备检修探讨_邓小桃
 - 78 悬挂式单轨交通线路变形监测技术_何欢
 - 82 悬挂式单轨车辆车内电气设备年检规程研究_胡翔
 - 88 特殊天气下悬挂式单轨交通应急行车组织研究_胡小依 刘梦君
 - 93 城市轨道交通自动售检票系统站级售检票方式研究_罗军
 - 97 基于悬挂式单轨交通的票务规则研究_张美晴 谢淑润 李洁

高职教育研究

Chapter 2

-
- 107 中国特色现代学徒制构建路径_王德洪
- 112 我国现代学徒制研究现状及展望——基于核心期刊的可视化分析_吕健
- 123 高职院校学生党员发展质量保障机制研究_蓝镭
- 130 新冠肺炎疫情背景下大学生心理健康与应对措施研究_丁冬
- 135 我国职业教育政策发展趋向与高职院校治理路径_苏丽芳
- 141 可持续发展视域下的大学生社会主义核心价值观培育_余毅晖
- 147 工程项目管理信息化现状分析与对策研究_邓琰
-

教育教学改革

Chapter 3

- 153 “三教”改革提高高职护理专业学生护考通过率初探_邱胜军 蒋卫东
- 158 基于模糊综合评价法的“双创”教育评价研究_陈莹 彭俏
- 166 铁路高职院校思想政治教育亲和力提升路径研究_管丽娟
- 172 “1+X”电子商务月度销量环比数据案例分析_苏雪 石焱峰
- 177 基于“1+X”证书制度的专业群人才培养模式探析_杨沁
- 184 教学与素质养成相结合的高校体育教改方案研究_陈先明
- 189 新课改背景下体育课程评价的问题与优化策略研究_王进
-

Chapter 1

现代轨道交通



● 悬挂式单轨交通车辆出库标准研究

● 何安琪

● (武汉铁路职业技术学院)

摘 要

悬挂式单轨交通车辆因其造价低、环保、对城市景观影响小、工期快等优点,在中小城市特别是景区有较大的需求和很好的发展前景。目前国内暂无成熟的运营线路,制定悬挂式单轨交通车辆的运营检修标准是当前迫切需要解决的问题之一。本文聚焦悬挂式单轨交通车辆的实际运营需求,研究讨论了悬挂式单轨交通车辆的出库标准,从外观检查到司机室检查、客室检查等方面制定相应的检查标准,为保障悬挂式单轨交通车辆的运营奠定坚实的基础。

关键词

悬挂式单轨 出库标准 车辆

一、引言

悬挂式单轨交通车辆是我国城市轨道交通中的一支新兴力量。与传统城市轨道交通车辆相比,悬挂式单轨交通车辆在结构形式、走行机构上存在很大差异。悬挂式单轨交通车辆的转向架位于车辆顶部,列车悬挂在高架轨道梁上运行。

悬挂式单轨交通车辆在德国已经运营数十年了,安全可靠,技术成熟。悬挂式单轨交通系统对土地的占有率较低,一般为高架桥结构。悬挂式单轨交通系统大多数采用的轨道系统为梁轨合一,转向架上设走行轮和导向轮,轮胎为实心橡胶轮胎,可以应对急弯及大坡度等复杂地形,最大限度减少土地拆迁量。同时,悬挂式单轨交通系统投资少,建

设周期短。其主要特点如下。

1. 城市空间利用率高

悬挂式单轨交通系统以高架结构为主,占地面积少,轨道梁宽度窄,占用空间小。

2. 运行安全

车辆转向架上装有走行轮和导向轮,走行机理与钢轮钢轨系统完全不同,在列车运行过程中,走行轮和导向轮始终在箱形轨道梁内部,充分保障了列车的运行安全。

3. 适应地形能力强

胶轮黏着性能好,有利于加、减速,适合在坡道大、站间距短、曲线半径小的线路上运行,可以应对急转弯及大坡度等复杂地形,选线范围广,可以减少拆迁量和施工期间对地面交通的影响。

4. 环境效应优越

车辆分设走行轮和导向轮,均采用实心橡胶轮胎,走行噪声低。列车牵引方式为电力牵引,运行中无排气污染,对城市环境污染小。悬挂式单轨交通系统采用的细梁柱轨道结构对城市景观影响小;乘客在车上视野宽广,眺望条件好,能起到游览观光的作用。

二、悬挂式单轨交通车辆

悬挂式单轨交通车辆与常见的钢轮钢轨车辆在结构和外形上有很大不同,该车辆悬挂在轨道梁下运行,每辆车有2个转向架,每个转向架有4个走行轮和8个导向轮。车辆靠走行轮支撑并在轨道梁上行走,车辆的导向轮沿轨道梁内侧面行走,保证了车辆的转向和稳定。车辆的走行轮和导向轮均采用实心橡胶轮。车辆的主要性能参数如下。

1. 供电方式

(1)受电方式:采用接触轨侧面受流方式,设置DC 750 V+和DC 0 V两条供电轨。

(2)接触轨供电电压:DC 750 V(波动范围:网压500 V~900 V)。

(3)再生制动时不高于DC 950 V。

(4)供电系统中牵引变电所、接触网及供电保护装置应符合GB/T 10411的有关规定。

2. 车体主要尺寸

车辆长度(车钩连接面):Mc车,11625 mm;M车,10500 mm。列车长度(两端车钩

连接面之间):33750 mm。车辆高度:3730 mm。车体宽度:2400 mm。车顶设备最高点距轨道梁走行面:325 mm。车内内顶高度:2100 mm。

3. 列车牵引性能

车辆在干燥、清洁的平直轨道上,在超员(AW3)、额定网压以及车轮全磨耗状态下的牵引性能参数见表1。

表1 牵引性能参数

项目	参数
列车试验速度	70 km/h
列车最高运行速度	60 km/h
牵引运行时冲击极限	$\leq 0.75 \text{ m/s}^3$
平均启动加速度(0~30 km/h)	$\geq 1 \text{ m/s}^2$
平均加速度(0~70 km/h)	$\geq 0.5 \text{ m/s}^2$
通过洗车机稳定运行速度	3~5 km/h
列车联挂速度	$\leq 5 \text{ km/h}$

4. 列车制动特性

在超员(AW3)情况下,在平直干燥的线路上,车轮全磨耗状态下,列车从高运行速度60 km/h制动到停车,平均减速度为:最大常用制动 $\geq 1 \text{ m/s}^2$,紧急制动 $\geq 1.2 \text{ m/s}^2$ 。列车纵向冲击率(安全制动除外) $\leq 0.75 \text{ m/s}^3$ 。停放制动应能保证超员(AW3)列车安全地停放在80‰坡道上,并考虑最大风力的影响。电制动性能应能满足定员载荷(AW2)情况下,最大常用制动全电制动。车站列车停车对位精度(正确率为99.99%) $\pm 300 \text{ mm}$ 。

三、悬挂式单轨交通车辆出库标准

为了保障线路的畅通和安全运营,悬挂式单轨交通列车在出库时,需对与车辆运营安全相关的重要设备进行检查。参照司机的检查顺序,可将车辆的检查分为车体与走行部检查、司机室检查和客室检查。针对不同的检查部位,需要制定不同的出库标准,司机在进行出车作业时一定要严格遵守相关标准。

1. 车体与走行部出库标准

车体与走行部出库标准见表2。

表 2 车体与走行部出库标准

序号	主要检查项目	检查内容及要求
1	车体外观(包括受流器)	无损坏,无变形;配件齐全,安装牢固。 受流器碳滑板磨损未超限
2	头灯、尾灯、行车灯,站点显示屏	功能正常,显示正确,外观无破损
3	车钩及缓冲装置(包括半自动车钩、半永久牵引杆)	配件齐全,安装牢固;无损坏,无变形
4	转向架	配件齐全,安装牢固;转向架构架无裂纹;空气弹簧无破损、无漏风;橡胶轮表面无明显破损,橡胶轮磨损未超限,无老化龟裂。 液压制动系统制动、缓解作用良好,液压制动控制单元和蓄能器外观良好,无损坏,液压油路无漏油;闸片间隙正常,闸片无裂纹,闸片磨耗未超限
5	电气设备箱	外罩齐全,箱盖锁闭良好;安装无异常
6	空气压缩机、干燥器单元制动器及各种阀件、塞门	配件齐全,安装牢固;空气压缩机安装无异常,打风时无异响;塞门位置正确;风管路无异常泄漏,作用良好
7	两车间电缆、插座	无损坏、变形,锁闭良好;安装无异常

2. 司机室出库标准

司机室出库标准见表 3。

表 3 司机室出库标准

序号	主要检查项目	检查内容及要求
1	司机控制器(方向手柄、主控手柄、钥匙开关、警惕按钮)、紧急制动按钮	配件齐全,功能正确,作用良好
2	HMI 显示屏	无明显损坏,信息显示清晰、准确,作用良好
3	逃生门、司机室间壁门	作用良好,密封良好
4	各种仪表、指示灯	外罩完整,安装固定良好,无破损,显示正确
5	前窗玻璃、侧窗玻璃	清洁,无损坏,安装固定良好
6	电器柜	电源自动开关位置置于闭合位;各旁路开关位置正确;接线排无异常;柜门关闭良好
7	各种辅助设备	防护设备、行车备品、灭火器齐全,性能良好

续表

序号	主要检查项目	检查内容及要求
8	照明灯	状态良好
9	各种按钮开关、转换开关、旋钮开关	位置正确,作用良好
10	列车广播系统	显示屏显示清晰,功能良好
11	雨刷、水箱	作用良好,水箱无泄漏
12	司机室内观(地板、内装等)	清洁,无明显损坏,安装固定良好
13	电笛	作用良好
14	车载电台	性能良好
15	车载信号系统	性能良好
16	点动牵引试验	符合技术要求
17	制动性能试验(包括停放制动试验)	符合技术要求
18	乘客信息系统视频监控	监控和视频存储功能良好,监控画面清晰

3. 如发现下列故障之一,严禁出库

- (1)受流设备、高速断路器等高压设备故障;
- (2)司机控制器、牵引逆变器等牵引系统故障;
- (3)液压制动控制装置不缓解或不制动等制动系统故障;
- (4)列车网络控制系统或列车监控系统故障;
- (5)空气压缩机、辅助逆变器等辅助系统故障;
- (6)车载通信、信号设备故障;
- (7)头灯、尾灯、行车灯故障,或无相应显示,或显示不正确;
- (8)乘客信息系统视频监控功能失效或视频数据存储失效;
- (9)列车广播自动报站和手动报站均失效;
- (10)客室空调不能开启或开启后无效果;
- (11)其他影响列车运行或危及行车安全的故障。

四、结束语

本文探究了悬挂式单轨交通车辆的出库标准,针对列车的不同部位及司机的出库检查流程,对车辆的出库检查进行分类,分为车体与走行部检查、司机室检查和客室检查。

分析研究了各个不同部位需要检查的内容、检查的方式及需要达到的技术要求,初步形成车辆的出库标准。由于不同线路车辆设备存在差异,可以在此基础上根据实际情况新增或删减需要检查的设备或内容。

参考文献 ● ● ●

- [1] 李定南. 国内外悬挂式单轨列车的发展与展望[J]. 国外铁道车辆, 2017(3).
- [2] 李芾, 许文超, 安琪. 悬挂式单轨车的发展及其现状[J]. 机车电传动, 2014(2).
- [3] 薄海清. 悬挂式单轨交通车辆检修工艺及管件设备探讨[J]. 铁道标准设计, 2013(1).
- [4] 田野. 城市轨道交通车辆检修工艺[J]. 人民交通, 2018(3).

地铁隧道管片连接螺栓紧固性能的控制与维护措施

陈冬梅

(武汉铁路职业技术学院)

摘要

地铁隧道管片拼装质量取决于连接螺栓的紧固状况。导致管片连接螺栓紧固失效的原因应从螺栓连接的原理与特征作分析,螺栓的紧固作业过程及管片在隧道运行中的荷载变化与检测、维护,都会对其产生直接影响。依据螺栓松动的关键影响因素为动荷载作用,提出相应的控制措施,确保管片连接螺栓的紧固作用的稳定性。

关键词

地铁隧道 管片拼装 螺栓连接 紧固力

一、引言

某地铁隧道,线路工在执行轨道巡检任务中,发现多处管片拼装连接螺栓出现明显松动。这种情况在部门线路巡查规章中并未列入规定检查项目,隧道结构维护技术规程中也没有螺栓松动的判定标准。

案例中的地铁隧道采用盾构法施工单层衬砌结构管片拼装成形,连接螺栓分为环向连接与纵向连接,采用弯曲螺栓连接。出现螺母松动处为远距离肉眼可察觉松动,螺母移动在2~3丝扣。这种情况属于个别现象,但是,考虑到可能存在不为肉眼可察觉的螺母松动,区间隧道管片连接螺栓松动问题应引起工务维护部门的高度重视。

二、盾构法地铁隧道管片结构

隧道管片主要为钢筋混凝土材料,管片结构包括四个方面的内容:分块尺寸、拼缝设置、密封技术、连接方式。隧道管片的分块数一般为6~8片,管片宽度为1.0m、1.2m、1.5m等规格。管片的拼装大都采取错缝拼装,仅在联络通道处有时采用通缝拼装,以满足结构的一致性。管片接缝间的防水与密封材料采用橡胶密封垫,材料主要有氯丁橡胶、三元乙丙橡胶等。

隧道管片的紧固连接件有直型螺栓与弯曲螺栓。钢筋混凝土管片为平板型,一般采用弯曲螺栓连接。连接螺栓分为环向螺栓、纵向螺栓。弯曲螺栓接头易于变形,使管片的整体结构具有一定的柔性。这种接头可以抵抗较大弯矩、承载剪切位移,适应结构的拉伸与压缩变形,同时接头的密封性好。弯曲螺栓接头多用于区间隧道的管片连接。增加螺栓连接数量可以提高刚性。

本案例中关注的问题涉及管片连接结构,主要发生于区间隧道管片的连接,而且以纵向连接接头为主。对于隧道管片,在环向接头处主要承受环向压力作用。由于周边土压力不相等影响,会使得结构可能受到弯矩作用,引起管片内侧产生拉应变、外侧产生压应变(正弯矩),或内侧产生压应变、外侧产生拉应变(负弯矩)。环向接头上的弯曲刚度以及管片的环向弯曲刚度,需要通过管片端部表面的凸台构造与相邻管片接触形成环向整体结构,需要弯曲螺栓紧固连接并确保一定的预紧力(通常为70~80 kN)。

三、管片连接螺栓的作用原理

螺栓连接是通过螺栓与螺母配合形成的紧固元件。其抗剪作用是通过螺栓杆与孔壁互相挤压传力,抗拉作用是靠螺栓紧固后的预紧力。通过拧紧力使螺栓产生预紧力。预紧力的形成包括两个方面:一是螺纹接触面上的锁紧力;二是螺栓与螺母之间的摩擦力、螺母与紧固的管片端面的摩擦力。在螺母上施加一定的扭转力矩,使螺母转动,螺母通过螺纹斜面对螺杆做功,将螺杆轴向拉伸,螺杆在其弹性范围内会产生回缩,弹性回缩力即为预紧力。螺栓的螺纹斜面加工精度与润滑条件对拧紧力有直接影响。普通螺纹紧固件中,螺栓与螺母的受力变形使螺母各牙螺纹所承担的荷载不等,第一牙螺纹的承载量最大,约占总荷载的1/3,并逐牙同比递减。当螺母受力时,应力主要集中于第一牙与第二牙螺纹接触面。拧紧力较大时,第一牙螺纹产生弯曲和剪切变形,这样使第二牙螺纹承受应力并产生锁紧力。以此类推,螺母的承载负荷面将受力依次传递。

对于管片的连接螺栓作用,当外部荷载为零时,即环向与纵向没有发生各种因素引

起的变形,紧固力等于螺栓的预紧力;而当管片受到外部荷载作用时,在荷载作用不足以抵消预紧力的范围内,预紧力不变,但紧固力会产生变化;只有当外部荷载作用大于螺栓的预紧力,造成螺栓产生拉伸,则紧固力为零。较高的预紧力对提高连接的可靠性是有利的。当然,过高的预紧力会造成相反的作用,带来一些不利的影响。

四、螺栓松脱的原因分析

(一)管片拼装过程中的影响因素

(1)紧固操作过程中由于施作顺序不当,致使管片端面由于受力不均衡产生局部微小变形,初拧扭矩过大或过小,尤其是产生的螺栓初始预紧力不足以调节螺栓顺直。

(2)由于运输、装卸、保管不当,使摩擦面被油污、杂物等污染,从而大大降低抗滑移性能。

(3)由于管片制作误差及安装偏差,造成接触摩擦面产生间隙。

在螺栓拧紧过程中,无论采用什么方法,都是建立在扭矩与轴向力关系或螺栓拉长量与轴向力关系之上的。实际的预紧力与设计规定的预紧力会存在不同程度的偏差,通常的情况是由于端面摩擦性能变差、扭矩控制精度与螺栓强度波动的影响,实际轴向力往往只能达到屈服强度的30%~70%。如果通过增大接触面来解决,则不仅会造成结构增大、材料浪费,而且会导致螺栓连接的可靠性较差。同时,接触面的不平整度较大、间隙过大的影响作用较为严重,直接影响紧固件的安全性能。

还需要注意的是,金属具有延展性,螺栓在拧紧过程中会产生变形,在力矩加固完毕以后螺栓会产生一个缓慢的回复原始形态的过程,在这个过程中,会使原有力矩值变小,这个缓慢回复的过程就是力矩释放的过程。

(二)荷载作用过程中的影响因素

管片螺栓连接在地铁运营过程中的荷载分为静荷载与动荷载。静荷载表现为管片周边土压力的不均衡造成的管片衬砌结构的位移、隧道所处地段的地下水作用等,这些作用的效应反映为对管片的拉力、压力、弯矩作用与剪力作用。动荷载的主要作用为地铁车辆运行中产生的振动作用,隧道空间中列车的运行产生的空气活塞效应。我们重点关注动荷载的影响。

1. 振动荷载

静止的列车会因为较大质量的车身停泊在铁轨上而产生较大的接触面的应力作用。

随着列车启动运行,应力的范围会随着车体的移动而移动,静止时的应力作用也会向四周扩散产生运动的应力场。实际运行中,这种应力场会涉及车轮滚动和滑动,以及车轮轮对偏移、车轮表面凹凸、轮轴负荷过大等作用因素。在轨道上,需要考虑两条钢轨的受力不均匀、轨道不平滑、道床内空气变化等可能会成为增加列车振动的因素。

地铁在运行时,车轮因为某些因素而产生振动,一部分振动直接转化成噪声,另一部分振动通过轨道、枕道床结构传播到隧道。轨道轮轨种类、轮轨形状、枕道床状况都会影响列车振动的产生和传播。

在振动大小的归类中,最大振动根据车轮和轨下部件的共振产生的频率决定,共振大小根据列车速度决定。特殊情况时,速度较慢的列车比速度较快的列车产生更大的振动。结构振动和空气噪声是列车在行进过程中所产生的两种主要的振动类型。地基应对振动的弹性程度、隧道衬砌结构的形状和设计结构以及隧道内建筑设施布置等都直接影响结构物的振动感应。通过现场实测可知,地铁运营引起地面振动的加速度峰值保持在 10^{-4} m/s^2 量级,远大于无列车影响的背景振动的 10^{-2} m/s^2 量级,地铁列车运行引起建筑结构物振动的主频率保持在 $60\sim 80 \text{ Hz}$ 。

2. 隧道空气动力荷载

地铁列车在区间隧道中运行时,由于隧道壁的限制,列车将隧道内的空气推向下一开口处,形成与列车运动方向相同的气流,称为活塞风。活塞风的特性是隧道设计的重要参考项,且列车在地铁隧道中运行时所产生的活塞效应对隧道内空气的流动特性起着重要影响。一方面,活塞效应是隧道及站台自然通风换气的主要动力;另一方面,伴随着列车的阶段行驶过程,活塞风会改变区间内隧道壁的空气动力分布,对隧道壁的结构产生影响。

活塞风具有交变荷载特性,其主要特征表现为瞬变压力。当列车以最高速度 120 km/h 行驶时,断面变化及活塞风造成的压力突变,最大压力变化值为 $1700\sim 1900 \text{ Pa/3s}$,构成对隧道壁的动力作用效应。受气流影响产生震颤,作用到螺栓上形成周期性突变应力。螺栓连接件的材料发生蠕变和应力松弛,使连接中的预紧力和摩擦力逐渐减小,导致连接松动。人们通常注意到这种压力波对司乘人员的健康影响,而实际上,作为一种振动波,对于暴露在隧道空间内的螺栓结构来说,这种长期往复作用的振动影响,会使螺栓产生微细的滑移变化,可以确定螺栓的滑移影响是肯定存在的,应该引起重视,这方面的研究数据有待进行相关的监测、考证。地铁隧道内的空气动力学特性及其影响的研究具有十分重要的意义。

五、管片连接螺栓防松措施

(一)管片、螺栓材料的质量控制

(1)严格检查管片质量,及时发现环面不平或环面与隧道轴线不垂直等,杜绝螺栓孔处振捣不实、麻面裂纹等严重缺陷问题。

(2)严格检查螺栓孔质量。螺栓孔的主要质量问题,如堵孔、移位、弧度变化等,会导致螺栓无法正确地穿过螺孔,产生螺栓穿孔阻力。

(3)严格控制螺栓的加工质量,重点控制表面处理质量,检查螺栓摩擦面抗滑系数是否满足设计要求,强化螺栓、螺母、垫圈的配套使用核查。

(二)螺栓紧固操作程序控制

(1)严格落实管片螺栓复紧制度,每块管片拼装后要求及时穿入螺栓,并按规程进行初次紧固;每环成形后应对所有螺栓进行二次紧固。

(2)螺栓紧固力按照相关的参数表严格执行,初始紧固力为标准紧固力的60%~80%,主要用于固定管片连接,调节管片接触面及螺栓孔误差引起的紧固力损耗。

(3)注意环缝、纵缝间隙测量,在拼装封顶块管片前,应对邻接块之间的开口量进行实测,达到设计开口量后方可拼装封顶块,减小环内管片螺栓应力。

(4)控制螺栓的松弛效应,严格执行纵向连接螺栓的复紧要求,每环在退出尾刷前后都要进行复紧,每当千斤顶行程为1000~1300 mm时须对前三环复紧一遍,即保证每环螺栓复紧三遍。

(三)施工作业管理控制

(1)加强施工管理,做好自检、互检、抽检工作,确保螺栓穿进及拧紧的质量。

(2)强化过程检验,确保工程实体检查与螺栓紧固检测资料的同步性、真实性与完整性。

(四)运营维护检测控制

(1)将螺栓紧固状态检查纳入隧道结构检查条例。